

การวิเคราะห์ผลกระทบของฝนต่อสัญญาณไมโครเวฟย่านความถี่ 20 GHz
ในประเทศไทย

ANALYSIS OF RAIN ATTENUATION ALONG EARTH-TO-EARTH
PATHS 20 GHz MICROWAVE SIGNAL IN THAILAND

ถวิล พึ่งมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ ประเทศไทย

TAWIL PAUNGMA
*Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute
of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand*

อิทธิชัย อรุณศรีแสงไชย

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ ประเทศไทย

ITTHICHAI ARUNGSRISANGCHAI

*Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute
of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand*

โยชิอากิ โมริยะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยโตไก
อิรัสซึกะ, ประเทศญี่ปุ่น

YOSHIAKI MORIYA

*Faculty of Engineering
Tokai University
Hirasuka, Japan*

บทคัดย่อ

ลักษณะการตกหนักของฝนในเขตร้อนชื้น ซึ่งรวมถึงประเทศไทยด้วย เป็นปัญหาอย่างมากต่อระบบการสื่อสารไมโครเวฟ โดยเฉพาะเมื่อใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่มีใช้กันอยู่ จะทำให้ไม่สามารถทราบสาเหตุของการขาดหายของสัญญาณเป็นช่วง ๆ ได้ ในบทความนี้ กล่าวถึงการใช้

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิดความเที่ยงตรงสูง ในการเก็บข้อมูลคุณลักษณะการตกของฝน เปรียบเทียบกับสัญญาณไมโครเวฟภาคพื้นที่ย่านความถี่ 20 GHz จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบถึงการขาดหายหรือการลดทอนของสัญญาณในช่วงเวลาแน่นอน และพบว่าลักษณะการตกของฝนในประเทศไทยจะมีลักษณะพิเศษคือ เป็นการตกหนักในช่วงสั้น ๆ และระยะแรกของการตกของฝน ซึ่งสัญญาณในช่วงนั้นจะถูกลดทอนไปเป็นอันมาก

SUMMARY

The depth of rainfall in tropical area, especially in Thailand has shown significant problems to the 20 GHz communication system. This paper described the use of high accurate rain-gauge to collect the data of rainfall characteristic versus signal attenuation along earth-to-earth paths. The results shown particular characteristic of rainfall in Thailand, which is very heavy at the starting and short period that effected very much to the microwave signal.

บทนำ

การนำเอาความถี่ต่าง ๆ มาใช้ในการสื่อสารได้เพิ่มขึ้นทุก ๆ วันจนต้องมีการจัดระบบการใช้งานความถี่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การนำความถี่มาใช้งานใหม่ (frequency reused) ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ การนำเอาระบบมัลติเพล็กซ์แบบต่าง ๆ มาใช้ เพื่อเพิ่มช่องของสัญญาณ การนำเอาระบบโพลาไรเซชันแบบคู่ (dual polarization) มาใช้ในระบบการกระจายคลื่น หรือการนำเอาระบบมัลติเพล็กซ์แอสซิงโครนัส (multiple access) มาใช้ในระบบช่องสัญญาณในดาวเทียม ด้วยวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วยังไม่เพียงพอต่อความต้องการจนต้องนำเอาความถี่ที่สูงขึ้นไปอีกมาใช้งาน แม้ว่าจะมีอุปสรรคและความยากลำบากในการใช้ขึ้นส่วนก็ตาม ดังจะเห็นได้จากเริ่มมีผู้ใช้ในระบบการสื่อสารที่มีความถี่สูงกว่า 10 GHz. แล้ว และกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี ปัญหาอย่างหนึ่งของก็คือ มีการลดทอนของสัญญาณเมื่อมีฝนตกในอัตราที่สูงทีเดียว การออกแบบการใช้งานที่ความถี่ย่านสูงกว่า 10

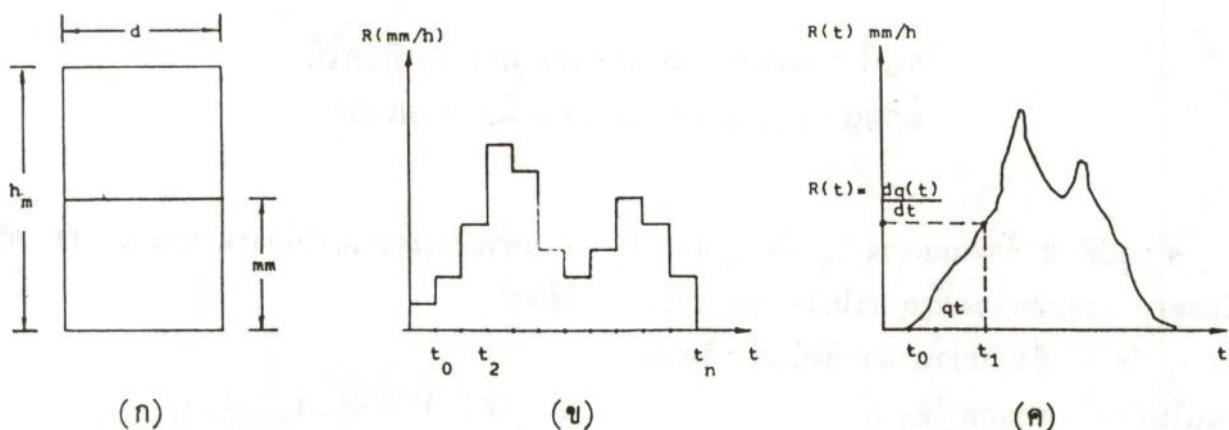
GHz นี้จึงต้องชดเชยกำลังเครื่องส่ง หรือปรับค่ากำลังการส่งตามสภาพการตกของฝน แต่อย่างไรก็ตามปัญหานี้ไม่สามารถแก้ไขได้ร้อยเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากบางครั้งฝนไม่ได้ตกที่สถานีส่งและรับแต่ตกระหว่างเส้นทางผ่านของสัญญาณ ทำให้การสื่อสารขาดช่วงอยู่บ่อย ๆ การออกแบบให้ได้ผลดีขึ้น จึงจำเป็นต้องอาศัยการเผื่อค่าของกำลังส่ง ให้มีช่วงการปรับค่ากำลังส่งได้กว้างขึ้น โดยอาศัยข้อมูลทางสถิติของการตกของฝนในเขตนั้น ๆ มาทำการคำนวณ แต่ปัญหาดังกล่าว เหล่านี้ก็ได้จบลงเพราะค่าที่ได้จากข้อมูลทางสถิติ นั้น เป็นข้อมูลแบบคิดค่าเฉลี่ย (อันเนื่องมาจากเครื่องมือวัด) จึงทำให้ไม่สามารถทราบค่าสูงสุดของแต่ละข้อมูลได้เลย ในบทความวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางวิเคราะห์ข้อมูลของฝนในประเทศไทยที่เป็นประเทศในเขตร้อนชื้น และมีลักษณะการตกของฝนแตกต่างไปจากประเทศในเขตอบอุ่นและหนาว โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ ในบทความนี้จะมี 2 ข้อมูล คือข้อมูลจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบอ่านค่าเฉลี่ย (แบบที่กรมอุตุนิยมวิทยาใช้อยู่) และข้อมูลที่ 2 จาก

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบอ่านค่าต่อเนื่องตามเวลา (แบบที่พัฒนาขึ้นโดย ภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง [1]) ซึ่งข้อมูลทั้งสองค่า นี้ จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของผลที่ได้จากการคำนวณ ถึงความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่ฝนตก และ อัตราการตกของฝน และโอกาสที่ฝนลักษณะนั้นจะตก จากผลของความสัมพันธ์เหล่านี้ จะทำให้การออกแบบ ระบบสื่อสารด้วยคลื่นไมโครเวฟสมบูรณ์มากขึ้น

ลักษณะของข้อมูลการตกของฝน

ลักษณะของข้อมูลน้ำฝน สามารถแบ่งออกได้ เป็น 3 ประเภท คือ แบบแรกเป็นลักษณะของข้อมูล น้ำฝน เป็นค่าเฉลี่ยต่อวัน (ใช้เครื่องวัดแบบ dropping calulation [2]) ค่าการวัดแบบนี้ใช้กับการพยากรณ์

อากาศเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้กับการออกแบบ ทางด้านการสื่อสารได้ แบบที่สอง เป็นข้อมูลที่อ่าน ได้จากเครื่องวัดแบบนับพัลส์ทางไฟฟ้า ที่ได้จากการ ตวงน้ำฝนอัตโนมัติ (ใช้เครื่องวัดแบบ tripping bucket [3]) ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็นค่าเฉลี่ยต่อหน่วยเวลา ซึ่งมีตั้งแต่ ต่อนาทีไปจนถึงต่อชั่วโมง ค่าที่ได้จากการ วัดแบบนี้นิยมนำมาใช้ในการคำนวณ การลดทอนของ สัญญาณเนื่องจากน้ำฝน เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้ สามารถหาได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาได้ทันที ส่วนแบบ ที่สาม เป็นการวัดข้อมูลแบบอ่านค่าต่อเนื่องทุก ๆ ค่าของเวลา (เป็นแบบ continuous peak rainrate ที่พัฒนาขึ้นโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง [4]) ข้อมูลน้ำฝนทั้งสามแบบนี้ดูได้จาก รูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงข้อมูลของน้ำฝนที่ได้จากการวัดทั้ง 3 รูปแบบคือ

- ก) แบบวัดค่าเฉลี่ยตลอดวัน
- ข) แบบวัดค่าเฉลี่ยในหน่วยเวลา
- ค) แบบวัดค่าต่อเนื่องทุก ๆ ค่าของเวลา

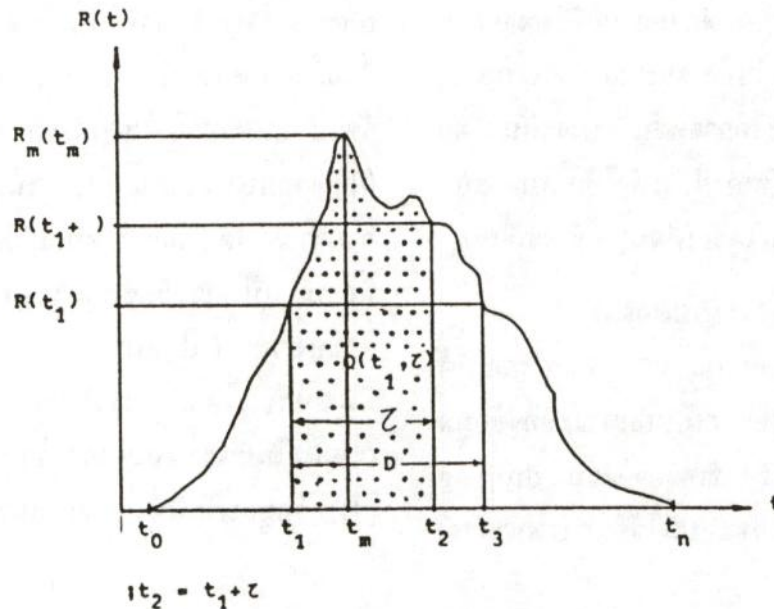
ความสัมพันธ์เบื้องต้นของค่าต่าง ๆ ที่ เกี่ยวข้องกันฝน

การวิเคราะห์ลักษณะการตกของฝน เพื่อ ประโยชน์ในการคาดการณ์ หรือประเมินการตกของฝน ในโอกาสข้างหน้า สิ่งหนึ่งที่สำคัญมากก็คือการ วิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ๆ ของฝน ซึ่งหลักการเบื้องต้นจะนำมาคิดเพียง 4 ค่าเท่านั้นคือ

1. ปริมาณน้ำฝน (Q) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ เซ็นติเมตร หรือลูกบาศก์ลิตร
2. อัตราการตกของฝน (R) มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อชั่วโมง
3. ระยะเวลาการตกของฝน (D) มีหน่วยเป็นนาที หรือชั่วโมง
4. ความน่าจะเป็นของการเกิดฝนตก (P)

ไม่มีหน่วย หรือบางครั้งแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์
การหาความสัมพันธ์ของค่าทั้ง 4 นี้ ทำได้
โดยสมมุติข้อมูลของน้ำฝนขึ้นมามีค่าหนึ่ง (1 Event)

ดังรูปที่ 2 โดยให้มีช่วงฝนตก (D) ระหว่าง t_0 ถึง t_n และมีอัตราการตกของฝนสูงสุดเป็น R_m ค่าต่าง ๆ และความสัมพันธ์สามารถหาค่าได้ดังนี้คือ



รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างของข้อมูลฝนตกที่วัดได้
ด้วยเครื่องบันทึกแบบวัดต่อเนื่องตามเวลา

จากรูปที่ 2 ถ้าฝนตกช่วง t_0 ถึง t_n แต่ค่า
ที่มีผลต่อการลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟ อยู่ใน
ช่วง t_1 ถึง t_2 ซึ่งเป็นช่วงเวลา ดังนั้นค่าปริมาณ
น้ำฝนในช่วงนี้สามารถหาได้จาก

$$Q(t_1, t_1 + \tau) = \int_{t_1}^{t_1 + \tau} R(t) dt \quad \dots\dots (1)$$

หรือค่าปริมาณน้ำฝนทั้งหมดจะเป็น

$$Q(t_0, t_n) = \int_{t_0}^{t_n} R(t) dt \quad \dots\dots (2)$$

ในทางกลับกันถ้าเราทราบค่าของปริมาณน้ำฝนก็จะ
หาค่าของอัตราการตกของฝนได้จาก

$$R(t) = \frac{d q(t)}{dt} \quad \dots\dots (3)$$

หรือหาค่าของอัตราการตกสูงสุดของฝนได้จาก

$$R_m(t_m) = \frac{d q(t_m)}{dt_m} \quad \dots\dots (4)$$

ส่วนค่าของระยะเวลาในการตกของฝน D จะหา
ได้จาก

$$D [R(t_1)] = t_3 - t_1 \quad \dots\dots (5)$$

หรือเขียนได้ว่า

$$D [R(t)] = t_l - t_a \mid t_0 < t_a < t_m \quad \dots\dots (6)$$

$$t_m < t_l < t_n$$

และโอกาสที่จะมีฝนตกในรอบปีตามเงื่อนไขของ D
และ R เป็น

$$P [R(t) > R(t_1)] = \sum_{i=1}^{\alpha} \tau_i \text{ (หน่วย ซม.)} \quad \dots\dots (7)$$

(ใน 1 ปี) ...

8760

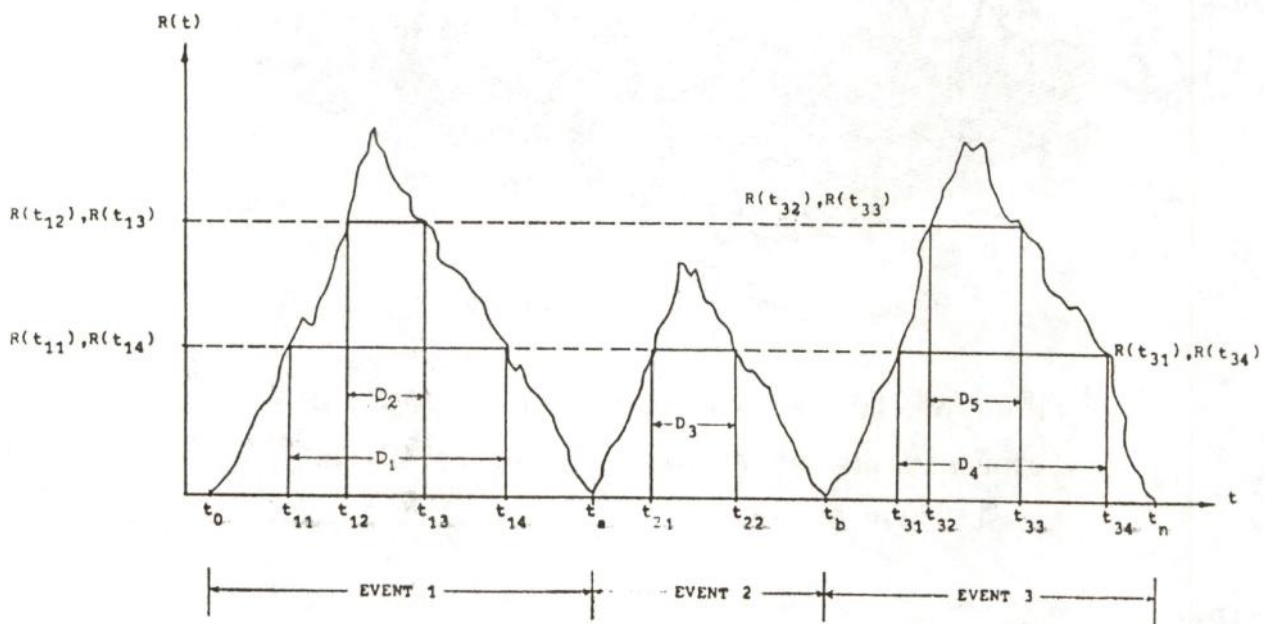
เมื่อ α เป็นจำนวน Event ที่มีฝนตกเกิน $R(t_1)$

จากสมการทั้งหมดนี้จะทราบความสัมพันธ์ของ
ทุก ๆ ค่าของฝน แต่อย่างไรก็ตามค่าจากสมการ
คณิตศาสตร์เหล่านี้ต้องใช้คอมพิวเตอร์มาแก้ไขสมการ
จึงจะได้ผลดีเนื่องจากกราฟของน้ำฝนนั้นมีค่าไม่
แน่นอน รูปลักษณะเปลี่ยนไปตลอดเวลา ดังนั้น
บทความนี้จะจึงได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของน้ำฝน
โดยใช้การเก็บข้อมูลของเครื่องวัดน้ำฝนแบบอ่านค่า
ต่อเนื่องตามเวลา ให้อยู่ในกราฟที่ง่ายต่อการนำไป

ใช้ออกแบบระบบไมโครเวฟต่อไป

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ของฝน
โดยการใช้รูปแบบกราฟ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ของ
ฝนโดยการใช้รูปแบบกราฟนี้ เริ่มแรกจะต้องนำข้อมูล
ดิบที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดน้ำฝนมาแยกแต่ละ
Event ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการตกของ 3 Event

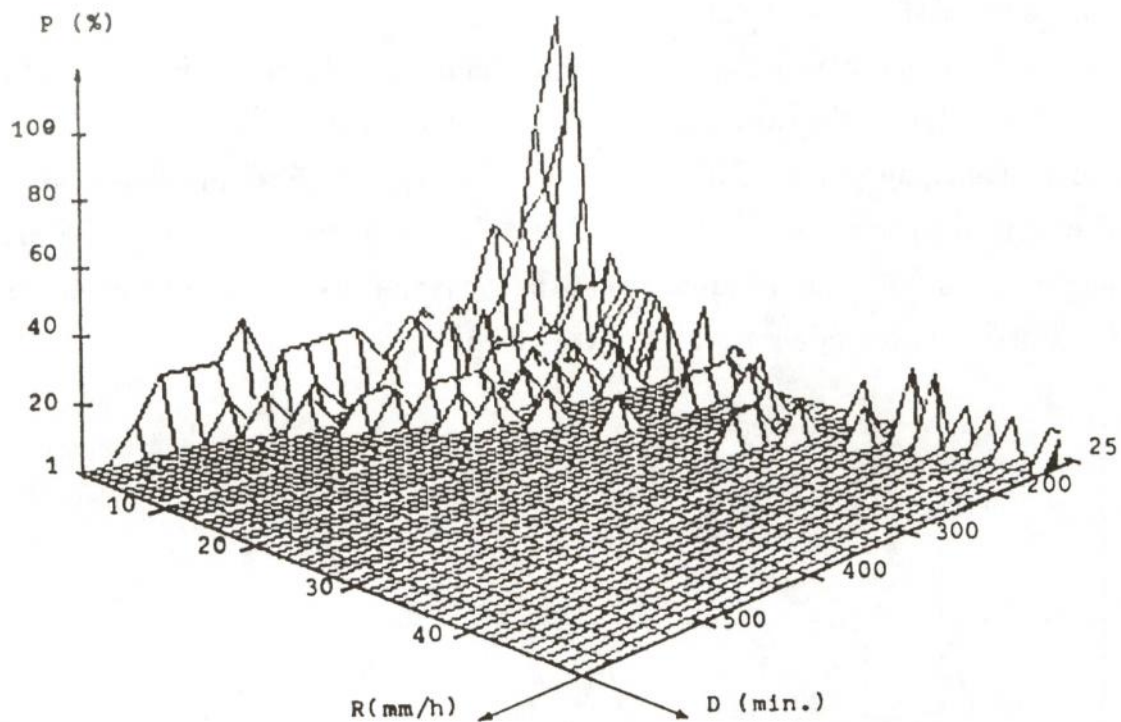
จากรูปที่ 3 สมมุติตัวอย่างของการตกของฝน
ว่ามีระยะเวลาระหว่าง t_0 ถึง t_n แต่มีช่วงที่ฝนหยุด
ลงมาที่ $R(t) = 0$ จำนวน 2 ครั้งที่ t_a และ t_b
ดังนั้นข้อมูลของฝนนี้ เราจะแบ่งออกเป็นการตก 3
ครั้ง เรียกว่า Event 1, Event 2 และ Event 3
ค่าระยะเวลาการตกของฝน D ที่ค่าอัตราการตก
ของฝน $R(t)$ จะหาได้จากระยะเวลาที่สมการที่ (6)
ซึ่งเป็นค่า D ของแต่ละ Event ซึ่งได้ค่า D รวม
เท่ากับผลรวมของ D ตามสมการที่ (8)

$$D[R(t)] = \sum_{E=1}^N \tau_E[R(t)] \quad \dots\dots(8)$$

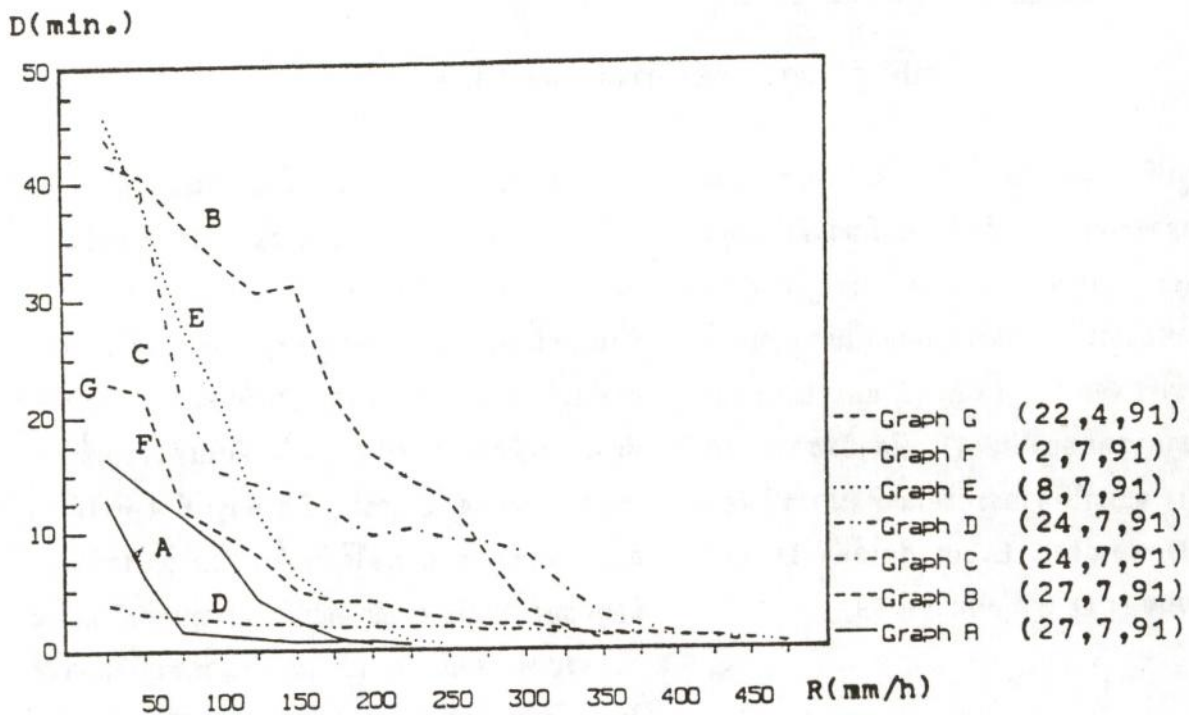
ตัวอย่างเช่น ค่า D ที่ $R(t_{m12})$ จะเท่ากับ

$$\begin{aligned} D[R(t_{12})] &= t_1(t_{13}-t_{12}) + t_2(0) + t_3(t_{33}-t_{32}) \\ &= D_2 + 0 + D_5 \end{aligned}$$

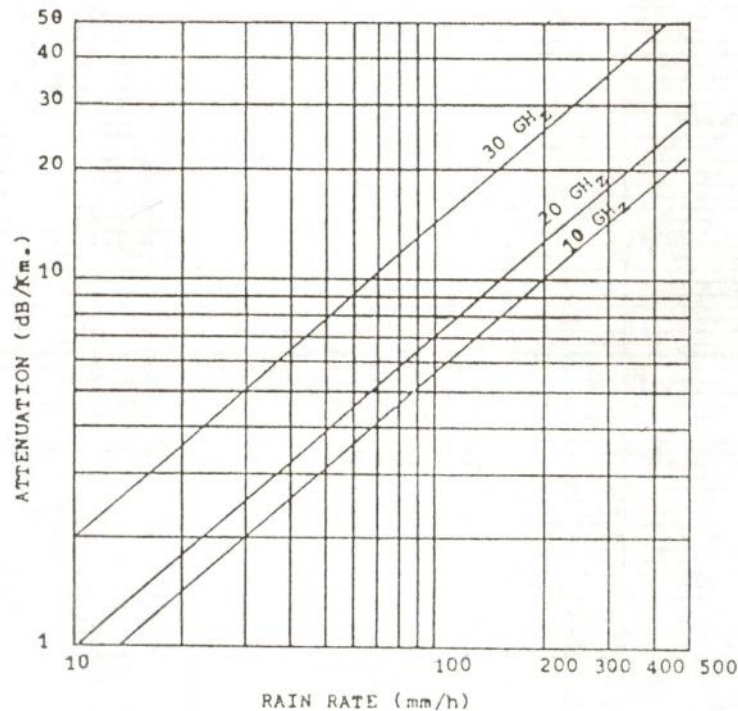
จากตัวอย่างข้างต้นนี้ ถ้าจำนวนข้อมูลในเวลา
1 ปี (876660 ชม.) มีระยะเวลาการตกของฝน D
ที่อัตราการตกของฝน R เราก็จะหาค่า D รวมได้
ทั้งหมดเมื่อทราบค่าข้อมูลทุก ๆ Event ทำให้ทราบ
ค่าของโอกาสที่จะเกิดฝนตก P ที่ค่าของ D และ R
ที่กำหนดได้ดังสมการที่ (7) เพื่อให้เป็นการง่ายขึ้นจึง
ทำการพล็อตลงในกราฟ 3 มิติ ดังรูปที่ 4 ทำให้เรา
สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ง่ายขึ้น และถ้าเราคิดเอา
ข้อมูลของน้ำฝนที่มีคุณลักษณะที่มีผลกระทบต่อสัญญาณ
ไมโครเวฟ (คือมี $R(t)$ และ D มากพอที่จะทำให้
สัญญาณไมโครเวฟลดทอนได้มากกว่า 10 dBm ต่อ
ระยะทาง 1 กม.) ก็จะทำให้เราเขียน กราฟเฉพาะ
Event ที่สำคัญเหล่านี้ออกมาวิเคราะห์ ตามรูปที่ 5



รูปที่ 4 เป็นกราฟ 3 มิติ แสดงความสัมพันธ์ของค่า P, D และ R จากข้อมูลของฝนในเขตลาดกระบัง (KMITL) เป็นเวลา 2 ปี จำนวน 60 ข้อมูล



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของ R และ D ของข้อมูลน้ำฝน เขตลาดกระบัง ที่มีค่า R เกิน 200 mm/h และ D เกิน 1 นาที ในปี 2533 ถึง ปี 2534



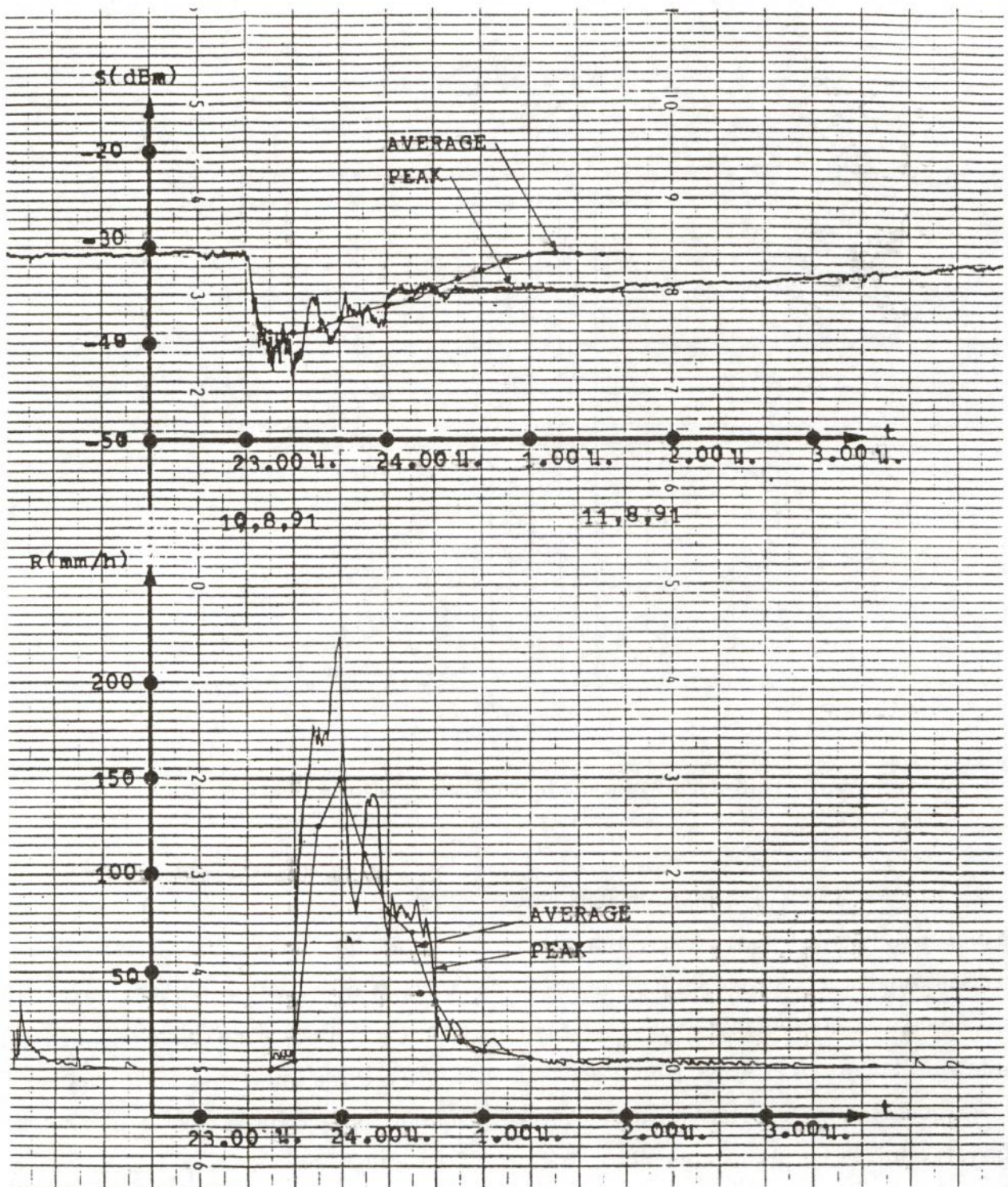
รูปที่ 6 แสดงค่าลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟที่เกิดจากการตกของฝน

ในการคำนวณค่าลดทอนของสัญญาณนี้สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน แต่อย่างไรก็ตาม เราสามารถดูจากค่ามาตรฐานสากล ที่มีนักวิจัยหลายท่านสรุปผลการทดลองเอาไว้ดังกราฟรูปที่ 6 ซึ่งในบทความนี้นำมาพิจารณาแค่ 3 ความถี่คือ ย่าน 10 GHz, 20 GHz และ 30 GHz ทั้งนี้เนื่องจากย่านนี้มีการใช้งานกันอย่างมากในประเทศไทย

ค่าจากกราฟรูปที่ 6 ได้จากการนำค่าเฉลี่ยของอัตราการตกของฝนที่ได้จากเครื่องวัดแบบใช้กระบวยตวงวัด (tripping bucket) ดังนั้นจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณเปรียบเทียบกับค่าจากการวัดด้วยเครื่องวัดน้ำฝน แบบอ่านค่าต่อเนื่อง [3] ซึ่งทำการทดลองขึ้นที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทดลองเปรียบเทียบกับสัญญาณไมโครเวฟย่านความถี่ 20 GHz ตามรูปที่ 7

สรุป

จากผลของการคำนวณอย่างละเอียดจะทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ อย่างใกล้ชิดของ D และ R รวมทั้ง P ด้วยทำให้การออกแบบระบบสื่อสารไมโครเวฟ สามารถที่จะออกแบบขดเคเบิลการลดทอนของสัญญาณได้ถูกต้อง แต่ข้อมูลต่าง ๆ ก็จำเป็นที่จะต้องหาเครื่องมือวัดให้ได้ละเอียดถูกต้อง ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 7 ถ้าค่าที่นำมาใช้เป็นค่าเฉลี่ย ที่ไม่สามารถที่จะหาค่าพีค (peak) ได้ แล้วการคำนวณก็ยังมีค่าผิดพลาดอยู่อีก ดังจะเห็นได้จากการสื่อสารด้วยไมโครเวฟ บางครั้งก็ขาดหายไปเสียเลย ๆ ทั้ง ๆ ที่วัดค่าน้ำฝนได้ไม่มากเท่าใด แต่ในความเป็นจริงอาจจะมีฝนตกหนักในช่วงเวลาสั้น ๆ ทำให้ค่าเฉลี่ยออกมาไม่สูงเท่าใดก็ได้



รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบของสัญญาณไมโครเวฟย่าน 20 GHz กับอัตราการตกของฝน โดยเปรียบเทียบค่าจริง และค่าที่คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของน้ำฝน

หนังสือและเอกสารอ้างอิง

- [1] T. Paungma, Y. Moriya and H. Sasamoto, Rainfall Intensity Recorder Used Flow Sensor, **Technical Digest of the 8th Sensor Symposium**, 173-176, 1989
- [2] Y. Moliya, มนูญ สุขเกษม และ ถวิล พึ่งมา, เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิด ความเที่ยงตรงสูงสำหรับสภาพฝนตกหนักในประเทศไทย, เทคโนโลยีใหม่ในงานวิศวกรรม จัดโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ระหว่าง 26-28 ตุลาคม 2532, หน้า 281-293
- [3] ถวิล พึ่งมา และ พิชญ์ บุญตรา, การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน สำหรับประเทศไทย, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ปีที่ 43 เล่มที่ 2 ประจำปี 2533, หน้า 73-76
- [4] T. Paungma and Y. Moliya, Rain Attenuation along Earth-to-Space Paths in Thailand and Development of Memen-trainfall Intensity Recorder, **The 12nd (1991) International Telecommunication Sysposium**, Feb. 27-March 1 1991
- [5] พิเชษ เสนาะล้ำ, พิชญ์ บุญตรา และ ถวิล พึ่งมา, การบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝน ชนิดความเที่ยงตรงสูงอย่างต่อเนื่องตามเวลา ด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า จัดโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ระหว่าง 23-26 พฤษภาคม 2534, หน้า 107-116
- [6] W.C.Y. LEE, An Approximate Method for obtaining Rain Rate Statistics for Use in Signal Attenuation Estimating, **IEEE Transaction on Antennas and Propagation**, Vol. AP-27, No. 3, 407-413, May 1970
- [7] E. Vilar, A. Burgueno, M. Puigcerver and J. Austin, Analysis of Jiont Rainfall Rate and Duration Statistics : Microwave System Design Implication, **IEEE Transaction on Communication**, Vol. 36, No. 6, 650-661, June 1988
- [8] A. Burgueno, E. Vilar and M. Puigcerver, Spectral Analysis of 49 year of Rainfall Rate and Relation to Fade Dynamics, **IEEE Transaction on Communication**, Vol. 38, No. 9, 1359-1366, Sep. 1990