

**รายงานฉบับสมบูรณ์**

**Final Report**

**เงินรายได้สถาบันฯ**

**การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนในย่านความถี่ Ku**

**โดยการศึกษา Slant path**

**RAIN ATTENUATION OF SATELLITE SIGNAL ON KU BAND  
BY SLANT PATH CONSIDERATION**

**นาย พงษ์ภูไท อุดมวิทยทรัพย์**

**รศ. นิภา ลีลาสุจิ**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**(เดือน) พ.ศ. 2551**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**(Month) 2008**

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ(Research Center for Communications and Information Technology : ReCCIT) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 วงเงินงบประมาณ 50,000 บาท และขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ประจำห้องปฏิบัติการวิจัยทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำงานวิจัยชิ้นนี้



RCH  
TK  
5104  
พ1611

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....116867  
วันเดือนปี.....16 ส.ย. 2554

b.....12329095  
i.....

## บทสรุปย่อ

การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน ในเส้นทางการคกของฝนในแนว Slant Path ที่ทำการรับสัญญาณของดาวเทียมในย่านความถี่ Ku โดยเพิ่มจุดวัดน้ำฝนในแนวการแพร่คลื่นเพิ่มขึ้นอีก 1 จุด และทำการรับสัญญาณดาวเทียมเพียง 1 จุด ศึกษาผลกระทบของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ห่างออกไป ศึกษาการลดทอนของสัญญาณทั้ง 2 จุด จากการคำนวณโดยแบบจำลอง ITU-R เพื่อให้ได้การวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

โครงการวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินการออกเป็น 7 ขั้นตอน

1. ศึกษาเปอร์เซ็นต์การกระจายสะสม
2. ทำเปอร์เซ็นต์การกระจายสะสมของอัตราการคกฝน
3. ทำเปอร์เซ็นต์การกระจายสะสมของระดับการลดทอนสัญญาณ
4. ศึกษาแบบจำลอง ITU-R
5. ทำการเปรียบเทียบการลดทอนของสัญญาณในระยะเวลา 3 ปี กับแบบจำลอง ITU-R
6. ทำการเปรียบเทียบการลดทอนของสัญญาณในแนว Slant Path
7. สรุปและเขียนบทความวิจัย

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมในย่านความถี่ Ku เกิดเนื่องจากฝนที่ทำให้การรับสัญญาณได้ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะสภาพภูมิอากาศในเขตร้อนชื้น อย่างประเทศไทย ซึ่งมีฝนตกชุกหลายเดือนติดกัน โดยทำการทดลองที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในระยะเวลา 3 ปี ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือน กรกฎาคม พ.ศ.2550 และนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้แบบจำลองของ ITU-R นอกจากนี้ในการทดลองได้ทำการทดลองวัดปริมาณน้ำฝนด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก 2 จุด คือที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง บนคาบที่ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม และที่สนามบินสุวรรณภูมิ ในความอนุเคราะห์จากบริษัทผลิตไฟฟ้าและน้ำเย็น จำกัด ซึ่งเป็นการวัดปริมาณน้ำฝนในระหว่างการรับสัญญาณดาวเทียมกับแนวการเกิดฝน จะทำให้ทราบปริมาณฝนในตำแหน่งที่ไกลออกไป เพื่อให้การวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนมีความสมบูรณ์ขึ้น

## ABSTRACT

This thesis proposes the study of the attenuation due to rain on satellite signal in Ku band. Which effect to the receiving signal incomplete. Especially in the tropical zone such as Thailand which have long period of rainy season continuously. The experiment has been done at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for 3 years from August 2004 to July 2007 and compare with ITU-R model. For understand the rain attenuation on slant path. We had installed two rain gauges at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) on the Telecommunication Engineering building and at Suvarnabhumi airport to permission from District Cooling System and Power Plant Co.,Ltd. (DCAP). The result of satellite signal fading is absolutely more complete.

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในแนว Slant Path .....	33
5.1 เปอร์เซนต์เวลาสะสมของฝน .....	33
5.2 การเปรียบเทียบข้อมูลกับการคำนวณค่า โดย ITU-R model .....	34
5.3 การเปรียบเทียบข้อมูลแบบเฉลี่ยกับการคำนวณค่า โดย ITU-R model .....	35
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ .....	37
6.1 บทสรุป .....	37
6.2 ข้อเสนอแนะ .....	38
เอกสารอ้างอิง .....	39



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารดาวเทียมมีบทบาทมากในสังคมทั้งทางด้านธุรกิจ การศึกษา และในชีวิตประจำวันเพื่อเป็นประโยชน์กับประชาชนในด้านการรับรู้ข่าวสาร เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านดาวเทียมก็เป็นส่วนหนึ่งที่มนุษย์ปัจจุบันใช้ประโยชน์หลายด้าน ไม่ว่าจะเป็น ด้านการถ่ายทอดข่าวสาร ด้านพยากรณ์อากาศ ด้านการทหาร การค้นหาทรัพยากรธรณี และอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์อีกมาก แต่ในการสื่อสารดาวเทียมนั้น ยังมีผลกระทบบางประการเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศของโลก โดยชั้นบรรยากาศที่มีผลกระทบต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมได้แก่ ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยผลกระทบจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์นั้นจะส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเห (Refractive index) ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นวิทยุที่มีความถี่สูงกว่า 30 MHz ถึง 3 GHz ส่วนความถี่มากกว่า 10 GHz เช่นความถี่ย่าน Ku จะได้รับผลกระทบจากสัญญาณเกิด การดูดกลืน (Absorption) การกระเจิง (Scatter) และ การโพลาไรเซชัน (Depolarization) ของสัญญาณจากฝน

ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดินในปัจจุบัน นิยมใช้ความถี่ที่มากกว่า 10 GHz สาเหตุที่ใช้ความถี่สูงขึ้น เพราะความแรงของสัญญาณมากกว่า และมีขนาดแบนด์วิดท์กว้าง ทำให้ส่งผ่านข้อมูลได้มากกว่า เมื่อเทียบกับย่านความถี่ C (4-8 GHz) กับ ย่านความถี่ Ku (12-18 GHz) แต่เนื่องจากความถี่ที่สูงขึ้นค่าความยาวคลื่นมีค่าสั้นลง ทำให้เกิดปัญหาขึ้นในระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม คือการลดทอนของสัญญาณ ซึ่งอาจทำให้การติดต่อสื่อสารขาดความต่อเนื่อง โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณนั้นคือฝน ซึ่งฝนจะเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และมีผลต่อการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมที่ย่านความถี่ที่สูงเช่น ความถี่ Ku โดยในประเทศไทยจัดเป็นพื้นที่ที่มีฝนตกชุก จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน และนำข้อมูลการลดทอนของฝนที่ทำการศึกษามาเปรียบเทียบกับค่าการลดทอนของสัญญาณ

รายงานนี้ เป็นการศึกษาผลของการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ Ku เนื่องจากฝนของสัญญาณเชื่อมโยงขาลงจากดาวเทียม ไทยคม 3 และ ไทยคม 5 โดยทำการวัดที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร ที่ตำแหน่ง Longitude 105.7° E, Latitude 13.7° N โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่สถานีภาคพื้นดิน

โดยการเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติของดาวเทียม จากการเก็บข้อมูลที่กรุงเทพมหานคร ในช่วงเวลา 3 ปี ตั้งแต่ สิงหาคม 2547 ถึง กรกฎาคม 2550 และในการศึกษาที่ผ่านมา ได้ ทำการศึกษาการลดทอนสัญญาณที่มีการวัดปริมาณน้ำฝนที่ยังไม่ครอบคลุมเพียงพอ ทำให้การ วิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณไม่สามารถวิเคราะห์ได้สมบูรณ์เท่าที่ควร ในการทดลองนี้ นอกจากจะนำข้อมูลที่ทำการเก็บในช่วงเวลาที่มากขึ้น ได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนในแนว ระยะของการเกิดฝน จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และท่าอากาศยานนานาชาติสุวรรณภูมิ เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล ศึกษาผลกระทบการลดทอนของสัญญาณ เนื่องจากฝนในแนวการแพร่คลื่น (Slant Path)

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

รายงานฉบับนี้ศึกษา การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนโดยใช้ข้อมูลในการ วิเคราะห์หลายๆปีนั้น จะช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูล มีความถูกต้องมากขึ้น โดยการนำแบบจำลอง ITU-R มาวิเคราะห์ร่วมกัน ในการทดลองได้ทำการวัดปริมาณน้ำฝนเพิ่มอีกหนึ่งจุดจากที่มีอยู่เดิม ในเส้นทางการคกของฝน นั่นคือการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนในแนว Slant Path แล้วนำข้อมูลการ วัดปริมาณน้ำฝนที่ได้ทั้งสองจุดมาทำการวิเคราะห์ ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความสมบูรณ์ ซึ่ง สามารถสังเกตข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ห่างออกไปได้ และทำให้การวิเคราะห์การลดทอนของ สัญญาณเนื่องจากฝนทำได้ดีขึ้น

## 1.3 ขั้นตอนของการศึกษา

- รายงานฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 ส่วน ด้วยกันคือ
- ส่วนที่ 1 บทนำและความเป็นมา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์
  - ส่วนที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎี และ แบบจำลอง ITU-R
  - ส่วนที่ 3 กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ค่าพารามิเตอร์ของดาวเทียมไทยคม
  - ส่วนที่ 4 กล่าวถึงการวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณ รายปี
  - ส่วนที่ 5 กล่าวถึงการวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในแนว Slant path
  - ส่วนที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ
  - ส่วนที่ 7 เอกสารอ้างอิง

## บทที่ 2

# หลักการและทฤษฎี

### 2.1 ปัญหาของการสื่อสารดาวเทียม

หลักการสื่อสารดาวเทียม คือการส่งคลื่นความถี่สูงมอดูเลตด้วยข้อมูลผ่านจานสายอากาศส่งไปยังตัวดาวเทียม ซึ่งมีระยะทางไกลกรณีดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าระยะทางไกลเหนือพื้นโลกประมาณ 35,800 กิโลเมตร ในขณะที่ดาวเทียมวงโคจรต่ำมีระยะทาง 700 ~ 900 กิโลเมตร ตัวดาวเทียมจะขยายสัญญาณแล้วเปลี่ยนความถี่ส่งกลับลงมายังโลกด้วยระยะทางเท่าเดิม สัญญาณจะผ่านชั้นบรรยากาศ ทั้งไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ซึ่งทำให้สัญญาณถูกดูดกลืนบางส่วน เกิดการสูญเสียพลังงาน

### 2.2 การสูญเสียพลังงานของสัญญาณดาวเทียม

ผลกระทบต่อการสื่อสารผ่านดาวเทียม ที่ใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟ ที่มากกว่า 10 GHz นั้นสามารถแบ่งออกได้ 2 ส่วนหลักๆ คือ

#### 2.2.1 การสูญเสียในชั้นบรรยากาศ (Atmospheric loss)

การสูญเสียจากการแพร่กระจายลำคลื่น (Beam spreading loss)

การสูญเสียจากการแพร่กระจายลำคลื่น เกิดจากการแพร่กระจายของสัญญาณจากสถานีดาวเทียมเมื่อเกิดการส่งสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศของโลก

การสูญเสียโพลาไรซ์ (Polarization loss)

ในการสื่อสารผ่านดาวเทียมการสูญเสียโพลาไรซ์ เกิดจากการหมุนชั่วคราวของโพลาไรซ์เมื่อมีการส่งสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศของโลก

การจางหายแบบเรย์ลี (Rayleigh fading)

การจางหายแบบเรย์ลีเป็นการจางหายในช่องสัญญาณการสื่อสารผ่านดาวเทียม เป็นผลมาจากการแทรกสอด ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการจางหายของสัญญาณ เกิดจากสัญญาณที่เหมือนกันส่งมาพร้อมกันหลายช่องทางในเส้นทางที่ต่างกัน ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการออกนอกเฟสเล็กน้อย ซึ่งมีผลกระทบในการรับสัญญาณ โดยทั่วไปการจางหายแบบเรย์ลี มักจะเกิดขึ้นในช่องทางการสื่อสารแบบไร้สาย รวมถึงช่องทางการสื่อสารผ่านดาวเทียมด้วย

การสูญเสียจากการจันทิลเลชัน (Scintillation loss)

ในการสื่อสารผ่านดาวเทียมการสูญเสียจากการจันทิลเลชัน จะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในขนาด และ เฟสของสัญญาณ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหบนชั้นบรรยากาศของโลก

### การสูญเสียในที่ว่างอิสระ (Free-space loss)

ในการสื่อสารผ่านดาวเทียมการสูญเสียในที่ว่างอิสระ คือการสูญเสียหลักที่เกิดขึ้นจากการส่งสัญญาณ ในเส้นทางระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับดาวเทียม โดยความสูญเสียนี้จะมีค่าแปรผกผันกับระยะทางกำลังสอง ของระยะทางการส่งสัญญาณและความถี่ กล่าวคือ เมื่อระยะทางมีค่าเพิ่มเป็น 2 เท่า พลังงานของสัญญาณที่ได้รับจะลดลง 4 เท่า และ ความถี่ที่มีความถี่มีค่าเพิ่มเป็น 2 เท่า พลังงานของสัญญาณที่ได้รับจะลดลง 4 เท่า เช่นกัน การสูญเสียในที่ว่างอิสระ สำหรับดาวเทียมสื่อสารที่มีวงโคจรค้างฟ้า จะมีค่าผกผันระหว่าง 190-210 dB ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ด้วย

### การสูญเสียจากสภาพอากาศ (Weather loss)

ในการสื่อสารผ่านดาวเทียม การสูญเสียจากสภาพอากาศ เกิดจากการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมกับค่าความฉ่ำงจําเพาะของของเหลว (Hydrometer) เมื่อส่งสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศโลก

### ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect)

ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ในการสื่อสารผ่านดาวเทียม เกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของสัญญาณดาวเทียม ที่เป็นผลมาจากความสัมพันธ์ของความเร็วระหว่างดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน นั่นคือ เมื่อรู้ค่าวงโคจรหรือตำแหน่งของดาวเทียม ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ จะสามารถนำมาใช้หาตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินในทางกลับกันก็จะสามารถนำมาใช้ในการหาค่าของวงโคจรหรือตำแหน่งของดาวเทียมได้เช่นกัน ทั้งนี้หากดาวเทียม (หรือสถานีภาคพื้นดิน) มีการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ก็จะกลายเป็นปัจจัยหลักในการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยเฉพาะระบบ GPS ของดาวเทียม

## 2.3 ชนิดของหยาดน้ำฟ้า

**ฝน (Rain)** เป็นหยดน้ำมีขนาดประมาณ 0.5 – 5 มิลลิเมตร ฝนส่วนใหญ่ตกลงมาจากเมฆนิมโบสเตรคัส และเมฆคิวมูโลนิมบัส

**ฝ่นระออง (Drizzle)** เป็นหยดน้ำขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร เกิดจากเมฆสเตรคัส พบเห็นบ่อยบนยอดเขาสูง ตกต่อเนื่องเป็นเวลานานหลายชั่วโมง

**ระอองหมอก (Mist)** เป็นหยดน้ำขนาด 0.005 – 0.05 มิลลิเมตร เกิดจากเมฆสเตรคัส ทำให้เรารู้สึกชื้นเมื่อเดินผ่าน มักพบบนยอดเขาสูง

**ลูกเห็บ (Hail)** เป็นก้อนน้ำแข็งขนาดใหญ่กว่า 5 เซนติเมตร เกิดขึ้นจากกระแสในอากาศไหลขึ้น (updraft) และไหลลง (downdraft) ภายในเมฆคิวมูโลนิมบัส พัดให้ผลึกน้ำแข็งปะทะกับน้ำเย็นยิ่งยวด กลายเป็นก้อนน้ำแข็งห่อหุ้มกันเป็นชั้นๆ จนมีขนาดใหญ่ และตกลงมาเป็นลูกเห็บ

**หิมะ (Snow)** เป็นผลึกน้ำแข็งขนาดประมาณ 1 – 20 มิลลิเมตร ซึ่งเกิดจากไอน้ำจากน้ำเย็นยิ่งยวด ระเหิดกลับเป็นผลึกน้ำแข็ง แล้วตกลงมา

## 2.4 ผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน

การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน จะเกิดขึ้นในช่วงระยะทางระหว่างดาวเทียมกับจานสายอากาศรับ เพราะในช่วงดังกล่าวจะส่งสัญญาณผ่านตัวกลางคือ อากาศ เพราะฉะนั้น เมื่ออากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงไปก็จะทำให้คุณสมบัติของตัวกลางเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะเมื่อเกิดฝนจะทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบการรับสัญญาณจากดาวเทียม ที่ใช้ย่านความถี่ในการติดต่อสื่อสารมีความถี่สูงๆ [3] [4] [5] เช่น ย่านความถี่  $K_u$  และย่านความถี่  $K_a$  ซึ่งจะมีสาเหตุหลักๆ อยู่ 3 อย่าง คือ

### 2.4.1. การดูดกลืนพลังงาน (Absorption)

การดูดกลืนพลังงานจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ ความยาวของคลื่นมีค่าที่ใกล้เคียงกับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน เมื่อสัญญาณผ่านหยดฝนทำให้หยดฝนแต่ละหยดนั้นเปรียบเสมือนตัวนำที่ไม่สมบูรณ์ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำมีกระแสเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น ส่งผลให้พลังงานส่วนหนึ่งสูญหายไป ดังนั้นถ้าอัตราการตกของฝนที่สูงก็จะทำให้เกิดการสูญเสียเพิ่มขึ้น

### 2.4.2. การแตกกระจายของคลื่น (Scattering)

การกระจายของคลื่นเกิดจาก คลื่นเดินทางไปกระทบกับหยดฝนจะทำให้คลื่นบางส่วนเกิดการแตกกระจายออกไปทิศทางต่างๆรอบหยดฝน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของหยดฝน และทำให้คลื่นที่ทะลุผ่านหยดฝนออกไปในทิศทางตรงมีกำลังลดลงไป ส่วนคลื่นที่สะท้อนกลับไปแล้วไปรวมกับสัญญาณตัวอื่น ซึ่งถ้าอยู่ในเฟสเดียวกันก็จะเสริมกัน แต่ถ้าต่างเฟสกันก็จะทำให้สัญญาณเกิดการหักล้าง และการกระจายของคลื่นนั้นอาจทำให้ทิศทางของคลื่นเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยได้ ซึ่งส่งผลให้ระดับกำลังที่จานสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียมนั้นมีค่าที่ลดลงไปได้ และระดับของกำลังงานนั้นยังขึ้นอยู่กับอัตราการตกของฝนด้วย

### 2.4.3. การดีโพลาไรเซชัน (Depolarization)

การดีโพลาไรเซชัน เกิดขึ้นเนื่องจากการส่งสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศทำให้เกิดการเปลี่ยนของโพลาไรซ์ ทั้งที่เกิดจาก ค่าความถี่เฉพาะของของเหลว และลักษณะของหยดฝนที่มีรูปร่างไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะกรณีที่มีฝนตกหนักหรือเม็ดฝนมีขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลทำให้การดีโพลาไรเซชันเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ

โดยระยะทางก็มีผลต่อการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน เช่น กรณีระยะทางในการรับสัญญาณที่ไกลมากๆ ก็จะทำให้ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่ผ่านกลุ่มฝน และขึ้นอยู่กับสถานที่ติดตั้งจานสายอากาศดาวเทียม หรือมุมเงยของจานสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียมที่ทำกับพื้นโลก โดยระยะทางดังกล่าวจะเรียกว่า Slant Path

## 2.5 ความเข้มของสัญญาณที่ใช้ในระบบสื่อสารดาวเทียม

ปัจจุบันดาวเทียมสื่อสารเป็นแบบ Active Repeater คือ มีเครื่องขยายกำลังที่เรียกว่า ทรานสปอนเดอร์อยู่บนตัวดาวเทียม โดยการส่งสัญญาณจากตัวดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน (Earth Station) ซึ่งสัญญาณจะถูกส่งจากจานสายอากาศของดาวเทียม แผ่กระจายคลื่นผ่านอวกาศ และรับโดยจานสายอากาศรับสัญญาณผ่านดาวเทียมของสถานีภาคพื้นดิน โดยกำลังส่งออกจากดาวเทียม (Equivalent Isotropically Radiated Power: EIRP) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1

$$EIRP = P_t (dBw) - L_f + G_t \quad dBW \quad (2.1)$$

เมื่อ EIRP คือ กำลังส่งออกจากดาวเทียม (dBW)

$P_t$  คือ กำลังส่งของดาวเทียม (dBW)

$L_f$  คือ การสูญเสียที่เกิดจากระบบสายส่ง (dB)

$G_t$  คือ อัตราขยายกำลังของจานสายอากาศ (dB)

ส่วนกำลังของสัญญาณที่รับได้  $P_R$  สามารถเขียนได้ตามสมการที่ 2.2

$$P_R = EIRP - L_{SL} - L_a - L_R + G_{LNB} + G_r - L_f \quad dBW \quad (2.2)$$

เมื่อ  $P_R$  คือ กำลังของสัญญาณที่รับได้ (dBW)

$L_{SL}$  คือ การสูญเสียพลังงานของคลื่นเมื่อส่งผ่านอากาศอิสระ (dB)

$L_a$  คือ การลดทอนเมื่อคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ (dB)

$L_R$  คือ การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน (dB)

$G_{LNB}$  คือ อัตราขยาย LNB ของจานสายอากาศรับ (dB)

$G_r$  คือ อัตราขยายของจานสายอากาศรับ (dB)

$L_f$  คือ การสูญเสียที่เกิดจากระบบสายส่งของภาครับสัญญาณ (dB)

ส่วนการสูญเสียพลังงานของคลื่นเมื่อส่งผ่านอากาศอิสระ  $L_{SL}$  (Free space propagation loss)

สามารถหาได้จากสมการที่ 2.3

$$L_{SL} = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad dB \quad (2.3)$$

เมื่อ  $d$  คือ ระยะทางจากดาวเทียมถึงจานสายอากาศ (เมตร)

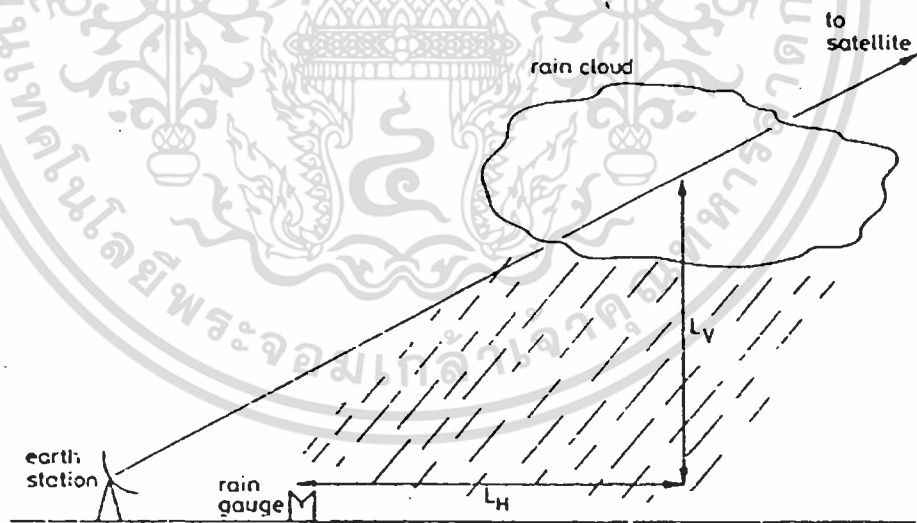
$\lambda$  คือ ความยาวคลื่น (เมตร)

จากสมการที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่นในอวกาศ  $L_{su}$  จะมีค่าแปรผันตามกำลังสองของระยะทางการแพร่กระจายคลื่น ดังนั้นการสื่อสารดาวเทียมที่สถานีภาคพื้นดินควรจะมีจานสายอากาศที่มีอัตราขยายที่สูง เพื่อให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียมที่กำลังต่ำได้

## 2.6 การวัดปริมาณน้ำฝน (Rain measurement)

โดยปกติ การเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนเป็นส่วนหนึ่งของพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยา โดยใช้เครื่องวัดปริมาณฝนหรือวัดอัตราการตกของเมฆฝน มีการบันทึกข้อมูลการวัดปริมาณฝนเกิดขึ้นในหลายพื้นที่ที่ตลอดช่วงระยะเวลามากกว่า 100 ปี ดังนั้นการวัดค่าต่างๆ เหล่านี้ จึงแสดงให้เห็นถึงคลังข้อมูลขนาดใหญ่ที่สามารถทำนายแนวโน้มทางสถิติที่น่าเชื่อถือได้ นับตั้งแต่ความสัมพันธ์กับระดับของปริมาณฝนอย่างเที่ยงตรงง่ายเลยแล้ว ความพยายามครั้งแรกในการสรุปการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในแนว Slant Path ก็กลายเป็นเป้าหมายของการใช้ประโยชน์จากข้อมูลการวัดปริมาณน้ำฝน

ในการวัดปริมาณน้ำฝนสามารถเกิดค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่วัดได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการวัดปริมาณน้ำฝนในแนว Slant Path ด้วย โดยความผิดพลาดนี้ สามารถแบ่งออกได้ 3 อย่าง คือ ความผิดพลาดเชิงตำแหน่ง (Spatial errors) ความผิดพลาดจากการรวมค่าปริมาณน้ำฝน (Integration errors) และความผิดพลาดโดยธรรมชาติ (Inherent errors)



รูปที่ 2.1 การวัดปริมาณน้ำฝนด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

### 2.6.1 ความผิดพลาดเชิงตำแหน่ง (Spatial errors)

การติดต่อสื่อสารผ่านความถี่สามารถถูกรบกวนได้จากการตกของฝน ตามระดับความสูงของฝน และระยะทางของคานแนว Slant Path ซึ่งจะขึ้นกับมุมเงยของจานรับสัญญาณความถี่นั้นๆ ดังนั้นเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนโดยทั่วไป จึงไม่สามารถรับปริมาณน้ำฝนที่สมบูรณ์ในช่วงเวลาเดียวกันที่ฝนตกได้ นั่นคือ ณ จุดหนึ่งจุดใดคานแนว Slant Path ที่เกิดความผิดพลาดเชิงตำแหน่ง ซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นแต่เพียงในแนวนอน ( $L_H$ ) เท่านั้น หากยังเกิดขึ้นในแนวตั้ง ( $L_V$ ) ด้วยเช่นกัน โดยรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นการแบ่งคานแนวนอนและแนวตั้ง และทำการวัดปริมาณฝนด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน โดยฝนที่ตกลงมาตามแนว Slant Path จะมีลักษณะคานรูป ซึ่งถ้ามุมเงยอยู่ในระดับที่ต่ำมาก จะทำให้การรับปริมาณน้ำฝนเกิดความผิดพลาดได้

### 2.6.2 ความผิดพลาดจากการรวมค่าปริมาณน้ำฝน (Integration errors)

การวัดอัตราการตกของปริมาณน้ำฝนที่รับได้ จะขึ้นอยู่กับค่าของช่วงเวลาคงที่ค่าหนึ่ง หรือช่วงเวลาจากการรวมค่าของปริมาณน้ำฝน นั่นคือ กรณีที่ช่วงเวลากำหนดปริมาณฝนของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนอยู่ในระดับช้าหรือเร็วเกินไป จนไม่สัมพันธ์กันกับค่าของปริมาณน้ำฝนที่วัด ทำให้ค่าอัตราการตกของฝนมีค่าผิดพลาดไป

### 2.6.3 ความผิดพลาดโดยธรรมชาติ (Inherent errors)

ความผิดพลาดโดยธรรมชาติที่เกิดขึ้นนั้น สาเหตุเนื่องมาจากอุปกรณ์การวัด และระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเป็นธรรมชาติของการออกแบบเครื่องมือ รูปแบบของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ที่นิยมใช้ที่สุด คือมาตรวัดน้ำฝนแบบคานกระดก ณ ระดับฝนที่ต่ำมากนั้นกระบอกดวง ก็ไม่อาจเติมเต็มได้อย่างเพียงพอต่อการนับ และโดยทั่วไปปริมาณฝนมีปริมาณการตกน้อยก็จะหายไปด้วย แต่ที่ระดับฝนที่มีปริมาณสูงมากๆเป็นเวลานาน จะเกิดการสาดกระเซ็นและการเอ่อท่วมในเครื่องวัดน้ำฝนแบบคานกระดก ดังนั้นประเภทของมาตรวัดน้ำฝนเหล่านี้สามารถแสดงให้เห็นความแม่นยำที่สามารถยอมรับได้ระหว่าง 5 และ 100 มม./ชม. ถ้ามีการรักษาระดับและการปรับเทียบกับมาตรฐานได้อย่างเหมาะสม

ความพยายามที่จะแก้ไขค่าความผิดพลาดเชิงตำแหน่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการวัดปริมาณน้ำฝน โดยการเพิ่มเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ในหลายพื้นที่หรือในแนว Slant Path ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นความสัมพันธ์กับอัตราการตกของฝนได้เป็นอย่างดีด้วยวิธีทางสถิติ

## 2.7 แบบจำลองของ ITU-R

ITU-R (International Telecommunication Union) เป็นองค์กรที่ให้คำปรึกษา แนะนำและ กำหนดมาตรฐานของระบบสื่อสารต่างๆ แบบจำลองนี้ ได้นำมาวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณ ควบเทียบเนื่องจากฝน เป็นการนำมาใช้เพื่อทำนายการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน ที่ใช้ในการ วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ โดยจะกล่าวถึง ITU-R P.618-8

การคำนวณค่าทางสถิติระยะยาวของการลดทอนเนื่องจากฝน จากอัตราการตกของฝนแบบจุด กระบวนการต่อไปนี้ เป็นการประมาณค่าทางสถิติระยะยาวของการลดทอนเนื่องจากฝนตามแนว การแพร่คลื่นที่บริเวณที่ทำการทดสอบที่ความถี่ไม่เกิน 55 GHz ในการคำนวณต้องทราบตัวแปร ดังต่อไปนี้

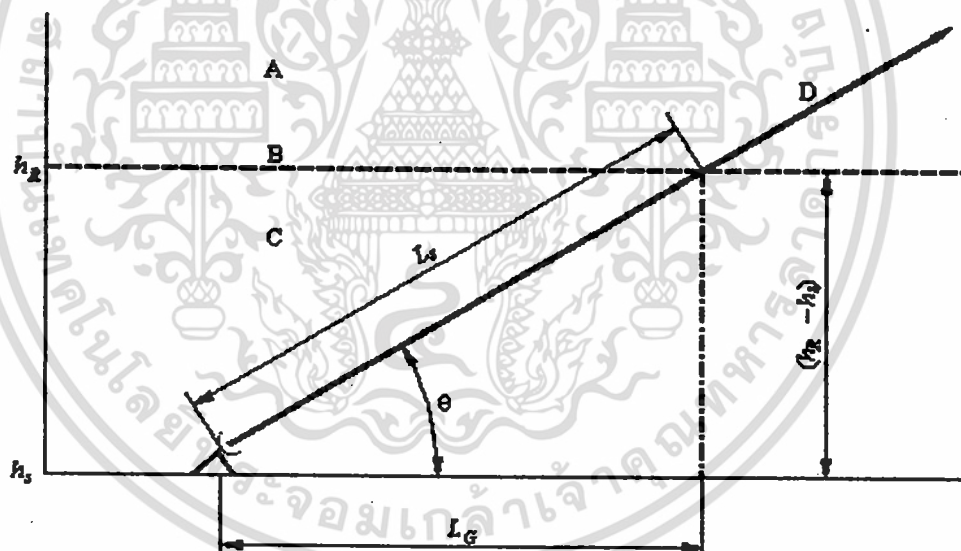
$R_{0.01}$  คือ อัตราการตกของฝนแบบจุดที่ 0.01% ของค่าเฉลี่ยต่อปีที่บริเวณต่างๆ (mm/hr)

$h_r$  คือ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางของสถานีรับ (กิโลเมตร)

$\theta$  คือ มุมเงยของจานสายอากาศ (องศา)

$f$  คือ ย่านความถี่ที่ใช้ (GHz)

$R_e$  คือ ค่ารัศมีประสิทธิผลของโลกเท่ากับ 8500 กิโลเมตร



รูปที่ 2.2 การวัดสัญญาณ ของ ITU-R model

A: frozen precipitation

B: rain height

C: liquid precipitation

D: Earth-space path

ขั้นที่ 1 หาความสูงของฝน  $h_R$  ที่ ITU-R P.839-3[11]

$$h_R = h_O + 0.36 \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.4)$$

$h_O$  คือ ระดับความสูงของฝน ณ เส้นอุณหภูมิ (isotherm) ที่ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งค่า  $h_O$  หาได้จากรูปที่ 2.3 เช่น ตำแหน่งการรับสัญญาณดาวเทียมที่กรุงเทพฯ Longitude 105.7° E และ Latitude 13.7° N จากรูปจะ ได้ค่า  $h_O$  ที่ 4.5 กิโลเมตร

ขั้นที่ 2 หาระยะทาง Slant Path ( $L_S$ ) ตามแนวความสูงของฝน

โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1  $\theta \geq 5$  องศา

$$L_S = \left( \frac{h_R - h_S}{\sin \theta} \right) \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.5)$$

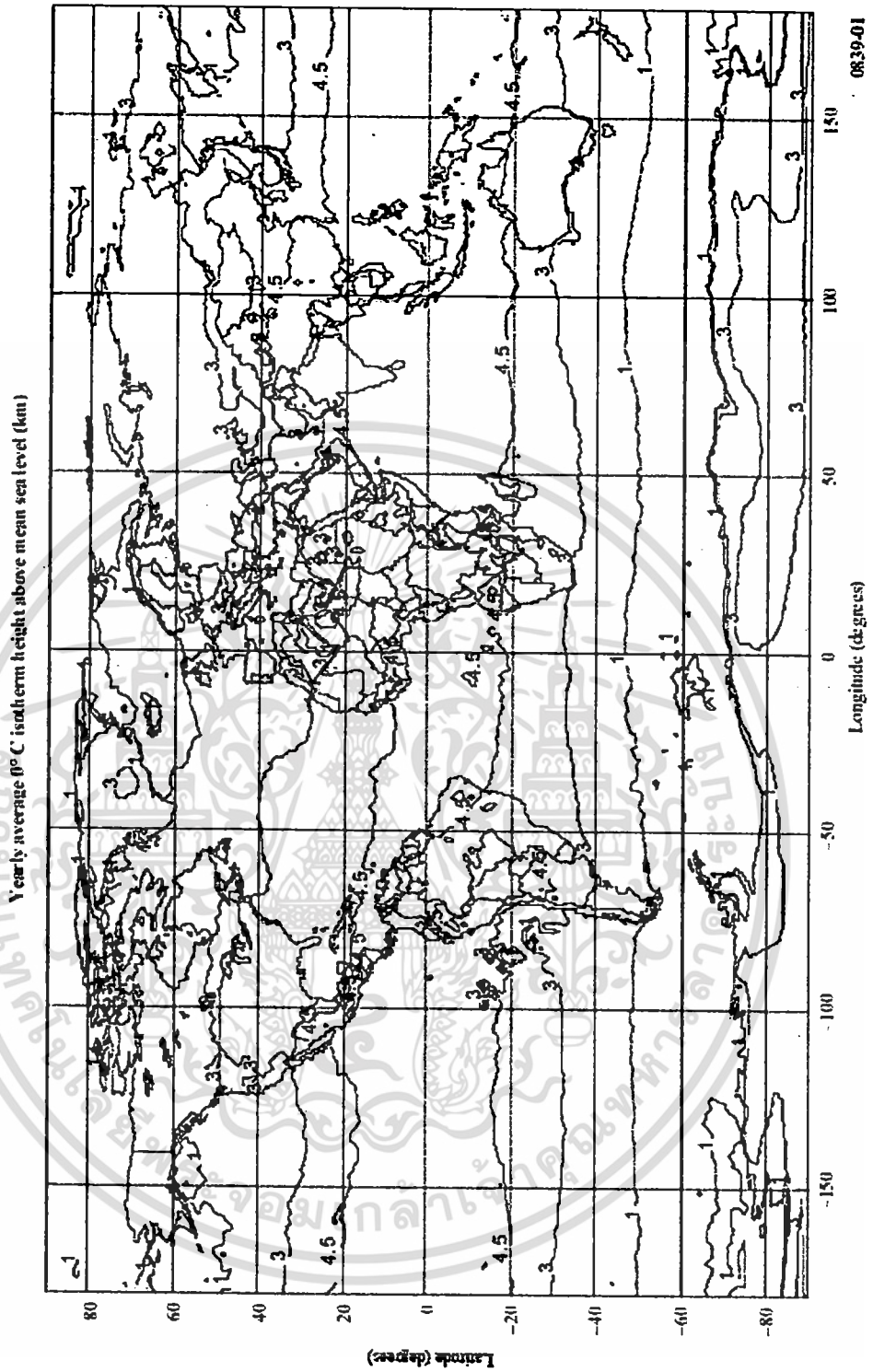
กรณีที่ 2  $\theta \leq 5$  องศา

$$L_S = \frac{2(h_R - h_S)}{\left( \sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_S)}{R_e} \right)^{\frac{1}{2}} + \sin \theta} \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.6)$$

ขั้นที่ 3 คำนวณหาระยะในแนวระนาบ  $L_G$  ของความยาวในแนว Slant Path

$$L_G = L_S \cos \theta \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.7)$$

ขั้นที่ 4 พิจารณาค่าอัตราการตกของฝนที่  $R_{0.01}$  โดย 0.01% เป็นเวลาค่าเฉลี่ยของทั้งปี (ข้อมูลที่พิจารณาเป็นรายนาทีก) ถ้าข้อมูลสถิติระยะยาวนี้ไม่สามารถหาได้ในพื้นที่ที่ใช้งาน สามารถที่จะประมาณค่าได้ตารางที่ 2.1 โดยแสดงอัตราการตกของฝนเป็นเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม ที่ ITU-R P.837 เช่นถ้าพิจารณาค่า  $R_{0.01}$  ก็จะใช้ค่าในตารางที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.01 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจะเทียบค่าปริมาณน้ำฝนในแต่ละโซนต่อไป ซึ่งในการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือพิจารณาจาก ITU-R และจากการทำค่าปริมาณน้ำฝน พื้นที่ใช้แสดงบริเวณฝนดูจากรูปที่ 2.4 โดยประเทศไทยจะอยู่ระหว่าง โซน P และ โซน N



รูปที่ 2.3 ระดับความสูงของฝนใน ITU-R 839-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1** บริเวณการเกิดฝนของแต่ละพื้นที่

Percentage of time (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1	<0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	1.5	2	4	5	12	24
0.3	0.8	2	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	13	4.2	7	11	15	34	49
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

ขั้นที่ 5 หาค่าการลดทอนจำเพาะ  $\gamma_R$  โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความแตกต่างของความถี่ที่ให้มาใน ITU-R P.838 และอัตราการตกของฝนที่  $R_{0.01}$  หาได้จากขั้นตอนที่ 4

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^\alpha \quad \text{dB/กิโลเมตร} \quad (2.8)$$

ค่าโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น แบบวงกลม และการคำนวณหาค่าระยะทางรวมที่มีผลกระทบต่อฝน และค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ (2.8) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.9) และ (2.10)

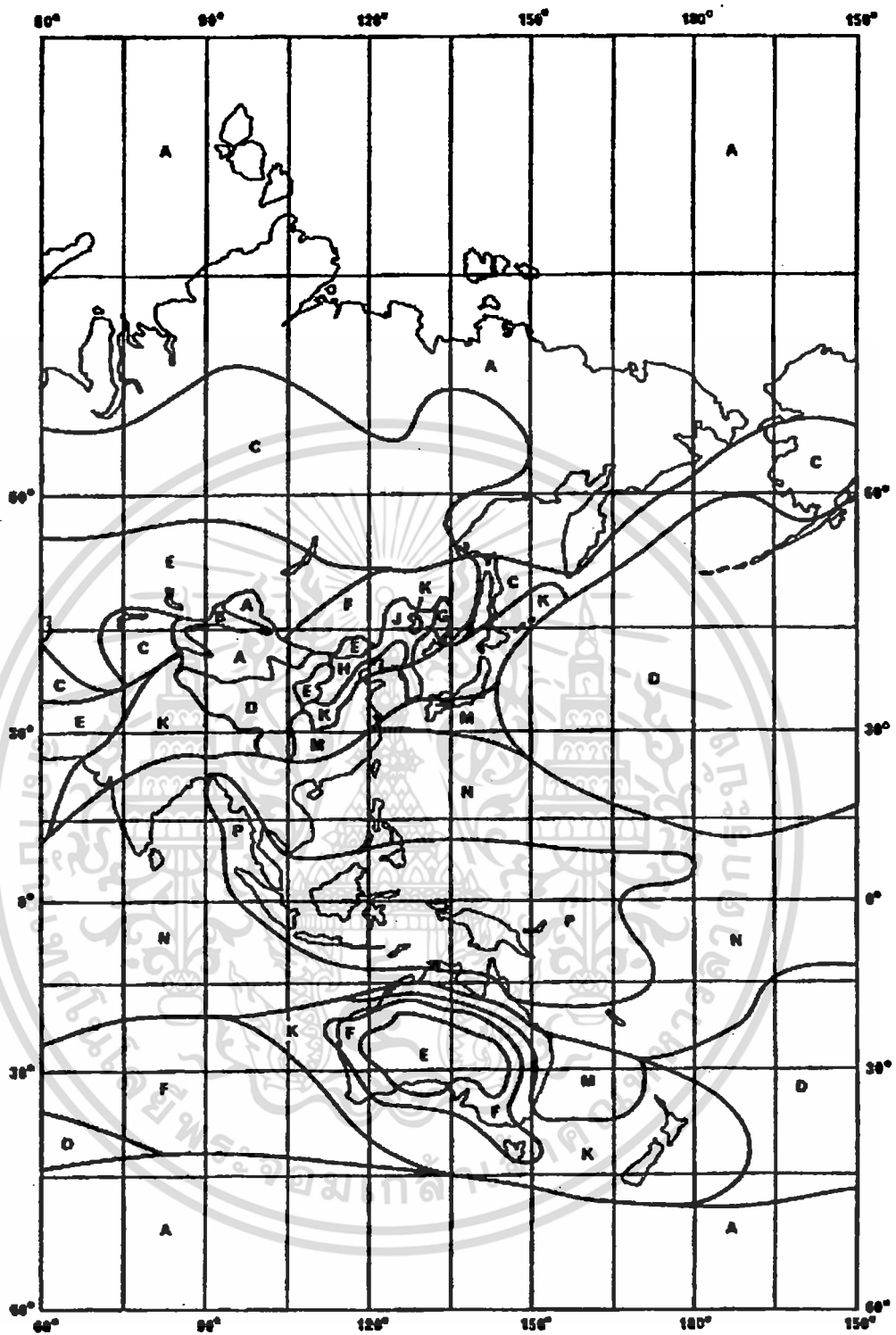
$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V)\cos^2\theta\cos 2\tau]/2 \quad (2.9)$$

$$\alpha = [k_H\alpha_H + k_V\alpha_V + (k_H\alpha_H - k_V\alpha_V)\cos^2\theta\cos 2\tau]/2k \quad (2.10)$$

โดย  $k, \alpha$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านแนวนอนหรือแนวตั้ง

$\alpha_H, k_H$  หรือ  $\alpha_V, k_V$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์คงที่ทางด้านแนวนอนและแนวตั้ง ที่คำนวณได้จาก ITU-R 838-3 ซึ่งจะนำค่าคำนวณค่าสัมประสิทธิ์คงที่ ทั้งสองแนว เพื่อหาค่า  $k$  และ  $\alpha$  โดยจะพิจารณาจากความถี่ที่ใช้งาน

เมื่อ  $\theta$  เป็นเส้นทางของมุมเงย และ  $\tau$  เป็นโพลาไรซ์ที่เอียงทำมุมกับแนวนอน ( $\tau = 45$  องศา เมื่อเป็นโพลาไรซ์แบบวงกลม).



รูปที่ 2.4 การแบ่งบริเวณปริมาณน้ำฝนของ ITU-R P 837-1

ขั้นที่ 6 คำนวณหาค่าพิสัยการลดในแนวระนาบ  $r_{0.01}$  ที่เกิดในช่วง 0.01%

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f} - 0.38(1 - e^{-2L_G})}} \quad (2.11)$$

ขั้นที่ 7 คำนวณหาค่าพิสัยการลดในแนวตั้ง  $v_{0.01}$  ที่เกิดในช่วง 0.01%

$$\zeta = \tan^{-1} \left( \frac{h_R - h_S}{L_G r_{0.01}} \right) \quad \text{องศา} \quad (2.12)$$

เมื่อ  $\zeta > \theta$

$$L_R = \frac{L_G r_{0.01}}{\cos \theta} \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.13)$$

หรือ

$$L_R = \frac{(h_R - h_S)}{\sin \theta} \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.14)$$

ถ้า  $|\varphi| < 36$  องศา โดย  $\varphi$  คือค่า Latitude

$$x = 36 - |\varphi| \quad \text{องศา} \quad (2.15)$$

หรือ

$$x = 0 \quad \text{องศา} \quad (2.16)$$

$$v_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left[ 31 \left( 1 - e^{-\frac{\theta}{(1+x)}} \right) \sqrt{\frac{L_R \gamma_R}{f^2} - 0.45} \right]} \quad (2.17)$$

ขั้นที่ 8 หาค่าระยะทางที่มีผลกระทบจากฝน

$$L_E = L_R v_{0.01} \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.18)$$

ขั้นที่ 9 ค่าการลดทอนที่ได้จากการทำนายที่ 0.01% ของค่าเฉลี่ยต่อปีได้จาก

$$A_{0.01} = \gamma_R L_E \quad \text{dB} \quad (2.19)$$

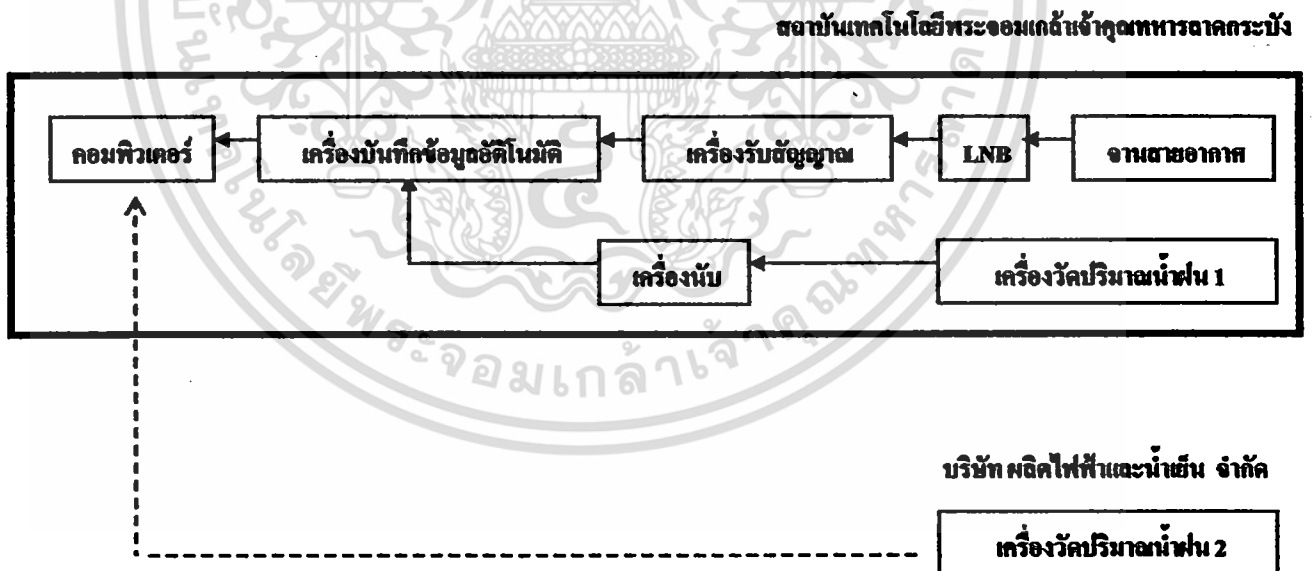
### บทที่ 3

## วิธีการศึกษาวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ระบบที่ใช้ในการวัดระดับสัญญาณและอัตราการตกของฝนนั้น ประกอบด้วยโดยอุปกรณ์ 2 ชุดคือ อุปกรณ์วัดระดับความแรงของสัญญาณดาวเทียมที่รับจากดาวเทียมไทย 5 และไทยคม 3 และอุปกรณ์สำหรับการวัดปริมาณฝน โดยวัดสัญญาณจากดาวเทียม ไทยคม 5 ตั้งแต่ เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2549 เนื่องจากได้มีการปลดระวางดาวเทียมไทยคม 3 ซึ่งดาวเทียมที่ส่งขึ้นไปแทนจะมีตำแหน่งเดียวกับดาวเทียมดวงเดิม

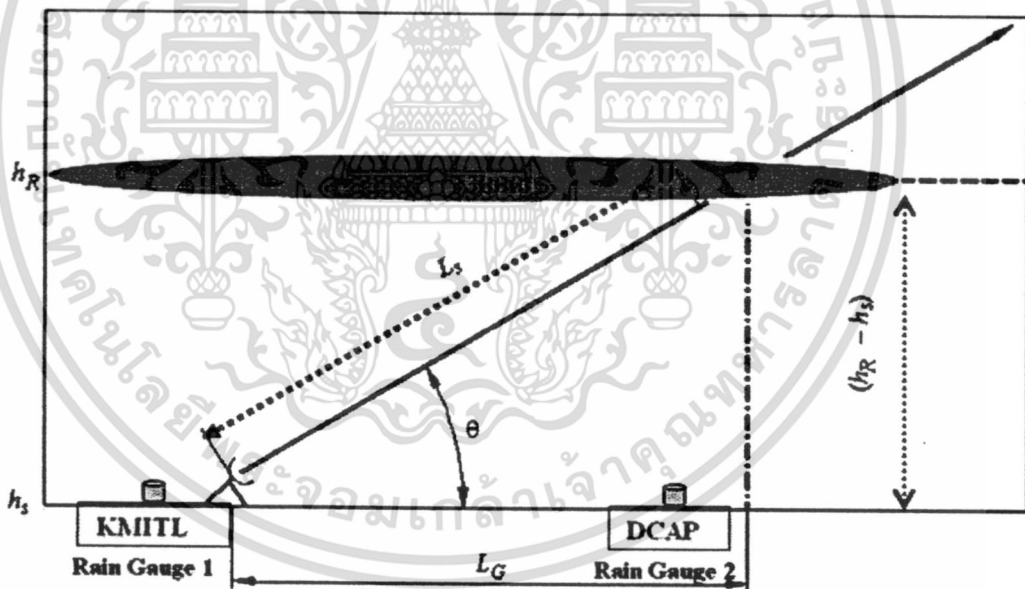
การรับสัญญาณดาวเทียม โดยจะเริ่มค้นจากสัญญาณดาวเทียมเข้ามาที่จานรับสัญญาณ แล้วเข้าสู่ LNB (Low - noise block down converter) รับสัญญาณ โทลาไรเซชันแบบแบนนอน แล้วทำการส่งต่อไปตามสายนำสัญญาณไปยังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) สัญญาณนี้ จะถูกส่งเข้ามายังเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติเพื่อทำการแปลงสัญญาณที่ระดับแรงดันให้เป็นสัญญาณแบบดิจิทัลแล้วส่งไปยังคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.1 บล็อกโคอะแกรมของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการเก็บข้อมูลของปริมาณน้ำฝน โดยเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน แบบคานกระดก (Tipping Bucket Rain Gauge) จะถูกนับด้วยเครื่องนับ (Counter) และสัญญาณจะถูกส่งไปยังบันทึกขงเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติเพื่อทำการแปลงสัญญาณที่รับในรูปแบบของแรงดันให้เป็นปริมาณน้ำฝน และส่งให้คอมพิวเตอร์ทำการบันทึกในคอมพิวเตอร์เช่นเดียวกันกับการเก็บสัญญาณของดาวเทียม เมื่อได้ข้อมูลทั้งสองแล้ว จะนำข้อมูลนี้ไปทำการบันทึกลงคอมพิวเตอร์ โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ดังบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1

จากรูปจะเห็นบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนตัวที่ 1 (Rain Gauge 1) เป็นการนับสะสมของปริมาณน้ำฝน ทำการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ และเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนตัวที่ 2 (Rain Gauge 2) เป็นการบันทึกข้อมูลในตัวได้ และเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนทั้งสอง จะถูกนำมาเก็บที่คอมพิวเตอร์ โดยเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนตัวที่ 1 จะวัดปริมาณน้ำฝนที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL) ส่วน เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนตัวที่ 2 จะทำการวัดปริมาณน้ำฝนที่ทำอากาศยานนานาชาติสุวรรณภูมิ ที่บริษัท หลีดไฟฟ้าและน้ำเย็น จำกัด (DCAP) ซึ่งเป็นการวัดปริมาณน้ำฝนในแนว Slant Path ที่ทำการรับสัญญาณดาวเทียม ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL) ตามที่แสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนในแนว Slant Path ทั้ง 2 จุด

ในการวาง เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนตัวที่ 2 จะต้องวางในระยะทางที่เกิดฝน ตามเส้นทางการรับสัญญาณดาวเทียมไทยคม 5 ซึ่งอยู่ในแนว Slant Path ดังนั้นจึงต้องวางอุปกรณ์ตามการติดตั้งจานดาวเทียมด้วย โดยจะทำการศึกษามุมเงยและมุมกวาดของจานสายอากาศที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งรายละเอียดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองจะแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบการวัด

ดาวเทียม	ไทยคม
ตำแหน่งดาวเทียม	78.5 องศาตะวันออก
โพลาริเซชัน	แนวนอน
ชนิดจานสายอากาศ	ออฟเซ็ทพาราโบลา
อัตราขยายของจานสายอากาศ	34.5 dB
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจานสายอากาศ	0.5 เมตร
มุมเงย	59.81 องศา
มุมกวาด	239.62 องศา
ความสูงจานสายอากาศ	25 เมตร (เหนือระดับน้ำทะเล)
เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน	กานกระดก(Tipping Bucket)
อัตราการเก็บข้อมูล	ทุกๆ 1 วินาที

### 3.2 ค่าพารามิเตอร์ของดาวเทียมไทยคม

การทดลองนี้ทำการรับสัญญาณดาวเทียมสองดวง เนื่องจากทางบริษัท อินเทอร์เน็ต จำกัด (มหาชน) ได้ทำการปลดระวางดาวเทียมไทยคม 3 ในเดือน กรกฎาคม 2549 และทำการแทนที่ดาวเทียมไทยคม 3 ด้วยดาวเทียมไทยคม 5 ซึ่งเป็นดาวเทียมรุ่นเดียวกัน คือดาวเทียมรุ่นสเปซบัส 3000A ที่ทำงานในย่านความถี่ Ku โดยมีรายละเอียดของดาวเทียมในตารางที่ 3.2 จะเป็นข้อมูลของดาวเทียมไทยคม 5 (3)

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ของดาวเทียม ไทยคม 5 และ ไทยคม 3

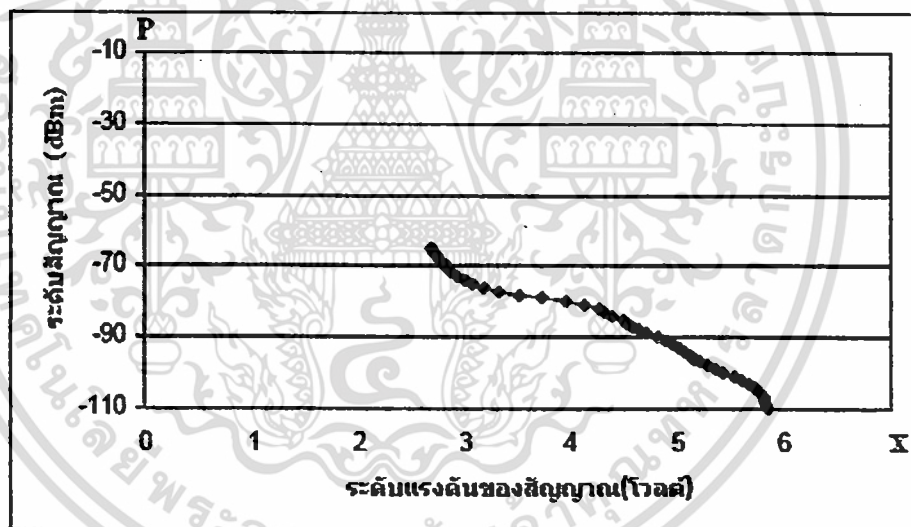
ดาวเทียม Space bus 3000A	รุ่น 3 แกน
ตำแหน่งดาวเทียม	78.5 องศาตะวันออก
โพลาริเซชัน	แนวนอน
EIRP	53 dBW
สัญญาณดาวเทียมขาลง	12.594 GHz

### 3.3 การแปลงข้อมูลจากระดับแรงดัน

ในการทดลองนี้จะเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที โดยเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติจะถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ แล้วข้อมูลที่ส่งไปยังคอมพิวเตอร์จะทำการเป็นไฟล์ ซึ่งจะบันทึกแยกออกเป็น 2 ไฟล์ด้วยกัน ส่วนข้อมูลของระดับความแรงของสัญญาณความถี่ที่อยู่ในรูปของแรงดันจะทำการเปลี่ยนเป็นระดับสัญญาณ dBm โดยเมื่อได้ระดับสัญญาณ dBm แล้วนำข้อมูลดังกล่าวไปหาระดับที่ไม่มีสัญญาณรบกวน ที่สามารถหาได้จากช่วงที่ท้องฟ้าโปร่งใส (Clear sky level)

#### 3.3.1 การแปลงข้อมูลจากระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นระดับความแรงของสัญญาณความถี่

เนื่องจากข้อมูลที่มาจากรีจิสเตอร์ข้อมูลอัตโนมัติ เป็นข้อมูลของระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณความถี่ แต่ในการใช้งานนั้น จะต้องทำการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นระดับความแรงของสัญญาณความถี่ที่มีหน่วยเป็น dBm การแปลงระดับความแรงของสัญญาณความถี่ที่เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นหน่วยของ dBm นั้นคือ ต้องทำการหาความสัมพันธ์ของระดับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นระดับความแรงของสัญญาณความถี่ที่มีหน่วยเป็น dBm ตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้ากับระดับความแรงของสัญญาณที่วัดได้

จากรูปที่ 3.5 จะได้ความสัมพันธ์ของระดับแรงดันไฟฟ้าและระดับความแรงของสัญญาณความถี่ที่มีหน่วยเป็น dBm โดยได้จากสมการที่ 3.1

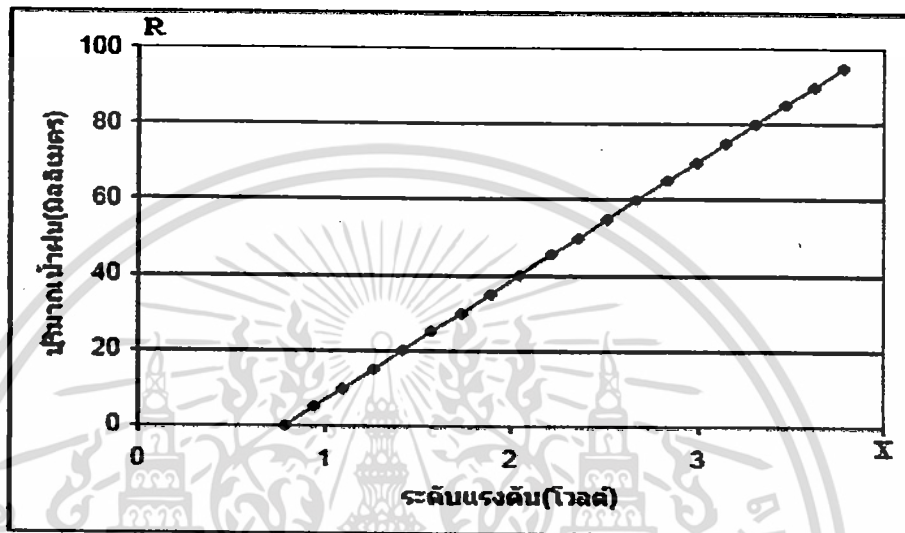
$$P = -0.8181 x^6 + 19.33 x^5 - 184.19 x^4 + 897.79 x^3 + 2332.8 x^2 + 2993.4 x - 1451.7 \quad \text{dBm} \quad (3.1)$$

เมื่อ P คือ ระดับของสัญญาณ (dBm)

x คือ ระดับแรงดันที่วัดได้ (โวลต์)

### 3.3.2 การแปลงข้อมูลจากระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นปริมาณการตกของฝน

การแปลงข้อมูลของฝนที่ได้รับจากเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ เป็นการเก็บข้อมูลของระดับแรงดันไฟฟ้า แต่ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะต้องใช้ข้อมูลที่เป็นอัตราการตกของฝนที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อชั่วโมง เพราะฉะนั้นจะต้องทำการแปลงระดับแรงดันให้เป็นหน่วยมิลลิเมตรก่อน โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและปริมาณน้ำฝนได้จากกราฟ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระดับปริมาณน้ำฝนที่วัดได้

จากรูปที่ 3.4 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับปริมาณน้ำฝนได้ โดยใช้สมการที่ 3.2

$$L = 31.77x - 25.13 \quad \text{มิลลิเมตร (3.2)}$$

เมื่อ L คือ ปริมาณการตกของฝน (มิลลิเมตร)

x คือ ระดับแรงดันที่วัดได้ (โวลต์)

เมื่อได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและปริมาณการตกของฝน เป็นปริมาณการตกของฝนที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และจะนำข้อมูลที่ได้ไปบันทึกและทำการวิเคราะห์ต่อไป

### 3.4. การคำนวณปริมาณสะสมของการตกของฝนให้เป็นอัตราการตกของฝน

เนื่องจากการเก็บข้อมูลที่บันทึกไว้ ณ สถานีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนั้นเป็นปริมาณสะสมของการตกของฝน ที่อยู่ในหน่วยของมิลลิเมตรและทำการบันทึกค่าทุกๆ 1 วินาที ตลอด 24 ชั่วโมง แต่ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะต้องเปรียบเทียบกับอัตราการตกของฝนที่อยู่ในหน่วย มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จึงต้องแปลงค่าเวลาเพื่อการวิเคราะห์ใหม่

ขณะที่การวัดน้ำฝนที่ สนามบินนานาชาติสุวรรณภูมิ จะเป็นการบันทึกค่าเป็นนาฬิกา โดย เครื่องบันทึกอัตโนมัติภายในเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนเองนั้น สามารถนำค่าที่เก็บบันทึกมาคิดค่า ปริมาณน้ำฝน ได้ตามขั้นตอนการหาอัตราการตกของฝนที่วัดได้ ตามสมการ (3.3)

การหาค่าปริมาณฝนจากการนับสะสมของ Counter ให้เป็นปริมาณน้ำฝนแบบรายนาฬิกา โดยการหาค่าเป็น mm/tip ที่เป็นการบันทึกค่าปริมาณน้ำฝนก่อนที่เครื่องวัดน้ำฝนแบบคานกระดกจะ ส่งไปที่ เครื่องนับปริมาณน้ำฝน

$$r = \text{ค่าปริมาณฝนสะสมสูงสุด} - \text{ค่าปริมาณฝนสะสมต่ำสุด} \quad \text{มิลลิเมตร} \quad (3.3)$$

เมื่อได้ข้อมูลแล้วนำมาหาค่าอัตราการตกของฝน ซึ่งวิธีการนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R = (r/t) \times 60 \quad \text{มิลลิเมตรต่อชั่วโมง} \quad (3.4)$$

- R คือ อัตราการตกของฝนที่วัดได้ (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)  
 r คือ ปริมาณการตกของฝนในช่วงเวลานั้นๆ (มิลลิเมตร)  
 t คือ ระยะเวลาที่ฝนตกในช่วงเวลานั้นๆ (นาฬิกา)

### 3.5 การคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณ

งานวิจัยนี้ ทำการรับสัญญาณดาวเทียมไทยคม5 และไทยคม3 ย่านความถี่ Ku โดยทำการ รับสัญญาณที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการรับสัญญาณจะทำการ รับสัญญาณทุก 1 วินาที ตลอด 24 ชั่วโมง จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้นมาวิเคราะห์เป็นราย 1 นาทีต่อไป

$$A = P_{ref} - P_{signal} \quad \text{dB} \quad (3.5)$$

- เมื่อ A คือ การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน (dB)  
 $P_{ref}$  คือ ระดับสัญญาณอ้างอิง (dBm)  
 $P_{signal}$  คือ ระดับสัญญาณที่ทำการวัด (dBm)

#### 3.5.1 การหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาสะสมรายเดือนและรายปี

เพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ผลของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน จะต้องทำเป็น เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมก่อน โดยจะแบ่งออกเป็นเวลาสะสมรายเดือนกับเวลาสะสมรายปี นั่นคือการ หาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายเดือนและรายปีของการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน โดย จะมีวิธีการหาที่เหมือนกันกับการหาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายเดือนและรายปีของอัตราการตกของ ฝน แต่จะแตกต่างกันตรงที่จะเปลี่ยนอัตราการตกของฝน ให้เป็นระดับการลดทอนของสัญญาณ

การหาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายเดือนนั้น จะเป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบข้อมูลในแต่ละเดือนว่าเป็นอย่างไร โดยการหาเปอร์เซ็นต์รายเดือนนั้นจะต้องการทราบเวลาทั้งหมดในแต่ละเดือนที่อยู่ในหน่วยนาฬิกา ตัวอย่างเช่น เดือนมกราคม มี 31 วัน ก็จะเท่ากับ 44640 นาที ซึ่งในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับจำนวนวันของแต่ละเดือนนั้น เมื่อได้ระยะเวลาทั้งหมดในแต่ละเดือน ก็จะนำค่าดังกล่าวไปหาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายเดือน

$$P_M = \left( \frac{F_M}{T_M} \right) \times 100 \quad \text{เปอร์เซ็นต์ (3.6)}$$

เมื่อ  $P_M$  คือ เปอร์เซ็นต์สะสมรายเดือน (เปอร์เซ็นต์)  
 $F_M$  คือ เวลาสะสมแต่ละวัน (นาที)  
 $T_M$  คือ เวลารวมทั้งเดือน (นาที)

การหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาสะสมรายปี เพื่อที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลที่เป็นรายปี โดยวิธีการนั้นจะเหมือนกับการหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่เป็นรายเดือน แต่จะเปลี่ยนจากระยะเวลารวมทั้งหมดที่เป็นรายเดือน ก็จะเป็นระยะเวลาสะสมทั้งหมดที่เป็นรายปี

$$P_Y = \left( \frac{F_Y}{T_Y} \right) \times 100 \quad \text{เปอร์เซ็นต์ (3.7)}$$

เมื่อ  $P_Y$  คือ เปอร์เซ็นต์สะสมรายปี (เปอร์เซ็นต์)  
 $F_Y$  คือ เวลาสะสมแต่ละเดือน (นาที)  
 $T_Y$  คือ เวลารวมทั้งปี (นาที)

### 3.5.2 การหาอัตราการตกของฝนสะสมที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.01 เปอร์เซ็นต์

อัตราการตกของฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ในช่วงระยะเวลาสะสมหนึ่งปี สามารถหาได้จากข้อมูลที่ทำการเก็บข้อมูล สำหรับสาเหตุที่ต้องคิดที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ นั้นเมื่อคิดเป็นระยะเวลาประมาณ 53 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่การติดต่อสื่อสารกันไม่ได้ในระยะเวลา 1 ปี และเมื่อคิดในทางกลับกันจะมีระยะเวลาที่ติดต่อได้เท่ากับ 99.99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงเสถียรภาพของระบบการสื่อสาร แต่ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะการสื่อสารด้วยว่าจะยอมรับได้ที่กี่เปอร์เซ็นต์

## บทที่ 4

### ผลการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน

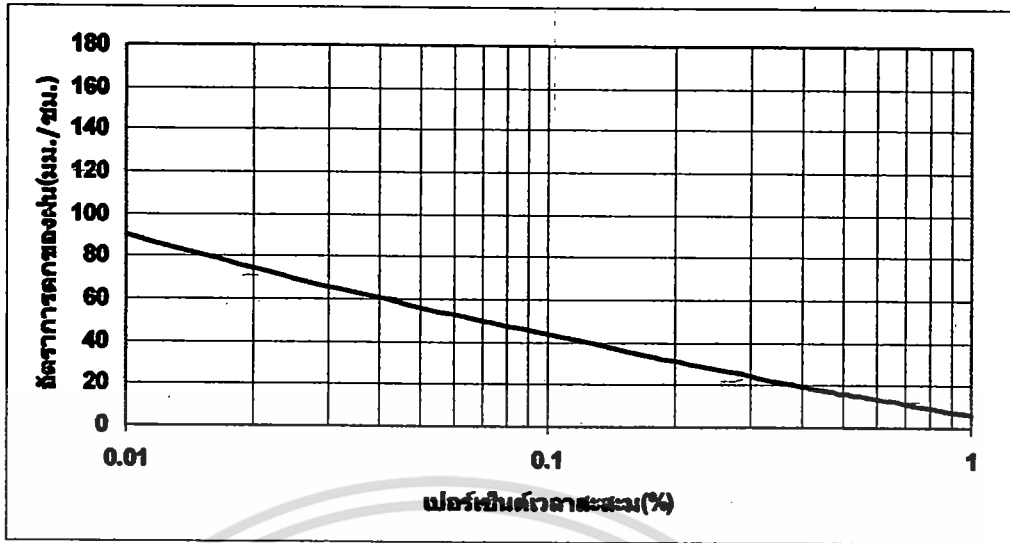
การศึกษาการลดทอนของสัญญาณควาเทียม ในย่านความถี่ Ku เนื่องจากการสื่อสารผ่านควาเทียม ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเพราะการสื่อสารที่ใช้ความถี่สูงๆ นั้นคือ สามารถทำให้การส่งข้อมูลสูงขึ้น และขนาดของจานรับสัญญาณ ที่ใช้ในการติดต่อกับดาวเทียมนั้นจะมีขนาดเล็กกลง ซึ่งจะสะดวกในการติดตั้ง ในกรณีที่ใช้ความถี่สูงขึ้นก็จะมีผลกระทบต่อผลการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนจะมีผลอย่างมากในการสื่อสารผ่านควาเทียม ทำให้การสื่อสารผ่านควาเทียมถูกตัดขาด เช่น สัญญาณภาพในการสื่อสารผ่านควาเทียมขาดหายไปชั่วขณะ และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน เกิดขึ้นจากเมื่อมีฝนตกจะทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณตามปริมาณการตกของฝน ความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารก็เป็นสิ่งสำคัญในการลดทอนของสัญญาณ และระยะทางการรับสัญญาณ โดยในบทนี้จะกล่าวถึง อัตราการตกฝนและระดับการลดทอนของสัญญาณ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ทำการเก็บบันทึกอย่างต่อเนื่อง และนำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลเชิงสถิติต่อไป

#### 4.1 อัตราการตกของฝนและการกระจายสะสม

อัตราการตกของฝน ที่ได้จากการวิจัยนั้นจะเปรียบเทียบระยะเวลากับอัตราการตกของฝน เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลจะต้องทำระยะเวลาให้เป็นระยะเวลาสะสม ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าอัตราการตกของฝนที่สูงๆนั้น จะมีช่วงระยะเวลาที่สั้น ซึ่งกลับกันกับอัตราการตกของฝนที่น้อยจะมีช่วงระยะเวลาที่นาน เช่น อัตราการตกของฝนที่น้อยกว่า 11 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง มีระยะเวลาที่ฝนตก 10 นาที ก็จะนำค่าระยะเวลา 10 นาที ไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ของเวลาทั้งหมดจะทำให้ได้ค่าการกระจายสะสมที่อัตราการตกของฝน 10 มิลลิเมตร

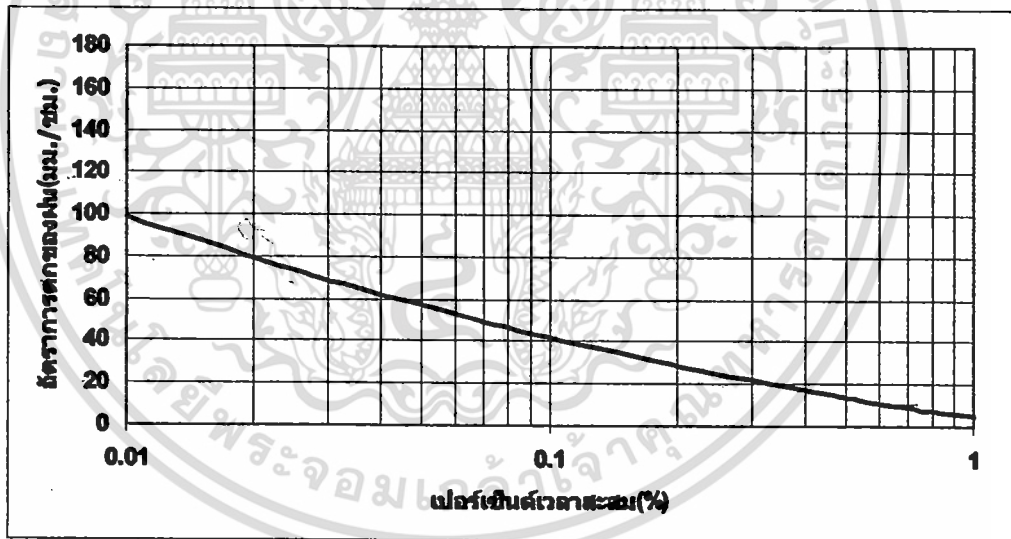
##### 4.1.1. การกระจายสะสมของฝนรายปีของอัตราการตกของฝน

การกระจายสะสมของฝนรายปี นั้นจะนำข้อมูลทั้ง 12 เดือน หาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม เพื่อที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ เป็นรายปีเนื่องจากข้อมูลที่เป็นรายเดือนนั้นมีการเปลี่ยนแปลงทุกๆ เดือน จึงทำให้ยากต่อการนำไปวิเคราะห์ ในการหาค่าการกระจายสะสมของฝนรายปี หาได้จาก การนำข้อมูลทั้งปีหาค่าเฉลี่ยที่เกิดฝนแต่ละอัตราการตกของฝน รูปที่ 4.1 การกระจายสะสมรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 นาที ของเดือน ถึงหาคม พ.ศ 2547 ถึง กรกฎาคม 2548



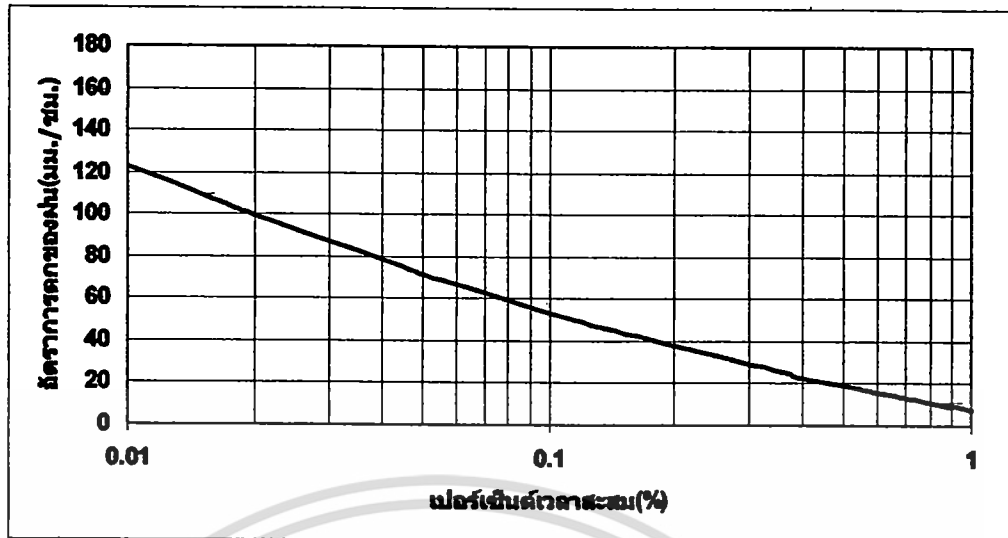
รูปที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายปีของแผ่นทุก 1นาที่ ระหว่าง ส.ค. 47 – ก.ค.48

จากรูปที่ 4.1 เป็นการกระจายสะสมรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที่ โดยอัตราการตกของแผ่นที่สูงสุดประมาณ 90 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายปีของแผ่นทุก 1นาที่ ระหว่าง ส.ค. 48 – ก.ค.49

จากรูปที่ 4.2 เป็นการกระจายสะสมรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที่ โดยอัตราการตกของแผ่นที่สูงสุดประมาณ 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์

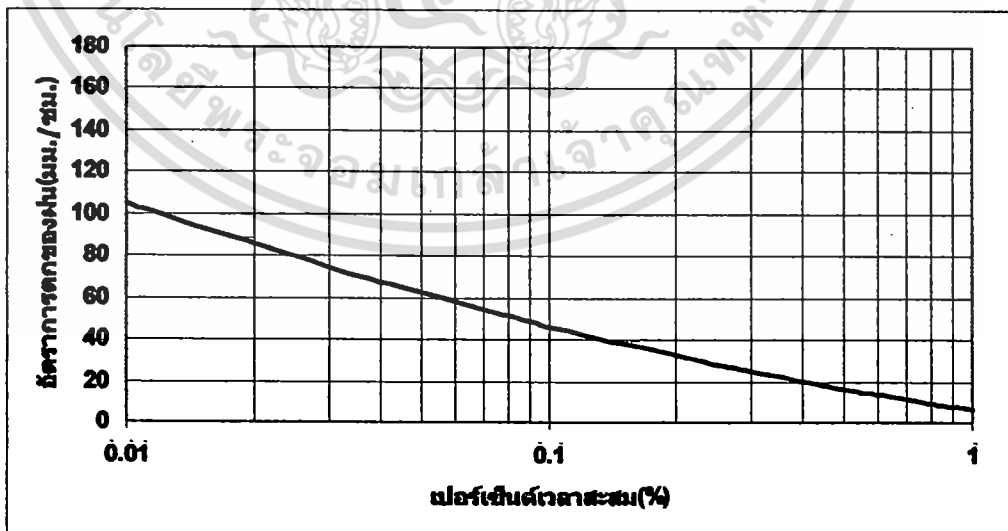


รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายปีของฝนทุก 1นาทิจะหว่าง ส.ค. 49 – ก.ค.50

จากรูปที่ 4.3 เป็นการกระจายสะสมรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที โดยอัตราการตกของฝนที่สูงสุดประมาณ 125 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายทั้ง 3 ปี คือตั้งแต่ สิงหาคม พ.ศ. 2547 ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2550 โดยข้อมูลที่แสดงจะเห็นว่า สิงหาคม พ.ศ. 2547 ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2548 จะมีอัตราการตกของฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ 0.01 น้อยกว่าทุกปี คือ 90 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และอัตราการตกของฝนก็จะเพิ่มขึ้น ในปีต่อมา คือ 100 และ 125 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง นั้นคือปริมาณการตกของฝนมีการเพิ่มขึ้นทุกปีอย่างต่อเนื่องตามที่แสดงคังรูป ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำไปวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนต่อไป

#### 4.1.2. การกระจายสะสมเฉลี่ยของฝน



รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมเฉลี่ย 3 ปีของฝนทุก 1นาทิจะหว่าง ส.ค.47- ก.ค.50

จากรูปที่ 4.4 เป็นการกระจายสะสมเฉลี่ย 3 ปีที่อัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที โดยนำข้อมูลอัตราการตกของฝนทั้งหมด 3 ปี มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำข้อมูลเฉลี่ยไปวิเคราะห์ต่อไป อัตราการตกของฝนที่เฉลี่ยประมาณ 105 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ นั้นคือค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ปี อัตราการตกของจะอยู่ที่ 105 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จากนั้นจะนำปริมาณน้ำฝนที่ได้ไปวิเคราะห์กับ ITU-R model ต่อไป เพื่อวิเคราะห์อัตราการตกของบริเวณนั้นๆ ว่าอยู่ที่บริเวณใด และการลดทอนของสัญญาณอยู่ที่เท่าไรในช่วงเวลา 3 ปี

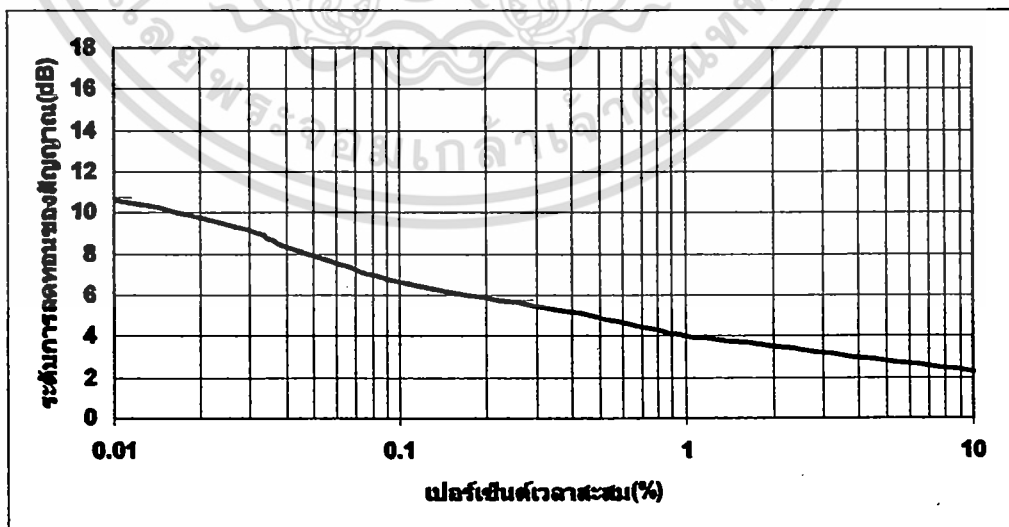
#### 4.2 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนและการกระจายสะสม

การรับสัญญาณผ่านดาวเทียมนั้น โดยปกติแล้วสัญญาณที่รับได้นั้นจะอยู่ในหน่วยของ dB ซึ่งจะมีระดับความแรงของสัญญาณนั้นจะขึ้นอยู่กับกำลังส่งของเครื่องส่งบนตัวดาวเทียม

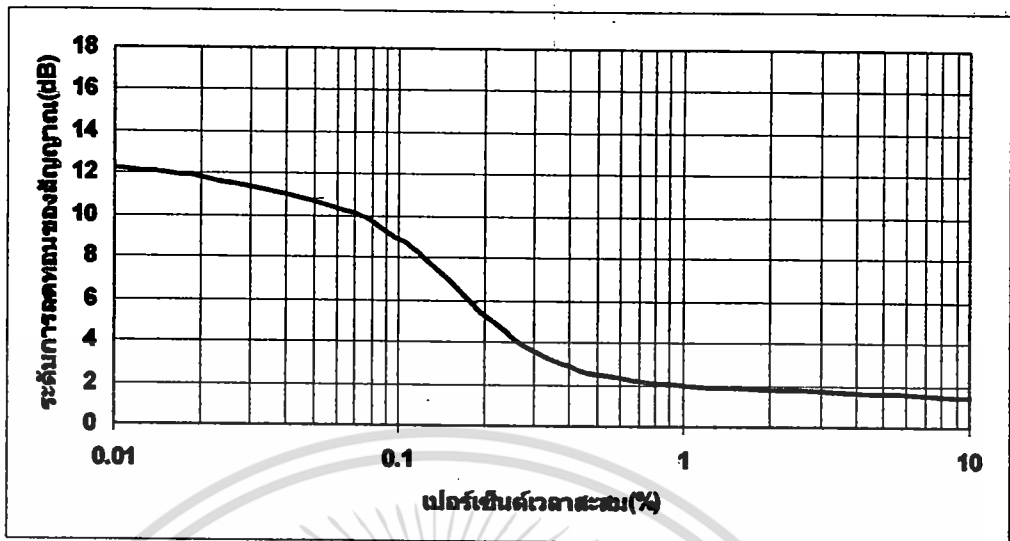
##### 4.2.1. การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนรายปี

การกระจายสะสมรายปีของระดับการลดทอนของสัญญาณผ่านดาวเทียมเนื่องจากฝน จะนำข้อมูลทั้ง 12 เดือน มาหาค่าเฉลี่ยสะสม เพื่อที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ เป็นรายปีเนื่องจากข้อมูลที่เป็นรายเดือนนั้นมีการเปลี่ยนแปลงทุกๆ เดือน เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับอัตราการตกของฝนสะสมรายปี จึงนำข้อมูลทั้ง 3 ปี มาทำการวิเคราะห์เป็นเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายปีของแต่ละปี คือตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2548 เป็นเวลา 1 ปี ข้อมูลตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2549 เป็นเวลา 1 ปี และข้อมูลตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2550 เป็นเวลา 1 ปี

จากรูปที่ 4.5 เป็นการลดทอนของสัญญาณผ่านดาวเทียม เนื่องจากฝนรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2548 เป็นเวลา 1 ปี โดยระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนสูงสุดประมาณ 11 dB ที่ค่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์

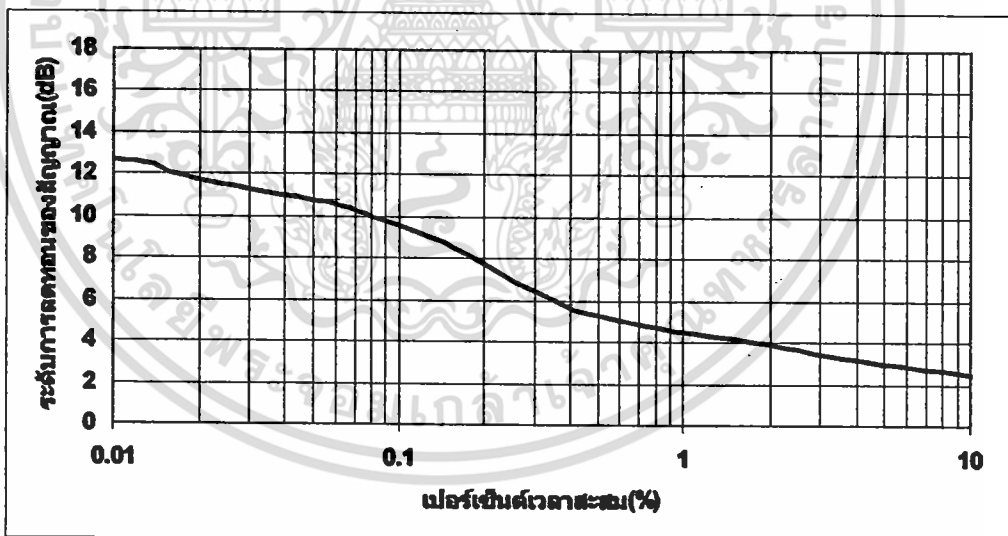


รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายปีของสัญญาณทุก 1 นาที ระหว่าง ต.ค. 47 – ก.ค.48



รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายปีของสัญญาณทุก 1นาทิจ ระหว่าง ศ.ค. 48 – ก.ค.49

จากรูปที่ 4.6 เป็นการลดทอนของสัญญาณผ่านควาเทียม เนื่องจากฝนรายปี ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2548 ถึง เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2549 ที่อัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที โดยระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนสูงสุดประมาณ 12 dB ที่ค่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายปีของสัญญาณทุก 1นาทิจ ระหว่าง ศ.ค. 49 – ก.ค.50

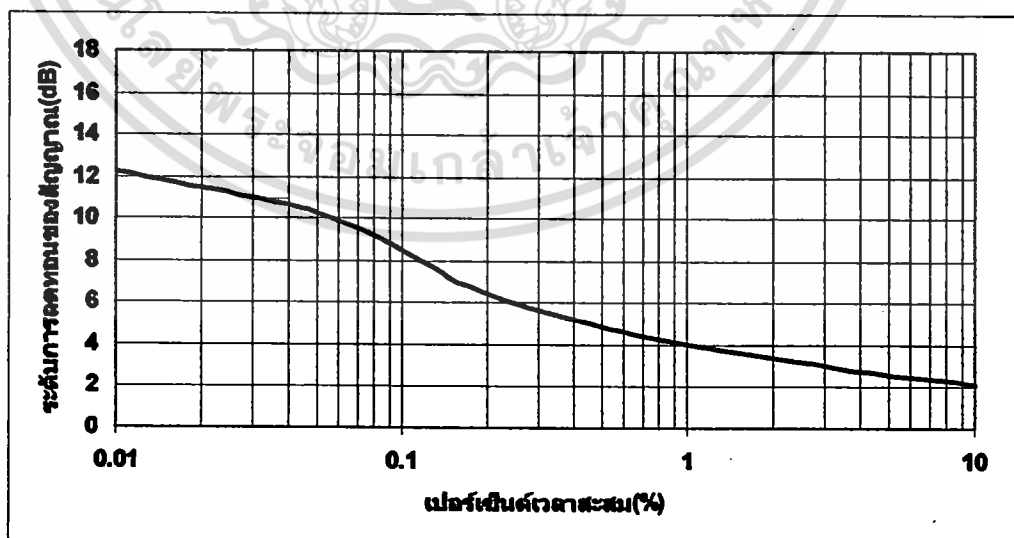
จากรูปที่ 4.7 เป็นการลดทอนของสัญญาณผ่านควาเทียม เนื่องจากฝนรายปี ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2549 ถึง เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ที่อัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที โดยระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนสูงสุดประมาณ 13 dB ที่ค่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.5 4.6 และ 4.7 แสดงการลดทอนรายปีของสัญญาณควาเทียมเนื่องจากฝนทั้ง 3 ปี ตั้งแต่ เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2547 ถึง เดือนกรกฎาคม 2550 จากข้อมูลจะเห็นว่าระดับการลดทอนของสัญญาณมีการลดทอนที่เพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งสัมพันธ์กับข้อมูลเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมของอัตราการตกของฝน เช่น ระดับการลดทอนของสัญญาณตั้งแต่ เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2547 ถึง เดือนกรกฎาคม 2548 ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 11 dB ขณะที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมของอัตราการตกของฝน คือ 90 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ระดับการลดทอนของสัญญาณตั้งแต่ เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2548 ถึง เดือนกรกฎาคม 2549 ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 12 dB ขณะที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมของอัตราการตกของฝน คือ 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และ ระดับการลดทอนของสัญญาณตั้งแต่ เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2547 ถึง เดือนกรกฎาคม 2548 ที่ เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 13 dB ขณะที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมของอัตราการตกของฝน คือ 125 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

#### 4.2.2. การลดทอนเฉลี่ยของสัญญาณ

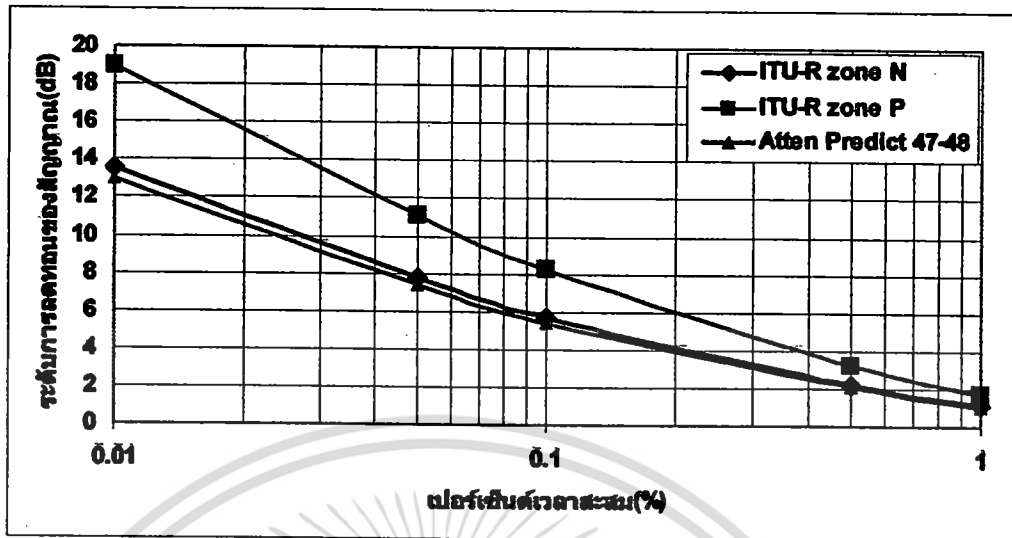
จากรูปที่ 4.16 เป็นการลดทอนเฉลี่ย 3 ปี ของสัญญาณผ่านควาเทียม เนื่องจากฝนรายปี ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2547 ถึง เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ที่อัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที โดยระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนสูงสุดประมาณ 12 dB ที่ค่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์

การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนนั้นจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมลดลง ตัวอย่างเช่น ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมจากรูปที่ 4.16 ที่ 0.1 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 8.2 dB แต่เมื่อระยะเวลาสะสมลดลงเป็น 0.01 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 12 dB ซึ่งหมายความว่า การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนปริมาณสูงเท่านั้น จะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาสั้นๆ ในขณะที่การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนต่ำจะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลานาน



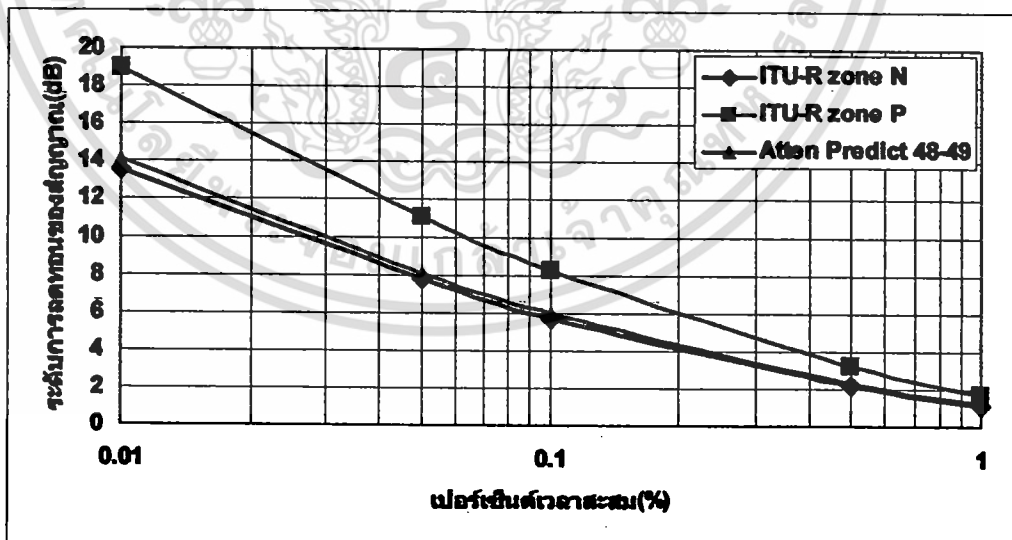
รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมเฉลี่ย 3 ปีของสัญญาณทุก 1 นาที ระหว่าง ต.ค. 47 – ก.ค.50

### 4.3. เปรียบเทียบแบบจำลอง ITU-R กับงานวิจัย



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าการทำนายการลดทอน 1ปี ระหว่าง ศ.ค.47 – ก.ค.48 และค่า ITU-R

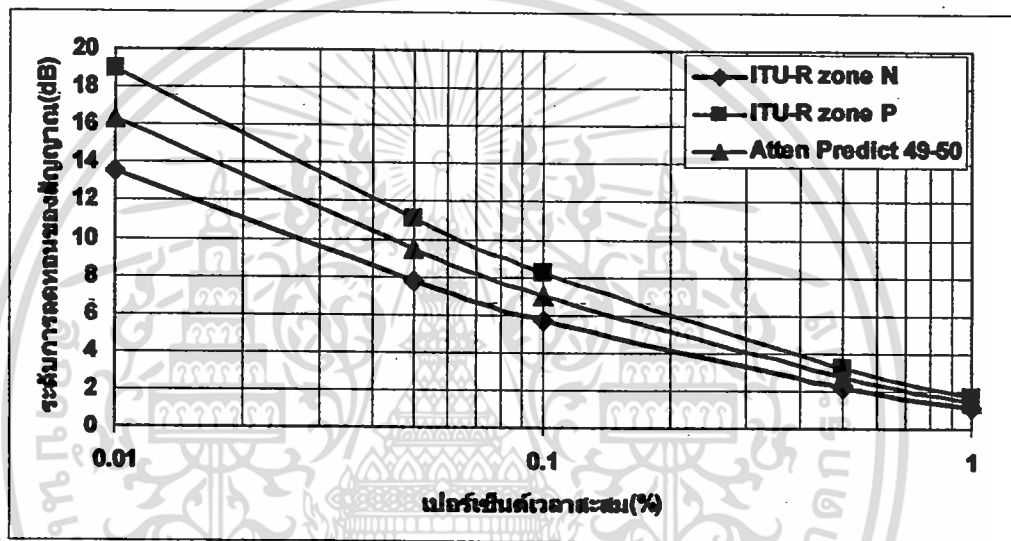
จากรูปเปรียบเทียบการทำนายค่าการลดทอนของสัญญาณ โดยใช้ ITU-R Model และค่าที่วัดได้ 1 ปี ศ.ค.48 – ก.ค.49 จากรูปแสดงให้เห็นว่าที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ ค่าการลดทอนของสัญญาณที่วัดคือ 12 dB ค่าการลดทอนที่ ITU-R บริเวณ N คือ 13.5436 dB ขณะที่ ITU-R บริเวณ P คือ 18.9813 dB โดยค่าการทำนายการลดทอนของสัญญาณคือ 14.1203 dB จากผลการวิจัยใน 1 ปี ค่าการลดทอนของสัญญาณที่วัด และค่าการทำนายการลดทอนของสัญญาณ มีค่าต่างกัน 2.1203 dB ซึ่งมากกว่า ปี ศ.ค.47 – ก.ค.48 และมีค่าใกล้เคียงกับ ITU-R บริเวณ N



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าการทำนายการลดทอน 1ปี ระหว่าง ศ.ค.48 – ก.ค.49 และค่า ITU-R

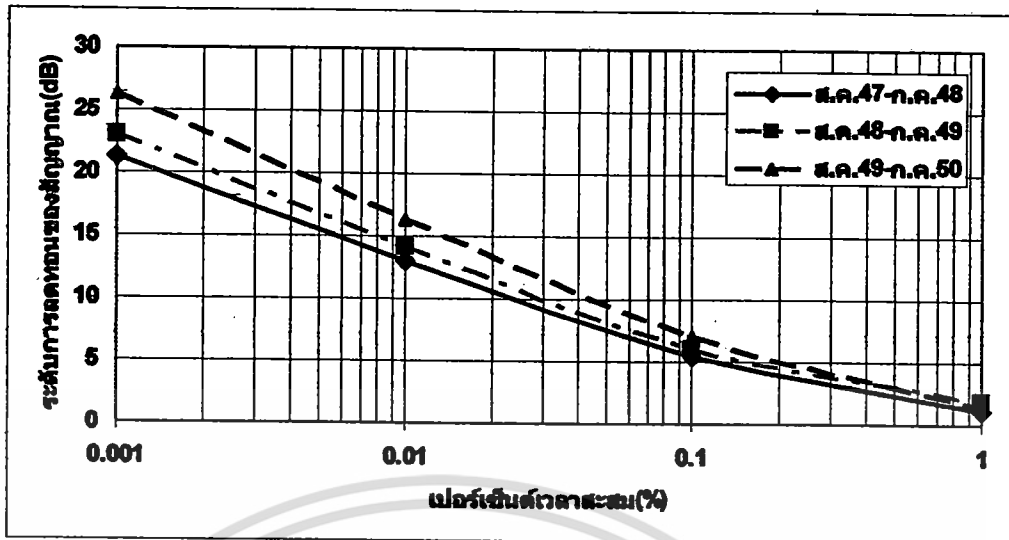
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการทำนายค่าการลดทอนของสัญญาณโดยใช้ ITU-R Model และค่าที่วัดได้ 1 ปี ต.ค.49 – ก.ค.50 จากรูปแสดงให้เห็นว่าที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ ค่าการลดทอนของสัญญาณที่วัดคือ 13 dB ค่าการลดทอนที่ ITU-R บริเวณ N คือ 13.5436 dB ขณะที่ ITU-R บริเวณ P คือ 18.9813 dB โดยค่าการทำนายการลดทอนของสัญญาณคือ 16.3485 dB จากผลการวิจัยใน 1 ปี ค่าการลดทอนของสัญญาณที่วัด และค่าการทำนายการลดทอนของสัญญาณ มีค่าต่างกัน 3.3485 dB ซึ่งมีการลดทอนมากที่สุดจากการวัด 3 ปี

จากรูปค่าการทำนายการลดทอนของสัญญาณ จะมีค่าใกล้เคียง ITU-R บริเวณ P แต่ค่าการลดทอนของสัญญาณที่วัดจะมีค่าใกล้เคียง ITU-R บริเวณ N

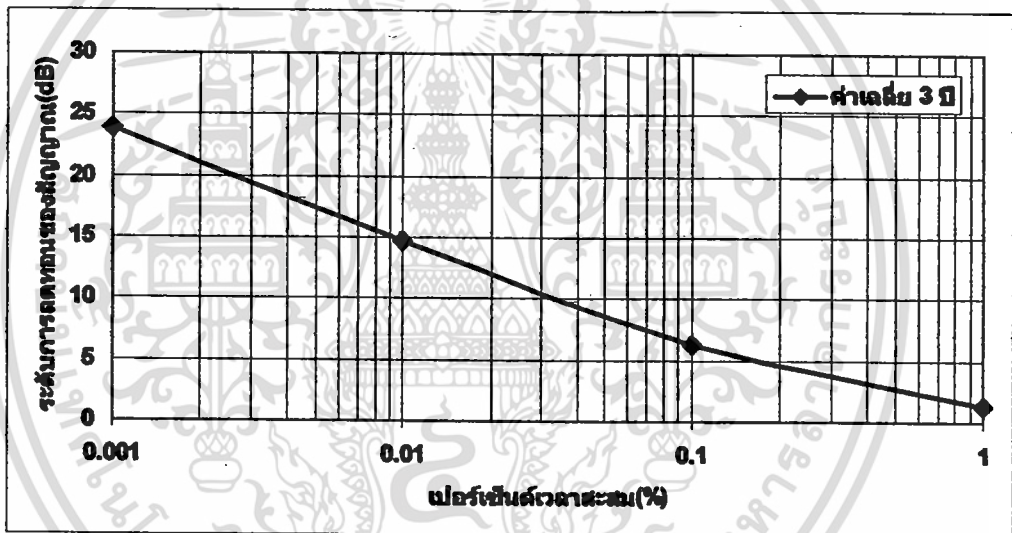


รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าการทำนายการลดทอน 1 ปี ระหว่าง ต.ค.49 – ก.ค.50 และค่า ITU-R

จากรูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าการทำนายการลดทอนของสัญญาณทั้ง 3 ปี ซึ่งระดับการลดทอนของสัญญาณจะมีค่าการลดทอนที่เพิ่มขึ้นทุกปี สิงหาคม พ.ศ. 2547 ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2548 การลดทอนที่เปอร์เซ็นต์สะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 12.9583 ที่อัตราฝน 90 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง โดย สิงหาคม พ.ศ. 2548 ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2549 การลดทอนที่เปอร์เซ็นต์สะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 14.1203 ที่อัตราฝน 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และสิงหาคม พ.ศ. 2549 ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2550 การลดทอนที่เปอร์เซ็นต์สะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 16.3485 ที่อัตราฝน 120 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จากข้อมูลจะเห็นการลดทอนของสัญญาณจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝนที่เพิ่ม เมื่ออัตราการตกของฝนมีปริมาณมากการลดทอนของสัญญาณก็จะมีค่ามากตาม



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบการทำนายค่าการลดทอนของสัญญาณทั้ง 3 ปี

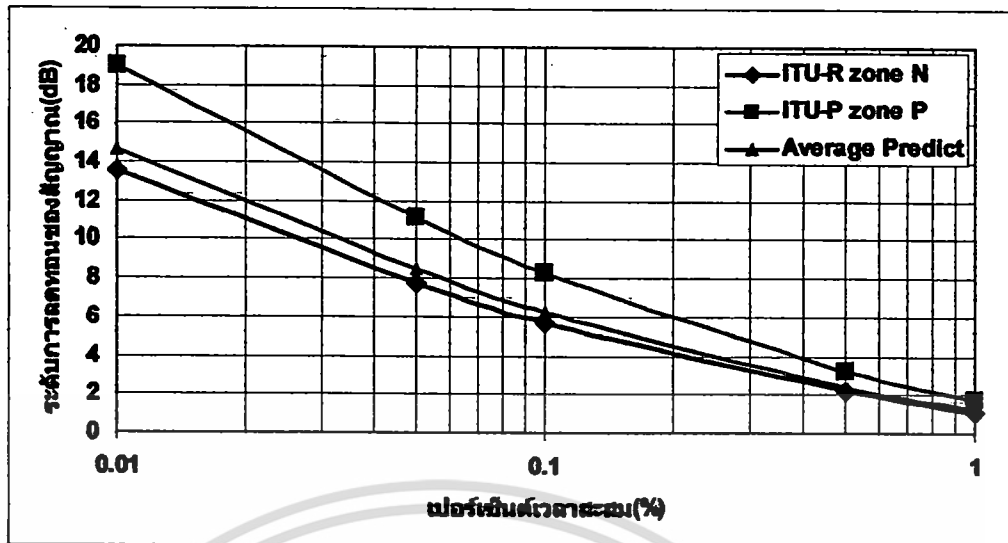


รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยการลดทอนของสัญญาณทั้ง 3 ปี

รูปที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยการลดทอนของสัญญาณทั้ง 3 ปี ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ ระดับการลดทอนของสัญญาณ 14.688 dB

รูปที่ 4.14 แสดงเปรียบเทียบการทำนายค่าการลดทอนของสัญญาณ โดยใช้ ITU-R Model และค่าเฉลี่ยของข้อมูล 3 ปี ตั้งแต่ เดือนสิงหาคม พ.ศ 2547 ถึง เดือน กรกฎาคม พ.ศ.2550 เป็นการนำข้อมูลค่าการลดทอนของสัญญาณที่วัดและค่าการทำนายการลดทอนของสัญญาณมาเฉลี่ย และทำการวิเคราะห์ข้อมูล เปรียบเทียบค่าการลดทอนของ ITU-R ที่คำนวณ

จากรูปจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยการลดทอนของสัญญาณที่วัดและค่าเฉลี่ยการทำนายการลดทอนของสัญญาณทั้ง 3 ปีมีค่า ต่างกันอยู่ 2.688 dB และมีค่าใกล้เคียงกับ ITU-R บริเวณ N



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าการทำนายการรบกวนเฉลี่ย 3 ปี ระหว่าง ต.ค.47 – ค.ค.50 และค่า ITU-R

สรุปผลการทดลอง เมื่อ ได้ข้อมูลของการรบกวนของสัญญาณและอัตราการตกของฝน ทางด้านสถิติแล้ว จะนำข้อมูลดังกล่าว ไปออกแบบจำลองการรบกวนของสัญญาณเนื่องจากฝน เพื่อที่จะทำนายการรบกวนของสัญญาณเนื่องจากฝน โดยวิธีการทำนายการรบกวนของสัญญาณ เนื่องจากฝนนั้นเริ่มต้นจากเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำค่าที่ได้นั้น ไปทำนาย ระดับการรบกวนของที่ เปอร์เซ็นต์ต่างๆ การรบกวนจากฝนไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับอัตราการตกของ ฝน แต่ยังขึ้นอยู่กับการกระจายของขนาดและมุมของเม็ดฝนที่ไม่เป็นทรงกลม จะให้ค่าการ รบกวนที่ต่างกันอย่างมาก สำหรับอัตราการตกของฝนที่เก็บข้อมูลระยะยาวจะใช้เปอร์เซ็นต์การ กระจายสะสมมาวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์และใช้เป็นฐานข้อมูลต่อไป

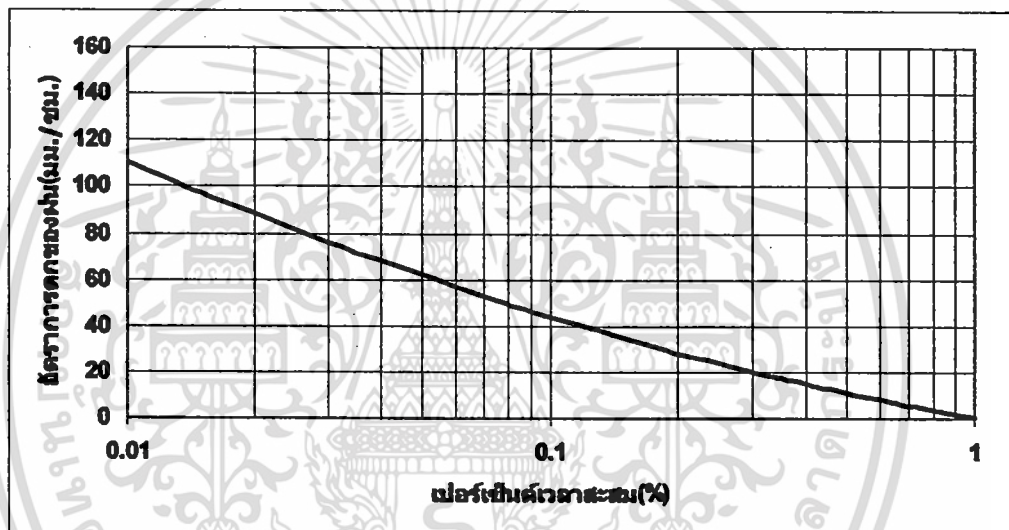
การรบกวนของสัญญาณเนื่องจากฝนนั้นจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการตกของฝน ในอัตรา การตกของฝนที่มีปริมาณสูงนั้น จะมีผลทำให้ระดับการรบกวนของสัญญาณสูงขึ้นด้วย ผลกระทบของสัญญาณความถี่เนื่องจากฝนในย่านความถี่ Ku ได้ทำการเก็บข้อมูลเป็นรายวัน รายเดือน รายปี และนำข้อมูลที่ได้ มาวิเคราะห์หาระดับการรบกวนของสัญญาณความถี่เนื่อง จากฝน ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์ผลของข้อมูลในเชิงสถิติ จากผลการวิจัย จะเห็น ได้ว่าเมื่อมี ปริมาณฝนตกมีค่าสูง จะทำให้ระดับของสัญญาณลดลงตามไปด้วย บางครั้งอาจทำให้สัญญาณ ขาดหายไป จนไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ดังนั้นการศึกษาผลกระทบการรบกวนของ สัญญาณเนื่องจากฝน คงจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบการสื่อสารผ่านความถี่ในอนาคด ภายในพื้นที่ใกล้แนวเส้นศูนย์สูตรที่มีปริมาณฝนตกมากในแต่ละปี เช่น ประเทศไทย เป็นต้น

## บทที่ 5

### การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในแนว Slant Path

ในการทำข้อมูลส่วนนี้จะคล้ายกับบทที่ 4 การกระจายสะสมแบบรายเดือน เป็นการนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนของแต่ละวันมาทำเป็นข้อมูลเชิงสถิติ โดยทำเป็นเปอร์เซ็นต์ความถี่สะสมรายเดือน ซึ่งส่วนนี้ใช้ข้อมูล 6 เดือน ในปี 2550 คือ กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2550 โดยทำข้อมูล 2 ส่วน คือ เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ DCAP และ เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ KMITL เพื่อนำข้อมูลทั้งสอง มาหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์เกี่ยวกับการคำนวณโดย ITU-R model ต่อไป

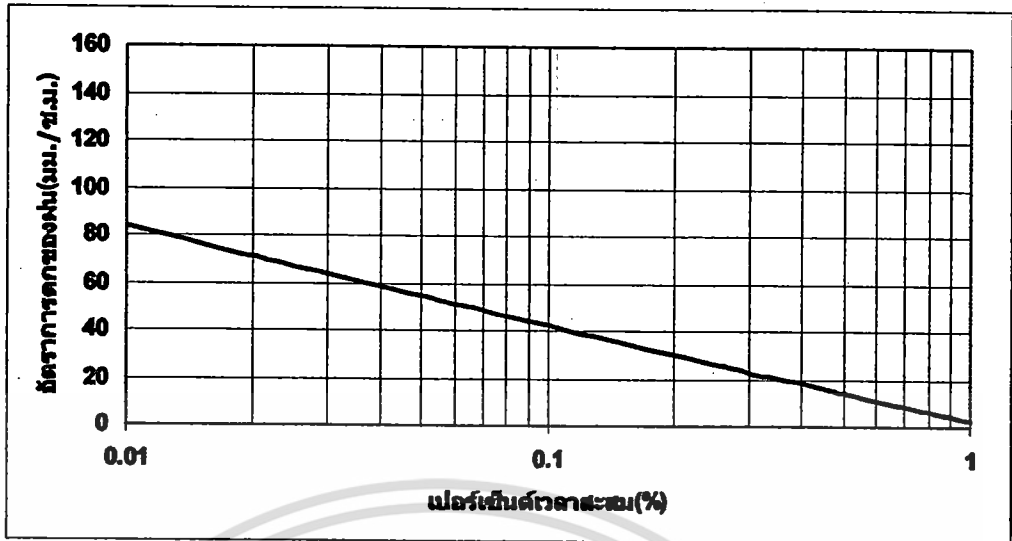
#### 5.1 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมของฝน



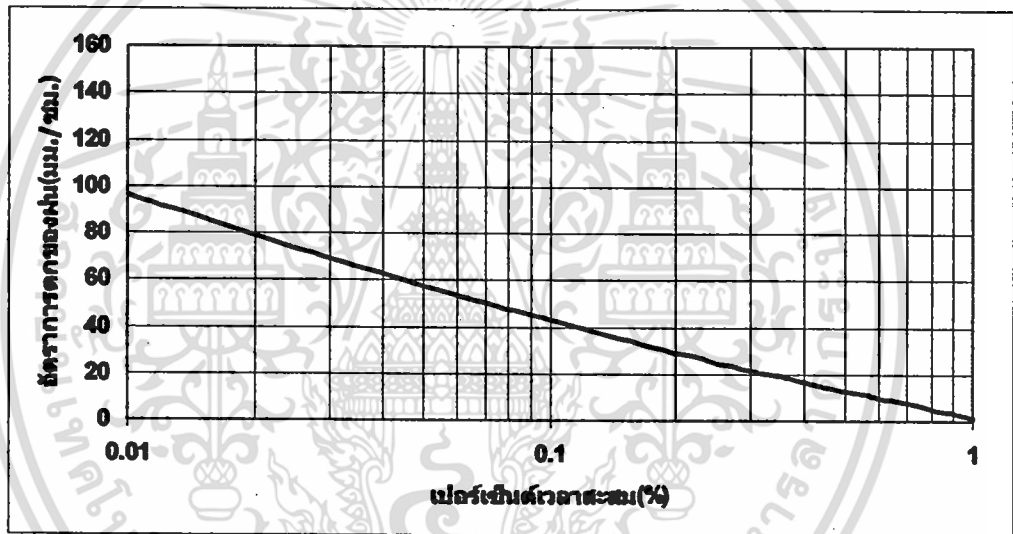
รูปที่ 5.1 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมของฝนที่ KMITL

จากรูปที่ 5.1 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ KMITL อัตราการตกของฝนที่ เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 110 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 5.2 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ DCAP อัตราการตกของฝนที่ เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 85 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จากรูป แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมของฝน มีความแตกต่างกัน 25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.2 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมของที่ DCAP



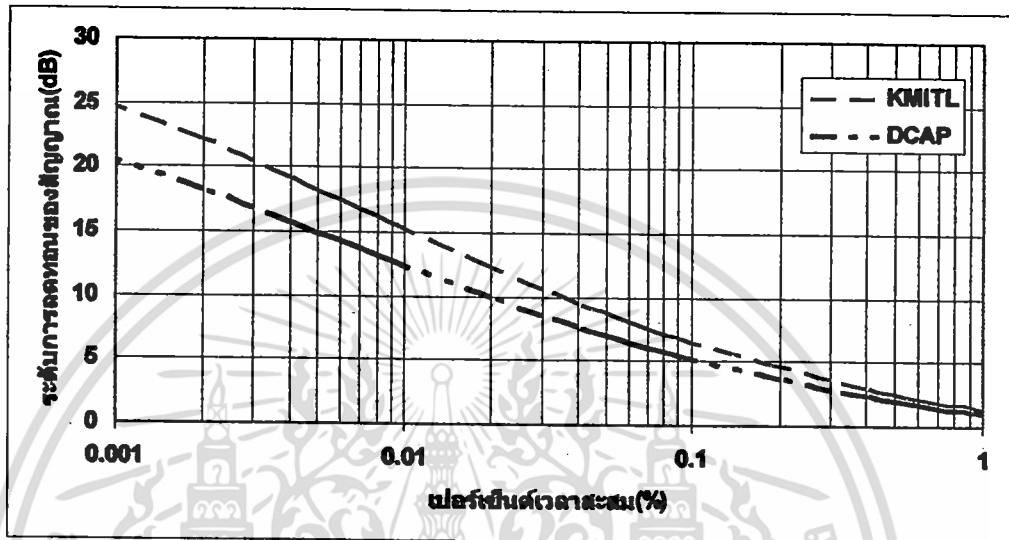
รูปที่ 5.3 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมเฉลี่ยของฝน ที่ KMITL และ DCAP

จากรูปที่ 5.3 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมเฉลี่ยที่ KMITL และ DCAP โดยนำข้อมูลของทั้งสอง มาหาเฉลี่ยค่าอัตราการตกของฝน ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 96 มิลลิเมตรต่อ ชั่วโมง

## 5.2 การเปรียบเทียบข้อมูลกับการคำนวณค่าโดย ITU-R model

ในการทดลองศึกษาการลดทอนของสัญญาณในแนว Slant Path โดยการรับสัญญาณที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากรูปแสดงการลดทอนของสัญญาณแบบเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายเดือน ระยะเวลา 6 เดือน ตั้งแต่วันที่ กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2550

รูปที่ 5.4 การลดทอนของสัญญาณในแนว Slant Path ในระยะเวลา 6 เดือน ที่ KMITL และ DCAP ตั้งแต่ เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2550ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2550 ค่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.001 เปอร์เซ็นต์ KMITL คือ 24.6434 dB และ 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 15.2494 dB โดยค่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.001 เปอร์เซ็นต์ ที่ DCAP คือ 20.4191 dB และ 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 12.3637 dB

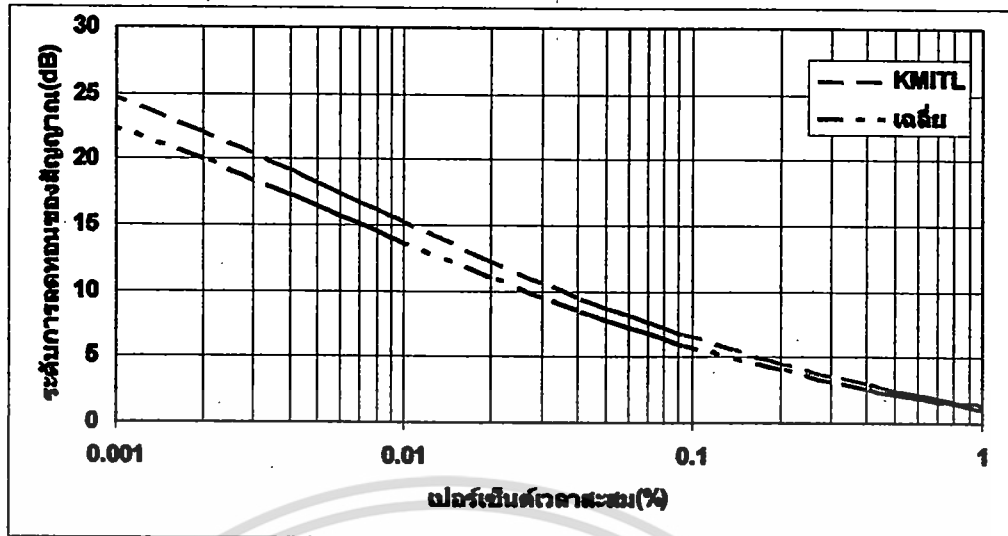


รูปที่ 5.4 การลดทอนของสัญญาณในแนว Slant Path ในระยะเวลา 6 เดือน ก.ค. 50- ธ.ค. 50 ที่ KMITL และ DCAP

### 5.3 การเปรียบเทียบข้อมูลแบบเฉลี่ยกับการคำนวณค่าโดย ITU-R model

โดยในการเปรียบเทียบการศึกษาราคาการลดทอนของสัญญาณ ในแนว Slant Path เมื่อได้ข้อมูลการวัดปริมาณน้ำฝน ทั้ง 2 ตำแหน่ง และทำการเปลี่ยนปริมาณการตกของฝนให้เป็นอัตราการตกฝน แบบเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายเดือน จากนั้นจะนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลมาคำนวณค่าโดย ITU-R ที่ความถี่ 12 GHz และทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบต่อไป

รูปที่ 5.5 การลดทอนของสัญญาณในแนว Slant Path ในระยะเวลา 6 เดือน ที่ KMITL และ DCAP ตั้งแต่ เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2550ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2550 ค่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.001 เปอร์เซ็นต์ KMITL คือ 24.6434 dB และ 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 15.2494 dB โดยค่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.001 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย คือ 22.3277dB และ 0.01 เปอร์เซ็นต์ คือ 13.6597 dB



รูปที่ 5.5 การลดทอนของสัญญาณในแนว Slant Path ในระยะเวลา 6 เดือน ก.ค. 50- ธ.ค. 50 ที่ KMITL และ ค่าเฉลี่ย

โดยที่การลดทอนของสัญญาณในแนว Slant Path ที่ KMITL และค่าเฉลี่ย ที่คำนวณโดย ITU-R จากปริมาณน้ำที่ทำการวัดทั้ง 2 ตำแหน่ง เพื่อหาค่าระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน และทำการวิเคราะห์การลดทอนที่เกิดขึ้นในแนว Slant Path ในเชิงสถิติ แบบเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม จากการวิจัยจะพบว่าที่ เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.001 เปอร์เซ็นต์ ระดับการลดทอนของสัญญาณมีความต่างกัน 2.3157 dB และ ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ ระดับการลดทอนของสัญญาณมีความต่างกัน 1.5897 dB

สรุปผลการทดลอง ในงานวิจัยนี้ ศึกษาวิเคราะห์โดยวัดการตกของฝน 2 จุด และนำมาวิเคราะห์โดยใช้หลักการของแบบจำลอง ITU-R เพื่อเป็นประโยชน์ในการใช้แก้ปัญหาการลดทอนของสัญญาณต่อไป จากการวิเคราะห์ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนรายวัน แสดงให้เห็นผลกระทบของสัญญาณความถี่ในแนว Slant Path ได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนได้ ทำให้รู้ค่าปริมาณน้ำฝนในระยะที่ห่างออกไป และสามารถวิเคราะห์ระดับการลดทอนที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้อย่างถูกต้อง การศึกษาการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนรายเดือน และค่าเฉลี่ยของการวัดปริมาณน้ำฝนทั้ง 2 ตำแหน่ง โดยคำนวณค่าระดับการลดทอนโดยใช้ ITU-R ด้วยปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ในช่วงเวลา 6 เดือน ตั้งแต่ เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2550 เปรียบเทียบและศึกษาวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนซึ่งช่วยให้สามารถทราบถึงระดับการลดทอนที่สูญเสียในแนว Slant Path ที่แตกต่างกันไป โดยสามารถใช้เป็นแนวทางในการวิจัย และสามารถนำไปพัฒนาต่อไป

## บทที่ 6

### บทสรุป และข้อเสนอแนะ

#### 6.1 บทสรุป

การลดทอนจากฝนไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับอัตราการตกของฝน แต่ยังขึ้นอยู่กับการกระจายของขนาดและรูปร่างของเม็ดฝนที่ไม่เป็นทรงกลม จะให้ค่าการลดทอนที่ต่างกันอย่างมาก สำหรับอัตราการตกของฝนที่เก็บข้อมูลระยะยาวจะใช้เปอร์เซ็นต์การกระจายสะสมมาวิเคราะห์ข้อมูลการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนนั้นจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการตกของฝน ในอัตราการตกของฝนที่มีปริมาณสูงนั้น จะมีผลทำให้ระดับการลดทอนของสัญญาณสูงขึ้นด้วย ผลกระทบของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนในย่านความถี่ Ku ได้ทำการเก็บข้อมูลเป็นรายวัน รายเดือน รายปี และนำข้อมูลที่ได้จากการ นำมาวิเคราะห์หาระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์ผลของข้อมูลในเชิงสถิติ จากผลการวิจัย จะเห็นได้ว่า เมื่อมีปริมาณฝนตกมีค่าสูง จะทำให้ระดับการลดทอนของสัญญาณสูงตามไปด้วย บางครั้งอาจทำให้สัญญาณขาดหายไป จนไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ตัวอย่างเช่น

ในงานวิจัยนี้เพิ่มการ ศึกษาวิเคราะห์โดยใช้สัญญาณจากการวัดจริง ในเส้นทางการตกของฝนในแนว Slant Path โดยกำหนดจุดวัดสัญญาณดาวเทียม 1 จุด และวัดการตกของฝน 2 จุด นำมาวิเคราะห์โดยใช้หลักการของแบบจำลอง ITU-R เพื่อเป็นประโยชน์ในการใช้แก้ปัญหาการลดทอนของสัญญาณต่อไป จากการวิเคราะห์ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนรายวัน แสดงให้เห็นผลกระทบของสัญญาณดาวเทียมในแนว Slant Path ได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนได้ ทำให้รู้ค่าปริมาณน้ำฝนในแนว Slant Path และสามารถวิเคราะห์ระดับการลดทอนที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนที่สมบูรณ์ได้ การศึกษาการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนรายเดือน และค่าเฉลี่ยของการวัดปริมาณน้ำฝนทั้ง 2 ตำแหน่งระยะเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2550 โดยคำนวณค่าระดับการลดทอนโดยใช้ ITU-R เปรียบเทียบและศึกษาวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน ซึ่งช่วยให้สามารถทราบถึงระดับการลดทอนที่สูญเสียในแนว Slant Path ที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น

จากการวิจัยทำให้ทราบอัตราการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในแนว Slant Path ที่ได้จากการทำนายการลดทอนของ ITU-R Model ทั้ง 2 ที่ โดยมีการลดทอนที่ต่างกัน และค่าการลดทอนเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าค่าการลดทอนที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานนี้ เป็นแนวทางในการวิจัย เพื่อให้สามารถนำไปพัฒนาต่อไป ดังนั้นการศึกษาผลกระทบ การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน คงจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบการสื่อสารผ่าน ความเทียมในอนาคต ภายในพื้นที่ใกล้แนวเส้นศูนย์สูตรที่มีปริมาณฝนตกมากในแต่ละปี เช่น ประเทศไทย ต่อไป

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนรายเดือน จะช่วยให้สามารถทราบถึง ระดับการลดทอนที่สูญเสียในแนว Slant Path ในระดับหนึ่ง ซึ่งในการวิเคราะห์ควรมีข้อมูลที่เป็น รายปี ซึ่งจะสามารถทำให้ค่าข้อมูลมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพื่อใช้ในการออกแบบปรับปรุงการรับ หรือส่งสัญญาณความถี่ความถี่ Ku ต่อไป

จากการศึกษา การลดทอนของสัญญาณความถี่เนื่องจากฝน ในเส้นทางการตกของฝน ในแนว Slant Path ที่ทำการรับสัญญาณของดาวเทียมในย่านความถี่ Ku โดยเพิ่มจุดวัดน้ำฝนใน แนวการแพร่คลื่นเพิ่มขึ้นอีก 1 จุด และทำการรับสัญญาณความถี่เพียง 1 จุด เพื่อการวิเคราะห์ที่ สมบูรณ์ควรเพิ่มเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนอีกจุด ในแนวที่วัดเลขจากแนว Slant Path เพื่อศึกษา ผลกระทบของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในแนว Slant Path ที่ห่างออกไป และเพิ่มการ รับสัญญาณในแนว Slant Path เพื่อวัดสัญญาณความถี่กับการวัดปริมาณน้ำฝนในแนว Slant Path ศึกษาการลดทอนของสัญญาณทั้ง 2 จุด เพื่อให้ได้การวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Kamran Ahmed. Radio Wave Propagation. [Power Point].
- [2] The LESA Project. “เมฆ หมอก และหยดน้ำฟ้า.” [Online] .Available.:  
<http://www.lesa.in.th /index.html>
- [3] Louis J. Ippolito Jr. Radiowave Propagation in Satellie Communications. New York .: Van Nostrand Reinhold. 1986
- [4] ประสิทธิ์ ประทีปมงคลการ. 2533. หลักการระบบสื่อสาร. กรุงเทพมหานคร. หจก.เอช-เอนการพิมพ์.
- [5] JE.Allnutt. “Satellite to ground radio wave propagation, Theory practice and system impact at frequency above 1 GHz,” IEE, electromagnetic wave series 29. pp 165-168.
- [6] Recommendation. ITU-R P.618-8. “Propagation data and prediction methods required for the design of Earth space Telecommunication system,” ITU-R P.618-8, 2003.
- [7] Recommendation. ITU-R P.839-3. “Rain height model for prediction methods,” ITU-RP.839-3, 2001.
- [8] Recommendation. ITU-R P.837-4. “Characteristics of precipitation for propagation modeling” ITU-R P.837-4, 2001.
- [9] Recommendation. ITU-R P.838-3. “Specific attenuation model for rain for use in predication methods” ITU-R P.838-3, 2005.