

ชุดทดลองและการทดลองเพื่อการศึกษาค้นคว้าการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝน

การศึกษาค้นคว้าการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนสามารถทำได้โดยทำการตรวจวัดระดับสัญญาณและเฟสของสัญญาณโพลาริซ์ร่วมชั่วและโพลาริซ์ข้ามชั่วในข่ายเชื่อมโยงใด ๆ และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการตรวจวัดระหว่างเวลาที่ไม่ฝนตกและเวลาที่มีฝนตก ผลการตรวจวัดนอกจากจะถูกนำไปใช้ในการศึกษาเชิงวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยและกลไกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนแล้วยังเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและปรับปรุงขาสื่อสารด้วย แต่การศึกษาในลักษณะเช่นนี้ต้องรอให้เกิดฝนตกจริงและอาศัยการบันทึกข้อมูลเป็นเวลานาน ทำให้เป็นการไม่สะดวกทั้งในด้านอุปกรณ์และเวลาที่จะทำการศึกษา ชุดทดลองจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจที่จะใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้านี้

เป้าหมายหลักของการทดลองโดยอาศัยชุดทดลองก็เพื่อศึกษาค้นคว้าการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนในขั้นต้นโดยทดแทนการศึกษาด้วยวิธีการตรวจวัดในสภาพจริง ดังนั้นผลการทดลองต้องแสดงการเปลี่ยนโพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากฝนได้อย่างเหมาะสมที่สุดโดยสามารถปรับค่าปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเปลี่ยนโพลาริเซชันได้ด้วย ซึ่งค่าปัจจัยเหล่านี้ได้จากการวิเคราะห์ในบทที่ผ่านมา ในส่วนของการพัฒนาชุดทดลองในบทนี้จะกล่าวเฉพาะการออกแบบและการทดสอบอุปกรณ์ที่ต้องใช้เท่านั้น จากนั้นจึงนำเสนอวิธีการทดลองและผลการทดลอง และจะนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาชุดทดลองให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นต่อไป

แนวคิดในการออกแบบการทดลอง

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่าผลการทดลองเพื่อการศึกษาค้นคว้าการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนโดยอาศัยชุดทดลองต้องแสดงการเกิดการเปลี่ยนโพลาริเซชันได้อย่างเหมาะสม การทดลองโดยอาศัยชุดทดลองจึงจะสามารถทดแทนการตรวจวัดในสภาพจริงได้ ชุดทดลองและการทดลองที่ถูกออกแบบขึ้นต้องจำลองการแพร่กระจายคลื่นผ่านบริเวณที่มีฝนตกโดยสามารถปรับค่าปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนโพลาริเซชันได้ในระดับหนึ่ง นอกจากแนวคิดในการออกแบบชุดทดลองให้จำลองระบบจากสภาพจริงแล้ว ปัจจัยสำคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบชุดทดลองคือ ความเป็นไปได้ในการจัดสร้างชุดทดลองจริงโดยอาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์บางส่วนที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการพื้นฐานไฟฟ้าสื่อสาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และจัดซื้อและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองบางส่วนภายในวงเงินงบประมาณ ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนโพลาริเซชันที่ได้จากการวิเคราะห์ในบทที่ 3 บางประการซึ่งไม่เป็นอิสระต่อกันจะถูกนำมาพิจารณาเพื่อหาปัจจัยหลักที่สำคัญเท่านั้นเพื่อให้มีความเป็นไปได้ในการสร้างชุดทดลองด้วยโครงสร้างที่ง่ายและราคาไม่สูง หลักการพิจารณาเพื่อเลือกค่าปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนโพลาริเซชันซึ่งเป็นแนวทางในการออกแบบการทดลอง และโครงสร้างของชุดทดลองมีรายละเอียดดังในหัวข้อต่อไปนี้

1. ปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการเปลี่ยนโพลาริเซชัน

การเปลี่ยนโพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางผ่านบรรยากาศขณะที่มีฝนตกซึ่งถูกพิจารณาว่าเป็นตัวกลางเอกพันธ์ที่มีลักษณะสมบัติสูญเสียและแอนไอโซทรอปิก เกิดจากแนวโพลาริเซชันของคลื่นไม่ตรงกับแนวแกนหลักของตัวกลาง แนวโพลาริเซชันเดิมและแนวโพลาริเซชันใหม่ที่พิจารณาในทิศการแพร่กระจายเดิมจะทำมุมเท่ากับมุมเอียงปรากฏ θ_1 ดังแสดงตามรูป 3.8 โดยมุมเอียงปรากฏมีความสัมพันธ์กับมุมเอียงเชิงกายภาพ θ_0 , มุมเอียงสัมพันธ์หรือมุมตกกระทบ α_1 , ทิศการแพร่กระจายคลื่น α_0 และทิศการเคลื่อนที่ของลม φ ตามสมการ (3.9) และ (3.5) (พิจารณารูป 3.7 ประกอบ)

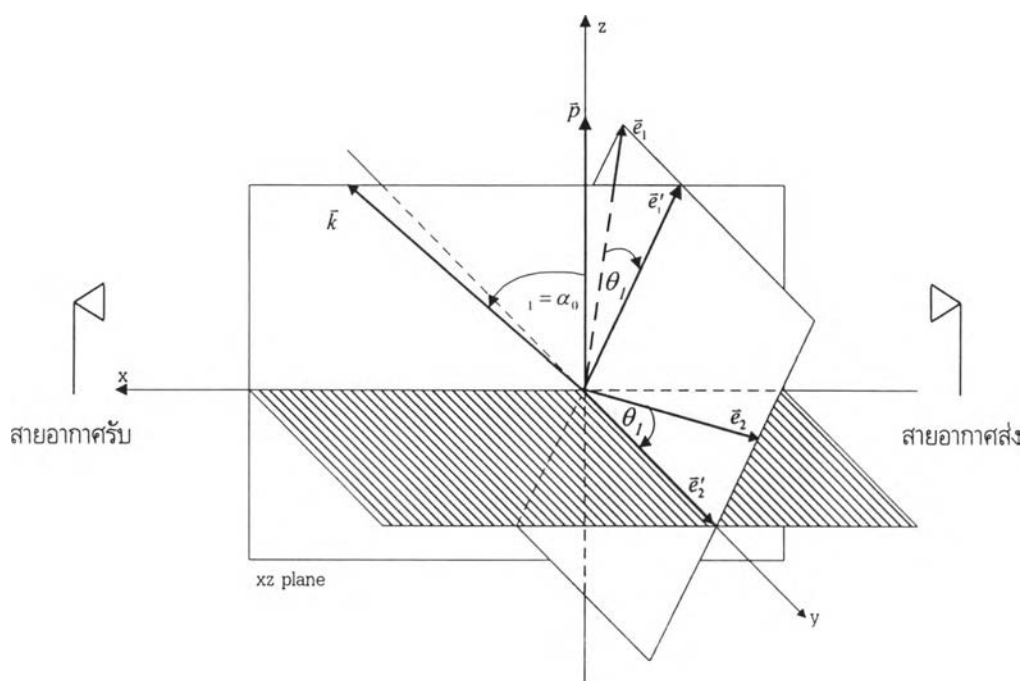
อาศัยแบบจำลองเรขาคณิตและสมการการส่งผ่านจากบทที่ 3 การเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนจะเกิดในกรณีที่มุมเอียงปรากฏมีค่าไม่เท่ากับ 0 ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำให้เกิดฝนจำลองจึงต้องออกแบบให้สามารถปรับค่าปัจจัยต่าง ๆ เพื่อให้มุมเอียงปรากฏมีค่าไม่เท่ากับ 0 โดยอาศัยรูป 3.7 พบว่ามุมเอียงปรากฏ θ_1 จะมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อแกนของอนุภาคฝนอยู่บนระนาบที่ประกอบด้วย \bar{k} และ \bar{e}_1 โดยที่ \bar{k} และ \bar{e}_1 หมายถึงเวกเตอร์หนึ่งหน่วยแสดงทิศการแพร่กระจายและเวกเตอร์หนึ่งหน่วยแสดงแนวโพลาริเซชันที่ 1 ตามลำดับ ตามรูป 3.21 ระนาบดังกล่าวคือระนาบ xz และจากสมการ (3.4) ซึ่งได้นำมาแสดงใหม่ข้างล่างนี้

$$\bar{p} = \bar{x}(\sin \theta_0 \cos \varphi) + \bar{y}(\sin \theta_0 \sin \varphi) + \bar{z}(\cos \varphi) \dots\dots\dots (3.4)$$

การที่แกนของอนุภาคฝนวางตัวบนระนาบ xz หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าแกนของอนุภาคฝนไม่มีองค์ประกอบในแนวแกน y เป็นไปได้ในกรณีที่ มุม θ_0 เท่ากับ 0 และ/หรือมุม φ เท่ากับ 0 ดังนั้นเพื่อให้แนวโน้มของผลการตรวจวัดโดยอาศัยชุดทดลองสามารถแสดงการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนได้ จึงต้องออกแบบให้ชุดทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าว

ระนาบที่ประกอบด้วย \bar{k} และ \bar{e}_1 ที่อ้างตามรูป 3.7 คือระนาบ xz เป็นระนาบที่ถูกกำหนดให้คงที่ตามการนิยาม \bar{k} และ \bar{e}_1 ขณะที่ชุดทดลองซึ่งจะถูกจัดสร้างขึ้นจำลองการตกของฝนโดยอาศัยสมมติฐานว่าเนื่องจากไม่สามารถจำลองความเร็วของลมในแนวระดับซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวิถีการเคลื่อนที่และแนว

การวางตัวของอนุภาคฝน ทำให้ฝนจากชุดทำฝนจำลองตกในบริเวณอากาศหนึ่ง ในลักษณะที่วิถีการเคลื่อนที่และแกนของอนุภาคฝนวางตัวอยู่ในแนวตั้งเสมอ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการแสดงปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการเปลี่ยนโพลาไรเซชันเนื่องจากฝนตามเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น ในที่นี้จึงได้เสนอแบบจำลองเชิงเรขาคณิตแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศการแพร่กระจายคลื่น และแนวการวางตัวของอนุภาคฝนอีกครั้งโดยกำหนดให้แกนของอนุภาคฝนวางตัวบนแกน z และแนวหน้าตัดด้านข้างของอนุภาคฝนคือแนวแกน x ดังแสดงตามรูป 4.1 สำหรับเวกเตอร์แสดงแนวการเคลื่อนที่ของลมมีค่าเท่ากับ 0 ตามสมมติฐานดังกล่าวข้างต้น

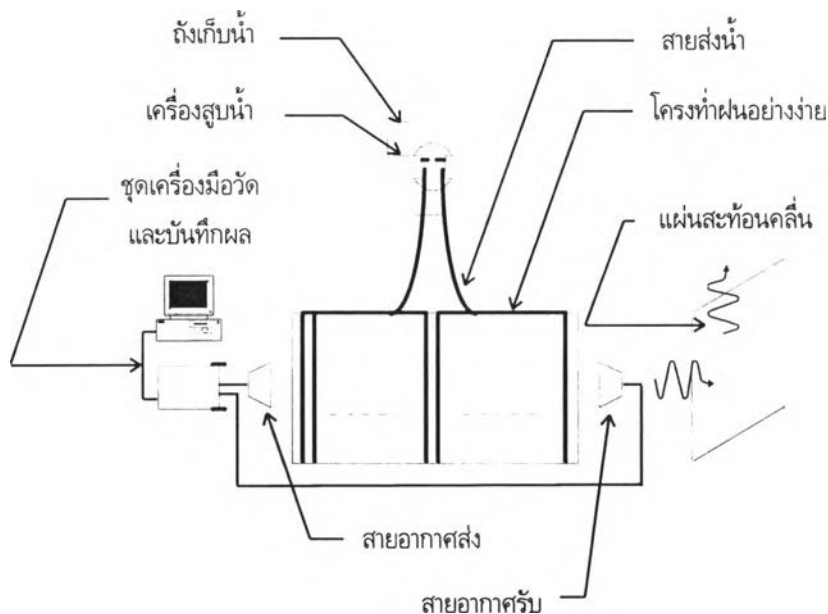


รูป 4.1 แบบจำลองเชิงเรขาคณิตแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนโพลาไรเซชัน โดยกำหนดให้แกนของอนุภาคฝนวางตัวบนแกน z

สายอากาศรับและสายอากาศส่งที่ปรากฏประกอบแบบจำลองเชิงเรขาคณิตในรูป 4.1 แสดงลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ให้เป็นไปตามการจำลองสภาพการแพร่กระจายคลื่น โดยตัวแบบจำลองแทนบริเวณที่มีฝนตกเนื่องจากชุดทำฝนจำลอง ในกรณีนี้แสดงตามรูป สายอากาศรับและสายอากาศส่งนอกจากทำมุมเบนออกจากระนาบ xz เพื่อให้มุม $\theta_1 \neq 0$ แล้วยังสามารถปรับให้มีมุมก้มหรือมุมเงยให้เท่ากับ $90^\circ - \alpha_0$ เพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงสภาพการแพร่กระจายจริงมากขึ้นด้วย แม้ว่ามุมก้มหรือมุมเงยของสายอากาศตามแบบจำลองดังรูปไม่มีผลต่อการเปลี่ยนโพลาไรเซชันก็ตาม

2. โครงสร้างของชุดทดลอง

ชุดทดลองเพื่อการศึกษาปัญหาการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่เป็นการจำลองสภาพการแพร่กระจายคลื่น และส่วนที่เป็นเครื่องมือวัดและบันทึกผล ในส่วนแรกหรือส่วนจำลองสภาพการแพร่กระจายคลื่นนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์จ่ายน้ำเพื่อทำให้เกิดฝนจำลอง อุปกรณ์ตัวนี้ต่อไปจะเรียกว่าโครงทำฝนอย่างง่ายจะรับน้ำจากสายส่งที่ต่ออยู่กับเครื่องสูบน้ำซึ่งสูบน้ำมาจากถังเก็บน้ำอีกทอดหนึ่ง นอกจากนั้นแล้วส่วนการจำลองสภาพการแพร่กระจายคลื่นยังต้องมีสายอากาศรับและสายอากาศส่งด้วย สำหรับในส่วนเครื่องมือวัดและบันทึกผลจำเป็นที่จะต้องให้ค่าที่ได้จากการตรวจวัดถูกบันทึกอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากต้องการบันทึกข้อมูลในแต่ละเวลาตามลักษณะการตรวจวัดจริง ในที่นี้จึงได้นำคอมพิวเตอร์ที่มีการ์ดและสายเชื่อมอุปกรณ์ต่อร่วม (GPIB) ต่อเข้ากับเครื่องมือวัดเพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โครงสร้างของชุดทดลองทั้งสองส่วนที่กล่าวมาสามารถแสดงได้ดังรูป 4.2



รูป 4.2 โครงสร้างชุดทดลองเพื่อการศึกษาปัญหาการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝน

จากโครงสร้างชุดทดลองตามรูป 4.2 องค์ประกอบสำคัญในส่วนจำลองสภาพการแพร่กระจายคลื่นคือโครงทำฝนอย่างง่าย เนื่องจากเป็นตัวควบคุมลักษณะสมบัติทางกายภาพของฝนซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนโพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับฝนซึ่งโครงทำฝนสามารถควบคุมได้เป็นค่าปัจจัยรวมคือปริมาณน้ำซึ่งแสดงอยู่ในรูปอัตราการตกในหน่วยมิลลิเมตรต่อนาทีหรือมิลลิเมตรต่อชั่วโมง ส่วน

ค่าปัจจัยค่าอื่นอันได้แก่ ขนาดและรูปร่างของอนุภาค ความเร็วปลายในการตก เป็นลักษณะสมบัติเฉพาะทางธรรมชาติซึ่งโครงทำฝนอย่างง่ายไม่สามารถจำลองได้ สำหรับมุมเอียงเชิงกายภาพของอนุภาคฝนถือเป็นค่าปัจจัยที่ไม่สำคัญเนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของมุมเอียงปรากฏ ซึ่งค่าปัจจัยค่านี้สามารถปรับได้โดยการเปลี่ยนแนวการวางตัวของสายอากาศรับและสายอากาศส่งเท่านั้น

ในส่วนการออกแบบ การดำเนินการจัดสร้างรวมถึงงบประมาณที่ใช้ และการทดสอบอุปกรณ์ในชุดทดลองมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

ชุดทดลองเพื่อการศึกษาค้นคว้าการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝน

การออกแบบชุดทดลองเพื่อการศึกษาค้นคว้าการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนตามโครงสร้างดังรูป 4.2 โดยเฉพาะในส่วนโครงทำฝนอย่างง่าย ได้คำนึงถึงแนวโน้มของผลการตรวจวัดโดยอาศัยผลการวิเคราะห์หาผลต่างของการลดทอนและผลต่างของการเลื่อนเฟสดังแสดงในบทที่ 3 เพื่อให้ชุดทดลองที่ถูกจัดสร้างขึ้นสามารถแสดงการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนได้ นอกจากนี้เพื่อความเป็นไปได้ในการดำเนินการจัดสร้างภายในวงเงินงบประมาณ การออกแบบจึงต้องพิจารณาคัดเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ประกอบเป็นชุดทดลองด้วย

รายละเอียดของอุปกรณ์ในแต่ละรายการจะแยกนำเสนอเป็นสองส่วนคือ ในหัวข้ออุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของชุดทดลองกล่าวถึงการออกแบบ การจัดสร้าง และงบประมาณในการดำเนินการ และหัวข้อการทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองกล่าวถึงการทดสอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นว่าเป็นไปตามที่ได้ทำการออกแบบหรือไม่ รวมถึงการหาย่านที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการทดลองด้วย

1. อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของชุดทดลอง

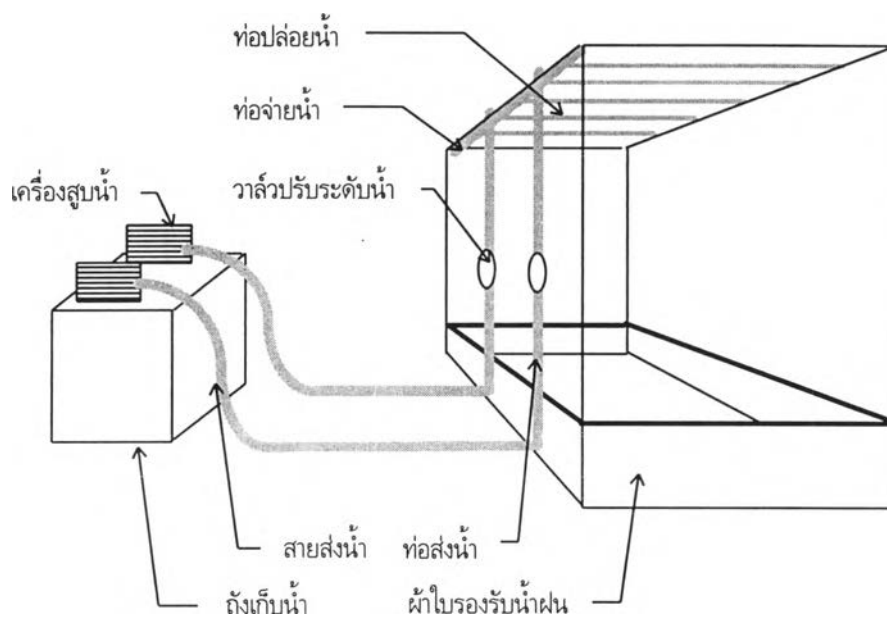
จากโครงสร้างของชุดทดลองตามรูป 4.2 สามารถแบ่งอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในชุดทดลองออกเป็น 3 กลุ่มได้ดังนี้คือ 1. ชุดทำฝนจำลอง 2. ชุดตรวจวัดและบันทึกข้อมูล และ 3. อุปกรณ์เสริม อุปกรณ์ในแต่ละกลุ่มมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

1.1 ชุดทำฝนจำลอง

ชุดทำฝนจำลองประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วนได้แก่ 1. โครงทำฝนอย่างง่าย และ 2. อุปกรณ์จ่ายน้ำให้โครงทำฝนอย่างง่าย อุปกรณ์หลักของชุดทำฝนจำลองคือโครงทำฝนอย่างง่ายมีลักษณะเป็นโครงเหล็กทรง

สี่เหลี่ยมที่ด้านบนเป็นที่วางท่อน้ำพลาสติกซึ่งเจาะรูไว้สำหรับปล่อยน้ำฝนจำลอง โครงทำฝนอย่างง่ายต่อกับอุปกรณ์จ่ายน้ำโดยใช้ท่อพลาสติกสำหรับส่งน้ำเชื่อมระหว่างท่อจ่ายที่อยู่ด้านบนของโครงและสายส่งน้ำซึ่งต่อกับเครื่องสูบน้ำ โดยที่เครื่องสูบน้ำสูบน้ำจากถังเก็บขนาด 1.08³ ลูกบาศก์เมตร แผนภาพการต่ออุปกรณ์ชุดทำฝนจำลองแสดงดังรูป 4.3

รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ทั้งสามทั้งในด้านข้อมูลทางกายภาพและวัสดุที่นำมาประกอบถูกแสดงในแต่ละหัวข้อ โดยนำเสนอในรูปแบบตารางเพื่อความสะดวกต่อการแสดงข้อมูลและรายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละตัว



รูป 4.3 แผนภาพการต่ออุปกรณ์ชุดทำฝนจำลอง

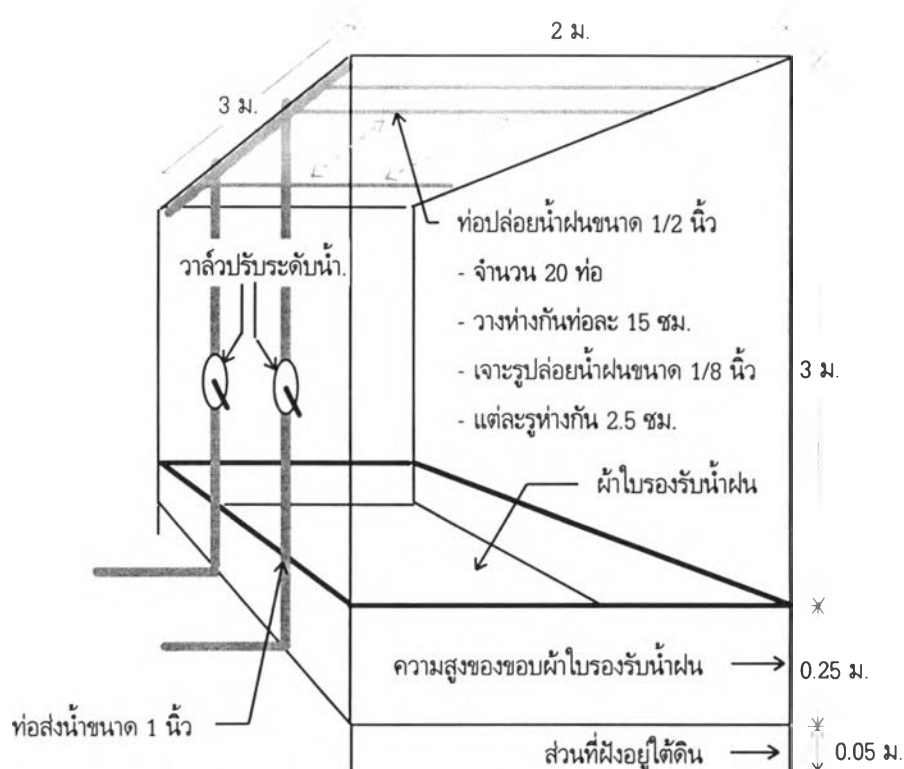
1.1.1 โครงทำฝนอย่างง่าย

โครงทำฝนอย่างง่ายมีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ ตัวโครงและท่อน้ำสำหรับปล่อยน้ำฝน องค์ประกอบและมิติของโครงทำฝนอย่างง่ายมีลักษณะดังรูป 4.4 สำหรับรูปโครงทำฝนที่ประกอบเรียบร้อยแล้วแสดงดังรูป 4.5 โดยรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลทางกายภาพและวัสดุที่นำมาประกอบเป็นโครงทำฝนอย่างง่ายนำเสนอในตาราง 4.1

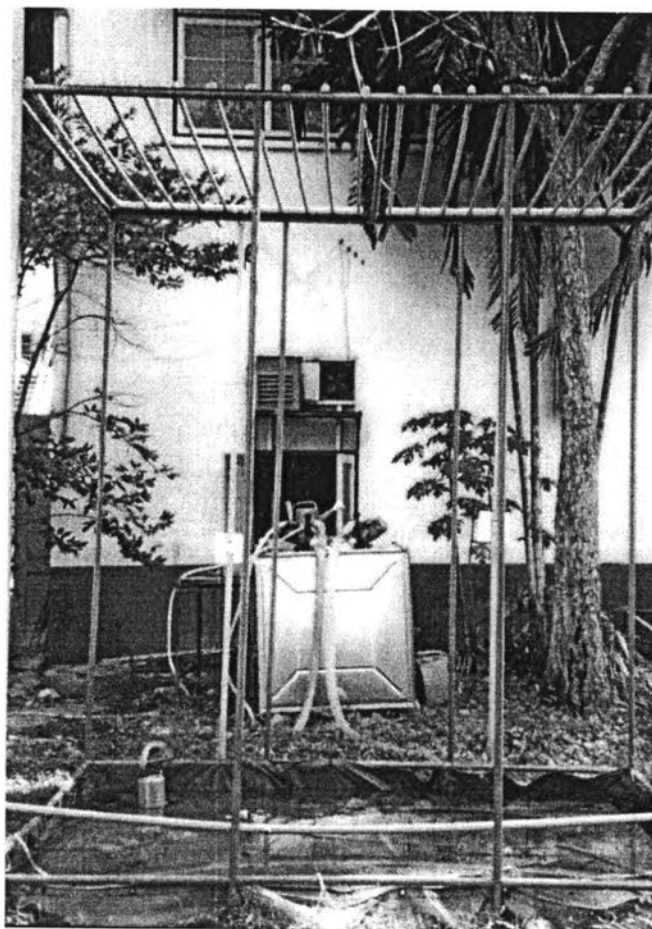
ตาราง 4.1 ข้อมูลทางกายภาพและรายละเอียดเกี่ยวกับ
วัสดุที่นำมาประกอบเป็นโครงทำฝนอย่างง่าย

รายการ	จำนวน	วัสดุ	รายละเอียด
1. ตัวโครง	1	- เหล็กท่อนกลมกลาง, ทน 1 มม., เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว	- กว้าง 2 ม., ยาว 3 ม., สูง 3.25 ม.
2. ท่อปล่อยน้ำฝน	20	- ท่อพีวีซีเบอร์ 13.5, เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว	- วางห่างกันท่อละ 15 ซม. - เจาะรูปล่อยน้ำฝน เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว - แต่ละรูห่างกัน 2.5 ซม.
3. ท่อจ่ายน้ำ	2	- ท่อพีวีซีเบอร์ 13.5, เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว	- ยาว 1.35 ม.
4. ท่อส่งน้ำ	2	- ท่อพีวีซีเบอร์ 13.5, เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว	- ยาว 3.25 ม.
5. วาล์วปรับระดับ	2	- วาล์วเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว	-
6. ผ้าใบรองรับน้ำฝน	1	- ผ้าใบพลาสติก	กว้าง 2 ม., ยาว 3 ม., สูง 0.25 ม.,

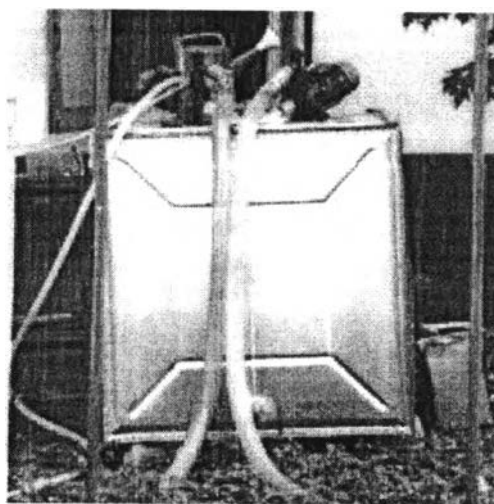
ขนาดของวัสดุใช้ตามความนิยมในเชิงพาณิชย์



รูป 4.4 องค์ประกอบและมิติของโครงทำฝนอย่างง่าย



รูป 4.5 โครงทำฝนอย่างง่าย



รูป 4.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายน้ำให้โครงทำฝนอย่างง่าย

1.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายน้ำให้โครงทำผอย่างง่าย

การจ่ายน้ำให้โครงทำผอย่างง่ายทำโดยใช้เครื่องสูบน้ำแบบทอยโซ่ง (centrifugal pump) จำนวน 2 เครื่องสูบน้ำจากถังเก็บน้ำขนาด 1.08³ ลูกบาศก์เมตรผ่านทางสายยางส่งน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้วที่ต่ออยู่กับท่อส่งน้ำของโครงทำผอย่างง่าย ภาพอุปกรณ์ทั้งหมดของชุดจ่ายน้ำแสดงในรูป 4.6 โดยรายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละชิ้นมีสรุปในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายน้ำให้โครงทำผอย่างง่าย

รายการ	จำนวน	วัสดุ	รายละเอียด
1. ถังเก็บน้ำ	1	-	- กว้าง 1.08 ม., ยาว 1.08 ม., สูง 1.08 ม.
2. เครื่องสูบน้ำ	2	- เครื่องสูบน้ำแบบทอยโซ่ง (centrifugal pump)	- กำลัง 740 วัตต์, หัวน้ำ 19.8 ม. 2850 รอบต่อนาที
3. สายส่งน้ำ	2	- สายยางเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว	- ยาว 3 ม.

1.2 ชุดตรวจวัดและบันทึกข้อมูล

การตรวจวัดสัญญาณในการทดลองทำโดยใช้สายอากาศส่งและรับคลื่นที่แพร่กระจายผ่านโครงทำผอย่างง่าย สายอากาศทั้งสองเป็นสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดที่ส่วนที่เป็นปากแตรทำโดยการพับแผ่นอะลูมิเนียมตามที่ได้ออกแบบไว้ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายพลังงานให้สายอากาศส่งและตรวจวัดสัญญาณที่สายอากาศรับได้คือเครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรและชุดทดสอบพารามิเตอร์เอส ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกบันทึกโดยอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจร รายละเอียดของอุปกรณ์ในชุดตรวจวัดและบันทึกผลแสดงแยกเป็น 3 หัวข้อ คือ 1. สายอากาศรับและสายอากาศส่ง 2. เครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรและชุดทดสอบพารามิเตอร์เอส และ 3. คอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล

1.2.1 สายอากาศรับและสายอากาศส่ง

สายอากาศที่ใช้ในการทดลองเป็นสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดที่มีรูปร่างดังแสดงตามรูป 4.7 โดยความถี่ย่านที่ใช้งานเป็นความถี่ย่านแอล-เอสและความถี่ย่านซีตามตัวปรับต่อท่อนำคลื่นเป็นสายแกนร่วม (waveguide-to-coaxial adaptor) ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการพื้นฐานไฟฟ้าสื่อสาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับส่วนปากแตรของสายอากาศทำจากแผ่นอะลูมิเนียมพับตามแบบที่ได้จากการคำนวณตามวิธีออกแบบสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดของ Aurand (1989)

พารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบสายอากาศคืออัตราขยายของสายอากาศ และขนาดของคอของปากแตรซึ่งกำหนดตามขนาดของตัวปรับต่อท่อนำคลื่นเป็นสายแกนร่วมที่นำมาใช้ โดยขนาดของตัวปรับต่อท่อนำคลื่นเป็นสายแกนร่วมเป็นไปตามมาตรฐานท่อนำคลื่น IEC และ WR ความถี่ที่นำมาใช้ในการคำนวณหา

ขนาดของช่องเปิดของปากแตรสำหรับสายอากาศย่านแอล-เอสเท่ากับ 2.15 จิกะเฮิรตซ์ และสำหรับสายอากาศ ย่านซีเท่ากับ 4.1 จิกะเฮิรตซ์ การคำนวณความยาวและขนาดของปากแตร (P_H หรือ P_E , a_1 และ b_1) เพื่อให้ได้อัตราขยายที่เหมาะสมโดยอาศัยการออกแบบสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดตามวิธีของ Aurand ซึ่งจะกล่าวถึงข้างล่างนี้ไม่ได้คำนึงถึงความสูญเสียภายในตัวสายอากาศ

ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิด

1. คำนวณ a_1 จากสมการต่อไปนี้

$$a_1^4 - a_0 a_1^3 + \frac{3G\lambda^2 b_0}{8\pi\epsilon} a_1 - \frac{3G^2 \lambda^4}{32\pi^2 \epsilon^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

โดยที่
$$\lambda \left(\frac{G}{2\pi} \right)^2 \leq a_1 \leq \lambda \left(\frac{G}{\pi} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

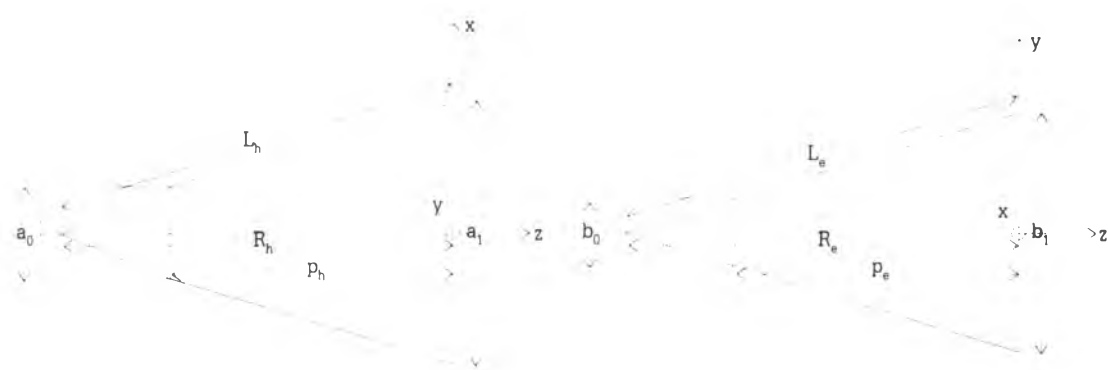
สำหรับ G , λ และ ϵ หมายถึงอัตราขยายของสายอากาศ ความยาวคลื่น และประสิทธิภาพช่องเปิดตามลำดับ โดยที่ ϵ มีค่าเท่ากับ 0.5

2. คำนวณ b_1 โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายและขนาดของช่องเปิดตามสมการต่อไปนี้

$$G = \frac{4\pi\epsilon a_1 b_1}{\lambda^2} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

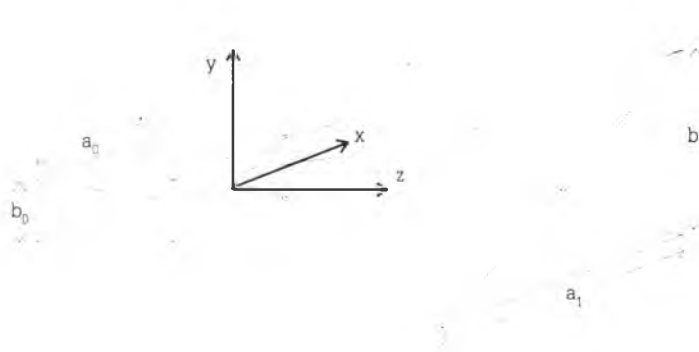
3. ความยาวตามแกนจากคอถึงปากแตรคำนวณจากความสัมพันธ์ข้างล่างนี้

$$P_e = P_h = \frac{a_1(a_1 - a_0)}{3\lambda} \quad \dots\dots\dots (4.4)$$



ก) รูปหน้าตัดด้านบน

ข) รูปหน้าตัดด้านข้าง

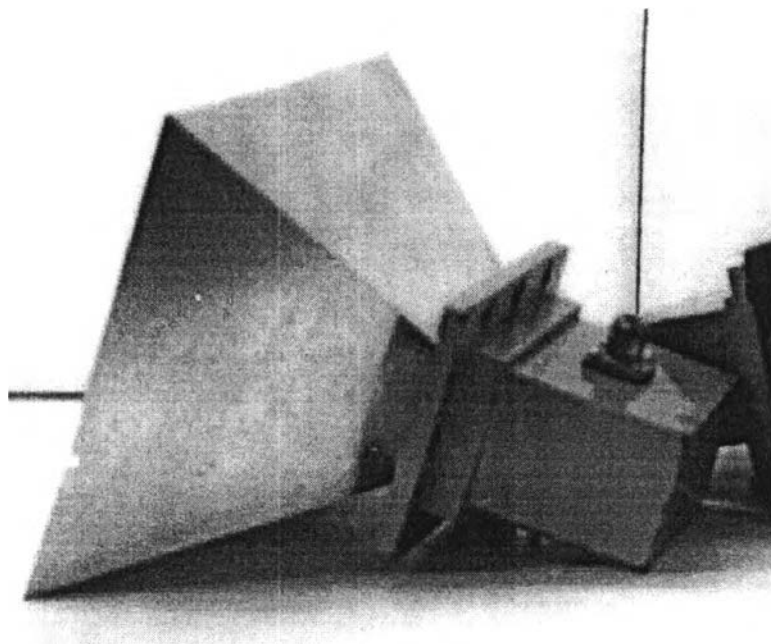


ค) รูปใน 3 มิติ

รูป 4.7 สายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิด

1.2.1.1 สายอากาศแบบปากแตรย่านแอล-เอส (L-S band horn antennas)

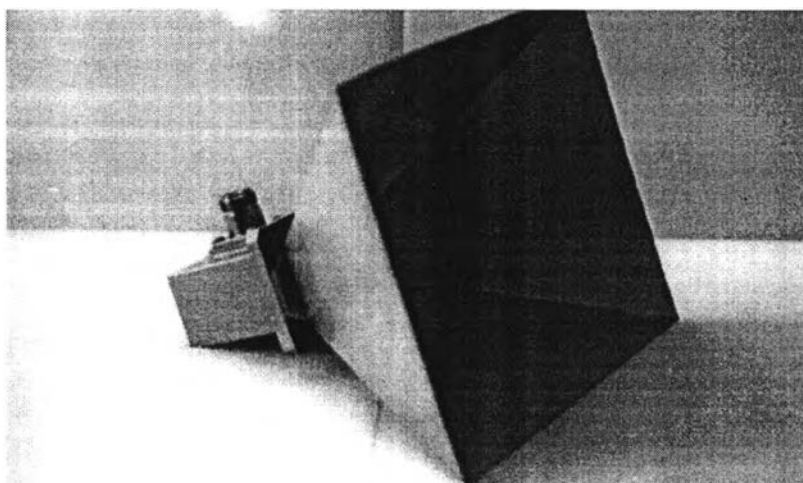
สายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดย่านแอล-เอสออกแบบโดยวิธีของ Aurand ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น อัตราขยายของสายอากาศกำหนดไว้ที่ 15 เดซิเบล ย่านความถี่ใช้งานกำหนดตามตัวปรับต่อหน้าคลื่นเป็นสายแกนร่วมคือ 1.7 - 2.6 จิกะเฮิรตซ์ สำหรับความถี่ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศเท่า 2.15 จิกะเฮิรตซ์ รายละเอียดของสายอากาศทั้งหมดแสดงในตาราง 4.3 สำหรับรูป 4.8 แสดงภาพถ่ายสายอากาศที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว



รูป 4.8 สายอากาศแบบปากแตรย่านแอล-เอส

1.2.1.2 สายอากาศแบบปากแตรย่านซี (C band horn antennas)

สายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดย่านซีกำหนดอัตราขยายของสายอากาศที่ 12 เดซิเบล ย่านความถี่ใช้งาน 3.22 - 4.90 จิกะเฮิรตซ์ สำหรับความถี่ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศเท่า 4.10 จิกะเฮิรตซ์ รายละเอียดของสายอากาศทั้งหมดแสดงในตาราง 4.3 รูป 4.9 แสดงภาพถ่ายสายอากาศที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว



รูป 4.9 สายอากาศแบบปากแตรย่านซี

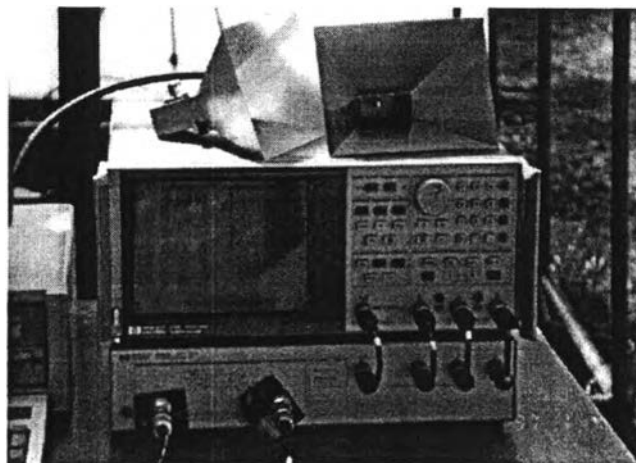
ตาราง 4.3 รายละเอียดของสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดที่ใช้ในการทดลอง

		แอล-เอส	ซี
ความถี่ (GHz)	ช่วง	1.70 - 2.60	3.22 - 4.90
	ความถี่กลาง	2.15	4.06
มิติของ สายอากาศ (มม.)	a_0	109.0	58.0
	b_0	54.5	29.0
	a_1	262.0	189.0
	b_1	192.0	140.0
	P_e หรือ P_h	104.0	94.0
อัตราขยายของ สายอากาศ	ค่าจากการกำหนด	12 dB	15 dB
	ค่าจากการทดสอบ	13.9 dB	10.7 dB

1.2.2 เครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรและชุดทดสอบพารามิเตอร์เอส 6 จิกะเฮิร์ตซ์

(network analyzer & 6 GHz S-parameter test set)

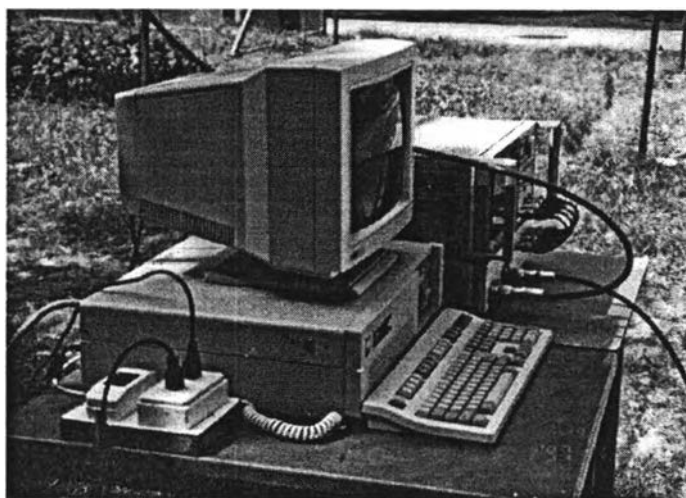
เครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรที่ใช้เป็นของ HEWLETT PACKARD รุ่น HP 8753C แสดงดังรูป 4.10 ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดหรือตัวป้อนสัญญาณจ่ายให้สายอากาศส่ง และตรวจวัดสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศรับโดยแสดงผลการตรวจวัดในรูปแบบ (format) แอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณที่รับได้เทียบกับสัญญาณที่จ่ายออกจากเครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจร สำหรับชุดทดสอบพารามิเตอร์เอสรุ่น HP 85047A ซึ่งมีฟังก์ชันคุณความถี่เป็น 2 เท่าถูกนำมาใช้ร่วมกับเครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรโดยใช้ฟังก์ชันคุณความถี่ของชุดทดสอบพารามิเตอร์เอสเพื่อให้เครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรสามารถจ่ายและตรวจวัดสัญญาณความถี่ย่านซีได้เนื่องจากเครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรเพียงอย่างเดียวสามารถใช้งานได้ถึง 3 จิกะเฮิร์ตซ์เท่านั้น



รูป 4.10 เครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรและชุดทดสอบพารามิเตอร์เอส

1.2.3 คอมพิวเตอร์สำหรับการบันทึกข้อมูล

คอมพิวเตอร์ที่นำมาบันทึกข้อมูลแสดงดังรูป 4.11 มีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) 80386SX-40 หน่วยความจำเข้าถึงแบบสุ่ม (RAM) ขนาด 4 เมกะไบต์ เชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การ์ด และสายเชื่อมอุปกรณ์ต่อร่วมหรือ GPIB (General Purpose Interface Bus) สำหรับชุดคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมเครื่อง วิเคราะห์ข้อมูลและชุดทดสอบพารามิเตอร์เอส 6 จิกะเฮิร์ตซ์ใช้ภาษา GWBASIC



รูป 4.11 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล

1.3 อุปกรณ์เสริม

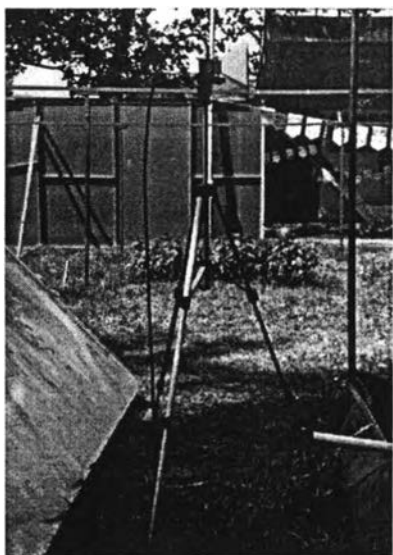
อุปกรณ์ในส่วนนี้ไม่ได้มีหน้าที่หลักที่เกี่ยวข้องกับการทดลองโดยตรง อีกทั้งไม่ได้เป็นส่วนที่จำลองมาจากสภาพการแพร่กระจายคลื่นจริงด้วย แต่อุปกรณ์ทั้งหมดที่กล่าวในหัวข้อนี้มีส่วนช่วยเพิ่มความสะดวกและเหมาะสมให้กับสภาพการทดลองในสนามทดลอง อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ (1) ชุดขาตั้งและปากจับสายอากาศ (2) แผ่นสะท้อนคลื่น และ (3) ผ้าใบรองรับน้ำ เครื่องสูบน้ำและสายส่งน้ำกลับ รายละเอียดและหน้าที่ของอุปกรณ์ทั้งหมดกล่าวแยกเป็นหัวข้อดังนี้

1.3.1 ขาตั้งและปากจับสายอากาศ

ขาตั้งสายอากาศมีหน้าที่เป็นตัวรับสายอากาศให้อยู่ในตำแหน่ง มุมก้มเงย และโพลาริเซชันที่ต้องการขณะทำการทดลอง โดยตัวสายอากาศสามารถยึดติดอยู่กับขาตั้งได้โดยอาศัยปากจับสายอากาศ การปรับแนวการวางตัวของสายอากาศในทุกระนาบทำได้โดยการปรับที่คอของขาตั้ง ลักษณะของขาตั้งสายอากาศรับและสายอากาศส่งต่างกันโดยขาตั้งสายอากาศรับเป็นขาตั้งกล้องถ่ายรูปซึ่งสามารถปรับมุมได้ในทุกระนาบดังแสดงตามรูป 4.12 ก) ส่วนขาตั้งสายอากาศส่งมีลักษณะเป็นท่อนเหล็กกลวงที่ด้านบนถูกออกแบบให้เป็นปาก

จับสายอากาศย่านแอล-เอสดังรูป 4.12 ข) สาเหตุที่ขาตั้งสายอากาศส่งมีปากจับสำหรับสายอากาศเพียงย่านเดียวเพราะการออกแบบขาตั้งในครั้งแรกเตรียมการไว้เฉพาะสำหรับสายอากาศย่านแอล-เอสเท่านั้นเนื่องจากในช่วงแรกของการพัฒนาชุดทดลองมีตัวรับต่อท่อนาคลีนเป็นสายแกนร่วมย่านแอล-เอสเพียงย่านเดียว การเพิ่มการทดลองที่ความถี่ย่านซีขึ้นมาทำให้ต้องมีการปรับปรุงขาตั้งสายอากาศเพื่อให้เหมาะกับสายอากาศทั้งสองย่าน โดยทำการเปลี่ยนขาตั้งจากท่อนเหล็กกลวงตามรูป 4.12 ข) มาเป็นขาตั้งกล่องถ่ายรูปตามรูป 4.12 ก) แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านงบประมาณทำให้สามารถเปลี่ยนขาตั้งสายอากาศได้เพียง 1 ต้นเท่านั้น ทำให้ขาตั้งสายอากาศทั้งสองต้นมีลักษณะต่างกัันดังกล่าว

เพื่อให้สอดคล้องกับการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ ขาตั้งสายอากาศรับจะเป็นขาตั้งกล่องถ่ายรูปเนื่องจากสามารถปรับแนวการวางตัวของสายอากาศในทุกระนาบได้สะดวกกว่า สำหรับขาตั้งสายอากาศส่งซึ่งไม่จำเป็นต้องปรับให้สายอากาศหมุนในระนาบระดับจะใช้ขาตั้งชุดแรกที่เป็นท่อนเหล็กกลวง สำหรับการยึดจับสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดทั้งสองย่านให้เข้ากับขาตั้งสายอากาศรับทำโดยใช้ปากจับสายอากาศซึ่งทำจากกระดาษอัดที่ตัดให้ขอบด้านในพอดีกับขนาดของตัวรับต่อท่อนาคลีนเป็นสายแกนร่วม เนื่องจากสายอากาศทั้งสองย่านมีขนาดที่ต่างกันมาก การยึดสายอากาศให้ติดกับขาตั้งจึงจำเป็นต้องใช้ปากจับแยกชุดกัน ส่วนขาตั้งสายอากาศส่งซึ่งมีปากจับสายอากาศย่านแอล-เอสอยู่แล้ว สามารถยึดจับสายอากาศย่านซีได้โดยการประกบแผ่นโฟมที่ด้านข้างของตัวรับต่อท่อนาคลีนเป็นสายแกนร่วมของสายอากาศย่านซีให้มีขนาดเท่ากับสายอากาศย่านแอล-เอส



ก) ขาตั้งสายอากาศรับ



ข) ขาตั้งสายอากาศส่ง

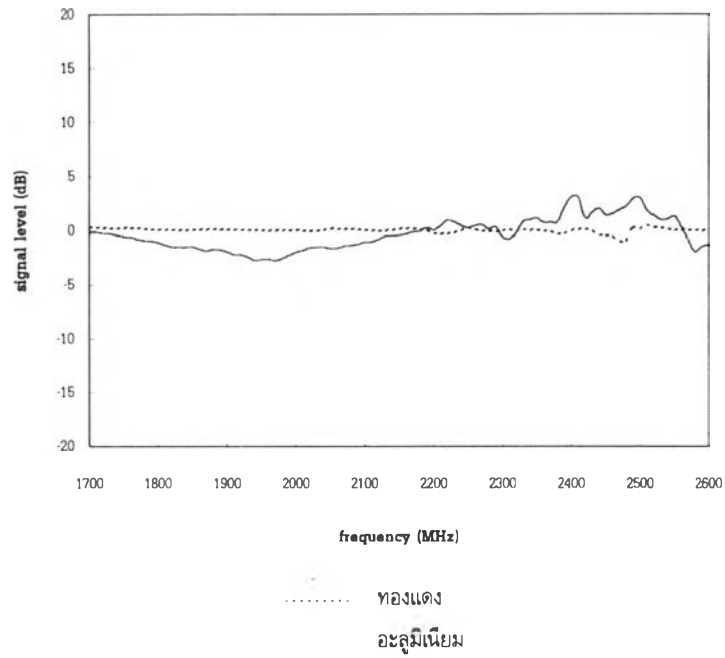
รูป 4.12 ขาตั้งสายอากาศ

1.3.2 แผ่นสะท้อนคลื่น

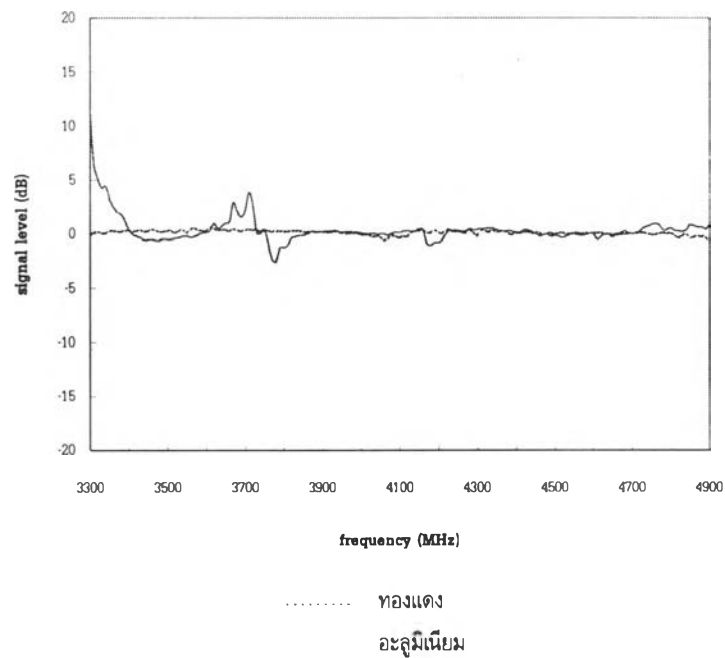
แผ่นสะท้อนคลื่นทำหน้าที่สะท้อนคลื่นที่เดินทางเลยตำแหน่งที่ตั้งสายอากาศรับให้ขึ้นสู่ท้องฟ้า เพื่อไม่ให้พลังงานคลื่นในส่วนนี้สะท้อนสิ่งแวดล้อมกลับมารบกวนระบบ และป้องกันการรบกวนระบบอื่น ๆ อันอาจเกิดจากพลังงานในส่วนที่เดินทางเลยสายอากาศรับออกไป วัสดุที่ใช้ทำแผ่นสะท้อนคลื่นคือแถบอะลูมิเนียมที่เคลือบผิวด้านหนึ่งด้วยกาว สำหรับวัสดุที่ใช้เป็นโครงให้กับแถบอะลูมิเนียมคือแผ่นโฟมสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1.2x2.4 ตารางเมตร หนา 2 นิ้วฟุต จำนวน 3 แผ่นวางซ้อนกันบนโครงเหล็กฉากทำมุมเอียง 45 องศา กับแนวระดับดังรูป 4.13 ลักษณะสมบัติการสะท้อนคลื่นของแถบอะลูมิเนียมที่ใช้ทำแผ่นสะท้อนคลื่นถูกทดสอบโดยเปรียบเทียบกับแผ่นทองแดงให้ผลการสะท้อนคลื่นใกล้เคียงกัน ผลการทดสอบแสดงดังรูป 4.14



รูป 4.13 แผ่นสะท้อนคลื่น



ก) ความถี่ย่านแอล-เอส

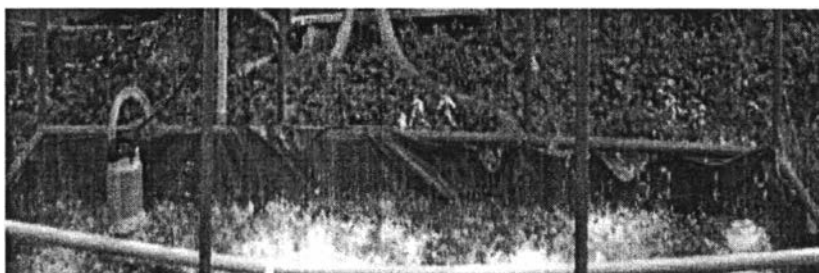


ข) ความถี่ย่านซี

รูป 4.14 ลักษณะสมบัติการสะท้อนคลื่นของแถบอะลูมิเนียม
 เทียบกับแผ่นทองแดง

1.3.3 ผ้าใบรองรับน้ำ เครื่องสูบน้ำและสายส่งน้ำกลับ

ขณะทำการทดลองน้ำฝนที่ถูกปล่อยจากโครงทำฝนอย่างง่ายจะถูกกักเก็บไว้ภายในผ้าใบรองรับน้ำฝน เพื่อไม่ให้ปริมาณน้ำในส่วนนี้เสียไปโดยเปล่าประโยชน์จึงได้เพิ่มเครื่องสูบน้ำและสายยางขึ้นมาอีก 1 ชุดสำหรับสูบน้ำที่อยู่ในผ้าใบรองรับน้ำฝนกลับไปยังถังเก็บน้ำ เครื่องสูบน้ำที่ใช้เป็นเครื่องสูบน้ำแบบแช่หรือแบบจุ่มหรือไดโว่สำหรับสูบน้ำในบริเวณที่ระดับน้ำไม่สูงพอที่จะใช้เครื่องสูบน้ำแบบอื่นได้ สำหรับสายยางที่ใช้ในการส่งน้ำกลับมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วฟุต รูป 4.15 แสดงภาพขณะกำลังสูบน้ำจากผ้าใบรองรับน้ำฝนกลับไปยังถังเก็บน้ำระหว่างการทดลอง



รูป 4.15 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสูบน้ำกลับ

1.4 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง

ส่วนประกอบของชุดทดลองเพื่อการศึกษาปัญหาการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนบางส่วนเป็นเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการพื้นฐานไฟฟ้าสื่อสาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบางส่วนได้จัดซื้อและจัดสร้างใหม่ อุปกรณ์ทั้งสองส่วนถูกนำมาแสดงอีกครั้งดังตาราง 4.4 โดยได้แสดงรายละเอียดวัสดุที่ใช้และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสำหรับส่วนประกอบของชุดทดลองที่ได้จัดสร้างใหม่ไว้ด้วย

ตาราง 4.4 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง

ลำดับ	รายการ	ค่าใช้จ่าย		
		จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	โครงทำฝนอย่างง่าย			
	1.1 ตัวโครง (จ้างประกอบ)	1 หน่วย	3000	3000
	1.2 ท่อปล่อยน้ำฝน			
	- ท่อพีวีซีเบอร์ 13.5 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว	10 ท่อ	40	400
	- ฝาอุดท่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว	20 ฝา	6	120
	1.3 ท่อจ่ายน้ำ			
	- ท่อพีวีซีเบอร์ 13.5 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว	1 ท่อ	65	65
	- ท่อพีวีซีเบอร์ 13.5 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว	1 ท่อ	40	40
	- ข้อต่อรูปตัวที ขนาด 1 - 1/2 นิ้ว (ส่วนหัวตัวที 1 นิ้ว, ส่วนตัวตัวที 1/2 นิ้ว)	20 ตัว	9	180
	- ข้อต่อมุมฉาก ขนาด 1 นิ้ว	2 ตัว	9	18
	1.4 ท่อส่งน้ำ			
	- ท่อพีวีซีเบอร์ 13.5 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว	2 ท่อ	65	130
	- ข้อต่อพีวีซีเกลียวนอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว	4 ตัว	9	36
	1.5 วาล์วปรับระดับน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว	2 ตัว	140	280
	1.6 ผ้าใบรองรับน้ำฝน (จ้างประกอบ)	1 หน่วย	1300	1300
	2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายน้ำให้โครงทำฝนอย่างง่าย		
2.1 ถังเก็บน้ำ (จ้างประกอบ)		1 หน่วย	2900	2900
2.2 เครื่องสูบน้ำแบบทอยโซ่ง		2 เครื่อง	3200	6400
2.3 สายส่งน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว		6 เมตร	50	300
3	สายอากาศรับและสายอากาศส่ง			
	- ตัวปรับต่อท่อนำคลื่นเป็นสายแกนร่วม ย่านแอล-เอส	2 หน่วย	อุปกรณ์จากห้องปฏิบัติการฯ	
	- ตัวปรับต่อท่อนำคลื่นเป็นสายแกนร่วม ย่านซี	2 หน่วย	อุปกรณ์จากห้องปฏิบัติการฯ	
	- แผ่นอะลูมิเนียม 1x2 ตารางเมตร หนา 0.3 มิลลิเมตร	1 แผ่น	247	247
4	เครื่องวิเคราะห์ขั้ววงจรและชุดทดสอบพารามิเตอร์เอส 6 GHz	1 ชุด	อุปกรณ์จากห้องปฏิบัติการฯ	
5	คอมพิวเตอร์ที่มีการ์ดและสายเชื่อมอุปกรณ์ต่อร่วมสำหรับการบันทึกข้อมูล	1 ชุด	อุปกรณ์จากห้องปฏิบัติการฯ	

ตาราง 4.4 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	ค่าใช้จ่าย		
		จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
6	ขาตั้งและปากจับสายอากาศ			
	6.1 ขาตั้งสายอากาศรับ (ขาตั้งกล่องถ้ำรูป)	1 หน่วย	1200	1200
	6.2 ขาตั้งสายอากาศส่ง (จิ้งประกอบ)	1 หน่วย	600	600
	6.3 กระดาษอัดสำหรับทำปากจับสายอากาศ	1 แผ่น	36	36
7	แผ่นสะท้อนคลื่น			
	- โฟม 0.6x1.2 ตารางเมตรหนา 2 นิ้ว	12 แผ่น	65	780
	- กระดานไม้อัดเคลือบผิว	3 แผ่น	2600	780
	- แแถบอะลูมิเนียม	4 ม้วน	160	640
	- เหล็กฉากประกอบโครง	4 เส้น	140	560
8	อุปกรณ์ที่ใช้ในการสูบน้ำกลับ			
	8.1 เครื่องสูบน้ำแบบแช่	1 เครื่อง	1000	1000
	8.2 สายยางส่งน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว	6 เมตร	20	120
9	อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณน้ำฝน (กล่าวถึงใน 2.การทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง หัวข้อย่อย 2.1.2 อัตราการตกของฝน หน้า 87)	1หน่วย	ขอยืมจากกรมอุตุนิยมวิทยา	
	รวม	-	-	21132

2. การทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ก่อนดำเนินการตรวจวัดการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนโดยอาศัยชุดทดลอง ได้มีการทดสอบอุปกรณ์ที่จัดสร้างขึ้นเอง การทดสอบอุปกรณ์เหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาลักษณะสมบัติของอุปกรณ์แต่ละส่วนโดยเปรียบเทียบกับสมมติฐานหรือทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ และหากำลังส่งที่เหมาะสมในการทดลองแต่ละย่าน การทดสอบชุดทดลองแบ่งเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ (1) โครงทำฝนอย่างง่าย (2) สายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิด (3) กำลังส่งที่เหมาะสมในการทดลองแต่ละย่าน และ (4) แผ่นสะท้อนคลื่น รายละเอียดในการทดสอบแต่ละส่วนกล่าวแยกเป็นหัวข้อดังนี้

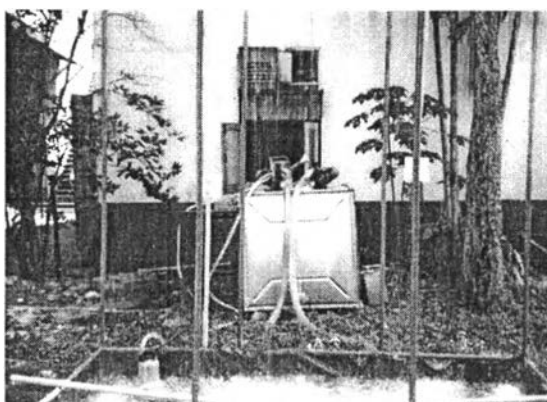
2.1 โครงทำฝนอย่างง่าย

การทดสอบโครงทำฝนอย่างง่ายแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ (1) การทดสอบว่าลักษณะของฝนที่ได้จากโครงทำฝนอย่างง่ายเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ในกรอกแบบหรือไม่ และ (2) การทดสอบเพื่อหาอัตราการตกของฝนเมื่อปรับวาล์วที่ท่อส่งน้ำให้น้ำไหลผ่านท่อในระดับต่าง ๆ กัน ผลการทดสอบส่วนที่ 1 จะเป็นข้อมูลประกอบในการวิเคราะห์ผลการตรวจวัดการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝน ส่วนผลการทดสอบส่วนที่ 2 จะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณปริมาณการเปลี่ยนโพลาริเซชันโดยตรง รายละเอียดการทดสอบมีดังนี้

2.1.1 ลักษณะของฝนที่ได้จากโครงทำฝนอย่างง่าย

สมมติฐานในการออกแบบโครงทำฝนอย่างง่ายคือ ฝนจากโครงทำฝนอย่างง่ายตกในบริเวณอากาศหนึ่ง ทำให้วิถีการเคลื่อนที่และแกนของอนุภาคฝนวางตัวอยู่ในแนวตั้งเสมอ เนื่องจากไม่มีอิทธิพลของลมในแนวระดับ แต่จากการทดสอบโดยการบันทึกภาพฝนที่เกิดจากโครงทำฝนอย่างง่ายพบว่า เมื่อปรับวาล์วให้ฝนตกในอัตราการตกสูง วิถีการเคลื่อนที่ของฝนไม่ได้อยู่ในแนวตั้งตามสมมติฐาน สาเหตุเป็นเพราะแรงดันน้ำในท่อปล่อยน้ำฝนมีค่ามากทำให้น้ำฝนพุ่งออกจากรูที่เจาะไว้โดยที่ทิศทางที่น้ำพุ่งออกมาไม่ได้อยู่ในแนวตั้ง เนื่องจากท่อปล่อยน้ำฝนเกิดการบิดตัวขณะต่อเข้ากับท่อจ่ายน้ำทำให้แนวของรูที่เจาะไว้ที่ท่อปล่อยน้ำฝนเบนไปจากแนวตั้ง และรูปล่อยน้ำฝนแต่ละรูมีแนวที่เบนไปจากแนวรัศมีของท่อด้วยทั้งนี้เป็นเพราะขาดความแม่นยำในการเจาะรูปล่อยน้ำฝน ขณะที่เมื่อปรับวาล์วให้ฝนตกในอัตราต่ำ แรงดันของน้ำในท่อมีน้อยทำให้น้ำที่พุ่งออกจากรูปล่อยน้ำฝนเบนไปจากแนวตั้งไม่มากนัก นอกจากแรงดันของน้ำที่ทำให้ฝนจากโครงทำฝนอย่างง่ายพุ่งออกจากรูปล่อยน้ำฝนในลักษณะที่ไม่อยู่ในแนวตั้งแล้ว ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่ทำให้วิถีการเคลื่อนที่และแนวการวางตัวของฝนจากชุดทดลองไม่อยู่ในแนวตั้งด้วยคือลม ซึ่งในขั้นต้นได้สมมติฐานไว้แล้วว่าไม่มีผลต่อฝนที่ได้จากโครงทำฝนอย่างง่าย แต่จากการสังเกตพบว่า ลมมีผลอย่างมากต่อการทำให้วิถีการเคลื่อนที่ของฝนเบนออกจากแนวตั้งด้วย

การที่น้ำพุ่งออกจากอกรูปลอยน้ำฝนทำให้ฝนจากโครงทำฝนอย่างง่ายไม่ได้ตกอย่างอิสระแต่มีความเร็วต้นอันเนื่องมาจากแรงดันของน้ำภายในท่อปลอยน้ำฝน นอกจากนี้ลักษณะของฝนที่ได้ไม่ได้เป็นเม็ดตามลักษณะฝนธรรมชาติแต่มีลักษณะเป็นสาย สายน้ำที่พุ่งออกจากรูปลอยน้ำฝนจะแตกตัวเป็นเม็ดเมื่อพุ่งตกมาได้ระยะหนึ่ง แต่เนื่องจากความสูงของโครงทำฝนอย่างง่ายไม่มากพอ สายน้ำจึงแตกตัวเป็นเม็ดได้ไม่หมดในระดับความสูงสายอากาศ ลักษณะของฝนที่ได้จากโครงทำฝนอย่างง่ายแสดงดังรูป 4.16



รูป 4.16 ลักษณะของฝนที่เกิดจากโครงทำฝนอย่างง่าย

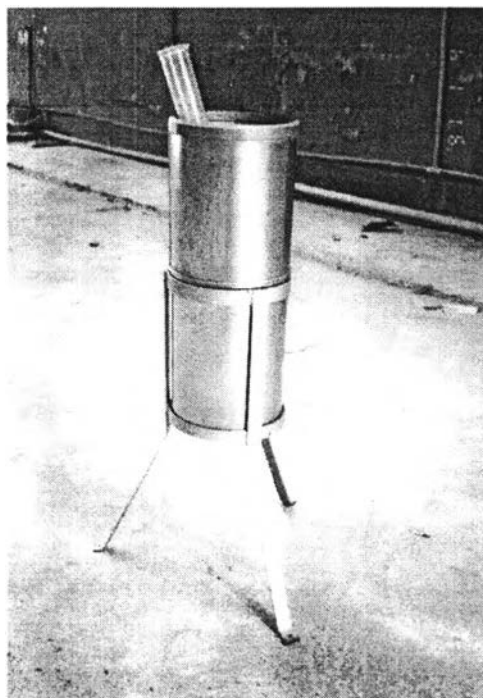
2.1.2 อัตราการตกของฝน

การทดสอบอัตราการตกของฝนเมื่อปรับวาล์วที่ท่อส่งน้ำให้น้ำไหลผ่านท่อในระดับต่าง ๆ กัน ทำโดยแบ่งระดับการเปิดวาล์วเป็น 4 ระดับโดยอาศัยมุมที่คั่นบังค้ววาล์วทำกับแนวท่อส่งน้ำเป็นตัวแบ่งระดับดังนี้

1. ระดับที่ 1 คั่นบังค้ววาล์วทำมุมกับแนวท่อส่งน้ำเท่ากับ 0 องศา
2. ระดับที่ 2 คั่นบังค้ววาล์วทำมุมกับแนวท่อส่งน้ำเท่ากับ 15 องศา
3. ระดับที่ 3 คั่นบังค้ววาล์วทำมุมกับแนวท่อส่งน้ำเท่ากับ 30 องศา
4. ระดับที่ 4 คั่นบังค้ววาล์วทำมุมกับแนวท่อส่งน้ำเท่ากับ 45 องศา

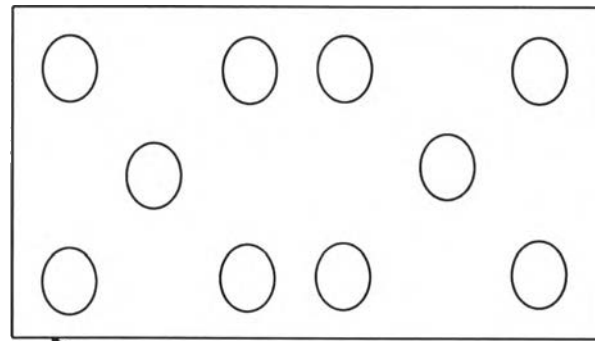
อัตราการตกของฝนจะถูกตรวจวัดโดยอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำฝนซึ่งมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปากถังเท่ากับ 8 นิ้ว บรรจุในถังทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้วและด้านบนเปิดด้วยกรวยเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ (ในกรณีใช้งานจริงอุปกรณ์ชิ้นนี้ต้องตั้งอยู่กลางแจ้งเป็นระยะเวลานานเพื่อรองรับน้ำฝนในแต่ละวัน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำฝนที่กักเก็บได้ระเหยไปจึงจำเป็นต้องปิดปากถังด้วยกรวยที่มีรูตรงปลายกรวยเพื่อให้ช่องเปิดของถังเก็บน้ำฝนเล็กที่สุดแต่พื้นที่หน้าตัดในการรองรับน้ำฝนเท่าเดิม) การอ่านค่าปริมาณน้ำฝนที่ถังทรงกระบอกทำได้ภายในเวลาที่กำหนดทำโดยอ่านค่าระดับน้ำที่ได้จาก

การถ่ายน้ำฝนจากถังทรงกระบอกลงในหลอดแก้วมาตรฐานที่มีขีดบอกระดับปริมาณน้ำฝนในหน่วยมิลลิเมตร โดยปกติการบันทึกอัตราการตกของฝนจะอยู่ในหน่วยมิลลิเมตรต่อชั่วโมง แต่เนื่องจากเวลาที่ทำการตรวจวัดโดยอาศัยชุดทดลองน้อยมาก จึงเป็นการเหมาะสมกว่าที่จะใช้อัตราการตกของฝนในหน่วยมิลลิเมตรต่อนาที รูปอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูป 4.17



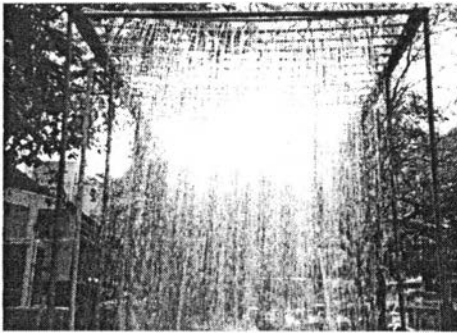
รูป 4.17 อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณน้ำฝน

เนื่องจากการกระจายตัวของฝนจากโครงทำฝนอย่างง่ายไม่สม่ำเสมอตลอดตัวโครง การทดสอบเพื่อหาอัตราการตกของฝนเมื่อเปิดวาล์วในแต่ละระดับจึงกระทำในหลายจุด โดยตำแหน่งที่วัดอัตราการตกของฝนแสดงดังรูป 4.18 อัตราการตกที่วัดได้ถูกนำมาเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นอัตราการตกของฝนในหน่วยมิลลิเมตรต่อนาที สำหรับอัตราการตกในระดับนั้น ๆ นอกจากนี้เพื่อลดความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ โดยเฉพาะลมที่อาจทำให้วิถีการเคลื่อนที่ของฝนจากโครงทำฝนอย่างง่ายไม่ได้อยู่ในแนวเดิมตลอดเวลา การทดสอบจึงมีขึ้นหลายครั้ง และนำค่าเฉลี่ยในแต่ละครั้งมาทำการเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้ปริมาณที่สามารถใช้เป็นตัวแทนอัตราการตกของฝนในระดับนั้น ๆ ได้ ผลการทดสอบเพื่อหาอัตราการตกของฝนในหน่วยมิลลิเมตรต่อนาทีแสดงในตาราง 4.5 สำหรับรูป 4.19 ก) - 4.19 ง) แสดงภาพฝนจากโครงทำฝนอย่างง่ายเมื่อปรับวาล์วในระดับต่าง ๆ

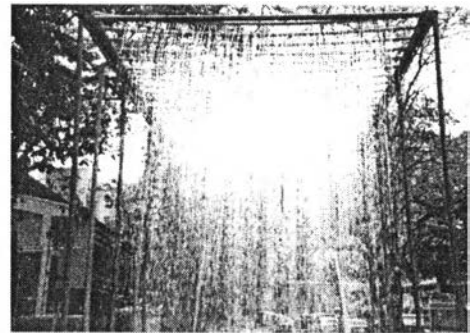


- แผนภาพด้านบนของโครงทำฝนนอย่างง่าย
 ○ ตำแหน่งที่ทำการมัดอัตรการตกของฝน

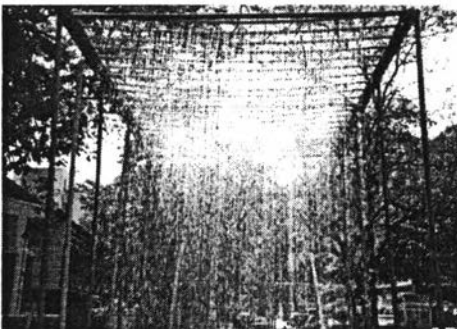
รูป 4.18 ตำแหน่งที่ทำการมัดอัตรการตกของฝน



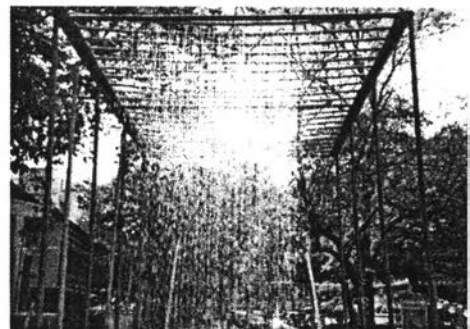
ก) ระดับที่ 1



ข) ระดับที่ 2



ค) ระดับที่ 3



ง) ระดับที่ 4

รูป 4.19 โครงทำฝนนอย่างง่ายขณะเปิดให้ฝนตกในอัตราต่าง ๆ

ตาราง 4.5 อัตราการตกของฝนเมื่อปรับวาล์วที่ท่อส่งน้ำให้น้ำไหลผ่านท่อในระดับต่าง ๆ กัน

ระดับการปรับวาล์ว	อัตราการตกของฝน (mm./min.)
1	79.8
2	68.5
3	55.0
4	43.6

2.2 สายอากาศรับและสายอากาศส่ง

สายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดทั้งย่านแอล-เอสและย่านซีทีที่ได้จัดสร้างขึ้นถูกนำมาทดสอบหาแบบรูปการแผ่พลังงานและหาอัตราขยายด้วยวิธีสายอากาศสองต้น (two-antenna method) (Balanis, 1982) ซึ่งอาศัยสูตรการส่งผ่านของ Friis (Friis transmission formula) ดังสมการต่อไปนี้

$$G = \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right] \dots\dots\dots (4.5)$$

สายอากาศภายใต้การทดสอบทั้งสายอากาศรับและสายอากาศส่งถูกจัดวางให้ห่างกันตามเกณฑ์สนามไกล (far field criterion) สำหรับสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบคือบริเวณสนามหน้าศูนย์บริการคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขั้นตอนทดสอบหาคุณลักษณะของสายอากาศทั้งสองย่านเป็นดังนี้

1. จัดวางสายอากาศรับและสายอากาศส่งให้หันด้านปากแตรเข้าหากันและอยู่ห่างกันเป็นระยะอย่างน้อยที่สุดเท่ากับระยะตามเกณฑ์สนามไกล โดยให้สายอากาศทั้งสองอยู่ในระนาบเดียวกันและระนาบของปากแตรตั้งฉากกับแนวระดับ
2. หาแบบรูปการแผ่พลังงานโดยการหมุนสายอากาศรับในแนวระดับทีละ 360/41 องศาตามมาตรที่แบ่งไว้บนขาตั้งสายอากาศรับ และบันทึกระดับสัญญาณที่วัดได้เทียบกับระดับสัญญาณปรับเทียบเมื่อสายอากาศรับและสายอากาศส่งหันปากแตรเข้าหากัน จนครบ 1 รอบ
3. นำค่าที่บันทึกได้มาเขียนเป็นแบบรูปการแผ่พลังงาน
4. หาอัตราขยายของสายอากาศโดยการวัดระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่ง และอัตราส่วนกำลังรับต่อกำลังส่งเมื่อสายอากาศทั้งสองหันปากแตรเข้าหากัน จากนั้นคำนวณอัตราขยายของสายอากาศโดยอาศัยสมการ (4.5)

ค่าคุณลักษณะทั้งสองของสายอากาศที่ได้จัดสร้างขึ้น บันทึกแยกตามหัวข้อดังนี้

2.2.1 สายอากาศแบบปากแตรย่านแอล-เอส

สายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดย่านแอล-เอสมีมิติตามที่ได้แสดงดังตาราง 4.3 การทดลองหาค่าคุณลักษณะของสายอากาศกระทำที่ความถี่ 2.15 จิกะเฮิรตซ์ โดยเกณฑ์สนามไกลสำหรับสายอากาศทั้งสองต้นคำนวณได้ดังสมการ

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \times 0.262^2}{0.14} = 0.98 \text{ m.} \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

เมื่อ R คือระยะตามเกณฑ์สนามไกล λ คือความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดสอบ และ D คือระยะที่กว้างที่สุดของสายอากาศซึ่งในที่นี้เท่ากับ $a_1 = 0.262$ เมตร

ในการทดสอบ กำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองต้นเท่ากับ 1.50 เมตรซึ่งเป็นระยะที่มากกว่าเกณฑ์สนามไกล ผลการทดสอบหาแบบรูปการแผ่พลังงานและอัตราขยายเป็นดังนี้

2.2.1.1 แบบรูปการแผ่พลังงาน

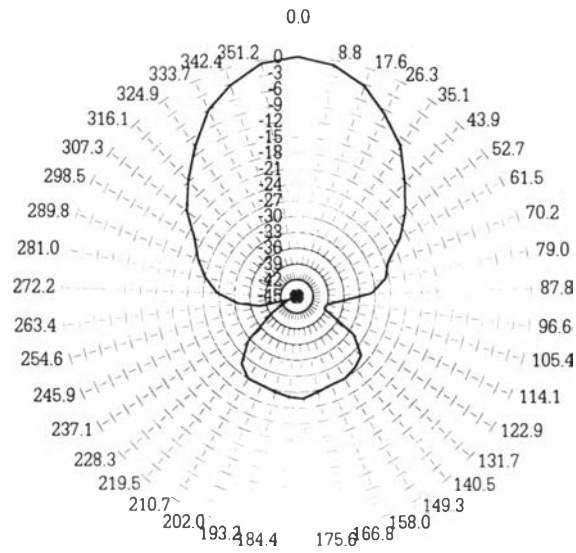
แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดย่านแอล-เอสแสดงดังรูป 4.20 ก) ถึง 4.20 ค) โดยรูป 4.20 ก) เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า รูป 4.20 ข) เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก และรูป 4.20 ค) เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานข้ามหัว จากแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้ ความกว้างลำที่ระดับสัญญาณต่ำกว่าค่าสูงสุด 3 เดซิเบลของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีค่าประมาณ 30 องศา และระดับโพลาริซั่มข้ามหัวของสายอากาศมีค่าประมาณ -33 เดซิเบล

2.2.1.2 อัตราขยายของสายอากาศ

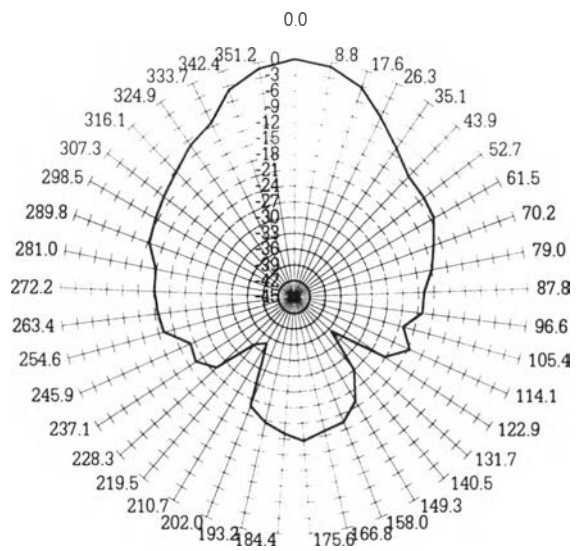
อัตราขยายคำนวณตามสมการ (4.5) ได้ผลดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} G_{dB} &= \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi \times 1.5}{0.14} \right) - 14.7 \right] = 13.9 \quad \dots\dots\dots (14.7) \end{aligned}$$

ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดย่านแอล-เอสมีค่าเท่ากับ 13.9 เดซิเบล

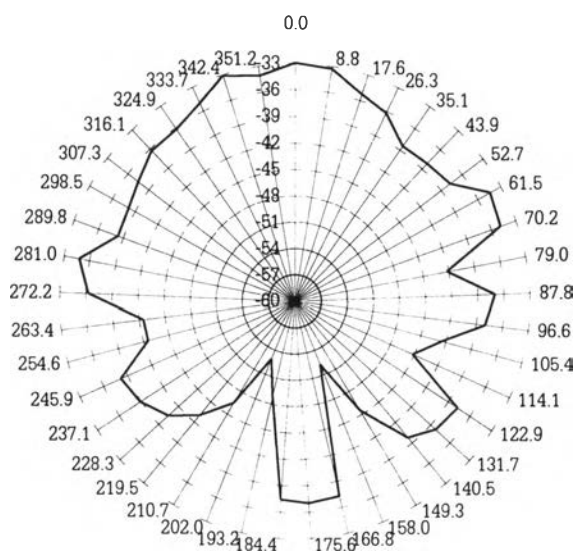


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า



ข) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูป 4.20 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบปากเต๋าย่านแอล-เอส



ค) แบบรูปการแผ่พลังงานข้ามหัว

รูป 4.20 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบปากแตรย่านแอล-เอส

2.2.1 สายอากาศแบบปากแตรย่านซี

สายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดย่านซีมีมิติตามที่ได้แสดงดังตาราง 4.3 การทดลองหาค่าคุณลักษณะของสายอากาศกระทำที่ความถี่ 4.10 จิกะเฮิรตซ์ โดยเกณฑ์สนามไกลสำหรับสายอากาศทั้งสองต้นคำนวณได้ดังสมการ

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \times 0.189^2}{0.073} = 0.99 \text{ m.} \quad \dots\dots\dots (4.8)$$

เมื่อระยะที่กว้างที่สุดของสายอากาศ $D = a_1 = 0.189 \text{ m.}$

ในการทดสอบ กำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองต้นเท่ากับ 1.52 เมตร ผลการทดสอบหาแบบรูปการแผ่พลังงานและอัตราขยายเป็นดังนี้

2.2.1.1 แบบรูปการแผ่พลังงาน

แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดย่านซีแสดงดังรูป 4.21 ก) ถึง 4.21ค) โดยเป็นแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า ระนาบสนามแม่เหล็ก และแบบรูปการแผ่พลังงานข้ามชี้ตามลำดับ สำหรับความกว้างลำที่ระดับสัญญาณต่ำกว่าค่าสูงสุด 3 เดซิเบลของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีค่าประมาณ 30 องศา และระดับโพลาริซข้ามชี้ของสายอากาศมีค่าประมาณ -25 เดซิเบล

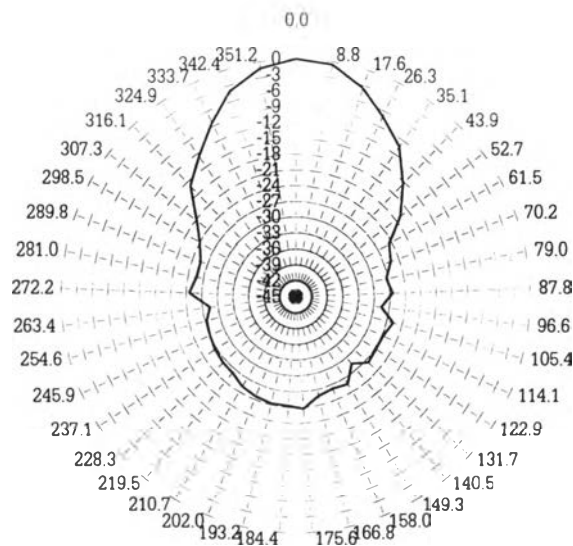
2.2.1.2 อัตราขยายของสายอากาศ

อัตราขยายคำนวณตามสมการ (4.5) ได้ผลดังสมการต่อไปนี้

$$G_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right]$$

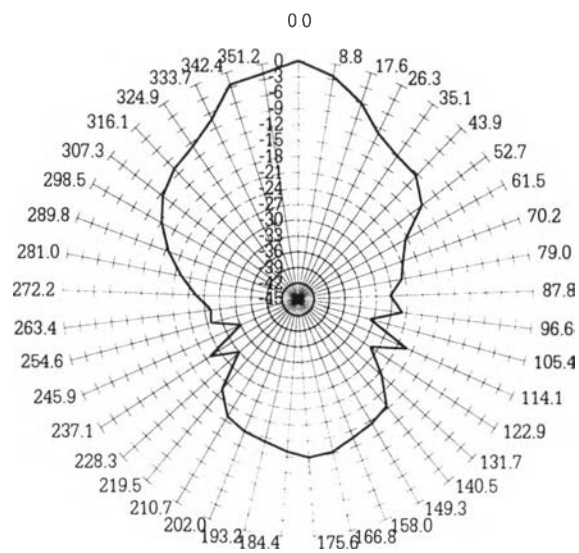
$$= \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi \times 1.5}{0.073} \right) - 27.0 \right] = 10.7 \quad \dots\dots\dots (14.9)$$

ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดย่านซีมีค่าเท่ากับ 10.7 เดซิเบล

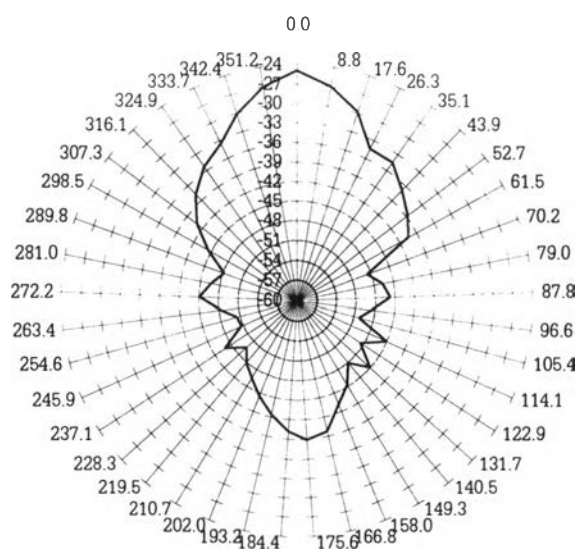


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า

รูป 4.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบปากแตรย่านซี



ข) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

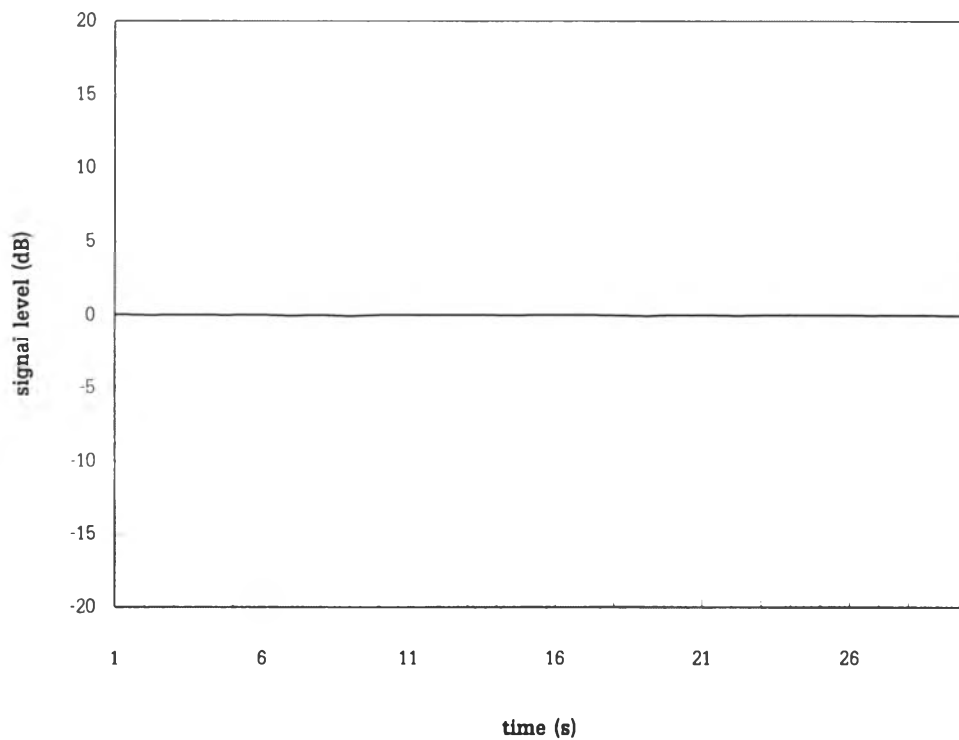


ค) แบบรูปการแผ่พลังงานข้ามหัว

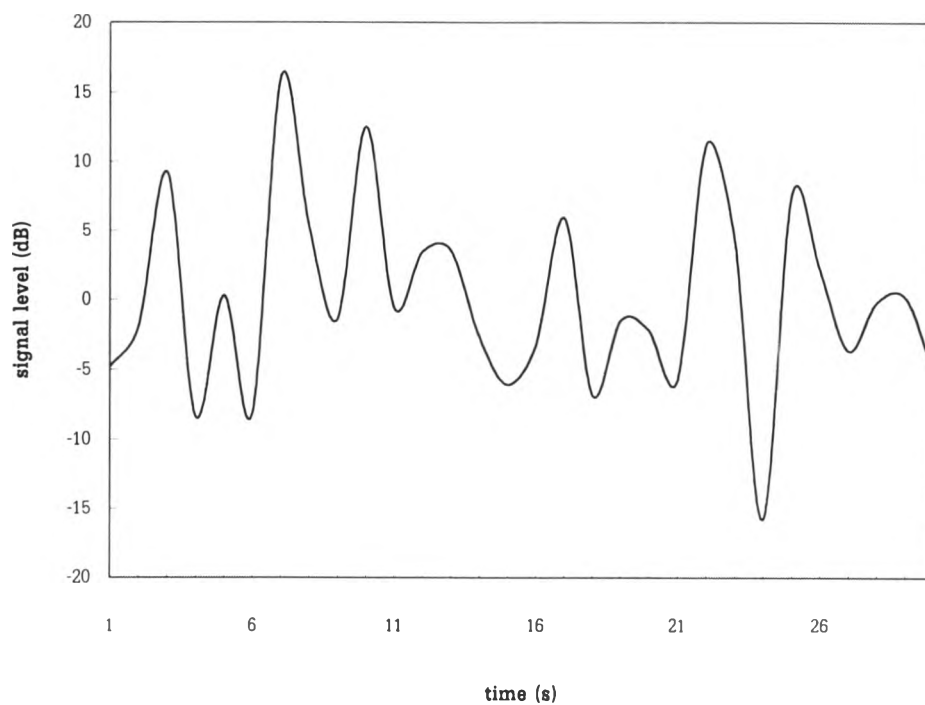
รูป 4.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบปากเตรายนซี่

2.3 กำลังส่งที่เหมาะสมในการทดลองที่ความถี่แต่ละย่าน

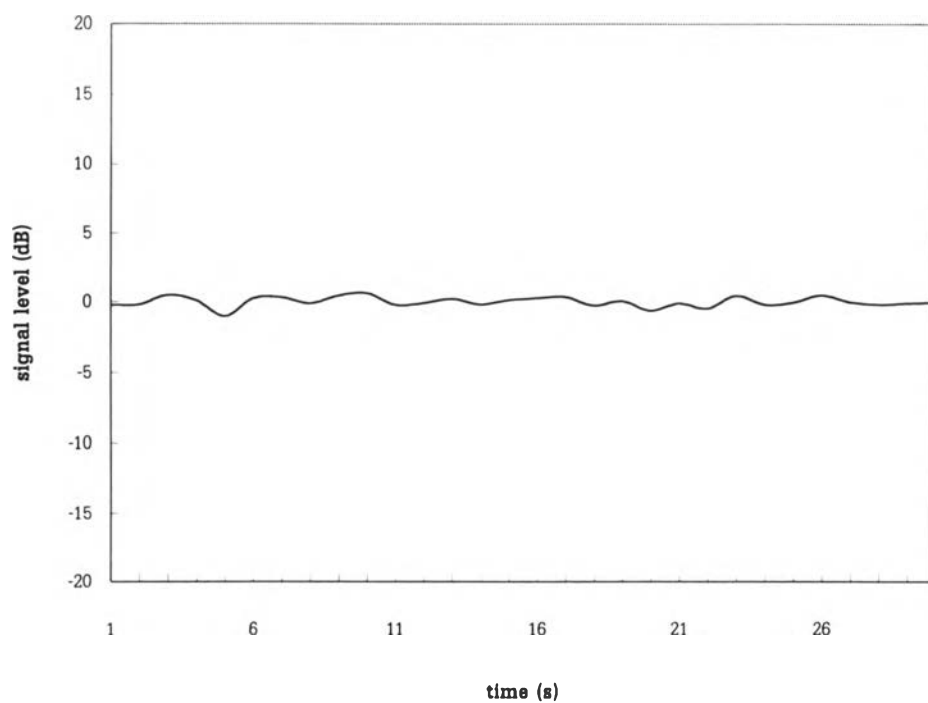
การทดสอบเพื่อกำหนดกำลังส่งที่ใช้ในการทดลองแต่ละย่านทำโดยตรวจวัดระดับสัญญาณที่สายอากาศรับได้เมื่อจ่ายกำลังให้แก่สายอากาศส่งด้วยขนาดต่าง ๆ กัน ระดับสัญญาณที่ตรวจวัดได้เป็นระดับสัญญาณภายหลังจากการปรับเทียบแล้ว ในการทดสอบเริ่มส่งกำลังตั้งแต่ 0 เดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm) จากนั้นเพิ่มขึ้นคราวละ 3 เดซิเบล ระดับกำลังส่งที่ยอมรับได้ในการทดสอบถูกกำหนดโดย เป็นระดับกำลังส่งที่ต่ำที่สุดที่ผลตอบสัญญาณรับมีการแกว่งในช่วงน้อยกว่า 0.5 เดซิเบล (โดยการสังเกตด้วยตา) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการทดลองในย่านแอล-เอสสามารถใช้กำลังส่งต่ำ ๆ ได้ ดังรูป 4.22 ซึ่งเป็นผลการทดสอบเมื่อจ่ายกำลังให้สายอากาศส่ง 0 เดซิเบลมิลลิวัตต์ ขณะที่การทดลองในย่านซีต้องใช้กำลังส่ง 15 เดซิเบลมิลลิวัตต์ ผลตอบจึงจะอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ผลการทดสอบแสดงดังรูป 4.23 - 4.25



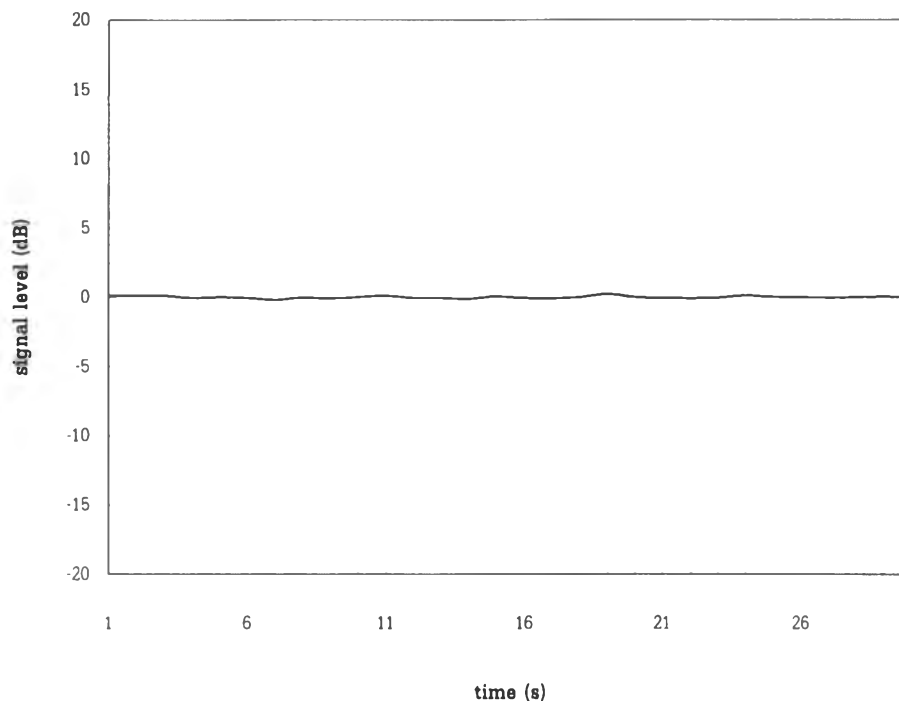
รูป 4.22 ระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อจ่ายกำลังให้สายอากาศส่ง 0 dBm ในการทดลองย่านแอล-เอส



รูป 4.23 ระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อจ่ายกำลังให้สายอากาศส่ง 0 dBm ในการทดลองย่านซี



รูป 4.24 ระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อจ่ายกำลังให้สายอากาศส่ง 9 dBm ในการทดลองย่านซี



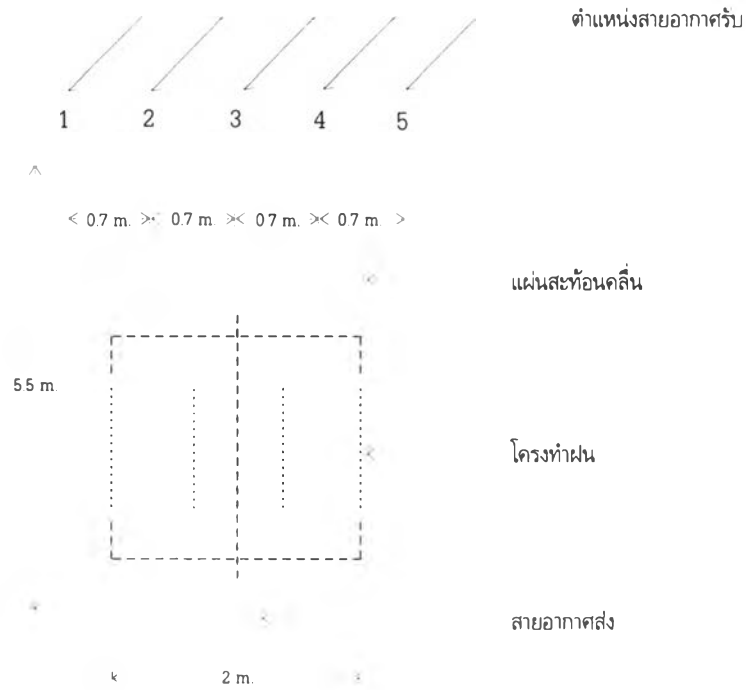
รูป 4.25 ระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อจ่ายกำลังให้สายอากาศส่ง 15 dBm ในการทดลองย่านซี

2.4 แผ่นสะท้อนคลื่น

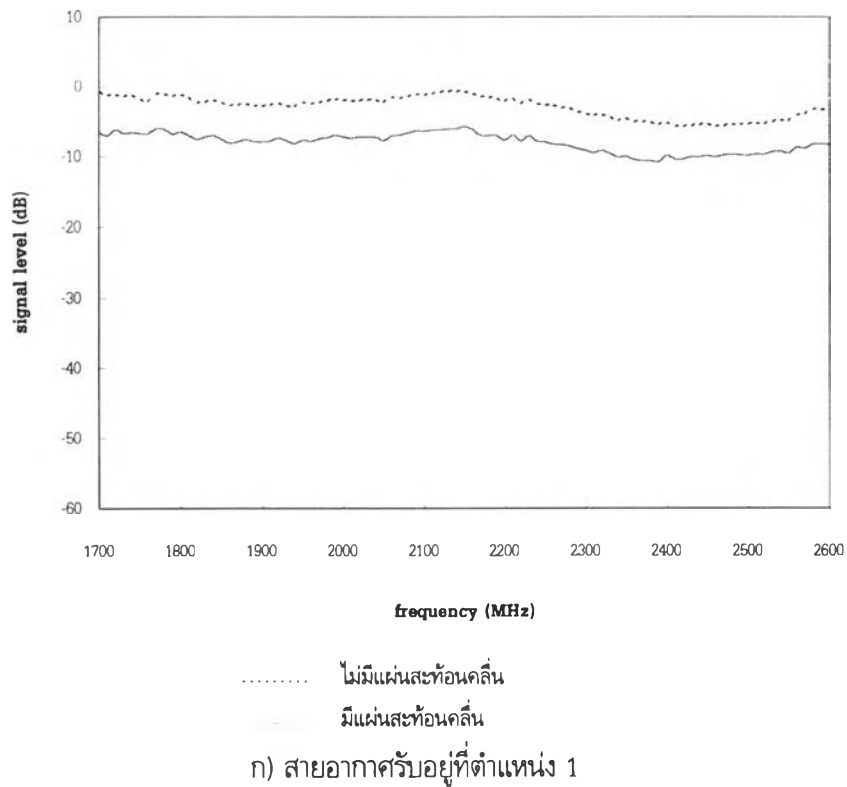
แผ่นสะท้อนคลื่นที่ได้ออกแบบและจัดสร้างขึ้นถูกนำมาทดสอบลักษณะสมบัติการสะท้อนคลื่นโดยการตรวจวัดความแตกต่างระหว่างระดับสัญญาณที่สายอากาศรับซึ่งวางอยู่ในตำแหน่งต่าง ๆ รับผิดชอบเมื่อมีและไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่นบังด้านหน้าตลอดทั้งย่านการใช้งานของสายอากาศ ขั้นตอนการทดสอบเป็นดังนี้

1. กำหนดตำแหน่งสายอากาศรับในการทดสอบดังรูป 4.26
2. ทำการวัดระดับสัญญาณเมื่อสายอากาศรับตั้งอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3 และไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่นบังด้านหน้าสายอากาศรับ บันทึกค่าที่วัดได้เป็นค่าเปรียบเทียบ
3. วัดระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อสายอากาศรับถูกบังด้วยแผ่นสะท้อนคลื่น
4. วัดระดับสัญญาณที่รับได้ทั้งขณะที่สายอากาศรับถูกบังและไม่ถูกบังด้วยแผ่นสะท้อนคลื่นที่ตำแหน่งอื่น ๆ

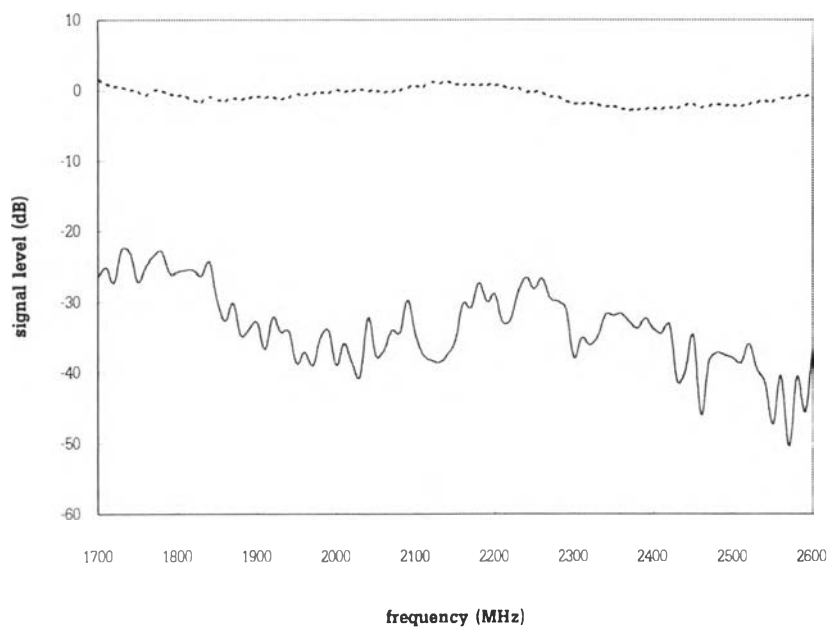
ผลการทดสอบลักษณะสมบัติแผ่นสะท้อนคลื่นเมื่อใช้สายอากาศย่านแอล-เอสและสายอากาศย่านซีแสดงดังรูป 4.27 ก) - จ) และ รูป 4.28 ก) - จ) ตามลำดับ



รูป 4.26 ตำแหน่งสายอากาศรับในการทดสอบแผ่นสะท้อนคลื่น

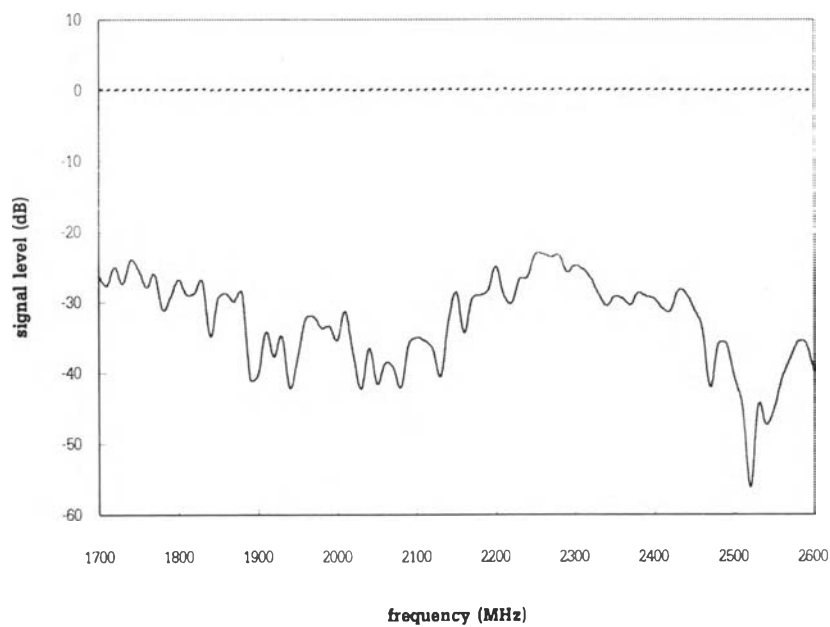


รูป 4.27 ลักษณะสมบัติของแผ่นสะท้อนคลื่นในการทดสอบย่านแอล-เอส



..... ไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่น
มีแผ่นสะท้อนคลื่น

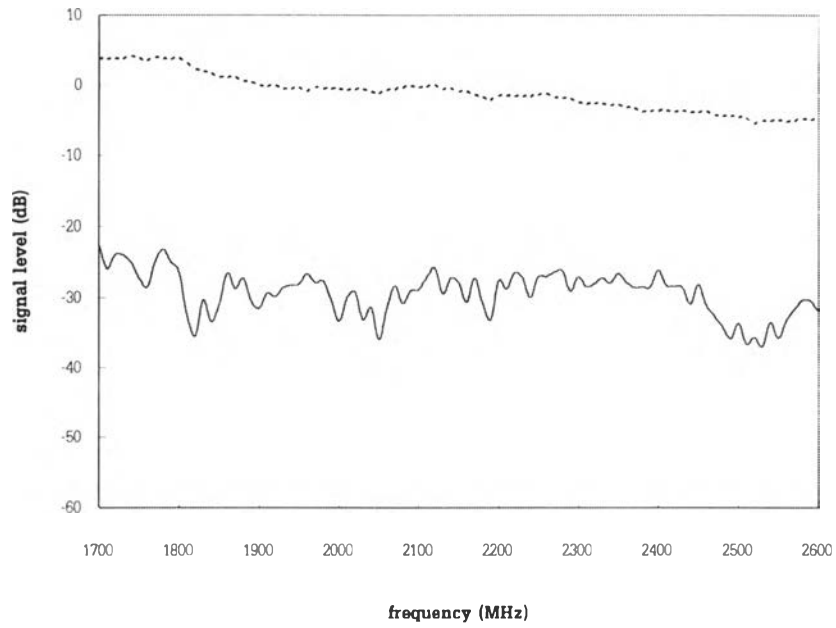
ข) สายอากาศรับอยู่ที่ตำแหน่ง 2



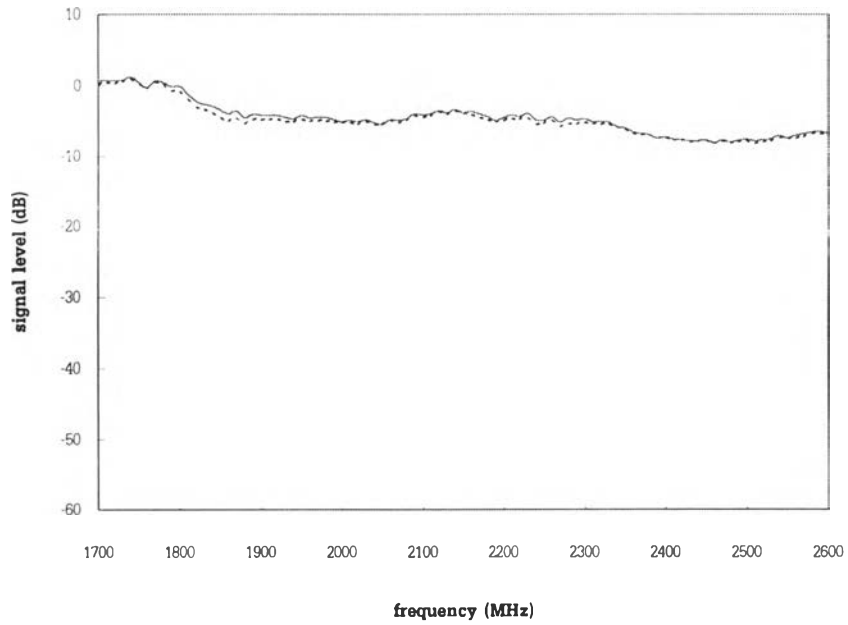
..... ไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่น
มีแผ่นสะท้อนคลื่น

ค) สายอากาศรับอยู่ที่ตำแหน่ง 3

รูป 4.27 ลักษณะสมบัติของแผ่นสะท้อนคลื่นในการทดสอบย่านแอล-เอส

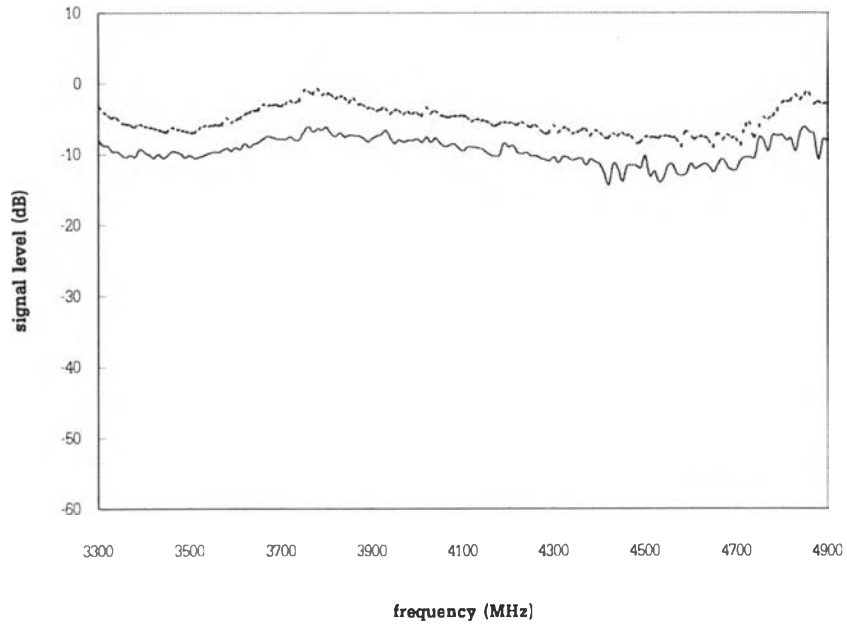


..... ไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่น
 มีแผ่นสะท้อนคลื่น
 ง) สายอากาศรับอยู่ที่ตำแหน่ง 4

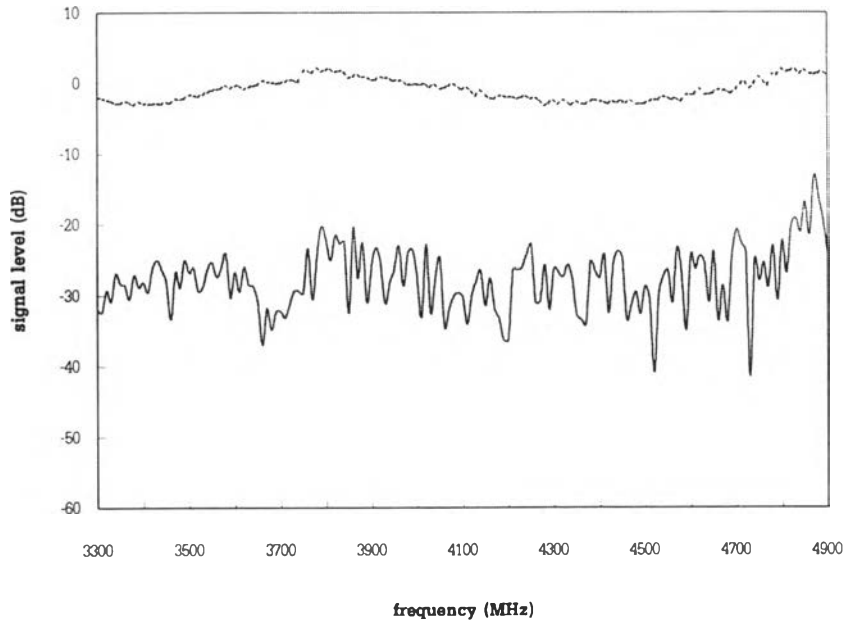


..... ไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่น
 มีแผ่นสะท้อนคลื่น
 จ) สายอากาศรับอยู่ที่ตำแหน่ง 5

รูป 4.27 ลักษณะสมบัติของแผ่นสะท้อนคลื่นในการทดสอบย่านแอล-เอส

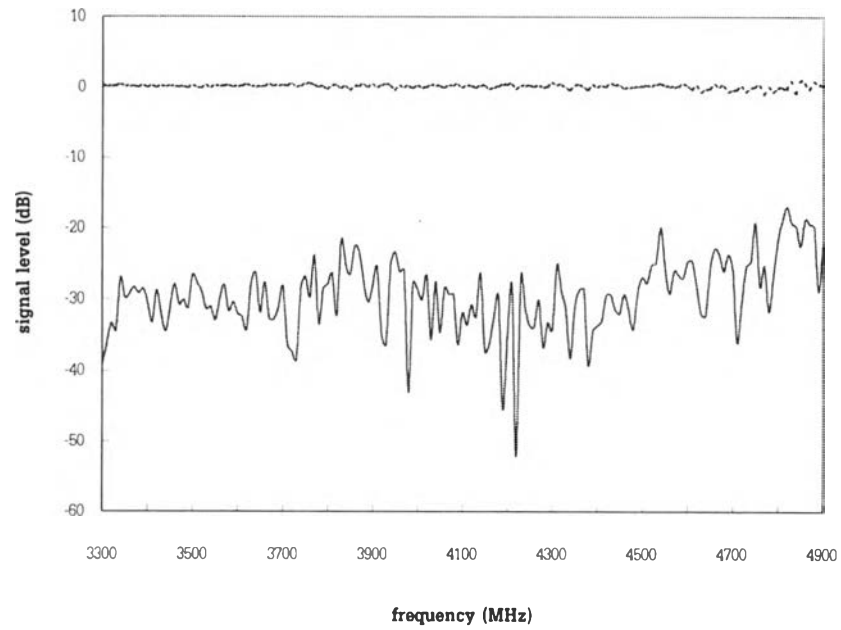


..... ไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่น
 มีแผ่นสะท้อนคลื่น
 ก) สายอากาศรับอยู่ที่ตำแหน่ง 1



..... ไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่น
 มีแผ่นสะท้อนคลื่น
 ข) สายอากาศรับอยู่ที่ตำแหน่ง 2

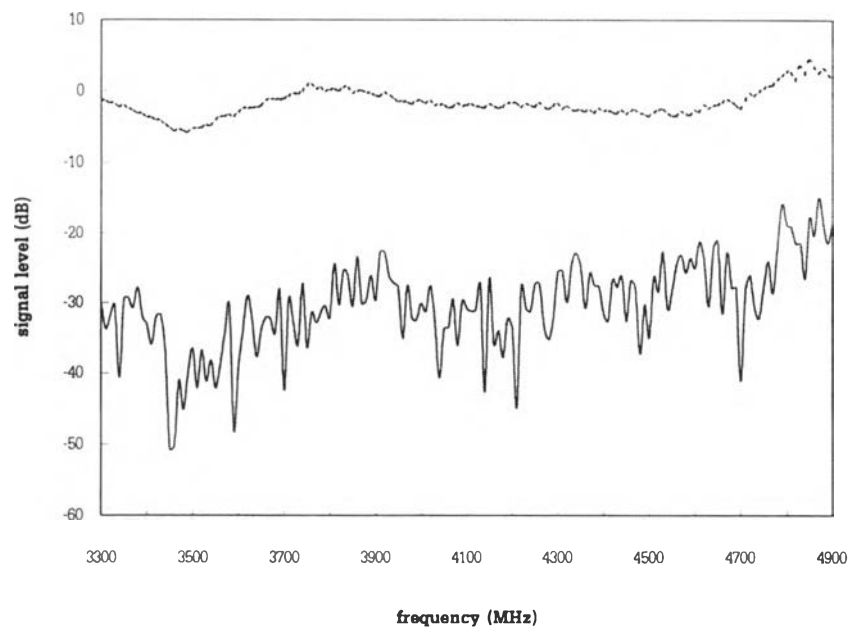
รูป 4.28 ลักษณะสมบัติของแผ่นสะท้อนคลื่นในการทดสอบย่านซี



..... ไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่น

— มีแผ่นสะท้อนคลื่น

ค) สายอากาศรับอยู่ที่ตำแหน่ง 3

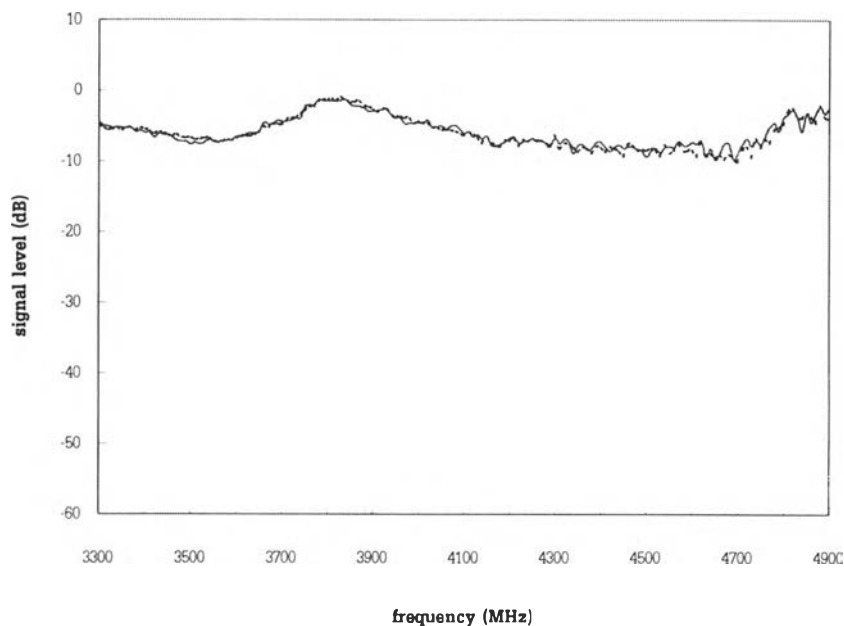


..... ไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่น

— มีแผ่นสะท้อนคลื่น

ง) สายอากาศรับอยู่ที่ตำแหน่ง 4

รูป 4.28 ลักษณะสมบัติของแผ่นสะท้อนคลื่นในการทดสอบย่านซี



..... ไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่น
 มีแผ่นสะท้อนคลื่น
 จ) สายอากาศรับอยู่ที่ตำแหน่ง 5

รูป 4.28 ลักษณะสมบัติของแผ่นสะท้อนคลื่นในการทดสอบย่านซี

ผลการทดสอบทั้งสองย่านเมื่อสายอากาศรับอยู่ที่ตำแหน่ง 2, 3 และ 4 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ถูกแผ่นสะท้อนคลื่นบังโดยตรง ดังรูป 4.27 ข), ค) และ ง) ตามลำดับสำหรับการทดสอบย่านแอล-เอส และรูป 4.28 ข), ค) และง) ตามลำดับสำหรับการทดสอบย่านซี แสดงให้เห็นว่าระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อมีแผ่นสะท้อนคลื่นมาบังสัญญาณจากสายอากาศส่งน้อยกว่าเมื่อไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่นโดยเฉลี่ยแล้วไม่ต่ำกว่า 20 เดซิเบล โดยเฉพาะในช่วงความถี่ที่กลางย่านการทดลองของแต่ละย่านซึ่งครอบคลุมความถี่ที่ใช้ในการทดลองจริง (ความถี่ 2.15 จิกะเฮิรตซ์สำหรับการทดลองย่านแอล-เอส และ 4.10 จิกะเฮิรตซ์สำหรับการทดลองย่านซี) ระดับสัญญาณเมื่อมีแผ่นสะท้อนต่ำกว่าเมื่อไม่มีแผ่นสะท้อนมากกว่า 20 เดซิเบลแน่นอน ขณะที่เมื่อสายอากาศรับอยู่นอกแนวแผ่นสะท้อนคลื่น ระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อมีแผ่นสะท้อนต่ำกว่าเมื่อไม่มีแผ่นสะท้อนประมาณ 5 เดซิเบลเมื่อสายอากาศรับอยู่ที่ตำแหน่ง 1 ดังรูป 4.27 ก) สำหรับการทดสอบในย่านแอล-เอส และรูป 4.28 ก) สำหรับการทดสอบในย่านซี และระดับสัญญาณเมื่อมีและไม่มีแผ่นสะท้อนมีค่าใกล้เคียงกันมากเมื่อสายอากาศรับอยู่ที่ตำแหน่ง 5 ดังรูป 4.27 จ) สำหรับการทดสอบในย่านแอล-เอส และรูป 4.28 จ) สำหรับการทดสอบในย่านซี การที่ตำแหน่งสายอากาศรับตำแหน่ง 1 และ 5 ซึ่งอยู่นอกแนวแผ่นสะท้อนเป็นระยะทางระยะทางเท่ากันแต่ให้ผลการทดสอบต่างกันอาจมีสาเหตุมาจากสิ่งแวดล้อมทางด้านตำแหน่ง 1 มีผลต่อการสะท้อนคลื่นเนื่องจากอยู่ติดผนังอาคาร ขณะที่สิ่งแวดล้อมทางฝั่งตำแหน่ง 5 เป็นที่โล่ง ผลการทดสอบ

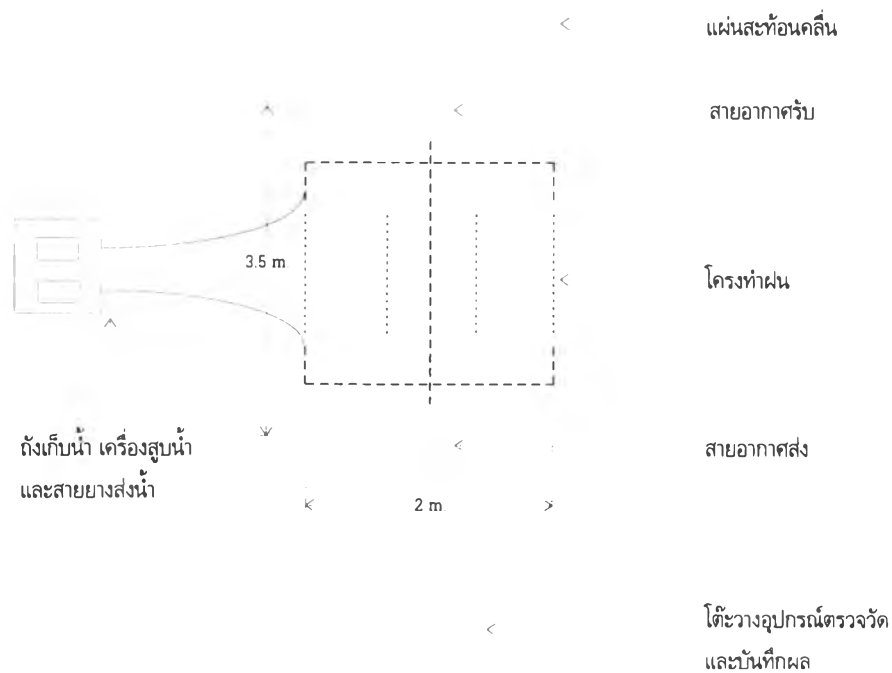
เมื่อมีและไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่นจึงได้ใกล้เคียงกันเนื่องจากไม่มีผลหรือมีผลจากการสะท้อนจากสิ่งแวดล้อม น้อยมาก จากผลการทดสอบทั้งในย่านแอล-เอสและย่านซีเปรียบเทียบระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อมีและไม่มีแผ่นสะท้อนคลื่น และให้สายอากาศรับอยู่ในตำแหน่งต่างกัน สรุปได้ว่าแผ่นสะท้อนคลื่นมีคุณสมบัติสะท้อนคลื่นได้ในระดับหนึ่งตามต้องการ

ผลการทดลองศึกษาปัญหาการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนโดยอาศัยชุดทดลอง

การศึกษานี้ศึกษาปัญหาการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนโดยอาศัยชุดทดลองทำในลักษณะควบคู่กับการวิเคราะห์ทางทฤษฎี กล่าวคือ จะทำการตรวจวัดปริมาณการลดทอนและปริมาณการเลื่อนเฟสของสัญญาณในแต่ละโพลาริเซชันเพื่อเปรียบเทียบผลการตรวจวัดกับผลการวิเคราะห์ทำการแพร่กระจายจำเพาะ (การลดทอนและการเลื่อนเฟสจำเพาะ) และสัมประสิทธิ์ผลต่างของการแพร่กระจาย (สัมประสิทธิ์ผลต่างของการลดทอนและการเลื่อนเฟส) นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจวัดระดับสัญญาณและเฟสทั้งในแนวโพลาริเซชันร่วมขั้วและแนวโพลาริเซชันข้ามขั้วสำหรับใช้พิจารณาการแยกแยะโพลาริเซชันไขว้ด้วย แม้ว่าผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎีตามบทที่ 3 จะแสดงให้เห็นว่าปริมาณการแยกแยะโพลาริเซชันไขว้ที่ความถี่ที่ใช้ในการทดลองทั้งสองย่าน (2.15 และ 4.10 จิกะเฮิร์ตซ์) มีค่าสูงมากจนไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในการปฏิบัติจริง

สำหรับวิธีการตรวจวัดทำโดยจัดอุปกรณ์ดังรูป 4.29 และเนื่องจากสายอากาศที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับมีเพียง 1 ต้น จึงทำให้การวัดสัญญาณโพลาริเซชันร่วมขั้วและสัญญาณโพลาริเซชันข้ามขั้วไม่สามารถทำพร้อมกันได้ ผลการตรวจวัดจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความต่างทางด้านเวลาอยู่ด้วย นอกจากนี้ในการตรวจวัดปริมาณการลดทอนและการเลื่อนเฟสที่อัตราการตกต่าง ๆ จะทำการตรวจวัดระดับสัญญาณและเฟสขณะที่ไม่มีฝนใหม่ทุกครั้ง เพื่อให้สัญญาณอ้างอิงในการตรวจวัดที่แต่ละอัตราการตกอยู่ใกล้กับสัญญาณที่ต้องการตรวจวัดมากที่สุด ดังนั้นในการตรวจวัดในแต่ละชุดจึงประกอบไปด้วยการตรวจวัดขนาดและเฟสของสัญญาณโพลาริเซชันร่วมขั้วขณะที่ไม่มีฝนตกเพื่อใช้เป็นระดับอ้างอิง จากนั้นจึงทำการตรวจวัดสัญญาณโพลาริเซชันร่วมขั้วขณะที่มีฝนตกแล้วจึงทำการตรวจวัดสัญญาณโพลาริเซชันข้ามขั้วขณะที่ไม่มีฝนตกและขณะที่มีฝนตกตามลำดับ ผลการตรวจวัดทั้งหมดแสดงแยกในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้

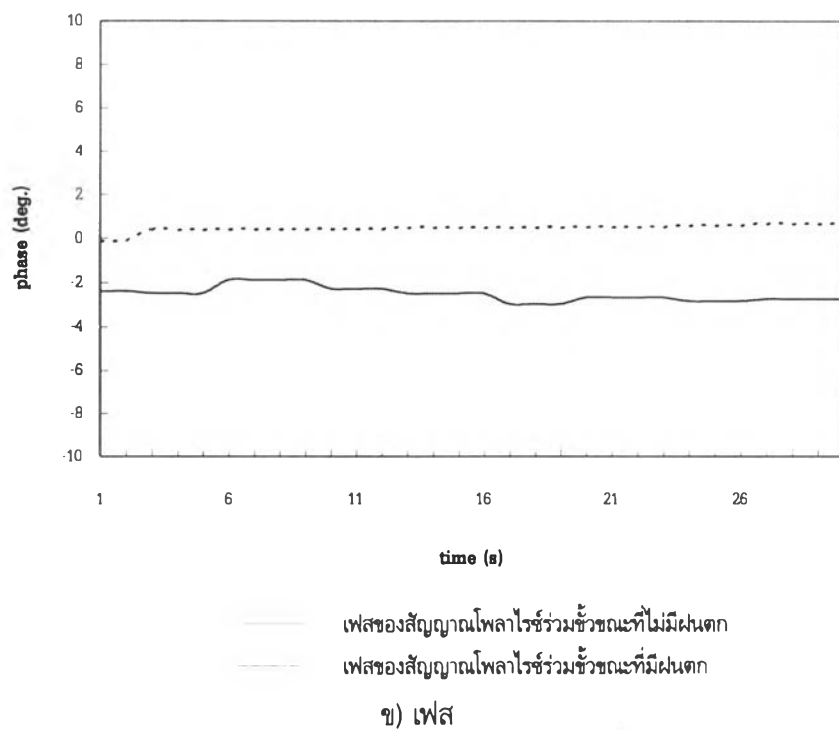
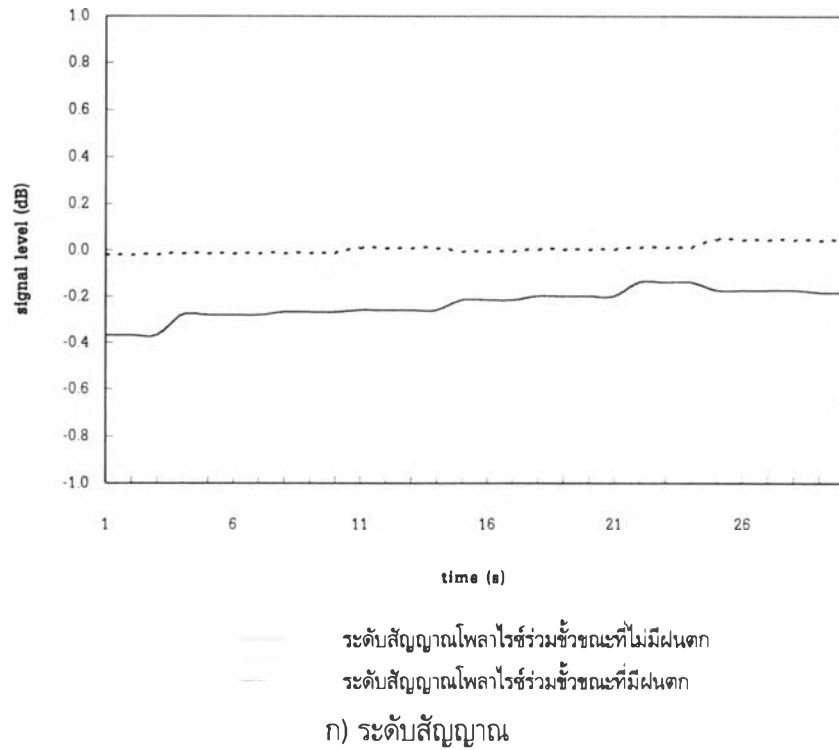
การตรวจวัดในแต่ละครั้งใช้เวลา 30 วินาที ตัวอย่างผลการตรวจวัดในช่วงเวลา 30 วินาทีนี้แสดงดังรูป 4.30 ก) และ ข) และรูป 4.31 ก) และ ข) โดยรูป 4.30 เป็นตัวอย่างผลการตรวจวัดที่ความถี่ย่านแอล-เอส และรูป 4.31 เป็นตัวอย่างที่ความถี่ย่านซี สำหรับผลการตรวจวัดทั้งหมดสรุปเป็นค่าเฉลี่ยในตารางของแต่ละหัวข้อต่อไปนี้



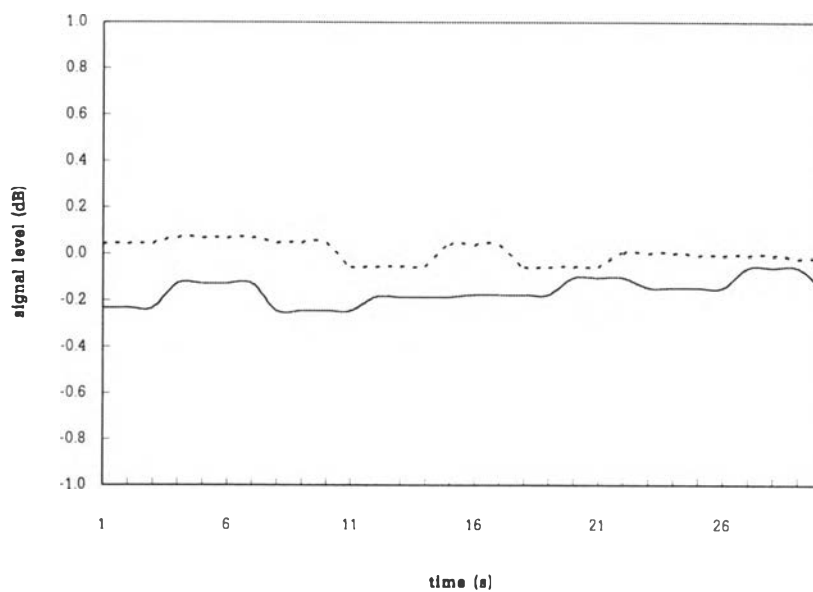
รูป 4.29 การจัดวางอุปกรณ์ในการตรวจวัด

1. การแพร่กระจายจำเพาะที่อัตราการตกต่าง ๆ (กรณีที่โพลาริเซชันเป็นแบบแนวตั้ง)

การตรวจวัดปริมาณการลดทอนและการเลื่อนเฟสทั้งความถี่ย่านแอล-เอสและย่านซีที่อัตราการตกต่าง ๆ ทำโดยให้โพลาริเซชันเป็นแนวตั้ง ผลการตรวจวัดสัญญาณโพลาริเซชันร่วมชี้แสดงในรูปค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณและเฟสขณะที่ไม่มีฝนตกและมีฝนตกที่อัตราการตกต่างๆ มีสรุปในตาราง 4.6 และ ตาราง 4.7 ตามลำดับ นอกจากนี้ตารางทั้งสองได้แสดงผลต่างของระดับสัญญาณและเฟสขณะที่ไม่มีและเมื่อฝนตก เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณการแพร่กระจายจำเพาะไว้ด้วย

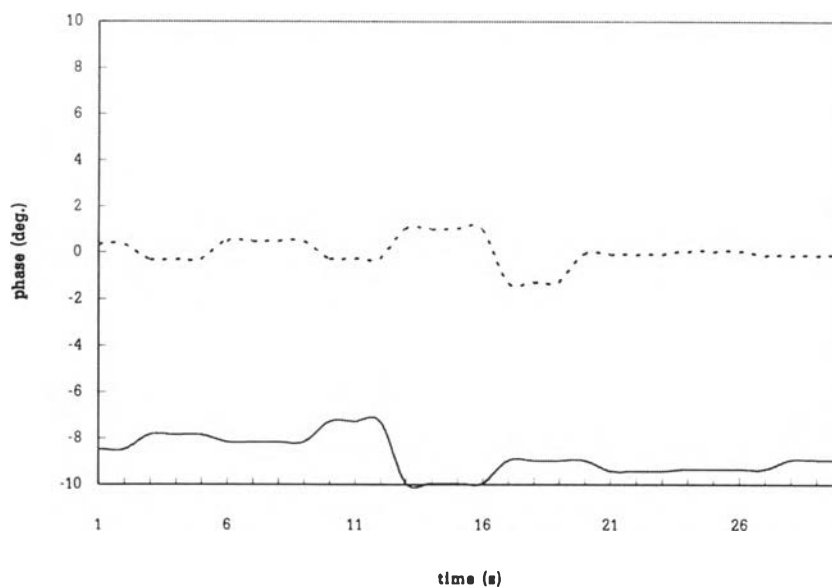


รูป 4.30 ระดับสัญญาณและเฟสของสัญญาณโพลาริซร่วมชั่วคราวสำหรับการตรวจวัดย่านแอล-เอส ที่อัตราการตกกระดกที่ 1 (79.8 mm./min.)



ระดับสัญญาณโพลาริซร่วมชั่วคราวที่ไม่มีฝนตก
 ระดับสัญญาณโพลาริซร่วมชั่วคราวที่มีฝนตก

ก) ระดับสัญญาณ



เฟสของสัญญาณโพลาริซร่วมชั่วคราวที่ไม่มีฝนตก

เฟสของสัญญาณโพลาริซร่วมชั่วคราวที่มีฝนตก

ข) เฟส

รูป 4.31 ระดับสัญญาณและเฟสของสัญญาณโพลาริซร่วมชั่วคราวสำหรับการตรวจวัดย่านซี
 ที่อัตราการตกกระด้างที่ 1 (79.8 mm./min.)

ตาราง 4.6 ค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณโพลาริซั่มร่วมซ้ำ

อัตราการตกของฝน		ระดับสัญญาณ (dB)	
		ความถี่ย่านแอล-เอส	ความถี่ย่านซี
ระดับที่ 1	ไม่มีฝนตก	0.0215	0.0733
	มีฝนตก	-0.2211	-0.2097
	การลดทอน	0.2426	0.2830
	การลดทอน (คำนวณ)	0.0026	0.0202
ระดับที่ 2	ไม่มีฝนตก	0.0250	0.0956
	มีฝนตก	-0.1860	-0.1519
	การลดทอน	0.2110	0.2475
	การลดทอน (คำนวณ)	0.0023	0.0175
ระดับที่ 3	ไม่มีฝนตก	0.0284	0.0817
	มีฝนตก	-0.1464	-0.1117
	การลดทอน	0.1748	0.1934
	การลดทอน (คำนวณ)	0.0018	0.0142
ระดับที่ 4	ไม่มีฝนตก	0.0196	0.1012
	มีฝนตก	-0.1342	-0.0601
	การลดทอน	0.1538	0.1613
	การลดทอน (คำนวณ)	0.0015	0.0113

ตาราง 4.7 ค่าเฉลี่ยของเฟสของสัญญาณโพลาริซั่มร่วมซ้ำ

อัตราการตกของฝน		เฟส (deg.)	
		ความถี่ย่านแอล-เอส	ความถี่ย่านซี
ระดับที่ 1	ไม่มีฝนตก	0.2804	-0.4043
	มีฝนตก	-2.5727	-9.2613
	การเลื่อนเฟส	2.8531	8.8570
	การเลื่อนเฟส (คำนวณ)	1.0568	2.0075
ระดับที่ 2	ไม่มีฝนตก	0.2765	-0.8322
	มีฝนตก	-1.0459	-7.5085
	การเลื่อนเฟส	1.3224	6.6763
	การเลื่อนเฟส (คำนวณ)	0.9547	1.8193
ระดับที่ 3	ไม่มีฝนตก	0.3010	-0.7638
	มีฝนตก	-0.6558	-5.0736
	การเลื่อนเฟส	0.9568	4.3098
	การเลื่อนเฟส (คำนวณ)	0.8279	1.5740
ระดับที่ 4	ไม่มีฝนตก	0.2588	-0.4532
	มีฝนตก	0.0428	-2.9933
	การเลื่อนเฟส	0.3016	2.5401
	การเลื่อนเฟส (คำนวณ)	0.7070	1.3347

จากรูปตัวอย่างและข้อมูลค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดในตาราง 4.6 และ 4.7 สามารถวิเคราะห์ผลการตรวจวัดได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาระดับสัญญาณและเฟสของผลการตรวจวัดที่ความถี่ทั้งสองย่านพบว่า ระดับสัญญาณและเฟสของผลการตรวจวัดมีค่าไม่คงที่ตลอดช่วงเวลาของการทดลอง ทั้งนี้เป็นสาเหตุมาจากผลของลมที่ทำให้ฝนที่ได้จากชุดทดลองมีการแกว่งตัว การกระจายขนาดและตำแหน่งไม่เป็นแบบเอกรูปตามสมมติฐานในการออกแบบชุดทดลอง นอกจากนี้ลมยังทำให้สายอากาศแกว่งตัวในระดับหนึ่งเนื่องจากขาตั้งและปากจับสายอากาศไม่แข็งแรงเพียงพอ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลการตรวจวัดมีค่าไม่คงที่ด้วยโดยเฉพาะที่ความถี่ย่านซีซึ่งสายอากาศมีขนาดเล็กกว่าที่ความถี่ย่านแอล-เอส สำหรับผลการตรวจวัดที่ความถี่ย่านแอล-เอสมีแนวโน้มที่คงตัวมากกว่าที่ความถี่ย่านซีเนื่องจากลักษณะสมบัติของเครื่องมือวัด

2. ปริมาณการลดทอนสัญญาณโพลาริซั่มร่วมขั้วของการตรวจวัดที่ความถี่ทั้งสองย่าน มีค่าต่างจากผลที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ซึ่งเป็นไปได้ว่าทฤษฎีทางทฤษฎีไม่สามารถใช้ได้กับการตรวจวัดโดยอาศัยฝนจากโครงทำฝนอย่างง่าย ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากค่าปัจจัยหลายประการที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่ตรงกับลักษณะของฝนที่ได้จากชุดทดลอง ค่าปัจจัยเหล่านี้ได้แก่

2.1 ขนาดและรูปร่างของอนุภาคฝน

2.2 การกระจายขนาดและตำแหน่งของอนุภาคฝน

2.3 ความเร็วปลายในการตกของอนุภาคฝน เนื่องจากฝนที่ได้จากโครงทำฝนอย่างง่ายไม่ได้ตกอย่างอิสระภายใต้เงื่อนไขความสูงอย่างน้อยที่สุด 12 เมตร และการมีความเร็วต้นเนื่องจากแรงดันจากเครื่องสูบน้ำ

ค่าปัจจัยทั้งสามข้อนี้มีผลทำให้ปริมาตรรวมของน้ำฝนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรมีค่าสูงกว่าปริมาตรรวมที่อาจเกิดขึ้นในบรรยากาศจริงมาก ผลข้อนี้จะมีผลต่อการวิเคราะห์หาค่าสภาพยอมประสิทธิผลของบรรยากาศขณะที่มีฝนตกซึ่งจะมีผลต่อการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเพื่อหาปริมาณการแพร่กระจายจำเพาะ ผลต่างของการแพร่กระจาย และการแยกแยะโพลาริซั่มไขว้ตามมาด้วย

ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณการแพร่กระจายจำเพาะคือ ขนาดของอนุภาคฝนที่ใช้ในการคำนวณปริมาณการลดทอนและการเลื่อนเฟสจำเพาะเป็นค่าเฉลี่ยของขนาดของอนุภาคฝนเมื่อประมาณว่ารูปร่างของอนุภาคฝนเป็นทรงกลมแบนขั้ว ขณะที่ฝนที่ได้จากโครงทำฝนไม่สามารถยืนยันได้ชัดเจนว่ามีรูปร่างเป็นอย่างไร แต่จากการสังเกตด้วยตาพบว่ามีลักษณะเป็นสายและเกิดการแตกตัวเป็นหยดที่ความสูงระดับต่ำ ลักษณะเช่นนี้จึงอาจมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณและเฟสของสัญญาณที่มีโพลาริซั่มอยู่ในแนวตั้งมีค่ามากกว่าปริมาณที่ได้จากการคำนวณโดยอาศัยค่าเฉลี่ยของขนาดของอนุภาคฝนเมื่อประมาณว่ารูปร่างของอนุภาคฝนเป็นทรงกลมแบนขั้ว

เมื่อพิจารณาเฉพาะขนาดของการลดทอนสำหรับการตรวจวัดทั้งที่ความถี่ย่านแอล-เอสและความถี่ย่านซี เห็นได้ว่าผลการตรวจวัดทั้งสองย่านมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแตกต่างจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์ที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณการลดทอนจากการตรวจวัดที่ความถี่ย่านซีมีค่าสูงกว่าการตรวจวัดที่ความถี่ย่านแอล-เอส

อย่างไรก็ตามผลการตรวจวัดทั้งสองย่านสามารถแสดงให้เห็นถึงการลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝนได้ ดังนั้นความแตกต่างระหว่างผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์จึงน่าจะอยู่ที่กรรมวิธีและค่าปัจจัยที่นำมาใช้วิเคราะห์ไม่สอดคล้องกับลักษณะของฝนที่ได้จากชุดทดลอง

3. เมื่อพิจารณาแนวโน้มของการเลื่อนเฟสของสัญญาณโพลาริซ์ร่วมชั่วคราวที่ตรวจวัดได้ทั้งที่ความถี่ย่านแอล-เอสและความถี่ย่านซี พบว่าปริมาณการเลื่อนเฟสจากการตรวจวัดที่ความถี่ย่านซีมีค่ามากกว่าที่ความถี่ย่านแอล-เอสซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณ นอกจากนี้ปริมาณการเลื่อนเฟสที่ตรวจวัดได้ทั้งสองย่านมีแนวโน้มค่อนข้างสอดคล้องกับอัตราการตกของฝน และปริมาณที่ได้อยู่ในอันดับเดียวกับผลการคำนวณทางทฤษฎี แม้ว่ายังมีค่าต่างกันอยู่มากสำหรับการตรวจวัดที่ความถี่ย่านซีก็ตาม

2. ผลต่างของการแพร่กระจาย

การวิเคราะห์หาผลต่างของการแพร่กระจายทำโดยการตรวจวัดระดับสัญญาณและเฟสของสัญญาณโพลาริซ์ร่วมชั่วคราวเมื่อทั้งสายอากาศรับและสายอากาศส่งวางตัวในลักษณะที่รับและส่งคลื่นในแนวโพลาริเซชันระดับ ค่าเฉลี่ยของปริมาณการลดทอนและปริมาณการเลื่อนเฟสของสัญญาณโพลาริซ์ร่วมชั่วคราวทั้งสองย่านความถี่เมื่อจัดวางสายอากาศให้โพลาริเซชันอยู่ในแนวระดับโดยที่อัตราการตกของฝนเป็นระดับที่ 1 และ 2 มีสรุปในตาราง 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ โดยแสดงเปรียบเทียบผลการตรวจวัดและการคำนวณ นอกจากนี้ตารางทั้งสองได้แสดงค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณและเฟสกรณีโพลาริเซชันเป็นแนวตั้งไว้เพื่อเปรียบเทียบหาผลต่างของการลดทอนและผลต่างของการเลื่อนเฟสด้วย

ตาราง 4.8 ปริมาณการลดทอนของสัญญาณที่มีโพลาริเซชันแนวระดับและแนวตั้ง
เปรียบเทียบผลการตรวจวัดและการคำนวณทางทฤษฎี

ระดับสัญญาณ		ปริมาณการลดทอน (dB)	
		ความถี่ย่านแอล-เอส	ความถี่ย่านซี
โพลาริเซชันแนวระดับ อัตราการตกระดับที่ 1	ผลการตรวจวัด	0.2083	0.1654
	ผลการคำนวณ	0.0031	0.0235
โพลาริเซชันแนวตั้ง อัตราการตกระดับที่ 1	ผลการตรวจวัด	0.2426	0.2830
	ผลการคำนวณ	0.0019	0.0149
โพลาริเซชันแนวระดับ อัตราการตกระดับที่ 2	ผลการตรวจวัด	0.0854	0.2201
	ผลการคำนวณ	0.0026	0.0203
โพลาริเซชันแนวตั้ง อัตราการตกระดับที่ 2	ผลการตรวจวัด	0.2110	0.2475
	ผลการคำนวณ	0.0017	0.0130

ตาราง 4.9 ปริมาณการเลื่อนเฟสของสัญญาณที่มีโพลาริเซชันแนวระดับและแนวตั้ง
เปรียบเทียบผลการตรวจวัดและการคำนวณทางทฤษฎี

เฟส		ปริมาณการเลื่อนเฟส (deg.)	
		ความถี่ย่านแอล-เอส	ความถี่ย่านซี
โพลาริเซชันแนวระดับ	ผลการตรวจวัด	1.7066	5.8349
	อัตราการตรวจระดับที่ 1	ผลการคำนวณ	1.1159
โพลาริเซชันแนวตั้ง	ผลการตรวจวัด	2.8531	8.5700
	อัตราการตรวจระดับที่ 1	ผลการคำนวณ	0.9558
โพลาริเซชันแนวระดับ	ผลการตรวจวัด	0.9314	5.2322
	อัตราการตรวจระดับที่ 2	ผลการคำนวณ	1.0097
โพลาริเซชันแนวตั้ง	ผลการตรวจวัด	1.3224	6.6763
	อัตราการตรวจระดับที่ 2	ผลการคำนวณ	0.8678

พิจารณาแนวโน้มของข้อมูลตามตาราง 4.8 และ 4.9 เห็นได้ว่าผลการตรวจวัดที่ความถี่ทั้งสองย่าน ปริมาณการลดทอนและการเลื่อนเฟสในกรณีที่โพลาริเซชันเป็นแนวระดับมีค่าน้อยกว่ากรณีที่โพลาริเซชันเป็นแนวตั้ง ซึ่งขัดแย้งกับผลการคำนวณที่ถือว่ารูปร่างของอนุภาคฝนเป็นทรงกลมแบนห้วน แต่ผลการตรวจวัดดังกล่าวสอดคล้องกับรูปร่างของฝนที่ได้จากโครงทำฝนอย่างง่ายตามการสังเกตด้วยตาว่ามีลักษณะเป็นสาย อย่างไรก็ตามแม้ไม่อาจหาข้อสรุปเกี่ยวกับลักษณะของฝนที่ได้จากชุดทดลองในขณะนี้ได้แต่ผลการตรวจวัดได้แสดงให้เห็นถึงผลต่างของการลดทอนและผลต่างของการเลื่อนเฟสที่เกิดขึ้นเมื่อให้แนวโพลาริเซชันของคลื่นที่เดินทางผ่านบรรยากาศขณะที่มีฝนตกวางตัวตรงกับแนวแกนหลักที่ต่างกัน ดังนั้นจึงถือว่าผลการตรวจวัดโดยอาศัยชุดทดลองสามารถแสดงกลไกการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนได้

3. การแยกแยะโพลาริเซชันไขว้

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าปริมาณการแยกแยะโพลาริเซชันไขว้ที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีสำหรับความถี่ทั้งย่านแอล-เอสและย่านซีมีค่าสูงมากกว่าอัตราส่วนระดับสัญญาณโพลาริซ์ร่วมชั่วต่อระดับสัญญาณโพลาริซ์ข้ามชั่วของสายอากาศจึงไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในข่ายเชื่อมโยงจริง ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณการแยกแยะโพลาริเซชันไขว้จากผลการตรวจวัดจึงเป็นเพียงการกล่าวเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลการตรวจวัดระดับสัญญาณโพลาริซ์ข้ามชั่วเท่านั้น โดยปริมาณผลต่างของการลดทอนสำหรับสัญญาณโพลาริซ์ข้ามชั่วที่ได้จากการตรวจวัดทั้งที่ความถี่ย่านแอล-เอสและย่านซีสรุปในตาราง 4.10

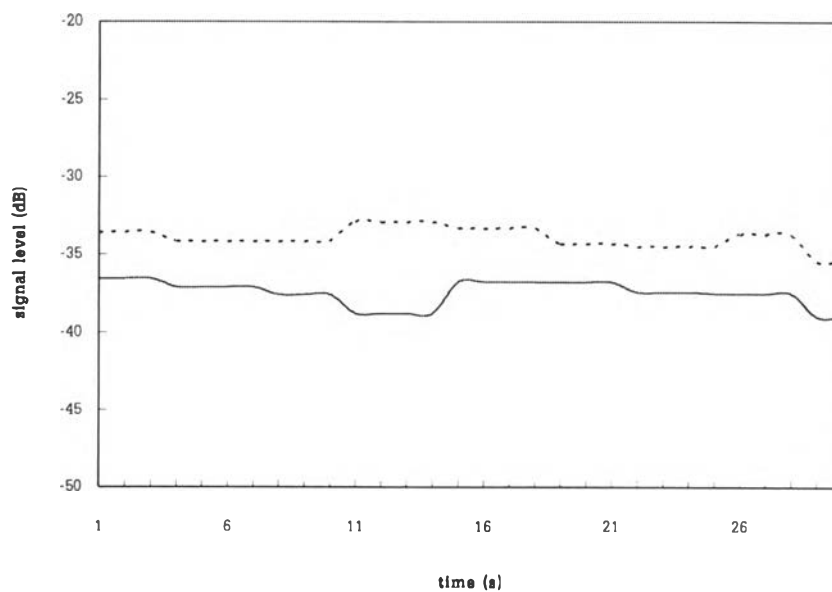
ตาราง 4.10 ค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณโพลาริซชันเมื่อสายอากาศส่งคลื่นโพลาริซชันแนวตั้ง

อัตราการตกของฝน		ปริมาณการลดทอน (dB)	
		ความถี่ย่านแอล-เอส	ความถี่ย่านซี
อัตราการตกระดับที่ 1	ผลการตรวจวัด	3.4826	2.9841
อัตราการตกระดับที่ 2	ผลการตรวจวัด	3.1161	1.2679
อัตราการตกระดับที่ 3	ผลการตรวจวัด	2.7026	-0.2762
อัตราการตกระดับที่ 4	ผลการตรวจวัด	2.3011	-1.3442

สำหรับการตรวจวัดที่ความถี่ย่านแอล-เอส ระดับสัญญาณโพลาริซชันแนวตั้งมีค่าประมาณ -33 เดซิเบล เมื่อทำการตรวจวัดระดับสัญญาณขณะไม่มีฝนตก ซึ่งตรงกับระดับสัญญาณโพลาริซชันแนวตั้งที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ ส่วนระดับสัญญาณขณะที่มีฝนตกที่ทุกอัตราการตกของฝนมีค่าน้อยกว่าระดับสัญญาณขณะไม่มีฝนตกสำหรับผลการตรวจวัดที่ความถี่ย่านซีพบว่ามีการแกว่งตัวที่สูงกว่าแม้ว่าระดับสัญญาณที่รับได้จะมีค่าสูงกว่าและความแรงของสัญญาณส่งมีค่ามากกว่าที่ความถี่ย่านแอล-เอส แสดงตัวอย่างดังรูป 4.32

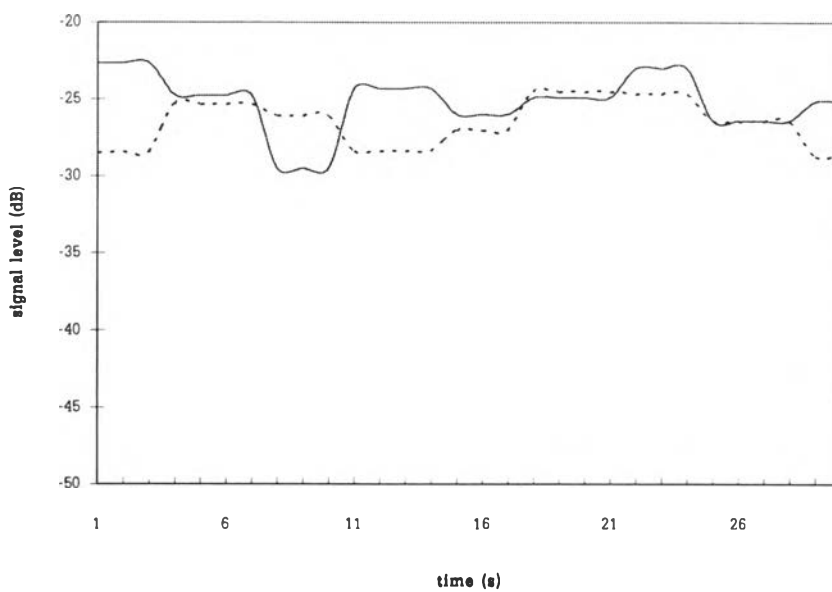
ผลการตรวจวัดระดับสัญญาณโพลาริซชันแนวตั้งขณะที่มีฝนตกที่ความถี่ย่านแอล-เอสทุกอัตราการตกของฝนมีค่าต่ำกว่าขณะที่ไม่มีฝนตกซึ่งเป็นผลที่ขัดแย้งกับการตรวจวัดในข่ายเชื่อมโยงจริงซึ่งระดับสัญญาณโพลาริซชันแนวตั้งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อคลื่นเดินทางผ่านฝน ผลที่ได้นี้อาจอธิบายได้ว่าเนื่องจากการทดลองไม่ได้ปรับแนวการวางตัวของสายอากาศรับและสายอากาศส่งให้คลื่นที่ได้อันมีแนวโพลาริซชันเบนออกจากแนวแกนหลักของฝนที่ได้จากโครงทำฝนอย่างง่ายซึ่งถือว่าตรงกับแนวตั้งและแนวระดับโดยอาศัยสมมติฐานที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 สำหรับการตรวจวัดระดับสัญญาณโพลาริซชันแนวตั้งที่ความถี่ย่านซี พบว่าที่บางอัตราการตกระดับสัญญาณเฉลี่ยขณะไม่มีฝนตกสูงกว่าขณะที่มีฝนตก ขณะที่บางอัตราการตกให้ผลในลักษณะตรงข้ามกัน การแกว่งตัวจนทำให้ไม่สามารถบอกแนวโน้มที่ชัดเจนของระดับสัญญาณและรวมถึงเฟสของสัญญาณโพลาริซชันแนวตั้งที่ความถี่ย่านซีได้เป็นผลมาจากปริมาณพลังงานของสัญญาณโพลาริซชันแนวตั้งมีค่าต่ำมากจนเครื่องมือวัดไม่สามารถตรวจวัดค่าที่แน่นอนได้

สำหรับกรณีที่ทำการปรับแนวโพลาริซชันโดยให้สายอากาศส่งวางตัวทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ และทำการวัดทั้งระดับสัญญาณร่วมแนวตั้งและโพลาริซชันแนวตั้งที่ความถี่ย่านแอล-เอส (ผลการตรวจวัดแสดงสรุปในตาราง 4.11) พบว่าระดับสัญญาณโพลาริซชันแนวตั้งขณะที่มีฝนตกยังคงต่ำกว่าขณะที่ไม่มีฝนตก แต่ปริมาณการลดทอนน้อยลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ให้สายอากาศวางตัวตามแนวตั้งและแนวระดับ



— ระดับสัญญาณโพลาริซ์ร่วมชั่วคราวที่ไม่มีฝนตก
 - - - ระดับสัญญาณโพลาริซ์ร่วมชั่วคราวที่มีฝนตก

ก) ความถี่ย่านแอล-เอส



— ระดับสัญญาณโพลาริซ์ร่วมชั่วคราวที่ไม่มีฝนตก
 - - - ระดับสัญญาณโพลาริซ์ร่วมชั่วคราวที่มีฝนตก

ก) ความถี่ย่านซี

รูป 4.32 ระดับสัญญาณโพลาริซ์ข้ามชั่วที่อัตราการตกกระตบที่ 1 (79.8 mm./min.)

ตาราง 4.11 ค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณโพลาริซชันข้ามหัว
เมื่อสายอากาศส่งวางตัวทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ

อัตราการตกของฝน		ปริมาณการลดทอน (dB)
		ความถี่ย่านแอล-เอส
อัตราการตกระดับที่ 1	ผลการตรวจวัด	2.6940
อัตราการตกระดับที่ 2	ผลการตรวจวัด	2.0047
อัตราการตกระดับที่ 3	ผลการตรวจวัด	1.6618
อัตราการตกระดับที่ 4	ผลการตรวจวัด	1.3518

จากผลการตรวจวัดทั้งหมดอาจสรุปได้ว่า ชุดทดลองเพื่อการศึกษานโยบายการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนไม่สามารถให้ข้อมูลหรือผลการตรวจวัดเพื่อจะบ่งบอกถึงปริมาณการลดทอน การเลื่อนเฟส และการเปลี่ยนโพลาริเซชันได้อย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถใช้เป็นอุปกรณ์การแสดงผลการลดทอน การเลื่อนเฟส และกลไกการเปลี่ยนโพลาริเซชันเนื่องจากฝนได้ สำหรับแนวทางการปรับปรุงชุดทดลองและวิธีการวิเคราะห์จะกล่าวถึงในบทสรุปและข้อเสนอแนะ