

รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสร้างสายอากาศกำลังสูงสำหรับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร

Febrication High Gain Antennas for Data Access  
Device

โดย

ดร.มงคล มีลุน

กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๖

# รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสร้างสายอากาศกำลังสูงสำหรับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร

Febrication High Gain Antennas for Data Access  
Device

โดย

ดร.มงคล มีลุน

ส่วนวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษ  
สำนักเทคโนโลยีและศูนย์ข้อมูลการตรวจสอบ  
กรมสอบสวนคดีพิเศษ

โครงการวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนเงินอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๖

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การสร้างสายอากาศกำลังสูงสำหรับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร ได้รับการสนับสนุน  
เงินทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผ่านสำนักกิจการยุติธรรม (สจร.)  
กระทรวงยุติธรรม เงินงบประมาณ พ.ศ.2556

## บทคัดย่อ

ชื่อโครงการ	การสร้างสายอากาศกำลังสูงสำหรับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร
ชื่อนักวิจัย	ดร.มงคล มีลุน
E-mail	mongkol_m@dsi.go.th
ระยะเวลาโครงการ	1 ตุลาคม 2555 ถึง 30 กันยายน 2556

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างสายอากาศยาแกิ-อูดะ ที่มี 7 อีลิเมนต์ จำนวน 4 วงจร บนแผ่นวงจรพิมพ์ความถี่สูง ป้อนสัญญาณด้วยตัวนำสัญญาณคู่ขนานและแผ่นสะท้อน เพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านรับส่งสัญญาณ โดยเลือกใช้วัสดุเป็นแผ่นวงจรพิมพ์สองด้านร่วมกับแผ่นสะท้อนชนิด FR-4 สายอากาศสร้างบนตัวนำทั้งสองด้านของแผ่นวงจรพิมพ์ สายอากาศที่นำเสนอนี้ ทำงานที่ความถี่ 2.4 GHz ช่วงความถี่ใช้งาน (2:1 VSWR) 2.10 – 2.60 GHz คิดเป็นแบนด์วิดท์ 17 % สายอากาศมีอิมพีแดนซ์ทางด้านเข้า 50 โอห์ม มีอัตราขยายสูงสุด 10 dBi แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบเจาะจงทิศทางในระยะไกล สายอากาศถูกวิเคราะห์และจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม IE3D และวัดประสิทธิภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย มีประโยชน์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในงานระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN 2.4 GHz Band) และภารกิจสืบสวนสอบสวนอาชญากรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อุปกรณ์ไร้สาย

**คำสำคัญ:** สายอากาศยาแกิ-อูดะ, สายนำสัญญาณขนาดเล็ก, สายอากาศเจาะจงทิศทาง

## Abstract

**Project Title:** Fabrication of High Gain Antennas for Data Access Device

**Investigator:** Dr.MONGKOL MEELOON

**E-mail Address:** mongkol\_m@dsi.go.th

**Project Period:** October 1, 2012 to September 30, 2013

This project presents the design and implement of 4 print circuit board YAGI-7E with parallel strip feed line and ground plane reflector installed under antenna. The objective of the ground plane reflector is to increase gain of YAGI antenna which is different from general YAGI antennas used to add the director elements to antenna. The antenna can operate at 2.4 GHz with input impedance  $50\Omega$  and bandwidth (2:1 VSWR) of 17% (about 2.10 – 2.60 GHz). The presented antenna shows a unidirectional pattern with a maximum gain about 10 dBi. The antenna has been designed and simulated by using IE3D program. The presented antenna can be applied for wireless local area network (WLAN 2.4 GHz band) and cyber crime investigation.

**Keyword:** Yagi-Uda Antenna, Microstrip transmission line, Directional Antenna

# โครงการวิจัยเรื่อง สายอากาศกำลังสูงสำหรับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร

## บทสรุปผู้บริหาร

เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารที่ได้รับการพัฒนาให้เจริญก้าวหน้าทำให้การคมนาคมติดต่อสื่อสารกันเป็นไปได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็ว ส่งผลทำให้อาชญากรรมเกิดการเคลื่อนย้ายเปลี่ยนแปลงและพัฒนาในรูปแบบต่างๆ มากมาย ซึ่งหากหน่วยงานด้านกระบวนการยุติธรรมไม่มีการปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีในการสืบสวนสอบสวนให้ทันสมัยแล้ว อาจเป็นการยากที่จะติดตาม ควบคุม อาชญากรได้ทันและเป็นการยากที่จะนำตัวผู้กระทำผิดมาลงโทษได้ นอกจากนี้ความรู้ด้านเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในอาชญากรรม พนักงานสอบสวนเพียงฝ่ายเดียวไม่สามารถรอบรู้ได้ทุกเรื่องเมื่อเทียบกับอาชญากรที่ได้พัฒนาลักษณะและรูปแบบของเทคโนโลยีที่ใช้ในการกระทำ ความผิดอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการติดตาม สืบค้น หาความจริงจึงจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาช่วยในการสืบสวนสอบสวนเพื่อแสวงหาพยานหลักฐาน โดยให้เป็นไปตามหลักการรับฟังพยานหลักฐานของศาล ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่นำมาช่วยในการสืบสวนสอบสวนคดีอาญาให้มีประสิทธิภาพ โดยการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ได้จากการวิจัย เพื่อนำมาใช้กับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร ของกรมสอบสวนคดีพิเศษ

ส่วนวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษ สำนักเทคโนโลยีและศูนย์ข้อมูลการตรวจสอบ กรมสอบสวนคดีพิเศษเป็นหน่วยงานรับผิดชอบในการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษ สำหรับการสืบสวนคดีพิเศษ ให้มีประสิทธิภาพ เครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร ของกรมสอบสวนคดีพิเศษ มีไว้เพื่อให้เจ้าหน้าที่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษใช้ในการสืบสวนสอบสวนคดีพิเศษให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งส่วนมากมีการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) เครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารมีส่วนประกอบของวงจรที่มีความสำคัญในการรับสัญญาณที่ต้องการที่เป็นความถี่เดียวกันทั้งภาครับและภาคส่ง ทำให้สัญญาณมีความชัดเจนและส่งได้ในระยะทางที่ไกล ส่วนประกอบนั้นคือ สายอากาศ (Antenna) ซึ่งใช้เป็นตัวเลือกรับสัญญาณที่ต้องการจากภาคส่งให้ได้สัญญาณที่มีความแรงและตัดสัญญาณรบกวนให้น้อยที่สุด โดยส่วนประกอบดังกล่าวมีความจำเป็นต่ออุปกรณ์สื่อสารทุกชนิด แต่สายอากาศของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารของกรมสอบสวนคดีพิเศษมีประสิทธิภาพไม่เท่าที่ควร ปัญหาจากการใช้งานเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารพบว่าสัญญาณมีความแรงน้อยลงเมื่อระยะทางระหว่างเครื่องรับ-ส่ง มีระยะทางไกลมากขึ้น ทำให้ความชัดเจนของสัญญาณภาพและเสียงลดลงส่งผลให้ใช้เป็นพยานหลักฐานในชั้นศาลไม่ได้

ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารในครั้งนี้ ได้ทำการวิจัยและพัฒนาสายอากาศ (Antenna) ของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม เพื่อเพิ่มกำลังในการรับส่งให้ดีที่สุดส่งผลให้ได้ระยะทางไกลมากขึ้น เพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ในการปฏิบัติงาน ลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้ออุปกรณ์เพิ่มเติมจากต่างประเทศ เป็นการสร้างองค์ความรู้และนวัตกรรมที่เป็นรากฐานในการวิจัยและพัฒนาเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารอื่นๆ ของกรมสอบสวนคดีพิเศษต่อไป

โครงการวิจัยนี้ได้รับงบประมาณวิจัยจากสำนักกิจการยุติธรรม กระทรวงยุติธรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๕๖ นำเสนอสายอากาศกำลังสูงสำหรับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารแบบยากิ เพื่อใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพสายอากาศของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารของกรมสอบสวนคดีพิเศษให้มีระยะการสื่อสารระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับให้มากขึ้น การออกแบบไม่ซับซ้อน และได้นำเทคนิคแผ่นสะท้อนมาเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศให้มากขึ้น ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยตัวสะท้อนคลื่น ตัวขับ และตัวกำหนดทิศทางหรือไดเรกเตอร์ โดยได้สร้างสายอากาศจำนวนสี่ชิ้น และใช้เทคนิคการเจาะช่องแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อลดน้ำหนักของสายอากาศให้ลดลง เพื่อสะดวกในการใช้งาน ผลจากการวัดและผลการจำลองมีความใกล้เคียงกัน โดยสายอากาศทำงานที่ความถี่ 2.08-2.54 GHz และอัตราขยาย ประมาณ 6.77 dBi-10.76 dBi นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบกับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารในสภาวะใช้งานจริง พบว่าสายอากาศของเครื่องส่งเดิม มีระยะสูงสุด ประมาณ 500 เมตร ส่วนสายอากาศที่สร้างขึ้นแบบที่ 1 และ 3 มีระยะสูงสุด ประมาณ 1,600 เมตร และสายอากาศที่สร้างขึ้นแบบที่ 2 และ 4 มีระยะสูงสุด ประมาณ 3,000 เมตร จึงทำให้สายอากาศของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารมีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม

จากการทดสอบสายอากาศ ณ พื้นที่จังหวัดเชียงราย ทำให้ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์เพื่อนำมาปรับปรุงการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษต่อไป คือ ความต้องการให้มีตัวส่งหลายตัวเพื่อให้สามารถสังเกตการณ์ในจุดต่างๆ ได้อย่างทั่วถึง และตัวรับตัวเดียวสามารถแสดงผลตัวส่งพร้อมกันได้ในเวลาเดียวกัน รวมถึงการชาร์จพลังงานของแบตเตอรี่แบบไร้สายว่าสามารถทำได้หรือไม่เพื่อการใช้งานได้ในระยะเวลานานและสามารถอำพรางเพื่อไม่ให้ฝ่ายตรงข้ามสังเกตเห็นได้

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
บทสรุปผู้บริหาร	ง
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดโครงการ	2
1.5 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	10
1.6 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	16
1.7 วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง	16
1.8 ระยะเวลาทำการวิจัย	17
1.9 งบประมาณของโครงการ	18
1.10 ผลสำเร็จและความคุ้มค่าที่คาดว่าจะได้รับ	19
บทที่ 2. การออกแบบและการสร้าง	20
2.1 ทฤษฎีการออกแบบสายอากาศยาก็-อูตะ	20
2.2 การวิเคราะห์และการออกแบบสายอากาศ	26
2.2 การจำลองผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศยาก็แบบที่ 1	27
2.3 การจำลองผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศยาก็แบบที่ 2	29
2.4 ชิ้นงานจริงของสายอากาศ	31
บทที่ 3. การทดลองและทดสอบ	34
3.1 การทดลองและทดสอบในห้องปฏิบัติการ	34
3.2 การทดลองและทดสอบในสภาวะใช้งานจริง	43
บทที่ 4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
4.1 สรุปผลการวิจัย	46
4.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย	48
ประวัติคณะวิจัย	49



# บทที่ 1

## บทนำ

### ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เจตนารมณ์ที่สำคัญในการกำหนดให้มีงานสอบสวนคดีพิเศษขึ้นก็เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องในกระบวนการยุติธรรมและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพและสร้างความเชื่อมั่นให้กับประชาชนให้มากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าเทคโนโลยีที่ช่วยในการสืบสวนสอบสวนในปัจจุบันไม่สามารถแก้ไขปัญหาในการรวบรวมพยานหลักฐานในคดีบางประเภทได้รวมทั้งการสืบสวนสอบสวนตามที่บัญญัติไว้ในประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา ยังไม่เอื้ออำนวยต่อการสืบหาข้อเท็จจริงและหลักฐานที่ซับซ้อนในขณะที่ปัญหาอาชญากรรมได้มีการเปลี่ยนแปลง และพัฒนาไปในรูปแบบต่างๆ มากมาย เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารที่ได้รับการพัฒนาให้เจริญก้าวหน้าทำให้การคมนาคมติดต่อสื่อสารกันเป็นไปได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็ว ส่งผลให้อาชญากรรมเกิดการเคลื่อนย้าย เปลี่ยนแปลงและพัฒนาในรูปแบบต่างๆ มากมาย ซึ่งหากหน่วยงานด้านกระบวนการยุติธรรมไม่มีการปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีในการสืบสวนสอบสวนให้ทันสมัยแล้ว อาจเป็นการยากที่จะติดตาม ควบคุม อาชญากรได้ทันและเป็นการยากที่จะนำตัวผู้กระทำผิดมาลงโทษได้ นอกจากนี้ความรู้ด้านเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในอาชญากรรม พนักงานสอบสวนเพียงฝ่ายเดียวไม่สามารถรอบรู้ได้ทุกเรื่องเมื่อเทียบกับอาชญากรที่ได้พัฒนาลักษณะและรูปแบบของเทคโนโลยีที่ใช้ในการกระทำความผิดอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการติดตาม สืบค้น หาความจริงจึงจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาช่วยในการสืบสวนสอบสวนเพื่อแสวงหาพยานหลักฐาน โดยให้เป็นไปตามหลักการรับฟังพยานหลักฐานของศาล ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่นำมาช่วยในการสืบสวนสอบสวนคดีอาญาให้มีประสิทธิภาพ โดยการสร้างงานต้นแบบที่ได้จากการวิจัย เพื่อนำมาใช้กับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร ของกรมสอบสวนคดีพิเศษ

ส่วนวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษ สำนักเทคโนโลยีและศูนย์ข้อมูลการตรวจสอบ กรมสอบสวนคดีพิเศษเป็นหน่วยงานรับผิดชอบในการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษ สำหรับการสืบสวนคดีพิเศษ ให้มีประสิทธิภาพ เครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร ของกรมสอบสวนคดีพิเศษ มีไว้เพื่อให้เจ้าหน้าที่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษใช้ในการสืบสวนสอบสวนคดีพิเศษให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งส่วนมากมีการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) เครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารซึ่งเป็นอุปกรณ์พิเศษชนิดหนึ่งสื่อสารโดยใช้ความถี่ในย่านไมโครเวฟ มีวงจรการทำงานหลายส่วนที่สัมพันธ์กัน เช่น ภาคส่ง (Transmitter) ภาครับ (Receiver)

เครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารมีส่วนประกอบของวงจรที่ความสำคัญในการรับสัญญาณที่ต้องการที่เป็นความถี่เดียวกันทั้งภาครับและภาคส่ง ทำให้สัญญาณมีความชัดเจนและส่งได้ใน

ระยะทางที่ไกล ส่วนประกอบนั้นคือ สายอากาศ (Antenna) ซึ่งใช้เป็นตัวเลือกรับสัญญาณที่ต้องการ จากภาคส่งให้ได้สัญญาณที่มีความแรงและตัดสัญญาณรบกวนให้น้อยที่สุด โดยส่วนประกอบดังกล่าว มีความจำเป็นต่ออุปกรณ์สื่อสารทุกชนิด แต่สายอากาศของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารของกรม สอบสวนคดีพิเศษมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร ปัญหาจากการใช้งานเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารพบว่า สัญญาณมีความแรงน้อยลงเมื่อระยะทางระหว่างเครื่องรับ-ส่ง มีระยะทางไกลกันมากขึ้น ทำให้ความ ชัดเจนของสัญญาณภาพและเสียงลดลงส่งผลให้ใช้เป็นพยานหลักฐานในชั้นศาลไม่ได้ ดังนั้นการวิจัย และพัฒนาเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารในครั้งนี้ จะทำการวิจัยและพัฒนาสายอากาศ (Antenna) ของ เครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม เพื่อเพิ่มกำลังในการรับส่งให้ดีที่สุดส่งผล ให้ได้ระยะทางไกลมากขึ้น เพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ในการปฏิบัติงาน ลดค่าใช้จ่ายในการ ส่งข้อมูลเพิ่มเติมจากต่างประเทศ เป็นการสร้างองค์ความรู้และนวัตกรรมที่เป็นรากฐานในการ วิจัยและพัฒนาเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารอื่นๆ ของกรมสอบสวนคดีพิเศษต่อไป

### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อสร้างสายอากาศกำลังสูงของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร
2. เพื่อพัฒนาการทำงานของสายอากาศกำลังสูงของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร

### ขอบเขตการศึกษา

การวิจัย เรื่อง การสร้างสายอากาศกำลังสูงสำหรับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร มุ่งศึกษา ถึงการสร้างนวัตกรรมใหม่ของสายอากาศกำลังสูงของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร ของกรมสอบสวนคดี พิเศษ โดยมีขอบเขตการศึกษาเพื่อออกแบบและสร้างสายอากาศกำลังสูงบนโครงสร้างเส้นตัวนำ ขนาดเล็ก ที่ความถี่กลางประมาณ 2.4 GHz มีแบนด์วิดท์กว้างมากกว่า 300 MHz และมีกำลังสูง มากกว่า 10 dBi

### ทฤษฎี สมมุติฐาน และ กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

#### ภารกิจของกรมสอบสวนคดีพิเศษ

กรมสอบสวนคดีพิเศษ เป็นส่วนราชการระดับกรม จัดตั้งขึ้นตามพระราชบัญญัติ ปรับปรุงกระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. 2545 ตามหมวดที่ 14 มาตรา 33 (8) สังกัดกลุ่มภารกิจด้าน อำนวยความยุติธรรม กระทรวงยุติธรรม และกฎกระทรวงแบ่งส่วนราชการกรมสอบสวนคดีพิเศษ กระทรวงยุติธรรม พ.ศ. 2545 กำหนดให้กรมสอบสวนคดีพิเศษ มีภารกิจเกี่ยวกับการป้องกันปราบปราม และควบคุมคดีพิเศษที่มีผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคม ความมั่นคง และความปลอดภัย โดยดำเนินการเฝ้าระวัง สืบสวนหาข้อเท็จจริง และดำเนินคดีเพื่อปกป้องและรักษารายได้ของรัฐ ป้องกันปราบปรามขบวนการทุจริตและองค์การอาชญากรรมข้ามชาติ และมีอำนาจหน้าที่ในการ ดำเนินคดีอาญาตามพระราชบัญญัติการสอบสวนคดีพิเศษ พ.ศ. 2547 ซึ่งมีบทบัญญัติในมาตรา 21 กำหนดลักษณะของคดีอาญาในความรับผิดชอบโดยต้องเป็นคดีอาญาตามกฎหมายที่กำหนดไว้ในบัญชี ทำัยพระราชบัญญัติฯ หรือคดีอาญาที่ได้กำหนดเป็นกฎกระทรวงโดยการเสนอแนะของคณะกรรมการ คดีพิเศษ (กคพ.) ซึ่งคดีดังกล่าวต้องมีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนี้

(ก) คดีความผิดทางอาญาที่มีความสลับซับซ้อน จำเป็นต้องใช้วิธีการสืบสวนสอบสวนและรวบรวมพยานหลักฐานเป็นพิเศษ

(ข) คดีความผิดทางอาญาที่มีหรืออาจมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อความสงบเรียบร้อยและศีลธรรมอันดีของประชาชน ความมั่นคงของประเทศ ความสัมพันธ์ระหว่างประเทศหรือระบบเศรษฐกิจ หรือการคลังของประเทศ

(ค) คดีความผิดทางอาญาที่มีลักษณะเป็นคดีความผิดข้ามชาติที่สำคัญหรือเป็นการกระทำขององค์กรอาชญากรรม

(ง) คดีความผิดทางอาญาที่มีผู้ทรงอิทธิพลที่สำคัญเป็นตัวการ ผู้ใช้หรือผู้สนับสนุน

ทั้งนี้ การกระทำความผิดตามบัญชีท้ายพระราชบัญญัติ จะเป็นความผิด คดีพิเศษจะต้องเข้าลักษณะตาม (ก) – (ง) ด้วย ไม่ใช่จะมีการกระทำความผิดตามบัญชีท้ายฯ แล้วจะเป็นคดีพิเศษทุกกรณี แต่ทั้งนี้เนื่องจาก (ก) - (ง) มีลักษณะเป็นนามธรรม ฉะนั้นเพื่อให้เกิดความชัดเจนจึงได้มีการกำหนดลักษณะและความร้ายแรง ของการกระทำความผิดเพื่อกำหนดให้เป็นคดีพิเศษไว้ในประกาศคณะกรรมการคดีพิเศษ ลงวันที่ 18 มิถุนายน 2547 เรื่อง การกำหนดรายละเอียดของลักษณะของการกระทำความผิด ตามมาตรา 21 วรรคหนึ่ง (1) แห่งพระราชบัญญัติการสอบสวนคดีพิเศษ พ.ศ. 2547

นอกจากคดีความผิดดังกล่าวข้างต้น กรมสอบสวนคดีพิเศษ จะมีอำนาจเข้าดำเนินคดีได้ก็ต่อเมื่อคณะกรรมการคดีพิเศษได้มีมติด้วยคะแนนเสียงสองในสามให้กรมสอบสวน คดีพิเศษเข้าดำเนินการสืบสวนสอบสวน กรมสอบสวนคดีพิเศษจึงจะมีอำนาจเข้าดำเนินการได้ ในการปฏิบัติงาน กรมสอบสวนคดีพิเศษ ได้ตระหนักถึงสภาพสถานการณ์และปัญหาที่เกิดขึ้น และอำนาจหน้าที่ภารกิจที่กำหนด จึงได้กำหนดยุทธศาสตร์การทำงานที่มีทิศทางในการอำนวยความสะดวกที่ชัดเจน ปรับกลยุทธ์การดำเนินงานเพื่อสร้างความเชื่อมั่น ศรัทธา เป็นธรรมต่อประชาชน ใช้บุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ มีความชำนาญ ในลักษณะสหวิชาชีพ รวมทั้งพัฒนารูปแบบวิธีการทำงานให้มีประสิทธิภาพโดยบูรณาการกับหน่วยงานในกระบวนการยุติธรรม เพื่อการป้องกันและปราบปรามอาชญากรรม ซึ่งส่งผลต่อประเทศในด้านเศรษฐกิจ สังคม อาชญากรรม ข้ามชาติ และคดีเทคโนโลยีสารสนเทศ เกิดผลสัมฤทธิ์มากยิ่งขึ้น

### วิธีการสืบสวนสอบสวนคดีพิเศษ

พระราชบัญญัติการสอบสวนคดีพิเศษ พ.ศ.2547 มาตรา 25 ได้กำหนดวิธีการสืบสวนสอบสวนคดีพิเศษ โดยกล่าวไว้ว่า ในกรณีที่มีเหตุอันควรเชื่อได้ว่า เอกสารหรือข้อมูลข่าวสารอื่นใดซึ่งส่งทางไปรษณีย์ โทรเลข โทรศัพท์ โทรสาร คอมพิวเตอร์ เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ในการสื่อสาร สื่ออิเล็กทรอนิกส์ หรือสื่อทางเทคโนโลยีสารสนเทศใด ถูกใช้หรืออาจถูกใช้ เพื่อประโยชน์ในการกระทำความผิดที่เป็นคดีพิเศษพนักงานสอบสวนคดีพิเศษซึ่งได้รับอนุมัติจากอธิบดีเป็นหนังสือจะยื่นคำขอฝ่ายเดียวต่ออธิบดีผู้พิพากษาศาลอาญาเพื่อมีคำสั่งอนุญาตให้พนักงานสอบสวนคดีพิเศษได้มาซึ่งข้อมูลข่าวสารดังกล่าวก็ได้

โดยให้อธิบายผู้พิพากษาศาลอาญาพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิทธิส่วนบุคคลหรือสิทธิอื่นใด ประกอบกับเหตุผลและความจำเป็นดังต่อไปนี้

1. มีเหตุอันควรเชื่อว่าจะมีการกระทำความผิดหรือจะมีการกระทำความผิดที่เป็นคดีพิเศษ
2. มีเหตุอันควรเชื่อว่าจะได้ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการกระทำความผิดที่เป็นคดีพิเศษจากการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารดังกล่าว
3. ไม่อาจใช้วิธีการอื่นใดที่เหมาะสมหรือมีประสิทธิภาพมากกว่าได้

จากภารกิจดังกล่าว ทำให้กรมสอบสวนคดีพิเศษมีความจำเป็นต้องจัดเตรียมอุปกรณ์พิเศษไว้ใช้ในการสืบสวนสอบสวน เพื่อให้ได้มาซึ่งพยานหลักฐานชั้นสูงชั้นศาลต่อไป

### แนวความคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับสายอากาศ

สายอากาศ คือ อุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่น ความถี่วิทยุ (radio frequency) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และในทางกลับกัน ก็เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน สายอากาศมีหลายขนาดและรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการใช้งาน สายอากาศแบ่งตามรูปแบบการรับ-ส่งคลื่นได้ดังนี้

1. สายอากาศแบบมีทิศรอบตัว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีในทุกทิศทางเฉลี่ยกันไปโดยรอบ
2. สายอากาศแบบมีทิศกึ่งรอบตัว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีเกือบรอบตัวแต่มีอัตราขยายสูงกว่าแบบรอบตัว
3. สายอากาศแบบมีทิศทางเดียว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีในทิศทางที่กำหนดเฉพาะและจะมีอัตราขยาย (gain) สูงกว่าประเภทอื่น

### ลักษณะการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุ

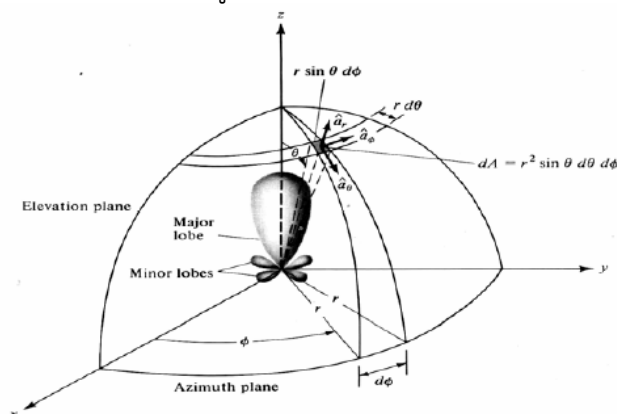
คุณสมบัติของสายอากาศในทางทฤษฎีจะมีรูปลักษณะการกระจายคลื่นสองแบบคือ

1. แนวตั้ง (Vertical) จะมองการแพร่กระจายคลื่นจากมุมมองด้านข้างของสายอากาศ
  2. แนวนอน (Horizontal) จะมองการแพร่กระจายคลื่นจากมุมมองด้านบนของสายอากาศ
- แต่ในความเป็นจริง การกระจายคลื่นมีหลายรูปแบบทั้งแบบแนวสายตา สะท้อนวัตถุ สะท้อนผิวโลก หรือขึ้นเมฆ ขึ้นอยู่กับระยะทาง สิ่งกีดขวาง ฯลฯ

### รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น [Radiation Pattern]

รูปแบบการแผ่พลังงานหรือรูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศเป็นการนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานของสายอากาศในรูปของกราฟฟิกหรือในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดตำแหน่ง (Space Coordinates) ในการพิจารณารูปแบบการแผ่กำลังงานจะต้องกระทำในบริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) เท่านั้น และจะนำเสนอในรูปฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง (Directivity Coordinates) เสมอ ซึ่งคุณสมบัติการแผ่กำลังงานนี้สามารถที่จะพิจารณา รวมถึงความหนาแน่นของเส้นแรงแปลงงาน (Power Flux Density) ความเข้มการแผ่กำลังงาน (Radiation Intensity) ความแรงของสนาม (Field Strength) เฟสของสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity Phase) หรือการแยกขั้วคลื่น (Polarization) ได้ ซึ่งคุณสมบัติของการแผ่กำลังงาน

สามารถที่จะแสดงในรูปของการกระจายพลังงานในแต่ละตำแหน่งและทิศทางที่เป็นแบบสองมิติและแบบสามมิติซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งของผู้สังเกตตลอดเส้นทางหรือผิวของทรงกลมที่มีรัศมีคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 รูปแบบการแพร่กระจาย

รูปแบบการแพร่กระจายกำลังงานของสายอากาศสามารถอธิบายได้ 3 แบบ ดังนี้

1. แบบรูปการแพร่กระจายกำลังงานแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Radiator) คือสายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้นมาว่า ไม่มีการสูญเสียภายในตัวเอง และมีการแผ่พลังงานออกมาเท่ากันทุกทิศทาง

2. แบบรูปการแพร่กระจายกำลังงานของสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional pattern) คือสายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานหรือรับคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่นๆ ซึ่งมักจะนำมาใช้กับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (Maximum Directivity) มากกว่าจะใช้กับสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น (Halfwave Dipole)

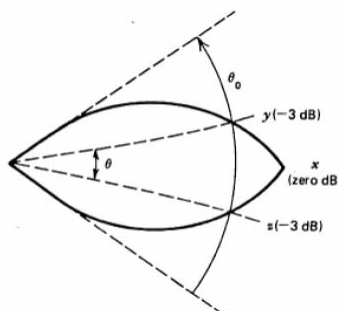
3. รูปแบบการแพร่กระจายกำลังงานแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omnidirectional Pattern) คือ สายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กำลังงานที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ในที่นี้คือ มุมกวาด (Azimuth) และระนาบที่ตั้งฉากกันจะมีแบบรูปการแผ่กำลังงานเป็นแบบมีทิศทาง

#### พูซ้าง (Minor lobe)

พูซ้าง คือส่วนหนึ่งของรูปแบบการแพร่กระจายที่มีความเข้มสนามน้อย เกิดขึ้นนอกเหนือจากรูปแบบการแพร่กระจายพูหลัก [Major lobe] ที่มีความเข้มของสนามมากในทางปฏิบัติ เป็นการยากที่จะทำให้มีรูปแบบการแพร่กระจายหลักอย่างเดียว แต่มักจะมีพูซ้าง เกิดขึ้นด้วยเสมอพูซ้างของสายอากาศ จะแพร่กระจายพลังงานในทิศทางที่ไม่ต้องการ ซึ่งถ้าเป็นสายอากาศเครื่องรับ ก็จะได้รับสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการเข้ามา ตามภาพที่ 1-1

#### ความกว้างลำ (Beamwidth)

ความกว้างลำ (Beamwidth) ของสายอากาศ มีอยู่ 2 แบบคือ แบบแรกกำหนดจากมุมที่เกิดจากการลากเส้นที่จุดตัดของเส้นโค้ง กับเส้นขอบทั้งสองด้านของรูปแบบการแพร่กระจายมายังสายอากาศ มุมจุดตัด คือ  $y$  และ  $z$  สำหรับรัศมีของเส้นโค้งคือระยะกำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง [-3dB] ในแนวที่มีกำลังงานสูงสุดคือ แนว  $x$  ตามรูปที่ 2



ภาพที่ 1-2 ความกว้างลำ

### โพลาไรเซชัน (Polarization)

โพลาไรเซชันของสายอากาศมีทั้งแบบเป็นแบบตั้ง [Vertical] และแบบนอน [Horizontal] โดยปกติจะกำหนดตามระนาบของสนามไฟฟ้า ซึ่งจะมีแนวขนานกับตัวสายอากาศ ดังนั้น polarization จึงสามารถสังเกตได้ตามลักษณะสายอากาศ สายอากาศความถี่ต่ำมักเลือกโพลาไรเซชันแบบตั้ง เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับพื้นดิน ส่วนโพลาไรเซชันแบบนอนสัญญาณจะถูกรบกวนน้อย ในทางปฏิบัติจะเลือกใช้กับสายอากาศความถี่สูง

### อัตราขยายของสายอากาศ (Gain:dB)

อัตราขยายของสายอากาศ อธิบายถึงความสามารถขยายกำลังที่ถูกส่งเข้ามาที่สายอากาศ และแพร่กระจายออกไปได้ไกล โดยหน่วยของอัตราขยายจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

dBi เป็นหน่วยของอัตราขยายเทียบกับสายอากาศแบบ Isotropic

dBd เป็นหน่วยของอัตราขยายเทียบกับสายอากาศแบบ Dipole

โดยที่  $2.15 \text{ dBi} = 0 \text{ dBd}$

เมื่ออัตราขยายสูงขึ้น จะทำให้ระยะทางในการรับส่งสัญญาณไปได้ไกลขึ้น แต่ในขณะเดียวกันมุมในการกระจายคลื่นจะแคบลง อัตราขยายมีสองแบบคือ

1. อัตราขยายจริง (Absolute Gain) ของสายอากาศ หมายถึงอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานที่ได้รับเข้ามา

2. อัตราขยายสัมพัทธ์ (Relative Gain) หมายถึง อัตราส่วนของอัตราขยายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังงานของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้ในการเปรียบเทียบก็คือ สายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสีย (Lossless Isotropic Source) และสายอากาศแบบไดโพล การวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ง่ายที่สุด ก็คือวิธีที่เรียกว่าวิธีแบบใช้สายอากาศอ้างอิง (Reference Antenna Method) หรือ วิธีการเปรียบเทียบ (Comparison Method) หรือวิธีการแทนที่ (Substitution Method) ซึ่งสามารถหาได้ โดยการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับด้วยสายอากาศอ้างอิง กับกำลังงานที่รับได้จากสายอากาศที่ทำการทดสอบ

อัตราขยายของสายอากาศที่ต้องการทราบจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$G_{test} = \frac{P_{test}}{P_{ref}} G_{ref} \quad (1)$$

เมื่อต้องการคำตอบ ให้มีหน่วยเป็น dB ก็จะได้จากสมการ

$$G_{test} (dB) = P_{test} (dB) - P_{ref} (dB) + G_{ref} (dB) \quad (2)$$

ก่อนที่จะนำวิธีการแทนที่มาใช้ นั้น เราจะต้องเปรียบเทียบเพื่อหาค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้ในการอ้างอิงเสียก่อน โดยการใช้อย่างอากาศสองตัวที่เหมือนกันทุกประการมาเป็นสายอากาศรับและส่ง จากนั้นวัดค่ากำลังงานที่ส่งออกไปและค่าของกำลังงานที่รับได้ นำมาคำนวณหาค่าอัตราขยาย ซึ่งจะเป็นอัตราขยายของสายอากาศอ้างอิง ดังสมการ

$$G = \frac{4\pi r}{\lambda} \sqrt{\frac{P_{rec}}{P_0}} \quad (3)$$

เมื่อ  $G$  คือ ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่จะใช้เป็นตัวอ้างอิง

$r$  คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสอง

$P_{rec}$  และ  $P_0$  คือ กำลังงานที่รับได้และกำลังงานที่ส่งออกไป ตามลำดับ

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นในอากาศ (หน่วยเดียวกันกับระยะทาง)

### แบนด์วิดท์สายอากาศ

แบนด์วิดท์สายอากาศ คือ ความกว้างแถบของสายอากาศย่านความถี่ที่ยังอยู่ภายในสถานะที่สายอากาศยังสามารถทำงานได้ สถานะดังกล่าวพิจารณาจากคุณสมบัติบางตัวของสายอากาศ และให้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ความกว้างแถบจะพิจารณาจากช่วงของความถี่ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่กลาง (Center Frequency) ซึ่งสถานะการทำงานของสายอากาศที่ยอมรับได้ จะต้องสามารถทำงานได้ตลอดย่านความถี่นี้ กรณีที่เป็น สายอากาศแถบกว้าง (Broadband Antennas) ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่สายอากาศสามารถทำงานได้ เช่น ถ้าสายอากาศชนิดนี้มีความกว้างแถบเท่ากับ 10 :1 แสดงว่าความถี่สูงสุดมีค่ามากกว่าความถี่ต่ำสุดอยู่ 10 เท่าและถ้าหากเป็นกรณีของ สายอากาศแถบแคบ (Narrowband Antennas) ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของผลต่างความถี่ (ความถี่สูงสุดลบความถี่ต่ำสุด) เมื่อเทียบกับความถี่กลางของความถี่แถบ ตัวอย่างเช่น ถ้าสายอากาศชนิดนี้มีความกว้างแถบเท่ากับ 5% แสดงว่าผลต่างของความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้มีค่าเป็น 5% ของความถี่กลางของความถี่แถบ

### ประเภทของสายอากาศ

1.สายอากาศรอบตัว (Omni-directional) จะมีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแนวรอบ 360 องศา ส่วนแนวตั้งขึ้นขึ้นอยู่กับอัตราขยายโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 2-18dBi

2.สายอากาศทิศทาง (Directional) จะมีทั้งแบบกึ่งทิศทางและแบบทิศทาง

แบบกึ่งทิศทาง (Dipole, Patch panel, Sector) การแพร่กระจายคลื่นจะออกมารอบทิศทาง แต่จะเน้นออกไปทิศทางด้านหน้าของสายอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราขยาย

แบบทิศทาง (Yagi-Uda, Helical, Grid) จะเน้นทิศทางด้านหน้ามากกว่าแบบอื่นๆ และสัญญาณด้านหลังและด้านข้างจะแพร่กระจายออกมาน้อยมาก ส่วนใหญ่อัตราขยายจะสูงกว่า 20 dBi

สายอากาศแบบ Helical หรือสายอากาศก้นหอย จะมีความพิเศษอยู่ตรงที่ ลักษณะของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกมา จะมีทั้งแนวตั้งและแนวนอน ทำให้สายอากาศภาครับไม่จำเป็นต้องทำแนวเดียวกับสายอากาศต้นทางที่เป็น helical และค่าสัดส่วนอัตราขยายด้านหน้าและด้านหลัง (Front/back ratio) มีอัตราที่ดีมาก แต่นับว่าเป็นสายอากาศที่มีความยากในการสร้าง

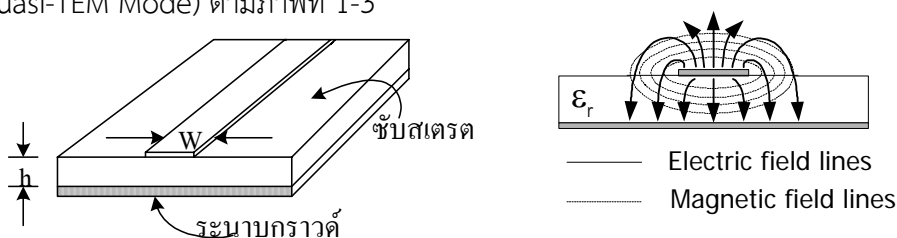
สายอากาศแบบยาจิกิ-อุตะ (Yagi-Uda) หรือสายอากาศก้างปลา ออกแบบโดย ศจ. อิเดจุกุ ยาจิกิ และ ศจ. ซินทาโร อุตะ แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียวอิมพีเรียล

### ค่า SWR (Standing Wave Ratio) หรือ VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

เป็นส่วนสำคัญที่สุดในการตรวจสอบว่า สายอากาศที่ใช้อยู่ มีประสิทธิภาพเพียงใด โดยค่ามาตรฐานจะอยู่ที่ 1.1:1 – 1.5:1 ไม่ควรเกิน 2:1 สัดส่วนนี้เป็นสัดส่วนระหว่างกำลังส่งที่ถูกส่งออกไปต่อกำลังส่งที่ถูกสะท้อนกลับมา

### โครงสร้างสายนำสัญญาณเส้นตัวนำขนาดเล็กที่นำมาสร้างสายอากาศ

เส้นตัวนำขนาดเล็กเป็นสายนำสัญญาณแบบระนาบที่นิยมใช้กันอย่างมาก เนื่องจากมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา อีกทั้งยังง่ายในการวางอุปกรณ์ทั้งแอกทีฟและพาสซีฟไว้บนส่วนต่างๆ ของ โครงสร้างเส้นตัวนำขนาดเล็ก นอกจากนี้สามารถปรับแต่งอุปกรณ์ได้ภายหลังการสร้างวงจร โครงสร้างของเส้นตัวนำขนาดเล็กแสดงได้ในรูป ประกอบด้วยวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกซึ่งด้านล่างจะวางบนระนาบกราวด์ (Ground Plane) และด้านบนจะอยู่ติดกับตัวนำแถบแคบ ๆ (Strip Conductor) ซึ่งเป็นที่มาของคำว่าเส้นตัวนำขนาดเล็ก เส้นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของเส้นตัวนำขนาดเล็กไม่ได้อยู่ที่ส่วนของวัสดุฐานรองทั้งหมด ดังนั้นการแพร่กระจายคลื่นในสายนำสัญญาณเส้นตัวนำขนาดเล็กจะไม่ใช่แบบแผนคลื่น TEM อย่างสมบูรณ์ แต่จะเป็นแบบแผนคลื่นคล้าย TEM (Quasi-TEM Mode) ตามภาพที่ 1-3



ภาพที่ 1-3 โครงสร้างของเส้นตัวนำขนาดเล็ก

### พื้นฐานของสายอากาศ

ลักษณะพื้นฐานของสายอากาศมีทั้งสิ้นสี่แบบ คือ

1) แบบ Helical Antenna มีลักษณะเป็นขดลวดสปริง เช่นเดียวกับสายอากาศวิทยุสมัครเล่น โดยความยาวของสายอากาศจะเป็นตัวกำหนดความถี่ใช้งาน



2) แบบ Loop Antenna มีลักษณะเป็นวงรอบ เพื่อลดความยาวของสายอากาศให้สั้นลง สายอากาศที่ได้จะวนรอบอยู่ในอุปกรณ์

3) แบบ Sleeve-Dipole Antenna มีลักษณะคล้ายกับแบบ Helical Antenna แต่มีความยาวสั้นกว่า

4) แบบ Inverted -F Antenna มีลักษณะเป็นแผ่นระนาบเพื่อเพิ่มกำลังของสัญญาณ

สายอากาศทั้งสี่แบบนี้ ได้มีการนำไปใช้งานมาเป็นเวลานานและมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ไม่สะดวกและรูปลักษณะไม่สวยงาม จึงได้มีการพัฒนาสายอากาศด้วยการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการสร้างสายอากาศให้มีขนาดเล็กลงโดยการใช้เซรามิกซึ่งมีขนาดเล็กกว่าแบบพื้นฐานประมาณสิบเท่า แต่ข้อจำกัดคือความกว้างในการรับสัญญาณยังไม่มากนัก จึงมีการพัฒนาต่อเป็นสายอากาศชนิดครอบคลุมสามย่านความถี่ (Triband Antenna) สามารถนำมาใช้งานกับความถี่ได้สามความถี่ในสายอากาศตัวเดียว ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายเนื่องจากเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารสามารถใช้กับความถี่ได้ถึงสามความถี่ ต่อมาความต้องการในการใช้ประโยชน์จากการสื่อสารมีหลากหลายมากขึ้น จึงมีการพัฒนาสายอากาศสำหรับแถบกว้าง (Ultra Wide Band : UWB Antenna) ซึ่งสามารถทำงานครอบคลุมความถี่ที่กว้างทำให้รับส่งข้อมูลได้เป็นจำนวนมากทั้งข้อมูลภาพ เสียง หรือวิดีโอ และใช้พลังงานต่ำทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ดี แต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือเนื่องจากทำงานที่ความถี่ที่กว้างทำให้ระยะในการรับส่งสัญญาณได้ไม่ไกลมากนัก เทคโนโลยีใหม่ในการสร้างสายอากาศที่กำลังได้รับความสนใจเช่นการใช้ วัสดุ Metal เป็นวัสดุแผ่นระนาบโลหะที่ใช้ในการกำหนดทิศทาง (Pattern) คลื่นของสายอากาศ ทำให้สายอากาศมีกำลังสูง (High Gain Antenna) ในการรับส่งสัญญาณเป็นการเพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารให้มากขึ้น แต่มีข้อจำกัดในด้านการใช้จำนวนวัสดุเป็นปริมาณมากทำให้สายอากาศมีราคาสูง

### การวัดประสิทธิภาพของสายอากาศ

ในการวัดประสิทธิภาพของสายอากาศนั้น มีขั้นตอนทั้งสิ้น 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. การสแกนความแรงของสัญญาณ (Amplitude) และความถี่ (Phase) ทั้งแบบระนาบ ทรงกระบอก และทรงกลม

2. การสร้างโมเดลแบบจำลองของสายอากาศเพื่อใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพสายอากาศ

3. การหาทิศทางการกระจายคลื่น โดยใช้ห้องที่ควบคุมสัญญาณคลื่น (Chamber) โดยรูปแบบของการทดสอบมีสองรูปแบบ คือ

3.1. แบบการแพร่กระจายคลื่นในระยะใกล้ (Nearfield) ที่ทำได้ภายในห้องปฏิบัติการที่ออกแบบไว้เป็นการเฉพาะ ทำให้สะดวกต่อการทดสอบเพราะสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมได้ มีความถูกต้องสูง แต่มีข้อจำกัดคือ มีขั้นตอนการวัดที่ซับซ้อน อุปกรณ์ในการวัดมีราคาแพง มุมของสายอากาศมีผลต่อการทดสอบ การแพร่กระจายคลื่นไม่สามารถเห็นได้แบบ Real Time

3.2. แบบการแพร่กระจายคลื่นในระยะไกล (Farfield) หมายถึงการแพร่กระจายคลื่นในระยะไกล มีการวัดทดสอบไม่ซับซ้อน แต่ต้องใช้พื้นที่มาก และสภาพแวดล้อมมีผลต่อการวัดทดสอบ

### การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Y. Ranga, Karu. P. Esselle, Andrew R. Weily และ A. K. Verma, “Compact High-Gain Short-Horn Antenna for UWB Applications” Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), pp.1511-1513, 2010 ศึกษาวิจัยเรื่อง สายอากาศกำลังสูงแบบฮอร์นสั้นขนาดเล็กสำหรับการใช้งานแถบกว้าง โดยได้นำเสนอสายอากาศกำลังสูงขนาดเล็กที่ใช้กับแบนด์วิดท์ที่กว้าง ใช้เทคนิคการสร้างร่องแบบง่าย ๆ บนสายอากาศไมโครสตริปจึงทำให้ขนาดของฮอร์นสั้นลง วิธีวิจัยเริ่มจากศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบผลของฮอร์นสั้นว่ามีผลกับการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศหรือไม่ ผลที่ได้จากการวิจัยพบว่าสายอากาศมีแบนด์วิดท์กว้างตั้งแต่ 2.86 ถึง 20 GHz ในขณะที่กำลังสูงสุดคือ 14.53 dBi ที่ความถี่ 14 GHz และกำลังเฉลี่ยประมาณ 10.5 dBi ตั้งแต่ความถี่ 3 ถึง 10 GHz ตามภาพที่ 1-4



ภาพที่ 1-4 โครงสร้างสายอากาศแบบฮอร์นสั้นขนาดเล็กสำหรับการใช้งานแถบกว้าง

Weihua Tan, Zhongxiang Shen, และ Boyu Zheng, “Design of a Wide-Band High-Gain Linear Array Antenna,” ICUWB 2009, pp. 739–742, Sep. 2009 ศึกษาวิจัยเรื่อง การออกแบบสายอากาศแถบกว้างกำลังสูงแบบอาร์เรย์เส้นตรง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบสายอากาศอาร์เรย์เส้นตรงกำลังสูงแถบกว้างแบบใหม่ มีความถี่ใช้งานคือ 890MHz ถึง 2500MHz. การกระจายหรือรับคลื่นของสายอากาศมีทิศทางในแนวตั้งและครอบคลุมมุมได้ถึง 120 องศา ในมุมเงย กำลังต่ำสุดของสายอากาศอาร์เรย์มีค่าประมาณ 10 dBi ครอบคลุมความถี่ที่ใช้งาน ผลการวัดจากอาร์เรย์สองอิลิเมนต์ได้ค่าที่ดีมากสอดคล้องกับผลการจำลองสายอากาศอาร์เรย์นี้เหมาะอย่างมากที่จะนำมาใช้กับสถานีฐานของโทรศัพท์เพราะให้แถบความถี่ที่กว้างและสามารถเลื่อนไปที่การใช้งานที่ความถี่แถบกว้างอื่นๆตามภาพที่ 1-5



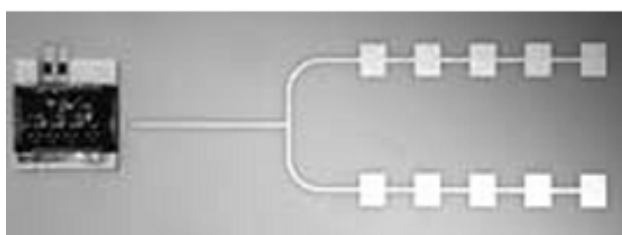
ภาพที่ 1-5 โครงสร้างสายอากาศแถบกว้างกำลังสูงแบบอาร์เรย์เส้นตรง

Cheng Huang, Zeyu Zhao, Qin Feng, และ Xiangang Luo, “A High-Gain Antenna Consisting of Two Slot Elements With a Space Larger Than a Wavelength,” *IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.* vol. 9, pp. 159–162, 2010. ศึกษาวิจัยเรื่อง สายอากาศกำลังสูงที่ประกอบด้วยสองร่องอิลเมนต์ที่มีช่องว่างมากกว่าความยาวคลื่น โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสายอากาศอาร์เรย์มาตรฐานที่มีร่องขนาดใหญ่ระหว่างอิลเมนต์ทำให้มีผลกับประสิทธิภาพของสายอากาศ ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนออาร์เรย์ที่มีสองร่องซึ่งมีขนาดร่องใหญ่กว่าความยาวคลื่นในระนาบ E ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกระจายคลื่นได้สูง โครงสร้างของร่องอิลเมนต์จะเป็นเหมือนกับแหล่งจ่ายคลื่นที่สองและร่องดังกล่าวมีลักษณะเป็นโหมตเรโซแนนซ์สองทิศทางแบบโปรไฟล์ด้านต่ำ ผลการจำลองและการวัดแสดงให้เห็นว่าให้กำลังสูงมีการลดทอนสัญญาณน้อยกว่า 10 dB กำลังของสายอากาศเพิ่มขึ้นประมาณ 9 dB และมีการแบ่งกำลังออกเป็นสองส่วน (half-power beamwidth : HPBW) ทั้งระนาบ E และ H ตามภาพที่ 1-6



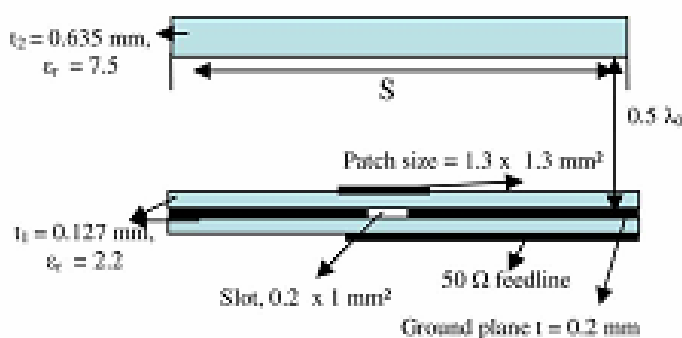
ภาพที่ 1-6 โครงสร้างกำลังสูงที่ประกอบด้วยสองร่องอิลเมนต์

Camilla Kärnfel, Paul Hallbjörner, Herbert Zirath และ Arne Alping, “High Gain Active Microstrip Antenna for 60-GHz WLAN/WPAN Applications,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 54, no. 6, pp. 2593-2603, 2006. ศึกษาวิจัยเรื่อง สายอากาศไมโครสตริปกำลังสูงแบบมีการขยายสำหรับการใช้งานความถี่ 60-GHz WLAN/WPAN โดยได้ทำการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการขยายที่ความถี่ 60-GHz ด้วยใช้ตัวขยายแบบทรานซิสเตอร์สามส่วนต่อกันเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีกำลังสูงบนแผ่นวัสดุอลูมินา ตัวขยายให้กำลังสูงถึง 18-dB สายอากาศไมโครสตริปอาร์เรย์ชนิดนี้ให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบง่าย ๆ ที่ความถี่สูง สายอากาศมีการออกแบบสองแบบเพื่อการครอบคลุมความถี่ที่แตกต่างกัน โดยอาร์เรย์ตัวเดียวจะให้กำลังประมาณ 13.4 dBi และอาร์เรย์สองตัวให้กำลังประมาณ 14.6-dBi ค่าการสูญเสียของสายอากาศประมาณ 1–2 dB การออกแบบสายอากาศชนิดนี้สามารถสร้างได้ง่าย การวัดประสิทธิภาพของตัวขยายและสายอากาศแยกออกจากกัน ตามภาพที่ 1-7



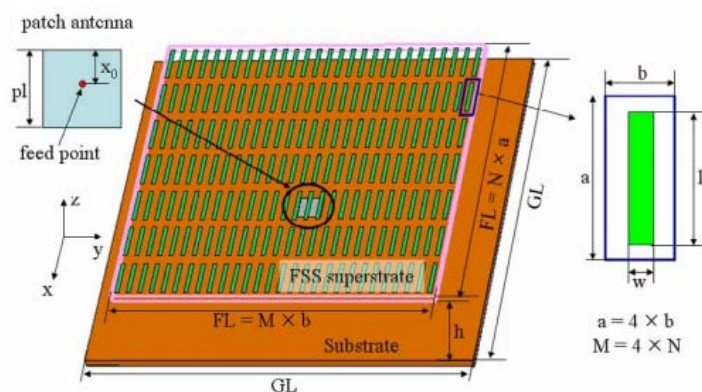
ภาพที่ 1-7 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปกำลังสูงแบบมีการขยาย

Hamsakutty Vettikalladi, Olivier Lafond และ Mohammed Himdi, “High-Efficient and High-Gain Superstrate Antenna for 60-GHz Indoor Communication,” IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett. vol. 8, pp. 1422–1425, 2009. ศึกษาวิจัยเรื่อง สายอากาศวัสดุพิเศษประสิทธิภาพสูงและกำลังสูงสำหรับการสื่อสารภายในอาคารที่ใช้ความถี่ 60 GHz โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างสายอากาศแพทช์คัปเปิลกับช่องที่ให้ประสิทธิภาพสูงและกำลังสูงด้วยวัสดุชนิดพิเศษที่ความถี่ 60 GHz นอกจากวัสดุชนิดพิเศษจะมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศแล้วขนาดของวัสดุก็มีผลเช่นเดียวกัน กำลังสูงสุดที่วัดได้ของสายอากาศตัวเดียวมีค่าประมาณ 14.6 dBi ซึ่งมีค่าสูงกว่าอาร์เรย์แบบทั่วๆ ไปที่ใช้ถึงสองอาร์เรย์ กำลังของสายอากาศตัวเดียวที่ใช้วัสดุชนิดพิเศษจะมีค่าเพิ่มขึ้น 9 dB ที่ความถี่ 60 GHz ซึ่งมากกว่าสายอากาศแพทช์พื้นฐาน จากการวิจัยพบว่าสายอากาศที่ใช้วัสดุชนิดพิเศษจะให้ประสิทธิภาพที่สูงมากกว่าเดิม 76%. ค่า VSWR ที่วัดได้ เป็น 2:1 และมีแบนด์วิดท์ประมาณ 6.8% เมื่อใช้วัสดุชนิดพิเศษ รูปการกระจายคลื่นพบว่า เป็นแบบด้านข้าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้อธิบายถึงการเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายอื่นๆ ของสายอากาศแพทช์ที่ใช้วัสดุชนิดพิเศษเกาะติดแบบอื่นๆ ด้วยการคัปปลิงไมโครสตริปแบบปกติพบว่า การคัปปลิงที่ช่องมีค่ากำลังสูงกว่าแบบอื่นๆ ตามภาพที่ 1-8



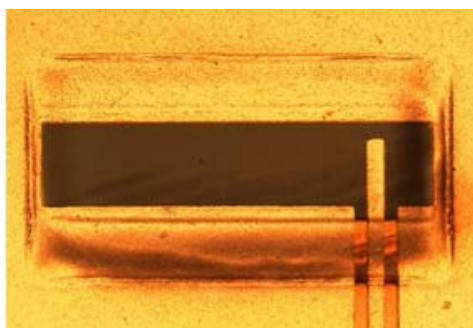
ภาพที่ 1-8 โครงสร้างสายอากาศวัสดุพิเศษประสิทธิภาพสูงสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร

Dong Hyun Lee, Yoonjae Lee, Yang Hao, Yiannis Vardaxoglou, Wee และ Sang Park, “Perturbation Input Impedance Matching Technique for Fabryperot High Gain Antenna,” Proceeding in Loughborough Antennas & Propagation Conference, pp.301-304, 2008. ศึกษาวิจัยเรื่อง เทคนิคการแมทซิงอินพุทอิมพีแดนซ์สำหรับสายอากาศกำลังสูงแบบเพบริเพรอต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคการแมทซิงอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกำลังสูงแบบเพบริเพรอต ด้วยการใส่สแต็บสองตัวเข้าไปที่แพทช์ของสายอากาศแบบแนวตั้งระหว่างวัสดุชนิดพิเศษและแพทช์ โดยการปรับสแต็บตามตำแหน่งต่างๆ ทำให้สามารถแมทซิงอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศได้โดยง่าย สายอากาศแบบเพบริเพรอตที่มีสแต็บได้จำลองในความถี่เรโซแนนซ์ต่างๆ ผลของการแมทซิงโดยใช้เทคนิคนี้สามารถลดเซกการเลื่อนความถี่ไป 13.8 % ของความถี่สูงสุด ตามภาพที่ 1-9



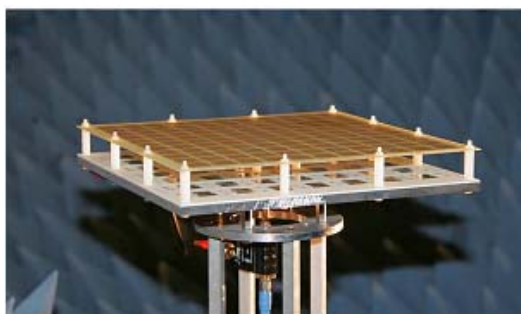
ภาพที่ 1-9 โครงสร้างสายอากาศกำลังสูงแบบเฟบริเพรอต

Sanming Hu, Yong-Zhong Xiong, Lei Wang, Rui Li และ Teck Guan Lim, “A Millimeter-Wave Wideband High-Gain Antenna and Its 3D System-in-Package Solution in a TSV-Compatible Technology,” Electronic Components and Technology Conference, pp.869-872, 2011. ศึกษาวิจัยเรื่อง สายอากาศกำลังสูงแถบกว้างและการแก้ปัญหาชุดระบบ 3 D ในเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับ TSV โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจาะรูซิลิกอนผ่านระบบคลื่นขนาดเล็ก (through-silicon via : TSV) สายอากาศแถบกว้างกำลังสูงออกแบบโดยใช้กรรมวิธี TSV ร่วมกับซิลิกอนเบนโซไซโคลบูเทน (Silicon-Benzocyclobutene : Si-BCB) เติมไกวติด้ด้วยโพลีเมอร์ ขนาดไกวติของสายอากาศที่สร้างลดลงประมาณ 76.8% เมื่อเปรียบเทียบกับไกวติแบบอากาศทั่วไป วัตต์ค่าการสูญเสียย้อนกลับได้ 10-dB แบนด์วิดท์จากความถี่ 110 GHz ถึง 147 GHz. ที่ความถี่ 135 GHz กำลังของสายอากาศและประสิทธิภาพการกระจายคลื่นสูงมากกว่า 6.26 dBi และ 86.8% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพจะดีขึ้นมากกว่าสายอากาศแบบทั่วไปที่ใช้ซีพประมาณ -10 dBi หรือ 10% ของสายอากาศแบบทั่วไปที่ใช้การเชื่อมสายกับซีพเทคนิค TSV นี้ถูกใช้รวมเข้ากับสายอากาศกำลังสูงด้วยวงจรรขยาย ทำให้โครงสร้างของวงจรถดลงและปรับปรุงการแยกส่วนระหว่างการออกแบบสายอากาศและวงจรรขยาย ตามภาพที่ 1-10



ภาพที่ 1-10 โครงสร้างสายอากาศกำลังสูงแถบกว้างในเทคโนโลยี TSV

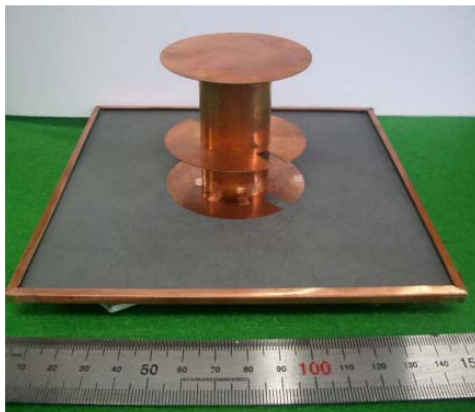
Andrew R. Weily, Trevor S. Bird, และ Y. Jay Guo, “A Reconfigurable High-Gain Partially Reflecting Surface Antenna,” *IEEE Tran. Antennas and Propag.* vol. 56, no. 11, pp. 3382–3390, Nov. 2008. ศึกษาวิจัยเรื่อง การปรับปรุงสายอากาศสะท้อนผิวกำลังสูง สายอากาศกำลังสูงสะท้อนผิว (Partially reflective surface : PRS) ที่ได้ปรับปรุงความถี่ใช้งานใหม่ซึ่งสามารถจูนความถี่ทางไฟฟ้าได้โดยการใช้อาร์เรย์ของเซลล์มุมสะท้อนบนวัสดุฐานรองเหนือระนาบกราวด์ของสายอากาศแบบเรโซเนเตอร์ เมื่อมุมสะท้อนของแต่ละเซลล์ถูกควบคุมการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่วาร์เรเตอร์ไดโอด โครงสร้างสายอากาศแบบใหม่นี้สามารถจูนความถี่ได้ระหว่าง 5.2 GHz ถึง 5.95 GHz โดยใช้วาร์เรเตอร์ไดโอด ซึ่งครอบคลุมความถี่ใช้งานในย่านไร้สายท้องถิ่น (WLAN) ได้ ตามภาพที่ 1-11



ภาพที่ 1-11 โครงสร้างสายอากาศสะท้อนผิวกำลังสูง

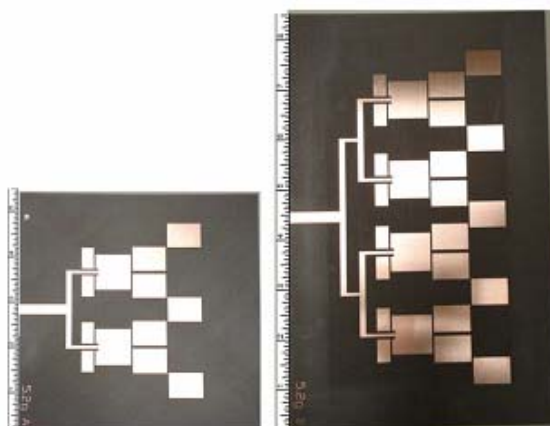
Jung-han Kim, Joong-kwan Kim, Yong-jin Kim, และ Hong-min Lee, “High Gain Antenna using Parasitic Shorted Annular Patch Structure,” *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference 2007*. ศึกษาวิจัยเรื่อง สายอากาศกำลังสูงโดยใช้โครงสร้างแพทช์ลัดวงจรเกาะติด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังของสายอากาศและการทำงานของแถบกว้างของสายอากาศสำหรับระบบการกระจายสัญญาณดาวเทียมมัลติมีเดียแบบดิจิทัล (Satellite Digital Multimedia Broadcasting:SDMB) สายอากาศที่น่าเสนอประกอบด้วยโครงสร้างแพทช์ขนาดเล็ก (Shorted Annular Patch : SAP) ซึ่งแสดงให้เห็นคลื่นตามผิว (surface-wave) และอิเลเมนต์ตัวเกาะติดขนาด 0.25 กิโลกรัม เพื่อปรับปรุงกำลังของสายอากาศ, แบนด์วิดท์ และทิศทาง การกระจายคลื่นในรูปแบบของทิศทางเป็นแบบวงกลมทางด้านขวามือ (Right Hand Circular Polarization : RHCP) ถูกสร้างโดยร่องยาวสองร่องของแพทช์วงกลม ผลการจำลองกำลังสูงสุดของสายอากาศประมาณ 12.6 dBi ซึ่งดีกว่ากำลังสูงสุดของสายอากาศแพทช์ไมโครสตริบแบบทั่วไปประมาณ 5.22 dBi ผลจากการวัดกำลังสูงสุดประมาณ 10.5 dBi การวัดอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ( VSWR < 2 ) ของสายอากาศได้ประมาณ 360 MHz (2.488 - 2.848GHz) ซึ่งดีกว่าสายอากาศแพทช์ไมโครสตริบแบบทั่วไปที่มีแบนด์วิดท์ประมาณ 300 MHz ผลการวัดความกว้างของครึ่งหนึ่งกำลังลำคลื่น (Half Power Beam Width : HPBW) มีค่าประมาณ 45.80 และค่าอัตราส่วนคลื่นด้านหน้าและด้านหลัง (Front to Back Ratio : FBR) ประมาณ 15.49 dBi อัตราส่วนของแบนด์วิดท์ที่ 3dB ประมาณ 220MHz (2.54 - 2.76GHz) ตามภาพที่ 1-12





ภาพที่ 1-12 โครงสร้างสายอากาศกำลังสูงโดยใช้โครงสร้างแพทช์ลวดวงจรถ่ายเคาะติด

Gerald R. DeJean, Trang T. Thai, Symeon Nikolaou, และ Manos M.Tentzeris, “Design and Analysis of Microstrip Bi-Yagi and Quad-Yagi Antenna Arrays for WLAN Applications,” IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett. vol. 6, pp. 244–247, 2007. ศึกษาวิจัยเรื่อง การออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปยาคีคู่และสายอากาศยาคีอาร์เรย์สี่ส่วนสำหรับการใช้งานไร้สายท้องถิ่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาออกแบบสายอากาศไมโครสตริปยาคีคู่และสายอากาศยาคีอาร์เรย์สี่ส่วน ในการออกแบบจะแยกสายอากาศไมโครสตริปยาคีอาร์เรย์แบบดั้งเดิมและทำให้กำลังสูงขึ้นอีกทั้งให้ค่าที่สูงของการส่งคลื่นจากด้านหน้าไปด้านหลังเปรียบเทียบกับโครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปยาคีแบบทั่วไปที่ได้นำเสนอโดย Huang ในปี 1989 สายอากาศไมโครสตริปยาคีคู่และสายอากาศยาคีอาร์เรย์สี่ส่วนสามารถให้กำลังที่สูงขึ้นมากกว่า 3 ถึง 6 dB เมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบไมโครสตริปยาคีอาร์เรย์แบบทั่วไป มีการออกแบบที่ง่าย นอกจากนี้การจำลองและการวัดให้ค่าที่ยอมรับได้ดีมาก สายอากาศอาร์เรย์ที่นำเสนอสามารถเพิ่มกำลังได้สูงถึง 15.6 dBi (เปรียบเทียบกับสายอากาศไมโครสตริปยาคีอาร์เรย์คือประมาณ 10.7 dBi) ขณะเดียวกันอัตราส่วนค่า F/B มีค่าที่สูงเช่นเดียวกัน ตามภาพที่ 1-13



ภาพที่ 1-13 โครงสร้างสายอากาศแบบสายอากาศไมโครสตริปยาคีคู่และสายอากาศยาคีอาร์เรย์

### ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เกิดองค์ความรู้ในการออกแบบและสร้างสายอากาศกำลังสูงของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร
2. พัฒนาศักยภาพของนักวิจัยของกรมสอบสวนคดีพิเศษให้มีประสบการณ์ในการวิจัยและทำให้เกิดการพัฒนางานวิจัยให้เป็นที่ยอมรับ
3. กรมสอบสวนคดีพิเศษมีสายอากาศกำลังสูงของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม ช่วยสนับสนุนในการสืบสวนสอบสวนคดีพิเศษให้มีประสิทธิภาพ

### แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

1. ทุกหน่วยงานในสังกัดกรมสอบสวนคดีพิเศษ
2. ทุกกรมในกระทรวงยุติธรรมที่มีภารกิจในการสืบสวนสอบสวน
3. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือหน่วยงานที่สนใจ

### วิธีการดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1. ศึกษารวบรวมเอกสาร งานวิจัย บทความทางวิชาการ วรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสายอากาศกำลังสูง ศึกษาข้อมูลโครงสร้างสายนำสัญญาณแบบเส้นตัวนำขนาดเล็ก (Microstrip) ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศกำลังสูง
2. ออกแบบสายอากาศกำลังสูง ในการออกแบบจะต้องทำการคำนวณโครงสร้างของวงจรในส่วนของความยาวของสายอากาศ เพื่อให้ได้ขนาดของวงจรเบื้องต้นก่อน ซึ่งความยาวของสายอากาศนี้จะเป็นตัวกำหนดความถี่ใช้งานที่ความถี่ 2.4 GHz โดยใช้ทฤษฎีทางวิศวกรรมไฟฟ้าของสายอากาศ ในส่วนของการกำหนดแบนด์วิดท์จะขึ้นอยู่กับความกว้างของสายอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเปลี่ยนค่าในการออกแบบ ในด้านกำลังของสายอากาศสามารถหาได้โดยใช้โปรแกรมจำลองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะต้องมีการทดลองหลายครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการที่ดีที่สุดก่อนนำไปสร้างเป็นสายอากาศใช้งานจริง จากนั้นนำขนาดที่ได้ไปวาดลงในโปรแกรมจำลองการทำงานของวงจร (โปรแกรมคำนวณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) ซึ่งเป็นโปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าผลตอบแทนของวงจรที่ดีที่สุด (Optimize)
3. จำลองการทำงาน (Simulation) ของสายอากาศ การจำลองการทำงานของสายอากาศนั้น เพื่อเป็นการคาดคะเนผลตอบแทนของสายอากาศให้ดีที่สุด โดยสามารถปรับเปลี่ยนขนาดของวงจรและดูผลลัพธ์ได้ตลอดเวลา มีประโยชน์มากในการลดความเสี่ยงในการใช้วัสดุทดลอง ก่อนสร้างชิ้นงานจริง เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการวิจัยมีราคาสูงมาก เมื่อได้โครงสร้างของวงจรที่ให้ผลตอบแทนของวงจรที่ดีที่สุดแล้ว จะต้องทำการแปลงไฟล์ที่ออกแบบให้อยู่ในรูปแบบ Auto CAD ซึ่งเป็นไฟล์ที่จะส่งเข้าเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ (Milling Machine) เพื่อสร้างชิ้นงานต่อไป
4. สร้างชิ้นงานจริงของสายอากาศกำลังสูง ในการสร้างชิ้นงานจริงจะใช้เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ โดยมีดอกสว่านความเร็วสูง เจาะร่องลวดลายวงจรของชิ้นงานที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งมีขนาดเล็กมาก สามารถทำงานได้ที่ขนาดเล็กถึง 0.01 มิลลิเมตร เครื่องเจาะลวดลายวงจรทั่วไปไม่สามารถทำได้นอกจากห้องปฏิบัติการวิจัยเฉพาะทาง ในงานวิจัยนี้กรมสอบสวนคดีพิเศษได้รับความ



อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องเซาะแผ่นวงจรพิมพ์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และการใช้แสงสร้างชิ้นงานจากสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน จังหวัดนครราชสีมา

5. ทดสอบการทำงานของสายอากาศกำลังสูง เพื่อทดสอบวงจรว่าสามารถใช้งานได้จริง ตามที่ได้ทำการคำนวณและจำลองไว้หรือไม่ กระทำได้โดยการทดสอบการทำงานของวงจรกับ เครื่องวัดคลื่นวิทยุความถี่สูง (Network Analyzer) โดยมีกรรมวิธีทดสอบดังนี้

5.1 เปรียบเทียบค่าของเครื่องวัดคลื่นวิทยุความถี่สูงให้สามารถวัดค่าได้ถูกต้องตาม สภาพแวดล้อมจริงๆ โดยไม่มีตัวแปรที่ทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาด (Error) ซึ่งเรียกรวีนี้อีกว่า การเปรียบเทียบ (Calibration)

5.2 นำวงจรที่สร้างเสร็จแล้วต่อเข้ากับเครื่องวัดคลื่นวิทยุความถี่สูง แล้วทำการวัดค่า ผลตอบสนองของวงจรที่ต้องการ ผลที่ได้จากเครื่องวัดมีทั้งรูปแบบรูปภาพและข้อมูล นำข้อมูลที่ได้ไป ทำการสรุปเทียบกับผลการจำลองว่ามีความสอดคล้องกันเพียงใดและเขียนรายงานต่อไป

5.3 สายอากาศที่สร้างเสร็จนำมาทดสอบการใช้งานจริงกับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงาน

5.4 จัดประชุมเชิงปฏิบัติการ โดยมีผู้เข้าร่วมประชุมประมาณ 30 คน จำนวน 1 วัน เพื่อเป็นการระดมความคิดเห็นจากผู้ร่วมประชุมและวิทยากรผู้มีความเชี่ยวชาญในสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า ร่วมพิจารณาผลงานวิจัยที่ได้สร้างแล้ว

6. สรุปผล/เขียนรายงานการวิจัย

7. จัดพิมพ์รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

#### ระยะเวลาทำการการวิจัย

ระยะเวลาที่ทำการวิจัยตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2555 – 30 กันยายน 2556 ระยะเวลา 12 เดือน

ที่	กิจกรรม	เดือน												
		ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
1	ศึกษาเอกสารทบทวนวรรณกรรมและผลงานที่เกี่ยวข้อง	→												
2	ออกแบบวงจร			→										
3	จำลองการทำงานของวงจร					→								
4	สร้างชิ้นงานจริง							→						
5	ทดสอบการทำงานของวงจร									→				
6	สรุปผล/เขียนรายงานการ										→			
7	จัดพิมพ์ฉบับสมบูรณ์เผยแพร่											→		

### ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย

- ได้รับการสนับสนุนจากกรมสอบสวนสวนคดีพิเศษ ในส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบและจำลองการทำงานของวงจร
- โปรแกรมออกแบบและจำลองการทำงานวงจรโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
  - เครื่องเซาะลายวงจรโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
  - เครื่องวัดคลื่นวิทยุความถี่สูงโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

### ปัจจัยที่ต้องการเพิ่มเติม

- ห้องปฏิบัติการวิจัยของกรมสอบสวนสวนคดีพิเศษที่ประกอบอุปกรณ์พื้นฐานและอุปกรณ์เฉพาะดังนี้
- โปรแกรมออกแบบและจำลองการทำงานวงจร
  - เครื่องเซาะลายวงจร
  - เครื่องวัดคลื่นวิทยุความถี่สูง

### งบประมาณของโครงการวิจัย

รายการ	จำนวนเงิน
ค่าตอบแทน ใช้สอย และวัสดุ	
(1) ค่าตอบแทน	
- ค่าตอบแทนนักวิจัย (หัวหน้าโครงการระดับ 7)	120,000.00
- ค่าจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ผู้เข้าร่วมประชุม 30 คน จำนวน 1 ครั้ง	15,000.00
มีรายละเอียดดังนี้	
- ค่าอาหารว่าง (30 คน x 25 บาท x 2 มื้อ) จำนวน 1,500.- บาท	
- ค่าอาหารกลางวัน (30 คน x 300 บาท ) จำนวน 9,000.- บาท	
- ค่าวิทยากร (4.5 ชั่วโมง x 600 บาท+1.5 ชั่วโมงx1,200.- บาท )	
จำนวน 4,500.- บาท	
- ค่าทดสอบวงจร จำนวน 10 ครั้งๆ ละ 1,000.- บาท จำนวน 10,000.- บาท	10,000.00
(2) ค่าใช้สอย	
- ค่าจัดพิมพ์รายงานฉบับสมบูรณ์ จำนวน 17,400.- บาท	17,400.00
(3) ค่าวัสดุ	
- แผ่นวงจรพิมพ์ไมโครเวฟ 14 แผ่น จำนวน 176,000.- บาท	
- หัวต่อ SMA 200 หัว จำนวน 30,000.- บาท	
- สายนำสัญญาณความถี่สูงพร้อมข้อต่อวงจร จำนวน 31,600.- บาท	
รวม	400,000.00

หมายเหตุ ทุกรายการสามารถถัวเฉลี่ยจ่ายได้

### ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เกิดองค์ความรู้ในการออกแบบและสร้างสายอากาศกำลังสูงเพื่อนำมาปรับใช้กับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร
2. เพิ่มขีดความสามารถของนักวิจัยของกรมสอบสวนคดีพิเศษให้มีประสบการณ์ในการวิจัย และทำให้เกิดการพัฒนางานวิจัยให้เป็นที่ยอมรับต่อไป
3. กรมสอบสวนคดีพิเศษมีเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม ช่วยสนับสนุนในการสืบสวนสอบสวนคดีพิเศษให้มีประสิทธิภาพ

## บทที่ 2

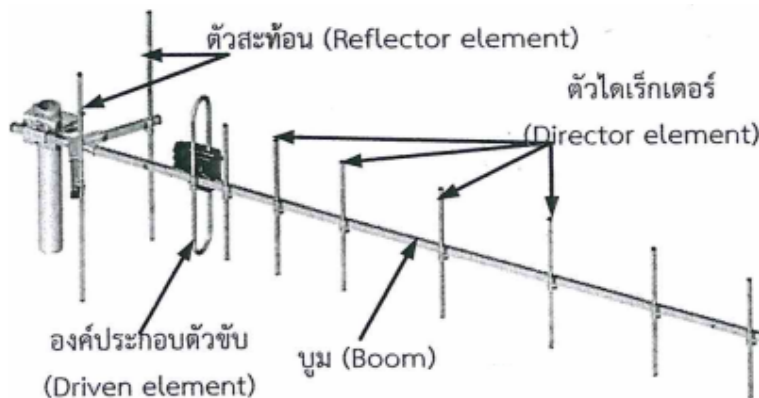
### การออกแบบและการสร้าง

#### 2.1 ทฤษฎีการออกแบบสายอากาศยาคิ-อูตะ

สายอากาศยาคิ-อูตะ (Yagi – Uda antenna) หรือเรียกง่ายๆ ว่า สายอากาศยาคิ ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศในเครื่องรับโทรทัศน์ เนื่องจากการออกแบบไม่ซับซ้อน ต้นทุนต่ำ และอัตราขยายสูง สายอากาศยาคิ-อูตะ เป็นสายอากาศที่มีรูปแบบการแผ่พลังงานแบบชี้ทิศทาง ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

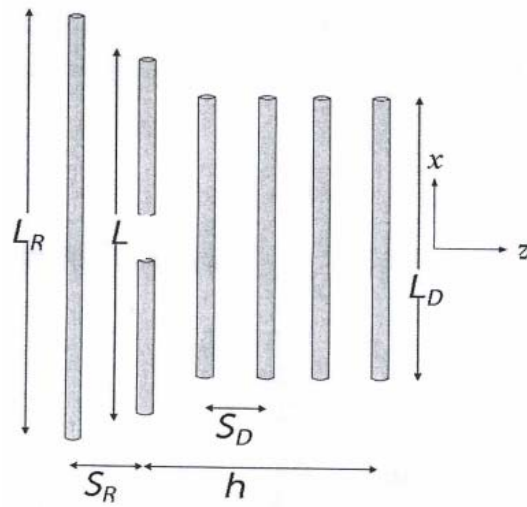
- 1) ตัวขับ (Driver)
- 2) ตัวสะท้อน (Reflector)
- 3) ตัวชี้ทิศทางหรือไดเรกเตอร์ (Director)

ภาพที่ 2-1 แสดงสายอากาศยาคิตามจำนวนองค์ประกอบทั้งหมด ซึ่งเรียกว่าสายอากาศยาคิ 3E (E หมายถึง Element) โดยเป็นการรวมตัวขับ ตัวสะท้อน และไดเรกเตอร์เข้าด้วยกัน นอกจากนี้ตัวสะท้อน และไดเรกเตอร์เรียกได้ว่าเป็นพาราสิติกซึ่งไม่ใช่อุปกรณ์ที่ถูกป้อนพลังงานโดยตรง เช่นเดียวกับตัวขับ

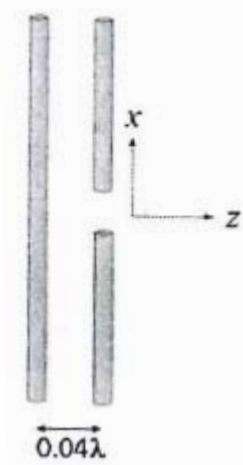


ภาพที่ 2-1 สายอากาศยาคิ

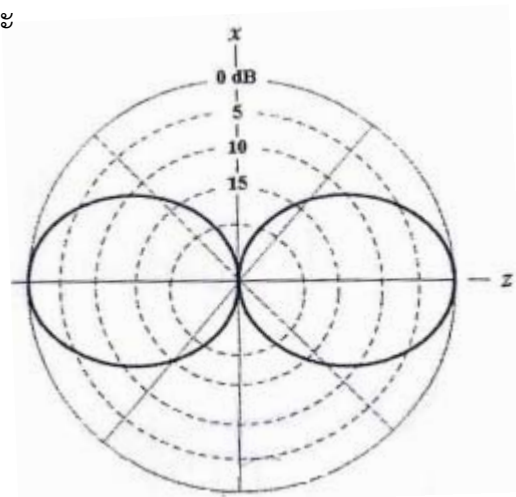
คุณลักษณะของสายอากาศยาคิที่เกิดขึ้นเนื่องจากความยาวของพาราสิติกมีความยาวแตกต่างกัน โดยถ้าองค์ประกอบพาราสิติกมีความยาวมากกว่าความยาวองค์ประกอบเรโซแนนซ์ ( $L_R$ ) พาราสิติกนั้น จะทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อน ในขณะที่เดียวกันถ้าพาราสิติกมีความยาวสั้นกว่าองค์ประกอบเรโซแนนซ์ ( $L_D$ ) พาราสิติกจะทำหน้าที่เป็นไดเรกเตอร์ แสดงได้ตามภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 การจัดวางของสายอากาศยาก็-อูตะ

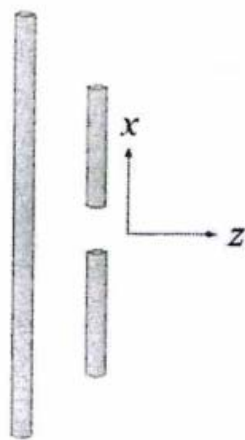


(ก)

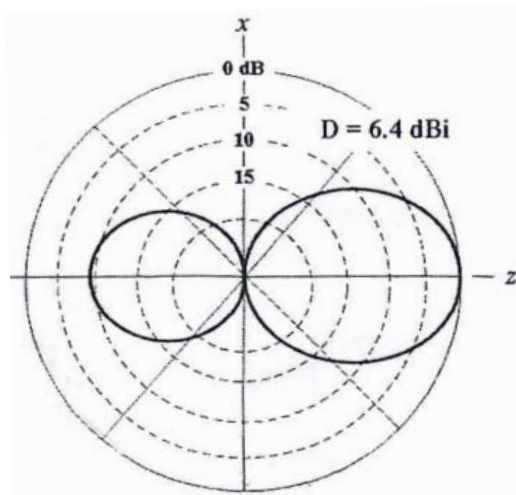


(ข)

ภาพที่ 2-3 การจัดวางของสายอากาศยาก็-อูตะ ตัวสะท้อนยาวเท่ากับตัวขับ



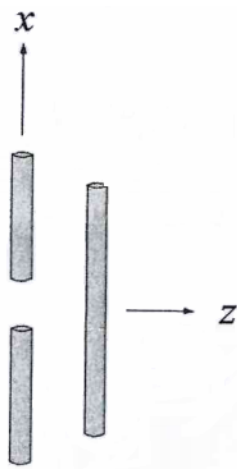
(ก)



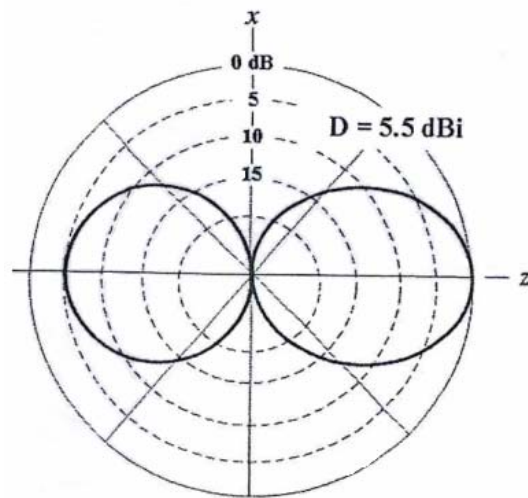
(ข)

ภาพที่ 2-4 การจัดวางของสายอากาศยาก็-อูตะ ตัวสะท้อนยาวมากกว่าตัวขับ

ภาพที่ 2-3 (ข) แสดงรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นในสองทิศทางที่เท่ากัน เมื่อความยาวของตัวสะท้อน เท่ากับความยาวของตัวขับ จากนั้นถ้าเพิ่มความยาวของตัวสะท้อนมากกว่าตัวขับ จะทำให้รูปแบบการ กระจายคลื่นมีทิศทางด้านขวามากกว่าด้านซ้าย ตามภาพที่ 2-4 แต่ถ้านำตัวสะท้อนออกไปแล้วเพิ่มได เร็กเตอร์เข้ามาในตำแหน่งด้านขวาของตัวขับและให้มีขนาดเล็กกว่าตัวขับ ตามภาพที่ 2-5 จะทำให้ รูปแบบการกระจายคลื่นมีทิศทางไปทางด้านขวาเช่นกันแต่มีปริมาณน้อยกว่า ภาพที่ 2-3 เมื่อรวมตัว สะท้อนตัวขับและไดเร็กเตอร์เข้าด้วยกันจะทำให้รูปแบบการกระจายคลื่นที่ดีที่สุด ตามภาพที่ 2-6 จึง สรุปได้ว่าสายอากาศแบบยาก็ต้องประกอบด้วยสายตัวนำเป็นอย่างน้อย 3 ตัว คือ ตัวสะท้อนที่ยาว มากกว่าตัวขับ ตัวขับ และไดเร็กเตอร์

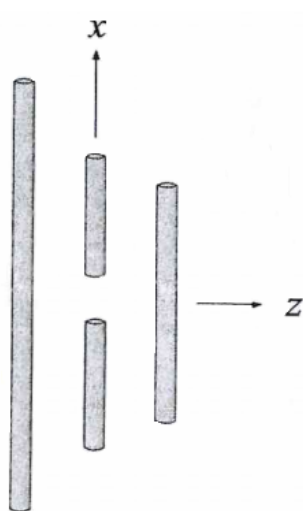


(ก)

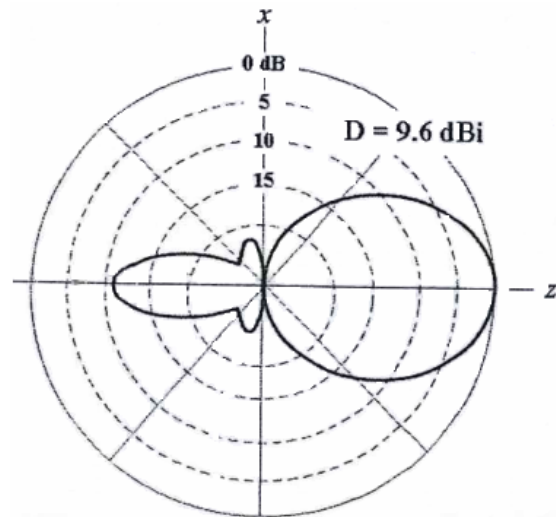


(ข)

ภาพที่ 2-5 การจัดวางของสายอากาศยาก็-อูตะ ไดเร็กเตอร์ยาวน้อยกว่าตัวขับ



(ก)

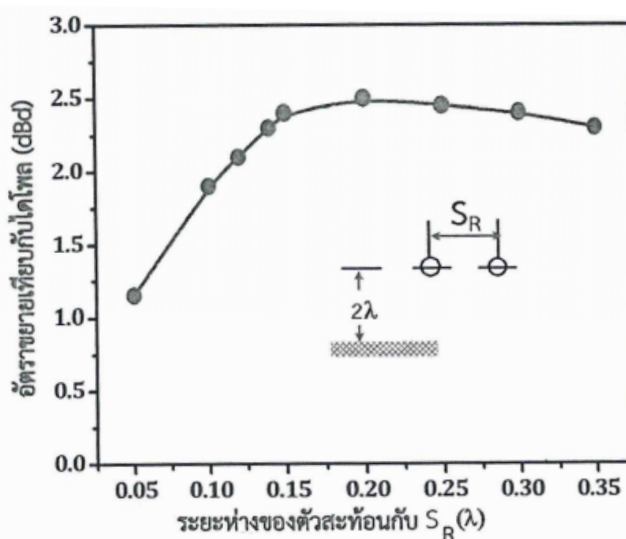


(ข)

ภาพที่ 2-6 การจัดวางของสายอากาศยาก็-อูตะ ประกอบด้วยตัวสะท้อน ตัวขับ และไดเร็กเตอร์

หรือสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดของสายอากาศสามองค์ประกอบ ระยะระหว่างตัวสะท้อนที่ดีที่สุด  $S_R$  อยู่ระหว่าง  $0.15\lambda$  ถึง  $0.25\lambda$  แสดงดังภาพที่ 2-7

ระยะระหว่างไดเรกเตอร์แต่ละตัวโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง  $0.2\lambda$  ถึง  $0.35\lambda$  โดยระยะที่ห่างมากจะเหมาะสมกับสายอากาศที่ยาว ส่วนระยะที่น้อยเหมาะกับสายอากาศที่สั้น โดยปกติความยาวตัวสะท้อนจะมีค่าประมาณ  $0.5\lambda$  และความยาวของตัวขับที่ทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์จะสั้นกว่า  $0.5\lambda$  ในขณะที่ความยาวไดเรกเตอร์ทั่วไปจะสั้นกว่าความยาวตัวขับประมาณ 10-20%



ภาพที่ 2-7 อัตราขยายของไดโพลกับตัวสะท้อน เมื่อ  $S_R$  แตกต่างกัน

อัตราขยายของสายอากาศยากี่จะสัมพันธ์กับความยาวรวมของสายอากาศ โดยความยาวนิยมใช้คำว่า ความยาวบูม (Boom length) เมื่อเพิ่มจำนวนไดเรกเตอร์เข้าไปแต่อัตราขยายของสายอากาศจะเพิ่มเพียงเล็กน้อยซึ่งแสดงว่าสายอากาศยากี่ไม่ใช่สายอากาศที่มีการกระตุ้นแบบสม่ำเสมอ สำหรับสายอากาศยากี่จะพบว่าถ้าเพิ่มไดเรกเตอร์จำนวนห้าหรือหกตัวจะมีการเพิ่มของอัตราขยายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่เพิ่มจำนวนไดเรกเตอร์มากกว่านี้ อัตราขยายจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยแสดงได้ตามภาพที่ 2-8

การออกแบบสายอากาศยากี่นั้น พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับสายอากาศยากี่ที่ต้องการคือ อัตราขยาย โดยตัวแปรที่ต้องพิจารณาสำหรับอัตราขยายคือ

1. จำนวนองค์ประกอบ: โดยทั่วไปจำนวนองค์ประกอบมากกว่าจะมีอัตราขยายมากกว่าจำนวนองค์ประกอบที่น้อย

2. ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ: นอกจากจำนวนองค์ประกอบที่ส่งผลต่ออัตราขยายแล้ว ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบก็ส่งผลเช่นเดียวกันแต่ไม่มากเท่ากับจำนวนองค์ประกอบ โดยทั่วไป ระยะห่างองค์ประกอบที่มากกว่าจะมีอัตราขยายที่สูงกว่าระยะที่น้อยกว่า โดยระยะห่างที่สำคัญที่ควรพิจารณาอย่างมากคือ ระยะห่างระหว่างตัวขับกับตัวสะท้อน และตัวขับกับตัวชี้ทิศทางตัวแรก

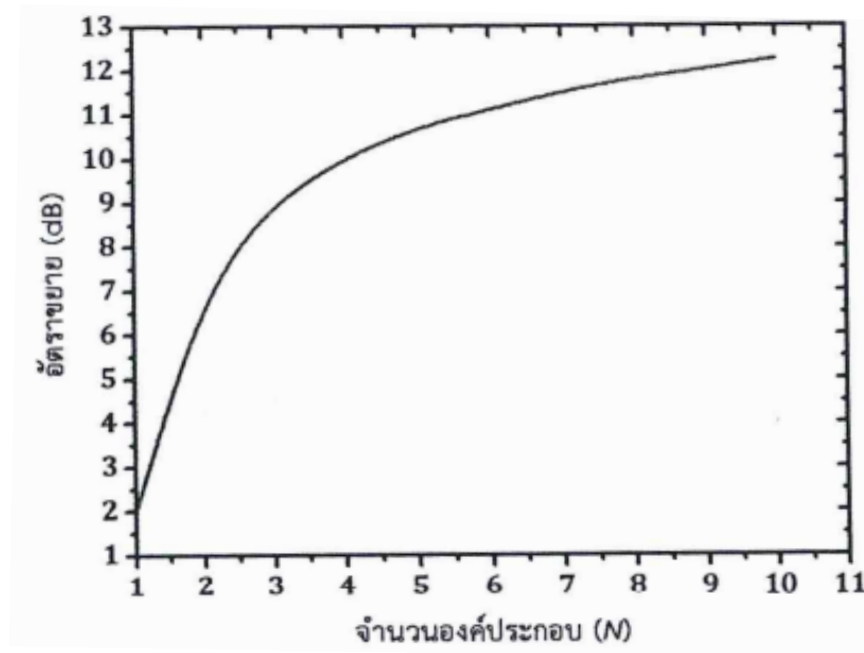
3. ความยาวของสายอากาศ: เมื่อคำนวณระยะห่างและจำนวนขององค์ประกอบที่เหมาะสมแล้ว อัตราขยายจะแปรผันตรงกับความยาวของสายอากาศ

ตารางที่ 2.1 ขนาดความยาวของแต่ละองค์ประกอบ ความยาวบวม ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ และอัตราขยาย

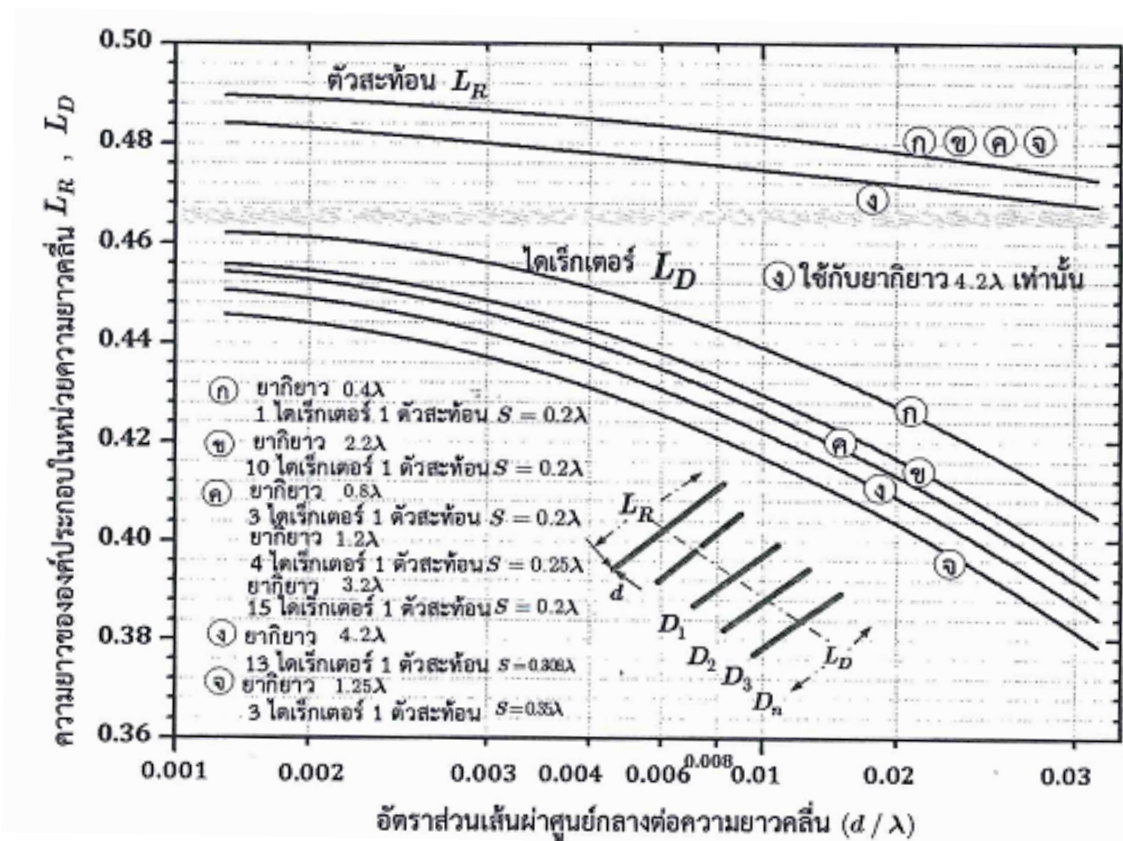
$d/\lambda=0.0085$ $S_R=0.2\lambda$	ความยาวบวมของสายอากาศยาก็ $\lambda$					
	0.4	0.8	1.2	2.2	3.2	4.2
ความยาวตัวสะท้อน $L_R/\lambda$	0.482	0.482	0.482	0.482	0.482	0.475
$D_1$	0.442	0.482	0.482	0.482	0.482	0.424
$D_2$		0.424	0.420	0.415	0.482	0.424
$D_3$		0.428	0.420	0.407	0.420	0.420
$D_4$			0.428	0.398	0.407	0.407
$D_5$				0.390	0.398	0.403
$D_6$				0.390	0.394	0.398
$D_7$				0.390	0.386	0.394
$D_8$				0.390	0.386	0.390
$D_9$				0.398	0.386	0.390
$D_{10}$				0.407	0.386	0.390
$D_{11}$					0.386	0.390
$D_{12}$					0.386	0.390
$D_{13}$					0.386	0.390
$D_{14}$					0.386	
$D_{15}$					0.386	
ระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์ ( $S_D/\lambda$ )	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.308
อัตราขยายเทียบกับไดโพล dBd	7.1	9.2	10.2	12.25	13.4	14.2
ภาพในการออกแบบ ภาพที่	ก	ค	ค	ข	ค	ง
อัตราส่วนด้านหน้าต่อด้านหลัง dB	8	15	19	23	22	20

การออกแบบสายอากาศยาก็ที่นิยม ใช้การออกแบบของ viezbike ตามตารางที่ 2.1 โดยความยาวบวมจะอยู่ในช่วง 0.4 ถึง  $4.2\lambda$  ขณะที่ความยาวส่วนอื่นๆ ดูได้จากภาพที่ 2-9 โดยแสดงกราฟของอัตราส่วนขนาดองค์ประกอบต่างๆ เทียบกับความยาวแต่ละองค์ประกอบ





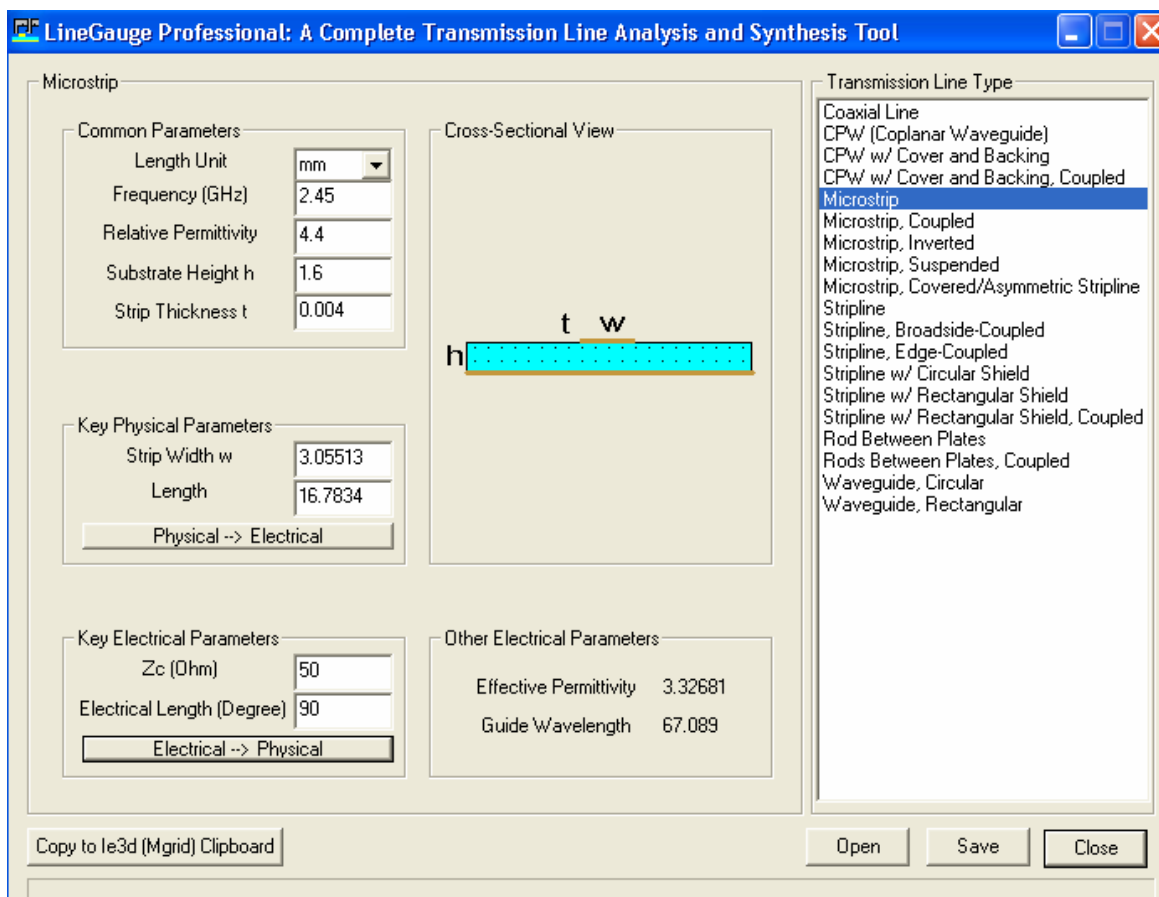
ภาพที่ 2-8 อัตราขยายสายอากาศยาภิ-อูตะ เทียบกับจำนวนรวมขององค์ประกอบ  $S_R=S_D=0.15\lambda$



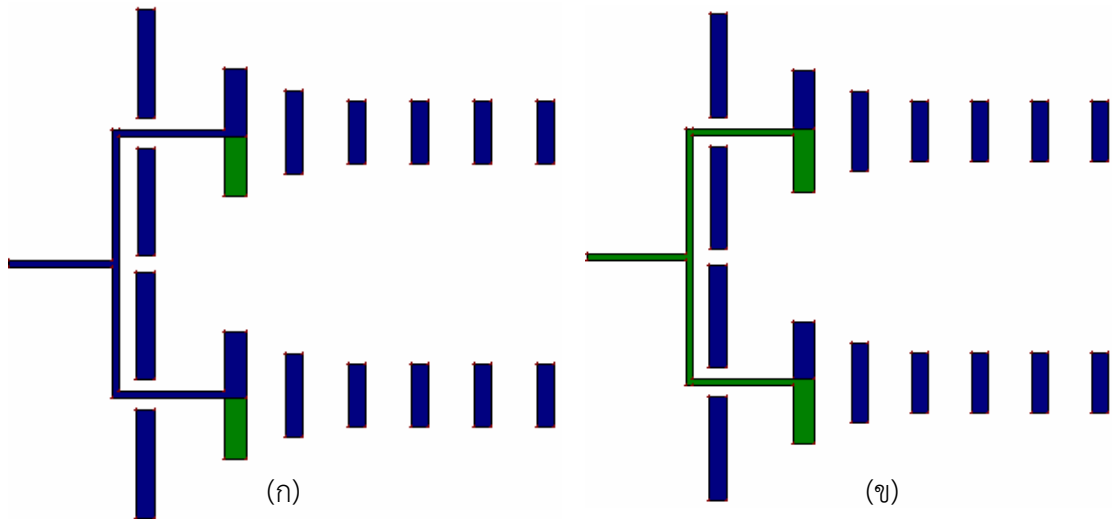
ภาพที่ 2-9 กราฟใช้ในการออกแบบตามตารางที่ 2.1

## 2.2 การวิเคราะห์และการออกแบบสายอากาศ

การออกแบบต้องเลือกแผ่นวงจรพิมพ์ไมโครเวฟ เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ในการออกแบบสายอากาศยาก็ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกแผ่นวงจรพิมพ์ ไมโครเวฟชนิด FR-4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ 4.4 ความหนาของชั้นสเตรท 1.6 มม.และมีค่าแทนเจนต์การสูญเสีย 0.0013 ส่วนทางด้านคุณสมบัติของสายอากาศ กำหนดให้มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) ต่ำกว่า 10 dB ที่ความถี่กลางประมาณ 2.45 GHz มีขยายมากกว่า 3 dB และเป็นสายอากาศแบบมีทิศทาง โครงสร้างสายอากาศยาก็ แสดงได้ตามภาพที่ 2-10 สามารถคำนวณได้โดยใช้โปรแกรม LineGauge ของบริษัท Zeland Inc. เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่างๆ ประกอบไปด้วยอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม มีตัวสะท้อนคลื่น จำนวน 1 อัน ตัวขับ 1 อัน และไดเรกเตอร์ จำนวน 5 อัน



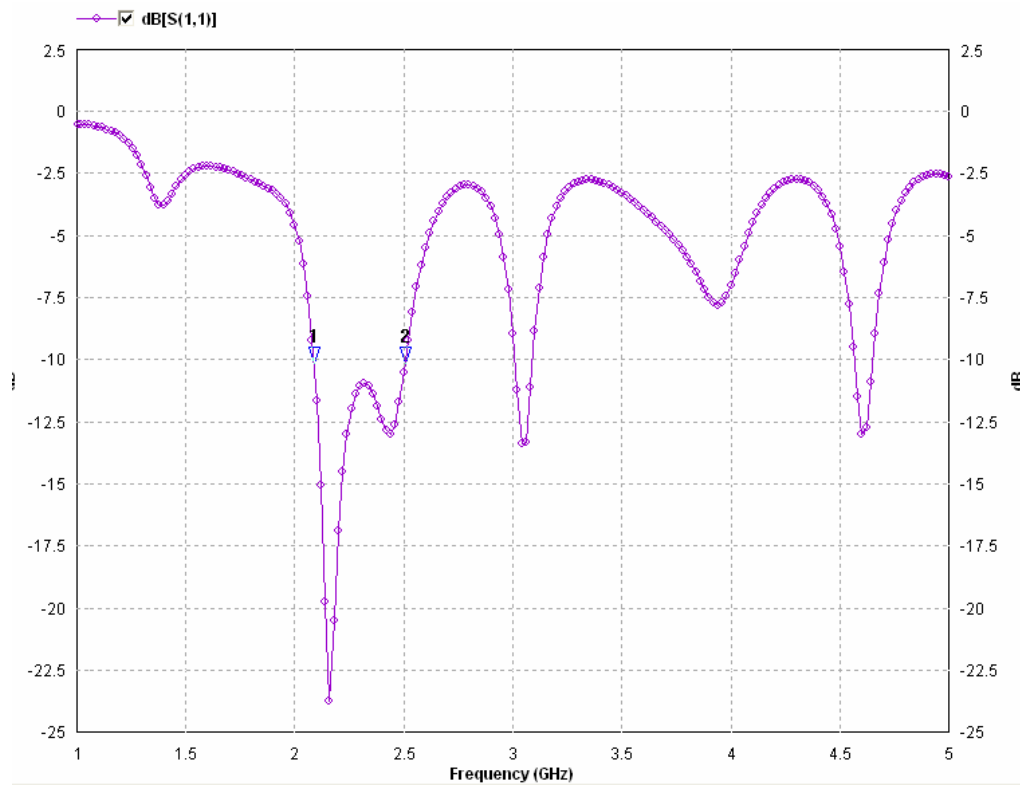
ภาพที่ 2-10 พารามิเตอร์ของสายอากาศแบบยาก็



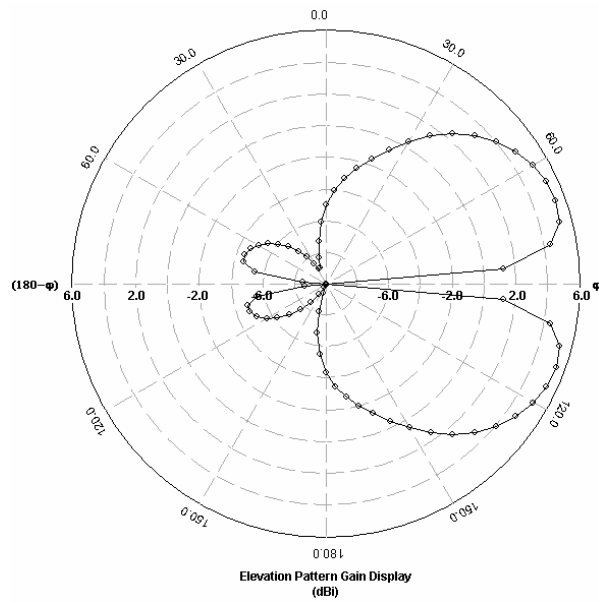
ภาพที่ 2-11 โครงสร้างสายอากาศแบบยาก็ (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง

### 2.3 การจำลองผลตอบแทนของความถี่ของสายอากาศยาก็แบบที่ 1

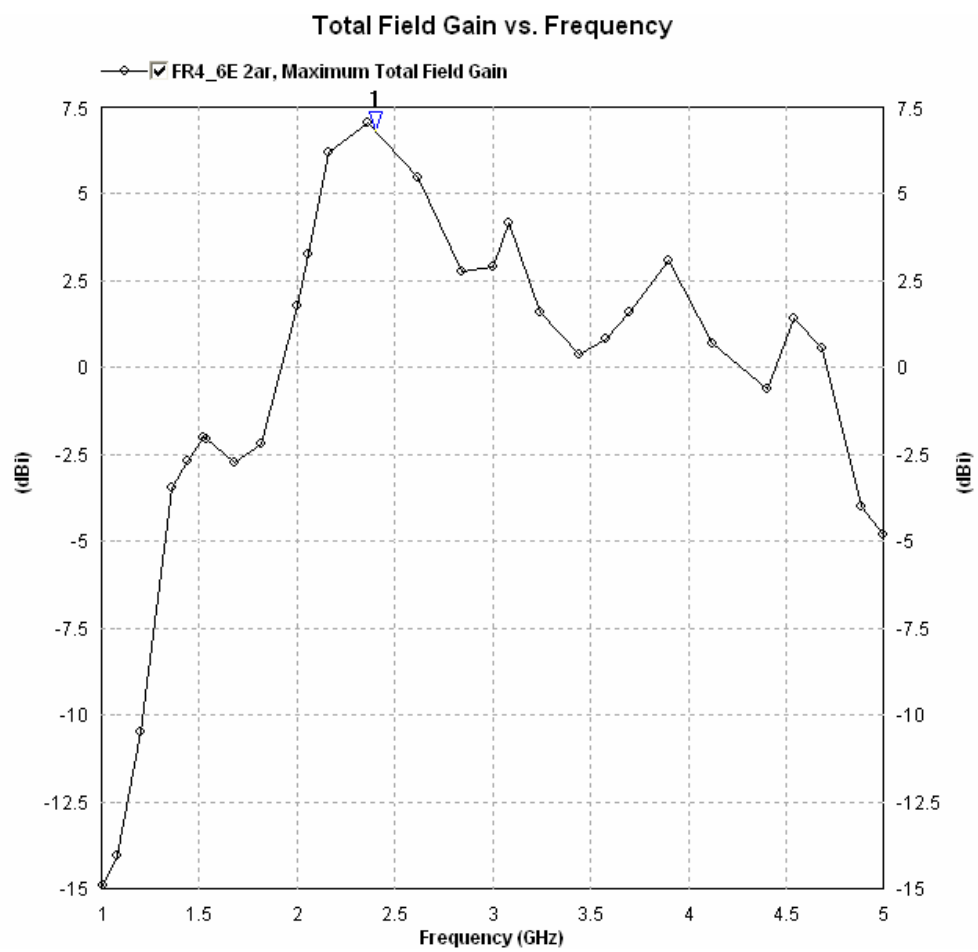
จากภาพที่ 2-11 ทำการจำลองการทำงานของสายอากาศยาก็ด้วยโปรแกรม IE3D จะให้ผลการจำลองการทำงาน ดังภาพที่ 2-12 ซึ่งจะเห็นว่าค่าสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ในช่วงทำงานที่ -10 dB จะตอบสนองความถี่จาก 2.2 GHz -2.5 GHz



ภาพที่ 2-12 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศยาก็แบบที่ 1



ภาพที่ 2-13 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศยาก็แบบที่ 1

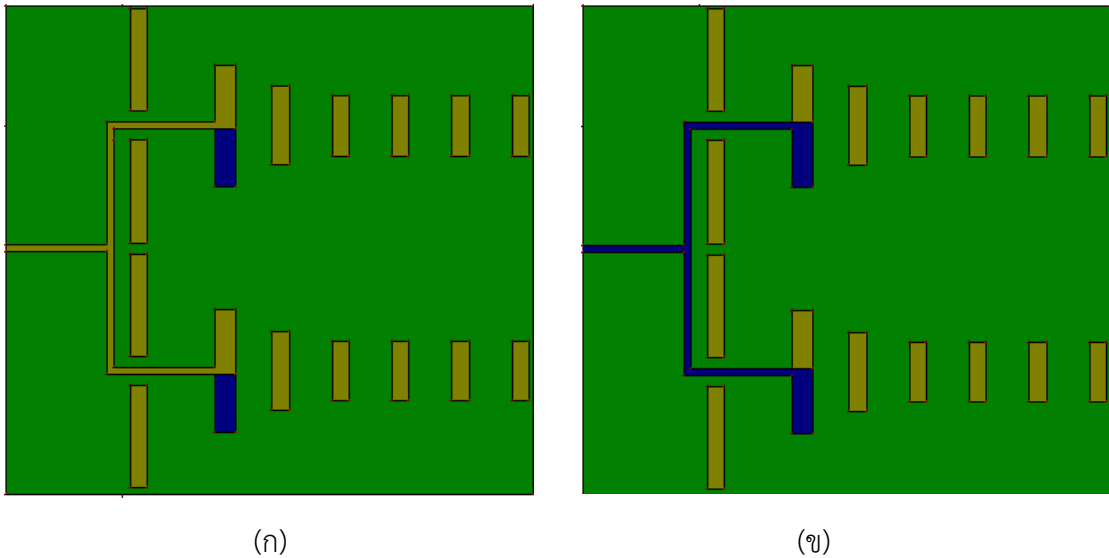


ภาพที่ 2-14 อัตราขยายของสายอากาศยาก็แบบที่ 1

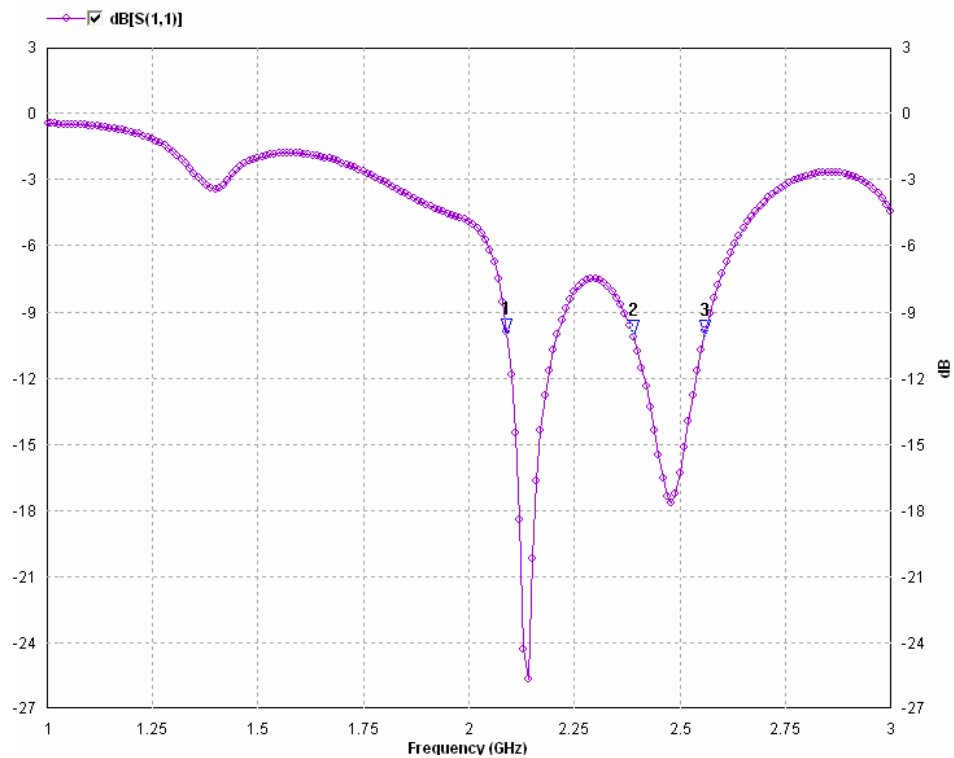
รูปแบบการแพร่กระจายจะเป็นแบบกำหนดทิศทางไปทางเดียว ดังภาพที่ 2-13 และอัตราขยายมีค่าประมาณ 6.6 dBi ที่ความถี่ใช้งาน 2.45 GHz ตามภาพที่ 2-14

### 2.3 การจำลองผลตอบแทนความถี่ของสายอากาศยาก็แบบที่ 2

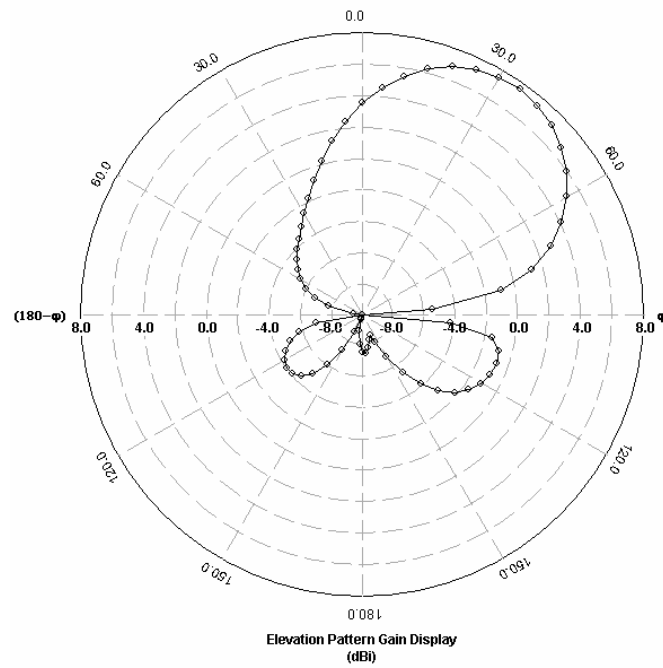
ทำการจำลองการทำงานของสายอากาศยาก็ด้วยโปรแกรม IE3D จะให้ผลการจำลองการทำงานดังภาพที่ 2-16 ซึ่งจะเห็นว่าค่าสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ในช่วงทำงานที่ -10 dB จะตอบสนองความถี่จาก 2.2 GHz -2.6 GHz



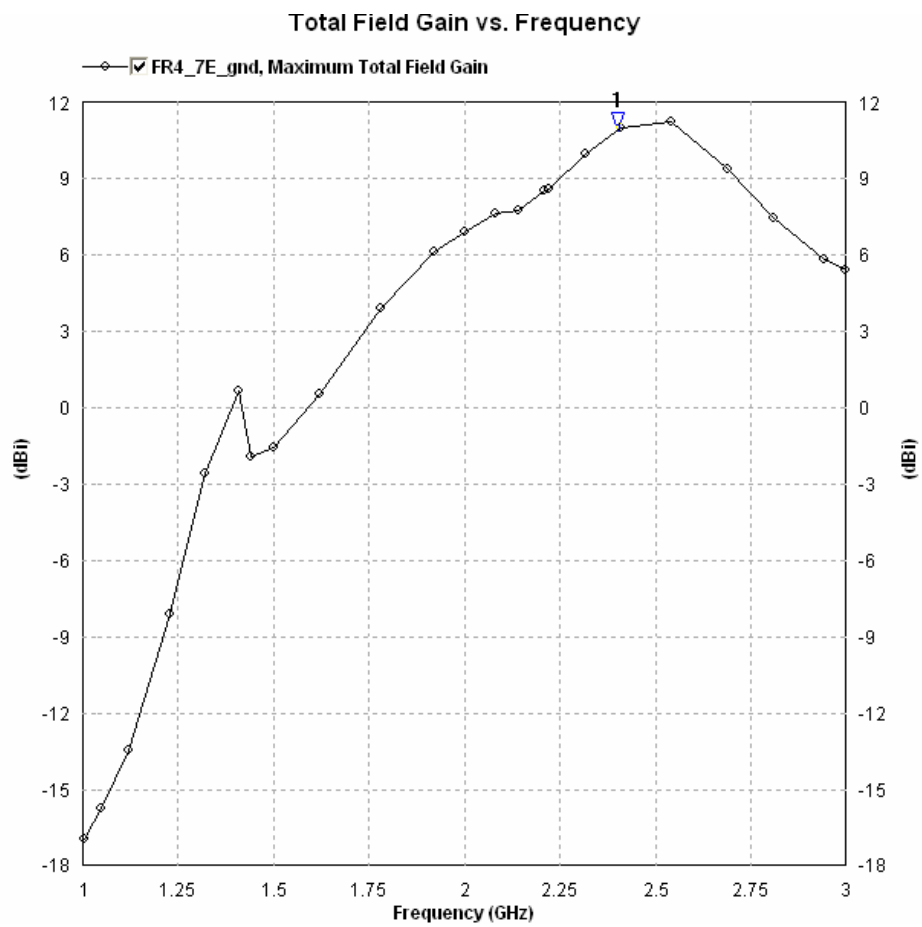
ภาพที่ 2-15 โครงสร้างสายอากาศแบบยาก็แบบที่ 2 (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง



ภาพที่ 2-16 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศยาก็แบบที่ 2



ภาพที่ 2-17 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศยาก็แบบที่ 2

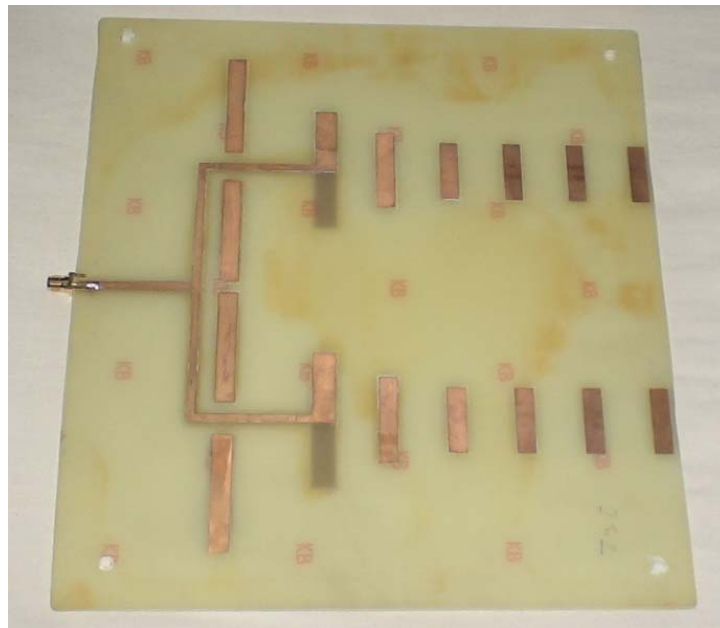


ภาพที่ 2-18 อัตราขยายของสายอากาศยาก็แบบที่ 2

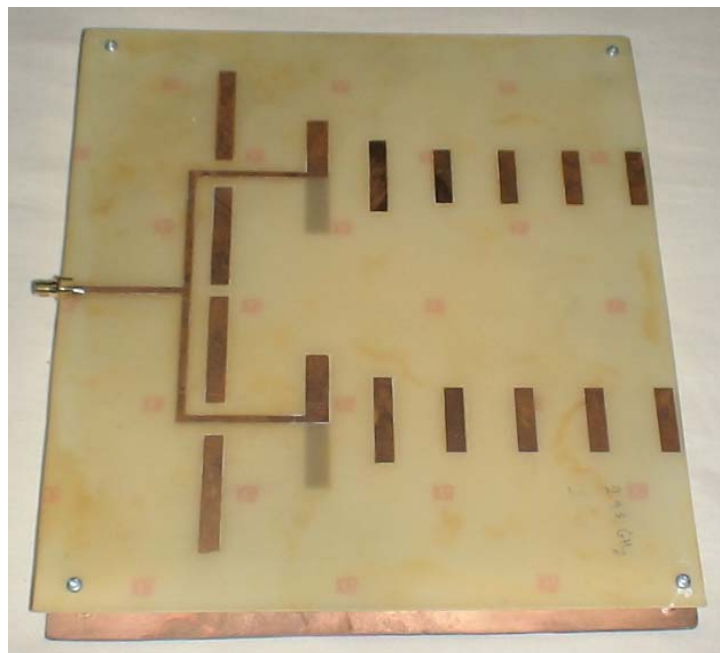
รูปแบบการแพร่กระจายจะเป็นแบบกำหนดทิศทางไปทางเดียว ดังภาพที่ 2-17 และอัตราขยายมีค่าประมาณ 11.02 dBi ที่ความถี่ใช้งาน 2.45 GHz ตามภาพที่ 2-18

#### 2.4 ชิ้นงานจริงของสายอากาศ

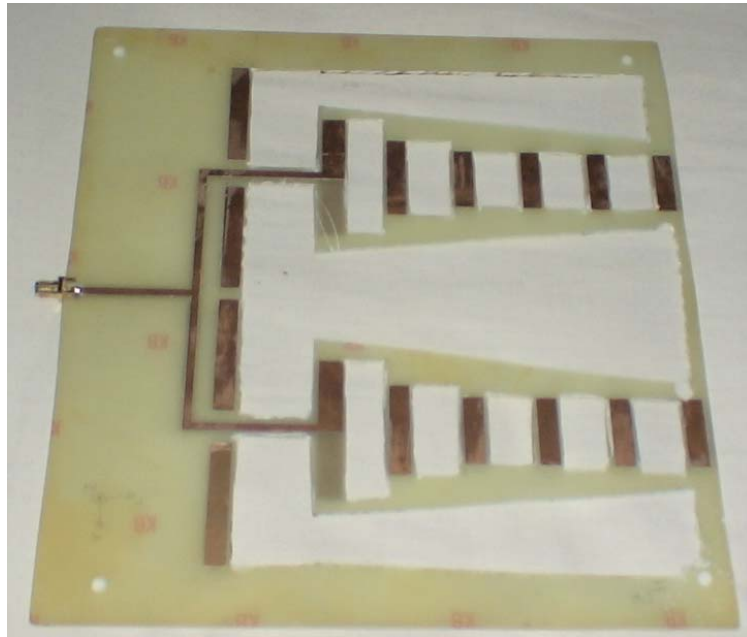
ภาพที่ 2-19 และ ภาพที่ 2-20 แสดงชิ้นงานจริงของสายอากาศยาภิ แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ส่วนภาพที่ 2-21 และ ภาพที่ 2-22 แสดงชิ้นงานจริงของสายอากาศยาภิ แบบที่ 3 และแบบที่ 4



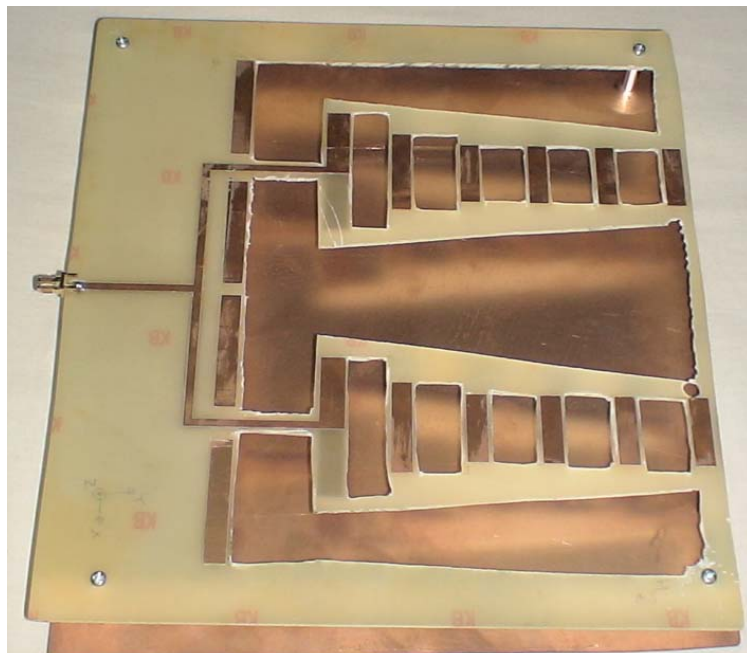
ภาพที่ 2-19 ชิ้นงานจริงของสายอากาศยาภิแบบที่ 1



ภาพที่ 2-20 ชิ้นงานจริงของสายอากาศยาภิแบบที่ 2



ภาพที่ 2-21 ชิ้นงานจริงของสายอากาศยาภิแบบที่ 3



ภาพที่ 2-22 ชิ้นงานจริงของสายอากาศยาภิแบบที่ 4



## บทที่ 3

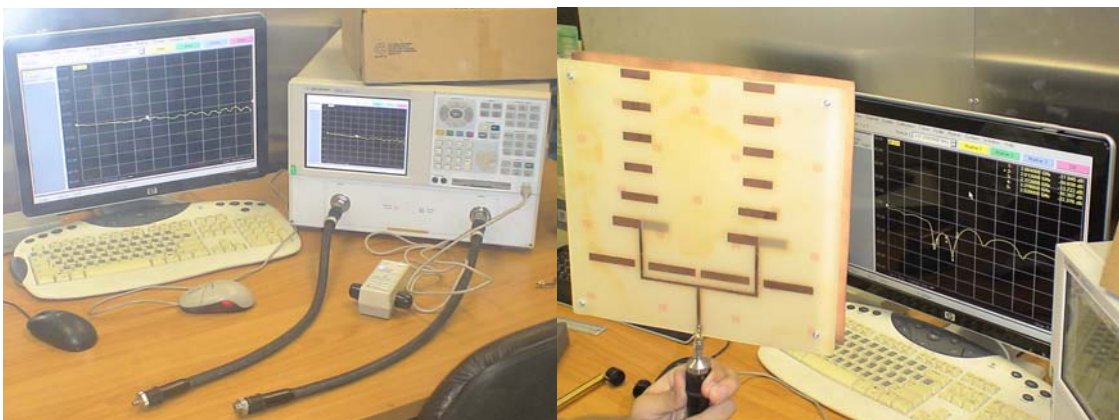
### การทดลองและทดสอบ

ในการทดลองและทดสอบนั้นจะทำการทดสอบการทำงานของสายอากาศของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่ได้วิจัยขึ้นร่วมกับสายอากาศที่ใช้กับกรมสอบสวนคดีพิเศษ โดยทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการสื่อสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และทดสอบกับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารในสถานะใช้งานจริงในที่โล่ง เพื่อหาระยะสูงสุดในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร ผลการทดสอบการทำงานของสายอากาศแสดงได้ ดังนี้

#### 3.1 การทดลองและทดสอบในห้องปฏิบัติการ

##### 3.1.1 การทดสอบผลตอบแทนของความถี่ (Insertion Loss: S11)

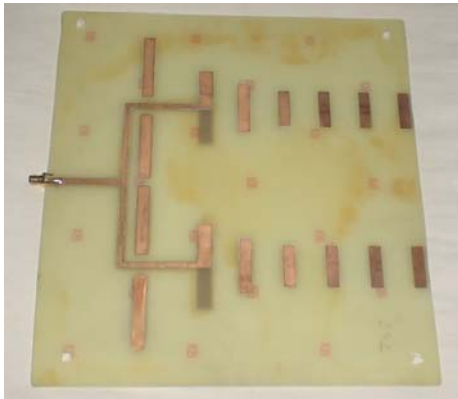
การทดสอบผลตอบแทนของความถี่เพื่อหาช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้ในห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยจะมีจุดเริ่มทำงานและจุดสิ้นสุดการทำงานจะเป็นตัวกำหนดความกว้างของช่วงการรับส่งสัญญาณ (Bandwidth) ซึ่งตามมาตรฐานจะกำหนดที่จุดระดับสัญญาณที่ -10 dB ของค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Insertion Loss: S11) เครื่องมือที่ทำการทดสอบจะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) ดังภาพที่ 3-1 (ก) โดยจะใช้เพียงข้อต่อเดียวในการทดสอบเพื่อหาค่าผลตอบแทนของความถี่ ดังภาพที่ 3-1 (ข) และนำสายอากาศที่ทดสอบโดยมีสายอากาศที่ทำการทดสอบ 4 ชิ้น คือ ภาพที่ 3-2 (ก) เป็นสายอากาศที่วิจัยขึ้นแบบที่ 1 ภาพที่ 3-2 (ข) เป็นสายอากาศที่วิจัยขึ้นแบบที่ 2 ภาพที่ 3-2 (ค) และ ภาพที่ 3-2 (ง) เป็นสายอากาศที่วิจัยขึ้นแบบที่ 3 และ แบบที่ 4 ตามลำดับ



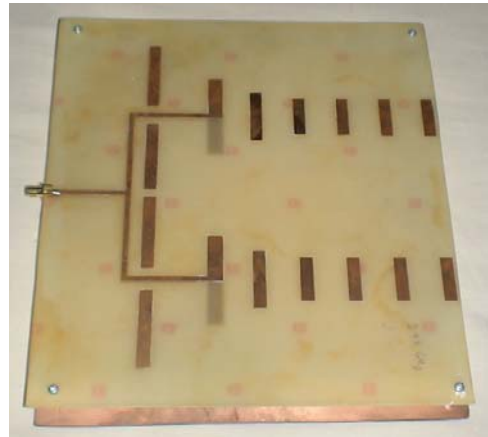
(ก)

(ข)

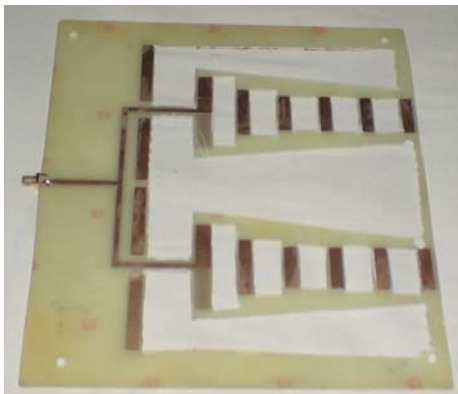
ภาพที่ 3-1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (ก) การตั้งเครื่องเพื่อทำการวัด (ข) ผลตอบแทนของความถี่



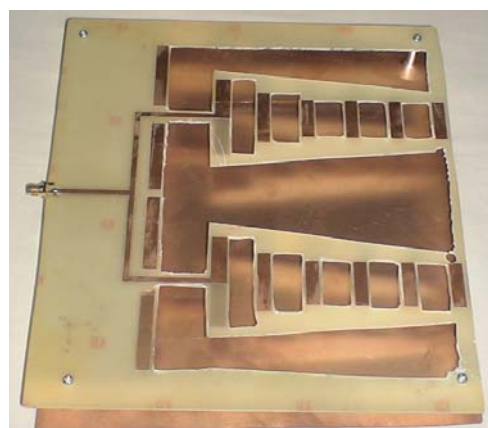
(ก)



(ข)

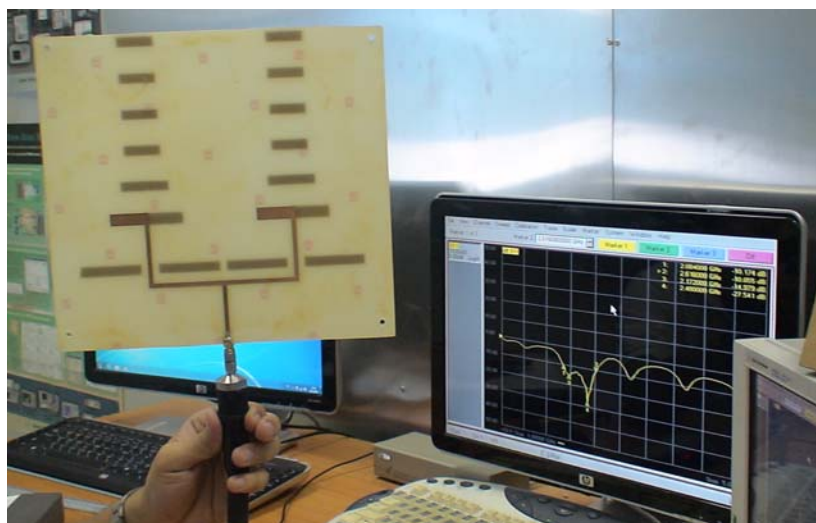


(ค)

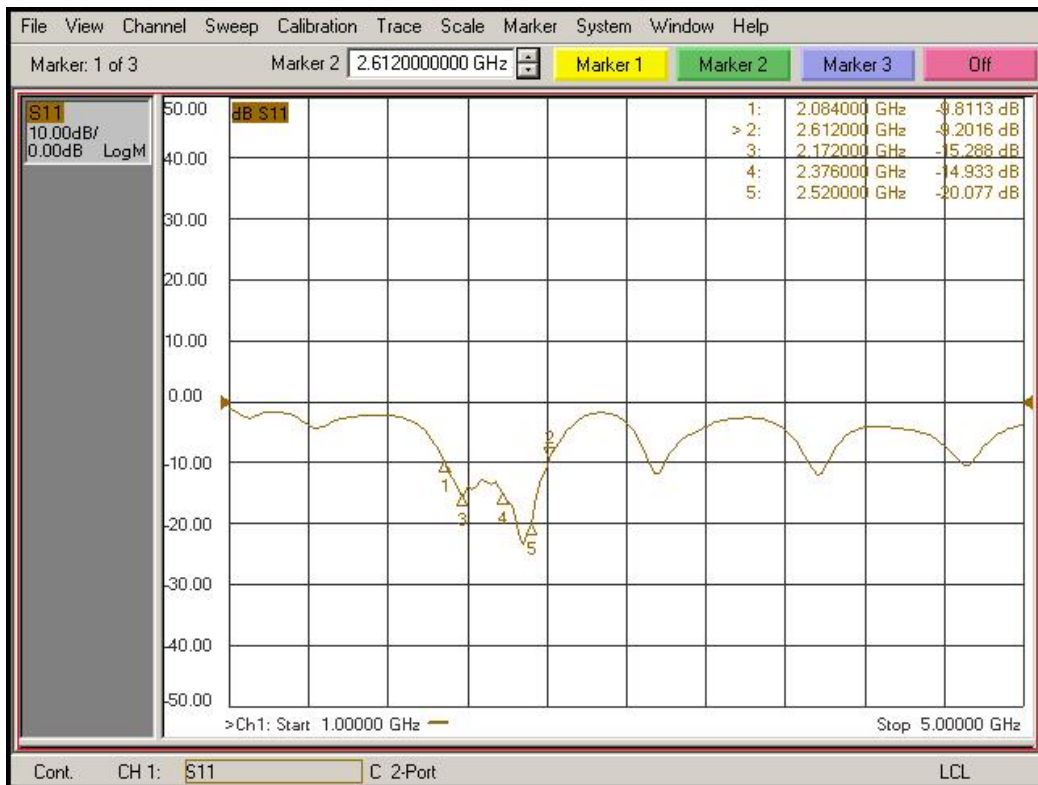


(ง)

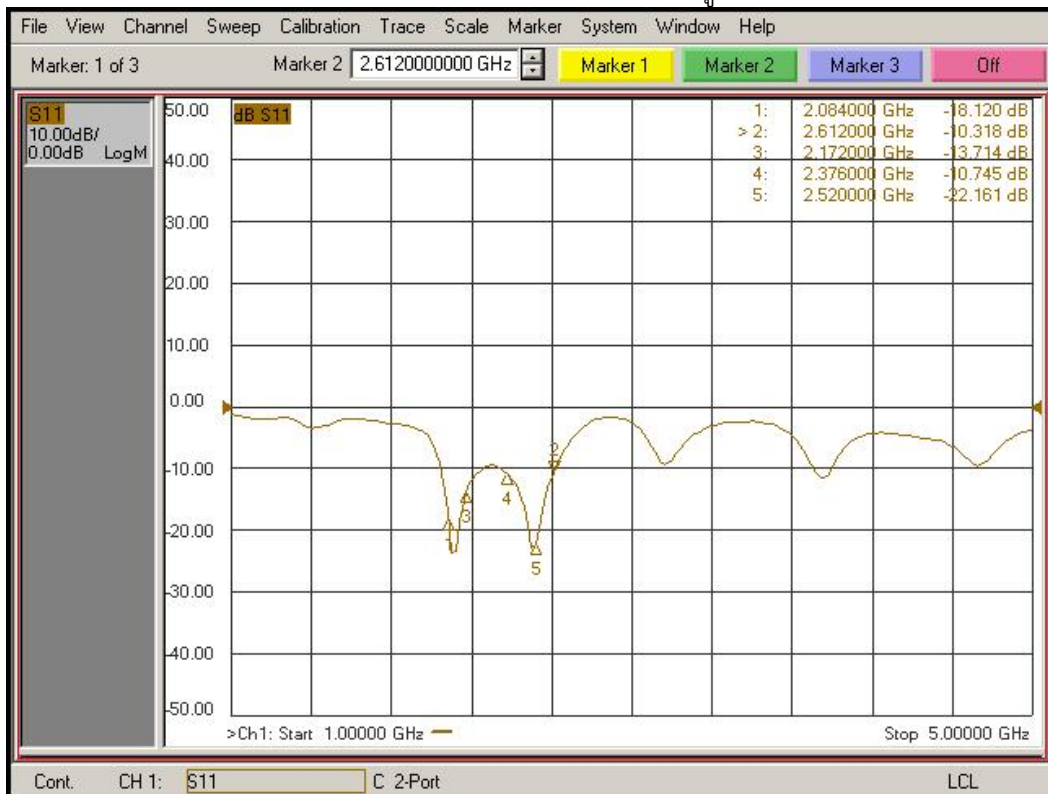
ภาพที่ 3-2 สายอากาศเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่วิจัยขึ้น (ก) สายอากาศแบบที่ 1 (ข) สายอากาศแบบที่ 2 (ค) สายอากาศแบบที่ 3 (ง) สายอากาศแบบที่ 4



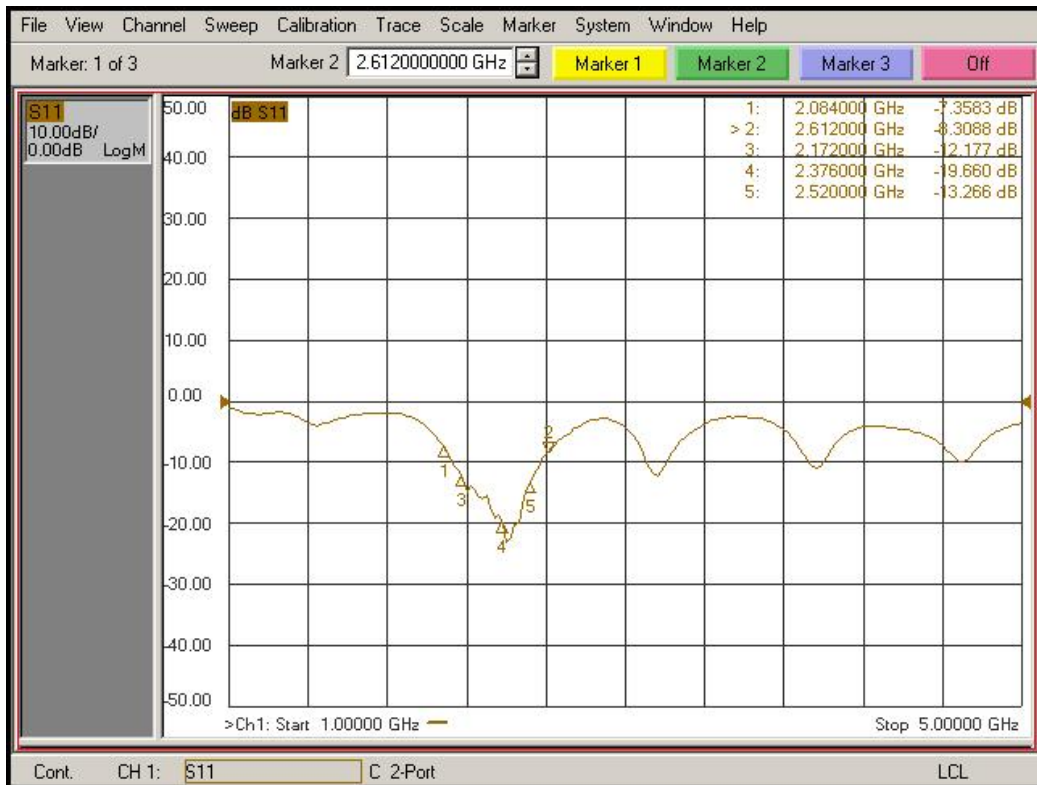
ภาพที่ 3-3 การวัดผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศ



ภาพที่ 3-4 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารแบบที่ 1



ภาพที่ 3-5 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารแบบที่ 2



ภาพที่ 3-6 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารแบบที่ 3



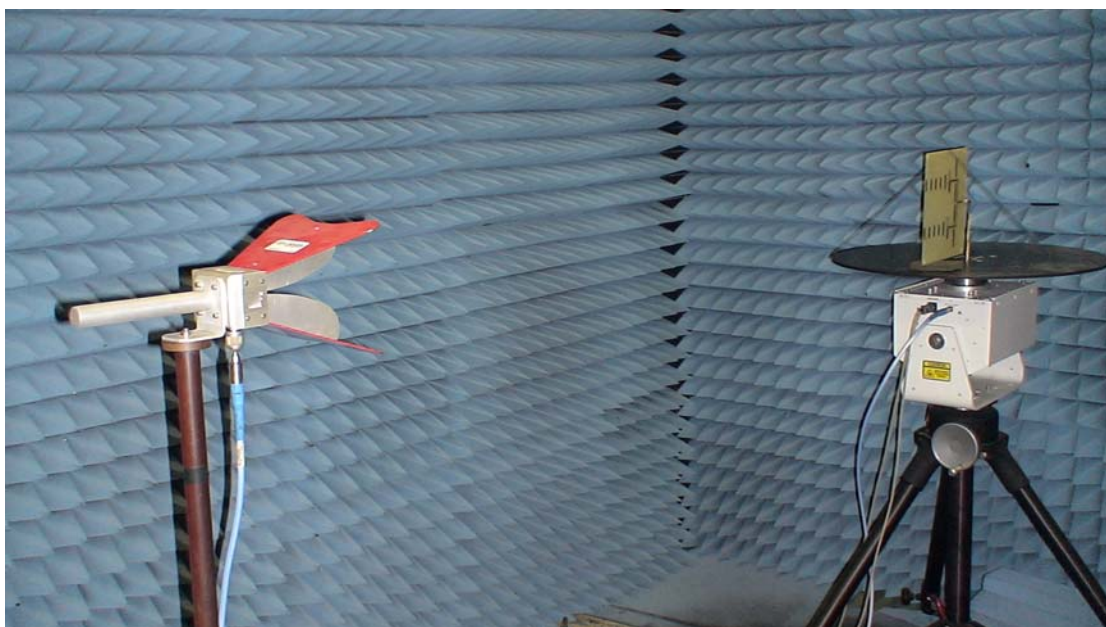
ภาพที่ 3-7 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารแบบที่ 4



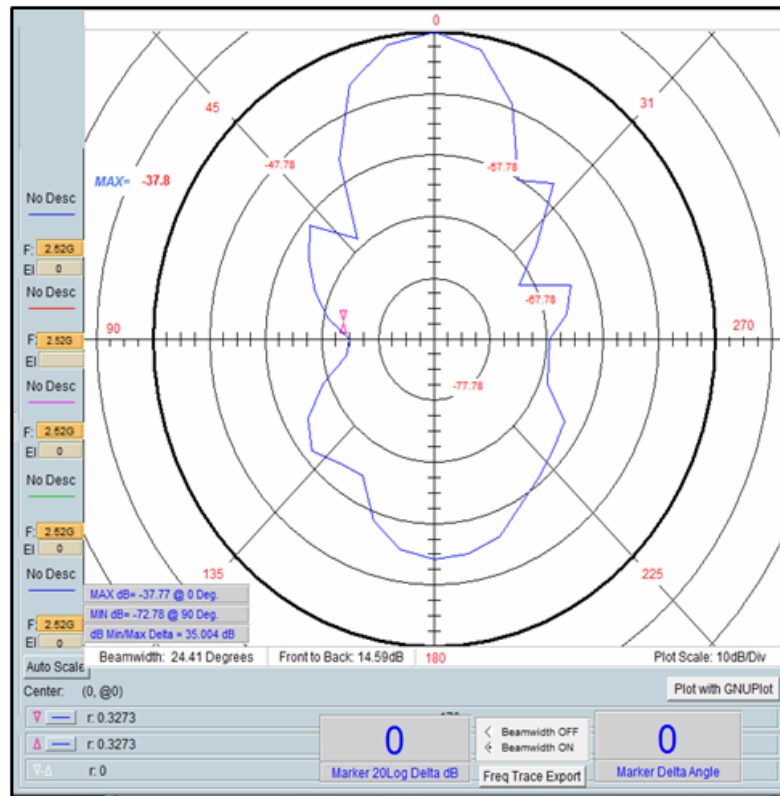
การทดสอบผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศทั้ง 4 แบบ มีดังนี้ สายอากาศแบบที่ 1 ตอบสนองความถี่ 2.084GHz-2.612 GHz สายอากาศแบบที่ 2 ตอบสนองความถี่ 2.084 GHz-2.612 GHz สายอากาศแบบที่ 3 ตอบสนองความถี่ 2.17 GHz-2.612 GHz สายอากาศแบบที่ 4 ตอบสนองความถี่ 2.084 GHz-2.584 GHz

### 3.12 การทดสอบอัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่น

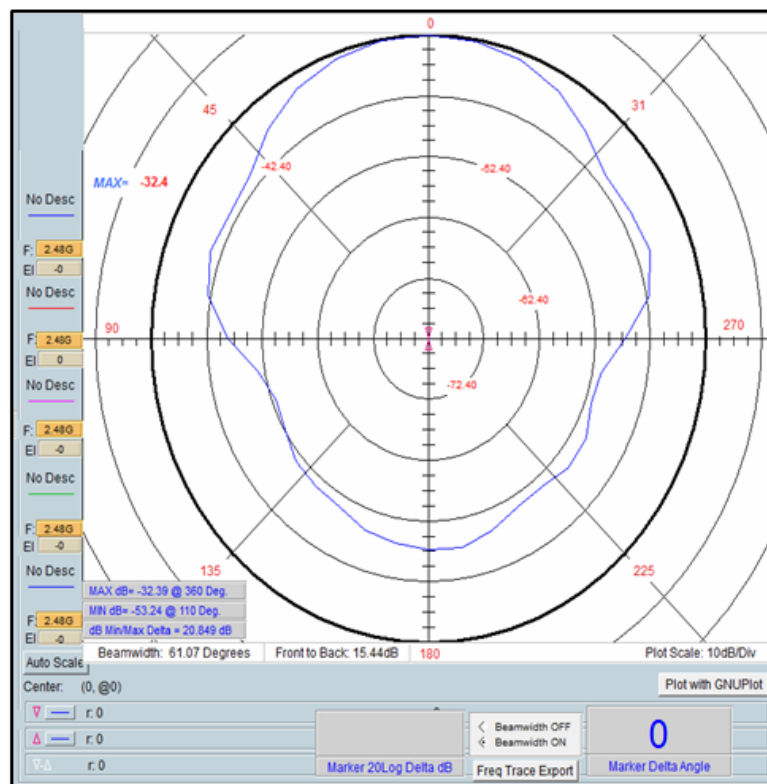
การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณของสายอากาศและทิศทางการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครมข่าย แบบ 2 ขั้วต่อ ข้อต่อแรกทำการป้องกันสัญญาณความถี่ทดสอบที่ 2.4 GHz ใช้พลังงานอ้างอิง 0 dB (พลังงานที่ไม่มีการสูญเสีย) กับสายอากาศตัวส่งชนิดไดโพลมาตรฐาน ยี่ห้อ ETS-LINDGREN รุ่น 3117 ซึ่งวางไว้ในห้องป้องกันการรบกวนของคลื่น (Chamber) ภายในห้องป้องกันการรบกวนของคลื่นจะทำการบุผนังด้านข้างและด้านบนด้วยวัสดุรูปปิรามิดเพื่อทำการดูดซับคลื่นและด้านบนทั้งหมดจะเป็นโลหะเพื่อสะท้อนจากคลื่นภายนอก ข้อต่อที่สองต่อด้วยสายอากาศที่ทำการทดสอบ 4 ชิ้น ดังภาพที่ 3-8 โดยวางสายอากาศบนแท่นหมุนเพื่อทำการวัดพลังงานที่ได้รับจากเครื่องส่ง ซึ่งจะทำการหมุนโดยอัตโนมัติ ทุกๆ 10 องศา จะทำให้ได้ค่าพลังงานทั้งหมดเป็นมุม 360 องศา ทั้งในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอนของสายอากาศทั้งสี่แบบ อัตราขยายของสายอากาศทั้งหมดมีดังนี้ สายอากาศแบบที่ 1 มีอัตราขยาย 6.75 dBi สายอากาศแบบที่ 2 มี อัตราขยาย 10.94 dBi สายอากาศแบบที่ 3 มีอัตราขยาย 6.99 dBi และสายอากาศแบบที่ 4 มีอัตราขยาย 10.69 dBi



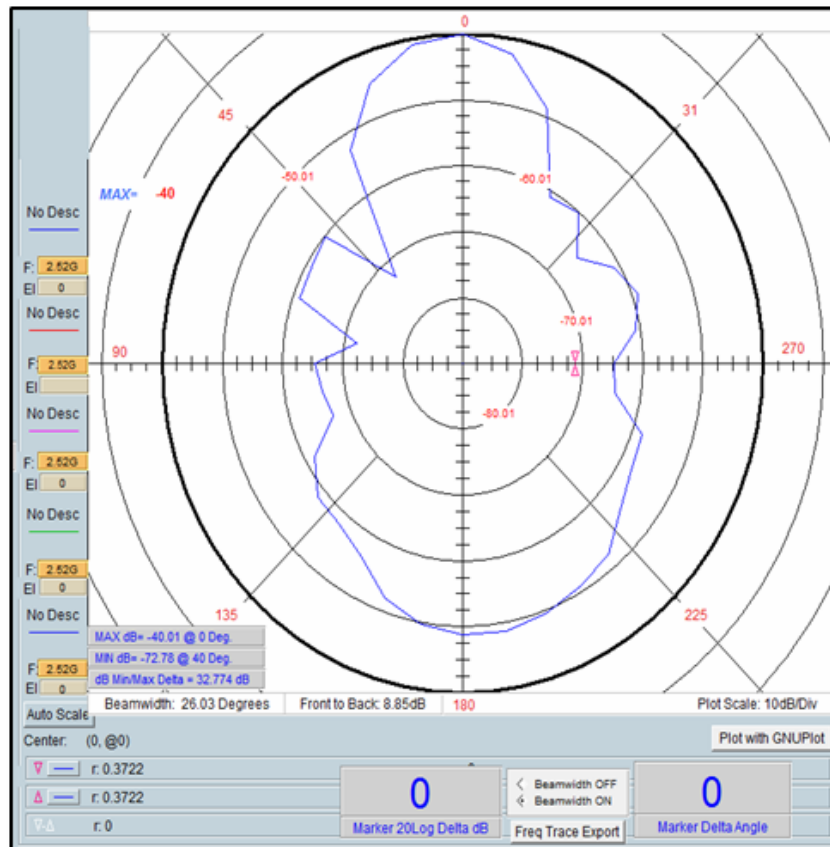
ภาพที่ 3-8 การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศในห้อง Chamber



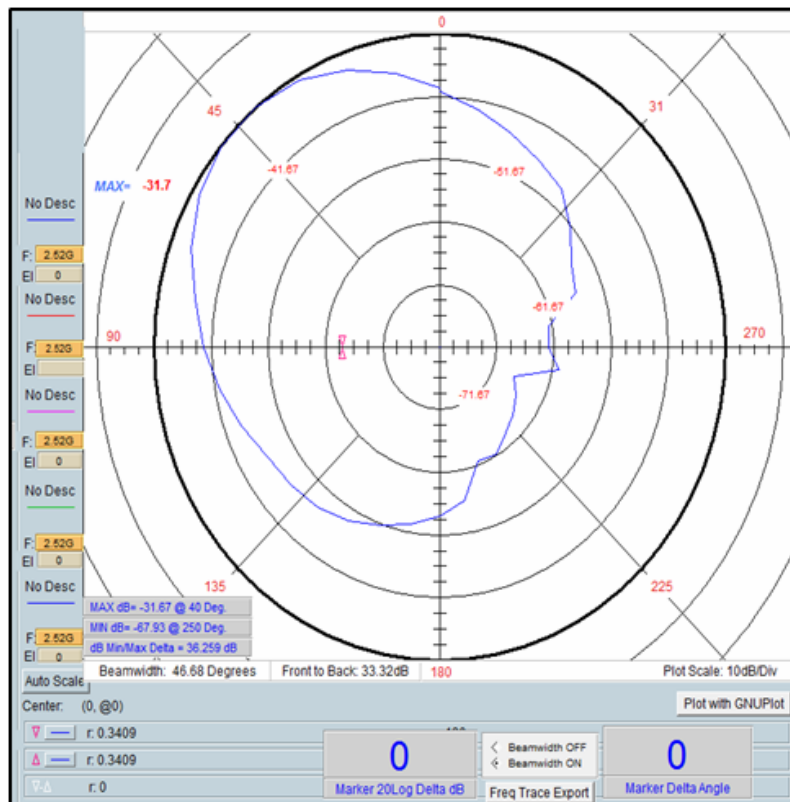
ภาพที่ 3-9 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 1 แนวแกนนอน



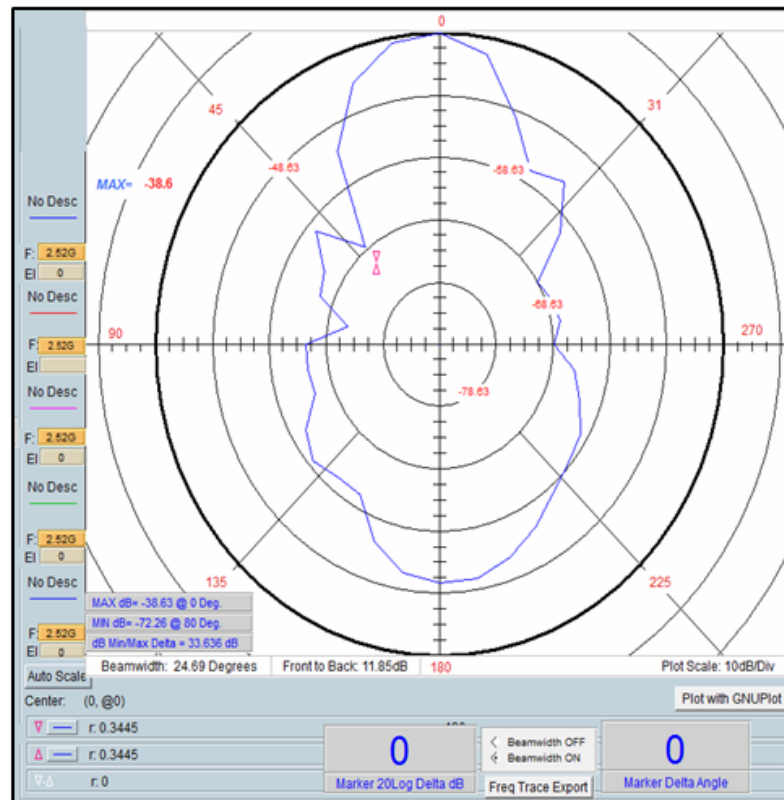
ภาพที่ 3-10 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 1 แนวแกนตั้ง



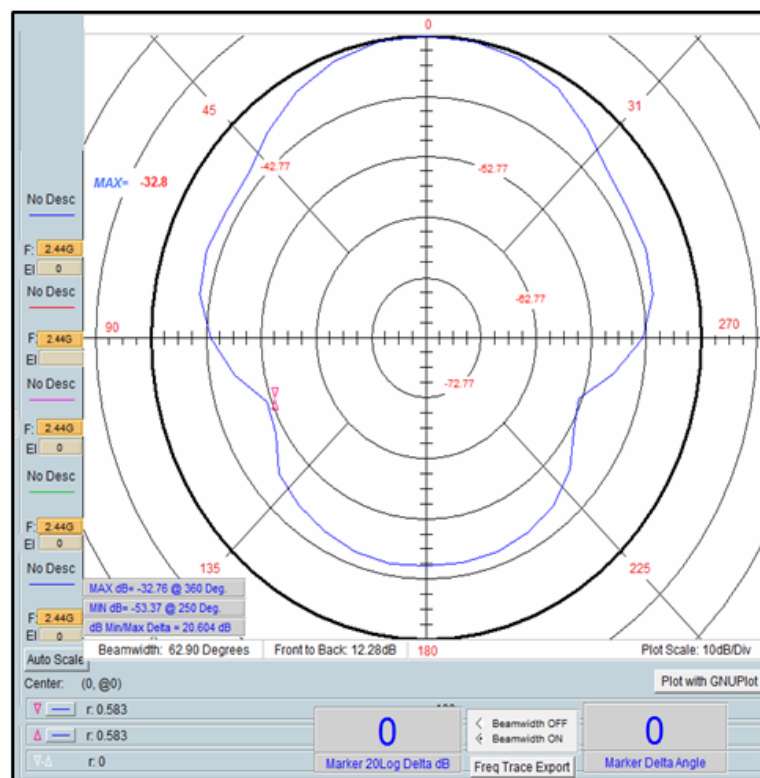
ภาพที่ 3-11 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 2 แนวแกนนอน



ภาพที่ 3-12 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 2 แนวแกนตั้ง

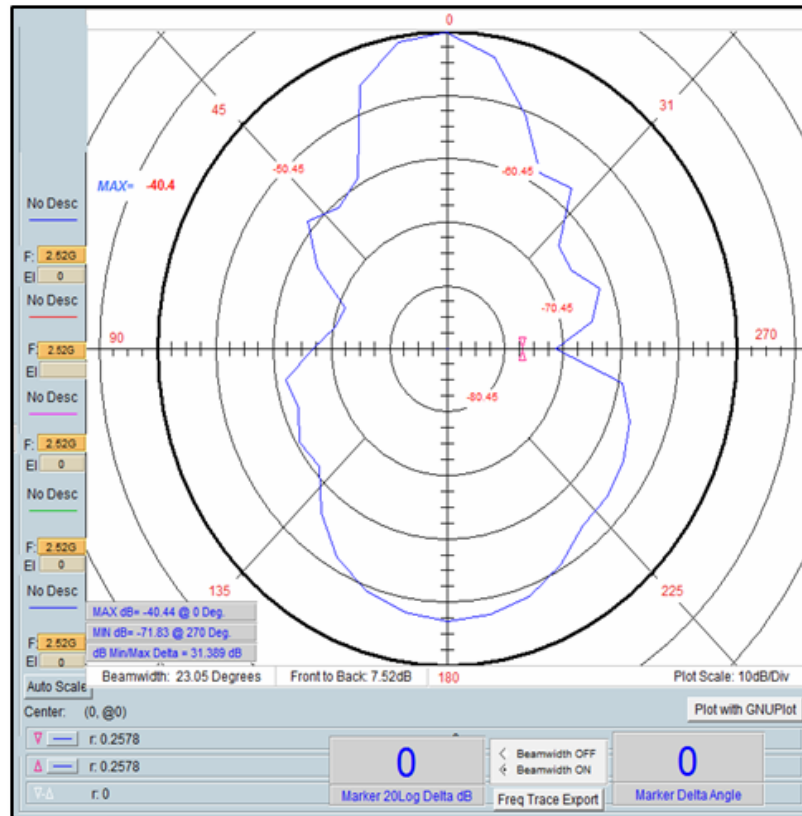


ภาพที่ 3-13 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 3 แนวแกนนอน

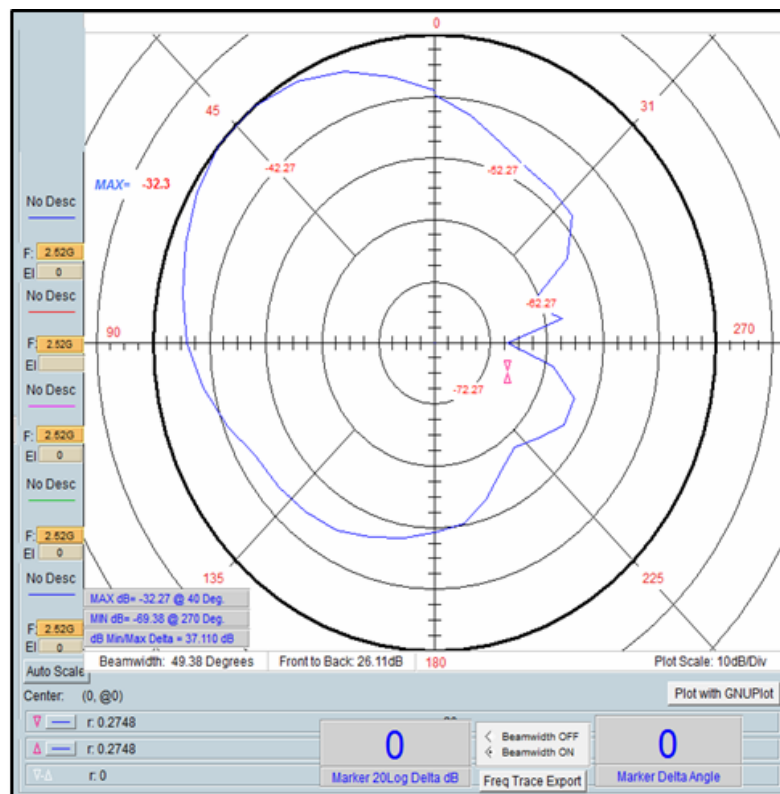


ภาพที่ 3-14 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 3 แนวแกนตั้ง





ภาพที่ 3-15 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 4 แนวแกนนอน



ภาพที่ 3-16 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 4 แนวแกนตั้ง

### 3.2 การทดลองและการทดสอบในสถานะใช้งานจริง

การทดสอบในสถานะใช้งานจริงนั้น ทำขึ้นเพื่อหาประสิทธิภาพของสายอากาศของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารทั้ง 4 แบบ ในสถานะใช้งานในที่โล่ง การทดสอบประกอบด้วยชุดเครื่องส่งของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่ต่อกับสายอากาศเครื่องส่งของกรมสอบสวนคดีพิเศษแบบโมโนโพล (สายอากาศแบบขั้วเดียว) และสายอากาศที่วิจัยขึ้นทั้ง 4 แบบ ในภาครับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารต่อกับสายอากาศที่วิจัยขึ้นจำนวน 4 แบบ และต่อเครื่องรับเข้ากับที่จุดไฟฟูหรือของรถยนต์ เพื่อเป็นการจ่ายไฟให้สม่ำเสมอและเพียงพอกับการทดสอบเนื่องจากแบตเตอรี่ของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารมีระยะเวลาใช้งานเพียง 30 นาที ในการทดสอบในที่โล่งจะใช้รถยนต์จำนวน 2 คัน คันที่หนึ่งจะติดตั้งเครื่องส่ง ส่วนรถยนต์คันที่ 2 จะติดตั้งเครื่องรับ โดยใช้เครื่องรับที่มีสายอากาศเครื่องรับของกรมสอบสวนคดีพิเศษและสายอากาศที่วิจัยขึ้นทั้ง 4 แบบ ส่วนสายอากาศเครื่องส่งจะทำการทดสอบ 5 แบบ คือ สายอากาศเครื่องส่งของกรมสอบสวนคดีพิเศษ สายอากาศที่ได้สร้างขึ้นแบบที่ 1 แบบที่ 2 แบบที่ 3 และ แบบที่ 4 กำหนดการทดสอบโดยให้รถคันที่ติดตั้งเครื่องรับอยู่กับที่ และให้รถที่ติดตั้งเครื่องส่งเคลื่อนที่ แล้ววัดระยะทางสูงสุดที่ยังคงให้ภาพที่เครื่องรับชัดเจน

ผลการทดสอบแสดงได้ตามตารางที่ 1 พบว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพมากกว่าสายอากาศเดิมที่กรมสอบสวนคดีพิเศษคือสายอากาศเครื่องส่ง ได้ระยะทางสูงสุด 500 เมตร สายอากาศที่สร้างขึ้นแบบที่ 1 ได้ระยะทางสูงสุด 900 เมตร และสายอากาศที่สร้างขึ้นแบบที่ 2 ได้ระยะทางสูงสุด 2,700 เมตร เมื่อเปลี่ยนสายอากาศที่ภาครับจะได้ระยะทางสูงสุด 3,000 เมตร

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ชนิด	ผลตอบสนองความถี่ (GHz)	อัตราขยาย (dBi)	ระยะทาง (เมตร)
สายอากาศเครื่องส่ง	2.3-2.44	3	ใช้อ้างอิงการส่ง
สายอากาศเครื่องรับ	1.9-2.58	3.94	500
สายอากาศเครื่องส่งที่สร้างขึ้น แบบ 1	2.08-2.54	6.99	900
สายอากาศเครื่องส่งที่สร้างขึ้น แบบ 2	2.09-2.52	10.99	1,500
สายอากาศเครื่องส่งที่สร้างขึ้น แบบ 3	2.08-2.54	6.75	950
สายอากาศเครื่องส่งที่สร้างขึ้น แบบ 4	2.09-2.52	10.69	1,600
ชนิด	ผลตอบสนองความถี่ (GHz)	อัตราขยาย (dBi)	ระยะทาง (เมตร)
สายอากาศเครื่องส่ง-รับ	2.08-2.54	6.99	1,600

ที่สร้างขึ้น แบบ 1			
สายอากาศเครื่องส่ง-รับ สร้างขึ้น แบบ 2	2.09-2.52	10.99	2,700
สายอากาศเครื่องส่ง-รับ ที่สร้างขึ้น แบบ 3	2.08-2.54	6.75	1,650
สายอากาศเครื่องส่ง-รับ สร้างขึ้น แบบ 4	2.09-2.52	10.69	3,000

### การทดสอบในรถยนต์

การทดสอบในรถยนต์โดยนำเครื่องส่งและเครื่องรับอยู่ในรถยนต์และใช้รถยนต์ 2 คัน เช่นเดิม ผลการทดสอบพบว่าสายอากาศของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่ได้วิจัยขึ้นได้ระยะทาง 300 เมตร สำหรับสายอากาศแบบที่ 1 และ 3 ระยะ 350 เมตร สำหรับสายอากาศแบบที่ 2 และ 4 ตามลำดับ

### การทดสอบในตัวอาคาร

การทดสอบระหว่างชั้นของตัวอาคาร สายอากาศของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่ได้วิจัยขึ้นได้จำนวน 3 ชั้น

### การทดสอบระหว่างตัวอาคารและภายนอก

การทดสอบระหว่างตัวอาคารและภายนอก สายอากาศของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่ได้วิจัยขึ้นได้ระยะทาง 500 เมตร สำหรับสายอากาศแบบที่ 1 และ 3 ระยะ 600 เมตร สำหรับสายอากาศแบบที่ 2 และ 4ตามลำดับ

### การทดสอบในภูมิภาคที่เป็นบนภูเขา มีป่าไม้

การทดสอบดังกล่าวได้ขอความอนุเคราะห์ใช้พื้นที่ในหน่วยงานทางทหาร ดังนี้

1.ภายในค่ายเม็งรายมหาราช จังหวัดเชียงราย โดยให้ตัวรับอยู่ในอาคารและตัวส่งอยู่ในรถยนต์ ซึ่งได้ระยะสูงสุด ประมาณ 300 เมตร เมื่อมีสิ่งกีดขวางเช่นภูเขา

2.ทดสอบบนดอยช้างมูบ ของกองกำลังผาเมือง โดยให้ตัวรับอยู่บนยอดเขาและตัวส่งติดกับตัวบุคคลและเดินลงไปที่ดินเขา พบว่าสามารถรับส่งสัญญาณได้ดี เป็นเวลาประมาณ 30 นาที ตามข้อจำกัดของแบตเตอรี่

### สรุปผลการทดสอบ

สายอากาศกำลังสูงสำหรับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารแบบยากิน่าเสนอ เพื่อใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพสายอากาศของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารของกรมสอบสวนคดีพิเศษให้มีระยะการสื่อสารระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับให้มากขึ้น การออกแบบไม่ซับซ้อน และได้นำเทคนิคแผ่นสะท้อนมาเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศให้มากขึ้น ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยตัว

สะท้อนคลื่น ตัวขับ และตัวกำหนดทิศทางหรือไดเรกเตอร์ โดยชิ้นงานตัวที่สองจะนำแผ่นสะท้อนมาช่วยในการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ สายอากาศแบบที่ 2 และ 4 จะใช้เทคนิคการเจาะช่องแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อลดน้ำหนักของสายอากาศให้ลดลงเพื่อสะดวกในการใช้งาน ผลจากการวัดและผลการจำลองด้วยโปรแกรม IE3D มีความใกล้เคียงกัน โดยสายอากาศทำงานที่ความถี่ 2.08-2.54 GHz และอัตราขยาย ประมาณ 6.77 dBi-10.76 dBi นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบกับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารในสภาวะใช้งานจริง พบว่าสายอากาศของเครื่องส่งเดิม มีระยะสูงสุด ประมาณ 500 เมตร ส่วนสายอากาศที่สร้างขึ้นแบบที่ 1 และ 3 มีระยะสูงสุด ประมาณ 1,600 เมตร และสายอากาศที่สร้างขึ้นแบบที่ 2 และ 4 มีระยะสูงสุด ประมาณ 3,000 เมตร ส่วนการทดสอบในสภาวะอื่นๆ นอกจากนี้ระยะทางลดลงเนื่องจากมีสิ่งกีดขวาง เช่น ตัวอาคาร โครงรถยนต์ ภูเขา ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการลดทอนสัญญาณคลื่น อีกทั้งเวลาในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วย

### ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบสายอากาศ ณ พื้นที่จังหวัดเชียงราย ทำให้ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์เพื่อนำมาปรับปรุงการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษต่อไป คือ ความต้องการให้มีตัวส่งหลายตัวเพื่อให้สามารถสังเกตการณ์ในจุดต่างๆ ได้อย่างทั่วถึง และตัวรับตัวเดียวสามารถแสดงผลตัวส่งพร้อมกันได้ในเวลาเดียวกัน รวมถึงการชาร์จพลังงานของแบตเตอรี่แบบไร้สายว่าสามารถทำได้หรือไม่เพื่อการใช้งานได้ในระยะเวลานานและสามารถอำพรางได้ไม่ให้ฝ่ายตรงข้ามสังเกตเห็นได้

## บทที่ 4

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 4.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้นำเสนอสายอากาศกำลังสูงสำหรับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารแบบยากิ เพื่อใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพสายอากาศของเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารของกรมสอบสวนคดีพิเศษให้มีระยะการสื่อสารระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับให้มากขึ้น การออกแบบไม่ซับซ้อน และได้นำเทคนิคแผ่นสะท้อนมาเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศให้มากขึ้น ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยตัวสะท้อนคลื่น ตัวขับ และตัวกำหนดทิศทางหรือไดเรกเตอร์ โดยชิ้นงานตัวที่สองจะนำแผ่นสะท้อนมาช่วยในการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ สายอากาศแบบที่ 2 และ 4 จะใช้เทคนิคการเจาะช่องแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อลดน้ำหนักของสายอากาศให้ลดลง เพื่อสะดวกในการใช้งาน ผลจากการวัดและผลการจำลองด้วยโปรแกรม IE3D มีความใกล้เคียงกัน โดยสายอากาศทำงานที่ความถี่ 2.08-2.54 GHz และอัตราขยาย ประมาณ 6.77 dBi-10.76 dBi นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบกับเครื่องเข้าถึงข้อมูลข่าวสารในสภาวะใช้งานจริง พบว่าสายอากาศของเครื่องส่งเดิม มีระยะสูงสุด ประมาณ 500 เมตร ส่วนสายอากาศที่สร้างขึ้นแบบที่ 1 และ 3 มีระยะสูงสุด ประมาณ 1,600 เมตร และสายอากาศที่สร้างขึ้นแบบที่ 2 และ 4 มีระยะสูงสุด ประมาณ 3,000 เมตร ส่วนการทดสอบในสภาวะอื่นๆ นอกจากนั้นระยะทางลดลงเนื่องจากมีสิ่งกีดขวาง เช่น ตัวอาคาร โครงรถยนต์ ภูเขา และสภาพฝนตก ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการลดทอนสัญญาณคลื่น อีกทั้งระยะเวลาในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วย

#### 4.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

การสร้างชิ้นงานบนโครงสร้างสายนำสัญญาณไมโครสตริป จะมีพารามิเตอร์ของแผ่นวงจรพิมพ์ไมโครเวฟให้เลือกหลายรุ่นหลายยี่ห้อ จึงต้องเลือกให้เหมาะสมในการใช้งาน ดังนี้

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก สายนำสัญญาณจะมีขนาดเล็กกลง ถ้าใช้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมาก จะทำให้ขนาดของสายนำสัญญาณมีขนาดเล็ก อาจจะมีปัญหาในการเจาะร่องที่มีขนาดเล็กมากก็ได้ แต่ถ้าใช้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกน้อยจะทำให้ขนาดสายนำสัญญาณใหญ่ จะเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุและชิ้นงานใหญ่เกินความจำเป็น

ความหนาของซับสเตรท หากเลือกใช้แผ่นวงจรพิมพ์ที่บางเกินไป เมื่อทำการเซาะลายวงจรอาจทำให้เซาะถึงเนื้อซับสเตรทได้ ทำให้ชิ้นงานไม่แข็งแรง

ในการเจาะร่องที่ลายวงจรมีข้อจำกัดที่ตอกสว่านมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กคือ 0.2 มม. เพราะฉะนั้นในการออกแบบต้องเผื่อร่องของลายวงจรให้มีขนาดใหญ่กว่า 0.2 มม. จึงจะทำให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกันเนื่องจากพารามิเตอร์ในการออกแบบมีข้อจำกัด

ต้องใช้ความแม่นยำของสายตาผู้ทำการควบคุมเครื่องเจาะลายวงจรเป็นอย่างมาก จึงต้องใช้ความระมัดระวังและความชำนาญในการเจาะลายวงจรเป็นพิเศษ จึงจะได้ผลงานออกมาดีตามต้องการ และผลการวัดไม่คลาดเคลื่อนได้

และอีกประการหนึ่งกรมสอบสวนคดีพิเศษไม่มีเครื่องมือเฉพาะทางในห้องปฏิบัติการวิจัย จึงต้องขอความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือห้องปฏิบัติการจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในการสร้างชิ้นงานและทดสอบในห้องปฏิบัติการ

จากการทดสอบสายอากาศ ณ พื้นที่จังหวัดเชียงราย ทำให้ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์เพื่อนำมาปรับปรุงการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษต่อไป คือ ความต้องการให้มีตัวส่งหลายตัวเพื่อให้สามารถสังเกตการณ์ในจุดต่างๆ ได้อย่างทั่วถึง และตัวรับตัวเดียวสามารถแสดงผลตัวส่งพร้อมกันได้ในเวลาเดียวกัน รวมถึงการชาร์จพลังงานของแบตเตอรี่แบบไร้สายว่าสามารถทำได้หรือไม่เพื่อการใช้งานได้ในระยะเวลานานและสามารถอำพรางเพื่อไม่ให้ฝ่ายตรงข้ามสังเกตเห็นได้

## เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

Y. Ranga, Karu. P. Esselle, Andrew R. Weily และ A. K. Verma, “Compact High-Gain Short-Horn Antenna for UWB Applications” Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), pp.1511-1513, 2010.

Weihua Tan, Zhongxiang Shen, และ Boyu Zheng, “Design of a Wide-Band High-Gain Linear Array Antenna,” ICUWB 2009, pp. 739–742, Sep. 2009.

Cheng Huang, Zeyu Zhao, Qin Feng, และ Xiangang Luo, “A High-Gain Antenna Consisting of Two Slot Elements With a Space Larger Than a Wavelength,” IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett. vol. 9, pp. 159–162, 2010.

Camilla Kärnfel, Paul Hallbjörner, Herbert Zirath and Arne Alping, “High Gain Active Microstrip Antenna for 60-GHz WLAN/WPAN Applications,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 54, no. 6, pp. 2593-2603, 2006.

Hamsakutty Vettikalladi, Olivier Lafond และ Mohammed Himdi, “High-Efficient and High-Gain Superstrate Antenna for 60-GHz Indoor Communication,” IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett. vol. 8, pp. 1422–1425, 2009.

Dong Hyun Lee, Yoonjae Lee, Yang Hao, Yiannis Vardaxoglou, Wee และ Sang Park, “Perturbation Input Impedance Matching Technique for Fabryperot High Gain Antenna,” Proceeding in Loughborough Antennas & Propagation Conference, pp.301-304, 2008.

Sanming Hu, Yong-Zhong Xiong, Lei Wang, Rui Li และ Teck Guan Lim, “A Millimeter-Wave Wideband High-Gain Antenna and Its 3D System-in-Package Solution in a TSV-Compatible Technology,” Electronic Components and Technology Conference, pp.869-872, 2011.

Andrew R. Weily, Trevor S. Bird, และ Y. Jay Guo, “A Reconfigurable High-Gain Partially Reflecting Surface Antenna,” IEEE Tran. Antennas and Propag. vol. 56, no. 11, pp. 3382–3390, Nov. 2008.

Jung-han Kim, Joong-kwan Kim, Yong-jin Kim, และ Hong-min Lee, “High Gain Antenna using Parasitic Shorted Annular Patch Structure,” Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference 2007.

Gerald R. DeJean, Trang T. Thai, Symeon Nikolaou, และ Manos M. Tentzeris, “Design and Analysis of Microstrip Bi-Yagi and Quad-Yagi Antenna Arrays for WLAN Applications,” IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett. vol. 6, pp. 244–247, 2007.

Zeland Software, Inc., IE3D, New York.

## ประวัติคณะผู้วิจัย

- 1.ชื่อ ดร.มงคล มีลูน  
Dr.MONGKOL MEELON
- 2.หมายเลขบัตรประชาชน 3400500784150
- 3.ตำแหน่งปัจจุบัน เจ้าหน้าที่คดีพิเศษชำนาญการ
- 4.หน่วยงาน ส่วนวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษ สำนักเทคโนโลยีและศูนย์ข้อมูลการ  
ตรวจสอบกรมสอบสวนคดีพิเศษ
- โทรศัพท์/โทรสาร/E-mail 02-8319888 ต่อ 8062-3 โทรสาร 02-9759880  
มือถือ 085-1358542 E – mail: mongkol\_m@dsi.go.th
- 5.ประวัติการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์)  
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าพระนครเหนือ

6.สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ วิศวกรรมไมโครเวฟ

### 7.งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

Mongkol Meeloon, Matinee Rattarasarn, Rungrueang Pattanakun, Sarawuth Chaimool and Prayoot Akkaraekthalin, “An Ultra-Wideband Bandpass Filters With Dual-Notched Band using Embedded Fold-Slots and Slot Step Impedance Resonators” *2013 International Electrical Engineering Congress : ieecon 2013*, Chiang Mai, Thailand.

มงคล มีลูน, เมธินี รัตตสาร, รุ่งเรือง พัฒนกุล, ศราวุธ ชัยมูล และ ประยูทธ อัครเอกตามาลิน “วงจรรองผ่านแถบกว้างยั้งที่มีสองแถบหยุดโดยใช้ตัวป้อนแบบร่อง” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35 (EECON35) 2555*

M. Meeloon, M. Rattarasarn, S. Chaimool, and P. Akkaraekthalin, “A Dual-Notched Bandpass Filters using Embedded Fold-Slot ” *2012 Asia-Pacific Conference on Antennas & Propagation : APCAP-2012*, Singapore, 2012.

M. Meeloon, S. Chaimool, and P. Akkaraekthalin, “An UWB-Band Bandpass Filter with Dual-Notched Band using Embedded Fold-Slots” *2012 Thailand-Japan Microwave : TJMW-2012*, Chulalongkorn University, Thailand, 2012.

M. Meeloon, M. Rattarasarn, S. Chaimool, and P. Akkaraekthalin, “An Ultra-Wideband Bandpass Filters With Dual-Notched Band and improved stopband performances ” *ecti2012*, 2012.



M. Meeloon, V. Jeeracheeweeekul, S. Mahatthanathawee, J. Ngamkhum, A. Chomputawat, S. Chomputawat and M. Rattarasarn, "An Ultra-wideband bandpass filter with notched using embedded fold-slot feed and three-slotted resonator" *2011 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems:ISPACS-2011*, Chiang Mai, Thailand.

M. Meeloon, S. Chaimool, P. Akkaraekthalin A. Leenaphet and R. Pattanakun, "An Ultra-wideband bandpass filter with notched using step-impedance resonators and embedded fold-slot " *2011 International Symposium on Antennas and Propagation:ISAP-2011*, Jeju, Korea.

M. Meeloon, S. Chaimool, and P. Akkaraekthalin, "Ultra-Wideband Bandpass Filters With Notched Band Using Slotted Linear Tapered-Line Resonators and Embedded Slot Feed " *ecti2011*, 2011.

มงคล มีลูน, ศราวุธ ชัยมูล และ ประยุทธ์ อัครเอกฒาลิน "วงจรรองผ่านแถบกว้างที่มีแถบหยุดโดยใช้ร่องพับแบบฝัง" *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON33) 2553* (บทความดีเด่น สาขาไฟฟ้าสื่อสาร)

M. Meeloon, S. Chaimool, and P. Akkaraekthalin, "Broadband bandpass filters using slotted resonators fed by interdigital coupled lines for improved upper stopband performances," *Int. J. Electron. Commun. (AEU)* 63, pp.454-463, 2009.

M. Meeloon, S. Chaimool, and P. Akkaraekthalin, "Broadband Bandpass Filters with Notched Bands Using Embedded Slots" *eecon32*, 2009.

P. Akkaraekthalin and M. Meeloon, "A Broadband Bandpass Filter with a Notch-Band Using Step-Impedance Resonator and Embedded Slots" in *Proc. 2009 Asia-Pacific Microw. Conf.*, Dec. 2009.

M. Meeloon, S. Chaimool, and P. Akkaraekthalin, "Broadband bandpass filters using slotted stepped impedance resonators for improving upper stopband performances " *ecti2008*, 2008.

M. Meeloon, S. Chaimool, and P. Akkaraekthalin, "Broadband Bandpass Filters Using Slotted Resonators Fed by Interdigital Couple Line for improving upper stopband performances" in *Proc. 2007 Asia-Pacific Microw. Conf.*, Dec. 2007.

M. Meeloon and P. Akkaraekthalin, "Broadband Bandpass Filters Using Slotted Linear Tapered-Line Resonators for Improving Upper Stopband Performances" *eecon30*, p. 1109-1112 , 2007.

มงคล มีสุน, ประยุทธ์ อัครเอกพาลีนิ “วงจรรองผ่านแถบความถี่กว้าง  
โดยใช้ตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลที่มีช่องระนาบกราวด์” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า  
ครั้งที่ 26 , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546