

รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาสายอากาศแถบกว้างขนาดเล็กสำหรับ
เครื่องตรวจจับความถี่

Development of Compact Size Wideband
Antennas for Frequency Detector

โดย

ดร.มงคล มีลุน

กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๘

รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาสายอากาศแถบกว้างขนาดเล็กสำหรับ เครื่องตรวจจับความถี่

Development of Compact Size Wideband Antennas for Frequency Detector

โดย

ดร.มงคล มีลุน

ส่วนวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษ
สำนักเทคโนโลยีและศูนย์ข้อมูลการตรวจสอบ
กรมสอบสวนคดีพิเศษ

โครงการวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนเงินอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๘

บทคัดย่อ

ชื่อโครงการ	การพัฒนาสายอากาศแถบกว้างขนาดเล็กสำหรับเครื่องตรวจจับ ความถี่
ชื่อนักวิจัย	ดร.มงคล มีลุน
E-mail	mongkol_m@dsi.go.th
ระยะเวลาโครงการ	1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างสายอากาศแถบกว้างขนาดเล็กสำหรับเครื่องตรวจจับความถี่ จำนวน 4 วงจร บนแผ่นวงจรพิมพ์ความถี่สูง ป้อนสัญญาณด้วยตัวนำสัญญาณแบบโมโนโพลและมีแผ่นสะท้อน เพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านรับส่งสัญญาณให้มีความแรงมากขึ้น มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียวและมีขนาดเล็ก โดยเลือกใช้วัสดุเป็นแผ่นวงจรพิมพ์สองด้าน Rogers RT/Duroid 5880 ร่วมกับแผ่นสะท้อน สายอากาศสร้างบนตัวนำทั้งสองด้านของแผ่นวงจรพิมพ์ สายอากาศที่นำเสนอนี้ ทำงานได้ในช่วงความถี่ที่กว้าง ครอบคลุมความถี่ของโทรศัพท์มือถือ ทั้ง 2G (1800-1900 MHz) , 3G (2100 MHz) และ อินเทอร์เน็ต Wi-Fi (2400 MHz) มีอัตราขยายสูงสุด 9.75 dBi สายอากาศมีอิมพีแดนซ์ทางด้านเข้า 50 โอห์ม แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบเจาะจงทิศทางในระยะไกล สายอากาศถูกวิเคราะห์และจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมจำลองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และวัดประสิทธิภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ร่วมกับเครื่องตรวจจับความถี่ในภารกิจสืบสวนสอบสวนอาชญากรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

คำสำคัญ: สายอากาศโมโนโพล, สายนำสัญญาณขนาดเล็ก, สายอากาศเจาะจงทิศทาง

Abstract

Project Title: Development of Compact Size Wideband Antennas for Frequency Detector

Investigator: Dr.MONGKOL MEELOON

E-mail Address: mongkol_m@dsi.go.th

Project Period: October 1, 2014 to September 30, 2015

This project presents the design and implement of 4 print circuit board monopole antennas with parallel strip feed line and ground plane reflector installed under antenna. The objective of the ground plane reflector is to increase gain of monopole antennas which is different from general monopole antennas. The antenna can operate at 2G (1800-1900 MHz) , 3G (2100 MHz) and Wi-Fi (2400 MHz) with input impedance 50Ω . The presented antenna shows a unidirectional pattern with a maximum gain about 9.75 dBi. The antenna has been designed and simulated by using EM program. The presented antenna can be applied for cyber crime investigation.

Keyword: Monopole Antenna, Microstrip transmission line, Directional Antenna

โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาสายอากาศแถบกว้างขนาดเล็กสำหรับเครื่องตรวจจับความถี่

บทสรุปผู้บริหาร

เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารที่ได้รับการพัฒนาให้เจริญก้าวหน้าทำให้การคมนาคมติดต่อสื่อสารกันเป็นไปได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็ว ส่งผลทำให้อาณาภรณ์ความรู้ด้านเทคโนโลยีที่ใช้ในการก่ออาชญากรรมได้มากขึ้น การติดตาม สืบค้น หาความจริงของเจ้าหน้าที่จึงจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาช่วยในการสืบสวนสอบสวนเพื่อแสวงหาพยานหลักฐาน ซึ่งบางครั้งเจ้าหน้าที่ต้องตกเป็นผู้ถูกดักข้อมูลเสียเอง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่นำมาช่วยในการป้องกันการดักข้อมูลให้มีประสิทธิภาพ โดยการนำผลงานที่ได้จากการวิจัยมาใช้กับอุปกรณ์ตรวจจับความถี่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษ

ส่วนวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษ สำนักเทคโนโลยีและศูนย์ข้อมูลการตรวจสอบกรมสอบสวนคดีพิเศษเป็นหน่วยงานรับผิดชอบในการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษ สำหรับการสืบสวนคดีพิเศษ ให้มีประสิทธิภาพ อุปกรณ์สืบสวนสอบสวนคดีพิเศษของกรมสอบสวนคดีพิเศษ มีไว้เพื่อให้เจ้าหน้าที่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษใช้ในการสืบสวนสอบสวนคดีพิเศษให้มีประสิทธิภาพ เครื่องตรวจจับความถี่เป็นอุปกรณ์พิเศษชนิดหนึ่งที่ใช้ในการตรวจจับความถี่ของเครื่องดักข้อมูลต่างๆ

เครื่องตรวจจับความถี่มีส่วนประกอบของวงจรที่ความสำคัญในการตรวจจับสัญญาณที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์ดักข้อมูลต่างๆ เช่น กล้องสอดแนม หรือ เครื่องดักฟังต่างๆ ที่เป็นคลื่นความถี่ ทำให้สัญญาณมีความชัดเจนและสามารถแยกแยะได้ว่าเป็นสัญญาณความถี่ใดที่ส่งออกมา ส่วนประกอบนั้นคือ สายอากาศ (Antenna) ซึ่งใช้เป็นตัวเลือกรับสัญญาณที่จากเครื่องส่งทำให้ได้สัญญาณที่มีความแรงและตัดสัญญาณรบกวนให้น้อยที่สุด แต่สายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร ปัญหาจากการใช้งานเครื่องตรวจจับความถี่พบว่าสัญญาณมีความแรงน้อยลงเมื่อระยะทางระหว่างเครื่องส่ง มีระยะทางไกลมากขึ้น ทำให้ความชัดเจนของสัญญาณลดลงส่งผลให้การตรวจจับสัญญาณไม่ได้ว่ามีเครื่องดักข้อมูลอยู่หรือไม่ในบริเวณนั้นอีกทั้งสายอากาศดังกล่าวมีขนาดใหญ่ ไม่สะดวกในการติดตั้งและใช้งานเพราะจะต้องใช้สายสายอากาศหลายตัวเพื่อให้ทำงานได้หลายความถี่ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเครื่องตรวจจับความถี่ในครั้งนี้ จะทำการวิจัยและพัฒนาสายอากาศ ของเครื่องตรวจจับความถี่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม เพื่อเพิ่มกำลังในการรับให้ดีที่สุดส่งผลให้ได้ระยะทางไกลมากขึ้นจึงสามารถตรวจจับความถี่ได้ไกลขึ้นมากขึ้นกว่าเดิมและออกแบบให้มีขนาดเล็กใช้สายอากาศจำนวนน้อยกว่าเดิม เพื่อการลดขนาดสายอากาศลง ทำให้สะดวกต่อการติดตั้งและใช้งาน ลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้ออุปกรณ์เพิ่มเติมจากต่างประเทศ เป็นการ

สร้างองค์ความรู้และนวัตกรรมที่เป็นรากฐานในการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์สืบสวนสอบสวนคดีพิเศษ
อื่นๆ ของกรมสอบสวนคดีพิเศษต่อไป

โครงการวิจัยนี้ได้รับงบประมาณวิจัยจากสำนักกิจการยุติธรรม กระทรวงยุติธรรม ประจำปี
งบประมาณ พ.ศ.2558 นำเสนอสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่แบบโมโนโพล เพื่อใช้ปรับปรุง
ประสิทธิภาพสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษให้มีขนาดเล็กและ
สามารถครอบคลุมได้กว้างกว่าเดิม การออกแบบไม่ซับซ้อน และได้นำเทคนิคแผ่นสะท้อนมาเพิ่ม
อัตราขยายของสายอากาศให้มากขึ้น ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยตัวกระจายคลื่น
กราวด์ และตัวสะท้อน โดยได้สร้างสายอากาศจำนวนสี่ชิ้น และใช้เทคนิคการเจาะช่องแผ่นวงจรพิมพ์
เพื่อเพิ่มความกว้างของแถบความถี่ สะดวกในการใช้งาน ผลจากการวัดและผลการจำลองมีความ
ใกล้เคียงกัน โดยสายอากาศทำงานที่ความถี่ 1.8-2.8 GHz และอัตราขยาย ประมาณ 5.75 dBi-9.75
dBi นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบกับเครื่องตรวจจับความถี่ในสภาวะใช้งานจริง พบว่าสายอากาศแบบ
ใหม่สามารถตรวจจับความถี่ได้มากกว่าแบบเดิมและสามารถบอกตำแหน่งของเครื่องดักฟังได้ จึงทำ
ให้สายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม

จากการทดสอบสายอากาศทำให้ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์เพื่อนำมาปรับปรุงการวิจัยและ
พัฒนาอุปกรณ์พิเศษต่อไป คือ ความต้องการให้มีการตรวจจับแบบอัตโนมัติเพื่อให้สามารถตรวจจับใน
จุดต่างๆ ได้อย่างทั่วถึงได้อย่างแม่นยำ ทำได้โดยใช้เทคนิคการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลร่วมกับ
ระบบเรดาร์ต่อไป

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	20
1.7 วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง	20
1.8 ระยะเวลาทำการวิจัย	21
1.9 งบประมาณของโครงการ	23
1.10 ผลสำเร็จและความคุ้มค่าที่คาดว่าจะได้รับ	24
บทที่ 2. การออกแบบและการสร้าง	25
2.1 ทฤษฎีการออกแบบสายอากาศไดโพล	25
2.2 การวิเคราะห์และการออกแบบสายอากาศ	29
2.3 การจำลองผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 1	31
2.4 การจำลองผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 2	32
2.5 การจำลองผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 3	34
2.6 การจำลองผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 4	36
2.7 ชิ้นงานจริงของสายอากาศ	38
บทที่ 3. การทดลองและทดสอบ	40
3.1 การทดลองและทดสอบในห้องปฏิบัติการ	40
3.2 การทดลองและทดสอบในสภาวะใช้งานจริง	53
บทที่ 4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	55
4.1 สรุปผลการวิจัย	55
4.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	55

เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย	57
ประวัติคณะวิจัย	60

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารที่ได้รับการพัฒนาให้เจริญก้าวหน้าทำให้การคมนาคมติดต่อสื่อสารกันเป็นไปได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็ว ส่งผลทำให้อาชญากรนำความรู้ด้านเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการก่ออาชญากรรมได้มากขึ้น การติดตาม สืบค้น หาความจริงของเจ้าหน้าที่จึงจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาช่วยในการสืบสวนสอบสวนเพื่อแสวงหาพยานหลักฐาน ซึ่งบางครั้งเจ้าหน้าที่ต้องตกเป็นผู้ถูกดักข้อมูลเสียเอง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่นำมาช่วยในการป้องกันการดักข้อมูลให้มีประสิทธิภาพ โดยการนำผลงานที่ได้จากการวิจัยมาใช้กับอุปกรณ์ตรวจจับความถี่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษ

ส่วนวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษ สำนักเทคโนโลยีและศูนย์ข้อมูลการตรวจสอบกรมสอบสวนคดีพิเศษเป็นหน่วยงานรับผิดชอบในการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษ สำหรับการสืบสวนคดีพิเศษ ให้มีประสิทธิภาพ อุปกรณ์สืบสวนสอบสวนคดีพิเศษของกรมสอบสวนคดีพิเศษ มีไว้เพื่อให้เจ้าหน้าที่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษใช้ในการกักเก็บข้อมูลสืบสวนสอบสวนคดีพิเศษให้มีประสิทธิภาพ เครื่องตรวจจับความถี่เป็นอุปกรณ์พิเศษชนิดหนึ่งที่ใช้ในการตรวจจับความถี่ของเครื่องดักข้อมูลต่างๆ

เครื่องตรวจจับความถี่มีส่วนประกอบของวงจรที่มีความสำคัญในการตรวจจับสัญญาณที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์ดักข้อมูลต่างๆ เช่น กล้องสอดแนม หรือ เครื่องดักฟังต่างๆ ที่เป็นคลื่นความถี่ ทำให้สัญญาณมีความชัดเจนและสามารถแยกแยะได้ว่าเป็นสัญญาณความถี่ใดที่ส่งออกมา ส่วนประกอบนั้นคือ สายอากาศ (Antenna) ซึ่งใช้เป็นตัวเลือกรับสัญญาณที่จากเครื่องส่งทำให้ได้สัญญาณที่มีความแรงและตัดสัญญาณรบกวนให้น้อยที่สุด แต่สายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร ปัญหาจากการใช้งานเครื่องตรวจจับความถี่พบว่าสัญญาณมีความแรงน้อยลงเมื่อระยะทางระหว่างเครื่องส่ง มีระยะทางไกลมากขึ้น ทำให้ความชัดเจนของสัญญาณลดลงส่งผลให้การตรวจจับสัญญาณไม่ได้ว่ามีเครื่องดักข้อมูลอยู่หรือไม่ในบริเวณนั้น อีกทั้งสายอากาศดังกล่าวมีขนาดใหญ่ ไม่สะดวกในการติดตั้งและใช้งานเพราะจะต้องใช้สายอากาศหลายตัวเพื่อให้ทำงานได้หลายความถี่ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเครื่องตรวจจับความถี่ใน

ครั้งนี้ จะทำการวิจัยและพัฒนาสายอากาศ ของเครื่องตรวจจับความถี่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม เพื่อเพิ่มกำลังในการรับให้ดีที่สุดส่งผลให้ได้ระยะทางไกลมากขึ้นจึงสามารถตรวจจับความถี่ได้ไกลขึ้นมากขึ้นกว่าเดิมและออกแบบให้มีขนาดเล็กใช้สายอากาศจำนวนน้อยกว่าเดิม เพื่อการลดขนาดสายอากาศลง ทำให้สะดวกต่อการติดตั้งและใช้งาน ลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้ออุปกรณ์เพิ่มเติมจากต่างประเทศ เป็นการสร้างองค์ความรู้และนวัตกรรมที่เป็นรากฐานในการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์สืบสวนสอบสวนคดีพิเศษอื่นๆ ของกรมสอบสวนคดีพิเศษต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อเพื่อสร้างสายอากาศแถบกว้างขนาดเล็กสำหรับเครื่องตรวจจับความถี่
2. เพื่อพัฒนาการทำงานของสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่

ขอบเขตการศึกษา

การวิจัย เรื่อง สายอากาศแถบกว้างขนาดเล็กสำหรับเครื่องตรวจจับความถี่ มุ่งศึกษาถึงการสร้างนวัตกรรมใหม่ของสายอากาศแถบกว้างขนาดเล็กของเครื่องตรวจจับความถี่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษ โดยมีขอบเขตการศึกษาเพื่อออกแบบและสร้างสายอากาศแถบกว้างขนาดเล็กสำหรับเครื่องตรวจจับความถี่ บนโครงสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ ที่สามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ที่กว้างครอบคลุมความถี่ของโทรศัพท์มือถือ ทั้ง 2G (1800-1900 MHz), 3G (2100 MHz) และ อินเทอร์เน็ต Wi-Fi (2400 MHz) มีอัตราขยายสูงมากกว่า 3 dBi และมีขนาดเล็กกว่าสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษ

ทฤษฎี สมมุติฐาน และ กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ทฤษฎีเกี่ยวกับสายอากาศ

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

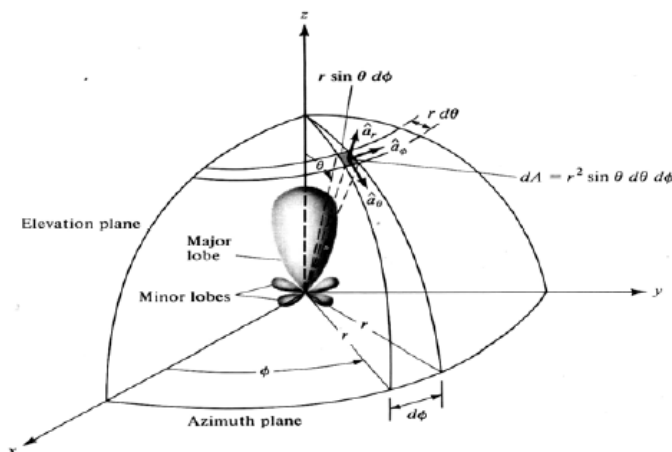
ลักษณะการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุ

คุณสมบัติของสายอากาศในทางทฤษฎีจะมีรูปลักษณะการกระจายคลื่นสองแบบคือ

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

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น [Radiation Pattern]

รูปแบบการแผ่พลังงานหรือรูปแบบกระจายคลื่นของสายอากาศเป็นการนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานของสายอากาศในรูปของกราฟฟิกหรือในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดตำแหน่ง (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 ซึ่งคุณสมบัติของการแผ่กำลังงานสามารถที่จะแสดงในรูปของการกระจายพลังงานในแต่ละตำแหน่งและทิศทางที่เป็นแบบสองมิติและแบบสามมิติซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งของผู้สังเกตตลอดเส้นทางหรือผิวของทรงกลมที่มีรัศมีคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 รูปแบบการแพร่กระจาย

รูปแบบการแพร่กระจายกำลังงานของสายอากาศสามารถอธิบายได้ 3 แบบ ดังนี้

1. รูปแบบการแพร่กระจายกำลังงานแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Radiator) คือสายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้นมาจาก ไม่มีการสูญเสียภายในตัวเอง และมีการแผ่พลังงานออกมาเท่ากันทุกทิศทาง

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

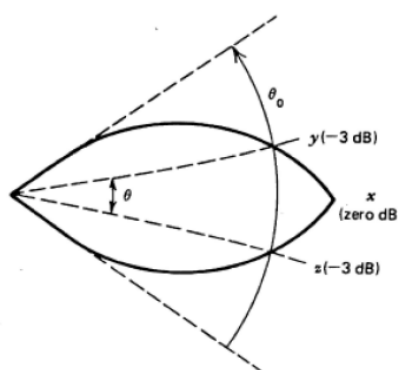
3. รูปแบบการแพร่กระจายกำลังงานแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omnidirectional Pattern) คือ สายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กำลังงานที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ในที่นี้คือ มุมกวาด (Azimuth) และระนาบที่ตั้งฉากกันจะมีแบบรูปการแผ่กำลังงานเป็นแบบมีทิศทาง

พูข้าง (Minor lobe)

พูข้าง คือส่วนหนึ่งของรูปแบบการแพร่กระจายที่มีความเข้มสนามน้อย เกิดขึ้นนอกเหนือจากรูปแบบการแพร่กระจายพูหลัก [Major lobe] ที่มีความเข้มของสนามมากในทางปฏิบัติ เป็นการยากที่จะทำให้มีรูปแบบการแพร่กระจายหลักอย่างเดียว แต่มักจะมีพูข้าง เกิดขึ้นด้วยเสมอพูข้างของสายอากาศ 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)

โพลาไรซ์ของสายอากาศมีทั้งแบบตั้ง [Vertical] และแบบนอน [Horizontal] โดยปรกติจะกำหนดตามระนาบของสนามไฟฟ้า ซึ่งจะมีแนวขนานกับตัวสายอากาศ ดังนั้น polarization จึงสามารถสังเกตได้ตามลักษณะสายอากาศ สายอากาศความถี่ต่ำมักเลือกโพลาไรซ์ แบบตั้ง เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับพื้นดิน ส่วนโพลาไรซ์แบบนอนสัญญาณจะถูกรบกวนน้อย ในทางปฏิบัติจะเลือกใช้กับสายอากาศความถี่สูง

อัตราขยายของสายอากาศ (Gain : dB)

อัตราขยายของสายอากาศ อธิบายถึงความสามารถขยายกำลังที่ถูกส่งเข้ามาที่สายอากาศ และแผ่กระจายออกไปได้ไกล 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 วิธีเปรียบเทียบ (Comparison Method) หรือวิธีการแทนที่ (Substitution Method) ซึ่งสามารถหาได้ โดยการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับด้วยสายอากาศอ้างอิง กับกำลังงานที่รับได้จากสายอากาศที่ทำการทดสอบ

อัตราขยายของสายอากาศที่ต้องการทราบจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

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

เมื่อต้องการคำตอบ ให้มีหน่วยเป็น dB ก็จะได้จากสมการ

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

ก่อนที่จะนำวิธีการแทนที่มาใช้นั้น เราจะต้องเปรียบเทียบเพื่อหาค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้ในการอ้างอิงเสียก่อน โดยการใช้อย่างอากาศสองตัวที่เหมือนกันทุกประการมาเป็นสายอากาศรับและส่งจากนั้นวัดค่ากำลังงานที่ส่งออกไปและค่าของกำลังงานที่รับได้ นำมาคำนวณหาค่าอัตราขยายซึ่งจะเป็นอัตราขยายของสายอากาศอ้างอิง ดังสมการ

$$G = \frac{4\pi r^2}{\lambda^2} \frac{P_{rec}}{P_o} \quad (3)$$

เมื่อ G คือ ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่จะใช้เป็นตัวอ้างอิง

r คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสอง

P_{rec} และ P_o คือ กำลังงานที่รับได้และกำลังงานที่ส่งออกไป ตามลำดับ

λ คือ ความยาวคลื่นในอากาศ (หน่วยเดียวกันกับระยะทาง)

แบนด์วิธสายอากาศ

แบนด์วิธสายอากาศ คือ ความกว้างแถบของสายอากาศย่านความถี่ที่ยังอยู่ในสถานะที่สายอากาศยังสามารถทำงานได้ 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) จะมีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแนวอนน 360 องศา ส่วนแนวตั้งขึ้นอยู่กับอัตราขยายโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 2–18dBi

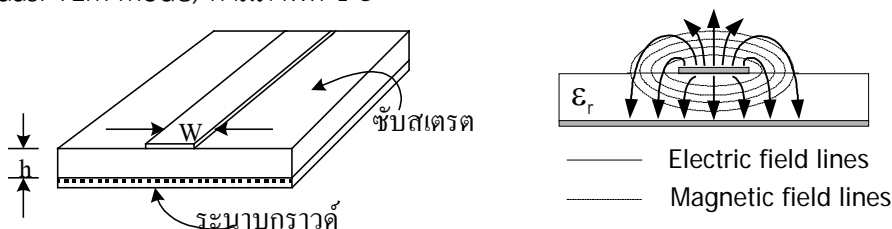
2.สายอากาศทิศทาง (Directional) จะมีทั้งแบบกึ่งทิศทางและแบบทิศทางแบบกึ่งทิศทาง (Dipole, Patch panel, Sector) การแพร่กระจายคลื่นจะออกมารอบทิศทาง แต่จะเน้นออกไปทิศทางด้านหน้าของสายอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราขยายแบบทิศทาง (Yagi-Uda, Helical, Grid) จะเน้นทิศทางด้านหน้ามากกว่าแบบอื่นๆ และสัญญาณด้านหลังและด้านข้างจะแพร่กระจายออกมาน้อยมาก ส่วนใหญ่อัตราขยายจะสูงกว่า 20 dBi สายอากาศแบบ Helical หรือสายอากาศก้นหอย จะมีความพิเศษอยู่ตรงที่ ลักษณะของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกมา จะมีทั้งแนวตั้งและแนวนอน ทำให้สายอากาศภาครับไม่จำเป็นต้องทำแนวเดียวกับสายอากาศต้นทางที่เป็น helical และค่าสัดส่วนอัตราขยายด้านหน้าและด้านหลัง (Front/back ratio) มีอัตราที่ดีมาก แต่นับว่าเป็นสายอากาศที่มีความยากในการสร้างสายอากาศแบบยาคิ-อุดะ (Yagi-Uda) หรือสายอากาศก้างปลา ออกแบบโดย ศจ. อิเดจูกุ ยากิ และ ศจ. ซินทาโร อุดะ 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 อีกทั้งยังง่ายในการวางอุปกรณ์ทั้งแอททีฟและพาสซีฟไว้บนส่วนต่างๆ 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 แต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือเนื่องจากทำงานที่ความถี่กว้างทำให้ระยะในการรับส่งสัญญาณได้ไม่ไกลมากนัก 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

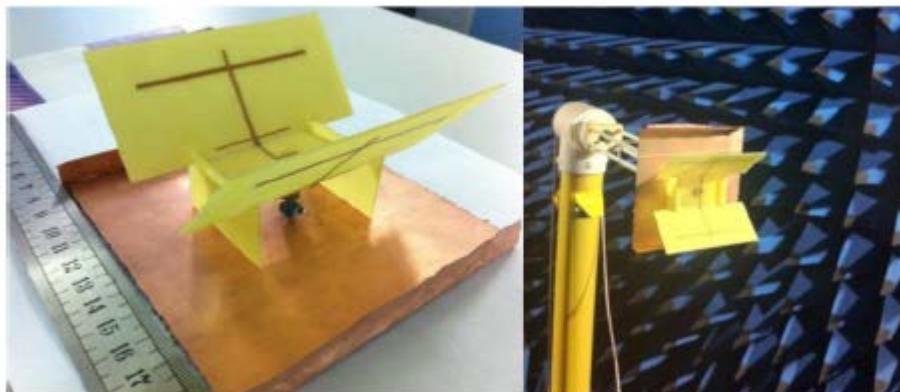
3.2. แบบการแพร่กระจายคลื่นในระยะไกล (Farfield) หมายถึงการแพร่กระจายคลื่นในระยะไกล มีการวัดทดสอบไม่ซับซ้อน แต่ต้องใช้พื้นที่มาก และสภาพแวดล้อมมีผลต่อการวัดทดสอบ

8.4 สมมุติฐานการศึกษาและกรอบแนวคิด

ในการปฏิบัติงานทางลับของกรมสอบสวนคดีพิเศษจำเป็นต้องมีความปลอดภัยในการสื่อสาร ระหว่างเจ้าหน้าที่ เพื่อมิให้ความลับในคดีล่วงรั่วออกไปภายนอก ทำให้เสียรูปคดี และส่งผลถึงการสืบสวนสอบสวนรวมถึงการนำผู้กระทำความผิดมาลงโทษไม่มีประสิทธิภาพ เครื่องตรวจจับความถี่เป็นอุปกรณ์ที่เจ้าหน้าที่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษใช้ในการกิจลับเพื่อตรวจจับการดักฟังข้อมูลซึ่งมีความต้องการใช้สายอากาศของอุปกรณ์ตรวจจับความถี่ที่มีประสิทธิภาพในการรับสัญญาณได้ในระยะไกล และมีขนาดเล็กเพื่อสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน ปัจจุบันสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่มีขนาดใหญ่เป็นที่สังเกตได้ของบุคคลทั่วไปรวมถึงผู้ก่ออาชญากรรม และประสิทธิภาพในการรับส่งได้ในระยะทางที่ไม่ไกล ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการพัฒนาสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในการรับส่งในระยะไกลสามารถทำงานได้แถบกว้าง ครอบคลุมความถี่ของโทรศัพท์มือถือ ทั้ง 2G (1800-1900 MHz) , 3G (2100 MHz) และ อินเทอร์เน็ต Wi-Fi (2400 MHz) และมีขนาดเล็กสำหรับการติดตั้งและใช้งาน เพื่อใช้ในการสืบสวนสอบสวนคดีพิเศษโดยพิจารณาการออกแบบและสร้างเปรียบเทียบกับงานวิจัยในต่างประเทศที่นิยมออกแบบสายอากาศแบบแผ่นขนาดเล็ก (microstrip patch antenna) บนโครงสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ (print circuit board) เพื่อให้ได้ขนาดเล็กที่สุดแทนโครงสร้างสายอากาศแบบเดิมที่ใช้โครงสร้างโลหะหรืออลูมิเนียมที่มีอยู่เดิมรวมถึงที่มีขายตามท้องตลาด ประสิทธิภาพของสายอากาศพิจารณาในด้านขนาดเล็กเหมาะแก่การติดตั้งและใช้งาน มีมาตรฐานการออกแบบตามความถี่ใช้งานในย่าน โทรศัพท์มือถือ ทั้ง 2G 3G และ Wi-Fi มีอัตราขยายสูงมากกว่า 3 dBi เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราขยายของสายอากาศเดิมที่ใช้งานอยู่ประมาณ 3 dBi และมีความยาวมากกว่า 1 เมตร

9. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Qing-Xin Chu และ Yu Luo, “A Broadband Unidirectional Multi-Dipole Antenna With Very Stable Beamwidth” IEEE Tran. Antennas and Propag. vol. 61, no. 5, pp. 2847–2848, May. 2013 ศึกษาวิจัยเรื่อง สายอากาศไดโพลหลายตัวที่กระจายสัญญาณรอบตัวด้วยความกว้างลำคลื่นที่คงที่ โดยการออกแบบตำแหน่งไดโพลและตัวสะท้อนของสายอากาศที่มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่กว้าง แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่คงที่ ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการดีเทียบเท่ากับการจำลอง ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ 59.7% ค่า SWR น้อยกว่า 1.5 จาก 1.55 ถึง 2.85 GHz แบบรูปการกระจายคลื่นคงที่ด้วยแบนด์วิดท์ 63.3 องศา \pm 2.9 องศา และมีอัตราขยาย 9 dBi



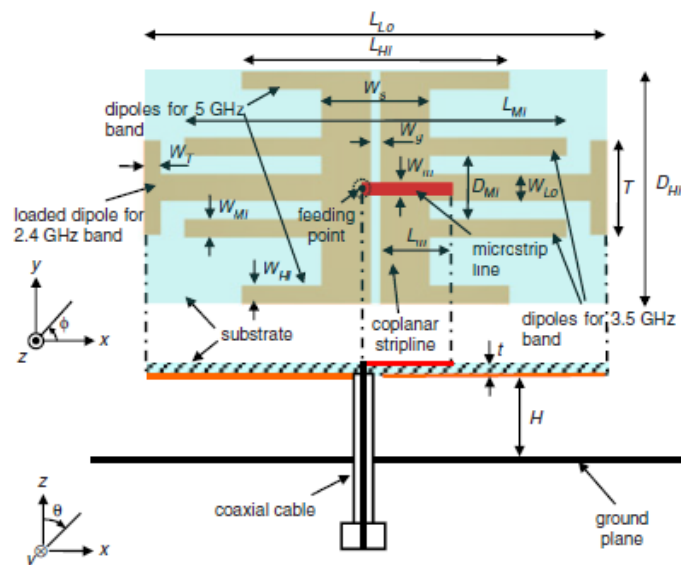
ภาพที่ 1-4 โครงสร้างสายอากาศไดโพลหลายตัวที่กระจายสัญญาณรอบตัวด้วยความกว้างลำคลื่นที่คงที่

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 ผลการวัดจากอาร์เรย์สองอิลิเมนต์ได้ค่าที่ดีมากสอดคล้องกับผลการจำลอง สายอากาศอาร์เรย์นี้เหมาะอย่างมากที่จะนำมาใช้กับสถานีฐานของโทรศัพท์เพราะให้แถบความถี่ที่กว้างและสามารถเลื่อนไปที่การใช้งานที่ความถี่แถบกว้างอื่นๆ



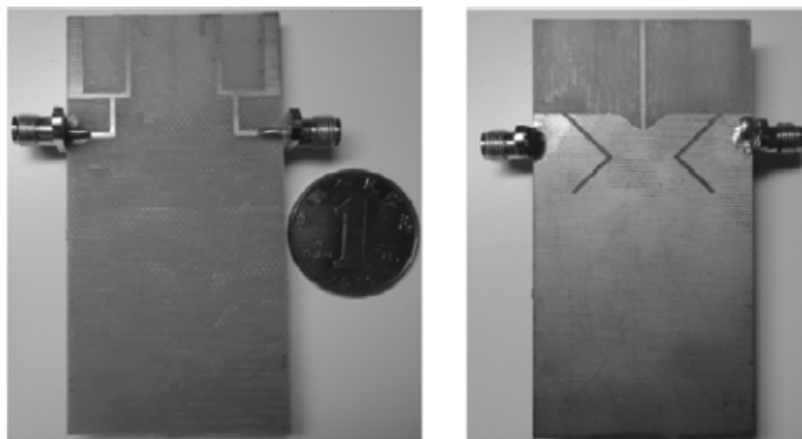
ภาพที่ 1-5 โครงสร้างสายอากาศแถบกว้างกำลังสูงแบบอาร์เรย์เส้นตรง

R.L. Li, X.L. Quan, Y.H. Cui และ M.M. Tentzeris, “Directional triple-band planar antenna for WLAN/WiMax access points” *ELECTRONICS LETTERS* Vol. 48, No. 6 15th March 2012 ศึกษาวิจัยเรื่อง สายอากาศแบบแผ่นสามแถบความถี่ที่มีทิศทางสำหรับการใช้งานแม่ข่ายไร้สาย WLAN/WiMax ซึ่งประกอบไปด้วยด้านบนที่เป็นสายอากาศไดโพลทำงานที่ความถี่ 2.4 GHz ไดโพลสองข้างที่ยาวสำหรับความถี่ 3.5 GHz และไดโพลสั้นสองตัวที่ความถี่ 5 GHz สายอากาศทั้งหมดถูกวางอยู่ที่แผ่นรองวัสดุเดียวกันจึงทำให้มีขนาดเล็ก แถบความถี่ทั้งสามจะให้การแผ่กระจายคลื่นแบบมีทิศทางด้วยอัตราขยาย 7.5 dBi สำหรับความถี่ต่ำ 8.5 dBi สำหรับแถบความถี่กลาง และ 9–10 dBi สำหรับความถี่สูง ซึ่งเป็นข้อดีของสายอากาศประเภทนี้ แต่พบว่าวงจรถอยรวมมีขนาดใหญ่จึงต้องมีการพัฒนาต่อไป



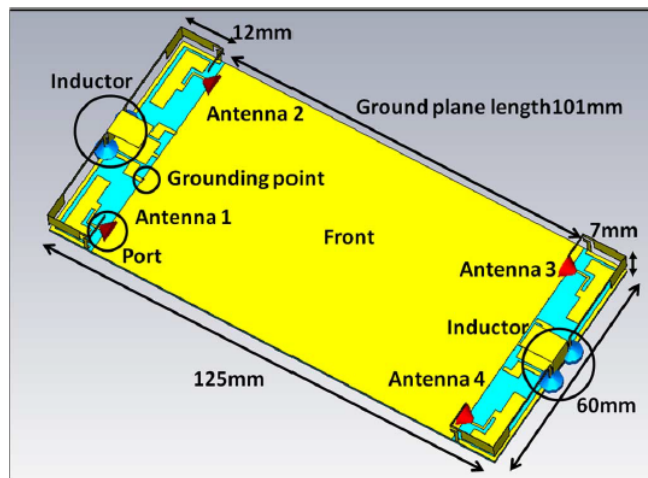
ภาพที่ 1-6 โครงสร้างสายอากาศแบบแผ่นสามแถบความถี่ที่มีทิศทาง

Jian-Feng Li, Qing-Xin Chu และ Tian-Gui Huang, “A Compact Wideband MIMO Antenna With Two Novel Bent Slits” IEEE Tran. Antennas and Propag. vol. 60, no. 2, pp. 482–483, Feb. 2012 ศึกษาวิจัยเรื่อง สายอากาศแบนด์กว้างขนาดเล็กที่มีหลายอินพุตและหลายเอาต์พุต (Multiple-input-multiple-output: MIMO) สายอากาศแบบนี้จะประกอบด้วยสองโมโนโพลที่สมมาตรกัน ทำงานที่ความถี่ 2.5 GHz มีการเพิ่มร่องโค้งงอแบบใหม่สองอันที่ระนาบกราวด์ ที่ความถี่ต่ำร่องโค้งงอนี้จะลดการเหนี่ยวนำและมีผลกับการสะท้อน ที่ความถี่สูงร่องสามารถพิจารณาเช่นเดียวกับร่องสายอากาศที่มีแบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์กว้างเนื่องจากสองร่องนี้เหนี่ยวนำผ่านสายต่อไมโครสตริป 50 โอห์ม สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพแบนด์วิดท์กว้างประมาณ 92.7% ทำงานจากความถี่ 2.4 ถึง 6.55 GHz



ภาพที่ 1-7 โครงสร้างสายอากาศแบบแผ่นสามแถบความถี่ที่มีทิศทาง

Shuai Zhang, Kun Zhao, Zhinong Ying และ Sailing He, “Adaptive Quad-Element Multi-Wideband Antenna Array for User-Effective LTE MIMO Mobile Terminals” IEEE Tran. Antennas and Propag. vol. 61, no. 8, pp. 4275–4282, Aug. 2013 ศึกษาวิจัยเรื่อง สายอากาศอาเรย์ LTE (Long Term Evolution) และ MIMO ใช้กับโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์ดิจิทัลส่วนตัว (Personal Digital Assistant: PDA) ย่านความถี่ 750 ถึง 960 MHz และความถี่ 1700 ถึง 2700 MHz ด้วยการเลือกสองพอร์ตและสองจุดกราวด์ ทำให้ได้สายอากาศจำนวนสี่ตัวภายในโทรศัพท์เครื่องเดียวจึงสามารถใช้ความถี่ที่ต้องการได้ครอบคลุมทุกย่านความถี่



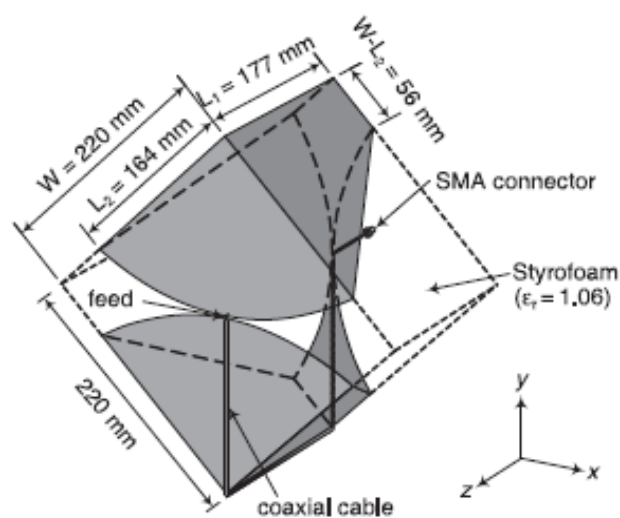
ภาพที่ 1-8 โครงสร้างสายอากาศอาเรย์ LTE และ MIMO

Sai Ho Yeung, Kim Fung Man, และ Wing Shing Chan, “Multiple Circular-Sector Structures for Wideband Planar Monopole Antenna Designs Covering 146% Fractional Bandwidth” IEEE Antennas and Propagation Magazine. vol. 54, no. 1, pp. 76–94, Feb. 2012 ศึกษาวิจัยเรื่อง สายอากาศโมโนโพลระนาบแบนด์กว้างที่มีโครงสร้างส่วนของวงกลมหลายส่วน โดยมีแบบรูปการกระจายคลื่นแบบรอบตัวเหมาะสำหรับอุปกรณ์พกพาและมีแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก ผลการจำลองและการวัดมีค่าแบนด์วิดท์มากกว่า 146% ซึ่งครอบคลุมความถี่จาก 1.8 GHz ถึง 10.6 GHz จึงเหมาะกับการใช้งานในระบบสื่อสารหลากหลายระบบ



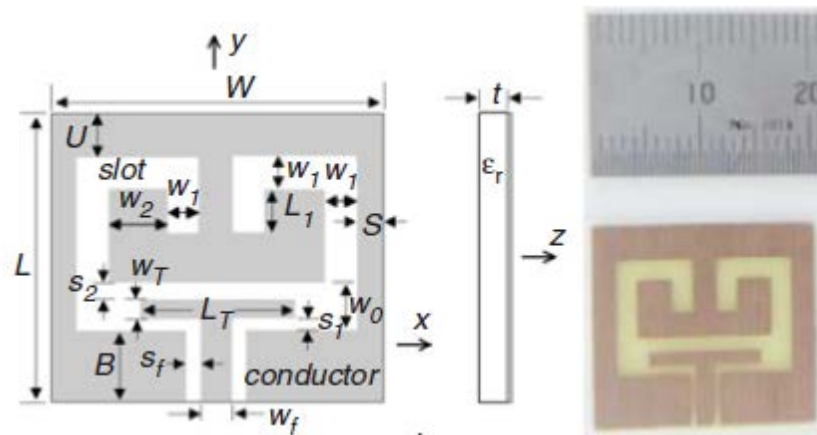
ภาพที่ 1-9 โครงสร้างสายอากาศอาเรย์ LTE และ MIMO

M.-H. Yoon, Y. Shin, H.-K. Ryu และ J.-M. Woo, “Ultra-Wideband Loop Antenna” ELECTRONICS LETTERS Vol. 46, No. 18, 2th Sep. 2010 ศึกษาวิจัยเรื่องสายอากาศลูปแถบกว้างยิ่ง ทำงานที่ความถี่ ตั้งแต่ 0.3 ถึง 14.2 GHz โดยสายอากาศแถบกว้างมีความจำเป็นสำหรับระบบสื่อสารไร้สายแบบแบนด์กว้างและระบบเรดาร์ ระบบอากาศยานไร้คนบิน (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ซึ่งต้องการสายอากาศหลายตัวเพื่อการสื่อสารข้อมูลจำนวนมาก แต่ยากในการติดตั้งสายอากาศจำนวนมากซึ่งถูกจำกัดด้วยพื้นที่บนตัว UAV ดังนั้นการลดจำนวนสายอากาศจึงมีความจำเป็น



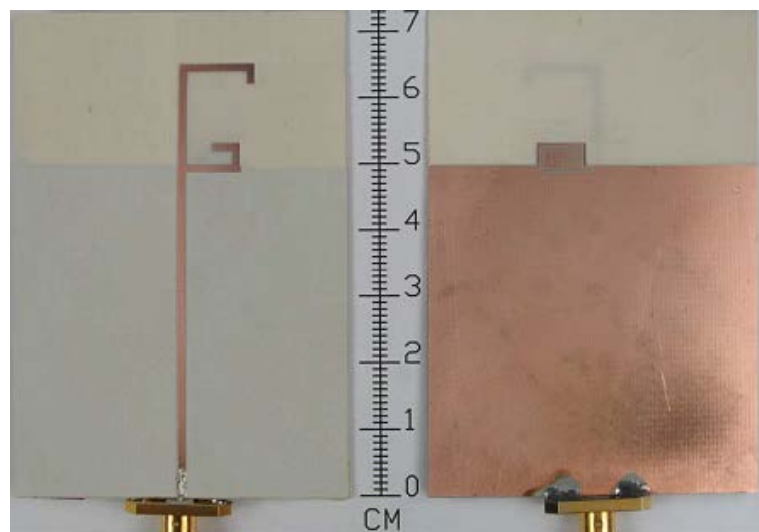
ภาพที่ 1-10 โครงสร้างสายอากาศลูปแถบกว้างยิ่ง

J.I. Lee and J. Yeo, “Compact bent slot antenna for 2.45 GHz band” ELECTRONICS LETTERS Vol. 48, No. 8, 12th April 2012 ทำการศึกษาสายอากาศขนาดเล็กแบบมีร่องที่มีโครงสร้างระนาบร่วม สดับรูปตัวที่ที่จูนแล้วจะใส่เข้าไปพื้นที่สี่เหลี่ยมแคบเพื่อให้ได้อิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมกับตัวป้อนระนาบร่วม ขนาดของสายอากาศจะลดลงได้โดยการทำให้ร่องเป็นแบบหักงอที่ใช้งานกับความถี่ 2.45 GHz ขนาดสายอากาศที่สร้างแล้วประมาณ 18 x 20 มิลลิเมตร มีค่าแบนด์วิดท์ประมาณ 200 MHz (2.32–2.52 GHz) ค่า VSWR เท่ากับสอง 2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจะเหมือนกับสายอากาศแบบโมโนโพล และค่าอัตราขยายสูงสุด 2.3 dBi สายอากาศชนิดนี้สามารถนำไปใช้งานกับระบบ WLAN RFID และ ระบบโทรศัพท์มือถือ แต่สิ่งที่จะต้องปรับปรุงคืออัตราขยายของสายอากาศที่มีค่าไม่มากนัก



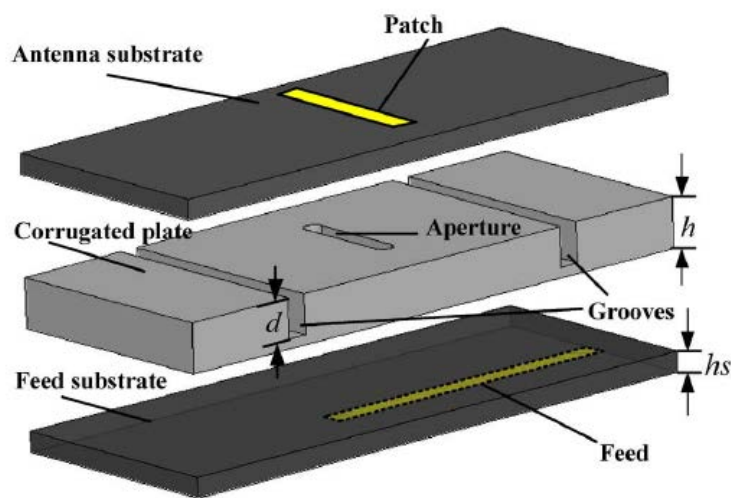
ภาพที่ 1-11 สายอากาศขนาดเล็กแบบมีร่องที่มีโครงสร้างระนาบ

Chao-Tang Chuang และ Shyh-Jong Chung, “A Compact Printed Filtering Antenna Using a Ground-Intruded Coupled Line Resonator” IEEE Tran. Antennas and Propag. vol. 59, no. 10, pp. 3630–3637, Oct. 2011. คณะผู้วิจัยได้นำเสนอสายอากาศขนาดเล็กแบบแผ่นวงจรพิมพ์ร่วมกับวงจรกรองความถี่ที่มีอัตราขยายสูงโดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์แบบทั่วไป สายอากาศชนิดนี้นอกจากจะแพร่กระจายคลื่นแล้วยังสามารถเป็นวงจรกรองความถี่อันดับสองได้เนื่องจากคุณสมบัติของรูปแบบสายอากาศและเรโซเนเตอร์ เพื่อให้ได้ขนาดที่เล็กจึงใช้เส้นตัวนำขนาดเล็กร่วมกับตัวนำแบบระนาบร่วม สายอากาศชนิดนี้ทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz ร่วมกับวงจรกรองความถี่อันดับสองแบบเซปป์เซบ มีค่าการกระเพื่อม 0.1 dB สายอากาศที่มีวงจรกรองนี้นอกจากจะให้อัตราขยายเช่นเดียวกับสายอากาศทั่วไปแล้วแต่ยังสามารถให้การเลือกรับสัญญาณที่ดี



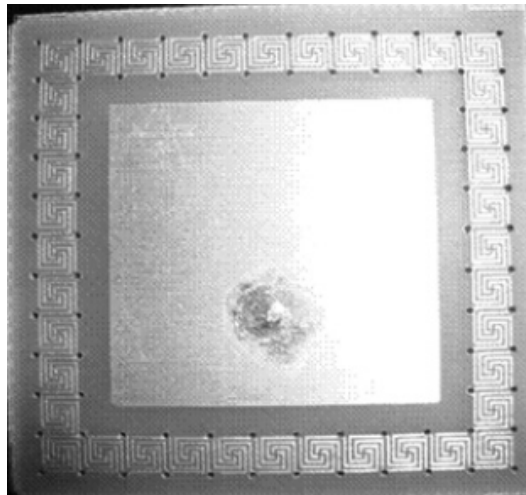
ภาพที่ 1-12 สายอากาศขนาดเล็กแบบแผ่นวงจรพิมพ์ร่วมกับวงจรกรองความถี่

Kun Qin, Minquan Li, Huimin Xia, และ Jun Wang, “A New Compact Aperture-Coupled Microstrip Antenna With Corrugated Ground Plane” IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett. vol. 11, pp. 807–810, 2012. ศึกษาเกี่ยวกับสายอากาศตัวนำขนาดเล็กชนิดใหม่ที่มีการส่งผ่านพลังงานแบบเปิดด้วยการปรับปรุงอัตราขยายและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นโดยทำให้ระนาบกราวด์ที่ราบเรียบเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น ทั้งการจำลองและการวัดทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับให้อัตราขยายที่มากขึ้นเป็น 5.3 dB อัตราการส่งพลังงานจากหน้าไปหลัง(front-to-back ratio :F/B) เพิ่มขึ้นเป็น 6 dB และค่าครึ่งพลังงานความกว้างลำ (HPBW) ของระนาบ E-plane ลดลงเป็น 125 อีกทั้งสายอากาศมีขนาดเล็กลงด้วย



ภาพที่ 1-13 สายอากาศตัวนำขนาดเล็กชนิดใหม่ที่มีการส่งผ่านพลังงานแบบเปิด

A. Ameelia Roseline, K. Malathi และ A.K. Shrivastav, “Enhanced performance of a patch antenna using spiral-shaped electromagnetic bandgap structures for high-speed wireless networks” IET Microw. Antennas Propag., Vol. 5, pp. 1750–1755, 2011. งานวิจัยนี้นำเสนอการปรับปรุงอัตราขยายและแบนด์วิดท์ของสายอากาศแบบแผ่นขนาดเล็ก (microstrip patch antenna) โดยใช้โครงสร้างแบบคลื่นแม่เหล็กแถบแคบกันหอย (electromagnetic bandgap :EBG) สำหรับโครงข่ายไร้สายท้องถิ่นความเร็วสูงขนาดของสายอากาศคือ 45 มิลลิเมตร x 45 มิลลิเมตร x 2.47 มิลลิเมตร และทำงานที่ความถี่ 2.4 GHz อัตราขยายและแบนด์วิดท์คือ 3 dBi และ 67.4% มากกว่าสายอากาศแผ่นแบบทั่วไป โดยผลการจำลองของสายอากาศและการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ อัตราขยาย ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นและอัตราส่วนคลื่นนิ่งจะมีค่าดีที่สุด แต่ในส่วนของอัตราขยายยังมีค่าน้อยเหมาะกับการสื่อสารในระยะใกล้



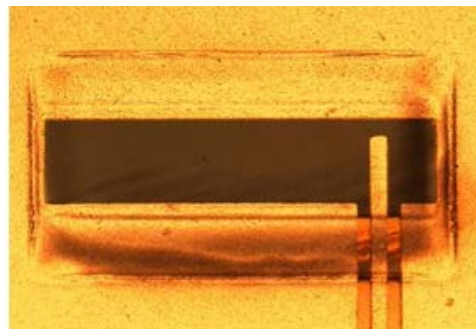
ภาพที่ 1-14 สายอากาศแบบแผ่นขนาดเล็กโดยใช้โครงสร้างแบบคลื่นแม่เหล็กแถบแคบกันหอย

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 วิจัยเริ่มจากศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบผลของฮอร์นสั้นว่ามีผลกับการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศหรือไม่ ผลที่ได้จากการวิจัยพบว่าสายอากาศมีแบนด์วิดท์กว้างตั้งแต่ 2.86 ถึง 20 GHz ในขณะที่กำลังสูงสุดคือ 14.53 dBi ที่ความถี่ 14 GHz และกำลังเฉลี่ยประมาณ 10.5 dBi ตั้งแต่ความถี่ 3 ถึง 10 GHz



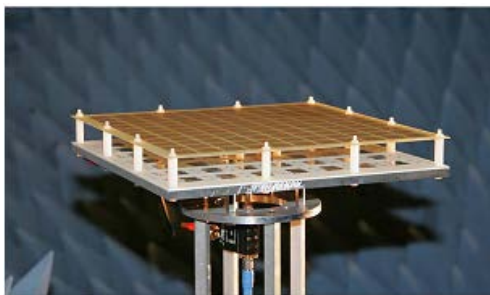
ภาพที่ 1-15 สายอากาศแบบแผ่นขนาดเล็กโดยใช้โครงสร้างแบบคลื่นแม่เหล็กแถบแคบกันหอย

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 สายอากาศกำลังสูงแถบกว้าง และการแก้ปัญหาชุดระบบ 3 D ในเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับ TSV โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจาะรูซิลิกอนผ่านระบบคลื่นขนาดเล็ก (through-silicon via : TSV) สายอากาศแถบกว้างกำลังสูง ออกแบบโดยใช้กรรมวิธี TSV ร่วมกับซิลิกอนเบนโซไซโคลบูเทน (Silicon-Benzocyclobutene : Si-BCB) เติมโกลด์ด้วยโพลีเมอร์ ขนาดโกลด์ของสายอากาศที่สร้างลดลงประมาณ 76.8% เมื่อเปรียบเทียบกับโกลด์แบบอากาศทั่วไป วัตถุประสงค์การสูญเสียย้อนกลับได้ 10-dB แบนด์วิดท์จากความถี่ 110 GHz ถึง 147 GHz. ที่ความถี่ 135 GHz กำลังของสายอากาศและประสิทธิภาพการกระจายคลื่น สูงมากกว่า 6.26 dBi และ 86.8% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพจะดีขึ้นมากกว่าสายอากาศแบบทั่วไปที่ใช้ซีพประมาณ -10 dBi หรือ 10% ของสายอากาศแบบทั่วไปที่ใช้การเชื่อมสายกับซีพ เทคนิค TSV นี้ถูกใช้รวมเข้ากับสายอากาศกำลังสูงด้วยวงจรรขยาย ทำให้โครงสร้างของวงจรถดลงและปรับปรุงการแยกส่วนระหว่างการออกแบบสายอากาศและวงจรรขยาย



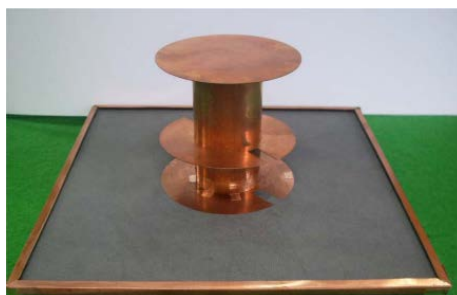
ภาพที่ 1-16 สายอากาศกำลังสูงแถบกว้างและการแก้ปัญหาชุดระบบ 3 D

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 โครงสร้างสายอากาศแบบใหม่สามารถจูนความถี่ได้ระหว่าง 5.2 GHz ถึง 5.95 GHz โดยใช้วาร์เรเตอร์ไดโอด ซึ่งครอบคลุมความถี่ใช้งานในย่านไร้สายท้องถิ่น (WLAN) ได้



ภาพที่ 1-17 สายอากาศสะท้อนผิวกำลังสูง

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 สายอากาศกำลังสูงโดยใช้โครงสร้างแพทช์ลวดวงจระเกะติด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังของสายอากาศและการทำงานแถบกว้างของสายอากาศสำหรับระบบการกระจายสัญญาณดาวเทียมมัลติมีเดียแบบดิจิทัล (Satellite Digital Multimedia Broadcasting : SDMB) สายอากาศที่น่าเสนอประกอบด้วยโครงสร้างแพทช์ขนาดเล็ก (Shorted Annular Patch : SAP) ซึ่งแสดงให้เห็นคลื่นตามผิว (surface-wave) และอิมพีแดนซ์ตัวเกะติดขนาด 0.25 กิโลกรัม เพื่อปรับปรุงกำลังของสายอากาศ, แบนด์วิดท์ และทิศทาง การกระจายคลื่นในรูปแบบของทิศทางเป็นแบบวงกลมทางด้านขวามือ (Right Hand Circular Polarization : RHCP) ถูกสร้างโดยร่องยาวสองร่องของแพทช์วงกลม ผลการจำลองกำลังสูงสุดของสายอากาศประมาณ 12.6 dBi ซึ่งดีกว่ากำลังสูงสุดของสายอากาศแพทช์ไมโครสตริปแบบทั่วไปประมาณ 5.22 dBi ผลจากการวัดกำลังสูงสุดประมาณ 10.5 dBi การวัดอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ (VSWR < 2) ของสายอากาศได้ประมาณ 360 MHz (2.488 - 2.848GHz) ซึ่งดีกว่าสายอากาศแพทช์ไมโครสตริปแบบทั่วไปที่มีแบนด์วิดท์ประมาณ 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)



ภาพที่ 1-18 สายอากาศกำลังสูงโดยใช้โครงสร้างแพทช์ลวดวงจระเกะติด

ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. กรมสอบสวนคดีพิเศษมีสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่ที่ประสิทธิภาพสูงและขนาดเหมาะสมในการติดตั้งและใช้งานเพื่อช่วยสนับสนุนการสืบสวนสอบสวนคดีพิเศษให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
2. ทำให้เกิดองค์ความรู้ในการออกแบบและสร้างสายอากาศแถบกว้างของเครื่องตรวจจับความถี่
3. พัฒนาศักยภาพของนักวิจัยของกรมสอบสวนคดีพิเศษให้สูงขึ้นและทำให้เกิดการพัฒนางานวิจัยให้เป็นที่ยอมรับในวงการวิชาการทั้งระดับชาติและนานาชาติ

แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

1. ทุกหน่วยงานในสังกัดกรมสอบสวนคดีพิเศษ
2. ทุกกรมในกระทรวงยุติธรรมที่มีภารกิจในการสืบสวนสอบสวน
3. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือหน่วยงานที่สนใจ

วิธีการดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1. ศึกษารวบรวมเอกสาร งานวิจัย บทความทางวิชาการ วรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสายอากาศแถบกว้าง และศึกษาคุณลักษณะสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่ของกรมสอบสวนสอบสวน
2. ออกแบบสายอากาศแถบกว้าง ในการออกแบบจะต้องทำการคำนวณโครงสร้างของวงจรโดยใช้ทฤษฎีทางวิศวกรรมไฟฟ้า เพื่อให้ได้ขนาดของวงจรเบื้องต้นก่อน จากนั้นนำขนาดที่ได้ไปวาดลงในโปรแกรมจำลองการทำงานของวงจร (โปรแกรมคำนวณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) ซึ่งเป็นโปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าผลตอบสนองของวงจร อัตราขยาย และแบบรูปการกระจายคลื่น
3. จำลองการทำงาน (Simulation) ของสายอากาศ การจำลองการทำงานของสายอากาศนั้น เพื่อเป็นการคาดคะเนผลตอบสนองของสายอากาศให้ดีที่สุด โดยสามารถปรับเปลี่ยนขนาดของวงจรและดูผลลัพธ์ได้ตลอดเวลา มีประโยชน์มากในการลดความเสี่ยงในการใช้วัสดุทดลอง ก่อนสร้างชิ้นงานจริง เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการวิจัยมีราคาสูงมาก เมื่อได้โครงสร้างของวงจรที่ให้ผลตอบสนองของวงจรที่ดีที่สุดแล้ว จะต้องทำการแปลงไฟล์ที่ออกแบบให้อยู่ในรูปแบบ Auto CAD ซึ่งเป็นไฟล์ที่จะส่งเข้าเครื่องเซาะแผ่นวงจรพิมพ์ (Milling Machine) เพื่อสร้างชิ้นงานต่อไป

4. สร้างชิ้นงานจริงของสายอากาศแถบกว้าง ในการสร้างชิ้นงานจริงจะใช้เครื่องเซาะแผ่นวงจรพิมพ์ โดยมีดอกสว่านความเร็วสูง เซาะร่องลวดลายวงจรถงชิ้นงานที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งมีขนาดที่เล็กมาก สามารถทำงานได้ที่ขนาดเล็กถึง 0.01 มิลลิเมตร เครื่องเซาะลายวงจรถงทั่วไปไม่สามารถทำได้นอกจากห้องปฏิบัติการวิจัยเฉพาะทาง ในงานวิจัยนี้กรมสอบสวนคดีพิเศษได้รับความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องเซาะแผ่นวงจรพิมพ์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

5. ทดสอบการทำงานสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่เดิมและสายอากาศแถบกว้างที่สร้างขึ้นใหม่ เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ กระทำได้โดยการทดสอบการทำงานกับเครื่องวัดคลื่นวิทยุความถี่สูง (Network Analyzer) โดยมีกรรมวิธีทดสอบดังนี้

5.1 เปรียบเทียบค่าของเครื่องวัดคลื่นวิทยุความถี่สูงให้สามารถวัดค่าได้ถูกต้องตามสภาพแวดล้อมจริงๆ โดยไม่มีตัวแปรที่ทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาด (Error) ซึ่งเรียกรวีนีว่าการปรับเทียบ (Calibration)

5.2 นำสายอากาศเครื่องตรวจจับความถี่เดิมและสายอากาศแถบกว้างที่สร้างเสร็จแล้ว ต่อเข้ากับเครื่องวัดคลื่นวิทยุความถี่สูง แล้วทำการวัดค่าผลตอบสนองของวงจรถงที่ต้องการ ผลที่ได้จากเครื่องวัดมีทั้งรูปแบบรูปภาพและข้อมูล นำข้อมูลที่ได้ไปทำการสรุปเทียบกับผลการจำลองว่ามีความสอดคล้องกันเพียงใดและเขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่ต่อไป

5.3 นำสายอากาศเครื่องตรวจจับความถี่เดิมและสายอากาศแถบกว้างต้นแบบที่สร้างเสร็จที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการแล้ว มาทดสอบกับเครื่องตรวจจับความถี่เพื่อหาประสิทธิภาพในสภาวะการใช้งานจริงแบบต่างๆ

5.4 จัดประชุมเชิงปฏิบัติการ โดยมีผู้เข้าร่วมประชุมประมาณ 40 คน จำนวน 1 วัน เพื่อเป็นการระดมความคิดเห็นจากผู้ร่วมประชุมและวิทยากรผู้มีความเชี่ยวชาญในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ร่วมพิจารณาผลงานวิจัยที่ได้สร้างแล้ว

6. สรุปผล/เขียนรายงานการวิจัย

7. จัดพิมพ์รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ระยะเวลาทำการการวิจัย

ระยะเวลาที่ทำการวิจัยตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 – 30 กันยายน 2558 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	ศึกษาเอกสารทบทวน วรรณกรรมและผลงานที่ เกี่ยวข้อง		→										
2.	ออกออกแบบสายอากาศ แบบวงจร			→									
3.	จำลองการทำงานของ สายอากาศ					→							
4.	สร้างชิ้นงานจริง							→					
5.	ทดสอบการทำงานของ สายอากาศเครื่อง ตรวจจับความถี่เดิมและ สายอากาศแถบกว้างที่ สร้างขึ้นใหม่									→			
6.	สรุปผล/เขียนรายงาน การ										→		
7.	จัดพิมพ์ฉบับสมบูรณ์ เผยแพร่											→	

ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย

-ได้รับการสนับสนุนจากกรมสอบสวนคดีพิเศษ ในส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้
ในการออกแบบและจำลองการทำงานของวงจร เครื่องเซาะลายวงจรโดยกรมสอบสวนคดีพิเศษ

- โปรแกรมออกแบบและจำลองการทำงานวงจรโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าพระนครเหนือ

- เครื่องวัดคลื่นวิทยุความถี่สูงโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปัจจัยที่ต้องการเพิ่มเติม

ห้องปฏิบัติการวิจัยของกรมสอบสวนคดีพิเศษที่ประกอบอุปกรณ์พื้นฐานและ
อุปกรณ์เฉพาะดังนี้

- โปรแกรมออกแบบและจำลองการทำงานวงจร

- เครื่องวัดคลื่นวิทยุความถี่สูง

งบประมาณของโครงการวิจัย

รายการ	จำนวนเงิน
ค่าตอบแทน ใช้สอย และวัสดุ	
(1) ค่าตอบแทน	
- ค่าตอบแทนนักวิจัย (หัวหน้าโครงการระดับ 7)	120,000.00.-
- ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย (10,000 บาท x10 เดือนx1 คน)	100,000.00.-
- ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย (10,000 บาท x6 เดือนx1 คน)	60,000.00.-
- ค่าสร้างและทดสอบวงจร จำนวน 80,000 บาท	80,000.00.-
- ค่าจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ผู้เข้าร่วมประชุม 40 คน จำนวน 1 ครั้ง	19,400.00.-
มีรายละเอียดดังนี้	
- ค่าอาหารว่าง (40 คน x 25 บาท x 2 มื้อ) จำนวน 2,000.- บาท	
- ค่าอาหารกลางวัน (40 คน x 300 บาท) จำนวน 12,000.- บาท	
- ค่าวิทยากร (3 ชั่วโมง x 600 บาท x 3 คน) จำนวน 5,400.- บาท	
(2) ค่าใช้สอย	
- ค่าจัดพิมพ์รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวน 20,000 บาท	95,000.00.-
- ค่าเผยแพร่ผลงานวิจัยต่างประเทศ จำนวน 75,000 บาท	
(3) ค่าวัสดุ	
- แผ่นวงจรพิมพ์ไมโครเวฟและแผ่นอะครีกริก จำนวน 250,000 บาท	325,000.00.-
- หัวต่อวงจรสายอากาศและคีมเข้าหัว จำนวน 50,000 บาท	
- สายนำสัญญาณความถี่สูง จำนวน 25,000 บาท	
รวม	799,400.00.-

หมายเหตุ ทุกรายการสามารถถัวเฉลี่ยจ่ายได้

ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

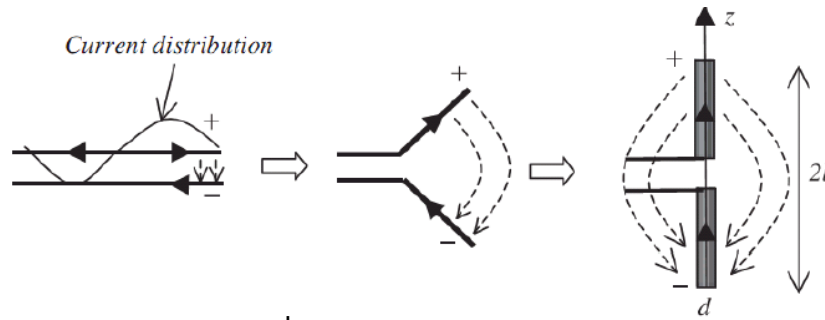
1. ทำให้เกิดองค์ความรู้ในการออกแบบและสร้างสายอากาศแถบกว้างเพื่อนำมาปรับใช้กับเครื่องตรวจจับความถี่
2. เพิ่มขีดความสามารถของนักวิจัยของกรมสอบสวนคดีพิเศษให้มีประสบการณ์ในการวิจัย และทำให้เกิดการพัฒนางานวิจัยให้เป็นที่ยอมรับต่อไป
3. กรมสอบสวนคดีพิเศษมีเครื่องตรวจจับความถี่ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม ช่วยสนับสนุนในการสืบสวนสอบสวนคดีพิเศษให้มีประสิทธิภาพ
4. สายอากาศแถบกว้างที่พัฒนาและสร้างขึ้นจะนำไปใช้ในการตรวจจับความถี่ของอุปกรณ์สอดแนมชนิดต่างๆ ได้ ด้วยขนาดเล็กและสะดวกต่อการใช้งาน

บทที่ 2

การออกแบบและการสร้าง

2.1 ทฤษฎีการออกแบบสายอากาศไดโพล

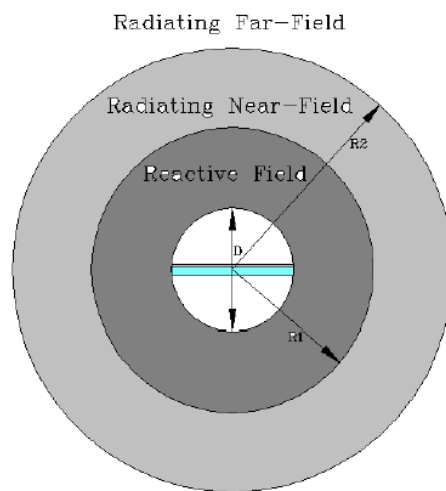
สายอากาศโมโนโพลเป็นการพัฒนารูปแบบและการทำงานจากสายอากาศไดโพลที่ทำงานแบบสองขั้วพื้นฐานการทำงานของสายอากาศไดโพลแสดงดังรูปที่ 2.1 โครงสร้างเป็นสายส่งสองตัวนำปลายเปิดสองเส้น ความยาวจากปลายสุดเท่ากับ $\lambda/4$ เมื่อโค้งหรือหักงอให้ปลายสายมีลักษณะบานออกหรือหันไปทางตรงข้ามกันจะทำให้สายตัวนำเกิดการแผ่กระจายคลื่นออกไปซึ่ง เรียกว่าสายอากาศไดโพล ความยาวทั้งหมดของสายอากาศไดโพลเท่ากับ $\lambda/2$ ของความถี่ที่ใช้งานสายอากาศโมโนโพลจะใช้ตัวนำด้านบนเพียงตัวเดียวที่เป็นตัวแผ่กระจายคลื่น ส่วนตัวนำด้านล่างจะเป็นระนาบกราวด์ เห็นได้ว่าที่ความถี่เดียวกันสายอากาศโมโนโพลจะมีความยาวตัวแผ่กระจายคลื่นเท่ากับ $\lambda/4$ แต่สายอากาศไดโพลจะเท่ากับ $\lambda/4$ สามารถพิจารณาได้ว่า สายอากาศโมโนโพลอาศัยหลักการทางครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพลและมีระนาบกราวด์เข้ามาทดแทนอีกครึ่งหนึ่งเพื่อให้กระบวนการทำงานสมบูรณ์ สายอากาศโมโนโพลจะป้อนสัญญาณเพียงขั้วเดียวและจะใช้ระนาบกราวด์แทนขั้วที่เหลือ แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลจะคล้ายกับสายอากาศไดโพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของระนาบกราวด์ซึ่งในทางอุดมคติ ระนาบกราวด์ของสายอากาศโมโนโพลจะเป็นระนาบกราวด์สมบูรณ์แบบและเป็นอนันต์ส่งผลให้แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นมีเพียงด้านบนหรือเพียงครึ่งด้านบนของสายอากาศไดโพล แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะพบว่าไม่สามารถออกแบบระนาบกราวด์ได้ตามอุดมคติ ดังนั้นระนาบกราวด์สายอากาศโมโนโพลในทางปฏิบัติจึงเล็กกว่าในทางทฤษฎีมากจึงทำให้แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเกิดการเปลี่ยนทิศทางออกไปทางด้านหลังของระนาบกราวด์ด้วย หากออกแบบให้สายอากาศโมโนโพลมีระนาบกราวด์ขนาดเล็กมากจะพบว่าแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นมีลักษณะคล้ายกับสายอากาศไดโพล ซึ่งมักจะเรียกกันว่า มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นคล้ายรอบตัว



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างสายอากาศไดโพล

2.1.1 การจำลองแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

การจำลองแบบสนามไฟฟ้าของสายอากาศเพื่อที่จะต้องการหาลักษณะรูปแบบทิศทางของสนามไฟฟ้าบนสายอากาศแบบไมโครสตริป สำหรับระยะการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะซึ่งได้แก่ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจินตภาพ (Reactive field) เป็นบริเวณที่อยู่รอบๆ สายอากาศซึ่งหาค่าได้จากสมการที่ (2.1)



ภาพที่ 2-2 บริเวณขอบเขตสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ในระยะนี้ยังไม่มีการแพร่กระจายของคลื่นใน 3 ส่วนประกอบของพิกัดทรงกลม

$$0 < R < \frac{\lambda}{2\pi} \tag{2.1}$$

เมื่อ λ คือความยาวคลื่น ระยะที่ 2 คือบริเวณแผ่พลังงานสนามใกล้ (Radiating Near-Field) ซึ่งหาค่าได้จากสมการที่ (2.2)

$$\frac{\lambda}{2\pi} < R < \frac{2D^2}{\lambda} \tag{2.2}$$

เมื่อ D คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นทรงกลม 2 มิติของขนาดสายอากาศด้านที่กว้างที่สุด และระยะสุดท้ายคือบริเวณแผ่พลังงานสนามไกล (Radiating Far-Field) ซึ่งหาค่าได้จากสมการที่ (2.3)

$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.3)$$

ระยะนี้ทิศทางของสนามไฟฟ้ามีเฉพาะ 2 ส่วนประกอบของพิกัดทรงกลม ในการวิเคราะห์ขอบเขตของสนามไฟฟ้าได้แสดงดังรูปที่ 2.2 บริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจินตภาพ คือ $0 < R < R_1$ สนามไฟฟ้าบริเวณแผ่พลังงานสนามใกล้คือ $R_1 < R < R_2$ และสุดท้ายสนามไฟฟ้าบริเวณแผ่พลังงานสนามไกล คือ $R_2 < R$ การหาระยะบริเวณสนามไฟฟ้าเพื่อเป็นประโยชน์ในการหาแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ออกแบบ

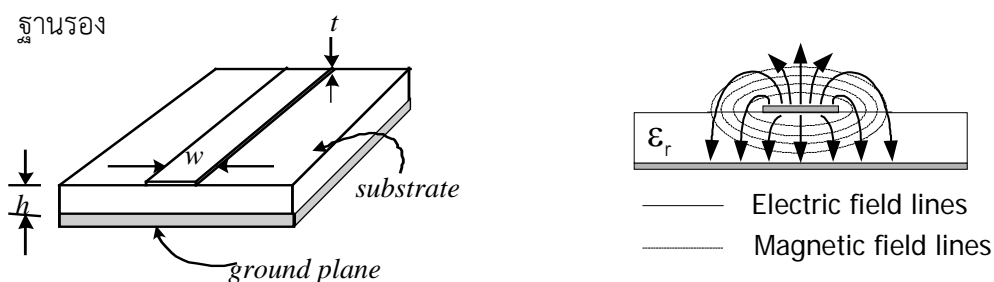
2.1.2 โครงสร้างสายนำสัญญาณไมโครสตริป

ไมโครสตริปเป็นสายนำสัญญาณแบบระนาบที่นิยมใช้กันอย่างมาก เนื่องจากมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา อีกทั้งยังง่ายในการวางอุปกรณ์ทั้งแอคทีฟและพาสซีฟไว้บนส่วนต่าง ๆ ของ โครงสร้างไมโครสตริป นอกจากนี้สามารถปรับแต่งอุปกรณ์ได้ภายหลังการสร้างวงจร โครงสร้างของไมโครสตริปแสดงได้ในภาพที่ 2-3 ประกอบด้วยวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกซึ่งด้านล่างจะวางบนระนาบกราวด์ (Ground Plane) และด้านบนจะอยู่ติดกับตัวนำแถบแคบ ๆ (Strip Conductor) เส้นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของไมโครสตริปไม่ได้อยู่ที่ส่วนของวัสดุฐานรองทั้งหมด ดังนั้นการแพร่กระจายคลื่นในสายนำสัญญาณไมโครสตริปจะไม่ใช้แบบแถบคลื่น TEM อย่างสมบูรณ์ แต่จะเป็นแบบแถบคลื่นคล้าย TEM (Quasi-TEM Mode) ซึ่งจะมีความเร็วเฟสของการแพร่กระจายคลื่นดังนี้

$$V_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (2.4)$$

โดยที่ c คือความเร็วแสงในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s

ϵ_{re} คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล (Effective Dielectric Constant) ของวัสดุ



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างของไมโครสตริป

2.1.3 การวิเคราะห์ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล (ϵ_{re}) ของสายนำสัญญาณไมโครสตริปจะอยู่ในเทอมของฟังก์ชันค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (ϵ_r) ความหนาของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก (h) ความกว้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริป (w) และความหนาของสายนำสัญญาณไมโครสตริป (t) สมการของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล เมื่อ $t/h \leq 0.005$ แสดงได้ดังนี้

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{12}{w/h} \right)^{-1/2} + 0.04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right]; \frac{w}{h} \leq 1 \quad (2.5)$$

หรือ

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12}{w/h} \right)^{-1/2}; \frac{w}{h} \geq 1 \quad (2.6)$$

ความยาวคลื่นในสายนำสัญญาณไมโครสตริปเมื่อ $t/h \leq 0.005$ แสดงสมการได้ดังนี้ (2.5)

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[\frac{\epsilon_r}{1 + 0.63(\epsilon_r - 1)(w/h)^{0.1255}} \right]^{1/2}; \frac{w}{h} \geq 0.6 \quad (2.7)$$

หรือ

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[\frac{\epsilon_r}{1 + 0.60(\epsilon_r - 1)(w/h)^{0.0297}} \right]^{1/2}; \frac{w}{h} < 0.6 \quad (2.8)$$

โดยที่ λ_0 คือความยาวคลื่นในสุญญากาศ

ϵ_r คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก

2.1.4 การวิเคราะห์อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของไมโครสตริป เมื่อ $t/h \leq 0.005$ แสดงได้ดังนี้

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (2.9)$$

$$Z_0 = \frac{\eta}{2\pi\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln \left(8 \frac{h}{w} + \frac{w}{4h} \right); \frac{w}{h} \leq 1 \quad (2.10)$$

$$Z_0 = \frac{\eta}{\sqrt{\epsilon_{re} \left(1.393 + \frac{w}{h} + \frac{2}{3} \ln \left(\frac{w}{h} + 1.444 \right) \right)}} ; \frac{w}{h} \geq 1 \quad (2.11)$$

โดยที่ η คืออิมพีแดนซ์ของคลื่น (Intrinsic Impedance)

μ_0 คือค่าความซึมซาบได้ในสุญญากาศ (Permeability) มีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

ϵ_0 คือค่าสภาพยอมในสุญญากาศ (Permittivity) มีค่าเท่ากับ 8.854×10^{-12} F/m

Z_0 คือค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ (Characteristic impedance)

สมการดังกล่าวจะใช้ก็ต่อเมื่อความหนา (t) มีค่าเป็นศูนย์ หรือ $t/h \leq 0.005$ อย่างไรก็ตามถ้าหาก $t/h \geq 0.005$ จะแทน w ในทุก ๆ สมการด้วยความกว้างประสิทธิผล (Effective Width) ที่ดัดแปลงขึ้นมาใหม่ เมื่อ $t < h$ และ $t < w/2$ แล้ว w_{eff} จะกลายมาเป็นอย่างนี้ (2.12)

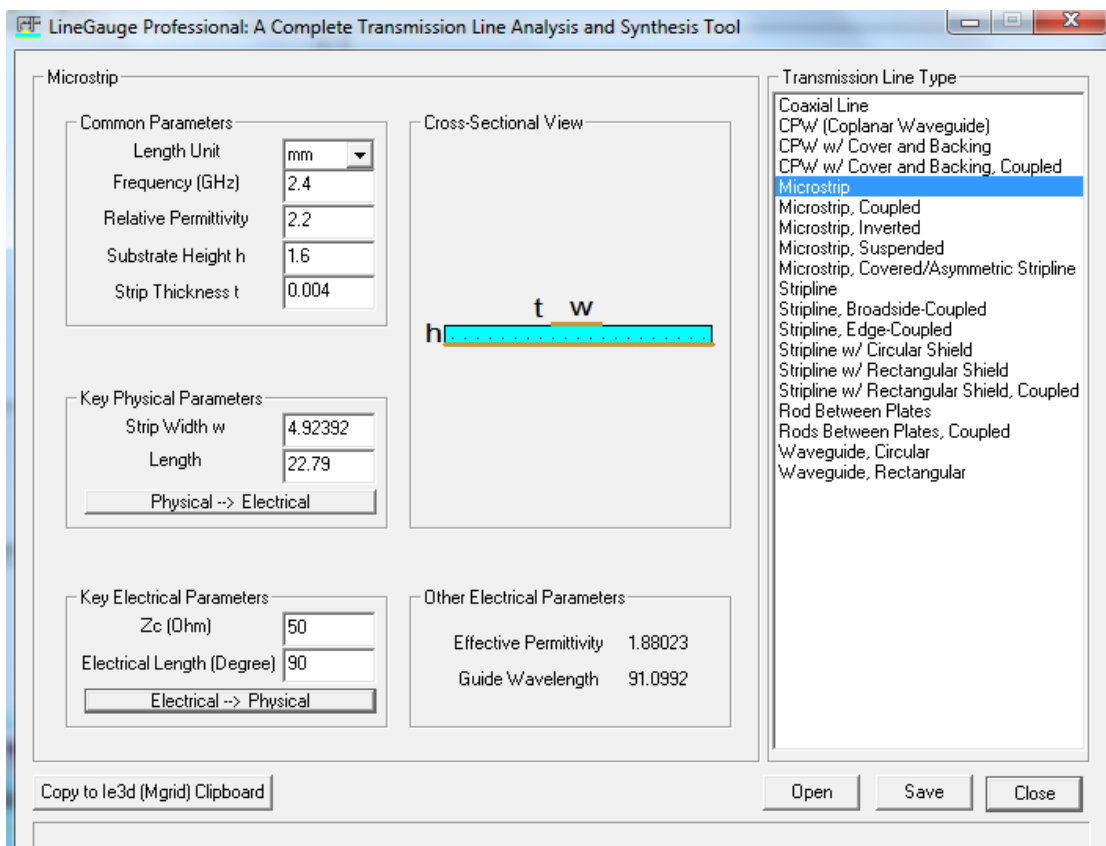
$$w_{eff} = w + \frac{t}{\pi} \left[1 + \ln \left(\frac{2}{t/h} \right) \right] ; \frac{w}{h} \geq \frac{1}{2\pi} \quad (2.12)$$

หรือ

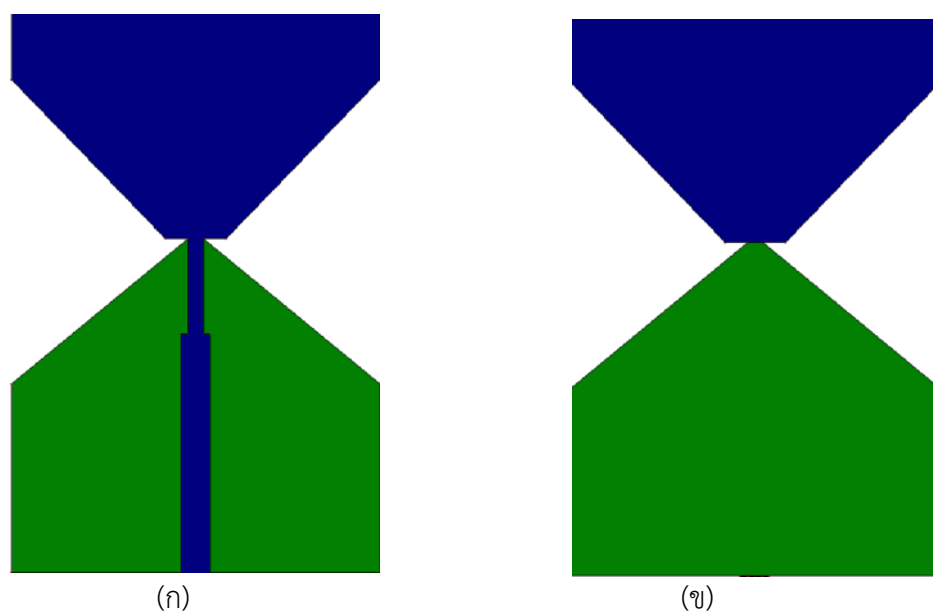
$$w_{eff} = w + \frac{t}{\pi} \left[1 + \ln \left(\frac{4\pi}{t/w} \right) \right] ; \frac{w}{h} \leq \frac{1}{2\pi} \quad (2.13)$$

2.2 การวิเคราะห์และการออกแบบสายอากาศ

การออกแบบต้องเลือกแผ่นวงจรพิมพ์ไมโครเวฟ เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ในการออกแบบสายอากาศโมโนโพล ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกแผ่นวงจรพิมพ์ ไมโครเวฟชนิด RT/Duroid 5880 ของบริษัทโรเจอร์ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ 2.2 ความหนาของชั้นสเตรท 1.6 มม. และมีค่าแทนเจนต์การสูญเสีย 0.0013 ส่วนทางด้านคุณสมบัติของสายอากาศ กำหนดให้มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) ต่ำกว่า 10 dB ที่ความถี่กลางประมาณ 1.8 GHz ถึง 2.8 GHz มีขยายมากกว่า 3 dB เป็นสายอากาศแบบรอบตัวและมีทิศทาง โครงสร้างสายอากาศโมโนโพล แสดงได้ตามภาพที่ 2-10 สามารถคำนวณได้โดยใช้โปรแกรม LineGauge ของบริษัท Zeland Inc. เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่างๆ ประกอบไปด้วยอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม มีตัวแพร่กระจายคลื่นห้าเหลี่ยมจำนวน 1 อัน กราวด์ห้าเหลี่ยม 1 อัน และแผ่นสะท้อน จำนวน 1 อัน



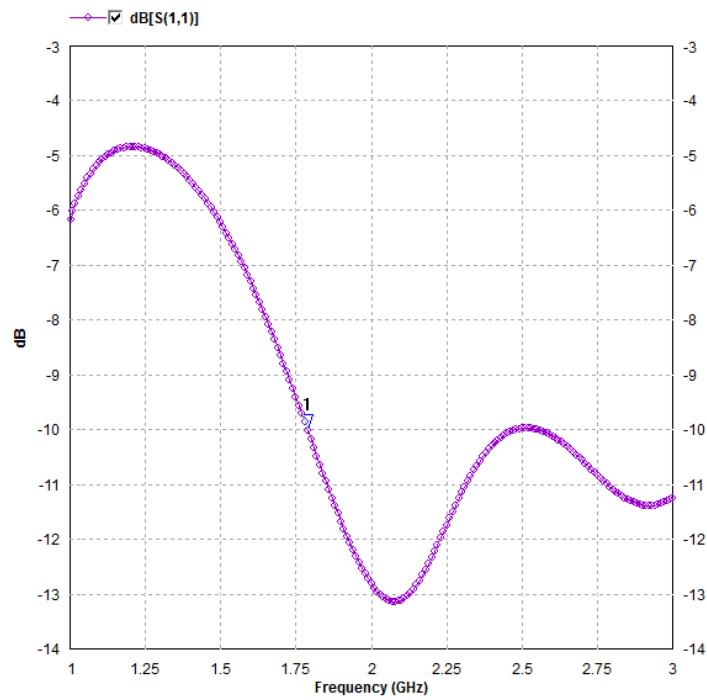
ภาพที่ 2-4 พารามิเตอร์ของสายอากาศแบบโมนิโพล



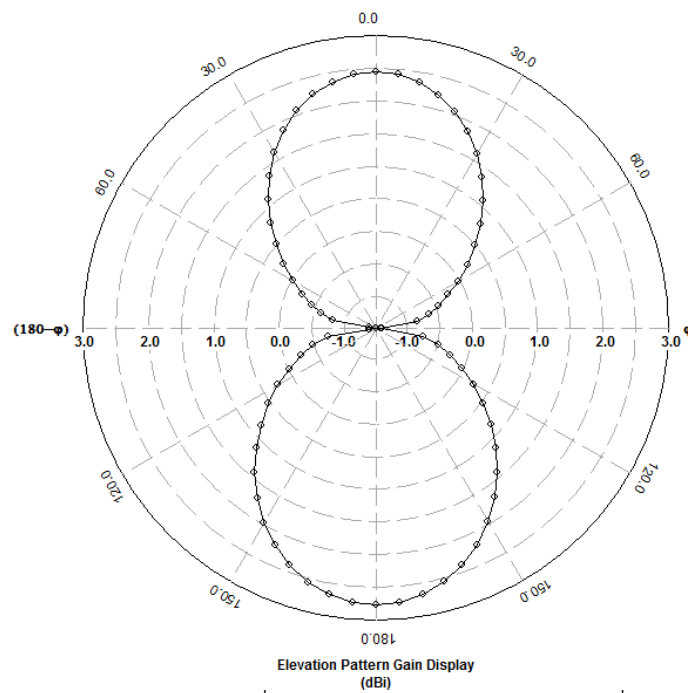
ภาพที่ 2-5 โครงสร้างสายอากาศแบบโมนิโพล (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง

2.3 การจำลองผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 1

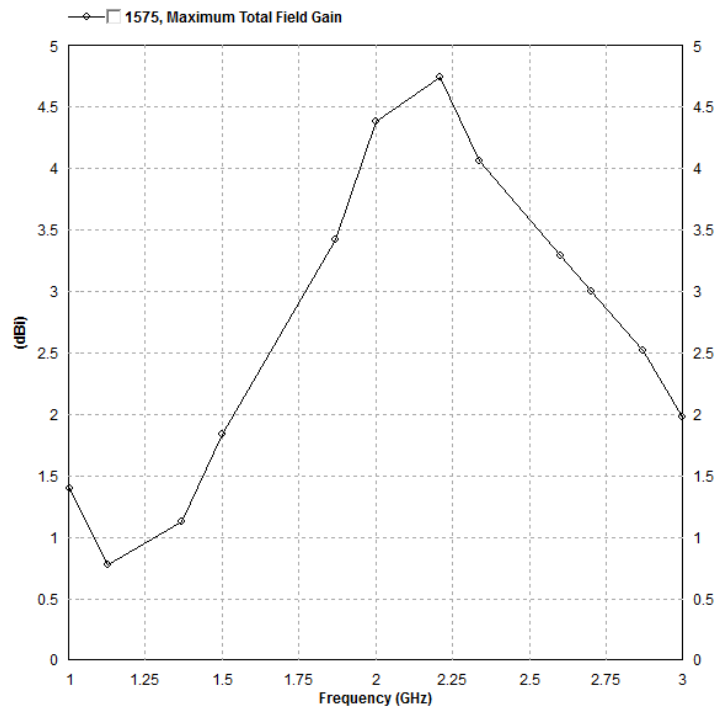
จากภาพที่ 2-5 ทำการจำลองการทำงานของสายอากาศยาก็ด้วยโปรแกรม IE3D จะให้ผลการจำลองการทำงาน ดังภาพที่ 2-6 ซึ่งจะเห็นว่าค่าสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ในช่วงทำงานที่ -10 dB จะตอบสนองความถี่จาก 1.8 GHz -3.0 GHz



ภาพที่ 2-6 ความถี่ของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 1



ภาพที่ 2-7 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 1

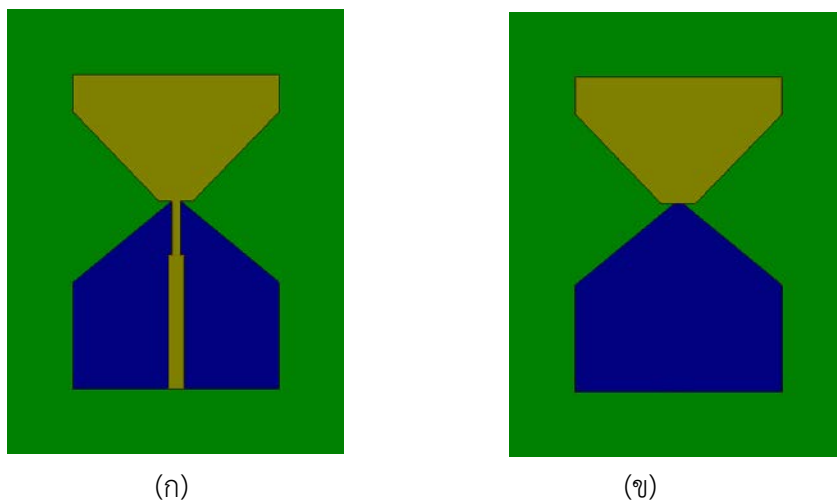


ภาพที่ 2-8 อัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 1

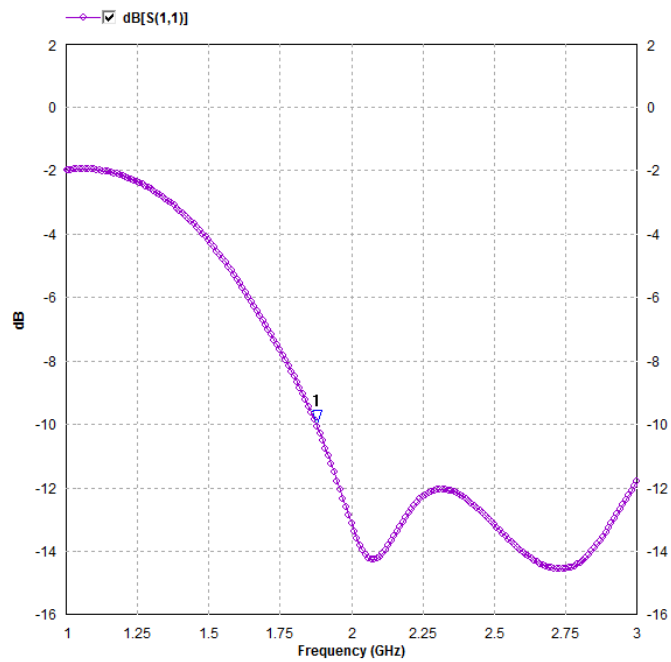
รูปแบบการแพร่กระจายจะเป็นแบบรอบตัว ดังภาพที่ 2-7 และอัตราขยายมีค่าประมาณ 4.75 dBi ที่ความถี่ใช้งาน 2.22 GHz ตามภาพที่ 2-8

2.4 การจำลองผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 2

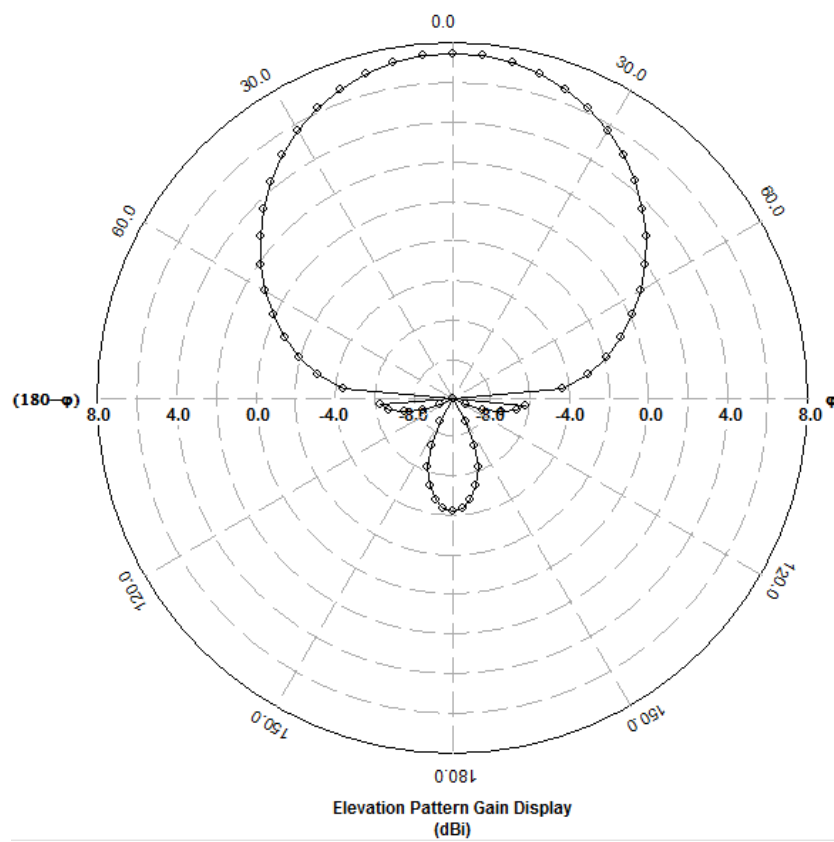
ทำการจำลองการทำงานของสายอากาศยาก็ด้วยโปรแกรม IE3D จะให้ผลการจำลองการทำงาน ดังภาพที่ 2-9 ซึ่งจะเห็นว่าค่าสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ในช่วงทำงานที่ -10 dB จะตอบสนองความถี่ จาก 1.8 GHz -3.0 GHz



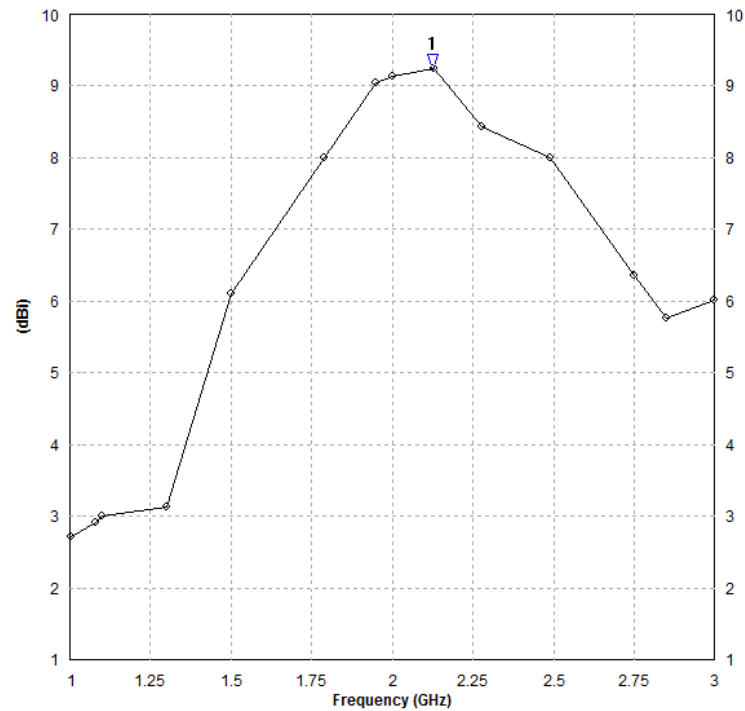
ภาพที่ 2-9 โครงสร้างสายอากาศแบบโมโนโพลแบบที่ 2 (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง



ภาพที่ 2-10 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 2



ภาพที่ 2-11 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 2

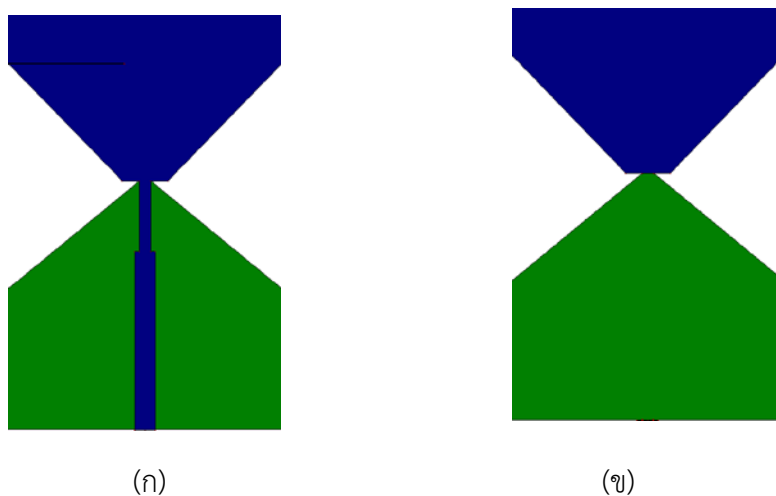


ภาพที่ 2-12 อัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 2

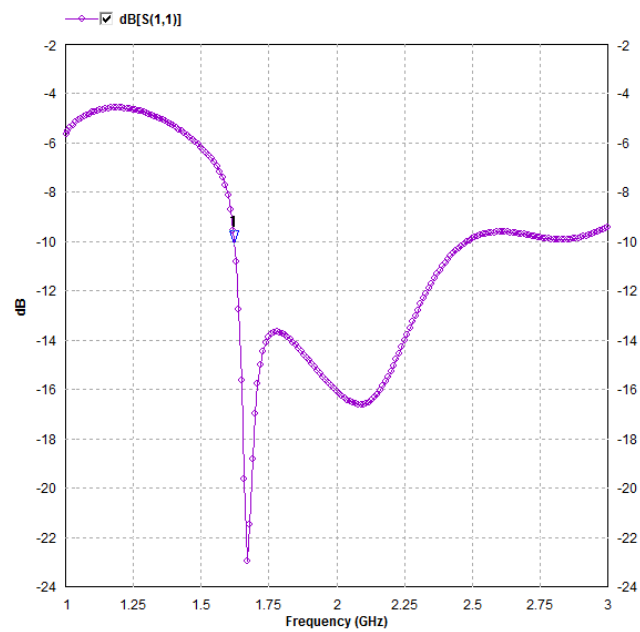
รูปแบบการแพร่กระจายจะเป็นแบบกำหนดทิศทางไปทางเดียว ดังภาพที่ 2-11 และอัตราขยายมีค่าประมาณ 9.25 dBi ที่ความถี่ใช้งาน 2.1 GHz ตามภาพที่ 2-12

2. 5 การจำลองผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 3

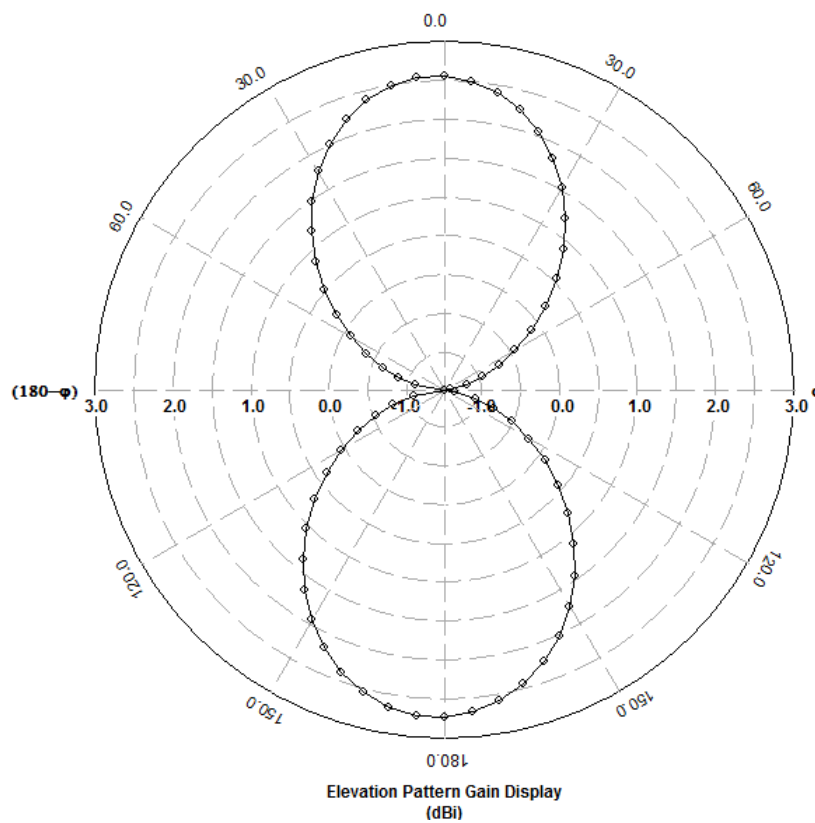
ทำการจำลองการทำงานของสายอากาศด้วยโปรแกรม IE3D จะให้ผลการจำลองการทำงานดังภาพที่ 2-13 ซึ่งจะเห็นว่าค่าสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ในช่วงทำงานที่ -10 dB จะตอบสนองความถี่จาก 1.6 GHz -2.5 GHz



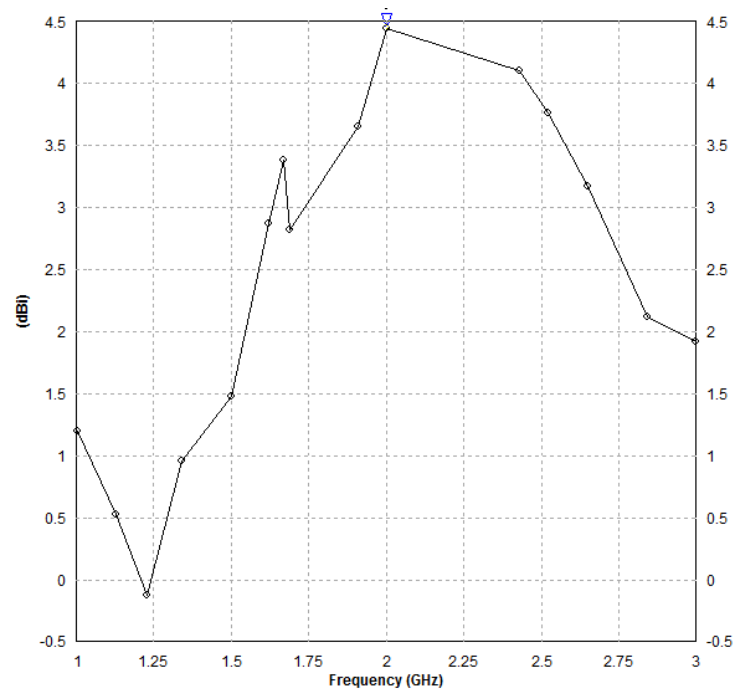
ภาพที่ 2-13 โครงสร้างสายอากาศแบบโมโนโพลแบบที่ 3 (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง



ภาพที่ 2-14 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 3



ภาพที่ 2-15 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 3

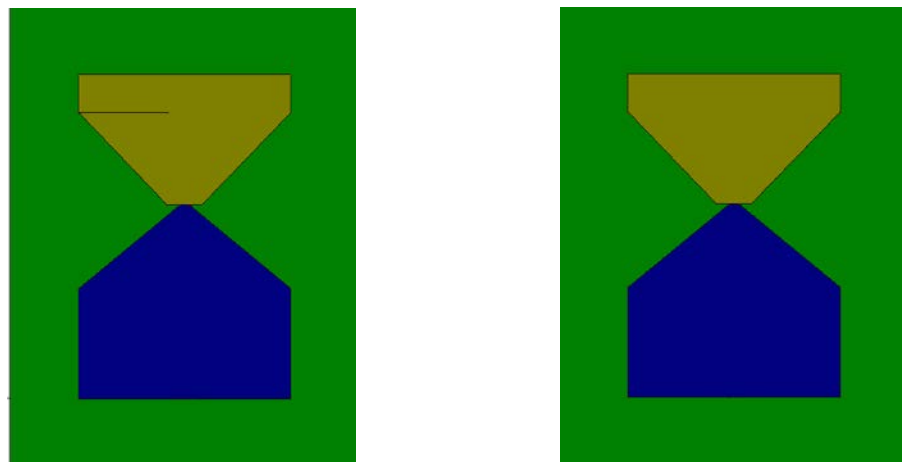


ภาพที่ 2-16 อัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 3

รูปแบบการแพร่กระจายจะเป็นแบบรอบตัว ดังภาพที่ 2-15 และอัตราขยายมีค่าประมาณ 4.5 dBi ที่ความถี่ใช้งาน 2.0 GHz ตามภาพที่ 2-16

2.6 การจำลองผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 4

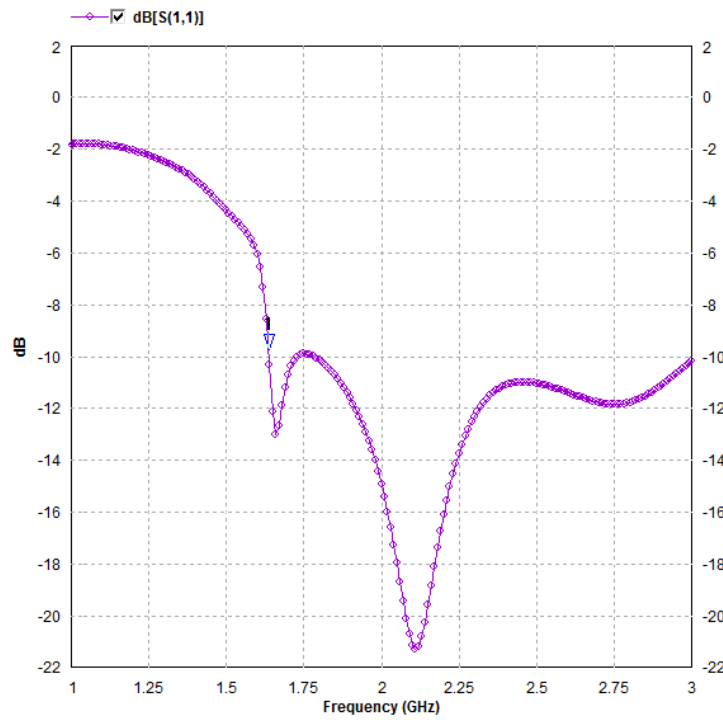
ทำการจำลองการทำงานของสายอากาศด้วยโปรแกรม IE3D จะให้ผลการจำลองการทำงานดังภาพที่ 2-17 ซึ่งจะเห็นว่าค่าสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ในช่วงทำงานที่ -10 dB จะตอบสนองความถี่จาก 1.8 GHz -3.0 GHz



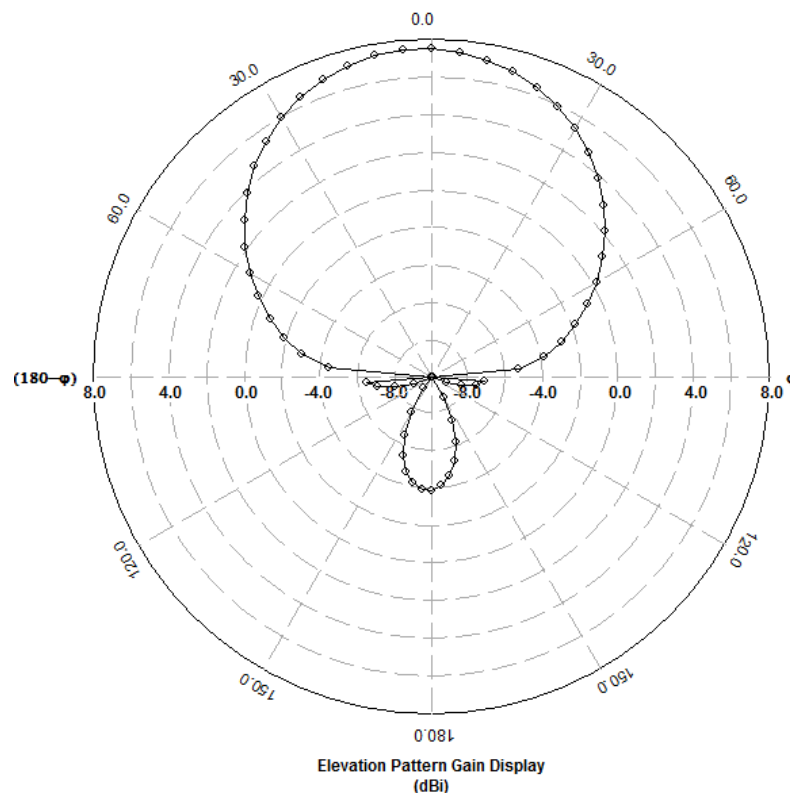
(ก)

(ข)

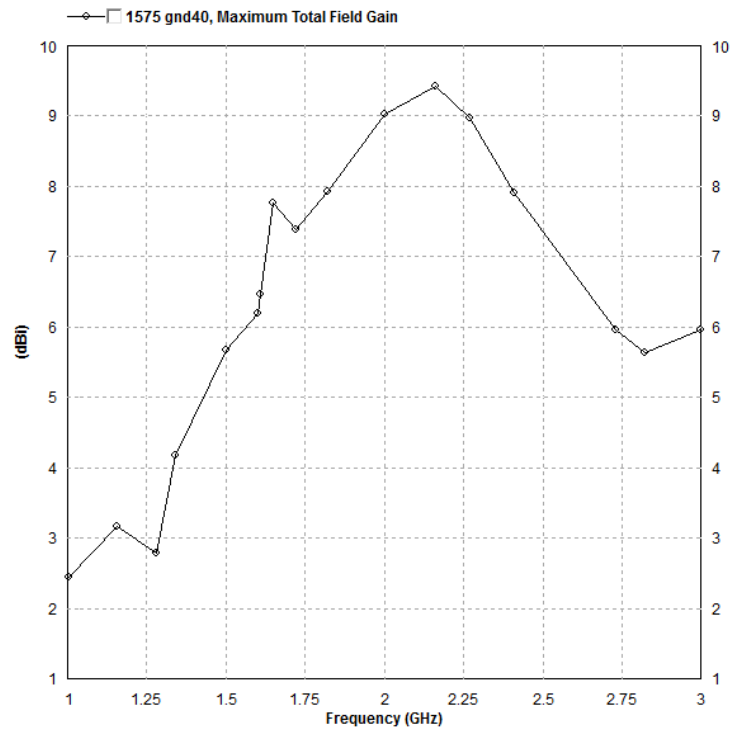
ภาพที่ 2-17 โครงสร้างสายอากาศแบบโมโนโพลแบบที่ 4 (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง



ภาพที่ 2-18 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 4



ภาพที่ 2-19 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 4

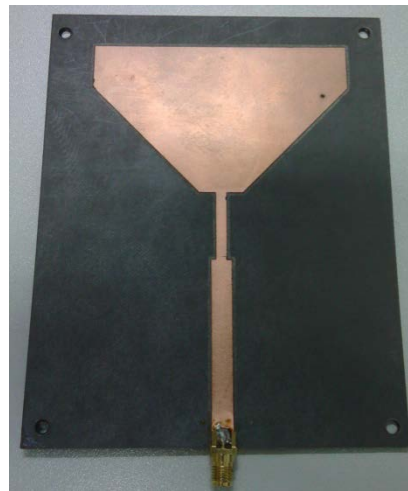


ภาพที่ 2-20 อัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 4

รูปแบบการแพร่กระจายจะเป็นแบบกำหนดทิศทางไปทางเดียว ดังภาพที่ 2-19 และอัตราขยายมีค่าประมาณ 9.5 dBi ที่ความถี่ใช้งาน 2.15 GHz ตามภาพที่ 2-20

2.7 ชิ้นงานจริงของสายอากาศ

ภาพที่ 2-21 และ ภาพที่ 2-22 แสดงชิ้นงานจริงของสายอากาศโมโนโพล แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ส่วนภาพที่ 2-23 และ ภาพที่ 2-24 แสดงชิ้นงานจริงของสายอากาศโมโนโพล แบบที่ 3 และแบบที่ 4



ภาพที่ 2-21 ชิ้นงานจริงของสายอากาศโมโนโพลแบบที่ 1



ภาพที่ 2-22 ชิ้นงานจริงของสายอากาศโมนิโพลแบบที่ 2



ภาพที่ 2-23 ชิ้นงานจริงของสายอากาศโมนิโพลแบบที่ 3



ภาพที่ 2-24 ชิ้นงานจริงของสายอากาศโมนิโพลแบบที่ 4

บทที่ 3

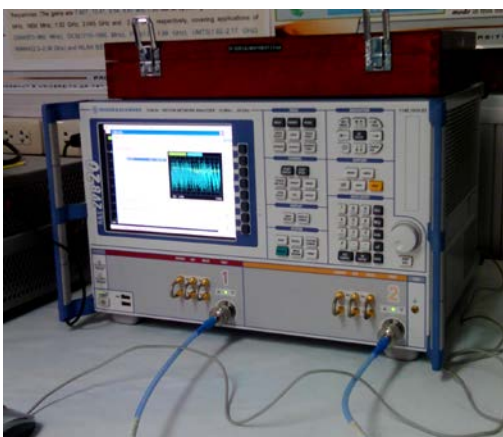
การทดลองและทดสอบ

การที่จะพิสูจน์ว่าสายอากาศที่สร้างสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบหรือไม่ทำได้โดยการทดสอบการทำงานของสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่ที่ได้วิจัยขึ้น โดยทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการสื่อสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และทดสอบกับเครื่องตรวจจับความถี่ในสถานะใช้งานจริง เพื่อตรวจจับอุปกรณ์ดักส่งสัญญาณ ผลการทดสอบการทำงานของสายอากาศแสดงได้ ดังนี้

3.1 การทดลองและทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.1.1 การทดสอบผลตอบแทนของความถี่ (Insertion Loss: S11)

การทดสอบผลตอบแทนของความถี่เพื่อหาช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้ในห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 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)

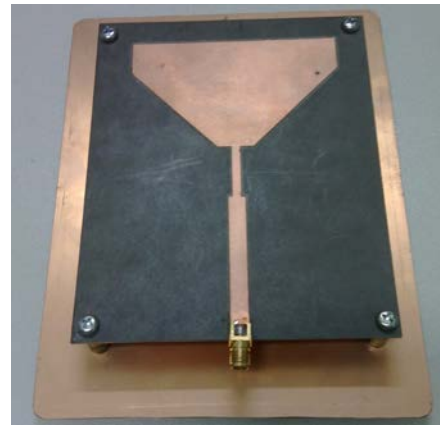


(ข)

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



(ก)



(ข)

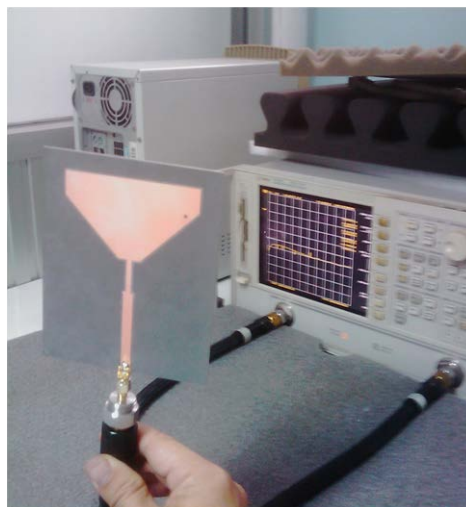


(ค)

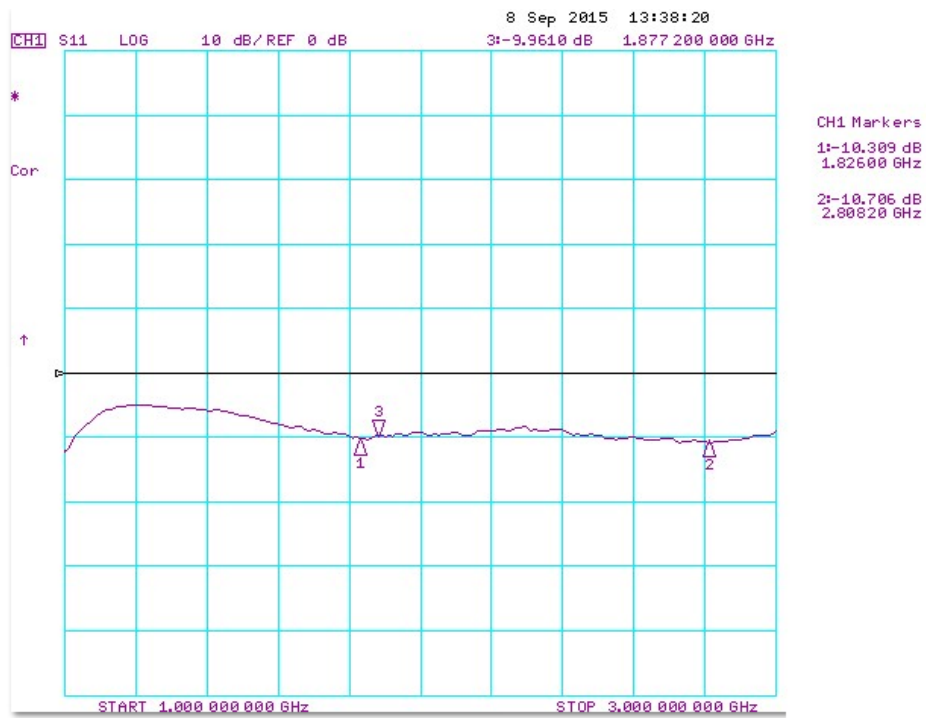


(ง)

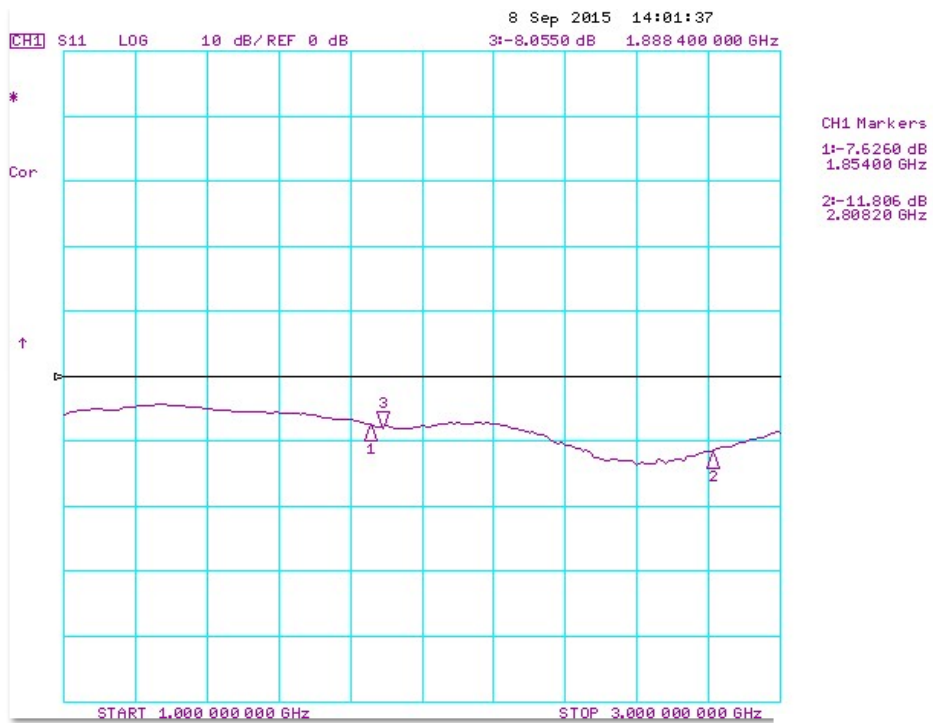
ภาพที่ 3-2 สายอากาศเครื่องตรวจจับความถี่ที่วิจัยขึ้น (ก) สายอากาศแบบที่ 1 (ข) สายอากาศแบบที่ 2 (ค) สายอากาศแบบที่ 3 (ง) สายอากาศแบบที่ 4



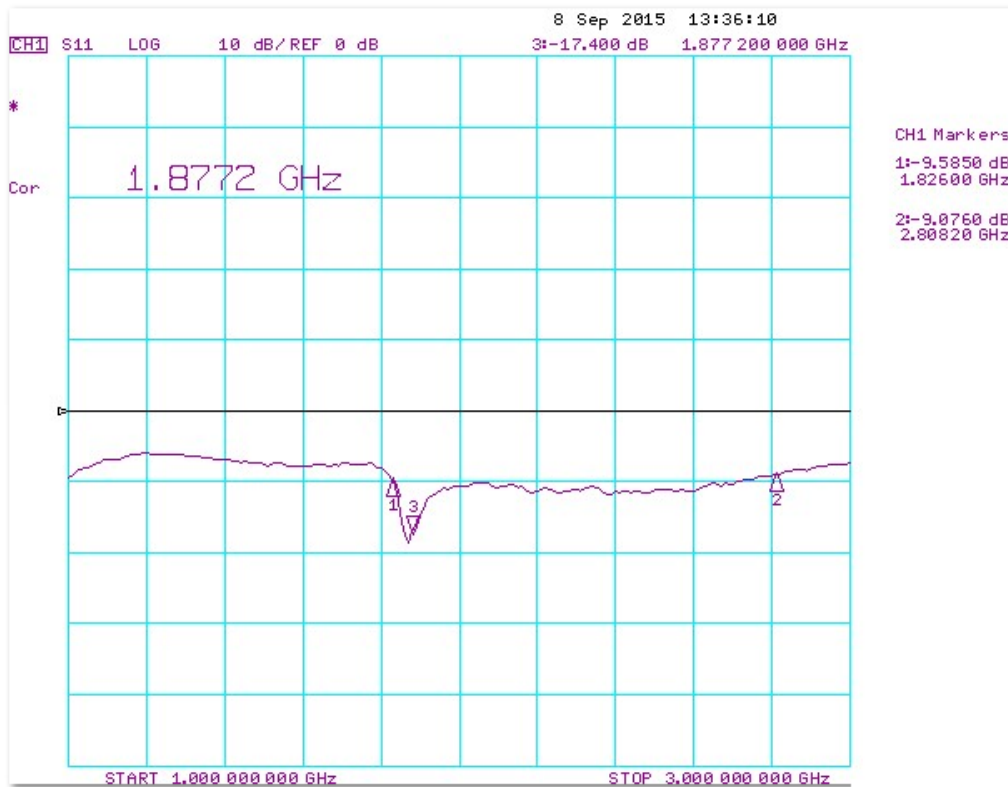
ภาพที่ 3-3 การวัดผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศ



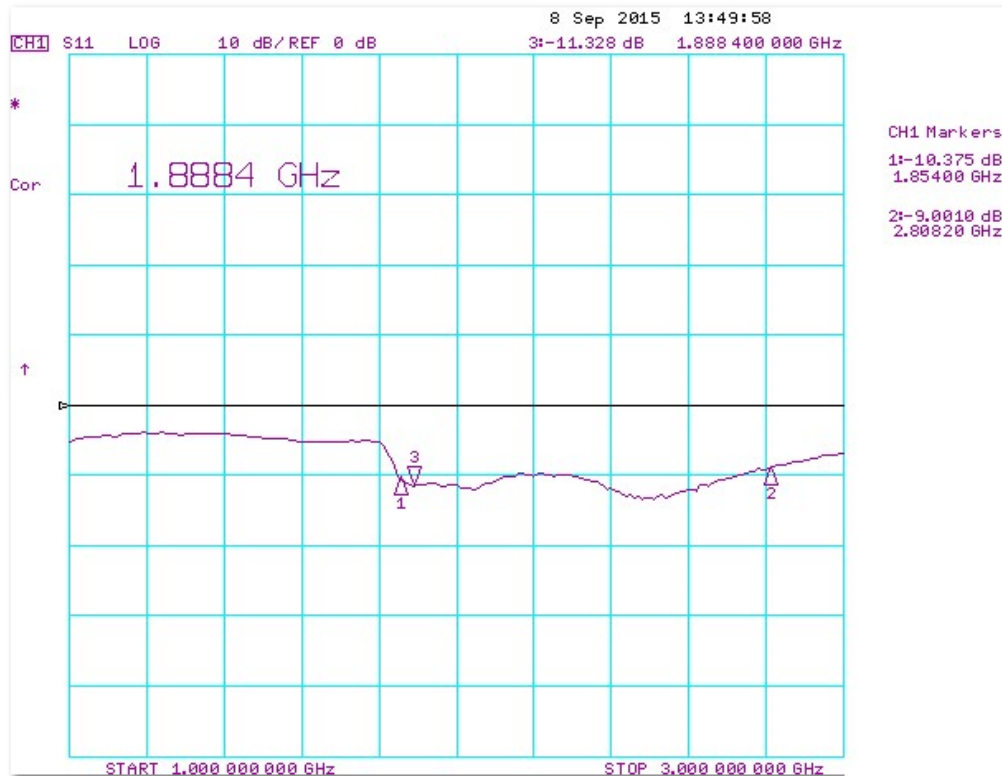
ภาพที่ 3-4 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศเครื่องตรวจจับความถี่แบบที่ 1



ภาพที่ 3-5 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศเครื่องตรวจจับความถี่แบบที่ 2



ภาพที่ 3-6 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศเครื่องตรวจจับความถี่แบบที่ 3



ภาพที่ 3-7 ผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศเครื่องตรวจจับความถี่แบบที่ 4

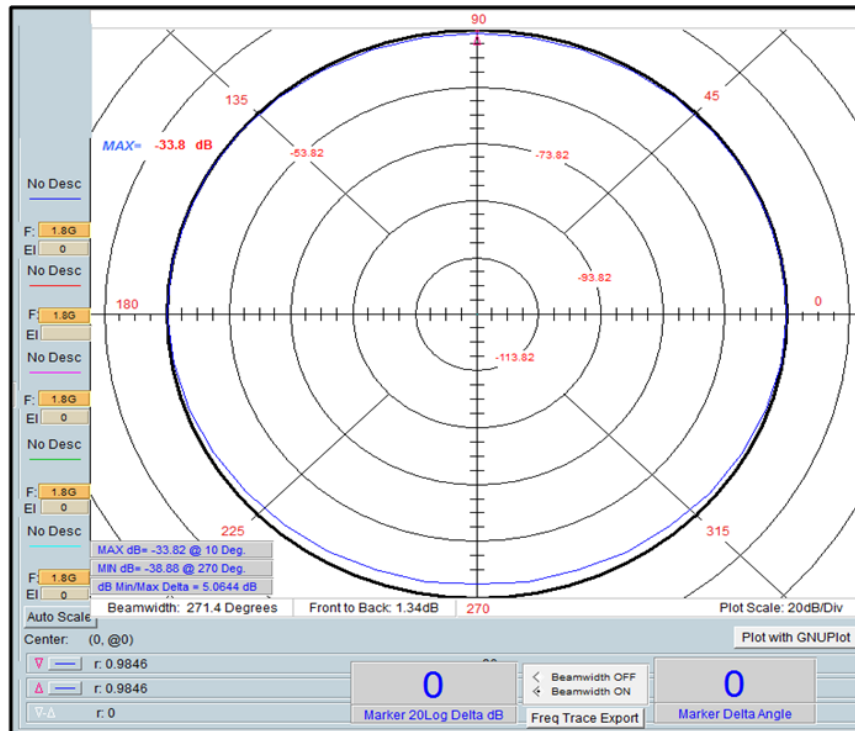
การทดสอบผลตอบแทนความถี่ของสายอากาศทั้ง 4 แบบ มีดังนี้ สายอากาศแบบที่ 1 ตอบสนองความถี่ 1.82 GHz-2.80 GHz สายอากาศแบบที่ 2 ตอบสนองความถี่ 1.85 GHz-2.82 GHz สายอากาศแบบที่ 3 ตอบสนองความถี่ 1.82 GHz-2.80 GHz และสายอากาศแบบที่ 4 ตอบสนองความถี่ 1.85 GHz-2.82 GHz ซึ่งสายอากาศทั้งหมดสามารถทำงานครอบคลุมความถี่ 2G 3G และ WLAN ได้

3.12 การทดสอบอัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่น

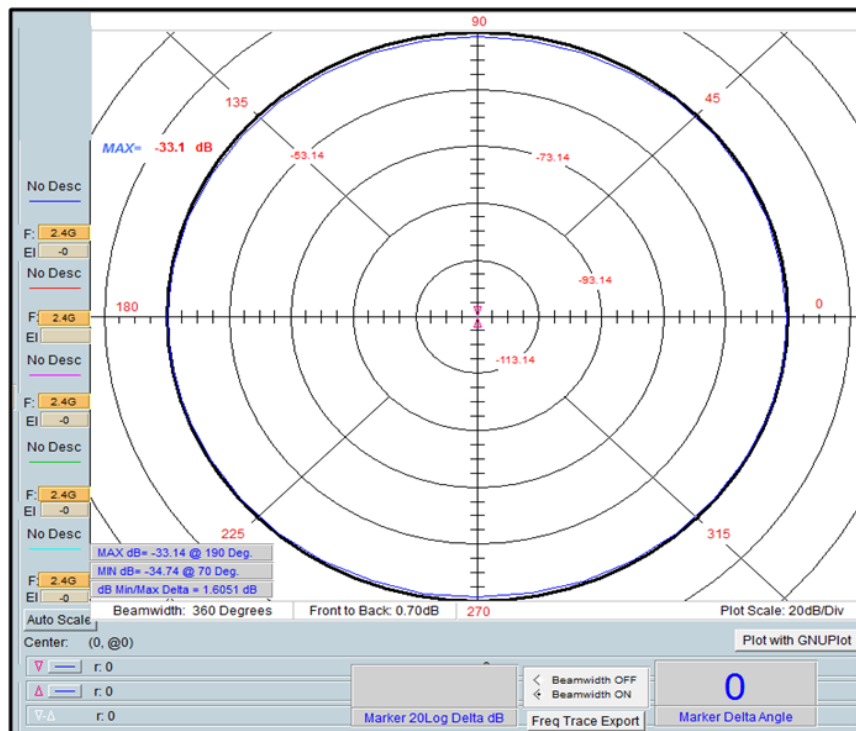
การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณของสายอากาศและทิศทางการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่าย แบบ 2 ขั้วต่อ ข้อต่อแรกทำการป้อนสัญญาณความถี่ทดสอบที่ 1.8 GHz และ 2.4 GHz ใช้พลังงานอ้างอิง 0 dB (พลังงานที่ไม่มีการสูญเสีย) กับสายอากาศตัวส่งชนิดไดโพลมาตรฐาน ยี่ห้อ ETS-LINDGREN รุ่น 3117 ซึ่งวางไว้ในห้องป้องกันการรบกวนของคลื่น (Chamber) ภายในห้องป้องกันการรบกวนของคลื่นจะทำการบุผนังด้านข้างและด้านบนด้วยวัสดุรูปปิรามิดเพื่อทำการดูดซับคลื่นและด้านนอกทั้งหมดจะเป็นโลหะเพื่อสะท้อนจากคลื่นภายนอก ข้อต่อที่สองต่อด้วยสายอากาศที่ทำการทดสอบ 4 ชิ้น ดังภาพที่ 3-8 โดยวางสายอากาศบนแท่นหมุนเพื่อทำการวัดพลังงานที่ได้รับจากเครื่องส่ง ซึ่งจะทำการหมุนโดยอัตโนมัติทุกๆ 10 องศา จะทำให้ได้ค่าพลังงานทั้งหมดเป็นมุม 360 องศา ทั้งในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอนของสายอากาศทั้งสี่แบบ อัตราขยายของสายอากาศทั้งหมดมีดังนี้ สายอากาศแบบที่ 1 มีอัตราขยาย 5.65 dBi สายอากาศแบบที่ 2 มี อัตราขยาย 9.54 dBi สายอากาศแบบที่ 3 มีอัตราขยาย 5.75 dBi และสายอากาศแบบที่ 4 มีอัตราขยาย 9.75 dBi



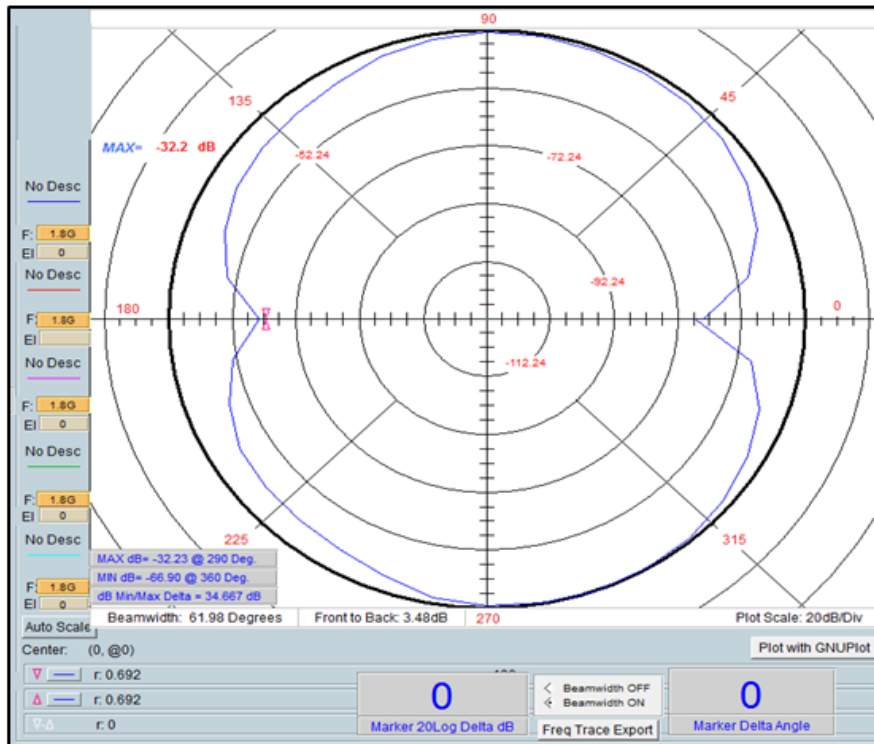
ภาพที่ 3-8 การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศในห้อง Chamber



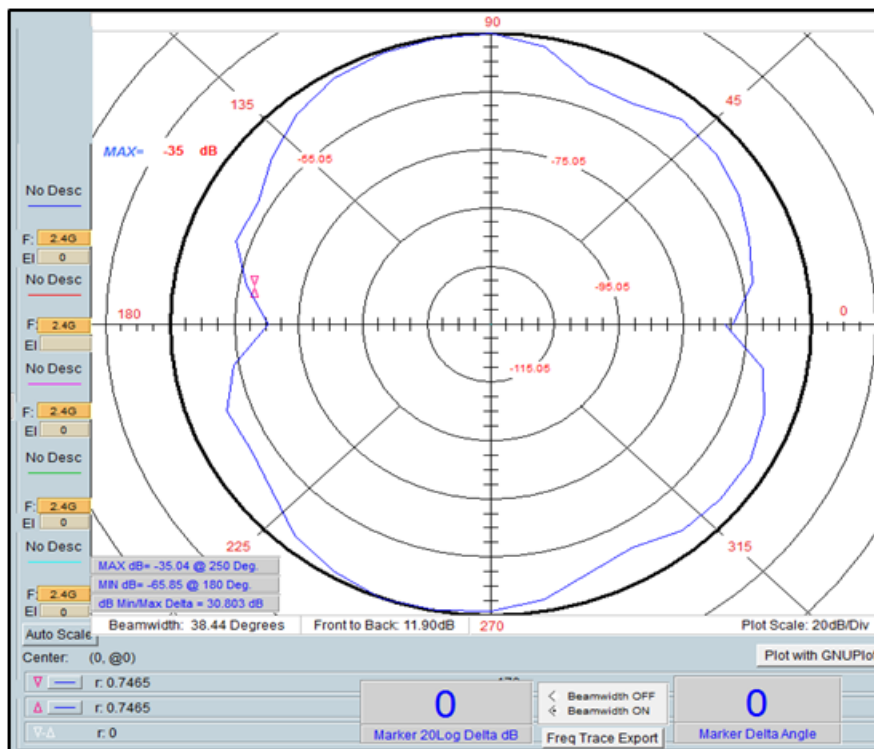
ภาพที่ 3-9 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 1 แนวแกนนอน
ความถี่ 1800 MHz



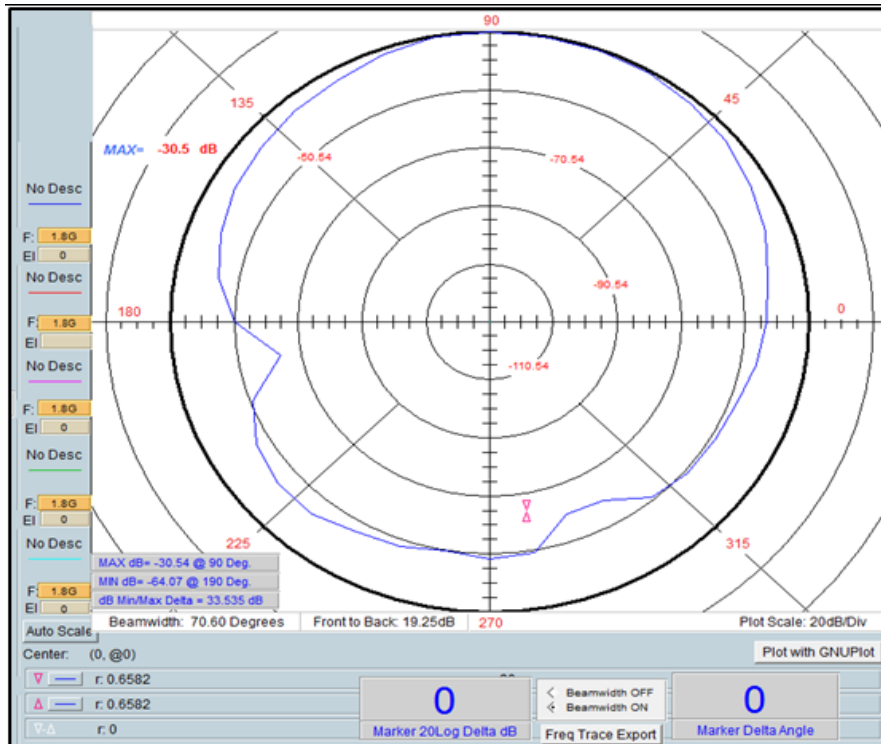
ภาพที่ 3-10 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 1 แนวแกนนอน
ความถี่ 2400 MHz



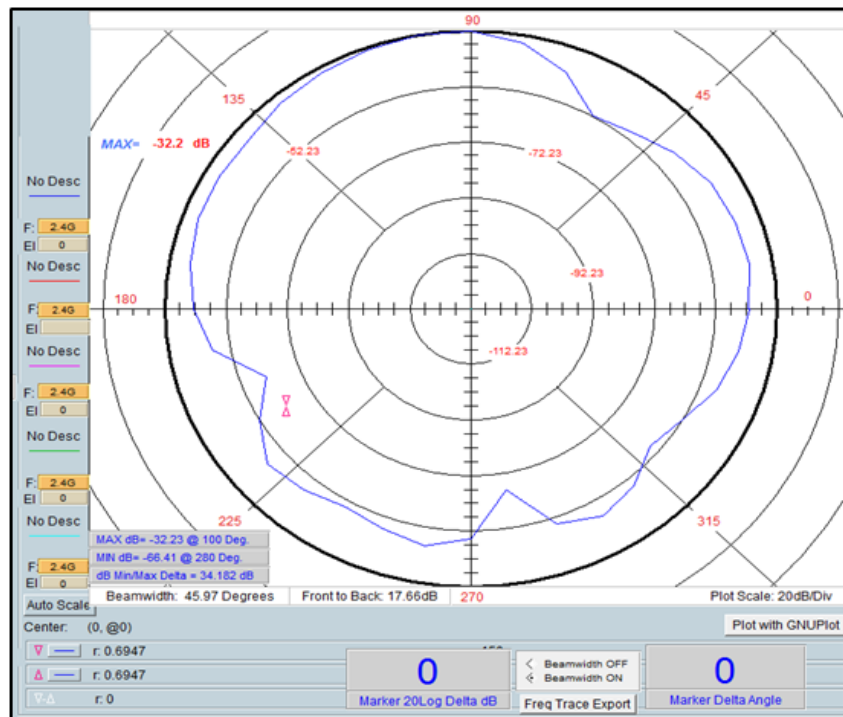
ภาพที่ 3-11 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 1 แนวแกนตั้ง ความถี่ 1800 MHz



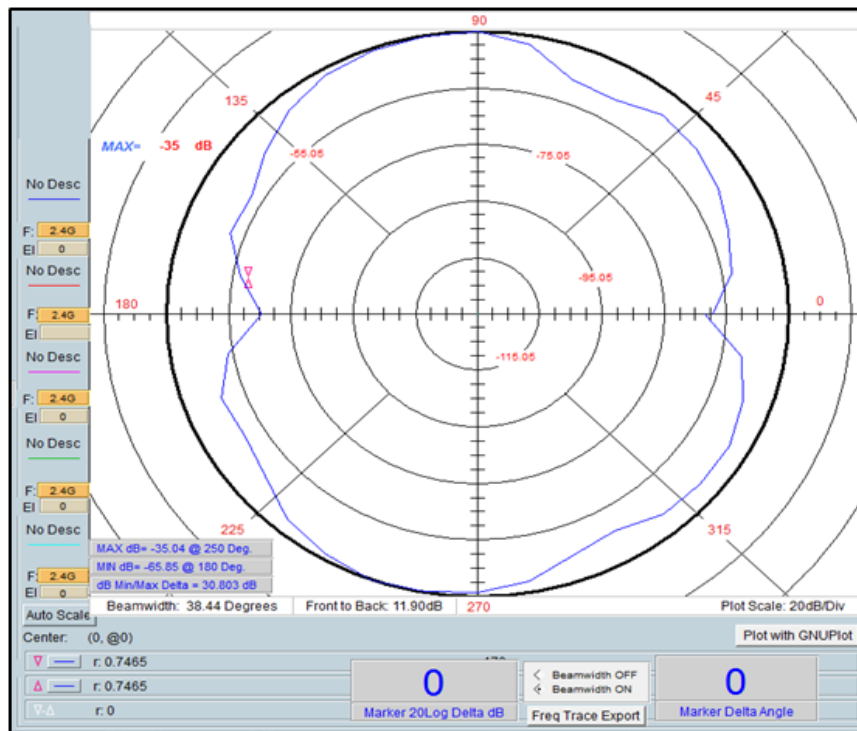
ภาพที่ 3-12 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 1 แนวแกนตั้ง ความถี่ 2400 MHz



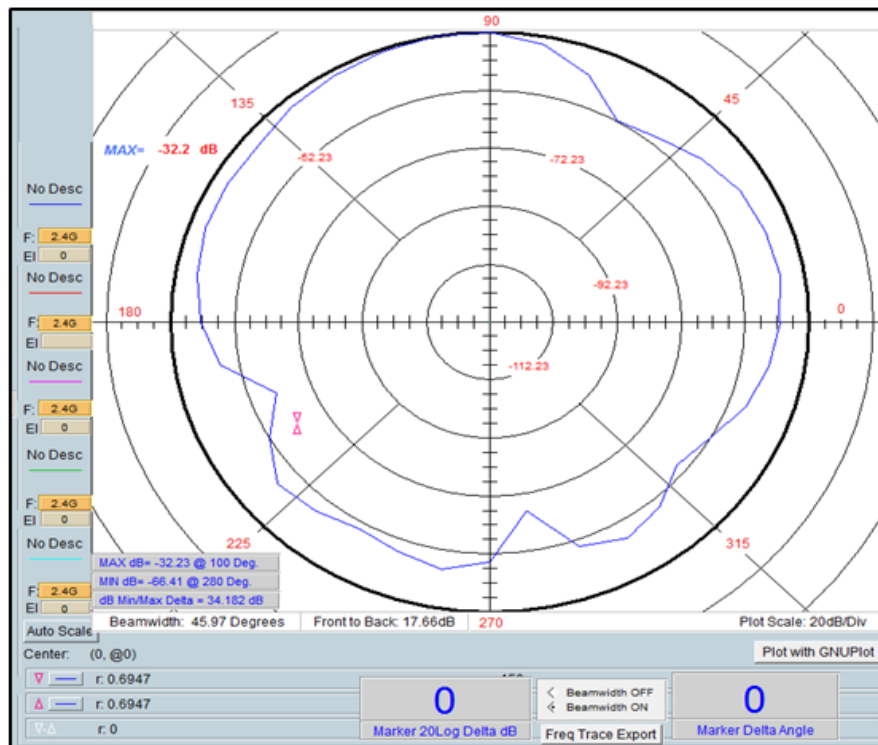
ภาพที่ 3-13 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 2 แนวแกนนอน ความถี่ 1800 MHz



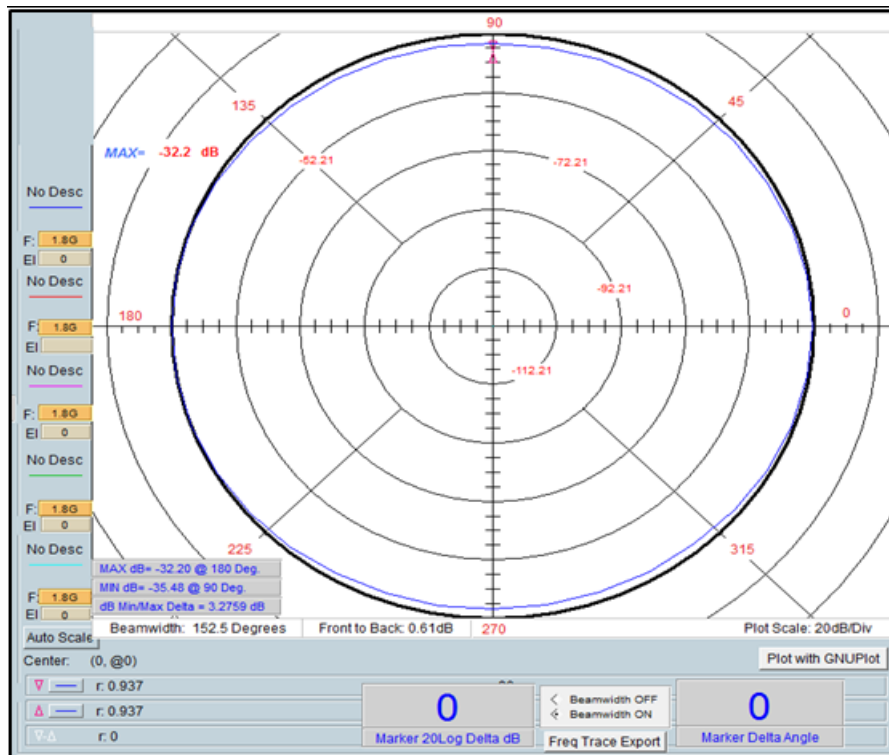
ภาพที่ 3-14 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 2 แนวแกนนอน ความถี่ 2400 MHz



ภาพที่ 3-15 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 2 แนวแกนตั้ง ความถี่ 1800 MHz



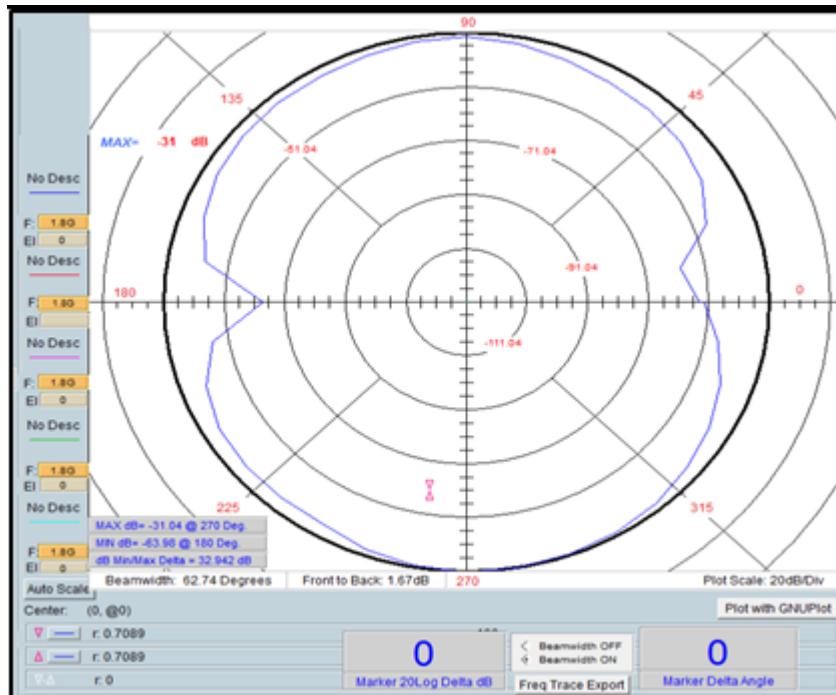
ภาพที่ 3-16 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 2 แนวแกนตั้ง ความถี่ 2400 MHz



ภาพที่ 3-17 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 3 แนวแกนนอน ความถี่ 1800 MHz



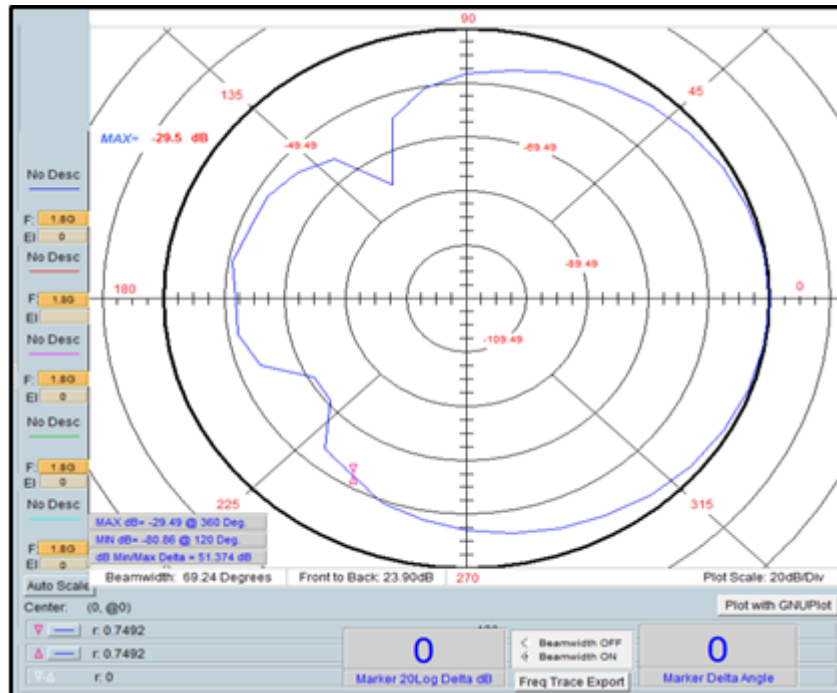
ภาพที่ 3-18 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 3 แนวแกนนอน ความถี่ 2400 MHz



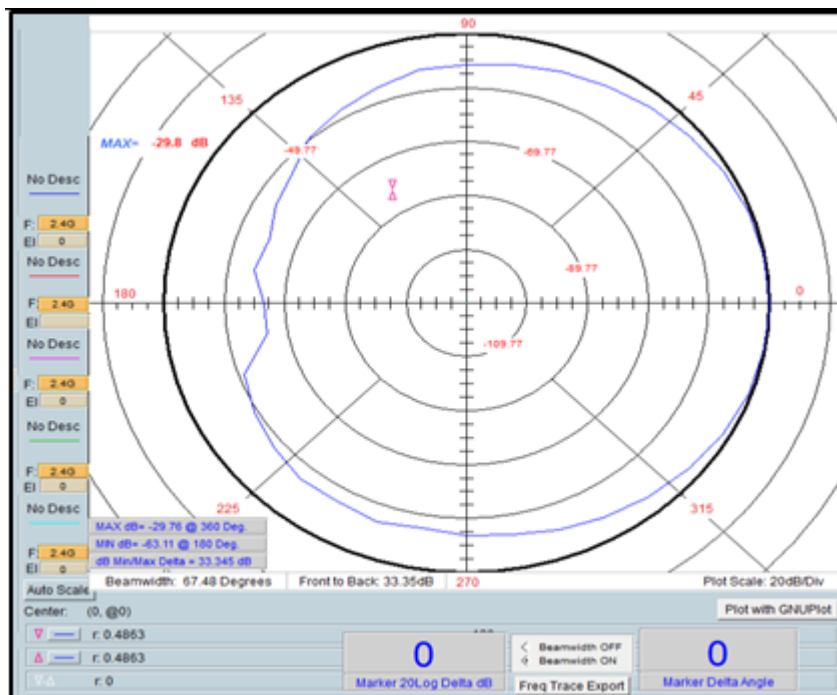
ภาพที่ 3-19 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 3 แนวแกนตั้ง ความถี่ 1800 MHz



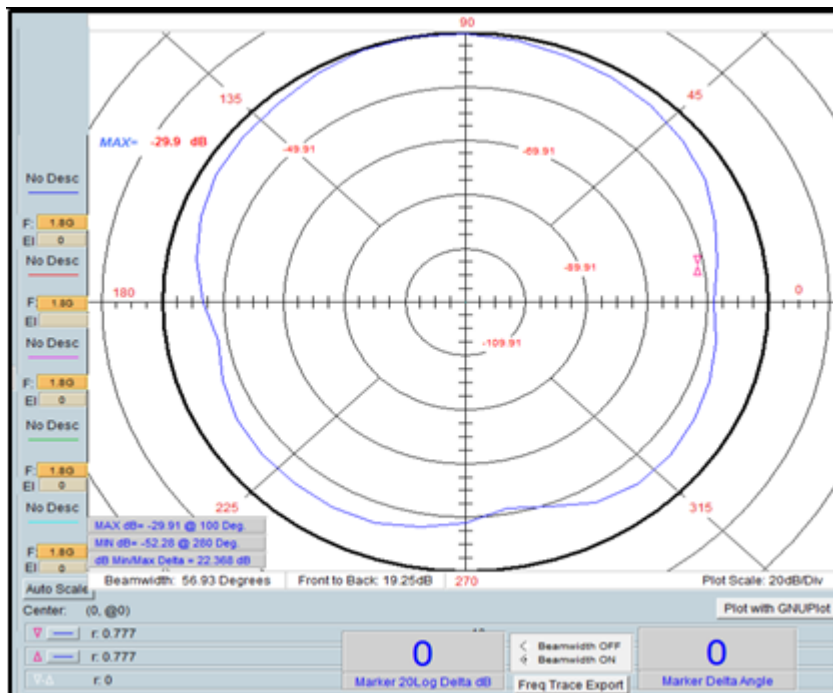
ภาพที่ 3-20 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 3 แนวแกนตั้ง ความถี่ 2400 MHz



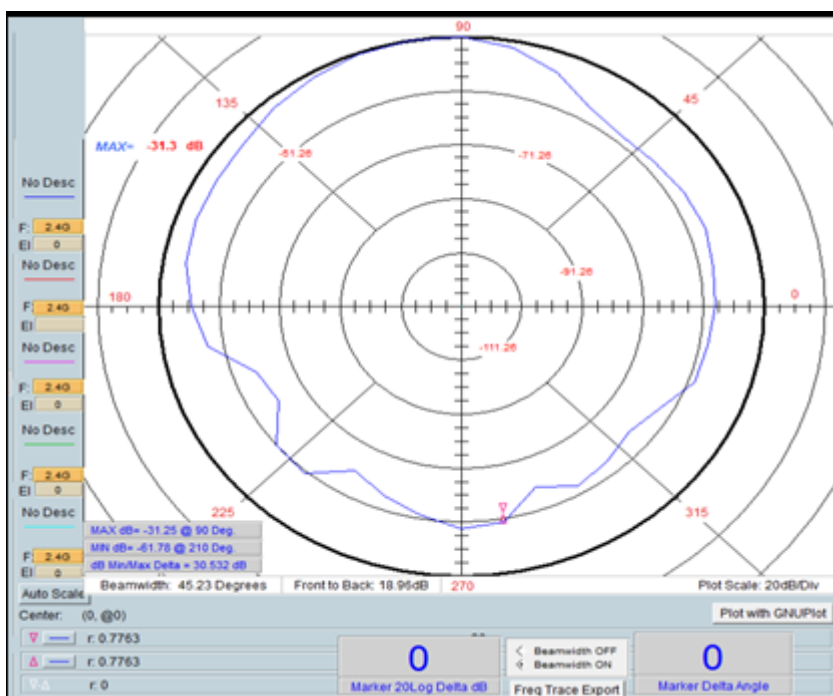
ภาพที่ 3-21 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 4 แนวแกนนอน ความถี่ 1800 MHz



ภาพที่ 3-22 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 4 แนวแกนนอน ความถี่ 2400 MHz



ภาพที่ 3-23 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 4 แนวแกนตั้ง ความถี่ 1800 MHz



ภาพที่ 3-24 อัตราขยายและรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบที่ 4 แนวแกนตั้ง ความถี่ 2400 MHz

3.2 การทดลองและทดสอบในสภาวะใช้งานจริง

สายอากาศเดิมของเครื่องตรวจจับความถี่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษเป็นแบบแท่งสายอากาศจำนวนมากที่ทำงานที่ความถี่แตกต่างกันนำมาต่อรวมกันทำให้มีขนาดใหญ่ติดตั้งลำบาก และไม่ครอบคลุมความถี่ช่วงสูงคือตั้งแต่ 1.8 GHz ถึง 2.8 GHz ซึ่งเป็นความถี่ของ 2G 3G และ WLAN ได้ จึงต้องมีการวิจัยและพัฒนาสายแบบใหม่ที่มีขนาดเล็กและสามารถครอบคลุมความถี่ดังกล่าวได้ โดยมีการทดสอบดังนี้

การทดสอบในสภาวะใช้งานจริงนั้น ทำขึ้นเพื่อหาประสิทธิภาพของสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่ทั้ง 4 แบบ ในห้องที่มีการติดตั้งเครื่องดักฟัง โดยเครื่องดักฟังจะส่งคลื่นวิทยุออกมา การทดสอบจะประกอบสายอากาศที่วิจัยขึ้นทั้ง 4 แบบ เข้ากับเครื่องตรวจจับความถี่ ตั้งค่าช่วงความถี่ในการตรวจจับของเครื่องตรวจจับความถี่แล้วนำสายอากาศที่วิจัยขึ้นซึ่งทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์ความถี่ที่กว้างตอบสนองความถี่ตั้งแต่ 1.8 GHz ถึง 2.8 GHz อันดับแรกต่อสายอากาศแบบที่ 1 หรือ 3 ซึ่งมีรูปแบบการกระจายคลื่นรอบตัว ทำการตรวจจับว่ามีเครื่องดักฟังในห้องหรือไม่ เมื่อตรวจพบแล้วถ้าต้องการหาตำแหน่งที่ซุกซ่อนเครื่องดักฟังให้เปลี่ยนเป็นสายอากาศแบบ 2 และ 4 ที่มีความแรงของสัญญาณมากกว่าและเป็นสายอากาศแบบมีทิศทางเพื่อทำการตรวจละเอียดอีกต่อไป

ผลการทดสอบแสดงได้ตามตารางที่ 1 พบว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพมากกว่าสายอากาศเดิมที่กรมสอบสวนคดีพิเศษคือสามารถตรวจจับเครื่องดักฟังที่มีความถี่ 2.4 GHz ได้และสามารถตรวจหาตำแหน่งได้ถูกต้องโดยสามารถชี้ทิศทางได้

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ชนิด	ผลตอบสนองความถี่ (GHz)	อัตราขยาย (dBi)
สายอากาศที่สร้างขึ้น แบบ 1	1.82-2.80	5.75
สายอากาศที่สร้างขึ้น แบบ 2	1.85-2.82	9.54
สายอากาศที่สร้างขึ้น แบบ 3	1.80-2.80	5.65
สายอากาศที่สร้างขึ้น แบบ 4	1.85-2.82	9.75

สรุปผลการทดสอบ

สายอากาศขนาดเล็กสำหรับเครื่องตรวจจับความถี่นำเสนอ เพื่อใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษให้มีขนาดเล็กลง ครอบคลุมความถี่ที่กว้างกว่าเดิม และสามารถบอกตำแหน่งเป้าหมายที่ติดตั้งเครื่องดักฟังได้ การออกแบบไม่ซับซ้อนและได้นำเทคนิคแผ่นสะท้อนมาเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศให้มากขึ้น ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วย ตัวกระจายคลื่นโมโนโพลแบบห้าเหลี่ยมด้านบน แผ่นกราวด์รูปห้าเหลี่ยม โดยชิ้นงานตัวที่สองจะนำแผ่นสะท้อนมาช่วยในการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ สายอากาศแบบที่ 3 และ 4 จะใช้เทคนิคการเจาะช่องแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อลดการสูญเสียสัญญาณของสายอากาศและเพิ่มความกว้างของการรับสัญญาณ ทำให้น้ำหนักของสายอากาศลดลงมีขนาดเล็กเพื่อสะดวกในการใช้งาน ผลจากการวัดและผลการจำลองด้วยโปรแกรม IE3D มีความใกล้เคียงกัน โดยสายอากาศทำงานที่ความถี่ 1.80-2.82 GHz และอัตราขยาย ประมาณ 5.54 dBi-9.75 dBi นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบกับเครื่องตรวจจับความถี่ในสภาวะใช้งานจริง พบว่าสายอากาศเดิมไม่สามารถครอบคลุมความถี่ 1.80-2.82 GHz ได้ ส่วนสายอากาศที่สร้างขึ้นสามารถทำงานครอบคลุมความถี่ดังกล่าวได้ นอกจากนี้สามารถระบุตำแหน่งที่ซุกซ่อนเครื่องดักฟังได้อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบสายอากาศจะต้องใช้ผู้ตรวจสอบถืออุปกรณ์ในการตรวจจับคลื่น แล้วนำไปตรวจหาเครื่องดักฟังตามตำแหน่งต่างๆ ของห้อง ซึ่งอาจไม่สะดวกนักในการปฏิบัติงานที่ต้องการความรวดเร็วและต้องการตรวจหาตำแหน่งคร่าวๆ มีความเป็นไปได้สำหรับงานวิจัยต่อไปที่จะพัฒนาให้เป็นระบบอัตโนมัติให้เครื่องตรวจจับความถี่สามารถตรวจจับเครื่องดักฟังแบบอัตโนมัติโดยติดตั้งสายอากาศเข้ากับระบบมอเตอร์และโปรแกรมประมวลผลสัญญาณเพื่อแสดงตำแหน่งของเครื่องดักฟังได้

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้รับงบประมาณวิจัยจากสำนักกิจการยุติธรรม กระทรวงยุติธรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2558 นำเสนอสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่แบบโมนโพล เพื่อใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพสายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่ของกรมสอบสวนคดีพิเศษให้มีขนาดเล็กและสามารถครอบคลุมได้กว้างกว่าเดิม การออกแบบไม่ซับซ้อน และได้นำเทคนิคแผ่นสะท้อนมาเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศให้มากขึ้น ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยตัวกระจายคลื่นกราวด์ และตัวสะท้อน โดยได้สร้างสายอากาศจำนวนสี่ชิ้น และใช้เทคนิคการเจาะช่องแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อเพิ่มความกว้างของแถบความถี่ สะดวกในการใช้งาน ผลจากการวัดและผลการจำลองมีความใกล้เคียงกัน โดยสายอากาศทำงานที่ความถี่ 1.8-2.8 GHz และอัตราขยาย ประมาณ 5.75 dBi-9.75 dBi นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบกับเครื่องตรวจจับความถี่ในสภาวะใช้งานจริง พบว่าสายอากาศแบบใหม่สามารถตรวจจับความถี่ได้มากกว่าแบบเดิมและสามารถบอกตำแหน่งของเครื่องดักฟังได้ จึงทำให้สายอากาศของเครื่องตรวจจับความถี่มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม

จากการทดสอบสายอากาศทำให้ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์เพื่อนำมาปรับปรุงการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษต่อไป คือ ความต้องการให้มีการตรวจจับแบบอัตโนมัติเพื่อที่สามารถตรวจจับในจุดต่างๆ ได้อย่างทั่วถึงได้อย่างแม่นยำ ทำได้โดยใช้เทคนิคการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลร่วมกับระบบเรดาร์ต่อไป

4.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

การสร้างชิ้นงานบนโครงสร้างสายนำสัญญาณไมโครสตริป จะมีพารามิเตอร์ของแผ่นวงจรพิมพ์ไมโครเวฟให้เลือกหลายรุ่นหลายยี่ห้อ จึงต้องเลือกให้เหมาะสมในการใช้งาน ดังนี้

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก สายนำสัญญาณจะมีขนาดเล็กลง ถ้าใช้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมาก จะทำให้ขนาดของสายนำสัญญาณมีขนาดเล็ก อาจจะมีปัญหาในการเจาะร่องที่มีขนาดเล็กมากก็ได้ แต่ถ้าใช้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกน้อยจะทำให้ขนาดสายนำสัญญาณใหญ่ จะเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุและชิ้นงานใหญ่เกินความจำเป็น

ความหนาของซึบสเตรท หากเลือกใช้แผ่นวงจรมพิมพ์ที่บางเกินไป เมื่อทำการเซาะลายวงจรมอาจทำให้เซาะถึงเนื้อซึบสเตรทได้ ทำให้ชิ้นงานไม่แข็งแรง

ในการเซาะร่องที่ลายวงจรมีข้อจำกัดที่ดอกสว่านมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กคือ 0.2 มม. เพราะฉะนั้นในการออกแบบต้องเผื่อร่องของลายวงจรมให้มีขนาดใหญ่กว่า 0.2 มม. จึงจะทำให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกันเนื่องจากพารามิเตอร์ในการออกแบบมีข้อจำกัด

ต้องใช้ความแม่นยำของสายตาผู้ทำการควบคุมเครื่องเซาะลายวงจรมเป็นอย่างมาก จึงต้องใช้ความระมัดระวังและความชำนาญในการเซาะลายวงจรมเป็นพิเศษ จึงจะได้ผลงานออกมาดีตามต้องการ และผลการวัดไม่คลาดเคลื่อนได้

และอีกประการหนึ่งกรมสอบสวนคดีพิเศษไม่มีเครื่องมือเฉพาะทางในห้องปฏิบัติการวิจัย จึงต้องขอความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือห้องปฏิบัติการจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

Qing-Xin Chu and Yu Luo, “A Broadband Unidirectional Multi-Dipole Antenna With Very Stable Beamwidth” *IEEE Tran. Antennas and Propag.* vol. 61, no. 5, pp. 2847–2848, May 2013.

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

R.L. Li, X.L. Quan, Y.H. Cui and M.M. Tentzeris, “Directional triple-band planar antenna for WLAN/WiMax access points” *ELECTRONICS LETTERS* Vol. 48, No. 6 15th March 2012.

Jian-Feng Li, Qing-Xin Chu and Tian-Gui Huang, “A Compact Wideband MIMO Antenna With Two Novel Bent Slits” *IEEE Tran. Antennas and Propag.* vol. 60, no. 2\$, pp. 482–483, Feb. 2012.

Shuai Zhang, Kun Zhao, Zhinong Ying and Sailing He, “Adaptive Quad-Element Multi-Wideband Antenna Array for User-Effective LTE MIMO Mobile Terminals” *IEEE Tran. Antennas and Propag.* vol. 61, no. 8, pp. 4275–4282, Aug. 2013.

Sai Ho Yeung, Kim Fung Man and Wing Shing Chan, “Multiple Circular-Sector Structures for Wideband Planar Monopole Antenna Designs Covering 146% Fractional Bandwidth” *IEEE Antennas and Propagation Magazine.* vol. 54, no. 1, pp. 76–94, Feb. 2012.

M.-H. Yoon, Y. Shin, H.-K. Ryu and J.-M. Woo, “Ultra-Wideband Loop Antenna” *ELECTRONICS LETTERS* Vol. 46, No. 18, 2th Sep. 2010.

J.I. Lee and J. Yeo, “Compact bent slot antenna for 2.45 GHz band” *ELECTRONICS LETTERS* Vol. 48, No. 8, 12th April 2012.

Chao-Tang Chuang and Shyh-Jong Chung, “A Compact Printed Filtering Antenna Using a Ground-Intruded Coupled Line Resonator” *IEEE Tran. Antennas and Propag.* vol. 59, no. 10, pp. 3630–3637, Oct. 2011.

Kun Qin, Minquan Li, Huimin Xia, and Jun Wang, “A New Compact Aperture-Coupled Microstrip Antenna With Corrugated Ground Plane” *IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.* vol. 11, pp. 807–810, 2012.

A. Ameelia Roseline, K. Malathi and A.K. Shrivastav, “Enhanced performance of a patch antenna using spiral-shaped electromagnetic bandgap

structures for high-speed wireless networks” *IET Microw. Antennas Propag.*, Vol. 5, pp. 1750–1755, 2011.

A. Elboushi and A. Sebak, “High-Gain Hybrid Microstrip/Conical Horn Antenna for MMW Applications” *IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.* vol. 11, pp. 129–132, 2012.

Gareth A. Conway and William G. Scanlon, “Antennas for Over-Body-Surface Communication at 2.45 GHz” *IEEE Tran. Antennas and Propag.* vol. 57, no. 4, pp. 844–855, Apr. 2009.

Y. Ranga, Karu. P. Esselle, Andrew R. Weily and 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 and 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 and 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 Kärfel, 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 and 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 and 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 and 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 and 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 and 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 and 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 7032-3 โทรสาร 02-9759880
มือถือ 085-1358542 E – mail: mongkol_m@dsi.go.th
- 5.ประวัติการศึกษา นิติศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ครุศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์)
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติ วิทยาเขตขอนแก่น
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าพระนครเหนือ
- 6.สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ วิศวกรรมไมโครเวฟ
- 7.งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

Mongkol Meeloon, “An Ultra-Wideband (UWB) Bandpass Filter with Multiple-Notched Band using Embedded Fold-Slot Structure” 2015 International Conference on Industrial Application Engineering : *ICIAE 2015*, Kitakyushu, Japan.

Mongkol Meeloon, “An Ultra-Wideband Bandpass Filter with Quadruple-Notched Band using Embedded Structure” 2014 *Thailand-Japan Microwave : TJMW-2014*, KMITL, Thailand, 2014.

Mongkol Meeloon, “ A Quadruple-Notched Band for UWB Microstrip Bandpass Filter using Embedded Structure” 2014 Asia –Pacific Conference on Computer Science and Electrical Engineering : *APCSEE 2014*, Kuala Lumpur, Malaysia.

Mongkol Meeloon, “An UWB Microstrip Bandpass Filter with Triple-Notched Band using Embedded Slot” *2014 International Conference on Engineering Science and Innovative Technology :ESIT 2014*. Krabi, Thailand

Mongkol Meeloon, “An UWB Bandpass Filter with Triple-Notched Band using Embedded Fold-Slot Structure” *2013 International Conference on Robotic Automation System, 2013 : ICORAS 2013*, Bali Island, Indonesia.

Mongkol Meeloon, “An UWB Band Bandpass Filter with Triple-Notched Band using Embedded Slots” *2013 Thailand-Japan Microwave : TJMW-2013*, KMUTNB, Thailand, 2013.

Mongkol Meeloon and Chumpol Patommakason, “A Triple-Notched Band for UWB Bandpass Filter using Embedded Fold-Slot Structure” *2013 13th International Symposium on Communications and Information Technologies : iscit 2013*, Samui Island, Thailand.

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 อัครเอกธมาลิน “วงจรรองผ่านแถบกว้างยั้งที่มีสองแถบหยุดโดยใช้ตัวป้อนแบบร่อง” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35 (EECON35) 2555*

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

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 ประยูทธ 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 มีลุน, ประยุทธ์ อัครเอกพาลิน “วงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้าง
โดยใช้ตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลที่มีช่องระนาบกราวด์” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า
ครั้งที่ 26 , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546