

สายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวนตัวสะท้อน สำหรับประยุกต์ใช้งานย่านความถี่กว้างยิ่งยวด

Surface Monopole Antenna on Reflector for Ultra-Wideband Applications

พลอยไพลิน พรหมพันธุ์กรณ¹ สติชัย เด่นตรี² ชูวงศ์ พงศ์เจริญพานิชย์^{1,*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

²ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Ploypailin Phomphankorn¹ Sittichai Dentri² Chuwong Phongcharoenpanich^{1,*}

¹Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

²Department of Electronics Engineering, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

***Corresponding Author E-mail:** chuwong.ph@kmitl.ac.th

Received: September 30, 2020 **Revised:** December 14, 2020 **Accepted:** December 16, 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศที่ทำงานในช่วงความถี่ต่ำของย่านความถี่กว้างยิ่งยวดซึ่งมีแบนด์วิดท์มากกว่า 500 MHz ตามข้อกำหนดของ FCC โดยส่วนที่ท้าทายที่ในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมีโครงสร้างเป็นโมโนโพลเชิงพื้นผิวนตัวสะท้อน มีแบนด์วิดท์ 1.3 GHz ซึ่งมีช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 200 MHz ถึง 1.3 GHz โดยพิจารณาคุณลักษณะ $|S_{11}|$ (dB) ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว มีอัตราขยายสูงสุด ที่ 3.62 dBi ป้อนสัญญาณด้วยคอนเนคเตอร์ N-type สายอากาศถูกสร้างจากวัสดุทองแดง สามารถทนกำลังงานได้สูง สายอากาศเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับวงจรกำเนิดพัลส์สำหรับระบบเรดาร์ขั้วหลัก

คำสำคัญ: ย่านความถี่กว้างยิ่งยวด สายอากาศทิศทางเดียว โมโนโพลเชิงพื้นผิว

Abstract

This article presents the design of an antenna that operate in the low frequency range of ultra-wideband, that yields more than 500 MHz bandwidth in accordance with the FCC regulations. The radiator of the antenna is of a surface monopole on reflector achieving 1.3 GHz bandwidth that cover frequency range from 200 MHz to 1.3 GHz by considering the characteristics $|S_{11}|$ (dB) less than or equal to -10 dB. The radiation pattern is unidirectional beam. The maximum gain is 3.62 dBi. The signal is input with N-type connector. The antenna is made of copper material to handle high power. The antenna is suitable for using with pulse generator of Ground Penetrating Radar (GPR) system.

Keywords: Ultra-Wideband (UWB), Unidirectional Antenna, Surface Monopole

1. บทนำ

เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารไร้สายโดยคลื่นวิทยุย่านความถี่กว้างยิ่งยวด (Ultra-Wideband) ใช้การส่งผ่านข้อมูลแบบพัลส์ (Pulse) สั้น ๆ ผ่านคลื่นแถบความถี่กว้างมากๆ ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากได้ในระยะทางสั้น ๆ ต่างจากการส่งผ่านข้อมูลผ่านคลื่นความถี่วิทยุแบบแถบความถี่แคบ สายอากาศตอบสนองแถบความถี่กว้างยิ่งยวดยังสามารถประยุกต์ใช้เพื่อการค้นหาวัตถุ โดยสามารถอ่านตำแหน่งของวัตถุด้วยความแม่นยำในระดับเซนติเมตร ซึ่งถือว่าแม่นยำมากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีระบบระบุตำแหน่งพื้นโลก (GPS) ที่ให้ความแม่นยำเพียงแค่หน่วยเมตรเท่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเครื่องเรดาร์ตรวจสอบชั้นใต้ผิวดิน [1]

ปัจจุบันเทคโนโลยีไร้สายได้รับความสนใจมากขึ้น ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งยวดถูกกำหนดความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดย Federal Communication Commission (FCC) [2] หรือมีช่วงความถี่ใช้งานที่ต่ำกว่า 960 MHz และมีแบนด์วิดท์มากกว่า 500 MHz นอกจากนี้ยังมีการวิจัยเพื่อพัฒนาการปรับปรุงสายอากาศอย่างต่อเนื่อง [3] ให้สามารถใช้งานในช่วงความถี่ต่ำกว่า 960 MHz เช่น เรดาร์เครื่องบิน เรดาร์หยั่งลึกและอื่น ๆ [4-5] สำหรับเทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งยวดของสายอากาศขนาดเล็กได้รับการพัฒนามาตามลำดับ [6] สายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิว (Surface Monopole Antenna) ได้ถูกนำเสนอเพื่อให้สายอากาศมีโครงสร้างที่เรียบง่ายและมีการสะท้อนซึ่งสำคัญไปยังทิศทางที่ต้องการโดยทำงานตั้งแต่ความถี่ 410 MHz ถึง 12 GHz [7]

บทความนี้ นำเสนอการออกแบบสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิว ครอบคลุมแถบความถี่กว้างยิ่งยวดที่สามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบเรดาร์หยั่งลึกและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยมีความถี่ตั้งแต่ 200 MHz ถึง 1.3 GHz สายอากาศนี้ ประกอบไปด้วยตัวแพร่กระจายคลื่น (Radiator) และตัวสะท้อน (Reflector) โครงสร้างของการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบพื้นผิวและมีระนาบกราวด์ด้านหลังทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนด้วย

2. การออกแบบและโครงสร้าง

การจำลองคุณลักษณะสายอากาศโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เริ่มต้นจากการออกแบบโดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ โดยอ้างอิงรูปแบบของตัวแพร่กระจายคลื่นและระนาบกราวด์ รวมถึงการทำงานของสายอากาศโมโนโพลในย่านความถี่กว้างยิ่งยวด จากบทความที่มีมาก่อน [3-4] [8-10] โดยทำการหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบสายอากาศและการหาอิมพีแดนซ์เบนคัลเวิร์ธเพื่อให้ทราบว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ดีในช่วงความถี่ใดบ้างด้วยพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์การสะท้อนพิจารณาแบนด์วิดท์ซึ่งสัมพันธ์กับคุณลักษณะ $|S_{11}|$ (dB) ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 dB

อิมพีแดนซ์คุณลักษณะคืออิมพีแดนซ์ในอุดมคติของสายนำสัญญาณมีค่าเป็น $Z_0 = 50 \Omega$ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ออกแบบจะต้องมีค่าเข้าใกล้ 50 ohms ตลอดช่วงความถี่ที่ใช้งาน

อิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณและสายอากาศที่เท่ากัน ($Z_0 = Z_A$) จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเป็นศูนย์ ($\Gamma = 0$) แต่ถ้าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน ($Z_0 \neq Z_A$) ก็จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับมายังสายนำสัญญาณ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนหาจาก

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0}$$

คุณลักษณะ $|S_{11}|$ (dB) สามารถคำนวณได้จากค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณและอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ออกแบบผ่านสัมประสิทธิ์การสะท้อน

$$|S_{11}| \text{ (dB)} = 20 \log |\Gamma|$$

อัตราขยายของสายอากาศเป็นคุณลักษณะที่ใช้พิจารณาว่าสายอากาศที่ออกแบบสามารถแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ต้องการเทียบกับตัวแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิก โดยหน่วยของอัตราขยายจะเป็น dBi การทดสอบคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นต้องติดตั้งสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับมีระยะห่างกันมากกว่าหรือเท่ากับสามระยะไกล

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

เมื่อ D คือมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ และ λ คือความยาวคลื่น

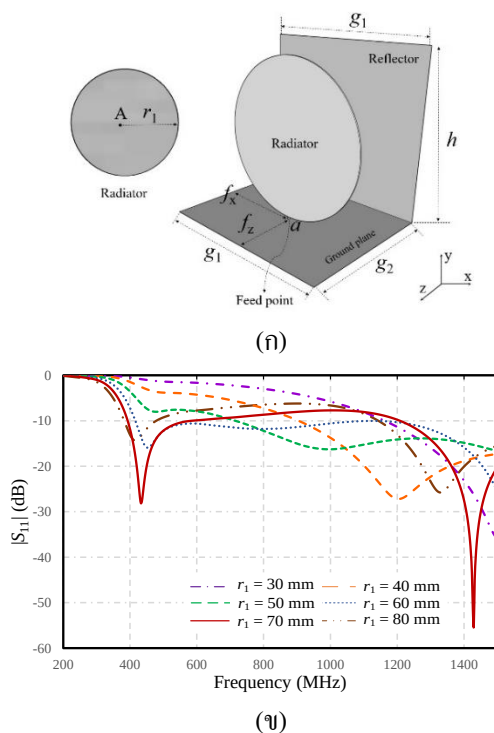
กรณีที่สายอากาศภาครับและภาคส่งเหมือนกัน ($G_t = G_r$) การคำนวณอัตราขยายของสายอากาศสามารถพิจารณาจากกำลังงานของภาคส่ง (P_t) และภาครับ (P_r) คือ

$$G_t = G_r = 0.5 \left(20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right)$$

2.1 การออกแบบสายอากาศ

2.1.1 สายอากาศรูปวงกลม

โครงสร้างของสายอากาศวงกลมมีรัศมีของตัวแผ่กระจายคลื่นคือ r_1 วางบนระนาบกราวด์และตัวสะท้อนดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) ความยาวและความกว้างของระนาบกราวด์และตัวสะท้อนคือ g_1 และ g_2 ความสูงของตัวสะท้อนคือ h จุดป้อนแสดงด้วย a ตำแหน่งของจุดป้อนคือ f_x และ f_z ดังแสดงในตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์จากการปรับรัศมี (r_1) ของรูปวงกลมเริ่มจากรัศมีที่ 30 mm จนถึง 80 mm โดยเพิ่มทีละ 10 mm จนได้ค่า $|S_{11}|$ (dB) ต่ำสุดที่ 433.14 MHz ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข)



รูปที่ 1 โครงสร้างและผลการจำลอง $|S_{11}|$ (dB) เมื่อปรับพารามิเตอร์ r_1

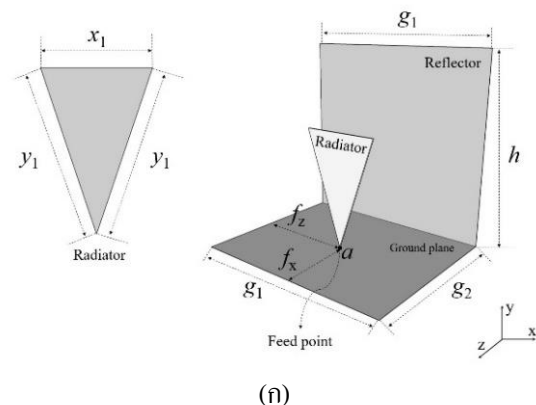
จากรูปที่ 1 เมื่อทำการจำลองของสายอากาศวงกลมโดยการปรับพารามิเตอร์ r_1 ซึ่งคือรัศมีของสายอากาศโดยพิจารณาที่ $|S_{11}| \leq -10$ (dB) พบว่าที่รัศมีที่ 70 mm นั้น มีค่า $|S_{11}|$ (dB) ที่ดีที่สุด -24.88 dB ที่ความถี่ที่ 433.14 MHz ซึ่งเป็นค่าที่ดีเมื่อเทียบกับค่า $|S_{11}|$ (dB) ของรัศมีอื่น ๆ แต่ผลของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเกิดการเอียงของทิศทางการเคลื่อน จากการจำลองของสายอากาศรูปวงกลมพบว่ามีแบนด์วิดท์ที่แคบ โดยสังเกตผลจากกระแสที่วิ่งบริเวณขอบของวงกลม และให้เรโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำได้ดีเพราะมีระยะการเดินทางของกระแสได้หลากหลาย

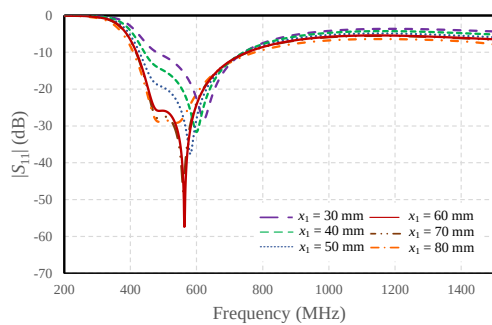
ตารางที่ 1 ขนาดและพารามิเตอร์ของสายอากาศวงกลม

พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)	พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)
g_1	160	f_x	80
g_2	130	f_z	60
r_1	70	a	1
h	150		

2.1.2 สายอากาศรูปสามเหลี่ยม

โครงสร้างของสายอากาศรูปสามเหลี่ยมมีฐานยาว x_1 และความสูงเอียง y_1 ระนาบกราวด์และตัวสะท้อนมีรูปแบบและขนาดเดียวกันแบบวงกลม ดังแสดงในตารางที่ 2 การปรับพารามิเตอร์โดยการปรับขนาดฐาน (x_1) ของสามเหลี่ยมโดยเริ่มที่ 30 mm จนถึง 80 mm โดยเพิ่มขึ้นทีละ 10 mm จนได้ค่า $|S_{11}|$ (dB) ต่ำสุดที่ 562.17 MHz ดังแสดงในรูปที่ 2





(ข)

รูปที่ 2 โครงสร้างและผลการจำลอง $|S_{11}|$ (dB)เมื่อปรับพารามิเตอร์ x_1

จากรูปที่ 2 เมื่อทำการจำลองของสายอากาศสามเหลี่ยมโดยการปรับพารามิเตอร์ x_1 ซึ่งคือรัศมีของสายอากาศโดยพิจารณาที่ $|S_{11}| \leq -10$ (dB) พบว่าที่ฐานที่ 60 mm นั้น มีค่า $|S_{11}|$ (dB) ที่ดีที่สุดคือ -57.21 dB ที่ความถี่ที่ 562.17 MHz ซึ่งเป็นค่าที่ดีเมื่อเทียบกับค่า $|S_{11}|$ (dB) ของรัศมีอื่น ๆ แต่ผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ตั้งแต่ 1.3 GHz เกิดการเอียงของทิศทางคลื่นสายอากาศรูปสามเหลี่ยม จะได้แบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าสายอากาศรูปวงกลม จึงได้ทำการจำลองเพื่อลดระยะการเดินทางของกระแสบริเวณขอบด้านข้าง และในช่วงมุมของสามเหลี่ยมมีการกลับเฟส จึงทำให้มุมทั้งสามของสายอากาศรูปสามเหลี่ยมนั้นเป็นแหล่งกำเนิดใหม่

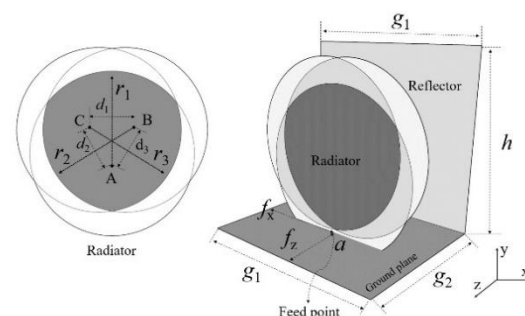
จากการเปรียบเทียบค่า $|S_{11}|$ (dB) ของสายอากาศวงกลมและแบบสามเหลี่ยม พบว่า $|S_{11}|$ (dB) ของสายอากาศวงกลมมีช่วงใช้งานของความถี่กว้างกว่าและให้เรโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำได้ดีกว่าแบบสามเหลี่ยมซึ่งเหมาะสมที่สุดกับเทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งยวด

ตารางที่ 2 ขนาดและพารามิเตอร์ของสายอากาศสามเหลี่ยม

พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)	พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)
g_1	160	y_1	107.34
g_2	130	f_x	80
h	150	f_z	60
x_1	60	a	1

2.1.3 การรวมกันของจุดตัด (Intersection)

เนื่องจากค่า $|S_{11}|$ (dB) ของสายอากาศรูปวงกลมขนาดรัศมี 70 mm มีแนวโน้มที่ดีกว่าค่า $|S_{11}|$ (dB) ของรูปสามเหลี่ยม จึงได้ออกแบบสายอากาศรูปวงกลมให้มีการซ้อนทับกันจำนวน 3 วง คือ AB และ C โดยมีรัศมี 70 mm ที่วงกลม A มีจุดศูนย์กลางห่างมาจากระนาบกราวด์เป็นระยะ 50.28 mm และที่วงกลม B และ C มีจุดศูนย์กลางห่างมาจากระนาบกราวด์เป็นระยะ 70 mm แล้วจึงนำมาหาจุดตัดด้วยทฤษฎีบทพีทาโกรัส ได้ระยะห่างระหว่างจุด A, B และ C เป็น d_1 , d_2 และ d_3 ตามลำดับ ซึ่งได้เป็นรูปแบบของโมโนโพลเชิงพื้นผิว [9] และจุดป้อนแสดงด้วย a ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยที่ขนาดและพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 3 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศ

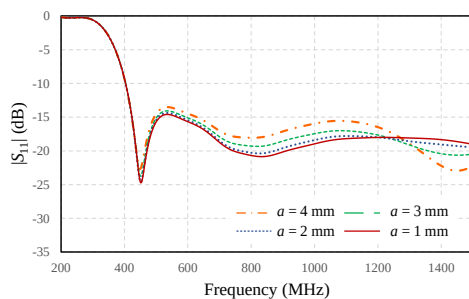
จากการซ้อนกันของวงกลม 3 วง

การรวมกันของจุดตัดเกิดจากการจำลองป้อนแผ่นแพร่กระจายแบบวงกลมพบว่าได้แบนด์วิดท์แคบ จึงสังเกตผลจากกระแสที่วิ่งบริเวณขอบวงกลม พบว่ากระแสมีความเข้มจากจุดป้อนสัญญาณไปยังบริเวณขอบกลางเท่านั้น โดยขอบของวงกลมมีลักษณะกระแสที่อ่อนมากเหมือนเป็นจุดที่มีความต้านทานสูง ดังนั้นจึงจำลองโดยใช้แผ่นแพร่กระจายคลื่นสามเหลี่ยมเพื่อลดระยะการเดินทางของกระแสบริเวณขอบด้านข้าง เพื่อต้องการให้ความต้านทานบริเวณพื้นที่ที่กระแสเดินทางลดลง พบว่าสามารถขยายแบนด์วิดท์ได้ จากนั้นจึงออกแบบให้ด้านข้างมีระยะเพิ่มขึ้น เพื่อให้กระแสมีความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำ ด้วยจุดมุมเดิมของสามเหลี่ยม โดยกำหนดจุดหมุนของวงกลมสามจุดในลักษณะสามเหลี่ยมขอบบนที่ 70 mm และขอบล่างที่ 50 mm โดยมีระยะห่างกับระนาบกราวด์ 1 mm พบว่า

แบนด์วิดท์ที่ได้มีความกว้างมากขึ้น ครอบคลุมมาตรฐานของ UWB เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่าง 1 mm ให้เข้าใกล้แผ่นระนาบกราวด์มากขึ้น พบว่าสามารถแมตชิงได้ดีที่ความถี่ต่ำ โดยระยะห่างที่ดีที่สุดคือ 0.72 mm ดังนั้นระยะห่างจากจุดกึ่งกลางของวงกลมวงล่างกับระนาบกราวด์จึงมีขนาด 50.28 mm

2.1.4 การปรับตำแหน่งของสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิว

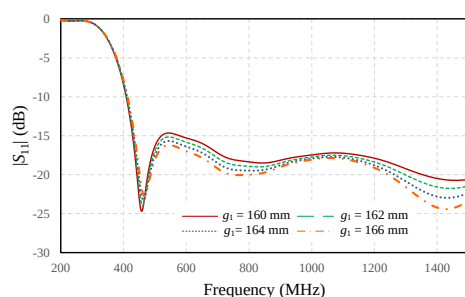
การปรับตำแหน่งของสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวนั้นจะทำการปรับความสูงระหว่างสายอากาศแบบพื้นผิวกับระนาบกราวด์ที่แสดงด้วยพารามิเตอร์ a ปรับขนาดตั้งแต่ 1 mm จนถึง 4 mm จนได้ค่า $|S_{11}|$ (dB) ต่ำสุด ณ ที่ตำแหน่งที่ 1 mm ที่ความถี่ 453.64 MHz ดังแสดงในรูปที่ 4 ขนาดและพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 4 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ (dB) เมื่อปรับพารามิเตอร์ a

2.1.5 การปรับขนาดความกว้างของระนาบกราวด์และตัวสะท้อน

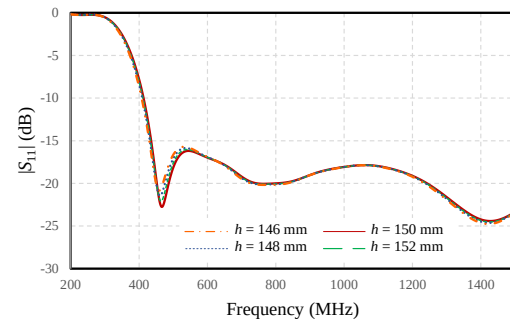
การปรับขนาดความกว้างของระนาบกราวด์และตัวสะท้อน จะทำการเพิ่มขนาดความกว้างของ g_1 โดยเริ่มตั้งแต่ที่ 160 mm ถึง 166 mm โดยจะทำการเพิ่มทีละ 2 mm จนได้ค่า $|S_{11}|$ (dB) ต่ำสุดที่ตำแหน่งที่ 160 mm ที่ความถี่ 457.31 MHz ดังแสดงในรูปที่ 5 ขนาดและพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 5 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ (dB) เมื่อปรับพารามิเตอร์ g_1

2.1.6 การปรับความสูงของตัวสะท้อน

การปรับความสูงตัวสะท้อน (h) โดยเริ่มตั้งแต่ที่ 146 mm ถึง 152 mm โดยเพิ่มทีละ 2 mm จนได้ค่า $|S_{11}|$ (dB) ต่ำสุดที่ตำแหน่งที่ 150 mm เป็นค่าที่ดีที่สุดที่ความถี่ 463.54 MHz ดังแสดงในรูปที่ 6 ขนาดและพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 6 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ (dB) เมื่อปรับพารามิเตอร์ h

ตารางที่ 3 ขนาดและพารามิเตอร์ของสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิว

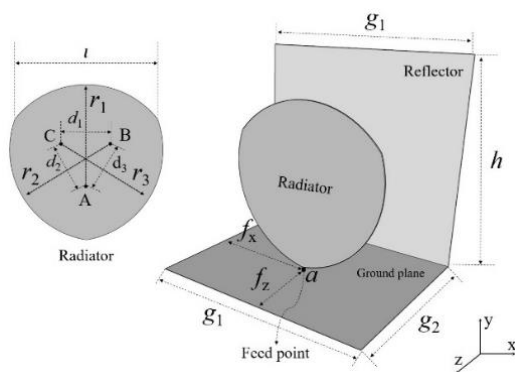
พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)	พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)
g_1	160	h	150
g_2	130	a	1

ตารางที่ 3 แสดงขนาดและพารามิเตอร์ของสายอากาศซึ่งได้จากการปรับตำแหน่งของสายอากาศความกว้างของระนาบกราวด์ ตัวสะท้อน และความสูงของตัวสะท้อน

2.2 สายอากาศที่นำเสนอ

โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวประกอบด้วยจุดตัดของวงกลมสามส่วนโดยมีการรวมกันของรัศมีของตัวแปรกระจายคลื่นคือ ΔABC คือ r_1 r_2 และ r_3 เท่ากัน ระยะห่างระหว่างจุด A B และ C คือ d_1 d_2 และ d_3 ความยาวของตัวแปรกระจายคลื่นคือ l ระนาบกราวด์และตัวสะท้อนดังแสดงในรูปที่ 7 โดยจะใช้แผ่นทองแดงมีความหนา 1 mm ในการสร้างองค์ประกอบของสายอากาศ ระนาบกราวด์และตัวสะท้อน ตัวแปรกระจายคลื่นแบบพื้นผิวเหนือระนาบกราวด์โดยสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวอยู่

ระหว่างระนาบกราวด์และตัวสะท้อน ซึ่งระนาบกราวด์และตัวสะท้อนนั้นเชื่อมต่อกันในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน ความยาวและความกว้างของระนาบกราวด์และตัวสะท้อนคือ g_1 และ g_2 ความสูงของตัวสะท้อนคือ h ระยะระหว่างสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวและระนาบกราวด์แสดงด้วย a ตำแหน่งของจุดป้อน คือ f_x และ f_z ระนาบอ้างอิงสำหรับการทดสอบถูกตั้งไว้ที่จุดป้อนตัวเชื่อมต่อ (SMA) ซึ่งอยู่ด้านล่างระนาบกราวด์ขนาดและพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 5



รูปที่ 7 โครงสร้างและขนาด

สายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวบนตัวสะท้อน

ตารางที่ 4 ขนาดและพารามิเตอร์ของสายอากาศที่นำเสนอ

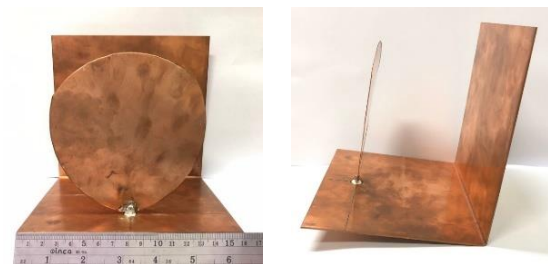
พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)	พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)
g_1	160	h	150
g_2	130	l	113
r_1, r_2, r_3	70	f_x	80
d_1	20	f_z	60
d_2, d_3	22.36	a	1

สายอากาศโมโนโพลแบบพื้นผิวที่นำเสนอนี้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าดีกว่า สามารถแพร่กระจายคลื่นได้ดีกว่าและกว้างมากกว่าแบบวงกลมและแบบสามเหลี่ยม

3. การทดสอบสายอากาศ

3.1 สายอากาศต้นแบบ

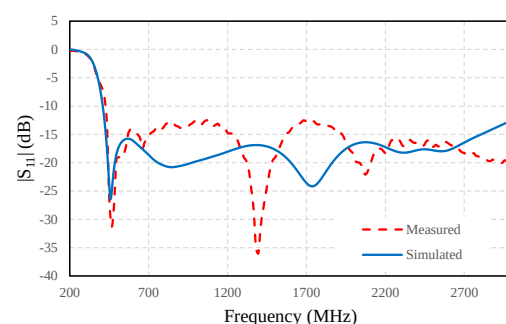
สายอากาศแถบความถี่กว้างยิ่งยวดสร้างขึ้นจากแผ่นทองแดงมีความหนา 1 mm โดยมีส่วนประกอบเป็นสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิว ระนาบกราวด์ และตัวสะท้อน ขนาดของสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวเกิดจากการซ้อนกันของวงกลม 3 วง โดยมีรัศมีวงละ 70 mm ขนาดโดยรวมของระนาบกราวด์คือ 130 mm × 160 mm และขนาดตัวสะท้อนคือ 150 mm × 160 mm ใช้คอนเนคเตอร์ N-type ในการเชื่อมต่อสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 รูปถ่ายสายอากาศที่นำเสนอ

3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศที่นำเสนอโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Agilent รุ่น 8720C การทดสอบเริ่มต้นจากการนำสายอากาศที่นำเสนอเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเพื่อทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (Scattering parameters) ทดสอบที่ความถี่ตั้งแต่ 200 MHz จนถึง 3 GHz แต่ความถี่ที่ใช้ได้จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 460 MHz จนถึง 1.3 GHz และค่าต่ำสุดอยู่ที่ความถี่ 467.6 MHz โดยผลจากการทดสอบคำนวณได้จากสมการที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 $|S_{11}|$ (dB) ของสายอากาศที่นำเสนอ

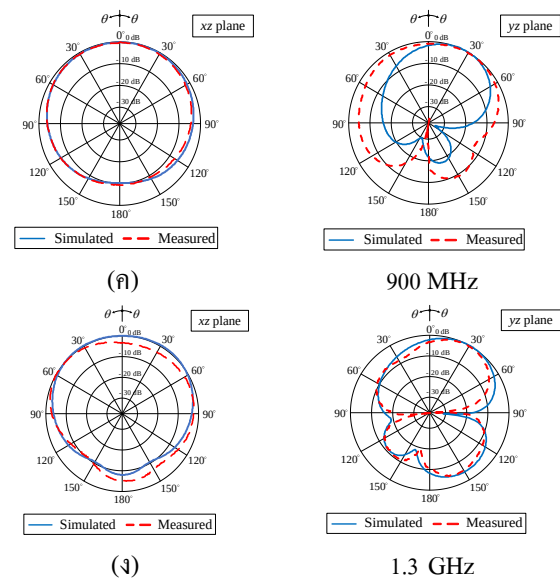
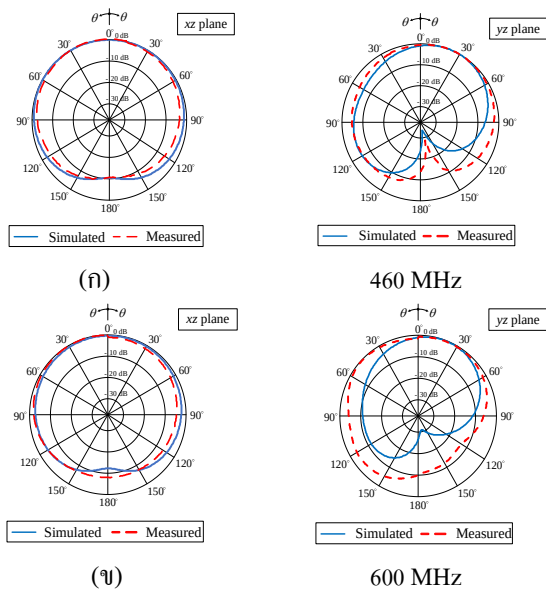
3.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ใช้ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งมีค่าเท่ากับ 1.5 m ซึ่งอยู่ในระยะของสนามระยะไกล โดยมีทิศทางสายอากาศหันหน้าเข้าหากัน ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 การทดสอบการแพร่กระจายคลื่น
ของสายอากาศ

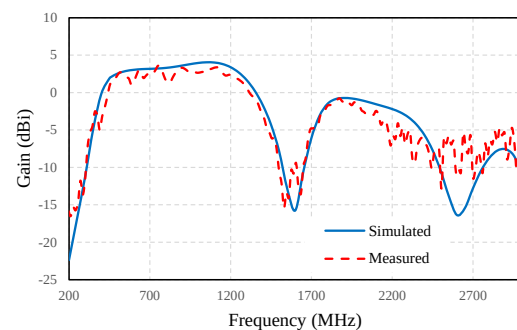
ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบ xz และระนาบ yz ที่ความถี่ตั้งแต่ 460 MHz ถึง 1.3 GHz แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบทั้งสองเป็นแบบทิศทางเดียวที่ความถี่ 460 MHz ซึ่งเหมาะสมที่สุดในการใช้งาน การแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดในทิศทางด้านหน้าของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

3.4 อัตราขยาย

อัตราขยายของสายอากาศเทียบกับความถี่แสดงดังรูปที่ 12 สายอากาศมีอัตราขยายสูงในช่วงความถี่ 460 MHz 900 MHz และ 1.3 GHz อัตราขยายของสายอากาศจะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ที่ความถี่ 900 MHz จะได้อัตราขยายสูงสุดคือ 3.62 dBi จากการจำลอง และจากการทดสอบมาจากสมการที่ 4 คือ 3.37 dBi ที่ความถี่ 1.3 GHz จะได้อัตราขยายต่ำสุดอยู่ที่ 1.66 dBi จากการจำลอง และจากการทดสอบมาจากสมการที่ 4 คือ 0.23 dBi ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 12 อัตราขยายของสายอากาศ

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศแถบความถี่กว้างยิ่งยวดที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบเรดาร์ยังเล็ก ในการออกแบบสายอากาศแถบความถี่กว้างยิ่งยวดเริ่มต้นจากงานวิจัยที่มีมาก่อน โดยเน้น

ศึกษาเฉพาะวิธีการที่ใช้ในการออกแบบ เพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์การออกแบบ จากนั้นจึงนำทฤษฎีการออกแบบมาทำการคำนวณ และจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ พบว่าความยาวและความกว้างของสายอากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า $|S_{11}|$ (dB) และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

สายอากาศที่ได้ทำการออกแบบในงานวิจัยนี้มีรูปร่างโมโนโพลเชิงพื้นผิวโดยมีระนาบกราวด์และตัวสะท้อน โดยสายอากาศนี้สร้างจากแผ่นทองแดงมีความหนา 1 mm สายอากาศนี้มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียวและมี $|S_{11}|$ (dB) ต่ำกว่า -10 dB ตลอดความถี่ตั้งแต่ 200 MHz จนถึง 3 GHz โดยช่วงความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 460 MHz จนถึง 1.3 GHz แต่ในช่วงความถี่สูงมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นอัตราขยายมีค่า 3.37 dBi จากการทดสอบที่ความถี่ 900 MHz และ 0.23 dBi จากการทดสอบที่ความถี่ 1.3 GHz ที่มุม 0 องศา

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ultra-Wideband (UWB) [Online] Available: <https://sites.google.com/site/322462wirelesspan/wireless-personal-area-network/thechnology-thi-keiywkhxng-kab-wireless-pan/ultra-wide-band-uwb?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>
- [2] "Federal Communications Commission, First Order and Report: Revision of Part 15 of The Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems," Apr. 22, 2002.
- [3] A. Ruengwaree, A. Ghose and G. Kompas, "A Novel UWB Rugby-Ball Antenna for Near Range Microwave Radar System," IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., Vol. 54, No. 6, Jun., 2006.
- [4] S. Tourette, N. Fortino, J. Y. Dauvignac and G. Kossiavas, "Compact UWB Printed Antennas for Low Frequency Applications Matched to Different Transmission Lines," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 49, No. 6, pp. 1282-1287, Jun., 2007.
- [5] J. C. Diot, P. Delmote, J. Andrieu, M. Lalande, V. Bertrand, B. Jecko, S. Colson, R. Huillerey and M. Brishoual, "A Novel Antenna for transient Application the Frequency Band 300 MHz-3 GHz: The valentine Antenna," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 3, pp. 987 - 990, Mar., 2007.
- [6] I. Hertl and M. Strycek, "UWB Antennas for Ground Penetrating Radar Application," Applied Electromagnetics and Communications, 2007, pp. 1-4, Sept., 2007.
- [7] S. Dentre, C. Phongcharoenpanich and K. Kaemarungsi "Scutcheon Antenna for UWB-GPR Applications" Thailand-Japan Microwave, 2012.
- [8] A. Ruengwaree, R. Yowuno and G. Kompas, "Novel Rugby-Ball UWB Antenna for Base Band Transmission," TELSIKS 2005, Sept. 28-30, 2005.
- [9] P. Osklang, A. Sakonkanapong, S. Dentre, K. Lertsakwimarn, C. Phongcharoenpanich and B. Luadang, "Wideband UHF Reflector Antenna for DVB Applications," Research, Invention and Innovation Congress, 2019.
- [10] M. Serhir and D. Lesselier, "Wideband Reflector-Backed Folded Bowtie Antenna for Ground Penetrating Radar," IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., Vol. 66, No. 3, Mar., 2018.