

สายอากาศสองย่านความถี่แบบแพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้น

Dual-Band Double Circular Patch Antenna on Multilayer Substrate

เนติลักษณ์ พันธุ์จัน¹ กิตติมา เลิศศักดิ์วิมาน² สุภกิต แก้วดวงตา³ พิชญ์ สุพรรณกุล¹ และ ชูวงศ์ พงศ์เจริญพานิชย์^{1,*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง ลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร 10520

²คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราชินบุรี

เนินหอม เมือง ปราชินบุรี 25230

³คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ช้างเผือก เมือง เชียงใหม่ 50300

Netilak Phanchin¹ Kittima Lertsakwimarn² Supakit Kawdungta³ Pichaya Supanakoon¹ and Chuwong

Phongcharoenpanich^{1,*}

¹School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Lat Krabang, Lat Krabang, Bangkok,

10520, Thailand

²Faculty of Industrial Technology and Management, King Mongkut's University of Technology North Bangkok,

Prachinburi Campus, Noen Hom, Muang, Prachinburi, 25230, Thailand

³Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chang Phueak, Muang,

Chiang Mai, 50300, Thailand

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

Received: Dec 13, 2021; Revised: Feb 17, 2022; Accepted: Apr 12, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอสายอากาศสองย่านความถี่สำหรับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายในช่วงความถี่ 2.4–2.5 GHz และช่วงความถี่ 5.0–5.3 GHz ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอเป็นสายอากาศแพตช์ประกอบด้วย แผ่นแพร่กระจายคลื่นวงกลมจำนวน 2 แผ่น วางซ้อนกันอยู่ด้านบนและด้านล่างของวัสดุฐานรองหลายชั้น เชื่อมถึงกันด้วยเส้นลวดและมีการป้อนสัญญาณแบบโคแอกเซียลโพรบ จากผลการออกแบบและทดสอบพบว่า สายอากาศที่นำเสนอมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ใกล้เคียง 50 Ω และมีค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ 2.4–2.5 GHz และช่วงความถี่ 5.0–5.3 GHz มีอัตราการขยายเท่ากับ 1.90 dBi ที่ความถี่ 2.45 GHz และเท่ากับ 2.36 dBi ที่ความถี่ 5.2 GHz ทั้งนี้สายอากาศสามารถใช้งานกับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายทั้งสองช่วงความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: สายอากาศสองย่านความถี่, วัสดุฐานรองหลายชั้น, สายอากาศแพตช์, เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

Abstract

This paper presents a dual-band antenna for a wireless local area network (WLAN) system with the frequency of 2.4–2.5 GHz and 5–6 GHz. The proposed antenna is a patch antenna consisting of two circular radiation plates. They are stacked above and below the multilayer substrate, connected by wire, and fed by the coaxial probe. From simulated and measured results, the proposed antenna has an input impedance close to 50 Ω and $|S_{11}|$ below -10 dB in a frequency of 2.4–2.5 GHz

and 5.0-5.3 GHz, the gain is 1.9 dBi at 2.45 GHz and 2.36 dBi at 5.2 GHz, respectively. The antenna can be effectively used in both frequency bands of wireless local area networks.

Keywords: Dual-band antenna, multilayer substrate, patch antenna and wireless local area network (WLAN).

1. บทนำ

จากความต้องการในการใช้งานเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่เพิ่มมากขึ้นจึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายในหลากหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการรับส่งสัญญาณ การลดขนาดและเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์การสื่อสารและการเพิ่มช่วงความถี่ในการใช้งาน เป็นต้น

ในการเพิ่มช่วงความถี่ใช้งานสำหรับเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายนี้เป็นการเพิ่มช่องทางการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายเพิ่มขึ้นเพื่อรองรับจำนวนผู้ใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการเพิ่มช่วงความถี่ใช้งานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ซึ่งมีความนิยมใช้งานกันอย่างกว้างขวางจากเดิมมีการใช้งานในช่วงความถี่ 2.4-2.5 GHz แต่ในปัจจุบันได้มีการขยายการใช้งานเพิ่มขึ้นในช่วงความถี่ 5-6 GHz ตามมาตรฐาน IEEE802.11 [1] จะเห็นได้ว่าการเพิ่มช่องสัญญาณดังกล่าวทำให้สามารถมีช่องทางการติดต่อสื่อสารสำหรับใช้งานมากยิ่งขึ้นและเป็นผลกระทบไปถึงการออกแบบและสร้างอุปกรณ์การสื่อสารให้สามารถรองรับช่วงความถี่ใช้งานที่เพิ่มขึ้นด้วยยกตัวอย่างเช่น ตัวกระจายสัญญาณ (Access Point) ยี่ห้อ Cisco รุ่น Aironet 1140 ที่สามารถรองรับการกระจายสัญญาณสองช่วงความถี่ [2] ทั้ง 2.4-2.5 GHz และ 5-6 GHz เป็นต้น ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าสายอากาศเป็นส่วนสำคัญของการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย หากสายอากาศไม่สามารถที่จะรองรับหรือตอบสนองการใช้งานตามช่วงความถี่ได้ก็จะไม่สามารถที่จะทำการติดต่อสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงทำให้มีการศึกษาค้นคว้าในบทความทางวิชาการต่างๆ เกี่ยวกับการออกแบบสายอากาศสองย่านความถี่ที่สามารถรองรับการใช้งานช่วงความถี่ที่เพิ่มขึ้นมาได้ดังจะกล่าวต่อไปนี้ โดย A. H. Rambe และคณะ [3] ได้มีการนำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีรายละเอียดน้อยด้วยการใช้วิธีการ

ป้อนสัญญาณที่ขอบข้างและการัดขอบของแผ่นแพร่กระจายสัญญาณซึ่งสายอากาศที่นำเสนอสามารถตอบสนองความถี่ 1.8 GHz และ 2.4 GHz ถัดมาได้มีการนำเสนอโครงสร้างเรโซเนเตอร์วงแหวนแยกเสริม (Complementary Split Ring Resonator: CSRR) วางไว้บนระนาบกราวด์และทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ใหม่คือที่ความถี่ 3.54 GHz และ 6.72 GHz [4] และยังมีการใช้โครงสร้างการป้อนสัญญาณด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วม (Coplanar Waveguide: CPW) และสายอากาศโมโนโพลหลายแผ่นทำให้สามารถได้การตอบสนองหลายช่วงความถี่และสามารถนำไปใช้งานได้กับระบบวายแมกซ์ (WiMax) และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย [5] นอกจากนี้ยังมีการมุ่งเน้นที่จะนำเสนอการออกแบบสายอากาศสองย่านความถี่สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายอีกด้วยยกตัวอย่างเช่น มีการนำเสนอสายอากาศไมโครสตริปแบบเส้นคดเคี้ยวร่วมกับการปรับรูปร่างของระนาบกราวด์ [6] ทำให้สามารถตอบสนองช่วงความถี่ 2.4-2.48 GHz และ 5.15-5.35 GHz ได้ ในเอกสารอ้างอิงที่ [7] ได้มีการนำเสนอสายอากาศที่มีขนาดกะทัดรัดด้วยโครงสร้างช่องเปิดวงกลมและมีการป้อนสัญญาณด้วยวิธีการเชื่อมต่อผ่านวัสดุฐานรองและสายอากาศที่นำเสนอมีช่วงความถี่ 2.4-2.485 GHz และ 5.15-5.825 GHz

อีกทั้งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาสายอากาศสองย่านความถี่สำหรับช่วงความถี่ Sub-6 GHz เพิ่มขึ้นเช่นในเอกสารอ้างอิงที่ [8] ได้มีการนำเสนอสายอากาศสองย่านความถี่ที่สามารถตอบสนองช่วงความถี่ 3.28-3.71 GHz และ 4.8-5.18 GHz อีกทั้งยังมีโพลาริซสองแบบร่วมกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางด้วยอัตราขยายสูงถึง 8.34 dBi สายอากาศนี้ใช้เทคนิคโครงสร้างของสายอากาศแพตช์ (Patch antenna) ร่วมกับช่องเปิดด้วยการป้อนสัญญาณ 4 จุด และได้มีการใช้เทคนิคที่คล้ายกันในเอกสารอ้างอิงที่ [9] และในเอกสารอ้างอิงที่ [10] ยังได้มีการนำเสนอเทคนิคเรโซเนเตอร์แบบไดอิเล็กตริกในโครงสร้างของสายอากาศ

แพตช์ซึ่งสามารถทำให้สายอากาศทำงานได้สองย่านความถี่ คือ 3.35–3.62 GHz และ 4.99–5.15 GHz ด้วยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางด้วยอัตราขยายเท่ากับ 5.5 dBi และ 6.75 dBi ตามลำดับ

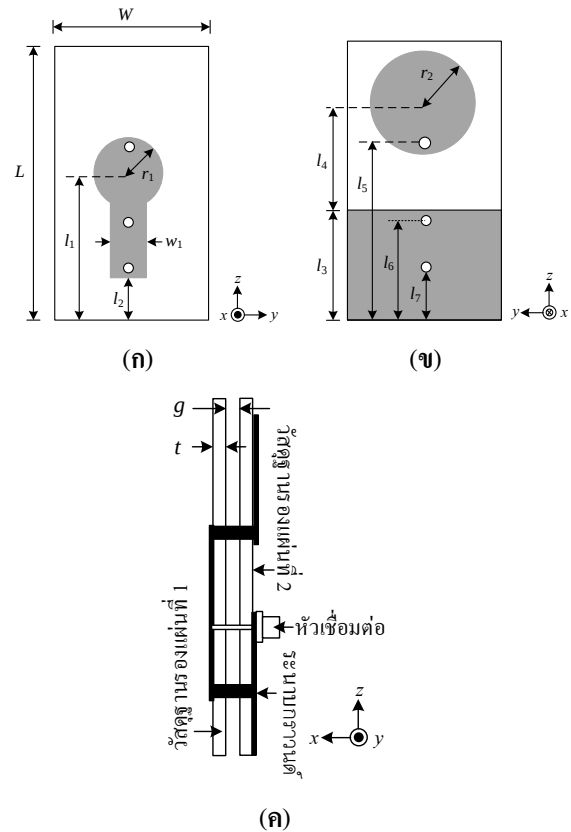
นอกจากมีการนำเสนอการออกแบบสายอากาศสองย่านความถี่ทั่วไปแล้ว ยังมีการนำเสนอสายอากาศสองย่านความถี่ที่มีขนาดเล็กด้วยเทคนิควิธีการลดขนาดโดยรวมของสายอากาศด้วยวิธีเส้นคดเคี้ยวและสายอากาศแบบเอพฟ์หัวกลับ (Planar Inverted-F Antenna : PIFA) [11],[12] และการใช้โครงสร้างวงแหวนกับเรโซเนเตอร์เพื่อการลดขนาด [13],[14]

จากบทความวิจัยที่ได้กล่าวผ่านมาแล้วนั้นจะเห็นได้ว่าสายอากาศสองย่านความถี่สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายในช่วงความถี่ 2.4–2.5 GHz และ 5–6 GHz นั้นมีความจำเป็นอย่างมากและที่สำคัญตัวสายอากาศจะต้องมีขนาดเล็กกะทัดรัดอีกด้วย ดังนั้นบทความนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศแพตช์วงกลมคู่วางตัวบนวัสดุฐานรองหลายชั้นเพื่อให้สายอากาศมีขนาดกะทัดรัดและสามารถตอบสนองได้สองย่านความถี่

2. โครงสร้างและส่วนประกอบของสายอากาศ

แพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้น

สายอากาศแพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นได้ถูกนำเสนอในบทความนี้โดยมีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยวัสดุฐานรอง 3 ชั้น คือ ชั้นที่ 1 และ 3 เป็นวัสดุฐานรองชนิด FR4 มีความหนา 1.6 mm และมีค่า ϵ_r เท่ากับ 4.3 และชั้นที่ 2 เป็นช่องว่างอากาศมีระยะห่างเท่ากับ 1.27 mm โดยแผ่นวงกลมที่ 1 กับสายนำสัญญาณแบบไมโคร สตรีปวางอยู่บนวัสดุฐานรองชั้นที่ 1 และแผ่นวงกลมที่ 2 กับระนาบกราวด์วางอยู่ด้านล่างของวัสดุฐานรองชั้นที่ 3 มีการป้อนสัญญาณด้วยโพรบและมีการเชื่อมต่อแผ่นวงกลมทั้งสองแผ่นผ่านวัสดุฐานรองทั้ง 3 ชั้นด้วยลวดตัวนำ อีกทั้งยังมีการใช้เทคนิคการลัดวงจรที่ปลายสายนำสัญญาณแบบไมโคร สตรีปไปยังระนาบกราวด์เพื่อให้สายอากาศมีขนาดกะทัดรัดดังแสดงรายละเอียดใน **รูปที่ 1** และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นดังแสดงใน **ตารางที่ 1**



รูปที่ 1 สายอากาศแพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้น
(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง (ค) ด้านข้าง

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของสายอากาศแพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้น

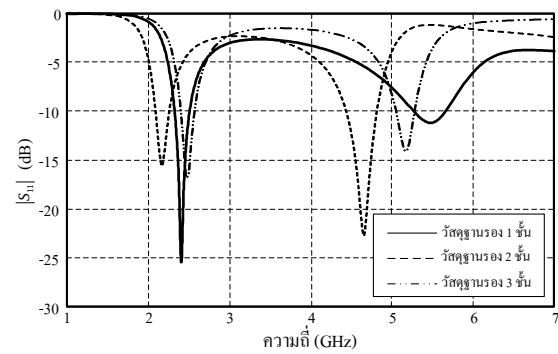
พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาด (mm)
W	ความกว้างของสายอากาศ	20
L	ความยาวของสายอากาศ	30
w_1	ความกว้างของสายนำสัญญาณไมโคร สตรีป	5
l_1	ระยะของแผ่นวงกลมด้านหน้า	15.5
l_2	ระยะห่างของสายนำสัญญาณไมโคร สตรีป	5
l_3	ความยาวของระนาบกราวด์	11.5
l_4	ระยะของแผ่นวงกลมด้านหลัง	10.7
l_5	ระยะของจุดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นวงกลม	17.5
l_6	ระยะของจุดป้อนสัญญาณ	10.55

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของสายอากาศแพทช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้น (ต่อ)

พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาด (mm)
l_7	ระยะของจุดตัดวงจรร	6.5
r_1	รัศมีของแผ่นวงกลมด้านหน้า	6.4
r_2	รัศมีของแผ่นวงกลมด้านหลัง	11.6
g	ระยะห่างของวัสดุฐานรอง	1.27
t	ความหนาของวัสดุฐานรอง	1.6

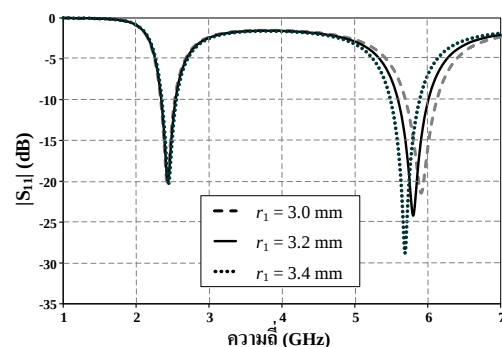
3. ผลการจำลอง

จากโครงสร้างของสายอากาศแพทช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นดังแสดงในรูปที่ 1 ในการออกแบบสายอากาศที่น่าเสนอจะเริ่มจากการออกแบบสายอากาศแพทช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองแบบ FR4 ชั้นเดียวที่มีความหนา 1.6 mm [15] ซึ่งเป็นความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีจำหน่ายทั่วไปและมีการป้อนสัญญาณแบบโพรบ [16] พบว่าค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศสามารถที่จะตอบสนองความถี่ได้ดีในช่วงความถี่ 2.4-2.5 GHz แต่ในช่วงความถี่ 5-6 GHz ไม่สามารถที่จะตอบสนองได้ดีดังแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นทำการเพิ่มวัสดุฐานรองชั้นเดียวความหนา 1.6 mm เป็นวัสดุฐานรอง 2 ชั้นและมีความหนารวม 3.2 mm พบว่าผลตอบสนองทางความถี่สามารถที่จะตอบสนองสองย่านความถี่ได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการมีวัสดุฐานรองชั้นเดียวแต่ยังมีช่วงกว้างความถี่แคบ จึงได้ทำการปรับปรุงด้วยการแยกวัสดุฐานรอง 2 ชั้นที่มีความหนา 3.2 mm ออกจากกันด้วยระยะห่าง g และพิจารณาให้วัสดุฐานรองแต่ละชั้นมีความหนาเท่ากับ 1.6 mm ก็จะกลายมาเป็นสายอากาศแพทช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรอง 3 ชั้น จากผลของ $|S_{11}|$ พบว่า สายอากาศสามารถที่จะตอบสนองได้ดีในช่วงความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz จากผลที่ได้ในบทความนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการออกแบบสายอากาศแพทช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นเพื่อให้สายอากาศสามารถตอบสนองได้ใน 2 ช่วงความถี่สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

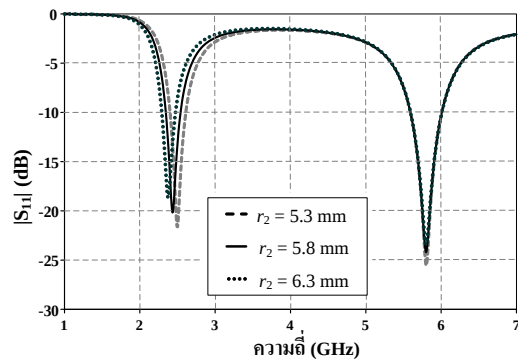


รูปที่ 2 ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศแพทช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นเมื่อทำการปรับเปลี่ยนวัสดุฐานรอง

จากนั้นได้ทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศโดยจะทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญของสายอากาศคือ r_1 , r_2 และ l_7 จากผลการจำลองแสดงในรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 แสดงการปรับค่าพารามิเตอร์ r_1 และ r_2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับค่ารัศมี r_1 (แผ่นวงกลมเล็กด้านหน้า) จะทำให้เรโซแนนซ์เปลี่ยนแปลงที่ช่วงความถี่ 5-6 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่สูง จึงสามารถที่จะยืนยันได้ว่าแผ่นวงกลมเล็กบนวัสดุฐานรองด้านบนจะให้การตอบสนองที่ช่วงความถี่สูง ถัดมาเมื่อทำการปรับค่ารัศมี r_2 (แผ่นวงกลมใหญ่ด้านล่าง) จะทำให้เรโซแนนซ์เปลี่ยนแปลงที่ช่วงความถี่ 2-3 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ต่ำกว่าจึงสามารถที่จะยืนยันได้ว่าแผ่นวงกลมใหญ่บนวัสดุฐานรองด้านล่างจะให้การตอบสนองที่ช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า จากการศึกษาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้แล้ว สามารถที่จะใช้เป็นแนวทางในการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศที่น่าเสนอได้เพื่อให้สามารถที่จะตอบสนองได้ทั้งสองย่านความถี่

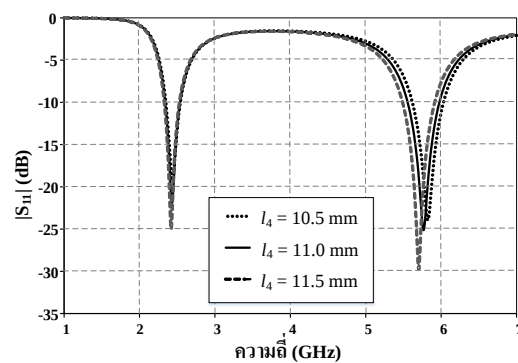


รูปที่ 3 ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศแพทช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นเมื่อทำการปรับเปลี่ยน ค่าพารามิเตอร์ r_1



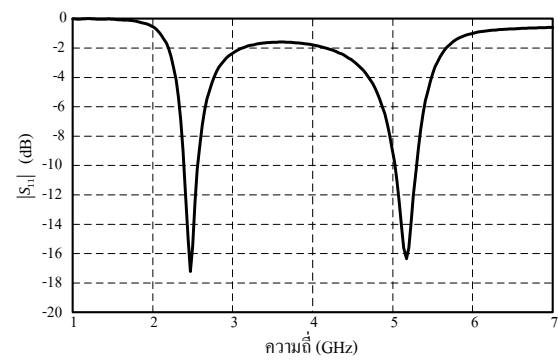
รูปที่ 4 ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศแพทช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นเมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ r_2

สุดท้ายในการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ l_4 จากผลที่แสดงในรูปที่ 5 พบว่าสามารถทำให้ค่าเรโซแนนซ์เปลี่ยนแปลงได้ทั้งช่วงความถี่สูงและความถี่ต่ำควบคู่กันไป

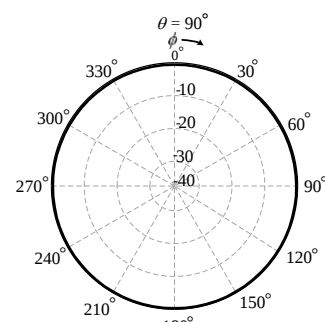


รูปที่ 5 ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศแพทช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นเมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ l_4

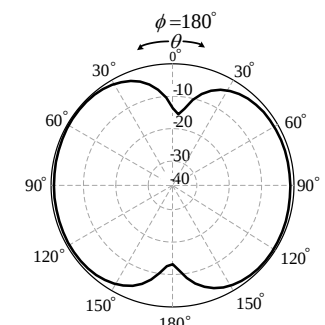
แต่อย่างไรก็ตามเมื่อได้แนวทางจากการศึกษาค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เรียบร้อยแล้วได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอีกครั้ง ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแพทช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นดังแสดงในตารางที่ 1 และได้ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ และผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังแสดงในรูปที่ 6 และ รูปที่ 7 ตามลำดับ



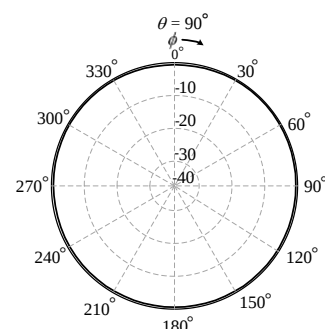
รูปที่ 6 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศแพทช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้น



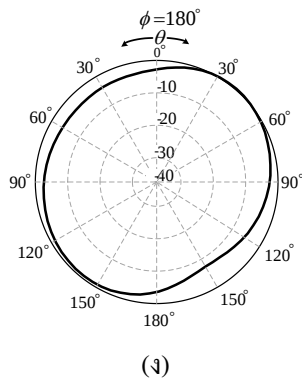
(ก)



(ข)

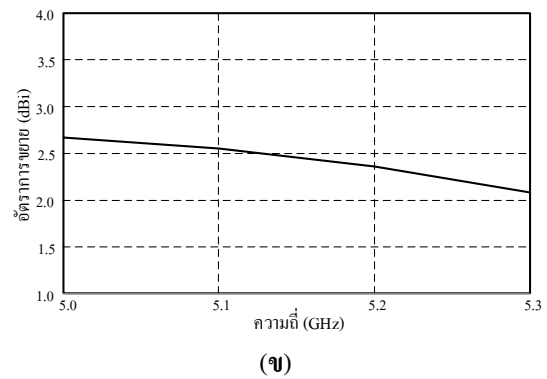
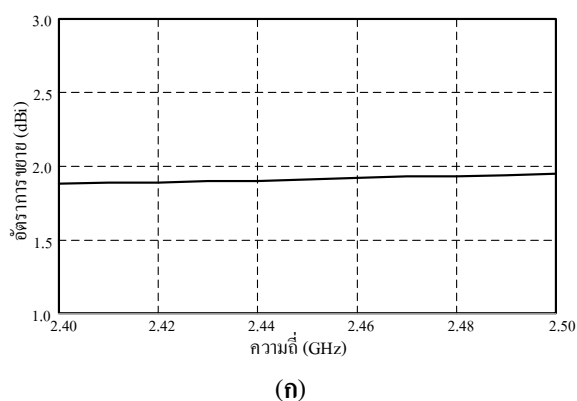


(ค)



รูปที่ 7 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ
สายอากาศแพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้น (ก)
ระนาบ xy (2.45 GHz) (ข) ระนาบ xz (2.45 GHz) (ค)
ระนาบ xy (5.2 GHz) (ง) ระนาบ xz (5.2 GHz)

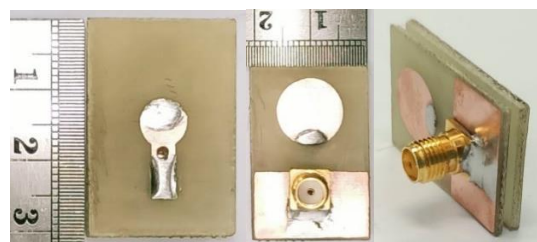
จาก**รูปที่ 6** ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศแพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้น พบว่าสามารถตอบสนองได้ 2 ช่วงความถี่คือ มีค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ที่ช่วงความถี่ 2.38–2.57 GHz และช่วงความถี่ 5.0–5.3 GHz ซึ่งมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่รอบทิศทางด้วยอัตราการขยายเท่ากับ 1.90 dBi ที่ความถี่ 2.45 GHz ดังแสดงใน**รูปที่ 7(ก)–(ข)** ในส่วนของความถี่ 5.2 GHz ก็ยังคงมีลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบที่รอบทิศทางด้วยอัตราการขยายเท่ากับ 2.36 dBi ดังแสดงใน**รูปที่ 7(ค)–(ง)** จากนั้นมาพิจารณาอัตราการขยายตลอดช่วงความถี่สำหรับช่วงความถี่ 2.38–2.57 GHz และ 5.0–5.3 GHz พบว่ามีอัตราการขยายที่ใกล้เคียงกันตลอดย่านความถี่ ดังแสดงใน**รูปที่ 8** จากนั้นจะนำค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นที่ได้ไปสร้างและทดสอบในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 8 อัตราการขยายของสายอากาศแพตช์วงกลมคู่บน
วัสดุฐานรองหลายชั้น (ก) ช่วงความถี่ 2.4–2.5 GHz
(ข) ช่วงความถี่ 5.0–5.3 GHz

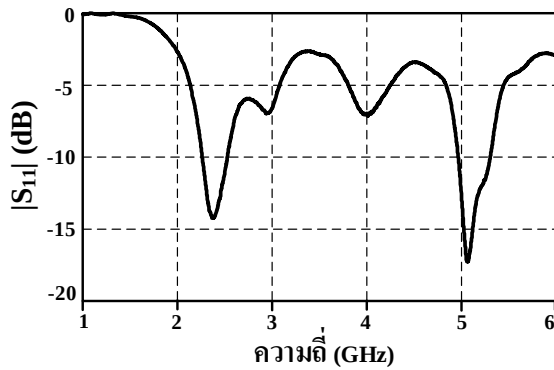
4. ผลการทดสอบ

ในหัวข้อนี้เป็นการนำผลที่ได้จากการจำลองมาสร้างสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบคุณสมบัติ โดยสายอากาศแพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นที่ได้ทำการออกแบบถูกสร้างขึ้นดังแสดงใน**รูปที่ 9** โดยถูกสร้างจากแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 ที่มีความหนา 1.6 mm และมีค่า ϵ_r เท่ากับ 4.3 จำนวน 2 แผ่น แผ่นแรกถูกใช้เป็นแผ่นวัสดุฐานรองชั้นบนแผ่นที่ 1 ด้านบนถูกกัดเป็นรูปวงกลมขนาดเล็กที่มีการป้อนสัญญาณเข้าด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริป ร่วมกับการป้อนสัญญาณแบบโพรบและวัสดุฐานรองแผ่นที่สอง ด้านหลังถูกกัดให้เป็นแผ่นวงกลมขนาดใหญ่และระนาบกราวด์ เมื่อนำทั้งสองแผ่นมาเชื่อมต่อกันด้วยลวดตัวนำและเว้นระยะห่างเป็นช่องว่างอากาศก็จะได้เป็นสายอากาศแพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรอง 3 ชั้น คือชั้นที่ 1 เป็น FR4 ชั้นที่ 2 เป็นอากาศ และ ชั้นที่ 3 เป็น FR4 จากนั้นจึงนำสายอากาศต้นแบบนี้ไปทดสอบค่า $|S_{11}|$ และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย



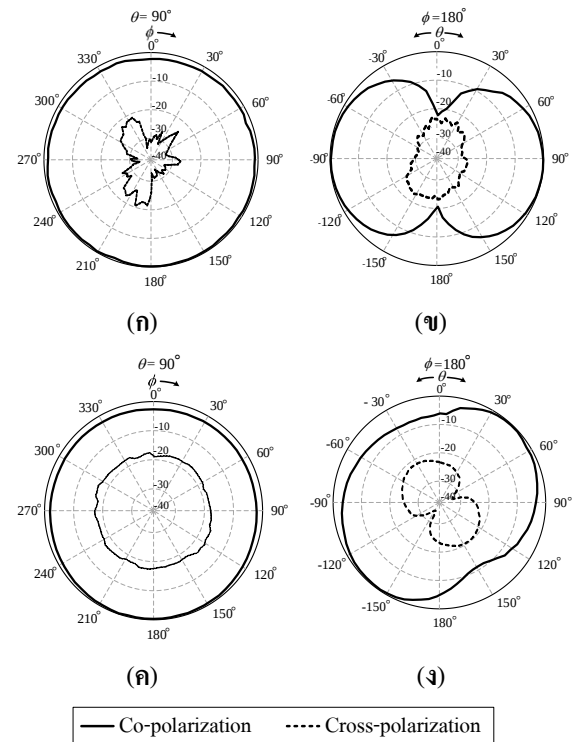
รูปที่ 9 ต้นแบบสายอากาศแพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรอง
หลายชั้น

จากผลการทดสอบค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศไมโคร สตรีปวงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นต้นแบบได้ผลการ ทดสอบดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่าสายอากาศต้นแบบ สามารถที่จะเรโซแนนซ์ในช่วงความถี่ 2.26–2.53 GHz และ ที่ช่วงความถี่ 4.97–5.30 GHz



รูปที่ 10 ผลการทดสอบค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศไมโคร สตรีปวงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้น

รูปที่ 11 แสดงผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจาย คลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz และ 5.2 GHz ในระนาบ xy และ ระนาบ xz พบว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบ กึ่งรอบทิศทางทั้งสองความถี่ แต่อย่างไรก็ตาม ที่ความถี่ 5.2 GHz แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีลักษณะเอียงไป จากมุมหลักประมาณ 45 องศา และมีอัตราขยาย เท่ากับ 1.80 dBi ที่ความถี่ 2.45 GHz และเท่ากับ 2.21 dBi ที่ความถี่ 5.2 GHz ตามลำดับ ทั้งนี้ได้แสดงแบบรูปการ แพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polarization) เปรียบเทียบกับ โดยการใช้สายอากาศส่งเป็นแบบ โพลาไรซ์เชิงเส้นและสายอากาศรับเป็นสายอากาศ ต้นแบบที่นำเสนอแล้วทำการทดสอบแบบรูปการ แพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้ของสายอากาศ ต้นแบบแสดงในรูปที่ 11 พบว่า สายอากาศต้นแบบมีค่า โพลาไรซ์ไขว้ค่อนข้างต่ำและยังแสดงให้เห็นว่า สายอากาศที่นำเสนอมีโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น



รูปที่ 11 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ สายอากาศแพตช์วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้น (ก) ระนาบ xy (2.45 GHz) (ข) ระนาบ xz (2.45 GHz) (ค) ระนาบ xy (5.2 GHz) (ง) ระนาบ xz (5.2 GHz)

จากผลการออกแบบของสายอากาศแพตช์วงกลมคู่บน วัสดุฐานรองหลายชั้นที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ สายอากาศสองย่านความถี่ที่มีการนำเสนอในบทความทาง วิชาการต่างๆ พบว่ามีจุดเด่นคือ มีขนาดโครงสร้างเล็ก กะทัดรัด สามารถตอบสนองได้สองย่านความถี่ด้วยแบบ รูปการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศที่ นำเสนอกับสายอากาศสองย่านความถี่ที่มีมาก่อน

สายอากาศ	ช่วงความถี่	อัตราขยาย	ขนาด (mm ²)
[6]	2.4–2.48 GHz และ 5.15–5.35 GHz	5.3 dBi (2.45 GHz) และ 3.7 dBi (5.25 GHz)	31 × 7.5

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศที่นำเสนอกับสายอากาศสองย่านความถี่ที่มีมาก่อน(ต่อ)

สายอากาศ	ช่วงความถี่	อัตราขยาย	ขนาด (mm ²)
[7]	2.4–2.485 GHz และ 5.15–5.825 GHz	3.2 dBi (2.45 GHz) และ 5.5 dBi (5.5 GHz)	40 × 40
[8]	3.28–3.71 GHz และ 4.8–5.18 GHz	8.34 dBi (3.5 GHz) และ 8.7 dBi (4.9 GHz)	42 × 42
[9]	3.4–3.6 GHz และ 4.8–5 GHz	5 dBi (3.5 GHz) และ 5.5 dBi (4.9 GHz)	-
[10]	3.35–3.62 GHz และ 4.99–5.15 GHz	5.5 dBi (3.5 GHz) และ 6.75 dBi (5 GHz)	-
สายอากาศที่นำเสนอ	2.26–2.53 GHz และ 4.97–5.30 GHz	1.8 dBi (2.45 GHz) และ 2.21 dBi (5.2 GHz)	20 × 30

5. สรุป

จากการออกแบบและสร้างสายอากาศแพดช่วงกลมคู่บนวัสดุฐานรองหลายชั้นที่สามารถตอบสนองสองย่านความถี่สำหรับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (IEEE 802.11ac) ในช่วงความถี่ 2.4–2.5 GHz และช่วงความถี่ 5.0–5.3 GHz พบว่าสายอากาศที่นำเสนอมีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นแพร่กระจายคลื่นวงกลมจำนวน 2 แผ่น วางซ้อนกันอยู่ด้านบนและด้านล่างวัสดุฐานรองหลายชั้นเชื่อมถึงกันด้วยเส้นลวดและมีการป้อนสัญญาณแบบโคแอกเซียลโพรบ จากผลการจำลองและทดสอบพบว่า สายอากาศที่นำเสนอมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ใกล้เคียง 50Ω และมีค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ 2.26–2.53 GHz และในช่วงความถี่ 4.97–5.30 GHz มีอัตราขยายเท่ากับ 1.80 dBi ที่ความถี่ 2.45 GHz และเท่ากับ 2.21 dBi ที่ความถี่ 5.2 GHz และมีค่าโพลาไรซ์ไขว้ต่ำ

ทั้งนี้สายอากาศสามารถใช้งานกับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายทั้งสองช่วงความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Banerji and R. S. Chowdhury, "On IEEE 802.11: Wireless LAN Technology," *International Journal of Mobile Network Communications & Telematics (IJMNCT)*, vol. 3, no. 4, pp. 1–20, 2013, doi: 10.48550/arXiv.1307.2661.
- [2] Cisco Aironet 1140 Series Access Point, Cisco Public Information, 2010. [Online]. https://www.cisco.com/c/dam/global/ko_kr/assets/pdf/Cisco_Aironet1140_Series_Access_Point.pdf.
- [3] A. H. Rambe and K. Abdillah, "A Low Profile Rectangular Patch Microstrip Antenna for Dualband Operation of Wireless Communication System," in *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2018, pp. 1–6, doi: 10.1088/1757-899X/309/1/012046.
- [4] H. Yao, X. Liu, H. Zhu, H. Li, G. Dong and K. Bi, "Dual-Band Microstrip Antenna Based on Polarization Conversion Metasurface Structure," *Frontiers in Physics*, vol. 8, pp. 1–6, 2020, doi: 10.3389/fphy.2020.00279.
- [5] A. Z. Manouare, S. Ibnyaich, A. E. Idrissi A. Ghammaz and N. A. Touhami, "A Compact Dual-Band CPW-Fed Planar Monopole Antenna for 2.62–2.73 GHz Frequency Band, WiMAX and WLAN Applications," *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, vol. 16, no. 2, pp. 567–576, 2017.
- [6] A. Khaleghi, "Dual Band Meander Line Antenna for Wireless LAN Communication," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 3, pp. 1004–1009, 2007, doi: 10.1109/TAP.2007.891873.
- [7] W. Ren, "Compact Dual-Band Slot Antenna for 2.4/5 GHz WLAN Applications," *Progress In*

- Electromagnetics Research B*, vol. 8, pp. 319–327, 2008, doi: 10.2528/PIERB08071406.
- [8] Y. Li, Z. Zhao, Z. Tang and Y. Yin, “Differentially Fed, Dual-Band Dual-Polarized Filtering Antenna with High Selectivity for 5G Sub-6 GHz Base Station Applications,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 68, no. 4, pp. 3231–3236, 2020, doi: 10.1109/TAP.2019.2957720.
- [9] Y. Y. Liu, X. Y. Zhang and S. J. Yang, “Compact Dual-Band Dual-Polarized Filtering Antenna for 5G Base Station Applications,” presented at 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Osaka, Japan, Jan 25–28, 2021, doi: 10.23919/ISAP47053.2021.9391214.
- [10] C. Wang, Z. Han, H. Liu, X. Zhang and L. Wang, “A Dual-band Filtering Dielectric Resonator Antenna,” in 2020 9th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), Xiamen, China, Aug. 4–7, 2020, doi: 10.1109/APCAP50217.2020.9246127.
- [11] M. Abioghli, “Miniaturized Dual-Band Antenna for 2.4/5.8GHz WLAN Operation in the Notebook Computer,” *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 5, no. 12, pp. 1636–1640, 2011.
- [12] M. Md. Shukor, M. Z. A. Abd. Aziz, B. H. Ahmad, M. K. Suaidi and M. A. Othman, “Design of Dual Band Antenna for WLAN Application,” *Jurnal Teknologi(Sciences & Engineering)*, vol. 67, no. 3, pp. 71–77, 2014, doi: 10.11113/jt.v67.2767.
- [13] S. C. Basaran, “Compact Dual-Band Split-Ring Antenna for 2.4/5.2 GHz WLAN Applications,” *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, vol. 20, no. 3, pp. 347–352, 2012, doi: 10.3906/elk-1003-9.
- [14] U. Deepaka, T. K. Roshnaa and P. Mohanan, “A Dual Band SIR Coupled Dipole Antenna for 2.4/5.2/5.8 GHz Applications,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 4, pp. 1514–1520, 2015, doi: 10.1109/TAP.2015.2393876.
- [15] S. Kawdungta and C. Phongcharoenpanich, “MFOA-integrated Modified Inverted F-based Adaptive Array Antenna for 2.4 GHz Band Applications,” *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 26, no. 9, pp. 784–795, 2016, doi: 10.1002/mmce.21030.
- [16] C. A. Balanis, “Microstrip Antennas,” in *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2005, ch. 14, sec. 14.1.2, pp. 813–815.