

การออกแบบสายอากาศช่องเปิดสองความถี่ด้วยวิธี FDTD  
สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย  
Design of Dual Frequency Slot Antenna using FDTD Method  
for WLAN Applications

เทพ เกื้อทวีกุล

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Thep Kueathaweekun

Faculty of Industrial Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

## บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการศึกษาและออกแบบสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีคุณสมบัติเรโซแนนซ์ที่สองย่านความถี่ คือ ความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz สำหรับใช้งานกับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) สายอากาศที่นำเสนอนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธี FDTD โดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณลักษณะของสายอากาศ ประกอบด้วย ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) อินพุตอิมพีแดนซ์ ( $Z_{in}$ ) อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR) ความหนาแน่น และแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกล เป็นต้น ผลที่ได้จากการจำลอง ได้สองความถี่เรโซแนนซ์ โดยแบนด์วิดท์สามารถครอบคลุมแถบความถี่ที่ต้องการได้ ตามมาตรฐานของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย IEEE 802.11b/g (2.4-2.48 GHz) และ IEEE 802.11a (5.15-5.35 GHz) และแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลทั้งสองความถี่เป็นแบบ 2 ทิศทาง

**คำสำคัญ :** สายอากาศช่องเปิด สองความถี่ โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN)

## Abstract

This paper presents the study and design of slot antenna fed by coplanar waveguide (CPW) for 2.4 GHz and 5.2 GHz Wireless Local Area Network (WLAN). This antenna is analyzed by using the Finite Difference Time Domain (FDTD) method. The effect cause by vary the width of slot are studied, such as: return loss, input impedance, VSWR, density, far-field radiation pattern, respectively. The simulated results can be obtained impedance bandwidth for two operating bands can cover the required bandwidths of IEEE 802.11 b/g (2.4-2.483 GHz) and IEEE 802.11 a (5.15-5.35 GHz) WLAN standard. The far-field radiation patterns of two resonance frequencies are bi-directional.

**Keyword :** Slot Antenna, Dual Frequency, Wireless Local Area Network (WLAN)

## บทนำ

ปัจจุบันระบบการสื่อสารข้อมูลข่าวสารแบบไร้สายได้มีการพัฒนา และเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วไม่ว่าจะเป็น การสื่อสารดาวเทียม ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ และโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) เป็นต้น โดยการสื่อสารข้อมูลเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ใช้ความถี่ในย่านความถี่ไมโครเวฟ ในการรับ-ส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุทั้งสิ้น ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Communication Systems) แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ตามระยะทางของการติดต่อสื่อสาร คือ โครงข่ายไร้สายระดับบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN) โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) และ โครงข่ายบริเวณกว้างไร้สาย (Wireless Wide Area Network :WWAN) เป็นต้น ระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายนับเป็นการสื่อสารหนึ่งในปัจจุบันที่มีการใช้กันแพร่หลายมากขึ้นเป็นลำดับ เนื่องจากระบบนี้มีความยืดหยุ่นสูง เพราะว่าเป็นระบบที่ใช้คลื่นวิทยุ ในการรับ-ส่งข้อมูล โดยการสื่อสารนี้ถูกกำหนดไว้ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g ในการรับและส่งข้อมูลข่าวสาร สายอากาศนับได้ว่าเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญในการเชื่อมโยงกับระบบการสื่อสารเพื่อรับ-ส่งข้อมูลข่าวสารในปัจจุบันที่มีความเป็นมัลติมีเดียมากขึ้น สายอากาศชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการเชื่อมโยงเพื่อใช้รับ-ส่งข้อมูลข่าวสารในย่านความถี่ไมโครเวฟ คือสายอากาศแบบไมโครสตริป ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบอื่น ๆ

หลายปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายคนได้ออกแบบและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) โดยมีการศึกษาและพัฒนาในหลากหลายรูปแบบ และรูปแบบการป้อนสัญญาณที่แตกต่างกัน เช่น สายอากาศช่องเปิดแบบวงแหวน (Xianming & Chia, 2002) สายอากาศแบบไดโพล (Chen, et al., 2004) รูปตัวอักษรเอฟ (Yeh & Wong, 2002) รูปตัวแอล (Chen & Lin, 2003) รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Chulvanich, et al., 2007 and Chavan, et al., 2013) รูปตัววี (Kumar, et al.,

2013) และสายอากาศช่องเปิดรูปหกเหลี่ยม (Sanchita, et al., 2013) เป็นต้น แต่สำหรับสายอากาศที่กล่าวมานั้นค่อนข้างจะมีข้อจำกัดกล่าวคือ มีรูปแบบที่ค่อนข้างซับซ้อน และการทำแม่ตซ์ซึ่งทำได้ยาก ดังนั้นในการออกแบบสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมในงานวิจัยฉบับนี้มีข้อดีคือ มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน รองรับกับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ที่ถูกกำหนดภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b/g และสามารถทำแม่ตซ์ซึ่งได้ง่ายโดยการปรับขนาดของสายอากาศซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในลำดับถัดไป

## วัตถุประสงค์

การออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศแบบช่องเปิดสองความถี่เพื่อให้สามารถรองรับกับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11a/b/g

## วิธีการวิจัย

1. การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดที่ป้อนสัญญาณโดยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม สิ่งที่จะต้องทำเป็นอันดับแรก คือ การเลือกชนิดของวัสดุฐานรอง (Substrate) เพื่อนำเอาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ มาใช้ในการคำนวณหาความกว้างของ CPW ค่าความยาวคลื่นสัมพันธ์ ( $\lambda_g$ ) ความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการออกแบบ และการออกแบบจำลองสายอากาศด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่องจำกัดในโดเมนเวลา (FDTD) ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามลำดับดังนี้

การออกแบบสายอากาศในงานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้วัสดุฐานรอง (Substrate) แบบ RT/duroid 5880 ซึ่งมีค่าคุณสมบัติดังนี้คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ( $\epsilon_r$ ) เท่ากับ 2.20 Loss tangent ( $\tan \delta$ ) เท่ากับ 0.0009 ค่าความนำของวัสดุตัวนำ (ทองแดง)  $\sigma$  เท่ากับ  $4.9 \times 10^7$  s/m ความหนา (สูง) ของวัสดุฐานรอง ( $h$ ) เท่ากับ 1.575 มิลลิเมตร และ ความหนาของวัสดุตัวนำ  $t$  เท่ากับ 0.017 มิลลิเมตร ตามลำดับ

การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม มีพารามิเตอร์สำคัญที่เป็นตัวกำหนดความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการ คือ ความยาวรวมทั้งหมดของวงรอบช่องเปิด การออกแบบสายอากาศในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบสายอากาศสองความถี่ที่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz โดยค่าความยาวที่ทำการคำนวณนั้นจะมีการอ้างอิงกับความยาวคลื่นสัมพันธ์ ( $\lambda_g$ ) (Krairiksh & Kiranon, 1997, Rojarayanont, 1991 and Balanis, 2005) ของความถี่แรก คือ ความถี่ 2.4 GHz เพียงอย่างเดียวเท่านั้น และสมการที่ใช้ในการหาค่าความยาวคลื่นสัมพันธ์แสดงดังสมการที่ (1)-(3)

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (2)$$

$$\epsilon_{eff} \approx \frac{\epsilon_r + 1}{2} \quad (3)$$

- เมื่อ  $\lambda_g$  คือ ความยาวคลื่นสัมพัทธ์  
 $\lambda_0$  คือ ความยาวคลื่นในอากาศ  
 $c$  คือ ความเร็วของแสง ( $3 \times 10^8$  เมตร/วินาที)  
 $f$  คือ ความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการ  
 $\epsilon_{eff}$  คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล  
 $\epsilon_r$  คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง  
 $h$  คือ ความหนา (สูง) ของวัสดุฐานรอง

2. การจำลองสายอากาศด้วยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมจำกัดในโดเมนเวลา (FDTD) (Qian & Itoh, 1999) สำคัญในการคำนวณเชิงตัวเลขของวิธี FDTD คือ เสถียรภาพเชิงตัวเลข ซึ่งในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้มีความเหมาะสมกับการคำนวณเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ได้แก่การกำหนดขนาดของช่วงเวลา  $\Delta t$  และขนาดของช่วงระยะทาง คือ  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  และจำนวนช่วงระยะทางที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ของรูปร่างทั้งหมดที่ต้องการได้ และจำนวนเวลาเพียงพอที่จะให้คลื่นสามารถเดินทางผ่านเส้นทางที่ต้องการได้จนเสร็จสิ้น อย่างไรก็ตาม ตัวแปรที่มีความสำคัญ คือ ขนาดของช่วงระยะทาง  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  ควรจะมีขนาดต่ำกว่า  $1/10$  ถึง  $1/20$  ส่วนของความยาวคลื่นที่ใช้งาน และตัวแปรที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อกรคำนวณก็คือ ช่วงเวลา เนื่องจากการกำหนดช่วงของเวลาที่ไม่เหมาะสมซึ่งอาจมากไป หรือ น้อยไป ทำให้การคำนวณขาดเสถียรภาพ ไม่สามารถหาคำตอบได้กล่าวคือ การคำนวณจะเกิดการลู่ออกทุกครั้งที่ทำกรคำนวณ ซึ่งอาจแก้ปัญหาก็ได้โดยการกำหนดช่วงเวลาไว้ต่ำ อย่างไรก็ตาม การใช้ช่วงเวลาต่ำมาก ๆ จะต้องใช้จำนวนช่วงเวลาจำนวนมากเกินความจำเป็น ดังนั้นจึงมีข้อกำหนดในการเลือกค่าช่วงเวลาที่เหมาะสมโดยมีการกำหนดเงื่อนไขความเสถียรภาพทางเวลาไว้ดังนี้

$$\Delta t \leq \frac{1}{V_{\max} \sqrt{(1/\Delta x)^2 + (1/\Delta y)^2 + (1/\Delta z)^2}} \quad (4)$$

โดยที่  $V_{\max}$  คือ ความเร็วในการแพร่กระจายคลื่นในขอบเขตสเปซโดยสามารถใช้ค่าความเร็วแสงได้ คือ  $c = 3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที

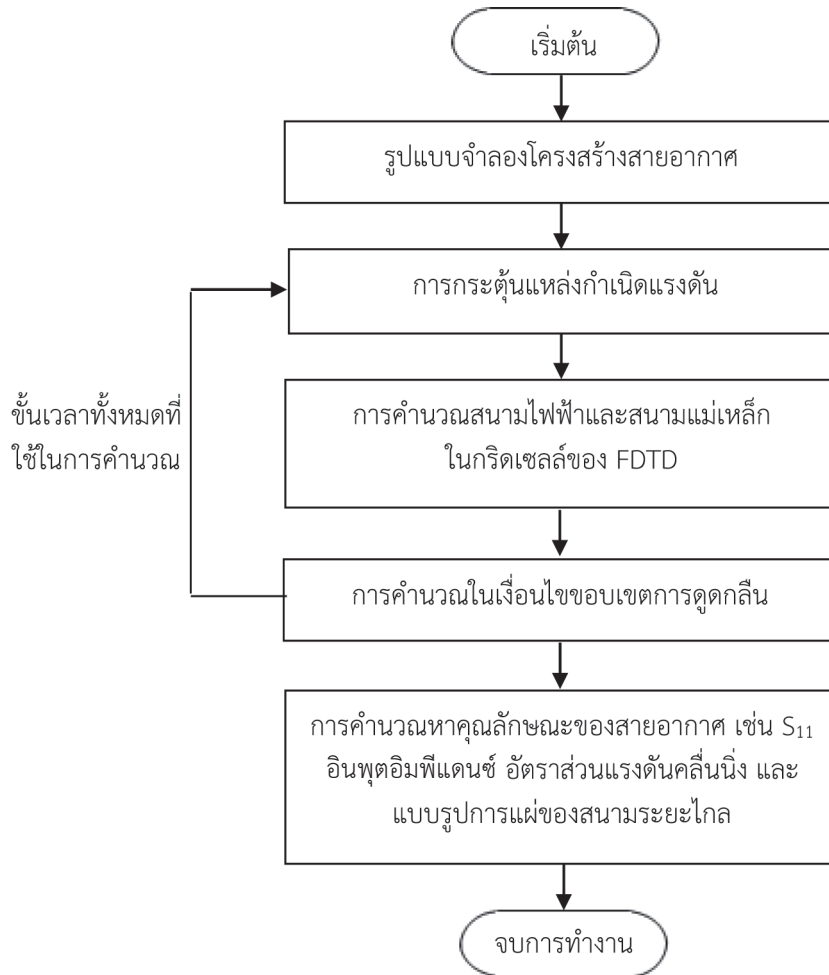
การออกแบบจำลองสายอากาศโดยใช้วิธี FDTD งานวิจัยนี้กำหนดขนาดหนึ่งหน่วยของ ยีเซลล์ (Yee cell) ให้มีขนาดเล็กกว่าหนึ่งส่วนยี่สิบของขนาดความยาวคลื่นสัมพัทธ์ที่ต้องการ โดยการ ออกแบบให้มีขนาดหนึ่งหน่วยยีสเซลล์ในทิศทาง  $x$  คือ  $\Delta_x = 0.1575$  มิลลิเมตร และขนาดหนึ่งหน่วยยีสเซลล์ ในทิศทาง  $y$  และ  $z$  เท่ากันคือ  $\Delta_y = \Delta_z = 0.3$  มิลลิเมตร เพื่อให้สามารถครอบคลุมขนาดสายอากาศ ทั้งหมดที่ออกแบบ และเพื่อให้มีความผิดพลาดในการคำนวณน้อยที่สุด

นอกจากนั้น เมื่อทำการกำหนดขนาดหนึ่งหน่วยเซลล์แล้วทำให้สามารถคำนวณหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการคำนวณโดยใช้สมการ (4) แล้วแทนค่าต่างๆ ลงในสมการจะได้ดังนี้

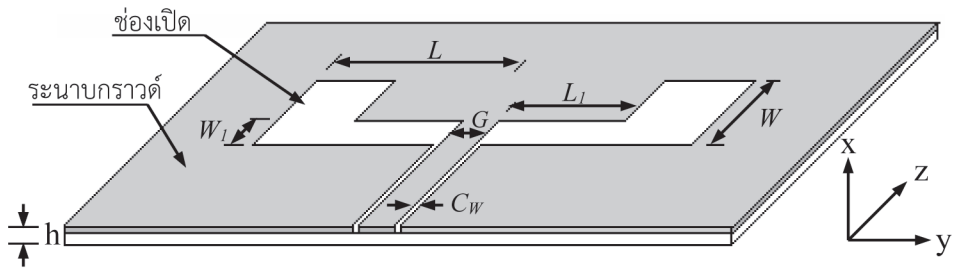
$$\Delta_t \leq \frac{1}{3 \times 10^8 \sqrt{\left(\frac{1}{0.1575 \times 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{1}{0.3 \times 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{1}{0.3 \times 10^{-3}}\right)^2}}$$

$$\Delta_t \leq 52.3 \text{ ps}$$

ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม FDTD สามารถอธิบายได้ดังบล็อกไดอะแกรมสำหรับอัลกอริทึมแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมสำหรับ FDTD อัลกอริทึม



ภาพที่ 2 โครงสร้างสายอากาศแบบช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม

พารามิเตอร์ของสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม

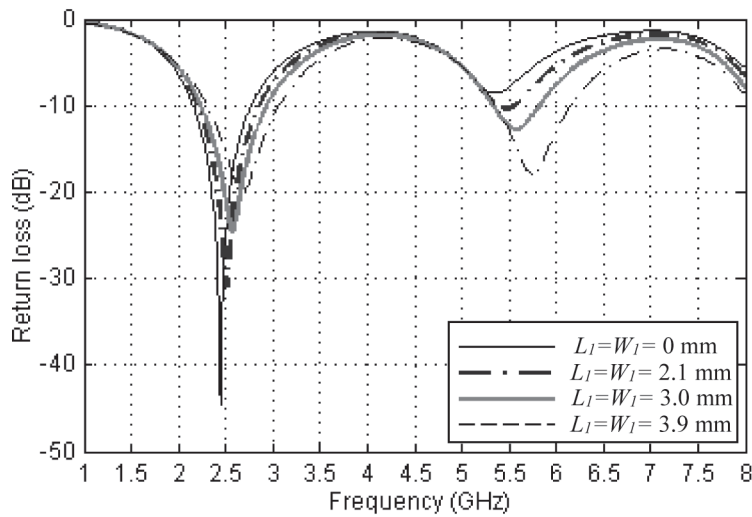
- $L$  คือ ความยาวของสายอากาศช่องเปิดด้านนอก
- $L_1$  คือ ความยาวของสายอากาศช่องเปิดด้านใน
- $W$  คือ ความกว้างของสายอากาศช่องเปิดด้านบน
- $W_1$  คือ ความกว้างของสายอากาศช่องเปิดด้านล่าง
- $G$  คือ ระยะห่างระหว่างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม
- $C_w$  คือ ความกว้างของสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม
- $h$  คือ ความหนา (สูง) ของวัสดุฐานรอง

## ผลการวิจัย

การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม อันดับแรก ทำการออกแบบสายอากาศที่ความถี่ 2.4 GHz โดยค่าที่ได้จากการคำนวณมีดังนี้ ความยาว  $L$  เท่ากับ 42.9 มิลลิเมตร และความกว้าง ( $W$ ) เท่ากับ 5.7 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างระยะระหว่างสายส่งสัญญาณ ( $G$ ) เท่ากับ 3 มิลลิเมตร และช่องเปิดที่เป็นสายส่งสัญญาณ ( $C_w$ ) เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร และ ความหนา (สูง) ของวัสดุฐานรอง ( $h$ ) เท่ากับ 1.575 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากการศึกษาเบื้องต้นจากการออกแบบสายอากาศที่ความถี่ 2.4 GHz ทำให้ทราบว่า การปรับค่าพารามิเตอร์  $L$  จะช่วยในการเลื่อนความถี่เรโซแนนซ์ และ  $W$  จะช่วยในการปรับแบนด์วิดท์ เพื่อให้สามารถออกแบบสายอากาศให้ได้สองแถบความถี่โดยใช้วิธีการแทรกแผ่นตัวนำให้สายอากาศช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นรูปตัวแอลแนวตั้ง ดังภาพที่ 2 จะมีพารามิเตอร์เพิ่มสองตัวคือ  $L_1$  กับ  $W_1$  หลังจากนั้นทำการศึกษาผลกระทบจากการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป

### 1. ผลกระทบของการปรับค่า $L_1$ กับ $W_1$ เท่ากัน

การปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศช่องเปิดเพื่อศึกษาผลกระทบ กรณีแรกเป็นการปรับค่าขนาดให้ช่องเปิดที่เป็นรูปตัวแอลขนาดเท่ากัน คือ พารามิเตอร์  $L_1$  กับ  $W_1$  ดังนั้น จะเริ่มตั้งแต่ยังไม่มีการปรับค่า จากนั้นทำการปรับค่าเท่ากับ 2.1 มิลลิเมตร 3 มิลลิเมตร และ 3.9 มิลลิเมตร โดยกำหนดให้ค่าของ  $L$   $W$   $G$  และ  $C_w$  คงที่ เท่ากับ 42.9 มิลลิเมตร 5.7 มิลลิเมตร 3 มิลลิเมตร และ 0.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งผลกระทบที่ได้จากการปรับค่า  $L_1$  กับ  $W_1$  แสดงในภาพที่ 3



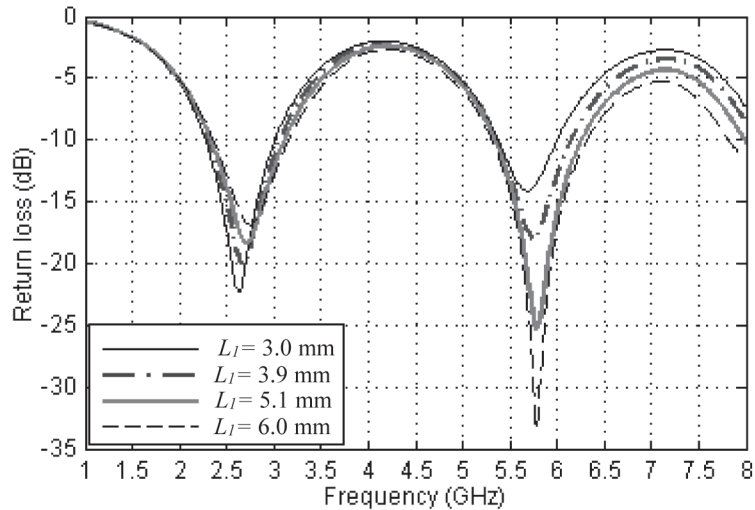
ภาพที่ 3 การสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) กรณีปรับค่า  $L_1$  กับ  $W_1$  มีขนาดเท่ากัน

จากภาพที่ 3 แสดงผลกระทบของการปรับค่า  $L_1$  กับ  $W_1$  ที่มีขนาดเท่ากัน เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์เพิ่มขึ้น ความถี่เรโซแนนซ์จะเปลี่ยนไปในทิศทางที่สูงขึ้น และทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ย่านความถี่สูงมีแนวโน้มตื้นขึ้น ทำให้เกิดสองความถี่ คือ ความถี่ที่ 2.4 GHz และ 5.8 GHz ซึ่งค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดีที่สุดของทั้งสองความถี่จะได้ค่าความยาวของพารามิเตอร์  $L_1$  กับ  $W_1$  เท่ากับ 3.9 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงนำค่าดังกล่าวไปใช้ในการวิเคราะห์ในหัวข้อถัดไป

### 2. ผลกระทบของการปรับค่า $L_1$

กรณีนี้จะเริ่มต้นด้วยการปรับค่าของ  $L_1$  เท่ากับ 3 มิลลิเมตร 3.9 มิลลิเมตร 5.1 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยกำหนดค่า  $W_1$  เท่ากับ 3.9 มิลลิเมตร และผลการจำลองที่ได้แสดงดังภาพที่ 4



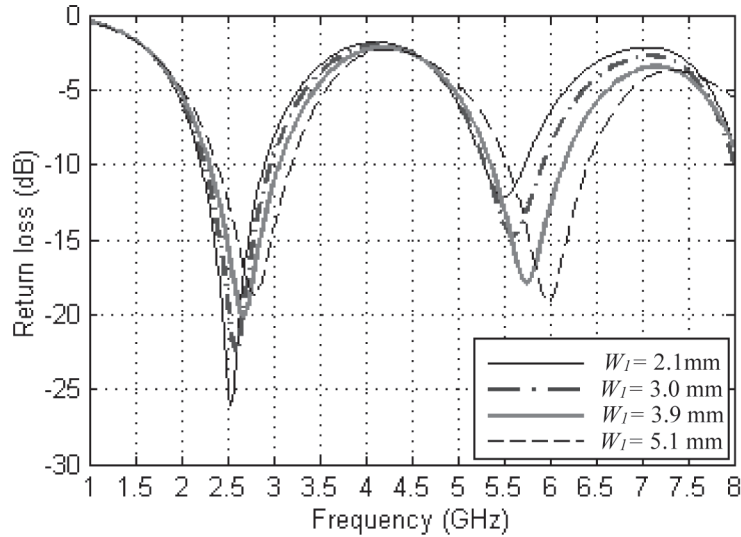


ภาพที่ 4 การสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) กรณีปรับค่า  $L_1$

จากภาพที่ 4 ผลกระทบของการปรับค่า  $L_1$  เมื่อทำการปรับค่าความยาว  $L_1$  เพิ่มขึ้น จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ด้านต่ำเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่สูงเพียงเล็กน้อย และแมตซ์อิมพีแดนซ์แย่ง และความถี่ด้านสูงก็เช่นเดียวกัน ความถี่เรโซแนนซ์จะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่สูงเล็กน้อยและแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ความถี่เรโซแนนซ์ขึ้น ดังนั้น จึงเลือกค่าที่  $L_1$  เท่ากับ 3.9 มิลลิเมตร เนื่องจาก ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ด้านต่ำและด้านสูง มีค่าใกล้เคียงกันมาใช้ในการวิเคราะห์ในหัวข้อถัดไป

### 3. ผลกระทบของการปรับค่า $W_1$

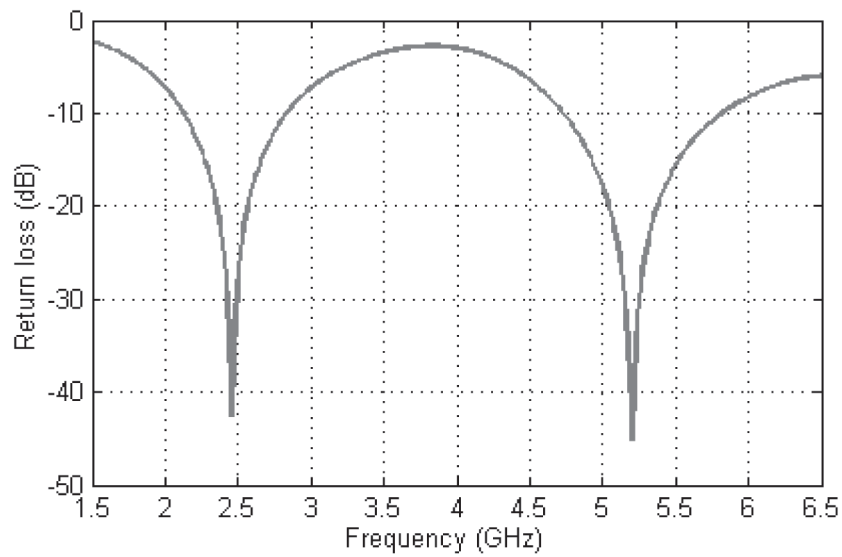
การวิเคราะห์สายอากาศแบบช่องเปิด กรณีที่มีการปรับค่า  $W_1$  โดยเริ่มต้นด้วยการปรับค่า  $W_1$  เท่ากับ 2.1 มิลลิเมตร 3 มิลลิเมตร 3.9 มิลลิเมตร และ 5.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ และผลการจำลองที่ได้แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) กรณีปรับค่า  $W_1$

จากภาพที่ 5 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) กรณีปรับค่า  $W_1$  จากผลการจำลองที่ได้ เมื่อปรับค่า  $W_1$  ให้มากขึ้นจะช่วยให้การปรับแมตซ์ซึ่งความถี่สูงให้ดีขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อปรับค่า  $W_1$  ให้ลดลงจะทำให้ปรับแมตซ์ซึ่งความถี่ต่ำดีขึ้น

จากการศึกษาเบื้องต้นในการออกแบบสายอากาศความถี่แรกที่ 2.4 GHz ค่าพารามิเตอร์  $L$  จะช่วยในการเลื่อนความถี่เรโซแนนซ์ และ  $W$  จะช่วยในการปรับแมตซ์อิมพีแดนซ์ และพารามิเตอร์  $L_1$  และ  $W_1$  จะช่วยในการปรับแมตซ์อิมพีแดนซ์ และความถี่เรโซแนนซ์ทั้งด้านความถี่ต่ำและด้านความถี่สูง จากคุณสมบัติที่ได้ดังกล่าว สามารถนำไปช่วยในการปรับแมตซ์อิมพีแดนซ์และความถี่เรโซแนนซ์ทั้งสองความถี่ได้ตามต้องการ โดยค่าพารามิเตอร์ที่ให้ผลการจำลองที่ดีที่สุดคือ  $L$  เท่ากับ 46.2 มิลลิเมตร  $W$  เท่ากับ 8.1 มิลลิเมตร  $L_1$  เท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร และ  $W_1$  เท่ากับ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยผลการจำลองแสดงในภาพที่ 6 และคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมแสดงดังตารางที่ 1



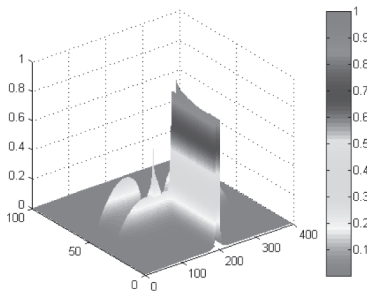
ภาพที่ 6 การสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ของสายอากาศช่องเปิด

ตารางที่ 1 คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศช่องเปิดสองความถี่ที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบ  
ท่อนำคลื่นระนาบร่วม

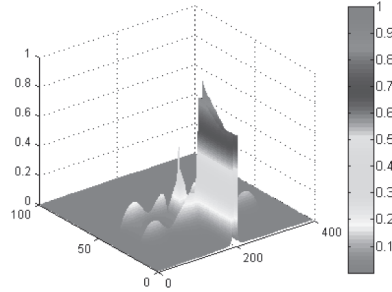
คุณลักษณะของสายอากาศ	ความถี่เรโซแนนซ์ ที่ 2.46 GHz	ความถี่เรโซแนนซ์ ที่ 5.20 GHz
$S_{11}$ พารามิเตอร์	-42.51 dB	-45.05 dB
อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR)	1.001	1.001
จำนวนจริงของอินพุตอิมพีแดนซ์ ( $Z_{in}$ real)	50.26 โอห์ม	50.25 โอห์ม
จำนวนจินตภาพของอินพุตอิมพีแดนซ์ ( $Z_{in}$ Imag)	-0.52 โอห์ม	0.11 โอห์ม
อัตราขยาย (Gain)	2.78 dBi	2.87 dBi
แบนด์วิดท์	0.69 GHz (2.13-2.82 GHz)	0.91 GHz (4.72-5.81 GHz)

จากตารางที่ 1 ได้สองความถี่เรโซแนนซ์ คือ 2.46 GHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ เท่ากับ -42.51 dB และ ที่ความถี่ 5.20 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ เท่ากับ -45.05 dB โดยผลที่ได้จากการจำลองสามารถครอบคลุมแถบความถี่เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b/g (2.4-2.4835 GHz) และ IEEE 802.11a (5.150-5.350 GHz) ตามวัตถุประสงค์ ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ ( $Z_{in}$ ) ของสายอากาศที่ 2.46 GHz และ ที่ความถี่ 5.20 GHz ใกล้เคียง 50 โอห์มอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง จะใกล้เคียงกับ 1 และมีอัตราขยาย เท่ากับ 2.78 dBi และ 2.87 dBi ที่ความถี่ 2.46 GHz และความถี่ 5.20 GHz ตามลำดับ

สนามไฟฟ้าของสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมจากผลการจำลองแสดงในภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่าสนามไฟฟ้าจะมีความเข้มสูงที่บริเวณกลางของช่องเปิดทั้งสองด้านและส่วนของสายส่งจะมีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดเหมือนกันทั้งความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz ส่วนสนามแม่เหล็กของสายอากาศรูปแบบนี้จะมีค่าความเข้มสูงที่สุดที่บริเวณมุมทุกมุมของช่องเปิดดังภาพที่ 8 และ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าของสายอากาศช่องเปิดมีความเข้มสูงที่สุดที่บริเวณขอบของช่องเปิดดังภาพที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความหนาแน่นของกระแสนั้นจะสัมพันธ์กับเข้มสนามแม่เหล็กทั้งความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.2 GHz

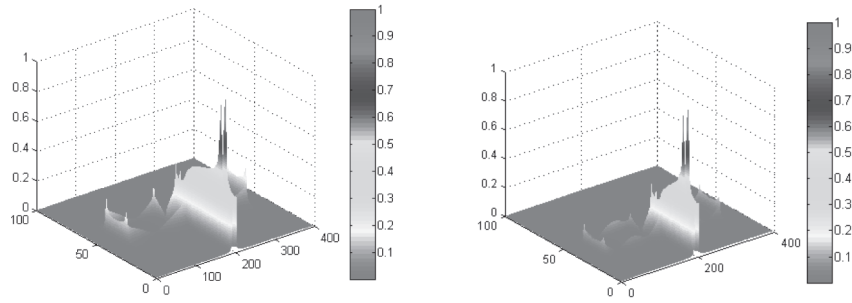


(ก) ความถี่ 2.40 GHz



(ข) ความถี่ 5.20 GHz

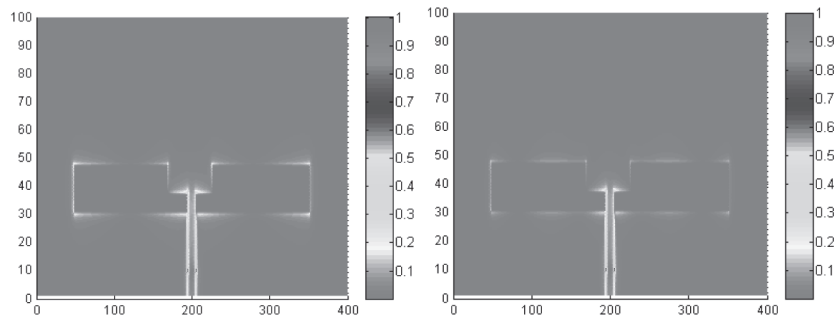
ภาพที่ 7 ความหนาแน่นสนามไฟฟ้าของสายอากาศช่องเปิด



(ก) ความถี่ 2.40 GHz

(ข) ความถี่ 5.20 GHz

ภาพที่ 8 ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กของสายอากาศช่องเปิด

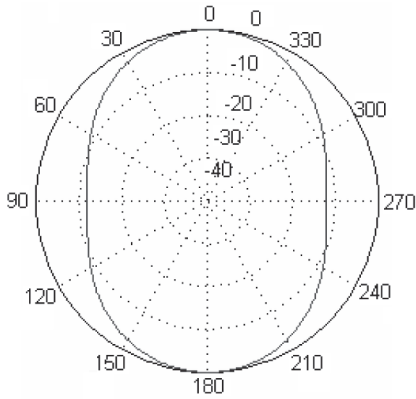


(ก) ความถี่ 2.40 GHz

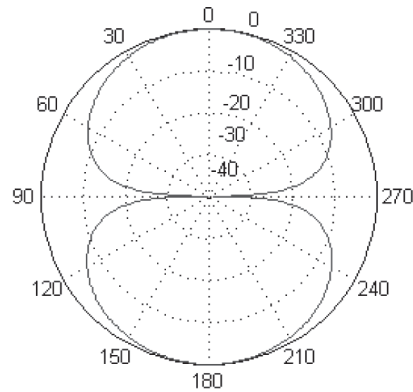
(ข) ความถี่ 5.20 GHz

ภาพที่ 9 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าของสายอากาศช่องเปิดในระนาบ yz

จากผลการจำลองแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลในระนาบสนามแม่เหล็ก (xy-plane) และระนาบสนามไฟฟ้า (xz-plane) จะแสดงในภาพที่ 10 และ ภาพที่ 11 ซึ่งแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลในระนาบของสนามไฟฟ้าเป็นแบบสองทิศทาง (bi-directional)

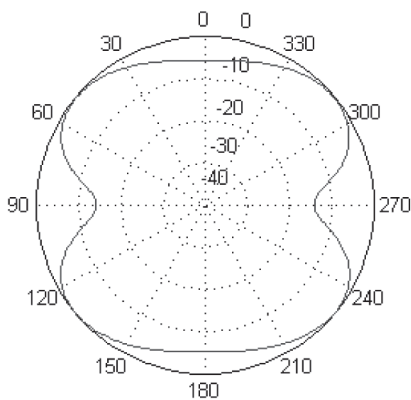


(ก) ระนาบสนามแม่เหล็ก (xy-plane)

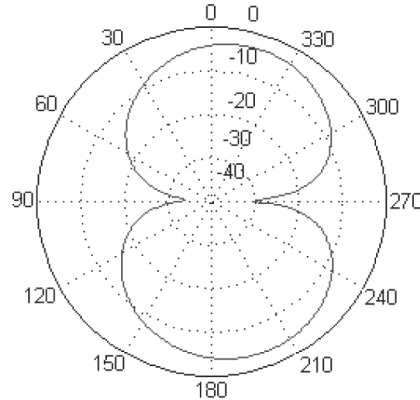


(ข) ระนาบสนามไฟฟ้า (xz-plane)

ภาพที่ 10 แบบรูปการพลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศช่องเปิดที่ความถี่ 2.40 GHz



(ค) ระนาบสนามแม่เหล็ก (xy-plane)



(ง) ระนาบสนามไฟฟ้า (xz-plane)

ภาพที่ 11 แบบรูปการพลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศช่องเปิดที่ความถี่ 5.20 GHz

### สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การออกแบบสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมสำหรับระบบการสื่อสารท้องถิ่นไร้สาย จากการศึกษาผลกระทบจากการปรับค่าพารามิเตอร์  $L$  จะช่วยในการเลื่อนความถี่เรโซแนนซ์ และ  $W$  จะช่วยในการปรับแบนด์วิดท์และ  $L_1$  และ  $W_1$  จะช่วยในการปรับแบนด์วิดท์และความถี่เรโซแนนซ์ทั้งด้านความถี่ต่ำและด้านความถี่สูง ดังนั้น การปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะทำให้ได้สองความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการ จากผลการจำลองได้สองความถี่เรโซแนนซ์ คือ 2.46 GHz และ 5.20 GHz ซึ่งมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ เท่ากับ  $-42.51$  dB และ  $-45.05$  dB มีแบนด์วิดท์ที่ความถี่ 2.4 GHz เท่ากับ

0.69 GHz ครอบคลุมแถบความถี่ 2.13 GHz ถึง 2.82 GHz และที่ความถี่ 5.2 GHz มีแบนด์วิดท์ เท่ากับ 0.91 dB ครอบคลุมแถบความถี่ 4.72 GHz ถึง 5.81 GHz อินพุตอิมพีแดนซ์ทั้งสองความถี่โรซแนนซ์มีค่าใกล้เคียงกับ 50 โอห์ม อัตราขยายของสายอากาศ เท่ากับ 2.78 dBi ที่ความถี่ 2.4 GHz และ 2.87 dBi ที่ความถี่ 5.2 GHz และแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลระนาบสนามไฟฟ้าเป็นแบบสองทิศทางตามลำดับ ดังนั้น การออกแบบและศึกษาวิเคราะห์สายอากาศในงานวิจัยฉบับนี้สามารถรองรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g

## References

- Balanis, A. C. (2005). *Antenna Theory Analysis and Design*. John Wiley & Sons, Inc.
- Chavan, A. S., Pragnesh, N. S. & Seema, M. (2013). Analysis of Dual Frequency Microstrip Antenna Using Shorting Wall. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3, 578-582.
- Chen, H. M. & Lin, Y. F. (2003). Printed Monopole Antenna for 2.4/5.2 GHz Dual-band Operation. *In Proceeding of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 3, 60-63.
- Chen, H. M., Chen, J. M., Cheng, P. S. & Lin, Y. F. (2004). Microstrip-fed Printed Dipole Antenna for 2.4/5.2 GHz WLAN Operation. *In Proceeding of IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*, 3, 2584-2587.
- Chulvanich, C., Nakasuwan, J., Songthanapitak, N., Anantrasirichai, N. & T. Wakabayashi. (2007). Design Narrow Slot Antenna for Dual Frequency. *PIERS*, 3, 1024-1028.
- Krairiksh, M. & Kiranon, W. (1997). *Antenna theory*. Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Kumar, A., Kumar, K. & Chadha, P. R. (2013). Design of a Dual-Band Microstrip Patch Antenna for GPS, WiMAX and WLAN. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, 6, 56-59.
- Qian, Y. & Itoh, T. (1999). *FDTD Analysis and Design of Microwave Circuits and Antennas Software and Applications*. Tokyo: Realize Inc.
- Rojarayanont, B. (1991). *Microwave Engineering*. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai).

- Sanchita, B., Srivastava, A. & Goswami, A. (2013). Dual Frequency Hexagonal Microstrip Patch Antenna. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3, 1-9.
- Xianming, Q. & Chia, M. Y.W. (2002). Broadband Annular Dual-slot Antenna for WLAN Applications. *In Proceeding of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2, 452-455.
- Yeh, S. H. & Wong, K. L. (2002). Dual-band F-shaped Monopole Antenna for 2.4/5.2 GHz WLAN Application. *In Proceeding of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 4, 72-75.

### ผู้เขียน

อาจารย์เทพ เกื้อทวีกุล

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

69 หมู่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร

e-mail: [therasak\\_e@hotmail.com](mailto:therasak_e@hotmail.com)