

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศไดโพลและสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริป สำหรับประยุกต์ใช้ในงานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

Comparative Efficiency of Dipole and Dipole Microstrip Antenna for WLAN Application

เฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธ์* และจันทนา แสงสีรุ่งเพชร

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*shalerm123@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศไดโพลและสายอากาศไดโพลไมโครสตริป เพื่อสามารถนำมาใช้ทดแทนสายอากาศเดิม ในอุปกรณ์เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ความถี่ 2.45 GHz โดยการจำลองแบบสายอากาศด้วยโปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ และนำมาสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบทั้งสองชนิด ผลจากการวัดสายอากาศที่ได้ทำการสร้างขึ้น พบว่าสายอากาศไดโพลมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ -28.924 dB ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ $52.078 + j2.640 \Omega$ และอัตราการขยาย 2.25 dBi โดยที่สายอากาศไดโพลไมโครสตริปมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ -32.054 dB ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ $52.6 + j2.906 \Omega$ อัตราการขยาย 2.98 dBi และสายอากาศทั้งสองมีรูปการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทาง ซึ่งเมื่อทดลองใช้งานกับอุปกรณ์เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ความถี่ 2.45 GHz พบว่า สายอากาศไดโพลและสายอากาศแบบไดโพลไมโครสตริปสามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับสายอากาศเดิม.

คำสำคัญ: สายอากาศไดโพล สายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริป

Abstract

This research studies a comparative efficiency of dipole antenna and dipole microstrip antenna for 2.45 GHz WLAN application. The comparative efficiency of a dipole antenna and dipole microstrip antenna by simulation the antenna with a computer simulation program. The antenna prototype is constructed and measured, it's founded that the antenna returns loss -28.924 dB., input impedance is $52.078 + j2.640 \Omega$ and gain is 2.25 dBi for the dipole antenna. While return loss of the dipole microstrip antenna is -32.054 dB. the input impedance is $52.6 + j2.906 \Omega$ and gain is of 2.98 dBi. The radiation pattern of the antenna is omnidirectional. When tested with wireless network equipment it was found that the dipole antenna and dipole microstrip antenna works as well as the Router antenna.

Keywords: dipole antenna, dipole microstrip antenna

1. บทนำ

การติดต่อสื่อสารไร้สาย เป็นช่องทางการติดต่อสื่อสารอีกช่องทางหนึ่งที่สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลได้สะดวกและรวดเร็ว การติดต่อสื่อสารไร้สาย ได้มีการพัฒนาระบบให้ประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น มาตรฐาน IEEE 802.11b/g (2.40-2.48 GHz) [1] การติดต่อสื่อสารไร้สายมีอุปกรณ์สำคัญอย่างหนึ่งซึ่งช่วยให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ นั่นคือ Router เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อเครือข่าย มีหน้าที่หาเส้นทางและส่งข้อมูลเครือข่ายระหว่างคอมพิวเตอร์ไปยังเครือข่ายปลายทางที่ต้องการในการส่งข้อมูล ซึ่ง Router เหล่านี้จะมีอุปกรณ์สายอากาศที่ติดตั้งมา ดังนั้นสายอากาศจึงสำคัญต่อระบบการติดต่อสื่อสารไร้สาย หากสายอากาศที่ติดมากับ Router (Router antenna) นั้นเกิดการชำรุดเสียหายขึ้นมาไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ จึงต้องหาวิธีการแก้ไขโดยการสร้างสายอากาศขึ้นมาใช้งานทดแทน สายอากาศแบบไดโพล (Dipole antenna) ถือเป็นสายอากาศแบบมาตรฐานซึ่งเป็นต้นแบบที่จะนำไปประยุกต์เพื่อสร้างสายอากาศในลักษณะอื่นๆ ประกอบไปด้วยลวดตัวนำเป็นท่อนตัน หรือกลวง ลวดตัวนำอาจเป็นเส้นตรงหรือโค้งแล้วแต่ชนิดของสายอากาศและเมื่อใดที่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเกิดการแกว่งจะทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยคุณลักษณะเฉพาะของสายอากาศไดโพล เป็นสายอากาศต้นแบบที่สามารถนำไปอ้างอิง หรือเปรียบเทียบในเชิงประสิทธิภาพกับสายอากาศชนิดอื่นๆ [2] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสายอากาศ 2 แบบ คือ สายอากาศไดโพลและสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริป ซึ่งสายอากาศทั้งสองมีการใช้วัสดุในการทำสายอากาศที่มีความแตกต่างกัน โดยเป็นการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศทั้งสองแบบ สำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบเครือข่ายท้องถิ่น โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการหาค่าคุณลักษณะเฉพาะของสายอากาศที่มีความเหมาะสมและได้สายอากาศที่มีประสิทธิภาพสามารถนำมาทดแทนสายอากาศเดิม เช่น ค่าความถี่ที่ตอบสนอง ค่าแรงดันคลื่นนิ่ง ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ แบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยายของสายอากาศ ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ เป็นต้น

2. การออกแบบและการจำลองแบบสายอากาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการออกแบบโครงสร้างของสายอากาศเป็น 2 ส่วนคือโครงสร้างสายอากาศไดโพลและโครงสร้างสายอากาศไดโพลไมโครสตริป

2.1 โครงสร้างสายอากาศไดโพล

สายอากาศที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบกับสายอากาศไดโพลไมโครสตริปในโครงการนี้ เป็นสายอากาศไดโพลมาตรฐาน โดยสายอากาศมีความยาวดังสมการที่ (1) การคำนวณดังนี้ [3]

$$\lambda / 2 = \frac{c}{f_r / 2} \quad (1)$$

เมื่อ $\lambda / 2$ คือความยาวของจากอากาศไดโพล

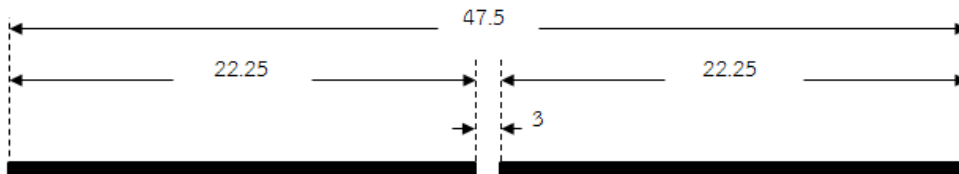
และ f_r คือความถี่

จากสมการที่ 1 สามารถนำมาทำการจำลองแบบสายอากาศไดโพลด้วยโปรแกรมจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อหาโครงสร้างของสายอากาศที่สามารถใช้งานความถี่ 2.45 GHz ได้ผลของความยาวสายอากาศดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการจำลองแบบสายอากาศไดโพลด้วยโปรแกรมจำลองแบบ

ความยาวของสายอากาศ	ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ	ความถี่ (GHz)
51.00 มม.	-18.611 dB	2.320
47.50 มม.	-16.021 dB	2.450
45.00 มม.	-14.753 dB	2.548

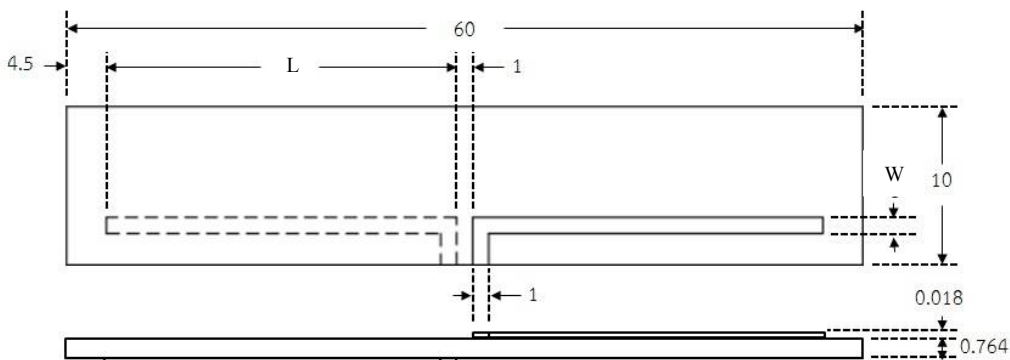
ตารางที่ 1 ขนาดความยาวของสายอากาศไดโพลที่ได้จากการจำลองแบบที่เหมาะสมและตอบสนองความถี่ที่ใช้งาน 2.45 GHz มีความยาวของสายอากาศคือ 47.50 มม. ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับคือ -16.021 dB



ภาพที่ 1 โครงสร้างสายอากาศไดโพล ความถี่ 2.45 GHz

2.2 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริป

การออกแบบสายอากาศไดโพลไมโครสตริปในงานวิจัยนี้ ใช้การจำลองแบบจากแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีวัสดุฐานรองชนิด FR4 มีความหนา 0.764 มิลลิเมตร และค่าคงตัวไดอิเล็กทริก (ϵ_r) เท่ากับ 4.3 มีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างสายอากาศไดโพลไมโครสตริป

โครงสร้างสายอากาศไดโพลไมโครสตริปดังรูปที่ 2 ทำการจำลองแบบโดยปรับค่าความยาว L และ ค่าความกว้าง W ของสายอากาศ แล้วศึกษาผลคุณลักษณะของสายอากาศเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ความยาว L และ ความกว้าง W เปลี่ยนแปลง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเพื่อมีการเปลี่ยนแปลงความยาว L เปลี่ยนค่าความกว้าง W

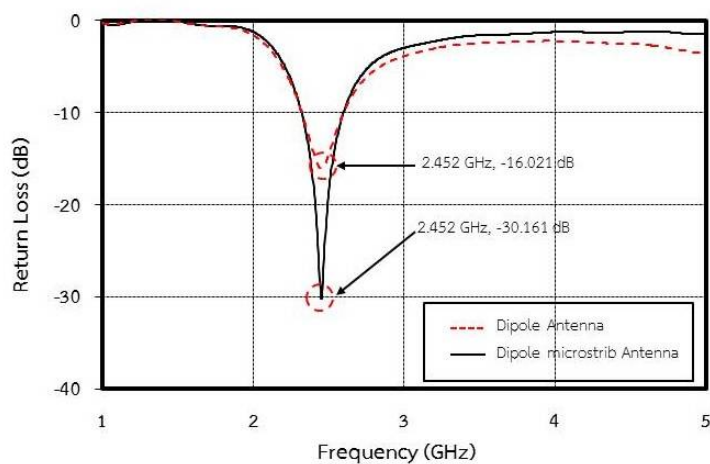
ความยาว L (มม.)	W = 0.5 มม.		W = 1.0 มม.		W = 1.5 มม.		W = 2.0 มม.	
	Frequency (GHz)	Return loss (dB)	Frequency (GHz)	Return loss (dB)	Frequency (GHz)	Return loss (dB)	Frequency (GHz)	Return loss (dB)
21.4	2.500	-30.738	2.516	-27.287	2.520	-25.847	2.516	-22.944
21.8	2.478	-31.376	2.476	-27.809	2.484	-26.332	2.480	-24.062
21.9	2.459	-31.493	2.468	-27.991	2.472	-26.508	2.472	-24.125
22.0	2.440	-31.813	2.460	-30.007	2.464	-26.707	2.464	-24.264
22.1	2.432	-32.032	2.452	-30.161	2.456	-26.873	2.456	-24.392
22.2	2.424	-32.095	2.440	-30.444	2.442	-27.021	2.440	-24.515
22.3	2.412	-32.325	2.432	-30.686	2.440	-27.156	2.436	-24.642
22.4	2.404	-32.595	2.424	-30.885	2.428	-27.313	2.428	-24.775

ตารางที่ 2 สายอากาศไดโพลไมโครสตริป ที่ทำการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้ค่าความยาว L ค่าความกว้าง W คือ 22.1 มม. และ 1 มม. ตามลำดับและค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ -30.161 dB ที่ความถี่ 2.452 GHz เนื่องจากค่าความถี่ที่เลือกนี้ใกล้เคียงค่าความถี่ใช้งาน 2.45 GHz ที่สุดและยังให้ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่น้อยมาก ทำให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

3. การจำลองผลและการสร้างสายอากาศไดโพลและสายอากาศไดโพลไมโครสตริป

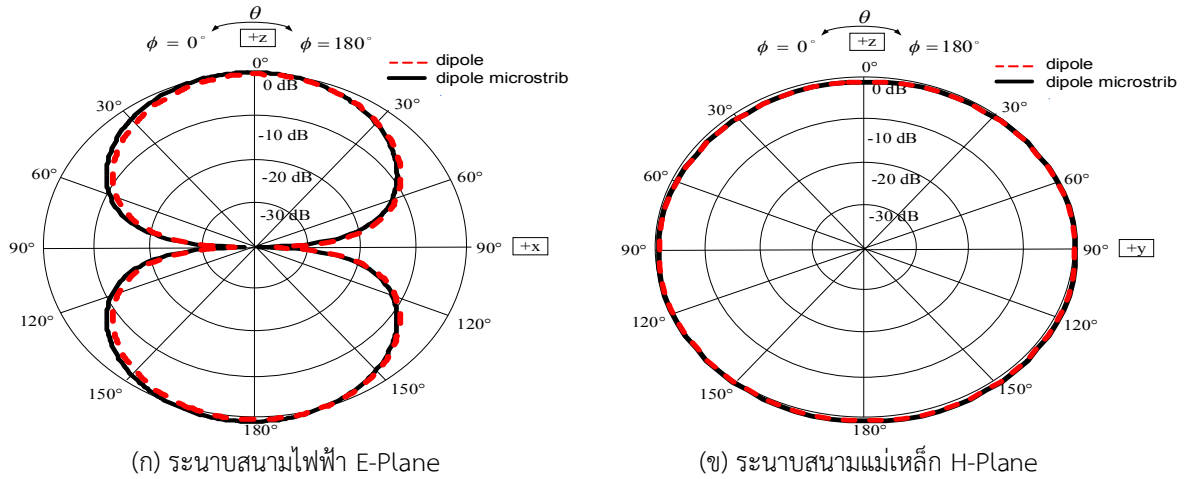
3.1 การจำลองผลสายอากาศไดโพลและสายอากาศไดโพลไมโครสตริป

จากผลของการจำลองแบบสายอากาศโดยใช้โปรแกรมพีวีเตอร์จำลองของสายอากาศแบบไดโพล และสายอากาศแบบไดโพลไมโครสตริป สามารถเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของสายอากาศทั้งสองแบบได้ดังนี้



ภาพที่ 3 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

ภาพที่ 3 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ของสายอากาศแบบไดโพลและสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริบ มีค่าความสูญเสียต่ำกว่า -10 dB แต่สายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริบจะมีค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ต่ำกว่าสายอากาศไดโพล คือมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ความถี่ 2.452 GHz คือ -30.161 dB การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลและสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริบแสดงดังภาพที่ 4



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า E-Plane

(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก H-Plane

ภาพที่ 4 รูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก

ตารางที่ 3 อัตราขยายของสายอากาศทั้งสองแบบจากการจำลอง

Antenna	Gain
Dipole Antenna	2.071 dBi
Dipole Microstrip Antenna	2.021 dBi

ภาพที่ 4 ผลเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก จะเห็นได้ว่าการแผ่พลังงานของสายอากาศทั้งสองแบบ มีลักษณะใกล้เคียงกัน และจากตารางที่ 3 ค่า อัตราการขยาย (Gain) ของสายอากาศทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกันด้วย

3.2. การสร้างและผลการทดสอบ

เมื่อทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ ดังภาพที่ 5 และทำการการวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศเดิม (Router Antenna) สายอากาศไดโพล และสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริบ นำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 6



(ก) สายอากาศไดโพลที่สร้างจริง



(ข) สายอากาศไดโพลไมโครสตริปที่สร้างจริง



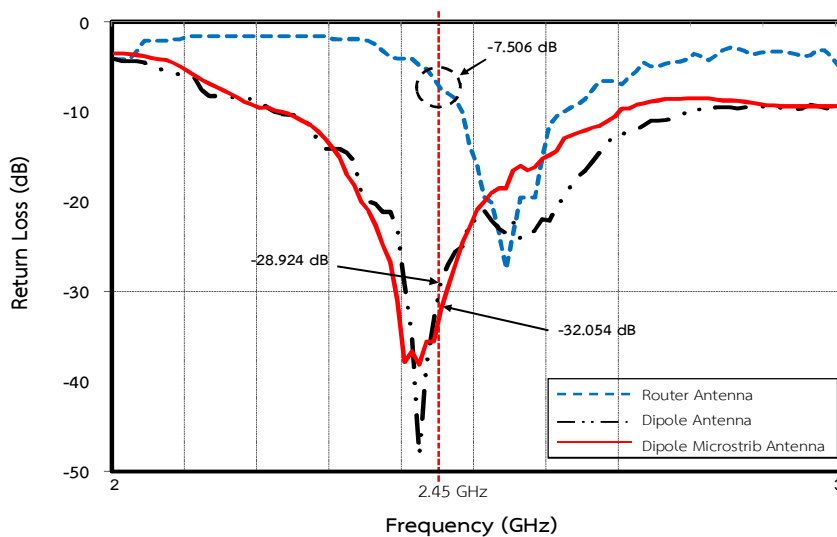
(ค) สายอากาศเดิม

ภาพที่ 5 สายอากาศไดโพลและสายอากาศไดโพลไมโครสตริปที่สร้างจริง

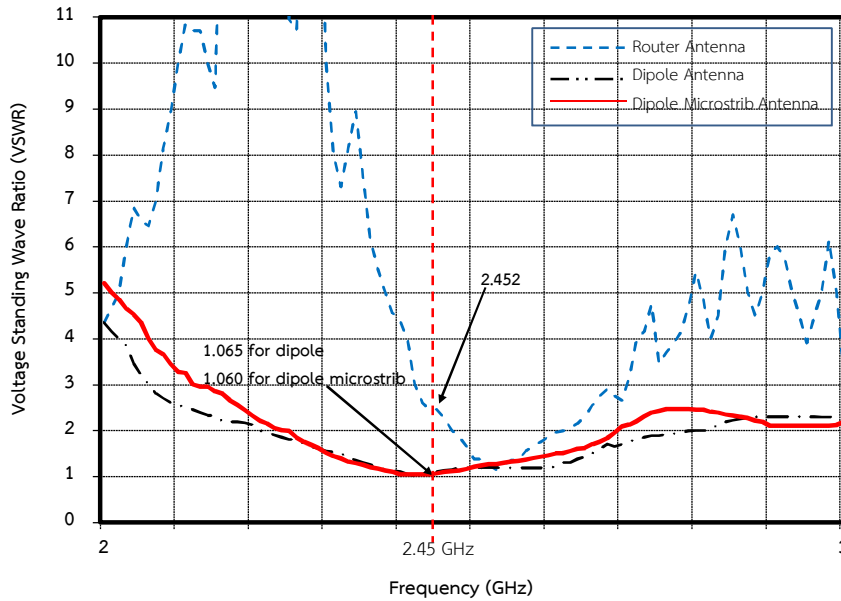
ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศจากการวัดจริงสายอากาศทั้งสามชนิด

รูปแบบสายอากาศ	$f_l - f_u$ (GHz)	BW ($S_{11} \leq -10dB$)	$S_{11}(2.45GHz)$
สายอากาศเดิม (Router Antenna)	2.465 - 2.625	160 MHz	-7.506 dB
สายอากาศไดโพล	2.215 - 2.785	570 MHz	-28.924 dB
สายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริป	2.235 - 2.695	460 MHz	-32.054 dB

ตารางที่ 4 และภาพที่ 6 เป็นผลจากการวัดการเปรียบเทียบค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศเดิม (Router) สายอากาศไดโพล และสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริป ซึ่งจะพบว่าสายอากาศทั้งสามแบบให้ผลที่มีค่าใกล้เคียงกันโดยสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริปจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าทั้งแบนด์วิดท์ของสัญญาณและค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ต่ำกว่า



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับจากการวัดของสายอากาศทั้ง 3 แบบ



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งของสายอากาศทั้ง 3 แบบ

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์จากการวัดและทดสอบสายอากาศต้นแบบทั้งสามแบบ

ชนิดของสายอากาศ	ความถี่ (GHz)	Return loss (dB)	Impedance (Ohm)	VSWR	Bandwidth (Hz)	Gain (dBi)
Router Antenna	2.45	-7.506	75.355-j51.223	2.452	160 MHz (2.465-2.625 GHz)	2.31
Dipole	2.45	-28.924	52.078-j2.640	1.064	570 MHz (2.215-2.785 GHz)	2.25
Dipole microstrip	2.45	-32.054	52.6+j2.906	1.060	460 MHz (2.235-2.695 GHz)	2.98

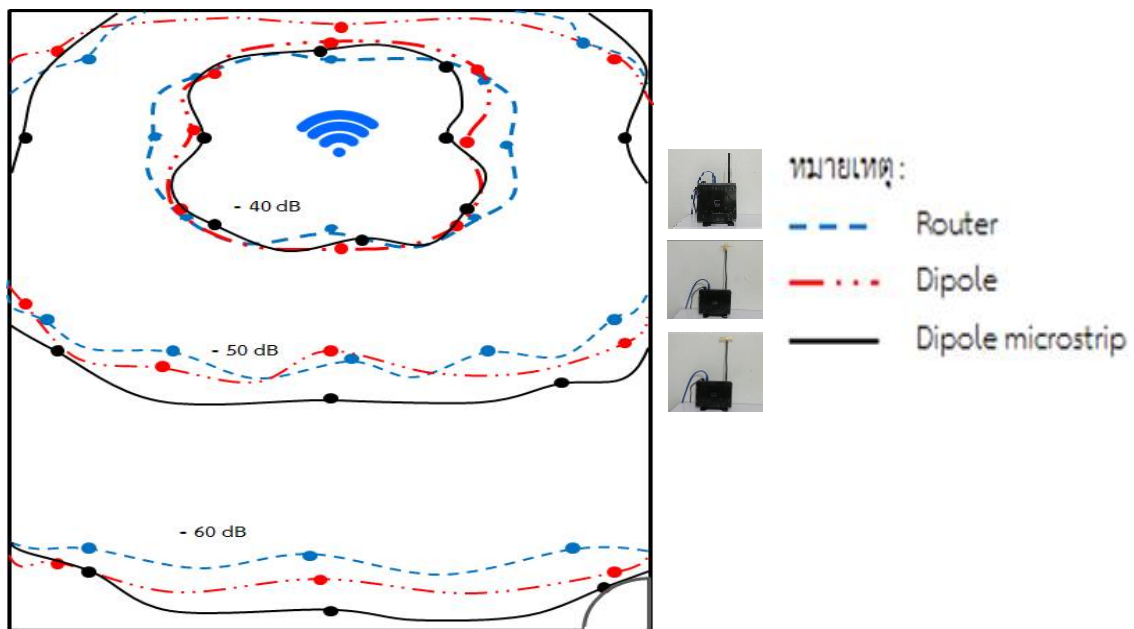
ภาพที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งของสายอากาศเดิม สายอากาศไดโพล และสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริบ ซึ่งจะพบว่าสายอากาศไดโพลและสายอากาศ ไดโพลไมโครสตริบให้ผลที่มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าใกล้ 1 มาก ซึ่งแสดงว่าสายอากาศมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าทั้งแบบตัววัดของสัญญาณและค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งจากการวัดและทดสอบสายอากาศไดโพลและสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริบ สามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 5 พารามิเตอร์จากการวัดและทดสอบสายอากาศต้นแบบทั้งสามแบบ โดยการวัดอัตราการขยาย (Gain) ซึ่งค่าของสายอากาศ Dipole microstrip Router Antenna และ Dipole Antenna มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 2.98dBi, 2.31dBi, 2.25dBi ตามลำดับ ส่วนค่า Bandwidth พบว่าสายอากาศทั้งสามชนิดครอบคลุมในช่วงความถี่ใช้งาน โดยค่า Return loss และ ค่า VSWR ของสายอากาศที่ถูกสร้างขึ้นมีค่าต่ำกว่าสายอากาศ Router Antenna ในขณะที่ค่า Impedance ของ Router Antenna นั้นมีค่าอยู่ที่ 75.355-j51.223 Ω ซึ่งเป็นผลมาจากชนิดของสายอากาศแบบไดโพลดั้งเดิม ในขณะที่สายอากาศ Dipole microstrip และ Dipole ที่สร้างขึ้นนั้นมีค่า Impedance 52.6+j2.906 Ω และ 52.078-j2.640 Ω ซึ่งใกล้เคียงกับค่า Impedance 50 Ω

ทำให้สามารถนำมาใช้ทดแทนได้ สำหรับการคำนวณค่าอัตราขยาย (Gain) จากการวัดนี้ สามารถคำนวณได้จากสมการ (2) หรือเรียกว่าสมการการส่งผ่านของ Friis [4]

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r \quad (2)$$

เมื่อ P_r คือกำลังที่สายอากาศตัวรับ, P_t กำลังที่สายอากาศตัวส่ง, G_t คืออัตราขยายของสายอากาศตัวส่ง, G_r คืออัตราขยายของสายอากาศตัวรับ, R คือระยะระหว่างสายอากาศ, λ คือความยาวคลื่น โดยการคำนวณจากการวัดนี้จะใช้สายอากาศประเภทเดียวกันมาทำการทดสอบ

สำหรับการวัดและทดสอบการใช้งานจริง ได้ทำการทดสอบสายอากาศเดิม (Router Antenna) สายอากาศไดโพล และสายอากาศไดโพลไมโครสตริป กับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ด้วยเครื่องเราเตอร์ ยี่ห้อ D-Link รุ่น DIR-600 และทำการทดสอบ ณ ห้อง 605 ชั้น 6 อาคารวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม การวัดกำลังงานที่ได้รับจากสายอากาศโดยใช้ Application WIFI Analyzer ช่วยในการวัดสัญญาณบริเวณรอบ ๆ ชั้น 6



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบการแผ่กำลังงานของสายอากาศ

ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบการแผ่กำลังงานของสายอากาศเดิม สายอากาศไดโพล และสายอากาศแบบไดโพลไมโครสตริป ตามลำดับ ณ อาคารวิศวกรรมและเทคโนโลยี ชั้น 6 พบว่าการแผ่กำลังงานของสายอากาศเดิม (Router Antenna) สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna) และสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริป (Dipole Microstrip Antenna) เป็นการแผ่กำลังงานแบบรอบทิศทาง โดยช่วงการทดสอบโดยที่ -40dB ระยะการแผ่กำลังงานใกล้เคียงกันทั้งสามชนิดสายอากาศและที่ -50dB ระยะการแผ่กำลังงานของสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริปจะมีระยะทางที่มากที่สุด ส่วนที่ -60dB นั้นการแผ่กำลังงานของสายอากาศเดิมมีระยะทางที่น้อยที่สุด ทั้งนี้ในส่วนของอัตราการส่งข้อมูล อัตราบิตเฉลี่ย ไม่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศไดโพลและสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริป ซึ่งได้ออกแบบสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริปที่ใช้สำหรับประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ความถี่ 2.45 GHz ในเบื้องต้นได้มีการ

จำลองแบบสายอากาศทั้งสองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหาและจำลองแบบทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อนำมาแก้ไขปัญหาด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศเพื่อให้ได้สายอากาศที่เหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย จากนั้นนำผลที่ได้ไปมาสร้างสายอากาศต้นแบบและทำการเปรียบเทียบผลจากการจำลองแบบและผลจากสายอากาศต้นแบบที่สร้างจริง การสร้างสายอากาศไดโพลต้นแบบจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มม. และสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริปที่สร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR4 ความหนา 0.764 มม. ค่าคงตัวไดอิเล็กทริก 4.3 จากผลการทดสอบสายอากาศต้นแบบทั้ง 2 ได้ผลจากการวัด พบว่าสายอากาศทั้ง 2 แบบ มีค่าคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกัน แต่สายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริปจะมีผลตอบสนองที่ดีกว่าเล็กน้อย นอกจากนั้นแล้วสายอากาศไดโพลแบบไมโครสตริปยังมีข้อดีคือมีขนาดเล็ก เพียง 10x60 ตร.มม. เท่านั้น และสามารถสร้างได้บนแผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งมีความสะดวกในการสร้างวงจรสำหรับใช้งานในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ ศ.ดร. ประยุทธ์ อัครเอกผาลิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลอง CST และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้งานห้องทดสอบสายอากาศ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. 2550. ประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. 124. ราชกิจจานุเบกษา
- [2] ทรงสมศักดิ์ บุญมิ่ง, พิชฌน์ พันพลู, เฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธุ์, อำนวย เรืองวารี “การศึกษาและออกแบบสายอากาศโมโนโพลรูปลูกสูบสำหรับประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่แถบคู่”, ECTI-CARD 2013, 8-10 พฤษภาคม 2556.
- [3] รังสรรค์ วงศ์สรณ์. 2555. วิศวกรรมสายอากาศ. 3. นครราชสีมา : ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยี การศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [4] สมศักดิ์ อรรถทิมากุล. 2552. การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ. 2. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.