

การออกแบบและสร้างสายอากาศทรงกลมสองย่านความถี่สำหรับ WLAN

Design and Fabrication of Dual - Band Spherical Antenna for WLAN

ระพินทร์ ชัดปิก¹ เอกทัศน์ พฤกษวรรณ¹ และเกษมสันต์ มณีสด¹

Received: July, 2015; Accepted: September, 2015

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างสายอากาศทรงกลมสองย่านความถี่ WLAN ย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz โดยเริ่มต้นออกแบบสายอากาศทรงกลมบนระนาบกราวด์ที่ความถี่กลางของความถี่ต่ำคือ 2.45 GHz ที่ให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นรูปกรวยโดยลำคลื่นหลักอยู่ระหว่าง $30^\circ - 60^\circ$ ทั้งสองย่านความถี่ในระนาบมุมยก แล้วทำการเพิ่มร่องเปิดให้กับสายอากาศทรงกลมเพื่อให้รองรับกับความถี่ย่าน 5 GHz โดยที่ลำคลื่นหลักของความถี่ทั้งสองย่านยังคงตำแหน่งเดิม โดยผลการทดลองได้พบว่าสายอากาศทรงกลมที่มีระนาบกราวด์เป็นตัวกำหนดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นรูปกรวยนั้นมีค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -27.08 และ -30.28 dB และผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศทรงกลมเท่ากับ 3.98 และ 7.35 dBi ที่ความถี่ 2.45 GHz และ 5.5 GHz

คำสำคัญ : สายอากาศทรงกลมสองย่านความถี่; แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรูปกรวย; WLAN

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
E - mail : rapin56_1@hotmail.com

Abstract

This paper presents the design and fabrication of the spherical antenna on the ground plane for WLAN 2.4 GHz and 5 GHz. The antenna in this paper has an operating frequency of 2.45 GHz and the main beams are between 30° - 60° on elevation plane, with double the frequencies. To support a 5 GHz range, a circumferential slot was added on the structure of the sphere antenna. This configuration gives a frequency response of 5 GHz with the same main beam position. From the experiments, we found that the cone radiation patterns depend on the ground plane. The results show the return loss as less than -27.08 and -30.28 dB while the simulation gains are 3.98 and 7.35 dBi for 2.45 GHz and 5.5 GHz.

Keywords: Dual-Band Spherical Antenna; Cone Radiation Pattern; WLAN

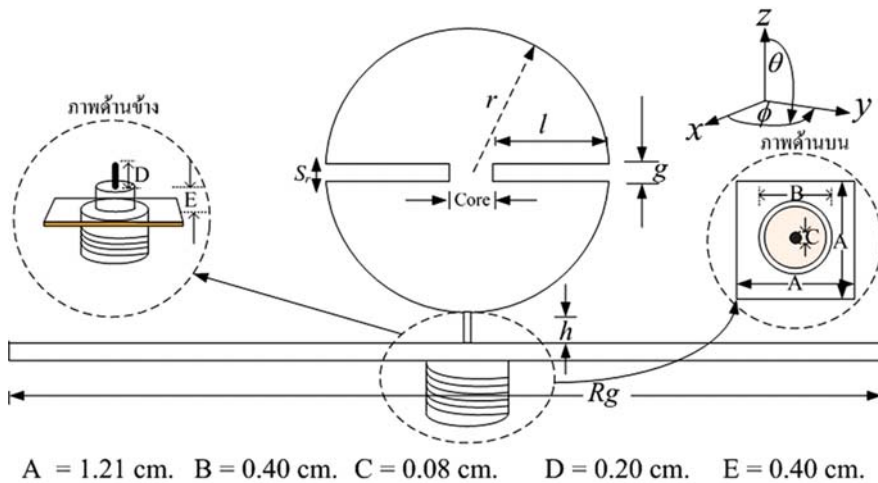
บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายได้มีความเจริญก้าวหน้าเป็นอย่างมาก สายอากาศเป็นส่วนหนึ่งของระบบสื่อสารไร้สายจึงได้รับการพัฒนาไปด้วย ซึ่งเงื่อนไขต่าง ๆ ของสายอากาศที่จำเป็นที่ต้องพัฒนาคือ ทำให้มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบา มีแถบความถี่ตามต้องการ สร้างได้ง่ายและสะดวกเมื่อต่อเข้ากับวงจรส่วนหน้า (Front End) ของเครื่องรับ - ส่ง

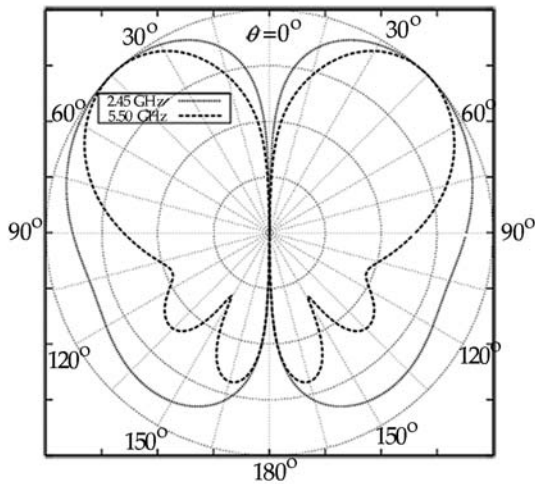
เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN: Wireless Local Area Network) เป็นการสื่อสารไร้สายที่มีผู้นิยมใช้กันมาก ไม่ว่าจะเป็นความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g ที่ใช้กำลังส่งรวมในการแพร่กระจายสัญญาณ (EIRP) เท่ากับ 0.1 W ย่านความถี่ 5 GHz ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 n ที่แบ่งออกเป็น 3 ย่าน คือ 5.150 - 5.350 5.470 - 5.725 และ 5.725 - 5.850 GHz กำลังงานในการส่งเป็น 0.2 1 และ 1 W ตามลำดับ ซึ่งเริ่มแรกการใช้งานความถี่ 5 GHz ยังมีไม่มากนักและมักนิยมใช้ย่าน 2.4 GHz จนกระทั่งปัจจุบันที่อุปกรณ์ที่มีรองรับกับความถี่ 5 GHz และกรอปกับมีการใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz กันอย่างหนาแน่น เกิดปัญหาการชนกันของช่องสัญญาณ จึงเป็นเหตุให้ใช้งานที่ความถี่ 5 GHz กันเพิ่มขึ้น ซึ่งระบบของทั้ง 2.4 GHz และ 5 GHz มีเทคนิคการออกแบบที่ต่างกันด้วยมีความถี่เป็นตัวกำหนด เพราะฉะนั้นการออกแบบสายอากาศที่จะใช้ได้ทั้งสองระบบจึงเป็นที่มาของบทความนี้ โดยมีเงื่อนไขว่าจะต้องให้มีลักษณะหลักของทั้งสองความถี่อยู่ตำแหน่งเดียวกันและมีค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -10 dB และมีอัตราขยายที่มากพอสำหรับการสื่อสารไร้สายสายอากาศที่มีร่องเปิด (Slot) นั้นตอบสนองได้มากกว่าหนึ่งความถี่ (Phongcharoenpanich, C. and Khoomwong, E., 2010; Howard, R. S. and Tran, C., 2007; Wang, C. J. and Chang, S. -W., 2008; Schantz, H., 2005) ในงานวิจัยนี้ใช้คุณสมบัติที่มีค่าความนำไฟฟ้าในการสร้างสายอากาศทรงกลมตันกับระนาบกราวด์ โดยใช้อุปกรณ์กระจายสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ของวงจรส่วนหน้าเท่ากับ 50 โอห์ม

วิธีดำเนินการวิจัย

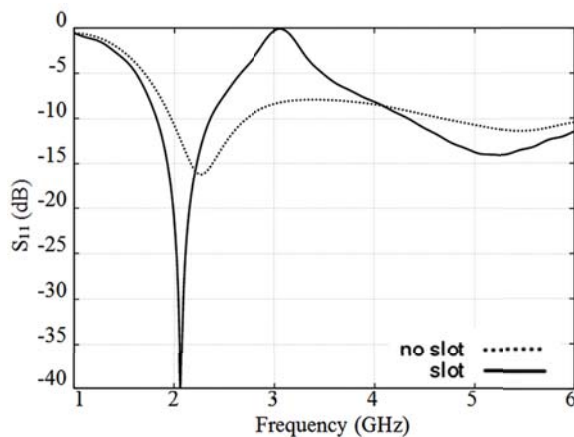
เพื่อให้สายอากาศต้นเดียวสามารถใช้งานได้สองความถี่ คือที่ความถี่กลางของความถี่ต่ำ ($f_1 = 2.45$ GHz) และความถี่กลางของความถี่สูง ($f_2 = 5.5$ GHz) โดยโครงสร้างสายอากาศประกอบไปด้วย สายอากาศทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ r อยู่บนระนาบกราวด์ที่มีรัศมีเท่ากับ R_g ซึ่งระนาบกราวด์นี้เป็นตัวกำหนดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรูปกรวย สายอากาศทรงกลมมีร่องเปิดกว้างเท่ากับ g และความลึกของร่องเปิดเท่ากับ l โดยที่ระนาบกราวด์และทรงกลมมีระยะห่างเท่ากับ h ซึ่งสามารถปรับจูนได้ด้วยการใช้สกรู มีการเชื่อมต่อกันด้วยหัวต่อ (Connector) ชนิด SMA ตามรูปที่ 1 อีกทั้งศึกษาและออกแบบโดยพิจารณาผลลัพธ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวให้มีอินพุตอิมพีแดนซ์แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นไปตามต้องการ โดยใช้โปรแกรมจำลองแบบ Zeland IE3D ซึ่งเริ่มพิจารณาค่ารัศมีของสายอากาศทรงกลม r จากความถี่ f_1 โดยพิจารณาให้ความยาวคลื่นเท่ากับเส้นรอบวงของสายอากาศทรงกลม (Phongcharoenpanich, C. and Khoomwong, E., 2010) หรือ $2\pi r = \lambda_1$ เมื่อ $\lambda_1 = v/f_1$ เพราะฉะนั้นรัศมีทรงกลมจึงมีเงื่อนไขเริ่มต้นเท่ากับ 1.91 cm และรัศมีของระนาบกราวด์ R_g มีค่าเท่ากับครึ่งความยาวคลื่นของความถี่ f_1 ดังนั้น $R_g = 6.12$ cm ขณะที่ความสูงระหว่างสายอากาศทรงกลมกับระนาบกราวด์ h เป็น $\lambda_1/50$ หรือ 0.24 cm ความลึกร่องเปิด (l) ของสายอากาศทรงกลมเท่ากับ $\lambda_1/4$ หรือ 1.24 cm ระยะห่างร่องเปิด (g) เท่ากับ $\lambda_2/32$ หรือ 0.17 cm ขณะที่ตำแหน่งร่องเปิดของสายอากาศทรงกลม (S_r) เป็นอัตราส่วนของ λ_2/λ_1 ของรัศมีสายอากาศทรงกลมหรือ $S_r = 0.445r = 0.85$ cm นับจากด้านล่างของสายอากาศทรงกลม



รูปที่ 1 โครงสร้างสายอากาศทรงกลมต้น



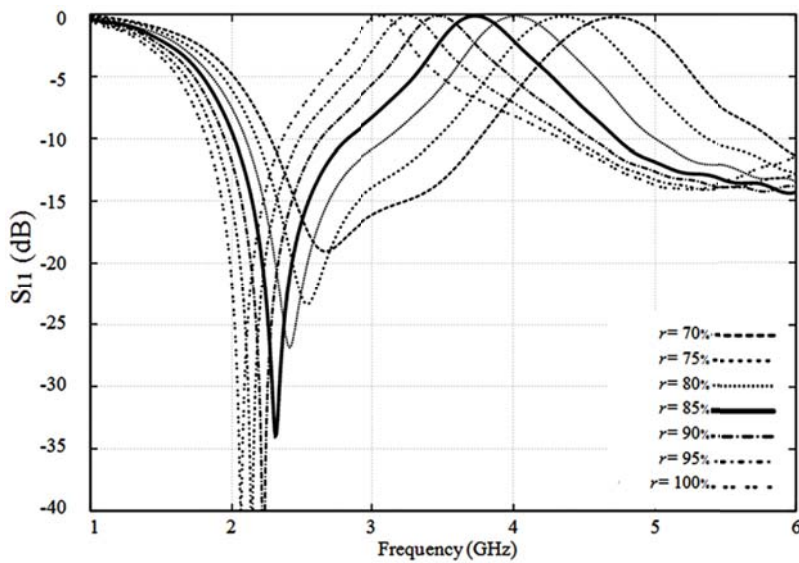
รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยก $r=1.92$ cm $R_g=6.12$ cm และ $h=0.5$ cm



รูปที่ 3 $|S_{11}|$ เมื่อ $r=1.92$ cm $R_g=6.12$ cm และ $h=0.5$ cm

รูปที่ 2 เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทรงกลมในระนาบมุมยก (Elevation) ขณะที่ไม่มีร่องเปิด ทั้งสองความถี่จะมีลำคลื่นหลักอยู่ที่มุม 45° โดยความถี่ 5.5 GHz นั้น มีค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดครึ่งหนึ่ง (HPBW) เท่ากับ 36° และที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่า HPBW เท่ากับ 72° โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของทั้งสองความถี่ที่ซีกซ้ายและซีกขวาสมมาตรกัน

รูปที่ 3 แสดงอัตราการใช้สูญเสียย้อนกลับกรณีไม่มีร่องเปิด (No Slot) นั้น จะมีความกว้างของแถบความถี่ (Bandwidth) ที่กว้างกว่าคือตั้งแต่ 2.0 GHz ถึง 2.7 GHz และที่ความถี่ 5 GHz ก็ยังสามารถใช้งานได้ แต่ว่าค่าการสูญเสียควรมีค่าน้อยกว่านี้ จึงได้เพิ่มร่องเปิด (Slot) ให้กับสายอากาศทรงกลมได้ผลลัพธ์คือ ที่ความถี่ต่ำจะตอบสนองที่ความถี่ $1.8 - 2.3$ GHz มีอัตราสูญเสียย้อนกลับ $S_{11} = -40$ dB ที่ความถี่สูงตอบสนองทางความถี่ตั้งแต่ 4.3 GHz เป็นต้นไป มีค่า S_{11} น้อยที่สุดคือ -14 dB ซึ่งเห็นได้ว่า S_{11} กรณีมีร่องเปิดจะรองรับความถี่ที่ต้องการมากกว่ากรณีไม่มีร่องเปิด

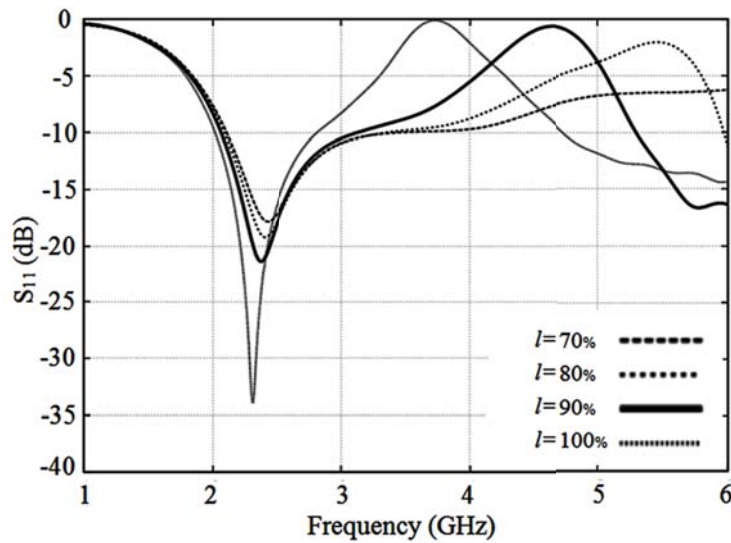


รูปที่ 4 $|S_{11}|$ ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงรัศมีสายอากาศทรงกลม $R_g=6.12$ cm $h=0.5$ cm $g=1.70$ mm $l=1.36$ cm และ $S_r=0.445r$

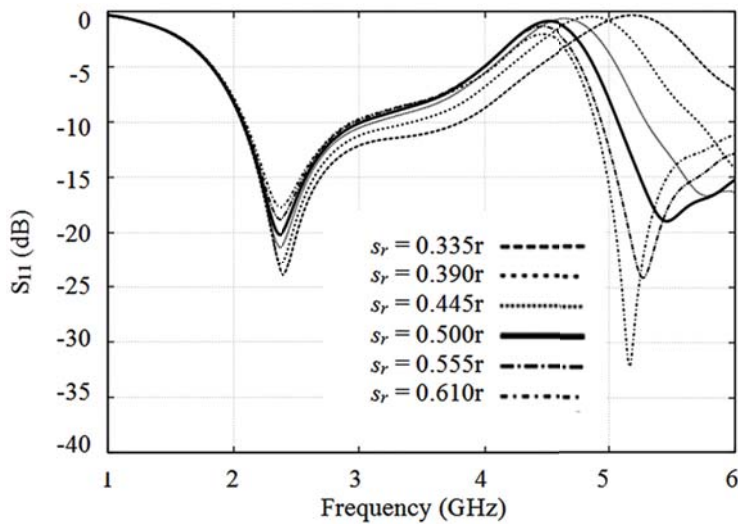
เพื่อให้สายอากาศรองรับกับความถี่ที่ต้องการคือย่าน 2.4 GHz และย่าน 5 GHz ดีขึ้น จึงต้องพิจารณาพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยเริ่มจากการหาขนาดของสายอากาศทรงกลม ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุด แสดงดังรูปที่ 4 คือแนวโน้มนองอัตราสูญเสียย้อนกลับ เมื่อลดขนาดรัศมีของสายอากาศทรงกลมลง (เส้น $r = 100\%$ คือ รูปที่ 2 ขณะมีช่องเปิด) จะเลื่อนไปทางความถี่สูงเทียบได้ว่าเมื่อรัศมีของสายอากาศทรงกลมสั้นลง จะทำให้ตอบสนองกับความถี่ที่สูงขึ้น จากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ f_1 กับรัศมีของสายอากาศทรงกลม r ดังสมการที่ (1)

$$r = v / 2\pi f_1 \quad (1)$$

โดยที่ r เป็น 90 95 และ 100% จะรองรับกับความถี่สูงได้ดีแต่ที่ความถี่ต่ำจะตอบสนองกับความถี่ที่ไม่ต้องการ ขณะที่ $r = 70$ 75% จะไม่ตอบสนองกับความถี่สูง ดังนั้นค่าที่เหมาะสมในการลดขนาดของรัศมีสายอากาศทรงกลมคือ $r = 80$ และ 85% แต่ที่ $r = 85\%$ จะตอบสนองกับความถี่ต่ำได้ดีกว่าที่ $r = 80\%$ อีกทั้งที่ย่านความถี่สูงยังมีค่าความสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า จึงเลือก r เป็น 85% หรือ 1.62 cm ซึ่งจากสมการที่ (1) ก็จะได้เห็นว่ายิ่งความถี่ f_1 มีค่ามาก ค่า r ก็จะยิ่งสั้นลง จากรูปที่ 5 และรูปที่ 6 เป็นการหาค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับช่องเปิด คือ ความลึกของช่องเปิด และตำแหน่งของช่องเปิด



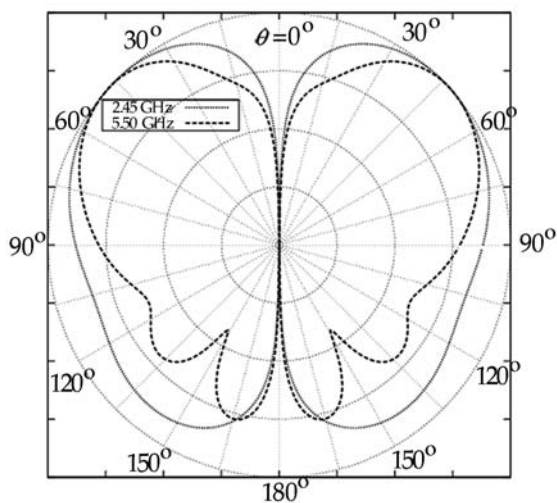
รูปที่ 5 $|S_{11}|$ ขณะเปลี่ยนแปลงค่า l เมื่อ $r = 1.62$ cm $R_g = 6.12$ cm $h = 0.5$ cm $g = 1.70$ mm และ $s_r = 0.455r$



รูปที่ 6 $|S_{11}|$ ขณะเปลี่ยนแปลงค่า s_r เมื่อ $r = 1.62$ cm $R_g = 6.12$ cm $h = 0.5$ cm $g = 1.70$ mm และ $l = 1.22$ cm

รูปที่ 5 เป็นการพิจารณาความลึกของร่องเปิด ซึ่งเป็นผลมาจากการลดขนาดของรัศมีสายอากาศทรงกลมมาจาก 1.92 cm มาเป็น 1.62 cm แต่อย่างไรแล้วสายอากาศทรงกลมนี้ได้ออกแบบมาเพื่อผลตอบสนองกับ f_1 เพราะฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงค่า l จึงส่งผลต่อความถี่ f_1 น้อยมาก แต่ความยาวร่องของสายอากาศทรงกลมนี้จะมีผลกับการตอบสนองทางความถี่ f_2 อย่างมาก กรณี $l = 70$ 80% จะไม่ตอบสนองกับย่านความถี่สูง กรณี $l = 90$ 100% จะมีการตอบสนองกับ f_2 ได้ดีกว่าโดยเฉพาะ

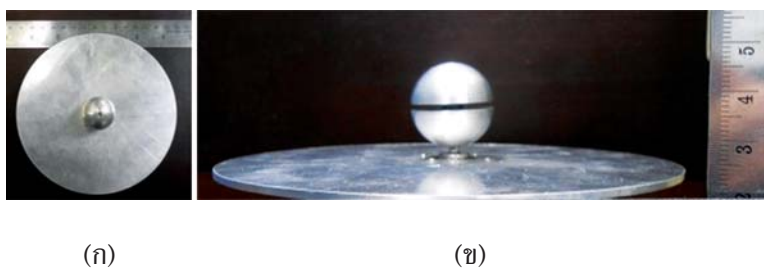
$I = 100\%$ แต่จะทำให้ความลึกของร่องมีค่าเท่ากับ 1.36 cm ซึ่งทำให้แกนกลางที่รับน้ำหนักของสายอากาศไม่แข็งแรงเพราะจะเหลือเส้นผ่านศูนย์กลางของแกน (Core) เพียง 0.52 cm ส่วน $I = 90\%$ จะให้ผลตอบสนองตั้งแต่ความถี่ 5.2 GHz แต่ทว่าจะให้สายอากาศมีความแข็งแรงมากขึ้นเพราะ Core ใหญ่ขึ้นเป็น 0.8 cm รูปที่ 6 เป็นผลของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของร่องเปิด จาก $s_r = 0.445r$ (หรือ λ_2 / λ_1 ของรัศมีสายอากาศทรงกลม) ทำให้เห็นว่าที่ความถี่ต่ำจะมีความแตกต่างกันมากนัก เพราะเป็นสายอากาศทรงกลมที่ถูกออกแบบไว้ที่ f_1 อยู่แล้ว แต่ตำแหน่งร่องเปิด s_r จะรีโซแนนซ์กับความถี่สูงเป็นอย่างมาก ถ้าตำแหน่งของร่องเปิดเลื่อนขึ้น จะทำให้ความถี่รีโซแนนซ์ของความถี่สูงเลื่อนต่ำลง อัตราการสูญเสียย้อนกลับของ $s_r = 0.335r$ $0.390r$ ไม่สามารถรองรับความถี่สูงเลย $s_r = 0.445r$ เป็นเงื่อนไขเดียวกับรูปที่ 5 เมื่อ $I = 90\%$ ซึ่งยังไม่ครอบคลุมความถี่สูงตามต้องการทั้งหมด อัตราการสูญเสียย้อนกลับที่เหมาะสมมี 3 เส้น คือ $s_r = 0.500r$ $0.555r$ และ $0.610r$ ที่ความถี่ต่ำทั้ง 3 เส้นนี้ไม่ต่างกันมาก แต่ย่านความถี่สูงตั้งแต่ 5.5 GHz เป็นต้นไป $s_r = 0.500$ cm จะมีอัตราการสูญเสียย้อนกลับที่น้อยกว่า s_r ตำแหน่งอื่น รูปที่ 7 เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรูปกรวยที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จากตารางที่ 1 โดยทั้งสองย่านความถี่มีลำคลื่นหลักอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน คือ มุม 45° และแต่ละความถี่มีลักษณะสมมาตรกัน โดยที่ความถี่ 5.5 GHz จะมี HPBW น้อยกว่าความถี่ 2.45 GHz รูปที่ 8 เป็นโครงสร้างของสายอากาศทรงกลมที่สร้างจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำการวิเคราะห์ไว้ โดยมีรัศมี r เท่ากับ 1.62 cm ความลึกของร่องเปิด I เท่ากับ 1.22 cm ระยะความกว้างของร่องเปิด g เท่ากับ 0.17 cm ตำแหน่งความสูงของร่องเปิด s_r เท่ากับ 0.66 cm (เมื่อ $r = 1.62$ cm) รัศนากราวด์ R_g เท่ากับ 6.12 cm และระยะความสูงระหว่างสายอากาศทรงกลมกับรัศนากราวด์ h เท่ากับ 0.24 cm สร้างมาจากวัสดุตัวนำอลูมิเนียมทั้งสายอากาศทรงกลมตันและรัศนากราวด์ โดยสายอากาศเป็นทรงตันด้วยเหตุผลคือง่ายต่อการสร้างและการติดตั้ง รูปที่ 9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรูปกรวย มีลำคลื่นหลักอยู่ระนาบมุมยกที่ $\theta \cong 45^\circ$ ทั้งผลการจำลองและผลการทดลองของทั้งสองความถี่ แต่เนื่องจากไม่ได้ทำการทดสอบในห้องป้องกันการสะท้อนของคลื่น ผลการทดลองจึงมีค่าคลาดเคลื่อนต่างจากผลการจำลองบ้าง แต่ผลลัพธ์ที่ได้นั้นแสดงได้ว่าสามารถใช้งานได้จริงในสภาพใช้งานจริง อีกประการหนึ่งคือ มุมของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มีผลกับการสื่อสารเป็นอย่างมากนั้นจะเริ่มตั้งแต่ $\theta = 30^\circ - 60^\circ$ ซึ่งมุมอื่น ๆ ตั้งแต่ $\theta > 60^\circ$ นั้นค่อนข้างมีผลน้อยมากกับการสื่อสารเพราะไม่ใช่ตำแหน่งของการใช้งาน แต่อย่างไรก็ตาม ตั้งแต่ $\theta = 0^\circ - 90^\circ$ นี้ ผลลัพธ์ของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นก็สอดคล้องกัน ไม่ว่าผลการจำลอง ผลการทดลองทั้งความถี่ 2.45 GHz และ 5 GHz ดังรูปที่ 9 (ก) ที่ความถี่ 2.5 GHz มีแบบรูปการแพร่กระจายที่ค่อนข้างสมมาตรกันระหว่างผลการทดลองและผลการจำลอง รูปที่ 9 (ข) ที่ความถี่ 5.5 GHz ผลการจำลองมีค่า HPBW $\cong 45^\circ$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะมีลักษณะสมมาตรกัน แต่ผลการทดลองจะไม่สมมาตรแม้มีค่า HPBW $\cong 45^\circ$ เหมือนกัน และอีกประการหนึ่งในระนาบมุมกวาด (Azimuth) มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัวทั้งสองย่านความถี่ ทั้งผลการจำลองและผลการทดลองจึงไม่ได้นำมาแสดง ณ ที่นี้



รูปที่ 7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการจำลอง เมื่อ $r = 1.62$ cm $R_g = 6.12$ cm $h = 0.5$ cm $g = 1.70$ mm $l = 1.22$ cm และ $s_r = 0.500r$

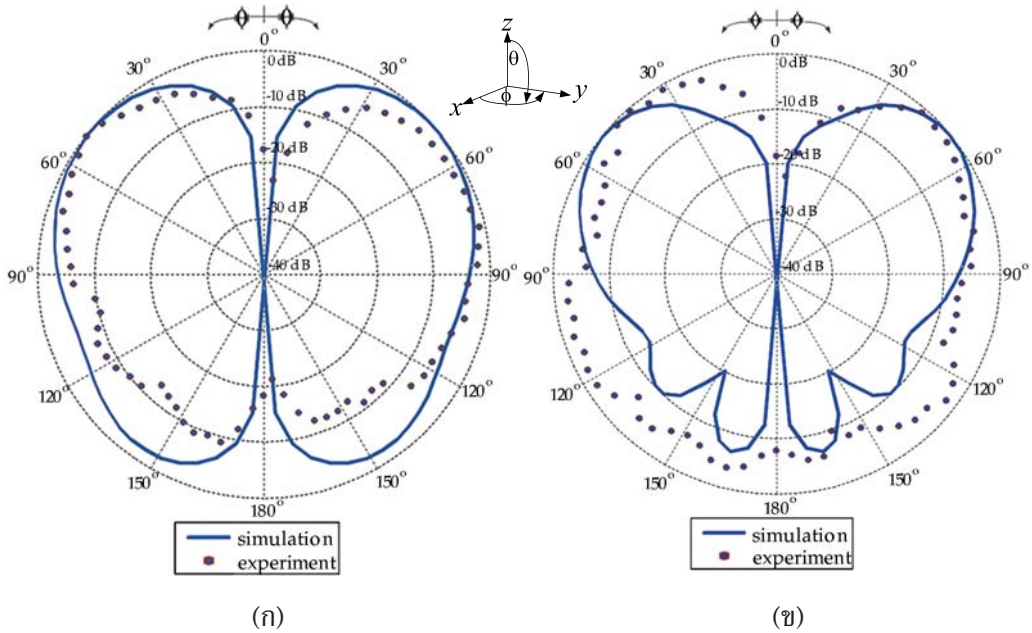
ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	เงื่อนไขเริ่มต้น	ค่าที่เหมาะสม
r	$\lambda_1 / 2\pi = 1.91$ cm	1.62 cm
l	$\lambda_2 / 4 = 1.36$ cm	1.22 cm
g	$\lambda_2 / 32 = 1.70$ mm	1.70 mm
S_r	$(\lambda_2 / \lambda_1) \times r = 0.85$ cm	0.66 cm
R_g	$\lambda_1 / 2 = 6.12$ cm	6.12 cm
h	$\lambda_1 / 50 = 0.24$ cm	0.24 cm

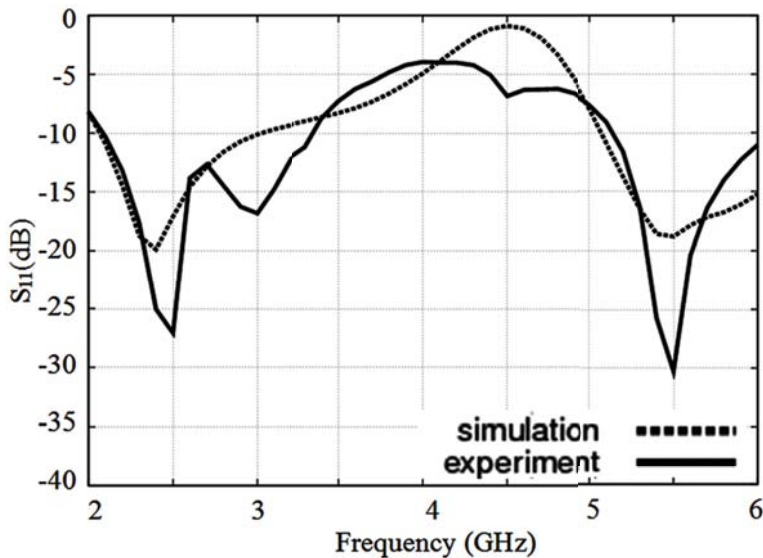


รูปที่ 8 โครงสร้างสายอากาศทรงกลม (ก) ด้านบน (ข) ด้านข้าง

ผลการวิเคราะห์



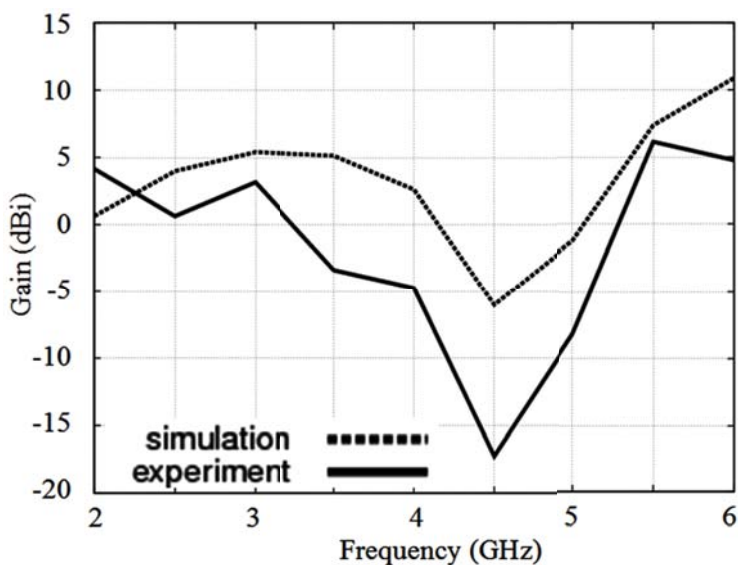
รูปที่ 9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบมุมยกความถี่ (ก) 2.5 GHz และ (ข) 5.5 GHz



รูปที่ 10 $|S_{11}|$ เมื่อ $r=1.62$ cm $R_g=6.12$ cm $h=0.5$ cm $g=1.70$ mm $l=1.22$ cm $s_r=0.500r$

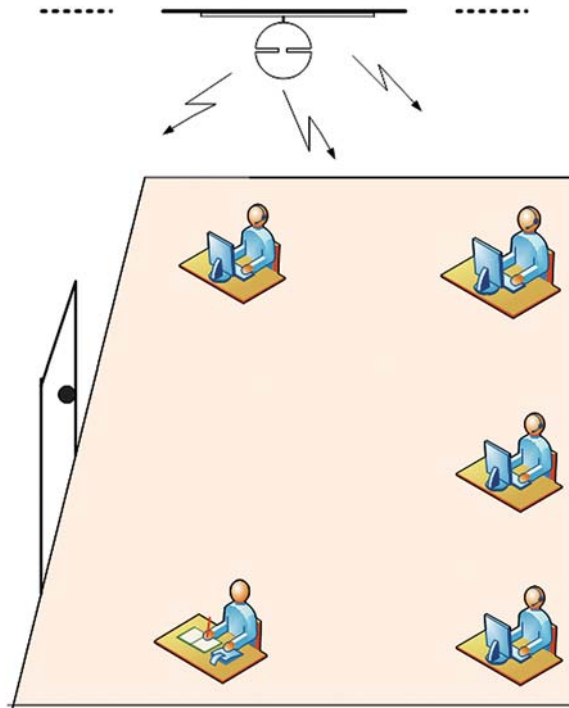
รูปที่ 10 เป็นอัตราการสูญเสียย้อนกลับระหว่างผลการจำลองและผลการทดลอง ซึ่งมีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน จากผลการทดลองที่ความถี่ต่ำนั้น สายอากาศจะตอบสนองได้ดีที่ความถี่ 2.5 GHz โดยค่าสูญเสียย้อนกลับมีค่าเท่ากับ $S_{11} = -27.08$ dB ที่ความถี่สูงตอบสนองที่ความถี่ 5.5 GHz ได้ค่า

$S_{11} = -30.28$ dB และผลการจำลองที่ความถี่ต่ำตอบสนองที่ความถี่ 2.4 GHz ได้ค่า $S_{11} = -17.10$ dB ที่ความถี่สูงได้ $S_{11} = -18.84$ dB โดยแถบความถี่ของผลการทดลองและผลการจำลองจะรองรับกับความถี่ WLAN ของทั้งสองความถี่ได้เป็นอย่างดี โดยความถี่ 4 GHz ของผลการทดลองและความถี่ 4.5 GHz ของผลการจำลองจะให้ค่า S_{11} สูงที่สุด ซึ่งหมายความว่าสายอากาศไม่ได้รับรองรับกับย่านความถี่ดังกล่าว รูปที่ 11 เป็นอัตราขยายที่วัดจากระนาบมุมยกที่ $\theta = 45^\circ$ ซึ่งเป็นลำคลื่นหลักของสายอากาศนี้ โดยได้สร้างสายอากาศ 2 ต้น ที่มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เหมือนกัน โดยทำการวัดอัตราการส่งผ่านหรือ S_{21} แล้วอาศัยสมการการส่งคลื่นของฟรีส (Friis Transmission Formula) ในการหาค่าอัตราขยาย ผลการทดลองและผลการจำลองมีแนวโน้มสอดคล้องกันคือ มีอัตราขยายสูงที่ความถี่ 5.5 - 6 GHz และความถี่ 4.5 GHz มีค่าอัตราขยายที่น้อยกว่าศูนย์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากลำคลื่นหลักของความถี่ดังกล่าวอาจไม่ใช่มุม 45° จึงทำให้ความเข้มการแพร่กระจายคลื่นต่ำที่มุม 45° และอีกประการหนึ่งคือสายอากาศนี้ไม่รองรับกับความถี่อื่นนอกจากความถี่ที่ออกแบบไว้ ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของอัตราขยายของผลการจำลองจะมีค่ามากกว่าผลการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องจากวัสดุที่ใช้สร้างสายอากาศและอุปกรณ์ในการต่อพ่วง เช่น สายนำสัญญาณ หัวต่อ และเครื่องวิเคราะห์วงจรขยาย เพื่อเป็นการลดความผิดพลาดในการวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศด้วยวิธีการการส่งคลื่นของฟรีส ควรวัดค่าอัตราการขยายด้วยวิธีการวัดเทียบ (Gain-Comparison Method) จากสายอากาศมาตรฐานที่รู้ค่าอัตราการขยายแล้ว



รูปที่ 11 อัตราขยายของสายอากาศทรงกระบอกกลมบนระนาบกราวด์ที่ค่าพารามิเตอร์เหมาะสมที่สุด

เนื่องจากแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นรูปกรวยที่มีลำคลื่นหลักอยู่ที่ตำแหน่ง $\theta = 45^\circ$ และที่ตำแหน่งที่ลำคลื่นเป็นศูนย์ (Null) คือมุม $\theta = 0^\circ$ จึงควรติดตั้งสายอากาศด้านบนบริเวณฝ้าเพดานกลางห้องและคว่ำสายอากาศลงเพื่อให้ระนาบกราวด์ติดกับฝ้าเพดาน ดังนั้นบริเวณใช้งานจะมีประสิทธิภาพดีบริเวณรอบ ๆ สายอากาศที่เฉียงจากสายอากาศ 45° โดยตำแหน่งที่ตรงกับสายอากาศจะไม่เหมาะกับการใช้งาน ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การติดตั้งสายอากาศทรงกลม

สรุปผลการดำเนินการ

สายอากาศทรงกลมสองย่านความถี่ ที่ได้ออกแบบและสร้างด้วยอลูมิเนียมนี้ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรูปกรวยลำคลื่นหลักที่ $\theta = 45^\circ$ มีค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับ -27.08 dB -30.28 dB มีอัตราขยายเป็น 0.632 dBi 6.12 dBi ที่ f_1 f_2 ได้ลดขนาดของรัศมีสายอากาศทรงกลมจาก 1.91 cm เป็น 1.62 cm ระยะตำแหน่งของร่องเปิด s_r มีผลอย่างมากกับความถี่ f_2 เพราะสายอากาศทรงกลมได้ถูกออกแบบไว้สำหรับ f_1 ดังนั้นระยะของ s_r ก็คือผลตอบสนองทางความถี่ของ f_2 ซึ่งจากการใช้งานจริงสายอากาศทรงกลมบนระนาบกราวด์ที่ได้สร้างขึ้นนี้สามารถใช้งานกับทั้งสองความถี่ได้ดี

งานในอนาคต

สามารถลดขนาดรัศมีของสายอากาศทรงกลมได้อีกโดยที่ยังคงความถี่ปฏิบัติการ f_1 f_2 ดังเดิมด้วยการเพิ่มจำนวนร่องเปิดที่ระยะที่เหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณโครงการยกระดับปริญญาโทเป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน ประจำปี 2557

References

- Phongcharoenpanich, C. and Khoomwong, E. (2010). Dual-Band Conical-Beam Antenna for IEEE 802.11 a/b/g Application. In *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference 2010*. pp. 1926-1929
- Howard, R. S. and Tran, C. (2007). Small Spherical Antennas Using Arrays of Electromagnetically Coupled Planar Elements. *IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters*. Vol. 6. pp. 7-10
- Wang, C. J. and Chang, S.-W. (2008). Studies on Band Multi-slot Antennas. *Progress In Electromagnetics Research (PIER)* Vol. 83. pp. 293-306