

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศรูปกรวยคู่แถบความถี่กว้างยิ่งยวด ด้านลักษณะเฉพาะของการแผ่คลื่น

ระพีพันธ์ ชัดปิก¹ นิภาภรณ์ ศิริพล² กมลศักดิ์ เมฆสมุทร³ และ สมพล โกศลวิตร⁴

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาควิชาฟิสิกส์ เชียงใหม่
128 ถ.ห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300 โทร : 053-921444 ต่อ 2111 E-mail: rapin56_1@hotmail.com

² ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200 E-mail: ²nipapon@ee.eng.cmu.ac.th, ³komsak@ieee.org

⁴ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

สายอากาศรูปกรวยคู่เป็นหนึ่งในสายอากาศอ้างอิงในการทดสอบสายอากาศชนิดอื่น เนื่องจากสามารถใช้งานได้ในแถบความถี่กว้างมาก บทความนี้จึงได้นำเสนอผลการออกแบบ การจำลองแบบ และสร้างสายอากาศรูปกรวยคู่ที่มีการแผ่คลื่นแบบรอบทิศทาง ซึ่งเริ่มต้นจากการจำลองด้วยโปรแกรม CST เพื่อหาค่ามุมระหว่างกรวยทั้งสองที่เหมาะสมที่สุด ที่ให้ลำคลื่นหลักในมุมยกอยู่ในแนวราบ ($\theta = 90^\circ$, $\phi = 0^\circ - 360^\circ$) ที่มีเสถียรภาพตลอดแถบความถี่กว้างยิ่งยวด มีแอมพลิจูดความพลั่วน้อยในบริเวณลำคลื่นหลัก โครงสร้างสายอากาศมีขนาดกะทัดรัด และมีค่าการสูญเสียย้อนกลับโดยเฉลี่ย 10 dB โดยสายอากาศที่จำลองและสร้างขึ้นมานี้สามารถใช้งานในแถบความถี่กว้างยิ่งยวด 3.1–10.6 กิกะเฮิรตซ์ และขยายครอบคลุมได้ตั้งแต่ 2–12 กิกะเฮิรตซ์

คำสำคัญ แถบความถี่กว้างยิ่งยวด, การแผ่คลื่นแบบรอบทิศทาง, สายอากาศรูปกรวยคู่

1. บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารไร้สายเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ในชีวิตประจำวันและการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารด้านเสียง หรือการสื่อสารด้านข้อมูล ยิ่งการสื่อสารไร้สายมีบทบาทมากเพียงใด สายอากาศที่ทำหน้าที่รับ-ส่ง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของระบบสื่อสารไร้สายนั้นก็ยิ่งมีความสำคัญเพิ่มขึ้นไปด้วย

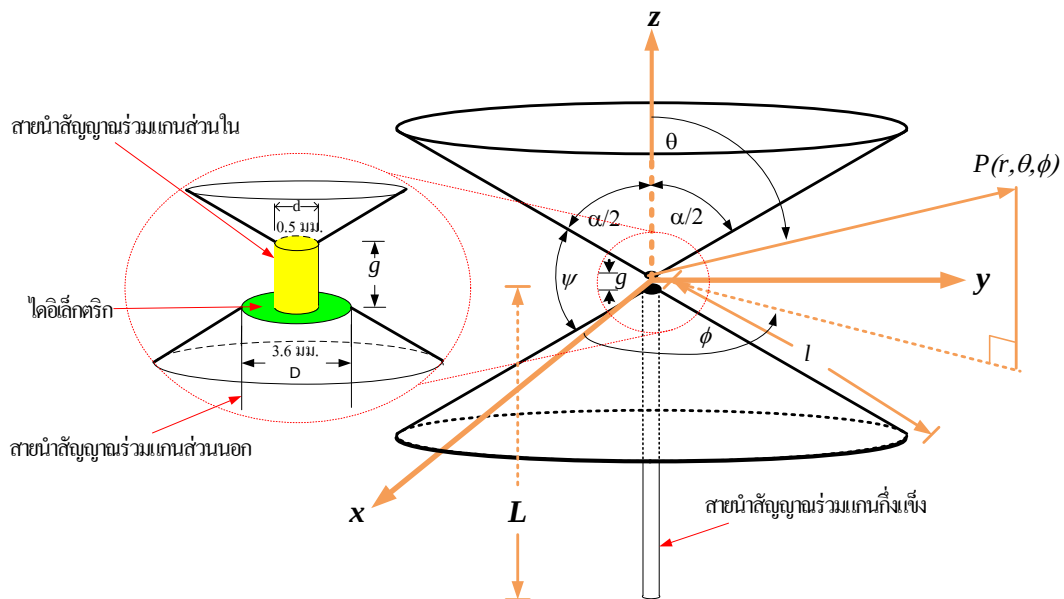
งานวิจัยนี้จึงนำเสนอสายอากาศรูปกรวยคู่ ที่ใช้ในระบบสื่อสารไร้สายแถบความถี่กว้างยิ่งยวด (UWB: Ultra-wideband) และขยายรวมถึงแถบความถี่เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) 2.45 กิกะเฮิรตซ์ด้วย สายอากาศรูปกรวย และสายอากาศรูปกรวยคู่ได้มีการใช้งานและพัฒนากันมาเป็นเวลาอันยาวนาน [1] จากข้อดีของสายอากาศดังกล่าวคือ มีแถบความถี่กว้างมากมีแบบรูปการแผ่กำลังงานแบบรอบทิศทางในแนวราบ แต่มีทิศทางในแนวระดับและเป็นสายอากาศโครงสร้างหนึ่งที่สามารถใช้ในระบบสื่อสารแถบความถี่กว้าง

ยิ่งยวด ซึ่งระบบนี้มีจุดเด่นที่ใช้พลังงานต่ำและลดการสูญเสียเนื่องจากการแทรกสอดระหว่างสเปกตรัมของระบบไร้สายระบบอื่นอีกด้วย โครงสร้างสายอากาศประเภทนี้จะมีเวลาประวิงแบบกลุ่ม(Group Delay) ต่ำที่สุด หน่วยที่ใช้คือ lm (light meter) ซึ่งเป็นเวลาที่แสงใช้เดินทางในระยะทาง 1 เมตร คำนวณได้จากส่วนกลับของความเร็วแสงหรือ $1 lm = 3.3333 \times 10^{-9}$ วินาที [2]–[3]

งานวิจัยนี้ต่อยอดองค์ความรู้จาก [4] เนื่องจากผลจากงานวิจัยดังกล่าวได้มีข้อสรุปถึงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมว่า ระยะห่างระหว่างกรวย $g = 0.5$ มม. มุมระหว่างกรวยทั้งสอง $\psi = 60^\circ$ และความยาวกรวย $l = 1\lambda_{f_center}$ (f_c : 7 กิกะเฮิร์ตซ์) การสูญเสียย้อนกลับ 10 dB โดยเฉลี่ย แต่ค่าคลื่นหลักของแบบรูปการแผ่กำลังงานเฉพาะที่ความถี่ 4 กิกะเฮิร์ตซ์ นั้นไม่อยู่ในแนวราบ ($\theta \neq 90^\circ$) จึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในการหาคุณสมบัติของแผ่กำลังงานของสายอากาศรูปกรวยคู่ให้มีค่าคลื่นหลักอยู่ในแนวราบตลอดแถบความถี่กว้างยิ่งยวด ซึ่งการปรับมุมระหว่างกรวยเพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่กำลังงานที่ดีที่สุดตลอดแถบความถี่ที่ใช้งานนั่นเอง [5]

2. ทฤษฎีและโครงสร้างสายอากาศ

โครงสร้างสายอากาศรูปกรวยคู่ที่ป้อนสัญญาณด้วยสายเคเบิลร่วมแกนกึ่งแข็ง (Semi-rigid Coaxial Cable) ดังรูปที่ 1 เมื่อความยาวของกรวยคือ l กรวยทั้งสองสมมาตรกัน ระยะห่างระหว่างจุดยอดของกรวยคือ g มุมระหว่างกรวยทั้งสองคือ ψ ความยาวของสายร่วมแกนกึ่งแข็งคือ L โดยกรวยด้านล่างจะมีจุดยอดที่ต่อกับสายนำสัญญาณร่วมแกนส่วนนอก (Shield) เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.61 มม. ที่มุมยอดของกรวยบนต่อกับแกนกลางของสายนำสัญญาณร่วมแกนส่วนใน เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.53 มม. มุมภายในกรวยมีค่าเท่ากันทั้งสองส่วนคือ α ซึ่งกรวยทำจากวัสดุสังกะสี (Zinc) ค่าความนำ (Conductivity : σ) เท่ากับ 1.7×10^7 S/m



รูปที่ 1 โครงสร้างสายอากาศรูปกรวยคู่

2.1 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance)

สายอากาศที่ดีจะต้องมีการส่งผ่านกำลังงานให้ได้สูงสุดหรือมีการสูญเสียต่ำสุด กล่าวคือ สายอากาศจะต้องมีส่วนจริงของค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ เท่ากับส่วนจริงของอิมพีแดนซ์สายส่ง ส่วนจินตภาพของอิมพีแดนซ์จะต้องเป็นศูนย์ซึ่งกันและกัน ซึ่งคำนวณได้จาก [6] โดยค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะขึ้นอยู่กับ ค่าความยาวของกรวย และมุมระหว่างกรวยอีกด้วย

2.2 แบบรูปการแผ่กำลังงาน (Radiation Pattern)

สมการที่ (1) พิจารณาว่าในการแผ่กำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในที่ว่างอิสระ โดยระนาบมุมกวาด (Azimuth) จะอยู่ในระนาบเดียวกับสนามแม่เหล็ก และแบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบมุมยก (Elevation) หรือของระนาบสนามไฟฟ้าของสนามระยะไกลจะมีลำคลื่นหลักที่ $\theta = 90^\circ$ [4]

$$R(\theta) = \frac{E_\theta(r, \theta)}{E_\theta(r, 90^\circ)}$$

$$= \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{P_n \left(\cos \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right) P_n^{(1)}(\cos \theta)}{h_{n-1}^{(2)}(kl) - (n/kl)h_n^{(2)}(kl)} \frac{2n+1}{n(n+1)} j^n}{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{P_n \left(\cos \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right) P_n^{(1)}(0)}{h_{n-1}^{(2)}(kl) - (n/kl)h_n^{(2)}(kl)} \frac{2n+1}{n(n+1)} j^n} \quad (1)$$

เมื่อ $P_n^{(1)}(\cos \theta) = \frac{dP_n(\cos \theta)}{d\theta}$, P_n : พหุนามเลจองด์ (Legendre Polynomial) ลำดับที่ n ,

$P_n^{(1)}$: พหุนามเลจองด์ชนิดที่หนึ่ง, $h_n^{(2)}$: ฟังก์ชันแฮนเกล (Hankel Function) ทรงกลมชนิดที่สอง, k : ค่าคงที่เฟสมีค่าเป็น $2\pi/\lambda$ โดยสมการที่ (1) เป็นสมการการแผ่กำลังงานในที่ว่างอิสระของระนาบสนามไฟฟ้า

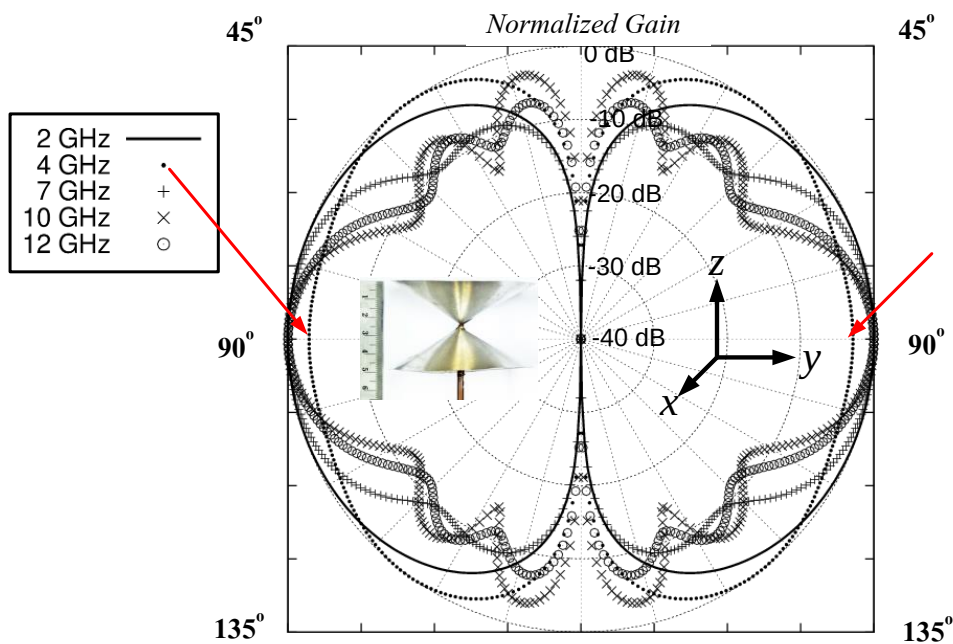
จากโครงสร้างของสายอากาศที่สมมาตรแบบหมุนรอบตัว (Rotational Symmetry) ทำให้แบบรูปการแผ่กำลังงานเป็นแบบรอบตัว (Omnidirectional) เช่นกันในระนาบมุมกวาด

3. การออกแบบและการจำลอง

การออกแบบสายอากาศนี้มีความต้องการประยุกต์ใช้งานในแถบความถี่กว้างยิ่งยวด 3.1–10.6 กิกะเฮิร์ตซ์ และสามารถขยายครอบคลุมได้ตั้งแต่ 2–12 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio [7] ในการจำลองจะต้องคำนึงถึงแบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าเป็นหลัก โดยวิธีการปรับมุมระหว่างกรวยให้ได้แบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าแรงที่สุดในแนวราบตลอดแถบความถี่กว้างยิ่งยวด

3.1 ความท้าทายจากงานวิจัยก่อนหน้า [4]

แบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบมุมยก จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้พิจารณาที่มุม $\psi = 100^\circ, 80^\circ, 60^\circ, 40^\circ$ และ 20° โดยที่ความยาวกรวยเท่ากับ $l = 1\lambda_{f_center} = 4.28$ ซม. ระยะห่างระหว่างกรวย $g = 0.5$ มม. สายนำสัญญาณ L ยาว 15 ซม. จนได้ข้อสรุปว่า $\psi = 60^\circ$ เป็นมุมที่ดีที่สุดเมื่อคำนึงถึงแบบรูปการแผ่กำลังงานและค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) แต่กรณีดังกล่าวจะมีแบบรูปการแผ่กำลังงานที่ความถี่ 4 กิกะเฮิรตซ์ แตกต่างจากความถี่อื่นๆ คือ มุมที่ความเข้มของสัญญาณสูงที่สุดไม่ใช่มุม $\theta = 90^\circ$ (ดังตำแหน่งที่ลูกศรชี้) แต่เลื่อนไปเป็นมุม $\theta = 40^\circ, 140^\circ$ ดังรูปที่ 2 งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาสายอากาศเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าว

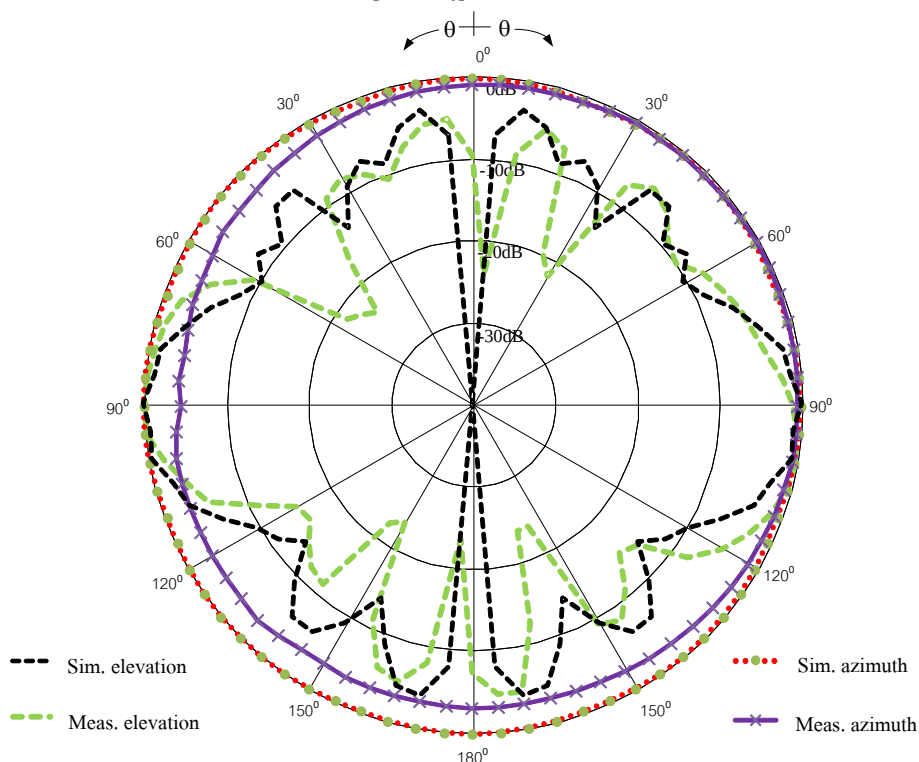


รูปที่ 2 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศ ที่มุม ψ เท่ากับ 60°

รูปที่ 3 แสดงแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศรูปกรวยคู่ที่ได้จากการทดลองและการจำลองทั้งระนาบมุมกวาดและมุมยก ที่ความถี่ 10.5 กิกะเฮิรตซ์ เมื่อพารามิเตอร์ คือ $l = 1\lambda_{f_center}$, $g = 0.5$ มม., $\psi = 60^\circ$ จาก [4] โดยที่ผลจากการทดลองนั้นวัดจากเครื่องมือวัด LAB VOLT 9507-15

4. ผลการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยการจำลอง

จากรูปที่ 3 แบบรูปการแผ่กำลังงานระนาบมุมกวาดเป็นแบบรอบทิศทาง ส่วนในระนาบมุมยก (xz หรือ yz) เป็นสิ่งที่ท้าทายในงานวิจัยนี้ว่าอย่างไรจึงจะทำให้มีความเข้มของสนามสูงสุดที่ $\theta = 90^\circ$ ตลอดแถบความถี่กว้างยิ่งยวด



รูปที่ 3 ผลการทดลองและการจำลองแบบรูปการแผ่กำลังงานความถี่ 10.5 กิกะเฮิร์ตซ์

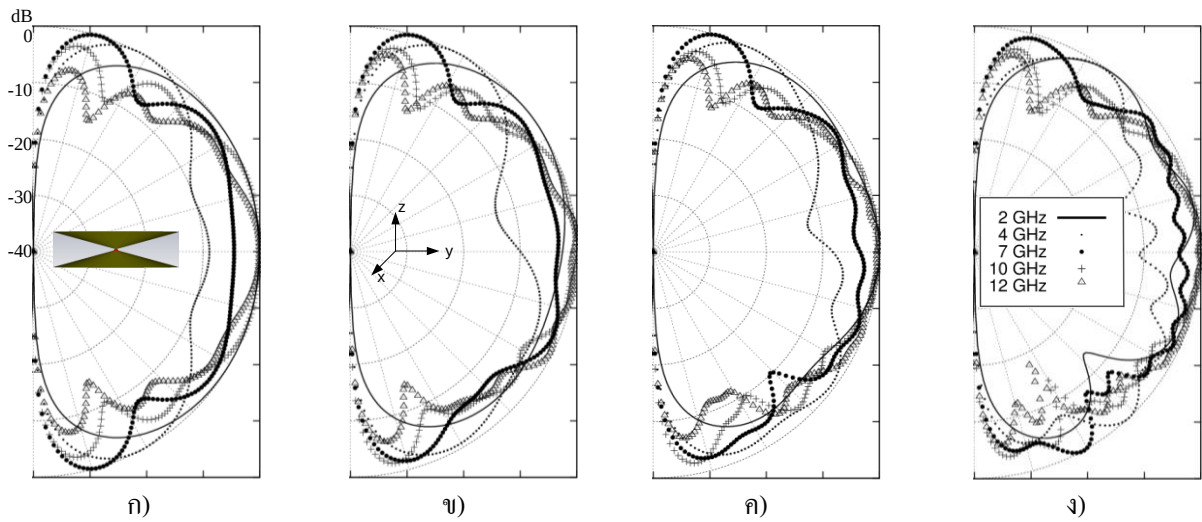
4.1 แบบรูปการแผ่กำลังงาน

4.1.1 แบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบมุมยก [8]

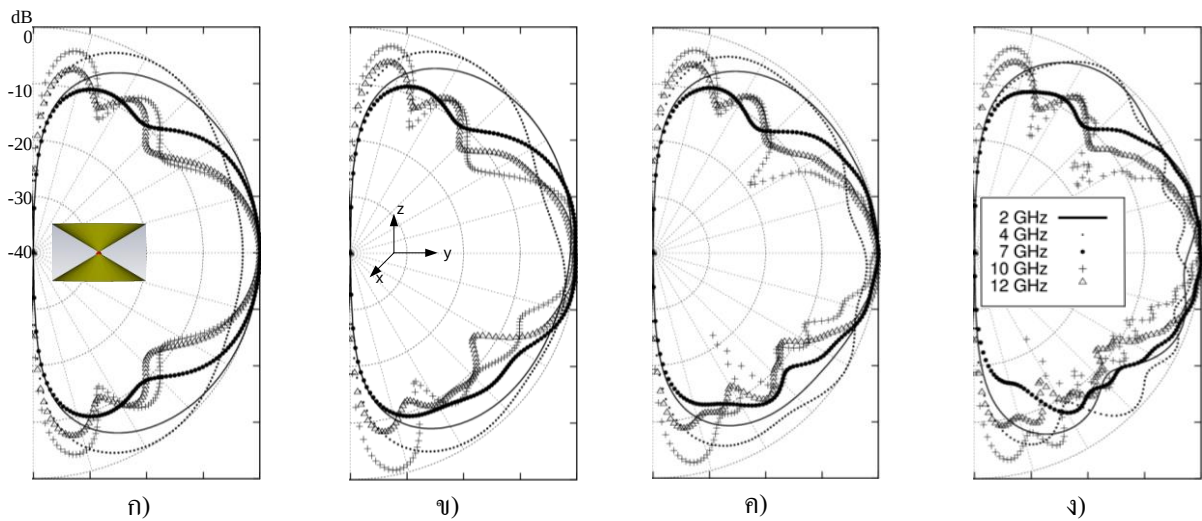
รูปที่ 4 ถึง รูปที่ 6 แสดงแบบรูปการแผ่กำลังงานระนาบมุมยกที่ความยาวของสายนำสัญญาณ $L = 0, 8, 15$ และ 25 ซม. เมื่อค่ามุมระหว่างกรวย $\psi = 30^\circ, 60^\circ$ และ 90° ตามลำดับ ซึ่งที่ความยาว $L = 0$ ซม. แบบรูปการแผ่กำลังงานจะมีลักษณะที่สมมาตรกันทั้งด้านบนและด้านล่าง แต่ที่กรณีที่มีความยาวของสายนำสัญญาณก็จะทำให้เกิดแอมพลิจูดความถี่ ทั้งนี้อาจเพราะสายนำสัญญาณทำหน้าที่เป็นตัวแผ่กำลังงานในลักษณะเดียวกันกับสายอากาศ โดยสังเกตจากด้านล่างของแบบรูปการแผ่กำลังงานจะเกิดแอมพลิจูดความถี่มากกว่าด้านบนเนื่องมาจากสายนำสัญญาณอยู่ด้านล่าง และจากรูปที่ 4 ถึง รูปที่ 6 ทำให้ทราบว่าที่ $\psi = 90^\circ$ เป็นค่ามุมที่ทำให้ได้แบบรูปการแผ่กำลังงานที่ดีที่สุดคือ ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดที่ $\theta = 90^\circ$ ตลอดแถบความถี่กว้างยิ่งยวด พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการควบคุมแบบรูปการแผ่กำลังงานก็คือ มุมระหว่างกรวย (ψ) และความยาวกรวย (L) [5]

4.1.2 แบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบมุมกวาด

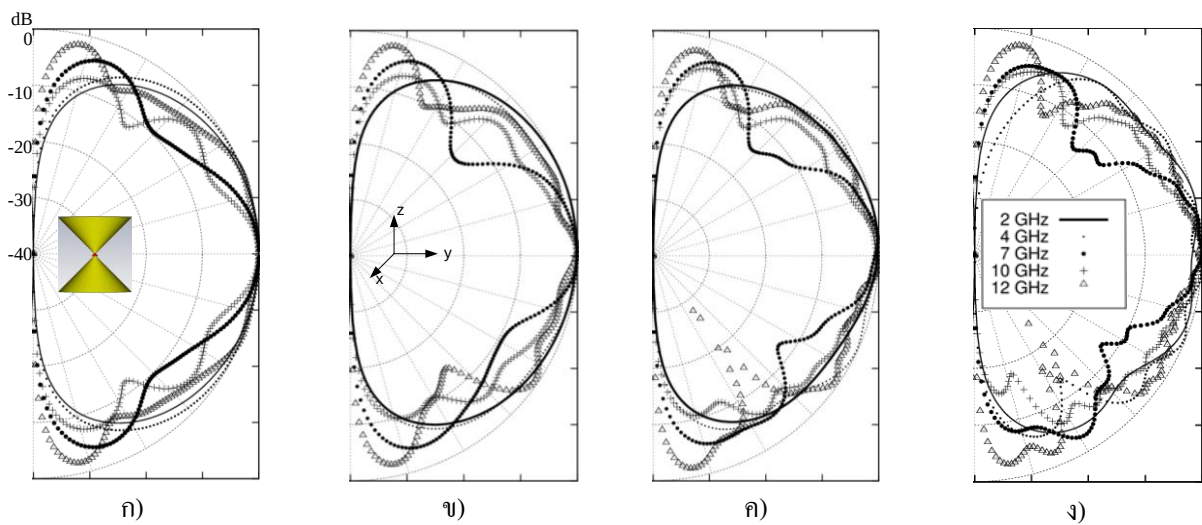
แบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบมุมกวาดหรือระนาบสนามแม่เหล็ก เป็นแบบรูปการแผ่กำลังงานที่มีลักษณะแบบรอบตัวมีกำลังงานเท่ากันทุกทิศทางตั้งแต่ $\phi = 0^\circ - 360^\circ$ ดังนั้นแบบรูปการแผ่กำลังงานจึงมีลักษณะเป็นวงกลม โดยปกติมักจะนำเสนอผลของแบบรูปการแผ่กำลังงานเป็น อัตราขยายนอร์มัลไลซ์ (Normalized Gain) ในหน่วย dB ซึ่งแบบรูปการแผ่กำลังงานของอัตราขยายนอร์มัลไลซ์ของ



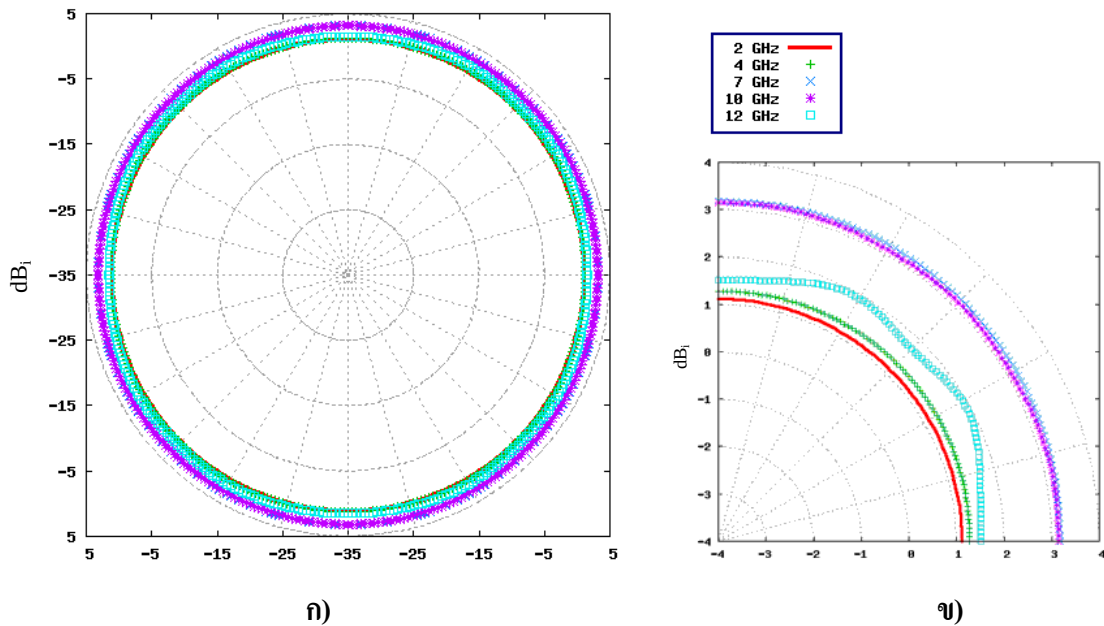
รูปที่ 4 แบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อมุม $\psi = 30^\circ$ ที่ความยาวสายนำสัญญาณ $L =$ ก) 0 ซม. ข) 8 ซม. ค) 15 ซม. และ ง) 25 ซม.



รูปที่ 5 แบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อมุม $\psi = 60^\circ$ ที่ความยาวสายนำสัญญาณ $L =$ ก) 0 ซม. ข) 8 ซม. ค) 15 ซม. และ ง) 25 ซม.



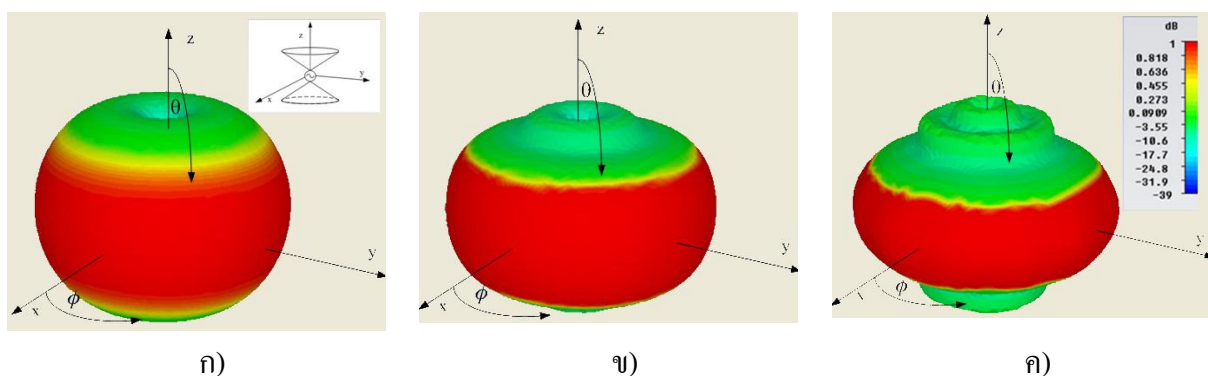
รูปที่ 6 แบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อมุม $\psi = 90^\circ$ ที่ความยาวสายนำสัญญาณ $L =$ ก) 0 ซม. ข) 8 ซม. ค) 15 ซม. และ ง) 25 ซม.



รูปที่ 7 แบบรูปการแผ่กำลังงานระนาบมุมกวาดที่ตำแหน่ง $\theta = 90^\circ$ ก) ในสเกล -35 dB_i ถึง 5 dB_i เมื่อ $\phi = 0^\circ - 360^\circ$ และ ข) ในสเกล -4 dB_i ถึง 4 dB_i เมื่อ $\phi = 0^\circ - 90^\circ$

ทุกความถี่จะซ้อนทับกันที่ระดับ 0 dB ดังนั้นเพื่อให้เห็นความแตกต่างของระดับกำลังงานในระนาบมุมกวาดของแต่ละความถี่ที่มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงเลือกนำเสนอแบบรูปการแผ่กำลังงานแบบอัตราขยายสัมบูรณ์ (Absolute Gain) ในหน่วย dB_i จากรูปที่ 7 เป็นแบบรูปการแผ่กำลังงานระนาบมุมกวาด (xy-plane) ที่ความยาวของสายนำสัญญาณยาว 15 ซม. มุมระหว่างกรวยเท่ากับ 90° ที่ความยาวกรวย $l = 1\lambda_{f_center}$ และระยะห่างระหว่างกรวย $g = 0.5 \text{ มม.}$ เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาจากการเหมาะสมของการแผ่กำลังงานของคลื่นในระนาบมุมกวาด [4] โดยรูปที่ 7 นั้นมีจุดสังเกต (Observation Point) คือ $\theta = 90^\circ$ และ $\phi = 0^\circ - 360^\circ$ ผลลัพธ์ก็คือที่ความถี่ต่ำ แบบรูปการแผ่กำลังงานจะมีลักษณะวงกลมมากกว่าที่ความถี่สูง แต่ทั้ง 5 ความถี่ก็มีจุดสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละความถี่ต่างกันไม่เกิน 1 dB โดยกำลังงานที่มากที่สุดคือที่สองความถี่ คือทั้งที่ 7 กิกะเฮิรตซ์ และ 10 กิกะเฮิรตซ์ ตามลำดับ

4.1.3 แบบรูปการแผ่กำลังงาน 3 มิติ



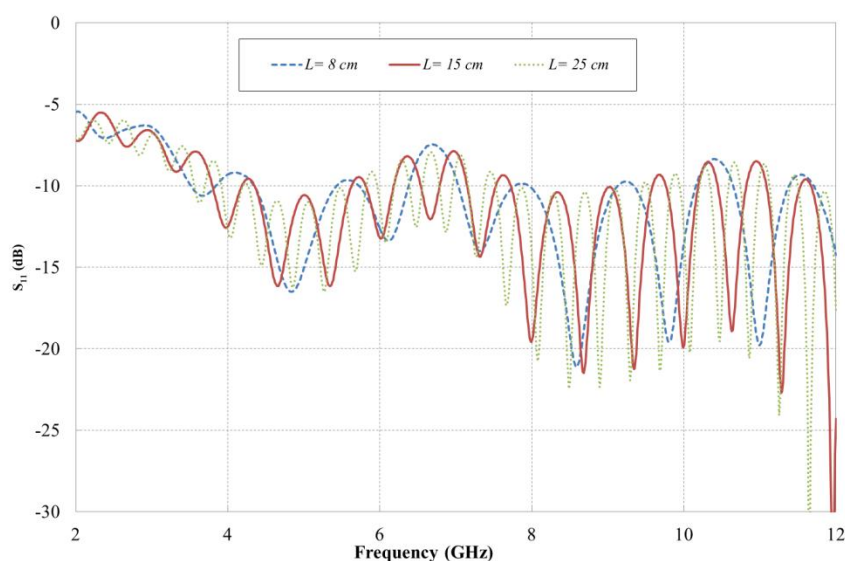
รูปที่ 8 แบบรูปการแผ่กำลังงานแบบ 3 มิติ ที่ความถี่ ก) 2 กิกะเฮิรตซ์ ข) 7 กิกะเฮิรตซ์ และ ค) 12 กิกะเฮิรตซ์

รูปที่ 8 ซึ่งจำลองโครงสร้างสายอากาศที่มีมุมระหว่างกรวย 90° ความยาวกรวย $l = \lambda$ และระยะห่างระหว่างกรวย 0.5 มม. จะเห็นได้ว่าโครงสร้างสายอากาศรูปกรวยคู่ที่มีขนาดเท่ากัน แต่พิจารณาที่ความถี่ต่างกันก็จะทำให้ได้แบบรูปการแผ่กำลังงานที่ต่างกันออกไป คือ ถ้าความถี่สูง จะทำให้ได้ความยาวคลื่นสั้นลง นั้นหมายความว่าระบบจะเห็นว่าสายอากาศตัวนั้นใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นหรือ ระบบจะเห็นว่าช่องเปิด (Aperture ที่มีมุม ψ) มีขนาดใหญ่ สิ่งที่ได้อีกคือ ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง (Half – Power Beamwidth) มีค่าน้อย และมีอัตราขยาย (Gain) ที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่กลาง และความถี่ต่ำ ตามลำดับ

4.2 การสูญเสียย้อนกลับ

เพื่อเป็นการตอบความท้าทายงานวิจัยก่อนหน้านี้ [4] คือ ให้ได้แบบรูปการแผ่กำลังงานที่มีความเข้มของสนามที่สูงสุดในแนวราบที่ $\theta = 90^\circ$ ตลอดแถบความถี่กว้างยิ่งยวด จึงต้องยอมแลกเปลี่ยนกับการสูญเสียย้อนกลับที่ด้อยลงบ้างเล็กน้อย ดังรูปที่ 9 ซึ่งจากการจำลองพบว่าค่า $\psi = 40^\circ \sim 60^\circ$ จะให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดีที่สุด [4] แต่ค่าดังกล่าวไม่สามารถให้แบบรูปการแผ่กำลังงานที่มีความเข้มของสนามที่สูงสุดที่ $\theta = 90^\circ$ ตลอดแถบความถี่กว้างยิ่งยวดได้ จนกระทั่งมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมและได้ข้อสรุปว่าที่มุม $\psi = 90^\circ$ เป็นตำแหน่งที่ทำให้ได้ความเข้มของสนามสูงสุดที่ตำแหน่ง $\theta = 90^\circ$ ตลอดทุกความถี่ของระบบ UWB

จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ค่าสูญเสียย้อนกลับยังมีบางส่วนที่ยังไม่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความถี่ต่ำ จากผลการจำลองหาค่าการสูญเสียย้อนกลับของ [4] ไม่ว่าที่ความถี่สูงหรือความถี่ต่ำ ค่าการสูญเสียย้อนกลับจะมีค่าโดยประมาณ 10 dB อาจเนื่องมาจากไม่ได้จำลองแบบหัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ (SMA Connector) เข้ากับสายเคเบิลร่วมแกนกึ่งแข็ง จึงทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ต่ำ มีค่าสูง



รูปที่ 9 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมุม $\psi = 90^\circ$

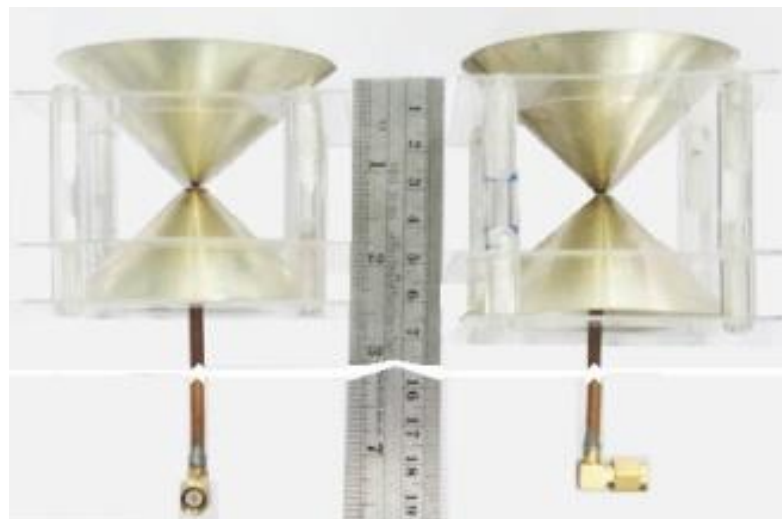
โดยความยาวของสายนำสัญญาณที่ติดกับสายอากาศก็จะมีผลอย่างยิ่งกับการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ แสดงดังรูปที่ 9 ความยาวของสายนำสัญญาณ ถ้ายาวมากไปก็จะทำให้เกิดแอมพลิจูดความพลั้วมาก ถ้าสั้นเกินไปก็ยากต่อการนำไปใช้งาน เพราะฉะนั้นจึงเลือกความยาวของสายนำสัญญาณตามความเหมาะสมในการใช้งานจริง ซึ่งในที่นี้ได้เลือกใช้สายนำสัญญาณยาว 15 ซม. จะทำให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับโดยเฉลี่ยประมาณ 10 dB

4.3 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์สายอากาศรูปกรวยคู่ที่เหมาะสมที่สุดกับแบบรูปการแผ่กำลังงาน

พารามิเตอร์	ข้อมูลจาก [4]	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด
มุมระหว่างกรวย (ψ)	60°	90°
ความยาวกรวย (l)	$1 \lambda_{f_center}$	$1 \lambda_{f_center}$
ระยะห่างกรวยบน-ล่าง (g)	0.5 มม.	0.5 มม.
มุมกรวย (α)	120°	90°

สายอากาศรูปกรวยคู่ที่สร้างจากค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 1 ที่เหมาะสมกับแบบรูปการแผ่กำลังงานมีค่าความเข้มสนามสูงสุดที่ $\theta = 90^\circ$ แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 สายอากาศรูปกรวยคู่ที่สร้างขึ้น

5. สรุป

จากผลการศึกษาด้วยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้แบบรูปการแผ่กำลังงานแบบรอบทิศทาง พารามิเตอร์ที่สำคัญคือ มุมระหว่างกรวย $\psi = 90^\circ$ จะได้ลำคลื่นหลักในแนวระดับที่ $\theta = 90^\circ$ ในขณะที่

ความยาวสายนำสัญญาณที่เหมาะสมคือ $L = 15$ ซม. เพราะมีแอมพลิจูดความพลีวต่ำ ความยาวของกรวยคือ $1\lambda_{f_center}$ (4.28 ซม.) ระยะห่างระหว่างกรวยคือ $g = 0.5$ มม. จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสายอากาศรูปกรวยคู่สามารถทำงานได้ครอบคลุมความถี่ 2–12 กิกะเฮิรตซ์

ประเด็นที่ควรวิจัยพัฒนาเพิ่มเติมคือการหาทางลดค่า S_{11} ให้ต่ำลงและเลือกใช้วัสดุที่ค่าความนำทางไฟฟ้าที่ดี มีความแข็งแรง เพื่อต่อปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณศูนย์วิจัยเทคโนโลยีอุปกรณ์และเครือข่ายในระบบสื่อสารทางแสงแห่งอนาคต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับซอฟต์แวร์ CST Microwave Studio

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. S. Carter and P. Jefferson, "Wide Band, Short Wave Antenna and Transmission Line System." U.S. Patent 2,181,870, issued Dec. 5, 1939.
- [2] D. Ghosh, T. K. Sarkar and E.L. Mokole "Design of a wide-angle biconical antenna for wideband communications." *PIER B*, vol. 16, pp. 229–245, 2009.
- [3] H. Schantz, *The Art and Science of Ultrawideband Antennas*, Artech House, Boston, MA, USA, 2005.
- [4] R. Kudpik, N. Siripon, K. Meksamoot and S. Kosulvit, "Design of a compact biconical antenna for UWB applications," *Proc. IEEE Int'l Symp. on Intelligent Signal Processing and Communication Systems*, 6 pages, Chiang Mai, Thailand, Dec. 2011.
- [5] D. N. Black, J. D. Voss and T. D. Newbury, "VSWR Improvement for Bicone." U.S. Patent 20,080,186,243, issued Aug. 7, 2008.
- [6] C. H. Papas and R. King, "Input impedance of wide angle conical antennas fed by a coaxial line," *Proc. IRE*, vol. 37, pp. 1269–1271, Nov. 1949.
- [7] CST Microwave Studio, *User's Manual*, 2012.
- [8] ระพีพัทธ์ ขัดปิก, นิภาพนธ์ สิริพล, คมศักดิ์ เมฆสมุท และ สมพล โกศลวิตร, "การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของคุณลักษณะการแผ่คลื่นของสายอากาศรูปกรวยคู่แถบความถี่กว้างยิ่งยวด," *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 5 (EENET 2013)*, หน้า 149–152, ประจวบคีรีขันธ์ ประเทศไทย, 27–29 มีนาคม 2556.

¹ระพีพันธ์์ ชัดปึก สำเร็จปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า มีความสนใจทางด้านวิศวกรรมสายอากาศ

²นิภาภรณ์ ศิริพล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีความสนใจทางด้านวิศวกรรมไมโครเวฟ การออกแบบวงจรไฟฟ้าและไมโครเวฟ

³คมศักดิ์ เมฆสมุทร อาจารย์ วิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีความสนใจทางด้านระบบสื่อสารไร้สาย-เคลื่อนที่ เครือข่ายคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมไมโครเวฟ และวิศวกรรมสายอากาศ

⁴สมพล โกศลวิตร รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (เกียรตินิยมราชการ) มีความเชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมสายอากาศ และไมโครเวฟ

บทความนี้ได้รับคัดเลือกและปรับปรุงจากการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 5 (EENET 2013) ตีพิมพ์เมื่อ 27 กันยายน 2556