

## การเพิ่มอัตราขยายสายอากาศไมโครสตริปด้วยชั้นวางซ้อนอะเพอร์เจอร์สี่เหลี่ยมจตุรัส

### Enhancement Microstrip Antenna Gain with Square Aperture Superstrate

ประพจน์ จิระสกุลพร<sup>1\*</sup> ประยุทธ์ อัครเอกดาลิน<sup>2</sup> และ สราวุธ ชัยมูล<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถ. พระราม 1 วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330 โทรศัพท์ 02-219-3833 ต่อ 250 E-Mail: prapojir@hotmail.com

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถ. พิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 โทรศัพท์ 02-913-2500 ต่อ 8519 E-Mail: sarawuth@kmutnb.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการใช้ชั้นวางซ้อนเพื่อเพิ่มอัตราขยายสายอากาศไมโครสตริปด้วยชั้นวางซ้อนอะเพอร์เจอร์สี่เหลี่ยมจตุรัส ทำงานด้วยหลักการแฟบรี-เพอโรต รีโซเนเตอร์ซึ่งมีคุณสมบัติที่เด่น มีสภาพเจาะจงทิศทางสูง และการป้องกันสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริป ออกแบบที่ความถี่ 12.2 GHz จากผลการวัดเมื่อใช้ชั้นวางซ้อนอะเพอร์เจอร์แบบสี่เหลี่ยมจตุรัสพื้นที่ 70 มม.<sup>2</sup> สายอากาศมีอัตราขยายสูงถึง 11.95 dBi หรือเพิ่มขึ้น 5.25 dB จากสายอากาศไมโครสตริปที่ไม่มีชั้นวางซ้อน และมีคุณสมบัติการแยกแยะโพลาไรเซชันไขว้ที่ดีมีค่ามากกว่า 30 dB ในโหลหลักทั้งระนาบ E และ H ชั้นวางซ้อนที่ออกแบบมีโครงสร้างที่ง่ายและสร้างบนแผ่นพิมพ์ราคาถูก โดยได้นำเสนอการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศระหว่างผลการจำลองด้วยโปรแกรมและผลการวัดทดสอบ

**คำสำคัญ:** สายอากาศไมโครสตริป สายอากาศแฟบรี-เพอโรต รีโซเนเตอร์ ชั้นวางซ้อน อะเพอร์เจอร์

#### Abstract

This paper presents the enhancement of microstrip antenna gain with the square aperture superstrate, placed above the microstrip antenna. The antenna is performed as the Fabry-Perot resonator with abundantly attracted properties, with high directivity and less complexity with

single feed. The antenna is designed at 12.2 GHz. With the square aperture superstrate, the gain measurement result was increased to 11.95 dBi or 5.25 dB improved from microstrip antenna without superstrate. Also, the proposed antenna has a good cross-polarization discrimination over 30 dB in main lobe, both E and H planes. The square aperture superstrate designed with low complicate structure and could be created on a low cost printed board. The prototype antenna characteristics from measurement and simulation results were presented.

**Keywords:** microstrip antenna, fabry-perot resonator antenna, superstrate, aperture.

#### 1. คำนำ

สายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่มีข้อดีหลายข้อ เช่น มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ต้นทุนการผลิตต่ำ และมีประสิทธิภาพที่ดี [1] จึงมีความเหมาะสมนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบสื่อสารไร้สายโดยเฉพาะในย่านความถี่ไมโครเวฟ แต่ข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป คือ มีอัตราขยายต่ำ และแบนด์วิดท์แคบ การเพิ่มอัตราขยายสายอากาศไมโครสตริปสามารถใช้เทคนิคการออกแบบได้หลายวิธี ที่ผ่านมามีวิธีเฟสอาร์เรย์ (Phase array method) เป็นวิธีการที่นิยมนำมาออกแบบเพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้อัตราขยายที่สูง ดังเช่นงานวิจัย [2] เสนอสายอากาศอาร์เรย์

แพทช์วงกลม 36 อิลิเมนต์ มีอัตราขยาย 10 dBi ที่มุม 0° ความถี่กลาง 18 GHz และงานวิจัย [3] ผลการวัดสายอากาศอาร์เรย์แพทช์สี่เหลี่ยม 288 อิลิเมนต์ มีอัตราขยาย 18.20 dBi ที่มุม 0° ความถี่กลาง 12.2 GHz จากงานวิจัยที่ศึกษาแสดงให้เห็นว่าสายอากาศไมโครสตริปออกแบบด้วยวิธีการอาร์เรย์สามารถเพิ่มอัตราขยายได้สูง แต่ข้อเสียของวิธีการเฟสอาร์เรย์ คือ การออกแบบส่วนป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปแต่ละอิลิเมนต์มีความซับซ้อนและมีค่าการสูญเสียสูงในส่วนของวงจรขั้วป้อนสัญญาณ

การเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปวิธีการแบบหนึ่งที่ได้รับการสนใจศึกษาวิจัย คือการใช้ชั้นวางซ้อน (Superstrate) วางด้านหลังหรือล้อมรอบสายอากาศไมโครสตริป เช่น งานวิจัย [4] ใช้ชั้นวางซ้อนผิวสะท้อนบางส่วนที่มีค่าการสะท้อนสูง (Highly-reflective frequency selective surface) ผลจากการวัดสายอากาศที่ความถี่ 8.3 GHz มีอัตราขยาย 21.8 dBi จากที่ไม่มีชั้นวางซ้อนมีอัตราขยาย 6.2 dBi งานวิจัย [5] ได้ศึกษาการวางซ้อนสายอากาศไมโครสตริปที่ความถี่ 15 GHz ด้วยวัสดุ 3 ชนิด มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่สูงไปต่ำ คือ แผ่นไดอิเล็กทริก 16.08 dB พื้นผิวเลือกเฉพาะความถี่ 15.77 dB วัสดุประติมากรรมที่มีค่าสภาพยอมและค่าความขบขั้มได้เป็นลบทั้งคู่ 10.2 dB จากงานวิจัยที่ศึกษาแสดงว่าสายอากาศชั้นวางซ้อนสามารถเพิ่มอัตราขยายสายอากาศไมโครสตริปให้มีอัตราขยายสูงเช่นเดียวกับวิธีเฟสอาร์เรย์

สายอากาศชั้นวางซ้อนแบบที่ใช้หลักการทำงานของแฟบริ-เพอโรทรีโซเนเตอร์ (Fabry-Perot Resonator : FPR) มีโครงสร้างประกอบด้วย กระจกเงา ตัวแพร่กระจายคลื่น และแผ่นสะท้อนบางส่วน (Partially reflective) [6] โดยตัวแพร่กระจายคลื่นจะวางอยู่บนกระจกเงาและวางซ้อนด้วยแผ่นสะท้อนบางส่วนด้านหลังสายอากาศ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นกระจกเงากับแผ่นสะท้อนบางส่วนมีค่าที่เหมาะสมคือเป็นเลขจำนวนเต็มเป็นจำนวนเท่าของครึ่งหนึ่งความยาวคลื่น คลื่นที่แพร่กระจายออกไปด้านหลังของสายอากาศจะมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูง เกิดจากการรวมกันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีเฟสเดียวของคลื่นปฐมภูมิที่รัว

(Leakage wave) ผ่านชั้นวางซ้อนกับคลื่นสะท้อนที่แผ่นสะท้อนบางส่วนกลับมาสะท้อนที่กระจกเงาและส่งผ่านออกไปอย่างสอดคล้องกัน [7] จุดเด่นของสายอากาศแบบนี้คือมีโครงสร้างไม่ซับซ้อนเนื่องจากเป็นระบบการป้อนสัญญาณให้สายอากาศตัวเดียวเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแบบเฟสอาร์เรย์ จากงานวิจัยที่ศึกษาตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศชั้นวางซ้อนสามารถออกแบบได้จากสายอากาศหลายแบบ เช่น ไดโพล ไมโครสตริป แบบร่อง หรือฮอว์น เป็นต้น ในทำนองเดียวกันแผ่นสะท้อนบางส่วนที่วางซ้อนสายอากาศอาจจะออกแบบจากโครงสร้างต่างๆ ได้หลายแบบเช่น อีบีจี (EBG) ไดโพลแบบร่อง อภิวัตต (Metamaterials) หรือ ไดอิเล็กทริก เป็นต้น

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้ชั้นวางซ้อนวางเหนือสายอากาศ ชั้นวางซ้อนออกแบบบนแผ่นพิมพ์ทองแดงด้านเดียวโดยมีอะพอร์เจอร์ (Aperture) อยู่ตรงกลาง ชั้นวางซ้อนทำหน้าที่เป็นแผ่นสะท้อนบางส่วน โดยนำเสนอการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ของชั้นวางซ้อนที่มีผลต่ออัตราขยายของสายอากาศ คือ ระยะห่างของชั้นวางซ้อน รูปทรงและขนาดของอะพอร์เจอร์ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของแผ่นพิมพ์

## 2. โครงสร้างสายอากาศและการออกแบบ

สายอากาศชั้นวางซ้อนที่นำเสนอประกอบด้วยสองส่วน คือ ตัวแพร่กระจายคลื่นที่ใช้สายอากาศไมโครสตริปและชั้นวางซ้อน โดยนำเสนอการออกแบบเป็น 3 ส่วน คือสายอากาศไมโครสตริป ระยะการวางซ้อน และแผ่นชั้นวางซ้อน วิธีการออกแบบด้วยการคำนวณและการปรับขนาดที่เหมาะสมด้วยการจำลองโดยโปรแกรมให้สายอากาศชั้นวางซ้อนตอบสนองอัตราขยายที่สูง

### 2.1 สายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบทิศทางโดยมีโครงสร้างประกอบด้วยแพทช์ที่เป็นตัวแพร่กระจายคลื่นวางเหนือกระจกเงาจึงมีความเหมาะสมที่นำมาใช้เป็นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศชั้นวางซ้อน บทความนี้ศึกษาการออกแบบ

สายอากาศเพื่อประยุกต์ใช้งานกับแถบความถี่ย่านเคยู (Ku-band) ที่ความถี่ขาลง (Down link frequency) 11.7-12.7 GHz การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสามารถคำนวณความกว้าง ( $W_s$ ) และความยาว ( $L_s$ ) ของสายอากาศได้จากสมการ [8]

$$W_s = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$L_s = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (2)$$

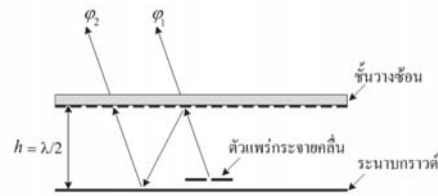
โดยที่  $v_0$  คือความเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอวกาศว่าง  $f_r$  คือความถี่รีโซแนนซ์ที่ออกแบบ  $\epsilon_r$  คือค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของซับสเตรต  $\epsilon_{\text{reff}}$  คือค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ประสิทธิผล และ  $\Delta L$  คือค่าความยาวประสิทธิผลของแพทช์ สมการหา  $\epsilon_{\text{reff}}$  และ  $\Delta L$  สามารถสืบค้นได้จาก [8] ที่ความถี่กลาง 12.2 GHz สายอากาศไมโครสตริป ออกแบบบนแผ่นพิมพ์ความถี่สูง DiClad 880 มีค่า  $\epsilon_r$  เท่ากับ 2.2 และความหนาของซับสเตรตเท่ากับ 1.52 มม. ค่าการสูญเสียแทนเจนต์ 0.0009 ผลการคำนวณสายอากาศไมโครสตริปมีความกว้าง 7.2 มม. ความยาว 9.7 มม. เพื่อให้สายอากาศไมโครสตริปเป็นตัวแพร่กระจายคลื่นในแฟบปี-พริอทรีโซเนเตอร์ได้ขยายระนาบกราวด์และไดอิเล็กตริกของสายอากาศไมโครสตริปเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างระนาบกราวด์กับแผ่นชั้นวางซ้อน โดยการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST ไมโครสตริปแพทช์ มีขนาดกว้าง  $W_s = 8.8$  มม. และความยาว  $L_s = 10.6$  มม. ขนาดระนาบกราวด์  $130 \times 130$  มม. ป้อนสัญญาณด้วยสายนำสัญญาณแกนร่วมที่จุดป้อน  $x = 0$  มม. และ  $y = 3.3$  มม. และผลการจำลองสายอากาศไมโครสตริปมีอัตราขยาย 7.2 dBi

## 2.2 การออกแบบระยะการวางซ้อน

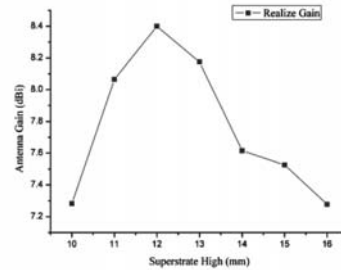
สายอากาศชั้นวางซ้อนที่ใช้หลักการของแฟบปี-พริอทรีโซเนเตอร์ พารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ระยะห่าง  $h$  ระหว่างแผ่นระนาบกราวด์กับแผ่นชั้นวางซ้อนซึ่งมีค่าเท่ากับการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรีโซเนเตอร์ควาดีที่มีเฟสเดียวกัน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) [7]

$$h = \frac{(\phi_1 + \phi_2 - N2\pi)\lambda}{4\pi} : N = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

โดย  $N$  เป็นค่าการเลื่อนเฟสของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีค่าเฟสของการสะท้อนในควาดีเป็นเลขจำนวนเต็มของ  $2\pi$  ส่วน  $\phi_1$  คือสัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่นลำดับแรกที่เกิดจากตัวแพร่กระจายคลื่นที่มีระนาบกราวด์วางด้านหลัง  $\phi_2$  คือสัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่นที่เกิดจากคลื่นที่สะท้อนชั้นวางซ้อนกลับมาที่ระนาบกราวด์และส่งผ่านออกไป  $\lambda$  คือค่าความยาวคลื่น ถ้าสัมประสิทธิ์การสะท้อน  $\phi_1$  มีค่าเท่ากับ  $\pi$  สัมประสิทธิ์การสะท้อน  $\phi_2$  มีค่าเท่ากับ  $-\pi$  และ  $N$  เป็น 1 ระยะระหว่างระนาบกราวด์และชั้นวางซ้อน  $h$  จะมีค่าเท่ากับ  $\lambda/2$  องค์ประกอบของสายอากาศชั้นวางซ้อนแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบของสายอากาศชั้นวางซ้อน



รูปที่ 2 การจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบของระยะ  $h$  กับอัตราขยายของสายอากาศชั้นวางซ้อน

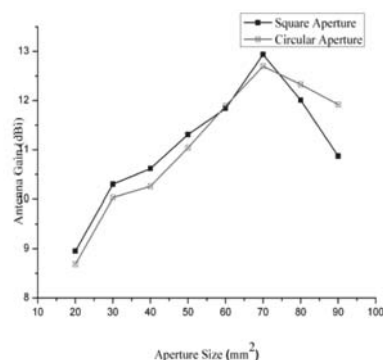
ผลการคำนวณค่าระยะของ  $h$  ที่ความถี่กลาง 12.2 GHz มีค่าเท่ากับ 12.29 มม. การศึกษาผลกระทบของระยะ  $h$  กับอัตราขยายของสายอากาศชั้นวางซ้อนได้ทำการจำลองโดยกำหนดขนาดสายอากาศไมโครสตริปตามที่ยออกแบบในข้อ 2.1 และวางซ้อนด้วยแผ่นไดอิเล็กตริกกำหนดค่าไม่มีการสูญเสียขนาด  $130 \times 130$  มม. มีค่า  $\epsilon_r$  เท่ากับ 2.2 ความหนาไดอิเล็กตริกเท่ากับ 1.52 มม. กำหนดค่าระยะ  $h$  ในการจำลองตั้งแต่ 10 มม. ถึง 16 มม. โดยการจำลองแต่ละครั้งเพิ่มค่า  $h$  ขึ้นครั้งละ 1 มม. ผลจากการจำลองแสดงในรูปที่ 2 ระยะของ  $h$  ที่มีอัตราขยายสูงสุดคือ 12 มม. ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณ

ผู้วิจัยเลือกค่าของ  $h$  เท่ากับ 12.29 มม. จากการคำนวณเป็นค่าขั้นต่ำของสายอากาศชั้นวางซ้อนนำไปจำลองออกแบบต่อไป

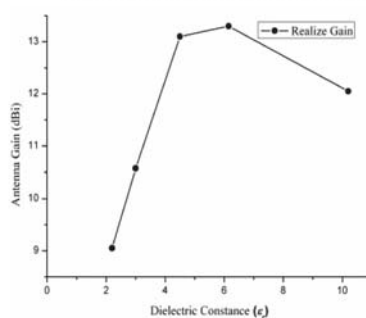
### 2.3 การออกแบบชั้นวางซ้อน

ชั้นวางซ้อนที่ใช้วางเหนือสายอากาศไมโครสตริป ออกแบบบนแผ่นพิมพ์ตัวนำหน้าเดียวขนาด  $130 \times 130$  มม. การจำลองในขั้นตอนนี้กำหนดแผ่นพิมพ์มีค่า  $\epsilon_r$  เท่ากับ 2.2 และชั้นสเตรตมีความหนา 1.52 มม. บนด้านที่เป็นตัวนำของแผ่นพิมพ์สร้างเป็นช่องอะพอร์เจอร์อยู่ตรงกลางเพื่อให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแพร่กระจายผ่านได้ ส่วนที่เหลือของระนาบตัวนำจะทำหน้าที่เป็นผิวสะท้อนบางส่วนสะท้อนคลื่นกลับไปที่ระนาบกราวด์ การออกแบบโดยวิธีการจำลองและได้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบของรูปทรงอะพอร์เจอร์แบบสี่เหลี่ยมจตุรัสและอะพอร์เจอร์แบบวงกลมที่มีขนาดพื้นที่เท่ากัน การหาพื้นที่อะพอร์เจอร์ที่เหมาะสมคำนวณจากสมการออกแบบสายอากาศอะพอร์เจอร์แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า [8] กำหนด  $a$  เป็นความกว้างของอะพอร์เจอร์ และ  $b$  เป็นความยาวของอะพอร์เจอร์ โดยพารามิเตอร์  $b$  มีผลต่อการควบคุมค่าความกว้างลำครึ่งกำลัง (Half power beamwidth) โดย  $b \gg 0.443\lambda$  จากการคำนวณค่า  $b = 0.443\lambda$  มีค่าเท่ากับ 10.88 มม. ที่ความถี่ 12.2 GHz การจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบของพื้นที่อะพอร์เจอร์ได้กำหนดค่า  $b$  ตัวสุดเป็นสองเท่าของค่าที่คำนวณได้ ด้วยอะพอร์เจอร์สี่เหลี่ยมจตุรัส  $a=b$  มีพื้นที่ตัวสุดเท่ากับ 20 มม.<sup>2</sup> การจำลองแต่ละครั้งจะเพิ่มพื้นที่อะพอร์เจอร์ขึ้น 10 มม.<sup>2</sup> ถึงค่าพื้นที่สูงสุด 90 มม.<sup>2</sup> ผลการจำลองเปรียบเทียบอะพอร์เจอร์ทั้งสองแบบแสดงในรูปที่ 3 ผลที่ได้สอดคล้องกันคือมีค่าอัตราขยายสูงสุดที่ขนาดพื้นที่ 70 มม.<sup>2</sup> ที่จุดสูงสุดนี้ อะพอร์เจอร์สี่เหลี่ยมจตุรัสมีอัตราขยาย 12.9 dB สูงกว่าอะพอร์เจอร์วงกลม 0.2 dB จากผลการศึกษาผู้วิจัยเลือกอะพอร์เจอร์แบบสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 70 มม.<sup>2</sup> เป็นต้นแบบของชั้นวางซ้อนเหนือสายอากาศไมโครสตริป นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของอะพอร์เจอร์แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและแบบสี่เหลี่ยมจตุรัสที่มีขนาดพื้นที่เท่ากัน ผลการศึกษาคืออะพอร์เจอร์แบบสี่เหลี่ยมจตุรัสให้ผลอัตราขยายที่สูงกว่า

ขั้นตอนต่อไปทำการศึกษาผลของค่าไดอิเล็กตริกของแผ่นพิมพ์ที่ใช้เป็นชั้นวางซ้อน ด้วยอะพอร์เจอร์สี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 70 มม.<sup>2</sup> ระยะ  $h$  เท่ากับ 12.29 มม. ความหนาของชั้นสเตรตเท่ากับ 1.52 มม. จำลองด้วยโปรแกรมออกแบบโดยกำหนดค่าไดอิเล็กตริกของแผ่นพิมพ์ชั้นวางซ้อนตามค่าที่มีการผลิตจำหน่าย คือ 2.2 3.0 4.4 6.15 และ 10.2 กำหนดค่าไม่มีการสูญเสีย ผลจากการจำลองแสดงในรูปที่ 4 ค่าที่ได้ อัตราขยายสูงสุดคือ  $\epsilon_r = 6.15$  (แผ่นพิมพ์ RO3006) มีอัตราขยาย 13.3 dB และค่าที่มีอัตราขยายสูงรองลงมาคือ  $\epsilon_r = 4.4$  (แผ่นพิมพ์ FR4) มีอัตราขยาย 13.1 dB จากผลการศึกษาผู้วิจัยได้เลือกแผ่นชั้นวางซ้อนที่สร้างบนแผ่นพิมพ์ FR4 เพราะเป็นแผ่นพิมพ์ที่มีราคาต่ำกว่า RO3006 มาก แต่มีอัตราขยายต่างกันเพียง 0.2 dB

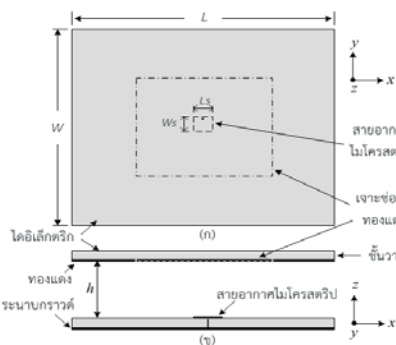


รูปที่ 3 การจำลองเปรียบเทียบผลอัตราขยายของชั้นวางซ้อนอะพอร์เจอร์สี่เหลี่ยมจตุรัสและอะพอร์เจอร์วงกลม



รูปที่ 4 การจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราขยายกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของแผ่นพิมพ์ชั้นวางซ้อน

จากผลการออกแบบสามขั้นตอน ผู้วิจัยได้นำค่าที่กำหนดมาทำการจำลองอีกครั้งหนึ่งให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ผลของสายอากาศชั้นวางซ้อนแสดงในรูปที่ 5 มีขนาดดังนี้ สายอากาศไมโครสตริปออกแบบบนแผ่นพิมพ์ DiClad 880 ลามิเนต (Laminates) มีความกว้าง 8.8 มม. ยาว 10.6 มม. ระบายกราวด์และชั้นวางซ้อนมีขนาดพื้นที่ 130 มม.<sup>2</sup> อะพอร์เจอร์ของชั้นวางซ้อนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 70 มม.<sup>2</sup> และมีระยะ  $h$  เท่ากับ 12.2 มม. ชั้นวางซ้อนออกแบบบนแผ่นพิมพ์ FR4 โพลีเอทิลีน (Polyethylene) มีค่า  $\epsilon_r$  เท่ากับ 4.4 ความหนาไดอิเล็กตริกเท่ากับ 1.6 มม.



รูปที่ 5 โครงสร้างสายอากาศชั้นวางซ้อนที่มุมมอง (ก) ด้านบน และ (ข) ด้านข้าง

### 3. ผลการจำลอง ผลการวัด และการวิเคราะห์ผล

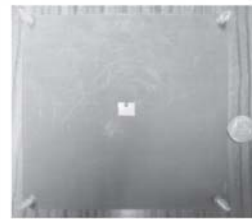
ต้นแบบสายอากาศที่สร้างขึ้นประกอบด้วยอากาศไมโครสตริปวางซ้อนด้วยชั้นวางซ้อนอะพอร์เจอร์สี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้นิโอดพลาสติกเป็นตัวยึดเพื่อลดการสะท้อนของคลื่นแสดงในรูปที่ 6 ผลการวัดและผลการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศชั้นวางซ้อนแสดงในรูปที่ 7 ผลการจำลองมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 26.37 dB ที่ความถี่กลาง 12.28 GHz ความถี่แบนด์วิดท์ที่ 10 dB (10 dB bandwidth) เท่ากับ 11.92-12.70 GHz ผลจากการวัดมีค่าต่ำที่สุด 15.56 dB ที่ความถี่กลาง 12.105 GHz ความถี่แบนด์วิดท์ที่ 10 dB เท่ากับ 11.79-12.43 GHz จากผลการวัดสายอากาศความถี่กลางเลื่อนต่ำกว่าผลการจำลอง 175 MHz เนื่องจากโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปมีขนาดเล็กที่ความถี่สูง การสร้างและการบ่อนสัญญาณให้สายอากาศที่คาดเคลื่อนไปเพียง 0.5 มม.

จะส่งผลให้ความถี่หรือคุณสมบัติของสายอากาศเปลี่ยนแปลง

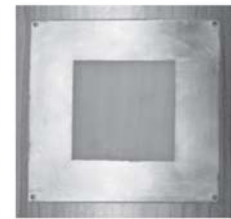
ผลการจำลองและการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศชั้นวางซ้อนเป็นแบบทิศทางเดียว แสดงผลการวัดที่สอดคล้องกับผลการจำลอง รูปที่ 8 แสดงค่ามุมความกว้างลำครั้งกำลังในระนาบ E ผลการจำลองมีค่าเท่ากับ 40° ผลการวัดมีค่า 42° รูปที่ 9 แสดงค่ามุมความกว้างลำครั้งกำลังในระนาบ H ผลการวัดและการจำลองมีค่าเท่ากับ 48° ผลการวัดโพลาไรเซชันไขว้ในระนาบ E และระนาบ H มีคุณสมบัติการแยกแยะโพลาไรเซชันไขว้ที่ดีคือมีค่ามากกว่า 30 dB ในโหลบหลัก พิจารณาพหุคลื่นด้านหลังและพหุคลื่นด้านข้างของแบบรูปการแผ่พลังงาน ผลการวัดและการจำลองมีค่าระดับกำลังงานที่สูงทั้งในระนาบ E และ H ซึ่งเกิดจากชั้นวางซ้อนสะท้อนคลื่นกลับไปด้านหลังและด้านข้างและแผ่พลังงานออกไประหว่างช่องว่างของระบายกราวด์และชั้นวางซ้อน



(ก)

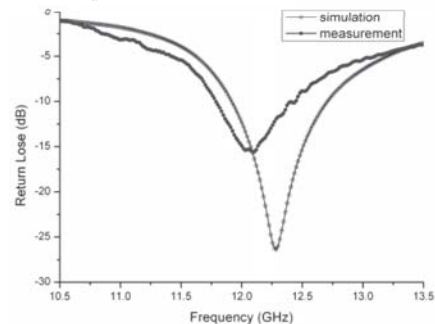


(ข)

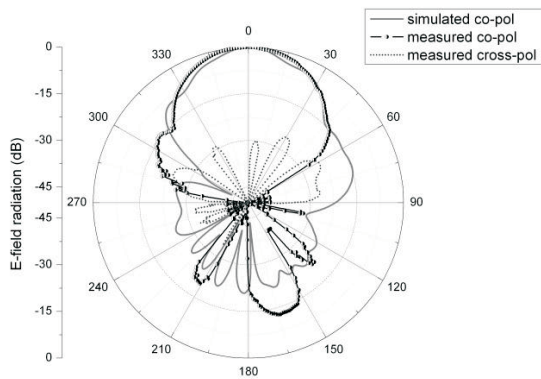


(ค)

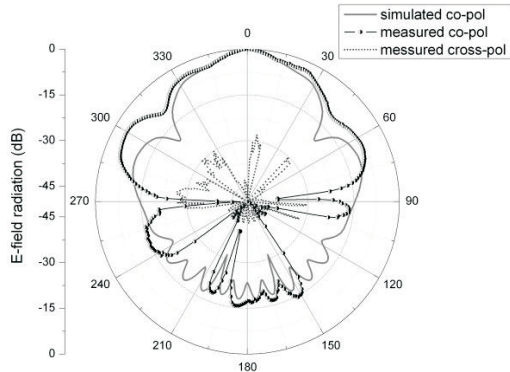
รูปที่ 6 (ก) ต้นแบบสายอากาศชั้นวางซ้อน (ข) สายอากาศไมโครสตริป (ค) ชั้นวางซ้อนอะพอร์เจอร์สี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านระบายทองแดง



รูปที่ 7 ผลการจำลองและผลการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ



รูปที่ 8 ผลการจำลองและการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานใน  
ระนาบ E

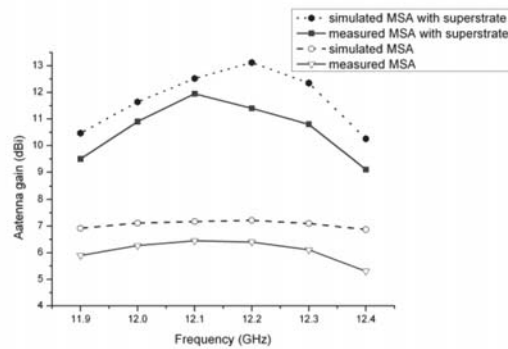


รูปที่ 9 ผลการจำลองและการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานใน  
ระนาบ H

ผลการจำลองและการวัดอัตราขยายของสายอากาศไมโคร-สตริปที่มุม  $0^\circ$  ผลการจำลองเท่ากับ 7.2 dBi และจากผลการวัดเท่ากับ 6.7 dBi และเมื่อวางชั้นวางซ้อนเหนือสายอากาศที่ระยะห่าง 12.2 มม. ผลการจำลองเท่ากับ 13.12 dBi ที่ความถี่กลาง 12.2 GHz และผลการวัดมีค่าเท่ากับ 11.95 dBi ที่ความถี่กลาง 12.1 GHz กราฟเปรียบเทียบผลจากการวัดและผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศแสดงในรูปที่ 10 ที่ความถี่สูงสายอากาศไมโครสตริปมีอัตราขยายต่ำที่สุดที่ความถี่ 12.4 GHz 5.3 dBi และ 9.1 dBi เมื่อวางชั้นวางซ้อน

จากผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศแสดงว่าชั้นวางซ้อนอะพอเจอร์แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีคุณสมบัติสามารถเพิ่ม

อัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปให้เพิ่มขึ้น 5.25 dB และมีคุณสมบัติการแยกแยะโพลาไรเซชันไขว้มากกว่า 30 dB ในโพลหลัก ขณะเดียวกันจุดด้อยของสายอากาศชั้นวางซ้อนแสดงผลจากการวัดคือ มีแบนด์วิดท์แคบทำให้สายอากาศมีความถี่ไม่ครอบคลุมความถี่ด้านรับของแถบความถี่ย่านเคยู และมีพิกัดด้านข้างและด้านหลังสูง ซึ่งผู้วิจัยจะได้ศึกษาพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของสายอากาศให้ตอบสนองการประยุกต์ใช้งานในย่านแถบความถี่เคยูต่อไป



รูปที่ 10 ผลการจำลองและการวัดอัตราขยายของสายอากาศ

#### 4. สรุป

สายอากาศชั้นวางซ้อนที่ออกแบบจากสายอากาศไมโครสตริปวางซ้อนด้วยแผ่นสะท้อนบางส่วนที่ใช้โครงสร้างอะพอเจอร์แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสทำงานด้วยหลักการแฟบปี-พริอทรีโซเนเตอร์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น จากผลการวัดสายอากาศมีความถี่กลางที่ 12.105 GHz อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ครอบคลุมความถี่ 11.79 - 12.43 GHz และผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบแสดงว่าสามารถเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปให้สูงขึ้น 5.25 dB โดยมีอัตราขยาย 11.95 dBi ที่มุม  $0^\circ$  นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติการแยกแยะโพลาไรเซชันไขว้ที่ดีโดยสามารถแยกแยะโพลาไรเซชันได้สูงกว่า 30 dB ในโพลหลักทั้งระนาบ E และระนาบ H ข้อดีของสายอากาศชั้นวางซ้อนแบบนี้คือการออกแบบและการสร้างชั้นวางซ้อนทำได้ง่าย การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศเป็นแบบตัวป้อนเคียวจึงเป็นข้อดีเมื่อเทียบกับ

สายอากาศแบบเฟสอาร์เรย์ วัสดุฐานรองที่ใช้เป็นชั้นวางซ้อน ออกแบบบนแผ่นพิมพ์ที่มีราคาต่ำแต่ให้ผลอัตราขยายที่ดี สายอากาศชั้นวางซ้อนมีขนาดที่เหมาะสมในการใช้งานที่ย่านความถี่แถบเคยูด้วยขนาด 13 ซม.<sup>2</sup> และสูง 1.54 ซม.

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Constantine A. Balanis, “*Modern Antenna Handbook*”, John Wiley & Sons, Inc., 2008, pp. 157.
- [2] T.F. Lai, Wan Nor Liza Mahadi and Norhayati Soin, “*Circular Patch Microstrip Array Antenna for KU-band*”, World Academy of Science, Engineering and Technology 48, 2008, pp. 298-302.
- [3] Ferdinando Tiezzi and Stefano Vaccaro, “*Hybrid Phased Array Antenna for Mobile Ku-Band DVB-S Services*”, Antennas and Propagation, EuCAP 2006, Nov. 2006, pp. 6-10.
- [4] Alireza Foroozesh, “*Investigation Into the Effects of the Patch-Type FSS Superstrate on the High-Gain Cavity Resonance Antenna Design*”, IEEE Transactions on Antennas and Prop. Vol. 58, No. 2, , February 2010, pp. 258-270.
- [5] Raj Mittra, Yanfei Li and Kyungho Yoo, “*A Comparative Study of Directivity Enhancement of Microstrip Patch Antennas with Using Three Different Superstrates*”, Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 52, No. 2, February 2010, pp. 327-331.
- [6] G.V. Trentini, “*Partially reflecting sheet array*”, IRE Transactions on Antennas and Propagation 4, 1956, pp. 666– 671.
- [7] Zhen-guo Liu, “*Fabry-Perot resonator antenna*”, J Infrared Milli Terahz Waves, vol.3, 2010, pp.391-403.
- [8] Constantine A. Balanis, “*Antenna Theory Analysis and Design*”, John Wiley & Sons, Inc. Third Edition, 2005, pp. 671 and 818-819.

#### ประวัติผู้เขียนบทความ



**ประพจน์ จิระสกุลพร** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วศ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ทุมธานี และระดับปริญญาโท ค.อ.ม. สาขา

วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ M.Sc. Communication Eng. จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันทำหน้าที่อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

**งานวิจัยที่สนใจ** สายอากาศแบบแผ่นพิมพ์ สายอากาศตัวเอพกลับด้าน การออกแบบสายอากาศด้วยชั้นวางซ้อน



**ประยุทธ์ อัครเอกมาลิน** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ปี 2528 และปริญญาโท ปี 2532 จาก ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

และระดับปริญญาเอก ปี 2541 จากภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัย Delaware ประเทศสหรัฐอเมริกา ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการ บัณฑิตวิทยาลัย วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสิรินธร ไทย-เยอรมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

**งานวิจัยที่สนใจ** ศึกษาวิจัยงานทางด้าน เทคโนโลยีสายอากาศ และระบบการสื่อสารไร้สายผ่านความถี่ไมโครเวฟ



**ศราวุธ ชัยมูล** สำเร็จการศึกษา วศ.บ. วศ.ม. และปร.ด. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในปี 2544 2546 และ 2550 ตามลำดับ

ปัจจุบันทำหน้าที่อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

**งานวิจัยที่สนใจ** การออกแบบสายอากาศ วงจรไมโครเวฟ และการประยุกต์ใช้ของวัสดุ (Metamaterials Applications)