

# การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่มีค่าการแยกโคเดเดียระหว่างพอร์ต สูงสำหรับไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาไรซ์ในย่านความถี่ อาร์เอฟไอดี 900 เมกกะเฮิร์ต

## Design of High-Isolation Polarization-Diversity Microstrip Antenna for 900MHz RFID

เอกบดินทร์ กลิ่นเกษร<sup>1</sup> สมพล โกศลดิษฐ์<sup>2</sup> ชีรวิธิญัฐ เล่าหะเพ็ญแสง<sup>3</sup> และ สมมาตร แสงเงิน<sup>2</sup>

<sup>1</sup>บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530 โทรศัพท์: 02-988-3666 ต่อ 2217

E-mail: darkvaderkids@gmail.com, sommart@mut.ac.th

<sup>3</sup>สำนักวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

333 ม. 1 ต. ท่าสุค อ.เมือง จ. เชียงราย 57110 โทรศัพท์: 05-3916-7412 ต่อ 2342

E-mail: teeravisit@mfu.ac.th

Manuscript received :September 28, 2011

Revised: October 20, 2011

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงค่าการแยกโคเดเดียระหว่างพอร์ตของสายอากาศไมโครสตริปที่ถูกป้อนสัญญาณด้วยโพรบคู่เพื่อนำไปใช้กับไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาไรซ์สำหรับใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดีในประเทศไทยที่ความถี่ 920-925 เมกกะเฮิร์ต โดยในงานวิจัยนี้จะนำสายอากาศไมโครสตริปที่มีช่องอากาศมาแทรกช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่แพทช์ของสายอากาศบริเวณด้านข้างของพอร์ตทั้งสองจุดเพื่อปรับแต่งให้สายอากาศมีค่าการแยกโคเดเดียระหว่างพอร์ตเพิ่มขึ้น โดยผลการทดสอบระบบสายอากาศรับและส่งพบว่าเมื่อเพิ่มค่าการแยกโคเดเดียระหว่างพอร์ตของสายอากาศขึ้นทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการแยกแยะการรับ

โพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้งและโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวนอนได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: สายอากาศไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส, ไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาไรซ์, ค่าการแยกโคเดเดียระหว่างพอร์ต

### ABSTRACT

*This paper presents an isolation improvement of a dual probe-fed microstrip antenna for polarization-diversity in RFID system in Thailand (920 - 925MHz). We use a microstrip antenna with an air gap. A polarization diversity microstrip antenna with 30 dB isolation using two orthogonal rectangular slots inserted into a square patch near a feed point. The measured results found to be the same as simulation results.*

**Keywords:** *Square patch microstrip antenna, Polarization diversity, Isolation*

## 1. บทนำ

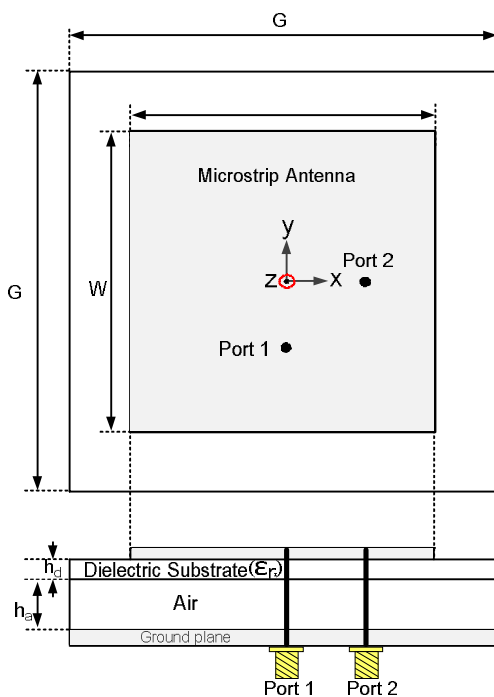
เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย (wireless) และระบบ RFID (radio frequency identification) ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากในระบบสื่อสารประเภทนี้ สายอากาศแบบสองโพลาไรเซชัน (dual polarization) ได้รับความสนใจมากในการใช้งานแบบนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (frequency reuse) และไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาไรซ์ (polarization diversity) สายอากาศแบบไมโครสตริปเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการนำมาพัฒนาเนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูก มีความง่ายในการออกแบบและการสร้าง อีกทั้งสายอากาศแบบไมโครสตริปสามารถออกแบบให้มีสายอากาศสองตัวในตัวเดียวกันได้ ด้วยการเพิ่มจุดป้อนสัญญาณที่แพทช์เป็นสองจุด เนื่องจากขนาดเล็กของสายอากาศไมโครสตริปทำให้ระยะของพอร์ต (port) ทั้งสองใกล้กันมาก จึงส่งผลให้เกิดการรบกวนระหว่างพอร์ตขึ้น การรบกวนนี้จะเกิดขึ้นทั้งในกรณีที่มีพอร์ตวางในตำแหน่งที่ขนานหรือตั้งฉากกัน และผลกระทบเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์หรือช่องอากาศเข้าไประหว่างแพทช์และแผ่นกราวด์ ที่ทำให้ค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ต (isolation) ที่ได้มีค่าต่ำลง [1] สายอากาศประเภทไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาไรซ์ค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ตมีความสำคัญมากในการลดสัญญาณรบกวนกันเองระหว่างพอร์ต ในการออกแบบสายอากาศสำหรับไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาไรซ์นั้น โดยทั่วไปมีความต้องการค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ตที่ 30 dB หรือมากกว่า ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการคิดเทคนิคการเพิ่มค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ต ซึ่งได้มีการนำเสนอหลายวิธีสามารถสรุปได้ดังนี้ วิธีการป้อนสัญญาณไปที่แพทช์ของสายอากาศด้วยโพรบป้อนสัญญาณแบบคาปาซิทีฟเพื่อเพิ่มค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ต โดยใช้หลักการคัปปลิงสัญญาณจากสแต็คไมโครสตริปไปที่แพทช์ของสายอากาศ ที่ความถี่กลางในการออกแบบ 915MHz ได้ค่าการแยกโคเด็ยเท่ากับ 48dB [2] การใช้อุปกรณ์ประเภท lump element มาต่อเป็นโครงข่ายระหว่างสายอากาศเพื่อแมต칭 (matching) และลดการคัปปลิง (decoupling) ของสัญญาณระหว่างสายอากาศทั้งสองตัว ที่ความถี่กลางในการออกแบบ 915MHz ได้ค่าการแยกโคเด็ยเท่ากับ

35dB แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือการออกแบบอุปกรณ์ประเภท lump element ที่นำมาต่อเป็นโครงข่ายระหว่างสายอากาศเพื่อแมต칭และลดการคัปปลิงมีขั้นตอนออกแบบที่ซับซ้อน [3] วิธีการป้อนสัญญาณไปที่แพทช์ของสายอากาศด้วยวิธีการใช้โพรบรูปตัวแอลคัปปลิงสัญญาณไปที่สายอากาศไมโครสตริป ที่ความถี่กลางในการออกแบบ 1.8GHz ได้ค่าการแยกโคเด็ยเท่ากับ 42dB แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือการออกแบบโพรบรูปตัวแอลและสายนำสัญญาณที่ควบคุมเฟสของสัญญาณที่ป้อนให้ โพรบรูปตัวแอลแต่ละตัวมีขั้นตอนออกแบบและการสร้างที่ซับซ้อนมาก [4] การสร้าง EBG (electromagnetic band gap) ที่มีลักษณะคล้ายรูปเห็ดแทรกไว้ที่ได้แพทช์ของสายอากาศเพื่อลดการคัปปลิงระหว่างพอร์ตของสายอากาศที่วางอยู่ใกล้กัน ที่ความถี่กลางในการออกแบบ 5.75GHz ได้ค่าการแยกโคเด็ยเท่ากับ 40.6dB แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือการนำ EBG ที่มีลักษณะคล้ายรูปเห็ดไปแทรกใช้พื้นที่ค่อนข้างมากในการสร้าง [5-6] การแทรกช่องว่างรูปตัวที (T-Shape) บนแพทช์ของสายอากาศ ในงานวิจัยนี้ไม่ได้กล่าวถึงสาเหตุที่ทำให้ค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ตเพิ่มขึ้นเนื่องจากเหตุใดได้ค่าการแยกโคเด็ยมากกว่า 30dB ที่ช่วงความถี่ 2.5-2.7GHz [7] วิธีการสร้างอุปกรณ์คัปปลิง (coupling element) เพื่อหักล้างสัญญาณที่รบกวนระหว่างพอร์ตของสายอากาศทั้งสองจุด ที่ความถี่กลางในการออกแบบ 2.45GHz ได้ค่าการแยกโคเด็ยเท่ากับ 30dB แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือหากออกแบบตัวคัปปลิงให้สัญญาณไปหักล้างมากเกินไปอาจเกิดการคัปปลิงย้อนกลับจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นคัปปลิงสัญญาณกลับมายังจุดที่มีการป้อนสัญญาณทำให้สัญญาณที่ส่งถูกรบกวนหรือถูกลดทอนได้ [8] และวิธีการเจาะช่องกราวด์ (DGS : defected ground structure) เพื่อสร้างแถบหยุดความถี่เพื่อลดกระแสและสนามไฟฟ้าที่เดินทางบนกราวด์ระหว่างพอร์ตของสายอากาศในงานวิจัยที่ [9] ที่ความถี่กลางในการออกแบบ 7.2GHz ได้ค่าการแยกโคเด็ยเท่ากับ 40dB ในงานวิจัยที่ [10] ที่ความถี่กลางในการออกแบบ 2.31GHz ได้ค่าการแยกโคเด็ยเท่ากับ 20dB แต่วิธีนี้จะมีข้อเสียเมื่อนำสายอากาศไปต่อร่วมกับวงจรความถี่วิทยุ (RF Circuit) ที่ต้องใช้กราวด์ของสายอากาศร่วมกับกราวด์ของวงจรความถี่วิทยุ เนื่องจากกราวด์ที่ถูกเจาะหรือตัดออกไปจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของวงจรในย่านความถี่วิทยุที่นำมาต่อรวมมากขึ้น

ผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการเพิ่มค่าการแยกโคเดเคียวระหว่างพอร์ตสำหรับสายอากาศไมโครสตริปที่มีการกระตุ้นสัญญาณโดยใช้โพรบไฟฟ้าคู่ด้วยวิธีการแทรกช่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนแพทช์ของสายอากาศ ผู้วิจัยมีความสนใจในการเพิ่มค่าการแยกโคเดเคียวระหว่างพอร์ต ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีพอร์ตแบบโพรบคู่ให้ได้ค่าการแยกโคเดเคียวระหว่างพอร์ต 30 dB ที่ความถี่ RFID ในประเทศไทย 922.5 MHz

## 2. การออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

การออกแบบสายอากาศที่น่าเสนอจะแบ่งเป็นสองขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเริ่มด้วยการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ปราศจากช่องแทรกขึ้นมาเสียก่อน จากนั้นในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการหาขนาดช่องรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่แทรกลงบนตัวแพทช์เพื่อปรับปรุงค่าการแยกโคเดเคียว



รูปที่ 1 มิติของสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศที่พัฒนาครั้งนี้คือสายอากาศแบบไมโครสตริปแบบที่มีอากาศแทรกอยู่ระหว่างแผ่นวงจรพิมพ์กับกราวด์และมีการ

กระตุ้นสัญญาณแก่สายอากาศโดยผ่านทางโพรบไฟฟ้าคู่วางในลักษณะตั้งฉากกันและเลือกให้สายอากาศทำงานในโหมด  $TM_{01}$  จากตัวพอร์ต 1 และ  $TM_{10}$  จากตัวพอร์ต 2 โดยกำหนดความถี่กลางในการออกแบบที่ความถี่ 922.5 MHz ลักษณะโครงสร้างสายอากาศที่น่าเสนอในงานวิจัยนี้แสดงได้ตามรูปที่ 1 ขนาดความกว้างและความยาวของแพทช์ สามารถคำนวณได้จากเอกสารอ้างอิงที่ [11] ได้ขนาดของแพทช์ (W) เท่ากับ 129.5 มิลลิเมตร ขนาดของแผ่นกราวด์ (G) เท่ากับ 200 มิลลิเมตร แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 ที่มีความสูง ( $h_d$ ) เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของแผ่นวงจรพิมพ์ของสายอากาศ ( $\epsilon_r$ ) เท่ากับ 3.8 ความสูงของช่องอากาศ ( $h_a$ ) เท่ากับ 10 มิลลิเมตร การป้อนสัญญาณเป็นแบบโพรบ (probe feed) โดยทั้งสองจุดตั้งฉากกันและมีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางของสายอากาศเท่ากับ 32 มิลลิเมตร เพื่อยืนยันความถูกต้องของการออกแบบ สายอากาศต้นแบบได้ถูกนำไปจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม ADS (Advance design system) และสร้างขึ้นเพื่อนำไปทดสอบค่าพารามิเตอร์แบบเอส ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองการทำงานและผลที่ได้จากการทดลองแสดงในรูปที่ 2 จากการจำลองการทำงานค่าของสายอากาศพอร์ตที่ 1 และพอร์ตที่ 2 เท่ากับ 28.311 dB ค่าการแยกโคเดเคียวเท่ากับ 24.716 dB จากการทดลองได้ค่าสูญเสียการสะท้อนกลับของสายอากาศพอร์ตที่ 1 เท่ากับ 19.335 dB ค่าสูญเสียการสะท้อนกลับของสายอากาศพอร์ตที่ 2 เท่ากับ 21.978 dB จากการทดลองค่าการแยกโคเดเคียวเท่ากับ 24.701 dB โดยค่าแยกโคเดเคียวระหว่างพอร์ตสามารถหาได้จากสมการที่ (1)

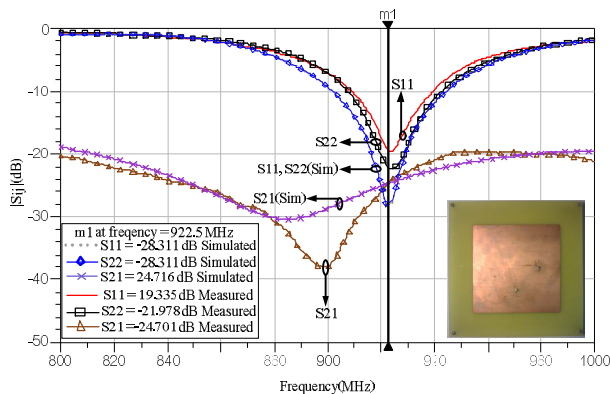
$$Isolation(dB)=10\log|S_{21}|^2 \quad (1)$$

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าผลของการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานและการทดลองนั้นมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี ที่ความถี่ออกแบบ 922.5 MHz โดยมีค่าแยกโคเดเคียวระหว่างพอร์ตทั้งสองประมาณ 24.7 dB ในการออกแบบสายอากาศสำหรับไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาไรเซชันโดยทั่วไปมีความต้องการค่าแยกโคเดเคียวระหว่างพอร์ตที่มากกว่า 30 dB[12] เพื่อป้องกันการเกิดการเชื่อมต่อของสัญญาณระหว่างพอร์ต การเพิ่มค่าแยกโคเดเคียวระหว่างพอร์ตสำหรับสายอากาศในที่นี่ ได้อาศัยการแทรกช่องลง

ไปบนตัวแพทช์สายอากาศซึ่งจะกล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป

### 3. การปรับปรุงค่าการแยกโคเดเดี่ยวของสายอากาศไมโครสตริป

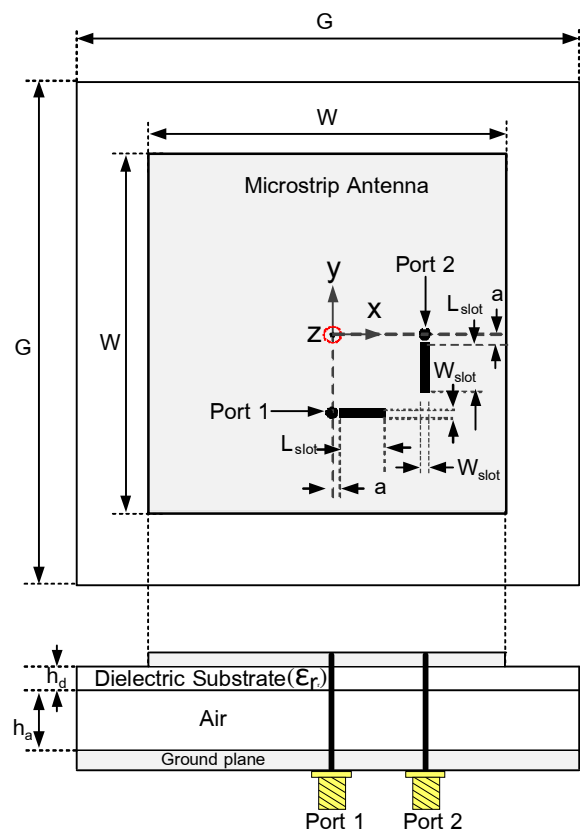
การปรับปรุงค่าการแยกโคเดเดี่ยวของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะใช้วิธีแทรกด้วยช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามโครงสร้างดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 ได้ถูกทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยแบ่งผลการทดสอบออกเป็นสี่ส่วน ส่วนแรกเป็นความสัมพันธ์เมื่อปรับขนาดความกว้าง ความยาวและระยะห่างของช่องที่ถูกแทรกกับค่าการแยกโคเดเดี่ยวระหว่างพอร์ต ส่วนที่สองเป็นการทดสอบค่าพารามิเตอร์เอส ส่วนที่สามเป็นคำอธิบายขยายสายอากาศและส่วนสุดท้ายเป็นแบบรูปการแผ่คลื่น



รูปที่ 2 พารามิเตอร์แบบเอสของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ปราศจากช่อง

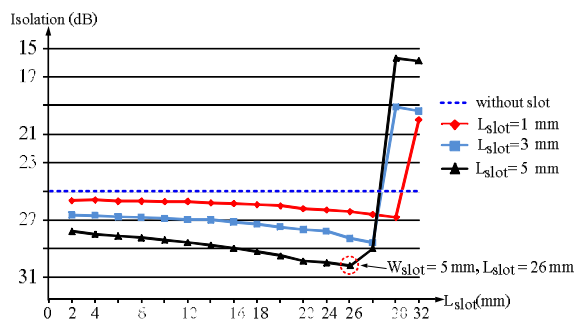
จากการจำลองการทำงานและผลการทดสอบสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ปราศจากช่องแทรกพบว่าค่าการแยกโคเดเดี่ยวระหว่างพอร์ตที่ได้มีค่าที่ต่ำ จึงใช้เทคนิคการปรับปรุงค่าการแยกโคเดเดี่ยวด้วยการแทรกช่องที่แพทช์ของสายอากาศ ช่องรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งสองเปรียบเสมือนวงจรความถี่แบบแถบหยุดผ่าน (band stop filter) [13] – [14] ทำให้ช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่าอิมพีแดนซ์สูง (High-impedance) กระแสไฟฟ้า (สัญญาณความถี่วิทยุ) ที่ไหลบนตัวแพทช์ระหว่างพอร์ตทั้งสองของสายอากาศจึงถูกลดทอนลง จนไม่สามารถไหลผ่านไปรบกวน

กันได้ เมื่อสายอากาศทำงานในโหมด  $TM_{01}$  กระแสไฟฟ้าที่ไหลบนตัวแพทช์จึงไม่สามารถไหลเข้าไปรบกวนพอร์ตที่ 2 ได้ และเมื่อสายอากาศทำงานในโหมด  $TM_{10}$  กระแสไฟฟ้าที่ไหลบนตัวแพทช์ไม่สามารถไหลเข้าไปรบกวนพอร์ตที่ 1 ได้เช่นเดียวกัน ทำให้ค่าการแยกโคเดเดี่ยวระหว่างพอร์ตของสายอากาศเพิ่มขึ้น ช่อง (Slot) ที่ทำการแทรกมีสองช่องดังนี้ ช่องที่ 1 จะแทรกข้างพอร์ตที่ 1 (Port 1) โดยมีความยาวตามทิศทางแกนตั้ง (x) ของสายอากาศและที่จุดที่ 2 ช่องจะถูกแทรกด้านล่างของพอร์ตที่ 2 (Port 2) โดยมีความยาวของช่องตามแนวแกนนอน (y) ของสายอากาศดังรูปที่ 3 โดยให้ระยะห่างระหว่างพอร์ตกับช่องที่ทำการแทรก (a) เท่ากับ 1 มิลลิเมตร จากนั้นจำลองการทำงานโดยการปรับขนาดความกว้าง ( $W_{slot}$ ) และความยาว ( $L_{slot}$ ) ของช่องที่ทำการแทรกเพื่อปรับปรุงค่าการแยกโคเดเดี่ยวระหว่างพอร์ต



รูปที่ 3 มิติของสายอากาศไมโครสตริปที่ออกแบบให้มีค่าการแยกโคเดเดี่ยวสูง

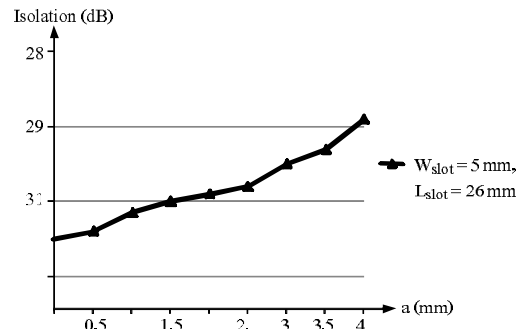
รูปที่ 4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง ( $W_{slot}$ ) ความยาว ( $L_{slot}$ ) ของช่องที่ถูกแทรกและค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ตระหว่างพอร์ต ขนาดช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 32 มิลลิเมตร ที่ขนาดความกว้าง 1, 3 และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากผลจำลองพบว่าเมื่อช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างเท่ากับ 5 มิลลิเมตรและความยาวเท่ากับ 26 มิลลิเมตร จะให้ค่าโคเด็ยระหว่างพอร์ตเกิดขึ้นดีที่สุดที่สุประมาณ 30 dB โดยมีการเพิ่มขึ้น 6 dB เมื่อเทียบกับในกรณีปราศจากช่องแทรก



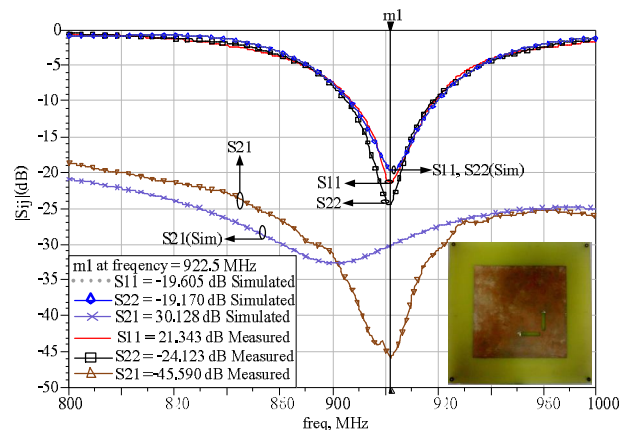
รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง ความยาวของช่องที่ถูกแทรกและค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ต

ในรูปที่ 5 แสดงกราฟความสัมพันธ์เมื่อนำความกว้างและความยาวของช่องที่ถูกแทรกที่ได้ค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ตสูงสุดที่ความกว้างเท่ากับ 5 มิลลิเมตรและความยาวเท่ากับ 26 มิลลิเมตรมาปรับระยะห่างระหว่างพอร์ตกับช่องที่ทำการแทรก (a) พบว่ายิ่งช่องที่ทำการแทรกห่างจากพอร์ตเท่าใดยิ่งทำให้ค่าการแยกโคเด็ยต่ำลง รูปที่ 6 แสดงค่าพารามิเตอร์แบบเอสของสายอากาศที่ออกแบบจากโปรแกรมจำลองการทำงานและจากการทดลองที่ระยะห่างระหว่างพอร์ตกับช่องที่ทำการแทรก (a) เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ความกว้างของช่องที่แทรก ( $W_{slot}$ ) เท่ากับ 5 มิลลิเมตร ความยาวของช่องที่แทรก ( $L_{slot}$ ) เท่ากับ 26 มิลลิเมตร ที่ความถี่ 922.5 MHz ผลการจำลองการทำงานค่าสูญเสียการสะท้อนกลับของสายอากาศพอร์ตที่ 1 และพอร์ตที่ 2 เท่ากับ 19.605 dB ค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ตเท่ากับ 30.128 dB จากการทดลองได้ค่าสูญเสียการสะท้อนกลับของสายอากาศพอร์ตที่ 1 เท่ากับ 21.343 dB ค่าสูญเสียการสะท้อนกลับของสายอากาศพอร์ตที่ 2 เท่ากับ

24.123 dB และค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ตเท่ากับ 45.590 dB จากการทดลองสายอากาศที่ออกแบบนี้ให้ค่าแถบความถี่เท่ากับ 33 MHz จาก 905-938 MHz ตลอดช่วงแถบความถี่ของสายอากาศพบว่าค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ตมีค่ามากกว่า 30 dB



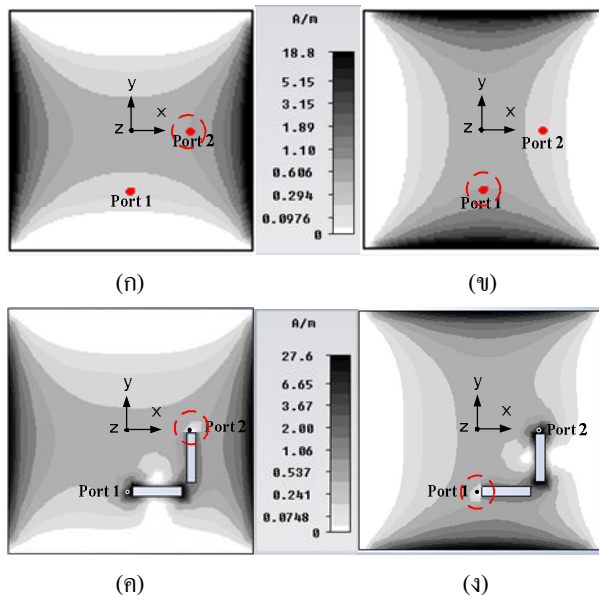
รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ของระยะห่างของช่องที่ถูกแทรกกับค่าการแยกโคเด็ยระหว่างพอร์ต



รูปที่ 6 พารามิเตอร์แบบเอสของสายอากาศที่ถูกปรับปรุงค่าการแยกโคเด็ย

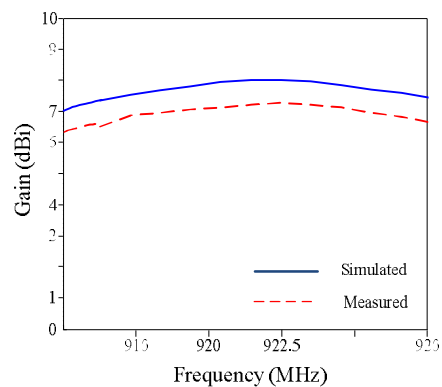
ในรูปที่ 7 (ก) แสดงปริมาณกระแสที่เกิดขึ้นบนแพทช์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบปราศจากช่องแทรกเมื่อป้อนสัญญาณเข้าที่พอร์ต 1 ของสายอากาศ สายอากาศจะทำงานในโหมด  $TM_{01}$  กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะกระจายไปทั่วทั้งแพทช์โดยปริมาณของกระแสหนาแน่นที่สุดจะอยู่บริเวณขอบทั้งสองข้างตามแนวแกน y ของแพทช์ จากรูป 7 (ก) พบว่าเมื่อสายอากาศทำงานในโหมด

$TM_{01}$  จะมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลบนแพทช์บางส่วนสามารถไหลเข้าไปรบกวนพอร์ตที่ 2 ได้ ในรูปที่ 7 (ข) แสดงปริมาณกระแสที่เกิดขึ้นบนแพทช์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบปราศจากช่องแทรกเมื่อป้อนสัญญาณเข้าที่พอร์ต 2 ของสายอากาศ สายอากาศจะทำงานในโหมด  $TM_{10}$  กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะกระจายไปทั่วทั้งแพทช์โดยปริมาณของกระแสที่หนาแน่นที่สุดจะอยู่บริเวณขอบทั้งสองข้างตามแนวแกน x ของแพทช์ จากรูป 7 (ข) เมื่อสายอากาศทำงานในโหมด  $TM_{10}$  จะมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลบนแพทช์บางส่วนสามารถไหลเข้าไปรบกวนพอร์ตที่ 1 ได้ ในรูปที่ 7 (ค) แสดงปริมาณกระแสที่เกิดขึ้นบนแพทช์ของสายอากาศไมโครสตริปเมื่อแทรกช่องรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งสองลงไปในแพทช์ มีผลทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลบนตัวแพทช์เมื่อสายอากาศทำงานในโหมด  $TM_{01}$  กระแสไฟฟ้าที่ไหลบนตัวแพทช์ถูกลดทอนลงและไม่สามารถไหลเข้าไปรบกวนพอร์ตที่ 2 ได้ และเมื่อสายอากาศทำงานในโหมด  $TM_{10}$  ดังรูปที่ 7 (ง) กระแสไฟฟ้าที่ไหลบนตัวแพทช์จะถูกลดทอนลงและไม่สามารถไหลเข้าไปรบกวนพอร์ตที่ 1 ได้เช่นเดียวกัน ทำให้ค่าการแยกโคเดเดี่ยวระหว่างพอร์ตของสายอากาศเพิ่มขึ้น



รูปที่ 7 ปริมาณกระแสที่เกิดขึ้นบนแพทช์ของสายอากาศ

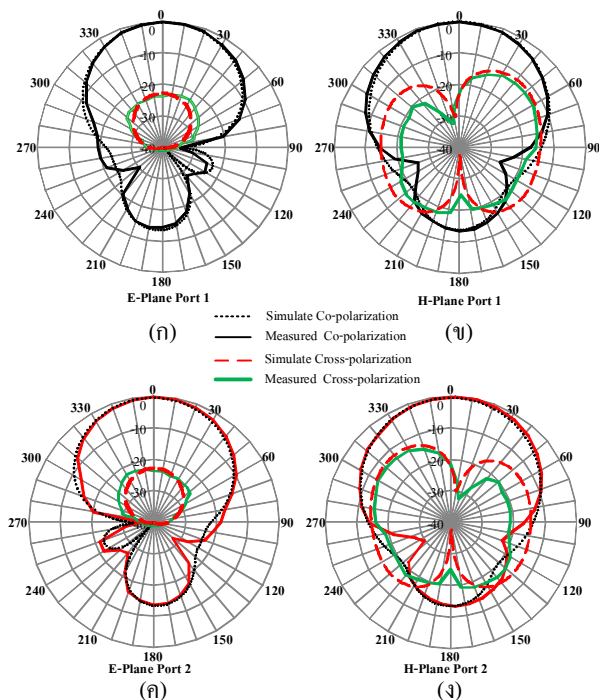
สำหรับการทดสอบหาค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ถูกปรับปรุงค่าการแยกโคเดเดี่ยว ได้อาศัยวิธีการคำนวณหาจากสูตรการส่งผ่านของฟรีสโดยสร้างสายอากาศแบบเดียวกันสองต้นมาทดสอบ จากผลการจำลองการทำงานและผลทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ ในช่วงความถี่ 910 - 930 MHz ได้แสดงไว้ในรูปที่ 8 อัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 922.5 MHz พบว่ามีค่าเท่ากับ 8 dBi ผลการทดลองค่าอัตราขยายสายอากาศมีค่าเท่ากับ 7.3 dBi สาเหตุที่ผลการจำลองการทำงานได้อัตราการขยายสูงกว่าการทดลองเนื่องจากในการจำลองผลได้อาศัยตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์ (Perfect electric conductor: PEC) ในการจำลองการทำงานจึงไม่เกิดการสูญเสียในส่วนนี้ ทำให้ผลที่ได้แตกต่างกัน



รูปที่ 8 อัตราขยายของสายอากาศ

ในส่วนสุดท้ายของการทดสอบคือการทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นโดยได้ทดสอบเฉพาะที่ความถี่ 922.5 MHz ทั้งสองโหมด ( $TM_{10}$  และ  $TM_{01}$ ) ผลการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 9 ในรูปที่ 9 (ก) แสดงแบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) จากพอร์ตที่ 1 ( $TM_{01}$ ) ในระนาบสนามไฟฟ้ามีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเท่ากับ 65 องศา อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังของโพลาไรซ์ร่วมเท่ากับ 13.4 dB และอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังของโพลาไรซ์ไขว้เท่ากับ 14dB ในรูปที่ 9 (ข) แสดงแบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) จากพอร์ตที่ 1 ในระนาบสนามไฟฟ้ามีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเท่ากับ 74.6 องศา อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังของโพลาไรซ์ร่วมเท่ากับ 13.5 dB และ

อัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังของโพลาริซัฟไว้เท่ากับ 2.1dB ในรูปที่ 9 (ค) แสดงแบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) จากพอร์ตที่ 2 ( $TM_{10}$ ) ในระนาบสนามไฟฟ้ามีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเท่ากับ 65 องศา อัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังของโพลาริซัฟรวมเท่ากับ 13.4 dB และอัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังของโพลาริซัฟไว้เท่ากับ 14 dB ในรูปที่ 9 (ง) แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) จากพอร์ตที่ 2 ในระนาบสนามไฟฟ้ามีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเท่ากับ 74.6 องศา อัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังของโพลาริซัฟรวมเท่ากับ 13.5 dB และอัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังของโพลาริซัฟไว้เท่ากับ 2.1dB

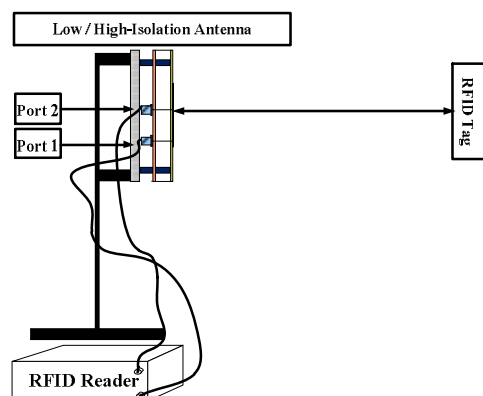


รูปที่ 9 แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศ

#### 4. การประยุกต์ใช้งาน

ในการประยุกต์ใช้งานจะนำสายอากาศไมโครสตริปที่ได้ทำการออกแบบไว้ทั้งสองแบบคือแบบที่มีค่าการแยกโคเดเคียวระหว่างพอร์ตต่ำ (Low Isolation) และแบบที่มีค่าการแยกโคเดเคียวระหว่างพอร์ตสูง (High Isolation) มาทดสอบในระบบ RFID

รูปที่ 10 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องมือวัดและทดสอบสายอากาศ สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ รวมไปถึงเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้สายอากาศไมโครสตริปที่ออกแบบทั้งสองกรณีจะใช้เป็นตัวรับและตัวส่งคลื่นเข้ากับขาตั้ง พอร์ตทั้งสองของสายอากาศถูกต่อเข้ากับเครื่องอ่าน RFID (RFID Reader) ของ Symbol รุ่น XR450 พอร์ตที่ 1 จะตอบสนองโพลาไรเซชันในแนวตั้งและพอร์ตที่ 2 จะตอบสนองในโพลาไรเซชันในแนวนอน กำหนดกำลังส่งของเครื่องไว้ที่ 100mW ในแต่ละพอร์ต ทางด้านรับจะใช้ RFID Tag ของ Printronix 860-960 MHz EPC Class 1 UPM RFID Gen 2 Short Dipole (3001974) Antenna เป็น Tag ที่มีโพลาริซัฟเชิงเส้นในการรับและส่ง ในขั้นตอนการทดลองมีสองกรณี ในกรณีแรก Tag จะถูกวางไว้ในแนวตั้ง จากนั้นวัดระยะทางสูงสุดที่เครื่องอ่าน RFID สามารถรับกำลังงานจาก Tag ได้และสัญญาณจาก Tag เข้ามาที่พอร์ตใด จากนั้นจะเลื่อน Tag ให้เข้ามาใกล้สายอากาศในระยะที่เครื่องอ่าน RFID สามารถรับสัญญาณจาก Tag ได้ทั้งสองพอร์ต ในกรณีที่สอง Tag จะถูกวางไว้ในแนวนอน จากนั้นวัดระยะทางสูงสุดที่เครื่องอ่าน RFID สามารถรับกำลังงานจาก Tag ได้และสัญญาณจาก Tag เข้ามาที่พอร์ตใด จากนั้นจะเลื่อน Tag ให้เข้ามาใกล้สายอากาศในระยะที่เครื่องอ่าน RFID สามารถรับสัญญาณจาก Tag ได้ทั้งสองพอร์ต ทั้งสองกรณีที่ได้อธิบายไว้จะถูกทดสอบกับสายอากาศไมโครสตริปที่ได้ทำการออกแบบไว้ทั้งสองชนิดคือชนิดที่มีค่าการแยกโคเดเคียวต่ำ (Low Isolation) และชนิดที่มีค่าการแยกโคเดเคียวสูง (High Isolation) ผลการทดลองจะแสดงไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 10 การติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องมือวัดเพื่อทดสอบสายอากาศ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่ออกแบบเมื่อนำมาใช้ในระบบ RFID

| ค่าการแยก<br>โคเดเดี่ยว<br>ของ<br>สายอากาศ | โพลาริ<br>เซชัน<br>ของ<br>Tag | พอร์ต<br>ที่<br>เครื่อง<br>อ่าน<br>RFID | ระยะทาง<br>สูงสุดที่รับ<br>สัญญาณ<br>จาก Tag ได้<br>(ซม) | ระยะทางที่<br>เริ่มรับ<br>สัญญาณ<br>จาก Tag<br>ได้ทั้งสอง<br>พอร์ต(ซม) |
|--------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| ต่ำ                                        | แนว<br>ตั้ง                   | 1                                       | 489                                                      | 60                                                                     |
|                                            |                               | 2                                       | -                                                        | 60                                                                     |
|                                            | แนว<br>นอน                    | 1                                       | -                                                        | 60                                                                     |
|                                            |                               | 2                                       | 489                                                      | 60                                                                     |
| สูง                                        | แนว<br>ตั้ง                   | 1                                       | 490                                                      | 30                                                                     |
|                                            |                               | 2                                       | -                                                        | 30                                                                     |
|                                            | แนว<br>นอน                    | 1                                       | -                                                        | 30                                                                     |
|                                            |                               | 2                                       | 490                                                      | 30                                                                     |

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่าที่กำลังส่ง 100 mW สายอากาศที่มีค่าการแยกโคเดเดี่ยวต่ำ (Low Isolation) และสายอากาศที่มีค่าการแยกโคเดเดี่ยวสูง (High Isolation) มีระยะสูงสุดที่วัดได้เท่ากันอยู่ที่ 490 เซนติเมตร แต่ระยะทางใกล้ที่สุดที่สายอากาศเริ่มรับสัญญาณจาก Tag ได้ทั้งสองพอร์ตของสายอากาศที่มีค่าการแยกโคเดเดี่ยวต่ำจะอยู่ที่ 60 เซนติเมตร และสายอากาศที่มีค่าการแยกโคเดเดี่ยวจะอยู่ที่ 30 เซนติเมตร จากผลการทดสอบพบว่าในระยะทางไกลการแยกแยะโพลาริเซชันแนวตั้งและโพลาริเซชันแนวนอนของสายอากาศทั้งสองมีประสิทธิภาพในการแยกแยะเท่ากัน แต่ในระยะทางใกล้เข้ามาสายอากาศที่มีค่าการแยกโคเดเดี่ยวสูงมีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการแยกแยะโพลาริเซชันแนวตั้งและโพลาริเซชันแนวนอนได้เป็นอย่างดี ทำให้ระยะในการใช้งานเพิ่มมากขึ้นกล่าวคือระยะทางที่ทำให้เกิดการซ้ำซ้อนของข้อมูลจาก Tag ที่เข้ามาใน

ระบบลดลงทำให้ช่วยลดภาระการจัดการข้อมูลที่เข้ามาของระบบ RFID ได้

## 5. สรุป

วิธีการปรับปรุงค่าการแยกโคเดเดี่ยวระหว่างพอร์ตที่ได้นำเสนอ มีข้อแตกต่างจากวิธีการปรับปรุงค่าการแยกโคเดเดี่ยวระหว่างพอร์ตที่ผ่านมาตรงที่ไม่จำเป็นต้องดัดแปลงโครงสร้างของสายอากาศให้มีความซับซ้อนมากและไม่ต้องตัดช่องที่แผ่นกราวด์เพื่อเพิ่มค่าการแยกโคเดเดี่ยวระหว่างพอร์ต ทำให้วิธีการปรับปรุงค่าการแยกโคเดเดี่ยวระหว่างพอร์ตที่นำเสนอสามารถนำไปต่อร่วมกับวงจรความถี่วิทยุ (RF Circuit) อื่นๆ ที่ต้องใช้กราวด์ของวงจรร่วมกับกราวด์ของสายอากาศได้ จากผลการจำลองการทำงานและการทดลองพบว่าเมื่อมีการแทรกช่องที่แพทช์ในตำแหน่งที่ได้กล่าวผ่านมานั้นสามารถเพิ่มค่าการแยกโคเดเดี่ยวระหว่างพอร์ตได้ถึง 45.59 dB โดยช่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งสองเปรียบเสมือนวงจรกรองแถบความถี่แบบหยุดผ่านที่ทำให้กระแสระหว่างพอร์ตทั้งสองถูกลดทอนลงจนไม่สามารถไหลผ่านไปปรบกันกันได้ เมื่อสายอากาศทำงานในโหมด  $TM_{01}$  กระแสไฟฟ้าที่ไหลบนตัวแพทช์จึงไม่สามารถไหลเข้าไปปรบกันพอร์ตที่ 2 ได้ และเมื่อสายอากาศทำงานในโหมด  $TM_{10}$  กระแสไฟฟ้าที่ไหลบนตัวแพทช์ไม่สามารถไหลเข้าไปปรบกันพอร์ตที่ 1 ได้เช่นเดียวกัน ทำให้ค่าการแยกโคเดเดี่ยวระหว่างพอร์ตของสายอากาศเพิ่มขึ้น พารามิเตอร์แบบเอสและแบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศจากโปรแกรมจำลองการทำงานและการทดลองมีลักษณะที่คล้ายคลึงและแนวโน้มของกราฟที่ได้มีความสอดคล้องกัน แตกต่างกันเล็กน้อยอาจเกิดจากแบบจำลองหรือโมเดลของวัสดุที่ใช้ไม่สอดคล้องกับชิ้นงานจริงทำให้เกิดความแตกต่างขึ้น ผลการทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีค่าการแยกโคเดเดี่ยวระหว่างพอร์ตสูงสำหรับไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาริเซชันย่านความถี่อาร์เอฟไอดี 900 เมกะเฮิร์ตพบว่าในระยะทางไกลการแยกแยะโพลาริเซชันแนวตั้งและโพลาริเซชันแนวนอนของสายอากาศทั้งสองมีประสิทธิภาพในการแยกแยะเท่ากัน แต่ในระยะทางใกล้เข้ามาสายอากาศที่มีค่าการแยกโคเดเดี่ยวสูงว่ามีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการแยกแยะโพลาริเซชันแนวตั้งและโพลาริเซชันแนวนอนได้เป็นอย่างดี ทำให้ระยะในการใช้งานเพิ่มมากขึ้นกล่าวคือระยะทางที่ทำให้เกิดการ



ซ้ำซ้อนของข้อมูลจาก Tag ที่เข้ามาในระบบลดลงทำให้ช่วยลดภาระการจัดการข้อมูลที่เข้ามาของระบบ RFID ได้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Sachin Gupta, M.Ramesh and A.T.Kalghatgi, "Parametric studies on isolation in probe-fed dual polarized microstrip antennas", Microwave Conference., VOL. 3, Oct. 2005
- [2] H.-W. Son, "Design of dual-polarised microstrip antenna with high isolation using capacitive feeds", Electronic Letter 21<sup>st</sup>., Vol. 45, No. 11, May 2009.
- [3] Shin-Chang Chen, Yu-Shin Wang, Ching-Wei Ling and Shyh-Jong Chung, "A new high isolation dual-antennas with miniature decoupling network design", Antennas and Propagation Society International Symposium., 2007. pp. 3125 – 3128.
- [4] Wong, H., Lau, K.L., and Luk, K.M., "Design of dual-polarised L-probe patch antenna arrays with high isolation", IEEE Trans. Antennas Propagation., 2004. pp. 45–52.
- [5] Mohammed Ziaul Azad and Mohammad Ali, "Novel wideband directional dipole antenna on a mushroom like EBG structure", IEEE Transactions on Antenna and Propagation., VOL. 56, MAY 2008. pp.1242-1250.
- [6] M.N.Md.Tan1, T.A.Rahman2, S.K.A.Rahim2, M.T.Ali1 and M.F.Jamlos, "Antenna array enhancement using mushroom-like electromagnetic band gap (EBG)", Antennas and Propagation (EuCAP), 2010 pp. 1 – 5.
- [7] A. Uz Zaman, L. Manholm and A. Derneryd, "Dual polarised microstrip patch antenna with high port isolation", Electronics Letters 10<sup>th</sup>., Vol. 43, May 2007.
- [8] Angus C. K. Mak, Corbett R. Rowell, and Ross D. Murch, "Isolation enhancement between two closely packed antennas", IEEE Transactions on Antenna and Propagation., VOL. 56, NOVEMBER 2008. pp. 3411-3419.
- [9] Chi-Yuk Chiu, Chi-Ho Cheng, Ross D. Murch, and Corbett R. Rowell, "Reduction of mutual coupling between closely-packed antenna elements", IEEE Transactions on Antenna and Propagation., VOL. 55, JUNE 2007. pp. 1732-1738.
- [10] FuGuo Zhu, JiaDong Xu and Qian Xu, "Reduction of mutual coupling between closely-packed antenna elements using defected ground structure", Microwave Antenna Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications., 2009. pp. 1–4.
- [11] นรินทร์ คำประเสริฐ, เฉลิมพล นาค้างและทศพงศ์ ทศศรี, "การศึกษาตัวแปรของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบมีช่องว่างอากาศ", วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.ปีที่ 24, ฉบับที่ 2, 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2544. หน้า 131-141.
- [12] Pavel V. Nikitin and K. V. S. Rao, "Antennas and Propagation in UHF RFID Systems", IEEE International Conference on RFID., 16-17 April. 2008. Pp. 277 - 288
- [13] R. Ludwig, and P. Bretchoko, RF Circuit Design, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.
- [14] คมกฤษ บุญยิ่ง, สมพล โกศลวิตร, อภิณาน กาญจนวาปสิดิษฐ์ และธีรวิศิษฐ์ เลาหะเพ็ญแสง, "สายอากาศไมโครสตริปโคแเวอร์จิดีเชิงโพลาริซัฟแทรก ร่องเพิ่มประสิทธิภาพค่าแยกโคเคเคียว", Engineering Transactions., Vol. 14, January-June 2011. pp. 41-52.
- [15] C.A. Balanis, Antenna Theory Analysis and design, John Wiley & Sons, Inc., 1997



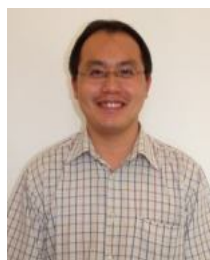
**เอกบดินทร์ กลิ่นเกษร** จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ในปี พ.ศ.2549 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันกำลังศึกษาคณะระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



**สมพล โกศลวิตร** จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิพิเศษ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร มีความสนใจงานวิจัยทางด้าน ไมโครเวฟและสายอากาศ



**ธีรวิศิษฐ์ เลาหะเพ็ญแสง** จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเซนต์ปีเตอร์สเบิร์ก สหราชอาณาจักรอังกฤษ ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งอาจารย์ประจำสำนักวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง มีความสนใจงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมไมโครเวฟ และเทคโนโลยีสายอากาศ



**สมมาตร แสงเงิน** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร มีความสนใจงานวิจัยทางด้าน optical fiber communication systems, fiber optic component, fiber ring resonator และ microwave photonics.