

สายอากาศร่องรูปตัวเอสแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางโพลาไรซ์ วงกลมสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล

Circularly Polarized Bidirectional S-Slot Antenna for Universal UHF-RFID Reader

พิสิษฐ์ จันแปงเงิน¹ ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์¹ สิทธิชัย เค่นศรี²

¹ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

²หน่วยวิจัยเทคโนโลยีไร้สายและความมั่นคง, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสากล โดยช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 840 ถึง 960 MHz ซึ่งมีโครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยร่องรูปตัวเอส สำหรับแพร่กระจายคลื่นโพลาไรซ์วงกลม โดยสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีความกว้าง 120 mm และยาว 120 mm เท่ากัน สร้างบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 มีความหนา 3.18 mm มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.3 จากผลการทดสอบสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 650 MHz ถึง 1200 MHz คิดเป็นอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ 59% โพลาไรซ์วงกลมตลอดช่วงความถี่ 660 MHz ถึง 1050 MHz คิดเป็นอัตราส่วนแบนด์วิดท์ 46% มีอัตราส่วนแกน 1.03 dB และอัตราขยาย 3.23 dBic ที่ความถี่ 900 MHz ซึ่งเป็นความถี่กลางของย่านความถี่ระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล

คำสำคัญ : โพลาไรซ์วงกลม อาร์เอฟไอดี ยูเอชเอฟ สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล

Abstract

This paper presents a design of the universal reader antenna applied for the ultra-high frequency (UHF) - radio frequency identification (RFID) system with the operating frequency from 840 MHz to 960 MHz. The antenna structure consists of S-Slot to produce the circular polarization. The total size of the reader antenna is 120 mm × 120 mm fabricated on the FR4 substrate with the dielectric constant of 4.3 and a thickness of 3.18 mm. From the measured results, it is shown that the proposed reader antenna radiates a bidirectional pattern with the circular polarization, covering the operating frequency from 660 MHz to 1050 MHz with axial ratio bandwidth of 46%. The axial ratio and gain at the boresight direction are 1.03 -

dB and 3.23 dBic, respectively at 900 MHz which is the center frequency of universal UHF RFID standard band.

Keywords : Circular polarization (CP), RF Identification (RFID), Ultra high frequency (UHF), Reader antenna.

1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification System: RFID) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างหลากหลาย อาทิเช่น ระบบการควบคุมการเข้า-ออกในสถานที่ทำงานหรือห้องเรียน ระบบติดตามการขนส่ง การใช้แสดงตัวตนของคน สัตว์ หรือผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงการใช้งานในเชิงเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ [1] ระบบอาร์เอฟไอดี ประกอบไปด้วยเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กเป็นองค์ประกอบหลัก โดยโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมภายในของระบบอาร์เอฟไอดีมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกับเทคโนโลยีสมาร์ทการ์ด ซึ่งเครื่องอ่านข้อมูลจะส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุผ่านสายอากาศแล้วไปยังแท็ก จากนั้นแท็กที่ได้รับคลื่นความถี่วิทยุจะมีการตอบสนอง โดยจะแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุที่แฝงข้อมูลที่อยู่ภายในแท็กกลับไปยังสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล และส่งต่อให้เครื่องอ่านข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ประมวลผลต่อไป ซึ่งตัวแท็กจะมีหน่วยความจำฝังอยู่ภายในชิพวงจรรวมอยู่ด้วย แต่เนื่องจากสายอากาศแท็กส่วนใหญ่จะออกแบบเป็นสายอากาศชนิดโพลาริซเซชัน เนื่องจากขนาดของแท็กชนิดโพลาริซเซชันส่วนมากจะมีขนาดเล็กกว่าแท็กชนิดโพลาริซวงกลม ทำให้แท็กส่วนมากนิยมออกแบบให้มีคุณลักษณะการโพลาริซเซชัน

จากคุณสมบัติดังกล่าว ซึ่งแท็กโพลาริซเซชันโดยส่วนใหญ่มีขนาดเล็ก จึงทำให้เกิดปัญหาการอ่านข้อมูลสั้นลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลให้มีอัตราขยายที่มีความเหมาะสมเพื่อให้ได้ระยะการอ่านที่ไกลขึ้นเมื่อมีการใช้ร่วมกับแท็ก นอกจากนี้ปัญหาทางด้านอัตราขยายของสายอากาศแล้วสิ่งที่ควรพิจารณาในการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลคือ

การออกแบบให้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสามารถ รับส่งข้อมูลกับแท็กได้ในทุกระนาบ เนื่องจากการนำแท็กไปติดตั้งใช้งานบนตัวสินค้า ตำแหน่งของแท็กอาจไม่สามารถควบคุมได้

ในกรณีที่สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กมีโพลาริซเซชันเป็นชนิดเชิงเส้นเหมือนกัน ตำแหน่งการติดตั้งแท็กและเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีทิศทางของสายอากาศตรงกัน เพื่อให้สามารถรับและส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา แต่ในการใช้งานจริงตำแหน่งของวัตถุที่นำแท็กไปติด กับตำแหน่งของเครื่องอ่านข้อมูลอาจไม่สามารถกำหนดให้มีทิศทางของสายอากาศตรงกันได้ ดังนั้นสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลจึงควรมีความสามารถที่จะรับส่งข้อมูลกับแท็กได้ในทุกระนาบและตำแหน่งการวาง ดังนั้นสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลจึงควรมีคุณลักษณะการโพลาริซเซชันเป็นชนิดวงกลม และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มีความเหมาะสม และมีคุณลักษณะที่สามารถรับและส่งข้อมูลจากแท็กได้ในทุกระนาบและตำแหน่งการติดตั้ง

ในปัจจุบันสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่ทำงานในช่วงความถี่เอชเอฟจะเป็นสายอากาศที่มีโพลาริซเซชันเชิงเส้นทำให้การนำไปประยุกต์ใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการนำแท็กไปติดกับผลิตภัณฑ์ หรือในบางกรณีผลิตภัณฑ์อาจมีการเปลี่ยนตำแหน่งโดยไม่ทราบล่วงหน้าได้ เป็นผลให้การสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กมีประสิทธิภาพลดลงทำให้ระยะการอ่านสั้นลง เนื่องจากการสูญเสียเชิงโพลาริซเซชัน เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียเชิงโพลาริซเซชันในขณะที่มีการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก จึงได้ทำการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีโพลาริซเซชันวงกลมซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้ โดยสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่ทำการออกแบบ มีลักษณะแบนราบ มีขนาดเล็ก

กะทัดรัด ง่ายต่อการติดตั้งใช้งานเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและงานวิจัยที่นำเสนอมาก่อนนี้ [6]-[12]

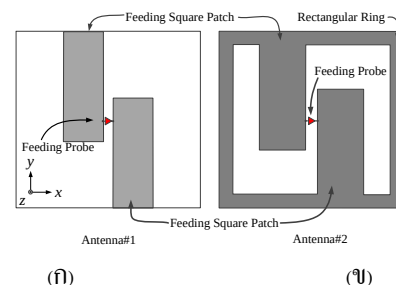
จะเห็นได้ว่าสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีผลต่อสมรรถนะการใช้งาน โดยเฉพาะระยะการอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีเป็นอย่างมาก เพราะคุณลักษณะของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล โดยเฉพาะลักษณะแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะมีผลต่อระยะการรับส่งข้อมูล และมุมรับ-ส่งระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก ในงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีจุดป้อนสัญญาณเดี่ยว และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางโดยมีโพลาริซเป็นวงกลม สายอากาศประกอบด้วยร่องรูปตัวเอสเป็นโครงสร้างหลัก เพื่อใช้งานในช่วงความถี่ 840-960 MHz สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสากล ตามมาตรฐาน FCC [2] แต่ในมาตรฐาน FCC ยังไม่ได้ระบุความถี่ใช้งานอาร์เอฟไอดีของประเทศจีนไว้ในมาตรฐาน ที่ใช้ความถี่ 840.5-844.5 MHz ซึ่งมีความสำคัญในการนำไปใช้งานเพื่อที่จะครอบคลุมทั่วโลก จึงใช้ความถี่ 840-960 MHz ในการออกแบบสายอากาศสร้างบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 [3] โดยมีเพียงร่องรูปตัวเอสเป็นโครงสร้างหลัก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้านี้ [4]-[8] จะพบว่าสายอากาศที่นำเสนอมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน สร้างง่าย แต่มีคุณสมบัติใกล้เคียงหรือดีกว่างานวิจัยที่มีมาก่อน

สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีจุดป้อนสัญญาณเดี่ยว มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางด้วยโพลาริซวงกลมซึ่งได้ทำการศึกษาและออกแบบด้วยโปรแกรมจำลอง ได้ถูกสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ ในห้องปฏิบัติการวิจัยสายอากาศและการประยุกต์แม่เหล็กไฟฟ้าได้แก่ค่าการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับในรูปแบบ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยาย และอัตราส่วนแกนของสายอากาศ ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

2. การออกแบบสายอากาศ

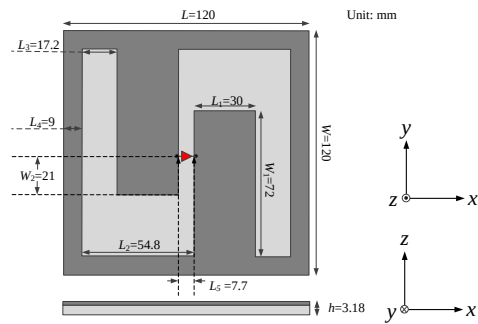
งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีที่มีช่วงความถี่ใช้งานครอบคลุมย่าน

ยูเอชเอฟสากล (840 MHz ถึง 960 MHz) โดยโครงสร้างของสายอากาศมีการป้อนสัญญาณเพียงตำแหน่งเดียวด้วยสายป้อนสัญญาณผ่าน โคอแอกเชียลโพรบ ระหว่างแพทช์ตรงกลางร่องรูปตัวเอส ซึ่งสร้างบนแผ่นวัสดุฐานรองชนิด FR-4 ที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ϵ_r เท่ากับ 4.3 ความหนาวัสดุฐานรอง 3.18 mm ค่าแทนเจนต์การสูญเสีย 0.0025 ที่ความถี่ 1 GHz ซึ่งค่าคงตัวไดอิเล็กตริกและความหนาของวัสดุฐานรองมีผลในการช่วยลดขนาดของสายอากาศเนื่องจากความยาวคลื่นที่เดินทางบนวัสดุฐานรองที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.3 จะมีความยาวคลื่นสั้นกว่าคลื่นที่เดินทางในสภาวะอวกาศว่าง ในการออกแบบโครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลได้กำหนดให้ความยาวเริ่มต้นของแพทช์สี่เหลี่ยมมีความยาวเป็น $\lambda_g / 2$ (λ_g คือความยาวคลื่นที่เดินทางบนวัสดุฐานรอง) พิจารณาที่ความถี่ 900 MHz (เป็นความถี่กลางของย่านความถี่ในระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล) ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักในการแพร่กระจายคลื่น โดยระยะห่างของแพทช์สี่เหลี่ยมทั้งสองมีระยะห่าง 7.7 mm และเยื้องกันในระยะ $\lambda_g / 4$ ดังแสดงในรูปที่ 1(ก)

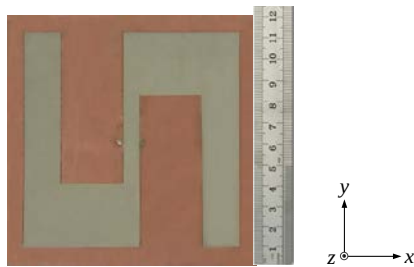


รูปที่ 1 โครงสร้างสายอากาศ (ก) โครงสร้างสายอากาศเริ่มต้น Antenna#1 (ข) โครงสร้างสายอากาศที่เพิ่มบ่วงสี่เหลี่ยม Antenna#2

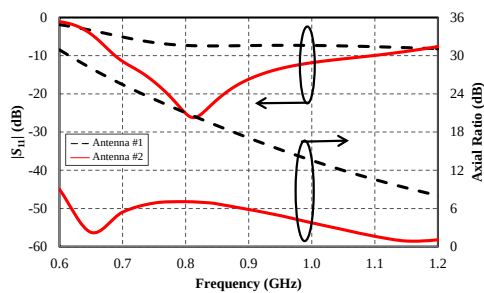
ในบทความนี้มุ่งเน้นคุณลักษณะของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลให้สามารถแพร่กระจายคลื่นที่มีโพลาริซวงกลม จึงได้ทำการเพิ่มบ่วงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะสมมาตรให้กับโครงสร้างสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 1(ข) ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างร่องรูปตัวเอสขึ้นมารูปที่ 2 แสดงโครงสร้างสายอากาศที่ออกแบบพร้อมขนาดและพารามิเตอร์และรูปที่ 3 แสดงสายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นเพื่อทำการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ



รูปที่ 2 โครงสร้างสายอากาศต้นแบบพร้อมขนาดและพารามิเตอร์



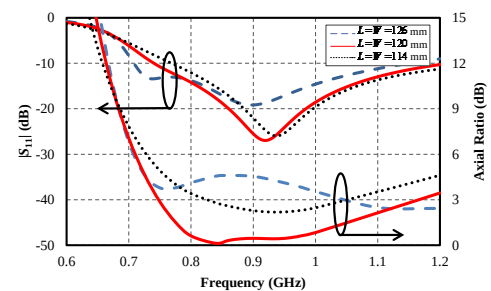
รูปที่ 3 รูปถ่ายสายอากาศต้นแบบ



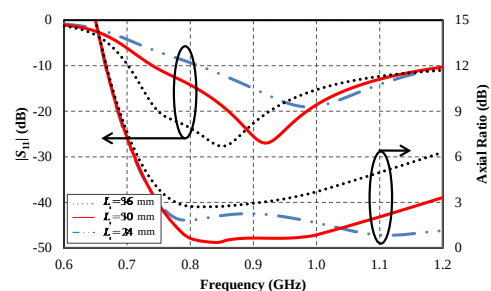
รูปที่ 4 การเปรียบเทียบผลจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อโครงสร้างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีลักษณะที่แตกต่างกัน

จากกราฟในรูปที่ 4 ได้มีการศึกษาโครงสร้างอยู่สองเงื่อนไขด้วยกันคือ 1) โครงสร้างสายอากาศเริ่มต้น (Antenna#1) และ โครงสร้างของสายอากาศที่เพิ่มบ่วงสี่เหลี่ยม (Antenna#2) จากกราฟผลจำลอง $|S_{11}|$ ในเงื่อนไขที่ 1 (เส้นประ) สายอากาศเริ่มต้นที่ออกแบบมีช่วงอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์กว้างแต่ยังคงมีค่า $|S_{11}|$ สูงกว่า -10 dB และค่าอัตราส่วนแกนยังมีค่าที่สูงกว่า 3 dB ซึ่งยังไม่ตรงตามเป้าหมายของการออกแบบ จึงต้องทำการเพิ่มโครงสร้างบ่วงสี่เหลี่ยมเข้าไปเพื่อให้คุณลักษณะสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลทำงานครอบคลุมความถี่ใช้งาน แสดงในเงื่อนไขที่ 2 (เส้นทึบ) จะเห็นได้ว่าค่า $|S_{11}|$ มีค่าต่ำกว่า -10 dB

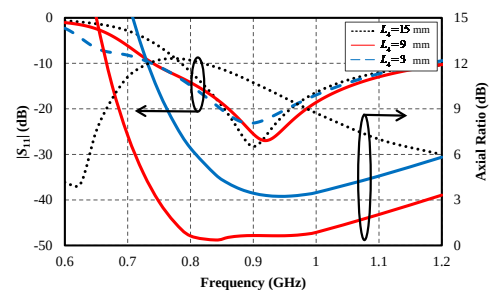
ตั้งแต่ช่วงความถี่ 688 MHz ถึง 1090 MHz ซึ่งครอบคลุมความถี่ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล และเมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนแกนจะเห็นว่าค่าอัตราส่วนแกนยังคงมีค่าสูงกว่า 3 dB แต่ยังมีแนวโน้มที่จะสามารถแพร่กระจายคลื่นด้วยโพลาไรซ์วงกลม ในขั้นตอนถัดไปจะทำการศึกษาและปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลเพื่อให้มีคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นด้วยโพลาไรซ์วงกลมที่ครอบคลุมความถี่ใช้งานอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล



รูปที่ 5 ผลจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L และ W



รูปที่ 6 ผลจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_1

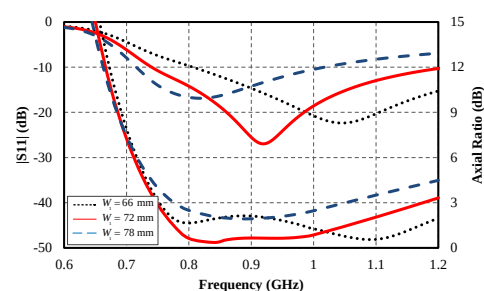


รูปที่ 7 ผลจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_4

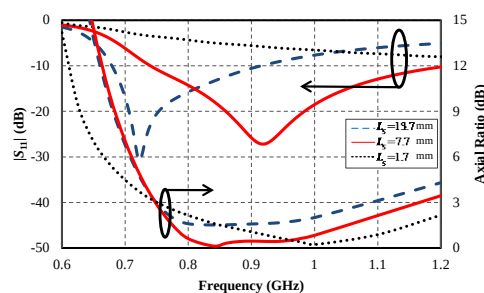
จากรูปที่ 5 ทำการปรับขนาดพารามิเตอร์ L และ W โดยขนาดพารามิเตอร์อื่นๆ คงที่สังเกตได้ว่า เมื่อขนาดความกว้างและความยาวของบ่วงสี่เหลี่ยมเพิ่มมากขึ้น โดยกำหนดให้ขนาดของพารามิเตอร์ L และ W เท่ากันเสมอ เพื่อความสมมาตรของโครงสร้างซึ่งทำให้กระแสเดินทางบนพื้นผิวมีขนาด (Magnitude) ที่เท่ากัน โดยการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ W และ L จะมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไม่มากนัก ในส่วนค่าอัตราส่วนแกนจะมีผลกระทบที่มากกว่า เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและเฟสขององค์ประกอบที่ทำให้เกิดโพลาริซวงกลม เมื่อสังเกตจากกราฟจะพบว่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศเปลี่ยนความถี่ไปทางช่วงความถี่ต่ำ เนื่องจากความยาวทางไฟฟ้าที่เดินทางบนพื้นผิวสายอากาศเพิ่มมากขึ้นทำให้ตอบสนองในช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งขนาดที่เหมาะสมของสายอากาศเท่ากับ 120 mm โดยพิจารณาจากค่า $|S_{11}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB สามารถครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 743 MHz ถึง 1215 MHz ในส่วนอัตราส่วนแกน AR น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 dB จะครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1100 MHz ซึ่งจะทำให้สายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นด้วยโพลาริซวงกลม ในรูปที่ 6 เมื่อเพิ่มความกว้างแพทช์ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม (L_1) จะสังเกตได้ว่าช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีแนวโน้มลดลงไปทางด้านความถี่ต่ำ อันเนื่องมาจากระยะความกว้างแพทช์ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้ความถี่ตอบสนองลดต่ำลง ซึ่งยังส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอีกด้วย โดยขนาดความกว้างแพทช์ป้อนสัญญาณที่เหมาะสมคือ 30 mm จากกราฟจะเห็นว่าค่า $|S_{11}|$ มีช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 744 MHz ถึง 1212 MHz และค่าอัตราส่วนแกนต่ำกว่า 3 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1150 MHz

ในรูปที่ 7 ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ L_4 ซึ่งเป็นความกว้างของเส้นบ่วงสี่เหลี่ยม โดยพารามิเตอร์ L_2 และ L_3 จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ใช้งานสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีแนวโน้มลดลงไปทางด้านความถี่ต่ำไม่มาก แต่เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนแกนจะเห็นได้ชัดว่ามีการเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อคุณลักษณะการ

แพร่กระจายคลื่นด้วยโพลาริซวงกลมของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่โพลาริซวงกลม แสดงว่าพารามิเตอร์ L_4 มีผลต่อการแมตช์อิมพีแดนซ์ไม่มากนักแต่จะมีผลต่อค่าอัตราส่วนแกนมากกว่า นั่นเป็นเพราะว่าพื้นผิวที่ให้กระแสไหลมีขนาดหรือระยะทางการเดินของกระแสไม่เหมาะสมกับองค์ประกอบที่จะเป็นตัวทำให้เกิดโพลาริซวงกลม โดยที่ขนาดความกว้างของเส้นบ่วงสี่เหลี่ยมที่เหมาะสมคือ 9 mm ค่า $|S_{11}|$ ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 744 MHz ถึง 1212 MHz อัตราส่วนแกนต่ำกว่า 3 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1150 MHz



รูปที่ 8 ผลจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ W_1



รูปที่ 9 ผลจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_5

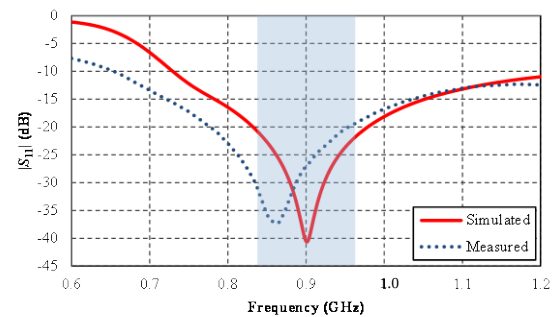
จากรูปที่ 8 เมื่อทำการเพิ่มความยาวของแผ่นสตริปที่ยื่นออกมาทั้งสองข้าง W_1 (โดยพารามิเตอร์ W_2 ก็เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย) ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักในส่วนที่ใช้เทคนิคที่เรียกว่า Open Circuit Strip มีความสำคัญต่อการแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ จะสังเกตได้ว่าช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศมีแนวโน้มที่ลดลง อันเนื่องมาจากค่าความยาวทางไฟฟ้าที่เดินทางในส่วนของขอบแพทช์ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมมีความยาวเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความถี่ที่ตอบสนองลดต่ำลง เมื่อทำการพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์

สายอากาศที่ $W_1 = 78$ mm จะได้ $Z_L = 39.2 + j15.6 \Omega$ ที่ $W_2 = 72$ mm จะได้ $Z_L = 47 + j0.12 \Omega$ ที่ $W_1 = 66$ mm จะได้ $Z_L = 56.5 - j16.8 \Omega$ จากค่า Z_L (Z_L คือ อิมพีแดนซ์ด้านเข้าสายอากาศ) สังเกตได้ว่าพารามิเตอร์ W_1 มีผลต่อการแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศอย่างมากโดยความสูงของแพทช์ ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมที่เหมาะสมคือ 72 mm และเมื่อพิจารณา $|S_{11}|$ พบว่ามีช่วงความถี่ที่ใช้งานได้ตั้งแต่ 740 MHz ถึง 1214 MHz ส่วนค่าอัตราส่วนแถมมีช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1150 MHz

จากรูปที่ 9 เมื่อทำการปรับเพิ่มระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณแพทช์สี่เหลี่ยม (L_2) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลกับการแมตช์อิมพีแดนซ์ แต่จะมีผลน้อยกับอัตราส่วนแถม เพราะการเกิดกระแสบนพื้นผิว ระยะทางที่กระแสเดินทางและขนาดของพื้นผิวที่กระแสเดินทางยังคงเหมือนเดิม ซึ่งจะเห็นว่าช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีแนวโน้มเลื่อนไปทางความถี่ต่ำ และยังทำให้แบนด์วิดท์ของสายอากาศแคบลงด้วย ทำให้ทราบว่าพารามิเตอร์ L_2 สามารถปรับช่วงความถี่แบนด์วิดท์ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล แต่มีผลไม่มากกับอัตราส่วนแถม โดยขนาดความกว้างที่เหมาะสมคือ 7.7 mm โดยค่า $|S_{11}|$ ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 744 MHz ถึง 1212 MHz และค่าอัตราส่วนแถมต่ำกว่า 3 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1150 MHz

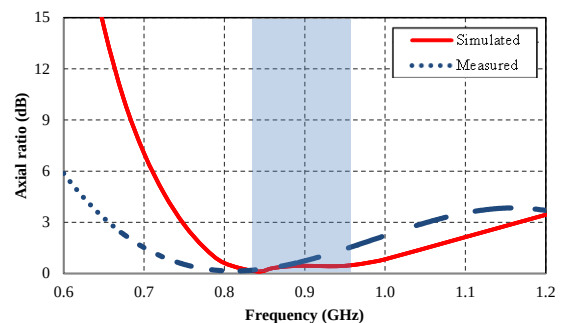
4. ผลการจำลองและการทดสอบสายอากาศ

เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลที่ได้จากการออกแบบและการจำลอง ได้ทำการสร้างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลต้นแบบและทดสอบภายในห้องไร้การสะท้อนในสนามระยะไกล โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Agilent vector network analyzer4) รุ่น HP 8720C ในการทดสอบ

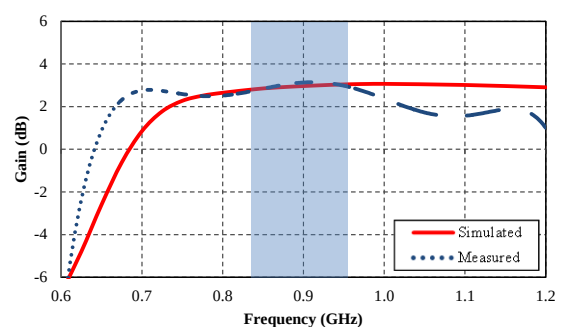


รูปที่ 10 ผลจำลองและทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศที่นำเสนอ

รูปที่ 10 แสดงผลจำลองและทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศที่นำเสนอ จากผลทดสอบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมความถี่ระหว่าง 650 MHz ถึง 1200 MHz (แบนด์วิดท์เท่ากับ 59%)



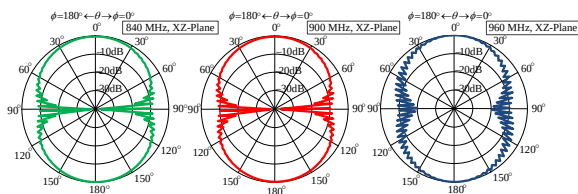
รูปที่ 11 ผลจำลองและทดสอบอัตราส่วนแถมของสายอากาศที่นำเสนอ



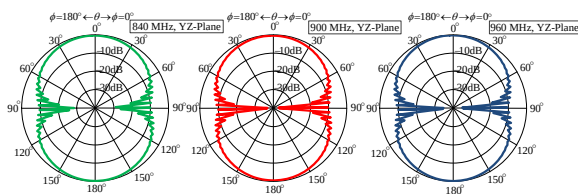
รูปที่ 12 ผลจำลองและทดสอบอัตราขยายของสายอากาศที่นำเสนอ

รูปที่ 11 แสดงผลจำลองและทดสอบอัตราส่วนแถมบริเวณด้านหน้าของสายอากาศ จากผลการทดสอบพบว่าค่าช่วงกว้างอัตราส่วนแถม มีค่าต่ำกว่า 3 dB ครอบคลุมตั้งแต่ 660 MHz ถึง 1050 MHz (แบนด์วิดท์เท่ากับ 46%)

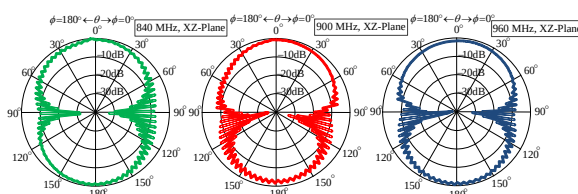
ผลจำลองและทดสอบอัตราขยายในทิศทางด้านหน้าของสายอากาศแสดงในรูปที่ 12 พบว่าอัตราขยายของสายอากาศมีค่ามากกว่า 3.0 dBiC ครอบคลุมย่านความถี่จาก 840 MHz ถึง 960 MHz ซึ่งอัตราขยายสูงสุดคือ 3.28 dBiC ที่ความถี่ 915 MHz จากผลจำลองและทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อน อัตราส่วนแกน และอัตราขยายพบว่าผลลัพธ์สอดคล้องกัน



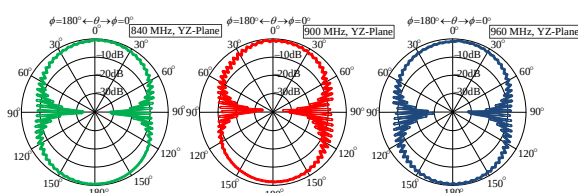
รูปที่ 13 ผลจำลองแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ xz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz 960 MHz



รูปที่ 14 ผลจำลองแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ yz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz 960 MHz



รูปที่ 15 ผลทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ xz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz 960 MHz



รูปที่ 16 ผลทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ yz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz 960 MHz

รูปที่ 13 และ 14 แสดงผลจำลองแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz และ 960 MHz ในระนาบ xz และ yz ตามลำดับ ทั้ง

สองระนาบมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่สมมาตรและมีมุมอัตราส่วนแกนที่กว้าง เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบในรูปที่ 15 และ 16 จะเห็นว่าสอดคล้องกับผลจำลองในรูปที่ 13 และ 14 ความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกนพิจารณาว่าที่ต่ำกว่า 3 dB มีความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกนมากกว่า 75 องศา ในระนาบ xz และ yz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz และ 960 MHz ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับระบบอาร์เอฟไอดี ข้อดีของงานวิจัยนี้คือรูปร่างตัวเอส ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แผ่กระจายคลื่นมีโครงสร้างที่สมมาตรและแก้ปัญหาการเกิดโพลาไรซ์ไขว้ที่ไม่พึงประสงค์ ดังนั้นคุณลักษณะสายอากาศที่ออกแบบเป็นไปตามเป้าหมายการออกแบบที่ได้ตั้งไว้ ความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกนของสายอากาศต้นแบบที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz และ 960 MHz แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกน (3-dB) ของสายอากาศที่นำเสนอ

f(MHz)	840		900		960	
	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP
ผลจำลอง (ระนาบ xz)	135°	145°	135°	135°	145°	145°
ผลจำลอง (ระนาบ yz)	135°	135°	135°	145°	140°	145°
ผลทดสอบ (ระนาบ xz)	102°	113°	160°	75°	145°	110°
ผลทดสอบ (ระนาบ yz)	135°	135°	100°	118°	125°	105°

5. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นสองทิศทางและโพลาไรซ์วงกลมสำหรับระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสภาค ซึ่งได้ทำการออกแบบโดยการจำลองผล และสร้างสายอากาศต้นแบบขึ้นมา เพื่อทำการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศสายอากาศประกอบไปด้วยแผ่นแผ่กระจายคลื่นที่เจาะร่องเป็นรูปตัวเอส โดยตัวป้อนสัญญาณอยู่ตรงกลางร่องรูปตัวเอส สายอากาศที่นำเสนอมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีขนาดเล็กสามารถกำเนิดโพลาไรซ์วงกลมและมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นสองทิศทาง โดยสายอากาศที่

นำเสนอสามารถครอบคลุมย่านความถี่อาร์เอฟไอดี ยูเอชเอฟสากลตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1150 MHz การทดสอบคุณลักษณะสายอากาศต้นแบบ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การสะท้อน แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยายและอัตราส่วนแบนเปรียบเทียบกับผลการจำลองพบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกัน ค่าอัตราส่วนแบนในทิศทางด้านหน้าของสายอากาศเท่ากับ 1.03 dB ที่ความถี่ 900 MHz และมีอัตราส่วนแบนแบนด์วิดท์ 3 dB ครอบคลุมความถี่จาก 660 MHz ถึง 1050 MHz รูปร่างตัวเอชของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสามารถแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง โดยมีอัตราขยาย 3.23 dBic ที่ความถี่ 900 MHz ผลทดสอบแสดงว่าสายอากาศที่นำเสนอสามารถใช้งานสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Klaus Finkenzeller, RFID Handbook, John Wiley& Sons, 2003.
- [2] Federal Communications Commission (FCC) : Revision of Part 15 of the communication's rules regarding ultra-wide band transmission systems. First report and order, ETDocket 98-153, FCC02-48; Adopted : 14 February 2002; Released: 22 April 2002.
- [3] Taconic RF & Microwave Laminates, [online] Available <http://www.taconic-add.com/enproducts-material-view.php>
- [4] Nasimuddin, Z. N. Chen, and X. Qing, "A Compact Circularly Polarized Slotted-Slit-Microstrip Patch Antenna," Proceedings of the Asia-Pacific Microwave Conference, pp. 582-585, Dec, 2011.
- [5] C. Y. D. Sim and C. J. Chi, "A Slot Loaded Circularly Polarized Patch Antenna for UHF RFID Reader," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.60, No.10, pp. 4516-4521, Oct., 2012.
- [6] T. N. Chang and J.M. Lin, "Circularly Polarized Ring-Patch Antenna," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol.11, pp. 26-29, Dec, 2012.
- [7] X. Chen et al., "Circularly Polarized Stacked Annular-Ring Microstrip Antenna with Integrated Feeding Network for UHF RFID Readers," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol.9, pp. 542-545, Jun, 2010.
- [8] Y. F. Cao, S. W. Cheung, and T. I. Yuk, "A Multiband Slot Antenna for GPS/WiMAX/WLAN Systems," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.63, No.3, pp. 952-958, Mar, 2015.
- [9] M. H. Hoang et al., "Cavity-Backed Circular-Polarized Compact Slot Antenna for Handheld UHF RFID Reader," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol.14, pp. 1439-1442, Mar, 2015.
- [10] Y. Yao, J. Yu1, and X. Chen, "Broadband Planar Antenna with Circular Polarization for RFID Readers," IEEE International Wireless Symposium, Apr, 2013, © 2013 IEEE, doi: 978-1-4673-2141-9/13.
- [11] Y. Li et al., "A Circular Polarization Hybrid-Integrated Rectangular Ring Antenna for RFID Reader," in IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, Jul, 2012, © 2012 IEEE, doi: 978-1-4673-0462-7/12
- [12] J.-P. Chen, and P. Hsu, "A Spirally Complementary Split-Ring Resonators Antenna for Circular Polarization and RFID Reader Application," in IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, Jul, 2012, © 2012 IEEE, doi: 10.1109/APS.2012.6349199.