

สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบสายพานลำเลียง Low-Frequency RFID Reader Antenna for Conveyor Belt Applications

ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ และรัศมีทัต แผนสมบุรณ์ *

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

*ผู้รับผิดชอบบทความ: kpchuwon@kmitl.ac.th โทรศัพท์ 02-329-8321

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอสายอากาศวงก้นหอยสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำในการประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบสายพานลำเลียง โครงสร้างของสายอากาศวงก้นหอยสามารถกระจายสนามแม่เหล็กในองค์ประกอบทิศทางหลัก (องค์ประกอบทิศทาง H_x , H_y และ H_z) และเพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารในทิศทางหลัก สำหรับสายอากาศที่นำเสนอมีขนาดโดยรวม คือ 55×60 เซนติเมตร สร้างด้วยลวดทองแดงเบอร์ 24 และมีการป้อนสัญญาณด้วยคอนเน็คเตอร์ชนิด BNC ในการวิเคราะห์การกระจายสนามแม่เหล็กและสมรรถนะการติดต่อสื่อสารในแต่ละองค์ประกอบทิศทางหลักได้วิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Numerical electromagnetics code (NEC) นอกจากนี้ได้สร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อยืนยันสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านกับแท็ก ผลการทดสอบพบว่า สายอากาศวงก้นหอยมีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุด 40 เซนติเมตรในทุกทิศทางหลัก (ทิศทางในแนวแกน x , y และ z) โดยมีเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวเท่ากับ 76.34% ในแนวแกน x 98.96% ในแนวแกน y และ 67.56% ในแนวแกน z ตามลำดับ สำหรับผลการทดสอบการประยุกต์ใช้กับระบบสายพานลำเลียงพบว่า สายอากาศมีระยะทางในการติดต่อสื่อสารสูงสุดในแนวแกน x ที่ระยะ 25 เซนติเมตร ในแนวแกน y ที่ระยะ 40 เซนติเมตร และในแนวแกน z ที่ระยะ 40 เซนติเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวเท่ากับ 42.50% 100% และ 95% ในแนวแกน x , y และ z ตามลำดับ

คำสำคัญ อาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำ อาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ สายอากาศวงก้นหอย

Abstract

This paper presents the spiral loop antenna for low-frequency RFID for conveyor belt applications. The structure of proposed antenna can generate the magnetic field distribution of in each principal component (H_x , H_y , and H_z -component) to enhance the communication distance in all principal directions. The overall size of proposed antenna is 55×60 cm. The antenna was fabricated with 24 AWG copper wire and fed by BNC-connector. The numerical electromagnetics code (NEC) is employed to analyze the magnetic field distribution and communication performance in each principal component. The antenna prototype was fabricated to confirm the communication performance between reader and tag. From measured results, the spiral antenna has the maximum reading range of 40 cm in all principal directions (x -, y -, and z -direction). The percentage of surface equal to 76.34% in x -direction, 98.96% in y -direction, and 67.56% in z -direction, respectively. For the measured results with conveyor belt applications, it is found that the maximum reading range are 25 cm in x -direction and 40 cm in y - and z -directions. The percentage of surface equal to 42.50%, 100%, and 95% in x -, y -, and z -directions, respectively.

Keywords: Low-Frequency RFID, Near-Field RFID, Spiral loop antenna

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบระบุลักษณะอัตโนมัติ (Auto-ID : automatic identification) มีบทบาทสำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวันเนื่องจากระบบนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลายด้านเช่น โลจิสติกส์ระบบคลังสินค้า ร้านค้าปลีก และโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์ในการระบุลักษณะของมนุษย์สัตว์สินค้าและวัตถุดิบในกระบวนการผลิตซึ่งระบบในการระบุลักษณะอัตโนมัติได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำธุรกิจโดยเฉพาะเนื่องจากมี

ความสามารถในการบันทึกข้อมูลที่รวดเร็วและมีความแม่นยำในการระบุลักษณะแทนที่จะเป็นการจดบันทึกด้วยมนุษย์ซึ่งมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ในปัจจุบันระบบที่ได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับการระบุลักษณะ คือ ระบบอาร์เอฟไอดี ในการติดต่อสื่อสารของระบบอาร์เอฟไอดีจะต้องมีส่วนประกอบของเครื่องอ่านข้อมูล สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล และแท็ก ระบบดังกล่าวมีการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย และใช้หลักการการกระจายย้อนกลับแบบพาสซีฟในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับ

แท็ก [1-3] ข้อดีของระบบอาร์เอฟไอดี คือ สามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้หลายตัวพร้อมกันในการอ่านครั้งเดียวสามารถอ่านข้อมูลได้แม้อยู่ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี อ่านข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว มีความทนทานต่อความเปียกชื้น แร้งสนั่นสะเทือน และการกระแทกกระทึก [3]

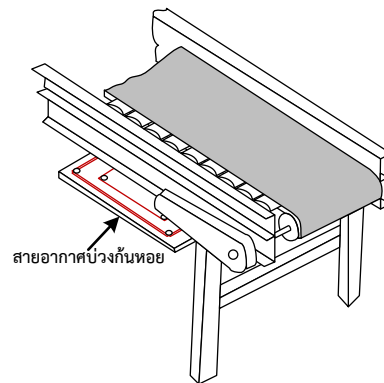
โดยทั่วไปความถี่ที่ใช้กันในระบบอาร์เอฟไอดีสามารถแบ่งออกเป็น 4 ย่านความถี่ คือ ย่านความถี่ต่ำ (LF-RFID : 125 kHz และ 134 kHz) ย่านความถี่สูง (HF-RFID : 13.56 MHz) ย่านความถี่ยูเอชเอฟ (UHF-RFID : 860-960 MHz) และย่านความถี่ไมโครเวฟ (2.4 GHz และ 5.2 GHz) [4-5] ระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำและความถี่สูงมีระยะในการติดต่อสื่อสารใกล้ (ประมาณ 50 เซนติเมตร) ซึ่งใช้เทคนิคการเชื่อมต่อเหนี่ยวนำในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก [6-7] เทคนิคดังกล่าวมีข้อดี คือ สามารถใช้งานร่วมกับวัสดุที่เป็นโลหะหรือของเหลว ในขณะที่ระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟและย่านความถี่ไมโครเวฟมีระยะในการติดต่อสื่อสารระยะไกล (ประมาณ 1 เมตรถึง 9 เมตร) โดยความถี่ทั้งสองใช้เทคนิคการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก แต่การติดต่อสื่อสารด้วยเทคนิคนี้ จะได้รับผลกระทบมากเมื่อนำไปใช้งานร่วมกับวัสดุที่เป็นโลหะหรือของเหลว [8]

สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำที่ใช้เทคนิคการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก ได้นำเอาจุดเด่นในเรื่องของความสามารถในการใช้งานร่วมกับวัสดุที่เป็นของเหลว น้ำ หรือโลหะ มาประยุกต์ใช้งานกับระบบลงทะเบียนทางบุคคล [9-11] หรือระบบสายพานลำเลียงที่จะต้องการระบุลักษณะสิ่งของที่ไหลผ่านสายพานลำเลียงประเภทวัสดุที่เป็นโลหะของเหลว หรือน้ำ นอกจากนี้อุปกรณ์ที่สำคัญที่จะทำให้ระบบอาร์เอฟไอดีสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ สายอากาศ

สำหรับสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลในย่านความถี่ต่ำที่ได้รับความนิยมมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง คือ สายอากาศบ่วง เนื่องจาก ค่าอัตราขยายและอินพุตอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมสามารถแปลงกลับให้ใกล้เคียงกับค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ 50 โอห์มหรือ 75 โอห์มได้ โดยง่ายสายอากาศแบบบ่วงที่ใช้กันในปัจจุบันจะมีรูปร่างหลายรูปแบบเช่นแบบวงกลมแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและแบบสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน [12] ซึ่งแต่ละรูปแบบจะให้อัตราขยายและแบบรูปการแพร่กระจายกำลังงานมากน้อยแตกต่างกันไปสายอากาศแบบบ่วงลักษณะนี้ใช้งานกับแท็กได้ในบางลักษณะการจัดวางถ้าแท็กไม่ได้วางตัวในแนวขนานกับระนาบสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลจะใช้งานไม่ได้หรือใช้งานไม่ได้เลยดังนั้นการออกแบบสายอากาศ

สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็นมากในการทำให้เครื่องอ่านข้อมูลและแท็กติดต่อกันได้ทุกลักษณะ บทความนี้นำเสนอสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบสายพานลำเลียง โดยสายอากาศที่ถูกนำเสนอมีการทำงานในย่านความถี่ 125 kHz โดยมีเป้าหมายในการออกแบบ คือ สายอากาศสามารถปรับปรุงสมรรถนะของการกระจายสนามแม่เหล็กในทิศทางองค์ประกอบหลัก (องค์ประกอบทิศทาง H_x H_y และ H_z) ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กในแนวนอนต่างๆและช่วยเพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับสายอากาศที่ถูกนำเสนอ คือ สายอากาศบ่วงกันหอย สายอากาศถูกสร้างขึ้นด้วยลวดทองแดงเบอร์ 24 (รัศมีของเส้นลวดเท่ากับ 0.255 มิลลิเมตร) และได้รับการทดสอบสมรรถนะการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก เพื่อยืนยันสมรรถนะของสายอากาศ โดยสายอากาศบ่วงกันหอยที่นำเสนอได้ถูกติดตั้งไว้ที่ระบบสายพานลำเลียง แสดงดังรูปที่ 1

สำหรับบทความนี้ได้มีการนำเสนอหัวข้อต่างๆดังต่อไปนี้ ในหัวข้อที่ 2 ได้นำเสนอเกี่ยวกับโครงสร้างสายอากาศ หัวข้อที่ 3 นำเสนอผลการจำลองสมรรถนะของสายอากาศ หัวข้อที่ 4 ได้นำเสนอผลการทดสอบสมรรถนะของสายอากาศ และผลสรุปได้ถูกนำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 5



รูปที่ 1 การติดตั้งสายอากาศสำหรับระบบสายพานลำเลียง

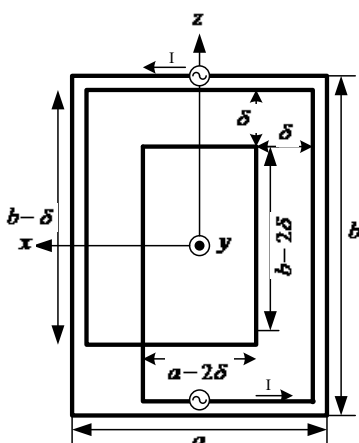
2. โครงสร้างสายอากาศ

ในหัวขื่อนำเสนอโครงสร้างสายอากาศที่ถูกออกแบบสำหรับติดตั้งในระบบสายพานลำเลียงเพื่อใช้ในการติดตามพัสดุสินค้า ที่มีการเคลื่อนที่ผ่านสายพานลำเลียงโดยมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบ คือ สายอากาศจะต้องมีการทำงานในย่านความถี่ 125 kHz สายอากาศสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอในทุกองค์ประกอบทิศทางหลัก (องค์ประกอบทิศทาง H_x H_y และ H_z) ซึ่งจะช่วยให้สายอากาศมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในทิศทางต่างๆและช่วยเพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็ก

2.1 โครงสร้างสายอากาศบ่วงกันหอย

สำหรับสายอากาศที่ถูกนำเสนอในบทความนี้ คือ สายอากาศบ่วงกันหอยโดยโครงสร้างสายอากาศบ่วงกันหอย ได้พัฒนามาจากสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า เนื่องจาก โครงสร้างของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมมีข้อจำกัดในเรื่องการกระจายสนามแม่เหล็ก ซึ่งการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีการกระจายสนามแม่เหล็กที่ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งบริเวณของสายอากาศ และสามารถติดต่อสื่อสารกับแท่งได้เฉพาะทิศทางของแท่งวางตัวขนาน (ทิศทางแนวแกน y) กับสายอากาศเท่านั้น ส่งผลให้เมื่อนำสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสายพาลาเลียงนั้น สมรรถนะในการติดต่อสื่อสารกับแท่งด้อยลง ด้วยเหตุนี้ สายอากาศบ่วงกันหอยจึงได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อช่วยในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว สายอากาศบ่วงกันหอยมีความน่าสนใจ เนื่องจากสายอากาศสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอในทุกองค์ประกอบทิศทางหลัก ซึ่งช่วยให้สายอากาศมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งในแนวแกนต่างๆ (ทิศทางแนวแกน x y และ z) ได้ดีขึ้นและช่วยเพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

สำหรับสายอากาศบ่วงกันหอยนั้น ถูกสร้างด้วยลวดทองแดงเบอร์ 24 (เส้นลวดทองแดงมีรัศมีเท่ากับ 0.255 มิลลิเมตร) สายอากาศมีขนาดโดยรวม เท่ากับ 50.5×60 เซนติเมตร โดยได้แสดงโครงสร้างและพารามิเตอร์ของสายอากาศดังรูปที่ 2 สำหรับพารามิเตอร์ของสายอากาศบ่วงกันหอยที่ถูกนำเสนอ ประกอบด้วย ความกว้างของสายอากาศ (a) เท่ากับ 50.5 เซนติเมตร ความยาวของสายอากาศ (b) เท่ากับ 60 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างบ่วง (δ) เท่ากับ 10 เซนติเมตร

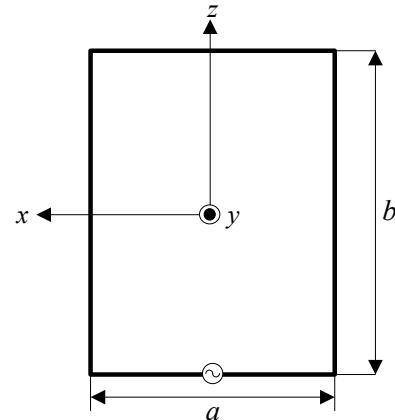


รูปที่ 2 โครงสร้างสายอากาศบ่วงกันหอย

นอกจากนี้ในหัวข้อที่ 2.2 ได้นำเสนอโครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งโครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของ

สายอากาศ เพื่อใช้ในการยืนยันประสิทธิภาพของสายอากาศที่นำเสนอ

2.2 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูปที่ 3 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

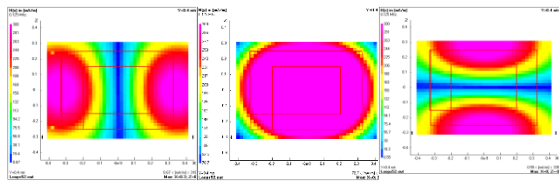
สำหรับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าถูกออกแบบด้วยลวดทองแดงเบอร์ 24 และมีขนาดโดยรวมของสายอากาศเท่ากับ 50.5×60 เซนติเมตร โดยสายอากาศมีความกว้าง (a) เท่ากับ 50.5 เซนติเมตร และความยาว (b) เท่ากับ 60 เซนติเมตร สำหรับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องและโครงสร้างของสายอากาศได้แสดงในรูปที่ 3

3. ผลการการจำลอง

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการจำลองคุณลักษณะของสายอากาศที่นำเสนอ ในการจำลองคุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีความถี่จะอาศัยโปรแกรมการคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้า (numerical electromagnetic code) หรือ 4nec2 [13] ช่วยในการจำลองโครงสร้างและคุณลักษณะของสายอากาศ นอกจากนี้ในหัวข้อนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองคุณลักษณะของสายอากาศบ่วงกันหอยที่นำเสนอ กับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

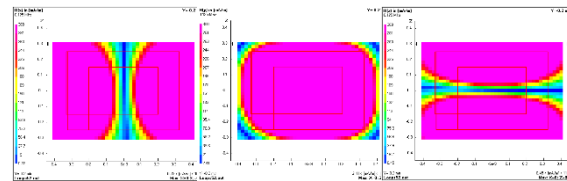
3.1 ผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็ก

ในการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศนั้น สายอากาศจะถูกกำหนดให้มีแหล่งจ่ายกระแส (I) เท่ากับ 1 แอมแปร์โดยสายอากาศจะถูกวางอยู่ในระนาบ xz จากนั้นทำการจำลองให้มีระยะทางในแนวแกน y เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ($-40 \leq y \leq 40$ เซนติเมตร) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อการกระจายสนามแม่เหล็ก โดยบริเวณที่มีการกระจายสนามแม่เหล็กเป็นสีชมพูแสดงถึงบริเวณที่มีการกระจายสนามแม่เหล็กที่แรง ในขณะที่บริเวณที่มีการกระจายสนามแม่เหล็กเป็นสีน้ำเงินแสดงถึงบริเวณที่มีการกระจายสนามแม่เหล็กที่อ่อน ซึ่งผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กได้ถูกแสดงในรูปที่ 4-7



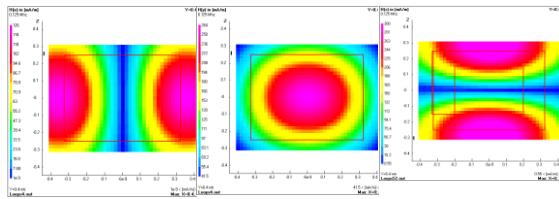
องค์ประกอบ
ทิศทาง H_x องค์ประกอบ
ทิศทาง H_y องค์ประกอบ
ทิศทาง H_z

(ก) สายอากาศบ่วงก้นหอย



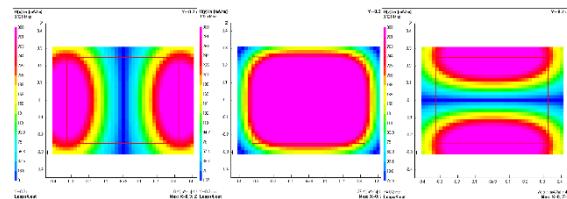
องค์ประกอบ
ทิศทาง H_x องค์ประกอบ
ทิศทาง H_y องค์ประกอบ
ทิศทาง H_z

(ก) สายอากาศบ่วงก้นหอย



องค์ประกอบ
ทิศทาง H_x องค์ประกอบ
ทิศทาง H_y องค์ประกอบ
ทิศทาง H_z

(ข) สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

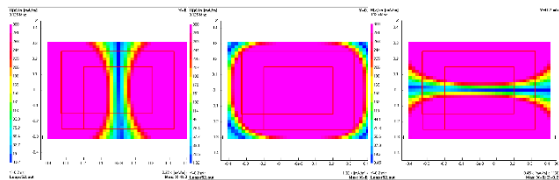


องค์ประกอบ
ทิศทาง H_x องค์ประกอบ
ทิศทาง H_y องค์ประกอบ
ทิศทาง H_z

(ข) สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

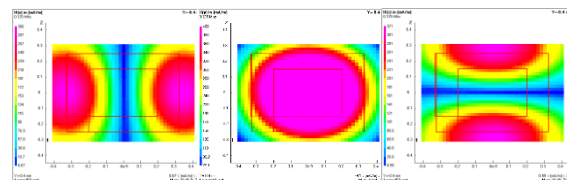
รูปที่ 4 ผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ xz
เมื่อ y เท่ากับ 40 เซนติเมตร

รูปที่ 6 ผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ xz
เมื่อ y เท่ากับ -20 เซนติเมตร



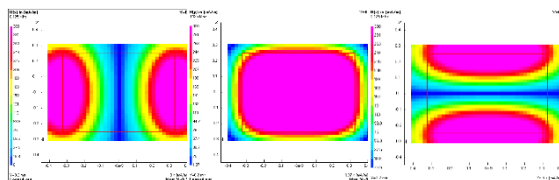
องค์ประกอบ
ทิศทาง H_x องค์ประกอบ
ทิศทาง H_y องค์ประกอบ
ทิศทาง H_z

(ก) สายอากาศบ่วงก้นหอย



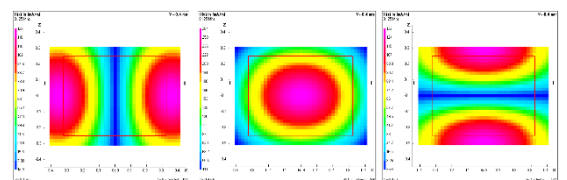
องค์ประกอบ
ทิศทาง H_x องค์ประกอบ
ทิศทาง H_y องค์ประกอบ
ทิศทาง H_z

(ก) สายอากาศบ่วงก้นหอย



องค์ประกอบ
ทิศทาง H_x องค์ประกอบ
ทิศทาง H_y องค์ประกอบ
ทิศทาง H_z

(ข) สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า



องค์ประกอบ
ทิศทาง H_x องค์ประกอบ
ทิศทาง H_y องค์ประกอบ
ทิศทาง H_z

(ข) สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

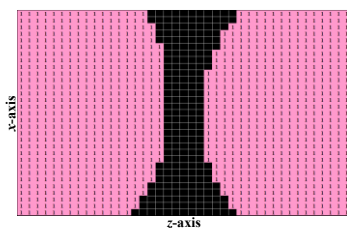
รูปที่ 5 ผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ xz
เมื่อ y เท่ากับ 20 เซนติเมตร

รูปที่ 7 ผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบ xz
เมื่อ y เท่ากับ -40 เซนติเมตร

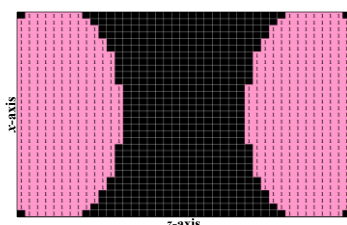
จากผลการจำลองการเปรียบเทียบการกระจายสนามแม่เหล็ก พบว่าสายอากาศบ่วงกันหอยสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้แรงและสม่ำเสมอในแต่ละองค์ประกอบทิศทางหลักได้ดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเมื่อระยะห่างในแนวแกน y อยู่ในช่วง $-20 \leq y \leq 20$ เซนติเมตร

3.2 ผลการจำลองสมรรถนะการติดต่อสื่อสาร

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการจำลองสมรรถนะการติดต่อสื่อสารของสายอากาศที่ถูกนำเสนอในองค์ประกอบทิศทางหลัก H_x , H_y และ H_z ในการจำลองได้สมมติให้แท็กมีความเข้มสนามแม่เหล็ก (H_t) เท่ากับ 175 มิลลิแอมแปร์ต่อเมตร สำหรับแท็กการ์ด ISO อาร์เอฟไอดีความถี่ต่ำในการจำลองได้กำหนดให้ ถ้าสายอากาศสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ จะให้ค่าเป็น 1 หรือบริเวณที่แสดงเป็นแถบสีเข้มในทางตรงกันข้าม ถ้าสายอากาศไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ จะมีค่าเป็น 0 หรือบริเวณสีขาว โดยผลการจำลองสมรรถนะการติดต่อสื่อสารของสายอากาศได้ถูกแสดงในรูปที่ 8-10 จากนั้นทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การจำลองสมรรถนะการติดต่อสื่อสารของสายอากาศกับแท็กที่วางในแนวแกนต่างๆ พบว่า สายอากาศบ่วงกันหอยที่ถูกนำเสนอมีเปอร์เซ็นต์การติดต่อสื่อสาร เท่ากับ 67.29% ในแนวแกน x 100% ในแนวแกน y และ 67.56% ในแนวแกน z ตามลำดับ ในขณะที่สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีเปอร์เซ็นต์การติดต่อสื่อสาร เท่ากับ 26.30% ในแนวแกน x 100% ในแนวแกน y และ 29.39% ในแนวแกน z ตามลำดับจากข้อมูลดังกล่าวพบว่าสายอากาศบ่วงกันหอยที่ถูกนำเสนอมีสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารได้ดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

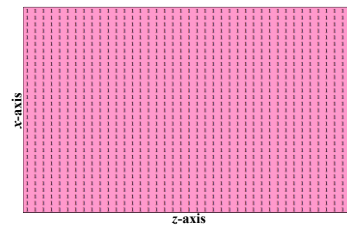


สายอากาศบ่วงกันหอย

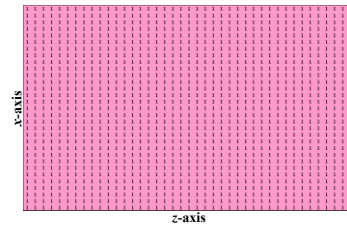


สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม

รูปที่ 8 ผลเปรียบเทียบการจำลองสมรรถนะการติดต่อสื่อสารเมื่อแท็กถูกวางในแนวแกน x

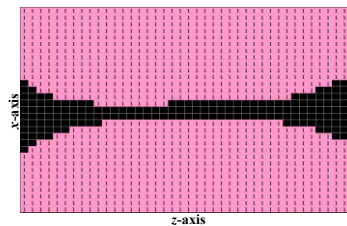


สายอากาศบ่วงกันหอย

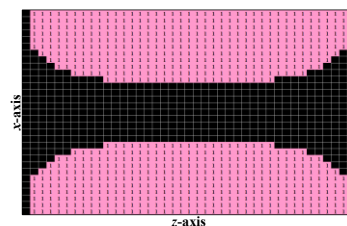


สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม

รูปที่ 9 ผลเปรียบเทียบการจำลองสมรรถนะการติดต่อสื่อสารเมื่อแท็กถูกวางในแนวแกน y



สายอากาศบ่วงกันหอย



สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

รูปที่ 10 ผลเปรียบเทียบการจำลองสมรรถนะการติดต่อสื่อสารเมื่อแท็กถูกวางในแนวแกน z

4. ผลการทดสอบและอภิปราย

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการทดสอบสมรรถนะการติดต่อสื่อสารของสายอากาศบ่วงกันหอยกับแท็กโดยสายอากาศต้นแบบถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบ และเพื่อใช้ในการยืนยันถึงสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็ก นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะการติดต่อสื่อสารของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้ากับแท็กด้วยเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศ โดย



ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศบ่วงที่ถูกนำเสนอเปรียบเทียบกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า เมื่อแท่งวางในแนวแกนต่างๆ ในระยะต่างๆ

ระยะห่าง (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์สมรรถนะในการติดต่อสื่อสาร (%) ในแนวแกนหลักที่ระยะห่างต่างๆ					
	บ่วงกันหอย			บ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า		
	x	y	z	x	y	z
5	85.71	100.00	78.57	85.71	100.00	64.29
10	85.71	100.00	80.95	85.71	95.24	61.90
15	85.71	100.00	80.95	85.71	95.24	69.05
20	85.71	97.62	77.38	85.71	95.24	61.90
25	85.71	98.81	73.81	78.57	97.62	52.38
30	76.19	100.00	65.48	65.48	95.24	40.48
35	57.14	97.62	53.57	53.57	95.24	25.00
40	48.81	97.62	29.76	27.38	86.00	0.00
เปอร์เซ็นต์ เชิงพื้นที่ผิว (%)	76.34	98.96	67.56	70.98	94.94	46.88

จากตารางที่ 1 พบว่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศบ่วงกันหอยที่ถูกนำเสนอในแนวแกน x y และ z เท่ากับ 76.34% 98.96% และ 67.56% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า พบว่าสายอากาศบ่วงกันหอยมีสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารได้ดีกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าในทุกแนวแกน ดังนั้นสายอากาศบ่วงกันหอยที่ถูกนำเสนอสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอในทุกองค์ประกอบทิศทางหลัก (องค์ประกอบทิศทาง H_x H_y และ H_z) และมีสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในทุกทิศทางหลัก (ทิศทางในแนวแกน x y และ z) ซึ่งเป็นตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบสายอากาศ

4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะการติดต่อสื่อสารของสายอากาศบ่วงกันหอยเมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสายพานลำเลียง

จากผลการทดสอบสมรรถนะการติดต่อสื่อสารในหัวข้อที่ 4.1 พบว่าสายอากาศบ่วงกันหอยมีสมรรถนะการติดต่อสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นในหัวนี้จึงได้นำเสนอเฉพาะผลการทดสอบของสายอากาศบ่วงกันหอย ซึ่งในการทดสอบสมรรถนะสายอากาศเมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับสายพานลำเลียง สายอากาศจะถูกติดตั้งไว้ด้านล่างของระบบสายพานลำเลียง (ได้แสดงการติดตั้งสายอากาศในรูปที่ 1) และแท่งจะถูกติดตั้งเข้าพัสดุที่เคลื่อนที่มาบนสายพานลำเลียงโดยการติดตั้งแท่งไปในแต่ละทิศทางหลักนอกจากนี้ มีการปรับระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแท่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากระยะห่าง 5 เซนติเมตร ไปจนถึง 40

เซนติเมตร เช่นเดียวกับการทดสอบในหัวข้อที่ 4.1 จากนั้นได้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวที่สายอากาศสามารถติดต่อสื่อสารกับแท่งในแต่ละทิศทาง ซึ่งผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวเมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสายพานลำเลียงแสดง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศบ่วงกันหอยเมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสายพานลำเลียง

ระยะห่าง (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์สมรรถนะในการติดต่อสื่อสาร(%)ในทิศทาง แนวแกนหลักที่ระยะห่างต่างๆ		
	x	y	z
5	80.00	100.00	100.00
10	80.00	100.00	100.00
15	80.00	100.00	100.00
20	60.00	100.00	100.00
25	40.00	100.00	100.00
30	0.00	100.00	100.00
35	0.00	100.00	100.00
40	0.00	100.00	60.00
เปอร์เซ็นต์ เชิงพื้นที่ผิว (%)	42.50	100.00	95.00

จากผลการทดสอบสมรรถนะของสายอากาศที่ถูกนำเสนอเมื่อนำไปใช้กับระบบสายพานลำเลียงพบว่าสายอากาศมีเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวในทิศทางแนวแกน x เท่ากับ 42.50% ในทิศทางแนวแกน y เท่ากับ 100% และในทิศทางแนวแกน z เท่ากับ 95% ตามลำดับ

5. สรุป

สำหรับสายอากาศบ่วงกันหอยที่ถูกนำเสนอสามารถกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอในทุกทิศทางองค์ประกอบหลัก ส่งผลให้สายอากาศมีสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารที่มีประสิทธิภาพเมื่อแท่งถูกวางในทิศทางหลักต่างๆ และมีระยะในการติดต่อสื่อสารที่ไกลขึ้น สำหรับผลการทดสอบและผลการจำลองคุณลักษณะของสายอากาศ พบว่ามีผลที่สอดคล้องกัน สำหรับผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศกับแท่ง ISO Card ในทิศทางแนวแกน x เท่ากับ 76.34% ทิศทางแนวแกน y เท่ากับ 98.96% และทิศทางแนวแกน z เท่ากับ 67.56% ตามลำดับ โดยมีระยะในการติดต่อสื่อสารสูงสุดที่ 40 เซนติเมตร และเมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวกับสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า พบว่าสายอากาศบ่วงกันหอยมีสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารที่มีประสิทธิภาพกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าในทุกทิศทางแนวแกนหลัก นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศบ่วงกันหอยเมื่อ



นำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสายพานลำเลียง จากการทดสอบพบว่า เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศบ่งกันหอยในทิศทางแนวแกน x เท่ากับ 42.50% ทิศทางแนวแกน y เท่ากับ 100% และ ทิศทางแนวแกน z เท่ากับ 95.00% ตามลำดับ ดังนั้นเสาอากาศบ่งกันหอยสามารถนำมาใช้กับระบบสายพานลำเลียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Finkenzeller K. (2003). *RFID Handbook*, John Wiley&Son, New York.
- [2] Paret D. (2005). *RFID and Contactless Smart Card Applications*, John Wiley&Sons, New York.
- [3] AN678 RFID Coil Design, *Statistic Data*, URL:<http://www.microchip.com>, access on 11/10/2015
- [4] มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์เรื่องเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID (กทข. มท. 1010 – 2550)
- [5] Cooney, E.M. (2006). *The complete review of radio frequency identification*, THOMSON DELMAR LEARNING.
- [6] Cole, P.,Ranasinghe, D. and Jamali, B. (2003). Coupling Relations in RFID Systems II: Practical Performance Measurements, *White paper*, October 2003, pp.1-33.
- [7] RFID Coupling Techniques, *Statistic Data*, URL:<http://www.radio-electronics.com>, access on 11/10/2015
- [8] Nikitin, P.V., Rao, K. V. S.and Lazar, S. (2007). An overview of near field UHF RFID, in *Proceedings of the IEEE International Conference on RFID 2007*, Grapevine, Tex, USA, March 2007, pp. 166–174.
- [9] วิวัฒน์ ขวนะนิกุล อรรถณพ สุริยสมบูรณ์ มนกันต์ อินทรกำแหง และวุฒิชัย กลมเกลียว (2551), รูปแบบการจัดการฟาร์มอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยี RFID, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- [10] ดนัย ต.รุ่งเรือง ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ไพโรจน์ วุ่นชุม และคณะ (2549), การออกแบบสายอากาศRFID สำหรับระบบลงทะเบียนสัตว์, รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- [11] ดนัย ต.รุ่งเรือง ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ศุภกิต แก้วดวงตา และคณะ (2551), การเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศRFID สำหรับระบบลงทะเบียนสัตว์, รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- [12] Balanis, C. A. (1997). *Antenna theory: analysis and design*, John Wiley & Sons, New York.
- [13] NEC2 Software, *Statistic Data*, URL: <http://4nec2.software.informer.com>
- [14] Kawdungta, S., Phongcharoenpanich, C. and Torrungrueng, D. (2010). Design of a Novel Dual-Loop Gate Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) Systems at Low FrequencyBand, *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 12, pp. 1-14.