

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนคลื่นที่อยู่ในสายส่งสัญญาณ หรือท่อนำคลื่น ให้แพร่กระจายออกสู่อากาศที่สายอากาศวางอยู่ และในทางกลับกันจะทำหน้าที่รับคลื่นที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลางให้เข้ามาอยู่ในท่อนำคลื่นหรือสายส่งสัญญาณได้ การศึกษารูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศแต่ละชนิดจึงมีความสำคัญในบทนี้กล่าวถึง คุณสมบัติที่เหมาะสมของสายอากาศที่จะเป็นสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณของระบบซึ่งเฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) นอกจากนี้ยังกล่าวถึงทฤษฎีสายอากาศไดโพล และทฤษฎีสายอากาศบนระนาบแผ่นตัวนำอีกด้วย

3.1 คุณสมบัติที่ดีของสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณระบบอาร์เอฟไอดี

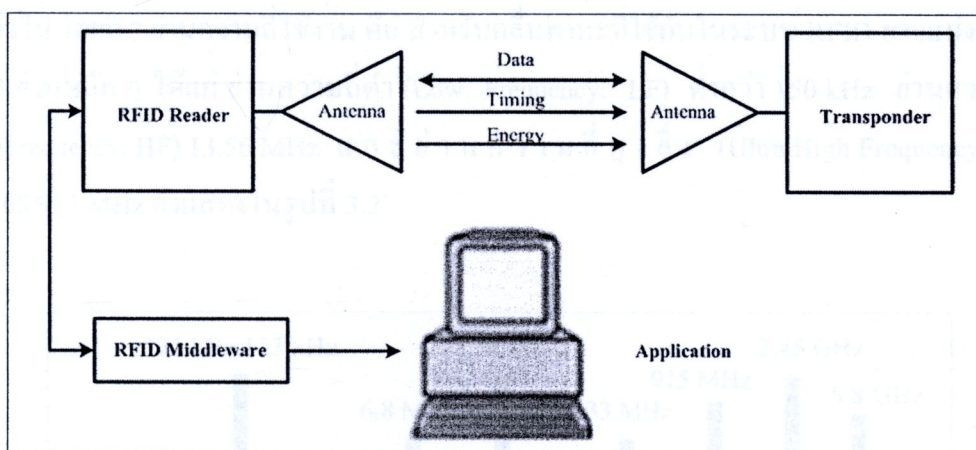
3.1.1 ระบบซึ่งเฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID)

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification system: RFID เป็นระบบฉลากที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ 1980 โดยที่อุปกรณ์ RFID ที่มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกนั้น เป็นผลงานของ Leon Theremin ซึ่งสร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียในปี ค.ศ. 1945 ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาในเวลานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือดักจับสัญญาณ ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอกลักษณ์อย่างที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

RFID ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุระยะห่าง เพื่อตรวจ ติดตาม และบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้ายซึ่งนำไปฝังไว้ในหรือติดอยู่กับวัตถุต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ กล่อง หรือสิ่งของใดๆ สามารถติดตามข้อมูลของวัตถุหนึ่งชิ้นว่า คืออะไร ผลิตที่ไหน ใครเป็นผู้ผลิต ผลิตอย่างไร ผลิตวันไหน และเมื่อไร ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนกี่ชิ้น และแต่ละชิ้นมาจากที่ไหน รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุนั้น ๆ ในปัจจุบันว่าอยู่ส่วนใดในโลก โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส (Contactless) หรือต้องเห็นวัตถุนั้นๆ ก่อนทำงานโดยใช้เครื่องอ่านที่สื่อสารกับป้ายด้วยคลื่นวิทยุในการอ่านและเขียน

โดยจุดเด่นของระบบ RFID อยู่ที่การอ่านข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลาย ๆ แท็กแบบไร้สัมผัส (Contactless) และสามารถที่จะอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก และสามารถอ่านค่าได้ด้วยความเร็วสูงโดยข้อมูลจะ

ถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก ในปัจจุบันได้มีการนำ RFID ไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ นอกเหนือจากการนำมาใช้ในระบบบาร์โค้ดแบบเดิม เช่น ใช้ในบัตรชนิดต่างๆ บางครั้งอาจพบอยู่ในรูปของแท็กสินค้าซึ่งมีขนาดเล็กจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษได้ หรืออาจจะเป็นแคปซูลขนาดเล็กฝังอยู่ในตัวสัตว์ เพื่อบันทึกข้อมูลต่าง ๆ เป็นต้น องค์ประกอบพื้นฐานของระบบ RFID ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ แท็ก และ ตัวอ่านและบันทึกข้อมูล ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบในระบบบาร์เอฟไอดี

1) ป้ายชื่อหรือแท็กเก็บข้อมูล (RFID Tag)

แท็ก (Tag) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) หมายถึงแท็กจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โดยแท็กจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือไมโครชิปและสายอากาศ ดังนั้นสายอากาศจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญ

2) เครื่องอ่านและบันทึกข้อมูล (Reader)

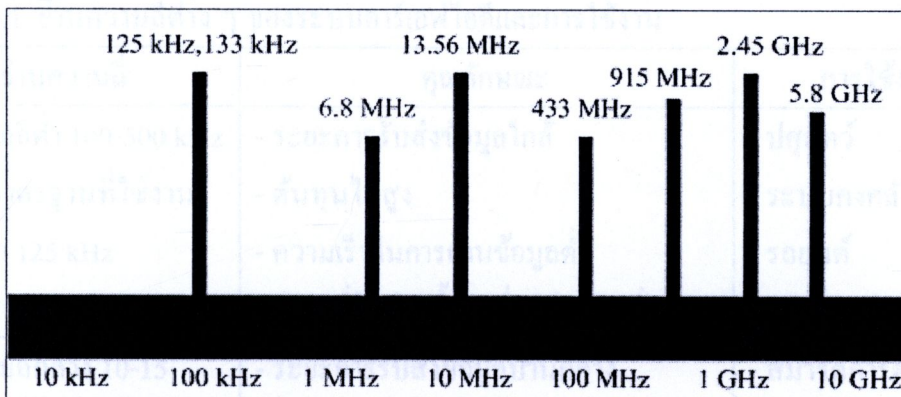
หน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อหรือเขียนข้อมูลลงในแท็ก ด้วยสัญญาณความถี่วิทยุนอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรือ อยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อย ๆ ไม่สิ้นสุด โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ ดังนี้ ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ ภา



สร้างสัญญาณพาหะ วงจรจูนสัญญาณ หน่วยประมวลผลข้อมูลภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์ และสายอากาศก็เป็นส่วนที่สำคัญอีกเช่นเดียวกัน

3.1.2 คลื่นพาหะในระบบอาร์เอฟไอดี

ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบ RFID จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารโดยทั่วไป โดยมี 3 ย่านความถี่ใช้งาน คือ สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบ RFID อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ย่านหลัก ๆ ได้แก่ ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency: LF) ต่ำกว่า 150 kHz ย่านความถี่สูง (High Frequency: HF) 13.56 MHz และ ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF) 433/868/915 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงย่านความถี่ที่ระบบอาร์เอฟไอดีถูกใช้งาน

สำหรับการใช้งานนั้น 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ ๆ (LF ระยะอ่านประมาณ 10-20 ซม. และ HF ระยะอ่านประมาณ 1 เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่านความถี่สูงยิ่งจะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร) เช่นระบบเก็บค่าบริการทางด่วน ซึ่งในปัจจุบัน ระบบ RFID กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการอ่านในระยะไกลกว่า 10 เมตร



ส่วนด้านราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดและมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วน RFID ที่ใช้คลื่นพาหะในอีกสองย่านความถี่จะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

3.1.3 ความถี่ของคลื่นพาหะที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบ RFID โดยมี 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา (Region 1) กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่าง ๆ ให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก

ตารางที่ 3.1 ย่านความถี่ต่าง ๆ ของระบบอาร์เอฟไอดีและการใช้งาน

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 125 kHz	- ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ - ต้นทุนไม่สูง - ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ - ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	- ปุศสัตว์ - ระบบคงคลัง - รถยนต์
ย่านความถี่กลาง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 13.56MHz	- ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง - ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต - ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง - ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	- สมาร์ทการ์ด
ย่านความถี่สูง 850-950 MHz 2.4-2.58 GHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 2.45 GHz	- ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10 เมตร) - ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง - ราคาแพง	- รถไฟ - ระบบเก็บค่าผ่านทาง

อย่างไรก็ตาม ความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งานในย่านความถี่ต่ำคือ 125 kHz ย่านความถี่ปานกลางคือ 13.56 MHz และย่านความถี่สูงคือ 2.45 GHz ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

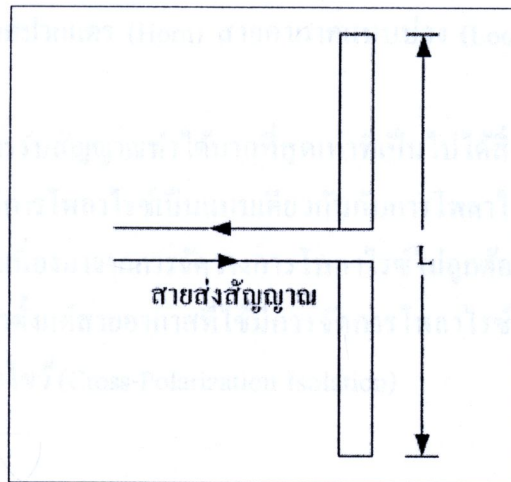
นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งานย่านความถี่ต่าง ๆ รวมถึงกำลังส่งของระบบ RFID ด้วย

การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูล จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นสำหรับคุณสมบัติของสายอากาศที่จะทำหน้าที่เป็นสายอากาศตัวส่งที่คลื่นนั้นจะต้องเป็นสายอากาศที่ทำให้สายอากาศภาครับสามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุดนั่นคือไม่ว่าสายอากาศภาครับจะอยู่ทางทิศใดของสายอากาศภาครับส่ง และมีการโพลาไรซ์เป็นแบบใดก็ควรที่จะสามารถรับคลื่นจากตัวส่งสัญญาณได้ โดยเฉพาะสายอากาศที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณของเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลในย่าน 2.45 GHz จะต้องมีความสามารถในการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) ที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการหรือสามารถเชื่อมต่อกับผู้ใช้บริการ ได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา และมีโครงสร้างของสายอากาศที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปสามารถประกอบได้ง่ายมีน้ำหนักเบารองรับกำลังงานที่สูงได้และมีอัตราขยายในทิศทางด้านหน้าของสายอากาศได้มากขึ้นซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการออกแบบทดสอบและประเมินคุณสมบัติของสายอากาศแผ่นไดโพลโค้งซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นสายอากาศไดโพลที่ถูกดัดโค้งวางอยู่บนแผ่นตัวนำซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนของคลื่นเพื่อใช้เป็นสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลย่านความถี่ 2.45 GHz ภายใต้การใช้งานจริงในระบบการสื่อสารดังนั้นคุณสมบัติที่ดีของสายอากาศสำหรับส่งที่สำคัญควรมีดังนี้

3.2 ทฤษฎีสายอากาศไดโพล

3.2.1 สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ

สายอากาศไดโพล (dipole antenna) เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างง่ายที่สุดมีส่วนประกอบเป็นเส้นลวดสองเส้นที่มีความยาว L วางเป็นแนวเส้นตรงดังรูปที่ 3.3 โดยจุดกึ่งกลางของตัวไดโพลจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่งโดยใช้สายส่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อเครื่องส่งจะจ่ายสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยังสายอากาศกระแสของสัญญาณนี้จะไหลไปยังขั้วหนึ่งของไดโพลและไหลกลับมายังอีกขั้วหนึ่งของไดโพลดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสที่ส่งไปยังขั้วแรกของไดโพลการแจกแจงรูปของกระแส (current distribution) จะแสดงให้เห็นขนาด (magnitude) ของสัญญาณกระแสสลับที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของสายอากาศไดโพลซึ่งมีค่าไม่เท่ากันโดยที่ปลายทั้งสองจะมีค่าเป็นศูนย์แต่จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่จุดกึ่งกลางหรือที่จุดอื่นๆบนตัวไดโพลทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของไดโพลและความถี่ของสัญญาณที่มาจากเครื่องส่ง



รูปที่ 3.3 สายอากาศไดโพล

ไดโพลอุดมคติ (ideal dipole) เป็นสายอากาศสมมติซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาสายอากาศชนิดอื่นๆสามารถพิจารณาให้เป็นส่วนประกอบเล็กๆของความยาวไดโพล (infinitesimal dipole) ที่มีการแจกแจงของกระแสที่เท่ากันตลอดความยาวคุณลักษณะทางทฤษฎีของสายอากาศไดโพลในอุดมคติจะประมาณให้มีค่าทางไฟฟ้าเท่ากับสายอากาศไดโพลที่มีขนาดเล็กๆ

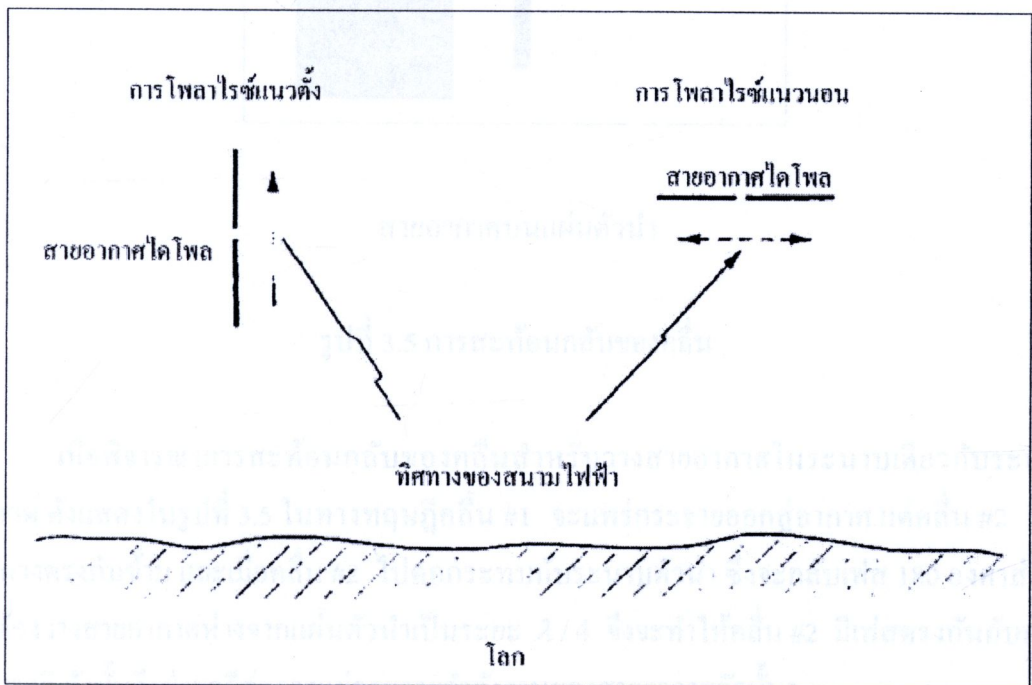
3.2.2 การโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล(Dipole Antenna Polarization)

การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะใช้ในการอธิบายทิศทางของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศซึ่งถูกส่งออกไปโดยตัวสายอากาศในทิศทางซึ่งมีความเข้มของสนามสูงสุดและวัดได้ในสนามระยะไกลการสายอากาศจำนวนมากจะมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น (Linear Polarization) นั่นคือในหนึ่งรอบ (Cycle) เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและยังถูกแบ่งออกเป็นการโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertical Polarization) และการโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization) ดังรูปที่ 3.4 นอกจากนี้ยังมีการโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular) และแบบรูปวงรี (Elliptical) ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ออกแบบสายอากาศโดยให้มีการโพลาไรซ์แนวนอน เนื่องจากเป็นข้อกำหนดของสายอากาศสำหรับระบบเก็บค่าผ่านทาง ที่ความถี่ปฏิบัติการ 2.45 GHz

บ่อยครั้งที่การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะพิจารณาจากรูปทรงของตัวสายอากาศ เช่นในกรณีของสายอากาศแบบเส้นลวดซึ่งอาจจะมีส่วนประกอบเพียงตัวเดียวหรือหลายตัววางขนานกัน เช่นสายอากาศไดโพลและสายอากาศยากิเราสามารถที่จะสมมุติให้สนามไฟฟ้าซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นขนานไปกับส่วนประกอบของตัวสายอากาศแต่ก็มีสายอากาศบางชนิดซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเหมือนกันแต่ไม่สามารถจะใช้รูปทรงของโครงสร้างมาทำนายการ

โพลาริซได์เช่นสายอากาศปากแตร (Horn) สายอากาศแบบบ่วง (Loop) และสายอากาศแบบร่อง (Slit) เป็นต้น

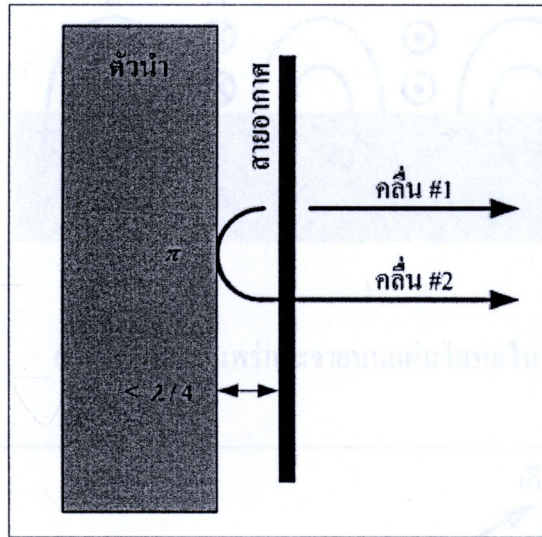
เพื่อให้การรับสัญญาณทำได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้สิ่งสำคัญก็คือสายอากาศที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะต้องมีการโพลาริซเป็นแบบเดียวกันกับการโพลาริซของสัญญาณที่ส่งมาหากเกิดการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากการจัดวางการโพลาริซไม่ถูกต้อง (เช่นสัญญาณที่รับได้เป็นการโพลาริซทางแนวตั้งแต่สายอากาศที่ใช้มีการจัดการโพลาริซทางแนวนอน) เรียกว่าเกิดการแยกการโพลาริซแบบไขว้ (Cross-Polarization Isolation)



รูปที่ 3.4 ลักษณะการโพลาริซของสายอากาศไดโพล

3.3 - สายอากาศไดโพลเส้นลวดบนตัวสะท้อน

สำหรับแนวคิดในการเพิ่มอัตราขยายให้สายอากาศของสายอากาศไดโพลเส้นลวดนั้นวิธีการที่ได้รับความนิยมอีกวิธีการหนึ่ง คือการเพิ่มตัวสะท้อน ซึ่งตัวสะท้อนจะทำหน้าที่สะท้อนกำลังงานของสายอากาศไดโพล ที่แผ่กระจายไปในทิศทางที่ไม่ได้ใช้งาน เพื่อสะท้อนกลับไปรวมกับพลังงานที่พุ่งตรงไปในทิศทางด้านหน้าส่งผลให้ประสิทธิภาพของสายอากาศดีขึ้น โดยพลังงานที่พุ่งตรงไปในทิศทางด้านหน้าและพลังงานที่สะท้อนกลับไปในนั้นจะต้องมีเฟสตรงกัน



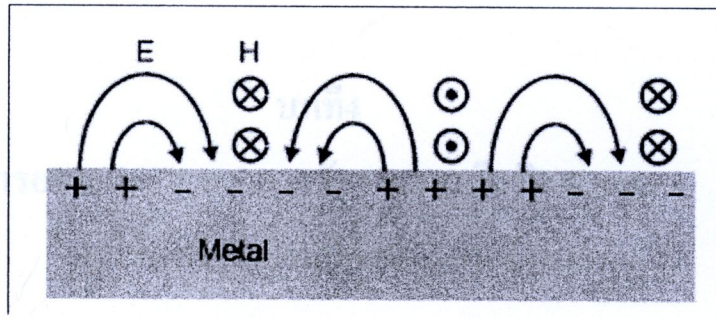
สายอากาศบนแผ่นตัวนำ

รูปที่ 3.5 การสะท้อนกลับของคลื่น

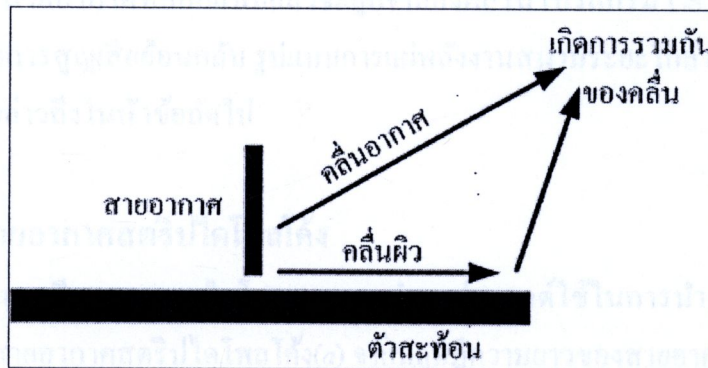
เมื่อพิจารณาการสะท้อนกลับของคลื่นสำหรับวางสายอากาศในระนาบเดียวกับระนาบกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ในทางทฤษฎีคลื่น #1 จะแพร่กระจายออกสู่อากาศ แต่คลื่น #2 จะมีทิศทางตรงกันข้าม และเมื่อคลื่น #2 ไปตกกระทบกับระนาบตัวนำ ซึ่งจะกลับเฟส 180 องศาส่งผลให้ต้องวางสายอากาศห่างจากแผ่นตัวนำเป็นระยะ $\lambda/4$ จึงจะทำให้คลื่น #2 มีเฟสตรงกันกับคลื่น #1 พอดี ดังนั้นจึงส่งผลดีต่อการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศตัวนั้นๆ

3.4 การแผ่พลังงานของสายอากาศบนตัวสะท้อน

รูปที่ 3.6(ก) แสดงสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายบนพื้นผิวแผ่นโลหะในโหมด TM ซึ่งสนามแม่เหล็กมีทิศทางวนรอบตัวนำ ส่วนสนามไฟฟ้าวิ่งจากขั้วบวกไปยังขั้วลบที่บริเวณผิวของแผ่นโลหะ ถ้าวางสายอากาศด้านบนแผ่น โดยสายอากาศที่สามารถยกตัวอย่างได้ดีที่สุดคือสายอากาศโมโนโพล ซึ่งคลื่นที่เกิดจากการวางสายอากาศโมโนโพลบนตัวสะท้อนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือคลื่นที่แพร่กระจายสู่อากาศและคลื่นผิว โดยคลื่นทั้งสองชนิดนี้จะไปรวมกัน ณ จุด ๆ หนึ่งดังรูปที่ 3.6(ข) ในที่นี้ถ้าคลื่นทั้ง 2 ชนิดมีเฟสตรงกันจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศได้



(ก) คลื่นผิวที่แพร่กระจายบนแผ่นโลหะในโหมด TM



(ข) การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลบนตัวสะท้อน

รูปที่ 3.6 คลื่นที่เกิดจากการวางสายอากาศบนแผ่นสะท้อน

3.5 สรุป

สำหรับงานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้สายอากาศไดโพลคือ สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ โดยนำสายอากาศสตริปไดโพลมาดัดโค้งเป็นครึ่งวงกลมและวางบนแผ่นตัวนำ โดยการนำข้อดีของทั้งสายอากาศไดโพลและแผ่นนำามาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้สำหรับติดตั้งที่ส่วนเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี เพื่อพัฒนาระบบชำระเงินบนทางด่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดความล่าช้าของการจราจรบนทางด่วน