

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและกรรมวิธีสังเคราะห์สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวดัดรูปโดยใช้ทัศนศาสตร์กายภาพ เนื่องจากสนามจากทัศนศาสตร์กายภาพจะให้ความถูกต้องในช่วงลำคลื่นพหุหลักและพหุข้างแรกๆ เท่านั้น ซึ่งเพียงพอและสะดวกในการสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนส่วนการวิเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงานได้ใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพ ซึ่งจะรวมลำคลื่นจากการเลี้ยวเบนจากขอบงานสะท้อนเพื่อให้ผลการคำนวณมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น พื้นผิวงานสะท้อนที่สังเคราะห์จะเป็นพื้นผิวที่เกิดจากการประมาณรูปร่างพื้นผิวด้วยสมการพหุนามอันดับสามรวมกับฮาร์มอนิกฟูรีเยร์ รูปร่างพื้นผิวขึ้นอยู่กับหาค่าเหมาะสมที่สุดของสัมประสิทธิ์แต่ละพจน์ในสมการนี้เพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานที่ต้องการ เนื่องจากการใช้รูปแบบสมการนี้ จะใช้เวลาในการคำนวณหาค่าตอบน้อยกว่าการใช้รูปแบบสมการอื่นๆรวมทั้งการจัดรูปแบบสมการและการหาอนุพันธ์สามารถทำได้ง่ายและสะดวก จำนวนพจน์ฮาร์มอนิกฟูรีเยร์มีส่วนช่วยเพิ่มสมรรถนะของการดัดรูปพื้นผิวงานสะท้อนให้สามารถจัดรูปลำคลื่นได้ดีขึ้น แต่การใช้จำนวนจำนวนพจน์ฟูรีเยร์ฮาร์มอนิกมากเกินไป จะทำให้เกิดการสั่นไหวอย่างมากของพหุข้าง กรรมวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดได้เลือกใช้แบบมีเงื่อนไขบังคับ เนื่องจากต้องพิจารณาความเป็นไปได้ของคำตอบที่คำนวณได้ โดยขนาดพื้นผิวของงานสะท้อนที่คำนวณได้ต้องมีขนาดทางกายภาพที่จำกัดเพื่อให้สามารถสร้างและใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ ความถูกต้องและความรวดเร็วในการหาค่าตอบขึ้นอยู่กับปัจจัยแรกเริ่มของระบบสายอากาศงานสะท้อนและการสุ่มคำตอบครั้งแรก ถ้าค่าต่างๆเหล่านี้มีความเหมาะสมจะทำให้คำตอบที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้นและสามารถคำนวณรวดเร็วยิ่งขึ้น

ในบทที่ 3 กล่าวถึงผลการสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนสำหรับพื้นที่ครอบคลุมที่มีรูปร่างทางเรขาคณิตอย่างง่ายโดยอ้างอิงกับระบบพิกัดของจุดสังเกตชนิด (U,V) ได้แก่รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปร่างสามเหลี่ยม ผลการสังเคราะห์แสดงให้เห็นว่า สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวดัดรูปสามารถจัดรูปลำคลื่นให้มีรูปร่างทางเรขาคณิตอย่างง่ายได้ และยังนำเสนอผลการสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนสำหรับพื้นที่ครอบคลุมซับซ้อน โดยจะยกตัวอย่างรูปร่างพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งเป็นลักษณะพื้นที่แบบหนึ่งที่มีรูปร่างซับซ้อนเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ ตำแหน่งพิกัดประเทศไทยจะอ้างอิง

กับระบบพิกัดละติจูดและลองจิจูดซึ่งเป็นระบบพิกัดที่ใช้อ้างอิงกับระบบดาวเทียม ผลการสังเคราะห์จะเห็นได้ว่า สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัวครูปสามารถจัดรูปลำคลื่นครอบคลุมประเทศไทยให้มีค่าอัตราขยายตามต้องการ และลดการสูญเสียของลำคลื่นในบริเวณพื้นที่ที่ไม่ต้องการ ได้แก่บริเวณอ่าวไทย นอกจากนี้ยังลดการรบกวนของลำคลื่นในบริเวณใกล้เคียงได้

กรณีต้องการจัดรูปลำคลื่นให้มีการรบกวนต่อประเทศกัมพูชาน้อยที่สุด ทำได้โดยกำหนดจุดสังเกตเพิ่มเติมในพื้นที่ประเทศกัมพูชา แล้วกำหนดให้มีอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วมที่ต้องการเป็น 0 dB จะเห็นได้ว่าลำคลื่นที่เกิดขึ้นมีค่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วมที่ลดลงได้อีกเล็กน้อยประมาณ 0.5 dB ในประเทศกัมพูชา โดยเปรียบเทียบกับอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วมที่คำนวณได้จากกรณีการกำหนดจุดสังเกตเฉพาะบริเวณประเทศไทยอย่างเดียว กรณีต้องการจัดรูปลำคลื่นให้มีการรบกวนต่อประเทศพม่าน้อยที่สุด ผลการสังเคราะห์ที่ได้พบว่า อัตราขยายที่ประเทศพม่าสามารถลดลงได้อีก 2.6 dB โดยเปรียบเทียบกับอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วมที่คำนวณได้จากกรณีการกำหนดจุดสังเกตเฉพาะบริเวณประเทศไทยอย่างเดียว ซึ่งจะลดการรบกวนในพื้นที่ประเทศพม่าได้ดีขึ้น ผลการสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนที่ผ่านมาจะพิจารณาเฉพาะรูปร่างพื้นผิวสำหรับการจัดรูปลำคลื่นเป็นหลัก แต่ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกที่สามารถนำมาพิจารณาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ มุมเล็งของสายอากาศป้อนกำลังคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศป้อนกำลังคลื่นโดยถ้าเป็นสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิดจะขึ้นอยู่กับ ขนาดหน้าตัดและความยาวของตัวสายอากาศ เมื่อนำค่าปัจจัยทั้งหมดเหล่านี้มาทดสอบกับกรณีต้องการให้ลำคลื่นรบกวนประเทศพม่าน้อยที่สุด ผลการสังเคราะห์จะเห็นว่าบริเวณประเทศพม่ามีค่าอัตราขยายลดลง 2 dB เมื่อเปรียบเทียบกับการสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนเมื่อพิจารณาเฉพาะรูปร่างพื้นผิวงานสะท้อน ลำคลื่นที่เกิดขึ้นจะลดการรบกวนพื้นที่ประเทศพม่าได้ดีขึ้น ดังนั้นการนำปัจจัยอื่นๆ ของระบบสายอากาศมาหาค่าเหมาะสมที่สุดร่วมกับการหาค่าเหมาะสมที่สุดของพื้นผิวงานสะท้อนจะช่วยเพิ่มสมรรถนะในการสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนได้ดีขึ้น เนื่องจากภูมิศาสตร์รูปร่างประเทศไทยร่วมกับบริเวณอ่าวไทยมีรูปร่างพื้นที่ครอบคลุมใกล้เคียงกับวงรี ดังนั้นจึงออกแบบให้สายอากาศงานสะท้อนรูปพาราโบลามีลักษณะช่องเปิดเป็นรูปวงรี จะเห็นได้ว่าลำคลื่นจากสายอากาศสามารถครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยได้เช่นเดียวกับการใช้สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัวครูปจัดรูปลำคลื่น ลำคลื่นที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศกัมพูชาจะมีค่าอัตราขยายสูงขึ้นเล็กน้อย แต่อัตราขยายในแนวโพลาริเซชันไขว้จะลดลงมากกว่าการใช้สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัวครูป อย่างไรก็ตามโครงสร้างสายอากาศจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์พื้นผิวงาน

สะท้อนโดยมีช่องเปิดเป็นรูปวงรีร่วมกับการนำปัจจัยอื่นๆ ของระบบสายอากาศมาหาค่าเหมาะสมที่สุด จะเห็นได้ว่าลำคลื่นที่ครอบคลุมประเทศไทยมีอัตราขยายตามต้องการ

ในส่วนของบทที่ 4 กล่าวถึงการสร้างและทดสอบสายอากาศ สายอากาศที่สร้างขึ้นมาเริ่มจากความต้องการให้สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัดรูปจัดรูปลำคลื่นครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ประเทศไทย และพิจารณาเฉพาะการหาค่าเหมาะสมที่สุดของสมการพื้นผิวงานสะท้อน ทั้งนี้ยังไม่พิจารณาถึงการนำปัจจัยอื่นๆ ของระบบสายอากาศมาหาค่าเหมาะสมที่สุด สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัดรูปสร้างขึ้นมาจากวัสดุไม้แดงเนื่องจากเนื้อไม้แดงมีความแข็งแรงและไม่แตกเปราะง่าย แล้วนำไม้ไปกัดผิวโดยเครื่องจักร CNC ที่สถาบันคั้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรมซึ่งเป็นหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เพื่อให้ได้ตำแหน่งของพื้นผิวถูกต้อง หลังจากนั้นนำพื้นผิวไม้มาจับยึดกับตัวจับสายอากาศซึ่งทำจากเหล็ก ส่วนสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิดสร้างจากทองเหลืองแล้วจัดวางตำแหน่งให้ถูกต้อง การทดสอบสายอากาศใช้ย่านทดสอบสายอากาศชนิดสนามใกล้เชิงระนาบ เนื่องจากการทดสอบสายอากาศวิธีนี้เหมาะสมกับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางที่ดีโดยเฉพาะถ้าเป็นสายอากาศงานสะท้อนที่มีขนาดใหญ่ และมีข้อดีอีกคือประหยัดเนื้อที่ที่ใช้ทดสอบสายอากาศ เนื่องจากถ้าเป็นสายอากาศขนาดใหญ่การทดสอบโดยวิธีย่านสนามไกลจะใช้ขนาดพื้นที่ทดสอบใหญ่มาก ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่สะดวกในการทดสอบผลการทดสอบสายอากาศโดยวิธีนี้จะให้ความถูกต้องของลำคลื่นช่วงพูหลักและพูข้างแรกๆ เท่านั้นเนื่องจากระนาบกวาดวัดมีขนาดที่จำกัด แต่ว่าข้อจำกัดอันนี้ไม่มีผลต่องานวิจัยนี้ เนื่องจากการสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนเพื่อให้ได้ลำคลื่นตามต้องการนั้น จะสนใจเฉพาะลำคลื่นช่วงพูหลักเท่านั้น ผลการทดสอบสายอากาศจะเห็นได้ว่าการวัดโดยใช้ระยะชักตัวอย่างบนระนาบกวาดเป็น $\frac{\lambda}{4}$ ให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพมากกว่าการวัดโดยใช้ระยะชักตัวอย่างบนระนาบกวาดวัดเป็น $\frac{\lambda}{2}$ ดังนั้นการกวาดวัดโดยใช้ระยะชักตัวอย่างที่ละเอียดขึ้นจะทำให้ผลการวัดมีความถูกต้องยิ่งขึ้น อัตราขยายในแนวโพลาริเซชันไขว้ยังมีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากความไม่เป็นอุดมคติของสายอากาศป้อนกำลังคลื่น อัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วมที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าจากการคำนวณเนื่องจากความสูญเสียต่างๆ ของระบบสายอากาศ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการสังเคราะห์และการสร้างสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวดัดรูปสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับกรรมวิธีสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อน

1.1 การสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนยังใช้เวลานาน ดังนั้นจึงควรปรับปรุงขั้นตอนวิธีในการสังเคราะห์ให้รวดเร็วยิ่งขึ้น อาจทำได้โดยการปรับปรุงในส่วนของการเขียนโปรแกรมสำหรับการคำนวณ หรือเปลี่ยนรูปแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นรูปแบบอื่นเช่นรูปแบบกำลังสองน้อยที่สุด

1.2 การออกแบบสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวดัดรูปเป็นชนิดไม่สมมาตรและสายอากาศป้อนตัวเดียวแม้ว่าข้อดีคือไม่ปรากฏการบดบังสัญญาณจากสายอากาศป้อนและโครงสร้างของสายอากาศป้อน แต่จะได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับโพลาไรเซชันไขว้ เนื่องจากการจัดวางตำแหน่งของสายอากาศป้อนอยู่ในลักษณะไม่สมมาตร ดังนั้นสามารถแก้ไขโดยการออกแบบเป็นสายอากาศชนิดงานสะท้อนคู่แล้วดัดรูปพื้นผิวงานสะท้อนหลักและงานสะท้อนรองซึ่งจะสามารถจัดรูปลำคลื่นตามที่ต้องการ และยังสามารถลดระดับโพลาไรเซชันไขว้ได้

1.3 การพิจารณาถึงสมรรถนะการจัดรูปลำคลื่นสำหรับพื้นที่ครอบคลุมซับซ้อนสามารถทำได้โดยใช้สมการพื้นผิวทางคณิตศาสตร์ชนิดอื่นๆ มาใช้วิเคราะห์ เช่น QPS JPSE เป็นต้น แต่การจัดรูปสมการรวมทั้งการหาอนุพันธ์ของสมการเหล่านี้จะมีความซับซ้อนมากขึ้น

1.4 ค่าปัจจัยของระบบสายอากาศทุกตัวสามารถนำมาหาค่าเหมาะสมที่สุดได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำเสนอในส่วนของ มุมเลี้ยงของสายอากาศป้อน แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิด แต่ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกที่สามารถนำมาหาค่าเหมาะสมที่สุดได้ ได้แก่ ขนาดของสายอากาศงานสะท้อน แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศป้อน ระยะเวลาเฟส เป็นต้น

1.5 การจัดรูปลำคลื่นโดยใช้สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวดัดรูป จะทำให้ลำคลื่นครอบคลุมตามพื้นที่ที่ต้องการเท่านั้น ถ้ารูปร่างพื้นที่ครอบคลุมเปลี่ยนแปลงไปจะต้องดัดรูปพื้นผิวสายอากาศงานสะท้อนใหม่ จึงไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลำคลื่น ถ้าต้องการจัดรูปลำคลื่น

ที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างบ่อยๆ ควรใช้สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวรูปพาราโบลาที่มีตัวป้อนเป็นแถวลำดับจะเหมาะสมกว่า แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือน้ำหนักมากและการสูญเสียที่เกิดขึ้นในโครงข่ายสร้างลำคลื่น เป็นต้น

2. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการสร้างและทดสอบสายอากาศ

2.1 งานวิจัยนี้ได้ใช้แผ่นอะลูมิเนียมบางเคลือบผิวของไม้เพื่อให้ผิวสะท้อนคลื่นได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำชิ้นงานที่กัดผิวแล้วได้แก่ไม้หรือพลาสติก นำไปหล่อโลหะที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าที่ดี และควรมีน้ำหนักเบาเพื่อสะดวกต่อการติดตั้งและการเคลื่อนย้าย