# บทที่ 5

# บทสรุปและข้อเสนอแนะ

## สรุปผลการวิจัย

การออกแบบสายอากาศยากิ - อุดะ สำหรับการควบคุมจราจรทางอากาศ มีเหตุผลเนื่องจากว่าปัจจุบันสายอากาศที่ใช้ในการควบคุมจราจรทางอากาศเป็นแบบแผ่พลังงานรอบตัว ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังในส่วนพื้นที่ที่ไม่ได้ควบคุมและมีการแทรกสอดช่องสัญญาณร่วม งานวิจัยนี้จึงเสนอสายอากาศที่สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยการเลือกสายอากาศยากิ - อุดะ สำหรับใช้ในการควบคุมการจราจรทางอากาศในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากสายอากาศแบบนี้สามารถจะจัดโครงสร้างของสายอากาศเพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานที่ต้องการ การวิเคราะห์สายอากาศชนิดนี้ส่วนมากจะใช้กรรมวิธีเชิงเลข โดยงานวิจัยนี้เลือกระเบียบวิธีโมเมนต์แบบจับคู่จุดสำหรับวิเคราะห์สายอากาศ โดยเริ่มต้นจะหาค่าสัมประสิทธิ์ของกระแสในแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศ จากนั้นก็จะนำค่ากระแสที่ได้ไปแทนลงในสมการสนามไฟฟ้าแล้วหาคุณลักษณะของสายอากาศ เช่นแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ อัตราการขยายเชิงทิศทาง สภาพเจาะจงทิศทาง และอัตราส่วนหน้าต่อหลังเป็นต้น

สำหรับขั้นตอนการออกแบบสายอากาศ เริ่มตั้งแต่การกำหนดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ต้องการในแต่ละเขตพื้นที่ควบคุม โดยในแต่ละเขตจะมีสถานี RCAG อยู่ในพื้นที่ประมาณ 2-3 สถานี ในการกำหนดแบบรูปการแผ่พลังงานจะต้องจัดวางให้แบบรูปการแผ่พลังงานครอบคลุมตลอดเส้นทางการบินภายในพื้นที่และมีการซ้อนทับกันน้อยที่สุด เพื่อลดปัญหาการแทรกสอดช่องสัญญาณร่วม และมีการกำหนดทิศของสายอากาศแต่ละสถานีเพื่อลดการสูญเสียกำลังคลื่นในพื้นที่ที่ไม่ได้ควบคุม ซึ่งการจัดแบบรูปการแผ่พลังงานนั้นได้นำเสนอไปในบทที่ 3 ขั้นตอนต่อมาคือการออกแบบสายอากาศเพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานที่ต้องการสำหรับสถานี RCAG แต่ละสถานีโดยการออกแบบสายอากาศจะคำนวณหาค่ามุมยกของสายอากาศของแต่ละสถานีจากนั้นก็จะแปลงพิกัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่กำหนดจากพื้นที่ควบคุมเป็นพิกัดของสายอากาศที่มีการปรับมุมยก โดยจำนวนองค์ประกอบและค่าปัจจัยเริ่มต้นของสายอากาศของแต่ละสถานีจะถูกประมาณขึ้น จากนั้นจะใช้ระเบียบวิธีโมเมนต์ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 วิเคราะห์หาแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ ถ้าหากผลที่ได้ไม่สามารถยอมรับได้ก็จะปรับค่าปัจจัยของสายอากาศซึ่งได้แก่ ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ ความยาวขององค์ประกอบ และจำนวนขององค์ประกอบจนกว่าจะได้แบบรูปการแผ่พลังงานที่ต้องการ โดยแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จะต้องมีพูหลังและพูข้างต่ำและมีความกว้างลำตามที่กำหนด ในการออกแบบจะเห็นได้ว่าในการปรับองค์ประกอบจะมีข้อจำกัดอยู่ช่วงหนึ่งที่ดีที่สุด เมื่อต้องการมุมลำคลื่นที่แคบลงเราจะต้องเพิ่มจำนวนองค์ประกอบมากขึ้นเพื่อจะให้ได้ผลตามที่กำหนด จากการ

ออกแบบสายอากาศจะเห็นได้ว่าหากผลการวิเคราะห์มีประสิทธิภาพจะช่วยลดเวลาในการออกแบบสายอากาศจำนวนมาก ๆ ไม่ต้องมีการสร้างแล้วมาทดสอบหาคุณสมบัติของสายอากาศภายหลัง

สิ่งจำเป็นอีกอันหนึ่งที่จะเป็นตัวกำหนดว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสามารถจะครอบคลุมพื้นที่จริงๆ คือระดับความแรงของสัญญาณในพื้นที่ควบคุม สำหรับส่วนนี้จะต้องกำหนดระดับสัญญาณที่ต้องการในพื้นที่ควบคุม หลังจากนั้นจะคำนวณหาว่าจะต้องใช้กำลังส่งเท่าไหร่จึงจะให้ความแรงตามต้องการ โดยจะใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีสในการคำนวณ ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณแสดงค่าความต้องการในบทที่ 3 ซึ่งเห็นได้ว่าขนาดของกำลังส่งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ในการควบคุมและความกว้างลำคลื่นของสายอากาศที่ออกแบบ เพราะว่าเมื่อพื้นที่ครอบคลุมกว้างและไกลจะต้องใช้กำลังส่งสูงขึ้น ถ้าหากความกว้างลำคลื่นของสายอากาศแคบจะทำให้อัตราการขยายของสายอากาศมากขึ้นทำให้กำลังที่จะส่งลดลงมาด้วย

สำหรับการสร้างและการทดสอบสายอากาศ เนื่องจากสายอากาศที่ใช้งานมีความถี่ต่ำและมีโครงสร้างที่ใหญ่การทดลองที่ระยะสนามใกล้จึงไม่สะดวกเพราะต้องทดลองในห้องไร้การสะท้อนที่ใหญ่ ดังนั้นจึงทดสอบที่ระยะสนามไกลสำหรับงานวิจัยนี้ โดยการวัดระลอกของสัญญาณ (ripple siggnal) เพื่อให้ได้คลื่นระนาบที่มีการแกว่งของระลอกสัญญาณน้อยที่สุด จากการวัดในบทที่ 4 ระยะที่เหมาะสมที่สามารถจะใช้ในการทดสอบคือที่ระยะ 7.5λ-10λ ที่ระดับความสูงของเสาส่งและรับประมาณ 1.5λ จากผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้ของสายอากาศแต่ละตัวเมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี ผลการวัดจะมีความกว้างลำคลื่นแคบกว่าการคำนวณ และอัตราส่วนหน้าต่อหลังของสายอากาศมากกว่าการคำนวณซึ่งอาจจะเกิดจากการการเหนี่ยวนำระหว่างองค์ประกอบไม่ค่อยดี แต่ถือว่ายอมรับได้เพราะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และเมื่อนำผลที่ได้วางลงบนพื้นที่จริงแล้วสามารถจะครอบคลุมเส้นทางการบินในพื้นที่การควบคุมได้

<u>ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะ</u>

1) จากการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างตัวสะท้อนคลื่นและองค์ประกอบไวงานจะอยู่ที่ประมาณ 0.1λ-0.25λ ระยะห่างระหว่างตัวประกอบไวงานและตัวนำคลื่นประมาณ 0.1λ - 0.4λ เป็นระยะที่ให้ผลต่อการปรับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

2) ผลจากการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ จะเห็นได้ว่าผลของการวัดที่ไม่ได้ปรับมุมยกของสายอากาศกับผลที่มีการปรับมุมยกมีความแตกต่างกันน้อยมาก เนื่องขนาดของมุมยกมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดความกว้างลำระนาบ E ของสายอากาศ

3) สายอากาศที่ออกแบบบางตัวที่มีระยะห่างระหว่างตัวประกอบสะท้อนคลื่น และตัวประกอบไวงาน 0.15 λ แม้ว่าจะให้แบบรูปการแผ่พลังงานตามที่ออกแบบ แต่การปรับแมตช์อิมพีแดนซ์จะให้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งต่ำสุดประมาณ 1.45 ไม่สามารถปรับให้ต่ำกว่านี้ หากต้องการค่าที่ต่ำกว่านี้ต้องปรับโครงสร้างของตัวแมตช์ใหม่

4) ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศที่มีจำนวนองค์ประกอบ 6 ตัวจะมีความยาวบูมมาก แม้ว่าจะได้แบบรูปการแผ่พลังงานใกล้เคียงกับที่ออกแบบ แต่จะมีปัญหาในการติดตั้งเมื่อจะนำไปใช้งานจริงต้องมีการออกแบบโครงสร้างของเสาอากาศให้เหมาะสมกับสายอากาศ

5) วัสดุที่ใช้เป็นองค์ประกอบควรจะทำความสะอาดผิวให้สะอาด เพื่อการเหนี่ยวนำที่ดีระหว่างองค์ประกอบและการรับคลื่นสัญญาณ และการมีการทาสีนำไฟฟ้าเพื่อป้องกันความชื้นสำหรับสายอากาศด้วย

6) จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่ากำลังส่งในแต่ละสถานีมีขนาดไม่เท่ากัน ต้องมีการปรับกำลังส่งให้ได้ตามต้องการดังนั้นในอนาคตอาจมีการพัฒนาระบบการควบคุมกำลังส่งจากส่วนกลาง โดยไม่ต้องเดินทางไปปรับแต่งกำลังส่งที่สถานี RCAG

7) การออกแบบสายอากาศของงานวิจัยนี้เป็นขั้นตอนที่ง่าย ขั้นต่อไปในการพัฒนาอาจจะใช้ขั้นตอนวิธีพันธุศาสตร์ (Genetics Algorithm : GA) ในการออกแบบเพื่อจะทำให้ได้ค่าคุณลักษณะของสายอากาศที่มีความแม่นยำมากขึ้นและมีความรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งขั้นตอนวิธีนี้มีผู้วิจัยบางคนได้นำมาใช้ในการออกแบบสายอากาศแล้ว

8) สายอากาศที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นสายอากาศแบบเส้นลวดมีองค์ประกอบอย่างง่าย สำหรับการใช้งานในพื้นที่การควบคุมที่ซับซ้อนจะไม่สามารถใช้ได้ ดังนั้นในอนาคตอาจจะมีการดัดรูปร่างองค์ประกอบของสายอากาศเป็นลักษณะเส้นโค้งเพื่อให้สามารถใช้กับพื้นที่การควบคุมที่ซับซ้อน