หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

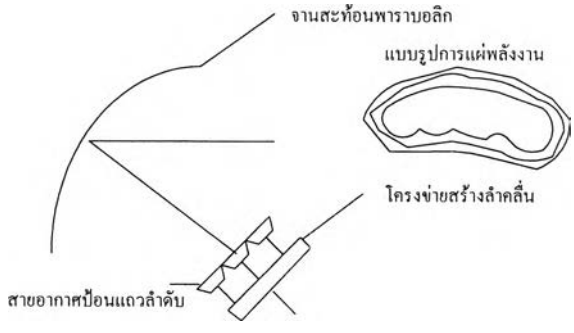
บทที่ 1
บทนำ

ระบบสายอากาศดาวเทียมโดยทั่วไป จะใช้สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวรูปพาราโบลิกกับสายอากาศป้อนกำลังคลื่นแบบเดี่ยว วิธีนี้จะไม่สามารถจัดรูปร่างลำคลื่นได้ ลำคลื่นออกจากสายอากาศชนิดนี้จะเป็นลำคลื่นแบบจุด (spot beam) รูปร่างลำคลื่นจะเป็นวงกลมหรือวงรี ซึ่งจะเหมาะสำหรับการใช้งานกับพื้นที่ครอบคลุมที่ใกล้เคียงกับวงกลมและวงรี แต่ถ้าในกรณีพื้นที่ครอบคลุมไม่เป็นรูปวงกลมหรือวงรี และเป็นพื้นที่ครอบคลุมที่มีลักษณะทางกายภาพที่ซับซ้อน ตัวอย่างเช่น รูปร่างประเทศไทย การใช้สายอากาศชนิดนี้จะทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณ เนื่องจากการใช้ความถี่ซ้ำในระบบสื่อสารในบริเวณพื้นที่ที่ไม่ต้องการ และทำให้เกิดการสูญเสียกำลังเนื่องจากลำคลื่นครอบคลุมพื้นที่ที่ไม่ต้องการ การออกแบบให้สายอากาศมีลำคลื่นครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ที่ต้องการจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ แนวคิดการจัดรูปลำคลื่นที่นิยมกันโดยทั่วไปมี 3 วิธี คือ

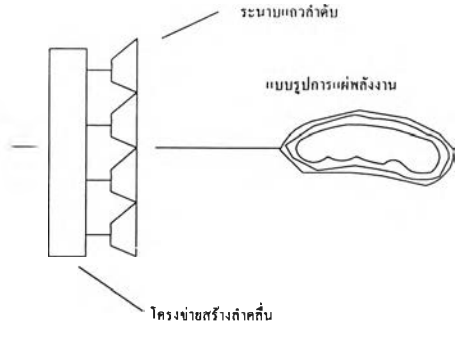
1. วิธีใช้สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวรูปพาราโบลิกที่มีตัวป้อนเป็นแถวลำดับ ซึ่งนำเสนอโดย Rusch (1984) วิธีนี้ใช้การจัดรูปลำคลื่นจากโครงข่ายสร้างลำคลื่น (beam forming network) โดยใช้สวิตช์ควบคุมระยะไกล ตัวแบ่งกำลัง (power divider) ตัวปรับเลื่อนวัฏภาค (phase shifter) โครงข่ายสร้างลำคลื่นแบ่งออกเป็นสองชนิด คือแบบแถบเส้น(air stripline)และแบบท่อนำคลื่น (waveguide) แบบแถบเส้นจะมีขนาดกะทัดรัดกว่าแต่จะเกิดการสูญเสียมากกว่าเหมาะสำหรับใช้งานในช่วงแถบความถี่ C หรือต่ำกว่า ส่วนแบบท่อนำคลื่นจะมีขนาดใหญ่แต่จะเกิดความสูญเสียน้อยกว่า เหมาะสำหรับใช้งานในช่วงแถบความถี่ K หรือสูงกว่าแต่การปรับลำคลื่นโดยวิธีนี้มีข้อเสียหลักคือ โครงข่ายสร้างลำคลื่นมีน้ำหนักมาก และเกิดการลดทอนของสัญญาณเมื่อส่งผ่านโครงข่ายสร้างลำคลื่น เมื่อใช้งานที่ความถี่สูงมากจะลำบากต่อการปรับพารามิเตอร์ต่างๆและเกิดการสูญเสียในโครงข่ายสร้างลำคลื่นมากขึ้น และมีการสูญเสียเนื่องจากลำคลื่นจากโครงข่ายสร้างลำคลื่นล้นออกจากจานสะท้อนมาก แต่มีข้อดีคือสามารถจัดรูปลำคลื่นได้ตามพื้นที่ครอบคลุมที่มีรูปร่างเปลี่ยนไปได้ตามต้องการ โดยเพียงแค่ปรับขนาดและวัฏภาคของสายอากาศป้อนแถวลำดับในโครงข่ายสร้างลำคลื่น สายอากาศชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 1.1ก

2. วิธีใช้สายอากาศแถวลำดับแผ่พลังงานโดยตรงซึ่งนำเสนอโดย Cherrette and Chang (1985) ซึ่งใช้การจัดรูปลำคลื่นจากโครงข่ายสร้างลำคลื่น ดังนั้นจึงมีข้อเสียจากการสูญเสียของลำ

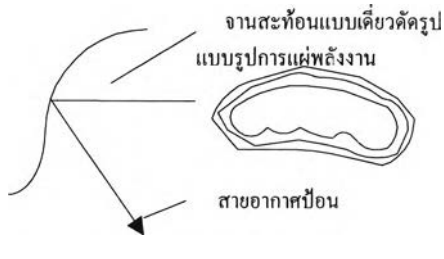
คลื่นในโครงข่ายสร้างลำคลื่นเช่นเดียวกับแบบแรก มีน้ำหนักมาก และโครงสร้างสายอากาศมีความซับซ้อนมาก แต่มีข้อดีคือ ไม่เกิดการสูญเสียจากการล้น(spill over loss) จึงมีประสิทธิภาพช่องเปิดสูง และไม่เกิดการบดบังจากสิ่งกีดขวางบริเวณหน้าช่องเปิด สายอากาศชนิดนี้แสดงดังรูป 1.1ข



(ก) สายอากาศป้อนแบบแถวลำดับกับจานสะท้อนรูปพาราโบลิก



(ข) สายอากาศแบบแถวลำดับแผ่พลังงานโดยตรง



(ค) จานสะท้อนแบบเดี่ยวดัดรูปและใช้สายอากาศป้อนกำลังคลื่นแบบเดี่ยว

รูป 1.1 วิธีจัดรูปลำคลื่นครอบคลุมเฉพาะพื้นที่

3. วิธีใช้สายอากาศป้อนกำลังคลื่นแบบเดี่ยว และการดัดรูปพื้นผิวสะท้อน ซึ่งนำเสนอโดย Cherrette (1989) วิธีนี้จัดรูปลำคลื่นให้เป็นไปตามต้องการ โดยการปรับพื้นผิวจานสะท้อนแทนการปรับที่โครงข่ายสร้างลำคลื่น จะมีข้อดีกว่าวิธีที่ 1 คือ น้ำหนักของสายอากาศจะเบากว่า และการลดทอนของสัญญาณเมื่อส่งผ่านจะมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากสัญญาณไม่ต้องผ่านโครงข่ายสร้างลำคลื่น แต่พื้นผิวจานสะท้อนแต่ละแบบก็จะให้รูปร่างลำคลื่นครอบคลุมพื้นที่แต่ละพื้นที่ตามแบบนั้น ถ้ารูปร่างพื้นที่เปลี่ยนแปลงไปก็ต้องออกแบบพื้นผิวใหม่ ซึ่งต่างกับวิธีแรกคือ เมื่อรูปร่างพื้นที่เปลี่ยนแปลงไปก็เพียงแต่ปรับวัฏภาคและขนาดของสัญญาณที่สายอากาศป้อนแถวลำดับ จะได้ลำคลื่นตามต้องการ โดยทั่วไปจะใช้โครงสร้างชนิดไม่สมมาตร เนื่องจากสามารถหลีกเลี่ยงการบดบังจากสายอากาศป้อนกำลังคลื่นที่บริเวณหน้าช่องเปิด สายอากาศชนิดนี้แสดงดังรูป 1.1ค

สำหรับพัฒนาการของสายอากาศจานสะท้อนดัดรูป ตั้งแต่ปี ค.ศ.1989 มีดังนี้

Cherrette (1989) [1]ได้นำเสนอแนวคิดการปรับลำคลื่นโดยใช้สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวดัดรูปเพื่อครอบคลุมพื้นที่บริเวณอเมริกากลาง โดยใช้กรรมวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดของขนาดสูงสุดของสนามและวัฏภาคบนระนาบช่องเปิดของจานสะท้อน แล้วนำค่าปัจจัยเหล่านี้ไปคำนวณหารูปร่างของพื้นผิวสะท้อน หลังจากนั้นได้คำนวณหาแบบรูปการแผ่พลังงาน และพบว่าให้รูปร่างลำคลื่นที่ใกล้เคียงกับพื้นที่จริงมาก แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ พื้นผิวที่สังเคราะห์ได้อาจจะมีความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้นและแบบรูปการแผ่พลังงานที่คำนวณได้ยังไม่ได้รวมผลกระทบจากการเลี้ยวเบนของลำคลื่นจากขอบของจานสะท้อน

Kazuyoshi, Hayato, and Noboru (1992) [2] นำเสนอการใช้สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวดัดรูปสร้างลำคลื่นครอบคลุมพื้นที่ประเทศญี่ปุ่น โดยใช้วิธีสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนโดยกรรมวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดของขนาดสูงสุดและวัฏภาคของสนามไฟฟ้าบนระนาบช่องเปิดของจานสะท้อน โดยบังคับให้ขนาดของวัฏภาคแต่ละตำแหน่งบนระนาบช่องเปิดแตกต่างกันไม่เกินหนึ่งองศาระหว่างอยู่ในกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้ไม่เกิดความไม่ต่อเนื่องของพื้นผิวจานสะท้อน ผลการทดสอบปรากฏว่า แบบรูปการแผ่พลังงานจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการวัดสายอากาศดัดรูปที่สร้างขึ้น ทั้งสามยังได้เสนอว่าการใช้กรรมวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดอื่นๆ น่าจะใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่ากรรมวิธีดิ่งลงชันสุด (steepest descent)

Chen and Chuang (1997) [3] นำเสนอการใช้สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวดัดรูปเพื่อสร้างลำคลื่นครอบคลุมพื้นที่ประเทศไต้หวัน โดยให้ลำคลื่นรบกวนประเทศจีนน้อยที่สุดเปรียบเทียบกับการใช้สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวรูปพาราโบลิกแบบไม่สมมาตรที่มีรูปร่างภาพฉายจานสะท้อนเป็นรูปวงรี ทั้งสองได้เลือกวิธีสังเคราะห์พื้นผิวโดยกรรมวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดของขนาดสูงสุดและวัฏภาคบนระนาบช่องเปิดจานสะท้อน ผลการศึกษาปรากฏว่า การใช้สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวดัดรูปให้ลำคลื่นที่รบกวนประเทศจีนน้อยกว่า 5 dB เมื่อเทียบกับการใช้สายอากาศจานสะท้อนรูปพาราโบลิกที่มีภาพฉายจานสะท้อนเป็นวงกลม และให้ลำคลื่นรบกวนน้อยกว่าการใช้สายอากาศจานสะท้อนรูปพาราโบลิกที่มีภาพฉายจานสะท้อนเป็นวงรี การออกแบบสายอากาศนี้ให้มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงรีมีข้อเสียเนื่องจากขนาดของสายอากาศใหญ่มากและเกิดความไม่สมดุลของตัวสายอากาศ

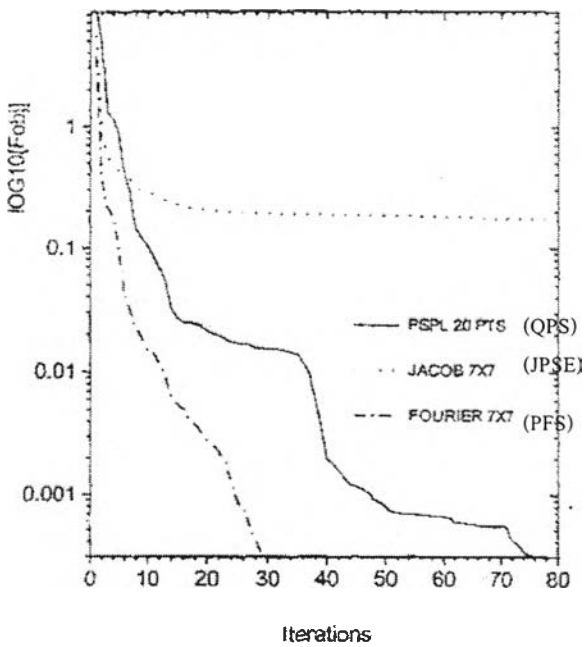
Bergmann, Moreira (1993) [4] ได้นำเสนอการสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนเดี่ยวดัดรูปเพื่อสร้างลำคลื่นครอบคลุมพื้นที่ประเทศบราซิล โดยใช้กรรมวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของสัมประสิทธิ์พื้นผิวจานสะท้อน สมการพื้นผิวจานสะท้อนอยู่ในรูปสมการพหุนามอันดับสอง รวมกับฮาร์มอนิกฟูริเยร์ และใช้ทัศนศาสตร์กายภาพเปรียบเทียบกับการใช้ทัศนศาสตร์เรขาคณิตสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อน พบว่าการสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนโดยทัศนศาสตร์เรขาคณิตจะใช้เวลาน้อยกว่าการใช้ทัศนศาสตร์กายภาพ และแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากทัศนศาสตร์เรขาคณิตมีความแตกต่างจากที่ต้องการมากกว่าแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากทัศนศาสตร์กายภาพ

Duan and Samii (1995) [5] นำเสนอการสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนโดยใช้กรรมวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดของสัมประสิทธิ์พื้นผิวจานสะท้อน สมการพื้นผิวที่ใช้เป็นสมการจาโคบี-ฟูริเยร์ การใช้สมการพื้นผิวชนิดนี้มีข้อดีคือพื้นผิวจานสะท้อนจะค่อนข้างเรียบ วิธีสังเคราะห์พื้นผิวใช้ทัศนศาสตร์กายภาพและใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพเพื่อคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่สังเคราะห์ได้

Bergmann and Hasselmann (1997)[6] นำเสนอการเปรียบเทียบรูปแบบสมการพื้นผิวการสะท้อนได้แก่ QPS (Quintic Pseudosplines) JPSE (Jacobi Polynomial Series Expansion) และ PFS (Polynomial Fourier Series) เพื่อหาแบบรูปการแผ่พลังงานครอบคลุมพื้นที่ประเทศบราซิล โดยพิจารณาจำนวนรอบในการลู่เข้าหาคำตอบในกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุด ผลการศึกษา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แสดงในรูปที่ 1.2 พหุนาม PFS ใช้จำนวนรอบในการคำนวณน้อยกว่า QPS และ JPSE ตามลำดับ แต่ QPS จะใช้จำนวนตัวแปรของสัมประสิทธิ์ในสมการพื้นผิวน้อยกว่า



รูป 1.2 เปรียบเทียบการลู่เข้าของการหาคำตอบในกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดระหว่างพหุนาม QPS, PFS, JPSE [6]

การสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนทำได้ดังนี้ วิธีแรกคือการใช้ทัศนศาสตร์เรขาคณิตสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อน โดยอาศัยความสัมพันธ์ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนในรูปแบบรังสีตามหลักทัศนศาสตร์เรขาคณิต เพื่อจัดรูปลำคลื่นจากสายอากาศให้มีรูปร่างตามต้องการ แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ การสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนไม่ได้รวมผลกระทบจากลำคลื่นที่เลี้ยวเบนจากขอบจานสะท้อน ทำให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนแตกต่างจากแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยรวมผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบจานสะท้อนค่อนข้างมาก โดยเฉพาะความผิดพลาดในส่วนของพูข้างของแบบรูปการแผ่พลังงาน และมีข้อเสียอีกอย่างหนึ่งคืออาจเกิดการตัดกันของรังสีซึ่งจะทำให้ไม่สามารถคำนวณสนามที่จุดนั้นได้และเวลาในการคำนวณสนามที่จุดสังเกตขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการคำนวณจุดที่เกิดการสะท้อน ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้จึงสามารถใช้วิธีที่ 2 สำหรับจัดรูปลำคลื่นได้แก่ การหาค่าเหมาะสมที่สุดของวัฏภาคบนระนาบหน้าจานของสายอากาศจานสะท้อนโดยมีขั้นตอนดังนี้ ขั้นแรกหาค่าเหมาะสมที่สุดของการกระจายวัฏภาคในย่านสนามใกล้บนระนาบหน้าจานสะท้อน โดยกำหนดให้การกระจายทางขนาดสนามมีค่าคงที่เพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานในย่านสนามไกล

ตามต้องการ ขั้นที่ 2 คือคำนวณรูปร่างพื้นผิวจานสะท้อนจากค่าวัฏภาคที่เหมาะสมจากขั้นแรกโดยอาศัยทัศนศาสตร์เรขาคณิต ขั้นที่ 3 คือคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานในย่านสนามไกลจากพื้นผิวจานสะท้อนที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 โดยทัศนศาสตร์กายภาพ วิธีนี้สามารถแก้ปัญหาในกรณีการตัดกันของรังสีได้ และสามารถให้ความถูกต้องของแบบรูปการแผ่พลังงานจนถึงพูข้างแรกๆได้ แต่เนื่องจากวิธีมีการแบ่งระนาบหน้าจุดเป็นจุดที่ไม่ต่อเนื่องจะมีผลทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของวัฏภาคที่หาค่าได้ แม้ว่าสามารถแก้ไขโดยการชดเชยค่าวัฏภาค แต่จะทำให้ความถูกต้องของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้ผิดเพี้ยนไป และยังทำให้การประมาณรูปร่างขอบจานสะท้อนมีความยุ่งยากยิ่งขึ้น เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้จึงมีวิธีจัดรูปลำคลื่นซึ่งเป็นวิธีที่ 3 ได้แก่ การหาค่าเหมาะสมที่สุดของสัมประสิทธิ์สมการพื้นผิวจานสะท้อนเพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานตามต้องการ รูปร่างของพื้นผิวจานสะท้อนประมาณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปผลรวมของฟังก์ชันเชิงตั้งฉากคูณกับค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์นั้น วิธีนี้สามารถได้รูปร่างจานสะท้อนได้โดยตรงจากสมการพื้นผิวจานสะท้อนที่สังเคราะห์ได้ จึงไม่ต้องคำนึงถึงค่าวัฏภาคที่ระนาบหน้าจานและไม่ต้องชดเชยวัฏภาคที่ไม่ต่อเนื่อง ทำให้สะดวกแก่การสังเคราะห์มากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำค่าปัจจัยอื่นๆของระบบสายอากาศมาหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเช่น แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศป้อน มุมเล็งของสายอากาศป้อน เป็นต้น วิธีนี้สามารถคำนวณค่าแบบรูปการแผ่พลังงานได้โดยตรงจากพื้นผิวจานสะท้อนและสนใจเพียงลำคลื่นช่วงพูหลักสำหรับการจัดรูปลำคลื่น ดังนั้นทัศนศาสตร์กายภาพจึงเหมาะสมในการใช้สังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อน แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่คำนวณจากทัศนศาสตร์กายภาพจะถูกต้องที่ลำคลื่นช่วงพูหลักและพูข้างแรกๆเท่านั้น จึงไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงานในช่วงพูข้างไกลๆและระดับโพลาไรเซชันไขว้ ด้วยเหตุนี้จึงได้ใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพมาใช้วิเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงานเพื่อให้ได้ผลการคำนวณที่ถูกต้องมากขึ้น จากข้อดีของวิธีที่ 3 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำมาใช้จัดรูปลำคลื่น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการสังเคราะห์พื้นผิวของจานสะท้อนโดยทัศนศาสตร์กายภาพเพื่อสร้างลำคลื่นครอบคลุมพื้นที่ซับซ้อนตัวอย่างเช่นรูปร่างประเทศไทย ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับรูปขวาน และยังนำเสนอการนำค่าปัจจัยอื่นๆของระบบสายอากาศมาเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดรูปร่างลำคลื่นโดยนำค่าปัจจัยเหล่านั้นไปคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ค่าปัจจัยเหล่านั้นได้แก่ ขนาดทางกายภาพของสายอากาศป้อนกำลังคลื่น มุมเล็งของสายอากาศป้อนกำลังคลื่น เนื่องจากรูปร่างพื้นที่ประเทศไทยใกล้เคียงกับรูปร่างวงรี ในวิทยาพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอการใช้สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวรูปพาราโบลิกที่มีช่องเปิดเป็นรูปวงรี และการสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนโดยมีช่องเปิดเป็น รูปวงรี มาใช้จัดรูปลำคลื่นครอบคลุมสำหรับพื้นที่ประเทศไทยอีกด้วย สำหรับการ

วิเคราะห์ลำคลื่นจากสายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวดัดรูปจะใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพเพื่อให้มีความถูกต้องของแบบรูปการแผ่พลังงานมากขึ้น

แนวทางการนำเสนอมีดังนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงแนวคิดและเหตุผลของการจัดรูปลำคลื่นที่น่าสนใจ บทที่ 2 กล่าวถึงกรรมวิธีสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อน การวิเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศจานสะท้อน ระบบพิกัดของจุดสังเกต ในบทที่ 3 กล่าวถึงผลการสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนสำหรับพื้นที่ประเทศไทย บทที่ 4 กล่าวถึงกรรมวิธีการสร้างและการทดสอบสายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวดัดรูป บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยรวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ

<u>วัตถุประสงค์</u>

1.พัฒนากรรมวิธีในการสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนสำหรับพื้นที่ครอบคลุมซับซ้อน

2.สร้างสายอากาศจานสะท้อนโดยวิธีดัดรูปพื้นผิวจานสะท้อนเพื่อสร้างลำคลื่นสำหรับพื้นที่ครอบคลุมซับซ้อน

<u>ขอบเขตของโครงการวิทยานิพนธ์</u>

1.ศึกษากรรมวิธีสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนเดี่ยวดัดรูป

2.พัฒนากรรมวิธีในการสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนสำหรับพื้นที่ครอบคลุมซับซ้อนโดยใช้ทัศนศาสตร์กายภาพ

3.สร้างสายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวดัดรูป

4.เปรียบเทียบผลจากการวัดและผลทางทฤษฎี

<u>ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน</u>

1. ศึกษาทฤษฎี กรรมวิธีการวิเคราะห์ และกรรมวิธีการสังเคราะห์สายอากาศจานสะท้อน

2. พัฒนาวิธีการออกแบบและวิธีสังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อน

3.สังเคราะห์พื้นผิวจานสะท้อนจากตัวอย่างรูปร่างลำคลื่นครอบคลุมพื้นที่ซับซ้อน

4.สร้างสายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวดัดรูป

5.เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลจากการวัดและผลจากการคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานทางทฤษฎี

<u>ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ</u>

ได้กรรมวิธีในการสังเคราะห์ระบบสายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวดัดรูปสำหรับพื้นที่ครอบคลุมซับซ้อนโดยใช้ทัศนศาสตร์กายภาพ และได้สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวดัดรูปต้นแบบ