บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

การสื่อสารโทรคมนาคมย่านความถี่ไมโครเวฟมีความนิยมใช้ท่อนำคลื่นในการสื่อสัญญาณระหว่างจุดด้วยเหตุผลที่ว่าท่อนำคลื่นมีคุณสมบัติการสูญเสียต่ำและสามารถส่งกำลังคลื่นได้สูง ท่อนำคลื่นที่ใช้ในการส่งคลื่นมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ โครงสร้างแต่ละแบบจะมีคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับรูปร่างของท่อและวัสดุที่ใช้บรรจุภายในท่อนำคลื่น ท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิกเป็นท่อนำคลื่นที่กำลังได้รับความสนใจเนื่องจากคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าของตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิกส่งผลต่อพฤติกรรมของคลื่นที่เดินทางผ่านเข้าไปในตัวกลางชนิดนี้ให้มีลักษณะที่เปลี่ยนไปเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของคลื่นที่เดินทางในวัสดุตัวกลางชนิดอื่นๆ พฤติกรรมของคลื่นที่มีผลกระทบจากคุณสมบัติของตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิกสามารถอธิบายโดยใช้ความสัมพันธ์ปรุงแต่งดังจะกล่าวในบทที่ 2 การนำท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิกไปประยุกต์ใช้งานจำเป็นต้องทราบคุณลักษณะการแพร่กระจาย (propagation characteristic) ความถี่ตัด (cutoff frequency) ค่าคงตัวเฟส (phase constant) และแบบแผนคลื่น (mode) ของท่อนำคลื่นชนิดนี้

ตัวอย่างหนึ่งของวัสดุไบแอนไอโซทรอปิกที่บรรจุในท่อนำคลื่นก็คือ ตัวกลางไครัล (chiral) และ ไครัลเฟอร์ไรต์ (chiral ferrite) ตัวกลางไครัลเป็นตัวกลางสังเคราะห์ที่เกิดจากการนำเอาขดลวดตัวนำอสมมาตร (asymetrical conductor helix) มาวางเรียงตัวอย่างอิสระในวัสดุไดอิเล็กทริก เมื่อนำไปบรรจุไว้ในท่อนำคลื่นก็จะส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในท่อ ตัวกลางเฟอร์ไรต์ไครัลจะเกิดจากการนำเอาขดลวดตัวนำอสมมาตรมาวางเรียงตัวอย่างอิสระในตัวกลางเฟอร์ไรต์ ซึ่งเมื่อพิจารณาคุณสมบัติตัวกลางชนิดนี้ก็จะพบลักษณะพิเศษที่ผสมผสานระหว่างไครัลกับเฟอร์ไรต์เข้าไว้ด้วยกัน เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางนี้จะทำให้เกิดการหมุนของระนาบโพลาไรซ์ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์สร้างอุปกรณ์ในการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นและใช้เป็นอุปกรณ์ในการเลื่อนเฟสของคลื่นไมโครเวฟ

การวิเคราะห์ปัญหาท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิกด้วยวิธีการเชิงวิเคราะห์ (analytic solution) จากสมการแมกซ์เวลล์กระทำได้ค่อนข้างยากเนื่องจากความซับซ้อนของโครงสร้างท่อนำคลื่นชนิดนี้ ดังนั้นวิธีเชิงเลข (numerical method) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาท่อนำคลื่นไบแอนไอโซทรอปิก วิธีการเชิงเลขมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ในการ

วิเคราะห์ปัญหาท่อนำคลื่นที่มีโครงสร้างซับซ้อน ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ (Finite element method) เป็นวิธีเชิงเลขวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูงและสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการวิเคราะห์ท่อนำคลื่นหลายลักษณะ ใน 10 ปีที่ผ่านมามีผู้เสนอการวิเคราะห์ท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิกด้วยแนววิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ต่างๆหลายลักษณะดังนี้

J. A. M. Svedin [5] ได้เสนอวิธีวิเคราะห์ปัญหาท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไครัลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สมการในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีองค์ประกอบ 6 องค์ประกอบ โดยได้วิเคราะห์ค่าคงตัวเฟสที่เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่นไครัล ผลลัพธ์ที่ได้ปลอดผลเฉลยปลอมเทียม วิธีนี้มีข้อจำกัด คือขนาดของเมทริกซ์ในระบบสมการค่าเจาะจง (system of eigenvalue equation) มีขนาดใหญ่เนื่องจากใช้ส่วนประกอบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 6 องค์ประกอบในสมการไฟไนต์อีลีเมนต์

Valor และ Zapata [10] ได้เสนอวิธีวิเคราะห์ปัญหาท่อนำคลื่นที่บรรจุตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิกในงานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่นำเสนอใช้สมการในรูปสนามแม่เหล็กซึ่งมีองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบเพื่อวิเคราะห์โมดเจาะจงที่เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่น ข้อจำกัดของวิธีนี้คือระบบสมการค่าเจาะจงที่ได้เป็นสมการกำลังสอง (quadratic) ซึ่งต้องจัดสมการให้อยู่ในรูประบบสมการค่าเจาะจงมาตรฐานก่อนแล้วจึงหาค่าเจาะจง อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้ก็ยังคงปราศจากผลเฉลยปลอมเทียม

Maruyama และ Koshiba [14] ได้เสนอวิธีวิเคราะห์ปัญหาท่อนำคลื่นที่บรรจุตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิก ในงานวิจัยนี้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่นำเสนอใช้สมการในรูปของสนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบหรือสนามไฟฟ้า 3 องค์ประกอบในการวิเคราะห์โมดเจาะจงและค่าคงตัวเฟสที่เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไครัลและตัวกลางเฟอร์ไรต์ไครัล อย่างไรก็ตามระบบสมการค่าเจาะจงของวิธีนี้ยังคงอยู่ในรูปสมการกำลังสองเช่นเดียวกับวิธีของ Luis และ Zapata [10]

ผู้เสนอวิทยานิพนธ์ได้เห็นว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิกโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ยังมีอยู่น้อย [6] และมีระบบสมการค่าเจาะจงอยู่ในรูปสมการกำลังสอง ผู้วิจัยจึงมีความคิดในการพัฒนาระเบียบวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สมการในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวาง ยังผลให้ระบบสมการค่าเจาะจงอยู่ในรูป

สมการเชิงเส้นเช่นเดียวกับ [10] แต่ใช้องค์ประกอบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพียง 4 องค์ประกอบ นอกจากนี้ยังได้เลือกใช้ฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบแบบเวกเตอร์ซึ่งแก้ไขจากฟังก์ชันรูปร่างเวกเตอร์เชิงเส้นที่นำเสนอโดย Angkeaw, Matsuhara และ Kumagai [15] ด้วยเหตุผลที่ว่าฟังก์ชันรูปร่างเวกเตอร์เชิงเส้นมีข้อด้อย คือมีการใช้จำนวนตัวแปร 12 ตัวแปรต่อหนึ่งอีลีเมนต์ยังผลให้ความถูกต้องไม่สูงมากเมื่อมีการแบ่งจำนวนอีลีเมนต์น้อย และหากมีการแบ่งอีลีเมนต์จำนวนมากจะทำให้ขนาดของเมทริกซ์มีขนาดใหญ่ทำให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณที่มากขึ้น อนึ่ง เพื่อเป็นการทดสอบความแม่นยำของผลเฉลย ผู้เสนอวิทยานิพนธ์จึงได้ทดสอบวิธีการนำเสนอโดยการคำนวณเปรียบเทียบค่าคงตัวเฟสในกรณีท่อนำคลื่นภาคตัดขวางวงกลมกลวง (hollow waveguide) และท่อนำคลื่นภาคตัดขวางสี่เหลี่ยมที่บรรจุด้วยตัวกลางไดอิเล็กทริก โดยทั้งสองกรณีได้เปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นตรง (exact solution) จากนั้นนำวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้ฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบแบบเวกเตอร์มาคำนวณสนามในกรณีท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิก 3 ตัวอย่างด้วยกัน คือท่อนำคลื่นที่บรรจุตัวกลางไครัล ท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางเฟอร์ไรต์ไครัล และท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไดอิเล็กทริกไครัล โดยเน้นการศึกษาดิสเพอร์ชันที่เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่น

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยบทต่างๆ 5 บทด้วยกัน บทที่ 1 เป็นบทนำ, บทที่ 2 กล่าวถึงเนื้อหาของตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิกและความสัมพันธ์ปรุงแต่งของตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิก บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการไฟไนต์อีลีเมนต์ ฟังก์ชันรูปร่าง และการวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบที่เลือกนำมาใช้ โดยได้ทดสอบความแม่นตรงกับท่อนำคลื่นกลวงและท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยไดอิเล็กทริก บทที่ 4 การวิเคราะห์ท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิกด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวางเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นที่เคยมีผู้นำเสนอซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบดิสเพอร์ชันใน 3 กรณี คือท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไครัล ท่อนำคลื่นที่บรรจุตัวกลางเฟอร์ไรต์ไครัลและท่อนำคลื่นที่บรรจุตัวกลางไดอิเล็กทริกไครัล บทที่ 5 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเสนอวิธีการวิเคราะห์โมดเจาะจงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิก
2. เพื่อศึกษาวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สมการในองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวางโดยเลือกใช้ฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบแบบเวกเตอร์

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย

1. เสนอวิธีการวิเคราะห์หาโมดเจาะจงในท่อนำคลื่นบรรจุด้วยตัวกลางไบแอนไอโซ-ทรอปิกด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้องค์ประกอบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวาง
2. ศึกษาฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบแบบเวกเตอร์รสำหรับองค์ประกอบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวาง
3. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในกรณีท่อนำคลื่นตัวอย่างกับผลการวิเคราะห์ที่มีผู้นำเสนอไว้แล้ว

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับท่อนำคลื่นในตัวกลางแบบไบแอนไอโซทรอปิก
2. ศึกษาหลักการและวิธีการไฟไนต์อีลีเมนต์
3. เขียนโปรแกรมการวิเคราะห์
4. วิเคราะห์ผลการคำนวณในกรณีท่อนำคลื่นไบแอนไอโซทรอปิกที่ได้พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ที่มีผู้นำเสนอไว้แล้ว
5. สรุปและรวบรวมผลการวิเคราะห์ที่ได้
6. จัดทำเอกสารวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบเทคนิคการวิเคราะห์ปัญหาท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไบแอนไอโซทรอปิกโดยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้ความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวางและใช้ฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบแบบเวกเตอร์
2. ทราบถึงวิธีการจำแนกตัวกลาง
3. ทราบถึงคุณลักษณะของคลื่นเมื่อเดินทางในท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางไบแอนไอ-โซทรอปิก
4. ได้โปรแกรมที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยตัวกลางต่างๆ