บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอการปรับปรุงวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่มีนิพจน์แปรผันในพจน์ของความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวางและใช้ฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบซึ่งมีจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 6 ตัวแปรในแบบอันดับศูนย์และ 16 ตัวแปรในแบบอันดับหนึ่ง วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบนี้สามารถหาค่าคงตัวเฟสได้โดยตรงเมื่อกำหนดค่าความถี่ โดยตัวกลางที่วิเคราะห์มีเทนเซอร์สภาพยอมและเทนเซอร์ความซาบซึมได้ในรูปของเฮอร์มิเชียน มีโมดนำทางเป็นจำนวนจริงและไม่เกิดผลเฉลยปลอมเทียม การเปรียบเทียบความแม่นของค่าโมดเจาะจงระหว่างอีลีเมนต์ที่ใช้ฟังก์ชันรูปร่างเวกเตอร์เชิงเส้นที่นำเสนอโดย Angkaew et al. (1987) และฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบเชิงเส้นในกรณีท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยวัสดุไดอิเล็กทริกเมื่อกำหนดให้เมทริกซ์เจาะจงมีขนาดเท่ากันคือ 384 จะพบว่าการใช้ฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบเชิงเส้นมีความแม่นของคำตอบมากกว่าการใช้ฟังก์ชันรูปร่างเวกเตอร์เชิงเส้น

การเปรียบเทียบผลของฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบคงที่และอีลีเมนต์ขอบเชิงเส้น เมื่อจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าทั้งหมดของโดเมนมีจำนวนเท่ากัน จะพบว่าการใช้ฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบคงที่มีผลเฉลยของคำตอบที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงกว่าอีลีเมนต์ขอบเชิงเส้นโดยแสดงดังรูปที่ 2.17 และเมื่อพิจารณาเวลาในการคำนวณเมทริกซ์เจาะจงที่มีขนาดเท่ากัน การใช้ฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบเชิงเส้นมีเวลาการคำนวณมากกว่าอีลีเมนต์ขอบคงที่ ซึ่งผลอันนี้เกิดขึ้นจากสมาชิกของเมทริกซ์เจาะจงของการใช้ฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบเชิงเส้นมีจำนวนสมาชิกที่ไม่เป็นศูนย์น้อยกว่าหรือเมทริกซ์มีความหนาแน่นมากกว่าการใช้อีลีเมนต์ขอบคงที่แต่ความแตกต่างของเวลามีไม่มากนัก นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของขนาดเมทริกซ์เจาะจงและเวลาในการคำนวณคือ ถ้าขนาดเมทริกซ์เจาะจงเพิ่มขึ้น 2 เท่า ทำให้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้น 8 เท่า

ผลการเปรียบเทียบจากตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบค่า β/k_0 ที่ $k_0 a = 4.0$ ใน 4 โมดแรกของท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยวัสดุไดอิเล็กทริกด้วยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่มีฟังก์ชันรูปร่างแตกต่างกันกับผลเฉลยแม่นตรง ซึ่งจะพบว่า ลำดับความแม่นของคำตอบที่ใช้ฟังก์ชันรูปร่างแตกต่างกันโดยเรียงลำดับจากคำตอบที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดต่ำสุดถึงมากสุด คือ ฟังก์ชันรูปร่างเวกเตอร์กำลังสอง, ฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบเชิงเส้น, ฟังก์ชันรูปร่างเวกเตอร์เชิงเส้น และฟังก์ชันรูปร่างอีลีเมนต์ขอบคงที่ โดยมีจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าต่อหนึ่งอีลีเมนต์สามเหลี่ยมเท่ากับ 24, 16, 12 และ 6 ตามลำดับเราจึงสรุปได้ว่าความแม่นของคำตอบจะขึ้นกับจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าต่อหนึ่งอีลีเมนต์ โดยการเพิ่มขึ้นของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าสอดคล้องกับการประมาณฟังก์ชันรูปร่าง

ท่อนำคลื่นไจโรแมกเนติกมีโมดพื้นฐานที่เกิดขึ้น 2 โมดคือ HE_{11}^{+} และ HE_{11}^{-} ซึ่งแต่ละโมดมีโพลาไร-เซชันแบบวงกลมและมีทิศทางการหมุนตรงข้ามกัน เมื่อรวมสนามของโมดพื้นฐานทั้งสองนี้ยังผลให้สนามเกิดการหมุนตามระยะทางของท่อนำคลื่นซึ่งเรียกว่าการหมุนฟาราเดย์ มุมการหมุนของสนามที่เกิดจากการไบแอสในทิศทางเดียวและทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของสนามจะมีมุมการหมุนของสนามเท่ากันแต่มีเครื่องหมายต่างกันคือเป็นบวกและลบซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติการเกิดไร้ภาวะย้อนกลับ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมการหมุนของสนามและการไบแอสคือถ้าการไบแอสสนามแม่เหล็กสถิตที่มากกว่าจุดที่ทำให้เกิดค่าอำนาจแม่เหล็กอิ่มตัว และถ้าเพิ่มการไบแอสสนามแม่เหล็กสถิตที่มากกว่าจุดนี้ จะไม่มีผลต่อมุมการหมุนของสนามคือสนามจะมีมุมการหมุนคงที่ตลอดตามค่าการไบแอสของความถี่หนึ่ง ๆ ถ้าการไบแอสที่ต่ำกว่าจุดที่ทำให้เกิดค่าอำนาจแม่เหล็กอิ่มตัว มุมการหมุนของสนามจะเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นตามค่าการไบแอส

มุมการหมุนของความเข้มสนามไฟฟ้าในโมดพื้นฐานที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ การเพิ่มขึ้นของค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ในตัวกลางไดอิเล็กตริกที่ล้อมรอบตัวกลางไจโรแมกเนติกหรือท่อนำคลื่นที่มีการวางขั้วของตัวกลางไจโรแมกเนติกจำนวน 4 อันดังรูปที่ 3.26 มีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงมุมการหมุนต่อความถี่ลดลงหรือมีย่านความถี่เกือบจะคงที่บนการหมุนของสนามที่องศาหนึ่ง ๆ โดยถือว่าเป็นข้อดีที่ทำให้มีช่วงความถี่ที่ใช้งานกว้างขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้วิเคราะห์การหมุนฟาราเดย์ของโมดพื้นฐานในท่อนำคลื่นไจโรแมกเนติกโดยพิจารณาแต่กรณีที่ตัวกลางไม่มีการสูญเสีย เนื่องจากในย่านความถี่ไมโครเวฟตัวกลางไจโรแมกเนติก เช่นเฟอร์ไรต์มีการสูญเสียต่ำ อย่างไรก็ตาม การขยายผลการวิเคราะห์โมดเจาะจงและการหมุนฟาราเดย์คือพิจารณาการสูญเสียที่เกิดขึ้นของตัวกลางไจโรแมกเนติก นอกจากนี้วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ปรับปรุงนี้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการนำไปประยุกต์กับปัญหาท่อนำคลื่นที่มีตัวกลางเป็นแอนไอโซทรอปิกหรือตัวกลางดิสเพอร์ซีฟแบบอื่น ๆ ได้