บทที่ 5

บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การนำอิลีเมนต์ไอโซพาราเมตริกมาใช้ในการคำนวณปัญหากรณีต่างๆ ในงานวิทยานิพนธ์นี้ แสดงให้เห็นว่า อิลีเมนต์ไอโซพาราเมตริกสามารถใช้ในการคำนวณปัญหาในงานวิทยานิพนธ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้น การใช้อิลีเมนต์นี้ในการคำนวณปัญหาท่อนำคลื่นแสงแบบดรรชนีลาด ยังสามารถทำได้โดยง่าย และไม่ประสบกับความยุ่งยากดังที่เกิดขึ้นกับกรณีของอิลีเมนต์รูปสามเหลี่ยมแบบทั่วไป

การศึกษาปรากฏการณ์การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองภายในอุปกรณ์ QPM-SHG ที่มีโครงสร้างแบบ 3 มิติ โดยอาศัยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข คือ วิธีไฟไนต์อิลีเมนต์บีมพรอพาเกชัน ร่วมกับการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ พบว่า วิธีการนี้สามารถทำให้มองเห็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในทางกายภาพได้อย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์ด้วย ระเบียบวิธีเชิงวิเคราะห์ ยังผลให้การพิจารณาหาโครงสร้างที่เหมาะสมของอุปกรณ์ดังกล่าวมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

การคำนวณโดยอาศัยการประมาณแบบสเกลาร์โดยการพิจารณาสนามหลักเพียงองค์ประกอบเดียวนั้นมีข้อดี คือ สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการพิจารณามีรูปแบบไม่ยุ่งยาก การคำนวณสามารถให้ผลได้ในเวลาอันรวดเร็ว ผลเฉลยที่ได้มีความแม่นยำในระดับหนึ่ง วิธีการนี้จึงเหมาะสำหรับใช้ในการวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อทำนายลักษณะพื้นฐานของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม หากต้องการผลเฉลยที่มีความแม่นยำมากขึ้นควรใช้การวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ แม้ว่าวิธีการนี้จะมีความยุ่งยากมากกว่าแต่ผลเฉลยที่ได้จะมีความแม่นยำสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาโครงสร้างของอุปกรณ์ QPM-SHG ที่เหมาะสมที่สุด

การจำลองเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอุปกรณ์ในสภาพใช้งานจริงจะมีความแม่นยำมากน้อยเพียงใดนั้น จะขึ้นอยู่กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณเป็นสำคัญ สำหรับอุปกรณ์ QPM-SHG ที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยวิธีการแพร่นั้น โครงสร้างภายในของอุปกรณ์ที่ได้จะมีสภาพแตกต่างไปจากกรณีอุดมคติ คือ ส่วนท่อนำคลื่นแสงที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าดรรชนีหักเหแสงเป็นแบบดรรชนีลาด และบริเวณโดเมนผกผันที่ได้จะมีรูปร่าง

ต่างไปจากรูปสี่เหลี่ยม งานวิจัยทั้งหมดในอดีตที่ผ่านมาจะสมมุติให้ส่วนท่อนำคลื่นแสงเป็นแบบดรรชนีขั้นบันได ทั้งสิ้น ผลการคำนวณในงานวิทยานิพนธ์นี้ชี้ให้เห็นว่า การใช้แบบจำลองของส่วนท่อนำคลื่นแสงที่ต่างกันจะให้ผลการคำนวณที่ต่างกันด้วย จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณของงานวิทยานิพนธ์นี้กับผลการทดลองในเอกสารที่มีการตีพิมพ์ไว้ พบว่า แบบจำลองที่มีส่วนท่อนำคลื่นแสงแบบดรรชนีลาดนั้นให้ผลที่ใกล้เคียงกับผลการการทดลองมากกว่าแบบจำลองดรรชนีขั้นบันได นั่นคือ แบบจำลองที่ใช้คำนวณในงานวิทยานิพนธ์นี้มีลักษณะใกล้เคียงกับสภาพของอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นได้จริงในทางปฏิบัติ

รูปร่างของบริเวณโดเมนผกผันที่เพี้ยนไปจากรูปสี่เหลี่ยมมากๆ จะมีผลให้กำลังของแสงฮาร์มอนิกอันดับสองที่กำเนิดขึ้นได้มีระดับต่ำกว่าที่ได้รับจากบริเวณโดเมนผกผันรูปสี่เหลี่ยมเสมอ ดังกรณีของโดเมนผกผันรูปสามเหลี่ยมที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ QPM-SHG ที่สร้างขึ้นจาก ผลึกลิเทียมไนโอเบตที่แสดงให้เห็นว่ารูปร่างสามเหลี่ยมนั้นส่งผลกระทบให้กระบวนการแมตซ์เฟสเป็นไปโดยไม่สมบูรณ์ จนทำให้ระดับกำลังของแสงฮาร์มอนิกอันดับสองเอาต์พุตมีค่าต่ำลง

คาบของโครงสร้างรายคาบเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดระดับกำลังของแสงฮาร์มอนิกอันดับสองที่ถูกกำเนิดขึ้น โครงสร้างรายคาบอันดับหนึ่งจะให้กำลังในระดับที่สูงสุด ในขณะที่โครงสร้างรายคาบที่มีอันดับสูงขึ้นจะให้กำลังในระดับที่ต่ำลง อย่างไรก็ตาม โครงสร้างรายคาบอันดับสูงจะมีระยะคาบยาวกว่าโครงสร้างรายคาบอันดับต่ำกว่า นั่นคือ การประดิษฐ์สามารถทำได้ง่ายกว่า

ข้อเสนอแนะ

การคำนวณในงานวิทยานิพนธ์นี้ในทุกกรณี จะสมมติให้สนามที่บริเวณหน้าต่างการคำนวณ (computational window) มีค่าเป็นศูนย์โดยอาศัยการบังคับใช้กับเงื่อนไขขอบเขตแบบนอยมันด์ที่บริเวณดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ผลการคำนวณด้วยวิธีเวกเตอร์ไฟไนต์อิลีเมนต์บีมพรอพาเกชันชี้ให้เห็นว่า โมดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์ QPM-SHG นอกจากเหนือไปจากโมดที่ถูกนำทาง (guided-mode) แล้ว ยังมีโมดแผ่พลังงาน (radiation mode) เกิดขึ้นด้วย ผลที่เกิดขึ้นจากโมดนี้คือ สนามของโมดแผ่พลังงานนี้เมื่อเดินทางไปถึงบริเวณหน้าต่างการคำนวณจะเกิดการสะท้อนกลับเข้ามาภายในบริเวณการคำนวณ ยังผลให้เกิดการแทรกสอดกับสนามภายในบริเวณดังกล่าวทำให้แบบรูปของสนามที่คำนวณได้มีลักษณะผิดเพี้ยนไปจากที่ควรจะเป็น ดังนั้น เพื่อกำจัดผลกระทบที่เกิดจากสนามในโมด การแผ่พลังงานจะต้องสร้างเงื่อนไขที่สามารถดูดกลืนสนามที่ตกกระทบกับขอบหน้าต่างการคำนวณให้หมดไป

โดยการทดลองใช้เงื่อนไขขอบเขตแบบชั้นเข้าคู่ (perfect matched layer, PML) ร่วมกับวิธีเวกเตอร์ไฟไนต์อิลีเมนต์บีมพรอพาเกชันในงานวิทยานิพนธ์นี้ พบว่า เงื่อนไขขอบเขตดังกล่าวมีผลให้ผลเฉลยที่คำนวณได้เกิดการลู่ออก ดังนั้น งานวิทยานิพนธ์นี้จึงยังไม่สามารถใช้เงื่อนไขขอบเขตนี้ได้ งานวิจัยที่ควรทำต่อเนื่องต่อไป คือ การหาวิธีบังคับใช้เงื่อนไขขอบเขต PML ร่วมกับวิธีเวกเตอร์ไฟไนต์อิลีเมนต์บีมพรอพาเกชันได้ หรือ ใช้เงื่อนไขขอบเขตแบบอื่นๆ ที่สามารถกำจัดสนามในโมดการแผ่พลังงานได้

สุดท้ายการคำนวณในงานวิทยานิพนธ์พบว่า ปัญหาที่ใช้เวลาในการคำนวณยาวนานที่สุดและมีความต้องการหน่วยความจำมากที่สุด คือ ปัญหาค่าเจาะจงมาตรฐาน โดยเฉพาะกรณีการวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ การหาอัลกอริทึมในการหาผลเฉลยของปัญหาค่าเจาะจงที่มีประสิทธิภาพที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยในขณะที่ใช้หน่วยความจำในระดับที่เหมาะสม จะเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณให้สูงขึ้นได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย