บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ขนาดเล็กที่ให้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่นสั้น สำหรับการประยุกต์ใช้งานเฉพาะด้านบางอย่าง (short wavelength applications) เพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก อาทิเช่น ระบบเก็บข้อมูลทางแสงความจุสูง (Chiu et al., 1999) อุปกรณ์แสดงผล วงจรรวมเชิงแสงสำหรับการประมวลผลทางแสงความเร็วสูง (Ironside , Aitchison and Arnold, 1993) เครื่องถ่ายเอกสารแบบสี งานทางด้านการแพทย์ (Bloembergen, 2000) และงานทางการทหาร (Byer, 2000) เป็นต้น แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ขนาดเล็กที่สามารถตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้ ได้แก่ เลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอด เป็นเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีคุณสมบัติโดดเด่นหลายประการ ได้แก่ ขนาดเล็กกะทัดรัด มีประสิทธิภาพสูง และราคาถูก อย่างไรก็ตาม เลเซอร์ไดโอดประสิทธิภาพสูงที่มีอยู่ในปัจจุบัน ยังมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถให้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่นสั้นได้โดยตรง ทั้งนี้โดยส่วนใหญ่แสงที่ได้มักอยู่ในย่านอินฟราเรด จากปัญหาดังกล่าว จึงมีการค้นคว้าวิจัยเพื่อหาวิธีแปลงความยาวคลื่นจากย่านอินฟราเรดไปยังย่านความยาวคลื่นสั้นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ย่านแสงสีน้ำเงินและแสงสีเขียว

วิธีการแปลงความยาวคลื่นแสงวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจ ได้แก่ การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสอง (second harmonic generation) ทั้งนี้โดยการ ยิงแสงมูลฐานความถี่ ω_1 ที่มีความเข้มสูง เข้าสู่ตัวกลางทางแสงแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear medium) การกระทำดังกล่าวจะก่อให้เกิด โพลาไรเซชัน $\boldsymbol{P}$ ที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่มีความถี่ ω_2 $(\omega_2 = 2\omega_1)$ ซึ่งมีค่าเป็นสองเท่าของความถี่ของแสงมูลฐาน องค์ประกอบโพลาไรเซชัน $\boldsymbol{P}^{\omega_2}$ นี้จะเป็นแหล่งกำเนิดของแสงฮาร์มอนิกอันดับสองที่ต้องการ โดยทั่วไป ตัวกลางทางแสงมักเป็นตัวกลางแบบ กระจายตามความถี่ (dispersive medium) ซึ่งมีค่าดรรชนีหักเหแสงแปรตามความถี่ของแสง จึงส่งผลให้แสงมูลฐาน กับ แสงฮาร์มอนิกอันดับสอง เคลื่อนที่ไปในตัวกลางด้วยความเร็วเฟสที่แตกต่างกัน ดังนั้น โพลาไรเซชัน $\boldsymbol{P}^{\omega_2}$ ที่เกิดขึ้น ณ แต่ละตำแหน่งภายในตัวกลาง (local second harmonic polarization) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของแสงฮาร์มอนิกอันดับสอง ณ ตำแหน่งนั้นๆ กับ แสงฮาร์มอนิกอันดับสองเคลื่อนที่ (propagating second harmonic wave) จะมีเฟสต่างกัน ก่อให้เกิดการ

แทรกสอดแบบหักล้างกัน ยังผลให้ ความเข้มของแสงฮาร์มอนิกอันดับสองมีค่าต่ำจนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ใดๆ ได้

นักวิจัยหลายกลุ่ม ได้ศึกษาค้นคว้าวิธีการชดเชยเพื่อทำให้ค่าดรรชนีหักเหแสงของ แสงมูลฐาน กับ แสงฮาร์มอนิกอันดับสอง มีค่าเท่ากัน ทั้งนี้เพื่อให้แสงฮาร์มอนิกอันดับสองที่กำเนิดขึ้น ณ ทุกๆ ตำแหน่งในตัวกลางมีเฟสตรงกันและแทรกสอดแบบเสริมกัน ยังผลให้ความเข้มของแสงฮาร์มอนิกอันดับสองเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เรียกการกระทำดังกล่าวนี้ว่า การแมตซ์เฟส (phase matching technique) วิธีการแมตซ์เฟสที่ถูกนำเสนอมีด้วยกันอยู่หลายวิธี ได้แก่ การใช้คุณสมบัติการมีค่าดรรชนีหักเหแสงสองค่า (birefringence) ของตัวกลาง (Uesugi and Kimura ,1976) การปรับค่าดิสเพอชันของโมดที่ถูกนำ (Ito and Inaba ,1978) การใช้โครงสร้างแบบรายคาบ (Levin et al. , 1975) เป็นต้น

วิธีการแมตซ์เฟสโดยทั่วไปมักจะขึ้นกับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เช่น ชนิดของตัวกลางทางแสง ความยาวคลื่นแสงใช้งาน อุณหภูมิของตัวกลางทางแสง เป็นต้น การขึ้นกับปัจจัยดังกล่าวนั้นส่งผลให้ กระบวนการแปลงความยาวคลื่นขึ้นกับปัจจัยดังกล่าวด้วย ถ้าสภาพแวดล้อมเกิดการแปรสภาพไปจากที่กำหนดไว้ย่อมทำให้กระบวนการแปลงความยาวคลื่นด้อยประสิทธิภาพลงไป อย่างไรก็ตาม วิธีการแมตซ์เฟสวิธีการหนึ่งที่ปราศจากข้อจำกัดดังกล่าว ได้แก่ วิธีการแมตซ์เฟสโดยอาศัยโครงสร้างแบบรายคาบ ดังนั้นวิธีการนี้จึงมีความยืดหยุ่นและเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติ

การแมตซ์เฟสโดยการอาศัยโครงสร้างแบบรายคาบนั้น จะอาศัยหลักการ การชดเชยความต่างกันของ ค่าคงตัวในการเคลื่อนที่ (propagation constant) ของแสงมูลฐาน กับ แสงฮาร์มอนิกอันดับสอง ทั้งนี้โดยอาศัยคุณสมบัติความเป็นรายคาบของโครงสร้างดังกล่าว ผลที่ได้ คือ แสงทั้งสองความยาวคลื่นที่เดินทางผ่านโครงสร้างรายคาบจะเสมือนเคลื่อนที่ด้วย ค่าคงตัวในการเคลื่อนที่ ค่าเดียวกันยังผลให้แสงฮาร์มอนิกอันดับสองที่ทุกๆ ตำแหน่งแทรกสอดแบบเสริมกัน เรียกวิธีการแมตซ์เฟสแบบนี้ว่า การแมตซ์เฟสแบบคล้าย (quasi phase matching technique)

การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองจากแหล่งกำเนิดแสงแบบเลเซอร์ไดโอดร่วมกับวิธีการแมตช์เฟสแบบคล้ายมักนิยมกระทำกันภายในโครงสร้างท่อนำคลื่นแสงแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear optical waveguide) เนื่องจาก กำลังของแสงมูลฐานที่ได้จากเลเซอร์ไดโอดโดยทั่วไปมักไม่สูงมากนัก การใช้โครงสร้างท่อนำคลื่นแสงจะช่วยเก็บกักให้แสงภายในบริเวณแกนนำแสง (core region) ของท่อนำคลื่นมีความเข้มสูงยังผลให้การก่อให้เกิด ปรากฏการณ์ทางแสงแบบไม่เชิงเส้น เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เรียกอุปกรณ์กำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองที่มีโครงสร้างดังกล่าวว่า อุปกรณ์ QPM-SHG (quasi phase matched second harmonic generation device, QPM-SHG device)

แสงฮาร์มอนิกอันดับสองที่กำเนิดจากอุปกรณ์ QPM-SHG จะมีความเข้มจนเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้หรือไม่นั้นจะขึ้นกับโครงสร้างสำคัญสองส่วน คือ ส่วนท่อนำคลื่นแสง และส่วนโครงสร้างรายคาบ ดังนั้น การวิเคราะห์เพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมของอุปกรณ์ QPM-SHG จึงเป็นสิ่งจำเป็นวิธีการวิเคราะห์อุปกรณ์ QPM-SHG สามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่ม ดังนี้

กลุ่มแรกวิเคราะห์โดยอาศัย ระเบียบวิธีเชิงวิเคราะห์ (analytical method) วิธีการนี้อาศัย ทฤษฎีโมดร่วม (coupled mode theory) ในการสร้างสมการเชิงอนุพันธ์จำนวนสองสมการ เพื่อใช้พิจารณาพฤติกรรมของแสงมูลฐานและแสงฮาร์มอนิกอันดับสองขณะเคลื่อนที่ไปในอุปกรณ์ QPM-SHG จุดเด่นของการวิเคราะห์ด้วย ระเบียบวิธีเชิงวิเคราะห์ คือ ผลเฉลยที่ได้จะอยู่ในรูปแบบปิด (closed form) ที่ง่ายต่อการมองเห็นภาพพจน์ของการเกิดปรากฏการณ์ทางแสงภายในอุปกรณ์ QPM-SHG อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดที่ใช้ได้กับอุปกรณ์ QPM-SHG ที่มีโครงสร้างไม่สลับซับซ้อนเท่านั้น

กลุ่มที่สองหลีกเลี่ยงข้อจำกัดดังกล่าวโดยใช้ ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (numerical method) ในการวิเคราะห์ งานวิจัยในกลุ่มนี้ จะอาศัยการสร้างสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาขึ้นมาโดยอาศัยทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าจากนั้นจึงใช้ ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข แปลงสมการเชิงอนุพันธ์ดังกล่าวไปเป็นระบบสมการเชิงเส้นที่สามารถหาผลเฉลยได้โดยง่ายโดยใช้คอมพิวเตอร์ วิธีการนี้จะมีความยืดหยุ่นมากกว่าวิธีการที่ใช้ในกลุ่มแรก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์อุปกรณ์ QPM-SHG ที่มีโครงสร้างเหมือนสภาพการใช้งานจริง

การวิเคราะห์ อุปกรณ์ QPM-SHG ด้วย ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ได้รับการวิจัยและถูกนำเสนออย่างต่อเนื่อง งานวิจัยในระยะแรกมักอาศัยการตั้งสมมุติฐานให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในอุปกรณ์ QPM-SHG เป็นปริมาณสเกลาร์ทั้งนี้โดยการพิจารณาจากลักษณะของโมดหลัก (dominant mode) ของสนามที่เกิดขึ้นในท่อนำคลื่นแสง (ของอุปกรณ์ QPM-SHG) ที่มักจะเป็นโมดที่มีองค์ประกอบสนามอันหนึ่งเป็นสนามหลักซึ่งมีขนาดมากกว่าองค์ประกอบที่เหลืออีกสององค์ประกอบ ในโครงสร้างท่อนำคลื่นแสงแบบริบ (rib optical waveguide) ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำอลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซนายด์ $(AlGaAs)$ โมดหลัก ได้แก่ โมด E^x (องค์ประกอบสนามหลัก คือ E_x หรือ H_y) และสำหรับโครงสร้างท่อนำคลื่นแสงแบบฝังในแผ่นฐานที่สร้างจากผลึกลิเทียมไนโอเบต $(LiNbO_3)$ และ ลิเทียมแทนทาเลต $(LiTaO_3)$ โมดหลัก ได้แก่ โมด E^y (องค์ประกอบสนามหลัก คือ E_y หรือ H_x) ประโยชน์ของการตั้งสมมุติฐานดังกล่าว คือ ช่วยหลีกเลี่ยงความยุ่งยากในการแก้ปัญหาด้วยสมการเชิงอนุพันธ์แบบเวกเตอร์มาเป็นการพิจารณาปัญหาด้วยสมการเชิงอนุพันธ์แบบสเกลาร์แทน งานวิจัยในกลุ่มนี้ ได้แก่

Masoudi and Arnold (1995) เสนอวิธีวิเคราะห์อุปกรณ์ QPM-SHG แบบ 3 มิติที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ $GaAs$ ด้วยวิธี สเกลาร์ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์บีมพรอพาเกชัน (Scalar Finite Difference Beam Propagation, SFD-BPM) ในโดเมนความถี่ สมการ BPM ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้จำกัดเฉพาะการวิเคราะห์โมดหลัก E^x เพียงแบบเดียวเท่านั้น

Chou , Lin and Mou (1999) เสนอการเปรียบเทียบอัลกอริทึมสำหรับการแก้ปัญหาแบบไม่เชิงเส้นของวิธี SFD-BPM ในโดเมนความถี่เพื่อจำลองการกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองในอุปกรณ์ QPM-SHG อัลกอริทึมที่นำเสนอนี้สามารถใช้วิเคราะห์อุปกรณ์ QPM-SHG ที่มีประสิทธิภาพการกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสอง η_{SHG} สูงได้

Alsunaidi , Masaoudi and Arnold (2000) เสนอวิธีวิเคราะห์ การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสอง ด้วยวิธี ผลต่างสืบเนื่องโดเมนเวลา (Finite Difference Time Domain, FDTD) วิธีที่นำเสนอนี้ สามารถพิจารณาพฤติกรรม การตอบสนองชั่วขณะ (transient response) ของอุปกรณ์ QPM-SHG ได้ นอกจากนั้น ยังสามารถสังเกตพฤติกรรมของ คลื่นสะท้อน (reflected wave) ได้โดยตรงอีกด้วย อย่างไรก็ตาม วิธี FDTD นี้ยังมีข้อจำกัดอันเนื่องมาจากความต้องการทรัพยากรในการคำนวณสูง จึงทำให้สามารถคำนวณได้เพียงปัญหาใน 2 มิติเท่านั้น

Furati , Alsunaidi and Masoudi (2001) เสนอวิธีวิเคราะห์การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองแบบพัลส์ ด้วยวิธี FDTD งานวิจัยนี้เสนอวิธีการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์แบบไม่เชิงเส้นไปเป็นระบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสามที่สามารถหาผลเฉลยได้โดยง่าย อย่างไรก็ตาม มิติของปัญหาที่วิเคราะห์ได้ยังจำกัดเพียง 2 มิติเท่านั้น

การวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีที่เกี่ยวข้องกับ วิธีผลต่างสืบเนื่อง ดังกลุ่มงานวิจัยข้างต้นนั้น จำเป็นต้องแบ่งบริเวณปัญหาทุกๆ บริเวณ (ทั้งบริเวณที่มีแสงและไม่มีแสง) ออกเป็นช่องตารางสี่เหลี่ยมที่มีขนาดเท่าๆ กัน โดยตารางสี่เหลี่ยมนี้จะเชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (node) และที่จุดต่อเหล่านี้จะเป็นตำแหน่งของตัวไม่รู้ค่าที่ต้องหาคำตอบ จำนวนของตัวไม่รู้ค่าจะขึ้นอยู่กับจำนวนจุดต่อจากตารางสี่เหลี่ยมที่สร้างขึ้น ถ้าต้องการผลเฉลยที่มีความแม่นยำมากจะต้องแบ่งช่องสี่เหลี่ยมให้มีขนาดเล็ก ทำให้จำนวนตัวไม่ทราบค่ามีมากตามไปด้วย ส่งผลให้ต้องใช้หน่วยความจำเป็นจำนวนมากในการคำนวณ นอกจากนั้น การแทนรูปร่างของปัญหาด้วยตารางสี่เหลี่ยมนั้นจะทำให้ไม่สามารถจำลองรูปร่างลักษณะของปัญหาได้โดยเที่ยงตรง เพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดดังกล่าว นักวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งได้นำ วิธีไฟไนต์อิลีเมนต์ เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหา หลักการของ วิธีไฟไนต์อิลีเมนต์ คือ การแบ่งบริเวณปัญหาออกเป็นบริเวณย่อยๆ ที่มีจำนวนจำกัด เรียกว่า อิลีเมนต์ (element) จุดเด่นของ วิธีไฟไนต์อิลีเมนต์ ที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือ สามารถจำลองรูปร่างของปัญหาได้ใกล้เคียงกับรูปร่างจริงได้เป็นอย่างดี และ ขนาดของอิลีเมนต์แต่ละอันสามารถแบ่งให้มีขนาดต่างๆ กันได้ ดังนั้น จุดเชื่อมต่อที่เกิดจากวิธีนี้จะน้อยกว่าวิธีผลต่างสืบเนื่อง ทำให้ประหยัดหน่วยความจำได้มากกว่า งานวิจัยที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่

Hayata and Koshiba (1991) เสนอวิธีวิเคราะห์การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองในอุปกรณ์ QPM-SHG แบบระนาบ (planar device) ด้วย วิธีสเกลาร์ไฟไนต์อิลีเมนต์บีมพรอพาเกชัน (Scalar Finite Element Beam Propagation Method, SFE-BPM) ร่วมกับกระบวนการแบ่งขั้น (Split-Step Procedure, SSP) วิธีที่นำเสนอนี้มีข้อจำกัด คือ สามารถวิเคราะห์อุปกรณ์ QPM-SHG ที่มีประสิทธิภาพการกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสอง η_{SHG} อยู่ในระดับต่ำๆ ได้เท่านั้น เนื่องจาก งานวิจัยนี้ตั้งสมมุติฐานให้กำลังของแสงมูลฐานมีค่าคงที่

Katsriku , Rahman and Gratton (1997) นำวิธีที่เสนอโดย Hayata และ Koshiba (1991) วิเคราะห์การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองในอุปกรณ์ QPM-SHG ที่สร้างจากผลึก $LiNbO_3$ ใน 2 มิติ และ 3 มิติ ทั้งนี้ โดยการตั้งสมมุติฐานให้ค่าดรรชนีหักเหแสงของส่วนท่อนำคลื่น (ประดิษฐ์ขึ้นจากวิธี แลกเปลี่ยนโปรตอน (proton exchange) ของอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นแบบดรรชนีขั้นบันได

Katsriku , Rahman and Gratton (2000) เสนอการวิเคราะห์ผลของ ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ QPM-SHG ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ $GaAs$ และ $Al_{0.8}Ga_{0.2}As$ โดยชี้ให้เห็นว่า แม้ว่า สัมประสิทธิ์ความไม่เชิงเส้น d ของ $GaAs$ มีค่ามากกว่า $Al_{0.8}Ga_{0.2}As$ แต่ในขณะเดียวกัน สัมประสิทธิ์ความสูญเสีย (loss coefficient) ของ $GaAs$ ก็มีค่าสูงกว่า $Al_{0.8}Ga_{0.2}As$ เช่นกัน จึงส่งผลให้ ประสิทธิภาพการกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสอง η_{SHG} ของ $GaAs$ ต่ำกว่า $Al_{0.8}Ga_{0.2}As$

Yasui and Koshiba (2000) เสนอวิธีวิเคราะห์การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองในอุปกรณ์ QPM-SHG ที่สร้างจากผลึก ผลึก $LiNbO_3$ และ $LiTaO_3$ ด้วย วิธี SFE-BPM ใน 2 มิติ โดยปราศจากการตั้งสมมุติฐานให้กำลังของแสงมูลฐานมีค่าคงที่ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังคงสมมติให้ค่าดรรชนีหักเหแสงของส่วนท่อนำคลื่นของอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นแบบดรรชนีขั้นบันได

Yasui and Koshiba (2000) เสนอวิธีวิเคราะห์การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองในอุปกรณ์ QPM-SHG ที่สร้างจากผลึก ผลึก $LiNbO_3$ และ $LiTaO_3$ ด้วย วิธี SFE-BPM ใน 3 มิติ งานวิจัยนี้ แสดงการเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่าง กำลังของแสงฮาร์มอนิกอันดับสองที่คำนวณได้ ระหว่างกรณีที่สมมติให้ โดเมนผกผันเป็นรูปสี่เหลี่ยม (รูปร่างในอุดมคติ) กับ โดเมนผกผันรูปสามเหลี่ยม (สำหรับผลึก $LiNbO_3$) และ โดเมนผกผันรูปครึ่งวงรี (สำหรับผลึก $LiTaO_3$) ซึ่งเป็นรูปร่างจริงที่เกิดขึ้นการประดิษฐ์ตัวอุปกรณ์ต้นแบบ

Yasui and Koshiba (2001) เสนอวิธีวิเคราะห์การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองใน อุปกรณ์ QPM-SHG ด้วย วิธีเวกเตอร์ไฟไนต์อิลีเมนต์บีมพรอพาเกชัน (Vector Finite Element Beam Propagation, VFE-BPM) งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า การละเลยธรรมชาติความเป็นปริมาณเวกเตอร์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายใน อุปกรณ์ QPM-SHG จะมีผลต่อระดับกำลังของแสงฮาร์มอนิกอันดับสอง P_{sh} ที่คำนวณได้

จากการสำรวจงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสอง ใน อุปกรณ์ QPM-SHG ทำให้ผู้ทำวิทยานิพนธ์ มองเห็นประเด็นปัญหาดังนี้

1. วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ พบว่า กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ วิธีผลต่างสืบเนื่อง มีข้อจำกัดในด้านความสิ้นเปลืองหน่วยความจำที่ใช้ในการคำนวณ นอกจากนั้น ยังไม่สามารถจำลองรูปร่างลักษณะของปัญหาได้โดยเที่ยงตรงในขณะที่ วิธีไฟไนต์อิลีเมนต์ ไม่เกิดข้อจำกัดดังกล่าว

2. มิติของปัญหา อุปกรณ์ QPM-SHG ในทางปฏิบัติมักจะอาศัยโครงสร้างท่อนำคลื่นแสงแบบช่อง (channel waveguide) ได้แก่ โครงสร้างแบบริบ และโครงสร้างแบบฝังในแผ่นฐาน นั่นคือ มิติของปัญหาในความเป็นจริงจะเป็นแบบ 3 มิติ เสมอ

3. ธรรมชาติความเป็นปริมาณเวกเตอร์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โมดของคลื่นแม่เหล็กภายใน อุปกรณ์ QPM-SHG ที่มีโครงสร้างแบบ 3 มิติ จะเป็น โมดผสมผสาน (hybrid mode) ที่มีองค์ประกอบสนามเกิดขึ้นครบทุกองค์ประกอบเสมอ การคำนวณโดยวิธีการประมาณแบบสเกลาร์จึงทำให้ได้ผลเฉลยที่ไม่แม่นยำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคำนวณกำลังของแสงฮาร์มอนิกอันดับสอง

4. ความใกล้เคียงสภาพจริงของแบบจำลองในการคำนวณ ส่วนท่อนำคลื่นแสงของอุปกรณ์ QPM-SHG ที่สร้างจากผลึก $LiNbO_3$ และ $LiTaO_3$ มักจะประดิษฐ์ขึ้นจาก วิธีการแพร่ (diffusion) หรือ วิธีการแลกเปลี่ยนโปรตอน (proton-exchange) ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงค่าดรรชนีหักเหแสงของท่อนำคลื่นแสงที่เกิดจากวิธีการประดิษฐ์ดังกล่าวจะเป็นแบบดรรชนีลาดเสมอ งานวิจัยทั้งหมดในอดีตที่ผ่านมาจะสมมติให้ ดรรชนีหักเหแสงเป็นแบบดรรชนีขั้นบันได ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ

5. เป้าหมายในอนาคต แนวโน้มของการใช้อุปกรณ์ในโครงข่ายสื่อสารทางแสงในปัจจุบันจะมุ่งเน้นการใช้ อุปกรณ์ทางแสงทั้งหมดที่ประดิษฐ์จากเส้นใยแสง (all optical fiber optical device) แนวคิด การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองในเส้นใยแสงเป็นหัวข้องานวิจัยที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก Weitzman and Osterberg (1993) ได้นำเสนอวิธีการดัดแปลงวิธี SFD-BPM เพื่อวิเคราะห์การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองในเส้นใยแสง อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ยังขาดการให้รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์สำคัญในการคำนวณ ทำให้ยังไม่สามารถประเมินสมรรถนะของวิธีวิเคราะห์ที่เสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้กับกรณีปัญหาตัวอย่างนี้ได้ แต่ใน

อนาคต หากข้อมูลในการคำนวณครบถ้วนแล้ววิธีการที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์จะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้ทันที โดยปราศจากการแก้ไขหรือดัดแปลงใดๆ

จากประเด็นปัญหาที่สรุปได้ดังกล่าว การวิเคราะห์การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองในอุปกรณ์ QPM-SHG ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธี เวกเตอร์ไฟไนต์อิลีเมนต์บีมพรอพาเกชัน แบบ 3 มิติ ร่วมกับการใช้ อิลีเมนต์ไอโซพาราเมตริก (isoparametric element) การใช้อิลีเมนต์ไอโซพาราเมตริก มีประโยชน์ 2 ประการ คือ

1. ประโยชน์ทางตรง อิลีเมนต์ไอโซพาราเมตริกสามารถใช้กับปัญหาที่มีขอบโค้งได้เป็นอย่างดีจึงเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองในเส้นใยแสง

2. ประโยชน์ทางอ้อม การหาผลเฉลยของสมการของอิลีเมนต์ (element equations) ในกรณีที่ใช้อิลีเมนต์ไอโซพาราเมตริกนั้น จะทำได้โดยการใช้ การอินทิเกรตเชิงตัวเลข (numerical integration) ดังนั้น สมการของอิลีเมนต์ที่มีรูปแบบยุ่งยาก ดังที่เกิดขึ้นในกรณีของการคำนวณส่วนท่อนำคลื่นแสงแบบดรรชนีลาด จึงไม่เป็นปัญหาใดๆ นอกจากนั้น ยังสามารถใช้ได้กับปัญหาที่มีค่าดรรชนีหักเหแสงที่มีความแตกต่างกันมากๆ ใน 2 บริเวณ เช่น ในท่อนำคลื่นแสงแบบสารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เสนอวิธีวิเคราะห์การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองจากอุปกรณ์ QPM-SHG รูปร่างไม่เจาะจงในสามมิติด้วยวิธีไฟไนต์อิลีเมนต์บีมพรอพาเกชัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. วิเคราะห์ การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสอง ที่อาศัยการแมตช์เฟสด้วยวิธีการแมตช์เฟสแบบคล้าย ในอุปกรณ์ QPM-SHG รูปร่างแบบใดๆ ใน 3 มิติ

2. ดำเนินการเขียนโปรแกรมจำลองพฤติกรรมของแสงที่เดินทางไปใน อุปกรณ์ QPM-SHG เพื่อวิเคราะห์และประเมินสมรรถนะของอุปกรณ์ดังกล่าว

3. ทดสอบความถูกต้องกับกรณีตัวอย่างในเอกสารที่มีการตีพิมพ์ไว้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ต่างๆ สำหรับปัญหาการกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองด้วยอุปกรณ์ QPM-SHG

2. ประเมินสมรรถนะของอิลีเมนต์ไอโซพาราเมตริกที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์ โดยเขียนโปรแกรมคำนวณปัญหาค่าเฉพาะ (eigenvalue problem) สำหรับปัญหาขอบตรง (rectilinear) และ ปัญหาขอบโค้ง (curvilinear) จากนั้นจึงเทียบความถูกต้องกับกรณีตัวอย่างในเอกสารที่มีการตีพิมพ์ไว้

3. ทดสอบอัลกอริทึมสำหรับการแก้ปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์แบบไม่เชิงเส้นในเบื้องต้น โดยดำเนินการเขียนโปรแกรมจำลองการกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองในอุปกรณ์ QPM-SHG แบบ 3 มิติ ด้วยวิธี สเกลาร์ไฟไนต์อิลีเมนต์บีมพรอพาเกชัน และเทียบความถูกต้องกับเอกสารที่มีการตีพิมพ์ไว้

4. นำโปรแกรมที่ได้จากข้อ 3 มาปรับปรุง เพื่อขยายไปสู่การวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ด้วยวิธีเวกเตอร์ไฟไนต์อิลีเมนต์บีมพรอพาเกชัน จากนั้นจึงคำนวณปัญหาในกรณีตัวอย่างและเทียบความถูกต้องกับเอกสารที่มีการตีพิมพ์ไว้

5. วิเคราะห์และสรุปผล

6. จัดทำเอกสารวิทยานิพนธ์

การคำนวณในงานวิทยานิพนธ์นี้อาศัยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (personal computer) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ความเร็ว 2.53 กิกะเฮิรตซ์

2. หน่วยความจำมีขนาด 1 กิกะไบต์

3. โปรแกรมคำนวณในงานวิทยานิพนธ์นี้เขียนขึ้นจากโปรแกรมแมตแล็บ (MATLAB) เวอร์ชัน 6.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

1. ได้วิธีวิเคราะห์การกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองภายใน อุปกรณ์ QPM-SHG ที่มีรูปร่างแบบใดๆ ใน 3 มิติ

2. ได้โปรแกรมจำลองการกำเนิดแสงฮาร์มอนิกอันดับสองภายในอุปกรณ์ QPM-SHG ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสภาพอุปกรณ์จริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย