

บทที่ 4

ฟังก์ชันรูปร่างแบบเรเดียลพ้อยอินเทอโพเลชัน

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการใช้ระเบียบวิธีอีลีเมนต์ฟิสิกส์ในการวิเคราะห์ที่ท่อนำคลื่นใน 2 มิติ โดยใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเรเดียลพ้อยอินเทอโพเลชันโดยเปรียบเทียบผลกับที่ได้จากบทความอ้างอิงโดยทดลองคำนวณค่าในชุดตัวอย่าง 7 ตัวอย่างเพื่อคำนวณหาเลขคลื่นตัด(cutoff wavenumber) โดยคำนวณค่าทั้งใน TE โมดและ TM โมด ซึ่งในการคำนวณเลขคลื่นตัดสี่โมดแรก กรณีที่คำนวณ tm โมด โดยใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเรเดียลพ้อยอินเทอโพเลชัน ซึ่งฟังก์ชันรูปร่างมีคุณสมบัติของโครเนกเกอร์เดลตาฟังก์ชันคือฟังก์ชันรูปร่างที่โนดใดๆจะมีค่าเป็นหนึ่งที่โนดที่พิจารณาและมีค่าเป็นศูนย์ที่โนดอื่นจึงกำหนดเงื่อนไขขอบเขตโดยการแทนค่าที่โนดโดยตรง

4.2 ผลการตรวจสอบโดยการคำนวณ

4.2.1 ท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยม

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นรูปร่าง แบบสี่เหลี่ยม ที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี TE mode เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบ RPIM

| โมด | Kc(exact) | RPIM | % error |
|-----|-----------|--------|---------|
| 1 | 3.142 | 3.1450 | 0.0955 |
| 2 | 6.285 | 6.2866 | 0.0255 |
| 3 | 6.285 | 6.2877 | 0.0430 |
| 4 | 7.027 | 7.0254 | 0.0228 |

จากผลการคำนวณที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยตรงผลซึ่งได้มีความใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นรูปร่าง แบบสี่เหลี่ยม ที่ได้ จากวิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี TM mode เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบ RPIM

| โหมด | Kc(exact) | RPIM | % error |
|------|-----------|---------|---------|
| 1 | 7.0270 | 6.9771 | 0.7101 |
| 2 | 8.8890 | 8.8566 | 0.3645 |
| 3 | 11.3272 | 11.2782 | 0.4326 |
| 4 | 12.9580 | 12.9539 | 0.0316 |

จากผลการคำนวณที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับที่ได้จากการคำนวณโดยตรงผลที่ได้มีความใกล้เคียงกันทั้งสี่โหมด

4.2.2 ท่อนำคลื่นแบบวงกลม

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นรูปร่าง แบบวงกลม ที่ได้ จากวิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี TE mode เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบ RPIM

| โหมด | Kc(exact) | SIE | RPIM | % error |
|------|-----------|--------|--------|---------|
| 1 | 1.8412 | 1.8462 | 1.8132 | 1.5207 |
| 2 | 3.0542 | 3.0645 | 3.0157 | 1.2606 |
| 3 | 3.8317 | 3.8422 | 3.7275 | 2.7194 |
| 4 | 4.2012 | 4.2200 | 4.1443 | 1.3544 |

จากผลการคำนวณที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยตรงผลที่ได้จากการคำนวณจะมีความผิดพลาดมากกว่าเมื่อเทียบกับผลที่ได้จากบทความอ้างอิง

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นรูปร่าง แบบวงกลม ที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี TM mode เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบ RPIM

| โหมด | Kc(exact) | SIE | RPIM | % error |
|------|-----------|--------|--------|---------|
| 1 | 2.4048 | 2.4111 | 2.3827 | 0.9190 |
| 2 | 3.8317 | 3.8416 | 3.8356 | 0.1018 |
| 3 | 5.1356 | 5.1458 | 5.1420 | 0.1246 |
| 4 | 5.5200 | 5.5346 | 5.4978 | 0.4022 |

จากตารางผลการคำนวณหาค่าเลขคลื่นตัดเมื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่ได้จากคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากบทความอ้างอิงผลที่ได้จากการคำนวณโดยระเบียบวิธีไร้มัชจะให้ความผิดพลาดน้อยกว่าที่ได้จากผลในบทความอ้างอิง

4.2.3 ท่อนำคลื่นรูปร่างแบบ L

โครงสร้างภาคตัดขวางของท่อนำคลื่นมีสันแบบรูปร่าง L มีลักษณะทางกายภาพคือรูปร่างของท่อนำคลื่นเหมือนรูปตัว L ความยาวด้านแนวตั้งและแนวนอนมีขนาดเท่ากัน

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นรูปร่าง L ที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี TE mode เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบ RPIM

| โหมด | SIE | FD-SIC | RPIM | %error/SIE | %error/FD |
|------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| 1 | 1.8917 | 1.9111 | 1.9148 | 1.2211 | 0.1936 |
| 2 | 2.9159 | 2.9600 | 2.9497 | 1.1592 | 0.3480 |
| 3 | 4.8755 | 4.9452 | 4.9227 | 0.9681 | 0.4550 |
| 4 | 5.2463 | 5.3128 | 5.2967 | 0.9607 | 0.3030 |

จากผลการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับบทความอ้างอิงผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากบทความอ้างอิงทั้งสองบทความซึ่งค่าที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากบทความอ้างอิงที่สองมากกว่า

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นรูปร่าง L ที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี กรณี TM mode เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบ RPIM

| โหมด | SIE | FD-SIC | RPIM | %error/SIE | %error/FD |
|------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| 1 | 4.8677 | 4.8949 | 4.9091 | 0.8505 | 0.2901 |
| 2 | 6.1361 | 6.1350 | 6.1146 | 0.3504 | 0.3325 |
| 3 | 6.9980 | 6.9921 | 6.9920 | 0.0857 | 0.0014 |
| 4 | 8.5525 | 8.5458 | 8.5854 | 0.3847 | 0.4634 |

จากผลการคำนวณที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับบทความอ้างอิงผลที่ได้จากระเบียบวิธีไรเมซมี ความใกล้เคียงกับบทความอ้างอิงทั้งสองบทความ

4.2.4 ท่อนำคลื่นแบบสันเดียว

โครงสร้างภาคตัดขวางท่อนำคลื่นมีสันแบบสันเดียว มีลักษณะทางกายภาพคือมีการโค้งเว้าของผนังตัวนำ 1 ด้าน หรือมีการสอดตัวนำเข้าไป 1 แห่งดังรูป

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นรูปร่าง แบบสันเดียวที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี TE mode เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบ RPIM

| โหมด | SIE | FD-SIC | RPIM | %error/SIE | %error/FD |
|------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| 1 | 2.2496 | 2.2422 | 2.2494 | 0.0089 | 0.3211 |
| 2 | 4.9436 | 4.8543 | 4.8772 | 1.3432 | 0.4717 |
| 3 | 6.5189 | 6.4476 | 6.4280 | 1.3944 | 0.3040 |
| 4 | 7.5642 | 7.5185 | 7.4660 | 1.2982 | 0.6983 |

จากผลการคำนวณที่ได้ผลที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากบทความอ้างอิงที่สองมากกว่า และเมื่อเทียบกับบทความอ้างอิงแรกผลที่ได้จะค่อนข้างต่างกันเมื่ออันดับของเลขคลื่นตัดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นรูปร่าง แบบสันเดียวที่ได้จาก วิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี *TM mode* เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบ RPIM

| โหมด | SIE | FD-SIC | RPIM | %error/SIE | %error/FD |
|------|---------|---------|---------|------------|-----------|
| 1 | 12.0381 | 12.4447 | 12.2945 | 2.1299 | 1.2069 |
| 2 | 12.2938 | 12.4331 | 12.6158 | 2.6192 | 1.4695 |
| 3 | 13.9964 | 14.0037 | 14.0114 | 0.1072 | 0.0550 |
| 4 | 15.5871 | 15.5829 | 15.5444 | 0.2739 | 0.2471 |

จากผลการคำนวณที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับบทความอ้างอิงเลขคลื่นตัดที่ได้จากการคำนวณในโหมดแรกและโหมดที่สองค่อนข้างต่างกันแต่จะมีค่าใกล้เคียงกันมากเมื่อพิจารณาในโหมดที่สามและสี่

4.2.5 ท่อนำคลื่นแบบโคแอกเซียลสี่เหลี่ยม(coaxial rectangular)

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นรูปร่างแบบโคแอกเซียลสี่เหลี่ยม ที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี *TE mode* เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบ RPIM

| โหมด | SIE | RPIM | %error/SIE |
|------|--------|--------|------------|
| 1 | 2.0789 | 2.0701 | 0.4233 |
| 2 | 2.8465 | 2.8214 | 0.8818 |
| 3 | 3.9631 | 3.9381 | 0.6308 |
| 4 | 5.2864 | 5.1431 | 2.7107 |

จากผลการคำนวณที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับบทความอ้างอิงผลที่ได้มีความใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาในโหมดแรกถึงโหมดที่สามและค่อนข้างต่างกันในโหมดที่สี่

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นรูปร่างแบบโคแอกเชียล สี่เหลี่ยมที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี TM mode เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่าง แบบ RPIM

| โหมด | SIE | RPIM | %error/SIE |
|------|---------|---------|------------|
| 1 | 6.8400 | 6.8802 | 0.5877 |
| 2 | 8.3286 | 8.4746 | 1.7530 |
| 3 | 8.4905 | 8.5749 | 0.9940 |
| 4 | 10.2959 | 10.3923 | 0.9363 |

จากผลการคำนวณที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับบทความอ้างอิงผลที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกันกับผลที่ได้จากบทความอ้างอิงแต่ในโหมดที่สองผลที่ได้จะค่อนข้างต่างกัน

4.2.6 ท่อนำคลื่นแบบโคแอกเชียล(coaxial)

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นแบบโคแอกเชียล ที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี TE mode เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบ RPIM

| โหมด | SIE | RPIM | %error/SIE |
|------|--------|--------|------------|
| 1 | 1.7407 | 1.7389 | 0.1034 |
| 2 | 3.0411 | 2.9993 | 1.3745 |
| 3 | 4.2199 | 4.1666 | 1.2631 |
| 4 | 4.6451 | 4.6050 | 0.8633 |

ผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากบทความอ้างอิงมีความใกล้เคียงกันในโหมดที่หนึ่งและสี่แต่ค่อนข้างต่างกันเมื่อพิจารณาในโหมดที่สองและสาม

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นแบบ โคแอกเชียล ที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี *TM mode* เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบ RPIM

| โหมด | SIE | RPIM | %error/SIE |
|------|--------|--------|------------|
| 1 | 3.8911 | 4.0073 | 2.9863 |
| 2 | 4.1666 | 4.2152 | 1.1664 |
| 3 | 4.4450 | 4.5399 | 2.1350 |
| 4 | 5.2645 | 5.2077 | 1.0789 |

จากผลการคำนวณที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากบทความอ้างอิงผลที่ได้ทั้งสี่โหมดค่อนข้างต่างกัน

4.2.7 ท่อนำคลื่นแบบเส้นคู่

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบผลการคำนวณเลขคลื่นตัดของท่อนำคลื่นแบบเส้นคู่ที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้กับผลในบทความอ้างอิงกรณี *TE mode* เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบ RPIM

| โหมด | FD-SIC | RPIM | %error/SIE |
|------|--------|--------|------------|
| 1 | 1.434 | 1.4622 | 1.9655 |
| 2 | 3.168 | 3.1515 | 0.5208 |
| 3 | 6.192 | 6.1621 | 0.4829 |
| 4 | 6.705 | 6.6675 | 0.5593 |

ผลที่ได้จากเมื่อเทียบกับบทความอ้างอิงค่อนข้างต่างกันโหมดแรกและมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาในโหมดที่สูงขึ้น

4.3 สรุปผลการคำนวณ

ในบทนี้ได้นำเสนอระเบียบวิธีอีลีเมนต์ฟรังกาเลอร์คินเพื่อใช้คำนวณหาเลขคลื่นตัดสี่โหมดแรกโดยทดลองคำนวณโดยใช้ 7 ตัวอย่างโดยใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเรเดียลพ้อยอินเทอโพลชันซึ่งผลการจากผลการคำนวณกับผลที่ได้จากบทความอ้างอิงมีความใกล้เคียงกันแต่จะค่อนข้างต่างกันมากเมื่อพิจารณาในกรณีที่คำนวณหอนำคลื่นแบบวงกลมและโคแอกเซียลแต่ผลที่ได้ก็ยังใกล้เคียงที่ได้จากบทความอ้างอิง