บทที่ 5

บทสรุป

ความนำ

จากบทที่ 3 และ 4 ซึ่งเป็นการนำเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = \ln(r)$, $s = e^{(-\alpha r)}$ ตามลำดับมาประยุกต์ใช้กับวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์เพื่อหาพารามิเตอร์ค่าคงตัวการแพร่กระจายบรรทัดฐานของเส้นใยแสง โดยที่รูปแบบปัญหาของเส้นใยแสงเป็นบริเวณเปิดดังที่แสดงรายละเอียดไปแล้ว ในบทนี้จะทำการสรุปเพื่อหาคำตอบว่าเทคนิคการแปลงบริเวณแบบใดที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาเส้นใยแสงได้เหมาะสมและสามารถให้ประสิทธิภาพดีที่สุด

ตัวอย่างการคำนวณ

1. ในตัวอย่างการคำนวณนี้เป็นการคำนวณค่าคงตัวการแพร่กระจายบรรทัดฐาน คำนวณที่ความถี่บรรทัดฐานเท่ากับ 1.5 ของโมด HE_{11} โดยที่รูปแบบการกระจายตัวของค่าดัชนีหักเหของแสงเป็นแบบดัชนีขั้นบันได(step-index)โดยกำหนดให้ $\frac{n_1}{n_2} = 1.5$ การคำนวณเป็นการปรับค่าตัวแปร 5 ตัวคือ จำนวนอีลีเมนท์ในแกน (element core) , จำนวนอีลีเมนท์ในวัสดุหุ้ม (element cladding) , จำนวนอีลีเมนท์ในโดเมนระยะไกล (element outer) , ค่ารัศมีตรงรอยต่อระหว่างวัสดุหุ้มกับบริเวณระยะไกล r_n และค่ารัศมีที่จุดอนันต์ r_∞ โดยกำหนดให้ $(\alpha = 1)$ตลอดการคำนวณ

ตารางที่ 5.1 การคำนวณค่าคงตัวการแพร่กระจายบรรทัดฐานของเส้นใยแสงที่มีรูปแบบดัชนีหักเหเป็นแบบขั้นบันไดโดยมีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = \ln(r)$, $s = e^{(-\alpha r)}$ มาประยุกต์ใช้

คำนวณที่ V=1.5 โมด HE_{11} , $n_1/n_2 = 1.5$

(ที่มาแหล่งข้อมูลคำตอบแม่นตรง Masanori Matsuhara et al. 1992) คำตอบแม่นตรง = 0.1001

e core	e clad	e outer	radias r_n	radias r_∞	$s = \ln(r)$	$s = e^{-(\alpha r)}$
10	8	2	6	16	0.0913	0.0885
					8.79%	11.58%
10	8	4	6	16	0.0944	0.0907
					5.69%	9.39%

ตารางที่ 5.1 ต่อ การคำนวณค่าคงตัวการแพร่กระจายบรรทัดฐานของเส้นใยแสงที่มีรูปแบบดัชนีหักเหเป็นแบบขั้นบันไดโดยมีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = \ln(r)$, $s = e^{(-\alpha r)}$ มาประยุกต์ใช้

คำนวณที่ V=1.5 โมด HE_{11} , $n_1/n_2 = 1.5$

(ที่มาแหล่งข้อมูลคำตอบแม่นตรง Masanori Matsuhara et al. 1992) คำตอบแม่นตรง = 0.1001

e core	e clad	e outer	radias r_n	radias r_∞	$s = \ln(r)$	$s = e^{-(\alpha r)}$
10	8	4	6	16	0.0944	0.0907
					5.69%	9.39%
10	8	6	6	16	0.0965	0.0919
					3.59%	8.19%
10	8	2	6	16	0.0913	0.0885
					8.79%	11.58%
10	10	2	6	16	0.0925	0.0898
					7.59%	10.28%
10	12	2	6	16	0.0933	0.0904
					6.79%	9.69%
10	8	2	6	16	0.0913	0.0885
					8.79%	11.58%
12	8	2	6	16	0.0919	0.0890
					8.19%	11.07%
14	8	2	6	16	0.0924	0.0892
					7.69%	10.88%
10	8	2	6	16	0.0913	0.0885
					8.79%	11.58%
10	8	2	7	16	0.0934	0.899
					6.69%	10.18%
10	8	2	8	16	0.0949	0.0907
					5.19%	9.39%
10	8	2	6	16	0.0913	0.0885
					8.79%	11.58%

ตารางที่ 5.1 ต่อ การคำนวณค่าคงตัวการแพร่กระจายบรรทัดฐานของเส้นใยแสงที่มีรูปแบบดัชนีหักเหเป็นแบบขั้นบันไดโดยมีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = \ln(r)$, $s = e^{(-\alpha r)}$ มาประยุกต์ใช้

คำนวณที่ V=1.5 โมด HE_{11} , $n_1/n_2 = 1.5$

(ที่มาแหล่งข้อมูลคำตอบแม่นตรง Masanori Matsuhara et al. 1992) คำตอบแม่นตรง = 0.1001

e core	e clad	e outer	radias r_n	radias r_∞	$s = \ln(r)$	$s = e^{-(\alpha r)}$
10	8	2	6	16	0.0913	0.0885
					8.79%	11.58%
10	8	2	6	18	0.0937	0.0901
					6.39%	9.99%
10	8	2	6	20	0.0951	0.0911
					4.99%	8.99%
10	8	2	6	16	0.0913	0.0885
					8.79%	11.58%
10	8	4	6	26	0.0961	0.0919
					3.99%	8.19%
10	8	6	6	36	0.0992	0.0942
					1.09%	5.89%
10	8	2	6	16	0.0913	0.885
					8.79%	11.58%
10	10	2	7.25	17.25	0.0938	0.0908
					6.29%	9.29%
10	12	2	8.5	18.5	0.0953	0.0915
					4.79%	8.59%

จากผลการคำนวณที่ V=1.5 ของโมด HE_{11} สามารถสรุปได้ดังนี้

1.1. เมื่อเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ที่บริเวณระยะไกลโดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ ผลการคำนวณจะทำให้ความแม่นตรงสูงขึ้นซึ่งชี้ให้เห็นว่าสนามไฟฟ้าที่ความถี่เท่ากับ 1.5 นี้มีการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าต่อเนื่องในบริเวณวัสดุหุ้มและบริเวณระยะไกลมากกว่าที่ความถี่เท่ากับ 4.0 โดยเมื่อปรับ r_∞ เพิ่มขึ้น

ผลการคำนวณจะดีขึ้นมากแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณระยะไกลและการเพิ่มค่า r_∞ จะทำให้ผลการคำนวณดีขึ้นมากมีความแม่นตรงสูงทั้งนี้เป็นผลมาจากสนามไฟฟ้าในบริเวณความถี่ที่ใกล้ความถี่คัตออฟนั้นจะกระจายตัวอยู่ในบริเวณวัสดุหุ้มและบริเวณระยะไกลมาก ซึ่งสาเหตุนี้ที่เป็นผลทำให้ต้องใช้เทคนิคการแปลงบริเวณมาประยุกต์ ถึงแม้ว่าเราจะรู้ว่าสนามไฟฟ้ากระจายตัวอยู่ในบริเวณวัสดุหุ้มและบริเวณระยะไกลเป็นส่วนใหญ่ แต่ว่าข้อจำกัดของจำนวนอีลีเมนท์ที่จะนำมาคำนวณในบริเวณนี้นั้นจะต้องไม่มากเกินไปเพราะว่าที่บริเวณระยะไกลสนามไฟฟ้ามีการกระจายตัวอยู่จริงแต่มีอยู่น้อยและไกลออกไปเรื่อย ๆ ดังนั้นถ้าเราจะแบ่งอีลีเมนท์โดยตรงก็จะทำให้สิ้นเปลืองจำนวนอีลีเมนท์เป็นจำนวนมากดังนั้นเทคนิคการแปลงบริเวณจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด

1.2.เมื่อเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณวัสดุหุ้มโดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ ผลการคำนวณจะดีขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณระยะไกลแสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าที่ใกล้ความถี่คัตออฟนี้จะอยู่ในบริเวณระยะไกลเป็นส่วนมากมากกว่าในบริเวณวัสดุหุ้มซึ่งสอดคล้องกับในทางทฤษฎีเพราะบริเวณที่ใกล้ความถี่คัตออฟนี้เป็นบริเวณที่ใกล้จุดวิกฤตสนามไฟฟ้าจะกระจายตัวอยู่ในบริเวณวัสดุหุ้มและต่อเนื่องไปในบริเวณระยะไกลเป็นส่วนมาก และเมื่อทดสอบโดยการเพิ่มรัศมีของ r_n และเพิ่ม r_∞ ขึ้น ผลของการคำนวณจะชี้ให้เห็นชัดว่าความแม่นตรงของคำตอบเมื่อให้จำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณวัสดุหุ้มคงที่จะดีกว่าการเพิ่มอีลีเมนท์ระยะไกล แสดงให้เห็นว่าสนามไฟฟ้าจะกระจายตัวอยู่ในบริเวณระยะไกลมากกว่าในบริเวณวัสดุหุ้ม ทั้งนี้ผลการคำนวณโดยรวมแล้วจะชี้ให้เห็นสอดคล้องกับในทางทฤษฎีเพราะการลดลงของสนามไฟฟ้าในบริเวณวัสดุหุ้มจะอยู่ในรูปของ $e^{(-\alpha r)}$ โดยที่ r คือรัศมี คือจะมีการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและจะลดลงช้าลงในบริเวณระยะไกลและจะไปสิ้นสุดจริงที่จุดอนันต์ ดังนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณระยะไกลมากขึ้นและระยะ r_∞ เพิ่มออกไปไกล ๆ ผลการคำนวณจะมีความแม่น-รงสูงขึ้นด้วย

1.3. เมื่อเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในแกนโดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ ผลการคำนวณจะดีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เป็นผลมากจากว่าการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าในบริเวณใกล้ความถี่คัตออฟนั้นการกระจายตัวจะอยู่ในบริเวณวัสดุหุ้มและบริเวณระยะไกลเป็นส่วนใหญ่เมื่อเราเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในแกนผลการคำนวณจึงดีขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

1.4. เมื่อเปรียบเทียบความผิดพลาดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเทคนิคการแปลงบริเวณทั้งสองแบบที่นำมาประยุกต์ใช้จะได้ว่าอัตราการลดลงของความผิดพลาดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = \ln(r)$ จะดีกว่าเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = e^{(-\alpha r)}$ ดังนั้นเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = \ln(r)$ จึงเป็นเทคนิคการแปลงบริเวณที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า และเมื่อทดสอบความแม่นตรงของคำตอบจะชี้ให้เห็นชัดเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = \ln(r)$ นั้นเหมาะสมกับการแก้ปัญหาเส้นใยแสงในบริเวณใกล้ความถี่คัตออฟมากกว่าเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = e^{(-\alpha r)}$

2. ในตัวอย่างการคำนวณนี้เป็นการคำนวณค่าคงตัวการแพร่กระจายบรรทัดฐาน คำนวณที่ความถี่บรรทัดฐานเท่ากับ 4.0 ของโมด HE_{11} โดยที่รูปแบบการกระจายตัวของค่าดัชนีหักเหของแสงเป็นแบบดัชนีขั้นบันได(step-index)โดยกำหนดให้ $\frac{n_1}{n_2} = 1.5$ การคำนวณเป็นการปรับค่าตัวแปร 5 ตัวคือ จำนวนอีลีเมนท์ในแกน (element core) , จำนวนอีลีเมนท์ในวัสดุหุ้ม (element cladding) , จำนวนอีลีเมนท์ในโดเมนระยะไกล (element outer) , ค่ารัศมีตรงรอยต่อระหว่างวัสดุหุ้มกับบริเวณระยะไกล r_n และค่ารัศมีที่จุดอนันต์ r_∞ โดยกำหนดให้ $(\alpha = 1)$ ตลอดการคำนวณ

ตารางที่ 5.2 การคำนวณค่าคงตัวการแพร่กระจายบรรทัดฐานของเส้นใยแสงที่มีรูปแบบดัชนีหักเหเป็นแบบขั้นบันไดโดยมีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = \ln(r)$, $s = e^{(-\alpha r)}$ มาประยุกต์ใช้

คำนวณที่ V=4.0 โมด HE_{11} , $n_1/n_2 = 1.5$

(ที่มาแหล่งข้อมูลคำตอบแม่นตรง Masanori Matsuhara et al. 1992) คำตอบแม่นตรง = 0.7398

e core	e clad	e outer	radias r_n	radias r_∞	$s = e^{-(\alpha r)}$	$s = \ln(r)$
10	8	2	6	16	0.6945	0.6623
					6.12%	10.47%
10	8	4	6	16	0.7016	0.6793
					5.16%	8.17%
10	8	6	6	16	0.7079	0.6932
					4.31%	6.29%
10	8	2	6	16	0.6945	0.6623
					6.12%	10.47%
10	10	2	6	16	0.7020	0.6811
					5.10%	7.93%
10	12	2	6	16	0.7085	0.7011
					4.23%	5.23%
10	8	2	6	16	0.6945	0.6623
					6.12%	10.47%
12	8	2	6	16	0.7105	0.6991
					3.96%	5.50%
14	8	2	6	16	0.7333	0.7326
					0.87%	0.97%

ตารางที่ 5.2 ต่อ การคำนวณค่าคงตัวการแพร่กระจายบรรทัดฐานของเส้นใยแสงที่มีรูปแบบดัชนีหักเหเป็นแบบขั้นบันไดโดยมีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = \ln(r)$, $s = e^{(-\alpha r)}$ มาประยุกต์ใช้

คำนวณที่ V=4.0 โมด HE_{11} , $n_1/n_2 = 1.5$

e core	e clad	e outer	radias r_n	radias r_∞	$s = e^{-(\alpha r)}$	$s = \ln(r)$
14	8	2	6	16	0.7333	0.7326
					0.87%	0.97%
10	8	2	6	16	0.6945	0.6623
					6.12%	10.47%
10	8	2	7	16	0.6991	0.6782
					5.50%	8.32%
10	8	2	8	16	0.7044	0.6947
					4.78%	6.09%
10	8	2	6	16	0.6945	0.6623
					6.12%	10.47%
10	8	2	6	18	0.6951	0.6642
					6.04%	10.21%
10	8	2	6	20	0.6956	0.6711
					5.97%	9.28%
10	8	2	6	16	0.6945	0.6623
					6.12%	10.47%
10	8	4	6	26	0..6955	0.6751
					5.98%	8.74%
10	8	6	6	36	0.6981	0.6929
					5.63%	6.33%
10	8	2	6	16	0.6945	0.6623
					6.12%	10.47%
10	10	2	7.25	17.25	0.6975	0.6701
					5.71%	9.42%
10	12	2	8.5	18.5	0.6998	0.6823
					5.40%	7.77%

จากผลการคำนวณที่ V=4.0 ของโมด HE_{11} สามารถสรุปได้ดังนี้

2.1. ผลของการเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ที่บริเวณระยะไกลโดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ ผลการคำนวณทำให้ความผิดพลาดน้อยลงแต่ว่าค่าความผิดพลาดที่ลดลงจะมีค่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อปรับ r_∞ เพิ่มขึ้นผลของการคำนวณดีขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณระยะไกลแล้วผลของการเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณระยะไกลจะให้คำตอบที่แม่นตรงกว่าแสดงให้เห็นว่าสนามไฟฟ้าที่ระยะไกลออกไปมีน้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลยที่ความถี่นี้ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงเพราะเมื่อ V=4.0 จะไกลจากจุดคัตออฟมากการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าจะอยู่ในบริเวณแกนเป็นส่วนใหญ่

2.2. เมื่อปรับจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณวัสดุหุ้มเพิ่มขึ้นโดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ ผลการคำนวณจะดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณระยะไกล ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงที่ว่าในบริเวณที่ความถี่ไกลจากความถี่คัตออฟสนามไฟฟ้าจะมีการกระจายตัวอยู่ในบริเวณแกนเป็นส่วนใหญ่

2.3. เมื่อปรับจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณแกนเพิ่มขึ้นโดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ ผลการคำนวณจะดีขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับการเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณวัสดุหุ้มและการเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณระยะไกล ซึ่งเป็นข้อยืนยันได้ว่าสนามไฟฟ้าที่ความถี่ไกลจากความถี่คัตออฟจะมีการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าอยู่ในบริเวณแกนมากกว่าในบริเวณวัสดุหุ้มซึ่งตรงตามทฤษฎี

2.4. เมื่อปรับค่า r_n เพิ่มขึ้นโดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ ผลการคำนวณจะดีขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งเป็นผลมาจากเมื่อเพิ่ม r_n ขึ้นความยาวของอีลีเมนท์ในบริเวณวัสดุหุ้มจะยาวขึ้นทำให้คลอบคลุมบริเวณของสนามไฟฟ้ามากขึ้นดังนั้นคำตอบจึงดีขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณวัสดุหุ้มโดยที่ความยาวของอีลีเมนท์ในบริเวณวัสดุหุ้มเท่าเดิมผลจะชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณวัสดุหุ้มโดยการไม่ปรับความยาวของอีลีเมนท์ในวัสดุหุ้มจะดีกว่าซึ่งสอดคล้องกับการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าในบริเวณวัสดุหุ้มจริง

2.5. เมื่อปรับจำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณระยะไกลเพิ่มขึ้นโดยให้ความยาวของอีลีเมนท์ในบริเวณระยะไกลสอดคล้องกับความยาวของอีลีเมนท์ในบริเวณวัสดุหุ้ม ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าผลการคำนวณดีขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เป็นการชี้ให้เห็นชัดว่าผลของการนำเทคนิคการแปลงบริเวณมาประยุกต์ใช้กับวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์นั้นจำนวนอีลีเมนท์ที่นำมาประยุกต์ใช้ที่ความถี่บรรทัดฐานเท่ากับ 4.0 ต้องสอดคล้องกับค่า r_∞ทั้งนี้เมื่อให้จำนวนอีลีเมนท์ในบริเวณระยะไกลมากขึ้นและระยะ r_∞ มากขึ้นจะสามารถครอบคลุมสนามไฟฟ้ามากขึ้นจึงทำให้ผลการคำนวณดีขึ้นแต่ว่าในความถี่ที่ไกลจากจุดคัตออฟนี้ผลของการปรับจำนวนอีลีเมนท์ที่มาแปลงบริเวณมีผลน้อยมากซึ่งสอดคล้องกับในทางทฤษฎีที่กล่าวถึงการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าที่ความถี่นี้

2.6. เมื่อเปรียบเทียบความผิดพลาดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเทคนิคการแปลงบริเวณทั้งสองแบบที่นำมาประยุกต์ใช้ อัตราการลดลงของความผิดพลาดเมื่อใช้เทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = \ln(r)$ จะดีกว่าเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = e^{(-\alpha r)}$ แต่เมื่อคำนึงถึงความแม่นยำของคำตอบแล้วเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = e^{(-\alpha r)}$ จะเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์ที่บริเวณความถี่ที่ไกลจากจุดคัตออฟมากกว่า

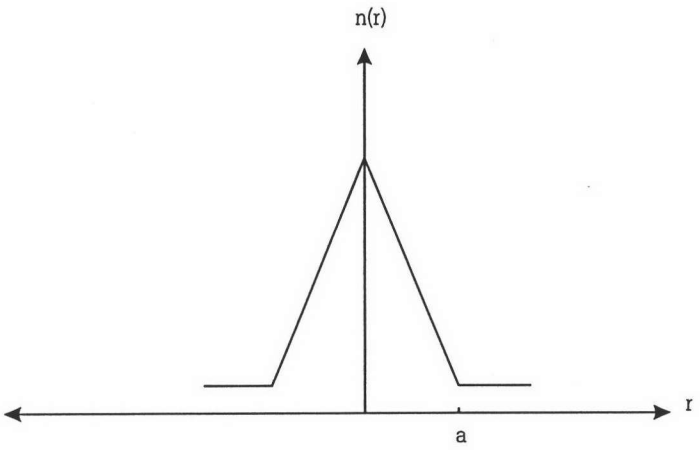
การคำนวณค่าคงตัวการแพร่กระจายบรรทัดฐานที่มีรูปแบบการกระจายตัวของค่าดัชนีหักเหของแสงเป็นแบบ triangular profile

ตัวอย่างการคำนวณเพิ่มเติมเพื่อแสดงว่าประสิทธิภาพของวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์ที่มีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณที่โดเมนระยะไกลด้วยฟังก์ชัน $s = \ln(r)$ มีความแม่นตรง โดยการทดสอบหาค่าคงตัวการแพร่กระจายบรรทัดฐานทดสอบที่ความถี่บรรทัดฐานใดๆที่มีรูปแบบของค่าดัชนีหักเหของแสงเป็นดังรูปที่ 5.1 ดัชนีหักเหเป็นแบบดัชนีหักเหรูปสามเหลี่ยม (triangular-profile) ซึ่งมีรูปแบบสมการเป็นดังนี้

$$n(r) = \begin{cases} n_1\left[1 - 2\rho a\left(r/r_0\right)^{\alpha}\right]^{1/2} & 0 \le r \le r_0 \\ n_2 = n_1(1-2a)^{1/2} & r \ge r_0 \end{cases} \qquad (5.01)$$

$$a = \frac{\left(n_1^2 - n_2^2\right)}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \qquad (5.02)$$

โดยที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงเป็น $n_1 = 1.515$ และ $n_2 = 1.5$ ที่ $\alpha = 1$ และ $\rho = 1.0$

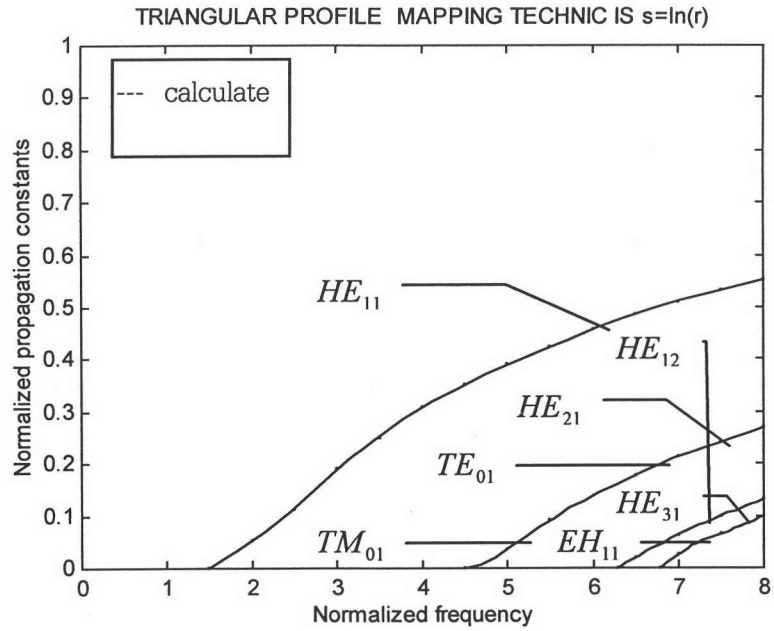


Triangular Profile Optical Fiber

รูปที่ 5.1 ตัวอย่างการกระจายตัวของค่าดัชนีหักเหของแสงภายในแกนที่ใช้คำนวณ (Triangular-profile) โดยที่ $\alpha = 1$ และ $\rho = 1.0$

ตารางที่ 5.3 การคำนวณประสิทธิภาพของวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์ที่มีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณด้วยฟังก์ชัน $s = \ln(r)$ ที่โดเมนระยะไกล รูปแบบการกระจายตัวของค่าดัชนีหักเหเป็นแบบดัชนีรูปสามเหลี่ยม (triangular-profile) ที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงเป็น $n_1 = 1.515$ และ $n_2 = 1.5$ ที่ $\alpha = 1$ และ $\rho = 1.0$ ทดสอบที่ 100 อีลีเมนท์ (ที่มาของแหล่งข้อมูลอ้างอิง : Masanori Koshiba 1990)

รูปแบบวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์	แปลงบริเวณด้วย $s = \ln(r)$	ฟังก์ชันทดสอบเป็นอันดับสอง
โมด HE_{11} v = 1.5	0.0519	0.052090
โมด HE_{11} v = 5.0	0.4043	0.406863



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการคำนวณค่าคงที่การแพร่กระจายบรรทัดฐานทดสอบที่ความถี่ใดๆ รูปแบบดัชนีหักเหของแสงเป็นแบบ triangular profile ที่มีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณ $s = \ln(r)$ มาใช้

สรุปผลการคำนวณ

จากการผลการคำนวณในบทที่ 3 - 4 แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = \ln(r)$ ที่โดเมนระยะไกล เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อทดสอบเทียบกับเทคนิคการแปลงบริเวณด้วยฟังก์ชัน

$s = e^{(-\alpha r)}$ ที่ความถี่บรรทัดฐานเท่ากับ 1.5 แต่เมื่อทดสอบที่ความถี่บรรทัดฐานเท่ากับ 4.0 คำตอบแม่นตรงจะชี้ให้เห็นว่าเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = e^{(-\alpha r)}$ จะมีประสิทธิภาพของคำตอบที่ดีกว่า และเมื่อทดสอบเทียบกับวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์ที่มิได้ใช้เทคนิคการแปลงบริเวณมาประยุกต์ใช้จะเห็นได้ว่าคำตอบที่ได้จากวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์ที่มีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณที่โดเมนระยะไกลด้วยฟังก์ชัน $s = \ln(r)$ และเทคนิคการแปลงบริเวณแบบ $s = e^{(-\alpha r)}$ เมื่อใช้จำนวนอีลีเมนท์ในการแปลงบริเวณเพียงเล็กน้อยจะทำให้คำตอบที่ได้แม่นตรงมากขึ้น ดังนั้นวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์ที่มีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณที่โดเมนระยะไกลด้วยฟังก์ชัน $s = \ln(r)$ และ $s = e^{(-\alpha r)}$ จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับปัญหาเส้นใยแสงมากและสามารถลดจำนวนอีลีเมนท์ที่ใช้ในการคำนวนได้ ทำให้ลดการสิ้นเปลืองทรัพยากรในการคำนวนได้มาก

ในการนำไปประยุกต์ใช้งานนั้นเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาของการกระจายตามความถี่ของแต่ละโมด (mode dispersion) จึงนิยมใช้ที่บริเวณใกล้ความถี่คัตออฟมากกว่าดังนั้นเทคนิคการแปลงบริเวณที่เหมาะสมกับปัญหาเส้นใยแสงมากที่สุดคือเทคนิคการแปลงบริเวณด้วยฟังก์ชัน $s = \ln(r)$

บทสรุป

การนำเทคนิคการแปลงบริเวณแบบด้วยฟังก์ชัน $s = \ln(r)$, $s = e^{(-\alpha r)}$ ไปประยุกต์ใช้กับวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์เพื่อหาคำตอบของพารามิเตอร์ของเส้นใยแสงนั้น คำตอบที่ได้จากการทดลองสามารถชี้ให้เห็นได้ว่าวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์ที่มีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณไปประยุกต์ใช้นั้นสามารถให้คำตอบได้แม่นตรงมากขึ้นทุกเทคนิค แต่ว่าวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์ที่มีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณที่โดเมนระยะไกลด้วยฟังก์ชัน $s = \ln(r)$ นั้นสามารถให้คำตอบได้แม่นตรงที่สุดเมื่อทดสอบที่ความถี่บรรทัดฐานเท่ากับ 1.5 ซึ่งเป็นความถี่บรรทัดฐานที่นิยมใช้งานกันเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการแปลงบริเวณแบบอื่นที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ดังนั้นวิธีไฟไนต์อีลีเมนท์ที่มีการนำเทคนิคการแปลงบริเวณที่โดเมนระยะไกลด้วยฟังก์ชัน $s = \ln(r)$ จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับปัญหาเส้นใยแสงที่สุด