บทที่ 4

ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์

ในบทนี้แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าคงที่ของการส่งผ่านสำหรับท่อนำคลื่นที่มีขอบเขตเป็นแบบตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์แบบ โดยใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์ตามสมการ (3-2a) ,(3-2b) และ (3-3c) สำหรับอีลีเมนต์ที่ได้อธิบายในหัวข้อ 3.2 , 3.3 และ 3.4 ในบทที่ 3 จำนวน 3 ตัวอย่าง คือ

1.ท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมกลวง

2.ท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่มีไดอิเล็กตริกเติมอยู่บางส่วน

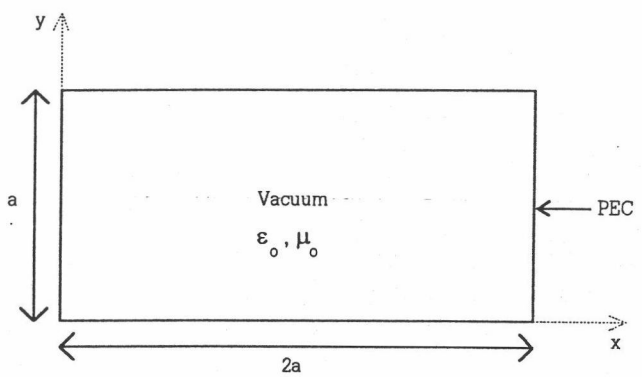
3.ท่อนำคลื่นแบบวงกลมกลวง

การคำนวณในทุกตัวอย่าง ได้คำนวณบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์ คือ 386-MATLAB เวอร์ชัน 3.5j เป็นเครื่องมือในการคำนวณ

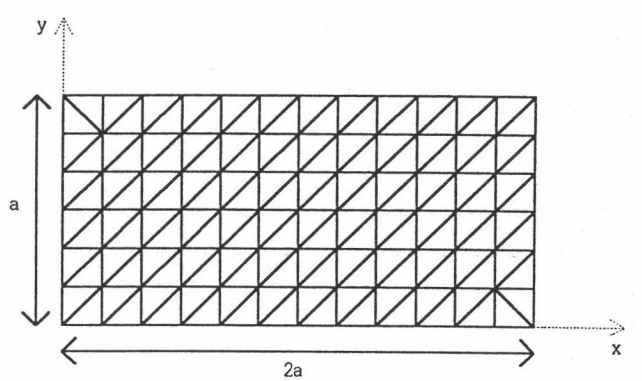
ตัวอย่างที่ 1

วิเคราะห์ท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมกลวง ที่มีผนังท่อเป็นตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์แบบ มีขนาดตามแนวนอนเท่ากับ 2a และขนาดตามแนวตั้งเท่ากับ a ตามที่แสดงในรูปที่ 4-1a ทำการคำนวณค่าคงที่ของการส่ง ผ่านในช่วงความถี่ที่ซึ่ง $2k_0a/\pi = 0$ ถึง 6 เมื่อ k_0 เป็นค่าคงที่ของการส่งผ่านในอากาศ คือ

$$k_0 = \omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$$



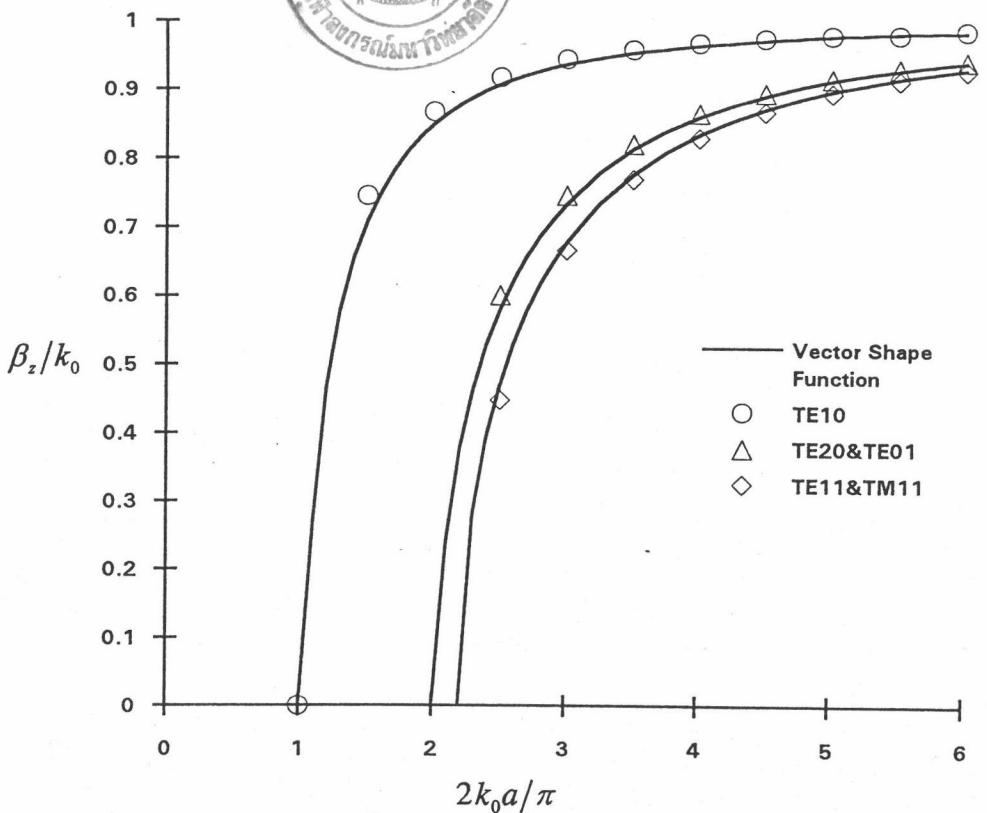
(a)



(b)

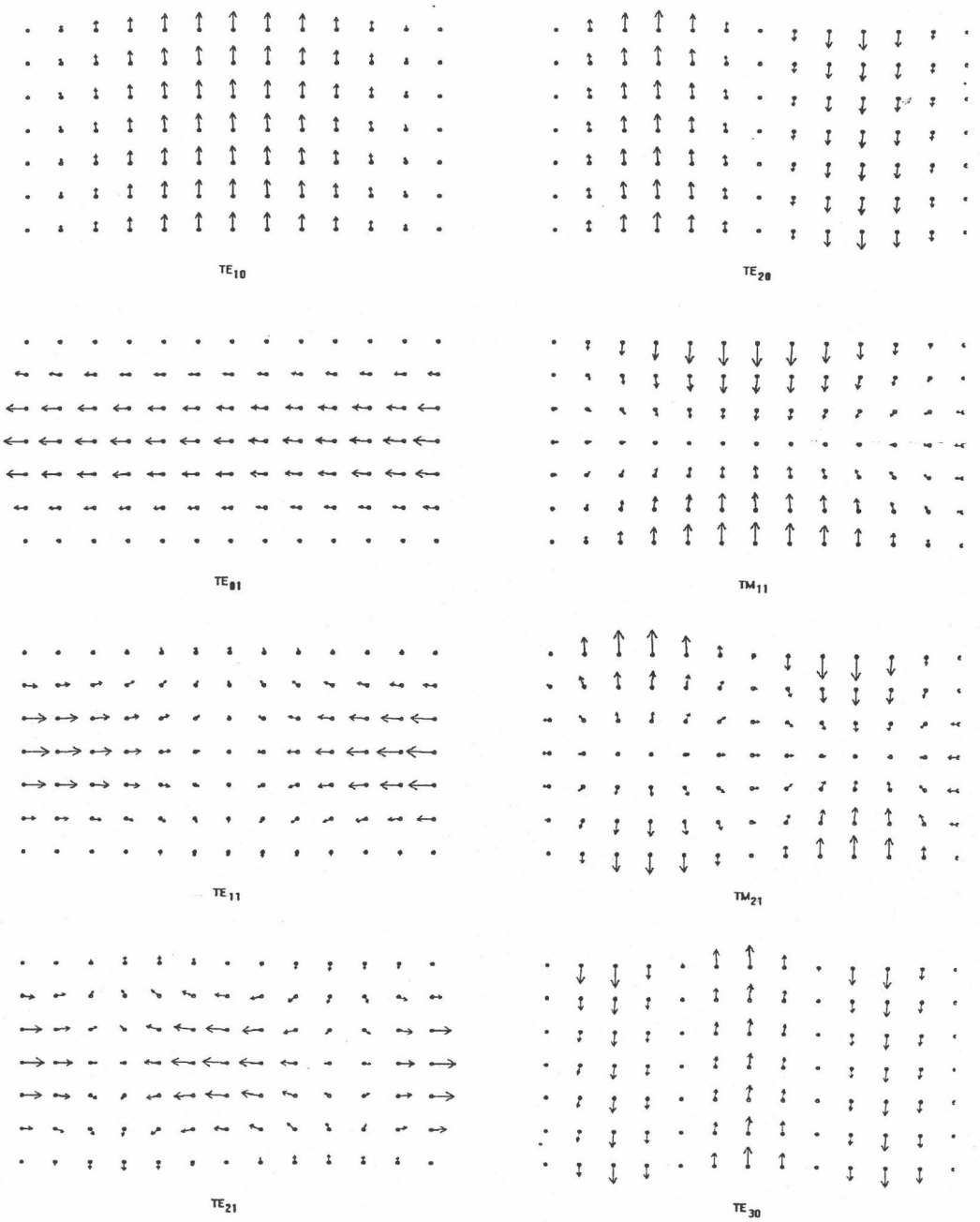
รูปที่4-1 a)แสดงโครงสร้างของท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมกลวง และ b)แสดงการแบ่งอีลีเมนต์

การแบ่งอีลีเมนต์ แบ่งเป็นรูปสามเหลี่ยมย่อยขนาดสม่ำเสมอจำนวน 144 อีลีเมนต์ มีจำนวนโหนด 91 โหนด ตามที่แสดงในรูปที่ 4-1b โดยการใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์ ตามสมการ (3-2a) , (3-2b) , และ (3-2c) ที่ได้เสนอในบทที่ 3 มีตัวแปรไม่ทราบค่าทั้งหมด 246 ตัวแปร



กราฟ4-1 แสดงค่า β_z/k_0 ในแกนตั้งกับค่าความถี่ที่ถูกนอร์มอลไลซ์ $2k_0a/\pi$ ที่ได้จากการใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์ (เส้นโค้ง) และเปรียบเทียบกับคำตอบจากวิธีเชิงวิเคราะห์ (จุดวงกลม, จุดสามเหลี่ยม, จุดสี่เหลี่ยม)

จากกราฟ 4-1 เป็นผลการคำนวณจากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์โดยใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์ในสมการ (3-2a) , (3-2b) , และ (3-2c) ที่ได้เสนอในบทที่ 3 ผลการคำนวณที่ได้พบว่าได้ผลลัพธ์ถูกต้องตรงกับคำตอบจาวิธีเชิงวิเคราะห์ และรูปที่ 4-2 แสดงแพตเทิร์นของสนามไฟฟ้าแต่ละโหมด พบว่ามีความถูกต้อง โดยไม่พบปัญหาเกี่ยวกับทิศทางของแพตเทิร์นอย่างที่พบในการกระจายส่วนประกอบในแนวแกน x และ y ดังนั้นฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์ที่เสนอในงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมกลวงแทนการใช้การกระจายส่วนประกอบใน แนวแกน x และ y ซึ่งพบปัญหาเกี่ยวกับรูปแพตเทิร์นดังกล่าวได้

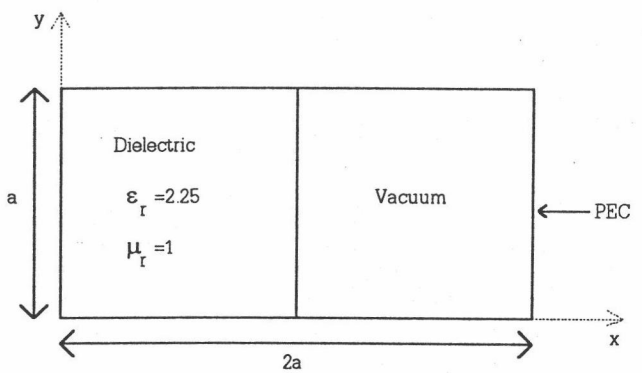


รูปที่4-2 แสดงแพตเทิร์นของสนามไฟฟ้าในแนวขวาง

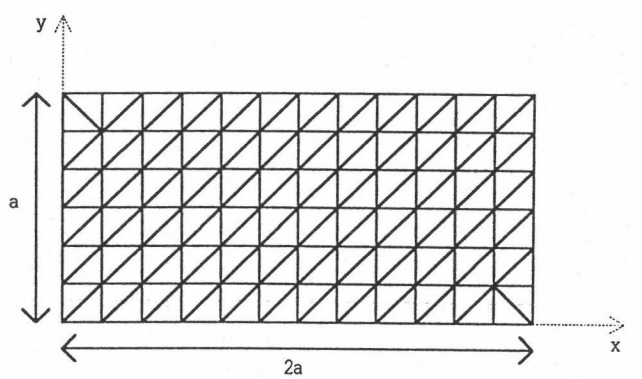
ตัวอย่างที่ 2

วิเคราะห์ท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่มีไดอิเลกตริกเติมอยู่บางส่วน ที่มีผนังท่อด้านนอกสุดเป็นตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์แบบ และมีโครงสร้างตามรูปที่ 4-3a ทำการคำนวณค่าคงที่ของการส่งผ่านในช่วงความถี่ที่ซึ่ง $k_0 a = 0$ ถึง 3 เมื่อ k_0 เป็นค่าคงที่ของการส่งผ่านในอากาศ คือ

$$k_0 = \omega\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}$$



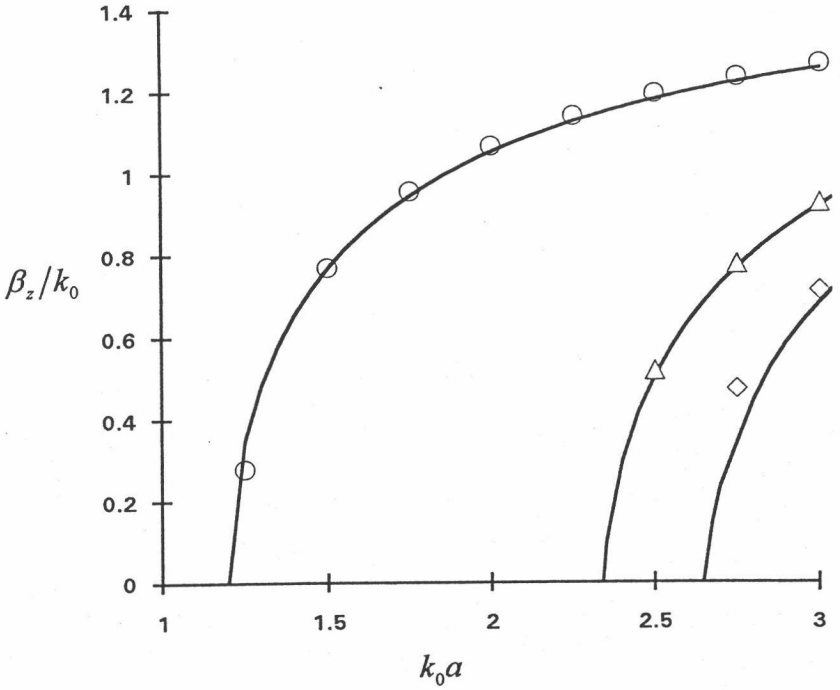
(a)



(b)

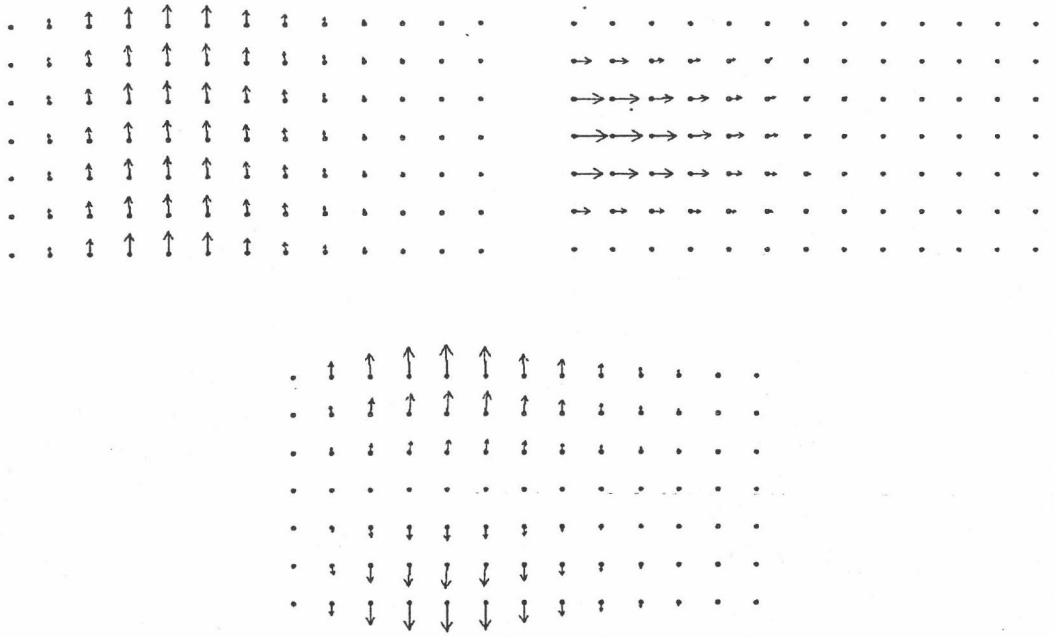
รูปที่4-3 a)แสดงโครงสร้างของท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีชั้นของไดอิเล็กตริกเติมอยู่บางส่วน และ b)แสดงการแบ่งอีลีเมนต์

การแบ่งอีลีเมนต์ในตัวอย่างนี้จะทำเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 1 โดยจะแบ่งเป็นรูปสามเหลี่ยมย่อยขนาดสม่ำเสมอจำนวน 144 อีลีเมนต์ มีจำนวนโหนด 91 โหนด ตามที่แสดงในรูปที่ 4-2b และจะกำหนดให้แต่ละอีลีเมนต์ใช้ค่าคงตัวทางไฟฟ้า ε_r ต่างกันไปตามตำแหน่งที่อีลีเมนต์นั้น ๆ อยู่ เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์ตามสมการ (3-2a) , (3-2b) , และ (3-2c) ที่ได้เสนอในบทที่ 3 จะมีตัวแปรไม่ทราบค่าทั้งหมด 246 ตัวแปร



กราฟ4-2 แสดงผลการคำนวณค่า β_z / k_0 จากการใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์(เส้นโค้ง) และเปรียบเทียบกับคำตอบจากวิธีเชิงวิเคราะห์(จุดวงกลม, จุดสามเหลี่ยม, จุดสี่เหลี่ยม)

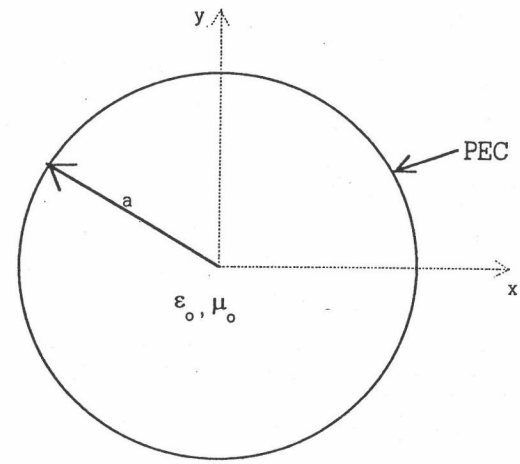
จากกราฟ 4-2 แสดงผลการคำนวณโดยการใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์ ตามสมการ (3-2a) , (3-2b) , และ (3-2c) ที่ได้เสนอในบทที่ 3 ผลการคำนวณพบว่ามีคำตอบถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบจากวิธีเชิงวิเคราะห์ และรูปที่ 4-4 แสดงแพตเทิร์นของสนามไฟฟ้าที่ได้



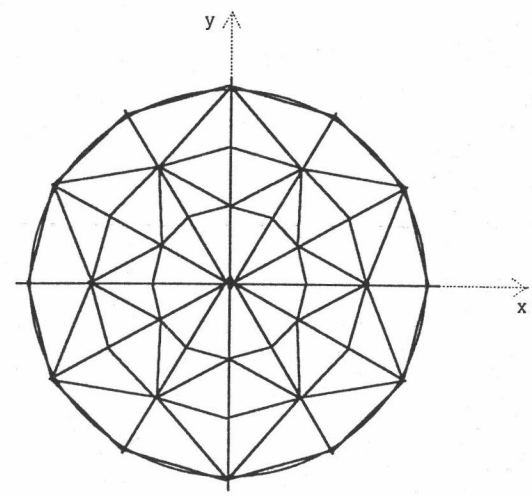
รูปที่ 4-4 แสดงแพตเทิร์นของสนามไฟฟ้าในแนวขวางของ
ท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่มีไดอิเล็กตริกเติมอยู่บางส่วน

ตัวอย่างที่ 3

วิเคราะห์ท่อนำคลื่นแบบวงกลมกลวง รัศมีของท่อเท่ากับ a และมีผนังท่อเป็นตัวนำไฟฟ้าสมบูรณแบบ ตามที่แสดงในรูปที่ 4-5a) ทำการคำนวณค่าคงที่ของการส่งผ่านในช่วงความถี่ที่ทำให้ $k_0 a = 0$ ถึง 4



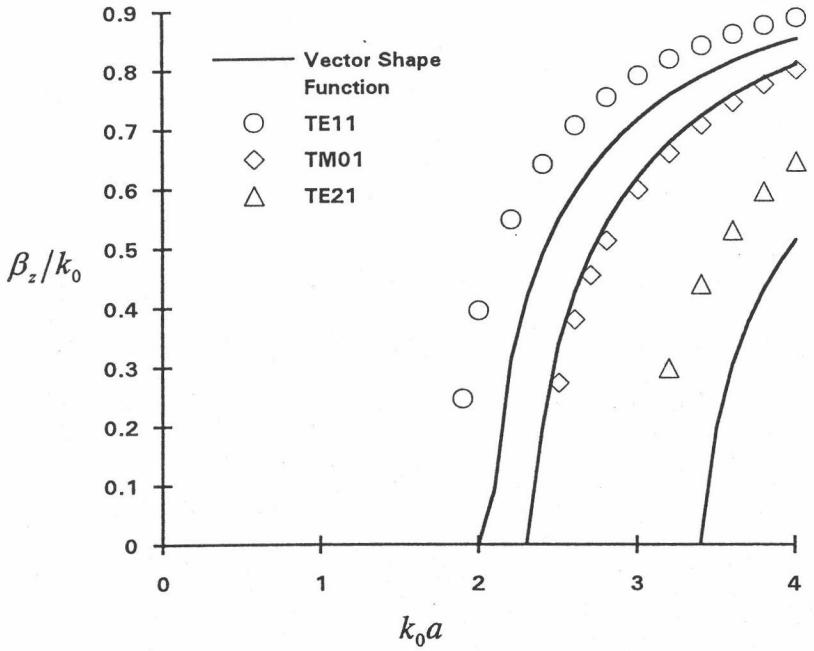
(a)



(b)

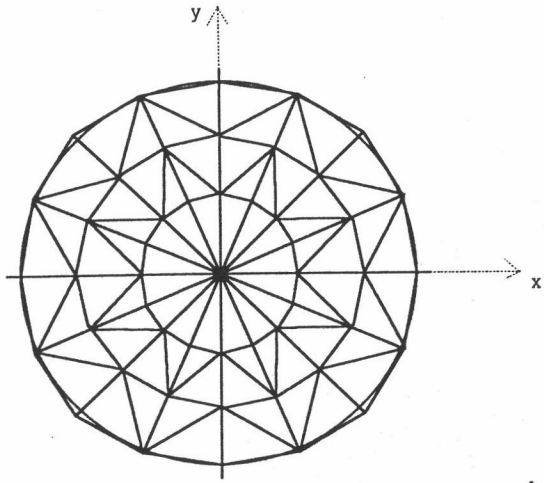
รูปที่4-5 a)แสดงโครงสร้างของท่อนำคลื่นแบบวงกลมกลวง และ b)แสดงการแบ่งอีลีเมนต์

จากการแบ่งอีลีเมนต์เป็นรูป 12 เหลี่ยม ตามรูปที่ 4-5b มีจำนวนอีลีเมนต์ทั้งหมดเท่ากับ 60 อีลีเมนต์ และมีจำนวนโหนด 37 โหนด เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์ตามสมการ (3-2a) , (3-2b) และ (3-2c) ที่เสนอในบทที่ 3 จะมีตัวแปรไม่ทราบค่ารวม 146 ตัวแปร

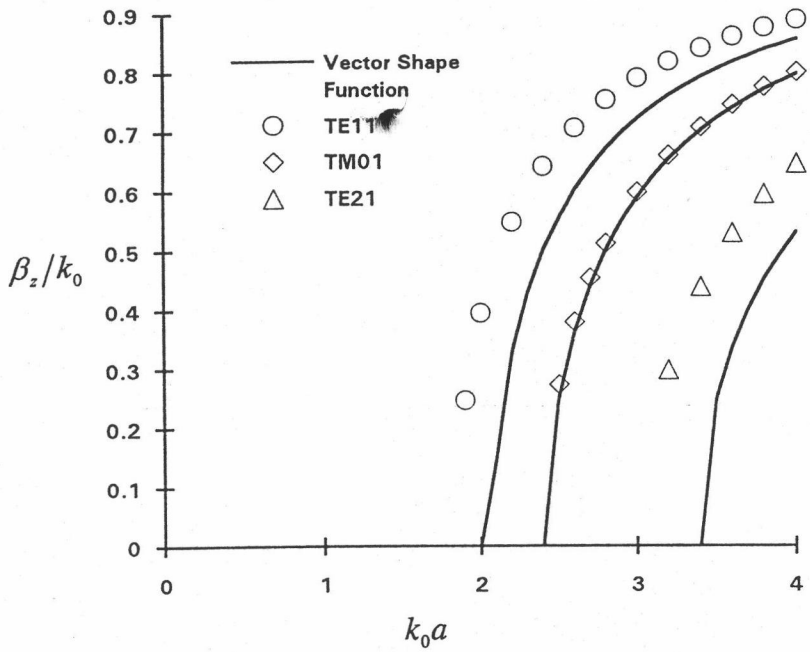


กราฟ4-3 แสดงผลการคำนวณ β/k_0 จากการใชฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์ (เส้นโค้ง) และเปรียบเทียบกับคำตอบจากวิธีเชิงวิเคราะห์(จุดวงกลม,จุดสี่เหลี่ยม,จุดสามเหลี่ยม)

กราฟ 4-3 แสดงผลการคำนวณจากการใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์ที่ได้เสนอในบทที่ 3 และเปรียบเทียบกับคำตอบจากวิธีเชิงวิเคราะห์ พบว่าค่าคงที่ของการส่งผ่านที่คำนวณได้ จะมีค่าไม่ถูกต้อง โดยในโหมดแรกและโหมดที่สามคือ TE_{11} และ TE_{21} จะมีค่าผิดพลาด และเมื่อได้ทำการแบ่งอีลีเมนต์ให้มากขึ้นเป็นรูป 16 เหลี่ยม ตามที่แสดงในรูปที่ 4-6 ซึ่งมีผลการคำนวณตามกราฟ 4-4 พบว่าค่าผิดพลาดนี้ยังไม่สามารถแก้ไขให้หายไปได้ แสดงว่าฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์ที่เสนอในงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถใช้ได้กับท่อนำคลื่นที่มีขอบเป็นเส้นโค้ง



รูปที่4-6 แสดงการแบ่งอีลีเมนต์เป็นรูป 16 เหลี่ยม



กราฟ4-4 แสดงผลการคำนวณ β/k_0 จากการใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบเวกเตอร์ (เส้นโค้ง) จากการแบ่งอีลีเมนต์ตามรูปที่ 4-6 และเปรียบเทียบกับคำตอบจากวิธีเชิงวิเคราะห์ (จุดวงกลม,จุดสี่เหลี่ยม,จุดสามเหลี่ยม)