

การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ความเค้นโดยใช้วิธีไร้โครงตาข่าย

Development of Program for Stress Analysis by Mesh Free Method

นายบพิตร ฉุยฉาย¹ รศ.ดร.ศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์²¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทร 0-2525-3048 โทรสาร 0-2526-5247 อีเมลล์ bpt009@hotmail.com² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทร 0-2913-2500 ต่อ 8531 โทรสาร 0-2913-2618 อีเมลล์ shw@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

วิธีไร้โครงตาข่ายเป็นวิธีเชิงตัวเลขสำหรับหาผลเฉลยของสมการเชิงอนุพันธ์ วิธีนี้ไม่ต้องการสภาพเชื่อมโยงที่นิยามไว้ล่วงหน้าของโครงตาข่ายเพื่อสร้างเอลิเมนต์ หากแต่จะใช้การก่อกำเนิดจุดซ้ำแทนการก่อกำเนิดโครงตาข่ายในวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แล้วสร้างฟังก์ชันรูปร่างจากจุดซ้ำที่กระจายอยู่อย่างตามใจชอบในโดเมนเพื่อให้มีสภาพเชื่อมโยงของจุดซ้ำ ความเที่ยงตรงของผลเฉลยขึ้นอยู่กับจำนวนของจุดซ้ำ กล่าวคือยังมีจำนวนจุดซ้ำมากขึ้นความเที่ยงตรงของผลเฉลยก็ยังมีมากขึ้น งานวิจัยนี้ได้นำปัญหาทางกลศาสตร์ของแข็งสองมิติบางปัญหา มาตรวจสอบสำหรับความเที่ยงตรง โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณจำกัดจุดซ้ำไว้ไม่เกิน 100 จุดซ้ำ จากผลลัพธ์ที่ได้สำหรับแผ่นแบนภายใต้แรงกระทำของแรงแบบต่างๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ทางทฤษฎีมีความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของจุดซ้ำโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.82%

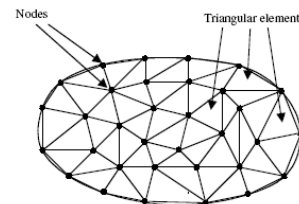
Abstract

Mesh free methods are numerical methods for solving differential equations. The methods do not require any mesh predefined connectivity to form the elements. However, mesh free methods need node generation instead of mesh generation in finite element methods. The shape functions are then constructed using only node scattered arbitrarily in domain to provide connectivity of nodes. In this research work, some two dimensional problems in solid mechanics are used to examine for accuracy. The written computer program used for this calculation limits the maximum number of node to 100 nodes. As the numerical result for thin plate subjected to various types of loading comparing with theoretical results, the average error of L_2 norm was found to be 1.82%

1. คำนำ

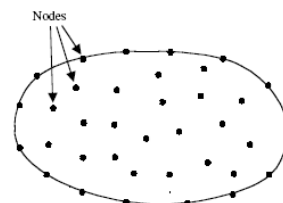
รวมบทความวิชาการ เล่มที่ 4 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22

ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมของแข็งมักจึนิยมแก้ปัญหาโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นวิธีคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้ผลดีวิธีหนึ่ง ประกอบกับในปัจจุบันคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพสูงจึงทำให้ทำการคำนวณได้รวดเร็วขึ้น แต่ปัญหาที่พบในการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ก็คือ ต้องมีการจัดเตรียมข้อมูลในลักษณะที่เป็นเอลิเมนต์ก่อน ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการเตรียมเอลิเมนต์นี้มีราคาสูงจึงทำให้ราคาในการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แพงตามไปด้วย



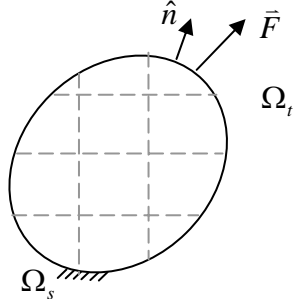
รูปที่ 1 การจัดเตรียมเอลิเมนต์ก่อนการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการทดสอบการคำนวณปัญหาของแข็งแบบสองมิติด้วยวิธีไร้โครงตาข่าย (Mesh Free Method) เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ว่าวิธีไร้โครงตาข่ายจะมีความน่าเชื่อถือได้เพียงพอหรือไม่ และวิธีไร้โครงตาข่ายที่ได้เลือกมาใช้นี้เรียกว่าวิธี เอลิเมนต์ธรรมชาติซึ่งเป็นวิธีการคำนวณที่ไม่ต้องอาศัยการหาเมทริกซ์ผกผันในขั้นตอนหาฟังก์ชันรูปร่าง (Shape Function) ขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลก็เพียงแต่กำหนดจุดซ้ำลงไปในระบบเท่านั้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การใช้วิธีไร้โครงตาข่ายมาเป็นวิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณ 2. ทฤษฎี

การคำนวณด้วยวิธีไร้โครงตาข่ายจะใช้หลักการแบบเดียวกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ต่างกันตรงที่วิธีนี้จะไม่ใช้โครงตาข่ายเพื่อการคำนวณ แต่จะยึดถือการคำนวณที่จุดขั้วแทน พิจารณา รูปที่ 3 ถ้าปัญหาแผ่นแบนที่มีขอบเขต Ω มีเงื่อนไขที่ขอบเขต Ω_s และมีแรงภายนอกกระทำที่ Ω_f



รูปที่ 3 ปัญหาแผ่นแบนที่พิจารณา

การคำนวณจะเริ่มจากการเตรียมข้อมูลดังนี้

1. กำหนดจุดขั้วลงในขอบเขต Ω ทั้งภายในและที่ขอบ
2. สร้างโครงตาข่ายเบื้องหลัง (Background Mesh) ในภาพแสดงด้วยเส้นประ ซึ่งโครงตาข่ายเบื้องหลังจะอยู่บนจุดขั้วหรือไม่อยู่บนจุดขั้วก็ได้
3. สร้างฟังก์ชันรูปร่างที่จุดขั้วในขอบเขตที่กำหนด (Support Domain)
4. แทนฟังก์ชันรูปร่างลงในสมการเพื่อหาเมทริกซ์ความแข็งดึงและแรง
5. ทำการอินทิเกรตเมทริกซ์ความแข็งดึงภายใต้โครงตาข่ายเบื้องหลัง และอินทิเกรตเมทริกซ์แรงในขอบเขต Ω_f
6. แก้สมการเมทริกซ์ $[A]\{x\} = \{b\}$ เพื่อหาระยะกระจัดของจุดขั้ว
7. จากระยะขจัดของจุดขั้ว ทำการคำนวณความเครียดและความเค้นที่จุดเกาส์ต่าง ๆ

จากวิธีการคำนวณจะเห็นว่า มีขั้นตอนการคำนวณที่เหมือนกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะต่างกันตรงที่ฟังก์ชันรูปร่างและการอินทิเกรตเท่านั้นที่มีวิธีการที่แตกต่างกัน

2.1 การหาฟังก์ชันรูปร่าง (Shape Function)

สิ่งสำคัญอันดับแรกในการคำนวณด้วยวิธีไร้โครงตาข่ายคือ การหาฟังก์ชันรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่าการเคลื่อนตัวของจุดขั้ว ณ ตำแหน่งใด ๆ ใน Ω ซึ่งฟังก์ชันรูปร่างจะต้องมีคุณสมบัติอย่างน้อย 5 ข้อดังนี้

1. ฟังก์ชันรูปร่างเป็นเชิงเส้นที่ไม่ขึ้นกับขอบเขตที่พิจารณาจากจุดขั้วในขอบเขตที่กำหนด (Support Domain)
2. ฟังก์ชันรูปร่างเป็นโคเนคเตอร์ฟังก์ชัน

$$\phi_i(x_j) = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad (1)$$

3. ฟังก์ชันรูปร่างเป็นพาร์ทิชันอูนิตี้ (Partition of unity)

$$\sum_{i=1}^n \phi_i(x) = 1 \quad (2)$$

4. ฟังก์ชันรูปร่างมีคุณสมบัติย้อนกลับ (Possesses reproducing properties)

$$\sum_{i=1}^n \phi_i(x) x_i = x \quad (3)$$

5. ฟังก์ชันรูปร่างสามารถหาอนุพันธ์ได้

3. วิธีการวิจัย

3.1 การคำนวณหาเมทริกซ์ความแข็งดึง

การคำนวณเมทริกซ์ความแข็งดึงย่อยของแต่ละโครงตาข่ายเบื้องหลังในงานวิจัยนี้ใช้โครงตาข่ายเบื้องหลังเป็นรูปสามเหลี่ยม เพื่อที่จะได้ใช้เปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ พิจารณาสามเหลี่ยมแรกที่จะคำนวณประกอบด้วยจุดต่อ 1,2,3 กำหนดจุด x ใดๆ ในสามเหลี่ยมนี้โดยการกำหนดเป็นจุดเกาส์ (Gauss Point)

3.2 การหาจุดศูนย์กลางวงกลมล้อม (Circumcenter)

จากจุด x ที่กำหนดจะทำการหาสามเหลี่ยมเพื่อนบ้านก่อนโดยการเทียบกับระยะทางจากจุดศูนย์กลางวงกลมของสามเหลี่ยม และจุดศูนย์กลางวงกลมล้อมคือ $v = v(v_1, v_2)$ โดยให้จุดขั้ว 1 เป็น a จุดขั้ว 2 เป็น b และจุดขั้ว 3 เป็น c ได้

$$a(x, y) = a(a_1, a_2), \quad b(x, y) = b(b_1, b_2), \quad c(x, y) = c(c_1, c_2) \quad (4)$$

$$v_1 = \frac{(a_1^2 - c_1^2 + a_2^2 - c_2^2)(b_2 - c_2) - (b_1^2 - c_1^2 + b_2^2 - c_2^2)(a_2 - c_2)}{D} \quad (5)$$

$$v_2 = \frac{(b_1^2 - c_1^2 + b_2^2 - c_2^2)(a_2 - c_2) - (a_1^2 - c_1^2 + a_2^2 - c_2^2)(b_2 - c_2)}{D} \quad (6)$$

เมื่อ D คือสองเท่าของพื้นที่สามเหลี่ยม abc และมีค่าเป็น

$$D = 2[(a_1 - c_1)(b_2 - c_2) - (b_1 - c_1)(a_2 - c_2)] \quad (7)$$

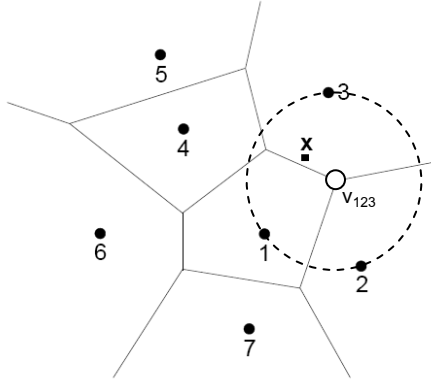
อนุพันธ์ของจุดศูนย์กลางของวงกลมไวโรนอยคือ

$$v_{1,1}(x) = \frac{(x_1 - v_1(x))D_{,1}(x)}{D(x)} \quad (8)$$

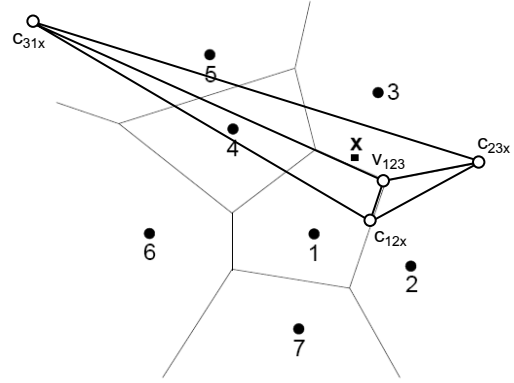
$$v_{1,2}(x) = \frac{(\alpha - x_2 D_{,1}(x) - v_1 D_{,2}(x))}{D(x)} \quad (9)$$

$$v_{2,1}(x) = \frac{(-\alpha + x_1 D_{,2}(x) - v_2 D_{,1}(x))}{D(x)} \quad (10)$$

$$v_{2,2}(x) = \frac{(x_2 - v_2(x))D_{,2}(x)}{D(x)} \quad (11)$$



รูปที่ 3 การหาจุดศูนย์กลางวงกลมล้อมของสามเหลี่ยมย่อย



รูปที่ 5 การสร้างสามเหลี่ยมขึ้นมาใหม่ 3 รูป จากจุดศูนย์กลาง c_{12x} , c_{23x} , c_{31x} และ v_{123}

3.3 การหาสามเหลี่ยมที่ใกล้เคียง

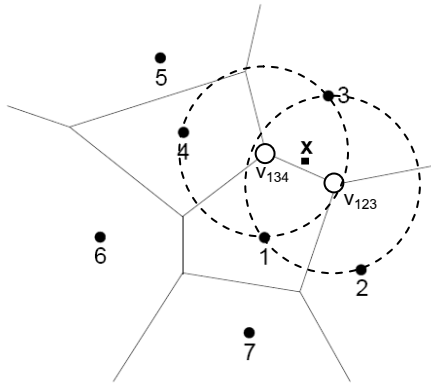
สามเหลี่ยมที่ใกล้เคียงของจุด x ใด ๆ หากจาก

$$|v - x|^2 < R^2 \quad (12)$$

โดยที่ R^2 เป็นรัศมีวงกลมล้อมรอบ (Circumradius)

$$R^2 = (a_1 - v_1)^2 + (a_2 - v_2)^2 \quad (13)$$

สามเหลี่ยมใดที่สอดคล้องตามสมการ (12) จะถือว่าเป็นสามเหลี่ยมเพื่อนบ้านและจุดข้างของสามเหลี่ยมนั้นจะถูกนำมาคำนวณฟังก์ชันรูปร่างร่วมกับจุด x



รูปที่ 4 สามเหลี่ยม 134 เป็นสามเหลี่ยมเพื่อนบ้านของจุด x เนื่องจากระยะห่างระหว่าง v_{134} กับ x น้อยกว่ารัศมีของวงกลม

3.4 การสร้างสามเหลี่ยมย่อยจากจุด x

จากจุด x ที่กำหนดซึ่งอยู่ในสามเหลี่ยม 123 จะสร้างสามเหลี่ยมขึ้นมา 3 รูปดังนี้ สามเหลี่ยม 23x ซึ่งมี c_{23x} เป็นจุดศูนย์กลางวงกลมล้อม, สามเหลี่ยม 31x ซึ่งมี c_{31x} เป็นจุดศูนย์กลางวงกลมล้อมและสามเหลี่ยม 12x ซึ่งมี c_{12x} เป็นจุดศูนย์กลางวงกลมล้อม

สำหรับสามเหลี่ยม 123 มีจุด v_{123} เป็นจุดศูนย์กลางวงกลมล้อม ดังนั้นสร้างสามเหลี่ยมขึ้นมาใหม่ 3 รูป จากจุดศูนย์กลาง c_{12x} , c_{23x} , c_{31x} และ v_{123} ได้

สามเหลี่ยม $c_{23x}c_{31x}v_{123}$ สำหรับฟังก์ชันรูปร่างของจุดต่อ 1

สามเหลี่ยม $c_{12x}c_{31x}v_{123}$ สำหรับฟังก์ชันรูปร่างของจุดต่อ 2

สามเหลี่ยม $c_{12x}c_{23x}v_{123}$ สำหรับฟังก์ชันรูปร่างของจุดต่อ 3

ดังนั้นพื้นที่ของสามเหลี่ยมทั้ง 3 รูปจะคำนวณได้จาก

$$\left. \begin{aligned} A_i(x) &= \psi(c_j(x), c_k(x), v) \\ A_{i,m}(x) &= \psi_m(c_j(x), c_k(x), v) \end{aligned} \right\} m=1,2 \quad (14)$$

และอนุพันธ์ของพื้นที่ของสามเหลี่ยมเป็น

$$A_i(x) = A = \frac{(a_1 - c_1)(b_2 - c_2) - (b_1 - c_1)(a_2 - c_2)}{2} \quad (15)$$

$$A_{i,m}(x) = A_m = \frac{(a_1(x) - c_1)b_{2,m}(x) + (b_2(x) - c_2)a_{1,m}(x) - (b_1(x) - c_1)a_{2,m}(x) - (a_2(x) - c_2)b_{1,m}(x)}{2} \quad (16)$$

พื้นที่ของสามเหลี่ยมย่อยใด ๆ คือ $A_i(x)$ และฟังก์ชันรูปร่างคือ

$$\phi_i(x) = \frac{A_i(x)}{A(x)} \quad (17)$$

และอนุพันธ์ของฟังก์ชันรูปร่างคือ

$$\phi_{i,m}(x) = \frac{A_{i,m}(x) - \phi_i(x)A_m(x)}{A(x)} \quad (18)$$

$$A(x) = \sum_{i=1}^n A_i(x) \quad (19)$$

$$A_m(x) = \sum_{i=1}^n A_{i,m}(x) \quad (20)$$

จากสมการของบับนอฟ-กาลเลอร์กิน

$$\int_{\Omega} \delta([L]\{u\})^T [c][L]\{u\} d\Omega - \int_{\Omega} \delta\{u\}^T \{b\} d\Omega - \int_{\Gamma} \delta\{u\}^T \{t\} d\Gamma = 0 \quad (21)$$

การประมาณค่าการเคลื่อนตัวที่ x ใด ๆ คือ

$$u^h(x) = \sum_{i=1}^n \phi_i(x) u_i \quad (22)$$

$$v^h(x) = \sum_{i=1}^n \phi_i(x) v_i \quad (23)$$

เมื่อแทนลงในสมการ (21) จะทำให้ได้เมทริกซ์ความแข็งตั้งและเมทริกซ์แรงเป็น

$$[K_{ij}] = \int_{\Omega} [B_i]^T [c][B_j] d\Omega \quad (24)$$

$$\{f_i\} = \int_{\Omega} [\phi_i]^T \{b\} d\Omega + \int_{\Gamma} [\phi_i]^T \{t\} d\Gamma \quad (25)$$

โดยที่

$$[B_i] = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} \quad (26)$$

4. ผลการวิจัย

ในการคำนวณจะทำการคำนวณโครงสร้างแผ่นแบนแบบต่าง ๆ โดยมีการคำนวณความผิดพลาดเปรียบเทียบกับทฤษฎี โดยค่าของความผิดพลาดแสดงเป็นความผิดพลาดของพลังงานเฉลี่ย (Energy Norm)

$$E_{norm} = \frac{\left[\frac{1}{2} \int_{\Omega} (\{\epsilon_i\} - \{\epsilon_a\})^T [c] (\{\epsilon_i\} - \{\epsilon_a\}) d\Omega \right]^{\frac{1}{2}}}{\left[\frac{1}{2} \int_{\Omega} \{\epsilon_i\}^T [c] \{\epsilon_i\} d\Omega \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (27)$$

โดยที่ $\{\epsilon_i\}$ เป็นความเครียดทางทฤษฎีและ $\{\epsilon_a\}$ เป็นความเครียดที่คำนวณได้

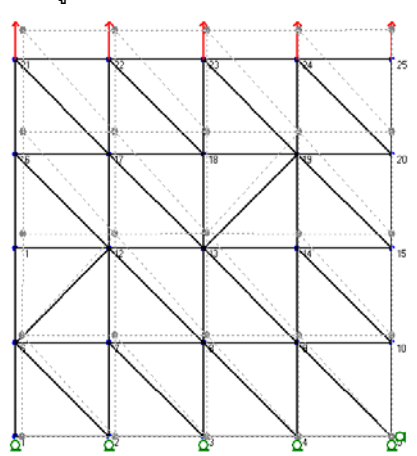
และความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของจุดขั้ว (L2 Norm)

$$L_{2norm} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n [(u_i - u_i)^2 + (v_i - v_i)^2]}{\sum (u_i^2 + v_i^2)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (28)$$

โดยที่ u_i และ v_i เป็นระยะกระจัดทางทฤษฎี ส่วน u_i และ v_i เป็นระยะกระจัดที่คำนวณได้จากคำนวณ

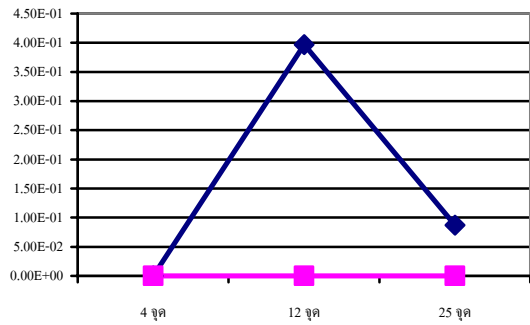
4.1 แผ่นแบน

จากการคำนวณ 3 ตัวอย่าง มีจำนวนจุดขั้ว 4, 12 และ 25 จุดขั้ว โดยทำการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีเอลิเมนต์ธรรมชาติได้ผลดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผ่นแบนที่มีจุดขั้ว 25 จุด

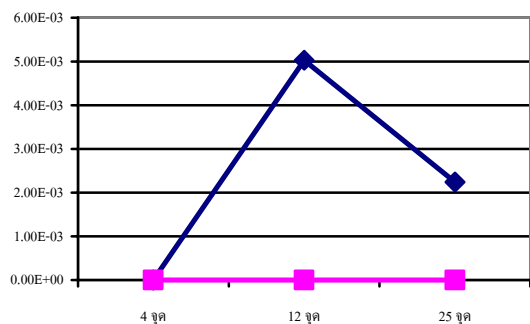
ค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของจุดขั้ว (%)



—●— วิธีเอลิเมนต์ธรรมชาติ —■— วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของจุดขั้วของแผ่นแบน

ค่าความผิดพลาดของพลังงานเฉลี่ย (%)

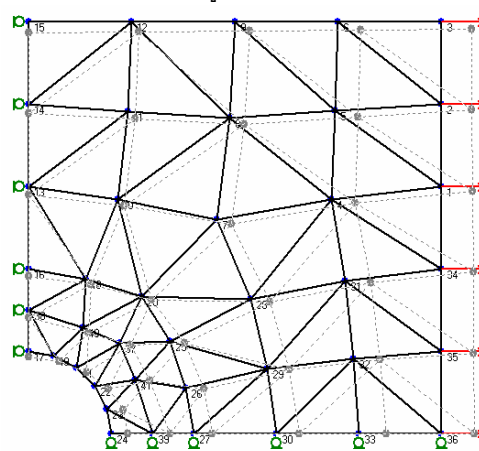


—●— วิธีเอลิเมนต์ธรรมชาติ —■— วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

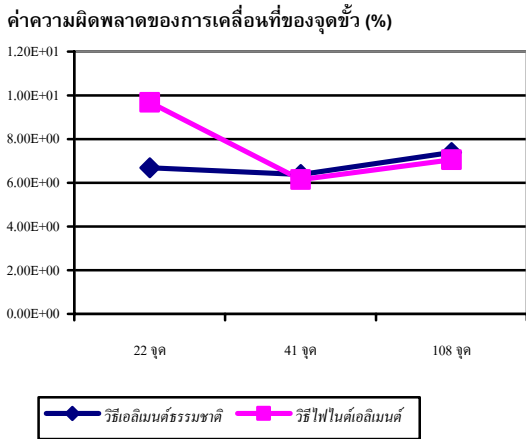
รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าความผิดพลาดของพลังงานเฉลี่ยของแผ่นแบน

4.2 แผ่นแบนเจาะรู

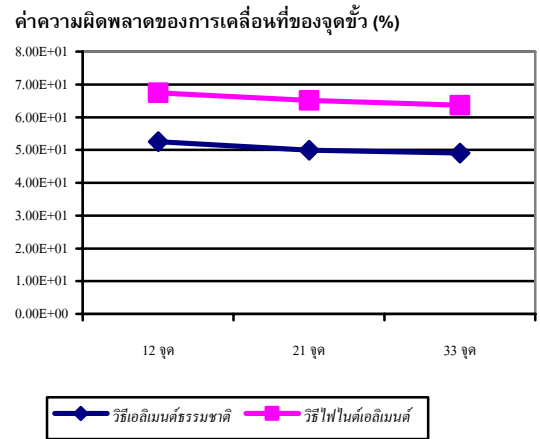
จากการคำนวณ 3 ตัวอย่าง มีจำนวนจุดขั้ว 22, 41 และ 108 จุดขั้ว โดยทำการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีเอลิเมนต์ธรรมชาติได้ผลดังรูปที่ 9



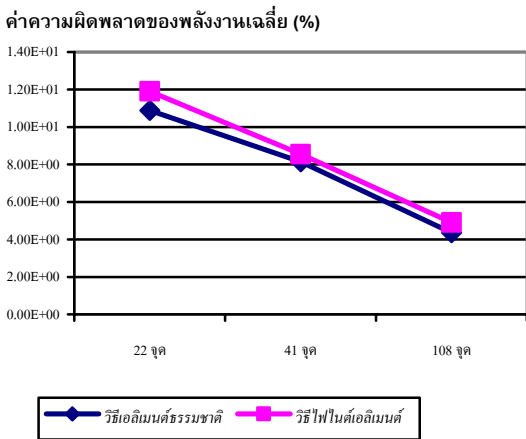
รูปที่ 9 แผ่นแบนเจาะรูที่มีจุดขั้ว 41 จุด



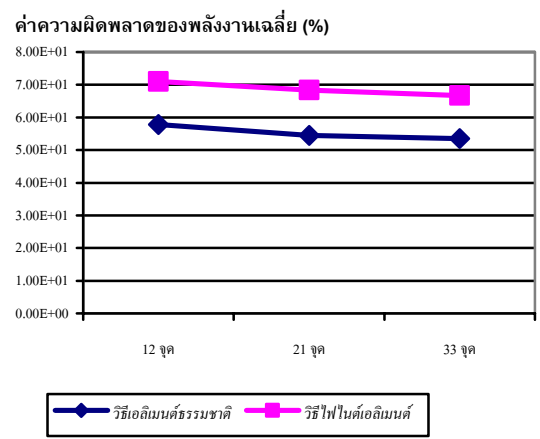
รูปที่ 10 กราฟแสดงค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของจุดขั้วของแผ่นแบนเจาะรู



รูปที่ 13 กราฟแสดงค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของจุดขั้วของคานภายใต้โมเมนต์ดัด



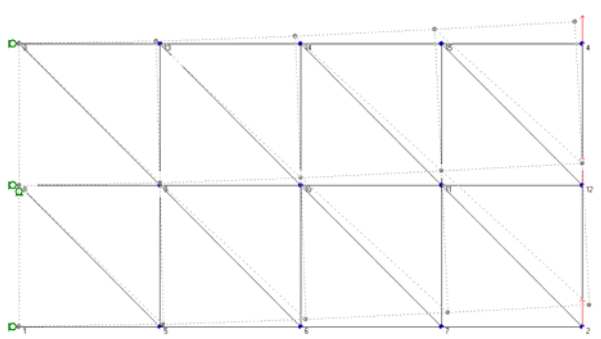
รูปที่ 11 กราฟแสดงค่าความผิดพลาดของพลังงานเฉลี่ยของแผ่นแบนเจาะรู



รูปที่ 14 กราฟแสดงค่าความผิดพลาดของพลังงานเฉลี่ยของคานภายใต้โมเมนต์ดัด

4.3 คานภายใต้โมเมนต์ดัด

จากการคำนวณ 3 ตัวอย่าง มีจำนวนจุดขั้ว 12, 21 และ 33 จุดขั้ว โดยทำการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีเอลิเมนต์ธรรมชาติได้ผลดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 คานภายใต้โมเมนต์ดัดที่มีจุดขั้ว 12 จุด

5. สรุป

จากผลการวิจัยพบว่าวิธีเอลิเมนต์ธรรมชาติจะให้ผลการคำนวณที่ผิดพลาดน้อยกว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับกรณีของแผ่นแบนจะพบว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ผลที่ดีกว่าแต่เมื่อเปรียบเทียบค่าแล้วถือว่าไม่ต่างกันมากนัก

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์ ที่ได้ให้ความรู้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยแล้วเสร็จไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. G.R. Liu. MESH FREE METHODS : Moving beyond the Finite Element Method. Florida : CRC Press LLC, 2003.
2. Natarajan Sukumar, The Natural Element Method in Solid Mechanics. Ph.D.Thesis, Evanston, Illinois, 1998.
3. S.N. Atluri, Z.D. Han and A.M. Rajendran. A New Implementation of the Meshless Finite Volume Method, Through the MLPG "Mixed" Approach. CMES, vol.6, no.6, pp.491-513, 2004
4. Timoshenko, S. P. and J. N. Goodier. Theory of Elasticity (Third ed.). New York : McGraw Hill, 1970.
5. Timoshenko, S. P. and S. Woinowsky-Krieger. Theory of Plates and Shells (Second ed.). New -York : Mc Graw Hill, 1959.
6. Terry E. Shoup. Applied Numerical Methods for the Microcomputer. New Jersey : Prentice-Hall, 1984.
7. Youping Chen, James D. Lee, and Azim Eskandarian. Meshless Methods in Solid Mechanics. Springer Science Business Media, Inc., 2006
8. ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ไฟไนต์เอลิเมนต์ ในงานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.