

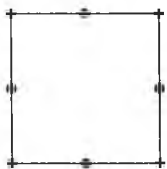
บทที่ 4

การทดสอบชิ้นส่วน

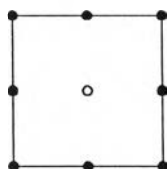
เนื่องจากชิ้นส่วนที่กล่าวถึงในบทที่ 3 มีวิธีการสร้างชิ้นส่วนที่ต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ มีความแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงต้องทดสอบชิ้นส่วนเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในแต่ละด้านของชิ้นส่วน โดยหัวข้อที่พิจารณามีดังต่อไปนี้

1. การดูเข้าของผลเฉลยของการกระจัด
2. การดูเข้าของผลเฉลยของโมเมนต์และแรงเฉือน
3. ผลเนื่องจากการลดความหนาของแผ่นพื้น
4. ผลเนื่องจากการเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยาวของชิ้นส่วน
5. ผลเนื่องจากชิ้นส่วนมีลักษณะบิดเบี้ยว
6. ความยืดหยุ่นของชิ้นส่วน
7. ประสิทธิภาพทางคอมพิวเตอร์
8. การทดสอบแบบห่ออม

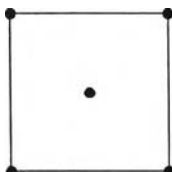
ชิ้นส่วนที่นำมาทดสอบมีดังต่อไปนี้



ชิ้นส่วน PLAT8-5 α PLAT8-6 α PLAT8-8 α และ IPBQQ(จาก GTSTRUDL)⁽³⁵⁾
หนึ่งชิ้นส่วนมี 8 จุดต่อ แต่ละจุดต่อมี 3 ระดับชั้นความเสรี ($\bullet = w \ \theta_x \ \theta_y$)
(α คือจำนวนพจน์ของฟังก์ชันความเค้นเฉือนแนวตั้ง ดังสมการที่ 3.1.20-3.1.22)

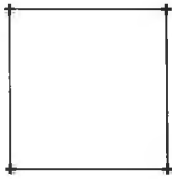


ชิ้นส่วน PLAT8H-5 α PLAT8H-6 α PLAT8H-8 α และ PLAT8HR-8 α (ใช้การเลือกกลการอินทิเกรต)
หนึ่งชิ้นส่วนมี 9 จุดต่อ แต่ละจุดต่อมี 3 ระดับชั้นความเสรี ($\bullet = w \ \theta_x$ และ θ_y)
จุดต่อที่กึ่งกลางชิ้นส่วนมี 2 ระดับชั้นความเสรี ($\circ = \theta_x$ และ θ_y)

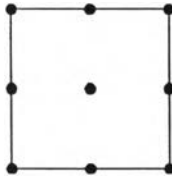


ชิ้นส่วน HMPL5 และ HMPL5m
หนึ่งชิ้นส่วนมี 5 จุดต่อ แต่ละจุดต่อมี 3 ระดับชั้นความเสรี ($\bullet = w \ \theta_x$ และ θ_y)

รูปที่ 4.1 ลักษณะของชิ้นส่วนที่นำมาทดสอบ



ชิ้นส่วน BUBBLE4 , BUBBLE4m (ฟังก์ชันพองสบู่) , MiSP4 , QRDH-OP⁽³⁴⁾ และ QHMID-OP(เป็นชิ้นส่วนพันธุ์ทาง)⁽³⁴⁾
 หนึ่งชิ้นส่วนมี 4 จุดต่อ แต่ละจุดต่อมี 3 ระดับขั้นความเร็ว ($\bullet = w \quad \theta_x$ และ θ_y)



ชิ้นส่วน BUBBLE9 (ฟังก์ชันพองสบู่)
 หนึ่งชิ้นส่วนมี 9 จุดต่อ แต่ละจุดต่อมี 3 ระดับขั้นความเร็ว ($\bullet = w \quad \theta_x$ และ θ_y)

รูปที่ 4.1 ลักษณะของชิ้นส่วนที่นำมาทดสอบ (ต่อ)

4.1 การรู้เข้าของผลเฉลยของการกระจัด

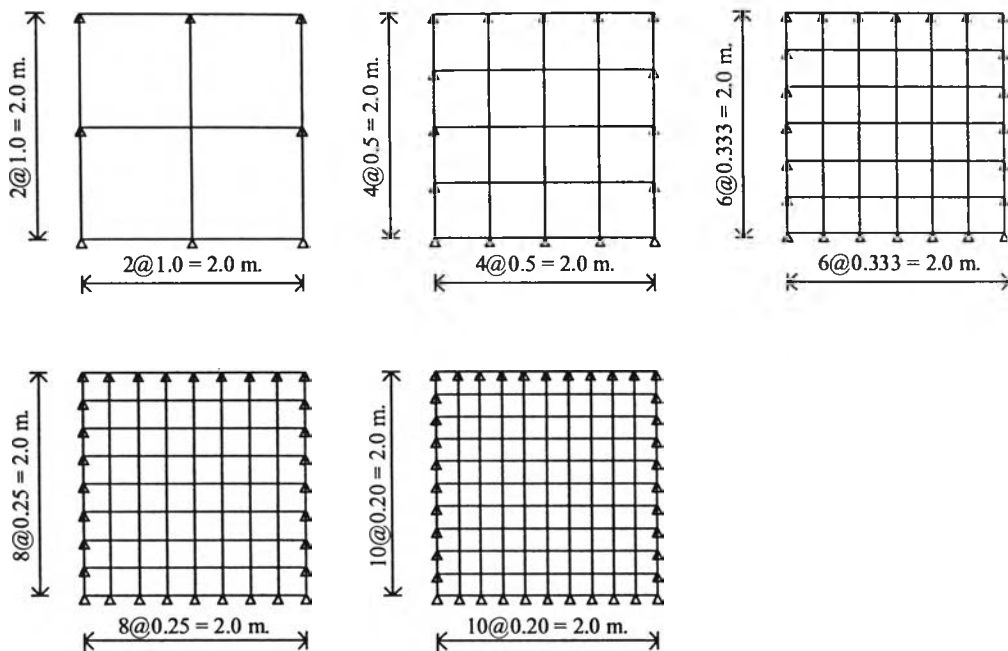
ในการวิเคราะห์แผ่นพื้นรับแรงด้วยวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ ผลเฉลยของการกระจัดจะรู้เข้าสู่ค่าแม่นยำตรงเมื่อในแผ่นพื้นมีการแบ่งชิ้นส่วนให้ละเอียดขึ้น ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการรู้เข้าของคำตอบของการกระจัด คือ ฟังก์ชันการกระจัด ดังนั้นฟังก์ชันการกระจัดที่ใช้ควรมีลักษณะดังนี้

4.1.1 ฟังก์ชันการกระจัดต้องมีความต่อเนื่องภายในชิ้นส่วน ซึ่งลักษณะนี้เป็นลักษณะพื้นฐานของฟังก์ชันพหุนาม

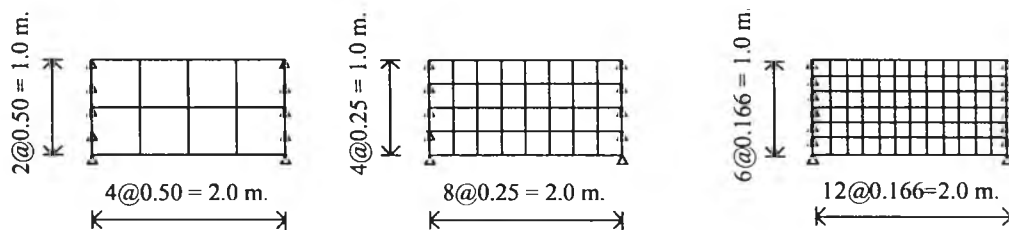
	จำนวนพจน์
1	1
x y	3
x ² xy y ²	6
x ³ x ² y xy ² y ³	10
x ⁴ x ³ y x ² y ² xy ³ y ⁴	15
⋮	

รูปที่ 4.1.1 สามเหลี่ยมของปาสคาล(Pascal Triangle)

4.1.2 ฟังก์ชันการกระจัดที่ใช้จะต้องมีความบริบูรณ์ (completeness) หมายถึงเมื่อใช้ฟังก์ชันการกระจัดเป็นฟังก์ชันนั้นจะต้องมีจำนวนพจน์ที่ครบตามที่กำหนดโดยสามเหลี่ยมของปาสคาลดังรูปที่ 4.1.1 ซึ่งแสดงจำนวนพจน์ที่จะทำให้ฟังก์ชันพหุนามสองตัวแปรที่อันดับต่างๆ มีความบริบูรณ์



รูปที่ 4.1.2(ก) ลักษณะการแบ่งแผ่นพื้นกลุ่มที่หนึ่งด้วยชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมจัตุรัสจำนวน 4 16 36 64 และ 100 ชิ้นส่วน

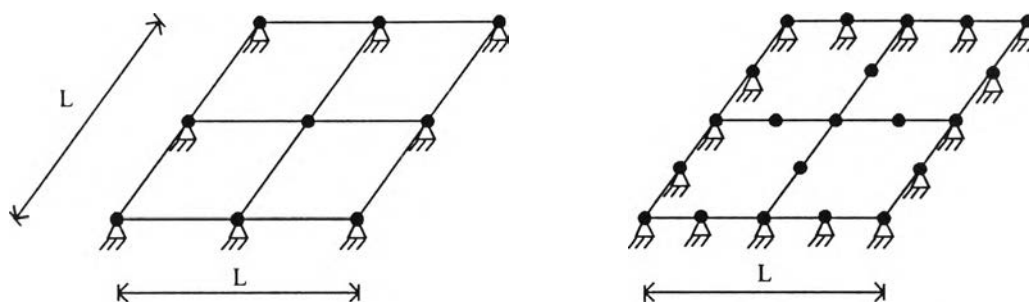


รูปที่ 4.1.2(ข) ลักษณะการแบ่งแผ่นพื้นกลุ่มที่สองด้วยชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมจัตุรัสจำนวน 8 32 และ 72 ชิ้นส่วน

การทดสอบการลู่เข้าของค่าตอบของการกระจัดจะทดสอบในสองกลุ่มคือ

กลุ่มที่หนึ่งทดสอบกับแผ่นพื้นที่มีขนาด 2x2 m ความหนา 0.2 m ($L/t = 10$) อัตราส่วนของปัวส์ซอง $\nu=0.3$ และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 10^7 ksc โดยแบ่งแผ่นพื้นออกเป็นชิ้นส่วนจัตุรัสจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ 4 16 36 64 และ 100 ชิ้นส่วน แสดงในรูปที่ 4.1.2(ก)

กลุ่มที่สองทดสอบกับแผ่นพื้นที่มีขนาด 2x1 m ความหนา 0.2 m ($L/t=10$) อัตราส่วนของปัวส์ซอง $\nu=0.3$ และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 10^7 ksc โดยแบ่งแผ่นพื้นออกเป็นชิ้นส่วนจัตุรัสจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ 8 32 และ 72 ชิ้นส่วน แสดงในรูปที่ 4.1.2(ข)

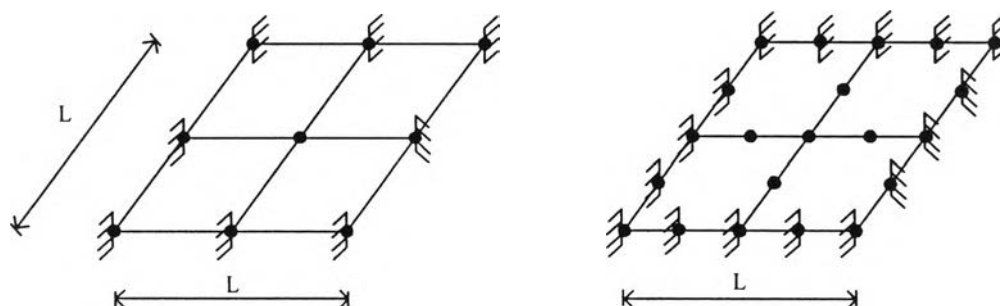


ที่จุดต่อซึ่งมีที่รองรับ

$$w = 0, \theta_x \neq 0, \theta_y \neq 0$$

$$F_y \neq 0, M_x = M_y = 0$$

รูปที่ 4.1.3 ลักษณะที่รองรับแบบยึดหมุน โดยรอบในแผ่นพื้นชิ้นส่วน 4 จุดต่อและ 8 จุดต่อ



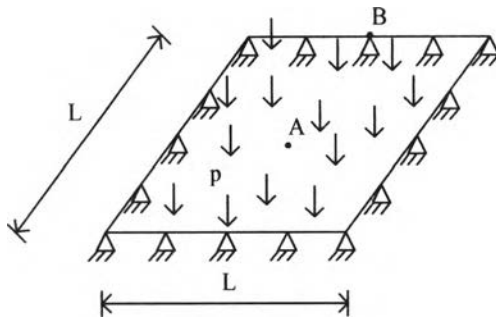
ที่จุดต่อซึ่งมีที่รองรับ

$$w = \theta_x = \theta_y = 0$$

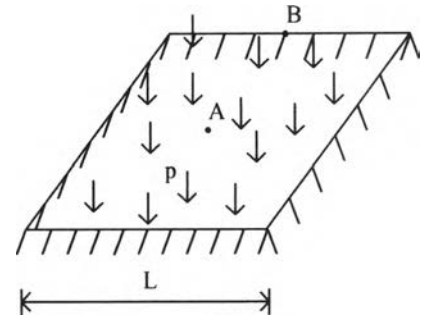
$$F_y \neq 0, M_x \neq 0, M_y \neq 0$$

รูปที่ 4.1.4 ลักษณะที่รองรับแบบยึดแน่น โดยรอบในแผ่นพื้นชิ้นส่วน 4 จุดต่อ และ 8 จุดต่อ

ลักษณะของที่รองรับในการทดสอบนี้ใช้คู่สองแบบคือ แบบที่หนึ่งเป็นแผ่นพื้นที่รองรับแบบยึดหมุน (simply supports) คือที่รองรับที่บังคับไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวตั้งแต่ยอมให้เกิดมุมหมุนได้ทำให้โมเมนต์มีค่าเท่ากับศูนย์ แบบที่สองคือ แผ่นพื้นที่รองรับแบบยึดแน่น (clamped supports) คือที่รองรับที่บังคับไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ในทุกๆระดับชั้นความเสริ เช่น โดยทั่วไประดับชั้นความเสริของแผ่นพื้นเท่ากับสาม ประกอบด้วย การเคลื่อนที่ในแนวตั้งแทนด้วย w และมุมหมุนที่เปลี่ยนไปในทิศทาง x และ y แทนด้วย θ_x และ θ_y จุดต่อที่เป็นที่รองรับแบบยึดแน่นจะไม่สามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้ง และไม่สามารถเกิดมุมหมุนได้ ดังนั้นที่จุดต่อนั้นจะมีค่าแรงปฏิกิริยาและ โมเมนต์เกิดขึ้น ลักษณะของที่รองรับทั้งสองแบบแสดงในรูปที่ 4.1.3 และ 4.1.4



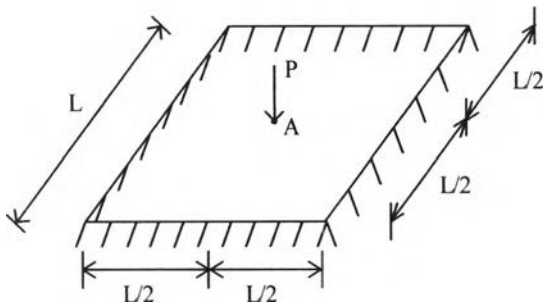
(ก) SS-UL



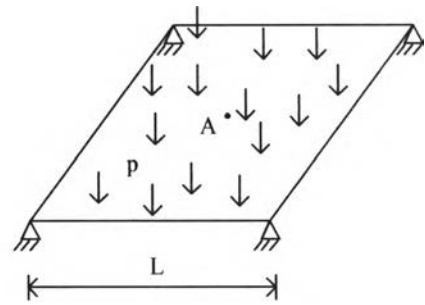
(ข) CS-UL

$$L = 2 \text{ m} \quad \nu = 0.3$$

$$E = 10^7 \text{ ksc} \quad \text{ความหนา} = 0.2 \text{ m}$$



(ค) CS-PL



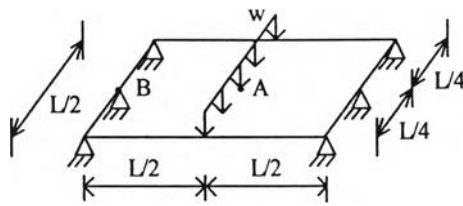
(ง) 4S-UL

$$L = 2 \text{ m} \quad \nu = 0.3$$

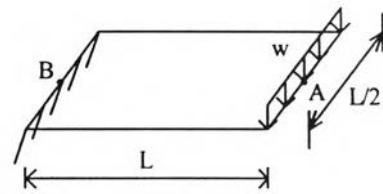
$$E = 10^7 \text{ ksc} \quad \text{ความหนา} = 0.02 \text{ m}$$

รูปที่ 4.1.5 แผ่นพื้นที่ใช้ทดสอบ

- (ก) แผ่นพื้นที่รองรับแบบยึดหมุน โดยรอบ รับน้ำหนักแผ่กระจายเต็มแผ่น SS-UL
หาค่าการกระจัดและ โมเมนต์ที่จุด A และหาค่าแรงเฉือนที่จุด B
- (ข) แผ่นพื้นที่รองรับแบบยึดแน่น โดยรอบ รับน้ำหนักแผ่กระจายเต็มแผ่น CS-UL
หาค่าการกระจัดที่จุด A และหาค่าโมเมนต์แรงเฉือนที่จุด B
- (ค) แผ่นพื้นที่รองรับแบบยึดแน่น โดยรอบ รับน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่กึ่งกลางแผ่น CS-PL
หาค่าการกระจัดที่จุด A
- (ง) แผ่นพื้นที่รองรับแบบยึดหมุนที่มุมทั้งสี่ของแผ่นพื้นที่ รับน้ำหนักแผ่กระจายเต็มแผ่น
4S-UL
หาค่าการกระจัดที่จุด A



(จ) 2S2F-LL



(ฉ) 1C3F-LL

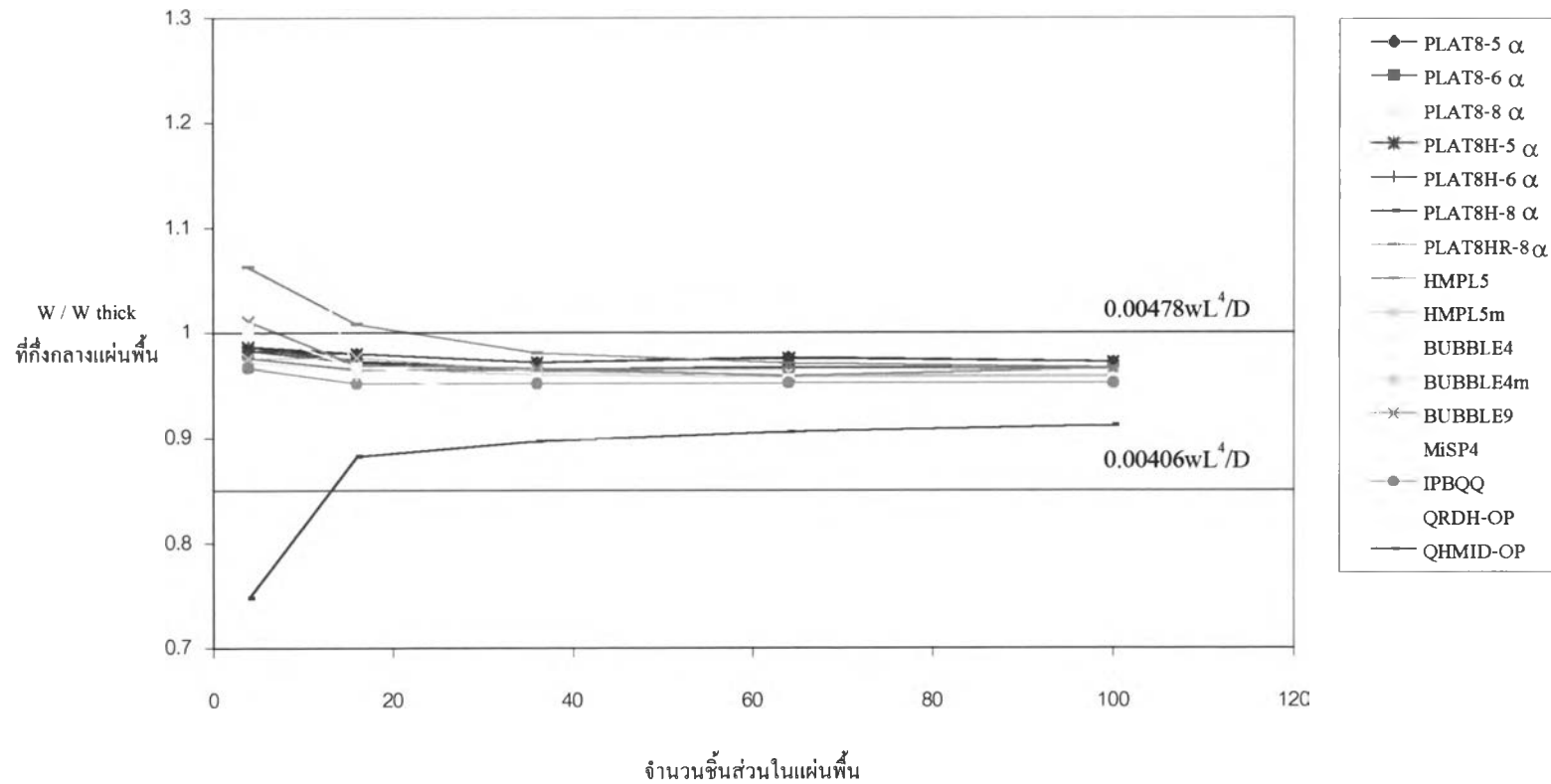
$$L = 2 \text{ m.} \quad \nu = 0.3$$

$$E = 10^7 \text{ ksc.} \quad \text{ความหนา} = 0.2 \text{ m.}$$

รูปที่ 4.1.5(ต่อ) แผ่นพื้นที่ใช้ทดสอบ

- (จ) แผ่นพื้นมีที่รองรับแบบยึดหมุนสองด้านตรงข้ามกันและขอบเป็นอิสระสองด้านที่เหลือ
รับน้ำหนักกระทำแก่กระจายเป็นแนวที่ช่วงกลางแผ่นพื้น 2S2F-LL
หาค่าการกระจัดและ โมเมนต์ที่จุด A และหาค่าแรงเฉือนที่จุด B
- (ฉ) แผ่นพื้นที่รองรับแบบยึดแน่นหนึ่งด้านและขอบเป็นอิสระสามด้าน รับน้ำหนักกระทำแก่
กระจายเป็นแนวที่ปลายแผ่นพื้น 1C3F-LL
หาค่าการกระจัดที่จุด A และหาค่าโมเมนต์แรงเฉือนที่จุด B

SS-UL

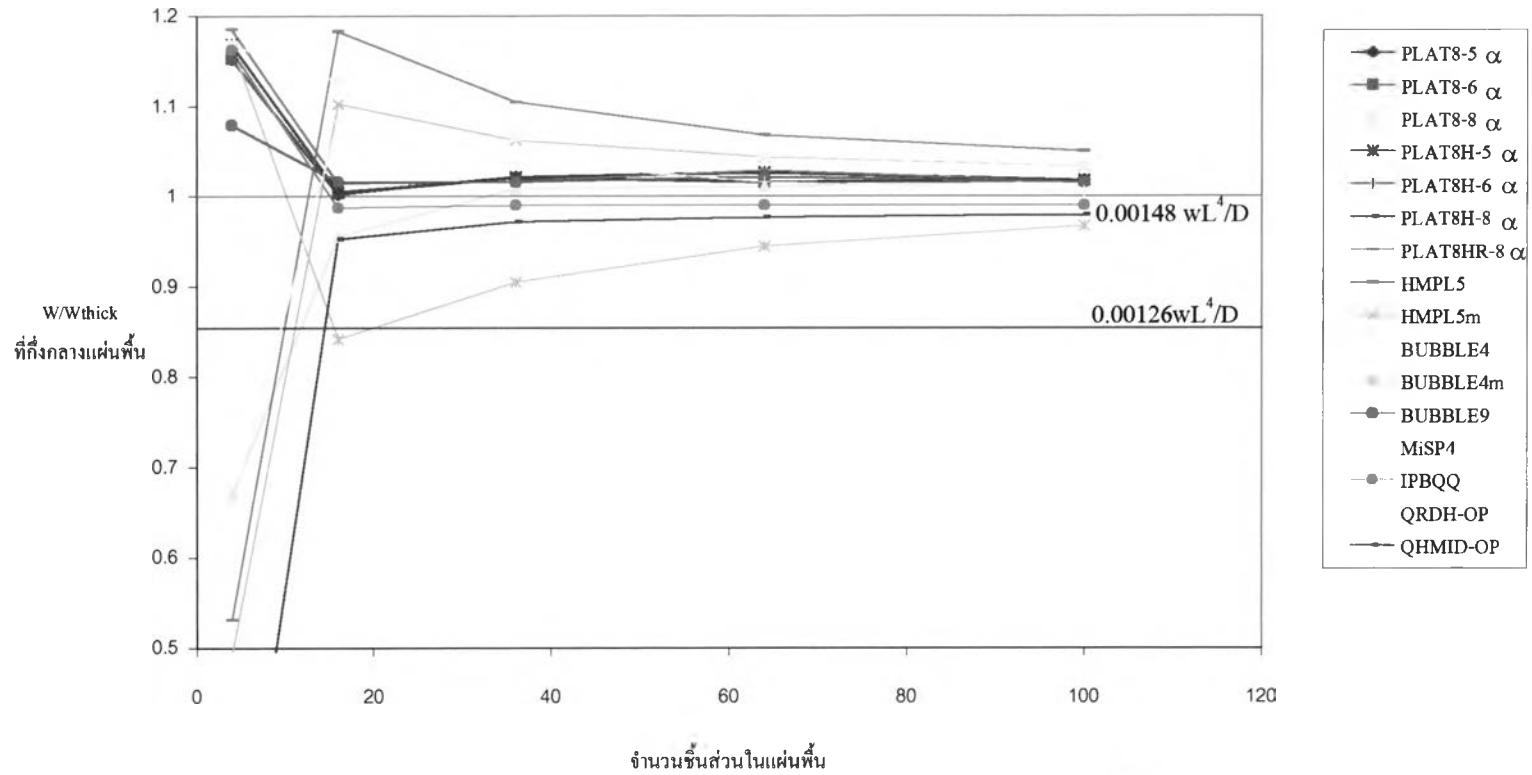


รูปที่ 4.1.6 กราฟความสัมพันธ์ของการลู่เข้าของคำตอบของการกระจัดกับการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน
ในแผ่นพื้นแบบ SS-UL

w = ค่าการโก่งตัวที่จุด A ของแผ่นพื้น (จุดกึ่งกลางของแผ่นพื้น) จากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ

w thick = ค่าการโก่งตัวที่จุด A ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีของมินต์ลิน

CS-UL

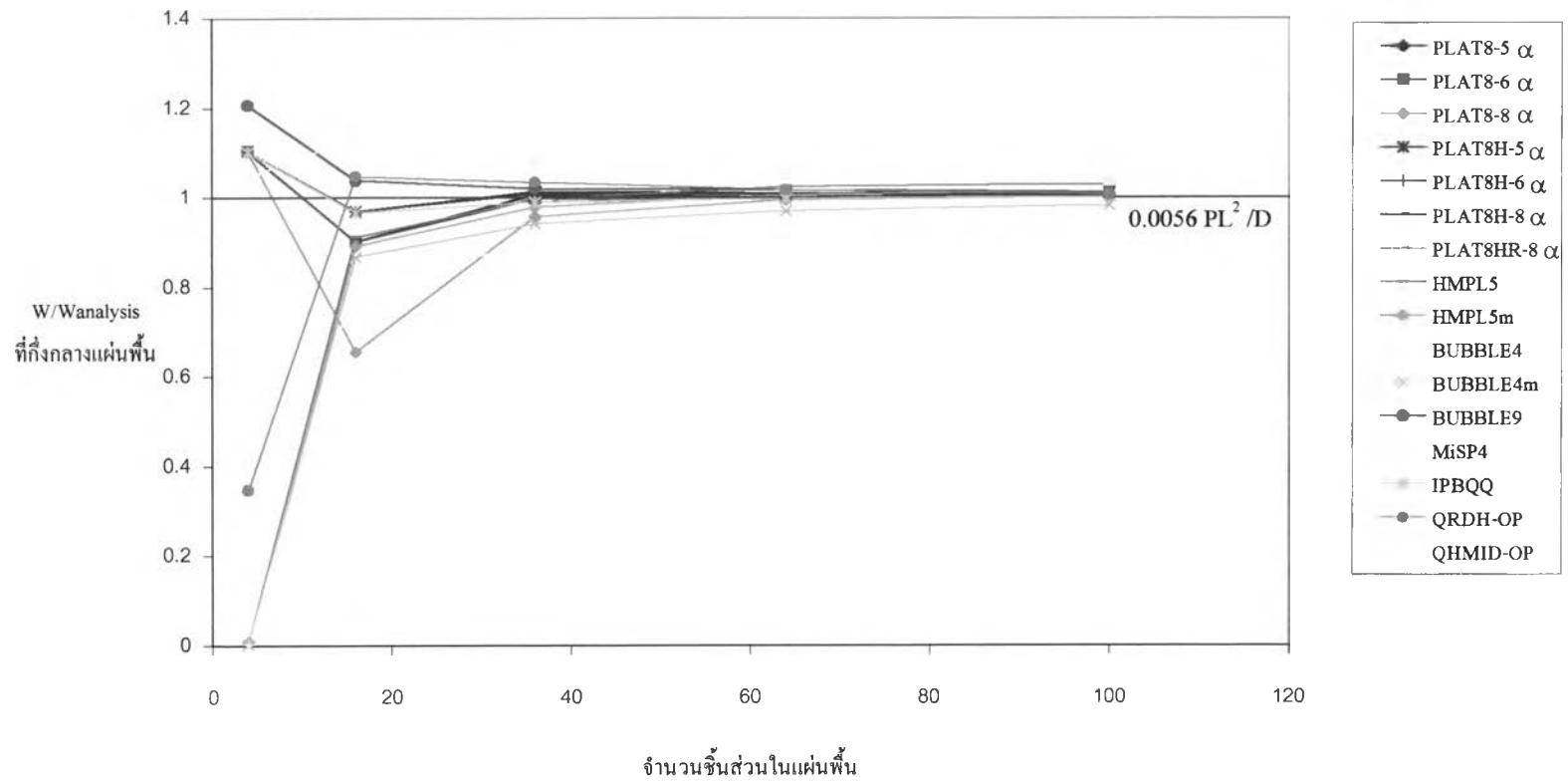


รูปที่ 4.1.7 กราฟความสัมพันธ์ของการลู่เข้าของค่าตอบของการกระจัดกับการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน
ในแผ่นพื้นแบบ CS-UL

w = ค่าการโก่งตัวที่จุด A ของแผ่นพื้น (จุดกึ่งกลางของแผ่นพื้น) จากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ

w_{thick} = ค่าการโก่งตัวที่จุด A ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีของมินต์ลีน

CS-PL

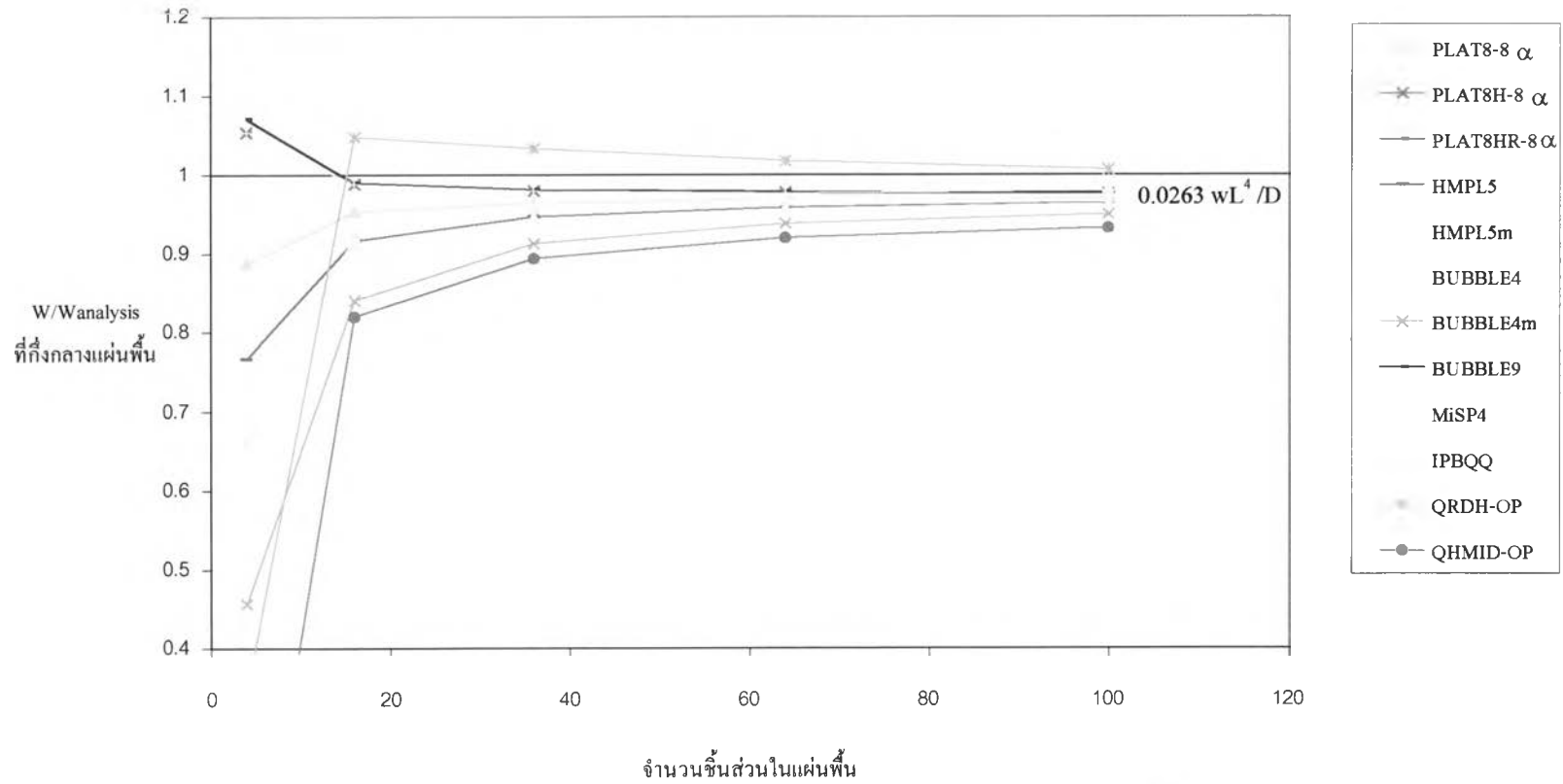


รูปที่ 4.1.8 กราฟความสัมพันธ์ของการลู่เข้าของคำตอบของการกระจัดกับการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน
ในแผ่นพื้นแบบ CS-PL

w = ค่าการโก่งตัวที่จุด A ของแผ่นพื้น (จุดกึ่งกลางของแผ่นพื้น) จากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ

w analysis = ค่าการโก่งตัวที่จุด A ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎี

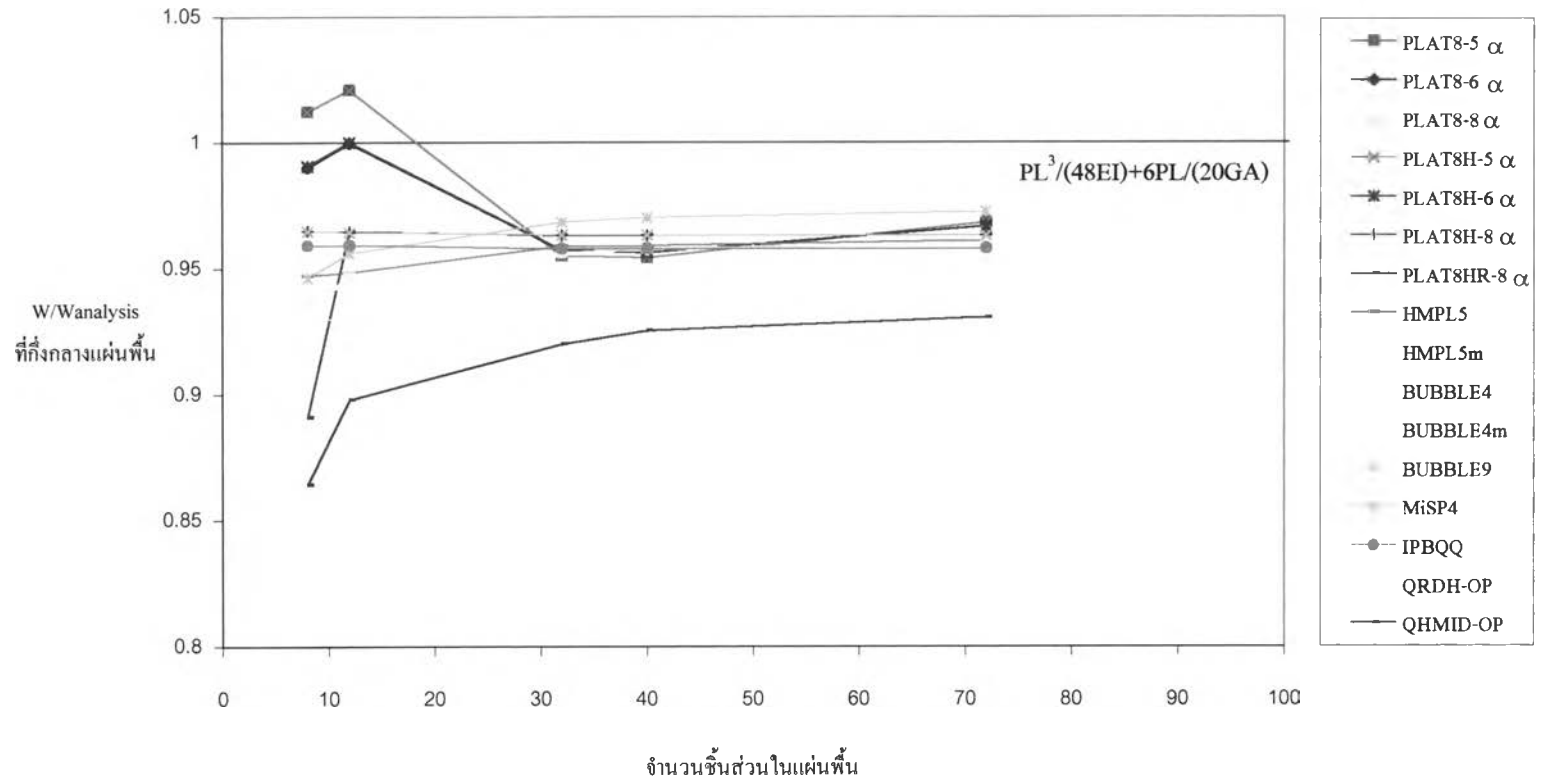
4S-UL



รูปที่ 4.1.9 กราฟความสัมพันธ์ของการดูเข้าของค่าตอบของการกระจัดกับการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน
ในแผ่นพื้นแบบ 4S-UL

w = ค่าการ โกงตัวที่จุด A ของแผ่นพื้น (จุดกึ่งกลางของแผ่นพื้น) จากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ
w analysis = ค่าการ โกงตัวที่จุด A ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎี

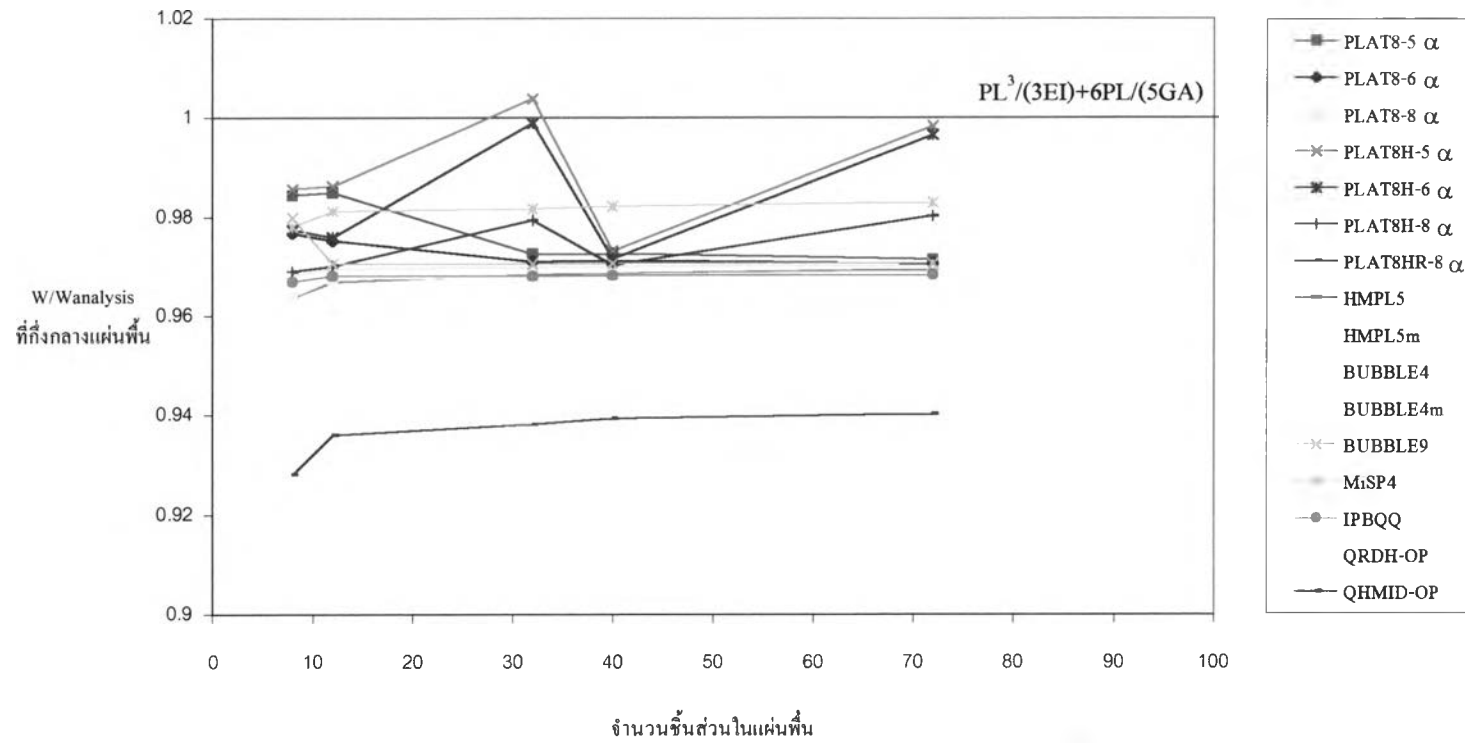
2S2F-LL



รูปที่ 4.1.10 กราฟความสัมพันธ์ของการลู่เข้าของค่าตอบของการกระจัดกับการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน
ในแผ่นพื้นแบบ 2S2F-LL

w = ค่าการโก่งตัวที่จุด A ของแผ่นพื้น (จุดกึ่งกลางของแผ่นพื้น) จากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ
w analysis = ค่าการโก่งตัวที่จุด A ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎี

1C3F-LL



รูปที่ 4.1.11 กราฟความสัมพันธ์ของการลู่เข้าของคำตอบของการกระจัดกับการเพิ่มจำนวนชั้นส่วน
ในแผ่นพื้นแบบ 1C3F-LL

w = ค่าการโก่งตัวที่จุด A ของแผ่นพื้น (จุดปลายของแผ่นพื้น) จากการวิเคราะห์ด้วยชั้นส่วนต่างๆ

$w_{analysis}$ = ค่าการโก่งตัวที่จุด A ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎี

ในแต่ละชั้นส่วนทดสอบ โดยประกอบเป็นแผ่นพื้นที่มีลักษณะของที่รองรับกับน้ำหนักบรรทุกหกรณี คือ ที่รองรับแบบยึดหมุน โดยรองรับน้ำหนักแผ่กระจายเต็มแผ่น(SS-UL) ที่รองรับแบบยึดแน่น โดยรองรับน้ำหนักแผ่กระจายเต็มแผ่น(CS-UL) ที่รองรับแบบยึดแน่นรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่กึ่งกลางแผ่นพื้น(CS-PL) ที่รองรับแบบยึดหมุนเฉพาะที่มุมทั้งสี่ของแผ่นพื้นรับน้ำหนักแผ่กระจายเต็มแผ่น(4S-UL) แผ่นพื้นที่รองรับแบบยึดหมุนสองด้านตรงข้ามกันและขอบอิสระสองด้านที่เหลือรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่กึ่งกลางแผ่นพื้น(2S2F-PL พฤติกรรมเหมือนคานช่วงเดียว) แผ่นพื้นที่รองรับแบบยึดแน่นหนึ่งด้านและขอบอิสระสามด้านรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่ปลายแผ่นพื้น(1C3F-PL พฤติกรรมเหมือนคานยื่น) ดังแสดงในรูปที่ 4.1.5(ก)-(ฉ) จากนั้นหาค่าการกระจัดมากที่สุดที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นเทียบกับค่าที่คำนวณจากทฤษฎี โดยตัวแปรแต่ละตัวคือ

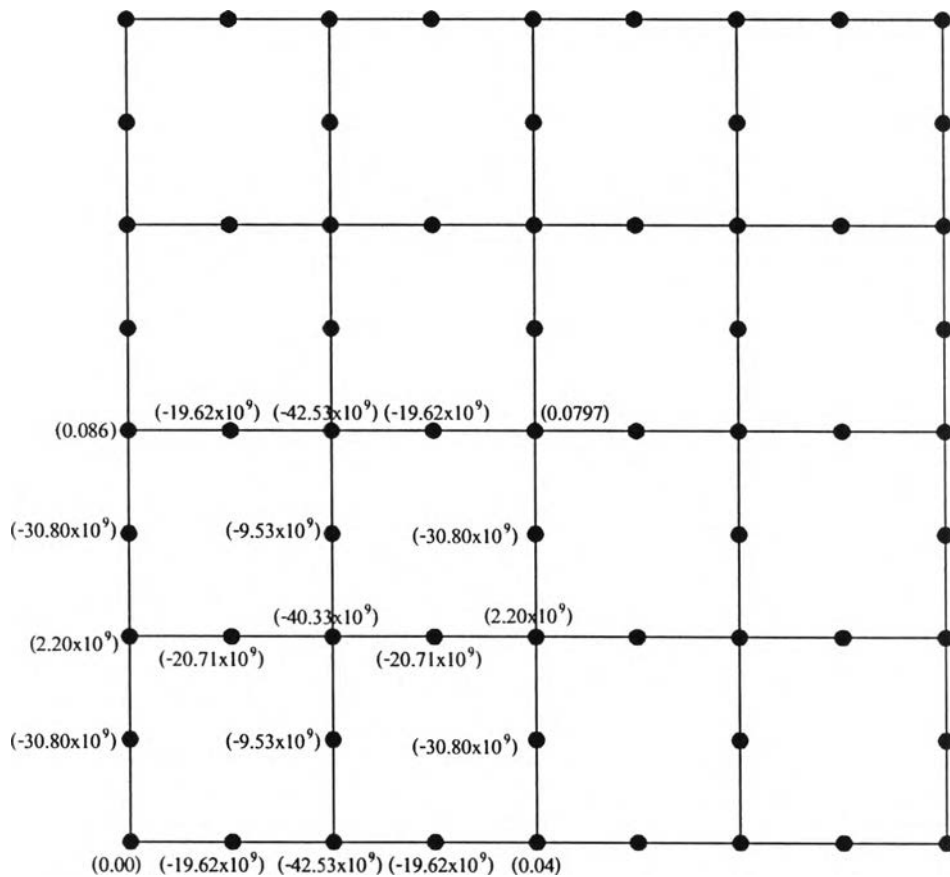
$$\begin{aligned}
 E &= \text{โมดูลัสยืดหยุ่น}, & G &= \text{โมดูลัสเฉือน} \\
 I &= \text{โมเมนต์ความเฉื่อย}, & A &= \text{พื้นที่หน้าตัด} \\
 P &= \text{น้ำหนักกระทำเป็นจุด}, & w &= \text{น้ำหนักแผ่กระจาย}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.1.1 เปรี่เซนต์ความคลาดเคลื่อนของคำตอบของการกระจัดของแต่ละชั้นส่วน (จากการแบ่ง 100 ชั้นส่วนสำหรับ SS-UL, CS-UL, CS-PL, 4S-UL และ 72 ชั้นส่วนสำหรับ 2S2F-PL และ 1C3F-PL)

ชนิดของชั้นส่วน	SS-UL	CS-UL	CS-PL	4S-UL	2S2F-PL	1C3F-PL
PLAT8-5 α	2.77 %	1.81 %	0.77 %	Fail *	3.18 %	2.85 %
PLAT8-6 α	3.46 %	1.74 %	0.55 %	Fail *	3.32 %	2.94 %
PLAT8-8 α	3.43 %	1.58 %	0.09 %	3.01 %	3.67 %	2.96 %
PLAT8H-5 α	2.76 %	1.81 %	1.15 %	Fail *	3.18 %	0.16 %
PLAT8H-6 α	3.46 %	1.74 %	0.92 %	Fail *	3.32 %	0.34 %
PLAT8H-8 α	3.43 %	1.67 %	0.22 %	2.40 %	3.67 %	1.98 %
PLAT8HR-8 α	3.43 %	1.67 %	0.22 %	2.40 %	3.67 %	1.98 %
HMPL5	3.32 %	5.01 %	2.98 %	7.85 %	3.89 %	3.06 %
HMPL5m	4.04 %	3.40 %	1.26 %	3.71 %	4.00 %	3.09 %
BUBBLE4	4.37 %	3.47 %	3.62 %	8.71 %	4.01 %	3.09 %
BUBBLE4m	5.36 %	1.00 %	1.77 %	4.95 %	4.60 %	3.29 %
BUBBLE9	3.43 %	1.65 %	1.14 %	9.34 %	3.66 %	2.93 %
MiSP4	4.37 %	3.47 %	3.62 %	8.71 %	2.74 %	1.70 %
IPBQQ	4.76 %	0.94 %	0.14 %	1.96 %	4.21 %	3.15 %
QRDH-OP	6.83 %	0.59 %	0.67 %	7.44 %	6.12 %	5.39 %
QH MID-OP	8.79 %	2.03 %	6.77 %	17.42 %	6.94 %	5.97 %

* เกิดการเคลื่อนที่ปลอมของการกระจัด

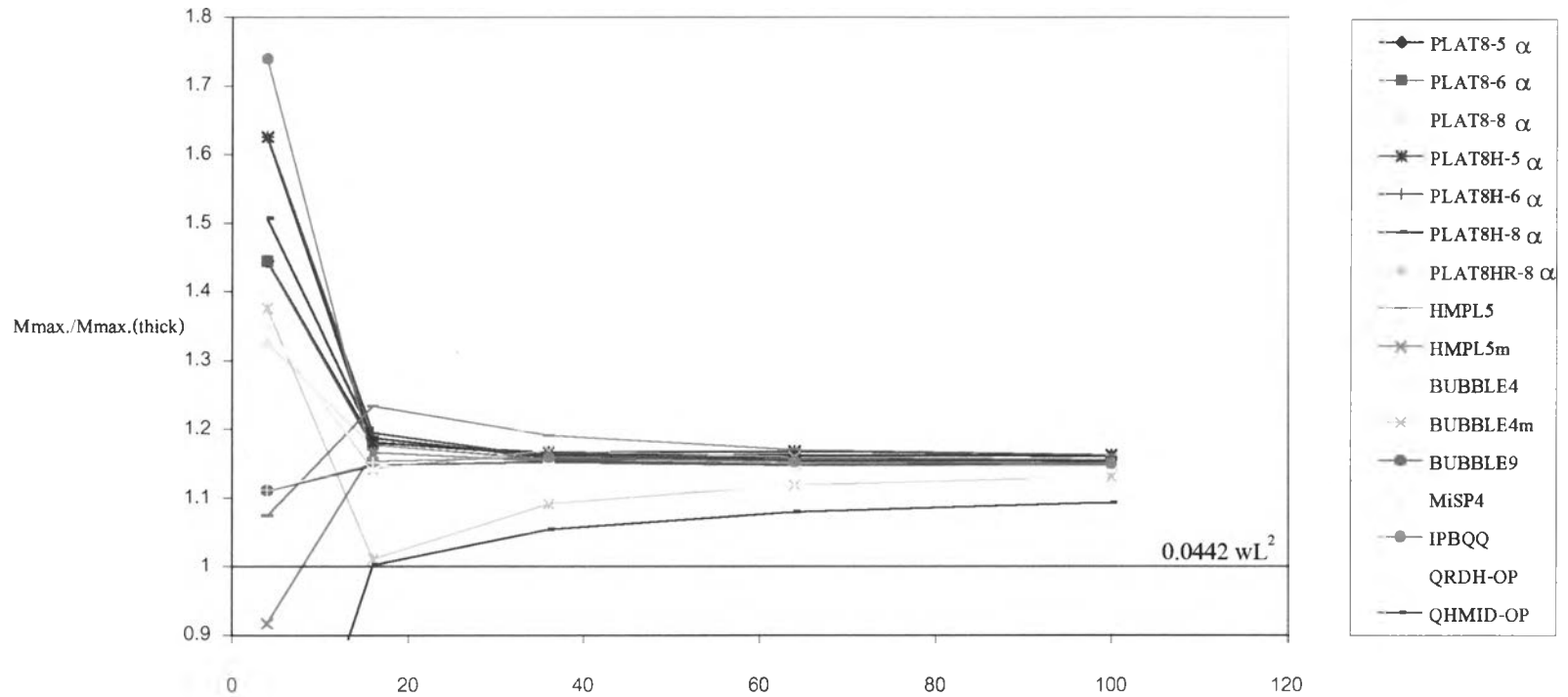
จากกราฟรูปที่ 4.1.6 – 4.1.11 แสดงให้เห็นถึงการเข้าสู่ของคำตอบของการกระจัดเมื่อแบ่งแผ่นพื้นอย่างละเอียดมากขึ้น และเมื่อดูจากตารางที่ 4.1.1 คำตอบของการกระจัดที่ได้จากแผ่นพื้นแต่ละชนิดจะให้คำตอบที่ใกล้เคียงค่าแม่นยำตรงมาก โดยในกรณีของแผ่นพื้นที่มีร่องรับแบบยึดหมุนหรือยึดแน่นโดยรอบ ส่วนใหญ่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 % ชั้นส่วนที่มีจำนวนจุดต่อมาก เช่น ชั้นส่วน 8 และ 9 จุดต่อจะให้คำตอบทางการกระจัดที่มีความถูกต้องมากกว่าเพราะฟังก์ชันที่ใช้ประมาณสนามของการกระจัดมีกำลังสูง สำหรับในกรณีของแผ่นพื้นที่มีร่องรับแบบยึดหมุนที่มุมทั้งสี่ของแผ่นพื้นชั้นส่วน PLAT8-5 α PLAT8-6 α PLAT8H-5 α และ PLAT8-6 α จะเกิดรูปแบบการเคลื่อนที่ปलอมของการกระจัด ซึ่งทั้งสี่ชั้นส่วนนี้สามารถเกิดได้สองรูปแบบเนื่องจากเมตริกซ์สติเฟนของชั้นส่วนเหล่านี้มีค่าอันดับเท่ากับ 19 ซึ่งต่ำกว่าผลต่างระหว่างระดับชั้นความเสรีทั้งหมดของชั้นส่วนกับการเคลื่อนที่แบบทั้งวัตถุทั้งสามรูปแบบ คือ $8 \times 3 - 3 = 21$



รูปที่ 4.1.12 ตัวอย่างรูปแบบการเคลื่อนที่ปลอมของการกระจัด

ตัวอย่างการเคลื่อนที่ปลอมของการกระจัดในรูปที่ 4.1.12 เป็นแผ่นพื้นรูปสี่เหลี่ยมที่มีร่องรับแบบยึดหมุนที่มุมทั้งสี่ รับน้าหนักแผ่กระจายเต็มแผ่นแบ่งเป็นชั้นส่วน PLAT8-6 α จำนวน 16 ชั้นส่วน ค่าในวงเล็บคือค่าการกระจัดในแนวตั้งที่เกิดขึ้น จะเห็นว่าค่าการกระจัดที่ได้มีค่าสูงมากจนเหมือนแผ่นพื้นไม่มีเสถียรภาพ เนื่องจากชั้นส่วนดังกล่าวที่ใช้ในแผ่นพื้นต้องการที่ยึดครั้งตลอดแนวขอบของแผ่นพื้นด้านใดด้านหนึ่งถึงจะสามารถป้องกันการเกิดการเคลื่อนที่ปลอมของการกระจัดได้

SS-UL



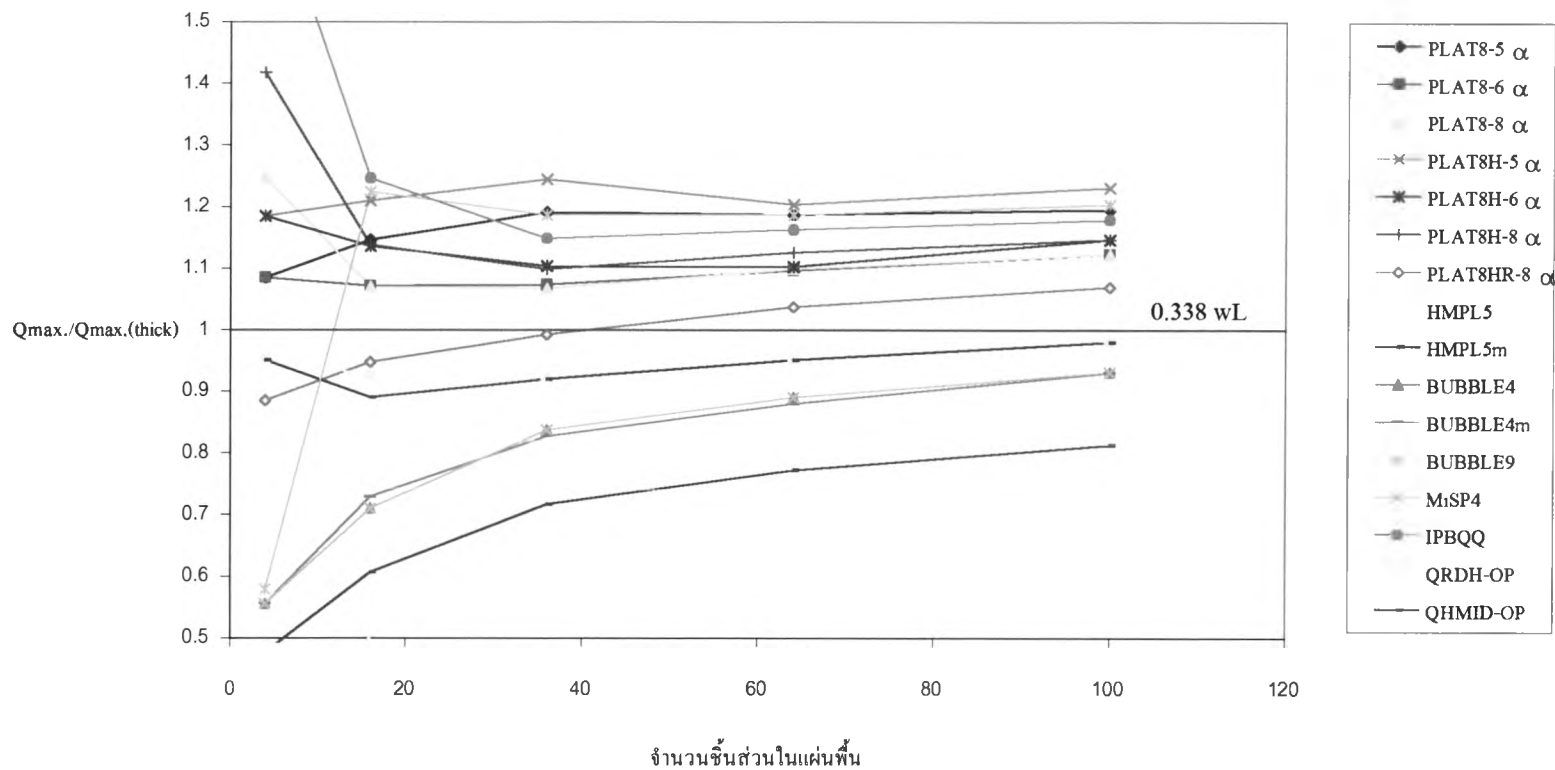
จำนวนชิ้นส่วนในแผ่นพื้น

รูปที่ 4.2.1 กราฟความสัมพันธ์ของการลู่เข้าของค่าตอบของโมเมนต์กับการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน
ในแผ่นพื้นแบบ SS-UL

Mmax. = โมเมนต์ที่จุด A ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ

Mmax.(thick) = โมเมนต์ที่จุด A ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีของมินด์ลิน

SS-UL

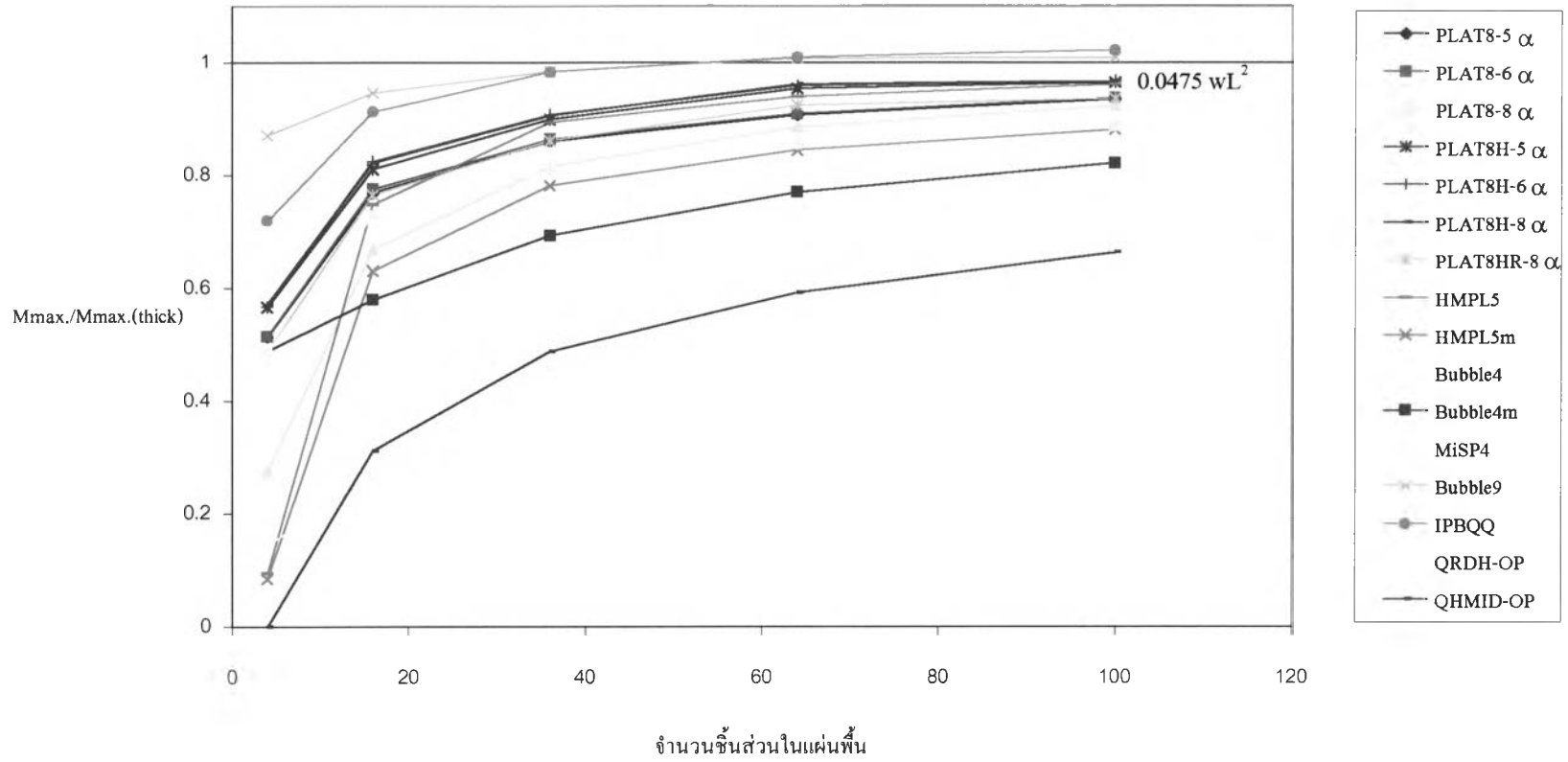


รูปที่ 4.2.2 กราฟความสัมพันธ์ของการลู่เข้าของค่าตอบของแรงเค้นกับการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน
โนแผ่นพื้นแบบ SS-UL

Qmax. = แรงเค้นที่จุด B ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ

Qmax.(thick) = แรงเค้นที่จุด B ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีของมินด์ลิน

CS-UL

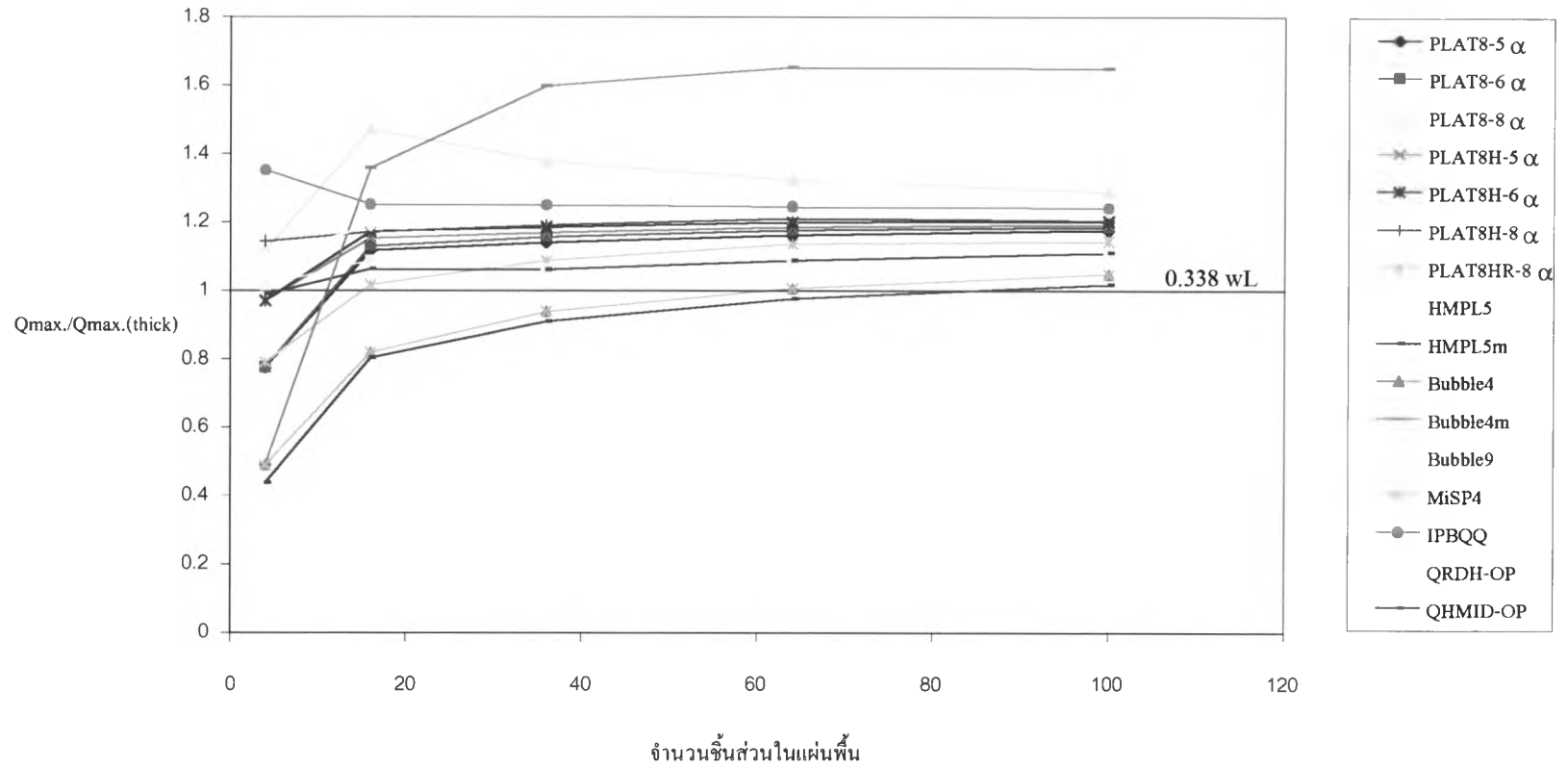


รูปที่ 4.2.3 กราฟความสัมพันธ์ของการลู่เข้าของค่าตอของโมเมนต์กับการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน
ในแผ่นพื้นแบบ CS-UL

Mmax. = โมเมนต์ที่จุด B ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ

Mmax.(thick) = โมเมนต์ที่จุด B ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีของมินต์ลีน

CS-UL

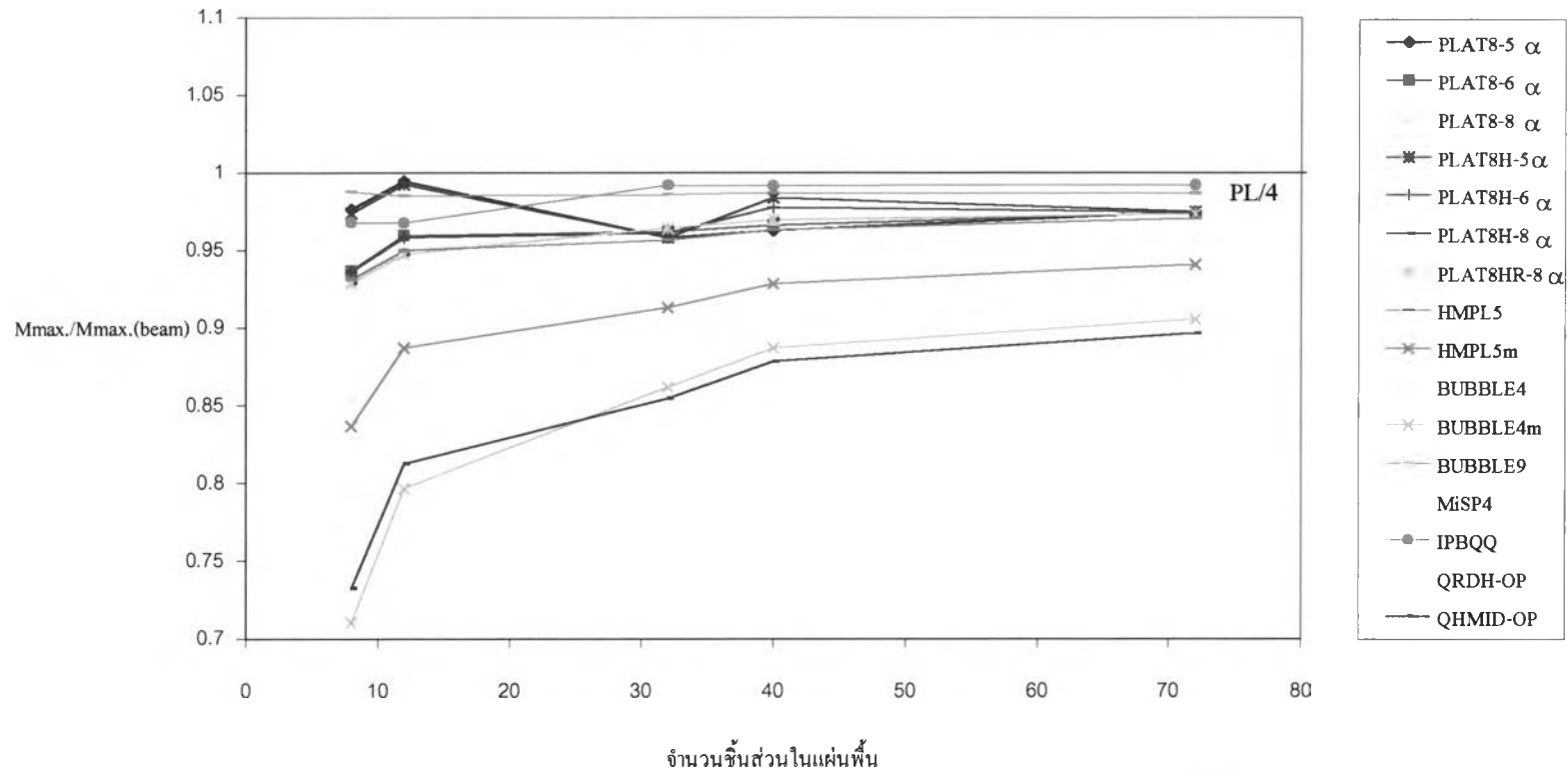


รูปที่ 4.2.4 กราฟความสัมพันธ์ของการเข้าสู่ของค่าตอบของแรงเนื่องกับการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน
ในแผ่นพื้นแบบ CS-UL

$Q_{max.}$ = แรงเนื่องที่จุด B ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ

$Q_{max.(thick)}$ = แรงเนื่องที่จุด B ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีของมินด์ลิน

2S2F-LL

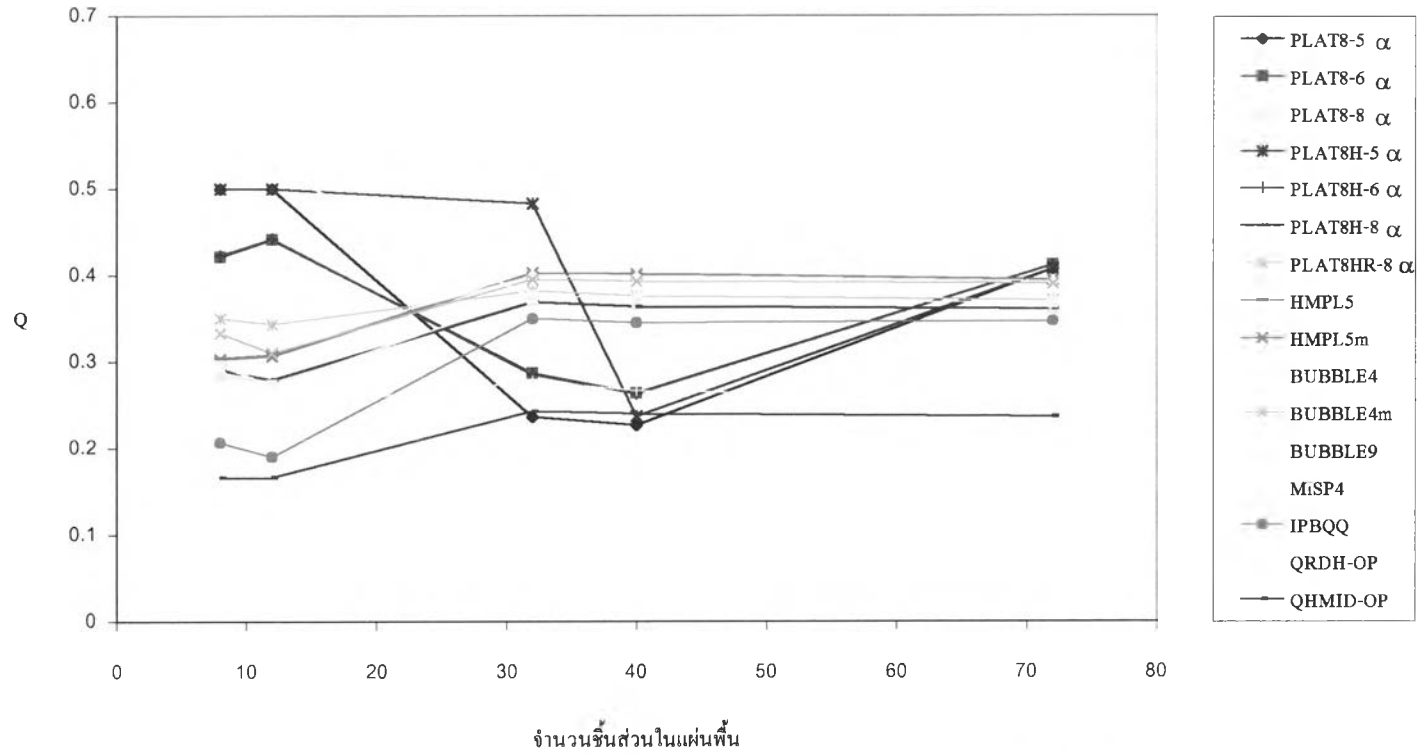


รูปที่ 4.2.5 กราฟความสัมพันธ์ของการเข้าสู่ของค่าตอบของโมเมนต์กับการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน
ในแผ่นพื้นแบบ 2S2F-LL

$M_{max.}$ = โมเมนต์ที่จุด A ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ

$M_{max.}(beam)$ = โมเมนต์ที่จุด A ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีของคาน

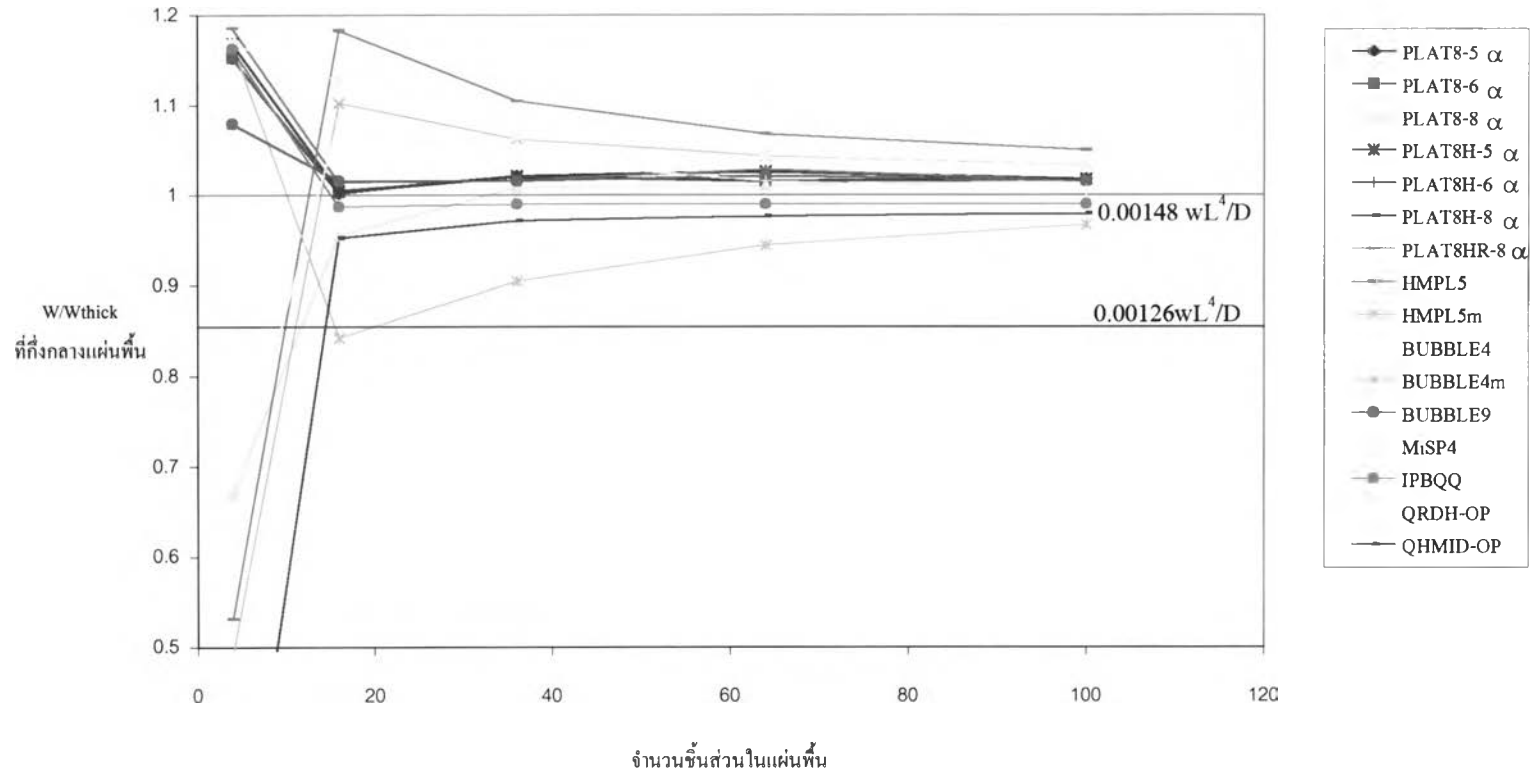
2S2F-LL



รูปที่ 4.2.6 กราฟความสัมพันธ์ของการลู่เข้าของค่าตอบของแรงเนื่องกับการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน
ในแผ่นพื้นแบบ 2S2F-LL

Q = โมเมนต์ที่จุด B ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ

CS-UL

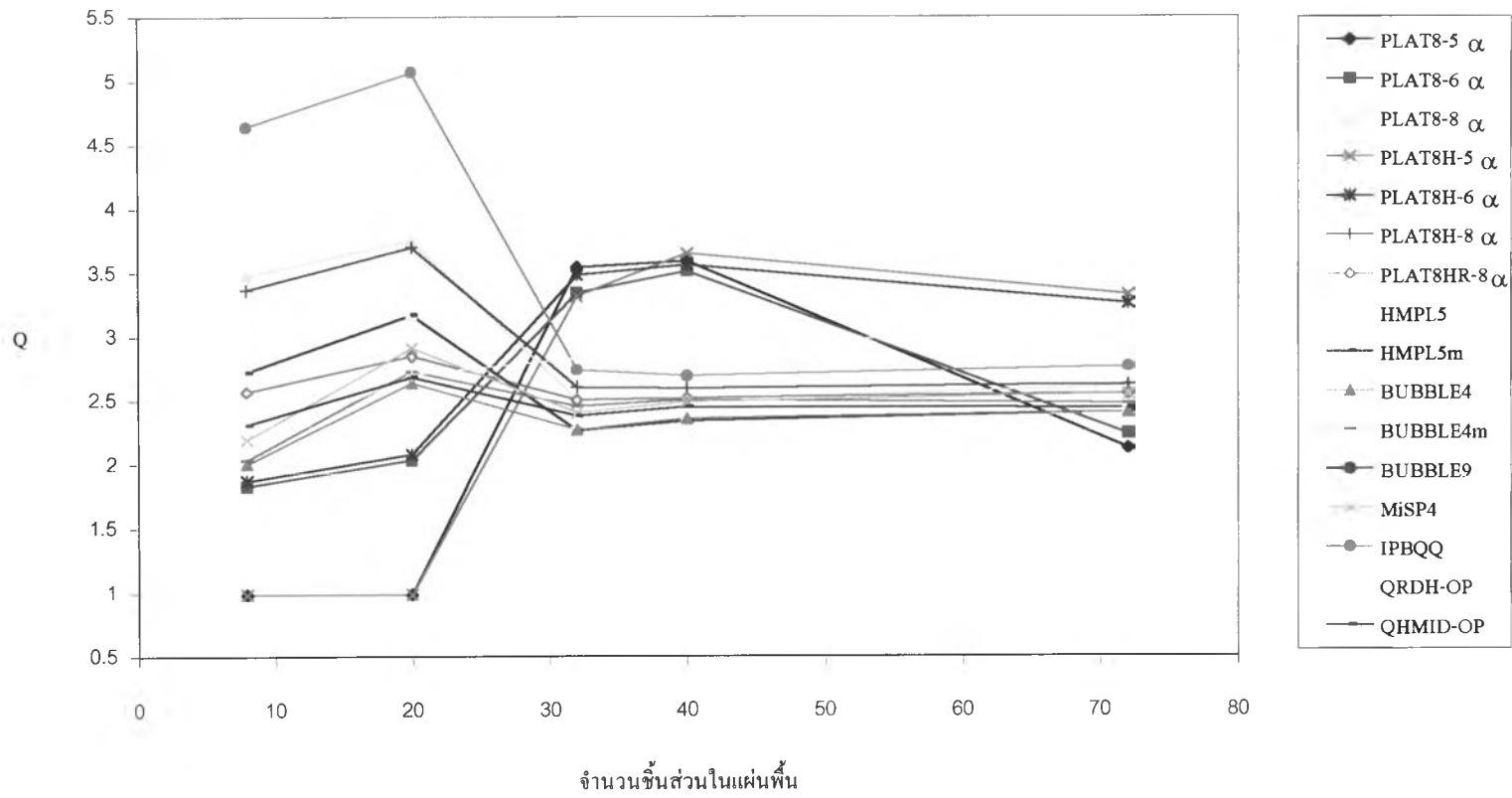


รูปที่ 4.1.7 กราฟความสัมพันธ์ของการสูญเสียของค่าตอบของการกระจัดกับการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน
ในแผ่นพื้นแบบ CS-UL

w = ค่าการโก่งตัวที่จุด A ของแผ่นพื้น (จุดกึ่งกลางของแผ่นพื้น) จากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ

w thick = ค่าการโก่งตัวที่จุด A ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีของมินด์ลิน

1C3F-LL



รูปที่ 4.2.8 กราฟคำตอบของแรงเฉือนกับการเพิ่มจำนวนชั้นส่วนในแผ่นพื้นแบบ 1C3F-LL

Q = แรงเฉือนที่จุด B ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ด้วยชั้นส่วนต่างๆ

4.2 การเข้าสู่ของผลเฉลยของโมเมนต์และแรงเฉือน

ตารางที่ 4.2.1 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของคำตอบของโมเมนต์คัตและแรงเฉือนของแต่ละชิ้นส่วน

ชนิดของชิ้นส่วน	SS-UL		CS-UL		2S2F-LL		1C3F-LL	
	Moment	Shear	Moment	Shear	Moment	Shear	Moment*	Shear *
PLAT8-5 α	16.09 %	19.58 %	6.37 %	17.57 %	2.52 %	17.53 %	8.98 %	22.89 %
PLAT8-6 α	15.35 %	12.25 %	6.23 %	18.54 %	2.56 %	18.77 %	9.18 %	18.89 %
PLAT8-8 α	15.33 %	12.24 %	7.60 %	28.87 %	2.65 %	4.05 %	9.93 %	5.46 %
PLAT8H-5 α	16.21 %	23.00 %	3.51 %	19.19 %	2.51 %	17.54 %	12.64 %	20.28 %
PLAT8H-6 α	15.48 %	14.56 %	3.19 %	20.32 %	2.55 %	18.82 %	12.34 %	17.83 %
PLAT8H-8 α	15.46 %	14.59 %	3.20 %	20.41 %	2.66 %	4.03 %	10.15 %	5.01 %
PLAT8HR-8 α	13.13 %	6.90 %	6.29 %	14.50 %	2.66 %	7.07 %	10.15 %	7.49 %
HMPL5	15.43 %	1.89 %	3.86 %	10.88 %	2.95 %	13.79 %	10.91 %	13.08 %
HMPL5m	16.23 %	2.01 %	11.84 %	11.05 %	5.88 %	13.72 %	7.84 %	12.69 %
BUBBLE4	14.81 %	6.89 %	11.26 %	4.85 %	4.52 %	13.18 %	8.78 %	12.73 %
BUBBLE4m	14.51 %	7.11 %	30.19 %	64.97 %	9.40 %	12.61 %	2.96 %	10.31 %
BUBBLE9	13.13 %	20.35 %	0.94 %	13.11 %	1.32 %	2.85 %	11.84 %	3.09 %
MiSP4	14.51 %	6.89 %	11.26 %	4.85 %	4.37 %	5.96 %	10.51 %	7.65 %
IPBQQ	15.05 %	17.81 %	2.24 %	24.23 %	0.77 %	0.00 %	12.85 %	0.00 %
QRDH-OP	11.95 %	29.52 %	33.10 %	8.51 %	4.33 %	25.93 %	8.70 %	11.85 %
QH MID-OP	9.28 %	18.71 %	33.63 %	1.78 %	10.35 %	31.77 %	1.75 %	11.63 %

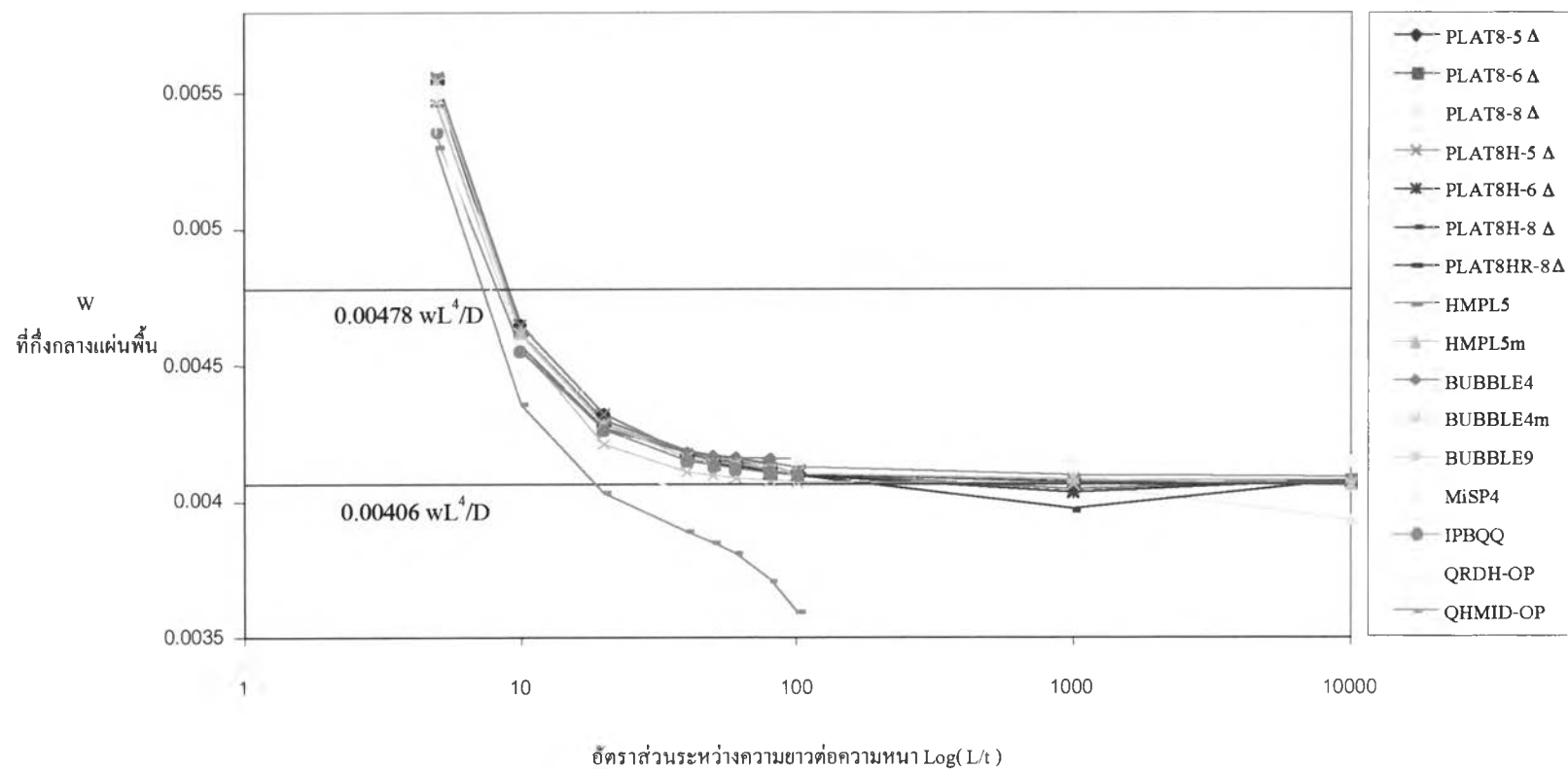
* เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของคำตอบที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับคำตอบที่คำนวณได้จากชิ้นส่วน IPBQQ

จากค่าในตารางข้างบนจะเห็นว่าแต่ละชิ้นส่วนมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดค่อนข้างสูง แต่ในกรณีของแผ่นพื้นหนา ควรให้ความสำคัญกับความถูกต้องของผลเฉลยของแรงเฉือนด้วย ดังนั้นชิ้นส่วนที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของคำตอบของแรงเฉือนต่ำ จึงได้แก่ กลุ่มชิ้นส่วนผสม HMPL5 HMPL5m BUBBLE4 และชิ้นส่วน MiSP4

สำหรับแผ่นพื้นที่มีขอบเป็นอิสระเช่น 2S2F-LL และ 1C3F-LL พบว่าคำตอบของโมเมนต์มีความถูกต้องสูง โดยชิ้นส่วนที่คำตอบคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 12.85 % ส่วนแรงเฉือนพบว่าคำตอบที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่า ซึ่งอาจเกิดจากฟังก์ชันของความเครียดหรือความเค้นที่สมมติขึ้นไม่เหมาะสมกับปัญหาแผ่นพื้นที่มีขอบอิสระ

แผ่นพื้นขนาด 2x2 หน่วย ที่รองรับแบบยึดหมุนทั้งสี่ด้านรับน้ำหนักแผ่กระจาย

อัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยาวของชิ้นส่วน = 1



รูปที่ 4.3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการลู่เข้าของคำตอบของการกระจัดกับการเปลี่ยนความหนา

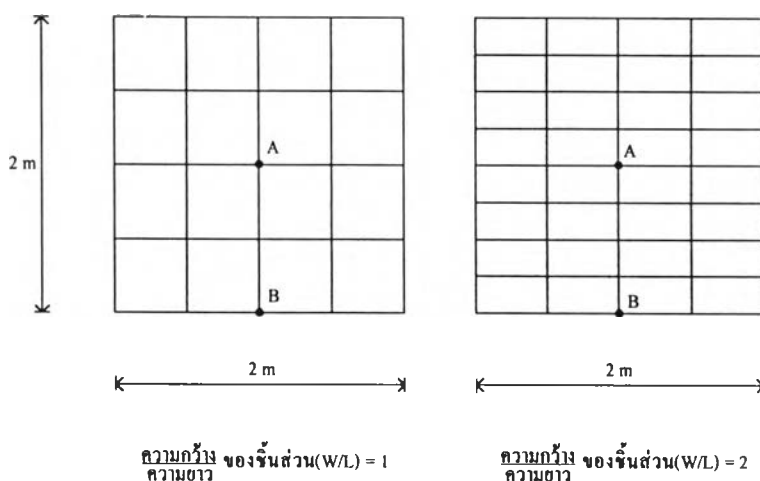
w = การกระจัดที่จุด A ของแผ่นพื้นจากการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนต่างๆ

4.3 ผลเนื่องจากการลดความหนาของแผ่นพื้น

ในกรณีของแผ่นพื้นหนาการวิเคราะห์จะเป็นไปตามทฤษฎีของมินคัลลิน โดยรวมผลเนื่องจากความเครียดเฉือนแนวค้ำด้วย ดังนั้นเมื่อความหนามีค่าลดลงจนเข้าใกล้แผ่นบาง พจน์เมตริกซ์สติฟเนสในส่วนของความเครียดเฉือนจะมีค่ามากขึ้นทำให้เกิดปัญหาการยึดเนื่องจากแรงเฉือนค้ำที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในหัวข้อนี้จะศึกษาว่าชั้นส่วนที่ใช้วิเคราะห์แผ่นพื้นชั้นส่วนใดเกิดปัญหาการยึดเนื่องจากแรงเฉือนเมื่อความหนาของแผ่นพื้นมีค่าลดลง โดยใช้แผ่นพื้นจัตุรัสขนาด 2 m ที่รองรับแบบยึดหมุนโดยรองรับน้ำหนักแผ่กระจายเต็มแผ่น (รูปที่ 4.1.5 ก) อัตราส่วนของปิวส์ของเท่ากับ 0.3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 10^7 ksc หาผลเฉลยของการกระจัดที่กึ่งกลางแผ่นพื้น (จุด A) โดยพิจารณาที่ค่า L/t เท่ากับ 10 20 40 60 80 100 1000 และ 10000

จากกราฟในรูปที่ 4.3.1 เมื่อค่า L/t มีค่าประมาณ 10 ค่าตอบของการโก่งตัวที่กึ่งกลางแผ่นพื้นจะเข้าใกล้ค่าแม่นยำตรงตามทฤษฎีของมินคัลลิน และเมื่อความหนาลดลงจนค่า L/t ต่ำกว่า 10^2 ค่าตอบที่ได้จากการคำนวณค่าการโก่งตัวที่กึ่งกลางแผ่นพื้นของทุกชั้นส่วนเข้าใกล้ค่าแม่นยำตรงตามทฤษฎีแผ่นบาง ค่าตอบที่ได้จากชั้นส่วน PLAT8-5C PLAT8-6C PLAT8H-5C และ PLAT8H-6C เข้าใกล้ค่าแม่นยำตรงโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่ถึงหนึ่งเปอร์เซ็นต์ มีบางชั้นส่วนที่เกิดการยึดเนื่องจากแรงเฉือนเมื่อความหนาลดลงต่ำกว่า 10^3 คือ PLAT8-8C และ PLAT8H-8C ทำให้ค่าการโก่งตัวที่กึ่งกลางแผ่นพื้นมีค่าต่ำกว่าค่าแม่นยำมาก

4.4 ผลเนื่องจากการเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยาวของชั้นส่วน



จุด A คือจุดที่หาค่าการกระจัดและ โมเมนต์

จุด B คือจุดที่หาค่าแรงเฉือน

รูปที่ 4.4.1 การแบ่งแผ่นพื้นด้วยชั้นส่วนที่มีอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยาวเท่ากับ 1 และ 2

ศึกษาผลกระทบของความถูกต้องค่าตอพบ เมื่อชั้นส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์แผ่นพื้นมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าในอัตราส่วนต่างๆ คือ อัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยาวของชั้นส่วน(W/L) เท่ากับ 1 และ 2 ใช้แผ่นพื้นขนาด 2x2 เมตรที่รองรับแบบยึดหมุนโดยรอบ หนา 0.2 m รับน้ำหนักแผ่กระจายเต็มแผ่นเท่ากับ 1 kg/m^2 ค่าอัตราส่วนปัวส์ซองเท่ากับ 0.3 และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 10^7 ksc แบ่งออกเป็น 16 ชั้นส่วนสำหรับ W/L = 1 และ แบ่ง 32 ชั้นส่วนสำหรับ W/L = 2 หาผลเฉลยของการกระจัดและ โมเมนต์ที่จุด A และหาผลเฉลยของแรงเฉือนที่จุด B

ตารางที่ 4.4.1 อัตราส่วนระหว่างผลเฉลยของการกระจัด โมเมนต์ และแรงเฉือน กับผลเฉลยตามทฤษฎีของมินคัลลิน เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยาวเท่ากับ 1 และ 2

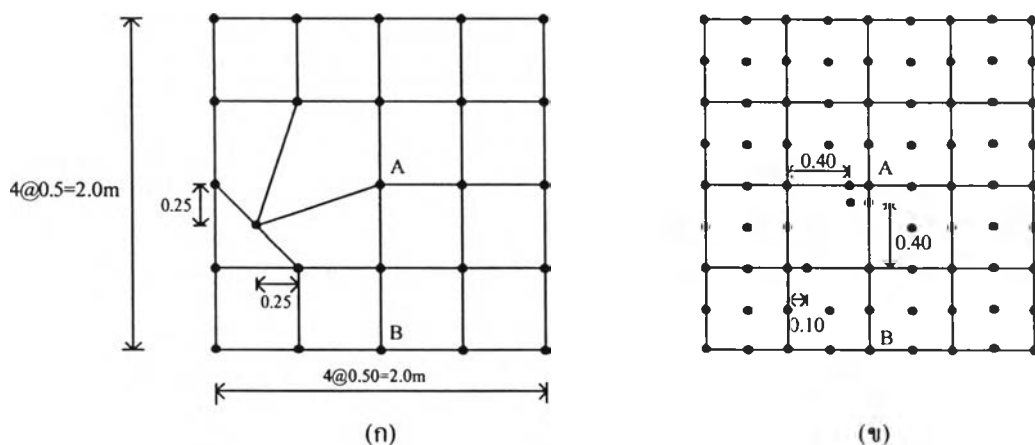
ชนิดของชั้นส่วน	การกระจัดที่ได้ / การกระจัดตามทฤษฎี		โมเมนต์ที่ได้ / โมเมนต์ตามทฤษฎี		แรงเฉือนที่ได้ / แรงเฉือนตามทฤษฎี	
	W/L = 1	W/L = 2	W/L = 1	W/L = 2	W/L = 1	W/L = 2
PLAT8-5Q	0.980	0.979	1.181	1.173	1.146	1.245
PLAT8-6Q	0.972	0.968	1.176	1.168	1.071	1.167
PLAT8-8Q	0.965	0.964	1.175	1.166	1.071	1.162
PLAT8H-5Q	0.980	0.896	1.180	1.116	1.210	1.259
PLAT8H-6Q	0.973	0.883	1.195	1.113	1.136	1.194
PLAT8H-8Q	0.965	0.873	1.188	1.103	1.137	1.185

ตารางที่ 4.4.1(ต่อ) อัตราส่วนระหว่างผลเฉลยของการกระจัด, โมเมนต์ และแรงเฉือน กับผลเฉลยตามทฤษฎีของมินต์ลิน เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยาวเท่ากับ 1 และ 2

ชนิดของชิ้นส่วน	การกระจัดที่ได้ / การกระจัดตามทฤษฎี		โมเมนต์ที่ได้ / โมเมนต์ตามทฤษฎี		แรงเฉือนที่ได้ / แรงเฉือนตามทฤษฎี	
	W/L = 1	W/L = 2	W/L = 1	W/L = 2	W/L = 1	W/L = 2
PLAT8HR-8Q	0.965	0.873	1.011	1.097	0.948	1.035
HMPL5	1.008	0.999	1.234	1.245	0.926	0.944
HMPL5m	1.008	0.961	1.166	1.193	0.891	0.958
BUBBLE4	0.967	0.953	1.146	1.161	0.711	0.875
BUBBLE4m	0.966	0.930	1.142	1.125	0.729	0.841
BUBBLE9	0.969	0.868	1.148	1.072	1.224	1.218
MiSP4	0.967	0.953	1.148	1.222	0.711	0.839
IPBQQ	0.952	0.952	1.154	1.184	1.246	1.309
QRDH-OP	0.960	0.966	1.152	1.075	0.502	0.603
QH MID-OP	0.883	0.893	1.002	1.053	0.607	0.734

จากการทดสอบพบว่าเมื่อชิ้นส่วนมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยาวมากขึ้น จะทำให้ชิ้นส่วนเหล่านี้มีสติเฟ่นสมมากขึ้น คือให้ค่าตอบของการโก่งตัวที่กึ่งกลางแผ่นพื้นต่ำกว่าค่าแน่นอนตรง ซึ่งการใช้ชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้ผลกระทบต่อค่าตอบไม่มากนัก โดยที่ชิ้นส่วน HMPL5 จะให้ค่าความผิดพลาดต่ำกว่าชิ้นส่วนอื่นๆ

4.5 ผลเนื่องจากชิ้นส่วนมีลักษณะบิดเบี้ยว



จุด A คือจุดที่หาค่าการกระจัดและ โมเมนต์
จุด B คือจุดที่หาค่าแรงเฉือน

รูปที่ 4.5.1 (ก) ชิ้นส่วนบิดเบี้ยวเป็นรูปสามเหลี่ยม

(ข) ชิ้นส่วน 8 และ 9 จุดต่อ มีจุดต่อระหว่างมุมของชิ้นส่วนที่ไม่อยู่กึ่งกลางขอบ

ศึกษาผลกระทบของชิ้นส่วนลักษณะบิดเบี้ยวที่มีต่อความถูกต้องของผลเฉลยของแต่ละชิ้นส่วน⁽³⁷⁾ ทดสอบด้วยแผ่นพื้นขนาด 2x2 m ที่รองรับแบบยึดหมุนโดยรอบ รับน้ำหนักแผ่กระจายเต็มแผ่น แบ่งเป็น 16 ชิ้นส่วน ทดสอบชิ้นส่วนบิดเบี้ยวในสองลักษณะคือ ชิ้นส่วนบิดเบี้ยวจนเป็นรูปสามเหลี่ยม ดังรูป 4.5.1(ก) และสำหรับชิ้นส่วน 8 และ 9 จุดต่อ มีจุดต่อภายในชิ้นส่วนเอียงไปจากกึ่งกลาง ดังรูป 4.5.1(ข) โดยเปรียบเทียบผลเฉลยของการกระจัด และค่าโมเมนต์ที่จุด A และผลเฉลยของแรงเฉือนที่จุด B กับแผ่นพื้นลักษณะเดียวกันแต่ใช้ชิ้นส่วนจัตุรัสปกติ

ตารางที่ 4.5.1 อัตราส่วนระหว่างผลเฉลยของการกระจัดที่คำนวณได้กับผลเฉลยตามทฤษฎีของมินต์ลีน

ชนิดของชิ้นส่วน	แผ่นพื้นในรูป 4.5.1(ก)		แผ่นพื้นในรูป 4.5.1(ข)	
	การกระจัด		การกระจัด	
	ชิ้นส่วนปกติ	ชิ้นส่วนบิดเบี้ยว	ชิ้นส่วนปกติ	ชิ้นส่วนบิดเบี้ยว
PLAT8-5Q	0.980	0.975	0.980	0.968
PLAT8-6Q	0.972	0.969	0.972	0.958
PLAT8-8Q	0.965	0.961	0.965	0.942
PLAT8H-5Q	0.980	0.976	0.980	0.936
PLAT8H-6Q	0.973	0.970	0.973	0.917
PLAT8H-8Q	0.965	0.962	0.965	0.895
PLAT8HR-8Q	0.965	0.961	0.965	0.929
HMPL5	1.008	1.025	1.008	1.008
HMPL5m	1.008	1.002	1.008	1.002
BUBBLE4	0.967	0.965	0.967	-
BUBBLE4m	0.966	0.912	0.966	-
BUBBLE9	0.969	0.969	0.969	0.946
MiSP4	0.967	1.013	0.967	-
IPBQQ	0.952	0.947	0.952	0.927
QRDH-OP	0.960	0.893	0.960	-
QH MID-OP	0.883	0.754	0.883	-

จากผลการทดสอบพบว่า ชิ้นส่วนที่บิดเบี้ยวในลักษณะแผ่นพื้นในรูป 4.5.1(ก) ไม่ส่งผลต่อคำตอบของการกระจัดมากนัก แต่คำตอบของการกระจัดที่ได้จากชิ้นส่วนที่บิดเบี้ยวในลักษณะแผ่นพื้นในรูป 4.5.1(ข) ทำให้พบว่าชิ้นส่วนมีสติเฟ่นสมมากขึ้น คำตอบของการกระจัดที่ได้มีค่าลดลงโดยเฉพาะกลุ่มชิ้นส่วน PLAT8H คำตอบมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง และสำหรับชิ้นส่วน 5 จุดต่อ HMPL5 คำตอบของการกระจัดได้รับผลกระทบน้อยมาก

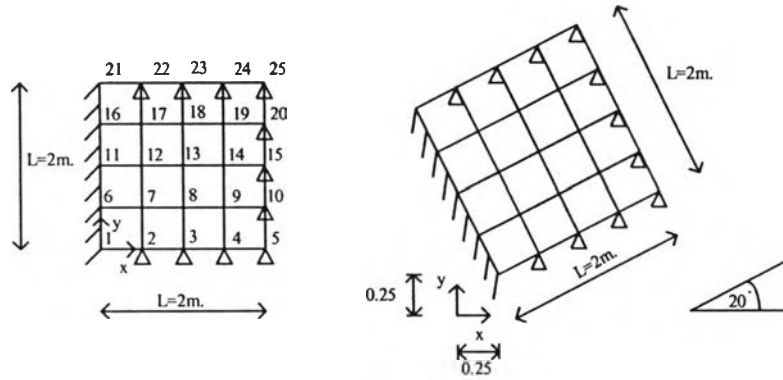
ตารางที่ 4.5.2 อัตราส่วนระหว่างผลเฉลยของโมเมนต์และแรงเฉือนที่คำนวณได้กับผลเฉลยตามทฤษฎี
ของมินคัลลิน

ชนิดของชิ้นส่วน	แผ่นพื้นในรูป 4.5.1(ก)				แผ่นพื้นในรูป 4.5.1(ข)			
	โมเมนต์		แรงเฉือน		โมเมนต์		แรงเฉือน	
	ชิ้นส่วน ปกติ	ชิ้นส่วน บิดเบี้ยว	ชิ้นส่วน ปกติ	ชิ้นส่วน บิดเบี้ยว	ชิ้นส่วน ปกติ	ชิ้นส่วน บิดเบี้ยว	ชิ้นส่วน ปกติ	ชิ้นส่วน บิดเบี้ยว
PLAT8-5C	1.181	1.191	1.146	1.132	1.181	1.348	1.146	1.067
PLAT8-6C	1.176	1.187	1.071	1.062	1.176	1.279	1.071	0.827
PLAT8-8C	1.175	1.182	1.071	1.062	1.175	1.304	1.071	0.987
PLAT8H-5C	1.180	1.202	1.210	1.202	1.180	1.232	1.210	0.966
PLAT8H-6C	1.195	1.204	1.136	1.133	1.195	1.668	1.136	0.657
PLAT8H-8C	1.188	1.206	1.137	1.124	1.188	1.130	1.137	0.998
PLAT8HR-8C	1.011	1.169	0.948	0.932	1.011	1.219	0.948	0.743
HMPL5	1.234	1.254	0.926	0.899	1.234	1.234	0.926	0.926
HMPL5m	1.166	1.159	0.891	0.886	1.166	1.193	0.891	0.914
BUBBLE4	1.146	1.113	0.711	0.683	1.146	-	0.711	-
BUBBLE4m	1.142	0.896	0.729	0.714	1.142	-	0.729	-
BUBBLE9	1.148	1.159	1.224	1.228	1.148	1.396	1.224	0.590
MiSP4	1.148	1.212	0.711	0.650	1.148	-	0.711	-
IPBQQ	1.154	1.227	1.246	1.231	1.154	-	1.246	-
QRDH-OP	1.152	0.731	0.502	0.499	1.152	-	0.502	-
QH MID-OP	1.002	0.741	0.607	0.498	1.002	-	0.607	-

ในส่วนของค่าโมเมนต์และแรงเฉือนที่ได้จากแผ่นพื้นในรูป 4.5.1(ก) ชิ้นส่วน 5 และ 8 จุดต่อ ค่าตอบมีความคลาดเคลื่อนต่ำ แต่ชิ้นส่วน BUBBLE4m QRDH-OP และ QH MID-OP ค่าตอบมีความคลาดเคลื่อนสูง และชิ้นส่วนที่บิดเบี้ยวในลักษณะแผ่นพื้น 4.5.1(ข) ส่งผลกระทบต่อค่าโมเมนต์และแรงเฉือนที่ได้มาก ทำให้ค่าตอบที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งชิ้นส่วน HMPL5 และ HMPL5m มีความคลาดเคลื่อนในค่าตอบของโมเมนต์และแรงเฉือนค่อนข้างต่ำกว่าชิ้นส่วนอื่นๆ

4.6 ความยั่งยืนของชิ้นส่วน (Invariance)

ศึกษาทิศทางและลักษณะการกำหนดพิกัดการวางแผนพื้นว่ามีผลกระทบต่อคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์แผ่นพื้นด้วยชิ้นส่วนต่างๆอย่างไร โดยทดสอบแผ่นพื้นขนาด 2x2 m ที่รองรับแบบยึดหมุนสามด้านและด้านที่เหลือเป็นที่รองรับแบบยึดแน่น ให้นำหนักแผ่กระจายเต็มแผ่น



รูปที่ 4.6.1 ลักษณะการวางแผนพื้นเพื่อทดสอบความยั่งยืนของชิ้นส่วน

จากการทดสอบพบว่าทุกชิ้นส่วนมีความยั่งยืน ทิศทางการกำหนดพิกัดของแผ่นพื้นไม่มีผลต่อผลเฉลยที่ได้จากการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงสามารถวางแผนพื้นในลักษณะใดก็ได้บนพิกัดหลัก ทั้งนี้เนื่องจากการเลือกสมมติฟังก์ชันที่ใช้ในการประมาณสนามของตัวแปรต่าง ๆ จะเลือกสมมติเป็นฟังก์ชันพหุนามในพิกัดธรรมชาติ (ξ, η) ซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนมีความยั่งยืน

4.7 การทดสอบประสิทธิภาพทางคอมพิวเตอร์

ในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างเมตริกซ์สติเฟเนสและวิเคราะห์หาผลเฉลยของแผ่นพื้น ประสิทธิภาพของแต่ละชิ้นส่วนจึงขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งเวลาส่วนใหญ่จะเสียไปกับสองส่วนหลักคือ การสร้างเมตริกซ์สติเฟเนสและการแก้สมการของระบบ การทดสอบกำหนดให้วิเคราะห์แผ่นพื้นขนาด 2x2 m หนา 0.2 m ที่รองรับแบบยึดหมุนโคโรบ ให้นำหนักแผ่กระจาย 1 kg/m² E= 10⁷ ksc และ $\nu = 0.3$ ในแผ่นพื้นแบ่งเป็น 100 ชิ้นส่วน หาดักรส่วนระหว่างจำนวนครั้งของการปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์(arithmetic operation) ในการสร้างเมตริกซ์สติเฟเนสสำหรับ 100 ชิ้นส่วนกับระดับขั้นความเสรีทั้งหมดในโครงสร้างและเวลาที่ใช้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7.1 อัตรส่วนระหว่างจำนวนครั้งในการสร้างการขจัดแบบเกาส์(Gauss elimination)สำหรับระบบสมการกับระดับขั้นความเสรีทั้งหมดในโครงสร้างและเวลาที่ใช้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7.2

ตารางที่ 4.7.1 อัตราส่วนระหว่างจำนวนครั้งในการสร้างเมตริกซ์สติฟเนสกับจำนวนระดับชั้นความเสถียรของ
ชั้นส่วนและเวลาที่ใช้

ชั้นส่วน	ส่วนการสร้าง เมตริกซ์สติฟเนส	เวลาที่ใช้ (วินาที)	เวลาที่ใช้/เวลาที่ใช้ ของชั้นส่วน HMPL5
PLAT8-5 α	8,688	5.720	2.08
PLAT8-6 α	9,296	5.540	2.02
PLAT8-8 α	10,895	5.610	2.040
PLAT8H-5 α	15,187	6.810	2.48
PLAT8H-6 α	15,924	8.570	3.12
PLAT8H-8 α	17,752	7.300	2.66
PLAT8HR-8 α	17,752	6.210	2.26
HMPL5	6,347	2.750	1.00
HMPL5m	9,128	2.970	1.08
BUBBLE4	170,719	8.900	3.24
BUBBLE4m	164,540	8.290	3.02
BUBBLE9	1,094,426	256.390	93.23
MiSP4	30,744	5.550	2.02

ตารางที่ 4.7.2 อัตราส่วนระหว่างจำนวนครั้งในการปฏิบัติการคำนวณกับจำนวนระดับชั้นความเสถียรของ
ชั้นส่วน และเวลาที่ใช้

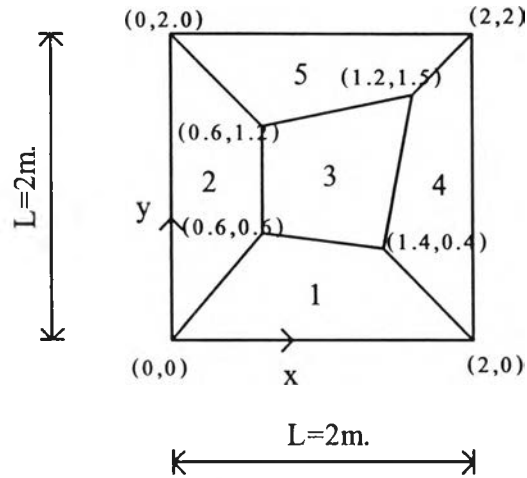
ชั้นส่วน	จัดแบบแก๊ส	เวลาที่ใช้ (วินาที)	เวลาที่ใช้/เวลาที่ใช้ ของชั้นส่วน MiSP4
PLAT8-5 α	4,641	4.390	4.43
PLAT8-6 α	4,641	4.230	4.27
PLAT8-8 α	4,641	4.340	4.38
PLAT8H-5 α	3,882	4.497	4.54
PLAT8H-6 α	3,882	4.660	4.71
PLAT8H-8 α	3,882	4.180	4.22
PLAT8HR-8 α	3,882	4.230	4.27
HMPL5	3,341	1.540	1.56
HMPL5m	3,341	1.540	1.56

ตารางที่ 4.7.2(ต่อ) อัตราส่วนระหว่างจำนวนครั้งในการปฏิบัติการคำนวณของกับจำนวนระดับขั้นความเสรีรวมของชั้นส่วน และเวลาที่ใช้

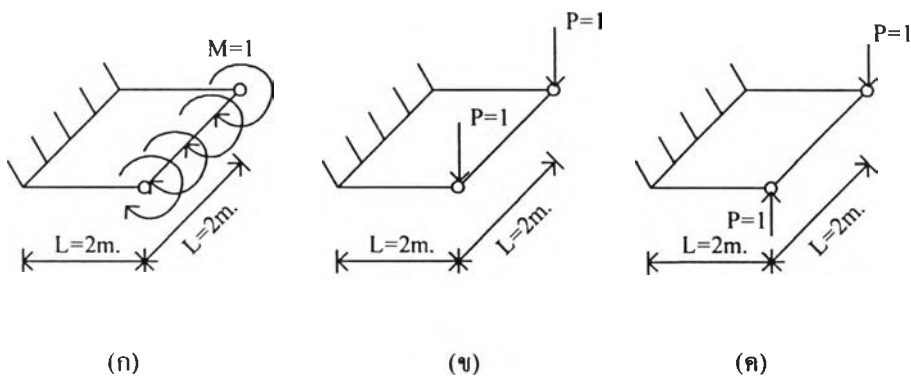
ชั้นส่วน	ส่วนการแก้สมการ	เวลาที่ใช้ (วินาที)	เวลาที่ใช้ / เวลาที่ใช้ ของชั้นส่วน MiSP4
BUBBLE4	1,308	0.990	1.00
BUBBLE4m	1,308	0.990	1.00
BUBBLE9	11,879	6.200	6.26
MiSP4	1,308	0.990	1.00

จากตารางจะเห็นว่า ทุกชั้นส่วนมีจำนวนครั้งในการคำนวณส่วนของการสร้างเมตริกซ์สติเฟเนตสูงกว่าจำนวนครั้งที่ใช้ในการจัดแบบเกาส์ แต่เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ ในชั้นส่วน 8 จุดต่อจะใช้เวลาของทั้งสองส่วนใกล้เคียงกันเนื่องจากมีจำนวนระดับขั้นความเสรีต่อหนึ่งชั้นส่วนสูง แต่สำหรับชั้นส่วน 4 และ 5 จุดต่อจะใช้เวลาในการจัดแบบเกาส์สั้นกว่าเวลาในการสร้างเมตริกซ์สติเฟเนต และปัจจัยสำคัญที่ทำให้ต้องใช้เวลาในการสร้างเมตริกซ์สติเฟเนตมากคือ อันดับของฟังก์ชันที่ใช้ในสนามของควแปร ถ้าใช้กำลังสูงมากจะทำให้การอินทิเกรตโดยวิธีของเกาส์จะต้องใช้จุดเกาส์ (Gauss point) หลายจุดเพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้อง จะเห็นได้ว่าชั้นส่วน BUBBLE4 มีจำนวนจุดต่อน้อยแต่ใช้จำนวนครั้งในการคำนวณมากเนื่องจากฟังก์ชันพองสฟูมีกำลังสูง ทำให้จำนวนครั้งในการคำนวณเมตริกซ์สติเฟเนตมากขึ้น นอกจากนี้ผลของจำนวนจุดต่อจะทำให้ใช้เวลาในการจัดแบบเกาส์มากขึ้น ชั้นส่วนที่มีจำนวนจุดต่อมากเช่นชั้นส่วน BUBBLE9 จะมีขนาดของเมตริกซ์สติเฟเนตของชั้นส่วนมากที่สุดคือ 27x27 ทำให้ชั้นส่วนนี้ใช้เวลาในการจัดแบบเกาส์มากที่สุด ชั้นส่วนที่ใช้เวลาในการสร้างเมตริกซ์สติเฟเนตต่ำที่สุดคือชั้นส่วน HMPL5 จึงมีประสิทธิภาพในการคำนวณทางคอมพิวเตอร์สูงที่สุด ถึงแม้จะใช้เวลาในการแก้สมการมากกว่าชั้นส่วน MiSP4 1.556 เท่า แต่ในการสร้างเมตริกซ์สติเฟเนต ชั้นส่วน MiSP4 ใช้เวลามากกว่าชั้นส่วน HMPL5 ถึง 2.018 เท่า

4.8 การทดสอบแบบหย่อม (Patch Test)



รูปที่ 4.8.1 ลักษณะการวางแบ่งชิ้นส่วนในแผ่นพื้นเพื่อทดสอบแบบหย่อม



$$L = 2 \text{ m}$$

$$E = 10^7 \text{ ksc}$$

$$\nu = 0.3$$

$$\text{ความหนา} = 0.2 \text{ m}$$

รูปที่ 4.8.2 (ก) ทดสอบโมเมนต์คดคองที่

(ข) ทดสอบแรงเฉือนคองที่

(ค) ทดสอบโมเมนต์บิดคองที่

การทดสอบแบบหย่อม เป็นการทดสอบเพื่อรับรองความบริบูรณ์ของชิ้นส่วน ซึ่งความบริบูรณ์ของชิ้นส่วนเกิดจากสามลักษณะ คือ

1. ฟังก์ชันการกระจัดที่สมมติขึ้น จะต้องมีความต่อเนื่องทั้งภายในชิ้นส่วนและระหว่างชิ้นส่วน
2. ชิ้นส่วนจะต้องแสดงรูปแบบการกระจัดแบบวัตถุแข็งเกร็งได้ครบทั้งสามรูปแบบ
3. ชิ้นส่วนจะต้องแสดงสถานะความเครียดคองที่ (constant strain state) ได้

เมื่อขึ้นส่วนผ่านการทดสอบแบบห้อยม หมายถึงผลเฉลยที่ได้จากขึ้นส่วนนั้นจะลู่อู่เข้าในทางเดียว (monotonic convergence) เมื่อแบ่งขึ้นส่วนในแผ่นพื้นละเอียดมากขึ้น

การทดสอบใช้วิธีแบ่งแผ่นพื้นออกเป็นหย่อมเล็กๆ โดยต้องมีขึ้นส่วนหนึ่งที่อยู่ภายในซึ่งถูกล้อมรอบด้วยขึ้นส่วนอื่น และมีที่รองรับเพียงพอที่จะป้องกันการเกิดการเคลื่อนที่แบบวัตถุแข็งเกร็ง และรับแรงในสามลักษณะคือ โมเมนต์ดัดคองที่ แรงเฉือนคองที่ และ โมเมนต์บิดคองที่ โดยเมื่อแผ่นพื้นรับแรงในแต่ละลักษณะ ขึ้นส่วนจะต้องให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับแรงกระทำดังกล่าว

สำหรับแผ่นตามทฤษฎีของมินคลิน เมื่อใช้ขึ้นส่วนที่สร้างเมตริกซ์สติเฟเนสจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์แบบผสม ฟังก์ชันที่ใช้ในสนามของตัวแปรความเค้นและความเครียดไม่จำเป็นต้องมีความต่อเนื่องระหว่างขึ้นส่วน ทำให้การลู่อู่เข้าสู่ผลเฉลยแม่นยำไม่เป็นทางเดียว (non-monotonic coverage) ดังนั้นเมื่อนำขึ้นส่วนเหล่านี้มาทดสอบแบบห้อยมจึงอาจไม่ผ่านการทดสอบได้

ตารางที่ 4.8.1 ผลการทดสอบแบบห้อยมของแต่ละขึ้นส่วน

ขึ้นส่วน	โมเมนต์ดัดคองที่	แรงเฉือนคองที่	โมเมนต์บิดคองที่
PLAT8-5Q	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
PLAT8-6Q	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
PLAT8-8Q	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
PLAT8H-5Q	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
PLAT8H-6Q	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
PLAT8H-8Q	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
HMPL5	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
HMPL5m	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
BUBBLE4	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
BUBBLE4m	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
BUBBLE9	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
MiSP4	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

* ผ่าน หมายถึงคำตอบที่ได้คลาดเคลื่อนจากค่าแม่นยำไม่เกิน 10 %