



บทที่ ๕

ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาระเบียงโครงสร้างตัวอย่าง 3 แบบ ซึ่งแต่ละแบบผลลัพธ์ที่ได้คือ ระยะเคลื่อนที่ แรงในระนาบและแรงดัดที่แต่ละข้อของชิ้นส่วนย่อย อย่างไรก็ตามผลลัพธ์บางส่วนที่ใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้องเท่านั้นที่แสดงไว้ในตาราง สำหรับทิศทางที่เป็นบวกของแรงในระนาบและแรงดัดได้แสดงไว้ในรูปที่ ๕.๑

๑. โครงสร้างแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Plate)

เลือกแผ่นพื้นคอนกรีตสี่เหลี่ยมจัตุรัสบนที่รองรับปรกติ (Simply Supports) ขนาด 20x20 ฟุต หนา 6 นิ้วรับแรงกระทำแผ่กระจาย 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามรูปที่ ๕.๒ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 4×10^6 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว $\nu = 0.3$ เป็นตัวอย่างแรกในการวิเคราะห์เพื่อ

๑.๑ ศึกษาการใช้ค่า Fictitious Rotation Stiffness ในการแก้ปัญหาทางการคำนวณในโปรแกรมคอมพิวเตอร์อันเนื่องมาจากสมการ $0 = 0$

๑.๒ เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลเมนต์กับผลที่ได้จากสมการของ Timoshenko, S.P. และ Krieger S.W. (๑)

เนื่องจากแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีสมมาตร 2 ทิศทางจึงพิจารณาเพียง $1/4$ ของแผ่นพื้นเท่านั้น ในการวิเคราะห์แบ่งส่วนที่พิจารณาออกเป็น 4×4 ชิ้นส่วนย่อยดังแสดงไว้ในรูปที่ ๕.๓ ภาวะเงื่อนไขขอบพื้นผิว (Boundary Condition) ตามขอบและตามแนวเส้นสมมาตรเป็นดังนี้ ที่ข้อ 1, 2, 3, 4 และ 5 การเคลื่อนที่ในทิศทางแกน x และการหมุนรอบแกน y เป็นศูนย์ ที่ข้อ 1, 6, 11, 16, 21 การเคลื่อนที่ในทิศทาง y และการหมุนรอบแกน x เป็นศูนย์ ข้อ 5, 10, 15, 20, 21, 22, 23, 24, และ 25 การเคลื่อนที่ในแนวแกน z เป็นศูนย์ ข้อ 5, 10, 15, 20, และ 25 การหมุนรอบแกน y

เป็นศูนย์ ชั่ว 21,22,23,24 และ 25 การหมุนรอบแกน x เป็นศูนย์ แรงกระทำที่ชั่วในทิศทางแกน z ได้จากการรวมแรงกระทำแผ่กระจายตามอัตราส่วนพื้นที่ เช่น แรงกระทำที่ชั่ว 1 มีค่า 225ปอนด์ ชั่ว 2 มีค่า 450 ปอนด์ ชั่ว 7 มีค่า 900 ปอนด์ แรงกระทำในทิศทางแกน x และแกน y เป็นศูนย์

จากผลของการวิเคราะห์พบว่าเกิดปัญหาทางการคำนวณเพื่อหาค่าระยะเคลื่อนในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในกรณีที่ไม่ได้ใช้ค่า Fictitious Rotation Stiffness และหลังจากที่ได้ใช้ค่า Fictitious Rotation Stiffness เข้าช่วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถคำนวณหาค่าผลลัพธ์ที่ต้องการได้ การวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นพื้นนี้ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของ Fictitious Rotation Stiffness เท่ากับ 0.001 , 0.01 , 0.1 แต่ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเท่ากันทั้งนี้เพราะว่า Local Coordinate ของชิ้นส่วนย่อยกับ Global Coordinate ของโครงสร้างเหมือนกัน ค่าแมทริกซ์แปรเปลี่ยน (Transformation Matrix) จะเป็น 1 ในแนวทะแยงมุมขณะที่ตำแหน่งอื่นๆเป็น 0 (Identity Matrix) ดังนั้นสตีฟเนสของชิ้นส่วนย่อยจะไม่เปลี่ยนค่าเมื่ออยู่ใน Global Coordinate ค่าระยะทรุดตัว (w) ในแนวแกน x และแกน y ได้แสดงไว้ในตารางที่ ๕.๑ ค่าแรงดัด M_x และ M_y ในแนวแกน x ได้แสดงไว้ในตารางที่ ๕.๒ เส้นกราฟเปรียบเทียบค่าทรุดตัวและแรงดัดในแนวแกน x ที่ได้จากการวิเคราะห์กับค่าที่ได้จากสมการของ Timoshenko, S.P. และ Krieger, S.W. แสดงไว้ในรูปที่ ๕.๔ ๕.๕ และ ๕.๖ ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบพบว่าระยะทรุดตัวตามแกน x และแกน y เท่ากันเนื่องจากความสมมาตร และค่าระยะทรุดตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์เอลเมนต์ที่ใช้ชิ้นส่วนย่อย QM5 ร่วมกับ ACM มีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากสมการของ Timoshenko, S.P. และ Krieger, S.W. มาก ที่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นที่มีค่าระยะทรุดตัวมากที่สุดจะมีค่าต่างกันเพียงร้อยละ 1.17 ระยะเคลื่อนในทิศทาง x และ y เป็นศูนย์เนื่องจากไม่มีแรงกระทำในแนวระนาบ จากรูป ๕.๕ และ ๕.๖ แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดัด M_x มากกว่า M_y ในแนวแกน x และแรงดัด M_x ที่ตำแหน่งต่างๆก็มีแนวโน้มเข้าใกล้ค่าของ Timoshenko, S.P. และ Krieger, S.W. มากกว่า M_y ค่า M_x และ M_y สูงสุดที่กึ่งกลางแผ่นพื้นมีค่าน้อยกว่าค่าเปรียบเทียบร้อยละ 11.0

เนื่องจากความสมมาตรในสองทิศทางทำให้ค่าแรงดัด M_y และ M_x ในแนวแกน Y เท่ากับ M_x และ M_y ในแนวแกน X ตามลำดับ ค่าแรงดัด M_x และ M_y ในทิศทางแกน Y ได้แสดงไว้ในตารางที่ ๕.๓ และแสดงเป็นเส้นกราฟเปรียบเทียบไว้ในรูปที่ ๕.๗ และรูป ๕.๘ ตามลำดับ

๒. โครงสร้างเปลือกบางรูปทรงกระบอกขอบค้ำข้างอิสระ (Single - barrel Shell with Free Edges)

เลือกโครงสร้างเปลือกบางรูปทรงกระบอกปลายทั้งสองข้างวางบน Diaphragms ที่ขอบค้ำข้างเป็นอิสระ กว้าง 32.14 ฟุต ยาว 50 ฟุต รัศมีความโค้ง 25 ฟุต ความหนา 3 นิ้ว ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 3×10^6 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว $\nu = 0.3$ น้ำหนักโครงสร้าง 150 ปอนด์ต่อตารางฟุต ดังแสดงในรูปที่ ๕.๕ เป็นตัวอย่างที่สองในการวิเคราะห์

๒.๑ ศึกษาการใช้ค่า Fictitious Rotation Stiffness ในการแก้สมการ Singular ที่เกิดจากการเปลี่ยน Local Element Stiffness เป็น Global Stiffness

๒.๒ หาค่าสัมประสิทธิ์ของ Fictitious Rotation Stiffness ที่ให้ผลในการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด

๒.๓ เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยกับผลที่ได้จากโปรแกรม SHELL 5 (QM5+HCT (๑๒)) และค่าที่ได้จากโปรแกรม MULEL

เนื่องจากโครงสร้างมีสมมาตร ๒ ทิศทางจึงพิจารณาเพียง 1/4 ของโครงสร้างทั้งหมด แบ่งชั้นส่วนที่พิจารณาออกเป็น 4x5 ชั้นส่วนย่อยดังแสดงไว้ในรูปที่ ๕.๑๐ ภาวะเงื่อนไขบนพื้นผิวตามขอบอิสระ แนวสมมาตรตามขวาง แนวสมมาตรตามยาว และบริเวณที่รองรับเป็นดังนี้ ที่ข้อ 1, 2, 3, 4, 5 การเคลื่อนที่ในแนวแกน Y และการหมุนรอบแกน X เป็นศูนย์ ข้อ 1, 6, 11, 16, 21, 26 การเคลื่อนที่ในแนวแกน X และการหมุนรอบแกน Y เป็นศูนย์ ข้อ 26, 27, 28, 29, 30 การเคลื่อนที่ในแนวแกน X แกน Z และการหมุนรอบแกน Y เป็นศูนย์ แรงกระทำที่ข้อในทิศทางแกน Z ได้จากการคิด น้ำหนักของโครงสร้างตามอัตราส่วนพื้นที่ เช่น ที่ข้อ 1 แรงกระทำ 204 ปอนด์

ซี่ว 2 แรงกระทำ 408 ปอนด์ และซี่ว 7 แรงกระทำ 815 ปอนด์

ในการวิเคราะห์ที่ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของ Fictitious Rotation Stiffness เท่ากับ 0.001 , 0.01 และ 0.1 ค่าระยะเคลื่อนที่ในแนวแกน Z ค่าแรงดัด M_y แรงแรง F_x และ แรงแรง F_y ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางได้แสดงไว้ในตารางที่ ๕.๔, ๕.๖, ๕.๗ และ ๕.๘ ตามลำดับ ค่าระยะเคลื่อนที่ในทิศทาง y และแรงแรง F_{xy} ที่บริเวณที่รองรับแสดงไว้ในตารางที่ ๕.๕ และ ๕.๙ เส้นกราฟเปรียบเทียบของระยะเคลื่อนที่ในแนวแกน Z แรงแรงดัด M_y แรงแรง F_x และแรงแรง F_y ได้แสดงเปรียบเทียบไว้ในรูปที่ ๕.๑๑, ๕.๑๓, ๕.๑๔ และ ๕.๑๕ เส้นกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าระยะเคลื่อนที่ในทิศทาง Y และค่าแรงแรง F_{xy} บริเวณที่รองรับได้แสดงไว้ในรูปที่ ๕.๑๒ และ ๕.๑๖

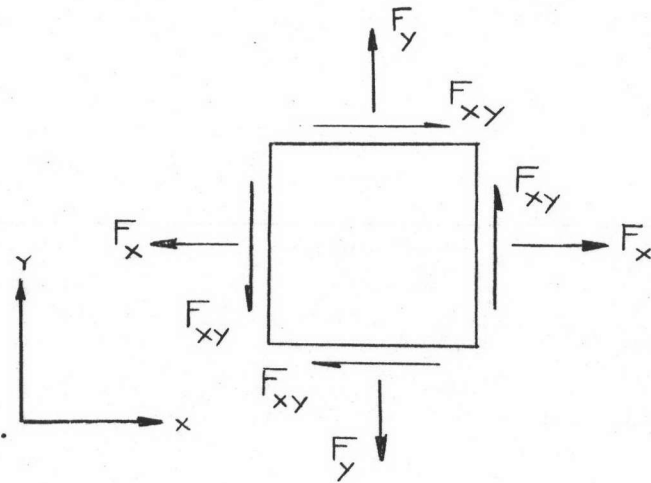
จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ $\alpha = 0.0$, 0.001 , 0.01 ให้ผลใกล้เคียงกับผลที่ได้จากโปรแกรม MULEL และ QM5+HCT มากแต่ $\alpha = 0.01$ ให้ผลใกล้เคียงที่สุดกับ MULEL และสำหรับ α ที่มีค่ามากขึ้นจะทำให้ระยะเคลื่อนที่ในแนวแกน Z ลดลง ระยะทรุดตัวสูงสุดที่ขอบตรงส่วนตัดกึ่งกลางตามขวาง $\alpha = 0.01$ และ 0.1 ให้ผลแตกต่างจาก MULEL เท่ากับ 2.22 % และ 9.6 % ระยะเคลื่อนที่ในแนวแกน Y บริเวณที่รองรับมีค่ามากที่สุดตรงขอบซึ่งค่าที่ได้จาก $\alpha = 0.001$ และ 0.1 ต่างจาก MULEL 11.70 % และ 23.46 % แรงแรงดัด M_y ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางมีค่ามากที่สุดตรงกึ่งกลางซึ่งค่าที่ได้จาก $\alpha = 0.001$ และ 0.1 ต่างจาก MULEL 0.6 % และ 14.45 % ค่าแรงแรง F_y ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางมีค่าสูงสุดที่ขอบซึ่งค่าที่ได้จาก $\alpha = 0.001$ และ 0.1 ต่างจาก MULEL 7.02 % และ 13.14 % สำหรับค่าแรงแรง F_x ที่ส่วนตัดกึ่งกลางและแรงแรง F_{xy} บริเวณที่รองรับต้องเป็นศูนย์ที่ขอบ แต่จากการวิเคราะห์ F_x และ F_{xy} มีค่า ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของชิ้นส่วนย่อยและสมมุติฐานที่กำหนดให้ค่าความเครียดเนื่องจากแรงเฉือนคงที่สำหรับ $\alpha=0.0$, 0.001 จะให้ค่าระยะเคลื่อนที่ในทิศทางแกน Z แกน Y และแรงแรงดัด M_y เท่ากับผลที่ได้จาก QM5+HCT

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดจะเห็นได้ว่า ค่า α น้อยๆจะให้ผลดีกว่า α ที่มีค่ามากและค่า α ที่ให้ผลดีที่สุดหลายกรณีมีค่าเท่ากับ 0.001

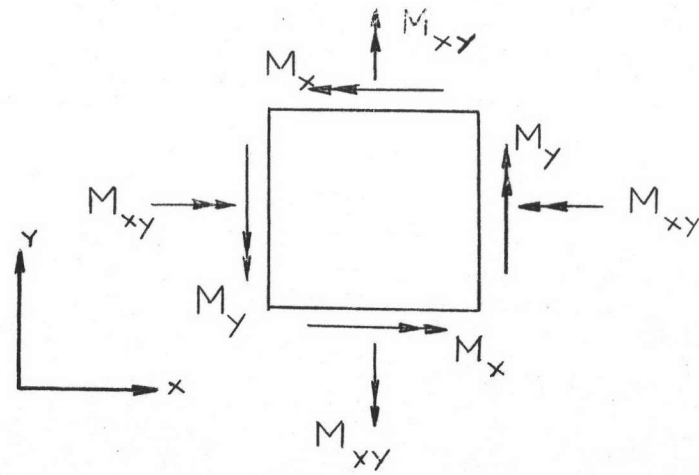
๓. โครงสร้างเปลือกบางรูปทรงกระบอกตัวใน (Interior Shell of a Multiple - Barrel Shell)

เลือกโครงสร้างเปลือกบางปลายทั้งสองข้างวางบน Diaphragms ที่ขอบด้านข้างต่อเนื่อง กว้าง 39.84 ฟุต ยาว 62 ฟุต รัศมีความโค้ง 31 ฟุตหนา 3.75 นิ้ว ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 3×10^6 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว $\nu = 0.0$ รับน้ำหนักแผ่กระจายในแนวระนาบ 25 ปอนด์ต่อตารางฟุต น้ำหนักโครงสร้าง 47 ปอนด์ต่อตารางฟุตดังแสดงในรูป ๕.๑๗ เป็นตัวอย่างที่ ๓ ในการวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึงความละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งชิ้นส่วนที่พิจารณาออกเป็น 4×5 กับ 8×10 ชิ้นส่วนย่อยดังแสดงในรูปที่ ๕.๑๘ ภาวะเงื่อนไขขอบบนพื้นผิวตามแนวสมมาตรตามขวางแนวสมมาตรตามยาว และบริเวณที่รองรับ เป็นเช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ ๒ ส่วนตามขอบที่ต่อเนื่องการเคลื่อนที่ในแนวแกน x และการหมุนรอบแกน Y เป็นศูนย์ ในการวิเคราะห์ใช้ค่า $\alpha = 0.001$ ค่าที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบได้จาก ASCE Manual No 31. และการวิเคราะห์โดย Beam Theory (๑๓) ค่าแรง F_y, F_{xy}, F_x, M_y และระยะทรุดตัวตามแกน Z ได้แสดงไว้ในตารางที่ ๕.๑๐, ๕.๑๑, ๕.๑๒, ๕.๑๓ และ ๕.๑๔ ตามลำดับและแสดงเป็นเส้นกราฟเปรียบเทียบไว้ในรูปที่ ๕.๑๙, ๕.๒๐, ๕.๒๑, ๕.๒๒, และ ๕.๒๓

จากผลของการวิเคราะห์พบว่าค่าสูงสุดของ F_y, F_{xy}, F_x และแรงดัด M_y ที่ได้จาก การแบ่งโครงสร้างขนาด 8×10 ชิ้นส่วนย่อยจะมีค่าต่างจาก ASCE Manual No 31 เท่ากับ 11.85 % 0.27 % , 22.90 % และ 38.7 % ในขณะที่ผลจากการแบ่งโครงสร้างขนาด 4×5 ชิ้นส่วนย่อยมีผลต่างจาก ASCE 10.05 % , 2.7 % , 25.64 % และ 28.42 % ตามลำดับ จากผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าเมื่อโครงสร้างถูกแบ่งย่อยมากขึ้นค่า Fictitious Rotation Stiffness ที่ใช้ต่าง ๆ จะทำให้โครงสร้างมีความแข็งแกร่งขึ้นด้วย จากการแบ่งโครงสร้างละเอียดมากขึ้น 4 เท่าทำให้ค่าโมเมนต์สูงสุด M_y น้อยลง 14.36 % แรง F_y น้อยลง 2 %

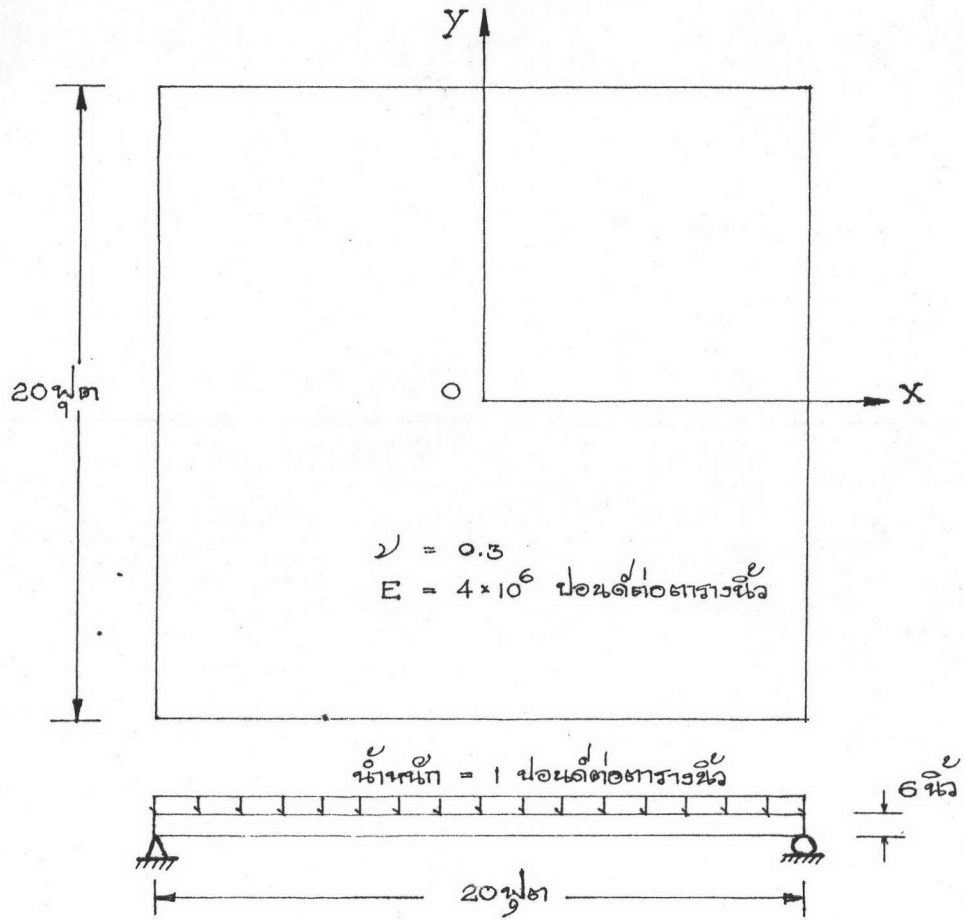


ก. แรงในระนาบ

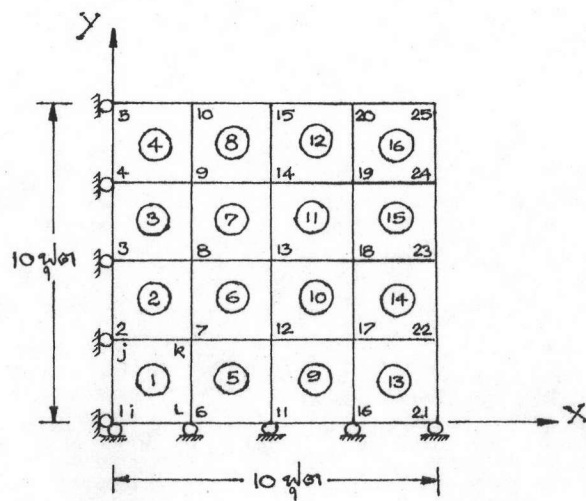


ข. แรงดัด

รูปที่ ๕.๑ แสดงทิศทางที่เป็นบวกของแรงในระนาบและแรงดัด



รูปที่ ๕.๒ แสดงแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมจตุรัสบนที่รองรับปรกติ



รูปที่ ๕.๓ แสดงการแบ่งชิ้นส่วนย่อย การจัดหมายเลขข้อและชิ้นส่วนย่อย

ตารางที่ ๕.๑ ค่าระยะทรุดตัวตามแนวสมมาตร x และ y ของแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

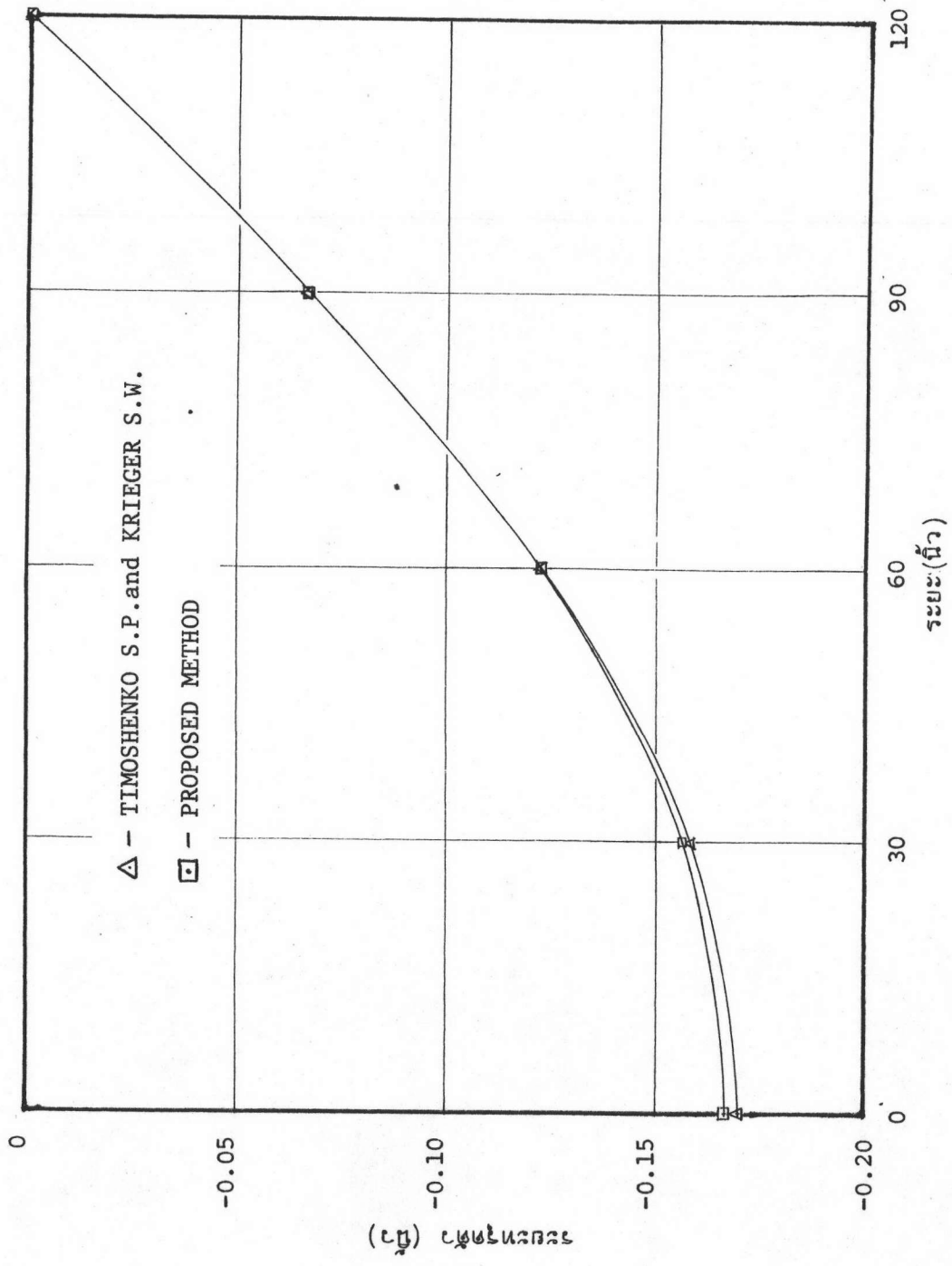
ระยะทรุดตัว (w) นิ้ว	ด้านยาว ด้านสั้น	ระยะ $x(y)$ (นิ้ว)				
		0	30	60	90	120
TIMOSHENKO	1.0	-0.170	-0.158	-0.123	-0.068	-0.000
PROPOSED METHOD	1.0	-0.168	-0.156	-0.122	-0.067	-0.000

ตารางที่ ๕.๒ ค่าโมเมนต์ตามแนวสมมาตร X ของแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

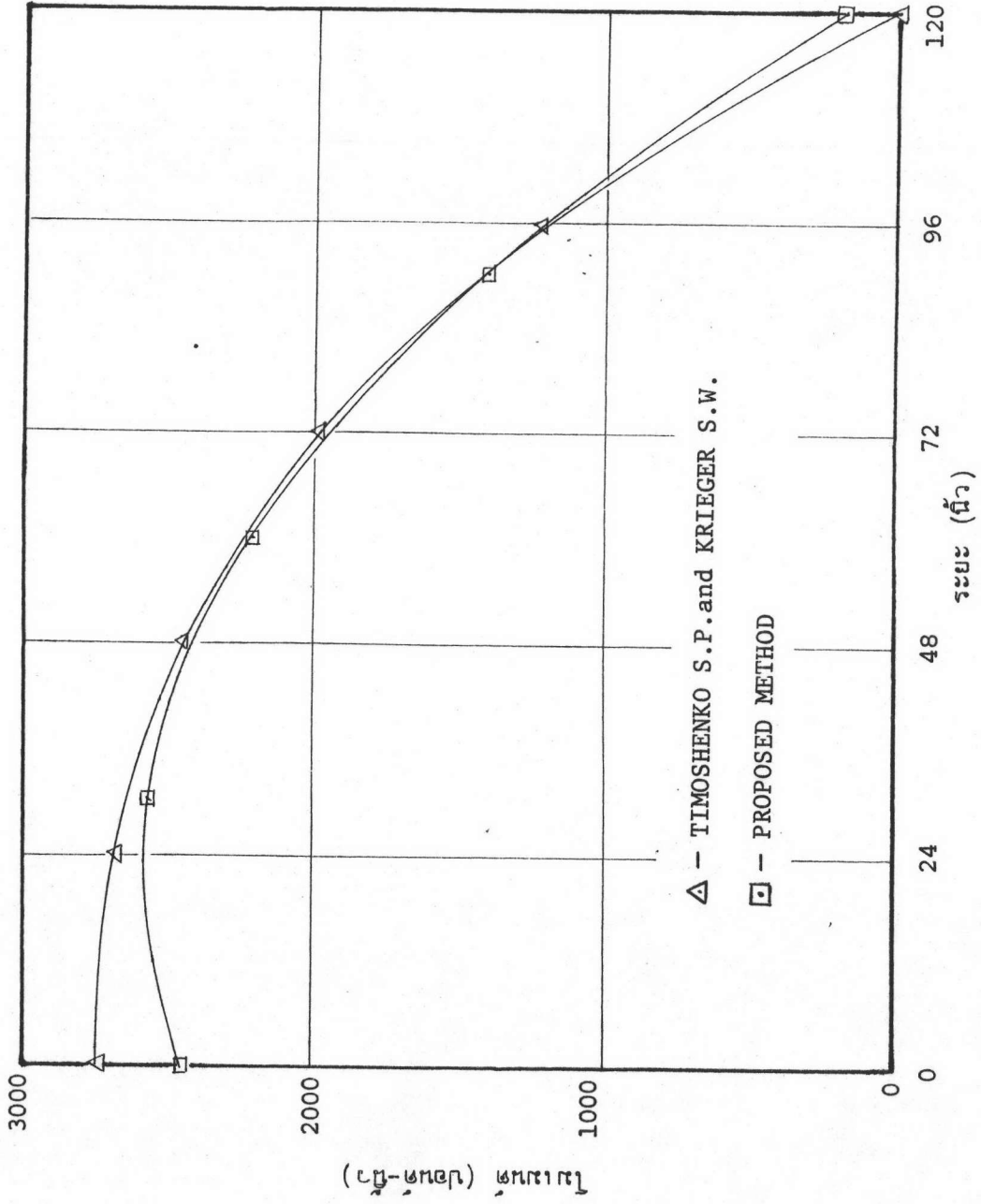
TIMOSHENKO		ด้านยาว ด้านสั้น	ระยะ x (นิ้ว)				
			0	24	48	72	96
M_x	$y = 0$	1.0	2759	2684	2442	1975	1203
M_y	$y = 0$	1.0	2759	2643	2304	1745	967
PROPOSED METHOD		ด้านยาว ด้านสั้น	ระยะ x (นิ้ว)				
			0	30	60	90	120
M_x	$y = 0$	1.0	-2454	-2597	-2210	-1425	-173
M_y	$y = 0$	1.0	-2454	-2370	-1887	-1093	-52

ตารางที่ ๕.๓ ค่าโมเมนต์ตามแนวสมมาตร Y ของแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

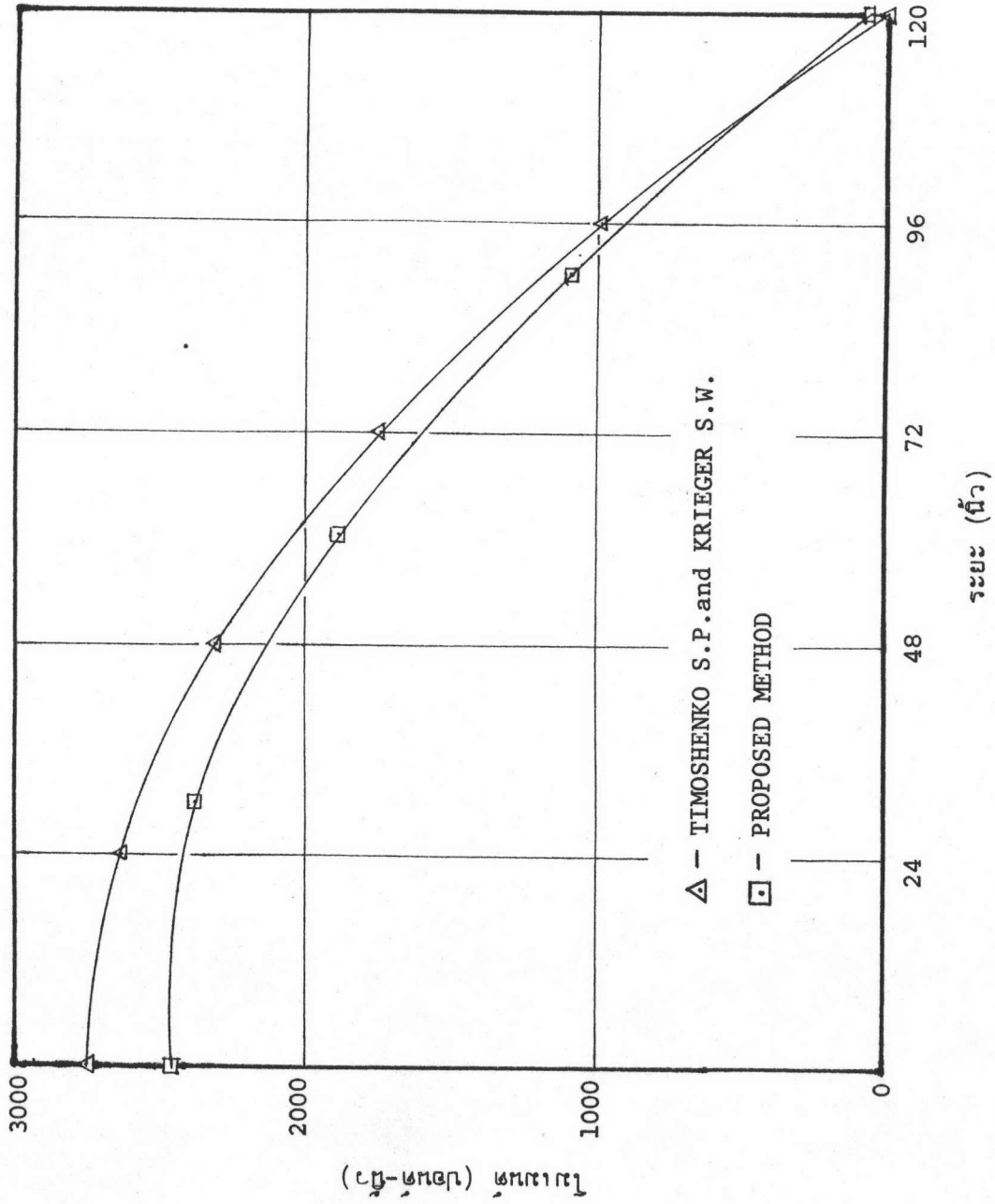
TIMOSHENKO		ด้านยาว ด้านสั้น	ระยะ y (นิ้ว)				
			0	24	48	72	96
M_x	$x = 0$	1.0	2759	2643	2304	1745	967
M_y	$x = 0$	1.0	2759	2684	2442	1975	1203
PROPOSED METHOD		ด้านยาว ด้านสั้น	ระยะ y (นิ้ว)				
			0	30	60	90	120
M_x	$x = 0$	1.0	-2454	-2370	-1887	-1093	-52
M_y	$x = 0$	1.0	-2454	-2597	-2210	-1425	-173



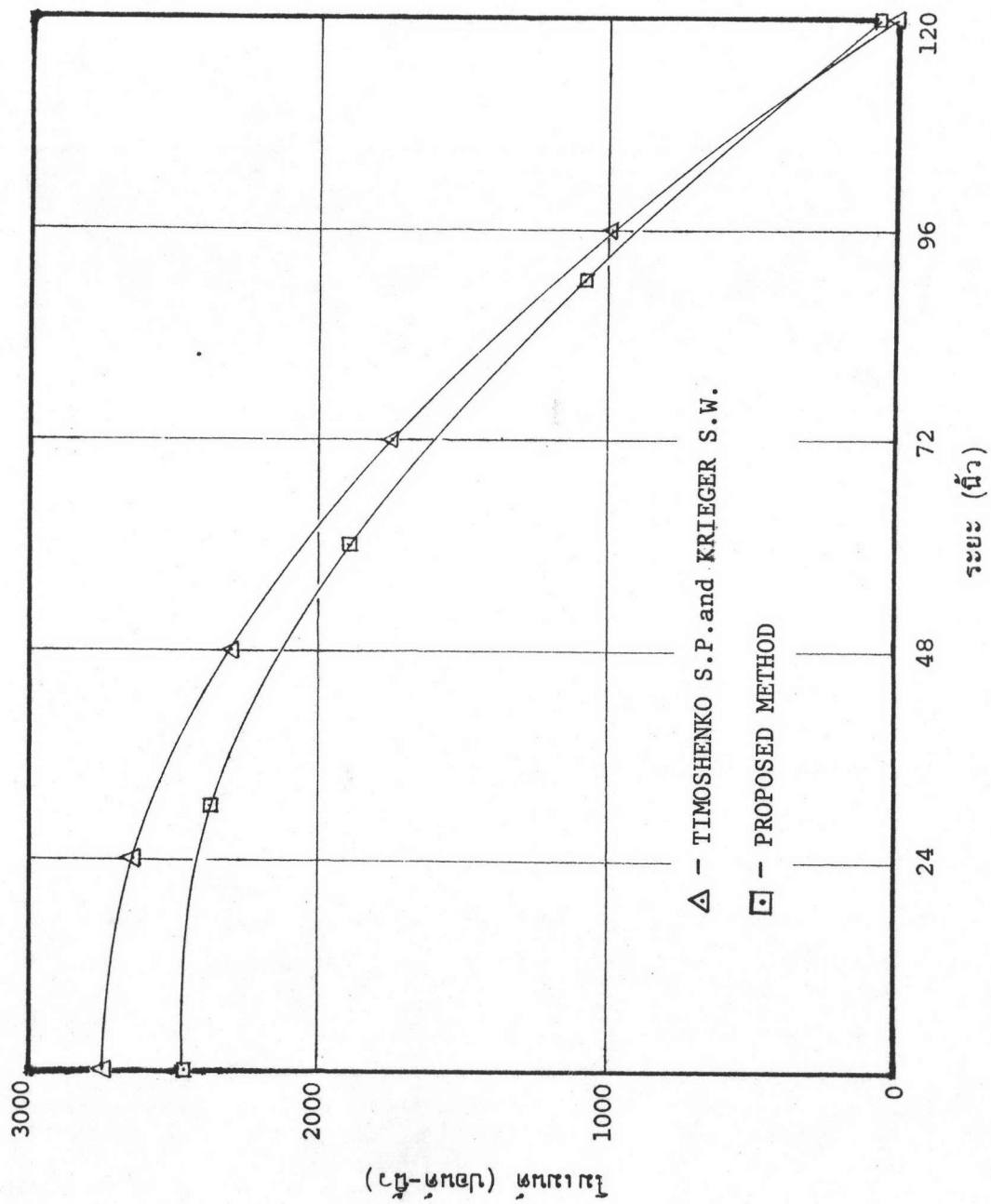
รูปที่ ๕.๕ แสดงการเปรียบเทียบระยะทรุดตัว (δ) ในแนวแกน-x และ -y ของแผ่นพื้นสี่ เหลี่ยมจตุรัส



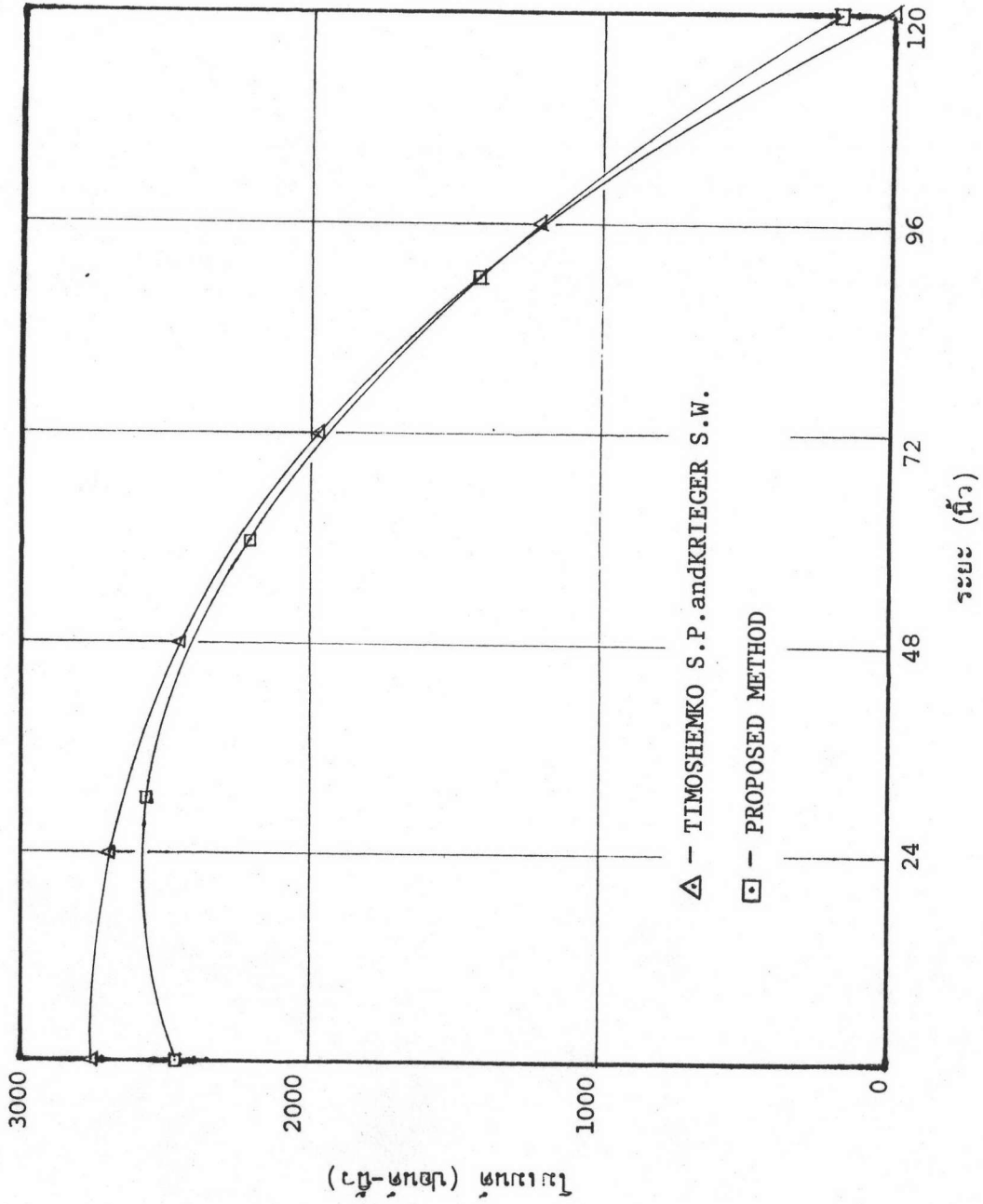
รูปที่ ๔.๔ แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ (M_x) ในแนวแกน -X ของแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส



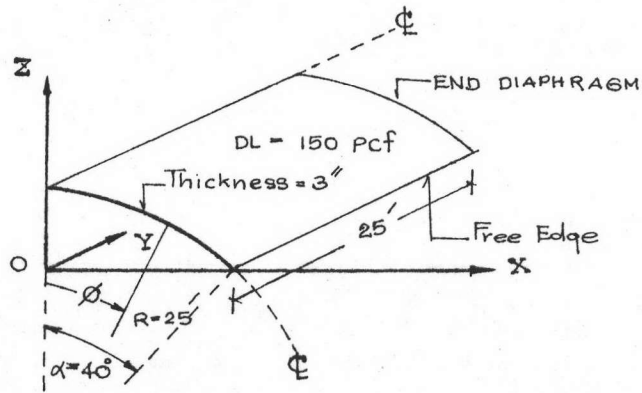
รูปที่ ๕.๖ แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ (M_y) ในแนวแกน -X ของแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส



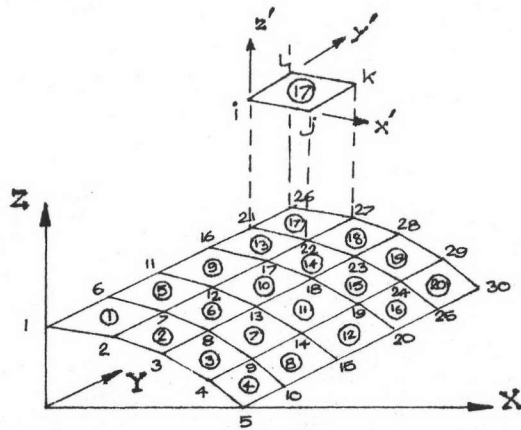
รูปที่ ๔.๗ แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ (M_x) ในแนวแกน -Y ของแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมจตุรัส



รูปที่ ๕.๘ แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ (M_y) ในแนวแกน $-Y$ ของแผ่นพื้นสี่ เหลี่ยมจตุรัส



รูปที่ ๕.๙ แสดงชิ้นส่วนของโครงสร้างเปลือกบางขอบค้ำข้างอิสระที่พิจารณา



รูปที่ ๕.๑๐ แสดงการแบ่งชิ้นส่วนย่อย การจัดหมายเลขข้อ และชิ้นส่วนย่อยของ
โครงสร้างเปลือกบางขอบค้ำข้างอิสระ

ตารางที่ ๕.๔ ค่าระยะทรุดตัวที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบาง
ขอบด้านข้างอิสระ

ระยะทรุดตัว (w) ฟุต	มุม θ (องศา)				
	0°	10°	20°	30°	40°
SHELL5 (QM5 + HCT)	0.0202	0.0052	-0.0347	-0.0874	-0.1405
MULEL	0.0187	0.0048	-0.0329	-0.0834	-0.1350
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.0$)	0.0203	0.0054	-0.0349	-0.0881	-0.1410
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.001$)	0.0202	0.0053	-0.0347	-0.0876	-0.1410
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.01$)	0.0197	0.0051	-0.0342	-0.0860	-0.1380
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.1$)	0.0162	0.0036	-0.0307	-0.0726	-0.1220

ตารางที่ ๕.๕ ค่าระยะเคลื่อนที่ในทิศทาง y บริเวณที่รองรับของโครงสร้างเปลือก
บางขอบด้านข้างอิสระ

ระยะเคลื่อนที่ในแนว y (v) ฟุต $\times 10^{-3}$	มุม θ (องศา)				
	0°	10°	20°	30°	40°
SHELL5 (QM5 + HCT)	0.182	-0.357	-1.250	-0.619	4.740
MULEL	-0.007	-0.425	-1.080	-0.180	5.370
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.0$)	0.183	-0.347	-1.250	-0.641	4.760
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.001$)	0.182	-0.346	-1.250	-0.638	4.740
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.01$)	0.163	-0.348	-1.220	-0.613	4.650
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.1$)	0.044	-0.367	-1.050	-0.459	4.110

ตารางที่ ๕.๖ ค่าโมเมนต์ (M_y) ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบาง
ขอบด้านข้างอิสระ

โมเมนต์ (M_y) ฟุต-ปอนด์ต่อฟุต	มุม θ (องศา)				
	0°	10°	20°	30°	40°
SHELL5 (QM5 + HCT)	-1033	-885	-532	-133	17
MULEL	-962	-836	-487	-88	0
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.0$)	+978	+909	+540	+118	+10
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.001$)	+968	+897	+527	+104	+10
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.01$)	+949	+884	+524	+110	+15
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.1$)	+823	+788	+527	+187	+32

ตารางที่ ๕.๗ ค่าแรง F_x ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางขอบ
ด้านข้างอิสระ

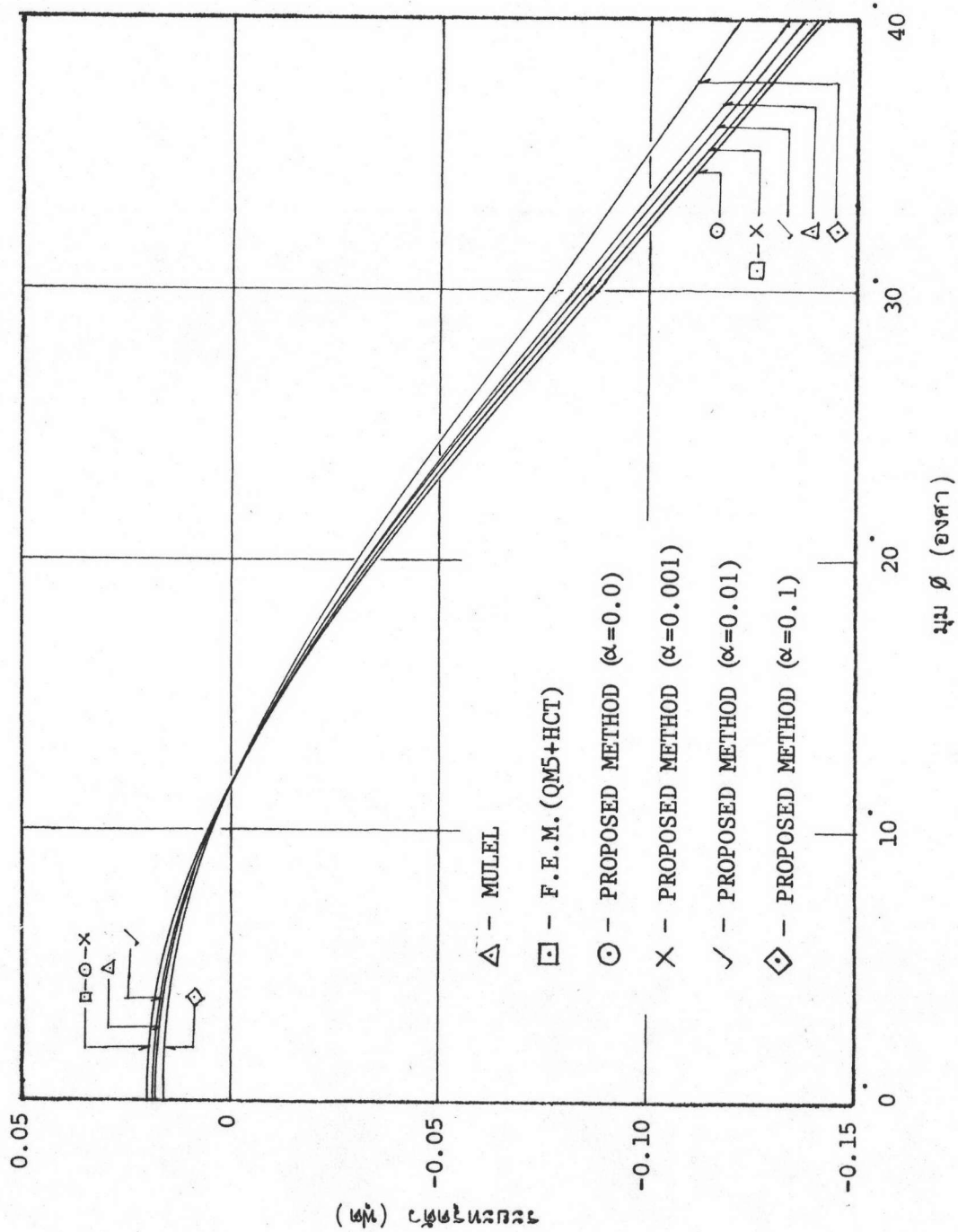
แรง F_x ปอนด์ต่อฟุต	มุม θ (องศา)				
	0°	10°	20°	30°	40°
MULEL	-1494	-1417	-1080	-440	0
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.0$)	-846	-1136	-1782	-2718	+5132
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.001$)	-865	-1087	-1565	-2402	+5311
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.01$)	-1047	-1307	-1792	-2526	+5199
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.1$)	-1796	-2286	-3125	-3711	+4041

ตารางที่ ๕.๘ ค่า F_y ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางขอบด้านข้างอิสระ

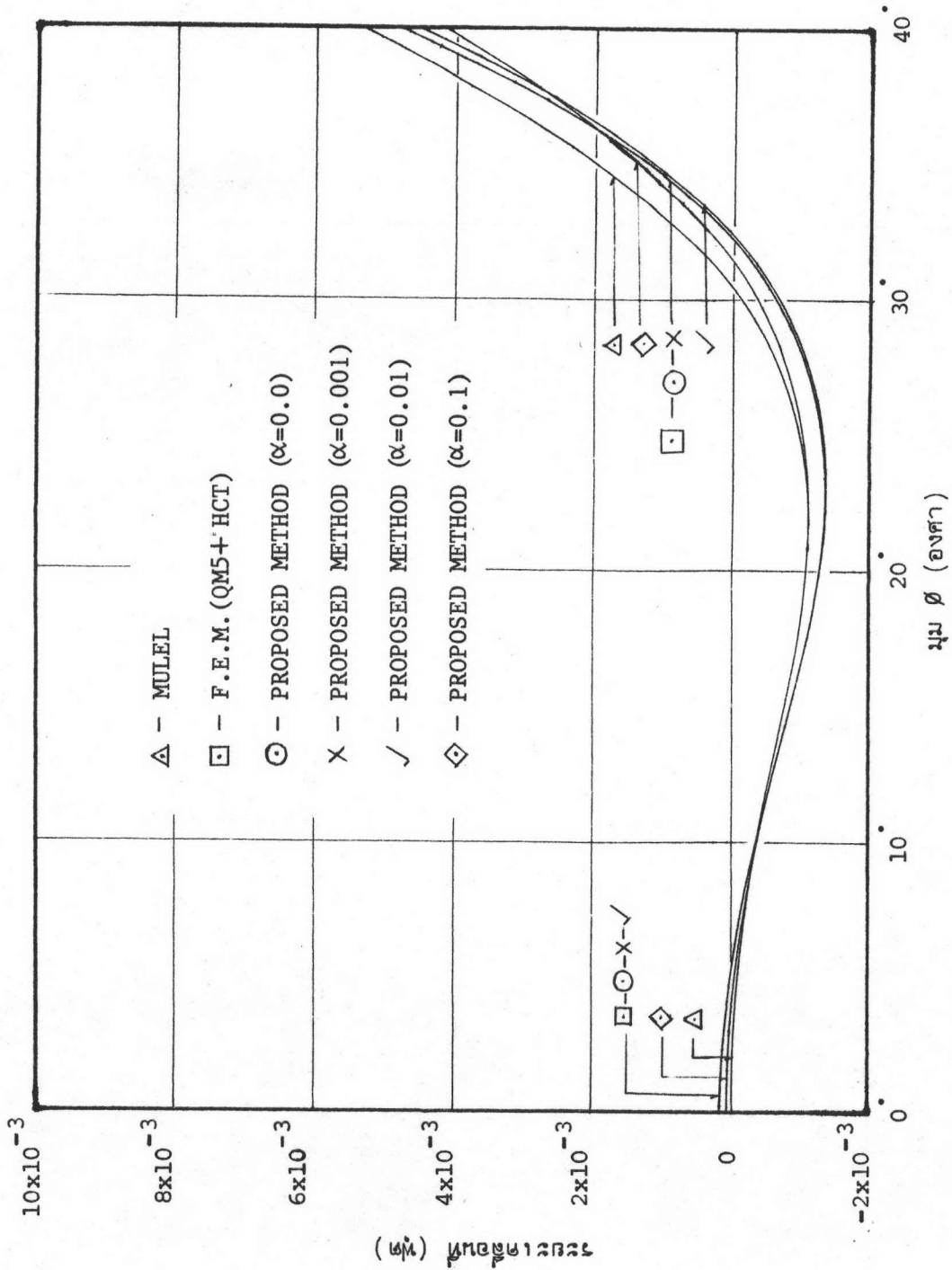
แรง F_y ปอนด์ต่อฟุต	มุม θ (องศา)				
	0°	10°	20°	30°	40°
MULEL	-814	-3528	-7376	-709	+32,892
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.0$)	676	-2932	-8674	-4065	+30,770
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.001$)	654	-2924	-8598	-3877	+30,580
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.01$)	619	-2940	-8571	-3885	+30,320
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.1$)	241	-3037	-8208	-4082	+28,570

ตารางที่ ๕.๙ ค่าแรง F_{xy} บริเวณที่รองรับของโครงสร้างเปลือกบางขอบด้านข้างอิสระ

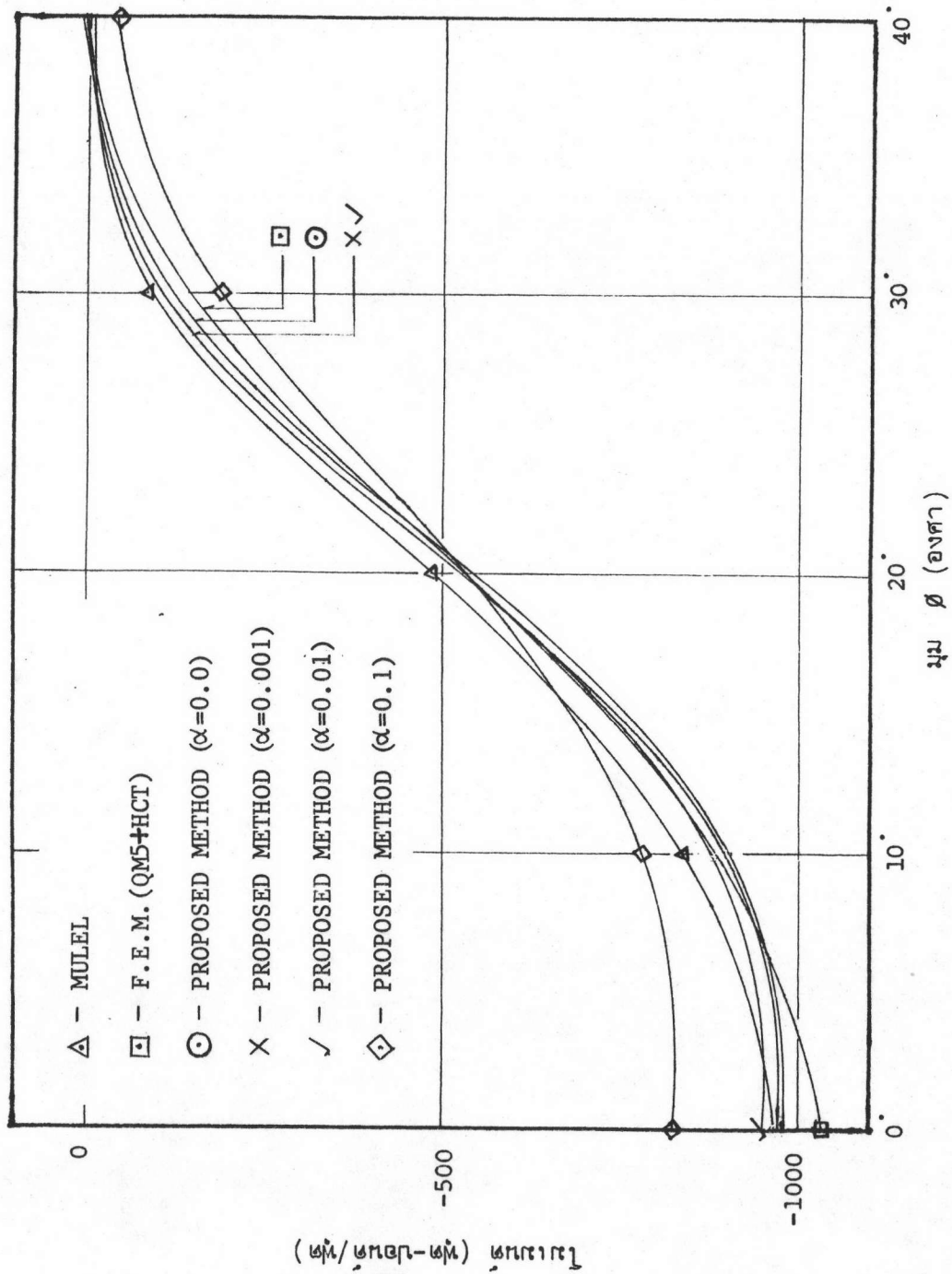
แรง F_{xy} ปอนด์ต่อฟุต	มุม θ (องศา)				
	0°	10°	20°	30°	40°
MULEL	0	-337	-2033	-4415	0
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.0$)	-19	-442	-1974	-3145	-3205
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.001$)	-17	-440	-1974	-3137	-3190
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.01$)	-51	-480	-1973	-3065	-3094
PROPOSED METHOD ($\alpha = 0.1$)	-227	-682	-1967	-2706	-2615



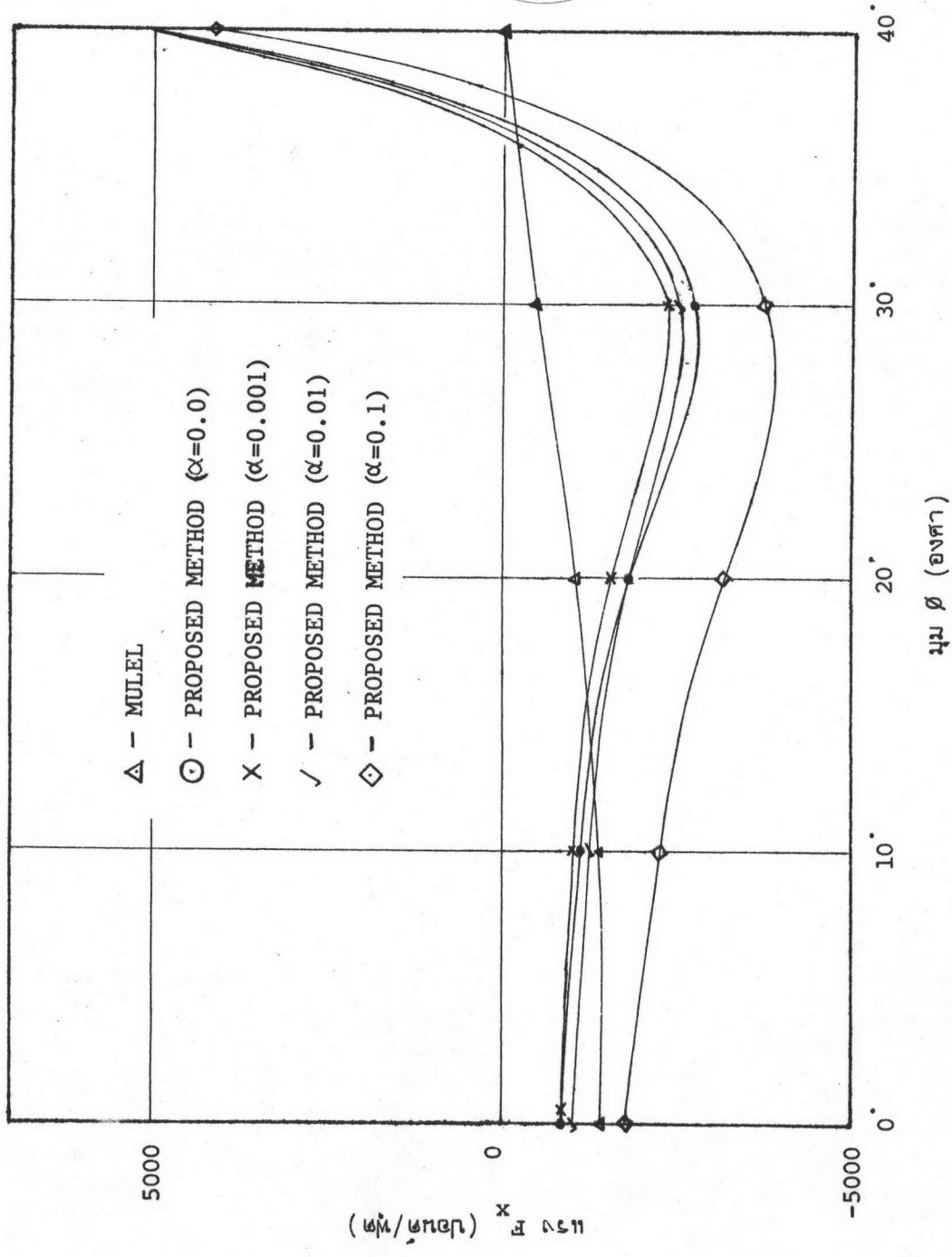
รูปที่ ๔.๑๑ แสดงการเปรียบเทียบระยะทรุดตัว (w) ที่ส่วนค้ำที่กลางตามขวางของโครงสร้างเปิดบางของคาน้ำข้างอิสระ



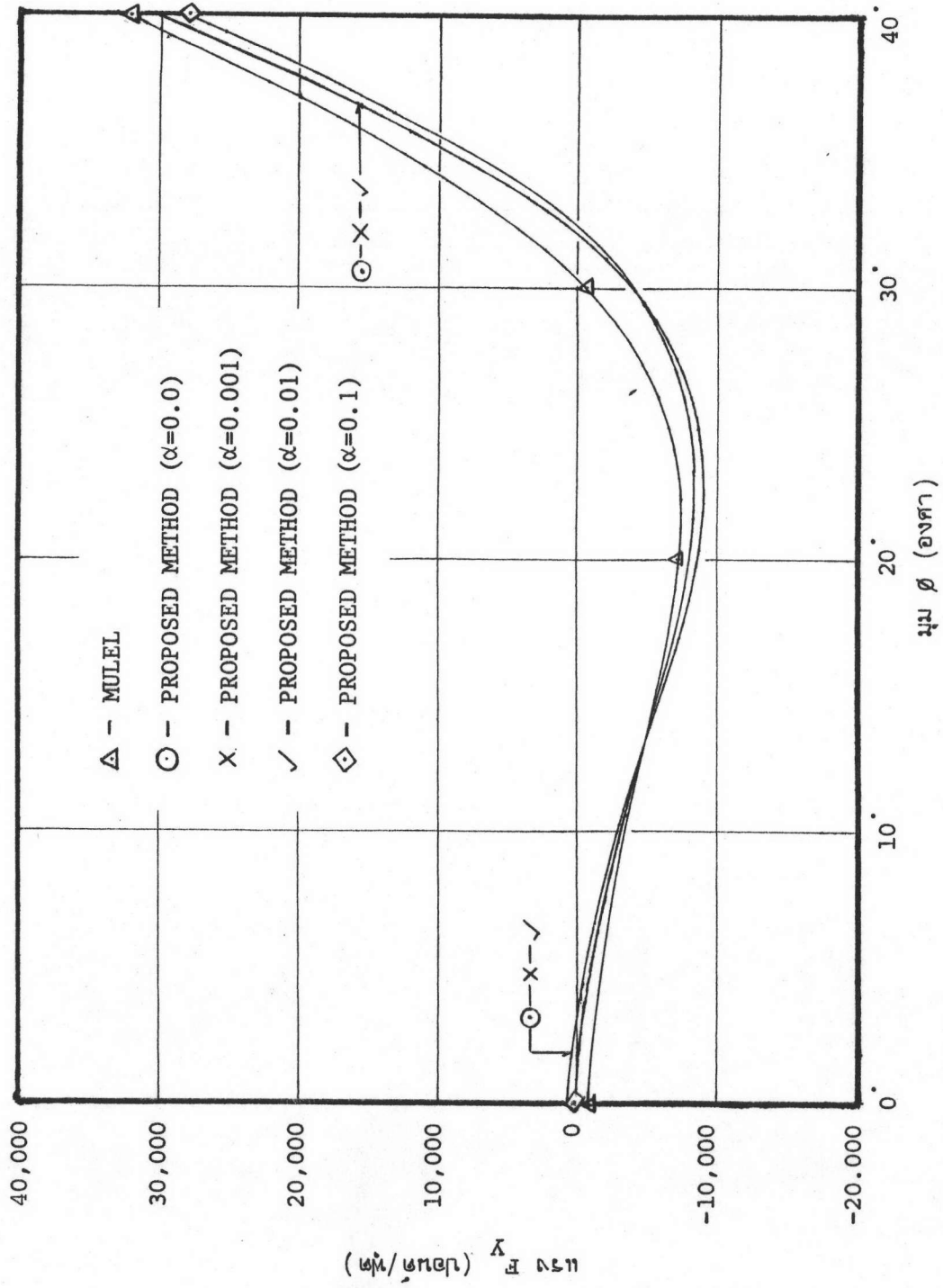
รูปที่ ๔.๑๒ แสดงการเปรียบเทียบระยะเคลื่อนที่ในทิศทาง Y บริเวณที่รองรับของโครงสร้างเปลือกบางของคานข้างอิสระ



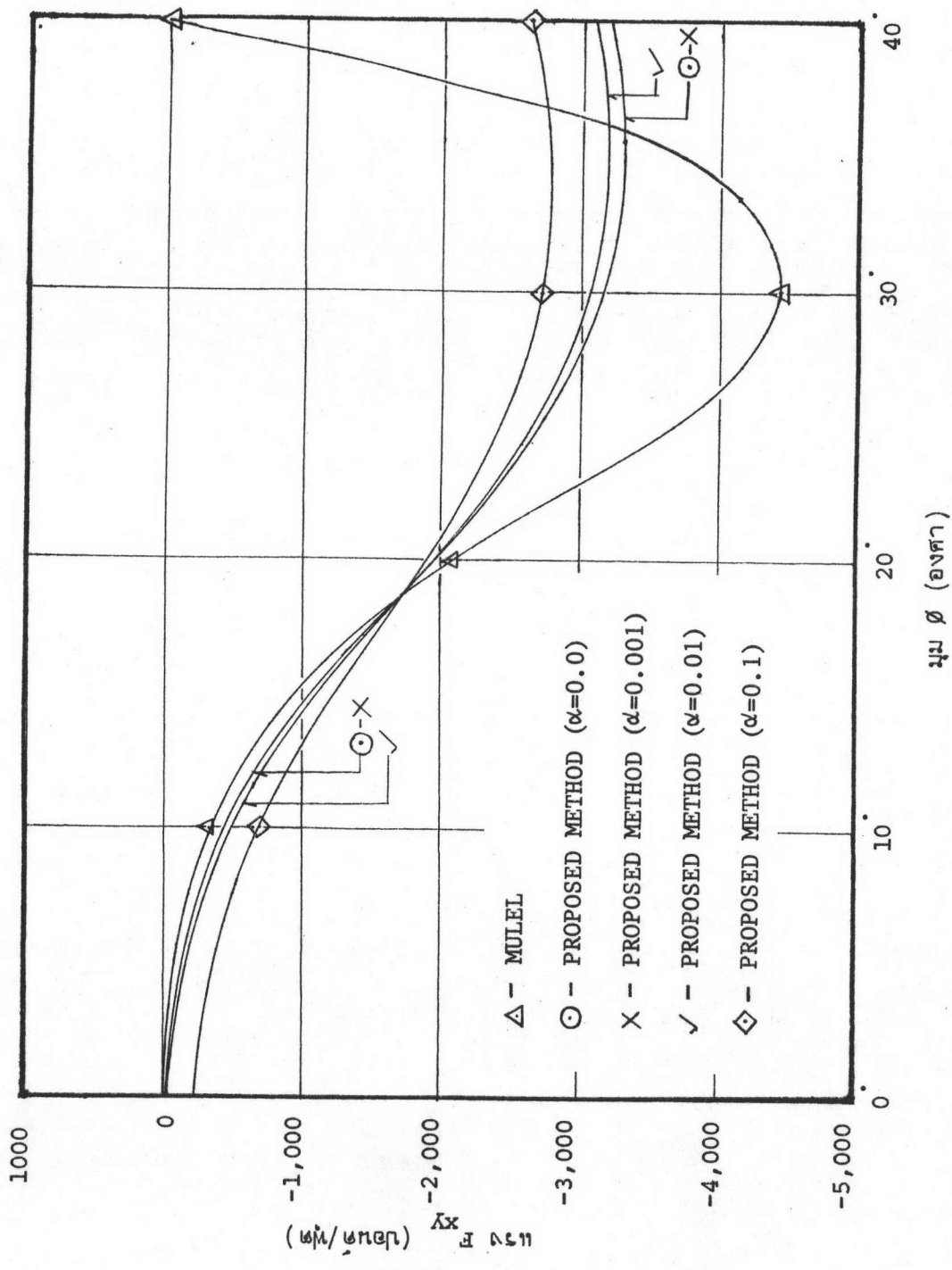
รูปที่ ๕.๑๓ แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ (M_y) ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางขอบด้านข้างอิสระ



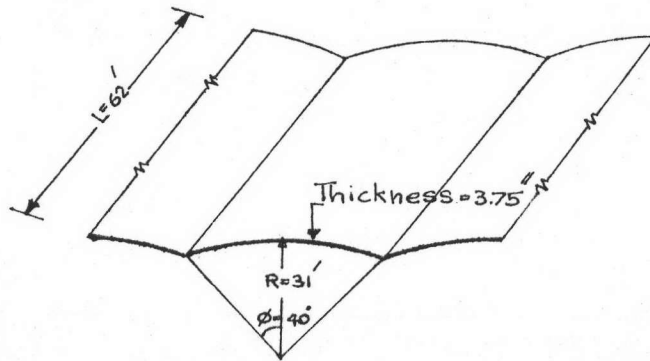
รูปที่ ๕.๑๔ แสดงการเปรียบเทียบค่าแรง F_x ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางของบดด้านข้างอิสระ



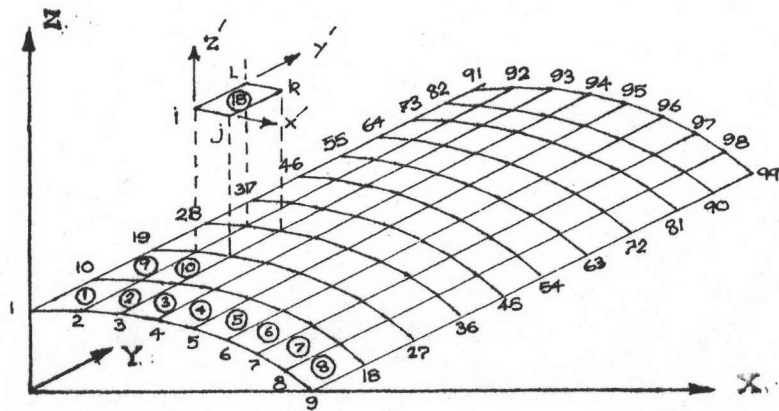
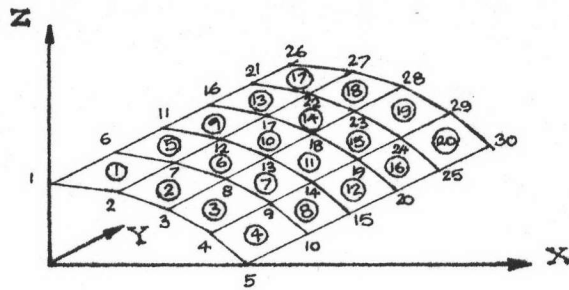
รูปที่ ๕.๑๔ แสดงการเปรียบเทียบค่า F_y ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางขอบด้านข้างอิสระ



รูปที่ ๕.๑๖ แสดงการเปรียบเทียบค่า F_{xy} ที่บริเวณรองรับของโครงสร้างเปลือกบางของคาน้ำยี่สิบระ



รูปที่ ๕.๑๗ แสดงโครงสร้างเปลือกบางรูปทรงกระบอกด้านข้างต่อเนื่อง



รูปที่ ๕.๑๘ แสดงการแบ่งชั้นส่วนย่อยออกเป็นขนาด 4×5 และ 8×10

ตารางที่ ๕.๑๐ ค่าแรง F_y ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางตัวใน

แรง F_y ปอนด์ต่อฟุต	มุม θ (องศา)				
	0°	10°	20°	30°	40°
ASCE	-15,150	-13,640	-6,590	10,630	40,410
BEAM THEORY	-17,497	-14,144	-4,185	12,074	34,145
PROPOSED METHOD (80 ELEMENTS)	-14,660	-12,520	-5,188	10,110	35,620
PROPOSED METHOD (20 ELEMENTS)	-15,270	-13,630	-6,546	9,745	36,350

ตารางที่ ๕.๑๑ ค่าแรง F_{xy} บริเวณที่รองรับของโครงสร้างเปลือกบางตัวใน

แรง ปอนด์ต่อฟุต	มุม θ (องศา)				
	0°	10°	20°	30°	40°
ASCE	0	-4,037	-6,986	-6,708	0
BEAM THEORY	0	-5,718	-9,105	-7,906	0
PROPOSED METHOD (80 ELEMENTS)	-1024	-3,960	-7,005	-7,907	-3277
PROPOSED METHOD (20 ELEMENTS)	-2000	-3,857	-6,796	-6,352	-4,826

ตารางที่ ๕.๑๒ ค่าแรง F_x ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางตัวใน

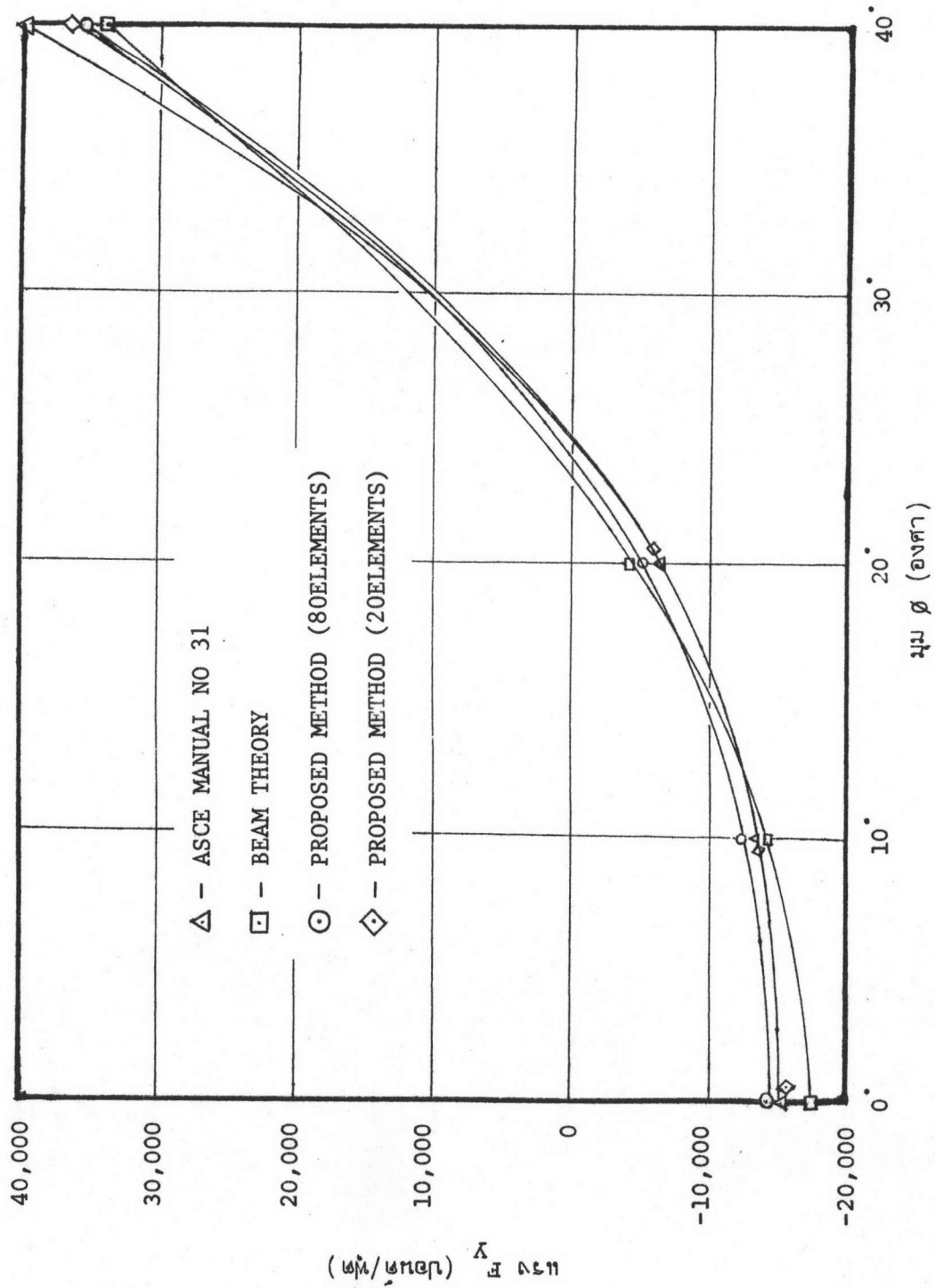
แรง F_x ปอนด์ต่อฟุต	มุม θ (องศา)				
	0°	10°	20°	30°	40°
ASCE	-3,798	-3,268	-1,811	-30	+743
BEAM THEORY	-2,993	-2,733	-1,709	-156	+706
PROPOSED METHOD (80 ELEMENTS)	-2,928	-2,487	-1,418	-59	+737
PROPOSED METHOD (20 ELEMENTS)	-2,824	-2,289	-998	+199	+640

ตารางที่ ๕.๑๓ ค่าโมเมนต์ M_y ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบาง-
ตัวใน

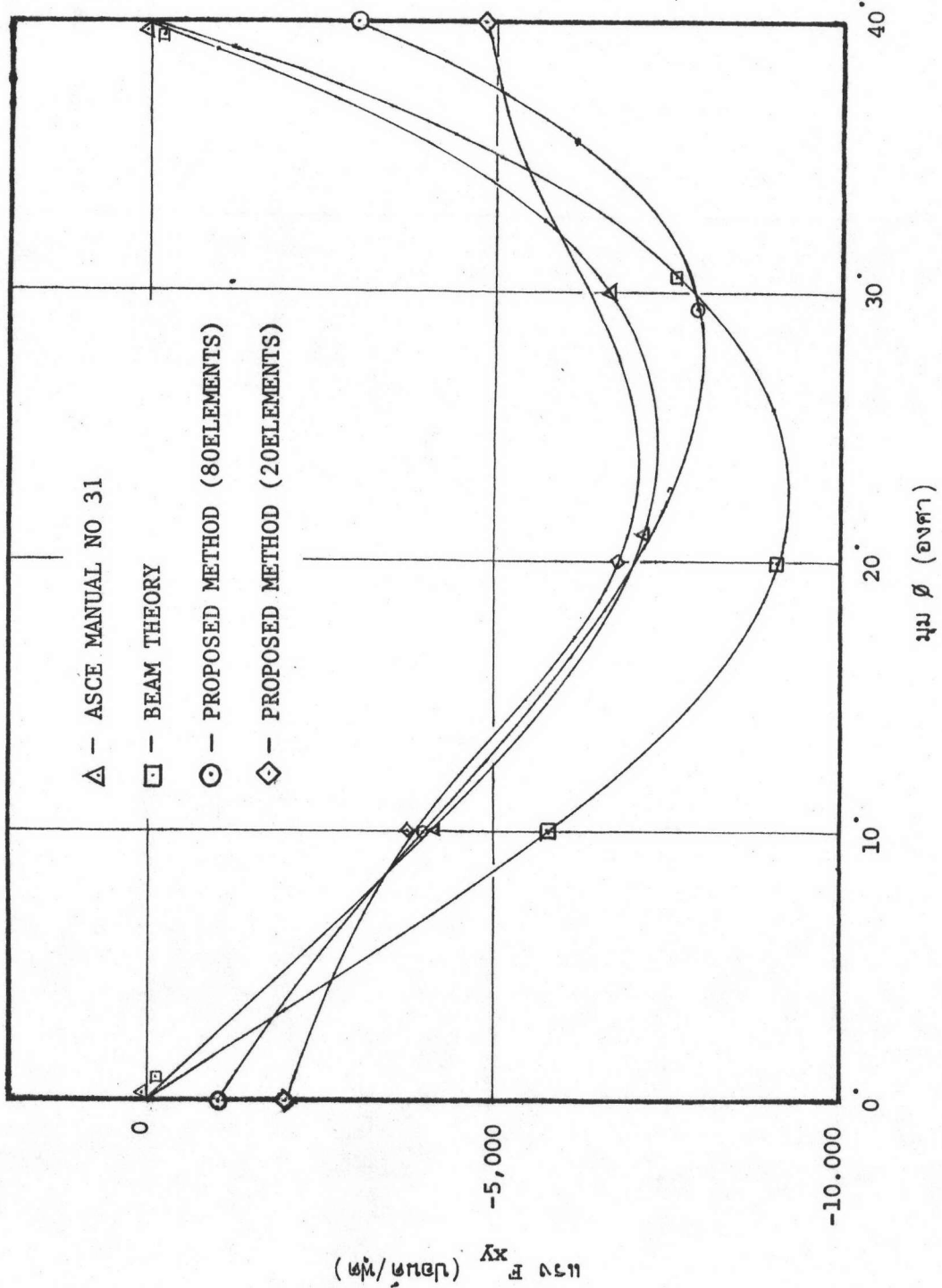
โมเมนต์ M_y ฟุต-ปอนด์ต่อฟุต	มุม θ (องศา)				
	0°	10°	20°	30°	40°
ASCE	-551	-245	+500	+533	-1,488
BEAM THEORY	-687	-215	+514	+475	-1,381
PROPOSED METHOD (80 ELEMENTS)	+503	+176	-469	-376	+912
PROPOSED METHOD (20 ELEMENTS)	+590	+262	-501	-589	+1,065

ตารางที่ ๕.๑๔ ค่าระยะทรุดตัวตามแกน Z ที่ส่วนตัวกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้าง-
เปลือกบางตัวใน

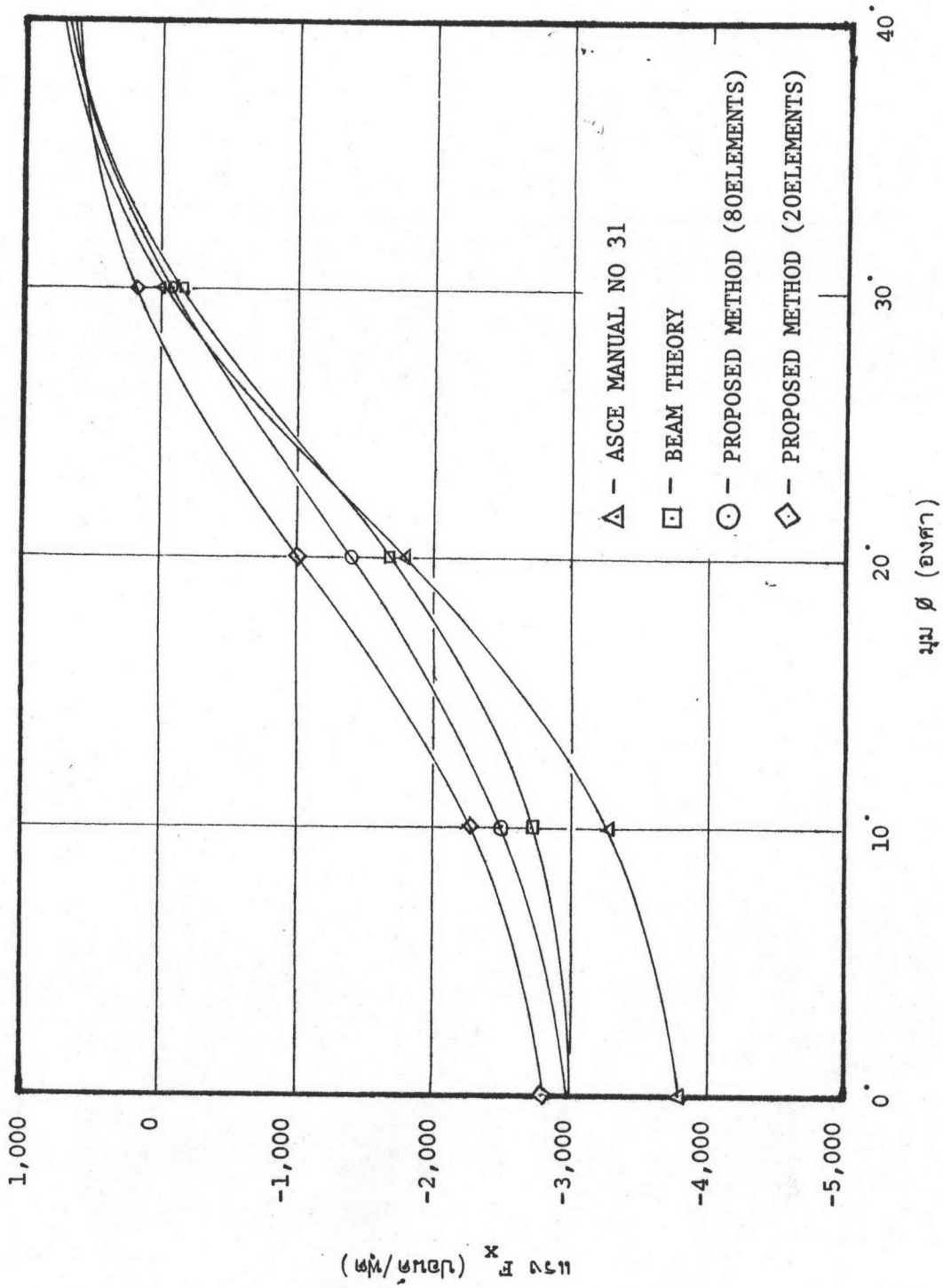
ระยะทรุดตัว (ฟุต)	มุม θ (องศา)				
	0	10	20	30	40
PROPOSED METHOD (80 ELEMENTS)	-0.0172	-0.0228	-0.0318	-0.0321	-0.0278
PROPOSED METHOD (20 ELEMENTS)	-0.0162	-0.0228	-0.0340	-0.0347	-0.0289



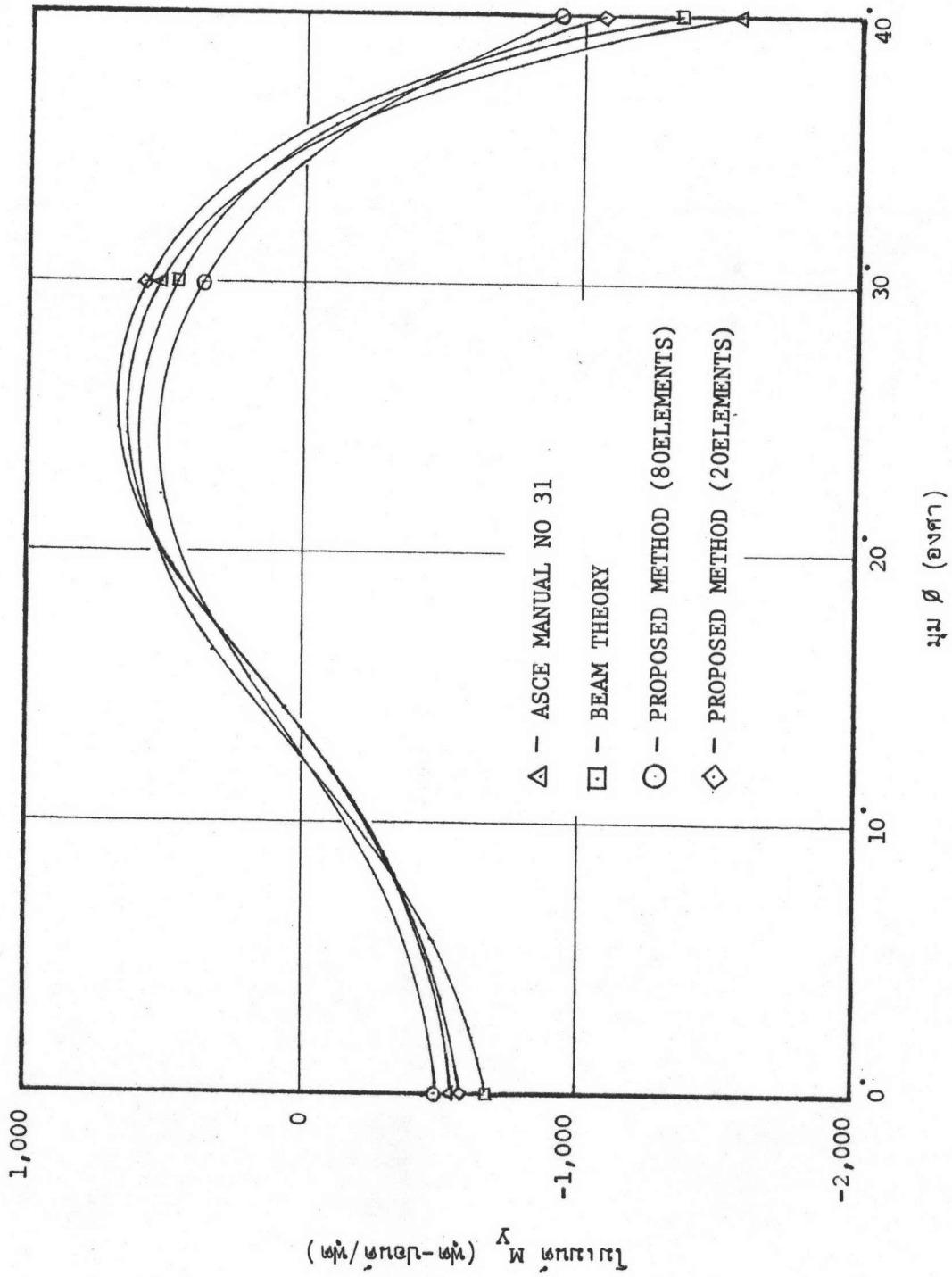
รูปที่ ๔.๑๔ แสดงการเปรียบเทียบค่า F_y ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบาง หัวใน



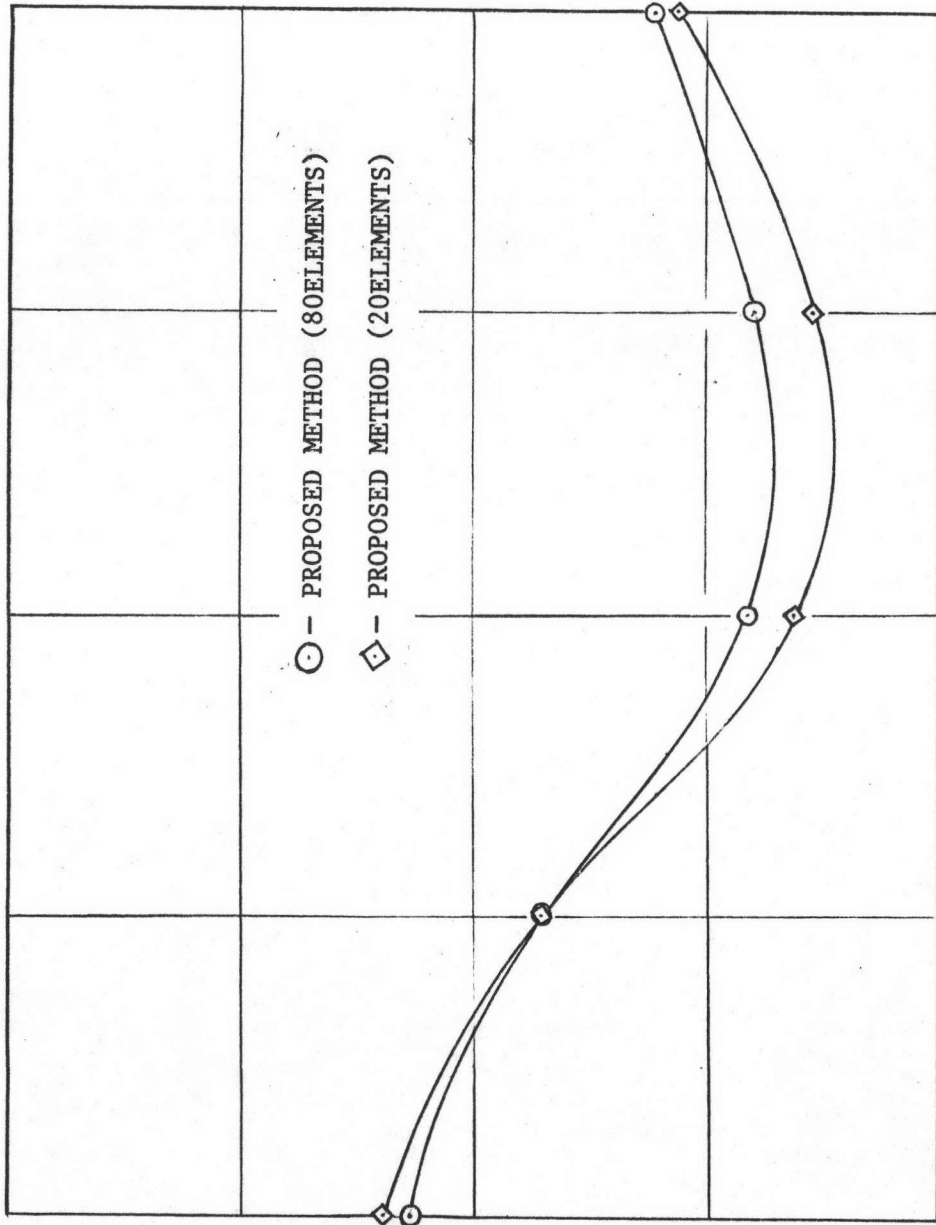
รูปที่ ๔.๒๐ แสดงการเปรียบเทียบค่า F_{xy} ที่บริเวณที่รองรับของโครงสร้างเปลือกบางตัวใน



รูปที่ ๔.๒๑ แสดงการเปรียบเทียบค่า F_x ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางตัวใน



รูปที่ ๔.๒๒ แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ (M_y) ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างแปดกบ่างตัวใน.



(cm) ความยาว

มุม (องศา)

รูปที่ ๕.๒๓ แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทรุดตัว (w) ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางตัวใน