

ผลการวิเคราะห์ และวิจารณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างตัวอย่าง 4 แบบ เพื่อทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของทีนส์หน่วยย่อยเปลือกบาง 8 ชั้น โดยใช้ตัวอย่างที่แสดงไว้ในเอกสารอ้างอิงที่ 4 และที่ 7 ตัวอย่างทั้งหมด มี 6 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นโครงสร้างแผ่นสี่เหลี่ยมรับแรงดัด 2 ตัวอย่าง โครงสร้างเปลือกบางรูปทรงกระบอก 2 ตัวอย่าง และโครงสร้างแผ่นสี่เหลี่ยมขอบแปดเหลี่ยม 2 ตัวอย่าง ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ คือ ระยะเคลื่อนที่ของแต่ละชั้น แรงในระนาบ แรงเฉือน และแรงดัด โดยทิศทางเป็นบวกได้แสดงไว้ในบทที่ 3 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นชนิด PC - XT ที่ความเร็ว 4.77 MHz

4.1 โครงสร้างแผ่นสี่เหลี่ยมมาตุรัส

โครงสร้างตัวอย่างอันแรก เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมมาตุรัสสี่เหลี่ยมมาตุรัสรับแรงดัด (Simple Support) ในแนวระนาบขนาด 20x20 ฟุต ทน 6 นิ้ว รับน้ำหนักแผ่กระจาย = 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามรูปที่ 4.1 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น = 4×10^6 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว $\nu = 0.3$

เนื่องจากแผ่นสี่เหลี่ยมมาตุรัสขนาด 2 ทิศทาง ในการวิเคราะห์จึงพิจารณาเพียง 1/4 ของแผ่นสี่เหลี่ยม ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ คือ ค่าระยะทรุดตัว และแรงดัดที่แนวตัดตามกึ่งกลางแผ่น ได้แสดงเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากสมการของ Timoshenko (21)

ผลการวิเคราะห์โดยใช้จำนวนชิ้นส่วนย่อย = 2 x 2 พบว่าได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากคำนวณมาก กล่าวคือมีความถูกต้องถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 3 ทั้งค่าระยะทรุดตัวและแรงดัด ในการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนย่อย BDS (11) ซึ่งมี 4 ชั้น พบว่าจะต้องใช้จำนวนชิ้นส่วนย่อย = 4 x 4 จึงจะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าจากการคำนวณ โดยถูกต้องถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2

4.2 โครงสร้างแผ่นพื้นกลม

โครงสร้างที่วิเคราะห์เป็นแผ่นพื้นรูปกลมในแนวระนาบรัศมี = 4 เมตร สภาพที่รองรับเป็นชนิดปลายยึดแน่น ทน 0.15 เมตร $\nu = 0.0$ รับน้ำหนักแผ่กระจาย = 1000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ดังแสดงในรูป 4.2 ในภาพวิเคราะห์ได้พิจารณาเพียง $1/4$ ของแผ่นพื้น เนื่องจากลักษณะสมมาตรของแผ่นพื้นเอง โดยใช้จำนวนชิ้นส่วนย่อย = 3 ชิ้นส่วน และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับค่าที่ได้จากการคำนวณ (22) นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนย่อย BDS ด้วย

ผลจากการวิเคราะห์พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยระยะทรุดตัวที่กึ่งกลางพื้น = 0.0057 เมตร ค่าที่ได้จากการคำนวณ = 0.00605 นิ้ว ต่างกันประมาณ 6% ค่าแรงดัดสูงสุดต่างกันประมาณ 4% ค่าระยะทรุดตัวที่กึ่งกลางพื้นจากการใช้ชิ้นส่วนย่อย BDS จำนวน 7 ชิ้นส่วน = 0.0046 เมตร ต่างจากผลการคำนวณประมาณ 24%

4.3 โครงสร้างเปลือกบางรูปทรงกระบอกขอบด้านข้างอิสระ (Single Barrell Shell with Free Edges)

โครงสร้างในตัวอย่างนี้เป็นโครงสร้างที่ใช้เปรียบเทียบกับมากในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ต่าง ๆ ลักษณะเป็นโครงสร้างเปลือกบางรูปทรงกระบอก รัศมีความโค้ง 25 ฟุต ยาว 50 ฟุต ทน 0.25 ฟุต วางบน Diaphragm ที่ปลายทั้ง 2 ข้าง โดยมีขอบด้านข้างเป็นอิสระ รับน้ำหนักที่กระทำของตัวโครงสร้างเอง = 90 ปอนด์ / ตารางฟุต ดังแสดงในรูป 4.3 จากลักษณะสมมาตรจึงทำการวิเคราะห์เพียง $1/4$ ของโครงสร้างทั้งหมด โดยใช้จำนวนชิ้นส่วนย่อย = 1×1 และ 2×2 ชิ้นส่วน

ผลจากการวิเคราะห์โดยใช้จำนวนชิ้นส่วนย่อย 1 ชิ้นส่วน จะได้ค่าระยะทรุดตัวที่กึ่งกลางด้านปลายอิสระ = 0.33 ฟุต เทียบกับค่าจากทฤษฎีของโครงสร้างเปลือกบาง (11), (23) ซึ่ง = 0.308 ฟุต ต่างกันประมาณ 7% เมื่อเพิ่มจำนวนชิ้นส่วนย่อยเป็น 2×2 ชิ้นส่วน จะได้ค่าระยะทรุดตัว = 0.3085 ฟุต ซึ่งมีความถูกต้องถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 3 ส่วนผลลัพธ์อื่น ๆ ได้แก่ แรงดัด และแรงในระนาบที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางพบว่ามีความใกล้เคียงกับค่าจากการคำนวณ

แนวตามทฤษฎีเข้ากัน

จากการทดลองวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วนย่อย BDS จำนวน 4×4 ชิ้นส่วน พบว่าค่าระยะทรุดตัวที่กึ่งกลางปลายอิสระ = 0.289 ฟุต ต่างจากค่าจริงประมาณ 6%

ในตัวอย่างโครงสร้างนี้ยังได้ทำการทดลองวิเคราะห์โดยไม่คิดผลของการบิดรอบแกน Z โดยการป้อนค่าตั้งที่ของการบิด = 0.0 จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ค่าการหมุนรอบแกน Z ที่ชิ้นส่วนย่อยจะเปลี่ยนไปส่วนผลลัพธ์อื่น ๆ คือ การเคลื่อนที่ตามแนวแกนทั้งสาม และการหมุนรอบแกนที่เหลือทั้งสองแกน ตลอดจนค่าของแรงภายในอันได้แก่ โมเมนต์ดัดแรงในระนาบ และแรงเฉือน ยังเหมือนเดิมทั้งหมด เมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากค่าตั้งที่ของการบิด = 0.1 ต่างกับชิ้นส่วนย่อย BDS ซึ่งเมื่อป้อนค่าตั้งที่ของการบิด = 0.0 จะทำให้ไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่ถูกต้องได้ (4)

4.4 โครงสร้างเปลือกบางรูปทรงกระบอกตัวใน (Interior Shell of a Multiple - Barrel Shell)

โครงสร้างในตัวอย่างนี้เป็นตัวอย่างเดียวกับตัวอย่างในเอกสารอ้างอิงที่ (13) เป็นโครงสร้างเปลือกบางปลายทั้งสองข้างวางบน Diaphragm ที่ขอบข้างต่อเนื่อง กว้าง 39.84 ฟุต ยาว 62 ฟุตหนา 3.75 นิ้ว ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 3×10^{10} ปอนด์ต่อตารางนิ้ว $\nu = 0.0$ รับน้ำหนักแก่กระจายในแนวระนาบ 25 ปอนด์ต่อตารางฟุต น้ำหนักโครงสร้าง 47 ปอนด์ต่อตารางฟุต ดังแสดงในรูป 4.4 และในภาพวิเคราะห์ห้พิจารณาเพียง 1/4 ของโครงสร้างเนื่องจากผลของการสมมาตร

ผลจากการวิเคราะห์ โดยใช้จำนวนชิ้นส่วนย่อย = 2×2 ชิ้นส่วน ค่าระยะการทรุดตัวที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางเมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยชิ้นส่วน QM5 + ACM (13) จำนวน 4×5 และ 8×10 ชิ้นส่วน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก คือมีความแตกต่างกันที่มากที่สุดประมาณ 5% เมื่อเทียบกับจำนวนชิ้นส่วน = 4×5 ซึ่งให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงมากกว่าการใช้จำนวน 8×10 ชิ้นส่วน (13) ส่วนค่าโมเมนต์ดัดแรงในระนาบ และแรงเฉือน ก็ได้แสดงเปรียบเทียบค่าตลอบของ ASCE Manual (22) และ Beam Theory (23) ก็พบว่าให้ผลลัพธ์ได้ใกล้เคียงเช่นกัน

4.5 โครงสร้างแผ่นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน 45°

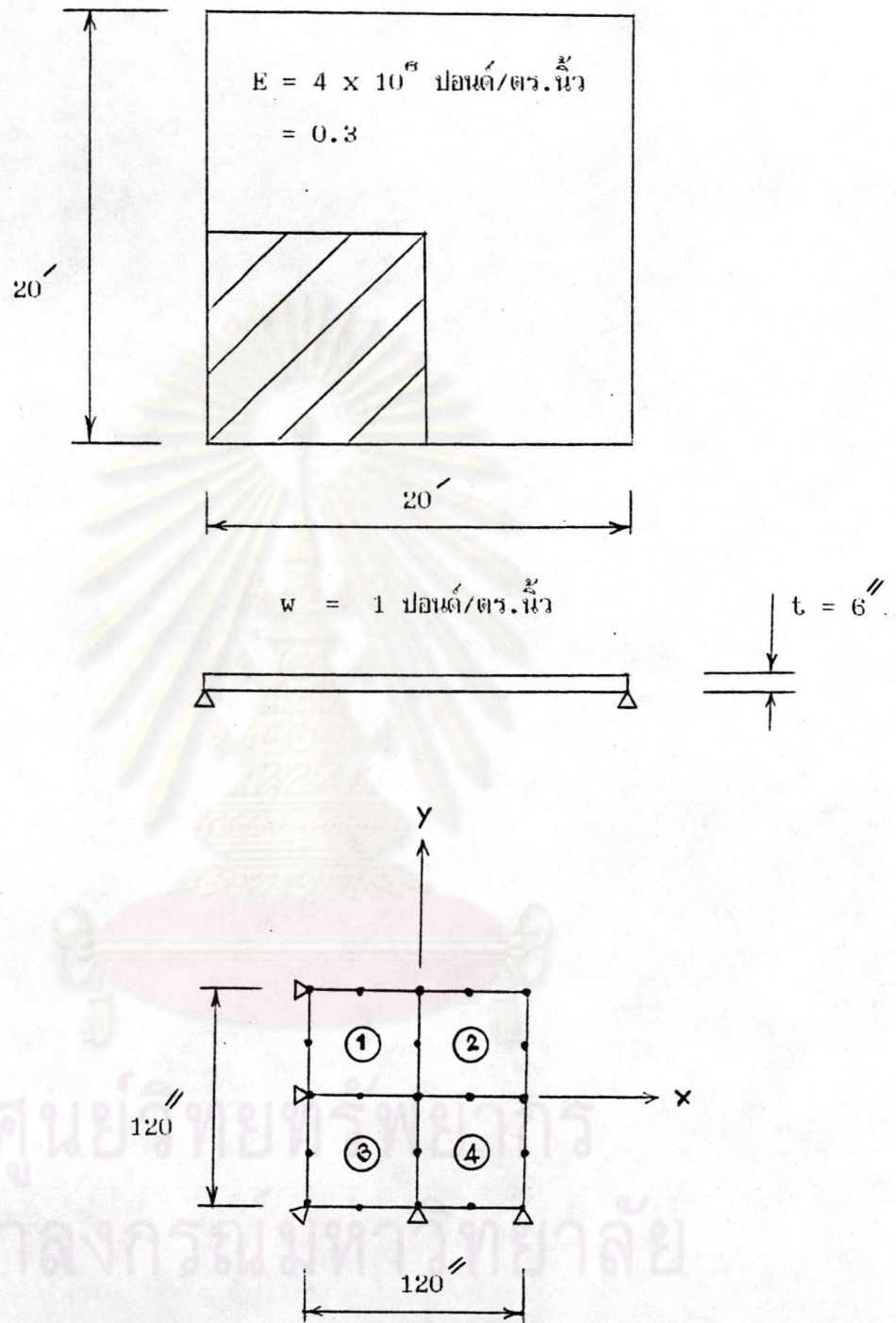
จากตัวอย่างโครงสร้างที่ผ่านมายกเว้นตัวอย่างที่ 4.2 จะมีลักษณะของชิ้นส่วนย่อย เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในตัวอย่างนี้จึงได้เลือกโครงสร้างที่ต่างออกไป คือเป็นโครงสร้างแผ่นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน เอียงทำมุม 45° พาดช่วงทางเดียวระหว่างที่รองรับเอียงแบบธรรมดา ยาว 8 เมตร ความกว้างของพื้นวัดในแนวตั้งฉากกับขอบด้านอิสระยาว 4 เมตร พื้นหนา 0.15 เมตร ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น = 2.35×10^9 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ดังรูปที่ 4.5

ในการวิเคราะห์ได้ทดลองแบ่งโครงสร้างออกเป็น 2×2 ชิ้นส่วน จากการวิเคราะห์พบว่าค่าระยะทรุดตัวที่จุดกึ่งกลางพื้น และกึ่งกลางขอบพื้นเท่ากับ 0.0243 เมตรและ 0.0279 เมตร ตามลำดับต่างจากค่าที่คำนวณจากสมการของ Timoshenko คือ 0.0263 เมตร และ 0.0323 เมตรที่จุดกึ่งกลาง และกึ่งกลางขอบพื้นตามลำดับอยู่ประมาณ 13.6% เมื่อเพิ่มจำนวนชิ้นส่วนย่อยเป็น 4×4 ชิ้นส่วน จะได้ค่าระยะทรุดตัวที่กึ่งกลางและขอบพื้นเท่ากับ 0.0257 เมตร และ 0.0314 เมตรตามลำดับ ต่างจากค่าจริงประมาณ 2.3% และ 2.75% ตามลำดับ ส่วนค่าแรงตัด M_u ที่จุดกึ่งกลางพื้น เท่ากับ 4550 กก.-ม. ต่างจากค่าจริงคือ 4656 กก.-ม. อยู่ประมาณ 2.3%

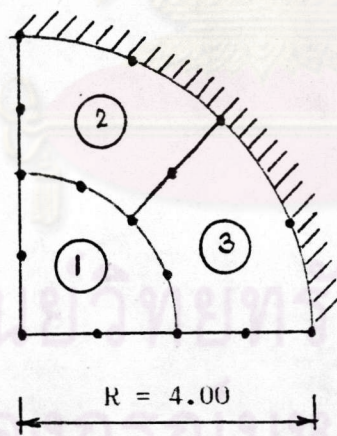
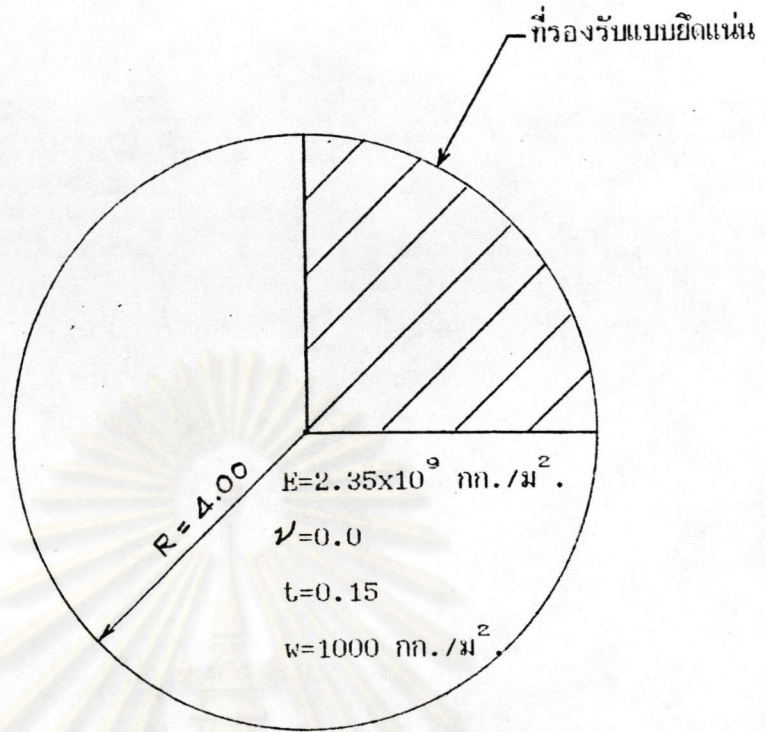
4.6 โครงสร้างแผ่นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน 60°

โครงสร้างตัวอย่างนี้มีลักษณะคล้ายตัวอย่างที่ 4.5 แต่เปลี่ยนให้ทำมุมเอียงมากขึ้น เป็น 60° เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของมุมแหลมที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนย่อยต่อค่าระยะทรุดตัว และโมเมนต์ตัด ในการวิเคราะห์ได้ใช้จำนวนชิ้นส่วนย่อยเท่ากับ 4×4 ชิ้นส่วนดังรูปที่ 4.6

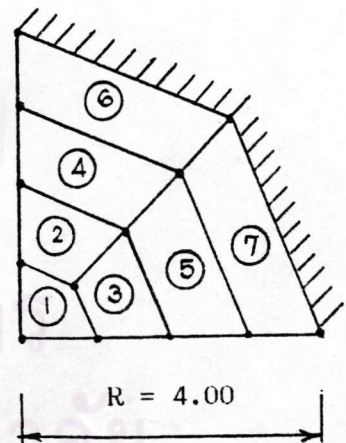
ผลการวิเคราะห์ได้ค่าระยะทรุดตัวที่กึ่งกลางพื้น และกึ่งกลางขอบเท่ากับ 0.0077 และ 0.0155 เมตร ตามลำดับ ในขณะที่ผลจากการคำนวณโดยสมการของ Timoshenko เท่ากับ 0.0069 และ 0.0147 เมตร ตามลำดับ ผลลัพธ์ต่างกันประมาณ 11.5% สำหรับระยะทรุดตัวที่กึ่งกลางขอบ และ 5.4% สำหรับระยะทรุดตัวที่กึ่งกลางพื้น ส่วนค่าโมเมนต์ตัดที่จุดกึ่งกลางพื้นจากการวิเคราะห์ เท่ากับ 2550 กก.-ม. เทียบกับค่าจากสมการของ Timoshenko ซึ่งเท่ากับ 2656 กก.-ม. ต่างกัน 4%



รูปที่ 4.1 แผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้ารองรับแรงรับแบบธรรมดา

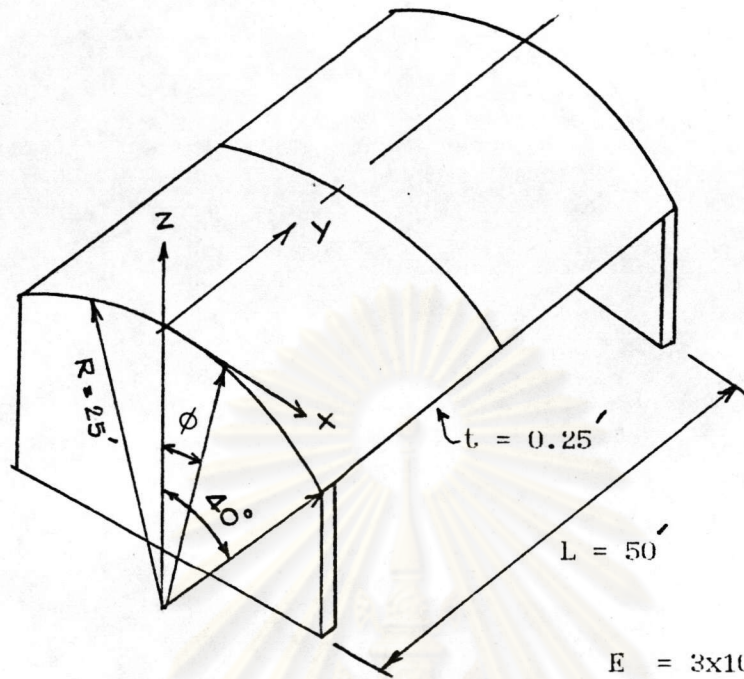


ก) ชิ้นส่วนย่อย 8 ชิ้น



ข) ชิ้นส่วนย่อย BDS

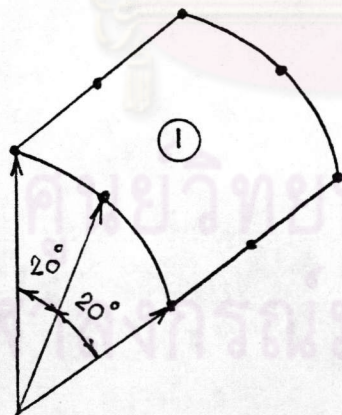
รูปที่ 4.2 แผงสี่เหลี่ยมวงกลมบนที่รองรับแบบยึดแน่น



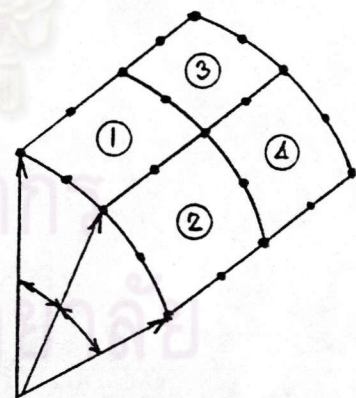
$E = 3 \times 10^6$ ปอนด์/ตร.นิ้ว

$\nu = 0$

DL = 90 ปอนด์/ตร.ฟุต

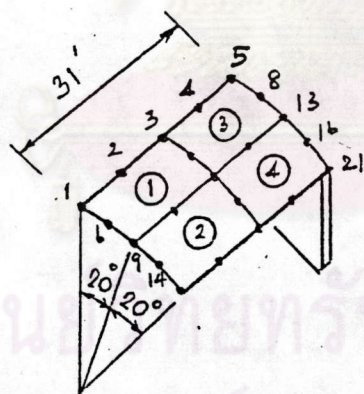
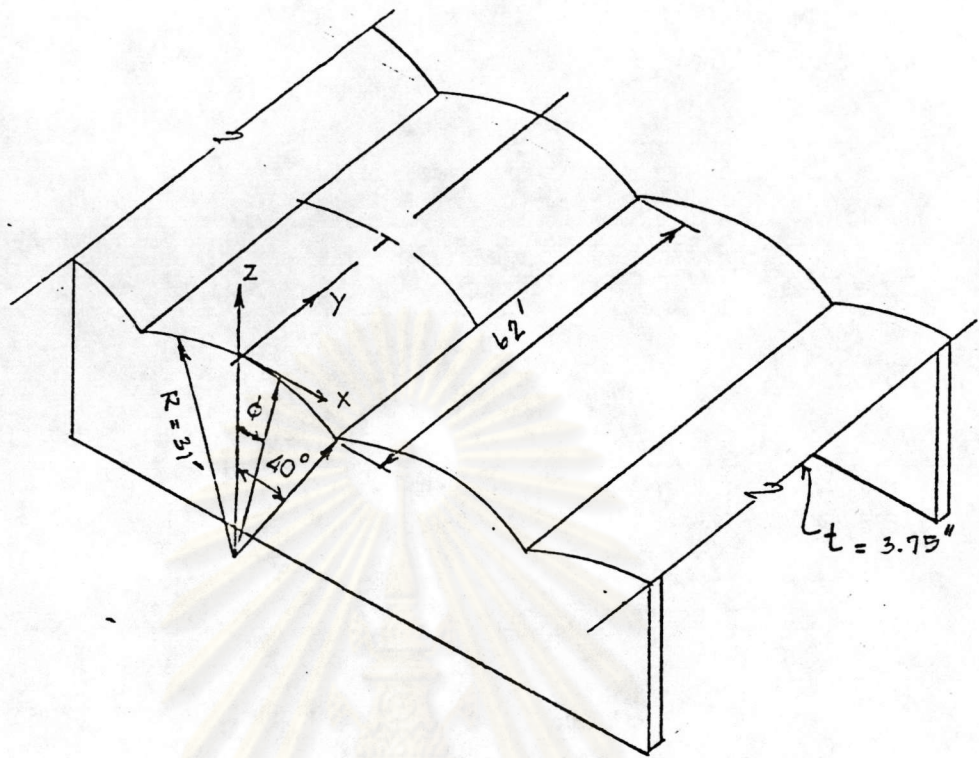


ก) 1 = ชิ้นส่วนย่อย



ข) 2x2 ชิ้นส่วนย่อย

รูปที่ 4.3 โครงสร้างเปลือกบางขอบด้านข้างอิสระ



$E = 3 \times 10^8$ ปอนด์/ตร.นิ้ว

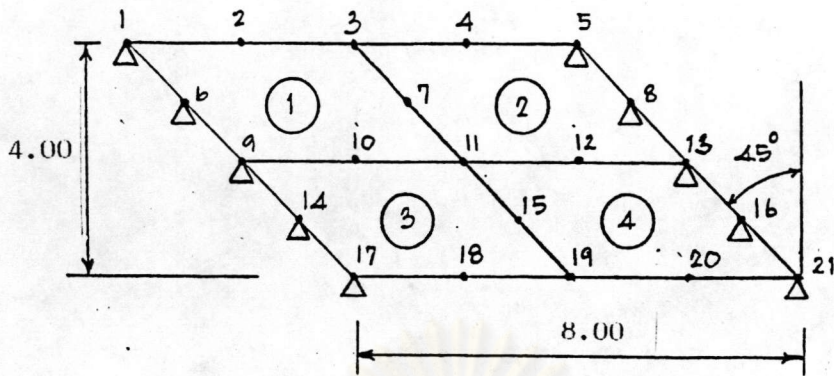
$\nu = 0.0$

LL. = 25 ปอนด์/ตร.ฟุต

DL. = 47 ปอนด์/ตร.ฟุต

การแบ่งชิ้นเสี้ยวย่อย

รูปที่ 4.4 โครงสร้างเปลือกบางรูปทรงกระบอกด้านข้างต่อเนื่อง



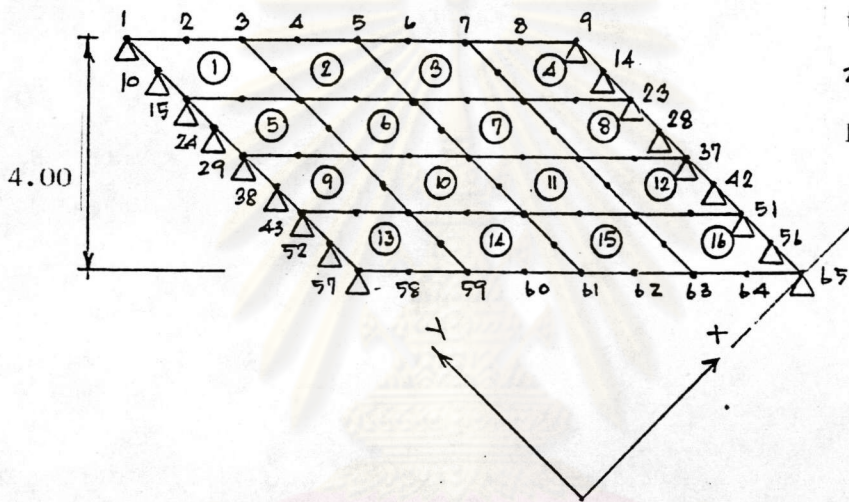
ก) 2x2 ชั้นส่วนย่อย

$w = 1000$ กก./ตร.ม.

$t = 0.15$ เมตร

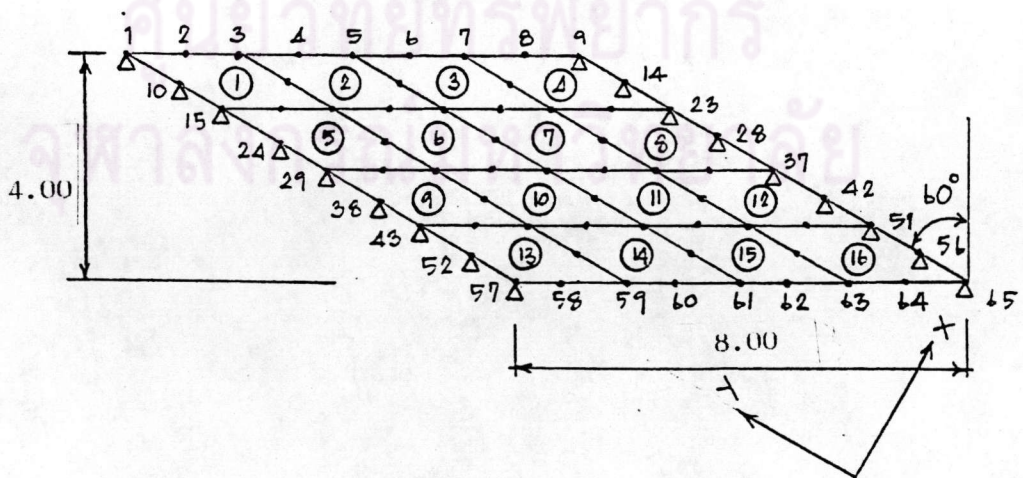
$\nu = 0.2$

$E = 2.35 \times 10^9$ กก./ตร.ม.



ข) 4x4 ชั้นส่วนย่อย

รูปที่ 4.5 แผ่นพื้นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน 45.



รูปที่ 4.6 แผ่นพื้นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน 60.

ตารางที่ 4.1 ค่าระยะหลุดตัวตามแนวสมมาตรของแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ระยะหลุดตัว (นิ้ว)	ระยะจากจุดกึ่งกลางพื้น (นิ้ว)				
	0	30	60	90	120
Exact Theory	-0.1703	-0.1588	-0.1231	-0.0681	0
Present Elm. (2*2)	-0.1705	-0.1591	-0.1233	-0.0683	0
QM5+ACM (4*4)	-0.1681	-0.1561	-1.221	-0.0671	0

ตารางที่ 4.2 ค่าระยะหลุดตัวตามแนวเส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นพื้นวงกลม

ระยะหลุดตัว (*10 ⁻³ เมตร)	ระยะจากจุดกึ่งกลางพื้น (นิ้ว)				
	0	30	60	90	120
Exact Theory	-6.052	-5.319	-3.404	-1.158	0
Present Elm. (3*1)	-5.689	-5.133	-3.366	-1.167	0
BDS Elm. (7*1)	-4.581	-3.781	-2.354	-0.748	0

ตารางที่ 4.3 ค่าระยะทรุดตัวที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบาง
ขอบข้างอิสระ

ระยะทรุดตัวในแนวดิ่ง (ฟุต)	มุม (องศา)				
	0	10	20	30	40
Exact Theory	0.047	0.012	-0.075	-0.192	-0.308
Present Elm. (1*1)	0.062		-0.065		-0.332
Present Elm. (2*2)	0.045	0.012	-0.079	-0.195	-0.308
BDS Elm. (4*4)	0.045	0.021	-0.065	-0.181	-0.289

ตารางที่ 4.4 ค่าระยะเคลื่อนที่ในทิศทาง Y บริเวณที่รองรับของโครงสร้างเปลือกบาง
ขอบข้างอิสระ

ระยะเคลื่อนที่ทิศทาง Y (ฟุต)	มุม (องศา)				
	0	10	20	30	40
Exact Theory	0.0003	0.0012	0.0031	0.0008	-0.0125
Present Elm. (1*1)	0.0011	—	0.0014	—	-0.0075
Present Elm. (2*2)	0.0002	0.0076	0.0026	0.0006	-0.0125
BDS Elm. (4*4)	0.0001	0.0008	0.0026	0.0014	-0.0098

ตารางที่ 4.5 ค่าระยะทรุดตัวที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางตัวใน

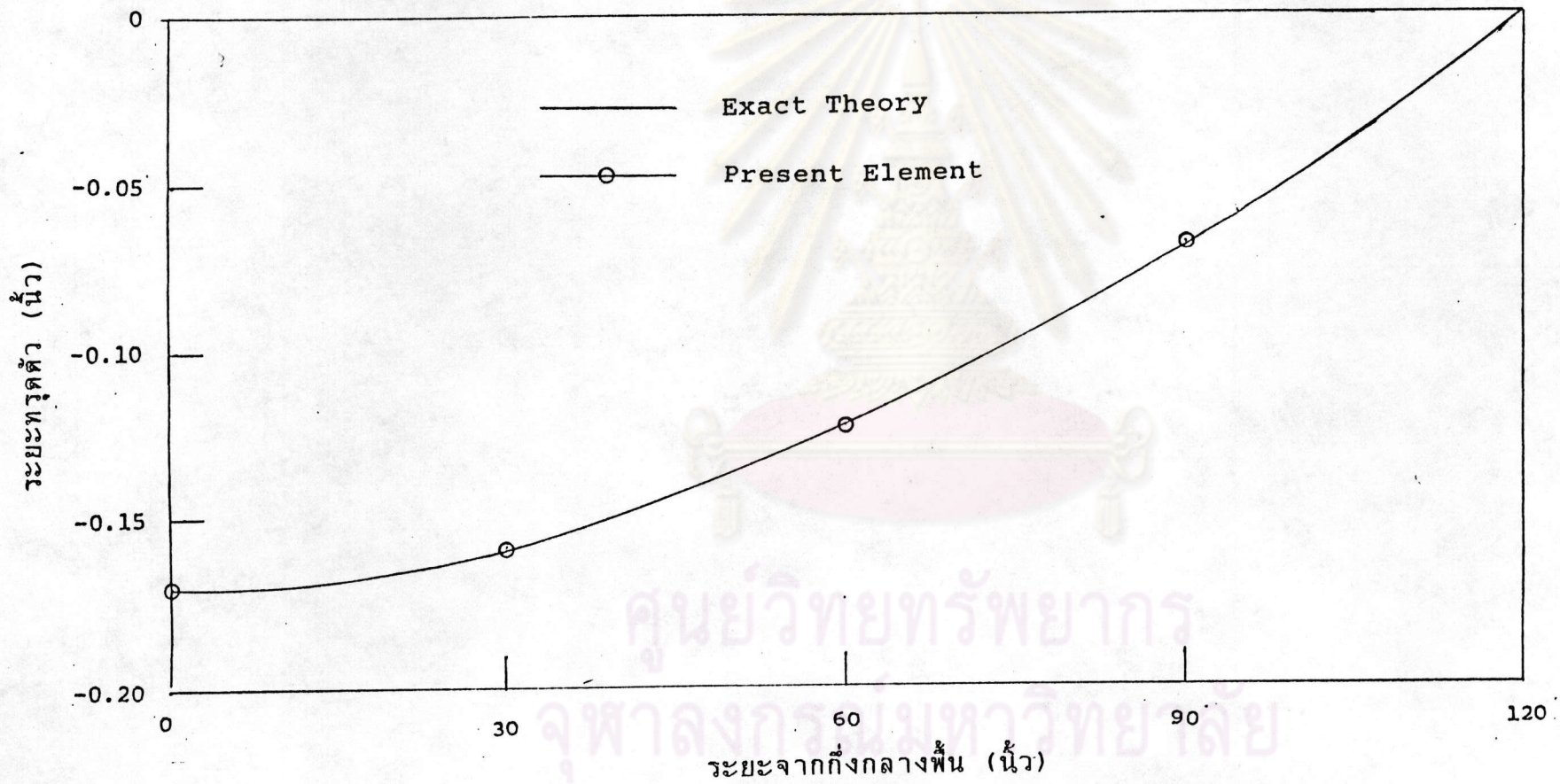
ระยะทรุดตัวในแนวตั้ง (ฟุต)	มุม (องศา)				
	0	30	60	90	120
QM5+ACM (4*5)	-0.0162	-0.0228	-0.0341	-0.0347	-0.0289
QM5+ACM (8*10)	-0.0172	-0.0228	-0.0318	-0.0321	-0.0278
Present Elm. (2*2)	-0.0163	-0.0236	-0.0359	-0.0349	-0.0297

ตารางที่ 4.6 ค่าระยะทรุดตัวที่แนวกึ่งกลางพื้นสี่เหลี่ยมขนมเปียงมุม 45°

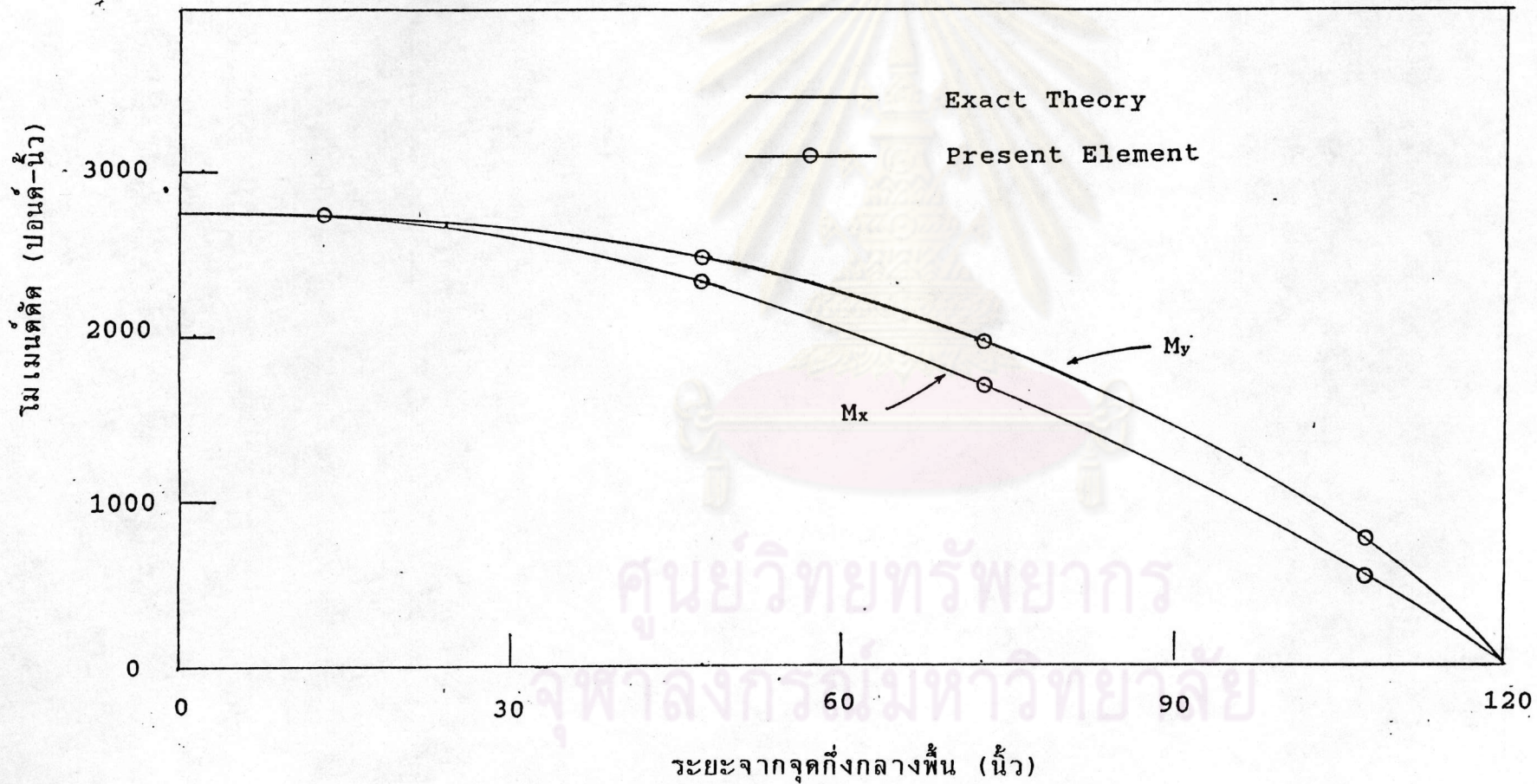
ระยะทรุดตัว (เมตร)	ที่กึ่งกลางพื้น	ที่ขอบพื้น
Exact Theory	0.0263	0.0323
Present Elm. (2*2)	0.0243	0.0279
Present Elm. (4*4)	0.0257	0.0314

ตารางที่ 4.7 ค่าระยะทรุดตัวที่แนวกึ่งกลางพื้นสี่เหลี่ยมขนมเปียงมุม 60°

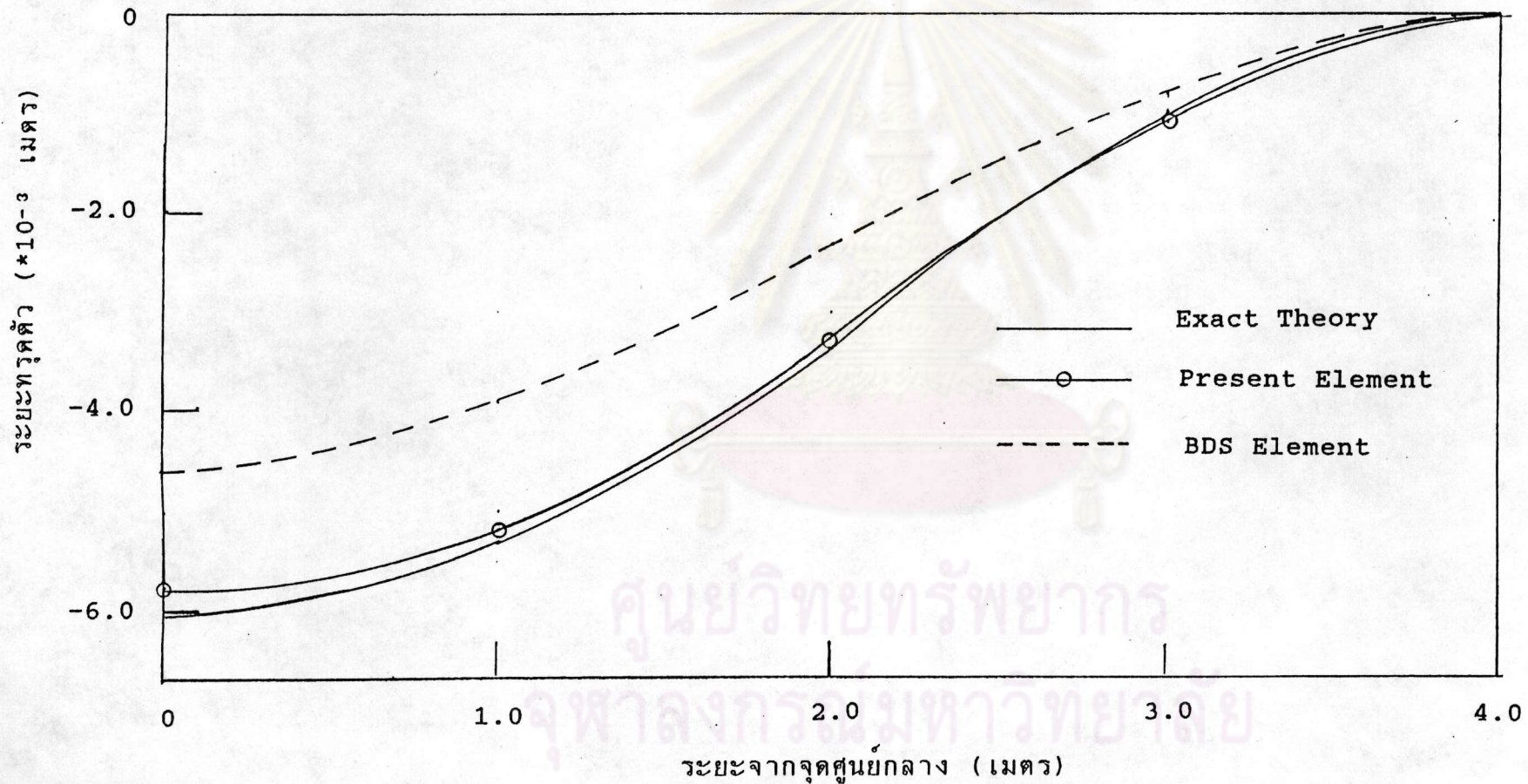
ระยะทรุดตัว (เมตร)	ที่กึ่งกลางพื้น	ที่ขอบพื้น
Exact Theory	0.0069	0.0147
Present Elm. (4*4)	0.0077	0.0155



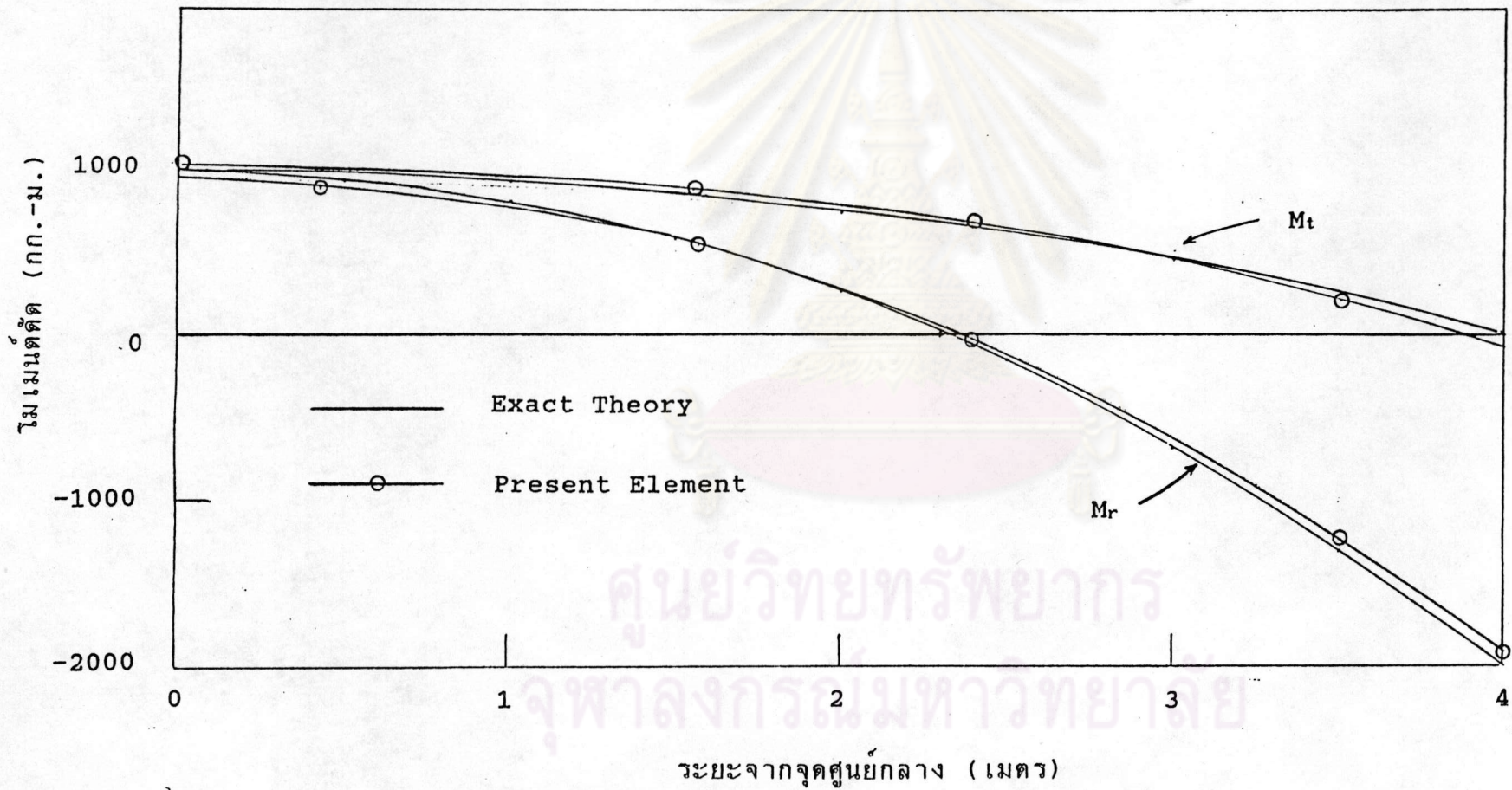
รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบระยะทวัดตัวในแนวกึ่งกลางของแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส



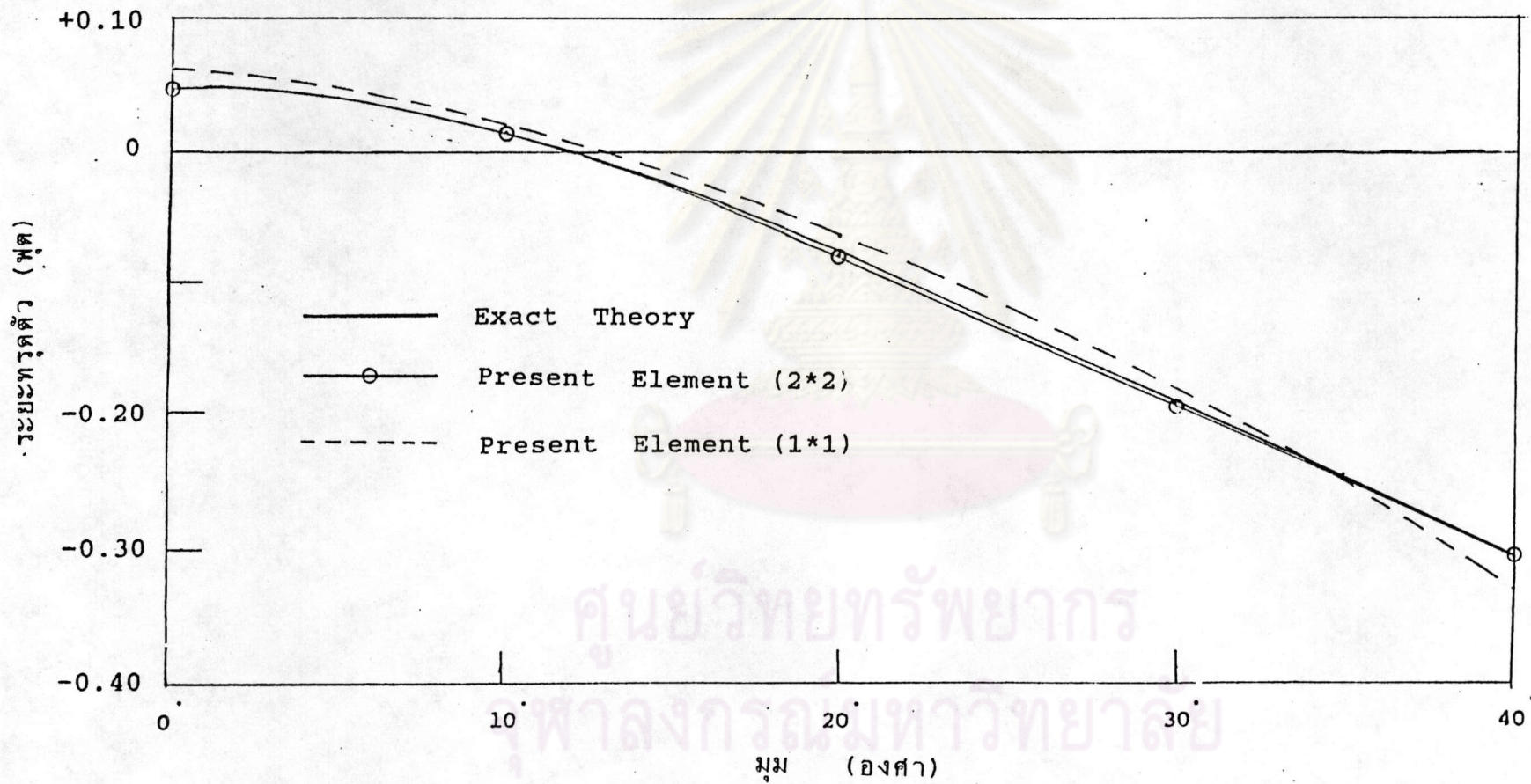
รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบโมเมนต์คัตในแนวกึ่งกลางของแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส



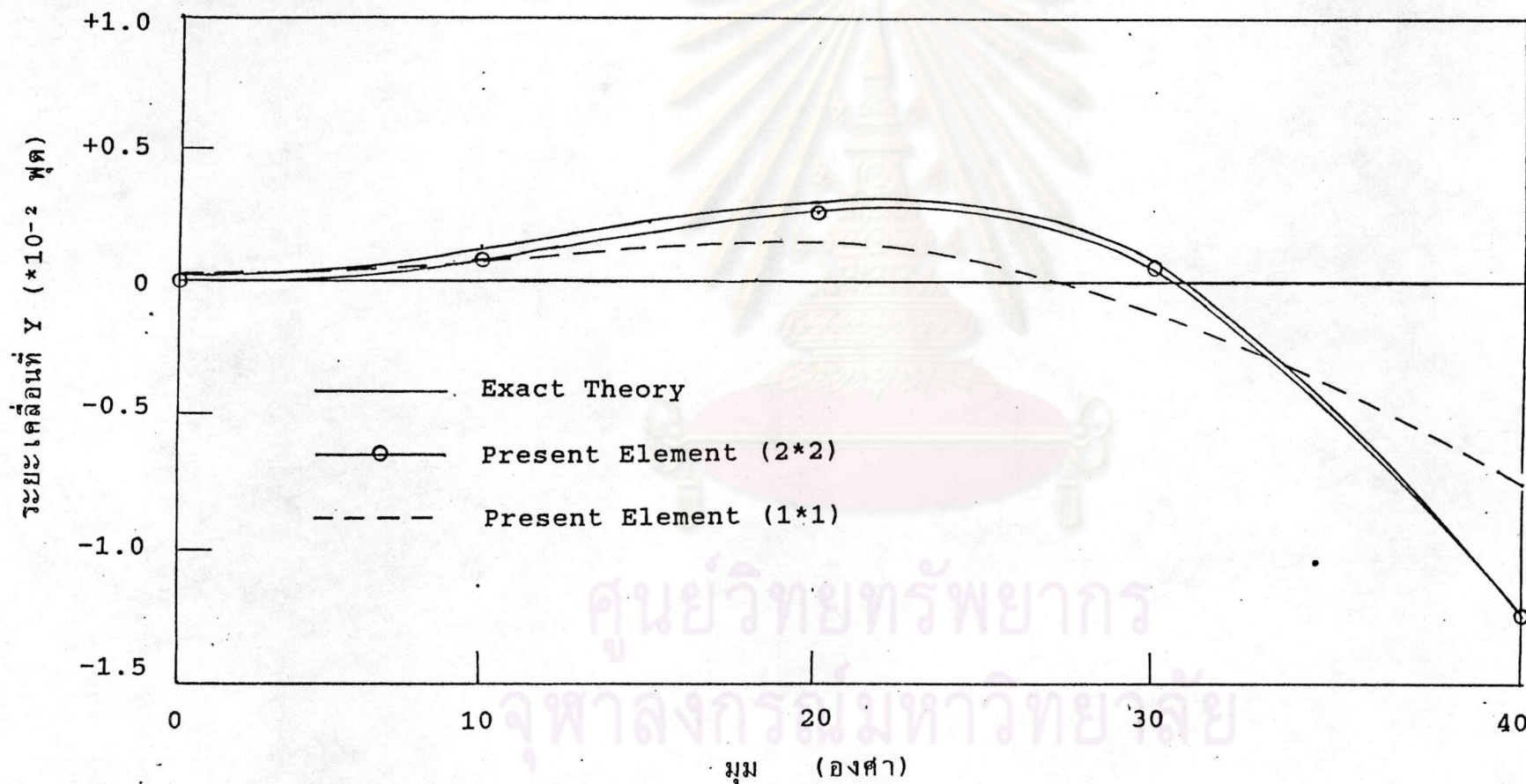
รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบระยะท่ดูดตัวในแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นพื้นวงกลม



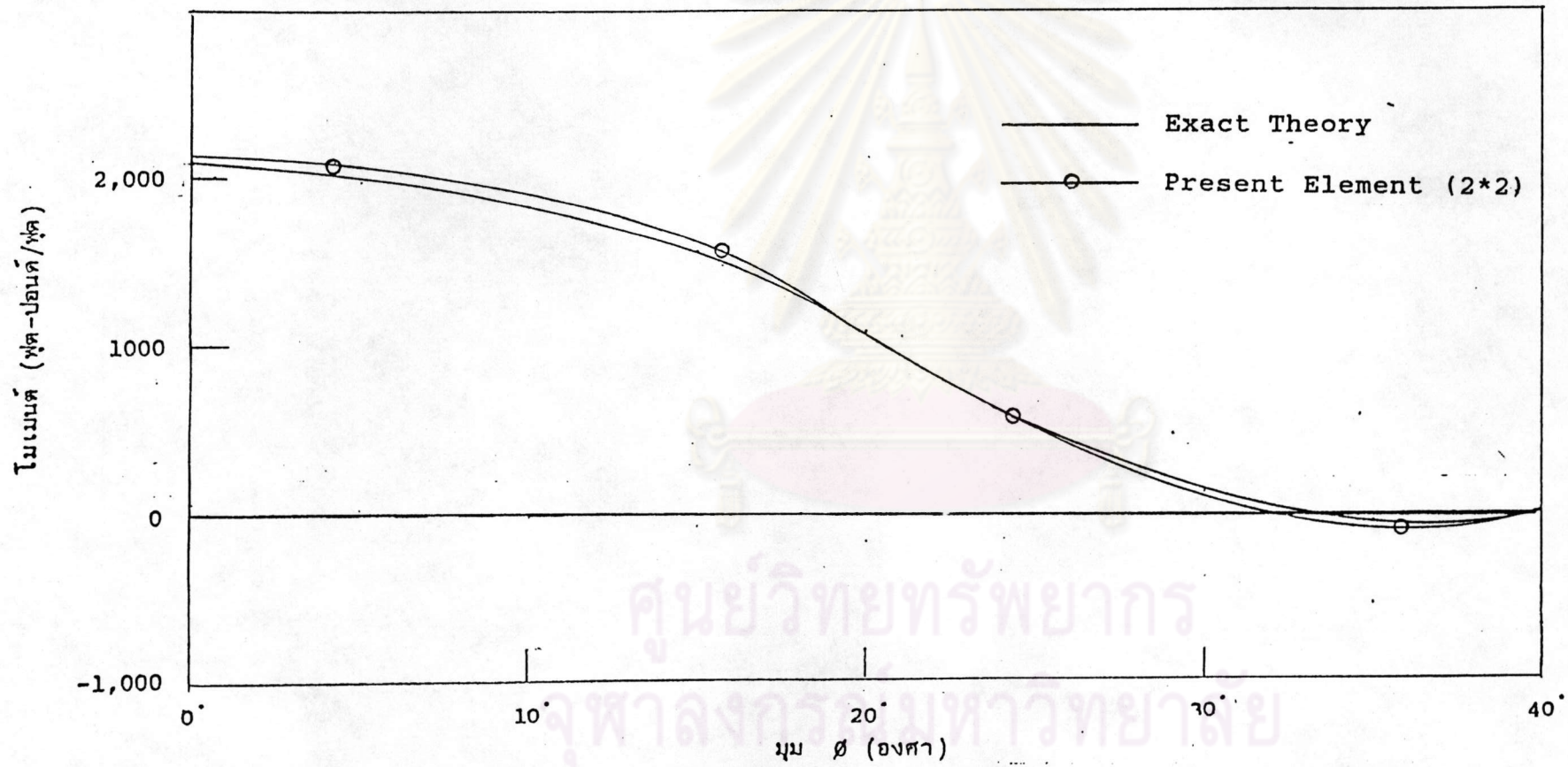
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบโมเมนต์คัตในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นพื้นวงกลม



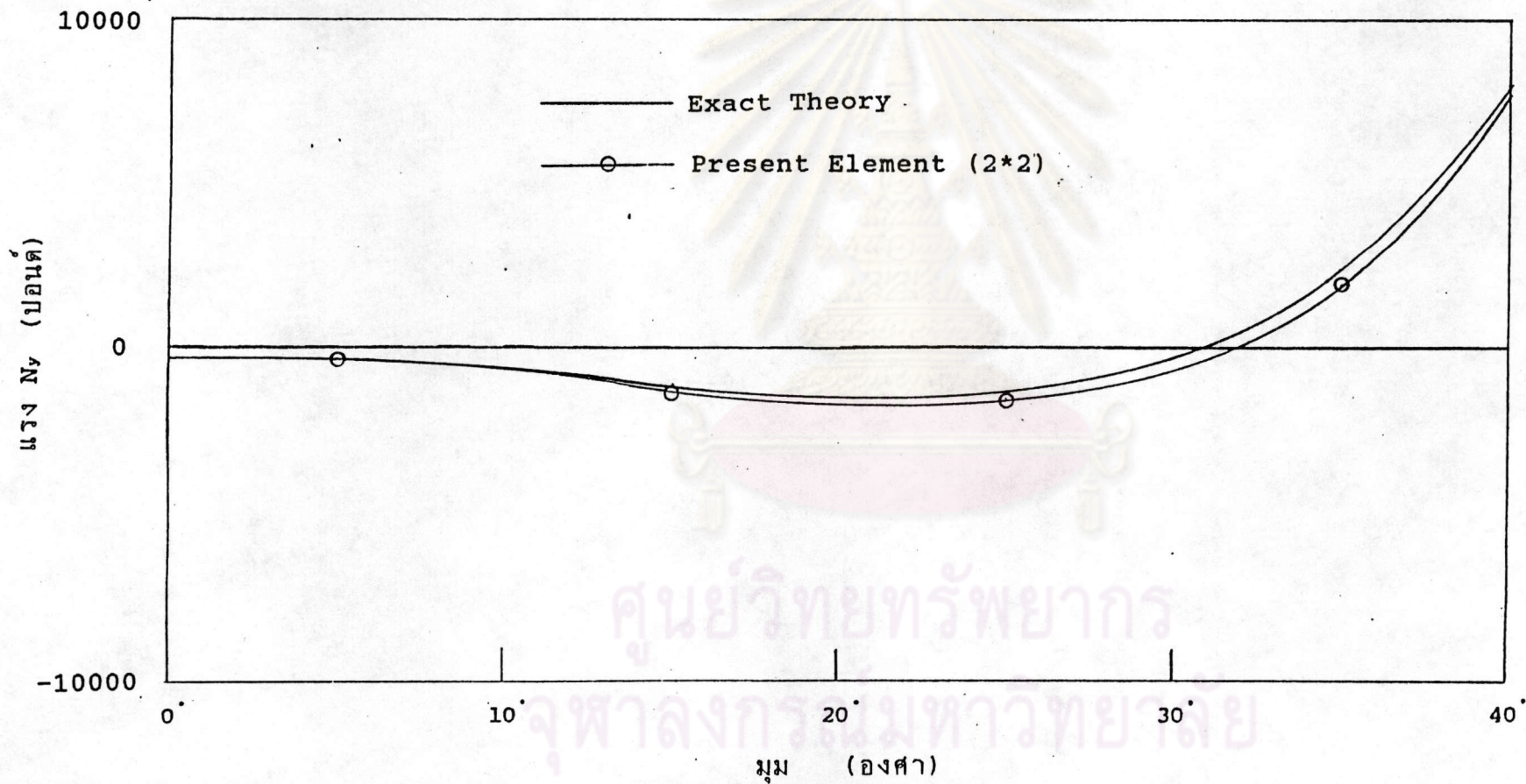
รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบระยะทรุดตัวที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางขอบด้านข้างอิสระ



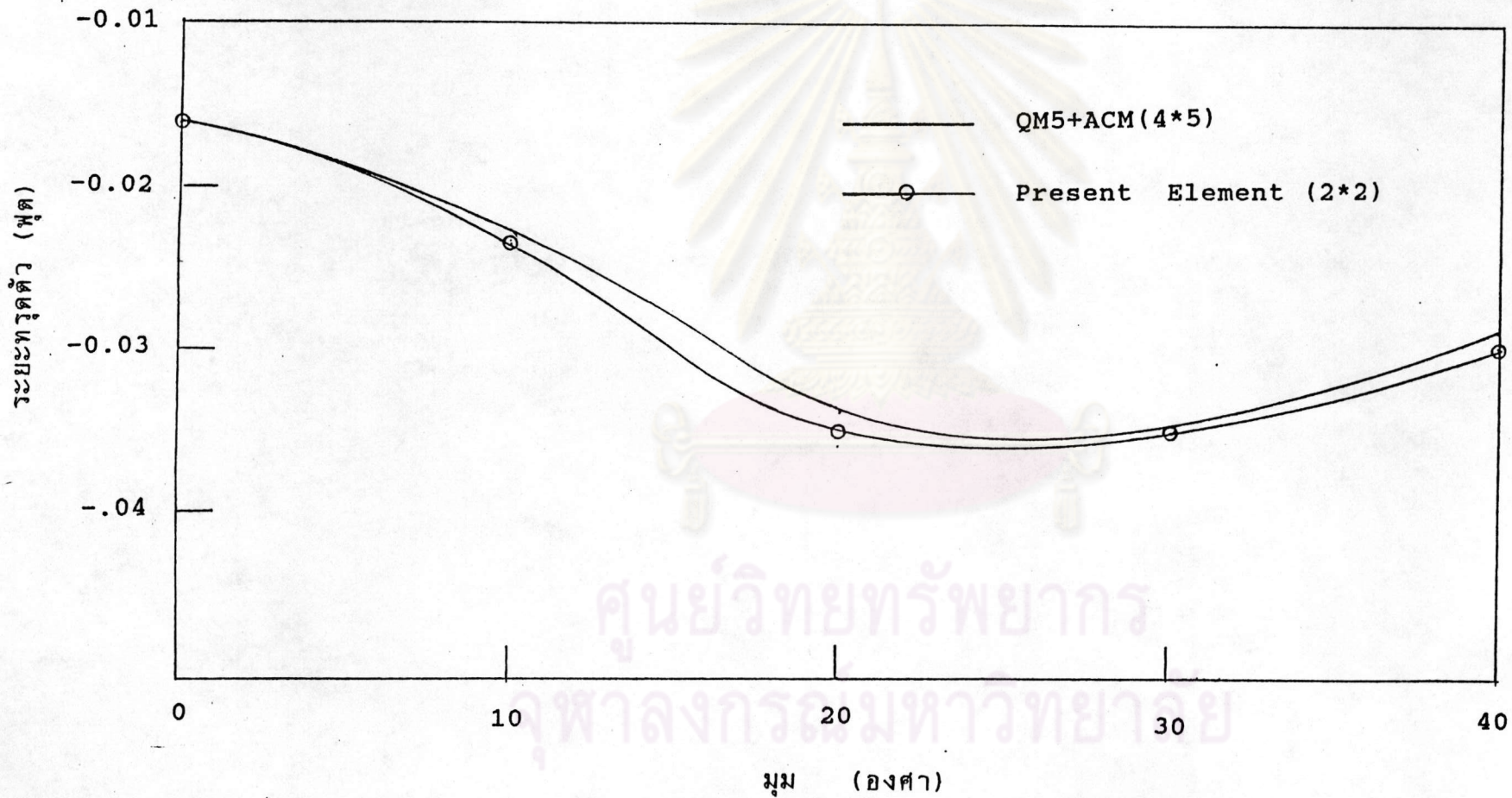
รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาเคลื่อนที่ในทิศทาง Y บริเวณที่รองรับของโครงสร้างเปลือกบางขอบด้านข้างอิสระ



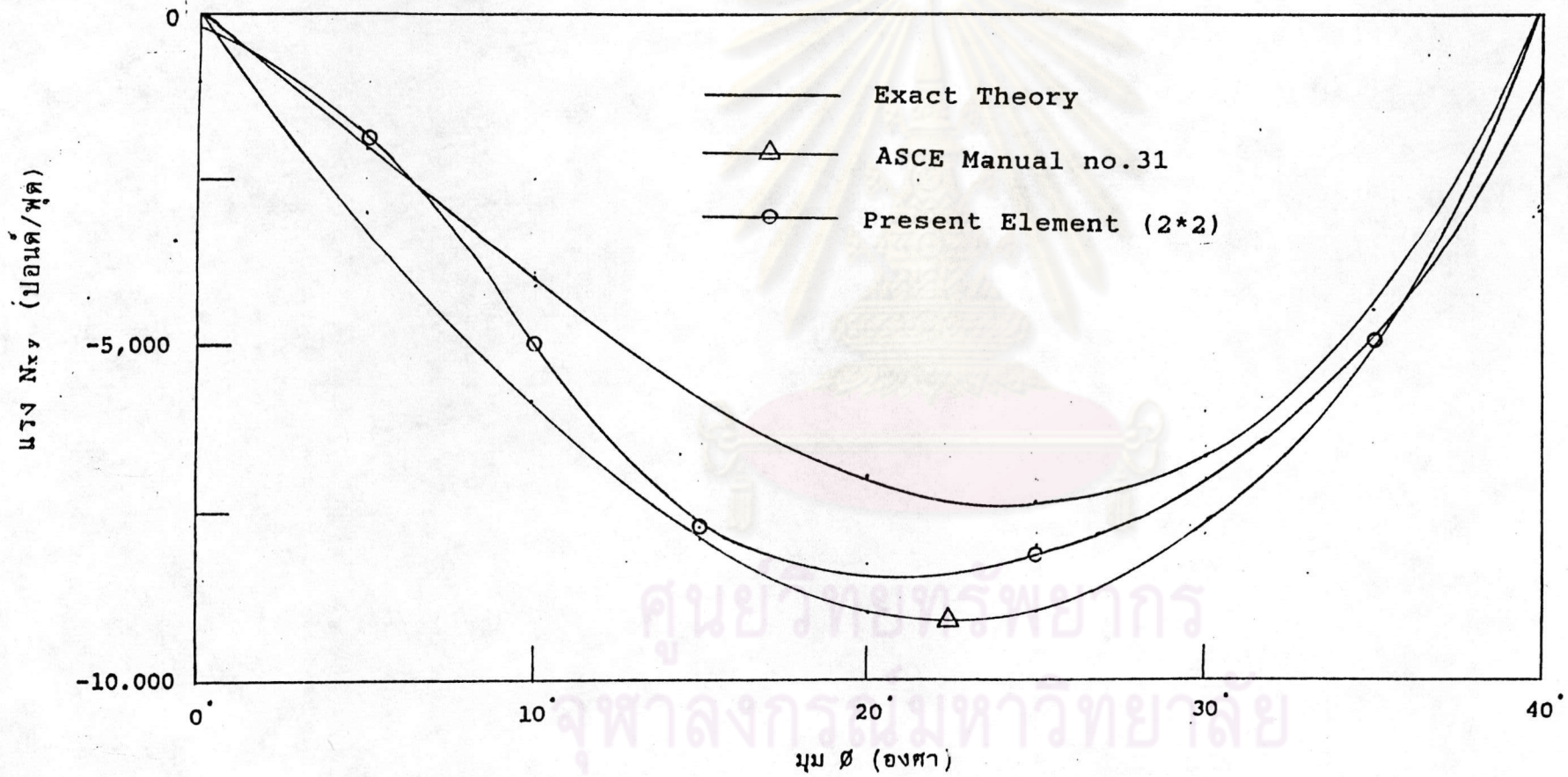
รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ (M) ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางขอบด้านข้างอิสระ



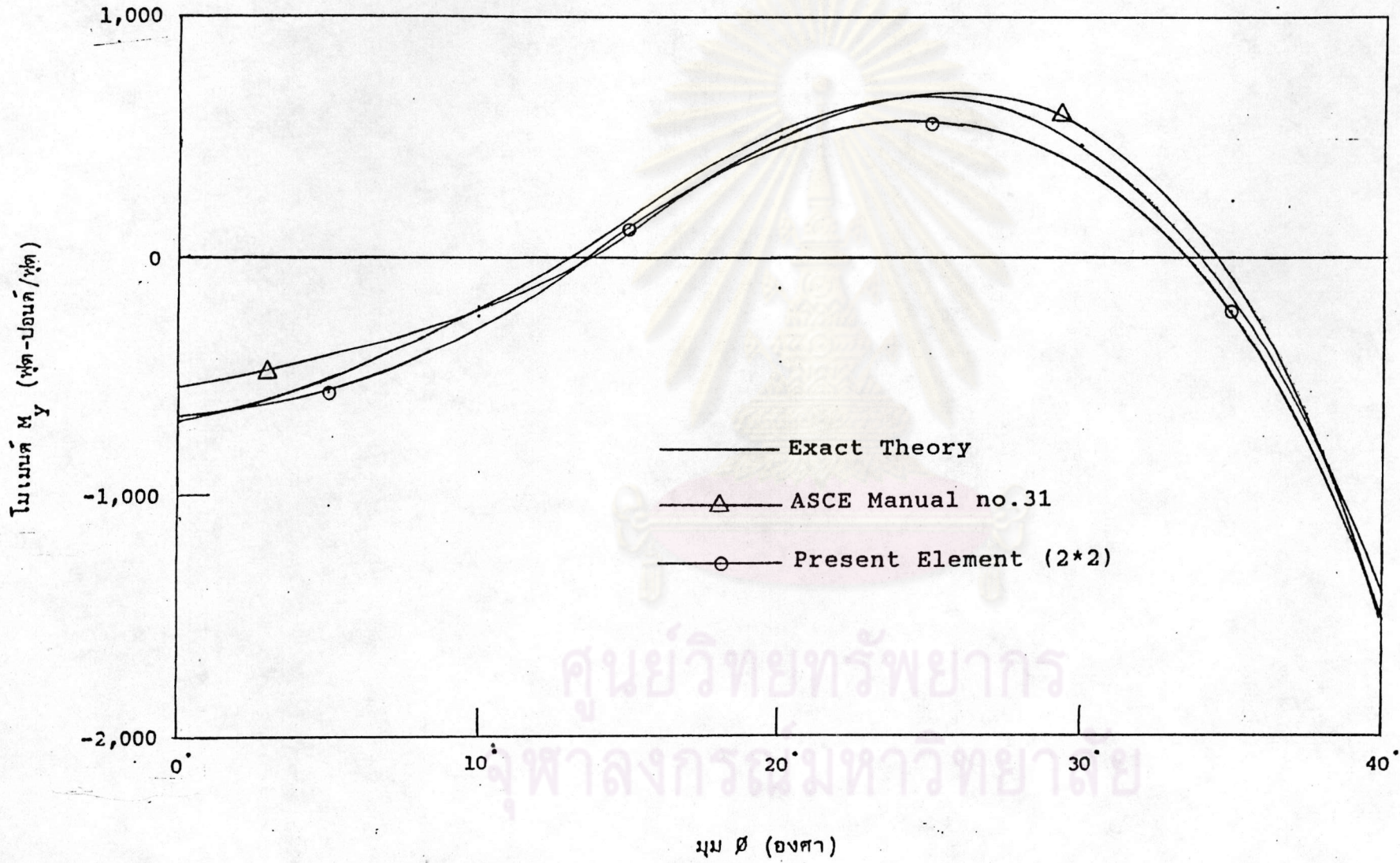
รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่า N_y ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางขอบด้านข้างอิสระ



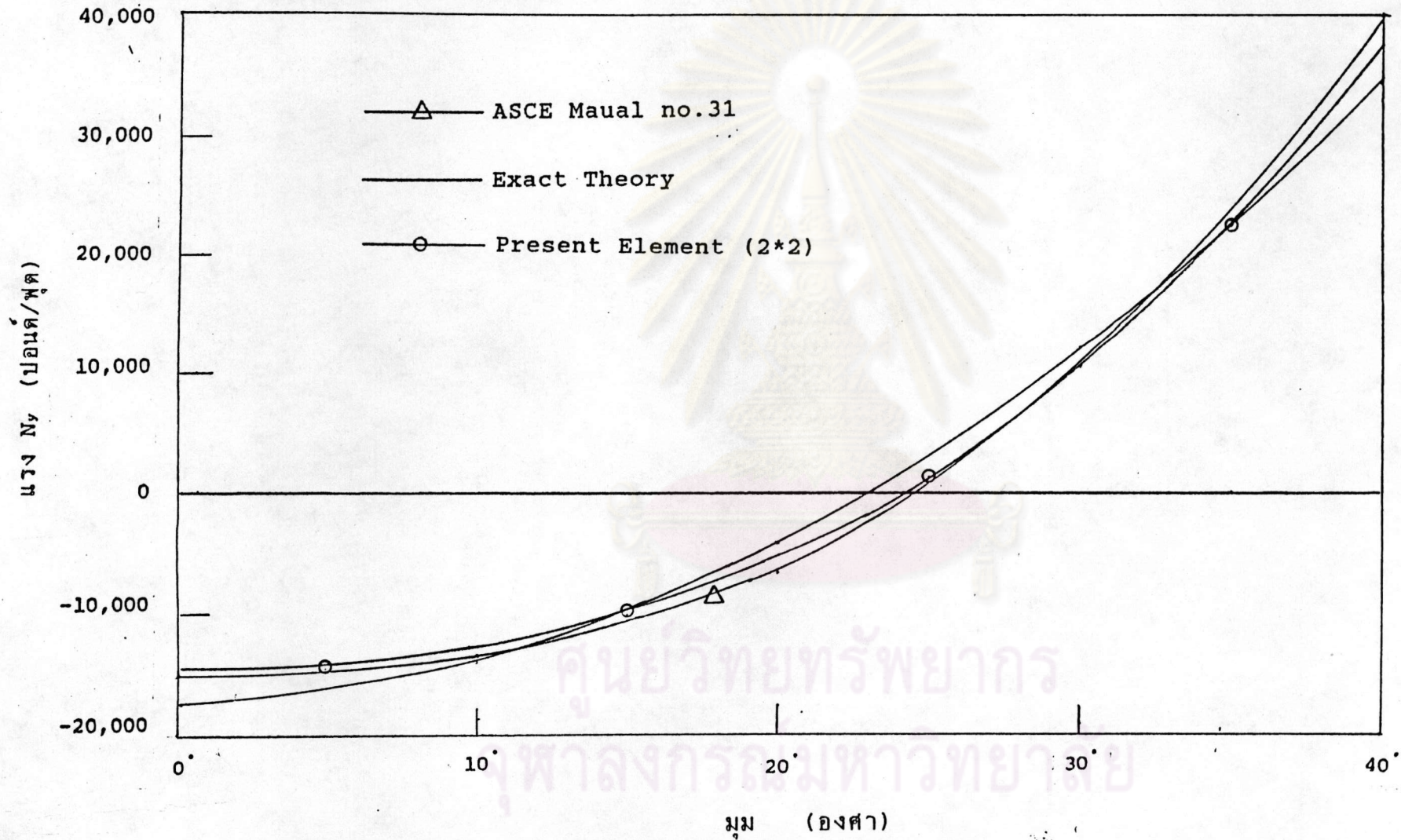
รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบระยะทรุดตัวที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางตัวใน



รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่า N_{xy} บริเวณที่รองรับของโครงสร้างเปลือกบางตัวใน



รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ (M_y) ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางตัวใน



รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่า N_y ที่ส่วนตัดกึ่งกลางตามขวางของโครงสร้างเปลือกบางตัวใน