บทที่ 6

การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการคำนวณที่แสดงอยู่ในรูปของกราฟในวิทยานิพนธ์นี้ใช้จำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 16x16 = 256 เอลิเมนต์ซึ่งให้ผลที่เชื่อถือได้ดังได้แสดงไว้ในบทที่ 5 แล้ว และสามารถที่จะใช้จำนวนเอลิเมนต์ที่มากกว่านี้ได้เช่น 18x18 แต่ผลที่ได้มีค่าไม่ต่างจากค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยเอลิเมนต์ 16x16 มากนัก แต่ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าถึง 2 เท่า ซึ่งแสดงในตารางที่ 5 และเนื่องจากโปรแกรมที่ใช้แสดงผลนั้นมีข้อจำกัด ทำให้การแสดงผลของเอลิเมนต์ 18x18

<u>ตารางที่ 5</u> ค่า w(h/AB) ที่จุดกึ่งกลางของเปลือกบาง
ที่มีสภาพขอบเป็นแบบยึดแน่นทั้ง 4 ด้าน
มีค่า f/h=5.126 A/B=1 $P_sAB/(Eh^2)$ = 0.001335

mesh	เวลา(วินาที)	w(h/AB)
6x6	7	0.00005243
8x8	12	0.00005245
10x10	27	0.00005249
12x12	67	0.00005252
14x14	148	0.00005255
16x16	300	0.00005256
18x18	596	0.00005257

ไม่สามารถแสดงผลได้ เพราะโปรแกรมที่ใช้แสดงผลนั้นเขียนขึ้นมาจากภาษาฟอร์แทรน* และแปลด้วยตัวแปรภาษาฟอร์แทรน 77 จึงมีข้อจำกัดจากจำนวนหน่วยความจำซึ่งจะใช้ได้ไม่เกิน 640 กิโลไบท์ในการแสดงผล แต่จะเป็นสำหรับโปรแกรมที่ใช้แสดงผลเท่านั้น ส่วนโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณยังสามารถคำนวณเอลิเมนต์จำนวน 18x18 ได้ และยังสามารถคำนวณในขนาดเอลิเมนต์ที่มากกว่านี้ซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ ในการวิจัยนี้ใช้คอมพิวเตอร์แบบ Personal Computer ที่มีหน่วยความจำ RAM ขนาด 32 เมกกะไบท์ ถ้ามีหน่วยความจำที่มากกว่านี้ก็จะสามารถคำนวณเอลิเมนต์จำนวนมากขึ้นตามไปด้วย เพราะโปรแกรมที่ใช้คำนวณนั้นแปลด้วยตัวแปรภาษาฟอร์แทรน 90 ที่มีขนาดหน่วยความจำที่ใช้ใน

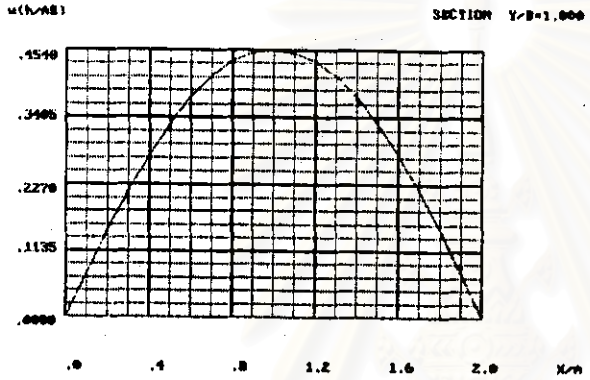
การประมวลผลขึ้นอยู่กับจำนวนของหน่วยความจำชนิด RAM แต่ตัวแปรภาษานี้ไม่สามารถแปลคำสั่งที่ใช้ในการแสดงผลทางกราฟฟิกได้

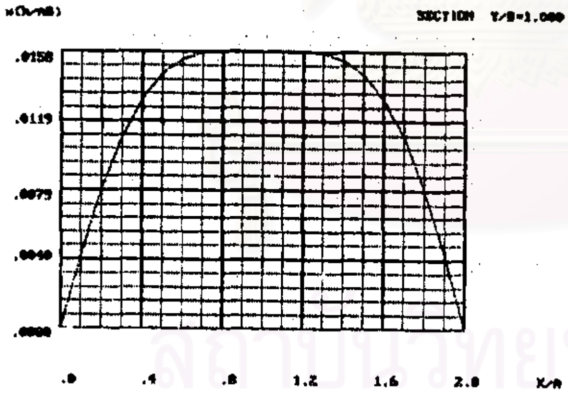
จากเหตุผลของการใช้เอลิเมนต์แบบไม่สอดคล้อง (Non - conforming) คือไม่มีความต่อเนื่องของ $w_{,xy}$ ทำให้ค่าของ M_{xy} จำเป็นต้องคำนวณหาโดยวิธีการประมาณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งในกรณีของการหาค่า N_{xx} N_{yy} และ N_{xy} ก็จำเป็นต้องคำนวณในทำนองเดียวกันเนื่องจากค่าเคลื่อนตัว u และ v ไม่มีความต่อเนื่องของค่าความชันเช่นกัน ในการประมาณนี้ใช้วิธีของ ปราโมทย์ [2] โดยใช้วิธีการประมาณค่าในช่วงฟังก์ชันพหุนามทั่วไป (Polynomial interpolation) สำหรับการคำนวณหาค่าผลลัพธ์ระหว่างช่วงเอลิเมนต์และหาค่าความชันด้วยวิธีผลต่างการแบ่งย่อย (Devided-difference) ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับรูปแบบของค่าเคลื่อนตัว u v และ w ที่ได้จากการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยตรง

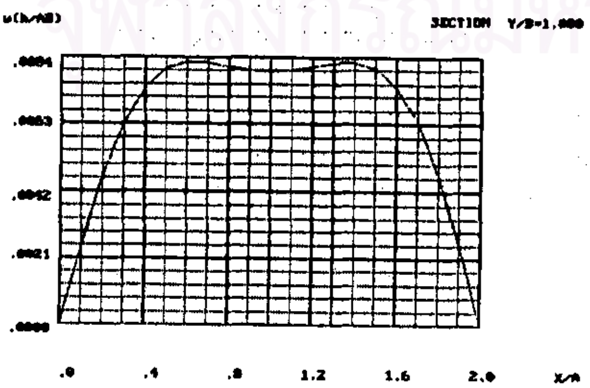
จากการเปรียบเทียบกับแผ่นแบน (f/h = 0) ที่ A/B ค่าต่างๆ ซึ่งได้แสดงแล้วในตารางที่ 1-3 จะเห็นว่า ค่า w(h/AB) จะมีความถูกต้องเพิ่มขึ้นเมื่อค่า A/B มากขึ้น ในทำนองเดียวกัน ค่า $\frac{M_{xx}}{P_3AB}$ จะมีความถูกต้องเพิ่มขึ้นเมื่อค่า A/B มากขึ้นเช่นกัน แต่สำหรับค่า $\frac{M_{YY}}{P_3AB}$ นั้น จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากขึ้นเมื่อค่า A/B มากขึ้นซึ่งที่ตำแหน่งพิจารณานั้นคือที่กึ่งกลางของขอบของเปลือกบาง เมื่อใช้จำนวนของเอลิเมนต์ที่มากขึ้นค่าความถูกต้องคงยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากรูปร่างของเอลิเมนต์ย่อยเริ่มเข้าใกล้รูปร่างของคานที่มีด้านยาวตามแนวแกน x ดังนั้นจึงทำให้การประมาณค่า $\frac{M_{xx}}{P_3AB}$ มีความถูกต้องเพิ่มสูงขึ้นตามค่า A/B ที่มากขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ว่ามีผลต่อค่า w(h/ab) อย่างไรและทำให้รูปแบบเปลี่ยนแปลงอย่างไร จะสังเกตได้ว่าถ้าค่า $\frac{P_3AB}{Eh^2}$ มีค่าเป็นลบแล้วไม่ว่าค่า $\frac{f}{h}$ จะเป็นลบหรือเป็นบวกลักษณะของ w(h/ab) จะเหมือนเดิมเมื่อค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นเท่ากัน และเมื่อค่าของ $\left|\frac{f}{h}\right|$ มีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าของ w(h/ab) ลดลงด้วยซึ่งอาจเป็นผลมาจากค่า $\left|\frac{f}{h}\right|$ นั้นเป็นค่าที่แสดงถึงความเป็นโครงสร้างรูปแบบเปลือก ถ้าค่า $\left|\frac{f}{h}\right|$ มีค่ามากขึ้นแสดงว่ามีสภาพเป็นเปลือกมากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงสามารถรับแรงกระทำได้ดีกว่าสภาพของเปลือกที่มีค่า $\left|\frac{f}{h}\right| = 0$ ซึ่งมีรูปร่างเป็นแผ่นแบนที่รับแรงได้น้อยที่สุดเมื่อพิจารณาที่ค่า w(h/ab) เดียวกัน

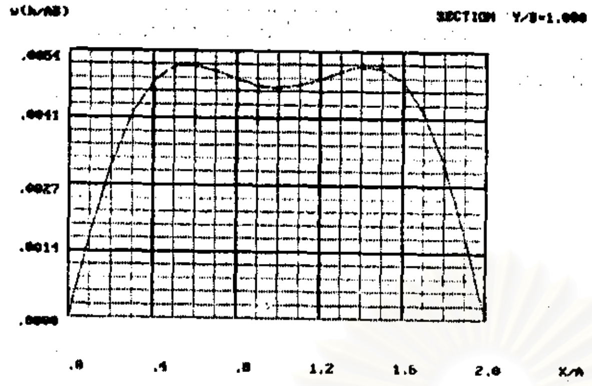
นอกจากค่า w(h/ab) จะมีค่าน้อยลงเมื่อ $\left|\frac{f}{h}\right|$ มีค่ามากขึ้นแล้ว ยังอาจจะทำให้รูปแบบของกราฟของ w(h/ab) เปลี่ยนไปอีกด้วยเมื่อค่าพารามิเตอร์อื่นเท่ากัน ดังรูปที่ 24 แสดงรูปกราฟที่มีค่า $\frac{A}{B} = 1.0$ $\frac{P_3 AB}{Eh^2} = 1.0$ $\nu = 0.3$ มีความยาวในแนวแกน x และความยาวในแนวแกน y เป็น 2 เท่าของค่า A และ B ตามลำดับ มีสภาพขอบเป็นแบบรองรับแบบธรรมดาทั้ง 4 ด้าน โดยเปลี่ยนค่า $\left|\frac{f}{h}\right|$ จาก 1.0 จนถึง 12.5



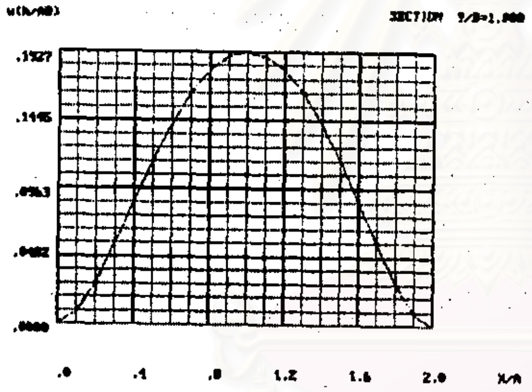


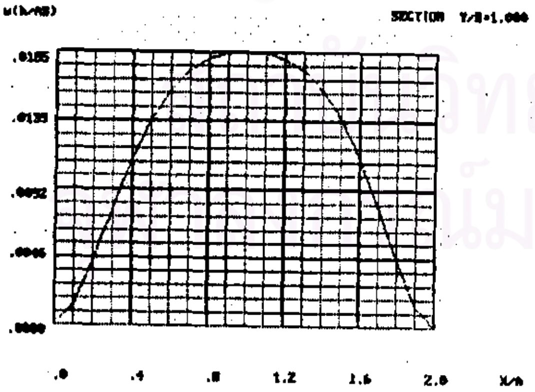


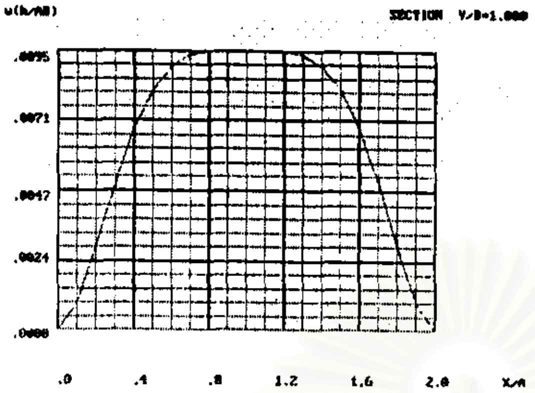
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

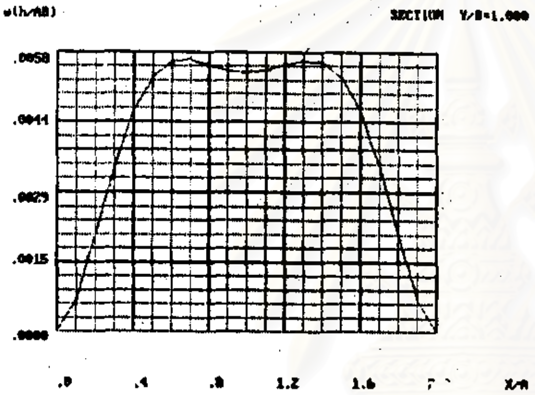


<u>รูปที่ 24</u> แสดงกราฟของ w(h/ab) เมื่อค่า $\left|\frac{f}{h}\right|$ = 1.0 7.5 10.0 และ 12.5 ตามลำดับ



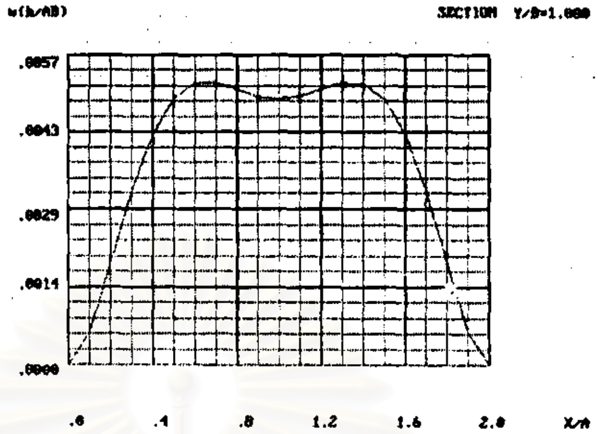






<u>รูปที่ 25</u> แสดงกราฟของ w(h/ab) มีค่าพารามิเตอร์ $\frac{A}{B} = 1$ $v = 0.3$ และ $\frac{P_3 AB}{Eh^2} = 1$ ที่สภาพขอบเป็นแบบยึดแน่นทั้ง 4 ด้าน และมีความยาวในแนวแกน x และความยาวในแนวแกน y เป็น 2 เท่าของค่า A และ B ตามลำดับ เมื่อค่า $\left|\frac{f}{h}\right| = 1.0$ 7.5 10.0 และ 12.5 ตามลำดับ

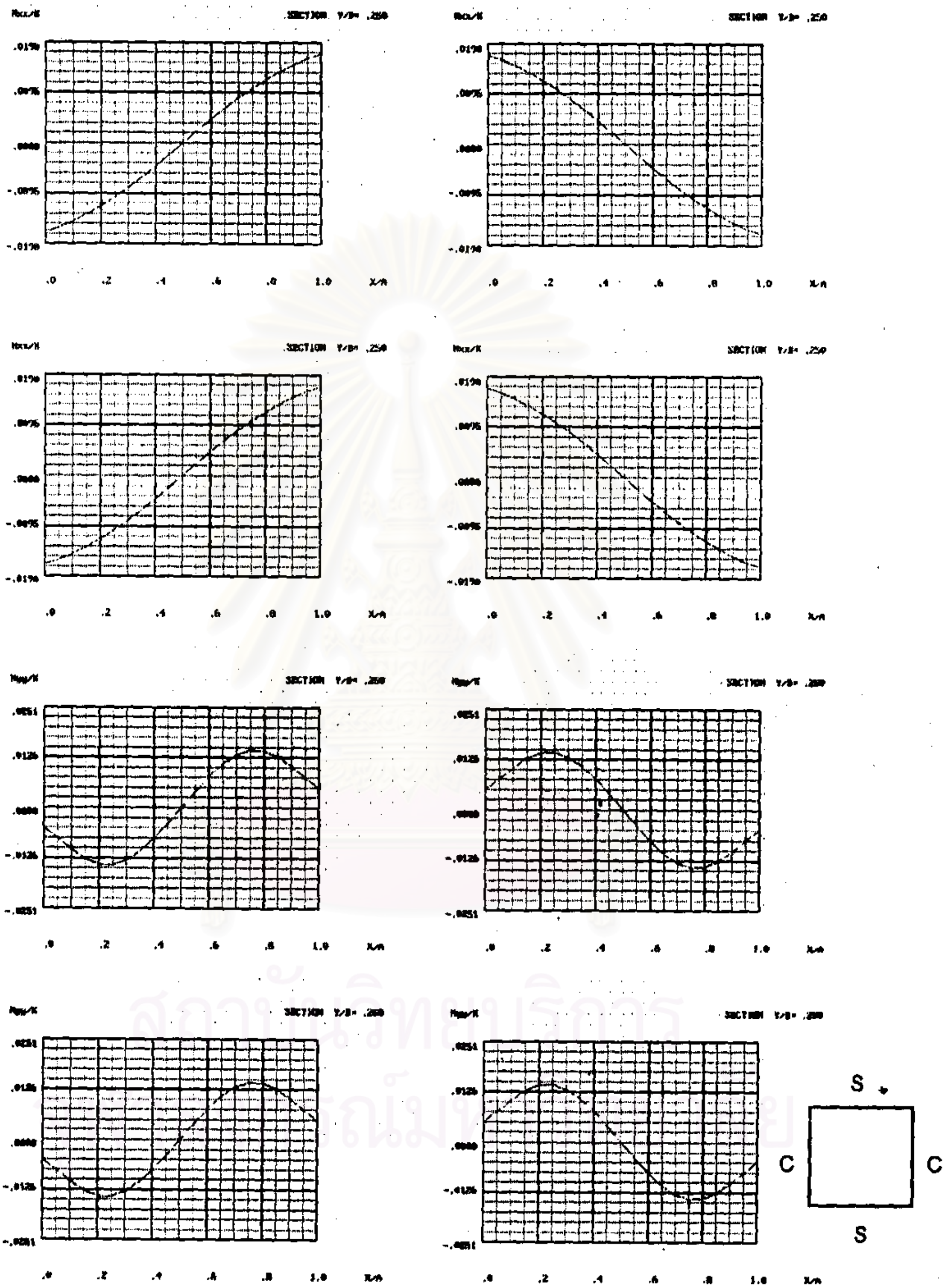
จากรูปที่ 25 แสดงถึงกรณีเดียวกันกับรูปที่ 24 แต่มีสภาพขอบเป็นแบบยึดแน่นทั้ง 4 ด้าน และรูปที่ 26 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า w(h/ab) ที่สภาพขอบเป็นแบบยึดแน่น 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกันส่วนด้านที่เหลือเป็นสภาพขอบแบบรองรับธรรมดา ที่มีค่า $\left|\frac{f}{h}\right| = 12.5$



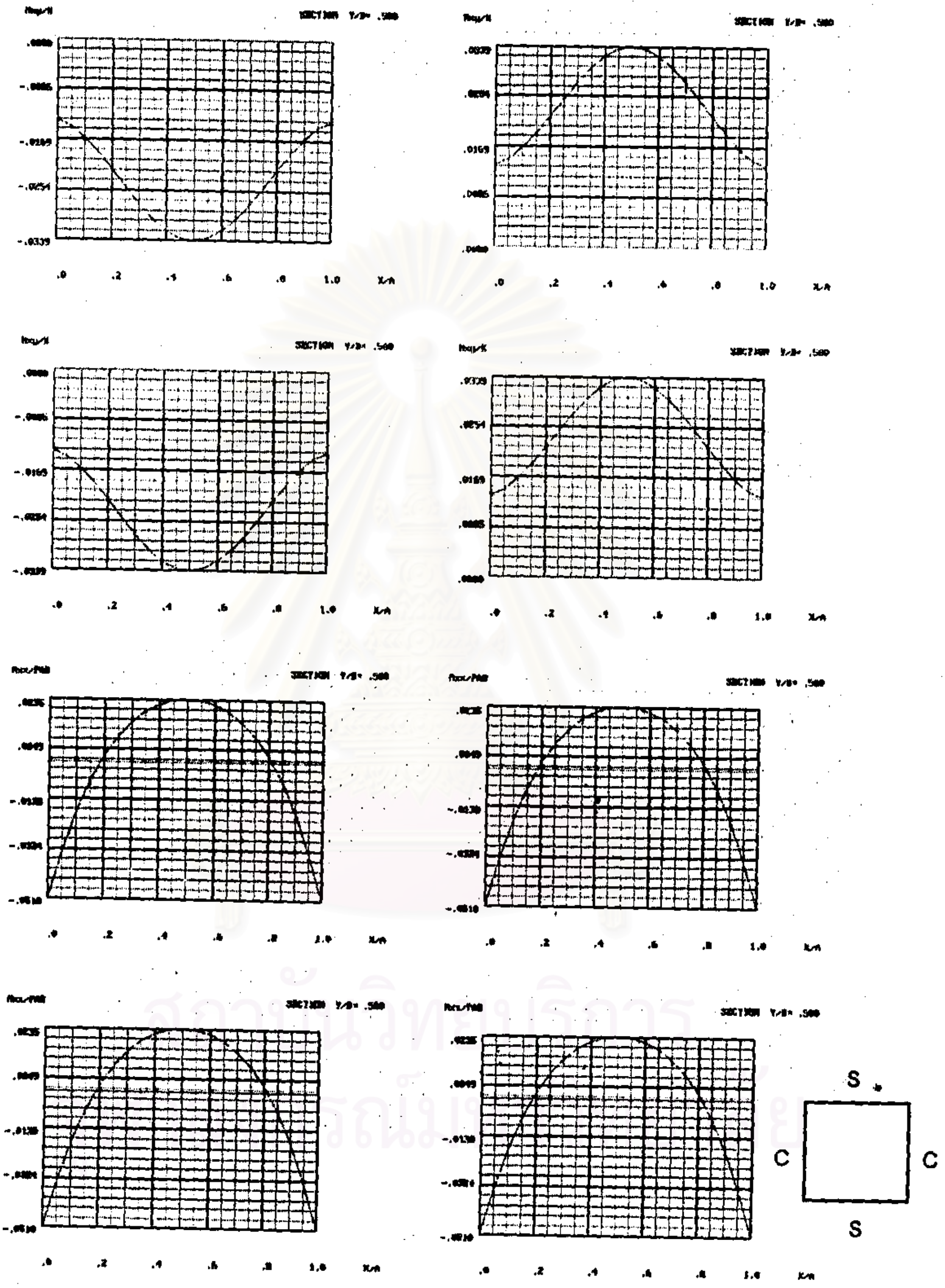
รูปที่ 26 แสดงกราฟของ w(h/ab) มีค่าพารามิเตอร์ $\frac{A}{B} = 1$ $\nu = 0.3$ และ $\frac{P_3AB}{Eh^2} = 1$ ที่สภาพขอบเป็นแบบยึดแน่น 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกันส่วนด้านที่เหลือเป็นสภาพขอบแบบรองรับธรรมดา และมีความยาวในแนวแกน x และความยาวในแนวแกน y เป็น 2 เท่าของค่า A และ B ตามลำดับ เมื่อค่า $\left|\frac{f}{h}\right| = 12.5$

เมื่อพิจารณาค่า N_{xx} N_{yy} และ N_{xy} แล้วจะเห็นว่าค่าทั้ง 3 สัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ $\frac{f}{h}$ และ $\frac{P_3AB}{Eh^2}$ ดังตัวอย่างเช่น เมื่อเปลือกบางมีค่า $\frac{A}{B} = 1.0$ $\nu = 0.3$ แต่เปลี่ยนค่า $\frac{f}{h} = 5, -5$ ส่วน $\frac{P_3AB}{Eh^2} = 1, -1$ ในกรณีของ $\frac{f}{h} = 5$ $\frac{P_3AB}{Eh^2} = 1$ และ $\frac{f}{h} = -5$ $\frac{P_3AB}{Eh^2} = -1$ ค่า N_{xx} N_{yy} และ N_{xy} จะมีค่าเท่ากัน และในกรณีของ $\frac{f}{h} = -5$ $\frac{P_3AB}{Eh^2} = 1$ และ $\frac{f}{h} = 5$ $\frac{P_3AB}{Eh^2} = -1$ ค่า N_{xx} N_{yy} และ N_{xy} จะมีค่าเท่ากันเช่นกันแต่จะมีค่าตรงข้ามกันกับกรณีแรก ส่วนค่า M_{xx} M_{yy} และ M_{xy} นั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าค่า $\frac{f}{h}$ และ $\frac{P_3AB}{Eh^2}$ จะมีค่าเป็นบวกหรือลบ ซึ่งเป็นจริงทุกสภาพขอบ ดังแสดงในรูปที่ 27-32 โดยรูปที่ 27-29 เป็นสภาพขอบแบบยึดแน่น 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน ส่วนด้านที่เหลือเป็นแบบรองรับธรรมดา ส่วนรูปที่ 30-32 มีสภาพขอบเป็นแบบรองรับธรรมดา 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน ส่วนด้านที่เหลือเป็นแบบยึดแน่นและแบบอิสระ

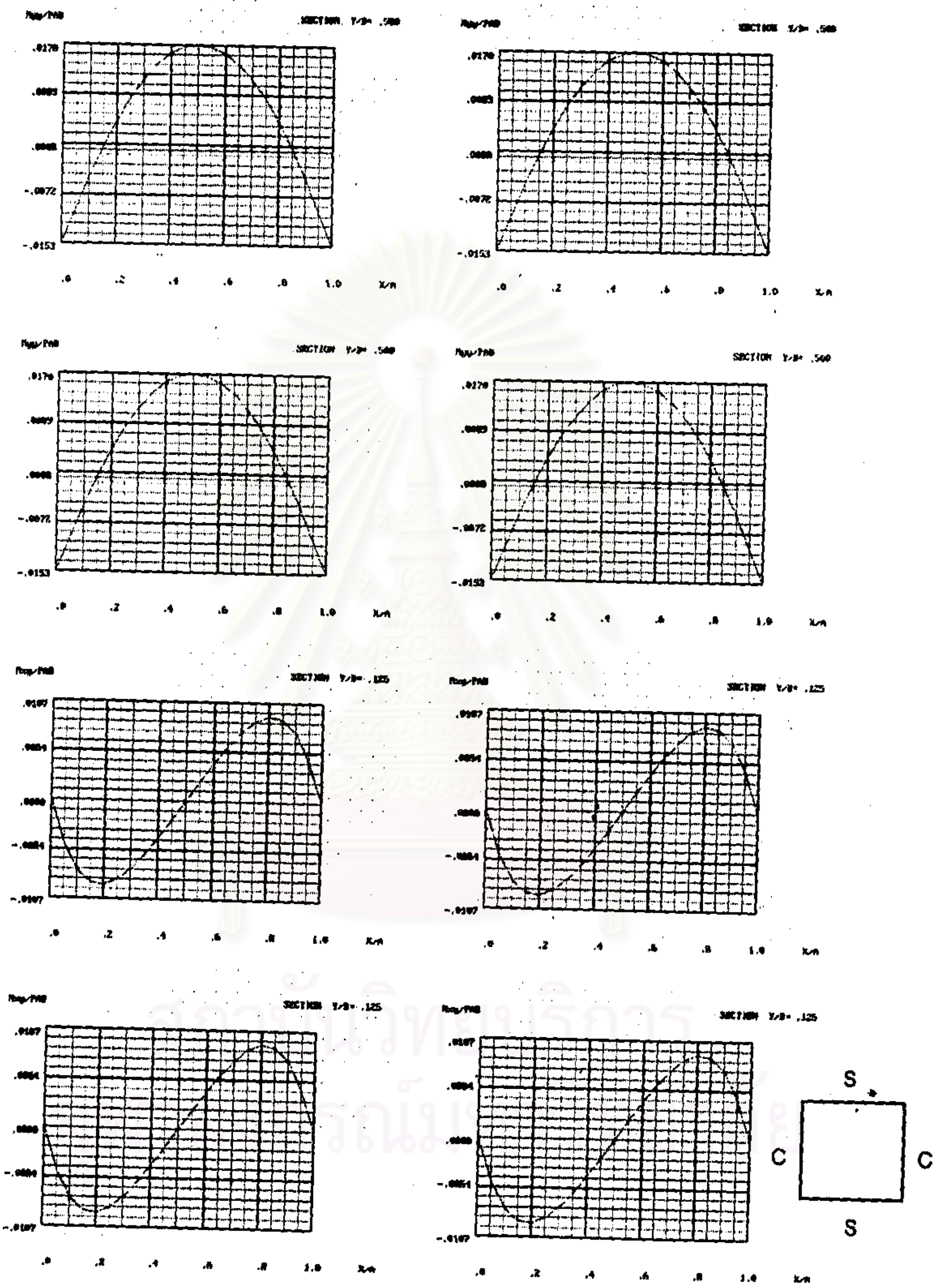
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



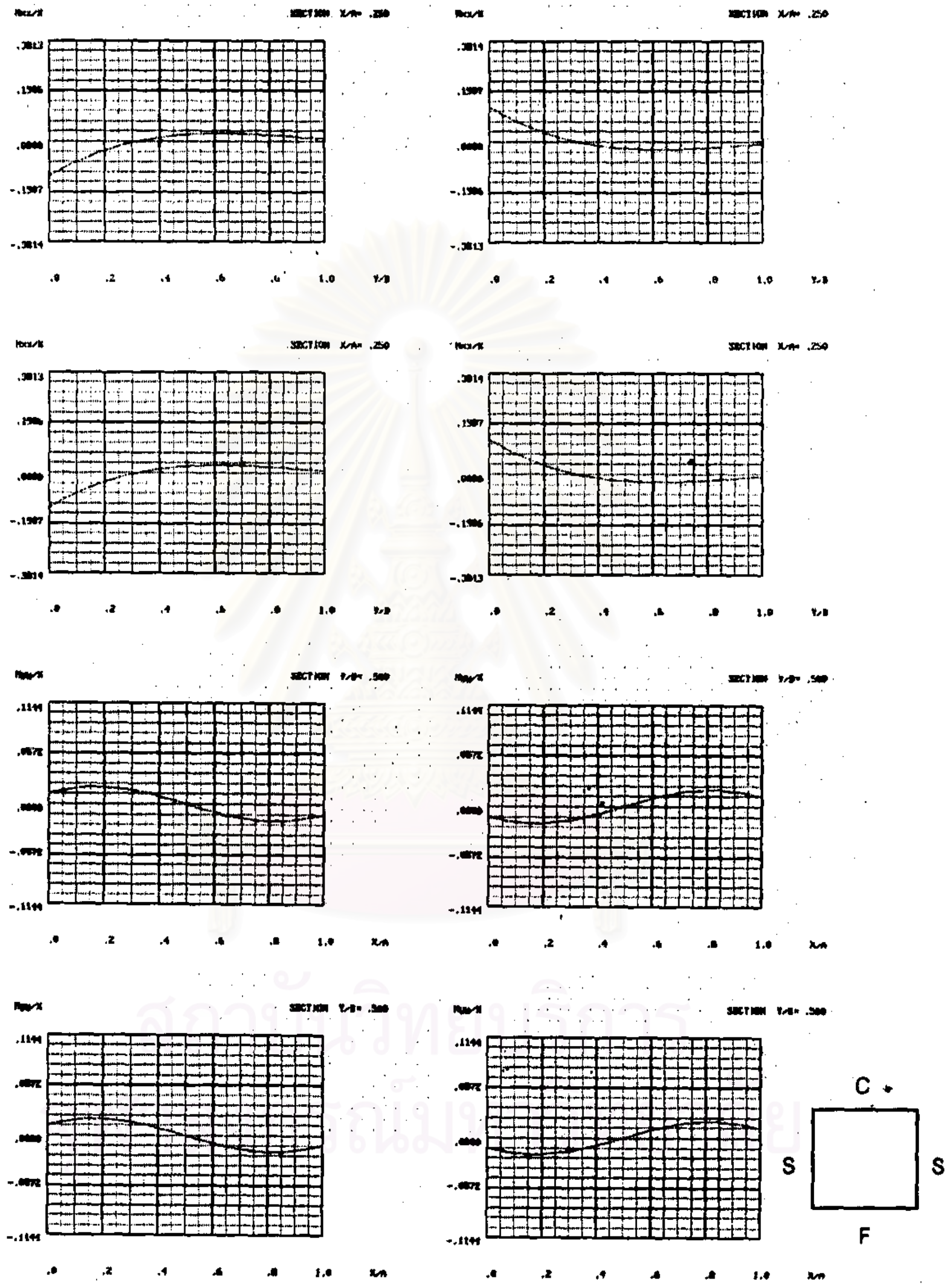
<u>รูปที่ 27</u> แสดงค่า N_{xx}/K และ N_{yy}/K ที่มีค่า ($\frac{f}{h} = 5$, $\frac{P_3 AB}{Eh^2} = 1$) ($\frac{f}{h} = -5$, $\frac{P_3 AB}{Eh^2} = 1$) ($\frac{f}{h} = -5$, $\frac{P_3 AB}{Eh^2} = -1$) และ ($\frac{f}{h} = 5$, $\frac{P_3 AB}{Eh^2} = -1$) ตามลำดับที่ $\frac{A}{B} = 1$ $\nu = 0.3$



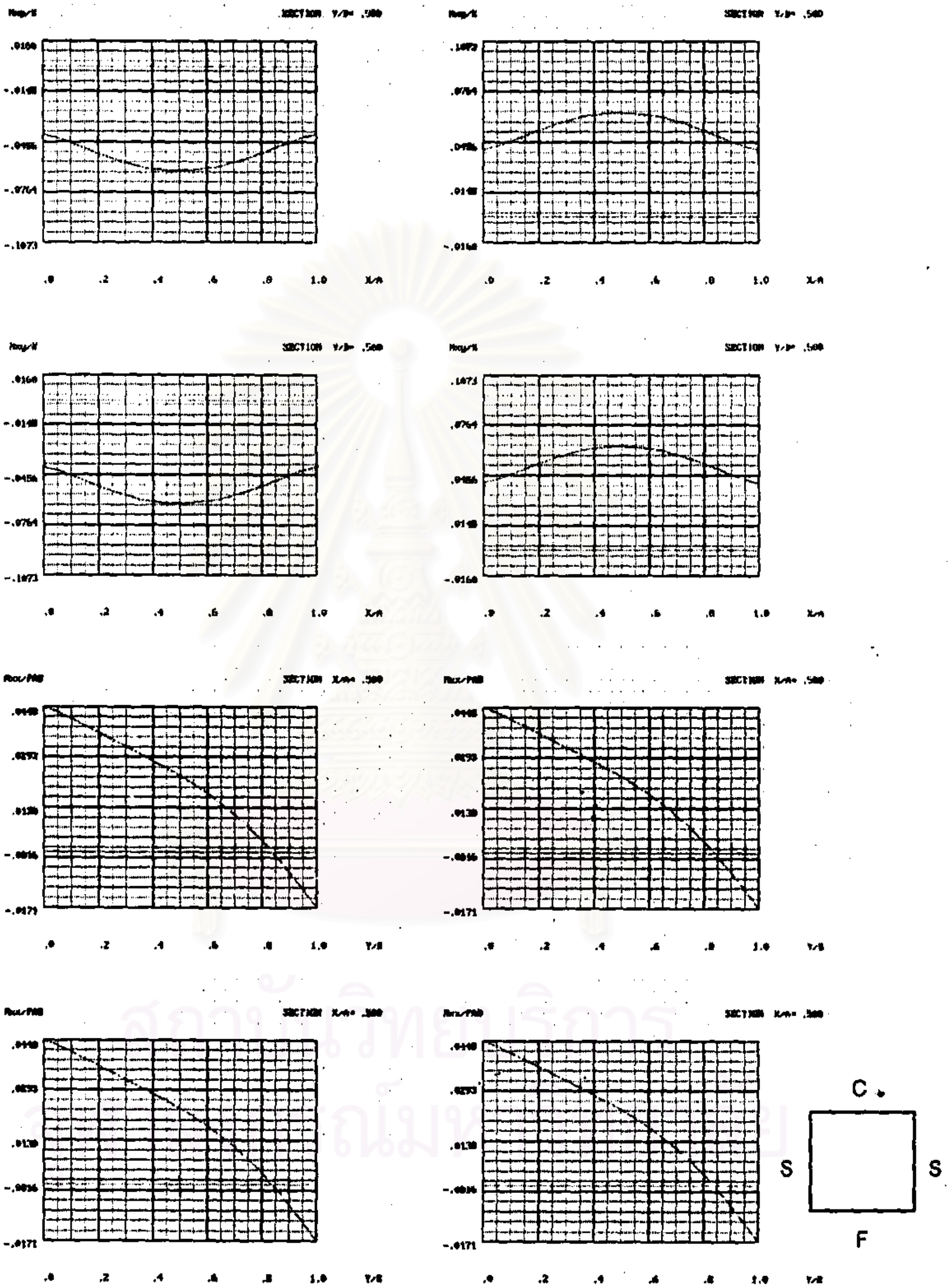
<u>รูปที่ 28</u> แสดงค่า N_{xy}/K และ M_{xx}/P_3AB ที่มีค่า ($\frac{f}{h} = 5$, $\frac{P_3AB}{Eh^2} = 1$) ($\frac{f}{h} = -5$, $\frac{P_3AB}{Eh^2} = 1$) ($\frac{f}{h} = -5$, $\frac{P_3AB}{Eh^2} = -1$) และ ($\frac{f}{h} = 5$, $\frac{P_3AB}{Eh^2} = -1$) ตามลำดับที่ $\frac{A}{B} = 1$ $\nu = 0.3$



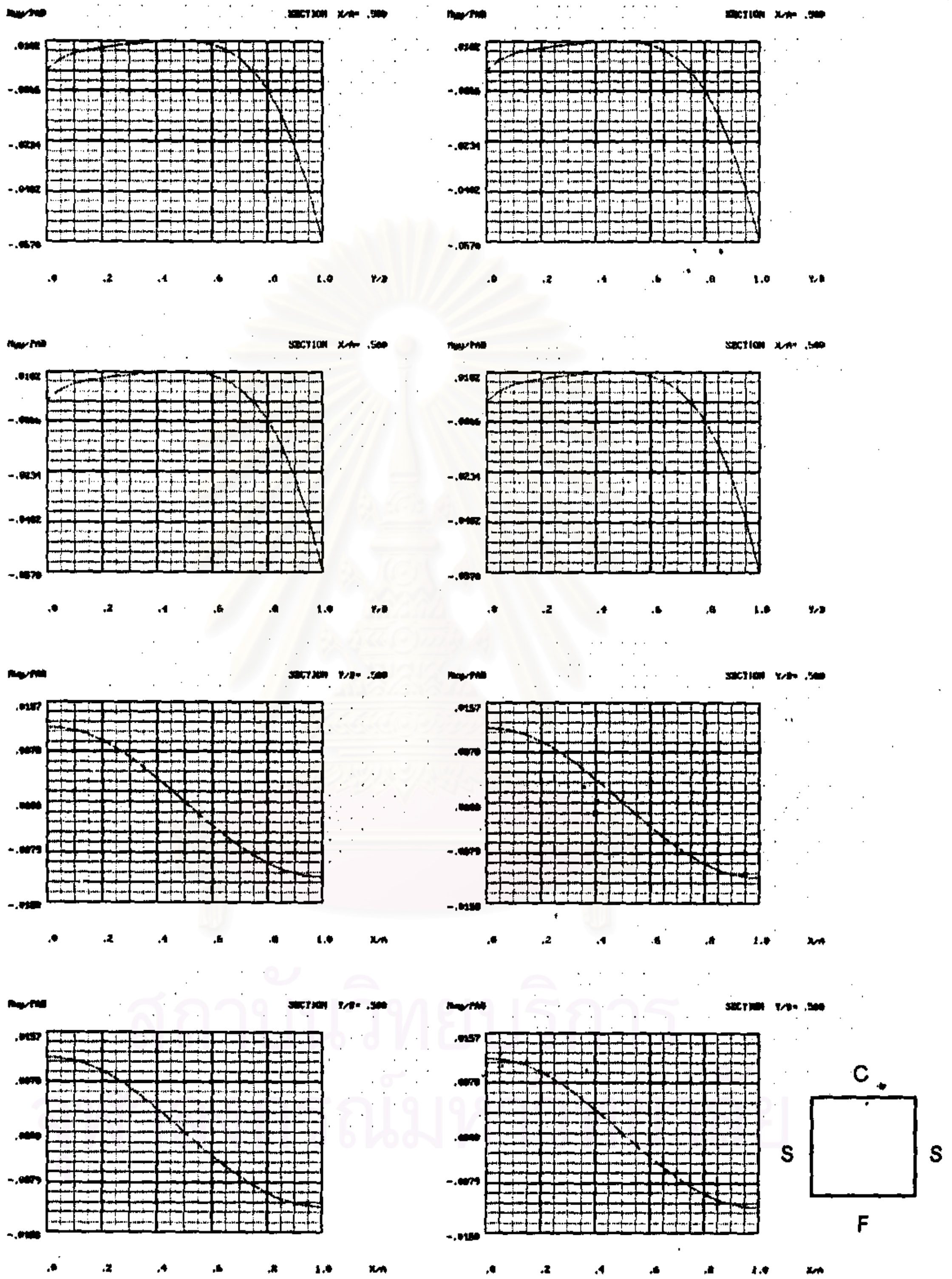
<u>รูปที่ 29</u> แสดงค่า M_{yy}/ P_3AB และ M_{xy}/ P_3AB ที่มีค่า ($\frac{f}{h}$ = 5 , $\frac{P_3AB}{Eh^2}$=1) ($\frac{f}{h}$ = -5 , $\frac{P_3AB}{Eh^2}$=1) ($\frac{f}{h}$= -5 , $\frac{P_3AB}{Eh^2}$ = -1) และ ($\frac{f}{h}$ = 5 , $\frac{P_3AB}{Eh^2}$ = -1) ตามลำดับที่ $\frac{A}{B}$ = 1 $\nu = 0.3$



<u>รูปที่ 30</u> แสดงค่า N_{xx}/K และ N_{yy}/K ที่มีค่า ($\frac{f}{h}$ = 5 , $\frac{P_3AB}{Eh^2}$ =1) ($\frac{f}{h}$ = -5 , $\frac{P_3AB}{Eh^2}$ = 1) ($\frac{f}{h}$ = -5 , $\frac{P_3AB}{Eh^2}$ = -1) และ ($\frac{f}{h}$ = 5 , $\frac{P_3AB}{Eh^2}$ = -1) ตามลำดับที่ $\frac{A}{B}$ = 1 $\nu = 0.3$

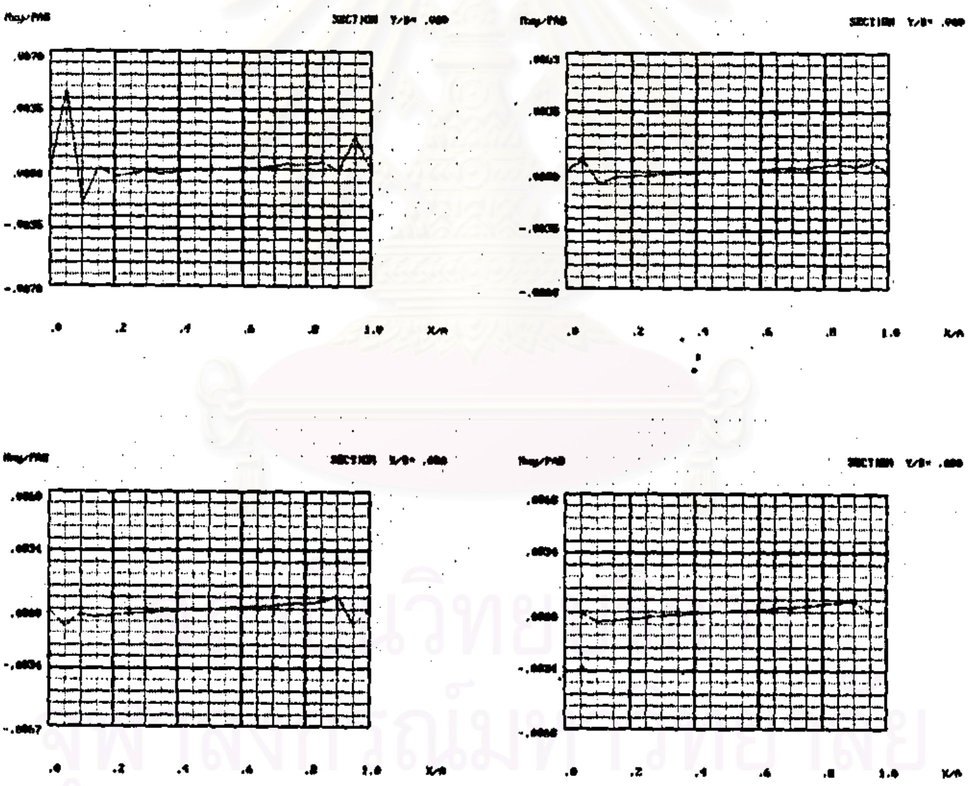


<u>รูปที่ 31</u> แสดงค่า N_{xy}/K และ M_{xx}/P_3AB ที่มีค่า $(\frac{f}{h} = 5, \frac{P_3AB}{Eh^2} = 1)$ $(\frac{f}{h} = -5, \frac{P_3AB}{Eh^2} = 1)$ $(\frac{f}{h} = -5, \frac{P_3AB}{Eh^2} = -1)$ และ $(\frac{f}{h} = 5, \frac{P_3AB}{Eh^2} = -1)$ ตามลำดับที่ $\frac{A}{B} = 1$ $\nu = 0.3$

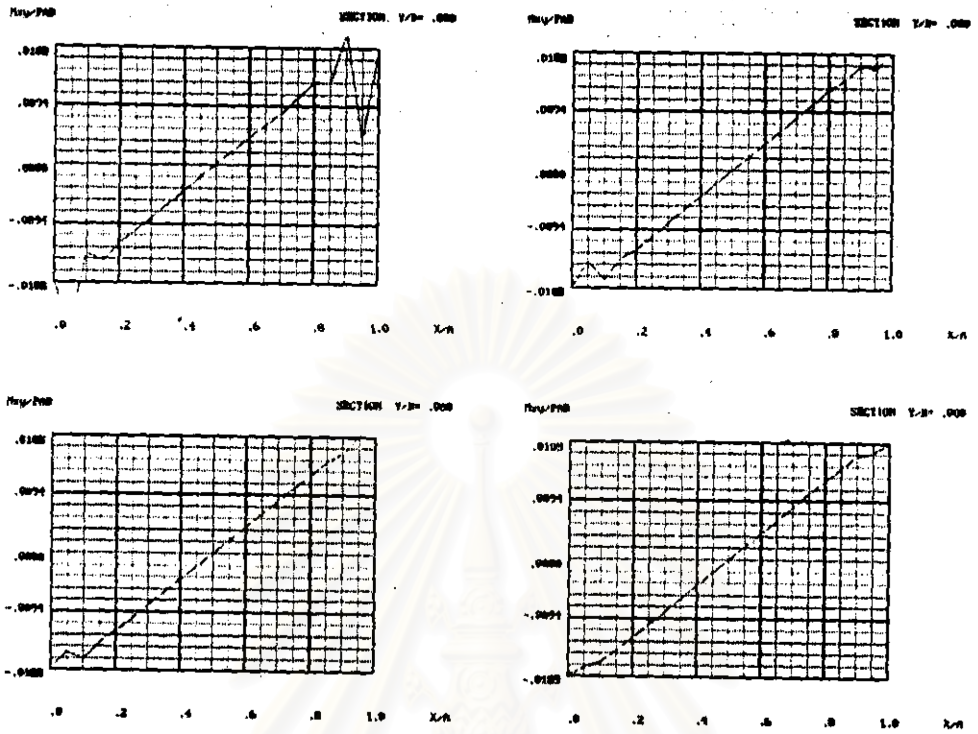


<u>รูปที่ 32</u> แสดงค่า M_{yy}/P_3AB และ M_{xy}/P_3AB ที่มีค่า ($\frac{f}{h} = 5$, $\frac{P_3AB}{Eh^2} = 1$) ($\frac{f}{h} = -5$, $\frac{P_3AB}{Eh^2} = 1$) ($\frac{f}{h} = -5$, $\frac{P_3AB}{Eh^2} = -1$) และ ($\frac{f}{h} = 5$, $\frac{P_3AB}{Eh^2} = -1$) ตามลำดับที่ $\frac{A}{B} = 1$ $\nu = 0.3$

แม้ว่าค่าของ M_{xy} N_{xx} N_{yy} และ N_{xy} ที่คำนวณหาโดยวิธีการประมาณทางคณิตศาสตร์จะมีความสอดคล้องกับค่า u v และ w ของเอลิเมนต์โดยส่วนใหญ่ แต่มีบางส่วนที่เกิดค่าความผิดพลาดขึ้น อันเป็นผลมาจากวิธีการประมาณนั่นเอง ซึ่งส่วนมากเกิดตรงบริเวณส่วนขอบของเปลือกบางที่มีค่า y คงที่ ดังในรูปที่ 33-34 ซึ่งแสดงค่าของ M_{xy}/P_3AB ที่ขอบของเปลือกบางที่มีสภาพขอบเป็นแบบยึดแน่นทั้ง 4 ด้าน ที่มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 16x16 15x15 14x14 และ 13x13 ตามลำดับ จากทฤษฎีค่า M_{xy}/P_3AB บริเวณนี้จะมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่ผลจากโปรแกรมจะไม่เท่ากับศูนย์ โดยเฉพาะเมื่อใช้เอลิเมนต์ขนาด 16x16 ค่าความผิดพลาดจะมากบริเวณปลายขอบแต่เมื่อใช้เอลิเมนต์ที่มีขนาดลดลง จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดจะน้อยลงมาก แต่ค่าความผิดพลาดจากเอลิเมนต์ขนาด 16x16 นี้เกิดขึ้นเฉพาะการแสดงผลลัพธ์เป็นกราฟเท่านั้น ส่วนผลลัพธ์ที่อยู่ในรูปของ Text Files จะมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่ามาก

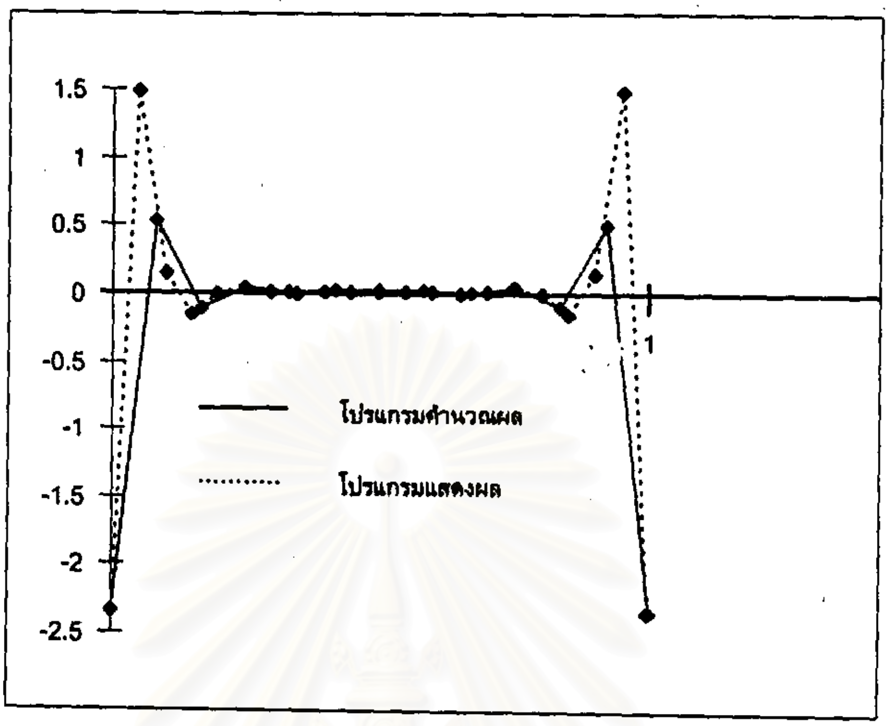


<u>รูปที่ 33</u> ค่า M_{xy}/P_3AB ที่ค่าพารามิเตอร์ $\frac{A}{B} = 1$ $\nu = 0.3$ $\frac{f}{h} = 5$ และ $\frac{P_3AB}{Eh^2} = 1$ ที่ Y/B = 0 สภาพขอบเป็นแบบยึดแน่นทั้ง 4 ด้าน



รูปที่ 34 ค่า M_{xy}/P_3AB ที่ค่าพารามิเตอร์ $\frac{A}{B} = 1$ $\nu = 0.3$ $\frac{f}{h} = 5$ และ $\frac{P_3AB}{Eh^2} = 1$ ที่ Y/B = 0 สภาพขอบเป็นแบบรองรับธรรมดาทั้ง 4 ด้าน

เนื่องจากวิธีที่ใช้ในการวาดกราฟของโปรแกรมแสดงผลนั้น ใช้วิธีการเขียนโปรแกรมลากเส้นผ่านจุดจำนวน 21 จุด ไม่ว่าจะใช้จำนวนเอลิเมนต์ขนาดใดก็ตาม ซึ่งจะทำให้สามารถวาดกราฟแสดงผลในกรณีที่ใช้จำนวนเอลิเมนต์ที่น้อยๆได้ดีขึ้น และกราฟที่ได้จะมีรูปแบบเดียวกัน ดังนั้นทำให้จำเป็นต้องมีการประมาณค่าจุดที่อยู่ระหว่างจุดผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณผล ในโปรแกรมนี้ใช้วิธีการประมาณค่าในช่วงฟังก์ชันพหุนามทั่วไป โดยฟังก์ชันที่สร้างขึ้นจะมีจำนวนเทอมโพลีโนเมียลเท่ากับจำนวนจุดผลลัพธ์ของโปรแกรมคำนวณผล ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายเนื่องจากค่าผลต่างจากการแบ่งย่อยนั้นสามารถคำนวณแบบสืบเนื่องได้อย่างมีขั้นตอน แต่ในกรณีที่จำนวนจุดผลลัพธ์มีมากขึ้นจะทำให้เกิดการแกว่ง (Oscillation) ของฟังก์ชันที่ใช้ประมาณมากขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการประมาณได้ง่ายโดยเฉพาะในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าระหว่างจุดสูง เช่น บริเวณขอบของเปลือกบาง ดังที่แสดงในรูปที่ผ่านมา



รูปที่ 35 การเปรียบเทียบค่า N_{xy}/K ระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมคำนวณผล และค่าที่ได้จากโปรแกรมแสดงผล ที่บริเวณขอบเป็นแบบอิสระ ของเปลือกบางที่มีสภาพขอบเป็นแบบธรรมดา 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน ส่วนด้านที่เหลือเป็นแบบอิสระ