



- Apeland, K. and Popov, E.P. "Analysis of Bending Stresses in Translational Shells" , International Colloquim on Simplified Calculations Methods , Amsterdam: North-Holland Publishing Company , 1962 pp. 9-43.
- Apeland, K. "On the Analysis of Bending Stresses in Shallow Hyperbolic Paraboloidal Shells" , World Conference on Shell Structures National Academy of Sciences - National Research Council Publication No. 1187, 1964 , pp. 639-650.
- Beles, A.A. and Soare, M.V. "Berechnung von Schalentragerwerken", Bauverlag GmbH. Wiesbaden und Berlin , 1972.
- Candela, F. "General Formulas for Membrane Stresses in Hyperbolic Paraboloidal Shells" Journal of the American Concrete Institute Proc. Vol. 57, Oct. 1960, pp. 353-371.
- Chetty, S.M.K. and Tottenham, H. "An Investigation into the Bending Analysis of Hyperbolic Paraboloid Shells" Indian Concrete Journal V. 38, No. 7, July 1964, pp. 248-258.
- Flügge, W. and Conrad, D.A. "A Note on the Calculation of Shallow Shells" Transactions of the ASME Series E, Journal of Applied Mech. Dec. 1959 , pp. 683-685.
- Flügge, W. "Stresses in Shells" , Berlin: Springer-Verlag , 1973.
- Hadid, H.A. "Bending Analysis of Hyperbolic Paraboloidal Shells" International Colloquim on Progress of Shell Structures in the Last 10 Years and Its Future Development, IASS Session VI , Madrid , Sept.-Oct. 1969, pp. 1-19.

- Iyengar, K.T.S.R. and Srinivasan, R.S. "Bending Analysis of Hyperbolic Paraboloid Shell", The Structural Engineer, Vol. 46, No. 12, Dec. 1968, pp. 397-401.
- Kalra, M.L. "Analysis of Hypar Umbrella Shells by Finite Difference Technique", Bulletin of the IASS, No. 53, Dec. 1973, pp. 45-55.
- Kraus, H. "Thin Elastic Shells", John Wiley and Sons, 1967.
- Kurian, N.P. and Varghese, P.C. "A Simplified Approach to the Bending of Umbrella Shell, and Single Hypar and Plate on Elastic Foundation", Indian Concrete Journal, V. 47, No. 1, Jan. 1973, pp. 30-34.
- Parme, A.L. "Hyperbolic Paraboloids and Other Shells of Double Curvature" Proc. of the ASCE Journal of the Structural Divisions, N ST 5 Sept. 1956, pp. 1057-1 to 32.
- Ramaswamy, G.S. "Design and Construction of Concrete Shell Roofs" New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., 1968.
- Rao, M., N.K. "Analysis of the General Hyperbolic Paraboloid Shell" Indian Concrete Journal, V. 33, No. 12, Dec. 1959, pp. 450-454.
- Rothert, H. "Zur Membrantheorie der Schiefwinkligen Hyperbolischen Paraboloidschale in Asymptotendarstellung", Ingenieur - Archiv, Springer-Verlag, 1971, pp. 304-310.
- Rothert, H. "On the Bending Theory of Hyperbolic Paraboloid Shells Bounded by Two Sets of Oblique Characteristics", Bulletin of the IASS, No. 45, Mar. 1971, pp. 47-56.
- Russell, R.R. and Gerstle, K.H. "Bending of Hyperbolic Paraboloid Structures" Proc. of the ASCE Journal of the Structural Division, N ST 3

June 1967, pp. 181-199.

Russell, R.R. and Gerstle, K.H. "Hyperbolic Paraboloid Structures on Four Supports" , Proc. of the ASCE Journal of the Structural Div. N ST 4, April 1968, pp. 995-1010.

Soare, M. "A Numerical Approach to the Bending Theory of Hypar Shells -I, II", Indian Concrete Journal , V. 40, No. 2,3, Feb, & Mar . 1966, pp. 63-70 , 113-119.

Tsuboi, Y. "Stress Analysis of a Hyperbolic Paraboloidal Shell Supported at Four Corners" , Bulletin of the IASS, No. 36, Dec. 1968 , pp. 55-60.

Turk, I.A. "Bending Analysis of Hyperbolic Paraboloid Shell Roofs" , M.Eng. Thesis , Asian Institute of Technology, 1973.

Vlasov, V.Z. "General Theory of Shells and Its Applications in Engineering"
Washington D.C.: NASA.

ภาคผนวก

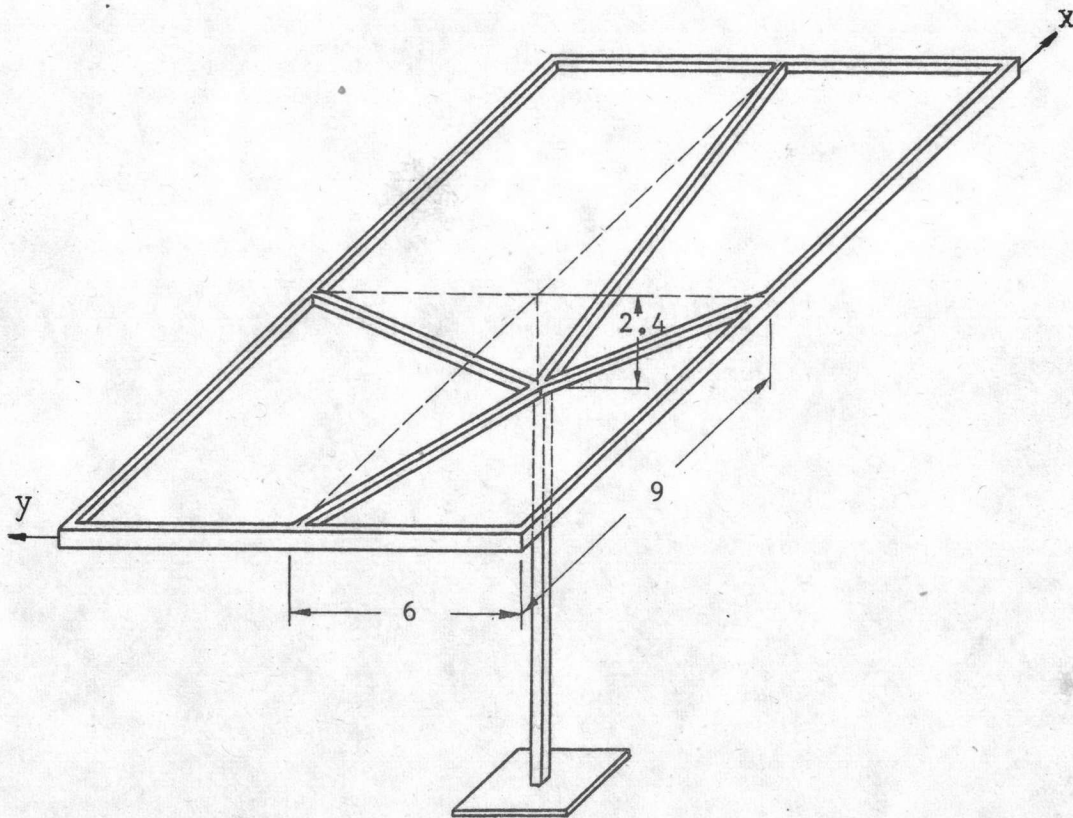
ผนวก ก.



ตัวอย่างการคำนวณ

เพื่อแสดงให้เห็นถึงการใช้ประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้แสดงวิธีการคำนวณหาค่าความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นบนเปลือกบางแบบตันรูปไฮเปอร์โบลิกพาราโบลอยด์ที่มีขอบยึดแน่นด้วยคานดั่งรูปข้างล่าง ปัญหาที่มีดังนี้

หลังคาเปลือกบางแบบตันรูปไฮเปอร์โบลิกพาราโบลอยด์มีขนาดกว้าง 12 เมตร ยาว 18 เมตร ส่วนที่โก่งลง 2.4 เมตร หนา 8 เซนติเมตร อยู่ภายใต้แรงที่กระจายออกไปอย่างสม่ำเสมอต่อพื้นที่ภาพฉาย 2.5 kN/m^2 , $\nu = 0.15$, $E = 13.8 \text{ GN/m}^2$



รูป 41 แสดงหลังคาเปลือกบางที่คำนวณ

การคำนวณทำได้โดยแบ่งเปลือกบางออกเป็นสี่ส่วนแต่ละส่วนจะมีขนาด 6×9 เมตร จาก

นั่นก็ใส่แกน x และ y ที่ขอบของเปลือกบาง โดยให้แกน x อยู่ทางด้านยาวและแกน y อยู่ทางด้านกว้าง ซึ่งเมื่อดำเนินการหาความเค้นที่เกิดขึ้นบนส่วนนี้แล้วอีกสามส่วนที่เหลือก็จะมีความเค้นเกิดขึ้น เท่ากัน จากขนาดของเปลือกบางที่กำหนดให้ จะได้

$$a = 9 \text{ เมตร} , b = 6 \text{ เมตร} , c = 2.4 \text{ เมตร} , h = 0.08 \text{ เมตร} , q_0 = 2.5 \text{ kN/m}^2 , a/b = 1.5 \text{ และ } c/h = 30$$

การคำนวณทำได้โดยอ่านค่าสเตรสริชัลแตนต์และสเตรสคัปเปิลจากรูป 21ก หน้า 68 จนถึงรูป 26ง หน้า 85 แล้วแทนค่า q_0 , a , b , c และ h ก็จะได้ค่าของสเตรสริชัลแตนต์ และสเตรสคัปเปิลตามต้องการ จากนั้นก็หาค่าของความเค้นที่จุดต่างๆโดยใช้สมการ (12ก - ค) จากหน้า 20 ก็จะได้ค่าความเค้นที่จุดต่างๆซึ่งจะแสดงให้เห็นเป็นตารางและกราฟประกอบดังแสดงข้างล่างนี้

| x | y | N_x kN/m | N_y kN/m | N_{xy} kN/m | M_x kN-m/m | M_y kN-m/m | M_{xy} kN-m/m |
|-----|-----|---------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| 0.0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 175.976 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1.5 | 0 | 0.000 | 0.000 | 82.870 | - 0.436 | - 2.905 | 0.000 |
| 3.0 | 0 | 0.000 | 0.000 | - 82.870 | - 1.279 | - 8.530 | 0.000 |
| 4.5 | 0 | 0.000 | 0.000 | -175.976 | - 1.715 | -11.436 | 0.000 |
| 6.0 | 0 | 0.000 | 0.000 | - 82.870 | - 1.279 | - 8.530 | 0.000 |
| 7.5 | 0 | 0.000 | 0.000 | 82.870 | - 0.436 | - 2.905 | 0.000 |
| 9.0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 175.976 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.0 | 1 | 0.000 | 0.000 | 86.886 | - 1.275 | - 0.191 | 0.000 |
| 1.5 | 1 | -193.641 | -85.925 | 41.849 | - 0.765 | - 1.339 | - 0.028 |
| 3.0 | 1 | -193.641 | -85.925 | - 41.849 | 0.009 | - 3.702 | - 0.028 |
| 4.5 | 1 | 0.000 | 0.000 | - 86.886 | 0.519 | - 4.850 | 0.000 |
| 6.0 | 1 | 193.641 | 85.925 | - 41.849 | 0.009 | - 3.702 | 0.028 |
| 7.5 | 1 | 193.641 | 85.925 | 41.849 | - 0.765 | - 1.339 | 0.028 |
| 9.0 | 1 | 0.000 | 0.000 | 86.886 | - 1.275 | - 0.191 | 0.000 |

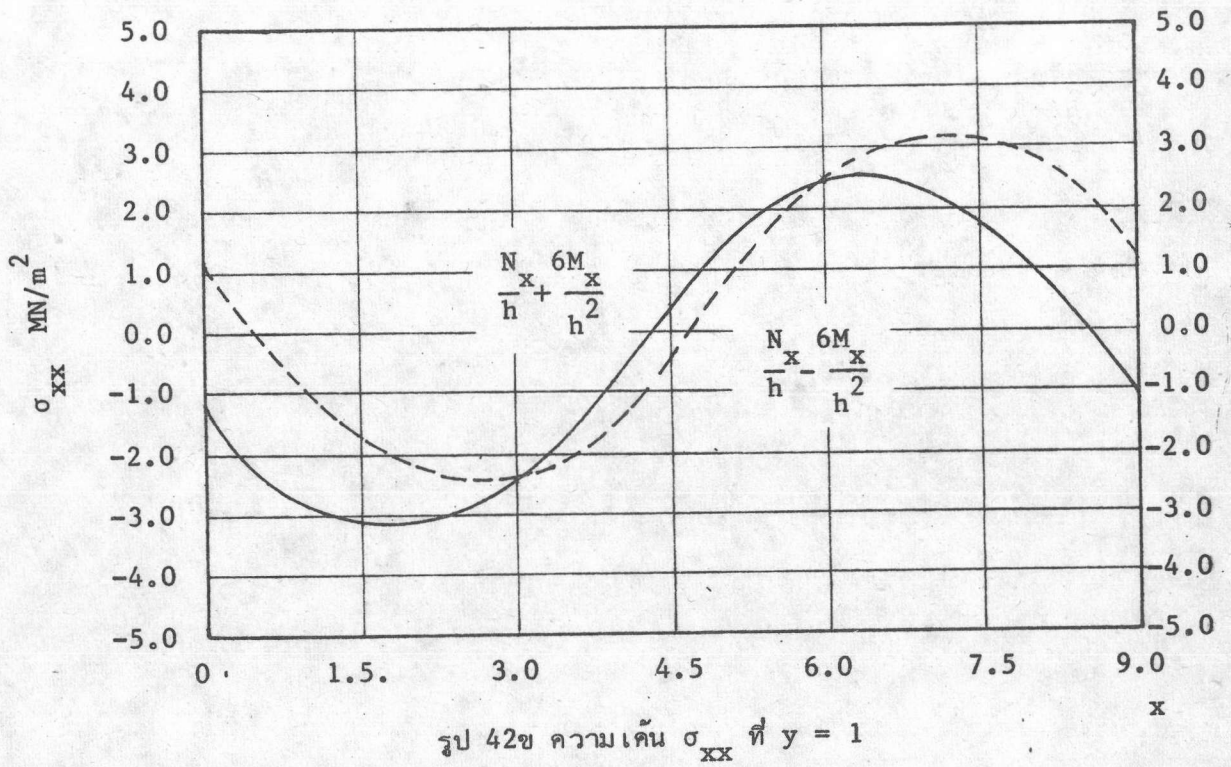
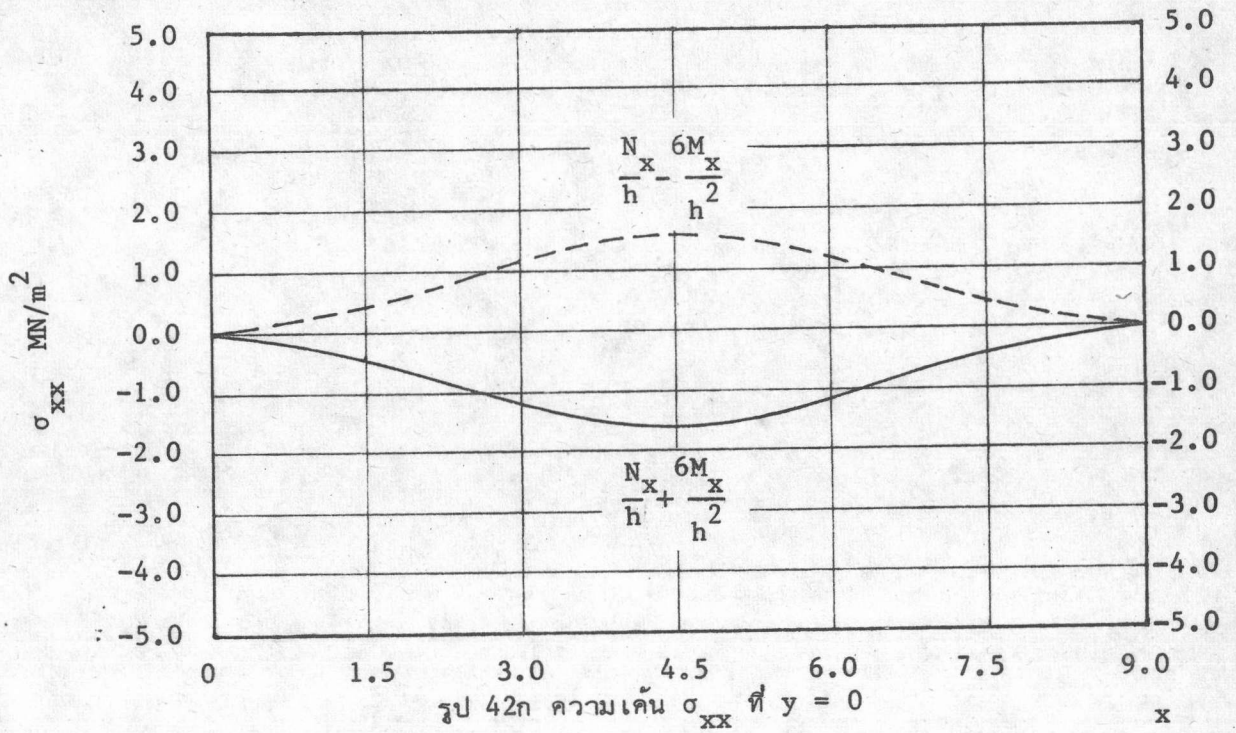
| x | y | N_x kN/m | N_y kN/m | N_{xy} kN/m | M_x kN-m/m | M_y kN-m/m | M_{xy} kN-m/m |
|-----|---|---------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| 0.0 | 2 | 0.000 | 0.000 | - 86.886 | - 3.716 | - 0.557 | 0.000 |
| 1.5 | 2 | -193.641 | -85.925 | - 41.849 | - 1.544 | 0.993 | - 0.028 |
| 3.0 | 2 | -193.641 | -85.925 | 41.849 | 2.300 | 4.049 | - 0.028 |
| 4.5 | 2 | 0.000 | 0.000 | 86.886 | 4.473 | 5.599 | 0.000 |
| 6.0 | 2 | 193.641 | 85.925 | 41.849 | 2.300 | 4.049 | 0.028 |
| 7.5 | 2 | 193.641 | 85.925 | - 41.849 | - 1.544 | 0.993 | 0.028 |
| 9.0 | 2 | 0.000 | 0.000 | - 86.886 | - 3.716 | - 0.557 | 0.000 |
| 0.0 | 3 | 0.000 | 0.000 | -175.976 | - 4.992 | - 0.749 | 0.000 |
| 1.5 | 3 | 0.000 | 0.000 | - 82.870 | - 1.874 | 2.559 | 0.000 |
| 3.0 | 3 | 0.000 | 0.000 | 82.870 | 3.589 | 8.877 | 0.000 |
| 4.5 | 3 | 0.000 | 0.000 | 175.976 | 6.707 | 12.185 | 0.000 |
| 6.0 | 3 | 0.000 | 0.000 | 82.870 | 3.589 | 8.877 | 0.000 |
| 7.5 | 3 | 0.000 | 0.000 | - 82.870 | - 1.874 | 2.559 | 0.000 |
| 9.0 | 3 | 0.000 | 0.000 | -175.976 | - 4.992 | - 0.749 | 0.000 |
| 0.0 | 4 | 0.000 | 0.000 | - 82.886 | - 3.716 | - 0.557 | 0.000 |
| 1.5 | 4 | 193.641 | 85.925 | - 41.849 | - 1.544 | 0.993 | 0.028 |
| 3.0 | 4 | 193.641 | 85.925 | 41.849 | 2.300 | 4.049 | 0.028 |
| 4.5 | 4 | 0.000 | 0.000 | 86.886 | 4.473 | 5.599 | 0.000 |
| 6.0 | 4 | -193.641 | -85.925 | 41.849 | 2.300 | 4.049 | - 0.028 |
| 7.5 | 4 | -193.641 | -85.925 | - 41.849 | - 1.544 | 0.993 | - 0.028 |
| 9.0 | 4 | 0.000 | 0.000 | - 86.886 | - 3.716 | - 0.557 | 0.000 |
| 0.0 | 5 | 0.000 | 0.000 | 86.886 | - 1.275 | - 0.191 | 0.000 |
| 1.5 | 5 | 193.641 | 85.925 | 41.849 | - 0.765 | - 1.339 | 0.028 |
| 3.0 | 5 | 193.641 | 85.925 | - 41.849 | 0.009 | - 3.702 | 0.028 |
| 4.5 | 5 | 0.000 | 0.000 | - 86.886 | 0.519 | - 4.850 | 0.000 |
| 6.0 | 5 | -193.641 | -85.925 | - 41.849 | 0.009 | - 3.702 | - 0.028 |
| 7.5 | 5 | -193.641 | -85.925 | 41.849 | - 0.765 | - 1.339 | - 0.028 |
| 9.0 | 5 | 0.000 | 0.000 | 86.886 | - 1.275 | - 0.191 | 0.000 |

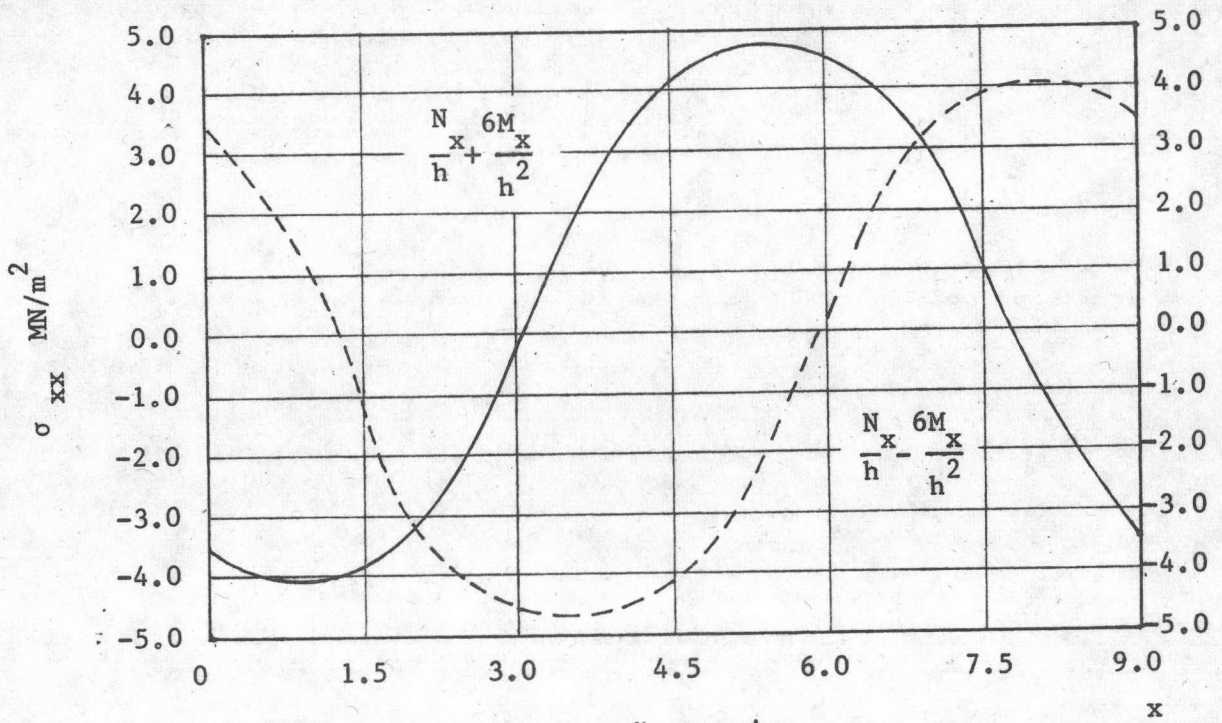
| x | y | N_x kN/m | N_y kN/m | N_{xy} kN/m | M_x kN-m/m | M_y kN-m/m | M_{xy} kN-m/m |
|-----|---|---------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| 0.0 | 6 | 0.000 | 0.000 | 175.976 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1.5 | 6 | 0.000 | 0.000 | 82.870 | - 0.436 | - 2.905 | 0.000 |
| 3.0 | 6 | 0.000 | 0.000 | - 82.870 | - 1.279 | - 8.530 | 0.000 |
| 4.5 | 6 | 0.000 | 0.000 | -175.976 | - 1.715 | -11.436 | 0.000 |
| 6.0 | 6 | 0.000 | 0.000 | - 82.870 | - 1.279 | - 8.530 | 0.000 |
| 7.5 | 6 | 0.000 | 0.000 | 82.870 | - 0.436 | - 2.905 | 0.000 |
| 9.0 | 6 | 0.000 | 0.000 | 175.976 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| x | y | σ_{xx} MN/m ² | | σ_{yy} MN/m ² | | τ_{xy} MN/m ² | |
|-----|---|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|--|
| | | $\frac{N_x}{h} + \frac{6M_x}{h^2}$ | $\frac{N_x}{h} - \frac{6M_x}{h^2}$ | $\frac{N_y}{h} + \frac{6M_y}{h^2}$ | $\frac{N_y}{h} - \frac{6M_y}{h^2}$ | $\frac{N_{xy}}{h} + \frac{6M_{xy}}{h^2}$ | $\frac{N_{xy}}{h} - \frac{6M_{xy}}{h^2}$ |
| 0.0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.200 | 2.200 |
| 1.5 | 0 | - 0.409 | 0.409 | - 2.723 | 2.723 | 1.036 | 1.036 |
| 3.0 | 0 | - 1.199 | 1.199 | - 7.997 | 7.997 | - 1.036 | - 1.036 |
| 4.5 | 0 | - 1.608 | 1.608 | - 10.721 | 10.721 | - 2.200 | - 2.200 |
| 6.0 | 0 | - 1.199 | 1.199 | - 7.997 | 7.997 | - 1.036 | - 1.036 |
| 7.5 | 0 | - 0.409 | 0.409 | - 2.723 | 2.723 | 1.036 | 1.036 |
| 9.0 | 0 | - 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.200 | 2.200 |
| 0.0 | 1 | - 1.195 | 1.195 | - 0.179 | 0.179 | 1.086 | 1.086 |
| 1.5 | 1 | - 3.137 | - 1.703 | - 2.329 | 0.181 | 0.497 | 0.549 |
| 3.0 | 1 | - 2.412 | - 2.428 | - 4.545 | 2.397 | - 0.549 | - 0.497 |
| 4.5 | 1 | 0.486 | - 0.486 | - 4.547 | 4.547 | - 1.086 | - 1.086 |
| 6.0 | 1 | 2.428 | 2.412 | - 2.397 | 4.545 | - 0.497 | - 0.549 |
| 7.5 | 1 | 1.703 | 3.137 | - 0.181 | 2.329 | 0.549 | 0.497 |
| 9.0 | 1 | - 1.195 | 1.195 | - 0.179 | 0.179 | 1.086 | 1.086 |

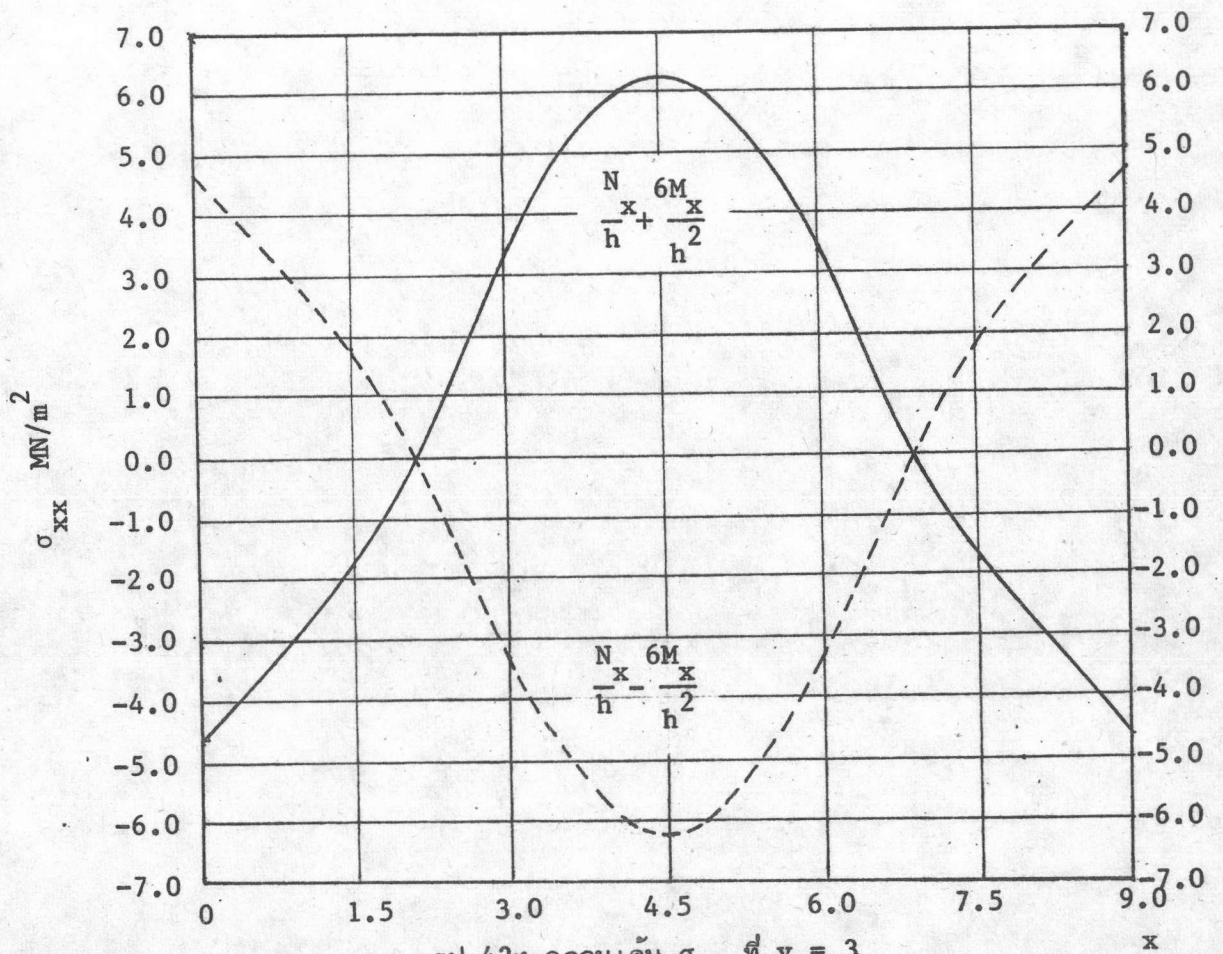
| x | y | σ_{xx} MN/m ² | | σ_{yy} MN/m ² | | τ_{xy} MN/m ² | |
|-----|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | $\frac{N}{h}x + \frac{6M}{h^2}x$ | $\frac{N}{h}x - \frac{6M}{h^2}x$ | $\frac{N}{h}y + \frac{6M}{h^2}y$ | $\frac{N}{h}y - \frac{6M}{h^2}y$ | $\frac{N}{h}xy + \frac{6M}{h^2}xy$ | $\frac{N}{h}xy - \frac{6M}{h^2}xy$ |
| 0.0 | 2 | - 3.484 | 3.484 | - 0.522 | 0.522 | - 1.086 | - 1.086 |
| 1.5 | 2 | - 3.868 | - 0.972 | - 0.144 | - 2.004 | - 0.549 | - 0.497 |
| 3.0 | 2 | - 0.264 | - 4.576 | 2.722 | - 4.870 | 0.497 | 0.549 |
| 4.5 | 2 | 4.193 | - 4.193 | 5.249 | - 5.249 | 1.086 | 1.086 |
| 6.0 | 2 | 4.576 | 0.264 | 4.870 | - 2.722 | 0.549 | 0.497 |
| 7.5 | 2 | 0.972 | 3.868 | 2.004 | 0.144 | - 0.497 | - 0.549 |
| 9.0 | 2 | - 3.484 | 3.484 | - 0.522 | 0.522 | - 1.086 | - 1.086 |
| 0.0 | 3 | - 4.680 | 4.680 | - 0.702 | 0.702 | - 2.200 | - 2.200 |
| 1.5 | 3 | - 1.757 | 1.757 | 2.399 | - 2.399 | - 1.036 | - 1.036 |
| 3.0 | 3 | 3.365 | - 3.365 | 8.322 | - 8.322 | 1.036 | 1.036 |
| 4.5 | 3 | 6.288 | - 6.288 | 11.423 | -11.423 | 2.200 | 2.200 |
| 6.0 | 3 | 3.365 | - 3.365 | 8.322 | - 8.322 | 1.036 | 1.036 |
| 7.5 | 3 | - 1.757 | 1.757 | 2.399 | - 2.399 | - 1.036 | - 1.036 |
| 9.0 | 3 | - 4.680 | 4.680 | - 0.702 | 0.702 | - 2.200 | - 2.200 |
| 0.0 | 4 | - 3.484 | 3.484 | - 0.522 | 0.522 | - 1.086 | - 1.086 |
| 1.5 | 4 | 0.972 | 3.868 | 2.004 | 0.144 | - 0.497 | - 0.549 |
| 3.0 | 4 | 4.576 | 0.264 | 4.870 | - 2.722 | 0.549 | 0.497 |
| 4.5 | 4 | 4.193 | - 4.193 | 5.249 | - 5.249 | 1.086 | 1.086 |
| 6.0 | 4 | - 0.264 | - 4.576 | 2.722 | - 4.870 | 0.497 | 0.549 |
| 7.5 | 4 | - 3.868 | - 0.972 | - 0.144 | - 2.004 | - 0.549 | - 0.497 |
| 9.0 | 4 | - 3.484 | 3.484 | - 0.522 | 0.522 | - 1.086 | - 1.086 |
| 0.0 | 5 | - 1.195 | 1.195 | - 0.179 | 0.179 | 1.086 | 1.086 |
| 1.5 | 5 | 1.073 | 3.137 | - 0.181 | 2.329 | 0.549 | 0.497 |
| 3.0 | 5 | 2.428 | 2.412 | - 2.397 | 4.545 | - 0.497 | - 0.549 |
| 4.5 | 5 | 0.486 | - 0.486 | - 4.547 | 4.547 | - 1.086 | - 1.086 |
| 6.0 | 5 | - 2.412 | - 2.428 | - 4.545 | 2.397 | - 0.549 | - 0.497 |
| 7.5 | 5 | - 3.137 | - 1.703 | - 2.329 | 0.181 | 0.497 | 0.549 |
| 9.0 | 5 | - 1.195 | 1.195 | - 0.179 | 0.179 | 1.086 | 1.086 |

| x | y | σ_{xx} MN/m ² | | σ_{yy} MN/m ² | | τ_{xy} MN/m ² | |
|-----|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | $\frac{N}{h}x + \frac{6M}{h^2}x$ | $\frac{N}{h}x - \frac{6M}{h^2}x$ | $\frac{N}{h}y + \frac{6M}{h^2}y$ | $\frac{N}{h}y - \frac{6M}{h^2}y$ | $\frac{N}{h}xy + \frac{6M}{h^2}xy$ | $\frac{N}{h}xy - \frac{6M}{h^2}xy$ |
| 0.0 | 6 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.200 | 2.200 |
| 1.5 | 6 | - 0.409 | 0.409 | - 2.723 | 2.723 | 1.036 | 1.036 |
| 3.0 | 6 | - 1.199 | 1.199 | - 7.997 | 7.997 | - 1.036 | - 1.036 |
| 4.5 | 6 | - 1.608 | 1.608 | - 10.721 | 10.721 | - 2.200 | - 2.200 |
| 6.0 | 6 | - 1.199 | 1.199 | - 7.997 | 7.997 | - 1.036 | - 1.036 |
| 7.5 | 6 | - 0.409 | 0.409 | - 2.723 | 2.723 | 1.036 | 1.036 |
| 9.0 | 6 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.200 | 2.200 |

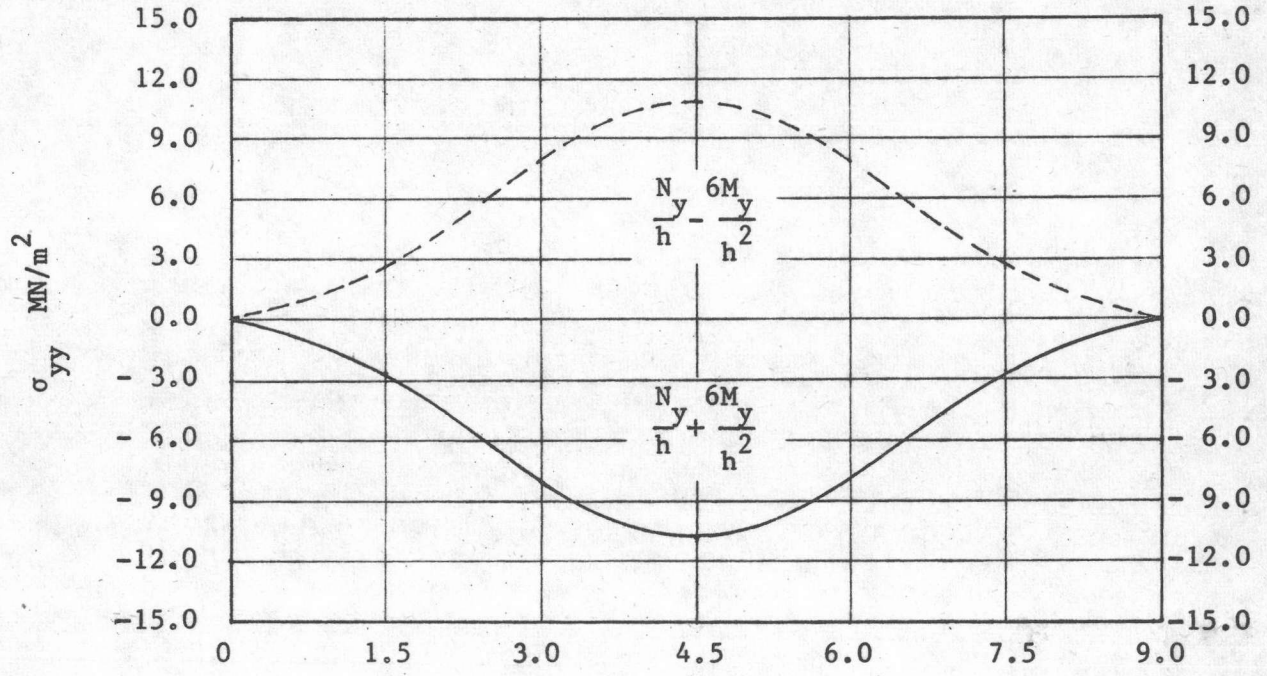




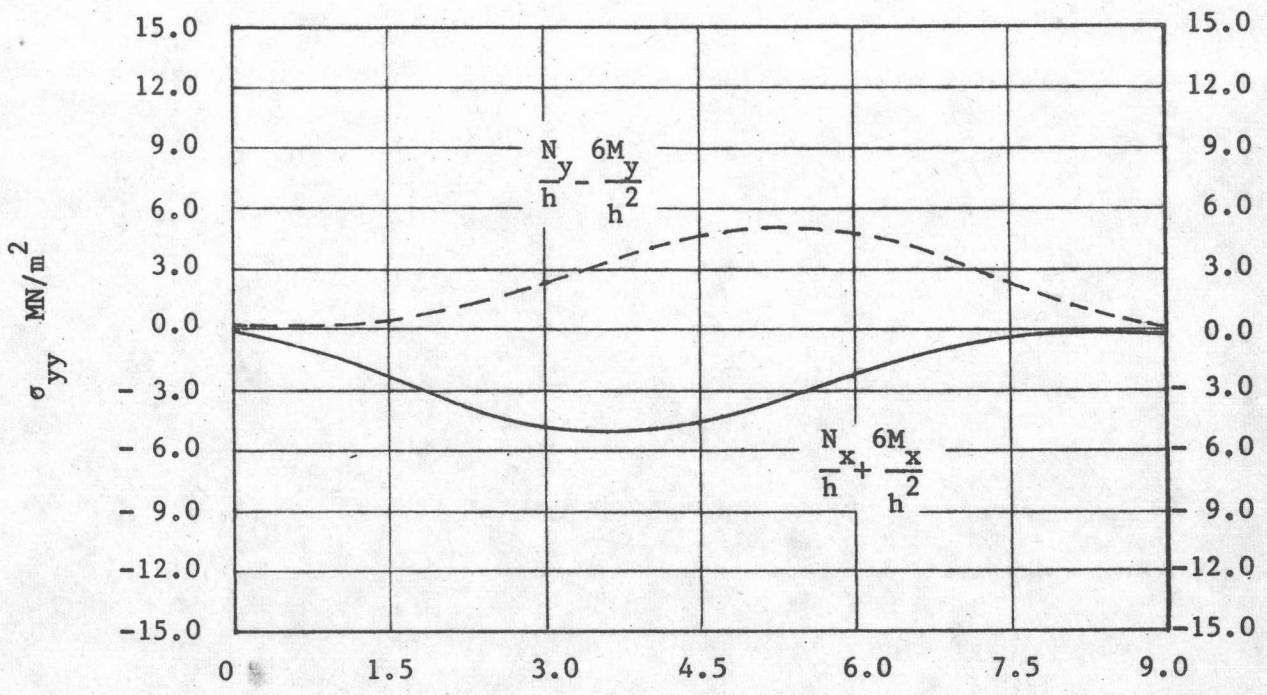
รูป 42ค ความเค้น σ_{xx} ที่ $y = 2$



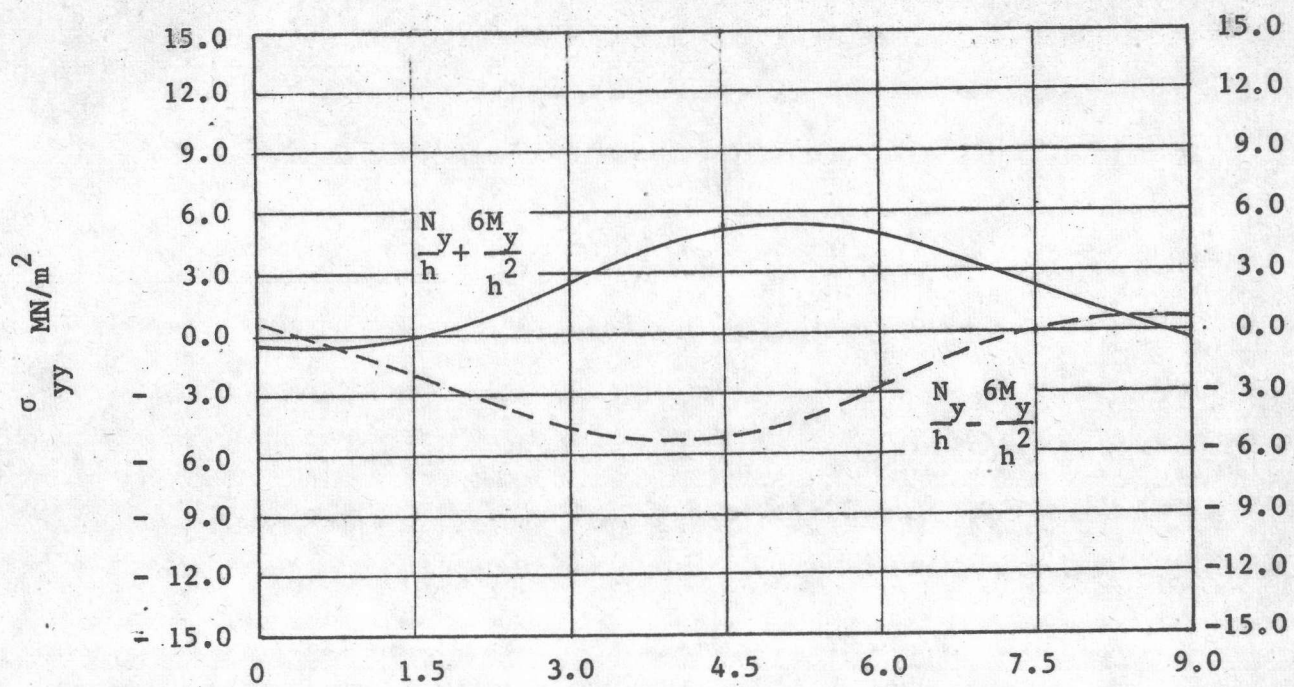
รูป 42ง ความเค้น σ_{xx} ที่ $y = 3$



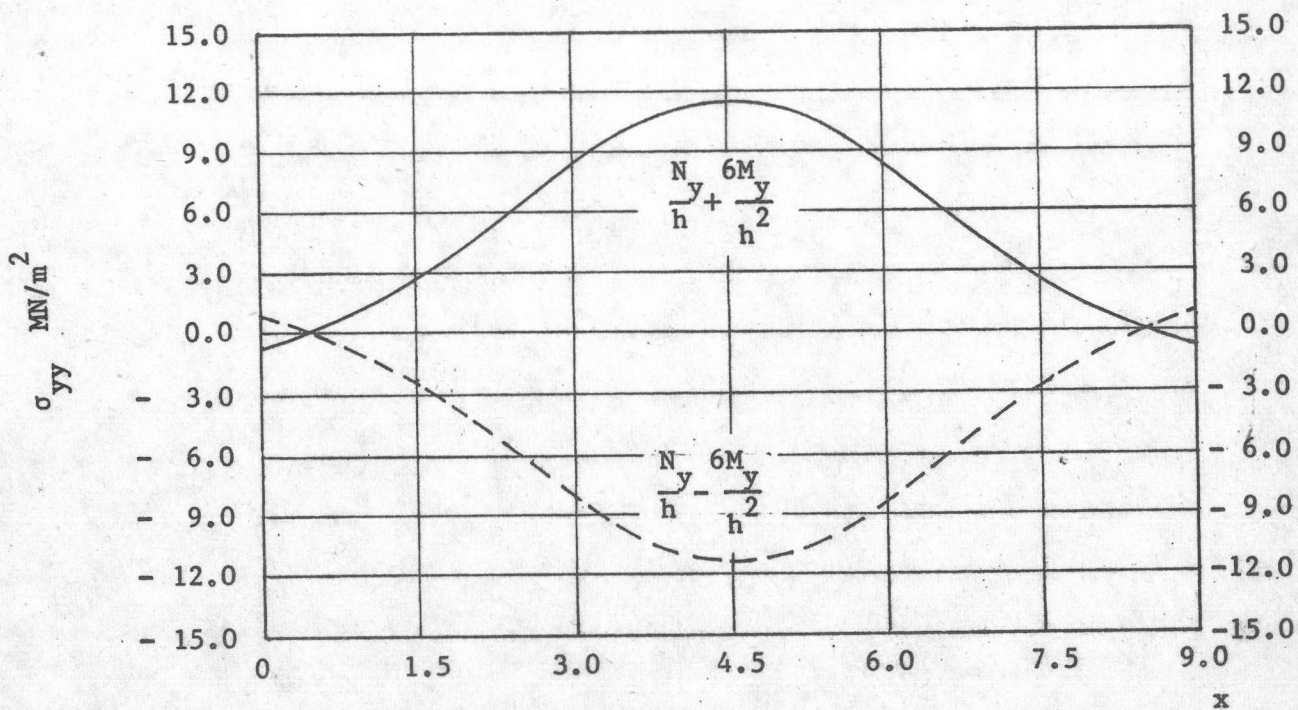
รูป 43ก ความเค้น σ_{yy} ที่ $y = 0$



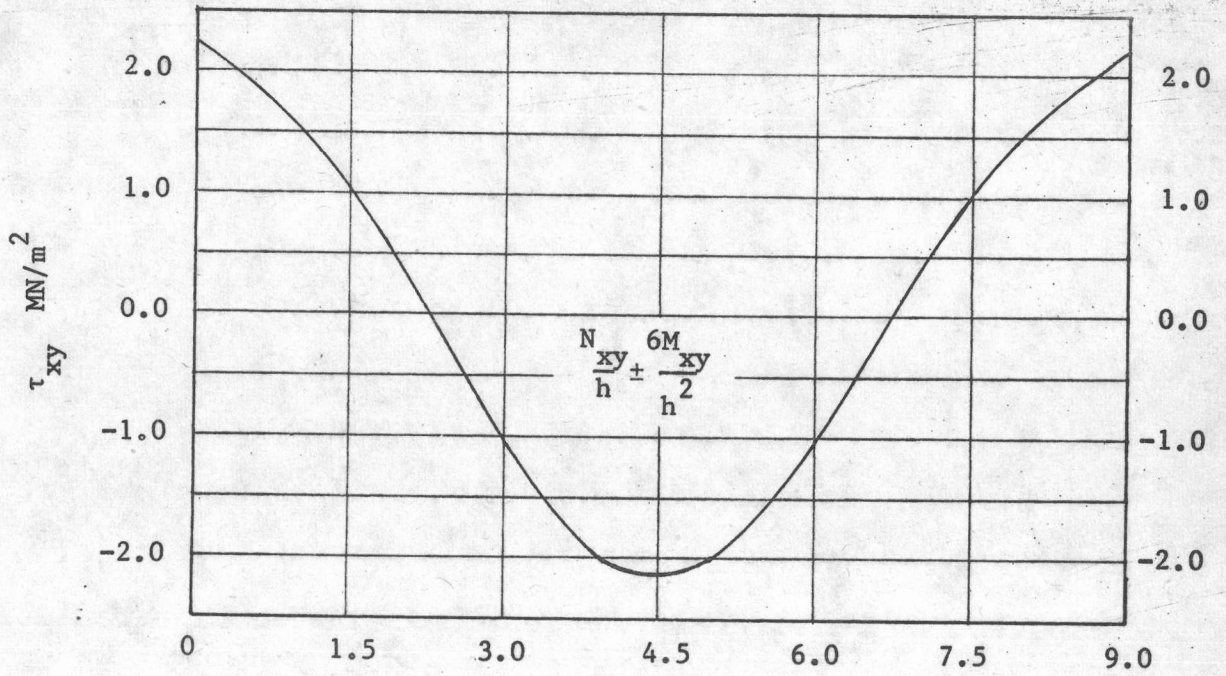
รูป 43ข ความเค้น σ_{yy} ที่ $y = 1$



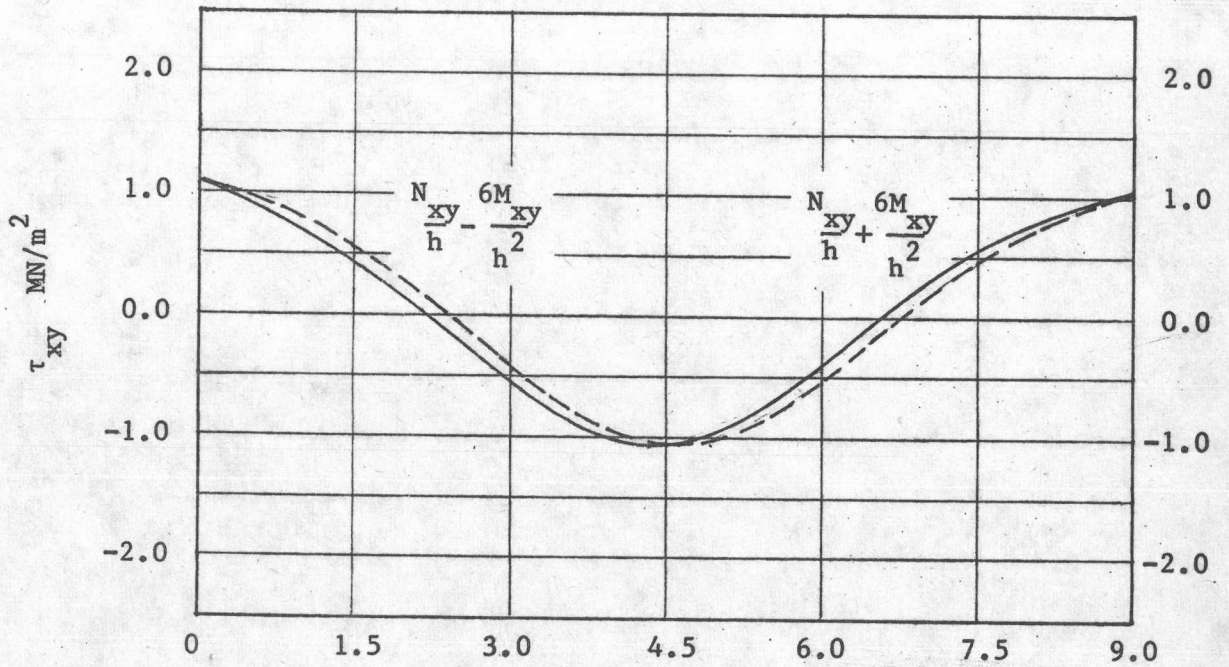
รูป 43ก ความเค้น σ_{yy} ที่ $y = 2$



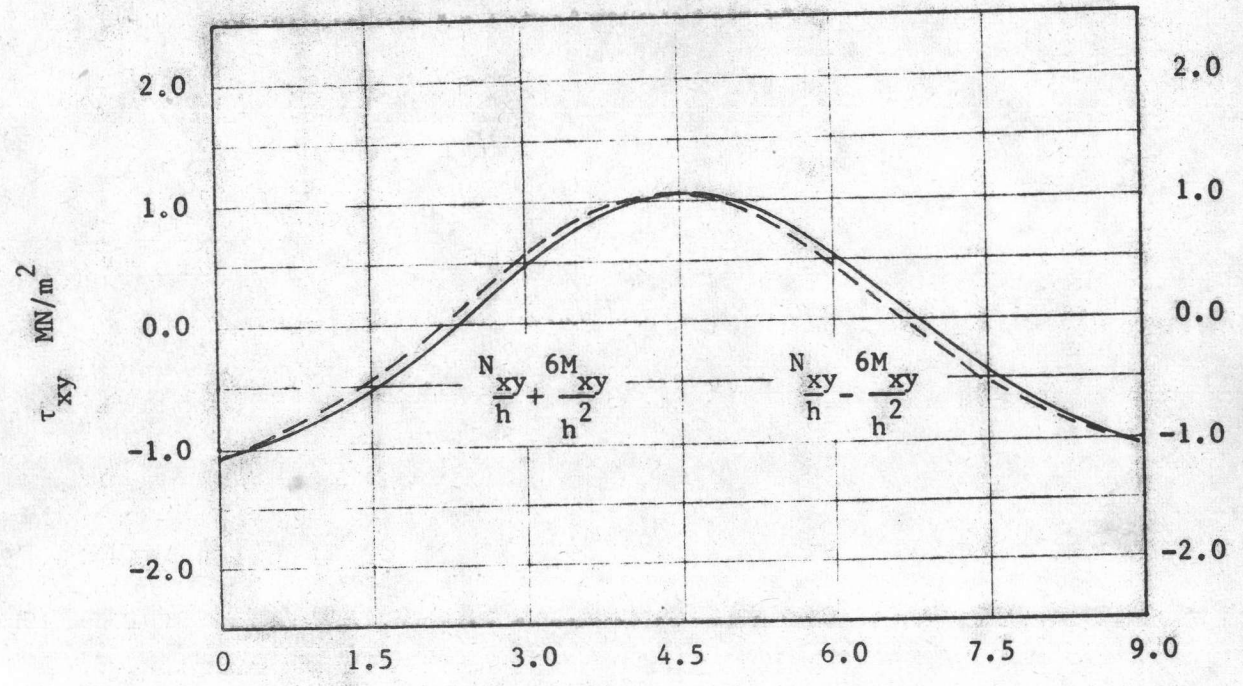
รูป 43ง ความเค้น σ_{yy} ที่ $y = 3$



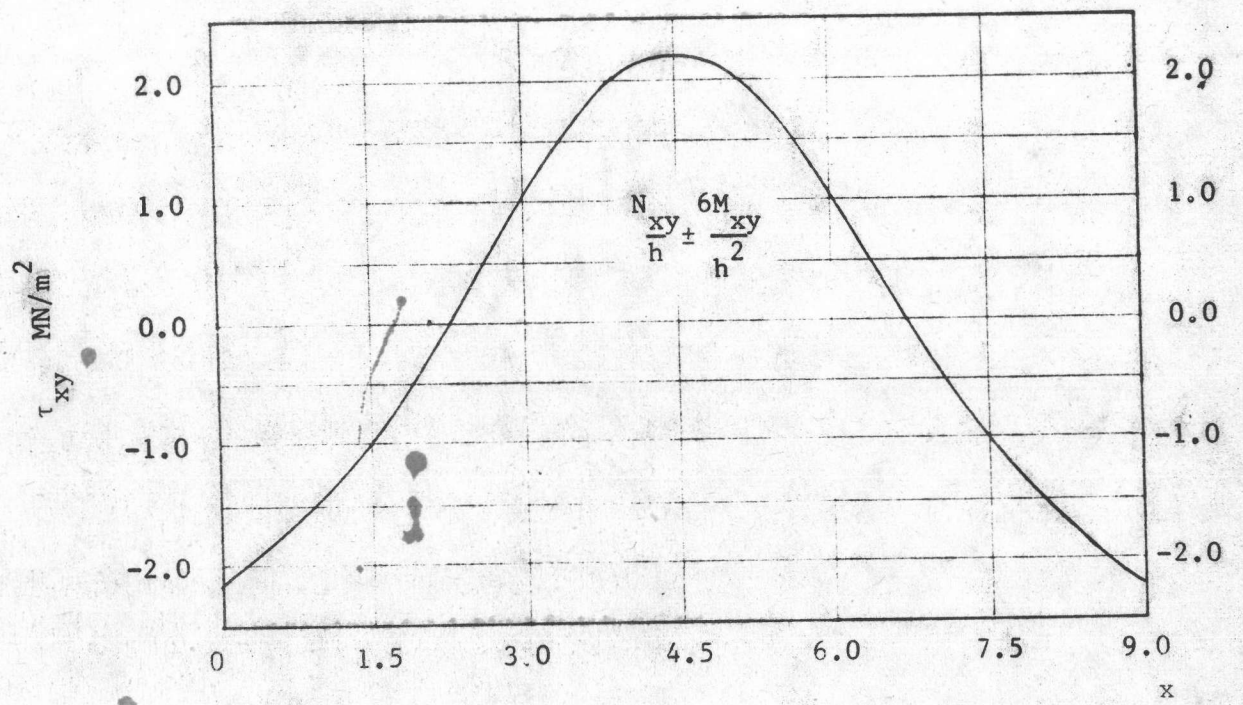
รูป 44ก ความเค้น τ_{xy} ที่ $y = 0$



รูป 44ข ความเค้น τ_{xy} ที่ $y = 1$

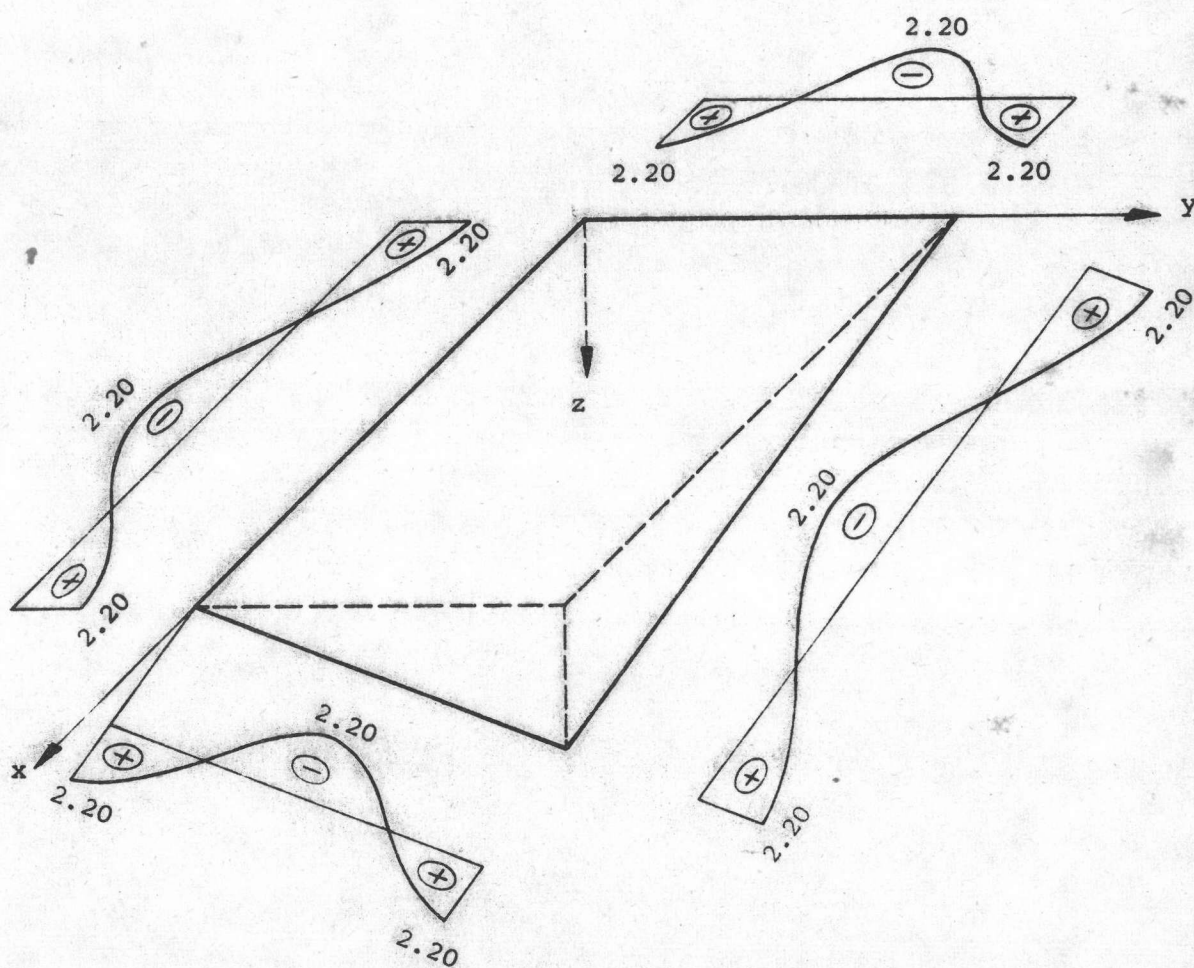


รูป 44ค ความเค้น τ_{xy} ที่ $y = 2$



รูป 44ง ความเค้น τ_{xy} ที่ $y = 3$

จากการคำนวณพบว่า ความเค้นเฉือนมีค่าสูงสุดที่บริเวณขอบและกึ่งกลางของเปลือกบาง
 ขอบของเปลือกบางจะต้องรับความเค้นเฉือนนี้เอาไว้ให้ได้ ความเค้นเฉือนที่เกิดบนขอบของเปลือก
 บางมีลักษณะดังรูป



รูป 45 ความเค้นเฉือนที่ขอบของเปลือกบาง MN/m^2

ผนวก ข.

โปรแกรมคอมพิวเตอร์และวิธีการใช้

การคำนวณในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ UNIVAC 1106 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การคำนวณทำโดยการแบ่งเปลือกบางออกเป็นจุดๆเปลือกบางละ 49 จุด แล้วคิดค่าของดีเฟล็กชัน สเตรสริชัลแดนซ์ และสเตรสคัปเปิลที่แต่ละจุดบนเปลือกบางทั้งหมด 15 เปลือกบาง รวมเป็น 735 จุด ใช้เวลาในการคำนวณจุดละประมาณ 5.308 วินาที รวมเวลาทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 5 นาที 1.049 วินาที

โปรแกรมที่จะแสดงต่อไปมีสัญลักษณ์ที่ใช้แทนความหมายปกติของสมการในบทที่ 4 ดังนี้คือ

| | | |
|------|---|----------------|
| WB | = | \bar{w} |
| BNX | = | \bar{N}_x |
| BNY | = | \bar{N}_y |
| YNX | = | \bar{N}_{xy} |
| BMX | = | \bar{M}_x |
| BMY | = | \bar{M}_y |
| YMX | = | \bar{M}_{xy} |
| WMBI | = | \bar{W}_{mn} |
| THE | = | θ |
| CH | = | c/h |
| XB | = | x/a |
| YB | = | y/b |
| XR | = | $2m\pi x/a$ |
| YR | = | $2n\pi y/b$ |
| G | = | λ |

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณมีดังนี้

```

1  C BENDING ANALYSIS OF HYPERBOLIC PARABOLOIDAL SHELL ROOF
2      DIMENSION WB(6,6), BNX(6,6), BNY(6,6), YNX(6,6), BMX(6,6)
3      DIMENSION BMY(6,6), YMX(6,6)
4  C READ DIMENSIONS OF A/B AND C/H
5      READ (5,1) THE , CH
6      1  FORMAT (2F10.0)
7  C READ THE POINTS WILL BE CALCULATED
8      5  READ (5,10) XB, YB
9      10 FORMAT (2F9.7)
10 C WRITE THE POINTS WERE CALCULATED
11     WRITE (6,15) XB, YB
12     15  FORMAT (1H1,3HXB=,F10.7,10X,3HYB=,F10.7)
13     IF (XB.GT.1.0) GO TO 75
14     THE2= THE*THE
15     CH2 = CH*CH
16     SUM = 0.0
17     WMB = 0.0
18 C CLEAR ARRAYS
19     DO 20 MM = 1,6
20     DO 20 NN = 1,6
21     WB (MM,NN) = 0.0
22     BNX(MM,NN) = 0.0
23     BNY(MM,NN) = 0.0
24     YNX(MM,NN) = 0.0
25     BMX(MM,NN) = 0.0
26     BMY(MM,NN) = 0.0
27     YMX(MM,NN) = 0.0
28     20  CONTINUE
29     DO 29 MM = 1,6
30     DO 29 NN = 1,6
31     IF (MM.EQ.7) GO TO 30
32     M  = 2*MM - 1
33     N  = 2*NN - 1
34 C CALCULATE THE SUMMATION OF LOAD
35     DO 25 K = 1,57,2
36     DO 25 L = 1,57,2
37     SM = M
38     SN = N
39     SM2 = SM*SM
40     SN2 = SN*SN
41     SK2 = K*K
42     SL2 = L*L
43     C1 = SL2*THE2 + SK2
44     C2 = SK2*SL2
45     C3 = SK2 - 4.*SM2
46     C4 = SL2 - 4.*SN2
47     C5 = C2*C3*C4
48     SMI = C1*C1/C5
49     SUM = SUM + SMI
50     25  CONTINUE
51     G  = THE*SN/SM
52     G2 = G*G

```

```

53      G21 = (1. + G2)*(1. + G2)
54      G3  = C*G*G
55      G6  = G3*G3
56      G8  = G2*G6
57      SM6 = SM2*SM2*SM2
58      H1  = (-1.68625E-03)*SN2
59      H2  = 2. + 2.*G8
60      H3  = (1. + G2)**4
61      H4  = (3.0105E-02)*CH2*G6
62      H5  = THE2*SN2*SN2
63      H6  = H4/H5
64      H7  = H2 + H3 + H6
65      H8  = SM6*H7
66      CO  = H1/H8
67      WMBI=SUM*CO
68      XR  = 6.283185*SM*XB
69      YR  = 6.283185*SN*YB
70      SIN1= SIN(XR)
71      SIN2= SIN(YR)
72      COS1= COS(XR)
73      COS2= COS(YR)
74      COS3= 1. - COS1
75      COS4= 1. - COS2
76      C CALCULATE THE DEFLECTION "W"
77          WB (MM,NN)= WMBI*COS3*COS4
78      C CALCULATE STRESS RESULTANT "NXX"
79          BNX(MM,NN)= -23.46*WMBI*SIN1*SIN2*G3/G21
80      C CALCULATE STRESS RESULTANT "NYY"
81          BNY(MM,NN)= -23.46*WMBI*SIN1*SIN2*G/G21
82      C CALCULATE STRESS RESULTANT "NXY"
83          YNX(MM,NN)= 23.46*WMBI*COS1*COS2*G2/G21
84      C CALCULATE STRESS COUPLE "MXX"
85          BMX(MM,NN)= -39.47842*WMBI*(COS1*COS4+0.15*G2*COS2*COS3)
86      C CALCULATE STRESS COUPLE "MYX"
87          BMY(MM,NN)= -39.47842*WMBI*(G2*COS2*COS3+0.15*COS1*COS4)
88      C CALCULATE STRESS COUPLE "MXY"
89          YMX(MM,NN)= -33.55666*WMBI*SM*SN*SIN1*SIN2
90          SUM = 0.0
91      29 CONTINUE
92      30 NO = 0
93          M1 = 0
94      31 M1 = M1 + 1
95          NO = NO + 1
96          IF(M1.EQ.7) GO TO 5
97          IF(NO.GT.1) GO TO 32
98          N1 = 1
99          WB1 = WB(1,1)
100         BNX1= BNX(1,1)
101         BNY1= BNY(1,1)
102         YNX1= YNX(1,1)
103         BMX1= BMX(1,1)
104         BMY1= BMY(1,1)

```

```

105         YMX1= YMX(1,1)
106         GO TO 35
107     32 LL = M1 - 1
108         DO 33 M2 = 1,LL
109     C CALCULATE THE SUMMATION OF "W"
110         WB1 = WB1 + WE(M2,M1)
111     C CALCULATE THE SUMMATION OF "NXX"
112         BNX1= BNX1 + BNX(M2,M1)
113     C CALCULATE THE SUMMATION OF "NY"
114         BNY1= BNY1 + BNY(M2,M1)
115     C CALCULATE THE SUMMATION OF "NXY"
116         YNX1= YNX1 + YNX(M2,M1)
117     C CALCULATE THE SUMMATION OF "MXX"
118         BMX1= BMX1 + BMX(M2,M1)
119     C CALCULATE THE SUMMATION OF "MY"
120         BMY1= BMY1 + BMY(M2,M1)
121     C CALCULATE THE SUMMATION OF "MXY"
122         YMX1= YMX1 + YMX(M2,M1)
123     33 CONTINUE
124         DO 34 N2 = 1,M1
125         WB1 = WB1 + WB(M1,N2)
126         BNX1= BNX1 + BNX(M1,N2)
127         BNY1= BNY1 + BNY(M1,N2)
128         YNX1= YNX1 + YNX(M1,N2)
129         BMX1= BMX1 + BMX(M1,N2)
130         BMY1= BMY1 + BMY(M1,N2)
131         YMX1= YMX1 + YMX(M1,N2)
132         N1 = N2
133     34 CONTINUE
134     C WRITE "W"
135     35 WRITE(6,40) M1,N1,WB1
136     40 FORMAT(1X,4HWB(,I3,1H,,I3,2H)=,E14.7)
137     C WRITE "NXX"
138         WRITE(6,45) M1,N1,BNX1
139     45 FORMAT(1X,4HNXB(,I3,1H,,I3,2H)=,E14.7)
140     C WRITE "NY"
141         WRITE(6,50) M1,N1,BNY1
142     50 FORMAT(1X,4HNYE(,I3,1H,,I3,2H)=,E14.7)
143     C WRITE "NXY"
144         WRITE(6,55) M1,N1,YNX1
145     55 FORMAT(1X,4HNXY(,I3,1H,,I3,2H)=,E14.7)
146     C WRITE "MXX"
147         WRITE(6,60) M1,N1,BMX1
148     60 FORMAT(1X,4HMXB(,I3,1H,,I3,2H)=,E14.7)
149     C WRITE "MY"
150         WRITE(6,65) M1,N1,BMY1
151     65 FORMAT(1X,4HMYB(,I3,1H,,I3,2H)=,E14.7)
152     C WRITE "MXY"
153         WRITE(6,70) M1,N1,YMX1
154     70 FORMAT(1X,4HMYB(,I3,1H,,I3,2H)=,E14.7)
155         GO TO 31

```

156 75 STOP
157 END

การคำนวณในวิทยาณพนธ์ฉบับนี้คำนวณหาผลรวมสูงสุดของ $m \times m$ เป็น 11×11 เพราะ
ว่าคำตอบที่ได้มีการคอนเวจอย่างเพียงพอแล้ว และค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นก็น้อยมากดังนั้นจึงได้จัดทำ
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ใช้คำนวณได้สูงสุดเพียง 11×11 แต่ถ้าต้องการจะทำให้ใช้คำนวณได้มาก
ยิ่งขึ้นอีกก็ทำได้โดยเพียงแต่แก้ไขบางประโยคในโปรแกรม ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้คำนวณได้ถึง
 99×99 ก็ทำได้โดย

1. เปลี่ยนเลข 6 ในวงเล็บของประโยคที่ 2 และ 3 เป็นเลข 50
2. เปลี่ยนเลข 6 ของประโยค 19 และ 20 เป็นเลข 50
3. เปลี่ยนเลข 6 ของประโยค 29 และ 30 เป็นเลข 51
4. เปลี่ยนเลข 7 ของประโยค 31 เป็นเลข 51
5. เปลี่ยนเลข 7 ของประโยค 96 เป็นเลข 51

ก็จะสามารถคำนวณได้ถึง 99×99 ตามต้องการ ในทำนองเดียวกันถ้าต้องการคำนวณให้น้อยกว่า
 11×11 ก็ทำได้เช่นเดียวกันโดยเปลี่ยนแปลงประโยคในโปรแกรมทั้ง 5 แห่งดังที่ได้กล่าวมาแล้ว
ข้างต้น

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นายชาญ ถนัดงาน
วุฒิการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเครื่องกล (เกียรตินิยม)
จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ
ปีที่สำเร็จ พ.ศ. 2517
ปัจจุบัน อาจารย์ระดับ 3
สถานที่ทำงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ.

