

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

5.1 อภิปรายผลการทดลอง

ที่ด้านทางออกของการไหลของอากาศผ่านแแคมเปอร์ พบว่าความดันรวมของการไหลที่บริเวณด้านล่างของหน้าตัดมีค่าสูงมากกว่าที่บริเวณด้านบนในช่วงหน้าตัดแรก ๆ ของการไหล เนื่องจาก การไหลจะถูกแแคมเปอร์บังคับให้ไหลลงสู่บริเวณด้านล่างของท่อ ในลักษณะที่ Stagnation Streamline อยู่เอียงไปทางด้านบนของแแคมเปอร์ ทำให้มีปริมาณของอากาศที่วิ่งผ่านด้านล่างของแแคมเปอร์มากกว่าด้านบน ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 ประกอบกับลักษณะของการไหลที่ผ่านด้านล่างของแแคมเปอร์มีลักษณะที่คล้ายกับการไหลผ่านนอซเซิล และการไหลที่ผ่านด้านบนของแแคมเปอร์มีลักษณะที่คล้ายกับการไหลผ่านคิฟิวเซอร์ อากาศที่ด้านล่างจึงมีโมเมนตัมสูงกว่าทางด้านบน ดังนั้นที่บริเวณหน้าตัดแรกๆ หลังจากที่อากาศไหลผ่านแแคมเปอร์ไปแล้ว การไหลในหน้าตัดทางด้านล่างจึงมีโมเมนตัมสูงกว่าการไหลในหน้าตัดทางด้านบน และจะมีการปรับตัวทำให้ที่หน้าตัดไกลออกไป การกระจายโมเมนตัมภายในหน้าตัดมีความสม่ำเสมอและมีความสมมาตรมากขึ้น จนกระทั่งการไหลเข้าสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความดันรวมที่บริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นแแคมเปอร์ พบว่า ความดันรวมที่บริเวณด้านหลังของแผ่นแแคมเปอร์จะมีค่าต่ำกว่าความดันรวมที่ด้านหน้า ซึ่งค่าความแตกต่างของความดันรวมที่เกิดขึ้นนี้ เป็นผลมาจากการสูญเสียพลังงานของการไหล โดยจะมีความสัมพันธ์กับค่า frontal area และ effective area ของการไหล ตัวอย่างเช่น แแคมเปอร์ชนิดเดียวกันแต่มีมุมปะทะกับการไหลต่างๆกัน ถ้า frontal area มีค่ามากกว่า ซึ่งก็คือมุมปะทะของแแคมเปอร์มีค่ามากกว่า แผ่นแแคมเปอร์จะขวางการไหลมากทำให้เกิดแรงต้านการไหลมากขึ้น พลังงานของการไหลจะสูญเสียมากขึ้น จึงทำให้สัมประสิทธิ์การสูญเสียมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ส่วนกรณีที่เป็นแแคมเปอร์ต่างชนิดกัน แต่มีมุมปะทะกับการไหลเท่ากัน เช่น กรณี D1-30 และ D3-30 ถึงแม้ว่าทั้งสองกรณีนี้จะมี frontal area เท่ากัน แต่ว่ากรณี D3-30 จะมีค่า effective area มากกว่า ทำให้อากาศสามารถไหลผ่านช่องด้านบนและด้านล่างของแแคมเปอร์ได้สะดวกกว่า อากาศที่กระทบกับแผ่นแแคมเปอร์จะมีปริมาณน้อยกว่ากรณี D1-30 ทำให้มีพลังงานของการไหลที่สูญเสียไปน้อยกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียจึงมีค่าน้อยกว่านั่นเอง

สำหรับการกระจายความดันรวมภายในหน้าตัดของกรณี D1-45 ที่ตำแหน่งใกล้กับด้านหลังแผ่นแแคมเปอร์ จะมีลักษณะเป็นแอ่งที่บริเวณตรงกลางหน้าตัด โดยมีค่าความดันรวมสูงสุดอยู่ที่

ด้านข้างเอียงไปทั้งทางซ้ายและทางขวา และพบอีกว่าบริเวณที่มีความผันผวนสูงสุดดังกล่าวจะขยายใหญ่ขึ้นในหน้าตัดถัดไปและมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ($x/D = 4$ ถึง 8) ซึ่งถ้าสังเกตลักษณะการกระจายความผันผวนที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดดังกล่าวเปรียบเทียบกับ velocity contour ของ Pauley และ Eaton (1988) (แสดงไว้ในรูปที่ 5.1) ซึ่งแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของ streamwise vortex ที่มีลักษณะเป็นแบบ commonflow-down ใน turbulent boundary layer พบว่ามีลักษณะการกระจายตัวที่คล้ายกัน นั้นแสดงให้เห็นว่าในกรณีนี้อาจจะเกิด streamwise vortex 2 ตัวเคลื่อนที่แบบ commonflow-down ที่บริเวณขอบด้านข้างทั้งทางซ้ายและขวา และสำหรับกรณี D3-45 ที่ $x/D = 1$ จะมีความผันผวนสูงสุด 2 ตำแหน่ง อยู่ที่ด้านข้างของหน้าตัด โดยแบ่งเป็นด้านซ้ายและขวาเช่นเดียวกับกรณี D1-45 จึงอาจจะเกิด streamwise vortex ขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ vortex ที่เกิดขึ้นจะมีขนาดและความแข็งแรงน้อยกว่า vortex ที่เกิดในกรณี D1-45 จึงทำให้เกิดการสลายตัวไปเร็วกว่า ดังนั้นที่ระยะ $x/D = 2$ สำหรับกรณี D3-45 จึงไม่พบบริเวณที่มีความผันผวนสูง 2 บริเวณที่ผนังด้านข้างซ้ายและขวาดังเช่นที่ $x/D = 1$ ส่วนสาเหตุของการเกิด streamwise vortex ที่มีลักษณะเป็นแบบ commonflow-down อาจสันนิษฐานได้จากการที่มีช่องว่าง (gap) ระหว่างผนังท่อด้านข้าง (ทั้งทางด้านซ้ายและขวา) และแผ่นแคมเปอร์ จึงทำให้อากาศสามารถไหลผ่านช่องว่างดังกล่าวได้ อันเป็นสาเหตุทำให้เกิด streamwise vortex นั้นเอง (ซึ่งในการทดลองพบว่า ช่องว่างดังกล่าวจะมีขนาดรวมกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร)

5.2 บทสรุป

สำหรับการไหลในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส เมื่ออากาศไหลผ่านแคมเปอร์ชนิด 1 และ 3 แผ่น ทำมุม 30 และ 45 องศากับการไหล พบว่าการกระจายตัวของความผันผวนจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน คือ ในขณะที่อากาศไหลแยกผ่านแคมเปอร์ทั้งทางด้านบนและด้านล่าง ค่าความผันผวนจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว จากค่าเริ่มต้นที่ด้านหน้าจนมีค่าต่ำสุดที่ระยะหลังแคมเปอร์มาประมาณ 0-3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อ ซึ่งเป็นช่วงที่มีการแบ่งบริเวณการไหลออกเป็นบริเวณที่มีค่าความผันผวนสูง และความผันผวนต่ำอย่างชัดเจน หลังจากนั้นการไหลจะมีการปรับตัวจนกระทั่งมีการรวมตัวกันของบริเวณทั้งสอง ซึ่งในช่วงนี้ความผันผวนจะเกิดการฟื้นตัวขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าสูงสุดในช่วงระยะตั้งแต่ x/D ประมาณ 6 ถึง 10 และมีลักษณะการกระจายความผันผวนในหน้าตัดที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นการไหลจะมีการพัฒนาต่อไปสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ โดยมีการลดลงของค่าความผันผวนอย่างต่อเนื่องและมีลักษณะเป็นเชิงเส้นเช่นเดียวกับการลดลงของความผันผวนที่สภาวะพัฒนาเต็มที่ นอกจากนี้ยังพบว่าความผันผวนมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างเป็นเชิง

เส้นตั้งแต่ละระยะ x/D ประมาณ 10 ถึง 16 เป็นต้นไป ในขณะที่รูปร่างความเร็วเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในหน้าตัดของการไหล (ดังแสดงในภาคผนวก ก) จะเริ่มมีลักษณะคงที่ ที่ x/D ประมาณ 40 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าความผันผวนจะพัฒนาสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่เร็วกว่าการพัฒนาของความเร็วเป็นอย่างมาก

ถึงแม้ว่าการกระจายตัวของค่าความผันผวนในการไหลทุกกรณีจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แต่อย่างไรก็ตาม ลักษณะการกระจายตัวของค่าความผันผวนภายในหน้าตัดที่ด้านทางออกของแฉกเปอร์ในแต่ละกรณีจะแตกต่างกัน โดยพบว่าที่ด้านหลังแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น จะมีการกระจายตัวของความผันผวนสูงที่บริเวณด้านบนและด้านล่างของหน้าตัดตามลักษณะการแยกไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ โดยมีค่าความผันผวนที่บริเวณด้านล่างของแฉกเปอร์มากกว่าด้านบน และในกรณี D1-45 ที่บริเวณด้านล่างซึ่งมีการกระจายความผันผวนสูงนั้น สามารถแบ่งออกเป็นบริเวณที่มีความผันผวนสูงสุด 2 บริเวณอยู่ทางด้านซ้ายและขวาของหน้าตัด สำหรับในกรณีของแฉกเปอร์ชนิด 3 แผ่นมุม 45 องศา จะมีการกระจายตัวของอากาศที่มีความผันผวนต่ำที่ครึ่งหน้าตัดต่อด้านบน ส่วนที่ครึ่งหน้าตัดต่อด้านล่างจะสามารถแบ่งเป็นบริเวณที่มีการกระจายความผันผวนสูงออกเป็น 2 layer คือ ที่ประมาณ 40 มิลลิเมตรจากผนังต่อด้านล่าง จะมี layer ของบริเวณความผันผวนสูงยาวตลอดแนวซ้าย-ขวาของท่อ ส่วน layer ที่สองจะอยู่ต่ำลงมาที่ประมาณ 20 มิลลิเมตรวัดจากผนังต่อด้านล่าง ใน layer นี้จะพบบริเวณความผันผวนสูงซึ่งแบ่งออกเป็นด้านซ้ายและขวากลับคลึงกับในกรณี D1-45

นอกจากนี้ ในกรณี D1-45 และ D3-45 จะมีลักษณะการกระจายความผันผวนแตกต่างจากกรณีอื่น โดยมีแนวโน้มที่จะเกิด streamwise vortex แบบ common flow-down ซึ่งจะขยายขนาดและสลายตัวไปตามระยะทางการไหล และทำให้การกระจายตัวของความผันผวนในหน้าตัดสม่ำเสมอเช่นเดียวกับกรณีอื่นๆ ก่อนที่จะมีการพัฒนาสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ต่อไป

สำหรับในแง่ของค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของแฉกเปอร์ พบว่าที่มุม 45 องศา จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียมากกว่ากรณีมุม 30 องศา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 45 องศา จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียมากกว่ามุม 30 องศาถึงประมาณ 5 เท่า

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดลองการไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่นมุม 45 องศา ลักษณะการกระจายตัวของความผันผวนภายในหน้าตัดแสดงแนวโน้มว่าจะมีการเกิด streamwise vortex ที่บริเวณด้านหลังแผ่นแฉกเปอร์ ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเกิดและการสลายตัวของ streamwise vortex ที่บริเวณด้านหลังแผ่นแฉกเปอร์ซึ่งทำมุมขนาดต่างๆ กับทิศทางการไหล รวมถึงการทำ flow visualization เพื่อแสดงปรากฏการณ์ดังกล่าวด้วย



ประมวตตาราง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ C ตามสมการ (2.7)

β	C
0.20	0.080
0.25	0.075
0.50	0.085
1	0.090

ตารางที่ 2.2 ค่า $K(\infty)$ ของการไหลแบบพัฒนาเต็มที่ในท่อสี่เหลี่ยม

β	$K(\infty)$
0	0.658
0.20	0.931
0.50	1.281
1	1.433

ตารางที่ 2.3 ระยะความยาวทางเข้าของการไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลม

Investigators	Formular for x_L / D	x_L / D at $Re = 3.88 \times 10^5$
Latzko (1944)	$0.625 Re^{1/4}$	15.6
Zhi-qing (1982)	$1.3590 Re^{1/4}$	33.9
Bowlus and Brighton (1968)	$6.1887 \ln Re - 46$	33.6
Na and Lu (1973)	-	28.5
Holdhusen(1952)	$2.0846 \ln Re - 5.6$	21.2
Filippov (1958)	$2.44 / \sqrt{f}$	41.6
Barbin and Jones (1963)	-	28.0

ตารางที่ 4.1 ค่าความดันต่ำสุด-สูงสุด และตำแหน่งซึ่งเกิดการฟื้นตัวสูงสุดของความดัน

Case	$C_{p\min}$	$C_{p\max}$	ΔC_p	x/D_{\max}
D1-30	-7	-3.9	3.1	4
D1-45	-26	-21.7	4.3	6
D3-30	-2.4	-1.8	0.6	4
D3-45	-8.8	-5.8	3.0	6

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย

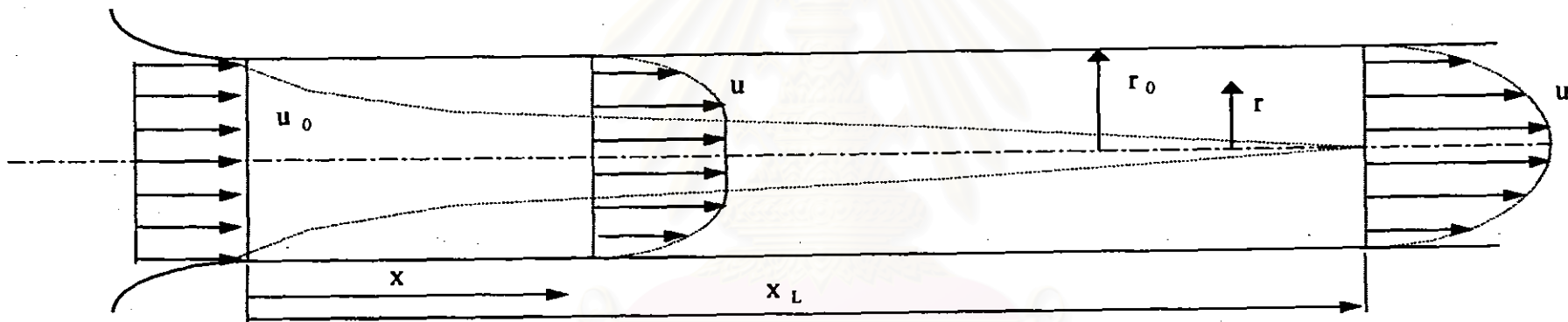
Case	K	K (SMACNA)
D1-30	3.9	3.3
D1-45	21.8	9-26 (40°-50°)
D3-30	1.8	2.5
D3-45	5.8	5.4-9 (40°-50°)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



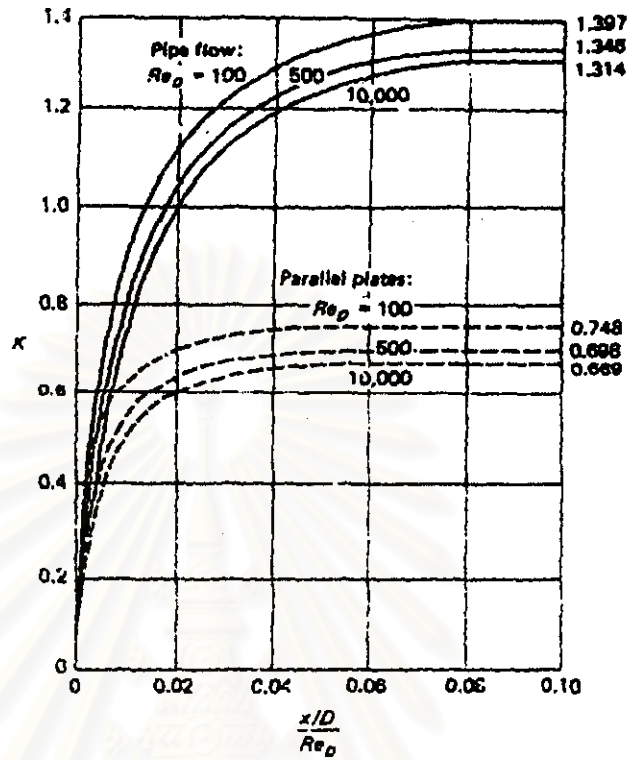
ประมวณรูปภพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

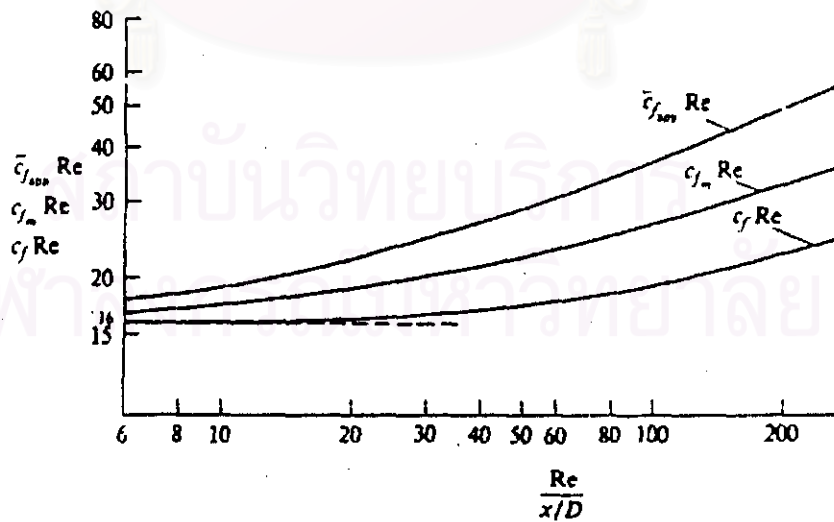


รูปที่ 2.1 การไหลแบบราบเรียบภายในท่อกลม

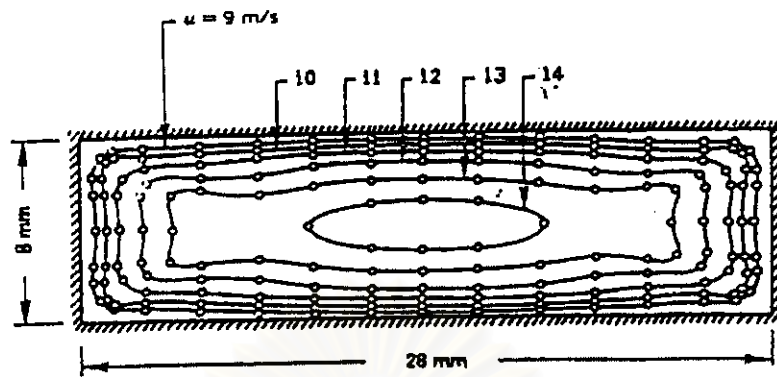
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



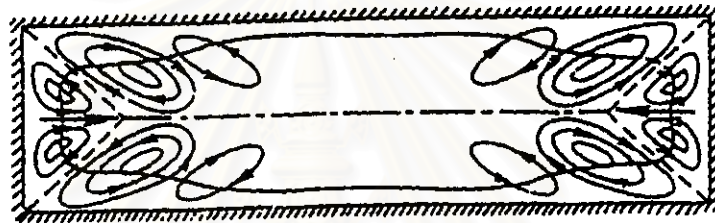
รูปที่ 2.2 ค่า $K(x)$ ในบริเวณทางเข้าของท่อกลม ตาม Schmidt and Zeldin (1969)
(อ้างอิงมาจาก White, 1974)



รูปที่ 2.3 ค่า friction coefficient ที่ผิวในบริเวณทางเข้าของท่อกลม ตาม Langhaar (1942)
(อ้างอิงมาจาก Kays and Crawford, 1980)



(ก)

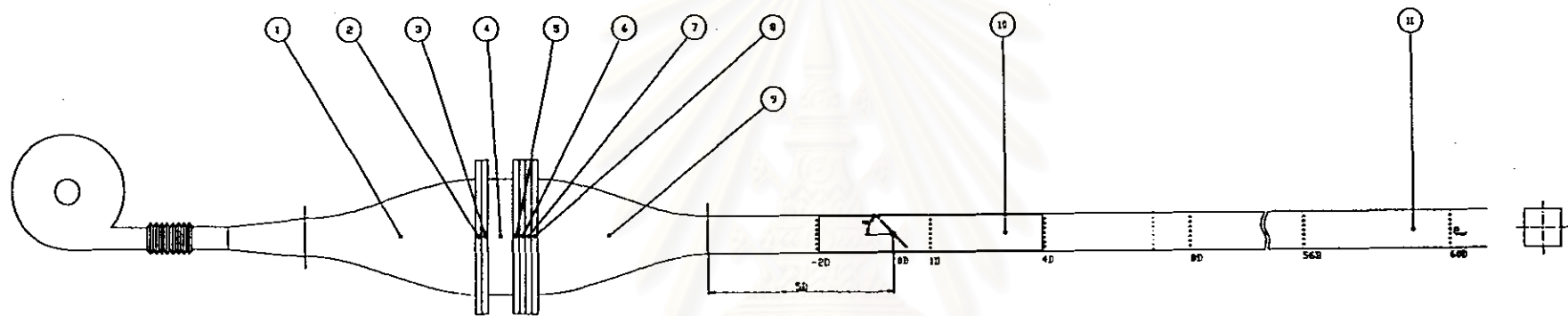


(ข)

รูปที่ 2.4 ความเร็วของการไหลที่กระจายอยู่ในท่อสี่เหลี่ยมซึ่งมีค่า $\beta = 2/7$, $Re = 6 \times 10^5$

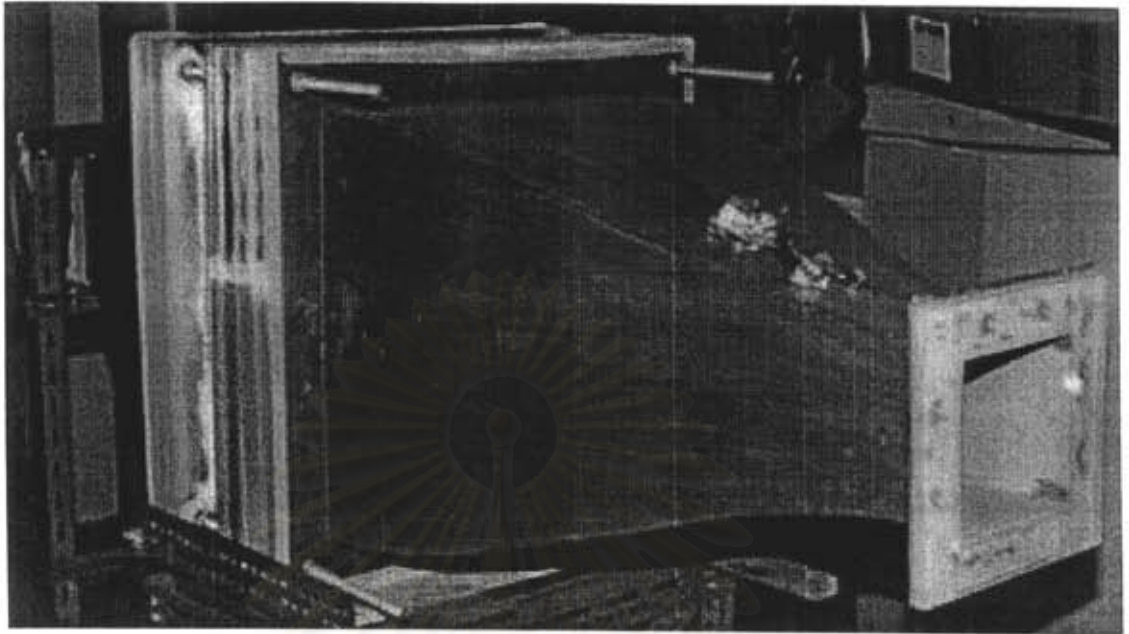
ก) การไหลปฐมนภูมิ ข) การไหลทุติยภูมิ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

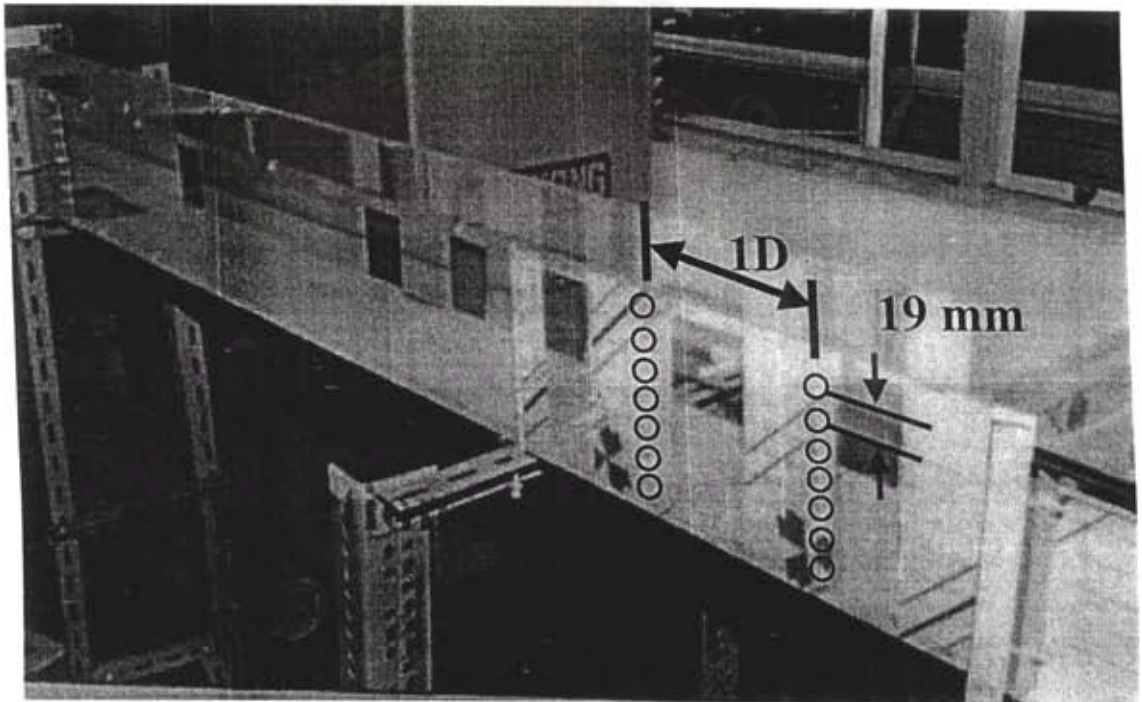


รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของชุดทดลอง

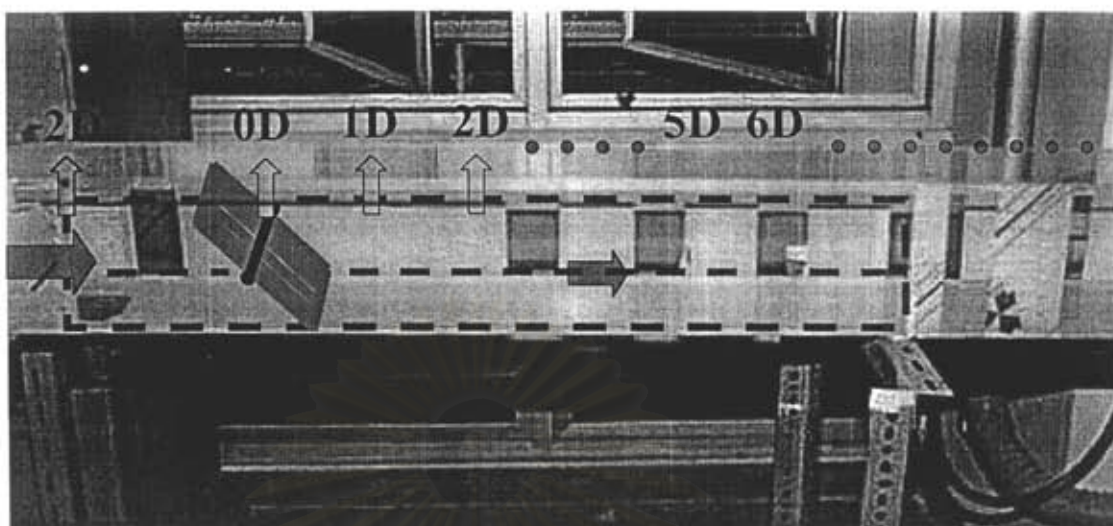
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 ภาพแสดงดิวเซอร์แบบ curved wall

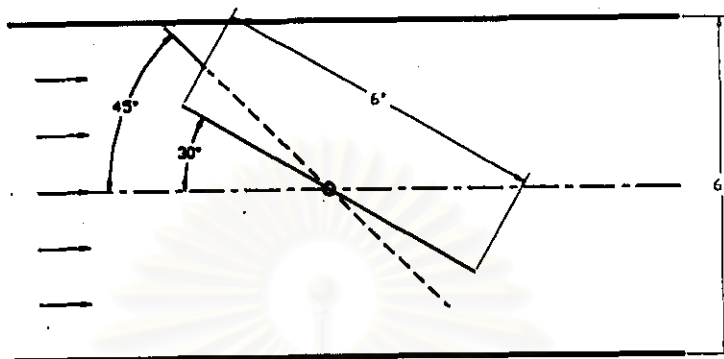


รูปที่ 3.3 ภาพแสดงส่วนทดสอบและตำแหน่งรูเจาะด้านข้างของท่อ

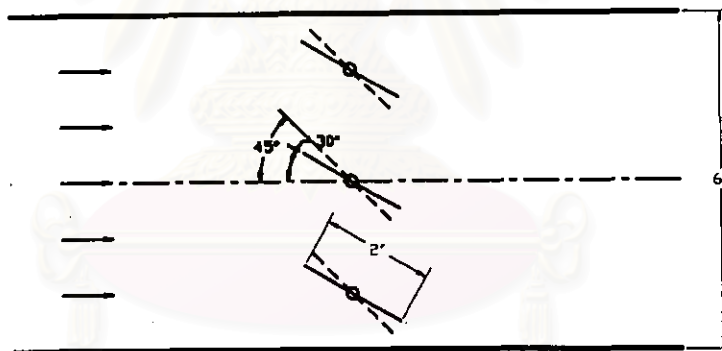


รูปที่ 3.4 การกำหนดตำแหน่ง x/D ในการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

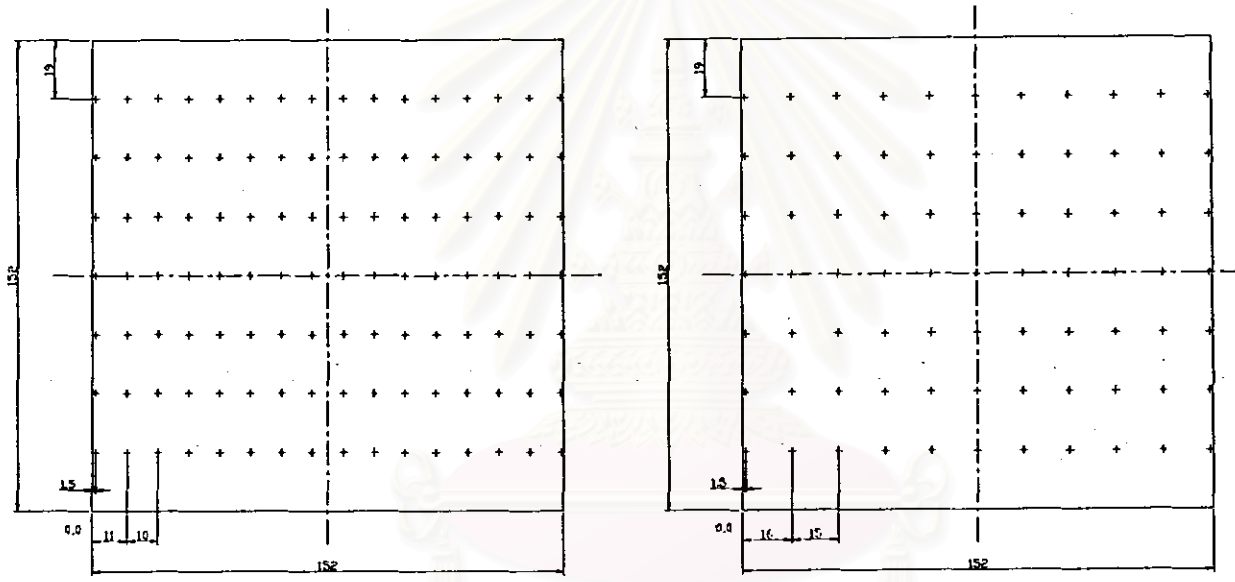


ก) แคมเปอร์ชนิด 1 แผ่น



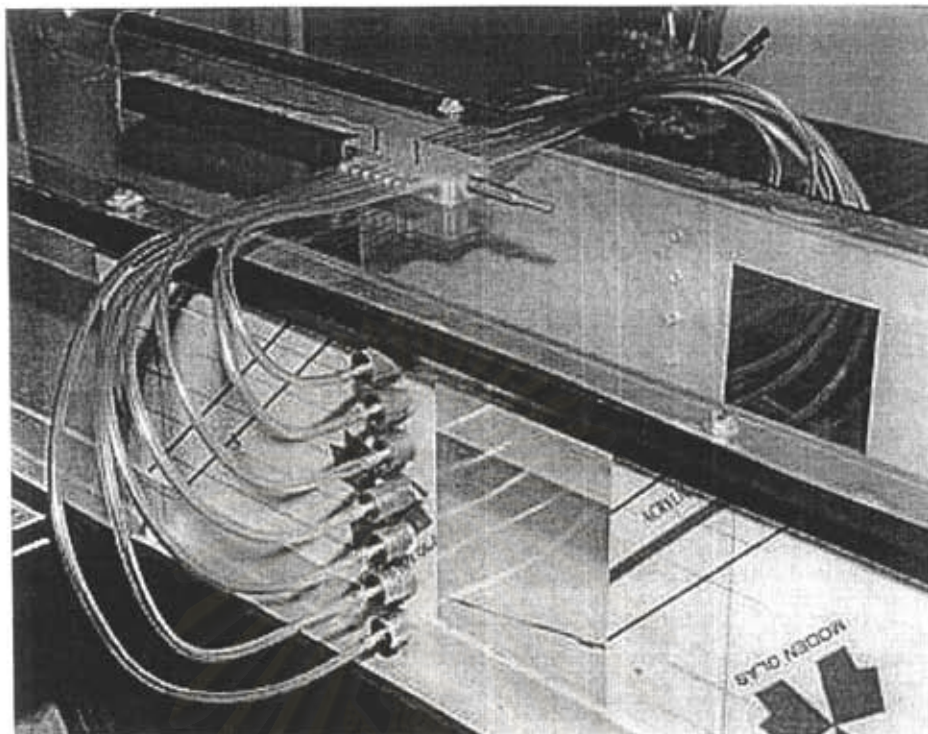
ข) แคมเปอร์ชนิด 3 แผ่น

รูปที่ 3.5 ภาพแสดงลักษณะของแคมเปอร์ในส่วนทดสอบ



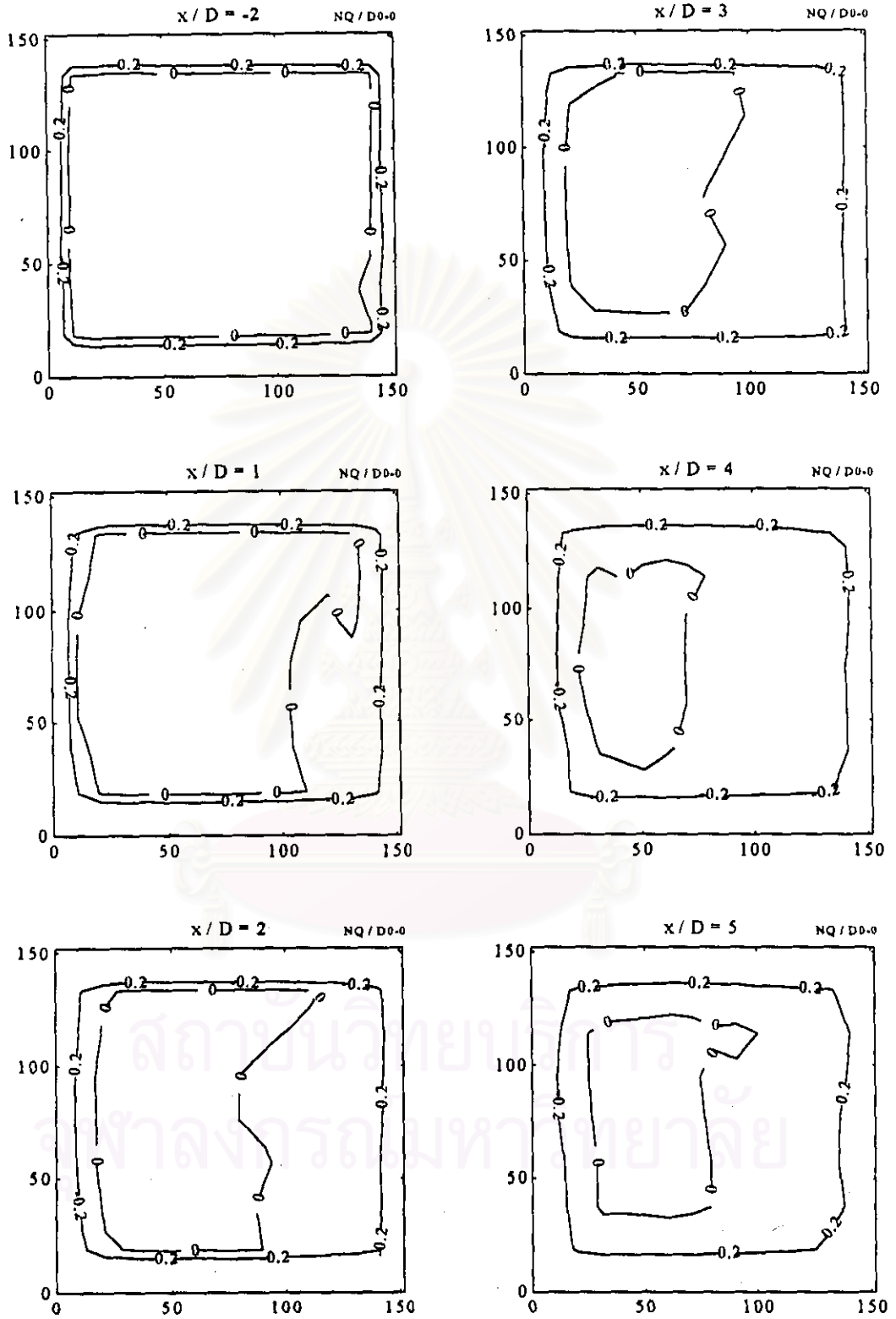
ก) $x/D = -2$ ถึง 10 ข) $x/D = 12$ ถึง 60

รูปที่ 3.6 ตำแหน่งในการวัดความดันรวมทั้งแต่ละหน้าตัดของท่อ

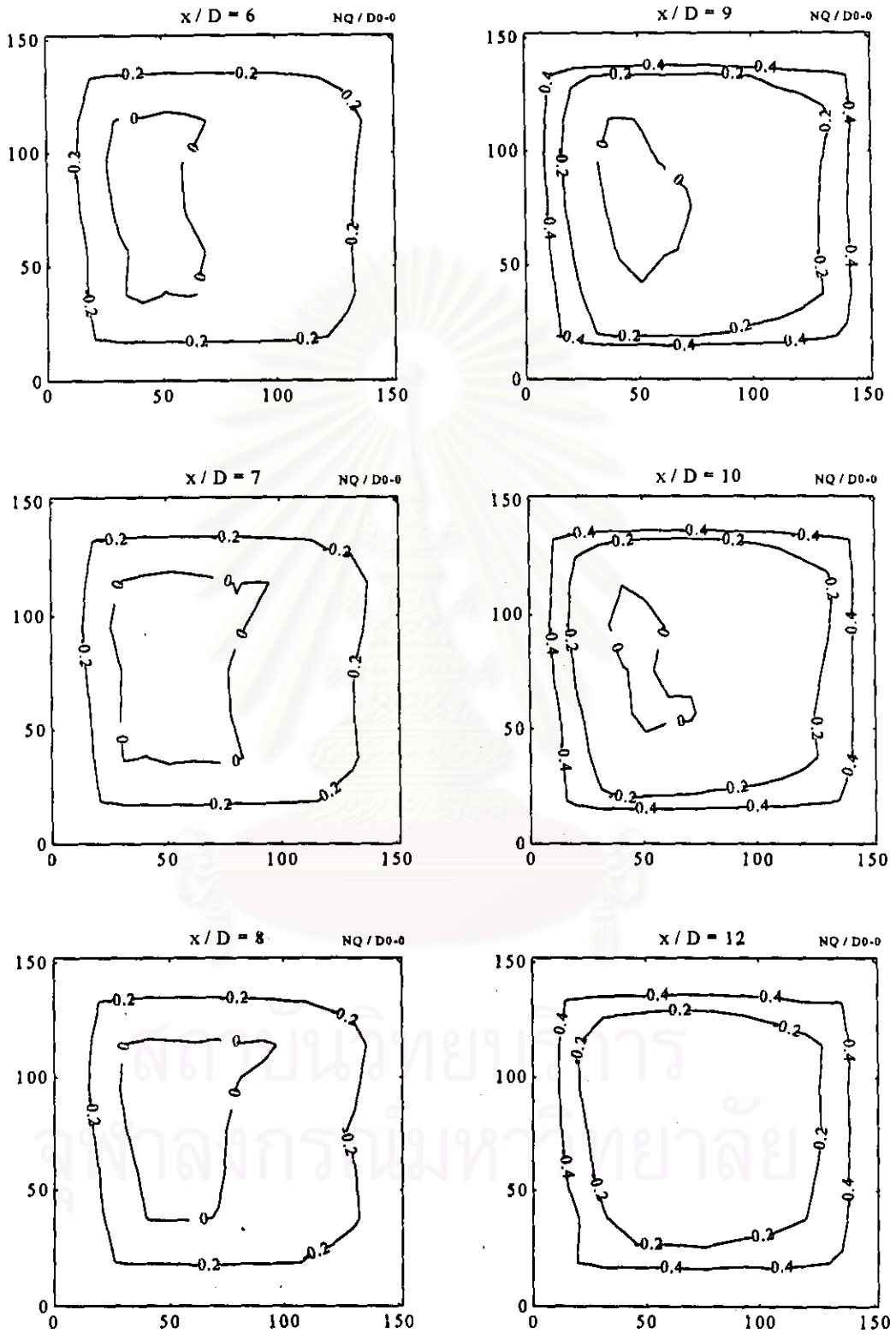


รูปที่ 3.7 ภาพแสดงการวัดความดันสถิตเฉลี่ยภายในหน้าตัดโดยใช้ pressure tap และ header

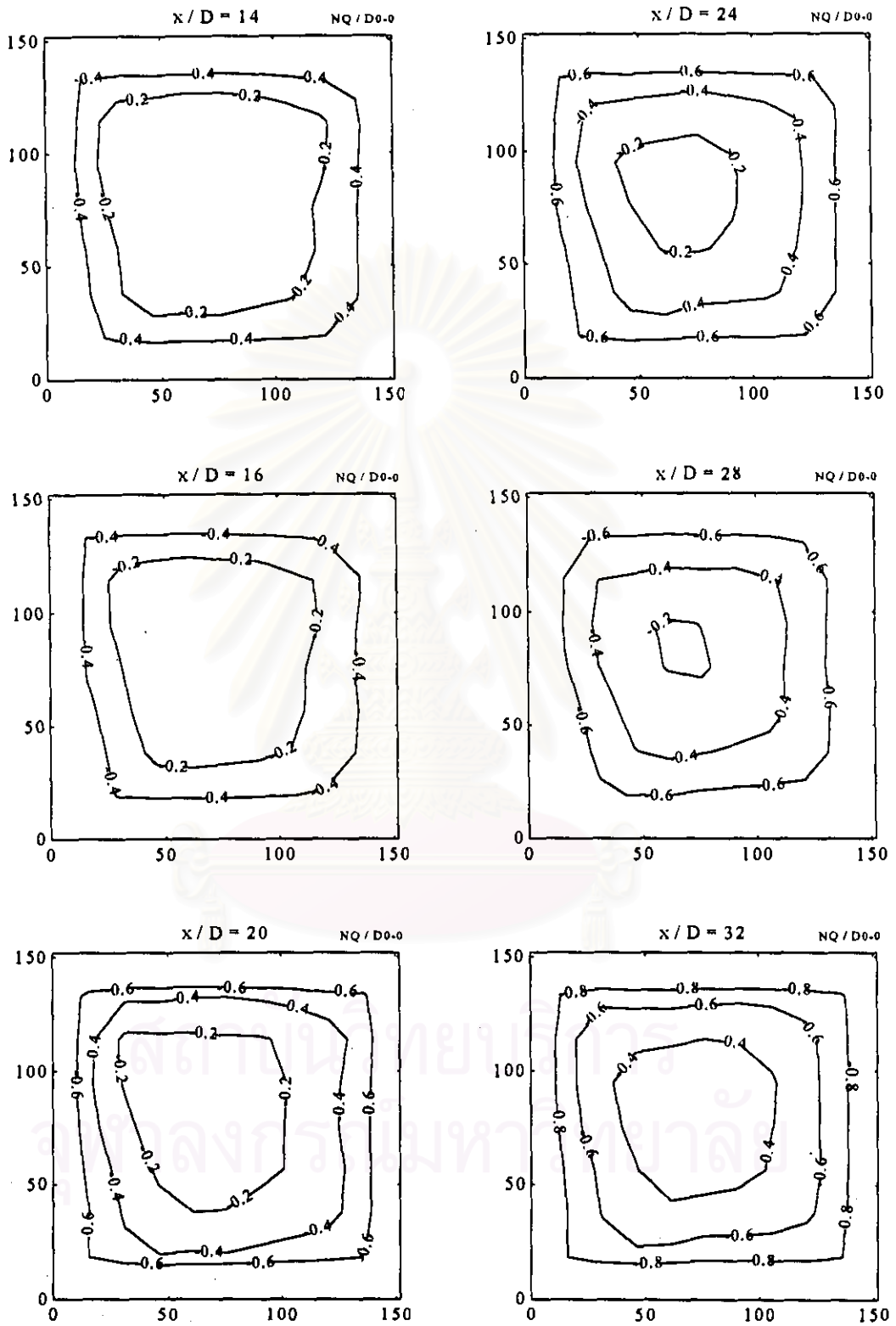
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



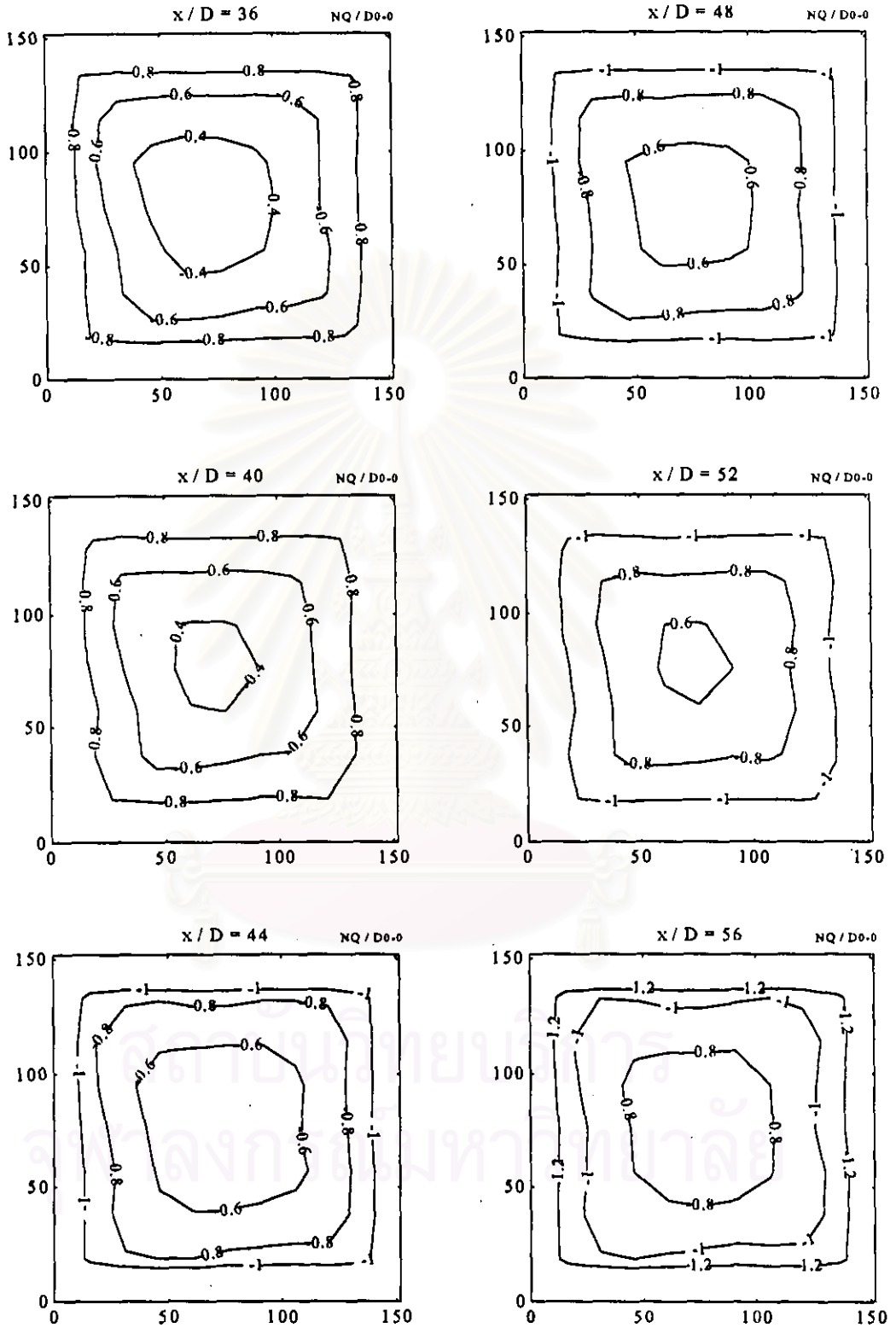
รูปที่ 4.1 การกระจายของความเข้มข้น กรณี $D0-0$ ที่ $x/D = -2, 1, 2, 3, 4$ และ 5



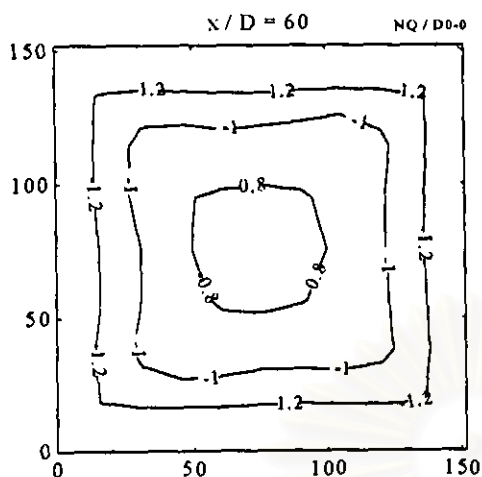
รูปที่ 4.1(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี $D0-0$ ที่ $x/D = 6, 7, 8, 9, 10$ และ 12



รูปที่ 4.1(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D_{0-0} ที่ $x/D = 14, 16, 20, 24, 28$ และ 32 .

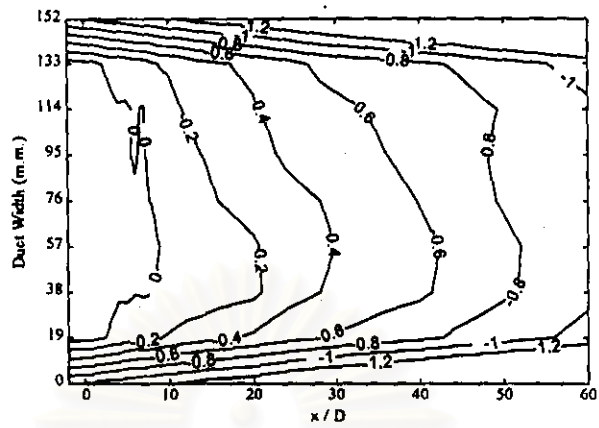


รูปที่ 4.1(ต่อ) การกระจายของความเข้มข้น กรณี $D0-0$ ที่ $x/D = 36, 40, 44, 48, 52$ และ 56

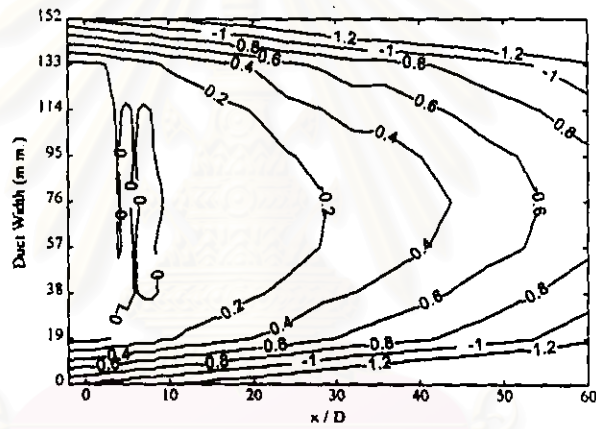


รูปที่ 4.1(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D0-0 ที่ $x/D = 60$

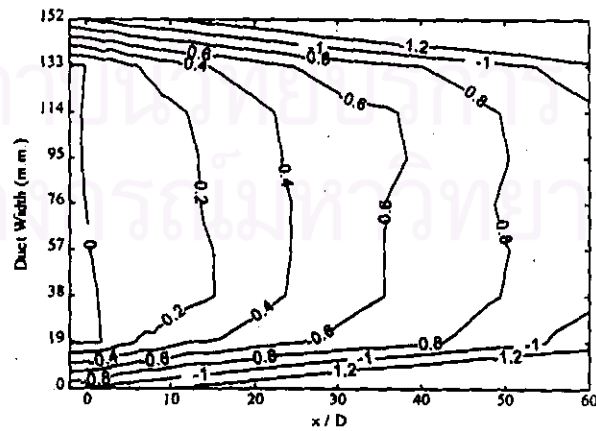
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ระนาบซ้าย

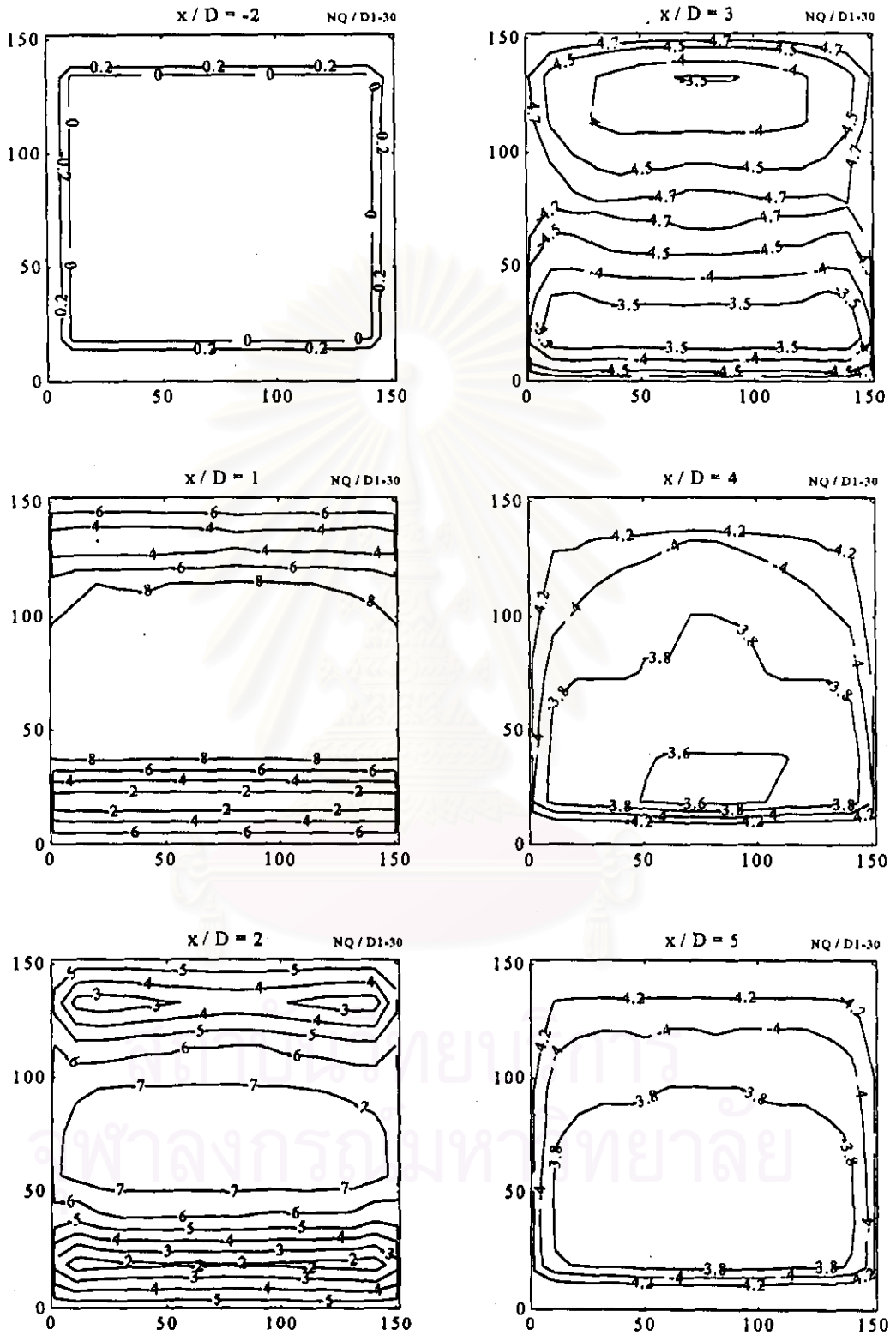


ระนาบกึ่งกลางท่อ

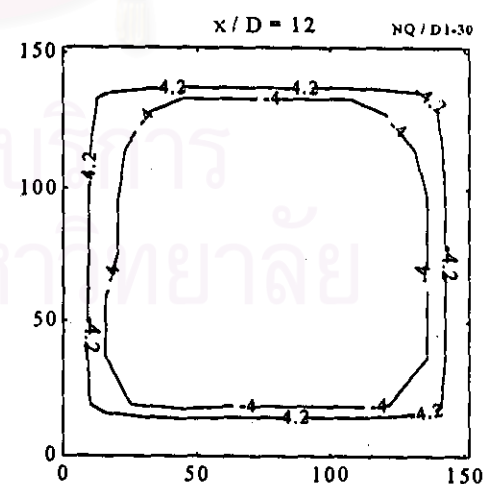
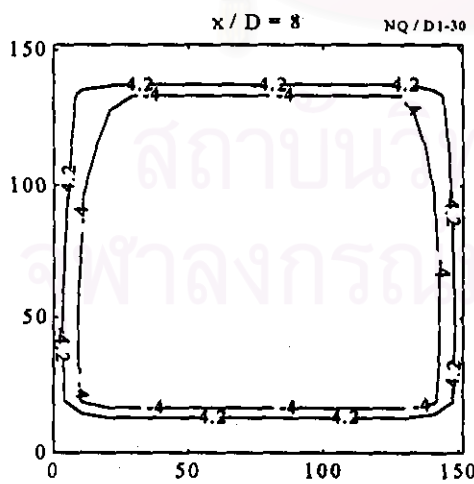
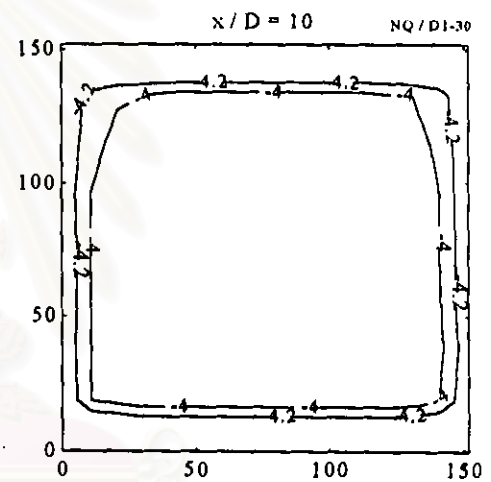
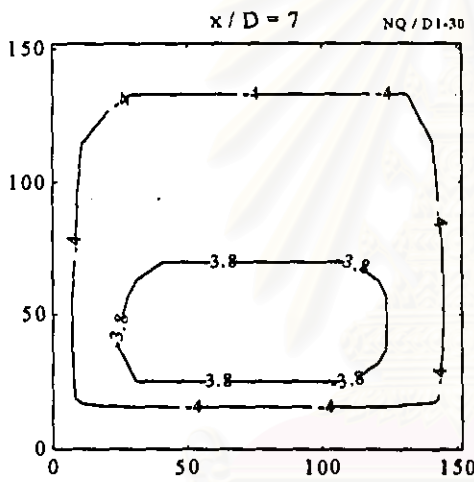
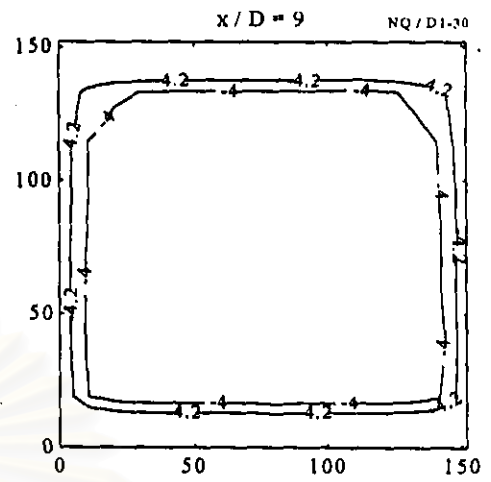
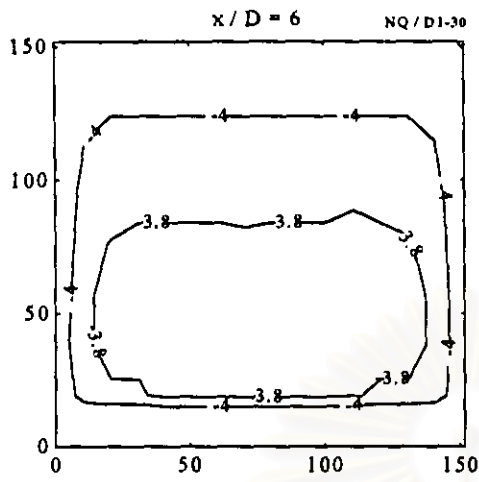


ระนาบขวา

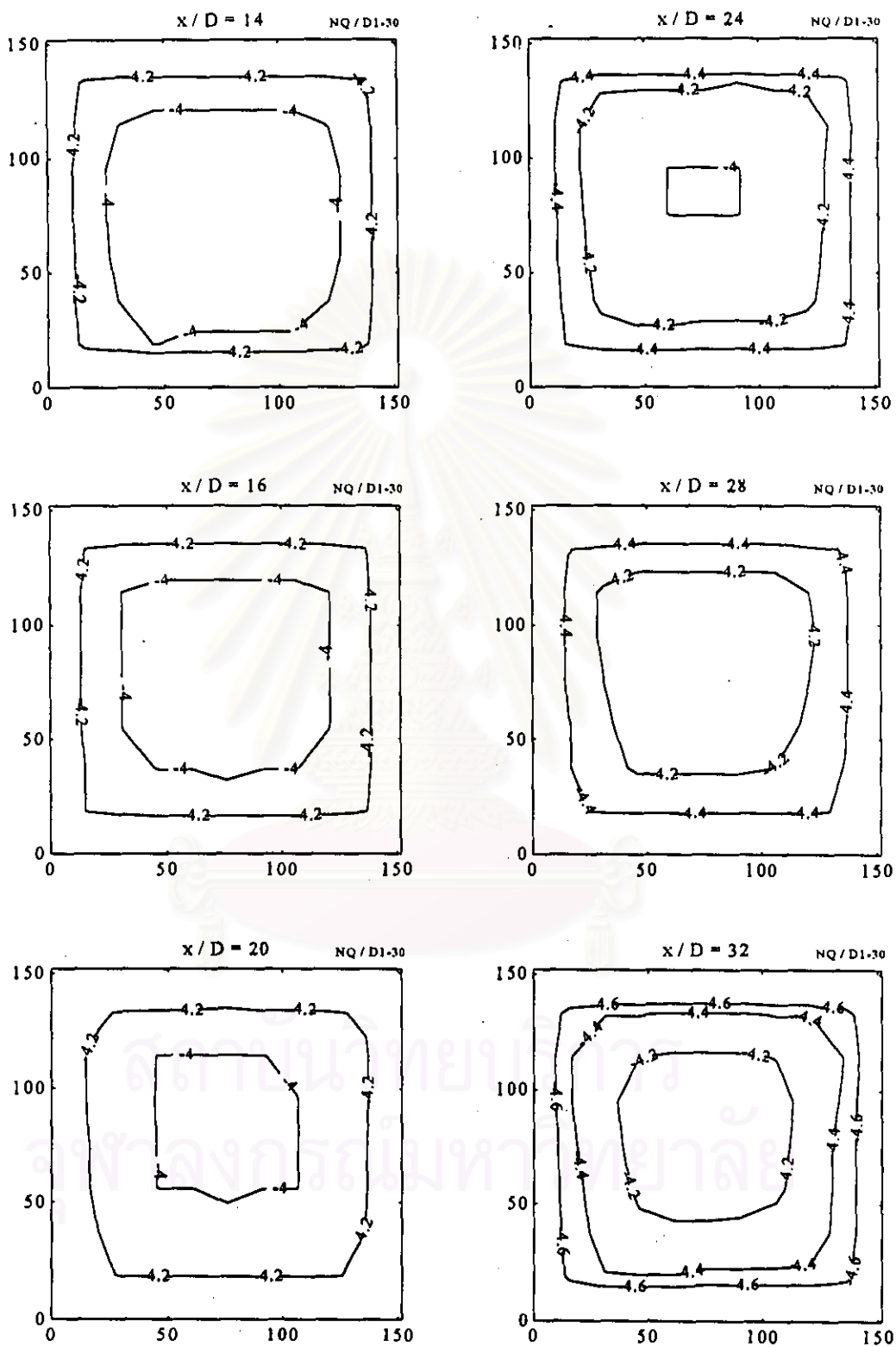
รูปที่ 4.2 การกระจายของความดันรวมในระนาบตามความยาวท่อ กรณี D0-0



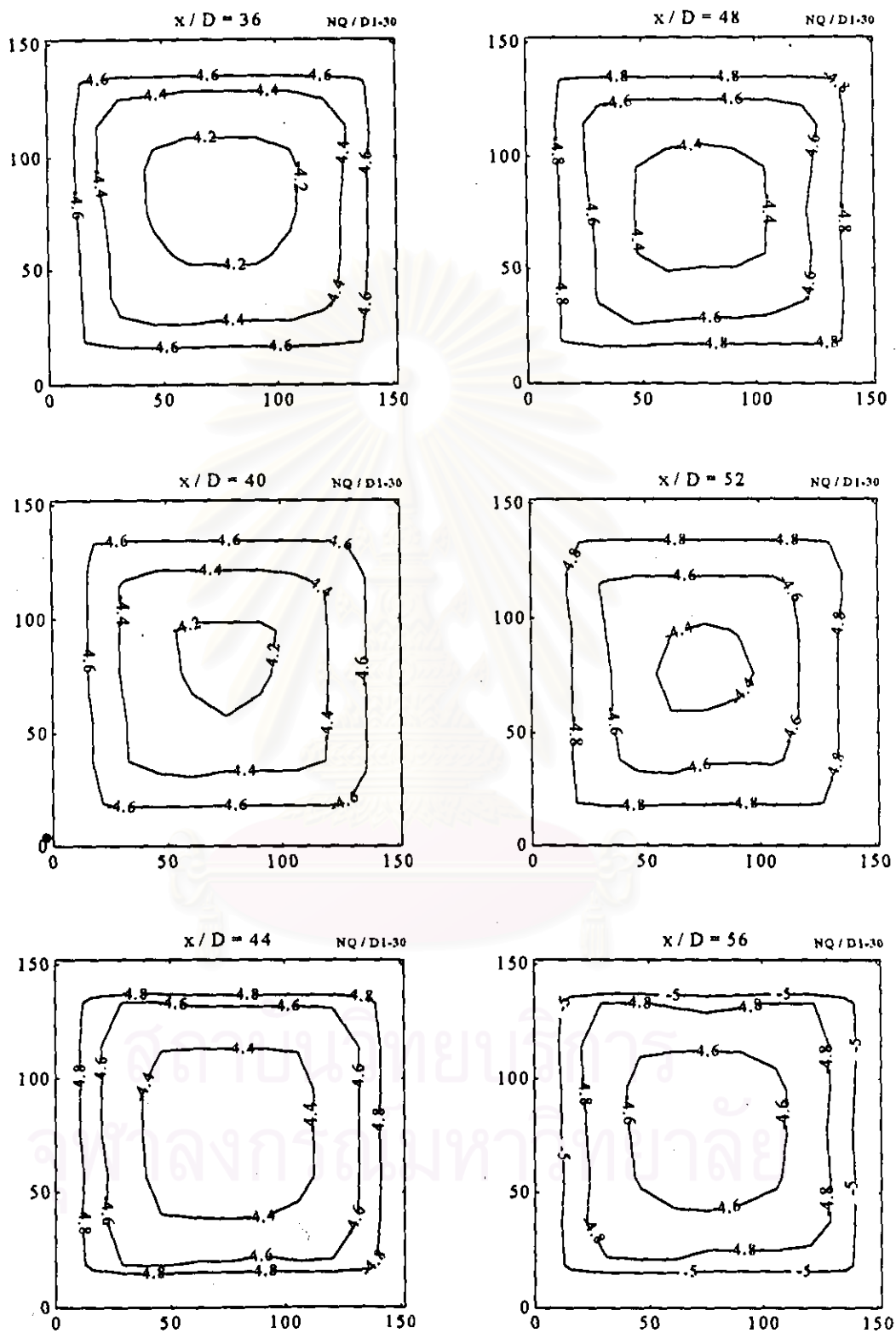
รูปที่ 4.3 การกระจายของความดันรวม กรณี D1-30 ที่ $x/D = -2, 1, 2, 3, 4$ และ 5



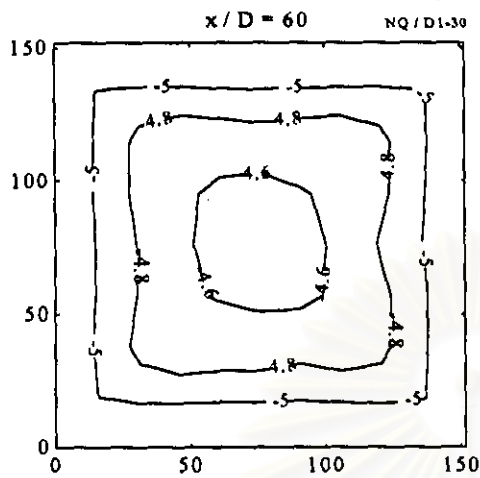
รูปที่ 4.3(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D1-30 ที่ $x/D = 6, 7, 8, 9, 10$ และ 12



รูปที่ 4.3(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D1-30 ที่ $x/D = 14, 16, 20, 24, 28$ และ 32

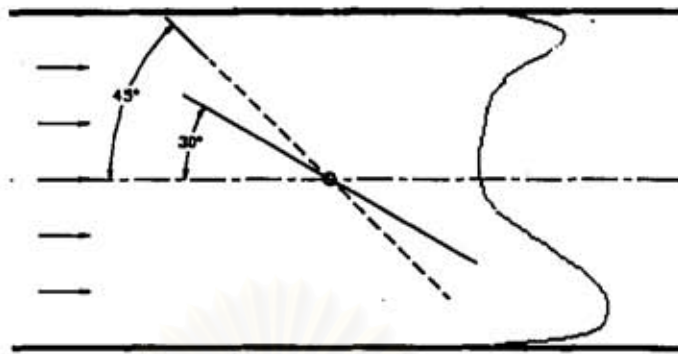


รูปที่ 4.3(ต่อ) การกระจายของความเข้มข้น กรณี D1-30 ที่ $x/D = 36, 40, 44, 48, 52$ และ 56

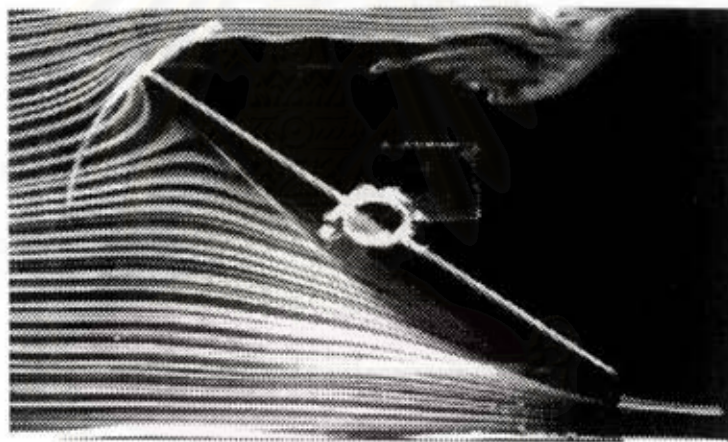


รูปที่ 4.3(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D1-30 ที่ $x/D = 60$

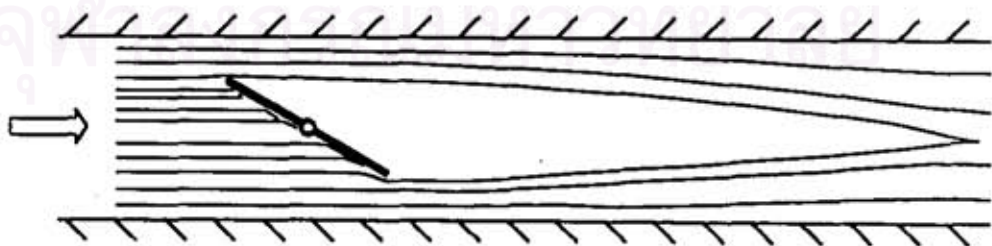
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



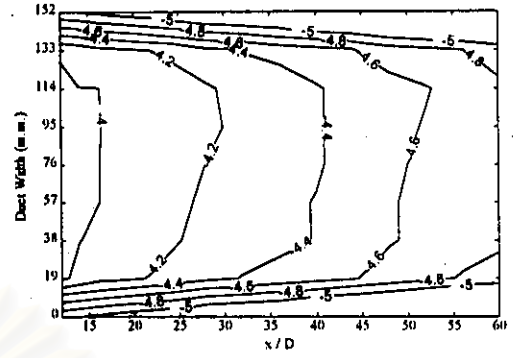
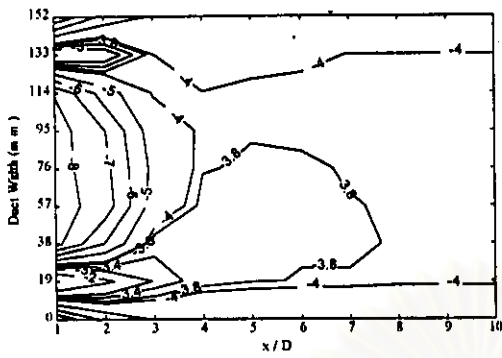
รูปที่ 4.4 ภาพจำลองแสดงลักษณะเสมือนการไหลผ่านนอซเซิลและดิฟฟิวเซอร์ของการไหลของอากาศผ่านแฉมเปอร์



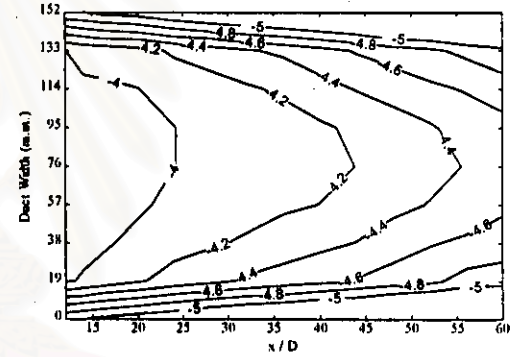
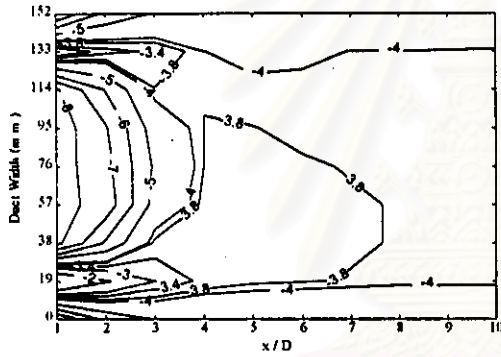
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายแสดง stagnation streamline ของการไหลของอากาศผ่านแฉมเปอร์



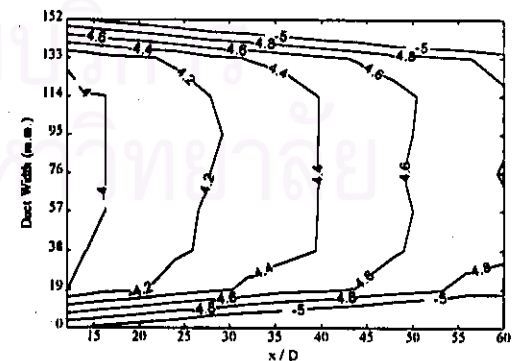
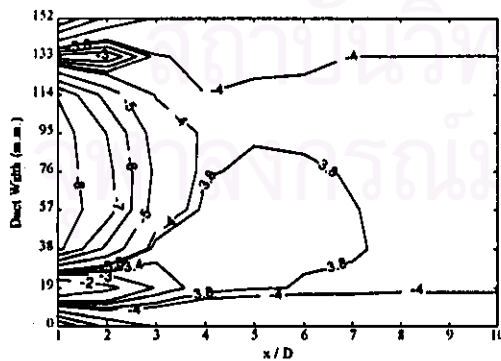
รูปที่ 4.6 ภาพแสดงการรวมตัวของลำเอ็ทของอากาศทางด้านบนและด้านล่างของท่



ระยะใกล้

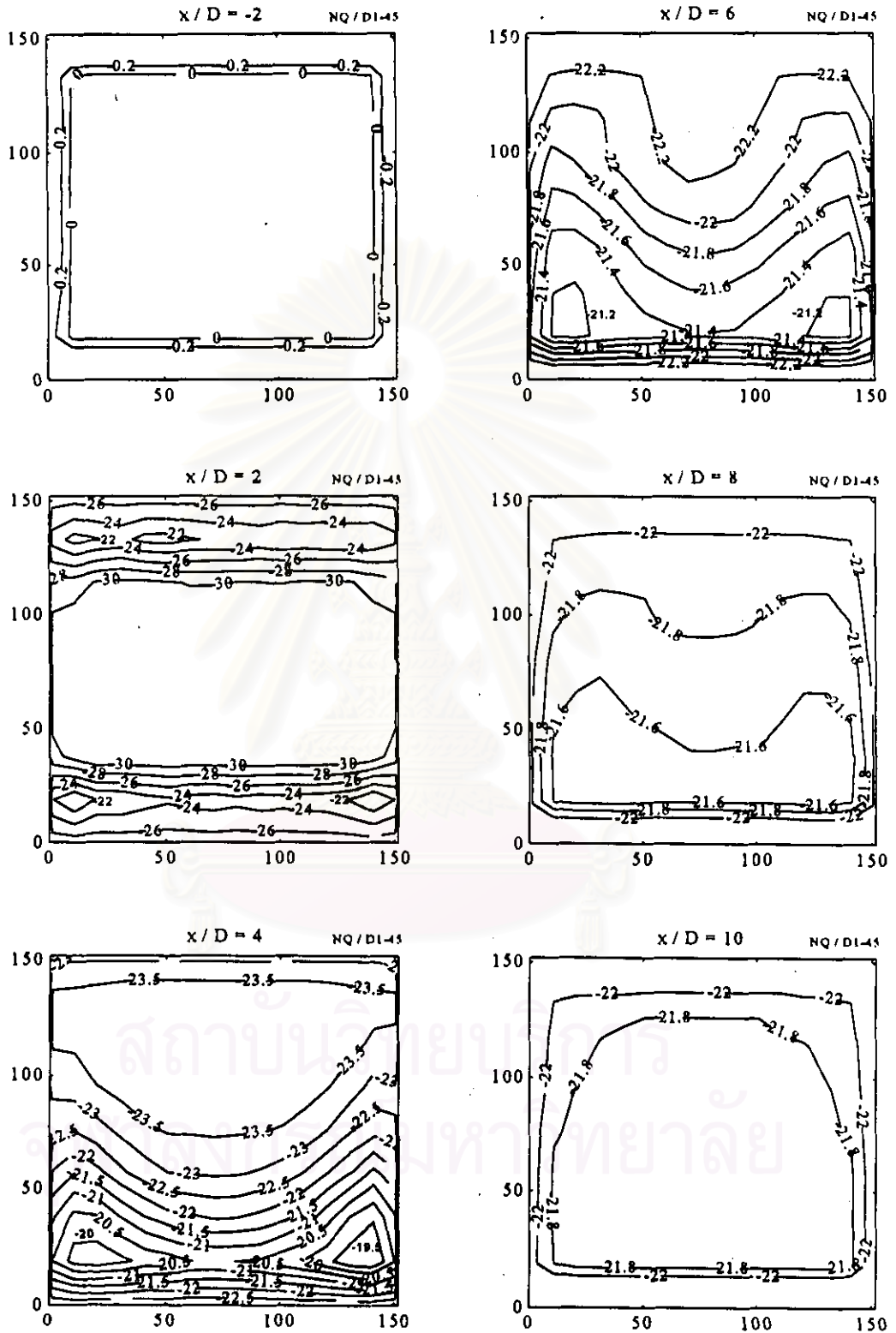


ระยะกึ่งกลางท่อ

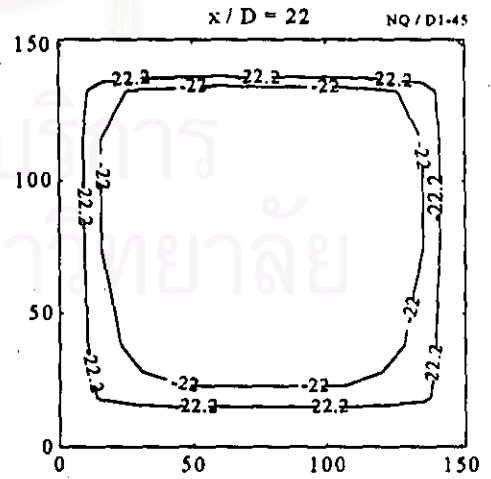
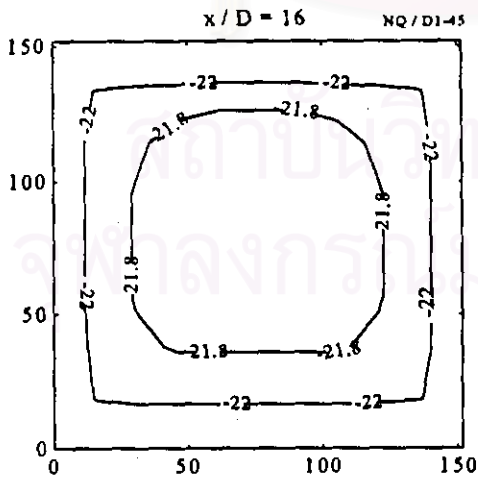
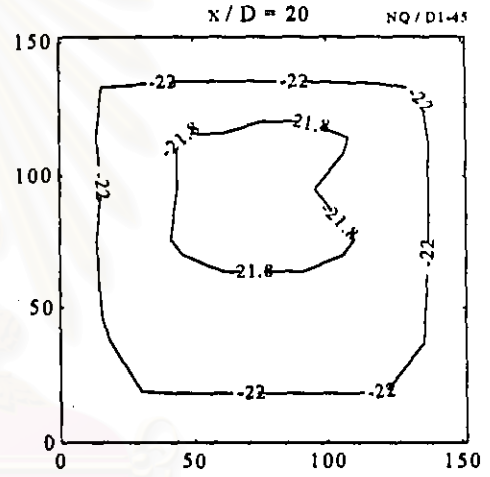
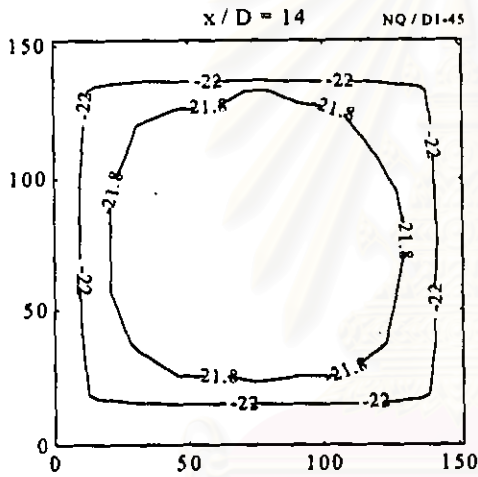
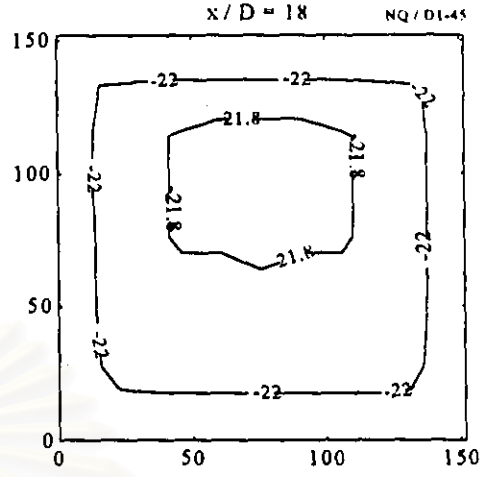
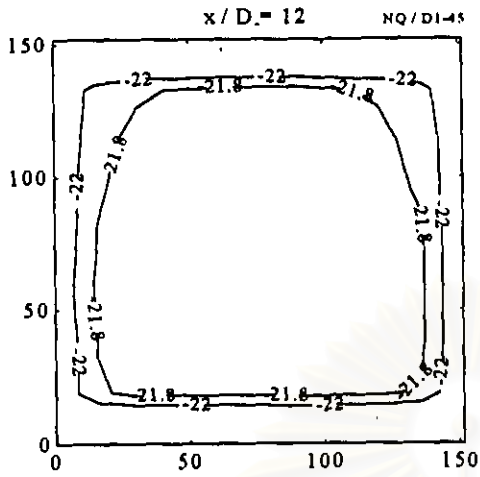


ระยะขอบ

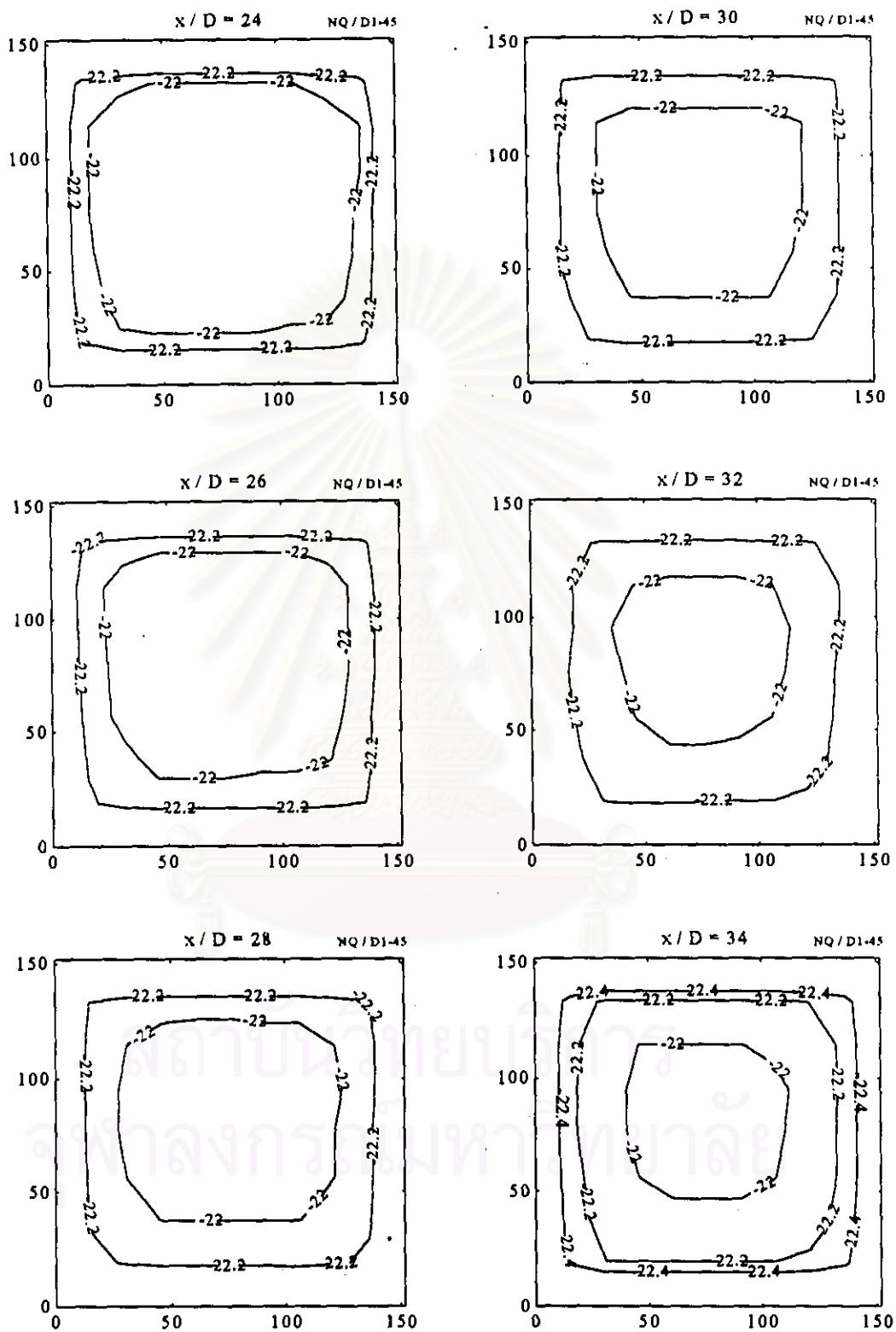
รูปที่ 4.7 การกระจายของความดันรวมในระนาบตามความยาวท่อ กรณี D1-30



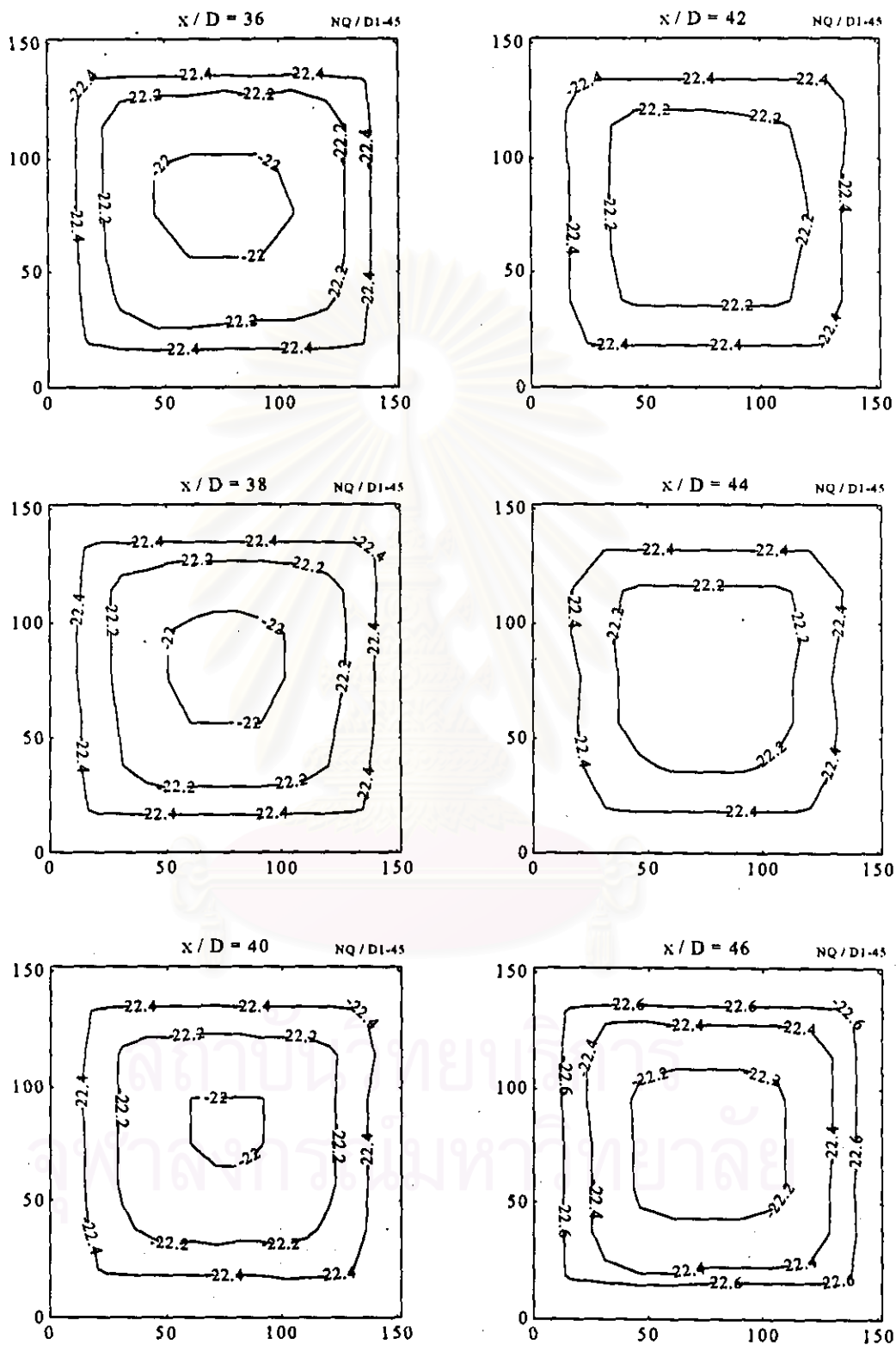
รูปที่ 4.8 การกระจายของความเข้มข้น กรณี D1-45 ที่ $x/D = -2, 2, 4, 6, 8$ และ 10



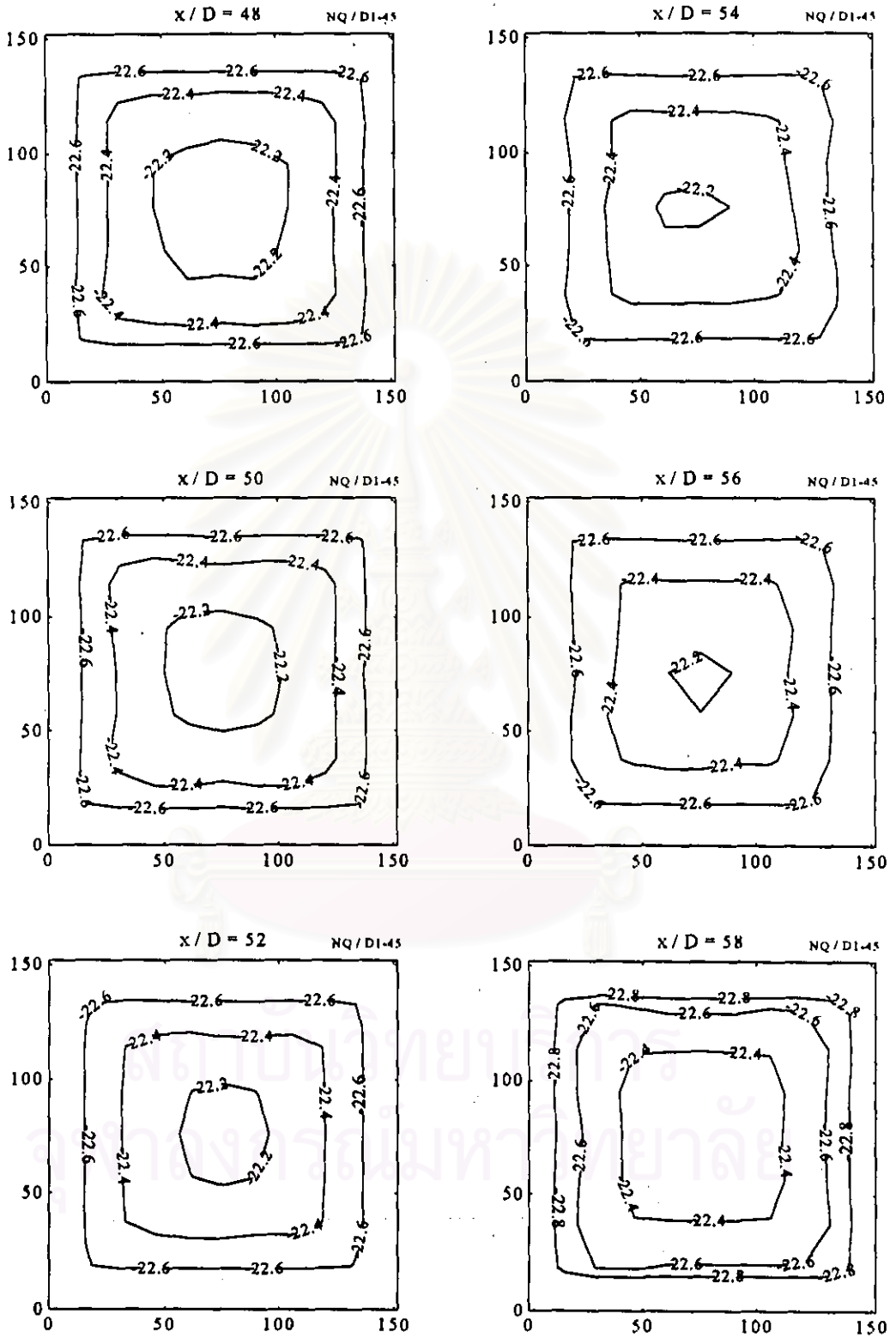
รูปที่ 4.8(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D1-45 ที่ $x/D = 12, 14, 16, 18, 20$ และ 22



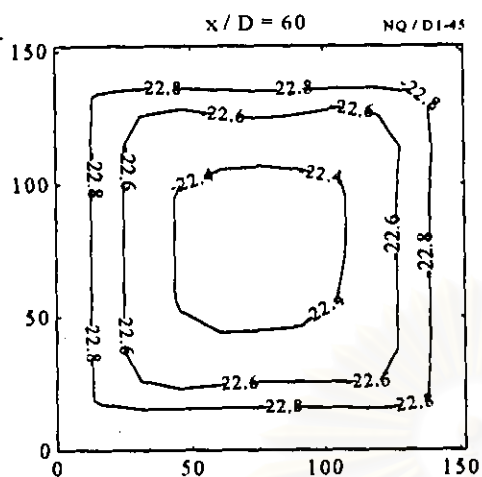
รูปที่ 4.8(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D1-45 ที่ $x/D = 24, 26, 28, 30, 32$ และ 34



รูปที่ 4.8(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D1-45 ที่ $x/D = 36, 38, 40, 42, 44$ และ 46

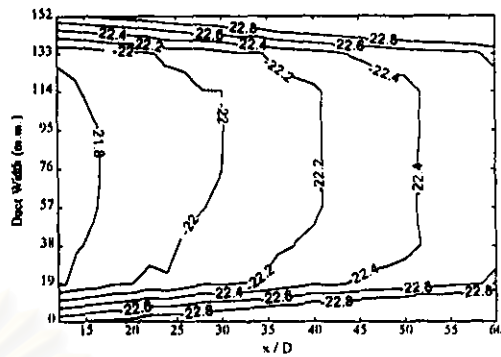
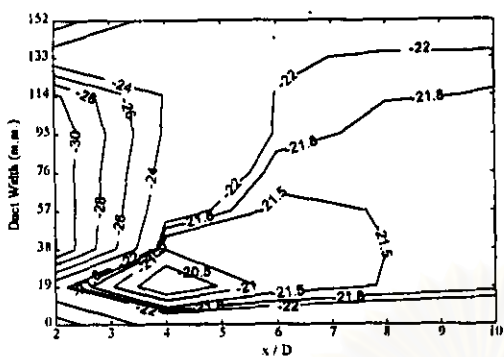


รูปที่ 4.8(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D1-45 ที่ $x/D = 48, 50, 52, 54, 56$ และ 58

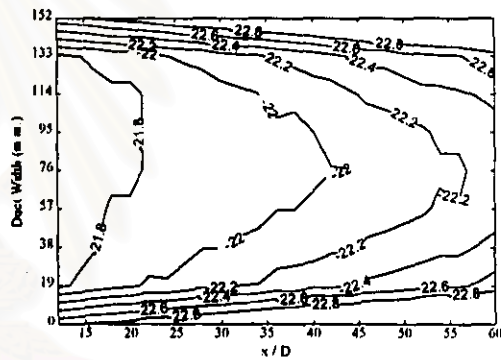
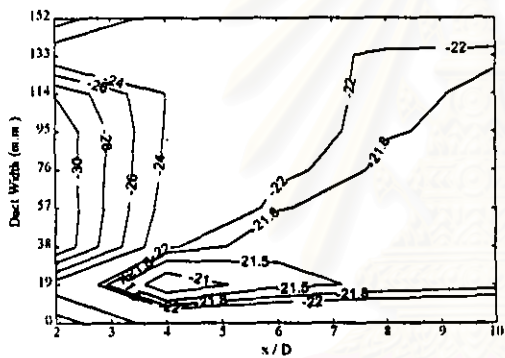


รูปที่ 4.8(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D1-45 ที่ $x/D = 60$

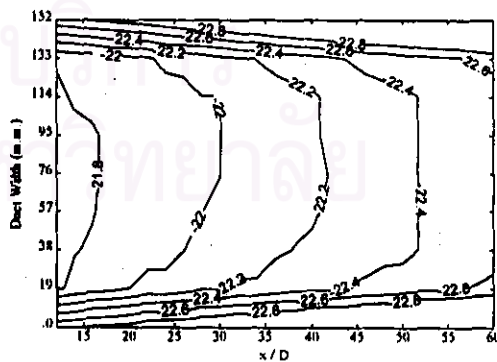
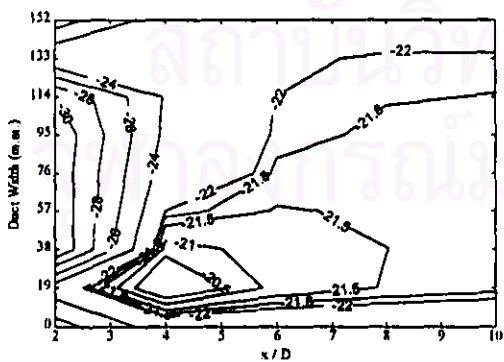
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ระยะบั้นท้าย

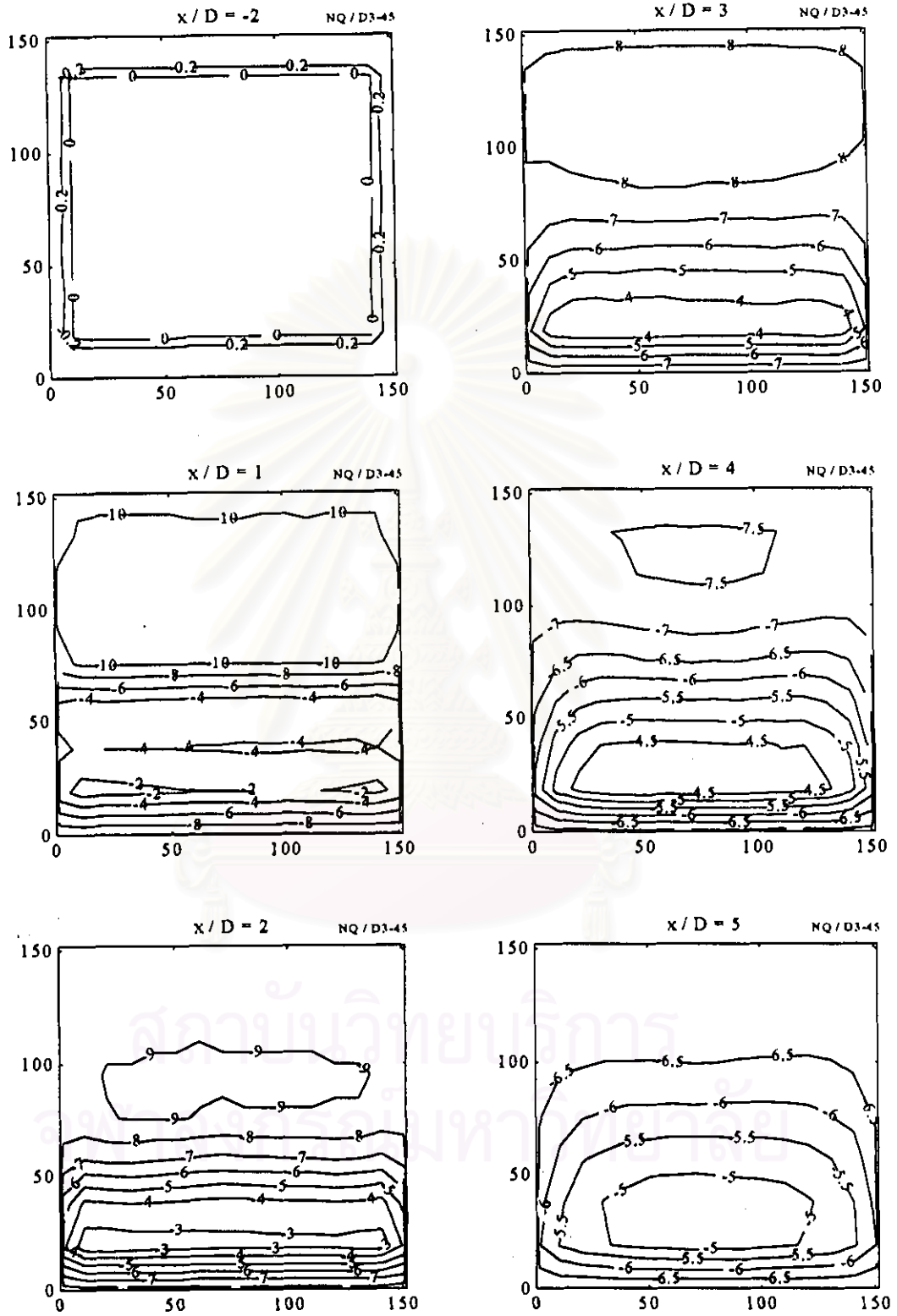


ระยะบั้งกลางท่อ

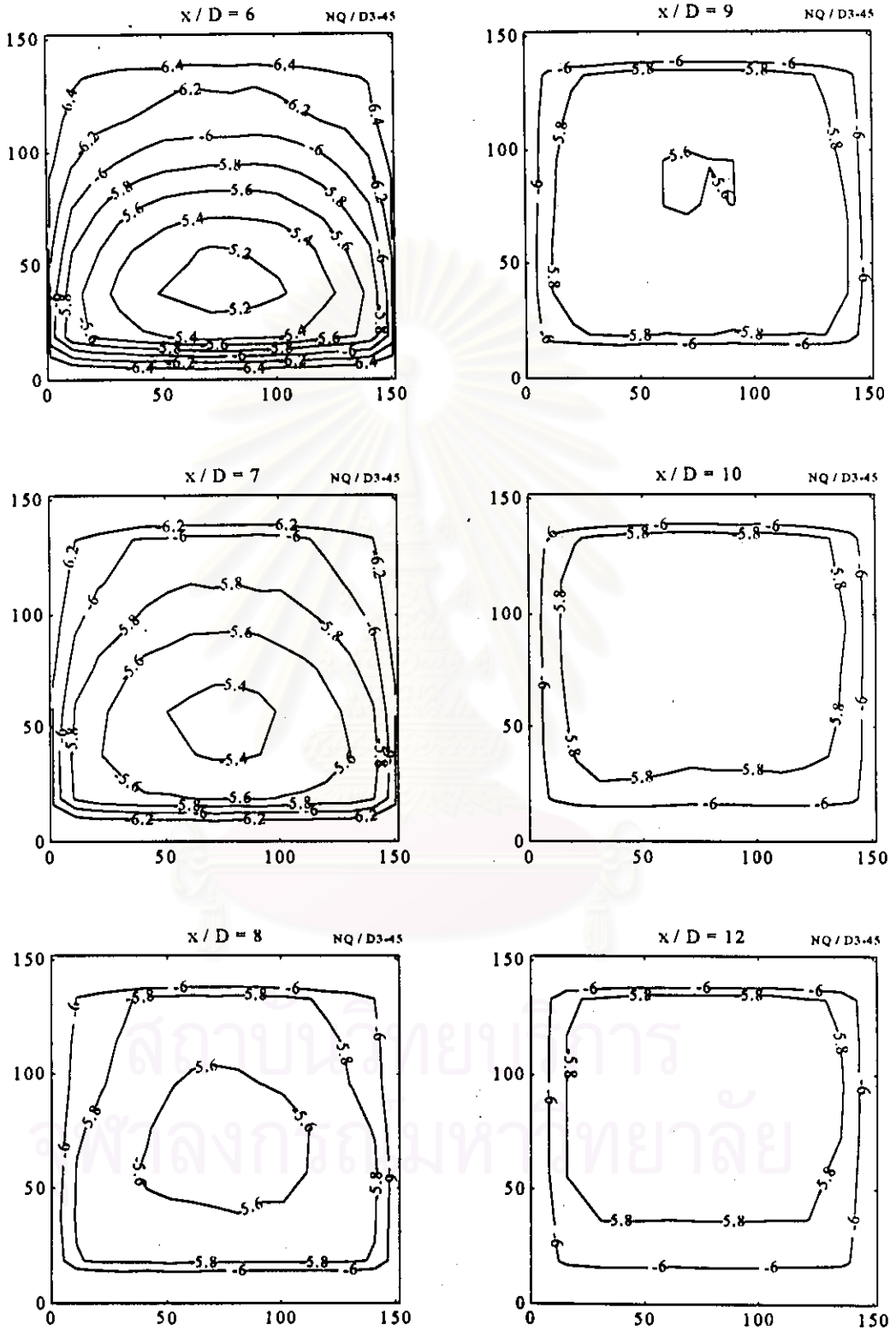


ระยะบั้นขวา

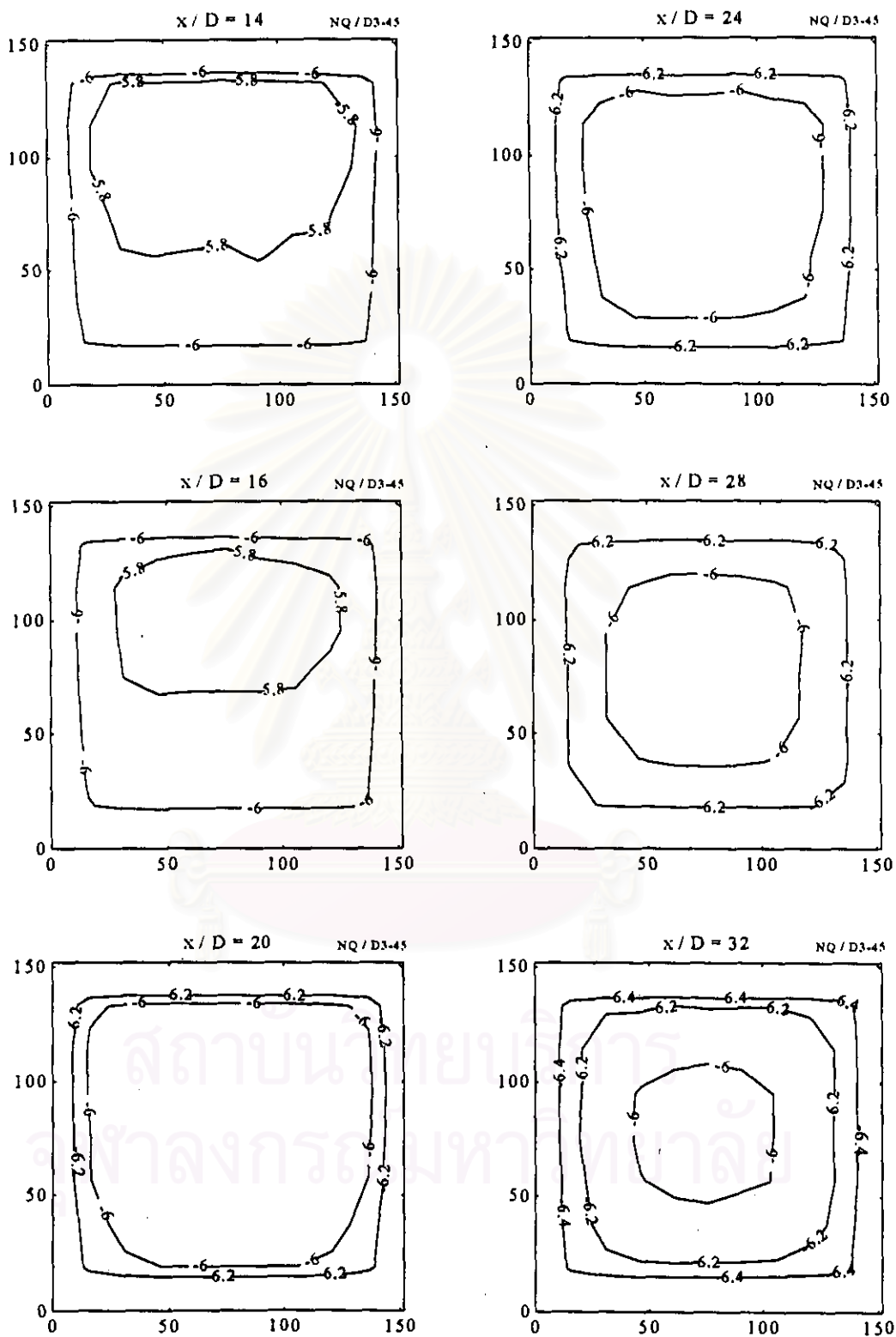
รูปที่ 4.9 การกระจายของความดันรวมในระนาบตามความยาวท่อ กรณี D1-45



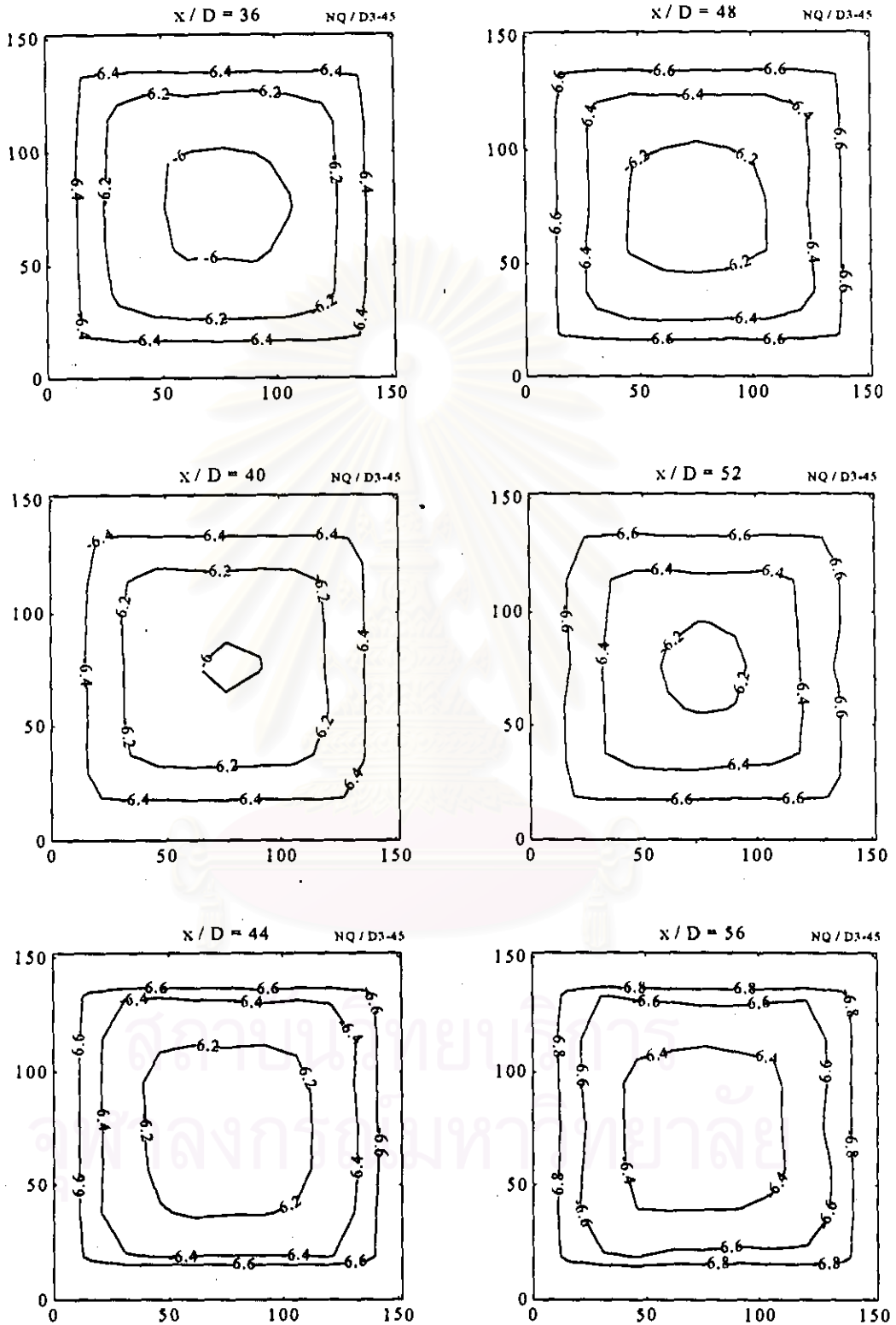
รูปที่ 4.10 การกระจายของความดันรวม กรณี D3-45 ที่ $x/D = -2, 1, 2, 3, 4$ และ 5



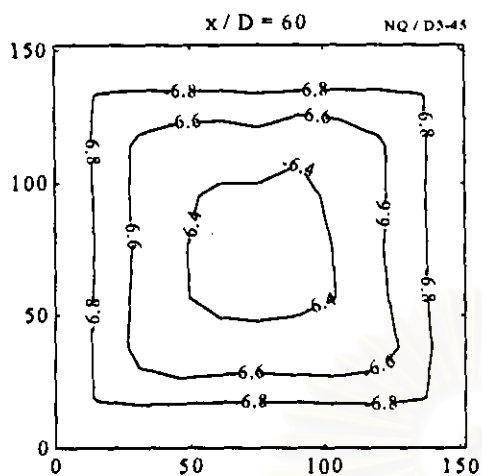
รูปที่ 4.10(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D3-45 ที่ $x/D = 6, 7, 8, 9, 10$ และ 12



รูปที่ 4.10(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D3-45 ที่ $x/D = 14, 16, 20, 24, 28$ และ 32

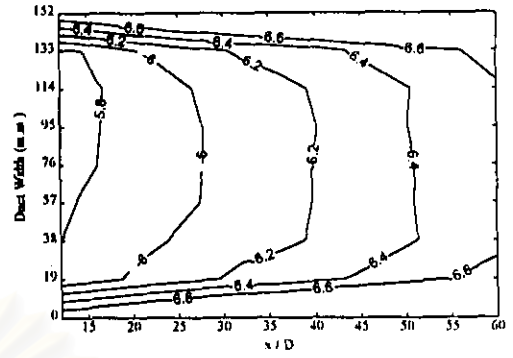
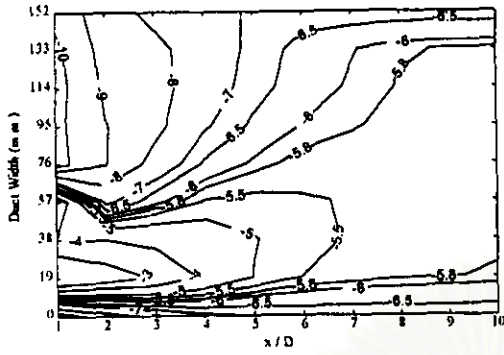


รูปที่ 4.10(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D3-45 ที่ $x/D = 36, 40, 44, 48, 52$ และ 56

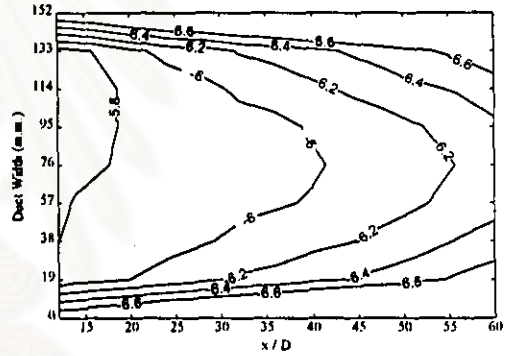
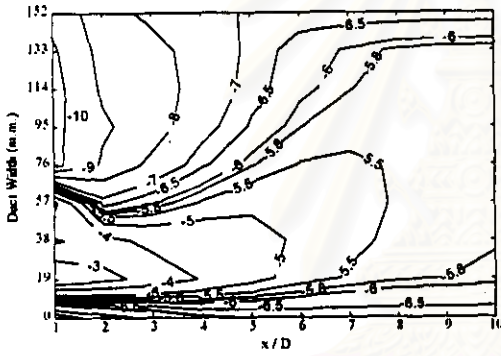


รูปที่ 4.10(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D3-45 ที่ $x/D = 60$

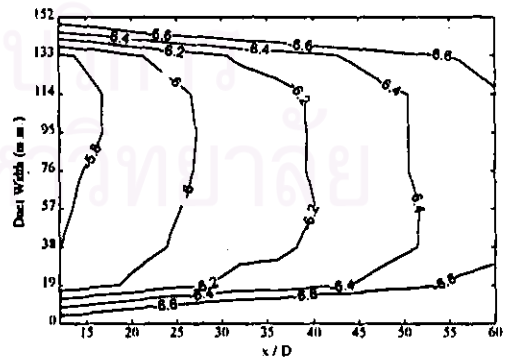
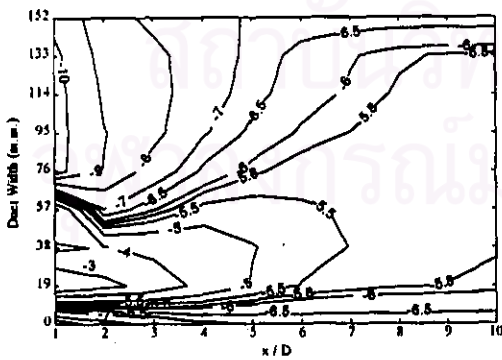
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ระนาบซ้าย

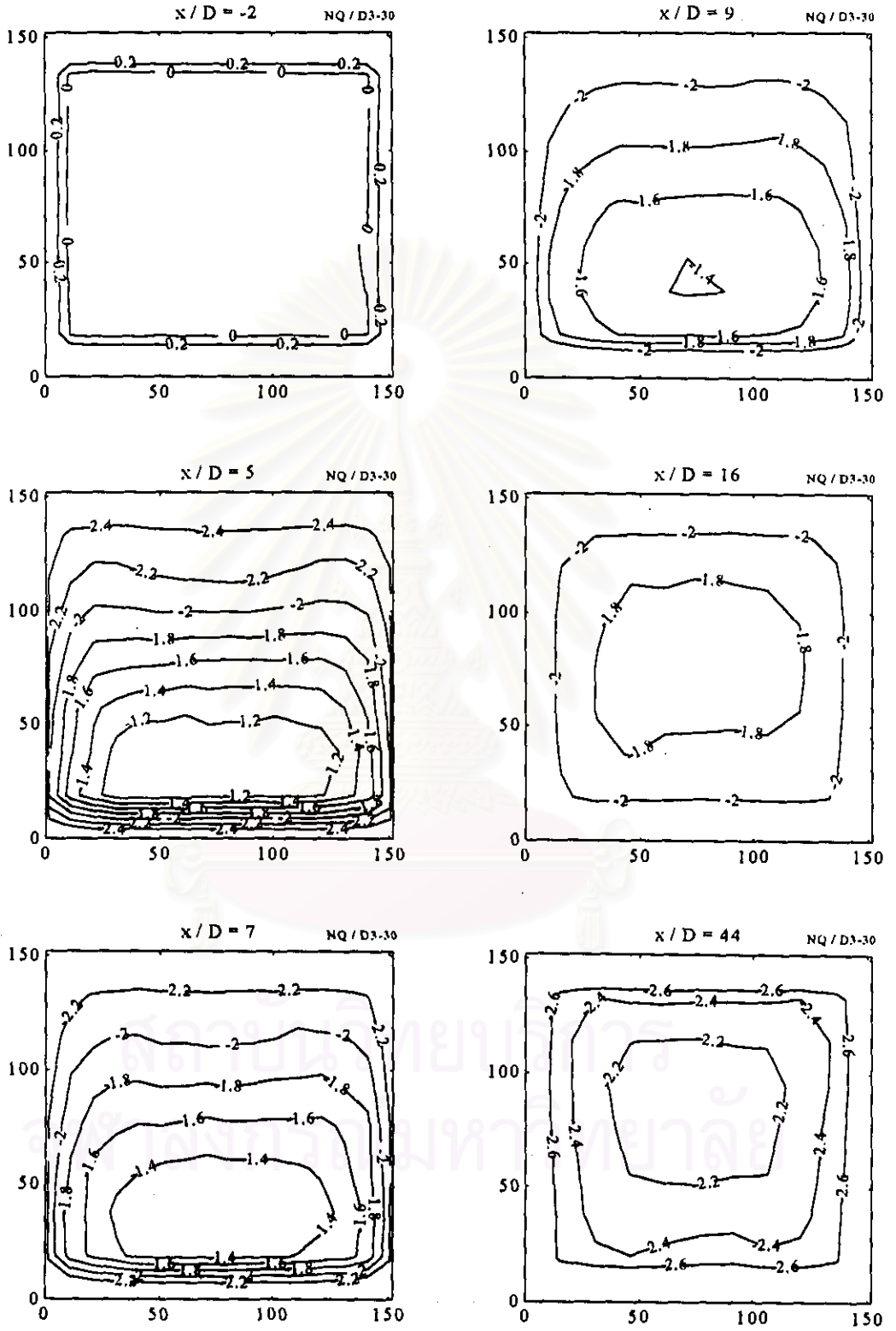


ระนาบกึ่งกลางท่อ

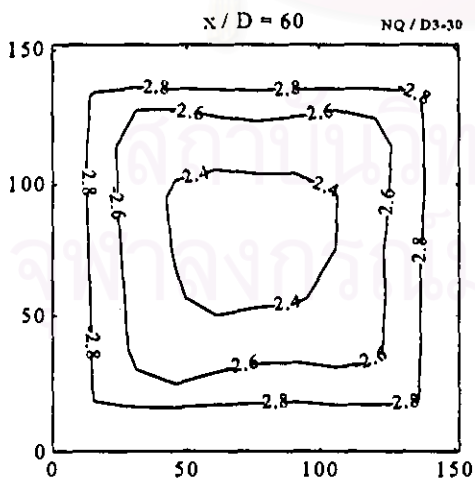
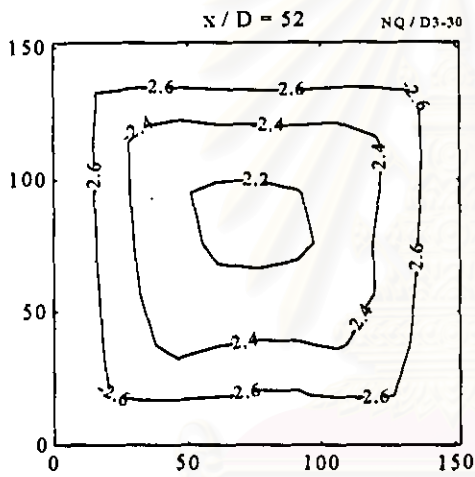
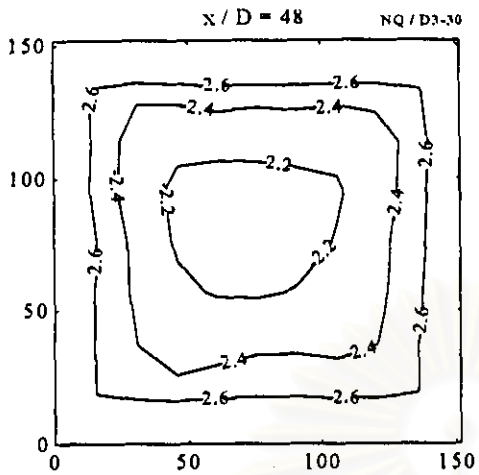


ระนาบขวา

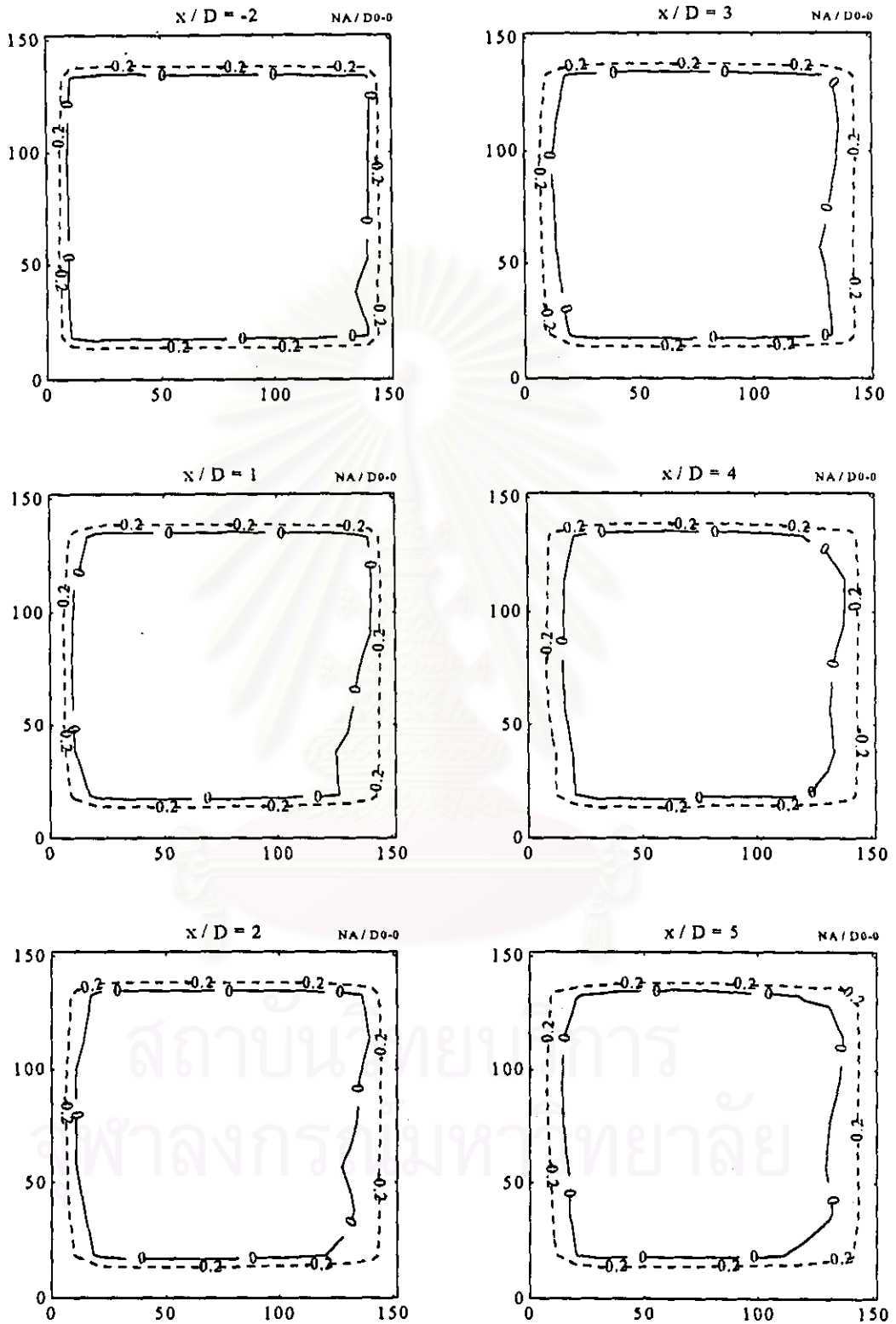
รูปที่ 4.11 การกระจายของความดันรวมในระนาบตามความยาวท่อ กรณี D3-45



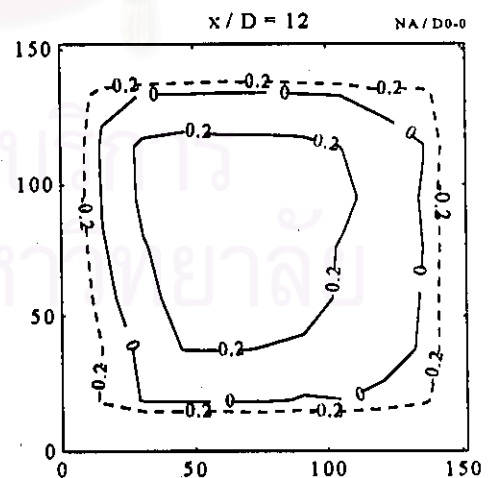
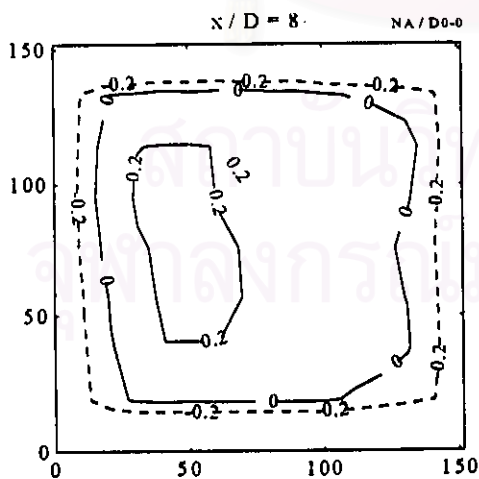
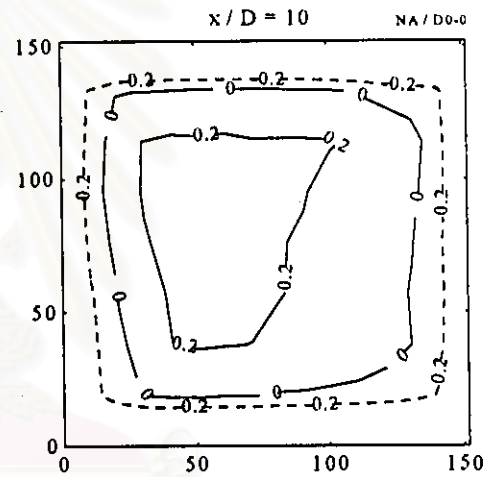
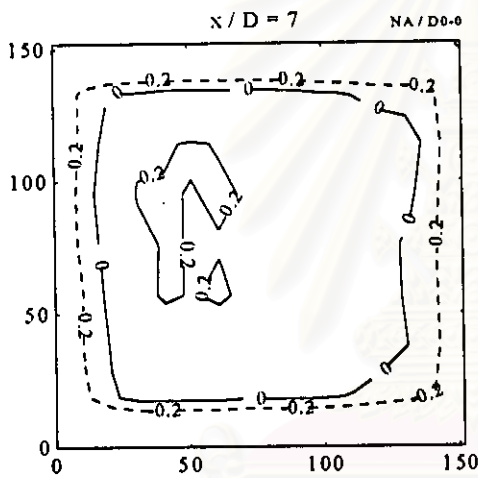
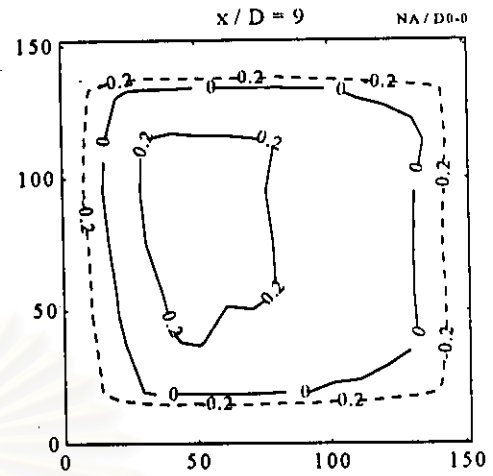
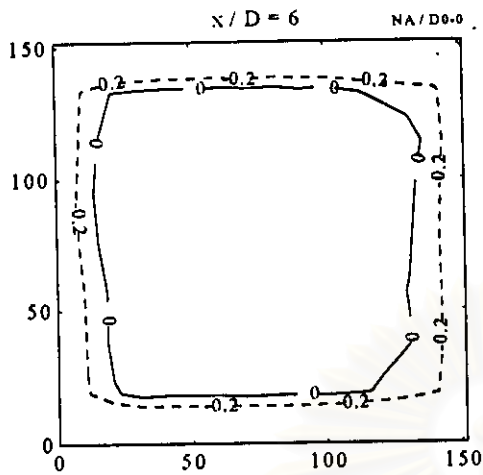
รูปที่ 4.12 การกระจายของความดันรวม กรณี D3-30 ที่ $x/D = -2, 5, 7, 9, 16$ และ 44



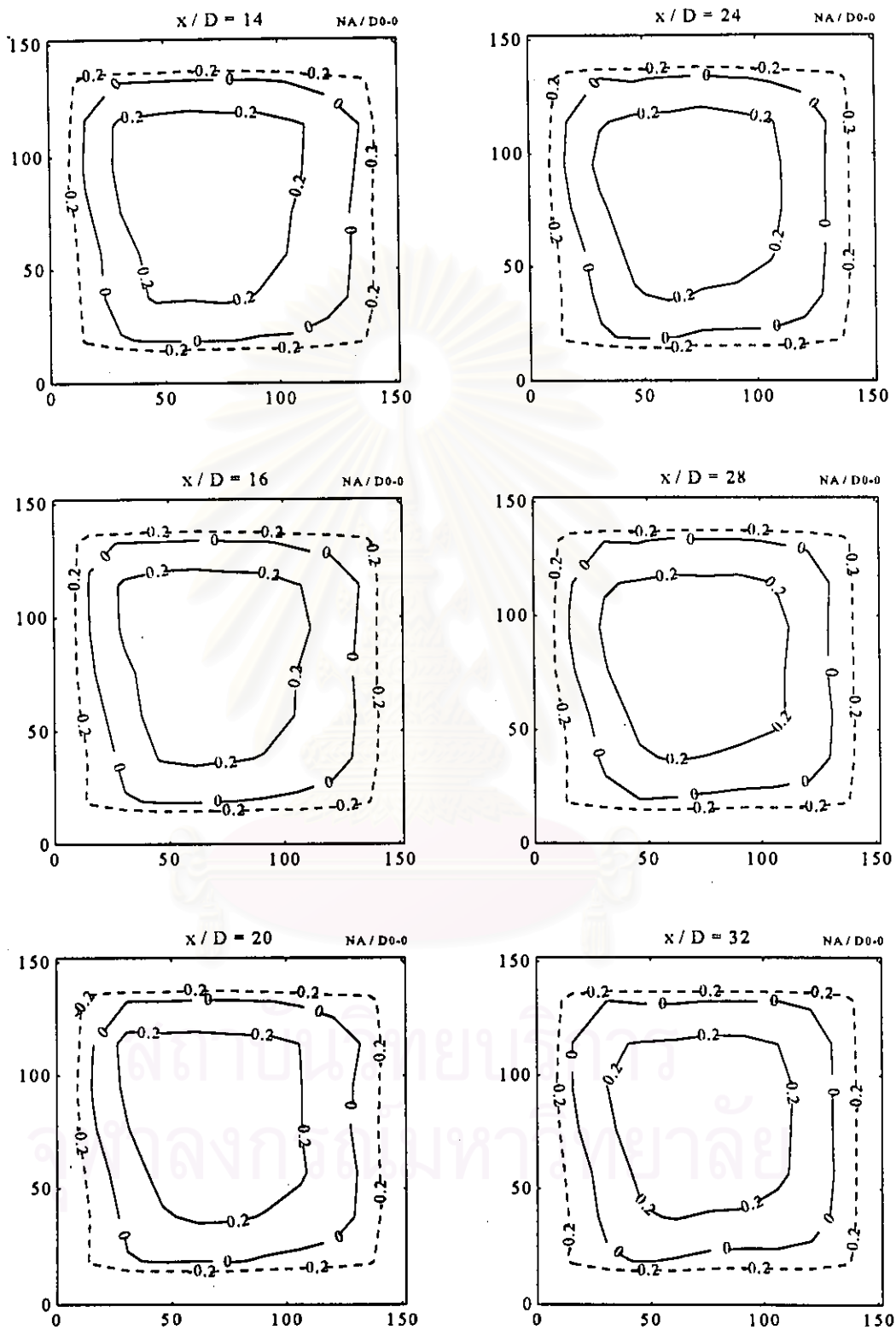
รูปที่ 4.12(ต่อ) การกระจายของความดันรวม กรณี D3-30 ที่ $x/D = 48, 52$ และ 60



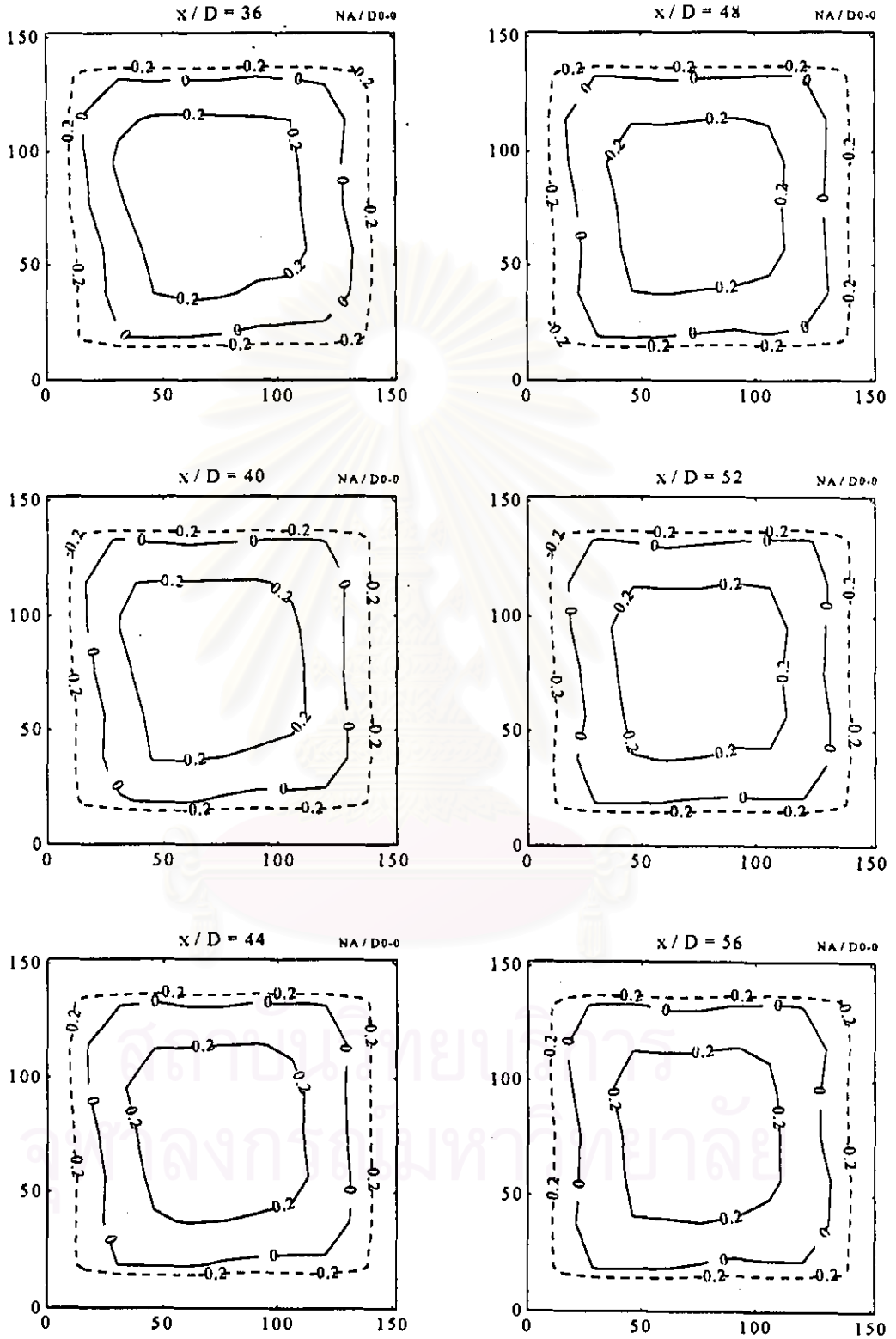
รูปที่ 4.13 Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี $D0-0$ ที่ $x/D = -2, 1, 2, 3, 4$ และ 5



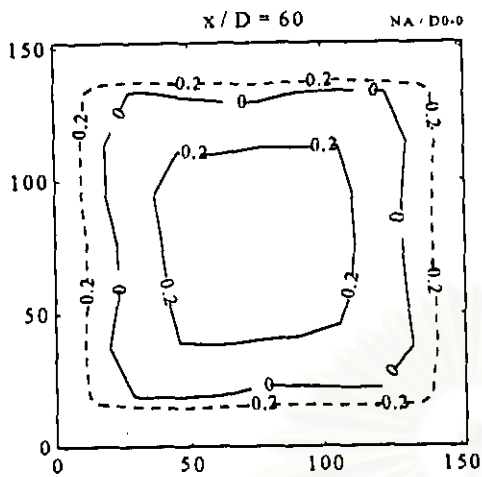
รูปที่ 4.13(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D0-0
ที่ $x/D = 6, 7, 8, 9, 10$ และ 12



รูปที่ 4.13(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี $D0-0$ ที่ $x/D = 14, 16, 20, 24, 28$ และ 32

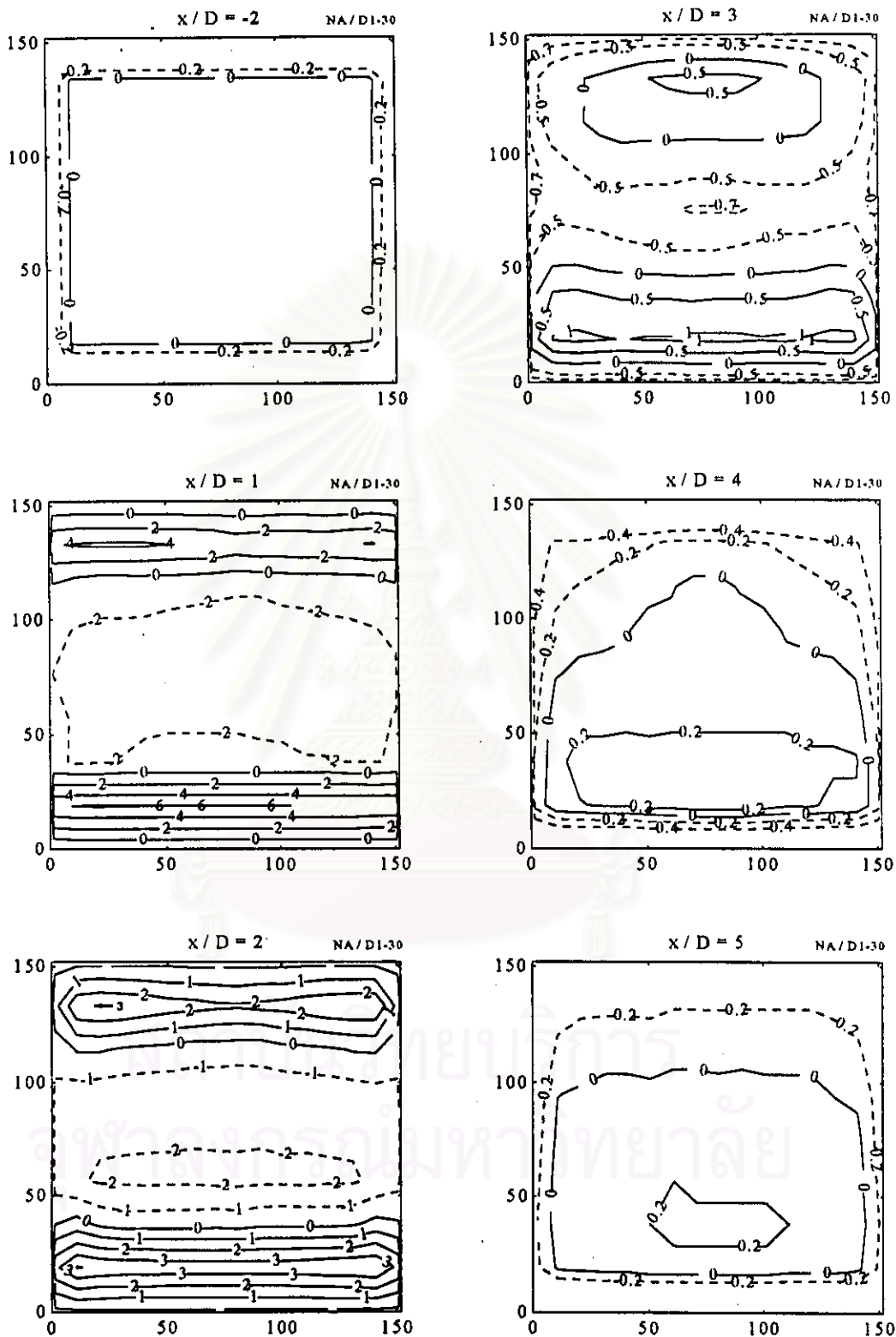


รูปที่ 4.13(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D0-0 ที่ $x/D = 36, 40, 44, 48, 52$ และ 56

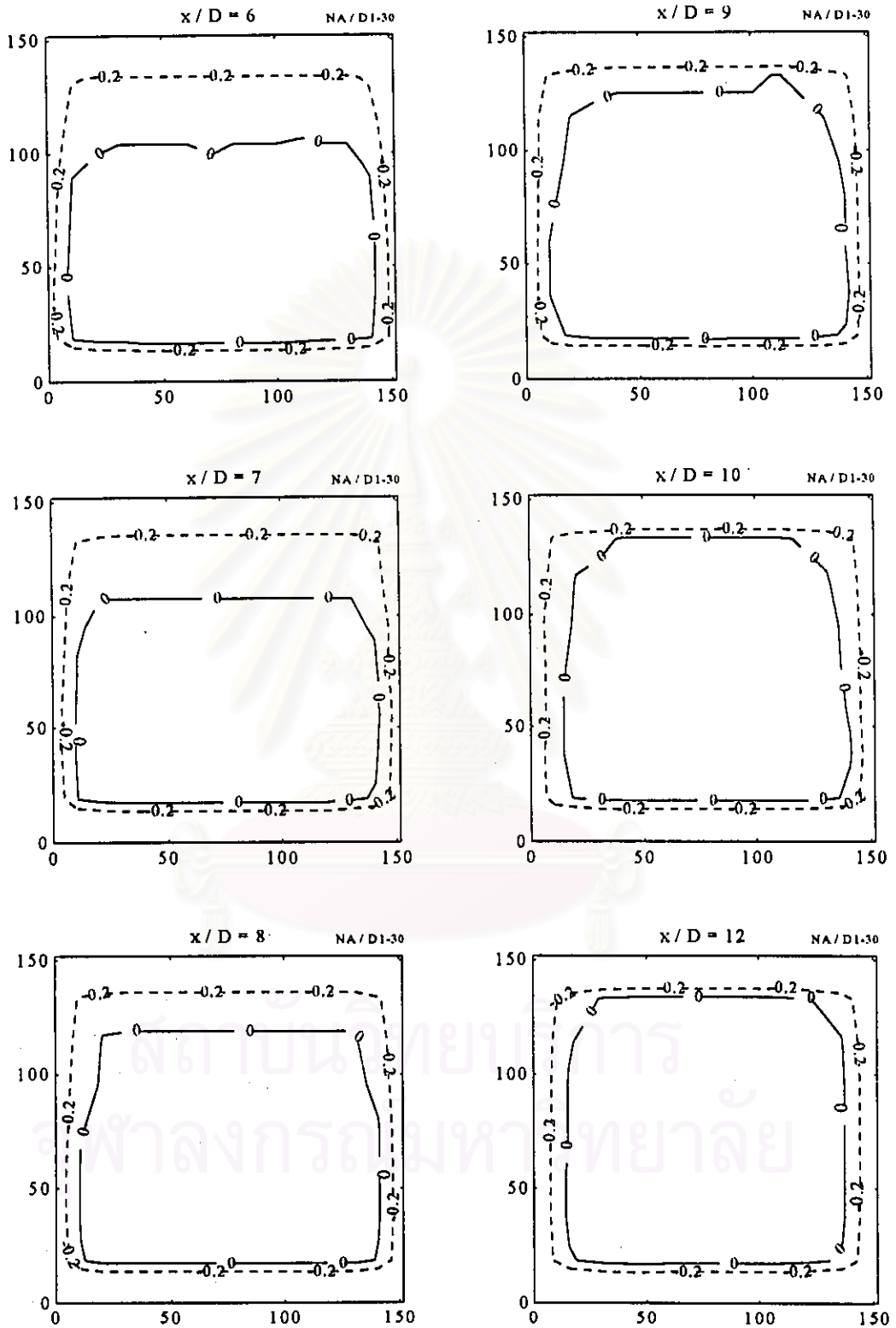


รูปที่ 4.13(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D0-0
ที่ $x/D = 60$

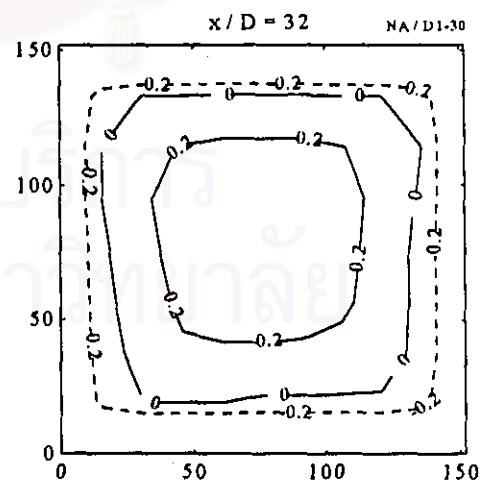
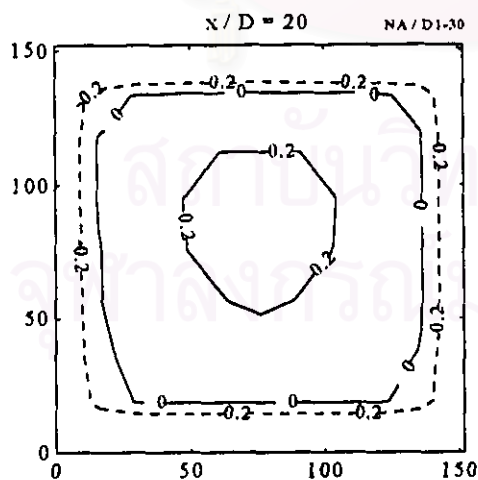
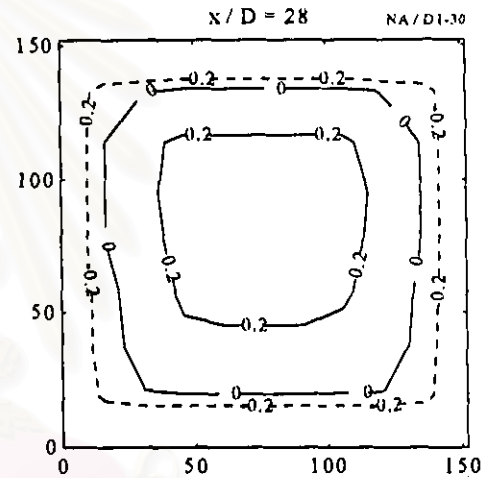
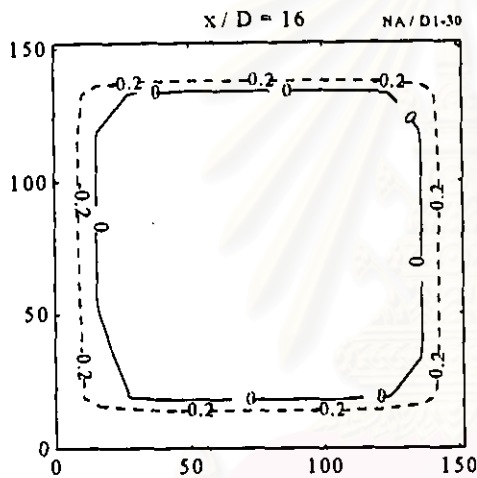
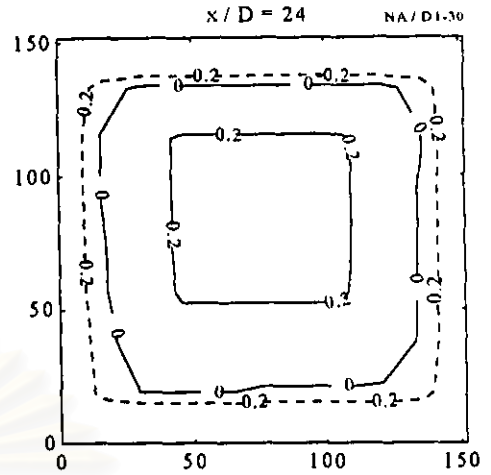
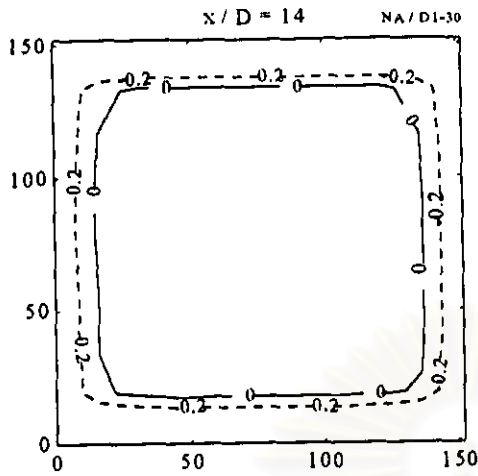
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



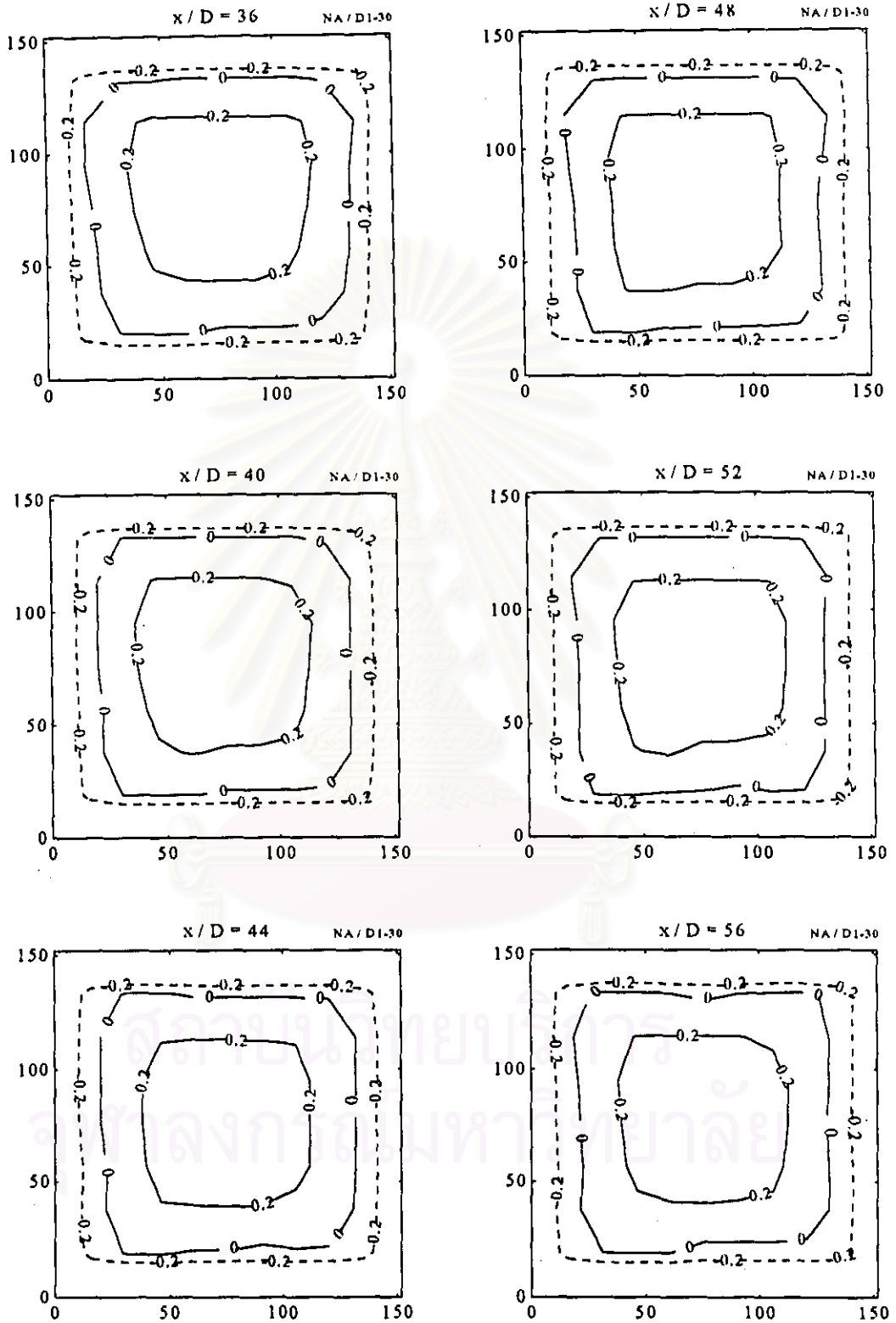
รูปที่ 4.14 Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-30 ที่ $x/D = -2, 1, 2, 3, 4$ และ 5



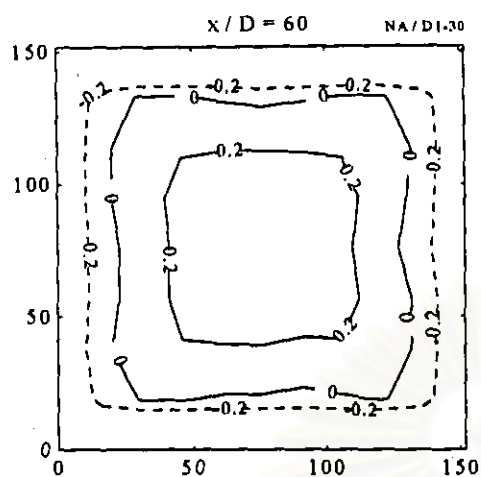
รูปที่ 4.14(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-30
ที่ $x/D = 6, 7, 8, 9, 10$ และ 12



รูปที่ 4.14(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-30
ที่ $x/D = 14, 16, 20, 24, 28$ และ 32

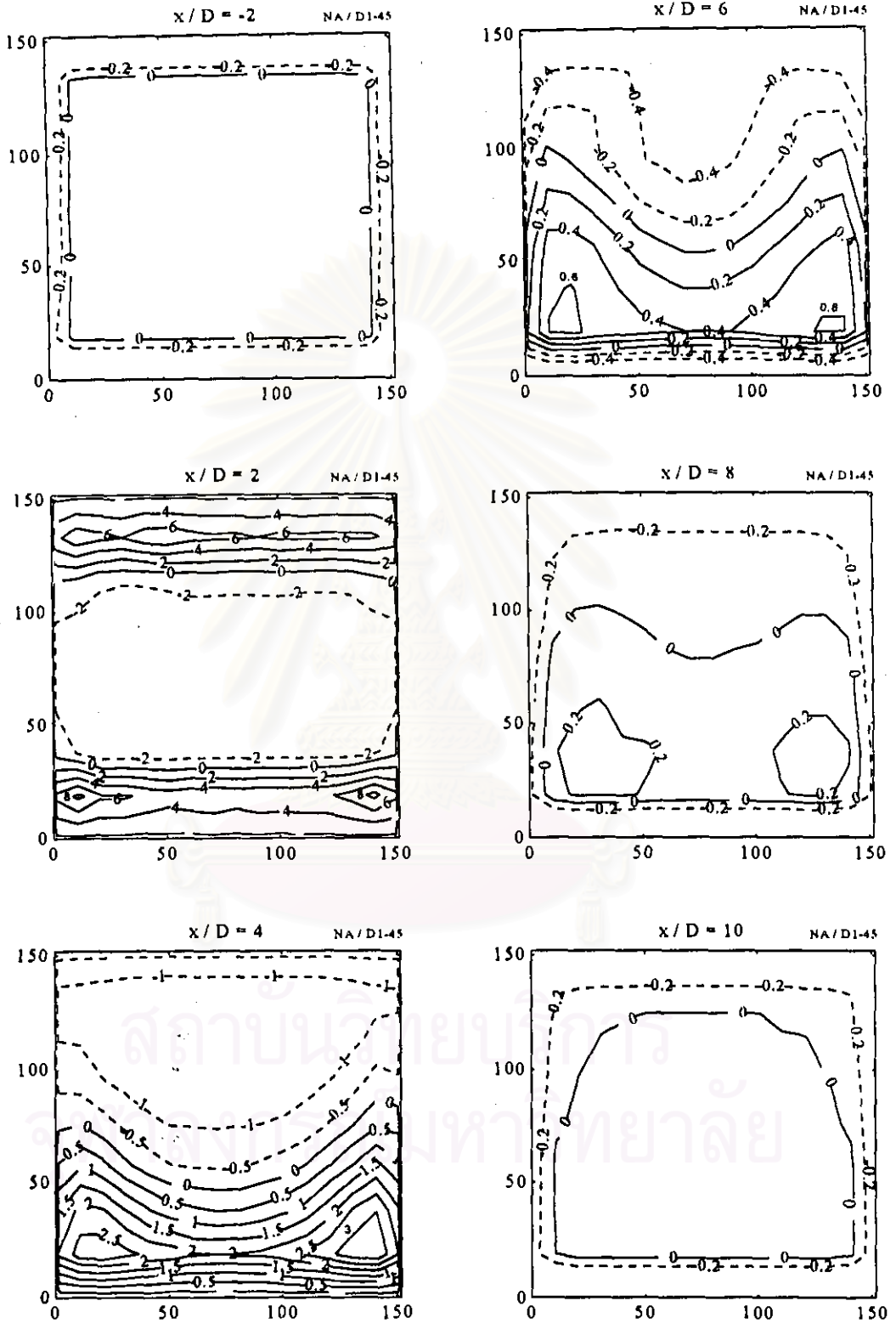


รูปที่ 4.14(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-30 ที่ $x/D = 36, 40, 44, 48, 52$ และ 56

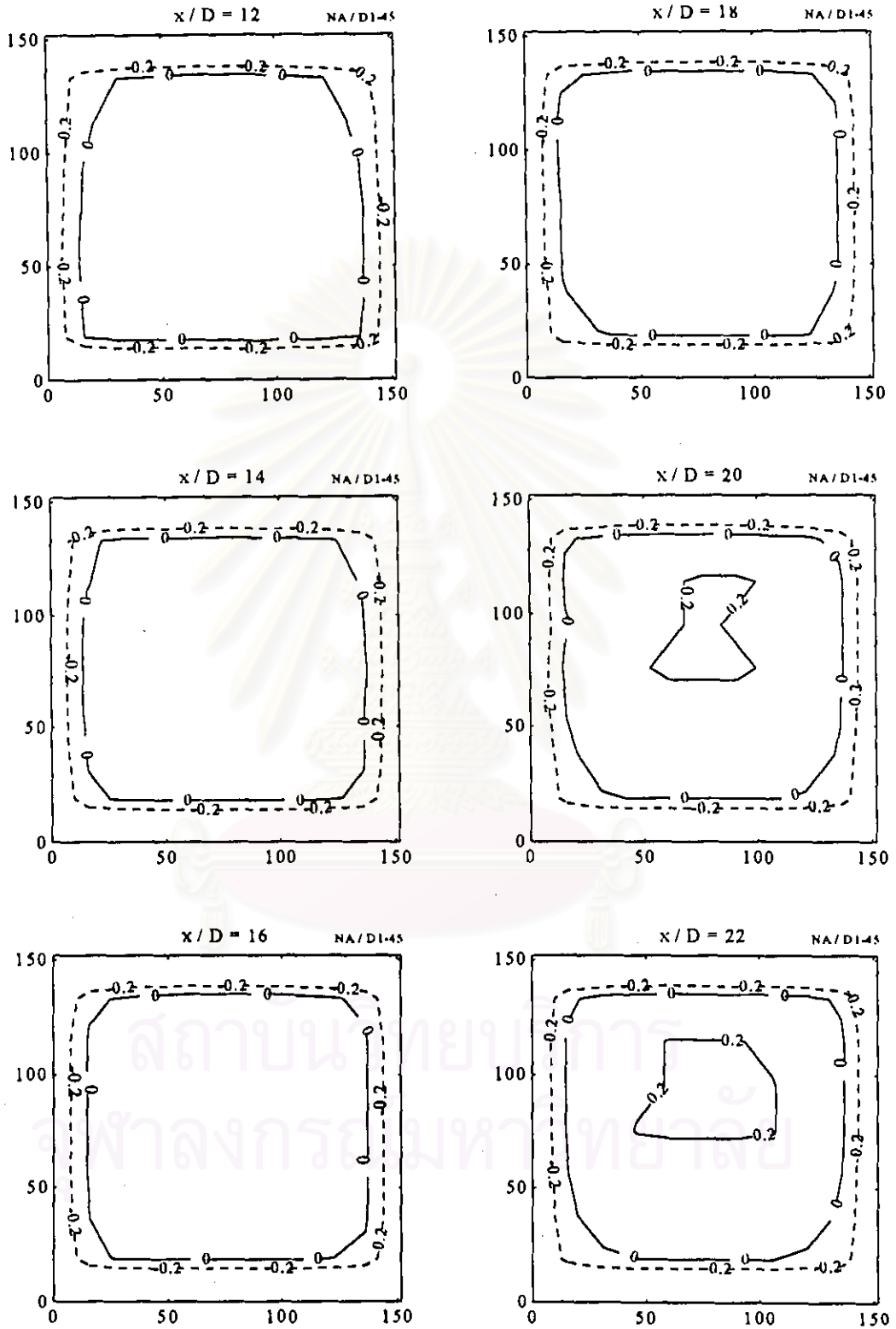


รูปที่ 4.14(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-30 ที่ $x/D = 60$

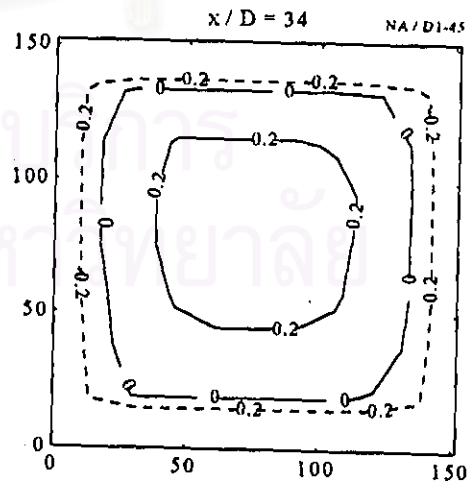
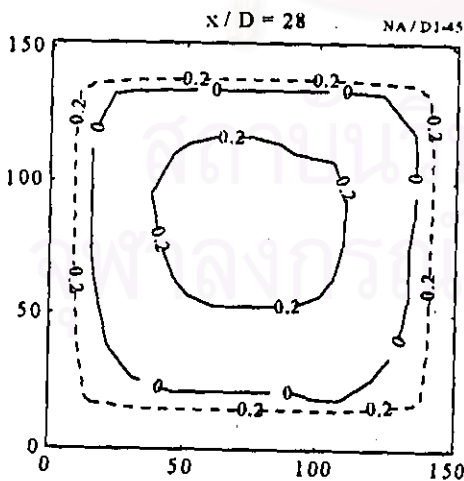
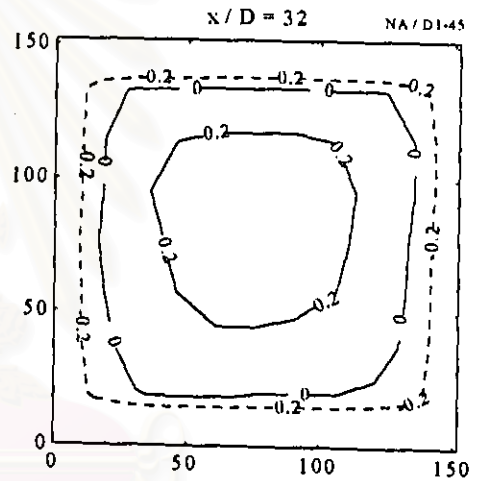
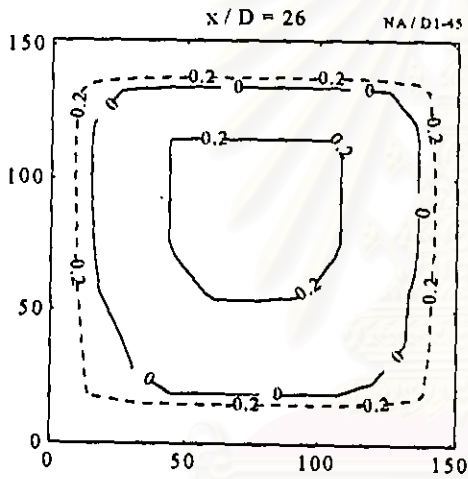
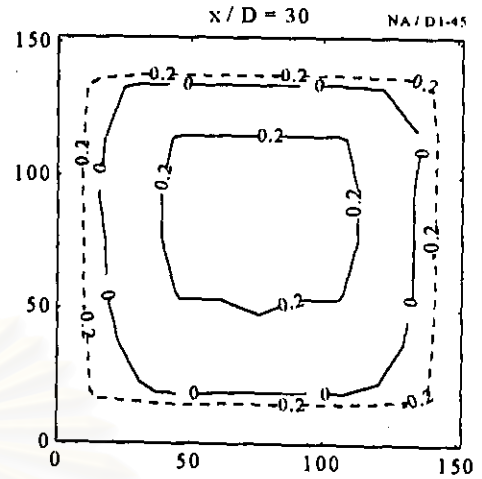
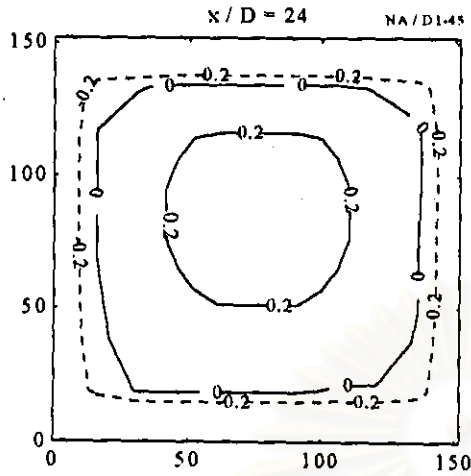
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



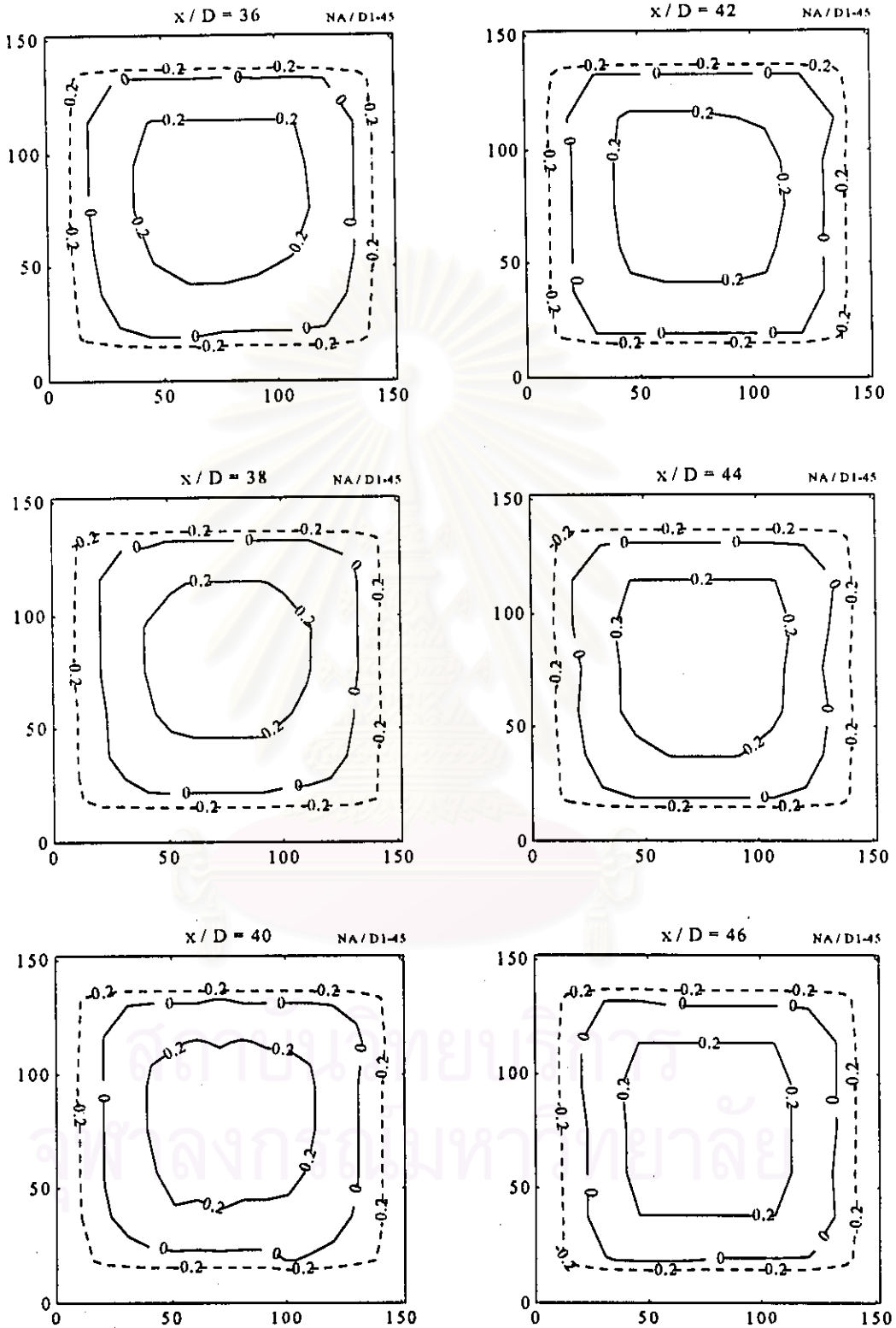
รูปที่ 4.15 Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-45 ที่ $x/D = -2, 2, 4, 6, 8$ และ 10



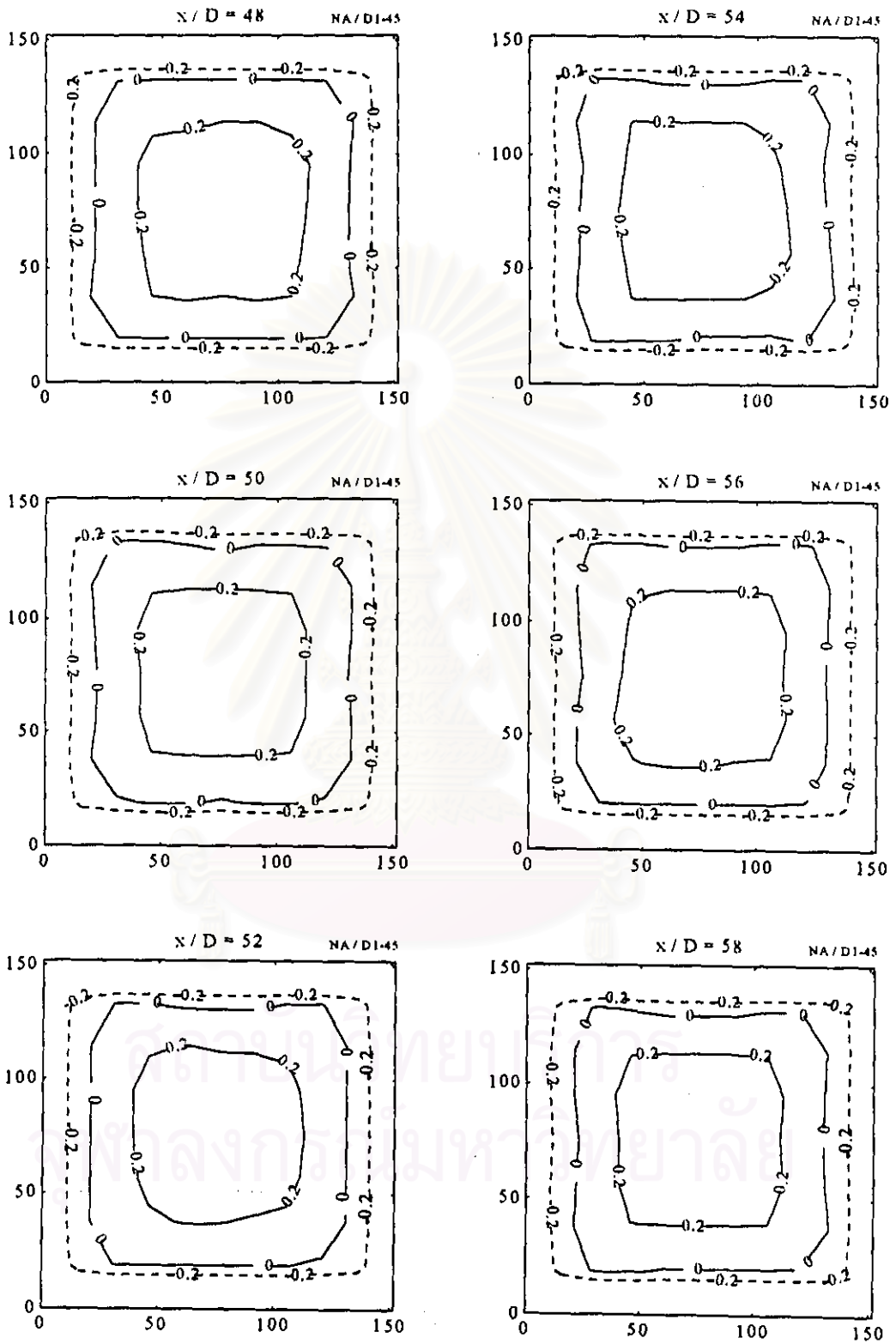
รูปที่ 4.15(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-45
ที่ $x/D = 12, 14, 16, 18, 20$ และ 22



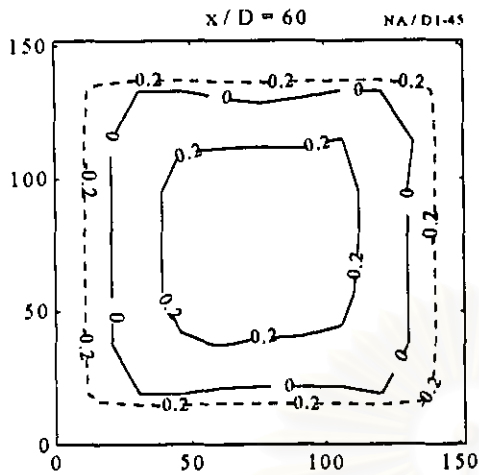
รูปที่ 4.15(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-45
ที่ $x/D = 24, 26, 28, 30, 32$ และ 34



รูปที่ 4.15(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-45
ที่ $x/D = 36, 38, 40, 42, 44$ และ 46

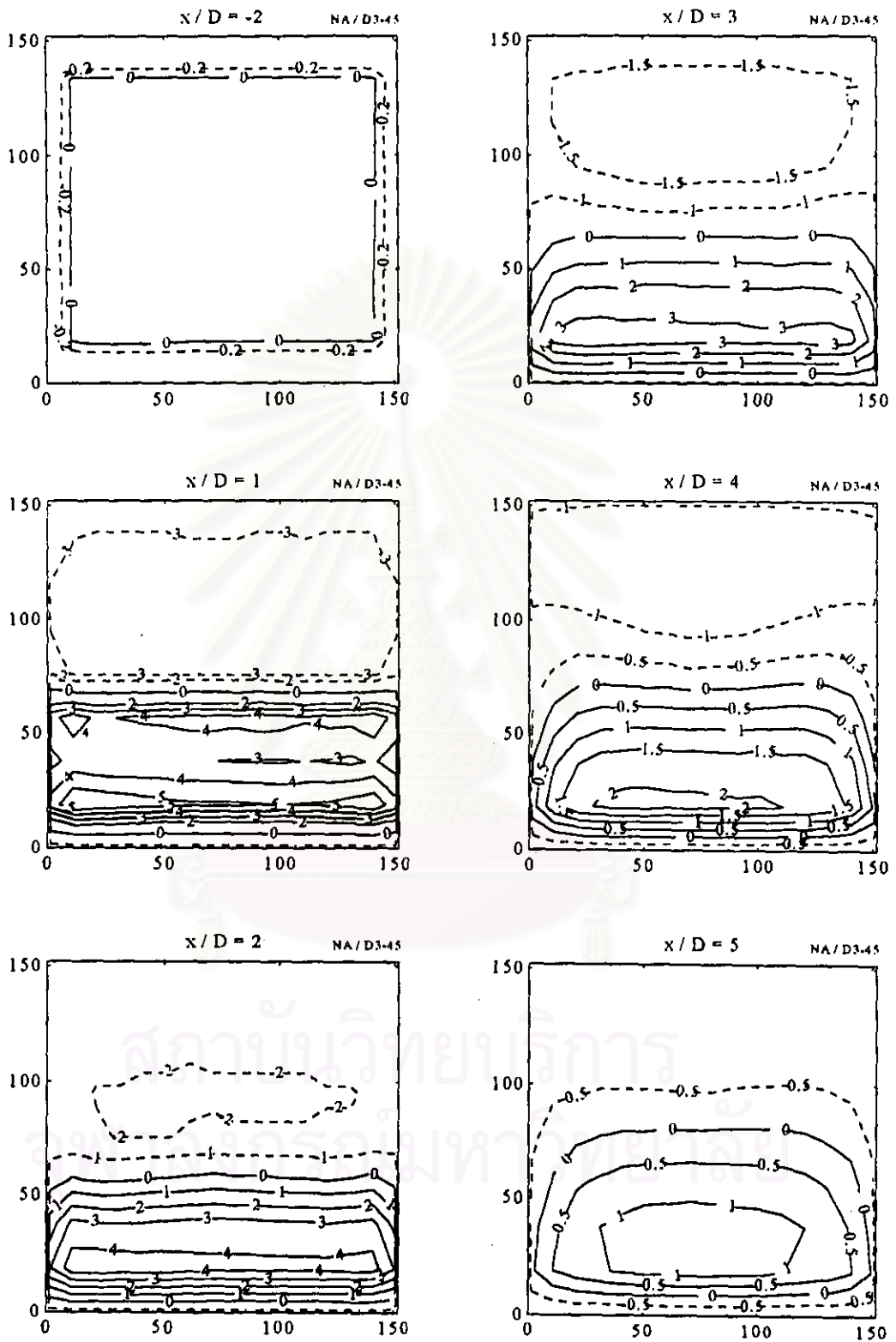


รูปที่ 4.15(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-45
ที่ $x/D = 48, 50, 52, 54, 56$ และ 58

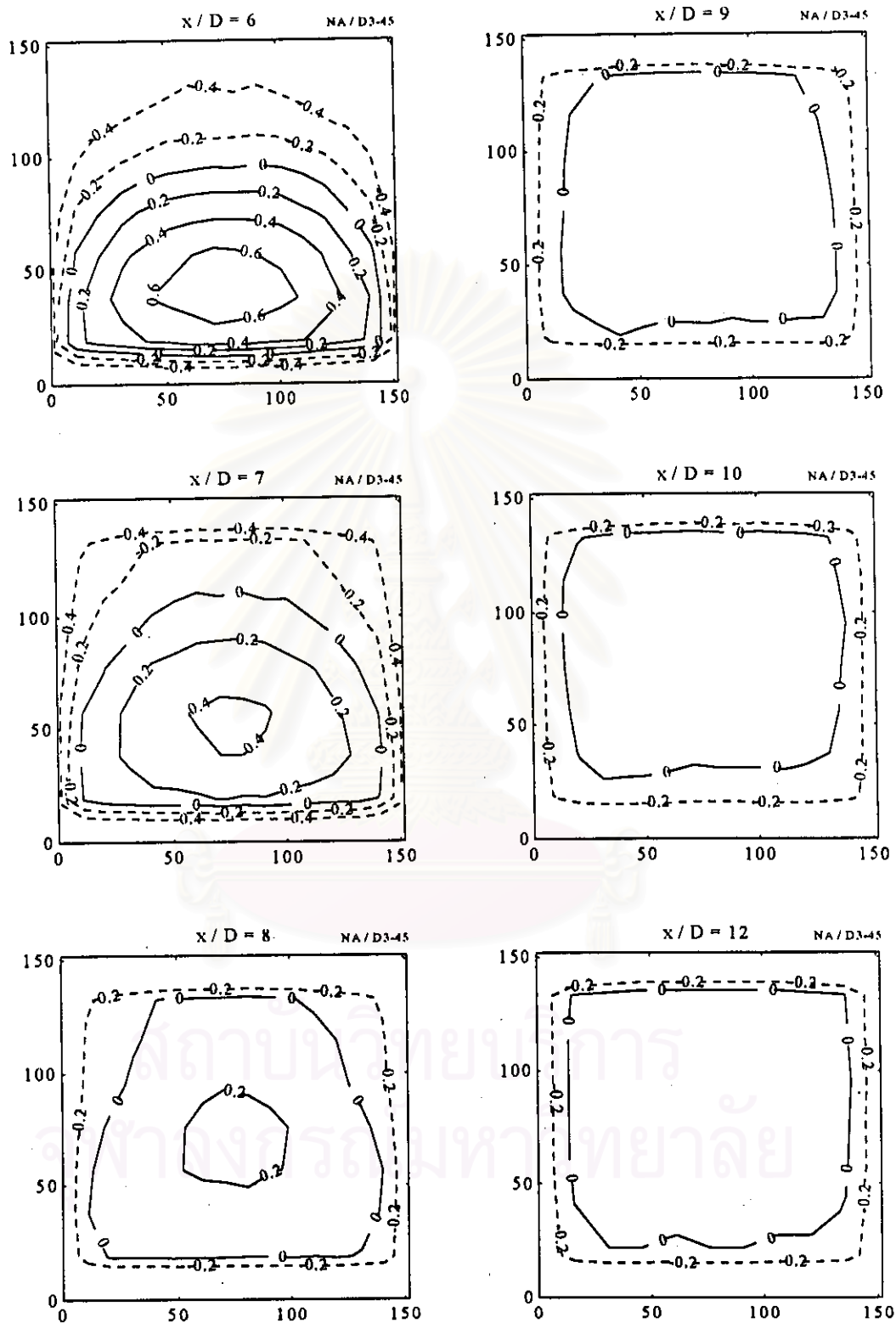


รูปที่ 4.15(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-45
ที่ $x/D = 60$

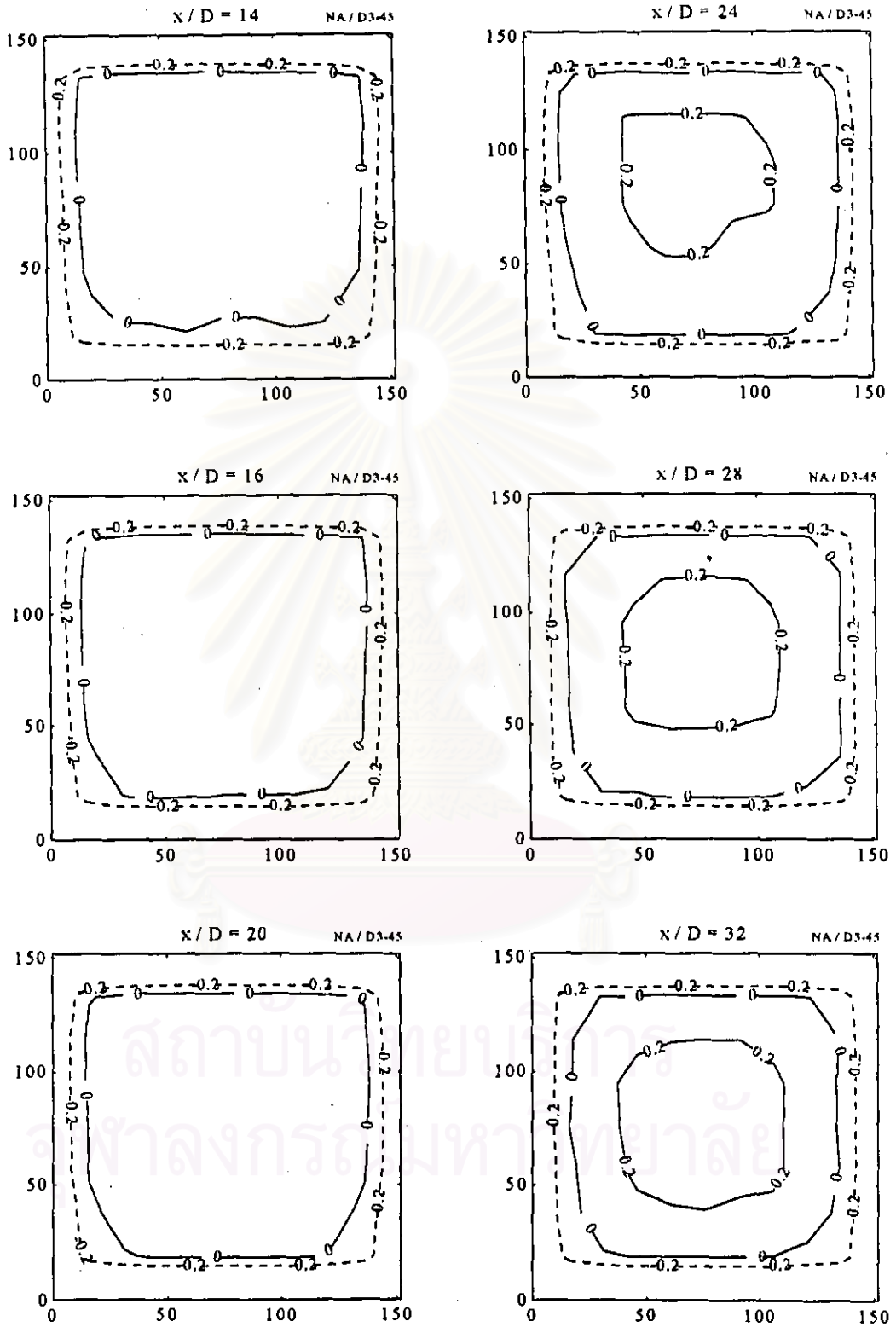
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



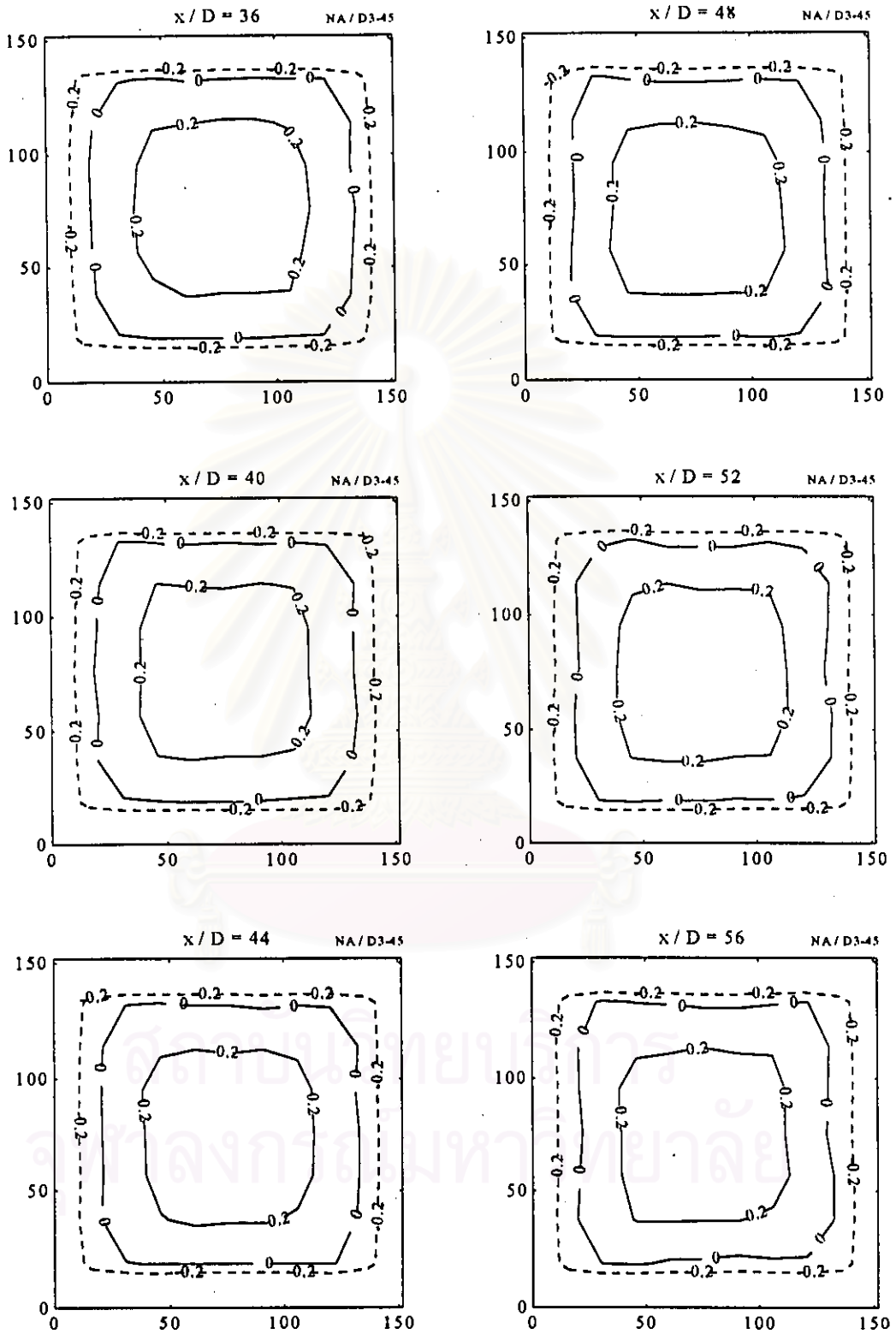
รูปที่ 4.16 Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D3-45 ที่ $x/D = -2, 1, 2, 3, 4$ และ 5



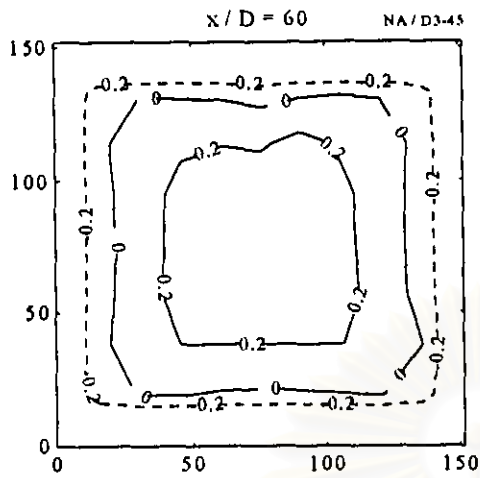
รูปที่ 4.16(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D3-45
ที่ $x/D = 6, 7, 8, 9, 10$ และ 12



รูปที่ 4.16(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D3-45
ที่ $x/D = 14, 16, 20, 24, 28$ และ 32

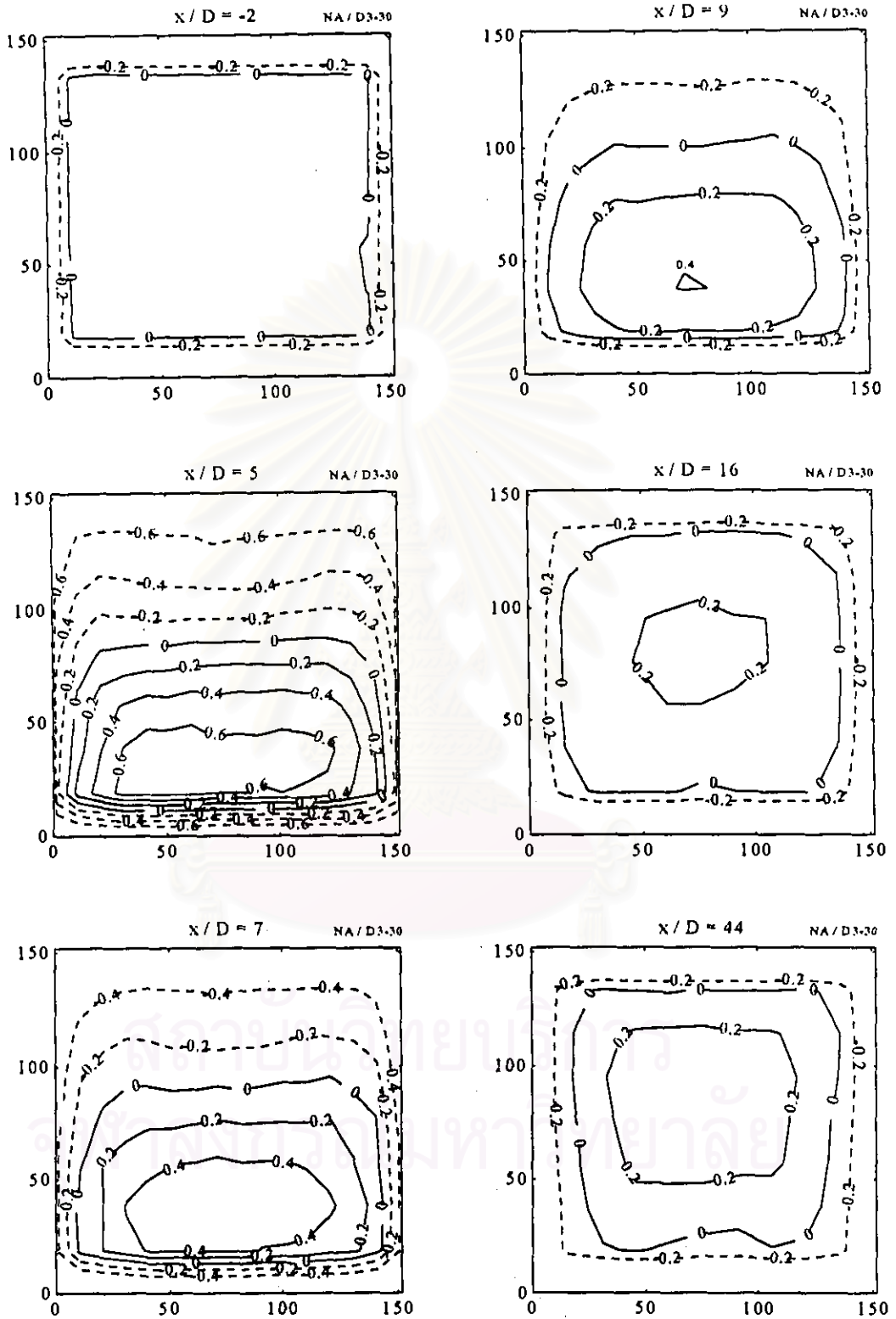


รูปที่ 4.16(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D3-45
ที่ $x/D = 36, 40, 44, 48, 52$ และ 56

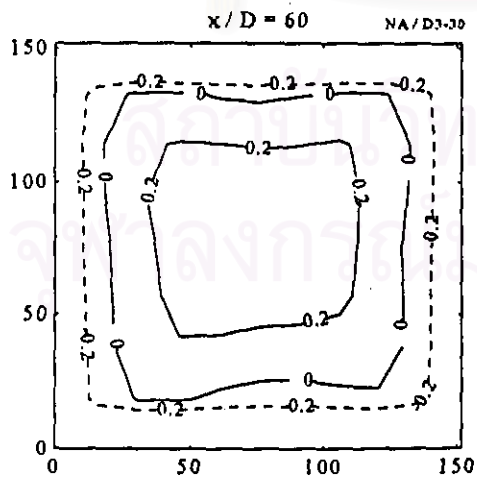
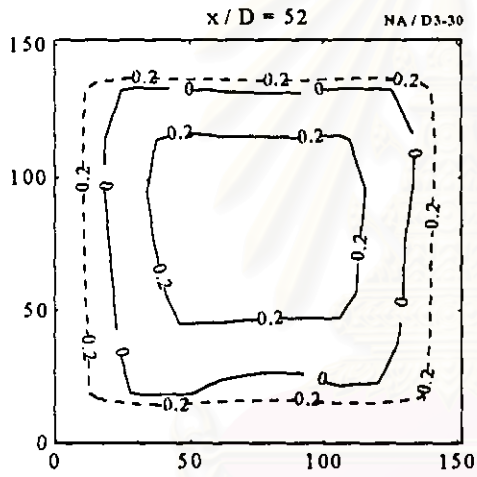
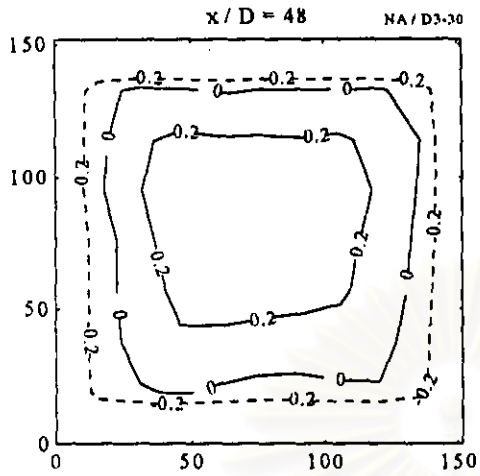


รูปที่ 4.16(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D3-45
ที่ $x/D = 60$

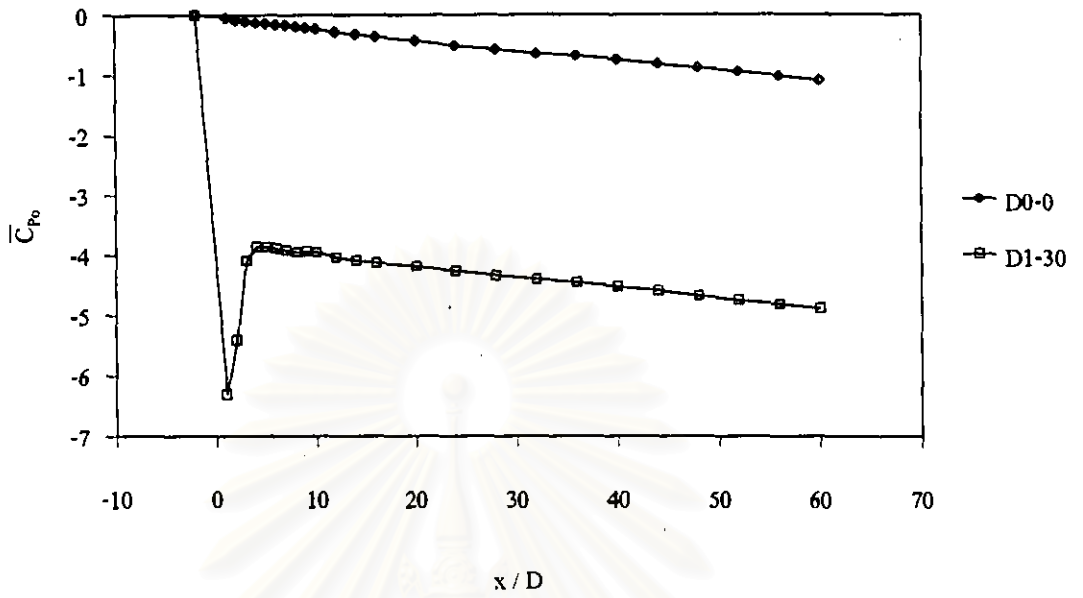
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



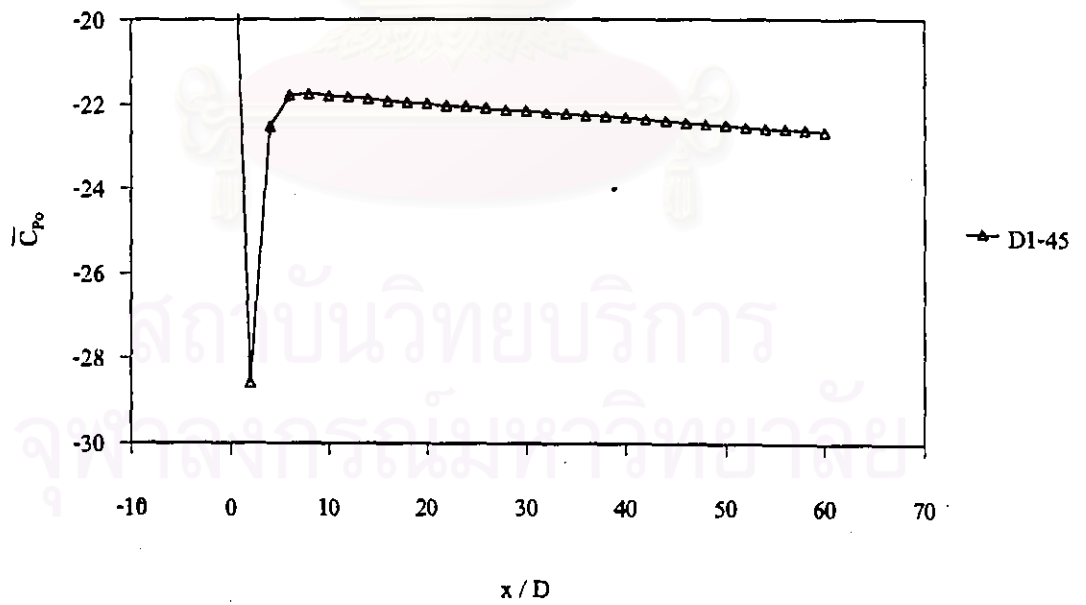
รูปที่ 4.17 Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวม ภายในหน้าตัด กรณี D3-30 ที่ $x/D = -2, 5, 7, 9, 16, 44$



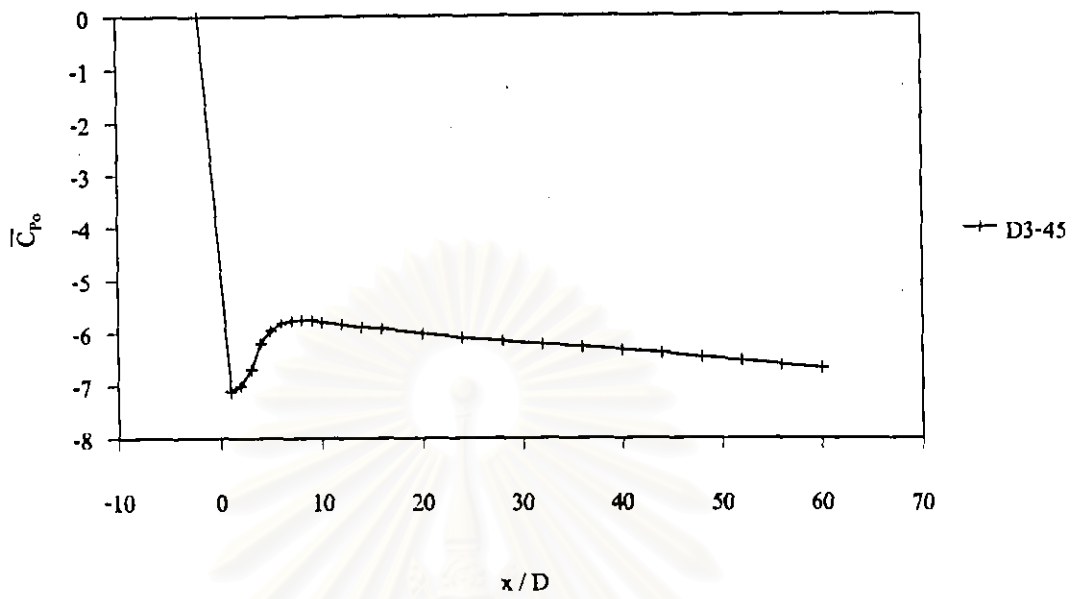
รูปที่ 4.17(ต่อ) Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวม ภายในหน้าตัด กรณี D3-30
ที่ $x/D = 48, 52$ และ 60



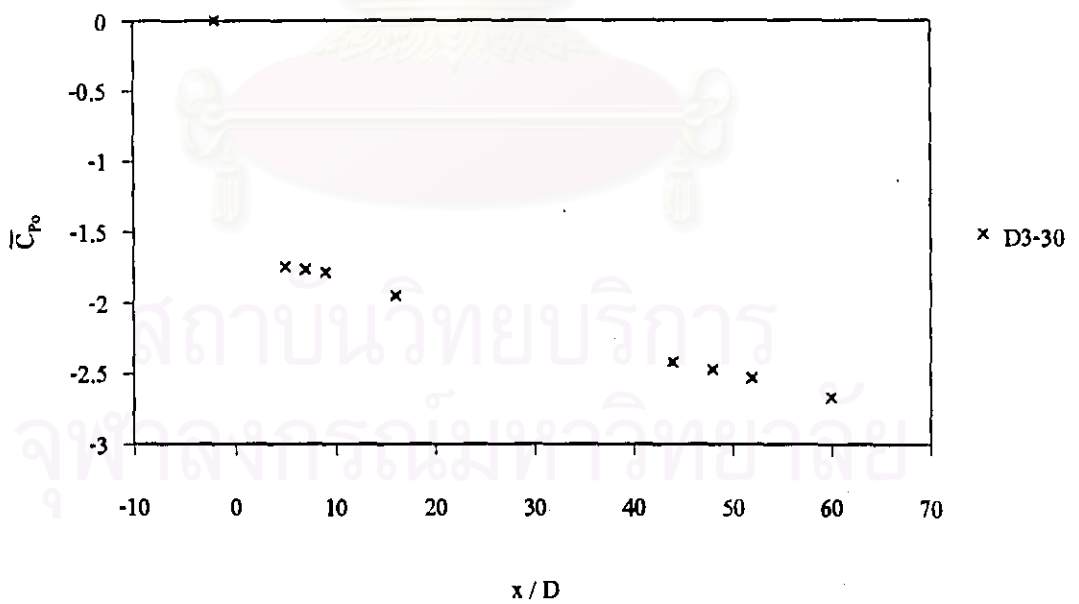
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันรวมตามความยาวท่อ กรณี D0-0 และ D1-30



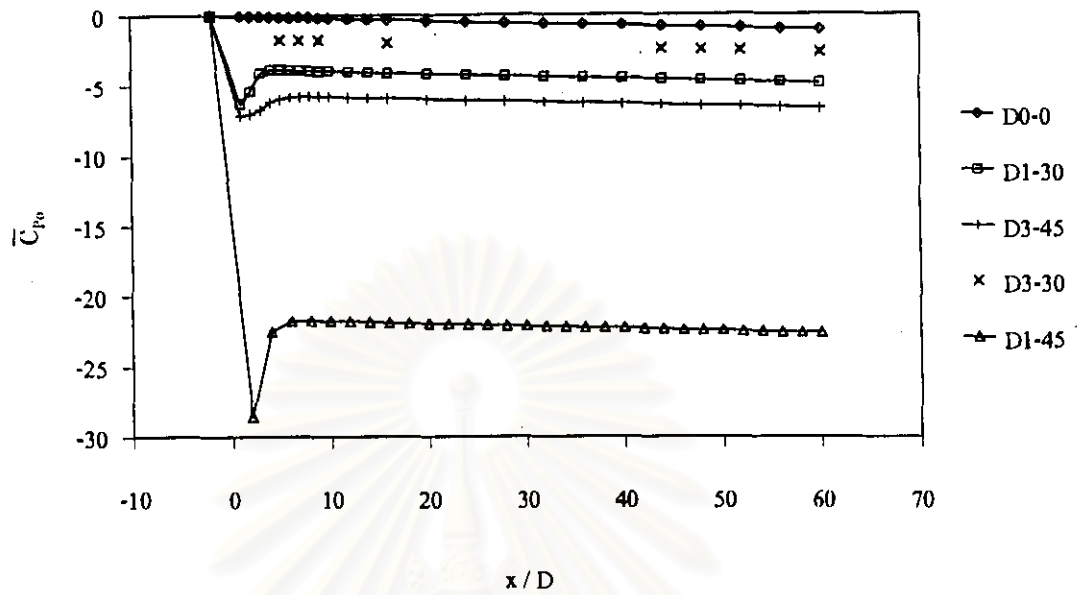
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันรวมตามความยาวท่อ กรณี D1-45



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันรวมตามความยาวท่อ กรณี D3-45

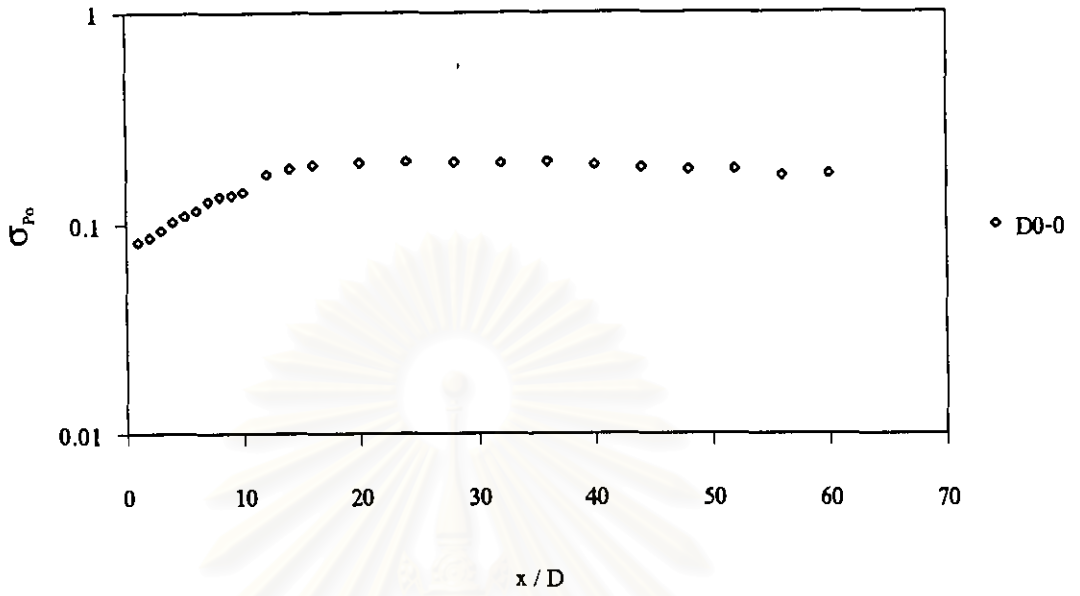


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันรวมตามความยาวท่อ กรณี D3-30

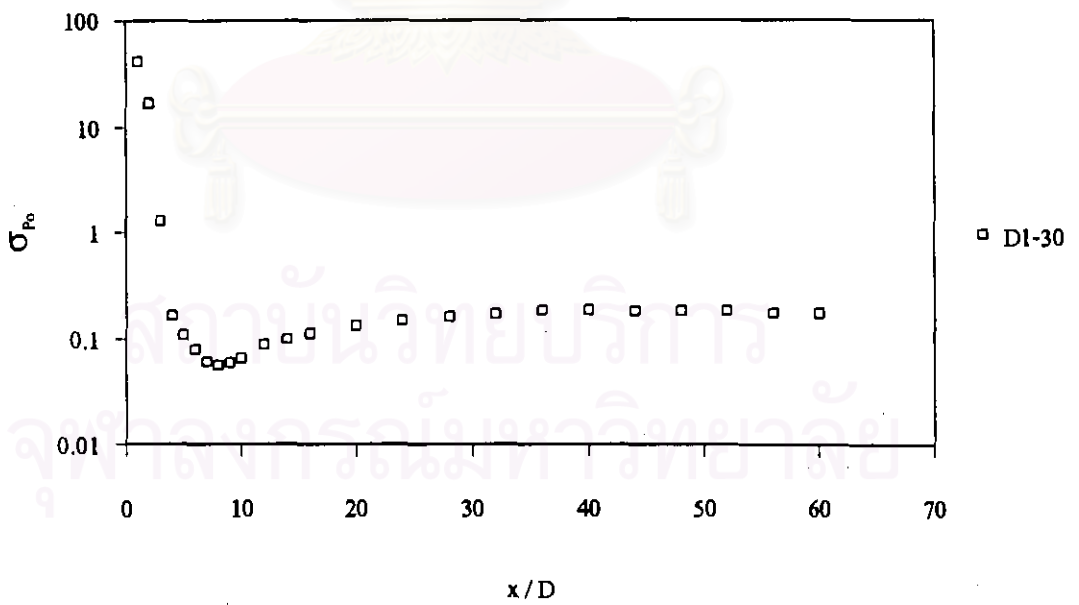


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันรวมตามความยาวท่อของทุกกรณีทดลอง

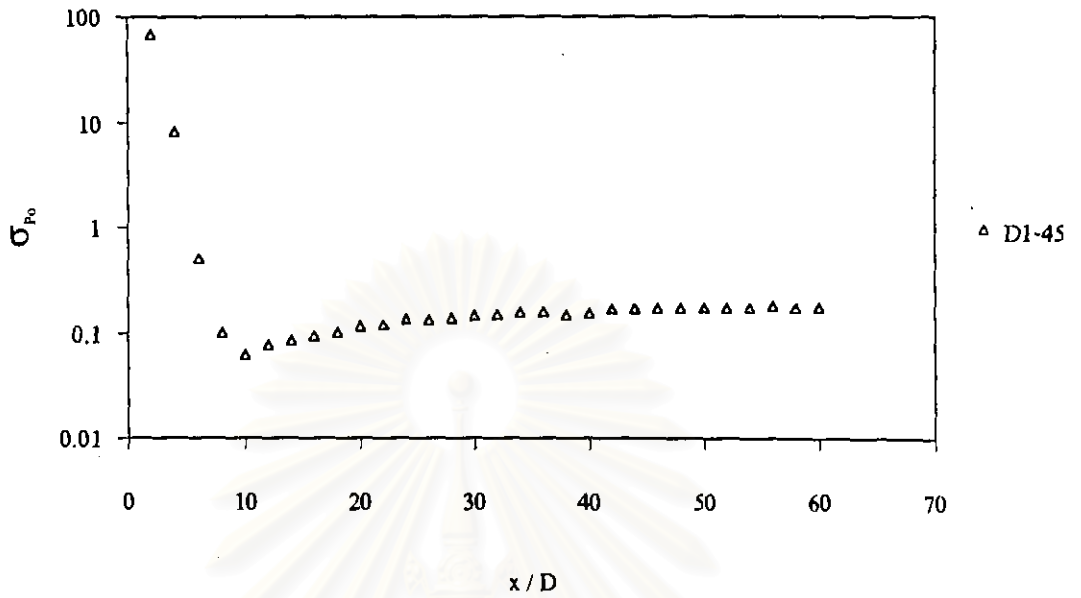
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



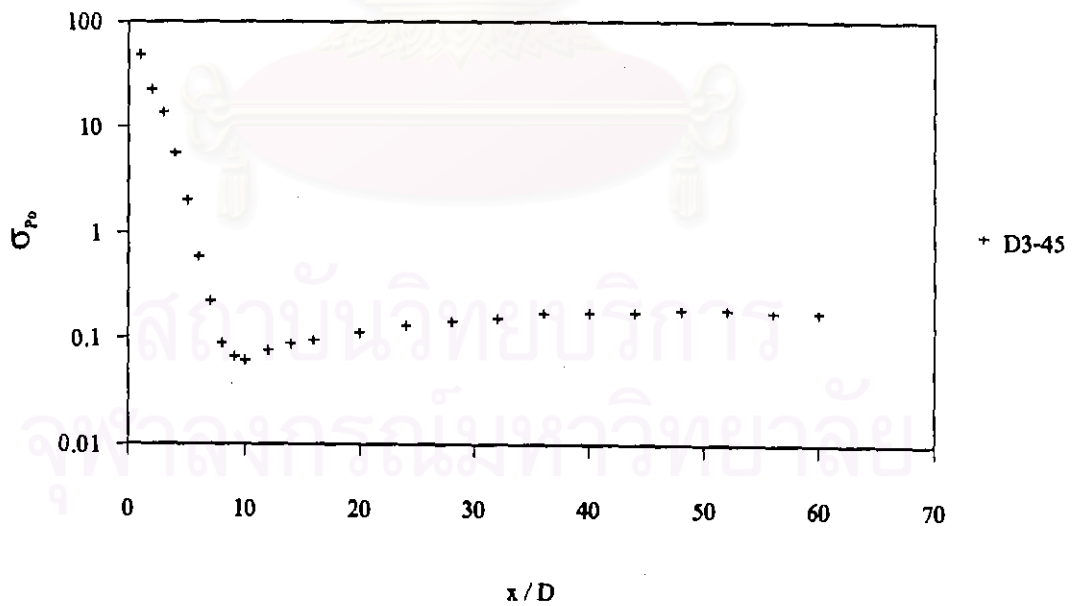
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวม กรณี D0-0



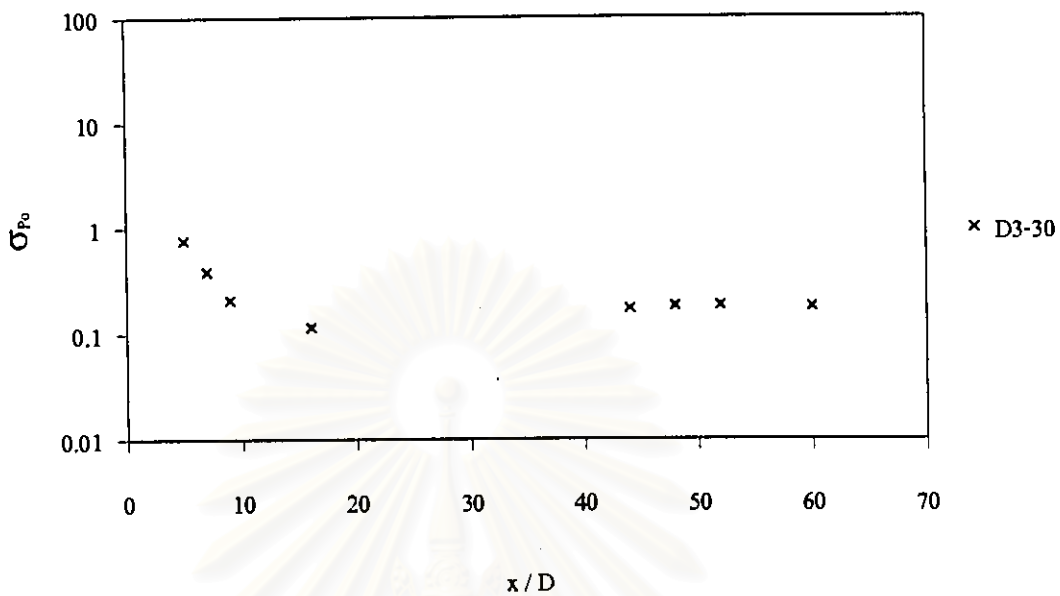
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวม กรณี D1-30



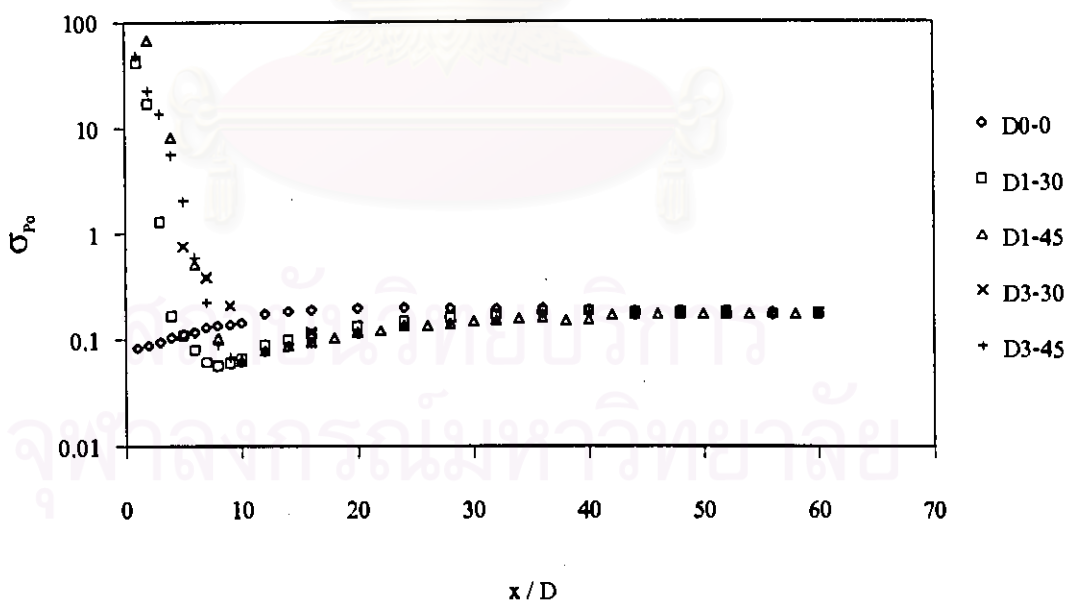
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวม กรณี D1-45



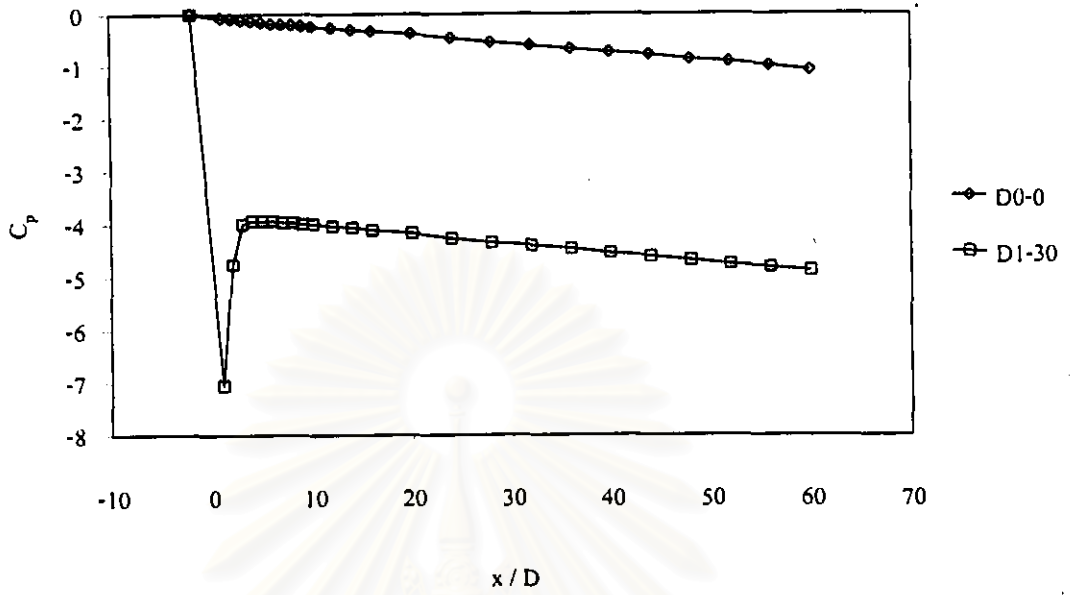
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวม กรณี D3-45



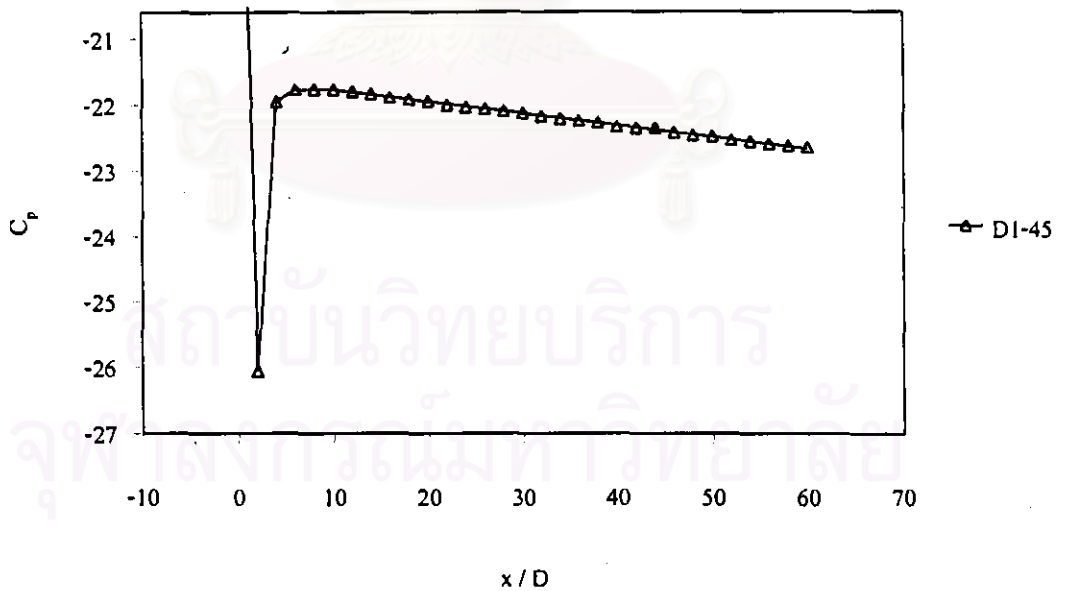
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวม กรณี D3-30



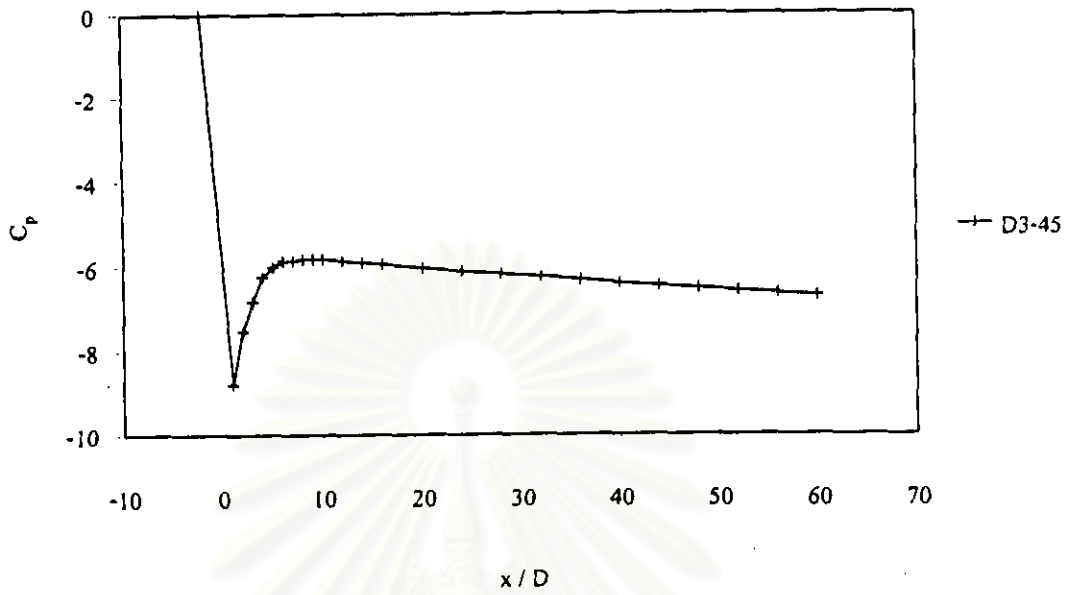
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวมของทุกกรณีทดลอง



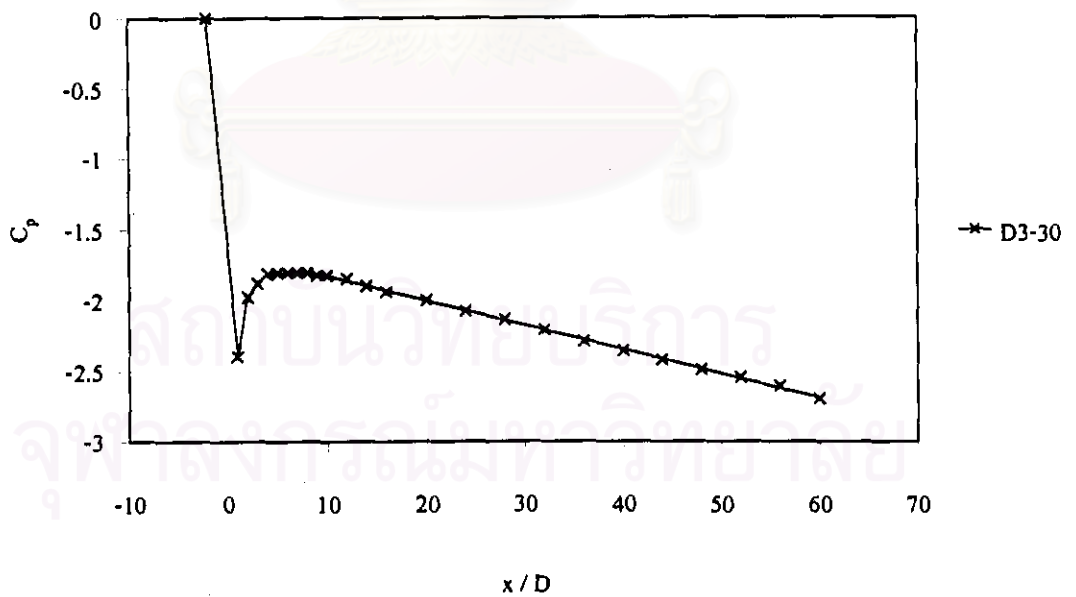
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันสถิตตามความยาวท่อ กรณี D0-0 และ D1-30



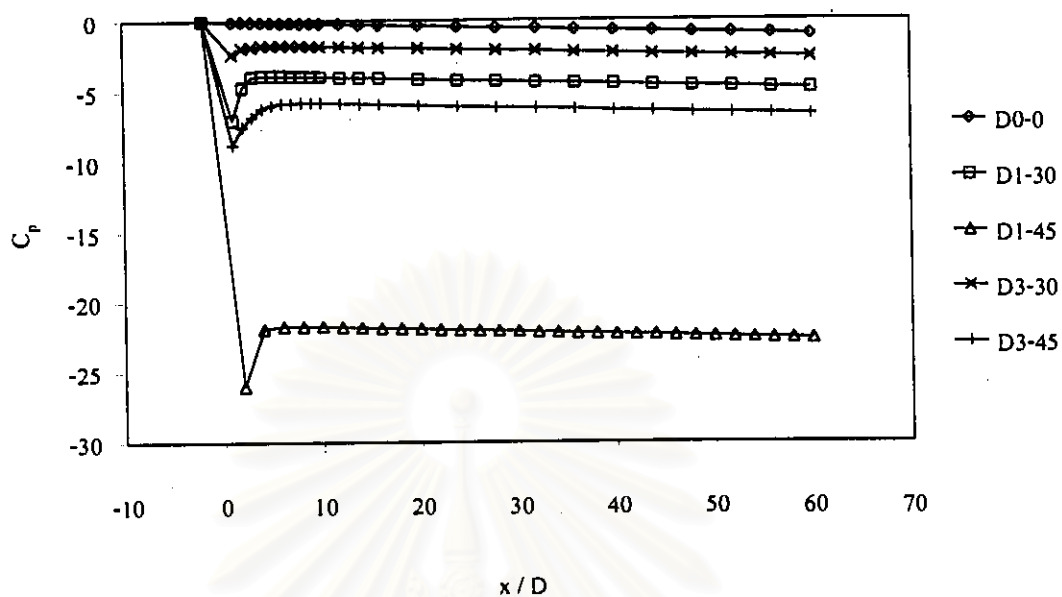
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันสถิตตามความยาวท่อ กรณี D1-45



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันสถิตตามความยาวท่อ กรณี D3-45

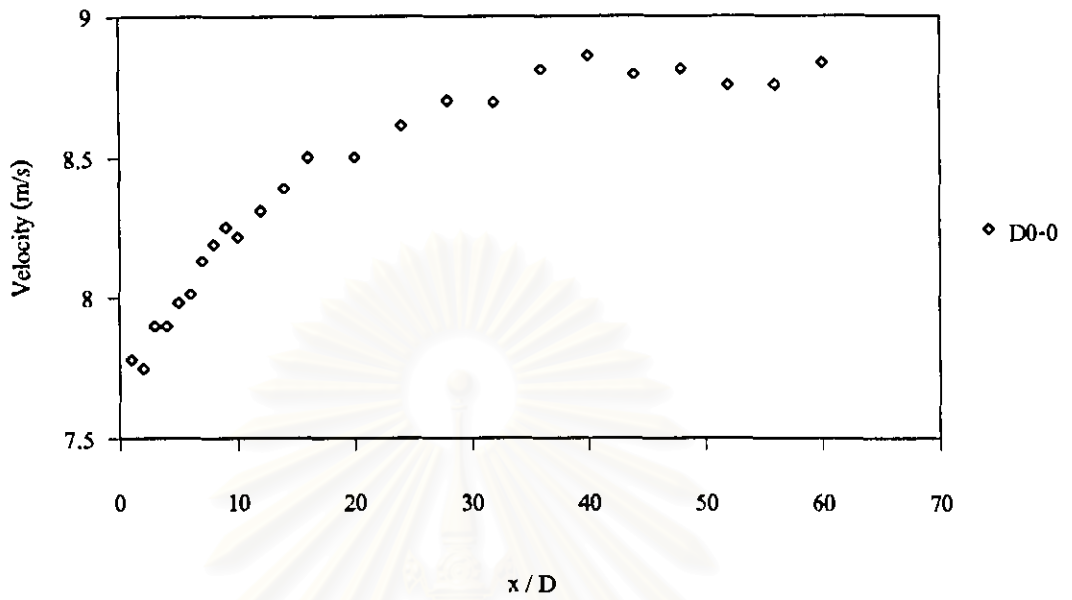


รูปที่ 4.32 กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันสถิตตามความยาวท่อ กรณี D3-30

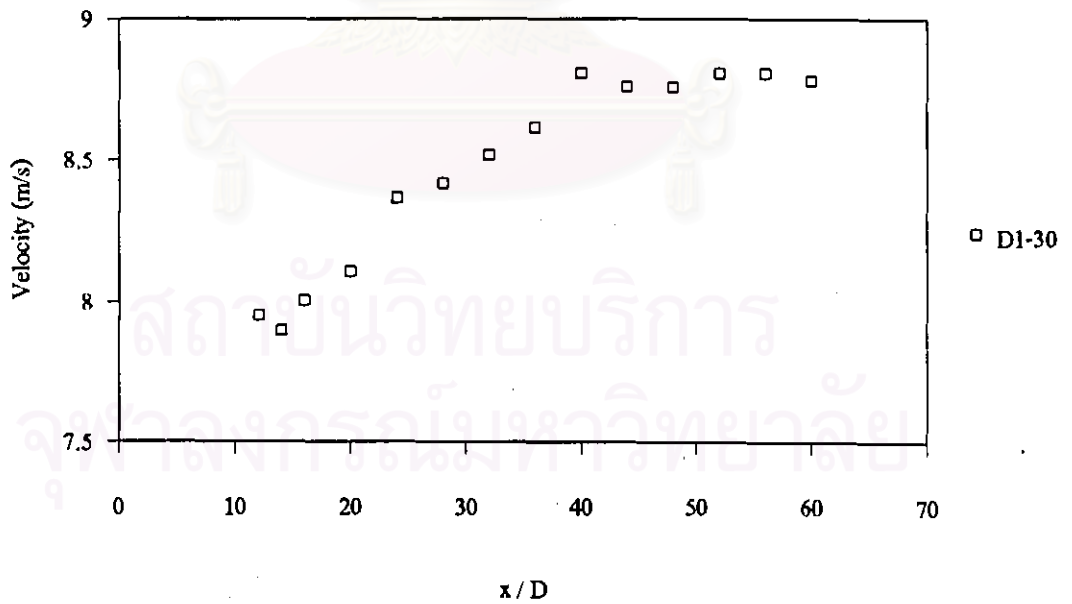


รูปที่ 4.33 กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันสถิตตามความยาวท่อของทุกรณีทดลอง

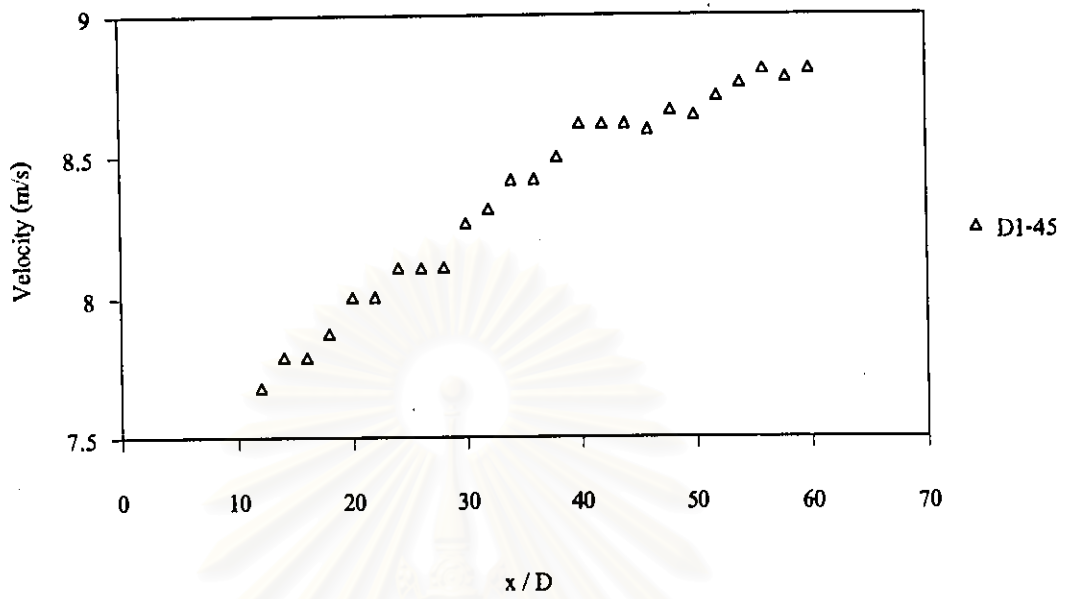
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



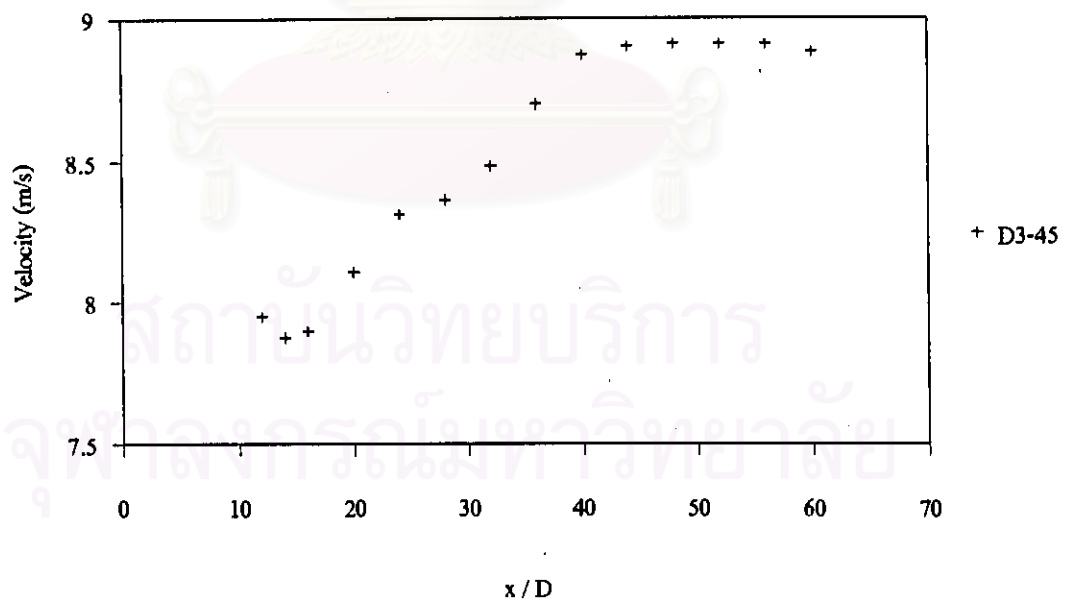
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ กรณี D0-0



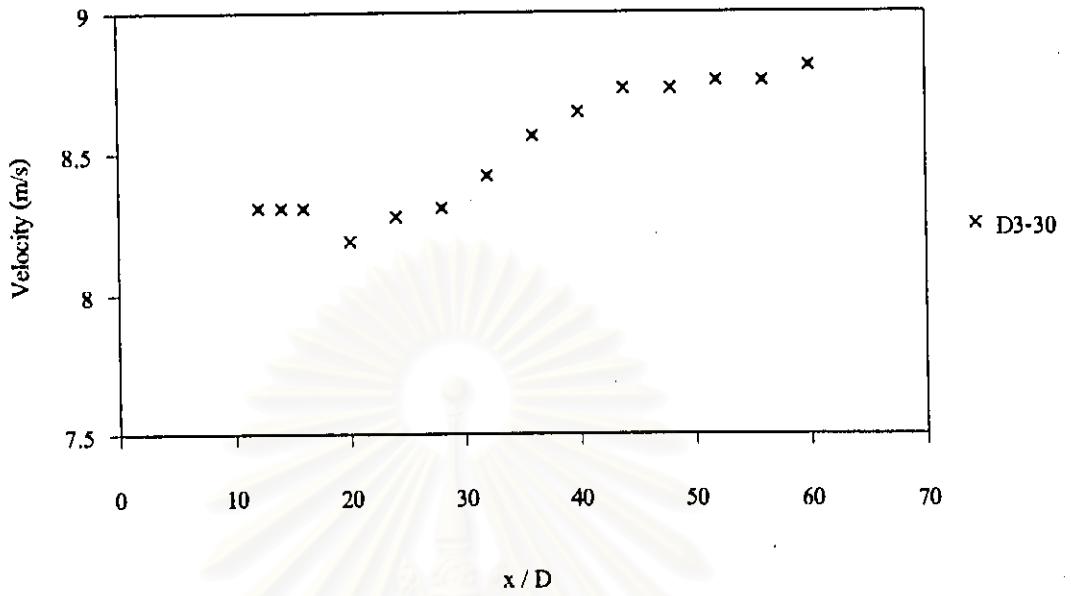
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ กรณี D1-30



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ กรณี D1-45

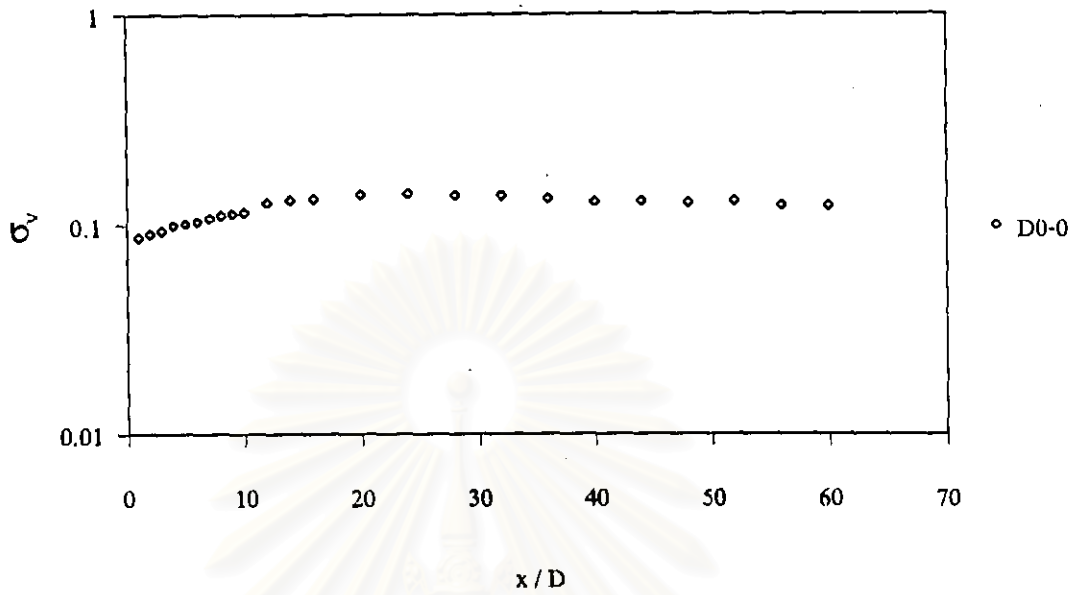


รูปที่ 4.37 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ กรณี D3-45

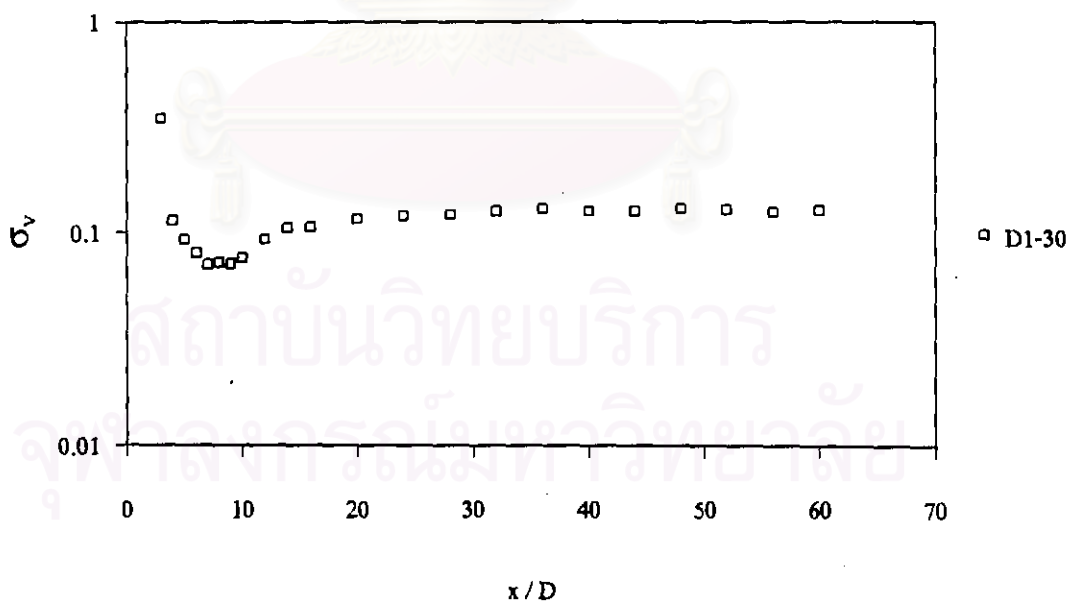


รูปที่ 4.38 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ กรณี D3-30

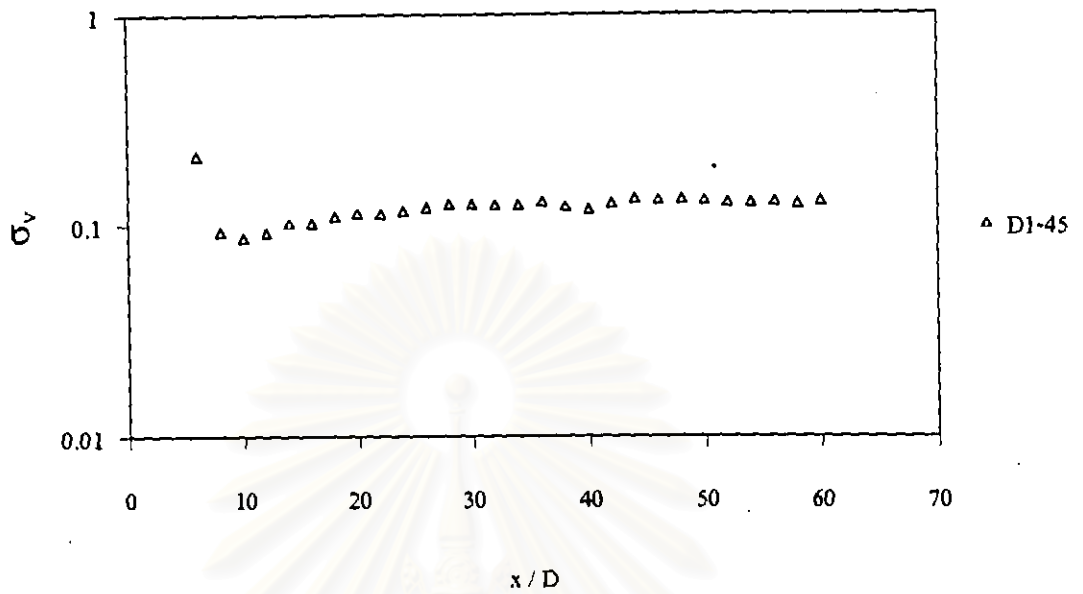
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



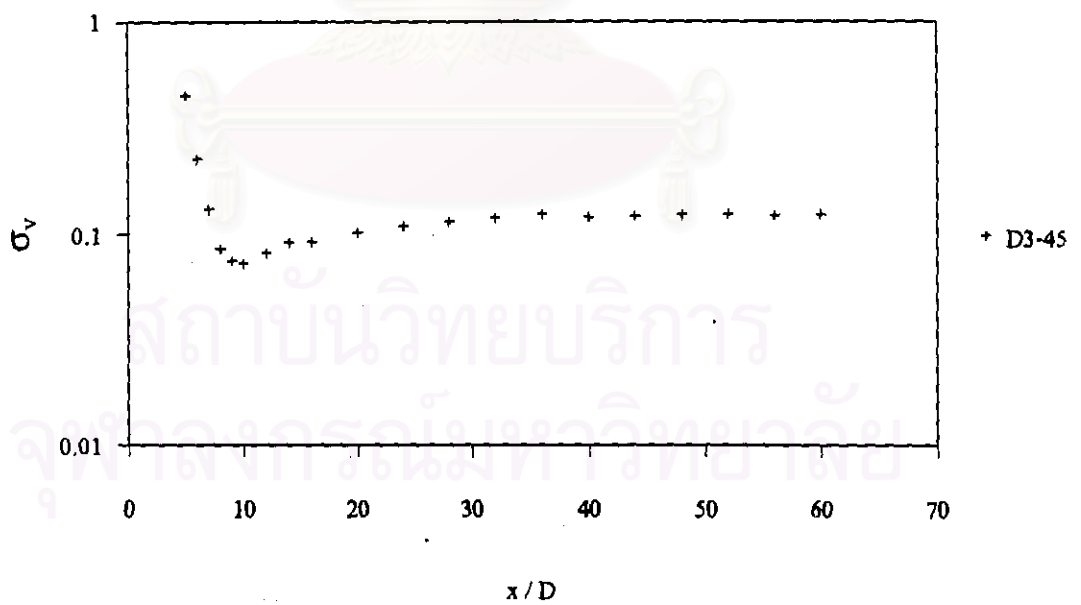
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่หน้าตัดต่าง ๆ กรณี D0-0



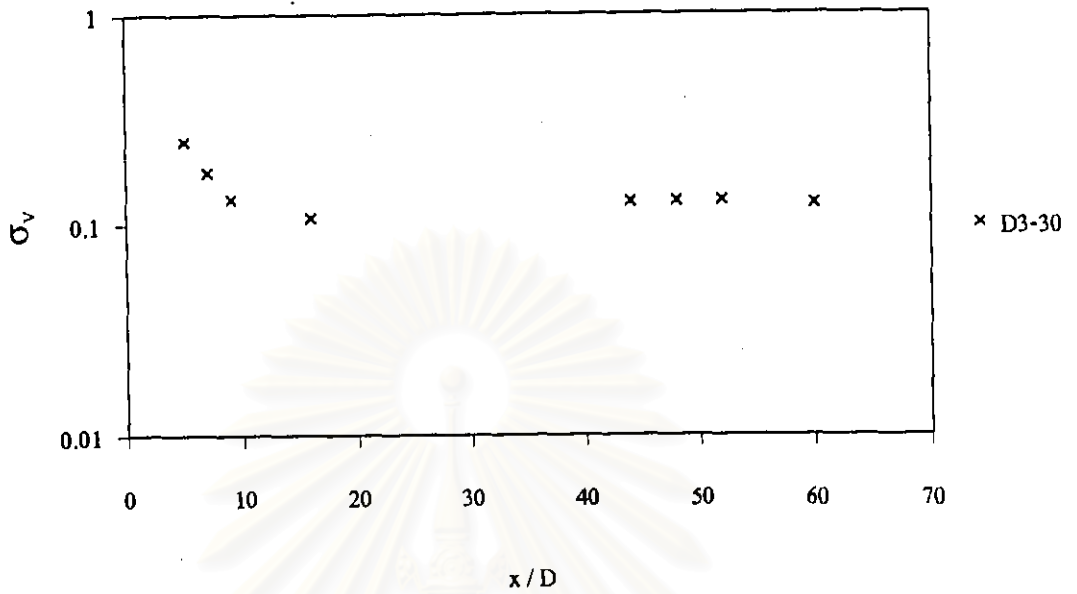
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่หน้าตัดต่าง ๆ กรณี D1-30



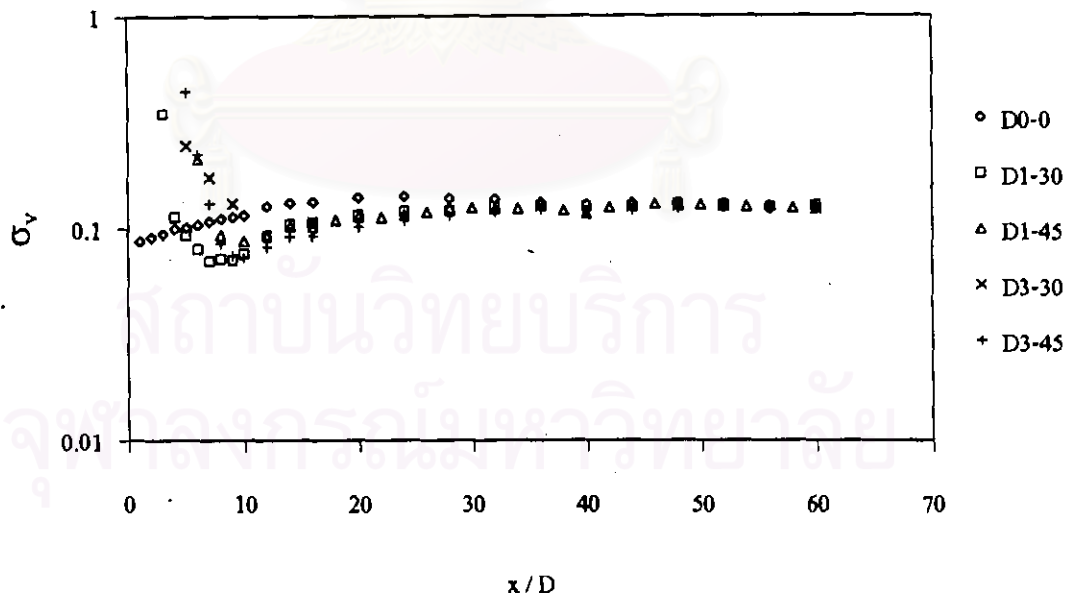
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่หน้าตัดต่าง ๆ กรณี D1-45



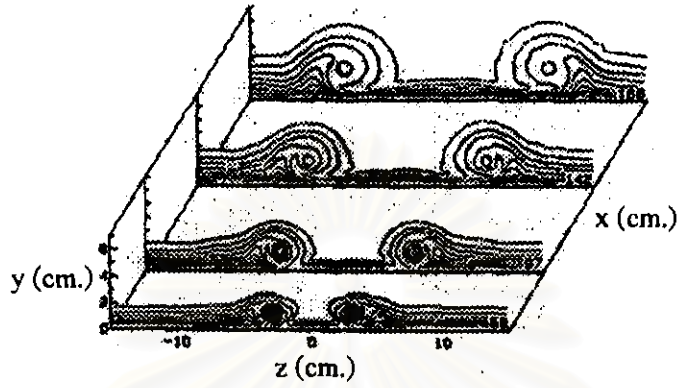
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่หน้าตัดต่าง ๆ กรณี D3-45



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่หน้าตัดต่าง ๆ กรณี D3-30



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่หน้าตัดต่าง ๆ ของทุกกรณีทดลอง



รูปที่ 5.1 ภาพแสดงลักษณะของ vortex แบบ commonflow-down (Pauley และ Eaton(1988))

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย