



เอกสารอ้างอิง

1. Reddy, Y. R. and Kar, Subir, "Theory and Performance of Water Jet Pumps," Journal of Hydraulic Division ASCE, 94 (5), 1261-1281, 1968.
2. Kroll, Edgar A., "The Design of Jet Pumps," Chemical Engineering Progress, 1 (2), 21-24, 1947.
3. Cunningham, R. G., "Jet Pump Theory and Performance with Fluids of High Viscosity," Transaction ASME, 79, 1807, 1957.
4. Silvester, R., "Characteristic and Application of the Water Jet Pumps," La Houille Blanche Grenoble, France, 16, 451, 1961.
5. Mueller, N. H. G., "Water Jet Pump," Journal of the Hydraulic Division ASCE, 90 (3), 83-113, 1964.
6. Cairns, J. R. and Na, T. Y., "Optimum Design of Water Jet Pumps," Transaction ASME, Sr. A, 91 (1), 62-68, 1969.
7. Sanger, N. L., "An Experimental Investigation of Several Low Area Ratio Water Jet Pumps," Transactions ASME, Sr. D, 92 (1), 11-20, 1970.
8. Kotwal, D. C., Reddy, Y. R. and Kar, Subir, "Mixing of Two Concentric Jets," Journal of the Hydraulic Division ASCE, 94 (2), 505-514, 1968.
9. Chhabria, N. D., Reddy, Y.R. and Kar, Subir, "Effect of Mixing of Two Fluids on the Energy Efficiency of Conical Diffusers," Journal

- of Institution of Engineers, India, 50 (11), Part ME6, 315-320, 1970.
10. Raghunathan, S. and Kar, Subir, "Theory and Performance of Conical Diffuser/Exit Duct Combinations," Winter Annual Session of Fluid Engineering Dn., 68-WA/FE 45 ASME, 1968.
 11. Cunningham, R.G., Hansen, A. G. and Na, T. Y., "Jet Pump Cavitation," Transaction ASME, Sr. D, 92 (3), 483-494, 1970.
 12. Stepanoff, A. J., Centrifugal and Axial Flow Pumps, pp. 402-424, John Wiley and Sons, 1967.
 13. B. S. 599, "Methods of Testing Pumps," British Standard Institution, 1966.
 14. PTC 8.2, "Centrifugal Pumps Power Test Code," The American Society of Mechanical Engineers, 1965.
 15. Gasline, J. E. and O'brien, M. P., "The Water Jet Pump," 3 (3), University of California Publication in Engineering, Berkeley, Calif., 1934.
 16. Citrini, D., "Contribution à l'étude des éjecteurs, ou trompes hydrauliques," La Houille Blanche, Vol. 11, pp. 837, Grenoble, France, 1956.
 17. Vogel, R., "Theoretische und Experimentelle Untersuchungen as Strahlapparaten," Maschinenbautechnik, Vol. 5, pp. 619, Berlin, Germany, 1956.

18. Daugherty, R.L., and Ingersoll, A.C., Fluid Mechanics, pp. 196, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N.Y., 5th Edition, 1954.
19. Schulz, F., and Fasol, K. H., Wasserstrahlpumpen zur Förderung von Flüssigkeiten, Springer Verlag, Vienna, Austria, 1958.
20. Helmbold, H. B., "Contribution to Jet Pump Theory," Report No. 294, Univ. of Wichita, Wichita, Kansas, September, 1957.
21. ยิ่งยศ น้ำเงิน, "การปรับปรุงเครื่องสูบน้ำแบบคั่นน้ำไหลตามแนวแกนสำหรับน้ำก้าง," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลจากการทดลองเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต

ภาคผนวก ก.1 ตารางข้อมูล และผลการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบทอยโฆ่ง

ภาคผนวก ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของหัวความดัน และประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบทอยโฆ่ง กับอัตราการไหล

ภาคผนวก ก. 1

ตารางข้อมูล และผลการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบทอยโซ่ง

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลซึ่งได้จากการทดสอบเครื่องสูบน้ำแบบทอยโฆ่ง ครั้งที่ 1

FLOW cu.m/hr	OUTLET PRESSURE ft.	INLET PRESSURE ft.	DIFFERENT PRESSURE ft.	DIFFERENT PRESSURE m.	ELECTRICAL CONSUMPTION WATT.
0.0	33.0	0.0	33.0	10.06	965
3.8	31.0	0.0	31.0	9.45	1065
4.2	30.5	0.0	30.5	9.30	1075
4.6	30.0	0.0	30.0	9.14	1085
5.0	29.5	0.0	29.5	8.99	1095
5.4	29.0	0.0	29.0	8.84	1105
5.8	28.5	0.0	28.5	8.69	1115
6.2	28.0	0.0	28.0	8.53	1125
6.6	27.5	0.0	27.5	8.38	1135
7.0	27.0	0.0	27.0	8.23	1145
7.4	26.5	0.0	26.5	8.08	1155
7.8	26.0	-0.4	26.4	8.05	1165
8.2	25.5	-0.8	26.3	8.02	1175
8.6	25.0	-1.4	26.4	8.05	1185
9.0	24.0	-1.6	25.6	7.80	1195
9.4	23.0	-1.8	24.8	7.56	1205
9.8	22.0	-2.2	24.2	7.38	1215
10.2	21.0	-2.8	23.8	7.25	1225
10.6	20.0	-3.2	23.2	7.07	1235
11.0	18.0	-3.8	21.8	6.64	1245
11.4	16.0	-4.4	20.4	6.22	1255
11.8	14.0	-5.6	19.6	5.97	1265
12.2	12.0	-6.2	18.2	5.55	1275
12.6	10.0	-6.8	16.8	5.12	1285
13.0	8.0	-7.4	15.4	4.69	1295
13.4	5.0	-8.0	13.0	3.96	1315

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลซึ่งได้จากการทดสอบเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง ครั้งที่ 2

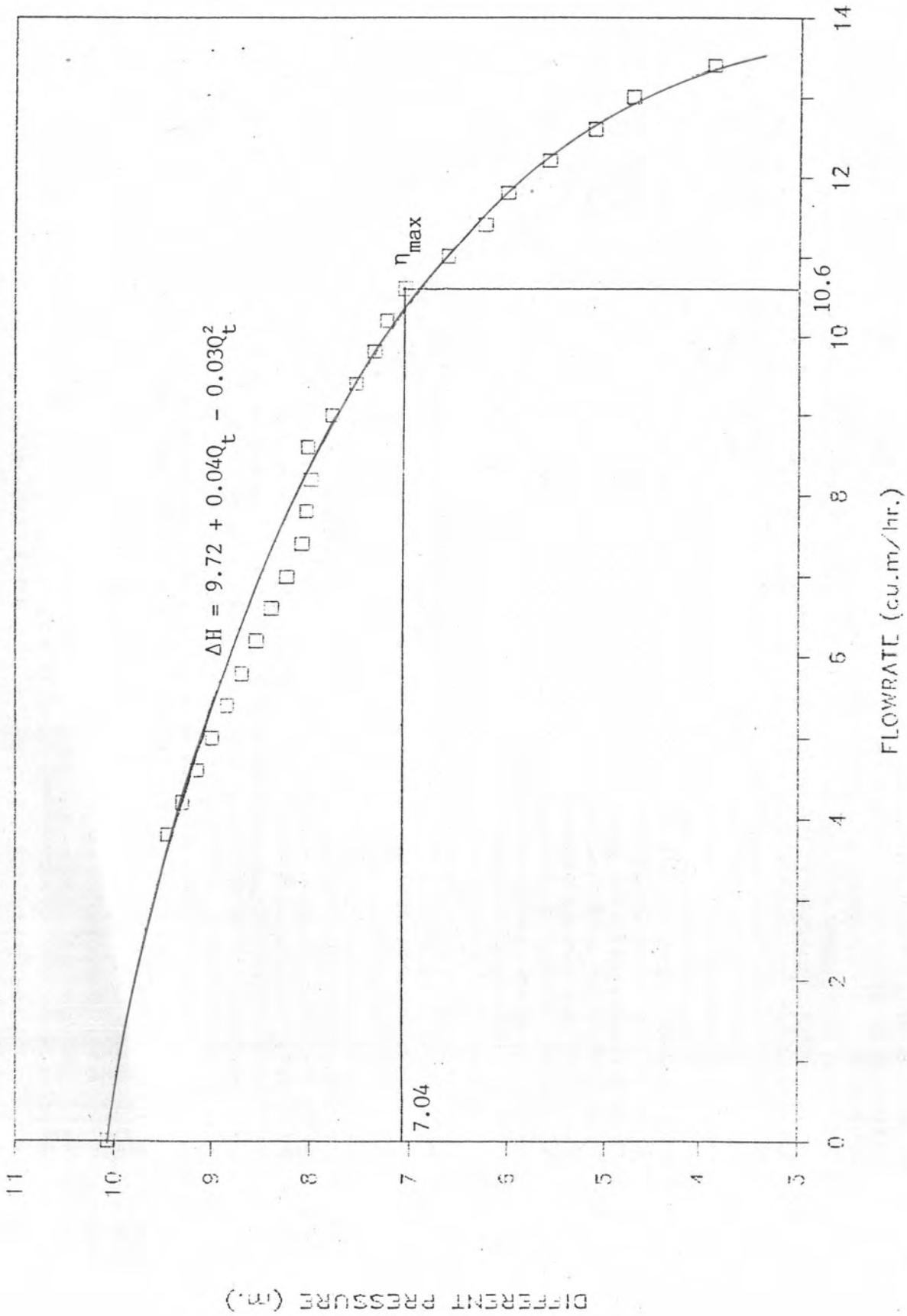
FLOW cu. m/hr	OUTLET PRESSURE ft.	INLET PRESSURE ft.	DIFFERENT PRESSURE ft.	DIFFERENT PRESSURE m.	ELECTRICAL CONSUMPTION WATT.
0.0	33.0	0.0	33.0	10.06	955
3.8	31.0	0.0	31.0	9.45	1050
4.2	30.5	0.0	30.5	9.30	1060
4.6	30.0	0.0	30.0	9.14	1065
5.0	29.5	0.0	29.5	8.99	1075
5.4	29.0	0.0	29.0	8.84	1085
5.8	28.5	0.0	28.5	8.69	1095
6.2	28.0	0.0	28.0	8.53	1105
6.6	27.5	0.0	27.5	8.38	1113
7.0	27.0	0.0	27.0	8.23	1125
7.4	26.5	0.0	26.5	8.08	1135
7.8	26.0	-0.3	26.3	8.02	1145
8.2	25.5	-0.5	26.1	7.96	1155
8.6	25.0	-1.2	26.2	7.99	1165
9.0	24.0	-1.4	25.4	7.74	1175
9.4	23.0	-1.6	24.6	7.50	1185
9.8	22.0	-2.0	24.0	7.32	1195
10.2	21.0	-2.6	23.6	7.19	1205
10.6	20.0	-3.0	23.0	7.01	1215
11.0	18.0	-3.6	21.6	6.58	1225
11.4	16.0	-4.5	20.5	6.25	1235
11.8	14.0	-5.8	19.8	6.04	1245
12.2	12.0	-6.4	18.4	5.61	1255
12.6	10.0	-6.8	16.8	5.12	1265
13.0	8.0	-7.6	15.6	4.75	1275
13.4	4.0	-8.4	12.4	3.78	1320

ตารางที่ ก.3 ผลการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง

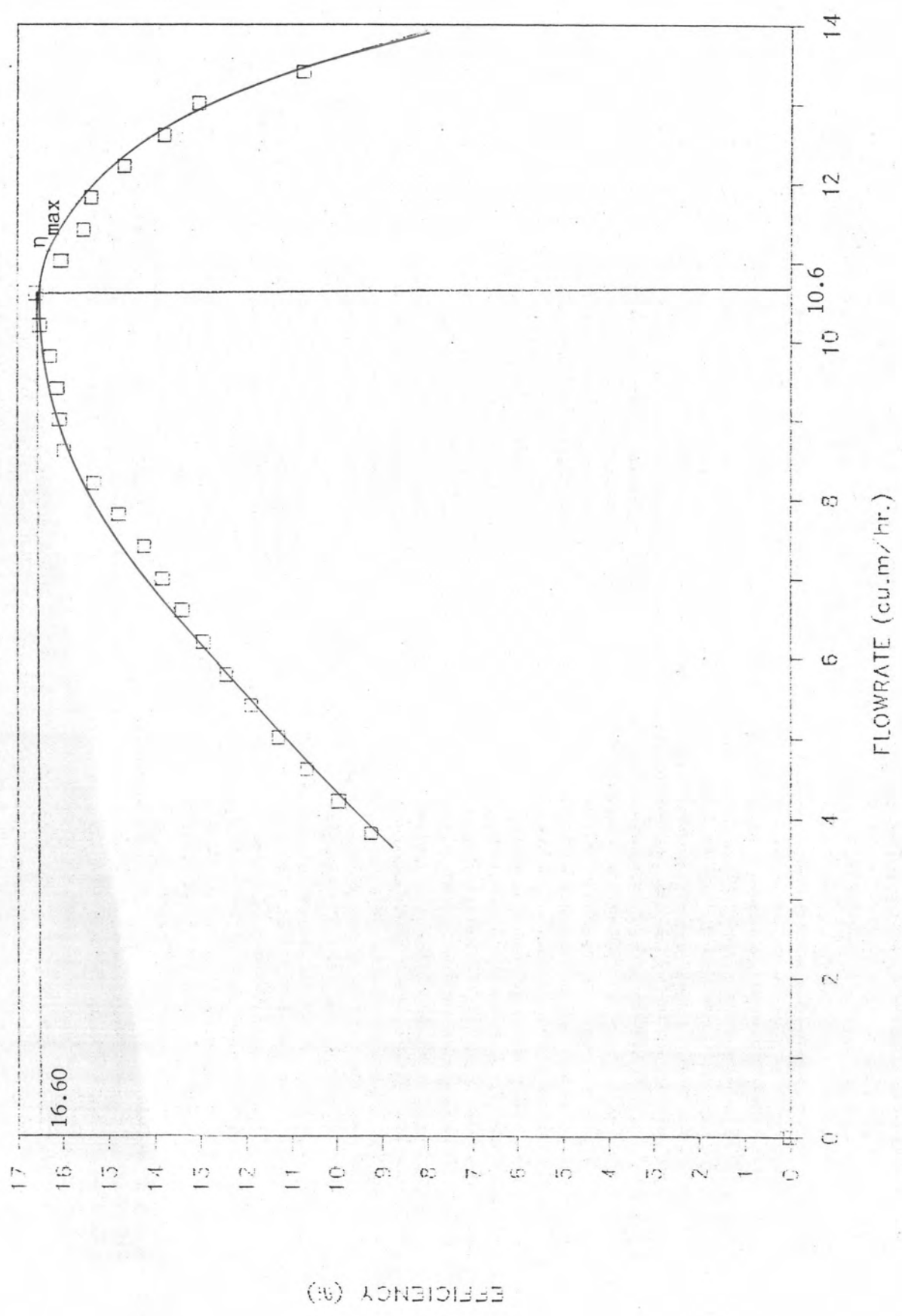
FLOW cu. m/hr	AVE. DIFFERENT PRESSURE m.	AVE. ELECTRICAL CONSUMPTION WATT.	DRIVING PUMP EFFICIENCY %
0.0	10.06	960.00	0.00
3.8	9.45	1057.50	9.25
4.2	9.30	1067.50	9.97
4.6	9.14	1075.00	10.66
5.0	8.99	1085.00	11.29
5.4	8.84	1095.00	11.88
5.8	8.69	1105.00	12.42
6.2	8.53	1115.00	12.93
6.6	8.38	1125.00	13.40
7.0	8.23	1135.00	13.83
7.4	8.08	1145.00	14.23
7.8	8.03	1155.00	14.76
8.2	7.99	1165.00	15.32
8.6	8.02	1175.00	15.99
9.0	7.77	1185.00	16.09
9.4	7.53	1195.00	16.14
9.8	7.35	1205.00	16.28
10.2	7.22	1215.00	16.53
10.6	7.04	1225.00	16.60
11.0	6.61	1235.00	16.05
11.4	6.23	1245.00	15.55
11.8	6.00	1255.00	15.38
12.2	5.58	1265.00	14.66
12.6	5.12	1275.00	13.79
13.0	4.72	1285.00	13.02
13.4	3.97	1317.50	10.73

ภาคผนวก ก.2

การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของหัวความดัน และประสิทธิภาพ
ของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง กับอัตราการไหล



รูปที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของความดันของเครื่องสูบน้ำแบบหยोज กับอัตราการไหล



รูปที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบทอยโซ่ง กับอัตราการไหล

ภาคผนวก ข

การคำนวณออกแบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต

การออกแบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (Design of Water Jet Pump)

สำหรับขบวนการที่เฉพาะเจาะจงโดยปรารถนาที่จะได้ Q_s เมื่อ Q_m หรือ Q_t มีค่าเท่ากับค่าซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งมีค่าสูงสุด ที่หัวความดันรวมทางส่ง 0.55 เมตร เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งซึ่งใช้ขับได้รับเลือกขึ้นมาเพื่อที่จะให้ Q_s เป็นไปตามที่ต้องการนี้ ลักษณะของเครื่องสูบน้ำชนิดนี้

$$\Delta H = 9.72 + 0.04Q_t - 0.03Q_t^2$$

ที่ซึ่ง

ΔH มีหน่วยเป็น เมตรของน้ำ

Q_t มีหน่วยเป็น ลบ.ม/ชม.

$\eta_{\max} = 0.166$ ที่ $Q_t = 10.6$ ลบ.ม/ชม. และ $\Delta H = 7.04$ เมตรของน้ำ และค่าคงที่ซึ่งใช้ในการออกแบบของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง

$$A = 9.72, B = 0.04, C = -0.03$$

ออกแบบระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต และหาขนาดขององค์ประกอบของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต ดังจะกล่าวต่อไปนี้

ค่าของประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งได้รับจากสมการที่ 3.1 คือ 0.42 (1)

ดังนั้น

$$N = 0.42M^{-1}$$

พิจารณาในฐานะสมการของ envelope curve ของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต

$$P_3 = 0.55 \text{ เมตรของน้ำ}$$

$$Q_m = 10.6 \text{ ลบ.ม/ชม.}$$

$$\eta = 0.42$$

ค่าของ Q_s หาได้จากสมการที่ 3.2

$$CQ_m^3 + BQ_m^2 + Q_m(z_2 - z_3 + A) - \frac{P_3 Q_s}{\eta} = 0$$

แทนค่าจะได้

$$-0.03Q_m^3 + 0.04Q_m^2 + Q_m(-0.3+9.72) - \frac{0.55Q_s}{0.42} = 0$$

$$-0.03Q_m^3 + 0.04Q_m^2 + 9.42Q_m - 1.31Q_s = 0$$

$$1.31Q_s = -0.03Q_m^3 + 0.04Q_m^2 + 9.42Q_m$$

แทนค่า $Q_m = 10.6$ ลบ.ม/ชม.

จะได้ $1.31Q_s = -0.03(10.6)^3 + 0.04(10.6)^2 + 9.42(10.6)$

ดังนั้นค่าอัตราการไหลลูก $Q_s = 52.38$ ลบ.ม/ชม.

อัตราส่วนการไหลไร้มิติ และอัตราส่วนหัวไร้มิติ คือ

$$M = \frac{Q_s}{Q_m} = \frac{52.38}{10.6} = 4.94$$

$$N = \frac{\eta}{M} = \frac{0.42}{4.94} = 0.09$$

ค่าของอัตราส่วนพื้นที่ R' หาได้โดยการใช้อนุกรมของ Week (12)

$$(1 + M) \sqrt{R'} = 1$$

$$(1 + 4.94) \sqrt{R'} = 1$$

$$R' = 0.03$$

หัวความดันรวมขับ P_1 หาได้จาก N

$$N = \frac{P_3}{P_1 - P_3}$$

$$P_1 = \frac{P_3}{N} + P_3$$

$$= \frac{0.55}{0.09} + 0.55$$

$$= 6.66 \text{ เมตรของน้ำ}$$

เส้นผ่าศูนย์กลางทางออกของนอส เชิลซ์ d_m หาได้จากสมการที่ 2.29

$$Q_m = C_d \times \frac{\pi}{4} \times d_m^2 \sqrt{2gP_1}$$

$$\frac{10.6}{3600} = 0.9 \times \frac{\pi}{4} \times d_m^2 \sqrt{2 \times 9.81 \times 6.66}$$

$$d_m = 19 \text{ มิลลิเมตร}$$

ขนาดของท่อขับ (driving line) นอส เชิลค์ (suction nozzle) ห้องผสม (mixing chamber) และคิฟิวเซอร์ (diffuser) หาได้จากการแทนค่าสูตรในตารางที่ 2.1

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางทางออกของนอส เชิลค์ } d_s = \frac{d_m}{\sqrt{R'}}$$

$$= \frac{19}{\sqrt{0.03}}$$

$$= 110 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\text{มุม semicone } \theta_s = \theta_m = \sin^{-1} \sqrt[3]{\frac{f(1+R')}{8}}$$

โดยการใส่แฟกเตอร์ความเสียดทาน f เท่ากับ 0.04 ดังนั้น

$$\theta_s = \theta_m = \sin^{-1} \sqrt[3]{\frac{0.04(1+0.03)}{8}}$$

$$= 10^\circ$$

$$\text{ระยะนอส เชิลซ์ } L_m = 2d_m = 38 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\text{ความยาวห้องผสม } L_{MC} = \frac{8d_m}{\sqrt{R'}} = 8d_s = 880 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางทางออกของคิฟิวเซอร์ } D_D = \frac{1.5d_m}{\sqrt{R'}} = 1.5d_s = 165 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\text{อัตราส่วนพื้นที่ของคิฟิวเซอร์ } n_D = \frac{\pi D_D^2/4}{\pi D_{MC}^2/4} = (1.5)^2 = 2.25$$

เส้นผ่าศูนย์กลางท่อขับ $D_m = 2(1 - L_m)\tan\theta_s + d_m$

ถ้าให้ $D_m = 40$ มิลลิเมตร จะได้

$$40 = 2(1 - 38)\tan 10^\circ + 19$$

$$\begin{aligned} 1 &= \frac{40 - 19 + 38}{2\tan 10^\circ} \\ &= 98 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

เส้นผ่าศูนย์กลางท่อคูด $D_s = 2l\tan\theta_s + d_s$

$$= 2 \times 98 \tan 10^\circ + 110$$

$$= 145 \text{ มิลลิเมตร}$$

สำหรับ $\alpha = 1.06$, $f = 0.04$, $n_d = 2.25$

$$\frac{\cot^2 \theta_D}{e^{-7\tan\theta_D}} = 7\alpha \frac{(n_D - 1)}{(n_D + 1)} \bigg/ \frac{f}{8}$$

$$\frac{\cot^2 \theta_D}{e^{-7\tan\theta_D}} = 7 \times 1.06 \frac{(2.25 - 1)}{(2.25 + 1)} \bigg/ \frac{0.04}{8}$$

$$\frac{\cot^2 \theta_D}{e^{-7\tan\theta_D}} = 570.8$$

$$\theta_D = 2.9^\circ$$

ค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อขับ (driving line) และห้องผสม (mixing chamber) ซึ่งได้รับมาแล้วควรจะพิจารณาถึงมาตรฐานขนาดท่อที่เป็นไปได้ด้วย ในที่นี้หาค่าที่ออกแบบมาได้นั้น มีท่อขนาดมาตรฐานจึงไม่ต้องปรับค่าที่ได้รับมาจากการออกแบบโดยใช้ท่อขับซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง

40 มิลลิเมตร และห้องผสมซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร

ภาคผนวก ก.

การวัดอัตราการไหลโดยอาศัยหลักการของ Weir

- ภาคผนวก ก.1 ตารางข้อมูลแสดงถึงอัตราการไหล กับความสูงที่แตกต่างกันของระดับน้ำเทียบกับมุมแหลมของสันเขื่อน
- ภาคผนวก ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล กับความสูงที่แตกต่างกันของระดับน้ำเทียบกับมุมแหลมของสันเขื่อนซึ่งแสดงอยู่บน log สเกล
- ภาคผนวก ก.3 วิธีการวัดอัตราการไหลโดยอาศัยหลักการของ Weir

ภาคผนวก ก. 1

ตารางข้อมูลแสดงถึงอัตราการไหล กับความสูงที่แตกต่างของ
ระดับน้ำเทียบกับมุมแหลมของสันเขื่อน

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลแสดงถึงอัตราการไหลกับความสูงที่แตกต่างกัน
ของระดับน้ำเทียบกับมุมแหลมของสันเขื่อน

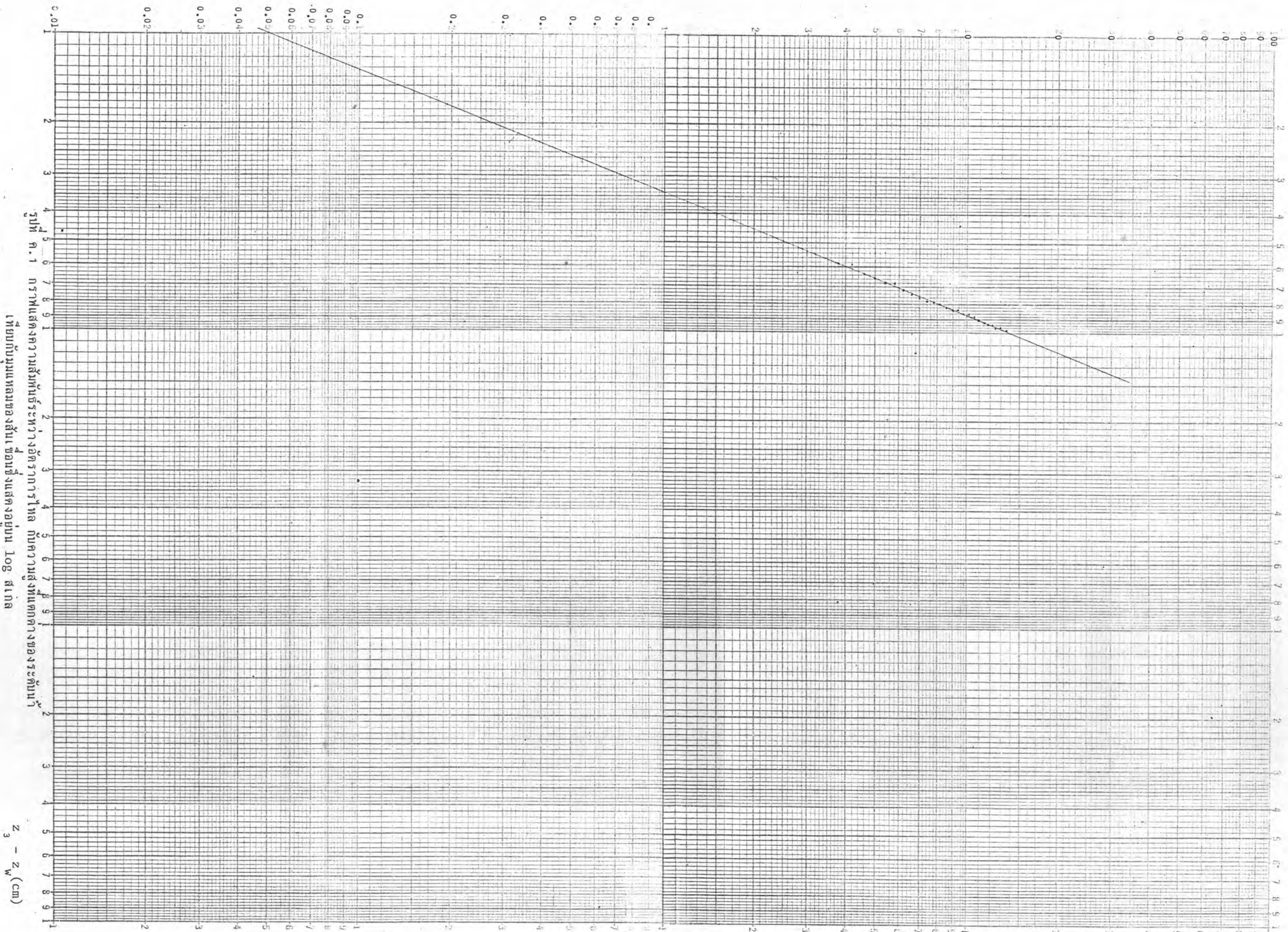
FLOWRATE cu. m/hr	Z3 - ZW cm
0.0	0.0
3.8	5.8
4.2	5.9
4.6	6.3
5.0	6.6
5.4	6.8
5.8	6.8
6.2	7.2
6.6	7.4
7.0	7.6
7.4	7.8
7.8	7.9
8.2	8.0
8.6	8.2
9.0	8.4
9.4	8.4
9.8	8.6
10.2	8.6
10.6	8.8
11.0	9.0
11.4	9.2
11.8	9.3
12.2	9.4
12.6	9.7
13.0	9.6
13.4	9.8

ภาคผนวก ค.2

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล กับความสูงที่แตกต่างของ
ระดับน้ำเทียบกับมุมแหลมของสันเขื่อนซึ่งแสดงอยู่บน log สเกล

FLOWRATE (cu.m/hr)

LOGARITHMIC — LOGARITHMIC
2 CYCLES X 3 CYCLES

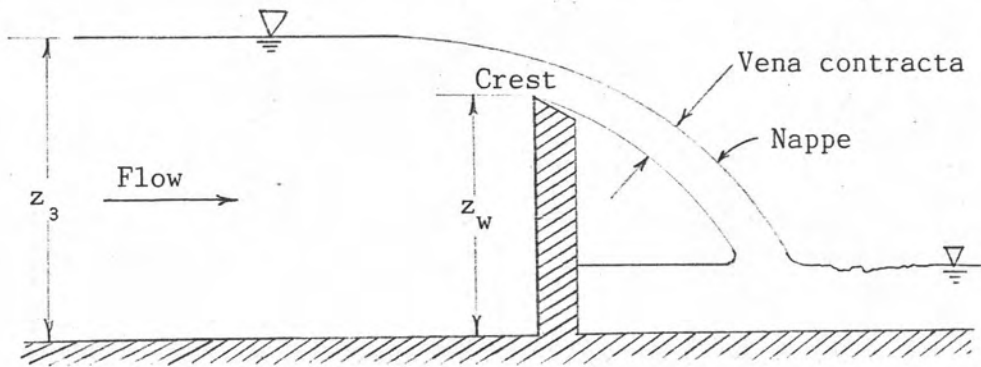


รูปที่ ค. 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล กับความสูงที่แตกตัวของระลอกน้ำ
เทียบกับมุมแหลมของสันเขื่อนซึ่งแสดงอยู่บน Log สเกล

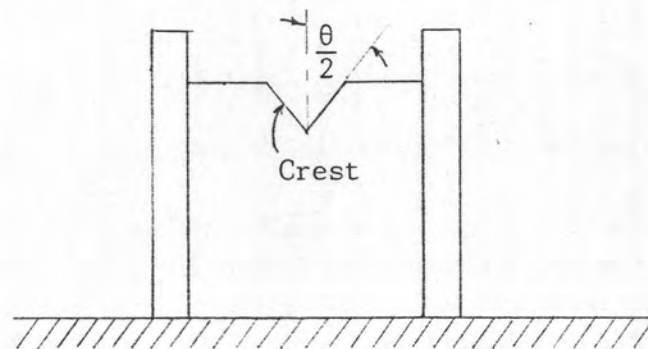
ภาคผนวก ค.3

วิธีการวัดอัตราการไหลโดยอาศัยหลักการของ Weir

วิธีการวัดอัตราการไหลโดยอาศัยหลักการของ Weir



รูปที่ ค.2 ภาคตัดขวางของการไหลผ่านเขื่อนซึ่งมีสันแหลม



รูปที่ ค.3 เขื่อนสันแหลมแบบ V-notch

พื้นที่การไหลเหนือเขื่อนสันแหลมแบบ V-notch เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความแตกต่างของความสูง

$$A \sim (z_3 - z_w) \tan \frac{\theta}{2} (z_3 - z_w) = \tan \frac{\theta}{2} (z_3 - z_w)^2 \quad \text{--- (ค.1)}$$

สมมติว่าเป็นการไหลแบบ uniform และไม่มีการเปลี่ยนแปลง hydrostatic pressure ถ้าเราจะละทิ้งความเร็วของ upstream ความเร็วที่สันเขื่อนอาจจะถูกหาอย่างประมาณจาก Bernoulli equation

ดังนั้น

$$V \approx \sqrt{g(z_3 - z_w)} \quad \text{--- (ค.2)}$$

ซึ่งจะได้

$$Q \approx C_d \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{g} (z_3 - z_w)^{5/2} \quad \text{--- (ค.3)}$$

ภาคตัดของเขื่อนสำหรับสภาวะที่ให้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหล และความเที่ยงตรงที่ต้องการ สมการที่ ค.3 สามารถประยุกต์ใช้ได้เพียงสำหรับ $z_3 - z_w$ มากกว่าประมาณ 0.06 เมตร (0.2 ฟุต) เขื่อนสันแหลมแบบ V-notch นิยมใช้วัดอัตราการไหลในช่วงค่าต่ำ ๆ

การคำนวณหาค่า C_d ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลโดยอาศัยหลักการของ Weir นั้น จะทำได้โดย จากสูตรการวัดอัตราการไหลโดยอาศัยหลักการของ Weir

$$Q = C_d \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{g} (z_3 - z_w)^{5/2}$$

แทนค่าเพื่อหาสูตรสำเร็จจะได้

$$Q = 3600 \times C_d \tan \frac{90}{2} \times \sqrt{9.81} \left[(z_3 - z_w) \times 10^{-2} \right]^{5/2}$$

$$Q = 0.113 C_d (z_3 - z_w)^{5/2}$$

โดยที่	Q	มีหน่วยเป็น	ลบ.ม/ชม.
	z_3	มีหน่วยเป็น	เซนติเมตร
	z_w	มีหน่วยเป็น	เซนติเมตร

ทำการ take log ฐาน 10 จะได้

$$\log Q = \log 0.113 C_d + \frac{5}{2} \log (z_3 - z_w) \quad \text{--- (ค.4)}$$

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ดังกล่าว เราจะหาค่า C_d ได้ก็ต่อเมื่อทราบจุดตัดบนแกน y ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log Q$ กับ $\log(z_3 - z_w)$ ซึ่งมีความชัน (slope) เท่ากับ 2.5

จากการทดลองนำมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log Q$ กับ $\log(z_3 - z_w)$ จะได้กราฟที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่มีความชัน (slope) เท่ากับ 2.5 และตัดแกน y ที่ 0.05 ดังนั้นจากสมการที่ ค.4 จะเห็นได้หาค่า C_d มีค่าเท่ากับ 0.44

ภาคผนวก ง

ข้อมูลจากการทดลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต

- ภาคผนวก ง.1 ตารางข้อมูล และผลการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต
- ภาคผนวก ง.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับระยะนอส เชิลซ์ (L_m)
- ภาคผนวก ง.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับความยาวห้องผสม (L_{MC})
- ภาคผนวก ง.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (η) กับระยะนอส เชิลซ์ (L_m)
- ภาคผนวก ง.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (η) กับความยาวห้องผสม (L_{MC})

ภาคผนวก ง.1

ตารางข้อมูล และผลการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต

ตารางที่ ง.1 ข้อมูล และผลการคำนวณประสิทธิภาพที่ระยะนอสเซลล์
และหัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวห้องผสม 1180 มิลลิเมตร

```

*****
NOZZLE          Zw(cm) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40            69.8            60.2            51.4            44.0
-20            69.7            60.1            51.2            43.9
  0            69.4            59.9            51.1            43.7
 20            69.3            59.8            51.1            43.7
 38            69.1            59.6            50.6            43.5
 60            69.3            59.7            50.8            43.8
 80            69.5            59.8            50.9            43.9
100            69.7            59.9            50.9            44.0
120            69.9            60.1            51.2            44.2
    
```

```

*****
NOZZLE          Z3 - Zw (cm) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40            10.2            14.8            19.6            21.0
-20            10.3            14.9            19.8            21.1
  0            10.6            15.1            19.9            21.3
 20            10.7            15.2            19.9            21.3
 30            10.9            15.4            19.4            21.5
 60            10.7            15.3            19.2            21.2
 80            10.5            15.2            19.1            21.1
100            10.3            15.1            19.1            21.0
120            10.1            14.9            18.8            20.8
    
```

```
*****
NOZZLE          Qd (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40            16.61          42.13          74.60          101.05
-20            17.02          42.95          76.62          102.25
  0            18.29          44.30          77.65          104.69
 20            18.73          45.04          77.65          104.69
 38            19.61          46.53          82.88          107.17
 60            19.73          45.78          80.76          103.47
 80            17.86          45.04          79.72          102.25
100            17.02          44.30          79.72          101.05
120            16.21          42.95          76.62           98.66
*****
```

```
*****
NOZZLE  Qs = Qd - Qm (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40             6.41          31.93          64.40          90.85
-20             6.82          32.65          66.42          92.05
  0             8.09          34.10          67.45          94.49
 20             8.53          34.84          67.45          94.49
 38             9.41          36.33          72.68          96.97
 60             8.53          35.58          70.56          93.27
 80             7.66          34.84          69.52          92.05
100             6.82          34.10          69.52          90.85
120             6.01          32.65          66.42          88.46
*****
```

```
*****
NOZZLE          M = Qs/Qm AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)            35            30            25            20
*****
-40             0.63           3.13           6.31           8.91
-20             0.67           3.20           6.51           9.02
  0             0.79           3.34           6.61           9.26
 20             0.84           3.42           6.61           9.26
 38             0.92           3.56           7.13           9.51
 60             0.84           3.49           6.92           9.14
 80             0.75           3.42           6.82           9.02
100             0.67           3.34           6.82           8.91
120             0.59           3.20           6.51           8.67
*****
```

```
*****
NOZZLE          N = (P3-P2) / (P1-P3) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)            35            30            25            20
*****
-40             0.07           0.06           0.05           0.04
-20             0.07           0.06           0.05           0.04
  0             0.07           0.06           0.05           0.04
 20             0.07           0.06           0.05           0.04
 38             0.07           0.06           0.05           0.04
 60             0.07           0.06           0.05           0.04
 80             0.07           0.06           0.05           0.04
100             0.07           0.06           0.05           0.04
120             0.07           0.06           0.05           0.04
*****
```

```

*****
NOZZLE EFFICIENCY = MN(%) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)          35          30          25          20
*****
-40           4.35         18.38         30.59         34.19
-20           4.63         18.79         31.55         34.64
  0           5.49         19.63         32.04         35.56
 20           5.78         20.05         32.04         35.56
 38           6.38         20.91         34.52         36.49
 60           5.78         20.48         33.52         35.10
 80           5.20         20.05         33.02         34.64
100           4.63         19.63         33.02         34.19
120           4.08         18.79         31.55         33.29

```

ตารางที่ ง.2 ข้อมูล และผลการคำนวณประสิทธิภาพที่ระยะนอสเซลล์
และหัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวห้องผสม 1080 มิลลิเมตร

NOZZLE	Zw(cm) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)			
DISTANCE	*****			
(mm)	35	30	25	20

-40	69.5	60.0	51.3	43.9
-20	69.3	60.0	51.1	43.8
0	69.1	59.8	51.1	43.7
20	68.8	59.5	51.0	43.6
38	68.7	59.3	50.4	43.4
60	68.8	59.5	50.7	43.7
80	69.0	59.6	50.9	43.8
100	69.3	59.7	50.9	43.9
120	69.4	59.8	51.0	44.0

NOZZLE	Z3 - Zw (cm) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)			
DISTANCE	*****			
(mm)	35	30	25	20

-40	10.5	15.0	18.7	21.1
-20	10.7	15.0	18.9	21.2
0	10.9	15.2	18.9	21.3
20	11.2	15.5	19.0	21.4
38	11.3	15.7	19.6	21.6
60	11.2	15.5	19.3	21.3
80	11.0	15.4	19.1	21.2
100	10.7	15.3	19.1	21.1
120	10.6	15.2	19.0	21.0

```
*****
NOZZLE          Qd (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
```

DISTANCE (mm)	35	30	25	20
-40	17.86	43.57	75.61	102.25
-20	18.73	43.57	77.65	103.47
0	19.61	45.04	77.65	104.69
20	20.99	47.29	78.68	105.93
38	21.46	48.83	85.04	108.42
60	20.99	47.29	81.82	104.69
80	20.07	46.53	79.72	103.47
100	18.73	45.78	79.72	102.25
120	18.29	45.04	78.68	101.05

```
*****
NOZZLE  Qs = Qd - Qm (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
```

DISTANCE (mm)	35	30	25	20
-40	7.66	33.37	65.41	92.05
-20	8.53	33.37	67.45	93.27
0	9.41	34.84	67.45	94.49
20	10.79	37.09	68.48	95.73
38	11.26	38.63	74.84	98.22
60	10.79	37.09	71.62	94.49
80	9.87	36.33	69.52	93.27
100	8.53	35.58	69.52	92.05
120	8.09	34.84	68.48	90.85

```

*****
NOZZLE          M = Qs/Qm AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40            0.75         3.27         6.41         9.02
-20            0.84         3.27         6.61         9.14
  0            0.92         3.42         6.61         9.26
 20            1.06         3.64         6.71         9.38
 38            1.10         3.79         7.34         9.63
 60            1.06         3.64         7.02         9.26
 80            0.97         3.56         6.82         9.14
100            0.84         3.49         6.82         9.02
120            0.79         3.42         6.71         8.91

```

```

*****
NOZZLE          N = (P3-P2)/(P1-P3) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40            0.07         0.06         0.05         0.04
-20            0.07         0.06         0.05         0.04
  0            0.07         0.06         0.05         0.04
 20            0.07         0.06         0.05         0.04
 38            0.07         0.06         0.05         0.04
 60            0.07         0.06         0.05         0.04
 80            0.07         0.06         0.05         0.04
100            0.07         0.06         0.05         0.04
120            0.07         0.06         0.05         0.04

```



```

*****
NOZZLE EFFICIENCY = MN(%) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)          35          30          25          20
*****
-40           5.20         19.21         31.07         34.64
-20           5.78         19.21         32.04         35.10
  0           6.38         20.05         32.04         35.56
 20           7.32         21.35         32.53         36.03
 38           7.64         22.24         35.55         36.96
 60           7.32         21.35         34.02         35.56
 80           6.69         20.91         33.02         35.10
100           5.78         20.48         33.02         34.64
120           5.49         20.05         32.53         34.19

```

ตารางที่ ง.3 ข้อมูล และผลการคำนวณประสิทธิภาพที่ระยะนอสเซลขึ้น
และหัวความคืบต่าง ๆ เมื่อความยาวห้องผสม 980 มิลลิเมตร

NOZZLE	Zw (cm) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)			
DISTANCE	*****			
(mm)	35	30	25	20

-40	68.0	57.8	50.8	43.8
-20	67.9	57.6	50.6	43.8
0	67.8	57.5	50.4	43.6
20	67.7	57.4	50.2	43.5
38	67.6	57.3	50.0	43.4
60	67.8	57.5	50.3	43.6
80	67.9	57.7	50.5	43.7
100	68.0	57.8	50.7	43.8
120	68.2	57.9	50.9	43.9

NOZZLE	Z3 - Zw (Lm) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)			
DISTANCE	*****			
(mm)	35	30	25	20

-40	12.0	17.2	19.2	21.2
-20	12.1	17.4	19.4	21.2
0	12.2	17.5	19.6	21.4
20	12.3	17.6	19.8	21.5
38	12.4	17.7	20.0	21.6
60	12.2	17.5	19.7	21.4
80	12.1	17.3	19.5	21.3
100	12.0	17.2	19.3	21.2
120	11.8	17.1	19.1	21.1

```

*****
NOZZLE      Qd (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)        35          30          25          20
*****
-40         24.94       61.35       80.76       103.47
-20         25.46       63.15       82.88       103.47
  0         25.99       64.06       85.04       105.93
  20        26.53       64.98       87.22       107.17
  38        27.07       65.90       89.44       108.42
  60        25.99       64.06       86.13       105.93
  80        25.46       62.24       83.96       104.69
 100        24.94       61.35       81.82       103.47
 120        23.92       60.46       79.72       102.25

```

```

*****
NOZZLE      Qs = Qd-Qm (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 -Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)        35          30          25          20
*****
-40         14.74       51.15       70.56       93.27
-20         15.26       52.95       72.68       93.27
  0         15.79       53.86       74.84       95.73
  20        16.33       54.78       77.02       96.97
  38        16.87       55.70       79.24       98.22
  60        15.79       53.86       75.93       95.73
  80        15.26       52.04       73.76       94.49
 100        14.74       51.15       71.62       93.27
 120        13.72       50.26       69.52       92.05

```

```

*****
NOZZLE          M = Qs/Qm AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40            1.45          5.01          6.92          9.14
-20            1.50          5.19          7.13          9.14
  0            1.55          5.28          7.34          9.38
 20            1.60          5.37          7.55          9.51
 38            1.65          5.46          7.77          9.63
 60            1.55          5.28          7.44          9.38
 80            1.50          5.10          7.23          9.26
100            1.45          5.01          7.02          9.14
120            1.34          4.93          6.82          9.02

```

```

*****
NOZZLE          N = (P3-P2)/(P1-P3) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40            0.07          0.06          0.05          0.04
-20            0.07          0.06          0.05          0.04
  0            0.07          0.06          0.05          0.04
 20            0.07          0.06          0.05          0.04
 38            0.07          0.06          0.05          0.04
 60            0.07          0.06          0.05          0.04
 80            0.07          0.06          0.05          0.04
100            0.07          0.06          0.05          0.04
120            0.07          0.06          0.05          0.04

```

```

*****
NOZZLE EFFICIENCY = KN(%) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)          35          30          25          20
*****
-40          10.00          29.44          33.52          35.10
-20          10.35          30.47          34.52          35.10
  0          10.71          31.00          35.55          36.03
 20          11.07          31.53          36.59          36.49
 38          11.44          32.06          37.64          36.96
 60          10.71          31.00          36.06          36.03
 80          10.35          29.95          35.03          35.56
100          10.00          29.44          34.02          35.10
120           9.30          28.93          33.02          34.64

```

ตารางที่ ง.4 ข้อมูล และผลการคำนวณประสิทธิภาพที่ระยะนอสเปิลซ์

และหัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวห้องผสม 880 มิลลิเมตร

NOZZLE	Zw(cm) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)			
DISTANCE	*****			
(mm)	35	30	25	20

-40	66.8	57.2	50.4	43.5
-20	66.6	57.0	50.3	43.4
0	66.4	56.9	50.1	43.3
20	66.2	56.8	49.9	43.2
38	66.0	56.7	49.8	43.1
60	66.1	56.8	49.7	43.2
80	66.3	56.9	49.9	43.3
100	66.7	57.0	50.0	43.4
120	66.9	57.1	50.2	43.5

NOZZLE	Z3 - Zw (cm) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)			
DISTANCE	*****			
(mm)	35	30	25	20

-40	13.2	17.8	19.6	21.5
-20	13.4	18.0	19.7	21.6
0	13.4	18.1	19.7	21.7
20	13.8	18.2	20.1	21.8
38	14.0	18.3	20.2	21.9
60	13.7	18.2	20.3	21.8
80	13.7	18.1	20.1	21.7
100	13.3	18.0	20.0	21.6
120	13.1	17.9	19.8	21.5

```
*****
NOZZLE          Qd (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
```

DISTANCE (mm)	35	30	25	20
-40	31.65	66.84	85.04	107.17
-20	32.86	68.73	86.13	108.42
0	34.10	69.69	88.33	109.68
20	35.37	70.66	90.56	110.95
38	36.67	71.63	91.70	112.22
60	36.02	70.66	92.83	110.95
80	34.74	69.69	90.56	109.68
100	32.26	68.73	89.44	108.42
120	31.06	67.78	87.22	107.17

```
*****
NOZZLE  Qs = Qd - Qm (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
```

DISTANCE (mm)	35	30	25	20
-40	21.45	56.64	74.84	96.97
-20	22.66	58.53	75.93	98.22
0	23.90	59.49	78.13	99.48
20	25.17	60.46	80.36	100.75
38	26.47	61.43	81.50	102.02
60	25.82	60.46	82.63	100.75
80	24.54	59.49	80.36	99.48
100	22.06	58.53	79.24	98.22
120	20.86	57.58	77.02	96.97


```

*****
NOZZLE          M = Qe/Qm AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)            35            30            25            20
*****
-40             2.10           5.55           7.34           9.51
-20             2.22           5.74           7.44           9.63
  0             2.34           5.93           7.66           9.75
 20             2.47           5.93           7.98           9.82
 35             2.59           6.02           7.99           10.00
 60             2.53           5.93           8.10           9.88
 80             2.41           5.83           7.98           9.75
100             2.16           5.74           7.77           9.63
120             2.04           5.65           7.55           9.51

```

```

*****
NOZZLE          N = (P3 - P2) / (P1 - P3) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)            35            30            25            20
*****
-40             0.07           0.06           0.05           0.04
-20             0.07           0.06           0.05           0.04
  0             0.07           0.06           0.05           0.04
 20             0.07           0.06           0.05           0.04
 35             0.07           0.06           0.05           0.04
 60             0.07           0.06           0.05           0.04
 80             0.07           0.06           0.05           0.04
100             0.07           0.06           0.05           0.04
120             0.07           0.06           0.05           0.04

```



```

*****
NOZZLE EFFICIENCY = MW(%) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)          35          30          25          20
*****
-40          14.55          32.60          35.55          36.49
-20          15.37          33.69          36.06          36.96
  0          16.21          34.24          37.11          37.44
 20          17.07          34.80          38.17          37.92
 39          17.95          35.36          38.71          38.40
 60          17.51          34.80          39.25          37.92
 80          16.64          34.24          38.17          37.44
100          14.96          33.69          37.64          36.96
120          14.14          33.14          36.59          36.49

```

ตารางที่ ๓.5 ข้อมูล และผลการคำนวณประสิทธิภาพที่ระยะนอสเซลล์
และหัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวห้องผสม 780 มิลลิเมตร

NOZZLE	Zw (cm) AT DIFFERENT HEAD 23 - 22 (cm)			
DISTANCE	*****			
(mm)	35	30	25	20

-40	68.0	57.7	50.7	43.7
-20	67.9	57.6	50.6	43.7
0	67.7	57.5	50.5	43.6
20	67.6	57.3	50.2	43.5
38	67.5	57.2	50.0	43.4
60	67.8	57.4	50.4	43.5
80	67.9	57.7	50.5	43.6
100	68.0	57.8	50.7	43.8
120	68.2	57.9	50.9	43.9

NOZZLE	23 - Zw (cm) AT DIFFERENT HEAD 23 - 22 (cm)			
DISTANCE	*****			
(mm)	35	30	25	20

-40	12.0	17.3	19.3	21.3
-20	12.2	17.4	19.4	21.3
0	12.3	17.5	19.5	21.4
20	12.4	17.7	19.8	21.5
38	12.5	17.8	20.0	21.6
60	12.2	17.6	19.6	21.5
80	12.1	17.3	19.5	21.4
100	12.0	17.2	19.3	21.2
120	11.8	17.1	19.1	21.1

```
*****
NOZZLE          Qd (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
```

DISTANCE (mm)	35	30	25	20
-40	24.94	62.24	81.82	104.69
-20	25.99	63.15	82.88	104.69
0	26.53	64.06	83.96	105.93
20	27.07	65.90	87.22	107.17
38	27.62	66.84	89.44	108.42
60	25.99	64.98	85.04	107.17
80	25.46	62.24	83.96	105.93
100	24.94	61.35	81.82	103.47
120	23.92	60.46	79.72	102.25

```
*****
NOZZLE  Qs = Qd - Qm (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
```

DISTANCE (mm)	35	30	25	20
-40	14.74	52.04	71.62	94.49
-20	15.79	52.95	72.68	94.49
0	16.33	53.86	73.76	95.73
20	16.87	55.70	77.02	96.97
38	17.42	56.64	79.24	98.22
60	15.79	54.78	74.84	96.97
80	15.26	52.04	73.76	95.73
100	14.74	51.15	71.62	93.27
120	13.72	50.26	69.52	92.05

```

*****
NOZZLE      M - Qu/Qm AT DIFFERENT HEAD 73 - 72 (cm)
DISTANCE *****
(mm)        35          30          25          20
*****
-40         1.45         5.10         7.02         9.26
-20         1.55         5.19         7.13         9.26
  0         1.60         5.28         7.23         9.38
 20         1.65         5.44         7.55         9.51
 38         1.71         5.55         7.77         9.63
 60         1.55         5.37         7.34         9.51
 80         1.50         5.10         7.23         9.38
100         1.45         5.01         7.02         9.14
120         1.34         4.93         6.82         9.02
*****

```

```

*****
NOZZLE      N = (P3-P2) / (P2-P3) AT DIFFERENT HEAD 73 - 72 (cm)
DISTANCE *****
(mm)        35          30          25          20
*****
-40         0.07         0.06         0.05         0.04
-20         0.07         0.06         0.05         0.04
  0         0.07         0.06         0.05         0.04
 20         0.07         0.06         0.05         0.04
 38         0.07         0.06         0.05         0.04
 60         0.07         0.06         0.05         0.04
 80         0.07         0.06         0.05         0.04
100         0.07         0.06         0.05         0.04
120         0.07         0.06         0.05         0.04
*****

```

```

*****
NOZZLE EFFICIENCY = MN(%) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)          35          30          25          20
*****
-40           10.00        29.95        34.02        35.56
-20           10.71        30.47        34.52        35.56
  0           11.07        31.00        35.03        36.03
 20           11.44        32.06        36.59        36.49
 38           11.81        32.60        37.64        36.96
 60           10.71        31.53        35.55        36.49
 80           10.35        29.95        35.03        36.03
100           10.00        29.44        34.02        35.10
120           9.30         28.93        33.02        34.64

```

ตารางที่ ง.6 ข้อมูล และผลการคำนวณประสิทธิภาพที่ระยะนอสนีลซัป
และหัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวท่อผสม 680 มิลลิเมตร

NOZZLE	Zw(cm) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)			
DISTANCE	*****			
(mm)	35	30	25	20

-40	69.5	60.0	51.3	43.9
-20	69.3	60.0	51.1	43.8
0	69.1	59.7	51.1	43.7
20	68.5	59.5	51.0	43.6
38	68.4	59.3	50.4	43.5
60	68.7	59.5	50.7	43.6
80	69.0	59.6	50.8	43.7
100	69.2	59.7	50.8	43.8
120	69.3	59.8	51.1	43.9

NOZZLE	Z3 - Zw (cm) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)			
DISTANCE	*****			
(mm)	35	30	25	20

-40	10.5	15.0	18.7	21.1
-20	10.7	15.0	18.9	21.2
0	10.9	15.3	19.9	21.3
20	11.5	15.5	19.0	21.4
38	11.6	15.7	19.6	21.5
60	11.3	15.5	19.3	21.4
80	11.0	15.4	19.2	21.3
100	10.8	15.3	19.2	21.2
120	10.7	15.2	18.9	21.1

```

*****
NOZZLE          Qd (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40            17.86          43.57          75.61          102.25
-20            18.73          43.57          77.65          103.47
  0            19.61          45.78          77.65          104.69
 20            22.42          47.29          78.68          105.93
 38            22.91          48.83          85.04          107.17
 60            21.46          47.29          81.82          105.93
 80            20.07          46.53          80.76          104.69
100            19.17          45.78          80.76          103.47
120            18.73          45.04          77.65          102.25

```

```

*****
NOZZLE  Qs = Qd - Qm (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40             7.66          33.37          65.41          92.05
-20             8.53          33.37          67.45          93.27
  0             9.41          35.58          67.45          94.49
 20            12.22          37.09          68.48          95.73
 38            12.71          38.63          74.84          96.97
 60            11.26          37.09          71.62          95.73
 80             9.87          36.33          70.56          94.49
100             8.97          35.58          70.56          93.27
120             8.53          34.84          67.45          92.05

```

```
*****
NOZZLE          M = Qe/Qm AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40            0.75          3.27          6.41          9.02
-20            0.84          3.27          6.61          9.14
  0            0.92          3.49          6.61          9.26
 20            1.20          3.64          6.71          9.38
 38            1.25          3.79          7.34          9.51
 60            1.10          3.64          7.02          9.38
 80            0.97          3.56          6.92          9.26
100            0.88          3.49          6.92          9.14
120            0.84          3.42          6.61          9.02
*****
```

```
*****
NOZZLE          N=(P3-P2)/(P1-P3) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40            0.07          0.06          0.05          0.04
-20            0.07          0.06          0.05          0.04
  0            0.07          0.06          0.05          0.04
 20            0.07          0.06          0.05          0.04
 38            0.07          0.06          0.05          0.04
 60            0.07          0.06          0.05          0.04
 80            0.07          0.06          0.05          0.04
100            0.07          0.06          0.05          0.04
120            0.07          0.06          0.05          0.04
*****
```



```

*****
NOZZLE EFFICIENCY = MN(%) AT DIFFERENT HEAD 73 - 72 (cm)
DISTANCE *****
(m)          25          30          25          20
*****
-40          5.20          19.21          31.07          34.64
-20          5.78          19.21          32.04          35.10
  0          6.38          20.48          32.04          35.56
 20          6.27          21.35          32.53          36.03
 38          6.42          22.24          35.55          36.49
 60          7.04          21.35          34.02          36.04
 80          6.65          20.91          33.52          35.56
100          6.08          20.48          33.52          35.10
120          5.78          20.05          32.04          34.64

```

ตารางที่ ง.7 ข้อมูล และผลการคำนวณประสิทธิภาพที่ระยะนอสซิลซ์
และหัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวท่อนผสม 580 มิลลิเมตร

NOZZLE	Zw(cm) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)			
DISTANCE	*****			
(mm)	35	30	25	20

-40	69.7	60.2	51.4	44.0
-20	69.6	60.1	51.2	43.9
0	69.5	59.9	51.1	43.7
20	69.4	59.8	51.0	43.7
38	69.1	59.6	50.5	43.6
60	69.3	59.8	50.7	43.7
80	69.5	59.9	50.8	43.8
100	69.8	60.0	50.9	44.0
120	69.9	60.1	51.2	44.2

NOZZLE	Z3 - Zw (cm) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)			
DISTANCE	*****			
(mm)	35	30	25	20

-40	10.3	14.8	18.6	21.0
-20	10.4	14.9	18.8	21.1
0	10.5	15.1	18.9	21.2
20	10.6	15.2	19.0	21.3
38	10.9	15.4	19.5	21.4
60	10.7	15.2	19.3	21.3
80	10.5	15.1	19.2	21.2
100	10.2	15.0	19.1	21.0
120	10.1	14.9	18.8	20.8

NOZZLE Q_d (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)

DISTANCE *****

(mm)	35	30	25	20
-40	17.02	42.13	74.60	101.05
-20	17.44	42.85	76.62	102.25
0	17.86	44.30	77.65	104.69
20	18.29	45.04	78.69	104.69
38	19.61	46.53	83.46	105.93
60	18.73	45.04	81.82	104.69
80	17.84	44.30	80.74	103.47
100	16.61	43.57	79.72	101.05
120	16.21	42.85	76.62	98.66

NOZZLE $Q_b = Q_d - Q_m$ (cu.m/hr) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)

DISTANCE *****

(mm)	35	30	25	20
-40	6.82	31.93	64.40	90.05
-20	7.24	32.65	66.42	92.05
0	7.66	34.10	67.45	94.49
20	8.09	34.84	68.48	94.49
38	9.41	36.33	73.24	95.73
60	8.53	34.84	71.62	94.49
80	7.66	34.10	70.56	93.27
100	6.41	33.37	69.52	90.85
120	6.01	32.65	66.42	88.46

```

*****
NOZZLE          M = Qs/Qm AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40            0.67          3.13          6.31          8.91
-20            0.71          3.20          6.51          9.02
  0            0.75          3.34          6.61          9.26
 20            0.79          3.42          6.71          9.26
 38            0.92          3.56          7.23          9.38
 60            0.84          3.42          7.02          9.26
 80            0.75          3.34          6.92          9.14
100            0.63          3.27          6.82          8.91
120            0.59          3.20          6.51          8.67

```

```

*****
NOZZLE          N = (P3-P2)/(P1-P3) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)           35           30           25           20
*****
-40            0.07          0.06          0.05          0.04
-20            0.07          0.06          0.05          0.04
  0            0.07          0.06          0.05          0.04
 20            0.07          0.06          0.05          0.04
 38            0.07          0.06          0.05          0.04
 60            0.07          0.06          0.05          0.04
 80            0.07          0.06          0.05          0.04
100            0.07          0.06          0.05          0.04
120            0.07          0.06          0.05          0.04

```

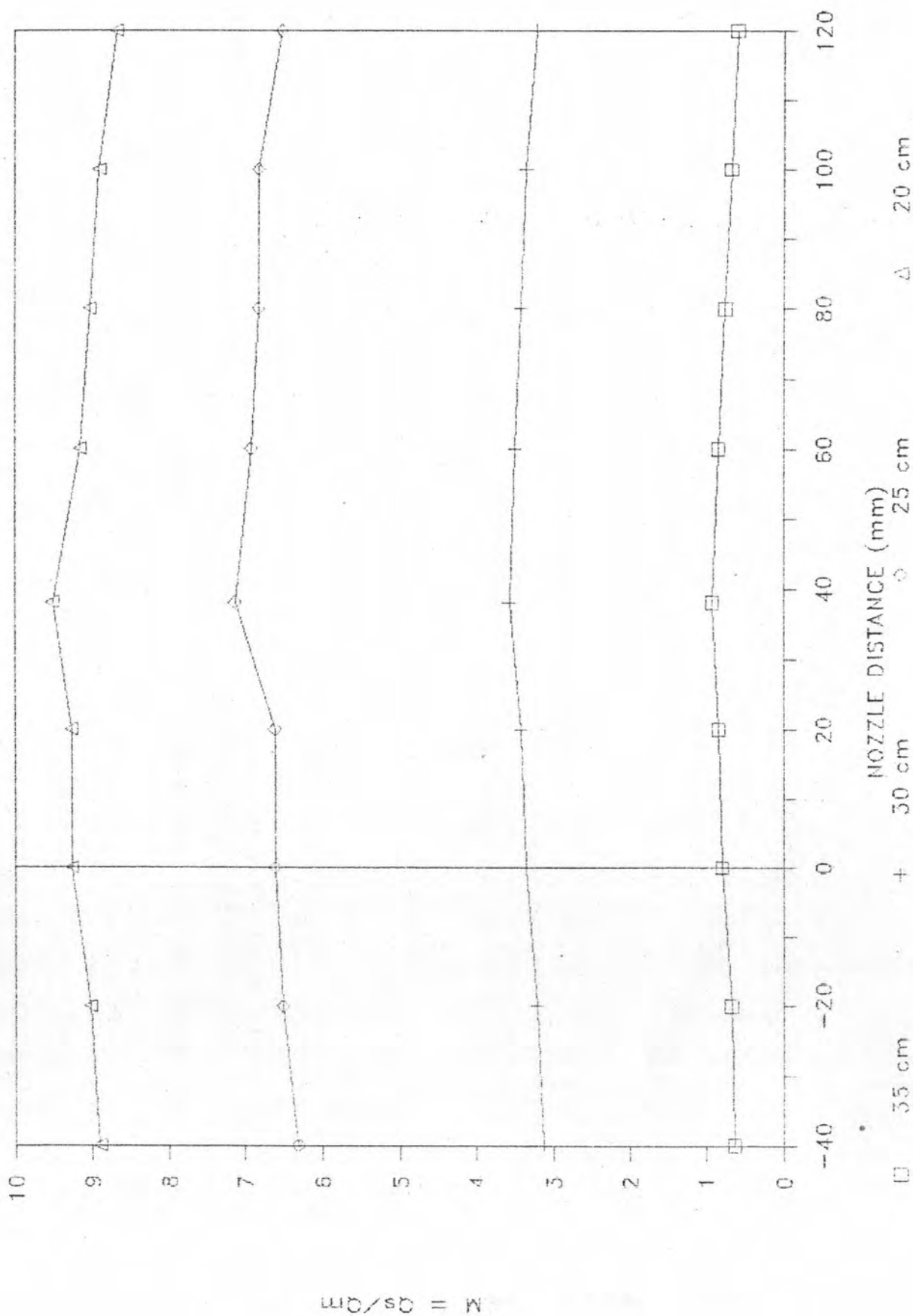
```

*****
NOZZLE EFFICIENCY = MN(%) AT DIFFERENT HEAD Z3 - Z2 (cm)
DISTANCE *****
(mm)          35          30          25          20
*****
-40           4.63         18.38         30.59         34.19
-20           4.91         18.79         31.55         34.64
  0           5.20         19.63         32.04         35.56
 20           5.49         20.05         32.53         35.56
 38           6.38         20.91         35.03         36.03
 60           5.78         20.05         34.02         35.56
 80           5.20         19.63         33.52         35.10
100           4.35         19.21         33.02         34.19
120           4.08         18.79         31.55         33.29

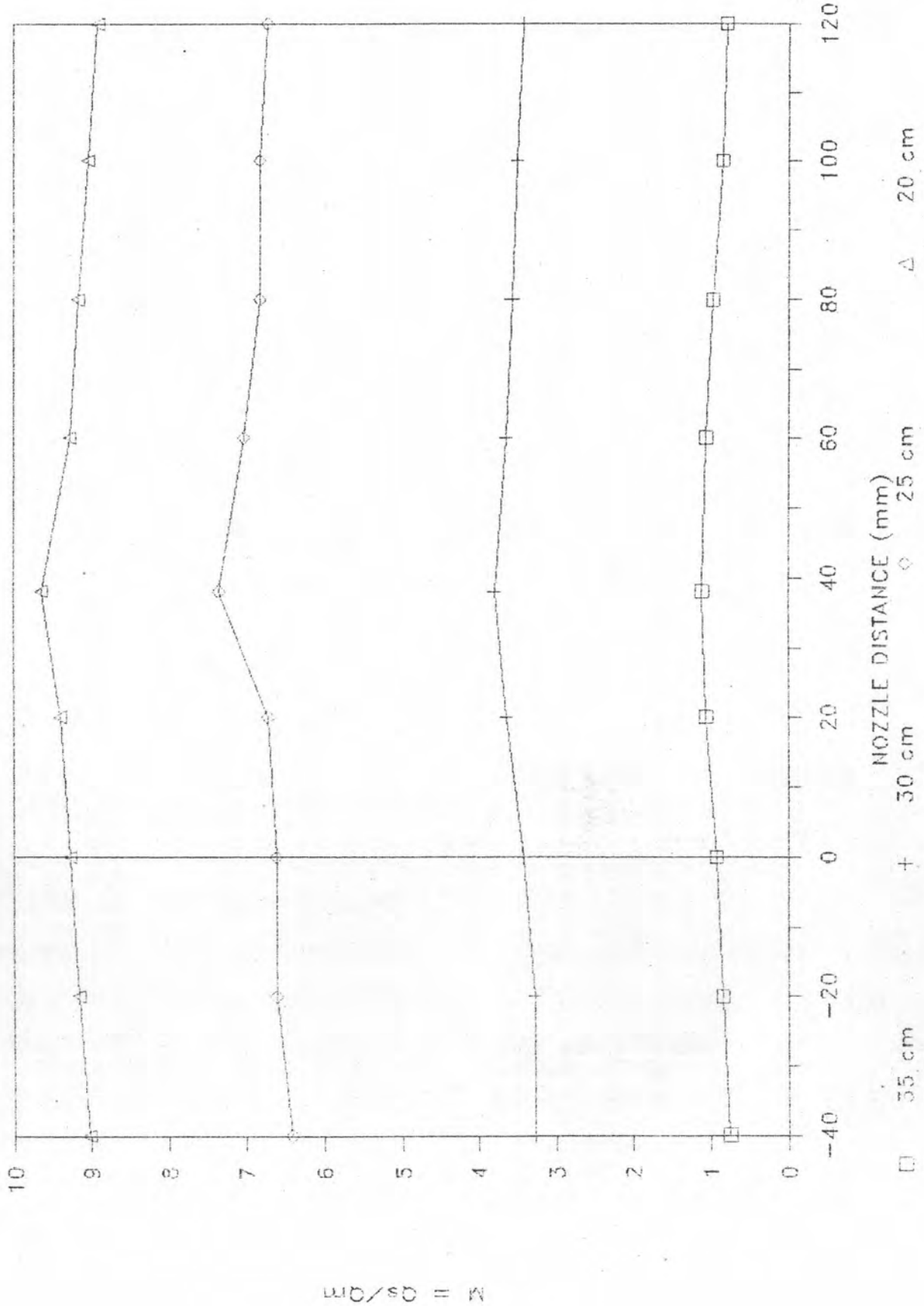
```

ภาคผนวก ง.2

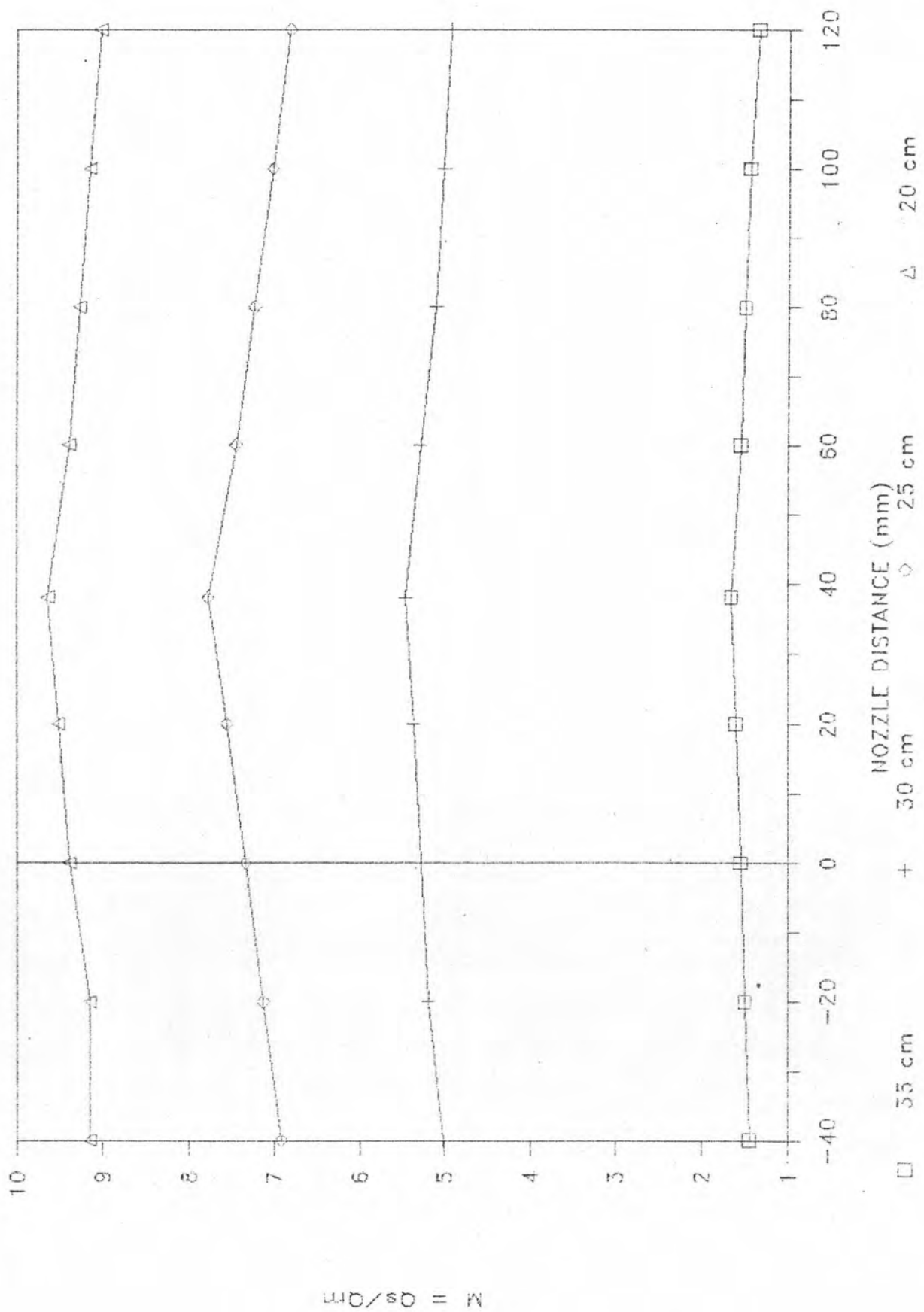
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับระยะนอสเซลล์ซ์ (L_m)



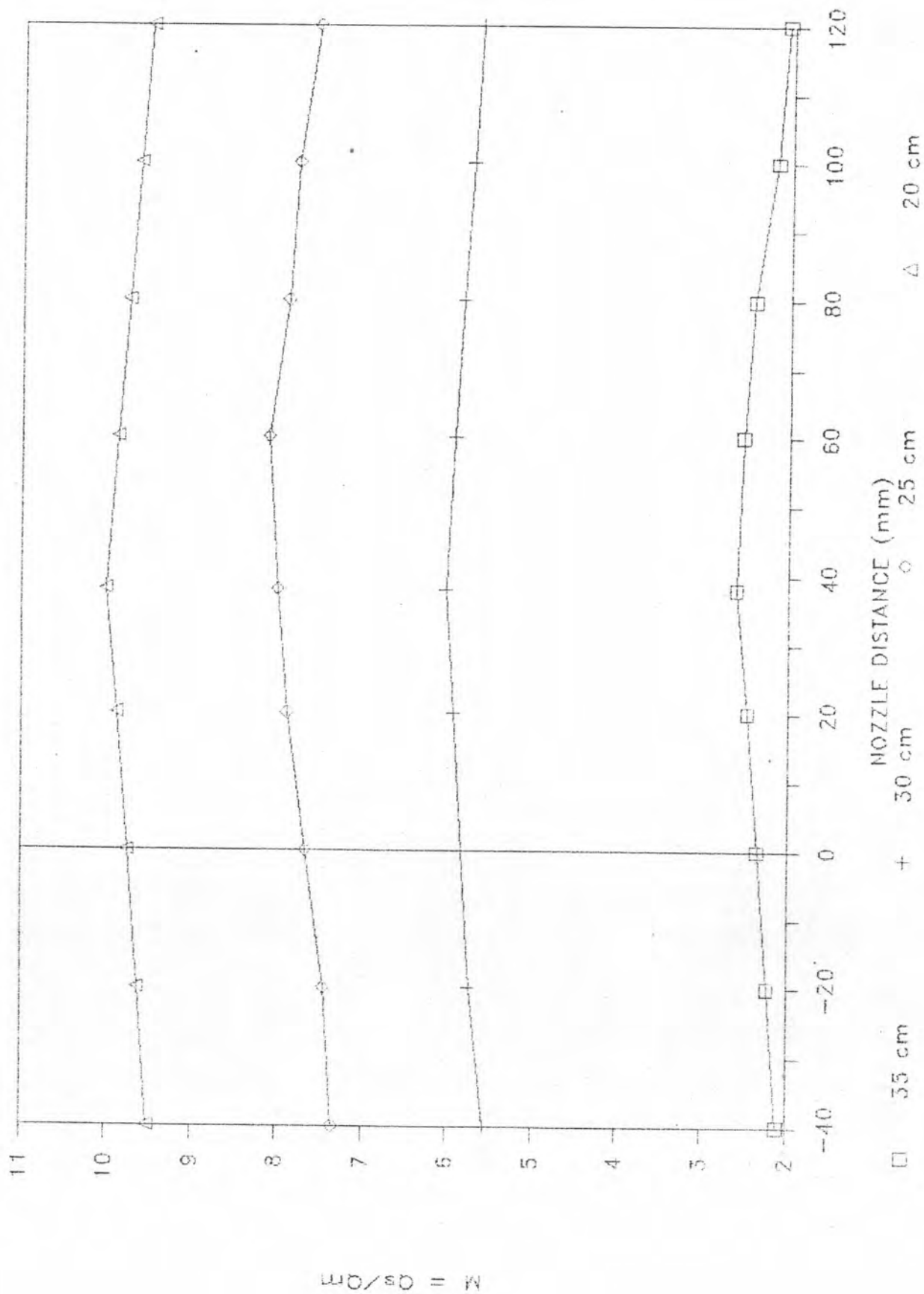
รูปที่ 1.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับระยะนอสเจิลซ์ (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวท่อผสม 1,180 มิลลิเมตร



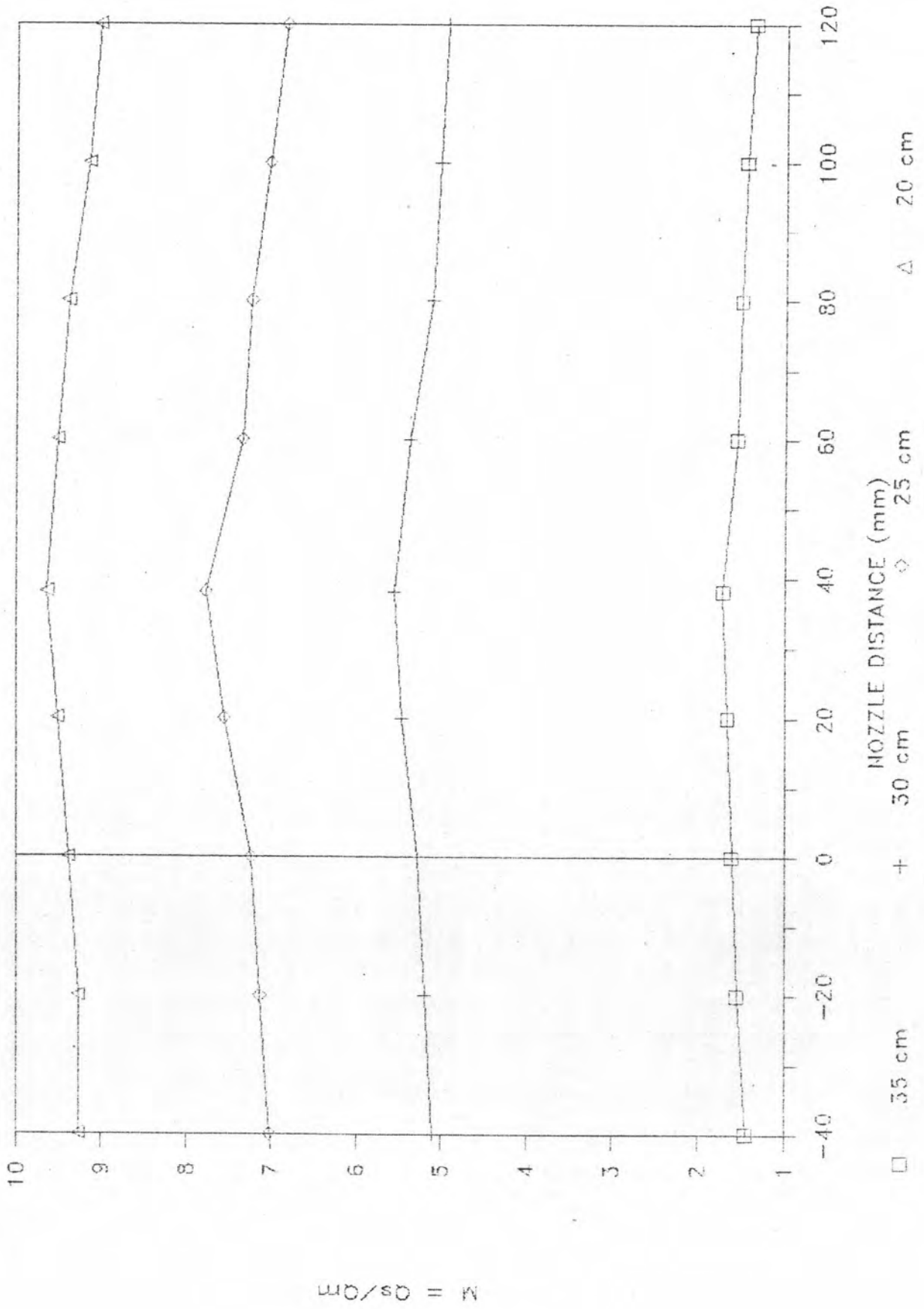
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับระยะนอสเจิลซ์ (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวท่อผสม 1,080 มิลลิเมตร



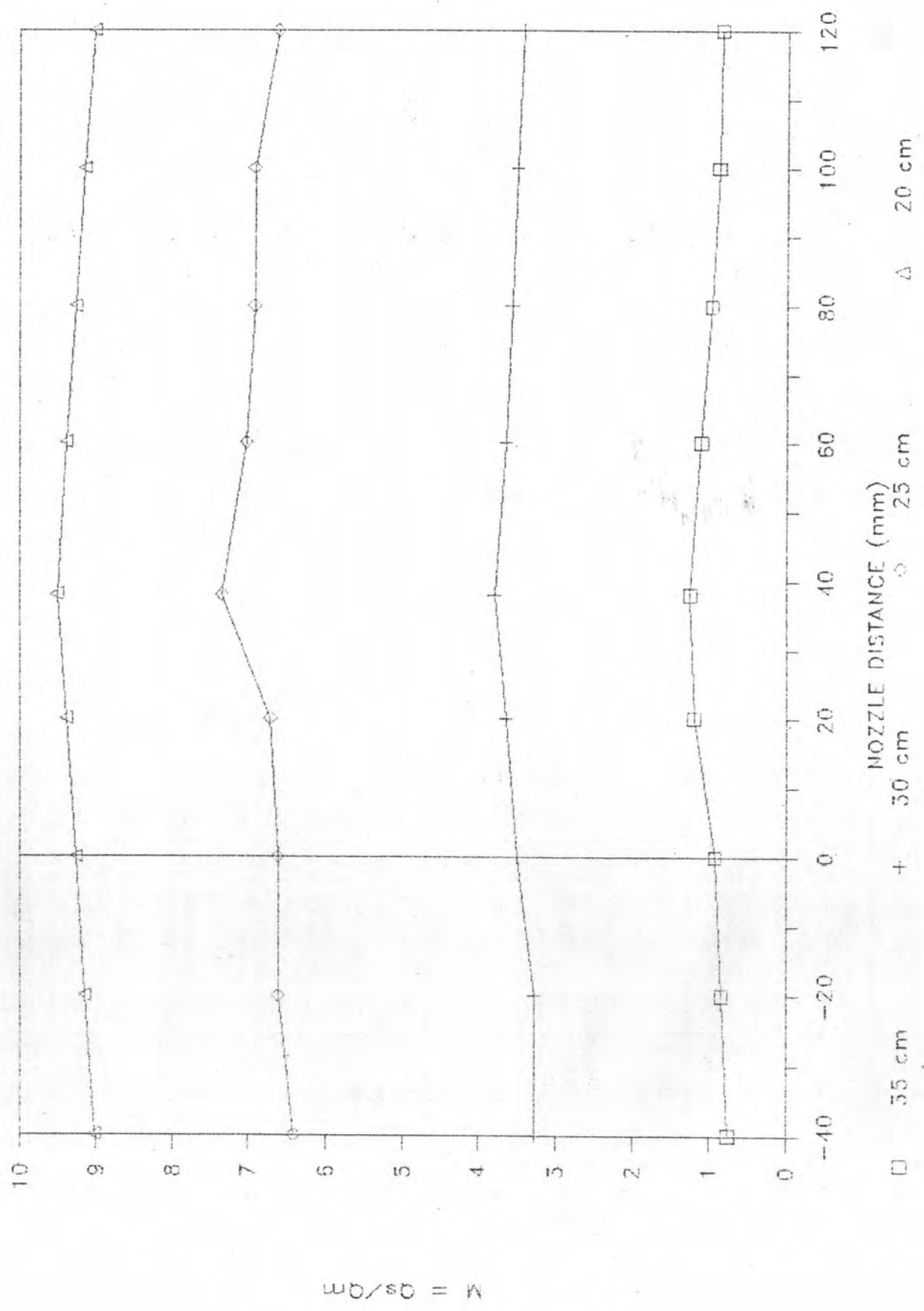
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับระยะนอส (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวท่อผสม 980 มิลลิเมตร



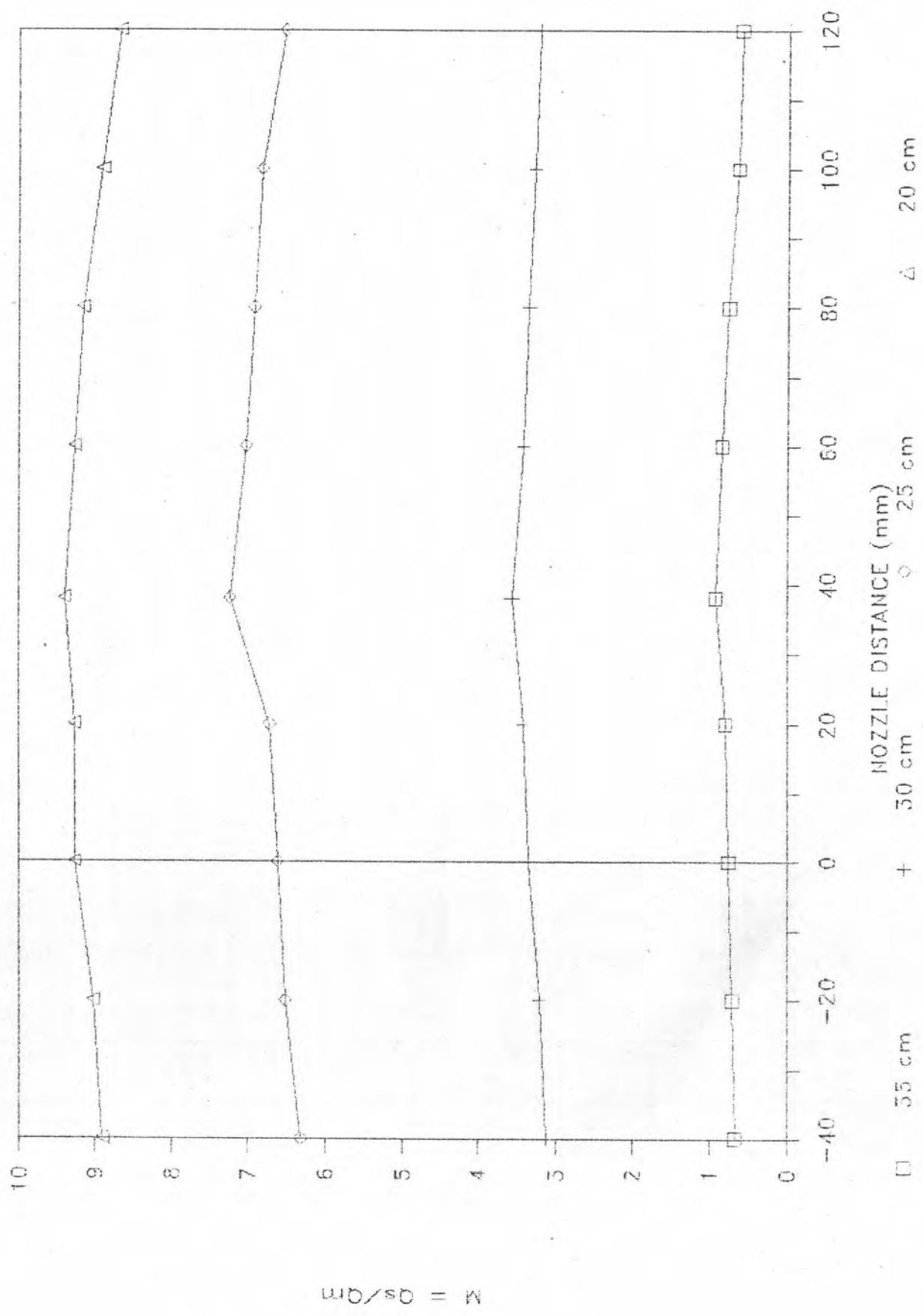
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับระยะนอสเซลล์ (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวห้องผสม 880 มิลลิเมตร



รูปที่ ง.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (M) กับระยะนอสเจิลซ์ (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวท่อผสม 780 มิลลิเมตร



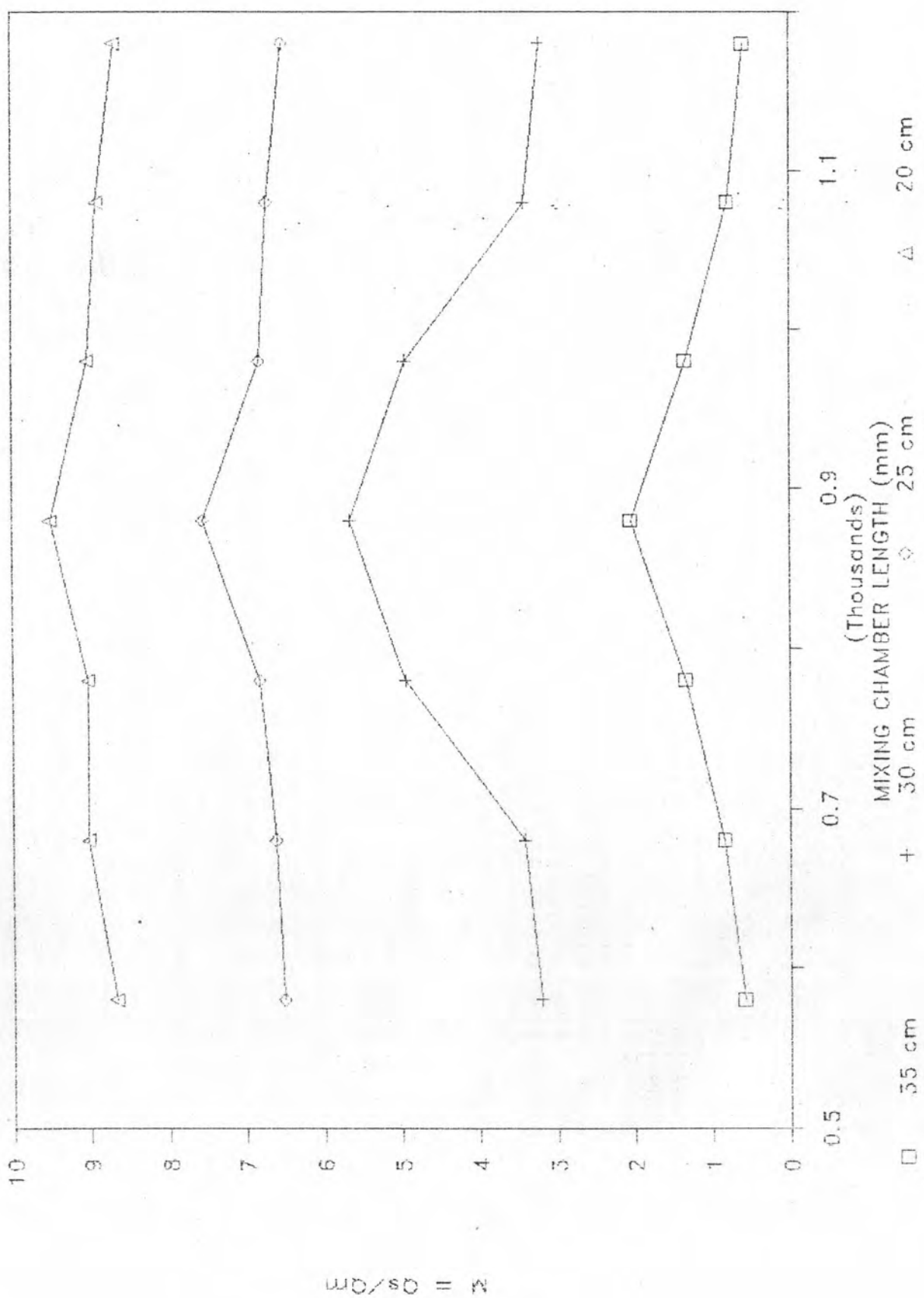
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (M) กับระยะบอสเจิลซ์ (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวท่อผสม 680 มิลลิเมตร



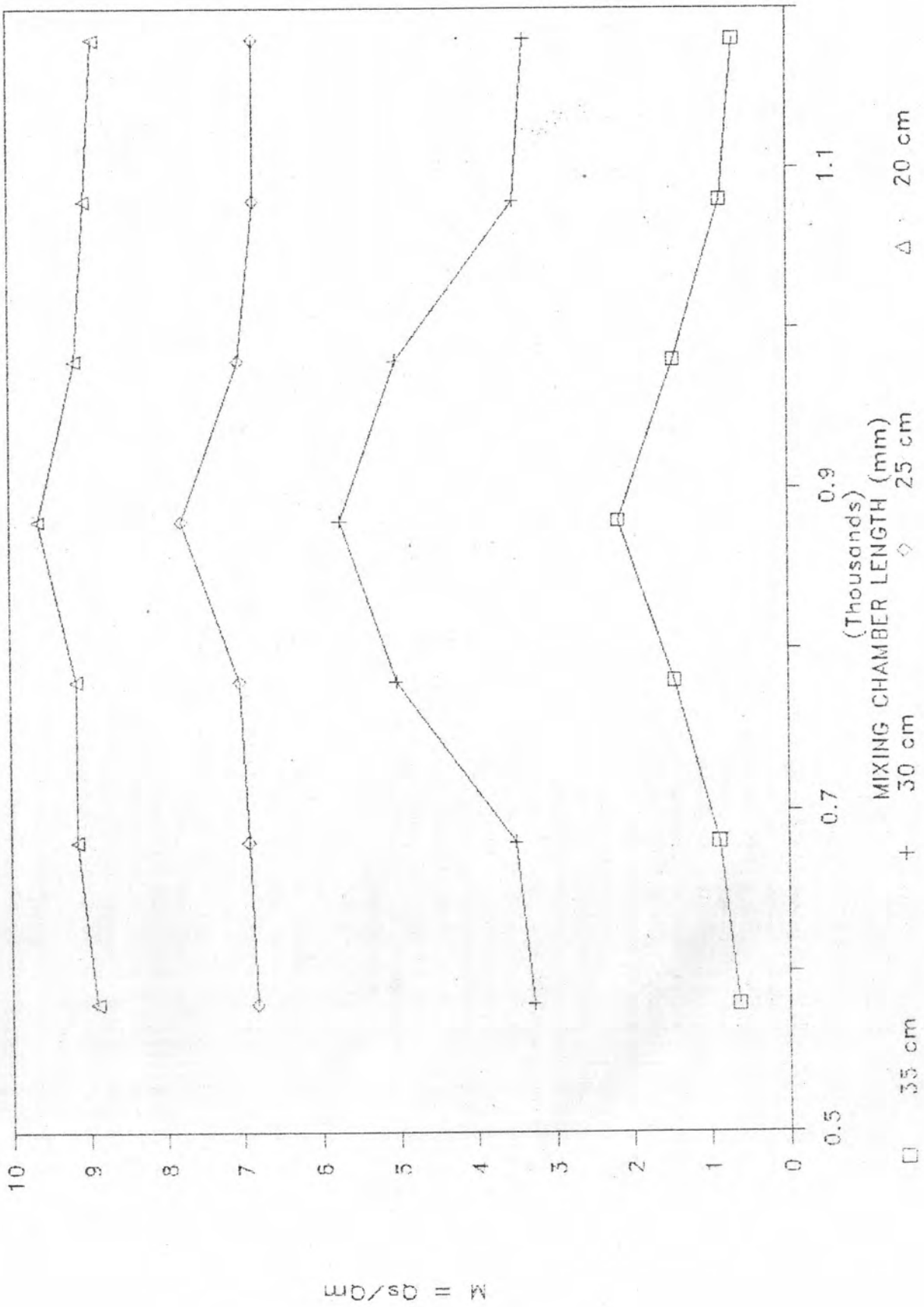
รูปที่ ๗.๗ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับระยะนอสเซลล์ (L_m)
 ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวห้องผสม 580 มิลลิเมตร

ภาคผนวก ง.3

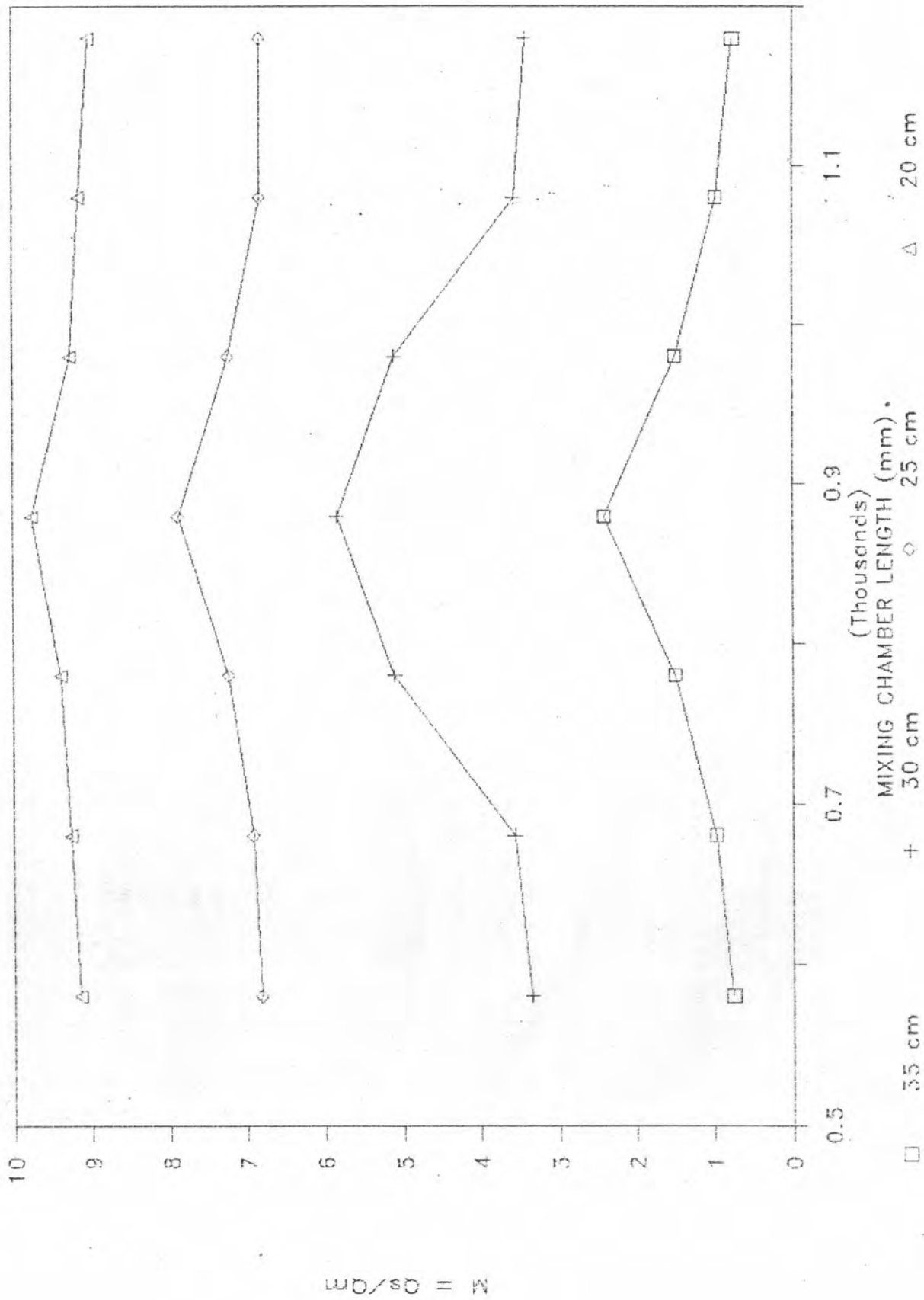
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับความยาวห้องผสม (L_{MC})



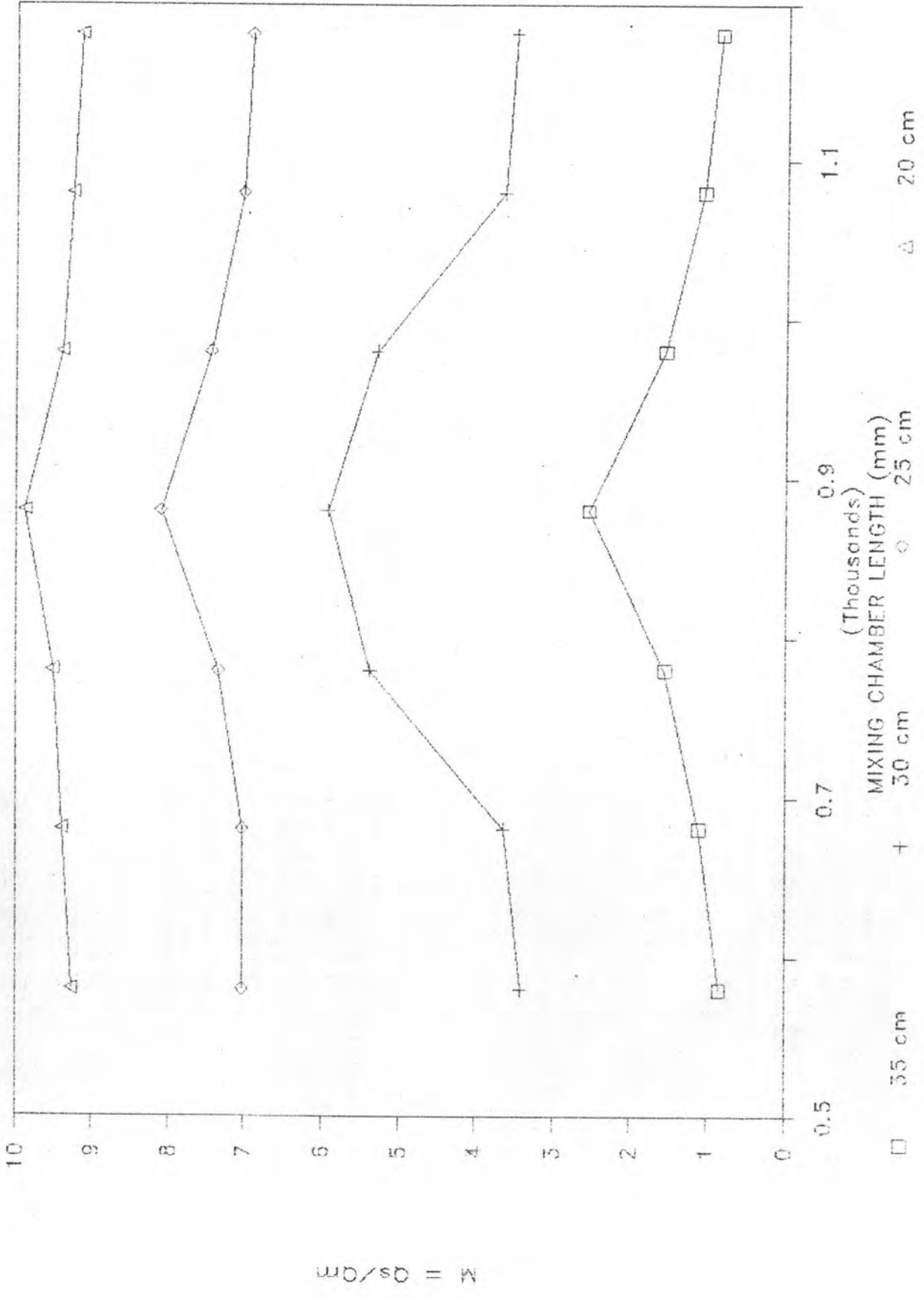
รูปที่ ๓.๘ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (M) กับความยาวห้องผสม (I_{MC}) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมอร์ระยะบอสเซลล์ 120 มิลลิเมตร



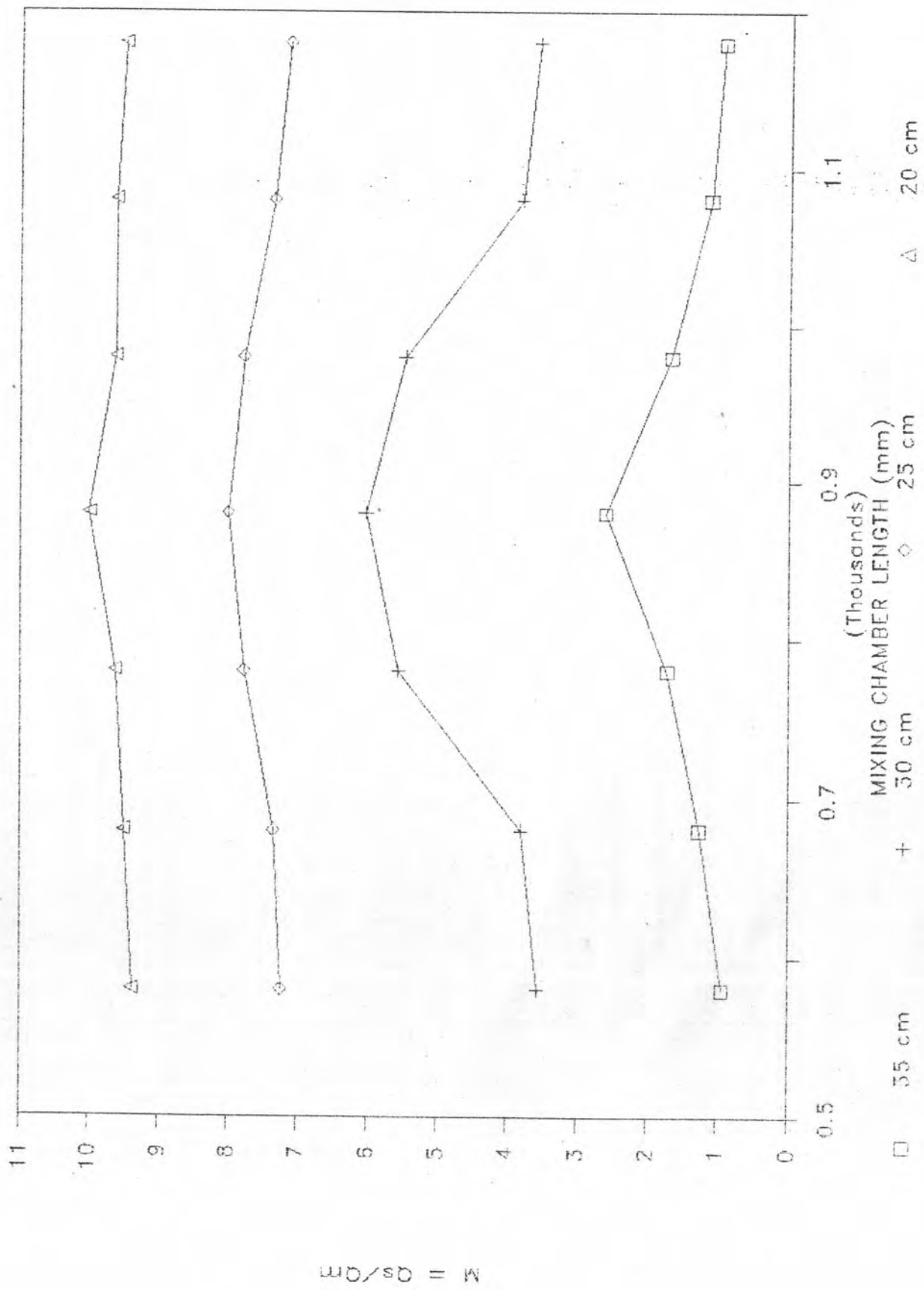
รูปที่ 1.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่ความดันต่าง ๆ เมื่อระยะบอสเซลล์มีขนาด 100 มิลลิเมตร



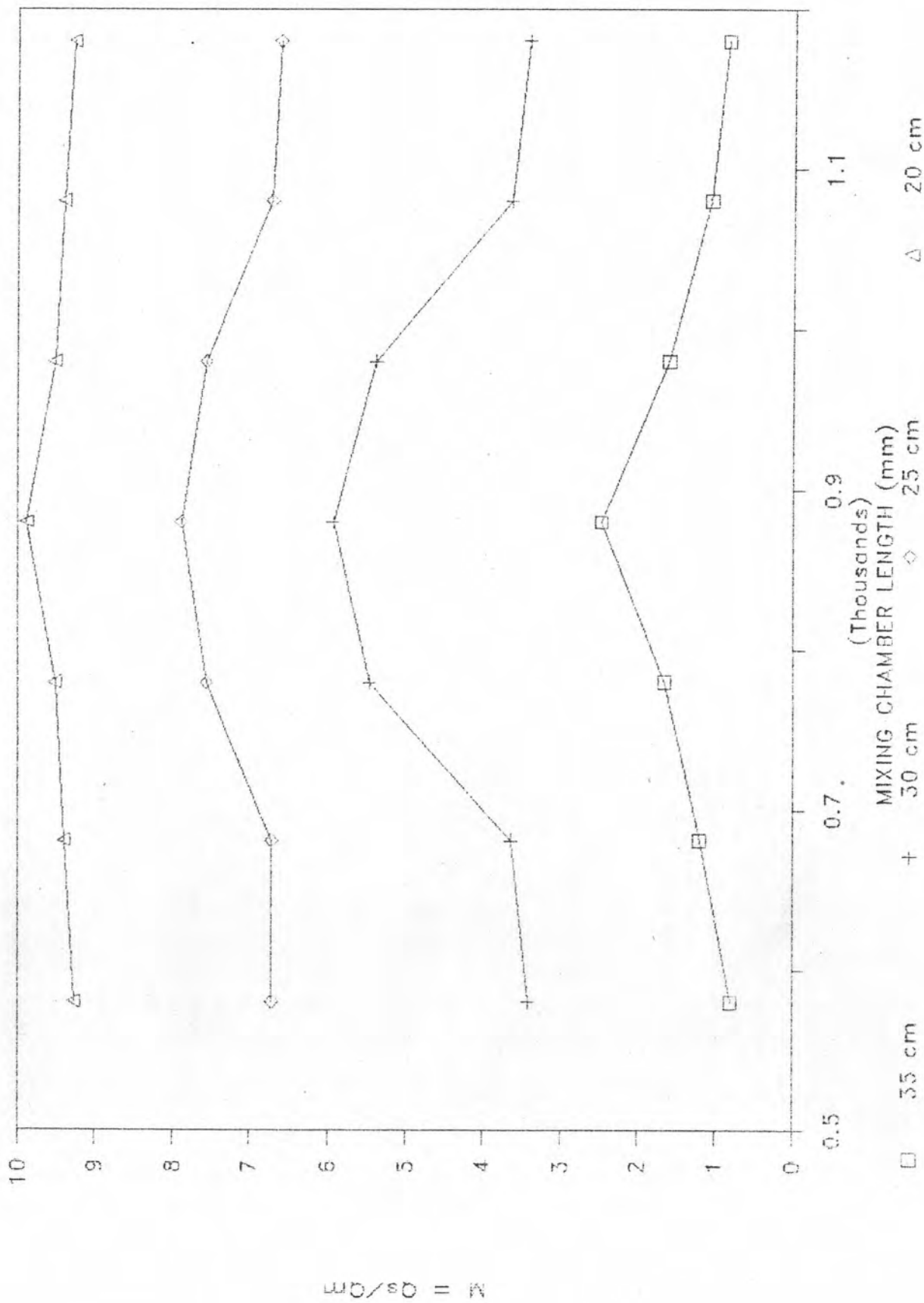
รูปที่ ง.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (M) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อระยะนอสเซิลซ์มี 80 มิลลิเมตร



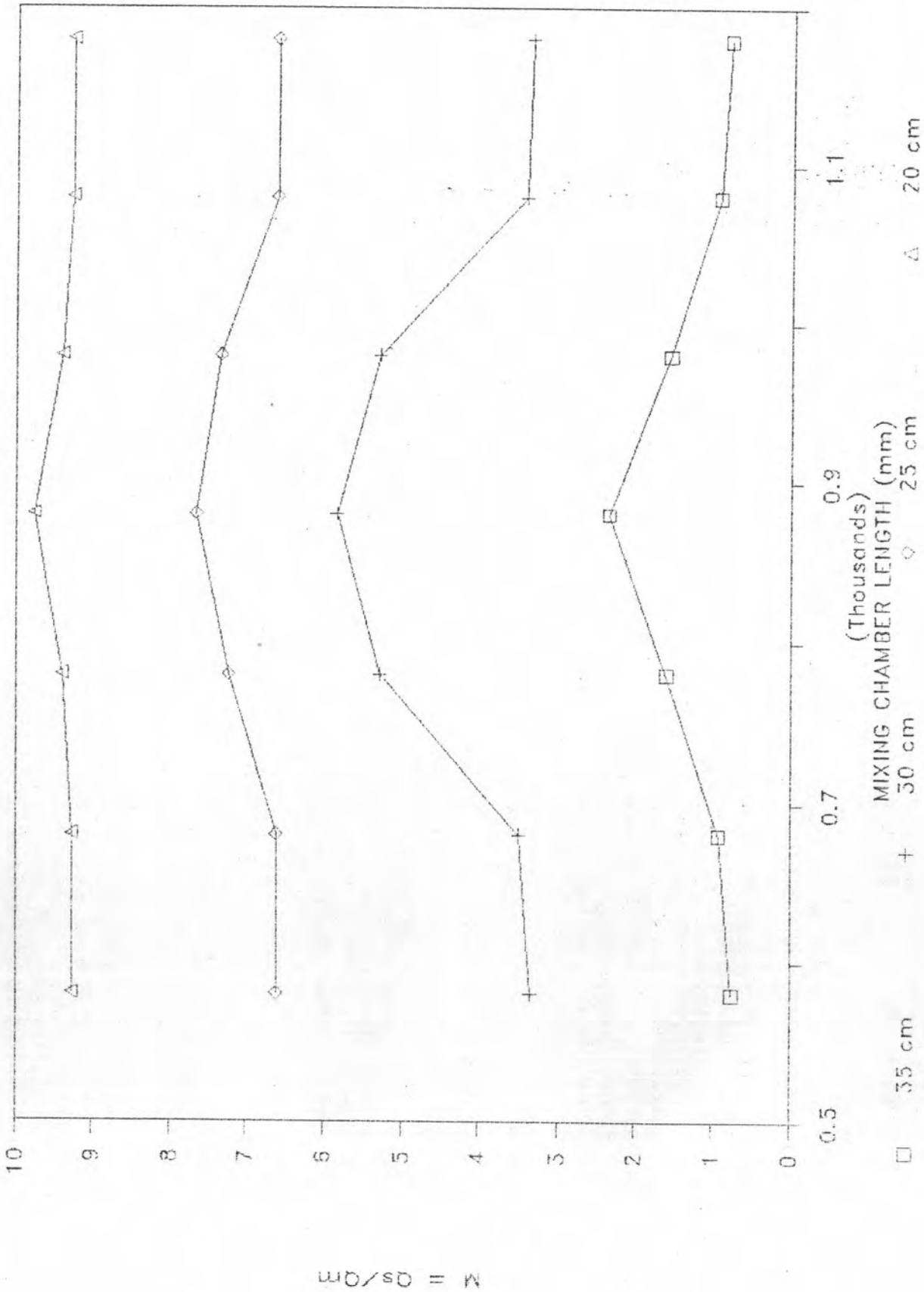
รูปที่ ง.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (M) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่ความดันต่าง ๆ เมื่อระยะบดเซลล์ขึ้น 60 มิลลิเมตร



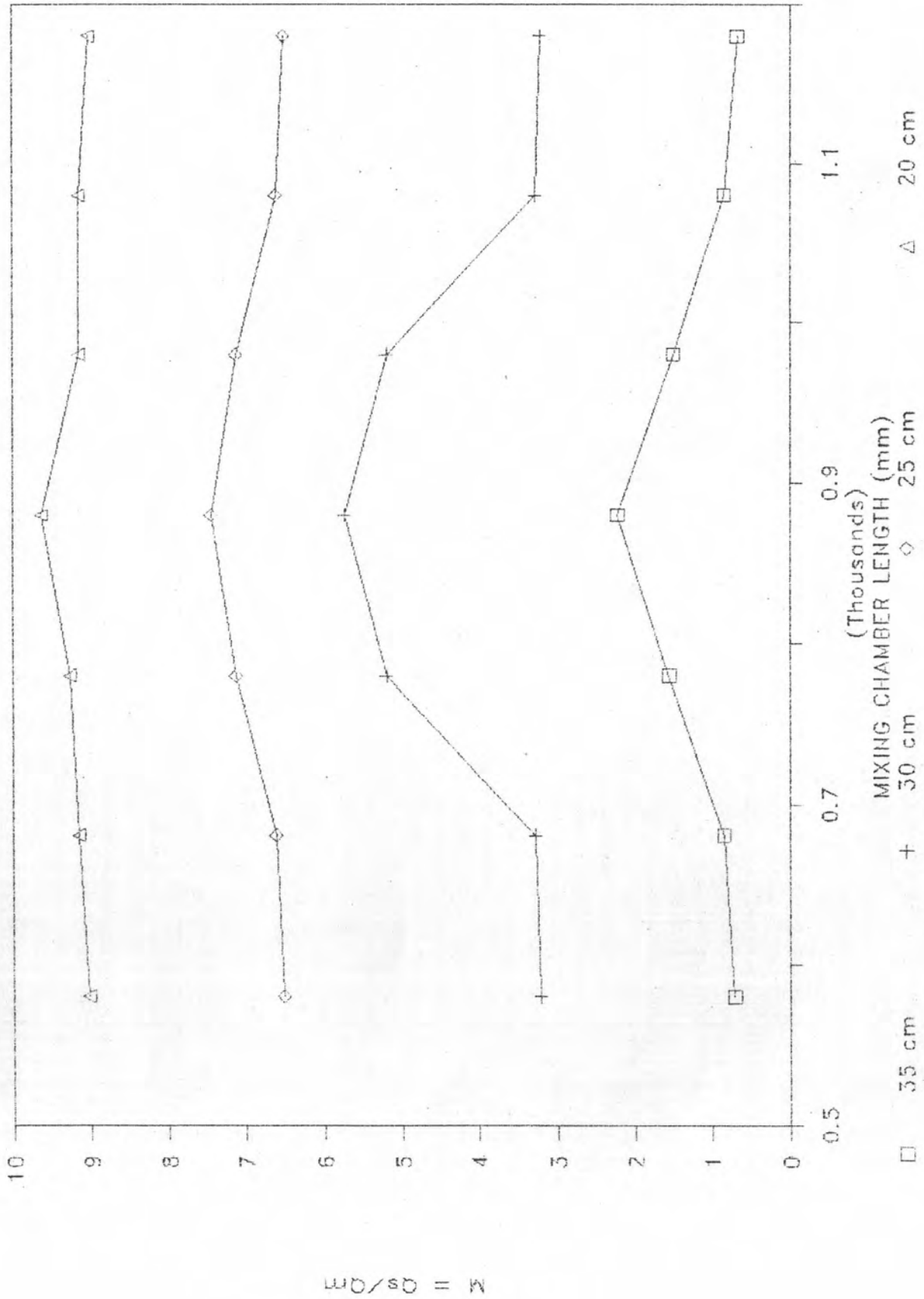
รูปที่ ง.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับความยาวห้องผสม (I_{MC}) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมอร์ระยะบอสเซลซ์ 38 มิลลิเมตร



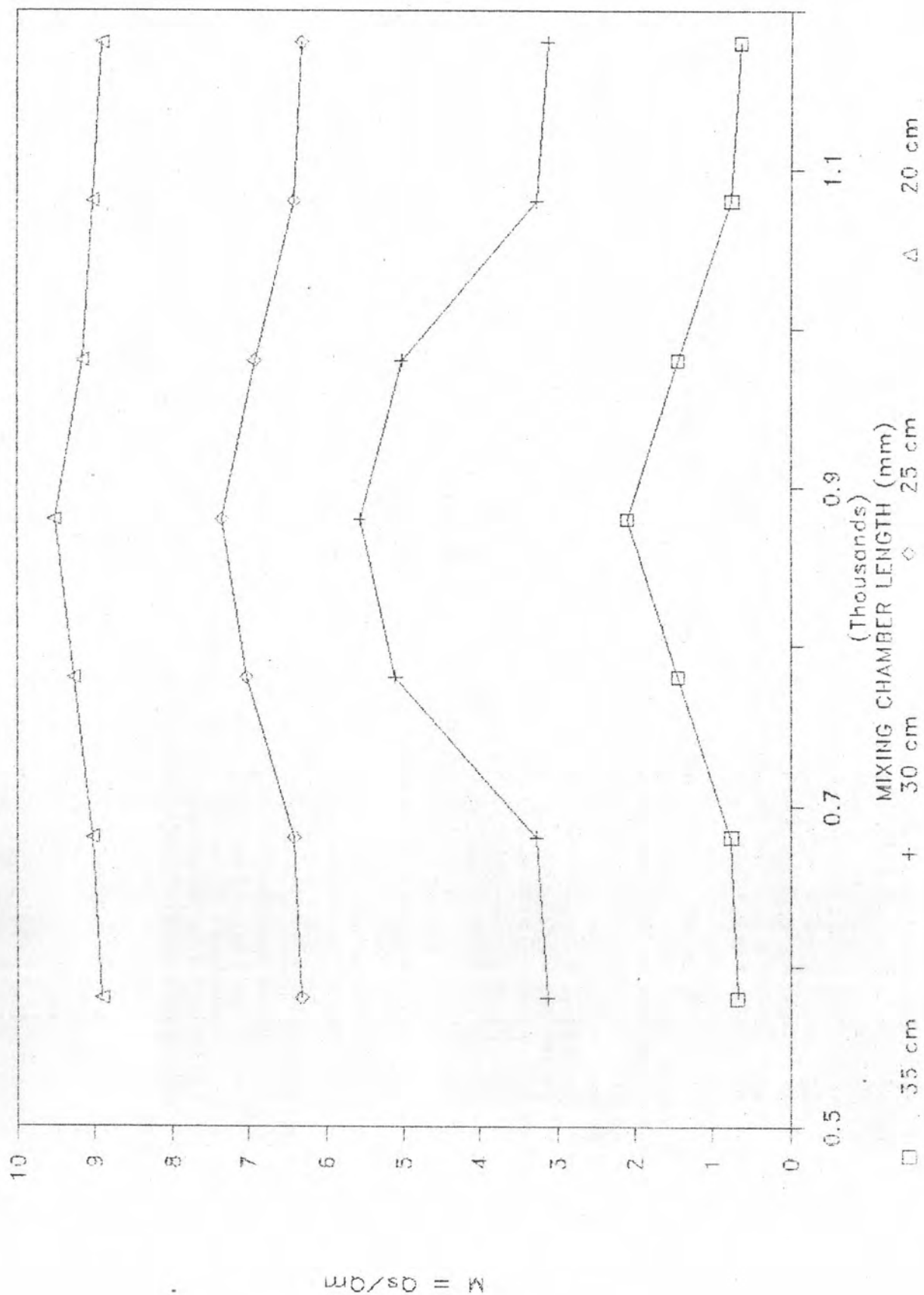
รูปที่ ง.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อระยะเบสเซลล์ขึ้น 20 มิลลิเมตร



รูปที่ ง.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่ความดันต่าง ๆ เมื่อระยะนอสเซิลขึ้น 0 มิลลิเมตร



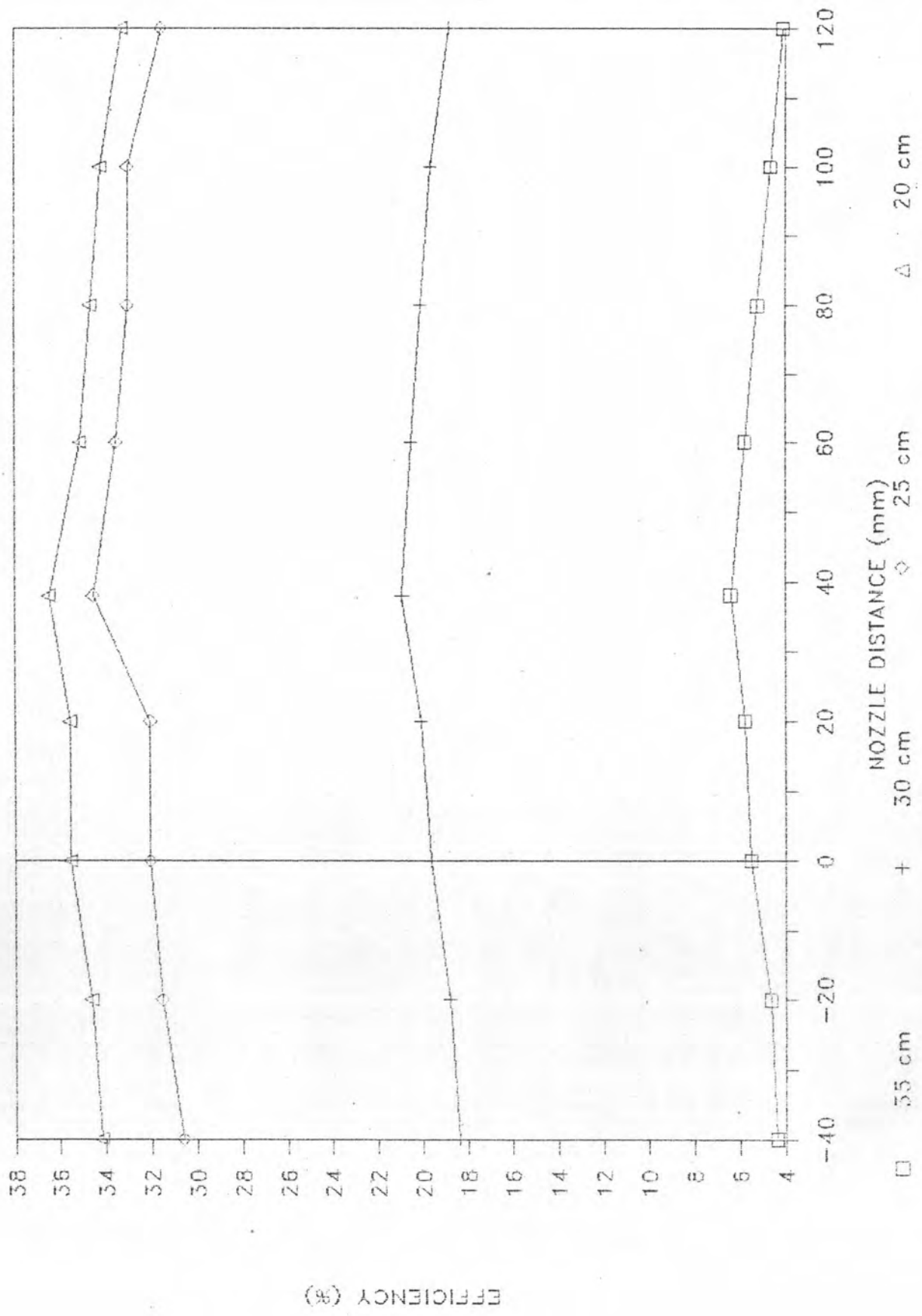
รูปที่ ง.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อระยะบอสเซลล์ขึ้น -20 มิลลิเมตร



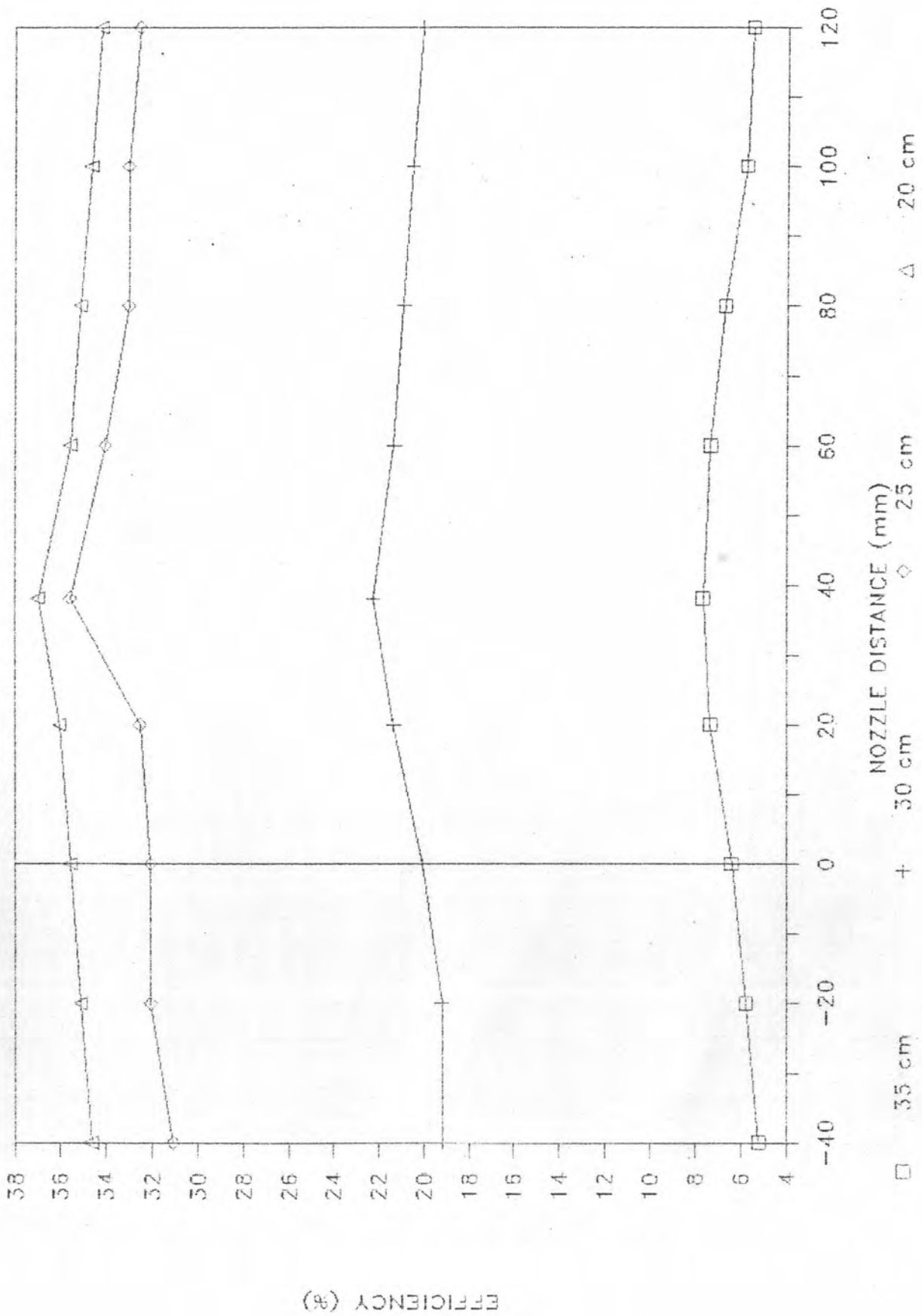
รูปที่ ง.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (M) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อระยะบอสเซลล์ขึ้น -40 มิลลิเมตร

ภาคผนวก ง.4

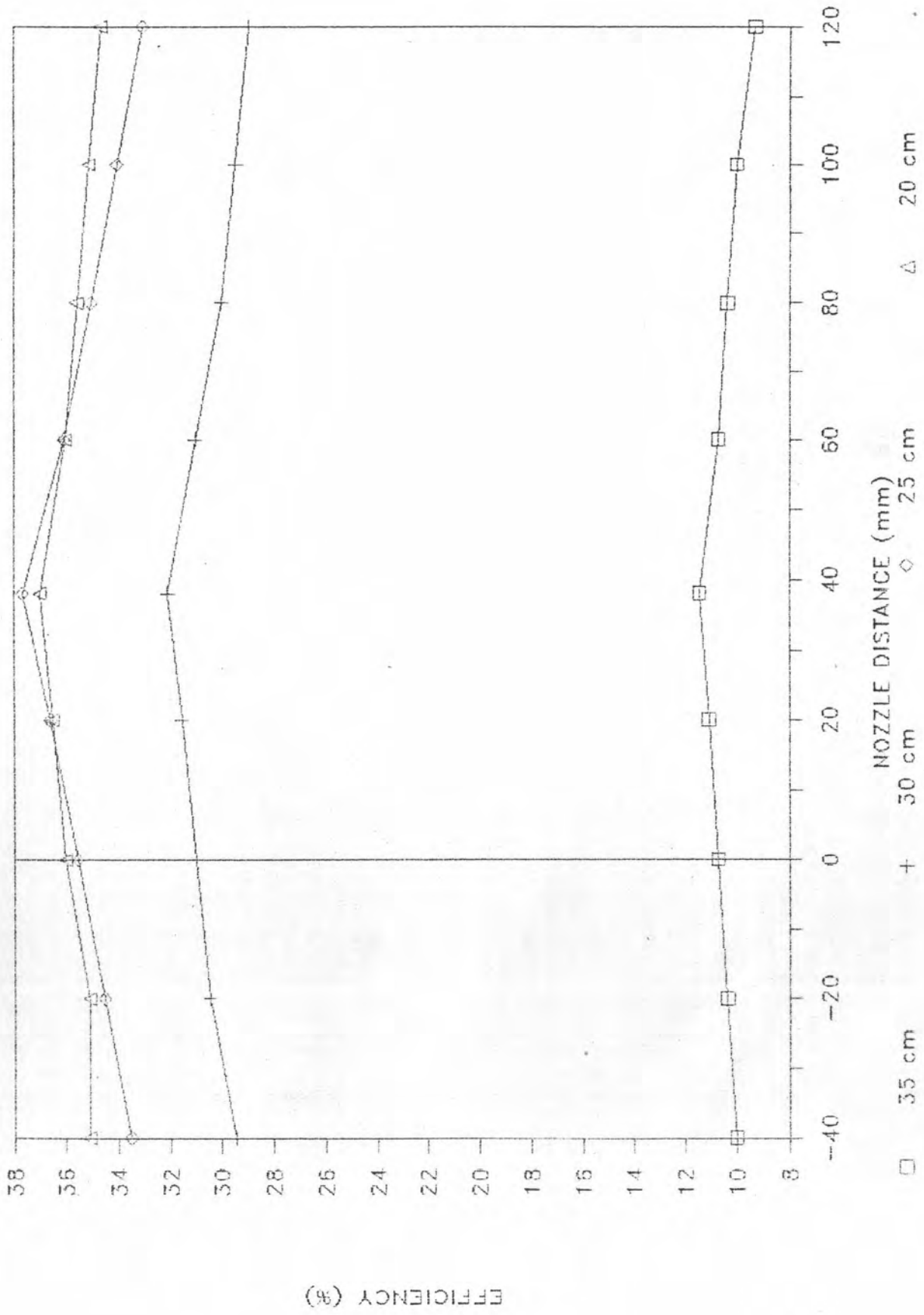
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (η) กับระยะนอสเชิลซ์ (L_m)



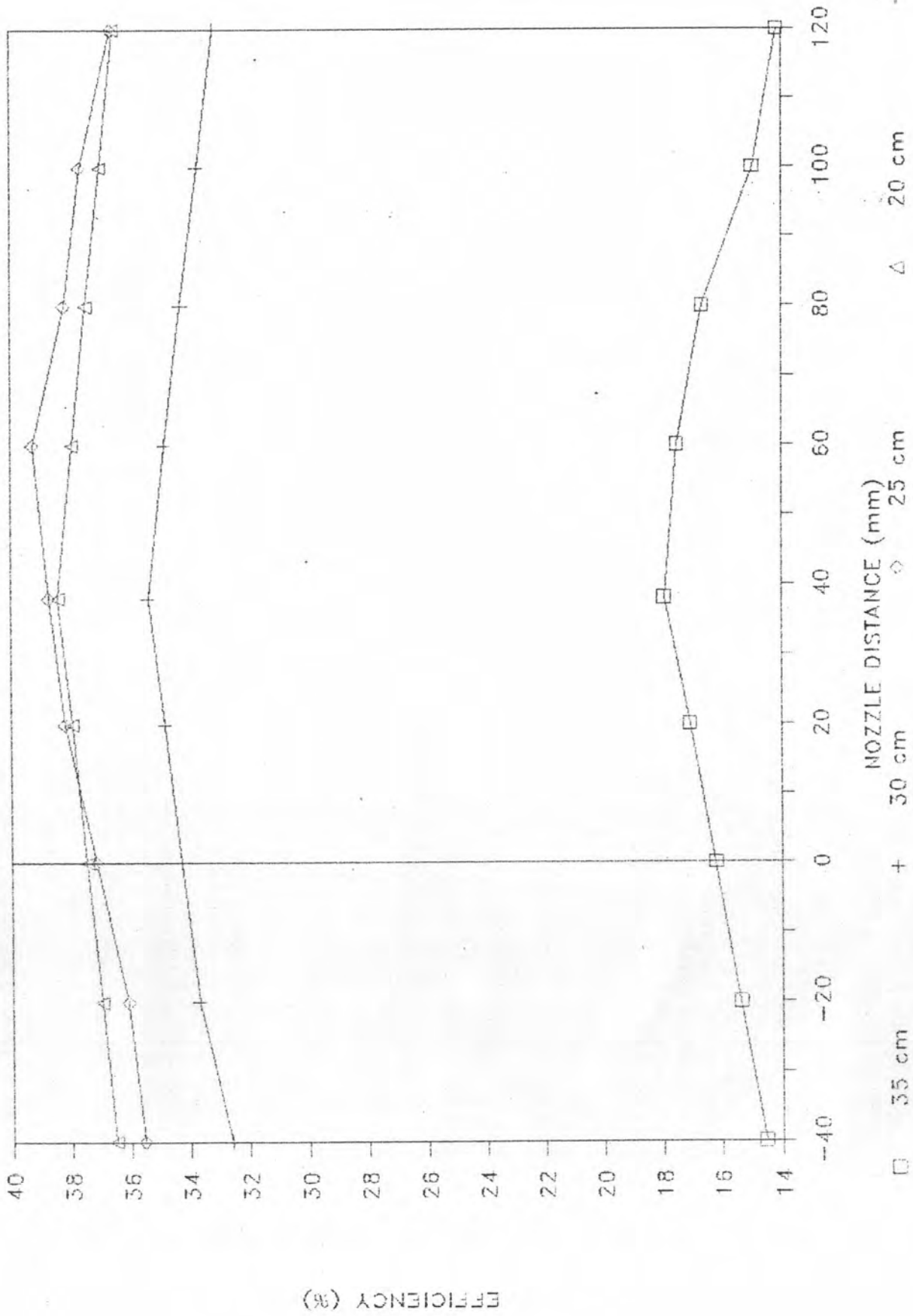
รูปที่ ง.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (ก) กับระยะ
นอสเซลล์ (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อกวามยาวท่อนผสม 1,180 มิลลิเมตร



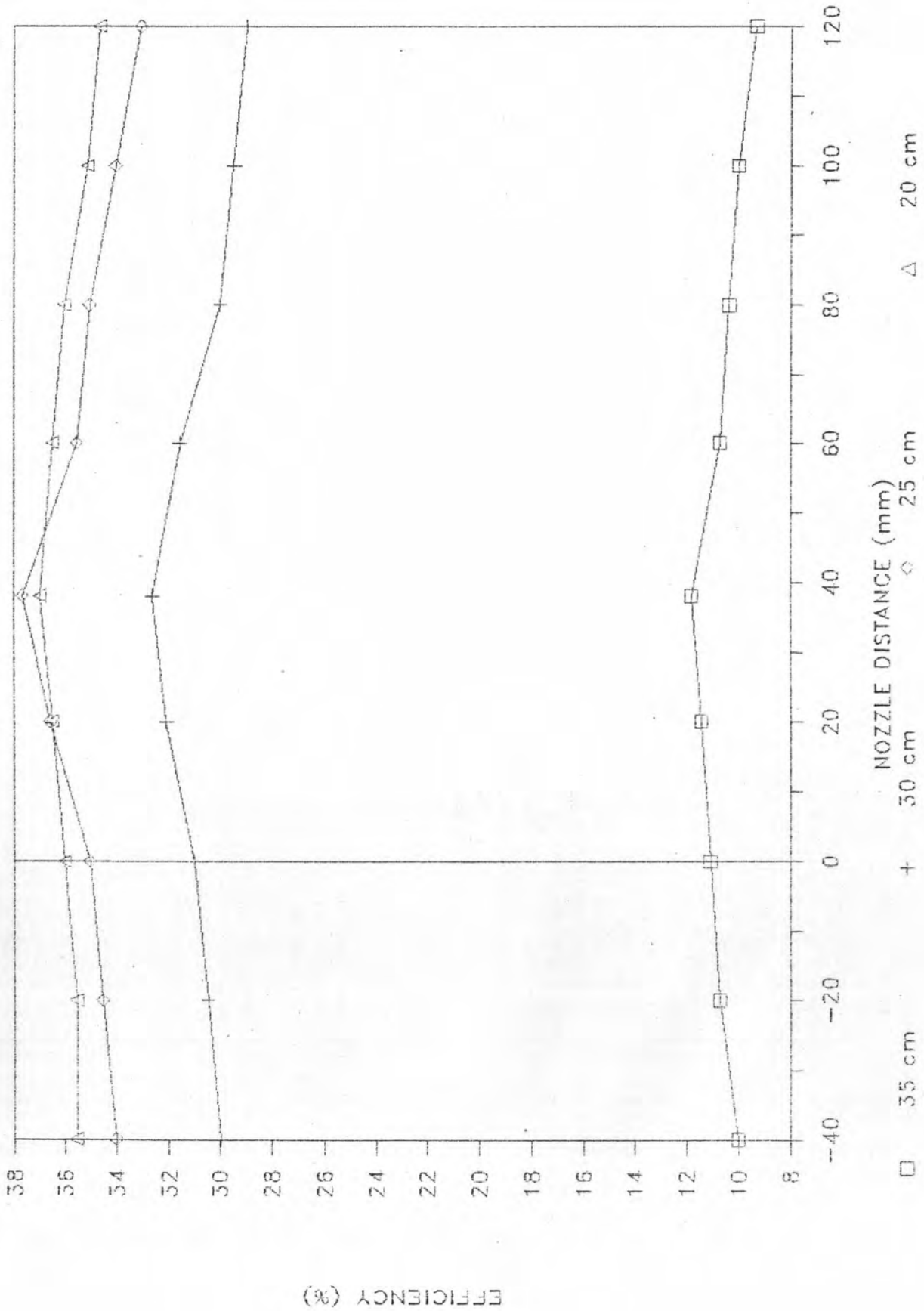
รูปที่ ง.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (η) กับระยะ
นอสเซลล์ (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวท่อผสม 1,080 มิลลิเมตร



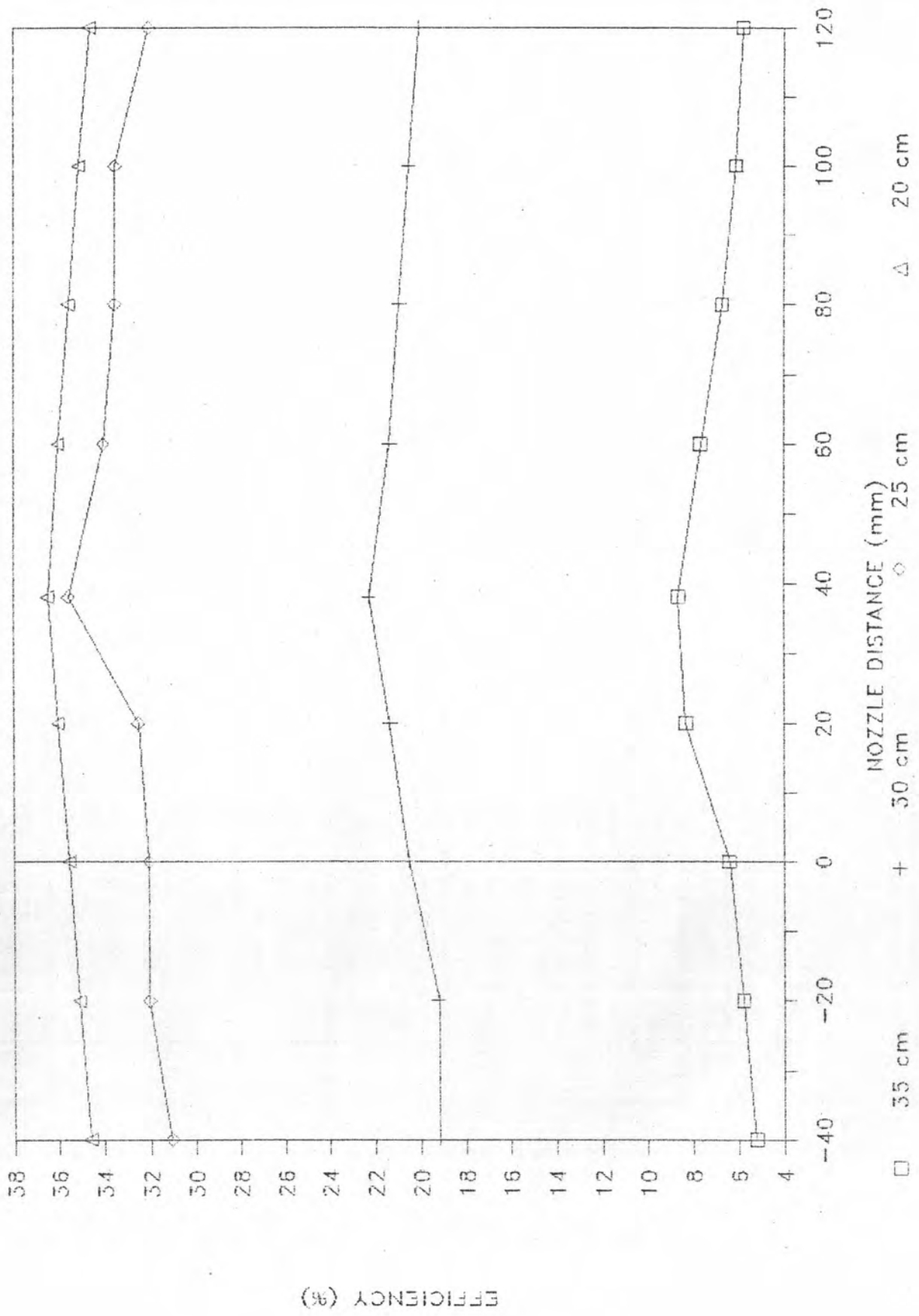
รูปที่ ๑.๑๙ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (ท) กับระยะ
 นอสเจิลซ์ (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวท่อผสม 980 มิลลิเมตร



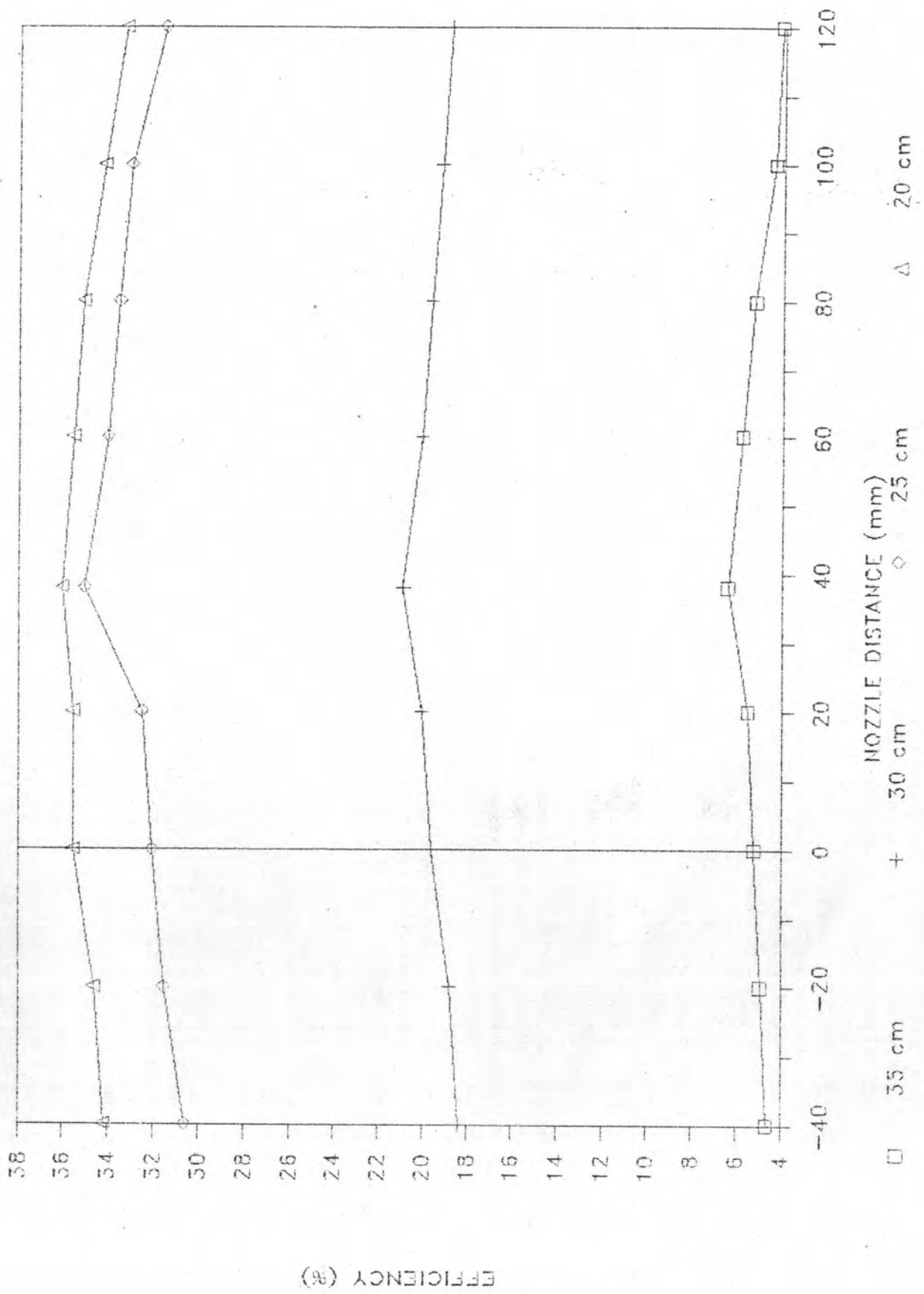
รูปที่ ง.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (ก) กับระยะ
นอัสเซลล์ซ์ (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวท่อผสม 880 มิลลิเมตร



รูปที่ ง.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (ก) กับระยะ
นอสเซลล์ (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวท่อผสม 780 มิลลิเมตร



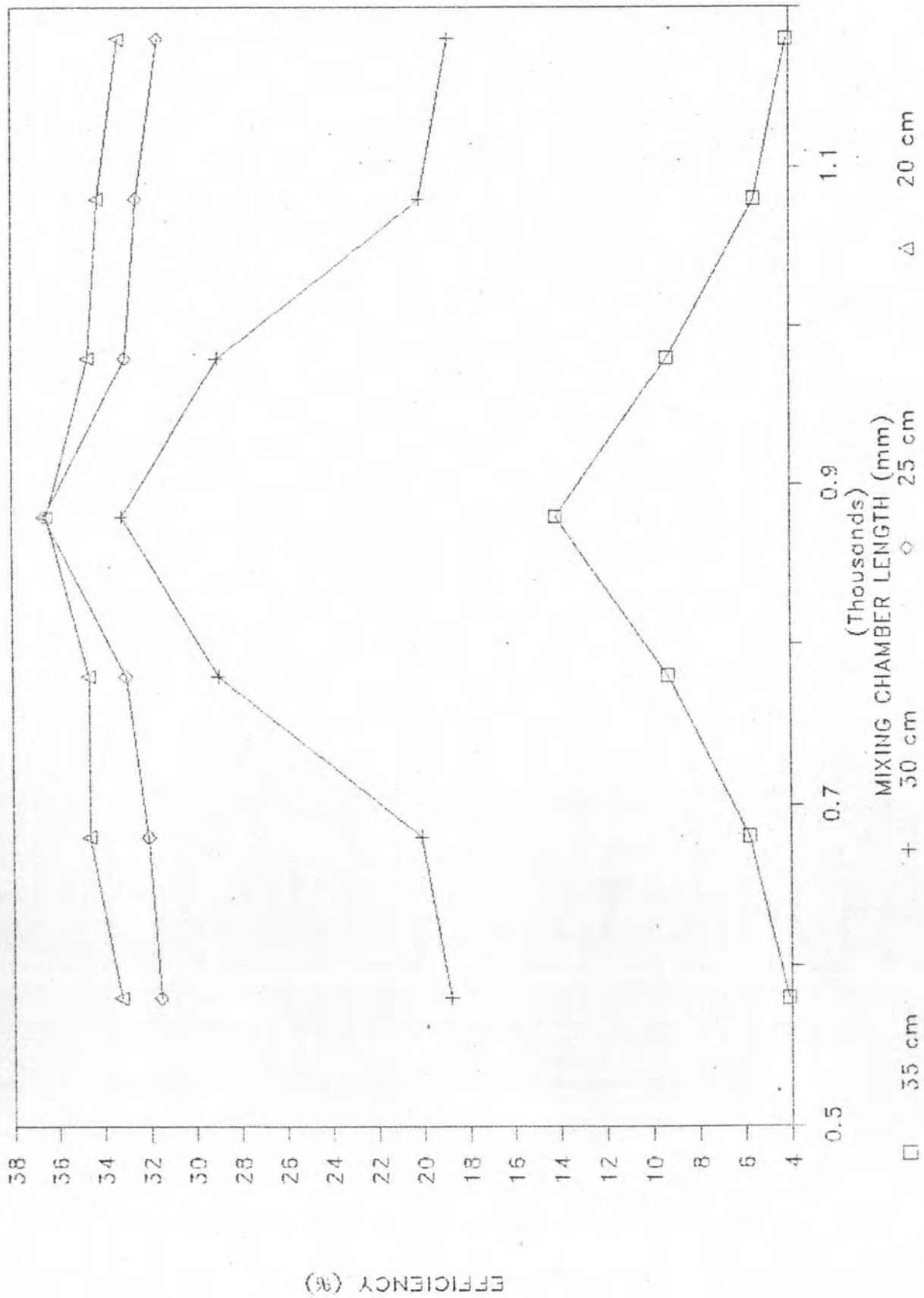
รูปที่ ง.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (ก) กับระยะ
นอสเซลล์ (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวท่อผสม 680 มิลลิเมตร



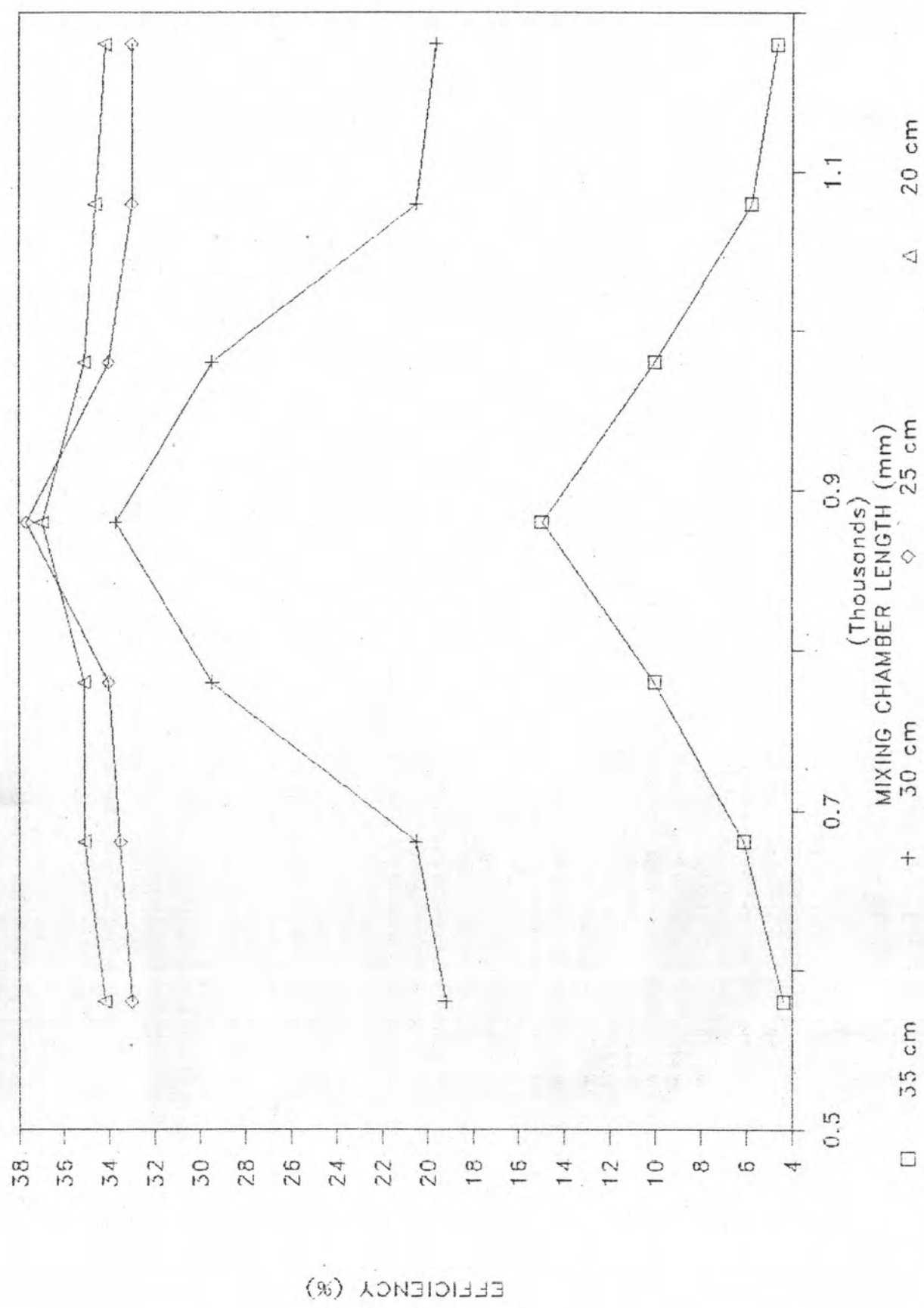
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (η) กับระยะ
 นอสเซลล์ (L_m) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อความยาวห้องผสม 580 มิลลิเมตร

ภาคผนวก ง.5

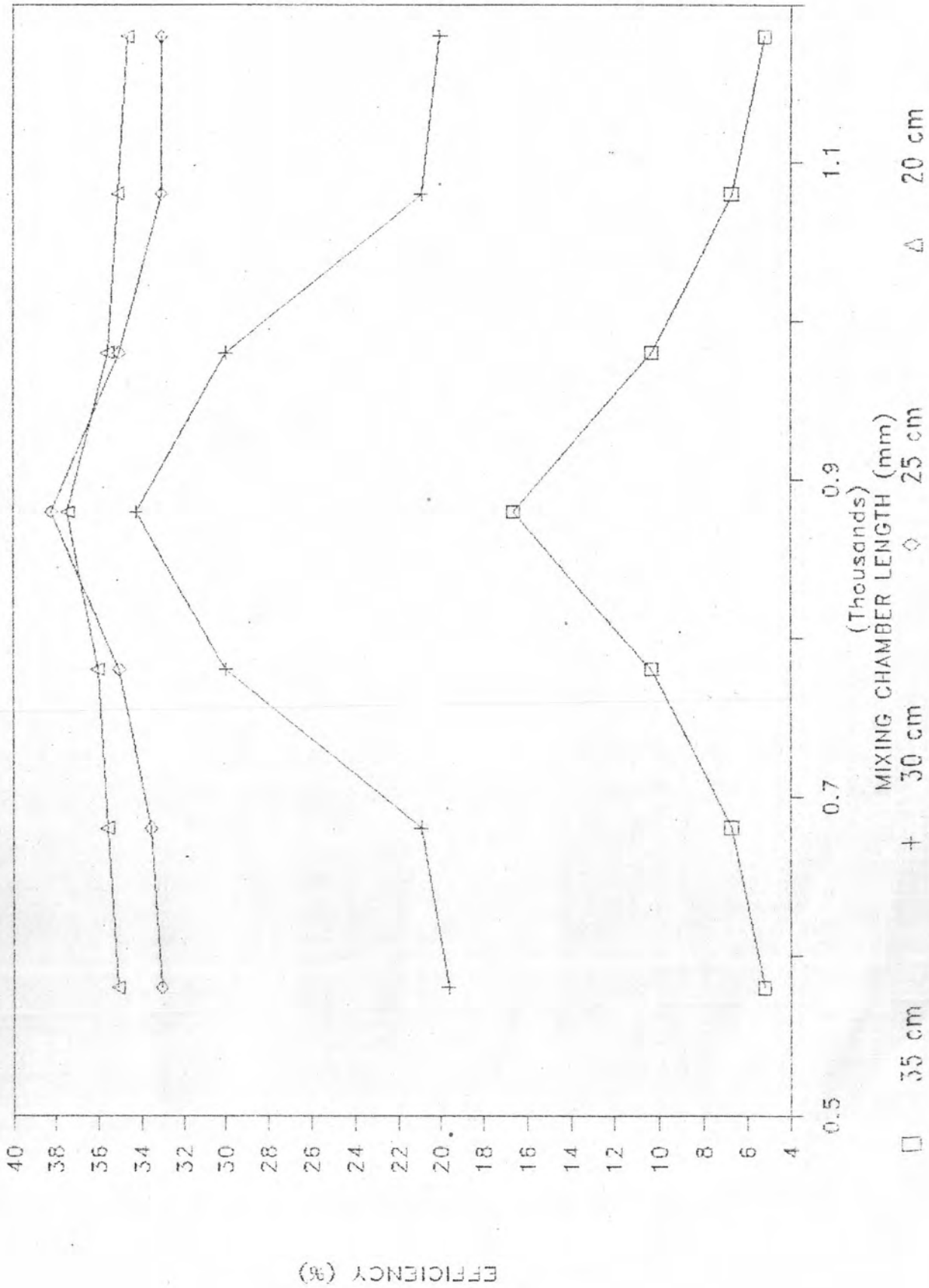
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ
แบบเจ็ต (η) กับความยาวห้องผสม (L_{MC})



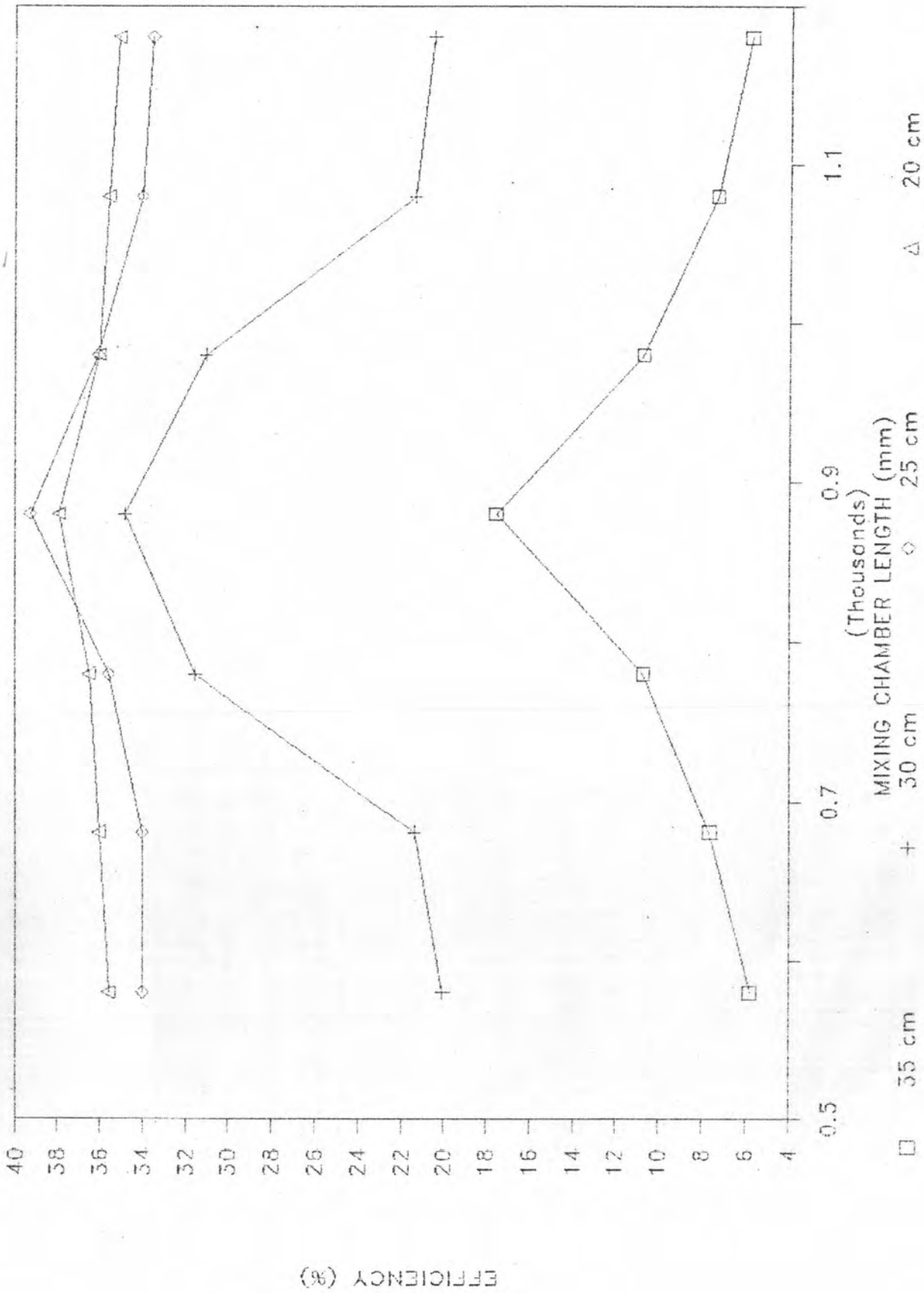
รูปที่ 3.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (ก) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อระยะนอสเซลล์ขึ้น 120 มิลลิเมตร



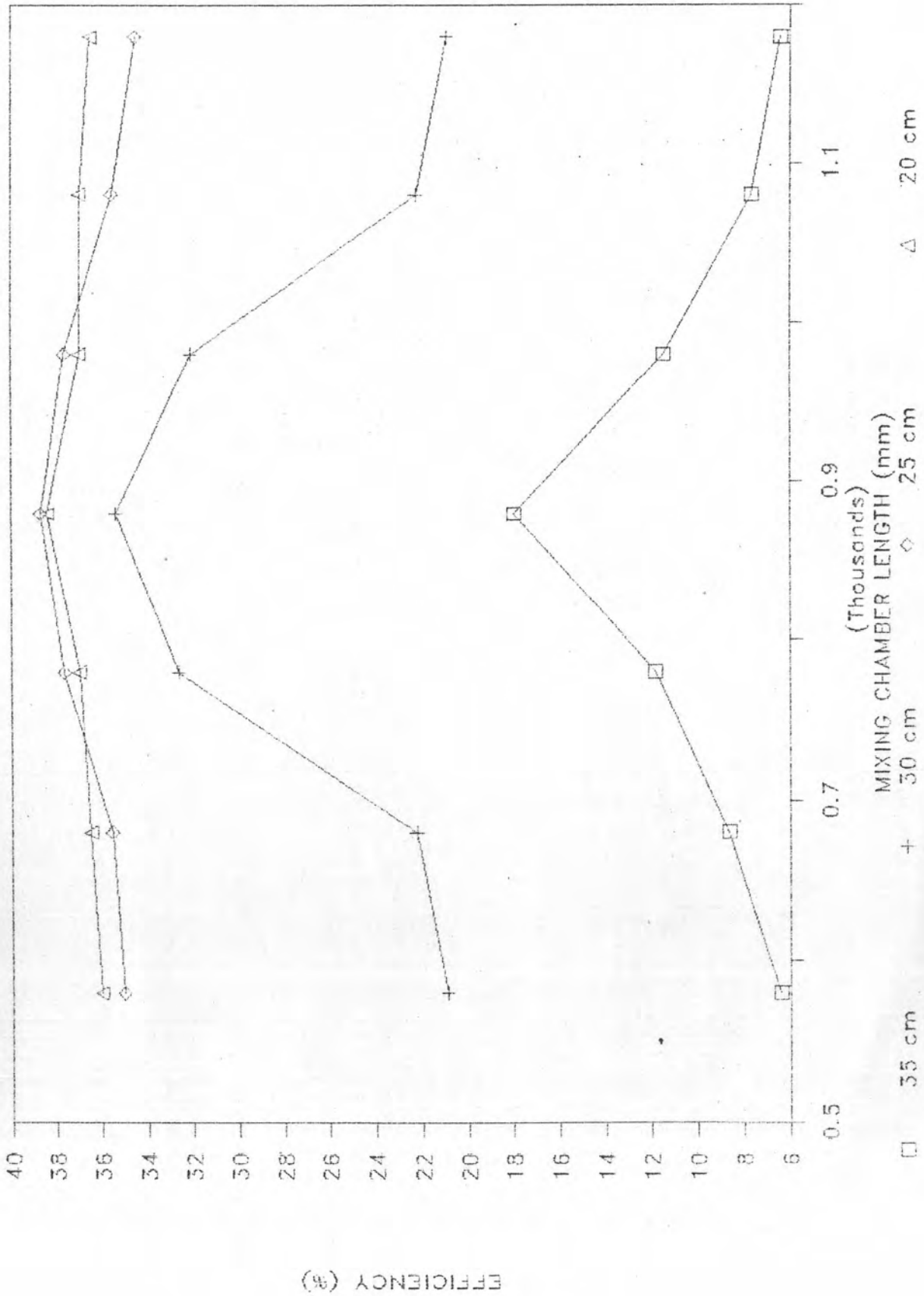
รูปที่ ง.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (ก) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมอร์ระยะนอสเซิลซ์ 100 มิลลิเมตร



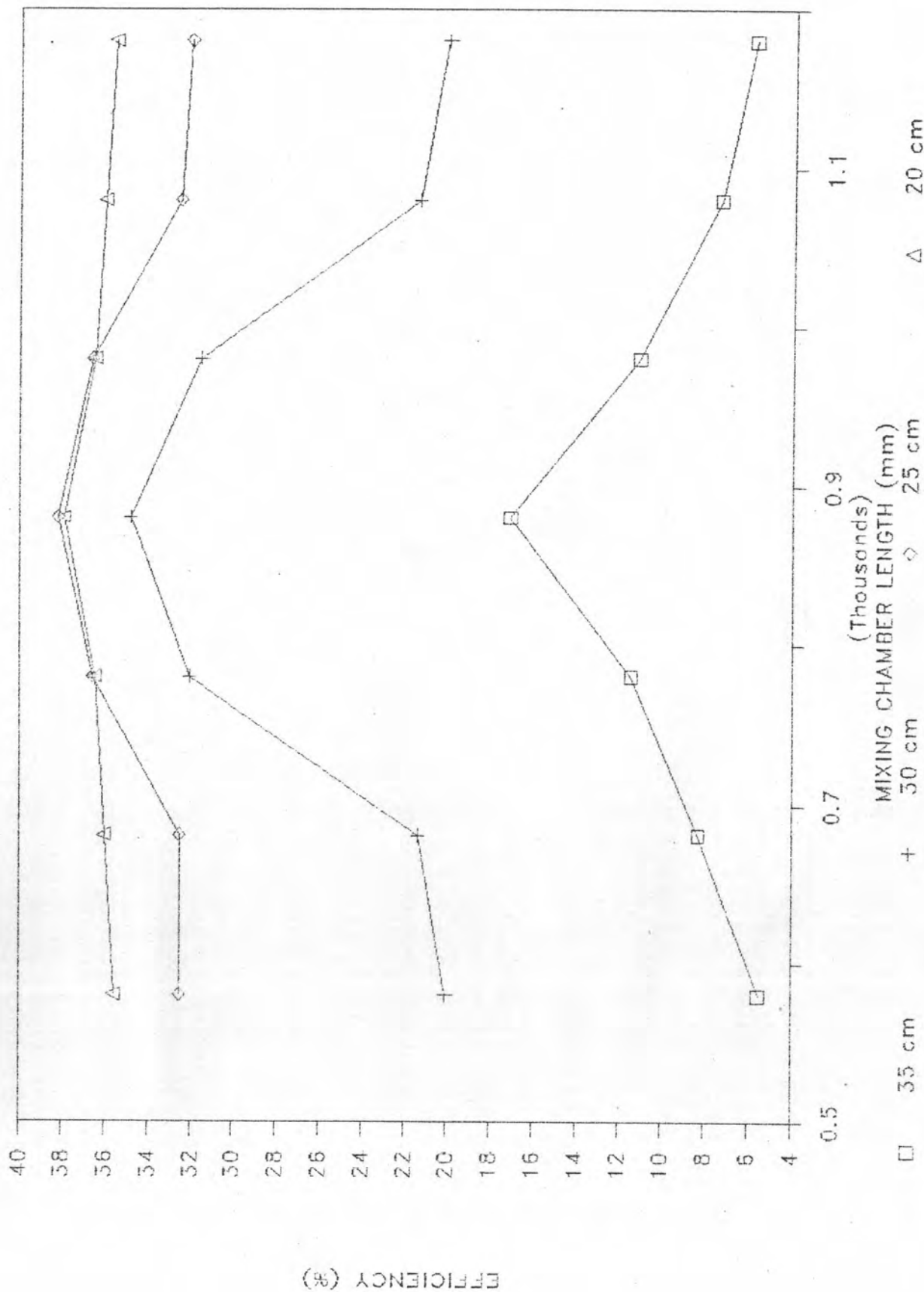
รูปที่ ง.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (ก) กับความยาวห้องผสม (I_{MC}) ที่ความดันต่าง ๆ เมื่อระยะบอสเจ็ตมี 80 มิลลิเมตร



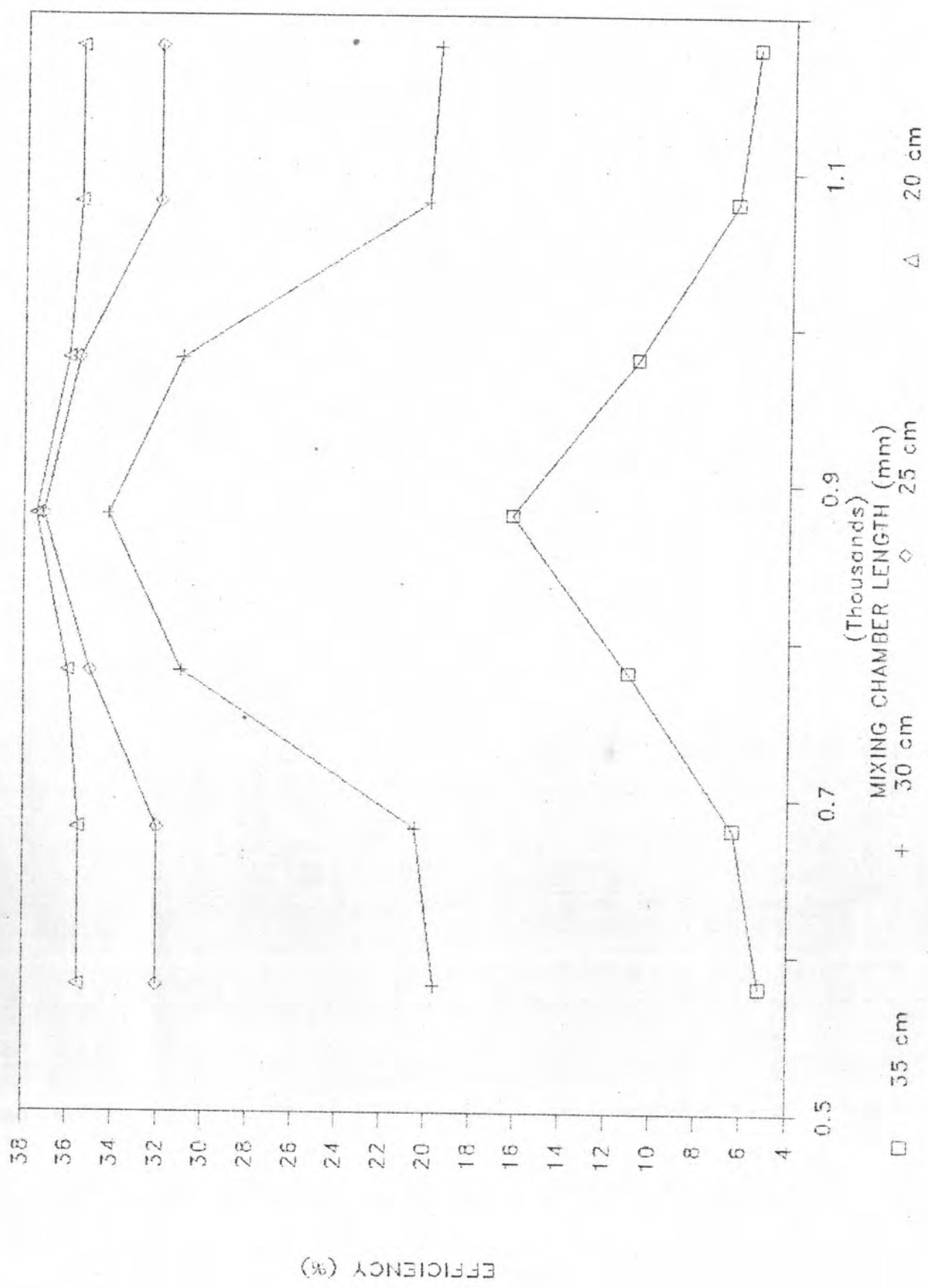
รูปที่ ง.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (η) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อระยะเบสเสิลซ์ับ 60 มิลลิเมตร



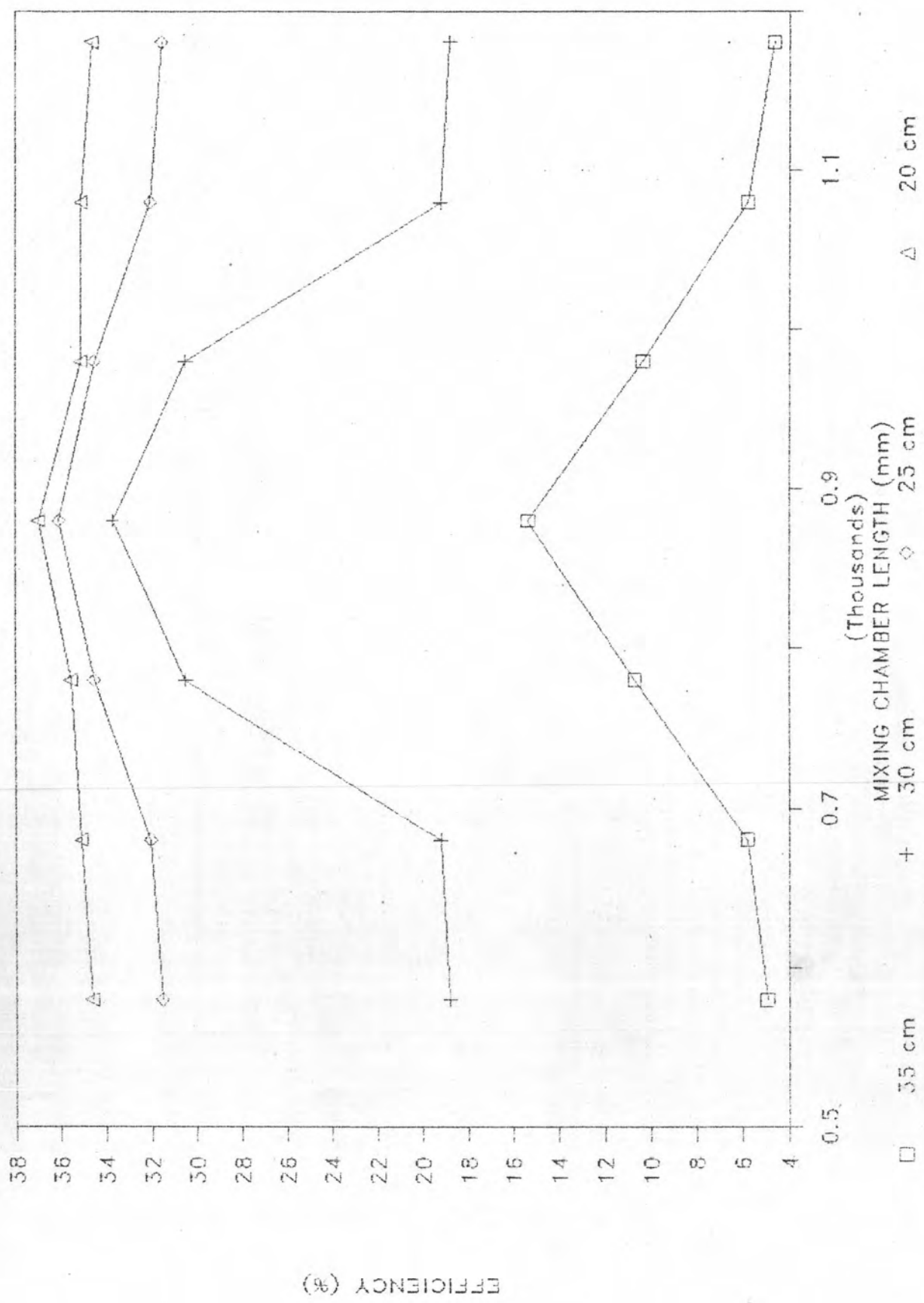
รูปที่ ๓.๒๘ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (ก) กับความยาวห้องผสม (I_{MC}) ที่ความดันต่าง ๆ เมื่อระยะบอสเซลล์ 38 มิลลิเมตร



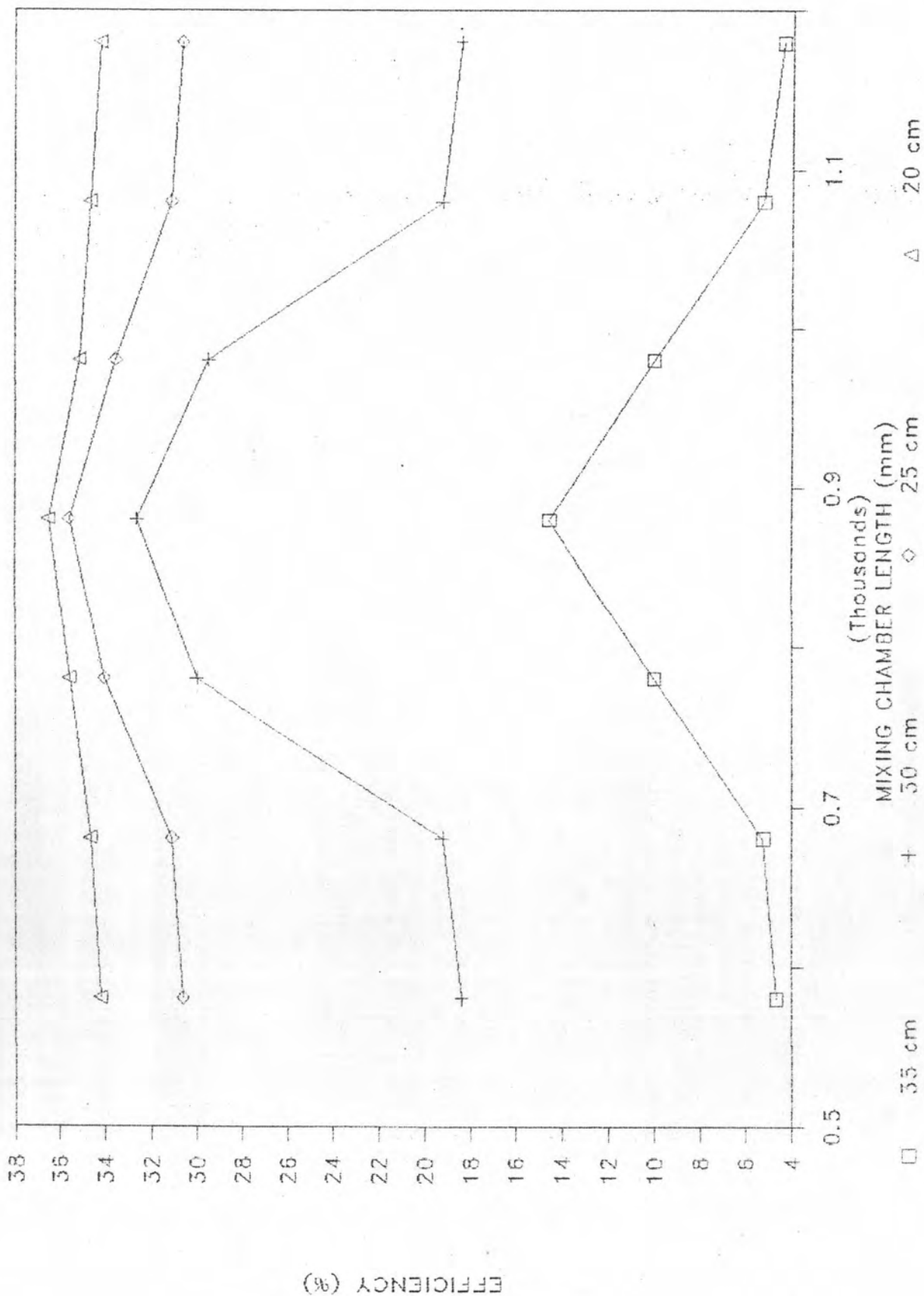
รูปที่ ๒.๒๙ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (ก) กับความยาวห้องผสม (I_{MC}) ที่ความดันต่าง ๆ เมื่อระยะบอสเซลล์ขึ้น 20 มิลลิเมตร



รูปที่ ง.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (η) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อระยะนอสเจ็ตมี 0 มิลลิเมตร



รูปที่ ง.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจต (ก) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่หัวความดันต่าง ๆ เมื่อระยะบอสเซลซ์ - 20 มิลลิเมตร



รูปที่ ง.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต (ท) กับความยาวห้องผสม (L_{MC}) ที่ความดันต่าง ๆ เมื่อยะยะบอสเจลิตซ์ -40 มิลลิเมตร

ภาคผนวก จ

การประยุกต์การใช้งาน

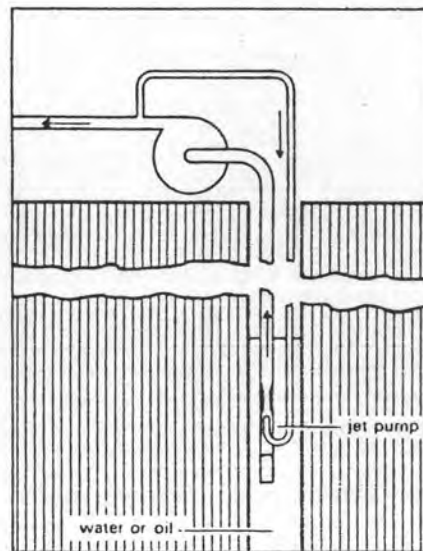
การประยุกต์การใช้งาน (Applications)

การประยุกต์ของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตที่รู้จักเริ่มแรกกระทำโดย James Thomson ในปี ค.ศ. 1852 เขาได้ออกแบบเครื่องสูบน้ำสำหรับใช้เคลื่อนย้ายน้ำจากหลุมซึ่งล้อยู่ได้จมอยู่ ทฤษฎีของการผสมผสานของสองลำของของเหลวได้รับการพัฒนาโดย Rankine ในปี ค.ศ. 1870 เขาได้วางรากฐานการศึกษาโดยใช้สมการต่อเนื่อง (continuity equation) และสมการโมเมนตัม (momentum equation) ซึ่งได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์แผ่นใหม่ด้วย

ขณะที่การประยุกต์ใช้งานของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตได้อยู่ในขอบเขตจำกัดที่ใช้งานอยู่เป็นประจำ การประยุกต์ใช้งานส่วนใหญ่อยู่ในวิศวกรรมโยธา ดังจะกล่าวต่อไปนี้

1. Deep Well Pumping

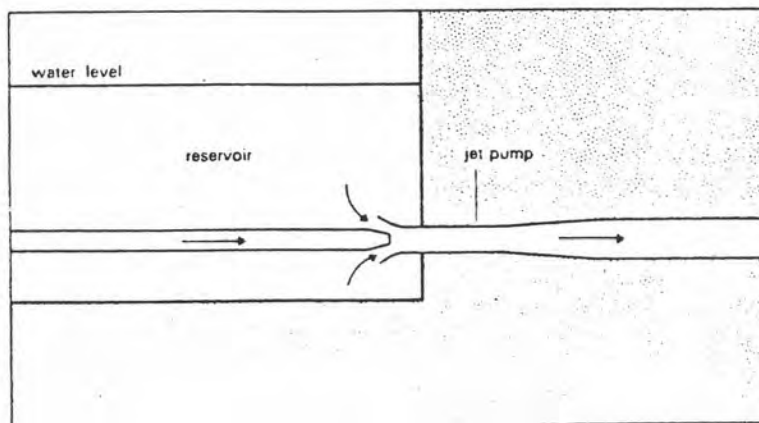
เมื่อต้องการยกของเหลว เช่น น้ำ หรือน้ำมันขึ้นจากหลุมลึกซึ่งการยกตัวของการดูด (suction lift) เกินความดันไอสมบูรณ์ของของเหลวมาก เมื่อเป็นดังนี้จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (centrifugal pumps) เครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตซึ่งใช้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (centrifugal pumps) จัดตั้งในระดับพื้นจะสามารถดูดน้ำในระดับต่ำมากได้ ดังแสดงในรูปที่ จ.1 ถ้าการยกตัวของการดูด (suction lift) สูงมากสามารถใช้เครื่องสูบน้ำแบบชนิดหลายขั้นตอน (multistage)



รูปที่ จ.1 Deep Well Pumping

2. Booster Pumping

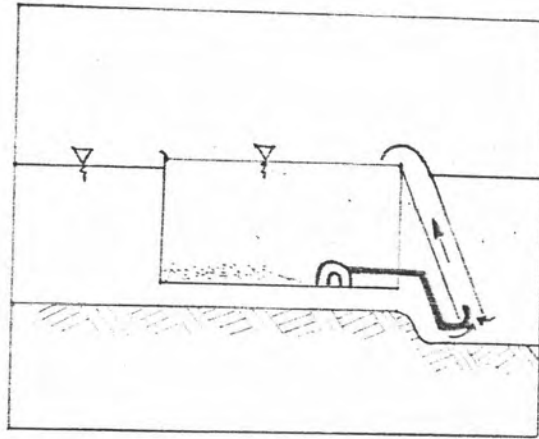
เครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตสามารถนำมาใช้เสริมความดัน และใช้ในระบบงานท่อ น้ำซึ่งนำเข้าสู่ถังภายใต้ความดันสามารถใช้กระทำในฐานะลำนน้ำขับของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต ซึ่งได้รับการติดตั้งที่ทางออกจากถังน้ำ ดังแสดงในรูปที่ จ.2 น้ำความดันสูงสามารถรับการเสริมโดย ground water ถ้าปริมาณที่จัดทำได้มีมากพอ และเหมาะสม ทาโดยการรวมเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตเข้าไปในทางเดินท่อ



รูปที่ จ.2 Booster Pumping

3. Dredging

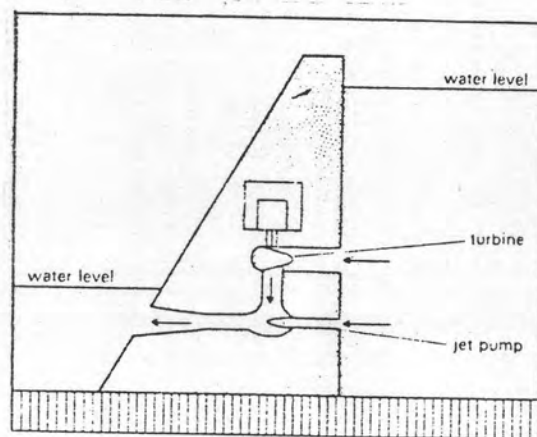
เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงไม่ให้วัสดุแข็งผ่านเครื่องสูบน้ำแบบทอยโฆ่ง (centrifugal pump) ในการขุด เครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตสามารถนำมาใช้อย่างแสดงในรูปที่ จ.3 ทางเดินท่อซึ่งนำมาสู่เรือท้องแบน จะอยู่ภายใต้ความดันแบบเดียวกับที่ได้มีในการใช้เครื่องสูบน้ำแบบทอยโฆ่ง (centrifugal pump) นอกจากนี้ลำนน้ำขับจะช่วยกวาดวัสดุที่นอนก้นด้วย



รูปที่ จ.3 Dredging

4. Tail Water Suppressors

เมื่อสภาพอุทกภัยหรือสภาพน้ำท่วมเกิดขึ้นก่อน การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ เครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตสามารถใช้ร่วมในการออกแบบที่จะเพิ่มหัวน้ำ (head) ที่มีประสิทธิภาพซึ่งจัดหาได้สำหรับการผลิตกำลังงานดังแสดงในรูปที่ จ.4 และระบบนี้สามารถประยุกต์ใช้งานกับ reaction turbine และ impulse turbine

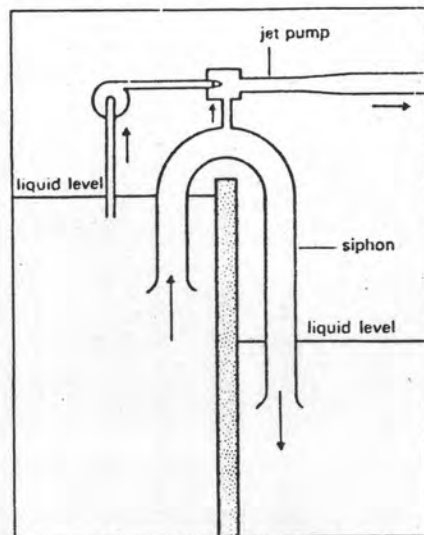


รูปที่ จ.4 Tail Water Suppressors

5. Priming Devices

อย่างที่เห็นแล้วว่า เครื่องสูบน้ำแบบเจ็ทมีความสามารถในการขนส่งหรือเคลื่อนย้ายของไหล ได้รับการใช้งานในฐานะเป็นเครื่องมือพื้นฐานชนิดหนึ่ง กรณีหนึ่งซึ่งได้ข้ออย่างเป็นทางการก็คือ เป็นเครื่องมือสำหรับการกักน้ำ (siphon) ซึ่งได้แสดงในรูปที่ จ.5 ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ foot value และการสะสมของฟองอากาศในกักน้ำ (siphon) สามารถเอาชนะได้โดยการคงรักษาการสูบน้ำแบบเจ็ทผ่านขบวนการกักน้ำ (siphoning)

มีการใช้เครื่องมืออย่างบ่อยครั้งมาก และโดยเฉพาะเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ท ดังนั้นก็มีความสำคัญอย่างมากที่จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับลักษณะของเครื่องสูบน้ำ (pump characteristics) การศึกษาได้รับการดำเนินการที่มหาวิทยาลัย Western Australia เพื่อที่จะเพิ่มพูนความรู้ที่มีอยู่ของพฤติกรรมเครื่องสูบน้ำ และเพื่อที่จะรับข้อมูลในการออกแบบที่มีเหตุผล



รูปที่ จ.5 Priming Device

ภาคผนวก ฉ

สมการที่ใช้ในการหาค่าต่าง ๆ จากข้อมูลที่ได้มาจากการทดลอง

สมการที่ใช้ในการหาค่าต่าง ๆ จากข้อมูลที่ได้มาจากการทดลอง

สมการประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (centrifugal pump efficiency equation)

$$\eta_p = \frac{\text{Work Output}}{\text{Work Input}}$$

$$= \frac{w \times g \times \Delta H \times Q_t}{\text{Electric energy input to centrifugal pump}}$$

โดยที่ η_p = ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง
 ΔH = ความแตกต่างของหัวความดัน
 Q_t = อัตราการไหลผ่านเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง
 w = ความหนาแน่นของน้ำ
 g = ความเร่งเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก

แทนค่าเพื่อหาสูตรสำเร็จจะได้

$$\eta_p = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times \Delta H \times Q_t}{3600 \text{ sec/hr} \times \text{Electrical consumption}}$$

$$= \frac{2.725 \times \Delta H \times Q_t}{\text{Electrical consumption}} \quad \text{--- (ฉ.1)}$$

โดยที่ ΔH มีหน่วยเป็น เมตร
 Q_t มีหน่วยเป็น ลบ.ม./ชม.
 Electrical consumption มีหน่วยเป็น วัตต์

สมการที่ใช้หาอัตราการไหลโดยอาศัยหลักการของ Weir

โดยที่ $Q = C_d \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{g} (z_3 - z_w)^{5/2}$
 Q = อัตราการไหล
 C_d = สัมประสิทธิ์ทางออก

θ = มุมของรอยบากบนสันเขื่อน

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

z_3 = ความสูงของระดับน้ำที่อยู่ไกลสันเขื่อน

z_w = ความสูงของมุมรอยบากบนสันเขื่อน

แทนค่าเพื่อหาสูตรสำเร็จจะได้

$$Q = 3600 \times 0.44 \times \frac{\tan 90}{2} \times \sqrt{9.81} \left[(z_3 - z_w) \times 10^{-2} \right]^{5/2}$$

$$= 0.05(z_3 - z_w)^{5/2} \quad \text{--- (จ.2)}$$

โดยที่

Q มีหน่วยเป็น ลบ.ม/ชม.

z_3 มีหน่วยเป็น เซนติเมตร

z_w มีหน่วยเป็น เซนติเมตร

สมการประสิทธิภาพจริง (actual efficiency equation) ของเครื่องสูบน้ำแบบ

เจ็ต

$$\eta = \frac{\text{Work Output}}{\text{Work Input}}$$

$$= \frac{Q_s (P_3 - P_2)}{Q_m (P_1 - P_3)}$$

$$= MN \quad \text{--- (จ.3)}$$

โดยที่

η = ประสิทธิภาพจริงของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต

M = อัตราส่วนการไหลไร้มิติ = $\frac{Q_s}{Q_m}$

N = อัตราส่วนหัวไร้มิติ = $\frac{(P_3 - P_2)}{(P_1 - P_3)}$

Q = อัตราการไหลมีหน่วยเป็น ลบ.ม/ชม.

P = หัวความดันรวมมีหน่วยเป็น เมตร

ภาคผนวก ช

รูปแบบการเลี้ยงกุ้งน้ำเค็ม และการเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องสูบน้ำ
แบบเจ็ทกับเครื่องสูบน้ำแบบดันน้ำไหลตามแนวแกน

รูปแบบของการเลี้ยงกุ้งน้ำเค็ม

1. การเลี้ยงแบบธรรมชาติ เป็นการเลี้ยงแบบดั้งเดิมที่เคยทำกันมา บ่อมีขนาดตั้งแต่ 20-60 ไร่ ชุกแบบมีชาว้าง กว้าง 10-20 เมตร ลึก 30-60 เซนติเมตร ตรงกลางเป็นพื้นราบ ใช้วิธีคั้นน้ำเข้าหรือเปิดน้ำเข้านาเมื่อเวลาน้ำขึ้น เพื่อให้ลูกกุ้งและอาหารธรรมชาติติดเข้ามากับน้ำทะเล แล้วเก็บกักน้ำไว้ประมาณ 1-2 เดือน เพื่อให้กุ้งเจริญเติบโตโดยกินอาหารจากธรรมชาติ ไม่มีการให้อาหารหรือทำลายศัตรูกุ้ง การเลี้ยงวิธีนี้ผลผลิตไม่สามารถควบคุมได้ เพราะลูกกุ้งที่เข้าไปกับน้ำมีปริมาณไม่แน่นอน อัตรารอดตายมีเปอร์เซ็นต์ต่ำ ผลผลิตที่ได้จากการเลี้ยงกุ้งแบบนี้จึงขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของธรรมชาติ โดยทั่วไปให้ผลผลิตต่ำประมาณ 60-100 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ปัจจุบันยังคงมีทำกันอยู่บ้าง แต่กำลังจะได้รับการพัฒนาต่อไป

2. การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนาถึงหนาแน่น เป็นการเลี้ยงที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตได้บางส่วน มีการปรับปรุงนาุ้งแบบดั้งเดิมหรือแบบธรรมชาติให้มีขนาดแปลงเล็กลงเหลือแปลงละ 6-20 ไร่ ชุกชาว้างให้ลึกมากขึ้นเป็น 0.80-1.20 เมตร มีความลาดชันเพื่อความสะดวกในการจับ ความหนาแน่นของลูกกุ้งมากขึ้นโดยการรวบรวมจากแหล่งธรรมชาติเพิ่มเติมจากที่ได้รับเวลาเปิดน้ำเข้าหรือปล่อยลูกกุ้งจากการเพาะพักเสริมกุ้งจากธรรมชาติ 5-10 ตัวต่อตารางเมตร หรือ 8,000-10,000 ตัวต่อไร่ ให้อาหารสมทบ ไม่มีเครื่องให้อากาศ หรืออาจมี ดัดแปลงประตุน้ำให้แข็งแรง มีการจัดการที่ดีในเรื่องการป้องกันกำจัดศัตรูกุ้ง การเปลี่ยนถ่ายน้ำ ใส่ปุ๋ย การควบคุมโรค ใช้เวลาเลี้ยงครั้งหนึ่ง ๆ นานประมาณ 5 เดือนจึงจับขาย ผลผลิตจะอยู่ระหว่าง 200-600 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี นาุ้งแบบนี้ได้รับความสนใจจากเจ้าของมากขึ้น และหลายรายพยายามที่จะปรับนาเค็ม เป็นนาแบบพัฒนาเลี้ยงหนาแน่น

3. การเลี้ยงแบบพัฒนา หรือการเลี้ยงแบบหนาแน่น การเลี้ยงกุ้งแบบนี้ผิดกับการเลี้ยงแบบแรกมีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาจัดการในเรื่องของคุณภาพน้ำ น้ำลูกกุ้งที่ได้จากโรงเพาะพักมาปล่อยในนาแทนการใช้ลูกกุ้งจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งหมด ใช้อาหารสำเร็จรูปที่จัดทำขึ้นเพื่อให้มีคุณภาพ มีโปรตีนสูงกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่านั้น ประกอบด้วยอาหารเสริมหลายชนิดที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง ขนาดบ่อมักจะมีขนาดเล็ก โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 2-6 ไร่ มีคันดิน

แยกเฉพาะแต่ละบ่อ มีทางน้ำเข้าทางน้ำออกคนละด้านของบ่อ มีเครื่องเพิ่มอากาศและพัดน้ำ เพื่อช่วยให้มีการหมุนเวียนได้ดีขึ้น ไม่ชุกแบบชาวัง แต่ชุดเป็นบ่อพันราบตลอดทั้งบ่อ กุ้งสามารถใช้พื้นที่ทุกตารางนิ้ว มีลานลาดชันลงบริเวณทางน้ำเข้าออกเพื่อสะดวกในการจับกุ้ง มีการจัดการที่ดีในเรื่องการเปลี่ยนถ่ายน้ำ กำจัดศัตรูกุ้ง ควบคุมโรค อัตราการปล่อยกุ้ง 20-30 ตัวต่อตารางเมตร หรือ 40,000-50,000 ตัวต่อไร่ ใช้เวลาเลี้ยงนาน 3-5 เดือน ผลผลิตที่ได้จากการเลี้ยงวิธีนี้สูงมาก โดยเฉลี่ยประมาณ 1,000-2,000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

การเลี้ยงแบบนี้จะต้องเลือกสถานที่ที่เหมาะสม คือดินดี น้ำดี มีไฟฟ้า และผู้เลี้ยงมีความรู้ความชำนาญในการเลี้ยงกุ้งมาเป็นอย่างดี ซึ่งเมื่อพิจารณาการเลี้ยงทั้ง 3 แบบ จะเห็นว่าการเลี้ยงแบบหนาแน่นจะได้รับความนิยมมากขึ้นเป็นลำดับ

การเปรียบเทียบการประยุกต์ใช้เครื่องสูบน้ำแบบเจ็ทกับการใช้เครื่องสูบน้ำแบบคันทันน้ำไหลตามแนวแกนในการนำพาลูกกุ้งที่ปะปนอยู่ในน้ำทะเลให้ไหลเข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้งแบบธรรมชาติเชิงเศรษฐศาสตร์

สมมติว่าต้องการนำเครื่องสูบน้ำทั้งสองแบบนี้ไปใช้งาน เพื่อที่จะนำพาลูกกุ้งที่ปะปนอยู่ในน้ำทะเลให้ไหลเข้าสู่บ่อขนาด 40 ไร่ จากประสบการณ์ของชาวประมงจะเลือกใช้เครื่องสูบน้ำแบบคันทันน้ำไหลตามแนวแกนซึ่งประกอบด้วยเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 110 กำลังม้า ใช้ขับเคลื่อนซึ่งที่ปลายมีใบพัดสำหรับใช้กับเรือชนิด 3 ใบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 นิ้ว ซึ่งใส่ไว้ในท่อแอสเบสตอสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 20 นิ้ว เครื่องสูบน้ำแบบคันทันน้ำไหลตามแนวแกนนี้จะสูบน้ำได้ในอัตราการไหล 2,700 ลบ.ม/ชม. หรือสูบน้ำเข้าเต็มบ่อได้ภายใน 8 ชม. ซึ่งปริมาณน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขนาด 40 ไร่ ประมาณ 21,000 ลบ.ม. ทว่าเนื่องด้วยจากเหตุฎีการออกแบบซึ่งได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ จะสามารถหาค่าประกอบต่าง ๆ ของระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ทได้ว่า ต้องใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งขนาดทางเข้า 300 มิลลิเมตร และขนาดทางออก 250 มิลลิเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด 270 มิลลิเมตรสามารถสูบน้ำได้ 500 ลบ.ม/ชม. ที่ความแตกต่างของหัวความดัน 15 เมตรของน้ำ โดยใช้ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที เป็นตัวสูบน้ำซึ่งใช้ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ท เครื่องยนต์ดีเซลซึ่งใช้ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งขนาด 50 กำลังม้า ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตร ชุดเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ทซึ่งทำด้วยไฟเบอร์กลาสมีขนาดของ

องค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

เส้นผ่าศูนย์กลางท่อขับ (driving line) D_m	250 มิลลิเมตร
เส้นผ่าศูนย์กลางทางออกของนอสเชิลขับ (driving nozzle) d_m	110 มิลลิเมตร
เส้นผ่าศูนย์กลางท่อดูด (suction line) D_s	1,450 มิลลิเมตร
เส้นผ่าศูนย์กลางทางออกนอสเชิลดูด (suction nozzle) d_s หรือ	
เส้นผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (mixing chamber) D_{MC}	1,100 มิลลิเมตร
เส้นผ่าศูนย์กลางทางออกดีฟิวเซอร์ (diffuser) D_D	1,650 มิลลิเมตร
ความยาวนอสเชิลดูด (length of the suction nozzle) l	617 มิลลิเมตร
ระยะนอสเชิลขับ (driving nozzle distance) L_m	220 มิลลิเมตร
ความยาวห้องผสม (length of mixing chamber) L_{MC}	8,800 มิลลิเมตร
มุม semicone ของนอสเชิลขับ (semicone angle of driving nozzle) θ_m	10 องศา
มุม semicone ของนอสเชิลดูด (semicone angle of suction nozzle) θ_s	10 องศา
มุม semicone ของดีฟิวเซอร์ (semicone angle of diffuser) θ_D	2.9 องศา

เมื่อทราบถึงขนาดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสูบน้ำทะเลซึ่งมีลูกกึ่งปะปนอยู่ที่ไหลเข้าสู่ปากของเครื่องสูบน้ำทั้งสองชนิดแล้ว ก็จะมาทำการเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ต่อไป

เครื่องสูบน้ำแบบคั่นน้ำไหลตามแนวแกน

ต้นทุนคงที่ (fixed cost)

เครื่องยนต์ดีเซลขนาด 110 กิโลวัตต์	80,000 บาท
ท่อแอสเบสตอสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 นิ้ว ยาว 6 เมตร	9,000 บาท
เพลาลูกเบี้ยวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 6 เมตร	4,500 บาท
ใบพัดซึ่งใช้กับเรือชนิด 3 ใบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 นิ้ว	6,000 บาท
ค่าติดตั้ง	5,000 บาท
รวม	104,500 บาท

ต้นทุนแปรผัน (variable cost)

ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	161 บาท/ชม.
ค่าบำรุงรักษา	1,000 บาท/เดือน

ประสิทธิภาพรวมของระบบเครื่องสูบน้ำแบบคั่นน้ำไหลตามแนวแกนเท่ากับ 18%

เครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต

ต้นทุนคงที่ (fixed cost)

เครื่องสูบน้ำแบบทอยโซ่ง ขนาดทางเข้า 300 มิลลิเมตร และขนาดทางออก 250 มิลลิเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด 270 มิลลิเมตร สามารถสูบน้ำได้ 500 ลบ.ม/ชม. ที่ความแตกต่างของหัวความดัน 15 เมตรของน้ำ โดยใช้ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที

เครื่องยนต์ดีเซลขนาด 50 กำลังม้า	76,000 บาท
ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ยาว 10 เมตร	34,000 บาท
ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตร ยาว 10 เมตร	12,500 บาท
ชุดเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตซึ่งทำด้วยไฟเบอร์กลาสมีขนาดตามที่ได้รับมาจากการออกแบบ	9,950 บาท
ค่าติดตั้ง	20,000 บาท
รวม	10,000 บาท
	162,450 บาท

ต้นทุนแปรผัน (variable cost)

ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	73 บาท/ชม.
ค่าบำรุงรักษา	500 บาท/เดือน

ประสิทธิภาพรวมของระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตเท่ากับ 20%

จากข้อมูลที่ได้รับมาจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพรวมของระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตนี้สูงกว่า ประสิทธิภาพรวมของระบบเครื่องสูบน้ำแบบคั่นน้ำไหลตามแนวแกน เมื่อเปรียบเทียบกับที่ต้นทุนคงที่จะ พบว่า เครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตมีต้นทุนคงที่สูงกว่า แต่ถ้าเปรียบเทียบกับที่ต้นทุนแปรผัน ทั้งค่าน้ำมันเชื้อเพลิง

และค่าบำรุงรักษา งานวิศวกรรมที่ที่จะต้องประกอบด้วยการวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมของงานชิ้นนั้น ๆ ทางด้านเศรษฐกิจ และการลงทุนด้วย การให้ข้อมูลในความสามารถประหยัดค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าบำรุงรักษาไม่เป็นการเพียงพอ ในที่นี้ผู้เขียนจึงจะทำการวิเคราะห์ระบบทางหลัก เศรษฐศาสตร์อย่างง่าย ๆ เพื่อประกอบในการบ่งชี้ว่า ระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตจะมีความเหมาะสมกับการลงทุนที่เพิ่มขึ้นหรือไม่ โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$S = P \left[\frac{1 - (1 + k)^{-n}}{k} \right]$$

เมื่อ S = เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้น

P = เงินที่ประหยัดค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าบำรุงรักษาในปัจจุบันต่อไป

k = อัตราดอกเบี้ยประสิทธิผล (EFFECTIVE INTEREST RATE)

$$= \frac{i - j}{1 + j} \text{ เมื่อ } i \neq j$$

i = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้

j = อัตราค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและค่าบำรุงรักษาที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นแต่ละปี

n = จำนวนปีที่คุ้มทุน

จากข้อมูลที่ได้แสดงมาแล้วจะเห็นว่า เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นของระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตจากระบบเครื่องสูบน้ำแบบดันน้ำไหลตามแนวแกนเท่ากับ 57,960 บาท เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์จึงขอสมมติค่าอื่น ๆ ดังนี้

$$i = 0.18 \text{ (อัตราดอกเบี้ย 18\%)}$$

$$j = 0.15 \text{ (อัตราค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและค่าบำรุงรักษาเพิ่มขึ้น 15\% ต่อไป)}$$

เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งแบบธรรมชาติจะต้องสูบน้ำเข้านาเลี้ยงวันละ 8 ชม. ซึ่งการสูบน้ำครั้งหนึ่ง ๆ ก็จะมีแก๊บกักน้ำไว้ประมาณ 1-2 เดือน ในระหว่างนั้นเครื่องสูบน้ำก็จะใช้สำหรับระบายถ่ายเทน้ำให้แก่นากุ้งวันละ 8 ชม. เช่นเดียวกัน ดังนั้นจะหาค่า P ได้ดังนี้

$$P = [(8)(88)(30) + 500] (12) = 259,440 \text{ บาท}$$

$$k = \frac{(0.18) - (0.15)}{1 + 0.15} = 0.026$$

จะพบว่าจำนวนปีที่คุ้มทุน $n = 0.23$ ปี หรือประมาณ 84 วัน



ประวัติผู้เขียน

นาย สมฤทธิ ศรีเสริมวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2507 ณ จังหวัด กรุงเทพมหานคร ได้จบหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2528 และในปี พ.ศ. 2529 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันทำงาน อยู่ที่บริษัท สากลภัณฑ์ จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรที่ปรึกษา

