

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

วิธีหาค่า m สำหรับใช้ในการหาค่าใช้จ่ายของระบบท่อ

จากสมการสำหรับหาค่าใช้จ่ายของระบบท่อ (สมการที่ 5.1) สามารถนำมาเขียนได้ใหม่เป็น

$$C = mD_1L_1 + mD_2L_2 + \dots + mD_nL_n \quad (ก.1)$$

โดยที่ C คือค่าใช้จ่ายของระบบท่อ ; บาท

$D_1, D_2, \dots, D_n$ คือเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่ 1, 2, ..., n ตามลำดับ ; ม.

$L_1, L_2, \dots, L_n$ คือความยาวของท่อที่ 1, 2, ..., n ตามลำดับ ; ม.

m คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของท่อ มีหน่วยเป็น บาท/ม.-ม. หรือ บาท/ม.²

สมการที่ (ก.1) นั้นเป็นค่าประมาณสำหรับหาค่าใช้จ่ายของระบบท่อเพื่อให้สะดวกต่อการหาต้นทุนพันธ์ของ C เมื่อเทียบกับ basic diameters (ดูในบทที่ 6 และภาคผนวก ก.) ซึ่งสมการดังกล่าวก็ได้มาจาก ราคาท่อที่มีขายจริงในท้องตลาด โดยทั่วไปราคาท่อมาตรฐานที่ขายตามท้องตลาดนั้นมักจะอยู่ในรูปของราคาท่อต่อหนึ่งหน่วยความยาว (unit cost) หรือ ราคาท่อต่อหนึ่งท่อน ซึ่งอาจจะยาวท่อนละ 4 หรือ 6 เมตร ก็ได้แล้วแต่ประเภทท่อ ตารางที่ ก.1 แสดงราคาท่อ PVC ที่ผลิตมาขาย ซึ่งเป็นท่อ PVC แข็งสำหรับน้ำประปา ชนิดปลายเรียบ มีความยาวท่อนละ 4 เมตร

ตารางที่ ก.1 แสดงราคาท่อ PVC แข็ง ชนิดปลายเรียบ (1 ท่อนยาวเท่ากับ 4 เมตร)

ขนาดท่อ ; มม.	หน่วย	ชั้น 5	ชั้น 8.5	ชั้น 13.5
15 มม.	ท่อน	-	29.43	34.67
20 มม.	ท่อน	-	34.67	41.87
25 มม.	ท่อน	-	45.19	48.35
30 มม.	ท่อน	43.17	56.91	66.35
40 มม.	ท่อน	52.33	74.58	122.21
50 มม.	ท่อน	78.50	117.75	170.09
65 มม.	ท่อน	127.57	186.45	281.31
80 มม.	ท่อน	173.36	258.41	392.53
100 มม.	ท่อน	278.04	417.70	631.32
125 มม.	ท่อน	425.24	631.32	951.89
150 มม.	ท่อน	592.05	886.46	1341.15
200 มม.	ท่อน	886.46	1426.19	2279.95
250 มม.	ท่อน	1275.72	2064.06	3431.38
300 มม.	ท่อน	1789.29	2911.27	4864.12

ที่มา : วารสารข่าวช่าง ฉบับ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2538

เนื่องจากราคาท่อในตารางที่ ก.1 เป็นราคาท่อต่อหนึ่งท่อน หรือ ราคาท่อต่อความยาว 4 เมตร ดังนั้นจึงต้องแปลงราคาดังกล่าวให้เป็นราคาท่อต่อหนึ่งหน่วยความยาว ดังแสดงในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 แสดงราคาต่อหนึ่งหน่วยความยาวของท่อ PVC แข็ง ชนิดปลายเรียบ

ขนาดท่อ ; มม.	หน่วย	ชั้น 5	ชั้น 8.5	ชั้น 13.5
15 มม.	เมตร	-	7.36	8.67
20 มม.	เมตร	-	8.67	10.47
25 มม.	เมตร	-	11.30	12.09
30 มม.	เมตร	10.79	14.23	16.59
40 มม.	เมตร	13.08	18.65	30.55
50 มม.	เมตร	19.63	29.44	42.52
65 มม.	เมตร	31.89	46.61	70.33
80 มม.	เมตร	43.34	64.60	98.13
100 มม.	เมตร	69.51	104.43	157.83
125 มม.	เมตร	106.31	157.83	237.97
150 มม.	เมตร	148.01	221.62	335.29
200 มม.	เมตร	221.62	356.55	569.99
250 มม.	เมตร	318.93	516.02	857.85
300 มม.	เมตร	447.32	727.82	1216.03

เมื่อนำราคาท่อต่อหนึ่งหน่วยความยาวและขนาดท่อ มาเขียนกราฟโดยให้ ขนาดท่ออยู่บนแกน x และ ราคาท่อต่อหนึ่งหน่วยความยาวอยู่บนแกน y ได้กราฟดังรูปที่ ก.1

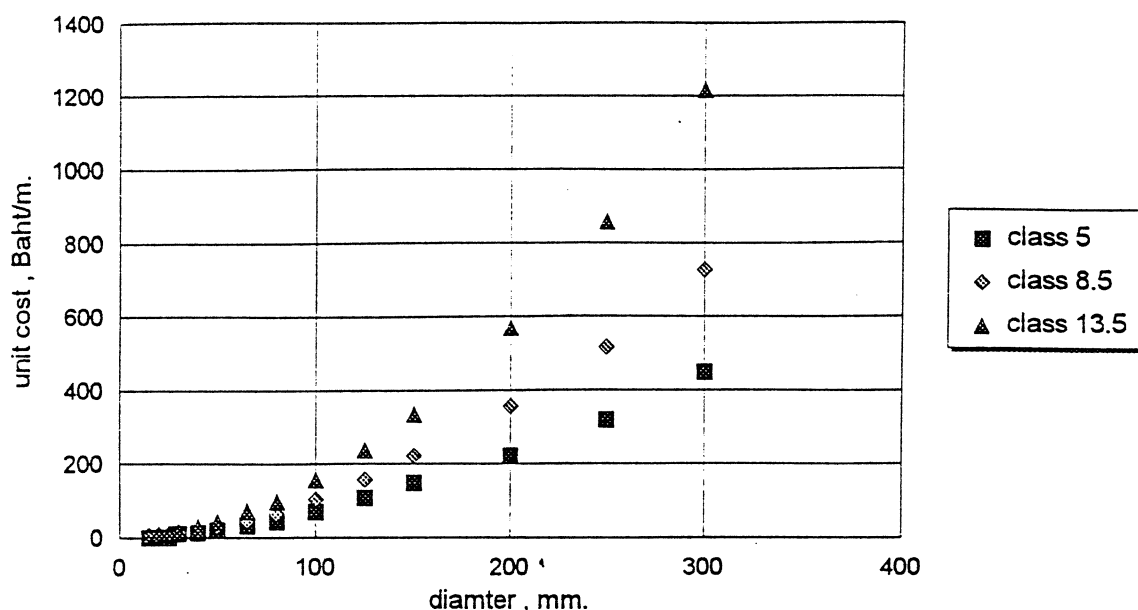
จากกราฟรูปที่ ก.1 จะเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ของ unit cost กับ diameters นั้นไม่เป็นแบบเชิงเส้นตรง อย่างไรก็ตามเราสามารถประมาณได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองเป็นแบบเชิงเส้นตรง ได้ โดยการหา linear regression ระหว่างตัวแปรทั้งสองโดยที่คำนวณให้ค่าตัดแกน y เป็นศูนย์ (0) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$u = mD \quad (ก.2)$$

โดยที่ u คือราคาท่อต่อหนึ่งหน่วยความยาว ; บาท/ม.

m คือความชันของกราฟระหว่าง unit cost กับ diameters หรือ ค่าคงที่ที่ใช้ในสมการที่ (ก.1) ซึ่งมีหน่วยเป็น บาทต่อเมตร-เมตร หรือ บาทต่อม.²

D คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ; เมตร



ตารางที่ ก.3 แสดงราคาท่อ HDPE ชนิดความหนาแน่นสูง

ขนาดท่อ มม.	หน่วย	PN 3.2	PN 4	PN 6	PN 10	PN 16
50 มม.	เมตร	27	34	52	72	100
63 มม.	เมตร	43	50	74	113	157
75 มม.	เมตร	59	77	104	157	225
90 มม.	เมตร	84	104	149	224	322
110 มม.	เมตร	125	152	222	337	485
125 มม.	เมตร	163	197	284	438	621
140 มม.	เมตร	202	248	357	546	780
160 มม.	เมตร	260	325	466	717	1014
180 มม.	เมตร	331	409	586	910	1286
200 มม.	เมตร	412	502	721	1121	1587
225 มม.	เมตร	513	630	914	1417	2010
250 มม.	เมตร	636	780	1127	1735	2475
280 มม.	เมตร	770	973	1411	2179	3100
315 มม.	เมตร	1006	1239	1790	2751	3915
355 มม.	เมตร	1269	1569	2275	3491	4973
400 มม.	เมตร	1619	1980	2875	4433	2327
450 มม.	เมตร	2183	2681	3895	6017	-
500 มม.	เมตร	2681	3309	4799	7413	-
560 มม.	เมตร	3379	4159	6013	9296	-
630 มม.	เมตร	4266	5763	7612	11745	-
710 มม.	เมตร	5429	6664	9665	-	-
800 มม.	เมตร	6870	8462	12247	-	-
900 มม.	เมตร	8710	10687	15557	-	-
1000 มม.	เมตร	10715	13239	19087	-	-

ที่มา : วารสารข่าวช่าง ฉบับเดือนธันวาคม พ.ศ. 2538

ตารางที่ ก.4 แสดงราคาท่อ SUPERTUBE PB

ขนาดท่อ ; มม.	หน่วย	160 psi (ท่อประปา)	200 psi (ท่อดับเพลิง)
15 มม.	เมตร	19	23
20 มม.	เมตร	29	36
25 มม.	เมตร	49	61
40 มม.	เมตร	99	122
50 มม.	เมตร	145	183
65 มม.	เมตร	240	294
80 มม.	เมตร	361	444
100 มม.	เมตร	533	656
150 มม.	เมตร	1161	1428
200 มม.	เมตร	2067	2544

ที่มา : วารสารข่าวช่าง ฉบับเดือนธันวาคม พ.ศ. 2538

ภาคผนวก ข.

การหาอนุพันธ์ย่อยของ C เทียบกับ D_1

ในวิธี Calculus Method (หัวข้อที่ 6.2) ต้องหาอนุพันธ์ย่อยของ C (Cost) เทียบกับ basic diameters (ในที่นี้คือ D_2 และ D_4) แล้วให้เท่ากับศูนย์ (0) เพื่อหา Cost ที่ต่ำที่สุด จากสมการที่ (5.1)

$$C = m(L_1 D_1 + L_2 D_2 + L_3 D_3 + L_4 D_4 + L_5 D_5) \quad (ข.1)$$

พิจารณาเทอม $\partial C / \partial D_2$

จากสมการที่ (ก.1) differentiate C เทียบกับ D_2 จะได้

$$\frac{\partial C}{\partial D_2} = m(L_1 \frac{\partial D_1}{\partial D_2} + L_2 \frac{\partial D_2}{\partial D_2} + L_3 \frac{\partial D_3}{\partial D_2} + L_4 \frac{\partial D_4}{\partial D_2} + L_5 \frac{\partial D_5}{\partial D_2}) \quad (ข.2)$$

$1/mL_2$ คูณตลอด จะได้

$$\frac{1}{mL_2} \frac{\partial C}{\partial D_2} = \frac{L_1}{L_2} \frac{\partial D_1}{\partial D_2} + 1 + \frac{L_3}{L_2} \frac{\partial D_3}{\partial D_2} + \frac{L_4}{L_2} \frac{\partial D_4}{\partial D_2} + \frac{L_5}{L_2} \frac{\partial D_5}{\partial D_2} \quad (ข.3)$$

จาก solution diagram จะได้ว่า ค่า D_3 และ D_4 ไม่ขึ้นอยู่ด้วย D_2 ดังนั้นสมการที่ (ข.3) กลายเป็น

$$\frac{1}{mL_2} \frac{\partial C}{\partial D_2} = \frac{L_1}{L_2} \frac{\partial D_1}{\partial D_2} + 1 + \frac{L_5}{L_2} \frac{\partial D_5}{\partial D_2} \quad (ข.4)$$

และจาก solution diagram และ chain's rule จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \frac{1}{mL_2} \frac{\partial C}{\partial D_2} &= 1 + \frac{L_1}{L_2} \frac{\partial D_1}{\partial Q_1} \frac{\partial Q_1}{\partial Q_2} \frac{\partial Q_2}{\partial D_2} \\ &+ \frac{L_5}{L_2} \frac{\partial D_5}{\partial Q_5} \frac{\partial Q_5}{\partial Q_2} \frac{\partial Q_2}{\partial D_2} \end{aligned} \quad (ข.5)$$

ที่ Min. cost จะได้ว่า

$$0 = 1 + \frac{L_1}{L_2} \frac{\partial D_1}{\partial Q_1} \frac{\partial Q_1}{\partial Q_2} \frac{\partial Q_2}{\partial D_2} + \frac{L_5}{L_2} \frac{\partial D_5}{\partial Q_5} \frac{\partial Q_5}{\partial Q_2} \frac{\partial Q_2}{\partial D_2} \quad (ข.6)$$

จากสมการที่ (ข.6) จะเห็นได้ว่ามีเทอมที่เป็นอนุพันธ์ย่อยอยู่ 3 เทอม คือ

1. $\partial D_1 / \partial Q_1$ หรือ $\partial D_1 / \partial Q_i$
2. $\partial Q_1 / \partial Q_2$ หรือ $\partial Q_5 / \partial Q_2$ หรือ $\partial Q_i / \partial Q_j$
3. $\partial Q_2 / \partial D_2$ หรือ $\partial Q_i / \partial D_i$

โดยที่ $i = 1, 5, 2$ และ $j = 2$

ต่อไปจะพิจารณาหาค่า $\partial D_i / \partial Q_i$ จากสมการหา head loss

$$h_i = \left(\frac{8f_i}{g\pi^2} \right) \frac{L_i}{D_i^5} (Q_i |Q_i|) \quad (ข.7)$$

เมื่อ differentiate D_i เทียบกับ Q_i จะได้

$$-5D_i^{-6} \frac{\partial D_i}{\partial Q_i} = \left(\frac{8f_i}{g\pi^2} \right) \frac{h_i}{L_i} (-1)(Q_i |Q_i|)^{-2} \frac{d(Q_i)^2}{dQ_i} \frac{Q_i}{|Q_i|}$$

เมื่อจัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{\partial D_i}{\partial Q_i} = K_i \frac{D_i^6}{Q_i^2 |Q_i|} \quad (ข.8)$$

โดยที่ $K_i = 8\pi^2 / 20f_i$

ต่อมาพิจารณาเทอม $\partial Q_i / \partial Q_j$ จาก solution diagram และ สมการต่อเนื่องจะพบว่า เทอมนี้มีค่าเป็น +1 หรือ -1 เท่านั้น ตัวอย่างเช่น ต้องการหาเทอม $\partial Q_1 / \partial Q_2$ จาก solution diagram จะพบว่าค่า Q_1 หาได้จากสมการที่ (6.2) โดยที่รู้ค่า Q_2 และจากสมการที่ (6.2) จะได้

$$Q_2 = Q_1 - Q_b$$

เมื่อ diff. Q_2 เทียบกับ Q_1 จะได้

$$\frac{\partial Q_2}{\partial Q_1} = 1$$

ต่อไปพิจารณาเทอมสุดท้าย $\partial Q_i / \partial D_i$ จะเห็นได้ว่ามีค่าเป็นส่วนกลับของเทอม $\partial D_i / \partial Q_i$ ดังนั้น
 จะได้ว่า เทอม $\partial Q_i / \partial D_i$ เป็นส่วนกลับของสมการ (ข.8)

ดังนั้นเมื่อหาเทอมต่างๆในสมการที่ (ข.6) ได้แล้ว สมการ (ข.6) จะกลายเป็น

$$0 = 1 + \frac{K_1 h_1 D_{16}}{Q_1^2 |Q_1|} \frac{Q_2^2 |Q_2|}{K_2 h_2 D_2^6} - \frac{K_5 h_5 D_{56}}{Q_5^2 |Q_5|} \frac{Q_2^2 |Q_2|}{K_2 h_2 D_2^6} \quad (\text{ข.9})$$

และเมื่อต้องการหา เทอม $\partial C / \partial D_4$ ก็ใช้หลักการเดียวกันซึ่งจะได้

$$\frac{\partial C}{\partial D_4} = 0 = 1 + \frac{K_3 h_3 D_{36}}{Q_{32} |Q_3|} \frac{Q_{42} |Q_4|}{K_4 h_4 D_4^6} - \frac{K_5 h_5 D_{56}}{Q_{52} |Q_5|} \frac{Q_{42} |Q_4|}{K_4 h_4 D_4^6} \quad (\text{ข.10})$$