

บทที่ 6

ผลการทดลอง

ในการทดลองเพื่อหาค่าפקเตอร์ความเสียดทานในระบบท่อโค้งภายใต้ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

6.1 การเปรียบเทียบมิเตอร์

ในการเปรียบเทียบมิเตอร์โดยใช้มิเตอร์ a เป็นมิเตอร์หลักในการเปรียบเทียบ ได้ทำการทดลองตามวิธีการทดลองในบทที่ 5 ได้ผลการทดลองแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.1 ถึง ตารางที่ ก.6 และได้นำผลการทดลองมาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่วัดได้จากมิเตอร์ a เทียบกับมิเตอร์อื่นๆดังได้แสดงในภาคผนวก ก. ภาพที่ ก.1 ถึง ภาพที่ ก.8 และได้ความสัมพันธ์ในรูปสมการซึ่งสรุปได้ในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลการเปรียบเทียบมิเตอร์

ลำดับ	มิเตอร์ที่เปรียบเทียบ	ความสัมพันธ์
1		$Q_1 = 0.8648q_1 + 2.0037$
		$Q_b = 0.8570q_b + 0.9695$
2	a,2,	$Q_2 = 0.8891q_2 + 1.2551$
3	a,3	$Q_3 = 0.8663q_3 + 0.3163$
4	a,4,d	$Q_4 = 0.8786q_4 + 1.4480$
		$Q_d = 0.8900q_d + 0.8215$
5	a,5,c	$Q_5 = 0.9450q_5 - 2.4806$
		$Q_c = 0.9781q_c - 3.4952$

q_i = อัตราการไหลที่วัดได้จริงจากมิเตอร์ i (cm^3/s)

Q_i = อัตราการไหลปรับแก้ของมิเตอร์ i เทียบกับมิเตอร์ a (cm^3/s)

เมื่อ i = 1,2,3,4,5,b,c และ d

6.2 การหาค่าอัตราการไหลที่การไหลเริ่มเป็นแบบปั่นป่วนโดยสมบูรณ์ (Q_r)

จากข้อมูลในการปรับเทียบมิเตอร์ และได้บันทึกแรงดันที่ node ต่างๆ ไว้ทำให้สามารถคำนวณหาค่า friction factor (f) จากการทดลองโดยวิธีปกติ สรุปผลได้ดังแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 แสดงค่า friction factor (f) กับอัตราไหลต่างๆ

ครั้งที่	ท่อ 1		ท่อ 2		ท่อ 3		ท่อ 4		ท่อ 5	
	Q_1 (cm ³ /s)	f_1	Q_2 (cm ³ /s)	f_2	Q_3 (cm ³ /s)	f_3	Q_4 (cm ³ /s)	f_4	Q_5 (cm ³ /s)	f_5
1	18.019	0.387	10.998	0.472	11.260	0.496	16.245	0.368	10.101	3.365
2	32.348	0.360	30.801	0.403	26.503	0.415	29.060	0.345	15.885	2.753
3	42.064	0.326	56.292	0.388	38.763	0.403	44.806	0.341	24.638	2.641
4	58.193	0.307	63.032	0.375	49.207	0.389	67.877	0.317	28.354	2.703
5	62.279	0.324	68.813	0.380	57.859	0.425	80.664	0.317	34.258	2.794
6	87.561	0.316	77.509	0.362	74.105	0.403	88.514	0.311	37.347	2.734

ผลการทดลองค่า f ในท่อที่ 5 มีค่าสูงกว่าท่ออื่นๆ มากเนื่องจากในการทดลองต้องการควบคุมทิศทางการไหลในท่อให้เป็นไปตามที่สมมุติไว้ จึงปรับวาล์วแรงเสียดทานในท่อที่ 5 ให้เกิดแรงเสียดทานมาก ค่า f จึงสูงกว่าท่ออื่นๆ

สำหรับตารางแสดงผลการทดลองและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ f ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. ภาพที่ ก.9 ถึง ภาพที่ ก.13

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ f สามารถหาค่า อัตราการไหล (Q_r) ที่ลักษณะการไหลเป็นแบบปั่นป่วนโดยสมบูรณ์ (fully turbulent flow) ของแต่ละท่อได้ โดยสังเกตจากเส้นกราฟที่ค่า f เริ่มคงที่ จากกราฟสามารถอ่านค่า Q_r ได้ดังนี้

ท่อที่ 1 ค่า f เริ่มคงที่เมื่อ $Q_r = 45 \text{ cm}^3/\text{s}$

ท่อที่ 2 ค่า f เริ่มคงที่เมื่อ $Q_r = 43 \text{ cm}^3/\text{s}$

ท่อที่ 3 ค่า f เริ่มคงที่เมื่อ $Q_r = 42 \text{ cm}^3/\text{s}$

ท่อที่ 4 ค่า f เริ่มคงที่เมื่อ $Q_r = 45 \text{ cm}^3/\text{s}$

ท่อที่ 5 ค่า f เริ่มคงที่เมื่อ $Q_r = 33 \text{ cm}^3/\text{s}$

6.3 ค่า friction factor และ อัตราการไหล โดยวิธีใหม่เปรียบเทียบกับวิธีปกติ

ในการทดลองเพื่อหาค่า friction factor (f) ตามวิธีการทดลองในบทที่ 5 จะสามารถหาค่า friction factor (f) ได้ทั้งวิธีปกติ และวิธีใหม่ ผู้เขียนได้ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ได้ผลการทดลองแสดงโดยละเอียดในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.1 ถึง ตารางที่ ข.5

6.3.1 ผลการทดลองการหาค่า friction factor โดยวิธีปกติ

ผลการทดลอง จำนวน 30 ครั้ง ที่แสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.1 ถึง ตารางที่ ข.5 สามารถนำมาสรุปค่า friction factor (f) โดยวิธีปกติได้ดังแสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลอง อัตราการไหล และ friction factors วิธีปกติ

ครั้งที่	ท่อ 1		ท่อ 2		ท่อ 3		ท่อ 4		ท่อ 5	
	Q_1 (cm ³ /s)	f_1	Q_2 (cm ³ /s)	f_2	Q_3 (cm ³ /s)	f_3	Q_4 (cm ³ /s)	f_4	Q_5 (cm ³ /s)	f_5
1	95.813	0.359	44.957	0.226	54.087	0.408	89.006	0.323	30.332	2.884
2	90.249	0.361	70.664	0.260	59.418	0.388	93.847	0.326	32.249	2.882
3	89.627	0.375	63.785	0.265	32.332	0.421	106.090	0.324	31.883	2.845
4	121.913	0.369	42.609	0.211	75.647	0.395	104.928	0.328	41.619	2.397
5	114.993	0.376	59.337	0.222	46.241	0.417	120.869	0.333	41.419	2.373
6	108.889	0.390	63.648	0.248	28.627	0.376	125.901	0.336	41.566	2.305
7	113.276	0.383	43.393	0.209	67.872	0.401	102.437	0.330	40.944	2.241
8	117.310	0.358	68.529	0.232	43.893	0.412	126.962	0.324	43.153	2.286
9	110.708	0.371	71.447	0.294	31.003	0.469	127.283	0.346	41.247	2.514
10	122.304	0.384	31.512	0.270	75.946	0.408	102.648	0.347	42.048	2.403
11	117.055	0.393	55.200	0.292	48.767	0.435	122.500	0.349	41.424	2.587
12	103.850	0.397	65.015	0.314	27.709	0.379	123.718	0.347	38.934	2.614
13	104.190	0.357	52.855	0.247	23.059	0.397	109.969	0.360	37.543	2.292
14	109.330	0.360	46.684	0.223	33.084	0.480	108.390	0.363	39.007	2.224
15	133.034	0.275	29.290	0.193	42.858	0.432	107.715	0.365	38.967	2.341
16	89.707	0.405	42.802	0.218	47.088	0.443	88.516	0.341	32.519	2.444
17	96.970	0.415	51.940	0.227	35.633	0.468	107.445	0.339	35.830	2.485

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลอง อัตราการไหล และ friction factors วิธีปกติ (ต่อ)

ครั้งที่	ท่อ 1		ท่อ 2		ท่อ 3		ท่อ 4		ท่อ 5	
	Q_1 (cm ³ /s)	f_1	Q_2 (cm ³ /s)	f_2	Q_3 (cm ³ /s)	f_3	Q_4 (cm ³ /s)	f_4	Q_5 (cm ³ /s)	f_5
18	85.479	0.409	63.442	0.246	23.958	0.388	102.825	0.355	33.247	2.543
19	107.804	0.354	58.616	0.216	26.176	0.275	118.595	0.332	38.846	2.275
20	114.143	0.361	47.542	0.205	29.745	0.452	117.844	0.343	39.386	2.356
21	118.813	0.362	54.178	0.060	35.381	0.465	115.497	0.353	40.680	2.260
22	107.701	0.382	50.760	0.202	23.469	0.332	115.060	0.360	38.876	2.317
23	111.820	0.386	43.818	0.205	42.723	0.163	117.803	0.355	40.019	2.308
24	103.347	0.379	55.829	0.066	35.718	0.466	101.796	0.353	36.798	2.222
25	92.913	0.404	38.612	0.211	45.911	0.425	88.035	0.374	40.637	1.626
26	88.484	0.401	52.970	0.222	34.384	0.343	94.601	0.375	32.682	2.492
27	84.562	0.407	62.939	0.245	23.845	0.392	98.580	0.376	33.588	2.431
28	103.227	0.402	35.952	0.203	39.694	0.493	100.066	0.376	36.091	2.465
29	94.049	0.449	72.383	0.123	26.112	0.578	98.336	0.437	33.778	2.860
30	89.226	0.404	60.528	0.248	24.380	0.471	101.161	0.376	35.479	2.317

ผลการทดลองในตารางที่ 6.3 พบว่าอัตราการไหลในท่อบางท่อ ยังไม่เป็นการไหลแบบปั่นป่วนโดยสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับ Q_r ที่ได้ในข้อ 6.2 แล้ว การทดลองที่มีการไหลของทุกท่อเป็นการไหลแบบปั่นป่วนโดยสมบูรณ์มีเพียง 5 การทดลองเท่านั้น คือการทดลองครั้งที่ 5, 7, 8, 11 และ 23 ซึ่งได้แสดงการเปรียบเทียบ Q/Q_r ในตารางภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.1 ถึง ตารางที่ ข.5

6.3.2 ผลการทดลองการหาค่า friction factor โดยวิธีใหม่

การหาค่า friction factor โดยวิธีใหม่ จะต้องใช้การทดลองจำนวน 3 ครั้ง ในการแก้สมการและค่า friction factor ในแต่ละสมการต้องเป็นค่าคงที่ นั่นคือ การไหลในท่อ ทุกๆท่อ ของการทดลองทั้ง 3 ครั้งจะต้องเป็นการไหลแบบปั่นป่วนสมบูรณ์ ดังนั้นจึงนำผลการทดลอง ครั้งที่ 5, 7, 8, 11, 23 เท่านั้น มาคำนวณหาค่า friction factor วิธีใหม่ โดยจะนำมาทีละ 3 การทดลอง

สลับกันไปมา และคำนวณตามขั้นตอนที่เสนอไปแล้วในหัวข้อ 4.5 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.1 ถึง ตารางที่ ค.3 และได้้นำผลการคำนวณสรุปไว้ในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองค่า อัตราการไหล และ friction factor โดยวิธีใหม่

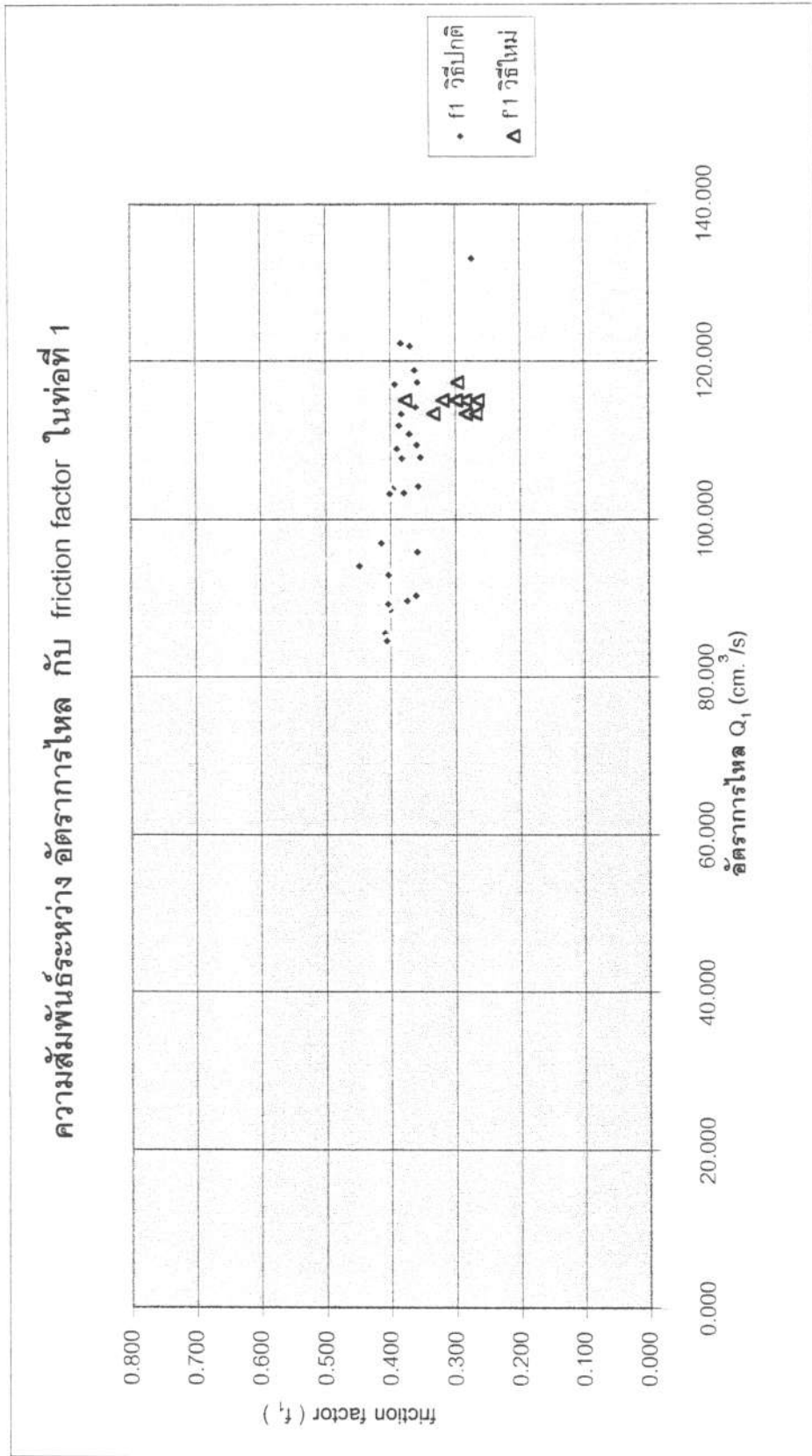
ครั้งที่	ท่อ 1		ท่อ 2		ท่อ 3		ท่อ 4		ท่อ 5	
	Q_1 (cm ³ /s)	f_1	Q_2 (cm ³ /s)	f_2	Q_3 (cm ³ /s)	f_3	Q_4 (cm ³ /s)	f_4	Q_5 (cm ³ /s)	f_5
5,7,8	124.882	0.319	57.825	0.234	51.101	0.341	130.783	0.285	45.475	1.969
5,7,11	132.190	0.285	65.133	0.184	53.217	0.315	132.899	0.276	36.051	3.132
5,7,23	136.903	0.265	69.847	0.160	54.581	0.299	134.263	0.270	29.974	4.532
7,8,11	121.503	0.333	41.927	0.224	72.453	0.351	109.356	0.290	47.374	1.674
7,8,23	131.683	0.284	52.107	0.145	76.409	0.316	113.312	0.270	33.237	3.400
8,11,23	128.971	0.296	65.799	0.252	59.047	0.228	143.362	0.254	34.008	3.681
5,8,11	127.393	0.376	60.337	0.222	56.064	0.417	135.746	0.333	38.001	2.373
5,8,23	129.066	0.299	62.009	0.204	59.368	0.253	139.051	0.252	33.024	3.733
7,11,23	135.476	0.268	55.900	0.126	76.422	0.316	113.324	0.270	29.432	4.336

6.3.3 เปรียบเทียบผลการทดลอง วิธีปกติ กับ วิธีใหม่

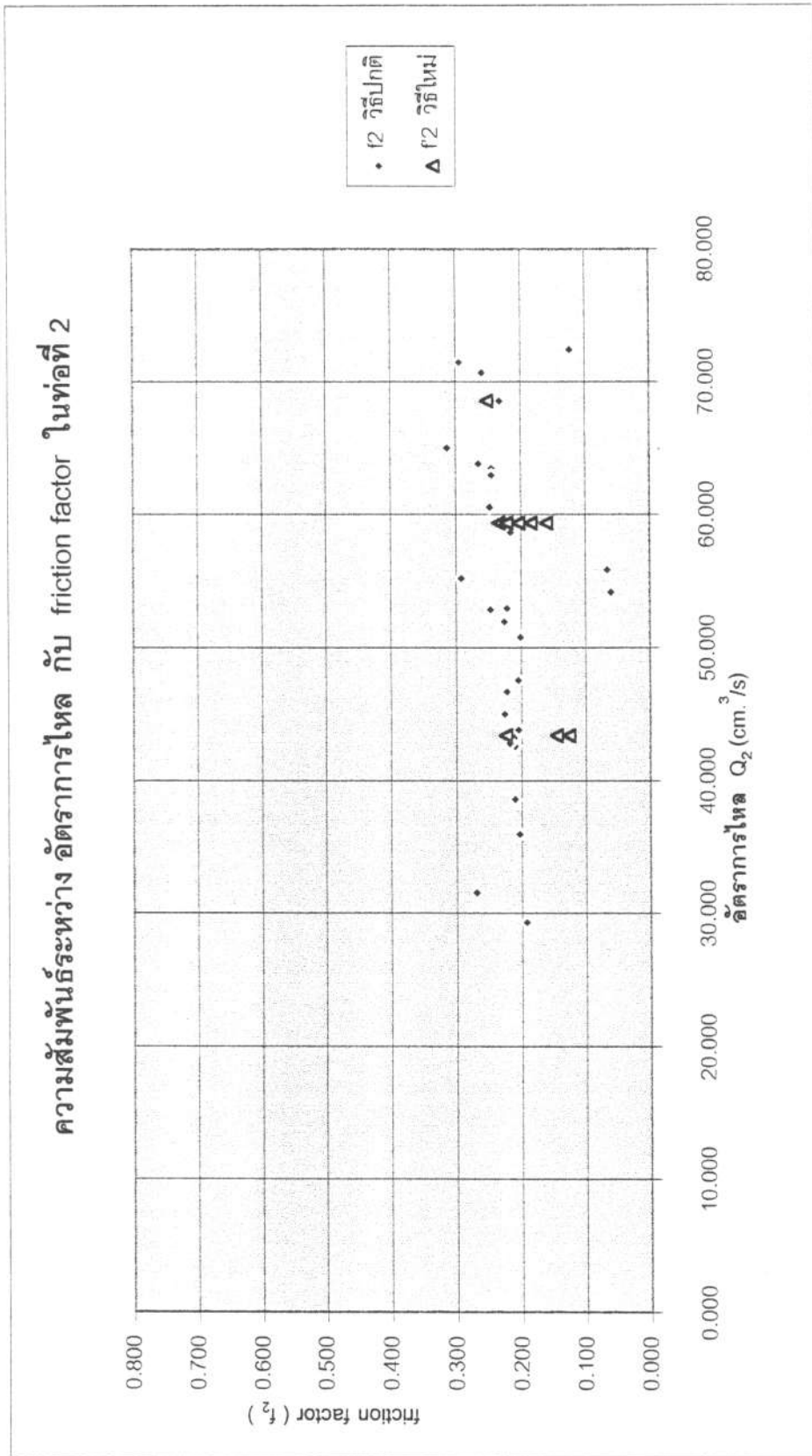
ผลการทดลองในหัวข้อที่ 6.3.1 และ 6.3.2 ที่ได้แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.1 ถึง ตารางที่ ข.5 และ ภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.1 ถึง ตารางที่ ค.3 สามารถสรุปเปรียบเทียบค่า friction factor วิธีปกติ กับ วิธีใหม่ ได้ดังแสดงในตารางที่ 6.5 และ พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหล (Q) กับ friction factor (f) จากวิธีปกติ กับ วิธีใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 6.1 ถึง ภาพที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 เปรียบเทียบค่า friction factors วิถีปกติ กับ วิถีใหม่

ข้อมูลชุดที่	ข้อ 1				ข้อ 2				ข้อ 3				ข้อ 4				ข้อ 5			
	f วิถีปกติ	f วิถีใหม่	% ต่างต่าง		f วิถีปกติ	f วิถีใหม่	% ต่างต่าง		f วิถีปกติ	f วิถีใหม่	% ต่างต่าง		f วิถีปกติ	f วิถีใหม่	% ต่างต่าง		f วิถีปกติ	f วิถีใหม่	% ต่างต่าง	
5,7,8	0.376	0.319	-15.21		0.222	0.234	5.30		0.417	0.341	-18.12		0.333	0.285	-14.59		2.373	1.969	-17.04	
5,7,11	0.376	0.285	-24.33		0.222	0.184	-17.01		0.417	0.315	-24.50		0.333	0.276	-17.28		2.373	3.132	31.99	
5,7,23	0.376	0.265	-29.45		0.222	0.160	-27.83		0.417	0.299	-28.23		0.333	0.270	-18.96		2.373	4.532	90.95	
7,8,11	0.383	0.333	-13.08		0.209	0.224	7.11		0.401	0.351	-12.25		0.330	0.290	-12.25		2.241	1.674	-25.30	
7,8,23	0.383	0.284	-26.00		0.209	0.145	-30.65		0.401	0.316	-21.10		0.330	0.270	-18.27		2.241	3.400	51.75	
8,11,23	0.358	0.296	-17.26		0.232	0.252	8.47		0.412	0.228	-44.74		0.324	0.254	-21.57		2.286	3.681	61.01	
5,8,11	0.376	0.307	-18.52		0.222	0.215	-3.29		0.417	0.284	-31.97		0.333	0.264	-20.72		2.373	2.819	18.80	
5,8,23	0.376	0.299	-20.62		0.222	0.204	-8.43		0.417	0.253	-39.34		0.333	0.252	-24.44		2.373	3.733	57.31	
7,11,23	0.383	0.268	-30.09		0.209	0.126	-39.74		0.401	0.316	-21.12		0.330	0.270	-18.29		2.241	4.336	93.53	

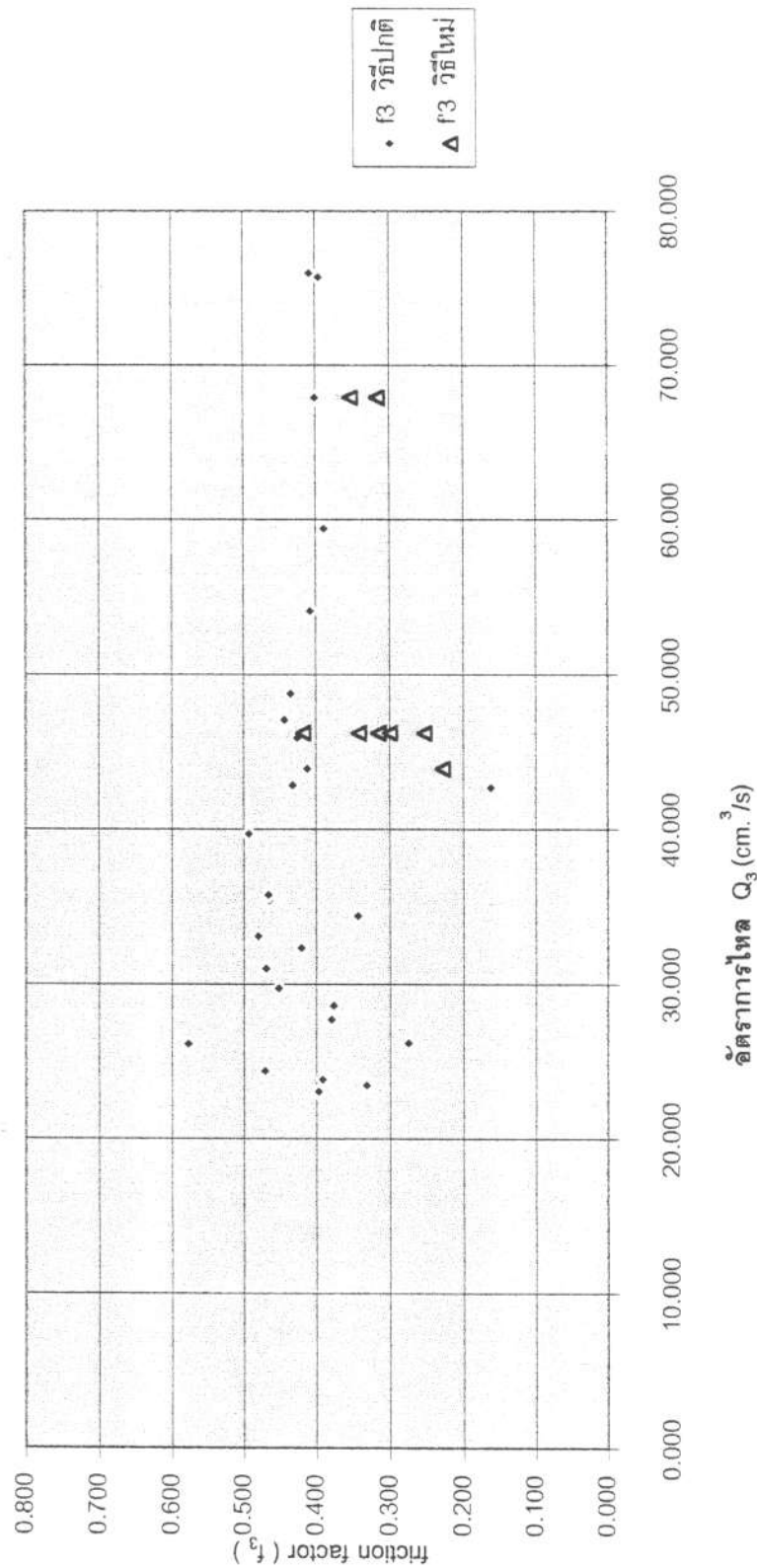


ภาพที่ 6.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหล (Q) กับ friction factors (f) ในท่อที่ 1

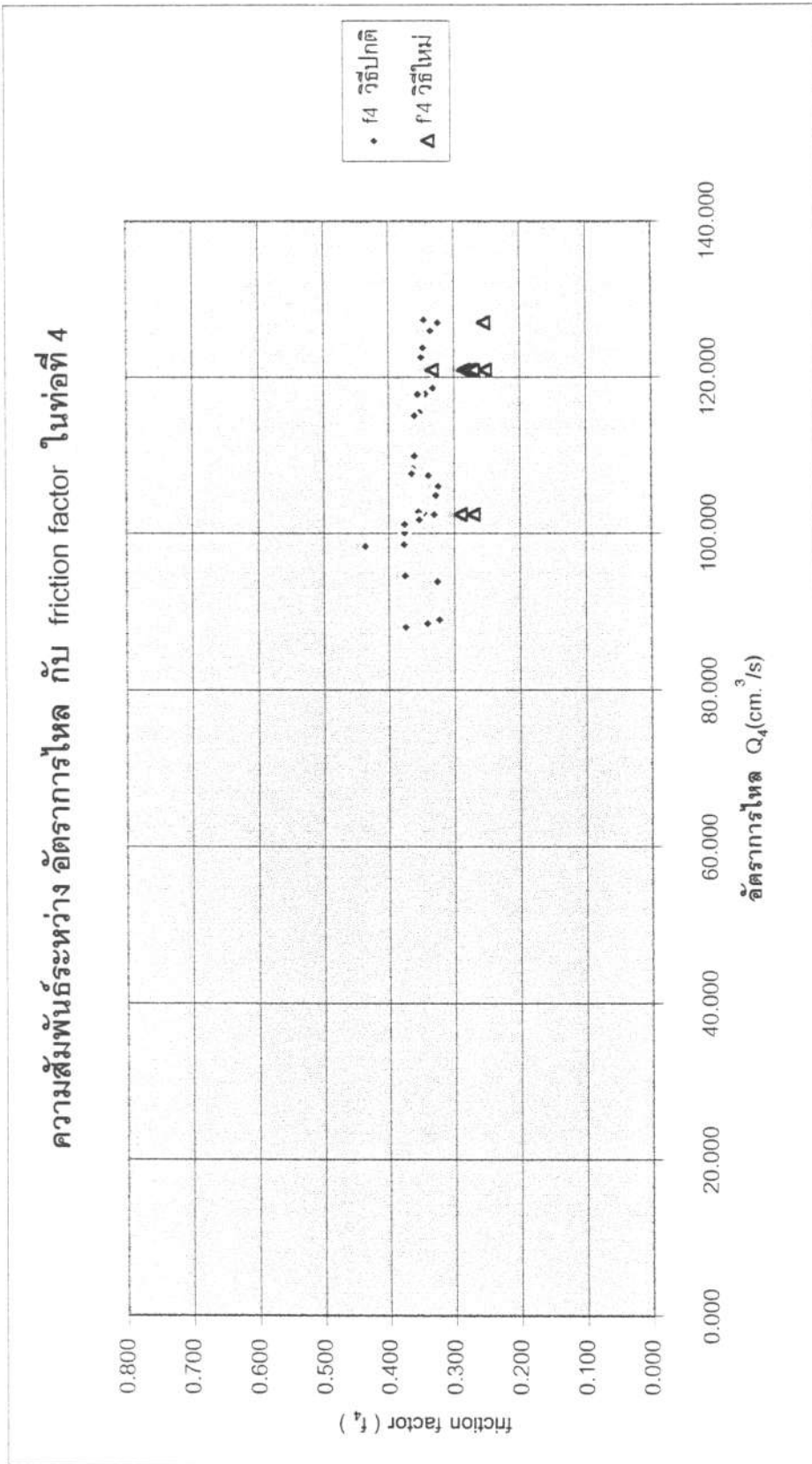


ภาพที่ 6.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหล (Q) กับ friction factors (f) ในข้อที่ 2

ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหล กับ friction factor ในข้อที่ 3

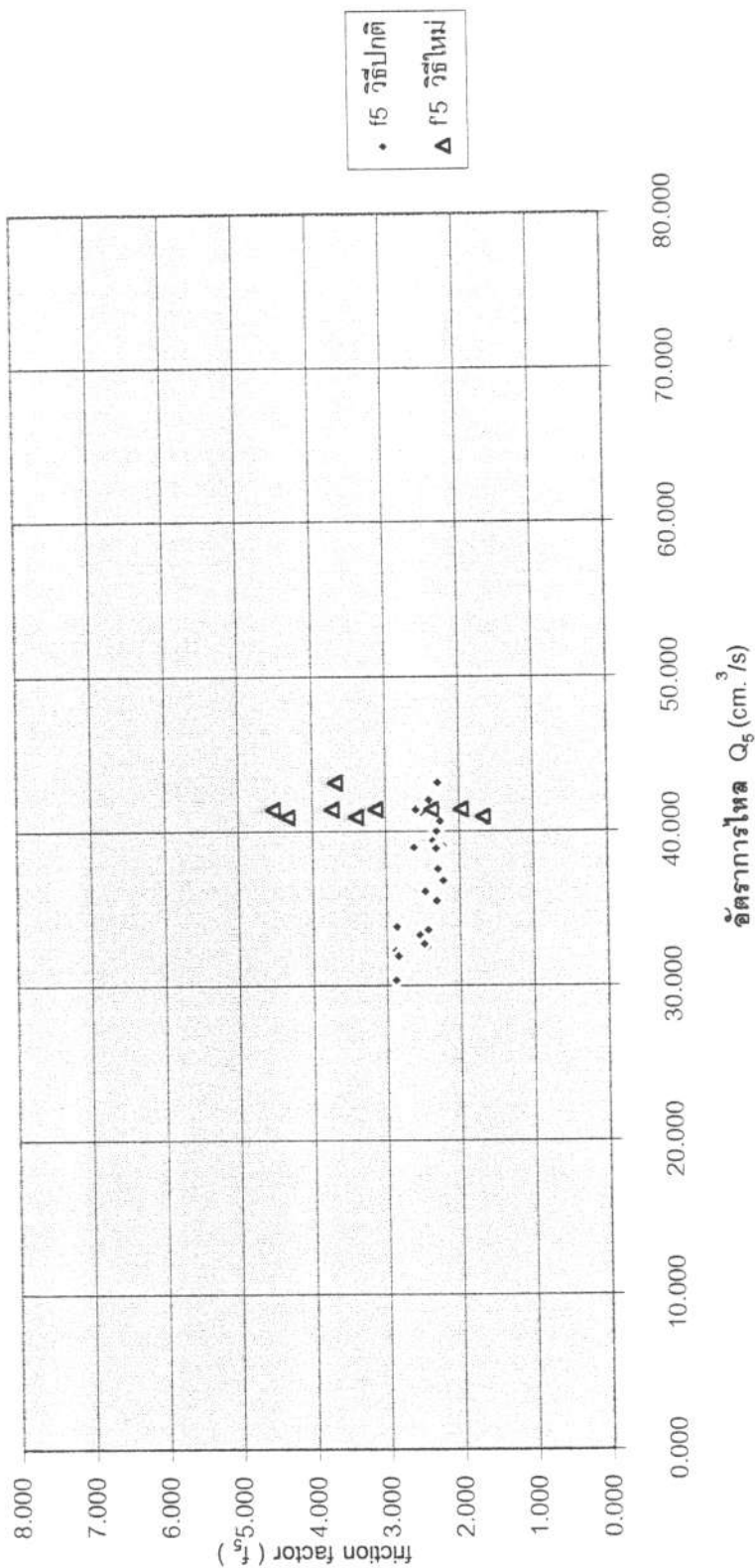


ภาพที่ 6.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหล (Q) กับ friction factors (f) ในข้อที่ 3



ภาพที่ 6.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหล (Q) กับ friction factors (f) ในข้อที่ 4

ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหล กับ friction factor ในข้อที่ 5



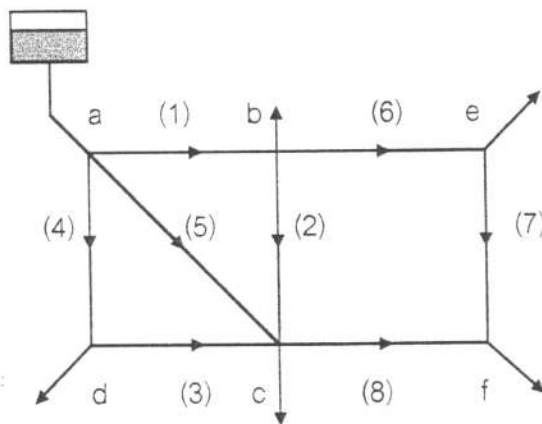
ภาพที่ 6.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหล (Q) กับ friction factors (f) ในข้อที่ 5

6.4 การนำวิธีการหาค่า friction factor (f) วิธีใหม่ ไปใช้งานจริง

ในการหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานในระบบท่อโครงข่ายที่มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีศึกษาคือประกอบด้วยวงรอบพื้นฐาน 2 loop และท่อจำนวน 5 ท่อ จะต้องดำเนินการดังนี้

1. ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันที่จุดต่อ (node) ทุกจุดต่อ
2. ติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่จุดจ่ายน้ำ (demand node) ทุกจุด
3. ทำการทดลองโดยปล่อยให้ น้ำไหลเข้าไปในระบบท่อโครงข่าย และวัดแรงดันที่ทุก node และวัดอัตราการไหลที่จุดจ่ายน้ำทุกจุด จำนวน 3 ครั้ง
4. นำค่าที่ได้แทนค่าในสมการ (4.25) จะได้ 3 สมการ และแก้สมการหาค่า r_1, r_4 และ r_5
5. ดำเนินการคำนวณเช่นเดียวกับที่ได้แสดงในหัวข้อ 4.5 จะสามารถหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานในทุกๆ ท่อได้

6.5 ระบบท่อโครงข่ายที่ประกอบด้วยวงรอบพื้นฐาน 3 วงรอบ



ภาพที่ 6.6 ระบบท่อโครงข่าย 3 loop

ในระบบท่อโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ประกอบด้วย loop จำนวน 3 loop จำนวนท่อ 8 ท่อ สามารถหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานได้ดังนี้

สมการต่อเนื่องที่ทุก node

$$\text{ที่ node a} \quad Q_a - Q_1 - Q_4 - Q_5 = 0 \quad (6.1)$$

$$\text{node b} \quad Q_1 - Q_b - Q_2 - Q_6 = 0 \quad (6.2)$$

$$\text{node c} \quad Q_2 + Q_5 + Q_3 - Q_c - Q_8 = 0 \quad (6.3)$$

$$\text{node d} \quad Q_4 - Q_d - Q_3 = 0 \quad (6.4)$$

$$\text{node e} \quad Q_6 - Q_e - Q_7 = 0 \quad (6.5)$$

$$\text{node f} \quad Q_7 + Q_8 - Q_f = 0 \quad (6.6)$$

สมการ (6.2)+(6.3)+(6.4)+(6.5)+(6.6)

$$(Q_1 + Q_4 + Q_5) = Q_b + Q_c + Q_d + Q_e + Q_f \quad (6.7)$$

จากสมการ (4.24) $h_i = r_i Q^2$ แทนค่าในสมการ (6.7)

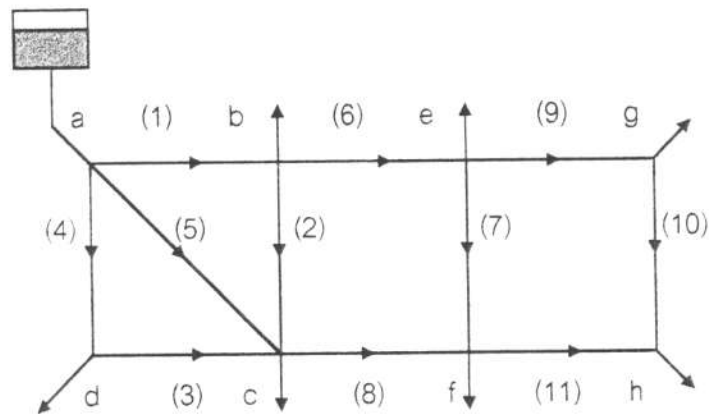
$$\sqrt{\frac{h_1}{r_1}} + \sqrt{\frac{h_4}{r_4}} + \sqrt{\frac{h_5}{r_5}} = Q_b + Q_c + Q_d + Q_e + Q_f \quad (6.8)$$

ในสมการ (6.8) เป็นสมการหลักในการหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานโดย

1. ทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง วัดค่า h ของทุกท่อ และวัด Q_b, Q_c, Q_d, Q_e, Q_f ทั้ง 3 การทดลอง
2. นำค่าที่ได้จากข้อ 1 แทนค่าในสมการ (6.8) จะได้ 3 สมการ
3. แก้สมการ 3 สมการ เพื่อหาค่า r_1, r_4 และ r_5
4. นำผลการทดลองครั้งใดๆ หนึ่งครั้งมาใช้หา Q_1, Q_4 และ Q_5 จากสมการ $Q_i = \sqrt{\frac{h_i}{r_i}}$
5. หา Q_3 จากสมการ (6.4)
6. หา Q_2, Q_6, Q_7, Q_8 จากการแก้สมการ (6.2) (6.3) (6.5) และ (6.6)
7. หาค่า r_2, r_6, r_7, r_8
8. หาค่า f_i จาก r_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, 8$

ในระบบท่อโครงข่ายที่มี 3 loop ดังภาพที่ 6.6 ยังคงสามารถหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานได้ เช่นเดียวกับระบบท่อที่มี 2 loop ดังในกรณีศึกษา สำหรับระบบท่อที่มีจำนวน loop เพิ่มขึ้นอีกจะได้เสนอในหัวข้อต่อไป

6.6 ระบบท่อโครงข่ายที่ประกอบด้วยวงรอบพื้นฐาน 4 วงรอบ



ภาพที่ 6.7 ระบบท่อโครงข่าย 4 loop

ในระบบท่อโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ประกอบด้วย loop จำนวน 4 loop จำนวนท่อ 11 ท่อ สามารถหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานได้ดังนี้

สมการต่อเนื่องที่ทุก node

$$\text{ที่ node a} \quad Q_a - Q_1 - Q_4 - Q_5 = 0 \quad (6.9)$$

$$\text{node b} \quad Q_1 - Q_2 - Q_6 = 0 \quad (6.10)$$

$$\text{node c} \quad Q_2 + Q_5 + Q_3 - Q_6 - Q_8 = 0 \quad (6.11)$$

$$\text{node d} \quad Q_4 - Q_3 - Q_5 = 0 \quad (6.12)$$

$$\text{node e} \quad Q_6 - Q_7 - Q_9 = 0 \quad (6.13)$$

$$\text{node f} \quad Q_7 + Q_8 - Q_{11} = 0 \quad (6.14)$$

$$\text{node g} \quad Q_9 - Q_{10} = 0 \quad (6.15)$$

$$\text{node h} \quad Q_{10} + Q_{11} - Q_h = 0 \quad (6.16)$$

$$\text{สมการ (6.10)+(6.11)+(6.12)+(6.13)+(6.14)+(6.15)+(6.16)}$$

$$(Q_1 + Q_4 + Q_5) = Q_b + Q_c + Q_d + Q_e + Q_f + Q_g + Q_h \quad (6.17)$$

จากสมการ (4.24) $h_f = r_f Q^2$ แทนค่าในสมการ (6.17)

$$\sqrt{\frac{h_1}{r_1}} + \sqrt{\frac{h_4}{r_4}} + \sqrt{\frac{h_5}{r_5}} = Q_b + Q_c + Q_d + Q_e + Q_f + Q_g + Q_h \quad (6.18)$$

ใช้สมการ (6.18) เป็นสมการหลักในการหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานโดย

1. ทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง วัดค่า h ของทุกท่อ และวัด $Q_b, Q_c, Q_d, Q_e, Q_f, Q_g, Q_h$ ทั้ง 3 การทดลอง
2. นำค่าที่ได้จากข้อ 1 แทนค่าในสมการ (6.18) จะได้ 3 สมการ
3. แก้สมการ 3 สมการ เพื่อหาค่า r_1, r_4 และ r_5
4. นำผลการทดลองครั้งใดๆ หนึ่งครั้งมาใช้หา Q_1, Q_4 และ Q_5 จากสมการ $Q_i = \sqrt{\frac{h_i}{r_i}}$
5. หา Q_3 จากสมการ (6.12)
6. ตัวแปรที่ยังไม่ทราบค่า $Q_2, Q_6, Q_7, Q_8, Q_9, Q_{10}, Q_{11}$ จำนวน 7 ตัวแปร มีสมการ (6.10) (6.11) (6.13) (6.14) (6.15) และ (6.16) จำนวน 6 สมการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวัดอัตราการไหล (Q) ในท่อเพิ่มอีก 1 ท่อ แล้วจึงแก้สมการหาค่าตัวแปรที่เหลืออีก 6 ตัวแปร
7. หาค่า $r_2, r_6, r_7, r_8, r_9, r_{10}, r_{11}$
8. หาค่า f_i จาก r_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, 11$

ในระบบท่อโครงข่ายที่มี 4 loop ดังภาพที่ 6.7 จะต้องวัดอัตราการไหลในท่อที่ 2, 6, 7, 8, 9, 10 หรือ 11 เพิ่มอีก 1 ท่อ จึงจะสามารถหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานได้

6.7 ข้อจำกัดของการหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานโดยวิธีใหม่

การหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานโดยวิธีใหม่สามารถใช้ได้กับระบบท่อในกรณีศึกษาคือ มีวงรอบพื้นฐาน 2 วงรอบ ประกอบด้วยท่อ 5 ท่อ 3 demand node และถ้าระบบท่อโครงข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้นมีวงรอบพื้นฐาน 3 วงรอบ ประกอบด้วยท่อ 8 ท่อ 5 demand node ก็ยังคงหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานได้ ดังได้แสดงวิธีการหาในหัวข้อ 6.5 แต่ถ้าระบบท่อโครงข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้นอีก มีวงรอบพื้นฐาน 4 วงรอบ ประกอบด้วยท่อ 11 ท่อ 7 demand node วิธีการใหม่จะยังไม่สามารถหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานได้ จะต้องวัดอัตราการไหลในท่อเพิ่มขึ้นอีก 1 ท่อ จึงจะสามารถหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานได้ ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการใหม่ทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง หาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานและอัตราการไหลได้ 3 ท่อ และใช้สมการต่อเนื่องจาก demand node หาอัตราการไหลในท่อที่เหลือ ดังนั้นวิธีการใหม่จะใช้ได้กับระบบท่อโครงข่ายที่มีจำนวนท่อมากกว่า จำนวน demand node ได้ 3 ท่อ ถ้าจำนวนท่อมีมากกว่าเกินกว่านี้จะต้องทำการวัดอัตราการไหลในท่อเพิ่มขึ้นเท่ากับจำนวนที่เกินจึงจะสามารถหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานโดยวิธีใหม่ได้

6.8 การวิเคราะห์ความไวของค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานที่มีผลต่ออัตราการไหล

จากผลการทดลองในหัวข้อ 6.3 พบว่าค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานจากวิธีการใหม่มีความคลาดเคลื่อนไปจากวิธีปกติค่อนข้างมาก ดังนั้นจะขอแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานที่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลดังนี้

จากสมการ Darcy - Weisbach

$$h = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (6.19)$$

แทนค่า $Q = Av$ และ $A = \frac{\pi}{4} D^2$ จะได้

$$h = \frac{8f}{g\pi^2} \frac{L}{D^5} Q^2 \quad (6.20)$$

$$\text{หรือ} \quad f = kQ^{-2} \quad (6.21)$$

$$\text{เมื่อ } k = \frac{hg\pi^2 D^5}{8L} \quad df = -2kQ^{-3} dQ \quad (6.22)$$

$$\text{สมการ (6.22)} \div (6.21) \quad \frac{df}{f} = \frac{-2kQ^{-3} dQ}{kQ^{-2}} \quad (6.23)$$

$$\frac{df}{f} = -2 \frac{dQ}{Q} \quad (6.24)$$

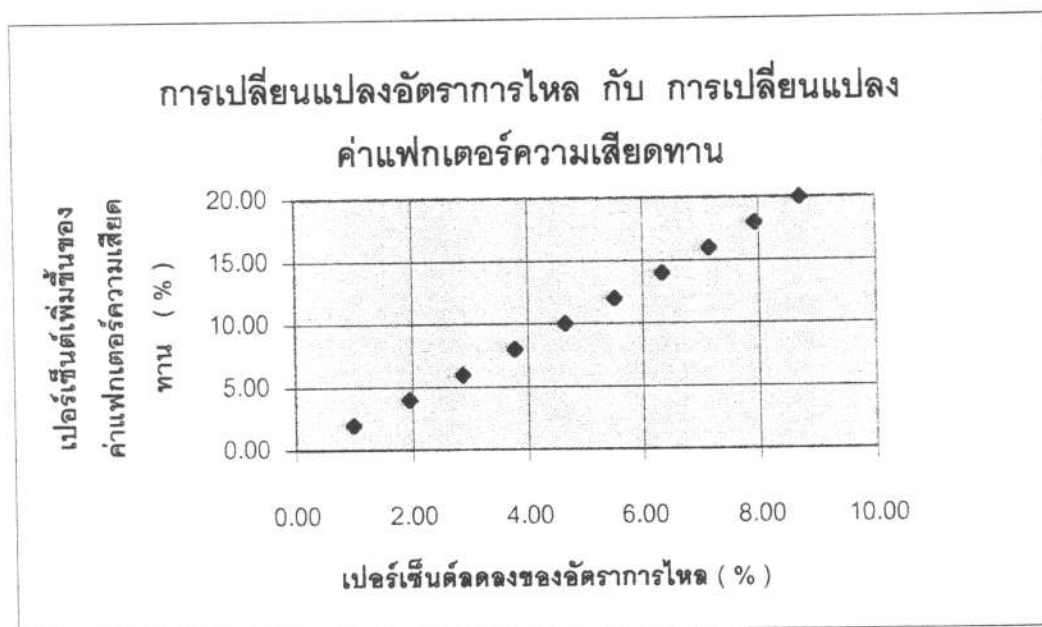
ได้แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ f ที่มีผลต่อ Q ในตารางที่ 6.6 ($L=0.7\text{m.}, D=1.27\text{cm.}, h=30\text{ cm.}$) และพล็อตกราฟความสัมพันธ์ ดังแสดงในภาพที่ 6.8

จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงน้อยๆ อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน ($\frac{df}{f}$) เป็น - 2 เท่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ($\frac{dQ}{Q}$) แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานที่เพิ่มขึ้นจะมีผลให้อัตราการไหลลดลง แต่เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าการเพิ่มขึ้นของแฟกเตอร์ความเสียดทาน

จากผลการทดลองครั้งนี้ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (f) ที่คำนวณได้จากวิธีใหม่มีความแตกต่างจากวิธีปกติมากที่สุดในที่ที่ 5 คือ ค่า f วิธีปกติ = 2.241 วิธีใหม่ = 4.336 แตกต่างกัน 93.53% และอัตราการไหลจากวิธีปกติ = 40.944 cm^3/s วิธีใหม่ = 29.433 cm^3/s แตกต่างกัน 28.11% ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถึงแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลในสัดส่วนที่น้อยกว่า แต่ก็ยังมีผลทำให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปมากพอสมควร ดังนั้นถ้าจะนำวิธีการใหม่ไปใช้จะต้องคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่จะมีผลต่อค่าอัตราการไหลด้วย

ตารางที่ 6.6 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล กับ การเปลี่ยนแปลงค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน

แฟกเตอร์ ความเสียดทาน (f)	เปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นของค่า f จากค่าเริ่มต้น (%)	อัตราการไหล (Q) (cm. ³ /s)	เปอร์เซ็นต์ลดลงของค่า Q จากค่าเริ่มต้น (%)
0.200		92.565	
0.204	2.00	91.653	0.99
0.208	4.00	90.767	1.94
0.212	6.00	89.907	2.87
0.216	8.00	89.070	3.77
0.220	10.00	88.257	4.65
0.224	12.00	87.465	5.51
0.228	14.00	86.695	6.34
0.232	16.00	85.944	7.15
0.236	18.00	85.213	7.94
0.240	20.00	84.500	8.71



ภาพที่ 6.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล กับ การเปลี่ยนแปลงค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน