

ผลการทดลองการวิเคราะห์ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 ผลการทดลองระบบขายนํ้าขึ้นแรก

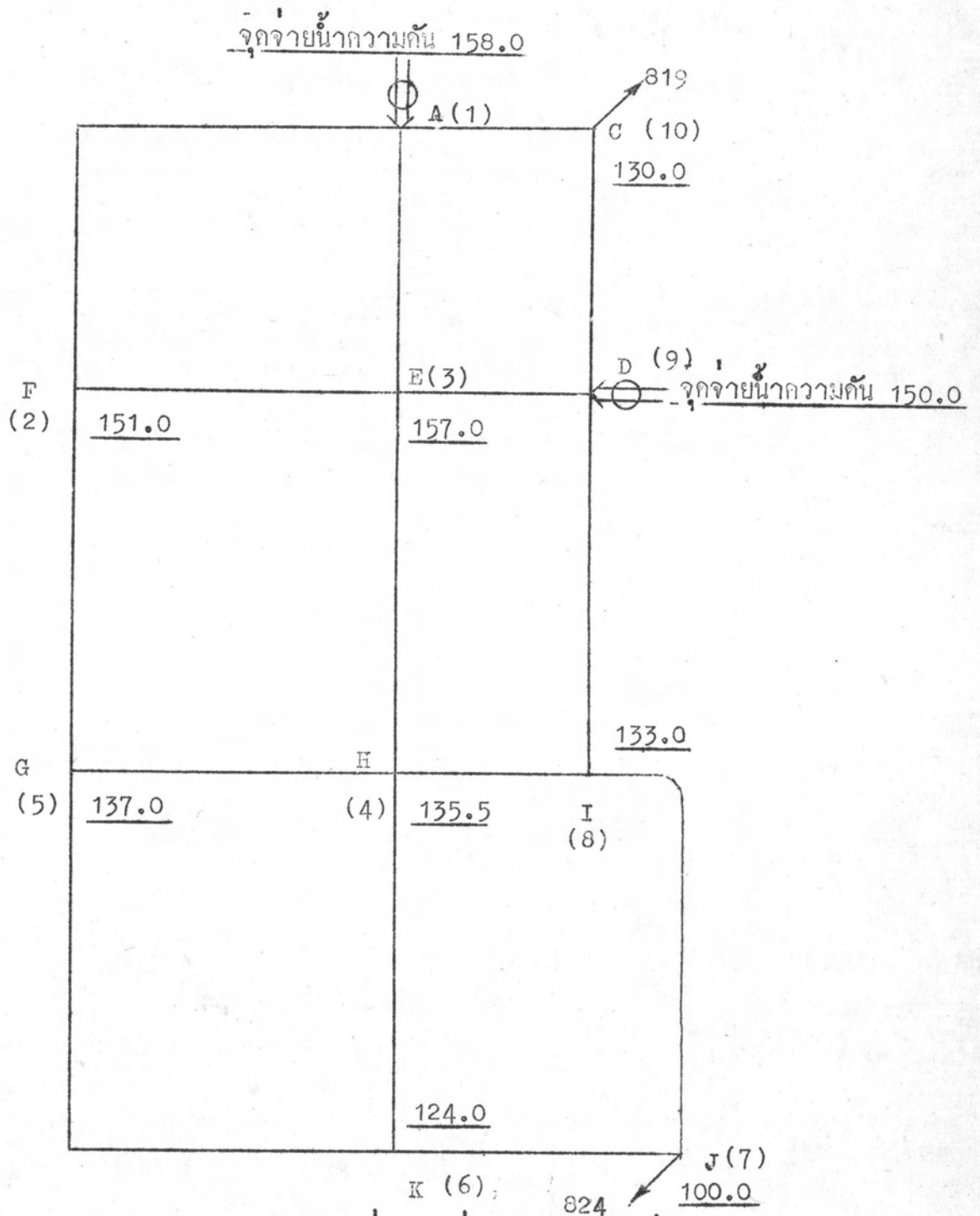
ในการทดลองระบบขายนํ้าขึ้นแรกที่ได้จัดสร้างขึ้น ได้ทำการทดลอง 5 การทดลองด้วยกัน โดยในแต่ละการทดลองได้ทำการทดลองระบบขายนํ้าในสภาพการณ์ที่แตกต่างกัน ได้ผลการทดลองทั้ง 5 การทดลองเป็นดังนี้ คือ

ตาราง 5.1.1 ค่าที่วัดได้จาก การทดลองที่ 11

จุดตัด		ระดับความดันนํ้า ชม.	อัตราการนํ้าออกจาก ระบบ, ชม. ³ /วินาที	หมายเหตุ
ชื่อในแบบ	ชื่อค่านวณ			
A	1	186.0	655.0 1313.0 964.0 767.0 956.0 115.0	จุดจ่ายนํ้า
B	2	101.4		
C	13	158.5		
D	12	242.0		
E	4	229.0		
F	3	98.0		
G	7	82.0		จุดจ่ายนํ้า
H	6	115.0		
I	11	110.0		
J	10	105.5		
K	9	105.0		
L	8	83.0		จุดจ่ายนํ้า
M	5	219.0		
			$\Sigma = 481.0$	

ตาราง 5.1.2 ค่าที่วัดได้จากการทดลองที่ 12

จุดตัด		ระดับความดันน้ำ ซม.	อัตราการนำน้ำออกจาก ระบบ, ล.บ.ซม./วินาที	หมายเหตุ
ชื่อในแบบ	ชื่อคำนวณ			
A	1	158.0	819.0	จุดจ่ายน้ำ
C	10	130.0		
D	9	150.0	824.0	จุดจ่ายน้ำ
E	3	157.0		
F	2	151.0		
G	5	137.0		
H	4	135.5		
I	8	133.0		
J	7	100.0		
K	6	124.0		
			$\Sigma = 1643.0$	



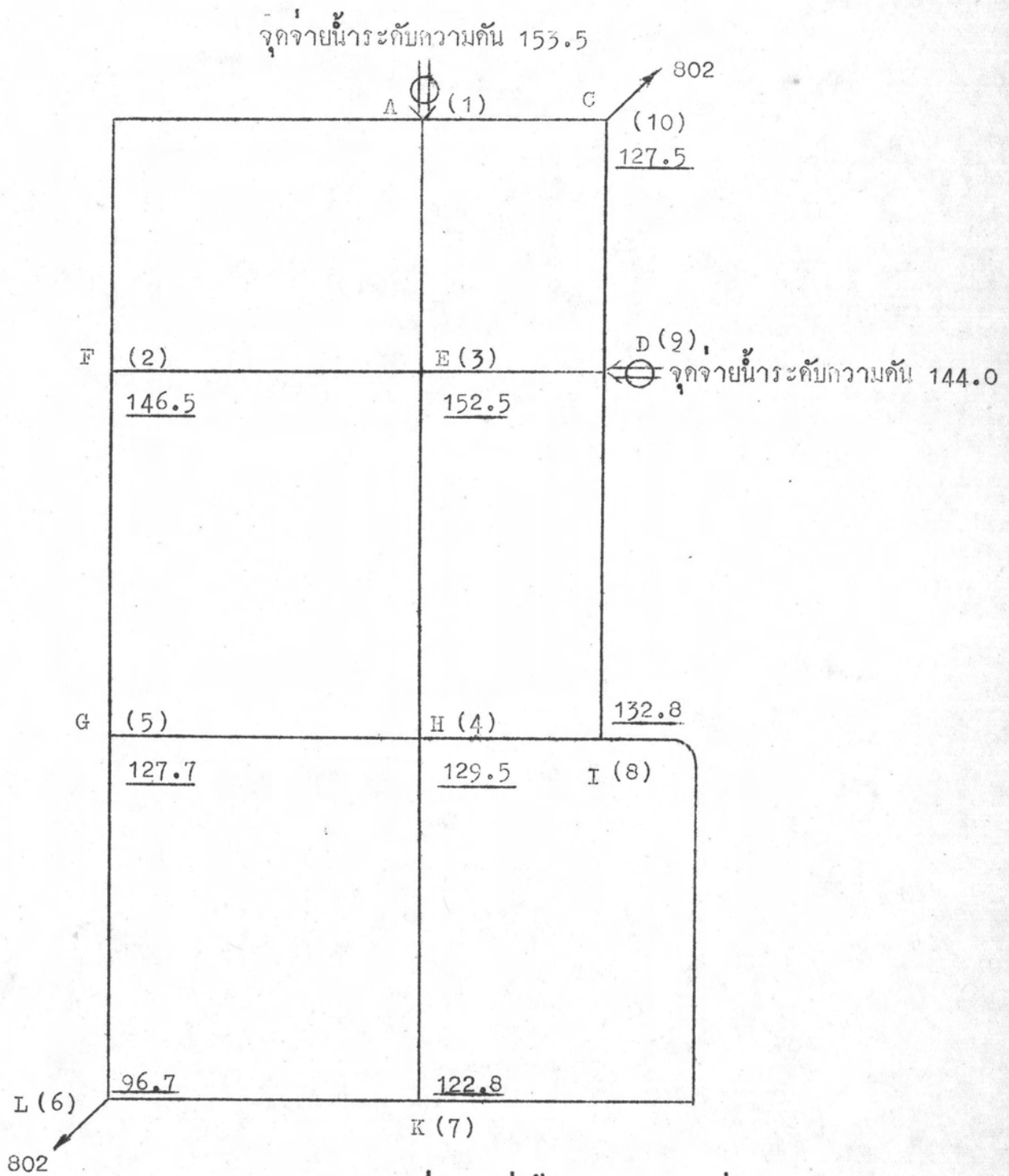
รูป 5.1.2 แสดงรายละเอียดระบบขายงานทอของการทดลองที่ 12
 มาตรฐาน 1:200

ตาราง 5.1.3 ค่าที่ได้จากการทดลองที่ 13

จุดตัด		ระดับความกั้นน้ำ ซ.ม.	อัตราการนำน้ำออกจาก ระบบ, ด.บ.ซม./วินาที	หมายเหตุ
ชื่อในแบบ	ชื่อคำนวณ			
A	1	215.5		จุดจ่ายน้ำ
F	2	206.5		
E	3	213.0		
H	4	186.2		
G	5	186.0		
K	6	190.0		
I	7	180.0	657.0	จุดจ่ายน้ำ
D	8	208.4		
C	9	205.0	384.0	
			$\Sigma = 1041.0$	

ตารางที่ 5.1.4 ค่าที่ได้จากการทดลองที่ 14

จุดตัด		ระดับความดันน้ำ ซ.ม.	อัตราการนำน้ำออก ล.บ.ซ.ม./วินาที	หมายเหตุ
ชื่อในแบบ	ชื่อคำนวณ			
A	1	153.5		จุดจ่ายน้ำ
F	2	146.5		
E	3	152.5		
H	4	129.5		
G	5	127.7		
L	6	96.7	802.0	จุดจ่ายน้ำ
K	7	122.8		
I	8	132.8		
D	9	144.0		
C	10	127.5	802.0	
			$\Sigma = 1604.0$	

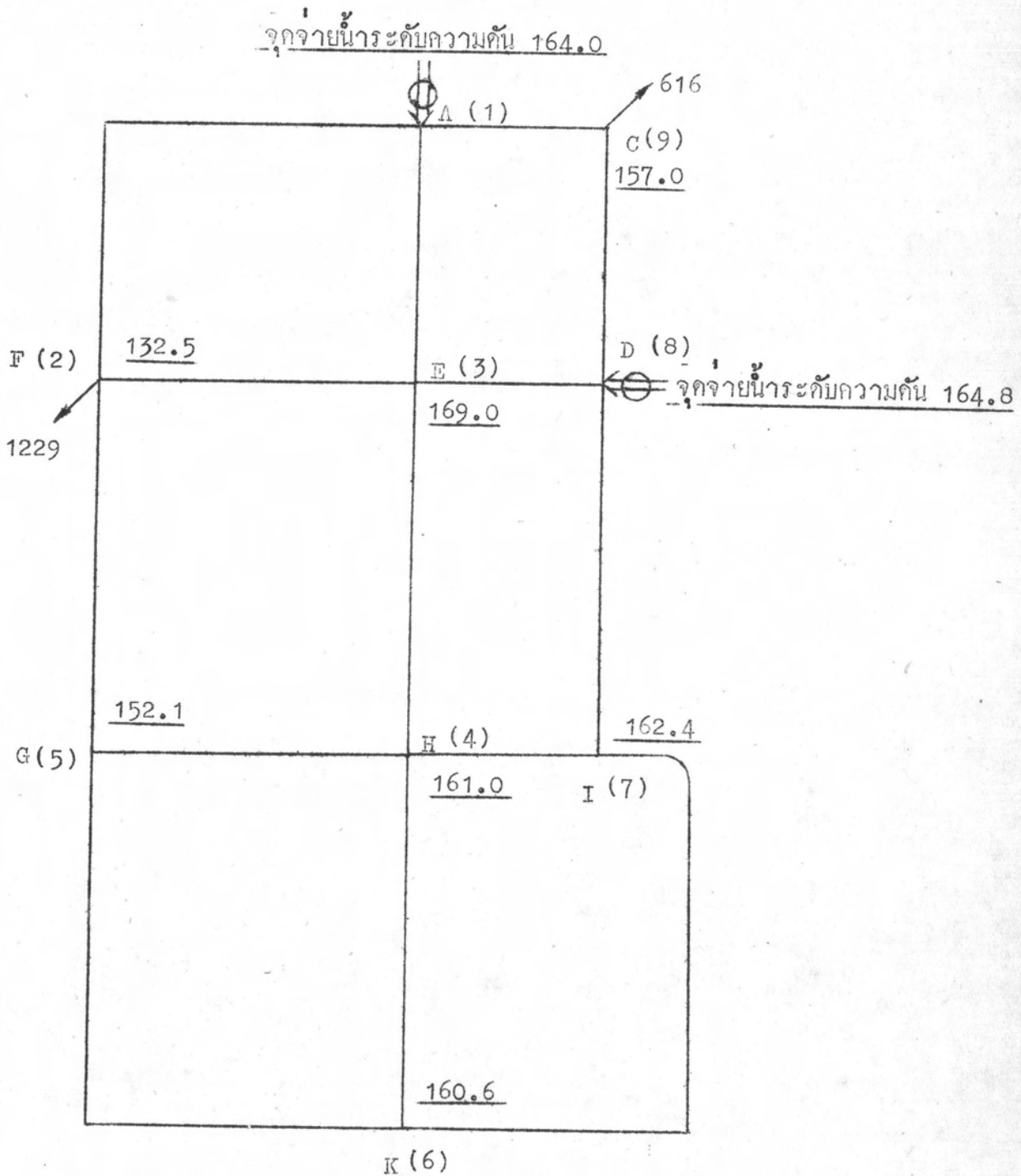


รูป 5.1.4 แสดงรายละเอียดระบบขายน้ําหน้าของการทดลองที่ 14

มาตราส่วน 1:200

ตาราง 5.1.5 ค่าที่ได้จากการทดลองที่ 15

จุดตัด		ระดับความดันน้ำ ซ.ม.	อัตราการนำน้ำออก ล.บ.ซ.ม./วินาที	หมายเหตุ
ชื่อในแบบ	ชื่อจำนวน			
A	1	164.0	1229.0	จุดจ่ายน้ำ
F	2	132.5		
E	3	169.0		
H	4	161.0		
G	5	152.1		
K	6	160.6		
I	7	162.4	616.0	จุดจ่ายน้ำ
D	8	164.8		
C	9	157.0		
			$\Sigma = 1845.0$	



รูป 5.1.5 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าของกาารทดลองที่ 15
 มาตรฐาน 1:200

5.2 ผลการวิเคราะห์ระบบขายงานท่อน้ำขึ้นแรก

จากขอบเขตต่าง ๆ ของระบบขายงานท่อน้ำตามการทดลองที่ 1 ถึงการทดลองที่ 5 ตามหัวข้อ 5.1 เราได้ขอบเขตต่าง ๆ ที่ทราบค่าเหล่านั้นลงในคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการคำนวณการระดับความดันน้ำตามจุดตัดต่าง ๆ และอัตราการไหลในเส้นท่อนทุกเส้นได้ จุดสำคัญของการคำนวณก็คือการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, f , ซึ่งในการคำนวณวิเคราะห์นี้จะถือจากค่าในตาราง 5.5 ของหนังสือ "Standard Plumbing Engineering Design by Louis S, Nielsen" เป็นเกณฑ์ (ดูภาคผนวก ฉ) ซึ่งจากตารางดังกล่าวได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเส้นท่อเหล็กออบสังกะสีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว (Nominal diameter) มีค่าประมาณ 0.038 และจากการนำผลการวิเคราะห์ของขายงานท่อนทั้ง 5 ระบบ โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.038 เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองพบว่า ค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำกว่าที่วัดได้เกือบทุกจุดของระบบขายงานท่อนในทุกการทดลอง จึงได้วิเคราะห์อีกครั้งหนึ่งโดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.028 ทั้งนี้เพื่อจะคาดหมายค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์การทำงานของขายงานท่อนจำลองอันนี้

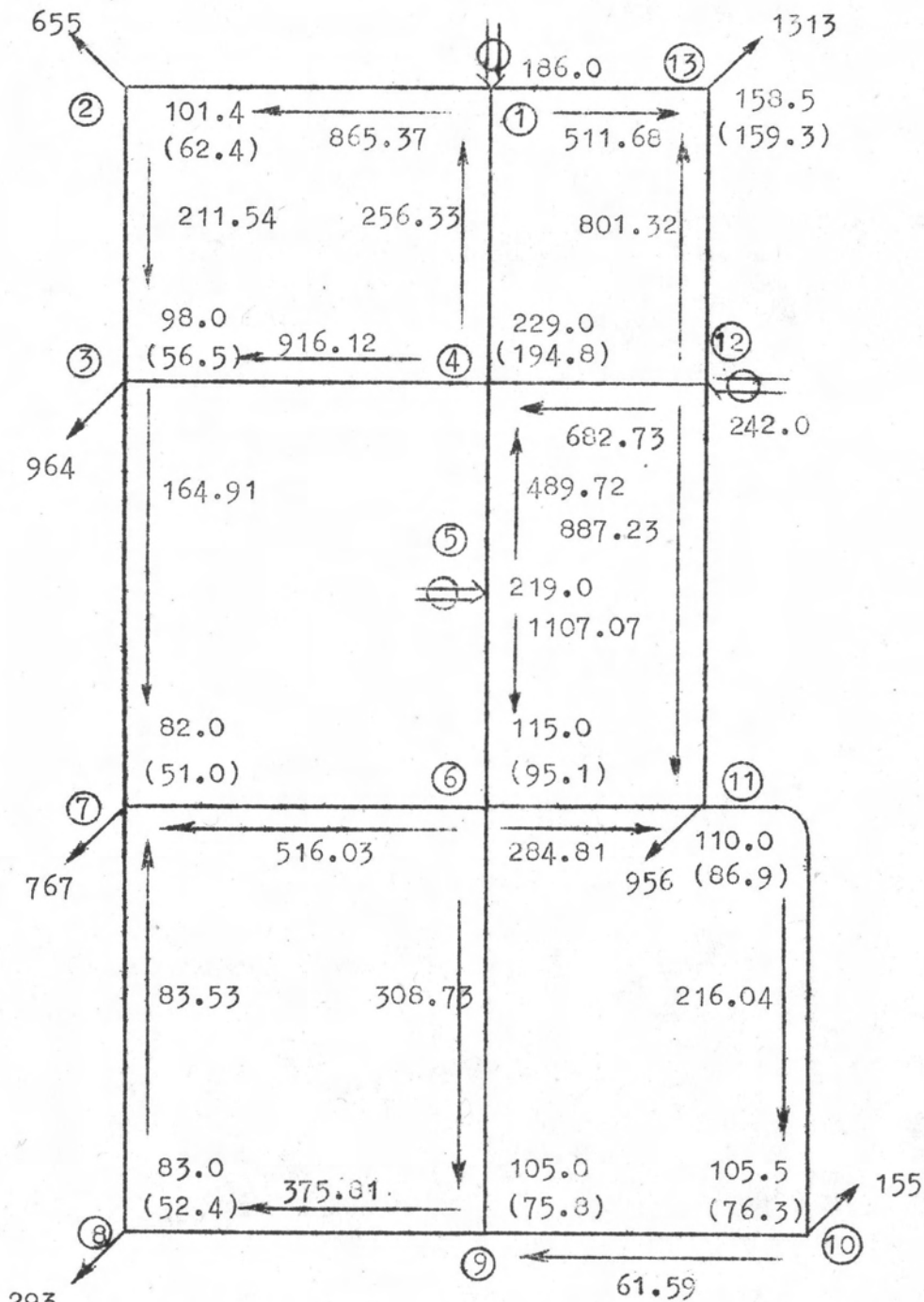


5.2.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 11

จุดตัด	ระดับความกั้นน้ำ จากการทดลอง (ซม.)	ระดับความกั้นน้ำ จากคอมพิวเตอร์ (ซม.)	ความแตกต่าง คิดเป็นร้อยละ (%)	หมายเหตุ
1	186.0	186.0	0	จุดจ่ายน้ำ
2	101.4	62.4	-36.46	
3	98.0	56.5	-42.35	
4	229.0	194.8	-14.93	
5	219.0	219.0	0	จุดจ่ายน้ำ
6	115.0	95.1	-17.30	
7	82.0	51.0	-37.80	
8	83.0	52.4	-36.87	
9	105.0	75.8	-27.81	
10	105.5	76.3	-27.68	
11	110.0	86.9	-21.00	
12	242.0	242.0	0	จุดจ่ายน้ำ
13	158.5	159.3	0.5	

ตาราง 5.2.1.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 1 โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสถียร

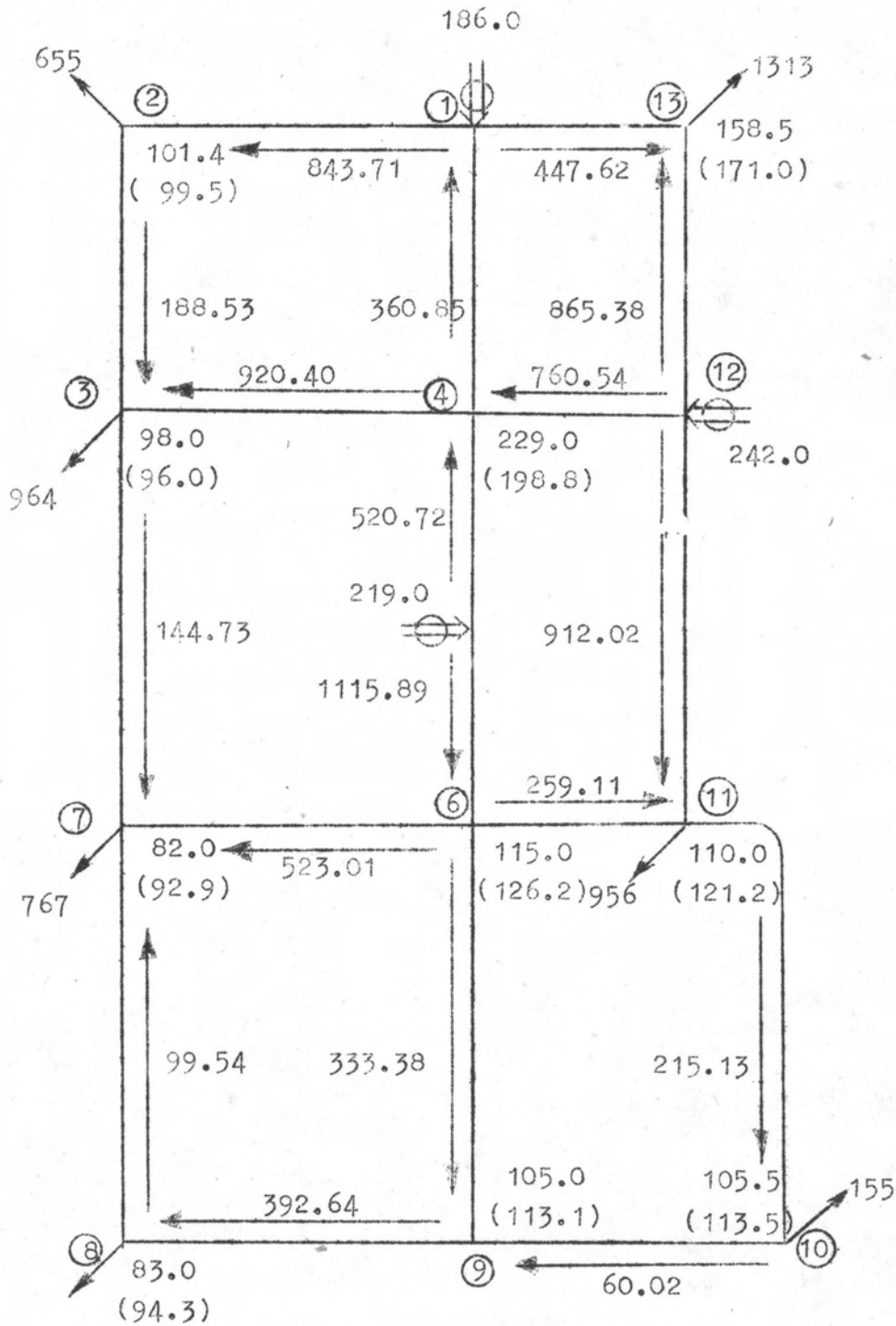
ทวน 0.038



รูป 5.2.1.1 แสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ระบบขายงานหน้าอาคาร
 ทดลองที่ 11 จากเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ค่า $f = 0.038$

ตารางที่ 5.2.1.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 11 โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.028

จุดตัด	ระดับความดันน้ำ จากการทดลอง (ซม.)	ระดับความดันน้ำ จากคอมพิวเตอร์ (ซม.)	ความแตกต่าง คิดเป็นร้อยละ (%)	หมายเหตุ
1	186.0	186.0	0	จุดจ่ายน้ำ
2	101.4	99.5	- 1.80	
3	98.0	96.0	- 2.04	
4	229.0	198.8	-13.19	
5	219.0	219.0	0	จุดจ่ายน้ำ
6	115.0	126.2	- 9.74	
7	82.0	92.9	18.29	
8	83.0	94.3	18.61	
9	105.0	113.1	7.71	
10	105.5	113.5	7.58	จุดจ่ายน้ำ
11	110.0	121.2	10.18	
12	242.0	242.0	0	
13	158.5	171.0	7.89	

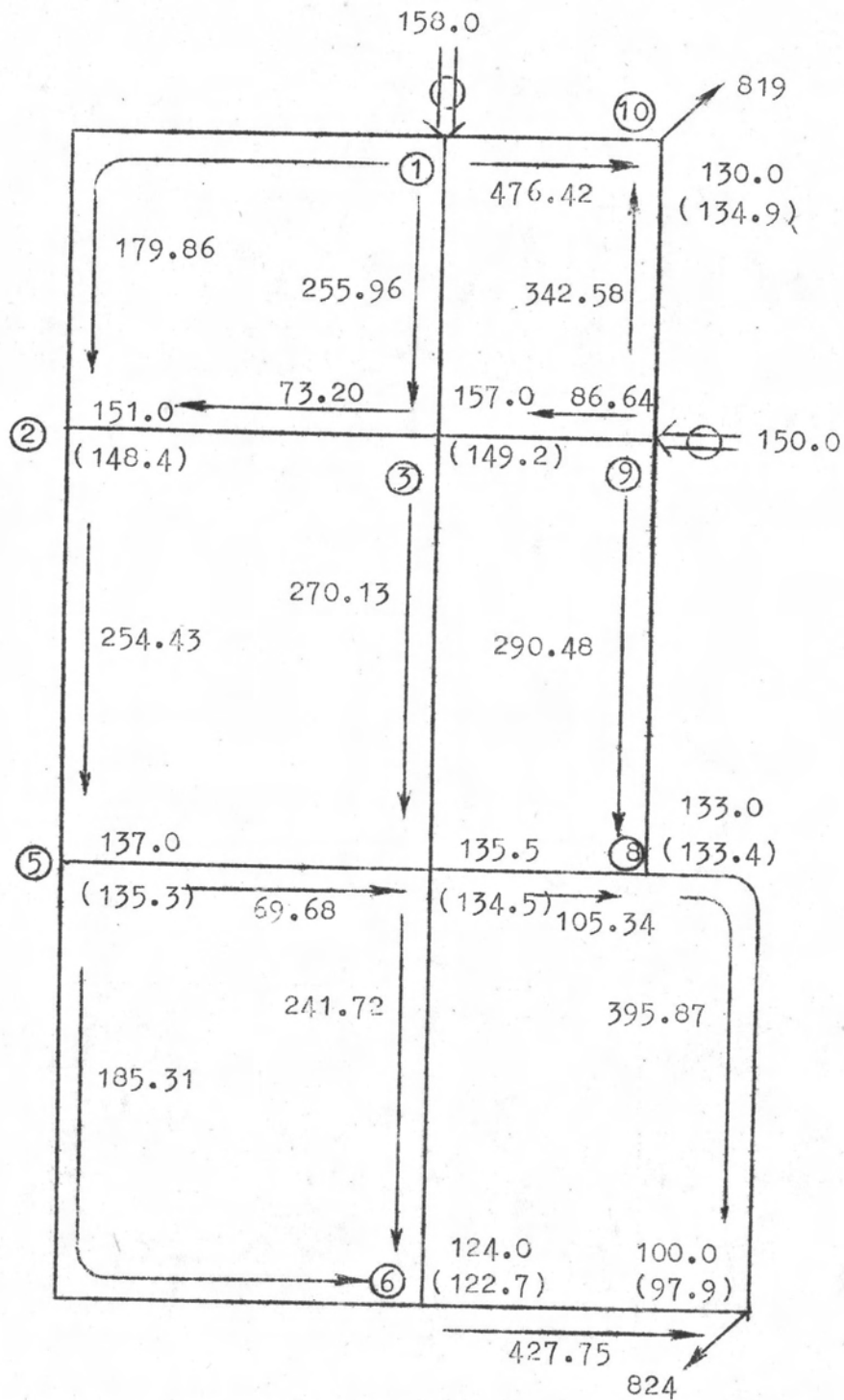


รูป 5.2.1.2 แสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ระบบขายงานที่น้ำกามการ
 ทดลองที่ 11 จากเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้ $f = 0.028$

5.2.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 12

ตาราง 5.2.2.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 12 ใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.038

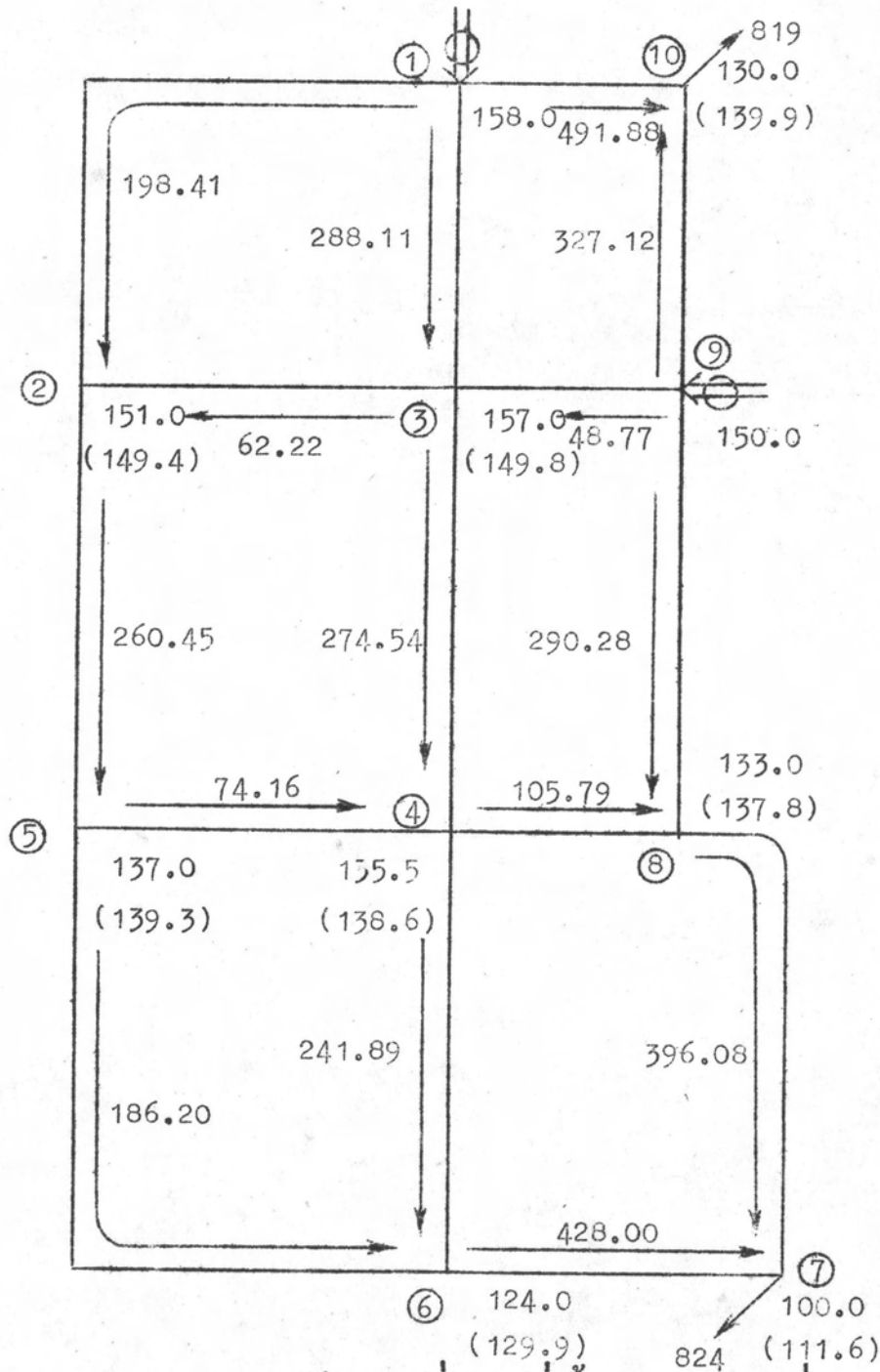
จุดตัด	ระดับความดันน้ำ จากการทดลอง (ซม.)	ระดับความดันน้ำ จากคอมพิวเตอร์ (ซม.)	ความแตกต่าง คิดเป็นร้อยละ (%)	หมายเหตุ
1	158.0	158.0	0	จุดจ่ายน้ำ
2	151.0	148.4	-1.72	
3	157.0	149.2	-4.97	
4	135.5	134.5	-0.74	
5	137.0	135.3	-1.24	
6	124.0	122.7	-1.05	
7	100.0	97.9	-2.10	
8	133.0	133.4	0.30	จุดจ่ายน้ำ
9	150.0	150.0	0	
10	130.0	134.9	3.77	



รูป 5.2.2.1 แสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ระบบจ่ายงานท่อน้ำตามการ
 ทดลองที่ 2 จากเครื่องคอมพิวเทอร์โดยใช้ $f=0.038$

ตาราง 5.2.2.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 12 โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.028

จุดตัด	ระดับความดันน้ำ จากการทดลอง (ซ.ม.)	ระดับความดันน้ำ จากคอมพิวเตอร์ (ซ.ม.)	ความแตกต่าง คิดเป็นร้อยละ (%)	หมายเหตุ
1	158.0	158.0	0	จุดจ่ายน้ำ
2	151.0	149.4	-1.09	
3	157.0	149.8	-4.59	
4	135.5	138.6	2.29	
5	137.0	139.3	1.68	
6	124.0	129.9	4.76	
7	100.0	111.6	11.60	
8	133.0	137.8	3.61	
9	150.0	150.0	0	จุดจ่ายน้ำ
10	130.0	139.9	7.62	

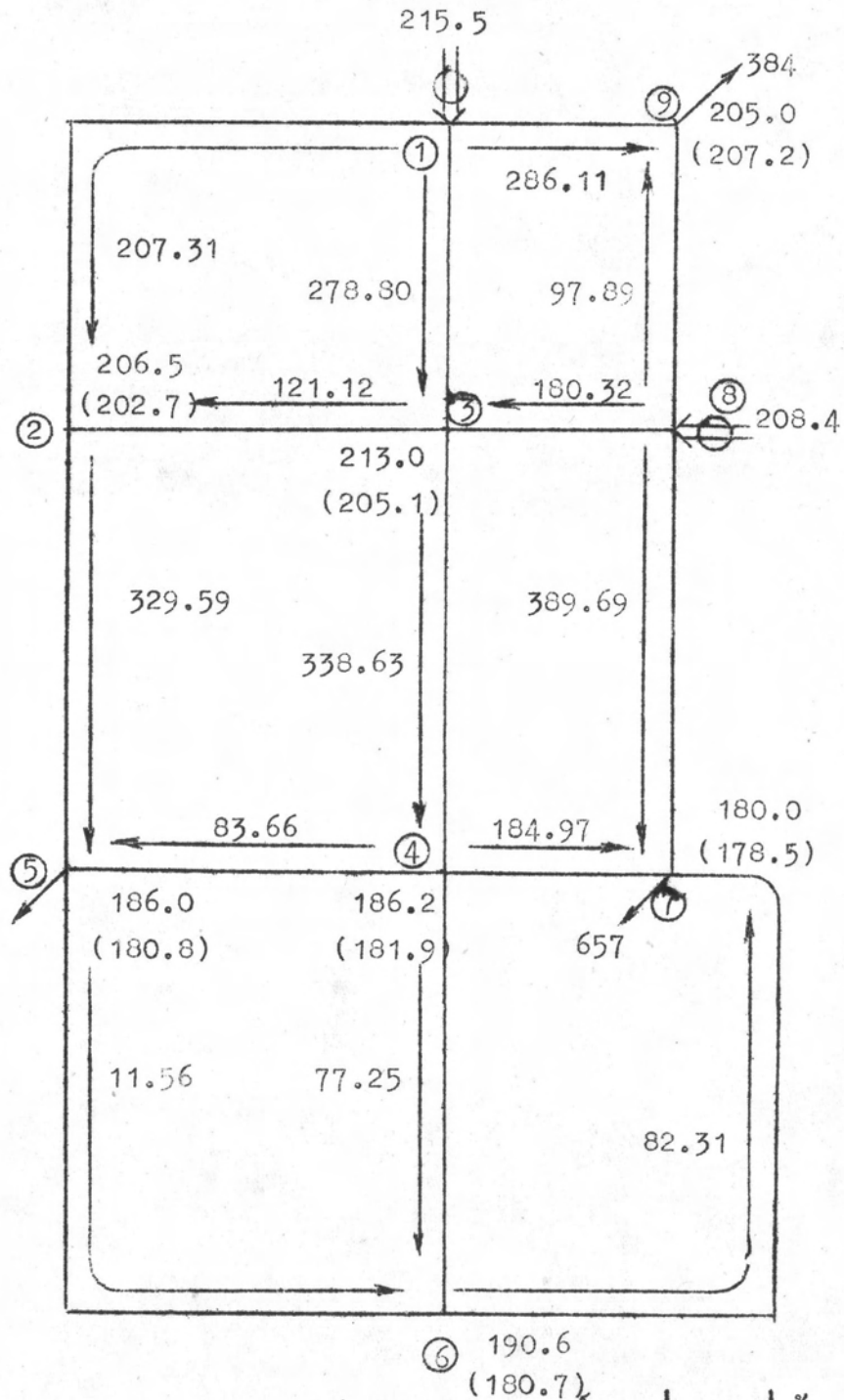


รูป 5.2.2.2 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าตามการทดลองที่ 12 จาก เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้ $f=0.028$

5.2.3 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 13

ตาราง 5.2.3.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 13 โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.038

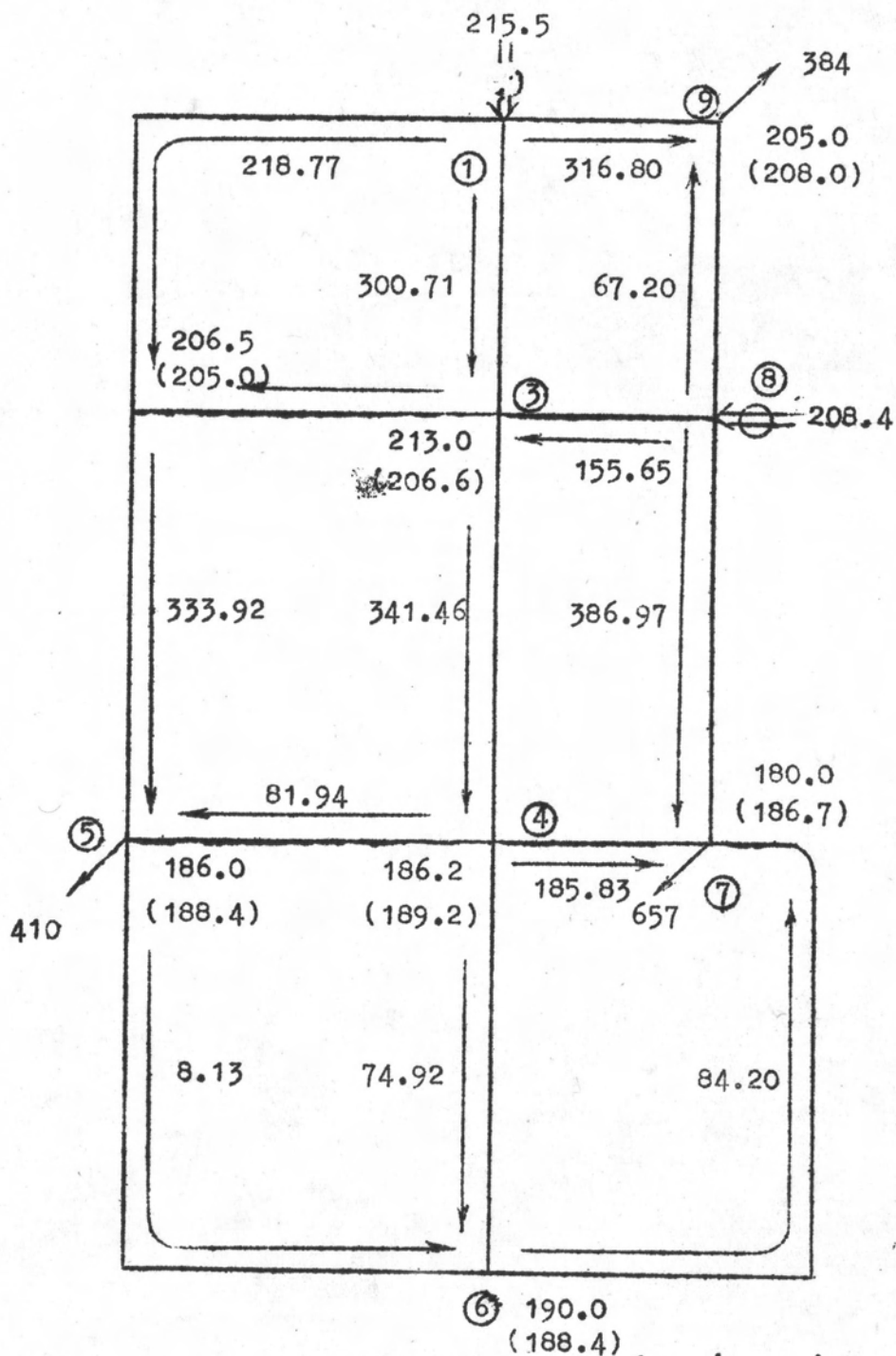
จุดตัด	ระดับความดันน้ำ จากการทดลอง (ซ.ม.)	ระดับความดันน้ำ จากคอมพิวเตอร์ (ซ.ม.)	ความแตกต่าง คิดเป็นร้อยละ (%)	หมายเหตุ
1	215.5	215.5	0	จุดจ่ายน้ำ
2	206.5	202.7	-1.84	
3	213.0	205.1	-3.71	
4	186.2	181.9	-2.31	
5	186.0	180.8	-2.80	
6	190.0	180.7	-4.89	
7	180.0	178.5	-0.83	
8	208.4	208.4	0	จุดจ่ายน้ำ
9	205.0	207.2	1.07	



รูป 5.2.3.1 แสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ระบบขายงานท่อน้ำตาม การทดลองที่ 13 จากเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้ $f = 0.038$

ตาราง 5.2.3.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 13 โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.028

จุดตัด	ระดับความดันน้ำ จากการทดลอง (ซ.ม.)	ระดับความดันน้ำ จากคอมพิวเตอร์ (ซ.ม.)	ความแตกต่าง คิดเป็นร้อยละ (%)	หมายเหตุ
1	215.5	215.5	0	จุดจ่ายน้ำ
2	206.5	205.0	-0.73	
3	213.0	206.6	-3.00	
4	186.2	189.2	1.61	
5	186.0	188.4	1.29	
6	190.0	188.4	-0.84	
7	180.0	186.7	3.72	
8	208.4	208.4	0	จุดจ่ายน้ำ
9	205.0	208.0	1.46	

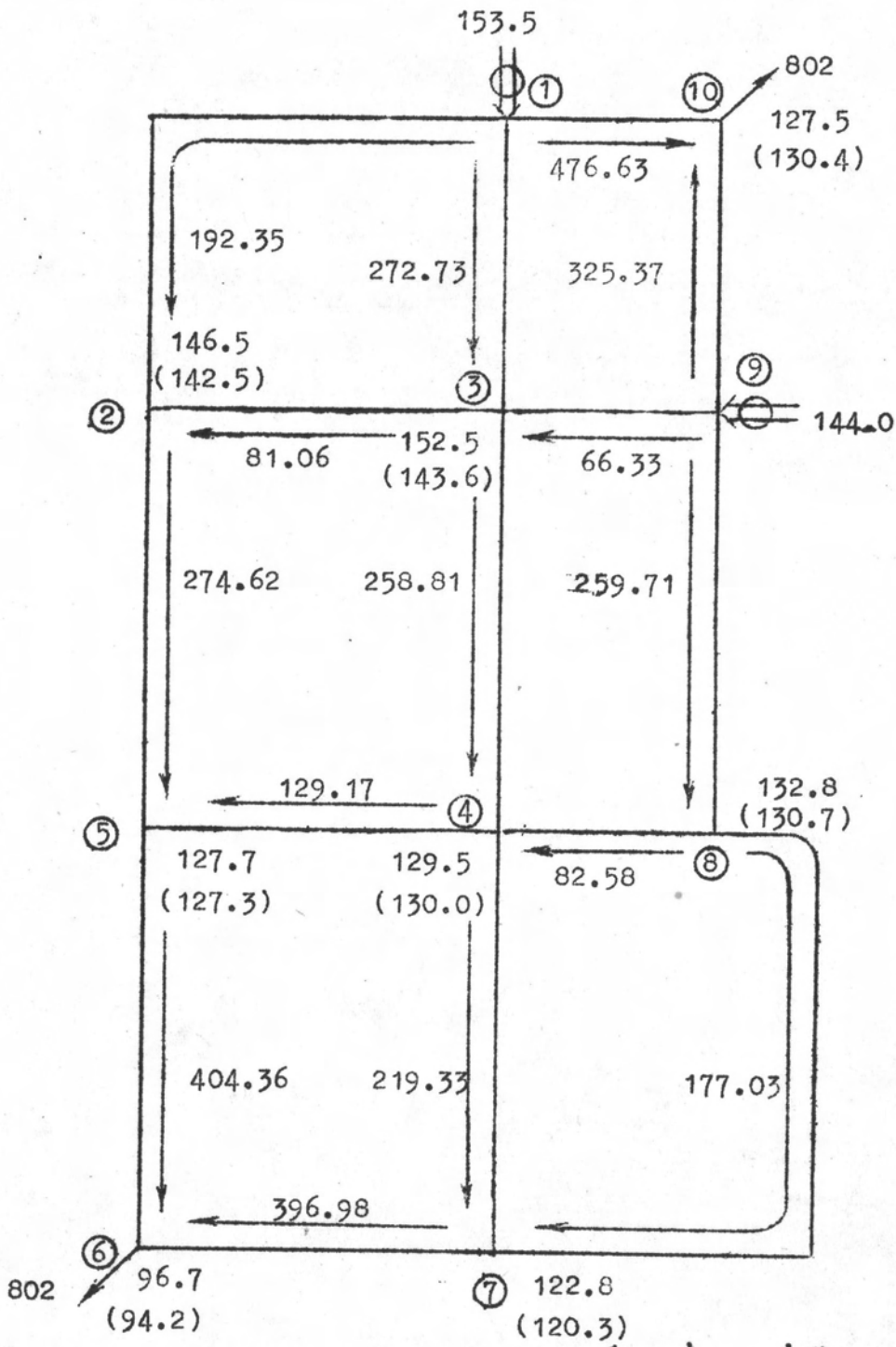


รูป 5.2.3.2 แสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ระบบจ่ายน้ำตาม
การทดลองที่ 13 จากเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ $f = 0.028$

5.2.4 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 14

ตาราง 5.2.4.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 14 โภยใช้สัมประสิทธิ์
ความเสียหาย 0.038

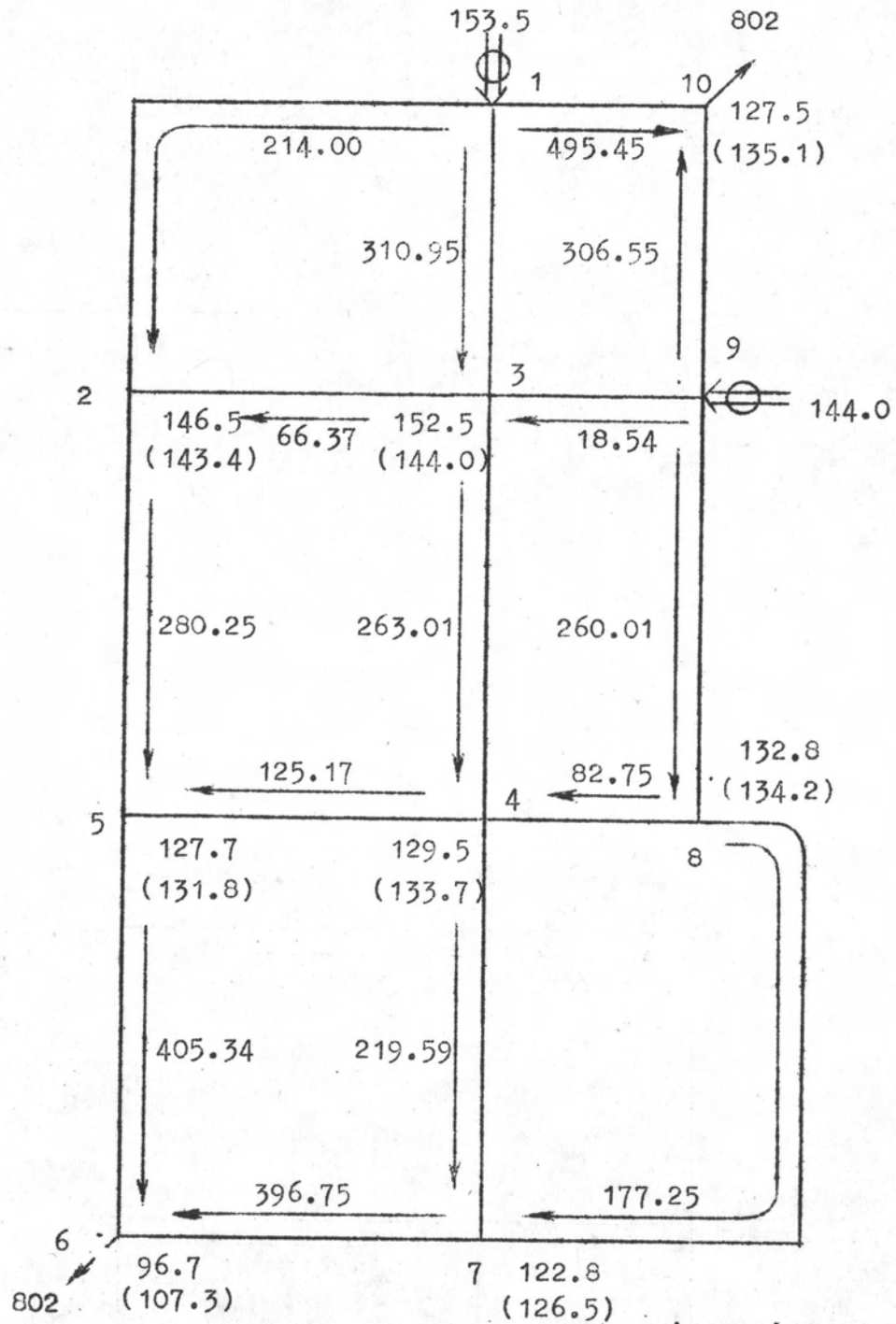
จุดตัด	ระดับความดันน้ำ จากการทดลอง (ซ.ม.)	ระดับความดันน้ำ จากคอมพิวเตอร์ (ซ.ม.)	ค่าความแตกต่าง คิดเป็นร้อยละ (%)	หมายเหตุ
1	153.5	153.5	0	จุดจ่ายน้ำ
2	146.5	142.5	-2.73	
3	152.5	143.6	-5.84	
4	129.5	130.0	0.39	
5	127.7	127.3	-0.31	
6	96.7	94.2	-2.59	
7	122.8	120.3	-2.04	
8	132.8	130.7	-1.58	
9	144.0	144.0	0	จุดจ่ายน้ำ
10	127.5	130.4	2.27	



รูป 5.2.4.1 แสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ระบบขายงานที่น้ำตาม การทดลองที่ 14 จากเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ $f = 0.038$

ตาราง 5.2.4.2 ผลวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 14 โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียหาย
ตาม 0.028

จุดตัด	ระดับความคั่นน้ำ จากการทดลอง (ซ.ม.)	ระดับความคั่นน้ำ จากคอมพิวเตอร์ (ซ.ม.)	ความแตกต่าง คิดเป็นร้อยละ (%)	หมายเหตุ
1	153.5	153.5	0	จุดจ่ายน้ำ
2	146.5	143.4	-2.12	
3	152.5	144.0	-5.57	
4	129.5	133.7	3.24	
5	127.7	131.8	3.21	
6	96.7	107.3	10.96	
7	122.8	126.5	3.01	
8	132.8	134.2	1.05	
9	144.0	144.0	0	จุดจ่ายน้ำ
10	127.5	135.1	5.96	

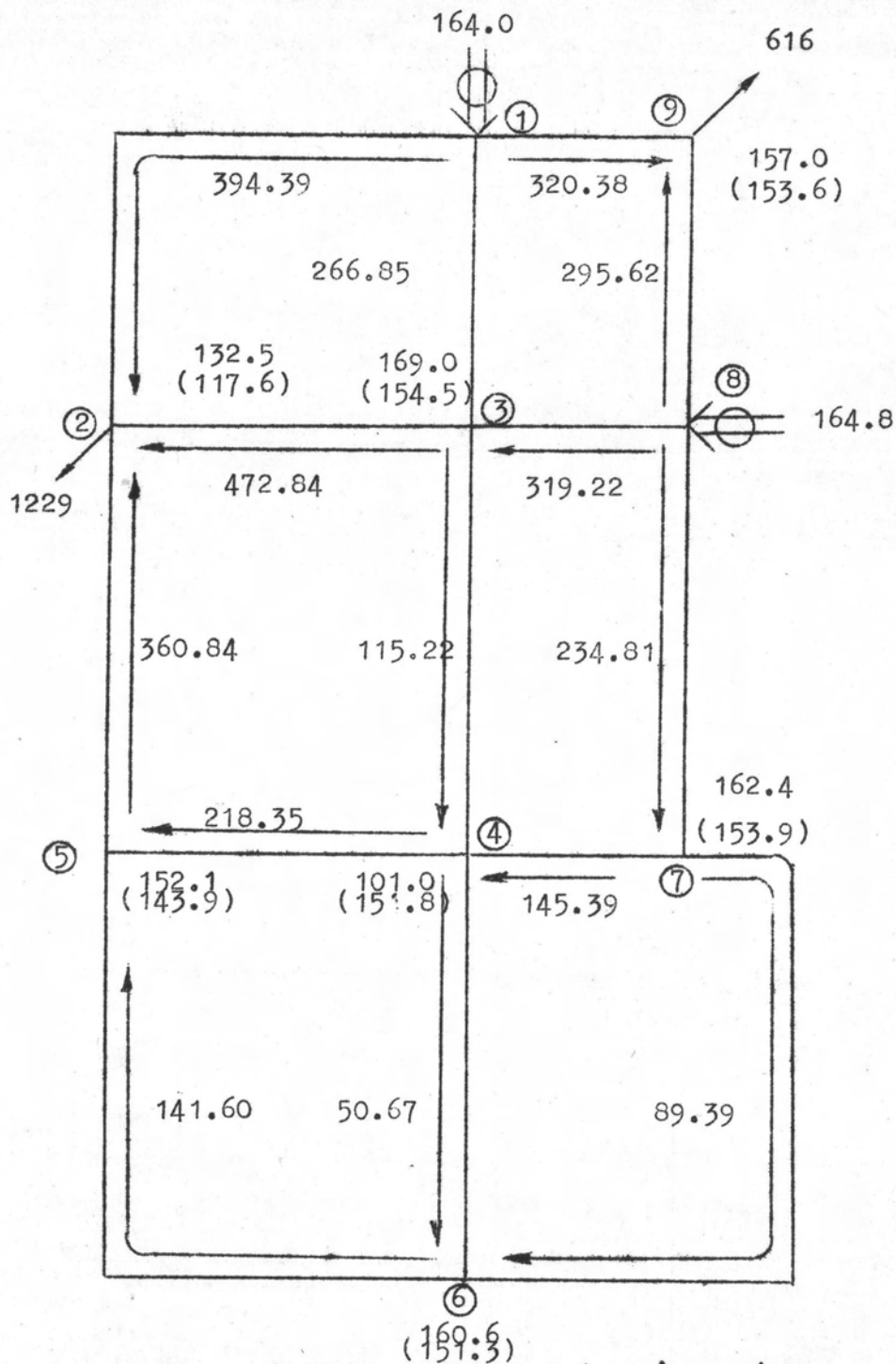


รูป 5.2.4.2 แสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ระบบข่างานท่อน้ำตาม
การทดลองที่ 14 จากเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ $\mu = 0.028$

5.2.5 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 15

ตาราง 5.2.5.1, ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 15 โดยใช้สัมประสิทธิ์
ความเสียหาย 0.038

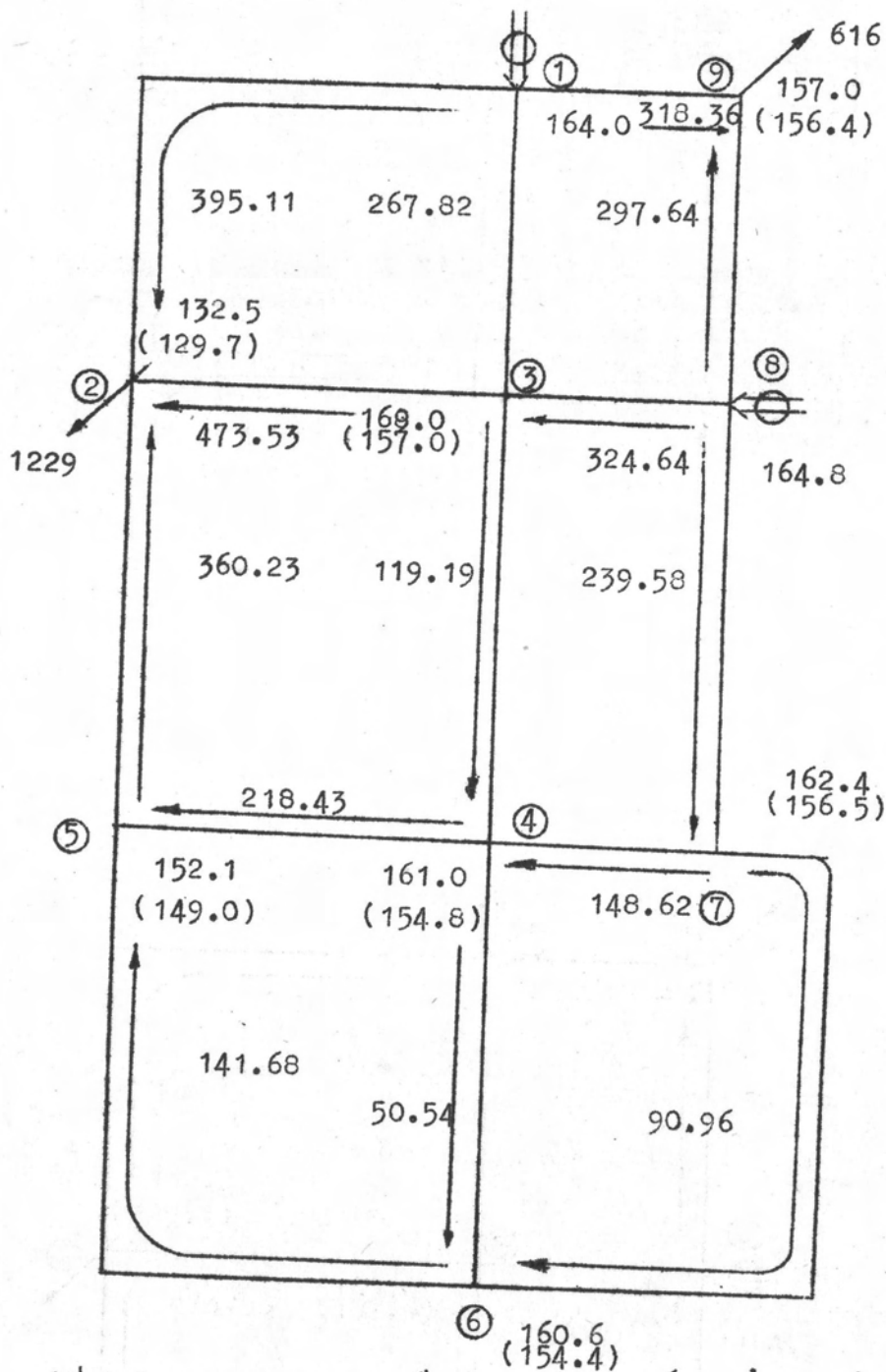
จุดตัด	ระดับความดันน้ำ จากการทดลอง (ซ.ม.)	ระดับความดันน้ำ จากคอมพิวเตอร์ (ซ.ม.)	ความแตกต่าง คิดเป็นร้อยละ (%)	หมายเหตุ
1	164.0	164.0	0	จุดจ่ายน้ำ
2	132.5	117.6	-11.47	
3	169.0	154.5	-8.58	
4	161.0	151.8	-5.71	
5	152.1	143.9	-5.39	
6	160.6	151.3	-5.79	
7	162.4	153.9	-5.23	
8	164.8	164.8	0	จุดจ่ายน้ำ
9	157.0	153.6	-2.17	



รูป 5.2.5.1 แสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ระบบขายงานท่อน้ำ
 ความการทดลองที่ 15 จากเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้ $f = 0.038$

ตาราง 5.2.5.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 15 โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสถียร
หาค่า 0.028

จุดตัด	ระดับความคั่งน้ำ จากการทดลอง (ซ.ม.)	ระดับความคั่งน้ำ จากคอมพิวเตอร์ (ซ.ม.)	ความแตกต่าง คิดเป็นร้อยละ (%)	หมายเหตุ
1	164.0	164.0	0	จุดจ่ายน้ำ
2	132.5	129.7	-2.11	
3	169.0	157.0	-7.16	
4	161.0	154.8	-3.85	
5	152.1	149.0	-2.04	
6	160.6	154.4	-3.86	
7	162.4	156.5	-3.63	
8	164.8	164.8	0	จุดจ่ายน้ำ
9	157.0	156.4	-0.38	



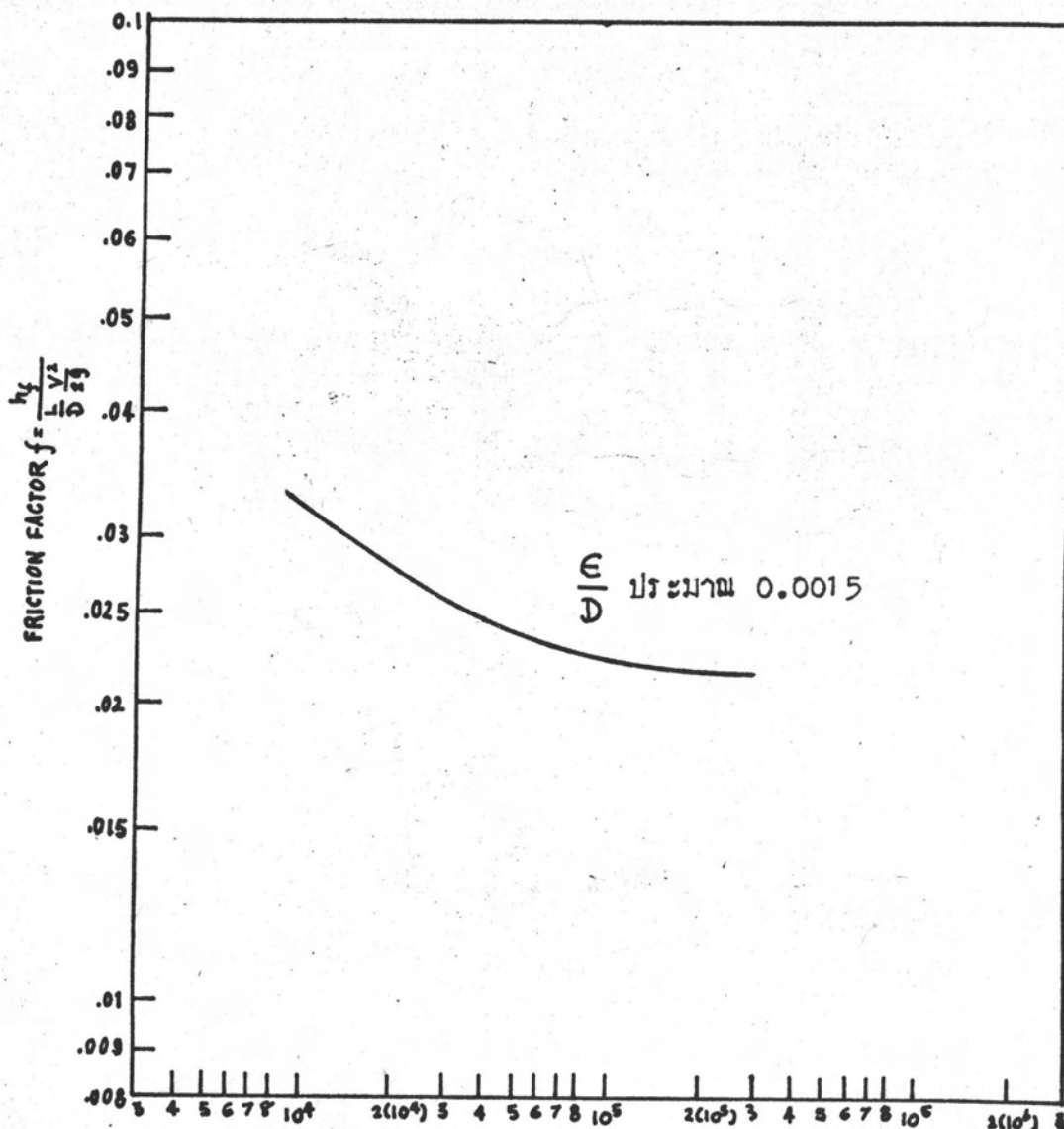
รูป 5.2.5.2 แสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ระบบขำยงานท่อน้ำ
 ตามการทดลองที่ 15 จากเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้ $f = 0.028$

5.3 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ เส้นท่อ

จากผลการทดลอง 5 การทดลองชั้นค้นพบว่า อัตราการไหลในเส้นท่อในระบบ ข่ายงานท่อที่สูงที่สุดคือ อัตราการไหลในเส้นท่อ 5-6 ของการทดลองที่ 11 เมื่อใช้ค่า $f=0.028$ ได้อัตราการไหลในเส้นท่อเท่ากับ 1115.89 ลบ.ซม./วินาที คิดเป็นเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold's number) สำหรับท่อขนาด 1 นิ้ว ได้เท่ากับ 6.04×10^4 ซึ่งค่านี้จะ เป็นค่าอัตราการไหลสูงสุดในระบบข่ายงานท่อทดลองนี้ที่จะเป็นไปได้ เพราะในการทดลองที่ 11 นั้น จุดจ่ายน้ำเข้าที่ D นำเข้ามาโดยตรงจากเครื่องสูบน้ำ และเปิดจุดนำน้ำออกทุกจุดเต็มที่ และยังมี การนำเข้าที่จุด M จากถังสูงอีก ส่วนค่าอัตราการไหลต่ำสุดที่อาจจะเป็นไปได้ นั้น อาจจะ เป็นการไหลแบบเป็นเส้นในบางเส้นท่อ (Laminar) หรือการไหลแบบไม่แน่นอน (Transition) ในบางเส้นท่อก็ได้

ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเส้นท่อในการวิจัยครั้งนี้ โดย นำเส้นท่อจากระบบข่ายงานท่อจำลองชั้นค้นมาทำการทดลอง เพื่อให้ได้ค่าที่น่าจะเป็นไปได้จริงๆ สำหรับเส้นท่อในระบบข่ายงานท่อจำลอง ทั้งชนิด, ขนาด และอายุการใช้งาน ในการทดลองจะ ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเส้นท่อจากค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์ 6.04×10^4 ลงมา จนถึงประมาณ 1.3×10^4 เท่านั้น เพราะในช่วงนี้เป็นช่วงของการไหลปะปนอย่างแท้จริง (Complete Turbulence) ต่ำลงจากค่านี้จะเป็นช่วงไม่แน่นอน (Transition) ของการไหลของน้ำซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไม่แน่นอน แล้วแต่ขณะหนึ่งขณะใดของการ ไหล และต่ำลงจากช่วงไม่แน่นอน จะเป็นช่วงการไหลแบบเป็นเส้น (Laminar) ซึ่งโอกาส ที่จะเกิดในระบบข่ายงานท่อจำลองนี้มีน้อยมาก และการไหลของน้ำในเส้นท่อที่เป็นการไหลแบบไม่แน่นอนและ แบบเป็นเส้นนี้ ทำให้เกิดค่าความลกระคียบความคั้นน้ำน้อยมาก เพราะความเร็วของ การไหลน้อยแทบจะไม่มีผลต่อการลกระคียบความคั้นน้ำของระบบข่ายงานท่อทั้งระบบเลย ดังนั้น การใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยประมาณสำหรับในเส้นท่อที่มีการไหลของน้ำในช่วงนี้ นับได้ว่าเป็นวิธีที่จะให้ผลในการคำนวณได้ถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริง รูป 5.3 เป็นกราฟ

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย, r กับค่าเรย์โนลด์์ นัมเบอร์ของเส้นท่อที่ใช้ในการทดลอง ในช่วงโรย์โนลด์์นัมเบอร์ จากประมาณ 10^5 ถึง 1.3×10^4 ที่อุณหภูมิของน้ำ $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ สำหรับรายละเอียดการทดลองให้ดูจากภาคผนวก ค.



รูป 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับเรย์โนลด์นัมเบอร์ของเส้นท่อที่ใช้ในการทดลอง

5.4 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (Coefficient of Discharge)
และค่าคงที่ของการสูญเสียระดับความดันย่อย (Constant of Minor Losses) ของ
มาตรวัดแบบรูระบาย

ในการทดลองขั้นต่อไป ได้จัดสร้างมาตรวัดแบบรูระบายขึ้นใช้ 2 อัน (ดูรายละเอียด
ภาคผนวก ก) เพื่อใช้ตรวจสอบอัตราการไหลในบางเส้นท่อในข่ายงานท่อจำลองชั้นที่ 2 มาตร
วัดแบบรูระบายที่จัดสร้างขึ้นนี้ กำหนดอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลาง (Diameter ratio)
และขนาดต่าง ๆ เท่ากันตลอด แต่ได้ทำการทดสอบโดยละเอียดทั้งสองอัน

จากการทดลองได้คุณสมบัติของมาตรวัดแบบรูระบายทั้งสอง เป็นดังนี้คือ

มาตรวัด AA

ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล (Coefficient of discharge, C_d) = 0.621

ค่าคงที่สำหรับการสูญเสียความดันย่อย (Constant for minor losses, β) = 11.006

มาตรวัด CC

ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล (Coefficient of discharge, C_d) = 0.628

ค่าคงที่สำหรับการสูญเสียความดันย่อย (Constant for Minor Losses, β) = 10.96

5.5 ผลการทดลองระบบข่ายงานท่อน้ำชั้นที่สอง

ในการทดลองข่ายงานท่อจำลองชั้นที่สองนี้ได้ทำการตรวจสอบอัตราการไหลเข้าสู่
ระบบ และตรวจสอบอัตราการไหลในเส้นท่อ DI ค้วย เพื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี โดย
ใช้มาตรวัดแบบรูระบายตามข้อ 5.4 และมาตรวัดแบบเวนจูรี (ดูภาคผนวก ข) ในการวิเคราะห์
ระบบข่ายงานท่อจำลองชั้นที่สองนี้ จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.032 ซึ่งเป็นค่าที่น่าจะ

เป็นไปได้ โดยพิจารณาจากผลการทดลองระบบข่ายงานท่อจำลองชั้นที่ 1 จากนั้นก็จะใช้ค่า
อัตราการใช้ท่อจากการวิเคราะห์นี้ไปเทียบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย จากกราฟตามรูป
5.3 และทำการคำนวณวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายใหม่เหล่านี้ในเส้นท่อ
แต่ละเส้น จากนั้นจึงรวมค่าการสูญเสียความดันย่อยตามสามทาง (Tee) และสี่ทาง (Cross)
ในรูปของความยาวเส้นท่อเสมือน (Equivalent length, คูณภาคผนวก ข) ลงไป
ด้วย แล้วทำการคำนวณวิเคราะห์หาค่าอีกครั้งหนึ่ง

ตาราง 5.5.1 ค่าที่วัดได้จากการทดลองที่ 21

จุดตัด		ความดันน้ำ (ซ.ม.)	อัตราการออก (ล.บ.ช.ม./วินาที)	อัตราการเข้า (ล.บ.ช.ม./วินาที)	หมายเหตุ	
ชื่อในแบบ	ชื่อคำนวณ					
A	1	199.5		826.0	จุดจ่ายน้ำ	
E	2	198.3				
F	3	191.4				
G	4	170.4				
H	5	169.4				
K	6	152.5				
J	7	117.8	955.0			
I	8	165.5				
D	9	175.4		606.0		จุดจ่ายน้ำ
C	10	185.9	435.0			
			1390	1431		
			ค่าแตกต่าง	2.95 %		

อัตราการไหลในเส้นท่อ DI = 290.24 ล.บ.ช.ม./วินาที

ตาราง 5.5.2 ค่าที่วัดได้จากการทดลองที่ 22

จุดตัด	จุดตัด		ความดันน้ำ (ซ.ม.)	อัตราการออก (ล.บ.ช.ม./วินาที)	อัตราการเข้า (ล.บ.ช.ม./วินาที)	หมายเหตุ
	ชื่อในแบบ	ชื่อคำนวณ				
A	1		141.0		876.0	จุดจ่ายน้ำ
E	2		139.0			
F	3		130.0			
G	4		104.7			
H	5		100.0			
K	6		89.0	421.0		จุดจ่ายน้ำ
I	7		84.1	794.0		
D	8		135.2		685.0	
C	9		132.3	375.0		
				1590	1561	
				ค่าแตกต่าง	-1.82 %	

อัตราการไหลในเส้นท่อ DI = 466.21 ล.บ.ช.ม./วินาที

ตารางที่ 5.5.3 ค่าที่วัดจากการทดลองที่ 23

ชื่อในแบบ	จุดวัด		ความดันน้ำ (ซ.ม.)	อัตราการออก (ล.บ.ช.ม./วินาที)	อัตราการเข้า (ล.บ.ช.ม./วินาที)	หมายเหตุ
	ชื่อ	จำนวน				
A	1		152.0		869.0	จุดจ่ายน้ำ
E	2		150.5			
F	3		139.0			
G	4		107.0	359.0		
H	5		103.5			
K	6		90.2	806.0		
I	7		115.2			
D	8		148.5		683.0	
C	9		144.6	403.0		
				1568	1552	
				ค่าแตกต่าง	-1.02 %	

อัตราการไหลในเส้นท่อ DI = 351.19 ล.บ.ช.ม./วินาที



ตาราง 5.5.4 ค่าที่วัดได้จากการทดลองที่ 24

จุดตัด		ความก้นน้ำ (ซ.ม.)	อัตราการออก (ล.บ.ช.ม./วินาที)	อัตราการเข้า (ล.บ.ช.ม./วินาที)	หมายเหตุ
ชื่อในแบบ	ชื่อจำนวน				
A	1	107.0		908.0	จุดจ่ายน้ำ
B	2	101.0	168.0		
F	3	101.0			
E	4	113.0			
H	5	97.0			
G	6	92.3			
K	7	77.1	645.0		จุดจ่ายน้ำ
I	8	92.2			
D	9	103.5		777.0	
C	10	82.5	816.0		
			1629	1684	
			ค่าแตกต่าง	3.38 %	

อัตราการไหลในเส้นท่อ DI = 175.27 ล.บ.ช.ม./วินาที

ตาราง 5.5.5 ค่าที่วัดได้จากการทดลองที่ 255

จุดกัก		ความดันน้ำ (ท.ม.)	อัตราการออก (ล.บ.ช.ม./วินาที)	อัตราการเข้า (ล.บ.ช.ม./วินาที)	หมายเหตุ
ชื่อในแบบ	ชื่อคำนวณ				
A	1	177.0		848.0	จุดจ่ายน้ำ
F	2	165.3			
E	3	175.0			
H	4	138.8			
G	5	138.0	252.0		
K	6	126.0			
J	7	99.5	867.0		จุดจ่ายน้ำ
I	8	137.0			
D	9	172.5		646.0	
C	10	169.2	378.0		
			1497	1495	
			ความแตกต่าง	-0.13 %	

อัตราการไหลในเส้นท่อ DI = 310.39 ล.บ.ช.ม./วินาที

ตาราง 5.6.1.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 21 (ความกันน้ำ)

จุดกัก	ความกันน้ำ	ความกันน้ำ	ค่าแตกต่าง	ความกันน้ำ	ค่าแตกต่าง	ความกันน้ำ	ค่าแตกต่าง
	ก (ช.ม.)	ข (ช.ม.)	ข (%)	ค (ช.ม.)	ค (%)	ง (ช.ม.)	ง (%)
1	199.5	199.5	0	199.5	0	199.5	0
2	198.3	191.8	-3.28	192.1	-3.13	191.5	-3.43
3	191.4	189.8	-0.84	190.4	-0.52	189.5	-0.99
4	170.4	172.6	-1.29	175.0	2.70	173.2	1.64
5	169.4	171.2	1.06	173.9	2.66	172.0	1.53
6	152.5	157.8	3.48	161.8	6.10	158.5	3.93
7	117.8	129.3	9.76	139.0	18.00	131.2	11.38
8	165.5	168.9	2.05	171.6	3.69	169.5	2.42
9	195.4	195.4	0	195.4	0	195.4	0
10	185.9	192.8	3.71	193.2	3.93	192.5	3.55

5.6.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 21

5.6 ผลวิเคราะห์ระบบฐานข้อมูล

- หมายเหตุ
- ความกันน้ำ ก. คือความกันน้ำที่วัดได้จากการทดลอง
 - ความกันน้ำ ข. คือความกันน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียหาย $f = 0.032$
 - ความกันน้ำ ค. คือความกันน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียหาย f ตามรูป 5.3 ไม่รวมการสูญเสียความกันยอย ทั้งนี้โดยถือเอาค่าเฉลี่ยในลคณัมเบอร์จากอัตราไหลที่วิเคราะห์โดย $f = 0.032$
 - ความกันน้ำ ง. คือความกันน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียหาย f ตามรูป 5.3 รวมค่าการสูญเสียความกันยอย

ตาราง 5.6.1.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 21 (อัตราไหล)

รายละเอียดอัตรา การไหล	ผลการทดลอง	ผลวิเคราะห์	ค่าแตกต่าง	ผลวิเคราะห์	ค่าแตกต่าง	ผลวิเคราะห์	ค่าแตกต่าง
	ก	ข	%	ก	%	ง	%
	ล.บ.ช.ม./วท.	ล.บ.ช.ม./วท.		ล.บ.ช.ม./วท.		ล.บ.ช.ม./วท.	
อัตราไหลในเส้นท่อ 8 - 9	290.0	289.01	-0.34	282.67	-2.53	288.93	-0.37
อัตราไหลเขาระบบที่จุด 1	826.0	737.66	-10.69	749.87	-9.22	729.92	-11.63
อัตราไหลเขาระบบที่จุด 9	606.0	650.24	7.31	646.98	6.76	658.92	8.73
อัตราไหลเข้าทั้งหมด	1432.0	1387.93	-3.08	1396.85	-2.51	1388.84	-3.01

หมายเหตุ ผลการทดลอง ก.

คืออัตราการไหลที่วัดได้จากมาตรวัดในการทดลอง

ผลวิเคราะห์ ข.

คืออัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน $f = 0.032$

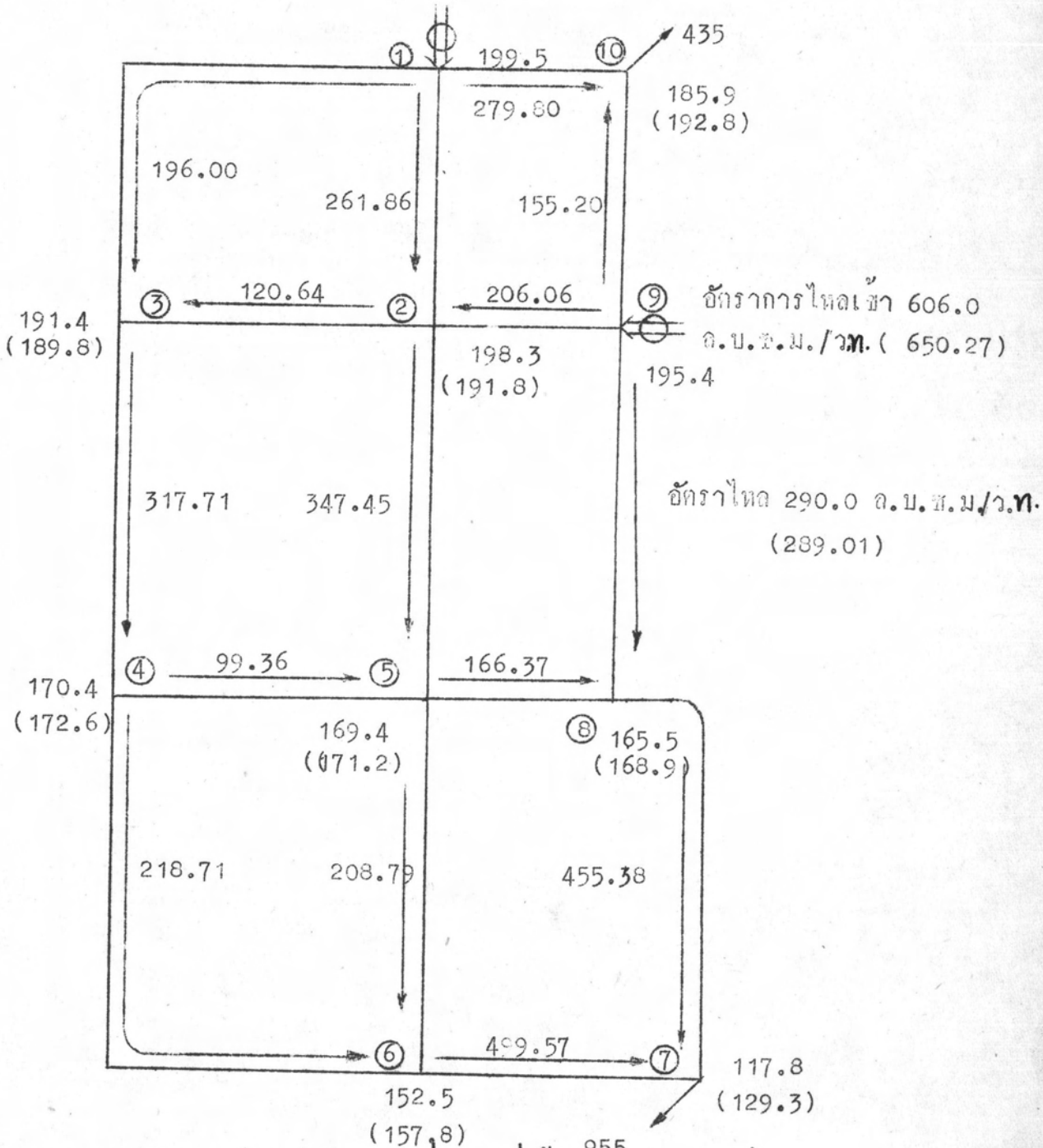
ผลวิเคราะห์ ค.

คืออัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากกราฟในรูป 5.3 ทั้งนี้โดยถือเอาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์จากอัตราการไหลที่วิเคราะห์ได้โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน $f = 0.032$

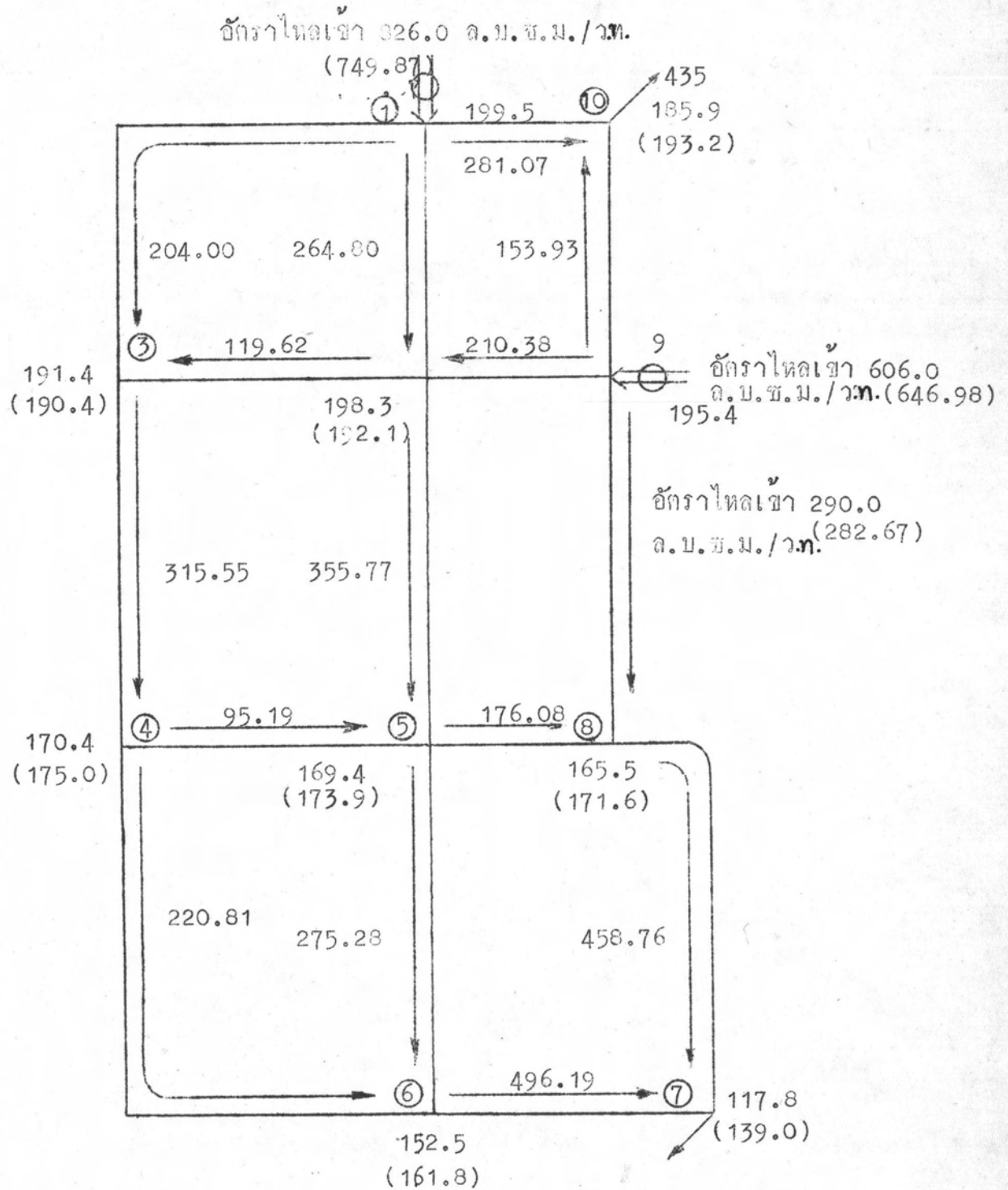
ผลวิเคราะห์ ง.

คืออัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากกราฟในรูป 5.3 และรวมการสูญเสียความดันย่อยลงไปด้วย

อัตราการไหลเข้า 826.0 ค.บ.ช.ม./ว.ท.
(737.66)

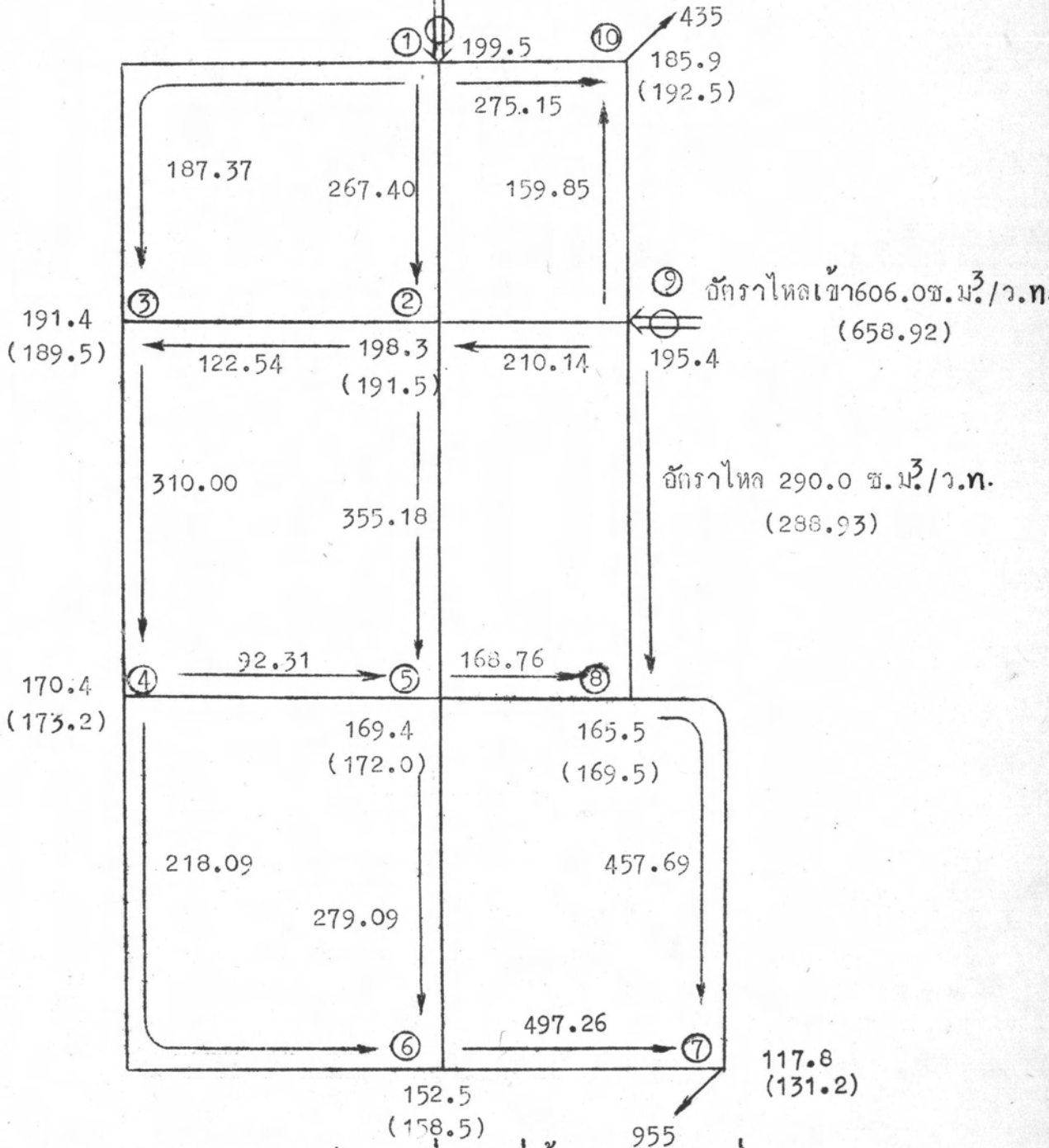


รูป 5.6.1.1 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าตามการทดลองที่ 21
จากเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้ $f = 0.032$



รูป 5.6.1.2 แสดงรายละเอียดระบบจ่ายงานท่อน้ำตามการทดลองที่ 21 โดย f ตามรูป 5.3 ไม่รวมการสูญเสียความดันขอย

อัตราไหลเข้า 826.0 ช.ม.³/ว.ท.
(729.92)



รูป 5.6.1.3 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าตามการทดลองที่ 21 จากคอมพิวเตอร์โดยใช้ตามรูป 5.3 รวมการสูญเสียความกั้นน้อยด้วย

ตาราง 5.6.2.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 22 (ระดับความค้ำน้ำ)

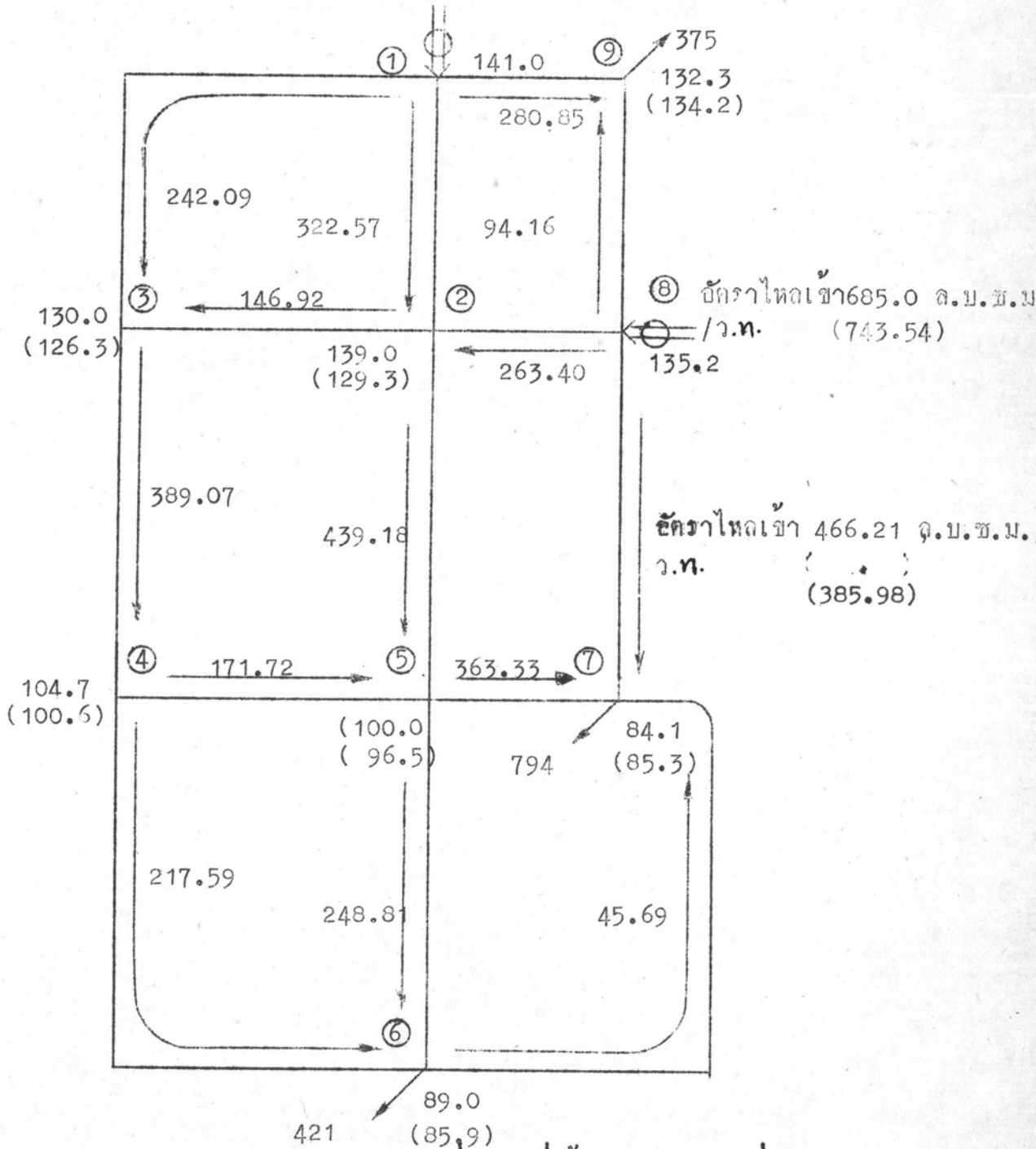
จุดตัด	ความค้ำน้ำ ก (ซ.ม.)	ความค้ำน้ำ ข (ซ.ม.)	ค่าแตกต่าง (%)	ความค้ำน้ำ ค (ซ.ม.)	ค่าแตกต่าง (%)	ความค้ำน้ำ ง (ซ.ม.)	ค่าแตกต่าง (%)
1	141.0	141.0	0	141.0	0	141.0	0
2	139.0	129.3	-6.98	130.0	-6.47	129.2	-7.05
3	130.0	126.3	-2.85	127.4	-2.00	126.4	-2.77
4	104.7	100.6	-3.92	106.4	1.62	104.1	-0.57
5	100.0	96.5	-3.50	103.1	3.10	100.6	0.60
6	89.0	85.9	-3.59	93.6	5.17	89.9	1.01
7	84.1	85.3	1.43	93.2	10.82	89.4	6.30
8	135.2	135.2	0	135.2	0	135.2	0
9	132.3	134.2	1.44	134.4	1.59	134.0	1.28

5.6.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 22

ตาราง 5.6.2.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 22 (อัตราไหล)

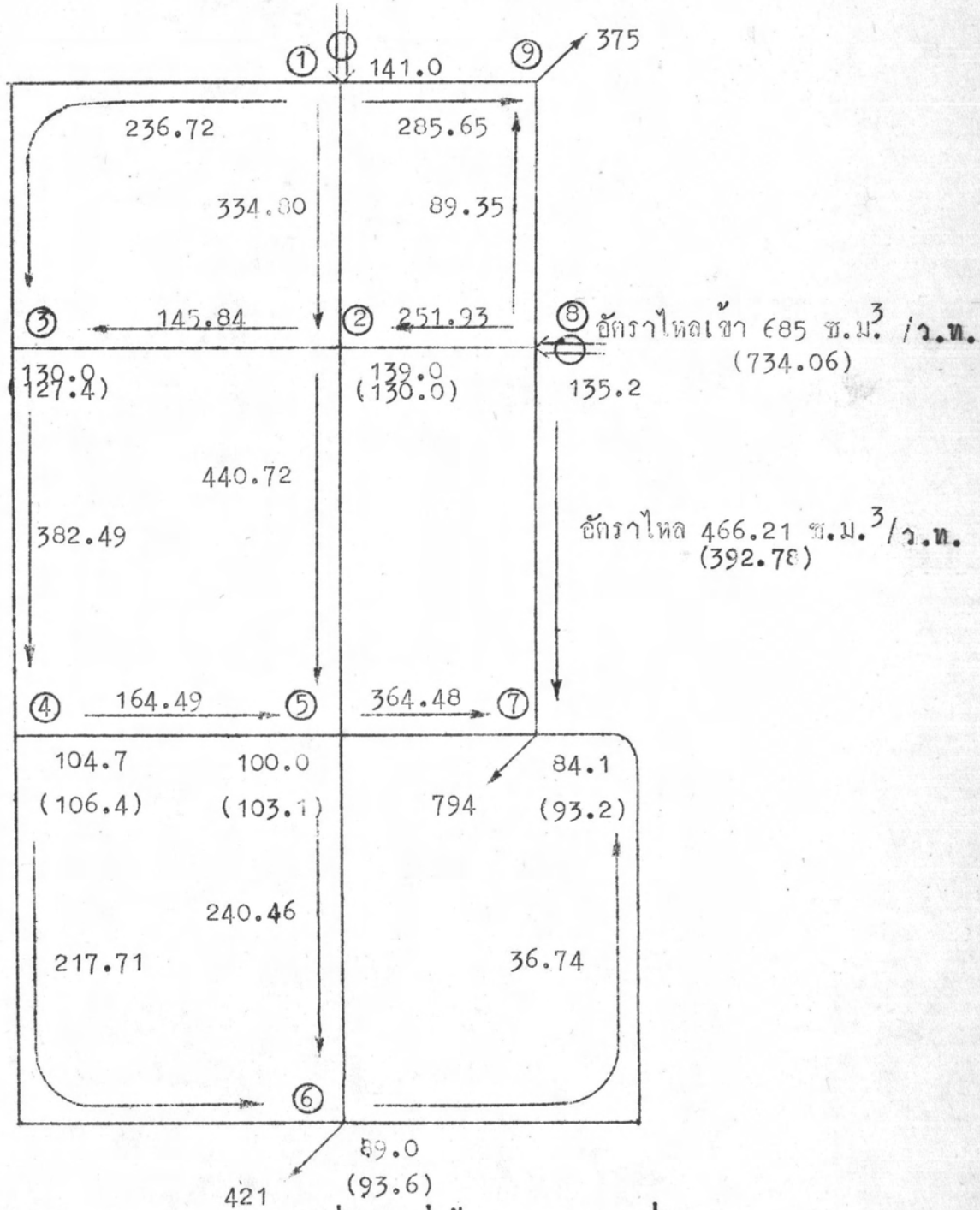
รายละเอียด อัตราการไหล	ผลการทดลอง	ผลวิเคราะห์	ค่าแตกต่าง	ผลวิเคราะห์	ค่าแตกต่าง	ผลวิเคราะห์	ค่าแตกต่าง
	ก ล.บ.ช.ม/วท	ข ล.บ.ช.ม/วท	(%)	ค ล.บ.ช.ม/วท	(%)	ง ล.บ.ช.ม/วท	(%)
อัตราไหลใบเส้นทอ 8 - 7	466.21	385.98	-17.21	392.78	-15.75	400.97	-13.99
อัตราไหลเข้าที่จุด 1	876.0	845.51	- 3.48	857.17	- 2.15	840.35	- 4.07
อัตราไหลเข้าที่จุด 8	685.0	743.54	8.55	734.06	7.16	749.82	9.46
อัตราไหลเข้ารวม	1561.0	1589.05	1.80	1591.23	1.94	1590.17	1.87

อัตราการไหลเข้า 876.0 ล.บ.ช.ม./วท.
(845.51)



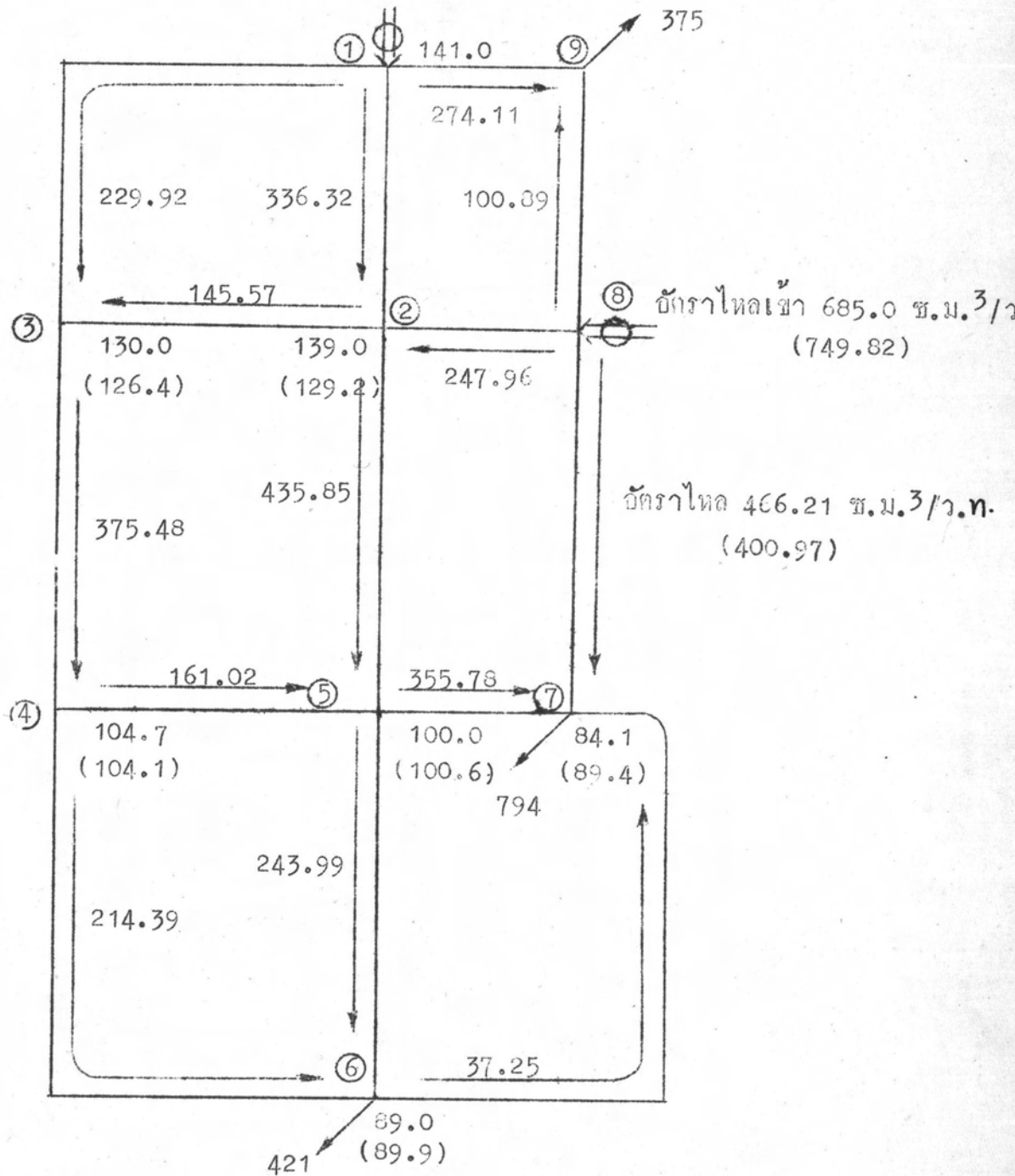
รูป 5.6.2.1 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าตามการทดลองที่ 22 จากเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้ $f = 0.032$

อัตราไหลเข้า 876.0 ล.บ.ช.ม./วท.
(857.17)



รูป 5.6.2.2 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าตามการทดลองที่ 22 จากคอมพิวเตอร์ โดยใช้ (จากรูป 5.3 ไม่รวมการสูญเสียความดัน)

อัตราไหลเข้า 876.0 ช.ม.³/ว.ท.
(840.35)



รูป 5.6.2.3: แสดงรายละเอียดระบบจ่ายงานท่อน้ำตามการทดลองที่ 22 จากคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมรูป 5.3 และรวมการสูญเสียความดันย่อยด้วย

ตาราง 5.6.3.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 23 (ระดับความดันน้ำ)

จุดตัด	ความดันน้ำ ก (ซ.ม.)	ความดันน้ำ ข (ซ.ม.)	ค่าแตกต่าง (%)	ความดันน้ำ ค (ซ.ม.)	ค่าแตกต่าง (%)	ความดันน้ำ ง (ซ.ม.)	ค่าแตกต่าง (%)
1	152.0	152.0	0	152.0	0	152.0	0
2	150.5	141.53	-5.96	142.2	-5.51	141.3	-6.11
3	139.0	137.36	-1.18	138.3	-0.50	137.1	-1.37
4	107.0	108.10	1.03	114.6	7.10	111.5	4.21
5	103.5	111.87	8.09	117.8	13.82	115.2	11.30
6	90.2	93.0	3.10	100.4	11.31	95.8	6.21
7	115.2	112.40	-2.43	118.3	2.69	115.9	0.61
8	148.5	148.5	0	148.5	0	148.5	0
9	144.6	146.25	1.14	146.5	1.31	145.9	0.90

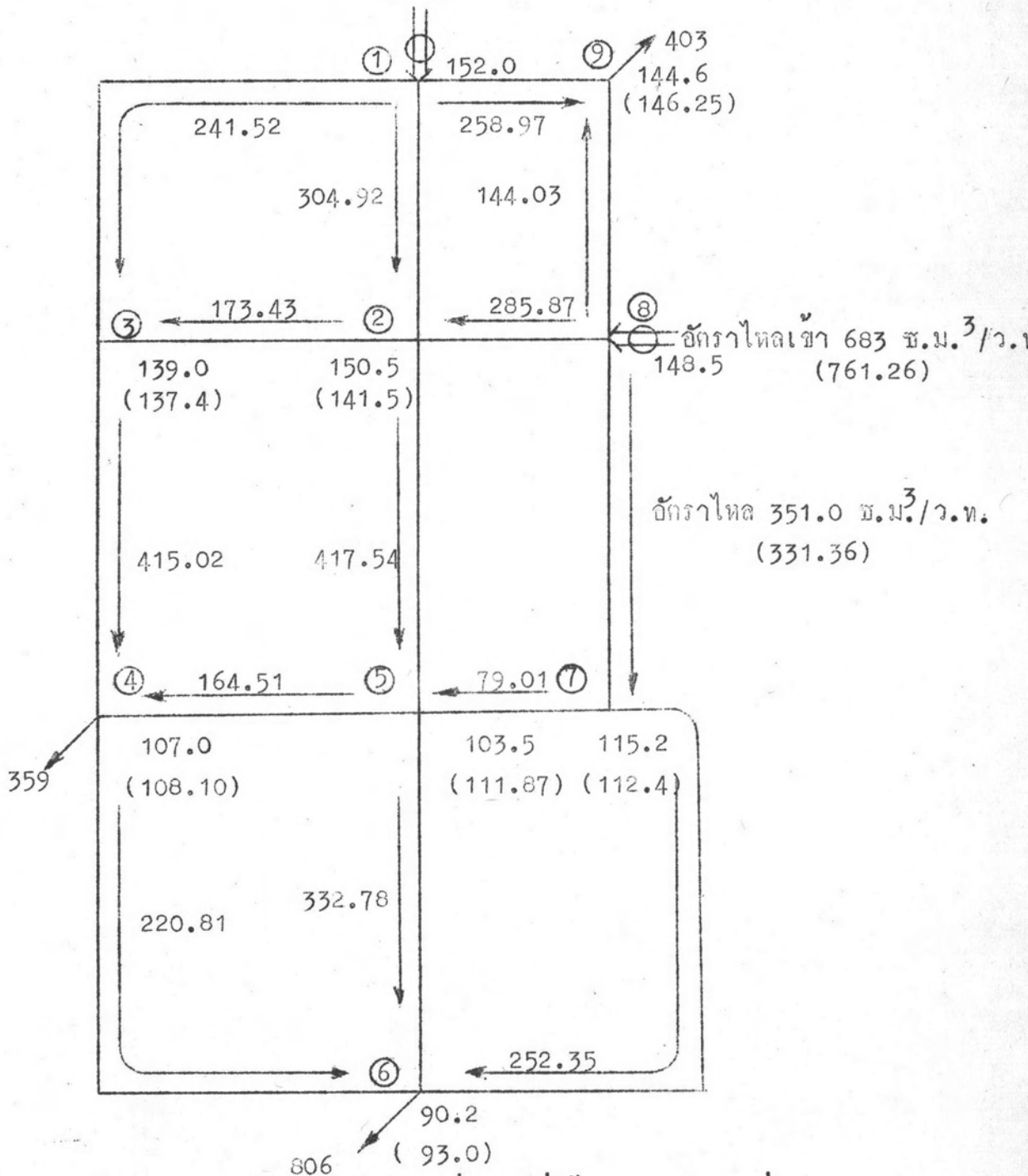
5.6.3 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 23

ตาราง 5.6.3.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 23 (อัตราไหล)

รายละเอียด อัตราการไหล	ผลการทดลอง	ผลวิเคราะห์	ค่าแตกต่าง	ผลวิเคราะห์	ค่าแตกต่าง	ผลวิเคราะห์	ค่าแตกต่าง
	ก ด.บ.ช.ม/วท	ข ด.บ.ช.ม/วท	(%)	ค ด.บ.ช.ม/วท	(%)	ง ด.บ.ช.ม/วท	(%)
อัตราการไหลในท่อ 8 - 7	351.0	331.36	-5.60	329.25	-6.10	335.37	-4.50
อัตราไหลเข้าที่จุด 1	869.0	805.41	-7.32	805.0	-7.36	799.41	-8.01
อัตราไหลเข้าที่จุด 8	683.0	761.26	11.46	761.58	11.51	767.44	12.36
อัตราไหลโดยรวม	1552.6	1566.67	0.94	1566.58	0.94	1566.85	0.96

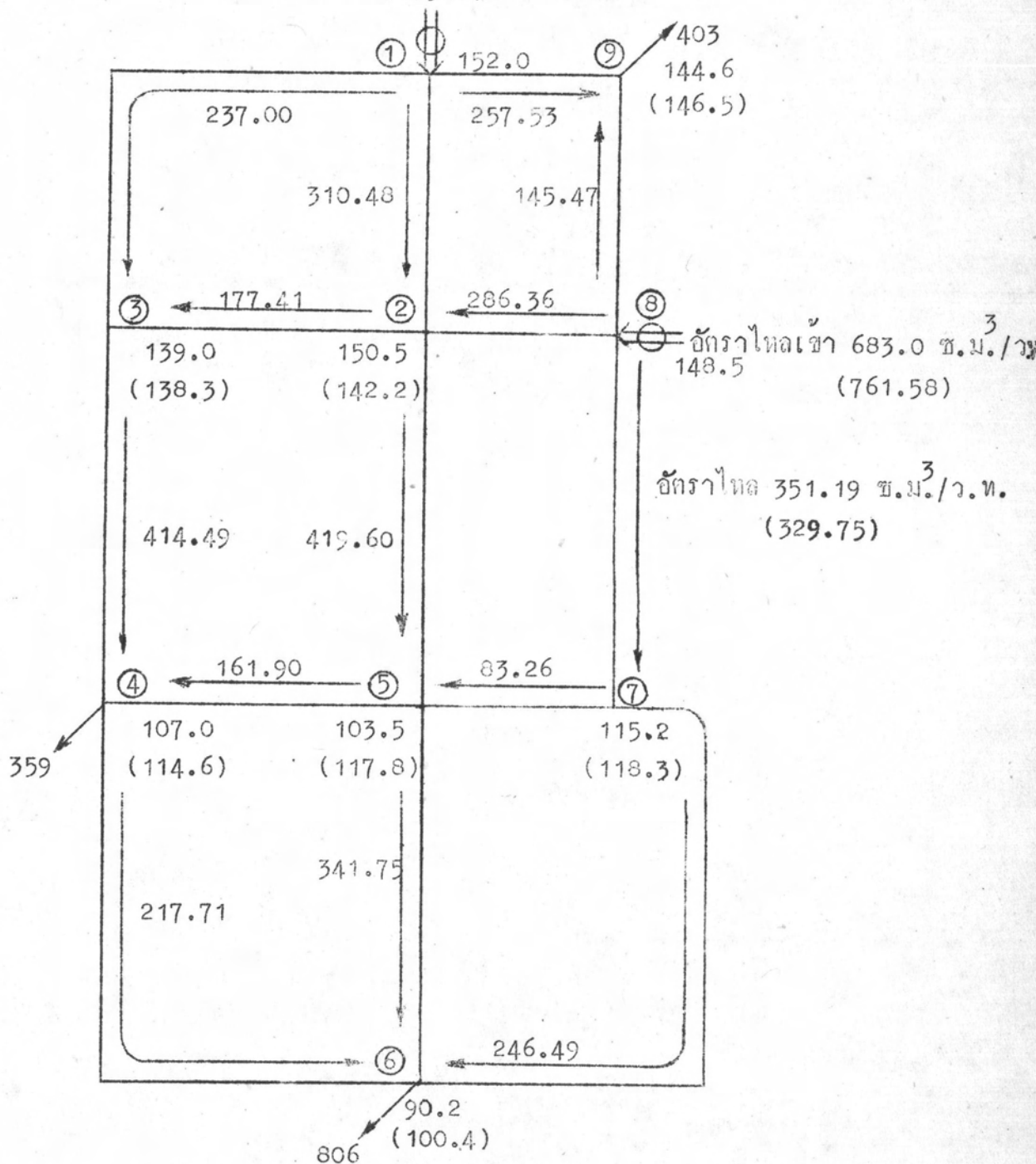


อัตราไหลเข้า 869.0 ช.ม.³/ว.ท.
(805.4)



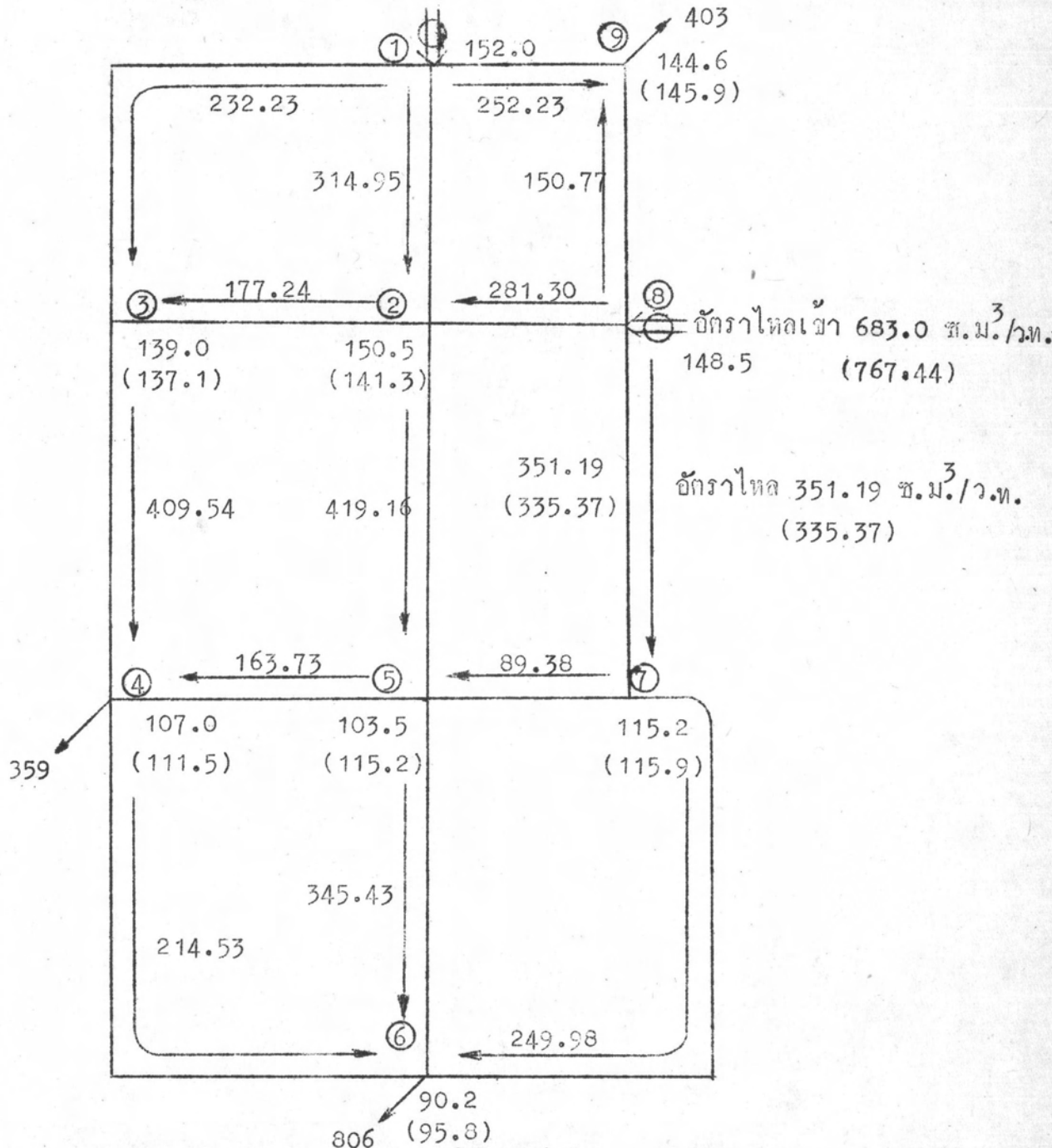
รูป 5.6.3.1 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าจากกอมพิวเคอร์ โดยใช $f=0.032$

อัตราไหลเข้า 869.0 ช.ม.³/ว.ท.
(805.0)



รูป 5.6.3.2 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าตามการทดลองที่ 23 จากคอมพิวเตอร์ โดยใช้ตามรูป 5.3 ไม่รวมการสูญเสียความคั่นย่อย

อัตราการไหลเข้า 869.0 ช.ม.³/ว.ท.
(799.41)



รูป 5.6.3.3 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าตามการทดลองที่ 23 จากคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม 5.3 และรวมผลการสูญเสียความดันย่อย

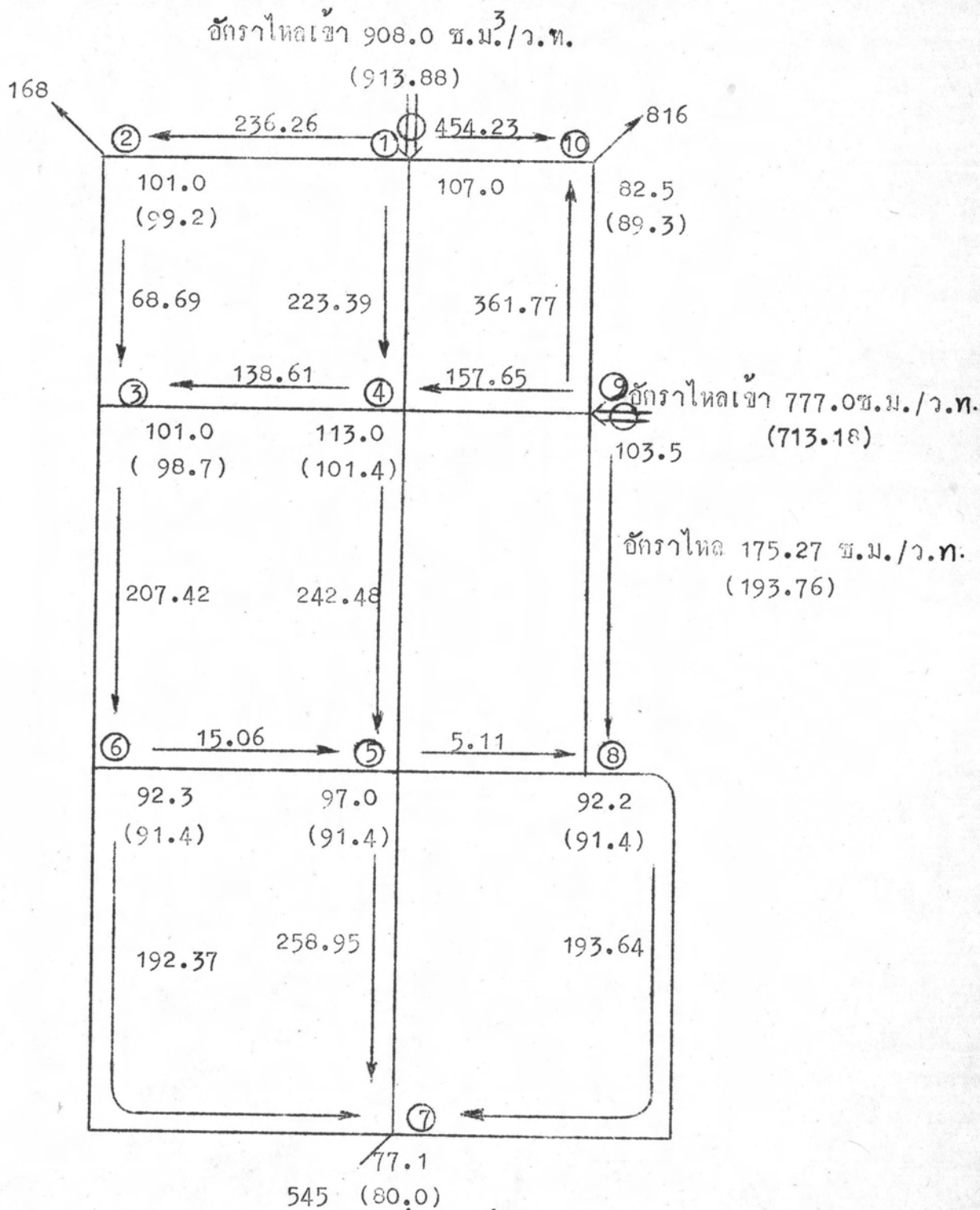
ตาราง 5.6.4.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 24 (ระดับความชื้นน้ำ)

จุดตัด	ความชื้นน้ำ ก (ช.ม.)	ความชื้นน้ำ ข (ช.ม.)	ค่าแตกต่าง (%)	ความชื้นน้ำ ค (ช.ม.)	ค่าแตกต่าง (%)	ความชื้นน้ำ ง (ช.ม.)	ค่าแตกต่าง (%)
1	107.0	107.0	0	107.0	0	107.0	0
2	101.0	99.2	-1.76	99.6	-1.39	99.8	-1.19
3	101.0	98.7	-2.28	99.2	-1.78	99.4	-1.58
4	113.0	101.4	-10.27	101.5	-10.18	101.7	-10.00
5	97.0	91.4	-5.77	91.9	-5.26	92.8	-4.33
6	92.3	91.4	-0.98	91.9	-0.43	93.1	0.87
7	77.1	80.0	3.76	80.7	4.67	80.5	4.41
8	92.2	91.4	-0.87	91.9	-0.33	92.8	0.65
9	103.5	103.5	0	103.5	0	103.5	0
10	82.5	89.3	8.24	91.6	11.03	89.2	8.12

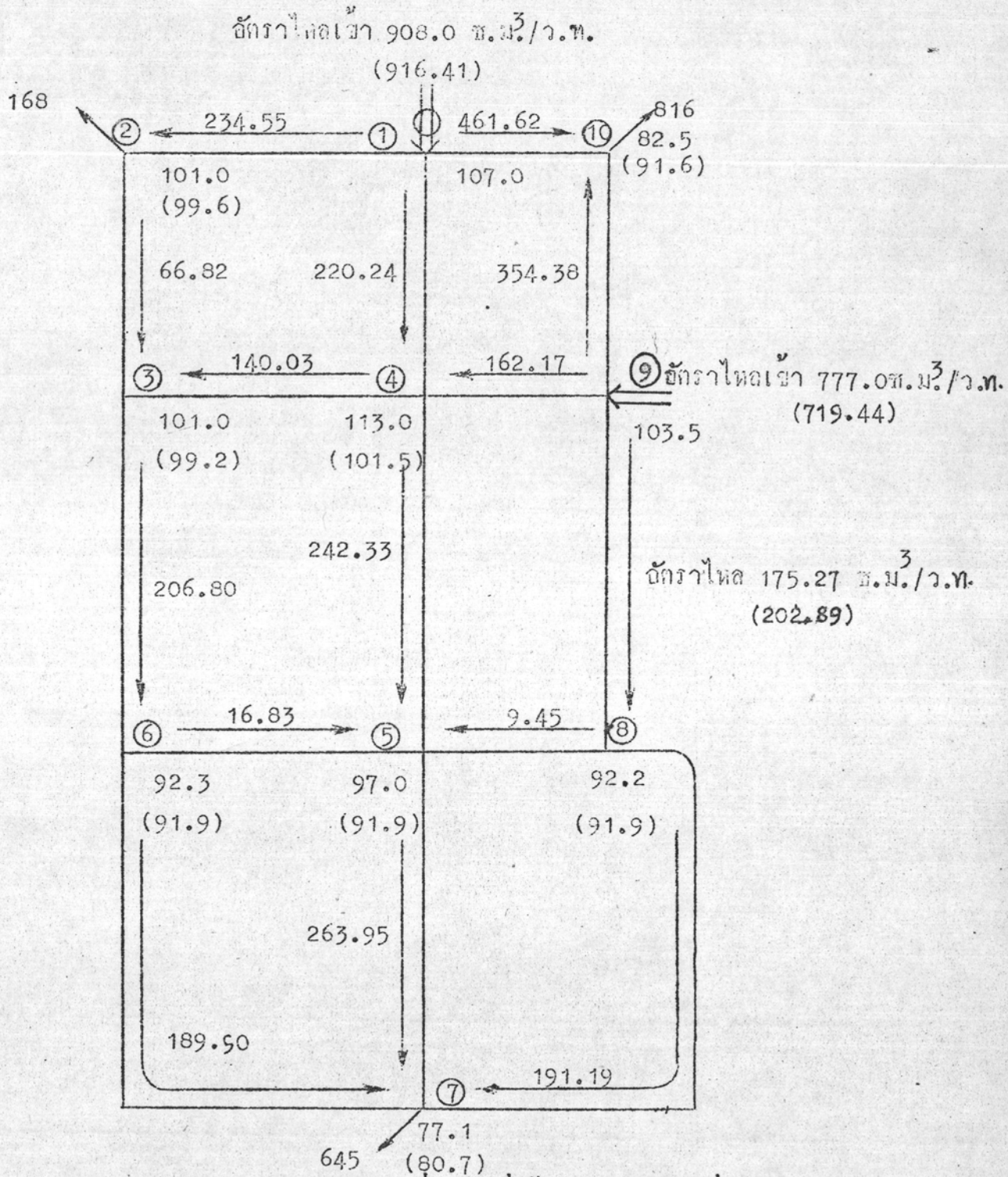
5.6.4 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 24

ตาราง 5.6.4.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 24 (อัตราไหล)

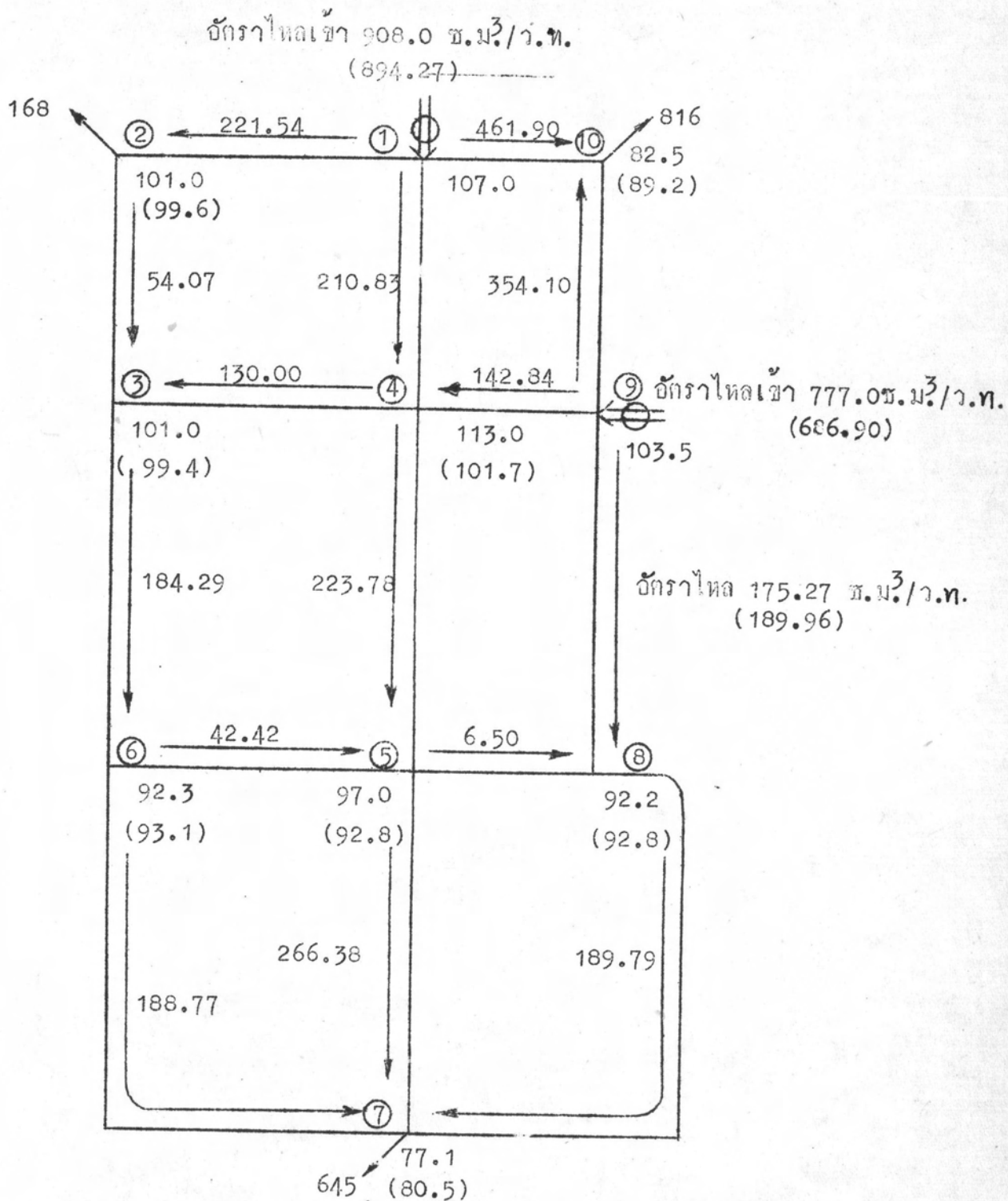
รายละเอียดอัตรา การไหล	ผลการทดลอง ก ล.บ.ช.ม/วท	ผลวิเคราะห์ ข ล.บ.ช.ม/วท	ค่าแตกต่าง (%)	ผลวิเคราะห์ ค ล.บ.ช.ม/วท	ค่าแตกต่าง (%)	ผลวิเคราะห์ ง ล.บ.ช.ม/วท	ค่าแตกต่าง (%)
อัตราไหลในเส้นทอ 8 - 9	175.27	193.76	10.55	202.89	15.76	189.96	-8.38
อัตราไหลเข่าที่จุด 1	908.0	913.88	0.64	916.41	0.93	894.27	-1.51
อัตราไหลเข่าที่จุด 9	777.0	713.18	-8.21	719.44	-7.41	686.9	11.60
อัตราไหลเขารวม	1685.0	1627.06	-3.44	1635.85	-2.92	1581.17	-6.16



รูป 5.6.4.1 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าจากตํานกการทดลองที่ 24 จากคอมพิวเตอร์ โดยใช้ $f=0.032$



รูป 5.6.4.2 แสดงรายละเอียดระบบขยายงานท่อน้ำตามการทดลองที่ 24 จาก
คอมพิวเตอร์โดยที่ (จากรูป 5.3 ไม่รวมการสูญเสียความดันขอย)



รูป 5.6.4.3 รายละเอียดระบบขายนํ้าตามการทดลองที่ 24 จาก
คอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมตามรูป 5.3 และรวมค่าการสูญเสีย
ความดันย่อยด้วย

ตาราง 5.6.5.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 25 (ระดับความคืบหน้า)

จุดตัด	ความคืบหน้า ก (ซ.ม.)	ความคืบหน้า ข (ซ.ม.)	ค่าแตกต่าง (%)	ความคืบหน้า ค (ซ.ม.)	ค่าแตกต่าง (%)	ความคืบหน้า ง (ซ.ม.)	ค่าแตกต่าง (%)
1	177.0	177.0	0	177.0	0	177.0	0
2	165.3	163.6	-1.03	164.2	-0.67	163.1	-1.33
3	175.0	166.8	-4.69	167.1	-4.51	166.4	-4.91
4	138.8	139.0	0.14	143.8	3.60	141.3	1.80
5	138.0	138.5	0.36	143.4	3.91	140.9	2.10
6	126.0	127.5	1.19	132.9	5.48	129.7	2.94
7	99.5	104.7	5.23	114.9	15.48	108.9	9.45
8	137.0	138.3	0.95	143.0	4.38	140.4	2.48
9	172.5	172.5	0	172.5	0	172.5	0
10	169.2	171.1	1.12	171.2	1.18	170.8	0.95

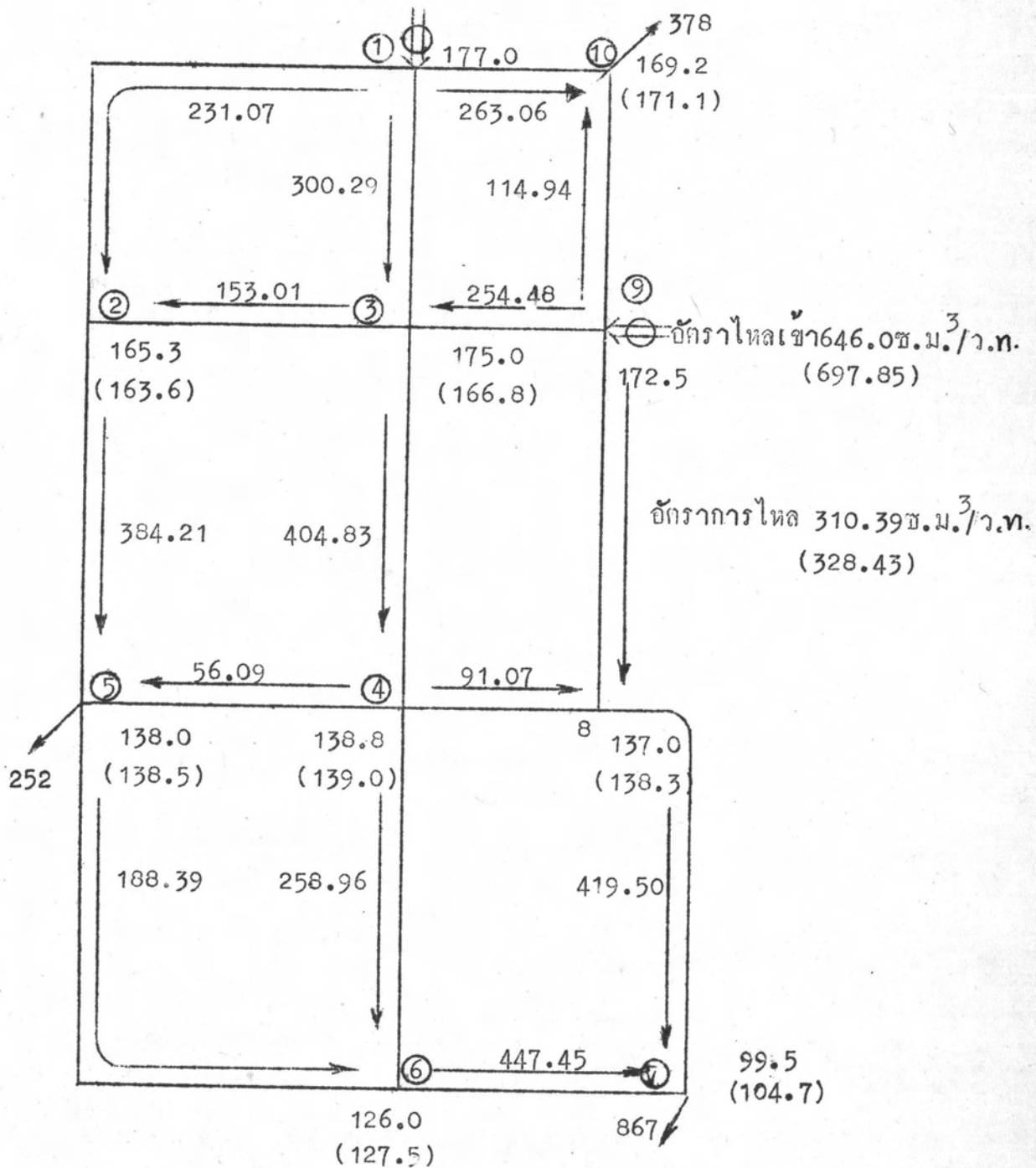
5.6.5 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 25

ตาราง 5.6.5.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 25 (อัตราไหล)

รายละเอียดอัตรา การไหล	ผลการทดลอง	ผลวิเคราะห์	ค่าแตกต่าง	ผลวิเคราะห์	ค่าแตกต่าง	ผลวิเคราะห์	ค่าแตกต่าง
	ก ด.บ.ช.ม/วท	ข ด.บ.ช.ม/วท	(%)	ค ด.บ.ช.ม/วท	(%)	ง ด.บ.ช.ม/วท	(%)
อัตราไหลเข้าที่จุด 1	848.0	794.42	-6.32	799.83	-5.68	789.15	-6.94
อัตราไหลเข้าที่จุด 9	646.0	697.85	8.03	695.38	7.64	706.17	9.31
อัตราไหลเขารวม	1494.0	1492.27	0.12	1495.21	0.08	1495.32	0.09
อัตราไหลเข้าในเส้นทอ 8 - 9	310.39	328.43	5.81	325.63	4.91	332.04	6.98

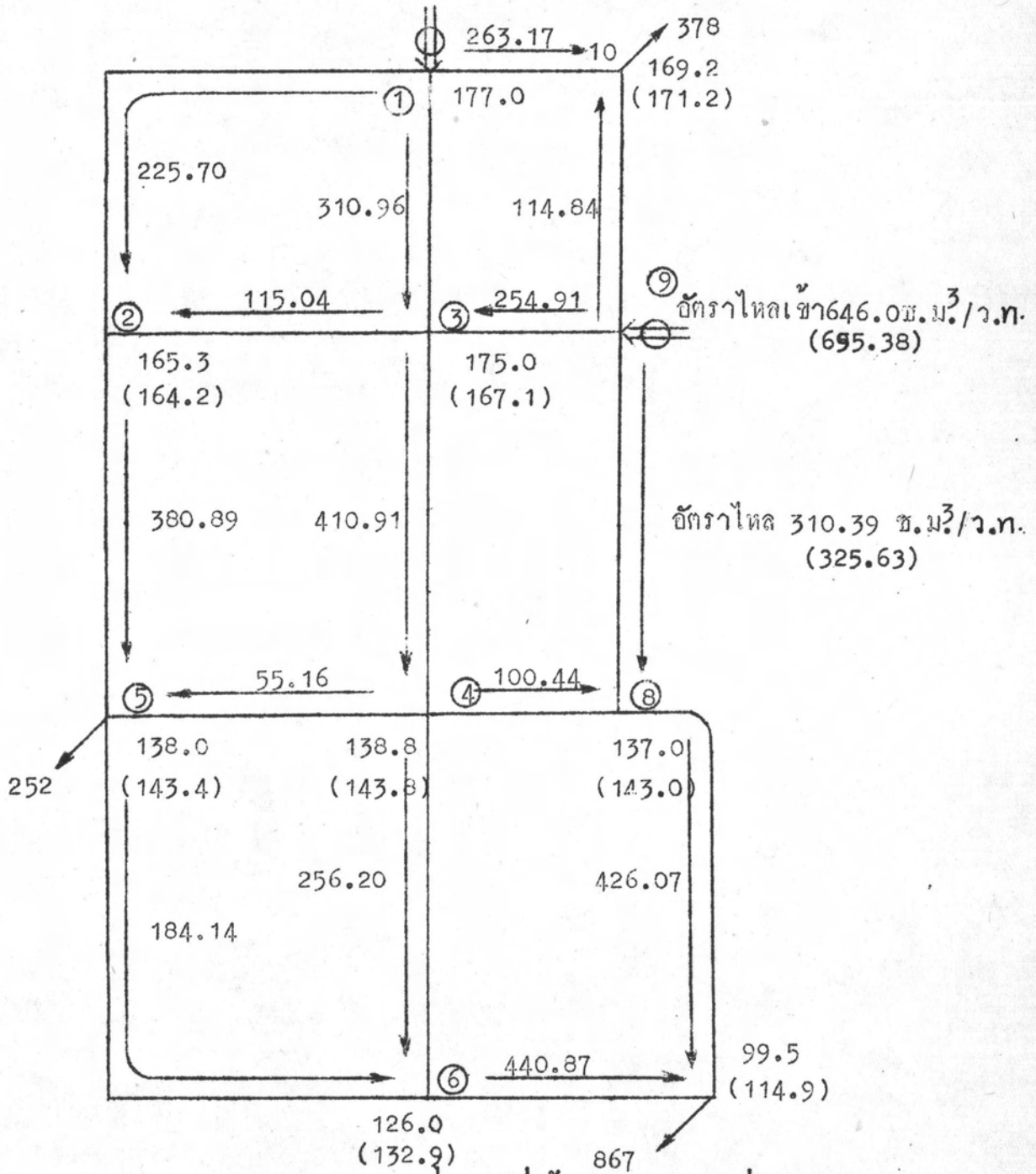
อัตราการไหลเข้า 848.0 ช.ม.³/ว.ท.

794.42



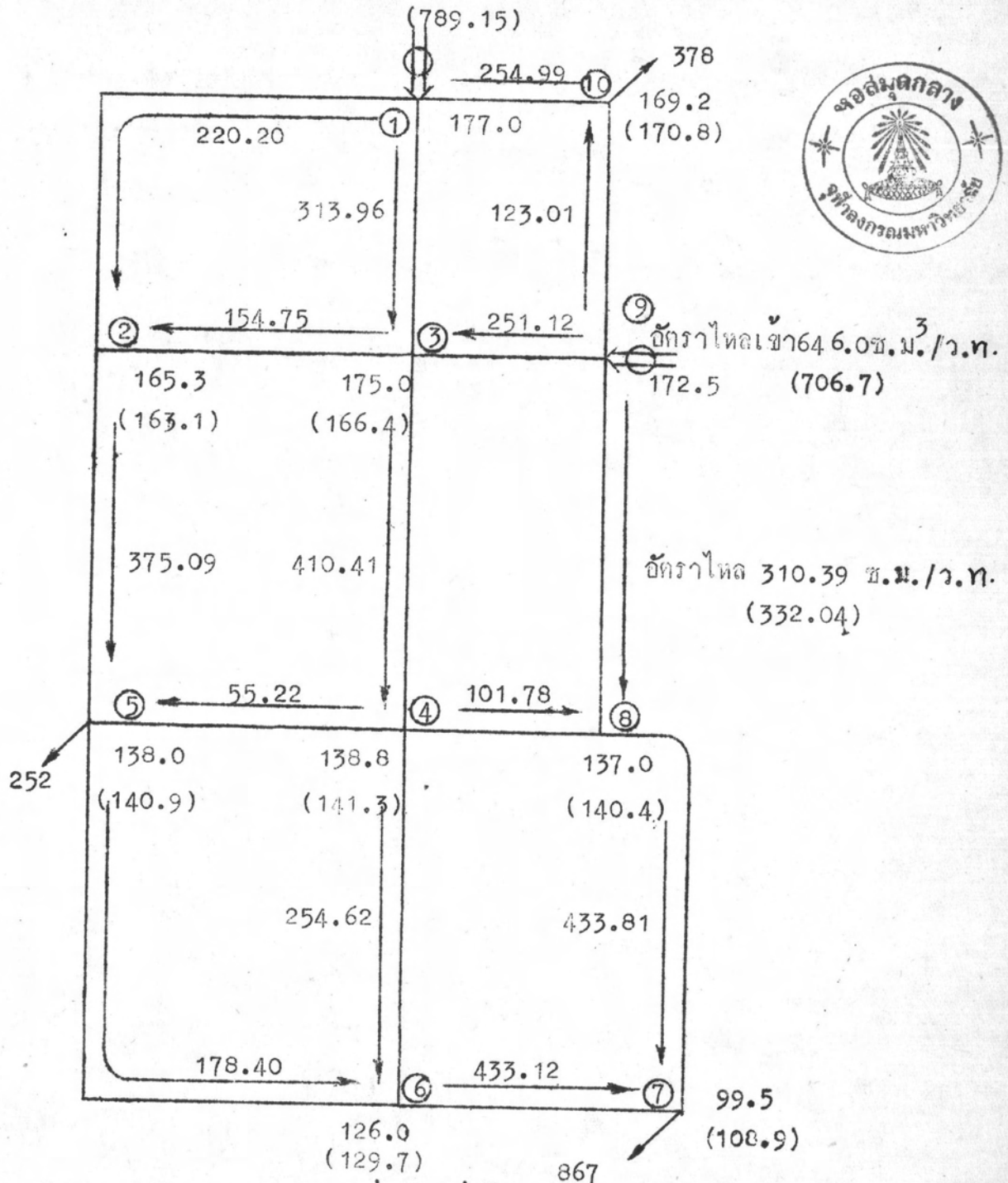
รูป 5.6.5.1 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าตามการทดลองที่ 25 จาก
 ทอมพิวเตอร์โดยใช้ $f=0.032$ ตลอด

อัตราไหลเข้า 848.0 ช.ม³/ว.ท.
(799.83)



รูป 5.6.5.2 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าจากการทดลองที่ 25 จาก
คอมพิวเตอร์โดยไซร จากรูป 5.3 ไม่รวมการสูญเสียความดันย่อย

อัตราไหลเข้า 848.0 ช.ม.³/ว.ท.



รูป 5.6.5.3 แสดงรายละเอียดระบบขายนํ้าจากอาคารทดลองที่ 25 จากคอมพิวเตอร์โดยใช้ตามรูป 5.3 รวมค่าการสูญเสียความดันขอยกด้วย

5.7 การวิจารณ์ผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง เป็นขั้นตอน มาตามลำดับ ตามที่ได้แสดงไว้แล้วในหัวข้อ 5.1 ถึง 5.6 จากการทดลองและการวิเคราะห์ ผลการทดลองดังกล่าว สามารถจะวิจารณ์รายละเอียดในหัวข้อและประเด็นต่าง ๆ ได้ดังนี้

5.7.1 การทดลองข่างานท่อน้ำชั้นแรก จากการทดลองและวิเคราะห์ผลการ ทดลอง ระบบข่างานท่อน้ำชั้นแรก ดังแสดงผลการทดลองและผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ ไว้ตามหัวข้อ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า

5.7.1.1 อัตราไหลสูงสุดของน้ำในเส้นท่อที่ได้ คืออัตราการไหลใน เส้นท่อ 5-6 ของการทดลองที่ 11 ตามรูปแสดงที่ 5.2.1.2 หน้า 60 มีค่าเท่ากับ $1115.89 \text{ ช.ม.}^3/\text{ว.ท.}$ คิดเป็นเรย์โนลด์นัมเบอร์ได้ 6.04×10^4 เป็นการไหลแบบปะปน (Turbulent flow) ในเส้นท่ออื่น ๆ จากผลวิเคราะห์การทดลอง มีค่าอัตราการ ไหลสูงกว่า $40 \text{ ช.ม.}^3/\text{ว.ท.}$ ซึ่งให้ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ประมาณ 2000 สูงกว่าขอบเขต ของการไหลแบบเป็นเส้น (Laminar flow) ในทุก ๆ เส้นท่อของการทดลอง นอกจากอัตราไหลในเส้นท่อ 5-6 ตามรูปแสดงที่ 5.2.3.1 หน้า 66 และรูปแสดงที่ 5.2.3.2 หน้า 68 ของการทดลองที่ 3 เท่านั้น ที่ค่าอัตราไหลต่ำมากคือ $11.56 \text{ ช.ม.}^3/\text{ว.ท.}$ และ $8.13 \text{ ช.ม.}^3/\text{ว.ท.}$ ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ต่ำกว่า 2000 และ เป็นการไหลแบบเป็นเส้น (Laminar flow) ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการไหลของ น้ำในระบบข่างานท่อน้ำทั้ง 5 การทดลองนี้ ใกล้เคียงกับการไหลของน้ำในเส้นท่อของ ระบบข่างานท่อน้ำในระบบประปาในช่วงความต้องการน้ำสูงสุด (Peak hour demand) หรือใกล้เคียง ซึ่งโดยทั่วไปการไหลในเส้นท่อทุกเส้นจะไม่มี การไหลแบบเป็นเส้นเลย และ การคำนวณออกแบบระบบข่างานท่อน้ำโดยทั่วไปก็จะคำนวณที่สภาพการณ์เช่นนี้เสมอ

5.7.1.2 จากตาราง 5.2.6 จะเห็นได้ว่า ค่าความแตกต่างของ รัศมีความดันน้ำที่ได้จากการทดลองที่ 11 และผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ มีค่าค่อนข้าง สูง โดยค่าวิเคราะห์ได้จากคอมพิวเตอร์สูงกว่าค่าจากการทดลองมาก (โปรดดูตาราง 5.2.6)

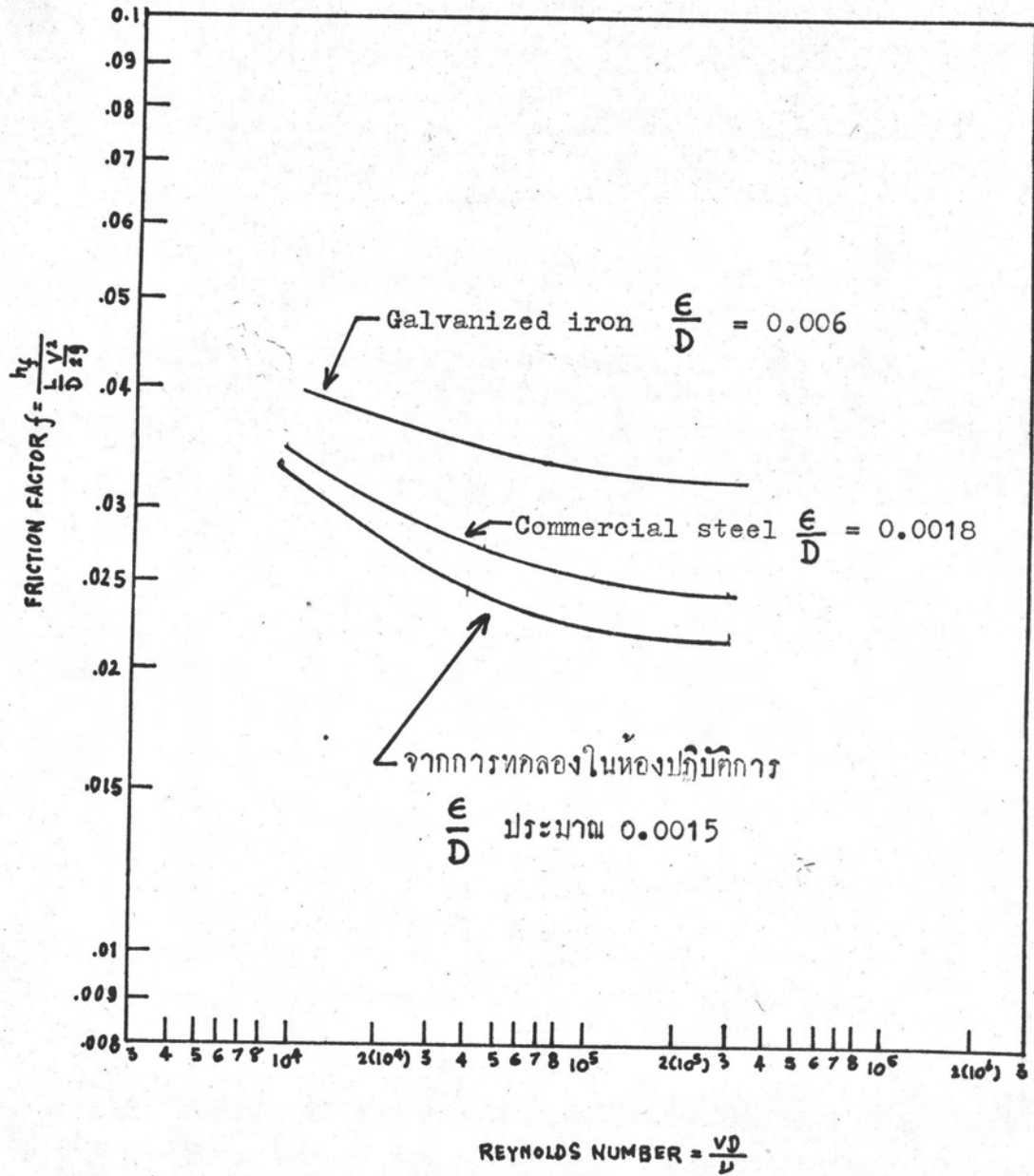
กล่าวคือจุดที่มีค่าแตกต่างสูงสุดมีค่าถึง -42.35% สาเหตุเป็นเพราะค่าที่ได้จากการทดลองทดลองจนค่าระดับความคั่นน้ำตรงจุดจ่ายน้ำเองที่ถือเป็นค่าคงที่ในการคำนวณวิเคราะห์ เป็นค่าที่อ่านโดยประมาณจากระดับน้ำในพีโซมิเตอร์ทั้งสิ้น ในการทดลองที่ 11 นี้ จุดจ่ายน้ำที่ D (ดูรูป 4.11 ประกอบ) ได้รับความโดยตรงจากเครื่องสูบน้ำ ซึ่งระดับความคั่นน้ำที่เครื่องสูบน้ำแปรเปลี่ยนสูง ๆ ต่ำ ๆ อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นระดับน้ำในแผงพีโซมิเตอร์ ซึ่งเป็นตัวแสดงระดับความคั่นน้ำของทุก ๆ จุดคักในระบบข่่างงานท่อน้ำ จึงแปรเปลี่ยนสูง ๆ ต่ำ ๆ ไปด้วยตลอดเวลา ค่าระดับความคั่นน้ำทุกค่าที่อ่านได้จากการทดลอง จึงเป็นค่าประมาณขณะใดขณะหนึ่งที่กำลังอ่านที่จุดนั้นเท่านั้น รวมทั้งที่จุดจ่ายน้ำ ซึ่งถือเป็นจุดที่มีความคั่นคงที่ในการวิเคราะห์ด้วย

5.7.1.3 จากตาราง 5.2.6 การทดลองที่ 12, 13, 14 และ 15 เป็นการทดลองระบบข่่างงานท่อน้ำซึ่งไม่มีการสูบน้ำเข้าสู่ระบบข่่างงานท่อน้ำโดยตรงจากเครื่องสูบน้ำเลย โดยน้ำที่เข้าสู่ระบบข่่างงานท่อน้ำที่จุดจ่ายน้ำจะลงมาจากถังสูงที่รักษาระดับผิวน้ำคงที่เสมอ จะเห็นได้ว่าผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ใกล้เคียงกับผลจากการทดลองในขอบเขตที่น่าพอใจ กล่าวคือค่าความแตกต่างอยู่ระหว่าง 11.78% ถึง 0.30% สำหรับจุดที่มีความแตกต่างมากที่สุดและจุดที่มีความแตกต่างน้อยที่สุด

5.7.1.4 จากตาราง 5.2.6 สำหรับทุก ๆ การทดลองจะเห็นได้ว่า ผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยคทาน 0.038 (ดูภาคผนวก ฉ) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณออกแบบสำหรับท่อเหล็กออบสังกะสีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหนึ่งนิ้วอย่างที่ใช้ในการทดลอง จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองในทุกการทดลอง และเกือบจะทุกจุดคักด้วย แสดงว่าค่าที่ให้ไว้ในหนังสือคำนวณออกแบบคือ 0.038 นี้ มีค่าสูงกว่าที่เป็นจริง น่าจะเป็นไปได้ว่าค่า 0.038 นี้ ได้ให้เผื่อเอาไว้สำหรับเส้นท่อเมื่ออายุการใช้งานมากขึ้นด้วย ในขณะที่เดียวกันจะเห็นได้ว่า เมื่อเราใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยคทาน 0.028 (ซึ่งเป็นค่าที่นำมาใช้โดยคาดหมายเพื่อให้ผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ได้สูงกว่าผลจากการทดลอง เพื่อจะทราบขอบเขตที่น่าจะเป็นไปได้ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยคทานของเส้นท่อ) ค่าระดับความคั่นน้ำจาก

ผลวิเคราะห์คอมพิวเตอร์จะสูงกว่าค่าจากผลการทดลอง เกือบทุกจุดในทุกการทดลอง (ไปรคตุตาราง 5.2.6 ประกอบ) ยกเว้นในการทดลองที่ 15 ซึ่งผลการวิเคราะห์ จากคอมพิวเตอร์ต่ำกว่าผลจากการทดลองอยู่เล็กน้อยในทุกจุด (ไปรคตุรายละเอียด จากตาราง 5.2.5.2 หน้า 75) สาเหตุน่าจะเนื่องมาจากสภาพการไหลในระบบ ข่ายงานท่อดังกล่าวก่อให้เกิดค่าการสูญเสียความดันน้อยกว่าในสภาพการไหลของ ระบบข่ายงานท่อตามการทดลองอื่น ๆ ดังนั้นในการคำนวณครั้งนี้ถึงจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ ความเสียดทานที่ต่ำกว่าค่าแล้ว แต่ก็ยังคงให้ผลวิเคราะห์ออกมาต่ำกว่าผลจากการทดลอง อยู่นั่นเอง แต่จะเห็นได้ว่าค่าที่ต่ำกว่านี้ โดยเฉลี่ยแล้วถือว่าน้อยมากคืออยู่ระหว่าง -7.10% ถึง -0.38% จากสาเหตุดังกล่าวข้างต้น ทำให้เราสามารถประมาณ ได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับเส้นท่อ เพื่อใช้ในการ วิเคราะห์ข่ายงานท่อจำลองนี้ให้ใกล้เคียงเคียงกับการทดลอง น่าจะเป็นค่าเฉลี่ย ระหว่าง 0.038 และ 0.028 คือ 0.032 นั่นเอง และในการนำเอาค่าสัมประสิทธิ์ ความเสียดทานนี้ไปใช้ นำไปใช้ได้โดยไม่ต้องรวมค่าการสูญเสียความดันย่อยที่สามทาง และสี่ทางต่าง ๆ ในระบบข่ายงานท่อ

5.7.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเส้นท่อที่ใช้ในการทดลอง จาก การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเส้นท่อในห้องปฏิบัติการ โดยนำเส้นท่อเหล็ก อาบสังกะสีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ที่ใช้ในการประกอบเป็นข่ายงานท่อจำลองในการ วิจัย มาทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยใช้ช่วงความยาวสำหรับวัดค่าความลด รับกับความดันน้ำยาว 2.04 เมตร (ดูภาคผนวก ค) และทำการทดลองเฉพาะในช่วงค่า เรย์โนลด์นัมเบอร์สูงสุดที่คาดว่าจะพบในการทดลองคือ จากประมาณ 10^5 ลงมาจนถึง ประมาณ 1.5×10^4 ซึ่งต่ำลงจากนี้ไปจะเป็นช่วงไม่แน่นอน (Transition) และ การไหลแบบเป็นเส้น (Laminar) เมื่อนำเส้นกราฟที่ได้จากการทดลองไปเปรียบ เทียบกับเส้นกราฟของเส้นท่อนิคเดียวกัน จากมูคคี่โคอาแกรม (Moody diagram) จะปรากฏดังรูป 5.7.2 จากรูป 5.7.2 จะเห็นได้ว่า เส้นกราฟจากผลการทดลองอยู่ ต่ำกว่าเส้นกราฟจากมูคคี่ โคอาแกรมเล็กน้อย ในช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์เดียวกัน เป็นการ



รูป 5.7.2 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ได้จากการทดลองเทียบกับจากมอดี้ ไคอาแกรม

แสดงว่าค่าความหยาบสัมพัทธ์ (Relative roughness) ของเส้นท่อที่ใช้ในการทดลองต่ำกว่าที่กำหนดไว้ เป็นมาตรฐานในมูคกี โคอาแกรม

5.7.3 การทดลองระบบข่างานท่อน้ำชั้นที่สอง ในการทดลองข่างานท่อน้ำชั้นที่สอง (กรุป 4.12) ได้ศึกษาตรวักแบบรุกรายและมาตรวักแบบเวนจูรี เพื่อให้สามารถตรวจสอบอัตราไหลเข้าสู่ระบบที่จุด A และ D และสามารถตรวจสอบอัตราไหลในเส้นท่อ DI ได้ ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลอง 5 การทดลองด้วยกัน ที่สภาพการต่าง ๆ ของระบบข่างานท่อน้ำได้ผลการทดลองตามที่แสดงไว้ในหัวข้อ 5.6 ในการวิเคราะห์ระบบข่างานท่อน้ำแต่ละระบบ ได้ทำการวิเคราะห์เป็น 3 ขั้นตอนด้วยกัน ดังรายละเอียดดังนี้ คือ

- ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.032 (ซึ่งเป็นค่าที่ประมาณได้จากการทดลองข่างานท่อน้ำชั้นที่ 1 ตามรายละเอียดตามหัวข้อ 5.7.1.4 หน้า 114) สำหรับทุกเส้นท่อ

- ขั้นตอนที่ 2 นำค่าอัตราการไหลในแต่ละเส้นท่อที่ได้จากผลวิเคราะห์คอมพิวเตอร์ จากการวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ 1 แปลงเป็นค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ แล้วนำไปเทียบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแต่ละเส้นท่อ จากรูป 5.3 หน้า 80 จากนั้นจึงใช้ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้แทนกลับไปในแต่ละเส้นท่อ แล้วทำการคำนวณวิเคราะห์ใหม่

- ขั้นตอนที่ 3 รวมค่าการสูญเสียความดันย่อยที่สามทางและสี่ทางต่างๆ ในระบบข่างานท่อน้ำลงไปด้วยในรูปความยาวเสมือนของเส้นท่อ (ดูภาคผนวก ข) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแต่ละเส้นท่อนั้นยังคงใช้เหมือนกับในขั้นตอนที่ 2 จากนั้นจึงคำนวณวิเคราะห์ใหม่อีกครั้งหนึ่ง

ผลการวิเคราะห์ตามขั้นตอนทั้งสามขั้นตอนนี้ได้แสดงไว้แล้วในหัวข้อ 5.6 โดยได้แสดงเปรียบเทียบกับผลการทดลองเอาไว้ด้วย ตามตารางต่าง ๆ ในหัวข้อ 5.6

จากผลการทดลองดังปรากฏผลในหัวข้อ 5.6 และผลวิเคราะห์การทดลองตามหัวข้อ 5.6 ดังได้กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่า

5.7.3.1 อัตราการไหลในเส้นท่อแต่ละเส้นในระบบจ่ายงานท่อที่ได้จากผลวิเคราะห์คอมพิวเตอร์ โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่าง ๆ ตามที่ได้อธิบายไว้แล้วนั้น ปรากฏว่าส่วนใหญ่ (โปรคจกรูปแสดงในหัวข้อ 5.6 ทุกรูป) มีค่าสูงกว่า 40 ซม.³/ว.ท. ทั้งสิ้น ซึ่งให้ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์เกิน 2000 ดังนั้น การไหลในระบบจ่ายงานท่อน้ำตามการทดลองนี้ จึงใกล้เคียงกับการไหลของน้ำในระบบจ่ายงานท่อของระบบประปาที่ชั่วโมงความต้องการสูงสุดโดยทั่วไป (Peak hour demand) ซึ่งการไหลในเส้นท่อโดยทั่วไปจะไม่มี การไหลแบบเป็นเส้นเลย (เรย์โนลด์นัมเบอร์ น้อยกว่า 2000)

5.7.3.2 ผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ตามขั้นตอนที่ 1 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.032 ซึ่งเป็นค่าที่ประมาณได้จากการทดลองจ่ายงานท่อน้ำชั้นที่ 1 ตามหัวข้อ 5.7.1.4 หน้า 114 และเป็นค่าเฉลี่ยที่เชื่อว่าจะให้ผลวิเคราะห์ค่าระดับความดันน้ำตามจุดตัดต่าง ๆ และอัตราการไหลในเส้นท่อก่าง ๆ ที่น่าจะเป็นไปได้จากผลการทดลองในหัวข้อ 5.6 ในส่วนนี้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.032 เป็นขั้นตอนที่ 1 นั้น สามารถนำมาเขียนโดยย่อ เพื่อแสดงค่าแตกต่างผลการวิเคราะห์จากผลการทดลองได้ดังนี้

ตาราง 5.7.3.2 (ก)
ความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์และ
ผลการทดลองสำหรับค่าระดับความคั่นน้ำ (ใช้ $f = 0.032$)

จุดตัด	ความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง คิดเป็นร้อยละ (%)				
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 5
1					
2	-3.28	-6.98	-5.96	-1.76	-1.03
3	-1.84	-2.85	-1.18	-2.28	-4.69
4	-1.29	-3.92	1.03	-10.27	0.14
5	1.06	-3.50	8.09	-5.77	0.36
6	3.48	-3.59	3.10	-0.98	1.19
7	9.76	1.43	-2.43	3.76	5.23
8	2.05			-0.87	0.75
9		1.44	1.14		
10	3.71			8.24	1.12

ตาราง 5.7.3.2 (ข)
ความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์กับผล
การทดลองสำหรับค่าอัตราการใช้ (ใช้ $f = 0.032$)

รายละเอียด	ความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง คิดเป็นร้อยละ (%)				
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 5
อัตราไหลในเส้นท่อ DI	-0.34	-17.21	-5.60	10.55	-6.32
อัตราไหลเข้าที่จุด A	-10.69	-3.48	-7.32	0.64	8.03
อัตราไหลเข้าที่จุด D	7.31	8.55	11.46	-8.21	0.12
อัตราไหลเข้ารวม	-3.08	1.80	0.94	-3.44	5.81

จะเห็นได้ว่าสำหรับค่าระดับความคั่นน้ำ ผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ใกล้เคียงกับผลจากการทดลองในทุกจุดตัดของทุกการทดลอง โดยค่าแตกต่างสูงสุดมีค่า 9.76 % และค่าแตกต่างต่ำสุด 0.14 % เท่านั้น แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.032 ที่ประมาณมาจากการทดลองข้างงานก่อนหน้าชั้นที่ 1 นำมาใช้ได้ผลดี ในขณะที่เดียวกันเมื่อพิจารณาตาราง 5.7.3.2 (ข) ซึ่งเป็นการตรวจสอบค่าอัตราการไหลประกอบด้วย จะเห็นได้ว่า ผลวิเคราะห์ยังคงใกล้เคียงกับที่วัดได้เช่นกัน ในทุกอัตราการไหลที่มีการตรวจสอบ ยกเว้นในการทดลองที่ 2 สำหรับอัตราไหลในเส้นท่อ DI ค่าความแตกต่างค่อนข้างสูงคือ -17.21 % การที่เป็นเช่นนี้เข้าใจว่าเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการอ่านระดับน้ำที่มาตรวัดแบบรูระบายที่ใช้ตรวจสอบอัตราการไหลนี้ อาจจะเป็นเนื่องจากฟองอากาศในระหว่างสายยางก็ได้ ดังนั้นจึงเพิ่ม ค่าความแตกต่างมากขึ้นอีกจากธรรมชาติซึ่งย่อมจะต้องมีบ้างอยู่แล้ว

5.7.3.3 ผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ตามขั้นตอนที่ 2 โดยใช้ค่าอัตราการไหลในแต่ละเส้นท่อที่ได้จากผลวิเคราะห์คอมพิวเตอร์ขั้นตอนที่ 1 แปลงเป็นเรย์โนลด์นัมเบอร์ไปเทียบหาสัมประสิทธิ์ความเสียหายของแต่ละเส้นท่อ จากรูป 5.3 หน้า 80 จากนั้นจึงใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเหล่านี้มาคำนวณเป็นค่า K ใหม่ สำหรับแต่ละเส้นท่อแล้วเจาะลงในบัตรข้อมูลใหม่ และนำเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ทำการวิเคราะห์อีก ดังปรากฏผลตามที่แสดงไว้แล้วในหัวข้อ 5.6 จากผลวิเคราะห์ ดังกล่าวในส่วนที่ใช้สัมประสิทธิ์ความเสียหายตามขั้นตอนที่ 2 นี้ สามารถนำมาเขียนโดยย่อ เพื่อแสดงค่าแตกต่างผลการวิเคราะห์จากผลการทดลองได้ดังนี้

ตาราง 5.7.3.3 (ก)

ความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์กับผลการทดลองสำหรับ
ค่าระดับความคืบหน้า (ใช้ r ตามรูป 5.3 ไม่รวมค่าการสูญเสียความคืบหน้า)

จุดตัด	ความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง คิดเป็นร้อยละ (%)				
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 5
1					
2	-3.13	-6.47	-5.51	-1.39	-0.67
3	-0.52	-2.00	-0.50	-1.78	-4.51
4	2.70	1.62	7.10	-10.18	3.60
5	2.66	3.10	13.82	-5.26	3.91
6	6.10	5.17	11.31	-0.43	5.48
7	18.00	10.82	2.69	4.67	15.48
8	3.69			-0.33	4.38
9		1.59	1.31		
10	3.93			11.03	1.18

ตาราง 5.7.3.3 (ข)

ความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง
สำหรับค่าอัตราการใช้ (ใช้ r ตามรูป 5.3 ไม่รวมค่าการสูญเสียความคืบหน้า)

รายละเอียด	ความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์คอมพิวเตอร์และผลการทดลอง คิดเป็นร้อยละ (%)				
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 5
อัตราไหลในเส้นท่อ DI	-2.53	-15.75	-6.10	15.76	-6.94
อัตราไหลเข้าที่จุด A	-9.22	-2.15	-7.36	0.93	9.31
อัตราไหลเข้าที่จุด D	6.76	7.16	11.51	-7.41	0.09
อัตราไหลเข้ารวม	-2.51	1.94	0.94	-2.92	6.98

จากการพิจารณาตาราง 5.7.3.3 (ก) เทียบกับ ตาราง 5.7.3.2 (ก) จะเห็นได้ว่า ค่าความแตกต่างโดยทั่วไปทุก ๆ จุดในทุกการทดลองมีค่ามากขึ้น โดยในจุดค้ำส่วนใหญ่ ค่าความแตกต่างในตาราง 5.7.3.2 (ก) จะมีค่าสูงกว่าในตาราง 5.7.3.3 (ก) ดังจะเห็นได้จากจุดที่มีความแตกต่างมากที่สุดนั้น มีค่าถึง 18.00 % และจุดที่มีความแตกต่างน้อยที่สุดมีค่า -0.33% และโดยทั่วไปในทุกจุดของทุกการทดลองค่าระดับความค้ำน้ำที่ได้จากผลวิเคราะห์คอมพิวเตอร์จะมีค่าสูงกว่าที่ได้จากผลการวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ 1 สาเหตุที่ความแตกต่างของผลวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่สองนี้มีมากกว่าในขั้นตอนที่หนึ่ง เป็นเพราะ ในขั้นตอนที่หนึ่งนั้นเราใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.032 กับเส้นท่อทุกเส้น ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.7.1.4 หน้า ว่าค่านี้เป็นค่าเฉลี่ยที่น่าจะให้ค่าที่เป็นไปได้มากที่สุด สำหรับช่างงานท่อชุดนี้โดยไม่ต้องรวมค่าการสูญเสียความค้ำย้อยความสามทางและสี่ทางลงไปด้วย ในขณะที่การวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ 2 นั้น ได้พยายามใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของเส้นท่อน้ำจะเป็นไปได้ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงเป็นการคิดการสูญเสียความค้ำเฉพาะเนื่องจากความเสียหายของผิวเส้นท่ออย่างแท้จริง ๆ โดยไม่ได้รวมค่าการสูญเสียความค้ำย้อยที่สามทางและสี่ทางต่าง ๆ ลงไปด้วยเลย ดังนั้นผลวิเคราะห์ที่ได้ออกมา จึงแตกต่างไปจากผลการทดลองมากกว่าผลวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ 1 และโดยทั่วไปค่าระดับความค้ำน้ำที่ได้จากผลวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่สองนี้มีค่าสูงกว่าที่ได้จากผลวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่หนึ่งด้วย จากการพิจารณาตาราง 5.7.3.2 (ข) ซึ่งเป็นการตรวจสอบอัตราการไหล จะเห็นได้ว่าค่าแตกต่างในอัตราการไหลอยู่ในขอบเขตใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ 1

5.7.3.4 ผลวิเคราะห์คอมพิวเตอร์ตามขั้นตอนที่ 3 โดยได้คิดค่าการสูญเสียความค้ำย้อยความสามทางและสี่ทางในระบบช่างงานท่อลงไปด้วยในรูปความยาวเสมือนของเส้นท่อ (โปรคดูภาคผนวก ฉ) แล้วจึงทำการคำนวณวิเคราะห์ใหม่ ดังปรากฏผลตามที่แสดงไว้ในหัวข้อ 5.6 จากผลวิเคราะห์ดังกล่าวในส่วนของการวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่สามนี้สามารถนำมาเขียนโดยย่อเพื่อแสดงค่าแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์และผลการทดลองได้ดังนี้

ตาราง 5.7.3.4 (ก)

ความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง
สำหรับค่าระดับความค้ำน้ำ (ใช้ f ตามรูป 5.3 รวมค่าการสูญเสียความค้ำน้อย)

จุดตัด	ความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง คิดเป็นร้อยละ (%)				
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 5
1	-0.3	-5.5	-1.11	-1.1	-1.33
2	-3.43	-7.05	-6.11	-1.19	-1.33
3	-0.99	-2.77	-1.37	+1.58	-4.91
4	1.64	-0.57	4.21	-10.00	1.80
5	1.53	0.60	11.330	-4.33	2.10
6	3.93	1.01	6.21	0.87	2.94
7	11.38	6.30	0.61	4.41	9.45
8	2.42			0.65	2.48
9		1.28	0.90		
10	3.55			8.12	0.95

ตาราง 5.7.3.4 (ข)

ความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์และผลการทดลองสำหรับ
ค่าอัตราการไหล (ใช้ f ตามรูป 5.3 รวมค่าการสูญเสียความค้ำน้อย)

รายละเอียด	ความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง คิดเป็นร้อยละ (%)				
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 5
อัตราไหลในเส้นท่อด I	-0.37	-13.99	-4.50	-8.38	-6.94
อัตราไหลเข้าที่จุด A	-11.63	-4.07	-8.01	-1.56	9.31
อัตราไหลเข้าที่จุด D	8.73	9.46	12.36	11.60	0.09
อัตราไหลเข้ารวม	-3.01	1.87	0.96	-6.16	6.98

จะเห็นได้ว่าผลวิเคราะห์ชั้นตอนที่ 3 นี้ ค่าความแตกต่าง สำหรับระดับความคั่นน้ำโดยทั่วไป ลดลงจากผลวิเคราะห์ชั้นตอนที่ 2 และใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ตามชั้นตอนที่ 1 (ไปรคูกุ การาง 5.7.3.2 (ก), 5.7.3.3 (ก) และ 5.7.3.4 (ก) เปรียบเทียบกัน) กล่าวคือ จุดที่มีค่าความแตกต่างสูงที่สุดมีค่า 11.38 % ค่าสุ่มมีค่า 0.60 % ตามลำดับ

5.7.4 ความคลาดเคลื่อนระหว่างผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง จากผลการวิเคราะห์การทดลองตามหัวข้อ 5.6 และการวิจารณ์ผลการวิจัยตามหัวข้อ 5.7.1 และ 5.7.3 จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับผลจากการทดลอง เป็นส่วนใหญ่ ตามหัวข้อ 5.7.1 เป็นการวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อจำลองขั้นต้นและประมาณค่าสัมประสิทธิ์ ความเสียหายที่เหมาะสมได้ 0.032 และนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายนี้ ไปใช้ในการ วิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อจำลองขั้นที่สองต่อไป ในการวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อจำลองขั้น ที่สอง ได้ใส่มาตรวัดอัตราการไหล (Flow meter) ลงไปด้วย (ดูรูป 4.12 ประกอบ) เพื่อให้สามารถตรวจสอบอัตราไหลเข้าที่จุดจ่ายน้ำ และในเส้นท่อ DI ด้วย และสามารถนำ ไปเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ได้ จากการวิเคราะห์ผลจากคอมพิวเตอร์ เปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ชั้นตอน โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ ความเสียหายต่าง ๆ กัน ดังได้กล่าวและวิจารณ์มาแล้วในหัวข้อ 5.7.3.2 , 5.7.3.3 และ 5.7.3.4 พบว่าผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์คลาดเคลื่อนไปบ้าง จากผลการทดลอง สำหรับ ผลการวิเคราะห์ทุกชั้นตอน สาเหตุแห่งความคลาดเคลื่อนเหล่านี้สามารถจะให้เหตุผลได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ตามชั้นตอนที่หนึ่ง โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.032 นั้น ย่อมจะมีความคลาดเคลื่อนอย่างแน่นอน เพราะค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.032 เป็น เพียงค่าเฉลี่ยปานกลางที่ประมาณมาใช้เท่านั้น

ผลการวิเคราะห์ตามชั้นตอนที่สอง ใช้สัมประสิทธิ์ความเสียหายที่ได้จากการทดลอง ในห้องปฏิบัติการ ตามรูป 5.3 แต่ไม่ได้คิดรวมค่าการลกระดับความคั่นย่อยที่สามทางและสี่ทาง ต่าง ๆ ลงไปด้วย ดังนั้นค่าระดับความคั่นน้ำโดยเฉลี่ยที่คำนวณได้จึงมีค่าสูงกว่าผลการทดลอง โดยทั่วไป เพราะการไหลของน้ำผ่านสามทางและสี่ทางจะทำให้เกิดการสูญเสียความคั่นด้วยเสมอ แต่ไม่ได้นำมาคิดรวมด้วยในการวิเคราะห์ครั้งนี้

ผลวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่สาม ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการวิเคราะห์ ได้คิดค่าการสูญเสียความดันย่อยลงไปด้วยในรูปความยาวเสมือนของเส้นท่อ (ดูภาคผนวก ฉ) แต่ผลการวิเคราะห์ก็ยังคงคลาดเคลื่อนไปจากผลการทดลองอยู่บ้าง สาเหตุใหญ่ของความคลาดเคลื่อนนี้มาจากการไหลของน้ำผ่านสามทางและสี่ทาง ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียความดันขึ้น และไม่สามารถประมาณค่าการสูญเสียความดันได้ถูกต้องเท่าที่ได้พยายามค้นคว้า จากหนังสือคำรับตำราต่าง ๆ ยังไม่พบว่าจะสามารถคำนวณค่าการสูญเสียความดันในการไหลของน้ำผ่านสามทางและสี่ทางได้ถูกต้องและสามารถนำมาใช้ประกอบอย่างมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำแต่อย่างใด พบว่าได้เคยมีผู้ทำการศึกษาค้นคว้ามาบ้างแล้วในเรื่องนี้ แต่ก็ยังไม่สามารถจะวางเป็นหลักการแน่นอน และสามารถนำมาใช้ได้ในงานวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำ

ในการวิเคราะห์ตามขั้นตอนนี้ ได้ประมาณค่าการสูญเสียความดันย่อยเนื่องจากการไหลของน้ำทางเดียวผ่านสามทางจากด้านตรงไปทางด้านข้าง (Run to Side) มาแทนลงในในการคำนวณ ทำให้ได้ความยาวของเส้นท่อดัง ๆ ขึ้นมาใหม่ (ดูภาพ ช.1 ภาคผนวก ช) ซึ่งก็ทำให้ได้ผลวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ใกล้เคียงกับผลการทดลองยิ่งขึ้น แต่ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เนื่องจากสาเหตุดังกล่าว

อย่างไรก็ที่จะเห็นได้ว่าผลวิเคราะห์โดยคิดประมาณค่าการสูญเสียความดันย่อยที่สามทางและสี่ทางต่าง ๆ ลงไปด้วย และไม่รวมค่าการสูญเสียความดันย่อย (โปรดดูตารางในหัวข้อ 5.6 ทรงช่องความดันน้ำ ช. และความดันน้ำ ค) ให้ผลแตกต่างกันไม่มากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นระบบข่ายงานท่อน้ำขนาดใหญ่ในระบบประปาด้วยแล้ว เส้นท่อโดยทั่วไปมีความยาวมาก จนค่าการสูญเสียความดันย่อยไม่มีผลต่อ รัศมีความดันน้ำของระบบข่ายงานท่อน้ำเลย

5.7.5 ขอบเขตการใช้งานและข้อดีของวิธีการของครอฟอร์ด-เฮโนเวท จากการดำเนินการจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดำเนินการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าขอบเขตการใช้งานของวิธีการนี้ มีดังนี้คือ

5.7.5.1 สามารถใช้วิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำได้ทุกรูปแบบ โดยไม่จำเป็นต้องเป็นข่ายงานท่อน้ำที่มีลักษณะครบวงเท่านั้น ท่อที่เป็นเส้นเดียวไม่ครบวงก็สามารถวิเคราะห์ได้โดยไม่ต้องอาศัยเทคนิคพิเศษแต่อย่างใด เพราะวิธีการนี้เป็นการแก้ค่าระดับความดันน้ำตามจุดตัดต่าง ๆ ดังนั้นไม่ว่าเส้นท่อจะวางในลักษณะใดก็ตาม การแก้ค่าระดับน้ำแต่ละจุดจะเป็นอิสระเฉพาะตัวเอง โดยไม่จำเป็นต้องวางเส้นท่อให้ครบวง

5.7.5.2 ในกรณีที่มีโรงสูบน้ำซึ่งทำงานที่ระดับความดันคงที่หลาย ๆ แห่งในระบบข่ายงานท่อน้ำ ก็สามารถใช่วิธีการนี้เข้าคำนวณวิเคราะห์ได้เลย โดยไม่ต้องอาศัยเทคนิคใด ๆ ในการควบคุมความดันระหว่างโรงสูบน้ำ เช่นการใช้วงจรความดัน (Head Loop) ในวิธีการของฮาร์ดี ครอส เลย์ ดังนั้น จึงเป็นการสะดวกกว่ากันมาก เพราะตามวิธีการของครอฟอร์ด-เซโนเวทนั้น เราเพียงกำหนดจุดที่เป็นโรงสูบน้ำเป็นจุดที่มีความดันคงที่ตามที่ต้องการ ดังนั้นเวลาคำนวณจึงไม่แก้ระดับความดันน้ำที่จุดเหล่านี้เลย เมื่อผลคำนวณเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ค่าระดับความดันน้ำตามโรงสูบน้ำต่าง ๆ ก็จะไม่เท่ากับที่เรากำหนด เอาไว้ในตอนแรกทุกจุด ถ้าเป็นวิธีการของฮาร์ดีครอสจะต้องใส่เส้นท่อเสมือน (Imaginary Pipes) เพิ่มลงไปโดยเส้นท่อเสมือนเหล่านี้จะเชื่อมต่อโรงสูบน้ำแต่ละแห่งถึงกันหมด เส้นท่อเสมือนเหล่านี้จะถูกกำหนดให้มีความยาว, สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, และอัตราการไหลเป็นศูนย์ คงมีเฉพาะค่าแตกต่างระดับความดันน้ำระหว่างโรงสูบน้ำทั้งสองแห่งที่เส้นท่อนี้เชื่อมอยู่เท่านั้น ในการที่จำเป็นต้องมีเส้นท่อเสมือนเหล่านี้เพิ่มขึ้นมา ทำให้เพิ่มความยุ่งยากขึ้นในการคำนวณ และทำให้ค่าแก้ตามสมการของฮาร์ดีครอสเล็กลงได้ ژیั้งขึ้น หรือไม่เล็กลงจนถึงขอบเขตที่ต้องการเลยก็ได้

5.7.5.3 ในระบบที่เป็นการเดินท่อขนาดเล็กๆ เช่นการสูบน้ำขึ้นบนอาคารสูง ๆ จากถังพักน้ำ การทำงานของเครื่องสูบน้ำจะไม่กำหนดแน่นอนว่าจะทำงานที่ความดันคงที่ วิธีการของครอฟอร์ด-เซโนเวท ก็สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ได้โดยสะดวก โดยไม่มีอวาระดับความดันน้ำที่เครื่องสูน้ำดังกล่าวเป็นจุดที่มีความดันคงที่ และจะคำนวณแก้ค่าระดับความดันน้ำที่เอาขึ้นที่จุดนี้เช่นเดียวกับจุดอื่น ๆ แต่มีข้อแม้พิเศษคือจุดที่เป็นเครื่อง

สูบน้ำ จะถือเป็นจุดที่มีการนำน้ำออกจากระบบ เช่นเดียวกับจุดที่มีการนำน้ำออกโดยทั่วไป แต่ค่าอัตราไหลออกนี้ (คือ Q_{ext} ตามสมการ 2-24 จะมีค่าเป็นลบ (เพราะที่จริงเป็นการนำน้ำเข้า) และอัตรานำน้ำเข้าสู่ระบบนี้จะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ ในการคำนวณ แก่ค่าระดับความดันน้ำที่เครื่องสูบน้ำแต่ละครั้ง โดยอัตรานำน้ำเข้าดังกล่าวจะแปรผันกับความดันที่เครื่องสูบน้ำนั้น ตามเส้นกราฟแสดงคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ (Characteristic Curve of Pump)

5.7.5.4 ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องวางท่อเพิ่มเติมหรือแก้ไขเส้นท่อในระบบจ่ายงานท่อน้ำ โดยให้การทำงานที่โรงสูบน้ำต่าง ๆ ยังคงเดิม ซึ่งต้องใช้วิธีทดสอบและแก้ไข ถ้าใช้วิธีการของฮาร์ดีครอสจะพิจารณาแก้ไขเส้นท่อได้ยากมาก เพราะโรงสูบน้ำทุก ๆ แห่งถึงกันหมดด้วยวงจรรวมกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเส้นท่อในระบบจ่ายงานท่อจะมีการเปลี่ยนแปลงที่โรงสูบน้ำทุกแห่ง ต่อเนื่องถึงกันด้วยวงจรรวมกันโดยตรง ซึ่งถ้าเป็นวิธีการของครอฟอร์ด-เฮโนเวทนั้น โรงสูบน้ำแต่ละแห่งจะทำงานที่ความดันคงที่ของตนสูบน้ำลงสู่ระบบเดียวกันเท่านั้น ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเส้นท่อหรือสภาวะการณ์ใด ๆ ในระบบจ่ายงานท่อ ผลกระทบกระทัดรัดต่อโรงสูบน้ำทุกแห่งจะเป็นผลโดยตรงต่อโรงสูบน้ำแต่ละแห่งจากระบบจ่ายงานท่อน้ำเท่านั้น ดังนั้นการพิจารณาเปลี่ยนแปลงเส้นท่อเพื่อปรับปริมาณสูบน้ำหรือความดันที่โรงสูบน้ำจึงทำได้ง่ายกว่า

5.7.5.5 การมีค่าเล็กลง (Convergence) ของค่าแก้ตามวิธีการของครอฟอร์ด-เฮโนเวทเป็นไปได้แน่นอนกว่าวิธีการของฮาร์ดีครอส เพราะวิธีการของฮาร์ดีครอสเป็นการเอาค่าอัตราไหลในเส้นท่อและต้องเอาให้สอดคล้องกับสมการความต่อเนื่องด้วย ดังนั้นถ้าเป็นระบบจ่ายงานท่อน้ำขนาดใหญ่ โอกาสที่จะเอาไต่ห่างจากที่ถูกต้องไปมาก ๆ จึงมีมาก ซึ่งจะทำให้ค่าแก้ของการคำนวณแต่ละครั้งลดลงได้ช้ามาก หรือไม่ลดลงถึงขอบเขตที่ต้องการเลยก็ได้ ในขณะที่วิธีการของครอฟอร์ด-เฮโนเวท เป็นการเอาค่าระดับความดันน้ำตามจุดตัดได้อย่างเสรี ไม่มีการต่อเนื่องระหว่างค่าที่เอาแต่ละค่าแต่อย่างใด จึงไม่เกิดการสะสมความคลาดเคลื่อน โอกาสที่ค่าแก้จะลดลงถึงขอบเขตที่ต้องการจึงเป็นไปได้แน่นอนกว่าวิธีการของฮาร์ดีครอส

5.7.5.6 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ตามวิธีการของครอฟอร์ด-เซโนเวท ทำได้สะดวกเร็วกว่าวิธีการของฮาร์ดีครอสมาก เพราะการเคาะระดับความคั่นน้ำตาม จุดตัดต่าง ๆ นั้น สามารถทำได้ทันที ในขณะที่การเคาะอัตราการไหลในเส้นท่อตามวิธีการของฮาร์ดีครอสนั้นต้องเคาะให้สอดคล้องกับสมการความต่อเนื่องด้วย และโดยเหตุนี้เองถ้ามีการตัดเส้นท่อออกหรือนำเข้ามาเพิ่มในระบบอีกตามวิธีการของครอฟอร์ด-เซโนเวท จะมีเพียงการเคาะระดับความคั่นน้ำเพิ่มขึ้นหรือเอาจุดตัดบางจุดออกเท่านั้น แต่ตามวิธีการของฮาร์ดีครอสนั้น จะต้องเคาะอัตราการไหลใหม่ทั้งระบบทีเดียว ซึ่งถ้าเป็นระบบข่างานท่อน้ำขนาดใหญ่ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่กินเวลามากและผิดพลาดได้ง่าย และด้วยเหตุผลเดียวกันนี้ ถ้าเป็นการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ จะมีบัตรข้อมูลชุดหนึ่งต่อระบบข่างานท่อน้ำหนึ่งระบบ ถ้ามีการเปลี่ยนเส้นท่อด้วย การตัดออกหรือเพิ่มขึ้นอันทำให้ลักษณะของข่างานท่อเปลี่ยนไป ถ้าเป็นวิธีการของฮาร์ดีครอส จะมีความจำเป็นต้องเคาะอัตราการไหลในเส้นท่อใหม่ทั้งระบบให้สอดคล้องตามสมการความต่อเนื่อง และบัตรข้อมูลต้องเปลี่ยนใหม่หมดทั้งชุด ในขณะที่ถ้าเป็นวิธีการของครอฟอร์ด-เซโนเวท จะเป็นเพียงการเพิ่มบัตรข้อมูลอีกหรือเอาบัตรบางใบออกหรือแก้ไขบัตรเพียงบางใบเท่านั้น ซึ่งขั้นตอนอันนี้ทำให้ประหยัดเวลาขึ้นอีกมาก

5.7.5.7 หลักการของครอฟอร์ด-เซโนเวท ไม่ยุ่งยากสามารถเข้าใจได้ง่ายไม่เหมือนกับวิธีอื่นบางวิธี เช่น วิธีของมาร์ติน-ปีเตอร์ ซึ่งเข้าใจได้ยากเพราะเป็นการใช้วิชาคณิตศาสตร์ชั้นสูง เข้ามาวิเคราะห์ระบบข่างานท่อน้ำ

5.7.5.8 การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ทำการวิเคราะห์ตามวิธีการของครอฟอร์ด-เซโนเวท ทำได้ง่ายมาก เมื่อเทียบกับวิธีการของฮาร์ดีครอส, และของมาร์ติน - ปีเตอร์ เพราะเป็นหลักคณิตศาสตร์อย่างง่าย ๆ ที่คำนวณเลขที่จุดแต่ละจุดซึ่งเป็นอิสระต่อกัน