บทที่ 4

ผลการคำนวณและอภิปรายผลการคำนวณ

4.1 วิเคราะห์ผล

การเปรียบเทียบผลการทำงานของโปรแกรมกับผลการทดลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น ดังต่อไปนี้

4.1.1 เปรียบเทียบการไหลแบบขนาน กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนเปลี่ยนไป (ภาวะไม่คงตัว)

ค่าเริ่มต้น (t=0)

อุณหภูมิน้ำร้อน	50	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลน้ำร้อน	0.4*	ลิตรต่อนาที
ค่าเรย์โนลด์น้ำร้อน	1145.6	
อุณหภูมิน้ำเย็น	27.5	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลน้ำเย็น	1.0	ลิตรต่อนาที
ค่าเรย์โนลด์น้ำเย็น	332.6	

ค่าที่เวลา (t >0 sec)

อัตราการไหลน้ำร้อน	0.6*	ลิตรต่อนาที
ค่าเรย์โนลด์น้ำร้อน	1718.4	

หมายเหตุ : การปรับอัตราการไหลทำภายในเวลา 3 วินาที และเริ่มจับเวลาที่ทุก 20 วินาที

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำร้อน การทดลอง (°C)			อุณหภูมิน้ำร้อน โปรแกรม (°C)			ความผิดพลาด T,lab-T,calc. (°C)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	กลางท่อ	ทางออก
0	50.0	43.0	40.0	50.00	41.97	39.17	1.0	0.8
20	50.0	43.5	40.0	50.00	43.55	40.77	-0.1	-0.8
40	50.0	44.0	41.0	50.00	43.67	41.23	0.3	-0.2
60	50.0	44.0	41.5	50.00	43.69	41.30	0.3	0.2
80	50.0	44.0	41.5	50.00	43.69	41.31	0.3	0.2
100	50.0	44.0	41.5	50.00	43.69	41.32	0.3	0.2
steady(319)	50.0	44.0	41.5	50.00	43.69	41.33	0.3	0.2

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำเย็น การทดลอง (°C)			อุณหภูมิน้ำเย็น โปรแกรม (°C)			ความผิดพลาด T,lab-T,calc.(°C)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	กลางท่อ	ทางออก
0	27.5	30.5	32.5	27.50	30.51	31.76	0.0	0.7
20	27.5	31.0	32.5	27.50	30.08	31.90	0.9	0.6
40	27.5	31.0	32.8	27.50	30.91	32.11	0.1	0.7
60	27.5	31.0	33.0	27.50	30.93	32.19	0.1	0.8
80	27.5	31.0	33.0	27.50	30.94	32.21	0.1	0.8
100	27.5	31.0	33.0	27.50	30.95	32.22	0.1	0.8
steady(319)	27.5	31.0	33.0	27.50	31.02	32.48	0.0	0.5

เวลา (วินาที)	ปริมาณความร้อน การทดลอง (W)			ปริมาณความร้อน โปรแกรม (W)		
	น้ำร้อน	น้ำเย็น	น้ำร้อน+น้ำเย็น	น้ำร้อน	น้ำเย็น	น้ำร้อน+น้ำเย็น
0	-275.47	344.33	68.87	-298.33	293.37	-4.96
20	-413.20	344.33	-68.87	-381.38	303.01	-78.37
40	-371.88	364.99	-6.89	-362.38	317.48	-44.90
60	-351.22	378.77	27.55	-359.48	322.98	-36.50
80	-351.22	378.77	27.55	-359.07	324.36	-34.71
100	-351.22	378.77	27.55	-358.66	325.05	-33.61
Steady (319)	-351.22	378.77	27.55	-358.24	342.96	-15.29

หมายเหตุ ปริมาณความร้อนเป็น (+) หมายถึง ได้รับความร้อน, และปริมาณความร้อนเป็น (-) หมายถึง ให้ความร้อน

4.1.2 เปรียบเทียบการไหลแบบชนาน กรณีอัตราการไหลของน้ำเย็นเปลี่ยนไป (ภาวะไม่คงตัว)

ค่าเริ่มต้น (t=0)

อุณหภูมิน้ำร้อน 50 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลน้ำร้อน 0.6 ลิตรต่อนาที

ค่าเรย์โนลด์น้ำร้อน 1718.4

อุณหภูมิน้ำเย็น 28 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลน้ำเย็น 0.8* ลิตรต่อนาที

ค่าเรย์โนลด์น้ำเย็น 269.3

ค่าที่เวลา (t >0 sec)

อัตราการไหลน้ำเย็น 1.1* ลิตรต่อนาที

ค่าเรย์โนลด์น้ำเย็น 370.3

หมายเหตุ: การปรับอัตราการไหลทำภายในเวลา 3 วินาที และเริ่มจับเวลาที่ทุก 20 วินาที

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำร้อน การทดลอง (°C)			อุณหภูมิน้ำร้อน โปรแกรม (°C)			ความผิดพลาด T,lab-T,calc. (°C)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	กลางท่อ	ทางออก
0	50.0	44.0	42.0	50.00	44.12	42.04	-0.1	-0.0
20	50.0	44.0	41.5	50.00	43.95	41.82	0.1	-0.3
40	50.0	43.5	41.5	50.00	43.97	41.69	-0.5	-0.2
60	50.0	43.5	41.0	50.00	43.97	41.72	-0.5	-0.7
80	50.0	43.5	41.0	50.00	43.97	41.72	-0.5	-0.7
100	50.0	43.5	41.0	50.00	43.97	41.72	-0.5	-0.7
Steady(55)	50.0	43.5	41.0	50.00	43.97	41.72	-0.5	-0.7

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำเย็น การทดลอง (°C)			อุณหภูมิน้ำเย็น โปรแกรม (°C)			ความผิดพลาด T,lab-T,calc. (°C)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	กลางท่อ	ทางออก
0	28.0	31.0	33.0	28.00	32.13	33.85	-1.1	-0.9
20	28.0	31.0	32.5	28.00	31.30	32.86	-0.3	-0.4
40	28.0	30.5	32.0	28.00	31.36	32.71	-0.9	-0.7
60	28.0	30.5	32.0	28.00	31.37	32.76	-0.9	-0.8
80	28.0	30.5	32.0	28.00	31.37	32.76	-0.9	-0.8
100	28.0	30.5	32.0	28.00	31.37	32.76	-0.9	-0.8
Steady(55)	28.0	30.5	32.0	28.00	31.37	32.76	-0.9	-0.8

เวลา (วินาที)	ปริมาณความร้อน การทดลอง (W)			ปริมาณความร้อน การทดลอง (W)		
	น้ำร้อน	น้ำเย็น	น้ำร้อน+น้ำเย็น	น้ำร้อน	น้ำเย็น	น้ำร้อน+น้ำเย็น
0	-330.56	275.47	-55.09	-329.02	322.32	-6.70
20	-351.22	340.89	-10.33	-337.87	367.90	30.03
40	-351.22	303.01	-48.21	-343.28	356.68	13.40
60	-371.88	303.01	-68.87	-342.20	360.50	18.31
80	-371.88	303.01	-68.87	-342.20	360.50	18.31
100	-371.88	303.01	-68.87	-342.20	360.50	18.31
Steady(55)	-371.88	303.01	-68.87	-342.20	360.50	18.31

4.1.3 เปรียบเทียบการไหลแบบขนาน กรณีอุณหภูมิของน้ำร้อนเปลี่ยนไป (ภาวะคงตัว)

ค่าที่ทำการทดลอง

อุณหภูมิน้ำร้อนที่ 45, 50, 55, 60 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลน้ำร้อน 0.6 ลิตรต่อนาที

ค่าเรย์โนลด์น้ำร้อน 1523.5, 1718.4, 1924.4, 2129.7

อัตราการไหลน้ำเย็น 1.0 ลิตรต่อนาที

ค่าเรย์โนลด์น้ำเย็น 370.3

4.1.3.1	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)			อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)			ปริมาณความร้อน (W)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	น้ำร้อน	น้ำเย็น
การทดลอง	45.0	41.0	40.0	30.0	32.0	33.0	-205.3	203.1
โปรแกรม	45.0	41.2	40.2	30.0	31.9	32.7	-202.0	199.2
ความคลาดเคลื่อน T,lab-T,calc (°C)	0.0	-0.2	-0.2	0.0	0.1	0.3	_	_

4.1.3.2	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)			อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)			ปริมาณความร้อน (W)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	น้ำร้อน	น้ำเย็น
การทดลอง	50.0	44.0	41.5	27.5	31.0	33.0	-350.3	372.0
โปรแกรม	50.0	43.8	41.5	27.5	31.0	32.5	-349.0	338.8
ความคลาดเคลื่อน T,lab-T,calc (°C)	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.5	_	_

4.1.3.3	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)			อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)			ปริมาณความร้อน (W)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	น้ำร้อน	น้ำเย็น
การทดลอง	55.0	48.0	45.5	30.5	34.5	36.5	-393.4	407.0
โปรแกรม	55.0	48.2	45.7	30.5	34.4	36.0	-384.3	371.7
ความคลาดเคลื่อน T,lab-T,calc (°C)	0.0	-0.2	-0.2	0.00	0.1	0.5	_	_

4.1.3.4	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)			อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)			ปริมาณความร้อน (W)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	น้ำร้อน	น้ำเย็น
การทดลอง	60.0	52.0	49.0	30.5	36.0	38.5	-457.7	543.2
โปรแกรม	60.0	51.8	48.8	30.5	35.2	37.1	-466.4	449.2
ความคลาดเคลื่อน T,lab-T,calc (°C)	0.0	0.2	0.2	0.00	0.8	1.4	_	_

4.1.4 เปรียบเทียบการไหลแบบลวนทาง กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนเปลี่ยนไป (ภาวะไม่คงตัว)

ค่าเริ่มต้น (t=0)

อุณหภูมิน้ำร้อน 50 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลน้ำร้อน 0.4* ลิตรต่อนาที

ค่าเรย์โนลด์น้ำร้อน 1145.6

อุณหภูมิน้ำเย็น 26.5 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลน้ำเย็น 1.0 ลิตรต่อนาที

ค่าเรย์โนลด์น้ำเย็น 324.7

ค่าที่เวลา (t >0 sec)

อัตราการไหลน้ำร้อน 0.6* ลิตรต่อนาที

ค่าเรย์โนลด์น้ำร้อน 1718.4

หมายเหตุ :การปรับอัตราการไหลทำภายในเวลา 3 วินาที และเริ่มจับเวลาที่ทุก 20 วินาที

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำร้อน การทดลอง (°C)			อุณหภูมิน้ำร้อน โปรแกรม (°C)			ความผิดพลาด T,lab-T,calc. (°C)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	กลางท่อ	ทางออก
0	50.0	44.0	38.5	50.00	41.87	37.50	2.1	1.0
20	50.0	44.5	39.5	50.00	43.47	39.49	1.0	0.0
40	50.0	45.0	40.5	50.00	43.64	39.89	1.4	0.6
60	50.0	45.0	41.0	50.00	43.69	39.97	1.3	1.0
80	50.0	45.0	41.0	50.00	43.63	39.98	1.4	1.0
100	50.0	45.0	41.0	50.00	43.72	40.01	1.3	1.0
Steady(226)	50.0	45.0	41.0	50.00	43.73	40.03	1.3	1.0

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำเย็น การทดลอง (°C)			อุณหภูมิน้ำเย็น โปรแกรม (°C)			ความผิดพลาด T,lab-T,calc. (°C)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	กลางท่อ	ทางออก
0	26.5	30.0	34.5	26.50	28.29	31.39	1.7	3.1
20	26.5	30.0	35.0	26.50	28.46	31.68	1.5	3.3
40	26.5	30.0	35.0	26.50	28.62	31.90	1.4	3.1
60	26.5	30.0	35.5	26.50	28.68	32.01	1.3	3.5
80	26.5	30.5	35.5	26.50	28.71	32.05	1.8	3.5
100	26.5	30.5	35.5	26.50	28.72	32.07	1.8	3.4
Steady(226)	26.5	30.5	35.5	26.50	28.74	32.12	1.8	3.4

เวลา (วินาที)	ปริมาณความร้อน การทดลอง (W)			ปริมาณความร้อน โปรแกรม (W)		
	น้ำร้อน	น้ำเย็น	น้ำร้อน+น้ำเย็น	น้ำร้อน	น้ำเย็น	น้ำร้อน+น้ำเย็น
0	-316.79	550.93	234.15	-344.24	336.42	-7.81
20	-433.86	585.37	151.51	-434.40	356.73	-77.67
40	-392.54	585.37	192.83	-417.63	372.02	-45.61
60	-371.88	619.80	247.92	-414.30	379.39	-34.91
80	-371.88	619.80	247.92	-413.97	382.44	-31.53
100	-371.88	619.80	247.92	-412.77	383.47	-29.30
Steady(226)	-371.88	619.80	247.92	-412.03	387.22	-24.81

4.1.5 เปรียบเทียบการไหลแบบสวนทาง กรณีอัตราการไหลของน้ำเย็นเปลี่ยนไป (ภาวะไม่คงตัว)

ค่าเริ่มต้น (t=0)

อุณหภูมิน้ำร้อน	50	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลน้ำร้อน	0.6	ลิตรต่อนาที
ค่าเรย์โนลด์น้ำร้อน	1718.4	
อุณหภูมิน้ำเย็น	27	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลน้ำเย็น	0.8*	ลิตรต่อนาที
ค่าเรย์โนลด์น้ำเย็น	262.9	

ค่าที่เวลา (t >0 sec)

อัตราการไหลน้ำเย็น	1.1*	ลิตรต่อนาที
ค่าเรย์โนลด์น้ำเย็น	361.5	

หมายเหตุ: การปรับอัตราการไหลทำภายในเวลา 3 วินาที และเริ่มจับเวลาที่ทุก 20 วินาที

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำร้อน การทดลอง (°C)			อุณหภูมิน้ำร้อน โปรแกรม (°C)			ความผิดพลาด T,lab-T,calc. (°C)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	กลางท่อ	ทางออก
0	50.0	45.0	41.0	50.00	44.29	40.64	0.7	0.4
20	50.0	45.0	41.0	50.00	44.10	40.48	0.9	0.5
40	50.0	44.5	41.0	50.00	44.05	40.40	0.5	0.6
60	50.0	44.5	41.0	50.00	44.05	40.39	0.5	0.6
80	50.0	44.5	41.0	50.00	44.05	40.39	0.5	0.6
100	50.0	44.5	41.0	50.00	44.05	40.39	0.5	0.6
Steady(57)	50.0	44.5	41.0	50.00	44.05	40.39	0.5	0.6

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำเย็น การทดลอง (°C)			อุณหภูมิน้ำเย็น โปรแกรม (°C)			ความผิดพลาด T,lab-T,calc. (°C)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	กลางท่อ	ทางออก
0	27.0	30.5	35.5	27.00	29.79	33.86	0.7	1.6
20	27.0	30.0	35.0	27.00	29.16	32.53	0.8	2.5
40	27.0	30.0	35.0	27.00	29.18	32.44	0.8	2.6
60	27.0	30.0	35.0	27.00	29.19	32.43	0.8	2.6
80	27.0	30.0	35.0	27.00	29.19	32.43	0.8	2.6
100	27.0	30.0	35.0	27.00	29.19	32.43	0.8	2.6
Steady(57)	27.0	30.0	35.0	27.00	29.19	32.43	0.8	2.6

เวลา (วินาที)	ปริมาณความร้อน การทดลอง (W)			ปริมาณความร้อน โปรแกรม (W)		
	น้ำร้อน	น้ำเย็น	น้ำร้อน+น้ำเย็น	น้ำร้อน	น้ำเย็น	น้ำร้อน+น้ำเย็น
0	-371.88	468.29	96.41	-386.80	378.06	-8.74
20	-371.88	606.03	234.15	-393.33	419.21	25.88
40	-371.88	606.03	234.15	-396.62	411.93	15.32
60	-371.88	606.03	234.15	-397.04	411.59	14.54
80	-371.88	606.03	234.15	-397.04	411.59	14.54

เวลา (วินาที)	ปริมาณความร้อน การทดลอง (W)			ปริมาณความร้อน โปรแกรม (W)		
	น้ำร้อน	น้ำเย็น	น้ำร้อน+น้ำเย็น	น้ำร้อน	น้ำเย็น	น้ำร้อน+น้ำเย็น
100	-371.88	606.03	234.15	-397.04	411.59	14.54
Steady(57)	-371.88	606.03	234.15	-397.04	411.59	14.54

4.1.6 เปรียบเทียบการไหลแบบสวนทาง กรณีอุณหภูมิของน้ำร้อนเปลี่ยนไป (ภาวะคงตัว)

อุณหภูมิน้ำร้อนที่ 45, 50, 55, 60 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลน้ำร้อน 0.6 ลิตรต่อนาที

ค่าเรย์โนลด์น้ำร้อน 1523.5, 1718.4, 1924.4, 2129.7

อัตราการไหลน้ำเย็น 1.0 ลิตรต่อนาที

ค่าเรย์โนลด์น้ำเย็น 340.4

4.1.6.1	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)			อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)			ปริมาณความร้อน (W)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	น้ำร้อน	น้ำเย็น
การทดลอง	45.0	41.0	38.5	28.5	31.0	35.0	-266.7	440.2
โปรแกรม	45.0	40.7	38.1	28.5	30.1	32.6	-282.7	274.7
ความคลาดเคลื่อน T,lab-T,calc (°C)	0.0	0.3	0.4	0.0	0.9	2.4	_	_

4.1.6.2	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)			อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)			ปริมาณความร้อน (W)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	น้ำร้อน	น้ำเย็น
การทดลอง	50.0	45.0	41.0	26.5	30.5	35.5	-370.8	609.1
โปรแกรม	50.0	43.9	40.2	26.5	28.8	32.3	-404.0	390.6
ความคลาดเคลื่อน T,lab-T,calc (°C)	0.0	1.1	0.8	0.0	1.7	3.2	_	_

4.1.6.3	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)			อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)			ปริมาณความร้อน (W)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	น้ำร้อน	น้ำเย็น
การทดลอง	55.0	49.0	44.5	29.0	33.0	39.0	-434.6	678.7
โปรแกรม	55.0	48.2	44.1	29.0	31.6	35.4	-451.9	435.7
ความคลาดเคลื่อน T,lab-T,calc (°C)	0.0	0.8	0.4	0.0	1.5	3.6	_	_

4.1.6.4	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)			อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)			ปริมาณความร้อน (W)	
	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	ทางเข้า	กลางท่อ	ทางออก	น้ำร้อน	น้ำเย็น
การทดลอง	60.0	52.0	47.0	29.0	33.0	40.5	-540.3	781.1
โปรแกรม	60.0	51.8	46.9	29.0	32.1	36.7	-542.8	520.7
ความคลาดเคลื่อน T,lab-T,calc (°C)	0.0	0.2	0.1	0.0	0.9	3.8	_	_

หมายเหตุ ปริมาณความร้อน = $Q*\rho*C_p*\Delta T$ (W)

เมื่อ Q = Flow rate (m^3/sec)

ρ = Density (kg/ m^3)

C_p = Heat capacity (kJ/kg/K)

ΔT =(T,in-T,out) (°C)

4.2 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณและผลการทดลอง

1. กรณีการถ่ายโอนความร้อนแบบไหลขนานพบว่าผลที่ได้จากโปรแกรมให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับการทดลองในเชิงของอุณหภูมิโดยมีความผิดพลาด $\pm$1.5 °C คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 20 %
2. ส่วนกรณีการถ่ายโอนความร้อนแบบไหลสวนทางพบว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมมีความแตกต่างจากค่าในการทดลองค่อนข้างสูง แต่เมื่อนำอุณหภูมิจากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์ในเชิงปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนจากน้ำร้อนไปสู่น้ำเย็น พบว่าให้ค่าความร้อนที่น้ำเย็นได้รับที่มีค่าสูงกว่าที่น้ำร้อนให้มาก แสดงว่ามีความร้อนส่วนเกินเข้ามาสู่ระบบและถ่ายโอนความร้อนไปสู่

น้ำเย็น แต่ผลที่คำนวณได้จากโปรแกรมควบคุมด้วยสมการอนุรักษ์พลังงานไม่มีความร้อนส่วนเกินนี้ แสดงให้เห็นว่าการถ่ายโอนความร้อนแบบไหลสวนทางจะมีการถ่ายโอนความร้อนดีกว่าการถ่ายโอนแบบขนานซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี จึงสรุปว่าการถ่ายโอนความร้อนแบบสวนทางไม่สามารถเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองได้

4.3 วิเคราะห์การทำงานของโปรแกรม

ศึกษาการจำลองการถ่ายโอนความร้อนของของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นในระบบพิกัดทรงกระบอก 2 มิติ ที่ภาวะคงตัวและ ภาวะไม่คงตัวโดยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขแบบไฟไนต์ดิฟเฟอร์เรนซ์ ในการคำนวณสมการความต่อเนื่อง, สมการโมเมนตัมในทิศทางตามยาวท่อและทิศทางรัศมี และสมการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้ SIMPLE อัลกอลิทึมของ Patankar (1972) เข้ามาช่วยในการคำนวณมีรายละเอียดของซอฟท์แวร์ที่ใช้ดังนี้

4.3.1 โปรแกรมคำนวณ

1.1 Fortran PowerStation 4.0

1.2 โปรแกรมมีขนาดไฟล์ 53 KB ขนาดของ .EXE 253 KB

1.3 หน่วยประมวลผล (CPU) 128 MB

1.4 หน่วยความจำ Pentium III 450 MHz

1.5 ระบบปฏิบัติการ Microsoft Window 98

โดยเวลาที่ใช้คำนวณหลังจากใส่ค่าทุกอย่างเรียบร้อยแล้วกรณีภาวะคงตัวประมาณ 45 นาทีและกรณีภาวะไม่คงตัวประมาณ 5 ชั่วโมง ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในโปรแกรม (tolerance) 1.0E-7 กรณีภาวะคงตัว และ 1.0E-5 กรณีภาวะไม่คงตัว ปัญหาที่พบในการคำนวณหาความเร็วที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของสมการโมเมนตัมที่ไม่ทราบค่าความดันจึงเริ่มคำนวณจากการสมมุติค่า แต่ค่าที่สมมุติไม่มีค่าที่สอดคล้องกับกรณีปัญหาการพัฒนาความเร็วที่ปากทางเข้าของท่อ และวิธี SIMPLE อัลกอลิทึมยังไม่ใช่อัลกอลิทึมที่ให้ผลการคำนวณไปสู่ค่าคำตอบเร็วมากนัก นอกจากนี้ในการคำนวณกำหนดให้ค่าคุณสมบัติของของไหลไม่คงที่ ดังนั้นในการคำนวณจำเป็นต้องใช้ตัวถ่วงน้ำหนัก (under relaxation) จึงทำให้การคำนวณใช้เวลานานขึ้น ดังนั้นผู้พัฒนาโปรแกรมจึงพยายามประยุกต์นำอัลกอลิทึมอื่น ๆ เช่น SIMPLER, SIMPLEC และ PISO (Versteeg,1995) เข้ามาใช้แต่ปัญหาที่พบคือวิธีการต่างไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งนี้เนื่องจากตัวอัลกอลิทึมไม่ให้รายละเอียดที่กระจ่างชัดนักและสามารถคำนวณได้ในบางปัญหาเท่านั้น

4.3.2 โปรแกรมแสดงผล

พัฒนาจากโปรแกรม MATLAB version 5.3 (student edition) โดยนำผลที่คำนวณได้จาก ข้อ 4.3.1. ในรูปเมทริกซ์มาแสดงเป็นกราฟฟิกเพื่อให้เห็นปรากฏการ์ชัดเจน

4.4 วิเคราะห์ความผิดพลาดจากการทดลอง

1. เนื่องจากผลที่ได้จากการทดลองกรณีการไหลแบบสวนทาง ปริมาณความร้อนที่น้ำเย็นได้รับสูงกว่าปริมาณความร้อนที่น้ำร้อนให้ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อนทั้งนี้ปริมาณความร้อนส่วนเกินที่น้ำเย็นได้รับอาจมาจากปริมาณความร้อนที่ผนังท่อน้ำร้อนได้ถ่ายโอนให้กับน้ำเย็น และน่าจะเกิดขึ้นในกรณีที่อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดไม่ใหญ่มาก
2. ในการคำนวณการถ่ายโอนความร้อน ค่าการนำความร้อนของน้ำที่ใช้ในโปรแกรมมีค่าเป็น 2 เท่าของค่าการนำความร้อนของน้ำ จึงจะทำให้ค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมได้ผลสอดคล้องกับการทดลอง เป็นไปได้ว่าในปรากฏการณ์การถ่ายโอนความร้อนจริงของของไหลบางช่วงอาจเกิดการไหลแบบปั่นป่วนจากการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านเทอร์โมมิเตอร์ที่ตำแหน่งทางเข้าท่อ ตรงกลางท่อ และทางออกจากท่อจึงทำให้การทดลองมีการถ่ายโอนความร้อนสูงกว่าการคำนวณ

4.5 ตัวอย่างผลการคำนวณแสดงเป็นกราฟฟิก

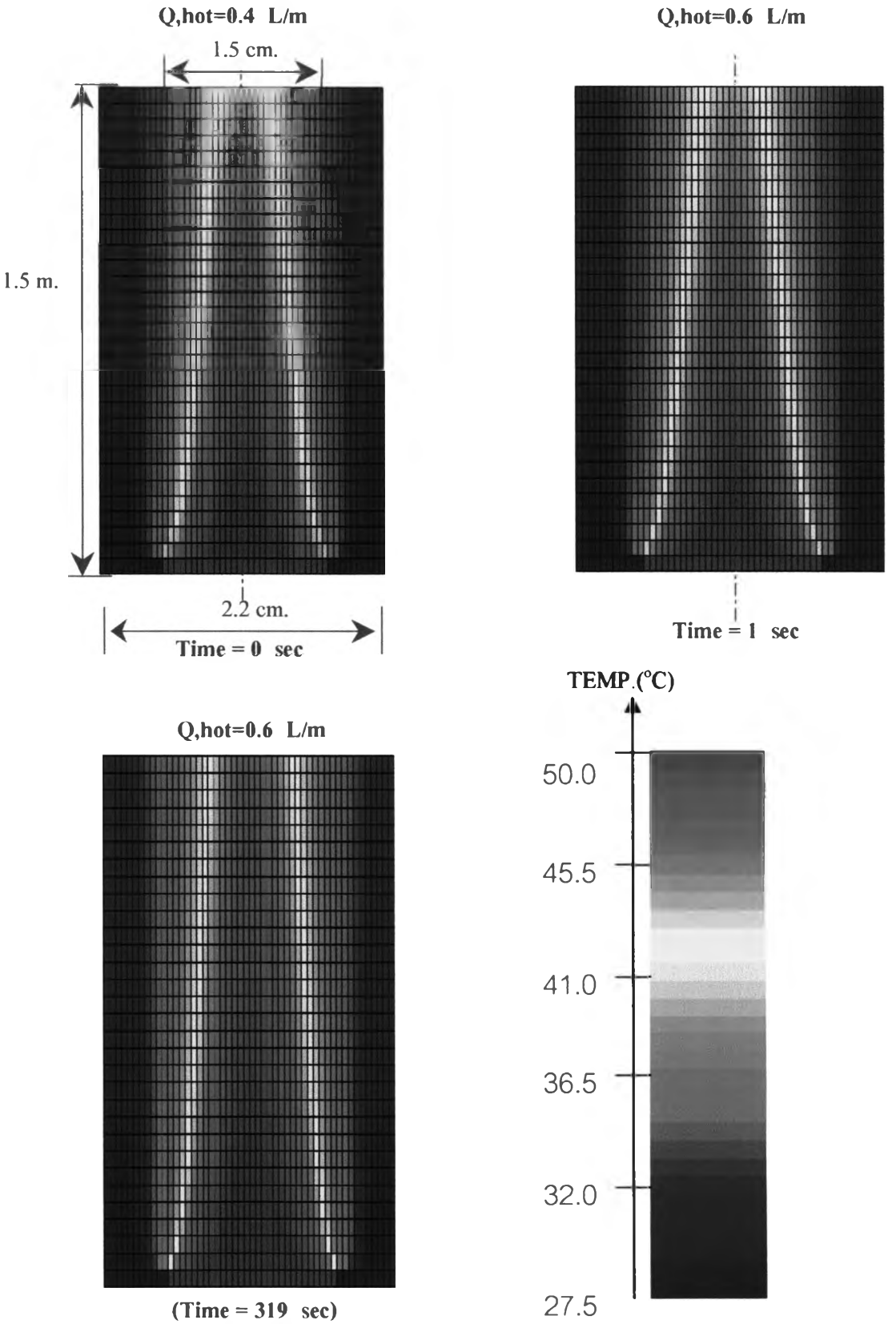
แสดงผลการคำนวณในรูปกราฟฟิกในกรณีการไหลแบบชนานที่ภาวะไม่คงตัว พิจารณาทีอัตราการไหลของน้ำร้อนเปลี่ยนไป

ค่าเริ่มต้น (t=0)

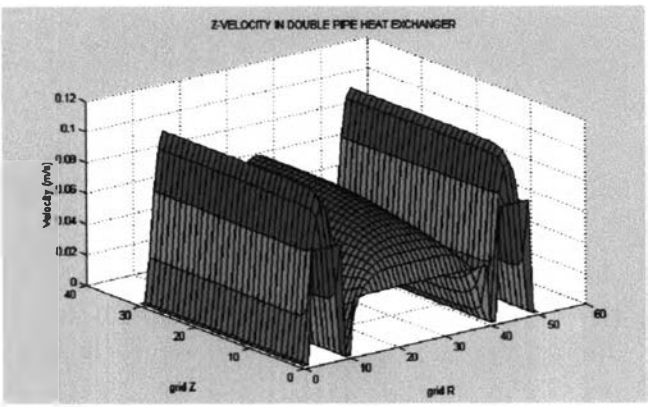
อุณหภูมิน้ำร้อน	50	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลน้ำร้อน	0.4*	ลิตรต่อนาที
ค่าเรย์โนลด์น้ำร้อน	1145.6	
อุณหภูมิน้ำเย็น	27.5	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลน้ำเย็น	1.0	ลิตรต่อนาที
ค่าเรย์โนลด์น้ำเย็น	332.6	

ค่าที่เวลา (t >0 sec)

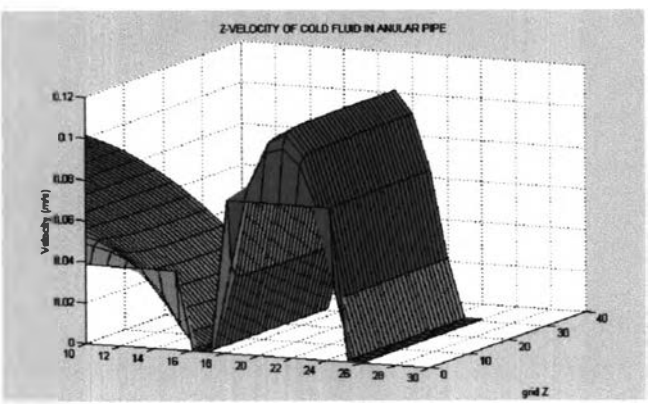
อัตราการไหลน้ำร้อน	0.6*	ลิตรต่อนาที
ค่าเรย์โนลด์น้ำร้อน	1718.4	



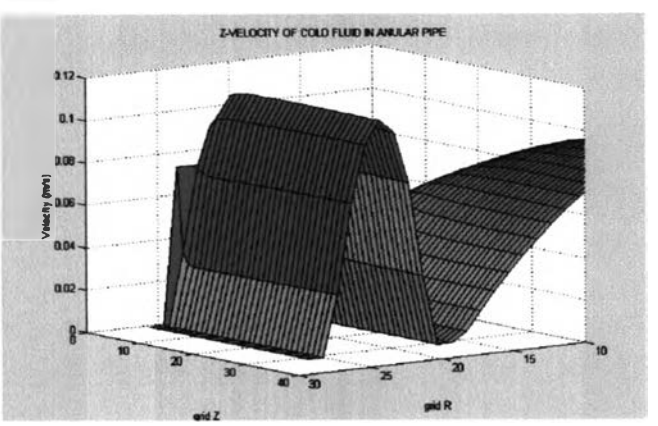
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นแบบไหลขนาน (ก) อุณหภูมิภาวะเริ่มต้น (ข) และ (ค) การเปลี่ยนอุณหภูมิเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (ง) แถบสีแสดงค่าอุณหภูมิ



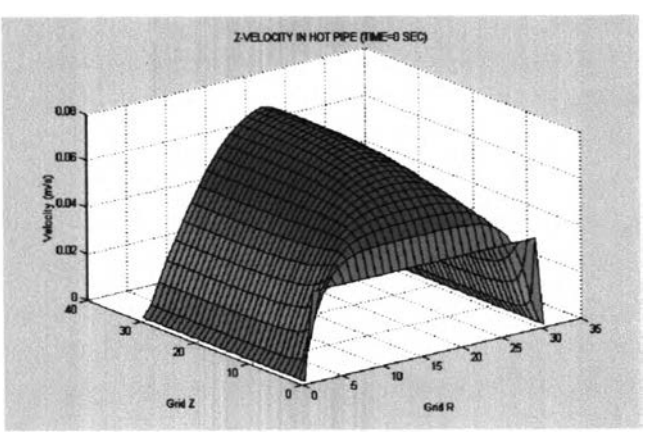
รูปที่ 4.2 ความเร็วของของไหลในท่อในและท่อนอกที่ภาวะเริ่มต้น



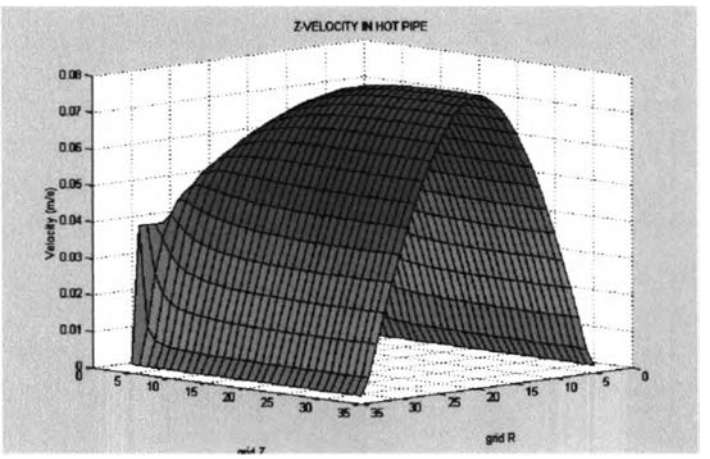
รูปที่ 4.3 ความเร็วของของไหลในท่อนอกที่ตำแหน่งทางเข้าโดยกำหนดความเร็วเท่ากันทุกจุด



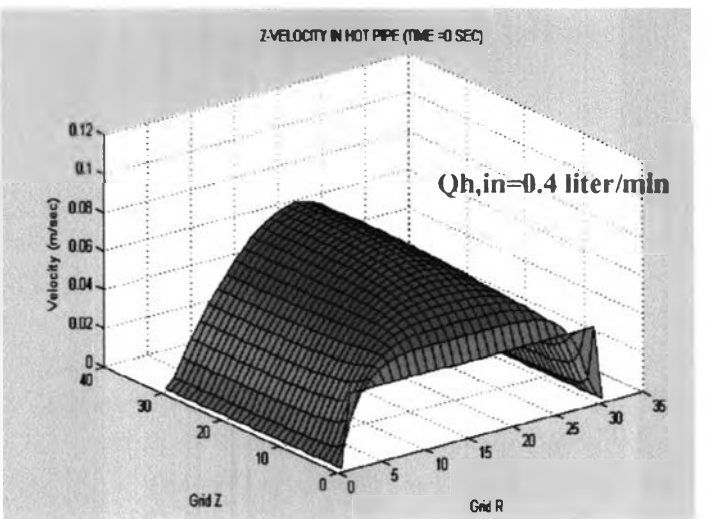
รูปที่ 4.4 ความเร็วของของไหลในท่อนอกที่ตำแหน่งทางออกความเร็วจะจัดรูปเป็นพาราโบลา



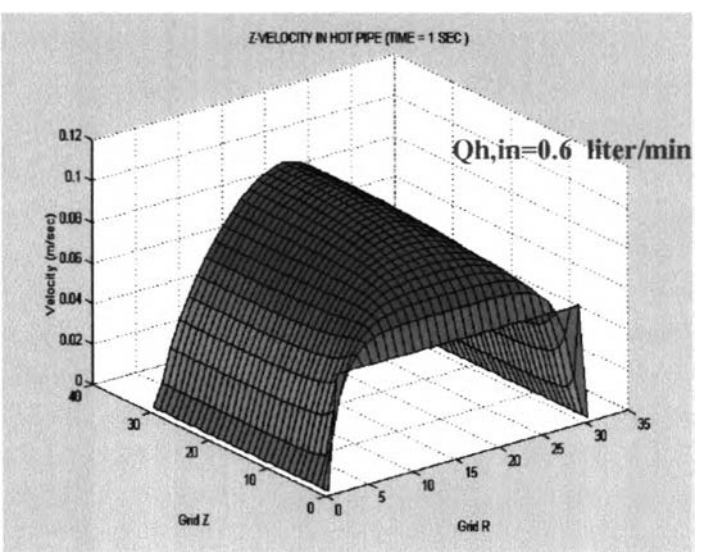
รูปที่ 4.5 ความเร็วของของไหลในท่อในที่ตำแหน่งทางเข้าโดยกำหนดความเร็วเท่ากันทุกจุด



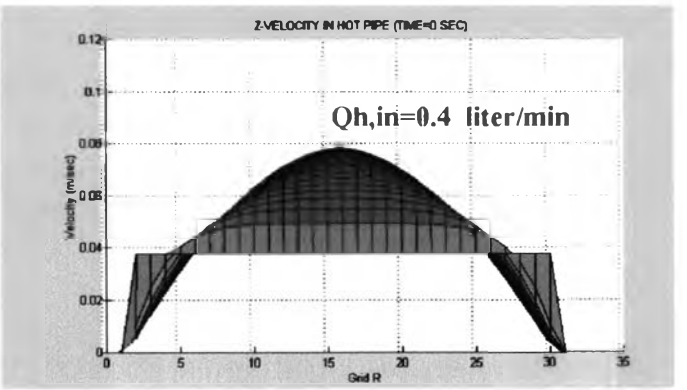
รูปที่ 4.6 ความเร็วของของไหลในท่อในที่ตำแหน่งทางออกความเร็วจะจัดรูปเป็นพาราโบลา



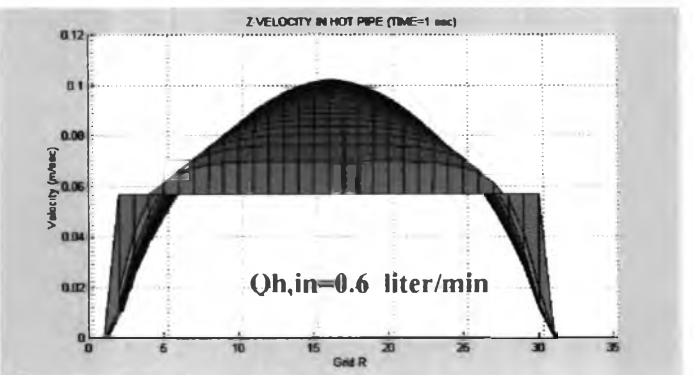
รูปที่ 4.7 ความเร็วของของไหลในท่อในที่ภาวะเริ่มต้น



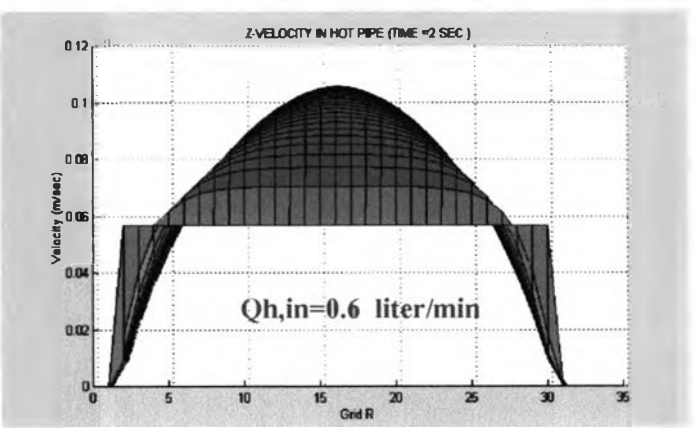
รูปที่ 4.8 ความเร็วของของไหลในท่อในหลังจากปรับอัตราการไหลเป็น 0.6 ลิตรต่อนาที เมื่อเวลาผ่านไป 1 วินาที



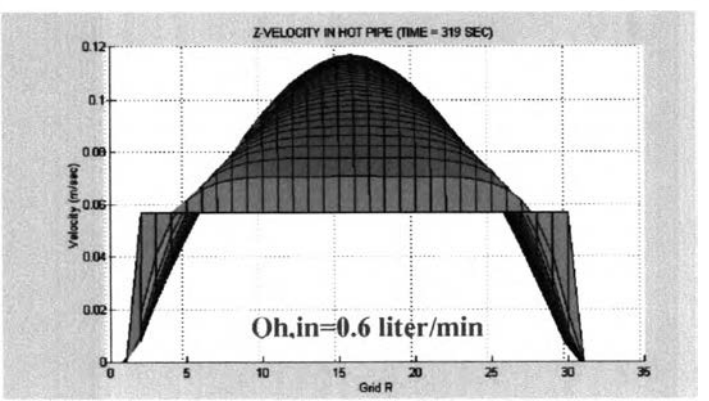
รูปที่ 4.9 ความเร็วของของไหลในท่อในเมื่อพิจารณาจากด้านหน้าของรูปที่ 4.7 ที่ภาวะเริ่มต้น



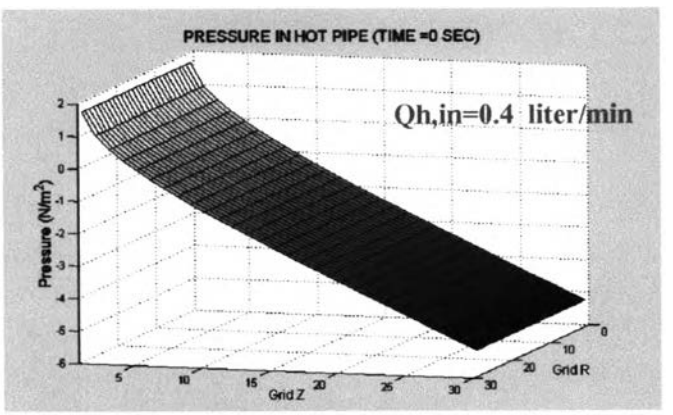
รูปที่ 4.10 ความเร็วของของไหลในท่อในเมื่อพิจารณาจากด้านหน้าของรูปที่ 4.8 เมื่อปรับอัตราการไหลที่เวลา 1 วินาที



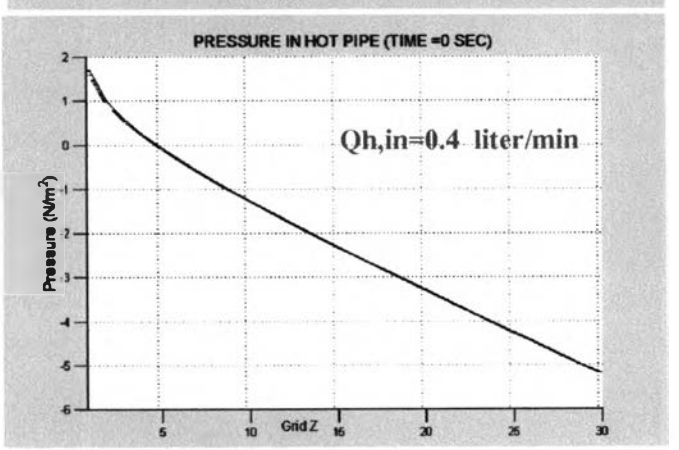
รูปที่ 4.11 ความเร็วของของไหลในท่อในเมื่อพิจารณาจากที่เวลา 2 วินาที



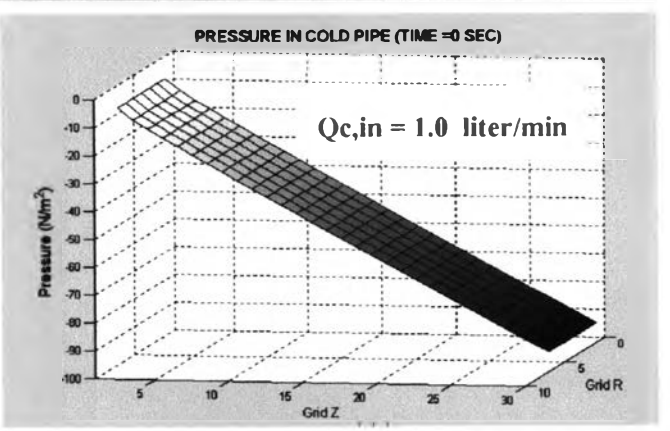
รูปที่ 4.12 ความเร็วของของไหลในท่อในเมื่อพิจารณาจากที่เวลา 319 วินาทีเป็นภาวะคงตัวที่อัตราการไหล 0.6 ลิตรต่อนาที



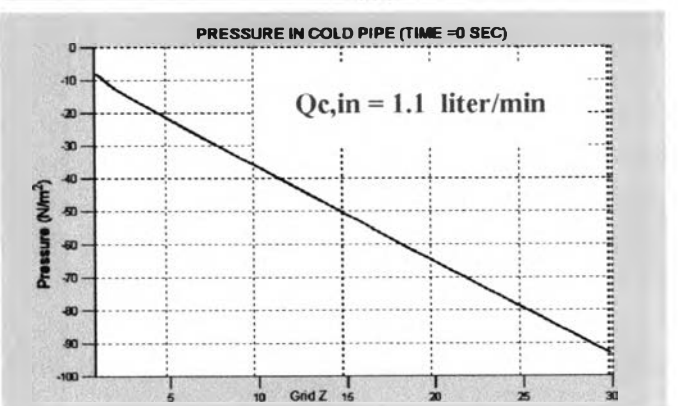
รูปที่ 4.13 ความดันของของไหลในท่อในที่ภาวะเริ่มต้น



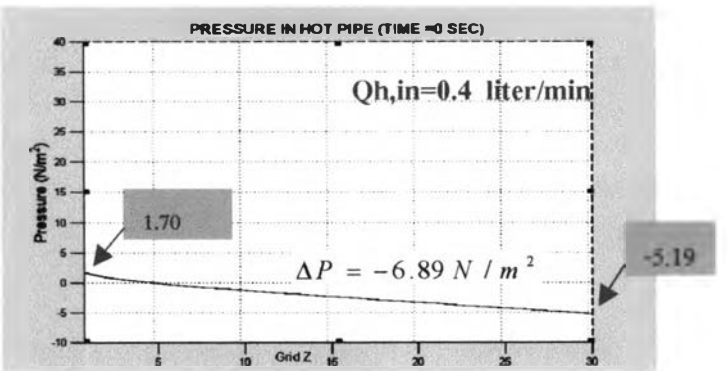
รูปที่ 4.14 ความดันของของไหลในท่อในที่ภาวะเริ่มต้นในทิศด้านข้างของรูปที่ 4.13



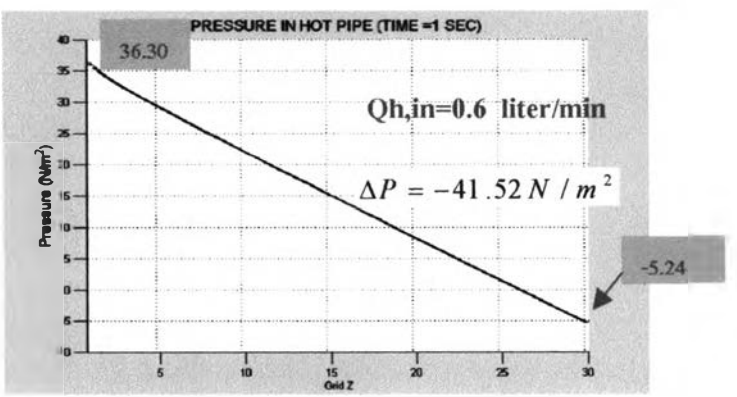
รูปที่ 4.15 ความดันของของไหลในท่อนอกที่ภาวะเริ่มต้น



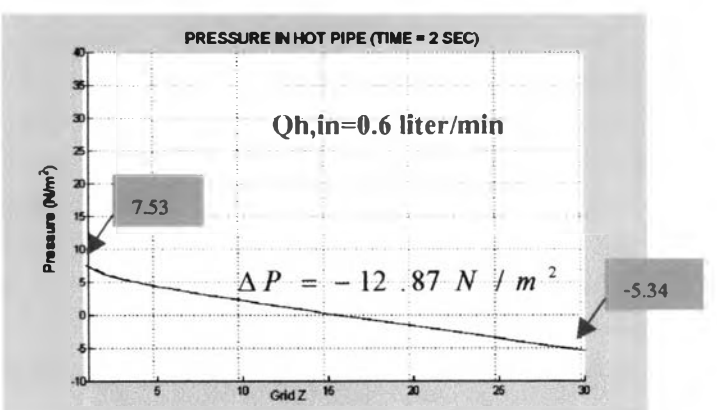
รูปที่ 4.16 ความดันของของไหลในท่อในที่ภาวะเริ่มต้นในทิศด้านข้างของรูปที่ 4.15



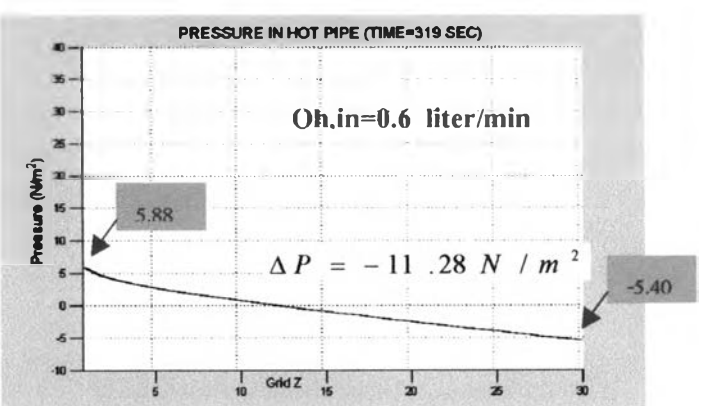
รูปที่ 4.17 ความดันของของไหลในท่อในที่ภาวะเริ่มต้น อัตราการไหลของของไหลเท่ากับ 0.4 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.18 ความดันของของไหลในท่อในหลังจากปรับอัตราการไหลของของไหลเท่ากับ 0.6 ลิตรต่อนาที ที่เวลาผ่านไป 1 วินาที



รูปที่ 4.19 ความดันของของไหลในท่อในหลังจากปรับอัตราการไหลของของไหลเท่ากับ 0.6 ลิตรต่อนาที ที่เวลาผ่านไป 2 วินาที



รูปที่ 4.19 ความดันของของไหลในท่อในเป็นภาวะคงตัวที่อัตราการไหลของของไหลเท่ากับ 0.6 ลิตรต่อนาที เมื่อเวลา 319 วินาที

ตัวอย่างผลการจำลองการถ่ายโอนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น รูปที่ 3.36 แสดงการไหลแบบไหลขนานที่ภาวะไม่คงตัว โดยถือว่าไม่มีการถ่ายโอนความร้อนบริเวณด้านบนและไม่มีความร้อนสูญเสียออกจากอุปกรณ์ ผลการจำลองการถ่ายโอนความร้อนแสดงดังรูปที่ 4.1 เมื่อรูปที่ 4.1 ก เป็นอุณหภูมิที่ภาวะเริ่มต้นหรือที่เวลาเป็นศูนย์ หลังจากนั้นเพิ่มอัตราการไหลของน้ำร้อนจาก 0.4 ลิตรต่อนาทีเป็น 0.6 ลิตรต่อนาที รูปที่ 4.1 ข แสดงอุณหภูมิเมื่อเวลาผ่านไป 1 วินาที ส่วนรูปที่ 4.1 ค แสดงอุณหภูมิที่ภาวะคงตัวใหม่ โดยค่าของอุณหภูมิอ่านได้จากรูปที่ 4.1 ง

รูปที่ 4.2 ถึง 4.6 แสดงลักษณะความเร็วของของไหลในแนวแกนท่อ จากรูปแสดงความเร็วของของไหลในท่อในและท่อวงแหวน กำหนดให้ความเร็วของของไหลคงที่ทุกตำแหน่งที่ปากทางเข้าท่อพบว่า ของไหลที่ไหลเข้าไปในท่อจะจัดรูปแบบการไหลเป็นพาราโบลา ส่วนรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.9 แสดงความเร็วของของไหลที่ภาวะเริ่มต้นภายในท่อน้ำร้อน จากนั้นเพิ่มอัตราการไหลของน้ำร้อน พบว่ารูปแบบการไหลมีลักษณะเป็นพาราโบลาที่มีความชันเพิ่มขึ้นแสดงในรูปที่ 4.9 ถึงรูปที่ 4.12

รูปที่ 4.13 ถึง 4.16 แสดงผลของความดันในท่อในและท่อวงแหวน พบว่าความดันมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีค่าความชันเป็นลบ โดยจากรูปที่ 4.14 และ 4.16 จะเห็นว่าความดันตกลดลงอย่างรวดเร็วบริเวณปากทางเข้าท่อต่อจากนั้นจะลดลงอย่างคงที่ รูปที่ 4.17 แสดงความดันที่ภาวะเริ่มต้น จากนั้นปรับเพิ่มอัตราการไหลของน้ำร้อน พบว่าความดันจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วหลังจากปรับอัตราการไหลและจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป แสดงในรูปที่ 4.18 ถึงรูปที่ 4.20