



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

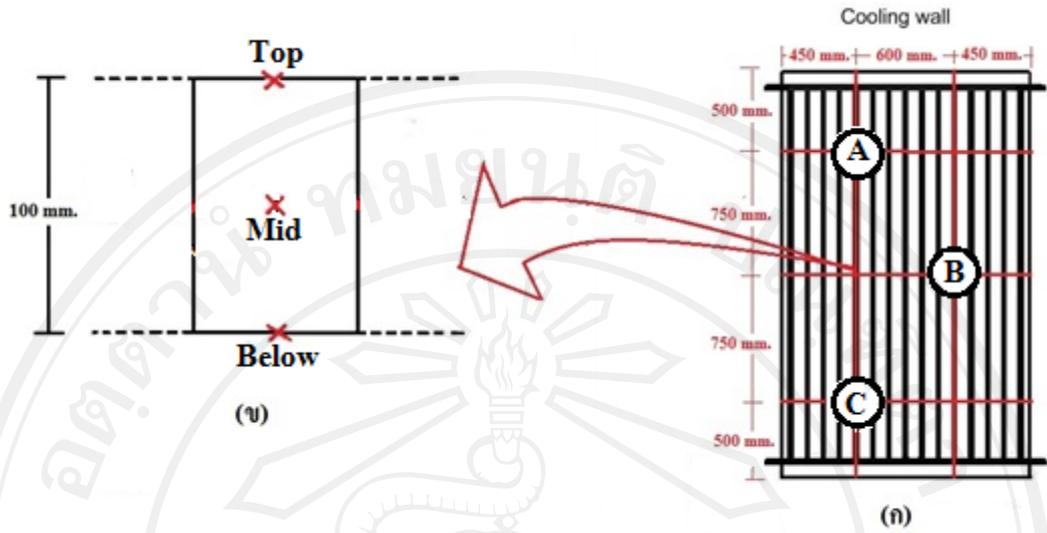
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



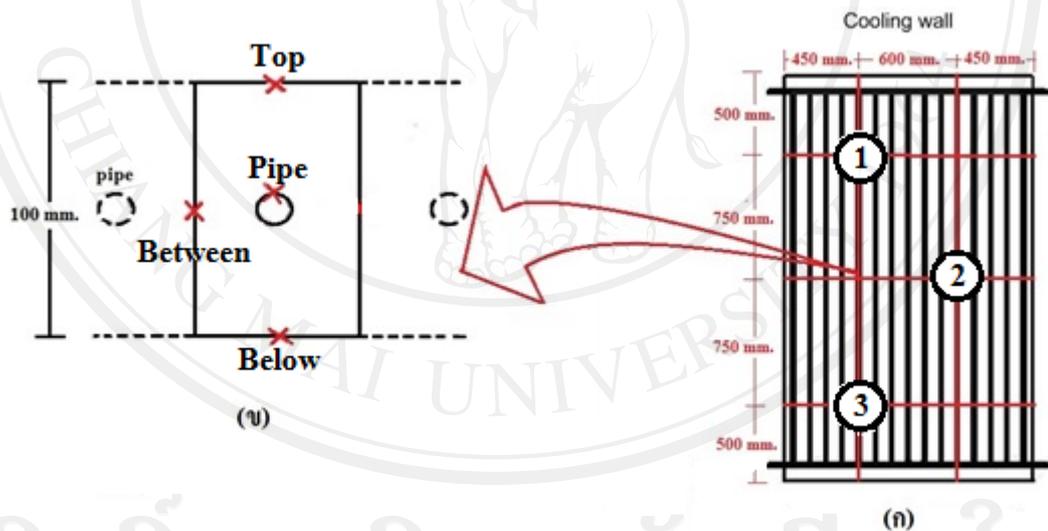
ภาคผนวก ก
ข้อมูลผลการทดสอบจริง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวัดค่าอุณหภูมิของผนังปกติและผนังเย็น จะสามารถวัดได้ดังรูปที่ ก 1 และ ก 2 ตามลำดับ



รูป ก 1 ตำแหน่งการวัดค่าอุณหภูมิของผนังปกติ



รูป ก 2 ตำแหน่งการวัดค่าอุณหภูมิของผนังเย็น

ตาราง ก 1 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 1) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ A) ในวันที่ 26 พฤศจิกายน 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 2 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top A	T mid A	T below A	T top 1	T between 1	T pipe 1	T below 1					
9:00	26.4	22.10	19.70	26.70	20.00	19.60	19.70	36.50	35.40	26.90	20.30	443.28
9:30	30.40	25.20	21.80	30.80	23.70	22.90	22.70	35.80	34.00	31.80	23.20	559.14
10:00	34.20	28.80	24.40	35.30	27.50	26.50	25.80	36.20	33.30	33.20	24.50	676.64
10:30	39.10	32.90	27.50	41.60	32.70	31.40	30.10	36.10	33.30	34.10	27.80	772.67
11:00	45.20	37.30	31.00	47.10	36.50	35.10	33.20	35.10	32.60	34.00	31.20	843.63
11:30	50.40	42.40	35.30	50.40	39.40	37.80	35.40	37.20	35.60	37.80	32.40	893.50
12:00	48.70	43.30	36.20	52.00	41.60	39.90	37.30	38.60	36.50	39.20	34.90	925.23
12:30	52.00	46.40	38.40	54.20	43.90	42.10	39.30	39.60	38.20	40.80	35.70	942.91
13:00	54.60	48.80	40.60	55.80	45.70	43.70	40.70	41.10	39.50	42.10	35.80	940.92
13:30	53.90	50.20	42.20	55.80	47.00	45.10	42.00	42.70	41.00	43.30	37.20	874.74
14:00	54.50	50.67	43.87	56.10	47.70	46.00	43.20	44.10	42.30	44.30	37.40	870.32
14:30	54.10	51.50	44.60	55.90	48.30	46.60	43.70	45.20	43.50	45.30	37.50	803.33
15:00	51.50	50.00	44.50	53.30	47.60	46.20	43.70	46.50	44.40	45.40	37.70	716.22
15:30	49.40	49.30	44.40	51.00	47.30	46.10	43.60	47.40	45.10	46.10	35.80	589.53
16:00	45.90	47.60	43.80	47.60	46.30	45.50	43.40	47.80	45.60	46.10	30.20	466.27

ตาราง ก 2 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 2) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ B) ในวันที่ 26 พฤศจิกายน 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 2 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top B	T mid B	T below B	T top 2	T between 2	T pipe 2	T below 2					
9:00	27.00	21.20	19.00	26.30	23.50	19.70	19.50	36.50	35.40	26.90	20.30	443.28
9:30	31.10	24.40	21.60	31.90	29.80	26.30	25.30	35.80	34.00	31.80	23.20	559.14
10:00	35.30	28.00	24.30	37.30	32.60	30.90	28.20	36.20	33.30	33.20	24.50	676.64
10:30	39.80	32.00	27.20	39.60	35.90	32.40	27.80	36.10	33.30	34.10	27.80	772.67
11:00	45.70	36.20	29.50	46.80	37.90	37.00	32.30	35.10	32.60	34.00	31.20	843.63
11:30	50.60	41.10	30.00	50.80	39.40	40.50	34.50	37.20	35.60	37.80	32.40	893.50
12:00	49.70	42.10	35.20	51.50	40.60	42.10	35.40	38.60	36.50	39.20	34.90	925.23
12:30	51.30	44.70	37.50	53.10	42.00	43.80	37.20	39.60	38.20	40.80	35.70	942.91
13:00	54.10	46.60	39.10	54.00	43.10	44.80	37.80	41.10	39.50	42.10	35.80	940.92
13:30	52.90	47.70	40.50	52.80	44.10	45.60	39.00	42.70	41.00	43.30	37.20	874.74
14:00	53.50	48.23	41.23	53.20	45.00	46.00	39.60	44.10	42.30	44.30	37.40	870.32
14:30	52.40	48.80	42.10	52.80	45.50	46.50	40.00	45.20	43.50	45.30	37.50	803.33
15:00	50.80	47.70	42.00	51.20	45.50	46.00	39.90	46.50	44.40	45.40	37.70	716.22
15:30	48.20	47.00	41.90	48.50	45.60	45.90	40.30	47.40	45.10	46.10	35.80	589.53
16:00	45.10	45.80	41.50	45.80	45.20	45.20	39.90	47.80	45.60	46.10	30.20	466.27

ตาราง ก 3 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 3) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ C) ในวันที่ 26 พฤศจิกายน 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 2 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top C	T mid C	T below C	T top 3	T between 3	T pipe 3	T below 3					
9:00	23.60	21.20	21.00	28.70	20.80	24.40	19.50	23.20	23.40	20.40	24.30	487.01
9:30	26.40	25.50	23.50	30.90	24.00	24.00	22.80	26.00	24.90	25.20	25.00	600.98
10:00	29.70	28.20	23.80	34.60	27.10	28.70	25.20	26.90	25.00	28.20	24.30	693.68
10:30	33.20	30.40	25.80	39.30	31.20	34.30	28.70	27.50	25.10	30.70	24.80	636.42
11:00	36.20	33.00	28.20	42.90	35.70	36.90	31.90	27.90	24.80	32.30	26.70	770.32
11:30	36.30	36.20	28.40	45.10	38.20	38.20	33.90	28.20	25.00	34.60	27.40	883.85
12:00	41.10	34.70	28.40	46.40	39.70	39.30	35.00	29.50	27.00	34.80	29.80	936.51
12:30	43.50	35.00	29.40	48.20	41.20	40.40	36.50	29.60	27.20	37.20	27.00	920.28
13:00	44.50	34.00	30.00	48.60	44.90	41.70	37.60	30.00	27.30	38.40	26.60	895.66
13:30	45.80	35.70	30.30	50.70	34.70	43.30	38.90	29.70	27.90	36.40	27.70	835.70
14:00	45.53	37.50	30.60	48.60	32.2	44.20	39.80	29.90	30.90	36.40	27.70	807.92
14:30	45.20	35.90	30.40	47.90	37.20	45.20	40.50	31.70	34.00	36.30	29.10	761.40
15:00	42.90	35.20	32.10	45.10	42.80	44.90	40.20	34.10	35.20	36.70	29.10	619.38
15:30	41.50	35.50	30.40	43.60	39.60	45.40	40.90	35.50	35.20	35.80	29.30	500.62
16:00	39.30	34.50	29.50	40.80	42.70	44.90	40.40	36.60	34.70	35.60	27.50	396.48

ตาราง ก 4ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 1) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ A) ในวันที่ 28พฤศจิกายน2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 2 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top A	T mid A	T below A	T top 1	T between 1	T pipe 1	T below 1					
9:00	28.3	22.70	19.50	27.73	20.40	20.00	19.70	34.00	32.00	23.20	21.5	497.92
9:30	32.10	26.20	21.80	31.70	23.90	23.80	22.80	32.70	31.20	28.50	22.70	610.54
10:00	37.20	29.90	24.30	36.40	27.60	26.50	25.50	33.30	30.40	31.10	23.90	712.97
10:30	42.90	34.80	28.00	44.30	33.50	32.30	30.80	32.00	29.50	30.80	23.80	798.28
11:00	45.60	38.80	31.20	45.80	35.70	34.10	32.10	31.50	26.90	29.90	25.90	863.11
11:30	50.60	42.60	34.10	49.80	38.40	36.70	34.00	34.30	32.90	36.10	27.27	906.028
12:00	51.50	44.60	35.80	51.70	40.60	38.70	36.10	35.40	34.30	37.10	28.30	939.15
12:30	53.30	47.40	38.40	53.80	42.70	40.70	38.00	36.60	35.50	39.00	29.40	951.02
13:00	55.30	49.80	40.90	55.80	44.9	42.80	40.10	38.13	37.23	40.87	30.20	960.31
13:30	55.50	51.20	42.70	56.10	46.40	44.30	41.50	39.80	38.50	41.60	30.50	883.67
14:00	56.00	52.00	43.90	57.00	47.30	45.30	42.40	41.50	40.00	42.70	31.30	866.08
14:30	54.90	52.30	45.00	56.40	47.90	46.10	43.00	42.90	41.50	43.70	30.30	804.05
15:00	53.50	52.00	45.60	55.20	48.10	46.50	43.70	44.30	42.80	44.70	32.80	707.84
15:30	51.10	50.70	45.20	52.70	47.80	46.50	43.70	45.70	43.40	45.30	30.60	616.13
16:00	48.80	49.40	45.40	49.30	47.10	46.10	44.00	45.60	44.30	45.00	29.50	488.81

ตาราง ก 5ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 2) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ B) ในวันที่ 28พฤศจิกายน2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 2 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top B	T mid B	T below B	T top 2	T between 2	T pipe 2	T below 2					
9:00	28.50	21.70	18.80	27.53	22.43	20.33	19.63	34.00	32.00	23.20	21.5	497.92
9:30	32.70	25.10	21.30	33.00	27.80	25.70	24.00	32.70	31.20	28.50	22.70	610.54
10:00	37.20	28.60	23.80	38.10	30.90	30.10	27.00	33.30	30.40	31.10	23.90	712.97
10:30	42.80	33.10	27.00	39.50	35.70	29.70	25.20	32.00	29.50	30.80	23.80	798.28
11:00	46.50	36.80	27.20	46.50	36.30	36.50	31.20	31.50	26.90	29.90	25.90	863.11
11:30	50.20	40.20	29.50	50.23	37.20	39.13	32.97	34.30	32.90	36.10	27.27	906.028
12:00	51.20	42.30	34.30	51.70	38.70	40.80	34.20	35.40	34.30	37.10	28.30	939.15
12:30	53.40	44.70	36.30	52.80	40.20	42.30	35.60	36.60	35.50	39.00	29.40	951.02
13:00	54.70	46.90	38.40	54.50	41.80	44.00	37.20	38.13	37.23	40.87	30.20	960.31
13:30	54.80	48.40	40.50	54.40	42.90	45.10	38.50	39.80	38.50	41.60	30.50	883.67
14:00	55.40	49.00	41.60	55.00	43.90	45.80	39.20	41.50	40.00	42.70	31.30	866.08
14:30	53.40	49.10	42.40	54.60	44.90	46.60	39.70	42.90	41.50	43.70	30.30	804.05
15:00	51.20	48.70	42.70	53.60	45.40	46.70	40.10	44.30	42.80	44.70	32.80	707.84
15:30	49.00	47.50	42.20	51.60	45.60	46.50	40.40	45.70	43.40	45.30	30.60	616.13
16:00	44.90	46.10	41.50	48.50	45.50	46.00	40.70	45.60	44.30	45.00	29.50	488.81

ตาราง ก ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 3) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ C) ในวันที่ 28พฤศจิกายน2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 2 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top C	T mid C	T below C	T top 3	T between 3	T pipe 3	T below 3					
9:00	24.50	20.40	20.20	27.40	20.90	22.30	19.20	34.00	32.00	23.20	21.5	497.92
9:30	26.90	25.50	21.70	30.20	23.70	22.70	21.90	32.70	31.20	28.50	22.70	610.54
10:00	30.30	27.70	23.70	34.50	27.40	26.90	24.50	33.30	30.40	31.10	23.90	712.97
10:30	33.70	30.50	25.60	38.50	30.00	31.50	27.90	32.00	29.50	30.80	23.80	798.28
11:00	33.30	33.10	26.80	41.90	33.80	35.40	30.80	31.50	26.90	29.90	25.90	863.11
11:30	37.20	33.20	26.40	44.00	38.80	35.90	32.20	34.30	32.90	36.10	27.27	906.028
12:00	41.10	33.40	28.50	44.60	29.20	37.30	33.30	35.40	34.30	37.10	28.30	939.15
12:30	42.70	33.80	29.60	46.80	41.00	38.30	35.10	36.60	35.50	39.00	29.40	951.02
13:00	44.60	34.40	30.07	47.60	45.07	39.43	36.70	38.13	37.23	40.87	30.20	960.31
13:30	45.10	34.60	32.00	47.80	34.60	41.70	38.10	39.80	38.50	41.60	30.50	883.67
14:00	45.40	34.90	31.50	48.10	36.30	43.00	38.90	41.50	40.00	42.70	31.30	866.08
14:30	45.90	35.00	30.90	48.50	40.20	43.80	39.50	42.90	41.50	43.70	30.30	804.05
15:00	44.90	34.90	31.70	46.10	41.50	44.30	40.00	44.30	42.80	44.70	32.80	707.84
15:30	43.40	33.80	30.10	44.50	44.40	44.20	40.20	45.70	43.40	45.30	30.60	616.13
16:00	24.50	20.40	31.00	40.80	41.80	43.70	40.80	45.60	44.30	45.00	29.50	488.81

ตาราง ก 7ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 1) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ A) ในวันที่ 30 พฤศจิกายน 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 2 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top A	T mid A	T below A	T top 1	T between 1	T pipe 1	T below 1					
9:00	27.60	23.60	21.40	26.60	21.60	21.50	21.60	25.00	22.10	22.80	22.50	523.53
9:30	31.40	26.60	23.00	29.80	24.50	24.10	23.70	25.20	22.30	24.70	23.20	616.94
10:00	30.40	28.00	24.40	29.50	26.80	26.50	25.40	25.70	23.00	26.10	23.60	420.82
10:30	26.30	26.40	24.80	25.80	26.60	26.50	25.50	24.60	24.80	25.60	23.00	113.43
11:00	37.90	30.70	26.80	35.50	27.40	27.30	26.90	27.20	25.40	27.20	25.70	739.94
11:30	43.30	35.30	29.10	40.60	31.40	30.70	29.70	28.60	26.80	29.20	29.10	889.35
12:00	46.00	38.60	31.70	43.70	34.90	34.30	32.50	30.90	27.20	32.90	29.80	912.07
12:30	48.60	41.70	34.30	46.10	37.80	37.00	34.90	30.90	28.90	34.70	29.90	904.04
13:00	51.10	44.30	36.30	47.90	39.90	39.10	36.40	32.90	32.80	36.40	29.60	886.46
13:30	51.50	46.20	38.00	48.80	41.60	40.80	37.70	36.30	34.50	38.50	30.60	836.51
14:00	52.40	46.70	39.10	49.80	42.70	42.10	38.50	38.00	36.90	39.90	30.80	775.55
14:30	51.10	47.10	40.30	47.60	43.20	42.70	39.30	40.30	38.40	41.20	30.10	699.99
15:00	49.80	46.50	40.10	46.40	43.10	42.80	39.40	41.80	39.80	41.80	31.50	605.49
15:30	47.70	45.50	39.20	45.90	42.80	42.80	39.30	42.90	40.90	42.30	30.70	509.19
16:00	43.50	44.10	39.20	42.10	42.60	42.80	39.30	42.50	40.20	40.70	29.40	362.48

ตาราง ก 8 ผลการทดสอบของผนังเย็น (ตำแหน่งวัดที่ 2) และผนังปกติ (ตำแหน่งวัดที่ B) ในวันที่ 30 พฤศจิกายน 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 2 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top B	T mid B	T below B	T top 2	T between 2	T pipe 2	T below 2					
9:00	27.80	23.00	20.80	27.20	23.30	22.20	21.80	25.00	22.10	22.80	22.50	523.53
9:30	31.10	26.00	23.10	31.80	25.70	25.80	23.80	25.20	22.30	24.70	23.20	616.94
10:00	30.40	27.90	25.00	31.20	27.90	27.60	24.60	25.70	23.00	26.10	23.60	420.82
10:30	26.50	27.00	25.80	27.50	27.00	27.90	25.80	24.60	24.80	25.60	23.00	113.43
11:00	39.30	29.90	25.30	39.00	28.00	28.40	26.70	27.20	25.40	27.20	25.70	739.94
11:30	43.90	34.40	29.20	45.40	31.40	32.90	29.00	28.60	26.80	29.20	29.10	889.35
12:00	46.70	37.80	32.30	48.30	34.70	36.60	31.80	30.90	27.20	32.90	29.80	912.07
12:30	49.50	41.10	34.90	50.90	36.60	39.30	33.60	30.90	28.90	34.70	29.90	904.04
13:00	52.20	43.90	36.90	52.00	38.30	41.00	34.90	32.90	32.80	36.40	29.60	886.46
13:30	52.70	45.80	39.00	52.20	40.50	42.40	36.60	36.30	34.50	38.50	30.60	836.51
14:00	53.20	46.90	39.90	52.10	41.70	43.60	37.60	38.00	36.90	39.90	30.80	775.55
14:30	51.60	47.40	41.40	50.80	42.70	44.20	38.30	40.30	38.40	41.20	30.10	699.99
15:00	50.90	47.60	41.70	49.50	43.20	44.20	39.00	41.80	39.80	41.80	31.50	605.49
15:30	48.80	46.60	41.60	47.90	43.60	44.30	39.50	42.90	40.90	42.30	30.70	509.19
16:00	45.70	46.00	40.60	43.30	43.80	42.90	38.50	42.50	40.20	40.70	29.40	362.48

ตาราง ก 9 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 3) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ C) ในวันที่ 30 พฤศจิกายน 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 2 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top C	T mid C	T below C	T top 3	T between 3	T pipe 3	T below 3					
9:00	26.90	24.40	22.10	29.60	23.50	23.80	21.90	25.00	22.10	22.80	22.50	523.53
9:30	30.70	27.90	23.50	33.40	26.60	25.90	24.20	25.20	22.30	24.70	23.20	616.94
10:00	30.60	30.20	23.90	32.80	28.70	27.50	26.00	25.70	23.00	26.10	23.60	420.82
10:30	27.70	27.20	23.40	28.20	27.70	26.60	26.30	24.60	24.80	25.60	23.00	113.43
11:00	35.80	34.80	26.20	40.00	29.70	29.20	27.90	27.20	25.40	27.20	25.70	739.94
11:30	43.10	34.00	29.20	45.50	33.70	31.30	29.70	28.60	26.80	29.20	29.10	889.35
12:00	47.30	31.90	29.30	49.00	37.10	34.70	32.60	30.90	27.20	32.90	29.80	912.07
12:30	50.10	33.30	30.00	50.80	39.40	35.70	34.40	30.90	28.90	34.70	29.90	904.04
13:00	52.80	34.20	29.60	52.20	41.00	37.30	35.80	32.90	32.80	36.40	29.60	886.46
13:30	53.80	37.30	31.00	52.00	42.50	39.60	37.20	36.30	34.50	38.50	30.60	836.51
14:00	54.50	36.50	33.00	52.60	43.90	41.30	38.70	38.00	36.90	39.90	30.80	775.55
14:30	53.40	32.10	30.70	50.60	44.50	42.90	39.50	40.30	38.40	41.20	30.10	699.99
15:00	52.70	36.00	31.90	49.60	44.60	43.90	40.40	41.80	39.80	41.80	31.50	605.49
15:30	51.50	32.30	31.60	47.70	44.50	44.30	40.70	42.90	40.90	42.30	30.70	509.19
16:00	48.00	33.60	31.80	44.10	42.10	43.70	40.30	42.50	40.20	40.70	29.40	362.48

ตาราง ก 10 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 1) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ A) ในวันที่ 1 ธันวาคม 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 5 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top A	T mid A	T below A	T top 1	T between 1	T pipe 1	T below 1					
9:00	29.40	23.50	20.90	28.90	22.20	21.70	21.60	22.70	21.70	23.00	23.10	491.88
9:30	33.50	27.00	24.60	33.30	25.30	24.90	24.40	24.80	22.90	25.00	24.30	617.48
10:00	37.80	29.80	27.10	37.70	28.50	27.70	26.70	26.70	24.40	27.00	25.70	707.29
10:30	42.80	33.90	29.40	41.90	31.50	30.30	28.70	28.50	25.60	28.50	27.60	780.96
11:00	46.30	37.40	31.60	44.90	34.20	32.70	30.80	30.40	27.90	31.00	28.10	830.56
11:30	49.00	40.60	33.90	48.10	36.60	34.80	32.50	32.70	29.90	33.00	27.30	869.69
12:00	51.20	43.10	36.00	50.30	38.90	36.90	34.50	34.10	31.60	34.60	29.70	887.99
12:30	53.90	45.80	37.80	52.80	40.90	38.90	35.90	36.20	33.80	36.60	28.70	903.68
13:00	55.20	47.80	39.40	53.70	42.60	40.60	37.30	37.90	35.50	38.10	30.00	885.47
13:30	55.30	48.70	40.40	53.50	42.60	40.40	37.10	38.10	37.30	39.90	31.10	824.79
14:00	55.40	49.60	41.60	54.30	43.90	41.90	38.40	39.70	38.80	40.70	30.80	763.74
14:30	52.70	49.30	41.50	53.60	44.60	42.70	39.00	40.90	40.20	42.40	31.90	664.82
15:00	51.90	48.60	41.40	52.10	44.90	43.20	39.60	41.80	41.00	42.60	30.90	563.02
15:30	48.70	47.20	40.90	50.20	44.60	43.20	39.50	42.60	41.70	43.20	29.30	470.96
16:00	45.70	45.60	40.10	48.10	44.00	43.00	39.40	43.10	42.50	42.90	29.10	341.20

ตาราง ก 11 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 2) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ B) ในวันที่ 1 ธันวาคม 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 5 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top B	T mid B	T below B	T top 2	T between 2	T pipe 2	T below 2					
9:00	29.40	23.50	20.90	27.90	23.20	23.10	21.70	22.70	21.70	23.00	23.10	491.88
9:30	34.40	27.40	25.00	33.00	25.90	26.30	23.90	24.80	22.90	25.00	24.30	617.48
10:00	38.80	30.50	27.30	36.70	28.30	29.10	25.70	26.70	24.40	27.00	25.70	707.29
10:30	42.80	34.40	29.80	40.50	30.40	31.60	27.50	28.50	25.60	28.50	27.60	780.96
11:00	46.00	37.70	31.90	43.30	32.50	34.20	29.70	30.40	27.90	31.00	28.10	830.56
11:30	49.30	40.90	34.00	45.80	34.70	36.50	31.30	32.70	29.90	33.00	27.30	869.69
12:00	52.80	43.60	36.00	48.70	36.60	38.60	32.80	34.10	31.60	34.60	29.70	887.99
12:30	54.60	46.10	38.00	50.20	38.70	40.50	34.50	36.20	33.80	36.60	28.70	903.68
13:00	54.90	47.80	39.40	50.90	40.00	42.00	35.50	37.90	35.50	38.10	30.00	885.47
13:30	55.30	48.80	40.60	51.30	41.50	43.40	36.90	38.10	37.30	39.90	31.10	824.79
14:00	55.10	49.50	41.60	50.60	42.50	43.90	37.50	39.70	38.80	40.70	30.80	763.74
14:30	52.60	49.20	41.60	49.00	43.10	44.10	38.30	40.90	40.20	42.40	31.90	664.82
15:00	50.70	48.30	41.20	47.70	43.30	44.20	38.60	41.80	41.00	42.60	30.90	563.02
15:30	48.90	47.10	41.10	45.70	43.20	43.70	38.70	42.60	41.70	43.20	29.30	470.96
16:00	45.20	45.20	39.90	41.10	42.90	41.60	36.40	43.10	42.50	42.90	29.10	341.20

ตาราง ก 12 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 3) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ C) ในวันที่ 1 ธันวาคม 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 5 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top C	T mid C	T below C	T top 3	T between 3	T pipe 3	T below 3					
9:00	27.10	23.80	21.10	29.10	23.70	23.00	21.80	22.70	21.70	23.00	23.10	491.88
9:30	31.60	29.60	24.20	33.90	26.40	24.80	24.60	24.80	22.90	25.00	24.30	617.48
10:00	34.90	27.70	26.10	36.90	29.10	26.90	26.60	26.70	24.40	27.00	25.70	707.29
10:30	38.10	31.60	27.50	39.60	31.00	28.70	28.20	28.50	25.60	28.50	27.60	780.96
11:00	40.80	35.40	28.80	42.70	33.70	31.40	30.30	30.40	27.90	31.00	28.10	830.56
11:30	43.60	36.20	28.00	44.30	35.80	33.70	32.00	32.70	29.90	33.00	27.30	869.69
12:00	45.70	33.40	29.00	45.30	37.80	35.10	33.40	34.10	31.60	34.60	29.70	887.99
12:30	48.00	32.40	30.40	46.50	39.50	37.00	35.10	36.20	33.80	36.60	28.70	903.68
13:00	50.30	31.70	31.30	47.80	41.10	39.20	36.60	37.90	35.50	38.10	30.00	885.47
13:30	50.50	34.70	32.70	48.30	42.30	40.40	37.60	38.10	37.30	39.90	31.10	824.79
14:00	49.90	33.10	32.40	47.00	42.50	41.80	38.50	39.70	38.80	40.70	30.80	763.74
14:30	48.80	36.70	32.80	46.20	43.40	42.50	39.20	40.90	40.20	42.40	31.90	664.82
15:00	47.40	34.30	32.00	44.70	42.90	43.00	39.30	41.80	41.00	42.60	30.90	563.02
15:30	45.10	36.70	30.60	42.10	42.70	43.20	39.20	42.60	41.70	43.20	29.30	470.96
16:00	42.60	32.90	30.50	40.20	41.60	43.30	38.90	43.10	42.50	42.90	29.10	341.20

ตาราง ก 13 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 1) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ A) ในวันที่ 5 ธันวาคม 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 1 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top A	T mid A	T below A	T top 1	T between 1	T pipe 1	T below 1					
9:00	28.3	22.70	19.50	26.40	19.80	19.20	18.70	20.30	19.30	19.90	19.30	548.23
9:30	32.10	26.20	21.80	30.10	23.20	22.50	21.80	28.00	20.10	23.90	21.00	630.92
10:00	37.20	29.90	24.30	29.60	25.00	24.40	23.30	28.90	21.30	26.40	20.20	279.17
10:30	42.90	34.80	28.00	28.80	26.10	25.60	24.10	29.30	22.10	27.30	20.90	272.40
11:00	45.60	38.80	31.20	29.73	26.60	26.07	24.90	27.80	24.40	27.70	22.70	354.27
11:30	50.60	42.60	34.10	36.50	28.80	28.20	26.70	27.60	25.30	28.90	24.80	922.08
12:00	51.50	44.60	35.80	42.50	32.30	31.10	29.10	29.80	26.40	31.40	24.90	861.39
12:30	53.30	47.40	38.40	44.00	35.80	34.40	31.70	32.80	29.30	35.00	25.40	771.67
13:00	55.30	49.80	40.90	45.40	37.00	35.70	32.60	32.90	30.70	35.80	27.30	800.44
13:30	55.50	51.20	42.70	44.70	38.20	36.90	33.70	34.00	32.50	36.90	25.80	758.51
14:00	56.00	52.00	43.90	46.10	39.20	37.80	34.70	35.20	33.50	37.60	27.70	721.99
14:30	54.90	52.30	45.00	45.10	39.40	38.10	34.80	37.50	35.10	38.60	26.80	625.60
15:00	53.50	52.00	45.60	44.00	39.60	38.20	35.20	39.30	35.90	38.90	28.20	548.77
15:30	51.10	50.70	45.20	41.20	38.40	37.50	34.50	40.50	36.40	38.60	27.80	462.12
16:00	48.80	49.40	45.40	37.90	37.50	36.60	33.60	41.30	35.80	37.60	25.80	255.63

ตาราง ก 14 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 2) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ B) ในวันที่ 5 ธันวาคม 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 1 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top B	T mid B	T below B	T top 2	T between 2	T pipe 2	T below 2					
9:00	27.90	21.10	18.30	26.10	19.60	19.80	18.70	20.30	19.30	19.90	19.30	548.23
9:30	30.50	24.90	21.70	29.90	24.50	24.10	22.10	28.00	20.10	23.90	21.00	630.92
10:00	30.00	26.00	23.60	30.50	26.40	26.60	24.20	28.90	21.30	26.40	20.20	279.17
10:30	28.70	27.00	24.60	29.70	27.70	28.00	25.30	29.30	22.10	27.30	20.90	272.40
11:00	30.30	27.80	25.40	30.93	27.90	28.67	26.03	27.80	24.40	27.70	22.70	354.27
11:30	37.30	30.60	27.00	36.40	29.40	30.30	27.30	27.60	25.30	28.90	24.80	922.08
12:00	43.40	35.00	29.30	42.70	32.00	33.50	29.10	29.80	26.40	31.40	24.90	861.39
12:30	44.60	38.30	32.40	43.90	34.70	36.50	31.50	32.80	29.30	35.00	25.40	771.67
13:00	45.90	39.70	33.30	45.40	35.90	37.90	32.30	32.90	30.70	35.80	27.30	800.44
13:30	44.70	40.40	34.70	44.40	36.50	38.70	33.30	34.00	32.50	36.90	25.80	758.51
14:00	45.40	41.40	35.30	44.70	37.50	39.40	34.10	35.20	33.50	37.60	27.70	721.99
14:30	45.80	41.90	36.30	44.40	38.10	39.60	34.40	37.50	35.10	38.60	26.80	625.60
15:00	43.80	41.40	36.30	43.50	38.70	39.70	35.10	39.30	35.90	38.90	28.20	548.77
15:30	40.20	39.80	35.50	41.00	38.60	39.00	34.70	40.50	36.40	38.60	27.80	462.12
16:00	36.80	38.40	33.80	36.80	38.80	38.00	18.70	41.30	35.80	37.60	25.80	255.63

ตาราง ก 15 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 3) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ C) ในวันที่ 5 ธันวาคม 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 1 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top C	T mid C	T below C	T top 3	T between 3	T pipe 3	T below 3					
9:00	25.70	24.40	19.30	28.30	20.70	19.70	18.50	20.30	19.30	19.90	19.30	548.23
9:30	27.90	24.60	21.30	30.60	24.60	23.40	21.90	28.00	20.10	23.90	21.00	630.92
10:00	27.10	26.60	21.70	29.10	26.00	25.20	24.00	28.90	21.30	26.40	20.20	279.17
10:30	26.30	23.50	21.70	27.90	26.80	26.10	24.80	29.30	22.10	27.30	20.90	272.40
11:00	27.80	24.10	23.20	29.50	27.40	27.00	25.80	27.80	24.40	27.70	22.70	354.27
11:30	34.00	32.20	25.30	36.60	29.80	28.80	27.30	27.60	25.30	28.90	24.80	922.08
12:00	38.70	27.60	24.80	40.90	32.70	31.10	29.10	29.80	26.40	31.40	24.90	861.39
12:30	40.20	34.10	26.50	41.80	35.50	34.00	31.60	32.80	29.30	35.00	25.40	771.67
13:00	41.50	31.30	28.00	42.40	36.10	34.50	32.30	32.90	30.70	35.80	27.30	800.44
13:30	40.50	29.70	27.20	40.80	36.60	35.40	33.20	34.00	32.50	36.90	25.80	758.51
14:00	42.20	32.50	28.00	42.60	37.60	36.30	33.90	35.20	33.50	37.60	27.70	721.99
14:30	40.90	34.40	27.90	41.00	38.20	37.40	34.70	37.50	35.10	38.60	26.80	625.60
15:00	39.70	35.20	28.00	39.40	38.10	37.70	35.00	39.30	35.90	38.90	28.20	548.77
15:30	37.40	36.40	27.70	37.00	37.30	36.90	34.60	40.50	36.40	38.60	27.80	462.12
16:00	33.80	34.00	27.00	33.80	37.00	35.90	34.20	41.30	35.80	37.60	25.80	255.63

ตาราง ก 16ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 1) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ A) ในวันที่ 13 ธันวาคม 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 1 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top A	T mid A	T below A	T top 1	T between 1	T pipe 1	T below 1					
9:00	28.3	22.30	18.60	26.40	19.80	19.20	18.70	20.30	19.30	19.90	26.70	548.23
9:30	31.10	26.20	21.50	30.10	23.20	22.50	21.80	28.00	20.10	23.90	21.00	630.92
10:00	29.80	26.80	23.00	29.60	25.00	24.40	23.30	28.90	21.30	26.40	20.20	279.17
10:30	28.70	27.40	23.90	28.80	26.10	25.60	24.10	29.30	22.10	27.30	20.90	272.40
11:00	30.30	28.20	24.80	29.73	26.60	26.07	24.90	27.80	24.40	27.70	22.7	354.28
11:30	38.10	31.70	26.80	36.50	28.80	28.20	26.70	27.60	25.30	28.90	24.80	922.08
12:00	43.90	37.00	29.00	42.50	32.30	31.10	29.10	29.80	26.40	31.40	24.90	861.39
12:30	45.10	38.90	31.10	43.80	35.00	33.90	31.30	32.10	28.10	34.20	25.00	917.93
13:00	46.50	41.20	32.30	45.40	37.00	35.70	32.60	32.90	30.70	35.80	27.30	800.44
13:30	45.20	41.60	33.50	44.70	38.20	36.90	33.70	34.00	32.50	36.90	25.80	758.51
14:00	47.10	42.90	34.30	46.10	39.20	37.80	34.70	35.20	33.50	37.60	27.70	721.99
14:30	45.90	43.20	34.80	45.10	39.40	38.10	34.80	37.50	35.10	38.60	26.80	625.60
15:00	44.00	42.40	34.70	44.00	39.60	38.20	35.20	39.30	35.90	38.90	28.20	548.78
15:30	40.80	40.30	33.90	41.20	38.40	37.50	34.50	40.50	36.40	38.60	27.80	462.12
16:00	37.40	38.30	32.90	37.90	37.50	36.60	33.60	41.30	35.80	37.60	25.80	255.63

ตาราง ก 17 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 2) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ C) ในวันที่ 13 ธันวาคม 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 1 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top B	T mid B	T below B	T top 2	T between 2	T pipe 2	T below 2					
9:00	27.90	21.10	18.30	26.10	19.60	19.80	18.70	20.30	19.30	19.90	26.70	548.23
9:30	30.50	24.90	21.70	29.90	24.50	24.10	22.10	28.00	20.10	23.90	21.00	630.92
10:00	30.00	26.00	23.60	30.50	26.40	26.60	24.20	28.90	21.30	26.40	20.20	279.17
10:30	28.70	27.00	24.60	29.70	27.70	28.00	25.30	29.30	22.10	27.30	20.90	272.40
11:00	30.30	27.80	25.40	30.93	27.90	28.67	26.03	27.80	24.40	27.70	22.7	354.28
11:30	37.30	30.60	27.00	36.40	29.40	30.30	27.30	27.60	25.30	28.90	24.80	922.08
12:00	43.40	35.00	29.30	42.70	32.00	33.50	29.10	29.80	26.40	31.40	24.90	861.39
12:30	44.90	37.20	31.70	43.90	34.30	35.80	31.00	32.10	28.10	34.20	25.00	917.93
13:00	45.90	39.70	33.30	45.40	35.90	37.90	32.30	32.90	30.70	35.80	27.30	800.44
13:30	44.70	40.40	34.70	44.40	36.50	38.70	33.30	34.00	32.50	36.90	25.80	758.51
14:00	45.40	41.40	35.30	44.70	37.50	39.40	34.10	35.20	33.50	37.60	27.70	721.99
14:30	45.80	41.90	36.30	44.40	38.10	39.60	34.40	37.50	35.10	38.60	26.80	625.60
15:00	43.80	41.40	36.30	43.50	38.70	39.70	35.10	39.30	35.90	38.90	28.20	548.78
15:30	40.20	39.80	35.50	41.00	38.60	39.00	34.70	40.50	36.40	38.60	27.80	462.12
16:00	36.80	38.40	33.80	36.80	38.80	38.00	33.60	41.30	35.80	37.60	25.80	255.63

ตาราง ก 18 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 3) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ C) ในวันที่ 13 ธันวาคม 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 1 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top C	T mid C	T below C	T top 3	T between 3	T pipe 3	T below 3					
9:00	25.70	24.40	19.30	28.30	20.70	19.70	18.50	20.30	19.30	19.90	26.70	548.23
9:30	27.90	24.60	21.30	30.60	24.60	23.40	21.90	28.00	20.10	23.90	21.00	630.92
10:00	27.10	26.60	21.70	29.10	26.00	25.20	24.00	28.90	21.30	26.40	20.20	279.17
10:30	26.30	23.50	21.70	27.90	26.80	26.10	24.80	29.30	22.10	27.30	20.90	272.40
11:00	27.80	24.10	23.20	29.50	27.40	27.00	25.80	27.80	24.40	27.70	22.7	354.28
11:30	34.00	32.20	25.30	36.60	29.80	28.80	27.30	27.60	25.30	28.90	24.80	922.08
12:00	38.70	27.60	24.80	40.90	32.70	31.10	29.10	29.80	26.40	31.40	24.90	861.39
12:30	40.10	31.70	26.50	42.00	34.60	33.30	31.00	32.10	28.10	34.20	25.00	917.93
13:00	41.50	31.30	28.00	42.40	36.10	34.50	32.30	32.90	30.70	35.80	27.30	800.44
13:30	40.50	29.70	27.20	40.80	36.60	35.40	33.20	34.00	32.50	36.90	25.80	758.51
14:00	42.20	32.50	28.00	42.60	37.60	36.30	33.90	35.20	33.50	37.60	27.70	721.99
14:30	40.90	34.40	27.90	41.00	38.20	37.40	34.70	37.50	35.10	38.60	26.80	625.60
15:00	39.70	35.20	28.00	39.40	38.10	37.70	35.00	39.30	35.90	38.90	28.20	548.78
15:30	37.40	36.40	27.70	37.00	37.30	36.90	34.60	40.50	36.40	38.60	27.80	462.12
16:00	33.80	34.00	27.00	33.80	37.00	35.90	34.20	41.30	35.80	37.60	25.80	255.63

ตาราง ก 19 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 1) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ A) ในวันที่ 18 ธันวาคม 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 1 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top A	T mid A	T below A	T top 1	T between 1	T pipe 1	T below 1					
9:00	27.8	23.20	20.70	29.70	23.80	23.40	23.30	23.20	23.40	20.40	24.30	487.01
9:30	32.80	27.60	23.70	32.00	25.10	24.60	24.20	26.00	24.90	25.20	25.00	600.98
10:00	36.90	31.10	25.70	35.80	28.30	27.60	26.40	26.90	25.00	28.20	24.30	693.68
10:30	39.60	33.50	27.30	36.70	30.50	29.50	27.70	27.50	25.10	30.70	24.80	636.42
11:00	46.30	37.80	29.90	41.70	32.90	31.80	30.00	27.90	24.80	32.30	26.70	770.32
11:30	49.90	41.10	31.80	44.50	35.20	33.90	31.40	28.20	25.00	34.60	27.40	883.85
12:00	50.70	44.30	34.20	48.60	37.90	35.90	33.20	29.50	27.00	34.80	29.80	936.51
12:30	52.80	46.00	35.50	49.70	39.90	38.30	34.70	29.60	27.20	37.20	27.00	920.28
13:00	50.80	45.90	36.80	48.50	41.10	39.50	35.80	30.00	27.30	38.40	26.60	895.66
13:30	49.40	45.60	36.70	48.20	40.10	38.30	35.50	29.70	27.90	36.40	27.70	835.70
14:00	45.40	44.30	36.30	43.80	40.00	38.40	34.90	29.90	30.90	36.40	27.70	807.92
14:30	49.10	45.00	36.90	46.90	39.00	37.60	35.30	31.70	34.00	36.30	29.10	761.40
15:00	46.70	44.70	36.90	44.70	38.90	37.40	35.20	34.10	35.20	36.70	29.10	619.38
15:30	44.40	43.30	36.10	42.70	38.70	37.50	34.90	35.50	35.20	35.80	29.30	500.62
16:00	42.20	42.20	35.80	39.70	36.70	36.10	33.90	36.60	34.70	35.60	27.50	396.48

ตาราง ก 20 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 2) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ B) ในวันที่ 18 ธันวาคม 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 1 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top B	T mid B	T below B	T top 2	T between 2	T pipe 2	T below 2					
9:00	29.30	23.80	21.40	25.10	23.70	23.50	18.60	23.20	23.40	20.40	24.30	487.01
9:30	32.50	26.40	24.10	31.50	25.40	25.50	23.90	26.00	24.90	25.20	25.00	600.98
10:00	36.60	29.60	26.70	35.50	28.20	28.90	26.40	26.90	25.00	28.20	24.30	693.68
10:30	39.20	32.30	28.50	36.10	30.20	31.00	27.80	27.50	25.10	30.70	24.80	636.42
11:00	46.30	36.10	30.70	40.50	32.30	33.20	29.70	27.90	24.80	32.30	26.70	770.32
11:30	50.30	39.40	32.80	42.70	34.10	35.10	30.90	28.20	25.00	34.60	27.40	883.85
12:00	49.90	42.40	35.40	46.00	35.10	37.50	32.40	29.50	27.00	34.80	29.80	936.51
12:30	51.90	44.20	37.00	47.10	36.70	38.80	33.00	29.60	27.20	37.20	27.00	920.28
13:00	49.20	44.50	38.20	45.20	37.40	39.50	33.90	30.00	27.30	38.40	26.60	895.66
13:30	49.30	43.70	38.20	45.10	35.60	38.10	33.30	29.70	27.90	36.40	27.70	835.70
14:00	43.50	43.30	38.20	40.60	35.10	38.10	32.90	29.90	30.90	36.40	27.70	807.92
14:30	48.20	43.20	37.70	43.50	35.00	36.90	32.80	31.70	34.00	36.30	29.10	761.40
15:00	45.70	43.00	38.00	41.70	36.30	37.20	33.20	34.10	35.20	36.70	29.10	619.38
15:30	43.40	42.00	37.20	40.10	36.20	37.20	33.40	35.50	35.20	35.80	29.30	500.62
16:00	41.40	41.20	37.10	37.40	36.00	35.90	32.50	36.60	34.70	35.60	27.50	396.48

ตาราง ก 21 ผลการทดสอบของผนังเย็น(ตำแหน่งวัดที่ 3) และผนังปกติ(ตำแหน่งวัดที่ C) ในวันที่ 18 ธันวาคม 2554 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำในผนังเย็น เท่ากับ 1 l/min

เวลา	ผนังปกติ (°C)			ผนังเย็น (°C)				T FI (°C)	T tank (°C)	T FO (°C)	T amb (°C)	Solar (W/m ²)
	T top C	T mid C	T below C	T top 3	T between 3	T pipe 3	T below 3					
9:00	27.10	23.10	22.70	29.90	23.40	22.80	21.80	23.20	23.40	20.40	24.30	487.01
9:30	30.20	25.30	24.50	32.50	26.00	25.60	24.30	26.00	24.90	25.20	25.00	600.98
10:00	33.80	28.30	24.70	35.10	28.30	27.40	26.10	26.90	25.00	28.20	24.30	693.68
10:30	37.00	31.00	25.10	35.70	30.00	28.50	27.50	27.50	25.10	30.70	24.80	636.42
11:00	42.80	34.70	26.70	39.40	32.20	30.10	29.20	27.90	24.80	32.30	26.70	770.32
11:30	46.60	38.00	28.80	42.40	34.50	31.90	30.80	28.20	25.00	34.60	27.40	883.85
12:00	47.10	41.00	30.60	45.30	36.20	33.00	32.50	29.50	27.00	34.80	29.80	936.51
12:30	47.90	42.20	28.00	44.90	37.10	34.50	32.90	29.60	27.20	37.20	27.00	920.28
13:00	46.60	42.00	29.10	44.00	37.00	34.80	33.40	30.00	27.30	38.40	26.60	895.66
13:30	45.80	41.20	29.70	42.60	35.90	33.40	33.30	29.70	27.90	36.40	27.70	835.70
14:00	42.30	41.10	29.00	38.40	35.50	33.50	32.60	29.90	30.90	36.40	27.70	807.92
14:30	45.10	40.70	29.90	41.10	35.40	33.80	33.00	31.70	34.00	36.30	29.10	761.40
15:00	43.40	40.70	29.90	39.50	36.30	35.00	33.60	34.10	35.20	36.70	29.10	619.38
15:30	41.00	39.60	30.20	37.90	36.00	35.20	33.50	35.50	35.20	35.80	29.30	500.62
16:00	39.50	38.80	29.50	36.30	35.50	35.90	34.20	36.60	34.70	35.60	27.50	396.48



ภาคผนวก ข
ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในรอบหนึ่งปี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ข 1 Average solar irradiation (W/m²) Chiang Mai (South)

ที่มา : AIT Research Report No.128

เวลา	14 Jan-26 Feb	27 Feb-12 Apr	13 Apr-28 May	29 May-15 Jul	16 Jul-31 Aug	1 Sep-15 Oct	16 Oct-29 Nov	29 Nov-13 Jan
6:00	0	0	15	20	14	0	0	0
7:00	79	64	67	71	63	57	81	73
8:00	193	149	121	124	118	134	196	207
9:00	284	223	167	169	165	200	287	309
10:00	350	282	206	205	204	253	353	378
11:00	391	320	239	227	231	287	394	420
12:00	396	329	252	233	235	295	408	435
13:00	377	314	241	223	219	280	394	420
14:00	337	277	211	201	194	247	353	378
15:00	273	219	171	165	157	195	287	309
16:00	185	146	123	121	112	130	196	207
17:00	75	63	66	69	59	56	81	73
18:00	0	0	15	20	13	0	0	0

ตาราง ข 2อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในรอบหนึ่งปี (°C) จังหวัดเชียงใหม่

เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
6:00	16.98	18.38	21.63	24.88	25.93	25.75	25.08	25.15	24.85	23.93	21.40	18.13
7:00	18.89	20.58	23.76	26.70	27.24	26.79	25.98	26.04	25.84	25.05	22.75	19.78
8:00	20.95	22.95	26.05	28.65	28.65	27.90	26.95	27.00	26.90	26.25	24.20	21.55
9:00	23.01	25.32	28.34	30.60	30.06	29.01	27.92	27.96	27.96	27.45	25.65	23.32
10:00	24.93	27.53	30.48	32.43	31.38	30.05	28.83	28.85	28.95	28.58	27.00	24.98
11:00	26.57	29.42	32.31	33.99	32.50	30.94	29.60	29.62	29.80	29.54	28.16	26.39
12:00	27.83	30.87	33.71	35.19	33.37	31.62	30.20	30.20	30.45	30.28	29.05	27.48
13:00	28.63	31.79	34.60	35.94	33.91	32.05	30.57	30.57	30.86	30.74	29.61	28.17
14:00	28.90	32.10	34.90	36.20	34.10	32.20	30.70	30.70	31.00	30.90	29.80	28.40
15:00	28.63	31.79	34.60	35.94	33.91	32.05	30.57	30.57	30.86	30.74	29.61	28.17
16:00	27.83	30.87	33.71	35.19	33.37	31.62	30.20	30.20	30.45	30.28	29.05	27.48
17:00	26.57	29.42	32.31	33.99	32.50	30.94	29.60	29.62	29.80	29.54	28.16	26.39
18:00	24.93	27.53	30.48	32.43	31.38	30.05	28.83	28.85	28.95	28.58	21.40	24.98



ภาคผนวก ง

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวท่อทองแดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวท่อทองแดง

จากหัวข้อ “Empirical relation for Pipe and Tube Flow” [21] Hausen ได้เสนอสมการ Empirical สำหรับใช้ในการไหลแบบ Fully Developed Laminar Flow in Tubes at Constant Wall Temperature ดังนี้

$$Nu_d = \frac{hd}{k} \approx 3.66$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved



ภาคผนวก จ
ผลงานวิชาการที่ได้เผยแพร่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



ME-NETT 25

The 25th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ME-NETT 25
The 25th Conference of the Mechanical
Engineering Network of Thailand

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
19 – 21 ตุลาคม 2554

โดย



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ร่วมกับ



สมาคมวิศวกรเครื่องกลไทย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

	TSF67.....	299
	การออกแบบพัฒนาลวดสารกรมโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล วิสิทธิ์ มหารวงษ์ และ ยศธนา คุณากา	
	TSF68.....	300
	การศึกษาการพาความร้อนแบบอิสระโดยให้ผลึกเหลวเป็นสารแขวนลอยในของไหล วิรัช ชัยวรพจน์ และ ชวลิต กิตติชัยภา	
	TSF69.....	301
	การศึกษาเชิงทดลองและเชิงระเบียบวิธีเชิงตัวเลขของกระบวนการทำแข็งในวัสดุพอร์ซิมตัว (อิทธิพลของอุณหภูมิทำแข็ง และชนิดอนุภาคของแข็ง) วิระศักดิ์ คงแก้ว, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และมณฑล ชูโรนาถ	
	TSF70.....	302
	Pool Boiling Characteristics of Al_2O_3 -Water Nanofluids on a Horizontal Cylindrical Heating Surface ทนแก้ว เขี่ยมสวัสดิ์, วิระพันธ์ ต้ววงทองสุข และ สมชาย วงศ์วิเศษ	
	TSF71.....	303
	ผลของอากาศพลศาสตร์ต่อเซนและหัวอ่านแบบบูในอาร์ดติสก์ไดร์ฟขนาด 3.5 นิ้ว ยุวธิดา ส้มคำ และ สิริวิทย์ เฉลิมเจษฎารังษี	
3	TSF72.....	304
8	การจัดวางตำแหน่งท่อน้ำในแผ่นคอนกรีตเพื่อลดความร้อนสะสม อรรณกร อาสนคำ, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ ณัฐ วยยศ	
4	TSF73.....	305
	วิวัฒนาการการออกแบบอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยอากาศสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สังคม ศรีสมพร	
35	TSF76.....	306
	การคำนวณตัวประกอบความเสียหายและสัมประสิทธิ์การสูญเสียของของไหลนอนนิวโทเนียนที่ไหลผ่านท่อและวาล์ว ปัญญภัทร น่วมเปี่ยม, ชีระพงษ์ คำประเสริฐ และ จำลอง ปราบแก้ว	
96	TSF78.....	307
	อิทธิพลของความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดเซชันและปริมาณเบดที่ส่งผลต่อพลศาสตร์การไหลของอนุภาคภายใน เตาเผาไหม้ฟลูอิดเบดแบบหมุนเวียน ปวิศญา บุญประสิทธิ์ และ ธูณิดีย์ เมธิยานนท์	
97	TSF80.....	308
	การวิเคราะห์และปรับปรุงรูปร่างของกระจกมลงข้างกานยนต์โดยใช้โปรแกรม Fluent มาลีณีย์ เลาะเมาะห์, วรโรจน์ รุ่งนงษ์ และ สมชัย นรเศรษฐ์ศิกาน	
298	TSF81.....	309
	การศึกษาและจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ของเครื่องความแน่นสารทำความเย็นแบบระเหยน้ำขนาด 1,750 kW วัฒนา เจนการ และ ชนาคม สุพรชัยนาคแสง	



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
19 – 21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

TSF72

การจัดวางตำแหน่งท่อน้ำในแผ่นคอนกรีตเพื่อลดความร้อนสะสม
Allocation of Cooling Water Tubes in Cement Slab for Reduction of Accumulated Heat

อรรถกร อัสนาคำ¹, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์¹ และ ณัฐ ราชศรี¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

¹ติดต่อ: โทรศัพท์: 053-944-144, โทรสาร: 053-944-145

E-mail: attakorn_asanakham@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการจัดวางตำแหน่งท่อน้ำในผนัง รวมทั้งระยะห่างระหว่างท่อ อุ่นหมุมน้ำขาเข้า และ อัตราการไหล ที่มีผลต่อ การตั้งความร้อนและสมรรถนะของผนัง โดยทำการศึกษารายการกระจายอุณหภูมิภายในผนังแบบ 2 มิติจากหลักการสมดุลพลังงาน หลักการถ่ายโอน ความร้อนและวิธีการผลต่างเชิงเส้น เพื่อหาตำแหน่งของท่อน้ำในผนัง คอนกรีตทาสีดำขนาด กว้าง 1.5 เมตร สูง 2.5 เมตร มีความหนา 0.1 เมตร ฝังด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.0127 เมตร และศึกษาที่สภาวะอากาศเดือน เมษายน ณ จังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษา พบว่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำขาเข้าเพิ่มขึ้นตำแหน่งที่เหมาะสมของท่อน้ำจะย้ายเข้าใกล้ผิวผนังด้านนอกมากขึ้น ซึ่งจะสามารถลดความร้อนสะสมในผนังได้ดี โดยทำให้อุณหภูมิผนังด้านในมีค่าต่ำสุด เมื่อวางท่อที่ตำแหน่งความลึกที่กึ่งกลางผนัง และจำนวนท่อ 16 ท่อ สามารถลดอุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังด้านในได้ที่ประมาณ 32 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิผนังด้านในของผนังปกติประมาณ 43 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลและจำนวนท่อน้ำ จะทำให้สามารถตั้งความร้อนสะสมจากผนังได้ดีขึ้นทำให้อุณหภูมิของผิวผนังด้านในลดลง และจากการศึกษาที่อัตราการไหลตั้งแต่ 6 LPM ขึ้นไป และจำนวนท่อตั้งแต่ 16 ท่อ ขึ้นไป พบว่าความสามารถในการลดอุณหภูมิที่ผนังด้านในไม่แตกต่างกันมากนัก

คำหลัก: ผนังเย็น, การจัดวางตำแหน่งท่อ, การลดภาระความร้อน, วิธีการผลต่างเชิงเส้น

Abstract

In this paper, a study of water tubes allocated in a cooling wall was carried out including tube spacing, water inlet temperature and water flow rate. A 2-dimension finite difference method was performed to calculate the temperature distributions in the wall. The studied cooling wall was a black-painted cement slab of which the dimensions were 1.5 m width x 2.5 m height x 0.1 m thickness and the embedded tube diameter was 0.0127 m. The calculations were performed with the weather data of Chiang Mai on a day in April. It was found that as the inlet water temperature increased, the suitable position of water tube set should be close to the outer wall surface thus the accumulated heat in the wall could be effectively extracted and the inner wall temperature could reach the minimum value. With the tube position at the center of the slab and the tube number of 16, the inner wall temperature was at 32°C compared with that of a normal wall at 43°C. When the water flow rate and the tube number were increased, more heat could be absorbed which resulted in lowest inner wall temperature. From the study, it was found that when the flow rate was over 6 LPM and the tube number was over 16, the improvement on the inner wall temperature was insignificant.

Keywords: Cooling wall, Tubes allocation, Cooling load reduction, Finite difference method

การจัดวางตำแหน่งท่อน้ำในแผ่นคอนกรีตเพื่อลดความร้อนสะสม
Allocation of Cooling Water Tubes in Cement Slab for Reduction of
Accumulated Heat

อรรถกร อัสนาคำ¹, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์^{*1} และ ณัฐ วรายศ^{*1}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

^{*}ติดต่อ: โทรศัพท์: 053-944-144, โทรสาร: 053-944-145

E-mail: attakorn_asanakham@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการจัดวางตำแหน่งท่อในผนัง รวมทั้งระยะห่างระหว่างท่อ อุณหภูมิน้ำขาเข้า และ อัตราการไหล ที่มีผลต่อการดึงความร้อนสะสมออกจากผนัง โดยทำการศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในผนังแบบ 2 มิติจากหลักการสมดุลพลังงาน หลักการถ่ายโอนความร้อนและวิธีการผลต่างสี่เหลี่ยม ผนังเป็นดั่งกล่าวเป็นผนังคอนกรีตทาสีดำขนาด กว้าง 1.5 เมตร สูง 2.5 เมตร มีความหนา 0.1 เมตร ฝังด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 0.0127 เมตร และศึกษาที่สภาวะอากาศเดือน เมษายน ณ จังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำขาเข้าผนังเย็นเพิ่มขึ้นตำแหน่งที่เหมาะสมของท่อจะขยับเข้าใกล้ผิวผนังด้านนอกมากขึ้น ซึ่งจะสามารถลดความร้อนสะสมในผนังได้ดี โดยทำให้อุณหภูมิผนังด้านในมีค่าต่ำสุด เมื่อวางท่อที่ตำแหน่งความลึกที่กึ่งกลางผนัง และจำนวนท่อ 16 ท่อ สามารถลดอุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังด้านในได้ที่ประมาณ 32 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิผนังด้านในของผนังปกติประมาณ 43 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลและจำนวนท่อน้ำ จะทำให้สามารถดึงความร้อนสะสมจากผนังได้ดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิของผิวผนังด้านในลดลง และจากการศึกษาที่อัตราการไหลตั้งแต่ 6 LPM ขึ้นไป และจำนวนท่อตั้งแต่ 16 ท่อ ขึ้นไป พบว่าความสามารถในการลดอุณหภูมิที่ผนังด้านในไม่แตกต่างกันมากนัก

คำหลัก: ผนังเย็น, การจัดวางตำแหน่งท่อ, การลดภาวะความเย็น, วิธีผลต่างสี่เหลี่ยม

Abstract

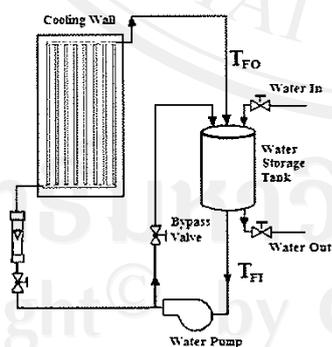
In this paper, a study of water tubes allocated in a cooling wall was carried out including tube spacing, water inlet temperature and water flow rate. A 2-dimension finite difference method was performed to calculate the temperature distributions in the wall. The studied cooling wall was a black-painted cement slab of which the dimensions were 1.5 m width x 2.5 m height x 0.1 m thickness and the embedded tube diameter was 0.0127 m. The calculations were performed with the weather data of

Chiang Mai on a day in April. It was found that as the inlet water temperature increased, the suitable position of water tube set should be close to the outer wall surface thus the accumulated heat in the wall could be effectively extracted and the inner wall temperature could reach the minimum value. With the tube position at the center of the slab and the tube number of 16, the inner wall temperature was at 32°C compared with that of a normal wall at 43°C. When the water flow rate and the tube number were increased, more heat could be absorbed which resulted in lowest inner wall temperature. From the study, it was found that when the flow rate was over 6 LPM and the tube number was over 16, the improvement on the inner wall temperature was insignificant.

Keywords: Cooling wall, Tubes allocation, Cooling load reduction, Finite difference method

1. บทนำ

ผนังเย็นเป็นผนังคอนกรีตที่มีการนำท่อน้ำมาฝังไว้ด้านในของผนัง น้ำที่ไหลเวียนในท่อจะถูกบีบจากถังเก็บน้ำเพื่อดึงความร้อนที่สะสมในผนัง ที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบและถูกดูดกลืนและสะสมในผนัง ทำให้ความร้อนที่ผ่านผนังเข้าสู่อาคารลดน้อยลง น้ำที่ไหลผ่านผนังเย็นออกมาจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และไหลกลับเข้าไปยังถังเก็บน้ำอีกครั้งดังรูปที่ 1 เมื่อเวลาผ่านไปน้ำในถังเก็บน้ำก็จะมีอุณหภูมิลดน้อยลง ผลที่ได้คือ สามารถนำน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้



รูปที่ 1 ผนังเย็น (Cooling Wall) และระบบไหลเวียนของน้ำ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผนังเย็นเพื่อลดภาระความเย็นให้แก่ห้องปรับอากาศและการฝังท่อน้ำภายในแผ่นวัสดุเพื่อทำความร้อนและความเย็นแก่พื้นห้องหรือเพดานห้อง มีดังต่อไปนี้ มาตแพ วีเกษ [1]

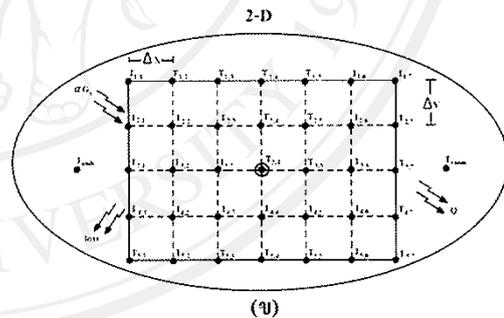
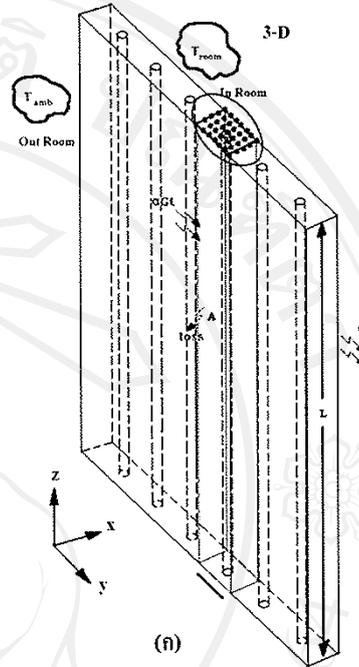
และ พิชาย โกลมลฤช [2] ศึกษาการใช้ผนังเย็นเพื่อลดภาระความเย็นของอาคารปรับอากาศ รวมถึงการนำน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ ซึ่งพบว่าระบบจะใช้ระยะเวลาคืนทุนภายในประมาณ 1 ปี และสามารถลดอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในโดยการเปลี่ยนน้ำภายในระบบในตอนเย็น นอกจากนี้มีงานวิจัยในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยมีการใช้แผ่นทำความเย็น ที่มีการป้อนน้ำเย็น มาทำความเย็นในอาคาร ชนาคม สุนทรชยันนาคแสง, ปิยะโรจน์ สมานคงศักดิ์ [3] และ Xing Jin et al. [4] ศึกษาผลจากอัตราการไหล อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเพดานแผ่นทำความเย็นที่มีการติดตั้งที่เพดาน และความต้านทานความร้อนของท่อน้ำและความเร็วของน้ำแบบราบเรียบ โดยสร้างแบบจำลองและคำนวณด้วยวิธี Finite difference และวิธี Finite volume พบว่าความต้านทานความร้อนขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อนของชนิดท่อน้ำ สำหรับความเร็วน้ำแบบราบเรียบมีผลกระทบน้อยมากต่ออุณหภูมิที่ผิวผนัง Antonopoulos et al. [5] ศึกษาผลระหว่างท่อทำความเย็น ความลึกจากผิวผนัง และอุณหภูมิของน้ำขาเข้าและอุณหภูมิของอากาศสิ่งแวดล้อมที่มีต่อเพดานโลหะที่มีการฝังท่อน้ำอยู่ใน Ho et al. [6] และ Sattari and B. Farhanieh [7] ศึกษาพื้นที่ทำผนังทำความเย็น โดยสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Finite difference และ วิธี Finite element โดยศึกษาผลของขนาดท่อ ประเภทของวัสดุท่อ และแผ่นทับด้านบน

แผ่นฝังก่อ จำนวนท่อ และความหนาของแผ่นทับ
ด้านบนแผ่นฝังก่อ พบว่า ขนาดท่อน้ำและชนิดของท่อ
น้ำไม่มีผลต่อการทำความร้อน แต่ความหนาและชนิด
ของแผ่นทับด้านบนแผ่นฝังก่อจะผลกระทบอย่างมาก

งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายังมีการศึกษาเกี่ยวกับ
ผนังเย็นอยู่น้อย โดยส่วนใหญ่จะเน้นศึกษาผลจาก
พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำความร้อนและ
ทำความเย็นพื้นและเพดาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึง
ต้องการที่จะทำการศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มี
ผลต่ออุณหภูมิเช่น ตำแหน่งของท่อจากผนังด้านนอก
ระยะห่างของท่อ อัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำขา
เข้า เป็นต้น ในการดึงความร้อนสะสมในผนัง ช่วยใน
การลดภาระความเย็น สำหรับห้องปรับอากาศ โดยทำ
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากหลักการ
สมดุลพลังงาน หลักการถ่ายเทความร้อน และวิธี
ผลต่างสี่บเนื้อง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากรูปที่ 2 (ก) ผนังที่ทำการพิจารณาจะถูกแบ่ง
ออกเป็นส่วนย่อยๆ และจากหลักการสมดุลพลังงาน
หลักการถ่ายโอนความร้อน และวิธีการผลต่างสี่บเนื้อง
ในรูปแบบ 2 มิติ ในแนวแกน x และ y โดยสมมุติให้มี
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวแกน z น้อยมาก
ส่วนย่อยดังกล่าวจะมีพื้นที่รับแสงอาทิตย์(A) มีด้าน
ยาวเท่ากับความยาวของท่อ (L) และด้านกว้างเท่ากับ
ระยะระหว่างท่อ ท่อน้ำเป็นท่อทองแดงฝังอยู่ในผนัง
โดยท่อทองแดงจะกำหนดให้เป็นแหล่งรับความร้อน
แบบ Line heat sink และการกำหนด Nodes เพื่อ
วิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2 (ข) และจะมีการวาง
ตำแหน่งท่อตามความลึกของผนัง



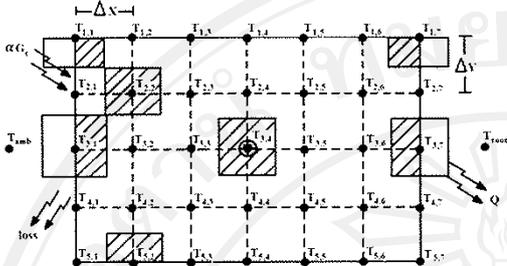
รูปที่ 2 ผนังคอนกรีตแบบ 3 มิติ (ก) และการวิเคราะห์
การถ่ายเทความร้อนในผนังคอนกรีตแบบ 2 มิติ (ข)

การคำนวณหาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายใน
ผนังเย็น สามารถเริ่มจากแบบสมการของ Explicit
finite difference และการใช้สมดุลพลังงานจะได้
สมการหลักของแต่ละ Nodes ดังนี้

$$\frac{\rho C \Delta x \Delta y}{\Delta t} (T_{m,n}^{P+1} - T_{m,n}^P) = k \frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{m,n-1}^P - T_{m,n}^P) + k \frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{m,n+1}^P - T_{m,n}^P) + k \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{m-1,n}^P - T_{m,n}^P) + k \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{m+1,n}^P - T_{m,n}^P) + \dot{q} A \Delta x$$

(1)

3.1 ผนังด้านนอก



รูปที่ 3 ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมดุลพลังงานที่ด้านนอกอาคาร

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 3,1 จะได้สมการดังนี้

Node 3,1:

$$T_{3,1}^{P+1} = T_{3,1}^P + F \left[2 \frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{3,2}^P - T_{3,1}^P) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{2,1}^P - T_{3,1}^P) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{4,1}^P - T_{3,1}^P) + 2N_o (T_{amb}^P - T_{3,1}^P) + 2G_T \alpha \frac{\Delta y}{k} \right] \quad (2)$$

กำหนดให้

$$N = \frac{h \Delta y}{k} \quad F = \left(\frac{k}{\rho c} \right) \frac{\Delta t}{\Delta x \Delta y} = \frac{\alpha \Delta t}{\Delta x \Delta y}$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวผนังด้านที่

รับรังสีอาทิตย์[8] สามารถหาได้จาก

$$h_o = 5.7 + 3.8V \quad (3)$$

โดยที่ $T_{m,n}^{P+1}$ คือ อุณหภูมิผนัง(K) ณ Node m,n ที่

เวลาเปลี่ยนไป $T_{m,n}^P$ คือ อุณหภูมิผนัง(K) ณ Node

m,n $T_{m+1,n}^P$ คือ อุณหภูมิผนัง(K) ณ ตำแหน่ง

ด้านซ้ายของ Node m,n $T_{m-1,n}^P$ คือ อุณหภูมิผนัง

(K) ณ ตำแหน่งด้านบนของ Node m,n $T_{m,n+1}^P$ คือ

อุณหภูมิผนัง(K) ณ ตำแหน่งด้านขวาของ Node m,n

$T_{m,n-1}^P$ คือ อุณหภูมิผนัง(K) ณ ตำแหน่งด้านซ้ายของ

Node m,n T_{amb}^P คือ อุณหภูมิอากาศ(K) k คือ

การนำความร้อน(W/mK) ของคอนกรีต ρ คือความ

หนาแน่น(kg/m³) ของคอนกรีต c คือความจุ

ความร้อน(J/kgK) ของคอนกรีต Δt คือเวลา

เปลี่ยนแปลงไป (s) α คือค่าการดูดกลืนรังสีของผิว

ผนัง V คือความเร็ว(m/s) ของอากาศ G_T คือรังสี

อาทิตย์ที่ตกกระทบผนังอาคาร (W/m²)

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 1,1 ที่บริเวณระยะกึ่งกลางระหว่างท่อ จะได้สมการดังนี้

Node 1,1:

$$T_{1,1}^{P+1} = T_{1,1}^P + F \left[2 \frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{1,2}^P - T_{1,1}^P) + 2 \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{2,1}^P - T_{1,1}^P) + 2N_o (T_{amb}^P - T_{1,1}^P) + 2G_T \alpha \frac{\Delta y}{k} \right] \quad (4)$$

3.2 ด้านในผนัง

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 2,2 จะได้สมการดังนี้

Node 2,2:

$$T_{2,2}^{P+1} = T_{2,2}^P + F \left[\frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{2,1}^P - T_{2,2}^P) + \frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{2,3}^P - T_{2,2}^P) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{1,2}^P - T_{2,2}^P) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{3,2}^P - T_{2,2}^P) \right] \quad (5)$$

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 5,2 ที่บริเวณระยะกึ่งกลางระหว่างท่อ จะได้สมการดังนี้

Node 5,2:

$$T_{5,2}^{P+1} = T_{5,2}^P + F \left[\frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{5,1}^P - T_{5,2}^P) + \frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{5,3}^P - T_{5,2}^P) + 2 \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{4,2}^P - T_{5,2}^P) \right] \quad (6)$$

3.3 ด้านในผนัง ณ จุดที่มีท่อทองแดง

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 3,4 จะได้สมการดังนี้

Node 3,4:

$$T_{3,4}^{P+1} = T_{3,4}^P + F \left[\frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{3,3}^P - T_{3,4}^P) + \frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{3,5}^P - T_{3,4}^P) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{2,4}^P - T_{3,4}^P) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{4,4}^P - T_{3,4}^P) - \frac{m}{nLk} C_{pw} (T_{FO} - T_{FI}) \right] \quad (7)$$

สมการคำนวณหาค่าอุณหภูมิขาออกจากผนัง [1] สามารถหาได้จาก

$$T_{FO}^{P+1} = T_{FI}^P + (T_{WALL}^P - T_{FI}^P) \left(1 - e^{-\frac{UAn}{mC_{pw}}} \right) \quad (8)$$

โดยที่ T_{FO} คืออุณหภูมิ(K) ของน้ำที่ออกจากผนัง

T_{FI} คืออุณหภูมิ(K) ของน้ำที่ไหลเข้าสู่ผนัง T_{WALL} คือ

อุณหภูมิ(K) ของผนังอาคาร ณ ตำแหน่งที่วางท่อน้ำ

U คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(W/m²K)

ของท่อน้ำ m คืออัตราการไหล(kg/s) ของน้ำที่ไหล

ผ่านผนัง n คือจำนวนท่อทองแดงที่ฝังในผนังด้าน

นั้นๆ c_{pw} คือความจุความร้อนจำเพาะ (J/kgK) ของน้ำ A คือพื้นที่ผิว (m^2) ของท่อทองแดง 1 ท่อ

3.3 ผังด้านใน

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 3,7 จะได้สมการดังนี้

Node 3,7:

$$T_{3,7}^{P+1} = T_{3,7}^P + F \left[2 \frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{3,6}^P - T_{3,7}^P) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{2,7}^P - T_{3,7}^P) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{4,7}^P - T_{3,7}^P) + 2N_i (T_{room} - T_{3,7}^P) \right] \quad (9)$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวผังก้านใน

[9] สามารถหาได้จาก

$$h_i = 8.33 \quad W/m^2K \quad (10)$$

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 1,7 ที่บริเวณระยะกึ่งกลางระหว่างท่อ จะได้สมการดังนี้

Node 1,7:

$$T_{1,7}^{P+1} = T_{1,7}^P + F \left[2 \frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{1,6}^P - T_{1,7}^P) + 2 \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{2,7}^P - T_{1,7}^P) + 2N_i (T_{room} - T_{1,7}^P) \right] \quad (11)$$

โดยที่ T_{room} คืออุณหภูมิอากาศภายในห้อง (K)

3. คุณสมบัติและสภาวะเงื่อนไข

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสมมุติให้เป็นแบบผังก้านสำเร็จรูป โดยกำหนดให้มีสีของผังก้านเป็นสีดำเพื่อช่วยให้เห็นความแตกต่างของผลการคำนวณมากขึ้น ผังก้านจะถูกแบ่งออกช่วงๆตามระยะห่างของท่อ ในช่วงท่อที่ถูกแบ่งจะมีลักษณะสมมาตรกัน ดังนั้นจะทำการศึกษาแค่ส่วนของช่วงท่อท่อเดียว คุณสมบัติและสภาวะเงื่อนไขต่างๆกำหนดไว้ดังตารางที่ 1

รายการ	ขนาด
ขนาดผังก้าน	1.5 m x 2.5 m
ความหนาผังก้าน	10 cm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทองแดง (ส่วนที่ติดกับ Header)	1.27 cm
ปริมาตรถึงน้ำท่วมฉนวน	150 Liter
ตำแหน่งการวางท่อตามความลึก	1.67 cm(1), 3.33

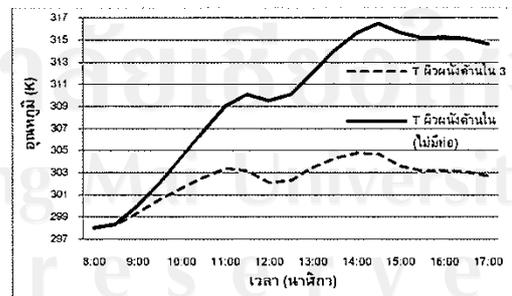
ของผังก้าน นับจากผังก้านด้านนอก	cm(2), 5 cm(3), 6.67 cm(4) และ 8.34 cm(5)
อัตราการไหล	2-8 LPM
จำนวนท่อที่ทำการศึกษา ต่อพื้นที่ผังก้านขนาด 1.5 m x 2.5 m	4-20 ท่อ
ค่าแสงแดดและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	เดือนเมษายน
ค่าการดูดกลืนของผิวผังก้าน (ผิวสีดำ)	0.9
ช่วงเวลาในการคำนวณแต่ละรอบ	60 sec
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	4180 J/kg-K
ความหนาแน่นของน้ำ	1,000 kg/m ³
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของคอนกรีต	880 J/kg-K
ความหนาแน่นของคอนกรีต	2,300 kg/m ³
ค่าการนำความร้อนของคอนกรีต	1.4 W/m-K

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

จากผลการคำนวณอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสามารถแยกผลการทดลองได้ดังนี้

4.1 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิผังก้านปกติดกับผังก้านเย็น

รูปที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิผังก้านปกติด้านในของผังก้านปกติดและผังก้านเย็น กรณีอุณหภูมิของน้ำเข้าผังก้านเย็นคงที่ ที่ 25°C หรือ 298 K ตำแหน่งท่อวางอยู่กลางผังก้าน ระยะห่างระหว่างท่อ 10 เซนติเมตร และอัตราการไหลของน้ำ 6 LPM

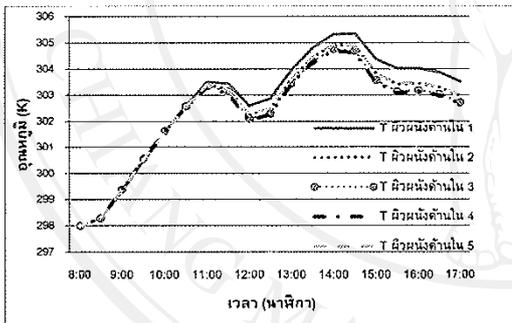


รูปที่ 4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผังก้านปกติด้านในของผังก้านปกติดและผังก้านเย็น อุณหภูมิน้ำเข้าผังก้านเย็นคงที่ที่ 25°C ท่อวางอยู่กลางผังก้าน ระยะห่างระหว่างท่อ 10 เซนติเมตร อัตราการไหล 6 LPM

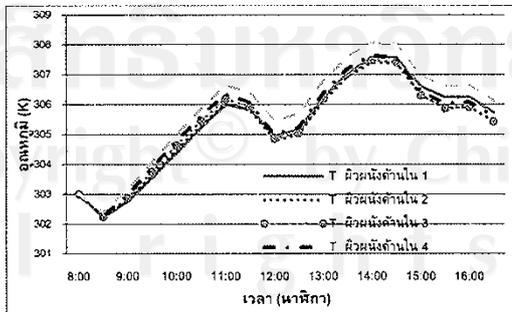
จากรูป พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ผนังจะสะสมความร้อนทำให้อุณหภูมิผนังด้านในของผนังมีค่าเพิ่มขึ้น ช่วงบ่ายจะมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าในช่วงเช้า สำหรับผนังเย็น สามารถลดอุณหภูมิผิวผนังด้านในได้มากกว่าผนังปกติ (อุณหภูมิผนังด้านในสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 43°C) โดยมีค่าแตกต่างสูงสุดถึง 12°C

4.2 การเปลี่ยนตำแหน่งท่อหน้าตามความลึกของผนังเย็น

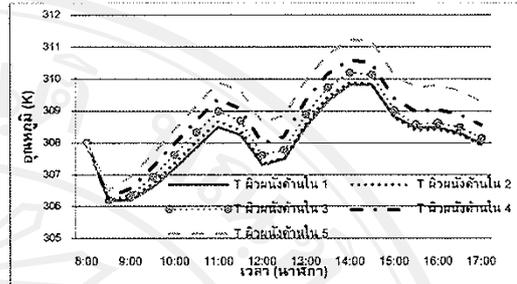
รูปที่ 5-7 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของผนังเย็น ตามการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งท่อหน้า ที่ความลึกของผนัง 5 ตำแหน่ง โดยอุณหภูมิของน้ำที่เข้าผนังอยู่ที่ 25-35°C ระยะห่างระหว่างท่อ 10 เซนติเมตร และอัตราการไหลของน้ำ 6 LPM



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของผนังเย็นตามตำแหน่งท่อหน้า 1-5 ที่อุณหภูมิน้ำเข้า 25°C อัตราการไหล 6 LPM ระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ 10 เซนติเมตร



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของผนังเย็นตามตำแหน่งท่อหน้า 1-5 ที่อุณหภูมิน้ำเข้า 30°C อัตราการไหล 6 LPM ระยะห่างระหว่างท่อ 10 เซนติเมตร



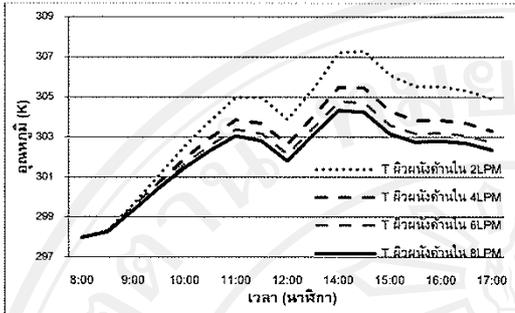
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของผนังเย็นตามตำแหน่งท่อหน้า 1-5 ที่อุณหภูมิน้ำเข้า 35°C อัตราการไหลที่ 6 LPM ระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ 10 เซนติเมตร

ในกรณีที่อุณหภูมิหน้าเข้า มีค่าต่ำ การวางท่อหน้า ที่ความลึกต่างๆ ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิผิวด้านในมากนัก แต่เมื่ออุณหภูมิหน้าเข้าสูงขึ้น การดึงความร้อนที่สะสมในผนังจะยากขึ้น และจากรูป 5-7 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิหน้าเข้าผนังเย็น จะทำให้ตำแหน่งท่อหน้าที่ดีที่สุดที่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวด้านในมีค่าต่ำสุด จะค่อยๆ เคลื่อนเข้าใกล้ผิวผนังด้านนอกมากขึ้น ในกรณีที่อุณหภูมิหน้าเข้ามีค่าสูงขึ้น ถ้าท่ออยู่ใกล้ผนังด้านใน ท่อน้ำอาจจะเป็นแหล่งจ่ายความร้อนให้กับผนังด้านใน ดังนั้นตำแหน่งของท่อควรเลื่อนเข้ามายังผนังด้านนอกซึ่งมีอุณหภูมิสูง เพื่อให้หน้าในท่อน้ำยังสามารถรับความร้อนจากบริเวณดังกล่าวได้

จากรูปที่ 5 เมื่ออุณหภูมิหน้าเข้าอยู่ที่ 25°C ค่าอุณหภูมิที่ต่ำสุดของผนังด้านในอยู่ที่การวางท่อที่ตำแหน่งที่ 4 โดยมีค่าประมาณ 31°C และในรูปที่ 7 เมื่ออุณหภูมิหน้าเข้าอยู่ที่ 35°C ค่าอุณหภูมิที่ต่ำสุดของผนังด้านในอยู่ที่การวางท่อที่ตำแหน่งที่ 1 โดยมีค่าประมาณ 37°C เทียบกับอุณหภูมิสูงสุดของผนังปกติที่ 43°C

4.3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเข้าผนังเย็น

รูปที่ 8 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเข้าตั้งแต่ 2-8 LPM การทดสอบจะวางตำแหน่งท่อหน้าไว้ที่กึ่งกลางผนัง โดยให้อุณหภูมิของน้ำเข้าคงที่ที่ 25°C และระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ 10 เซนติเมตร

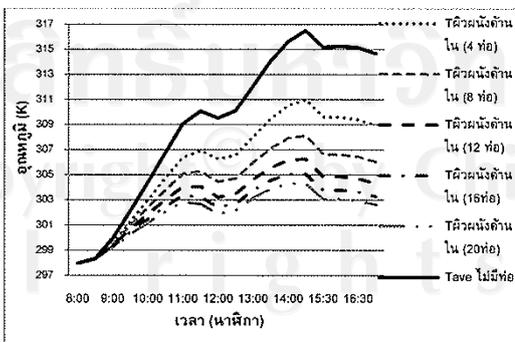


รูปที่ 8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของผนังเย็นตามอัตราการไหลของน้ำต่างๆ อุณหภูมิน้ำเข้าผนังเย็นคงที่ที่ 25°C ระยะห่างระหว่างท่อ 10 เซนติเมตร

จากรูป พบว่าเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นจะทำให้สามารถลดอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในได้ดีขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหล ความเร็วภายในท่อจะสูงขึ้น ทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อสูงขึ้น สามารถดึงความร้อนออกจากผนังได้ดีขึ้น

4.4 การเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างท่อ

รูปที่ 9 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างท่อ การเพิ่มหรือลดระยะห่างระหว่างท่อจะเป็นการเปลี่ยนแปลงจำนวนท่อภายในผนังเย็น โดยระยะห่างมากขึ้นจำนวนท่อก็จะน้อยลง ในรูปอุณหภูมิ น้ำเข้าคงที่ที่ 25°C ท่อวางอยู่ที่ความลึกกึ่งกลางผนัง อัตราการไหลของน้ำ 6 LPM



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของผนังเย็นตามอัตราการไหลของน้ำ 2-8 LPM อุณหภูมิ น้ำเข้าผนังเย็นคงที่ที่ 25°C ท่อวางอยู่ที่กึ่งกลางผนัง อัตราการไหล 6 LPM

จากรูป พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนท่อมากขึ้น พื้นที่ในการดึงความร้อนจากผนังจะมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้สามารถลดอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อจำนวนท่อมากกว่า 16 ท่อ พบว่าความสามารถในการลดอุณหภูมิผนังด้านในไม่แตกต่างกันมากนัก

5. สรุปผล

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ศึกษาผนังเย็นโดยใช้วิธีหลักการสมดุลพลังงาน หลักการถ่ายโอนความร้อนและวิธีการผลต่างสี่เหลี่ยม เพื่อวิเคราะห์ผลจากพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- (1) เมื่ออุณหภูมิของน้ำเข้าผนังเย็นเพิ่มขึ้น ตำแหน่งที่เหมาะสมของท่อน้ำจะขยับเข้าใกล้ผิวผนังด้านนอกมากขึ้น ซึ่งจะสามารถลดความร้อนสะสมในผนังได้ดี โดยทำให้อุณหภูมิผนังด้านในมีค่าต่ำสุด
- (2) เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลและจำนวนท่อจะทำให้สามารถดึงความร้อนสะสมจากผนังได้ดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิของผิวผนังด้านในลดลง และจากการศึกษานี้ ที่อัตราการไหลตั้งแต่ 6 LPM ขึ้นไป และจำนวนท่อตั้งแต่ 16 ท่อ ขึ้นไป พบว่าความสามารถในการลดอุณหภูมิที่ผนังด้านในไม่แตกต่างกันมากนัก

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาคีวิศวกรกรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้เลื้อยเพื่อสถานที่และอุปกรณ์ในการศึกษา และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการสนับสนุนงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] มาณพ วีเกษ (2543). การใช้ผนังเย็นเพื่อลดภาระความเย็นในอาคารปรับอากาศ วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(เครื่องกล) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [2] พิชาญ โทมลฤณขร (2541). การลดภาระความเย็นโดยใช้กำแพงเย็น วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2541.
- [3] ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง และปิยะโรจน์ สมานคงศักดิ์ (2547). การศึกษาและจำลองแบบระบายความร้อนของเพดานสำหรับบ้านพักอาศัย, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่14, ฉบับที่ 3, (ก.ค.-ก.ย. 2547).
- [4] Xing Jin., et al. (2010). *Numerical Simulation of Radiant Floor Cooling System: The Effects of Thermal Resistance of Pipe and Water Velocity on the Performance*, Southeast University.
- [5] Antonopoulos, K.A., et al. (1996). *Experiment and Theoretical Studies of Space Cooling Using Ceiling-Embedded Piping*, National Technical University.
- [6] Ho, S.Y., et al. (1994). *Simulation of the Dynamic Behaviour of a Hydronic Floor Heating System*, University of Alberta.
- [7] Sattari, S. and Farhanieh, B. (2005). *A Parametric Study on Radiant Floor Heating System Performance*, Sharif University of Technology.
- [8] Duffie, J.A. and Beckman, W.A. (1980). *Solar Engineering of Thermal Process*: John Wiley & Sons, Inc.
- [9] พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม, กฎกระทรวง ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535, สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, ประกาศในราชกิจจานุเบกษาฉบับกฤษฎีกา เล่ม 112 ตอนที่ 33 ก ลงวันที่ 14 สิงหาคม 2538.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

นายอรรถกร อาสนคำ

วัน เดือน ปีเกิด

21 ธันวาคม 2530

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมปลายจาก โรงเรียนพะเยา
พิทยาคม 2548สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา
วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่
ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved