บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลอง

ชิ้นงานทดลองที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 6 ตัวอย่างการทดลอง ประกอบด้วย แผ่นเหล็ก แผ่นทองแดง แผ่นอลูมิเนียม แผ่นเหล็กเคลือบผิวสีดำ แผ่นทองแดงเคลือบผิวสีดำและแผ่นอลูมิเนียมเคลือบผิวสีดำ แผ่นโลหะทุกแผ่นหนาแผ่นละ 1 มิลลิเมตร ขัดผิวด้วยกระดาษทรายน้ำหมายเลข 360 สีดำที่ใช้เคลือบผิวโลหะเป็นสีดำด้านชนิดทนความร้อนได้ประมาณ 650 องศาเซลเซียส ตรา TOA

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือวัดค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากต่างประเทศซึ่งได้แสดงค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนไว้ในตารางที่ 5.1 และผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือวัดค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนที่สร้างขึ้นซึ่งได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 5.2 ถึง 5.7

5.2 ผลการทดลองจากเครื่องมือวัดค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากต่างประเทศ

ในการทดลองเครื่องมือวัดค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากต่างประเทศได้ผลการทดลองซึ่งแสดงในตารางที่ 5.1

5.3 การคำนวณหาค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากผลการทดลอง

ผลการทดลองซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 ถึง 5.7 สามารถนำไปคำนวณหาค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนและค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนที่ได้จากการทดลองของเครื่องมือจากต่างประเทศ ผลการคำนวณแสดงไว้ในตารางที่ 5.8 ถึง 5.19

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนที่ได้จากการทดลองเครื่องมือวัดค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากต่างประเทศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ชิ้นงานทดลอง	ค่าการปล่อยออกรังสีความร้อน
เหล็ก	0.40
ทองแดง	0.25
อลูมิเนียม	0.53
เหล็กเคลือบผิวสีดำ	0.85
ทองแดงเคลือบผิวสีดำ	0.85
อลูมิเนียมเคลือบผิวสีดำ	0.87

หมายเหตุ ค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนที่แสดงในตารางที่ 5.1 นี้เป็นค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนแบบตั้งฉาก

ตารางที่ 5.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองของวัสดุเหล็ก

อุณหภูมิชิ้นงานทดลอง (°C)	อุณหภูมิฝาครอบรูปครึ่งทรงกลม (°C)	อุณหภูมิแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (°C)	อุณหภูมิของทองแดงแผ่นล่าง (°C)	อุณหภูมิพื้นถาดทองแดง (°C)	อุณหภูมิขอบถาดทองแดง (°C)	อุณหภูมิตัวกดชิ้นงานทดลอง (°C)	อุณหภูมิฉนวนเบเกอไรต์ (°C)	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก		พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนที่จ่ายให้ชิ้นงานทดลอง	
								แรงเคลื่อน (V)	กระแส (A)	แรงเคลื่อน (V)	กระแส (A)
100	31.3	55.8	120.2	120.2	120.4	100	76.1	30.5	0.3	40.1	0.18
90	30.5	50.9	107	107	107.2	90	67.1	24.3	0.27	35.5	0.17
80	30.2	45.7	91.3	91.3	91.5	80	60.7	16.9	0.23	31.4	0.15
70	29.7	42.2	78.7	78.7	78.9	70	52.8	14.9	0.21	28.2	0.13
60	29.2	39.4	65.5	65.5	65.7	60	46.6	11.7	0.2	23.8	0.11
50	28.8	36.6	53.1	53.1	53.2	50	43.3	9.5	0.15	18.8	0.09
40	28.5	33.1	41.9	41.9	42.0	40	36	7.1	0.1	14.5	0.06

ตารางที่ 5.3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองของวัสดุทองแดง

อุณหภูมิชิ้นงานทดลอง (°C)	อุณหภูมิฝาครอบรูปครึ่งทรงกลม (°C)	อุณหภูมิแผ่นอลูมิ - เนียมฟอยล์ (°C)	อุณหภูมิของทองแดงแผ่นล่าง (°C)	อุณหภูมิพื้นถาดทองแดง (°C)	อุณหภูมิขอบถาดทองแดง (°C)	อุณหภูมิตัวกดชิ้น-งานทดลอง (°C)	อุณหภูมิฉนวนเบเกอไรค์ (°C)	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก		พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนที่จ่ายให้ชิ้นงานทดลอง	
								แรงเคลื่อน (V)	กระแส (A)	แรงเคลื่อน (V)	กระแส (A)
100	31.5	54.5	113.1	113.1	113.2	100	74.1	27.3	0.28	31.4	0.15
90	30.7	50	101.1	101.1	101.3	90	66.2	22.8	0.27	28.5	0.13
80	30.3	45.7	88.6	88.6	88.8	80	58.5	15.7	0.23	24.6	0.12
70	29.8	42.6	76.7	76.7	76.8	70	53.9	14.2	0.21	22.9	0.1
60	29.3	38.8	65.1	65.1	65.2	60	47.3	11.2	0.2	19.9	0.08
50	28.9	35.4	53.2	53.2	53.3	50	42.4	9.5	0.15	15.1	0.07
40	28.4	32.3	41.5	41.5	41.7	40	36.4	6.9	0.1	10.7	0.05

ตารางที่ 5.4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองของวัสดุอลูมิเนียม

อุณหภูมิชิ้นงานทดลอง (°C)	อุณหภูมิฝาครอบรูปครึ่งทรงกลม (°C)	อุณหภูมิแผ่นอลูมิ - เนียมฟอยล์ (°C)	อุณหภูมิของทองแดงแผ่นล่าง (°C)	อุณหภูมิพื้นถาดทองแดง (°C)	อุณหภูมิขอบถาดทองแดง (°C)	อุณหภูมิตัวกดชิ้น-งานทดลอง (°C)	อุณหภูมิฉนวนเบเกอไรต์ (°C)	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนบน		พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนที่จ่ายให้ชิ้นงานทดลอง	
								แรงเคลื่อน (V)	กระแส (A)	แรงเคลื่อน (V)	กระแส (A)
100	31.3	50.6	112.8	112.8	112.9	100	74.9	25.2	0.28	45.1	0.21
90	30.4	47.2	100.6	100.6	100.7	90	68	22.5	0.27	41.3	0.19
80	30.6	43.8	88.5	88.5	88.7	80	60.8	16.3	0.23	36	0.17
70	30.1	40.8	76.6	76.6	76.8	70	55.1	14.4	0.21	31.8	0.15
60	29.5	38.3	64.8	64.8	65	60	49.5	11.3	0.2	27	0.13
50	28.8	34.8	52.7	52.7	52.8	50	42.4	8.9	0.15	23.1	0.1
40	28.3	31.7	41.5	41.5	41.5	40	36.2	6.2	0.1	16.9	0.07

ตารางที่ 5.5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองของวัสดุเหล็กเคลือบผิวสีดำ

อุณหภูมิชิ้นงานทดลอง (°C)	อุณหภูมิฝาครอบรูปครึ่งทรงกลม (°C)	อุณหภูมิแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (°C)	อุณหภูมิของทองแดงแผ่นล่าง (°C)	อุณหภูมิพื้นถาดทองแดง (°C)	อุณหภูมิขอบถาดทองแดง (°C)	อุณหภูมิตัวกดชิ้นงานทดลอง (°C)	อุณหภูมิฉนวนเบเกอไรต์ (°C)	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก		พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนที่จ่ายให้ชิ้นงานทดลอง	
								แรงเคลื่อน (V)	กระแส (A)	แรงเคลื่อน (V)	กระแส (A)
100	32.3	57.8	124.5	124.5	124.6	100	77.1	32.8	0.31	55.7	0.27
90	31.6	53.3	109.9	109.9	110	90	70.2	26.3	0.28	49.2	0.25
80	30.8	50.1	96.3	96.3	96.4	80	65.2	19.2	0.24	44.4	0.22
70	30.1	45.9	83.3	83.3	83.4	70	58.6	17.8	0.24	39.4	0.19
60	29.5	41.4	69.5	69.5	69.7	60	50.7	12.8	0.22	33.9	0.16
50	29.7	37.6	55.9	55.9	56	50	44.9	10.4	0.16	26.4	0.13
40	29.4	34.2	43.2	43.2	43.3	40	40.1	7.5	0.1	19.2	0.09

ตารางที่ 5.6 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองของวัสดุทองแดงเคลือบผิวสีดำ

อุณหภูมิชิ้นงานทดลอง (°C)	อุณหภูมิฝาครอบรูปครึ่งทรงกลม (°C)	อุณหภูมิแผ่นอลูมิ - เนียมฟอยล์ (°C)	อุณหภูมิของทองแดงแผ่นล่าง (°C)	อุณหภูมิพื้นถาดทองแดง (°C)	อุณหภูมิขอบถาดทองแดง (°C)	อุณหภูมิตัวกดชิ้น-งานทดลอง (°C)	อุณหภูมิฉนวนเบเกอไรต์ (°C)	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก		พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนที่จ่ายให้ชิ้นงานทดลอง	
								แรงเคลื่อน (V)	กระแส (A)	แรงเคลื่อน (V)	กระแส (A)
100	33	58.3	124.1	124.1	124.1	100	79.6	32.8	0.31	55.3	0.27
90	32.5	54	110.1	110.1	110.2	90	72.4	26.3	0.28	48.7	0.25
80	31.4	49.4	96.3	96.3	96.4	80	64.4	19.2	0.24	44	0.22
70	30.6	44.7	82.8	82.8	82.9	70	56	17.1	0.24	39.1	0.19
60	30	40.6	69.2	69.2	69.3	60	49.4	12.8	0.22	33.5	0.16
50	29.5	36.7	56.8	56.8	56.9	50	42.9	10.6	0.16	26.8	0.13
40	29.1	33.5	43.3	43.3	43.4	40	36.7	7.5	0.1	19.5	0.09

ตารางที่ 5.7 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองของวัสดุอลูมิเนียมเคลือบผิวสีดำ

อุณหภูมิชิ้นงานทดลอง (°C)	อุณหภูมิฝาครอบรูปครึ่งทรงกลม (°C)	อุณหภูมิแผ่นอลูมิ - เนียมฟอยล์ (°C)	อุณหภูมิของทองแดงแผ่นล่าง (°C)	อุณหภูมิพื้นถาดทองแดง (°C)	อุณหภูมิขอบถาดทองแดง (°C)	อุณหภูมิตัวกดชิ้น-งานทดลอง (°C)	อุณหภูมิฉนวนเบเกอไรต์ (°C)	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก		พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนที่จ่ายให้ชิ้นงานทดลอง	
								แรงเคลื่อน (V)	กระแส (A)	แรงเคลื่อน (V)	กระแส (A)
100	32.4	56.8	118.5	118.5	118.6	100	76.9	29.1	0.3	56.8	0.27
90	31.6	52.4	105.7	105.7	105.8	90	68.9	23.9	0.27	50.3	0.25
80	30.9	47.7	92.9	92.9	93	80	55.8	17.9	0.23	45.4	0.22
70	30.1	42.5	79.1	79.1	79.2	70	52.1	14.7	0.21	40.5	0.19
60	29.5	39.2	65.9	65.9	66	60	46.1	11.6	0.2	34.8	0.16
50	29.5	36.8	54.4	54.4	54.5	50	43	10.1	0.16	27.5	0.13
40	29	33.6	42.1	42.1	42.2	40	38.1	7.3	0.1	20.2	0.09

ตารางที่ 5.8 แสดงผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียมด้วยข้อมูลจากตารางที่ 5.2

อุณหภูมิผิวบนของฉนวนแอสเบสโทส (T_A, °C)	อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนแอสเบสโทส (T_B, °C)	$T_A - T_B$ (°C)	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฉนวนแอสเบสโทส (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียม (วัตต์)
120.4	76.1	44.3	4.846	9.15	4.304
107.2	67.1	40.1	4.387	6.561	2.174
91.5	60.7	30.8	3.369	3.887	0.518
78.9	52.8	26.1	2.855	3.129	0.274
65.7	46.6	19.1	2.089	2.34	0.251
53.2	43.3	9.9	1.083	1.425	0.342
42	36	6	0.656	0.71	0.054

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียมด้วยข้อมูลจากตารางที่ 5.3

อุณหภูมิผิวบนของฉนวนแอสเบสไทส (T_A, °C)	อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนแอสเบสไทส (T_B, °C)	$T_A - T_B$ (°C)	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฉนวนแอสเบสไทส (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียม (วัตต์)
113.2	74.1	39.1	4.278	7.644	3.366
101.3	66.2	35.1	3.84	6.156	2.316
88.8	58.5	30.3	3.315	3.611	0.296
76.8	53.9	22.9	2.505	2.982	0.477
65.2	47.3	17.9	1.958	2.24	0.282
53.3	42.4	10.9	1.192	1.425	0.233
41.7	36.4	5.3	0.580	0.69	0.11

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียมด้วยข้อมูลจากตารางที่ 5.4

อุณหภูมิผิวบนของฉนวนแอสเบสโทส (T_A, °C)	อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนแอสเบสโทส (T_B, °C)	$T_A - T_B$ (°C)	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฉนวนแอสเบสโทส (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียม (วัตต์)
112.9	74.9	38	4.157	7.056	2.899
100.7	68	32.7	3.578	6.075	2.497
88.7	60.8	27.9	3.052	3.749	0.697
76.9	55.1	21.8	2.385	3.024	0.639
65	49.5	15.5	1.696	2.26	0.564
52.8	42.4	10.4	1.138	1.335	0.197
41.5	36.2	5.3	0.58	0.62	0.04

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียมด้วยข้อมูลจากตารางที่ 5.5

อุณหภูมิผิวบนของฉนวนแอสเบสโทส (T_A, °C)	อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนแอสเบสโทส (T_B, °C)	$T_A - T_B$ (°C)	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฉนวนแอสเบสโทส (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียม (วัตต์)
124.6	77.1	47.5	5.196	10.168	4.972
110	70.2	39.8	4.354	7.364	3.01
96.4	65.2	31.2	3.413	4.608	1.195
83.4	58.6	24.8	2.713	4.272	1.559
69.7	50.7	19	2.078	2.816	0.738
56	44.9	11.1	1.214	1.664	0.45
43.3	40.1	3.2	0.35	0.75	0.4

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียมด้วยข้อมูลจากตารางที่ 5.6

อุณหภูมิผิวบนของฉนวนแอสเบสโทส (T_A, °C)	อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนแอสเบสโทส (T_B, °C)	$T_A - T_B$ (°C)	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฉนวนแอสเบสโทส (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียม (วัตต์)
124.1	79.6	44.5	4.868	10.168	5.3
110.2	72.4	37.8	4.135	7.364	3.229
96.4	64.4	32	3.501	4.608	1.107
82.9	56	26.9	2.943	4.104	1.161
69.3	49.4	19.9	2.177	2.816	0.639
56.9	42.9	14	1.531	1.696	0.165
43.4	36.7	6.7	0.733	0.75	0.017

ตารางที่ 5.13 แสดงผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียมด้วยข้อมูลจากตารางที่ 5.7

อุณหภูมิผิวบนของฉนวนแอสเบสโทส (T_A, °C)	อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนแอสเบสโทส (T_B, °C)	$T_A - T_B$ (°C)	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฉนวนแอสเบสโทส (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียม (วัตต์)
118.6	76.9	41.7	4.562	8.73	4.168
105.8	68.9	36.9	4.037	6.453	2.416
93	61.4	31.6	3.457	4.117	0.66
79.2	52.1	27.1	2.965	3.087	0.122
66	46.1	19.9	2.177	2.32	0.143
54.5	43	11.5	1.258	1.616	0.358
42.2	38.1	4.1	0.448	0.73	0.282

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการคำนวณค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากตารางที่ 5.2 และ 5.8

อุณหภูมิชิ้นงานทดลอง (T_1,K)	373	363	353	343	333	323	313
อุณหภูมิฝาครอบ (T_2,K)	304.3	303.5	303.2	302.7	302.2	301.8	301.5
อุณหภูมิแผ่นอลูมิเนียม (T_3,K)	328.8	323.9	318.7	315.2	312.4	309.6	306.1
$E_{b1} = \delta T_1^4$, W/m^2	1097.477	984.434	880.357	784.759	697.167	617.121	544.173
$E_{b2} = \delta T_2^4$, W/m^2	486.147	481.055	479.156	476.003	472.866	470.367	468.50
$E_{b3} = \delta T_3^4$, W/m^2	662.655	624.027	584.909	559.635	540.013	520.911	497.752
พลังงานที่ออกจากชิ้นงานทดลอง (Q_1,W)	7.218	6.035	4.71	3.666	2.618	1.692	0.87
พลังงานที่ออกจากแผ่นอลูมิเนียม (Q_3,W)	4.304	2.174	0.518	0.274	0.251	0.342	0.054
พลังงานที่ฝาครอบได้รับ (Q_2W)	11.522	8.209	5.228	3.94	2.869	2.032	0.924
J_2 (W/m^2)	493.254	486.118	482.38	478.433	474.635	471.621	469.07
J_3 (W/m^2)	545.041	512.277	488.607	481.73	477.647	475.735	469.72
X_1	0.02	0.0206	0.0198	0.0202	0.0196	0.0193	0.0192
ε_1	0.406	0.413	0.403	0.408	0.401	0.397	0.396

ตารางที่ 5.15 แสดงผลการคำนวณค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากตารางที่ 5.3 และ 5.9

อุณหภูมิชิ้นงานทดลอง (T_1,K)	373	363	353	343	333	323	313
อุณหภูมิฝาครอบ (T_2,K)	304.5	303.7	303.3	302.8	302.3	301.9	301.4
อุณหภูมิแผ่นอลูมิเนียม (T_3,K)	327.5	323	318.7	315.6	311.8	308.4	305.3
$E_{b1} = \delta T_1^4$, W/m^2	1097.477	984.434	880.357	784.759	697.167	617.121	544.173
$E_{b2} = \delta T_2^4$, W/m^2	487.427	482.324	479.788	476.632	473.492	470.991	467.878
$E_{b3} = \delta T_3^4$, W/m^2	652.237	617.121	584.909	562.481	535.876	512.882	492.569
พลังงานที่ออกจากชิ้นงานทดลอง (Q_1,W)	4.71	3.705	2.952	2.29	1.592	1.057	0.535
พลังงานที่ออกจากแผ่นอลูมิเนียม (Q_3,W)	3.366	2.316	0.296	0.477	0.282	0.233	0.11
พลังงานที่ฝาครอบได้รับ (Q_2W)	8.076	6.021	3.248	2.767	1.874	1.29	0.645
J_2 (W/m^2)	492.409	486.038	481.791	478.339	474.648	471.787	468.276
J_3 (W/m^2)	532.921	513.904	485.355	484.078	478.036	474.59	469.602
X_1	0.01	0.0099	0.0099	0.01	0.0099	0.0097	0.0093
ε_1	0.254	0.252	0.252	0.254	0.252	0.249	0.24

ตารางที่ 5.16 แสดงผลการคำนวณค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากตารางที่ 5.4 และ 5.10

อุณหภูมิชิ้นงานทดลอง (T_1,K)	373	363	353	343	333	323	313
อุณหภูมิฝาครอบ (T_2,K)	304.3	303.4	303.6	303.1	302.5	301.8	301.3
อุณหภูมิแผ่นอลูมิเนียม (T_3,K)	323.6	320.2	316.8	313.8	311.3	307.8	304.7
$E_{b1} = \delta T_1^4$, W/m^2	1097.477	984.434	880.357	784.759	697.167	617.121	544.173
$E_{b2} = \delta T_2^4$, W/m^2	486.147	480.421	481.689	478.524	474.746	470.367	467.258
$E_{b3} = \delta T_3^4$, W/m^2	621.719	595.998	571.085	549.758	532.447	508.902	488.708
พลังงานที่ออกจากชิ้นงานทดลอง (Q_1,W)	9.471	7.847	6.12	4.77	3.51	2.31	1.183
พลังงานที่ออกจากแผ่นอลูมิเนียม (Q_3,W)	2.899	2.497	0.697	0.639	0.564	0.197	0.04
พลังงานที่ฝาครอบได้รับ (Q_2W)	12.37	10.344	6.817	5.409	4.074	2.507	1.223
J_2 (W/m^2)	493.777	486.801	485.894	481.86	477.259	471.913	468.012
J_3 (W/m^2)	528.658	516.993	494.28	489.549	484.045	474.286	468.496
X_1	0.0336	0.0339	0.0329	0.034	0.035	0.0348	0.0331
ϵ_1	0.534	0.536	0.529	0.537	0.544	0.543	0.53

ตารางที่ 5.17 แสดงผลการคำนวณค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากตารางที่ 5.5 และ 5.11

อุณหภูมิชิ้นงานทดลอง (T_1,K)	373	363	353	343	333	323	313
อุณหภูมิฝาครอบ (T_2,K)	305.3	304.6	303.8	303.1	302.5	302.7	302.4
อุณหภูมิแผ่นอลูมิเนียม (T_3,K)	330.8	326.3	323.1	318.9	314.4	310.6	307.2
$E_{b1} = \delta T_1^4$, W/m^2	1097.477	984.434	880.357	784.759	697.167	617.121	544.173
$E_{b2} = \delta T_2^4$, W/m^2	492.569	488.067	482.96	478.524	474.746	476.003	474.119
$E_{b3} = \delta T_3^4$, W/m^2	678.925	642.73	617.885	586.379	553.975	527.674	504.946
พลังงานที่ออกจากชิ้นงานทดลอง (Q_1,W)	15.039	12.3	9.768	7.486	5.424	3.432	1.728
พลังงานที่ออกจากแผ่นอลูมิเนียม (Q_3,W)	4.972	3.01	1.195	1.559	0,738	0.45	0.4
พลังงานที่ฝาครอบได้รับ (Q_2W)	20.011	15.31	10.963	9.045	6.162	3.882	2.128
J_2 (W/m^2)	504.912	497.51	489.722	484.103	478.547	478.397	475.432
J_3 (W/m^2)	564.736	533.727	504.101	502.861	487.427	483.812	480.244
X_1	0.183	0.1789	0.169	0.1629	0.1604	0.1576	0.1735
ϵ_1	0.862	0.86	0.852	0.847	0.845	0.843	0.856

ตารางที่ 5.18 แสดงผลการคำนวณค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากตารางที่ 5.6 และ 5.12

อุณหภูมิชิ้นงานทดลอง (T_1,K)	373	363	353	343	333	323	313
อุณหภูมิฝาครอบ (T_2,K)	306	305.5	304.4	303.6	303	302.5	302.1
อุณหภูมิแผ่นอลูมิเนียม (T_3,K)	331.3	327	322.4	317.7	313.6	309.7	306.5
$E_{b1} = \delta T_1^4$, W/m^2	1097.477	984.434	880.357	784.759	697.167	617.121	544.173
$E_{b2} = \delta T_2^4$, W/m^2	497.102	493.861	486.787	481.689	477.893	474.746	472.24
$E_{b3} = \delta T_3^4$, W/m^2	683.039	648.263	612.548	577.602	548.358	521.585	500.359
พลังงานที่ออกจากชิ้นงานทดลอง (Q_1,W)	14.931	12.175	9.68	7.429	5.36	3.484	1.755
พลังงานที่ออกจากแผ่นอลูมิเนียม (Q_3,W)	5.3	3.229	1.107	1.161	0.639	0.165	0.017
พลังงานที่ฝาครอบได้รับ (Q_2W)	20.231	15.404	10.787	8.59	5.999	3.649	1.772
J_2 (W/m^2)	509.581	503.363	492.841	486.987	481.593	476.997	473.333
J_3 (W/m^2)	573.352	542.215	506.16	500.957	489.282	478.982	473.537
X_1	0.1835	0.1809	0.1698	0.1659	0.1629	0.1641	0.1611
ε_1	0.863	0.861	0.853	0.85	0.847	0.848	0.846

ตารางที่ 5.19 แสดงผลการคำนวณค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากตารางที่ 5.7 และ 5.13

อุณหภูมิชิ้นงานทดลอง (T_1,K)	373	363	353	343	333	323	313
อุณหภูมิฝาครอบ (T_2,K)	305.4	304.6	303.9	303.1	302.5	302.5	302
อุณหภูมิแผ่นอลูมิเนียม (T_3,K)	329.8	325.4	320.7	315.5	312.2	309.8	306.6
$E_{b1} = \delta T_1^4$, W/m^2	1097.477	984.434	880.357	784.759	697.167	617.121	544.173
$E_{b2} = \delta T_2^4$, W/m^2	493.215	488.067	483.596	478.524	474.746	474.746	471.615
$E_{b3} = \delta T_3^4$, W/m^2	670.753	635.668	599.73	561.769	538.631	522.259	501.012
พลังงานที่ออกจากชิ้นงานทดลอง (Q_1,W)	15.336	12.575	9.988	7.695	5.568	3.575	1.818
พลังงานที่ออกจากแผ่นอลูมิเนียม (Q_3,W)	4.168	2.416	0.66	0.122	0.143	0.358	0.282
พลังงานที่ฝาครอบได้รับ (Q_2W)	19.504	14.991	10.648	7.817	5.711	3.933	2.1
J_2 (W/m^2)	505.246	497.314	490.164	483.346	478.269	477.172	472.91
J_3 (W/m^2)	555.396	526.384	498.105	484.814	479.989	481.479	476.303
X_1	0.2155	0.2124	0.2018	0.1988	0.1931	0.1978	0.1947
ε_1	0.88	0.878	0.873	0.871	0.868	0.871	0.869

การคำนวณตารางที่ 5.8 ถึง 5.13 จากข้อมูลตารางที่ 5.2 ถึง 5.7 ตามลำดับ

ตัวอย่างการคำนวณอันดับแรกของตารางที่ 5.8 จากอันดับแรกของตารางที่ 5.2

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก 30.5 โวลท์

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก 0.3 แอมแปร์

ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ทำความร้อนส่วนนอก = (30.5)(0.3)

= 9.15 วัตต์

พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฉนวนแอสเบสไทส = $kA(T_A-T_B)/L$

เมื่อ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนแอสเบสไทส (k) = 0.166 W/m-K

พื้นที่ผิวของฉนวนแอสเบสไทส (A) = 0.0174 m^2

ความหนาของฉนวนแอสเบสไทส (L) = 26.4 mm.

ความแตกต่างของอุณหภูมิ (T_A-T_B) = 44.3 K

ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฉนวนแอสเบสไทส $= \frac{0.166(0.0174)(44.3)}{0.0264}$

= 4.846 วัตต์

เพราะฉะนั้น พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นอลูมิเนียม (Q_3) = 9.15-4.846

= 4.304 วัตต์

การคำนวณตารางที่ 5.14 ถึง 5.19 จากข้อมูลตารางที่ 5.2 และ 5.8 ถึง 5.7 และ 5.13 ตามลำดับ

ตัวอย่างการคำนวณอันดับแรกของตารางที่ 5.14 จากอันดับแรกของตารางที่ 5.2 และ 5.8

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ทำความร้อนที่จ่ายให้กับชิ้นงานทดลอง 40.1 โวลท์

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ทำความร้อนที่จ่ายให้กับชิ้นงานทดลอง 0.18 แอมแปร์

ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ทำความร้อนที่จ่ายให้กับชิ้นงานทดลอง (Q_1) =

(40.1)(0.18) = 7.218 วัตต์

จากสมการ (4-1)

$Q_2 = Q_1+Q_3$ = 7.218 + 4.304

= 11.522 วัตต์

อุณหภูมิของชิ้นงานทดลอง (T_1) = 100°C = 373 K

$$E_{b1} = \sigma T_1^4$$
$$= (5.6697 \times 10^{-8})(373)^4$$
$$= 1097.477 \ W/m^2$$

อุณหภูมิของฝาครอบรูปครึ่งทรงกลม (T_2) = 31.3°C = 304.3 K

$$E_{b2} = (5.6697 \times 10^{-8})(304.3)^4$$
$$= 486.147 \ W/m^2$$

อุณหภูมิของแผ่นอลูมิเนียม (T_3) = 55.8 °C = 328.8 K

$$E_{b3} = (5.6697 \times 10^{-8})(328.8)^4$$
$$= 662.655 \ W/m^2$$

จากสมการ (2-20)

$$J_2 = E_{b2} - (Q_2/X_2)$$
$$= 486.147 - (-11.522/1.6212)$$
$$= 493.254 \ W/m^2$$

จากสมการ (2-21)

$$J_3 = J_2 - (Q_3/Y_2)$$
$$= 493.254 - (-4.304 / 0.08311)$$
$$= 545.041 \ W/m^2$$

จากสมการ (2-17) และ (2-19) ได้

$$X_1 = \frac{-Q_1 X_2}{X_2(E_{b2} - E_{b1}) + X_3(E_{b3} - J_3) + Q_1(1 + X_2/Y_1)}$$

$$= \frac{-(7.218)(1.6212)}{(1.6212)(486.147-1097.477) + 0.003463(662.655-545.041) + 7.218\left(1+\frac{1.6212}{0.0293}\right)}$$

$$= 0.02$$

แต่ $$\varepsilon_1 = \frac{X_1/A_1}{1 + X_1/A_1}$$

$$= \frac{0.02/0.0299}{1 + (0.02/0.0293)}$$

ค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนได้ = 0.406

5.4 อภิปรายค่าการปล่อยออกรังสีความร้อน

ค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนที่ทดลองได้นี้ เป็นค่า เฉพาะของวัสดุชิ้นที่นำมาทำการทดลอง เท่านั้น เพราะค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนของวัสดุชนิดหนึ่ง ๆ แตกต่างกันได้เนื่องจาก

ก. อ๊อกไซด์ของโลหะซึ่งเกิดที่ผิวของโลหะ อ๊อกไซด์ของโลหะทำให้ผิวไม่เรียบและด้าน เช่น อ๊อกไซด์ของเหล็ก อ๊อกไซด์ของทองแดง เป็นต้น

ข. ลักษณะผิวของโลหะ ผิวโลหะที่ผ่านการทำให้เรียบด้วยวิธีต่าง ๆ กันคือ โดยวิธีไส กลึง กัด ตะไบ เจียรนัย ขูด ขัดผิวด้วยกระดาษทรายละเอียดหรือล้อขัดผิว มีผลให้ลักษณะผิวไม่เหมือนกันคือเป็นผิวเรียบแบบหยาบ แบบละเอียด แบบละเอียดมาก แบบขัดมัน สำหรับผิวเรียบโดยวิธีเจียรนัย ขัดด้วยกระดาษทรายละเอียดและล้อขัดผิว ถือได้ว่าเป็นผิวเรียบแบบขัด ในกรณีของกระดาษทรายละเอียดจะมีหมายเลขความละเอียดของกระดาษทรายแสดงไว้ที่แผ่นกระดาษทราย ถ้าใช้กระดาษทรายที่มีค่าหมายเลขน้อยหรือละเอียดน้อย เมื่อขัดผิวโลหะทำให้แลดูมันน้อยกว่ากระดาษทรายที่ละเอียดมาก แต่ก็ยังแลดูมันน้อยกว่าการเจียรนัยและการเจียรนัยแลดูมันน้อยกว่าการขัดผิวด้วยล้อขัดผิว

ในการเปรียบเทียบค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนของเครื่องมือที่สร้างขึ้นสามารถเปรียบเทียบได้กับค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนที่มีอยู่ในหนังสือเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการแผ่รังสีความร้อนหรือเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากต่างประเทศที่ใช้ชิ้นงานชนิดเดียวกัน ค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น เป็นค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งหมดแบบครึ่งทรงกลม ส่วนค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากหนังสือเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการแผ่รังสีความร้อนซึ่งแสดงไว้ในตาราง ก-1 และจากเครื่องมือวัดค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนจากต่างประเทศเป็นค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งหมดแบบตั้งฉาก ค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งหมดแบบครึ่งทรงกลมและแบบตั้งฉาก ถือว่าเป็นค่าเดียวกันได้ ยกเว้นในกรณีที่ผิวโลหะขัดมันแบบ Well-polished ค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งหมดแบบครึ่งทรงกลมจึงจะมีค่ามากกว่าค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งหมดแบบตั้งฉาก (7)

ในตาราง ก-1 ซึ่งแสดงค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งหมดแบบตั้งฉากของโลหะเหล็ก ทองแดงและอลูมิเนียมผิวขัด สำหรับทองแดงและอลูมิเนียมผิวขัดนั้นผู้ทดลองไม่ทราบว่าเป็นการขัดด้วยกรรมวิธีใด ยกเว้นเหล็กซึ่งบอกลักษณะผิวขัดไว้สามอย่างคือ ลักษณะผิว A

ทำความสะอาดด้วย toluene แล้วต่อด้วย methanol ลักษณะผิว B ทำความสะอาดด้วย abrasive soap and water, toluene, and methanol และลักษณะผิว C เป็นการขัดมันด้วยล้อขัดผิว ขัดให้ผิวของโลหะมันคล้ายกระจก แล้วทำความสะอาดด้วยสบู่และน้ำ สำหรับลักษณะผิว C นี้ เมื่อทำความสะอาดผิวด้วยสบู่และน้ำ โอกาสที่จะเกิดอ๊อกไซด์ของเหล็กที่ผิวของเหล็กมีอยู่มาก หรือถ้าใช้ผ้าเช็ดให้แห้งอาจทำให้ผิวของเหล็กที่ขัดมาอย่างดีมีโอกาสไม่มันได้ ดังนั้น เมื่อจะทำการเปรียบเทียบค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งสองแบบจึงไม่ควรขัดผิวโลหะให้มันมาก แล้วจึงนำค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งหมดแบบครึ่งทรงกลมที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น เอามาเปรียบเทียบกับค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งหมดแบบตั้งฉากที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องมือจากต่างประเทศ โดยใช้โลหะที่ตัดมาจากแผ่นใหญ่แผ่นเดียวกัน ขัดด้วยกรรมวิธีเดียวกันและทดลองที่อุณหภูมิของชิ้นงานทดลองเดียวกัน ค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งสองแบบเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วควรจะเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ซึ่งได้แสดงค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งหมดแบบตั้งฉากด้วยเครื่องมือจากต่างประเทศในตารางที่ 5.1 และแสดงค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งหมดแบบครึ่งทรงกลมด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นในตารางที่ 4.3 พร้อมทั้งแสดงผลการเปรียบเทียบค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนทั้งสองแบบในตารางที่ 4.3

การคำนวณค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3 นั้นเป็นการคำนวณค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนซึ่งเกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวจำนวนสามผิว ถ้าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณหาค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนโดยใช้สมการ (2-13) ซึ่งเป็นสมการสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวจำนวนสองผิว จะได้ค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนไม่แตกต่างจากค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนซึ่งได้จากการคำนวณด้วยสมการของการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวสามผิว (การคำนวณค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนระหว่างผิวจำนวนสองผิวได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข) เนื่องจากเทอม $X_3(E_{b3} - J_3)$ ของสมการการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวจำนวนสามผิวมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง เมื่อนำเทอมนี้ไปบวกกับเทอมอื่นในสมการเดียวกันแล้วคำนวณตามขั้นตอนของสมการ จึงทำให้ค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนไม่แตกต่างกัน ดังนั้น เมื่อต้องการคำนวณค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนให้ง่ายจึงใช้สมการ (2-13) ได้

5.5 ความผิดพลาดในการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนแบบครึ่งทรงกลมซึ่งได้สร้างขึ้นเป็นครั้งแรก เทคนิคการสร้างจึงไม่ค่อยดีนัก ความผิดพลาดส่วนหนึ่งจึงอยู่ที่การสร้างเครื่องมือ กล่าวคือฝาครอบรูปครึ่งทรงกลมซึ่งเป็นเหล็ก ในการขึ้นรูปให้เป็นรูปครึ่งทรงกลม ถ้าใช้การอัดขึ้นรูปราคาจะแพงมาก เนื่องจากต้องทำแม่แบบให้มีขนาดตามต้องการ จึงเลือกใช้การขึ้นรูปให้เป็นรูปครึ่งทรงกลมด้วยมือโดยการเคาะขึ้นรูปบนแม่แบบทีละครึ่งส่วนแล้วนำมาเชื่อมเข้าด้วยกัน ซึ่งการขึ้นรูปด้วยมือนี้ทำให้รูปทรงไม่เป็นครึ่งทรงกลมทีเดียว เป็นผลให้พื้นที่ผิวของฝาครอบรูปครึ่งทรงกลมผิดพลาดได้ ความผิดพลาดอีกประการหนึ่งเกิดจากอุปกรณ์วัดคือ Digital thermometer และ Digital multimeter ตัวอย่างความผิดพลาดจากอุปกรณ์วัดเช่น ชิ้นงานทดลองเป็นเหล็กวัดอุณหภูมิได้ 60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของฝาครอบรูปครึ่งทรงกลม 29.2 องศาเซลเซียส แรงเคลื่อนไฟฟ้า 23.8 โวลท์ กระแสไฟฟ้า 0.11 แอมแปร์ เนื่องจากaccuracy ของ Digital thermometer $\pm$ 0.2% of reading หรือ $\pm$ 0.2(60)/100 = $\pm$ 0.12 องศาเซลเซียส ดังนั้นความไม่แน่นอนของอุณหภูมิชิ้นงานทดลองสูงสุด 60.12 องศาเซลเซียสและต่ำสุด 59.88 องศาเซลเซียสหรืออุณหภูมิของฝาครอบรูปครึ่งทรงกลมสูงสุด 29.32 องศาเซลเซียสและต่ำสุด 29.08 องศาเซลเซียส ในกรณีของ Digital multimeterซึ่งมีaccuracy $\pm$ 1% of readingเมื่อวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในช่วง 200 มิลลิโวลท์ถึง 750 โวลท์และaccuracy $\pm$ 1.5% of readingเมื่อวัดกระแสไฟฟ้าในช่วง 20 มิลลิแอมแปร์ถึง 10 แอมแปร์ สำหรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าความไม่แน่นอนสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 23.8 $\pm$ 1(23.8/100) หรือ 24.04และ 23.56 โวลท์ตามลำดับ สำหรับกระแสไฟฟ้าความไม่แน่นอนสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 0.11 $\pm$1.5(0.11/100) หรือ 0.112 และ 0.108 แอมแปร์ตามลำดับ เมื่อคำนวณเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้ (24.04)(0.112) หรือเท่ากับ 2.692 วัตต์และพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดได้ (23.56)(0.108) หรือเท่ากับ 2.544 วัตต์ ถ้านำค่าของอุณหภูมิและพลังงานไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุดมาคำนวณหาค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนโดยใช้สมการ (2-13) ได้

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{\frac{0.0293(5.6697\times10^{-8})\left((273+60.12)^4-(273+29.32)^4\right)}{2.692} - 0.01807}$$

$$= 0.412$$

ดังนั้นความไม่แน่นอนของค่าอุณหภูมิและพลังงานไฟฟ้าทำให้ค่าการปล่อยออกรังสีความร้อนผิดพลาดไป (0.401-0.412)100/0.401 หรือเท่ากับ 2.7 เปอร์เซนต์ ดังนั้น ค่าความผิดพลาดนี้ ส่วนหนึ่งอาจมาจากเครื่องมือที่ใช้วัด