



เอกสารอ้างอิง

1. บุญชม บุญทวี. "พลังงานจากป่าไม้" ใน การประชุมทางวิชาการ เรื่อง เตาเศรษฐกิจ และ เชื้อเพลิงของถ่าน, หน้า 13-23. กรุงเทพมหานคร, สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, 2524.
2. Dutt, G.S. "Reducing Cooking Use in Rural India," Report PU/CES 74, Princeton University Center for Environmental Studies, 1978.
3. Tata Energy Research Institute. "Solid Fuel Cooking Stoves," Technical Report, Bombay, India, 1980.
4. จุลละพงศ์ จุลละโพธิ และ พิเชษฐ สุทธวราราศ. "ประสิทธิภาพของเตาถ่าน" ใน การประชุมทางวิชาการ เรื่อง วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาภาคเหนือ. เชียงใหม่, สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย, 2521.
5. จุลละพงศ์ จุลละโพธิ และ เกษียงศักดิ์ กุณทีกาญจน์. "การปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาถ่าน" วารสารสงขลานครินทร์ 1 (2522) : 9-22.
6. VITA. "Wood Conserving Stoves: Two Stoves Designs and Construction Techniques". VITA Consultant Report, 1979.
7. Alan J. Chapman. Heat Transfer. 3th ed., pp. 378-384, McGraw-Hill Book Co., New York, 1967.
8. William H. McAdams. Heat Transmission. 4th ed., pp. 77-82, McGraw-Hill Book Co., Kogakusha, 1954.
9. Khalil, K.H. Flow, mixing and heat transfer in furnaces. 1st ed., pp. 82-94, Pergamon Press, New York, 1979.
10. Joseph, S., and Shanahan, Y. "Designing A Test Procedure for Domestic Woodburning Stoves". Interim Report No. 1, Intermediate Technology Development Group, London, 1980.

11. Gray, W.A., and Müller, R. Engineering Calculations in Radiative Heat Transfer. Vol. 13. pp. 17-18, Pergamon Press, New York, 1974.
12. Isachonko, V.P.; Osipova, V.A.; and Sukomel, A.S. Heat Transfer. Translated by S. Semyonov. 3th ed., pp. 480-482, Mir Publishers, Moscow, 1977.

הכנתו

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลการทดสอบ เตาหุงต้มแบบลอรีนา

Test No.	A _d %	W _w gm	T _a °C	T _o °C	T _{s1} °C	T' _{s1} °C	T _{s2} °C	T' _{s2} °C	T _{s3} °C	T' _{s3} °C	t _{PT1} min.	T _{PT2} °C	T _{PT3} °C	t _T min.	W _{el} gm	W _c gm	T _g °C
1	30	1000	31.0	30.0	99.8	99.8	91.1	88.9	92.1	89.9	26.20	93.5	94.5	97.85	792.8	149.0	147.20
2	30	1000	31.0	29.5	99.8	99.8	92.6	89.4	92.1	88.9	24.16	94.0	93.5	100.10	806.8	148.1	141.94
3	30	1000	31.5	30.0	99.8	99.8	91.7	88.5	93.5	90.3	25.10	93.2	95.0	100.28	795.4	150.2	142.21
4	30	1000	30.5	30.0	99.8	99.8	92.9	89.8	92.2	89.1	25.93	94.4	93.7	98.91	798.5	148.4	145.00
5	30	800	32.0	29.0	99.8	99.8	82.0	79.9	83.1	80.9	29.50	84.4	85.5	90.06	534.2	111.3	136.04
6	30	800	31.0	29.0	99.8	99.8	80.5	78.4	84.0	82.1	30.12	83.0	86.6	88.63	538.9	114.3	137.06
7	30	800	30.5	28.5	99.8	99.8	81.6	79.4	81.2	79.0	30.34	84.0	83.5	86.58	529.2	118.6	138.70
8	30	800	32.0	30.0	99.8	99.8	81.8	79.7	84.4	82.3	30.00	84.3	86.8	91.85	552.0	108.5	135.69
9	30	600	31.0	30.0	99.8	99.8	73.2	70.3	73.7	70.8	32.50	74.8	75.3	77.04	309.1	76.5	133.02
10	30	600	31.0	29.5	99.8	99.8	71.4	68.6	74.3	71.5	33.21	73.1	76.0	76.51	306.6	78.6	132.62
11	30	600	31.0	30.0	99.8	99.8	73.6	70.5	75.4	72.4	33.37	75.4	77.2	78.68	326.8	73.2	127.60
12	30	600	31.5	30.0	99.8	99.8	76.2	73.4	74.1	71.3	32.58	77.8	75.7	77.52	317.4	73.9	133.75

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Test No.	P_v in. of water	\dot{m}_g kg/s	Q_g W	Q_1 W	Q_{s1} W	Q_2 W	Q_3 W	E_s %	E_H %	E %
1	0.003	0.00581	730.95	419.70	461.97	75.55	76.90	29.52	82.16	24.25
2	0.003	0.00585	701.19	454.17	445.40	75.98	75.32	29.92	82.06	24.55
3	0.003	0.00584	699.57	435.75	443.40	74.12	76.52	29.77	81.96	24.40
4	0.003	0.00583	721.70	424.08	457.81	76.97	76.04	29.74	81.92	24.36
5	0.003	0.00589	661.04	381.90	376.86	66.99	68.48	28.35	81.76	23.18
6	0.003	0.00588	673.27	375.80	392.33	66.25	71.25	28.68	81.80	23.46
7	0.003	0.00587	685.82	376.05	400.16	69.42	68.76	28.64	81.85	23.44
8	0.003	0.00589	658.99	371.53	380.67	65.17	68.66	28.56	81.56	23.30
9	0.003	0.00591	649.88	347.25	306.86	59.88	60.63	27.30	80.94	22.10
10	0.003	0.00591	647.62	342.92	312.18	58.86	62.36	27.45	81.02	22.24
11	0.003	0.00594	618.30	339.40	317.10	59.76	62.88	27.86	80.78	22.51
12	0.003	0.00590	651.05	346.10	311.08	63.80	60.68	27.58	80.98	22.33

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลการทดสอบเตาหุงต้มแบบลอรีนา

Test No.	A _d %	W _w gm	T _a °C	T _o °C	T _{sl} °C	T' _{sl} °C	T _{s2} °C	T' _{s2} °C	T _{s3} °C	T' _{s3} °C	t _{PT1} min.	T _{PT2} °C	T _{PT3} °C	t _T min.	W _{e1} gm	W _c gm	T _g °C
13	40	1000	31.0	30.0	99.8	99.8	92.9	90.6	94.5	92.3	29.95	94.3	95.9	97.82	704.1	142.7	151.94
14	40	1000	31.0	30.0	99.8	99.8	94.3	92.1	94.7	92.4	30.59	95.7	96.0	98.00	704.4	140.0	150.28
15	40	1000	32.0	30.5	99.8	99.8	94.6	92.3	93.1	90.7	30.70	95.8	94.3	100.30	703.4	137.6	148.88
16	40	1000	30.0	29.5	99.8	99.8	94.8	91.5	93.1	89.8	30.68	96.0	94.3	96.41	714.0	142.0	149.72
17	40	800	32.0	28.5	99.8	99.8	83.7	80.6	83.8	81.9	35.19	85.1	86.5	88.86	462.4	105.1	143.33
18	40	800	31.0	29.5	99.8	99.8	85.7	82.4	83.7	80.4	36.10	86.9	84.8	87.64	467.8	100.7	143.68
19	40	800	30.5	30.0	99.8	99.8	84.9	81.4	83.6	80.3	35.40	86.0	84.8	86.54	474.0	103.5	144.38
20	40	800	31.0	30.0	99.8	99.8	85.2	82.0	84.0	80.6	36.00	86.5	85.2	87.38	470.5	102.6	144.03
21	40	600	31.0	30.0	99.8	99.8	76.5	73.3	74.4	71.0	37.76	77.7	75.6	74.16	250.8	69.7	138.17
22	40	600	31.5	30.5	99.8	99.8	73.8	70.6	76.8	74.0	37.71	75.1	78.3	74.97	253.9	72.3	139.36
23	40	600	30.5	30.0	99.8	99.8	74.9	71.4	77.3	74.1	37.80	76.0	78.5	74.51	249.2	70.8	137.38
24	40	600	31.0	30.0	99.8	99.8	74.1	70.7	76.7	73.6	37.50	75.2	78.0	74.99	250.2	73.5	137.78

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

Test No.	P_v in. of water	\dot{m}_g kg/s	Q_g W	Q_1 W	Q_{s1} W	Q_2 W	Q_3 W	E_s %	E_H %	E %
13	0.004	0.00668	874.60	372.90	436.00	77.25	79.44	27.68	80.90	22.40
14	0.004	0.00669	863.93	366.06	438.83	79.08	79.08	27.64	80.77	22.33
15	0.004	0.00670	847.66	361.79	427.18	77.29	75.25	27.42	80.78	22.15
16	0.004	0.00669	867.58	368.14	454.11	80.94	78.84	27.90	81.06	22.62
17	0.004	0.00674	811.48	329.36	369.06	69.34	70.74	26.42	80.75	21.34
18	0.004	0.00674	821.05	319.15	387.21	72.38	69.48	26.17	80.47	21.06
19	0.004	0.00673	829.25	322.97	394.84	71.60	69.86	26.33	80.62	21.33
20	0.004	0.00674	823.34	317.96	390.24	71.50	69.69	26.25	80.52	21.14
21	0.004	0.00678	784.48	305.28	308.82	66.04	62.80	25.08	80.00	20.07
22	0.004	0.00677	789.00	303.34	301.72	60.82	65.62	25.28	80.02	20.23
23	0.004	0.00679	783.24	305.41	300.93	62.42	67.26	25.25	79.84	20.16
24	0.004	0.00678	782.18	307.06	302.57	61.79	65.96	25.43	79.81	20.30

ตารางที่ ก-3 ข้อมูลการทดสอบ เตาหุงต้มแบบลอรีนา

Test No.	A _d %	W _w gm	T _a °C	T _o °C	T _{sl} °C	T' _{sl} °C	T _{s2} °C	T' _{s2} °C	T _{s3} °C	T' _{s3} °C	t _{PT1} min.	T _{PT2} °C	T _{PT3} °C	t _T min.	W _{e1} gm	W _c gm	T _g °C
25	50	1000	31.0	30.0	99.8	99.8	97.1	93.7	95.7	92.6	36.20	98.2	97.0	93.55	615.5	134.2	158.76
26	50	1000	30.5	30.0	99.8	99.8	96.2	93.0	94.9	91.5	37.56	97.5	96.1	94.05	624.1	134.5	160.00
27	50	1000	31.0	30.0	99.8	99.8	94.0	90.6	97.4	94.2	37.30	95.0	98.6	95.78	623.4	128.7	156.40
28	50	1000	31.5	30.5	99.8	99.8	96.9	93.5	95.2	91.9	37.10	98.1	96.4	96.58	635.3	129.0	155.46
29	50	800	32.0	28.0	99.8	99.8	85.1	81.8	87.8	84.6	41.25	86.3	89.0	85.00	368.0	101.4	149.24
30	50	800	31.0	29.0	99.8	99.8	86.3	82.9	84.8	81.4	41.70	87.4	86.0	85.99	392.5	95.8	150.89
31	50	800	30.0	29.0	99.8	99.8	84.4	81.4	87.4	81.3	40.53	85.8	88.7	82.90	382.4	102.2	151.82
32	50	800	31.0	30.0	99.8	99.8	86.3	83.1	84.4	81.1	40.44	87.6	85.7	83.88	395.4	103.7	149.58
33	50	600	31.0	30.0	99.8	99.8	73.6	70.5	77.6	74.4	42.81	75.0	79.0	70.70	179.8	74.8	148.48
34	50	600	31.5	30.0	99.8	99.8	74.9	71.7	78.7	75.2	43.20	76.1	79.8	71.63	189.7	66.7	144.52
35	50	600	31.0	29.5	99.8	99.8	72.8	69.5	72.8	69.5	42.58	74.0	74.0	70.39	195.0	73.5	147.00
36	50	600	31.0	30.5	99.8	99.8	76.7	73.5	79.4	76.0	42.66	78.0	80.5	71.96	212.0	60.3	144.52

ตารางที่ ก-3 (ต่อ)

Test No.	P_v in. of water	\dot{m}_g kg/s	Q_g W	Q_1 W	Q_{s1} W	Q_2 W	Q_3 W	E_s %	E_H %	E %
25	0.005	0.00740	1026.42	315.55	450.30	84.76	83.00	25.67	80.10	20.56
26	0.005	0.00739	1039.18	307.07	461.74	83.74	81.82	25.80	80.10	20.66
27	0.005	0.00742	1009.72	308.48	446.74	79.54	84.10	25.56	79.87	20.42
28	0.005	0.00743	999.90	307.58	447.10	82.28	79.97	25.76	80.01	20.62
29	0.005	0.00748	950.30	289.32	361.40	73.58	77.48	24.24	79.47	19.26
30	0.005	0.00747	970.32	284.14	379.15	74.42	72.36	24.29	79.40	19.29
31	0.005	0.00746	985.09	291.84	375.18	74.46	77.68	24.41	79.56	19.42
32	0.005	0.00748	960.86	288.09	388.17	74.98	72.21	24.54	79.75	19.57
33	0.005	0.00746	953.03	274.68	288.32	63.92	70.20	23.22	78.98	18.34
34	0.005	0.00753	920.08	272.20	296.40	64.86	70.64	23.06	79.06	18.24
35	0.005	0.00750	942.20	277.57	309.58	66.10	66.10	23.47	78.76	18.48
36	0.005	0.00753	934.93	273.84	317.97	67.33	71.33	23.41	79.14	18.52

ตารางที่ ก-4 ข้อมูลการทดสอบ เตาห้องคัมแบบลอรีนาที่เปลี่ยน combustion chamber

Test No.	A _d %	W _w gm	T _a °C	T _o °C	T _{sl} °C	T' _{sl} °C	T _{s2} °C	T' _{s2} °C	T _{s3} °C	T' _{s3} °C	t _{PT1} min.	T _{PT2} °C	T _{PT3} °C	t _T min.	W _{e1} gm	W _c gm	T _g °C
1	30	1000	31.0	29.5	99.8	99.8	90.5	88.2	86.6	84.6	24.87	92.5	89.0	100.61	1040.3	145.9	130.00
2*	30	1000	31.0	30.0	99.8	99.8	90.6	88.0	87.4	84.4	24.80	91.5	88.5	100.43	1036.8	145.7	129.50
3	30	1000	29.0	28.0	99.8	99.8	84.0	80.6	89.9	87.5	23.86	85.0	91.0	95.00	1002.4	163.4	126.92
4	30	1000	30.0	29.5	99.8	99.8	89.9	87.4	87.0	83.7	24.00	91.0	88.0	97.28	1031.4	156.9	129.25
5	30	800	28.7	27.5	99.8	99.8	77.6	74.6	75.1	72.2	28.51	79.0	76.5	85.50	689.4	128.1	122.76
6	30	800	28.2	27.5	99.8	99.8	76.6	73.6	76.1	73.1	29.00	78.0	77.5	84.00	684.8	131.2	120.90
7	30	800	29.5	28.0	99.8	99.8	78.8	75.6	74.3	71.1	28.73	80.0	75.5	85.36	670.0	132.2	122.08
8	30	800	31.0	29.5	99.8	99.8	78.8	75.6	78.3	75.1	28.10	80.0	79.5	87.36	697.2	127.3	123.42
9	30	600	29.5	29.0	99.8	99.8	69.8	67.0	69.3	66.5	29.78	71.5	71.0	75.04	443.1	82.0	118.95
10	30	600	29.5	28.5	99.8	99.8	68.4	65.5	69.4	66.5	30.15	70.0	71.0	76.20	453.6	79.6	116.94
11	30	600	30.0	29.5	99.8	99.8	71.4	68.5	67.3	64.5	30.83	73.0	69.0	76.86	454.9	79.5	118.16
12	30	600	31.0	29.0	99.8	99.8	70.3	67.6	68.3	65.6	31.00	72.0	70.0	77.71	445.1	78.2	117.08

* ทำสมดุลย์ความร้อนของ เตา

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

Test No.	P_v in. of water	\dot{m}_g kg/s	Q_g W	Q_1 W	Q_{s1} W	Q_2 W	Q_3 W	E_s %	E_H %	E %
1	0.003	0.00593	632.36	442.51	562.38	73.56	68.75	33.75	84.74	28.60
2	0.003	0.00594	629.44	440.82	561.60	72.33	68.17	33.54	84.68	28.40
3	0.003	0.00595	627.12	469.78	577.42	68.70	76.58	34.10	84.97	28.98
4	0.003	0.00594	634.36	457.62	575.88	74.18	69.44	34.16	84.93	29.01
5	0.003	0.00598	604.54	403.96	503.04	65.02	61.56	32.66	84.48	27.60
6	0.003	0.00600	596.73	398.36	516.76	64.72	64.00	32.80	84.51	27.72
7	0.003	0.00598	595.37	398.14	492.40	65.52	59.56	32.38	84.45	27.34
8	0.003	0.00597	593.66	396.93	488.33	62.86	62.45	32.62	84.46	27.55
9	0.003	0.00600	576.76	381.09	415.66	57.72	57.24	31.51	83.80	26.40
10	0.003	0.00602	564.74	379.32	417.92	55.40	56.87	31.62	83.94	26.54
11	0.003	0.00601	568.82	366.58	418.25	58.32	52.46	31.46	83.90	26.40
12	0.003	0.00602	555.90	366.44	404.32	56.29	53.36	31.09	83.95	26.10

ตารางที่ ก-5 ข้อมูลการทดสอบเตาห้องคัมแบบลอรีนาที่เปลี่ยน combustion chamber

Test No.	A _d %	W _w gm	T _a °C	T _o °C	T _{sl} °C	T' _{sl} °C	T _{s2} °C	T' _{s2} °C	T _{s3} °C	T' _{s3} °C	t _{PT1} min.	T _{PT2} °C	T _{PT3} °C	t _T min.	W _{el} gm	W _c gm	T _g °C
13	40	1000	29.5	29.0	99.8	99.8	89.9	87.0	87.9	84.8	27.30	81.0	86.0	95.50	942.5	148.2	136.58
14	40	1000	31.0	30.0	99.8	99.8	89.0	85.7	93.1	90.6	28.00	84.0	80.5	100.00	955.5	135.4	137.32
15	40	1000	31.5	30.0	99.8	99.8	91.0	88.6	90.5	88.1	27.50	83.0	81.0	99.71	968.5	135.1	136.55
16	40	1000	31.0	29.5	99.8	99.8	92.6	90.0	90.0	87.6	28.13	82.5	83.0	99.10	958.6	135.6	136.05
17	40	800	30.5	30.0	99.8	99.8	78.5	76.4	85.0	81.8	29.30	74.0	73.0	87.58	658.5	105.2	133.58
18	40	800	29.8	29.5	99.8	99.8	83.0	79.6	79.4	76.1	28.75	75.0	71.0	84.46	651.3	110.4	131.70
19	40	800	31.0	30.0	99.8	99.8	82.0	78.6	79.9	76.6	29.00	74.5	74.0	87.21	650.0	111.0	130.75
20	40	800	31.5	29.5	99.8	99.8	81.4	78.0	81.9	78.5	28.50	72.0	75.5	87.60	657.2	108.8	133.25
21	40	600	31.0	30.0	99.8	99.8	72.8	69.5	71.8	68.5	29.55	94.0	94.0	75.11	400.0	72.0	127.00
22	40	600	30.0	29.0	99.8	99.8	73.5	70.6	69.3	66.5	29.73	92.5	95.0	73.57	399.2	73.2	128.00
23	40	600	31.0	30.0	99.8	99.8	72.9	70.0	72.4	69.5	29.50	95.0	94.5	74.75	401.5	70.9	129.78
24	40	600	30.0	29.5	99.8	99.8	70.5	67.6	74.0	71.1	31.15	94.0	92.0	73.34	404.2	73.4	126.84

ตารางที่ ก-5 (ต่อ)

Test No.	P_v in. of water	\dot{m}_g kg/s	Q_g W	Q_1 W	Q_{s1} W	Q_2 W	Q_3 W	E_s %	E_H %	E %
13	0.004	0.00679	785.24	411.39	567.16	75.31	72.83	32.00	84.14	26.92
14	0.004	0.00679	779.16	395.68	544.91	70.41	75.95	31.58	83.75	26.44
15	0.004	0.00680	770.38	401.62	549.81	73.24	72.89	31.74	83.97	26.65
16	0.004	0.00680	770.72	396.55	553.80	73.85	72.92	31.73	83.82	26.60
17	0.004	0.00682	757.90	380.58	471.18	63.00	70.70	30.34	83.54	25.34
18	0.004	0.00684	750.46	390.36	486.88	70.26	65.20	30.42	83.82	25.82
19	0.004	0.00684	735.24	383.62	465.78	67.03	63.03	30.34	83.71	25.40
20	0.004	0.00682	748.34	391.66	463.70	66.08	66.49	30.54	83.74	25.57
21	0.004	0.00687	709.89	376.91	375.62	60.06	58.55	29.18	83.20	24.28
22	0.004	0.00686	724.06	380.87	389.14	63.67	57.48	29.40	83.38	24.52
23	0.004	0.00685	728.70	377.89	379.54	60.67	60.14	29.22	83.20	24.32
24	0.004	0.00687	716.19	363.30	406.89	58.75	64.10	29.85	83.36	24.66

ตารางที่ ก-6 ข้อมูลการทดสอบ เตาห้องต้มแบบลอรีนาที่เปลี่ยน combustion chamber

Test No.	A _d %	W _w gm	T _a °C	T _o °C	T _{sl} °C	T' _{sl} °C	T _{s2} °C	T' _{s2} °C	T _{s3} °C	T' _{s3} °C	t _{PT1} min.	T _{PT2} °C	T _{PT3} °C	t _T min.	W _{e1} gm	W _c gm	T _g °C
25	50	1000	31.5	29.5	99.8	99.8	93.1	90.8	93.1	90.8	30.50	94.0	94.0	100.08	907.1	114.5	146.16
26	50	1000	31.0	30.5	99.8	99.8	91.4	89.3	94.1	91.0	29.75	92.5	95.0	96.89	875.3	126.3	144.73
27	50	1000	31.5	30.0	99.8	99.8	94.1	91.0	93.6	90.5	30.75	95.0	94.5	99.50	922.6	113.6	143.74
28	50	1000	30.0	29.5	99.8	99.8	92.8	90.5	90.9	88.4	29.30	94.0	92.0	96.62	892.4	127.1	144.37
29	50	800	30.5	30.0	99.8	99.8	83.6	80.6	81.1	78.1	31.00	85.0	82.5	84.15	577.0	106.9	140.63
30	50	800	30.5	30.0	99.8	99.8	82.6	79.6	83.6	80.6	32.17	84.0	85.0	83.05	581.0	103.8	139.41
31	50	800	31.0	29.5	99.8	99.8	83.6	80.6	82.6	79.6	31.50	85.0	84.0	84.70	580.7	102.9	139.12
32	50	800	31.0	30.0	99.8	99.8	82.6	79.6	83.2	80.1	32.00	84.0	84.5	84.08	574.7	104.6	141.17
33	50	600	29.5	29.0	99.8	99.8	72.8	69.5	71.3	68.0	39.80	74.0	72.5	70.92	340.2	69.2	136.18
34	50	600	29.5	29.0	99.8	99.8	71.8	68.5	73.7	70.6	40.31	73.0	75.0	69.69	331.2	71.4	134.85
35	50	600	30.5	29.5	99.8	99.8	73.7	70.6	71.8	68.5	41.12	75.0	73.0	71.91	342.9	71.2	135.18
36	50	600	31.5	30.5	99.8	99.8	73.7	70.6	74.2	71.1	40.07	75.0	75.5	73.10	345.8	67.8	135.62

ตารางที่ ก-6 (ต่อ)

Test No.	P_v in. of water	\dot{m}_g kg/s	Q_g W	Q_1 W	Q_{s1} W	Q_2 W	Q_3 W	E_s %	E_H %	E %
25	0.005	0.00752	932.02	368.90	535.76	76.18	76.18	29.73	83.08	24.70
26	0.005	0.00752	925.66	372.75	536.45	75.13	78.46	29.58	83.09	24.58
27	0.005	0.00754	914.36	363.98	550.08	77.69	77.33	29.97	83.09	24.91
28	0.005	0.00753	931.18	383.29	552.69	79.02	76.32	29.98	83.37	25.00
29	0.005	0.00756	899.68	362.45	454.73	71.36	67.76	28.52	82.79	23.62
30	0.005	0.00758	890.69	350.76	475.70	70.51	71.96	28.42	82.97	23.58
31	0.005	0.00758	884.46	359.04	456.34	71.02	69.74	28.47	82.91	23.61
32	0.005	0.00756	899.58	351.96	460.84	70.18	70.60	28.35	82.78	23.47
33	0.005	0.00760	874.96	297.12	458.58	64.12	61.78	27.25	82.56	22.50
34	0.005	0.00762	865.06	293.96	471.41	63.32	66.58	27.24	82.53	22.48
35	0.005	0.00761	859.31	286.58	465.46	65.24	62.12	27.62	82.16	22.70
36	0.005	0.00760	854.38	288.16	439.15	62.36	62.87	27.26	82.33	22.45

ตารางที่ ก-7 ข้อมูลการทดสอบเตาหุงต้มแบบลอรีนาที่เปลี่ยนช่อง เตาที่สองและสาม

Test No.	A _d %	W _w gm	T _a °C	T _o °C	T _{s1} °C	T' _{s1} °C	T _{s2} °C	T' _{s2} °C	T _{s3} °C	T' _{s3} °C	t _{PT1} min.	t _{PT2} min.	t _{PT3} min.	T _{PT2} °C	T _{PT3} °C	t _T min.	W _{el} gm
1	30	1000	30.0	29.5	99.8	99.8	99.8	99.8	97.1	97.0	24.06	92.75	-	100.0	98.0	96.37	1029.0
2	30	1000	30.0	29.0	99.8	99.8	99.8	99.8	98.7	98.6	23.87	91.00	-	100.0	99.5	97.56	1041.4
3	30	1000	31.0	30.0	99.8	99.8	97.6	97.4	99.8	99.8	24.82	-	94.12	98.5	100.0	99.95	1030.6
4	30	1000	30.0	29.0	99.8	99.8	99.8	99.8	98.3	98.0	23.90	90.94	-	100.0	99.0	97.60	1040.0
5	30	800	31.0	29.5	99.8	99.8	91.1	88.5	91.0	88.5	28.05	-	-	92.5	92.5	87.30	714.4
6	30	800	31.0	30.0	99.8	99.8	90.5	88.2	92.5	89.5	28.00	-	-	92.5	93.0	87.38	723.8
7	30	800	32.0	30.5	99.8	99.8	93.7	91.0	91.0	88.6	27.76	-	-	95.0	92.0	84.09	690.0
8	30	800	31.0	30.0	99.8	99.8	89.9	87.0	92.6	90.0	27.90	-	-	91.0	93.5	85.14	695.6
9	30	600	30.0	29.0	99.8	99.8	79.0	76.9	79.0	76.9	29.63	-	-	81.5	81.5	75.43	441.8
10	30	600	30.5	29.5	99.8	99.8	77.6	74.6	83.0	79.6	30.80	-	-	79.0	84.0	76.17	453.4
11	30	600	30.5	30.0	99.8	99.8	78.5	76.4	83.0	79.6	29.98	-	-	81.0	84.0	77.24	459.2
12	30	600	30.0	29.0	99.8	99.8	82.0	78.6	78.9	75.6	29.70	-	-	83.0	80.0	78.00	450.2

ตารางที่ ก-7 (ต่อ)

Test No.	W _{e2} gm	W _{e3} gm	W _c gm	T _g °C	P _v in. of water	ṁ _g kg/s	Q _g W	Q ₁ W	Q _{s1} W	Q ₂ W	Q _{s2} W	Q ₃ W	Q _{s3} W	E _s %	E _H %	E %
1	22.0	-	156.5	124.09	0.003	0.00597	604.05	456.60	581.72	90.54	265.88	85.24	-	35.90	83.69	30.04
2	13.5	-	154.0	122.68	0.003	0.00598	595.71	462.88	578.13	91.70	114.50	87.14	-	36.02	83.52	30.08
3	-	27.4	150.1	123.61	0.003	0.00597	594.79	440.50	561.72	82.69	-	88.72	213.41	35.60	83.47	29.72
4	14.0	-	154.2	123.57	0.003	0.00598	600.98	462.36	577.34	91.74	116.16	86.45	-	36.00	83.52	30.06
5	-	-	122.6	117.92	0.003	0.00601	560.93	397.56	499.29	80.52	-	80.52	-	34.58	83.10	28.74
6	-	-	121.7	119.33	0.003	0.00600	569.36	395.68	504.24	79.80	-	81.32	-	34.68	83.11	28.82
7	-	-	129.7	119.61	0.003	0.00600	564.58	395.33	505.64	84.75	-	80.60	-	34.32	83.36	28.61
8	-	-	129.3	118.98	0.003	0.00600	567.26	396.94	502.86	79.38	-	83.21	-	34.50	83.17	28.69
9	-	-	80.5	113.42	0.003	0.00604	540.36	382.00	409.47	72.00	-	72.00	-	33.08	82.80	27.40
10	-	-	81.2	113.20	0.003	0.00604	535.79	366.94	422.47	67.49	-	75.24	-	33.49	82.70	27.69
11	-	-	78.5	112.32	0.003	0.00605	530.47	372.99	411.68	68.92	-	74.09	-	33.46	82.54	27.62
12	-	-	76.1	112.78	0.003	0.00604	536.49	381.20	402.44	72.16	-	68.77	-	33.24	82.53	27.44

ตารางที่ ก-8 ข้อมูลการทดสอบ เตาหุงต้มแบบลอรีนาที่ เปลี่ยนช่อง เตาที่สองและสาม

Test No.	A _d %	W _w gm	T _a °C	T _o °C	T _{s1} °C	T' _{s1} °C	T _{s2} °C	T' _{s2} °C	T _{s3} °C	T' _{s3} °C	t _{PT1} min.	t _{TP2} min.	t _{TP3} min.	T _{TP2} °C	T _{PT3} °C	t _T min.	W _{el} gm
13	40	1000	30.5	29.5	99.8	99.8	99.8	99.8	95.8	93.0	28.20	89.00	-	100.0	97.0	95.42	945.4
14	40	1000	31.0	30.0	99.8	99.8	99.8	99.8	97.6	97.4	27.92	90.00	-	100.0	98.5	98.46	944.8
15	40	1000	31.5	30.0	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	27.44	92.14	91.37	100.0	100.0	97.00	938.2
16	40	1000	31.0	29.5	99.8	99.8	96.2	93.1	99.8	99.8	28.15	-	91.41	97.5	100.0	98.10	950.4
17	40	800	31.0	30.0	99.8	99.8	94.1	91.0	94.9	91.5	29.20	-	-	95.0	96.0	87.16	680.2
18	40	800	31.5	30.0	99.8	99.8	93.1	90.8	94.2	91.0	29.00	-	-	94.0	95.5	85.84	646.8
19	40	800	31.0	29.5	99.8	99.8	94.8	91.5	93.1	90.8	28.59	-	-	96.0	94.0	86.00	647.2
20	40	800	31.5	30.0	99.8	99.8	95.9	92.7	94.1	91.0	28.92	-	-	97.0	95.0	85.18	651.2
21	40	600	31.0	30.0	99.8	99.8	83.6	80.6	82.6	79.6	29.50	-	-	85.0	84.0	74.62	401.9
22	40	600	31.0	29.5	99.8	99.8	81.0	77.6	83.6	80.6	30.00	-	-	82.0	84.5	75.08	399.0
23	40	600	31.0	30.5	99.8	99.8	83.6	80.6	83.5	80.5	29.10	-	-	85.0	84.5	74.51	411.8
24	40	600	31.5	30.0	99.8	99.8	84.6	81.2	84.6	81.2	29.45	-	-	85.5	85.5	73.87	400.3

ตารางที่ ก-8 (ต่อ)

Test No.	W _{e2} gm	W _{e3} gm	W _c gm	T _g °C	P _v in. of water	ṁ _g kg/s	Q _g W	Q ₁ W	Q _{s1} W	Q ₂ W	Q _{s2} W	Q ₃ W	Q _{s3} W	E _s %	E _H %	E %
13	41.4	-	147.8	132.50	0.004	0.00683	750.68	369.47	575.54	92.48	279.54	82.84	-	33.83	82.85	28.03
14	52.2	-	141.6	132.24	0.004	0.00683	745.25	396.69	530.98	91.28	214.34	82.10	-	33.42	82.69	27.63
15	16.3	25.2	144.4	131.21	0.004	0.00684	734.64	402.39	552.64	89.05	162.02	89.50	204.20	33.60	82.81	27.82
16	-	38.6	141.5	130.74	0.004	0.00684	735.17	396.30	556.79	82.45	-	90.64	250.90	33.56	82.74	27.76
17	-	-	105.8	127.33	0.004	0.00687	712.13	381.32	487.20	84.06	-	85.32	-	32.68	82.30	26.89
18	-	-	114.5	128.24	0.004	0.00686	714.60	383.20	473.37	83.25	-	85.00	-	32.40	82.30	26.66
19	-	-	109.2	128.59	0.004	0.00686	720.66	390.90	469.80	86.40	-	83.88	-	32.45	82.30	26.71
20	-	-	111.2	127.56	0.004	0.00686	709.99	384.13	480.95	85.94	-	84.98	-	32.27	82.56	26.64
21	-	-	70.7	122.54	0.004	0.00690	679.48	377.90	380.86	76.90	-	75.35	-	31.04	81.94	25.44
22	-	-	71.6	124.08	0.004	0.00689	690.02	374.69	378.72	72.60	-	76.58	-	30.99	81.96	25.40
23	-	-	70.0	123.87	0.004	0.00689	688.58	380.05	386.90	76.58	-	75.97	-	31.20	82.00	25.56
24	-	-	70.6	124.81	0.004	0.00689	691.29	378.04	378.04	78.14	-	78.14	-	31.07	82.04	25.49

ตารางที่ ก-๑ ข้อมูลการทดสอบ เตาหุงต้มแบบลอรีนาที่ เปลี่ยนช่อง เตาที่สองและสาม

Test No.	A _d %	W _w gm	T _a °C	T _o °C	T _{s1} °C	T' _{s1} °C	T _{s2} °C	T' _{s2} °C	T _{s3} °C	T' _{s3} °C	t _{PT1} min.	t _{PT2} min.	t _{PT3} min.	T _{PT2} °C	T _{PT3} °C	t _T min.	W _{e1} gm
25	50	1000	30.5	30.0	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	30.83	89.13	93.41	100.0	100.0	99.87	902.2
26	50	1000	30.0	29.5	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	30.75	89.20	93.30	100.0	100.0	99.91	903.6
27	50	1000	31.0	29.5	99.8	99.8	98.2	98.0	99.8	99.8	30.56	-	85.25	99.0	100.0	94.50	879.5
28	50	1000	31.0	30.0	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	30.81	88.40	87.30	100.0	100.0	96.93	885.8
29	50	800	29.5	28.0	99.8	99.8	93.1	90.8	93.5	90.3	32.00	-	-	94.0	95.0	82.43	574.3
30	50	800	29.5	28.5	99.8	99.8	94.1	90.5	94.2	91.0	31.84	-	-	95.0	95.5	82.00	580.1
31	50	800	30.0	29.0	99.8	99.8	94.2	91.0	93.5	91.0	31.71	-	-	95.5	95.0	83.08	576.5
32	50	800	30.0	29.5	99.8	99.8	94.0	90.6	94.7	92.4	31.60	-	-	95.0	96.0	82.56	582.6
33	50	600	31.0	29.5	99.8	99.8	84.9	81.4	84.0	80.6	41.08	-	-	86.0	85.0	71.63	335.0
34	50	600	30.0	29.0	99.8	99.8	85.0	81.8	83.0	79.6	40.25	-	-	86.0	84.0	72.05	340.2
35	50	600	31.0	30.0	99.8	99.8	85.0	81.8	85.0	81.8	39.97	-	-	86.0	86.0	70.56	338.4
36	50	600	30.5	29.5	99.8	99.8	85.0	81.8	84.6	81.3	41.15	-	-	86.0	85.5	71.48	347.0

ตารางที่ ก-๑ (ต่อ)

Test No.	W _{e2} gm	W _{e3} gm	W _c gm	T _g °C	P _v in. of water	ṁ _g kg/s	Q _g W	Q _l W	Q _{s1} W	Q ₂ W	Q _{s2} W	Q ₃ W	Q _{s3} W	E _s %	E _H %	E %
25	54.0	10.8	111.8	138.25	0.005	0.00758	882.12	366.38	540.08	91.96	226.08	89.45	96.98	31.61	81.99	25.92
26	50.1	11.3	111.0	138.96	0.005	0.00758	891.46	367.40	537.92	92.64	225.88	90.21	101.64	31.60	82.02	25.92
27	-	51.3	132.6	140.41	0.005	0.00756	893.98	368.67	563.12	86.58	-	94.54	245.22	31.80	82.01	26.08
28	31.7	36.3	121.2	139.00	0.005	0.00758	883.57	363.79	549.66	92.09	176.43	92.79	178.43	31.66	81.96	25.95
29	-	-	109.9	134.31	0.005	0.00762	861.04	362.31	475.72	88.36	-	89.27	-	30.65	81.57	25.00
30	-	-	109.6	133.94	0.005	0.00762	858.28	361.71	482.40	89.45	-	90.00	-	30.75	81.60	25.09
31	-	-	110.9	134.79	0.005	0.00761	860.51	360.00	468.72	88.55	-	87.82	-	30.68	81.52	25.01
32	-	-	109.5	134.85	0.005	0.00761	860.96	358.78	476.52	87.89	-	89.40	-	30.64	81.58	24.99
33	-	-	68.4	130.38	0.005	0.00765	819.23	286.02	458.24	81.20	-	79.71	-	28.92	81.28	23.51
34	-	-	67.8	130.79	0.005	0.00765	830.56	293.54	449.02	82.09	-	78.94	-	29.20	81.08	23.66
35	-	-	69.6	131.86	0.005	0.00764	830.36	290.95	461.88	81.75	-	81.75	-	29.06	81.35	23.64
36	-	-	66.7	131.16	0.005	0.00764	829.22	286.40	476.89	81.75	-	81.00	-	29.24	81.25	23.75

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หาค่าความร้อนของไม้พื้นและถ่านไม้

การวิเคราะห์หาค่าความร้อนของไม้และถ่านนี้ ใช้ เครื่องมือบอมม์คาลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ตามมาตรฐาน ASTM D 240 คำนวณค่าความร้อน เป็นคาลอรีต่อ น้ำหนักไม้หนึ่งกรัม เนื่องจากไม้แต่ละชนิดมีความชื้นแตกต่างกันแล้วแต่ระยะเวลาที่ตัดไว้ ยิ่งตัดไว้นานความชื้นก็จะเหลือน้อย ค่าความร้อนของไม้ก็จะสูงขึ้น ดังนั้นในการวิเคราะห์ จึงได้วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น เสียก่อนแล้วคำนวณหาค่าความร้อนจากตัวอย่างแห้ง จากนั้นจึงหาค่าความร้อนของไม้ที่ใช้งานจริง ๆ โดยการใส่สูตร ในการวิเคราะห์หาปริมาณ ความชื้นของไม้ ใช้ตัวอย่างไม้ 5 ตัวอย่างนำไปชั่งน้ำหนักก่อน แล้วจึงนำเข้าไปในเตาอบซึ่ง รักษาอุณหภูมิคงที่ไว้ตลอดการอบ เท่ากับ 100⁰ซ. ทุก ๆ ชั่วโมงนำไม้ใน เตาอบมาชั่งน้ำหนัก จนกระทั่งน้ำหนักไม้ที่อบนั้นไม่ลดลงอีก ตารางที่ ข-1 แสดงปริมาณความชื้นในไม้ คิด เป็นเปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง (dry basis)

ตัวอย่างไม้แห้งก่อนที่จะวิเคราะห์หาค่าความร้อนในบอมม์คาลอรีมิเตอร์ ต้องนำไปอบให้ละเอียดเสียก่อน เพื่อให้ลวดพิลล์ในบอมม์สามารถจุดไม้ติดได้ การวิเคราะห์ค่า ความร้อนเริ่มด้วยนำกระป๋องคาลอรีมิเตอร์เปล่าไปชั่งน้ำหนัก ใส่ น้ำ 2000 ลบ.ซม. ซึ่ง อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิต้องประมาณ 3⁰ฟ. ลงในกระป๋องนำไปชั่งหาน้ำหนักน้ำ นำด้วย เชื้อเพลิง เปล่าไปชั่งหาน้ำหนัก เติมไม้ที่บดละเอียดแล้วลงในถ้วยกะให้อุณหภูมิ เพิ่มขึ้นประมาณ

ตารางที่ ข-1 แสดงปริมาณความชื้นในตัวอย่างไม้ที่นำมาวิเคราะห์หาค่าความร้อน

ตัวอย่างไม้ที่	1	2	3	4	5
น้ำหนักไม้ก่อนการอบ (กรัม)	25.68	30.43	34.60	29.64	27.68
หลังจากอบจนน้ำหนักไม้ไม่ลดอีก (กรัม)	20.62	24.30	28.37	24.21	22.35
ปริมาณความชื้น -(% มาตรฐานแห้ง)	24.54	25.22	21.96	22.42	23.84

5-7⁰ฟ. หลังการสั่นหาป ซึ่งนำหนักอีกครั้งคำนวณหาหน้าหนัก เชื้อเพลิงให้ละเหยดี เติมน้ำ 1 ลบ.ซม. ลงในบอมม์ วางถ้วยเชื้อเพลิงเข้าที่ นำพิวส์ 10 ซม. ม้วนให้เป็นรูปคอยล์ (coil) และผูกสองปลายเข้ากับขั้วสายไฟฟ้าทั้งสองให้แน่น จัดคอยล์ของพิวส์ให้จุ่มลงในไม้ที่บดละเอียดแต่ไม่แตะกับถ้วยเชื้อเพลิง ปิดฝาบอมม์ให้แน่นนำไปชาร์จออกซิเจนจนความดันได้ 25 บรรยากาศจึงปลดท่อออกซิเจนออก ปิดฝาใช้ตะขอย่นบอมม์ลงในคาลอรีมิเตอร์ต่อสายไฟฟ้าเข้ากับขั้วของบอมม์ ปิดฝาคาลอรีมิเตอร์ เสียบเทอร์โมมิเตอร์เข้าที่ เครื่องกวนน้ำร้อนอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ อ่านอุณหภูมิของน้ำในคาลอรีมิเตอร์ทุกช่วงหนึ่งนาที เป็นเวลา 5 นาทีเมื่อครบ 5 นาทีก็สวิตซ์จุดบอมม์ อ่านอุณหภูมิที่เทอร์โมมิเตอร์ทุกช่วง 15 วินาทีจนกว่าอุณหภูมิจะขึ้นถึงจุดสูงสุด หลังจากนั้นอ่านเทอร์โมมิเตอร์ทุกช่วงหนึ่งนาทีเป็นเวลา 5 นาที เอาบอมม์ออกมา เปิดลิ้นลดความดันลงจนเท่าบรรยากาศแล้วเปิดฝาบอมม์ แกะพิวส์ที่เหลือออกจากขั้ว คลี่ออกและวัดความยาวคำนวณหาความยาวของพิวส์ซึ่งละลาย

จากกราฟของอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ คำนวณหาอุณหภูมิเพิ่ม t จากสมการ

$$t = t_c - t_a - r_1(b-a) - r_2(c-b) \quad (\text{ข-1})$$

โดยที่ t = อุณหภูมิเพิ่มที่ถูกต้อง, ⁰ฟ

a = เวลาที่จุดบอมม์, นาที

b = เวลาซึ่งอุณหภูมิเพิ่มเป็น 60 % ของอุณหภูมิเพิ่มทั้งหมด, นาที

c = เวลาซึ่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด, นาที

t_a = อุณหภูมิขณะจุดบอมม์, ⁰ฟ

t_c = อุณหภูมิที่เวลา c , ⁰ฟ

r_1 = อัตราการเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 5 นาทีก่อนจุดบอมม์, ⁰ฟ/นาที

r_2 = อัตราการเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 5 นาทีสุดท้ายของการทดลอง, ⁰ฟ/นาที

ค่าความร้อนสูงสุดของ เชื้อเพลิงหาได้จากสมการ

$$H_g = \frac{tw_b - e_1 - e_2 - e_3}{W_f} \quad (\text{ข-2})$$

- เมื่อ H_g = ค่าความร้อนสูงสุดของ เชื้อเพลิง, แคลอรี/กรัม
 t = อุณหภูมิเพิ่มที่ถูกต้อง, °ฟ
 W_b = ความจุความร้อนของระบบ (น้ำหนักน้ำ+น้ำสมมูลย์ของบอมม์และกระป๋อง), แคลอรี/°ซ.
 e_1 = ความร้อนที่เกิดจากการรวมตัว เป็นกรดไนตริก, แคลอรี
 e_2 = ความร้อนที่เกิดจากการรวมตัว เป็นกรดซัลฟูริก, แคลอรี
 e_3 = ความร้อนที่เกิดจากการละลายพิวส์, แคลอรี
 W_f = น้ำหนักเชื้อเพลิง, กรัม

สำหรับการทดลองนี้

$$\text{น้ำสมมูลย์ของบอมม์และกระป๋อง} = 429 \text{ แคลอรี/}^{\circ}\text{ซ.}$$

$$\text{ความร้อนในการหลอมพิวส์} = 2.3 \text{ แคลอรี/ซม.}$$

สำหรับการหาค่าความร้อนของถ่านไม้ที่ เหลือจากการ เผาไหม้ของไม้พิน เมื่อสิ้นสุด การทดลอง สามารถหาได้โดยวิธีเดียวกันกับการหาค่าความร้อนของไม้พิน ตารางที่ ข-2 ถึง ข-6 เป็นข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของไม้พิน รูปที่ ข-1 ถึง ข-5 แสดง กราฟของอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ ของการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของไม้พิน ตารางที่ ข-7 ถึง ข-11 เป็นข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของถ่านไม้ รูปที่ ข-6 ถึง ข-10 แสดงกราฟของอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ ของการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของถ่านไม้

เนื่องจากตัวอย่างไม้ที่นำมาวิเคราะห์ค่าความร้อน เป็นไม้แห้งที่ไม่มีความชื้น แต่ใน การใช้งานจริง ๆ เป็นไม้ที่มีความชื้น ค่าความร้อนของไม้ที่ใช้งานจริง ๆ หาได้ดังนี้⁽¹⁰⁾

$$H = \frac{H_g}{(1+m_w)} \quad (\text{ข-3})$$

- เมื่อ H = ค่าความร้อนของไม้ที่ใช้งาน, แคลอรี/กรัม
 H_g = ค่าความร้อนสูงสุดของไม้แห้ง (ไม่มีความชื้น), แคลอรี/กรัม
 m_w = ปริมาณความชื้นของไม้, % มาตรฐานแห้ง

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความร้อนของไม้ จากตารางที่ ข-2 และรูปที่ ข-1 จะได้

$$r_1 = \frac{83.68-83.50}{5} = 0.036$$

$$r_2 = 0$$

$$b = 6 \text{ นาที } 15 \text{ วินาที} = 6.25 \text{ นาที}$$

$$a = 5 \text{ นาที}$$

$$t_c = 88.90^{\circ}\text{ฟ}$$

$$t_a = 83.68^{\circ}\text{ฟ}$$

$$W = 1997 \text{ กรัม}$$

$$l_f = 7.6 \text{ ซม.}$$

$$W_f = 1.50 \text{ กรัม}$$

หาค่า t จากสมการ (ข-1)

$$t = 88.90 - 83.68 - 0.036(6.25 - 5)$$

$$= 5.175^{\circ}\text{ฟ}$$

$$= 2.875^{\circ}\text{ซ.}$$

ค่าความร้อนสูงสุดของไม้ H_g หาได้จากสมการ (ข-2) เนื่องจากค่า e_1 และ e_2 ไม่

ได้วิเคราะห์จึงตัดทิ้งไป ดังนั้น

$$H_g = \frac{2.875(1997+429) - 2.3 \times 7.6}{1.50}$$

$$= 4638 \text{ แคลอรี/กรัม}$$

คำนวณแบบเดียวกันจะได้ค่าความร้อนของตัวอย่างไม้ที่ 2, 3, 4 และ 5 เท่ากับ 4640, 4639, 4690, 4718 คาลอรีต่อกรัมตามลำดับ ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ค่าความร้อนเฉลี่ยของไม้แห้ง} &= \frac{4638+4640+4639+4690+4718}{5} \\ &= 4665 \text{ คาลอรี/กรัม} \\ &= 19518.36 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม} \end{aligned}$$

ค่าความร้อนที่ใช้งานจริง ๆ ของไม้ หาได้จากสมการ (ข-3) โดยที่ m_w เป็น ปริมาณความชื้นของตัวอย่างไม้เฉลี่ยจากตารางที่ ข-1 ได้เท่ากับ 23.60% มาตรฐานแห้ง ดังนั้น

$$\begin{aligned} H &= \frac{19518.36}{1+0.2360} \\ &= 15791.55 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม} \end{aligned}$$

สำหรับถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้ของไม้ ค่าความร้อนหาได้ทำนองเดียวกับการ หาค่าความร้อนของไม้ จากการทดลองวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านไม้ 5 ครั้ง ได้ค่าความร้อน ของถ่านไม้เท่ากับ 6085, 6063, 6091, 6152 และ 6068 คาลอรีต่อกรัม ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ค่าความร้อนเฉลี่ยของถ่านไม้} &= \frac{6085+6063+6091+6152+6068}{5} \\ &= 6091.80 \text{ คาลอรี/กรัม} \\ &= 25488.09 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม} \end{aligned}$$

ตารางที่ ข-2 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของตัวอย่างไม้ที่ 1

น้ำหนักน้ำในศาลอรัมิเตอร์ = 1997 กรัม

น้ำหนักของ เชื้อเพลิง = 1.50 กรัม

ความยาวของพิวส์ที่ใช้ไป = 7.6 ซม.

เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o พ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o พ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o พ)
0	83.50	7.45	88.40	11.45	88.90
1	83.55	8.00	88.50	12.00	88.90
2	83.60	8.15	88.60	12.15	88.90
3	83.63	8.30	88.70	12.30	88.90
4	83.65	8.45	88.75	12.45	88.90
5	83.68	9.00	88.78	13.00	88.90
5.15	84.00	9.15	88.80	13.15	88.90
5.30	84.40	9.30	88.80	13.30	88.90
5.45	85.30	9.45	88.85	13.45	88.90
6.00	86.20	10.00	88.85	14.00	88.90
6.15	86.85	10.15	88.90	15.00	88.90
6.30	87.30	10.30	88.90	16.00	88.90
6.45	87.60	10.45	88.90	17.00	88.90
7.00	87.90	11.00	88.90	18.00	88.90
7.15	88.10	11.15	88.90		
7.30	88.25	11.30	88.90		

ตารางที่ ข-๑ ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของตัวอย่างไม้ที่ 2

น้ำหนักน้ำในกาลอซีมิเตอร์ = 1997 กรัม

น้ำหนักของ เชื้อเพลิง = 1.56 กรัม

ความยาวของพิวล์ที่ใช้ไป = 7.2 ซม.

เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)
0	85.45	7.45	90.40	11.45	90.75
1	85.45	8.00	90.50	12.00	90.75
2	85.48	8.15	90.50	12.15	90.75
3	85.50	8.30	90.60	12.30	90.75
4	85.50	8.45	90.60	12.45	90.75
5	85.50	9.00	90.60	13.00	90.75
5.15	85.50	9.15	90.65	13.15	90.75
5.30	86.60	9.30	90.70	13.30	90.75
5.45	87.50	9.45	90.70	13.45	90.75
6.00	88.30	10.00	90.75	14.00	90.75
6.15	88.80	10.15	90.75	15.00	90.75
6.30	89.30	10.30	90.75	16.00	90.75
6.45	89.70	10.45	90.75	17.00	90.75
7.00	89.90	11.00	90.75	18.00	90.75
7.15	90.05	11.15	90.75		
7.30	90.20	11.30	90.75		

ตารางที่ ข-4 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของตัวอย่างไม้ที่ 3
 น้ำหนักน้ำในกาลอซีมิเตอร์ = 1997 กรัม
 น้ำหนักของ เชื้อเพลิง = 1.60 กรัม
 ความยาวของพิวส์ที่ใช้ไป = 6.9 ซม.

เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)
0	83.20	7.45	88.55	11.45	88.90
1	83.25	8.00	88.65	12.00	88.90
2	83.30	8.15	88.70	12.15	88.90
3	83.30	8.30	88.75	12.30	88.90
4	83.32	8.45	88.80	12.45	88.90
5	83.35	9.00	88.80	13.00	88.90
5.15	83.40	9.15	88.83	13.15	88.90
5.30	84.50	9.30	88.85	13.30	88.90
5.45	85.70	9.45	88.88	13.45	88.90
6.00	86.50	10.00	88.90	14.00	88.90
6.15	87.25	10.15	88.90	15.00	88.90
6.30	87.70	10.30	88.90	16.00	88.90
6.45	87.95	10.45	88.90	17.00	88.90
7.00	88.20	11.00	88.90	18.00	88.90
7.15	88.30	11.15	88.90		
7.30	88.45	11.30	88.90		

ตารางที่ ข- ๕ ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของตัวอย่างไม้ที่ 4

น้ำหนักน้ำในคาลอรีมิเตอร์ = 1997 กรัม

น้ำหนักของเชื้อเพลิง = 1.60 กรัม

ความยาวของฟิวส์ที่ใช้ไป = 8.1 ซม.

เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)
0	83.20	7.45	88.65	11.45	88.80
1	83.20	8.00	88.70	12.00	88.80
2	83.22	8.15	88.70	12.15	88.80
3	83.25	8.30	88.75	12.30	88.80
4	83.26	8.45	88.75	12.45	88.80
5	83.30	9.00	88.80	13.00	88.80
5.15	83.40	9.15	88.80	13.15	88.80
5.30	85.00	9.30	88.80	13.30	88.80
5.45	86.00	9.45	88.80	13.45	88.80
6.00	87.00	10.00	88.80	14.00	88.80
6.15	87.60	10.15	88.80	15.00	88.80
6.30	87.95	10.30	88.80	16.00	88.80
6.45	88.20	10.45	88.80	17.00	88.80
7.00	88.40	11.00	88.80	18.00	88.80
7.15	88.50	11.15	88.80		
7.30	88.60	11.30	88.80		

ตารางที่ ข-6 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของตัวอย่างไม้ที่ 5

น้ำหนักน้ำในศาลอซีมิเตอร์ = 1997 กรัม

น้ำหนักของ เชื้อเพลิง = 1.12 กรัม

ความยาวของฟิวส์ที่ใช้ไป = 6.5 ซม.

เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o พ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o พ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o พ)
0	84.00	7.45	87.80	11.45	88.05
1	84.05	8.00	87.85	12.00	88.05
2	84.08	8.15	87.90	12.15	88.05
3	84.10	8.30	87.95	12.30	88.05
4	84.10	8.45	87.95	12.45	88.05
5	84.10	9.00	88.00	13.00	88.05
5.15	84.40	9.15	88.05	13.15	88.05
5.30	85.30	9.30	88.05	13.30	88.05
5.45	86.10	9.45	88.05	13.45	88.05
6.00	86.60	10.00	88.05	14.00	88.05
6.15	87.00	10.15	88.05	15.00	88.05
6.30	87.20	10.30	88.05	16.00	88.05
6.45	87.40	10.45	88.05	17.00	88.05
7.00	87.60	11.00	88.05	18.00	88.05
7.15	87.70	11.15	88.05		
7.30	87.75	11.30	88.05		

ตารางที่ ข-7 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านครั้งที่ 1

น้ำหนักน้ำในกาลอรีมิเตอร์ = 1997 กรัม

น้ำหนักของ เชื้อเพลิง = 1.54 กรัม

ความยาวของพิวส์ที่ใช้ไป = 4.2 ซม.

เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)
0	87.05	8.15	93.20	12.45	94.07
1	87.08	8.30	93.40	13.00	94.07
2	87.08	8.45	93.50	13.15	94.07
3	87.10	9.00	93.65	13.30	94.07
4	87.10	9.15	93.75	13.45	94.08
5	87.10	9.30	93.80	14.00	94.08
5.15	87.10	9.45	93.85	14.15	94.08
5.30	87.30	10.00	93.95	14.30	94.08
5.45	87.70	10.15	93.95	14.45	94.08
6.00	88.30	10.30	94.00	15.00	94.08
6.15	89.00	10.45	94.00	15.15	94.08
6.30	89.60	11.00	94.00	15.30	94.08
6.45	90.40	11.15	94.03	15.45	94.08
7.00	91.20	11.30	94.05	16.00	94.08
7.15	91.75	11.45	94.05	17.00	94.08
7.30	92.10	12.00	94.05	18.00	94.08
7.45	92.65	12.15	94.06	19.00	94.08
8.00	93.00	12.30	94.06	20.00	94.08

ตารางที่ ข-8 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านครั้งที่ 2

น้ำหนักน้ำในคาลอรีมิเตอร์ = 1997 กรัม

น้ำหนักของ เชื้อเพลิง = 1.31 กรัม

ความยาวของพิวส์ที่ใช้ไป = 7.4 ซม.

เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o พ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o พ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o พ)
0	80.05	8.15	85.80	12.45	86.02
1	80.05	8.30	85.85	13.00	86.02
2	80.08	8.45	85.88	13.15	86.02
3	80.08	9.00	85.92	13.30	86.02
4	80.08	9.15	85.92	13.45	86.02
5	80.10	9.30	85.95	14.00	86.02
5.15	80.15	9.45	85.97	14.15	86.02
5.30	80.60	10.00	86.00	14.30	86.02
5.45	81.40	10.15	86.01	14.45	86.02
6.00	82.30	10.30	86.01	15.00	86.02
6.15	83.20	10.45	86.01	15.15	86.02
6.30	84.05	11.00	86.01	15.30	86.02
6.45	84.60	11.15	86.01	15.45	86.02
7.00	85.10	11.30	86.01	16.00	86.02
7.15	85.35	11.45	86.01	17.00	86.02
7.30	85.50	12.00	86.01	18.00	86.02
7.45	85.65	12.15	86.01	19.00	86.02
8.00	85.75	12.30	86.02	20.00	86.02

ตารางที่ ข-9 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านครั้งที่ 3

น้ำหนักน้ำในศาลอซีมิเตอร์ = 1997 กรัม

น้ำหนักของ เชื้อเพลิง = 1.33 กรัม

ความยาวของพิวสที่ใช้ไป = 7.44 ซม.

เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)
0	79.80	8.15	85.75	12.45	85.90
1	79.82	8.30	85.80	13.00	85.90
2	79.82	8.45	85.85	13.15	85.90
3	79.84	9.00	85.90	13.30	85.90
4	79.85	9.15	85.90	13.45	85.90
5	79.86	9.30	85.90	14.00	85.90
5.15	80.00	9.45	85.90	14.15	85.90
5.30	80.50	10.00	85.90	14.30	85.90
5.45	81.05	10.15	85.90	14.45	85.90
6.00	82.00	10.30	85.90	15.00	85.90
6.15	83.00	10.45	85.90	15.15	85.90
6.30	83.90	11.00	85.90	15.30	85.90
6.45	84.50	11.15	85.90	15.45	85.90
7.00	85.00	11.30	85.90	16.00	85.90
7.15	85.25	11.45	85.90	17.00	85.90
7.30	85.40	12.00	85.90	18.00	85.90
7.45	85.55	12.15	85.90	19.00	85.90
8.00	85.65	12.30	85.90	20.00	85.90

ตารางที่ ข-10 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านครั้งที่ 4

น้ำหนักน้ำในคาลอรีมิเตอร์ = 1997 กรัม

น้ำหนักของเชื้อเพลิง = 1.31 กรัม

ความยาวของพิวส์ที่ใช้ไป = 6.0 ซม.

เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o ฟ)
0	79.80	8.15	85.72	12.45	85.95
1	79.85	8.30	85.80	13.00	85.95
2	79.90	8.45	85.82	13.15	85.95
3	79.95	9.00	85.85	13.30	85.95
4	79.95	9.15	85.86	13.45	85.95
5	79.95	9.30	85.90	14.00	85.95
5.15	80.00	9.45	85.90	14.15	85.95
5.30	80.30	10.00	85.91	14.30	85.95
5.45	81.05	10.15	85.92	14.45	85.95
6.00	81.95	10.30	85.93	15.00	85.95
6.15	82.90	10.45	85.94	15.15	85.95
6.30	83.75	11.00	85.95	15.30	85.95
6.45	84.15	11.15	85.95	15.45	85.95
7.00	84.70	11.30	85.95	16.00	85.95
7.15	85.20	11.45	85.95	17.00	85.95
7.30	85.40	12.00	85.95	18.00	85.95
7.45	85.50	12.15	85.95	19.00	85.95
8.00	85.60	12.30	85.95	20.00	85.95

ตารางที่ ข-11 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านครั้งที่ 5

น้ำหนักน้ำในคาลอรีมิเตอร์ = 1997 กรัม

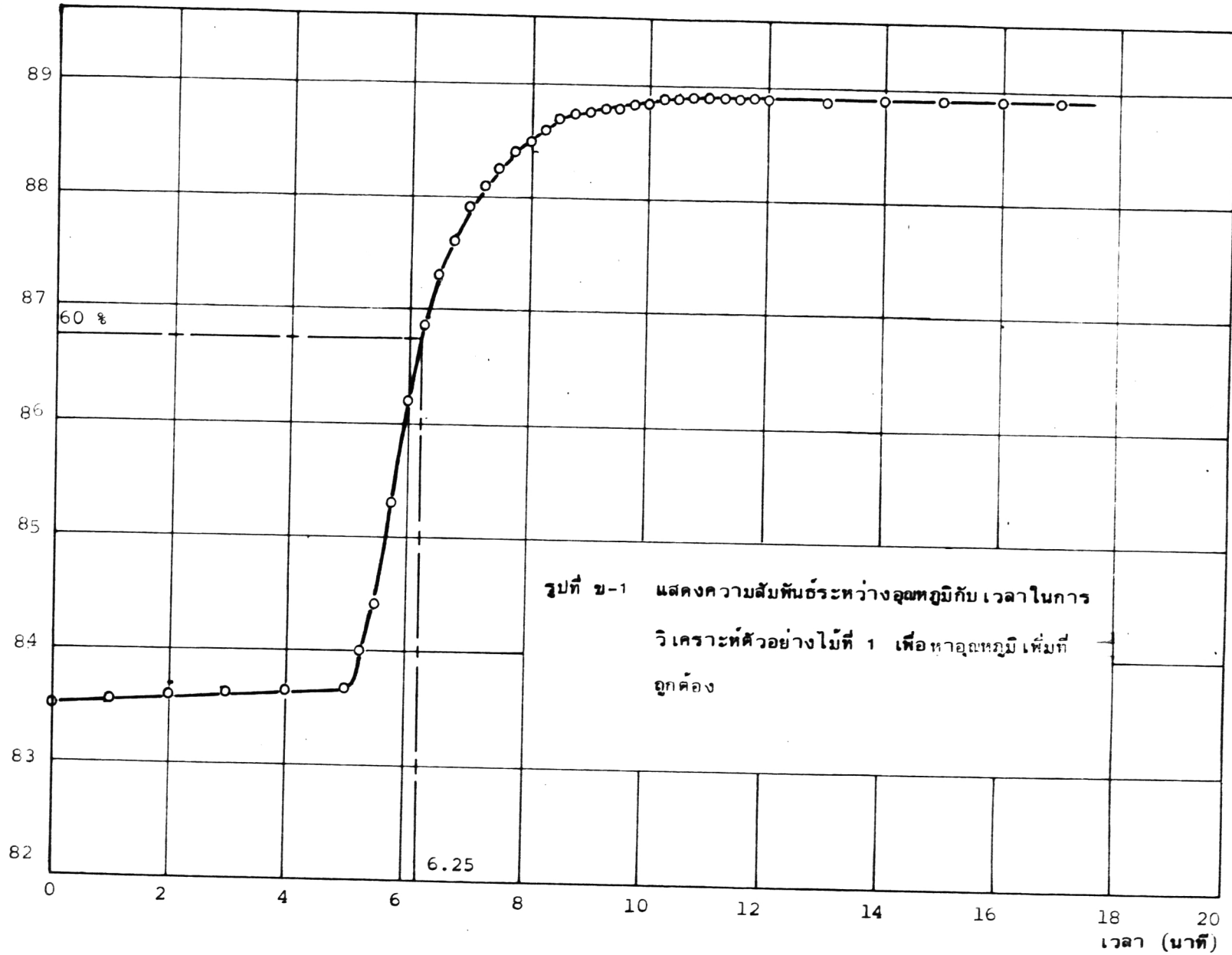
น้ำหนักของ เชื้อเพลิง = 1.31 กรัม

ความยาวของพิวส์ที่ใช้ไป = 7.2 ซม.

เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o พ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o พ)	เวลา (นาท.วินาที)	อุณหภูมิ (^o พ)
0	80.80	8.15	86.75	12.45	86.90
1	80.90	8.30	86.80	13.00	86.90
2	80.91	8.45	86.80	13.15	86.90
3	80.92	9.00	86.82	13.30	86.90
4	80.94	9.15	86.85	13.45	86.90
5	80.95	9.30	86.85	14.00	86.90
5.15	80.99	9.45	86.86	14.15	86.90
5.30	81.40	10.00	86.86	14.30	86.90
5.45	82.25	10.15	86.89	14.45	86.90
6.00	83.20	10.30	86.90	15.00	86.90
6.15	84.10	10.45	86.90	15.15	86.90
6.30	85.00	11.00	86.90	15.30	86.90
6.45	85.60	11.15	86.90	15.45	86.90
7.00	86.00	11.30	86.90	16.00	86.90
7.15	86.25	11.45	86.90	17.00	86.90
7.30	86.40	12.00	86.90	18.00	86.90
7.45	86.60	12.15	86.90	19.00	86.90
8.00	86.65	12.30	86.90	20.00	86.90

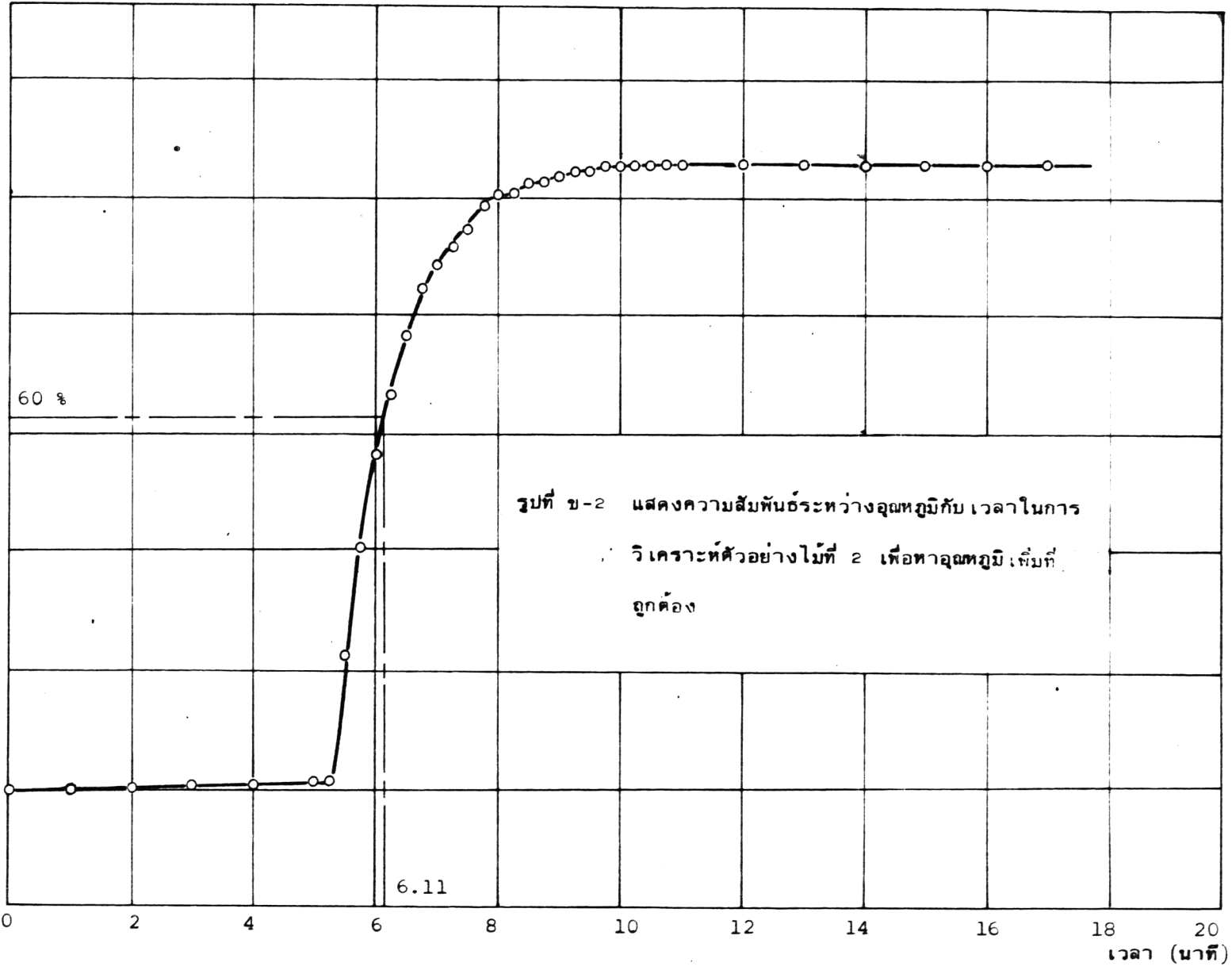
อุณหภูมิ

(^oพ)



อุณหภูมิ
(^oฟ)

91.5
90.5
89.5
88.5
87.5
86.5
85.5
84.5



รูปที่ ข-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ เวลาในการ
วิเคราะห์ตัวอย่างไม้ที่ 2 เพื่อหาอุณหภูมิเพิ่มขึ้น
ถูกต้อง

อุณหภูมิ

(^oพ)

89.5

88.5

87.5

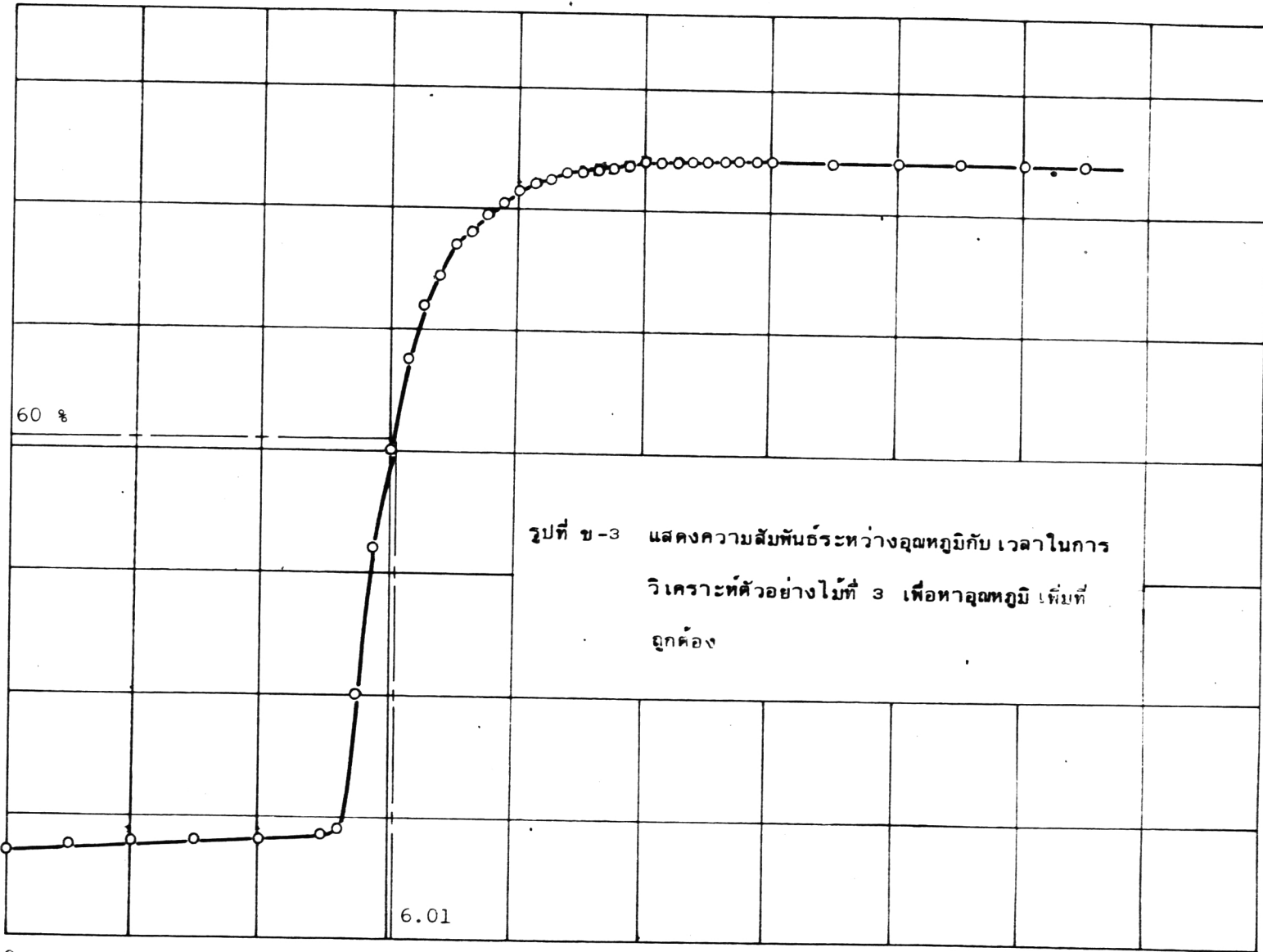
86.5

85.5

84.5

83.5

82.5



60 %

6.01

รูปที่ ข-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ เวลาในการ
วิเคราะห์ตัวอย่างไม้ที่ 3 เพื่อหาอุณหภูมิ ที่เพิ่มที่
ถูกต้อง

0

2

4

6

8

10

12

14

16

18

20

เวลา (นาที)

อุณหภูมิ
(°F)

89.5

88.5

87.5

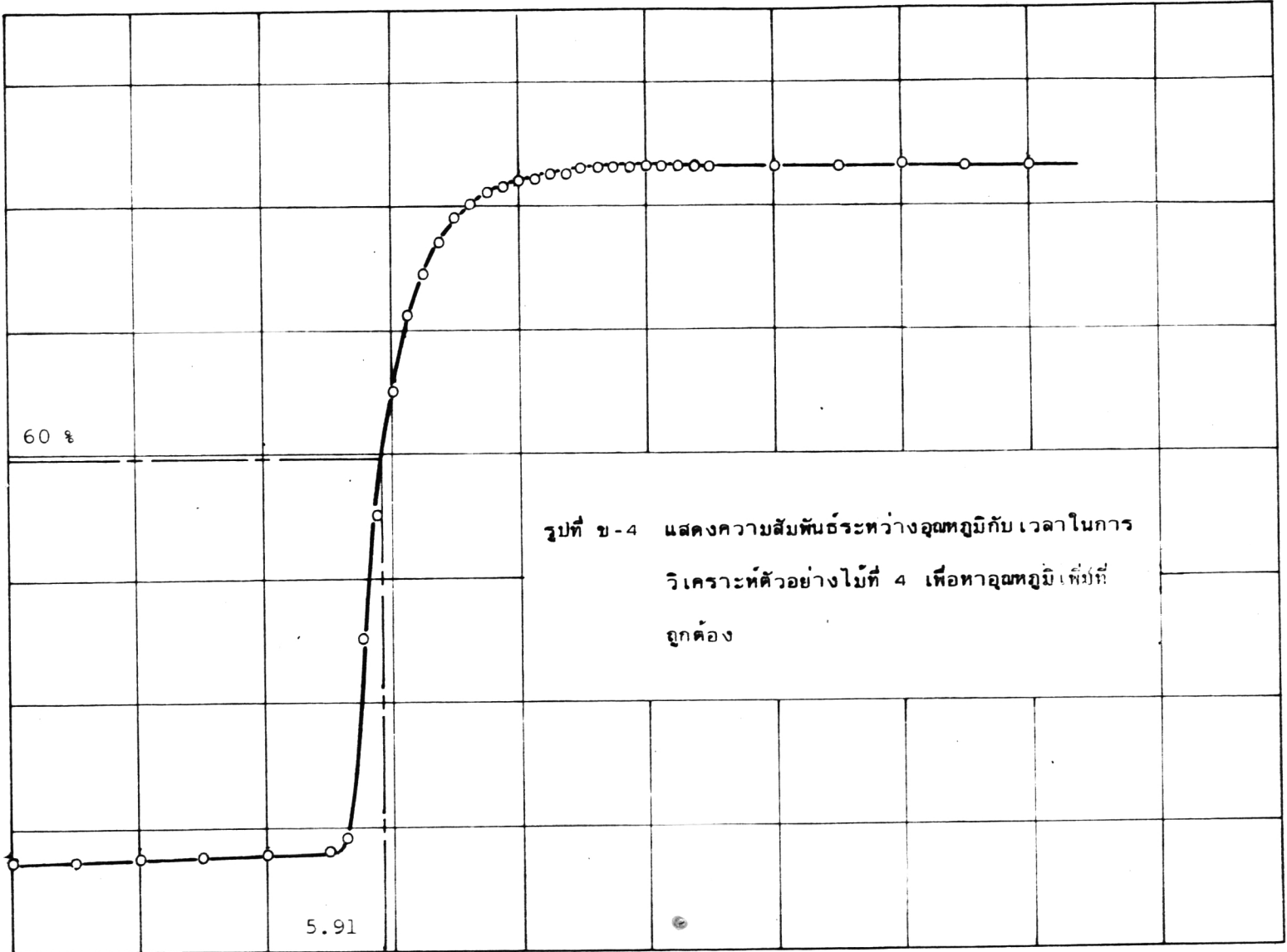
86.5

85.5

84.5

83.5

82.5



60 %

5.91

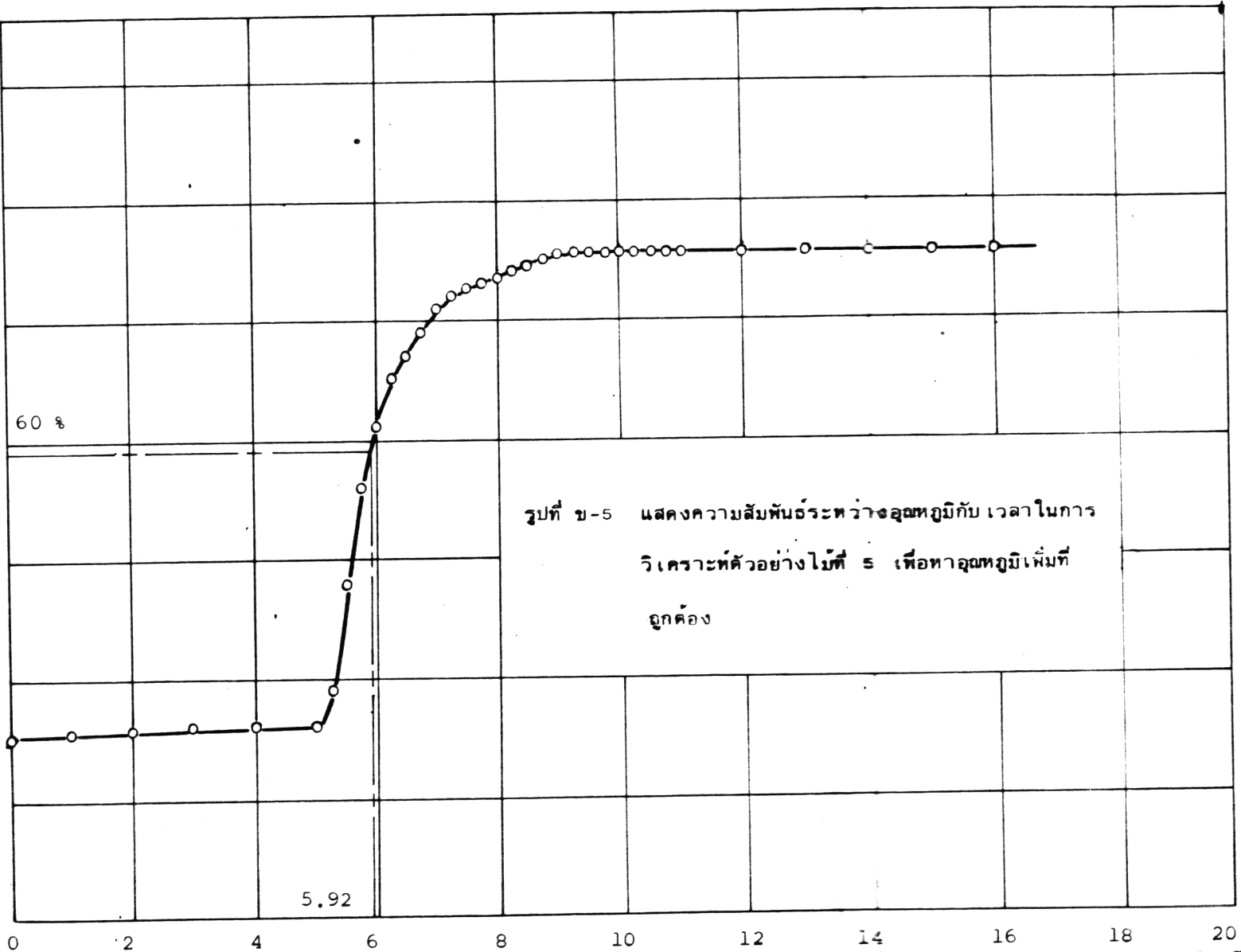
รูปที่ ข-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ เวลาในการ
วิเคราะห์ตัวอย่างไม้ที่ 4 เพื่อหาอุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่
ถูกต้อง



เวลา (นาที)

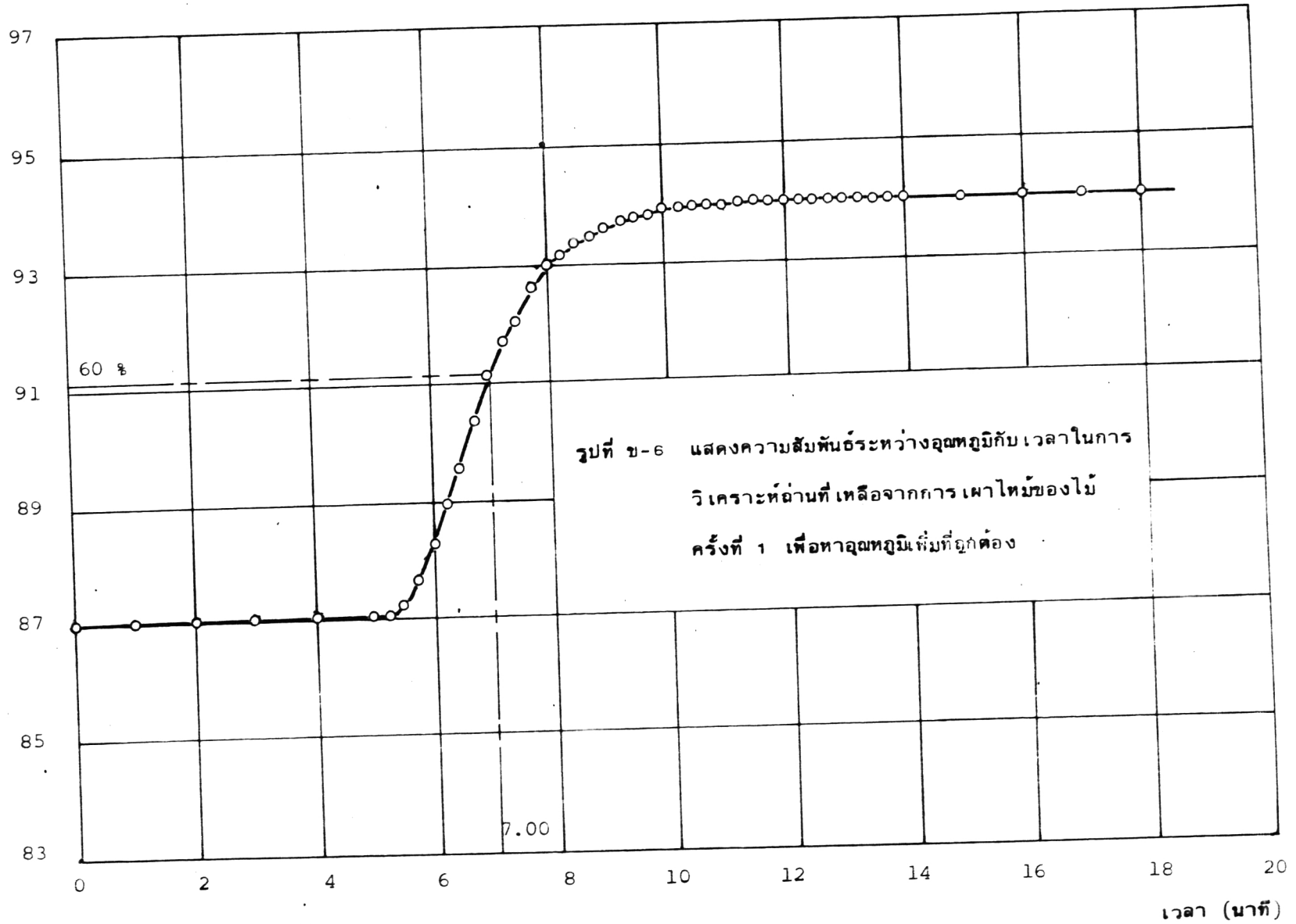
อุณหภูมิ
($^{\circ}\text{F}$)

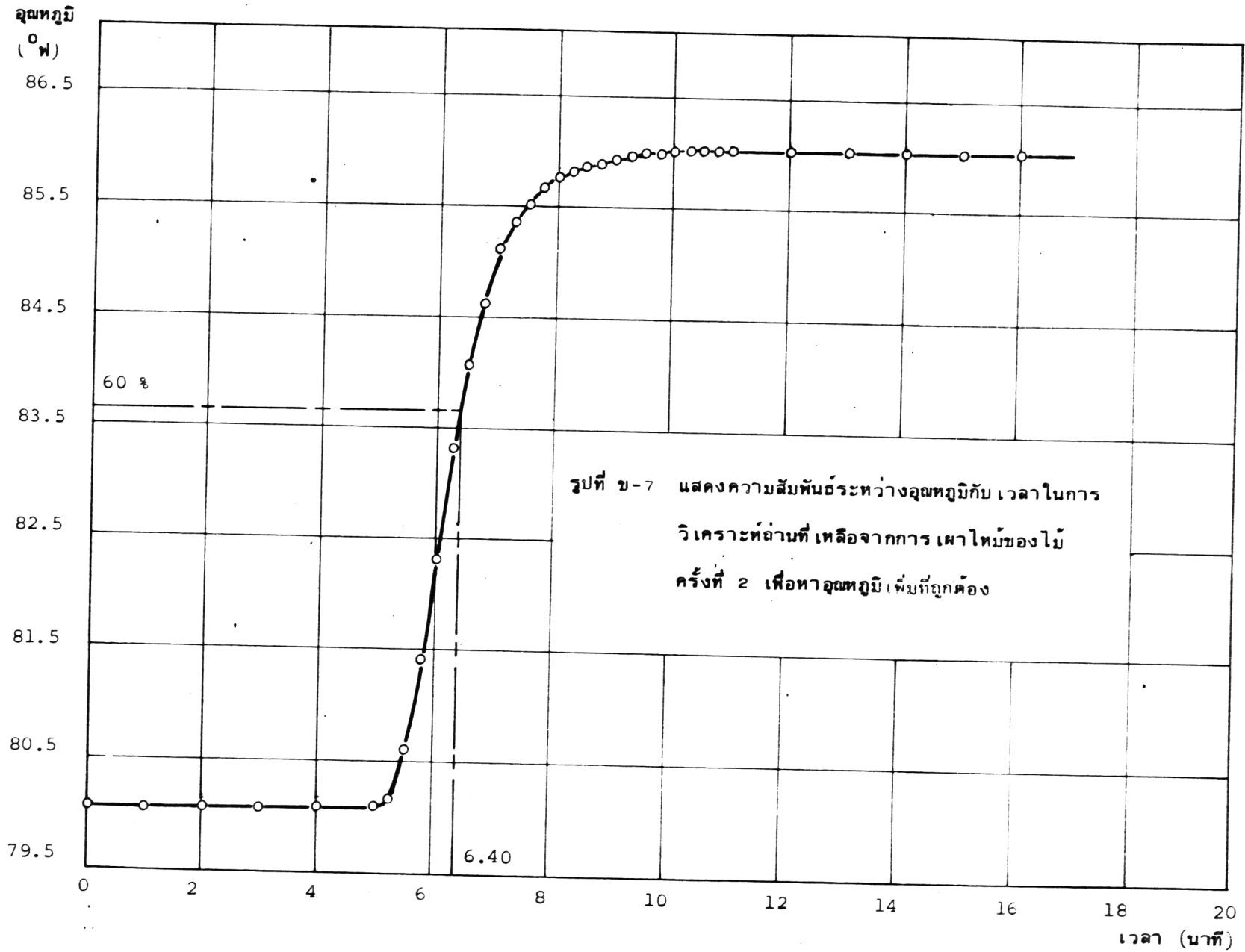
89.5
88.5
87.5
86.5
85.5
84.5
83.5
82.5



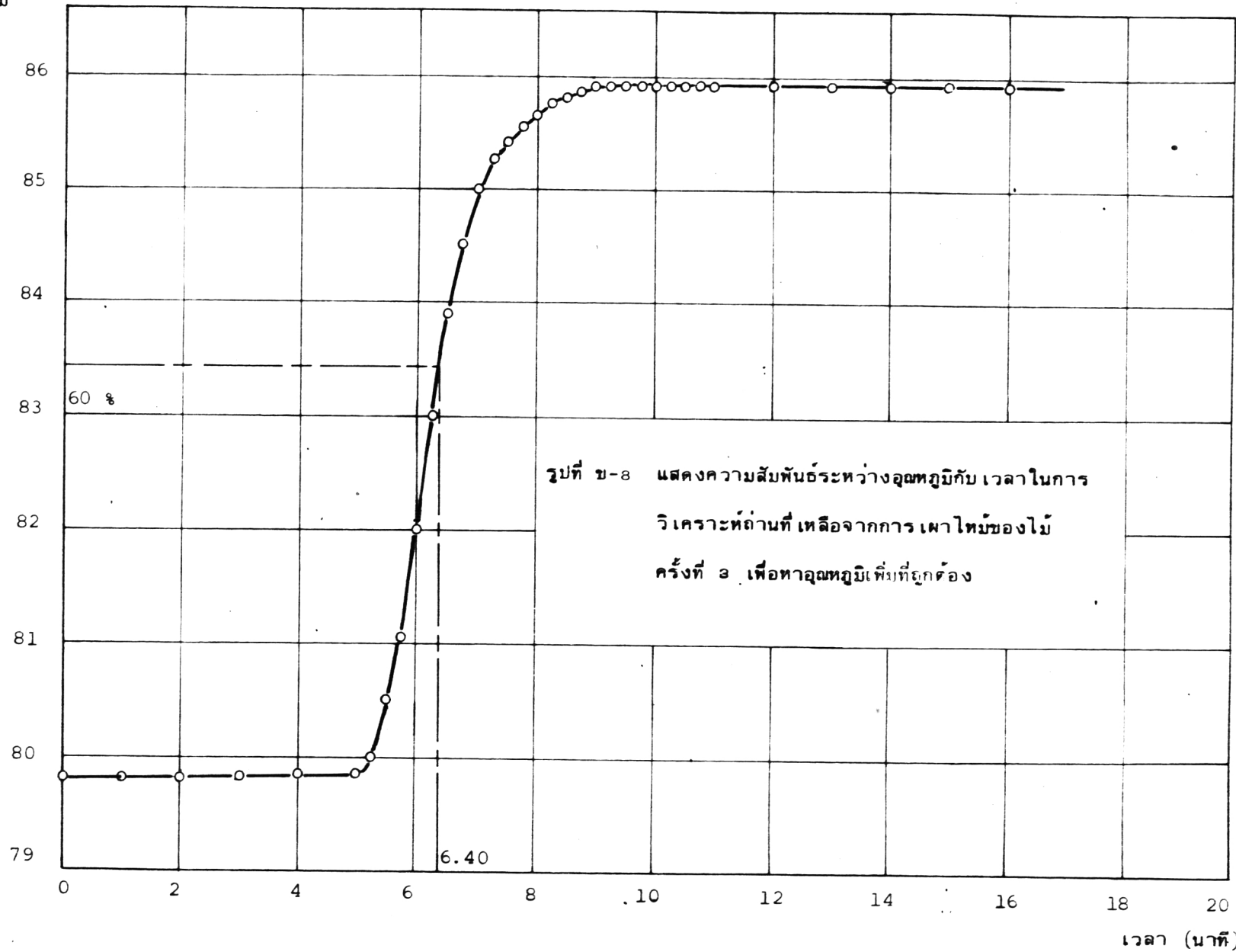
รูปที่ ข-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ เวลาในการวิเคราะห์ด้วยวิธี 5 เพื่อหาอุณหภูมิเพิ่มขึ้น
ถูกต้อง

อุณหภูมิ
(^oพ)

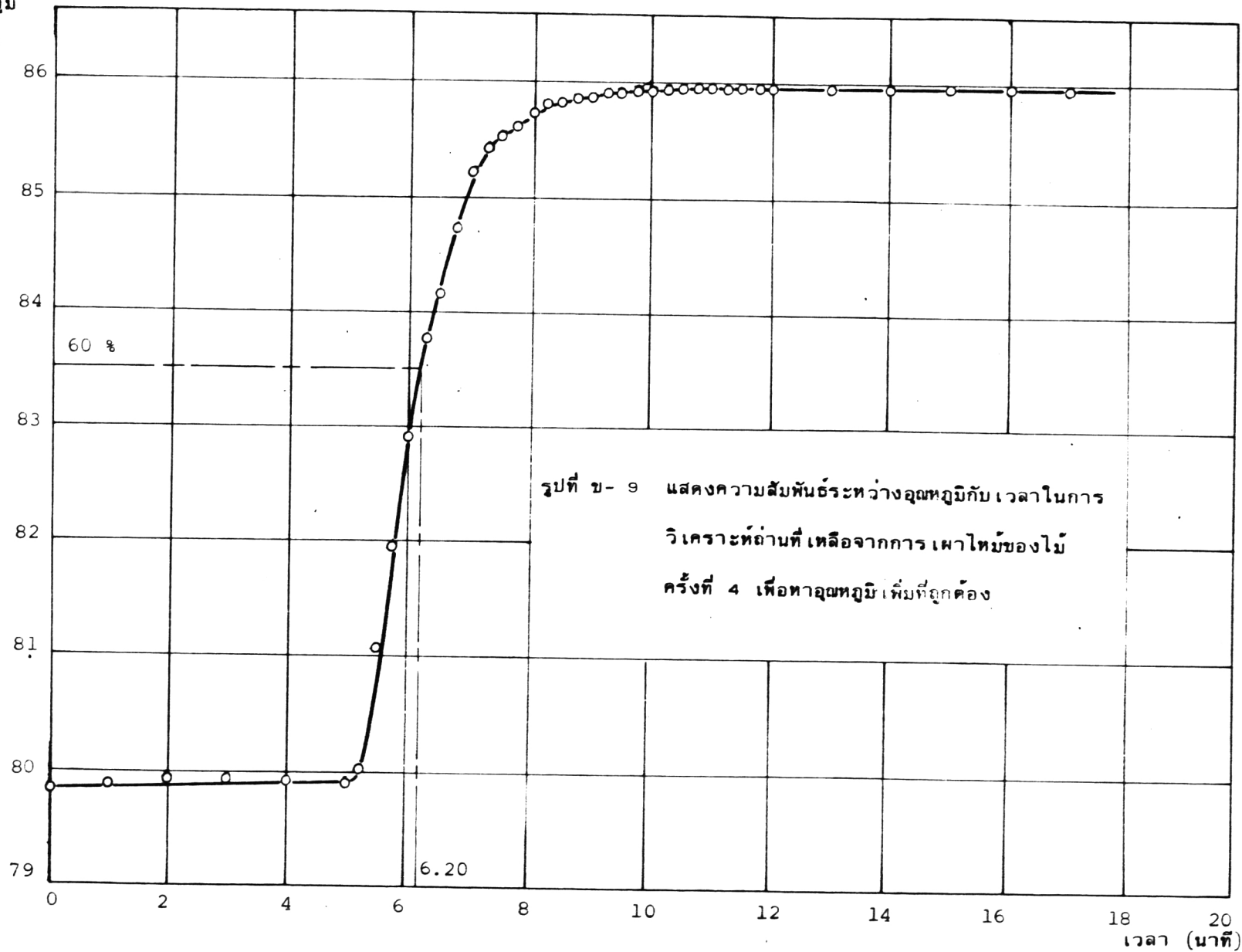




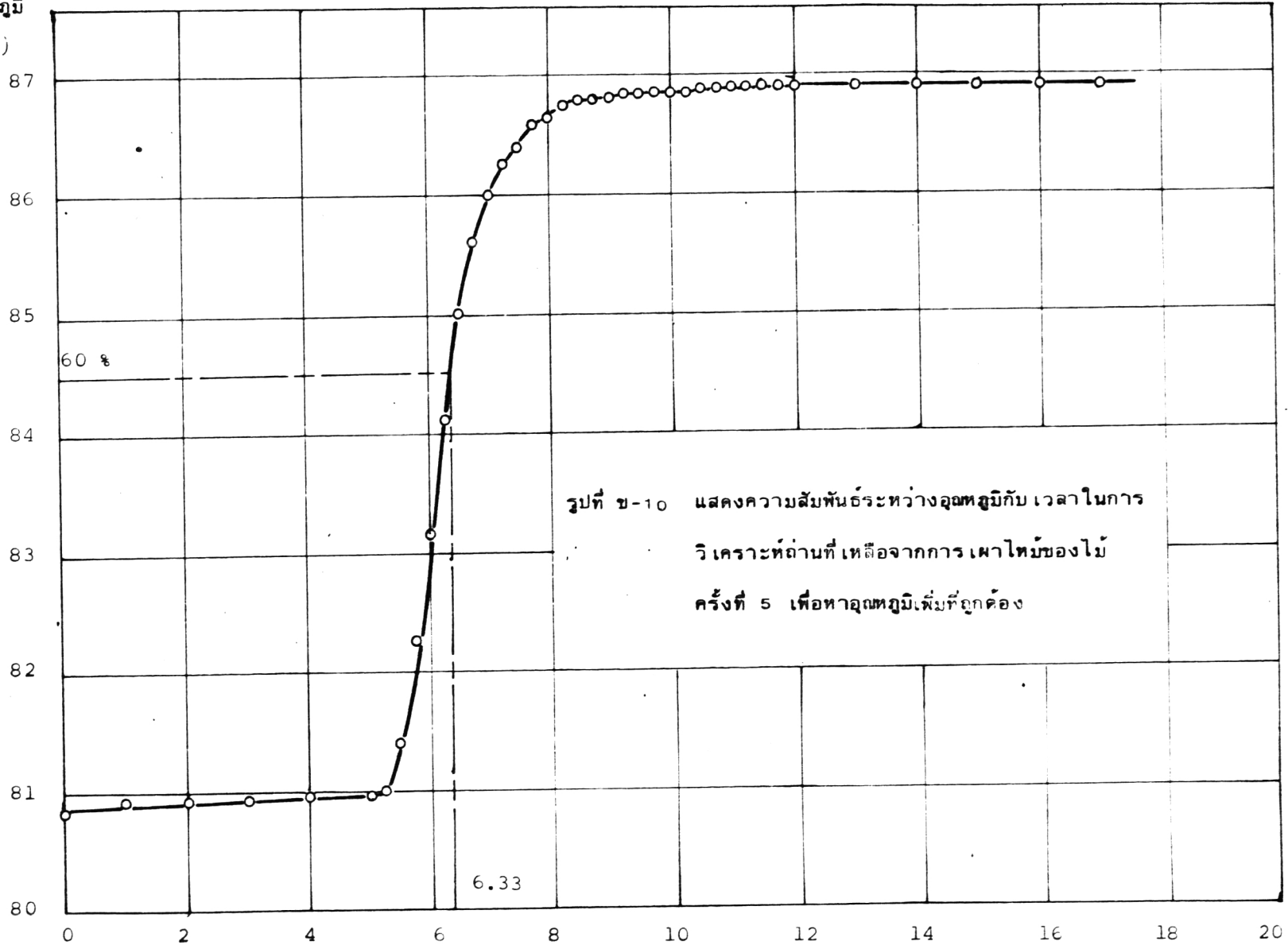
อุณหภูมิ
(°ฟ)



อุณหภูมิ
(°F)



อุณหภูมิ
(^oพ)



รูปที่ ข-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ เวลาในการ
วิเคราะห์ด้านที่ เหลือจากการ เผาไหม้ของไม้
ครั้งที่ 5 เพื่อหาอุณหภูมิเพิ่มที่ถูกต้อง

ภาคผนวก ค

การจำลองแบบหาค่าความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะ

การจำลองแบบหาค่าความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะนี้ ก็เพื่อที่จะได้ เปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะโดยการใช้สูตรคำนวณ การจำลองแบบนี้ใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้คือ หม้ออลูมิเนียมขนาดเดียวกับหม้อใบที่หนึ่งที่ใช้ในการทดสอบเตา ซึ่งเป็นหม้อที่รับความร้อนโดยตรงจาก เชื้อเพลิงในเตา นำมาหุ้มฉนวนที่กันหม้อกับด้านข้างบางส่วนให้ เหลือส่วนที่ไม่ได้หุ้มฉนวนด้านข้าง 6 ซม. (วัดจากปากหม้อลงมา) และด้านบนของหม้อเท่านั้น ซึ่งในตอนทดสอบ เตาส່วนที่สัมผัสกับอากาศก็คือส่วนที่ไม่ได้หุ้มฉนวนตอนที่ยังจำลองแบบนั้นเอง และส่วนของหม้อที่วางลึกลงไปในเตา (ไม่สัมผัสอากาศ) ก็คือส่วนที่หุ้มฉนวนตอนที่ยังจำลองแบบ นอกจากหม้ออลูมิเนียมแล้วอุปกรณ์ก็ยังมี เทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำ เทอร์โมคัมเบิลกับ เครื่องบันทึกค่าสำหรับวัดอุณหภูมิของผิวภาชนะ ฮีทเตอร์ (heater) แบบจุ่มน้ำซึ่งเป็นตัวให้พลังงานแก่น้ำในภาชนะ ฮีทเตอร์นี้ต่อเข้ากับวัตต์มิเตอร์และทรานส์ฟอร์มเมอร์แบบปรับค่าได้ (variac transformer) เพื่อให้สามารถปรับจำนวนพลังงานที่ให้กับฮีทเตอร์ได้ จำนวนพลังงานที่ให้กับฮีทเตอร์นี้อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์

วิธีทดลองซึ่งน้ำหนักน้ำที่จะใช้ในการทดลองจำนวน 2 กิโลกรัมใส่ในหม้ออลูมิเนียมที่ใช้ทดลอง บันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำและผิวภาชนะ จุ่มฮีทเตอร์ลงในน้ำแล้วปิดฝาหม้อให้สนิท ปรับทรานส์ฟอร์มเมอร์ให้พลังงานแก่ฮีทเตอร์ตามต้องการ ในการทดลองนี้ให้พลังงานแก่ฮีทเตอร์จำนวน 400, 500 และ 800 วัตต์ เริ่มจับเวลาตอนกระทั่งน้ำในหม้อเดือด อ่านอุณหภูมิของน้ำจาก เทอร์โมมิเตอร์และอุณหภูมิของผิวภาชนะจาก เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (recorder)

การจำลองแบบสามารถหาค่าความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะได้ดังนี้

$$Q_{in} = mc_{pw} \frac{\Delta T}{\Delta t} + \text{Heat loss} \quad (ค-1)$$

โดยที่ Q_{in} = พลังงานที่ฮีทเตอร์ให้แก่น้ำ, วัตต์

m = น้ำหนักน้ำในภาชนะ, กิโลกรัม

c_{pw} = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, จูล/(กิโลกรัม-^oซ.)

ΔT = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในการค้ำน้ำ, ^oซ.

Δt = ระยะเวลาในการค้ำน้ำจนเดือด, วินาที

ค่าความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร กับค่าความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะโดยการจำลองแบบแสดงไว้ในตารางที่ (ค-1)

ตารางที่ ค-1 แสดงการ เปรียบ เทียบค่าความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะโดยวิธีใช้สูตรคำนวณกับการจำลองแบบ

Test No.	Q_{in} (W)	m. (kg)	T_o ($^{\circ}C$)	T_a ($^{\circ}C$)	T_s ($^{\circ}C$)	T'_s ($^{\circ}C$)	Δt (min.)	ความร้อนสูญเสียจากภาชนะโดยวิธีจำลองแบบ (วัตต์)	ความร้อนสูญเสียจากภาชนะโดยวิธีใช้สูตรคำนวณ (วัตต์)	ความแตกต่างระหว่างวิธีใช้สูตรคำนวณกับวิธีการจำลองแบบ
1	400	2	29.0	31.0	99.8	99.8	28.47	51.11	46.02	9.96 %
2	400	2	29.0	31.0	99.8	99.8	28.46	50.98	46.02	9.73 %
3	500	2	29.0	31.0	99.8	99.8	22.18	52.16	46.02	11.78 %
4	500	2	29.0	31.0	99.8	99.8	22.17	51.96	46.02	11.43 %
5	800	2	29.0	31.5	99.8	99.8	13.27	51.48	45.52	11.57 %
6	800	2	29.0	31.5	99.8	99.8	13.26	50.91	45.52	10.58 %

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณ

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ ก-1 Test No. 1 เป็นการทดลองที่ $A_d = 30\%$,

$W_w = 1000$ กรัม ข้อมูลที่วัดได้มีดังนี้

$T_a = 31.0^{\circ}\text{ซ.}$, $T_o = 30.0^{\circ}\text{ซ.}$
$T_{s1} = 99.8^{\circ}\text{ซ.}$, $T'_{s1} = 99.8^{\circ}\text{ซ.}$
$T_{s2} = 91.1^{\circ}\text{ซ.}$, $T'_{s2} = 88.9^{\circ}\text{ซ.}$
$T_{s3} = 92.1^{\circ}\text{ซ.}$, $T'_{s3} = 89.9^{\circ}\text{ซ.}$
$T_{PT2} = 93.5^{\circ}\text{ซ.}$, $T_{PT3} = 94.5^{\circ}\text{ซ.}$
$t_{PT1} = 26.20$ นาที	, $t_T = 97.85$ นาที
$W_{el} = 792.8$ กรัม	, $W_c = 149.0$ กรัม
$T_g = 147.2^{\circ}\text{ซ.}$, $P_v = 0.003$ นิ้วของน้ำ

การคำนวณ

1. การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและแผ่รังสีความร้อนของหม้อไอน้ำที่หนึ่ง

การคำนวณแยกคิด เป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นด้านข้างของหม้อกับส่วนที่เป็น
ด้านบนของหม้อ ดังนี้

- 1.1 ส่วนที่เป็นด้านข้างของหม้อไอน้ำที่หนึ่ง

หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว, T_{m1}

$$T_{m1} = \frac{(T_{s1} + T_o)/2 + T_a}{2}$$
$$= \frac{(99.8 + 30.0)/2 + 31.0}{2} = 47.95^{\circ}\text{ซ.}$$

จากคุณสมบัติของอากาศในภาคผนวก จ ได้

$$\mu_a = 19.4975 \times 10^{-6} \text{ กิโลกรัม/(ม-วินาที)}$$

$$C_{pa} = 1005.0 \text{ จูล/(กิโลกรัม-}^{\circ}\text{ค)}$$

$$k_a = 2.81565 \times 10^{-2} \text{ วัตต์/(ม-}^{\circ}\text{ค)}$$

$$\rho_a = 1.10017 \text{ กิโลกรัม/ม}^3.$$

$$\beta = \frac{1}{T_a} = 3.28947 \times 10^{-3} \text{ 1/}^{\circ}\text{ค}$$

$$Pr = 0.698205$$

หาค่า Grashof Number ดังนี้

$$Gr = \frac{\rho_a^2 l^3 g \beta \Delta T}{\mu_a}$$

$$l = \text{ความสูงของหม้อต้มน้ำข้างที่สัมผัสกับอากาศ} = 6 \text{ ซม.}$$

$$Gr = \frac{(1.10017)^2 (0.06)^3 \times 9.81 \times 3.28947 \times 10^{-3} \times (99.8 - 31)}{(19.4975 \times 10^{-6})^2}$$

$$= 1526872.58$$

$$Gr.Pr = 1526872.58 \times 0.698205 = 1066070.07$$

$$\text{จากสมการ (2-12) } C = 0.59, P = 0.25$$

$$Nu = 0.59 (Gr.Pr)^{0.25}$$

ดังนั้น

$$\frac{h_{cl} l}{k_a} = 0.59 (1066070.07)^{0.25} = 18.96$$

$$h_{cl} = 18.96 \times \frac{2.81565 \times 10^{-2}}{0.06} = 8.896 \text{ วัตต์/(ม}^2 \cdot \text{°ค)}$$

จากสมการ (2-21) ได้

$$h_{rl} = 4\epsilon\sigma T_{mp}^3$$

เมื่อ

$$\epsilon = 0.20 \quad (11)$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ วัตต์/(ม}^2 \cdot \text{°ค}^4)$$

จากสมการ (2-23)

$$T_{mp} = \frac{T_{sl} + T_a}{2} = \frac{99.8 + 31.0}{2}$$

$$= 65.4 \text{ °ซ} = 338.4 \text{ °ค}$$

ดังนั้น

$$h_{rl} = 4 \times 0.20 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (338.4)^3$$

$$= 1.758 \text{ วัตต์/(ม}^2 \cdot \text{°ค)}$$

1.2 ส่วนที่เป็นด้านบนของหม้อไอน้ำที่หนึ่ง

หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว, T'_{ml}

$$T'_{ml} = \frac{(T'_{sl} + T'_o)/2 + T_a}{2}$$

$$= \frac{(99.8 + 30)/2 + 31.0}{2} = 47.95 \text{ °ซ.}$$

จากคุณสมบัติของอากาศในผนวก จ ได้

$$\mu_a = 19.4975 \times 10^{-6} \text{ กิโลกรัม/(ม-วินาที)}$$

$$C_{pa} = 1005.0 \text{ จูล/(กิโลกรัม} \cdot \text{°ค)}$$

$$k_a = 2.81565 \times 10^{-2} \text{ วัตต์/(ม} \cdot \text{°ค)}$$

$$\rho_a = 1.10017 \text{ กิโลกรัม/ม}^3$$

$$\beta = \frac{1}{T_a} = 3.28947 \times 10^{-3} \text{ 1/°ค}$$

$$Pr = 0.698205$$

หาค่า Grashof Number ดังนี้

$$Gr = \frac{\rho_a^2 d^3 g \beta \Delta T_{La}}{\mu_a^2}$$

$$d = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของหม้อไอน้ำที่หนึ่ง} = 20 \text{ ซม.}$$

$$Gr = \frac{(1.10017)^2 (0.20)^3 \times 9.81 \times 3.28947 \times 10^{-3} \times (99.8 - 31.0)}{(19.4975 \times 10^{-6})^2}$$

$$Gr = 56550322.5$$

$$Gr.Pr = 56550322.5 \times 0.698205 = 39483717.92$$

จากสมการ (2-16) $C = 0.14$, $P = 0.33$

$$Nu = 0.14 (Gr.Pr)^{0.33}$$

ดังนั้น

$$\frac{h'_{cl} d}{k_a} = 0.14 (39483717.92)^{0.33} = 47.672$$

$$h'_{cl} = 47.672 \times \frac{2.81565 \times 10^{-2}}{0.20} = 6.711 \text{ วัตต์/(ม}^2\text{-}^{\circ}\text{ค)}$$

จากสมการ (2-22) ได้

$$h'_{r1} = 4\epsilon\sigma T_{mL}^3$$

จากสมการ (2-24)

$$\begin{aligned} T_{mL} &= \frac{T_{s1} + T_a}{2} = \frac{99.8 + 31.0}{2} \\ &= 65.4^{\circ}\text{ซ.} = 338.4^{\circ}\text{ค} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } h'_{r1} &= 4 \times 0.20 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (338.4)^3 \\ &= 1.758 \quad \text{วัตต์/(ม}^2\text{-}^{\circ}\text{ค)} \end{aligned}$$

2. การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและแผ่รังสีความร้อนของหม้อไอน้ำที่สอง
และสาม

ทำนอง เดียวกันกับหม้อไอน้ำที่หนึ่งคือแยกคิด เป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนที่เป็นด้านข้าง
ของหม้อไอน้ำกับส่วนที่เป็นด้านบนของหม้อ

2.1 ส่วนที่เป็นด้านข้างของหม้อไอน้ำที่สอง

หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว. T_{m2}

$$\begin{aligned} T_{m2} &= \frac{(T_{s2} + T_o) / 2 + T_a}{2} \\ &= \frac{(91.1 + 30.0) / 2 + 31.0}{2} = 45.775^{\circ}\text{ซ.} \end{aligned}$$

จากคุณสมบัติของอากาศในภาคผนวก จ ได้

$$\mu_a = 19.38875 \times 10^{-6} \quad \text{กิโลกรัม/(ม-วินาที)}$$

$$C_{pa} = 1005.0 \quad \text{จูล/(กิโลกรัม-}^{\circ}\text{ค)}$$

$$\rho_a = 1.1077875 \quad \text{วัตต์/(ม-}^{\circ}\text{ค)}$$

$$k_a = 2.800425 \times 10^{-2} \quad \text{กิโลกรัม/ม}^3$$

$$\beta = \frac{1}{T_a} = 3.2894736 \times 10^{-3} \quad 1/^{\circ}\text{ค}$$

$$Pr = 0.6984225$$

หาค่า Grashof Number ดังนี้

$$Gr = \frac{\rho_a^2 l^3 g \beta \Delta T_{pa}}{\mu_a^2}$$

ℓ = ความสูงด้านข้างหม้อที่สัมผัสกับอากาศ = 7 ซม.

$$Gr = \frac{(1.1077875)^2 (0.07)^3 \times 9.81 \times 3.2894736 \times 10^{-3} \times (91.1 - 31.0)}{(19.38875 \times 10^{-6})^2}$$

$$= 2171587.23$$

$$Gr.Pr = 2171587.23 \times 0.6984225 = 1516685.38$$

จากสมการ (2-12) $C = 0.59$, $P = 0.25$

$$Nu = 0.59(Gr.Pr)^{0.25}$$

$$\text{ดังนั้น } \frac{h_{c2} \ell}{k_a} = 0.59(1516685.38)^{0.25} = 20.705$$

$$h_{c2} = 20.705 \times \frac{2.800425 \times 10^{-2}}{0.07} = 8.283 \text{ วัตต์/(ม}^2\text{-}^{\circ}\text{ค)}$$

จากสมการ (2-21) ได้

$$h_{r2} = 4\epsilon\sigma T_{mp}^3$$

จากสมการ (2-23)

$$T_{mp} = \frac{T_{s2} + T_a}{2} = \frac{91.1 + 31.0}{2}$$

$$= 61.05^{\circ}\text{ซ.} = 334.05^{\circ}\text{ค}$$

$$\text{ดังนั้น } h_{r2} = 4 \times 0.20 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (334.05)^3$$

$$= 1.690 \text{ วัตต์/(ม}^2\text{-}^{\circ}\text{ค)}$$

2.2 ส่วนที่เป็นด้านบนของหม้อใบที่สอง

หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว, T'_{m2}

$$T'_{m2} = \frac{(T'_{s2} + T'_o)/2 + T'_a}{2}$$

$$= \frac{(88.9+30)/2+31.0}{2} = 45.225 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จากคุณสมบัติของอากาศในภาคผนวก จ ได้

$$\mu_a = 19.36125 \times 10^{-6} \text{ กิโลกรัม/(ม-วินาที)}$$

$$C_{pa} = 1005.0 \text{ จูล/(กิโลกรัม-}^{\circ}\text{ค)}$$

$$k_a = 2.796575 \times 10^{-2} \text{ วัตต์/(ม-}^{\circ}\text{ค)}$$

$$\rho_a = 1.1097125 \text{ กิโลกรัม/ม}^3$$

$$\beta = \frac{1}{T_a} = 3.2894736 \times 10^{-3} \text{ 1/}^{\circ}\text{ค}$$

$$Pr = 0.6984775$$

หาค่า Grashof Number ดังนี้

$$Gr = \frac{\rho_a^2 d^3 g \beta \Delta T_{La}}{\mu_a^2}$$

$$d = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของหม้อไอน้ำทั้งสอง} = 16 \text{ ซม.}$$

$$Gr = \frac{(1.1097125)^2 (0.16)^3 \times 9.81 \times 3.2894736 \times 10^{-3} \times (88.9 - 31.0)}{(19.36125 \times 10^{-6})^2}$$

$$Gr = 25141320.34$$

$$Gr \cdot Pr = 25141320.34 \times 0.6984775 = 17560646.57$$

จากสมการ (2-16) $C = 0.54$, $P = 0.25$

$$Nu = 0.54 (Gr \cdot Pr)^{0.25}$$

$$\text{ดังนั้น } \frac{h_c d}{k_a} = 0.54 (17560646.57)^{0.25} = 34.956$$

$$h_c = 34.956 \times \frac{2.796575 \times 10^{-2}}{0.16} = 6.110 \text{ วัตต์/(ม}^2\text{-}^{\circ}\text{ค)}$$

จากสมการ (2-22) ได้

$$h'_{r2} = 4\epsilon\sigma T_{mL}^3$$

จากสมการ (2-24)

$$\begin{aligned} T_{mL} &= \frac{T'_{s2} + T'_a}{2} = \frac{88.9 + 31.0}{2} \\ &= 59.95^{\circ}\text{ซ.} = 332.95^{\circ}\text{ค.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } h'_{r2} &= 4 \times 0.20 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (332.95)^3 \\ &= 1.674 \text{ วัตต์/(ม}^2\text{-}^{\circ}\text{ค.)} \end{aligned}$$

สำหรับหม้อไอน้ำที่สามคำนวณแบบเดียวกันกับหม้อไอน้ำที่สอง ได้ค่าดังนี้คือ

ส่วนที่เป็นด้านข้างของหม้อไอน้ำ ได้ค่า

$$h'_{c3} = 8.316 \text{ วัตต์/(ม}^2\text{-}^{\circ}\text{ค.)}, h'_{r3} = 1.698 \text{ วัตต์/(ม}^2\text{-}^{\circ}\text{ค.)}$$

ส่วนที่เป็นด้านบนของหม้อไอน้ำ ได้ค่า

$$h'_{c3} = 6.135 \text{ วัตต์/(ม}^2\text{-}^{\circ}\text{ค.)}, h'_{r3} = 1.681 \text{ วัตต์/(ม}^2\text{-}^{\circ}\text{ค.)}$$

๓. การหาค่าความร้อนที่ให้แก่ภาชนะ

จากสมการ (2-10) ได้ว่า

$$Q = mC_{pw} \frac{\Delta T}{\Delta t} + A_p (h'_{cn} + h'_{rn}) (T'_{sn} - T'_a) + A_L (h'_{cn} + h'_{rn}) (T'_{sn} - T'_a)$$

สำหรับหม้อไอน้ำที่หนึ่ง $A_p =$ พื้นที่ด้านข้างของหม้อไอน้ำที่สัมผัสกับอากาศ $= \pi d l$

$$= \pi (0.2) (0.06) = 0.0377 \text{ ม}^2.$$

$$A_L = \text{พื้นที่ด้านบนของหม้อไอน้ำที่สัมผัสกับอากาศ} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$= \frac{\pi (0.20)^2}{4} = 0.0314 \text{ ม}^2.$$

สำหรับหม้อไอน้ำที่สอง $A_p = \pi d l = \pi (0.16) (0.07)$

$$= 0.0352 \text{ ม}^2.$$

$$A_L = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (0.16)^2}{4}$$

$$= 0.0201 \text{ ม}^2.$$

สำหรับหม้อไอน้ำที่มีพื้นที่เท่ากับหม้อไอน้ำที่สอง

ค่าความร้อนที่ให้แก่หม้อไอน้ำที่หนึ่งขณะที่คัมน์น้ำจนเดือด หาได้จากสมการ (2-10)

$$Q_1 = 2 \times 4197 \times \frac{(100-30)}{26.20 \times 60} + 0.0377 (8.896 + 1.758) (99.8 - 31.0)$$

$$+ 0.0314 (6.711 + 1.758) (99.8 - 31.0)$$

$$= 419.70 \text{ วัตต์}$$

ค่าความร้อนที่ให้แก่หม้อไอน้ำที่หนึ่งขณะที่คัมน์น้ำเดือด หาได้จากสมการ (2-11)

$$Q_{s1} = \frac{0.7928 \times 2256 \times 10^3}{(97.85 - 26.20) \times 60} + 0.0377 (8.896 + 1.758) (99.8 - 31.0)$$

$$+ 0.0314 (6.711 + 1.758) (99.8 - 31.0)$$

$$= 461.97 \text{ วัตต์}$$

ค่าความร้อนที่ให้แก่หม้อไอน้ำที่สองขณะที่คัมน์น้ำ หาได้จากสมการ (2-10)

$$Q_2 = 1 \times 4197 \times \frac{(93.5-30)}{97.85 \times 60} + 0.0352 (8.283 + 1.690) (91.1 - 31.0)$$

$$+ 0.0201 (6.109 + 1.674) (88.9 - 31.0)$$

$$= 75.55 \text{ วัตต์}$$

ค่าความร้อนที่ให้แก่ม็อบที่สามขณะที่ยังน้ำ หาได้จากสมการ (2-11).

$$Q_3 = 1 \times 4197 \times \frac{(94.5-30)}{97.85 \times 60} + 0.0352(8.316+1.698)(92.1-31.0) \\ + 0.0201(6.135+1.681)(89.9-31.0) \\ = 76.90 \text{ วัตต์}$$

4. การหาค่าประสิทธิภาพของเตา

จากสมการ (2-1)

$$E_s = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i + \sum_{i=1}^n Q_{si} \Delta t_{si}}{MH - W \frac{H}{C}}$$

จากภาคผนวก ข ได้

$$H = \text{ค่าความร้อนของไม้ที่ใช้เป็น เชื้อเพลิง} = 15791.55 \times 10^3 \text{ จูล/กิโลกรัม}$$

$$H_c = \text{ค่าความร้อนของถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้ของไม้} = 25488.09 \times 10^3 \\ \text{จูล/กิโลกรัม}$$

ดังนั้น

$$E_s = \frac{419.70 \times 26.20 \times 60 + 461.97(97.85 - 26.20) \times 60 + 75.55 \times 97.85 \times 60 + 76.90 \times 97.85 \times 60}{1 \times 15791.55 \times 10^3 - 0.149 \times 25488.09 \times 10^3} \\ = 29.52 \%$$

5. การหาค่าประสิทธิภาพของภาชนะ

จากสมการ (2-2)

$$E_H = \frac{\sum_{i=1}^n m_i C_{pw} \Delta T_i + \sum_{i=1}^n W_{ei} L}{\sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i + \sum_{i=1}^n Q_{si} \Delta t_{si}}$$

ดังนั้น

$$E_H = \frac{2 \times 4197 \times (100 - 30) + 0.7928 \times 2256 \times 10^3 + 1 \times 4197 \times (93.5 - 30) + 1 \times 4197 \times (94.5 - 30)}{419.70 \times 26.20 \times 60 + 461.97(97.85 - 26.20) \times 60 + 75.55 \times 97.85 \times 60 + 76.90 \times 97.85 \times 60}$$

$$E_H = 82.16 \%$$

6. การหาค่าประสิทธิภาพของการหุงต้ม

จากสมการ (2-3)

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n m_i C_{pw} \Delta T_i + \sum_{i=1}^n W_{ei} L}{MH - W_{C H_C}}$$

ดังนั้น

$$E = \frac{2 \times 4197 \times (100 - 30) + 0.7928 \times 2256 \times 10^3 + 1 \times 4197 \times (93.5 - 30) + 1 \times 4197 \times (94.5 - 30)}{1 \times 15791.55 \times 10^3 - 0.149 \times 25488.09 \times 10^3}$$

$$= 24.25 \%$$

7. การหาอัตราการไหลของ flue gas

จากสมการ (3-1)

$$V_g = 1096.2 \sqrt{\frac{P}{\rho_g}} \text{ ฟุต/นาที}$$

จากภาคผนวก จ ได้

$$\rho_g = \text{ความหนาแน่นของ flue gas ที่ } 147.20^{\circ}\text{ซ.} = 0.85465 \text{ กิโลกรัม/ม}^3$$

$$= 0.053354 \text{ ปอนด์/ลบ.ฟุต}$$

ดังนั้น

$$V_g = 1096.2 \sqrt{\frac{0.003}{0.053354}} = 259.94 \text{ ฟุต/นาที}$$

$$= 1.3204 \text{ ม/วินาที}$$

จากสมการ (3-2)

$$\dot{m}_g = \rho_g A_s V_g$$

$$A_s = \text{พื้นที่หน้าตัดของปล่อง} = \frac{\pi d_s^2}{4} = \frac{\pi (0.081)^2}{4} = 5.153 \times 10^{-3} \text{ ม}^2$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \dot{m}_g &= 0.85465 \times 5.153 \times 10^{-3} \times 1.3204 \\ &= 5.8150 \times 10^{-3} \text{ กิโลกรัม/วินาที} \end{aligned}$$

8. การหาค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับ flue gas

จากสูตร

$$Q_g = \dot{m}_g C_{pg} \Delta T_{ga}$$

ΔT_{ga} = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของ flue gas กับอุณหภูมิบรรยากาศ

C_{pg} = ความร้อนจำเพาะของ flue gas

จากภาคผนวก จ อุณหภูมิของ flue gas เท่ากับ 147.2°C . ได้

$$C_{pg} = 1081.688 \text{ จูล/(กิโลกรัม-}^{\circ}\text{C.)}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} Q_g &= 5.8150 \times 10^{-3} \times 1081.688 \times (147.2 - 31.0) \\ &= 730.95 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

ภาคผนวก จ

คุณสมบัติของอากาศและคุณสมบัติของ flue gas

ภาคผนวก จ นี้กล่าวถึงคุณสมบัติของอากาศและคุณสมบัติของ flue gas ที่เกี่ยวข้องกับการ
ทำวิทยานิพนธ์ ดังตารางที่ จ-1 และตารางที่ จ-2

ตารางที่ จ-1 (12) แสดงคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Temperature (°C)	Density (kg/m ³)	Specific heat (KJ/kg.K)	Thermal		
			conductivity (W/m.K) x10 ²	Viscosity (N.s /m ²) x10 ⁶	Prandtl Number
0	1.293	1.005	2.44	17.2	0.707
10	1.247	1.005	2.51	17.6	0.705
20	1.205	1.005	2.59	18.1	0.703
30	1.165	1.005	2.67	18.6	0.701
40	1.128	1.005	2.76	19.1	0.699
50	1.093	1.005	2.83	19.6	0.698
60	1.060	1.005	2.90	20.1	0.696
70	1.029	1.009	2.96	20.6	0.694
80	1.000	1.009	3.05	21.1	0.692
90	0.972	1.009	3.13	21.5	0.690
100	0.946	1.009	3.21	21.9	0.688

ตารางที่ จ-2 ⁽¹²⁾ แสดงคุณสมบัติของ flue gas ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Temperature (°C)	Density (kg/m ³)	Thermal			Prandtl Number
		Specific heat (KJ/kg.K)	Conductivity (W/m.K)	Viscosity (N.s /m ²)x10 ⁶	
0	1.295	1.042	0.228	15.8	0.72
100	0.950	1.068	0.313	20.4	0.69
200	0.748	1.097	0.401	24.5	0.67
300	0.617	1.122	0.484	28.2	0.65
400	0.525	1.151	0.570	31.7	0.64
500	0.457	1.185	0.656	34.8	0.63
600	0.405	1.214	0.742	37.9	0.62
700	0.363	1.239	0.827	40.7	0.61
800	0.330	1.264	0.915	43.4	0.60
900	0.301	1.290	1.000	45.9	0.59
1000	0.275	1.306	1.090	48.4	0.58
1100	0.257	1.323	1.175	50.7	0.57
1200	0.240	1.340	1.262	53.0	0.56

ภาคผนวก ฉ

ตัวอย่างสมมูลย์ความร้อนของ เต่า

ในภาคผนวก ฉ นี้จะได้อ่านตัวอย่างสมมูลย์ความร้อนของ เต่า เครื่องมือที่ใช้เพิ่มเติมจากเครื่องมือวัดและอุปกรณ์การทดลองสำหรับทดสอบ เต่า ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ ๓ ได้แก่ ฮีทฟลักซ์มิเตอร์ (Heat flux meter) ซึ่งใช้สำหรับวัดค่าความร้อนที่สูญเสียผ่านผนัง เต่า ค่าที่ได้จากการวัดอ่านออกมา เป็นแรง เคลื่อนไฟฟ้า เป็นมิลลิโวลต์ เมื่อใช้วัดต้องรอให้ความร้อนที่ผ่านผนัง เต่าอยู่ในสภาวะสม่ำเสมอ (steady state) เสียก่อนจึงอ่านค่าสำหรับฮีทฟลักซ์มิเตอร์ เครื่องที่ใช้มีค่าคงที่ของ เครื่อง เท่ากับ 17 มิลลิโวลต์/(แคลอรี/ซม². นาที)

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อแสดงตัวอย่างสมมูลย์ความร้อนของ เต่า ได้แสดงไว้แล้วในภาคผนวก ก ตารางที่ ก-4 Test No. 2 ซึ่งข้อมูลมีดังนี้

$A_d = 30 \%$, $W_w = 1000$ กรัม
$T_a = 31.0^{\circ}\text{ซ.}$, $T_o = 30.0^{\circ}\text{ซ.}$
$T_{s1} = 99.8^{\circ}\text{ซ.}$, $T'_{s1} = 99.8^{\circ}\text{ซ.}$
$T_{s2} = 90.6^{\circ}\text{ซ.}$, $T'_{s2} = 88.0^{\circ}\text{ซ.}$
$T_{s3} = 87.4^{\circ}\text{ซ.}$, $T'_{s3} = 84.4^{\circ}\text{ซ.}$
$t_{PT1} = 24.80$ นาที	, $t_T = 100.43$ นาที
$T_{PT2} = 91.5^{\circ}\text{ซ.}$, $T_{PT3} = 88.5^{\circ}\text{ซ.}$
$W_{el} = 1036.8$ กรัม	, $W_c = 145.7$ กรัม
$T_g = 129.50^{\circ}\text{ซ.}$, $P_v = 0.003$ นิ้วของน้ำ

ฮีทฟลักซ์มิเตอร์ อ่านค่าได้เท่ากับ 11.25 มิลลิโวลต์

การคำนวณ

- ความร้อนที่ เชื้อเพลิงสามารถให้ได้ หาได้จาก

$$Q_w = \frac{MH - W_c H_c}{t_T}$$

เมื่อ Q_w เป็นความร้อนที่เชื้อเพลิงสามารถให้ได้

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } Q_w &= \frac{1 \times 15791.55 \times 10^3 - 0.1457 \times 25488.09 \times 10^3}{100.43 \times 60} \\ &= 2004.37 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

- ความร้อนที่ให้แก่น้ำในภาชนะหุงต้มใบที่หนึ่ง มีค่า

$$\begin{aligned} &= \frac{mC_{pw} \Delta T + W_{el} L}{t_T} \\ &= \frac{2 \times 4197 \times (100 - 30) + 1.0368 \times 2256 \times 10^3}{100.43 \times 60} \\ &= 485.83 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

- ความร้อนที่ให้แก่น้ำในภาชนะหุงต้มใบที่สอง มีค่า

$$\begin{aligned} &= \frac{mC_{pw} \Delta T}{t_T} \\ &= \frac{1 \times 4197 \times (91.5 - 30)}{100.43 \times 60} \\ &= 42.84 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

- ความร้อนที่ให้แก่น้ำในภาชนะหุงต้มใบที่สาม มีค่า

$$\begin{aligned} &= \frac{mC_{pw} \Delta T}{t_T} \\ &= \frac{1 \times 4197 \times (88.5 - 30)}{100.43 \times 60} \\ &= 40.74 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

- ความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะใบที่หนึ่ง ใบที่สองและใบที่สามคำนวณแบบเดียวกัน

กับตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ง หัวข้อที่ 2 จะได้ว่า

ความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะใบที่หนึ่ง = 45.94 วัตต์

ความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะใบที่สอง = 29.49 วัตต์

ความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะใบที่สาม = 27.43 วัตต์

- ความร้อนที่สูญเสียไปกับ flue gas คำนวณแบบเดียวกันกับตัวอย่างการคำนวณ
ในภาคผนวก ง หัวข้อที่ 8 จะได้ว่า

ความร้อนที่สูญเสียไปกับ flue gas = 629.44 วัตต์

- ความร้อนที่สูญเสียไปกับการนำความร้อนผ่านผนัง เตา ทำได้ดังนี้คือ เมื่อใช้
ฟลักมิเตอร์อ่านค่าได้ 11.25 มิลลิวัตต์ ค่าคงที่ของเครื่องเท่ากับ 17 มิลลิวัตต์/(คาลอรี
/ชม².นาท) พื้นที่ของผนัง เตาที่ส่งผ่านความร้อนประกอบด้วยพื้นที่ด้านข้าง เตาสี่ด้าน ด้านบน
และด้านล่างอย่างละหนึ่งด้านรวมพื้นที่แล้วเท่ากับ 1.02728 ม².

ดังนั้นค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับการนำความร้อนผ่านผนัง เตา

$$\begin{aligned}
 &= \frac{11.25}{17} \frac{\text{มิลลิวัตต์}}{\text{มิลลิวัตต์}/(\text{คาลอรี}/\text{ชม}^2 \cdot \text{นาท})} \\
 &= 0.66176 \text{ คาลอรี}/\text{ชม}^2 \cdot \text{นาท} \\
 &= 0.04614 \text{ วัตต์}/\text{ชม}^2. \quad (1 \text{ คาลอรี} = 4.184 \text{ จูล}) \\
 &= 461.74 \text{ วัตต์}/\text{ม}^2. \\
 &= 461.74 \times 1.02728 \text{ วัตต์} \\
 &= 474.06 \text{ วัตต์}
 \end{aligned}$$

- ความร้อนที่สูญเสียไปกับการเผาไหม้ เชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์และอื่น ๆ ที่ไม่ได้คิด
การสูญเสียความร้อน ทำได้จากความร้อนส่วนที่เหลือจากผลต่างของความร้อนของ เชื้อเพลิง
ที่สามารถให้ได้กับผลรวมของความร้อนในรายการต่าง ๆ ข้างต้น

ผลที่ได้จากการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ ฉ-1

ตารางที่ ๑-1 แสดงตัวอย่างสมดุลความร้อนของเตาที่ $A_d = 30 \%$, $W_w = 1000$ กรัม

รายการ	วัตต์	%
1. ความร้อนที่ เชื้อเพลิงสามารถให้ได้	2004.37	100
2. ความร้อนที่ให้แก่น้ำในภาชนะหุงต้มใบที่หนึ่ง	485.83	24.24
3. ความร้อนที่ให้แก่น้ำในภาชนะหุงต้มใบที่สอง	42.84	2.14
4. ความร้อนที่ให้แก่น้ำในภาชนะหุงต้มใบที่สาม	40.74	2.03
5. ความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะหุงต้มใบที่หนึ่ง	45.94	2.29
6. ความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะหุงต้มใบที่สอง	29.49	1.47
7. ความร้อนที่สูญเสียจากภาชนะหุงต้มใบที่สาม	27.43	1.36
8. ความร้อนที่สูญเสียไปกับ flue gas ทางปล่องเตา	629.44	31.40
9. ความร้อนที่สูญเสียไปกับการนำความร้อนผ่านผนัง เตา	474.06	23.65
10. ความร้อนที่สูญเสียไปกับการเผาไหม้ เชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ และอื่น ๆ ที่ไม่ได้คิดการสูญเสียความร้อน	228.90	11.42



ประวัติผู้เขียน

นายนรชัย ทดมศิริโรจน์ เกิดเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม พ.ศ. 2500 ณ อำเภอเมือง จังหวัดยะลา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เมื่อปี พ.ศ. 2523 เคยได้รับทุนผู้ช่วยสอนของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีการศึกษา 2523 ทุนมูลนิธิสิด เก่าจุฬาลงกรณ์ ประจำปีการศึกษา 2524 และปีการศึกษา 2525