



เอกสารอ้างอิง

1. โอฟาร์ รัตนปราการ, "การเปรียบเทียบราคาพลังงานที่ใช้ในการหุงต้ม," การประชุมเชิงปฏิบัติการและนิทรรศการเรื่อง เตาหุงต้ม, สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพมหานคร, 2526.
2. Germann Appropriate Technology Exchange, Helping People in Poor Countries Develop Fuel-Saving Cookstoves, Germann Appropriate Technology Exchange, Federal Republic of Germany, 1980.
3. สำนักงานพลังงานแห่งชาติ, "เชื้อเพลิงและพลังงานของประเทศไทย 2526," สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพมหานคร, 2526.
4. กรมทรัพยากรธรณี, "ความก้าวหน้าในการสำรวจและการผลิตในประเทศ," รายงานการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 2, กรมทรัพยากรธรณี, 2526.
5. Mineral Fuels Division, "Production of Coal in Thailand," Mineral Fuels Division, Department of Mineral Resources, Ministry of Industry, Bangkok, 1983.
6. จัตรนัย จัตรพลรักษ์, "รายงานประเมินผลทางเศรษฐกิจเบื้องต้น โครงการผลิตถ่านหินลิกไนต์อัดก้อนเพื่ออุตสาหกรรม," สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพมหานคร (อัดสำเนา).
7. นิยม จันทรเทพา และ ชีระ มนัสธรรม, คู่มือการผลิตและใช้เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง, สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2527.
8. Manibog, F. R., "Improved Cooking Stoves in Developing Countries : Problem and Opportunities," Ann. Rev. Energy, 9 (1), 199-227, 1984.

9. National Energy Administration, Improved Biomass Cooking Stove for Household Use, National Energy Administration, Ministry of Science, Technology and Energy, Bangkok, 1984.
10. สุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์, "เตาประหยัดแบบใหม่," สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร, 2526 (เอกสารเผยแพร่).
11. Francis, W., and M. C. Peter, Fuels and Fuel Technology, pp. 131-136, Pergamon Press Ltd., Oxford, 2nd ed., 1980.
12. สมชาย โอสุวรรณ, "ถ่านหินลิกไนท์ พลังงานทดแทนในอนาคต," วารสารเคมีวิศวกรรม เทคโนโลยีทางอาหาร และเชื้อเพลิง, 3 (1), 109-119, 2524.
13. Moore, E. S., Coal, pp. 131-135, John Wiley & Sons, New York, 1940.
14. ASTM Standard; D388, "Coal by Rank," American Society for Testing Material, U.S.A., 1985.
15. Lowry, H. H., Chemistry of Coal Utilization, pp. 675-703, John Wiley & Sons Inc., New York, 1963.
16. Francis, W., Fuels and Fuel Technology, Vol. 1, pp. 142-150, Pergamon Press Ltd., Oxford, 1965.
17. นิภา เศรษฐไพศาล, "การนำเศษถ่านหินมาอัดก้อนเพื่อใช้ในครัวเรือน," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
18. บัญญัติ สีสม และ มาร์คัส เอ็ม เซอร์แมน, "ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเตาหุงต้มและเชื้อเพลิงที่ใช้," การประชุมสัมมนาทางวิชาการเรื่อง เตาเศรษฐกิจและเชื้อเพลิงถ่าน, สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, กรุงเทพมหานคร, 2524.
19. สมชาย โอสุวรรณ และ กัญญา บุญเกียรติ, "การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเตาถ่าน," วารสารเคมีวิศวกรรม เทคโนโลยีทางอาหารและเชื้อเพลิง, 4 (1), 75-95, 2525.

20. กองค้นคว้าและพัฒนาพลังงาน, "เอกสารเผยแพร่เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงคืออะไร," สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพมหานคร (อัครสำเนา).
21. โรงงานเจ้าเจียหลี่, "ขั้นตอนการผลิตเตาพื้นเตาถ่าน," การประชุมเชิงปฏิบัติการและนิทรรศการเรื่องเตาหุงต้ม, โรงงานเจ้าเจียหลี่, ราชบุรี, 2526.
22. สมศรี จรุงเรือง, "เตาหุงต้ม," รายงานการสัมมนาทางวิชาการเรื่อง เทคโนโลยีที่แก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำมัน, สภาวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร, 2524.
23. National Research Development Corporation of India, Improved Chulhas, National Research Development Corporation of India, New Delhi, 1985.
24. Asian Institute of Technology, "A New Fuel-Saving Cooking Stove from Pakistan," ERIC News, 7 (2), 1-2, 1984.
25. Blaustein, B. D. (ed.), "New Approaches in Coal Chemistry," ACS Symposium Series 169, American Chemical Society, Washington D. C., 1981.
26. Welty, J. R., R. E. Wilson, and C. E. Wicks, Fundamentals of Momentum Heat and Mass Transfer, pp. 324-467, John Wiley & Sons, New York, 2nd ed., 1976.
27. Bhatt, M. S., "The Efficiencies of Firewood Devices (Open-Fire Stoves, Chulhas and Heaters)," Wood Heat for Cooking (Prasad, K. K. and P. Verhaart, eds.) pp. 73-88, Indian Academy of Sciences, Bangalore, 1983.
28. จุลละพงศ์ จุลละโพธิ และ เกรียงศักดิ์ กุณทีกาญจน์, "การปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาถ่าน," วารสารสงขลานครินทร์, 1 (2), 9-22, 2522.
29. McAdams, W. H., Heat Transmission, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 3rd ed., 1954.

30. สุชาติ อารีรุ่งเรือง และ เอกพล พงศ์สถาพร, "การนำถ่านหินลิกไนท์มาใช้ในครัวเรือน," วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
31. Sherman, M., M. Stewart, and B. Srisom, "An Evaluation of Thai Cooking Fuels and Stoves," Renewable Energy Review Journal, 5 (1), 60-85, 1983.
32. Claus, J. and W. F. Sulilatu, "A Comparison of The Performance of Three Woodstoves," Wood Heat for Cooking (Prasad, K. K. and P. Verhaart, eds.) pp. 89-103, Indian Academy of Sciences, Bangalore, 1983.
33. Dunn, P. D., P. Samootsakorn, and N. Joyce, "The Performance of Thai Charcoal Stove," Wood Heat for Cooking, (Prasad, K. K. and P. Verhaart, eds.) pp. 107-118, Indian Academy of Sciences, Bangalore, 1983.
34. Geller, H. S., "Fuel Efficiency and Performance of Traditional and Innovative Cookstoves," Wood Heat for Cooking, (Prasad, K. K. and P. Verhaart, eds.) pp. 119-137, Indian Academy of Sciences, Bangalore, 1983.
35. ASTM Standard; D3172, "Proximate Analysis of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1982.
36. ASTM Standard; D2015, "Test for Gross Calorific Value of Solid Fuel by the Adiabatic Bomb Calorimeter," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1982.
37. ASTM Standard; D3177, "Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1982.

38. อรุณรัตน์ วุฒิมงคลชัย, "ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน," วิทยานิพนธ์ปริญญา-
มหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
39. Rohsenow, W. M. and J. P. Hartnett, Handbook of Heat Transfer,
McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1973.
40. กัญจนา บุญเกียรติ, การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมี เล่มที่ 2 สมดุลพลังงาน,
หน้า 9.108-9.129, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2523.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.

การคำนวณหาปริมาณส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น ดินเหนียว ปูนขาว และน้ำ
ที่เติมลงไปเพื่อผสมกับถ่านหิน ในการทำถ่านหินอัดก้อน

ตัวอย่าง การอัดก้อนถ่านหิน (มีเถ้าร้อยละ 7.51 ของน้ำหนักถ่านหินแห้ง) ใช้
ดินเหนียวร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักถ่านหินแห้ง และปูนขาวในอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S
เท่ากับ 2

ในการอัดก้อนถ่านหินครั้งหนึ่ง ใช้ถ่านหิน 4,000 กรัม
ถ่านหินมีร้อยละความชื้น 20.89
∴ น้ำหนักถ่านหินแห้ง = $\frac{4,000(100-20.89)}{100} = 3,164.4$ กรัม

∴ ปริมาณดินเหนียว = $(0.30)(3,164.4) = 949.32$ กรัม

ในถ่านหินมีร้อยละของกำมะถัน = 2.79

สมมติใช้ CaO = x

$$\frac{\text{CaO}}{\text{S}} = \left(\frac{x}{56}\right) \left(\frac{32}{2.79}\right) = 2$$

$$\therefore x = 9.77$$

ในปูนขาวมี CaO ร้อยละ 64.71

∴ ปริมาณปูนขาวที่ใช้คิดเป็นร้อยละ = $\frac{9.77 \times 100}{64.71} = 15.09$ เทียบกับน้ำหนักถ่านหินแห้ง

∴ ปริมาณปูนขาวที่ใช้ = $(0.1509)(3,164.4) = 477.51$ กรัม

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อน

ส่วนผสม : ถ่านหินมีค่าความร้อนแบบไม่รวมความชื้น = 5,853 แคลอรี/กรัม

ปูนขาวร้อยละ 15.09 เทียบกับน้ำหนักถ่านหินแห้ง

ดินเหนียวร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักถ่านหินแห้ง

$$\therefore \text{ถ่านหินแห้งในถ่านหินอัดก้อนร้อยละ} = \frac{100}{100+15.09+30} \times 100 = 68.92$$

(ค่าความร้อนของดินเหนียวและปูนขาว มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความร้อนของถ่านหินจึงไม่นำมาคิด)

$$\begin{aligned} \therefore \text{ค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อนแบบไม่รวมความชื้น} &= (0.6892)(5,853) \\ &= 4,033 \text{ แคลอรี/กรัม} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างข้อมูลและการคำนวณการถ่ายเทความร้อนในเตา

1. การคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตา

ตัวอย่าง เตาขนาด 27 ซม. หม้ออลูมิเนียมขนาด 26 ซม.
 น้ำ 2,500 กรัม ด้านหินอัคนี (รวมความชื้น) 830 กรัม
 ความชื้นของด้านหินอัคนีร้อยละ 14.82
 ค่าความร้อนของด้านหินอัคนี (ไม่รวมความชื้น) = 4,033 แคลอรี/กรัม
 อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น = 28.5 องศาเซลเซียส
 ปริมาณน้ำที่เหลือทั้งหมด = 1,210 กรัม
 ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ = 540 แคลอรี/กรัม
 ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ = 1 แคลอรี/กรัม - องศาเซลเซียส

จากสมการที่ (9)

$$\eta = \frac{ms(T_2 - T_1) + (m - m_1)\lambda}{wq} \times 100$$

$$= \frac{(2,500)(1)(100 - 28.5) + (2,500 - 1,210) 540}{830(1 - 0.1482)(4,033)} \times 100$$

$$= 30.7$$

∴ ประสิทธิภาพการใช้งานของเตาขนาด 27 ซม. ดังสภาพการทดลองที่แสดงมีค่าร้อยละ 30.7

2. การคำนวณหาความร้อนที่สูญเสียทางผิวของเตา

ตัวอย่าง เตาขนาด 27 ซม. หม้ออลูมิเนียมขนาด 26 ซม. น้ำ 2,500 กรัม
 ด้านหินอัคนี (รวมความชื้น) 830 กรัม
 ความชื้นของด้านหินอัคนีร้อยละ 14.82

ข้อมูลการวัดอุณหภูมิที่ผิวของเตาเทียบกับเวลา ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เท่า ๆ กัน
 คือส่วนบนและส่วนล่าง โดยที่ส่วนบนวัดทั้งหมด 8 จุด และส่วนล่างวัดทั้งหมด 7 จุด ที่ตำแหน่ง
 ตรงกลางในแต่ละส่วนรอบเตา โดยที่แต่ละจุดมีระยะห่างเท่า ๆ กัน และค่าความร้อนที่สูญเสีย

ที่ผิวเตาเทียบกับเวลาจากการคำนวณโดยใช้สมการที่ (10), (11) และ (12) ดังแสดง

ส่วนที่ 1 (ส่วนบน)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ (องศาเซลเซียส)								อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	Q (แคลอรี/ชม.)
	1	2	3	4	5	6	7	8		
0	32	32	32	32	32	32	32	32	32.0	677.50
5	34	33	39	35	35	35	35	35	35.1	2,047.44
10	37	38	45	40	42	39	38	39	39.8	4,468.50
15	41	44	54	48	52	45	45	45	46.8	8,560.88
20	48	52	65	57	69	57	53	52	56.6	14,981.95
25	56	60	77	68	82	68	68	60	67.4	22,778.37
30	65	66	89	82	98	79	74	70	77.9	30,963.13
35	69	78	101	95	119	90	83	74	88.6	39,842.84
40	78	88	112	111	132	106	96	86	101.1	50,847.19
50	88	103	126	124	143	110	107	98	112.4	61,345.91
60	97	114	136	130	140	116	112	105	118.8	67,515.62
70	100	118	135	129	130	110	107	105	116.8	65,572.80
80	95	115	122	115	114	98	95	101	106.9	56,172.52
90	92	108	110	103	94	88	90	94	97.4	47,521.97

ส่วนที่ 2 (ส่วนล่าง)



เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ (องศาเซลเซียส)							อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	Q (แคลอรี/ชม.)
	1	2	3	4	5	6	7		
0	31	31	31	31	31	31	31	31.0	269.01
5	32	32	32	32	32	32	32	32.0	605.26
10	33	32	33	34	33	33	33	33.0	976.39
15	34	34	35	36	36	34	36	35.0	1,790.89
20	35	36	39	41	41	37	38	38.1	3,183.24
25	38	40	45	46	45	40	42	42.3	5,258.08
30	40	43	49	51	49	45	45	46.0	7,223.32
35	44	48	55	57	55	48	50	51.0	10,050.38
40	48	52	60	62	60	53	53	55.4	12,678.17
50	55	60	65	67	64	58	58	61.0	16,185.22
60	60	63	67	69	66	62	63	64.3	18,329.80
70	62	63	67	68	63	61	62	63.7	17,936.25
80	63	61	63	64	61	60	61	61.9	16,765.57
90	60	60	61	61	57	57	59	59.3	15,101.72

ตัวอย่างการคำนวณความร้อนที่สูญเสียทางผิวเตา ในส่วนที่ 1 ณ ที่เวลา 20 นาที
จากสมการที่ (10), (11) และ (12)

$$Q = \epsilon \delta A (T_s^4 - T_a^4) + hA (T_s - T_a)$$

$$h = C \left(\frac{T_s - T_a}{L} \right)^n$$

$$\therefore Q = \epsilon \delta A (T_s^4 - T_a^4) + C \left(\frac{T_s - T_a}{L} \right)^n A (T_s - T_a)$$

$$\epsilon = \text{ค่าสภาพการแผ่รังสีของเหล็กชุบสังกะสี} = 0.21 \quad (29)$$

$$\delta = \text{Stefan Boltzmann Constant} = 0.4881 \times 10^{-8} \text{ แคลอรี/ชม.}^2\text{-} \\ \text{องศาเคลวิน}^4$$

$$A = \text{พื้นที่ผิวของเตาในส่วนที่ 1} = 932.75 \text{ ซม.}^2$$

$$T_s = 56.6 \text{ องศาเซลเซียส} = 329.6 \text{ องศาเคลวิน}$$

$$T_a = 30 \text{ องศาเซลเซียส} = 303 \text{ องศาเคลวิน}$$

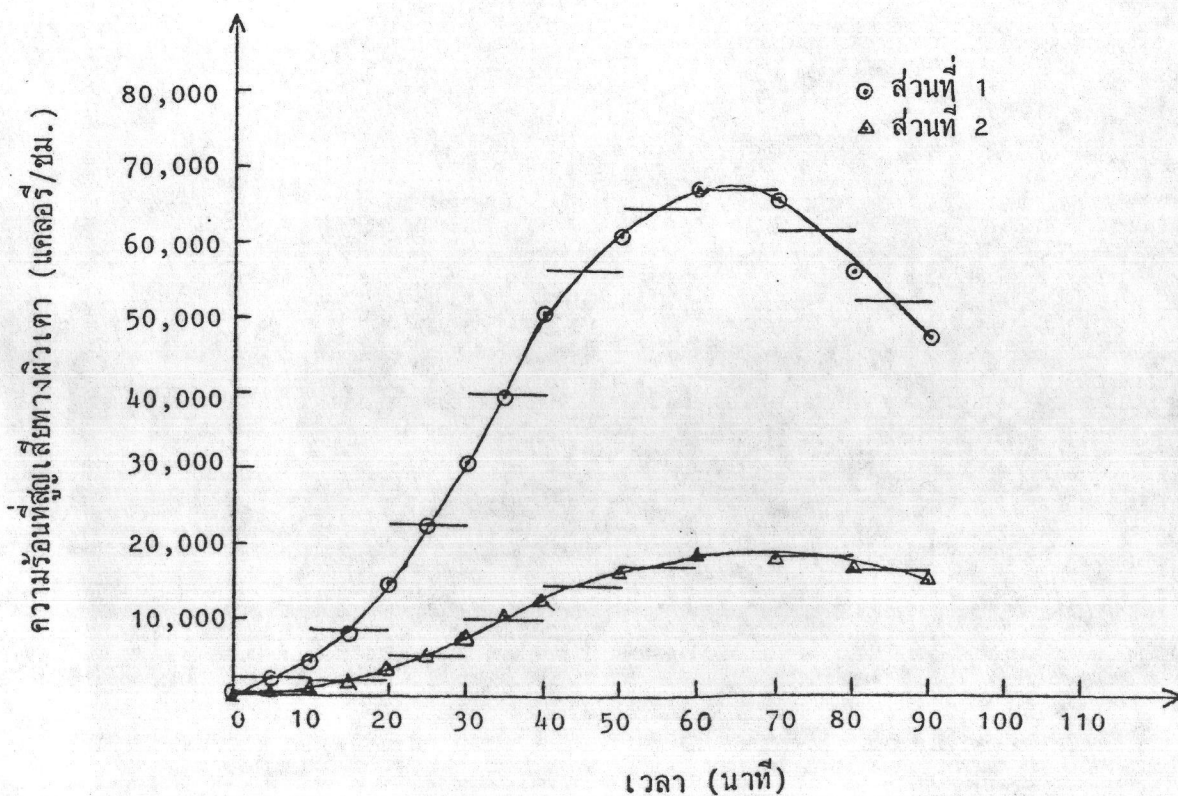
$$C = 0.38$$

$$n = 0.25$$

$$L = 11 \text{ ซม.}$$

$$\begin{aligned} \therefore Q &= (0.21)(0.4881 \times 10^{-8})(932.75)(329.6^4 - 303^4) + (0.38) \left(\frac{329.6 - 303}{11} \right)^{0.25} \\ &\quad (932.75)(329.6 - 303) \\ &= 14,981.95 \text{ แคลอรี/ชม.} \end{aligned}$$

นำค่าความร้อนที่สูญเสียทางผิวเตามาเขียนกราฟเทียบกับเวลา แล้วหาพื้นที่ใต้กราฟในส่วนที่ 1 รวมกับส่วนที่ 2 จะได้ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่สูญเสียทางผิวเตาในระหว่างการใช้งาน ดังแสดง



ผลจากการหาพื้นที่ใต้กราฟโดยวิธีหาผลรวมการเปลี่ยนแปลง (Integration)

$$\text{ใต้ค่า} = 78,142 \text{ แคลอรี}$$

$$\therefore \text{การสูญเสียคิดเป็นร้อยละของพลังงานที่ให้จากเชื้อเพลิง} = \frac{(78,142)(100)}{(830)(1-0.1482)(4,033)}$$

$$= 2.74$$

3. การคำนวณหาความร้อนที่สูญเสียทางช่องลมด้านหน้า

ตัวอย่าง เตาขนาด 27 ซม. หม้ออลูมิเนียมขนาด 26 ซม. น้ำ 2,500 กรัม

ด้านหินอัคนี (รวมความชื้น) 830 กรัม

ความชื้นของด้านหินอัคนีร้อยละ 14.82

วิธีที่ 1: วิธีวัดอุณหภูมิแล้วคำนวณ

ข้อมูลการวัดอุณหภูมิภายในห้องเตา (อุณหภูมิเฉลี่ยของรังผึ้ง ผงของห้องเตาและกัน
เตา ซึ่งวัดที่ละ 2 จุด) เทียบกับเวลา และค่าความร้อนที่สูญเสียทางช่องลมด้านหน้าเทียบกับเวลา
จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ (13) ดังแสดง

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องเตา (องศาเซลเซียส)	Q (แคลอรี/ชม.)
0	57	1,541.37
5	82	3,292.57
10	106	5,360.38
15	131	7,975.03
20	155	10,985.88
25	164	12,253.78
30	151	10,447.44
40	127	7,522.57
50	104	5,172.30
70	62	1,861.41
90	55	1,417.36

ตัวอย่างการคำนวณความร้อนที่สูญเสียทางช่องลมด้านหน้าของเตา ณ ที่เวลา 20 นาที จากสมการที่ (13)

$$Q = \epsilon \delta A (T_2^4 - T_1^4)$$

$$\epsilon = \text{ค่าสภาพการแผ่รังสีของคินทไฟ} = 0.91 \quad (39)$$

$$\delta = \text{Stefan Boltzmann Constant} = 0.4881 \times 10^{-8} \text{ แคลอรี/ชม.} \cdot \text{ชม.}^2 \cdot \text{องศาเคลวิน}^4$$

$$A = \text{พื้นที่ช่องเปิดของช่องลมด้านหน้า} = 98 \text{ ชม.}^2$$

$$T_2 = \text{อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเตา} = 155 \text{ องศาเซลเซียส}$$

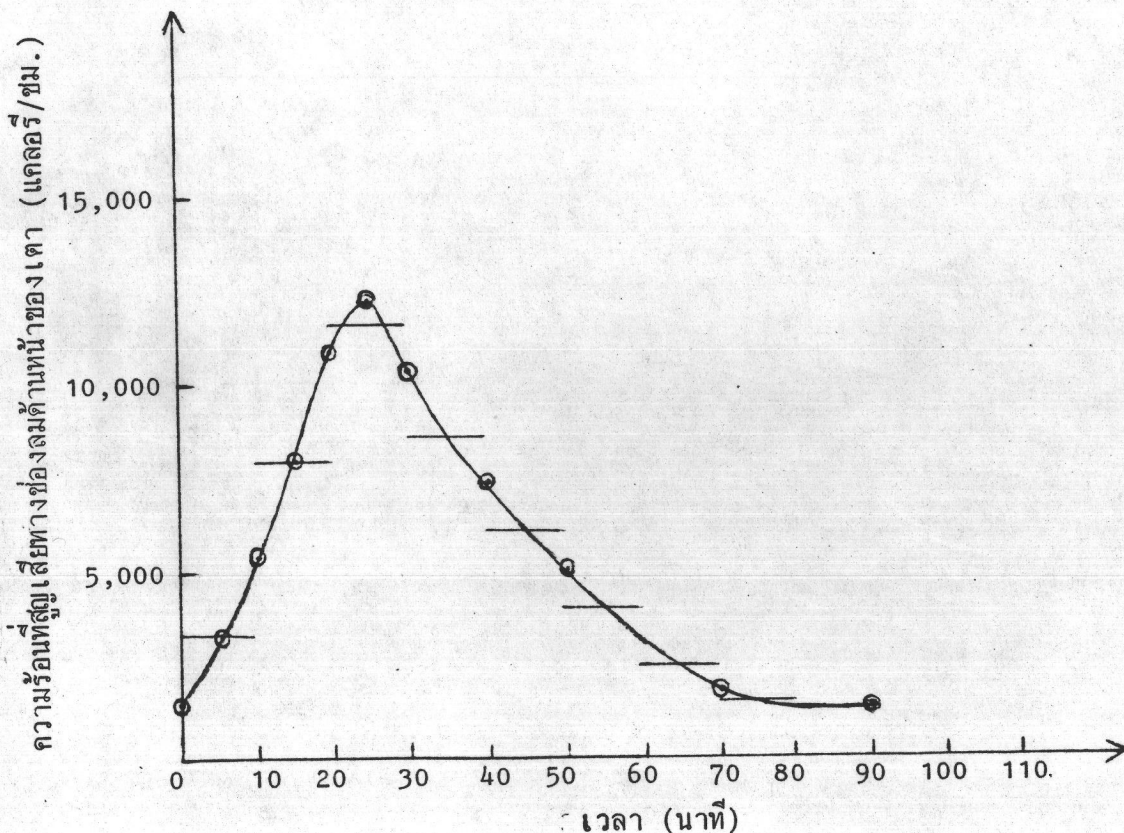
$$= 155 + 273 = 428 \text{ องศาเคลวิน}$$

$$T_1 = \text{อุณหภูมิห้อง} = 29 \text{ องศาเซลเซียส} = 29 + 273 = 302 \text{ องศาเคลวิน}$$

$$\therefore Q = (0.91)(0.4881 \times 10^{-8})(98)(428^4 - 302^4)$$

$$= 10,985.88 \text{ แคลอรี/ชม.}$$

นำค่าความร้อนที่สูญเสียทางช่องลมด้านหน้ามาเขียนกราฟเทียบกับเวลา แล้วหาพื้นที่ใต้กราฟจะได้ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่สูญเสียทางช่องลมด้านหน้าในระหว่างการใช้งาน ดังแสดง

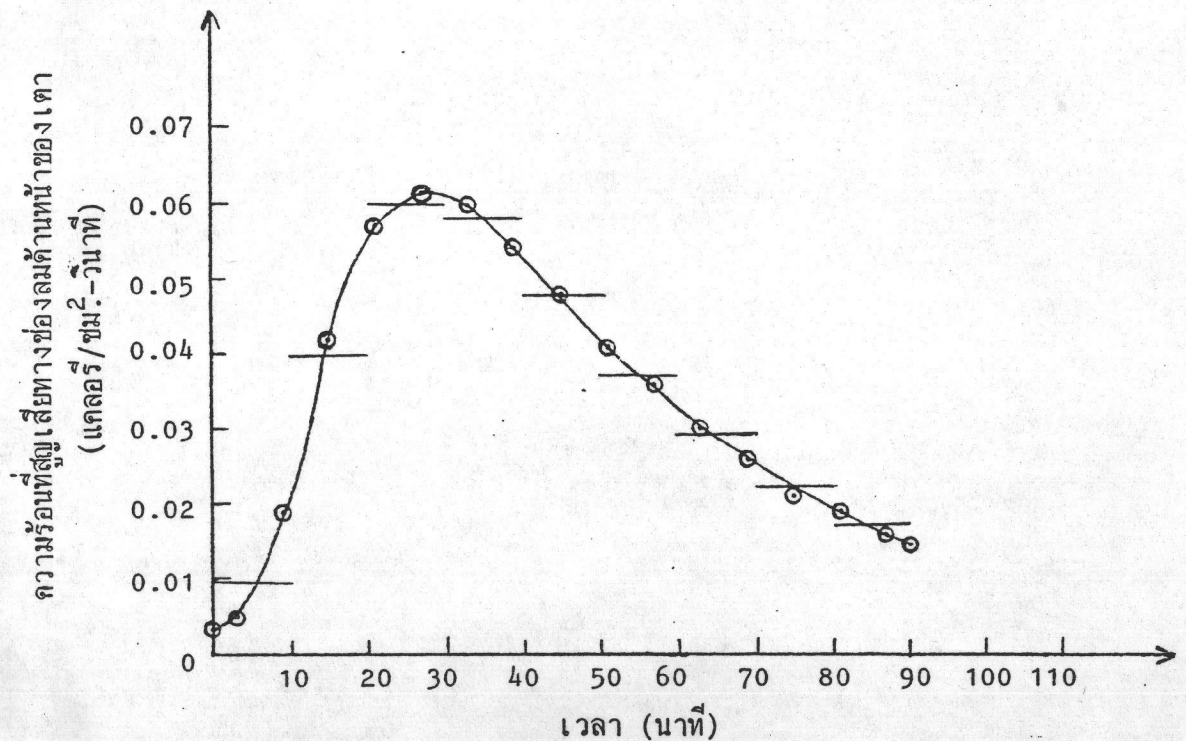


ผลจากการหาพื้นที่ใต้กราฟโดยวิธีหาผลรวมการเปลี่ยนแปลง (Integration) ได้
ค่า = 9,249.6 แคลอรี

$$\therefore \text{การสูญเสียคิดเป็นร้อยละของพลังงานที่ให้จากเชื้อเพลิง} = \frac{(9,249.6)(100)}{(830)(1-0.1482)(4,033)} = 0.32$$

วิธีที่ 2 : วิธีใช้เครื่องมือวัดความร้อนต่อหน่วยพื้นที่-เวลา โดยตรง

ข้อมูลการวัดความร้อนที่สูญเสียทางช่องลมด้านหน้าเทียบกับเวลา ดังแสดง



ผลจากการหาพื้นที่ใต้กราฟโดยวิธีหาผลรวมการเปลี่ยนแปลง (Integration) ได้ค่า
= 18,951.3 แคลอรี

$$\therefore \text{การสูญเสียคิดเป็นร้อยละของพลังงานที่ให้จากเชื้อเพลิง} = \frac{(18,951.3)(100)}{(830)(1-0.1482)(4,033)} = 0.66$$

4. การคำนวณหาความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากสะสมอยู่ในตัวเตา

ตัวอย่าง เตาขนาด 27 ซม. หม้ออลูมิเนียมขนาด 26 ซม. น้ำ 2,500 กรัม
 ด้านหินอัคคิออน (รวมความชื้น) 830 กรัม
 ความชื้นของด้านหินอัคคิออนร้อยละ 14.82

หาค่าความจุความร้อนของเตา (c_p)

จากสมการที่ (15)

$$c_p = \frac{m_1 s \Delta T_1}{m \Delta T_2}$$

อุณหภูมิเตาเริ่มต้น = 31 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น = 24 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิน้ำหลังจากแช่เตา = 29 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิเฉลี่ยของเตาขณะเลิกใช้งาน (อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวเตากับภายในตัวเตา)
 = 82.44 องศาเซลเซียส

m_1 = ปริมาณน้ำ = 21,220 กรัม

s = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ = 1 แคลอรี/กรัม-องศาเซลเซียส

m = น้ำหนักเตา = 8,600 กรัม

ΔT_1 = อุณหภูมิต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นและหลังจากแช่เตา = 29-24 = 5 องศาเซลเซียส

ΔT_2 = อุณหภูมิต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำหลังจากแช่เตาและอุณหภูมิของเตาขณะเลิกใช้งาน
 = 82.44-29 = 53.44 องศาเซลเซียส

$$\therefore c_p = \frac{(21,220)(1)(5)}{(8,600)(53.44)} = 0.23 \text{ แคลอรี/กรัม-องศาเซลเซียส}$$

และจากการหาค่า c_p ของเตาขนาด 24 และ 30 ซม. พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.24 และ 0.22 แคลอรี/กรัม-องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ดังนั้นค่าความจุความร้อนเฉลี่ยของเตา $c_p = 0.23$ แคลอรี/กรัม-องศาเซลเซียส

การหาความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากสะสมในตัวเตา

จากสมการที่ (14)

$$Q = mC_p \Delta T$$

$$m = \text{น้ำหนักของเตา} = 8,200 \text{ กรัม}$$

$$C_p = \text{ค่าความจุความร้อนของเตา} = 0.23 \text{ แคลอรี/กรัม-องศาเซลเซียส}$$

$$\Delta T = \text{อุณหภูมิต่างระหว่างอุณหภูมิของเตาขณะเริ่มต้นและเลิกใช้งาน}$$

$$\text{อุณหภูมิของเตาขณะเริ่มต้น} = 31.5 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิของเตาขณะเลิกใช้งาน} = 117.79 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\Delta T = 117.79 - 31.5 = 86.29 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$Q = (8,200)(0.23)(86.29)$$

$$= 162,742.94 \text{ แคลอรี}$$

$$\therefore \text{การสูญเสียคิดเป็นร้อยละของพลังงานที่ให้จากเชื้อเพลิง} = \frac{(162,742.94)(100)}{(830)(1-0.1482)(4,033)}$$

$$= 5.70$$

5. การคำนวณปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสี

ตัวอย่าง เตาขนาด 30 ซม.

ถ่านหินอัดก้อน (รวมความชื้น) 1032 กรัม

ความชื้นของถ่านหินอัดก้อนร้อยละ 14.82

วิธีที่ 1 : วิธีวัดอุณหภูมิแล้วคำนวณ

ข้อมูลการวัดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ (อุณหภูมิเฉลี่ย 4 จุด) เทียบกับเวลาและปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสีเทียบกับเวลา จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ (8) ดังแสดง



เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	Q (แคลอรี/ชม.)
0	713	1,691,256.67
5	747	1,938,537.85
10	747	1,938,537.85
15	729	1,802,925.20
25	652	1,309,404.27
35	508	666,578.35
45	516	694,301.93
60	308	204,271.05
80	166	66,632.93
90	126	45,482.02

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสี ณ เวลา 15 นาที จากสมการที่ (8)

$$Q = \epsilon \sigma A (T_2^4 - T_1^4)$$

$$\epsilon = \text{ค่าสภาพการแผ่รังสีของเชื้อเพลิง} = 0.81 \quad (29)$$

$$\delta = \text{Stefan Boltzmann Constant} = 0.4881 \times 10^{-8} \text{ แคลอรี/ชม.} \cdot \text{ชม}^2 \cdot \text{องศาเคลวิน}^4$$

$$A = \text{พื้นที่ของปากเตา} = 452.39 \text{ ชม.}^2$$

$$T_2 = \text{อุณหภูมิเฉลี่ยของห้องเผาไหม้} = 729 \text{ องศาเซลเซียส}$$

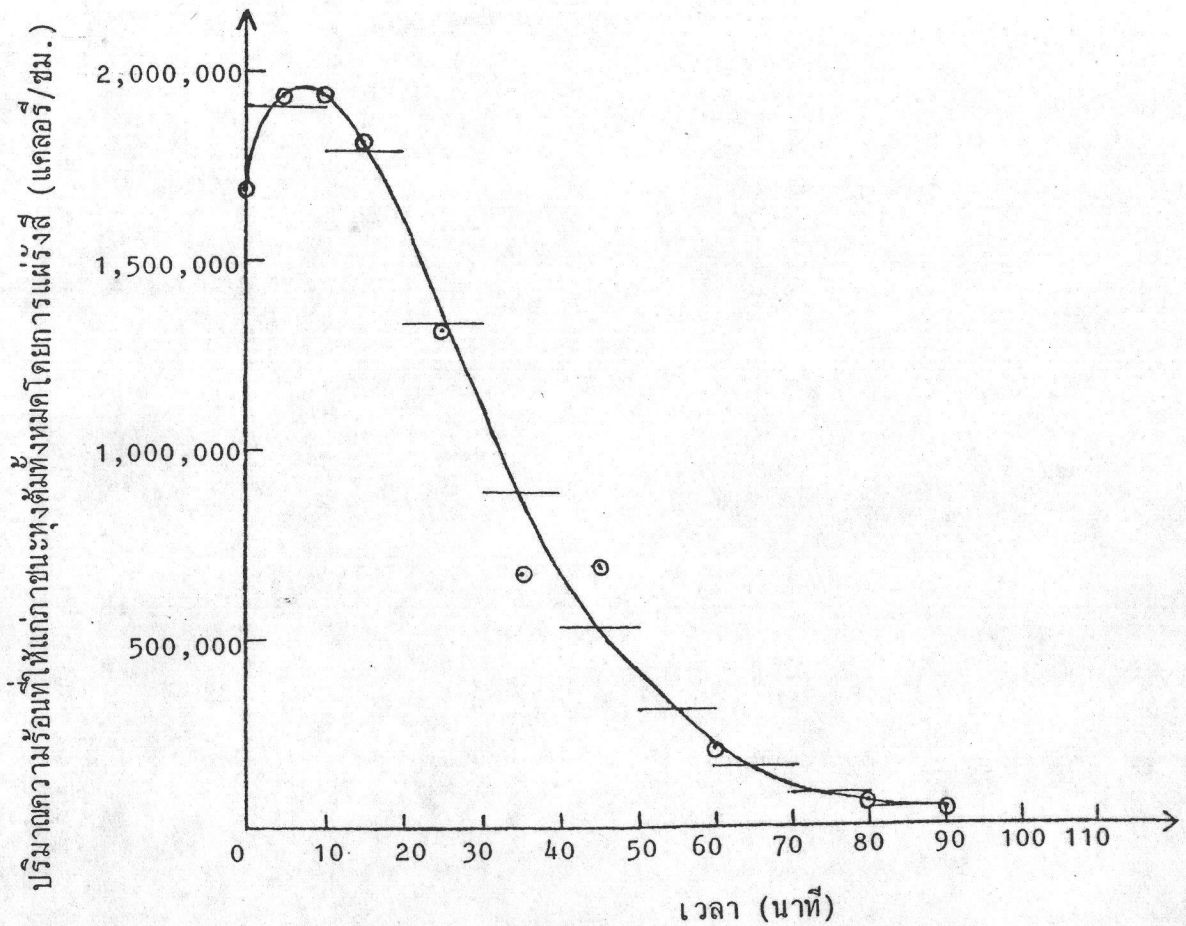
$$= 729 + 273 = 1,002 \text{ องศาเคลวิน}$$

เนื่องจาก T_2 มีค่ามากกว่า T_1 มากจึงตัดทิ้งได้

$$Q = (0.81)(0.4881 \times 10^{-8})(452.39)(1,002)^4$$

$$= 1,802,925.20 \text{ แคลอรี/ชม.}$$

นำค่าความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุ้มต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสี มาเขียนกราฟเทียบกับเวลา แล้วหาพื้นที่ใต้กราฟ จะได้ปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุ้มต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสี ดังแสดง



ผลจากการหาพื้นที่ใต้กราฟโดยวิธีหาผลรวมการเปลี่ยนแปลง (Integration) ได้ค่า
 $= 1,508,486.94$ แคลอรี

∴ ปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุ้มต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสีคิดเป็นร้อยละของพลังงานที่ให้

$$\text{จากข้อเพลิง} = \frac{(1,508,486.96)(100)}{(1,032)(1-0.1482)(4,033)}$$

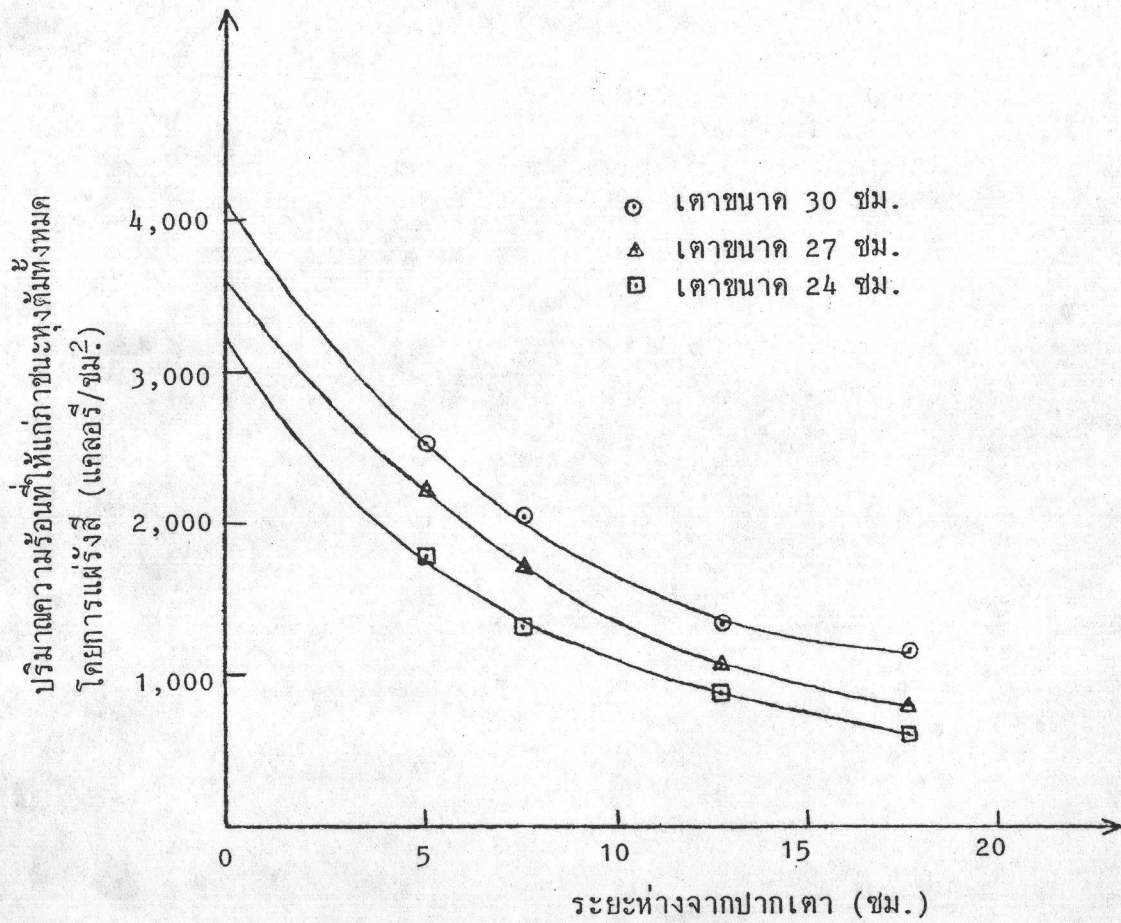
$$= 42.55$$

วิธีที่ 2 : วิธีวัดโดยใช้เครื่องมือวัดความร้อนต่อหน่วยพื้นที่-เวลาโดยตรง

ทำโดยการวัดปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุ้มต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสีที่ตำแหน่ง

5.1, 7.6, 12.7 และ 17.8 ซม. จากตรงกลางของปากเตาหุ้มต้ม ทั้ง 3 ขนาด ใช้दानไม้

เป็นเชื้อเพลิง แล้วลากกราฟต่อไปที่ตำแหน่งปากเตา (0 ซม.) จะได้ปริมาณความร้อนที่ให้แก่
 ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสีที่ตำแหน่งปากเตา และคำนวณหาจำนวนเท่าของค่าที่วัดที่ตำแหน่ง
 ต่าง ๆ เทียบกับค่าที่หาได้ ณ ตำแหน่งปากเตาหุงต้มทั้ง 3 ขนาด ดังแสดง



เตาขนาด (ชม.)	จำนวนเท่าของปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสีที่ตำแหน่งความสูงต่าง ๆ จากปากเตาเทียบกับที่ตำแหน่งตรงปากเตา			
	5.1 ซม.	7.6 ซม.	12.7 ซม.	17.8 ซม.
30	0.620	0.506	0.330	0.286
27	0.611	0.496	0.299	0.221
24	0.549	0.422	0.277	0.189

จากการวัดปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสี ที่ตำแหน่ง 12.7 ซม. จากปากเตาขนาด 30 ซม. ใช้ด้านหินอัคร้อนเป็นเชื้อเพลิง ได้ค่า = 1,136.57 แคลอรี/ ซม.²

$$\begin{aligned} \therefore \text{จำนวนไปที่ตำแหน่งปากเตา} &= \frac{1,136.57}{0.330} \\ &= 3,440.41 \text{ แคลอรี/ซม.}^2 \end{aligned}$$

$$\text{พื้นที่ปากเตาขนาด 30 ซม.} = 452.39 \text{ ซม.}^2$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสี} &= (3,440.41)(452.39) \\ &= 1,556,406.85 \text{ แคลอรี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{คิดเป็นร้อยละของพลังงานที่ให้จากเชื้อเพลิง} &= \frac{(1,556,406.85)(100)}{(1,032)(1-0.1482)(4,033)} \\ &= 43.92 \end{aligned}$$

6. การคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้งานแบบต่อเนื่องของเตา

ตัวอย่าง เตาขนาด 27 ซม. หม้ออลูมิเนียมขนาด 26 ซม.

ปริมาณน้ำที่เติมครั้งที่ 1, 2, 3 = 2,500 กรัม, 650 กรัม, 650 กรัม
 ปริมาณด้านหินอัคร้อน (รวมความชื้น) = 830 กรัม, 415 กรัม, 415 กรัม
 ความชื้นของด้านหินอัคร้อนร้อยละ 14.82
 ค่าความร้อนของด้านหินอัคร้อน (ไม่รวมความชื้น) = 4,033 แคลอรี/กรัม
 อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น = 30 องศาเซลเซียส
 ปริมาณน้ำที่เหลือทั้งหมด = 540 กรัม
 ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ = 1 แคลอรี/กรัม-องศาเซลเซียส

จากสมการที่ (9)

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{ms(T_2 - T_1) + (m - m_1)\lambda}{wq} \times 100 \\ &= \frac{(2500+650+650)(1)(100-30) + (2500+650+650-540)(540)}{(830+415+415)(1-0.1482)(4,033)} \times 100 \\ &= 35.5 \end{aligned}$$

\therefore ประสิทธิภาพการใช้งานแบบต่อเนื่องของเตาขนาด 27 ซม. ตั้งสภาพการทดลองที่แสดงมีค่า ร้อยละ 35.5

หมายเหตุ : ต้องการข้อมูลคิบัติติดต่อที่ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสวรรณ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

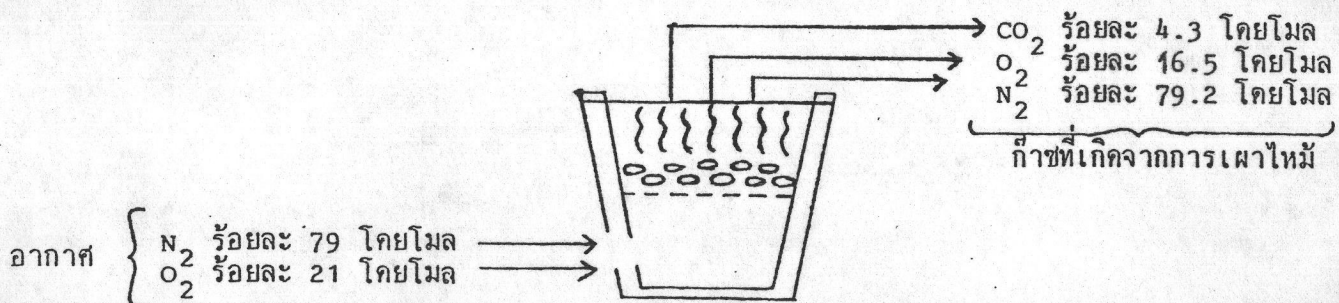
การคำนวณร้อยละของปริมาณอากาศเกินพอ (40)

ตัวอย่าง เตาขนาด 27 ซม.

ปริมาณด้านหินอัคนี (รวมความชื้น) = 830 กรัม

ความชื้นของด้านหินอัคนีร้อยละ 14.82

ตัวอย่างการคำนวณร้อยละของปริมาณอากาศเกินพอ ณ ที่เวลา 10 นาที จากการวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ ในตารางที่ 4.15 ได้

ร้อยละของออกซิเจน (O_2) = 16.5ร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) = 4.3

Basis 100 ปาวน์โมลของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ (flue gas)

 N_2 ที่เข้าไปในเตา = N_2 ที่ออกจากเตา (เพราะไม่เกิดปฏิกิริยา)

$$\therefore \text{อากาศที่เข้าไปในเตา} = \frac{79.2(100)}{79} = 100.25 \text{ ปาวน์โมล}$$

$$\therefore O_2 \text{ ในอากาศมี} = \frac{100.25(21)}{100} = 21.05 \text{ ปาวน์โมล}$$

$$\therefore \text{ปริมาณ } O_2 \text{ ใช้อย่างน้อย} = 21.05 - 16.50 = 4.55 \text{ ปาวน์โมล}$$

$$\therefore \text{ปริมาณอากาศที่เข้าไป} = \frac{4.55(100)}{21} = 21.67 \text{ ปาวน์โมล}$$

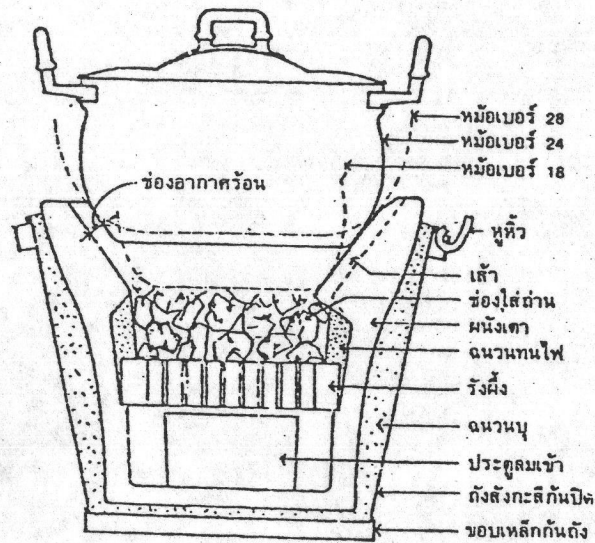
$$\text{ร้อยละของปริมาณอากาศเกินพอ} = \frac{\text{ปริมาณอากาศที่เข้าไปในเตา} - \text{ปริมาณอากาศที่เข้าไป}}{\text{ปริมาณอากาศที่เข้าไป}} \times 100$$

$$= \frac{(100.25 - 21.67)}{21.67} \times 100$$

$$= 362.6$$

ภาคผนวก จ

ลักษณะและขนาดของเตาประสิทธิภาพสูงกรมป่าไม้



1. ปากเตาด้านในลาดลึก สามารถวางกระทะและหม้อได้หลายขนาด ตั้งแต่หม้อเบอร์ 16-32
2. ช่องอากาศร้อนออกกว้าง 0.5-1.0 ซม.
3. ขอบเตาสีสูงกว่าก้นภาชนะที่วางเสมอ
4. ความสูงของเชิงเทิน 0.6 ซม.
5. ช่องเชื้อเพลิงมีขนาด 1,500-1,700 ลบ.ซม. หรือจุถ่านได้ 400-500 กรัม
6. ความสูงจากรังผึ้งถึงก้นหม้อประมาณ 10-12 ซม.
7. ช่องลมค้ำหน้ามีขนาด 5×15 ตร.ซม.
8. ความสูงของเตา 28 ซม.
9. น้ำหนักของเตา 9,300 กรัม
10. รังผึ้งมีความหนา 4 ซม. มีพื้นที่ช่องว่างกิดเป็นร้อยละ 40 ของพื้นที่รังผึ้ง
11. ปากเตามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 33 ซม.

ประวัติผู้เขียน

นาย สุชาติ อารีรุ่งเรือง เกิดเมื่อวันที่ 5 กันยายน พ.ศ. 2505 ที่กรุงเทพมหานคร
ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค จากคณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2526

