

บรรณานุกรม

1. โยชิฮิโกะ ทาคามูระ, เทคนิคการประหยัดพลังงาน ภาคความร้อน , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2525, หน้า 51
2. Michael J. Moran, Availability Analysis: A Guide to Efficient Energy Use , Prentice-Hall, Inc., 1982,
3. J. M. Smith and H. C. Van Ness, Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics , McGraw-Hill, Inc., 1959.
4. L. Riekert, Chem. Eng. Sci., 1974, 29, pp 1613-1620
5. B. G. Kyle, Chemical and Process Thermodynamics , Prentice-Hall, Inc., 1984.
6. O. A. Hougen, K. M. Watson and R. A. Ragatz, Chemical Process Principles , Part I, John Wiley & Sons, Inc., 1954.
7. R. A. Gaggioli and P. J. Petit, CHEMTECH , August 1977, pp 496-506
8. T. J. Kotas, Chem. Eng. Res. Des. , vol. 64, May 1986, pp 212-229
9. S. Dincer and D. Erkan, "Available Energy Analysis of a Petroleum-Refinery Operation", Applied Energy, 22, 1986, pp 157-163
10. Prida Wibulswas, "Energy Analysis in a Thai Private Hospital", paper presented at TPA, 1986.
11. มนต์รี อึ้งเจริญ, การวิเคราะห์พลังงานอุณหภาพที่โรงงานอาหลัยรยนต์ , วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สจ.ร., ปี 2529
12. Anusak Kritsadan, Energy Conservation in Bang Pa-In Paper Mill Factory , 1984, Thesis, AIT, Thailand.
13. Salih Dincer, "Available Energy Analysis" , 1985, Energy Convers. Mgmt, vol. 25, No. 3, pp 309-313

14. B. Linnhoff and K. J. Carpenter, "Energy Conservation by Exergy Analysis - The Quick and Simple Way", 1981, paper presented at the Second World Congress of Chemical Engineering, Montreal, Canada.
15. D. W. Townsend, Second Law Analysis in Practice, The Chemical Engineer, October 1980, pp 628-633
16. B. Linnhoff and J. R. Flower, "Synthesis of Heat Exchanger Networks", AIChE, 24, pp 633-654
17. D. Boland and B. Linnhoff, "The Preliminary Design of Networks for Heat Exchange by Systematic Methods", The Chemical Engineer, April 1979, pp 222-228
18. ธีวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, การวิเคราะห์การใช้พลังงานและมาตรการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้แนวคิดเกี่ยวกับเอ็กเซอร์ยีเสริมวิธีวินิจัยในอดีต, รายงานการวิจัยเพื่อเพิ่มพูนและพัฒนาประสิทธิภาพทางวิชาการ, ปี 2528.
19. Robert H. Perry, Perry's Chemical Engineers' Handbook, International Student Edition, 6thed, 1986.
20. John A. Dean, Lange's Handbook of Chemistry, 12thed, McGraw-Hill Company, 1981.
21. G. J. Van Wylen and R. E. Sonntag, Fundamentals of Classical Thermodynamics, John Wiley & Sons, Inc., 1973.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

1. จำนวนความร้อนที่สูญเสียที่เตาอบบอร์ด (Board dryer)

อุปกรณ์มีขนาดความยาว	60.90 m.
กว้าง	3.90 m.
สูง	3.20 m.

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ด้านบอร์ดเปียก (Wet zone) และด้านบอร์ดแห้ง (Dry zone)

1.1 ด้านบนอุปกรณ์ :

พื้นที่เป็น	236.89 m ²
อุณหภูมิที่ผนังด้านนอกเป็น	55°C
กำหนดให้อุณหภูมิที่ผนังด้านในของอุปกรณ์เป็น	145°C
อุณหภูมิมาตรฐานในการคำนวณ	T _o = 30°C

จากสูตร $Q = AU\Delta T$ (1)

โดย $\frac{1}{U} = \frac{x}{k} + \frac{1}{h}$

แทนค่า ให้ $h = 2.8547 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}$.

$x = 0.203 \text{ m}$.

$k = 0.122 \text{ kJ/m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}$.

$A = 236.89 \text{ m}^2$.

$\Delta T = (145 - 30) = 115$

ดังนั้น $Q = \frac{236.89 \times (115)}{\frac{0.203}{0.122} + \frac{1}{2.8547}}$

$= 1.3525 \times 10^4 \text{ kJ/h}$

ความร้อนสูญเสียที่ด้านบนของอุปกรณ์ $= 1.3525 \times 10^4 \text{ kJ/h}$

1.2 ด้านล่างอุปกรณ์:

มีพื้นที่เป็น 236.89 m^2

อุณหภูมิที่ผนังด้านนอก 45°C

อุณหภูมิมาตรฐานในการคำนวณเป็น 30°C

ในทำนองเดียวกับ 1.1

โดยให้ $h = 6.3103 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}$.

$x = 0.203 \text{ m}$.

$k = 0.122 \text{ kJ/m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}$.

แทนค่าสมการ (1)

$$Q = \frac{236.89 \times 115}{0.203 + \frac{1}{6.3103}}$$

$$= 1.4948 \times 10^4 \text{ kJ/h}$$

ความร้อนสูญเสียที่ด้านล่างของอุปกรณ์ $= 1.4948 \times 10^4 \text{ kJ/h}$

1.3 ด้านข้างอุปกรณ์:

มีพื้นที่เป็น 390.144 m^2 .

อุณหภูมิที่ผนังด้านนอกเป็น 45°C

ในทำนองเดียวกับ 1.2

แทนค่าในสมการ (1)

$$Q = \frac{390.144 \times 115}{0.203 + \frac{1}{6.3103}}$$

$$= 2.4619 \times 10^4 \text{ kJ/h}$$

ความร้อนที่สูญเสียที่ผนังด้านข้างอุปกรณ์เป็น $2.4619 \times 10^4 \text{ kJ/h}$

1.4 ผนังอุปกรณ์ช่วงต่อระหว่างห้องเตาอบ

ไม่ได้หุ้มฉนวน มีพื้นที่ $= 12.3871 \text{ m}^2$.

อุณหภูมิที่ผิว $= 150^\circ\text{C}$

ให้สมมุติฐานว่าความร้อนที่สูญเสียนี้เนื่องจากการแผ่รังสี

โดยใช้สมการ $Q_{rad} = A \cdot e \cdot \sigma (T_i^4 - T_o^4)$ (2)

โดย $A =$ พื้นที่ส่วนที่ถ่ายเทความร้อน

$e =$ emissivity ≈ 1.0

$$\sigma = \text{สัมประสิทธิ์} \quad 5.672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$T_i = \text{อุณหภูมิที่ผนังอุปกรณ์}$$

$$T_o = \text{อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าใน (2) ; } Q_{\text{rad}} &= 12.387 \times 1 \times 5.672 \times 10^{-8} (423^4 - 308^4) \\ &= 16171.2437 \text{ W} \\ &= 5.8216 \times 10^4 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

1.5 ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากอุปกรณ์เตาอบทั้งหมด

$$\text{จะมีค่าเป็น } \text{ประมาณ } 1.3525 \times 10^4 + 1.4948 \times 10^4 + 2.4619 \times 10^4 + 5.8216 \times 10^4$$

$$\text{นั่นคือ มีค่าเป็น } 1.11308 \times 10^5 \text{ kJ/h}$$

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ข.1 คำนวณหาความร้อนสูญเสียจากตัวเตาอบแบบหมุน (Rotary dryer)

$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่ของอุปกรณ์ทั้งหมด} &= 76.81 \text{ m}^2. \\
 \text{อุณหภูมิที่ผนังด้านนอกของอุปกรณ์} &= 40^\circ\text{C} \\
 \text{ผนังอุปกรณ์ประกอบด้วยโลหะ} &k_1 = 288.00 \text{ kJ/m.h.K, } x_1 = 0.0127 \text{ m.} \\
 \text{และใยหิน} &k_2 = 0.122 \text{ kJ/m.h.K, } x_2 = 0.051 \text{ m.} \\
 \text{ให้ } \alpha \text{ ที่ผนังด้านนอกกับอากาศรอบนอก} &= 41.84 \text{ kJ/m}^2\text{.h.K} \\
 \text{อุณหภูมิภายในอุปกรณ์ที่ผนังด้านใน} &= 100^\circ\text{C} \\
 \text{ดังนั้น} &Q = UA\Delta T \\
 &= \frac{76.81 \times (100-30)}{\left(\frac{0.0127}{288.0} + \frac{0.051}{0.122} + \frac{1}{41.84} \right)} \\
 Q &= 1.2165 \times 10^4 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

ข.2 คำนวณหาความร้อนที่สูญเสียจากตัวอุปกรณ์ Impax Mill

$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่ของตัวอุปกรณ์} &= 78.79 \text{ m}^2. \\
 \text{อุณหภูมิที่ผนังด้านนอกของอุปกรณ์} &= 51^\circ\text{C} \\
 \text{พื้นที่อีกส่วนของอุปกรณ์ที่อุณหภูมิ } 95^\circ\text{C} &= 1.571 \text{ m}^2. \\
 \text{ดังนั้น} &Q_1 = A_1 U \Delta T \\
 A_1 &= 78.79 \text{ m}^2 \\
 \Delta T &= (200-51) = 149^\circ\text{C} \\
 \frac{1}{U} &= \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} \\
 \frac{1}{U} &= \frac{0.25}{5.298} + \frac{0.013}{288.0} + \frac{0.051}{0.122}
 \end{aligned}$$

แทนค่า :

$$Q_1 = \frac{78.79 \times 149}{\left(\frac{0.25}{2.298} + \frac{0.013}{288.0} + \frac{0.051}{0.122} \right)}$$

$$= 2.5232 \times 10^4 \text{ kJ/h}$$

และส่วนความร้อนที่สูญเสียจากพื้นที่อยู่ปกรณ 1.571 m^2 อุณหภูมิ 95°C
ผนังประกอบด้วยชั้นของเหล็กหนา 0.013 m . ($k = 288.00 \text{ kJ/m.h.K.}$)

ให้ค่า $h = 5.7795 \text{ kJ/m}^2.\text{h.K.}$

ดังนั้น $Q_2 = \frac{1.571 \times (200-30)}{\frac{0.013}{288} + \frac{1}{5.7795}}$

$$= 1.5439 \times 10^3 \text{ kJ/h}$$

ความร้อนที่สูญเสียจากอุปกรณ์ Imp. mill $= 2.6775 \times 10^4 \text{ kJ/h}$

ภาคผนวก ค.

Table 1a h (heat transfer coefficient) in various geometrical condition

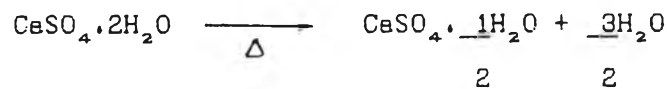
	Streamline	Turbulent
Horizontal or Vertical pipes	$h = 1.18(\Delta T/d_o)^{1/4}$	$1.65 \Delta T^{1/4}$
Vertical planes	$h = 1.35(\Delta T/l)^{1/4}$	$2.00 \Delta T^{1/4}$
Horizontal planes facing upwards	$h = 1.31(\Delta T/l)^{1/4}$	$2.33 \Delta T^{1/4}$
Horizontal planes facing downwards	$h = 0.59(\Delta T/l)^{1/4}$	

where T is in K
 l is in m
 h is in $W/m^2 \cdot K$

ภาคผนวก ง.

การคำนวณหาปริมาณความร้อนในการแคลไซน์ (Calcine) แร่

สมการของการแคลไซน์



ที่สภาวะมาตรฐาน ($T_0 = 25^\circ\text{C}$)

$$\Delta H_f^\circ \text{ reaction} = \sum H_f^\circ \text{ product} - \sum H_f^\circ \text{ reactant} \quad (1)$$

โดย ΔH_f° ของ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = -2.023 \times 10^6 \text{ kJ/kmol}$

$$\Delta H_f^\circ \text{ ของ } \text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} = -1.577 \times 10^6 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{ ของ } \text{H}_2\text{O} = -2.418 \times 10^5 \text{ kJ/kmol}$$

แทนค่าในสมการ (1) :

$$\Delta H_f^\circ \text{ reaction} = \frac{[(-1.577 \times 10^6) + (-3 \times 2.418 \times 10^5)] - (-2.023 \times 10^6)}{2}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{ reaction} = 8.330 \times 10^4 \text{ kJ/kmol}$$

ในทำนองเดียวกัน การคำนวณหาเอนทัลปีในการแคลไซน์แร่ จะใช้สมการดังนี้ :-

$$\Delta G_f^\circ \text{ reaction} = \sum G_f^\circ \text{ product} - \sum G_f^\circ \text{ reactant} \quad (2)$$

โดย ΔG_f° ของ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = -1.797 \times 10^6 \text{ kJ/kmol}$

$$\Delta G_f^\circ \text{ ของ } \text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} = -1.437 \times 10^6 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G_f^\circ \text{ ของ } \text{H}_2\text{O} = -2.286 \times 10^5 \text{ kJ/kmol}$$

แทนค่าใน 2 :

$$\Delta G_f^\circ \text{ reaction} = \frac{[(-1.437 \times 10^6) + (-3 \times 2.286 \times 10^5)] - (-1.797 \times 10^6)}{2}$$

$$\Delta G_f^\circ \text{ reaction} = 1.710 \times 10^4 \text{ kJ/kmol}$$

ภาคผนวก จ.

TABLE 1-D Fundamental Physical Constants

1 sec. = 1.00273791 sidereal seconds	sec. = mean solar second
$g_0 = 9.80665 \text{ m./sec.}^2$	Definition: g_0 = standard gravity
1 liter = 0.001 cu. in.	
1 atm. = 101.325 newtons/sq. m.	Definition: atm. = standard atmosphere
1 mm Hg (pressure) = $(\frac{1}{760}) \text{ atm.}$	mm. Hg (pressure) = standard millimeter mercury
= 133.3224 newtons/sq. in.	
1 int. ohm = 1.000495 \pm 0.000015 abs. ohm	int. = international; abs. = absolute
1 int. amp. = 0.999835 \pm 0.000025 abs. amp.	amp. = ampere
1 int. coul. = 0.999835 \pm 0.000025 abs. coul.	coul. = coulomb
1 int. volt = 1.000330 \pm 0.000029 abs. volt	
1 int. watt = 1.000165 \pm 0.000052 abs. watt	
1 int. joule = 1.000165 \pm 0.000052 abs. joule	
$T_{0-C} = 273.150 \pm 0.010^\circ \text{K.}$	Absolute temperature of the ice point, 0°C.
$(PV)_{0-C}^{n=0} = (RT)_{0-C} = 2271.16 \pm 0.04 \text{ abs. joule/mole}$	
= 22,411.6 \pm 0.4 cu. cm. atm./mole	PV product for ideal gas at 0°C.
= 22.4146 \pm 0.0004 liter atm./mole	
$R = 8.31439 \pm 0.00034 \text{ abs. joule/deg. mole}$	R = gas constant per mole
= 1.98719 \pm 0.00013 cal./deg. mole	
= 82.0567 \pm 0.0034 cu. cm. atm./deg. mole	
= 0.0820567 \pm 0.000034 liter atm./deg. mole	
$\ln 10 = 2.302585$	\ln = natural logarithm (base e)
$R \ln 10 = 19.14460 \pm 0.00078 \text{ abs. joule/deg. mole}$	
= 4.57567 \pm 0.00070 cal./deg. mole	
$N = (6.02263 \pm 0.0022) \times 10^{23} \text{ /mole}$	N = Avogadro number
$h = (6.6242 \pm 0.0044) \times 10^{-34} \text{ joule sec.}$	h = Planck constant
$c = (2.99776 \pm 0.00008) \times 10^8 \text{ m./sec.}$	c = velocity of light
$(h^2/8\pi^2k) = (4.0258 \pm 0.0037) \times 10^{-39} \text{ g. sq. cm. deg.}$	Constant in rotational partition function of gases
$(h/8\pi^2c) = (2.7988 \pm 0.0018) \times 10^{-39} \text{ g. cm.}$	Constant relating wave number and moment of inertia
$Z = Nhc = 119600 \pm 0.0036 \text{ abs. joule cm./mole}$	Z = constant relating wave number and energy per mole
= 2.85851 \pm 0.0009 cal. cm./mole	
$(Z/R) = (hc/k) = c_2 = 1.43547 \pm 0.00045 \text{ cm. deg.}$	c_2 = second radiation constant
$\mathcal{F} = 96,501.2 \pm 10.0 \text{ int. coul./g.-equiv. or int. joule/int. volt g.-equiv.}$	\mathcal{F} = Faraday constant
= 96,485.3 \pm 10.0 abs. coul./g.-equiv. or abs. joule/abs. volt g.-equiv.	
= 23,068.1 \pm 2.4 cal./int. volt g.-equiv.	
= 23,060.5 \pm 2.4 cal./abs. volt g.-equiv.	
$e = (1.60199 \pm 0.00060) \times 10^{-19} \text{ abs. coul.}$	e = electronic charge
= $(1.60199 \pm 0.00060) \times 10^{-20} \text{ abs. e.m.u.}$	
= $(4.80239 \pm 0.00180) \times 10^{-10} \text{ abs. e.s.u.}$	
1 int. electron-volt/molecule = 96,501.2 \pm 10 int. joule/mole	
= 23,068.1 \pm 2.4 cal./mole	
1 abs. electron-volt/molecule = 96,485.3 \pm 10 abs. joule/mole	
= 23,060.5 \pm 2.4 cal./mole	
1 int. electron-volt = $(1.60252 \pm 0.00060) \times 10^{-12} \text{ erg}$	
1 abs. electron-volt = $(1.60199 \pm 0.00060) \times 10^{-12} \text{ erg}$	
$hc = (1.23916 \pm 0.00032) \times 10^{-4} \text{ int. electron-volt cm.}$	Constant relating wave number and energy per molecule
= $(1.23957 \pm 0.00032) \times 10^{-4} \text{ abs. electron-volt cm.}$	
$k = 8.61442 \pm 0.00100 \times 10^{-5} \text{ int. electron-volt/deg.}$	k = Boltzmann constant
= $5.61727 \pm 0.00100 \times 10^{-5} \text{ abs. electron-volt/deg.}$	
$(R/N) = (1.38048 \pm 0.00050) \times 10^{-23} \text{ joule/deg.}$	
1 I.T. cal. = $(\frac{1}{778}) = 0.00116279 \text{ int. watt-hr.}$	Definition of I.T. cal.: I.T. = International steam tables
= 4.18605 int. joule	
= 4.18674 abs. joule	
= 1.000654 cal.	cal. = thermochemical calorie
1 cal. = 4.1840 abs. joule	Definition: cal. = thermochemical calorie
= 4.1833 int. joule	
= 41.2929 \pm 0.0020 cu. cm. atm.	
= 0.0412929 \pm 0.0000020 liter atm.	
1 I.T. cal./g. = 1.8 B.t.u./lb.	Definition of B.t.u.: B.t.u. = I.T. British Thermal Unit
1 B.t.u. = 251.996 I.T. cal.	
= 0.293018 int. watt-hr.	
= 1054.868 int. joule	
= 1055.040 abs. joule	
= 252.161 cal.	
1 horsepower = 550 ft.-lb. (wt.)/sec.	cal. = thermochemical calorie
= 745.578 int. watt	Definition of horsepower (mechanical): lb. wt. = weight
= 745.70 abs. watt	of 1 lb. at standard gravity
1 in. = $(1/0.3937) = 2.54 \text{ cm.}$	Definition of in.: in. = U.S. inch
1 ft. = 0.304800610 m.	ft. = U.S. foot (1 ft. = 12 in.)
1 lb. = 453.5924277 g.	
1 gal. = 231 cu. in.	Definition; lb. = avoirdupois pound
= 0.133680555 cu. ft.	Definition; gal. = U.S. gallon
= $3.785412 \times 10^{-3} \text{ cu. m.}$	
= 3.785412 liter	

TABLE 1c Special Tables of Conversion Factors

To convert from	To	Multiply by
<i>h</i> = heat-transfer coefficient		
p.c.u./hr.(ft. ² h ² °C.)	B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F.)	1
kg-cal./hr.(m. ² h ² °C.)	B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F.)	0.2048
g-cal./sec.(cm. ² h ² °C.)	B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F.)	7380
watts/(cm. ² h ² °C.)	B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F.)	1760
watts/(in. ² h ² °F.)	B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F.)	490
B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F.)	p.c.u./hr.(ft. ² h ² °C.)	1
B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F.)	kg-cal./hr.(m. ² h ² °C.)	4.68
B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F.)	g-cal./sec.(cm. ² h ² °C.)	0.0001355
B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F.)	watts/(cm. ² h ² °C.)	0.000568
B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F.)	watts/(in. ² h ² °F.)	0.00204
B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F.)	hp.(ft. ² h ² °F.)	0.000394
B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F.)	joules/(sec)(m. ² h ² °C.)	5.678
kg-cal./hr.(m. ² h ² °C.)	joules/(sec)(m. ² h ² °C.)	1.163
watts/(m. ² h ² °C.)	joules/(sec)(m. ² h ² °C.)	1.0
<i>μ</i> = viscosity		
centipoises	g/(sec)(cm.) or poise	0.01
centipoises	lb./sec.(ft.)	0.000672
centipoises	lb./hr.(ft.)	2.42
centipoises	kg./hr.(m.)	3.60
centipoises	(newton)/sec./m. ²	0.001
lb./sec.(ft)	(newton)/sec./m. ²	1.488
<i>k</i> = thermal conductivity		
g-cal./sec.(cm. ² h ² °C./cm.)	B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F./in.)	2903.0
watts/cm. ² h ² °C./cm.)	B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F./in.)	694.0
g-cal./hr.(cm. ² h ² °C./cm.)	B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F./in.)	0.8064
B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F./ft.)	joules/(sec)(m. ² h ² °C.)	1.731
B.t.u./hr.(ft. ² h ² °F./in.)	joules/(sec)(m. ² h ² °C.)	0.1442

TABLE 1d Kinematic-Viscosity Conversion Formulas

Viscosity scale	Range of <i>t</i> , sec.	Kinematic viscosity, stokes
Saybolt Universal	32 > <i>t</i> > 100	0.00226 <i>t</i> - 1.95/ <i>t</i>
	<i>t</i> > 100	0.00220 <i>t</i> - 1.35/ <i>t</i>
Saybolt Furl.	25 > <i>t</i> > 40	0.0224 <i>t</i> - 1.84/ <i>t</i>
	<i>t</i> > 40	0.0216 <i>t</i> - 0.60/ <i>t</i>
Redwood No. 1	34 > <i>t</i> > 100	0.00260 <i>t</i> - 1.79/ <i>t</i>
	<i>t</i> > 100	0.00247 <i>t</i> - 0.50/ <i>t</i>
Redwood Admiralty		0.027 <i>t</i> - 20/ <i>t</i>
Engler		0.00147 <i>t</i> - 3.74/ <i>t</i>

TABLE 1e Values of the Gas-Law Constant

Temp. scale	Press. units	Vol. units	Wt. units	Energy units	<i>R</i>	
Kelvin	atm.	cm. ³	g.-moles	calories	1.9872	
			g.-moles	joules (abs.)	8.3144	
		liters	g.-moles	joules (int.)	8.3130	
			g.-moles	atm.-cm. ³	82.057	
		mm Hg	g.-moles	atm.-liters	0.08205	
			g.-moles	mm Hg-liters	62.361	
	Rankine	bar	liters	g.-moles	bar-liters	0.09314
				g.-moles	kg./cm. ² (liters)	0.08478
		kg/cm. ²	liters	g.-moles	kg./cm. ² (liters)	0.08478
				lb.-moles	atm.-ft. ³	1.314
		atm.	ft. ³	lb.-moles	mm Hg-ft. ³	989.9
				lb.-moles	ch.u. or p.c.u.	1.9872
Rankine	in. Hg	ft. ³	lb.-moles	B.t.u.	1.9872	
			lb.-moles	hp.-hr.	0.0007805	
	mm Hg	ft. ³	lb.-moles	kw.-hr.	0.0005819	
			lb.-moles	atm.-ft. ³	0.7302	
	lb./in. ² (abs)	ft. ³	lb.-moles	in. Hg-ft. ³	21.85	
			lb.-moles	mm Hg-ft. ³	555.0	
lb./ft. ² (abs)	ft. ³	lb.-moles	lb.-ft. ³ /in. ²	10.73		
		lb.-moles	ft.-lb.	1545.0		

TABLE 1f United States Customary System of Weights and Measures

Linear Measure	
12 inches (in.) or (")	= 1 foot (ft.) or (')
3 feet	= 1 yard (yd.)
16.5 feet	= 1 rod (rd.)
5.5 yards	= 1 rod (rd.)
5280 feet	= 1 mile (mi.)
320 rods	= 1 mile (mi.)
1 mil	= 0.001 inch
Nautical:	
6080.2 feet	= 1 nautical mile
6 feet	= 1 fathom
120 fathoms	= 1 cable length
1 knot	= 1 nautical mile per hour
60 nautical miles	= 1° of latitude
Square Measure	
144 sq. inches (sq. in.) or (in. ²) or (□")	= 1 sq. foot (ft. ²) or (□')
9 sq. feet (ft. ²) (□')	= 1 sq. yard (yd. ²)
30.25 sq. yards	= 1 sq. rod, pole, or perch
160 sq. rods = {10 sq. chains}	= 1 acre
640 acres	= 1 sq. mile = 1 section
1 circular inch (area of circle of 1 inch diameter)	= 0.7854 sq. inch
1 sq. inch	= 1.2732 circular inch
1 circular mil = area of circle of 0.001 inch diameter	
1,000,000 circular mils	= 1 circular inch
Circular Measure	
60 seconds (") (sec.)	= 1 minute (min.) or (')
60 minutes (')	= 1 degree (°)
90 degrees (°)	= 1 quadrant
360 degrees (°)	= 1 circumference
57.29578 degrees	{ = 1 radian (rad.)
	{ = 57° 17' 44.81"
Volume Measure	
Solid:	
1728 cubic in. (cu. in.) (in. ³)	= 1 cubic foot (cu. ft.) (ft. ³)
27 cu. ft.	= 1 cubic yard (cu. yd.)
Dry Measure:	
2 pints	= 1 quart
8 quarts	= 1 peck
4 pecks	= 1 bushel
1 United States Winchester bushel	= 2150.42 cubic inches
Liquid:	
4 gills	= 1 pint (pt.)
2 pints	= 1 quart (qt.)
4 quarts	= 1 gallon (gal.)
7.4605 gallons	= 1 cubic foot
Apothecaries' Liquid:	
60 minims (min. or m̄)	= 1 fluid dram or drachm
8 drams (ʒ)	= 1 fluid ounce
16 ounces (oz. ʒ)	= 1 pint
Avoirdupois Weight	
16 drams = 437.5 grains	= 1 ounce (oz.)
16 ounces = 7000 grains	= 1 pound (lb.)
100 pounds	= 1 hundredweight (cwt.)
2000 pounds	= 1 short ton, 2240 pounds = 1 long ton
Troy Weight	
24 grains	= 1 pennyweight (dwt.)
20 pennyweights	= 1 ounce (oz.)
12 ounces	= 1 pound (lb.)
Apothecaries' Weight	
20 grains (gr.)	= 1 scruple (ʒ)
3 scruples	= 1 dram (ʒ)
8 drams	= 1 ounce (ʒ)
12 ounces	= 1 pound (lb.)

Specific heat = P.c.u./ (lb.) (deg. C.) = B.t.u./ (lb.) (deg. F.)
 = calories / (gm.) (deg. C.)

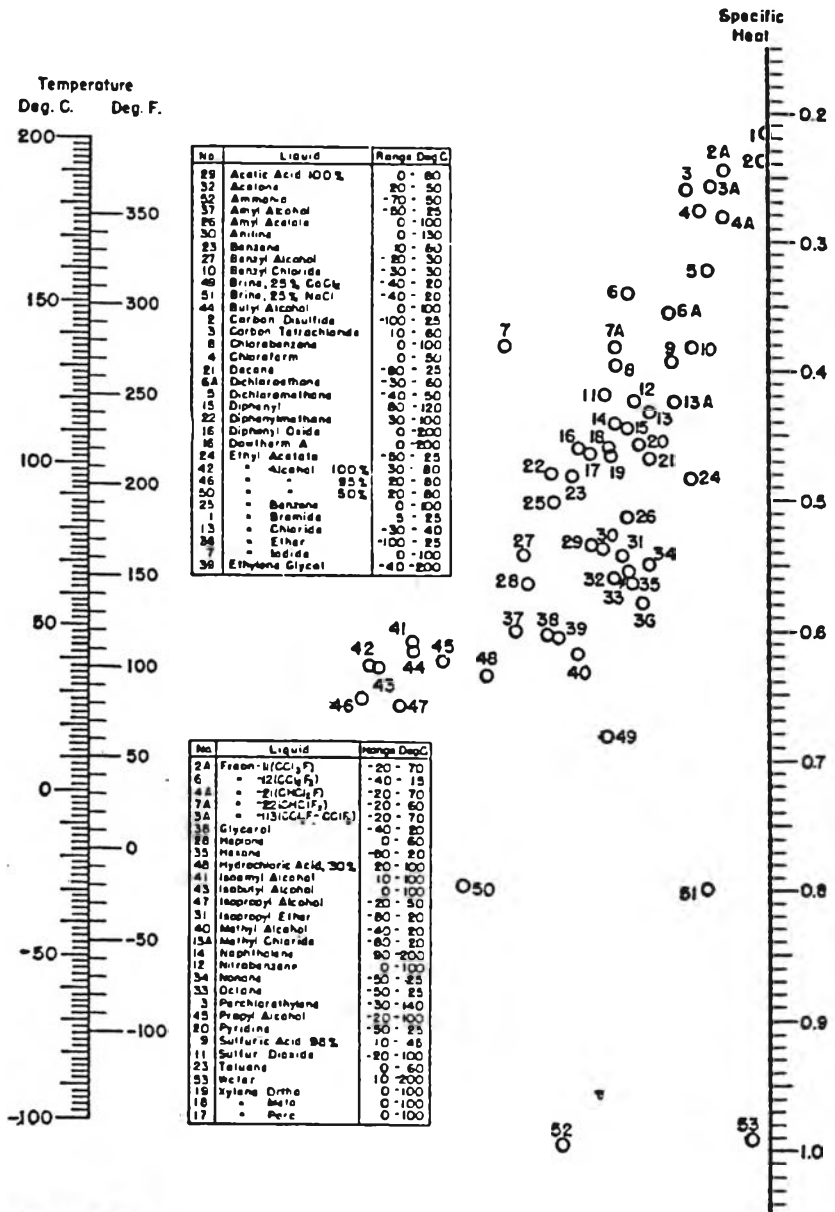


FIG. 19. Specific heats of liquids (Chilton, Colburn, and Vernon, personal communication. Based on data from International Critical Tables.)

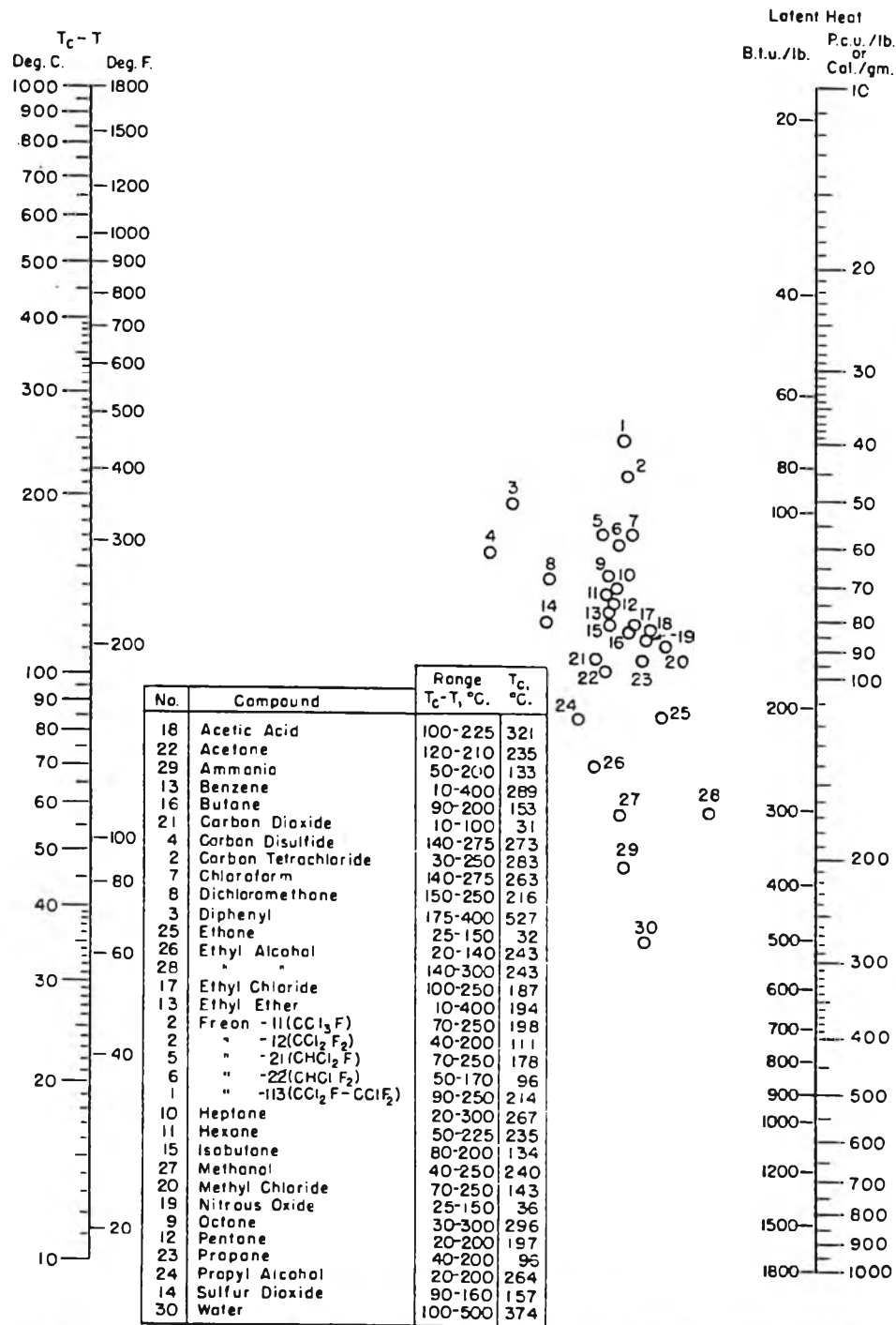


FIG. 1-1 Latent heat of vaporization (Chilton, Colburn, and Vernon, personal communication. Based mainly on data from International Critical Tables)

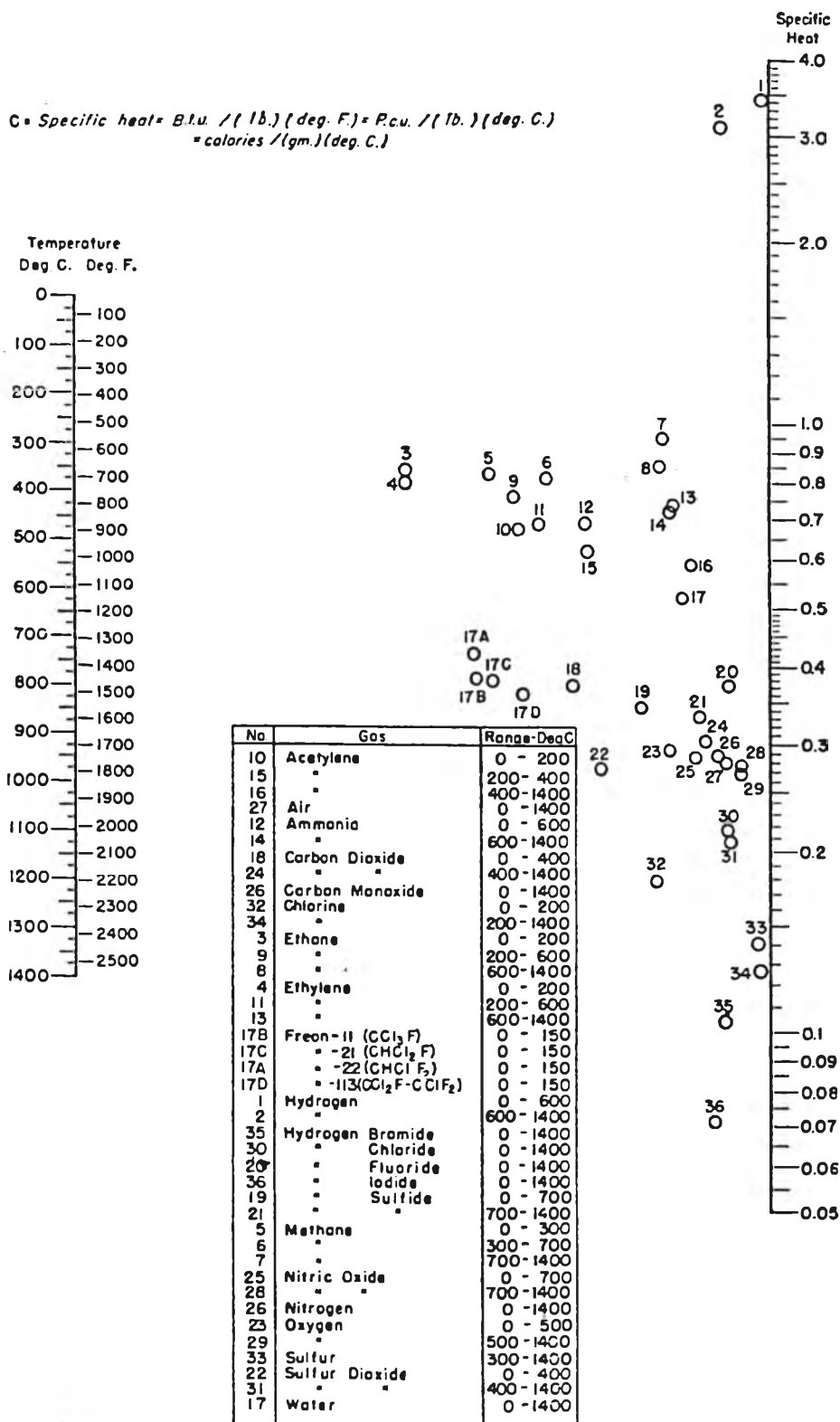


FIG. 1 Specific heats (C_p) of gases at 1-atm pressure

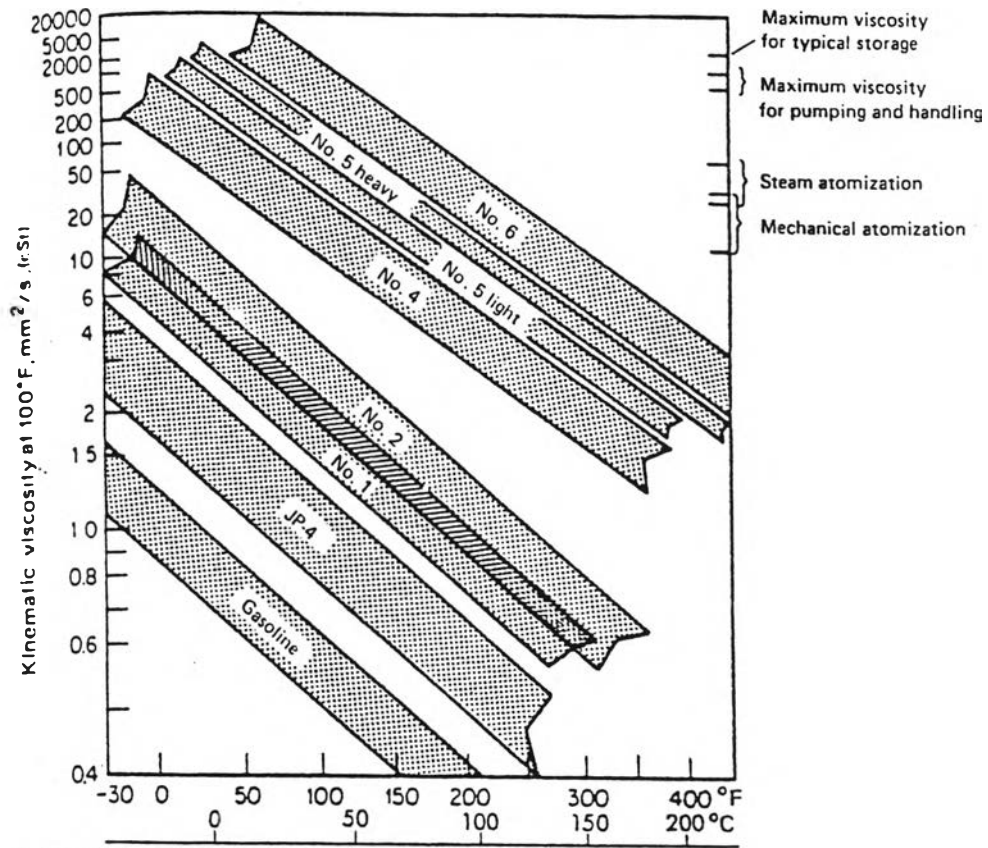


FIG. 1k. Viscosity-temperature relationships for typical petroleum fuels

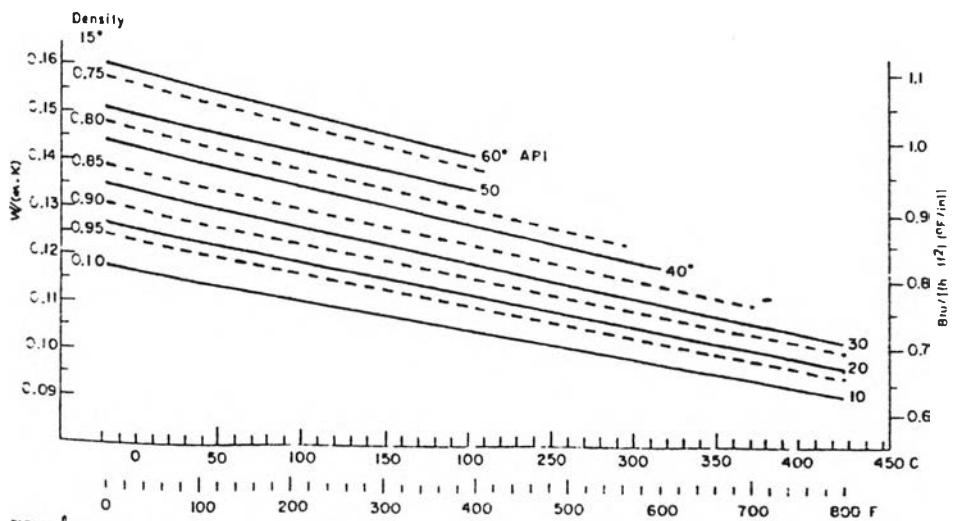


FIG. 1l. Thermal conductivity of petroleum liquids

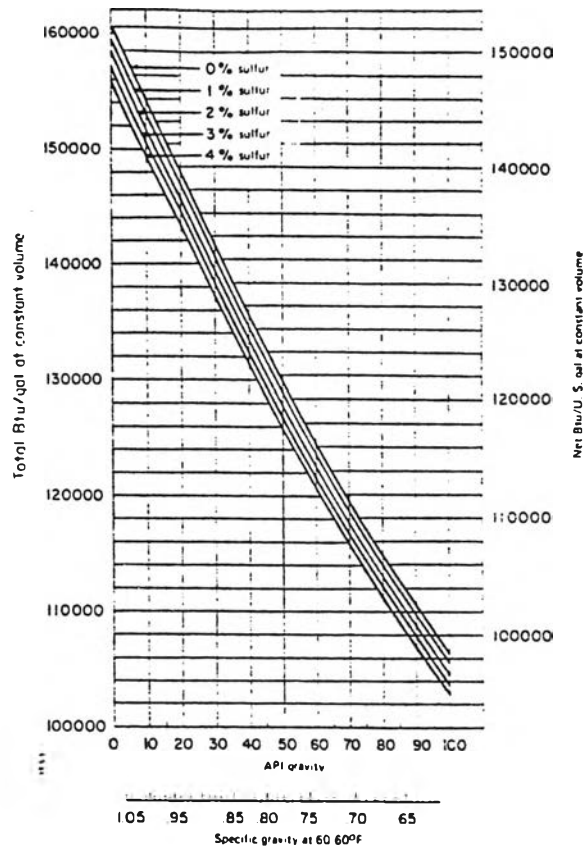


FIG. 1. Heat of combustion of petroleum fuels. To convert British thermal units per U.S. gallon to kilojoules per cubic meter, multiply by 2.767 163 E+02.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวรุจีรา ตาปราบ จบปริญญาตรี วุฒิ วท.บ.(เคมี) จากมหาวิทยาลัย
ขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2523 ได้เข้าศึกษาต่อปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา
วิศวกรรมเคมี เมื่อปี พ.ศ. 2527 ถึงปี พ.ศ. 2531 ปัจจุบันทำงานที่ คณะเทคโนโลยี
การเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

