บทที่ 10

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ฮีทไปป์เป็นอุปกรณ์ความร้อนแนวใหม่ที่มีอัตราการนำความร้อนสูง มีความหยืดหยุ่นในโครงสร้างสามารถดัดแปลงรูปร่างและขนาดเพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน อุณหภูมิใช้งานมีช่วงกว้างสามารถทำงานได้แม้อุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อนมีค่าน้อย ไม่ต้องการพลังงานเสริมจากภายนอกในการทำงาน ง่ายต่อการดูแลรักษา และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น ด้านอวกาศ ด้านอุตสาหกรรม ด้านอิเลคโตรนิค และด้านการแพทย์

R.S.Gaugler เป็นคนแรกที่ได้เสนอความคิดเกี่ยวกับฮีทไปป์ แต่ G.M.Grover เป็นผู้ประดิษฐ์ด้วยความคิดของตัวเอง และได้พิสูจน์ให้เห็นถึงคุณสมบัติอันน่าทึ่งของมัน ทั้งยังได้ตั้งชื่อสิ่งประดิษฐ์นี้ว่า "ฮีทไปป์" หลังจากนั้นงานศึกษา ค้นคว้าและพัฒนาเกี่ยวกับฮีทไปป์มีอย่างกว้างขวาง จะเห็นได้จากเอกสาร บทความ หนังสือและสิ่งตีพิมพ์ต่าง ๆ ที่เพิ่มทวีขึ้นมากมายทั้งด้านทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ ได้มีการพิสูจน์แล้วว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ เป็นอุปกรณ์เก็บความร้อนอุณหภูมิต่ำถึงอุณหภูมิปานกลางระหว่างก๊าซกับก๊าซที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ[19] ตัวอย่างการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ที่ทำด้วยเซรามิคในการประหยัดพลังงานคือ เตาเผาในอุตสาหกรรม ได้มีการประเมินว่า[19] ในสหรัฐอเมริกา เตาเผาในอุตสาหกรรมใช้พลังงานประมาณ 12% ของประเทศ(gross national enery usage) หรือประมาณ 9×10^{18} จูนล์/ปี ประมาณ 20% ของพลังงานนี้สูญหายไปในรูปพลังงานความร้อนไปกับก๊าซจากปล่อง(stack gases) ศักยภาพของพลังงานที่อาจประหยัดได้ในแต่ละปี มีมูลค่าถึง 4,000,000,000 ดอลลาร์สหรัฐฯ เป็นที่คาดคะเนว่า ศักยภาพการประหยัดพลังงาน โดยอาศัยฮีทไปป์ในประเทศเรานำจะมีไม่น้อยทีเดียว

10.1 สรุปผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์เป็นฟังก์ชั่นกับมุมที่ฮีทไปป์ทำกับแนวระดับ นั่นคือ $Q = f(\psi)$ ดังรูปที่(7.6),(7.7),(7.8),(7.9),(7.10),(7.11),(7.12),(7.13),(7.14) และ (7.15) จะเห็นว่าสำหรับฮีทไปป์ A และ B อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในแนวแกนของฮีทไปป์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อมุมที่ฮีทไปป์ทำกับแนวระดับในช่วงมุม $\psi = 0$ ถึง 20 องศา จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่แม้จะเพิ่มมุมอีก ซึ่งสอดคล้องกับผลสรุปของ Ruch(1976), Bilegan และ Fetcu[16] (1982) เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะผลเนื่อง

จากแรงไม้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อของเหลว กล่าวคือ เมื่อท่อฮีทไปป์วางอยู่ในแนวราบ(ψ = 0 องศา) แรงไม้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อของเหลวจะไม่มีผล แต่เมื่อฮีทไปป์วางทำมุมกับแนวระดับ(มุม ψ มากกว่าศูนย์) แรงไม้มถ่วงของโลกจะเสริมการไหลกลับของของเหลวควบแน่น(ช่วงการควบแน่นอยู่เหนือช่วงการระเหย) จากช่วงการระเหยสู่ช่วงการควบแน่น นอกเหนือจากแรงท่อรูเข็มในวิกค์

2. แบบจำลองเชิงทฤษฎีที่เลือกใช้ทำนายลักษณะอุณหภูมของฮีทไปป์มีความเหมาะสมและใช้งานได้ดี ดังรูปที่(8.1),(8.2),(8.3) และ(8.4)

3. ที่อุณหภูมใช้งาน 44.2^{0} , ψ = 10^{0} (ช่วงการระเหยอยู่เหนือช่วงการควบแน่น) สำหรับฮีทไปป์ B จะเกิดขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากท่อรูเข็มหรือวิกค์และให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้ประมาณ 17 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ (8.5)

10.2 บทสรุป ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นเพียงก้าวแรกของการศึกษาเกี่ยวกับฮีทไปป์ วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อหาข้อมูลพื้นฐานด้านทฤษฎีและด้านปฏิบัติ ความรู้ความชำนาญและเทคนิคในการทดสอบสมรรถนะของฮีทไปป์และเพิ่มพูนความพร้อมในการวิจัย ผลการวิจัยทดสอบสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์แสดงให้เห็นว่า มุมมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของฮีทไปป์ และแบบจำลองเชิงทฤษฎีที่ได้เลือกสรรเพื่อทำนายลักษณะการทำงานของฮีทไปป์มีความสอดคล้อง และใช้งานได้ค่อนข้างดี อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมทั้งด้านทฤษฎีและปฏิบัติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านปฏิบัติ เพื่อปรับปรุงเทคนิคการวัด และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดและสมบูรณ์ขึ้น

10.3 โครงการในอนาคต

งานก้าวต่อไปสำหรับการวิจัยเกี่ยวกับฮีทไปป์ก็คือ งานการสร้างฮีทไปป์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบสมรรถนะและเปรียบเทียบกับฮีทไปป์ที่ทำขึ้นในต่างประเทศ

เป็นที่หวังว่าข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา ค้นคว้าและพัฒนาเกี่ยวกับฮีทไปป์ไม่มากก็น้อย

สัญญลักษณ์

A	พื้นที่ (m^2)
A_c	พื้นที่ผิวที่ช่วงการควบแน่น (m^2)
A_e	พื้นที่ผิวที่ช่วงการระ เหย (m^2)
A_f	พื้นที่ผิวสัมผัส (m^2)
A_p	พื้นที่หน้าตัดขึ้นกับ เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (m^2)
A_v	พื้นที่หน้าตัดที่ไอไหลผ่าน (m^2)
A_w	พื้นที่หน้าตัดของวิกค์ (m^2)
C_p	ค่าความร้อนจำ เพาะที่ความดันคงที่ (J/kg - K)
d	เส้นผ่าศูนย์กลางของลวด (m)
d_i	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
d_o	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อ (m)
d_v	เส้นผ่าศูนย์กลางที่ไอไหลผ่าน (m)
D_v	สัมประสิทธิ์ความดัน เชิงจลน์
f_l	สัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน เนื่องจากการไหลของของ เหลว
f_v	สัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน เนื่องจากการไหลของไอ
F_l	สัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน เนื่องจากการไหลของของ เหลว (N/m^2) / (W - m)
F_v	สัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน เนื่องจากการไหลของไอ (N/m^2) / (W - m)
F_s	แรง เค้น เฉือนที่ผิวสัมผัสระหว่างของ เหลวและไอ (N/m)
F_t	แรงดึงผิวที่ผิวสัมผัสระหว่างของ เหลวและวิกค์ (N/m)

g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, m/sec^2 ($9.81\ m/sec^2$)
h_f	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวสัมผัสระหว่างฮีทไปป์กับแหล่งให้(รับ)ความร้อน
$h_{f,c}$	h_f ที่ช่วงการควบแน่น
$h_{f,e}$	h_f ที่ช่วงการระเหย
J	สมมูลย์กลของความร้อน, ($J = 1\ N - m/J$)
k	ความนำความร้อน ($W/m - K$)
k_e	ความนำความร้อนเชิงประสิทธิผลของของเหลวที่อิ่มตัวในวิกค์ ($W/m - K$)
$k_{e,c}$	k_e ที่ช่วงการควบแน่น ($W/m - K$)
$k_{e,e}$	k_e ที่ช่วงการระเหย ($W/m - K$)
k_f	ความนำความร้อนของของไหลที่ไหลผ่านภายนอกท่อ ($W/m - K$)
$k_{f,c}$	k_f ที่ช่วงการควบแน่น ($W/m - K$)
k_l	ความนำความร้อนของของเหลว ($W/m - K$)
k_w	ความนำความร้อนของวิกค์ ($W/m - K$)
k_p	ความนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำท่อ ($W/m - K$)
K	ค่า permeability ของวิกค์ (m^2)
K_1, K_2	ค่าคงที่
l	ความยาว (m)
L_{eff}	ความยาวเชิงประสิทธิผลของท่อฮีทไปป์ (m)
L	ความยาวของฮีทไปป์ (m)

L_a ความยาวของฮีทไปป์ที่ช่วงคั่นกลาง (m)

L_c ความยาวของฮีทไปป์ที่ช่วงการควบแน่น (m)

L_e ความยาวของฮีทไปป์ที่ช่วงการระเหย (m)

L_t ความยาวของฮีทไปป์ทั้งหมด (m)

M น้ำหนักโมเลกุล

n จำนวนร่อง

N จำนวนเส้นลวดตาข่าย (m^{-1})

Nu_f ตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt number) ของของไหล (-)

$Nu_{f,c}$ ตัวเลขนัสเซลท์สำหรับการไหลของของไหลภายนอกท่อที่ช่วงการควบแน่น (-)

P ความดัน (N/m^2)

P_c ความดันท่อรูเข็ม (N/m^2)

P_{cm} ความดันสูงสุดท่อรูเข็ม (N/m^2)

P_g ความดันเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (N/m^2)

P_l ความดันของของเหลว (N/m^2)

P_{max} ความดันสูงสุดดิฟเฟอร์เรนเชียล (N/m^2)

P_{min} ความดันต่ำสุดดิฟเฟอร์เรนเชียล (N/m^2)

P_{pm} ความดันสูงสุดในท่อรูเข็มที่เป็นไปได้ (N/m^2)

P_v ความดันไอ (N/m^2)

$P_{v,c}$ ความดันไอที่ช่วงการควบแน่น (N/m^2)

$\Delta P_{c,max}$ ความดันสูงสุดในท่อรูเข็ม (N/m^2)

ΔP_g ความดันลดเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (N/m^2)

ΔP_l ความดันลดของของเหลว (N/m^2)

ΔP_v ความดันลดของไอ (N/m^2)

Pr_f ตัวเลขเพรนด์เติ้ลท์ (Prandtl number) ของของเหลวที่ไหลภายนอกท่อ (-)

$Pr_{f,c}$ ตัวเลขเพรนด์เติ้ลท์ของของเหลวที่ไหลภายนอกท่อที่ช่วงการควบแน่น (-)

Q อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

$Q_{b,max}$ ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการเดือด (W)

$Q_{c,max}$ ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากท่อรูเข็ม (W)

$Q_{e,max}$ ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากของเหลวหลุดลอยตามไอ (W)

$Q_{s,max}$ ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากความเร็วเสียง (W)

$(QL)_{c,max}$ อัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากท่อรูเข็มต่อหน่วยความยาว (W - m)

r รัศมี (m)

r_c รัศมีท่อรูเข็มเชิงประสิทธิผล (m)

$r_{h,l}$ รัศมีเชิงไฮดรอลิกสำหรับการไหลของของเหลว (m)

$r_{h,s}$ รัศมีเชิงไฮดรอลิกของวิกค์ที่ผิวสัมผัสระหว่างไอและวิกค์ (m)

$r_{h,v}$ รัศมีเชิงไฮดรอลิกที่ไอไหลผ่าน (m)

r_i รัศมีภายในของท่อ (m)

r_n รัศมีของฟองการเดือด (m)

r_o รัศมีภายนอกของท่อ (m)

r_v รัศมีของช่วงที่ไอไหลผ่าน (m)

R ความต้านทานการถ่าย เทความร้อน (m^2- K/W)

$\bar{R}$ ค่าคงที่ของก๊าซ

$R_{p,c}$ ความต้านทานการถ่าย เทความร้อนของผนังท่อที่ช่วงการควบแน่น (m^2- K/W)

$R_{p,e}$ ความต้านทานการถ่าย เทความร้อนของผนังท่อที่ช่วงการระ เหย (m^2- K/W)

R_v ความต้านทานการถ่าย เทความ เนื่องจากการไหลของไอ (m^2- K/W)

$R_{w,c}$ ความต้านทานการถ่าย เทความร้อนของวิกค์ที่อิ่มตัวที่ช่วงการควบแน่น (m^2-K/W)

$R_{w,e}$ ความต้านทานการถ่าย เทความร้อนของวิกค์ที่อิ่มตัวที่ช่วงการระ เหย (m^2- K/W)

Re_f ตัว เลข เรย์โนลด์สำหรับการไหลของของไหลภายนอกท่อ (-)

$Re_{f,c}$ ตัว เลข เรย์โนลด์สำหรับการไหลของของไหลภายนอกท่อที่ช่วงการควบแน่น (-)

Re_l ตัว เลข เรย์โนลด์สำหรับการไหลของของ เหลว (-)

Re_v ตัว เลข เรย์โนลด์สำหรับการไหลของไอ (-)

t ความหนา (m)

t_p ความหนาของท่อ (m)

t_w ความหนาของวิกค์ (m)

T อุณหภูมิ (^oc)

T_f อุณหภูมิของของไหล (^oc)

$T_{f,c}$ อุณหภูมิของของ เหลวที่ไหลภายนอกท่อที่ช่วงการควบแน่น (^{o}c)

T_{h} อุณหภูมิ เฉลี่ยของก๊าซร้อน (^{o}c)

$T_{h,in}$ อุณหภูมิขา เข้าของของไหลร้อน (^{o}c)

T_{p} อุณหภูมิของผนังท่อ (^{o}c)

$T_{p,c}$ T_{p} ที่ช่วงการควบแน่น (^{o}c)

$T_{p,e}$ T_{p} ที่ช่วงการระ เหย (^{o}c)

T_{pw} อุณหภูมิผิวระหว่างผนังท่อและวิกค์ (^{o}c)

$T_{pw,c}$ T_{pw} ที่ช่วงการควบแน่น (^{o}c)

$T_{pw,e}$ T_{pw} ที่ช่วงการระ เหย (^{o}c)

T_{v} อุณหภูมิของไอ (^{o}c)

$T_{v,c}$ T_{v} ที่ช่วงการควบแน่น (^{o}c)

$T_{v,e}$ T_{v} ที่ช่วงการระ เหย (^{o}c)

T_{wv} อุณหภูมิที่ผิวสัมผัสระหว่างวิกค์และไอ (^{o}c)

$T_{wv,c}$ T_{wv} ที่ช่วงการควบแน่น (^{o}c)

$T_{wv,e}$ T_{wv} ที่ช่วงการระ เหย (^{o}c)

T_{1} ,T_{2} อุณหภูมิที่ตำแหน่ง" 1 " และ " 2 " (^{o}c)

ΔT ผลลดของอุณหภูมิ (^{o}c)

ΔT_{p} ผลลดของอุณหภูมิ เมื่อผ่านผนังท่อ (^{o}c)

$\Delta T_{p,c}$ T_p ที่ช่วงการควบแน่น (^oc)

$\Delta T_{p,e}$ T_p ที่ช่วงการระเหย (^oc)

ΔT_v ผลลดอุณหภูมิที่ไอไหลผ่าน (^oc)

U สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมขึ้นกับพื้นที่(W/m^2- K)

U_{HP} สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์(W/m^2- K)

$U_{HP,c}$ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมขึ้นกับพื้นที่ผิวที่ช่วงการควบแน่น(W/m^2- K)

$U_{HP,e}$ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมขึ้นกับพื้นที่ผิวที่ช่วงการระเหย(W/m^2- K)

$U_{HP,p}$ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมขึ้นกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ(W/m^2- K)

$V_{f,max}$ ความเร็วสูงสุดของของไหลที่ไหลผ่านท่อ (m/sec)

V_l ความเร็วของของเหลว (m/sec)

V_v ความเร็วของไอ (m/sec)

w ความกว้างของร่อง (m)

w ช่องว่างของลวดตาข่าย (m)

We ตัวเลขวีเบอร์

x ตำแหน่งในแนวแกน

x_{ref} ตำแหน่งอ้างอิงในแนวแกน

x_{min} ตำแหน่งในแนวแกนที่ซึ่งค่าความดันท่อรูเข็มต่ำสุด

x_{max} ตำแหน่งในแนวแกนที่ซึ่งค่าความดันท่อรูเข็มสูงสุด

γ_v อัตราส่วนความร้อนจำเพาะของไอ (-)

δ ความลึกของร่อง (m)

δ ความหนาของแผ่นเรียบ (m)

ϵ ความพรุนของวิกค์

λ ความร้อนแฝงการระเหย (J/kg)

μ_f ความหนืดของของไหลที่ไหลผ่านท่อ (kg/m - sec)

μ_l ความหนืดของของเหลว (kg/m - sec)

μ_v ความหนืดของไอ (kg/m - sec)

ρ ความหนาแน่น (kg/m^3)

ρ_l ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

ρ_v ความหนาแน่นของไอ (kg/m^3)

σ สัมประสิทธิ์ความตึงผิว (N/m)

τ_l ความเค้นเฉือนของของเหลว (N/m^2)

τ_v ความเค้นเฉือนของไอ (N/m^2)

ψ มุมเอียงของฮีทไปป์วัดจากแนวระดับ (องศา)

ภาคผนวก

Appendix 1
Working Fluid Properties

Fluids listed: (in order of appearance).

Helium
Nitrogen
Ammonia
Freon 11
Pentane
Freon 113
Acetone
Methanol
Flutec PP2
Ethanol
Heptane
Water
Flutec PP9
Thermex
Mercury
Caesium
Potassium
Sodium
Lithium

Properties listed:

Latent heat of evaporation
Liquid density
Vapour density
Liquid thermal conductivity
Liquid dynamic viscosity
Vapour dynamic viscosity
Vapour pressure
Vapour specific heat
Liquid surface tension

HELIUM

Temp. ^{o}C	Latent Heat kJ/kg	Liquid Density kg/m^3	Vapour Density kg/m^3	Liquid Thermal Conductivity $W/m^{o}C$	Liquid Viscos. $cPx10^2$	Vapour Viscos. $cPx10^3$	Vapour Press. Bar	Vapour Specific Heat $kJ/kg^{o}C$	Liquid Surface Tension $N/mx10^3$
-271	22.8	148.3	26.0	1.81	3.90	0.20	0.06	2.045	0.26
-270	23.6	140.7	17.0	2.24	3.70	0.30	0.32	2.699	0.19
-269	20.9	128.0	10.0	2.77	2.90	0.60	1.00	4.619	0.09
-268	4.0	113.8	8.5	3.50	1.34	0.90	2.29	6.642	0.01

NITROGEN

Temp. °C	Latent Heat kJ/kg	Liquid Density kg/m^3	Vapour Density kg/m^3	Liquid Thermal Conductivity W/m^oC	Liquid Viscos. $cPx10^1$	Vapour Viscos. $cPx10^2$	Vapour Press. Bar	Vapour Specific Heat kJ/kg^oC	Liquid Surface Tension $N/mx10^2$
-203	210.0	830.0	1.84	0.150	2.48	0.48	0.48	1.083	1.054
-200	205.5	818.0	3.81	0.146	1.94	0.51	0.74	1.082	0.985
-195	198.0	798.0	7.10	0.139	1.51	0.56	1.62	1.079	0.870
-190	190.5	778.0	10.39	0.132	1.26	0.60	3.31	1.077	0.766
-185	183.0	758.0	13.68	0.125	1.08	0.65	4.99	1.074	0.662
-180	173.7	732.0	22.05	0.117	0.95	0.71	6.69	1.072	0.561
-175	163.2	702.0	33.80	0.110	0.86	0.77	8.37	1.070	0.464
-170	152.7	672.0	45.55	0.103	0.80	0.83	10.07	1.068	0.367
-160	124.2	603.0	80.90	0.089	0.72	1.00	19.37	1.063	0.185
-150	66.8	474.0	194.00	0.075	0.65	1.50	28.80	1.059	0.110

AMMONIA

°C	kJ/kg	kg/m^3	kg/m^3	W/m^oC	cP	$cPx10^2$	Bar	kJ/kg^oC	$N/mx10^2$
-60	1434	714.4	0.03	0.294	0.36	0.72	0.27	2.050	4.062
-40	1384	690.4	0.05	0.303	0.29	0.79	0.76	2.075	3.574
-20	1338	665.5	1.62	0.304	0.26	0.85	1.93	2.100	3.090
0	1263	638.6	3.48	0.298	0.25	0.92	4.24	2.125	2.480
20	1187	610.3	6.69	0.286	0.22	1.01	8.46	2.150	2.133
40	1101	579.5	12.00	0.272	0.20	1.16	15.34	2.160	1.833
60	1026	545.2	20.49	0.255	0.17	1.27	29.80	2.180	1.367
80	891	505.7	34.13	0.235	0.15	1.40	40.90	2.210	0.767
100	699	455.1	54.92	0.212	0.11	1.60	63.12	2.260	0.500
120	428	374.4	113.16	0.184	0.07	1.89	90.44	2.292	0.150

FREON 11

Temp. °C	Latent Heat kJ/kg	Liquid Density kg/m^3	Vapour Density kg/m^3	Liquid Thermal Conductivity W/m^oC	Liquid Viscos. cP	Vapour Viscos. $cPx10^2$	Vapour Press. Bar	Vapour Specific Heat kJ/kg^oC	Liquid Surface Tension $N/mx10^2$
-60	211.9	1672	0.04	0.121	1.19	0.86	0.02	0.476	2.95
-40	204.0	1622	0.04	0.115	0.98	0.88	0.05	0.497	2.70
-20	196.8	1578	1.04	0.111	0.70	0.95	0.16	0.516	2.40
0	190.0	1533	2.59	0.108	0.55	1.01	0.42	0.532	2.18
20	183.4	1487	5.38	0.100	0.44	1.08	0.93	0.546	1.92
40	175.6	1439	10.07	0.097	0.37	1.14	1.82	0.561	1.66
60	167.5	1389	16.85	0.094	0.32	1.20	3.14	0.576	1.40
80	159.0	1334	30.56	0.089	0.28	1.25	5.85	0.590	1.14
100	146.9	1265	49.04	0.076	0.25	1.31	9.53	0.607	0.90
120	134.4	1194	67.53	0.064	0.23	1.37	13.21	0.623	0.63
140	117.0	1105	110.66	0.055	0.22	1.49	18.92	0.646	0.37

PENTANE

°C	kJ/kg	kg/m^3	kg/m^3	W/m^oC	cP	$cPx10^2$	Bar	kJ/kg^oC	$N/mx10^2$
-20	390.0	663.0	0.01	0.149	0.344	0.51	0.10	0.825	2.01
0	378.3	644.0	0.75	0.143	0.283	0.53	0.24	0.874	1.79
20	366.9	625.5	2.20	0.138	0.242	0.58	0.76	0.922	1.58
40	355.5	607.0	4.35	0.133	0.200	0.63	1.52	0.971	1.37
60	342.3	585.0	6.51	0.128	0.174	0.69	2.28	1.021	1.17
80	329.1	563.0	10.61	0.127	0.147	0.74	3.89	1.050	0.97
100	295.7	537.6	16.54	0.124	0.128	0.81	7.19	1.088	0.83
120	269.7	509.4	25.20	0.122	0.120	0.90	13.81	1.164	0.68

FREON 113

Temp. °C	Latent Heat kJ/kg	Liquid Density kg/m^3	Vapour Density kg/m^3	Liquid Thermal Conductivity W/m°C	Liquid Viscos. cP	Vapour Viscos. cPx10^2	Vapour Press. Bar	Vapour Specific Heat kJ/kg°C	Liquid Surface Tension N/mx10^2
-50	173.0	1720	0.15	0.120	2.300	0.85	0.01	0.600	2.86
-30	167.8	1683	0.32	0.119	1.604	0.90	0.03	0.613	2.60
-20	165.4	1664	0.46	0.118	1.323	0.92	0.05	0.619	2.47
-10	163.2	1643	0.77	0.118	1.108	0.94	0.09	0.626	2.34
0	160.6	1621	1.26	0.117	0.942	0.97	0.12	0.632	2.21
10	158.0	1599	1.95	0.108	0.812	0.99	0.19	0.644	2.08
20	155.2	1576	3.00	0.098	0.707	1.02	0.37	0.656	1.96
30	152.3	1553	4.34	0.097	0.622	1.04	0.55	0.664	1.84
40	149.2	1529	6.02	0.095	0.553	1.07	0.79	0.669	1.73
50	145.9	1503	8.79	0.094	0.502	1.09	1.11	0.674	1.62
70	139.4	1452	14.34	0.091	0.401	1.13	2.04	0.691	1.40

ACETONE

°C	kJ/kg	kg/m^3	kg/m^3	W/m°C	cP	cPx10^2	Bar	kJ/kg°C	N/mx10^2
-40	660.0	860.0	0.03	0.200	0.800	0.68	0.01	2.00	3.10
-20	615.6	845.0	0.10	0.189	0.500	0.73	0.03	2.06	2.76
0	564.0	812.0	0.26	0.183	0.395	0.78	0.10	2.11	2.62
20	552.0	790.0	0.64	0.181	0.323	0.82	0.27	2.16	2.37
40	536.0	768.0	1.05	0.175	0.269	0.86	0.60	2.22	2.12
60	517.0	744.0	2.37	0.168	0.226	0.90	1.15	2.28	1.86
80	495.0	719.0	4.30	0.160	0.192	0.95	2.15	2.34	1.62
100	472.0	689.6	6.94	0.148	0.170	0.98	4.43	2.39	1.34
120	426.1	660.3	11.02	0.135	0.148	0.99	6.70	2.45	1.07
140	394.4	631.8	18.61	0.126	0.132	1.03	10.49	2.50	0.81

METHANOL

Temp. °C	Latent Heat kJ/kg	Liquid Density kg/m^3	Vapour Density kg/m^3	Liquid Thermal Conductivity W/m°C	Liquid Viscos. cP	Vapour Viscos. cPx10^2	Vapour Press. Bar	Vapour Specific Heat kJ/kg°C	Liquid Surface Tension N/mx10^2
-50	1194	843.5	0.01	0.210	1.700	0.72	0.01	1.20	3.26
-30	1187	833.5	0.01	0.208	1.300	0.78	0.02	1.27	2.95
-10	1182	818.7	0.04	0.206	0.945	0.85	0.04	1.34	2.63
10	1175	800.5	0.12	0.204	0.701	0.91	0.10	1.40	2.36
30	1155	782.0	0.31	0.203	0.521	0.98	0.25	1.47	2.18
50	1125	764.1	0.77	0.202	0.399	1.04	0.55	1.54	2.01
70	1085	746.2	1.47	0.201	0.314	1.11	1.31	1.61	1.85
90	1035	724.4	3.01	0.199	0.259	1.19	2.69	1.79	1.66
110	980	703.6	5.64	0.197	0.211	1.26	4.98	1.92	1.46
130	920	685.2	9.81	0.195	0.166	1.31	7.86	1.92	1.25
150	850	653.2	15.90	0.193	0.138	1.38	8.94	1.92	1.04

FLUTEC PP2

°C	kJ/kg	kg/m^3	kg/m^3	W/m°Cx10	cP	cPx10	Bar	kJ/kg°C	N/mx10^2
-30	106.2	1942	0.13	0.637	5.200	0.98	0.01	0.72	1.90
-10	103.1	1886	0.44	0.626	3.500	1.03	0.02	0.81	1.71
10	99.8	1829	1.39	0.613	2.140	1.07	0.09	0.92	1.52
30	96.3	1773	2.96	0.601	1.435	1.12	0.22	1.01	1.32
50	91.8	1716	6.43	0.588	1.005	1.17	0.39	1.07	1.13
70	87.0	1660	11.79	0.575	0.720	1.22	0.62	1.11	0.93
90	82.1	1599	21.29	0.563	0.543	1.26	1.43	1.17	0.73
110	76.5	1558	34.92	0.550	0.429	1.31	2.82	1.25	0.52
130	70.3	1515	57.21	0.537	0.314	1.36	4.83	1.33	0.32
160	59.1	1440	103.63	0.518	0.167	1.43	8.76	1.45	0.01

ETHANOL

Temp. °C	Latent Heat kJ/kg	Liquid Density kg/m^3	Vapour Density kg/m^3	Liquid Thermal Conductivity W/m^oC	Liquid Viscos. cP	Vapour Viscos. $cPx10^2$	Vapour Press. Bar	Vapour Specific Heat kJ/kg^oC	Liquid Surface Tension $N/mx10^2$
-30	939.4	825.0	0.02	0.177	3.40	0.75	0.01	1.25	2.76
-10	928.7	813.0	0.03	0.173	2.20	0.80	0.02	1.31	2.66
10	904.8	798.0	0.05	0.170	1.50	0.85	0.03	1.37	2.57
30	888.6	781.0	0.38	0.168	1.02	0.91	0.10	1.44	2.44
50	872.3	762.2	0.72	0.166	0.72	0.97	0.29	1.51	2.31
70	858.3	743.1	1.32	0.165	0.51	1.02	0.76	1.58	2.17
90	832.1	725.3	2.59	0.163	0.37	1.07	1.43	1.65	2.04
110	786.6	704.1	5.17	0.160	0.28	1.13	2.66	1.72	1.89
130	734.4	678.7	9.25	0.159	0.21	1.18	4.30	1.78	1.75

HEPTANE

°C	kJ/kg	kg/m^3	kg/m^3	W/m^oC	cP	$cPx10^2$	Bar	kJ/kg^oC	$N/mx10^2$
-20	384.0	715.5	0.01	0.143	0.69	0.57	0.01	0.83	2.42
0	372.6	699.0	0.17	0.141	0.53	0.60	0.02	0.87	2.21
20	362.2	683.0	0.49	0.140	0.43	0.63	0.08	0.92	2.01
40	351.8	667.0	0.97	0.139	0.34	0.66	0.20	0.97	1.81
60	341.5	649.0	1.45	0.137	0.29	0.70	0.32	1.02	1.62
80	331.2	631.0	2.31	0.135	0.24	0.74	0.62	1.05	1.43
100	319.6	612.0	3.71	0.133	0.21	0.77	1.10	1.09	1.28
120	305.0	592.0	6.08	0.132	0.18	0.82	1.85	1.16	1.10

WATER

Temp. °C	Latent Heat kJ/kg	Liquid Density kg/m^3	Vapour Density kg/m^3	Liquid Thermal Conductivity W/m^oC	Liquid Viscos. cP	Vapour Viscos. $cPx10^2$	Vapour Press. Bar	Vapour Specific Heat kJ/kg^oC	Liquid Surface Tension $N/mx10^2$
20	2448	998.2	0.01	0.612	1.00	0.96	0.02	1.85	7.40
40	2402	992.3	0.05	0.630	0.65	1.04	0.07	1.86	6.96
60	2359	983.0	0.14	0.649	0.47	1.12	0.20	1.87	6.62
80	2309	972.0	0.29	0.668	0.36	1.19	0.47	1.88	6.26
100	2258	958.0	0.60	0.680	0.28	1.27	1.01	1.88	5.89
120	2200	945.0	1.12	0.682	0.23	1.34	2.02	1.89	5.50
140	2139	928.0	1.99	0.683	0.20	1.41	3.90	1.90	5.06
160	2074	909.0	3.27	0.679	0.17	1.49	6.44	1.91	4.66
180	2003	888.0	5.16	0.669	0.15	1.57	10.04	1.92	4.29
200	1967	865.0	7.87	0.659	0.14	1.65	16.19	1.93	3.89

FLUTEC PP9

°C	kJ/kg	kg/m^3	kg/m^3	W/m^oC	cP	cPx10	Bar	kJ/kg^oC	$N/mx10^2$
-30	103.0	2098	0.01	0.060	5.77	0.82	0.00	0.80	2.36
0	98.4	2029	0.01	0.059	3.31	0.90	0.00	0.87	2.08
30	94.5	1950	0.12	0.057	1.48	1.06	0.01	0.94	1.80
60	90.2	1891	0.61	0.056	0.94	1.18	0.03	1.02	1.52
90	86.1	1822	1.93	0.054	0.65	1.21	0.12	1.09	1.24
120	83.0	1753	4.52	0.053	0.49	1.23	0.28	1.15	0.95
150	77.4	1685	11.81	0.052	0.38	1.26	0.61	1.23	0.67
180	70.8	1604	25.13	0.051	0.30	1.33	1.58	1.30	0.40
225	59.4	1455	63.27	0.049	0.21	1.44	4.21	1.41	0.01

THERMEX

(DIPHENYL - DIPHENYL OXIDE EUTECTIC)

Temp. °C	Latent Heat kJ/kg	Liquid Density kg/m^3	Vapour Density kg/m^3	Liquid Thermal Conductivity W/m^oC	Liquid Viscos. cP	Vapour Viscos. cPx10	Vapour Press. Bar	Vapour Specific Heat kJ/kg^oC	Liquid Surface Tension $N/mx10^2$
100	354.0	992.0	0.03	0.131	0.97	0.67	0.01	1.34	3.50
150	338.0	951.0	0.22	0.125	0.57	0.78	0.05	1.51	3.00
200	321.0	905.0	0.94	0.119	0.39	0.89	0.25	1.67	2.50
250	301.0	858.0	3.60	0.113	0.27	1.00	0.88	1.81	2.00
300	278.0	809.0	8.74	0.106	0.20	1.12	2.43	1.95	1.50
350	251.0	755.0	19.37	0.099	0.15	1.23	5.55	2.03	1.00
400	219.0	691.0	41.89	0.093	0.12	1.34	10.90	2.11	0.50
450	185.0	625.0	81.00	0.086	0.10	1.45	19.00	2.19	0.03

MERCURY

°C	kJ/kg	kg/m^3	kg/m^3	W/m^oC	cP	cPx10	Bar	kJ/kg^oCx10	N/mx10
150	308.8	13230	0.01	9.99	1.09	0.39	0.01	1.04	4.45
250	302.8	12995	0.60	11.23	0.96	0.48	0.18	1.04	4.15
300	301.3	12880	1.73	11.73	0.93	0.53	0.44	1.04	4.00
350	298.9	12763	4.45	12.18	0.89	0.61	1.16	1.04	3.82
400	296.3	12656	8.75	12.58	0.86	0.66	2.42	1.04	3.74
450	293.8	12508	16.80	12.96	0.83	0.70	4.92	1.04	3.61
500	291.3	12308	28.60	13.31	0.80	0.75	8.86	1.04	3.41
550	288.8	12154	44.92	13.62	0.79	0.81	15.03	1.04	3.25
600	286.3	12054	65.75	13.87	0.78	0.87	23.77	1.04	3.15
650	283.5	11962	94.39	14.15	0.78	0.95	34.95	1.04	3.03
750	277.0	11800	170.00	14.80	0.77	1.10	63.00	1.04	2.75

CAESIUM

Temp. °C	Latent Heat kJ/kg	Liquid Density kg/m^3	Vapour Density $kg/m^3 \times 10^2$	Liquid Thermal Conductivity W/m^oC	Liquid Viscos. cP	Vapour Viscos. $cP \times 10^2$	Vapour Press. Bar	Vapour Specific Heat $kJ/kg^oC \times 10$	Liquid Surface Tension $N/m \times 10^2$
375	530.4	1740	0.01	20.76	0.25	2.20	0.02	1.56	5.81
425	520.4	1730	0.01	20.51	0.23	2.30	0.04	1.56	5.61
475	515.2	1720	0.02	20.02	0.22	2.40	0.09	1.56	5.36
525	510.2	1710	0.03	19.52	0.20	2.50	0.16	1.56	5.11
575	502.8	1700	0.07	18.83	0.19	2.55	0.36	1.56	4.81
625	495.3	1690	0.10	18.13	0.18	2.60	0.57	1.56	4.51
675	490.2	1680	0.18	17.48	0.17	2.67	1.04	1.56	4.21
725	485.2	1670	0.26	16.83	0.17	2.75	1.52	1.56	3.91
775	477.8	1655	0.40	16.18	0.16	2.82	2.46	1.56	3.66
825	470.3	1640	0.55	15.53	0.16	2.90	3.41	1.56	3.41

POTASSIUM

°C	kJ/kg	kg/m^3	kg/m^3	W/m^oC	cP	cP×10	Bar	$kJ/kg^oC \times 10$	$N/m \times 10^2$
350	2093	763.1	0.002	51.08	0.21	0.15	0.01	5.32	9.50
400	2078	748.1	0.006	49.08	0.19	0.16	0.01	5.32	9.04
450	2060	735.4	0.015	47.08	0.18	0.16	0.02	5.32	8.69
500	2040	725.4	0.031	45.08	0.17	0.17	0.05	5.32	8.44
550	2020	715.4	0.062	43.31	0.15	0.17	0.10	5.32	8.16
600	2000	705.4	0.111	41.81	0.14	0.18	0.19	5.32	7.86
650	1980	695.4	0.193	40.08	0.13	0.19	0.35	5.32	7.51
700	1960	685.4	0.314	38.08	0.12	0.19	0.61	5.32	7.12
750	1938	675.4	0.486	36.31	0.12	0.20	0.99	5.32	6.72
800	1913	665.4	0.716	34.81	0.11	0.20	1.55	5.32	6.32
850	1883	653.1	1.054	33.31	0.10	0.21	2.34	5.32	5.92

SODIUM

Temp.	Latent Heat	Liquid Density	Vapour Density	Liquid Thermal Conductivity	Liquid Viscos.	Vapour Viscos.	Vapour Press.	Vapour Specific Heat	Liquid Surface Tension
^{o}C	kJ/kg	kg/m^3	kg/m^3	$W/m^{o}C$	cP	cPx10	Bar	$kJ/kg^{o}Cx10$	N/mx10
500	4370	828.1	0.003	70.08	0.24	0.18	0.01	9.04	1.51
600	4243	805.4	0.013	64.62	0.21	0.19	0.04	9.04	1.42
700	4090	763.5	0.050	60.81	0.19	0.20	0.15	9.04	1.33
800	3977	757.3	0.134	57.81	0.18	0.22	0.47	9.04	1.23
900	3913	745.4	0.306	53.35	0.17	0.23	1.25	9.04	1.13
1000	3827	725.4	0.667	49.08	0.16	0.24	2.81	9.04	1.04
1100	3690	690.8	1.306	45.08	0.16	0.25	5.49	9.04	0.95
1200	3577	669.0	2.303	41.08	0.15	0.26	9.59	9.04	0.86
1300	3477	654.0	3.622	37.08	0.15	0.27	15.91	9.04	0.77

LITHIUM

^{o}C	kJ/kg	kg/m^3	kg/m^3	$W/m^{o}C$	cP	$cPx10^2$	Bar	$kJ/kg^{o}C$	N/mx10
1030	20500	450	0.005	67	0.24	1.67	0.07	0.532	2.90
1130	20100	440	0.013	69	0.24	1.74	0.17	0.532	2.85
1230	20000	430	0.028	70	0.23	1.83	0.45	0.532	2.75
1330	19700	420	0.057	69	0.23	1.91	0.96	0.532	2.60
1430	19200	410	0.108	68	0.23	2.00	1.85	0.532	2.40
1530	18900	405	0.193	65	0.23	2.10	3.30	0.532	2.25
1630	18500	400	0.340	62	0.23	2.17	5.30	0.532	2.10
1730	18200	398	0.490	59	0.23	2.26	8.90	0.532	2.05

Appendix 2
Thermal Conductivity of Héat Pipe Container and Wick Materials

Material	Thermal Conductivity ($W/m^{\circ}C$)
Aluminium	205
Brass	113
Copper (0 - 100°C)	394
Glass	0.75
Nickel (0 - 100°C)	88
Mild Steel	45
Stainless Steel (Type 304)	17.3
Teflon	0.17

Data for Sample Commercial Tubes (1 in. = 0.0254 m)

Tube o.d., in.	o.d./i.d.	Bwg[a]	Thickness, in.	i.d., in.
$\frac{1}{4}$	1.289	22	0.028	0.194
	1.214	24	0.022	0.206
	1.168	26	0.018	0.214
$\frac{3}{8}$	1.354	18	0.049	0.277
	1.233	20	0.035	0.305
	1.176	22	0.028	0.319
	1.133	24	0.022	0.331
$\frac{1}{2}$	1.351	16	0.065	0.370
	1.244	18	0.049	0.402
	1.163	20	0.035	0.430
	1.126	22	0.028	0.444
$\frac{5}{8}$	1.536	12	0.109	0.407
	1.362	14	0.083	0.459
	1.263	16	0.065	0.495
	1.186	18	0.049	0.527
	1.126	20	0.035	0.555
$\frac{3}{4}$	1.556	10	0.134	0.482
	1.410	12	0.109	0.532
	1.284	14	0.083	0.584
	1.210	16	0.065	0.620
	1.150	18	0.049	0.652
	1.103	20	0.035	0.680
$\frac{7}{8}$	1.441	10	0.134	0.607
	1.332	12	0.109	0.657
	1.234	14	0.083	0.709
	1.174	16	0.065	0.745
	1.126	18	0.049	0.777
	1.087	20	0.035	0.805
1	1.493	8	0.165	0.670
	1.366	10	0.134	0.732
	1.279	12	0.109	0.782
	1.199	14	0.083	0.834
	1.149	16	0.065	0.870
	1.109	18	0.049	0.902
	1.075	20	0.035	0.930

[a]Birmingham wire gauge.

Appendix 3

Dimensional Equivalents and Physical Constants

DIMENSIONAL EQUIVALENTS

Length	1 ft = 12 in. = 30.48 cm = 0.3048 m
	1 m = 100 cm = 39.37 in. = 3.28 ft
Mass	1 lbm = 0.03108 slug = 453.59 g = 0.45359 kg
	1 kg = 1000 g = 0.06852 slug = 2.205 lbm
Time	1 hr = 3600 sec
	1 sec = 2.778×10^{-4} hr
Force	1 lbf = 4.448×10^{5} dyne = 4.448 N
	1 N = 10^{5} dyne = 0.2249 lbf
Angle	1 degree = 1.745×10^{-2} rad
	1 rad = 57.30 degrees
Temperature	1 deg F = 1 deg R = 0.5556 deg C = 0.5556 deg K
	1 deg K = 1 deg C = 1.8 deg R = 1.8 deg F
	deg F = 1.8 deg C + 32
	deg C = 0.5556(deg F − 32)
	deg R = deg F + 459.69
	deg K = deg C + 273.16
	deg R = 1.8 deg K
	deg K = 0.5556 deg R
Energy	1 Btu = 777.66 ft-lbf = 252 cal = 1.054×10^{10} erg = 1054 J
	1 J = 10^{7} erg = 0.239 cal = 0.7375 ft-lbf = 9.485×10^{-4} Btu
Power	1 Btu/hr = 2.778×10^{-4} Btu/sec = 2.929×10^{6} erg/sec = 0.2929 W
	1 W = 10^{7} erg/sec = 9.481×10^{-4} Btu/sec = 3.414 Btu/hr
Pressure	1 lbf/ft^2 = 6.944×10^{-3} lbf/in.^{2} = 478.8 dyne/cm^2 = 47.88 N/m^2

	1 lbf/in.^{2} = 144 lbf/ft^2 = 68,948 dyne/cm^2 = 6894.8 N/m^2
	1 N/m^2 = 10 dyne/cm^2 = 1.450 X 10^{-4} lbf/in.^{2} = 2.089 X 10^{-2} lbf/ft^2
Area	1 ft^2 = 144 in.^{2} = 929 cm^2 = 0.0929 m^2
	1 m^2 = 10^4 cm^2 = 1550 in.^{2} = 10.76 ft^2
Volume	1 ft^3 = 1728 in.^{3} = 2.832 X 10^4 cm^3 = 0.02832 m^3
	1 m^3 = 10^6 cm^3 = 6.102 X 10^4 in.^{3} = 35.31 ft^3
	1 gal (U.S. liquid) = 0.13368 ft^3 = 0.003785 m^3
Density	1 lbm/ft^3 = 0.03108 slug/ft^3 = 1.602 X 10^{-2} g/cm^3 = 16.02 kg/m^3
	1 kg/m^3 = 10^{-3} g/cm^3 = 0.00194 slug/ft^3 = 0.06242 lbm/ft^3
Viscosity (dynamic)	1 lbm/ft-hr = 8.634 X 10^{-6} slug/ft-sec = 4.134 X 10^{-3} g/cm-sec = 4.134 X 10^{-4} kg/m-sec
	1 kg/m-sec = 10 g/cm-sec = 2.089 X 10^{-2} slug/ft-sec = 2.419 X 10^3 lbm/ft-hr
Thermal conductivity	1 Btu/ft-hr-F = 2.778 X 10^{-4} Btu/ft-sec-F = 1.730 X 10^5 erg/cm-sec-K = 1.730 W/m-K
	1 W/m-K = 10^5 erg/cm-sec-K = 1.606 X 10^{-4} Btu/ft-sec-F = 0.578 Btu/ft-hr-F
Surface tension	1 lbf/ft = 1.459 X 10^4 dyne/cm = 14.59 N/m
	1 N/m = 10^3 dyne/cm = 0.06854 lbf/ft
Latent heat of vaporization	1 Btu/lbm = 32.174 Btu/slug = 2.32 X 10^7 erg/g = 2.324 X 10^3 J/kg
	1 J/kg = 10^4 erg/g = 1.384 X 10^{-2} Btu/slug = 4.303 X 10^{-4} Btu/lbm
Heat transfer coefficient	1 Btu/ft^2-hr-F = 5.674 X 10^3 erg/cm^2-sec-K = 5.674 W/m^2-K
	1 W/m^2-K = 10^3 erg/cm^2-sec-K = 0.1762 Btu/ft^2-hr-F

PHYSICAL CONSTANTS

Gravitational acceleration (standard), g = 32.174 ft/sec^2 = 980.7 cm/sec^2 = 9.807 m/sec^2

Universal gas constant, $\bar{R}$ = 1545.2 ft-lbf/lbm-mol-R = 1.987 Btu/lbm-mol-R = 8.314 X 10^7 erg/g-mol-K = 8.314 X 10^3 J/kg-mol-K

Mechanical equivalent of heat, J = 777.66 ft-lbf/Btu = 4.184 X 10^7 erg/cal = 1 N-m/J

Stefan-Boltzman constant, $\bar{\sigma}$ = 0.1713 X 10^{-8} Btu/ft^2-hr-R^4 = 5.670 X 10^{-5} erg/cm^2-sec-K^4 = 5.670 X 10^{-8} W/m^2-K^4