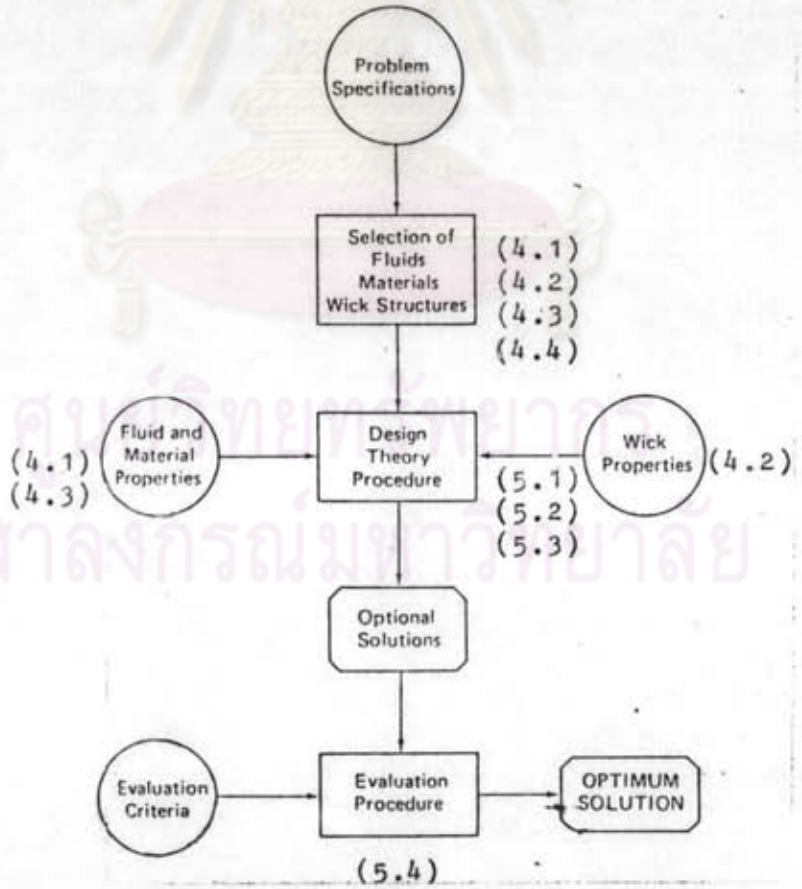
บทที่ 4

การเลือกส่วนประกอบต่าง ๆ ของฮีทไปป์

ฮีทไปป์ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ (CHI, 1976)

1. ของไหลใช้งาน
2. วิกค์หรือโครงสร้างของท่อรูเข็ม
3. ท่อ

ก่อนที่จะทำการออกแบบและสร้างท่อฮีทไปป์ จำเป็นจะต้องพิจารณาเลือกส่วนประกอบทั้งสามให้มีความเหมาะสมซึ่งกันและกันตามขั้นตอนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการออกแบบฮีทไปป์

4.1 การเลือกของไหลใช้งาน (DUNN, 1978)(CHI, 1976)

4.1.1 คุณสมบัติของของไหลใช้งาน ในขั้นแรกต้องเลือกของไหลใช้งานให้เหมาะสมกับอุณหภูมิใช้งานของไอในฮีทไปป์ ตารางที่ 4.1 แสดงชนิดของของไหลใช้งานที่ใช้ได้ที่อุณหภูมิไอต่าง ๆ ถ้ามีของไหลใช้งานให้เลือกมากกว่า 1 ชนิด ควรเลือกของไหลใช้งานที่มีลักษณะสมบัติเฉพาะดังต่อไปนี้

Medium	Melting point (°C)	Boiling point at atmos.press. (°C)	Useful range (°C)
Helium	-272	-269	-271 - -269
Nitrogen	-210	-196	-203 - -160
Ammonia	-78	-33	-60 - 100
Freon 11	-111	24	-40 - 120
Pentane	-130	28	-20 - 120
Freon 113	-35	48	-10 - 100
Acetone	-95	57	0 - 120
Methanol	-98	64	10 - 130
Flutec PP2*	-50	76	10 - 160
Ethanol	-112	78	0 - 130
Heptane	-90	98	0 - 150
Water	0	100	30 - 200
Flutec PP9*	-70	160	0 - 225
Thermex	12	257	150 - 395
Mercury	-39	361	250 - 650
Caesium	29	670	450 - 900
Potassium	62	774	500 - 1000
Sodium	98	892	600 - 1200
Lithium	179	1340	1000 - 1800
Silver	960	2212	1800 - 2300

* Included for cases where electrical insulation is a requirement

ตารางที่ 4.1 ชนิดของไหลใช้งานที่ช่วงอุณหภูมิใช้งานต่าง ๆ

1. จะต้องเข้ากันได้ดีกับวัสดุวิกค์และท่อ
2. ทนความร้อนได้ดี (เสถียรภาพเชิงความร้อนสูง)
3. เปียกผิววัสดุวิกค์และท่อได้ดี
4. ความดันไอไม่สูงหรือไม่น้อยเกินไปที่อุณหภูมิใช้งาน

5. มีค่าความร้อนแฝงของการระเหยสูง

6. มีความหนืดต่ำทั้งในสภาพของเหลวและไอ

7. มีค่าความนำความร้อนสูง

8. มีแรงตึงผิวสูง

9. มีจุดเยือกแข็งและจุดหลอมตัวที่ยอมรับได้

4.1.2 ตัวเลขเมอริท (Merit number)

การเลือกชนิดของไหลใช้งานที่มีลักษณะสมบัติเฉพาะอย่างต้น เป็นงานที่ยุ่งยาก ดังนั้น ในบางครั้งจะใช้ตัวเลขเมริท M เป็นตัวตัดสินแทน

$$M = \frac{\sigma_1 \rho_1 \lambda}{\mu_1} g_c \quad (W/Cm^2) \qquad (4.1)$$

ρ_1 = ความหนาแน่นของของเหลว (gm/cm^3)

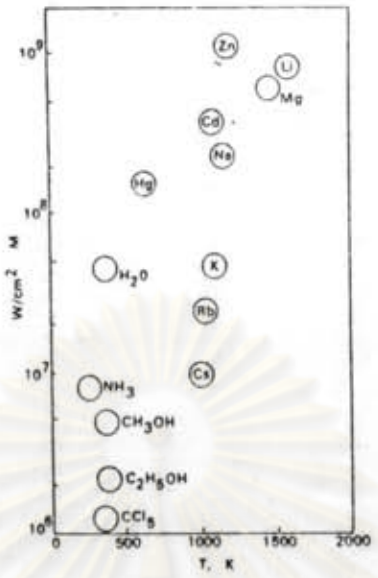
σ_1 = แรงตึงผิวของของเหลว (gm_f/cm)

λ = ความร้อนแฝงของการระเหย (J/gm)

μ_1 = ความหนืดของของเหลว (gm/cm-sec)

g_c = ตัวแปรหน่วย (980.7 gm-cm/gm_f-sec^2)

รูปที่ 4.2 แสดงค่าตัวเลขเมริทของของไหลใช้งานตัวสำคัญที่ช่วงอุณหภูมิการใช้งานต่าง ๆ ถ้าค่าตัวเลขเมริทของของไหลใช้งานใดมีค่าสูง แสดงว่าของไหลใช้งานนั้นมีความเหมาะสมมาก แต่ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงราคาความปลอดภัยและฤทธิ์กัดกร่อนของของไหลใช้งานนั้นด้วย



รูปที่ 4.2 ค่าตัวเลขเมอริทของของไหลใช้งานที่อุณหภูมิจุดเดือด

4.2 การเลือกวิกค์ (DUNN, 1978) (CHI, 1976)

4.2.1 คุณสมบัติของวิกค์ วิกค์ที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. สามารถส่งของเหลวจากบ่วงควบแน่นกลับไปบ่วงระเหยได้ทันการ

2. มีพื้นที่รูเปิดที่ผิวสัมผัสระหว่างไอกับของเหลวเพียงพอเพื่อให้เกิดแรงท่อรูเข็มมากพอ

3. สามารถส่งผ่านความร้อนระหว่างผิวในของท่อกับผิวสัมผัสระหว่างไอกับของเหลวได้มากพอ

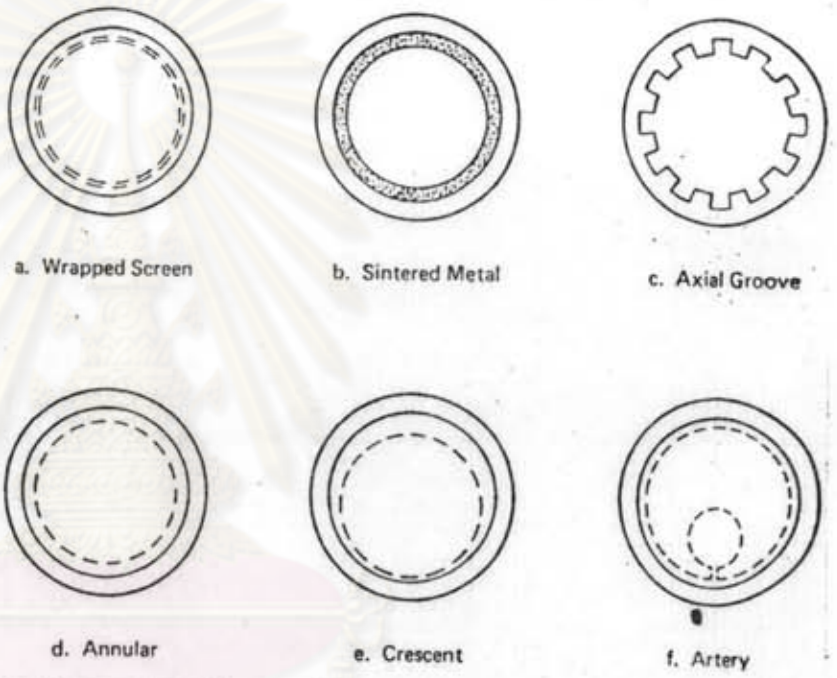
จากคุณสมบัติทั้ง 3 ข้อนี้ วิกค์ที่ดีนั้นจะต้องมีค่า Permeability (K) มาก ๆ และ มีค่าของรัศมีท่อรูเข็ม (r_c) น้อย ๆ หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่ง วิกค์จะต้องมีค่าความพรุน (ϵ) และรัศมีเชิงไฮดรอลิคของการไหลของของเหลว (r_{hl}) มาก ๆ และมีค่ารัศมีท่อรูเข็มน้อย ๆ

4.2.2 ชนิดของวิกค์และการเลือกใช้ วิกค์หรือโครงสร้างของท่อรูเข็มที่มีใช้อยู่ทั่วไป สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

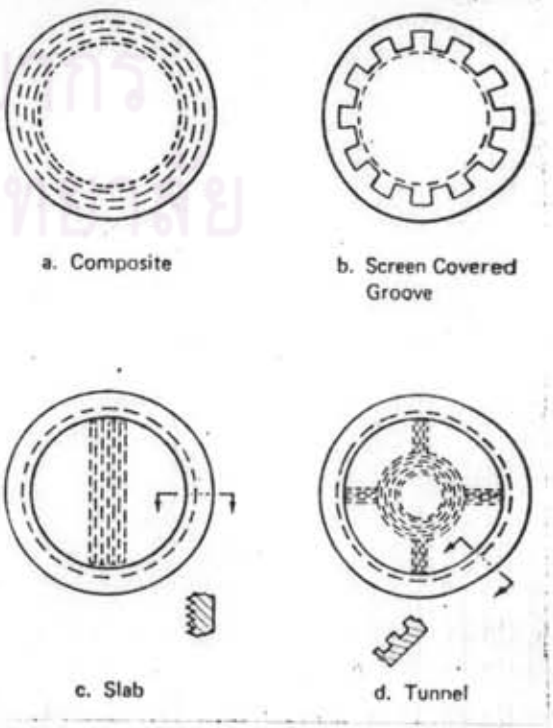
1. วิกค์เนื้อเดียว (Homogeneous Wick) เป็นวิกค์ที่ใช้วัสดุวิกค์เพียงชนิดเดียว

2. วิกค์เนื้อผสม (Composite Wick) เป็นวิกค์ที่ใช้วัสดุวิกค์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป

ชนิดของวิกค์ในแต่ละประเภทยังแบ่งแยกออกตามรูปแบบได้ดังในรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3
ชนิดของของวิกค์เนื้อเดียว



รูปที่ 4.4
ชนิดของวิกค์เนื้อผสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเลือกใช้วิกค์รูปแบบต่าง ๆ นั้นยังไม่มีหลักเกณฑ์ตายตัว แต่ควรเลือกรูปแบบที่ง่ายที่สุดและให้ฮีทไปป์ที่มีสมรรถนะตามต้องการ

รูปแบบที่ง่ายที่สุดเริ่มจาก ตาข่ายม้วน (Wrapped Screen Wick) (4.3a) และตาข่ายเนื้อผสม (Composite Screen Wick) (4.4a) การใช้วิกค์ตาข่ายบางครั้งอาจมีปัญหา ถ้าเป็นฮีทไปป์ อุณหภูมิใช้งานต่ำ ๆ (Cryogenic temperature) และอุณหภูมิปานกลาง (Moderate temperature) เพราะเกิดผลลดของอุณหภูมิมาก ในกรณีนั้นอาจใช้วิกค์แบบผงโลหะ (Sintered-metal Wick)(4.3b) แทน ถ้าวิกค์แบบตาข่ายและแบบผงโลหะไม่สามารถส่งผ่านความร้อนได้ตามความต้องการก็อาจใช้วิกค์แบบวงแหวน (Annular Wick) หรือแบบพระจันทร์ครึ่งเสี้ยว (Cresent Wick) หรือแบบเส้นเลือด (Artery Wick) (4.3d,e,f ตามลำดับ) วิกค์แบบวงแหวนและแบบพระจันทร์ครึ่งเสี้ยวไม่ควรใช้ร่วมกับของไหล อุณหภูมิใช้งานต่ำหรือปานกลาง (Cryogenic or moderate temperature liquid) เพราะวิกค์ทั้งสองรูปแบบนี้มีสภาพการนำความร้อนต่ำ ทำให้เกิดผลลดของอุณหภูมิมาก และเกิดขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อน แบบการเดือดได้ง่าย จึงควรใช้วิกค์แบบร่องในแนวแกน (Axial-grooved Wick) (4.3c) หรือแบบตาข่ายปิดบนร่อง (Screen covered groove wick)(4.4b) แทน แต่มีต้นทุนในการผลิตสูง จึงไม่เหมาะสำหรับการผลิตในปริมาณน้อย

อนึ่ง วิกค์แบบแผ่นพิน (Slaby wick)(4.4c) และแบบอุโมงค์ (Tunnel Wick)(4.4d) มีความสามารถในการส่งผ่านความร้อนสูงมาก และมีลักษณะการกระจายของอุณหภูมิบนผิวท่อฮีทไปป์ดีมาก แต่ต้นทุนในการผลิตสูงมาก

4.3 <u>การเลือกวัสดุท่อและวิกค์</u> (DUNN, 1978) (CHI, 1976)

4.3.1 <u>ความเข้ากันได้</u> (Compatibility) การเลือกวัสดุที่ใช้ทำท่อและวิกค์ต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้กับของไหลใช้งานเป็นสำคัญ โดยพิจารณาว่าจะเกิดปฏิกริยาเคมี การสลายตัวของของไหลใช้งานและการกัดกร่อนของท่อและวิกค์หรือไม่ ถ้ามีปรากฏการณ์ใดปรากฏการณ์หนึ่งเกิดขึ้น ก็แสดงว่าวัสดุท่อและวิกค์นั้นไม่เหมาะสม

I16531326

ปฏิกริยาเคมีหรือการละลายตัวของของไหลใช้งานจะทำให้เกิดก๊าซที่ไม่สามารถควบแน่นได้ขึ้นภายในท่อฮีทไปป์ ซึ่งแม้แต่ปริมาณเพียง นิดเดียว ก็จะทำให้สมรรถนะของฮีทไปป์ต่ำลงมาก

การผุกร่อนของวัสดุท่อและวิกค์จะทำให้คุณสมบัติของผิววัสดุเปลี่ยนไป ผลก็คือมุมของการเปียกผิวระหว่างของเหลวกับวัสดุ ขนาดรัศมีของรูวิกค์หรือค่า Permeability ของวิกค์เปลี่ยนแปลงไปอีกทั้งยังอาจเกิดเศษอนุภาคของแข็งขึ้น ทิดขวางการไหลของของเหลวในชั้นของวิกค์ ผลก็คือสมรรถนะของฮีทไปป์ก็จะต่ำลง

Fluids	Al	Cu	Fe	Ni	SS[a] 304	Ti
Nitrogen	C[b]	C	C	C	C	
Methane	C	C			C	
Ammonia	C		C	C	C	
Methanol	I	C	C	C	C	
Water	I	C		C	C[c]	C
Potassium				C		I
Sodium				C	C	I

[a] SS = stainless steel.

[b] C = compatible; I = incompatible; blank = data not available.

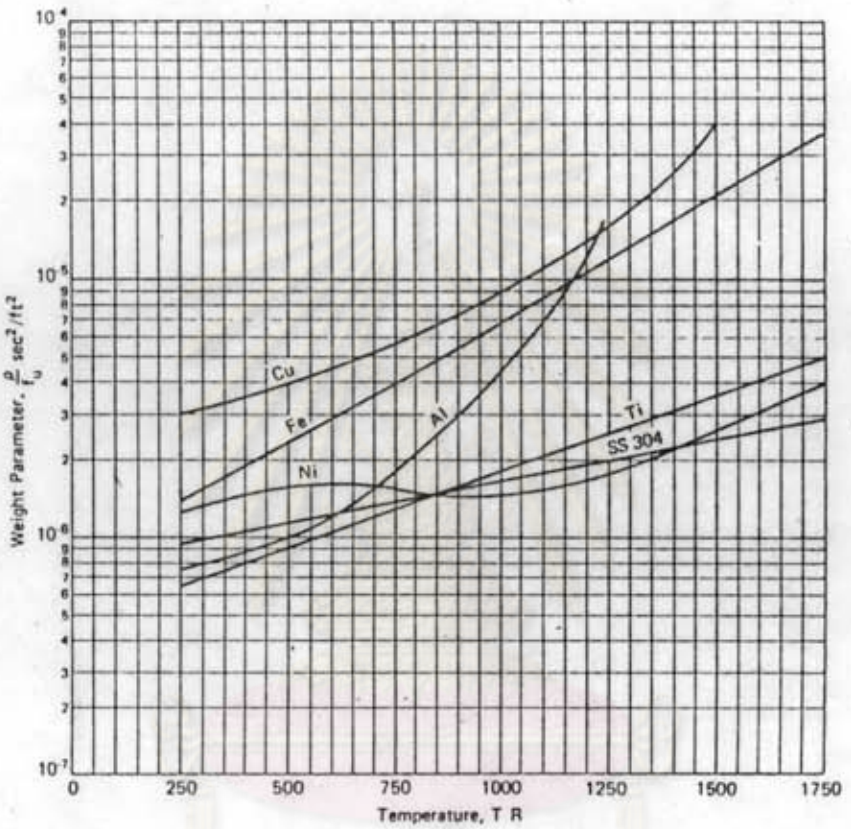
[c] Possible hydrogen generation.

ตารางที่ 4.2 ความเข้ากันได้ระหว่างของไหลใช้งานกับวัสดุท่อและวิกค์

ความเข้ากันได้ของวัสดุกับของไหลใช้งานชนิดต่าง ๆ มีแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

4.3.2 น้ำหนักและผลลดคุณหภูมิของวัสดุ นอกจากจะคำนึงถึงความเข้ากันได้แล้ว ยังต้องสนใจน้ำหนักของวัสดุและผลลดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นอีกด้วย

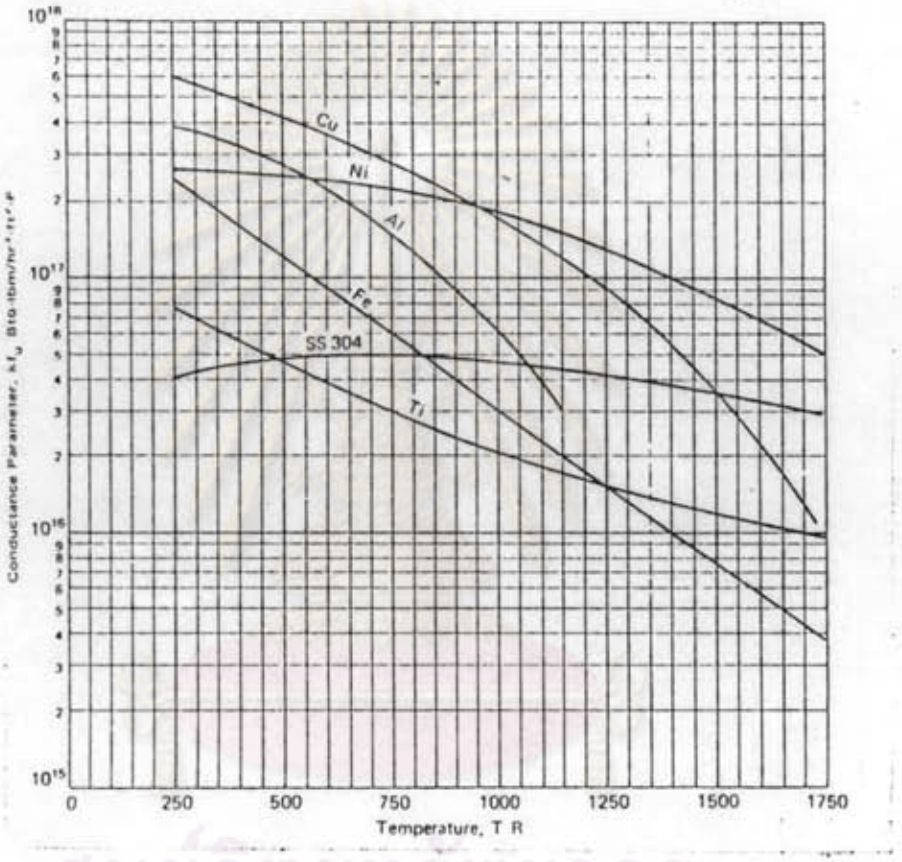
1. น้ำหนักของวัสดุท่อนั้นแปรผัน กับผลคูณของความหนาของท่อ กับความหนาแน่นของวัสดุ (ให้รูปทรงภายนอกคงที่) แต่ความหนาของท่อที่สามารถทนต่อแรงดันได้จะแปรผกผันกับความทนแรงดึงของวัสดุ (Ultimate tensile strengh, UTS, f_u) นั่นคือน้ำหนักของวัสดุท่อที่ใช้จะแปรผันโดยตรงกับ (ρ/f_u) รูปที่ 4.5 แสดงค่า (ρ/f_u) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของวัสดุแต่ละชนิด



รูปที่ 4.5 ค่า (ρ/f_u) ที่อุณหภูมิการใช้งานต่าง ๆ ของวัสดุ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ผลลดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ผลลดของอุณหภูมิจะแปรผันโดยตรงกับความหนาของผนังท่อและแปรผกผันกับสภาพการนำความร้อน (k.) ของวัสดุ นั่นคือผลลดของอุณหภูมินี้จะแปรผกผันกับ ($k.f_u$) ค่า ($k.f_u$) ที่อุณหภูมิใช้งานต่าง ๆ ของวัสดุมีแสดงไว้ในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่า ($k.f_u$) ที่อุณหภูมิการใช้งานต่าง ๆ ของวัสดุ

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าวัสดุทองแดง (Cu) มีค่า ($k.f_u$) สูงกว่าวัสดุชนิดใด ๆ ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 1000°R นี่หมายความว่า ในช่วงอุณหภูมินี้ทองแดงให้ผลลดอุณหภูมิน้อยที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการเลือกวัสดุท่อและวิกค์นี้ ปัจจัยสำคัญที่ต้องไม่ลืมคือ ราคาของวัสดุ เครื่องมือที่ต้องใช้ การขึ้นรูปการเชื่อมและอุปสรรคต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น

4.4 ขั้นตอนการเลือกส่วนประกอบทั้ง 3 ส่วน (CHI,1976)

1. เลือกของไหลใช้งานหนึ่งชนิดจากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2ของไหลใช้งานนั้นจะต้องให้ค่าการถ่ายเทของเหลวสูง และสภาพการนำความร้อนของของเหลวสูงพอ อีกทั้งต้องไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟด้วย

2. กำหนดรูปแบบของวิกค์ที่เหมาะสมจากรูปที่ 4.3 และ 4.4 โดยเน้นความประหยัดและรูปแบบที่ง่ายที่สุด

3. เลือกชนิดของวัสดุท่อและวิกค์ที่เข้ากันได้ตามตารางที่ 4.2 อีกทั้งต้องมีน้ำหนักเบาและผลลดของอุณหภูมิน้อย โดยใช้รูปที่ 4.5 และ 4.6 จากการเลือกส่วนประกอบทั้ง 3 ส่วนนี้ เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ในการออกแบบฮีทไปป์ในบทต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย