บทที่ 4

โครงสร้างของฮีทไปป์

โครงสร้างที่สำคัญของฮีทไปป์[5],[6],[10] แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. ของเหลวใช้งาน (working fluid)
2. วิกค์หรือโครงสร้างท่อรูเข็ม (wick or capillary structure)
3. ตัวท่อ (container)

การออกแบบและเลือกใช้ฮีทไปป์อย่างมีประสิทธิภาพต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทั้ง 3 อย่างข้างต้น หลักการเลือกมีดังต่อไปนี้ (รายละเอียดเพิ่มเติมหาได้จากเอกสารอ้างอิงท้ายเล่ม)

4.1 ของเหลวใช้งาน[5],[10]

การเลือกของเหลวใช้งานก่อนอื่นต้องคำนึงถึงช่วงอุณหภูมิการใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างของเหลวใช้งานกับอุณหภูมิ[10]

ของเหลวใช้งาน	จุดหลอมเหลว (^{o}ซ)	จุดเดือด (^{o}ซ)	ช่วงอุณหภูมิ (^{o}ซ)
ฮีเลียม	-272	-269	-271 - -269
ไนโตรเจน	-210	-196	-203 - -160
แอมโมเนีย	- 78	- 33	- 60 - 100
ฟรีออน - 11	-111	24	- 40 - 120
อะซีโตน	- 95	57	0 - 120
เมลานอล	- 98	64	10 - 130
เอทธานอล	-112	78	0 - 130
เฮปเทน	- 90	98	0 - 150
น้ำ	0	100	30 - 200
ปรอท	- 39	361	250 - 650
ซีเซี่ยม	29	670	450 - 900
โปตัสเซียม	62	774	500 - 1000
โซเดียม	98	892	600 - 1200
ลิเธียม	179	1340	1000 - 1800
เงิน	960	2212	1800 - 2300

นอกเหนือจากการเลือกของเหลวใช้งานโดยคำนึงถึงอุณหภูมิแล้ว ยังต้องคำนึงถึงคุณสมบัติที่สำคัญอื่น ๆ มีดังนี้[5],[6],[10],[18]

1. มีความร้อนแฝงการระเหยสูง (high latent heat)

2. มีความนำความร้อนสูง (high thermal conductivity) เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนต่อมวลมีค่ามาก ลดเกรเดียนท์ของอุณหภูมิในแนวรัศมีให้มีค่าต่ำ

3. ความหนืดของเหลวและไอมีค่าต่ำ (low viscosity) เพื่อลดความต้านทานการไหล

4. ความเข้ากันได้ของของเหลวกับวัสดุวิกค์และตัวท่อ (compatibility with wick and wall material) เช่น ไม่มีปัญหาการเกิดสนิม การกัดกร่อน

5. มีความดันไอที่เหมาะสมในช่วงอุณหภูมิการใช้งาน กล่าวคือ หากความดันไอสูง ผนังของฮีทไปป์อาจไม่สามารถทนได้ ทำให้เกิดอันตราย ถ้าความดันไอต่ำเกินไป อาจทำให้ความเร็วไอสูง ทำให้เกิดเกรเดียนท์ของอุณหภูมิกว้างและเกิดปัญหาเนื่องจากของเหลวหลุดลอยตามไอ

6. ความมีเสถียรภาพต่อความร้อน (good thermal stability)

7. สามารถทำให้วิกค์และตัวท่อเปียกได้ดี (good wetting characteristic)

8. มีความตึงผิวสูง (high surface tension) เพื่อให้การดันส่งในท่อรูเข็มเกิดได้ดี

9. ความหนาแน่นสูง

10. ราคาถูก

4.1.1 <u>ตัวเลขเมอริต</u> (Merit Number) [5],[10]

ตัวเลขเมอริต เป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่ใช้ในการตัดสินความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของของเหลวใช้งาน โดยอาศัยคุณสมบัติที่สำคัญของของเหลวใช้งาน

คำนิยามของตัวเลขเมอริต, M

$$M = \frac{\sigma_l \cdot \rho_l \cdot \lambda}{\mu_l} g_c \qquad (W/cm^2)$$

โดยที่

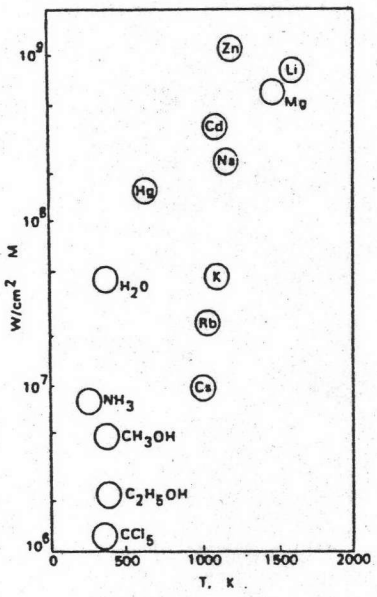
ρ_l = ความหนาแน่นของของเหลว (gm/cm^3)

σ_l = ความตึงผิว (gm_f/cm)

λ = ความร้อนแฝงการระเหย (J/gm)

μ_l = ความหนืดของของเหลว (gm/cm - sec)

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



รูปที่ 4.1 ค่าตัวเลขเบอริคสำหรับการเลือกของเหลวใช้งานที่จุดเดือด

ที่อุณหภูมิสูง ของเหลวใช้งานประเภทโลหะเหลว (liquid metal) มีความเหมาะสมกับการใช้งาน

ที่อุณหภูมิปานกลาง น้ำ, เมธานอล, เอทธานอล มีความเหมาะสมกับการใช้งาน

ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ของเหลวประเภท cryogenic มีความเหมาะสมกับการใช้งาน

ตัวอย่าง

ช่วงอุณหภูมิ 270 - 350 K ใช้แอมโมเนีย, อะซีโตน

ช่วงอุณหภูมิ 350 - 500 K ใช้ น้ำ, เอทธานอล, เมธานอล

ช่วงอุณหภูมิ 500 - 650 K ใช้ Dowtherm A, Thermex(ICI)

ช่วงอุณหภูมิ 1200-1800 K ใช้ ลิเธียม, โซเดียม, โปตัสเซียม

4.2 <u>วิกค์</u>[5],[6],[10]

วิกค์ เป็นองค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งของฮีทไปป์ โดยปกติจะถูกบุไว้ที่ผนังด้านในของตัวท่อ การเลือกใช้ต้องคำนึงคุณสมบัติหลายอย่าง โดยเฉพาะขนาดของรู ต้องเล็กพอที่จะทำให้เกิดความดันท่อรูเข็มมากพอที่จะนำของเหลวควบแน่นจากช่วงการ

ควบแน่นกลับไปยังช่วงการระเหย และมีความสำคัญยิ่งในกรณีที่ฮีทไปป์ทำงานต้านกับแรงโน้มถ่วงของโลก (ช่วงการควบแน่นอยู่ต่ำกว่าช่วงการระเหย)

4.2.1 หน้าที่ของวิกค์[5]

หน้าที่ที่สำคัญของวิกค์มีดังนี้

1. เป็นส่วนที่ทำให้เกิดความดันท่อรูเข็ม เพื่อส่งของเหลวควบแน่นจากช่วง การควบแน่นกลับสู่ช่วงการระเหย
2. เป็นทางไหลกลับของของเหลวควบแน่น
3. เป็นทางผ่านของความร้อน ระหว่างผนังด้านในของท่อกับผิวร่วมของของเหลวและไอ
4. ทำหน้าที่กระจายของเหลวในช่วงการระเหย

4.2.2 การเลือกวิกค์[5],[10]

คุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกวิกค์ มีดังนี้

1. รูที่ผิวมีขนาดเล็ก เพื่อให้มีความดันท่อรูเข็มสูง
2. มีความหนาพอเหมาะ
3. มีเสถียรภาพและมีความแข็งแรงพอ เพื่อรักษาอัตราการไหล
4. เข้ากันได้ดีกับของเหลวใช้งานและตัวท่อ
5. เปียกตัวได้ดี
6. มีความพรุน (wick permeability)
7. การขึ้นรูปและการบุผนังท่อทำได้ง่าย
8. มีความหนาแน่นต่ำ
9. มีพื้นที่ผิวจำเพาะมาก (high specific surface)
10. ราคาถูก

4.2.3 ประเภทของวิกค์และวัสดุที่ใช้ทำวิกค์[10]

วิกค์ อาจแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ตามเนื้อวัสดุ ได้ดังนี้

1. วิกค์เนื้อเดียว (homogeneous wicks)

เป็นวิกค์ที่ทำจากวัสดุเพียงชนิดเดียว ตัวอย่างเช่น

- เหล็กไร้สนิท
- ทองแดง
- นิเกิ้ล
- อลูมิเนียม

2. วิกค์เนื้อผสม (composite wick)

เป็นวิกค์ที่ประกอบด้วยวัสดุผสมตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เช่น ทองเหลือง นอกเหนือจากข้างต้นแล้ว วัสดุที่ใช้ทำวิกค์มีอาทิเช่น

- โฟมโลหะ (metal foam)
- เม็ดกลมไมเนล (bead of monel)
- โลหะพรุน (porous metal)
- สักหลาด
- สิ่งทอ (texile fabrics)
- ผงหินทรายที่เผาเชื่อมติด (sintered powder, Al_2O_3, SiC)
- เซรามิค
- แก้ว
- ไพเบอร์กล๊าส (fiber glass)

4.2.4 รูปร่างของวิกค์[5],[10]

ลักษณะรูปร่างของวิกค์มีหลายแบบ ขึ้นกับลักษณะการใช้งาน ในที่นี้จะขอกล่าวเพียงสังเขปเท่านั้น

วิกค์ตาข่าย (wrapped - screen wick)

วิกค์แบบนี้เป็นชั้นของตาข่ายละเอียด (fine - mesh screens) มีความยืดหยุ่นในโครงสร้าง เหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ (cryogenic temperature) และอุณหภูมิปานกลาง (moderate temperature)

วิกค์ผงโลหะ (sintered - metal wick)

วิกค์แบบนี้ใช้กรณีที่ต้องการผลต่างของอุณหภูมิในวิกค์มีน้อย เนื่องจากผงโลหะถูกหลอมติดกันเป็นอย่างดี การไหลของความร้อนผ่านวิกค์จึงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง รูของวิกค์แบบนี้โดยทั่วไปมีขนาดเล็ก ทำให้ความดันท่อรูเข็มมีค่าสูง

วิกค์แบบร่องในแนวแกน (axial - groove wick)

ใช้ในกรณีที่วางฮีทไปป์อยู่ในแนวราบ กล่าวคือ ไม่มีผลจากแรงโน้มถ่วงของโลก (zero - gravity) มาเกี่ยวข้อง มีความเหมาะสมตั้งแต่อุณหภูมิต่ำ ถึงฮีทไปป์อุณหภูมิสูงซึ่งใช้โลหะเหลวเป็นของเหลวใช้งาน

วิกค์แบบวงแหวน (annular wick)

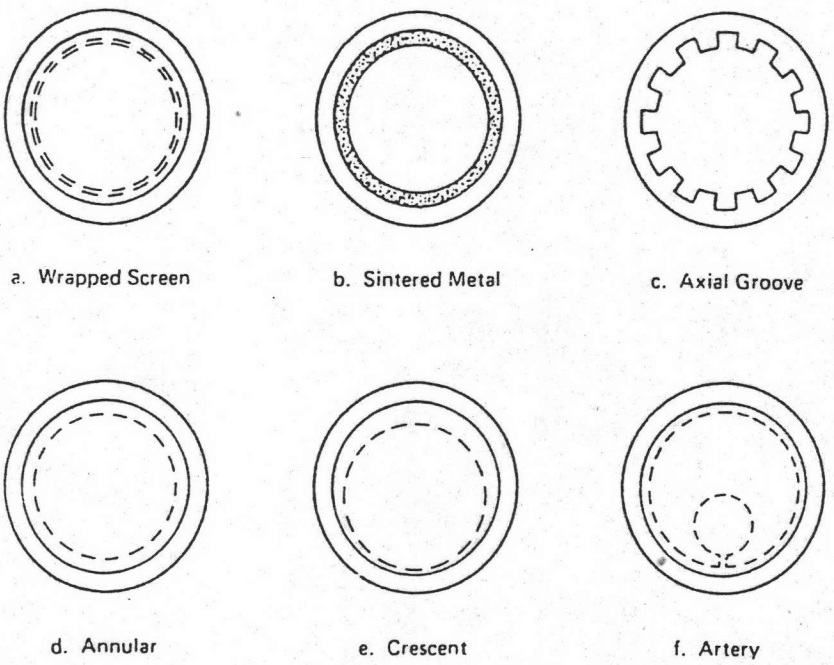
วิกค์แบบนี้มีความต้านทานการไหลของของเหลวน้อย แต่ถ้าหากว่าของเหลวใช้งานมีความนำความร้อนต่ำ ความต้านทานการไหลของความร้อนจะมีค่ามาก

วิกค์เส้นเลือด (artery - wick)

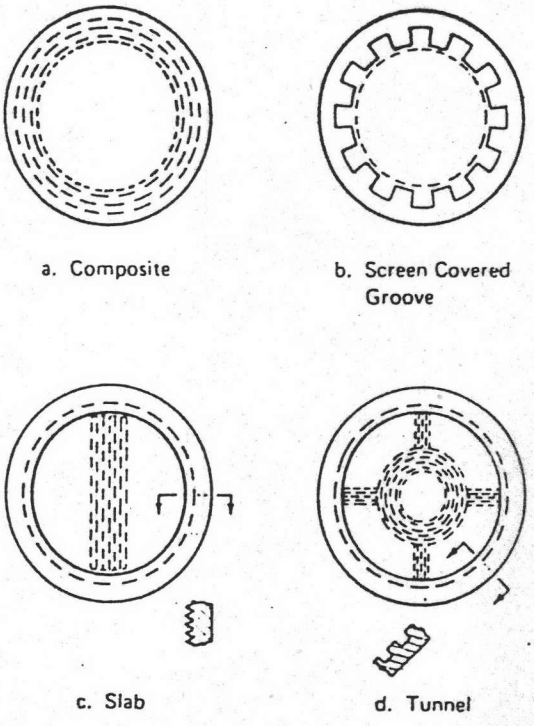
โดยทั่วไปใช้ในยานอวกาศ (spacecraft) เป็นวิกค์ที่มีสมรรถนะสูง ผลลดความดันในวิกค์ต่ำและมีความต้านทานการไหลของความร้อนน้อย

<u>วิกค์ตาข่ายเนื้อผสม</u>(composite screen wick)

ประกอบด้วยชั้นของตาข่ายละเอียด เพื่อให้เกิดความดันท่อรูเข็มสูง และชั้นของตาข่ายหยาบ เพื่อลดความต้านทานการไหลของของเหลวในวิกค์



รูปที่ 4.2 ลักษณะรูปร่างของวิกค์ประเภทเนื้อเดียว



รูปที่ 4.3 ลักษณะรูปร่างของวิกค์ประเภทเนื้อผสม

4.3 ตัวท่อ[5],[10]

ตัวท่อมีหน้าที่หลักคือ แยกของเหลวใช้งานออกจากสภาพแวดล้อมภายนอก ดังนั้นตัวท่อต้องมีความแข็งแรง มีความหนาพอเหมาะ ทนทานต่อความดัน และไม่มีรอยรั่ว

4.3.1 การเลือกใช้ตัวท่อ

ลักษณะและคุณสมบัติการเลือกตัวท่อ มีดังนี้

1. มีความนำความร้อนสูง
2. เปียกตัวได้ดี
3. อัตราความแข็งแกร่งต่อน้ำหนักสูง (high strength- to - weight ratio)
4. ง่ายต่อการประกอบและขึ้นรูป
5. มีรูพรุนน้อยมาก เพื่อป้องกันการแพร่ของก๊าซเข้าสู่ข้างใน
6. เข้ากันได้ดีกับของเหลวใช้งานและสภาพแวดล้อมภายนอก ไม่มีปัญหาการกัดกร่อนและการเกิดสนิม ไม่ทำปฏิกริยาเคมีและไม่สลายตัวของเหลวใช้งาน

4.3.2 วัสดุที่ใช้ทำตัวท่อ

วัสดุที่นิยมใช้ทำตัวท่อมี ทองแดง อลูมิเนี่ยม เหล็กไร้สนิม นิเกิ้ล และไตเตเนี่ยม เป็นต้น

ตารางที่ 4.2 ความเข้ากันได้ระหว่างของเหลวกับวัสดุ

ของเหลว	วัสดุ					
	Al	Cu	Fe	Ni	SS[a] 304	Ti
ไนโตรเจน	C[b]	C	C	C	C	
มีเทน	C	C			C	
แอมโมเนีย	C		C	C	C	
เมทธานอล	I	C	C	C	C[C]	
น้ำ	I	C		C	C	C
โปตัสเซียม				C		I
โซเดียม				C	C	I

SS[a] = stainless steel

C[b] = compatible

I = incompatible

blank = data not available

C Possible hydrogen generation