

冷媒의 燒結金屬管 表面에서의 沸騰 熱 傳達에 관한 實驗的 研究

Experimental Study on Boiling Heat Transfer of the Tubes with Sintered Metal Surface for Freon-11

朴 贊 俊* · 文 秉 秀** · 徐 正 閔***
C. J. Park, B. S., Mun, J. Y. Seo

ABSTRACT

The purpose of this paper is to investigate the potential ability of sintered metal tube to promote heat transfer.

In the experiment for Freon-11, the boiling heat transfer on the sintered metal tube of bronze element is investigated and compared with that of the bronze tube (bare tube) atmospheric pressure.

The experimental results are obtained as follows :

1) For sintered metal tubes of bronze element with particle diameters which ranges from 79(μm) to 461(μm) and bare tube, boiling characteristic curves are expressed as :

a) Sintered metal tube

$$q \propto \Delta T^{(1.055 - 1.373)}$$

b) Bare tube

$$q \propto \Delta T^{3.096}$$

2) Compared with that of the bare tube at low temperature difference (ΔT_{sat}), boiling heat transfer coefficients of the sintered bronze tube are relatively high.

3) There is tendency that curves of boiling heat transfer coefficients of sintered bronze tube and bare tube approach each other at rather high temperature difference. It is due to the increasing rate of the former heat transfer coefficient along with temperature difference is smaller than that of the latter.

4) Referring to particle diameter, optimum condition, i. e., maximum heat transfer coefficient is found to be at approximately 2 mm thickness of sintered layer with $D_p = 150(\mu\text{m})$.

* 仁荷大工大 大學院

** 正會員, 忠北大

*** 正會員, 仁荷大工大

1. 緒 論

沸騰에 의한 熱傳達率은 單相流로서는 얻기

어려운 熱傳達率을 갖기 때문에 日常生活에서 부터 蒸氣動力, 原子力産業等에 이르기까지 광 범위하게 沸騰機構에 依한 傳達方法을 利用하고 있다.

특히 原子爐에서는 高熱流束下的 安全運轉을 前提로 한 熱設計와 關聯하여 有機媒體를 冷媒로서 使用하여 높은 熱傳達到 依한 傳熱 및 安全運轉에 效果를 본 以來 近年에 와서 Freon系 冷媒는 化學工業의 process, 送電線 및 電動機의 冷却處理와 heat pump cycle 이나 低溫熱源을 有效하게 使用하는 動力 cycle의 作動流體로서의 沸騰傳熱特性에 關한 研究가 繼續되고 있다. 그러나 沸騰現象은 核沸騰, burn-out, 膜沸騰等 多様な 樣相을 나타내고 있을 뿐 아니라, 氣-液 物性値와 壓力變化, 傳熱面의 形狀 및 表面粗度等 많은 因子들이 影響을 미치기 때문에 理論的인 解析이 어렵다. 따라서 一般的인 沸騰特性과 沸騰現象에 關하여 지금까지는 實驗에 依하여 體係化하기 위한 研究가 繼續되고 있는 實情이다.

특히 粒度에 關한 研究는 일찌기 Bankoff⁽¹⁾, Kurihara⁽²⁾, Berenson⁽³⁾ 등에 의해서 행해졌고 Berenson은 Pentane을 써서 銅面을 傳熱面으로 하는 粒度에 대한 實驗結果에서 表面이 거칠수록 沸騰開始點과 沸騰曲線 自體는 過熱度가 낮은 쪽으로 移動하며 氣泡가 發生하기 쉽게 되므로 同一溫度差가 多量의 熱量을 處理할 수 있다고 하였다. 또한 Freon에 關한 沸騰熱傳達의 研究는 Danilova⁽⁴⁾, Seki⁽⁵⁾, Nishikawa⁽⁶⁾ 등에 의해서 행해졌는데 Danilova는 各種 Freon 液을 使用한 水平圓筒에 의한 實驗을 하였으나 適用範圍에 따라 沸騰熱傳達 特性의 機構에 대한 충분한 說明이 어려운 形편이다. Nishikawa 등은 Freon系 冷媒의 沸騰에서 表面條件의 影響을 나타내는데 起泡度로 表示 하였으며, 아울러 腐蝕에 의한 表面條件의 變化가 생길 可能性이 크며 使用傳熱面의 材質 및 冷媒의 溫度條件에 따라 起泡度의 適用이 低溫側과 高溫側에서 다르다고 하였다.

本 研究는 Freon-11에 대한 核沸騰領域에서의 表面粗度와 傳熱效果를 調查하기 위해 靑銅粒子는 球形이며 粒徑이 79(μm), 108(μm), 150(μm), 339(μm), 461(μm)인 5種類의 靑銅系 燒結金屬管에 대한 核沸騰 熱傳達到 關한 實驗을 大氣壓에서 行하였다. 한편 이 燒結金屬管의 傳熱效果의 特徵을 定性 및 定量的으로 나타내기 위하여 #80 sand-paper로 表面을 연마한 靑銅管(bare tube)에 대해서도 實驗하여 沸騰特性曲線을 구하고 靑銅系 燒結金屬管과 靑銅管의 沸騰熱傳達率의 特性을 比較하고 同時에 燒結金屬管의 表面 構成粒子의 크기의 影響을 아울러 調查 檢討하였다.

Nomenclature

- A_s : Area of Heating Surface, m^2
- D : Diameter, μm
- D_p : Particle Diameter of the Sintered Bronze Metal, μm
- Q : Transferred Heat, kcal/h
- q : Heat Flux, $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}$
- T : Temperature, $^{\circ}\text{C}$
- T_s : Temperature of Heating Surface, $^{\circ}\text{C}$
- T_{sat} : Saturation Temperature of Freon-11 at Atmospheric Pressure, $^{\circ}\text{C}$
- ΔT_{sat} : Temperature Difference, $(T_s - T_{\text{sat}})$, $^{\circ}\text{C}$
- α : Coefficient of Heat Transfer, $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$
- α_s : Coefficient of Heat Transfer from Sintered Bronze Metal Tube, $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$
- α_B : Coefficient of Heat Transfer from Bronze Tube, $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$
- β : α_s/α_B
- m, m' : Constant
- n, n' : Exponent
- NDF : Nominal Degree of Filtration

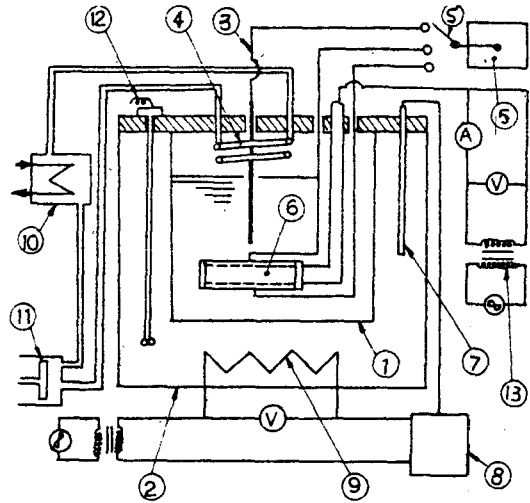
2. 實驗裝置 및 實驗方法

實驗裝置 概略圖는 Fig. 2-1과 같으며 實驗槽①은 유리容器로, 約 26 × 12 × 22 cm의 크기이며 그속에 傳熱管⑥을 水平으로 附着했다. Condenser④는 沸騰으로 蒸發한 Freon-11을 凝縮시켜서 液面의 變化가 없도록 하였으며, 補助容器內의 물은 補助加熱器로 加熱하고 攪拌器로 물의 溫度分布를 均一하게 하며 設定溫度에 대해 ±0.1°C의 溫度範圍로 維持될 수 있도록 sensor⑦과 Thermostat⑧을 設置하여 實驗槽①내의 Freon-11의 溫度를 飽和溫度로 制御시켰다.

Freon-11의 溫度를 測定하기 위해 移動熱傳對③인 Cromel-Alumel sheathed thermocouple φ 1mm로 傳熱管⑥의 上方 約 2cm의 높이에서 溫度를 測定했다. 實驗用 傳熱管의 詳細圖는 Fig. 2-2에 表示했다.

L型 Heater A의 加熱部分은 ⑩이며 容量 400 W, 길이 100 mm, φ 14 mm이다. 燒結金屬管⑨의 外面이 傳熱面이며 外徑 φ 20 mm, 길이 100 mm이다. 또 中央部에는 Heater部分인 ⑩가 있으며 燒結金屬管⑨와의 間隙 1mm사이에는 加熱部分⑩에 Aluminum Foil로 감고 그위에 얇게 Araldite(Epoxy 接着劑, Swiss제)을 塗布하여 燒結金屬管⑨에 挿入시켜서 Freon-11의 流入을 막았다. 이때 Araldite가 燒結金屬層에 浸透되는 것을 막기 위해 粘土로 大部分의 燒結金屬層을 메웠으며 實驗할 때는 蒸溜水와 부드러운 솔을 使用하여 充分히 씻었으나 燒結金屬層의 두께에 若干의 變化는 있는 것으로 생각된다. 또한 傳熱面 兩端에 베이크라이트板으로 製作된 plug를 附着시켜 側面으로의 Freon-11의 流入을 막았다. 表面溫度는 上面 및 下面에 直徑 0.5 mm, 깊이 1 mm의 Drill 作業後, C-A 熱傳對(φ 50 μm)을 Spot arc welding에 의해 끝단을 接着시킨것(約 φ 250 μm의 방울)을 試片 Hole에 넣고, 試片과의 接觸을 最大가 되

게하며 外部의 影響을 줄이기 위해 Amalgam으로 充填시켜 固定시킨후 Thermometer ⑤를 利用해 測定 하였다.



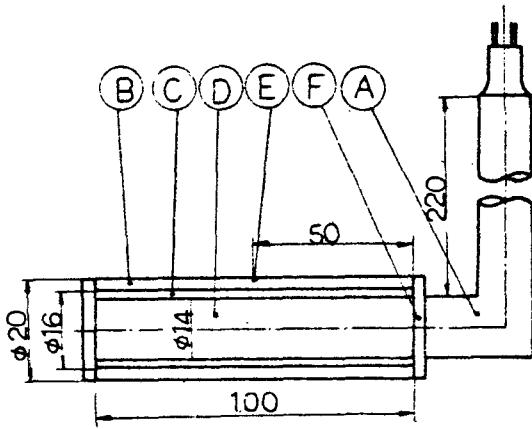
- | | |
|---------------------|------------------|
| 1. Inner Vessel | 2. Outer Vessel |
| 3. Thermo-couple | 4. Condenser |
| 5. Thermometer | 6. Specimen |
| 7. Sensor | 8. Thermostat |
| 9. Auxiliary Heater | 10. Refrigerator |
| 11. Pump | 12. Agitator |
| 13. Volt Slider. | |

Fig. 2-1 Sketch of Experimental Apparatus.

이때 電壓을 5 V씩 增加시키면서 靑銅系 燒結金屬管의 公稱 濾過度(Normal Degree of Filtration) # 2, # 5, # 10, # 40, # 70에 對해 實驗했을 때 上下 傳熱面의 溫度差는 낮은 熱流束 狀態에서는 約 0.5°C이내였으나 熱流束이 커짐에 따라 $q = 3,608 \times 10^4$ [kcal/m²h]일 때 約 3°C가 되었다. 따라서 本 實驗에서는 上下面 溫度差의 平均값을 擇하여 實驗結果를 整理했다.

本 實驗에서 溫度測定 時間간격은 豫備實驗에서 5分 經過後와 30分 經過後의 溫度差는 낮은 熱流束에서는 나타나지 않았으며 높은 熱流束에서 約 0.1°C ~ 0.2°C였으므로 10分간격을 택했다.

實驗에 使用된 靑銅系 燒結金屬管의 材質은 Cu : 90%, Sn : 10%로서 靑銅과 같으며, 靑銅



A. L-Heater B. Specimen
C. Aluminum Foil D. Heater Part
E. Thermo-Couple Hole F. Plug

Fig. 2-2 Structure of Heating Surface.

管(KS D 6002, BC 1)은 # 80 Sand-paper 로 表面研磨하였다.

Table 2-1은 靑銅系 燒結金屬管의 詳細한 資料이다.

Table 2-1 Sintered metals used for experiment.

| NDF | Particle dia, (μm) | Interstice dia, (μm) | Thickness (mm) |
|------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| # 2 | 79 | 35 | 2 |
| # 5 | 108 | 39 | 2 |
| # 10 | 150 | 65 | 2 |
| # 40 | 339 | 140 | 2 |
| # 70 | 461 | 180 | 2 |

3. 實驗結果 整理 및 考察

實驗에서 얻은 結果에 따라 式(3-1)과 式(3-2)에 의해 熱流束과 熱傳達率을 구하였다.

$$q = \frac{1}{A_s} \times 0.24 \times I \times V (\text{cal/cm}^2 \cdot \text{s}) \quad (3-1)$$

$$\alpha = Q/A_s (T_s - T_{\text{sat}}) (\text{cal/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}) \quad (3-2)$$

다만 A_s : 傳熱面의 겉보기 表面積 (cm^2)

T_s : 傳熱面의 表面溫度 ($^\circ\text{C}$)

T_{sat} : Freon-11의 飽和溫度 ($^\circ\text{C}$)

또한 熱流束과 表面過熱度의 關係式

$$q = m \cdot \Delta T_{\text{sat}}^n \quad (3-3)$$

熱傳達과 熱流束의 關係式

$$\alpha = m' \cdot q^{n'} \quad (3-4)$$

에서 常數 m, m' 와 指數 n, n' 를 Method of Least Squares에 의해 구하면 Table 3-1과 같다.

Table 3-1 Values of Constant and Index

| Spec. | $m \times 10^4$ | n | $m' \times 10^3$ | n' |
|-------------------------|-----------------|-------|------------------|-------|
| $D_p = 79 \mu\text{m}$ | 0.186 | 1.187 | 0.033 | 0.448 |
| $D_p = 108 \mu\text{m}$ | 0.490 | 1.055 | 0.339 | 0.270 |
| $D_p = 150 \mu\text{m}$ | 1.132 | 1.162 | 3.463 | 0.127 |
| $D_p = 339 \mu\text{m}$ | 0.555 | 1.284 | 1.181 | 0.187 |
| $D_p = 461 \mu\text{m}$ | 0.327 | 1.373 | 0.171 | 0.345 |
| Bare Tube | 0.002 | 3.096 | 0.005 | 0.621 |

Fig.3-1과 Fig.3-2에서 알 수 있는 바와 같이 燒結金屬의 粒子粒徑이 增加할수록 沸騰曲線이 過熱度 ΔT_{sat} 가 작은쪽으로 移動하며 m 값이 增加하나, $D_p = 150 (\mu\text{m})$ 以上이 되면 다시 m 값이 減少한다.

또한 Fig.3-3과 Fig.3-4에서 보는바와 같이 一般의 燒結金屬管은 靑銅管보다는 낮은 熱流束 狀態에서 높은 熱傳達率을 가지나 熱流束에 대한 그 增加率은 靑銅管에 비해 작다.

Fig.3-5, Fig.3-6은 5種類의 燒結金屬管과 靑銅管의 過熱度 ΔT_{sat} 와 熱流束 q 및 熱傳達率 α 와 熱流束 q 의 關係를 綜合한 것이다.

靑銅管에 비해 燒結金屬管의 熱傳達率의 效果를 보기위해 같은 過熱度 ΔT_{sat} 에서 靑銅管과 各 燒結金屬管의 熱傳達率 값의 比인 β 값을 式(3-5)에 의해 구하며 Fig.3-7과 Fig.3-8에 表示했다.

$$\beta = \alpha_s / \alpha_B \quad (3-5)$$

다만 α_s : 球狀靑銅 燒結金屬管에서의 熱傳達率 ($\text{kcal/m}^2 \text{h}^\circ\text{C}$)

α_B : α_s 와 同一한 過熱度에 該當하는

靑銅管의 熱傳達率(kcal/m² h°C)

이때 $\alpha_B = 64$ [kcal/m² h°C] 즉 過熱度 $\Delta T_{sat} = 1^\circ\text{C}$ 일때 β 의 값은 最大約 103이며 過熱度 ΔT_{sat} 가 增加함에 따라 β 의 값은 작아지는 傾向을 나타내고 있다.

또한 過熱度 $\Delta T_{sat} = 2^\circ\text{C}$ 일때 各 粒子粒徑에 대한 熱傳達率의 關係을 나타내는 Fig. 3-9에서 볼 수 있는것과 같이 本實驗 條件에서는 熱傳達率이 最大가 되는 最適粒子의 粒徑이 $D_p = 150$ (μm)라는 것을 알 수 있다. 이와 같은 最適條件은 球形粒子로 構成될때의 傳熱面의 增加와 燒結層內에서의 氣泡舉動과 관련된다고 볼 수 있다. 즉 傳熱面積의 增加라는 面에서는 粒徑이 작은 燒結層이 좋으나 粒徑이 크기에 따라 氣泡形成에 參與하는 凹部의 型狀이 달라지며 또 燒結層內의 熱抵抗등이 변하므로 熱傳達率을 最大로 하는 最適粒子의 粒徑이 存在한다고 생각된다. 그러므로 追後 燒結金屬管의 粒子粒徑과 燒結層의 두께 變化에 따른 研究가 要望된다.

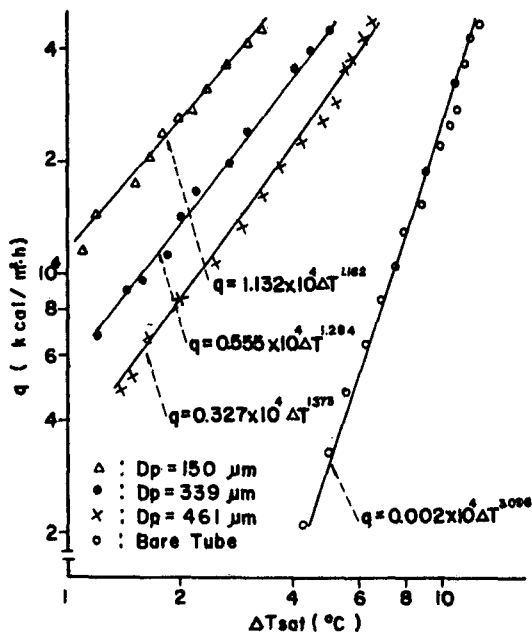


Fig. 3-2 Heat Flux as a Function of Temperature

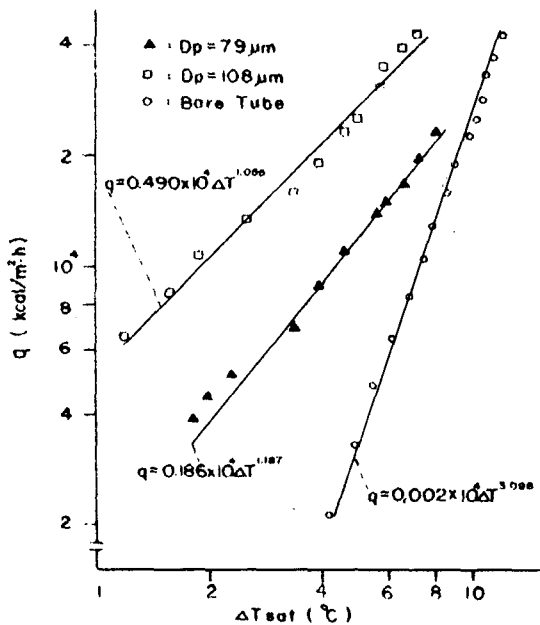


Fig. 3-1 Heat Flux as a Function of Temperature

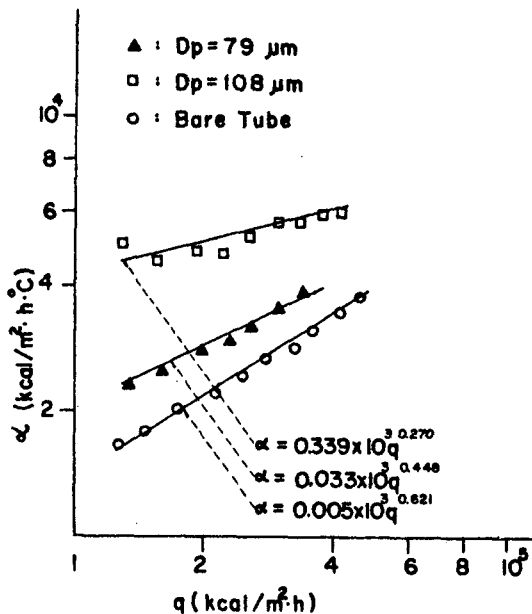


Fig. 3-3 Heat Transfer Coefficient as a Function of Heat Flux

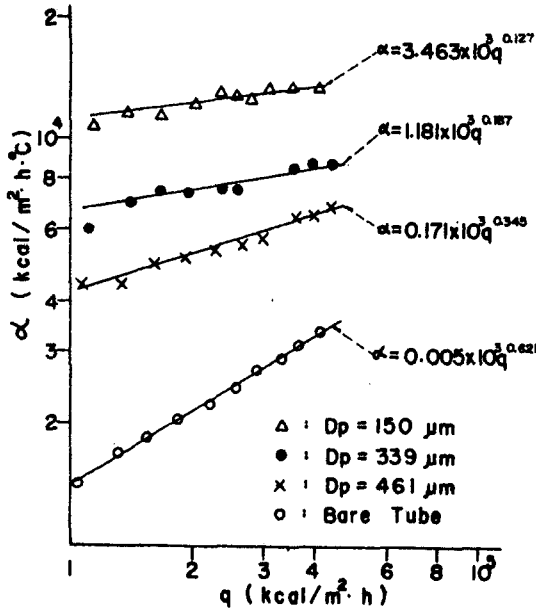


Fig. 3-4 Heat Transfer Coefficient as a Function of Heat Flux

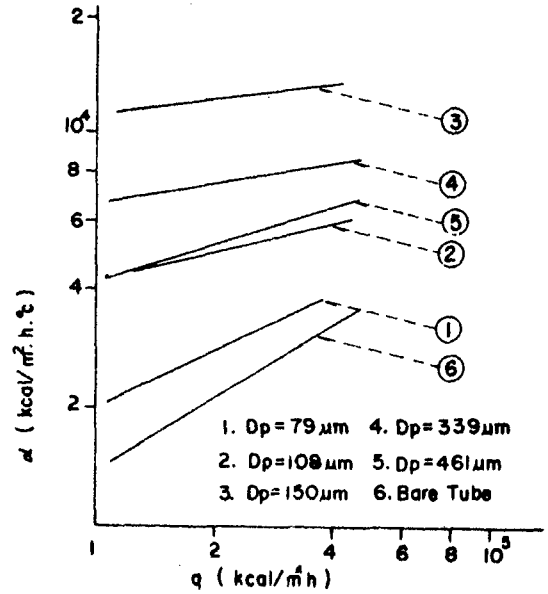


Fig. 3-6 Heat Transfer Coefficient as a Function of Heat Flux.

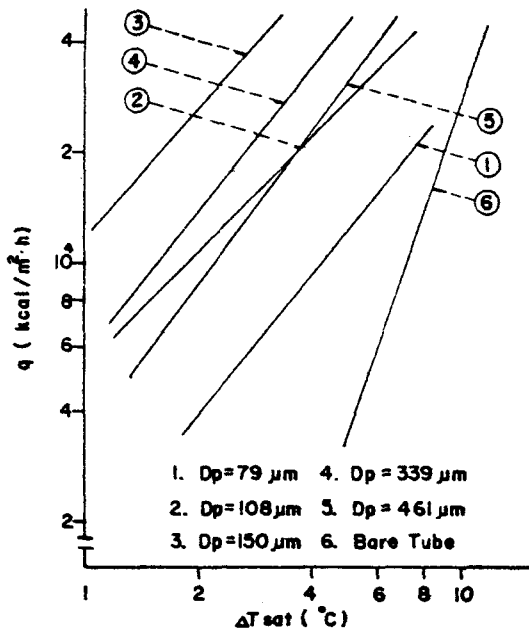


Fig. 3-5 Heat Flux as a Function of Temperature

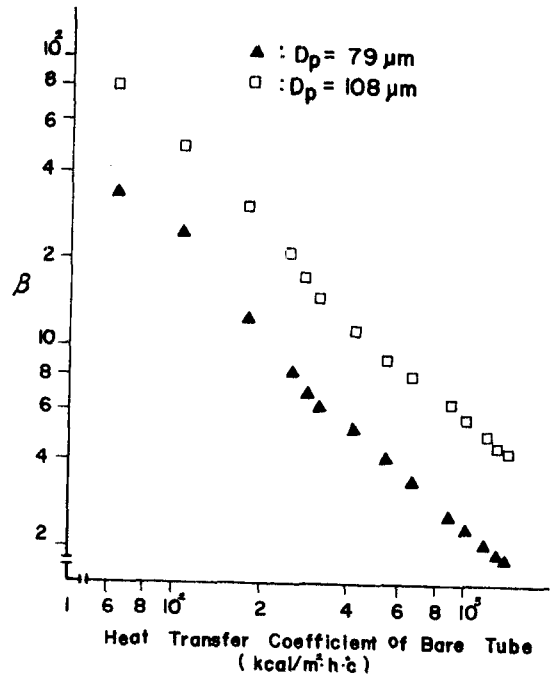


Fig. 3-7 Effect of Sintered Metal Tube on Heat Transfer Coefficient.

4. 結 論

大氣壓下에서 Freon-11 을 사용하여 靑銅粒子的 粒徑이 $D_p = 79(\mu m)$, $D_p = 108(\mu m)$, $D_p = 150(\mu m)$, $D_p = 339(\mu m)$, $D_p = 461(\mu m)$ 인 5 種類의 燒結金屬管과 #80 sand-paper로 表面研磨한 靑銅管에 대해 $q < 5 \times 10^4$ ($kcal/m^2 h$)의 範圍에서 實驗을 하여 다음結果를 얻었다.

(1) $q = m \cdot \Delta T_{sat}$ 의 關係式에서 靑銅管은 $m = 0.02 \times 10^4$, $n = 3,096$ 이고 燒結金屬管은 $m = (0.186 \times 10^4 \sim 1.132 \times 10^4)$, $n = (1.055 \sim 1.373)$ 이며, 또한 $\alpha = m' \cdot q^{n'}$ 에서 靑銅管은 $m' = 0.005 \times 10^3$, $n' = 0.621$ 이고 燒結金屬管은 $m' = (0.033 \times 10^3 \sim 3.463 \times 10^3)$, $n' = (0.217 \sim 0.448)$ 이다. 이때 燒結金屬管에서 m, m' 값은 粒徑이 增加함에 따라 增加하지만 $D_p = 150(\mu m)$ 에서 最大가 되고 다시 減少한다.

(2) 傳熱面을 多孔質 조립구조로 만듦으로서 낮은 過熱度 ΔT_{sat} 에서 熱傳達率 α 의 向上을 기대할 수 있다. 즉 過熱度 $\Delta T_{sat} = 1^\circ C$ 일때 β 값의 最大值는 約 103 이다.

(3) 燒結金屬管的 熱傳達率은 過熱度(ΔT_{sat}) 增加에 따라 增加하지만 β 의 값은 작아지는 傾向이 있다.

(4) 傳熱面을 構成하는 粒徑에 따라 最適條件이 存在한다는 것을 알 수 있으며 本 實驗에서는 燒結層두께가 約 2mm일때 $D_p = 150(\mu m)$ 에서 最大熱傳達率을 갖는다.

附 記

本 研究는 1981年度 仁荷·現代그를 研究助成費에 의한 것이며 당국에 깊은 謝意를 表합니다.

REFERENCE

1. Bankoff, S. G., "Entrapment of Gas

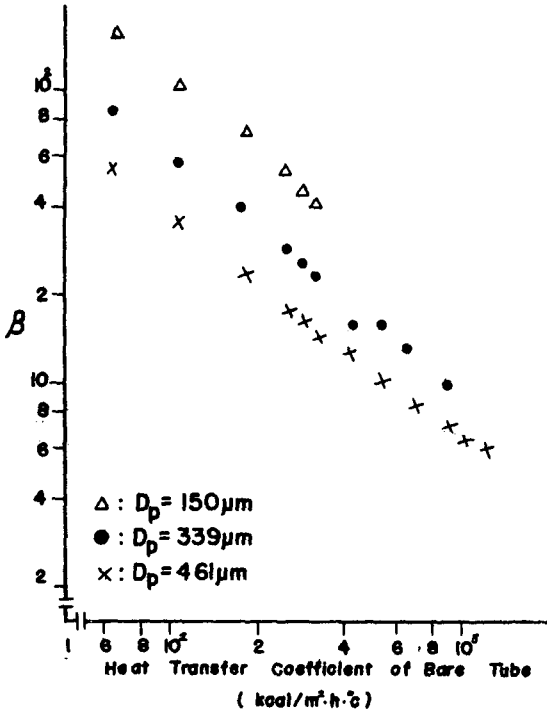


Fig.3-8 Effect of Sintered Metal Tube on Heat Transfer Coefficient.

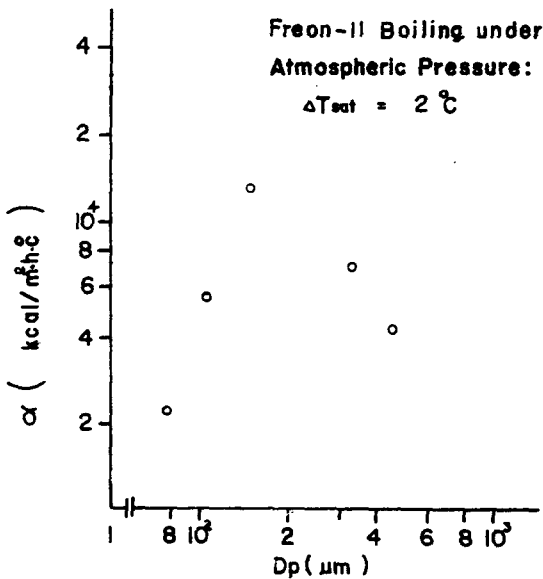


Fig.3-9 Influence of the Various Diameter of Original Particles before Clogging in Sintered Porous Copper-Tin Alloy on Heat Transfer Coefficient.

- in the Spreading of a Liquid over a Rough Surface," AIChE Journal, Vol. 4, No. 1, 1958, pp. 24 - 26.
2. Kurihara, M. H., J. E. Myers., "Effects of Superheat and Surface Roughness on Boiling Coefficients," AIChE Journal, Vol. 6, No. 1, 1960, pp. 83-91.
 3. P. J. Berenson., "Experiments on Pool Boiling Heat Transfer," International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 5, 1962, p. 985.
 4. G. N. Danilova., A. V. Kupriyanova., "Boiling Heat Transfer to Freons C 318 and 21," Heat Transfer -Soviet Research, Vol. 2, No. 2, March, 1970, pp. 79-83.
 5. 關信弘, 福迫 尙一郎, 鳥越邦和, "フロンR 11の沸騰熱傳達舉動," 冷凍-第50卷 第569號, pp. 165~174.
 6. 西川兼康, 藤田恭伸, 大田治彦, 日高澄具, "核沸騰における フロン系 冷媒の熱傳達係數について," 冷凍-第53卷 第607號, pp 389~401.