

<論 文>

푸울 沸騰時 過渡의 流體溫度 變動

金 鍾 一* · 鄭 忠 式**

(1987年 7月 24日 接受)

Transient Fluid Temperature Fluctuation in Boiling

Jong-Il Kim and Choong-Shik Jung

Key Words: Bubble(氣泡), Flash Evaporation(減壓蒸發), Temperature Fluctuation(溫度變動), Pool Boiling(풀沸騰)

Abstract

The present experiments of transient temperature variation and temperature fluctuation were conducted by bead type thermistors in pool boiling without a heat surface.

The experimentally obtained conclusion were as follows.

(1) The high transient temperature Variation of 11.64°C for a duration of 0.08 sec and a temperature frequency having a duration of 5.6×10^{-2} sec in a flashing were measured.

(2) The highest variation of transient temperature was shown at saturated temperature of 80°C and superheat of 7.9°C.

(3) Temperature frequency was found to increase with superheat below 60°C of saturated temperature, but above 60°C it was relative to lower superheat and was found to decrease with higher superheat.

1. 序 論

沸騰時 瞬間溫度變化 測定은 주로 核沸騰熱傳達을 규명하기 위하여 행하여졌으며, 이 연구들은 1960 년 대 이전부터 시작되었다. 1961년에 Moore와 Mesler⁽¹⁾는 核沸騰의 기초적 실험으로 熱電對를 이용하여 성장하는 氣泡下의 傳熱面表面의 瞬間溫度變動을 測定하였고, 그후 Rogers와 Mesler⁽²⁾, Hendricks와 Shap⁽³⁾, Cooper와 Lloyd⁽⁴⁾ 등에 의해서 계속 연구되었다. 특

히 Swanson과 Bowman⁽⁵⁾은 時定數 10^{-9} 초의 高感度를 갖고 電氣의 抵抗에 대해 逆의 溫度係數를 갖는 薄膜抵抗溫度計를 사용하여 포화질소액에서 발생한 氣泡에 의해서 일어나는 過熱된 狀態의 傳熱面表面의 溫度變化를 測定하였다. 또 西川兼康, 田中克典⁽⁶⁾ 등은 沸騰時 溫度變化의 主 變數인 氣泡에 대하여 발생 1周期동안 氣泡의 형태와 軌跡 및 주위 液體와 傳熱面의 溫度變化를 동시에 測定하였다. 이들은 流體內의 溫度變動에 관하여는 Mach-Zehnder 간섭계로, 傳熱面表面溫度는 薄膜抵抗溫度計를 이용하여 測定하였다.

이상의 연구들은 傳熱面表面上에서의 核沸騰을 대상

* 正會員, 朝鮮大學校 工科大學 機械工學科

** 朝鮮大學校 大學院

으로 瞬間溫度變化 및 溫度分布를 測定한 것이다. 本 實驗에서는 溫度測定用 써미스터(thermistor)인 高感度의 비드형 써미스터를 이용하여 물의 減壓蒸發에 의한 沸騰時 무울내의 깊이 방향과 반경방향의 溫度變化를 連續적으로 測定하여 研究한 결과를 報告한다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

本 實驗에서 사용된 비드형 써미스터는 抵抗值가 3.2~3.5 kΩ, 길이 2,050 mm의 인출선이 內徑 0.85 mm, 外徑 1.2 mm, 길이 51 mm인 스테인리스鋼棒 內에 에폭시로 절연하여 삽입되어 있다. 이를 Fig. 1에 나타나 있는 것처럼 두께 1.2 mm, 폭 15mm인 放射形의 스테인리스鋼板에 부착시켰다. 이러한 비드형 써미스터는 內徑 152 mm, 두께 6 mm, 길이 610 mm, 용량 12.26 l인 원통형 硬質유리의 減壓蒸發容器 內에 設置되었다. 實驗部인 減壓蒸發容器外部로의 放熱을 줄이기 위하여, 두께 8 mm, 內徑 298 mm, 높이 680 mm의 아크릴製 원통을 同心上으로 설치하고 그 사이를 眞空으로 유지시켰다. 實驗流體는 比抵抗 50MΩ 이상의 蒸溜水를 사용하였다. 實驗에 있어서는 1 kW 전기 히터를 이용하여 實驗流體의 溫度를 所定의 溫度로 加熱한 다음, 별도로 設置된 容量 0.253 m³의 진공탱크내의 壓力을, 最大眞空壓力 10⁻⁴ Torr.

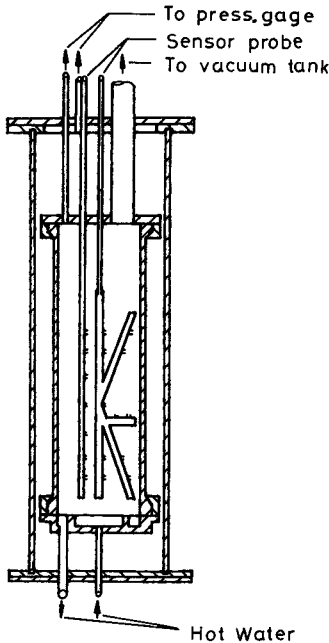


Fig. 1 Flash chamber

의 진공펌프를 이용하여 소정의 壓力으로 하고, 이를 탱크사이에 설치된 소레노이드밸브를 개방함으로써 實驗部內의 壓力을 급속히 減壓시켜 減壓蒸發을 일으키게 하였다.

眞空탱크內의 負壓을 조정함으로써 포화온도를 40°C ($P_s=55.3$ mmHg)로부터 10°C 간격으로 80°C ($P_s=355.2$ mmHg)까지 되게 하였으며, 또한 過熱度는 약 2°C 부터 2°C 간격으로 8°C 까지 되도록 實驗範圍를 設定하였다. 測定에 있어서는 같은 조건하에서 3회씩 되풀이 하여 실행함으로써 再現性을 충분히 확인하였다. 減壓蒸發탱크內의 瞬間溫度變動 및 溫度分布는 記錄紙速度가 최고 400 cm/sec인 광기록계로 測定하였으며 減壓 직전과 직후의 流體內 溫度變化는 최소누분 0.01°C의 溫度記錄計로 測定하였다.

3. 結果 및 考察

3.1 써미스터 性能

비드형 써미스터의 特性은 다음 식으로 잘 표현된다.⁽⁷⁾

$$R = a \cdot \text{Exp}(b/T)$$

위 식에서 $T(K)$ 는 絕對溫度, $R(\Omega)$ 은 抵抗, a 와 b 는 상수이다. 위 식에서 알 수 있는 바와같이 低溫域에서의 작은 溫度變化에도 抵抗值가 크게 변하게 되어 微細한 溫度測定의 경우인 本 實驗에는 비드형 써미스터가 매우 적합함을 알 수 있다.

時定數 測定을 위해 ASTM에서 정의한 규정⁽⁸⁾에 의거하여 溫度上昇 63.2%의 값을 기준으로 應答特性을 測定한 결과 4.19×10^{-2} 초를 얻었다. 참고로 직경 25.4 μm의 C-C 熱電對의 時定數를 測定한 결과는 5.94×10^{-2} 초이었다.

그리고 飽和溫度가 높고 過熱度가 높은 조건하에서의 減壓蒸發時에는 물의 流動이 격심하였으나 써미스터의 손상이 전혀 없이 안전성을 유지하였다.

3.2 溫度降下

비드형 써미스터를 사용하여 무울 沸騰時 飽和溫度와 過熱度의 증가에 따른 實驗流體內의 瞬間溫度降下를 정리한 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 瞬間溫度變化幅이 가장 심한 것은 飽和溫度 80°C, 過熱度 7.9°C인 경우로서, 0.08 초 동안 11.64°C의 最大降下를 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있는 바와같이 減壓蒸發時에는 飽和溫度와 過熱度가 높을수록 氣泡의 生成 및 活動이 활발해져서 蒸發熱을 大量 흡수함으로써 氣泡

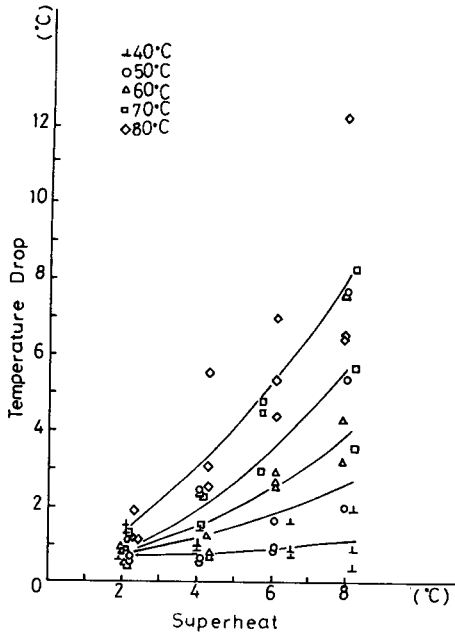


Fig. 2 Transient temperature deviation

群周圍의 液溫度를 급격히 降下시키기 때문이라고 생각된다.

3.3 溫度變動率

Fig. 3, Fig. 4는 飽和溫度 70°C, 過熱度 2.1°C 일 때와 8.2°C 일 때를 비교한 것으로서 過熱도가 낮을 경우 微細한 溫度變化가 적고 溫度變化의 勾配도 완만한데 반하여 過熱도가 클수록 微細한 瞬間溫度變化가 많고 溫度勾配도 큼을 알 수 있다.

Fig. 5는 飽和溫度 60°C, 過熱度 7.9°C 일 때 測定한 流體內的 溫度變動周波數를 나타내었다. 本 實驗에

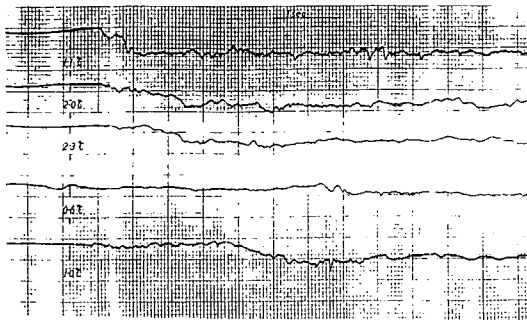


Fig. 3 Transient temperature frequency (at $T_s=70^\circ\text{C}$, $\Delta T_s=2.1^\circ\text{C}$)

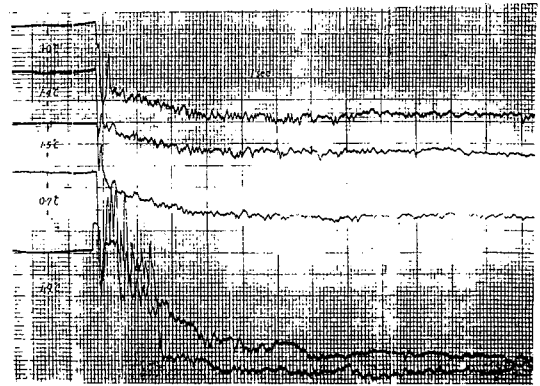


Fig. 4 Transient temperature frequency (at $T_s=70^\circ\text{C}$, $\Delta T_s=8.2^\circ\text{C}$)

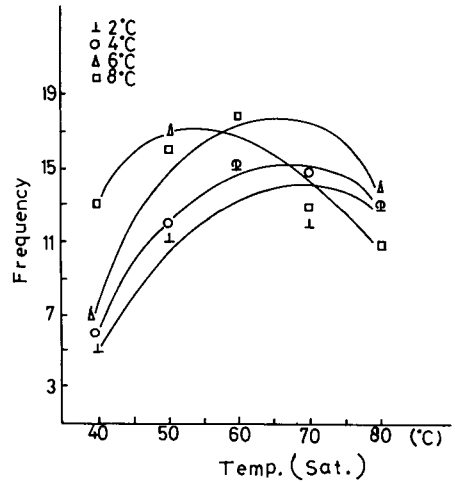


Fig. 5 Temperature frequency with saturated temperature

서 測定된 最大周波數로서는 18/sec가 관찰되었다. 이와 같이 탱크내의 동일 위치에서 測定된 流體溫度의 變動周波數로부터 氣泡의 發生周期를 추정할 수가 있다.

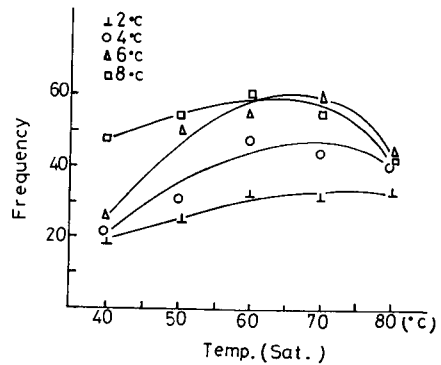


Fig. 6 Temperature frequency with saturated temperature (5 sensors)

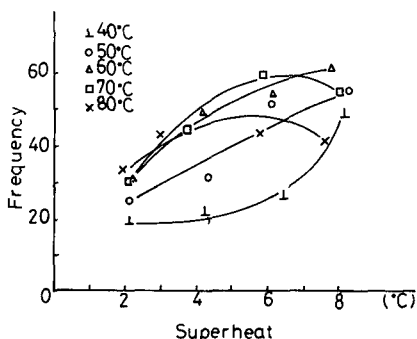


Fig. 7 Temperature frequency with superheat

Fig. 6 과 Fig. 7 은 깊이 방향의 5 개소(뱅크하면으로부터 105 mm, 131 mm, 243 mm, 355 mm, 380 mm)에서 溫度變動周波數를 測定한 것으로써 飽和溫度 및 過熱度를 파라미터로 하여 나타낸 것이다. 飽和溫度 60°C를 경계로 60°C 이하에서는 過熱度の 증가에 따라 溫度變動周波數가 커졌으나, 60°C 이상에서는 높은 過熱度일 때 오히려 감소하였다. 이것은 氣泡의 영향으로써 60°C 이상에서는 氣泡의 生成 및 成長이 너무 활발하여 氣泡가 合體되기 때문이라고 생각된다. 그리고 깊이방향의 온도분포는 대체적으로 수면과 가까운 부근에서 溫度降下가 큰데, 이것은 물의 관성때문에 減壓의 壓力傳達이 수면에 가까운 부분이 빠르기 때문이다. 그리고 반경방향의 溫度分布에 관하여는 中心部에서 약간 큰 정도로 壁면근처에 비해 거의 같은 溫度降下를 나타내는데 이는 側壁効果의 영향이라고 생각된다.

4. 結 論

加熱表面이 없는 푸울 沸騰時 비드형 써미스터를 사용하여 流體內的 瞬間溫度變動을 測定한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 本 實驗範圍에 있어서 減壓初期의 0.08 초 동안 最大 11.64°C의 瞬間溫度變化가 測定되었다.

(2) 瞬間溫度變化는 飽和溫度 80°C, 過熱度 7.9°C에서 가장 크게 나타났다.

(3) 溫度變動周波數는 飽和溫度 60°C 이하에서는 過熱도가 커짐에 따라서 증가하였고, 그 이상의 溫度에서는 낮은 過熱度에서는 증가하였으나 높은 過熱度에서는 오히려 減少하였다.

(4) 減壓蒸發時 飽和溫度 60°C, 過熱度 7.9°C에서 最大 5.6×10^{-2} 초를 주기로 하는 溫度變動周波數가 測定되었다.

參 考 文 獻

- (1) Moor, F.D. and R.B. Mesler, 1961, AICHE J., 7, 620.
- (2) Rogers, T.F. and Mesler, R.B., 1964, "An Experimental Study of Surface Cooling by Bubbles During Nucleate Boiling of Water", AICHE J., 10, 656.
- (3) Hendricks, R.C. and Sharp, R.R., 1964, "Initiation of Cooling due to Bubble Growth on Heating Surface", NASA, TN D-2290.
- (4) Cooper, M.G. and Lloyd, A.J.P. 1965, "Thin Film Thermometers with Rapid Response", Jour. Sci. Instrum, Vol. 42, p. 791.
- (5) Swanson, J.L. and H.F. Bowman, 1974, "Transient Surface Temperature Behavior in Nucleate Pool-Boiling Nitrogen," Northeastern Univ., Boston, Mass., U.S.A., pp. 60~64
- (6) 西川兼康, 伊藤猛宏, 田中克典, 1976, "核沸騰における氣泡發生過程に関する基礎的研究", 日本機械學會論文集, 第 42 卷, 第 362 號, pp. 3258~3266.
- (7) 高橋清, 1980, "Sensor 技術", 4 th ed, 東京, 工業調査會, pp. 77~84.
- (8) ASTM STP 470B, p. 144, 1981.