

< 論 文 >

沸騰二重管에 있어서의 流動特性和 變아우트

(第二報, 自然對流의 경우)

趙 鏞 喆* · 姜 溱 珪** · 李 康 柱***

(1976年 3月 24日 接受)

A Study on the Characteristic of Flow and Burnout
in a Boiling Annulus

(Part 2, Case of Natural Convection)

Yong Chul Cho · Young Kyu Kang · Kang Ju Lee

Abstract

An experimental investigation of the natural circulating boiling flow characteristic in three cases of annulus with different outer diameter, and the effect of annular gap size on the burnout behavior is presented.

The experimental work was conducted for each case of test section at system pressure of 1 kg/cm² and inlet subcooling 0-20°C in the full range of throttling ratio. As the result, the following facts were found.

- 1) With the increase of ΔT_{sub} , D_2 and A/A_0 , q_{BO} increases on the whole, and with the decrease of ΔT_{sub} and D_2 , hydrodynamic instability is accelerated to happen prematurely.
- 2) With the increase of ΔT_{sub} , D_2 and A/A_0 , burnout characteristic shows the high velocity-low quality burnout, and with the decrease, low-velocity-high quality burnout.
- 3) With the decrease of A/A_0 , hydrodynamic instability is significantly restrained and the difference of q_{BO} in each D_2 under same condition is gradually reduced, finally converging into 1.9×10^6 kcal/m²-hr.

1. 緒 論

自然對流 二重管의 沸騰二相流의 動特性和 變아우트 거동에 관한 연구는 自然循環 原子爐나 Boiler 그밖에 熱交換器의 熱設計자료로서 중요한 의의를 갖는다. 自然對流에서의 流體의 驅動力은 오로지 加熱에 의하여 증가한 浮力에 의존하므로 流動抵抗 여하에 따라 循環流

量이 스스로 制御될 뿐 아니라 아울러 流動特性和 Burn-out 거동이 변화하게 된다.

系の 循環에 미치는 抵抗으로서의 系의 水位差 외에 摩擦損失, 加速損失, 絞縮損失 및 副次的 損失 등이 포함된다. 이러한 總損失은 加熱에 依한 流量의 변화와 二相流의 特性에 따라 지배되며 Burnout에 이르기까지의 流動過程은 지극히 복잡하다. 이에 관한 주요한 연구로서는 加熱管의 水力半徑과 加熱長의 比를 變數로 하여 Burnout 값을 정리한 Westinghouse¹⁾ G.E²⁾ Bernath³⁾ 등의 연구가 있으며 系의 抵抗을 制御하기 위한 방법으로 下降管 또는 加熱管入口를 絞縮함으로써

* 正會員, 仁荷大學校 工科大學

** 正會員, 全北大學校 工科大學

*** 正會員, 仁荷大學校 附設工業專門學校

水力學的 不安定性的 強弱과 Burnout 값을 실험적으로 조사한 Baker⁴⁾ 寺野⁵⁾ 葉山⁶⁾ 著者⁷⁾ 등의 연구가 있다. 한편 山崎⁸⁾ 著者⁹⁾ 등의 加熱管의 入口와 出口를 포함하여 중간부의 적당한 부위에 絞縮環(또는 spacer)을 장착하여 不安定性的의 추이와 Burnout 조건을 조사한 연구가 있다. 이들의 연구결과를 종합하면 1) 加熱管의 縱橫比(aspect ratio)를 증가시키에 따라 Burnout 熱流束은 일반적으로 감소하고, 2) 加流管入口에서의 絞縮은 水力學的 不安定성을 억제함으로써 Burnout 熱流束을 증가시키는 한편, 3) 絞縮位置가 出口쪽으로 이동함에 따라 不安定성은 촉진되어 Burnout 熱流束을 감소시킨다는 것 등으로 요약할 수 있다. 그러나 이들 연구에서는 주어진 조건하의 Burnout 熱流束을 측정하여 이를 정리하는데 그쳤을 뿐 二相流의 動特性和 관련하여 Burnout 거동을 추기한 본문은 희소하며, 특히 抵抗을 극한상태로까지 증가시켰을 때, 즉 流量이 전무상태에 이르기까지의 流動의 遷移와 Burnout 特성을 다룬 논문은 전혀 찾아볼 수 없다.

流量이 점차 감소하게 되면 管內의 流動상태는 對流特性이 약화되는 반면 pool 沸騰의 特性이 나타날 것이 예상되지만 넓은 pool 에서의 沸騰과는 달리 좁은 管內 非流動 특유의 현상이 나타날 것이 예상된다.

본 연구에서는 加熱管의 기하학적 조건으로서 內管의

직경을 일정으로 유지하고 外管의 직경을 3종으로 供給하는 한편, 각각의 경우에 대하여 絞縮 main valve를 全開로부터 完全폐쇄에 이르기까지 6단계로 구분하여 絞縮하였을 때의 流動의 遷移현상과 Burnout 조건을 조사 검토하였다.

2. 實 驗

본 實驗에서 사용한 加熱 Loop는 前報의 연구에서와 같은 물循環裝置로서 自然循環을 겸할 수 있는 loop이다. 自然循環의 경우는 pump의 가동을 중지하고 自然循環系의 Valve로써 絞縮하여 流量을 조절할 수 있다. 實驗裝置의 구성 및 實驗方法은 前報에서 설명한 바와 같거니와 다만 絞縮過程에서 Valve의 開度を $A/A_0=1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0$ 의 순으로 全開로부터 完全폐쇄에 이르기까지 6단계로 나누어 같은 조건하의 실험을 수행하였다.

流量의 계측은 pitot 管을 manometer와 연결하여 측정된 差壓을 미리 작성한 檢定曲線에 의하여 流量으로 환산하였다. 동시에 流量의 振動을 측정하기 위하여 pitot 管의 高壓側과 低壓側을 差壓計에도 연결하여 이 출력을 增幅記錄하였다. 壓力差 또한 Test 管의 入口와 出口에 壓力 tap를 만들어 流量의 경우와 마찬가지로

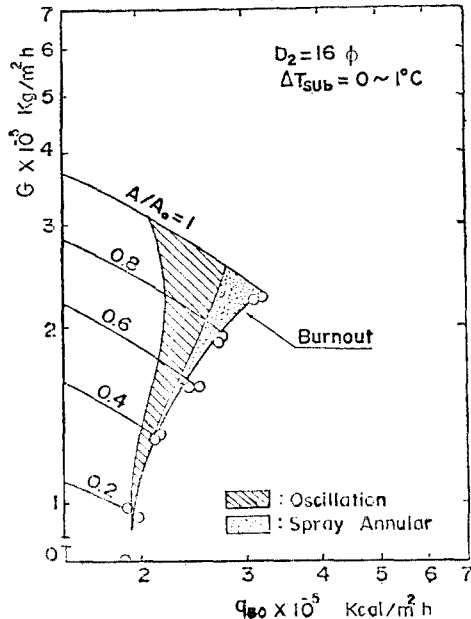


Fig. 1-1. Mass Flow Rate VS. Burnout Heat Flux at $\Delta T_{sub}=0-1^\circ\text{C}$, $D_2=16\text{mm}$.

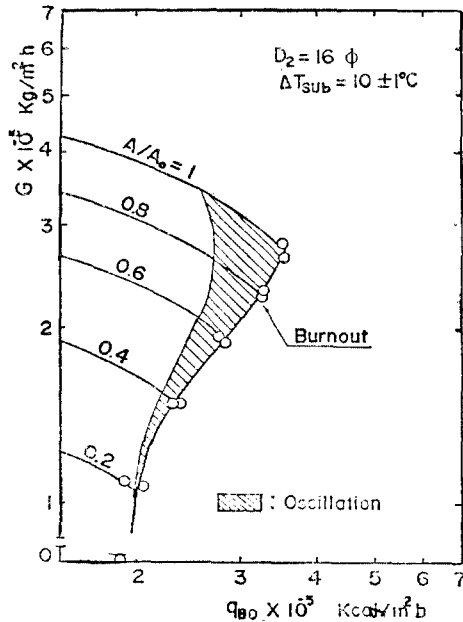


Fig. 1-2. Mass Flow Rate VS. Burnout Heat Flux at $\Delta T_{sub}=10\pm 1^\circ\text{C}$, $D_2=16\text{mm}$.

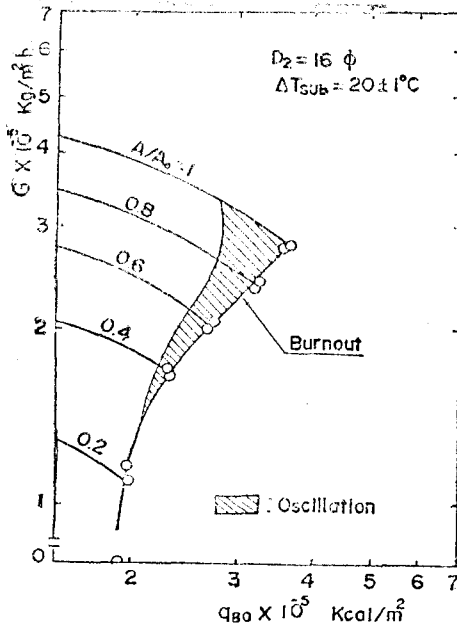


Fig. 1-3. Mass Flow Rate VS. Burnout Heat Flux at $\Delta T_{sub} = 20 \pm 1^\circ C$, $D_2 = 16$ mm.

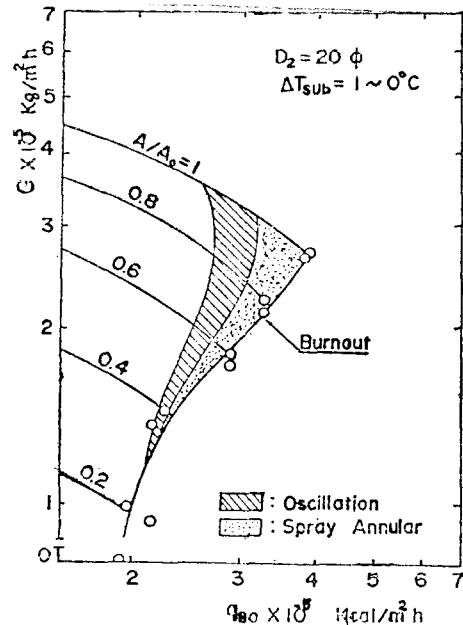


Fig. 1-4. Mass Flow Rate VS. Burnout Heat Flux at $\Delta T_{sub} = 1 \sim 0^\circ C$, $D_2 = 20$ mm.

manometer 와 差壓計에 同時 연결함으로써 差壓을 計測 또는 記錄하였다.

사용한 差壓計는 日本新興通信(株)製 D.P 型 差壓計로서 이 差壓計는 檢出部에 Strain gage 를 부착하여 差壓의 표시를 出力電壓으로 읽을 수 있으며 이를 다시 差壓으로 환산할 수 있다. 流量의 振幅(瞬間最大流量—瞬間最少流量)의 計測에 있어서는 記錄計의 記錄에 나타난 일정구간의 振幅을 紙面상에서 實測하여 그 平均을 취하였으며 이를 流量의 變動幅 즉 振幅으로 환산하였다. 記錄紙상에서의 量的基準은 同時 조작한 manometer 에 의존하여 설정하였다.

溫度計測에 있어서는 test 部 入口에 抵抗式溫度計, 出口에 CA 熱電對를 사용하였다.

Test 部는 直徑 10 mm 의 硬質유리管에 直徑 1 mm 의 nichrome 線 180 mm 를 나사狀으로 감고 이에 內徑 16, 20, 24 mm 의 硬質유리管을 同心으로 끼워 加熱長 250 mm 로써 3種의 環狀流路를 형성케 하였다.

3種의 Test 部에 대한 實驗조건은 다음과 같다.

入口 Subcooling $\Delta T_{sub} = 0 \sim 1^\circ C$, $10 \pm 1^\circ C$, $20 \pm 1^\circ C$

流量 $G = 0 \sim 6 \times 10^5$ kg/m²h

Burnout quality $x_{BO} = 0 \sim 0.32$

系壓力 $P = 1$ kg/cm²

riser 높이 $H = 340$ mm (一定)

3. 實驗結果 및 檢討

3-1. Burnout 關係式

주어진 Test 部에 대한 Burnout 相關은 일반적으로 다음 식으로 정의된다.

$$f(p, t_{in}, q_{BO}, x_{BO}) = 0 \tag{3.1}$$

여기서 P 는 系의 壓力, t_{in} 은 Test 部 入口溫度, q_{BO} 는 Burnout 熱流束, x_{BO} 는 Burnout quality 이다. 본 연구에서는 3種의 Test 部에 대하여 壓力과 入口溫度를 일정하게 유지하는 상태에서 Burnout 에 이르도록 하였으므로 (3.1)식을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} f(q_{BO}, G) &= 0 \\ \text{또는 } f(q_{BO}, x_{BO}) &= 0 \\ \text{또는 } f(G, x_{BO}) &= 0 \end{aligned} \right\} \tag{3.2}$$

본 二重管에 대하여 Test 部 入口와 出口 사이의 熱的 平衡을 근거로 相關式을 구해 보면

$$\begin{aligned} q_{BO} &= \frac{(d_2^2 - d_1^2)}{4d_1^2 \cdot l_{BO}} G \{ C_p (t_{sat} - t_{in}) + x_{BO} \cdot h_{fg} \} \\ &= \frac{(d_2^2 - d_1^2)}{4d_1^2 \cdot l_{BO}} G (C_p \Delta T_{sub} + x_{BO} \cdot h_{fg}) \end{aligned} \tag{3.3}$$

$$x_{BO} = \frac{4d_1^2 \cdot l_{BO} \cdot q_{BO} / (d_2^2 - d_1^2) G - C_p \Delta T_{sub}}{h_{fg}} \tag{3.4}$$

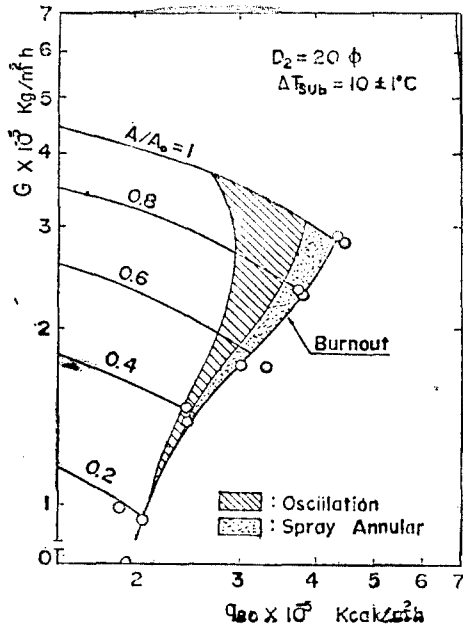


Fig. 1-5. Mass Flow Rate VS. Burnout Heat Flux at $\Delta T_{sub}=10\pm 1^\circ C$, $D_2=20$ mm.

$$G = \frac{4d_1^2 \cdot l_{BO} \cdot q_{BO}}{(d_2^2 - d_1^2) (C_p \Delta T_{sub} + x_{BO} \cdot h_{fg})} \quad (3.5)$$

단, t_{sat} 는 飽和溫度, $\Delta T_{sub} = t_{sat} - t_{in}$, h_{fg} 는 蒸發潛熱, C_p 는 定壓比熱, G 는 重量流量, l_{BO} 는 Burnout 점까지의 加熱長이다.

일반으로 q_{BO} 를 G 와 대응하여 정리함으로써 沸騰二相流의 熱流體力學的 추이와 Burnout 한계를 보다 효율적으로 표현할 수 있으며 $q_{BO} \sim \Delta T_{sub}$ 의 相關 및 $q_{BO} \sim x_{BO}$ 의 相關에 의해서는 Test 部の 入口조건 (ΔT_{sub})와 Burnout 점의 국소상태 (x_{BO})를 나타낼 수 있다는 점에서 의의가 있다.

3-2. 外管徑(D₂)의 크기의 영향

Burnout 에 이르기까지의 流動特性 내지 Burnout 機構에 미치는 D_2 의 영향은 強制對流의 경우와 근본적으로 큰 차가 없다. 強制對流의 경우는 Void의 증가에 따라 증가한 流動抵抗을 pump의 驅動으로 극복하여 일정 流量을 유지시킬 수 있지만 自然對流에서는 加熱에 의한 比重量의 감소 특히 Void의 증가에 의한 浮力과 流動抵抗의 대소관계에 따라 流動特性이 좌우되며 Burnout 거동에도 영향을 미치게 된 것으로 볼 수 있다. 즉, 自然對流에서는 熱流束의 증가와 더불어 어느 한계까지는 浮力の 증가로 流量이 증가하지만 형성된 二相流가 상

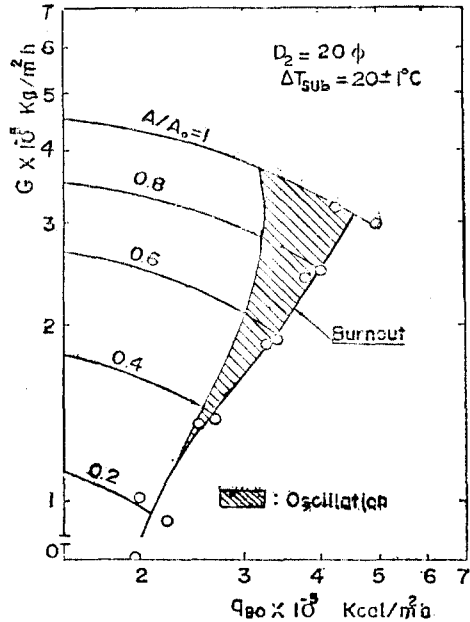


Fig. 1-6. Mass Flow Rate VS. Burnout Heat Flux at $\Delta T_{sub}=20\pm 1^\circ C$, $D_2=20$ mm.

당히 발달한 氣泡流의 영역에 들어가면서부터는 浮力보다는 오히려 流動抵抗이 우세하여 流量의 감소를 초래하기 때문에 熱傳達은 현저히 감소하여 Burnout 를 조기에 앞당기게 된다. Burnout 를 조기에 발생케 하는 또 하나의 요인으로서는 水力學의 不安定에 기인한 脈動을 들 수 있다. 強制對流에서는 pump의 驅動으로 Void의 管内체류가 억제되므로, 不安定性이 억제되는 반면 自然對流에서는 二相流의 浮力에만 의존하여 자체적으로 驅動되기 때문에 不安定性의 개재요인이 되는 Void의 체류를 일소할만큼 驅動力이 충분치 못하여 자칫 不安定性脈動을 유치하기 쉽다. 脈動이 유치되어 Void가 Test 部내에 충분한 순간 Burnout와 연결될 수 있게 된다. Fig. 1은 絞縮比 A/A_0 를 매개변수로 하여 D_2 의 변화에 따른 流動형태의 추이와 Burnout 한계를 표시한 그림이다. D_2 의 증가에 따라 不安定性이 억제되는 대신 分散環狀流의 성향이 강하게 나타나며 Burnout 熱流束은 일률적으로 증가하고 있음을 볼 수 있다.

ΔT_{sub} 의 영향은 $D_2=16, 20\phi$ 의 경우 ΔT_{sub} 가 감소할수록 不安定性은 조기에 유치되고 分散環狀流 역시 조기에 형성됨을 볼 수 있다.

$D_2=20\phi$ 에서는 ΔT_{sub} 에 관계없이 不安定性이 배제되고 氣泡流에서 바로 分散環狀流로 추이하며 ΔT_{sub} 가

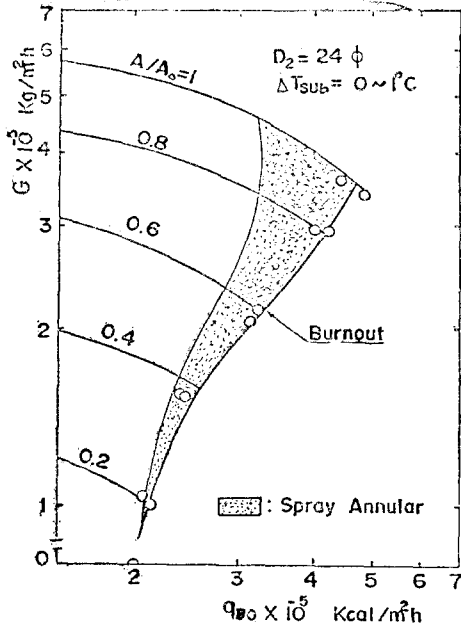


Fig. 1-7. Mass Flow Rate VS. Burnout Heat Flux at $\Delta T_{sub}=0\sim 1^\circ\text{C}$, $D_2=24\text{ mm}$.

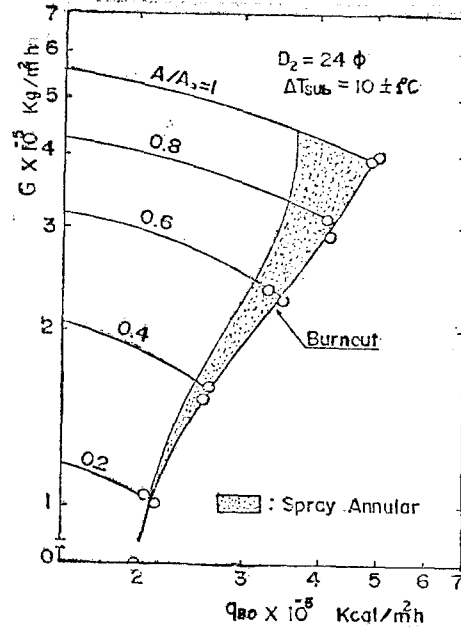


Fig. 1-8. Mass Flow Rate VS. Burnout Heat Flux at $\Delta T_{sub}=10\pm 1^\circ\text{C}$, $D_2=24\text{ mm}$.

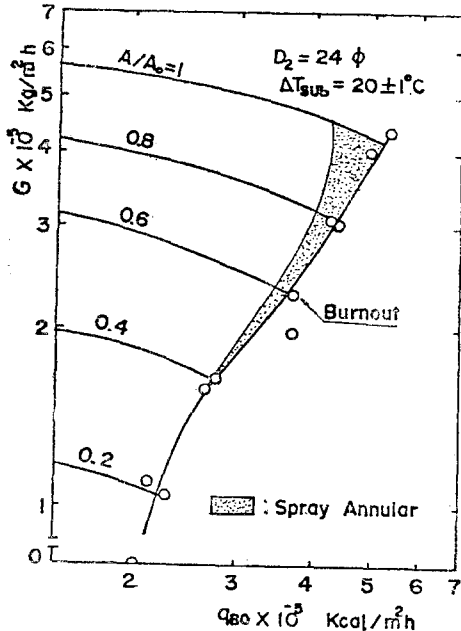


Fig. 1-9. Mass Flow Rate VS. Burnout Heat Flux at $\Delta T_{sub}=20\pm 1^\circ\text{C}$, $D_2=24\text{ mm}$.

증가함에 따라 分散環狀流의 영역이 좁아짐을 알 수 있다. 요컨대 Burnout 에 이르기까지의 流動履歷(Flow History)은 D_2 와 ΔT_{sub} 에 의하여 달라지지만 양자의

영향을 종합적으로 고찰하면 D_2 가 작고 ΔT_{sub} 가 작을수록 不安定性脈動은 조기에, 그리고 分散環狀流 또한 조기에 형성되어 Burnout 와 연결되고, D_2 가 크고 ΔT_{sub} 가 클수록 不安定性은 억제되며 分散環狀流의 영역이 좁아진다.

$D_2=16\phi$ 에서의 $\Delta T_{sub}=10^\circ, 20^\circ$ 및 $D_2=20\phi$ 에서의 $\Delta T_{sub}=20^\circ$ 의 경우에는 分散環狀流가 형성되기 전의 脈動이 지속되는 과정에서 Burnout 가 발생하고 있다.

D_2 와 ΔT_{sub} 가 分散環狀流의 형성에 기여하는 현상을 機構적으로 고찰하면 다음과 같다. 같은 熱流束에 대하여 D_2 의 증가는 흐름방향의 Void 率의 감소로 말미암은 抵抗의 감소를 의미하게 되므로 따라서 流量의 증가를 초래하여 Reynolds 數가 증가하게 된다.

Reynolds 數가 증가하면 亂流混合이 보다 활발하여 發生氣泡의 擴散도 효율적으로 이루어지기 때문에 分散流의 特性이 강하게 나타난다. 한편 ΔT_{sub} 가 감소하면 氣泡의 발생과 그 존속조건이 향상하여 熱流束이 어느 한계 이상으로 증가하면 傳熱內管 주위에 水膜이 형성되며 外管쪽에 Void 가 집결하는 소위 環狀流가 형성됨으로써 水膜과 Void 간에는 物質交換이 활발히 이루어지는 亂流擴散의 特性을 띠게 된다. 이상에서 고찰한 바와 같이 D_2 의 증가에 의한 亂流分散효과와 ΔT_{sub} 의 감소에 의한 亂流擴散효과는 다 같이 混合을 촉진함으

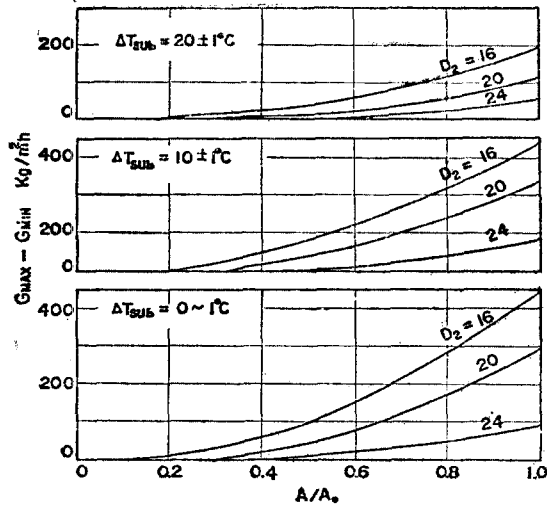


Fig. 2. $\Delta G_{VS} A/A_0$.

로써 分散環狀流에 기여한다는 점에서는 같지만 근본적으로는 전자의 경우가 流體力學的 작용에 의한 것인데 비하여 후자는 熱的인 作用에 의한 것이라 할 수 있다. 본 연구에서는 分散流와 環狀流를 구분하지 않고 포괄적으로 分散環狀流라 규정하였으나 기실 D_2 가 클 때에는 分散流가 지배적인 分散環狀流인데 대하여 ΔT_{sub} 가 작은 경우에는 環狀流가 지배적인 分散環狀流가 형성되는 점에 주목을 요한다.

$D_2=24\phi$ 의 경우는 거의 脈動이 개재하지 않는 안정된 상태에서 分散環狀流가 형성되고 있는데 이는 역시 脈動을 유지하는 熱的인 요인보다 流體力學的인 요인이 크게 지배한 까닭이라 할 수 있다.

3-3. 絞縮比(A/A_0)의 영향

自然對流에서 Valve를 교축하면 流量이 감소하며 q_{BO} 를 감소케 하는 효과가 있는 반면 교축으로 인하여 不安定性이 억제되어 q_{BO} 를 증가케 하는 반대효과를 아울러 생각할 수 있다. Burnout에 미치는 이 두가지 상반된 효과는 서로 상쇄적으로 작용하여 Burnout 조건을 형성하게 된다.

실험결과를 A/A_0 를 매개변수로 하여 표시한 Fig. 1에서 할 수 있는 바와 같이 $A/A_0=1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2$ 로 감소함에 따라 q_{BO} 는 일률적으로 감소하고 있다. 이는 교축으로 인한 冷却효과가 감소가 q_{BO} 의 감소에 지배적으로 작용한 결과라 할 수 있다. 한편 Burnout

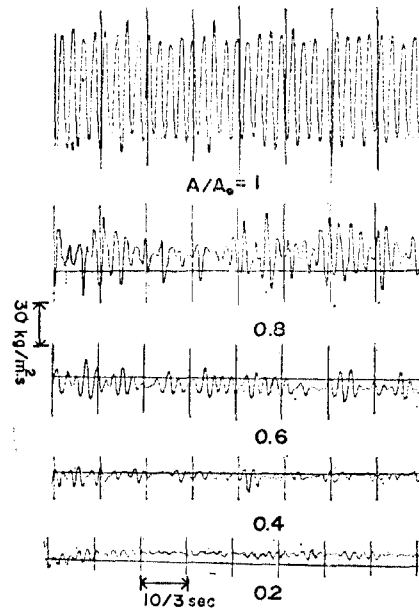


Fig. 3. Recordings of Flow Oscillation at $\Delta T_{sub} = 20 \pm 1.0^\circ C$, $D_2=20$ mm

에 이르기까지의 流動履歷은 A/A_0 가 감소할수록 脈動과 分散環狀流의 영역이 체감될 뿐 아니라 記錄計의 기록상에 나타난 脈動의 振幅 또한 현저히 감소하고 있다. 즉 流量이 감소하면 冷却효과가 감소함은 물론 교축이 진행함에 따라 管内沸騰이 pool沸騰으로 천이하게 될 것이 생각되므로 Burnout 또한 管内 혹은 Pool Burnout의 어느 범주에 속하느냐 하는 문제가 제기될 수 있으나 이에 대한 문제는 다음의 연구로 미루기로 한다.

絞縮過程의 관찰에 따르면 絞縮比가 0.2 이하에서는 管上部의 蒸氣含有率は 매우 높으며 Valve를 완전히 닫게 되면 管의 下部는 冷却水로, 上部는 蒸氣에 의하여 점유되어 水柱의 완전분리 현상이 발생한다.

이 때의 Burnout는 上端部位 한곳에만 국한되지 않고 蒸氣로 쌓인 부분이 거의 동시적으로 過熱되어 Burnout와 연결된다. 이 때의 過熱 내지 Burnout 문제는 原子爐의 壓力管 파열로 인한 冷却水 流失시의 再冠水 효과와도 밀접한 관계가 있는 문제로서 별도의 연구가 필요하다고 본다. Fig. 2는 絞縮比와 Burnout 직전의 振幅 ΔG 의 관계를 표시한 그림이다. D_2 의 증가와 ΔT_{sub} 의 증가에 따라 振幅은 점차 감소됨을 볼 수 있으며 특히 絞縮比가 0.2 이하에서는 거의 脈動의 特性을 찾아 볼 수 없다. Fig. 3은 $D_2=20\phi$, $\Delta T_{sub}=20^\circ C$ 의

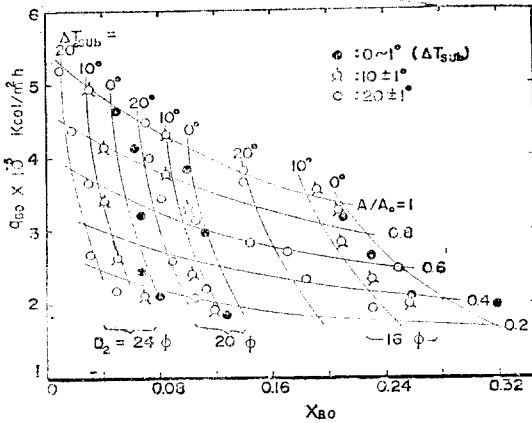


Fig. 4. Burnout Heat Flux VS. Burnout Quality.

경우의 流量의 振動을 記錄한 것으로 역시 絞縮比가 0.4, 0.2에서는 振幅의 미소함과 周期의 不調로 미루어 振動이라 하기 보다는 오히려 약한 非定常亂流 내지는 沸騰流 본연의 亂調로 생각함이 타당하다고 본다. 본 연구에서는 周期性이 뚜렷하고 平均振幅이 10 kg/m²h 이상을 脈動으로 간주하였다. Fig. 4는 얻어진 Data를 $x_{BO} \sim q_{BO}$ 의 상관으로 정리한 그림이다. Data는 상당한 散亂을 보이고 있지만 그러나 그림의 實線에 의하여 표시된 바와 같이 뚜렷한 경향을 엿볼 수 있다. 즉, 絞縮比와 ΔT_{sub} 가 클수록 q_{BO} 는 증가 추세이고 D_2 가 클수록 低 quality, 작을수록 高 quality Burnout를 지향하게 되는데 이는 強制對流의 경우와 유사하다.

특히 A/A_0 가 작을수록 曲線의 경사가 완만해짐을 볼 수 있는데 이는 A/A_0 가 零(완전 폐쇄)에 收束함에 따라 q_{BO} 의 값이 일정값으로 收束하는 것을 시사한 것으로서 이를 Fig. 5의 $q_{BO} \sim A/A_0$ 의 관계에 보면 더욱 확연히 알 수 있다. 본 실험을 통하여 확인된 q_{BO} 의 收束값은 1.9×10^5 kcal/m²·h 였다.

이와 같이 A/A_0 의 감소에 따라 D_2 간의 q_{BO} 의 값의 차가 축소되고 결국에 가서는 유일한 收束값을 취한 까닭은 流量의 감소에 따라 冷却효과가 적어지며 流量이 全無할 때는 蒸氣로 둘러쌓인 上部加熱體의 物性值만으로 Burnout가 결정되기 때문이라 생각된다.

3-4. 壓力差 Δp 에 의한 정리

Test部 入口와 出口간의 壓力差 Δp 는 入口 Sub-cooling, 流量 및 熱流束에 따라 결정되며 Δp 에는 摩擦損失 Δp_F , 水位差 Δp_H , 加速損失 Δp_A 등이 포함된다. 즉

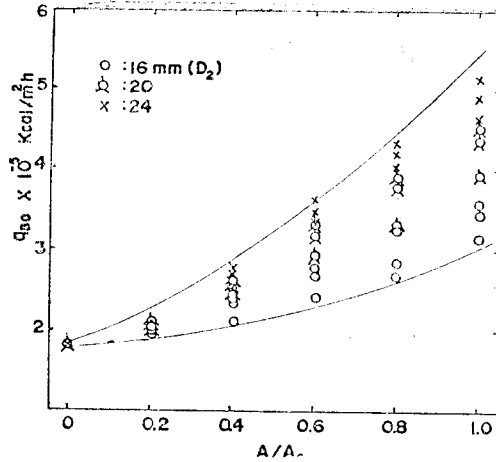


Fig. 5. Burnout Heat Flux VS. A/A_0 .

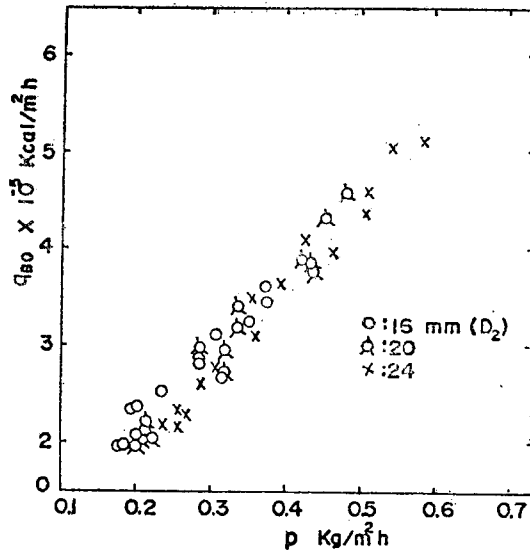


Fig. 6. Burnout Heat Flux VS. Pressure Drop.

$$\Delta p = \Delta p_F + \Delta p_H + \Delta p_A$$

$$= \int_{inlet}^{outlet} \left\{ \left(\frac{dp}{dl} \right)_F + \left(\frac{dp}{dl} \right)_H + \left(\frac{dp}{dl} \right)_A \right\} dl \quad (3.6)$$

로 표시된다. Fig. 6은 Δp 와 q_{BO} 의 관계를 표시한 것으로서 Burnout에 미치는 각 因子의 효과가 Δp 에 포함되어 거의 直線的인 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 強制對流에서 流動抵抗과 流體의 亂流擴散 및 傳熱面上的의 氣液交換을 전제로 한 Torikai¹⁰⁾의 Burnout 식을 도입하여, 본 自然對流 二重管의 경우에 적용하여 검토해 보겠다.

自然對流라 할지라도 Burnout 직전의 흐름에서는 流

體의 相이 크게 변화하여 流速이 빨라지므로 傳熱面에 미치는 효과는 強制對流의 경우와 동일함은 물론이다. Torikai의 식은

$$q_{BO} = h_{fg} \cdot U_m \cdot \rho_l \cdot \frac{k_l}{8} (1 - \alpha_{vm}) \quad (3.7)$$

로 표현되는데 여기서 U_m 는 管入口의 平均流速, ρ_l 은 液體의 密度, k_l 은 流體의 摩擦係數, α_{vm} 은 蒸氣 Void 이다. (3.7) 식은 圓管에 관한 식이므로 摩擦係數 k_l 을 二重管에 관하여 구하여 (3.7) 식에 대입하면

$$k_l = \frac{4(r_2 - r_1)}{\rho U_m^2} \frac{dp}{dl} \quad (3.8)$$

$$\therefore q_{BO} = \frac{(r_2 - r_1)}{2} h_{fg} \frac{r(1 - \alpha_{vm})}{G} \cdot \frac{dp}{dl} \quad (3.9)$$

dp/dl 는 국부적인 값을 취하는 것이 마땅하지만

$$\frac{dp}{dl} = \frac{A(p_{in} - p_{exit})}{l} \quad (A \text{ 는 상수})$$

와 같이 平均壓力差를 취해 보면

$$q_{BO} = \frac{A(r_2 - r_1)r}{2l} h_{fg} \frac{(1 - \alpha_{vm})}{G} (p_{in} - p_{exit}) \quad (3.10)$$

로 표시된다. q_{BO} 가 국부적인 값에 의하여 정해질 경우 $dp = (p_{in} - p_{exit})$ 와 같은 平均 값으로써 표현한다는 것은 타당하지 못할지 모르나 (3.10) 식을 하나의 경향으로서 보는데는 충분한 뜻이 있다. 그림에서와 같이 $q_{BO} - dp$ 의 관계가 직선으로 표시된 것은 (3.10) 식으로 미루어서도 납득할 수 있다.

4. 結 論

3종의 Test 部에 대하여 각각 같은 조건하에서 絞縮比 A/A_0 (= Valve 의 流路斷面 / 全開面積) 를 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0 의 순으로 全開로부터 完全閉쇄에 이르기까지 6단계로 나누어 實驗을 실시한 결과 다음의 결과를 얻었다.

1. ΔT_{sub} , D_2 및 A/A_0 가 증가 증가할수록 q_{BO} 는 일률적으로 증가한다.
2. ΔT_{sub} 및 D_2 가 감소할수록 水力學的 不安定性이 조기에 유지되고 A/A_0 가 감소할수록 不安定性이 억제되면서 q_{BO} 는 감소한다.

3. ΔT_{sub} 가 감소할수록 環狀流의 성향이 강해지며 D_2 가 증가할수록 分散流의 성향이 강한 分散環狀流를 형성하여 A/A_0 의 감소에 따라 分散環狀流의 發生範圍는 좁아진다.

4. D_2 , ΔT_{sub} 및 A/A_0 가 증가할수록 高流速, 低 quality Burnout 를 감소할수록 低流速 高 quality Burnout 를 지향한다.

5. A/A_0 가 감소할수록 각 D_2 에 대한 q_{BO} 값의 차는 적어지면서 $A/A_0 = 0$ 일 때의 값 $1.9 \times 10^6 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$ 에 收束한다.

6. q_{BO} 를 dp 에 관하여 정리하면 D_2 , ΔT_{sub} , A/A_0 에 관계없이 直線의 相關이 있다.

附 記

본 연구는 産學協同財團의 研究支援資金에 의하여 이루어진 것이다. 當局에 깊은 사의를 표하며, 아울러 본 실험을 수행함에 있어 적극 협력하여준 학생 金仁錫, 姜一, 鄭光郁, 咸慶春, 趙載壽 제군에게도 치하를 보낸다.

參 考 文 獻

1. Tong, L. S., H. B. Currin, and F. C. Engel, USEAC Report WCAP-3736 (1964).
2. Janssen, E., and S. Levy, General Electric Company Report APED-3892 (1962).
3. Bernath, L., Heat Transfer Symposium, A. I. Ch. E., National Meeting, Louisville, Kentucky (1955).
4. K. M. Baker, AE-131 (1964).
5. 寺野·外, 日本機械學會論文集, 28-195 (1962).
6. 葉山, 日本機械學會論文集, 28-195 (1962).
7. 趙, 大韓機械學會誌, 13-3 (1973).
8. 山崎, 外, 日本機械學會講演論文集, (1972).
9. 趙, 大韓機械學會誌, 13-1 (1973).
10. 鳥飼, 日本機械學會編, 沸騰熱傳達, p. 209.