

圓環풀内에서 Quencher Device에 의한 高溫水 噴出로 일어나는 混合流動에 關한 研究

崔 星 錫* · 金 鍾 輔**

Analysis of Flow and Thermal Mixing Responses on Hot Water
Discharge by Quencher Devices into an Annular Water
Pool

Seong Seok Choi and Jong Bo Kim

ABSTRACT

One of the problems with the Boiling Water Reactor involves the flow and thermal mixings in the suppression water pool high pressure steam discharge into the pool in case of emergency core relief. Various heat sensitive devices and pumps for the reactor core cooling are installed in the middle of the suppression pool.

Especially the pumps utilize pool water in order to cool the reactor core in emergency cases. In this case, the water temperature for the reactor cooling should be below a certain temperature specified by the reactor design.

In the present investigation, in order to determine the optimum locations of these pumping devices, numerical solutions have been obtained for the model to determine the flow mixing characteristics. Experimental investigations have also been carried out for the flow mixing and for the thermal mixing in the pool during the discharge. Considering that the discharge steam through the Quenching Device becomes hot water immediately in the water pool, the steam-equivalent hot water has been utilized.

Examining these characteristics, it becomes possible to determine the best locations for RCIC, LPCI, HPCI pumps in the suppression water pool for the emergency reactor core cooling.

* 仁荷大學校

** 正會員, 仁荷大學校 工科大學

NOMENCLATURE

Symbol	: Meaning
f	: arbitrary continuous function
g	: gravity
i, j	: nodal point
I	: unit imaginary
k	: source point
k_1, k_2, k_3	: sink points
M, N	: number of horizontal and vertical lines in the grid system, respectively
P	: pressure
t	: independent variable of time
u, v	: velocity components in the X- and Y-direction, respectively
V	: amplitude function
w	: vorticity
x, y	: cartesian coordinates of grid points
α	: thermal diffusivity of water
β	: volume expansivity of water
δ	: finite difference operator
$\Delta x, \Delta y$: uniform mesh length in the X- and Y- direction, respectively
Δt	: uniform time step
θ	: temperature
ν	: kinematic viscosity of water
ρ	: density of water
ϕ	: steam function
Δ^2	: Laplacian operator
Subscript	
Superscript :	
p	: time level
n	: iteration level

1. 序 論

비등수형 原子爐 (Boiling Water Reactor : BWR)는 단일순환계통 (One Loop System)을 사용한 原子爐 계통으로 原子爐의 가동시 原子爐內의 蒸氣壓力이 허용치 이상 올라갈때 정상 가동을 위하여 안전밸브인 S/R (safety relife) 밸브가 열리며 高壓의 蒸氣는 Quenching Device 를 통하여 原子爐 주위에 설치된 진압풀 (suppression Water pool) 속으로 분산되며 응축된다. (1)~(6)

高溫의 蒸氣가 噴出될때 풀內에서의 국부적 溫度上昇은 풀內에 설치된 RCIC (Reactor Core Isolation Coolant), HPCI (High Pressure Coolant Injection), LPCI (Low Pressure Coolant Injection) 펌프등과 같은 중요한 機器들에 影響을 주며 진압풀內의 물이 펌프들을 使用하여 原子爐內로의 冷却用水로 使用할때는 한정된 溫度 以下의 물을 使用해야하기 때문에 設計 주의를 要하고 있다. (1)

이러한 이유에서 蒸氣가 풀內로 분사되는 동안에 原子爐의 정상가동을 위하여 이 펌프들이 설치된 곳의 풀內의 물은 한계 溫度 以上이 되지 않도록 제한을 받고 있다.

本 研究에서는 풀內에서의 蒸氣噴出에 따른 時間에 對한 流體流動現象을 數値解法을 통하여 해석적으로 규명하고 熱的 混合特性을 Quenching Device 를 사용하여 高溫水를 풀內에 噴出시킴으로 觀察하여 규명하고 있다.

2. 理論解析

原子爐의 S/R 밸브작동시 高溫蒸氣에 의한 진압풀內의 流動現象을 研究하기 위하여 BWR 의 진압풀을 Fig.2-1 과 같이 二次元으로 單純化 하였다.

2-1 基本 方程式

2-1-1 基本方程式

1) 연속方程式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2-1)$$

2) 운동량 方程式 (Navier-Stokes'

equation) X-direction (수평)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \nu \Delta^2 u \quad (2-2)$$

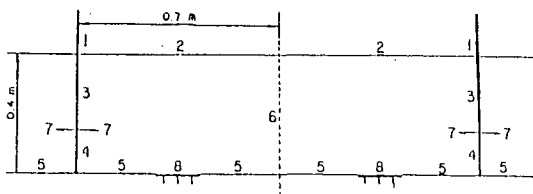
Y-direction (수직)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dy} + \nu \Delta^2 v -$$

$$g + g\beta(\theta - \theta_0) \quad (2-3)$$

3) 에너지 方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} = \alpha \Delta^2 \theta \quad (2-4)$$



1 ; Vent Pipe
2 ; Acquomed Solid Insulated Upper Wall
3 ; Actual Pipe Wall
4 ; Acquomed Solid Wall
5 ; Insulated Lower Wall
6 ; Imaginary Slip Wall
7 ; Inlet Hot Water Opening
8 ; Outlet Water Opening

Fig. 2-1 Schematic Contour of the Simplified Two Dimensional Model

2-1-2 流動함수와 渦度변형 方程式

溫度變數 θ 가 式 (2-4) 에 의해 計算 되어질 때, 式 (2-2), (2-3) 에는 3개의 未知變數 $u \cdot v \cdot p$ 가 있다. 表面에서 壓力을 0 이라하면, 表面에서 h 되는 깊이에서 $P = \rho gh$ 이며 $\partial p / \partial x = 0$ 이 된다.

1) 流動함수의 정의

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} = u, \quad \frac{\partial \phi}{\partial x} = -v \quad (2-5)$$

2) 渦度の 정의

$$w = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = -\Delta^2 \phi \quad (2-6)$$

3) 渦度變形 方程式

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} = \nu \Delta^2 w + g\beta \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (2-7)$$

위의 流動함수, 渦度정의와 式 (2-1)~

(2-4) 에 의해 다음의 式이 유도된다.

4) 연속 변형 方程式

$$u \frac{\partial f}{\partial x} + v \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} (uf) + \frac{\partial}{\partial x} (vf) \quad (2-8)$$

5) 渦度 變形 方程式

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (uw) + \frac{\partial}{\partial y} (vw) = \nu \Delta^2 w + g\beta \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (2-9)$$

or

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \cdot w \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{\partial \phi}{\partial x} \cdot w \right) = \nu \Delta^2 w + g\beta \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (2-10)$$

6) 에너지변형 方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (u\theta) + \frac{\partial}{\partial y} (v\theta) = \alpha \Delta^2 \theta \quad (2-11)$$

or

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \cdot \theta \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{\partial \phi}{\partial x} \cdot \theta \right) = \alpha \Delta^2 \theta \quad (2-12)$$

2-1-3 實驗方法

本 研究에서는 前進差分法, 中心差分法 (forward-time, centeredspace difference method) 을 사용했다.

前進差分法

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\delta f}{\delta t} = \frac{f^{t+1} - f^t}{\Delta t} + O(\Delta t) \quad (2-13)$$

中心差分法

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\delta f}{\delta x} = \frac{f_{x+\Delta x} - f_{x-\Delta x}}{2\Delta x} + O(\Delta x^2) \quad (2-14)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{\delta^2 f}{\delta x^2} = \frac{f_{x+\Delta x} - 2f_x + f_{x-\Delta x}}{\Delta x^2} + O(\Delta x^2) \quad (2-15)$$

절연경계면에서

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\delta f}{\delta x} = \frac{-3f_x + 4f_{x+\Delta x} - f}{2\Delta x} + O(\Delta x^2) \quad (2-16)$$

여기에서 f 는 未知變數이며 式(2-13) ~ (2-16) 는 Taylor 급수에서 前進差分法을 발전시켜서 쉽게 얻을 수 있다.

2-2 ADI 方法

陰的 (implicit) 또는 ADI 方法이 대류의 확산문제를 취급하는 研究에서는 가장 보편적인 方法으로서 2次元 陰的 方法을 얻기위해 時間을 단계적으로 나누어 使用하였다. 이러한 상태는 오직 Antitridiagonal matrix 요구한다. 이 작업에서 Peaceman-Rachford(8) ADI 方法을 사용하여 問題를 간단하게 만들었다. 여기에서

$$\frac{\delta}{\delta x}, \frac{\delta^2}{\delta x^2} \text{는 } i \text{에서 } \frac{\delta}{\delta y}, \frac{\delta^2}{\delta y^2} \text{는 } j \text{에 對한}$$

中心差分近似法을 가르킨다.

式(2-9), (2-11) 을 더 발전시키면 다음식을 얻을수 있다.

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial y} \omega \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \omega \right) + \nu \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + g\beta \frac{\partial \beta}{\partial x} \quad (2-17)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial y} \theta \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \theta \right) + \alpha \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \alpha \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \quad (2-18)$$

따라서

ADI on X.

$$\begin{aligned} \frac{\omega^{p+1,2} - \omega^p}{\Delta t/2} &= \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{\delta \psi}{\delta y} \omega^{p+1,2} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{\delta \psi}{\delta x} \omega^p \right) + \nu \frac{\delta^2 \omega^{p+1,2}}{\delta x^2} + \nu \frac{\delta^2 \omega^p}{\delta y^2} \\ &+ g\beta \frac{\theta^p}{\delta x} \\ \frac{\theta^{p+1,2} - \theta^p}{\Delta t/2} &= \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{\delta \psi}{\delta y} \theta^{p+1,2} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{\delta \psi}{\delta x} \theta^p \right) + \alpha \frac{\delta^2 \theta^{p+1,2}}{\delta x^2} + \alpha \frac{\delta^2 \theta^p}{\delta y^2} \end{aligned}$$

ADI on Y.

$$\begin{aligned} \frac{\omega^{p+1} - \omega^{p+1,2}}{\Delta t/2} &= - \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{\delta \psi}{\delta y} \omega^{p+1,2} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{\delta \psi}{\delta x} \omega^{p+1} \right) + \nu \frac{\delta^2 \omega^{p+1,2}}{\delta x^2} + \nu \frac{\delta^2 \omega^{p+1}}{\delta y^2} + \\ &g\beta \frac{\delta \theta^{p+1,2}}{\delta x} - \frac{\theta^{p+1} - \theta^{p+1,2}}{\Delta t/2} = \frac{-\delta}{\delta x} \left(\frac{\delta \psi}{\delta y} \theta^{p+1,2} \right) \\ &+ \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{\delta \psi}{\delta x} \theta^{p+1} \right) + \alpha \frac{\delta^2 \theta^{p+1,2}}{\delta x^2} + \alpha \frac{\delta^2 \theta^{p+1}}{\delta y^2} \end{aligned}$$

위의 式에서 오른쪽 2개의 비선형항들을 선형화시키기 위해 Torrance 에 의해 개발되어 자연대류의 混合問題를 解決하는데 성공적으로

사용되어진 方法을 使用하기로 한다. (9) (10)

나머지 항들은 中心差分法을 使用하였다.

S_e, S_w, S_s, S_n 을 다음과 같이 정의한다.

$$S_e = \frac{\psi_{i+1, j+1} - \psi_{i+1, j-1} + \psi_{i, j+1} - \psi_{i, j-1}}{4\Delta Y}$$

$$S_w = \frac{\psi_{i, j+1} - \psi_{i, j-1} + \psi_{i-1, j+1} - \psi_{i-1, j-1}}{4\Delta Y}$$

$$S_s = \frac{\psi_{i+1, j+1} - \psi_{i-1, j+1} + \psi_{i+1, j} - \psi_{i-1, j}}{4\Delta X}$$

$$S_n = \frac{\psi_{i+1, j} - \psi_{i-1, j} + \psi_{i+1, j-1} - \psi_{i-1, j-1}}{4\Delta X}$$

따라서 Torrance's 方法을 사용하여 다음을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \psi}{\partial y} \cdot f \right) |_{i, j} = \frac{1}{2\Delta x} [(S_e - |S_e|) \cdot f_{i+1, j} + (S_e + |S_e| - S_w + |S_w|) \cdot f_{i, j} - (S_w + |S_w|) \cdot f_{i-1, j}]$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \cdot f \right) |_{i, j} = \frac{1}{2\Delta y} [(S_n - |S_n|) \cdot f_{i, j+1} + (S_n + |S_n| - S_s + |S_s|) \cdot f_{i, j} - (S_s + |S_s|) \cdot f_{i, j-1}]$$

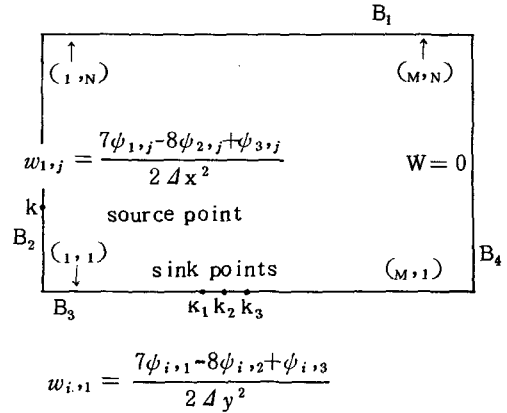
2-3 壁面에서 渦度

가상벽 B_4 는 渦度 분포를 위한 비대칭 특성을 갖고 있으며 이 벽을 따라 渦度는 流動함수의 경우와 마찬가지로 0 이 된다.

B_1, B_2, B_3 를 위해 벽면 渦度가 중요한 計算이 되므로 다른 方法을 使用했다.

$\frac{\partial w}{\partial t}$ 를 위해 변형 渦度式 (2-9) 을 사용해서 w 가 어떻게 해서 발달되고 확산되는지를 決定하여 준다. 전체 w 는 내부점에서 보존된다.

$$w_{i, N} = \frac{7\psi_{i, N} - 8\psi_{i, N-1} + \psi_{i, N-2}}{2\Delta y^2}$$



첫째 B_1 의 境界에서 Taylor Series 를 使用하여 벽면값 $\psi_{i, N}$ 로부터 B_1 이 발전되고, 두 번째로 $\psi_{i, N-2}$ 가 발전된다.

$$\psi_{i, N-1} = \psi_{i, N} - \frac{\partial \psi}{\partial y} |_{i, N} \Delta y + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} |_{i, N} - \frac{1}{6} \frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3} |_{i, N} \Delta y^3 + 0(\Delta y^4) \quad (2-19)$$

$$\psi_{i, N-2} = \psi_{i, N} - \frac{\partial \psi}{\partial y} |_{i, N} 2\Delta y + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} |_{i, N} 4\Delta y^2 - \frac{1}{6} \frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3} |_{i, N} 8\Delta y^3 + 0(\Delta y^4)$$

(2-20)

no-slip 조건에서 $\frac{\partial \psi}{\partial y} |_{i, N} = u_{i, N} = 0,$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} |_{i, N} = \frac{\partial u}{\partial y} |_{i, N}, \omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

벽면을 따라서 $v = \text{상수}$ (i.e. $v=0$) 이므로

$$\frac{\partial v}{\partial x} |_{i, N} = 0, \frac{\partial u}{\partial y} |_{i, N} = w_{i, N}$$

式 (2-19) 에 4 를 곱해서 式 (2-20) 를 빼면

$$\frac{1}{6} \frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3} |_{i, N} \Delta y^3 = \frac{1}{4} [-3\psi_{i, N} + 4\psi_{i, N-1} -$$

$$\psi_{i, N-2} + 2 \frac{\partial \psi}{\partial y} |_{i, N} \Delta y] = \frac{1}{4} [-3\psi_{i, N}$$

$$+4\phi_{i,N-1} - \phi_{i,N-2}] \left(\because \frac{\partial \phi}{\partial y} \Big|_{i,N} = 0 \right)$$

위의 式을 式(2-19)을 代入하면

$$\omega_{i,N} = \frac{7\phi_{i,N} - 8\phi_{i,N-1} + \phi_{i,N-2}}{2\Delta y^2} + O(\Delta y^2)$$

위의 式을 Jensen (12) 형태라 부르며 湧出·
 吸入점을 제외한 境界 B_2, B_3 에서 適用된다.

몰內的 流體流動現象에 關한 수치해석적으로
 구한 결과는 Fig. 2-2~2-5 에 나타난다.

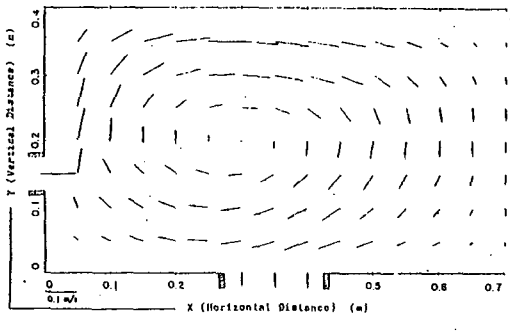


Fig. 2-2 Water Velocity Profile after 10 sec from Initial Hot Water Discharge into the Suppression Pool

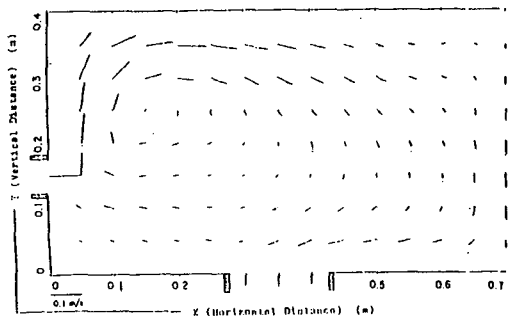


Fig. 2-3 Water Velocity Profile after 20 sec from Initial Hot Water Discharge into the Suppression Pool

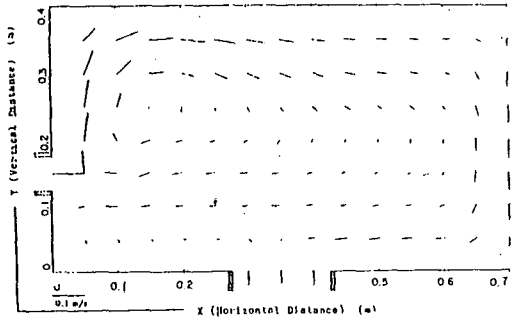


Fig. 2-4 Water Velocity Profile after 30 sec from Initial Hot Water Discharge into the Suppression Pool

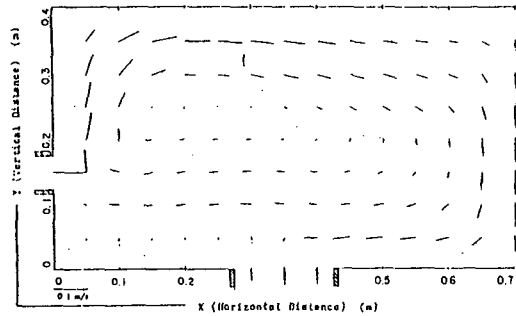


Fig. 2-5 Water Velocity Profile after 40 sec from Initial Hot Water Discharge into the Suppression Pool

3. 實驗裝置 및 實驗方法

3-1 實驗裝置

Fig.3-1 은 본 實驗裝置의 개략도이다. 물을 저장하고 供給해 주기 위하여 저수조(1X5)(200ℓ)를 設置하였으며 100℃의 沸을 유지하기 위하여 電氣 heater(250V, 12kw)와 열량을 조절할 수 있도록 加熱調節部를 設置했고 가열된 물을 均一하게 混合하기 위해 혼합기(7)를 設置했다. 밸브(9)바로위에 열전대선을 부착하여 Quencher 에 유입되는 沸이 100℃인지 확인했다

Fig.3-2 는 圓環몰로서 열적混合現象을 볼 수 있도록 두께 10mm의 투명아크릴을 사용하여 실

제 原子爐의 진압물의 規格을 36.6 : 1의 比로 축소하여 외경을 1000 mm 내경을, 600 mm 폴의 높이를 500 mm인 圓環폴을 제작하였다.

폴에 분출되는 高溫의 폴이 가진 熱량을 最大한 확산시키기 위하여 청동관(t, 1.5 mm × φ 12 mm)의 양측에 Fig.3-2 과 같이 直徑 1.0 mm 인 구멍을 5 mm 간격으로 관의 한 측면에 40 個로서 모두 80 個의 구멍을 뚫은 Quenching Device 를 폴의 밑바닥에서 100 mm되는 높이에 폴內에 대칭으로 2 개를 설치하였다.

폴內의 溫度를 측정하기 위하여 원주方向 및 半徑方向으로 폴의 대칭성을 고려하여 반원 부분의 精確한 위치에 設置한 열전대선 (C-C, T-type 0.3 mm)을 높이에 따라 배열하였다.

폴內의 時間에 따른 溫度분포를 測定하기 위하여 초당 10 個를 測定할 수 있는 Data Logger (FLUKE Model 2280A) 使用하였다.

3-2 實驗方法

高溫의 蒸氣를 진압폴에 噴出시킬때는 Quenching device 를 使用하므로서 蒸氣가 噴出될때 물과 접촉하는 面積을 最大한 넓게하여 蒸氣의 熱량을 分散시키므로서 응축을 촉진시키는 方法이며 Quencher 가 작용하는 초기에 蒸氣는 물과 접촉하는 즉시 100 °C의 물로 응축된다.

本 實驗에서는 폴에 噴出되는 蒸氣 대신에 蒸氣熱량에 가까운 100 °C의 高溫水를 使用하였다. 高溫水를 Quenching device 를 使用하여 圓環 폴內에 噴出시키면서 時間에 따른 폴內의 流動 流動과 溫度분포상태를 測定하고 있다.

Quencher 를 통해 噴出되는 유량은 실제 원자로에서 사용되는 범위를 축소한 유량 62 cm / sec 143 cm / sec 을 사용했다.

폴內의 물溫度 분포測定은 Fig.3-1 에서 밸브 (8)(9)를 開閉함과 동시에 高溫水가 噴出되어지고 이순간부터 Data Logger 는 미리짜여진 프로그램에 의해 測定 記錄하였다.

또한 Quencher Device 를 두개 使用하는 境遇와 1개 使用하는 境遇를 구별해서 實驗했다.

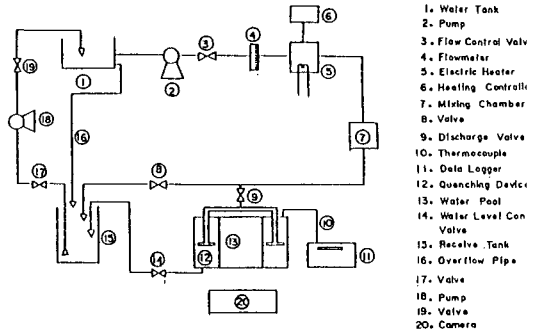


Fig. 3-1 Simple Diagram of Experimental System

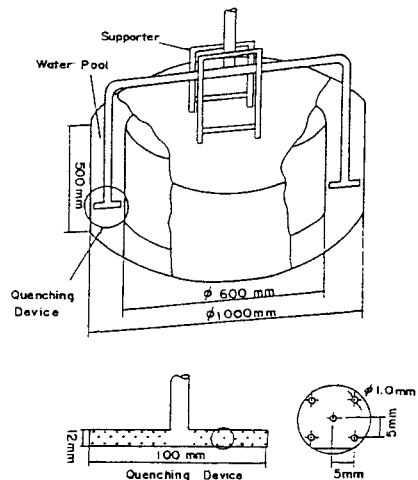


Fig. 3-2 Dimensions for Water Pool Mode and Quenching Device

4. 實驗結果 및 考察

各 유량에 對하여 測定한 測定値는 원주길이 方向 0°, 30°, 60°, 90°, 135°, 180°와 수직 높이가 50 mm, 150 mm, 250 mm, 295 mm, 300 mm 에 따라 구한 30 個의 溫度 測定值 平均溫度를 원주길이 方向(φ) 및 수직 方向(H)에 2次元으로 表示하였으며, 구한 溫度값을 時間에 따라 1 °C 차

이 範圍內에 속하는 各 溫度마다 연결하여 등온 선으로 表示하였다. 高溫水 噴出로 인하여 時間 이 경과함에 따라 풀의 表面 높이는 점차적으로 높아졌다.

풀內의 平均溫度는 다음式에 의해 얻어졌다.

$$T_M = \frac{M_o \times T_o + M_i \times T_i \times \tau}{M_o + M_i \times \tau}$$

T_M : 平均溫度

M_o : 초기 풀內의 물의 체적

M_i : 분출유량

T_o : 초기풀의 물溫度

T_i : 噴出되는 물의 溫度

τ : 噴出되는 時間

4-1 한개 Quencher 使用時의 時間에 따른 溫度분포

高溫水를 Quenching device 를 통하여 풀에 분출시켰을때 出口부분 溫度가 다른 부분보다 높은 溫度분포를 나타내며 초기에는 수직 方向과 원주길이 方向으로 확산현상을 보이고 있다.

40초 경과후 Quencher 부근은 25℃로 測定 되었으며 H 方向 100mm이상, ϕ 方向 0°~ 50° 에서 H 方向으로 급격한 기울기로 24℃, 23℃, 의 분포를 형성하며 초기 풀溫度분포인 20℃영역은 물의 表面에서 ϕ 方向으로 점차적으로 좁아지고 있다.

또한 水面을 따라 이동된 물이 ϕ 方向 180° 부근까지 影響을 미치고 있다. 即 40초 경과한 후 亞야 순환현상이 일어날 수 있다. H 方向 250mm이상에서 ϕ 方向 0°~ 15°에 나타나는 25℃ 의 溫度는 Quencher pipe 에 의한 影響의 結果 이다. 120초 경과후 풀內는 混合과 순환현상에 의해 전반적인 影響을 받고서 溫度가 上昇되고 있다. 반면 Quencher 밑부분, 即 50mm이하 0°~ 50°부근에는 초기 풀 물溫度에 근접한 21℃의 溫度분포를 나타낸다.

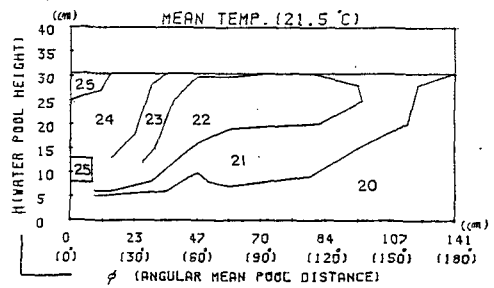


Fig. 4-1 Temperature Distribution after 40 seconds at flow rate of 62 cm/sec

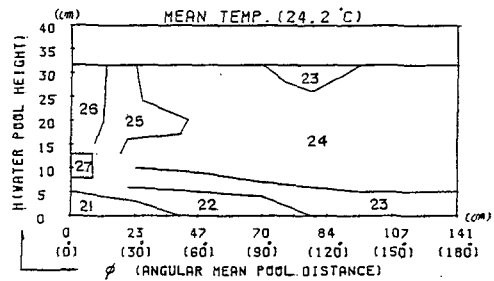


Fig. 4-2 Temperature Distribution after 120 seconds at flow rate of 62 cm/sec

4-2 두개 Quencher 使用時의 時間에 따른 分布

Fig.4-3~4-4 은 유량 62 cm/sec, Fig.4-5 ~ 4-6 은 유량 143 cm/sec 境遇의 時間에 따른 溫度分布이다.

분출량이 적은 유량 62 cm/sec 일때 초기에는 수직 方向으로 급격한 기울기로서 溫度分布 狀態를 나타내며 時間이 경과함에 따라 수면근처에서 점차적으로 원주길이 方向으로 확산되고 있다. 순환이 시작되는 時間은 60초로 測定 된다.

120초 경과후 원주길이 方向 90°근처에서 混合되면서 순환과정이 확실히 나타난다. 90°부근에서 풀의 윗면으로부터 밑부분으로 점층적인 溫度 分布狀態가 이동되고 있음을 알 수 있다. 50mm이하 0°~ 30°, 150°~ 180°에서 초기 pool 물溫度 20℃가 分布하는데 이는 아직 이 부분은 混合現象이 일어나지 않고 있는 것이다.

분출량이 많은 유량 143 cm/sec 境遇 Quencher 에서 분출된 高溫水의 噴出速度가 커서 앞의 境遇보다 더 뚜렷하게 ϕ 方向으로서 확산현상이 보인다.

순환이 시작되는 시간은 20 초로 測定되었으며 40 초 경과후 Quenching device 부근의 溫度는 27°C이다. 100 mm 이상 0°~50°, 130°~180°에서 급격한 기울기로서 수직 輻 方向으로 溫度分布狀態를 나타낸다. 90°에서 순환이 진행되어 70°~110°사이에 23°C 溫度分布를 형성한다. 순환반경을 23°C 分布에서 살펴보면 250 mm 이하 30°~80°, 100°~150°의 크기로 測定된다. 120 초 경과후 나타나는 28°C의 국부적인 溫度分布는 혼합과 순환현상에 의해 생기는 국부적인 온도분포이며 순환현상이 일어나고 있음을 확실히 알 수 있다. 29°C 溫度分布에서 순환반경을 測定하면 340 mm 이하 30°~90°, 90°~150°로 나타난다.

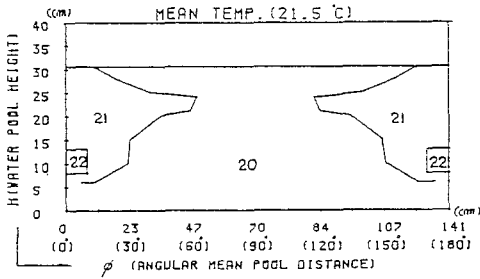


Fig. 4-3 Temperature Distribution after 40 seconds at flow rate of 62 cm/sec

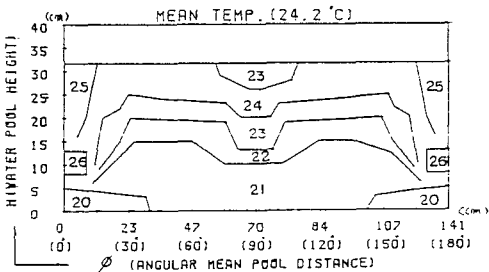


Fig. 4-4 Temperature Distribution after 120 seconds at flow rate of 62 cm/sec

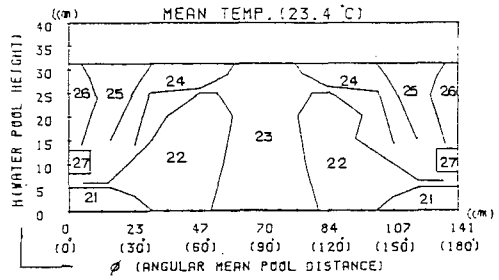


Fig. 4-5 Temperature Distribution after 40 seconds at flow rate of 143 cm/sec

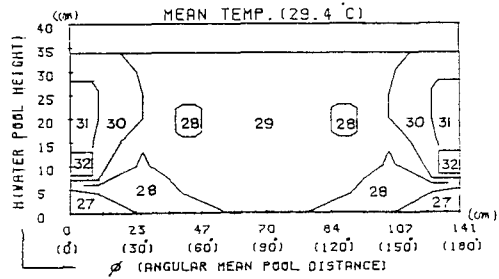


Fig. 4-6 Temperature Distribution after 120 seconds at flow rate of 143 cm/sec

5. 結論

圓環물에 高溫水를 Quenching device 를 통하여 噴出시켰을때 물內的 유체 特性에 對한 數值解法과 實驗에 의한 溫度分布 特性을 考察한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

1) Quenching Device 의 高溫水 분출로 인한 混合流動 現象을 초기에 浮力의 影響에 의하여 垂直方向으로 점차 擴大되는 것이 뚜렷하며 時間이 경과함에 따라 水面 부근에서 圓周길기 方向으로 流動 狀態가 擴散되어 물混合에 効果적인 것으로 나타났다.

2) 噴出 流量 62 cm/sec 와 143 cm/sec 일 경우 모두 Quenching Device 밑 부분에서 混合 現象이 가장 늦게 일어나고 있다. 비등수형 원자로의 경우 溫度에 민감한 기기의 최적 설치장소는 바로 進압물의 Quenching Device 바로 밑 부분이 된다.

3) 두개 Quencher 를 대칭으로 使用한 境遇는 噴出 高溫水에 의해 원주길이 方向 90° 에서 循環 現象이 몰밀 부분으로 擴散되므로 그 擴散 現象은 더 효과적인 것으로 나타났다.

REFERENCE

1. "BWR/6 : Standard Safety Analysis Report". Vol.1,2, General Electric Company, San Jose, Ca., U.S.A
2. B.D.Nichols and C.W.Hert, "Numerical Simulation of Boiling Water Reactor Vent-Clearing Hydrodynamics". Trans. Am. Nucl. Soc., Vol. 28, 1978, pp.196-209.
3. J.H. Pitts and E.W. McCaulley, "Vent Clearing during a Simulated Loss-of-Coolant Accident in a MARK I Boiling Water Reactor Pressure-Suppressing System". Nucl. Technol., Vol. 46, 1979, pp.433-441.
4. Rafael Quintana, "Vent Clearing Analysis of a MARK III Pressure Suppression Containment". Nuclear Engineering and Design, Vol.55,1979, pp. 395-401
5. W.G. Anderson et al, "Reduced Scale Simulation of Boiling Water Reactor Pool Swell : Some Limitations to the Scaling Laws". Nucl. Technol., Vol. 49, 1980, pp.360-372.
6. R.P.Burke and P.W. Huber, "Some Comparisons Between Small-Scale Pool Swell Experiments and Model Predictions". Nucl. Technol., Vol. 49, 1980, pp. 374-378.
7. B.D.Wood and W. J. Sun, and G. A. Domato, "Determination of Pressure Fields in BWR Suppression Pool by Means of Green's Function and Comparison with Method of Images and a Finite Difference Solution", "Nuclear Engineering and Design 61, pp.153-161, 1980.
8. D.W. Peaceman and H.H. Rachford, "Numerical Solution of Parabolic and Elliptic Differential Equations", J. Soc. Indust., Applied Mathematics, Vol.3, No.1, March 1955, pp. 28-41.
9. K.E. Torrance, "Comparison of Finite-Difference Computations of Natural Convection", J. of Research of the National Bureau of Standard, Vol. 72B, No.4, pp. 281-301, 1968.
10. K.E. Torrance and J.A. Rockett, "Numerical study of Natural Convection in an Enclosure with Localized Heating from Below", J. Fluid Mechanics, Vol. 36, Part 1, pp. 33-54, 1969.
11. J. Crank and P. Nicolson, "A Practical Method for Numerical Evaluation of Solutions of Partial Differentiations of the Heat-Conduction Type", Proceeding of the Cambridge Philosophical Society, Vol. 43, No, 50, pp.50-67, 1947.
12. V.C. Jensen, "Viscous Flow Round a Sphere at Low Reynolds Numbers, (S40)", Preceedings of the Royal Society of London, Series A, Vol. 249, pp.346-366, 1959.
13. H. Schlichting, "Boundary Layer", McGraw-Hill Book Company, 7/ed, 1979.
14. S.V. Patankar, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere Publishing Co., 1980.
15. M.M. El-Wakil, "Nuclear Engineering", McGraw-Hill Book Company, pp.295-321.