

## A Study on the Fluid Mixing Analysis for the Wall Thinning Mitigation by Design Modification of a Feedwater Heater Impingement Baffle

M. H. Shin,<sup>a</sup> K. H. Kim,<sup>a</sup> K. M. Hwang<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Fluid Engineering Lab., Kyunghee Univ., 1 Sochen-Ri, Giheung-Eup, Yongin-Si, Gyeonggi-Do

<sup>b</sup> KOPEC, Structural Integrity & Materials Department, 360-9, Mabuk-Ri, Kusong-Eup, Yongin-Si, Gyeonggi-Do

### 1. 서론

최근 미국의 Point Beach 1[1], Fort Calhoun 원전[2] 등의 급수가열기 5번 추기노즐 충격판(Impingement Baffle: IB) 주변에서 동체감육으로 인한 사고가 발생한 바 있으며, 국내에서도 유사한 손상이 발생한 바 있다[3]. 본 연구에서는 급수가열기 추기노즐 주변의 동체감육 원인을 유체유동 측면에서 분석하고, 동체감육을 완화시킬 수 있는 충격판 설계변경 연구를 수행하였다. 이를 위하여 기존의 막힌충격판 (Clogged IB) 모델을 이용한 유동해석을 수행하여 급수가열기 동체감육 원인을 분석하였다. 또한 기존의 충격판을 설계 개선한 다공충격판(Multi-hole IB) 모델을 이용하여 유동해석을 수행하고 기존의 결과와 비교하여 설계개선의 타당성을 검토하였다.

### 2. 해석모델 구성

급수가열기 충격판 설계변경에 따른 동체감육 완화 연구를 위한 유동해석은 유한체적법을 근간으로 하는 상용 전산 수치해석 코드인 PHOENICS 를 사용하였다. 해석모델은 국내 가압경수로형 원전 2차측에 설치되어 있는 급수가열기 5A 추기 배관라인 주변의 동체를 대상으로 하였다. 동체감육 완화연구를 위하여 두 개의 모델을 구성하였다. 하나는 기존의 구멍없는 충격판(Fig. 1)을 이용한 Clogged IB 모델이고 나머지 하나는 구멍이 뚫린 다공충격판(Fig. 2)을 이용한 Multi-hole IB 모델이다. Fig. 3은 단일블럭(Single Block)으로 구성된 해석 모델의 격자구성을 보여준다.

### 3. 경계조건 및 수치해석

유동해석 결과를 비교하기 위하여 Clogged IB 및 Multi-hole IB 모델에 동일한 경계조건을 적용하였다. 급수가열기 및 추기라인 내부의 작동유체는  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 에 대한 포화조건에서의 단상 증기로 가정하였다. 입력 경계조건으로 사용되는 추기라인의 유속은 균일속도 조건을 적용하였다. 추기라인과 동체 전단의 유속은 각각 10.93m/sec 와 1.69m/sec 를 적용하였다. 난류강도는 5%를 적용하고 해석은 2 초를 400 Step 으로 구분하여 Step 당 250 회 반복계산 하도록 구성하였다.



Fig. 1 Clogged IB

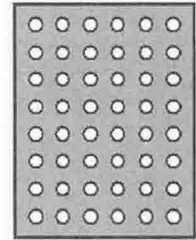


Fig. 2 Multi-hole IB

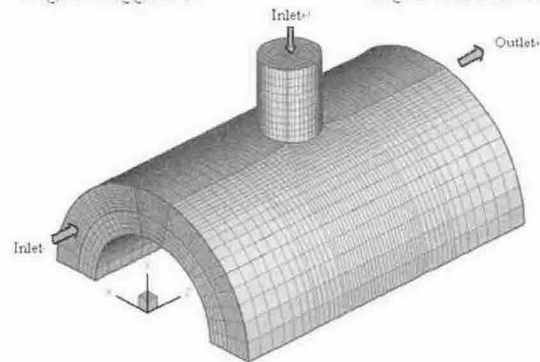


Fig. 3 Cell divisions

### 4. 유동해석 결과

기존의 Clogged IB 모델과 Multi-hole IB 모델을 이용한 해석결과는 동체 인접부에서의 x-방향 국부유속( $u$ , 원주방향), y-방향 국부유속( $v$ , 반경방향) 및 z-방향 국부유속( $w$ , 축방향)을 실측에 의한 동체감육 데이터와 비교하였다. 해석결과, y-방향 국부유속( $v$ )을 제외한 x-방향 국부유속( $u$ )과 z-방향 국부유속( $w$ )은 두 모델의 차이가 거의 없었다. Fig. 4와 5는 Clogged IB 및 Multi-hole IB 모델에 대한 동체벽면의 y-방향 국부유속 변화를 나타낸 것이다. 그림에서,  $v/V_0$ 는 y 방향의 국부유속 변화를 무차원화 한 것이며,  $V_0$ 는 해석모델의 동체측으로 유입되는 초기 평균속도를 나타낸다. 음(-)의 부호는 동체 중심방향을 나타내며  $r$ 은 노즐 반경을 나타낸다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 동체 벽면을 향하는 +y 방향 국부유속은 노즐 좌우측( $x/r = \pm 2.3$ )에서 최대치를 보이다가 +z 방향으로 거리가 증가함에 따라 노즐 중심축으로 최대값이 이동하였다. 이는 동체감육이 +y 방향 국부유속과 밀접한 관계에 있음을 알 수 있으며, Fig. 5에서는 특정부위에서 국부적으로 동체벽면을 향하는 y-방향 국부유속이 비교적 많이 완화되어 있는 것을 알 수 있다.

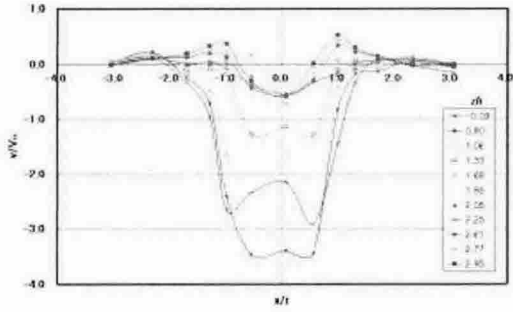


Fig. 4  $v$  profiles for the Clogged IB Model<sup>1)</sup>

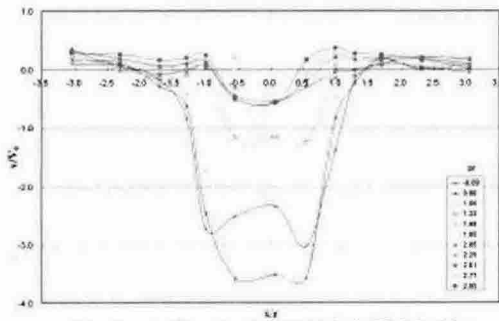


Fig. 5  $v$  profiles for the Multi-hole IB Model<sup>1)</sup>

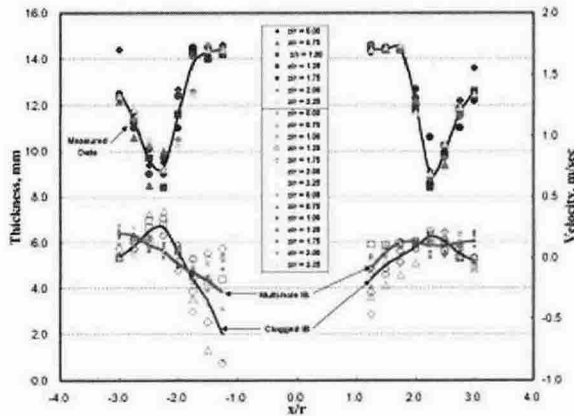


Fig. 6 Comparison of Wall Thickness and  $v$

Fig. 6 은 UT 측정에 의한 동체두께 데이터와 Clogged IB 및 Multi-hole IB 모델의 해석결과에 따른  $v$  를 비교하여 그림으로 제시한 것이다. 여기서, 상단의 채워진 도형은 동체두께를 나타내고 아래의 빈 도형과 작은 도형은 Clogged IB 및 Multi-hole IB 모델의 해석결과에 따른  $v$  를 나타낸다.  $x/r$  이  $\pm 1.0$  사이는 추기노즐이 존재하는 부위이다. 비교한 부위는 측정

데이터가 존재하는 노즐 좌우측에서  $z/r$  이 0 부터 2.25 까지이며, 실선은 동체두께와  $v$  의 평균 추이선이다. 그림에서 볼 수 있듯이 동체두께가 가장 얇은 부위는 Clogged IB 모델의 가장 빠른  $v$  와 정확히 일치하고 있으며, Multi-hole IB 모델의 결과를 나타내는  $v$  는 비교적 넓은 범위에 걸쳐 분산된 것을 알 수 있다. 결과적으로 동체 벽면에 수직으로 영향을 미치는  $v$  의 빠른 국부유속이 다공충격판에 의하여 분산되었으며, 이로 인하여 동체 벽면의 감육현상은 완화될 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

급수가열기 추기노즐 주변의 동체감육 원인을 유체유동 측면에서 분석하고, 동체감육을 완화시킬 수 있는 충격판 설계변경 연구를 수행하였다. Clogged IB 모델의 해석결과를 UT 측정데이터와 비교하여 감육원인을 분석하였으며, 설계 변경한 Multi-hole IB 모델의 해석결과는 Clogged IB 모델의 해석결과 및 UT 측정데이터와 비교하여 동체감육 완화 가능성을 검토하였다. 그 결과 급수가열기 벽면과 평행하게 흐르는  $u$  와  $w$  는 감육현상과 크게 상관이 없음을 확인하였으며 동체 벽면을 향하여 수직으로 부딪치는  $v$  의 영향이 감육현상에 지배적임을 확인하였다. 이러한 결과는 흐르는 유체와 접촉하는 기기재료 중 유체가 수직으로 부딪쳐 흐름정체가 발생하는 부위에서 감육이 가장 심하게 발생된다[4, 5]고 알려진 사실과 잘 일치하였다. 그리고 기존의 충격판을 다공충격판으로 변경하여 유동해석을 수행한 결과, 동체 벽면에 수직으로 부딪치는 국부유속은 기존 보다 30% 정도 완화된 것을 확인하였다. 이러한 결과에 따라 실제 발전소의 급수가열기 충격판 설계를 다공형으로 변경할 경우 상당한 수준까지 동체감육을 완화시킬 수 있을 것이라는 결론을 얻었다.

참고문헌

[1] Point Beach 1, 1999, "Steam Leak From Low Pressure Feedwater Heater", LER 1999-005, Rev.0.  
 [2] Fort Calhoun, 1999, "Shell Wall Thinning of Feedwater Heater", OE 10710, INPO.  
 [3] KHNP, 2000, "고리 1 호기 급수가열기 동체측 두께검증 기술검토서, 제 1 발전소 기계부 설계반.  
 [4] H. Keller, 1978, "Corrosion and Erosion Problems in Saturated Steam Turbines", AIM Conf., Liege, Belgium, pp. 22-28.  
 [5] G. J. Bignold et al., 1981, "Proc. 8th Intern. Congress Metallic Corrosion", DECHEMA, West Germany, vol.2, pp. 1548.