

< 기술논문 >

주급수격리밸브 하부몸체의 와류현상에 따른 감육영향 및 수치해석 연구

황경모[†] · 진태은* · 김경훈**

(2005년 7월 25일 접수, 2006년 3월 10일 심사완료)

A Study on Numerical Analysis and Wall Thinning Effect in Accordance with the Eddy Current of MFIV Lower Body

Kyeong Mo Hwang, Tae Eun Jin and Kyung Hoon Kim

Key Words: Main Feedwater Isolation Valve(주급수격리밸브), Thinning(감육), Flow Accelerated Corrosion(유동가속부식), Local Velocity(국부속도)

Abstract

A numerical analysis study has performed in terms of fluid dynamics to identify the wall thinning generated in the main feedwater isolation valve body of a nuclear power plant. To review the relations between flow characteristics and the wall thinning induced by flow accelerated corrosion (FAC), numerical analysis using FLUENT code and ultrasonic tests (UT) were performed. The local velocities according to the analysis results were compared with the distribution of the measured wall thickness by ultrasonic tests. The comparison results show that the local velocity in the x-direction had no correlation with the wall thinning but the local velocity in the y-direction and turbulence intensity had a great influence on that. These results provide a good match to those of the previous studies - locations colliding vertically against components undergo severe wall thinning. These results may be utilized to the design modification and the wall thinning management for main feedwater isolation valves for preventing the wall thinning degradation.

기호설명

C_1 : 난류상수(1.42)
 C_2 : 난류상수(1.68)
 C_μ : 난류상수(0.085)
 G : 난류생성항
 I : 난류강도
 k : 난류운동에너지
 p : 압력
 u_i : 속도성분

V_x : 무차원 x-방향 국부속도
 V_y : 무차원 y-방향 국부속도
 β : 난류상수(0.012)
 ϵ : 난류운동에너지소산률
 n_o : 난류상수(4.38)
 μ : 점성계수
 μ_t : 난류동점성계수
 ρ : 밀도
 σ_k : 난류상수(0.719)
 σ_ϵ : 난류상수(0.719)
 τ_{ij} : 응력텐서

[†] 책임저자, 회원, 한국전력기술(주)

E-mail : hkm@kopec.co.kr

TEL : (031)289-4287 FAX : (031)289-3189

* 회원, 한국전력기술(주) 재료기술연구그룹

** 회원, 경희대학교 기계공학과

1. 서론

원자력 발전소 2차측의 탄소강 기기는 가동년

수가 증가함에 따라 고속의 유체와 pH, 용존산소 등의 영향으로 점차 두께가 얇아져서 결국에는 파열이 되는 사고가 발생할 수도 있다. 이러한 감육현상은 배관에서 주로 발생함에 따라 배관을 대상으로 한 감육관리 연구가 많이 진행되어 왔다. 그러나 최근에는 급수가열기 동체, 밸브 몸체, 펌프 케이싱 등에서도 감육현상이 발생하여 미국 규제기관에서는 원전 연장운전을 위한 인허가갱신(License Renewal) 신청시 이들 기기에 대해서도 감육관리 방안을 제시하도록 규정하고 있다.⁽¹⁻⁵⁾ 국내 원전에서도 급수가열기 동체와 밸브 몸체에 대한 감육발생 현황을 검토하기 위하여 초음파 두께측정을 수행해 본 결과, 실제 감육이 발생하고 있는 것으로 확인되었다. 감육이 심하게 발생한 급수가열기 동체는 보강용접을 수행한 사례⁽⁶⁾도 있으나 밸브에 대해서는 현재까지 적절한 대처방안을 수립하지 못하고 있는 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 원전 안전과 직접 관련된 주급수격리밸브(MFIV)를 대상으로 밸브 몸체에서 감육이 실제 발생하였는지의 여부를 초음파 두께측정(UT)으로 확인하고 감육이 진행된 원인을 전산유체역학(CFD) 측면에서 분석하였다. 연구대상 기기는 국내 3-루프 원전의 주급수계통 유량을 차단하는 주급수격리밸브이며, 유동해석은 상용 수치해석 코드인 FLUENT를 사용하였다.

2. 기기특성 및 수치해석 모델 구성

2.1 기기특성

감육현상 분석 대상인 주급수격리밸브는 국내 3-루프 원전에서 루프당 하나씩 설치되어 있는 증기발생기 전단에 각각 하나씩 설치되어 있다. 이는 격납건물 내부에 있는 2차측의 배관이 파열되는 사고 발생시 고에너지의 유체(High-Energy Fluid)와 보조급수(Auxiliary Feedwater)가 파손된 부위를 통하여 격납건물 내부로 들어가는 것을 차단하는 압력경계(Pressure Boundary)의 역할을 담당한다. Fig. 1은 주급수격리밸브의 형상을 제시한 것으로서 양방향 이중 디스크 평형웨지 게이트 밸브(Bi-directional Double Disc, Parallel Wedge Gate Valve)이다. 주급수격리밸브는 안전 2등급, 내진 I등급으로 설계되었으며, 밸브몸체는 탄소강(SA216) 재질로 제작되었다. 유로의 정상 차단은 고압 질소가스와 가압 유체를 포함하고

있는 축압기(Accumulator)에 의해 구동되며, 비상 차단은 솔레노이드 작동방식에 의해 구동되고 수직 상하로 작동되는 스템에 연결된 디스크에 의해 유로가 차단된다.

2.2 해석모델 구성

주급수격리밸브 몸체에서 발생하는 감육영향을 유체유동 측면에서 분석하기 위하여 유한체적법을 근간으로 하는 상용 전산 수치해석 코드인 FLUENT를 사용하였으며, 해석을 위한 격자구성은 GAMBIT을 이용하였다. 주급수격리밸브에서 감육에 민감할 것으로 예상되는 부위는 유체가 고속으로 흐르는 밸브몸체 내부이기 때문에 밸브 전후단의 배관을 통하여 유체가 흐르는 부위만을 해석 대상으로 하였다. Fig. 2는 해석 대상으로 결정한 밸브 내부의 유체측 단면도를 나타낸 것이다. 주급수격리밸브는 정상운전 중에 완전히 개방되고 비상시에는 차단되는 두 조건만을 형성하기 때문에 디스크가 완전히 개방된 상태에 대하여 모델링 하였다. 유체는 밸브몸체 상하부에 있는 밸브시트 하부공동과 본넷의 내부를 자유롭게 드나들 수 있다. 밸브의 유체가 접하는 부위는 좌우가 대칭이므로 밸브의 수직 절반에 대하여 3차원으로 해석모델을 구성하였다. Fig. 3은 3차원으로 구성한 해석모델의 격자구성을 보여준다. Tet/Hybrid 방식으로 구성된 격자수는 총 156,478개이며, 유체거동이 복잡하거나 중요하게 고려되는 부위는 격자를 보다 더 조밀하게 배열하였다.

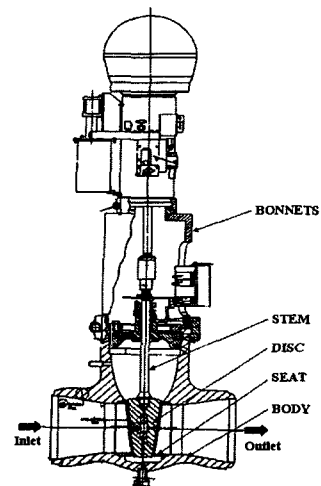


Fig. 1 Configuration of MFIV

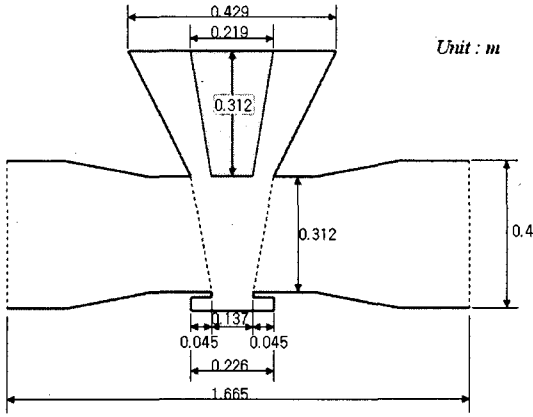


Fig. 2 Cross-sectional view of MFIV

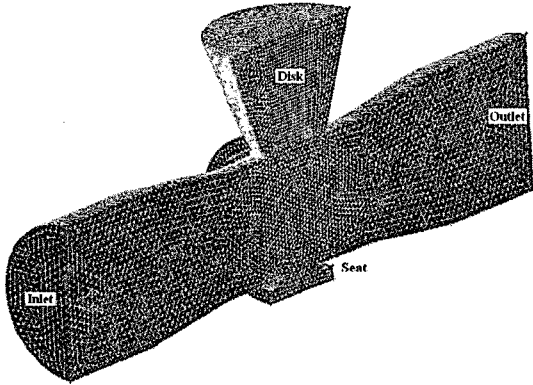


Fig. 3 Cell divisions

2.3 지배방정식

주급수격리밸브 내부를 흐르는 급수의 Re수를 평가하면 약 1.4×10^7 이고, 밸브시트 하부의 공간에는 복잡한 유체거동이 예상된다. 따라서 해석 대상 모델 내부의 구조와 유동 조건을 고려하여 물리적으로 적절한 수치해를 얻고자 주급수격리밸브 내의 유동을 정상상태, 비압축성 및 난류로 간주하였다. 본 연구에서는 밸브 내부를 흐르는 유체의 거동 보다는 밸브몸체와 인접한 부위의 유체거동에 관심이 있기 때문에 와류특성과 저Re수(Low Reynolds Number)의 유체거동 예측에 효과적인 RNG $k-\epsilon$ Model을 난류모델로 적용하였으며, 벽면과 인접한 부위의 유체거동 예측에는 Standard Wall Function을 적용하였다.

주급수격리밸브 내부의 유동장을 기술하는 RNG $k-\epsilon$ 난류모델의 지배방정식은 아래와 같이

연속 방정식, 운동량 방정식, 난류운동에너지 방정식 및 난류운동에너지소산을 방정식으로 나타낼 수 있다.

연속 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

운동량 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

난류운동에너지 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j k) = \frac{\partial p}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} + G - \rho \epsilon \quad (3)$$

난류운동에너지소산 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \epsilon) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} + \\ &\frac{\epsilon}{k} (C_1 G - C_2 \rho \epsilon) - \frac{C_\mu \eta^3 (1 - \eta/\eta_0)}{1 + \beta \eta^3} \cdot \frac{\rho \epsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, ρ , u_i , μ , k , ϵ 및 p 는 각각 밀도, 속도 성분, 점성계수, 난류운동에너지, 난류운동에너지소산 및 압력을 나타낸다. 또한 응력텐서 τ_{ij} , 난류점성계수 μ_t , 난류생성항 G , 난류상수 C_1 , C_2 , C_μ , σ_k , σ_ϵ , η , η_0 및 β 는 아래와 같다.

$$\tau_{ij} = -(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (5)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

$$G = 2\mu_t S_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (7)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (8)$$

$$\eta = S \frac{\epsilon}{k} \quad (9)$$

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (10)$$

$\alpha_\epsilon=0.719$, $\sigma_\epsilon=0.719$, $\eta_0=4.38$, $\beta=0.012$, $C_1=1.42$, $C_2=1.68$, $C_\mu=0.085$

2.4 경계조건

최종단의 급수가열기를 나운 주급수격리밸브 내부의 유동해석을 위한 입력 경계조건은 발전소의 100% 정상출력 데이터를 적용하였다. 밸브 내부는 비압축성, 단상의 물이 흐르기 때문에 내부 압력은 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 로 가정하였다. 해석에 적용한 경계조건과 작동유체의 물성치는 Table 1과 같다.

3. 유동해석 결과

주급수격리밸브 내부에서 발생하는 난류가 밸브몸체의 감육에 어떤 영향을 미치는지를 확인하기 위하여 FLUENT 코드를 이용하여 수치해석을 수행하였다. Fig. 4는 밸브 중앙부에 대한 해석결과를 유동경로(Flow Path) 형상으로 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 밸브시트 하부공동과 디스크 주위의 공동부에서 감육에 영향을 미칠 수 있는 와류가 나타났으나 디스크 주위는 와류강도가 크지 않고 감육도 발생한 사례가 없기 때문에 본 연구에서는 밸브시트 하부공동 바닥 부위의 유동영향만을 대상으로 분석하였다.

Fig. 5는 밸브시트 하부공동에서 발생하는 와류현상을 벡터형상으로 나타낸 것으로서 데이터 취득 부위를 함께 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 밸브시트 하부공동에서는 후단의 밸브시트에 부딪힌 유체가 두 개의 와류형상을 만들어 내고 있음을 알 수 있다.

Table 1 Boundary conditions

Items		Units	Values	Remarks
Inlet	Type	-	-	Velocity Inlet
	Inlet velocity	m/sec	4.98	-
	Pressure	Pa	1.01×10^5	Incompressible fluid
	Density	kg/m ³	831.58	-
	C _p	J/kg-K	4,655.54	-
	Thermal conductivity	W/m-K	0.6422	-
	Viscosity	kg/m-sec	1.17×10^{-4}	-
	Turb. Kinetic Energy	m ² /sec ²	1.0	-
	Turb. Dissipation Rate	m ² /sec ³	1.0	-
Outlet	Type	-	-	Outflow

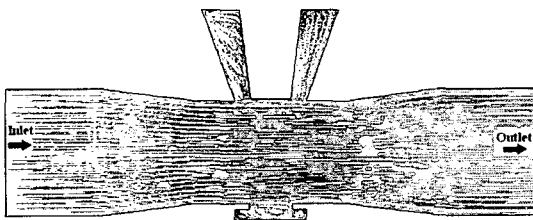


Fig. 4 Flow path configuration

Table 2는 해석결과를 제시한 것으로서 Fig. 5에 표기한 22개 부위에서 계산된 무차원 x-방향 국부속도(V_x), 무차원 y-방향 국부속도(V_y), 절대압력(P) 및 난류강도(I , Turbulence Intensity)이다. 여기서 D^* 는 밸브시트 하부공동의 전체 길이(0.226m)에 대한 거리를 하부공동 좌측면에서부터 무차원화 한 길이를 나타내고, 무차원 국부속

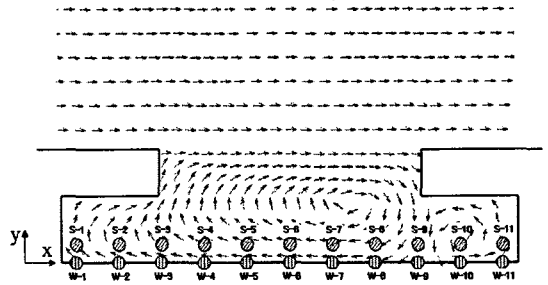


Fig. 5 Vector configuration and data acquisition points

Table 2 Analysis results

Points*	D^*	V_x	V_y	$P(\times 10^5)$, Pa	Turbulence Intensity, %
W-1	0.09	0.0830	0.0341	1.01305	16.2679
W-2	0.18	0.1581	0.0290	1.01305	22.5756
W-3	0.27	0.0737	-0.1499	1.01306	31.5031
W-4	0.36	-0.2726	-0.0819	1.01301	31.5132
W-5	0.45	-0.3618	-0.0270	1.01299	30.7498
W-6	0.54	-0.3411	-0.0007	1.01298	29.5498
W-7	0.62	-0.2869	0.0303	1.01299	27.6929
W-8	0.71	-0.2173	0.0153	1.01300	26.2038
W-9	0.80	-0.1764	0.0094	1.01301	20.7162
W-10	0.89	-0.1082	0.0112	1.01302	17.7619
W-11	0.98	-0.0334	0.0115	1.01302	13.7330
S-1	0.09	0.0226	0.1150	1.01305	13.3500
S-2	0.18	-0.0071	0.0602	1.01304	22.8352
S-3	0.27	-0.0071	-0.2586	1.01304	33.9283
S-4	0.36	-0.1759	-0.1010	1.01301	33.3839
S-5	0.45	-0.1839	0.0055	1.01297	33.1417
S-6	0.54	-0.1618	0.0406	1.01298	33.0241
S-7	0.62	-0.1456	0.0657	1.01299	30.5751
S-8	0.71	-0.0948	0.0545	1.01300	27.2510
S-9	0.80	-0.0264	0.0683	1.01301	23.4084
S-10	0.89	-0.0017	0.0658	1.01302	20.7619
S-11	0.98	0.0038	0.0348	1.01302	14.7330

* Fig. 5 참조(W : 하부공동 벽면, S : 하부공동 벽면에서 0.015m 떨어진 부위, D^* : 밸브시트 하부공동 전 길이에 대한 거리)

도는 밸브입구 평균유속(4.98m/sec)에 대한 x-방향 및 y-방향 국부속도를 나타낸다.

Fig. 6은 밸브시트 하부의 V_x 분포를 나타낸 것으로서 밸브시트 하부공동 벽면(W 부위)의 V_x 는 D^* 가 0.6 부근에서 역방향(-x) 최고 유속이 발생하고 0.9 부위에서는 정방향(+x)으로 최고 유속이 형성되고 있음을 알 수 있다. Fig. 7은 밸브시트 하부공동의 V_y 분포를 나타낸다. V_y 는 D^* 가 0.8(S 부위) 부근에서 역방향(-y) 최고 유속이 형성되고 있음을 알 수 있다. 이는 유체가 밸브시트 하부 벽면을 향해 흐르는 것을 나타낸다. 벽면(W 부위)의 V_y 가 인접부위(S 부위) 보다 작은 이유는 벽면에서 반발하는 유체의 저항력 때문이다. Fig. 8은 밸브시트 하부공동의 압력을 나타낸 것으로서 D^* 가 0.8(W 부위) 부근에서 가장 큰 압력이 작용하고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 9는 난류강도를 나타낸 것으로서 W, S 부위 모두 D^* 가 0.7~0.8 부근에서 가장 크게 나타났다.

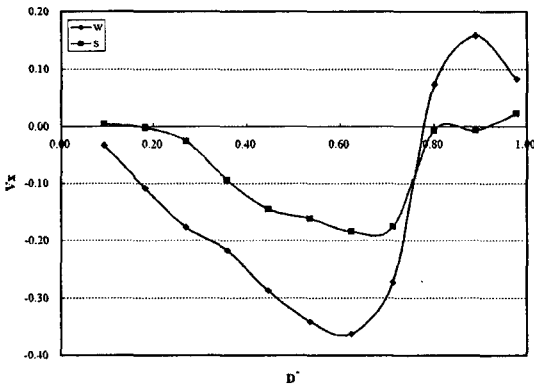


Fig. 6 V_x profiles of MFIV seat bottom

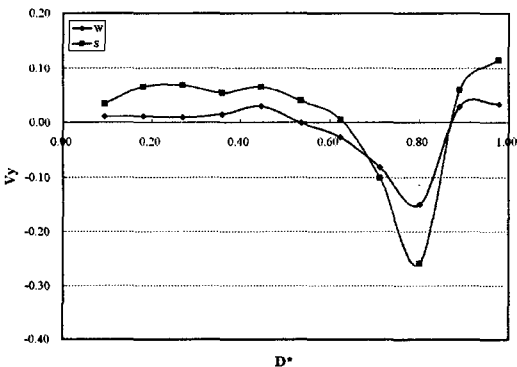


Fig. 7 V_y profiles of MFIV seat bottom

4. 초음파 두께측정 결과

주급수격리밸브 하부몸체에서 발생하는 감속현상을 분석하기 위하여 초음파 두께측정 장비를 이용하여 실측을 하였다. 두께측정은 밸브몸체 정하부의 축방향 2cm 간격으로 8개 부위에 대하여 수행하였으며, 각 부위별로 3회씩 측정하여 평균하였다. 측정결과는 Table 3에 제시하였다.

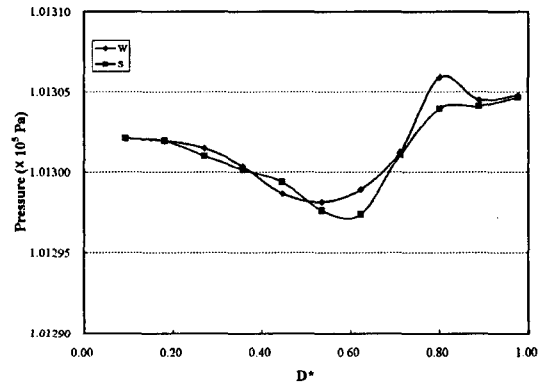


Fig. 8 Pressure profiles of MFIV seat bottom

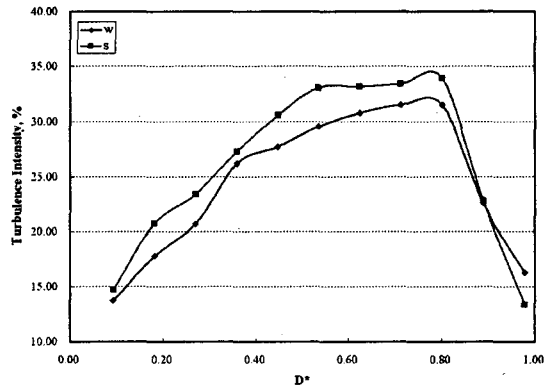


Fig. 9 Turbulence Intensity profiles of MFIV seat bottom

Table 3 Measured wall thickness (mm)

Points No.	W-3	W-4	W-5	W-6	W-7	W-8	W-9	W-10
1	38.40	37.69	36.62	36.09	35.17	33.21	33.18	34.58
2	38.39	37.71	36.60	36.09	35.17	33.20	33.19	34.62
3	38.40	37.70	36.58	36.12	35.16	33.19	33.20	34.60
Avg.	38.40	37.70	36.60	36.10	35.17	33.20	33.19	34.60

* Fig. 5 참조

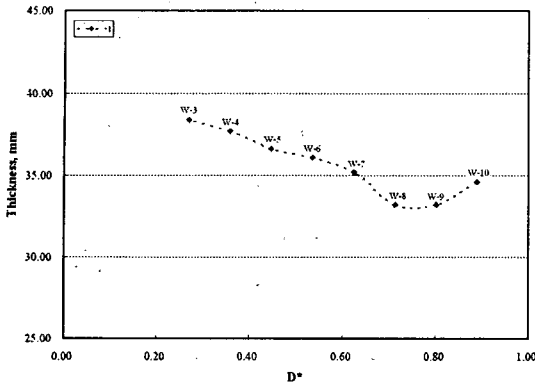


Fig. 10 Measured wall thickness profiles

Fig. 10은 실측 평균 데이터를 그림으로 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 밸브몸체 하부는 D^* 가 0.7~0.8 부근에서 가장 많이 감육된 것을 알 수 있다. 이 부위는 Fig. 5의 W-9에 해당한다.

5. 결과토의

주급수격리밸브 하부몸체에서 발생하는 감육의 영향을 분석하기 위하여 밸브몸체 내부의 유동해석과 초음파 두께측정을 수행하여 상관성을 분석하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 수치계산한 V_x , V_y , P 및 I 를 초음파 두께측정 장비를 이용한 실측 데이터와 비교하였다.

Fig. 11은 V_x 와 실측 데이터를 비교한 것으로서 x-방향의 빠른 국부속도는 감육이 많이 진행된 부위와 무관한 것으로 나타났다. Fig. 12는 V_y 와 실측 데이터를 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 밸브몸체 하부 바닥에 수직으로 향하는 y-방향의 빠른 국부속도는 감육이 많이 진행된 부위($D^*=0.8$; W-9)와 정확히 일치하고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 13은 P 와 실측 데이터를 비교한 것이다. 상대적으로 큰 P 는 벽면과 수직으로 부딪치는 y-방향 국부속도에 의한 저항력 때문이므로 Fig. 12와 13은 서로 연관성이 있다. Fig. 11, 12 및 13에서의 결과는 기기 벽면과 수평으로 흐르는 유체는 감육에 크게 영향을 미치지 않고 벽면에 수직으로 부딪치는 유체가 감육에 가장 큰 영향을 미친다는 선행연구 결과와 일치하고 있는 것을 알 수 있다.⁽⁷⁻⁹⁾ Fig. 14는 난류강도와 실측 데이터를 비교한 것으로서 난류강도도 재료의

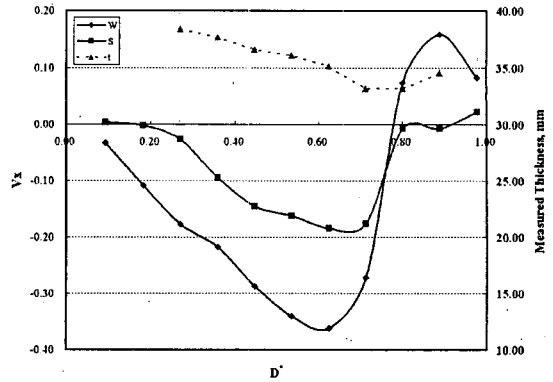


Fig. 11 Comparison of wall thickness and V_x

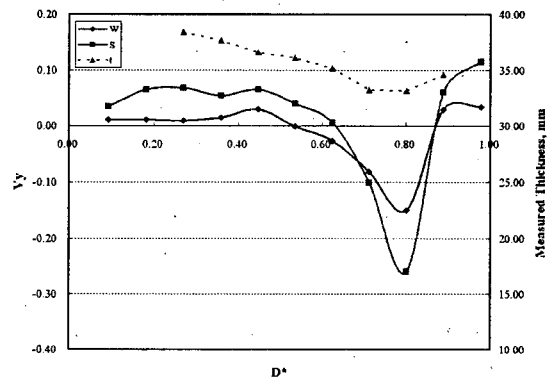


Fig. 12 Comparison of wall thickness and V_y

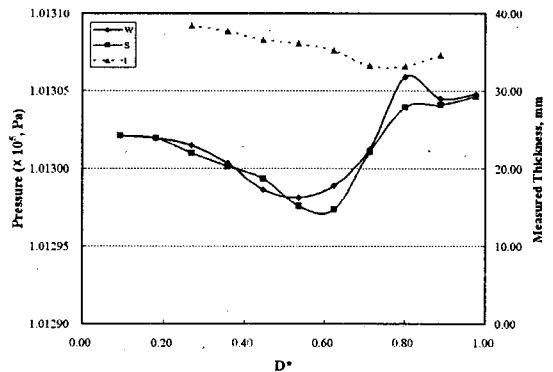


Fig. 13 Comparison of wall thickness and P

감육에 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 선행연구 결과에서는 난류강도 보다는 벽면에 수직으로 부딪치는 유체가 감육에 더 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

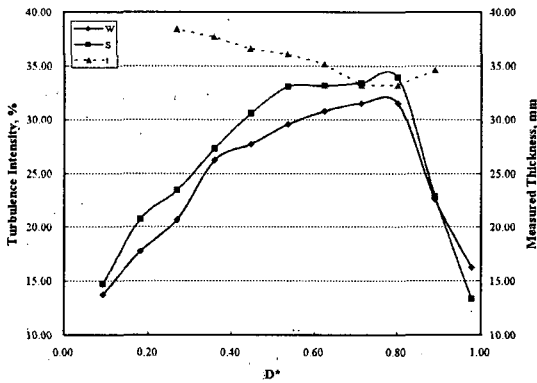


Fig. 14 Comparison of wall thickness and turbulence intensity

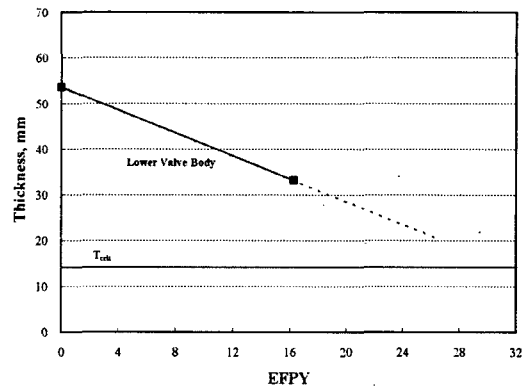


Fig. 15 Wear trend

Table 4 Wear evaluation results

Items	Units	Valuls
Initial Thickness	mm	53.594
Minimum Allowable Thickness (T_{crit})	mm	14.224
Minimum Measured Thickness (T_{min})	mm	33.200
Wear Rate	mm/yr	1.252
Residual Lifetime	EFPY	15.159

주급수격리밸브 내부의 국부 유동변화가 밸브 하부몸체의 감육에 미친 영향을 분석하기 위하여 측정 최소두께 부위를 대상으로 감육정도를 평가하였다. Table 4는 감육평가 결과를 제시한 것이다. 밸브몸체 하부의 초기두께는 53.594mm이고 ASME NC-3500⁽¹⁰⁾의 식 (11)에 따른 최소요구두께(Minimum Allowable Thickness, T_{crit})는 14.224mm이다.

$$t_{crit} = 0.4t_o + 0.2 \text{ for } d \leq 1,270\text{mm} \quad (11)$$

여기서 t_o 는 ASME B16.34a에 제시된 최소 벽 두께를 나타낸다. 약 16.3EFPY(Effective Full Power Year) 운전한 시점의 측정 최소두께는 33.2mm였고 이는 Fig. 12의 D^* 가 0.8인 부위이다. 초기두께 및 감육된 두께를 대상으로 한 감육률과 최소요구두께를 기준으로 한 잔여수명은 각각 1.252mm/yr 및 15.159EFPY로 평가되었다. Fig. 15는 최소요구두께에 대비하여 감육된 정도와 운전 시간에 따른 감육경향을 보여준다. 이와 같이 밸브몸체의 감육은 밸브 내부의 국부유동 변화와 밀접한 연관이 있는 것을 확인하였다.

6. 결론

원자력 발전소 2차측의 주급수격리밸브 몸체에 서 발생하는 감육현상을 유체유동 측면에서 규명하기 위한 연구를 수행하였다. 유동해석에는 상용 수치해석 코드인 FLUENT를 사용하였다. 해석 결과에 따른 유동특성과 밸브몸체 감육의 상관성 검토를 위하여 초음파 두께측정 장비를 이용하여 측정된 실측두께 감육분포와 밸브몸체 벽면 인접 부위의 국부속도를 비교하였다.

밸브몸체 감육분포와 국부속도를 비교한 결과, 밸브몸체 벽면과 평행하게 흐르는 x-방향 국부속도는 감육현상과 크게 상관이 없음을 확인하였으며 밸브 벽면을 향하여 수직으로 흐르는 y-방향 국부속도와 이로 인하여 파생되는 압력 및 난류 강도의 영향이 감육현상에 지배적임을 확인하였다. 이러한 연구결과는 흐르는 유체와 접촉하는 기기재료 중 유체가 수직으로 부딪쳐 흐름정체가 발생하는 부위에서 감육이 가장 심하게 발생된다고 알려진 사실과 잘 일치하였다. 또한 이러한 연구결과는 발전소 밸브몸체 감육손상을 사전에 예방할 수 있는 설계개선과 밸브 감육관리에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 2006년도 경희대학교 연구비 지원에 의한 결과이며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Stirzel, C. W., LaPay, W. S. and Kim, C. C., 1997, "Aging Management Evaluation for Class 2, 3, and Nonsafety Class Valve Bodies, Pump Casings, Piping and Supports, and Ductwork," Westinghouse, *WCAP-14612*, Rev.0, pp. 3-9~11.
- (2) NRC, 2000, "Generic Aging Lessons Learned (GALL) Report," *NUREG-1801*, Office of Nuclear Reactor Regulation.
- (3) BGE, 1998, "CCNPP License Renewal Application," *TR-111031-CD*.
- (4) Oconee, 1998, "Application for Renewed Operating Licenses for Oconee Nuclear Station," Units 1, 2, and 3.
- (5) FPL, 2000, "Application for Renewed Operating Licenses," Turkey Point Units 3&4.
- (6) KHNP, 2000, Technical Review Report for Thickness Verification of Feedwater Heater Shell Side of Kori Unit 1, Mechanical Department, Kori First Plant.
- (7) Keller, H., 1978, "Corrosion and Erosion Problems in Saturated Steam Turbines," *AIM Conf.*, Liege, Belgium, pp. 22~28.
- (8) Bignold, G. J., et al., 1981, "Proc. 8th Intern. Congress Metallic Corrosion," *DECHEMA*, West Germany, Vol. 2, p. 1548.
- (9) Dillon, C. P., 1986, "Corrosion Control in the Chemical Process Industries," McGraw-Hill, Inc.
- (10) ASME, 2004, "Class 2 Components," Valve Design NC-3500, pp. 121~129.