

Physical Modeling of Flow Control Device Test in Intake Structure

103- 16

2 170-2

가

Abstract

The seawater in the intake structure flows into the large pump to withdraw excess heat from the turbine steam condenser. In the intake structure of a nuclear power plant, undesirable pump operating characteristics such as vortices, impeller damages and non-uniform pump-approach flow around the pump bells take place frequently due to poorly-arranged intake geometry. In this study, physical modeling test was performed to predict the hydraulic phenomenon, and proposed flow control devices.

1.

Pump Bay 가

Pump Bay

Pump Bay

가

가

Froude

2.

Froude

$$X_r = Y_r \left(\frac{V_r}{(Q_r)} \right)^{1/3} \left(\frac{y_m, y_p}{n_r} \right)^{1/3}$$

$$V_r = Y_r^{1/2} = X_r^{1/2}$$

$$Q_r = X_r Y_r^{3/2} = X_r^{5/2}$$

$$n_r = R_r^{2/3} X_r^{-1/2} = X_r^{1/6}$$

1/10

Froude

가 , Froude

Keulegan (1974)

Reynolds

가 3×10^4

$$(R_e = Vd / \nu, V: , d: , :)$$

, Padmanabhan

Hecker (1984)

Reynolds 가 7×10^4

가

, Padmanabhan

Hecker (1984)

Reynolds 가 3×10^4

$$(R_e = V_{asa} / \nu,)$$

$$V_a : , s_a : , :)$$

Reynolds

4.5×10^5

Reynolds

가

2.4×10^5

Froude

3.

가

Butterfly Valve

가

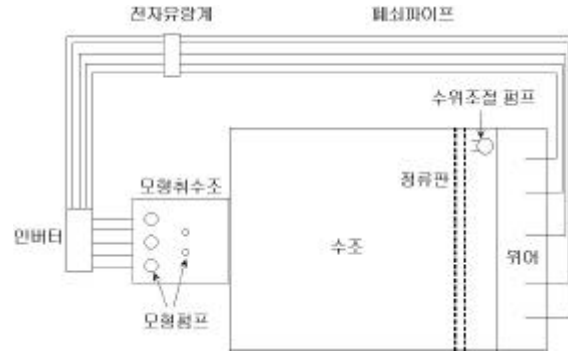
1

2

(1).

4.

(Sweeney, C.E., 1982), (Tatsuaki Nakato, 1990)



4.1

1.

6가 ,

3가

(1).

3,

2

1

1		1	/
2	가	2	가
3	가	3	가
4	가 25 30	3	가
5, 6	가		

4.2

Impeller

10%

V_n

V_{mean}

가

V_{mean}

10%

$$V_n - V_{mean} = 10\% \cdot V_{mean}$$

4.3

5°

가

5°

($NPSH_{available}$, $NPSH_{required}$)

$$= \tan^{-1}(V_r / V_z)$$

:

V_z :

V_r :

$$, V_r = 2 \pi r \cdot \omega / 60$$

r :

: (rpm)

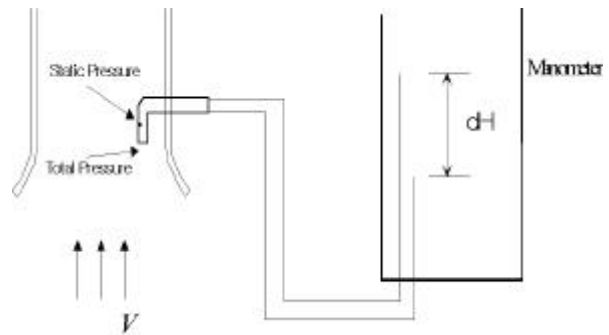
5.

5.1

가 , 6가
 .
 .
 가
 가 . , ,

5.2

Pitot Tube
 . Pitot Tube



. Pitot Tube
 Silicon Tube

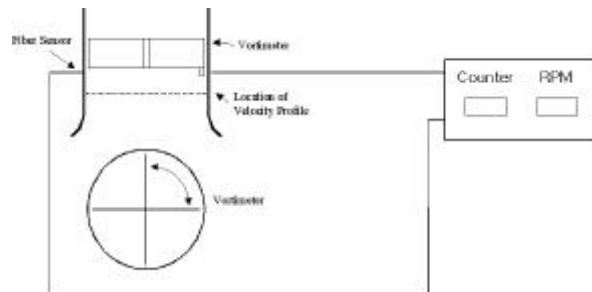
2

Manometer

(2).

5.3

Vortimeter
 . Vortimeter



Fiber Sensor

3.

1 Fiber Sensor 2 2 1 Counter
가

6.

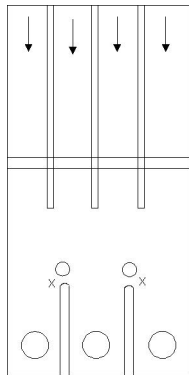
7.0m) CASE 1 3 CASE
2 , CASE 3 , 2 가

Corner Fillet , Back Fillet
Cone ,

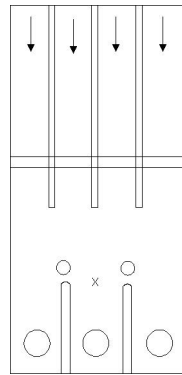
6.1

가 , 3
2 가 가 (4).
가 (5). 3, 4 3, 4
가 4 3

Fillet Corner
Cone (6).



(a) CASE 2
(3 4)
4



(b) CASE 3
(2 3)
(X)



그림 5 표층와류 관측

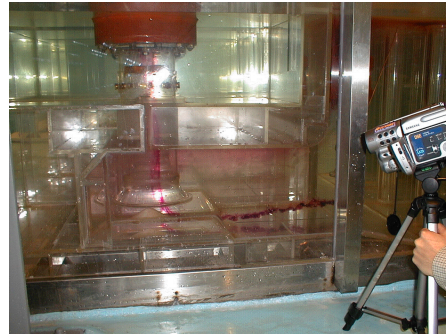


그림 6 심층와류 관측

6.2 펌프내 유속분포 관측 결과

각 펌프 Impeller 직전의 단면에서 25점에 대한 유속 분포를 구하였고 (그림 7), 각 지점에서 관측한 유속값을 평균한 후 각 지점과의 편차를 구하였다. CASE 2, 3에서는 각 펌프에서의 안정적인 유속편차인 $\pm 10\%$ 이내 기준을 모든 지점이 만족하였으나, CASE 1에서 1개 지점의 유속 편차는 11%로 나타났다. 유속분포의 경향으로는 펌프관쪽의 유속이 약간 빠르고 펌프 중심부가 느리게 나타났는데, 이는 일반 관수로와는 달리 펌프목 부분의 단면이 줄어들고, 펌프 입구부에 있는 Cone의 영향으로 펌프관 근처의 유속이 약간 빠르고 펌프 중심부에서는 정체지역이 발생하기 때문이다.

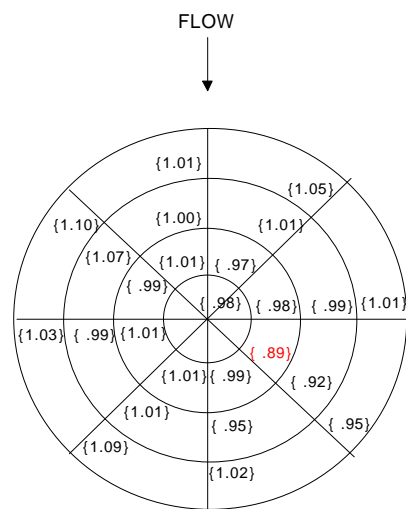


그림 7 펌프내 유속분포 (CASE1, 중앙)

6.3 펌프내 유체회전 및 편류측정 결과

펌프내 유체회전 및 편류는 접근흐름의 균일성 즉, 수로 좌측, 우측, 중앙부 유속의 균등정도에 따라 영향을 받으며, 심층에서 발생하는 와류가 펌프로 유입될 때 펌프내 유체회전은 크게 증가한다. 본 실험에서는 Vortimeter를 이용하여 펌프의 유체회전이 얼마나 변하는지 비교하였고, 이를 유체회전 산정 기준에 적용하여 회전각도를 구하였다. 측정결과 모든 펌프내의 유체회전각도가 5° 이하로 나타나 펌프내 유체회전 및 편류에 대해서는 기존 취수조 형태가 안정적인 것으로 나타났다.

7. 수류개선설비 적용

추가적으로 수류개선설비를 적용하는 목적은 취수조내 흐름을 안정시켜 궁극적으로는 취수펌프에서 안정적인 유입상태를 만들기 위한 것이다. 이를 위해서 냉각수 흐름을 수리학적 으로 판단하여야 하는데, 본 실험에서는 수류개선설비 선정시 기존 취수조 형태를 적용한 수리모형실험에서 나타난 현상을 종합하여 개선안을 구성하였다. 실험 방법으로는 수류개선안중 효과가 있는 설비를 선정하여 이의 위치 및 크기를 조절하였고, 펌프 안정성 기준 및 취수조내의 수리학적 현상을 조사해 가면서 만족할 만한 안은 채택하였고, 부적절한 안은 제외하였다.

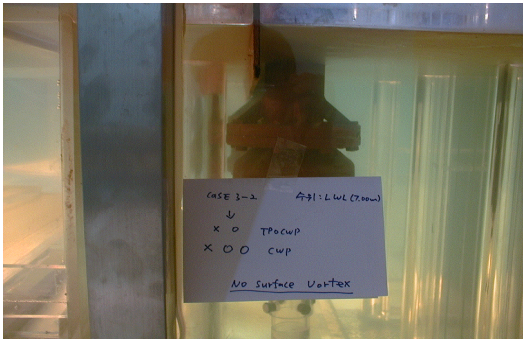


그림 9 표층와류의 저감

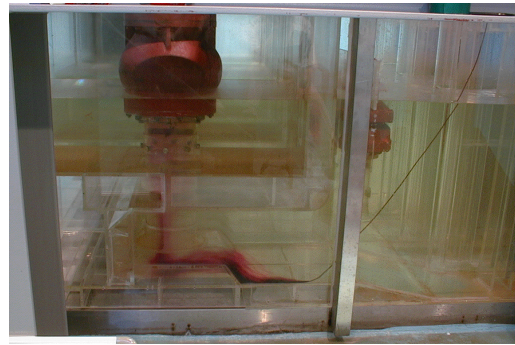


그림 10 수류개선설비 적용시 심층와류 관측

8.2 유속분포 및 유체회전 실험

모형취수조에 수류개선설비를 추가로 설치한 후 펌프내 유체회전 및 유속분포를 검토하였다. 유속분포의 경우, 기존 취수조 형태보다 상당히 안정된 분포를 나타내었으며, $\pm 10\%$ 를 초과했던 부분도 $\pm 10\%$ 이하로 만족할 만한 결과를 얻었다(그림 11). 펌프내 유체회전의 경우도 5° 이내의 유체회전 각도를 나타내어 만족할 만한 결과를 얻었다.(표 2).

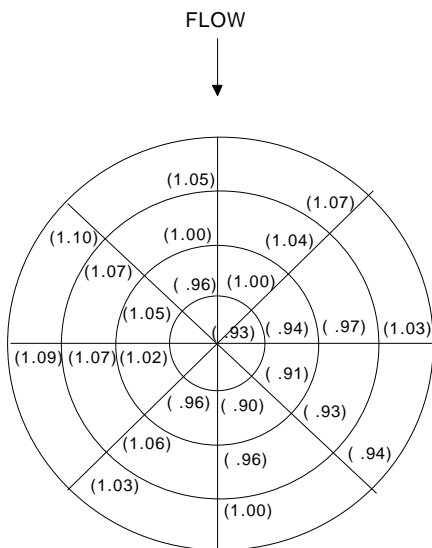


그림 11 수류개선설비 적용시 펌프내 유속분포 (CASE1, 중앙)

표 2 수류개선설비 적용시 펌프내 유체회전 각도

Operating Case	Pump ID	Swirling Angle <math> < 5^\circ </math>
		Once Through Type
CASE 1	C1 (ON)	2.31(OK)
	C2 (ON)	1.16(OK)
	C3 (ON)	2.04(OK)
CASE 2	C1 (ON)	0.87(OK)
	C2 (ON)	4.35(OK)
	C3 (OFF)	-
CASE 3	C1 (ON)	0.14(OK)
	C2 (OFF)	-
	C3 (ON)	2.34(OK)

9. 결 론

발전소 취수조의 대용량 펌프는 취수구조물 형상 및 냉각수 흐름조건에 따라 그 성능 및 수명이 좌우된다. 즉, 발전소 취수조내에서 발생하는 와류 및 펌프로 접근시 불규칙한 흐름은 대용량 펌프의 진동, 임펠러의 마모 등을 발생시켜 고가인 대용량 펌프의 수명을 단축시킨다. 따라서 발전소 취수조의 설계 및 개선시 이에 대한 안정성 확보가 필요하다. 본 연구에서는 취수펌프의 안정적 운영을 확보하기 위하여, 취수조내의 흐름특성을 분석하고 설계 기준을 만족할 수 있는 수류개선설비를 제안하였다. 이를 위하여 Froude 상사법칙에 의한

() 가

가
Cone Fillet

가

10.

1. Charles E. Sweeney, 1982. 3. "Pump Sump Design Experience: Summary." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 108, No. HY3.
2. Daggett, L.L., and Keulegan, G.H., 1974. 11. Similitude in Free-Surface Vortex Formations. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol 100, No. HY11.
3. Padmanabhan, M., and Hecker, G.E., 1984. 11. Scale Effects in Pump Sump Models. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol 110, No. 11.
4. Tatsuaki Nakato, 1990. 1. Pump Station Intake-Shoaling Control with Submerged Vanes. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol 116, No. 1.