

# 화력발전소 냉각 취수로내의 와류발생 방지를 위한 구조물의 적정조건검토

Proper Conditions of Structure to Prevent Eddy Creation  
in Cooling Water Intake Canal of Steam Power Plant

조진훈 · 천만복\* (농진공)  
Jo, Jin Hoon · Chun, Man Bok

## Abstract

Hydraulic model tests are performed to find economical and hydraulically stable design of cooling water intake channel of steam power plant. The results of tests show that the standard distribution of y-components in the chamber of CWP(Circulating Water Pump) are recommended below 3.5 to maintain hydraulic stability, so that this value is considered as the design criteria. Common basin is necessary to improve the hydraulic stability of inflow, however the longer basin does not always improve the hydraulic stability, and the optimal length of basin can be found in some range. From the results the flow stability maintained the best condition when the length of basin is 7.2m.

Beside the standard tests the auxiliary tests like edge cutting, baffle, trapezoidal section and increase of pump capacity are carried out based on the optimal condition found in the standard tests. From the series of tests the economical and hydraulically stable design of intake channel was proposed.

## I. 서론

화력발전 시스템에서 순환수 취수펌프(C.W.P: Circulating Water Pump)는 취수로로부터 직각방향으로 냉각수를 취수하므로 취수부의 형태에 따라 펌프로 유입되는 흐름의 유황이 달라진다. 펌프실내의 유황이 불량한 경우 펌프의 유입효율이 낮아지며 공기의 연행으로 인하여 관로상에 문제를 발생할 수 있다. 펌프실내로 유입되는 흐름의 유황이 와류를 발생하지 않는 적정수준으로 유지하면서 경제적인 단면을 결정하기 위하여 여러 가지 경우에 대하여 수리모형 실험을 실시하였다. 취수로폭이 축소될 때 common bay 길이에 따라 CWP 구조물 부근의 유속·유황의 변화를 관측·분석하고 한편, baffle 및 모따기 실험 등과 같은 비교실험을 통해 수리적으로 유리한 유황의 유도를 위해 적절한 조건들을 찾는 데 실험의 주안점을 두었다. 본 고에서는 실험 분석 결과와 아울러 위의 조건을 만족시키는 구조물의 적정조건을 제시하였다.

## II. 수리모형의 구성

### 1. 모형의 조건

모형의 축척은 실험의 정밀성 및 수리실험시설의 규모 등을 고려하여 1/12로 결정하였다. 모형은 직선수로상에 CWP 1기를 설치하였으며 최대 수로폭은 원형에서의 평균유속 0.6m/s(모

형유속 0.173 m/s)를 기준으로 B=1.2 m로 실험조건에 따라 축소하였다. 상류에서 전체유량 0.095 m<sup>3</sup>/s를 공급하고 CWP 1기를 통하여 0.052m<sup>3</sup>/s가 유출되며 수로말단부에서 사이펀을 통하여 0.043m<sup>3</sup>/s를 유출시켰다. Fig. 1은 모형에서의 수리실험의 공급유량, CWP 흡입유량 및 유출유량을 나타낸다.

CWP 구조물 각 실의 입구부, 중간부, 내측부의 세 단면에서 중앙과 좌측 및 우측 지점에서 측정하여 한 평면상 9개 측정점에서 측정하였으며 수심별로 0.4H, 0.6H, 0.8H 위치에서 측정한 후 평균유속을 산정하였다. 그림에서 L, C 및 R은 각각 흐름방향을 향하여 chamber의 왼쪽지점, 중심지점 및 오른쪽 지점을 나타낸다. Fig. 2는 취수로와 CWP chamber내의 유속측정위치를 나타낸다.

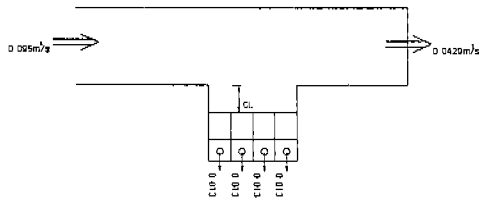


Fig. 1 Flow rates in model

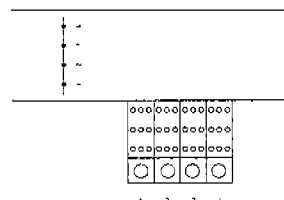


Fig. 2 Velocity measuring positions

## 2. 모형실험구분

모형실험은 크게 기본안 실험과 비교안실험으로 구분하여 실시하였다. 기본안실험은 CWP chamber내의 유황이 가장 안정된 분포를 나타내는 공통수로(common bay; 취수로 내측벽면에서 CWP 구조물 입구부까지의 구간) 길이를 결정하기 위하여 실시하였다. CWP가 4개의 펌프로 구성된 경우로써 원형의 공통수로 길이(취수로 내측벽면에서 CWP 구조물 입구부까지의 거리를 말하며 Fig. 1에서 CL로 표기)가 0.0m, 7.2m, 10.8m, 14.4m인 경우에 대하여 실험을 실시하였다.

기본안 실험을 통하여 CWP chamber내의 유황이 가장 안정된 분포를 나타내는 common bay 길이를 결정한 후의 표준유황으로 간주하고 이를 개선시킬 수 있는 방법을 찾기 위하여 여러 가지 비교안 실험을 실시하였다. 기본안 실험 결과 CL=7.2 m인 경우 가장 안정된 유황을 얻었으며 이 조건을 기준으로 하여 모따기 실험, Baffle 실험, 제형단면실험 및 50% 펌프실험을 실시하였다.

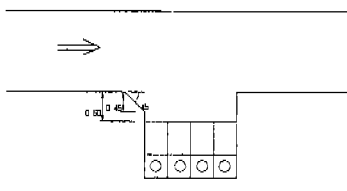


Fig. 3 Cutting edge condition

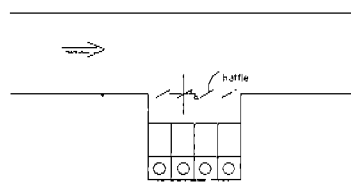


Fig. 4 Baffle condition

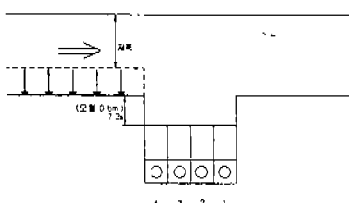


Fig. 5 Trapezoidal section condition

### III. 모형실험결과

흐름의 유속은 수로와 CWP chamber내에서 측정하였으며 x와 y 방향 유속성분의 벡터도를 작성하여 분석하였다. 또한, Chamber내 와류정도를 파악하기 위하여 9개 측정에서의 y-성분의 표준편차를 구하였다.

#### 1. 기본안 실험결과

CL = 0.0m인 경우에 수로폭이 14.4m(모형 1.20m)일 때 유선은 왼쪽에 집중되며 상류측 CWP (chamber 4)에서 두드러지게 나타났다(유속벡터도 ①). Chamber 4에서 y방향 유속성분의 표준편차는 9.3으로서 4개의 chamber중 최대이며 유선의 편이가 심하며 약간의 와류도 발생하였다. chamber 1과 2에서는 안정적인 유황을 유지하였다. Chamber 1과 2에서의 표준편차는 각각 2.2와 3.5이므로 이로부터 chamber 내의 안정적인 유황을 유지하기 위해서는 표준편차값이 3.5를 초과하지 않는 것이 바람직하므로 이 값을 chamber내 허용와류정도를 판단하는 기준으로 설정하였다. 수로폭이 8.0m(모형 0.67m)로 축소되었을 때 상기 경우보다 left쪽에서의 유선집중현상이 강화되었으며 전 chamber에서 와류가 강하게 발생하였다(유속벡터도 ②). B=14.4m인 경우와 비교하면 4개 chamber의 평균표준편차는 2배로 증가하였으며 chamber 1과 2에서는 3배로 증가하였다. 따라서 이 경우는 부적정한 조건으로 판단된다.

CL = 7.2m(모형 0.6m)인 경우에 수로폭이 14.4m(모형 1.20m)일 때 common bay를 통과하면서 흐름의 방향이 바뀌어 오른쪽으로 유선이 집중되는 현상이 나타난다(유속벡터도 ③). 이 경우도 4개의 chamber중 chamber 4에서 표준편차가 최대가 되며 그 값은 6.6이다. 그러나 다른 chamber의 유황은 매우 안정적이어서 표준편차는 0.8~1.7의 범위에 존재한다. 따라서 이 경우를 설계에 적용하고자 할 경우 chamber 4의 유황을 개선시키는 방안을 강구하여야 한다. 수로폭이 8.0m(모형 0.67m)로 축소되면 Chamber 3의 와류정도가 약간 증기하나 표준편차가 3.3으로서 매우 안정적인 유황을 갖는다(유속벡터도 ④). 따라서 이 경우도 전체적으로 양호한 유황을 가지며 chamber 4의 유황을 개선시킬 필요가 있다. 4개 chamber의 평균표준편차는 3.6으로서 기준치 3.5와 유사하다. 이 경우를 B=14.4m인 경우와 비교하면 CL=7.2m를 설치한 경우 B=8.0m에서도 비교적 적용이 가능한 유황을 나타냄을 알 수 있다.

CL = 10.8m(모형 0.9m)인 경우에 수로폭이 14.4m(모형 1.20m)일 때 평균표준편차값이 3.6으로서 CL=7.2m인 경우(유속벡터도 ③)의 2.6보다 더 크다. 이는 common bay길이가 길어질수록 chamber내의 유황이 더 안정적이 되는 것은 아니며 최적의 유황을 얻기 위하여는 적절한 common bay의 길이를 선택하여야 함을 의미한다. 이러한 현상은 수로폭이 8.0m(모형 0.67m)으로 축소되는 경우 더욱 뚜렷이 나타난다.

Table 1 Standard deviation(SD) of y-component of velocity in CWP chamber and velocity vectors for the standard experiments

CL (m)	CW(m)	Velocity vectors & Standard deviation	CL (m)	CW(m)	Velocity vectors & Standard deviation
0.0 (0.0)	14.4 (1.20)	① 2.2 3.5 6.5 9.3 	7.2 (0.6)	14.4 (1.20)	③ 1.1 1.7 0.8 6.6 
	8.0 (0.67)	② 7.9 10.3 10.1 13.0 	8.0 (0.67)	8.0 (0.67)	④ 2.1 2.4 3.3 6.7 

(Values in parenthesis are for the model)

\* CW : Channel width

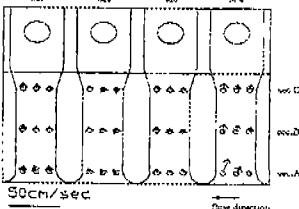
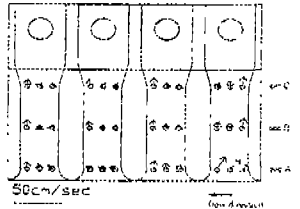
## 2. 비교안 실험결과

### 가. 모따기 실험

공통수로 길이(CL)가 7.2m이고 수로폭이 14.4m(모형 1.20m)인 경우, 기본안실험과 비교할 때 chamber 4에서 최대표준편차가 6.6에서 4.3으로 크게 감소하였다(유속벡터도 ①). 표준편차가 설계허용한계 3.5를 초과하나 이는 chamber 입구부에서 유황이 불규칙하기 때문이며 chamber 내측의 흐름은 유선의 편기가 거의 없이 안정된 흐름을 나타낸다. 따라서 실제 설계에 적용이 가능하다. 수로폭이 8.0m(모형 0.67m)인 경우에도 표준편차가 2.8~3.6 범위로서 허용범위내에 포함된다(유속벡터도 ②).

이로써 common bay를 과도하게 확대하는 것은 바람직하지 않음을 알 수 있으며 아울러 유입부 모서리를 완만하게하는 것이 CWP내 유황개선에 매우 큰 효과가 있음을 확인할 수 있다.

Table 2 Standard deviation(SD) of y-component of velocity in CWP chamber and velocity vectors for the "Cutting edge" experiments

CL (m)	CW (m)	Velocity vectors & Standard deviation	CW (m)	Velocity vectors & Standard deviation
7.2 (0.6)	14.4 (1.20)	① 1.1 1.1 1.0 4.3 	8.0 (0.67)	② 2.8 3.6 2.9 3.5 

(Values in parenthesis are for the model)

\* CW : Channel width

#### 나. Baffle 실험

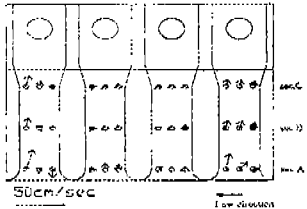
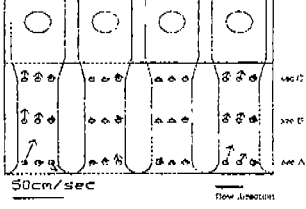
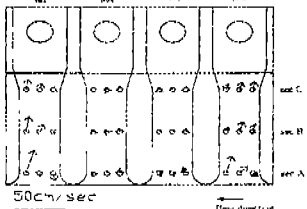
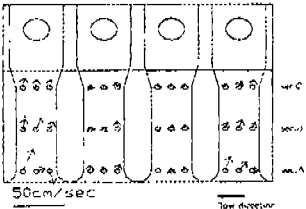
Baffle 각도( $\alpha$ )가  $10^\circ$  이고 수로폭이 10.1m(모형 0.84m)인 경우, 평균표준편차는 4.5로서 기본안실험경우보다 크다(유속벡터도 ①). 따라서 chamber내의 와류정도가 더 불량해졌음을 알 수 있다. 특히 chamber 1의 경우 입구에서 와류가 크게 발생하였으며 이에 따라 표준편차가 9.7의 큰 값을 나타내었다. 다른 chamber의 유황은 비교적 양호하며 특히 chamber내측의 유황은 안정적이다.

Baffle 각도( $\alpha$ )가  $20^\circ$  인 경우 수로폭에 따른 표준편차값은 작으며 유황도 역시 거의 유사하다(유속벡터도 ③, ④).  $\alpha=10^\circ$  의 경우와 비교하면 B=0.84m인 경우는 표준편차가 증가하였으나 B=0.67m인 경우는 감소하였다. 이로써 수로폭과 baffle각도사이에 최적관계가 존재함을 알 수 있다. 따라서 baffle을 설치하고자하는 경우에는 보다 상세한 실험을 실시하여 결정된 수로폭에 대한 적당한 baffle의 규격, 위치 및 각도를 결정하여야 한다.

#### 다. 제형 단면 실험

기본안실험의 B=14.4(모형 1.20m)와 10.1m(모형 0.86m)인 경우와 비교하면 제형단면의 경우에 평균표준편차가 더 증가하였다(유속벡터도 ①, ②)). 이는 pump흡입구가 chamber 바닥에 접근하여 흡입을 하므로 CWP chamber내로 유입시 수로저층부의 흐름이 보다 원활히 유입되는 것이 중요하나 제형단면의 경우 저층부의 유선길이가 표층부의 유선보다 길어지게 되어 원활한 유입에 지장을 초래하기 때문으로 판단된다. 따라서 제형단면으로 취수로를 건설하는 경우 CWP의 입구부에 제형에서 구형으로 변화하는 transition구간을 설치하거나 유입부 모서리를 완만하게 하여 모따기 실험에서 얻은 유황개선효과를 기대하는 것이 필요하다.

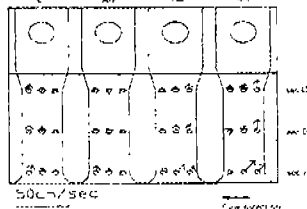
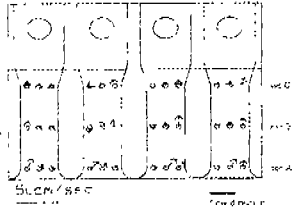
Table 3 Standard deviation(SD) of y-component of velocity in CWP chamber and velocity vectors for the baffle experiments

CL & BA	CW(m)	Velocity vectors	CL & BA	CW(m)	Velocity vectors
7.2m (0.6) 10°	10.1 (0.84)	① 9.7 2.3 1.4 4.4 	7.2m (0.6) 20°	10.1 (0.84)	③ 9.9 2.6 1.2 5.1 
	8.0 (0.67)	② 11.3 1.9 1.8 6.3 		8.0 (0.67)	④ 10.6 2.5 1.7 4.0 

(Values in parenthesis are for the model)

\*BA:baffle angle

Table 4 Standard deviation(SD) of y-component of velocity in CWP chamber and velocity vectors for the "Trapizoidal section" experiments

CL (m)	BW (m)	Velocity vectors & Standard deviation	CL (m)	BW (m)	Velocity vectors & Standard deviation
7.2 (0.6)	9.0 (0.75)	① 2.3 2.4 2.4 4.9 	7.2 (0.6)	5.2 (0.43)	② 3.7 5.3 5.2 3.2 

(Values in parenthesis are for the model)

\*BW:bottom width

라. 50% pump 실험

펌프의 용량을 두 배로 한 경우, 25% pump 실험의 경우(CL=7.2m)와 비교할 때 chamber내 유속 표준편차는 전체적으로 오히려 감소하였으나 Chamber 3에서 유선의 집중이 과대하여 매우 편기된 유선형태를 나타낸다. 이는 펌프의 흡입 능력이 커짐에 따라 유입흐름 조건의 작은 변화에도 CWP내의 흐름조건이 크게 달라질 수 있음을 의미한다.

따라서 50% pump를 사용하고자할 때 common bay에서 baffle 또는 guide wall 등을 설치하여 어느 한 chamber내로 유선이 집중되는 것을 방지할 필요가 있다.

Table 5 Standard deviation(SD) of y-component of velocity in CWP chamber and velocity vectors for the 50% capacity pump experiments

CL (m)	CW (m)	Velocity vectors				CL (m)	CW (m)	Velocity vectors					
7.2	14.4	①	1.7	2.3	2.6	2.2	7.2	8.0	②	1.7	3.0	4.8	3.0
(0.6)	(1.20)												

(Values in parenthesis are for the model)

\* CW : Channel width

#### IV. 요약 및 결론

펌프실내로 유입되는 흐름의 유황이 와류를 발생하지 않는 적정수준으로 유지하면서 경제적인 단면을 결정하기 위하여 수리모형실험을 실시하였으며, 취수로폭과 공통수로의 길이에 따른 유황변화를 파악하는 한편 baffle 및 모따기 실험 등과 같은 여러 가지 비교실험을 실시하여 수리적으로 CWP내 유황이 이상적으로 되는 조건들을 찾고자 하였다.

기본안에 대한 실험결과, chamber 내의 안정적인 유황을 유지하기 위해서는 표준편차값이 3.5를 초과하지 않아야 하며 따라서 이 값을 설계기준으로 설정할 수 있다. 공통수로길이(CL)가 7.2m인 경우, 단면별로 실험한 결과 단면이 축소되어도 chamber 내에서 비교적 안정적인 흐름을 나타내나 chamber 4의 표준편차가 6.6으로 설계허용한계인 3.5를 크게 초과하므로 이 경우를 설계에 적용하고자 할 경우 chamber 4의 유황을 개선시키는 방안을 강구하여야 한다. 공통수로는 펌프실로 유입하는 흐름의 유황을 개선시키므로 필요하나 길이를 길게 설치한다고해서 그에 비례하여 유황이 개선되는 것이 아니며 최적의 유황을 갖는 길이의 범위에 제한이 있다고 판단된다. 본 실험에서 공통수로길이 7.2m인 경우에 가장 양호한 유황을 나타내었다.

비교안에 대한 실험결과, 모따기를 하는 경우에 전체적으로 와류정도가 20% 정도 감소하였다. 따라서 유입부 모서리를 완만하게 하는 것이 펌프실내 유황을 개선시키는데 효과가 있다고 판단된다. 펌프실 입구부에 baffle을 설치하는 경우, 기본안실험 경우에 비하여 입구쪽의 와류정도가 증가하였으나 펌프실 내측에서는 유황이 개선된 결과를 나타낸다. 수로폭과 baffle각도 사이에 최적관계가 존재하므로 baffle을 설치하고자 하는 경우, 보다 상세한 별도의 실험을 실시하여 적당한 baffle 규격과 각도를 결정하여야 할 것이다. 제형수로단면의 경우, 유입부 모서리 저층부의 흐름의 이동거리가 표층부보다 길어지게되어 흐름의 원활한 유입에 지장을

초래하게 되어 와류정도가 증가하게 된다. 따라서 모서리 부분의 제형단면은 구형에 비하여 수리적으로 불안정하므로 보완이 필요하다. 펌프 용량을 두 배로 증가한 경우, 수로폭에 따라 유선이 어느 한 chamber로 유선이 편중되는 현상이 발생하므로 common bay내에 baffle 또는 guide wall 등을 설치하여 유선의 편중을 방지하여야 한다.

이상의 실험결과로부터 펌프실로 유입되는 흐름의 적절한 유황조건을 파악할 수 있었으며 이에 따라 경제적이면서 수리적으로 양호한 설계가 가능하다.

## 참 고 문 헌

1. 윤용남, 1990, 수리학, 청문각
2. 한국전력기술주식회사, 1993, 해양조사보고서, (당진화력 1, 2호기 설계기술용역).
3. Iowa Institute of Hydraulic Research, 1990, The University of Iowa, Hydraulic model studies of Circulating-Water and Essential-Service-Water Pump-Intake Structures, Korea Electric Power Corporation Yonggwang Station, Units 3 and 4.
4. P. Novak and J. Cabelka, Models in Hydraulic Engineering, Pitman Advanced Publishing Program, Boston.
5. A. B. Rudavsky, 1975, Design Problems of Intake Structures for Circulating, Cooling Water Systems in Nuclear Plants, Hydro Research Science.