

발전소 수중방류구조 내 수평유공판 설치에 따른 거품발생 저감효과에 관한 실험적 연구

Experimental Investigation on the Efficiency of Reducing Air Bubble Formation by Installing Horizontal Porous Plate in the Submerged Outlet Structure of Power Plant

오상호* · 오영민* · 강금석** · 김지영**

Sang-Ho Oh*, Young Min Oh*, Keum-Seok Kang** and Ji-Young Kim**

요 지 : 이 연구에서는 보령화력발전소 방수로 수중방류구조에 대한 수리모형실험을 수행하여 수중방류구조 내 흐름 특성을 고찰하고, 수평 유공판 설치에 따른 거품저감 효과를 검토하였다. 수중방류구조 내 단면평균유속은 설계시 거품의 위해 유출 방지를 위해 고려한 목표값 1 m/s 이내에 분포하였다. 또한, 수중방류구조 내 2차 낙하 위치에 수평 유공판을 설치함에 따라 거품의 수중 최대관입깊이가 30~50% 감소함을 확인하였다. 특히, 2차 낙하 위치에 구멍의 크기가 20 cm 정도인 사각구멍형 유공판을 설치하고, 중앙부는 무공 구조로 제작하여 낙하 에너지를 소산시키게 될 경우, 가장 효과적으로 수중에 관입되는 거품 발생량을 저감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 발전소, 방수로, 거품저감, 수중방류구조, 수리모형실험

Abstract : In this study hydraulic experiment was carried out to investigate the flow characteristics in the submerged outlet structure of Boryeong power plant and the efficiency of bubble reduction by installing horizontal porous plate in the outlet structure. The cross-sectional mean velocity in the submerged outlet structure was smaller than 1 m/s, the target value at the design stage to prevent bubble outflow to the open sea area. In addition, it was found that the maximum depth of bubble penetration is reduced 30 to 50% by installing the horizontal porous plate at the second falling location in the submerged outlet structure. It is expected that the total bubble amount entrained in the water will be most efficiently reduced by installing square-hole-shape porous plate of 20 cm hole size and making its central section as non-porous structure to dissipate the energy of falling water.

Keywords : Power plant, Drain channel, Bubble reduction, Submerged outlet structure, Hydraulic model test

1. 서 론

국내의 화력 및 원자력발전소는 대부분 해안에 위치하고 있으며 냉각수로서 해수를 사용하고 있다. 사용된 냉각수는 방수로를 통해 다시 바다로 배출되게 되는데 방류시의 낙차로 인해서 방수로 종단 배출구 전면 해상에 거품이 발생하게 된다. 발전소 방류구에서 발생하는 거품

량은 낙차가 크고 방류량이 많을 때 증가하며, 또한 해수의 수온이 상승하는 봄철 이후로 증가한다. 이것은 수온이 높아짐에 따라 해수중에 식물성 플랑크톤 및 유기물 농도가 증가하여 점성이 큰 거품이 생성되어 한번 생성된 거품이 잘 부서지지 않기 때문이다(한국전력공사, 2002). 특히, 최근에는 발전소가 단지화되고 기존 발전소 설비에 신규호기를 증설하는 경우가 많아 냉각수 방류량

*한국해양연구원 연안개발에너지연구부(Corresponding author: Sang-Ho Oh, Coastal Engineering & Ocean Energy Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Kyunggi 426-744, Korea, ohsangho@kordi.re.kr)

**한국전력공사 전력연구원 환경구조연구소(Environment & Structure Laboratory, Korea Electric Power Research Institute)

이 증가함에 따라 거품 발생이 더욱 심해지고 있다.

거품은 유해성은 없지만 미관상 좋지 않기 때문에 부유 거품이 외해로 배출될 경우에 발전소 인근 주민들이 민원을 제기할 수 있다. 따라서 방수로에서의 거품 발생량을 줄이고 거품의 외해 배출을 차단할 필요가 있다. 발생된 거품을 감소시키는 가장 손쉬운 방법은 소포제를 살포하는 것이다. 그러나 소포제는 해양 수질 및 생태계 등에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있으며 또한 지속적으로 사용하게 될 경우 상당한 비용이 든다. 한편, 발생된 거품의 외해 배출을 막기 위해서는 거품올타리를 주로 사용하는데, 거품올타리는 파랑에 취약하여 파손이 빈번하게 발생하기 때문에 주기적으로 교체하는 데 따른 유지관리 비용이 든다. 따라서 거품 발생량을 원천적으로 저감할 수 있도록 발전소 방수로의 구조 형식을 개선할 필요성이 있다.

발전소 방류구에서 발생하는 거품과 관련하여 1980년대부터 서해안의 보령, 서천화력발전소를 대상으로 온배수의 물리적 성질을 조사하고 거품 발생의 원인을 파악하려는 시도가 이루어졌다. 이를 통해 해수 온도, 표면 장력, pH의 연별 변동성 등이 거품 발생에 미치는 영향이 연구된 바 있다(한국전력기술주식회사, 1994; 한국전력공사 전력연구원, 2006). 우리나라와 실정이 비슷한 일본에서도 일본 전력중앙연구소를 중심으로 거품 발생 원인을 파악하고 그에 대한 대책을 수립하는 연구가 수행된 바 있다(福原華一, 1990; 電力土木技術協會, 1995). 그러나, 발전소 방류구에서 발생하는 거품의 저감 방안을 수리모형실험을 통하여 연구한 사례는 거의 없다. 上海義藪(1999)는 방류수의 낙하 에너지를 감소시키기 위해서 방류구조 내에 유공판을 설치하는 방식에 대한 간단한 수리모형실험을 수행한 바 있지만, 유공판 설치에 따른 거품 발생 양상을 체계적이고 정량적으로 평가한 연구 결과는 제시되지 않았다.

한편, 보령화력발전소에는 최근 냉각수 방류수를 활용한 소수력발전설비가 건설되면서 발전에 필요한 낙차를 확

보하기 위해 방수로 상류측에 EL.(+)3.9 m 높이의 월류보를 설치하게 되었다(한국전력기술주식회사, 2006). 그런데, 외해 조위가 EL. (+)1.9 m 이상에서는 발전 낙차가 확보되지 않아 소수력발전을 정지하고 방류수 전량을 기존 방류구로 방류하며, 소수력발전을 하는 경우에도 발전에 필요한 유량을 제외한 잉여 유량은 항상 기존 방류구로 배출해야 한다. 잉여 유량이 기존 방류구로 배출될 경우 방류시 낙차가 크게 발생하여 거품이 발생할 가능성이 높기 때문에, 거품 발생량을 근본적으로 저감하기 위하여 기존 방류구 좌안에 Fig. 1에 제시한 형식의 수중방류구조를 신설하는 방안을 고려하고 있다(한국전력공사, 2007). 수중방류구조는 일반적으로 공사 규모가 크다는 단점이 있으나, 별도의 조작과 유지보수가 필요 없는 안정적 토목구조물에 의한 거품유출방지 시설이기 때문에 발전회사 측에서 가장 선호하는 거품저감 방식이다. 수중방류구조를 단순한 구조 형식으로 설계하고, 공사 규모를 최소화하기 위하여 다양한 방안을 검토하여 최종적으로 Fig. 1에 보인 설계안을 채택하게 되었다.

보령화력발전소에 설치되는 수중방류구조는 방류수의 낙차 및 낙하시 발생하는 거품의 수중 관입깊이를 감소시키기 위해서 방류수가 EL.(+)3.9 m 높이의 월류보로부터 2단 낙하하는 구조를 채택하고, 수중에 관입된 거품이 수표면으로 부상한 후에 외해로 유출되는 것을 차단하기 위해서 2중 차단벽(Curtain wall) 형식으로 설계한 것이 특징이다. 또한, 월류보에서 1차 낙하한 방류수가 2차 낙하할 때의 에너지를 소산시키고 간조시 거품의 수중 관입깊이를 감소시키기 위해 Fig. 1에 보인 것처럼 2차 낙하 위치에 수평 유공판 구조를 설치할 계획이다. 2차 낙하 위치에서 수중 관입된 거품이 수면으로 부상하는 동안에 흐름을 따라서 차단벽 하류측으로 이동할 수 있기 때문에 수평 유공판 구조를 설치하여 거품의 수중 관입깊이를 줄이면, 거품이 더 빨리 수면으로 부상하여 차단벽 내에 정체되도록 하는 효과를 거둘 수 있다. 낙하구조를 2단으로

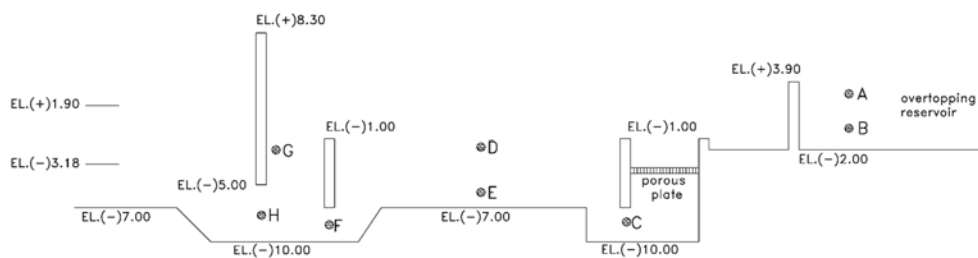


Fig. 1. Schematic diagram of the underwater drainage system.

설계한 이유는 월류보 상류구간이 기존 배수관로 구간에 해당하여 EL.(-)2.0 m 위치에 있기 때문에 그 인접 구간을 EL.(-)2.0 m 이하로 굴착하여 구조물을 시공하는 것이 불가능하기 때문이었다.

이 연구에서는 2차원 흐름수조에서 수리모형실험을 수행하여 신설 수중방류구조 내 흐름특성 및 2차 낙하 위치에 수평 유공판 구조를 설치하게 될 경우의 거품발생 저감 효과를 검토하였다. 2차 낙하 위치에서의 거품발생량을 정량적으로 평가하기 위하여 사진 촬영을 통하여 거품의 최대 관입깊이를 산정하였다. 거품의 최대 관입깊이만으로 수평 유공판 설치에 따른 거품발생량의 저감 효과를 정확하게 평가하기는 어렵지만, 대체로 거품의 관입깊이가 작은 경우 거품발생량도 작기 때문에 2차 낙하 위치에 설치된 수평 유공판 형상에 따른 거품의 최대 관입깊이를 서로 비교하여 거품발생량 저감 효과를 비교평가하는 것이 가능하였다. 한편, 수리모형실험이 현장에 설치될 실제 구조물의 설계안을 대상으로 수행되었으므로, 이 논문에서는 실험 내용 및 결과를 설명함에 있어 유속 및 길이의 단위를 현장 조건으로 환산하여 제시하였다.

2. 수리모형실험

2.1 실험수조 및 모형 설치

실험은 길이 24 m, 폭 0.6 m, 높이 0.9 m의 2차원 흐름발생수조에서 이루어졌다. Fig. 1에 보인 수중방류구조의 축척 1/30 모형을 아크릴로 제작하여 수조의 중앙 위치에 설치하였다. Fig. 2에 수조 내에 수중방류구조 모형이 설치된 모습을 제시하였다. 수평 유공판은 Fig. 3에 보인 것처럼 사각구멍 형태 5개와 슬릿 형태 1개를 제작하였다. 수평 유공판의 폭 및 길이는 실험실 규격으로 각

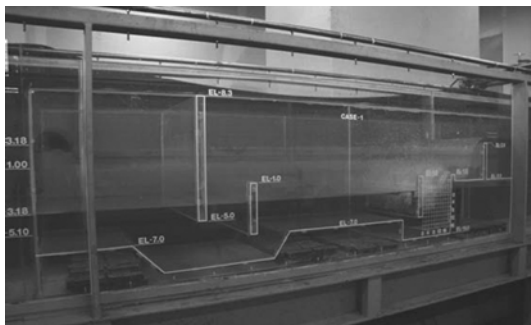


Fig. 2. Model of the underwater drainage system installed in the current flume.

Table 1. Experimental conditions of water level

	Water level		Remark
	Reservoir	Sea	
Case 1	EL.(+)4.90 m	EL.(-)3.18 m	L.W.O.S.T
Case 2	EL.(+)5.35 m	EL.(+)1.90 m	Stop operation

각 57 cm와 20 cm이며, 축척을 고려할 때 현장 제원으로 각각 17.1 m와 6 m에 해당한다. 사각구멍 유공판의 구멍 크기는 현장 조건으로 각각 20, 35, 50, 65, 80 cm이며, 구멍 사이의 간격은 한변의 길이와 같다. 한편, 슬릿형 유공판의 슬릿 폭은 50 cm이고, 슬릿 사이의 간격은 1 m이다. 여섯 개 유공판의 유공률은 25%로 동일하다.

2.2 실험조건 및 방법

실험은 Table 1에 보인 두 가지 수위 조건에 대하여 수행되었다. Case 1의 외해측 조위는 대조평균저조위(L.W.O.S.T)에 해당하며, 이 때의 월류보측 수위와 외해 조위의 낙차는 8.08 m 이다 이 경우 냉각수 방류량 중 일부는 소수력발전기에 사용되며 방수로로 통해 배출되는 유량은 77.8 m³/s 이다. 한편, Case 2의 외해측 조위는 소수력발전기의 가동을 중단하는 운전정지수위에 해당하며, 이 때의 낙차는 3.45 m, 방수로 배출유량은 152.8 m³/s이다.

수중방류구조 내 흐름 경향을 파악하기 위하여 Fig. 1에 표시한 A부터 H까지의 총 8곳에서 유속을 측정하였다. Table 2에 각 계측점의 현장환산 표고를 제시하였다. 이 중 A, D, G 세 곳의 연직 위치는 각 계측점에서의 수심 h의 0.6배에 해당하는 0.6 h 높이에 해당하며, 나머지 다섯 개 계측점에서의 연직 위치는 수심 h의 0.2배에 해당하는 0.2 h 높이에 해당한다. 수평 유공판 설치에 따라서 수중방류구조 내 흐름 양상이 변화하는지 파악하기 위하여 수평 유공판이 설치되지 않은 경우 및 50 cm 사각구멍 유공판(Sq-50)이 설치된 두 경우에 대하여 각각 유속을 계측하였다. 유속 계측장비로는 ADV(Acoustic Doppler

Table 2. Water levels of the eight measurement points

Point	Case 1	Case 2
A	EL.(+)1.9 m	EL.(+)2.5 m
B	EL.(-)0.6 m	EL.(-)0.5 m
C	EL.(-)9.0 m	EL.(-)9.0 m
D	EL.(-)5.2 m	EL.(-)2.2 m
E	EL.(-)6.3 m	EL.(-)5.4 m
F	EL.(-)9.0 m	EL.(-)9.0 m
G	EL.(-)5.7 m	EL.(-)1.5 m
H	EL.(-)7.0 m	EL.(-)7.0 m

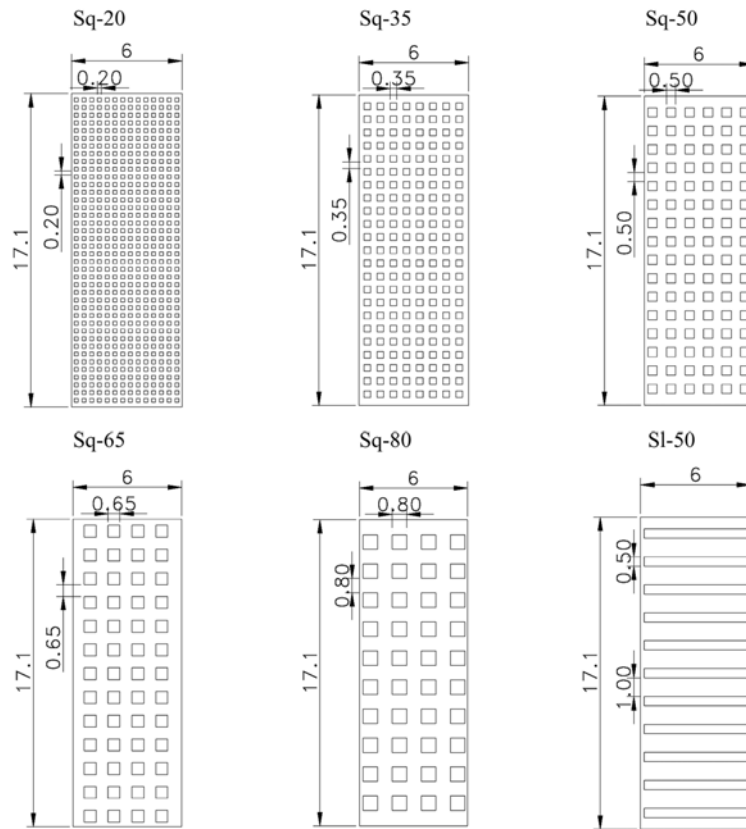


Fig. 3. Plan view of the six different porous plates.

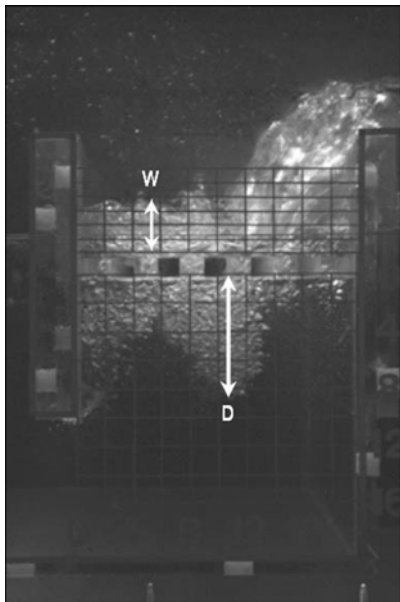


Fig. 4. Definition of maximum bubble penetration depth and mean water level above the porous plate.

Velocimeter)를 이용하였으며, 각 계측점에서의 흐름방향 및 연직방향 유속을 측정하였다. 자료 수집 간격(sampling rate)은 20 Hz였고 60초 동안 자료를 취득하여 평균유속을 계산하였다.

한편, Table 1에 보인 두 가지 실험 조건 중에서 수위차가 커서 거품발생이 많은 Case 1 조건에서의 유공판 형상에 따른 거품발생저감 효과를 정량적으로 평가하기 위해서 Fig. 4에 보인 것처럼 2차 낙하 위치에서 사진 촬영을 통해 거품의 관입깊이 및 수면높이를 평가하였다. 거품이 주로 2차 낙하 위치에서 발생하므로 사진 촬영의 범위는 Fig. 4에 보인 영역으로만 한정하였다. 사진 촬영에 사용된 디지털카메라는 캐논 EOS 40D 모델이며 EF-S 17-85 IS USM 렌즈를 장착하였다. 광원으로는 1000W 전구 2개를 사용하였으며, 셔터속도는 1/250초였다. 거품의 관입깊이 및 수면높이는 Fig. 4에 보인 것처럼 2차 낙하 위치의 유리벽에 붙인 격자 정보로부터 육안으로 사진 판독을 통해 산정하였다. Fig. 4의 격자 주변의 숫자는 실험실 조건에서의 거리를 나타내며 단위는 cm이다.

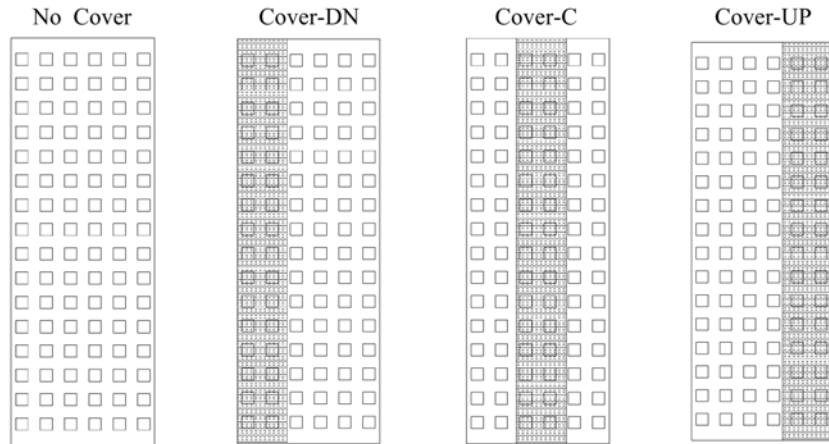


Fig. 5. Four types of placing a non-porous plate on the porous plate (Sq-50).

Fig. 4에서 D는 2차 낙하 위치에서 거품의 최대 관입깊이를 나타내며, W는 수평 유공판이 설치될 경우 2차 낙하 위치와 하류측 차단벽 사이 구간 내에서 유공판 상부면으로부터 수면까지의 연직거리 평균값을 나타낸다. 수평 유공판이 설치되지 않은 경우에도 같은 기준점으로부터의 수면높이 W값을 산정하였다. 사진에 촬영된 거품의 관입깊이 및 수면높이는 매 촬영시마다 약간씩 변화할 수 있으므로 각 실험조건에 대하여 사진 촬영을 10회 반복하여 거품의 관입깊이 및 수면높이의 평균값을 계산하였다. 거품의 관입깊이를 평가하는 실험은 유공판이 설치되지 않은 경우 및 Fig. 3에 보인 형상이 서로 다른 여섯 가지 유공판이 설치된 총 7가지 경우에 대하여 각각 수행되었다.

또한, 수평 유공판과 폭은 17.1 m로 같고, 길이는 6 m의 1/3에 해당하는 2 m인 무공판을 아크릴로 별도로 제작하고 수평 유공판 위에 부착하여 수평 유공판 일부를 폐쇄한 실험을 수행하였다. Fig. 5에 보인 것처럼 여섯 가지 형상의 수평 유공판이 설치된 경우에 대하여 각각 무공판을 부착하지 않은 조건 및 무공판을 수평 유공판의 상류측, 중앙, 하류측에 부착한 총 4가지 조건에 대하여 실험이 수행되었다. Fig. 5에서 검은색 음영 부분은 무공판이 수평 유공판 위에 부착되어서 수평 유공판이 폐쇄된 영역을 표시한다.

한편, Case 2 조건의 경우에는 수위차가 크지 않아서 2차 낙하가 발생하지 않기 때문에 거품발생량이 많지 않았으며, 예비 실험 결과 수평 유공판 설치에 따라서도 거품발생 양상에 거의 차이가 없어서 사진 촬영을 통한 거품의 관입깊이 및 폭을 평가하지 않았다.

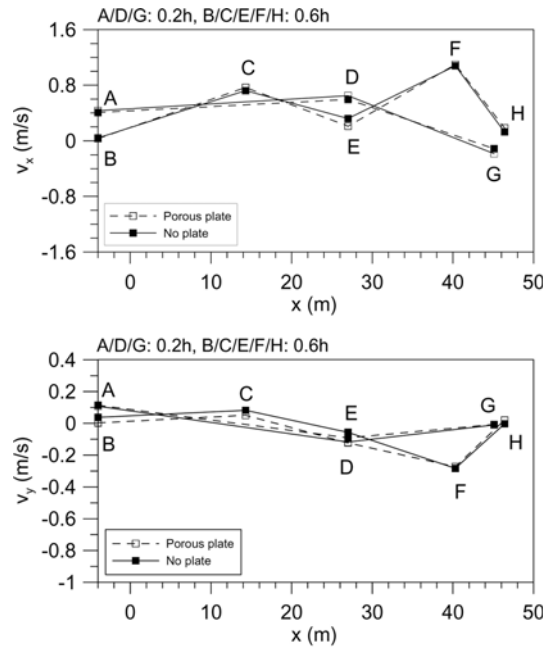


Fig. 6. Horizontal and vertical mean velocities at the measuring points (Case 1).

3. 실험 결과

3.1 평균 유속

Fig. 6에는 Case 1 실험조건에서의 흐름방향 및 연직방향 평균유속을 나타내었다. 여기서 흐름방향 좌표 x는 EL.(+)3.9 m 높이의 월류보 벽으로부터 하류측으로의 수평 거리를 나타내며, 따라서 수평유속 v_x 가 양의 값을 가질 때 수평흐름은 Fig. 1에서 오른쪽에서 왼쪽 방향으로

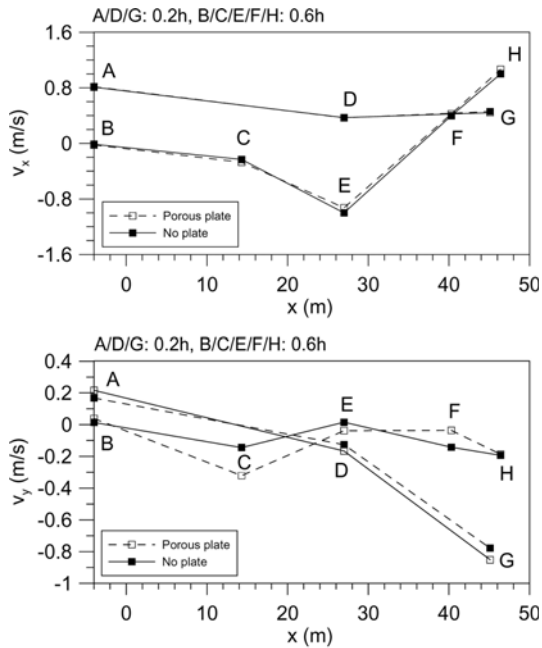


Fig. 7. Horizontal and vertical mean velocities at the measuring points (Case 2).

흐르는 것을 의미한다. 한편, 연직유속 v_y 가 양의 값을 가질 때 연직흐름은 연직상향으로 흐르는 것을 의미한다. 여덟 개 계측점 중에서 연직위치가 0.2 h 및 0.6 h에 해당하는 계측점들을 각각 별도로 도시하였다. Fig. 6에 보인

것처럼 수평 유공판을 설치하지 않은 경우와 50 cm 사각구멍 유공판(Sq-50)을 설치한 경우 사이에 수평 및 연직 평균유속 차이는 거의 없었다. 수평유속 및 연직유속 모두 계측점 F에서 절대값이 가장 컸으며, 그 값은 각각 1.09 m/s 및 -0.28 m/s였다. 수중방류구조 설계시 단면평균 유속의 최대값을 약 1 m/s 이내로 유지하는 것을 목표로 하였는데, 이는 수중으로 관입된 거품이 외해로 배출되기 전에 수면으로 부상하여 차단벽 내에 정체되도록 하기 위해서였다. Fig. 6에 보인 결과로부터 수중방류구조는 이러한 조건을 충족시키며, 수중 관입된 거품이 외해로 배출되기 전에 수면으로 부상하여 차단벽 안쪽에 포집될 수 있을 것으로 예측된다.

한편, Fig. 7에는 Case 2 실험조건에서의 유속계측 결과를 제시하였다. 이 경우 수평유속의 최대값은 계측점 F에서 1.07 m/s였으며, 연직유속 절대값의 최대값은 계측점 G에서 -0.85 m/s였다. 한편, 계측점 C에서의 연직 유속은 수평 유공판을 설치한 경우에는 -0.32 m/s였고, 수평 유공판을 설치하지 않은 경우에는 -0.14 m/s로 다소 차이가 크게 나타났다. 이렇게 연직 유속의 차이가 발생하는 이유는 이 실험 조건에서는 외해 조위가 수평 유공판 설치 위치보다 높아서 2차 낙하 위치의 차단벽 주변으로 반시계방향으로 회전하는 흐름이 형성되는데, 수평 유공판이 설치될 경우에는 이 회전 흐름이 수평 유공판의 영향으로 흐름 세기가 약해지기 때문인 것으로 판단된다.

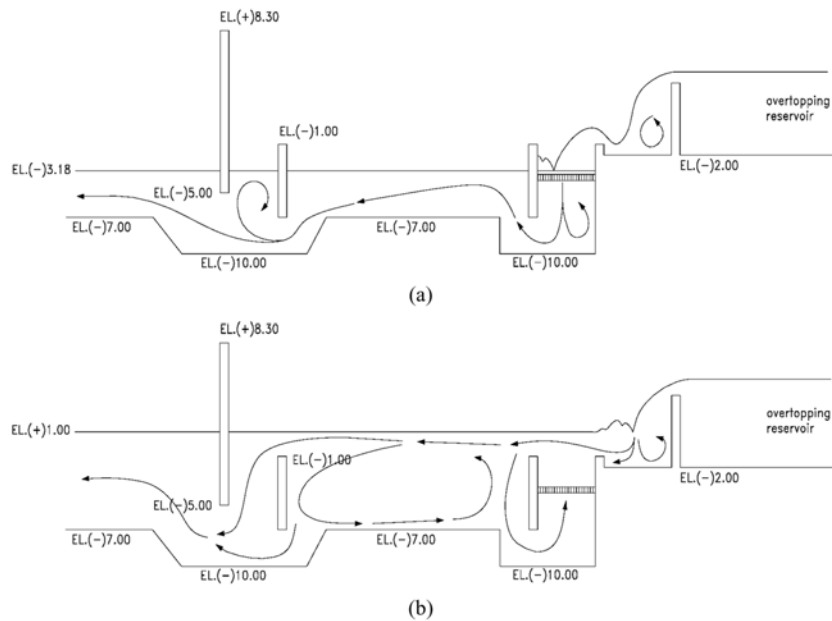


Fig. 8. General flow patterns in the underwater drainage system. (a) Case 1, (b) Case 2.

Fig. 8에는 Case 1 및 Case 2의 평균유속 계측 결과로부터 수중방류구조 내 흐름장을 개략적으로 구성하여 제시하였다. Case 1의 경우에는 수중방류구조 내 흐름이 하류측 일방향으로 형성되는 반면, Case 2의 경우에는 차단벽 사이에서 반시계방향으로 크게 회전하는 흐름이 나타남을 알 수 있다.

3.2 거품의 관입깊이 및 수면높이

Fig. 9에는 Case 1 실험조건에 대하여 2차 낙하 위치에 수평 유공판이 설치되지 않았을 때(Free fall), 슬릿형 유공판(SI-50), 80 cm 사각구멍 유공판(Sq-80) 및 20 cm 사각구멍 유공판(Sq-20)이 설치되었을 때의 거품 발생 모습을 각각 제시하였다. 나머지 사각구멍 형상의 수평 유공판(Sq-35, Sq-50, Sq-65)을 설치하였을 때의 거품발생 양상은 Sq-80 및 Sq-20과 유사하였으며 다만 거품의 관입깊이 및 수면높이가 다소 차이를 나타내었다. Fig. 9로부터 수평 유공판을 설치함으로써 2차 낙하 위치에서의 거

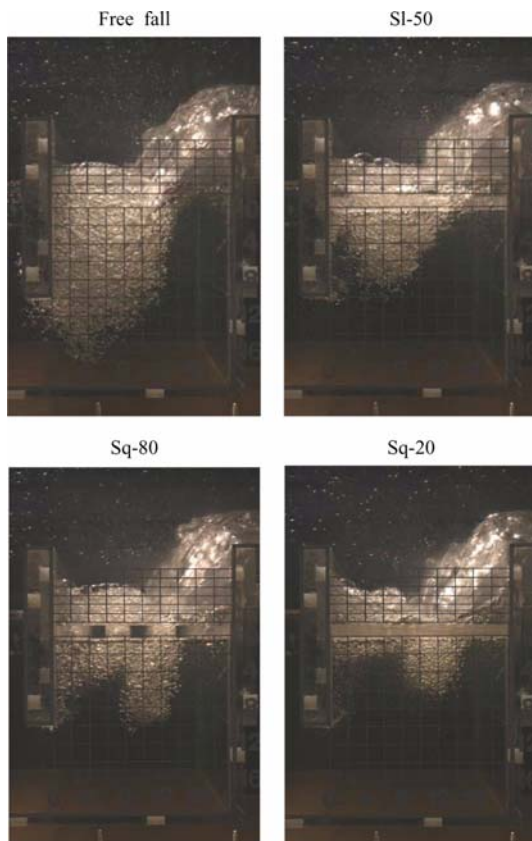


Fig. 9. Difference in bubble formation according to installation of different porous plates.

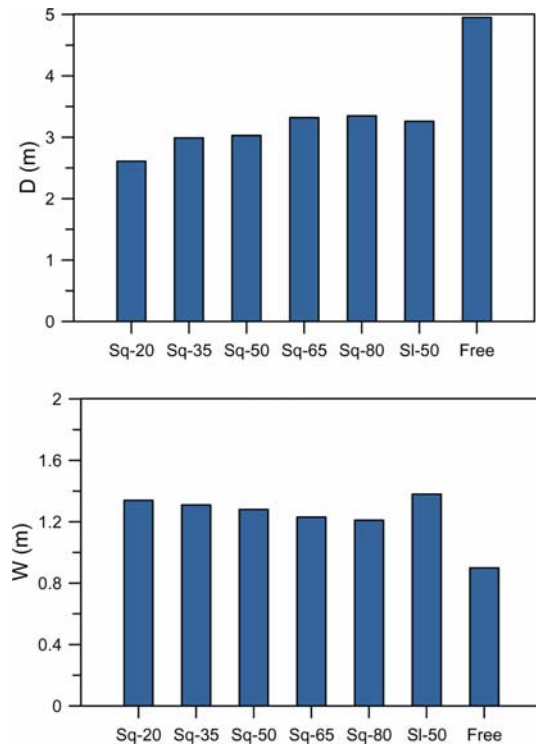


Fig. 10. Mean values of D and W according to installation of different porous plates.

품 발생량 및 수중 관입깊이가 현격하게 감소하였음을 알 수 있다. 특히, 수평 유공판을 설치하지 않았을 때에는 수중에 관입된 거품의 일부가 차단벽을 타고 넘어서 하류측으로 이동하는 모습을 볼 수 있다. 또한, 슬릿형 유공판(SI-50)은 자유 낙하시와 유사한 거품 관입 양상을 나타내지만, 사각구멍 유공판(Sq-80 및 Sq-20)의 경우에는 거품의 수중 관입 양상이 크게 2차 낙하 위치 중앙 및 하류측(사진 왼쪽)으로 나뉘어지는 양상을 나타냄을 확인할 수 있다.

Fig. 10은 수평 유공판이 설치되지 않고 자유낙하하는 경우 및 여섯 가지 서로 다른 수평 유공판이 설치된 경우에 대하여 2차 낙하 위치에서의 거품 최대관입깊이 및 평균 수면높이의 평균값을 나타낸 것이다. 2차 낙하 위치에 수평 유공판을 설치한 경우에 거품의 관입깊이가 크게 크게 감소하고, 사각구멍 유공판의 구멍 크기를 줄임에 따라서 관입깊이 감소 효과가 더 크게 나타남을 알 수 있다. 슬릿형(SI-50) 유공판을 설치한 경우, 2차 낙하 위치에서의 거품 최대관입깊이는 자유낙하시에 비해서 34% 감소하였다. 한편, 사각구멍의 크기가 가장 큰 유공판(Sq-

80)의 경우에는 32%, 사각구멍의 크기가 가장 작은 유공판(Sq-20)의 경우에는 47% 감소하였다.

평균 수면높이는 수평 유공판을 설치한 경우가 자유낙 하시에 비해서 더 높게 나타났다. 이것은 수평 유공판 설치 시, 낙하 유량의 일부가 수평 유공판에서 되튀어 오르면서 수면높이를 증가시키기 때문인 것으로 판단된다. 슬릿형 유공판(SI-50)의 경우에는 자유낙하시에 비해서 수면높이가 53% 증가하였고, 사각구멍 유공판의 경우 자유낙하시에 비해서 34%(Sq-80)~49%(Sq-20) 증가하였다. 사각구멍 유공판은 구멍 크기가 작을수록 수면높이 증가율이 컸다. 그러나, 이 모든 경우에 수면높이는 2차 낙하 위치 하류측 차단벽 높이보다는 낮았기 때문에 방류유량이 차단벽 상부면을 넘어서 3차 낙하하는 현상은 발생하지 않았다.

한편, Fig. 11에는 50 cm 사각구멍 유공판(Sq-50) 위에 무공판을 부착하지 않은 경우(No cover), 무공판을 수평 유공판의 상류측에 부착한 경우(Cover-UP), 중앙에 부착한 경우(Cover-C), 하류측에 부착한 경우(Cover-DN)에

대하여 각각 2차 낙하 위치에서의 거품 발생 양상을 비교하여 제시하였다. 무공판의 부착 위치에 따라서 거품 발생 영역이 달라지며, 거품발생량에도 차이가 있음을 정성적으로 확인할 수 있다. 이처럼 무공판의 부착 위치에 따라서 거품의 수증 관입 양상이 다르게 나타나기 때문에 Fig. 11에 보인 것처럼 2차 낙하 위치에서의 거품 최대관입깊이를 상류측(사진 오른쪽), 중앙, 하류측(사진 왼쪽)에서 각각 평가하고 이를 D1, D2, D3로 표시하였다. 무공판의 부착 위치에 따라 거품이 관입되지 않는 영역에서의 거품 최대관입깊이는 0으로 산정하였다. 무공판을 이용한 실험은 Fig. 3에 보인 여섯 가지 수평 유공판에 대해서 모두 수행하였지만, Fig. 12에 제시한 것처럼 사각구멍 형상의 유공판 다섯 개의 실험 결과만을 주로 비교하였다. 슬릿형 유공판의 경우, Fig. 9~10에 보인 것처럼 사각구멍형 유공판에 비해서 정성적인 거품 발생량이 더 많았으며, 거품 최대관입깊이 저감 효과도 우수하지 못하였기 때문이다.

Fig. 12는 무공판을 2차 낙하 위치에 설치된 유공판의 상류측, 중앙, 하류측에 각각 부착한 경우의 D1, D2, D3 및 W의 평균값을 무공판을 부착하지 않은 경우와 서로 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 12에서 알 수 있듯이 2차 낙하 위치 상류측에서의 거품 최대관입깊이 D1의 값은 무공판을 중앙 및 하류측에 부착한 경우에는 무공판 부착 전보다 오히려 증가한다. 반대로 무공판을 상류측에 부착한 경우에는 수평 유공판 구멍의 크기와 상관없이 항상 D1의 값은 0이었다. 한편, 무공판을 부착하지 않은 경우에도 사각구멍의 크기가 20 cm일 때를 제외하고는 D1의 값이 0은 아니었다. 특히, 사각구멍의 크기가 65 cm인 경우에 무공판이 2차 낙하 위치 중앙에 위치하게 되면 상류측에서의 거품 관입깊이가 매우 크게 나타났다. 사각구멍의 크기가 이보다 더 큰 Sq-80의 경우에는 오히려 D1의 값이 훨씬 작아서, Sq-65보다 사각구멍의 크기가 작은 세 가지 수평 유공판의 D1 값과 유사하였다. 이러한 특징적 경향이 나타나는 이유는 명확하지 않지만, 촬영된 사진을 보면 수평 유공판 Sq-65의 중앙에 무공판이 부착될 경우 2차 낙하 위치에서의 낙하유량의 일부가 최상류측 사각구멍을 통해서 매우 잘 통과하는 조건이 형성되어 수증에 거품이 많이 발생하게 되는 것으로 판단된다.

한편, 2차 낙하 위치 중앙에서의 거품 최대관입깊이 D2는 무공판을 중앙에 부착한 경우에는 확연히 감소하지만, 무공판을 상류측 또는 하류측에 부착한 경우에는 무공판을 부착하지 않은 경우와 거의 차이가 없었다. 무공판을 중

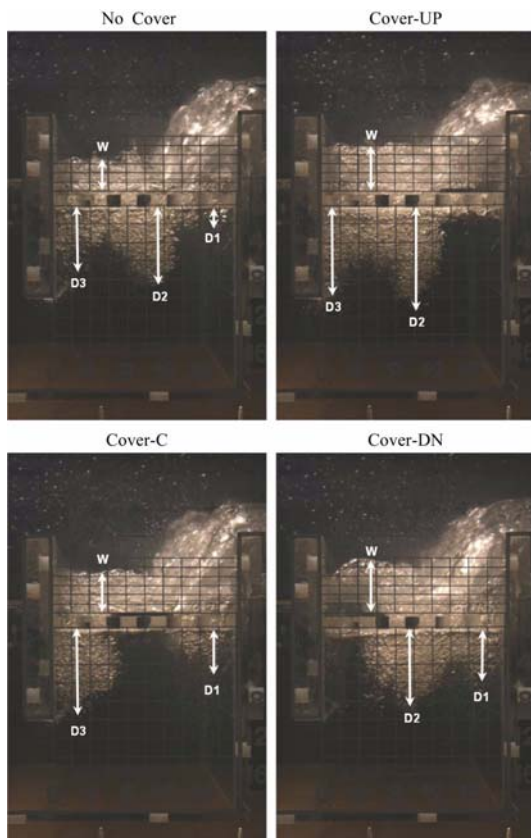


Fig. 11. Difference in bubble formation according to covering some portion of the porous plate (Sq-50).

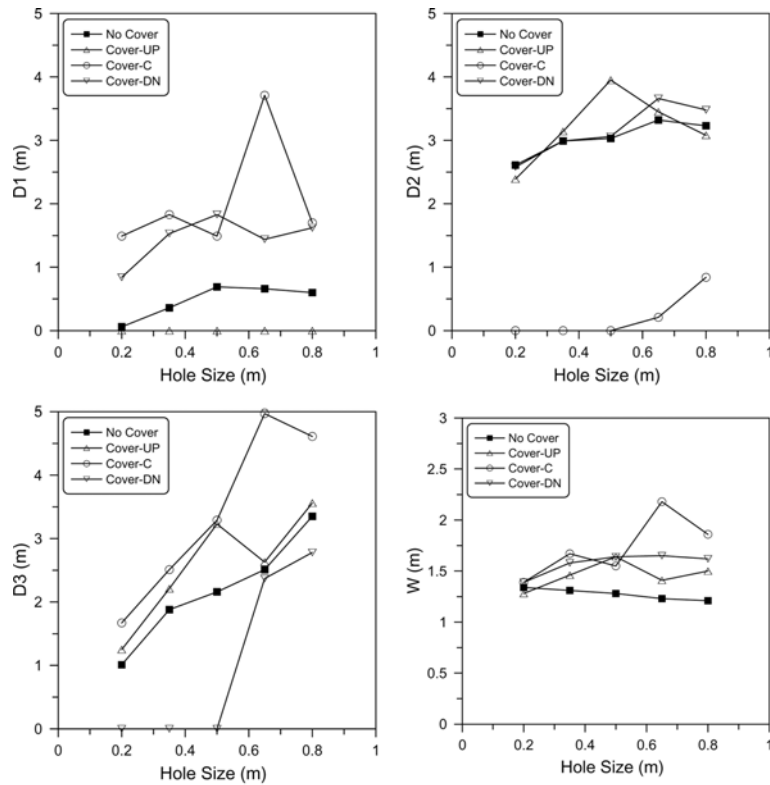


Fig. 12. Change of mean values of D1, D2, D3, and W according to installation of the non-porous plate.

양에 부착한 경우에도 사각구멍의 크기가 65 cm 이상이면, 2차 낙하 위치 중앙에서도 거품이 다소 발생하였다. 이것은 무공판으로 폐쇄되지 않은 상하류측 사각구멍 중에서 2차 낙하 위치 중앙에 가까운 쪽으로부터 낙하유량의 일부가 수중에 관입되기 때문인 것으로 보인다. 또한, Sq-50 유공판이 설치되고 무공판을 그 상류측에 부착한 경우에는 D2의 값이 크게 증가하였다. 이러한 현상도 무공판이 상류측에 설치됨으로 인해서 Sq-50 유공판의 중앙에 위치한 사각구멍을 통해서 낙하 유량이 더 많이 통과하는 조건이 형성되기 때문에 나타나는 것으로 보인다.

2차 낙하 위치 하류측에서의 거품 최대관입깊이 D3는 수평 유공판의 사각구멍 크기에 매우 민감하게 변화하였다. 즉, 사각구멍의 크기가 작아짐에 따라서 D3의 값이 D1 및 D2에 비해서 크게 감소하는 경향이 나타났다. D3는 무공판을 수평 유공판 상류측 또는 중앙에 부착한 경우에는 부착 전보다 그 값이 더 증가하였고, 하류측에 부착한 경우에는 감소하였다. 그러나 Sq-65 및 Sq-80의 경우에는 무공판 부착 전과 큰 차이가 없었다. 즉, 수평 유공판의 사각구멍 크기가 50 cm 보다 크면 무공판을 유공

판 하류측에 부착하더라도 그 바로 아래 영역에서의 거품 관입깊이 감소 효과가 거의 없는 것이다. Sq-65 및 Sq-80 유공판의 중앙에 무공판을 부착한 경우에도 부착 전에 비해 D3의 값이 크게 증가하였다.

수면 높이 W는 대체로 무공판을 부착함에 따라 부착 전에 비해서 그 값이 증가하였고, 특히 사각구멍의 크기가 클수록 증가량이 더 크게 나타났다. 그러나 사각구멍의 크기가 20 cm인 경우에는 무공판을 부착한 경우와 그렇지 않은 경우 모두 W의 값이 비슷하였다.

4. 결론 및 토의

보령화력발전소 방수로의 구조 변경에 따른 신설 수중 방류구조 내 2차 낙하 위치에 수평유공판을 설치할 경우에 거품 발생량을 크게 저감시키는 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다. 방류유량의 2차 낙하 위치에서 사진촬영을 통해 거품의 최대관입깊이를 정량적으로 평가한 결과 수평 유공판 설치시에 유공판의 형상에 따라서 거품 관입깊이를 약 30~50% 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 특

히, 2차 낙하 위치 전체에 걸쳐서 유공 구조를 채택하기 보다는 2차 낙하 위치의 중앙부는 무공관 형식으로 제작하여 낙하 에너지를 소산시키고 방류 유량을 2차 낙하 위치의 상·하류측으로 분산시키는 것이 종합적인 거품 발생량 및 거품 관입깊이를 감소시키는데 효과적일 것으로 판단된다. 이 경우, 수평 유공관은 사각(또는 원형) 구멍 형식으로 제작하며, 가능한 구멍의 크기를 작게 하는 것이 바람직하다. 만약, 구멍의 크기가 50 cm 이상인 경우에는 중앙부 무공관의 영향으로 2차 낙하 위치 상·하류측에서의 거품 발생량이 크게 발생할 수 있다.

한편, 수중방류구조 내 주요 계측점에서의 흐름 방향 단면 평균유속이 수중방류구조 설계시의 목표값인 1 m/s 범위 내에 분포하게 됨을 확인하였다. 따라서 2차 낙하 위치에서 발생한 거품이 흐름을 따라 하류측으로 이동하게 되더라도 도중에 수표면으로 부상하여 차단벽에 의해 정체됨으로써 외해로 직접 배출되는 것을 방지하는 데 효과적일 것으로 판단된다.

본 수리모형실험은 축척 1/30 조건에서 얻어진 것이며, 거품의 발생 및 소산에 큰 영향을 미치는 표면장력은 통상적인 수리모형실험에서 적용되는 Froude 상사법칙을 따르지 않기 때문에 표면장력이 주된 영향을 미치는 거품 발생과 관련된 실험 결과를 축척에 따라 현장 결과로 단순 환산하여 적용해서는 안 될 것이다. 예를 들어 현장에서의 거품의 수중관입깊이가 실험실 결과의 30배가 되지는 않을 것이다. 따라서, 현장의 수중방류구조 내 2차 낙하 위치에 수평 유공관이 설치될 경우의 거품 발생량 및 수중 관입깊이 저감 효과는 본 연구 결과와 다소 차이가 있을 것으로 판단된다. 또한 현장의 발전소에 냉각수로 유입된 해수에는 각종 유기물 및 점토성 이물질이 포함되어 있기 때문에 거품의 발생 및 소멸 양상이 실험실 실험결과와는 차이를 나타낼 수 있다.

또한, 본 연구에서는 여섯 가지 수평 유공관의 유공률이 모두 25%로 동일하였는데, 만약 유공률을 이보다 더

작게 한다면 거품의 관입깊이 저감 효과는 더욱 증대될 것이다. 본 연구에서는 거품발생 저감효과를 정량적으로 평가하는 방법으로 사진 촬영을 통한 거품의 최대 관입깊이를 산정하였다. 그러나 거품 발생량은 거품의 관입깊이만으로 정확하게 평가되기는 어렵기 때문에, 화상처리(Image processing) 기법등을 활용하여 거품 발생량을 엄밀하게 평가하고, 그에 따른 거품 발생 저감 효과를 보다 정량적으로 평가하는 연구가 수행될 필요성이 있다.

감사의 글

본 논문의 내용은 지식경제부 전력산업연구개발사업인 “발전소 취배수로 거품제거장치 개발” 과제에의 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 한국전력공사(2002). 발전소 방류구의 수리학적 거품저감방안 연구.
- 한국전력공사(2007). 보령화력발전소 배수로 거품저감구조 설계 보고서.
- 한국전력공사 전력연구원(2006). 보령화력발전소 취·배수구 해수 및 거품의 성질.
- 한국전력기술주식회사(1994). 발전소 가동시 배수구 주위에 발생되는 거품저감대책.
- 한국전력기술주식회사(2006). 보령화력 1~6호기 온배수 활용 소수력 발전설비 검토.
- 福原華一(1990). 復水器冷却水路系の發泡防止對策設計. 財團法人 電力中央研究所 研究報告.
- 電力土木技術協會(1995). 火力·原子力發電所 土木構造物の設計.
- 上海義樹(1999). 汽力發電所の發泡低減對策構造物の水利設計.

Received June 17, 2008

Accepted October 2, 2008