'2000 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

발전소 배수구의 거품발생 저감을 위한 수리구조물의 설계

The Hydraulic Measures for Alleviating Foam Formation at the Outlets of Power Plants

강금석, 이대수

한전전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

김용철
한국전력공사 중앙교육원
서울특별시 노원구 공릉2동 170-2

요 약

근래 들어 환경에 대한 관심 고조로 온배수의 열영향뿐만 아니라 배수로상에서 발생하는 거품의 환경에의 영향 여부와 발생억제 방안이 관심사가 되고 있다. 거품은 유해성이 없지만, 일반인은 막연히 유해하다고 인식하고 있는 실정이며, 미관상 바람직하지 않은 물질임에는 틀림없다. 일본에서는 자국내에 거품에 관한 별도의 규제기준이 없음에도 전력사업자 스스로 미관상 좋지 않은 거품을 발생시키지 않도록 많은 연구를 수행하여 거품저감설비를 발전소 건설당시부터 설치하고 있으며, 국내에서도 최근부터 설계시 거품문제를 고려하고 있다. 그러나 기존 발전소의 경우, 증설에 따라 냉각수량이 급격히 증가하여 거품의 발생량은 증가하고 있는 실정이나 뚜렷한 거품저감 대책을 수립하기 어려운 상황에 있다. 본 연구에서는 발전소 배수구에서 발생하는 거품을 채취하여 성질을 분석하였고, 기존의 가동중인 발전소을 대상으로 거품발생 저감방안을 모색하였다. Tetrapod 등을 이용하여 배수구의 낙차를 감소할 경우에 대하여 수치실험을 통하여 효과를 예측하고 거품발생저감 대책안을 제시하였다. 또한, 거품의 발생원인, 생성·이동·소멸의 운동메카니즘, 거품발생억제 및 제거방안에 대하여 주로 수리학(水理學)적 관점에서 고찰하였다. 연구결과, Tetrapod를 이용, 배수구의 낙차를 줄여 배수구의 거품을 저감하는 안이 시공가능성 및 저감효과 측면에서 매우 적절한 안으로 판단되었으며, 댐의 높이는 5m 이상, 공극율은 0.1 이하, Pond는 가능한 크게 하여야 수위상승 효과가 커서 거품저감에 기여할 것으로 예측되었다.

Abstract

In addition to the interest in environmental impact of thermal discharge at the power plant, whether the foam formation at the outlet of power plants has a bad influence upon ocean environment or not and what are the measures for alleviating foam formation are becoming new issues. According to the previous studies, foam is not harmful but ill-favored. In Japan many studies on these problems have been undertaken so foam-reducing facilities are reflected in the design of outfall structures in recent years. However it is very difficult to change the existing outfall structures so the simple facilities that can be applied to the operating power plant are necessary. In this study, the chemical experiment of the dry sample of foam-sediment mixtures is performed and the performance of the hydraulic measures for alleviating foam formation is tested. The point of improvement is decreasing the gap of water level at the end of channel using the tetra-pod dam structure.

1. 서 론

국내의 발전소는 대부분 해안에 위치하고 있으며 출력 100MW당 약 5 m^3/s의 해수를 냉각수로 이용하고 있다. 최근에는 발전소가 단지화되고 기존의 발전소에 신규호기를 증설하는 경우가 많아 냉각수 방류량이 크게 증가하여, 온배수의 열영향뿐만 아니라 배수로상에서 발생하는 거품의 환경에의 영향 여부가 관심사가 되고 있다. 거품은 유해성이 없지만, 일반인은 막연히 유해하다고 인식하고 있는 실정이며, 미관상 바람직하지 않은 물질임에는 틀림없다. 현재 국내에는 거품에 관한 뚜렷한 법적규제기준이 없다. 미국의 경우, 오염물질배출규제제도(NPDES: National Pollutant Discharge Elimination System)의 허가요건에는 "배수구에서는 미립의 물질, 광택이 있는 기름 또는 다량의 거품이 배출되거나 발생되어서는 안된다."는 규정이 있고, 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서는 "거품이 외관상 불쾌하게 보일 정도로 발생된다면 억제해야 한다."는 견해이다.

일본에서는 자국내에 거품에 관한 별도의 규제기준이 없음에도 전력사업자 스스로 미관상 좋지 않은 거품을 발생시키지 않도록 많은 연구를 수행하여, 2차적 환경영향의 우려가 있는 소포제를 사용하지 않고 거품저감설비를 발전소 건설당시부터 설치하고 있다. 국내의 경우도 최근부터 신규발전소 냉각수계통 설계시에 거품저감의 개념이 도입되어 수중방류 방식 등 신기술이 적용되고 있다. 임영환 등(1995)은 거품의 발생원인과 영향을 분석하고 발생량과 유출을 저감할 수 있는 대책을 검토하고 거품저감설비의 설계지침을 제시하였다. 그러나, 기존 발전소의 경우, 거품방지책의 일환으로 소포제를 주입하거나 거품울타리를 이용하여 일정시간 저류후 자연소멸을 유도하지만 대규모 화력발전소와 같이 막대한 양의 냉각수를 사용하는 경우 발생된 거품의 일부가 주변해역으로 유출되는 경우가 발생하고 있다. 유출된 거품은 주변의 어장, 해수욕장 등으로 흘러가 불쾌감을 유발시킬 수 있으며, 유해한 물질이 배출되고 있다는 부정적 시각도 받을 수 있다.

이에 본 연구에서는 발전소 배수구에서 발생하는 거품의 성질을 분석하고, 기존의 가동중인 발전소을 대상으로 거품발생의 저감방안을 모색하였다.

2. 발전소 방류구 거품의 성질

2.1 거품발생에 영향을 미치는 인자

1) 낙차 및 난류

간조시 배수로와 해수면에 큰 낙차가 생기는 서해 및 남해안의 발전소에서 거품이 특히 많이 발생하고 있다. 거품은 유체에 공기와 같은 기체가 유입되어 발생하는 것이므로, 거품발생의 직접적인 원인은 공기유입(Air Entrainment)이며, 이는 주로 낙차가 있고, 고유속의 난류상태에서 일어난다. 위어, 순환수관 말단부, 배수로 등의 젯트류, 도수 영역에서 기포혼입이 주로 일어나며, 낙수량의 15 vol% 해당하는 기체가 수중에 확산되는 것으로 알려져 있다. 결국, 공기유입경로의 차단과 난류저감이 거품제어에 커다란 변수가 된다.

2) 해수중 유기질 농도

유기성분이 존재하지 않는 폭포수는 거품이 발생하지 않는다. 식물성과 동물성 플랑크톤(C,H,N,O)의 고분자 단백질, 용존 영양염류와 무기염류(NH_4^+,SO_4^{2-},PO_4^{3-}등) 등 유기성분은 거품의 표면에 흡착되어 거품의 지속시간을 늘리고, 안정화시킨다. 결국, 낙차와 유기성분의 공존이 거품발생의 필요충분조건이라 할수 있다. 발전소에서는 순환수관로에 어패류가 부착하는 것을 방지하기 위하여 냉각수에 염소처리를 하고 있는데, 문헌에 따르면 염소처리후 거품발생이 증가하는 것으로 보고되고 있다. 이유로는 상당량의 플랑크톤이 사멸하여 부유물 농도, 즉, 유기질 농도를 증가시키는 한편, 세포벽 파괴에 다른 CO_2 기체의 발생 등으로 기포발생이 많아지기 때문으로 생각된다.

3) 해수 온도의 변화

일반적으로 해수의 수온이 증가하는 봄철이후로 거품의 발생이 증가하는 것으로 관찰되고 있다. 발전소에서 해수의 수온이 상승하는 하절기에는 동일 냉각효과를 얻기 위하여 냉각수량이 대폭 증가할 수 밖에 없다.이에 따라 취배수로상의 유속과 유량이 증가하여 거품의 발생량이 급격히 증가하고, 거품의 수평 이동속도도 빨라져 광역유출의 위험도가 증가한다. 또한, 해양 플랑크톤은 수온이 상승하는 5월부터 번식이 활발해진다. 특히 최근 남해안의 적조현상을 일으키는 식물성 플랑크톤도 창궐하기 시작하는데 수온상승과 밀접한 관계가 있다. 이에 따라 유입되는 유기질이 증가하므로 거품발생량이 크게 증가한다.

2.2 거품시료 분석

국내 OO발전소에서 채취한 거품 건고시료를 분석한 결과, 유기성분은 약 20%로서 플랑크톤 성분이며, 약 80%이상이 비 휘발성 무기성분으로서 뻘의 해사성분(Si, Al, Fe 등)과 동일하였다. 표층수의 부유물질(Suspended Solid:SS)은 측정위치, 심도에 따라 차이가 발생하지만 취수구에서 100 mg/l, 배수구에서 18 mg/l로서 배수구에서 오히려 감소하고 있는데, 이는 SS가 거품액에 집적되기 때문으로 판단된다. 또한, 표 1에서 보는 바와 같이 거품액의 표면장력은 담수에 비하여 1/3에 불과하고 점성계수는 약 50배에 달하여 아주 안정된 상태를 유지한다. 해수에서 거품이 안정상태로 되는 이유는 작은 기포들이 해수중에 함유되어 있는 미세한 유기물들을 흡착, 부상분리 및 농축하기 때문이다.

표 1 담수, 해수 및 거품액의 표면장력과 점성계수

구분(25℃)	담수	해수	거품액
표면장력(dyne/cm)	74	75	27 34
점성계수(g/cm.s)	0.013	0.0137	0.63

2.3 거품의 발생과 이동

거품은 유체에 공기와 같은 기체가 유입되어 발생하는 것이므로, 거품발생 기작을 공기유입의 관점에서 설명할 수 있다. 인위적인 폭기시설을 통하지 않고, 흐름조건 자체로부터 자유수면을 통하여 공기의 유입이 일어나는 상태를 수표면 폭기(Surface Aeration), 자연폭기(Natural Aeration)이라고 하며, 흐름 상태에 따라 수표면 전체에 걸쳐서 공기유입이 발생하는 경우와, 수표면 불연속점에서 국부적으로 발생하는 경우가 있다.

- 수표면 폭기: 여수로, 낙수부 등과 같은 고유속의 개수로 흐름에서 강한 난류와 주변 공기와의 전단력에 의해서 수표면 교란이 발생하여 3차원적인 와류가 형성되며 공기유입이 일어나는 것으로 수표면 전체에 광범위하게 발생한다.
- 낙수(Impinging Jets)에 의한 국부적인 폭기: 수표면과 Free Jet의 교차면에서 국부적으로 발생하며, 수표면 도달이전의 Jet 표면부에서 난류가 발달할수록, 또는 여기에 거품층이 형성되었을 때 공기의 연행은 증대하며, 흐름방향과 직각을 이루는 Vortex가 형성된다.
- 도수에서의 국부적인 폭기(Surface-roller Type)

담수의 경우 기포의 최소직경이 약 5mm까지이나 해수에서는 담수의 1/10, 즉 직경이 0.5mm 정도로 매우 작다. 또한, 해수중의 기포 전체 표면적은 담수중의 기포 표면적의 10배, 부상속도는 1/10로서, 이와 같은 성질 때문에 해수중에서 발생된 거품은 흐름에 의해 운반되기 쉽다. 또한 보다 깊은 곳까지 균일하게 분포되어 수중 체류시간이 길기 때문에, 많은 현탁성 유기물의 흡착이 가능하여 거품이 쉽게 소멸되지 않는 성질을 가지게 된다(임영환 등, 1995). 단위부피당 표면적이 커서 많은 부유물(유기물, 해사, 뻘 등)을 기포막에 흡착하여 고밀도화됨으로써 충격과 수온변화 등에 대처할 수 있는 물리적인 완충작용이 뛰어나다.

벽면이나 바닥면의 전단력에 의해서 혹은 수표면에서 발생된 난류는 전단 작용에 의하여 큰 거품의 분열을 유발하고, Vortex의 핵에서 압력차에 의한 작은 거품의 병합이 발생한다. 고유속조건

에서, 부상하는 작은 거품들은 Vortex에 의하여 포획되어 이송된다. 거품의 부상속도는 담수에서는 약 0.3m/s 정도이나 해수에서는 이의 약 1/10로서 발전소 배수로 설계시에는 0.02m/s 0.06m/s의 값이 이용되고 있다.

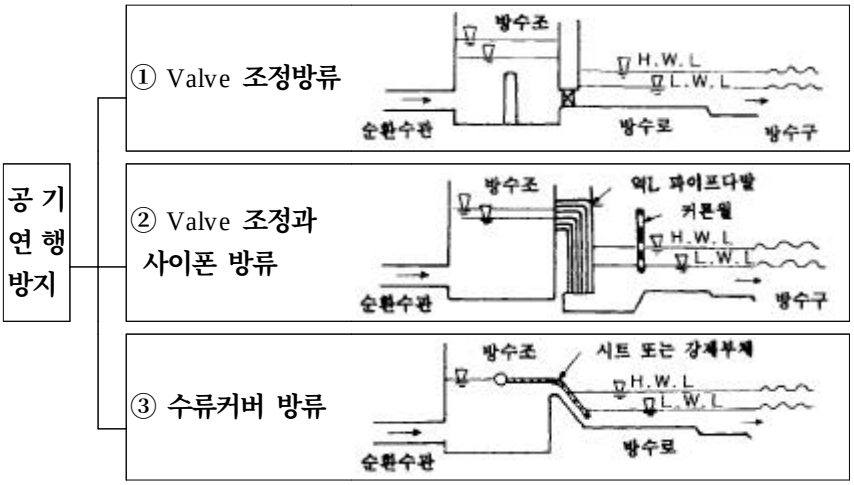


그림 1 공기연행방지에 의한 거품발생 차단법

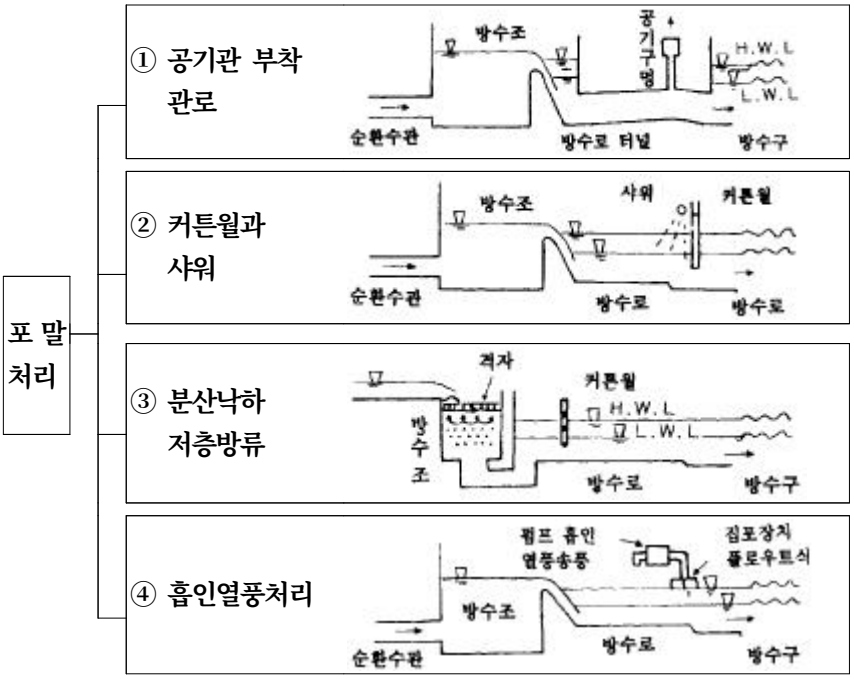


그림 2 거품처리법

3. 거품발생 차단 및 제거 방안

일본에서는 70년대 이래로 발전소에서 발생하는 거품의 저감방안에 대한 연구를 지속적으로 추진하여 설계단계에서 반영할 수 있는 여러 방안을 제시하고 있다(電力土木技術協會, 1995). 크게는 냉각수 계통설계를 변경하여 복수기의 Siphon를 유지하는 Weir가 없이 수중방류하여 거품발생을 원천적으로 차단하는 방법(그림 1)에서부터, Weir를 설치하여 배수로와 해수면과의 낙차가 발생하는 조건에서 거품발생 저감대책을 강구하는 방안(그림 2)으로 분리할 수 있다. 공기의 혼입이 거품발생의 직접적이 원인이므로 이의 차단을 목적으로하여, 배수관로에 Valve를 설치하여 수

위를 조절하여 낙차에 의한 거품발생을 차단하는 방안, 파이프에 의한 방류안, 수면을 덮는 방안이 고려되고 있고, 이미 발생된 거품을 제거 또는 차단하는 방안으로, Curtain Wall, 분사장치, 분산낙하 저층방류, 계단식 분산낙하, 소포제 살포, 배기공이 있는 배수관로의 수중방류 방안이 고려되고 있다.

4. Case Study

4.1 "A" 발전소

1) 냉각수 방류현황

500MW급 발전소 6基에 냉각수량은 총 1,100톤/日에 달하며, 방수로와 방류구에 2낙차(순환수관 말단과 방류구)방류하고 있다. 방수로는 개수로 경사식으로 총연장 580m이고 저면너비 15m, 수심 2m, 구배는 1/500으로 설계되어 있다(그림 3). 본 발전소는 50만KW 발전소 4기를 대상으로 취배수설비를 설계하였으나, 5,6호기가 증설운전됨에 따라 당초 설계유량의 2배에 달하는 막대한 양의 냉

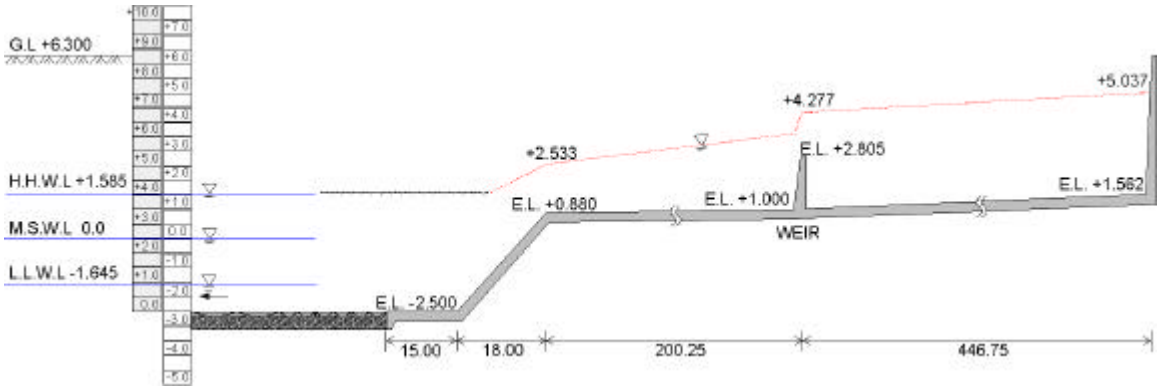


그림 3 "A" 발전소 배수로 현황

각수 취배수로 인해 취배수로의 유속이 빨라지고, 유기질 및 해사의 유입이 증가하고 있는 추세이다. 거품발생에 큰 영향을 미치는 조수간만차는 약 3.2m이다.

2) 거품발생 현황

증설시 기존의 취배수로를 그대로 이용하였기 때문에 유량의 증대로 배수유속이 급격히 증가하여 거품발생량이 급속도로 증가하였으며, 5월이후 하절기에 특히 심각하다. 하절기에 인근 주변해역으로 거품 덩어리가 유출되어 민원이 제기된 사례가 있다. 현장조사 결과 거품은 순환수관 말단부, 배수로 중간부의 위어, 배수로 말단부의 낙차부에서 도수현상과 함께 대량의 거품이 발생하고 있다. 현재 소포제를 이용하여 거품발생을 일부 줄이고 있으며, 4단의 거품울타리가 설치되어 있다.

3) 거품저감방안

가) 충분한 부상거리 확보를 위한 유휴지 활용안

거품이 충분히 부상하지 않은 곳에 거품울타리가 설치되어 있어 제기능을 발휘하지 못하므로 배수로 우측부로 흐름의 방향을 바꾸어 인위적으로 유하거리를 증가시켜 거품이 충분히 부상한 상태에서 거품울타리를 통과하도록 하는 방안이나, 거품의 부상거리에 대한 예측이 정확하지 못하여 해석에 한계가 있다.

나) 방류구 말단부에 Tetrapod를 난적하는 방안

이 방안은 배수구 말단부의 수위 조절효과를 목적으로 한 것이나 Tetrapod 난적시의 공극율로는 수위조절이 불가능하며 방류유속을 저감시키는 효과는 얻을 수 있으며, 모형실험을 통하여 최

적의 규모를 결정할 필요가 있다.

다) 순환수관 말단부 및 거품발생 개소에 막체를 이용한 방수커버를 이용하는 방안

수표면을 통한 공기연행 및 와류 차단을 위한 수표면 커버의 일종으로서 오탁방지막과 같은 막체를 이용하는 방안을 고려하고 있으며, 현장실험을 통한 효과의 입증이 필요하다.

라) 수중방류안

상류단의 수위조절효과는 얻을 수 있으나 거품이 충분히 부상하기 위해서는 매우 큰 규모의 시설이 필요하다.

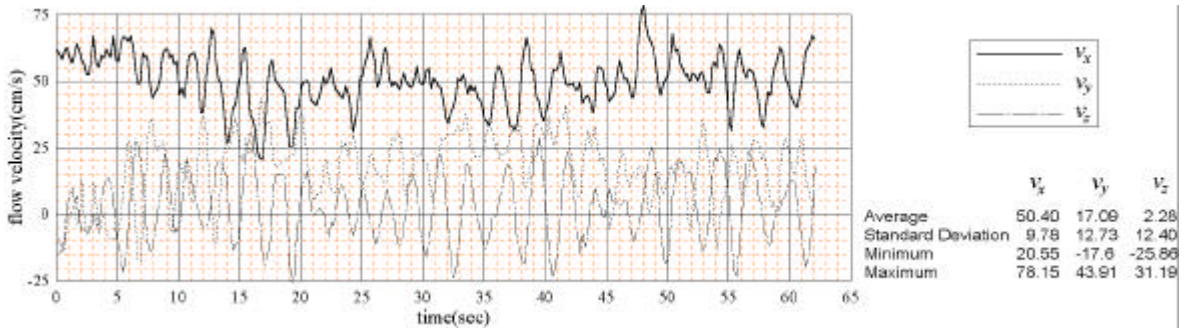
4.2 "B " 발전소

1) 냉각수 방류 및 배수구 현황

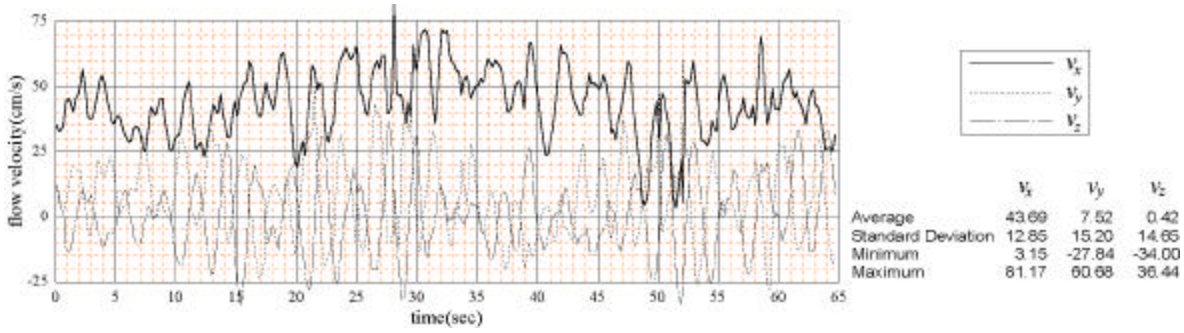
500MW급 발전소 6基에 냉각수량은 156 m^3/s이며, Siphon 유지를 위한 Weir가 있고 배수관거를 통하여 서해로 방류되고 있다. 배수관거는 폭이 약 15m이며, 말단부에서 수로폭이 20m까지 확대되고, 1/2의 경사를 이루고 있다. 그리고, 말단부에 약 3m 높이의 감세턱(sill)이 설치되어 있다. 이 감세턱은 저조시와 고조시 모두 잠겨있으며, 부근에 도수현상이 일어나고 있다. 상류단 수심의 개략측정 결과는 0.9m이며, 하류단의 수심은 최저간조시 약 3.14m이다. 5월 이후의 하절기에 거품의 발생이 특히 심하며, 현재 2단의 거품울이 설치되어 있다. 해역의 조차는 약 7m이다.

2) 배수구 거품방지막 부근의 유속관측

방류구 2단 Foam Fence 좌측(B), 우측(C), 중앙(A) 3점의 각 관측점에서 표층부(수심 약 0.3m), 중층부(수심 약 1.5m) 유속을 3차원 유속계인 ADV(Acoustic Doppler Velocimeter)와 일방향 유속계인 Brayestoke DRCM(Directional Reading Current Flow Meter)을 이용하여 약 1분간 기록하였다(그림 4).



(a) Shallow



(b) Deep

그림 4 Foam Fence 인근의 유속(방류구 좌측)

표 2 유속관측 결과(v_x) 단위: cm/s

		중앙(A)		좌측(B)		우측(C)	
shallow	Max	35.05	56.37	50.40	78.15	27.84	70.03
	Min		13.01		20.55		8.43
deep	Max	31.48	55.45	43.69	81.17	28.85	47.62
	Min		-0.41		3.15		13.57

관측결과(표 2), 최대평균유속이 방류구 좌측에서 50.40cm/s이었으며, 평균유속은 방류구 좌측이 가장 크고, 중앙부, 우측 순이었다. 순간유속은 방류구 좌측이 가장 크며, 우측, 중앙부 순이고, 최대 순간유속은 방류구 좌측에서 81.17cm/s이었다. 관측당일 방류량(71.6cms)이 적어 Foam Fence부의 유속이 그리 크지 않았으나, 냉각수 방류량이 최대일 경우는 거품방지막 부근의 유속이 1.0m/s 이상에 이를 것으로 추정되었다. 거품방지막 부근의 유속이 매우 클 경우는 거품이 충분히 부상하지 못하고, 수체에 포함되어 거품방지막을 통과, 외해에서 부상하는 원인이 됨으로 현재 설치되어 있는 거품방지막의 위치를 조정할 필요가 있음을 파악하였다.

3) 수치실험

현재 가동중인 발전소에서 낙차에 의하여 발생하는 거품을 줄이는 방안으로 발전소 가동중에도 시공성이 있다고 판단되는 Tetrapod를 난적하는 방법(Tetrapod 댐체)이 적용성이 있는가를 해석하였다. 배수구 전면 Pond와 배수관거를 하나의 저수지로 생각하여 유출입 수량과 수위변화를 살펴보았다.

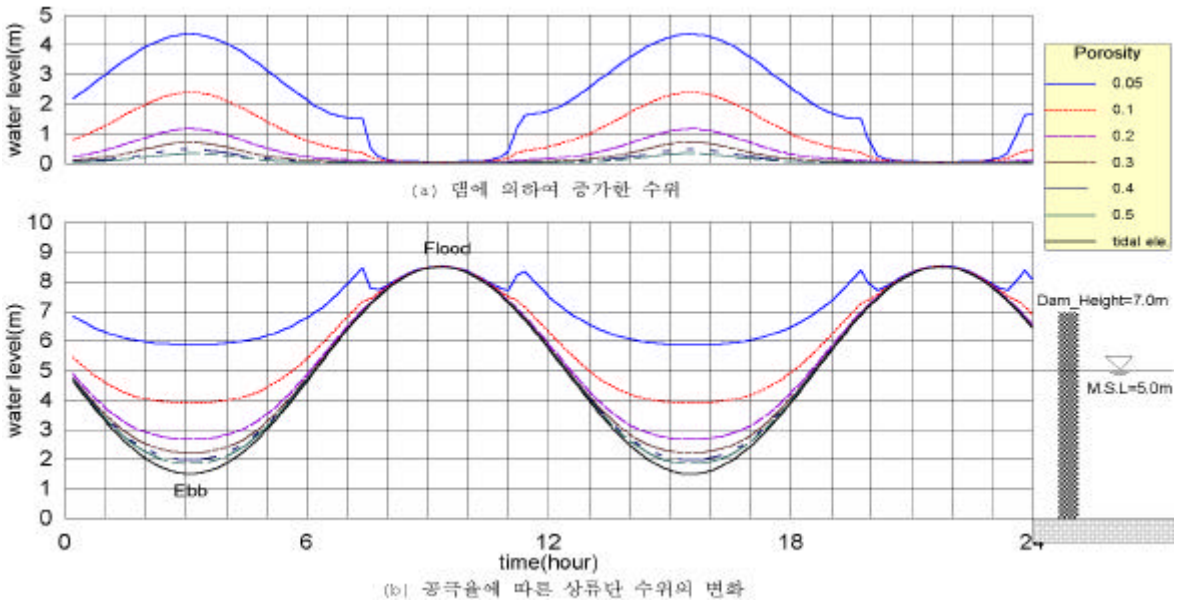
지배방정식 : $\frac{dS}{dt} = I - O$

여기서, S는 저류량, I는 유입량, O는 방류량이고, 저류량의 변화에 따라 수위를 계산하였다. 댐 부위에서의 방류량 계산은 수중부와 댐체에서의 유출은 상류단과 하류단의 압력차에 의한 흐름으로 계산하였으며, 월류부는 위어에서의 유량식을 이용하였다.

수치실험 결과, Pond가 클수록 수위의 변화율이 작고, 좀더 넓은 면적으로 유량을 분산시킬수 있기 때문에 Tetrapod는 경제성이 허락하는 범위에서 배수구로부터 멀리 설치하는 것이 유리하였다.

그림 5의 결과와 같이 공극율이 작을수록 수위상승을 기대할 수 있으나, 자연유하식의 흐름이 일어나지 않을 정도로 공극율이 매우 작고 댐의 높이가 높을 경우는 냉각수 계통에 영향을 미치게 되어 순환수펌프 운전비용의 상승을 초래할 수 있다. 일반적으로 Tetrapod를 난적할 경우는 공극율이 0.4 0.5로 알려져 있는데, 수치실험의 결과 이 때에는 수위상승효과가 거의 없는 것으로 예측되었다. 따라서, Tetrapod를 단순히 난적하는 경우는 효과를 기대할수 없을 것이며, 공극율 즉 흐름단면을 줄이기 위한 방안이 강구되어야 한다. 거품이 발생하지 않는 수위를 mean sea water level(M.S.W.L)로 가정한다면, 수위를 5m로 유지시켜야 하는데, 수치실험결과, 이때의 공극율은 0.1이하이어야 할 것으로 예측되었다. 이와 같이, 흐름단면을 줄이기 위해 고려해 볼 수 있는 방안으로는 돌망태를 이용하는 방안, Tetrapod를 다양한 크기로 제작하여 공극율을 줄이는 방안 등을 고려할 수 있다.

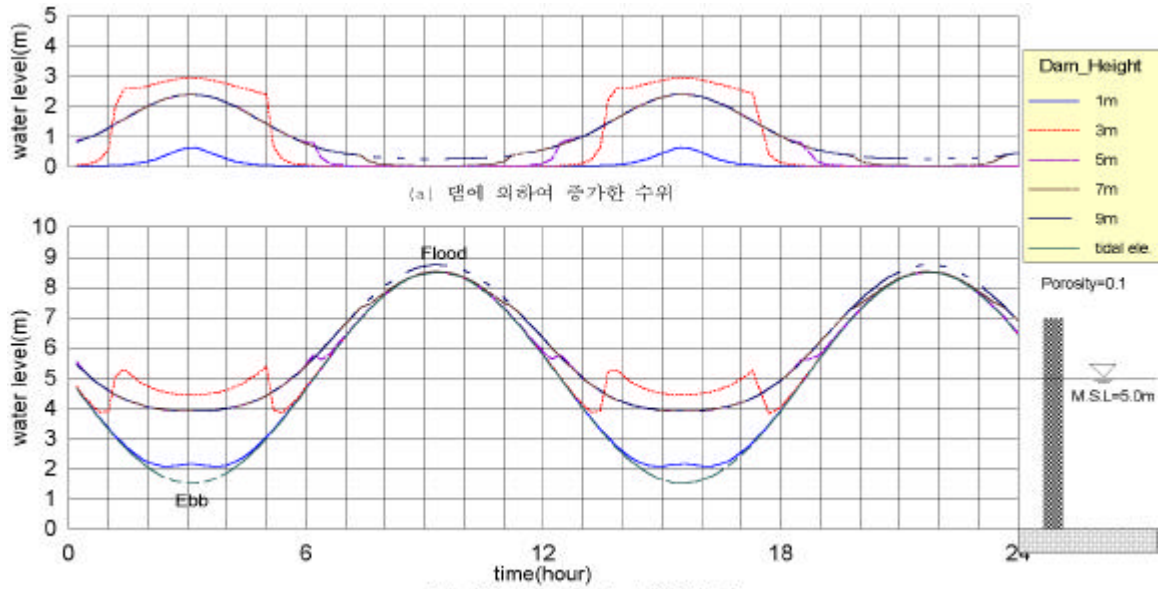
댐의 높이를 변화시키며 수치실험을 하였다. 실험결과(그림 6), 댐 높이가 1m인 경우에는 수위상승 효과가 거의 없고, 5m이상인 경우(5m, 7m, 9m)에는 간조시에도 약 4m의 수위를 유지하고 있어 수위상승 효과가 있으나, 각각의 수위변화의 차이가 없다. 따라서, 댐의 높이는 약 5m 이상이면 효과가 있을 것으로 예측되었다. 댐의 높이가 3m인 경우에는 급격한 수위상승 및 수위하강이 예측되었는데, 이는 방류량을 계산하는 식이 변화하는 구간에서 발생하는 것으로 실제 현상과는 차이가 있을 것으로 판단된다.



(a) 댐에 의하여 증가한 수위

(b) 공극율에 따른 상류단 수위의 변화

그림 5 Tetrapod를 이용한 댐체 설치시 공극률에 따른 상류단 수위제어 실험



(a) 댐에 의하여 증가한 수위

(b) 댐높이에 따른 상류단 수위의 변화

그림 6 댐의 높이에 따른 상류단 수위 상승 효과

계절에 따른 냉각수 사용량의 차이와 발전소 가동 상황의 변화를 고려하여 냉각수량을 50cm s 150cm s로 변화시키며 수치실험을 수행하였다. 실험결과, 방류량이 증가할수록 수위상승 효과가 커지며, 일반적으로 방류량이 많을 때 거품이 문제가 되므로 이 방안은 거품저감효과 측면에서 매우 유리함을 확인할 수 있다.

Tetrapod 댐을 통하여 상류단의 수위상승 효과를 얻을 수 있고, 넓은 면적으로 유량을 분산시키는 효과가 있기 때문에 이 안은 거품의 재발생을 방지하는 측면에서도 매우 유리한 안이지만 댐체와 해수면과의 낙차(간조시 약 3 5m의 낙차)는 여전히 존재하여, 이 댐체부에서 거품이 재발할 가능성이 있다. 수치실험결과 흐름단면 자체가 줄어들어야 하는 것으로 예측되었고, 댐부위에서 거품이 재발생하는 것을 차단하는 효과를 얻기 위하여 단순히 Tetrapod만을 이용하기 보다는 별도의 수리구조물이 고안되어야 할 것으로 판단된다. 거품의 재발생을 차단하기 위하여 우선적으로 고려할 수 있는 안은, 수중방류(저층방류)이다. 댐체에 의하여 유량의 분산 효과을 확보한

상태여서 수중방류 효과를 얻기 위해 필요한 하류단의 수위는 그리 크지 않을 것이다(약 3m). 이 경우는 일반적으로 방류구조물의 형태로 이용되고 있는 curtain wall, 유공제의 변형된 형태일 것이며, 현장의 수심조건을 조사하여 결정할 수 있다. 다음으로, 댐체의 두께를 조절하는 방법을 고려할 수 있다. 댐체를 충분히 두껍게 하여 완만한 흐름상태를 유지하는 방안이다. 그러나, 이 안은 댐체 내부에서의 유속이 빠르면 거품발생 가능성이 있으므로, 댐체 내부에서의 유속과 거품발생 가능 유속 등 충분한 연구가 필요한 부분이다. 댐의 높이에 대한 수치실험에서 5m 이상의 댐 높이에서는 상류단의 수위상승 효과가 크게 차이가 나지 않는 것으로 예측되었지만, 거품의 재발 가능성 측면에서 댐체에서 월류의 허용 여부를 살펴보아야 할 것으로 판단된다.

4) 거품저감방안

수치실험 및 현장적용성 검토결과, Tetrapod를 이용, 배수구의 낙차를 줄여 배수구의 거품을 저감하는 안이 시공가능성 및 저감효과 측면에서 매우 적절한 안으로 판단되었으며, 댐의 높이는 5m 이상, 공극율은 0.1 이하, Pond는 가능한 크게 하여야 수위상승 효과가 커서 거품저감에 기여할 것으로 예측되었다. 그러나, 댐의 높이, 공극율, pond의 크기, 방류량은 상호 관련되어 있는 것으로서 종합적으로 평가되어야 할 것이며, 댐체와 해수면과의 낙차로 인한 댐체부에서 거품의 재발 가능성을 고려하여야 하며, 이를 위하여 수중방류의 가능성, 댐체의 형상, 월류의 허용여부 등을 검토하여야 할 것이다. 또한, 수리구조물 설계시, 이론적 해석 및 수치모형의 이용만으로는 고려하지 못하는 물리적인 현상이 매우 많으므로 수리모형실험이 반드시 필요할 것으로 판단된다. 그림 7은 거품저감시설의 개념도이다.

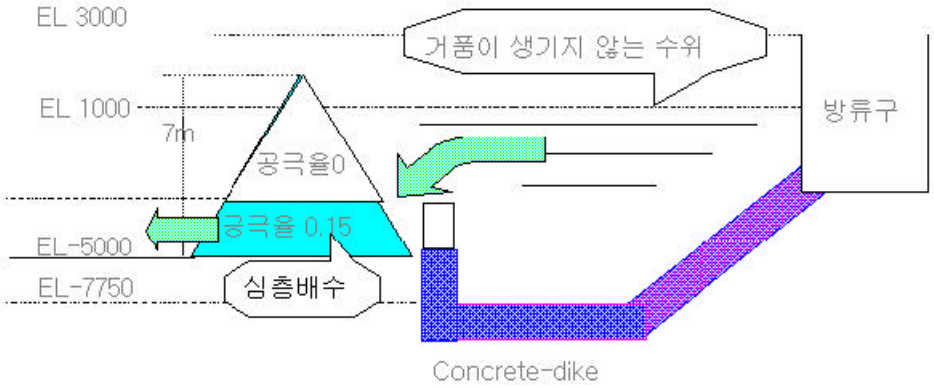


그림 7 거품저감시설의 개념도

5. 결론 및 향후 연구방향

배수구의 거품저감 문제는 그동안 전력사업자의 입장에서 끊임없이 관심을 가졌던 문제이고, 환경에 대한 인식이 날로 확산되어 가고 있는 상황에서 반드시 해결해야 할 사안이다. 그러나, 배수구에서의 거품의 발생과 이송특성에 관한 연구는 대부분 일본에서 실험적으로 수행되어 개략적인 설계기준치만 제시되어 있는 상황으로 이에 대한 이론적인 고찰 및 해석도구 등이 국내에는 전무한 상황이다. 따라서, 이론적인 정립과 함께 저감안에 대한 수리모형실험 및 현장 시험 등을 통하여 국내에 적합한 설계기준을 제시하는 것이 필요하다. 또한, 신규로 건설되는 발전소는 거품저감설계로 문제해결이 가능하나, 이미 가동중인 발전소에 대하여는 큰 규모의 취배수 시설변경이 필요하지 않는 창의적인 방안을 찾는 것이 필요하다.

거품의 발생조건, 거품의 부상속도 예측, 거품의 농도 측정법 등에 대한 연구가 필요하고, 근본적으로는 거품의 발생을 차단하는 것이 환경에 유리한가의 여부에 대한 연구가 필요하다. 앞에서

살펴본바와 같이 거품자체가 배수구에서 방류될 가능성이 있는 오염물질을 흡착할 수 있기 때문에 거품의 외해로의 유출을 차단하고 수거한다면 환경에 유리할 것이기 때문이다.

6. 참고문헌

임영환, 배복규(1995). "발전소 가동시 발생되는 해수거품의 성질과 거품저감 대책." 전력기술 1995 여름, 6-17.

Wood, I. R.(1991). **Air Entrainment in Free-surface Flows**, IAHR Hydraulic Structures Design Manual, A.A. Balkema.

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.