

발전소 방류구의 흡입력을 이용한 거품수거 및 거품액 처리 연구

장희수 · 문경석[†]

한국남부발전주식회사 하동화력본부

A Study on the Foam Wastewater Treatment and Foam Collection by Inhalation Force at the Outlet of Power Plants

Heui-Su Jang · Gyeng-Seok Mun[†]

Korea Southern Power co. LTD

Hadong thermal power site Division. 310 Gadeok-ri, Geumseong-myeon, Hadonggun, Gyeongnam, 667-931, Korea

(Received 25 April 2005, Accepted 20 June 2005)

Abstract

Power Plant is requested, by environmental bodies and fisherman, to correct the pollution of coastal area due to the outflow of foam from the outlet of the power plants. Foam wastewater cause a lot of environmental problems, especially in aesthetic points of view. Therefore, It is needed to be collect from the stream into nearby ocean, and the collected foams should be treated before being discharged into nearby ocean. The most effective and feasible treatment method researched for the effective treatment of foam wastewater generated at the power plants. The result of the test is confirmed with collecting Foam wastewater by inhalation force. The treatment pilot (3 m³/hr) collected wastewater was operated by Biological degradation method(Aerobic/anaerobic Processes) for approximately two months. It was removed SS, COD, nutrient(T-P, T-N), etc. The System is expected successfully by Minimizing the operating costs such as electricity, repair expenses, chemicals and supplies expenses.

keywords : Foam wastewater, Foam collect, Inhalation force, Degradation

1. 서론

화력 및 원자력발전소는 터빈의 배출증기를 냉각하기 위해 해수를 냉각수로 사용한다. 냉각계통을 지난 해수의 온도상승과 배수로 출구의 낙차에 의하여 수면상에 강한 와류가 형성 되어지고 대기의 공기 유입으로 거품이 발생되어진다. 발생한 거품(Foam) 표면에는 여러가지 부유물이 부착되어 기포의 성장을 촉진하고 시간이 경과됨에 따라 안정된 포말(Foam)이 형성 된다. 거품은 유해성은 없지만 막연히 유해하다고 인식하고 있는 실정이며, 미관상 바람직하지 않은 물질임에는 틀림이 없는 것 또한 사실이다. 국내 대부분의 발전시설에서는 환경단체 및 어민들로부터 거품 부유물질의 유출에 따른 주변해역 오염을 저감시킬 대책을 요구 받아왔다. 거품방지책으로 소포제를 주입하거나 거품 울타리(Foam Fence)를 이용하여 거품의 확산을 막고 있지만 냉각수량이 막대하여 주변해역 으로 유출될 가능성을 배제할 수 없다.

또한, 소포제 등 화학물질은 2차 환경영향의 우려가 있어 본 연구에서는 국내외에서 기존에 수행한 바 없는 흡입력

을 이용 거품저감을 위한 현장시험을 수행하였다. 흡입력을 이용하여 거품액을 수거할 수 있도록 하는 거품포집장치를 이용하여 거품을 수거하고 회수한 거품을 육지에서 처리 가능한 방법들 중 하수, 폐수처리장등에서 응집효과를 높이기 위해 응집제를 투입 등의 화공약품을 사용하는 화학적 처리가 아닌 미생물을 이용한 자연친화적인 생물화학적처리 방법으로 추후 운영시 설비의 운전이 용이하고, 인건비, 유지비가 저렴한 방법으로 거품액을 처리할 수 있는 방법에 대해 연구하였다.

2. 본론

2.1. 거품의 발생원인

해수는 배수로의 수두에 해당하는 낙차에 의해 물리적인 교반을 일으켜 공기가 포집되게 된다. 해수중의 부유하는 유기질 성분의 분자구조상의 친수기와 소수기를 나타내는 계면활성 작용으로 인해 안정한 기포막을 제공받아 포집된 기체가 물 밖으로 이탈하지 못하고 구속되어 표면에 부유하게 되는데 이것이 거품이다. 거품은 기체 포집과 유기질 농도에 직접적인 발생원인이 된다.

거품은 유체에 공기와 같은 기체가 유입되어 발생하는 것이므로, 거품발생의 직접적인 원인은 공기유입이며, 이는

[†] To whom correspondence should be addressed.
moongs@kospo.co.kr

주로 낙차가 있고, 고유속의 난류상태에서 일어난다. 해수 중에는 식물성, 동물성 플랑크톤(C,H,N,O)의 고분자 단백질, 용존 영양염류와 무기염(NH₄⁺, SO₄²⁻, PO₄³⁻ 등) 등 유기성분이 존재하여 거품의 표면에 흡착되어 거품의 지속시간을 늘리고 안정화시킨다(이 등, 2002).

강이나 하천을 흐르는 담수도 수위차에 의한 와류가 발생되면 공기가 혼입되어 기포가 발생되지만 해수에서는 기포의 직경이 작기 때문에 현탁성 유기물의 흡착이 가능하여 거품이 쉽게 소멸되지 않는 성질을 가지게 된다.

거품액 중의 식물성 플랑크톤(Skeletonema Costatum, Melosira sulcata, Noctiluca 등)이 해수에 비하여 16~5,500 배 정도로 흡착, 농축되어져 있다. 즉, 플랑크톤의 량이 거품의 발생량에 직접적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다(임 등, 1995; 한국전력기술주식회사, 1994).

유체에 어떤 요인에 의하여 공기가 공급되면 공기방울의 형태로 유체에 포함되어 공기-물(air-water) 혼합물의 형태로 흐름이 이루어진다(Fig. 1). 유체에 의하여 공기가 이동을 하고 더 이상 유체가 공기를 갖고 있을 수 없을 때 다시 분리가 일어난다(Wood, 1991).

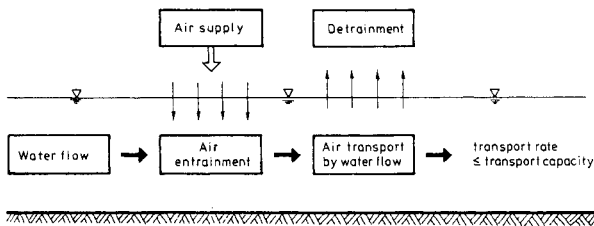


Fig. 1. Air entrainment, transport, detrainment.

2.2. 거품액의 성분분석

채취된 시료는 수질공정시험법(해수분석 분야)에 준하여 분석하였으며, 거품액은 30분 동안 고풍물을 침전시킨후 분석시료로 하였다. 거품액의 침전물과 함께 분석시 COD_{Mn} (KMnO₄ 법-염분제거를 위해 AgSO₄ 첨가하여 염분을 제거함)의 농도는 87.2~216.3 mg/L 수준이었으며 SS의 경우 침전물과 함께 분석하였을 때 1,360~2,960 mg/L 범위로 분석되었다. 30분 침전후 상등(징)액만을 별도로 분석한 경우 532.3~879.5 mg/L 수준이었다. 거품액 중에 존재하는 미생물 등의 사체에 의한 SS는 침전만으로도 손쉽게 제거될 수 있음을 알 수 있었으며 이러한 비율은 약 70% 이상의 수준인 것을 알게 되었다. 영양염류(T-N 및 T-P)는 해수 중에 존재하는 식물성, 동물성 플랑크톤 등의 조류가 주요 섭취인자가 되고, 따라서 거품액 중에 존재하는 이들 사체에 의한 영향으로 고농도로 검출되는 것으로 판단된다. 거품액 및 해수에서 대부분의 중금속(비소, 수은, 납, 구리, 카드뮴, 6가크롬, 벤젠, PCB, 다이아지논, 파라치온, 말라치온)은 검출되지 않았으나, 미량의 아연이 검출되는 것으로 확인되었다. 그 농도는 0(불검출)~0.159 mg/L 수준이었으며, 이러한 농도 역시 희석에 의해 해수에서는 검출되지 않는 것으로 나타났다.

2.3. 거품 수거

거품수거를 위해 거품을 한 지점으로 유도할 수 있는 거품포집 장치를 제작하였다. 포집장치의 구성은 거품안내날개, 물과 거품을 분리하는 거품유도판, 가능한 거품액만을 포집하는 거품포집부, 흡입력을 이용하여 외부로 수거할 수 있도록 하는 거품흡입구로 구성되어져 있으며 여러 번의 실패를 거듭한 후 현장에서 실제 적용 가능한 최상의 장치 구성도는 다음과 같다(Fig. 2).

거품을 포집할 수 있도록 하는 거품유도용 안내날개(4); 상기 거품의 여분이 월류 되어지는 것을 막고, 최대한 거품액이 농축되도록 할 수 있는 거품 울타리(2); 물과 거품을 최대한 분리할 수 있도록 하는 거품액 분리판(8); 해상에서 부력에 뜰 수 있도록 하는 부력재(9); 거품액을 농축할 수 있도록 자연적으로 유하되는 유속을 이용하여 농축하기 위한 거품유도기(11); 해상에서 태풍이나 또는 강풍에 의해서 이 구조물이 움직이지 않도록 하는 고정용 블록(6); 고정용 블록과 포집장치를 연결하는 역할을 하는 고정용 체인(7); 거품 포집장치에 포집되어진 거품을 외부 육상에서 살수나 소포제 등의 약품을 주입할 수 있도록 하여 거품제거 효율을 더욱 향상시킬 수 있도록 하는 살수관(3); 거품포집장치와 거품 유도용 안내날개를 전체적으로 지지할 수 있도록 하는 거품포집장치 지지대(10); 수거되어진 거품을 외부 육상으로 이송할 수 있도록 하는 거품액 배출구(1); 로 구성되어 있다.

거품 유도용 안내날개와 거품포집 장치는 각각 별개로 제작하여 연결하는 것이 추후 설비의 유지보수와 성능유지 측면에서 효과적이라 판단되며 거품 유도용 안내날개는 가능한 지형의 여건을 고려하여야 하겠지만 효율을 더 높이기 위해선 삼각형태로 하는 것이 효과적이었다.

이 장치를 이용하여 수거된 거품의 량(소포제 주입설비 미가동 운전시)은 35 m³/hr였으며 순수하게 액상으로 변화된 거품액의 량은 3 m³ 가량 되었다. 흡입장치는 진공압 -750 mmHg를 이용하였다(직경 : 4 인치, 이송거리 : 60 m).

거품유도용 안내날개를 제외한 거품포집장치의 크기는 2,500×1,500×1,200 mm의 적은 규모로도 현장시험이 가능하였다.

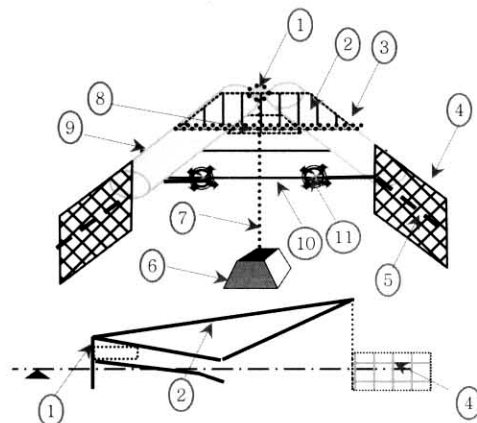


Fig. 2. Structure of Foam Wastewater Collector.

2.4. 거품액 처리

거품액의 성분분석 결과를 통해 SS의 제거와 동시에 COD 등 유기물질을 효과적으로 제거하여야 하며 동시에 질소 및 인의 제거도 수반될 수 있는 생물화학적 고도처리 공정이 가장 효율적일 것으로 판단되어졌다. 여과와 생물화학적 처리의 개념을 동시에 적용하며 약품 사용 등의 화학적 처리가 배제된 처리공법을 선정하도록 하였다. 이 공법을 간략히 설명하면, 자연통풍에 의해 호기성 상태를 유지하는 호기조(갈대조, 1차 처리조)와 깊이에 따라 호기성/임의성/혐기성 상태를 유지하는 혐기/무산소조를 연결하여 유기성 오염물질과 질소, 인 등을 처리하는 방식으로, 호기조는 생물학적 산화기능과 물리적 여과기능을 동시에 수행하여 용존성 유기물질을 산화분해시킴과 동시에 부유성 유기고형물을 효율적으로 여과시키고, 거품액 속의 암모니아성 질소 및 유기성 질소화합물을 생물화학적 질산화 과정을 통하여 질산성 질소로 전환하고, 여과된 부유성 유기고형물은 수초의 뿌리 및 골재 표면에 서식하는 토양 미생물에 의해 산화 분해되어 제거가 되어지고, 혐기/무산소조는 호기조에서 1차 처리한 처리수를 추가로 처리하는 공법이다. 유기성 오염물질의 산화가 진행되고 혐기성 상태가 유지되는 혐기/무산소조 하부에서는 질산성 질소의 생물학적 탈질화 과정이 진행된다. 또한 인성분은 호기조를 이루고 있는 골재에 다량으로 존재하는 양이온 성분(Ca²⁺, Mg²⁺, Fe³⁺ 등)과 화학적 침전물을 형성하고 제거시키는 방식이다. 호기조, 혐기/무산소조를 이용한 생물화학적처리 공정은 펌프, 블로워 등의 동력비가 필요하지 않으며, 자연적인 정화과정에 의해 처리됨으로 인력비도 적게 소요될 것으로 판단된다. 거품 포집장치를 이용하여 포집된 거품액을 자연상태에서 존재하는 미생물을 이용하여 유기물, 질소 및 인 등을 분해함으로써 발전소 배출수의 시각적인 유해 상황을 해소할 수 있을 뿐만 아니라, 동식물성 플랑크톤 사체를 회수하여 처리함으로써 인근해역의 수질 부영양화를 해결할 수 미생물 처리공법을 이용하게 되었다.

2.5. 처리수 분석결과

거품액 처리시설의 처리용량은 3 m³/day의 Pilot를 제작 설치하여 60일 동안 시운전('04. 10~12월) 하였으며 거품액의 평균 COD_{Mn} 유입농도는 거품의 수거 상태(해수온도, 풍속, 기온, 냉각수 공급펌프 운전수, 발전소 가동 호기수, 등)에 따라 87.2~216.3 mg/L의 범위로 다양하였으며, 처리수의 COD_{Mn} 농도는 1.3~4.2 mg/L로 97% 이상을 제거할 수 있었다(Fig. 3).

SS의 평균 유입농도는 1,360~2,960 mg/L의 범위에서 거품액의 수거상태에 따라 다양하게 나타났으며, 처리시설에서의 유입수와 방류수의 농도변화는 Fig. 4와 같다. 방류수의 평균 SS 농도는 1.9 mg/L 수준으로 약 99.9% 이상의 SS가 제거되었다.

플랑크톤 등 조류 사체의 영향으로 인해 거품액 중에는 T-N의 농도가 다소 높은 것으로 분석되었는데, 운전기간 동안 분석된 유입수의 T-N 농도는 11.09~57.28 mg/L의 범

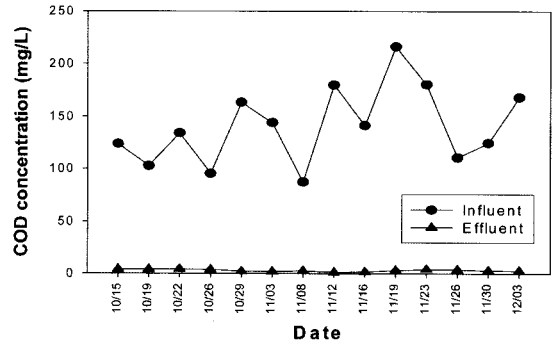


Fig. 3. Variation of COD Concentration.

Clause	Pollutant Concentration(mg/L)		Efficiency
	Influent	Effluent	
COD	142.0	3.0	97.9%
	(87.2~216.3)	(1.3~4.2)	

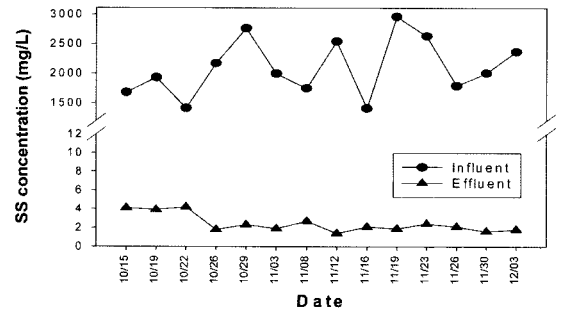


Fig. 4. Variation of SS Concentration.

Clause	Pollutant Concentration(mg/L)		Efficiency
	Influent	Effluent	
SS	2,089.5	1.9	99.9%
	(1,360~2,960)	(1.1~2.4)	

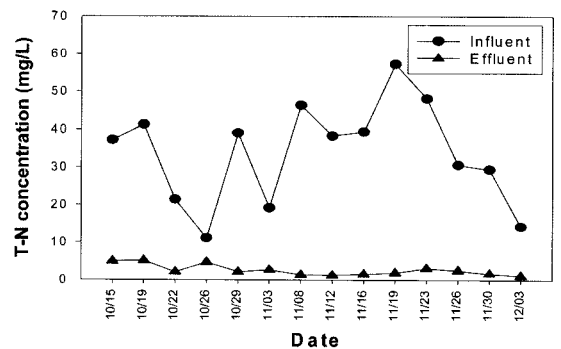


Fig. 5. Variation of T-N Concentration.

Clause	Pollutant Concentration(mg/L)		Efficiency
	Influent	Effluent	
T-N	33.87	2.57	90.3%
	(11.09~57.28)	(1.08~5.12)	

위로 조사되었다(Fig. 5). 전체 처리공정을 통하여 평균 90% 이상의 효율을 달성할 수 있었다.

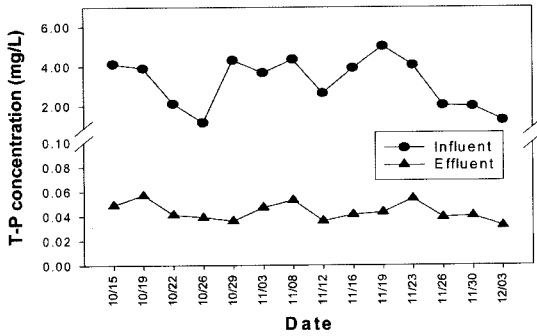


Fig. 6. Variation of T-P Concentration.

Clause	Pollutant Concentration(mg/L)		Efficiency
	Influent	Effluent	
T-P	3.17 (1.16~5.02)	0.043 (0.032~0.057)	98.4%

T-N과 함께 T-P 역시 수거된 거품액에서의 조류 사체 등에 기인한다고 볼 수 있으며, 인근 해역의 T-P 농도와 비교할 때 약 100배 정도 높은 수준으로 거품액 중에 존재하는 것으로 나타났다. 유입수의 T-P 농도는 1.16~5.02 mg/L 범위로 평균 3.17 mg/L의 농도로 유입되었고, 최종 방류수의 평균 T-P 농도는 0.043 mg/L으로 약 98.4%가 제거되는 것으로 확인되었다(Fig. 6).

또한, 아연은 0.146 mg/L 의 농도로 거품액에 존재하였으나 거품액 처리시설 운전한 후에는 0.068 mg/L로 약 53.4%가 제거되었다. 이러한 운전결과를 바탕으로 공인분석기관(보건환경연구원)에 Pilot Plant 거품액 처리전·후의 수질을 분석의뢰한 결과 상기와 비슷한 운전 제거효율을 확인할 수 있었다.

3. 결론

해수를 냉각수로 사용하는 대용량의 산업시설에서는 거품 발생을 저감하기 위해 거품울타리(Foam Fence)와 폴리실록산 계통의 실리콘계 소포제를 사용하고 있다. 흡입력을 이용하여 거품액을 수거할 수 있도록 거품포집장치를 이용하여 거품의 회수가 가능함을 현장시험을 통해 확인할 수 있었으며, 회수된 거품액은 자연통풍 방식에 의해 공기가 공급되어 호기성 분위기가 유지되는 호기조와 공기가 공급되지 않는 혐기/무산소조를 통과하면서 각조의 여재에 서식하는 미생물에 의해 유기물, 질소 및 인을 제거하는 자연 친화형 처리시설을 이용하여 거품액을 처리시 SS, COD, T-P, T-N, 미량의 중금속을 제거가 가능함을 알 수 있었다. 따라서, 거품 포집장치를 이용하여 산업시설 배출수의 거품을 효과적으로 포집할 수 있었으며, 포집된 거품액을 거품처리 시설에 의해 자연상태에서 존재하는 미생물을 이용하여 분해함으로써 환경오염 방지에 효과적일 것으로 판단되며, 심각한 유해상황을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 해수의 부영양화 등의 문제를 발생시킬 수 있는 문제의 소지를 원천적으로 제거할 수 있을 것으로 판단합니다.

참고문헌

이대수, 강금석, 이해균, 발전소 방류구의 수리학적 거품저감방안 연구(최종보고서), 전력연구원, pp. 15-21 (2002).
 임영환, 배복규, 발전소 가동시 발생하는 해수거품의 성질과 거품저감 대책, 전력기술, pp. 6-17 (1995).
 한국전력기술주식회사, 발전소 가동시 배수구 주위에 발생하는 거품저감대책, pp. 35-40 (1994).
 Wood, I. R., Air Entrainment in Free Surface Flows, IAHR Hydraulic Structure Design Manual, A.A. Balkema, pp. 20-22 (1991).