

고탁도 해역의 온배수 활용을 위한 탁도저감시스템 적용에 대한 연구

하신영* · 오철** · 국승기***†

* 한국해양대학교 해사산업연구소, ** 한국해양대학교 기관공학과, *** 한국해양대학교 해양경찰학과

A Study on the Application of a Turbidity Reduction System for the Utilization of Thermal Wastewater in High Turbidity Zones

Shin-Young Ha* · Cheol Oh** · Seung-Gi Gug***†

* Research institute of maritime industry, Korea Maritime and Ocean University Busan 606-791, Korea

** Division of Marine Engineering, Korea Maritime and Ocean University Busan 606-791, Korea

*** Department of Coast Guard Studies, Korea Maritime and Ocean University Busan 606-791, Korea

요약 : 최근 신재생에너지의무화제도(RPS: Renewable Portfolio Standard)대상 신재생에너지 항목에 발전소 온배수가 신재생에너지공급인증서(REC:Renewable Energy Certificate)의 수열에너지(가중치 1.5)로 추가되어 온배수 열원에 대한 가치가 높아졌다. 본 연구에서는 고탁도지역 온배수의 직접적인 활용을 위한 방안으로 히트펌프시스템 내 탁도저감장치를 도입하여 열교환기에 가해지는 오염물질의 저감 효과를 확인해보기 위해 한 달 동안 실증테스트를 실시하였다. 실험결과 탁도 저감효과가 80% 이상으로 고탁도 지역의 온배수 활용을 위한 방안으로 탁도저감장치의 적용가능성을 확인 할 수 있었다. 또한 탁도저감시스템에 따른 열교환기의 오염도 저감 효과를 검증하기 위해 30일간 운전한 열교환기를 해체하여 분석해본 결과 탁도저감시스템을 거친 열교환기보다 그렇지 않은 열교환기의 오염정도가 높은 것을 확인하였다. 열교환기에 유입된 오염물질(스케일)을 분석해본 결과 주로 SiO_2 , $\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$, CaCO_3 , NaCl 성분의 광물이 검출되었는데 이는 높은 탁도로 인해 해양퇴적物が 열교환기에 유입된 것으로 분석되었다. 그 외에도 소량이지만 TiO_2 , MnO , Cr_2O_3 가 검출되었다. 이는 열교환기를 세척할 때 열교환기 재료로부터 기인한 중금속이 소량 용출된 것으로 판단된다.

핵심용어 : 온배수, 열교환기, 탁도저감시스템, 고탁도해역, 수질 개선

Abstract : Recently, power plant effluent condensers received a Renewable Energy Certificate as components of hydrothermal energy (weighted 1.5 times) as one target item of the Renewable Portfolio Standard (RPS) policy. Accordingly, more attention is being paid to the value of thermal wastewater as a heat source. However, for utilization of thermal wastewater from power plants in high-turbidity areas like the West Sea of Korea, a turbidity reducing system is required to reduce system contamination. In this study, an experimental test was performed over a month on thermal wastewater from power plants located in the West Sea of Korea. It was found that water turbidity was reduced by more than 80% and that the concentration of organic materials and nutrient salts was partially reduced due to the reduction of floating/drifted materials. To conduct a comparative analysis of the level of contamination of the heat exchanger when thermal wastewater flows in through a turbidity reducing system versus when the condenser effluent flows in directly without passing through the turbidity system, we disassembled and analyzed heat exchangers operated for 30 days. As a result, it was found that the heat exchanger without a turbidity reducing system had a higher level of contamination. Main contaminants (scale) that flowed in to the heat exchanger included minerals such as SiO_2 , $\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$, CaCO_3 and NaCl . It was estimated that marine sediment soil flowed in to the heat exchanger because of the high level of turbidity in the water-intake areas.

Key Words : Thermal wastewater, Heat exchanger, Turbidity reduction system, High turbidity zone, Water quality improvement

* First Author : hsy4625@kmou.ac.kr, 051-410-4255

† Corresponding Author : cooksg@kmou.ac.kr, 051-410-4277

1. 서론

우리나라 전력산업은 화석연료 사용에 따른 기후변화 영향을 최소화하기 위해 2012년부터 신재생에너지의무화제도(RPS: renewable portfolio standard)를 도입하여 운영하고 있다. 2015년 RPS 대상 신재생에너지공급인증서(REC: Renewable Energy Certificate)에 발전소 온배수가 수열에너지(가중치 1.5)로 추가되어 발전소에서 발생하는 온배수의 열원에 대한 가치가 높아지고 있다(Kang et al., 2017).

온배수 열사업은 화력발전소에서 터빈 냉각 후 지속적으로 배출되고 있는 20~30℃의 온배수를 히트펌프(heat pump)라는 기계적 설비를 통하여 시설하우스에 적절한 열원을 공급하는 사업이다(Kang, 2015).

히트펌프 설비를 이용해서 온배수를 안정적으로 활용하기 위해서는 온배수의 수온과 배출량이 일정해야하며 동시에 오염부하량으로 인한 열교환기의 성능이 감소되지 않도록 열교환기에 직접적으로 가해지는 오염을 최소화시킬 필요가 있다. 열교환기에 가해지는 오염부하량이 증가하여 에너지 효율이 감소된 경우 열교환기를 해체하여 세척해야 하므로 세척하는 동안의 에너지 활용 공백이 발생할 수밖에 없다.

특히 우리나라 서해지역의 경우 연안역의 수심이 얕아 해수와 퇴적물의 수직혼합에 의한 미세한 부유물질이 많이 존재하는 지역으로 해수 내 높은 탁도로 인해 시스템에 유입되는 오염부하량이 높아질 가능성이 있다(Jeon et al., 1994). 실제로 전남 영광에 위치하고 있는 한빛원자력발전소는 온배수를 활용하여 양식장과 아쿠아리움을 운영하고 있으나 높은 탁도로 인해 직접 취수하여 사용하지 않고 저류조를 통해 입자성 물질을 침강시킨 상등수를 활용하고 있다. 그러나 저류조를 활용하게 되면 대규모 취수가 어려우며 공간자원도 많이 소모되는 단점이 있다. 따라서 고탁도지역의 온배수를 직접 이용하기 위해서는 탁도저감시스템이 필요하다.

본 연구에서는 온배수가 열교환기에 유입되기 전 탁도저감시스템을 설치하여 탁도저감 성능평가와 열교환기의 오염도 특성을 분석하고 탁도저감시스템의 적용가능성을 검토하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험지점

서해지역의 한빛원자력발전소의 온배수 배수로에서 실험을 실시하였으며, 기존 설치되어 있는 영광 한빛원자력발전소의 온배수활용시스템에 Fig. 1과 같이 탁도저감시스템을 설치하여 실험하였다. 탁도저감시스템의 효과분석을 위해 한빛원자력발전소의 온배수 배수로, 탁도저감시스템 유입,

유출 총 세 지점을 정점으로 하여 총 4회에 걸쳐 시료를 채취하였으며 시료채취 장소는 Fig. 1에 원형의 실선으로 나타내었다.



Fig. 1. The sampling point (A turbidity reduction system is installed in the hot water utilization system. The sampling point is shown by a circular solid line).

2.2 실험장치

1) 탁도저감시스템

실험에 사용된 탁도저감시스템은 시간당 5 m³을 처리할 수 있는 용량으로 밀폐된 용기 내 하부집배수장치(strainer)를 부착한 후, 자갈과 모래로 충전된 여재층에 온배수를 통과시켜 탁도를 제거하는 압력식 여과장치이다. 여과가 반복되어 여재에 누적되는 현탁물질은 물을 이용한 역세척을 통해 제거할 수 있다.

2) 히트펌프시스템

해수열원 히트펌프는 ㈜대일의 DHW-100WL로 범정냉동 능력은 3.57 RT, 난방능력은 35000 kcal/h으로 설치되어져 있다. 압축기는 스크롤(scroll)형태로 냉매는 R-407C이다.

Fig. 2는 온배수를 활용하기 위해 설치된 히트펌프시스템 전체에 대한 개략도를 나타내었으며 열원 열교환기에 온배수가 유입되기 전 탁도저감시스템을 설치하여 실험을 실시하였다.

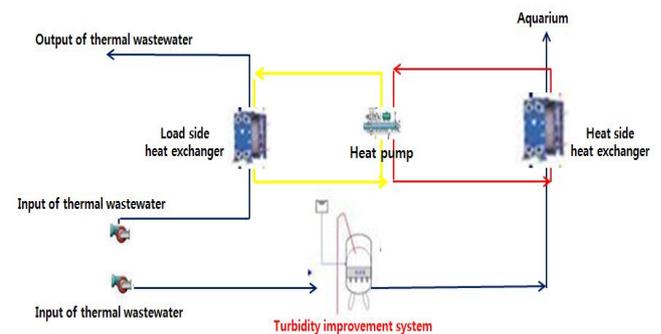


Fig. 2. Schematic diagram of plate heat exchanger used in the experiment.

히트펌프시스템에 설치되어져 있는 열교환기는 관형 열교환기로 ALFA LAVAL 제품의 M6-MFG Type이며 Fig. 2와 같이 열원측과 부하측으로 이루어져 있으며 세부 성능은 Table 1과 같다.

Table 1. The heat exchanger performance used in the experiment

Model Type	M6-MFG			
	Heat source Heat exchanger		Load heat exchanger	
Purpose of use	A-Side	B-side	A-Side	B-side
Fluid group	A-Side	B-side	A-Side	B-side
Inlet -> Outlet	S1->S2	S3->S4	S1->S2	S3->S4
Volume	4.03 L	4.46 L	9.17 L	9.60 L
Design press. PS	5.1 bar	5.1 bar	10.0 bar	10.0 bar
Design temp. TS	40.0℃	20.0℃	50.0℃	50.0℃
Test press	6.6 bar	6.6 bar	13.0 bar	13.0 bar

2.3 실험방법

1) 탁도저감시스템

히트펌프시스템 중 탁도저감시스템과 샘플링지점은 Fig. 3과 같다. 온배수가 배출되는 배수로에서 바탕시료를 취수하였고, 탁도저감시스템 유입수와 유출수를 채취하여 실험에 사용하였다. 온배수 배수로의 시료는 H1, 탁도저감시스템의 유입수는 H2, 탁도저감시스템의 유출수는 H3로 표기하였다. 탁도저감시스템의 유출수는 해수열원측 열교환기로 유입된다. 시료채취 및 실험은 총 4회에 걸쳐 실시하였다. 시료의 채취는 운전 시작시점으로부터 10일, 15일, 23일, 30일경과 시 실시하였다.

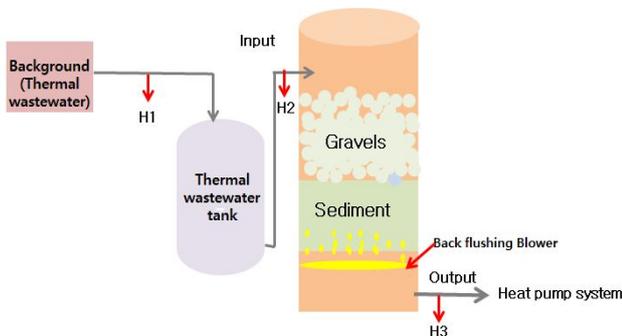


Fig. 3. Schematic diagram of turbidity improvement system.

탁도저감시스템의 효과분석을 위해 온배수에 의한 환경영향이 나타날 수 있는 수소이온농도(pH), 화학적산소요구량(COD), 수온, 염분, 용존산소, 탁도, 부유물질, 총질소, 총

인을 본 연구의 분석항목으로 선정하였다(Park et al., 2007). 수온, pH, DO, 염분 등은 현장에서 직접 측정하였고 나머지 항목은 실험실로 운반하여 해양환경공정시험방법에 따라 총 3회 반복 실험을 실시하였으며 그 방법과 실험기기는 Table 2와 같다(MOF, 2018).

2) 열교환기 오염도분석

열교환기 내에서 해수가 가열되거나 냉각될 때 스케일이 생성된다. 열교환기 표면에 스케일이 침전할 경우 크게 두 가지 문제가 발생된다(Thonon et al., 1999). 첫째는 열교환기의 성능 저하이다. 스케일의 낮은 열전도도로 인해 열교환기에 침전된 스케일은 총괄 열전달 성능을 점진적으로 감소시킨다. 두 번째는 관내 침전물로 인한 유로 면적이 감소되어 유량을 감소시키며, 이는 열교환기 내의 유로 압력강하를 증가시킨다(Hwang et al., 2015).

열교환기 오염도 비교분석을 위해 탁도저감시스템으로 처리된 유입수가 유입된 열원열교환기와 배수로의 해수가 직접 유입된 배수로측 열교환기를 총 30일간 운전한 이후 부착되어 있는 미세퇴적물을 채취하여 균일하게 혼합한 샘플을 채취하였다. 열교환기의 오염정도를 분석하기 위해 채취된 오염퇴적물 샘플을 완전 건조하여 X선 형광분석기(XRF-1700)를 이용한 산화물 분석을 실시하여 오염물의 조성을 파악하였으며 산화물 분석을 위한 방법과 기자재는 Table 2와 같다.

Table 2. Analysis method

Item	Method	Analysis Device
pH	Field measurement	Portable pH meter (YSI model Pro1030)
Temperature	Field measurement	Portable DO meter (YSI model 550A)
Salinity	Field measurement	Portable DO meter (YSI model 550A)
Dissolved Oxygen	Field measurement	Portable DO meter (YSI model 500A)
Turbidity	Turbidimeter	WTW Turb 550
COD	KMnO ₄ method	Water bath
Suspended Solids	Weight method	DIAPHRAGM VACCUM pump DA-60S
T-N	Absorbance method	UV Spectrophotometer
T-P	Absorbance method	UV Spectrophotometer
Oxide analysis	X-Ray Fluorescence Spectrometer	SHIMADZU (Japan), XRF-1700

3. 결과 및 고찰

3.1 탁도저감시스템의 효율분석

1) 현장측정항목

현장에서 측정해야하는 수온, 용존산소, 수소이온농도, 염분은 시료채취를 실시할 때 YSI model Pro1030를 이용하여 측정하였다. 측정된 결과 수온은 20.82~21.01℃, 수소이온농도는 7.67~8.06, 용존산소는 8.01~9.5 mg/L, 염분은 31.16~31.29의 범위로 측정되었다. 시운전이 10월부터 11월 한 달 이내로 이루어졌기 때문에 계절적 영향으로 인한 수온의 변화도 적었으며 시료 채취지점별로도 큰 변화가 없는 것으로 측정되었다.

2) 탁도

탁도저감시스템의 초기 운전 시 온배수 배수로의 상황에 따라 유입수의 탁도 변화가 매우 유동적이므로 정확한 탁도저감시스템의 안정화 정도를 확인하기 위해 탁도저감시스템의 유입수와 유출수에 센서를 부착하여 실시간 모니터링을 실시하였다. Fig. 4와 같이 탁도저감시스템은 운전 10일차부터 안정적으로 운전이 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 압력식여과장치의 시운전은 10일정도 소요되며 안정기에 접어든 탁도저감시스템의 처리효율은 약 80%로 나타났다. 실시간 모니터링 결과를 통해 탁도저감시스템의 안정적인 운전을 확인 한 후 30일 동안 시운전을 실시하였다. 탁도처리효과를 확인하기 위해 총 4차례 시료채취가 이루어졌으며 그 실험결과는 아래 Fig. 5와 같다. Fig. 4에 따르면 H2는 50.2 mg/L~65.2 mg/L로 취수구 주변의 환경에 따라 유입수의 탁도농도의 변동이 큰 것을 확인할 수 있었다. H3는 7.8 mg/L~15.2 mg/L의 범위로 탁도저감시스템의 효과는 75%~86% 범위로 나타났다.

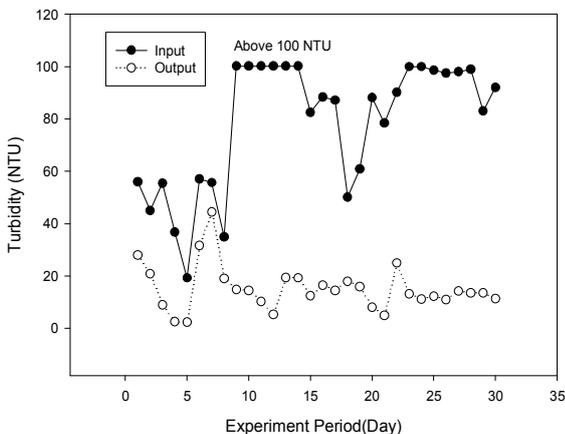


Fig. 4. Variations of turbidity in influent and effluents.

기존 연구에 따르면 압력식 여과장치의 성능이 초기 원수 40 NTU((Nephelometric Turbidity Unit) 기준 스케일 입경 1 μ m 이상에 대해 약 95% 정도의 저감 성능이 나타난다고 보고되고 있으나, 본 연구에서는 75~86%로 압력식 여과장치의 일반적인 저감 성능보다는 다소 효과가 낮은 것으로 분석되었다(Kim et al., 2006). 그 이유로는 유입수의 탁도가 60~80 NTU로 기존연구의 기준치보다 두 배 정도 높고 일정한 입경으로 실험한 것이 아니라 자연상태인 다양한 입경으로 실험하였기 때문에 탁도 저감 효율이 다소 낮은 것으로 판단된다.

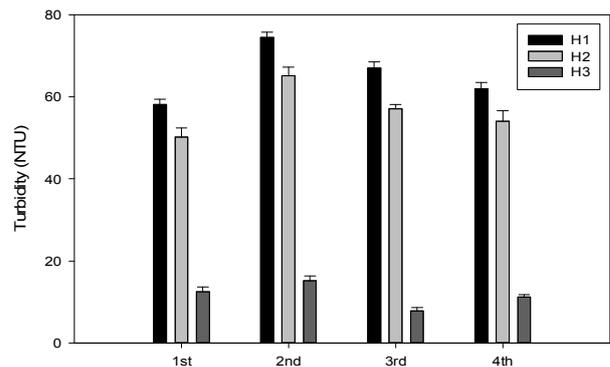


Fig. 5. Concentration of turbidity on sampling site.

3) 부유물질

해양환경측정망(MEIS, 2015; <http://www.meis.go.kr/>) 자료를 기반으로 우리나라 동해, 남해, 서해지역의 부유물질 농도를 분석한 결과 실험지역인 서해의 부유물질 농도는 평균 17.1 mg/L로 동해 2.0 mg/L, 남해 9.67 mg/L에 비해 부유물질의 농도가 높은 것으로 분석되었다. 특히 동해와 비교했을 때 약 8배 정도 높았다. 탁도저감시스템의 부유물질 제거효과를 분석하기 위해 총 네 번의 실험을 실시하였으며 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 탁도 개선 시스템에 유입되는 H2의 부유물질 농도는 24.3~52.5 mg/L의 범위로 탁도와 마찬가지로 온배수 배수로의 상황에 따라 부유물질 농도의 변화폭이 많게는 두 배 정도 차이가 나는 것으로 분석되었다. 탁도개선시스템의 유출수인 H3는 11.6~30 mg/L로 처리효율은 42.8~61.0%로 나타났다. 일반 압력식 여과장치의 부유물질 제거효율은 약 14% 정도로 본 장치의 부유물질 제거효율이 약 4배 정도 높은 것으로 나타났다(Seon, 2012). 이는 4회차 실험에서 유입수의 부유물질 농도가 100 mg/L 이상으로 유입되어 상대적으로 제거효율이 높게 산출되었기 때문으로 판단된다.

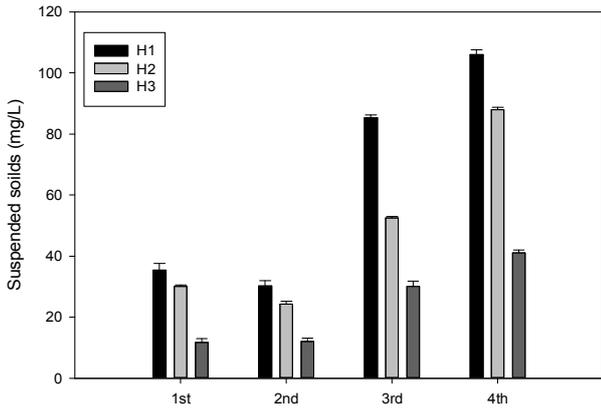


Fig. 6. Concentration of suspended solids(SS) on sampling site.

4) 화학적산소요구량

탁도저감시스템으로 인한 유기물 저감효과를 알아보기 위해 화학적 산소요구량을 총 4차에 걸쳐 분석한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 배수로의 화학적산소요구량은 3.00~3.55 mg/L로 유기물 농도가 높아 해역환경기준 등급의 기준이었다. H2는 2.72~2.81 mg/L, H3은 2.30~2.62 mg/L로 탁도저감 장치의 유기물 저감효과는 6.0~18.1%로 나타났다. Seon(2012)의 연구에 따르면 압력식 여과장치의 유기물 제거효율이 약 22% 정도로 일부 유기성 SS물질의 흡착이 이루어져 화학적산소요구량의 농도가 낮아진다고 보고 있다.

본 연구에서는 기존 연구결과보다는 다소 낮은 저감효과로 보이지만 탁도와 마찬가지로 실험실에서 진행된 실험이 아닌 실제 플랜트에서 실험한 결과이기 때문에 처리효율의 차이가 존재하는 것으로 판단된다.

5) 총질소

탁도저감시스템의 유기질소 및 질소계 영양염류 저감 효과를 확인하기 위해 총질소의 농도를 분석한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 배수로 온배수의 총질소는 0.31~0.42 mg/L로 해역환경기준(<http://www.meis.go.kr/>) 2등급에 해당되는 것을 확인하였다. H2는 0.17~0.37 mg/L, H3은 0.165~0.36 mg/L으로 2.9~7.13%의 저감 효과를 확인 할 수 있었다. 본 탁도저감 시스템은 자갈과 모래로 충전 되어 있기 때문에 질소저감효과는 낮았으며 부유물질의 감소로 인해 유기질소가 제거되어 질소농도도 일부 감소한 것으로 판단된다.

6) 총인(T-P)

총질소와 마찬가지로 유기인 및 인 영양염 저감 효과를 확인하기 위해 총인의 농도를 분석한 본 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 배수로의 온배수인 H1은 0.036~0.045 mg/L로 해역환경기준 2등급에 해당되는 것으로 확인하였으며 해양환경측정망(MEIS,

2015)의 서해지역 평균 총인의 농도와 유사하였다. H2는 0.034~0.035 mg/L, H3은 0.033~0.034 mg/L로 나타났다. 탁도저감 장치의 효율은 2.8~4.2% 범위로 분석되었다. 총 질소와 마찬가지로 총인의 저감효과도 크지 않지만 일부 유기성 SS물질의 흡착으로 인한 총인의 농도감소가 이루어진 것으로 보인다.

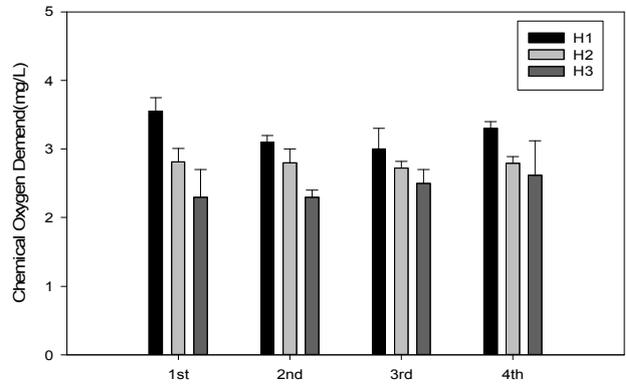


Fig. 7. Concentration of chemical oxygen demand (COD) on sampling site.

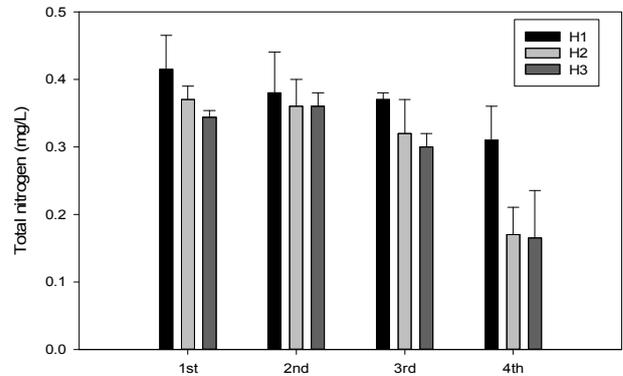


Fig. 8. Concentration of total nitrogen (T-N) on sampling site.

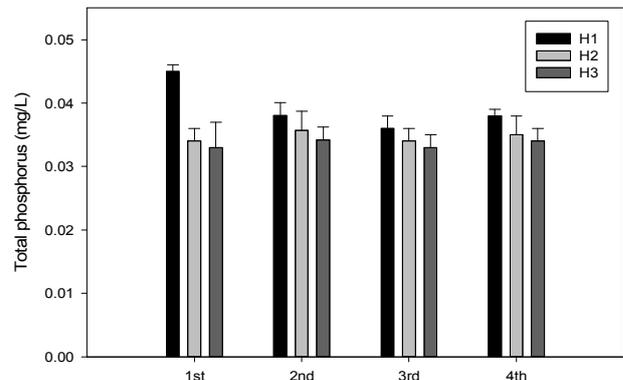


Fig. 9. Concentration of total phosphorus (T-P) on sampling site.

3.2 열교환기 오염도 비교분석

열교환기 내에서 해수가 가열되거나 냉각될 때 스케일이 생성되며 유입되는 혼탁물질이 많을 경우 생성되는 양이 더욱 증가된다. 따라서 본 연구에서 적용한 탁도저감시스템으로 인해 열교환기에 생성되는 스케일의 저감 효과를 확인하기 위해 히트펌프시스템을 30일간 운전하여 발생하는 열교환기 내부의 스케일을 실리콘으로 만들어진 회수장치를 활용하여 회수하였으며 회수한 스케일을 완전히 건조시켜 무게를 확인하였다.

분석결과 해수 열원측 열교환기에서 12.5 g, 부하측 열교환기에서 7.1 g이 회수되었으며 해수 열원 측에서는 작은 패류가 발견되기도 하였다. 이는 해수 열원 측 열교환기에 탁도저감시스템을 거치지 않은 온배수가 직접적으로 유입되었기 때문으로 판단된다.

열교환기의 오염요인을 분석하기 위해 배수로의 해양퇴적물과 열교환기에서 채취된 오염퇴적물을 완전 건조하여 X선 형광분석법(X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF))을 이용하여 산화물 분석을 실시하였다. 산화물 분석을 통해 열교환기에 부착되어 있는 오염물질의 화학적 조성을 파악할 수 있으며 배수로 해양퇴적물과의 비교분석을 통해 오염기원을 추측할 수 있다.

열교환기 오염물질을 분석해 본 결과 Table 3과 같이 해수 열원 측(H3)과 부하 측 모든 시료에서 SiO₂ 성분이 주로 검출되었다. 이는 온배수 배수로에서 채취한 해양 퇴적물 성

분과 유사한 것으로 보아 열교환기에서 발생된 스케일은 온배수 내 미세퇴적물로 인해 생성된 것으로 사료된다. 열교환기에서 생성된 스케일의 성분 중 소량이지만 TiO₂, MnO, Cr₂O₃도 검출되었다. 배수로 해양퇴적물에서 검출된 농도보다 다소 높은 농도로 검출된 중금속의 기원을 추적해보기 위해 열교환기 재질을 분석한 결과 본 연구에서 사용한 관형열교환기 알루미늄 및 부속품 재질 내에 티타늄, 크롬, 망간 등 중금속이 함유된 것으로 보아 열교환기 재질로 인한 검출로 분석된다.

4. 결 론

본 연구에서는 탁도가 높은 지역에서 배출되는 온배수의 열원을 안정적으로 활용하고 유지보수의 간소화를 위한 방법으로 탁도와 부유물질을 저감시켜 줄 수 있는 탁도저감시스템의 적용가능성을 분석하였다. 본 연구에서 적용한 탁도저감시스템은 자갈과 모래가 충전된 압력식여과방식으로 제작되었으며 하루 시간당 5톤의 처리능력을 가지고 있다. 본 시스템을 30일간 운전한 결과 탁도제거 효율이 75~86%로 압력식 여과장치의 일반적인 저감 성능보다는 다소 효과가 낮은 것으로 분석되었다. 이는 유입수의 NTU가 60~80 NTU로 기존 연구보다 두 배 정도 높았으며 실험실에서 진행된 실험이 아닌 실제 플랜트에서 실험한 결과이기 때문에 처리효율의 차이가 존재하는 것으로 판단된다.

탁도저감시스템으로 인한 열교환기에 가해지는 오염부하량의 감소를 확인해보기 위해 히트펌프시스템을 30일간 운전한 후 열교환기 내 스케일의 양을 양적으로 비교한 결과 해수 열원측 열교환기에서 회수된 스케일의 양이 더 많았으며 작은 패류도 발견된 것을 확인 할 수 있었다. 이는 해수 열원측 열교환기가 탁도저감시스템을 거치지 않고 직접적으로 온배수가 유입되었기 때문으로 판단된다.

열교환기 오염원을 분석하기 위해 배수로의 해양퇴적물과 열교환기에서 채취된 오염물질의 산화물 분석을 진행해 본 결과 소량이지만 TiO₂, MnO, Cr₂O₃이 검출되었다. 검출된 성분의 기원을 추적해보기 위해 열교환기 재질을 분석해본 결과 본 연구에서 사용한 관형열교환기 재료로 사용된 알루미늄 및 부속품 재질에 티타늄, 크롬, 망간 등 중금속이 함유된 것을 확인 할 수 있었다(Alfa Laval). 따라서 열교환기를 세척할 때 발생하는 오염물질에 열교환기 재료로 사용된 중금속이 소량 용출되는 것으로 보이며 온배수활용시스템의 유지보수를 위해 열교환기를 세척할 시 중금속의 환경노출을 최소화하기 위해서는 분리시킨 스케일을 따로 분리하여 처리할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Analysis of contaminated sediment components by x-ray fluorescence analyzer

Item	Sediment (wt,%)	Heat side heat exchanger (wt,%)	Load side heat exchanger (wt,%)
SiO ₂	55.93	44.03	38.45
Al ₂ O ₃	14.29	17.17	15.40
CaO	12.5	3.00	3.12
MgO	2.98	3.05	4.38
K ₂ O	2.46	3.95	3.03
SO ₃	2.31	0.85	0.84
Na ₂ O	1.49	3.71	1.29
P ₂ O ₅	0.28	0.36	0.60
ZnO	0.05	0.80	0.88
Fe ₂ O ₃	5.59	17.37	23.94
TiO ₂	0.79	1.27	0.9
MnO	0.06	0.27	6.20
Cr ₂ O ₃	ND	0.50	0.97
Total	98.73	96.33	100

References

- [1] Alfa Laval(2015), Alfa Laval M6-MFG.
- [2] Hwang J. H., Na B. C., Oh S. K., Koo K. M., Lee J. K., Ahn Y. C.(2015), Fouling Characteristics of Washable Shell and Coil Heat Exchanger, The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, pp. 69-74.
- [3] Jeon, K. S., Y. D. Choi, K. J. Cheon, J. K. Kim, K. C. Jeong, Y. G. Lee and H. G. Park(1994), Analysis of Chemical Factors Affecting Marine Ecosystem around Nuclear Power Plant, KAERI/RR, 1310/94.
- [4] Kang, Y. G.(2015), Effects of Industrial Waste Heat on Agricultural Utilization (Case analysis), The Korean Association for Public Administration International Conference, 12, pp. 1654-1662.
- [5] Kang, Y. G., S. H. Kim, J. K. Kwon and Y. S. Ryou(2017), Agricultural Application of Hot Waste Water of Thermal Power Plants, The Korean Society for New and Renewable Energy Conference, 5, p. 149.
- [6] Kim D. J., H. S. Ryu and S. Y. Shin(2006), The Performance Estimation of Pressure-Type Rapid Automatic Filter, The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, pp. 607-612.
- [7] MEIS(2015), Marine environment measurement data, <http://www.meis.go.kr/>.
- [8] MOF(2018), Ministry of Oceans and Fisheries, Marine environmental process test standard.
- [9] Park, Y. C., S. J. Kim, E. S. Kim, H. J. Lee, H. J. Lee and D. H. Kim(2007), A Study on Seawater Quality Criteria and Assessment of Thermal Discharge from Nuclear Power Plant, Journal of the Korean Society of Oceanography, Vol. 12, No. 1, pp. 50-56.
- [10] Seon, Y. H.(2012), A Study on the Removal of Organics and Disinfection Effect in Sand Filter Using Nano Silver Sand, Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal, Vol. 27 No. 1, pp. 16-20.
- [11] Thonon, B., S. Grandgeorge and C. Jallut(1999), Effect of geometry and flow conditions on particulate fouling in plate heat exchangers, Heat Transfer Engineering, Vol. 20, No. 3, pp. 13-25.

Received : 2018. 10. 10.

Revised : 2018. 12. 17.

Accepted : 2018. 12. 28.