

발전폐수 처리 및 재이용수 생산 방법과 검증에 관한 연구

배종홍¹, 박흥석², 경대승^{2*}

¹한국동서발전(주), ²울산대학교 건설환경공학부

A Study on the Method and Verification of Wastewater Treatment and Reuse Water Production in a Power Plant

Jong-Hong Bae¹, Hung-Suck Park², Daeseung Kyung^{2*}

¹Department of Environment Management, Korea East-West Power Co.,Ltd.

²School of Civil and Environmental Engineering, University of Ulsan

요약 본 연구는 발전폐수를 효과적으로 처리함과 동시에 용수를 생산할 수 있는 기술을 제안하고 검증하기 위해 응집조, 침지형 UF조, RO로 구성된 24 m³/d 규모의 파일럿 플랜트를 약 6개월간 운영하였다. 발전소 내 자체폐수처리장을 거친 최종방류수와 공정폐수(응집처리, 응집미처리)를 대상으로 재이용수의 공업용수 수질기준 만족 여부를 실험하였다. 실험결과 유입원수 대비 생산수의 전기전도도 처리효율은 방류수 99.0%, 응집처리 폐수(pH 조절+응집처리) 98.8%, 응집미처리 폐수(pH 조절) 99.0%로 분석되었으며, 그 외 Pb, As, Cd, Hg, Cr, cyanide, PCE(Tetrachloroethylene), TCE(Trichloroethylene), phenol은 검출되지 않았다. 최종방류수 및 응집처리폐수의 막 압력은 10bar 이하로 안정적인 운전이 가능했으나 응집미처리 폐수의 경우 10 bar를 초과하여 막 세정주기가 잦아지는 경향을 확인하였다. 처리수질의 경우 TOC, T-N, T-P 농도는 방류수 허용기준(Ⅲ지역)을 만족했으며, 시설가동 시 회수율 관리를 통해 안정적인 폐수처리 및 재이용수 생산이 가능함을 확인하였다.

Abstract This study proposed and verified a technology that can effectively treat wastewater generated from a power plant and simultaneously reuse it as industrial water. A pilot plant with a scale of 24 m³/d and consisting of a coagulation tank, submerged UF (Ultra Filtration) tank, and RO (Reverse Osmosis) was operated for about six months as a case study. It was tested if the reused water satisfies the industrial water quality standards for the final effluent and process wastewater (coagulated and non-coagulated). Here, the final effluent and process wastewater had passed through the power plant's wastewater treatment plant. The experiment result shows that the electrical conductivity treatment efficiency of reused water compared to that of the inflow water was 99.0% for effluent, 98.8% for wastewater with pH adjustment and coagulation, and 99.0% for wastewater with only pH adjustment. Components such as Pb, As, Cd, Hg, Cr, cyanide, PCE (Tetrachlorethylene), TCE (Trichlorethylene), and phenol were not detected during the test. The membrane pressure of the final effluent and wastewater with pH adjustment and coagulation was 10 bar or less, which allowed a stable operation. However, in the case of wastewater with only pH adjustment, it exceeded 10 bar. So, the frequency of membrane cleaning cycles was increased. The TOC, T-N, and T-P concentrations satisfied the effluent standards (region III), and it was confirmed that stable wastewater treatment and industrial water production were possible through recovery rate management during facility operation.

Keywords : Power Generation, Wastewater, Reuse, UF/RO Process, Industrial Water, Pilot Plant

본 논문은 한국동서발전(주) 연구과제 「발전폐수 재이용을 위한 파일럿급 멤브레인 고도폐수처리 시스템 개발」 연구비를 지원받아 수행되었음.

*Corresponding Author : Daeseung Kyung(Ulsan Univ.)

email: dkyung@ulsna.ac.kr

Received October 7, 2021

Revised November 29, 2021

Accepted January 7, 2022

Published January 31, 2022

1. 서론

공업용수로 활용 가능한 국내 수자원 현황은 강수량 기준 연간 1,119mm로(2011~2020년 평균) 세계 평균 807mm 보다 1.4배 가량 많다. 하지만 단위 면적당 인구 밀도가 매우 높은 특성상 1인당 연 강수 총량은 2,591m³/년으로 세계평균 19,635m³/년 기준 약 12.5% 수준으로 국제적으로 물부족국가로 분류되고 있다. 국내 연 강수량 총량 증 증발로 인한 손실을 제외하면 1인당 실질적으로 활용 가능한 물의 양은 1,493m³/년에 불과하다 [1]. 또한, 연도별, 지역별, 계절별 강수 차이에 따라 활용할 수 있는 수자원의 수량 차이가 크기 때문에 수자원 관리에 매우 불리한 특성을 지니고 있다. 뿐만 아니라 국내 전체 가용수자원 333억 톤 중 자연 하천수 취수 비율은 50% 정도로 갈수기에는 산업 활동에 필요한 용수공급에 큰 영향을 받게 된다. 따라서 산업 활동의 운영 안정성 제고를 위해서는 댐 건설 및 하천 정비와 같은 기존 정책과 더불어 대체 수자원 개발이 필수적으로 수반되어야 한다[2].

일반적으로 발전소에서 발생하는 폐수를 처리하는 폐수처리장은 폐수를 고체와 액체 상태로 분리한 뒤 물리적·화학적·생물학적·열적 처리 방법 등을 이용하여 정화한 후 배출하고 있다. 그러나 발전과정에서 배출되는 발전폐수는 일반 유기성폐수와 달리 무기성 폐수로서 다양한 불순물과 유해 물질을 포함하고 있어 다른 용도로의 활용에 한계가 있다. 즉, 폐수처리장에서 처리 후 배출되는 발전폐수는 배출기준에는 부합하나 공업용수 등으로 재이용되지 못하고 해양, 하천 등으로 직접 방류되거나 인근 하·폐수처리장으로 연계처리 되고 있는 상황이다[3].

최근 불순물과 유해 물질이 최대한 제거된 처리수의 수요가 증가하고 있으며, 용수 외부수급이 원활하지 않은 지역 발전소의 경우 자체적으로 용수를 생산하기 위한 노력을 기울이고 있다. 기존 폐수처리시설 운영을 통해 배출허용기준을 준수할 수 있으나, 전기전도도 등 공업용수 수질기준 만족에는 한계가 있다. 따라서 공업용수로의 재이용을 위해서는 별도의 재이용수 생산시설 설치 가 요구되며, 이에 따라 추가적인 부지 및 비용이 소요되어 전체 운영비가 증가하게 된다. 따라서 생산 폐수처리시설 규모를 축소함과 동시에 폐수처리 성능을 향상하여 불순물과 유해물질이 제거된 처리수를 재이용할 수 있는 기술이 요구된다[4].

국내 일부 발전소의 경우 인근 하수처리장 방류수에 분리막을 적용하여 공업용수로 재이용한 사례가 있다.

하지만 전력생산 과정에서 발생하는 발전폐수(보일러 기동 폐수, 공기예열기 세정 폐수, 전기집진기 세정 폐수, 화학세정 폐수, 순수장치 재생 폐수 등)를 공업용수로 재이용한 사례는 전무하다. 따라서 본 연구에서는 발전폐수에 직접 분리막을 적용하여 폐수에 함유된 불순물과 유해물질을 제거함과 동시에 공업용수로 활용 가능한 재이용수 생산을 목표로 하였다[5,6].

기존폐수처리설비 면적을 최소화하면서 폐수처리와 공업용수 생산이 가능한 최적화 공정을 제안하고 이를 검증하기 위해 파일럿 실험을 진행하였다. 이를 바탕으로 외부 용수 수급이 원활하지 못한 지역에서도 자체적으로 용수를 생산하고 활용하여, 용수도입량을 최소화할 수 있는 방안을 제시하였다[7].

2. 기술 제안

본 연구에서는 발전폐수 처리 및 재이용수 생산방법으로 발전폐수를 침전조에 투입시키는 폐수 투입단계, 침전조에 응집제를 투입시키고 폐수에 포함된 부유성 고형물질을 침전시키는 부유물 제거단계, 침전조의 상등수를 한외여과막(UF)으로 통과시켜 침전조 상등수의 함유물질을 제거하는 1차 여과단계, 1차 여과단계를 통과한 여과수를 저장조에 체류하였다가 역삼투 여과부(RO)를 통해 통과시키면서 함유물질을 제거하여 재이용수를 생산하는 2차 여과단계가 포함된 공정을 제안한다.

1차, 2차 여과단계를 통과하지 못한 잔여물을 생물막 반응조로 유입시키고 생물 화학처리 후 분리막을 통과시켜 질산화 및 탈질을 유도하여 총 질소가 제거된 처리수를 생산하는 생물 반응단계 및 생물막 반응조의 처리수를 활성탄 처리부를 통해 통과시켜 처리수에 포함된 함유물질을 활성탄으로 흡착한 후 처리수를 외부로 방류하는 활성탄 처리단계를 포함한다. 또한, 생산된 재이용수를 이송 라인을 통해 사용처의 용수저장 탱크로 이송시키는 단계로 구성된다.

3. 연구 방법

3.1 평가대상 폐수 및 방류수 특성

발전소에서 발생하는 폐수와 자체 폐수처리시설을 거친 방류수의 재이용을 위한 UF/RO 파일럿 공정 평가 실험을 위해 울산에 위치한 A 발전본부 폐수와 방류수를

Table 1. Water Quality of the Source Water and Standards of Industrial Water Quality

Items	Unit	Wastewater (aver.)	Discharged Water (aver.)	Standard	Remarks
Conductivity	μs/cm	2,301	2,211	220	Standard of Industrial Water Quality
TDS	mg/L	1,150	1,105	110	
Pb	mg/L	ND.	ND.	0.2	
As	mg/L	ND.	ND.	0.1	
Cd	mg/L	ND.	ND.	0.02	
Hg	mg/L	ND.	ND.	0.001	
Cr ⁺⁶	mg/L	ND.	ND.	0.1	
Cyanide	mg/L	ND.	ND.	0.2	
Tetrachloroethylene	mg/L	ND.	ND.	0.02	
Trichloroethylene	mg/L	ND.	ND.	0.06	
Phenol	mg/L	ND.	ND.	0.01	Emission Acceptance Criteria (III Region Criteria)
Cl ⁻	mg/L	653	632	250	
TOC	mg/L	4.74	3.08	20	
T-N	mg/L	3.9	3.3	25	
T-P	mg/L	0.068	ND.	0.5	
BOD	mg/L	0.8	0.7	-	-
Turbidity	NTU	2.78	0.71	-	-

원수로 사용하였다. 처리시설 6개월 운영 데이터를 확보하여 평가대상 원수의 수질을 분석한 결과는 Table 1에서 보는 바와 같이 BOD가 1 mg/L 이하로 전형적인 무기성 폐수의 특성을 보였다. 또한, 공업용수로 재이용하기 위해서는 전기전도도, TDS, Cl⁻ 등의 적정 처리가 필요한 것으로 나타났다.

3.2 실험 장치의 구성

본 연구에서는 화력발전소에서 발생하는 폐수와 방류수를 재이용하고자 하였다. 이를 위해 폐수에 pH 조절과 응집처리를 시행하였으며, 역삼투막(RO) 처리효율 향상을 위해 침지형 한외여과막(UF)과 역삼투막(RO)을 동시에 활용하였다. 방류수의 경우 별도의 pH 조절과 응집처리 없이 침지형 한외여과막(UF)과 역삼투막(RO)을 사용하였다. UF/RO막에 대한 기본 사양 및 세부적인 운전사항(Flux, 회수율 등)과 UF/RO 파일럿 시스템 공정은 각각 Table 2와 Fig. 1에 나타내었다. UF/RO 공정을 통해 안정적이고 양호한 재이용수 수질을 확보하기 위해 적정 운전범위 내에서 전처리, UF/RO 설비를 운전하였으며, 세부적인 운전사항은 Table 3과 같다.

3.3 실험 장치의 운영

울산시에 위치한 A 발전본부 폐수처리장 내 역삼투 처리수 24 m³/일 용량을 가진 파일럿 설비를 설치하였다. 총 3가지 공정 [① 방류수 + UF/RO, ② 폐수 + pH 조절 + 응집 + UF/RO, ③ 폐수 + pH 조절 + UF/RO]에 대해 각 공정별로 2개월 간 평가를 수행하였다 [9]. 침지형 UF를 동일한 운전 조건과 회수율로 고정한 후, Flux에 따른 압력 변화와 UF 전단에 미량 응집제 주입 여부에 따른 압력 변화를 관찰하였다. 또한 UF 전처리 후 RO 공정으로 처리 시 전기전도도, TDS, TOC, Cl⁻ 등의 항목이 공업용수 수질기준을 만족하는지 평가하였다.

Table 2. Operating Parameters of UF and RO

	UF	RO	Remarks
Maker	Lotte Chemical	Toray	
Model	SHU-2024	RE80400-FNn	
Configuration	Supported hollow fiber	Spiral-wound FRP WRAPPING	
Material	Polyurethane	Polymide	
Effective Membrane Area(m ²)	23.8	37.2	per module
Pore Size(μm)	0.01	-	nominal

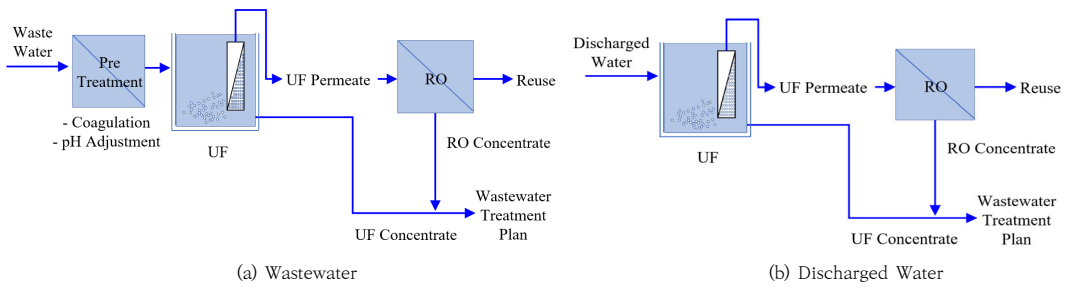


Fig. 1. A Schematic of the UF/RO Process

Table 3. Operating Condition of UF and RO

	Operating Conditions
Pre-Treatment	-PAC 17 % (80 mg/min) -pH adj.(HCl 4.5 %, NaOH 9 %)
UF	-Recovery: 90~92 % -Flux: 20~22 LMH -Aeration: 0.1 m ³ /min -Production: 34.0m ³ /day
RO	-Recovery: 70~72 % -Flux: 14~15 LMH -Production: 24.0m ³ /day

3.4 분석방법

각 공정의 원수와 UF 및 RO 처리수는 샘플링을 통해 분석하였으며, 항목별 분석 방법은 Table 4와 같다.

Table 4. Analytical Method and Instrument

Analysis Items	Method and Instrument
Conductivity	Conductivity meter
TOC	TOC analyzer
Turbidity	Turbidity Meter
TDS	TDS Meter
T-N	HACH DR900
T-P	HACH DR900
Pb	ES 04402.1a
As	ES 04406.2b
Cd	ES 04413.1a
Hg	ES 04408.1b
Cr ⁶⁺	ES 04415.1b
Phenol	ES 04611.1
Cl	Chloride Ion Meter
BOD	ES 04305.1c

4. 결과 및 고찰

4.1 처리효율

4.1.1 전기전도도

RO막 처리수의 전기전도도는 Fig. 2와 같이 각 공정 별 평균 방류수 22.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 폐수(응집) 26.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 폐수(미응집) 21.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 으로 각각 99.0%, 98.8%, 99.0%의 제거효율을 보였다. 세 가지 공정 모두 공업용수 수질기준(220 $\mu\text{S}/\text{cm}$)보다 훨씬 낮은 수치를 보여 공업용수로의 재이용에 적합한 것으로 나타났다.

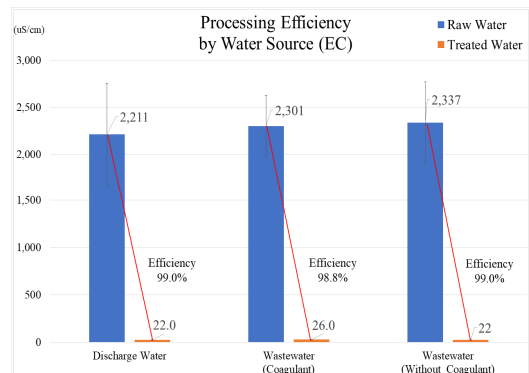


Fig. 2. Electrical Conductivity Measurements by Raw Water Source

4.1.2 Turbidity

방류수 및 폐수의 탁도는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 각각 평균 0.71 NTU, 2.78 NTU, 2.99 NTU로 양호한 수준이었으며, 농도분포는 오차 없이 일정한 추이를 나타냈다. RO막 처리수의 탁도는 3가지 공정 모두 100% 제거되어 탁도 제거에 효과적임을 입증했다.

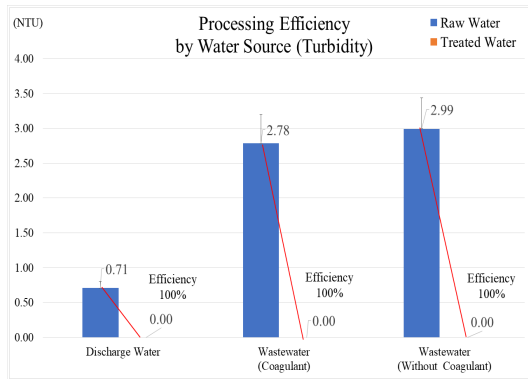


Fig. 3. Turbidity Measurements by Raw Water Source

4.1.3 TOC

방류수 및 폐수의 TOC 평균 농도는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 각각 3.08 mg/L, 4.74 mg/L, 4.99 mg/L로서, 별도의 처리공정 없이도 공업용수 수질기준(6 mg/L)을 만족하였다. RO막 투과 시 TOC 평균 농도는 3가지 공정 모두 1 mg/L 이하로 우수한 처리효율을 나타냈다.

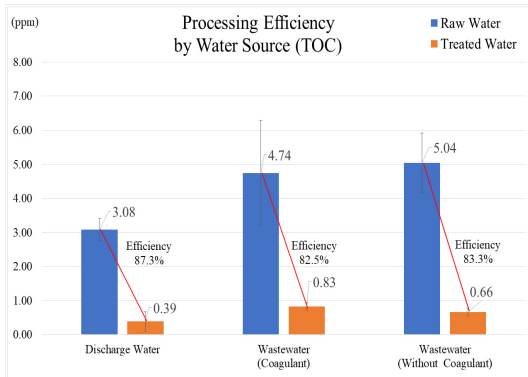


Fig. 4. TOC Measurements by Raw Water Source

4.1.4 TDS

방류수 및 폐수의 평균 TDS 농도는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 각각 1,105 mg/L, 1,151 mg/L, 1,169 mg/L으로 측정되었다. RO막 처리수의 TDS 농도는 평균 방류수 11.0 mg/L, 폐수(응집) 13.0 mg/L, 폐수(미응집) 11.3 mg/L로 모두 높은 제거효율을 보여 RO막이 TDS 제거에 효과적임을 입증하였다. 또한, 공업용수 수질기준(110 mg/L)을 충분히 만족하여 공업용수 재이용에도 무리가 없는 것으로 확인되었다.

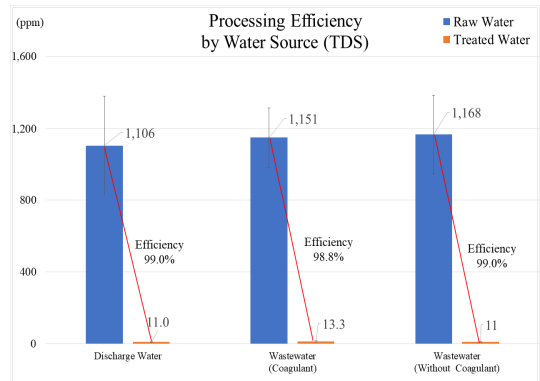


Fig. 5. TDS Measurements by Raw Water Source

4.1.5 Cl- 및 유해물질

방류수 및 폐수의 Cl- 평균 농도는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 각각 632 mg/L, 653 mg/L, 648 mg/L 였으며, RO막 처리수의 농도는 14.5 mg/L, 32.2 mg/L, 32.6 mg/L로 나타났다. 모두 공업용수 수질기준인 250 mg/L을 만족하는 것으로 확인되었으며, 처리효율은 각각 97.7%, 94.9%, 95.0%였다.

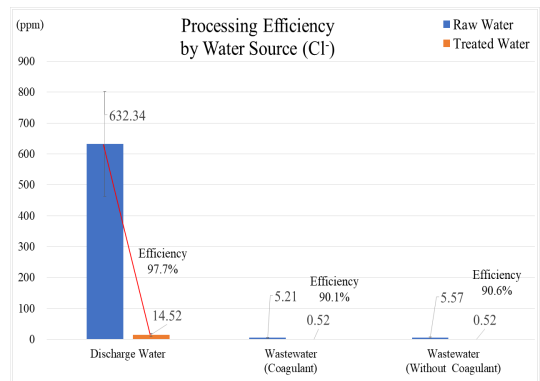


Fig. 6. Cl- Measurements by Raw Water Source

이 밖에도, Table 5에서 보는 바와 같이 유해물질인 Pb, As, Cd, Hg, Cr⁶⁺, CN, PCE, TCE, Phenol은 3가지 공정 모두에서 검출되지 않아 공업용수 수질 항목을 만족하는 것으로 분석되었다.

Table 5. Water Quality of the Source Water and Standards of Industrial Water Quality

Items	Unit	RO Permeate	Standard of Industrial Water Quality
Pb	mg/L	ND.	0.2
As	mg/L	ND.	0.1
Cd	mg/L	ND.	0.02
Hg	mg/L	ND.	0.001
Cr+6	mg/L	ND.	0.1
Cyanide	mg/L	ND.	0.2
Tetrachloroethylene	mg/L	ND.	0.02
Trichloroethylene	mg/L	ND.	0.06
Phenol	mg/L	ND.	0.01

4.2 막 압력 및 세정주기

4.2.1 방류수

RO막 압력은 Fig. 7과 같이 초기 10일간 큰 편차 없이 약 9~10 bar로 안정적으로 유지되었다. 하지만 10일 이후 막 압력이 13 bar까지 급격히 상승하였고, 투과 Flux도 감소하여 회수율이 70% 이하로 저하됨에 따라 15일째 무기세정(HCl 9%, 구연산 0.4 kg) 및 유기세정(NaOH 4.5%)을 진행하였다. 막 세정 이후 막압력은 8~10 bar로 안정적으로 유지되었고, 33일째 다시 13 bar로 상승하여 두 번째 막 세정을 진행하였다.

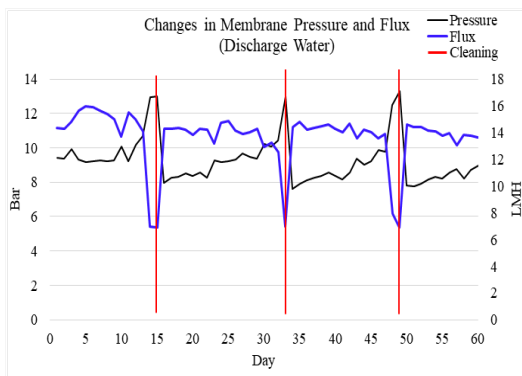


Fig. 7. RO Pressure, Flux and CIP Cycle by Discharge Water

이후 다시 막 압력이 증가한 49일째 세 번째 막 세정을 진행함에 따라 막압력에 큰 영향을 주는 요인 없이 안정적으로 운전이 가능한 세정주기는 15일, 18일 16일 간격으로 확인되었다. RO막 투과 Flux는 평균 13.6

LMH로 운전되었으며, 막 압력이 높은 시점에는 투과 Flux가 6.9 LMH 낮아졌지만 세정 후 회복되는 것을 확인하였다.

4.2.2 폐수(pH 조절 + 응집처리)

RO막 압력은 Fig. 8에서 보는 바와 같이 초기 8일간 10~12 bar로 운전되어 다소 편차를 보였으며, 9일째 일시적으로 고농도 폐수가 유입되어 압력이 13 bar로 상승하였다. 막 세정을 진행한 이후 7.8 bar로 막 압력이 감소하였으며, 20일까지 7~9 bar를 유지하며 운전되었으나 21일째 압력이 다시 상승하여 막 세정을 진행하였다. 이후 유사한 경향이 반복되어 RO막 압력 상승에 따른 세정주기는 10~12일 간격으로 확인되었고 세정 후 투과 Flux도 회복되는 것으로 나타났다.

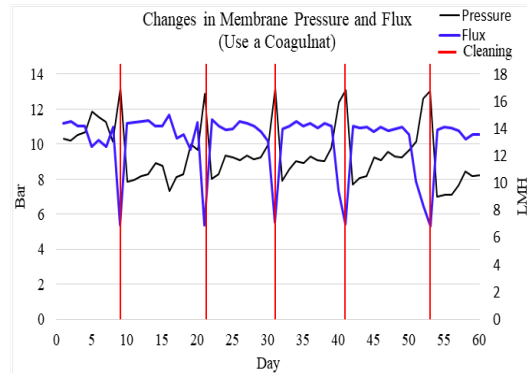


Fig. 8. RO Pressure, Flux and CIP Cycle by Raw Water (With Coagulation)

4.2.3 폐수(pH 조절)

폐수(pH 조절) RO막 압력은 초기 이틀간 9 bar 미만으로 운전되었으나, 이후 급격히 13 bar까지 상승하여 운전 7일째 막 세정을 진행하였는데, 이는 폐수에 포함된 높은 전기전도도 유발물질 등 미응집된 미세 입자에 기인한 것으로 판단된다. 막 세정 직후 일시적으로 8 bar까지 압력이 감소하였으나 14일째 막 압력이 9 bar에서 13 bar로 급상승하여 두 번째 막세정을 진행하였으며, 이를 Fig. 9에 나타내었다. 이후 유사한 경향이 지속되었으며, RO막 압력 상승에 따른 세정주기는 6~7일 간격으로 확인되었다.

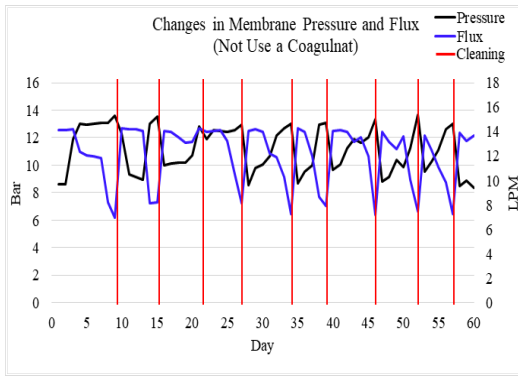


Fig. 9. RO Pressure, Flux and CIP Cycle by Raw Water(Without Coagulation)

4.3 역세수/농축수 처리방안

Table 6과 같이 파일럿 테스트기간 동안 RO 농축수 수질은 3가지 공정 모두 방류수 수질기준을 만족함에 따라 RO 농축수에 대한 별도의 처리시설 없이 안정적으로 운영이 가능할 것으로 판단된다. 다만 응집 과정을 거치지 않은 폐수의 경우 T-P 농도가 0.425 mg/L로 기준치에 근접하기 때문에 회수율을 낮추어 농도를 저감시키거나 응집제 투입을 통해 T-P를 저감하는 방안 등을 추가적으로 고려해야 할 것으로 사료된다.

Table 6. Concentrated Water Analysis Results by Raw Water Resources

Analysis items	Unit	Concentrated water(RO)			Emission acceptance criteria*
		Discharged water	with Coagulant	without Coagulant	
T-N	mg/L	10.7	11.1	11.9	20
T-P	mg/L	0.13	0.19	0.42	0.5
TOC	mg/L	6.5	6.7	7.3	25

*III Region Criteria

4.4 경제성 평가

Table 7에 나타난 바와 같이 방류수를 공업용수로 재이용하기 위해 UF/RO 시스템을 적용할 경우 초기 시설 투자비 2,996,523천 원과 전기료, 막교체비, 약품비 등 연간 유지관리비 229,428천 원이 소요될 것으로 예상된다. 울산시에 위치한 A 발전본부를 기준으로 공업용수 및 하수도 요금, 환경개선부담금을 산정해 보면 2020년 기준 공업용수 요금 364.6원/㎥, 하수도 요금 1,049.7원/㎥, 환경개선부담금 121원/㎥를 합산한 1,535.3원/㎥

가 된다. 2020년 기준으로 1,100,956㎥/년의 방류수를 발생하고 있는 A 발전본부에서 UF/RO 폐수처리시스템을 적용하여 연간 770,669㎥ (회수율 70% 기준) 재이용시 매년 약 1,183,207천 원의 비용을 절감할 수 있을 것으로 예상되며, 3.14년 후에는 초기투자비 회수가 가능할 것으로 기대된다.

Table 7. Economical Efficiency of UF/RO System

Items		UF/RO
Initial facility investment cost		2,996,523
Maintenance cost	Electric charge	130,086
	Chemicals cost	27,735
	Membrane replacement cost	70,857
	Total	229,428
Saving cost	Sewage treatment cost	808,971
	Industrial water cost	280,985
	Environmental improvement charge cost	93,251
	Total	1,183,207
Investment cost recovery period		3.14 yr

* Units : A thousand KRW/yr

5. 결론

본 연구에서는 발전폐수와 폐수처리장 최종방류수를 대상으로 기존 폐수처리공정 대신 막여과를 통한 폐수처리 및 용수생산 효율과 가능성을 평가하였다. 이를 위해 24 ㎥/hr 규모의 파일럿 테스트를 운영하였으며, 현장실험을 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

5.1 처리효율

방류수, 폐수(pH조절 + 응집처리), 폐수(pH조절)의 초기 전기전도도는 각각 2,214 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2,301 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2,337 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 였다. RO막 여과 이후 최종생산된 용수의 전기전도도는 22 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 25.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 21.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 초기 대비 98.8% 이상 처리되어 공업용수 수질기준을 만족하는 것을 확인하였다.

5.2 막 압력 및 세정주기

방류수 처리 시 막 압력은 평균 9 bar로 유지되어 안정적인 운전이 가능하였고, 막 세정주기는 15~18일로 나타났으며 세정 후 지속적으로 적정 압력을 유지하며 운영되는 것을 확인하였다.

응집 과정을 거친 폐수 처리 시 막 압력은 7~10 bar로 유지되며 운전되었고, 막 세정주기는 10~12일로 나타났다. 반면 응집 과정을 거치지 않은 폐수의 경우 막 압력이 10 bar 이상으로 높게 나타나 세정주기가 2배 가량 짧아지는 것을 확인하였다. 특히, 운전 3일째부터 막 압력이 13 bar로 급격히 증가하였으며, 막 세정 이후에도 안정적인 막 압력 유지에 한계가 있었다.

일반적으로 안정적인 운전상태의 막 압력은 7~10 bar로 운전된다. 하지만 막 압력이 증가할수록 생산수량의 감소, 막부하 증가, 동력비용 증가가 유발됨에 따라 주기적인 막 세정이 요구된다. 하지만 빈번한 막 세정은 막 손상을 유발하고, 막 교체 주기를 앞당겨 운전비용 상승을 초래한다. 따라서 응집제 사용을 통해 막 부하를 낮춘 상태에서 운전하여 안정적인 폐수처리 및 용수 생산이 가능한 환경으로 유지하는 것이 운영비 최적화 및 신뢰성 확보에 필수적인 것으로 판단된다.

5.3 농축수 처리

공정상 발생하는 농축수의 농도는 방류수 TOC 6.5 mg/L, T-N 10.7 mg/L, T-P 0.13 mg/L, 폐수(pH조절 + 응집처리) TOC, 6.7 mg/L, T-N 11.1 mg/L, T-P 0.19 mg/L, 폐수(pH조절) TOC 7.3 mg/L, T-N 11.9 mg/L, T-P 0.42 mg/L로 방류수 수질기준에 만족하는 것으로 확인하였다. 가장 수질이 낮은 폐수(pH조절)의 경우에도 방류수 수질기준을 만족하였으나, CIP 주기 등 운전 여건을 고려할 경우 응집제를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

발전소에서 발생하는 폐수 및 자체폐수처리장 방류수 처리효율을 UF/RO 파이프렛 테스트로 검증한 결과, 공업용수 수질기준 보다 약 4.4배(전기전도도 기준) 향상된 수질의 용수를 생산할 수 있었으며, 폐수처리 역시 안정적으로 수행 가능한 것을 확인하였다. 기존발전소의 경우 시설 개선을 통해, 신규발전소는 설계단계에서부터 응집처리가 수반된 UF/RO 시스템을 반영하여 적용한다면 향후 발전소 운영에 필수적인 공업용수를 안정적·경제적으로 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] The Meteorological Administration, 2020 Weather Yearbook, Available From: <https://www.kma.go.kr/kma/archive/pub.jsp>

(accessed July. 17, 2021)

[2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Long-term Comprehensive Plans for Quarter Water Resources, Available From: https://www.molit.go.kr/usr/policyData/m_34681/lst.jsp (accessed July. 17, 2021)

[3] Y. J. Kim, Y. J. Choi, S. J. Hwang, "Effects of F/M ratio on the EPS production and fouling at MBR", *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, Vol.35, No.3, pp.197-204, June. 2021. DOI: <https://doi.org/10.11001/jksww.2021.35.3.197>

[4] Y. M. Park, C. H. Park, "Evaluation of Pressured UF Membrane in UF/RO Process for wastewater Reuse", *Journal of the Korean Society for urban Environment*, Vol.19, No.2, pp.65-75, June. 2019. DOI: <https://doi.org/10.33768/ksue.2019.19.2.065>

[5] Y. I. Choi, J. H. Jung, B. G. Jung, "Application Study of BIRM-UF-RO System for Industrial Water Reuse in Wastewater Treatment Plant", *Journal of Korean Society for Environment Technology*, Vol.21, No.3, pp.196-204, June. 2020. DOI: <https://doi.org/10.26511/JKSET.21.3.3>

[6] H. J. Choi, Y. J. Park, S. M. Lee, "Wastewater Treatment using Ultrafiltration(UF) and Reverse Osmosis(RO) Process", *Korean Society Environmental Engineers*, Vol.34, No.10, pp.678-683, Oct. 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.4491/KSEE.2012.34.10.678>

[7] J. M. Lee, J. H. Jeon, H. B. Choi, "Demonstration and Operation of Pilot Plant for Short-Circuit Nitrogen Process for Economic Treatment of High Concentration Nitrogen Wastewater", *Journal of Korea Organic Resources Recycling Association*, Vol.28, No.1, pp.53-64, Mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.17137/korrae.2020.28.1.53>

배 중 홍(Jong-Hong Bae)

[정회원]



- 2005년 2월 : 경북대학교 일반대학원 환경공학과 (공학석사)
- 2021년 2월 : 울산대학교 일반대학원 건설환경공학부 (공학박사 수료)
- 2004년 7월 ~ 현재 : 한국동서발전(주) 차장

<관심분야>

물 재이용, 오염물질 감축, 자원재활용

박 흥 석(Hung-Suck Park)

[정회원]



- 1986년 2월 : KAIST 토목공학과 (공학석사)
- 1990년 2월 : KAIST 토목공학과 (공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 울산대학교 건설환경공학부 정교수

<관심분야>

산업폐기물 에너지화, 생태산업단지, LCA

경 대 승(Daeseung Kyung)

[정회원]



- 2010년 8월 : KAIST 건설환경 공학과 (공학석사)
- 2015년 2월 : KAIST 건설환경 공학과 (공학박사)
- 2016년 3월 ~ 2020년 2월 : LH 토지주택연구원 수석연구원
- 2020년 3월 ~ 현재 : 울산대학교 건설환경공학부 조교수

<관심분야>

기후변화대응, 공정최적화, 환경전과정평가