

Construction Method of Zero Discharge System for Environmental Energy Complex in Landfill

매립지내 환경에너지단지의 무방류 시스템 구축방안

Seung-Kyu Chun

천승규

SUDOKWON Landfill Site Management Corp.

수도권매립지관리공사

Abstract : A research was performed for zero discharge system of waste water which is produced from energy recovery process of waste and biomass. Leachate and all kinds of waste water should be separated and integrated into three categories in addition to converting existing leachate treatment facility into waste water treatment facility as well as introducing a management system of reverse osmosis membrane facility and bioreactor landfill. Following these conditions to better water treatment process, it was likely to produce over 3,000 tons of low-grade recycling water and 2,000 tons of high-grade recycling water per day when zero discharge system of waste water is applied starting from 2016. Economical efficiency was also surveyed in total treatment fee. Present system costs 18,129 million won per year, and suggested zero discharge system would cost 15,789 million won per year.

Key words : Environmental Energy, Zero Discharge, Bioreactor Landfill, Reverse Osmosis

주제어 : 환경에너지, 무방류, 바이오리액터 매립장, 역삼투

1. 서론

각종 폐자원 및 바이오매스의 에너지화 사업은 버려지던 자원으로 부터 화석에너지를 대체할 전력, 스팀, 연료를 회수하는 것으로서, 국가적 에너지 문제 해소에 기여하고 신재생에너지 확보율을 높임은 물론, 폐기물의 친환경적 처리를 위해서도 매우 중요한 사업이다(MOE, 2009). 또한, 이러한 에너지 회수시설이 집적된 종합 에너지화 단지는 개별 시설설치에 비해 기반시설 조성면에서 유리하고, 시설간의 상호보완적인 운영, 비

용절감 그리고 홍보 측면에서 많은 장점을 가지고 있다.

그러나 에너지화 시설은 처리과정에서 슬러지 건조 응축수나 대기오염방지설비의 세정수 등 다양한 종류의 폐수가 발생하며, 특히, 매립지내 종합에너지화단지의 경우 침출수까지 포함하여 그 발생량이 많기 때문에 주변수계에의 영향과 민원을 야기할 수 있는 문제를 동시에 가지고 있다. 따라서 가장 바람직한 방안은 처리수를 단지내 조경용수, 청소용수, 공정용수 등으로 재이용하고 방류수를 최소화하는 것이다. 그러나 개별 시설별로 이러한 수 처리시설을 갖추는 것은 경제적인 부담이 크고, 아울러 기술적인 이유로 무방류 자체도 어려울 수 있다. 따라서 각 에너지화 시설별 발생

* Received 26 August 2013, revised 08 October 2013, accepted 10 October 2013.

* Corresponding author: Tel : 032-5609-570 Fax : 032-5609-649 E-mail : tocsk@naver.com

Table 1. Facilities of environmental energy town in SUDOKWON landfill site

Facilities		Energy recovery method	Scale(ton/day)
SRF manufacturing for municipal waste		Mechanical treatment*	200
		Mechanical and biological treatment	2,000
SRF manufacturing for construction waste		Mechanical treatment	4,000
Solid form fuel manufacturing from sludge	1st stage*	Rotary kiln type drying	1,000
	2nd stage		1,700
SRF boiler		Steam recovery	600
Biogas production from food waste water*		Medium temperature digestion	845
Sludge solidification for landfill cover*		Pozzolan reaction	1,600

* under operation

폐수의 수질, 단지의 성격과 입지 특성 등을 활용하여 합리적인 처리체계를 갖추으로써 처리수 재이용의 극대화와 무방류를 달성할 수 있는 수처리 기획이 중요하다.

본 연구는 이러한 취지에서 수도권매립지를 대상으로 발생 침출수와 폐수 등을 각각의 특성에 따라 통합 및 분리처리 하는 방안을 제시하였다. 또한, 바이오리액터 매립장 운영기술, 매립가스 발전시설과의 연계 등 시설 및 입지특성을 고려한 종합적인 수처리 설계방법론을 제시하였으며, 향후 매립장 등 환경기초시설 내에 에너지화 단지 또는 시설을 건설·운영할 경우 무방류시스템 도입에 활용할 수 있도록 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구 대상지

연구 대상지인 수도권매립지는 총 면적 14,050,000 m²으로, 수도권 57개 시·군·구로부터 배출되는 생활 및 건설폐기물 그리고 사업장 폐기물을 반입처리(3,271천톤, 2012)하고 있다. 제1매립장은 1992년 4월 매립을 시작하여 2000년 10월 매립을 완료하였고, 제2매립장은 2013년 7월말현재 매립공정률 약 82%로서, 2016년말 매립이 완료될 것으로 예상되고 있다. 2017년부터는 1,033,000 m²의 제3매립장 1단계 시설에서 약 7~8년간 총 2 × 10⁶ m³의 폐기물을 매립하고, 이후 2, 3단계 시설에서 매립

이 진행될 계획이다. 아울러, 스팀터빈 방식 매립가스 발전소가 2007년 3월부터 가동 중으로, 2012년도 기준, 제1, 2매립장에서 발생하는 약 689 m³/min의 매립가스를 이용하여 382,131 MWh/년의 전력을 생산하고 있다.

동 매립지에는 2019년 완료를 목표로 수도권 환경에너지종합타운을 조성중으로, 기존 슬러지 자원화시설 외에 생활 및 건설폐기물 SRF(Solid Recovered Fuel) 제조, 슬러지 건조연료화, SRF 전용 보일러, 음식물류 폐기물 폐수(음폐수)를 이용한 바이오가스 생산시설 등 폐자원 및 바이오매스 에너지화 시설들이 연차별로 입지할 예정이며(SLC, 2009), 이 가운데 주요 시설들은 Table 1과 같다.

현재, 이러한 각종 에너지화 시설에서 발생하는 폐수는 기존의 침출수처리시설에서 병합처리되고 있다. 동 시설은 전탈질 생물반응조와 화학응집침전 공정을 중심으로 하는 6,700톤/일 용량으로, 처리수는 전량 인근 수역으로 방류되고 있다.

2.2 시스템 분석 및 재설계 절차

수처리체계 개선을 위한 재설계를 위해서는 모든 대안에 대한 종합적인 검토가 가능하도록 합리적인 작업절차를 설정하여 진행하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 다음과 같이 크게 8단계의 작업절차를 규정하고 단계별로 분석과 검

토를 거치며 최종적인 결론을 도출하였다.

첫 번째, 재설계의 목표는 모든 처리수를 완전 무방류하는 것으로 하였다.

두 번째, 배출원 및 기존 수 처리 체계에 대한 조사·분석을 하였다. 배출원 조사는 배출시설의 종류, 발생량과 수질을, 그리고 수 처리체계 조사는 처리시설의 규모와 공법, 처리대상수의 양 및 수질, 처리수의 수질과 처리단가를 대상으로 하였다. 이 두 가지의 조사에는 모두 장래의 예상 상황과 계획을 반영하였으며, 현재 가동중인 시설은 내부 운영자료, 그리고 계획시설은 관련 연구보고서 등 예측자료를 활용하였다.

세 번째, 현재와 장래의 물수요량과 사용처 및 요구 수질을 분석하였다. 본 연구에서는 인체와 직접 접촉하는 용수는 수도물, 기타는 재활용수를 사용하는 것으로 하였으며, 용도별 물의 소요량을 산출하기 위하여 현재의 용수량에 장래 계획된 여러 사업을 감안하였다.

네 번째, 모든 처리대상수에 대하여 통합 또는 분리처리를 결정하였다. 규모의 경제 및 수질 안정성 확보, 그리고 기존 시설의 활용도 제고를 위해 상호보완적이거나 유사한 수질 및 소량의 처리대상수는 통합하였다. 반면, 수질특성이 통합처리나 처리수의 재이용을 어렵게 하는 경우는 분리 대상으로 하였다.

다섯 번째, 이렇게 통합과 분리를 결정한 후 기존 침출수처리시설에서 처리할 처리대상수의 종류와 양을 결정하였다.

여섯 번째, 기존 처리시설에서 처리하지 않게 되는 처리대상수의 종류와 양을 연도별로 분석한 뒤 물의 재이용에 가장 적합한 처리방안을 제시하였다.

일곱 번째, 이상의 계획에 따른 처리 후에도 잔존하는 재이용 불가능한 물량에 대해서는 본 연구 대상지가 매립지인 점을 감안하여 그 특성을 활용할 수 있는 방안을 모색하였다.

끝으로 무방류를 위해 본 연구에서 제시한 처리방식과 기존 처리방식에 대해서 경제성 평가

를 하였다. 평가에는 시설의 건설운영비와 물의 절감 및 판매이익과 같이 직접적인 비용과 편익만을 계상하였다. 이상 설명된 작업방법과 절차는 Fig. 1과 같다.

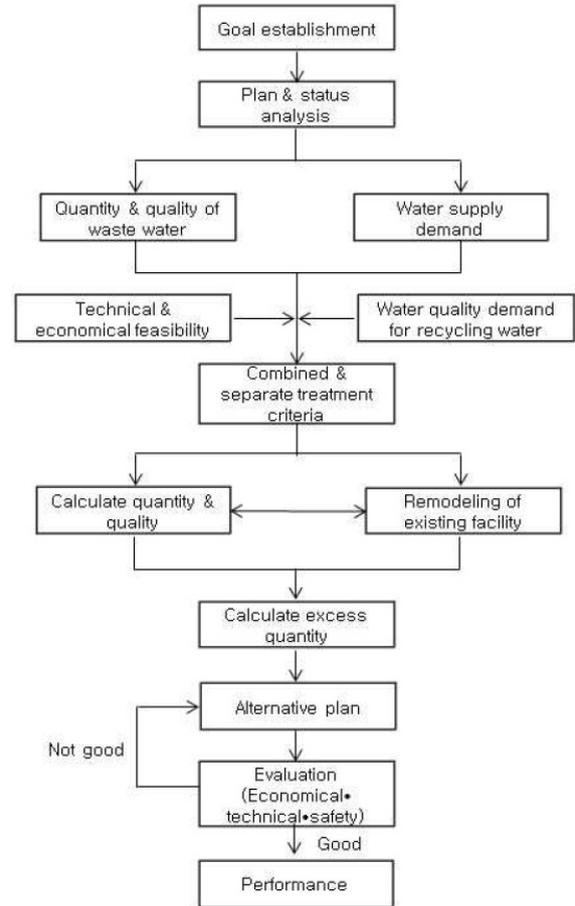


Fig. 1. Working process of establishing zero discharge system for SUDOKWON landfill site

3. 결과 및 고찰

3.1 폐수 등 발생 및 물 수요 전망

침출수는 현재 제1, 2매립장에서 발생되고 있고, 2017년부터는 제3매립장에서 추가로 발생될 것으로 예상된다. Fig. 2(a)에서 볼 수 있듯, 발생량은 1998년을 정점으로 감소하기 시작하여 안정화 단계에 접어들었고, 장기간 큰 변화

가 없을 것으로 보인다(SLC, 2012). Fig. 2(b)는 제1, 2매립장 발생 침출수의 통합 평균 수질이다. BOD와 COD는 제2매립장 침출수가 발생하기 시작한 2001년을 정점으로 급격히 낮아진 뒤 현재는 안정추세이며, 반면, T-N과 Cl-는 매립초기부터 현재까지 비교적 비슷한 농도를 유지하고 있다. 이미 매립된 폐기물량과 비교하여 추가로 매립되는 양이 상대적으로 적고, 환경에너지종합타운 조성이 마무리되면 무기성 폐기물 중심으로 매립이 진행되기 때문에 향후, 침출수 수질은 현재보다 낮은 농도로 서서히 변화될 것으로 판단된다.

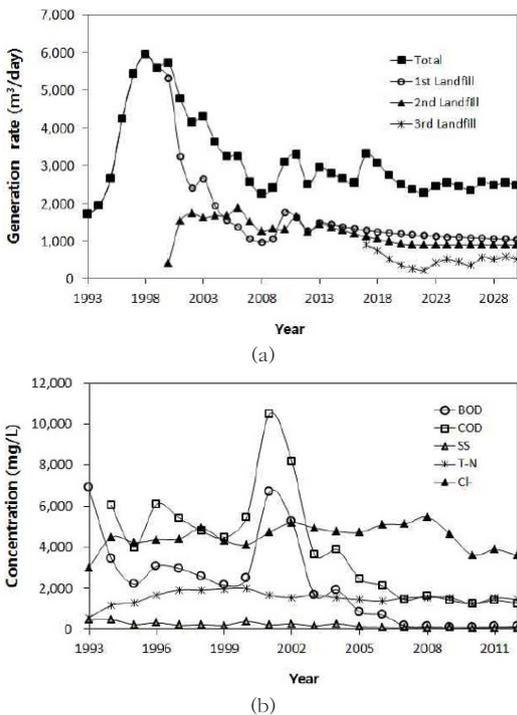


Fig. 2. Leachate generation rate and its water quality

Fig. 3은 대기오염방지설비 폐수, 음폐수 소화처리수(소화수)를 제외한 환경에너지종합타운의 각 시설에서 발생하는 전체 일반 폐수량 및 이들이 통합처리 될 경우의 평균 수질이다. 발생량은 2013년 1,368톤/일에서 2019년에 3,409톤/

일로 증가하고, 수질은 최대 BOD 768 mg/L, COD 851 mg/L, T-N 624 mg/L 정도로 분석되었다.

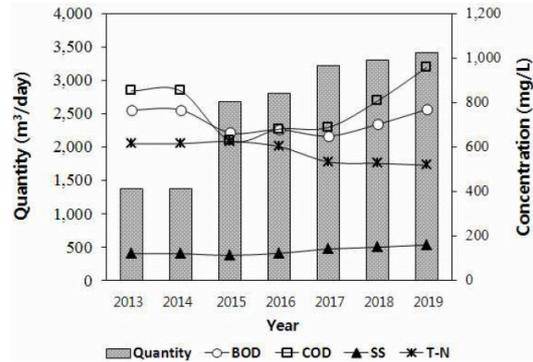


Fig. 3. Generation quantity and mean concentration of waste water from environmental energy town

환경에너지종합타운에서 현재 운영 중인 시설들과 향후 건설될 시설들의 연도별 예상 발생 폐수(대기오염방지설비 폐수 포함), 소화수 그리고 침출수의 양은 Fig. 4와 같았다. 최대 발생량은 2017년도의 7,589톤/일이었는데, 이는 이후 설치되는 에너지화 시설의 폐수발생량 증가량보다 제2매립장 최종복토 이후의 침출수 감소량이 더 크기 때문이다.

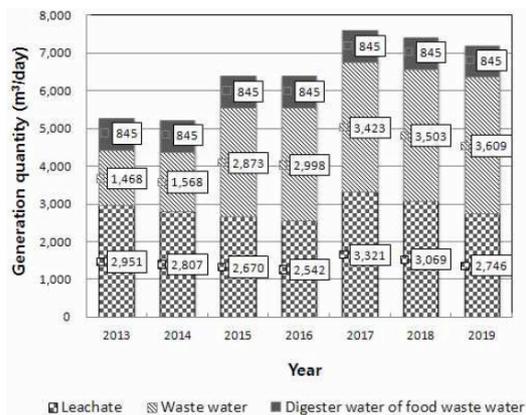


Fig. 4. Generation quantity of three major kinds of effluents from SUDOKWON landfill site

수도권매립지에서 2012년도 한해 사용한 수돗물은 1,423,865톤이었다. 단위 시설 중 가장 많은 사용량은 50 MW 매립가스 발전소의 냉각용수 2,491톤/일이었다. 물 수요량은 각종 시설의 입지로 인해 지속적으로 증가하여 2019년에는 6,440톤/일로서, 2012년의 약 1.65배에 이를 것으로 예상되었다. 물 수요량을 사용용도별 수질기준을 감안하여 수돗물, 고급 및 저급 재활용수로 나누어 산정한 결과는 Fig. 5와 같았으며, 전체의 약 69.9 %는 재활용수의 사용이 가능한 것으로 분석되었다.

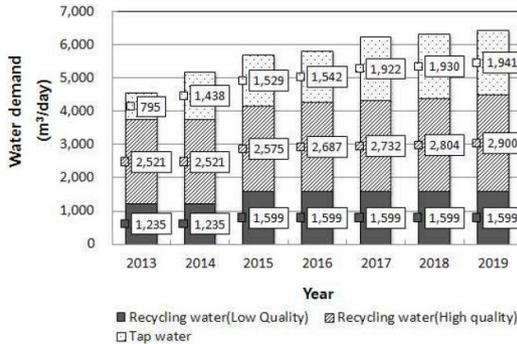


Fig. 5. Expected water demand by required water quality

3.2 기존 처리체계 변경

3.2.1 처리대상수의 분리와 통합

침출수처리시설 병합처리수의 수질은 법적 기준보다 크게 낮아 양호하였으나, 그동안 재활용이 불가능하여 전량방류하게 된 원인은 염분(Cl⁻)이었다. 2012년도 평균 염분농도는 침출수 3,590 mgCl⁻/L, 소화처리수 3,778 mgCl⁻/L 그리고 폐수의 경우는 100 mgCl⁻/L 미만이었다. 이에 따라 병합처리 된 전체 방류수 염도는 평균 2,115 mgCl⁻/L으로 식생의 고사와 시설물의 부식 유발로 인해 재활용이 불가능한 상황이었다. 따라서 침출수와 소화수는 폐수와 분리하는 것이 타당하였다. 또한 침출수와 소화수는 염분 외에 여타 수질이 상이하므로 이 역시 분리하는 것으로 하였다. 이외 소량이지만 환경에너지

지중합타운내 시설의 대기오염방지설비 등에서 발생하는 폐수는 염도(SO₄²⁻)와 T-N 등이 고농도이다. 따라서 기존 처리시설에 병합할 경우 전체 수 처리 체계에 문제를 일으킬 뿐만 아니라, 처리수의 재활용도 어렵게 하기 때문에 분리 처리하는 것으로 하였다. 이상 수도권매립지에서 발생하는 침출수와 폐수류를 수질특성과 수량을 고려하여 분리하면 Table 2와 같이 Type1 ~ Type3로 분류가 가능하였다.

3.2.2 기존 처리시설의 용도 전환(Type1 처리)

Fig. 3과 같이 환경에너지중합타운내 시설에서 발생하는 폐수(Type1)는 기존의 침출수처리시설의 생물학적 처리공정에 문제가 없는 수질 특성을 가지고 있다. 또한 현 침출수처리시설은 생물학적 공법중 전탈질 방식을 채택하고 있으며, Fig. 2(b)에서 볼 수 있듯, 침출수의 BOD가 낮아짐에 따라 2012년도 C/N 비는 0.1에 불과하여 탈질처리를 위해서는 탄소원을 별도로 공급해야하는 실정이다(Jeong et al., 2003). 반면, 기존의 침출수처리시설을 폐수처리시설로 전환할 경우, 2019년 기준 C/N비는 1.5로 현재보다 개선되고, 아울러 T-N의 경우도 1,438 mg/L에서 518 mg/L로 오염부하가 낮아져 처리단가를 낮추는 효과가 있게 된다. 처리량에 있어서도, 2019년에 처리해야할 환경에너지중합타운의 폐수는 약 3,409톤/일로서, 현 침출수 발생량과 유사할 뿐만 아니라, 4개의 계열로 되어 있어 계열 운전도 가능하다. 즉, 이후 발생될 폐수는 모두 침출수처리시설에서 종래의 공법으로 처리하고, 침출수는 단계적으로 배제하고 염분제거가 가능한 타 공법으로 처리하는 것이 바람직하였다.

3.2.3 신규 공법의 도입(Type2, Type3 처리)

침출수처리시설이 단계적으로 폐수처리시설로 전환될 경우 침출수(Type2) 처리를 위해 신규도입이 필요한 공법은 염분을 제거할 수 있

는 방법인 역삼투막법(RO : Reverse Osmosis)과 RO 농축액 등 처리가 곤란하여 소멸시켜야 할 대상수(Type3)의 경제적 처리방법인 바이오리액터(Bioreactor) 매립장 운영공법(SLC, 2003)이다. RO는 기존 침출수처리시설의 생물학적 처리를 거치지 않은 침출원수를 대상으로 하는 것으로 하였다(SLC, 2003). 침출수처리시설에 계열분리 운영방식을 도입할 경우, 전체 4개 계열중 폐수처리용 외에 2개 계열은 침출수 처리를 위해 사용 가능하나, 이 경우, 바이오리액터 매립장운영에 따른 질소와 염의 농축우려를 해소하는 장점이 있는 반면, 처리비 상승과 막오염의 우려는 오히려 커지는 문제가 있기 때문이다(Lee et al., 2011).

RO 시설의 규모는 바이오리액터 매립장의 운영시점과 그 방식에 영향을 받으며, RO의 회수율에 따른 농축액 발생량과 소화수 등 주입수 총량을 감안하여야 한다. 또한, 주입방식에 따라 체류시간이 달라지며(Christopher et al., 2012), 단회로를 통해 주입수가 단기간에 재배출될 경우 RO 시설의 규모가 커져야하는 문제가 있다. 따라서 바이오리액터 매립공법 도입시 매립장내부의 수리적인 해석과 모니터링을 통해 최적의 주입방식을 선택하고, 여기에 맞춰 RO 시설의 단계적 사업 추진시기와 그 규모를 조절하는 것이 바람직하다. 그러나 기본적으로 RO 시설과 바이오리액터 시설을 도입할 때는 종래의 매립장 사후관리방식을 보다 강화하여 우수침투를 최소화함으로써 물수지를 안정화 시킬 필요가 있다. 바이오리액터 공법으로 소멸 대상수를 처리할 경우 매우 경제적인 뿐 아니라, 극심한 매립장 내부 건조로 인한 폐기물의 생물분해 저하와 이에 따른 매립가스 발생량 감소 및 안정화 속도 저하라는 문제를 해소하는데 도움이 된다(Kim et al., 2012; Rhee et al., 2012; Triantafillopoulos et al., 2001). 처리해야할 물량은 Type3인 RO 농축수, 소화수, 대기오염방지설비 폐수 등 3종류로서, 2017년에 2,068톤/일로

최대치를 보이고 이후 유사한 수준이었다.

기존 연구결과 제2매립장에 적합한 주입정의 형태는 Fig. 6과 같았으나(SLC, 2011), 주입처리해야 할 주입수의 종류에 따라 고형물 농도와 점도가 다르므로 주입정 설계시 자갈층이나 유공주입관의 공극의 크기를 설계할 때 이점을 고려하거나, 또는 고탁도, 고점도의 소화수 등에 대해서는 screening이나 응집침전처리와 같은 별도의 후처리 후 주입하는 방안을 검토해야한다.

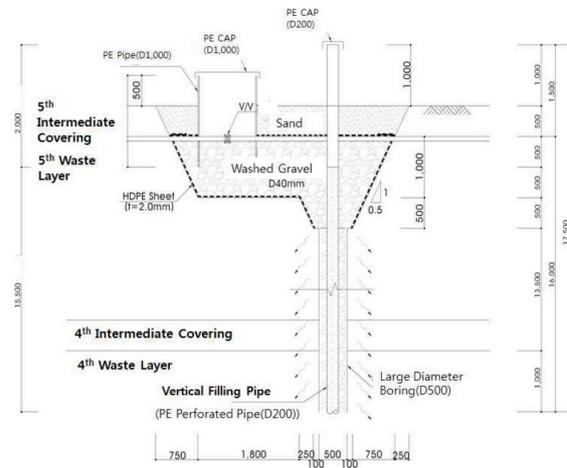


Fig. 6. Side elevation of injection well for bioreactor landfill

제2매립장을 대상으로 바이오리액터 매립장 도입을 위한 관련 연구결과, 초기 24 %의 수분함량에서 RO 농축액 320톤/일과 1,800톤/일의 소화수 주입을 가정하여 계산한 경우 10년 후 수분은 32.3 %로 증가되는 것으로 나타나 수리적인 안정성은 상당기간 문제가 없었다. 또한 Cl^- 를 지표로 하는 비반응성 물질의 매립장내 농도변화(Kjedsen et al, 2002), 검토결과, 초기 침출수가 3,278 $mgCl^-/L$ 일 때 상기의 주입조건에서 10년 후의 침출수 농도는 3,238 $mgCl^-/L$ 로서, RO 농축액 외에 소화수를 추가로 주입하는 경우에도 빗물의 유입과 내부 수분의 증가로 인해 실질적인 농도증가는 보이지 않았다(Chun, 2012).

Table 2. Grouping of waste water and leachate from SUDOKWON landfill site and their requested treatment techniques and facilities

Types	Type 1	Type2	Type 3	
Sorts	Waste water (Environmental energy town)	Leachate (1st, 2nd, 3th landfill)	① AWW ¹⁾ ② RO concentrate	FWW ²⁾
Quantity (ton/day)	3,000 ~ 3,700	2,500 ~ 3,000	900 ~ 1,200	845
Characteristics (mg/L)	Cl ⁻ under 100 COD 100 ~ 6,000 T-N 50 ~ 700	Cl ⁻ 2,500 ~ 3,800 SS 50 ~ 100 COD 1,000 ~ 1,500 T-N 1,000 ~ 1,700	① SO ₄ ²⁻ 31,000 ~ 39,000 ① NH ₄ ⁺ + over 7,500 ② Type2 × 3.5 ~ 4	Cl ⁻ 3,500 ~ 4,000 SS 3,500 ~ 14,000 COD 6,000 ~ 30,000 T-N 1,500 ~ 3,500
Treatment goal	Reduction(COD,T-N) Water recycling	Remove(Cl ⁻) Water recycling	Economical extinction	
Treatment facility	Leachate treatment facility(denitrification+ chemical coagulation)	(MF or UF) ³⁾ +RO · 1,015ton/day('15) · 2,200ton/day('16)	Bioreactor landfill (2nd landfill('15, '16))	
Usage of recycling water	Landscape architecture, street cleaning, etc.	Cooling water for power plant	Moisture supply for landfill waste	

- 1) Waste water from air pollution protection facility
2) Digester water of food waste water
3) Micro filtration, Ultra filtration for pre-treatment

Table 3. Annual treatment quantity by three kinds of facilities and production quantity of recycling water

Treatment facility	Kinds of water	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Total	Generation ¹⁾	5,049	5,005	5,373	6,385	7,589	7,417	7,200	
	Treatment ²⁾	5,326	5,282	6,679	7,115	8,542	8,298	7,988	
	Recycling water production	153	153	724	4,600	5,521	5,421	5,297	
Leachate treatment facility	Treatment	Sub-total	5,111	5,067	5,163	2,788	3,153	3,233	3,339
		Leachate	2,736	2,592	1,655	0	0	0	0
		Waste water	1,358	1,358	2,663	2,788	3,153	3,233	3,339
		Digester water	845	845	845	0	0	0	0
		RO concentrate	62	62	0	0	0	0	0
	AWW ³⁾	110	210	0	0	0	0	0	
	Water production(low qual.)	0	0	0	2,788	3,153	3,233	3,339	
RO	Treatment(leachate)	215 ⁴⁾	215	1,015 ⁵⁾	2,542 ⁶⁾	3,321	3,069	2,746	
	Water production(High qual.)	153	153	724	1,812	2,368	2,188	1,958	
Bioreactor	Treatment	Sub-total	0	0	501	1,785	2,068	1,996	1,903
		RO concentrate	0	0	291	730	953	881	788
		Digester water	0	0	0	845	845	845	845
		AWW	0	0	210	210	270	270	270

- 1) Total generation of leachate and all kinds of waste water
2) Treated quantity by leachate treatment facility, RO and bioreactor
3) Waste water from air pollution protection facility
4) RO demonstration facility(300ton/day)
5) Set up RO facility(800ton/day, recovery rate 71.3 %)
6) Set up RO facility(2,200ton/day, recovery rate 71.3 %)

이상 3가지 Type의 처리대상수와 이들에 대한 적용공법 및 필요한 처리시설 등을 정리하면 Table 2와 같다.

3.3 재활용수 생산량 및 변경된 처리체계

이상의 무방류시스템 구축을 위해 기존 처리 체계를 전면 변경할 경우, 처리시설별 처리수량과 이로부터 생산되는 재활용수는 Table 3과 같

았다. 기존 침출수처리시설은 단계적으로 폐수 처리시설로 전환되어 2016년부터는 재활용이 가능한 염도수준(250 mgCl⁻/L)이하로 처리수를 생산하게 되며, 생산량은 2016년부터 3,000톤/일 내외였다. 수질은 조경용수, 청소용수, 공정용수 등 저급수로 사용하는데 문제가 없었다. RO 생산수는 현재의 시범시설(300톤/일)부터 소량 생산되나, 전체 시설이 설치 완료되는 2016년부터 2,000톤/일 내외의 고급 재활용수가 본격적으로 생산되어 50 MW 발전소의 냉각용수로 공급이 가능했다(Park et al., 1997). Fig. 5의 연도별로 재활용수 소요량과 비교하면 고급 재활용수는 다소 생산량이 부족했으며, 반면 저급 재활용수는 충분히 공급할 수 있는 물량이었다.

아울러 지금까지 설명된 바와 같이, 무방류를 위해서 기존 수 처리 체계를 전면 재설계할 경우 변경된 수 처리 체계는 Fig. 7과 같다.

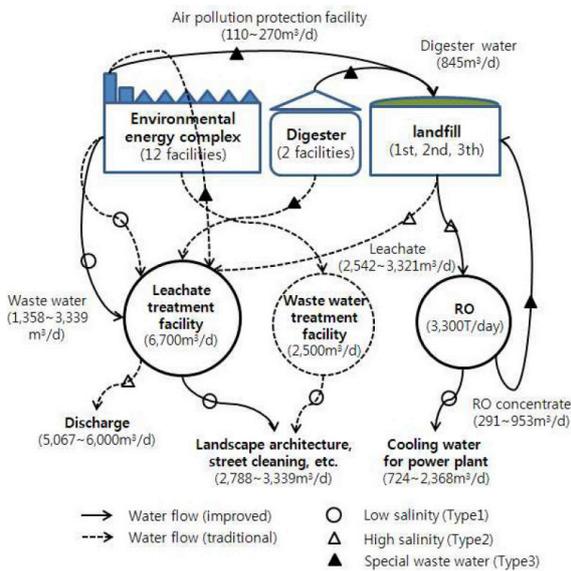


Fig. 7. System remodelling result for zero discharge system

3.4. 경제성 평가

Table 4는 기존의 수 처리체계를 그대로 유지할 경우와 본 연구에서 제시한 방법에 따라 무방류 방식으로 전환했을 경우의 2017년 기준 경

제성 평가결과이다. 기존 방식의 경우 Table 2의 Type1 ~ Type3의 처리 대상수를 침출수처리시설에 모두 병합처리 하는 방식이다. 이 경우 Type3의 오염물질 부하량으로 인해 6,000톤/일 이상의 처리는 문제가 있었다. 따라서 약 2,500톤/일 규모의 신규 폐수처리시설 건설이 필요한 것으로 판단되었다. 동 신규 처리시설의 처리수는 저급수로 모두 재활용이 가능한 것으로 하였다. 개선방식의 경우, 바이오리액터 매립장 운영에 따른 가스증산과 이로 인한 발전수익의 증대가 예상되고, 이외에도 무방류로 인한 간접적 이익은 대단히 크지만 계량화가 어려우므로 이 부분은 제외하였다. 즉, 비용부문은 시설의 설치비와 연간 운영비의 증감, 그리고 수익의 부분은 수돗물 절감액과 재활용수 판매수입의 두 가지 직접이익만을 계상하였다.

평가 결과에 의하면 Table 4와 같이 무방류 방식의 도입이 오히려 경제적으로도 유리하다는 결과를 얻었다. 즉, 건설·운영비중 직접이익을 감한 실 운영비에서 기존 방식은 연간 전체 수처리비가 18,129백만원인 반면, 무방류 방식은

Table 4. Economical evaluation between present treatment system and remodelled system for zero discharge

(unit : million won)

Evaluation item	Treatment system			
	Present	Remodeled		
Net cost(①-②)	18,129	15,789		
Construction ¹⁾ · operation cost (①)	Sub-total			
	RO	Construction	-	2,491
		Operation	-	2,658
	Bioreactor	Construction	-	1,595
		Operation	-	1,500
	New facility ²⁾	Construction	1,464	-
		Operation	2,512	-
	Leachate treatment facility		14,454	8,407
	Digestion facility		334	334
	Direct benefit (②)	Sub-total		
Cost saving(Tap water)		635	635	
Sales profit ³⁾		-	561	

1) Depreciation cost of 20 years was accounted
 2) New waste water treatment facility(2,500ton/day)
 3) 50 % of tap water unit cost was applied for recycling water

15,789백만원으로, 연간 2,340백만원의 비용이 절감될 수 있었다.

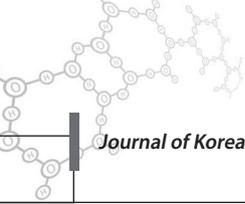
4. 결론

수도권매립지내 침출수와 환경에너지종합타운에서 발생하는 폐수 등을 무방류 하기 위한 기존 수 처리 체계의 개선방안에 대하여 연구했으며, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 수도권매립지 전체 배출수 총 발생량은 2017년도에 7,589톤/일으로 최대치에 이를 것으로 예상되었다. 용수 소요량은 2019년 기준 6,440톤/일로서 2012년의 약 1.65배에 달하게 되며, 용수 중 69.9%는 재활용수를 사용할 수 있는 것으로 분석되었다.
2. 무방류를 위해서는 모든 처리 대상수를 염도(Cl⁻) 등을 기준으로 총 3개의 유형으로 분리하고, 기존 침출수처리시설의 폐수처리시설로의 전환, RO와 바이오리액터 매립장 운영공법을 도입하여 상호연계 할 필요가 있었다.
3. 기존 수 처리체계를 전면 개선할 경우 2016년부터 무방류가 가능했고, 3,000톤/일 이상의 저급 재활용수와 2,000톤/일 내외의 고급 재활용수 생산이 가능하였다.
4. 종래의 방식과 개선된 방식간의 경제성 평가결과, 실 건설·운영비에 있어서 기존 방식은 전체 수 처리를 위해 18,129백만원/년, 개선방식은 15,789백만원/년으로 무방류방식이 경제적으로도 타당하였다. 즉, 단지의 특성을 잘 분석하여 기존시설과 신규 공법의 상호 연계적인 방식을 채택할 경우, 무방류 방식의 도입이 기술적으로도 가능할 뿐만 아니라, 반드시 고비용을 초래하지 않는다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- Christopher, A.B., Ronald, J.B., Craig, H.B., Morton, A.B., Tuncer, B.E. (2012) Deer Track Bioreactor Experiment: Field-Scale Evaluation of Municipal solid Waste Bioreactor Performance, *Am. Soc. Civ. Eng.*, DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000636, pp. 663-665.
- Chun, S.K. (2012) A Study on the Mass Balance Analysis of Non-Degradable Substances for Bioreactor Landfill, *Eviron. Eng. Res.*, 17(4), pp. 194-196.
- Jeong, C.H., Sim, Y.S., Kim, S.J., Park, C.H. (2003) Effect of Methylcellulose on the Nitrogen Removal of Low Organic Loadings in 2-stage Denitrification Process, *Korean Soc. W. Wastew.*, 17(6), p. 840.
- Kjedsen, P., Barlaz, M.A., Rooker, A.P., Baun, A., Ledin, A., Christensen, T.H. (2002). Present and long term composition of MSW landfill leachate—A review, *Crit. Rev. Env. Sci. Technol.*, 32(4), pp. 297-336.
- Kim, N.J., Chun, S.K. (2012) The Effect of Leachate and Organic Waste Water Injection on Decomposition Characteristics of Landfill Waste, *J. Korea Soc. Waste Manag.*, 29(8), pp. 700-701.
- Lee, C.H., Kim, Y.H., Jeon, M.J., Lee, Y.S., Jang, A., Kim, H.S. (2011) Comparison of physical cleaning applied to chemical backwashing of wastewater reuse membrane system, *Korean Soc. W. Wastew.*, 25(6), pp. 981-982.
- Ministry of Environment(MOE) (2009) Measure for waste resources and biomass energy - plan of execution, pp. 19-45.
- Park, H.K., Hyun, I.H., Park, C.H. (1997) A Conceptual Zero - Discharge System for Water Quality Management of the Nak - Dong River, *Korean Soc. W. Wastew.*, 11(2), pp. 45-47.
- Rhee, S.W., Ryu, D.S., Chun, S.K. (2012) Analysis of Leachate Characteristics and Landfill Gas Increase by the Injection of Leachate in Sudokwon Landfill, *J. Korea Soc. Waste Manag.*, 29(7), 634-641.



- Sudokwon Landfill Site Management Corp.(SLC) (2011) Field Proofing Research on Leachate Recirculation in Management Type Landfill, pp. 41-47.
- Sudokwon Landfill Site Management Corp. (2012) Research Service on the Propriety of Extending Leachate Treatment Facility and on General Planning, pp. v 1-38.
- Sudokwon Landfill Site Management Corp. (2003) Research Service on the Propriety of Introducing Bioreactor Landfill, pp. 93-109.
- Sudokwon Landfill Site Management Corp. (2003) Research Service on the Propriety of Leachate Reuse(R/O) and on General Planning, p. 135.
- Sudokwon Landfill Site Management Corp. (2009) Research Service on the Propriety of SU-DOKWON Waste Energy Town Construction Project, pp. 124-125, 139.
- Triantafillopoulos, A., Skordilis, A., Konstantakopoulos, K. (2001) Landfill behavior with leachate recirculation. In: Leachate and landfill gas, SARDINIA 2001 (II), pp. 115-121, Sardinia.