



실규모 연속유입간헐폭기 공정(ICEAS)에서 최적운전조건이 경제성에 미치는 영향

Economic implications of optimal operating conditions in a full-scale continuous intermittent cycle extended aeration system (ICEAS)

정용재¹ · 최윤성² · 이승환^{3,*}
Yong-jae Jeong¹ · Yun-Seong Choi² · Seung-Hwan Lee^{3,*}

¹에코비트워터(김천사업소)

²에코비트워터(거창사업소)

³금오공과대학교 환경공학과

¹*Ecorbit Water(Gimcheon works)*

²*Ecorbit Water(Geochang works)*

³*Department of Environment Engineering, Kumoh National Institute of Technology*

ABSTRACT

Wastewater management is increasingly emphasizing economic and environmental sustainability. Traditional methods in sewage treatment plants have significant implications for the environment and the economy due to power and chemical consumption, and sludge generation. To address these challenges, a study was conducted to develop the Intermittent Cycle Extended Aeration System (ICEAS). This approach was implemented as the primary technique in a full-scale wastewater treatment facility, utilizing key operational factors within the standard Sequencing Batch Reactor (SBR) process. The optimal operational approach, identified in this study, was put into practice at the research facility from January 2020 to December 2022. By implementing management strategies within the biological reactor, it was shown that maintaining and reducing chemical quantities, sludge generation, power consumption, and related costs could yield economic benefits. Moreover, adapting operations to influent characteristics and seasonal conditions allowed for efficient blower operation, reducing

Received 10 November 2023, revised 2 February 2024, accepted 5 February 2024.

*Corresponding author: Seung-Hwan Lee (E-mail: dLee@kumoh.ac.kr)

1 정용재 (팀장) / Yong-jae Jeong (Team Leader)

경상북도 김천시 공단로 58, 39559
61, Gongdan-ro, Gimcheon-si, Gyeongsangbuk-do 39559, Republic of Korea

2 최윤성 (팀장) / Yun-seong Choi (Team Leader)

경남 거창군 거창읍 심소경길 185, 50126
185, Simsojeong-gil, Geochang-eup, Geochang-gun, Gyeongsangnam-do, 50126, Republic of Korea

3 이승환 (정교수) / Seung-Hwan Lee (Professor)

경상북도 구미시 대학로 61, 39177
61, Daehak-ro, Gumi-si, Gyeongsangbuk-do 39177, Republic of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

pp. 001-015

pp. 017-027

pp. 029-038

unnecessary electricity consumption and ensuring proper dissolved oxygen levels. Despite annual increases in influent flow rate and concentration, this study demonstrated the ability to maintain and reduce sludge production, electricity consumption, and chemical usage. Additionally, systematic responses to emergencies and abnormal situations significantly contributed to economic, technical, and environmental benefits.

Key words: Cost analysis, Intermittent input, Intermittent aeration, Process renovation

주제어: 원가분석, 유입수 분할주입, 간헐폭기, 공정개선

1. 서 론

하수 처리 시스템에서 경제 및 환경적 지속가능성에 대한 관심이 높아지고 있다(Baserba et al., 2018). 기존의 하수처리장의 공법들은 약품사용량, 전력사용량, 슬러지 발생량과 관련하여 환경 및 경제에 상당한 영향을 미친다(Kamble et al., 2019). 영양염류제거 공정에서 연속회분식반응조(SBR)와 혐기/호기공정 등이 유기물과 질소를 제거 목적으로 사용되어 왔다.

폭기와 침전단계가 동일반응조 내에서 이뤄지고 반응단계에서 슬러지 유실이 없으므로 포기조의 MLSS 양을 유지하기 위하여 최종침전지로 부터의 반송이 필요 없기 때문이다. 그러나, 이들 시스템은 많은 제한요소를 가지고 있다. 즉, 기존 SBR의 경우 소규모 하·폐수처리장에 적합하다는 이점에도 불구하고 일정한 유입 패턴이 존재하므로 생활하수나 연속적으로 가동되는 공장의 폐수를 처리하고자 할 때는 여러 개의 반응조를 병렬로 구성하여 사용하거나 여분의 유량조를 설치해야 한다는 것이다(Kim et al., 2002). 따라서, 반응조 내의 공정시간 조절이 중요하게 작용하게 된다. 또한 SBR공정의 처리효율을 높이기 위하여 유기물 부하변동, 호기와 혐기단계의 시간조절, 반복 회수의 조절 등 운영 Cycle을 적절히 변화시켜 유기물 및 질소, 인 등을 효율적으로 제거함으로써 각 지역에 적합한 오수처리 시스템을 구축할 수 있는 장점을 가지고 있다.

전형적인 SBR과 같이 ICEAS(Intermittent Cycle Extended Aeration system)는 시간에 의해서 조절되는 공정이며, 유량 균등에 의하여 모든 단계는 동일한 반응조에서 생물학적 산화, 질산화, 탈질, 그리고 고액분리가 이루어진다 (Lee, 2005).

2. 재료 및 실험방법

2.1 ICEAS 공법 개요

ICEAS공법은 한 개의 반응조를 이용하는 동안에 하수의 유입을 계속할 수 있는 시스템으로 표준 SBR의 기술을 도입하여 수정 및 보완시킴으로써 보다 진보된 공정으로 개선 시켰다(Lim et al., 2019). ICEAS는 처리수 유출 동안에도 수리학적 선회류 없이 유입수가 반응조로 계속해서 유입될 수 있도록 되어있다. 이와 같이 선회류를 방지하기 위하여 Pre-React Zone와 Main Chamber 사이에 배플벽을 설치하는데 이 전처리 반응조의 크기는 전체 반응조 크기에 대하여 약 12%에서 15%를 차지한다. Fig. 1(Jeong et al., 2023).에서 나타내듯이 하수는 전처리 반응조로 연속으로 유입되어 배플벽 바닥의 웨어로 통과되어 주 반응조 바닥에 있는 슬러지 블랭킷 속으로 유입된다. 슬러지 블랭킷 속에 있는 미생물들은 침전과 처리수 유출 동안에도 BOD₅를 흡수한다 (Yeon, 2006; Kim and Jeon, 2002). 이렇게 유입된 하수는 주 반응조에서 폭기 On-Off를 거쳐 침전과 처리수 유출과정을 통해 질산

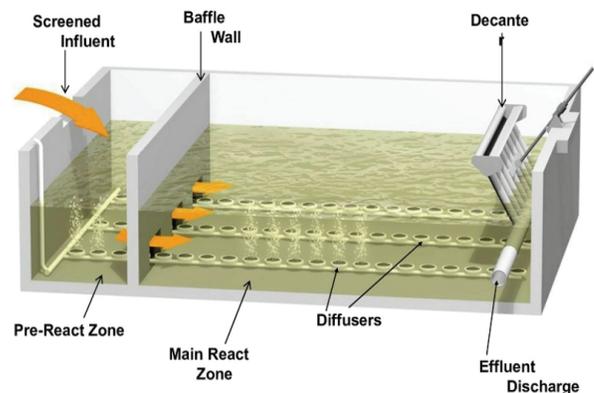


Fig. 1. ICEAS Reactor description.



화, 탈질 및 탈인 그리고 유기물의 산화가 전반적으로 이루어진다. 주 반응조는 연속해서 유입되는 원수를 처리할 수 있도록 유량 조정조의 역할도 가지고 있다.

2.2 경제성 및 수질분석방법

본 연구에서는 우선적으로 최적운전 방안을 연구하고 도출된 최적인전방안 결과를 적용하여 년도별 사용량과 소요비용을 하수도 통계를 활용하여 최적인 운영 방안 적용 운전 전과 후 경제성에 미치는 효과를 비교 연구하였다. 하수처리장의 운영현황 자료는 하수도 통계연감(MOE)을 활용하였다. 수질시험을 위한 유입수 및 방류수는 연구대상시설 내에 있는 유입분배조와 최종방류구에서 일 1회 채수하여 2018년 1월부터 2022년 12월까지 BOD와 5개 항목을 공정시험법에 의해 분석되었다. 2018년부터 2020년까지는 COD분석을 하였고 2021년부터는 TOC분석으로 변경하여 분석하였다. Table 1은 수질 분석 항목 및 분석 방법을 나타내고 있다.

2.3 ICEAS 처리공정도

Fig. 2(Jeong et al., 2023).에서는 ICEAS의 처리공정도를 나타내고 있다. 본 ICEAS 공법 연구대상 처리시설은 주요 수처리 방법으로서 분류식 하수배제방식을 사용하고 있다.

주요공정을 ICEAS와 총인처리시설(가압부상)로 구성되어 있다. 발생한 슬러지는 기계식으로 탈수를 하여 인근 G처리장으로 이송하여 처리하고 있다. 시설 용량 2,150m³/day이고 계획하수량은 일 평균 1,404m³/day이며 일 최대하수량 2,150m³/day 시간최대 하수량은 2,592m³/hr이다.

2.4 ICEAS 가동률

Fig. 3은 설계유량 대비 유입량 및 가동률을 보여주고 있다. 2018년과 2019년에는 60.6%, 60.7%로 거의 같은 가동률을 보였고, 2020년부터 유입유량의 증가로 가동률도 매년 상승 운영되었다. 가동률의 정상가동범위는 약 70~80% 수준이나 ICEAS의 가동률은 정상 가동범위보다 낮은 약 70% 이하의 가동률을 나타내고 있다.

Table 1. Analytical parameters and methods of analysis

Parameters	Analysis methods
BOD	ES 04305.1c / ES 04308.2c
CODMn	ES 04315.1b
TOC	ES 04311.1c
SS	ES 04303.1b
T-N	ES 04363.1a
T-P	ES 04362.1c

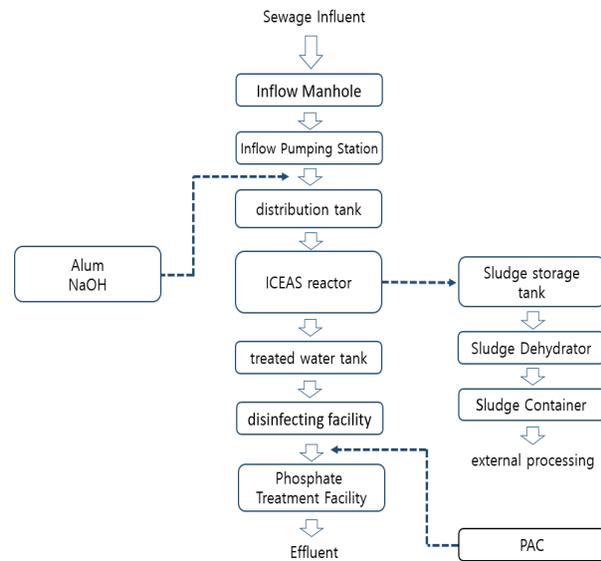


Fig. 2. Schematic diagram of sewage treatment plant adopted ICEAS process.

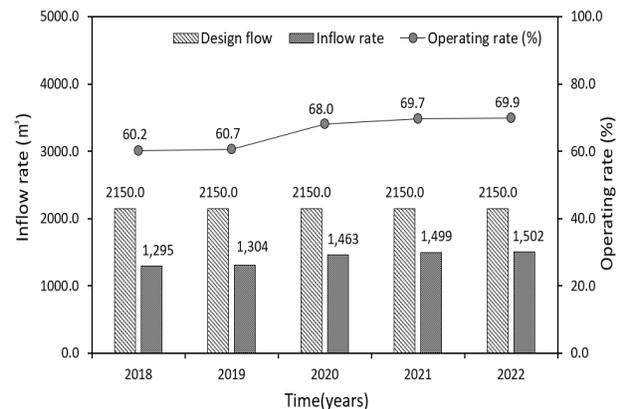


Fig. 3. Inflow rate and Operating rate compared to design flow rate of ICEAS.

pp. 001-015

pp. 017-027

pp. 029-038

2.5 ICEAS 유입 및 방류농도

Table 2는 ICEAS의 유입 및 방류량을 나타내고 있다. ICEAS의 2018년에 유입하수량은 일평균 1,295m³/day로 나타났으며 2022년에는 1,502m³/day로 매년 꾸준히 증가하는 추세를 나타냈다. 2019년 일평균 유입량은 1,304m³/day이며, 최대유입량 2,495m³/day, 일 최소 954m³/day으로 운영되었다.

유입량은 2018년에는 1,295m³/day, 2019년 1,304m³/day로 거의 같은 유입량을 나타냈고, 2020년에는 1,463m³/day로 전년 대비 약 11%의 증가율을 보였으며, 2022년에는 1,502m³/day의 유입량을 나타내었다. 해가 갈수록 유입 유량은 꾸준한 증가 추세를 나타내고 있다 (MOE, 2019~2023).

Table 3은 ICEAS 유입 및 방류량의 농도를 나타내고 있다. BOD는 2018년에는 125.6 mg/L로 나타났으며 2019년에 140.4 mg/L, 2020년에는 141.4 mg/L, 2021년에는 149.5 mg/L, 2022년에는 172.3 mg/L으로 나타났다. 매년 BOD농도는 상승하는 모습을 나타내었다.

COD(TOC)는 2018년에는 86.9 mg/L로 나타났으며 2019년 103.5 mg/L, 2020년에는 109.1 mg/L로 나타났다. 2021년부터 분석항목이 COD에서 TOC로 변경된 후 2021년에는 55.9 mg/L, 2022년에는 67.6 mg/L로 농도가 하락하는 모습을 나타냈다. SS농도는 2018년에는 100.3 mg/L로 나타났으며 2019년 145.7 mg/L, 2020년에는 139.6 mg/L로 소폭 하락하는 모습을 나타내었다. 2021년에는 159.6 mg/L, 2022년에는 168.1 mg/L로 상승하는 모습을 나타내었다.

TN농도는 2018년에는 28.673 mg/L, 2019년 31.392

mg/L, 2020년에는 32.283 mg/L, 2021년에는 38.116 mg/L로 매년 상승하는 모습을 보였다. 2022년에는 36.073 mg/L으로 소폭 하락하는 모습을 나타내었다.

TP농도는 2018년 3.328 mg/L, 2019년에 3.552 mg/L로 농도가 상승하다가 2020년에는 3.134 mg/L로 하락하는 모습을 나타내었다. 2021년에는 3.201 mg/L, 2022년에는 3.273 mg/L로 농도가 다시 상승하는 모습을 나타냈다.

COD 외 모든 항목의 유입농도는 2018년 이후 매년 증가하는 추세를 나타내었다 (MOE, 2019~2023).

3. 결과 및 고찰

3.1 전력비용 운영단가분석

Fig. 4는 ICEAS의 5년간 전력비 운영단가를 나타내고 있다. 5년간 전력비 운영단가를 분석한 결과 160.8 원/kW로 나타났으며, 가동율이 높을 수록 운영단가가 낮은 것으로 확인되었다.

2018년 173.3원/kW, 2019년에는 전력비 단가가 198.5원/kW으로 높은 단가를 보이다가 가동률이 높아지면서 2020년에는 136.8원/kW, 2021년에는 128.6원/kW으로 평균단가가 5년간 전력 운영단가 평균보다 낮아졌다.

2022년에는 전력비 단가상승으로 인해 166.6원/kW의 단가를 나타내고 있다. 적정가동율 확보 및 시설 안정화가 되면 전력비 운영단가가 비슷한 수준에서 유지되거나 완만히 증가하는 추세가 예상된다.

Table 2. Influent and effluent flowrate at research facility

Parameters	Units	Influent				
		2018	2019	2020	2021	2022
Minimum flow	m ³ /day	921	954	1,061	1,108	908
Maximum flow	m ³ /day	2,418	2,495	2,324	2,362	2,290
Average flow	m ³ /day	1,295	1,304	1,463	1,499	1,502
Parameters	Units	Effluent				
		2018	2019	2020	2021	2022
Minimum flow	m ³ /day	893	829	940	1,010	779
Maximum flow	m ³ /day	2,497	2,402	2,303	2,320	2,198
Average flow	m ³ /day	1,268	1,266	1,414	1,455	1,461



Table 3. Influent, effluent characteristics and removal rate of ICEAS

Parameters	Units	Characteristics of influent				
		2018	2019	2020	2021	2022
BOD	mg/L	132.6	140.4	141.4	149.5	172.3
COD(TOC)	mg/L	103.9	103.5	109.1	(55.9)	(67.6)
SS	mg/L	141.3	145.7	139.6	159.6	168.1
TN	mg/L	30.673	31.392	32.283	38.116	36.073
TP	mg/L	3.228	3.052	3.134	3.201	3.763
Parameters	Units	Characteristics of effluent				
		2018	2019	2020	2021	2022
BOD	mg/L	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0
COD(TOC)	mg/L	5.4	5.7	6.3	(5.9)	(5.2)
SS	mg/L	3.0	3.8	3.8	4.1	3.8
TN	mg/L	2.365	4.858	3.245	4.564	4.818
TP	mg/L	0.145	0.141	0.140	0.144	0.127
Parameters	Units	Annual removal efficiency				
		2018	2019	2020	2021	2022
BOD	mg/L	99.1	99.2	99.2	99.3	99.4
COD(TOC)	mg/L	94.8	94.5	94.2	(89.4)	(92.3)
SS	mg/L	97.9	97.4	97.3	97.4	97.7
TN	mg/L	92.3	84.5	85.9	88.0	86.6
TP	mg/L	95.5	95.4	95.5	95.5	96.6

※ Analysis of COD changed to TOC from January 2021

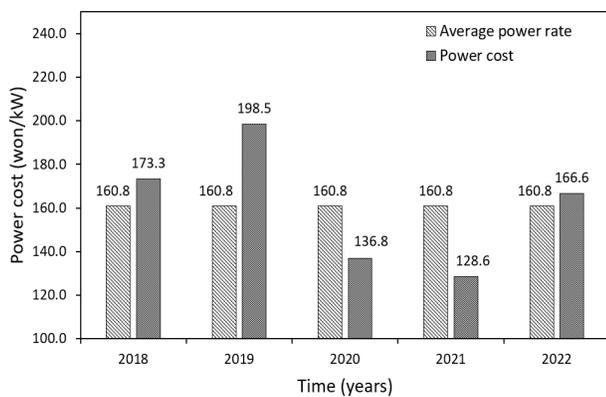


Fig. 4. Unit power cost of ICEAS.

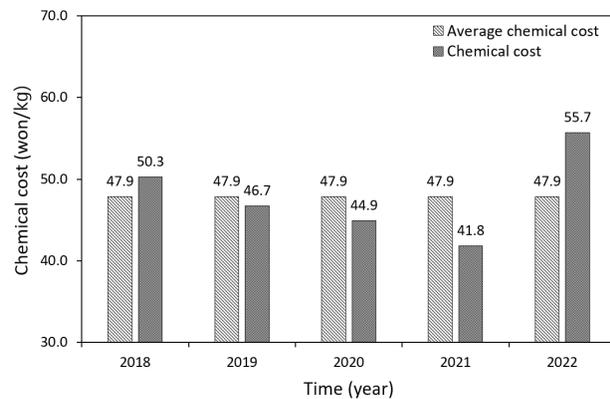


Fig. 5. Chemical consumption unit price of ICEAS.

3.2 약품비용 운영단가분석

Fig. 5는 ICEAS의 5년간 약품비용 운영단가를 분석을 나타내고 있다. 5년간 약품비용 운영단가 결과 평균 단가는 47.9원/kg으로 나타났다. 2018년에는 50.3원/kg

으로 나타났으며 2019년에는 46.7원/kg, 2020년 44.9원/kg, 2021년 41.8원/kg으로 감소 추세를 나타내었으나 2022년에는 55.7원/kg으로 21년 대비 약 25%가 상승하였다.

ICEAS의 운영관리비에서 사용되는 약품비는 탈수기 응집제가 가장 많은 비중을 차지하였으며, 그 외 총인처리시설에서 사용하는 응집제가 탈수기 응집제 다음으로 많은 비중을 차지하였으며, 그 외 고농도의 하수가 유입될 때 사용하는 alum과 탈취기에서 사용하는 소독제, 탈취제 및 기타 약품 순으로 비중이 구성되어 있다.

3.3 슬러지처리비용 운영단가분석

Fig. 6은 ICEAS의 5년간 슬러지처리비용 운영단가를 나타내고 있다. 최근 5년간 슬러지처리비를 분석 결과 슬러지처리비용 운영평균 단가는 29.4원/ton로 나타났으며, 2018년에는 32.0원/ton, 2019년에는 28.9원/ton으로 나타났다. 2019년 28.2원/ton, 2021년 27.7원/ton으로 2018년 이후 감소하는 추세를 나타내었다. 2022년 30.1원/ton으로 2021년 대비 약 8%가 상승하였다.

2018년부터 2022년까지 비슷한 슬러지처리비용 운영단가를 나타내고 있다. 슬러지 처리시설(건조, 소각)이 있는 경우 처리비용이 낮은 것으로 나타났으나, 매립 혹은 외부 위탁처리를 하는 경우 단가가 지속적으로 증가하는 것으로 보인다.

3.4 약품사용량 및 사용금액변화

Table 4는 ICEAS 약품 단가를 나타내고 있다. PAC는 2018년에는 360원/kg, 최적운영방안 연구기간인 2019년 368원/kg, 2020년과 2021년에는 383원/kg으로 약품단가는 15원/kg으로 소폭상승 하였고, 2022년에는 원자재 값의 상승으로 인해 약품 단가가 458원/kg으

로 2021년 대비 약 16.4%로 큰 폭으로 상승하였다.

Alum단가도 2019년에는 420원/kg, 2020년과 2021년에는 437원/kg이었으나, 2022년도에는 전년 대비 약 9%상승한 480원/kg으로 나타났다. NaOH단가도 매년 소폭의 상승세를 나타내었다. 다른 응집제와 약품에 비해 Polymer 단가는 2018년, 2019년도에 2,920원/kg으로 동일가격을 유지하였고, 2020년 2,700원/kg, 2021년 2,660원/kg, 2022년에는 2,600원/kg으로 2020년부터 2022년까지는 매년 소폭의 하락세를 나타내었다(MOE, 2019~2023).

Fig. 7은 ICEAS 약품사용금액 및 사용량을 나타내고 있다. 약품사용금액은 2018년에는 23,773천원/kg, 최적운영방안 연구기간인 2019년에는 24,233천원/kg으로 소폭 상승하다가 2020년에는 24,036천원/kg으로 2021년에는 22,898천원/kg으로 감소 추세를 보였다. 2022년에는 29,743천원/kg으로 사용금액이 큰 폭으로 상승했다.

약품사용량도 2018년에는 40,982 kg, 최적방안을 연구한 2019년에는 47,799 kg로 14.26%가 큰 폭으로 상승하였다. 2020년에는 47,458 kg로 0.7%가 감소하였고, 2021년 46,474 kg로 2.1%가 감소하는 추세를 보였고,

Table 4. Coagulant and chemical unit price of ICEAS

Parameters	Units	2018	2019	2020	2021	2022
PAC	won/kg	360	368	383	383	458
Alum	won/kg	390	420	437	437	480
NaOH	won/kg	1,100	1,260	1,280	1,310	1,357
Polymer	won/kg	2,920	2,920	2,700	2,660	2,600

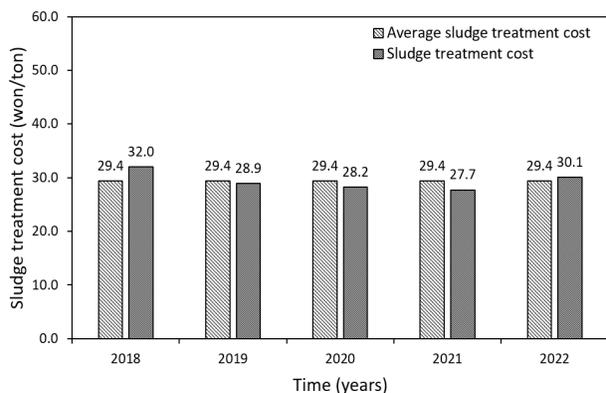


Fig. 6. Unit cost of sludge treatment of ICEAS.

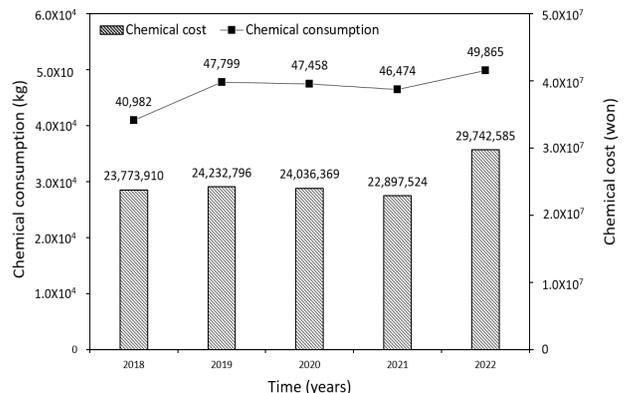


Fig. 7. Cost and consumption of chemicals of ICEAS.



지만, Table 3의 유입농도를 보면 모든 수질측정항목의 농도가 증가하는 추세를 확인할 수 있다. 고농도로 유입된 하수와 유입량의 증가로 인해 반응조 전단에서의 alum의 사용량의 증가와 후단 공정에 있는 총인 처리시설에서 PAC 사용량 증가로 2022년에는 49,865 kg로 6.9%의 약품사용량이 증가하였다 (MOE, 2019~2023).

3.5 슬러지 발생량 및 처리금액변화

Fig. 8은 ICEAS 슬러지처리비 및 발생량을 나타내고 있다. ICEAS는 탈수된 슬러지는 매립이나 위탁처리 하지않고 인근 G처리장에 있는 슬러지 건조시설로 운반하여 처리하고 처리된 슬러지는 퇴비화하거나 시멘트 첨가재로 재활용을 하고 있다.

그래서 슬러지 처리비용은 소비되지 않고 G처리장의 슬러지건조시설로 운반 시 발생하는 운반비만 처리비용으로 포함되어 있다. 슬러지 운반비 단가는 2018년부터 2022년까지 35,000원/ton으로 동일하다.

슬러지 처리비는 Fig. 8에서 나타나듯이 2018년에는 15,139천원/ton, 최적운영방안 연구기간인 2019년에는 15,154천원/ton으로 거의 같은 슬러지처리금액이 사용되었다.

슬러지 발생량은 2019년에는 396.25 ton, 2020년 392.20 ton, 2021년에는 392.95 ton으로 약 0.8%의 슬러지발생량 감소가 되었으나, 2022년에는 슬러지발생량이 460 ton으로 2021년 대비 약 16%가 큰 폭으로 상승하였다 (MOE, 2019~2023).

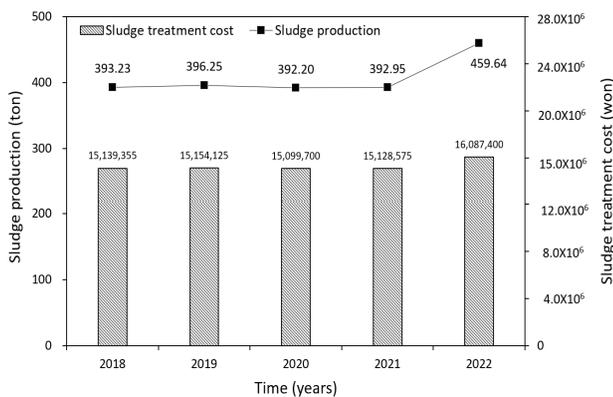


Fig. 8. Sludge production and treatment cost of ICEAS.

3.6 전력사용량 및 사용금액변화

Table 5는 5년간의 전력비 단가를 보여주고 있다. 2018년에는 120.56원/kW였고 최적운영방안 연구기간인 2019년부터 2021년까지는 소폭의 감소세를 보이다가 2022년에는 약 15% 이상 상승한 139.54원/kW으로 큰 폭으로 인상된 전력비 단가를 보여주고 있다.

Fig. 9는 ICEAS 전력사용비 및 전력사용량을 나타내고 있다. 최적 운영방안 연구기간인 2019년에는 전력사용비가 94,484천원/kW, 2020년 73,276천원/kW, 2021년에는 70,387천원/kW로 약 34%가 큰 폭으로 감소하다가 2022년에는 전력비의 단가상승과 전력사용량 증가로 2021년 70,387천원/kW에서 2022년에는 88,916천원/kW으로 약 21%의 전력사용비가 큰 폭으로 상승하였다. 전력사용량은 2018년은 695,044 kW, 2019년에 587,325 kW로 약 16.7% 감소하였고, 2020년에는 613,100 kW로 약 4.2%증가 했다. 그러나 2021년 597,276 kW로 다시 2.7% 감소했다.

특히 2022년에는 전력사용량이 684,328kW로 2021년 대비 사용량이 12.7% 증가하였다 (MOE, 2019~2023). 2019년 최적운영방안 연구결과 적용 후 사용량은 2018년 이후 전기사용량은 감소하였으나, 매년 ICEAS의 하수유입량이 증가되었으며, 유입되는 하수

Table 5. Power cost per unit

Units	Power cost per unit				
	2018	2019	2020	2021	2022
won/kW	120.56	120.02	119.31	118.11	139.54

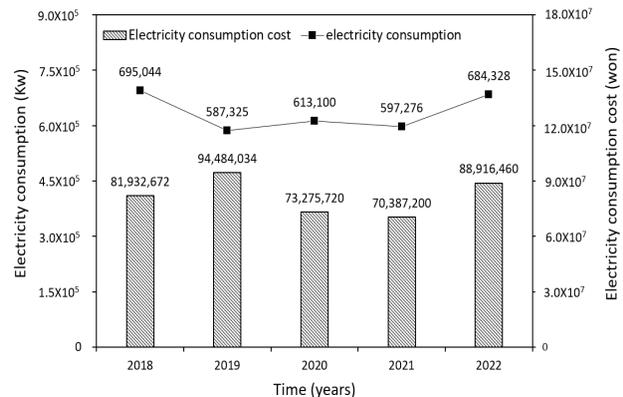


Fig. 9. Power consumption and cost of ICEAS.

농도의 상승으로 송풍기 가동시간의 증가로 전력사용량이 증가한 것으로 판단된다.

3.7 계절별 사용량 및 발생량 변화

Fig. 10 ICEAS의 영향 및 계절별 조건에 따른 사용량 및 발생량 변화를 나타내고 있다. (A) 전기사용량은 연평균 사용량이 평상 시 전기사용량보다는 조금

상승하는 모습이 나타났다. 하절기에 전기를 가장 많이 사용하는 것으로 나타났다.

하절기 전기사용량이 증가한 이유는 2021~2022년 1~5월과 6~9월을 비교하였을 때 하수유입 유량이 13~18% 증가되어 생물반응조의 적정 DO 5.0 mg/L를 유지 및 운전하기 위하여 송풍기 가동시간을 늘려 운전하였기 때문에 전력량이 증가하는 모습을 나타내고 있다.

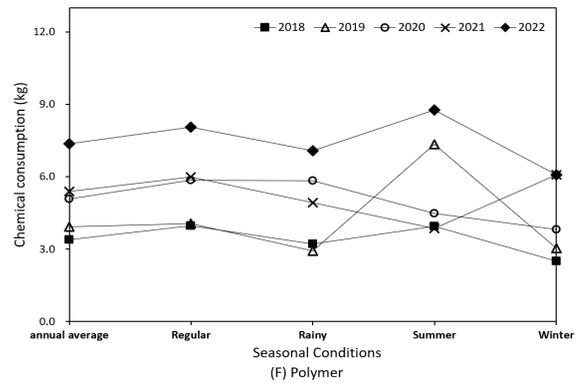
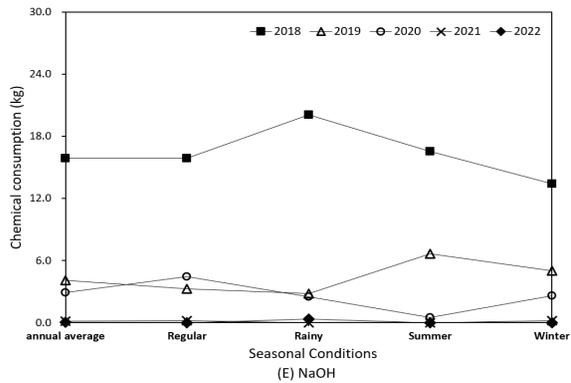
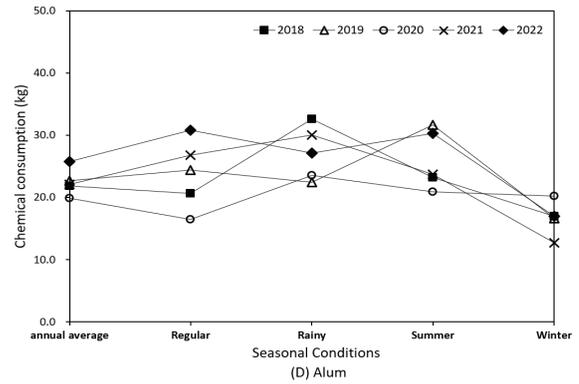
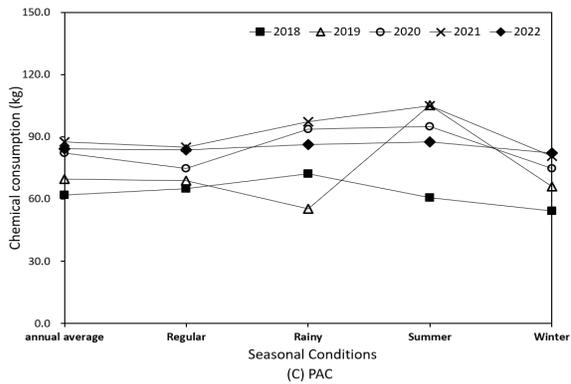
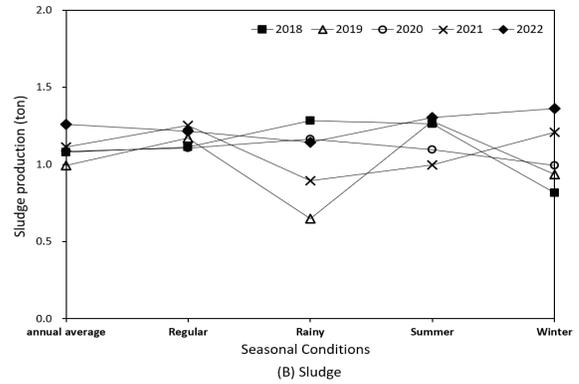
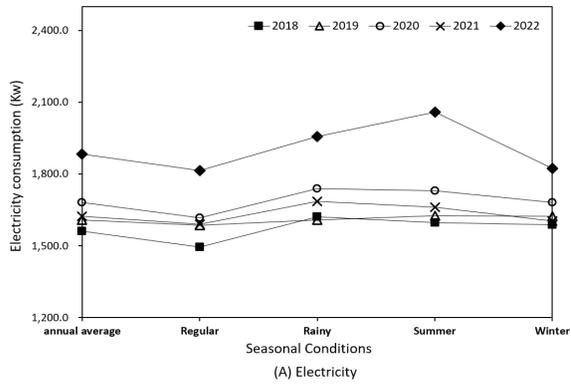


Fig. 10. Changes in usage and generation according to the effects of ICEAS and seasonal conditions.



(B) 슬러지 발생량은 연평균과 평상시에는 비슷한 발생량을 나타내었다. 우수시와 하절기에 전기사용량이 가장 많은 것으로 나타났으며, 겨울철에는 슬러지 발생량이 감소하는 모습을 나타내었다.

(C) PAC는 연평균과 평상시에는 비슷한 사용량을 나타내었으며, 우수시와 하절기에 PAC의 사용량이 증가하는 모습을 나타내었다. 동절기에는 PAC의 사용량이 감소하는 모습을 나타내었다.

(D) Alum은 연평균 alum의 사용량은 평상시 보다 사용량이 증가하였으며, 우천 시에도 alum 사용량이 증가하였다. 하절기와 동절기에는 사용량이 감소하는 모습을 나타내었다.

(E) NaOH의 사용량은 년 평균은 NaOH의 사용량은 평상시 보다 조금 사용량이 증가하였으며, 우천시에도 NaOH 사용량이 증가하였다. 하절기와 동절기가 되면서 사용량이 감소하는 모습을 나타내었다.

(F) Polymer의 사용량은 연평균 Polymer 사용량보다 평상시 polymer 사용량이 조금 증가하였으며, 우천시에는 polymer 사용량이 감소하는 모습을 나타내었다. 하절기에는 다시 polymer의 사용량이 증가하였다가 다시 동절기에는 polymer 사용량이 감소하는 모습을 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 표준 SBR공법에서 개선된 연속유입 간헐폭기공정인 ICEAS공법을 주요공법으로 운영하는 실규모 하수처리시설에서 성능 및 주요공정의 기능을 살펴보고 최적 운영범위를 연구(Jeong et al., 2023)하였으며, 도출된 최적 운영범위를 연구대상시설에 적용 및 운전하여 약품사용량, 슬러지 발생량, 전력사용량(MOE, 2019~2023)에 미치는 경제적 영향을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 2018년부터 2022년 12월까지 A처리장은 매년 유입유량과 유입농도가 상승하고 있으며, 가동률 또한 매년 소폭 상승하는 추세를 나타내고 있었다. 특히 2020년에는 전년 대비 약 11%의 증가율을 기록하였다 (MOE, 2019~2023).
2. 응집제 및 약품의 단가는 연간 상승하였고, 특히 2022년에는 PAC가 2021년 대비 16.4% 상승했다.

또한 2022년에는 약품사용비가 약 23%, 약품사용량은 7% 증가하였으며, 2019년부터 2021년까지의 전력사용비는 약 34% 큰 폭으로 감소했으나, 2022년에는 전력사용비가 21% 큰 폭으로 상승했고, 전력사용량은 2018년 대비 2021년에는 16% 감소했다 (MOE, 2019~2023).

3. 슬러지 발생량은 2019년부터 2021년까지 안정적이었지만, 2022년에는 2021년 대비 16% 상승했다. 이는 매년 하수유입량이 증가하며, 유입되는 하수농도의 상승으로 인한 약품사용량의 증가로 슬러지 발생량 및 처리량이 늘어난 것으로 판단된다.
4. 실규모 하수처리장의 ICEAS 최적운영방안 연구 결과를 적용하면 유입농도 및 유량의 변동, 우천시, 계절별 운전 등 다양한 상황에서 전기 및 약품사용량, 슬러지 발생량에 미치는 영향을 확인할 수 있었다. 또한 최적운영방안을 적용하면 운영비를 유지 및 감소시켜 경제적인 효과를 얻을 수 있었다.

사 사

본 연구는 국립금오공과대학교 대학 연구 과제비로 지원되었음(2022~2023).

References

- Baserba, G., Vinardell, M., Molinos-Senate, S., Rosso, D., and Poch, M. (2018). The economics of wastewater treatment decentralization: a techno-economic evaluation, *Environ. Sci. Technol.*, 52, 8965-8976.
- Jeong, Y.J., Choi, Y.S., and Lee, S.H. (2023). Optimal Operational Method and Performance Evaluation of Continuous Inflow Intermittent Explosion Process in Full-Scale Sewage Treatment Plant, *KSWST J. Water Treat.*, 31(5), 249-260.
- Kim, H.S. and Jeon, S.J. (2002). Model of Organic and Nitrogen Behavior in Intermittent Aeration System with Continuous Inflow, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 16(5).
- Kamble, S., Singh, A., Kazmi, A., and Starkl, M. (2019). Environmental and economic performance evaluation of municipal wastewater treatment plants in India: a life cycle

- approach, *Water Sci. Technol.*, 79, 1102-1112.
- Korea Ministry of Environment(MOE). (2019). 2018 Statistics of Sewerage.
- Korea Ministry of Environment (MOE). (2020). 2019 Statistics of Sewerage.
- Korea Ministry of Environment (MOE). (2021). 2020 Statistics of Sewerage.
- Korea Ministry of Environment (MOE). (2022). 2021 Statistics of Sewerage.
- Korea Ministry of Environment (MOE). (2023). 2022 Statistics of Sewerage.
- Lee, J., Yang, J.S., Kim, H.J., Baek, K., and Yang, J.W. (2005). Simultaneous removal of organic and inorganic contaminants by micellar enhanced ultrafiltration with mixed surfactant, *Desalination.*, 184, 395-407.
- Lim, H.S., Yang, J.G., Bae, J.S., Lee, J.R., Heo, D.H., and Ahn, G.W. (2019). Establishment of TOC Effluent Standard on the Leachate in Waste Landfill, *Korean Soc. Environ. Technol.*, 20(5), 114-120.
- Yeon, P.H. (2006). Effect of the Operation Mode and Packing Media on the Performance of SBR Process. Master Thesis, Kwandong University, Korea.