



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

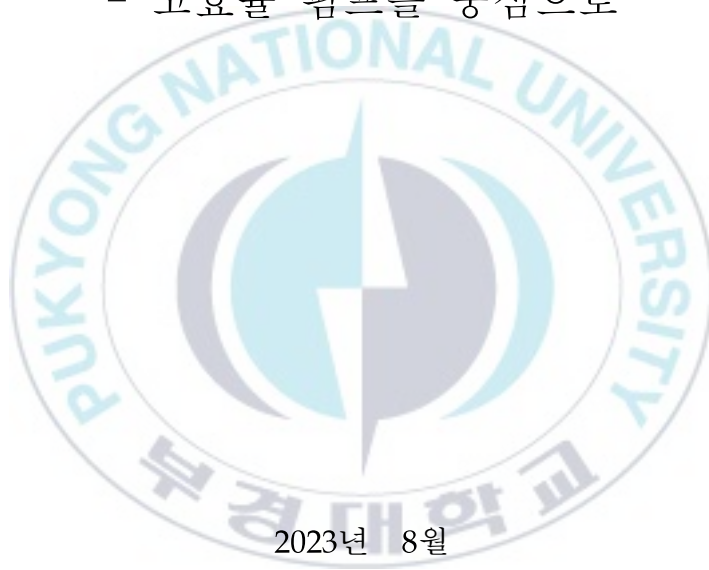
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

정수처리시설 에너지 절감 방안 및 경제성 분석 연구

- 고효율 펌프를 중심으로



2023년 8월

부경대학교 산업대학원

전기공학과

하 선 영

공학석사 학위논문

정수처리시설 에너지 절감 방안 및 경제성 분석 연구

- 고효율 펌프를 중심으로

지도교수 박 창 현

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함.

2023년 8월

부경대학교 산업대학원

전기공학과

하 선 영

하선영의 공학석사 학위논문을 인준함.

2023년 8월 18일



주 심 공학박사 우 경 일



위 원 공학박사 고 영 중



위 원 공학박사 박 창 현



목 차

표목차	iii
그림목차	v
논문요약	vi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경	1
1.1.1 기후위기 대응의 필요성	1
1.1.2 에너지 비용 상승	2
1.1.3 정부 정책 및 규제	3
1.1.3.1 국내 온실가스 목표 감축량 및 탄소 배출권 거래제	3
1.1.3.2 고효율 모터 시장 및 최저소비효율기준(MEPS)	5
1.2 연구의 필요성 및 목적	6
1.2.1 정수처리시설 특성 및 문제점	6
1.2.2 연구의 목적	9
1.3 연구의 범위 및 방법	10
제 2 장 이론적 고찰	11
2.1 펌프 최적 운영	11
2.1.1 펌프의 에너지 절감방안	12
2.2 펌프의 성능	12
2.2.1 펌프의 특성곡선	12
2.2.2 전력원 단위	14
2.3 펌프의 효율 측정	15
2.3.1 수력학적 펌프효율 측정	15
2.3.2 열역학적 펌프효율 측정	16

2.4 경제성 분석 개요	18
2.4.1 경제성 분석 방법	18
2.4.2 경제성 분석을 위한 변수값	20
2.4.3 전기요금	21
2.4.4 고효율 펌프 교체 정부지원사업	23
제 3 장 대상지 에너지 성능 분석	24
3.1 대상지 개요	24
3.1.1 사업소별 온실가스 배출 현황	24
3.2 대상지 주요설비 검토	26
3.2.1 A취수장 현황	26
3.2.2 B취수장 현황	29
3.2.3 C취수장 현황	31
3.2.4 E가압장 현황	33
3.2.5 F가압장 현황	42
제 4 장 ROI, NPV 경제성 분석	48
4.1 전기요금 단가	49
4.2 고효율 펌프 선정	51
4.2.1 고효율 펌프 가격	52
4.2.2 고효율 펌프 설치비 및 철거비용	53
4.3 ROI, NPV 경제성 분석(실제사례 적용)	55
4.4 ROI, NPV 경제성 분석 결과	64
4.5 민감도 분석	67
제 5 장 결 론	70
참 고 문 헌	72

표 목차

표 1 ○○광역시 정수장 가동율(이용율) 현황	7
표 2 기전시설물별 실사용가능 예상연수	8
표 3 투자가치 판단기준	19
표 4 2023년 산업용 전력단가	22
표 5 지역에너지절약 시설보조사업 개요	23
표 6 A취수장 온실가스 배출량 추이	24
표 7 B취수장 온실가스 배출량 추이	24
표 8 C취수장 온실가스 배출량 추이	25
표 9 D가압장 온실가스 배출량 추이	25
표 10 2021년 온실가스 배출권 부족분	26
표 11 A취수장 펌프 현황	27
표 12 A취수장 고효율 펌프 교체 대상	28
표 13 B취수장 펌프 현황	29
표 14 B취수장 고효율 펌프 교체 대상	30
표 15 C취수장 펌프 현황	31
표 16 C취수장 고효율 펌프 교체 대상	32
표 17 E가압장 펌프 현황	33
표 18 E가압장 신설펌프장 고효율 펌프 교체 대상	37
표 19 E가압장 기설펌프장 고효율 펌프 교체 대상	41
표 20 F가압장 펌프 현황	42
표 21 F가압장 시내계통 펌프 운전방식 변경	45
표 22 F가압장 고효율 펌프 교체 대상	45
표 23 E가압장 고효율 펌프 교체 대상	47
표 24 고효율 펌프 설치 경제성 입력 자료	48
표 25 사업소별 전기요금	49
표 26 고압A 선택Ⅱ 전력요금	50

표 27 고압B 선택Ⅲ 전력요금	50
표 28 사업소별 고효율 펌프 가격	52
표 29 양수량에 다른 펌프 설치비	53
표 30 사업소별 고효율 펌프 사업비	54
표 31 사업대상 펌프 교체 전	55
표 32 사업대상 펌프 교체 후	55
표 33 사업성 평가 관련 연료별 기준정보	56
표 34 펌프1-1 개선 전 운전특성	57
표 35 펌프1-1 개선 후 운전특성	57
표 36 펌프1-1 개선 전·후 에너지 절감량	58
표 37 펌프1-1 에너지 절감효과	58
표 38 펌프1-1 ROI기반 경제성 분석 평가	58
표 39 ROI기반 경제성 분석 결과	59
표 40 NPV 기반 경제성 분석 입력 항목	60
표 41 NPV 결과 요약	60
표 42 NPV 현금흐름	61
표 43 NPV 결과 분석	62
표 44 예상 절감량	63
표 45 펌프별 가동시간 및 절감달성률	63
표 46 교체 대상	64
표 47 에너지 절감 효과	65
표 48 에너지 절감 결과 요약	66
표 49 정부지원금 40% 적용 시 경제성 분석	68
표 50 가동시간 20% 증가 시 경제성 분석	69

그림 목차

그림 1 배출권거래제 개요	4
그림 2 연구의 범위 및 방법	10
그림 3 펌프의 운전점	13
그림 4 펌프 측정에 필요한 계측기와 측정 개략도	16
그림 5 신설펌프 운전현황(1일차)	34
그림 6 신설펌프 운전현황(2일차)	34
그림 7 신설펌프 운전현황(3일차)	35
그림 8 신설펌프 운전현황(4일차)	35
그림 9 신설펌프 운전현황(5일차)	36
그림 10 신설펌프 운전현황(6일차)	36
그림 11 기설펌프 운전현황(1일차)	38
그림 12 기설펌프 운전현황(2일차)	38
그림 13 기설펌프 운전현황(3일차)	39
그림 14 기설펌프 운전현황(4일차)	39
그림 15 기설펌프 운전현황(5일차)	40
그림 16 기설펌프 운전현황(6일차)	40
그림 17 시내계통 펌프 운전현황(1일차)	43
그림 18 시내계통 펌프 운전현황(2일차)	43
그림 19 시내계통 펌프 운전현황(3일차)	44
그림 20 시내계통 펌프 운전현황(4일차)	44
그림 21 오류계통 펌프 운전현황(1일차)	46
그림 22 오류계통 펌프 운전현황(2일차)	46
그림 23 오류계통 펌프 운전현황(3일차)	47
그림 24 오류계통 펌프 운전현황(4일차)	47
그림 25 누적현금흐름 기반	62
그림 26 NPV 누적현금흐름 기반	62

A Study on Energy-Saving Measures
and Economic Analysis of a Water Treatment Plant
- Focused on High Efficiency Pumps

Sun Young Ha

Department of Electrical Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University

Abstract

Since the Industrial Revolution, greenhouse gas emissions have steadily increased, leading to a global climate crisis. Efforts to reduce greenhouse gas emissions are being made worldwide, with a focus on strengthening environmental regulations and promoting investment in renewable energy and high-efficiency equipment. In this context, water treatment facilities, as energy-intensive entities, need to examine their energy performance and actively explore energy-saving measures. So far, these facilities have mainly focused on expanding their infrastructure and adopting new technologies to improve treatment efficiency, resulting in inadequate consideration of energy efficiency. Therefore, there is a need for energy-saving measures such as the introduction of high-efficiency equipment to contribute to low-carbon, green growth.

Water treatment facilities consume approximately 70-80% of the total electricity in the water sector, with pumps being a crucial component. Proper maintenance of pumps is important, and efficient pump management is particularly critical. However, due to the extended lifespan of mechanical equipment for operational efficiency, the current pump replacement cycle exceeds 15 years, which is the intended service life, and pumps are being used beyond this period through partial repairs and replacements. Consequently, in this study, I selected five water treatment facilities in ○○ City to analyze pump efficiency improvement, replacement cycles, and their economic feasibility.

First, I calculated pump efficiency based on actual measurement data such as flow rate and power consumption to assess the efficiency of each facility. I then examined the energy savings resulting from efficiency improvements using return on investment (ROI) and net present value (NPV) as economic evaluation criteria. The results showed that within an NPV project feasibility period of 8 years, 9 pumps (50%) had an average efficiency of 66%, and their average operating time was more than 4,400 hours. Within a feasibility period of 9–10 years, 5 pumps (28%) had an average efficiency of 69%, and their average operating time was more than 4,200 hours. Furthermore, even with a pump installation period of 14–16 years, replacing low-efficiency pumps with high-efficiency ones resulted in a feasibility period of 5–7 years, indicating excellent economic viability. Thus, it was confirmed that replacing pumps after 15 years, which is shorter than the 20-year replacement cycle, is more effective.

I conducted sensitivity analysis on the initial input variables to determine their impact on the final amount. Through comparative analysis, considering factors such as government support covering 40% of the total investment and a 20% increase in the operating time of high-efficiency pumps, I found that with a 40% reduction in total investment, 13 pumps (72%) had an NPV project feasibility period of less than 5 years, and 4 pumps (22%) had a feasibility period of 6–7 years, significantly reducing the payback period for most pumps to within 7 years. Additionally, when the operating time of high-efficiency pumps was increased by 20%, 7 pumps (39%) had an NPV project feasibility period of less than 5 years, and 8 pumps (44%) had a feasibility period of less than 10 years, indicating a significant reduction in the payback period for most pumps to within 10 years. Therefore, to enhance the economic viability of pump replacements, it is essential to focus on reducing initial investment through government support policies and increasing the operating time of high-efficiency pumps.

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경

1.1.1 기후위기 대응의 필요성

국제사회는 2015년 제21차 기후변화 당사국총회에서 Post-2020 신기후 체제 근간이 되는 파리협정 채택으로 선진국뿐만 아니라 모든 국가가 참여하는 기후변화 체제가 마련되었고, 자발적이긴 하지만 각 국가들은 국가별 기여방안(INDCs)을 유엔기후변화협약 사무국에 제출하여 온실가스 감축을 위한 노력을 하고 있다. 범지구적으로 기후변화대응 노력이 요구되고 있는 상황에서 우리나라는 2015년에 온실가스 감축을 위해 2030년까지 배출전망치(BAU) 대비 37% (국내 27.3%, 국외 11.3%)의 감축목표를 제출하였으며 그에 따라 2030년까지 온실가스 감축 기본로드맵을 마련하였다. 그 후 수정된 온실가스 감축 로드맵에서는 감축 주체 및 방법이 불분명했던 국외 감축분을 국내 감축분으로 전환(국내 32.5%)하면서 산업부문뿐만 아니라 비산업부문에서의 추가적인 온실가스 감축이 불가피하게 되었다. 우리나라가 2030년까지 국내에서 감축해야 할 감축 목표량 276.6백만톤CO₂eq 중 산업영역(산업, 발전, 에너지신산업 등)이 169.8백만톤CO₂eq으로 절반 이상 비중(61.4%)을 차지하고 있으며 비산업부문의 영역에 포함되는 건물, 수송, 공공기타, 농축산, 폐기물의 감축목표량은 106.8백만톤CO₂eq으로 38.6%의 적지 않은 비중을 차지하고 있다.

IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체) 6차 보고서에 따르면 2010년부터 2019년까지 전 지구의 평균기온이 산업화 이전(1850~1900년)에 비교해 1.07도가 상승했다고 발표했다. 이는 2015년 파리기후변화협약에서 제한하기로 한 1.5도 목표보다 불과 0.39도 낮은 것이다. 이에 따라 전 세계가 탄소감축을 위해 노력하고 있고 탄소세 도입 및 탄소 중립 목표를 세우고 있다. 우리나라도 2030년까지 국가 온실가스 감축 목표를 2018년 대비 40% 줄이겠다고 국제사회에 선언했다. 발표된 NDC 상향안에서 2018년 온실가스 배출의 93.5%를 차지하는 에너지 분야(전환, 산업, 건물, 수송)와

그 외 분야(농축수산, 폐기물, 수소, 기타, 흡수 및 제거 부문)의 부문별 주요 감축 방안과 감축 목표를 제시했으나 다양한 쟁점이 논의되고 있다. 다양한 쟁점 중 에너지 분야와 관련된 쟁점으로는 첫째, 에너지 수요의 적정성이다. 에너지 수요는 온실가스 배출과 직결되어 있으며, 온실가스의 93.5%가 해당 분야에서 배출된다는 점에서 주요 쟁점이 될 수 있다. 2050년 전후로 전 세계 탄소 순 배출량을 제로로 만들기 위한 노력을 해나가고 있다.

1.1.2 에너지 비용 상승

경제 성장과 인구 증가로 인해 에너지 수요가 증가하고 있다. 특히, 개발도상국에서의 산업화와 도시화로 인해 에너지 수요가 급격히 증가하고 있다. 이로 인해 에너지 공급과 수요 균형이 불안정해지며, 에너지 비용 상승에 영향을 준다. 전기 원가에서 가장 큰 비중을 차지하는 항목은 원료비로 석탄과 천연가스는 사실상 해외 수입에 전적으로 의존하기 때문에 국제 에너지 가격의 변화에 민감하다. 실제로 석탄이나 천연가스 연료 가격은 최근 급등세이다. 최대 석탄 수입처인 호주 유연탄 가격은 2022년 4월 평균 291달러/톤으로 전년대비 280% 올랐다. 발전용 천연가스 가격도 같은 기간 189% 상승했다. 지금까지는 정부가 물가 안정 차원에서 소매 가격인 전기요금 인상을 억제해왔지만 화석연료 상승에 따라 손실이 급증하며 한계에 다다랐고, 결국 인상을 결정했다. 원자재 가격 상승이 가져올 전기요금 인상 수준은 현재 요금 대비 50% 이상으로 추정된다.

에너지 비용은 전체 운영 비용 중 상당한 부분을 차지하며, 에너지 가격 상승은 정수처리시설 운영의 경제성을 저해한다. 따라서 에너지 절감 방안과 경제성 분석을 통해 비용 절감 및 운영 효율화를 달성할 필요가 있다.

1.1.3 정부 정책 및 규제

정부와 규제 기관은 에너지 절감과 환경 보호를 위한 규제를 강화하고 있다. 정수처리시설은 에너지 다소비 대상으로 주목받으며, 규제 요구 사항을 준수하고 규정을 충족시키는 연구가 필요하다.

1.1.3.1 국내 온실가스 목표 감축량 및 탄소 배출권 거래제

정부는 2030년까지 온실가스 배출전망치(BAU)대비 온실가스 배출량을 37% 감축 이행을 달성하기 위해 산업부분은 2010년부터 에너지·온실가스배출 목표관리제 (15,000[tCO_{2eq}/년])가 시행되고 있으며, 2015년부터 온실가스 배출권 거래제 (사업장: 25,000[tCO_{2eq}/년], 업체: 125,000[tCO_{2eq}/년])가 시행되고 있다. 특히 국가 배출량 중 3분의 2를 차지하는 발전·산업 부문 비용에 대한 효과적인 관리와 저탄소 산업 육성을 위해 「저탄소 녹색성장 기본법」 제46조에 따라 「온실가스 배출권 거래제」를 도입하기로 하고 산업계 및 시민단체 등 의견수렴과 국회의 합의를 거쳐 2012년 5월 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」을 제정하였다. 이후 2014년 9월 국가 배출권 할당계획을 확정하고 2014년 12월 업체에 온실가스 배출권을 할당하여 2015년 1월 1일부터 온실가스 배출권거래제를 시행하고 있다.

배출권거래제도 개념은 해당 기업에 배출할 수 있는 온실가스 허용량을 부여 하고, 기업들은 허용량 범위 내에서 생산 활동과 온실가스 감축을 하되, 각 기업이 감축을 많이 해서 허용량이 남을 경우는 다른 기업에게 남은 허용량을 판매할 수 있고 반대로 각 기업이 감축을 적게 해서 허용량이 부족할 경우는 다른 기업으로부터 부족한 허용량을 구입할 수 있도록 한다.

배출권거래제 도입 전 국내에서는 온실가스·에너지 목표관리제를 시범운영을 거쳐 2012년부터 시행되고 있으며 정부와 관리업체가 사전 할당신청 및 협의를 통해 에너지 소비량과 온실가스 감축 배출 목표량을 정하고 인센티브와 과태료 등 패널티를 통해 목표달성을 유도하고 있다. 목표관리제도는 정부의 직접 규제 성격을 갖고 있으나, 배출권거래제도는 시장 친화적 방식으로 배출권 부족 또는 여유분이 있을 때 매입 또는 매도할 수 있어 목표관리제에 비해 배출권

거래제가 유연성이 높은 제도로 볼 수 있다. 계획기간은 5년을 기본으로 하되, 1차(2015~2017년) 및 2차(2018~2020년)는 3년 단위로 시행하고 있으며 배출권은 국제협상 등을 고려하고 무역집약도 및 온실가스 감축에 따른 생산비용이 기준 이상일 경우 전면 무상할당을 하며 2차 계획기간부터 무상할당비율을 점차 줄이고 있다.

다만, 목표관리제 및 배출권거래제의 대부분은 전환(발전) 및 산업부문에 편중되어 있어 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위해서는 감축 목표량의 38.6%를 차지하는 비산업부문의 온실가스 감축이 반드시 수행되어야 한다. 국내 지자체는 기후변화 대응을 위해 자발적으로 온실가스 감축 사업을 추진하고 있으며 주로 지자체 관리권한 내에 있는 비산업부문으로 지자체 감축 수단의 72%가 비산업 부문에 집중되어 있다. 비산업부문의 온실가스 감축은 특성상, 국민 생활과 밀접한 관련이 있고 행태 변화를 통해 다른 사업으로의 파급효과가 크며, 산업부문보다 비용대비 감축잠재량 및 효율이 높다.



그림 1 배출권거래제 개요

1.1.3.2 고효율 모터 시장 및 최저소비효율기준(MEPS)

전 세계적인 친환경 및 탈탄소 정책과 맞물려 주요 에너지 소비 제품인 모터 및 드라이브 분야도 고효율화 추세가 거세지고 있다. 에너지 효율을 높이면 에너지 사용량이 줄어들어 온실가스 배출을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 사용자의 에너지 사용 비용을 절감하는 효과도 거둘 수 있기 때문이다. 국내에서 사용되고 있는 전동기(전기모터)는 전력소비량의 54%를 차지하고 있어 효율을 조금만 높여줘도 전력 절감에 파급효과가 클 것으로 기대되고 있다. 따라서 산업통상자원부에서도 전동기에 대한 전 용량대에 걸쳐 최저소비효율기준(MEPS: Minimum Energy Performance Standard)을 2018년 10월부터 IE3(프리미엄)으로 상향 조정했고 2026년에는 IE4(슈퍼프리미엄)으로 상향한다는 계획이다. 이 기준이 시행됨에 따라 국내에서 제조되는 제품을 포함하여 수입되는 전동기도 상향된 기준을 적용해 기준에 미달되면 제조, 수입, 유통을 전면 금지하고 있다. MEPS는 국제효율(IE: International Efficiency) 기준에 따라 IE1(일반), IE2(고효율), IE3(프리미엄), IE4(슈퍼프리미엄), IE5(울트라프리미엄)로 구분하고 있다. 국내에서는 아직 IE3 기준에 부합하는 제품들이 대부분이나 해외에서는 IE3를 비롯하여 IE4, IE5 수준의 고효율 전동기 기술 개발 및 제품이 출시되고 있다. 최근 여러 국가들이 MEPS 등의 추진으로 인해 산업 분야에서 에너지 효율적인 모터 수요가 늘어나고 있으며, 전기차 보급, 산업 자동화의 가속화 등이 주요 요인이 되고 있다.

1.2 연구의 필요성 및 목적

1.2.1 정수처리시설 특성 및 문제점

생활용수, 공업용수 등 수돗물은 수원에서 필요한 양만큼 용수를 받아들이는 “취수”, 취수한 용수를 정수장으로 공급하는 “도수”, 도수한 용수를 응집, 혼화, 침전, 여과, 살균을 거쳐 수용가에서 사용하기 적합한 수질로 정화하는 “정수”, 정화된 용수를 배수지로 공급하는 “송수”, 정화된 물을 적당한 수압으로 분배하여 배수관 까지 공급하는 “배수”, 배수관에서 각 수용가에 용수를 공급하는 “급수”과정을 거쳐 수용가에 공급된다. 이러한 일련의 과정에서 용수를 공급하기 위하여 취수장 → 정수장 → 가압장 → 배수지 계통을 거치게 되며, 전력사용량의 대부분은 펌프 모터 설비가 차지하고 있다. 우리나라 지형의 특성상 산지가 많고 표고의 변화가 커 자연유하에 의한 용수 공급을 선호하는데 이때 정수장에서 고지대에 위치한 배수지로 용수를 송수하기 위한 가압장 운영에 많은 전기에너지가 소모된다. 따라서 안정적인 용수공급이 가능하면서도 에너지 사용을 최소화하는 펌프 운영방식을 찾아야 한다.

정수처리시설은 에너지 다소비 기관으로 대부분의 전력사용량이 펌프이다. 상수도 분야의 소요 전력의 약 70~80%를 펌프에서 사용하고 있으므로 펌프에 대한 적절한 유지관리가 중요하며, 에너지 사용량 절감을 위해서는 펌프의 효율이 결정적인 역할을 하기 때문에 설계에 있어 매우 중요한 기기이다. 이러한 중요도를 인식해 정부는 에너지사용 효율화를 위해 펌프를 비롯한 다양한 에너지기기에 대한 고효율기자재인증 기준을 마련하고 업계의 기술개발 및 고성능화를 유도하고 있다. 고효율 펌프의 사용여부에 따라 전기요금에 큰 영향을 끼친다. 고효율 에너지기자재 인증제도는 국내에 고효율 펌프를 보급함으로써 에너지 절감을 이루기 위해 마련된 인증제도로서 2018년 고효율인증 기술기준이 개정된 바 있다.

정수장의 생산능력은 환경부의 “상수도 시설기준”에 따라 산정하지만 실제 운영과정에서는 원수의 수질에 따라 크게 변동한다. 원수 수질이 좋으면 각 정수 공정에서 체류시간이 짧아도 적정 수질의 확보가 가능하기 때문에 많은 양을

생산할 수 있지만 수질이 좋지 않으면 체류시간이 길어져 생산량을 줄여 운전할 수 밖에 없다. ○○광역시 정수처리시설은 경영효율화 측면에서 정수장 시설의 가동율과 이용율이 낮아 효율이 떨어진다는 이유로 정수장의 가동율을 높이기 위해 불필요한 시설의 폐쇄 또는 정비를 추진해 왔다. 2018년말 기준 전체 정수장의 가동율 74%, 이용율 65% 정도로 환경부에서 정한 기준치에 적합하나 원수의 수질이 나쁠 경우 적정 생산량을 유지하기가 어렵다.

표 1 ○○광역시 정수장 가동율(이용율) 현황

정수장	시설용량 [m ³ /일]	생산량 [m ³ /일]		가동율1 [%]	이용율2 [%]	비 고
		일최대	일평균			
계	1,547,000	1,146,925	1,014,444	74.1	65.6	
A정수장	805,000	646,800	545,079	80.4	67.7	
B정수장	544,000	411,900	354,565	75.7	65.2	
C정수장	190,000	129,786	113,878	68.3	59.9	
D정수장	8,000	3,133	922	39.2	11.5	

-
- 1) 가동율: 일최대생산량에 대한 시설용량을 백분율로 나타내고, 적정가동율은 75%로 규정한다.
 2) 이용율: 일평균생산량에 대한 시설용량을 백분율로 나타내고 있다.

이에 따라 수질개선을 위해 향후 노후 정수장의 개량, 정수시설의 초고도처리 시설 도입 등 많은 비용이 수반되므로 이런 부담을 억제하기 위해 기계·전기 시설에 대해 경영효율화를 위한 장수명화를 추진하고 있는 실정이다. 이에 따라 장수명화를 계획하기 위해 일률적인 법정내용연수를 따르기보다 관리경험을 통한 각 시설별 특성에 맞는 실사용연수를 설정하고 있다. 대부분 기전설비의 실사용연수는 법정내용연수가 1.2배 이상 사용하는 것을 목표로 추진하고 있다.

표 2 기전시설물별 실사용가능 예상연수

구 분	내용연수	사용가능 연수(예상)	사용가능 연수의 산정이유
펌프, 호이스트	15년	20년	1995~2010년까지 설치된 펌프 1. 일일, 주·월간, 반기점검 2. 부분고장(노후) 수리 및 교체

교체주기(20년)가 지나야 교체하는 실정이며, 교체주기가 지나지 않은 펌프 중 효율이 낮거나 양정 및 수위 등이 실제 운전사양과 맞지 않는 경우도 종종 있어 이는 비효율적인 투자로 인한 경제성 저하 등의 문제를 발생시키고 있다. 물론 초기 투자비용이 수리비 대비 금액이 크지만, 고효율 기기 도입으로 효율 개선에 따른 에너지 절감 등 경제성 검토를 통해 사업을 추진할 필요가 있다.

1.2.2 연구의 목적

지금까지 정수처리시설은 기반 시설 확충과 정수처리 효율 향상에 초점이 맞춰져 있었고 에너지 사용 효율에 대해서는 미흡하였다. 그 이유는 공공 상수도에 도입되는 기술은 정수 처리, 오염 제거, 수질개선 등 각 공정상의 성능향상에 초점이 맞춰져있기 때문이다. 상수도 보급률이 매년 증가함에 따라 정수처리시설은 원수 취수와 처리 과정에 많은 에너지를 소비하고 고도처리(오존, 분말·입상활성탄) 공법 도입으로 에너지 비용도 지속적으로 증가하고 있다. 이처럼 정수처리시설은 에너지 다소비 업체로서 에너지 절감을 위한 방안을 찾아야 한다.

정수처리시설에서 사용되는 에너지 중 전력이 99%를 차지하므로 전력 의존도가 높아 에너지 자립화가 필수적이다. 정수처리시설의 에너지 자립화를 위한 기술은 에너지 생산기술과 에너지 절감기술로 구분된다. 이 중 에너지 절감기술은 기존 노후화된 설비(펌프 등)를 고효율 기기로 교체함과 운전 방식 개선에 의한 에너지 절감으로 구분할 수 있다. 본 연구의 목적은 정수처리시설 운영 시 설비의 에너지 절약성, 경제성, 환경성 등의 관점에서 부하나 기기의 특성 등에 관한 각종 요소를 고려할 필요가 있다. 하지만 현재의 펌프의 경우 설비 내구연수가 증가함에 따라 노후화되고 펌프의 작동에 있어 부하대처 능력이 부족하게 되므로 점점 펌프의 에너지 비용은 증가되고 있는 실정이다. 이에 고효율 펌프 위주 운영 및 저효율 펌프 교체 등 효율적인 에너지절감이 필요한 시점이다. 또한, 고효율 펌프는 신뢰성이 높고 내구성이 강하므로 유지보수 비용을 감소시키고 펌프의 수명을 연장시킨다. 동시에 탄소배출량을 감소시키므로 환경에 대한 부담을 줄여줄 뿐만 아니라 지속 가능한 운영을 촉진시킨다.

따라서 본 연구에서는 정수장별 평균 내구연한(15년)이 지난 저효율 펌프를 대상으로 고효율 펌프 교체의 경제성 평가를 실시하였다.

1.3 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위 및 방법은 그림 2와 같다. 서론에서 본 연구의 배경, 연구의 필요성 및 목적, 연구의 범위 및 방법을 살펴보았다. 제 2장에서는 펌프의 성능, 효율 측정 및 경제성 분석에 대한 이론적 고찰을 실시한다. 제 3장에서는 정수처리시설 중 5개소를 연구대상지로 선정하여 연구 대상지 개요를 서술하고 에너지 성능 분석 및 그에 따른 에너지 절감 방안을 선정한다. 제 4장에서는 대상지 주요설비 에너지 절감 방안에 따른 에너지 소비량을 계산하고 그에 따른 절감액을 효과로 하여 에너지 절감 방안의 경제성을 평가한다. 제 5장에서는 연구결과에 대한 고찰과 결론을 서술한다.

1. 서론	· 연구의 배경 · 연구의 필요성 및 목적 · 연구의 범위 및 방법
2. 이론적 고찰	· 펌프 최적 운영 · 펌프의 성능 및 효율 측정 · 펌프의 효율 측정 · 경제성 분석 정의
3. 에너지성능분석	· 대상지 개요 · 대상지 주요설비 검토
4. 경제성 분석	· 전기요금 단가 · 고효율 펌프 설치 단가 · ROI, NPV 경제성 분석(실제사례 적용) · ROI, NPV 경제성 분석 결과
5. 결 론	

그림 2 연구의 범위 및 방법

제 2 장 이론적 고찰

2.1 펌프 최적 운영

2019년 기준 국내 상수도시설에 사용된 연간 소비량은 5,445GWh으로 이 중 80%이상이 동력에 사용된 것으로 조사되었다, (2020, 에너지통계연보) 국내에도 특·광역시뿐만 아니라 많은 수도사업자가 에너지 소비량 및 운영비용 절감을 위한 노력을 많이 기울이고 있으나, 우리나라 펌프 최적운영 및 유지관리 기술의 개발 수준은 세계적 수준에 비해 비교적 낮은 수준이라 사료된다. 상수도 관망에서의 에너지 절감을 위한 방법으로는 관망 내 누수방지 및 저감, 관로 내 잉여 에너지 회수, 펌프 최적운영 등이 있다. 여기서 상수도 관망에서의 펌프 최적운영이란 물 수요예측, 배수지 운영 수위, 시간에 따른 전력비, 펌프 효율 등을 다각적으로 고려하여 안정적인 용수 공급이 가능하고 전력사용량 및 비용을 최소화할 수 있는 운영체계라 할 수 있다. 펌프의 경우 초기 구입비용에 비해 사용하면서 발생하는 전력비용이 상당히 크기 때문에 효율이 저하된 상태로 운영 시 에너지 낭비가 크다. 이러한 낭비를 줄이기 위해서는 펌프를 정기적으로 측정하여 펌프의 운전 상태를 진단함으로써 펌프의 최적운전상태 및 교환주기 등을 제시할 필요가 있다. 펌프는 설계된 유량인 최고효율점에서 운전되도록 시스템화하는 것이 중요하다. 펌프의 기대수명은 십수년 정도로, 운전하는 도중 관로의 상태변화, 수계의 변화, 수요량의 변동 등에 따라 펌프 자체의 성능이 변하여 최고효율점이 변경되는 경우가 많다. 따라서 일정 시점이 경과함에 따라 펌프의 운전최적점을 재산출하여 최적효율점에서 가동될 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

2.1.1 펌프의 에너지 절감방안

펌프에서 소비되는 에너지 절감방안은 크게 3가지로 분류해 생각해 볼 수 있다. 먼저 고효율 펌프를 사용하는 것이다. 같은 용량의 펌프라도 수력학적 설계나 제조 방법에 따라 펌프의 효율 차이가 발생한다. 두 번째로 적정용량의 펌프를 선정하는 것이다. 펌프선정 시 과도한 여유율을 적용할 경우 저효율점 운전에 따른 막대한 에너지 낭비는 물론 고장률 증가에 따른 유지보수비 증대를 피할 수 없다. 따라서 용수사용량을 예측하고 토출유량과 양정을 사전에 파악하여 적정용량의 펌프를 선정해야 불필요한 에너지 낭비를 방지하고 펌프의 효과적인 관리가 가능하다. 세 번째는 펌프의 유지관리를 적절히 수행하는 것이다. 펌프는 운전 중 발생할 수 있는 기계역학적 진동이나 수력학적 요인 등에 의해서 마모되고 노후화되며, 이는 펌프의 효율저하로 이어진다. 따라서 적절한 유지보수 및 교체로 펌프의 성능을 일정 수준 이상으로 유지시켜주는 것이 운영 효율성 측면에서 중요하다. 펌프의 운전상태를 올바르게 모니터링하고 고장 시점을 정확히 인지해 적절한 펌프 교체계획을 수립하는 것이다.

2.2 펌프의 성능

2.2.1 펌프의 특성곡선

펌프의 특성곡선은 해당 펌프의 성능을 나타내는 곡선으로 주로 토출유량(Q)이 증가함에 따라 양정(H)이 줄어드는 우하향 곡선으로 나타내진다. 펌프 성능곡선에는 효율, 속도, 요구동력, 요구유효흡입수두 등이 포함되며, 이 외에도 펌프 크기, 회전차의 직경, 형식 등의 정보도 보여준다. 펌프성능곡선은 기본적으로 주어진 회전차의 직경과 속도가 일정한 상태에서 도식한 것으로서 펌프 설계자의 시험을 통해 제작된다. 또한, 펌프곡선은 비중이 1인 유체를 기본으로 하므로 비중이 다른 유체를 사용하는 경우 이를 반드시 고려해야 한다. 펌프 설계자는 특정 회전수에서의 성능곡선을 작성하고 실제펌프 속도에 일치시킨 성능곡선으로 조정해야 한다. 만약 성능곡선에서 제시한 전동기 회전수와 실제 설치된 펌프의 회전수가 차이가 있다면 펌프 상사법칙을 이용해 변경하여 사용할 수 있다.

펌프의 시스템 곡선이란 계통의 수두에 대한 유량의 변화를 도시한 것이다. 시스템 곡선은 계통 내에서 유량과 수력손실(마찰손실) 관계를 나타내고, 계통의 수력손실은 유량의 제곱에 비례하므로 시스템 곡선은 포물선 형태를 지닌다. 여기서 수력손실이란 배관 내 마찰손실, 밸브, 입출구 손실, 배관의 확대 또는 축소와 같은 직경 변화에 따른 손실 등으로 이루어진다. 일반적으로 펌프의 특성곡선은 펌프 설계자가 제공하며 시스템곡선은 사용자가 제시한다. 이러한 운전점은 펌프가 여러대 있을 경우 달라지며, 해당 펌프들이 직렬 또는 병렬로 연결되어 있는 상황에 따라 달라진다. 펌프의 운전점은 펌프의 특성곡선과 시스템곡선의 조합에 의해 구할 수 있으며 두 곡선이 교차하는 지점이 운전점이 된다.

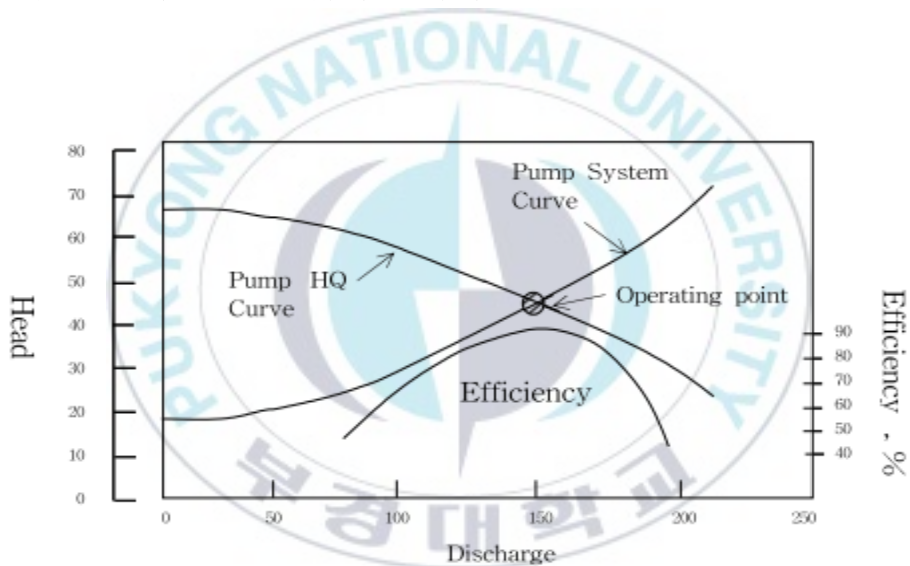


그림 3 펌프의 운전점

2.2.2 전력원 단위

전력원단위란 펌프를 1시간 동안 가동하여 소비된 전력량을 송수한 물의 양으로 나눈 값을 말하며 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P_s = \frac{L}{Q_t} \frac{kWh}{m^3} \quad (2.1)$$

$$L = \frac{\gamma \times Q \times H}{\eta_m \times \eta_p} \quad (2.2)$$

여기서, L : 펌프 소요동력[kW]

H : 펌프 전양정[m]

Q_t : 펌프의 1시간 양수량[m³/hr]

Q : 펌프의 순간 양수량[m³/sec]

η_m : 펌프효율

η_p : 모터효율

위 식 (2.2)를 (2.1)에 대입하여 정리하면 P_s 를 다음과 같이 간략하게 나타낼 수 있다.

$$P_s = 0.002778 \frac{H}{\eta_p} [kWh/m^3] \quad (2.3)$$

식 (2.3)을 통해 확인할 수 있듯이, 전력원 단위는 오직 펌프의 운전 양정과 효율과의 관계로만 정의된다. 따라서 펌프 토출밸브 개도조정 등으로 운전 양정이 높거나 또는 효율이 나쁘면 전력원 단위가 상승하고 반대로 운전 양정이 낮거나 펌프의 효율이 좋으면 전력원단위는 낮아지게 된다.

2.3 펌프의 효율 측정

펌프의 효율 측정을 위해 일반적으로 수력학적인 방법과 열역학적인 방법이 사용된다. 기존의 정수장에서는 대체로 수력학적인 방법으로 펌프의 효율을 측정하여 시스템을 운영하고 있으나, 최근에는 열역학적인 방법으로 측정한 실시간 펌프 효율을 기반으로 한 펌프 운전 최적 스케줄링 및 최적운영시스템 등에 관한 개발 및 연구가 활발히 이루어지고 있다.

수력학적 펌프 효율을 산정할 시 측정값들 중 유량의 경우 정확한 측정값을 확보하는데 어려움이 있다. 이는 상당수의 펌프장에서 개발 펌프 계통마다 유량계가 설치되어 있지 않는데서 기인한다. 특히 직경이 큰 관로의 경우 유량계 설치비용이 많이 들게 된다. 특히 직경이 큰 관로의 경우 유량계 설치비용이 많이 들게 된다. 또한, 유량계의 정밀도는 센서에 부착된 오염물이나 파이프내의 파편 등의 영향으로 많은 차이를 발생시킨다는 한계가 있다. 펌프 등 수력기기의 효율측정에 있어 기계적 효율은 비교적 용이하고 정확하게 측정이 가능한 반면, 수력학적 효율은 정밀한 유량 측정의 제약사항으로 인해 정확한 측정에 한계를 가지고 있어 기기의 성능을 나타내는 종합효율의 측정과 관리에 있어 정확도가 떨어지게 된다.

2.3.1 수력학적 펌프효율 측정

수력학적 방법으로 펌프의 효율을 측정할 경우 아래의 수식을 이용하여 계산한다.

$$\eta_P = \frac{Q \times (P_D - P_S)}{2298 \times \eta_M \times P_M} \quad (2.4)$$

식 2.4 에 의한 효율의 계산의 경우 유량, 헤드, 압력 및 전동기의 전력이 필요하게 된다. 즉, 유량(Q)을 측정할 수 있고 전압과 전류를 측정할 수 있는 기기가 설치되어 있거나 모터의 전력을 알 수 있으며, 압력센서를 통하여 펌프 입출구단의 압력차를 구할 수 있으며 위의 식을 이용하여 펌프의 효율을 측정할 수 있다. 펌프의 수력학적 효율 측정방법은 다음과 같은 과정을 거치며 진행된다.

- 1) 전형적인 운전조건에서 펌프를 운전시킨다.
- 2) 압력계를 사용하여 펌프 흡입/토출 압력 또는 차압을 측정한다.

- 3) 초음파 유량계를 사용하여 펌프 유량을 측정한다.
- 4) 후크메타 및 교류전력 분석기를 사용하여 모터 입력전력을 측정한다.
- 5) 회전계를 사용하여 펌프 회전속도를 측정한다.
- 6) 소비전력량 및 펌프 특성을 계산한다.

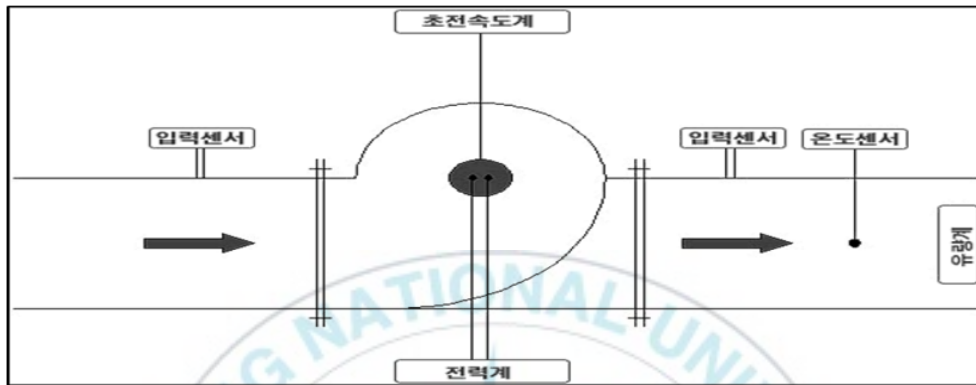


그림 4 펌프 측정에 필요한 계측기와 측정 개략도

2.3.2 열역학적 펌프효율 측정

펌프효율의 측정에 있어서 현장의 여러가지 제약조건이 따르는 수력학적 측정 방법보다 유량의 측정 없이 효율을 측정할 수 있고, 측정의 불확실도가 $\pm 1.5\%$ 이내 이면서 측정 제한 조건이 mK 단위 온도의 정확한 측정 정도인 열역학적 측정 방법에 대한 적용성 검토 및 도입 확대가 선진국을 중심으로 이루어져 왔다. 다만, 물의 온도변화로 반영된 수력 손실값의 측정을 위해서는 일정수준 이상의 정확도 즉, 온도측정값 허용오차($1/1000^{\circ}\text{C}$)이내의 측정값을 제공하는 센서 및 장비의 구성이 필요하다. 또한, 온도 및 압력이 해당단면의 열역학적 상태를 대표할 수 있는 지점에서 측정되어야 한다는 전제가 필요하다.

열역학적 펌프효율은 국제적으로 표준화된 측정절차인 'ISO 5198 Precision class, Testing Class A' 에 따라 다음과 같이 측정된다. 열역학적 효율 측정은 열역학 제1법칙인 에너지 보존 법칙을 물과 물이 흐르는 기계 사이에서의 에너지 전달에 적용함으로써 구할 수 있다. 펌프 축으로부터 물에 전달하는 단위 질량당

에너지는 압력, 온도, 속도, 수위 등의 측정과 물의 열역학적 물성값으로부터 결정될 수 있다. 이러한 에너지의 교환은 단위 질량당 기계적 에너지로 표현된다. 이상적인 과정에서는 펌프의 입·출구의 에너지 변화는 압력 또는 속도에너지만의 합으로 나타나지만 실제과정에서는 압력 및 속도 이외의 손실에 해당하는 온도의 변화가 추가된다. 따라서 온도로 반영된 손실값을 정확히 측정한다면 효율과 유량을 얻을 수 있게 된다.

- 1) 펌프 내부 통과액체의 엔탈피 변화량 측정에 의한 에너지 손실량 직접평가

$$W_i = W_o + Losses, W_o = \rho g H Q, Losses = \rho Q C_p \Delta T \quad (2.5)$$

- 2) 에너지 손실량과 측정된 양정으로부터 펌프효율 계산

$$\eta_p = \frac{W_o}{W_i} = \frac{1}{1 + \frac{C_p \Delta T}{gH}} \quad (2.6)$$

- 3) 펌프효율, 양정 및 전동기입력/효율로부터 펌프토출량 산출

$$W_o = \rho g H Q = P_m \eta_m \eta_p, Q = \frac{P_m \eta_m \eta_p}{\rho g H} \quad (2.7)$$

여기서, W_i : 축동력, W_o : 수동력, η_p : 펌프효율

ΔT : 흡/토출 온도차, η_m : 전동기효율, P_m : 전동기 입력

펌프의 열역학적 효율 측정방법은 다음과 같은 과정을 거치며 진행된다.

- 1) 토출량 및 전력 측정없이 직접적 손실량 평가에 따른 고정도 현장효율측정(±1.0%)
- 2) 연합운전중인 시스템에서 개별펌프의 효율/성능 실시간 정밀측정
- 3) 기존 유량계 설치를 위한 일정 거리 직관부 불필요
- 4) 측정시 기존의 운전조건 및 관로 변경 불필요
- 5) 기존 유량계 검교정 기준 정도의 정밀 유량 측정(±1.0%)

2.4 경제성 분석 개요

정수처리시설의 에너지 성능개선 활동에 따라 연간 에너지 비용과 운영비용 감소되었을 때 이에 대한 투자비용을 비교, 분석함으로써 고효율 펌프 교체에 대한 투자가치를 판단할 수 있다. 경제성을 평가 척도의 기준으로서 제시할 수 있는 투자가치 판단 기준은 크게 투자수익률(ROI), 순현재가치(NPV)로 나타낼 수 있다.

2.4.1 경제성 분석 방법

가) 투자수익률(ROI: Return on investment)

투자자본수익률이란 투자자가 자본을 투자하여 얻어진 수익을 말한다. 자본을 투자하기 위해서는 사업에 대한 투자가치를 평가할 필요가 있는데 투자 자본이 수익과 어떤 관련이 있는지를 나타내는 경영성과 측정 기준이다. ROI는 투자한 자본에 대하여 수익이 얼마나 나오는지 직관적으로 확인할 수 있고, 이익과 비용이라는 두가지 수치만으로 계산하기 때문에 투자 전망을 신속하게 확인할 수 있는 장점이 있다. 하지만 ROI는 시간의 요소를 계산하기 어려우므로 시간적인 요소에 따라 투자의 평가가 달라질 수 있다. 또한, 시간계수가 무시되기 때문에 회사와 투자자가 서로 다른 수익을 사용하는 경우에는 혼란을 줄 수 있는 단점이 있다. 또한, 바로 이익을 내기 어려운 사업 등에서는 ROI 수치가 낮게 나오기 때문에 장기적인 이익을 평가하기 어렵고 수치화할 수 없는 투자나 이익은 평가할 수 없다.

$$ROI = (\text{누적 순효과} / \text{총 비용}) \times 100\% \quad (2.8)$$

나) 순현재가치(NPV)

순현재가치란 일정한 할인율에 의하여 현재시점으로 할인한 투자금액에서 할인된 비용을 차감한 금액으로 투자사업에서 발생한 순편익의 흐름을 현재가치로 환산한 것이다. 어떤 사업이 투자사업에서 발생한 순편익의 흐름을 현재가치로 환산한 것이다. 어떤 사업이 투자 타당성을 가지려면 NPV가 최소한 0 이상 만족시켜야 한다.

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (2.9)$$

여기서, t : 현금흐름기간, N : 사업의 전체 기간, r : 할인율

C_t : 시간 t에서의 순 현금 흐름, C_0 : 투자자본(투자액)

아래 표는 경제성 분석기법의 장·단점을 나타내었다. 투자수익률, 순현재가치에 의한 경제성 유무 판단은 항상 동일한 것은 아니다. 순현재가치의 경우 명확한 기준제시와 타 분석에 이용 가능하지만 대안의 우선순위 결정시에 오류가 발생할 가능성이 있다.

경제성 분석에서 비교되는 사회적 편익과 비용의 측정에 사용되는 기본원칙은 다음과 같다.

- 1) 사회적 편익과 비용은 모두 화폐가치로 측정되어야 하며, 가능하면 경쟁가격으로 측정되어야 하나 경쟁가격이 없는 경우 잠재가격으로 측정
- 2) 세금, 이자비용, 이전비용 등은 사회에 가져오는 실질가치와 무관하므로 사회적 순현재가치 계산에서 제외
- 3) 사회적 순현재가치는 사회적 편익과 사회적 비용을 사회적 할인율로 할인하여 계산

표 3 투자가치 판단기준

분석기법	판 단	계산식	장 점	단 점
투자 수익률 (ROI)	$ROI \geq 0$	$ROI = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}$	· 계산 및 이해 용이 · 사업규모 고려가능 · 비용/편익 발생시 간의 고려	· 편익, 비용의 명확한 구분이 곤란함 · 상호 배타적 대안 선택의 오류 발생
순현재 가치 (NPV)	$NPV \geq 0$	$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t}$	· 대안 선택시 명확한 기준 제시 · 장래발생편익의 현재가치 제시	· 이해가 어려움 · 대안 우선순위 결정시 오류발생

B_t : t년도 편익의 흐름, C_t : t년도 비용의 흐름, r: 할인율, n: 투자사업기간

2.4.2 경제성 분석을 위한 변수값

가) 투자비 산정

고효율 펌프 교체 사업의 투자비는 취수장 및 가압장별 펌프 용량 및 입지조건에 따라 설치 건적이 및 기계 품셈에 따른 설치비(철거비 포함)를 적용하여 산정하였다.

나) 자기자본비율

NPV 분석에서 자기자본비율은 WACC(Weighted Average Cost of Capital)의 계산에 사용된다. WACC는 회사의 자금 조달 비용을 나타내며, 자기자본과 차입금 비율에 따라 다르다. 자기자본비율은 WACC를 계산하는데 중요한 역할을 하며 자기자본 비율과 차입금 비율, 그리고 각각의 비용을 고려하여 계산한다. 따라서, 자기자본비율이 높을수록 WACC는 낮아지며 NPV는 증가한다. 공공기관의 자기자본비율은 일반적으로 높은 편이다. 이유는 공공기관이 자금을 조달할 때 대부분 정부로부터 지원금이나 예산을 받거나 국책사업을 통해 자금을 조달하기 때문이다. 대부분의 정수처리시설도 예산을 받거나 국책사업으로 펌프 교체 사업을 진행하기 때문에 자기자본비율을 100%로 가정하였다.

다) 설비 유지 보수비 비율

펌프의 유지보수비는 종류, 사용환경, 운전시간 등에 따라 달라질 수 있지만, 일반적으로 유지보수비용은 0.6%~1.0%의 수준으로 분석되며, 운영인력의 인건비 및 보험료, 운전비용, 고장 수리비 등의 모든 상황에 대한 비용은 전체 투자비의 1%로 가정하였다. 이때 유지보수비 비율을 0.3%로 인건비 비율을 0.7%로 반영하였다.

라) 할인율

공공투자자의 경제성평가에서 할인율은 매우 중요한 역할을 한다. 할인율이 크면 미래수익이 현재 비용에 비해 상대적으로 작아지게 되고, 따라서 투자효율이 작아지므로 투자하기 어려워진다. 공공사업의 할인율에 대한 결정 방법은 아직 확실하지 않으며 보통은 세금으로 조달한 자금이기 때문에 시중 은행의 이자율보다

낮은 것이 일반적이다. 2011년 한국개발연구원(KDI) 공공투자관리센터는 우리나라 공공투자사업에 5%의 실질 사회적 할인율을 적용하였다. 따라서 한국개발연구원의 지침에 따라 5%를 적용한다.

마) 수명

펌프의 수명은 사용자의 관리 및 유지보수 수준에 크게 영향을 받으며, 정기적인 청소 및 오염물질 제거, 윤활유 교환 등을 통해 펌프의 수명을 연장할 수 있다. 본 연구에서는 기전설비 장수명화 기본계획에 따라 펌프의 수명은 20년으로 산정하였다.

2.4.3 전기요금

전기요금은 연료비의 영향이 크기 때문에 1970년대 두 차례의 오일쇼크는 전기요금에도 여파를 남겼다. 1974년 30%, 42.4% 두 차례, 1979년 34.6%, 1980년 35.9% 인상율을 기록했다. 유가가 안정을 찾아가면서 1980년 후반에는 전기요금 인하 추세를 보였고 이후 요금 인상율은 연료비 변동에 따른 등락을 보여왔다. 실제로 석탄이나 천연가스 연료 가격은 최근 급등세이다. 최대 석탄 수입처인 호주 유연탄 가격은 2022년 4월 평균 291달러/톤으로 전년대비 280% 올랐다. 발전용 천연가스 가격도 같은 기간 189% 상승했다. 지금까지는 정부가 물가 안정 차원에서 소매가격인 전기요금 인상을 억제해왔지만 화석연료 상승에 따라 손실이 급증하며 한계에 다다랐고, 결국 인상을 결정했다. 원자재 가격 상승이 가져올 전기요금 인상 수준은 현재 요금 대비 50% 이상으로 추정된다. 정수처리시설은 대부분 계약전력 300kW 이상으로 산업용 전력(을)을 사용한다. 대부분의 취수장 및 가압장은 22.9kV로 고압A를 사용하지만 A취수장의 경우 154kV로 고압B로 사용하고 있다.

표 4 2023년 산업용 전력단가

구 분		전력량 요금(원/kWh)			
		시간대별	여름철 (6~8월)	봄·가을철 (3~5, 9~10월)	겨울철 (11~2월)
고압A	선택 Ⅰ	경부하	84.8	84.8	91.8
		중간부하	137.7	107.3	137.9
		최대부하	219.8	138.0	195.4
	선택 Ⅱ	경부하	79.3	79.3	86.3
		중간부하	132.2	101.8	132.4
		최대부하	214.3	132.5	189.9
	선택 Ⅲ	경부하	78.4	78.4	85.7
		중간부하	131.6	100.5	131.8
		최대부하	201.9	124.2	178.7
고압B	선택 Ⅰ	경부하	87.9	87.9	94.9
		중간부하	140.2	110.2	140.2
		최대부하	221.4	140.5	196.4
	선택 Ⅱ	경부하	84.1	84.1	91.1
		중간부하	136.4	106.4	136.4
		최대부하	217.6	136.7	192.6
	선택 Ⅲ	경부하	82.4	82.4	89.5
		중간부하	134.7	104.8	134.7
		최대부하	216.0	135.1	190.9
시간대별		경부하	22:00 ~ 08:00	22:00 ~ 08:00	22:00 ~ 08:00
		중간부하	08:00 ~ 11:00	08:00 ~ 11:00	08:00 ~ 09:00
			12:00 ~ 13:00	12:00 ~ 13:00	12:00 ~ 16:00
			18:00 ~ 22:00	18:00 ~ 22:00	19:00 ~ 22:00
		최대부하	11:00 ~ 12:00	11:00 ~ 12:00	09:00 ~ 12:00
			13:00 ~ 18:00	13:00 ~ 18:00	16:00 ~ 19:00

2.4.4 고효율 펌프 교체 정부지원사업

지역에너지절약 시설보조사업은 지자체가 주도하여 지역 내 공공시설 및 민간 건물 등에서 에너지 절감을 위해 고효율에너지기자재 인증서를 취득한 제품으로 교체하는 것을 지원하는 정부 사업이다. 총 사업비의 최대 40%까지 국비 지원 해주며 본 연구에서는 정부지원금을 통하여 고효율 펌프 설치에 대한 경제성을 분석하였다.

표 5 지역에너지절약 시설보조사업 개요

구 분	내 용
지원대상 사업	· 발전소·공장·건물 등 대규모 사업장의 폐열을 다목적으로 이용하거나 인근지역에 공급하기 위한 시설 · 생활·산업·공공시설 등에서 발생하는 각종 미활용에너지를 효율적으로 재이용하는 사업 · 에너지절약 효과가 우수한 제품의 설치 또는 교체 · 분산형 전원시설 등 에너지절약 파급효과가 큰 시설의 보급 · 민간으로의 에너지절약 파급효과가 큰 민간연계 사업 시범보급 · 기타 지역적 에너지 환경의 특성을 반영한 에너지 절약 사업
지원범위 및 한도	서울특별시 30%이내, 그 외 지자체는 총 소요사업비의 40%이내

제 3 장 대상지 에너지 성능 분석

3.1 대상지 개요

3.1.1 사업소별 온실가스 배출 현황

○○광역시 정수처리시설은 25,000tCO₂-eq 이상인 사업장을 하나 이상 보유한 업체로서 온실가스 배출권 할당대상업체로 지정됐다. 이는 저탄소 녹색성장 기본법 제46조에 따라 온실가스 배출하는 업체가 정부로부터 배출권을 부여받고 그 범위 내에서 생산 활동 및 온실가스 감축을 하되 배출권이 남을 경우 다른 업체에게 판매할 수 있다. 반대로 배출권이 부족할 경우 다른 업체로부터 부족한 배출권을 구매해야 한다. 아래 표와 같이 3개의 정수장 및 1개의 사업소(가압장)는 2020년 대비 2021년 온실가스 배출량이 최소 1.08에서 최대 15.58%까지 증가하였다.

표 6 A정수장 온실가스 배출량 추이

구 분	2016	2017	2018	2019	2020	2021
온실가스 배출량 [tCO ₂ -eq]	35,312	36,009	36,600	37,058	34,241	39,577
전년대비 증감율(%)	-5.14	1.97	1.64	1.25	-7.60	15.58

정수처리시설 A정수장의 2021년 온실가스 배출량은 39,577tCO₂-eq로 전력사용량 증가로 2020년 대비 온실가스 배출량이 15.58% 증가하였다.

표 7 B정수장 온실가스 배출량 추이

구 분	2016	2017	2018	2019	2020	2021
온실가스 배출량 [tCO ₂ -eq]	21,850	26,796	24,430	23,285	21,945	23,001
전년대비 증감율(%)	-8.63	22.64	-8.83	-4.69	-5.75	4.81

정수처리시설 B정수장의 2021년 온실가스 배출량은 23,001tCO₂-eq로 전력사용량이 2020년 대비 6.39% 증가하여 온실가스 배출량이 4.81% 증가하였다.

표 8 C정수장 온실가스 배출량 추이

구 분	2016	2017	2018	2019	2020	2021
온실가스 배출량 [tCO ₂ -eq]	9,063	8,255	9,473	9,793	9,747	9,486
전년대비 증감율(%)	108.11	-8.92	14.75	3.38	-0.47	-2.68

정수처리시설 C정수장의 2021년 온실가스 배출량은 9,486tCO₂-eq로, 2021년 9월 건물 1개가 철거되어 전력사용량이 88.82%로 감소하였으며, 이로 인해 온실가스 배출량이 2.68% 감소하였다.

표 9 D사업소 온실가스 배출량 추이

구 분	2016	2017	2018	2019	2020	2021
온실가스 배출량 [tCO ₂ -eq]	44,026	45,942	45,430	44,405	45,070	45,558
전년대비 증감율(%)	-4.64	4.35	-1.11	-2.26	1.50	1.08

정수처리시설 D사업소의 2021년 온실가스 배출량은 45,558tCO₂-eq로 가압장과 배수지의 전력 사용량이 증가하여 온실가스 배출량이 2020년 대비 1.08% 증가하였다.

게다가 제3차 계획기간(2021~2025년)에 따라 2020년 대비 온실가스 감축목표가 대폭 상향('20년 9% → '21년 20%)됨에 따라 온실가스 배출권은 매우 부족한 실정이다. 이에 22년도 온실가스 배출권 예산을 편성하여 부족한 온실가스 배출권을 구매하였다. 정수처리시설의 에너지 절감은 전기요금 절감뿐만 아니라 온실가스 배출권과도 연관되어 있으므로 더 이상 미룰 수 없는 필수적인 실정이다. 상수도 분야 소요 전력의 약 70~80%를 펌프에서 사용하고 있어 펌프 효율 개선이 가장 효과적인 대안이 될 것이다. 따라서 대용량 펌프를 보유한 3개의 정수장 및 2개의 가압장(D사업소 내)을 대상으로 고효율 펌프 교체 계획을 검토한다.

표 10 2021년 온실가스 배출권 부족분

(단위: 톤)

구 분	배출권 할당량 (A)	실제 배출량 (B)	과부족분 (B-A)	'20년 양여분 (C)	최종 부족분 (B-A+C)
A정수장	32,692	39,577	6,885	2,525	4,360
B정수장	22,329	23,001	672	617	55
C정수장	8,247	9,486	1,239	647	592
D사업소	40,691	45,558	4,867	2,004	2,863
합 계	103,959	117,622	13,663	5,793	7,870

3.2 대상지 주요설비 검토

주요 교체 대상은 대용량 펌프로써 설치연도가 내구연한 15년을 경과한 2010년 이전으로 선정하여 양정 및 유량, 효율을 측정하였다. 각 취수장별 펌프 현황은 아래 표와 같다.

3.2.1 A취수장 현황

1) A취수장 교체 전 운전특성

현재 1,3펌프장은 대부분 고효율 펌프로 교체 완료하여 운영 중이고, 2펌프장 취수펌프 대부분이 내구연한이 도래하였다. 이로 인한 펌프 효율 감소로 전력 사용량 및 전력요금이 상승하였다. 취수펌프의 측정효율을 바탕으로 적정용량을 산출하여 취수펌프의 효율을 상승시킨다. 단, 펌프의 효율은 연간 취·정수량에 따라 수시로 변화되지만 A취수장의 경우 취수량에 따라 펌프의 교차운전으로 유량변화에 대응하고 있고, 밸브는 거의 100%로 개도하여 사용하고 있으므로 연간 펌프효율 변화는 크지 않은 것으로 사료된다.

표 11 A취수장 펌프 현황

구 분		교체 전					
		토출량	양정	소비동력	효 율	가동시간	제조년도
A취수장 1펌프장	1호기	108m ³ /min	72m	1,750kW	85.3%	4,489	2017
	2호기	104m ³ /min	72m	1,750kW	84.5%	3,504	2018
	3호기	108m ³ /min	72m	1,750kW	86.5%	3,394	2018
	4호기	108m ³ /min	72m	1,750kW	87.0%	2,150	2017
	5호기	52m ³ /min	72m	896kW	85.6%	3,120	2017
	6호기	52m ³ /min	72m	896kW	86.2%	2,560	2015
A취수장 2펌프장	1호기	116m ³ /min	68m	1,710kW	75.4%	4,020	2004
	2호기	113m ³ /min	68m	1,725kW	72.8%	5,014	2007
	3호기	107m ³ /min	71m	1,725kW	72.0%	4,245	2007
	4호기	126m ³ /min	67m	1,825kW	75.6%	4,450	2008
	5호기	27m ³ /min	72m	520kW	85.8%	1,210	2017
	6호기	52m ³ /min	72m	896kW	83.2%	1,520	2014
A취수장 3펌프장	1호기	104m ³ /min	72m	1,750kW	85.6%	3,430	2017
	2호기	52m ³ /min	72m	850kW	85.2%	2,504	2017
	3호기	52m ³ /min	72m	896kW	87.5%	2,830	2018
	4호기	104m ³ /min	72m	1,614kW	87.0%	3,050	2016
	5호기	24.3m ³ /min	76m	448kW	85.6%	-	1993
	6호기	104m ³ /min	72m	1,614kW	83.2%	2,560	2015
	7호기	108m ³ /min	72m	1,750kW	86.5%	3,120	2017

2) A취수장 운전현황 및 문제점

1,3펌프장의 펌프는 2016~2018년까지 모두 교체하여 가동 중이고, 2펌프장 1,2,3,4호기는 노후화된 설비로 효율이 저하된 상태로 장시간 운전 중으로 전력 손실이 발생하고 있다. 따라서 고효율 펌프로 교체하여 저효율 운전형태를 고효율 적정 운전형태로 개선함으로써 전력손실을 절감하도록 한다.

표 12 A취수장 고효율 펌프 교체 대상

구 분		교체 전			교체 후				가동시간 [h]
		동력 [kW]	유량 [m³/h]	양정 [m]	동력 [kW]	유량 [m³/h]	양정 [m]	효율 [%]	
A취수장 2펌프장	1호기	1,710	6,960	68	1,498	6,988	68	86	4,020
	2호기	1,725	6,780	68	1,460	6,805	68	86	5,014
	3호기	1,725	6,420	71	1,449	6,446	71	86	4,245
	4호기	1,825	7,560	67	1,635	7,597	68	86	4,450

3.2.2 B취수장 현황

1) B취수장 교체 전 운전특성

기설 펌프장에는 1,500[HP] 2대가 운전 중이고, 신설 펌프장에는 1,500[HP] 2대가 운전 중이다. 연간 취·정수량에 따라 수시로 운전 대수는 변동되며 펌프의 효율도 수시로 변화한다. 현재 운영되는 기설펌프장의 대부분이 취수 펌프의 내구연한이 도래하거나 초과되었으며, 이로 인한 펌프 효율 감소로 전력량 및 전력요금이 상승하였으므로 고효율 펌프 교체를 통한 에너지 절감을 도모해야 한다.

표 13 B취수장 펌프 현황

구 분		교 체 전					
		토출량	양정	소비동력	효 율	가동시간	제조연도
B취수장 기설펌프	1호기	66m ³ /min	58m	994kW	63.4%	4,330	2009
	2호기	67m ³ /min	70m	1,119kW	71.0%	6,084	2018
	3호기	67m ³ /min	70m	1,119kW	75.2%	5,245	2018
	4호기	64m ³ /min	62m	1,022kW	63.2%	4,806	2008
	5호기	23m ³ /min	77m	447kW	64.3%	0.8	2006
	7호기	23m ³ /min	77m	447kW	64.3%	0	2003
B취수장 신설펌프	1호기	71m ³ /min	70m	1,119kW	73.9%	3,676	2017
	2호기	73m ³ /min	70m	1,119kW	79.2%	1,025	2018
	3호기	73m ³ /min	70m	1,119kW	81.1%	3,243	2016
	4호기	73m ³ /min	70m	1,119kW	80.6%	1,680	2018
	5호기	71m ³ /min	70m	1,119kW	73.7%	2,392	2018

2) B취수장 운전현황 및 문제점

신설펌프장의 펌프는 2016년에서 2018년까지 모두 교체하여 가동 중이고, 기설 펌프장의 2,3호기는 교체하여 가동 중이다. 기설펌프장 1,4호기는 노후화된 설비로 효율이 저하된 상태로 장시간 운전중으로 전력손실이 발생하고 있다. 따라서, 고효율 펌프로 교체하여 저효율의 운전형태를 고효율 적정 운전형태로 개선함으로써 전력손실을 절감하도록 한다.

표 14 B취수장 고효율 펌프 교체 대상

구 분		교체 전			교체 후				가동시간 [h]
		동력 [kW]	유량 [m³/h]	양정 [m]	동력 [kW]	유량 [m³/h]	양정 [m]	효율 [%]	
B취수장 기설펌프	1호기	994	3,989	58	864	4,200	65	86	4,330
	4호기	1,022	3,823	62	864	4,200	65	86	4,806

3.2.3 C취수장 현황

1) C취수장 교체 전 운전특성

제2펌프실 송수펌프는 반송계열 및 서동계열로 생활용수를 공급하는 펌프로 반송계열(900HP) 2대, 서동계열(120HP) 1대가 가동되고 각 계열에 유량변화에 대비하여 유체 커플링을 사용하고 있으며 정격 효율 대비 낮은 효율로 운전되고 있다.

표 15 C취수장 펌프 현황

구 분		교체 전					
		토출량	양정	소비동력	효 율	가동시간	제조년도
C취수장 1펌프장	1호기	25m ³ /min	75m	450kW	82.5%	2,500	2018
	2호기	25m ³ /min	75m	450kW	67.2%	2,780	2005
	3호기	25m ³ /min	75m	450kW	69.5%	2,650	2005
	4호기	25m ³ /min	75m	450kW	67.0%	2,850	2005
C취수장 2펌프장 서동계열	1호기	3.6m ³ /min	130m	132kW	63.0%	3,540	2004
	2호기	3.6m ³ /min	130m	132kW	-	-	2004
	3호기	2.2m ³ /min	130m	90kW	60.7%	3,420	2004
C취수장 2펌프장 반송계열	1호기	35.8m ³ /min	80m	670kW	65.6%	3,550	2002
	2호기	35.8m ³ /min	80m	670kW	61.6%	3,550	2002
	3호기	40.8m ³ /min	78m	795kW	65.5%	4,380	2002
	4호기	40.8m ³ /min	78m	770kW	67.6%	4,380	2002

2) C취수장 2펌프장 운전현황 및 문제점

펌프 중 대용량 및 효율이 낮은 반송계열 송수펌프 3,4호기 운전효율 측정 결과 정격효율보다 낮게 운전하고 있고 원인은 설치년도가 2002년으로 장기간 사용 및 노후화로 인한 효율저하로 전력손실이 발생하기 때문이다. 현재 반송계열 3,4호기는 고유량 고양정 설계로 인한 펌프성능곡선도상 실제운전점을 벗어나 저유량 저양정의 실제운전점을 형성하여 저효율 운전을 하고 있다. 결론적으로 필요 유량 대비 설계유량의 여유율 과다로 비롯한 저유량 저양정 운전은 불필요한 동력손실을 동반하게 된다.

표 16 C취수장 고효율 펌프 교체 대상

구 분		교체 전			교체 후				가동시간 [h]
		동력 [kW]	유량 [m³/h]	양정 [m]	동력 [kW]	유량 [m³/h]	양정 [m]	효율 [%]	
C취수장 2펌프장	3호기	795	2,450	78	638	2,400	80	82	4,380
	4호기	770	2,450	78	638	2,400	80	82	4,380

3.2.4 E가압장 현황

1) E가압장 교체 전 운전특성

E가압장은 기설펌프장 및 신설펌프장으로 나뉘어져 있고 아래 표 17은 펌프 정격사양을 나타낸다. 기설펌프장 1호기의 경우 고양정(60m)으로 설계되어 현재는 가동이 어려운 실정으로 나머지 펌프의 경우 양정이 상이하고 펌프별로 효율이 다르다. 운전자가 운전상황에 따라 적정하게 운영 중이나 장기적인 관점에서 펌프 사양 등을 고려한 고효율 펌프 교체 검토가 필요한 시점이다.

표 17 E가압장 펌프 현황

구 분		교체 전					
		토출량	양정	소비동력	효 율	가동시간	제조년도
E가압장 신설펌프장	1호기	79.2m ³ /min	25m	537kW	60.2%	4,000	2009
	2호기	69.3m ³ /min	27m	480kW	63.7%	3,500	2008
	3호기	33.3m ³ /min	35m	300kW	80.5%	2,000	2017
	4호기	65.9m ³ /min	25m	497kW	54.2%	3,000	2008
	5호기	95.0m ³ /min	32m	750kW	82.8%	-	2017
	6호기	123m ³ /min	35m	1,005kW	66.7%	-	2004
	7호기	33.3m ³ /min	35m	300kW	60.5%	2,200	2004
E가압장 기설펌프장	1호기	132m ³ /min	60m	1,725kW	75.0%	2,000	2001
	2호기	95.0m ³ /min	35m	750kW	68.7%	2,510	2008
	3호기	90.0m ³ /min	35m	712.5kW	68.5%	3,520	2007
	4호기	80.0m ³ /min	40m	750kW	66.1%	359	2008
	5호기	93.2m ³ /min	35m	750kW	77.4%	4,200	2015
	6호기	43.7m ³ /min	35m	349kW	71.6%	3,000	2004
	7호기	37.9m ³ /min	37m	339kW	67.6%	5,236	2004

2) E가압장 신설펌프장 운전현황 및 문제점

신설 1일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 35m이상 운전되는 시간은 10시, 12시 2시간정도 발생된다. 나머지 운전시간은 최소 26.9m에서 32.2m이며, 대부분 28m 시스템 양정으로 운전된다. 시스템 양정이 35m로 가장 높게 나타나는 구간에서는 흡입양정이 저하되고 토출양정이 상승하는 일부구간으로 분석되었다.

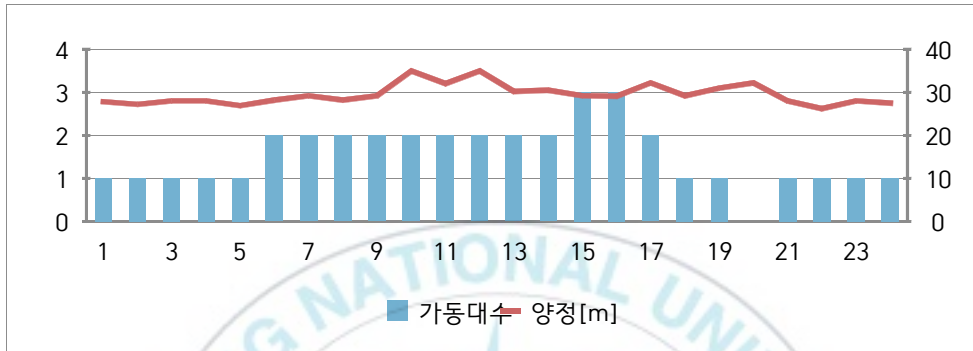


그림 5 신설펌프 운전현황(1일차)

신설 2일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 35m이상 운전되는 기간은 없다. 나머지 운전시간은 최소 26.1m에서 최대 32.7m이며, 대부분 26m에서 28m 시스템 양정으로 운전된다. 시스템 양정이 32m로 가장 높게 나타나는 구간에서는 흡입양정이 저하되고 토출양정이 상승하는 일부구간으로 분석되었다.

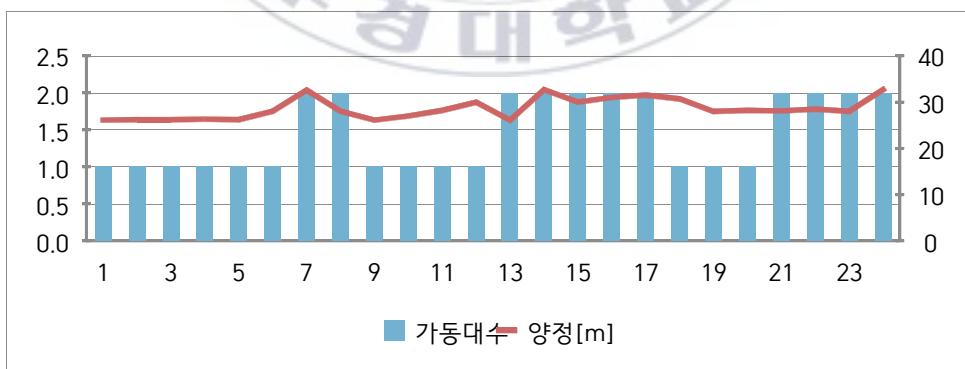


그림 6 신설펌프 운전현황(2일차)

신설 3일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 35m이상 운전되는 시간은 5시간정도 발생된다. 나머지 운전시간은 최소 27.4m에서 32.2m이며, 대부분 28m 시스템 양정으로 운전된다. 시스템 양정이 40m로 가장 높게 나타나는 구간에서는 흡입양정이 저하되고 토출양정이 상승하는 일부구간으로 분석되었다.

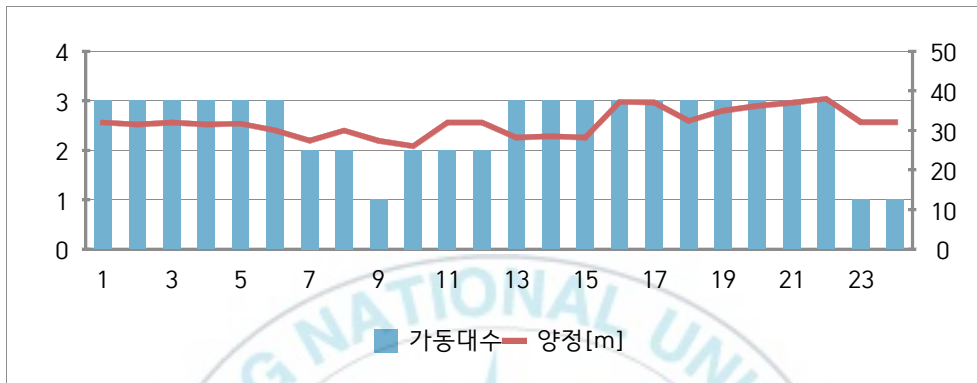


그림 7 신설펌프 운전현황(3일차)

신설 4일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 35m이상 운전되는 시간은 1시간정도 이다. 나머지 운전시간은 최소 24.5m에서 32m이며, 대부분 26m에서 28m 시스템 양정으로 운전된다. 시스템 양정이 35.5m로 가장 높게 나타나는 구간에서는 토출양정이 일부 돌발적으로 상승하는 일부구간으로 분석되었다.

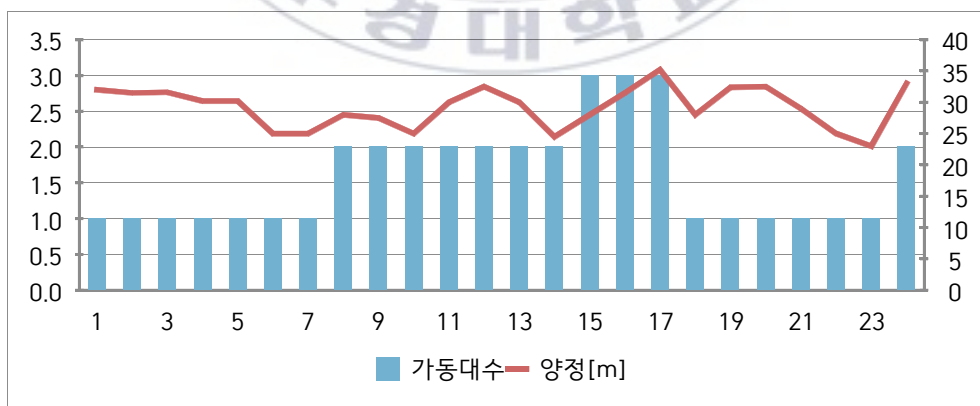


그림 8 신설펌프 운전현황(4일차)

신설 5일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 35m이상 운전되는 시간은 없다. 대부분 최소 27.4m에서 31m이며, 대부분 29m 시스템 양정으로 운전된다. 시스템 양정이 33.8m로 가장 높게 나타나는 구간에서는 흡입양정 대비 토출양정이 상승하는 일부구간으로 분석되었다.

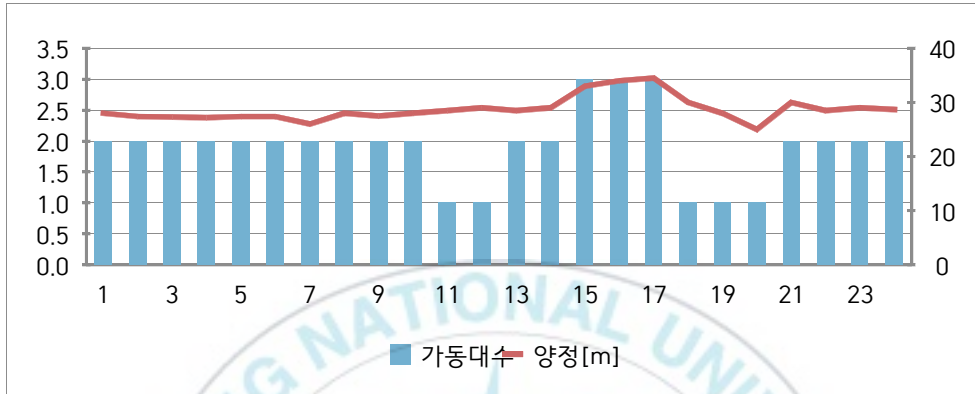


그림 9 신설펌프 운전현황(5일차)

신설 6일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 35m이상 운전되는 기간은 없다. 나머지 운전시간은 최소 24.5m에서 32m이며, 대부분 28m에서 32m 시스템 양정으로 운전된다. 시스템 양정이 가장 높게 나타나는 구간에서도 양정은 32m로 나타나며 정격양정을 넘는 구간은 없다.

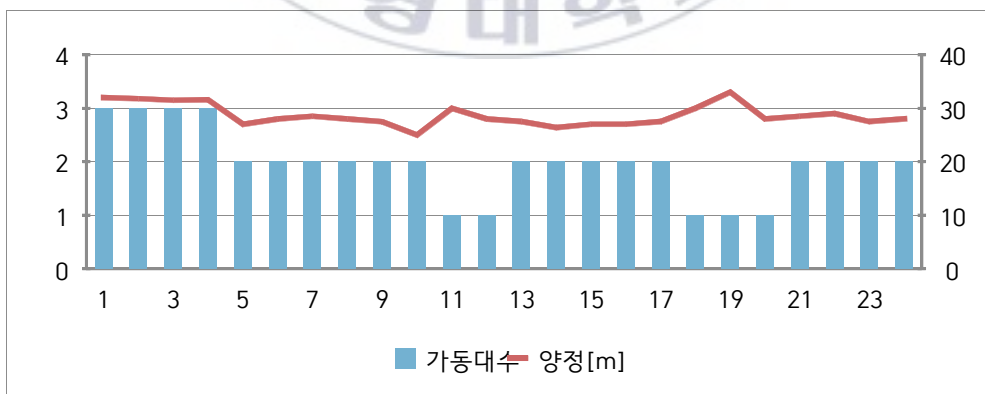


그림 10 신설펌프 운전현황(6일차)

3) E가압장 신설펌프장 개선방안

신설펌프장 운전데이터를 종합해본 결과 800HP 1,2,4호기와 400HP 3,7호기 2대 용량 패턴으로 선정하여 운전 중이다. 1호기의 경우 설계 운전점(35m 4,050m³/h)에 비해 실제 운전점(25m 4,751m³/h)이 고유량 저양정으로 운전 중이므로 적정용량(30m 4,200m³/h)로 교체할 경우 에너지 절감을 할 수 있다. 또한, 2호기도 설계 운전점(35m 3,900m³/h)에 비해 실제 운전점(26.8m 4,156m³/h)이 고유량 저양정으로 운전 중이므로 적정용량(30m 4,200m³/h)으로 교체가 필요하다.

표 18 E가압장 신설펌프장 고효율 펌프 교체 대상

구 분		교 체 전			교 체 후				가동시간 [h]
		동력 [kW]	유량 [m ³ /h]	양정 [m]	동력 [kW]	유량 [m ³ /h]	양정 [m]	효율 [%]	
E가압장 신설	1호기	537	4,751	25	418	4,200	30	82	4,000
	2호기	480	4,156	27	418	4,200	30	82	3,500
	4호기	497	3,956	25	418	4,200	30	82	3,000

4) E가압장 기설펌프장 운전현황 및 문제점

기설 1일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 40m이상 운전되는 시간은 2기 가동 14시경이었으며, 대부분 시스템 양정은 36.9m에서 39m이며, 평균 38m 시스템 양정으로 운전된다. 시스템 양정이 41m로 가장 높게 나타나는 구간은 일부 구간으로 운전자가 양정 상승 시 1기 가동정지로 합리적으로 운전 중이다.

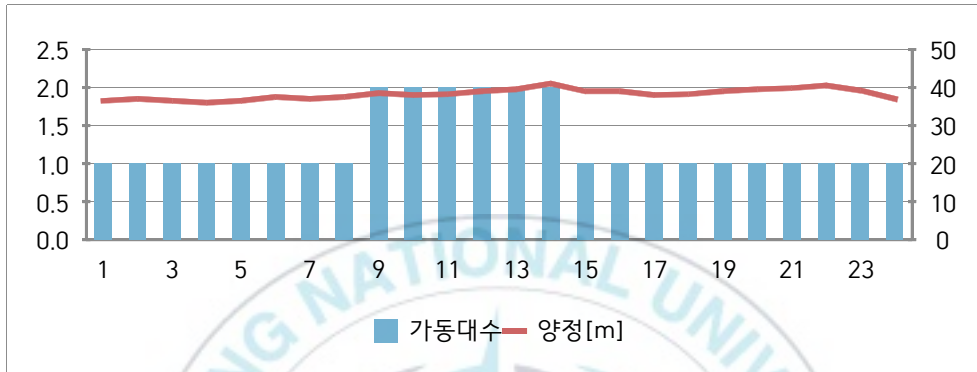


그림 11 기설펌프 운전현황(1일차)

기설 2일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 40m이상 운전되는 시간은 2기 가동 14시경이다. 시스템 양정은 36m에서 39m 사이로 운전되며 평균 38m 시스템 양정으로 운전된다. 시스템 양정이 상승하는 구간에서 운전자가 토출 압력 83m정도로 가동대수 조정하여 시스템 양정을 합리적으로 관리하고 있다.

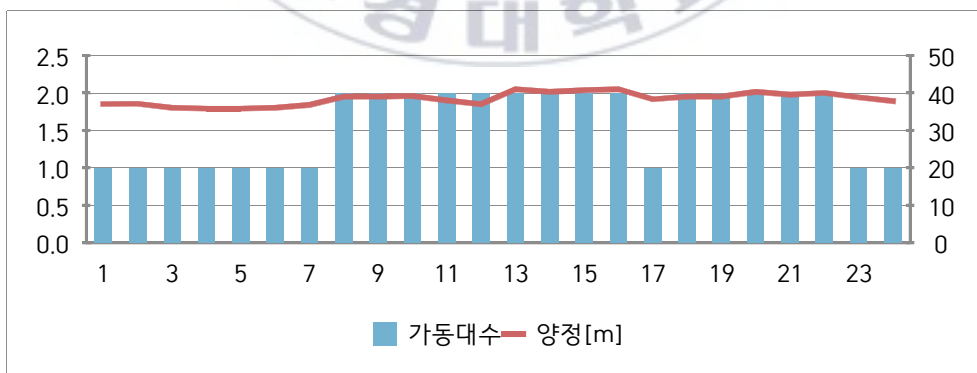


그림 12 기설펌프 운전현황(2일차)

기설 3일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 40m이상 운전되는 시간은 일부 시간으로 대부분 36m에서 39m이며, 평균 38.4m 시스템 양정으로 운전된다. 시스템 양정이 42m로 가장 높게 나타나는 구간은 일부로 합리적으로 운전 중이다.

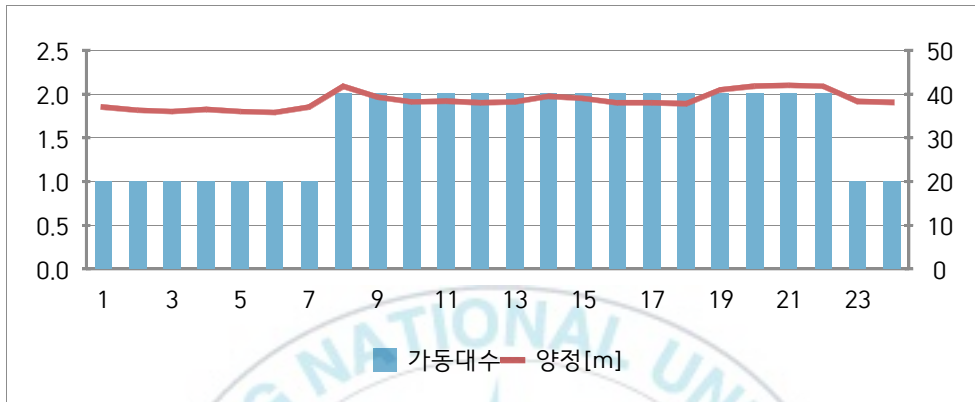


그림 13 기설펌프 운전현황(3일차)

기설 4일차 운전데이터 분석결과 시스템 양정이 대부분 정격양정으로 40m로 운전되었으며 시스템 양정은 약 40m로 운전된다. 하절기 가압장 증대 등의 원인으로 시스템 양정이 상승하는 구간으로 운전자가 토출압력 83m정도로 가동대수 조절하여 시스템 양정을 합리적으로 관리하고 있다.

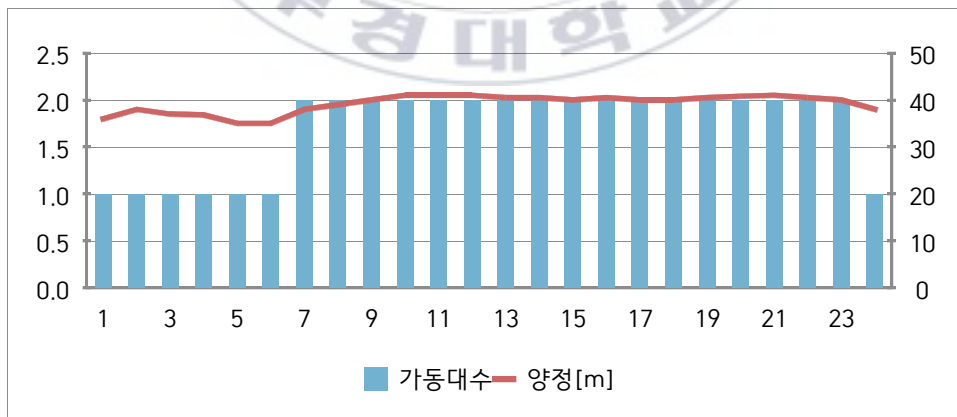


그림 14 기설펌프 운전현황(4일차)

기설펌프 5일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 40m 이상 운전되는 시간은 8~14시로 분석되었으며 대부분 시스템양정은 36m에서 39m이며, 평균 38.9m 시스템 양정으로 운전된다. 시스템 양정이 41.8m로 가장 높게 나타나는 구간은 일부 구간으로 운전자가 양정 상승 시 가동대수를 조절하여 합리적으로 운전 중이다.

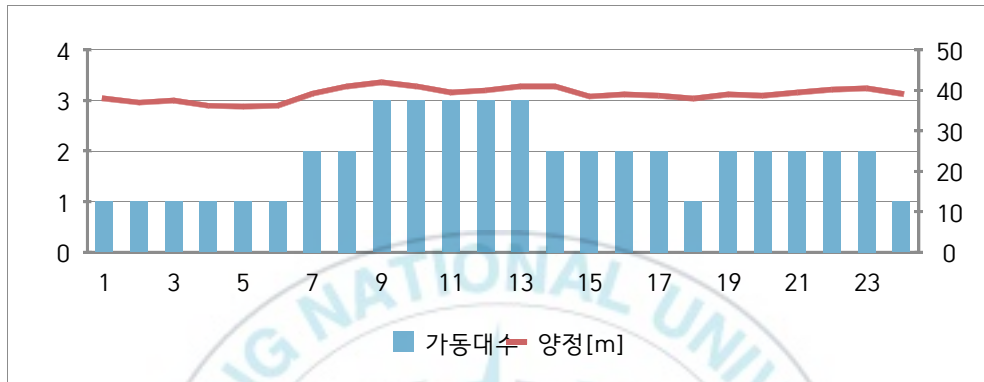


그림 15 기설펌프 운전현황(5일차)

기설 6일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 40m 이상 운전되는 기간이 대부분으로 시스템 양정은 36m에서 42m 사이로 운전되며 평균 39.1m 시스템 양정으로 운전된다. 토출압력이 83m정도로 일정하게 가동대수를 조정하여 시스템 양정을 합리적으로 관리하고 있다.

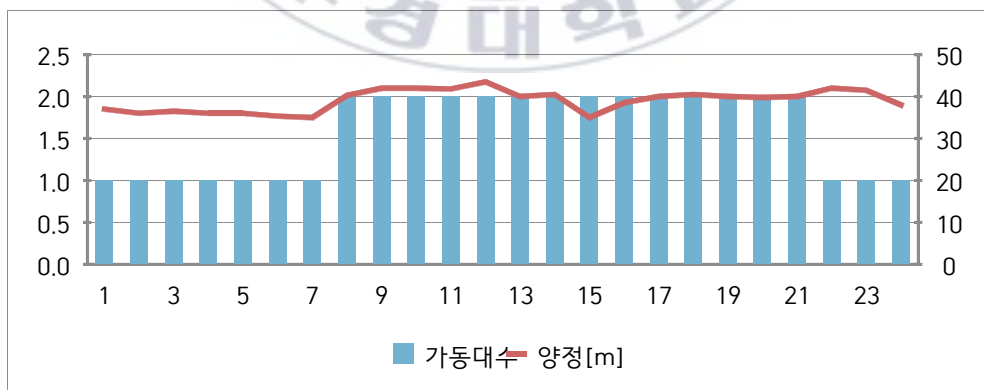


그림 16 기설펌프 운전현황(6일차)

5) E가압장 기설펌프장 개선방안

위의 운전데이터를 종합해보면 기설펌프장은 하절기에는 시스템 양정이 36m에서 42m까지 변동폭이 있으며 동절기에는 가압량 감소 등의 원인으로 인해 고유량 저양정으로 운전 중이다. 하절기 유량 증가 등을 고려할 때 기설펌프의 양정은 40m가 적절한 것으로 분석된다. 따라서 1호기는 고양정(60m)으로 설계되어 있어 적정양정 펌프교체가 필요하며, 효율이 낮은 4호기, 6호기, 7호기를 고효율 펌프로 교체가 필요한 실정이다.

표 19 E가압장 기설펌프장 고효율 펌프 교체 대상

구 분		교체 전			교체 후				가동시간 [h]
		동력 [kW]	유량 [m³/h]	양정 [m]	동력 [kW]	유량 [m³/h]	양정 [m]	효율 [%]	
E가압장 기설	1호기	1,725	7,920	60	1,135	7,920	40	76	2,000
	6호기	349	2,621	35	302	2,220	40	82	3,000
	7호기	339	2,274	37	302	2,220	40	82	5,236

3.2.5 F가압장 현황

시내계통 펌프는 1호기+5호기+9호기, 4호기+6호기+9호기 조합으로 7대 중 3대만 가동 중이다. 2호기와 3호기는 여름철 부하량 증가 시 가동되고 있고, 2호기는 전년도에는 비가동 상태였으며 3호기는 전년도에 16[h/년]만 가동되었다. 또한, 오류계통 펌프는 7호기+8호기+10호기, 7호기+12호기+10호기 조합으로 5대 중 3대만 가동 중이다. 전년도에는 7호기+10호기+11호기 조합으로 가동되었지만 현재 10호기 고장으로 인해 10호기와 11호기는 비가동 상태이다.

표 20 F가압장 펌프 현황

구 분		교 체 전					
		토출량	양정	소비동력	효 율	가동시간	제조년도
F가압장 시내계통	1호기	73.6m ³ /min	77m	1,270kW	72.7%	5,577	2017
	2호기	95.0m ³ /min	88m	1,856kW	73.6%	-	2004
	3호기	90.0m ³ /min	88m	1,856kW	69.7%	16	2003
	4호기	103m ³ /min	79m	1,641kW	81.4%	205	2017
	5호기	56.8m ³ /min	78m	1,120kW	64.7%	4,924	2005
	6호기	69.8m ³ /min	78m	1,154kW	77.2%	2,760	2005
	9호기	46.6m ³ /min	76m	960kW	60.3%	3,573	2008
F가압장 오류계통	7호기	35.0m ³ /min	88m	750kW	67.1%	5,015	2013
	8호기	86.0m ³ /min	77m	1,521kW	71.2%	4,817	2005
	10호기	35.0m ³ /min	88m	750kW	67.1%	2,983	2013
	11호기	65.0m ³ /min	78m	1,200kW	69.0%	317	2016
	12호기	90.8m ³ /min	76m	1,576kW	67.8%	3,736	2005

1) F가압장 시내계통 운전현황 및 문제점

시내계통 펌프는 상시 2대 이상 가동되는 에너지다소비 설비로써, 시내계통 펌프의 시스템 양정과 가동대수를 일별로 분석한 데이터는 다음과 같다

시내계통 1일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 88m이상 운전되는 시간은 없었으며 평균 76.3m의 양정으로 운전되고 있다.

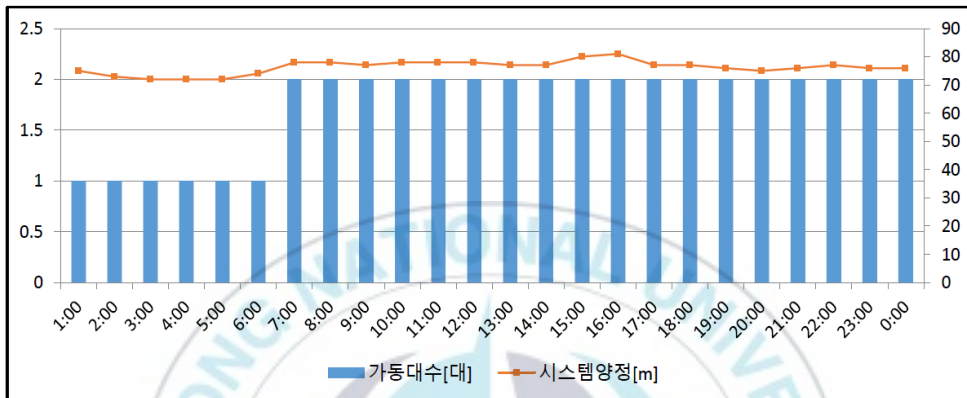


그림 17 시내계통 펌프 운전현황(1일차)

시내계통 2일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 88m이상 운전되는 시간대는 없었으며 평균 75.2m의 양정으로 운전되고 있다.

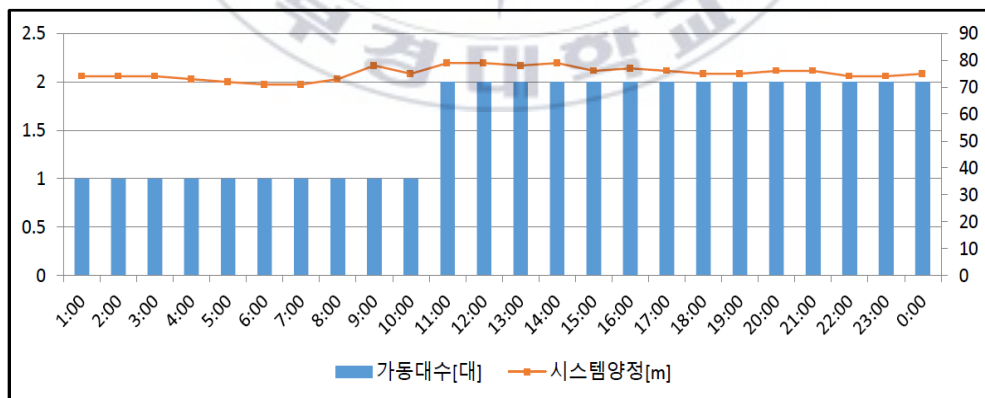


그림 18 시내계통 펌프 운전현황(2일차)

시내계통 3일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 88m이상 운전되는 시간대는 없었으며 평균 75.5m의 양정으로 운전되고 있다.

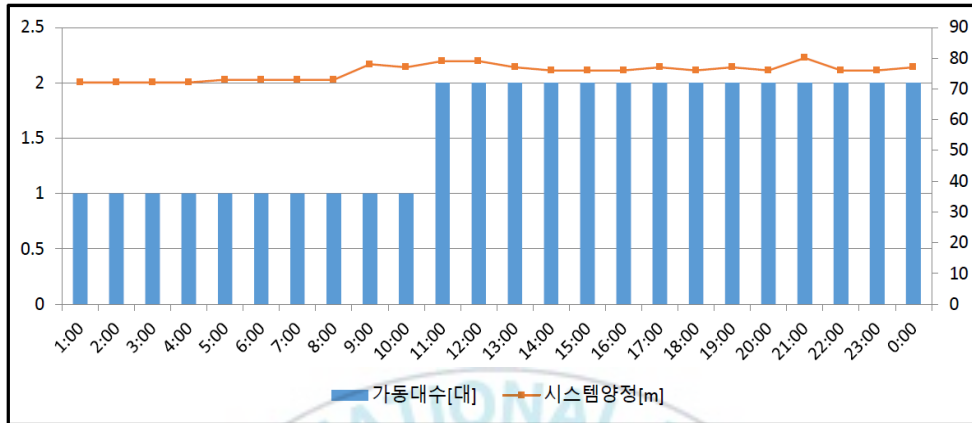


그림 19 시내계통 펌프 운전현황(3일차)

시내계통 4일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 88m이상 운전되는 시간대는 없었으며, 평균 75.7m의 양정으로 운전되고 있다.

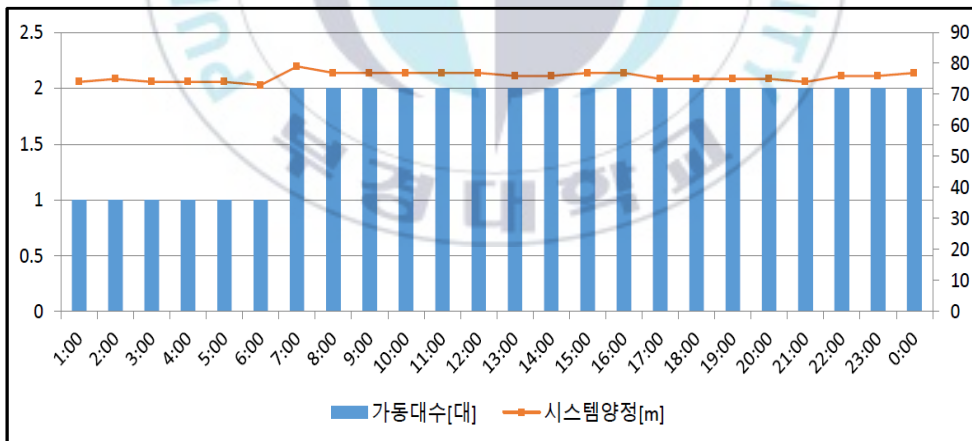


그림 20 시내계통 펌프 운전현황(4일차)

2) F가압장 시내계통 펌프 개선방안

기존에 사용 중인 효율이 낮은 1호기의 연간 가동시간은 5,577[h/년]으로 가장 많다. 하지만 2017년 설치로 내구연한(15년)이 지나지 않아 교체보다는 1호기의 가동시간을 줄이고, 효율이 좋은 4호기 펌프의 가동시간을 늘려 전력 에너지를 줄이도록 한다. 부하량이 많은 여름철에만 가동시키고 평상시에는 효율이 좋은 4호기 펌프를 가동시킨다. 또한, 5,6,9호기 펌프를 고효율 펌프로 교체하여 에너지를 절감한다.

표 21 F가압장 시내계통 펌프 운전방식 변경

구 분	개선 전		개선 후	
	1호기	4호기	1호기	4호기
소비전력[kW]	1,270.9	1,641	1,270.9	1,641
측정유량[m ³ /h]	4,418	6,185	4,418	6,185
양정[m]	76.8	79.3	76.8	79.3
효율[%]	72.7	81.3	72.7	81.39
연간 가동시간[h/년]	5,577	208	200	3,984

※ 개선 후 4호기 연간 가동시간

$$\begin{aligned}
 &= 1호기 측정 유량[m^3/h] \times \text{연간 가동시간[h/년]} \div 4호기 측정 유량[m^3/h] \\
 &= 4,418 \times 5,577 \div 6,185 \\
 &= 3,984[h/년]
 \end{aligned}$$

표 22 F가압장 고효율 펌프 교체 대상

구 분		교체 전			교체 후				가동시간 [h]
		동력 [kW]	유량 [m ³ /h]	양정 [m]	동력 [kW]	유량 [m ³ /h]	양정 [m]	효율 [%]	
F가압장 시내	5호기	1,120	3,410	78	925	3,480	80	82	4,924
	9호기	960	2,796	76	850	3,200	80	82	3,573

3) F가압장 오륜계통 운전현황 및 문제점

오륜계통은 생활용수 공급을 위해 펌프를 가동 중이며, 공정 특성상 24시간 연속 가동되는 에너지 다소비 공정이다.

오륜계통 1일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 88m이상 운전되는 시간대는 없었으며, 평균 75.2m의 양정으로 운전되고 있다.

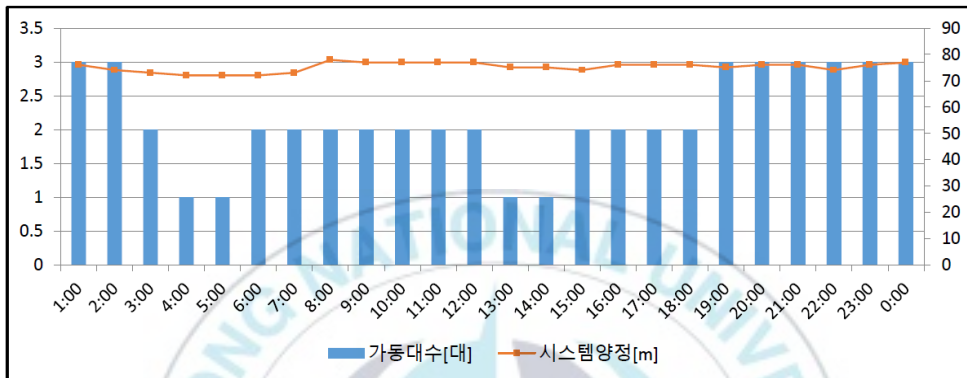


그림 21 오륜계통 펌프 운전현황(1일차)

오륜계통 2일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 88m이상 운전되는 시간대는 없었으며, 평균 76.2m의 양정으로 운전되고 있다.

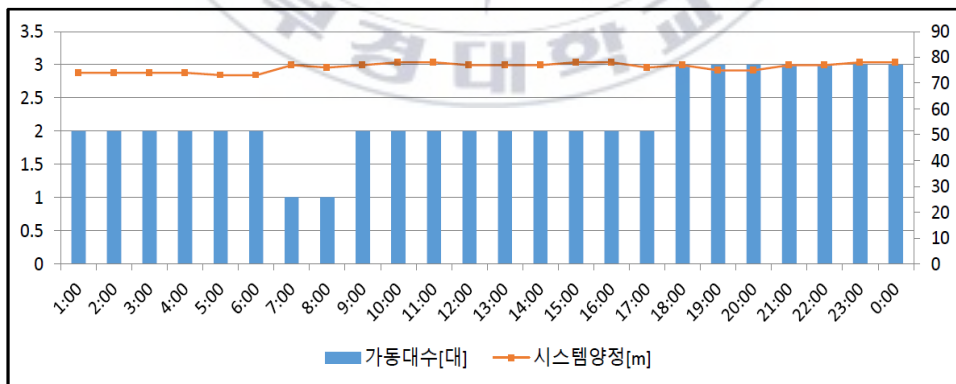


그림 22 오륜계통 펌프 운전현황(2일차)

오륜계통 3일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 정격양정 88m이상 운전되는 시간대는 없었으며, 평균 75.9m의 양정으로 운전되고 있다.

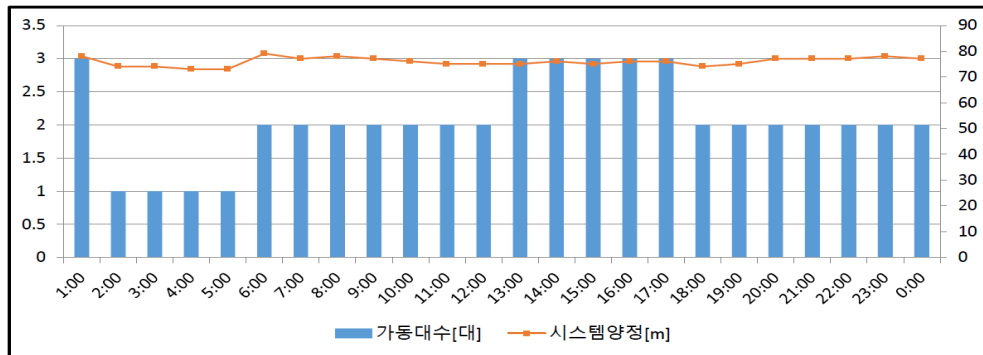


그림 23 오륜계통 펌프 운전현황(3일차)

오륜계통 4일차 운전데이터를 분석한 결과 시스템 양정이 88m이상 운전되는 시간대는 없었으며, 평균 76.2m의 양정으로 운전되고 있다.

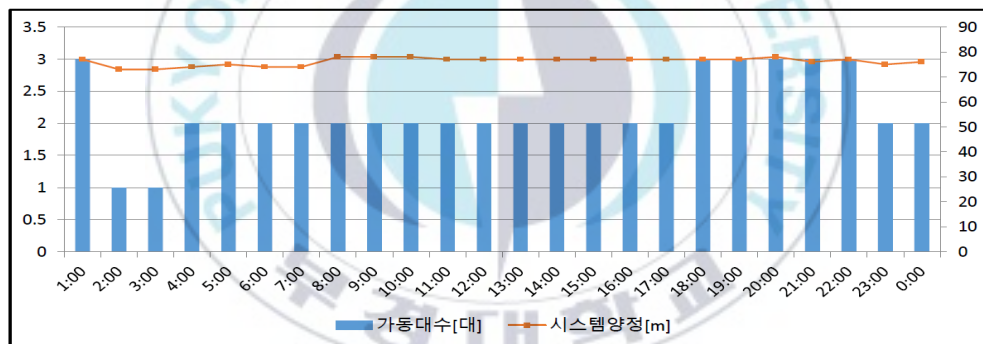


그림 24 오륜계통 펌프 운전현황(4일차)

표 23 E가압장 고효율 펌프 교체 대상

구 분		교체 전			교체 후			가동시간 [h]
		동력 [kW]	유량 [m³/h]	양정 [m]	동력 [kW]	유량 [m³/h]	양정 [m]	
E가압장 오륜	8호기	1,521	5,161	77	1,382	5,200	80	4,817
	12호기	1,576	5,450	76	1,382	5,200	80	3,736

제 4 장 ROI, NPV 경제성 분석

사업소별 고효율 펌프 설치에 따른 경제성을 분석하기 위해서 아래의 표 24를 기반으로 경제성을 분석하였다.

표 24 고효율 펌프 설치 경제성 입력 자료

항 목	단 위	값	비 고
사업비	천원	적용	설비용량 및 단가에 따라 적용
펌프 양정	m	적용	사업소별 설치위치에 따라 적용
펌프 토출량	m ³ /min	적용	사업소별 설치위치에 따라 적용
펌프 출력	kW	적용	사업소별 설치위치에 따라 적용
운영시간	h	적용	사업소별 설치위치에 따라 적용
내구연수	년	20년	설비 장수명화에 따른 내구연수 20년
유지보수비	%	0.7	By Investment costs
인건비	%	0.3	By Investment costs
전기요금	원/kW		전력단가의 고압A 선택Ⅱ, 고압B 선택Ⅲ
할인율	%	5.0	

4.1 전기요금 단가

다음 표 25는 전력단가 고압A의 선택Ⅱ, 고압B의 선택Ⅲ 계절별, 시간대별 전력단가이다. 고압A 선택Ⅱ의 연평균 전력단가는 116.9원/kWh이고, 고압B 선택Ⅲ 연평균 전력단가는 119.5원/kWh이다.

표 25 사업소별 전기요금

구 분		기본요금 (원/kWh)	전력량 요금(원/kWh)			
			시간대	여름철 (6~8월)	봄·가을철 (3~5월, 9~10월)	겨울철 (11~2월)
고압 A	선택 Ⅱ	8,320	경부하	79.3	79.3	86.3
			중간부하	132.2	101.8	132.4
			최대부하	214.3	132.5	189.9
고압 B	선택 Ⅲ	8,190	경부하	82.4	82.4	89.5
			중간부하	134.7	104.8	134.7
			최대부하	216.0	135.1	190.9

표 26 고압A 선택Ⅱ 전력요금

시간대별	여름철 (6~8월)	봄·가을철 (3~5월, 9~10월)	겨울철 (11~2월)
22:00 ~ 08:00	79.3	79.3	86.3
08:00 ~ 09:00	132.2	101.8	132.4
09:00 ~ 11:00	132.2	101.8	189.9
11:00 ~ 12:00	214.3	132.5	189.9
12:00 ~ 13:00	132.2	101.8	132.4
13:00 ~ 16:00	214.3	132.5	132.4
16:00 ~ 18:00	214.3	132.5	189.9
18:00 ~ 19:00	132.2	101.8	189.9
19:00 ~ 22:00	132.2	101.8	132.4
평 균	130.7	100.1	127.6

표 27 고압B 선택Ⅲ 전력요금

시간대별	여름철 (6~8월)	봄·가을철 (3~5월, 9~10월)	겨울철 (11~2월)
22:00 ~ 08:00	82.4	82.4	89.5
08:00 ~ 09:00	134.7	104.8	134.7
09:00 ~ 11:00	134.7	104.8	190.9
11:00 ~ 12:00	216.0	135.1	190.9
12:00 ~ 13:00	134.7	104.8	134.7
13:00 ~ 16:00	216.0	135.1	190.9
16:00 ~ 18:00	216.0	135.1	190.9
18:00 ~ 19:00	134.7	104.8	190.9
19:00 ~ 22:00	134.7	104.8	134.7
평 균	133.2	103.0	129.9

4.2 고효율 펌프 선정

펌프의 성능이나 용량을 나타내는 가장 기본적인 인자로 유량과 양정을 들 수 있다. 유량은 펌프의 토출 측에서 분출해내는 유체의 양이며, 양정은 펌프가 배관을 통하여 유체를 밀어 올릴 수 있는 수직높이이다. 펌프의 양수과정에서 약간의 누수나 사용여건에 따른 펌프 성능저하를 고려하여 설계유량의 5~15% 정도 여유를 주고 펌프모델을 선정한다. 이를 바탕으로 펌프의 토출구 구경을 계산할 수 있고, 이때 배관 내 평균유속은 1.5~2m/s로 한다. 흡입구 구경은 일반적으로 토출구 구경보다 한 단계 크게 선정한다. 펌프의 소요동력은 펌프의 효율과 전달계수를 이용하여 계산할 수 있다. 어떤 펌프를 운전할 때 유량을 증가시키면 양정은 점차 감소한다. 축동력은 유량이 증가될수록 함께 증가하게 되므로 소비동력도 늘어나게 된다. 펌프의 효율은 유량을 증가시키면 효율도 점차 증가하게 되지만 어느 지점의 유량 이후에는 오히려 효율이 감소하게 된다. 펌프의 성능곡선은 펌프의 종류나 임펠러의 형상에 따라 모두 다르게 되며, 같은 종류의 펌프라도 용량에 따라 성능곡선이 달라질 수 있다. 따라서 펌프를 신설하거나 교체할 경우 제조사로부터 펌프별 성능곡선을 받아 확인한 후 필요한 유량과 양정에서 운전효율이 최대가 되는 모델을 선정해야 한다.[13]

4.2.1 고효율 펌프 가격

펌프의 재료비는 견적가를 사용하였고, 설치비와 폐기비용은 대한기계설비건설협회가 제공하는 건설공사 표준품셈의 일위대가를 사용하였다. 기준은 소비동력과 양정으로 되어 있고, 표 28은 사업소별 펌프 사양 및 펌프가격을 나타낸다.

표 28 사업소별 고효율 펌프 가격

구 분		펌프사양	전압	양정	금 액
A취수장 2펌프장	1호기	6P 7,000m ³ /h	6,600V	70m	630,000,000원
	2호기	6P 7,000m ³ /h	6,600V	70m	630,000,000원
	3호기	6P 7,000m ³ /h	6,600V	70m	630,000,000원
	4호기	6P 7,000m ³ /h	6,600V	70m	630,000,000원
B취수장 기설	1호기	8P 4,000m ³ /h	6,600V	65m	440,000,000원
	4호기	8P 4,000m ³ /h	6,600V	65m	440,000,000원
C취수장 2펌프장	3호기	6P 2,400m ³ /h	3,300V	80m	290,000,000원
	4호기	6P 2,400m ³ /h	3,300V	80m	290,000,000원
E가압장 신설	1호기	6P 4,200m ³ /h	6,600V	30m	260,000,000원
	2호기	6P 4,200m ³ /h	6,600V	30m	260,000,000원
	4호기	6P 4,200m ³ /h	6,600V	30m	260,000,000원
E가압장 기설	1호기	6P 7,920m ³ /h	6,600V	40m	260,000,000원
	6호기	6P 4,800m ³ /h	6,600V	40m	220,000,000원
	7호기	6P 4,800m ³ /h	6,600V	40m	220,000,000원
F가압장 시내	5호기	6P 4,100m ³ /h	6,600V	80m	440,000,000원
	9호기	6P 3,200m ³ /h	6,600V	80m	320,000,000원
F가압장 오륜	8호기	6P 5,200m ³ /h	6,600V	80m	480,000,000원
	12호기	6P 5,200m ³ /h	6,600V	80m	480,000,000원

4.2.2 고효율 펌프 설치비 및 철거비용

고효율 펌프 설치비는 양수량을 기준으로 책정하였고, 이에 따라 기계설비공과 보통인부 인공을 적용하였다. 펌프 철거비용은 철거 시와 재활용 시의 가격을 고려하였으며, 철거 시 재활용 없이 고철로 판매한다면 품셈에서 제시한 일위대가를 기준으로 설치비의 40%로 가정하였고, 재활용 시의 가격은 설치비용의 60%로 가정하였다. 이번 연구는 펌프의 내구연한에 따라 교체하는 것으로 재활용 없이 철거하는 것으로 계산한다.

표 29 양수량에 따른 펌프 설치비

구 분	설치비	철거비 (설치비의 40%)	합 계
1,001 ~ 2,000m ³ /h	6,033,594	2,413,438	8,447,032
2,001 ~ 3,000m ³ /h	6,900,058	2,760,023	9,660,081
3,001 ~ 4,000m ³ /h	7,592,574	3,037,030	10,629,604
4,001 ~ 5,000m ³ /h	8,188,501	3,275,400	11,463,901
5,001 ~ 6,000m ³ /h	8,668,853	3,467,541	12,136,394
6,001 ~ 7,000m ³ /h	8,990,964	3,596,386	12,587,350
7,001 ~ 8,000m ³ /h	9,381,529	3,752,612	13,134,141

표 30 사업소별 고효율 펌프 사업비

구 분		규 격	물품가격	설치비 (철거포함)	합 계
A취수장 2펌프장	1호기	7,000m ³ /h	630,000,000원	12,587,350원	642,587,350원
	2호기	7,000m ³ /h	630,000,000원	12,587,350원	642,587,350원
	3호기	7,000m ³ /h	630,000,000원	12,587,350원	642,587,350원
	4호기	7,000m ³ /h	630,000,000원	12,587,350원	642,587,350원
B취수장 기설	1호기	4,000m ³ /h	440,000,000원	10,629,604원	450,629,604원
	4호기	4,000m ³ /h	440,000,000원	10,629,604원	450,629,604원
C정수장 2펌프장	3호기	2,400m ³ /h	290,000,000원	9,660,081원	299,660,081원
	4호기	2,400m ³ /h	290,000,000원	9,660,081원	299,660,081원
E가압장 신설	1호기	4,200m ³ /h	260,000,000원	11,463,901원	271,463,901원
	2호기	4,200m ³ /h	260,000,000원	11,463,901원	271,463,901원
	4호기	4,200m ³ /h	260,000,000원	11,463,901원	271,463,901원
E가압장 기설	1호기	7,920m ³ /h	260,000,000원	13,134,141원	273,134,141원
	6호기	4,800m ³ /h	220,000,000원	11,463,901원	231,463,901원
	7호기	4,800m ³ /h	220,000,000원	11,463,901원	231,463,901원
F가압장 1계통	5호기	4,100m ³ /h	440,000,000원	11,463,901원	451,463,901원
	9호기	3,200m ³ /h	320,000,000원	9,660,081원	329,660,081원
F가압장 오류	8호기	5,200m ³ /h	480,000,000원	12,136,394원	492,136,394원
	12호기	5,200m ³ /h	480,000,000원	12,136,394원	492,136,394원

4.3 ROI, NPV 경제성 분석(실제사례 적용)

EG-TIPS 에너지온실가스 종합정보 플랫폼에서 제공하는 간이경제성 평가 도구를 사용하면 에너지 절감량과 비용효과(투자회수 ROI법 및 순현재가치 NPV법)를 얻을 수 있어 사업의 타당성을 간이적으로 평가할 수 있다. 2017년 A취수장 고효율 펌프 교체 건을 대입하여 계산하여 실제 절감량이란 비교를 통해 계산식을 증명하고자 한다.

(1) 사업대상 및 측정결과

표 31 사업대상 펌프 교체 전

구 분		교 체 전(실측)					
		토출량	양정	소비동력	펌프효율	모터효율	가동시간
A취수장	펌프 1-1	108.4m ³ /min	68.5m	1,677kW	76.0%	95.3%	2,135h
	펌프 1-4	120.6m ³ /min	69m	1,823kW	80.0%	93.3%	2,135h
	펌프 3-2	57.1m ³ /min	68.6m	890kW	76.1%	94.5%	2,760h
	펌프 3-7	108.6m ³ /min	68m	1,779kW	71.5%	95.0%	4,494h

실측된 양정 및 유량값에 맞춰 펌프 사양 재설계하여 다음과 같이 교체할 예정이다. 가동시간의 경우 교체 전과 동일한 조건에서 경제성 검토를 실시한다.

표 32 사업대상 펌프 교체 후

구 분		교 체 후(규격)					
		토출량	양정	소비동력	펌프효율	모터효율	가동시간
A취수장	펌프 1-1	108.3m ³ /min	72m	1,517kW	88.5%	95.0%	2,135h
	펌프 1-4	108.3m ³ /min	72m	1,517kW	88.5%	95.0%	2,135h
	펌프 3-2	52.1m ³ /min	72m	733kW	88.0%	95.0%	2,760h
	펌프 3-7	108.3m ³ /min	72m	1,517kW	88.5%	95.0%	4,494h

(2) 고효율 펌프 ROI기반 경제성 평가

기존 저효율 또는 일반효율의 펌프를 고효율 설비로 교체함으로써 에너지 절감함과 동시에 온실가스 발생을 감축한다. 이를 분석하기 위해 연료기준정보, 개선 전 운전특성, 개선 후 운전특성, 개선 전·후 운전특성, 개선 전·후 에너지 절감량 요약, 에너지 절감효과, 사업성 평가 등 6개의 항목으로 나누어 계산할 예정이다. 먼저 연료별 기준정보는 펌프 교체 시 사업성 평가 관련 연료별 기준 1)이산화탄소 배출계수, 2)에너지단가 등의 정보이다. LNG 및 전력단가는 산업용을 근거로 하였다. 분석내용은 연료기준정보, 개선 전 운전특성, 개선 후 운전특성, 개선 전·후 에너지 절감량, 에너지 절감효과, 사업성 평가이다.

표 33 사업성 평가 관련 연료별 기준정보

CO ₂ 배출계수		에너지 단가	
휘발유(tCO ₂ /toe)	2,067	휘발유(원/ℓ)	1,501.22
보일러등유(tCO ₂ /toe)	2,427	보일러등유(원/ℓ)	1,366.70
경유(tCO ₂ /toe)	2,584	경유(원/ℓ)	1,253.45
B-C유(tCO ₂ /toe)	3,013	B-C유(원/ℓ)	762.00
LPG(tCO ₂ /toe)	3,639	LPG(원/Nm ³)	764.44
LNG(tCO ₂ /toe)	2,756	LNG	
전력(tCO ₂ /MWh)	0,4585	업무용 LNG(원/Nm ³)	781.54
		일반용 LNG(원/Nm ³)	740.20
		공조용 LNG(원/Nm ³)	667.45
		산업용 LNG(원/Nm ³)	720.86
		전력	
		산업용 전력1(원/kWh)	116.9
		산업용 전력2(원/kWh)	119.5

고효율 펌프 교체 개선 전 사양은 해당 셀에서 설비명, 최대 토출압력(양정), 최대 토출량, 전동기 정격출력, 이송유체 및 설비용도, 연간 운전시간 등을 입력하여 개선 전 종합효율을 구한다.

표 34 펌프1-1 개선 전 운전특성

No	구 분	단위	데이터	비 고
1	설비명	-	펌프	펌프 & 송풍기 선택
2	최대 토출압력(양정)	m	68.5	직접입력
3	최대 토출량	m ³ /min	108.4	직접입력
4	전동기 출력	KW	1,677	직접입력
5	개선 전 종합효율*	%	72.3	효율 = {(2)×(3)}/{6.12(계수)×(4)}×100
6	연간 운전 시간	h/년	2,135	시간(h/d) × 일(d/m) × 월(m/yr)

* 펌프 개선 전 종합 효율을 말하며, 단위는 [%]이다.

$$- \text{펌프 종합효율}(\%) = \frac{\text{최대양정}(m) \times \text{최대토출량}(m^3/\min)}{6.12 \times \text{전동기출력}(kW)} \times 100$$

표 35 펌프1-1 개선 후 운전특성

No	구 분	단위	데이터	비 고
7	설비명	-	펌프	송풍기 & 펌프 선택
8	최대 토출압력(양정)	m (mmAq)	72	= (2)
9	최대 토출량	m ³ /min (CMM)	108.3	= (3)
10	개선 후 종합효율	%	84	종합효율(%) = 송풍기(펌프)효율(%)×전동기효율(%)
11	전동기 출력	KW	1,516.8	= (8) × (9)/(6.12 × (10)/100)
12	연간 운전 시간	h/년	2,135	시간(h/d) × 일(d/m) × 월(m/yr)

표 36 펌프1-1 개선 전·후 에너지 절감량

No	구 분	단위	데이터	비 고
13	개선 전 전력소비용	kWh/년	3,580	$(4) \times (6) \times \{100/(5)\}$
14	개선 후 예상 소비전력량	kWh/년	3,238	$(11) \times (12) \times \{100/(10)\}$
15	개선 전 에너지 비용	원/년	428	(13) × 해당 전력요금 단가 적용
16	개선 후 예상 에너지 비용	원/년	387	(14) × 해당 전력요금 단가 적용
17	개선 전 CO ₂ 배출량	t-CO ₂ /년	1,642	$(13) / 1,000 \times \text{CO}_2\text{배출계수}$
18	개선 후 예상 CO ₂ 배출량	t-CO ₂ /년	1,485	$(14) / 1,000 \times \text{CO}_2\text{배출계수}$

표 37 펌프1-1 에너지 절감효과

No	구 분	단위	데이터	비 고
19	에너지 절감량	kWh/년	342	$(13) - (14)$
20	에너지 절감율	%	9.6	$(19) / (13) \times 100$
21	CO ₂ 감축량	t-CO ₂ /년	157	$(17) - (18)$
22	절감비용	백만원/년	40.9	$(15) - (16) / 1,000,000$

표 38 펌프1-1 ROI기반 경제성 분석 평가

No	구 분	단위	데이터	비 고
23	설비 투자금액	백만원	197	직접입력
24	절감비용	백만원/년	40.9	= (22)
25	투자비 회수기간	년	4.8	$(23) \div (24)$
26	기대효과	MWh/백만원	173.6	$(19) \div (23)$

사업대상인 펌프 4대에 대한 ROI기반 경제성 분석을 한 결과 아래의 표로 정리할 수 있다.

표 39 ROI기반 경제성 분석 결과

구 분		에너지 절감량 [MWh/년]	투자금액 [백만원]	절감비용 [백만원/년]	투자비 회수기간 [년]	기대효과 [MWh/백만원]
A취수장	펌프11	342	197	40.9	4.8	173.6
	펌프14	654	197	78.1	2.5	331.8
	펌프32	433	139	51.7	2.7	51.7
	펌프37	1,178	197	140.8	1.4	598.1
합 계		2,607	730	311.5	2.3	1,155.2



(3) 고효율 펌프 NPV기반 경제성 평가

표 40 NPV 기반 경제성 분석 입력 항목

No	구 분	단위	데이터	비 고
27	총투자비	백만원	197	$= (23) \times (28) + (23) \times (29)$
28	자기자본비율	%	12	총투자비 자기자본비율
29	대출비율	%	88	총투자비 대출비율, $100\% - (28)$
30	자기자본금	백만원	24	$= (27) \times (28) / 100$
31	대출금	백만원	173	$= (27) \times (29) / 100$
32	설비유지보수비율	%	0.3	총투자비의 0.3%
33	설비운영인건비율	%	0.7	총투자비의 0.7%
34	대출이자율	%	2.75	대출금의 이자율
35	할인율	%	5	물가상승을 배제한 고정 할인율인 실질할인율 적용
36	법인세	%	0	수익의 8% ~ 15%
37	온실가스판매액	천원/tCO ₂	0	자체소비
38	신규설비 내구연수	년	20	신규 고효율 송풍기 및 펌프 교체 설비 내구연수

표 41 NPV 결과 요약

구 분	단위	데이터	비 고
순현금유입	백만원	897.6	내구연수 동안 순현금유입
순현금유출	백만원	333.6	내구연수 동안 순현금유출
순현금흐름	백만원	563.9	내구연수 동안 순현금흐름
NPV기반 사업타당성 년도	년	7년	할인율 포함 현금계수 고려한 순현가 가치법 NPV 기준 사업타당성 기간

표 42 NPV 현금흐름

	신규 내구 연수 [년]	예 상 가동율 [%]	순현금 유입 [백만원]	순현금 유출 [백만원]	순현금 흐름 [백만원]	순현금 흐름 NPV [백만원]	누적현금 흐름 [백만원]	누적현금 흐름 NPV [백만원]
착공준공 기간	0	0	0	197.0	-197.0	-197.0	-197.00	-197.00
운전연도	1	100	40.9	6.7	34.13	32.51	-162.87	-164.49
운전연도	2	100.5	41.3	6.7	34.53	31.32	-128.33	-133.17
운전연도	3	101	41.7	6.8	34.93	30.18	-93.40	-102.99
운전연도	4	101.5	42.1	6.8	35.34	29.07	-58.06	-73.92
운전연도	5	102	42.5	6.8	35.74	28.01	-22.32	-45.91
운전연도	6	102.5	42.9	6.8	36.15	26.98	13.84	-18.93
운전연도	7	103	43.4	6.8	36.56	25.98	50.40	7.05
운전연도	8	103.5	43.8	6.8	36.98	25.03	87.38	32.08
운전연도	9	104	44.2	6.8	37.39	24.10	124.77	56.18
운전연도	10	104.5	44.6	6.8	37.81	23.21	162.57	79.39
운전연도	11	105	45.1	6.8	38.22	22.35	200.79	101.74
운전연도	12	105.5	45.5	6.8	38.64	21.52	239.44	123.26
운전연도	13	106	45.9	6.9	39.07	20.72	278.51	143.97
운전연도	14	106.5	46.4	6.9	39.49	19.95	318.00	163.92
운전연도	15	107	46.8	6.9	39.92	19.20	357.91	183.12
운전연도	16	107.5	47.2	6.9	40.35	18.48	398.26	201.60
운전연도	17	108	47.7	6.9	40.78	17.79	439.04	219.39
운전연도	18	108.5	48.1	6.9	41.21	17.12	480.24	236.52
운전연도	19	109	48.6	6.9	41.64	16.48	521.89	253.00
운전연도	20	109.5	49.0	6.9	42.08	15.86	563.97	268.86
합 계			897.7	0	563.9	268.8	3,575.0	1,333.6

그림 25 누적현금흐름 기반

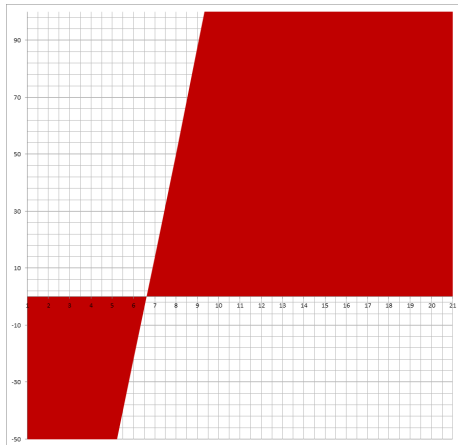
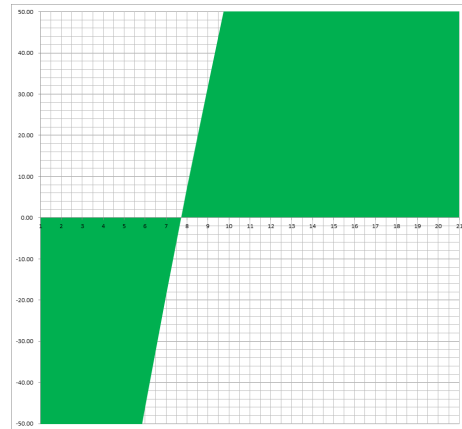


그림 26 NPV 누적현금흐름 기반



위의 순서대로 펌프 4대에 대한 경제성 검토를 실시한 결과 다음과 같다.

표 43 NPV 결과 분석

구 분		순현금유입 [백만원]	순현금유출 [백만원]	순현금흐름 [백만원]	NPV기반 사업타당성 년도
A취수장	펌프 1-1	897.6	333.6	563.9	7년
	펌프 1-4	1,715.6	333.6	1,382.0	4년
	펌프 3-2	1,135.8	235.4	900.5	4년
	펌프 3-7	3,092.3	333.6	2,758.7	2년
합 계		6,841.3	1,236.2	5,605.1	

(4) 고효율 펌프 실제 에너지 절감액

표 44 예상 절감량

구 분	예상 가동시간 [h]	개선전 소비동력 [kW]	개선후 예상 소비동력 [kW]	전체 절감량 [MWh]	전체 절감액 [백만원]
펌프 11	2,135	1,677	1,517	342	40.9
펌프 14	2,135	1,823	1,517	654	78.1
펌프 32	2,760	890	733	433	51.7
펌프 37	4,494	1,779	1,517	1,178	140.8
합 계	11,524	6,169	5,284	2,607	311.5

각 펌프별 가동률은 제안시간 대비 평균 165%로 많이 가동되었으며, 용량이 큰 A취수장 펌프1-1, 펌프1-4의 경우 가동률이 각각 227%, 271%로 높은편이다. 본 사업을 통해 기존 저효율로 운전되는 고양정의 펌프 용량을 실제 운전 기준에 맞추어 설계하였으며 펌프 특성상 큰 용량의 펌프 효율이 상대적으로 높기 때문에 큰 용량 펌프의 높은 가동률로 인해 절감달성률이 높아졌으며 신규 펌프의 가동시간을 늘리는 방식으로 운영함으로써 제안절감량 대비 추가적으로 많은 에너지 절감효과를 나타낸다.

표 45 펌프별 가동시간 및 절감달성률

구 분	예상 가동시간 [h]	가동 시간 [h]	가동률 [%]	소비 동력 [kW]	전체 절감량 [MWh]	전체 절감액 [백만원]	절감 달성률 [%]
펌프 11	2,135	4,848	227	1,572	781	93.3	228.1
펌프 14	2,135	5,795	271	1,569	1,739	207.9	266.2
펌프 32	2,760	2,125	77	750	293	33.8	65.4
펌프 37	4,494	6,304	140	1,571	1,782	226.2	160.6
합 계	11,524	19,072	165	5,462	4,595	561.2	

4.4 ROI, NPV 경제성 분석 결과

위의 경제성 분석 방법에 따라 ROI, NPV 경제성 분석을 실시한다. ROI는 투자 수익률로써 ≥ 0 , NPV는 순현재가치로 편익과 비용의 차로써 $NPV > 0$ 나타나면 경제성이 있다고 판단된다.

표 46 교체 대상

구 분		교체 전				교체 후				가동 시간 [h]
		동력 [kW]	유량 [m ³ /h]	양정 [m]	효율 [%]	동력 [kW]	유량 [m ³ /h]	양정 [m]	효율 [%]	
A상장 2펌프	1호	1,710	6,960	68	75.4	1,498	6,988	68	86	4,020
	2호	1,725	6,780	68	72.8	1,460	6,805	68	86	5,014
	3호	1,725	6,420	71	72.0	1,449	6,446	71	86	4,245
	4호	1,825	7,560	67	75.6	1,635	7,597	68	86	4,450
B상장 가설	1호	994	3,989	58	63.4	864	4,200	65	86	4,330
	4호	1,022	3,823	62	63.2	864	4,200	65	86	4,806
C상장 2펌프	3호	795	2,450	78	65.5	638	2,400	80	82	4,380
	4호	770	2,450	78	67.6	638	2,400	80	82	4,380
E기압상 신설	1호	537	4,751	25	60.2	418	4,200	30	82	4,000
	2호	480	4,156	27	63.7	418	4,200	30	82	3,500
	4호	497	3,956	25	54.2	418	4,200	30	82	3,000
E기압상 가설	1호	1,725	7,920	60	75.0	1,135	7,920	40	76	2,000
	6호	349	2,621	35	71.6	302	2,220	40	82	3,000
	7호	339	2,274	37	67.6	302	2,220	40	82	5,236
F기압상 새	5호	1,120	3,410	78	64.7	925	3,480	80	82	4,924
	9호	960	2,796	76	60.3	850	3,200	80	82	3,573
F기압상 오류	8호	1,521	5,161	77	71.2	1,382	5,200	80	82	4,817
	12호	1,576	5,450	76	67.8	1,382	5,200	80	82	3,736

표 47 에너지 절감 효과

구 분		에너지 절감량 [MWh/년]	절감비용 [백만원/년]	순현금 유입 [백만원]	순현금 유출 [백만원]	순현금 흐름 [백만원]
A취수장 2펌프장	1호기	849	101.5	2,200.6	777.7	1,422.9
	2호기	1,329	158.8	3,443.0	777.7	2,665.3
	3호기	1,170	139.9	3,032.5	777.7	2,254.8
	4호기	842	100.6	2,180.4	777.7	1,402.7
B취수장 가설펌프	1호기	561	65.6	1,410.5	545.5	865.1
	4호기	757	88.5	1,904.1	545.5	1,358.6
C취수장 2펌프장	3호기	689	80.6	1,733.5	362.8	1,370.7
	4호기	580	67.8	1,458.1	362.8	1,095.2
E가압장 신설	1호기	474	55.4	1,193	328	865
	2호기	215	25.2	542	328	214
	4호기	236	27.5	593	328	265
E가압장 가설	1호기	1,180	137.9	2,967	330	2,637
	6호기	162	19.0	408	279	129
	7호기	231	13.0	580.6	279.4	301.2
F가압장 사내	5호기	962	112.5	2,420	545	1,875
	9호기	392	45.9	986.8	399.1	587.6
F가압장 오륜	8호기	672	78.5	1,689.3	595.1	1,094.2
	12호기	726	84.9	1,827	595.1	1,231.9
합 계		12,027	1,403.1	30,569.4	8,934.1	21,635.2

표 48 에너지 절감 결과 요약

구 분		설치비 [백만원]	에너지 절감량 [MWh/년]	탄소배출 절감량 [tCO ₂ /년]	순현금 유출 [백만원]	NPV 사업타당성 [년]
A취수장 2펌프장	1호기	643	849	389	777.7	9
	2호기	643	1,329	609	777.7	5
	3호기	643	1,170	536	777.7	6
	4호기	643	842	386	777.7	9
B취수장 기설펌프	1호기	451	561	257	545.5	10
	4호기	451	757	347	545.5	7
C취수장 2펌프장	3호기	300	689	316	362.8	5
	4호기	300	580	266	362.8	6
E가압장 신설	1호기	271	474	217	328	7
	2호기	271	215	99	328	18
	4호기	271	236	108	328	16
E가압장 기설	1호기	273	1,180	541	330	3
	6호기	231	162	74	279	-
	7호기	231	231	106	279.4	13
F가압장 시내	5호기	451	962	441	545	5
	9호기	330	392	180	399.1	10
F가압장 오륜	8호기	492	672	308	595.1	9
	12호기	492	726	333	595.1	8
합 계 / 평균		7,387	12,027	5,514	8,934.1	8.1

4.5 민감도 분석

대용량의 펌프를 사용하는 경우 각 변수에 대한 민감도 분석을 실시하였다. 민감도 분석은 초기 입력값에 변화를 주어 이 변화가 최종금액에 어떻게 반영되는지를 보여주는 것으로서 어떤 부분의 운영개선이나 가격적 이득이 최종적인 비용에 영향을 미치는가 알아보는 것이다. 이러한 결과를 통하여 펌프의 교체 방향을 정하는데 활용할 수 있다.

첫 번째, 펌프 설치비 절감으로 정부지원사업을 통해 총사업비의 40%를 절감받아 진행하는 것이다. 지역에너지절약 시설보조사업으로 에너지 절감을 위해 고효율에너지기자재 인증서를 취득한 제품으로 교체하는 것을 지원하는 것을 지원하는 정부 사업이다. 표 49 정부지원금 40% 경제성 분석은 가동시간은 기존 표 46과 동일하고 설치비를 40% 절감하여 경제성 평가를 진행한 것으로 20년간의 총 소요비용에서 대략 40%의 비용하락을 보인다. 또한, 평균 NPV 사업타당성도 34% 감소한 것을 확인할 수 있다.

두 번째, 펌프의 가동시간 증가로 이는 펌프의 운전비용을 계산하는데 필수적인 항목이면서 경제성 검토에서 가장 중요하고 많은 비용을 차지하는 항목이다. 펌프 가동시간이 늘어날수록 에너지 절감량이 많아져 초기 투자비 회수기간이 줄어드는 것을 표 50에서 확인할 수 있다. 기존의 펌프의 가동시간을 줄이고 고효율 펌프 가동시간을 20% 증가하는 경우 누적현금흐름 NPV가 대략 43% 증가한다. 또한 평균 NPV 사업타당성이 11.1% 감소한다. 이는 가동시간이 증가될수록 초기 설치비 회수기간이 줄어드는 경향을 보여준다.

따라서, 펌프 교체의 경제성을 향상시키기 위해서는 정부지원정책을 이용한 초기 설치비 절감 및 고효율 펌프 가동시간 증가에 중점을 두어야 한다.

표 49 정부지원금 40% 적용 시 경제성 분석

구 분		설치비 [백만원]	에너지 절감량 [MWh/년]	탄소배출 절감량 [tCO ₂ /년]	순현금 유출 [백만원]	NPV 사업타당성 [년]
A취수장 2펌프장	1호기	386	849	389	466.9	5
	2호기	386	1,329	609	466.9	3
	3호기	386	1,170	536	466.9	4
	4호기	386	842	386	466.9	5
B취수장 기설펌프	1호기	271	561	257	327.8	5
	4호기	271	757	347	327.8	4
C취수장 2펌프장	3호기	180	689	316	217.7	3
	4호기	180	580	266	217.7	3
E가압장 신설	1호기	163	474	217	197.2	4
	2호기	163	215	99	197.2	9
	4호기	163	236	108	197.2	8
E가압장 기설	1호기	164	1,180	541	198.4	2
	6호기	163	162	74	197.2	13
	7호기	163	231	106	197.2	8
F가압장 시내	5호기	271	962	441	327.8	3
	9호기	198	392	180	239.5	6
F가압장 오륜	8호기	295	672	308	356.8	5
	12호기	295	726	333	356.8	5
합 계 / 평 균		4,484	12,027	5,514	5,423.9	5.3

표 50 가동시간 20% 증가 시 경제성 분석

구 분		설치비 [백만원]	에너지 절감량 [MWh/년]	탄소배출 절감량 [tCO ₂ /년]	NPV 사업타당성 [년]	가동시간 [h]
A취수장 2펌프장	1호기	643	1,019	467	7	4,824
	2호기	643	1,595	731	4	6,017
	3호기	643	1,405	644	5	5,094
	4호기	643	1,010	463	7	5,340
B취수장 기설펌프	1호기	451	673	309	8	5,196
	4호기	451	908	416	6	5,767
C취수장 2펌프장	3호기	300	827	379	4	5,256
	4호기	300	696	319	5	5,256
E가압장 신설	1호기	271	569	261	5	4,800
	2호기	271	258	118	14	4,200
	4호기	271	283	130	12	3,600
E가압장 기설	1호기	273	1,416	649	2	2,400
	6호기	231	195	89	16	3,600
	7호기	231	277	127	10	6,283
F가압장 시내	5호기	451	1,155	530	4	5,909
	9호기	330	471	216	8	4,288
F가압장 오륜	8호기	492	806	370	7	5,780
	12호기	492	872	400	6	4,483
합 계 / 평 균		7,387	14,435	6,618	7.2	4,894.1

제 5 장 결 론

정수처리시설에서 사용하는 대용량 펌프 18대를 대상으로 고효율 펌프로 교체 시 경제성이 있는지 분석하기 위하여 ROI, NPV기법을 통하여 분석하였다. 분석을 위하여 초기 설치비는 펌프 용량에 따른 견적가 및 건설공사 표준품셈에 따른 설치비(철거비 포함)를 포함하여 조사하였고, 유지관리비 및 인건비는 일정 요율을 적용하고, 폐기비용은 펌프 평균 내구연한인 15년을 기준으로 15년을 넘는 경우 0으로 15년보다 적을 경우 재활용 시의 중고가격을 반영하도록 하였다. 이번 연구에서는 평균 내구연한은 15년이 지났기 때문에 잔존가치는 0원으로 반영되었다.

현재 ○○광역시 정수처리시설은 기전설비 장수명화 실시로 펌프 교체주기를 펌프 평균 내구연한인 15년이 아닌 20년으로 설정하여 교체하고 있다. 따라서 본 연구에서는 교체주기를 20년으로 설정하여 경제성 검토를 실시하였고, NPV 사업 타당성 기간을 10년 이내로 기준을 잡고 우선 순위를 정하고자 하였다. 그 결과, NPV 사업타당성이 8년 이내로 나오는 펌프는 9대(50%)로 평균 효율이 66%이고 평균 가동시간이 4,400시간으로 집계됐다. 또한, 9~10년 이내는 펌프 5대(28%)로 평균 효율이 69%이고 평균 가동시간이 4,200시간이다. 그 외 NPV 사업타당성이 13~18년으로 경제성이 미미한 경우는 용량이 650~800HP로 비교적 작은 것을 확인할 수 있다. 따라서, NPV 사업타당성 기간이 짧은 펌프를 우선적으로 교체할 경우 효과적인 에너지 비용 절감을 볼 수 있다.

또한, 대용량 고효율 펌프의 민감도 분석결과 정부지원에 따른 초기 투자비 절감 및 펌프 가동시간 증가시키는 방향으로 교체를 할 경우 경제성에 미치는 효과가 클 것으로 예측되었다. 총설치비에 정부 지원 40%를 받을 경우 NPV 사업 타당성 기간이 5년 이내인 대상은 총 13대(72%)이고, 6~9년인 대상은 4대(22%)로 대부분의 펌프가 10년 이내에 초기 투자비 회수가 가능한 것으로 나타났다. 또한, 교체한 고효율 펌프를 우선적으로 운전한다고 가정하고 가동시간을 20% 증가하였을 때, 5년 이내인 대상은 7대(39%)이고, 10년 이내는 8대(44%)로 이는 동일한

펌프 용량으로 교체하더라도 가동시간에 따라 차이가 크다는 것을 볼 수 있다. 1년에 3~4대씩 나눠 교체하고 교체된 펌프를 우선적으로 운전하여 효과적인 에너지 절감을 시행해야 한다.

결론적으로 NPV 사업타당성 기간이 10년 이내인 펌프는 총 14대로 교체 시 연 에너지 절감량 11,183MWh, 탄소 절감량 5,127tCO₂, 절감액 1,318백만원의 효과를 얻을 수 있다. 또한, 민감도 분석을 실시한 결과 정부지원(국비 40%) 시 사업타당성 기간이 34% 감소하고 가동시간 증가 시 11% 감소로 효과가 뛰어난 것을 확인할 수 있었다. 펌프 교체주기 관련하여 A취수장 2,3호기 등 설치연수가 14~16년으로 20년이 지나지 않았으나, 고효율 펌프로 교체 시 사업타당성 기간이 5~7년으로 경제성이 우수하다. 이처럼 에너지 절감이 뛰어난 펌프 9대 중 6대는 교체주기인 20년이 지나지 않은 것으로 이처럼 펌프의 효율이 69% 이하이고, 가동시간이 4,200 이상인 경우 교체주기가 지나지 않더라도 경제성 검토를 통한 고효율 펌프 교체를 고려해봐야 한다.

고효율 펌프로 교체 시 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다. 첫째, 고효율 펌프 교체는 초기 투자 비용을 상쇄하고 투자회수기간을 단축시킬 수 있는 에너지 비용 절감을 제공한다. 이는 시설의 운영비용을 줄이고 장기적인 경제성을 강화할 수 있다. 둘째, 고효율 펌프의 도입은 시설 운영의 안정성과 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 또한, 기술의 발전으로 인해 추가적인 이점과 확장 가능성을 제공하며 용량 증설 및 새로운 기술 도입에 대한 유연성을 제공할 수 있다. 셋째, 지속 가능한 환경에 대한 긍정적인 영향을 가질 수 있다. 고효율 펌프 교체는 에너지 효율성을 향상시킴으로써 환경 영향을 감소시킬 수 있다. 에너지 절감은 탄소 배출량 감소와 같은 환경적 이점을 가져올 수 있으며, 이는 지속 가능한 정수처리 시설 운영에 긍정적인 기여를 한다.

참고 문헌

- [1] 김발호 외 2명,(2003), 고효율전동기 보급정책의 경제성 분석
- [2] 박재홍,(2016), 부산 환경기초시설의 태양광발전 잠재량 및 경제성 분석
- [3] 노민영 외 4명,(2022), 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안 달성을 위한 17개 광역시도별 발전 및 최종에너지 소비 변화 분석
- [4] 이태휴,(2019), 지자체 온실가스 감축사업의 배출권거래제 외부사업 적용 방안에 관한 연구
- [5] 정진관,(2015), 수도시설 에너지효율 향상 방안에 대한 연구
- [6] 신장환,(2017), 상수도 송수펌프 운전효율 분석 및 CFD 활용 개선방안 연구
- [7] 강두선,(2015), 상수도 송·배수 시스템의 실시간 최적 펌프운영 모형 개발
- [8] 이재현 외 3명,(2006), 일반 부스터 펌프와 고효율 부스터 펌프의 생애주기비용분석
- [9] 김가희,(2021), 24시간 무인 매장의 IoT 기반 에너지 절감 방안 및 경제성 평가
- [10] 배창용,(2011), 공공기관의 태양광발전사업 투자결정을 위한 경제성 분석 연구
- [11] 김명희,(2020), 범정부 빅데이터 공통기반 플랫폼 ‘혜안’의 경제성분석과 발전방안에 대한 연구
- [12] 박형준 외 1명,(2007), 자본회수계수를 고려한 고효율 생산설비의 경제성 분석
- [13] 박우평 외 5명,(2022), pump의 생애주기 비용(LCC) 비교 분석

감사의 글

어느새 2년의 시간이 지나 이렇게 논문을 제출할 수 있어 감회가 새롭습니다. 새로운 시작과 부족한 지식을 채울 수 있다는 부푼 마음으로 뒤늦게 대학원에 입학하였지만, 직장 생활과 학업을 병행한다는 것이 쉬운 일만은 아니었습니다. 그럼에도 학업에 열중할 수 있었던 것은 코로나19로 힘든 상황에도 건강하게 학업에 몰두할 수 있는 교육 환경을 만들어 주신 교수님과 동기생들이 있었기 때문입니다.

특히, 부족한 저에게 언제나 세심하고 꼼꼼하게 가르침을 주신 박창현 교수님께 깊은 존경과 감사를 드립니다. 박창현 교수님 덕분에 미흡하지만 제가 끝까지 논문을 잘 마무리할 수 있었고, 석사로서의 자질을 갖추 수 있었습니다. 또한, 논문의 중요성을 일깨워 주시고, 부족한 결과물 심사를 맡아 주신 우경일 교수님, 고영종 교수님, 학위과정 동안 다양한 지식들을 알려주셨던 많은 교수님들께도 감사드립니다.

그 동안 제가 이 자리에 있기까지 포기하지 않게 든든한 버팀목이 되어준 사랑하는 부모님과 남자친구, 친오빠, 항상 아낌없이 응원해 준 우리넷, 웨하스 친구들, 처음 대학원을 권해주신 하득용 감사관님, 많은 조언과 함께 저에게 좋은 인연을 소개시켜주신 정상기 부장님께 감사드리고 앞으로 보답하며 지내겠습니다.

대학원 석사과정에서 배풀어 주신 모든 분들에게 직접 찾아 뵙고 감사의 표현을 전하지 못해 죄송스럽게 생각하며 항상 크고 작은 인연도 소중히 여기며 저의 작은 지식을 나누며 살아가겠습니다.