

# 인공지능형 복합센서를 활용한 정수장 에너지 절감에 관한 연구

안상병\*, 홍성택, 김국일, 성민석

한국수자원공사

[sban11@kwater.or.kr](mailto:sban11@kwater.or.kr), [sthong@kwater.or.kr](mailto:sthong@kwater.or.kr), [kikim@kwater.or.kr](mailto:kikim@kwater.or.kr), [shaelryn@kwater.or.kr](mailto:shaelryn@kwater.or.kr)

## A Study on the reduction of energy consumption in WTP by using AI-driven composite sensors

An Sang Byeong\*, Hong Sung Taek, Kim Kuk Il, Sung Min Seok

\*Water Energy Research Center, Kwater Research Institute

### 요 약

정부 주도의 제3차 에너지 기본계획 수립과 함께 에너지 소비 구조 혁신, 에너지 산업의 글로벌 경쟁력 강화를 위해 에너지관리시스템(EMS)의 확대와 스마트 에너지 센서 등 에너지 솔루션 특화 기술개발 등이 추진되고 있다. 그 일환으로 EMS(FEMS, BEMS, WEMS 등)의 필수 구성요소인 센서의 저가화 및 기능향상을 위해 이중센서의 결합 및 스마트화를 통한 인공지능형 복합센서의 개발과, 개발된 센서 시스템의 계측 정확도, 동작 안정성, 에너지 절감 기여도 등 검증을 위한 실환경 실증이 수행되고 있다. 본 연구에서는 WEMS(Water Energy Management System)에서 필요한 에너지 절감형 센서를 정의하고, 다양한 센서 데이터를 수집/분석/결합하는 인공지능형 복합센서를 EMS와 연계하여 정수장 에너지 사용효율을 높이고, 온실가스 배출을 저감시키고자 한다.

### I. 서 론

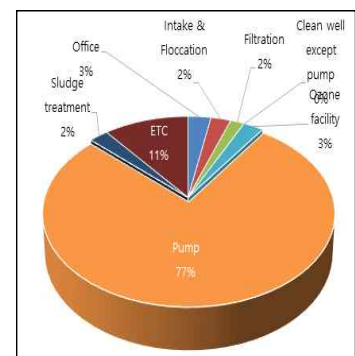
인공지능형 복합센서란 에너지 소비 및 운영 분야에서 센서 결합과 인공지능 학습 추론 기능을 융합하여 에너지 소비량과 영향인자 및 정보 제공 기능 성능을 향상시키는 복합센서 장치이며, 단일 하드웨어(System On Package, 모듈 등)에 집적되거나 물리적으로 분리된 경우 모두 포함되고, 법정 계량기 정밀도가 아닌 EMS 프로세스에서 요구되는 수준의 계측 및 분석용 센서를 포함한다.

정수장에서는 유량계, 압력계, 수위계 등과 같은 물리적인 센서가 만들어낸 데이터를 결합하여 제품 품질이나 농도, 또는 공정 상태와 같은 새로운 값을 예측하는 가상적인 소프트웨어 센서를 인공지능형 복합센서로 분류할 수 있다.

본 논문에서는 K-water에서 운영 중인 “G”정수장의 에너지 효율을 분석하고, 에너지 절감을 위한 인공지능형 복합센서의 도입과 에너지 절감효과를 제시하고자 한다

전력비로 소비되고 있으며, 전력에너지 사용량은 약 5GWh, 그 중 약 77%의 전력에너지가 송수펌프에서 소모되고 있다. 세부적으로 살펴보면 생활용수 송수펌프에서 공업용수 송수펌프 대비 약 2배의 에너지가 소모되고 있어 생활용수 송수펌프의 에너지 저감이 가장 중요한 요소로 판단된다.

Office	2.88
Intake & Flocculation	2.48
Filtration	1.75
Clean well except for pump	0.00
Ozone facility	2.53
<b>Pump for supplyment</b>	<b>77.33</b>
Sludge treatment	2.39
ETC	10.65



(a) 설비별 에너지 사용현황표 (b) 주요설비별 에너지 사용현황도  
그림2. “G” 정수장 전력에너지 사용현황

#### 나. 복합센서1. 공급량 수요예측

에너지 최적화 운영의 관점에서 필요한 단기 수요예측은 시계열 분석, 회귀분석 및 신경망 알고리즘을 이용하여 계절별, 주요 기간별, 지역특성별 등을 고려하여 이루어져 왔다. 본 논문에서는 2019년 1월 1일부터 2021년 11월 25일 까지의 G정수장의 일 공급량(생활용수)에 대해서 단기 수요예측을 실시하였으며, 익일 24시간 총량 수요예측을 위해 24시간 주기 데이터셋으로 모델링 시 ARIMA(4,1,1)모델이 가장 적합한 것으로 나타났다.

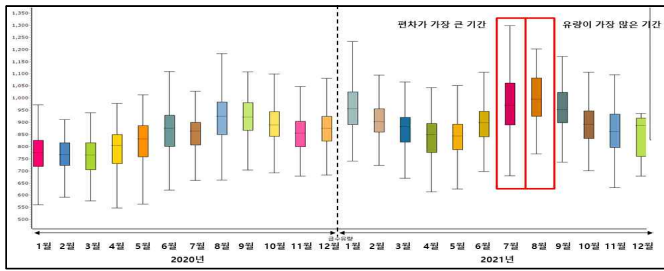


그림1. 인공지능형 복합센서 적용 정수장의 에너지 절감 프로세스

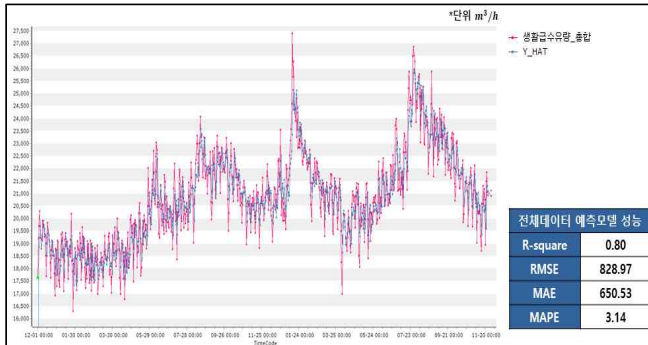
### II. 본론

#### 가. 정수장 에너지 사용현황 분석

G정수장의 에너지 효율 분석 결과, 연간 운영관리의비의 10%정도가



(a) 생활용수 공급량 분석 (2019.1.~2021.11.)

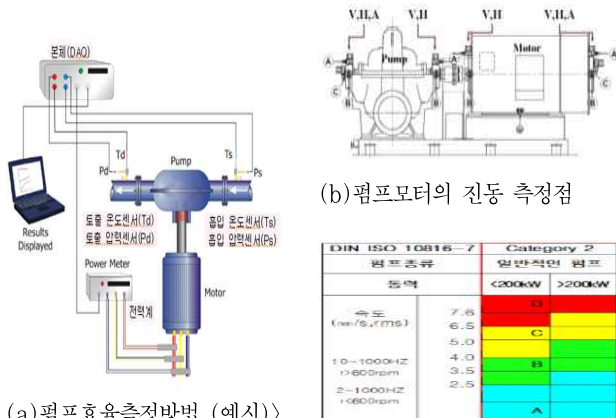


(b) 생활용수 일별 공급량 수요예측 (ARIMA(4,1,1) 모델)

그림3. 생활용수 공급량 수요예측

## 다. 복합센서2. 송수펌프 상태감시

송수펌프 효율·진동측정 복합센서는 송수펌프 노후도 모니터링, 오동작/성능저하 감시 및 일반 펌프 가동방안 수립 등에 효과적이다. 송수펌프의 효율측정방식에는 열역학적 방식과 수력학적 방식이 있으며, 본 논문에서는 유량, 압력, 전력량 계기만을 활용하여 실시간 효율측정이 가능한 수력학적 효율시험을 적용하였다. 복합센서를 통해 진동이나 온도, 주파수, 소음 등의 값을 입력받을 경우 기존에 실무/전문가에 의한 정상상태와 이상상태 판별값을 적용하여 미리 기계학습을 시키고 이를 통해 향후의 이상상태를 예측할 수 있다.



(a) 펌프 효율 측정 방법 (예시))

(c) 진동 평가 기준 (ISO 10816-7)

그림4. 송수펌프 상태감시 복합센서 현황

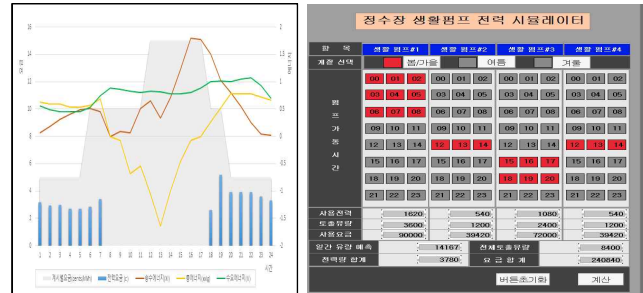
## 라. 검증1. 송수펌프 운영 최적화

“G”정수장의 용수 수요예측, 펌프모터 상태 및 전력요금제 등을 종합적으로 고려하여 지능형 알고리즘에 의해 일반 송수펌프 최적화 운영방안을 수립하였다. 송수펌프 최적화는 수요예측 기반으로 이루어지며, 그림5 (a)와 같이 충·방전을 통한 ESS 저장시스템의 에너지 최적화 방식을 적용할 수 있다. 정수장의 경우는 ESS를 충전하는 대신 정수지에 정수된 물을

저류한다고 생각하면 되고, 정수지의 최소/최대 한도내에서 가급적 저렴한 시간에 정수를 생산하면 되는데, 이를 AI형 알고리즘으로 풀기 위해 에너지지배방정식에 근거한 최적화 모형을 세울 수 있다. 최종적으로 다음과 같은 이진 정수프로그래밍(binary integer programming)에 의해 전력비용을 최소화하는 펌프 스케줄을 구하게 된다.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{24} c_t x_t \quad (c_t : \text{전력요금} \quad x_t : \text{모터 가동여부} : 1 \text{ 또는 } 0)$$

subject to,  $V_{\min} < V_t < V_{\max}$  ( $V_t$ 는 배수지의 유량)



(a) 에너지 최적화(예), ESS시스템 (b) 생활펌프 가동&amp;전력 시뮬레이션

그림5. 송수펌프 운영 최적화

향후 송수펌프의 최적인전을 통한 에너지 소비 절감을 위해 펌프-유도전동기 시스템에 인버터 적용으로 VVVF(Variable Voltage Variable-Frequency) 제어를 실시할 예정이다. Affinity Laws에서 펌프의 다양한 인자들이 회전속도에 관련되며, 이와 같은 관계들을 활용하여 펌프의 회전속도를 최적화할 경우 에너지 소비를 저감할 수 있다. 인버터를 사용할 경우에는 선형계획법에 의한 해를 구하게 된다.

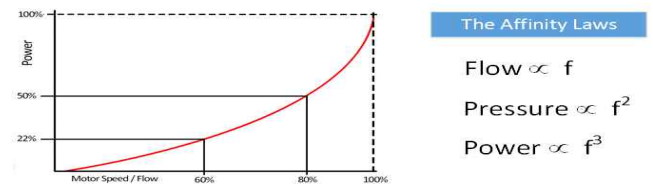


그림6. 펌프에 대한 Affinity Law

## 마. 검증2. 에너지 절감 분석

본 연구에서는 사전검증시스템 구축을 통해 계절별, 펌프 호기별 운영 최적화에 따른 에너지 절감효과를 시뮬레이션 할 수 있도록 하였다.

“G”정수장의 경우 총 7기의 송수펌프가 설치되어 있으며, 2기만이 인버터가 사용되고 있다. 복합센서 적용으로 용수 수요예측을 통한 펌프 운영 및 정수처리 공정의 최적화와 관련된 에너지 절감 효과는 기존에 수행된 지능형 알고리즘을 이용한 펌프장 최적인영 사례를 통해서 예측할 수 있으며, 전력요금 기준으로 최대 3.84% 수준의 전력비용 절감 효과가 기대된다.



그림7. 정수장 에너지 절감 분석 방법

### III. 결론

본 연구에서는 정수장 에너지 사용량이 가장 큰 송수펌프 운영에 있어서 에너지 절감을 위해 필요한 인공지능형 복합센서를 정의하고, 운영최적화 등을 통한 전력 절감 방안을 모색하였다. 향후 지속적으로 기존 EMS의 단순 에너지 사용 측정이 아닌 복합 센서를 적용하여 다양한 에너지 사용 영향인자 파악을 통해 에너지 다소비 사업장의 에너지 관리를 최적화하여 정수장 에너지 사용 효율을 증대하고, 주요 센서 및 설비 운영관리의 안정성 향상을 통한 용수공급 안정성을 제고하고자 한다. 나아가 기존 센서 데이터 결합을 통해 고가의 외산 센서를 대체하고, 설치조건이 열악한 장소에 가상 센서를 적용하여 센서 국산화 및 글로벌 기술 경쟁력을 제고하여 에너지 솔루션 산업을 선도하고, 수도사업장 온실가스 저감을 통한 저에너지형 물관리 선도 및 탄소중립(Net-Zero) 실현을 통하여 기후위기대응의 발판을 마련하고자 한다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원에 의함[No. 20202000000010].

### 참 고 문 헌

- [1] Zong Woo Geem." Harmony search optimization of renewable energy charging with energy storage systems", Electrical Power and Energy Systems 86, pp. 120-126. 2017
- [2] "Optimization of pumping schedule based on water demand forecasting using combined model of autogressive integrated moving average and exponential smoothing",Water Science & Technology, 2015