

# 지역난방 사용자설비의 열교환기 방식과 빅데이터 기반 운영실태 분석을 통한 에너지 효율향상 방안 연구

류기윤<sup>†</sup>

서울과학기술대학교 화공생명공학과

(2023년 1월 9일 접수, 2023년 2월 22일 수정, 2023년 2월 27일 채택)

## Energy efficiency improvement plan through analysis of heat exchanger type and big data-based operation status of district heating substations

Department of Chemical & Biomolecular Engineering, Seoul National University of  
Science and Technology, Seoul, 01811, Korea

Kee-Youn Yoo<sup>†</sup>

(Received 9 January 2023, Revised 22 February 2023, Accepted 27 February 2023)

### 요 약

본 연구에서는 지역난방 시스템의 공급자와 사용자의 접점인 기계실의 수년간 운영 빅데이터를 수집하여, 실제 데이터 기반 분석을 통하여 에너지 효율 향상 방안을 도출하고자 하였다. 특히 기계실에서 공급과 회수온도의 온도차에 의한 단순 에너지 사용량 뿐 만 아니라 에너지 사용 질을 나타내 주는 엑서지 변화를 비교 분석 하였다. 이러한 분석을 통해 기계실 운영 현황과 열사용 패턴을 파악할 수 있었다.

또한 아파트 사용자 기계실 설비 중 열교환 방식에 따른 에너지 사용 데이터를 수집하였다. 이들 결과를 종합 하여 사용자설비 에너지 효율 진단과 기계실의 운영과 유지보수 대책을 제시해 정밀 진단서비스를 확장하는 기반을 마련하고자 하였다.

**주요어** : 지역난방 시스템, 에너지 분석, 열교환기 방식

**Abstract** - In this study, we tried to derive energy efficiency improvement plans through actual data-based analysis by collecting operational big data for several years of substations, which are the contact points between suppliers and consumers of district heating systems. In particular, the exergy change representing the energy quality as well as the simple amount of energy due to the temperature difference between the supply and return temperatures in the substation was compared and analyzed. This analysis was able to identify substation operation status and heat usage patterns.

In addition, energy consumption data according to the heat exchanger type among the facilities of the apartment consumer substation were collected. By synthesizing these results, we tried to lay the foundation for expanding precision diagnosis services through consumer equipment energy efficiency diagnosis and maintenance of substations.

**Key words** : district heating system, exergy analysis, heat exchanger type

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.  
E-mail : kyyoo@seoultech.ac.kr

## 1. 서론

집단에너지시설의 에너지 이용효율 제고는 집단 에너지가 신기후체제 하에서 국가에너지정책의 한 축을 담당하기에 매우 중요하다. 특히 건물부문에서 에너지 최종사용자를 위한 에너지변환시설인 지역난방 사용자 기계실에 대해 설비를 개선하고 에너지 이용효율을 향상 시킨다면 고객만족도가 상승하여 지역 난방 확대 보급에 기여할 것이다. 그러나 지역난방이 도입된 지 35년을 경과하면서 공동주택 단지 내 지역난방 공급설비의 노후화가 진행되고 있다. 2018년 12월을 기준으로 20년 이상 노후화된 단지의 주택의 수는 43만여 세대에 달할 것으로 추정되며 설비 노후로 인한 입주민의 난방에 대한 불만이 이어지고 있다. 또한 최근에 지역난방의 경쟁력 약화 및 지역난방 수요기반의 변화 등 집단 에너지사업 추진에 부정적인 영향을 주는 요인들이 많이 발생하고 있다. 아직까지 사용자설비의 노후화, 난방품질 저하와 사용자 기계실 1차측 회수온도 저감을 위한 설비개선 등에 대한 적절한 대책을 찾지 못하고 있는 실정이다.

최근 열 에너지 공급에 있어 기존의 양(quantity) 중심에서 질(quality) 위주로 중심축이 이동하는 추세이며 에너지의 유효 일 잠재량에 대한 가치 엑서지(Exergy)가 중요시되면서 기존 열 에너지네트워크 방식의 고온 열공급 시스템에 대한 개선 필요성이 대두되고 있다.<sup>(1-6)</sup> 고온 열공급 방식에서는 고온의 열공급 온도에 따른 열손실이 문제가 되고 있으며 열수송 과정에서 발생하는 열손실을 저감하기 위해 이중보온관 등 단열기술을 적용하면서 배관비용이 급증하고 일정 규모 이상의 수요처 및 열수요 밀도를 확보하지 못하는 경우 경제성이 없어 열 수요 개발에 어려움을 겪고 있다.<sup>(7-8)</sup> 이에 대한 개선방안으로 저온 열공급 네트워크 구축과 에너지 수요관리 기술 개발 및 열 부하 난방 냉방 수요관리 개선 등 수요관리 중심의 에너지 정책전환 정책에 부합하여 사용자 절약 방안이 도입되어야 한다.

본 연구에서는 공급자와 사용자의 접점인 기계실의 수년간의 빅데이터를 수집하여 운영의 최적화와 에너지 효율 향상 방안을 도출하고자 한다. 또한 본 연구에서는 지역난방 사용자 설비 중 열교환 방식에 따른 수년간 사용 데이터를 수집하고 아파트 중심으로 기계실 지역설비 관련 데이터를 종합 분석하여 현재 기계실 운영 실태와 열사용 패턴을 분석하였다. 이들 결과를 종합하여 사용자설비 에너지 효율 진단과 기계실의 운영과 유지보수 대책을 통해 정밀 진단서비스를 확장하는 기반을 마련

하고자 한다.

## 2. 지역난방 열사용자 시설

### 2.1. 기계실 열교환시설 설계기준

지역난방시스템 구성은 크게 열원시설, 열수송시설 및 열사용시설로 구분된다. 열원시설에서 일정 온도와 압력으로 생산된 지역난방순환수는 열수송시설을 통해 수많은 열사용시설로 보내지고 열사용시설에서 사용자에게 열에너지를 공급해준 후 다시 열수송시설을 통해 열원시설로 돌아오게 된다. 열사용시설은 사용자가 소유하는 시설로서 설계, 시공 및 운영단계의 거의 모든 선택과 결정을 사용자들이 하기 때문에 그 형태가 다양하다. 따라서 열원에서 공급되는 지역난방순환수는 일정한 온도(80~120℃)이지만 사용자시설을 거친 지역난방순환수의 온도는 매우 다양해진다.

본 연구에서는 아파트를 중심으로 최종소비자와 공급자의 접점인 기계실의 실제 수 년간 데이터를 수집하여, 사용자시설이 지역난방순환수가 가진 에너지를 얼마만큼 효과적으로 사용했는지를 분석하고자 한다.

#### 2.1.1 계통구성 방식

열사용시설 계통구성 방법에는 급탕 일반열교환 방식과 급탕 2단열교환방식이 있으며, 급탕 열교환기 용량이 150 Mcal/h 이상인 공동주택 또는 건물 사용자는 급탕 2단열교환방식을 적용토록 하고 있다. 급탕 2단열교환방식은 난방열교환기를 통과한 1차측 열매체를 급탕예열 열교환기로 보내 남은 열을 이용함으로써 열이용 효율을 증가시키고 1차측 회수온도를 저감할 수 있는 방식이다.

#### 2.1.2 용량 설계

사용자 열교환설비는 제작사방식별, 제작사별 및 설계방식별로 크게 차이가 있고 특성도 다양하다. 따라서 열사용 시설기준에서는 용량산정에 필요한 설계기준값을 제시하고 있으며 열교환설비의 1차측 설계온도 기준은 Table 1과 같다.

열교환설비의 2차측(난방,급탕) 설계온도 기준은 온도를 이용해 난방하는 복사난방방식(주로 공동주택)과 공조기 또는 방열기로 난방하는 대류·공조난방방식(주로 건물)로 나눌 수 있다(Table 2 참조).

#### 2.1.3 자동제어기기 구비 요건

지역난방 사용자 기기제어장치는 2차측 공급온도

[ 별 표 1 - 1 ]

열사용시설 기계실 P&ID (급탕 일반열교환방식)

(제3조 제3항 및 제6조관련) < 개정 2000. 1. 1 >

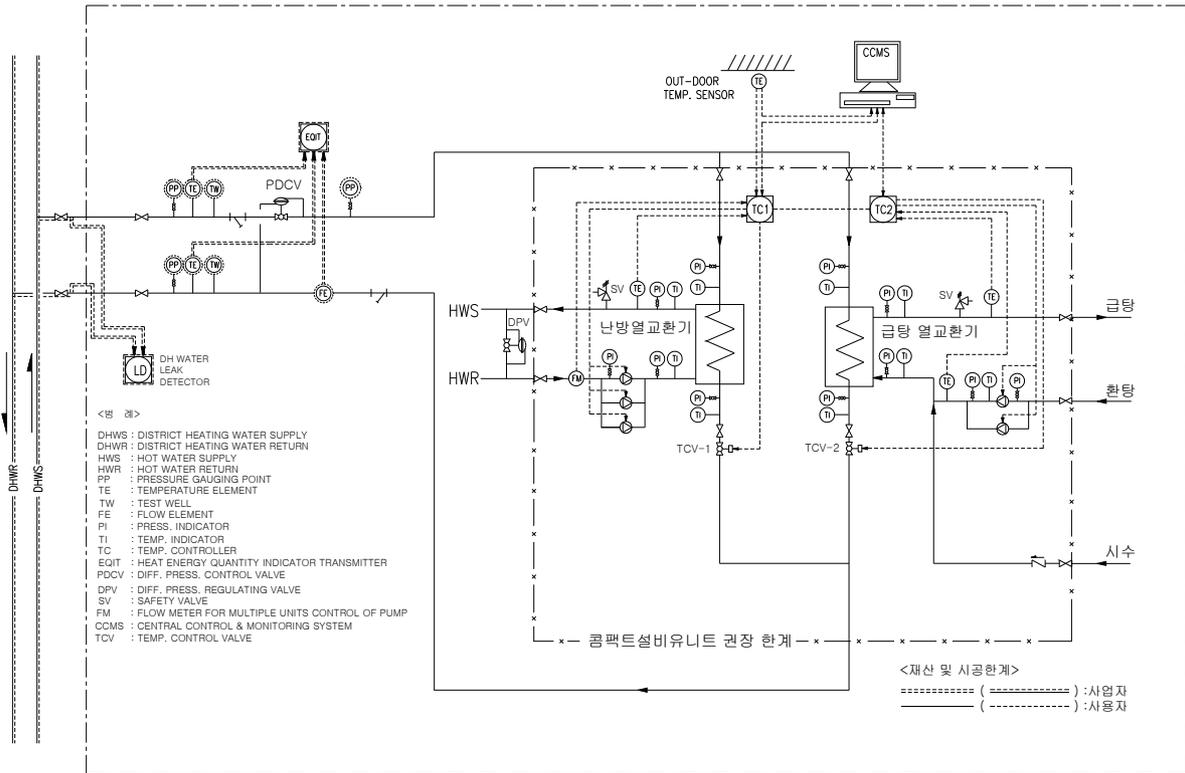


Fig. 1. 급탕 일반 열교환방식의 기계실 P&ID.

[ 별 표 1 - 2 ]

열사용시설 기계실 P&ID (난방건물, 급탕 2단열교환방식)

(제3조 제3항 및 제6조관련)

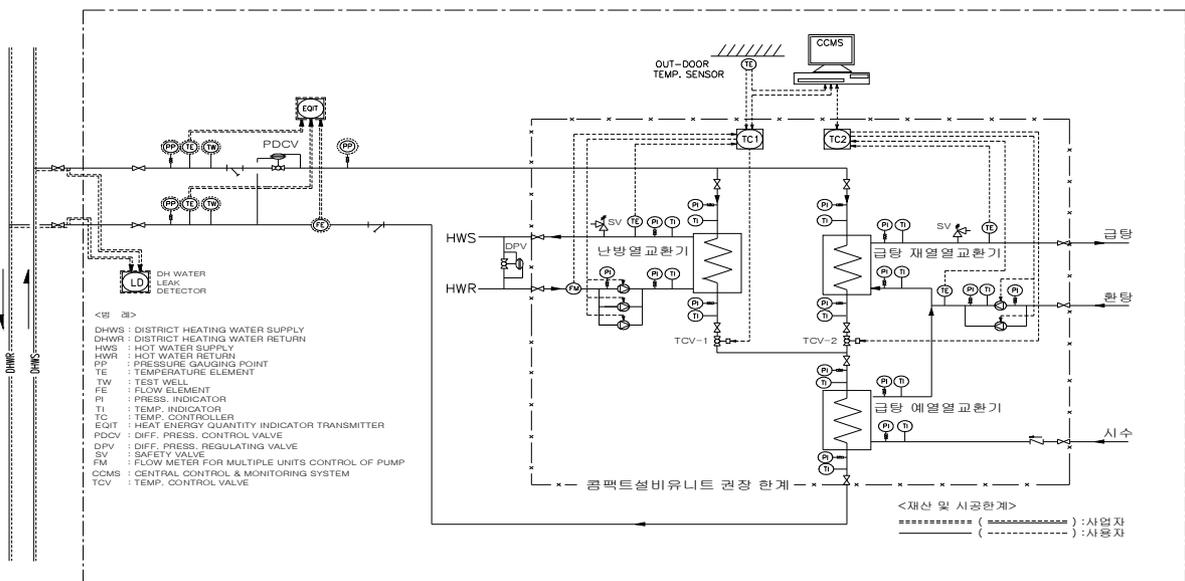


Fig. 2. 급탕 2단 열교환방식의 기계실 P&ID.

**Table 1.** 열교환설비 1차측 설계온도 기준

구 분		1차측 설계온도(℃)		1차측 설계차온
		공 급	회 수	
난방열교환기	복사난방	115	50 (65)	65 (50)
	대류·공조난방	115	55 (65)	60 (50)
급탕 일반 열교환기		75	35 (40)	40 (35)
급탕 2단 열교환기	재열	75	55	40
	예열	55	35	
흡수식냉동기		95	80	15
2단 흡수식냉동기		95	55	40

- ( ) : 2006. 5. 15이전 기준  
 - 급탕2단, 2단흡수식 : 2000. 1. 1부터 적용

**Table 2.** 열교환설비 2차측 설계 온도 기준

구 분		설 계 온 도 (℃)		
		공 급	회 수	공급·회수온도차( $\Delta T$ )
난방열교환기	복사난방	$45 + \Delta T$	45	15이상
	대류·공조난방	$50 + \Delta T$	50	20이상(권장사항)
급탕 일반 열교환기		55	15(시수)	40
급탕 2단 열교환기	재열	55	35	40
	예열	35	15(시수)	

값을 검출하는 온도감지기와 온도값을 받아 지역난방 유량제어량을 조절하는 제어기기로 구분되며 제어기에는 난방제어기의 다음의 요건을 가져야 한다.

- 외기온도 보상제어기능
- 2차측 난방공급온도에 따른 1차측 중온수 유량 조절기능
- 절약모드 등 운전프로그램 입력기능
- 2차측 회수온도를 활용한 난방순환펌프의 연속 난방운전기능
- 부하변동에 따라 난방순환펌프의 대수제어기능, 회전수제어기능과 자동교체운전 제어기능 (권장사항)

급탕제어기기는 다음의 요건을 갖추어야 한다.

- 2차측 급탕공급온도에 따른 1차측 중온수 유량 조절기능
- 2차측 급탕온도 임의설정기능
- 급탕 과부하시 난방을 일시 차단하는 기능
- 급탕회수온도에 따른 급탕순환펌프의 자동운전 제어기능

1) 온도조절밸브 (TCV)

온도조절밸브는 사용자 시설 2차측 난방 및 급탕 공급온도 설정값에 맞게 난방 및 급탕을 공급하기 위해 지역난방 유량을 조절하는 밸브이다.

- 형식 : 전동 비례제어식(Motorized 2-Way)
- 설계온도 및 압력 : 120℃, 16 bar
- 밸브 차단 허용최소차압 (Close-off Rating) : 3 bar 이상
- 유량특성 : 등비율(equal-%)
- 유량조절비 : 50 대 1

2) 차압유량조절밸브(PDCV)

차압유량조절밸브(PDCV)는 기계실내 1차측 배관의 공급 및 회수측 차압을 측정하여 사용자측으로 흐르는 지역난방 유량을 조절하는 밸브이다.

- 형식 : 다이어프램 자력식(Self-operated)
- 설계온도 및 압력 : 120℃, 16 bar
- 차압설정값 : 0.6~0.8 bar
- 유량특성 : 등비율(equal-%)
- 유량조절비 : 30 대 1

### 2.2 사용자 기계실 1차측 회수온도 관리

세계적으로 공급 및 회수온도를 가능한 낮추는 추세이며 최근에는 4세대 지역난방이 일반화되고 있다. 공급온도가 고정된 경우에 회수온도의 하향은 열이용 온도차의 증가를 의미하여 동일 열수송관으로 열공급능력의 향상, 공급유량 감소, 열수송관의 열손실 감소, 열수송관 초기투자비 절감 등의 장점을 갖는다. 결과적으로 열수송관, 펌프 등의 동일 열공급시설로 열공급능력의 향상을 의미하며, 따라서 열생산시설 용량이 한계에 이른 상황에서 추가수요개발 요구가 있는 경우에는 회수온도 저감의 필요성이 더욱 절실하다.

사용자 기계실 1차측 회수온도와 2차측 회수온도의 온도차( $\Delta TR$ )도 5℃로 작아지게 되었다. 2020년 12월 현재 회수온도기준은 아래와 같다.

- 1차측 회수온도 : 복사 50℃, 대류(공조 포함) 55℃
- 2차측 회수온도 : 복사 45℃, 대류(공조 포함) 50℃
- 1,2차측 회수온도의 온도차( $\Delta TR$ ) : 복사/대류 5℃

### 2.3. 한국지역난방과 해외 기계실 1/2차측 설계온도 비교

스웨덴과 핀란드의 경우와 우리나라의 경우를 비교하면 우리나라의 1차측 및 2차측 공급온도/회수온도가 모두 높으며, 집단에너지시설의 경제운전에 크게 영향을 주는 회수온도가 10~20℃ 높음을 알 수 있다.

사용자 기계실 1차측 회수온도는 사용자의 난방 열 사용과 급탕열 사용에 따라 변화되며 우리나라의 급탕을 위한 1차측 공급온도 및 회수온도가 서유럽 국가에 비해 높음을 알 수 있다. 특히 급탕을

**Table 3.** 한국지역난방과 해외 기계실 1/2차측 설계온도비교 [단위 : ℃]

	난방공사	스웨덴	핀란드
1차측 (공급/회수)	115 / 65	100 / 33이하	115 / 45이하
2차측 (공급/회수)	70이상 / 50	60 / 30	70 / 40
1차측 / 2차측 회수 온도차 ( $\Delta TR$ )	65-50=15	33이하-30=3이하	45이하-40=5이하

**Table 4.** 국내 급탕열교환기 설계온도 [단위 : ℃]

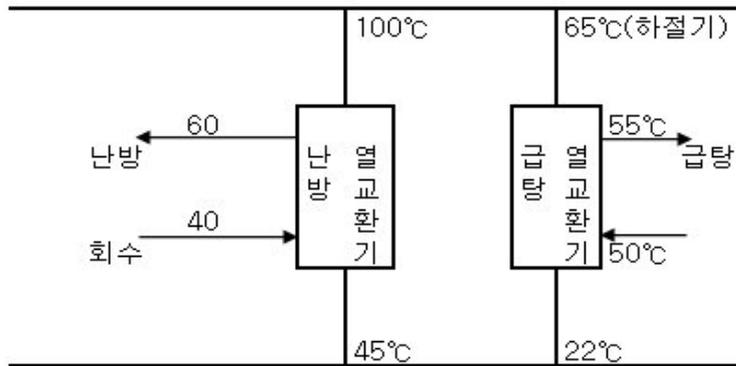
	1차측		2차측		
	공급	회수	공급	회수 (or 시수)	공급-회수 온도차
일반	75	35	55	15	40
2단	재열	75	55	35	40
	예열	55	35	15	

**Table 5.** 스웨덴의 급탕열교환기 설계온도 [단위 : ℃]

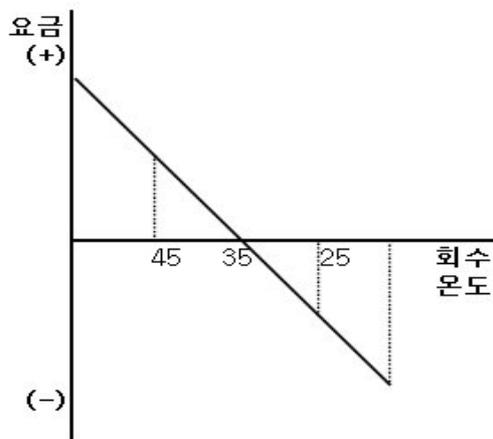
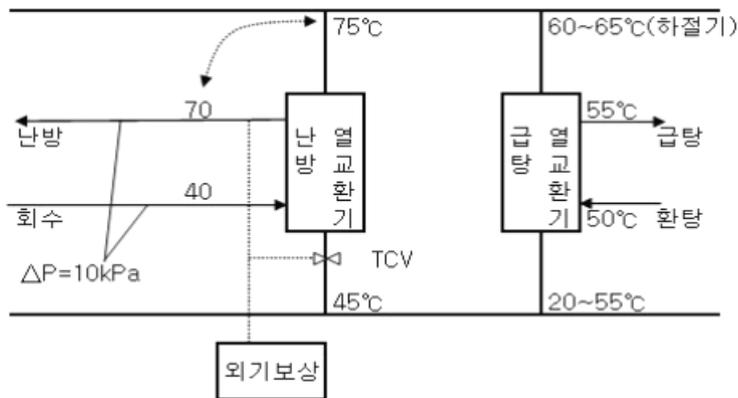
	1차측		2차측		
	공급	회수	공급	회수 (or 시수)	공급-회수 온도차
아파트	65	≤22	55	10	45
주택	65	≤25	50	10	40
저탕조 방식	65	≤25	60	10	50

**Table 6.** 핀란드의 급탕열교환기 설계온도 [단위 : °C]

	1차측		2차측		
	공급	회수	공급	회수 (or 시수)	공급-회수 온도차
주배관망 연결시	70	≤25	55	10	45
연계배관망 연결시	65	≤30	55	10	45



**Fig. 3.** 스웨덴 기계실 설계온도 기준(외기조건 : -20°C).



**Fig. 4.** 핀란드 설계온도 기준 및 요금 적용 선도 예.

위한 예열열교환기를 채택하면 사용자 기계실 1차측 회수온도가 더 낮아지는 효과 발생한다.

## 2.4. 해외 회수온도 관리사례

### 1) 스웨덴

스웨덴의 지역난방 사용자 기계실 설계기준을 보면, 2차측 난방온도기준을 공급 60℃와 회수 40℃로 하고 있으며 급탕측의 온도 설계기준은 국내와 유사하다. (주 : 급탕온도는 레지오넬라균 번식 방지를 위해 55℃이상 유지)

1차측의 지역난방수 회수온도와 2차측 난방수 회수온도와의 설계온도차는 5℃로서 국내와 동일하지만 스웨덴 지역난방협회에서는 3℃차로 유지할 것을 권장하고 있다.

### 2) 핀란드

핀란드의 지역난방 사용자 기계실 설계기준을 보면, 1,2차측 모두 공급온도와 회수온도의 차이가 30℃이고, 1차측과 2차측 공급온도의 차이를 5℃로 유지하기 위하여 TCV를 설치하여 제어하며, 외기 온도에 따라 1,2차측 공급온도를 조절함으로써 1차측 회수온도도 40℃이하가 되도록 한다. 사용자 기계실내 설계온도 조건은 Fig. 4와 같고(외기온도 조건 : -12℃), 사용자가 회수온도 저감을 위해 자발적인 관심을 가질 수 있도록 열사용요금 산정시 표준 회수온도를 기준으로 회수온도에 따라 1~3%/℃의 범위 내에서 할증요금 또는 할인요금을 부과하고 있다.

## 3. 데이터 마이닝 및 분석<sup>(9-12)</sup>

최근 들어 공공부문 빅 데이터의 공개와 영향력이 증가하면서 데이터 중심의 사회로 급변하고 있다. 동시에 데이터의 수집, 관리, 저장 및 활용의 필요성이 증가되고 있다. 빅 데이터는 가공과 분석에 따라 상황인식, 의사결정, 그리고 미래 예측을 가능하게 하는 영역까지 확대되고 있다.<sup>(10)</sup>

수집된 빅데이터는 정형 및 비정형 데이터들을 의미 있는 정보로 가공해내는 것이 무엇보다 중요하다. 데이터가 점차 증가하면서 다양한 종류의 대규모 데이터로부터 저렴한 비용으로 가치를 추출하기 위한 데이터의 초고속 수집, 발굴, 분석을 지원하도록 고안된 차세대 기술 및 아키텍처(Architecture)까지를 포괄하는 광의(廣義)의 개념으로까지 확장하고 있다<sup>(11-12)</sup>.

### 3.1. 사용자설비 온도차(ΔT) 산출기준

각 사용자설비별로 1시간 단위로 검침자료가 제공되므로 1시간 간격으로 사용 열량 및 유량 자료를 1차로 아래와 같이 가공하였다.

또한 2차적 검침자료로 운수 공급온도와 회수온도 자료는 각각 시간대별 평균으로 가공하였다.

1차 검침자료인 열량 및 유량 자료를 사용하여 1시간 간격으로 ΔT1를 계산하였고, 1차 검침자료와

## 검침 자료 - 단위 시간 당 사용열량 및 사용유량 - Hourly

$$\begin{aligned}\delta Q_i &= Q_{i+1} - Q_i \\ \delta F_i &= F_{i+1} - F_i \\ Q_{i,가동율} &= \frac{\delta Q_i}{Q_{기계실\ 별\ 최대열부하}} \\ F_{i,가동율} &= \frac{\delta F_i}{F_{기계실\ 별\ 최대처리유량}}\end{aligned}$$

## 검침 자료 - 단위 시간 별 평균 공급온도 및 회수온도 계산 - Hourly

$$\begin{aligned}\bar{T}_{s,i} &= 0.5 \times (T_{s,i+1} + T_{s,i}) \\ \bar{T}_{r,i} &= 0.5 \times (T_{r,i+1} + T_{r,i})\end{aligned}$$

## 검침 자료 - 단위 시간 당 $\delta T$ , $\delta E_x$ 계산 - Hourly

$$\delta T_i = \frac{1}{\rho c_p} \frac{\delta Q_i}{\delta F_i}$$

$$\delta E_{x,i} = \rho c_p \delta T_i \left( 1 - \frac{\bar{T}_{r,i} + 273.15}{\bar{T}_{s,i} + 273.15} \right)$$

### 주간, 야간 및 종일 합산 열량 및 유량

$$X_{\text{주간}} = \sum_{i=9}^{20} X_i$$

$$X_{\text{야간}} = \sum_{i=1}^8 X_i + \sum_{i=21}^{24} X_i$$

$$X_{\text{종일}} = \sum_{i=1}^{24} X_i$$

### 공정변수 $X_i$ - 유량 가중 평균 계산 - 주간평균, 야간평균, 종일평균

$$X_{\text{주간평균}} = \frac{1}{F_{\text{주간}}} \sum_{i=9}^{20} X_i F_i$$

$$X_{\text{야간평균}} = \frac{1}{F_{\text{야간}}} \left( \sum_{i=1}^8 X_i F_i + \sum_{i=21}^{24} X_i F_i \right)$$

$$X_{\text{종일평균}} = \frac{1}{F_{\text{종일}}} \sum_{i=1}^{24} X_i F_i$$

2차 검침자료(공급 및 회수 온도)를 모두 사용하여  $\Delta E_x$ 를 계산하였다.

위와 같이 계산된  $\Delta T1$ 와 단순 공급온도 및 회수 온도 차이로 계산된  $\Delta T2$  간 차이가  $10^\circ\text{C}$  이상인 경우의 자료는 NaN(Not a Number)으로 처리하였다. 또한 유량 가동율이 3% 이하인 경우에는  $\Delta T1$  값이 정확하지 않은 것으로 판단하여  $\Delta T2$  값으로 대체하여 사용하였다.

위와 같은 시간대 별 검침자료 가공 시에 물리적으로 유효하지 않은 값들은 NaN 처리하였으며, 최종적으로 NaN으로 처리된 값은 이전, 이후 검침값

들로 보간하였다. 기초적인 통계 및 가동 특성 분석을 통하여, 기계실 운전 유형이 하루 중 주간 및 야간에 따라 상이한 경우가 있었다. 따라서 다음과 같이 주요 공정변수들을 사용 유량에 가중치를 부여하여 하루 중 주간 평균(오전 9시-오후 8시), 야간 평균(오전 0시-오전 9시, 오후 8시-오후 12시) 및 종일 평균을 계산하였다.

열 사용 형태는 건물 유형, 급탕 방식, 기계실 규모 즉 사용자 특성과 주간 및 야간, 주중 및 주말 그리고 연중 계절에 따라 크게 변화하는데, 주요 열 사용자 측인 아파트나 오피스텔은 계절에 따라, 판매 시설 등은 계절 및 주/야간에 따라, 상대적으

로 사용 열량이 적은 사용자 중 교육 시설 등은 계절, 주/야간, 주중 및 주말에 따라 크게 변화하는 것으로 관찰되었다. 본 연구에서는 주요 열사용자 분석에 집중하기 위하여 주/야간 및 계절 별로 데이터를 가공하였다.

### 3.2. 데이터 분석 프로그램 및 데이터 가공

#### 가. 이용 프로그램명

- 1) numpy (version: 1.20.3)
- 2) pandas (version: 1.4.2)
- 3) holoview (version: 1.14.9)
- 4) panel (version: 0.13.1)

#### 나. 데이터 가공

- 1) 계산값 단위 : 소수 둘째 자리
- 2) 검침데이터 분석대상에서 제외 : 일간 50% 데이터 공백
- 3) 검침데이터 보간: 일간 50%미만 데이터 공백 시 직전/후 데이터
- 4) 공급온도 : 50 ~ 130℃ 인 경우만 유효 데이터
- 5) 회수온도 : 20 ~ 80℃ 인 경우만 유효 데이터
- 6) 유량 : 최대 열가동율에서 ΔT가 30℃라 가정하고 유량 가동율이 1.0 이상인 자료 제외
- 7) 열량 : 열량 가동율이 1.0 이상인 자료 제외
- 8) 온도차(ΔT) : 20 ~ 90℃ 인 경우만 유효 데이터

## 4. 결과 및 검토

### 4.1. 대상 A지사 용도 및 규모별 분포

#### 가. 건물의 “용도별-규모별” 기계실 수

아파트, 교육시설, 오피스텔 및 판매시설이 총

860개 기계실로 전체의 77%를 차지하며, 규모별로는 아파트에는 “소, 중, 대” 고루 분포하나 그 외의 건물은 “소”가 대부분을 차지한다.

아파트	571	종교시설	22
교육(연구)시설	122	의료시설	19
오피스텔	93	공공시설	17
판매시설	74	목욕탕	7
일반업무시설	60	문화시설	5
근린생활시설	35	체육시설	5
공공업무시설	34	방송통신시설	3
숙박시설	29	수영장	3
노유자시설	25		

### 4.2. 1단/2단 급탕열교환기 설치와 온도차 분포

1단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설과 2단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설에서 지역난방순환수의 공급온도와 회수온도 간의 차이(이하 “온도차”)를 분석하였다. 아파트 중심으로 사용자시설 기계실 1단 급탕열교환기 설치된 건물은 346 개소이고 2단 급탕열교환기가 설치된 건물은 178 개소이다

#### 1) 주간

Fig 6에서 보였듯이 1단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설과 2단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설에서 “온도차”가 분명하게 구별된다. 1단 급탕열교환기가 설치된 경우 온도차이가 연간 50-60℃ 사이 이지만 2단 급탕열교환기가 설치된 경우 온도차는 60-75℃로 10-15℃ 이상 큼을 알 수 있다.

Fig 6의 ΔT violin 도표에서 보듯이 전체가 비교적 잘 운전되고 있지만 가을철에 2단 급탕열교환기가

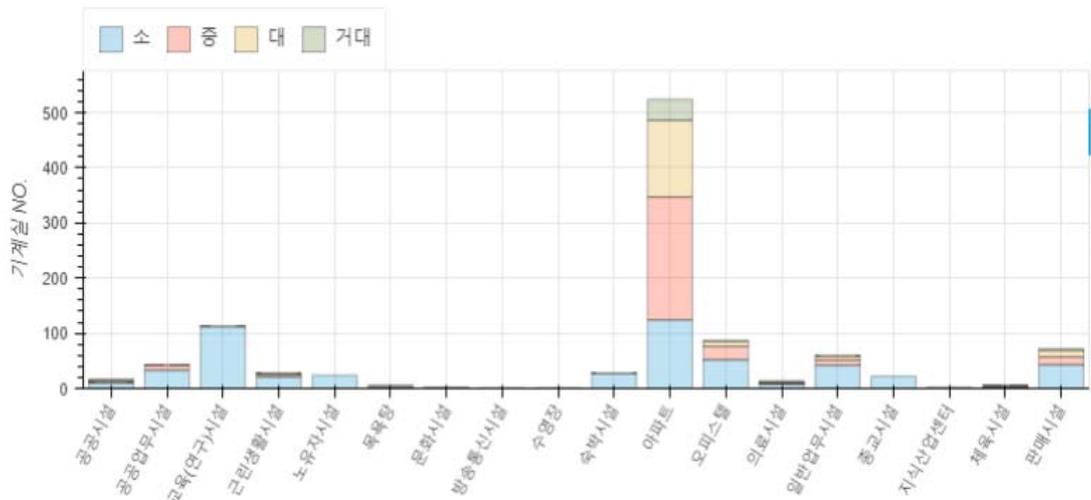


Fig. 5. 국내 A지사 건물 용도 및 규모별 분포.

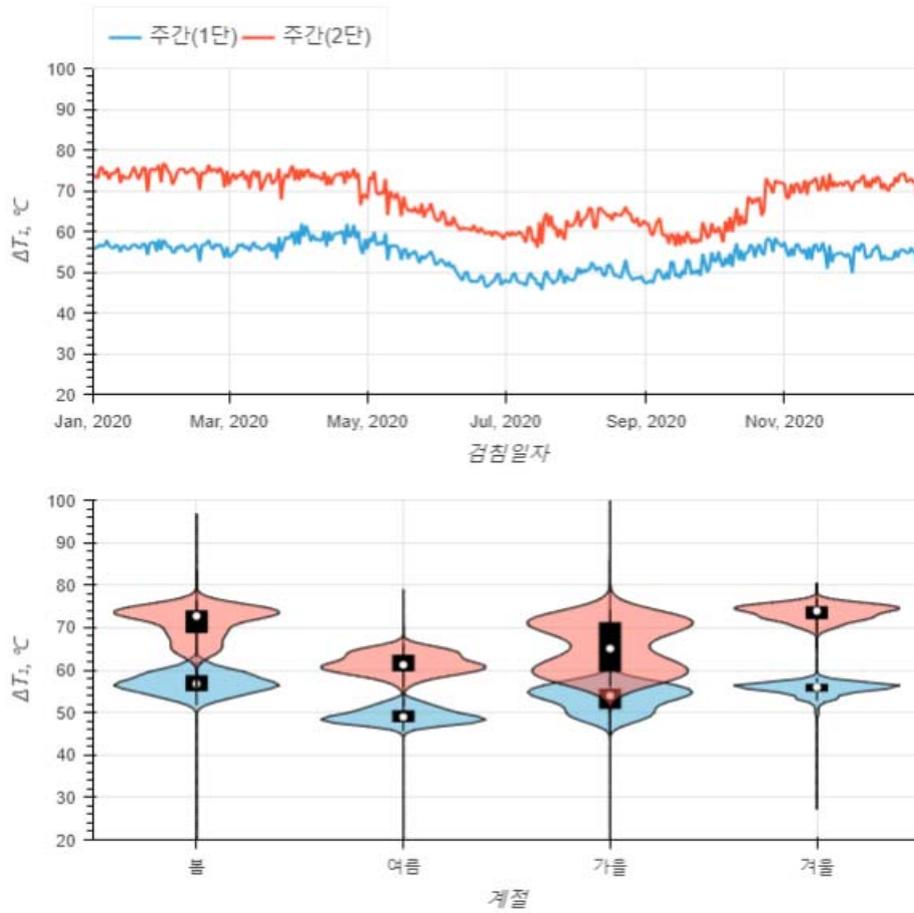


Fig. 6. 국내 A지사 급탕별 2020년 주간 온도차 시계열 자료 및 계절별 온도차 violin 도표

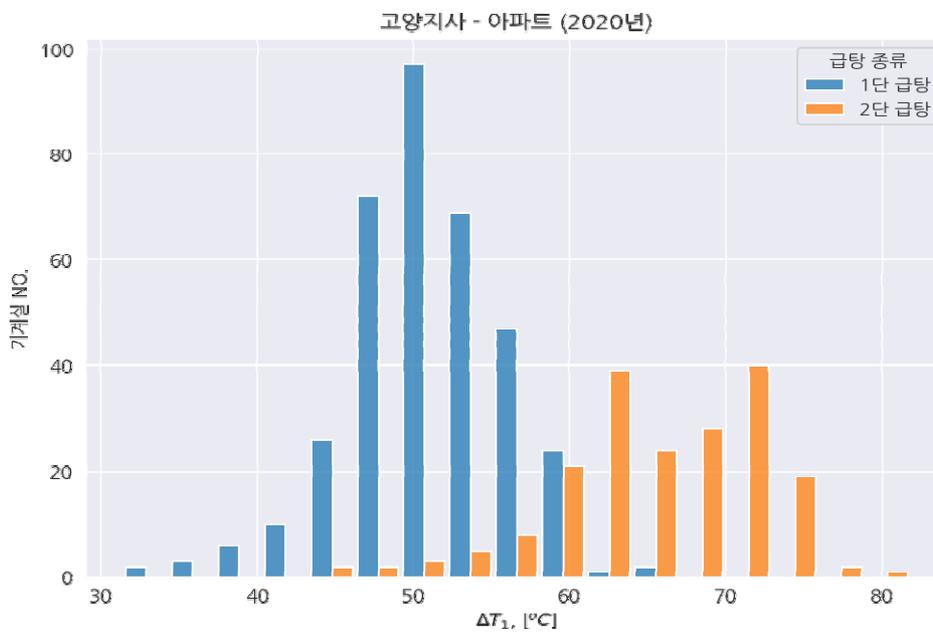


Fig. 7. 국내 A지사 2020년 아파트 급탕별 평균 온도차 분포

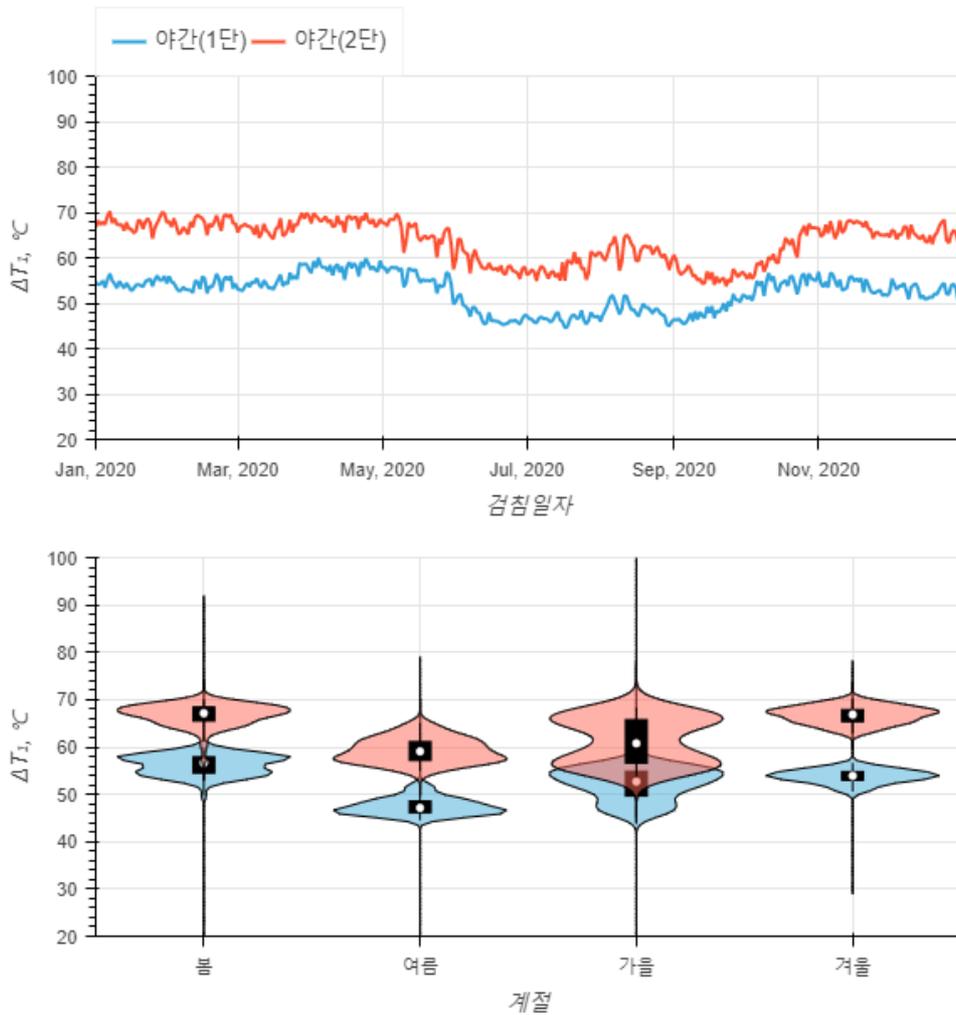


Fig. 8. 국내 A지사 급탕별 2020년 야간 온도차 시계열 자료 및 계절별 온도차 violin 도표.

설치된 사용자가 온도차 60℃대와 70℃대로 양분되는 것은 사용자시설 설계기준변경과 일부 사용자가 간헐운전을 하기 때문으로 판단된다.

Fig. 7은 1단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설과 2단 열교환기가 설치된 사용자시설의 연간 평균 온도차와 분포를 나타낸 것이다.

## 2) 야간

야간 운전에도 1단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설과 2단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설에서 “온도차”가 분명하게 구별된다. 1단 급탕열교환기가 설치된 경우 온도차이가 연간 45-60℃사이이지만 2단 급탕열교환기가 설치된 경우 온도차는 55-70℃로 10℃이상 크를 알 수 있고, 주간에 비해 온도차이가 5℃ 정도 작음을 알 수 있다. 이는 난방 열수요가 큰 야간에 수동운전을 한 사용자가 있음을 의미할 수 있다. Fig. 8의 사용자분포도에서 주

간의 경우와 동일하게 가을철에 2단 급탕열교환기가 설치된 사용자가 온도차 55℃대와 65℃대로 양분되는 것은 사용자시설 설계기준변경과 일부 사용자가 간헐운전을 하기 때문으로 판단된다.

## 4.3. 건물의 규모별 온도차

건물의 규모를 “소, 중, 대 및 거대”로 구분하고 규모별로 “온도차”를 주간 및 야간으로 분석하였다. 총 524 개 건물 중 “소”는 124 개소, “중”은 223 개소, “대”는 139 개소이며 “거대”는 38 개소이다.

### 1) 주간

연중 온도 차이는 “소, 중, 대” 그룹에서 매우 유사하게 나왔고 50-65℃로 운전되고, “거대” 그룹은 이들 그룹보다 연중 10℃ 정도 온도차이가 크며, 연중 온도차가 55-80℃로 운전되고 있다. 가을철에 사용자분포도에서 “거대” 그룹 사용자는 온도차 60℃대

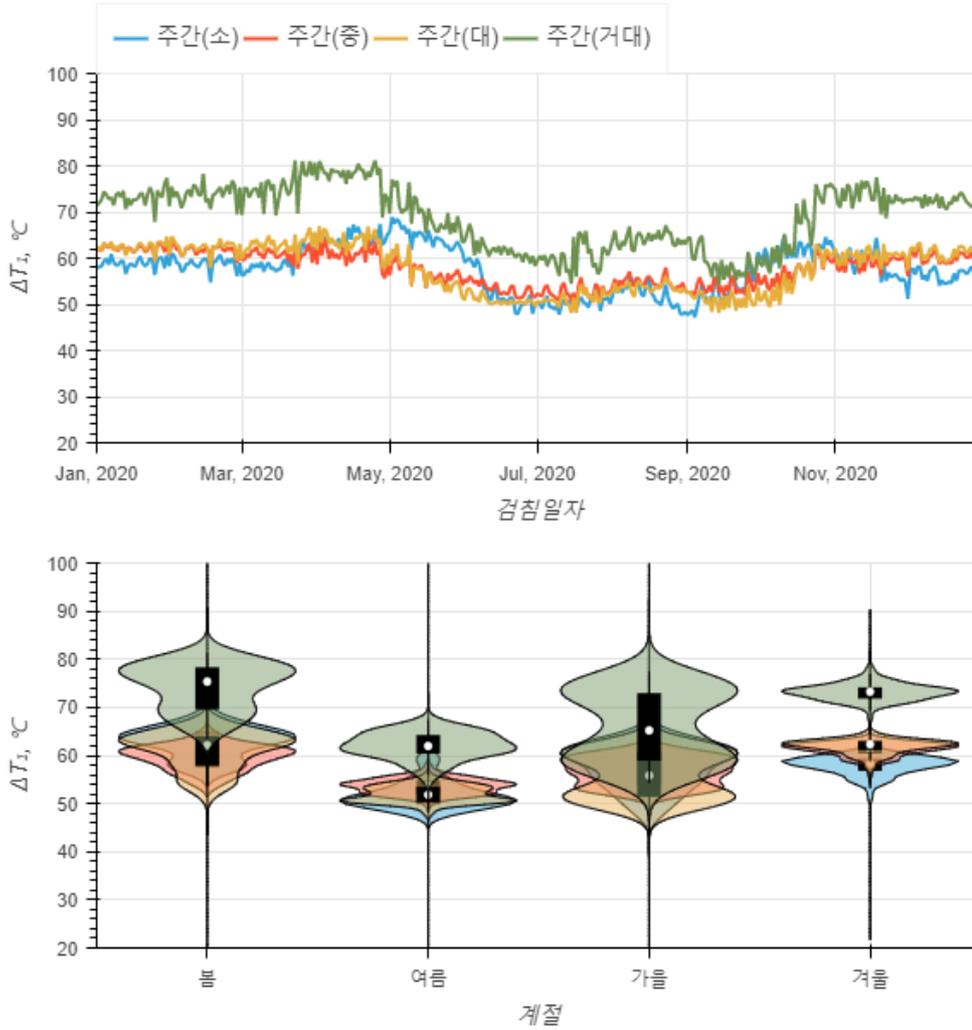


Fig. 9. 국내 A지사 기계실 규모별 2020년 주간 온도차 시계열 자료 계절별 온도차 violin 도표.

와 75℃대로 양분되는 것과 같은 현상은 사용자시설 설계기준변경과 일부 사용자가 간헐운전을 하기 때문으로 판단된다.

2) 야간

주간과 동일하게 연중 온도 차이는 “소, 중, 대” 그룹에서 매우 유사하게 나왔고 45-65℃로 운전되고, “거대”그룹은 이들 그룹보다 연중 10℃ 정도 온도 차이가 크며 연중 온도차 55-75℃로 운전되고 있다.

4.4. 급탕 종류별 엑서지 분석

1단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설과 2단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설에서 엑서지 변화를 분석하였다. 1단 급탕열교환기 설치된 건물은 346 개소이고 2단 급탕열교환기가 설치된 건물은 178 개소이다.

1) 주간

Fig. 11을 살펴보면 1단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설과 2단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설에서 “엑서지”차이가 분명하게 나타난다. 1단 급탕열교환기가 설치된 경우 연중 엑서지 변화가 6-10 Mcal/m<sup>3</sup> 이지만 2단 급탕열교환기가 설치된 경우 연중 엑서지 변화가 9-16 Mcal/m<sup>3</sup> 로 나타났다.

2) 야간

주간의 경우와 유사하게 1단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설과 2단 급탕열교환기가 설치된 사용자시설에서 “엑서지”차이가 분명하게 구별된다. 1단 급탕열교환기가 설치된 경우 연중 엑서지 변화가 6-9 Mcal/m<sup>3</sup> 이지만 2단 급탕열교환기가 설치된 경우 연중 엑서지 변화가 8-13 Mcal/m<sup>3</sup> 로 나타나 주간의 엑서지보다 약간 낮음을 알 수 있다.

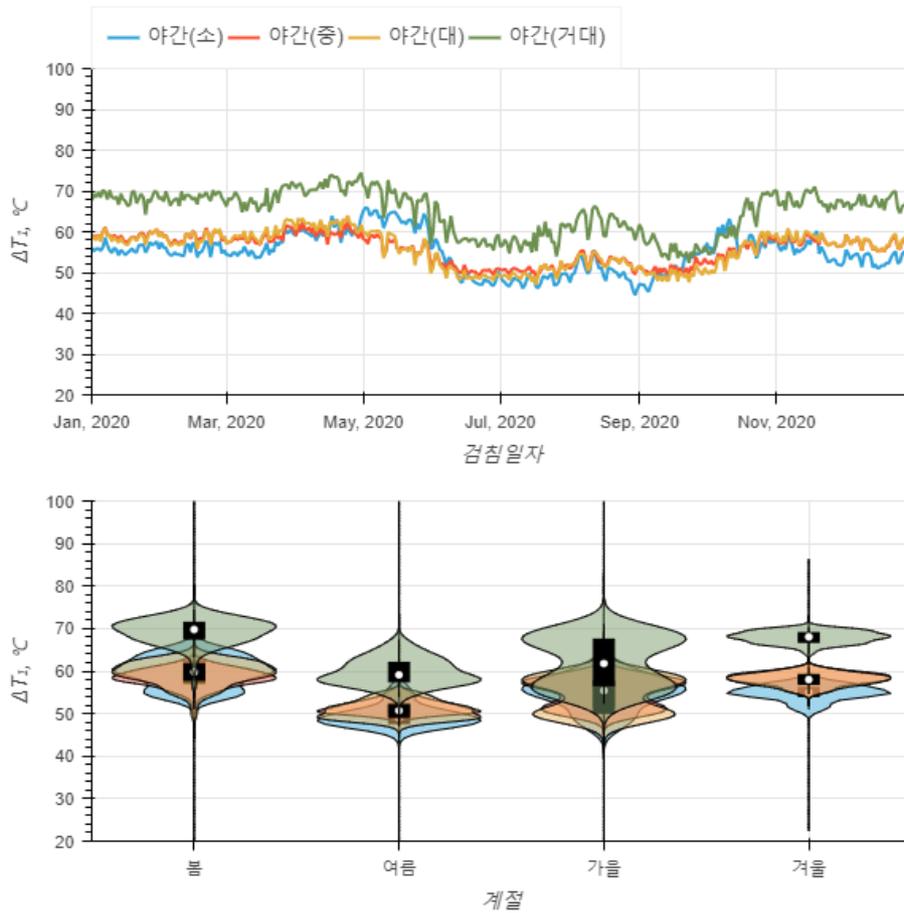


Fig. 10. 국내 A지사 기계실 규모별 2020년 야간 온도차 시계열 자료 계절별 온도차 violin 도표

## 5. 사용자시설 운전실태 평가 및 활용

사용자시설에서 온도차( $\Delta T$ )와 엑서지는 지역난방시설의 효율적 운영뿐만 아니라 사용자시설의 효율적 운영을 평가하는 중요한 지표가 될 수 있다.

### 5.1. 온도차와 엑서지 평가

Fig. 13의 “온도차와 엑서지 관계”를 나타내주는 도표에서는 계절별, 1단/2단 급탕 열교환기 설치 사용자별, 건물의 규모별 및 각 건물의 유형별로 사용자의 현 상황을 분석할 수 있다. 특정 사용자의 “사용자 기계실에서 온도차와 엑서지”의 크기를 도표 상에 점으로 표시할 수 있다. 또한 관계식을 통해 온도차 평균값과 엑서지 평균값을 나타내는 선을 그림으로써 특정 사용자가 온도차 및 엑서지 측면에서 평균 이상의 조건으로 운전을 하고 있는지 평균 이하의 조건으로 운전을 하고 있는지를 한 눈에 볼 수 있게 해준다. Fig. 13에서 빨간색 선은 낮은 온도차( $\Delta T$ )와 엑서지를 가지는 기타 건물군의 기계실

현황을 보여주고, 파란색 선은 높은 온도차( $\Delta T$ )와 엑서지를 가지는 아파트의 기계실 현황을 나타내 준다.

### 5.2. 공급유량과 온도차 평가

Fig. 14의 “온도차와 공급유량”을 살펴보면 개별 기계실의 에너지 효율을 분석할 수 있다. 특정 사용자의 “사용자 기계실에서 온도차와 사용유량”의 크기가 도표 상에서 점으로 표시된다. 또한 관계식을 통해 전체 사용자들의 평균 온도차와 사용유량을 나타내는 선(파란색 점선)을 기준으로 하여 특정 사용자가 온도차 및 사용유량 측면에서 평균 이상의 조건으로 운전을 하고 있는지 평균 이하의 조건으로 운전을 하고 있는지를 한 눈에 볼 수 있게 해준다.

사용자 시설을 효율적으로 운전하기 위하여 사용자에 대한 기술지원 또는 시설개선을 검토할 때 이 그림을 사용한다면 사용자들 중에서 우선순위를 쉽게 정할 수 있을 것이다. 동일한 열량을 사용하는 두 사용자가 있는데, 한 사용자는 온도차를 크게

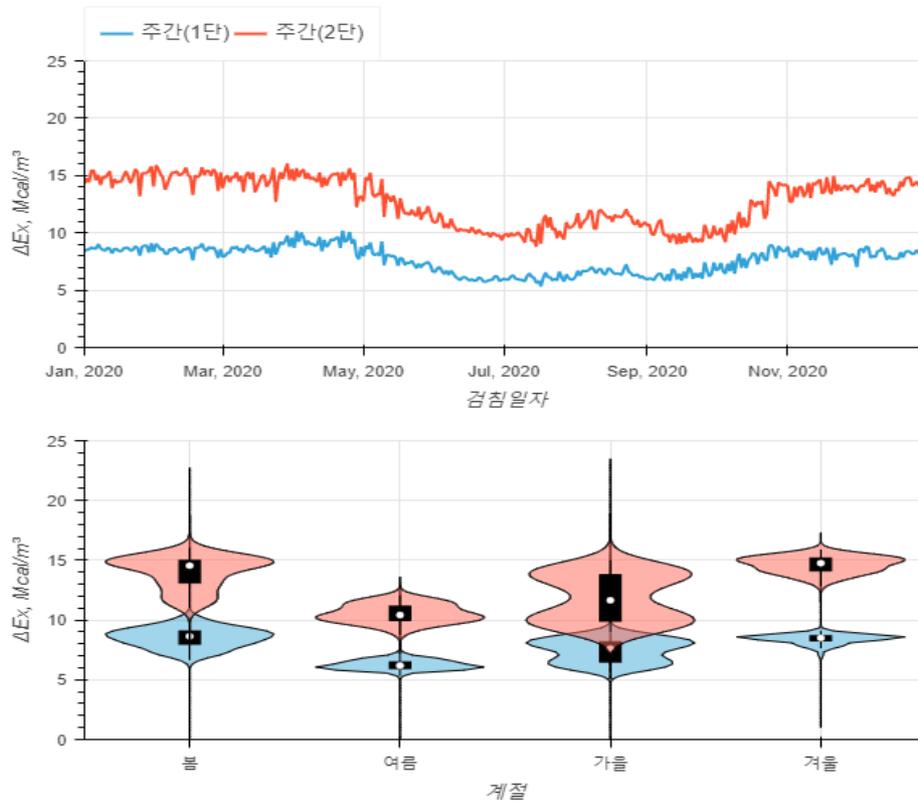


Fig. 11. 국내 A지사 급탕별 2020년 주간 엑서지 시계열 자료 및 계절별 엑서지 violin 도표.

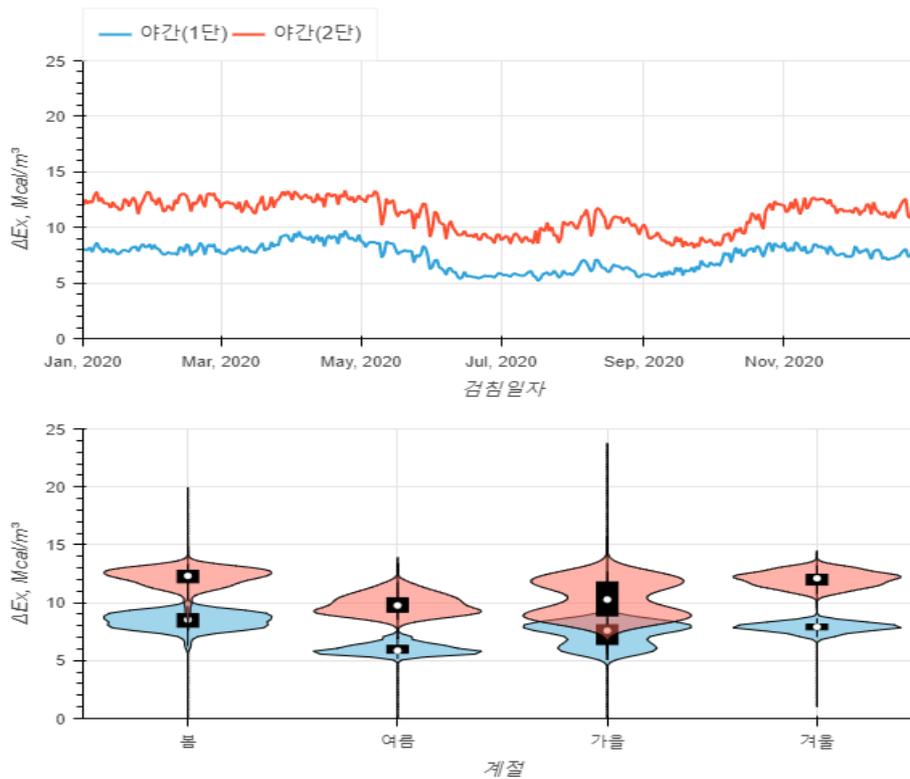


Fig. 12. 국내 A지사 급탕별 2020년 야간 엑서지 시계열 자료 및 계절별 엑서지 violin 도표.

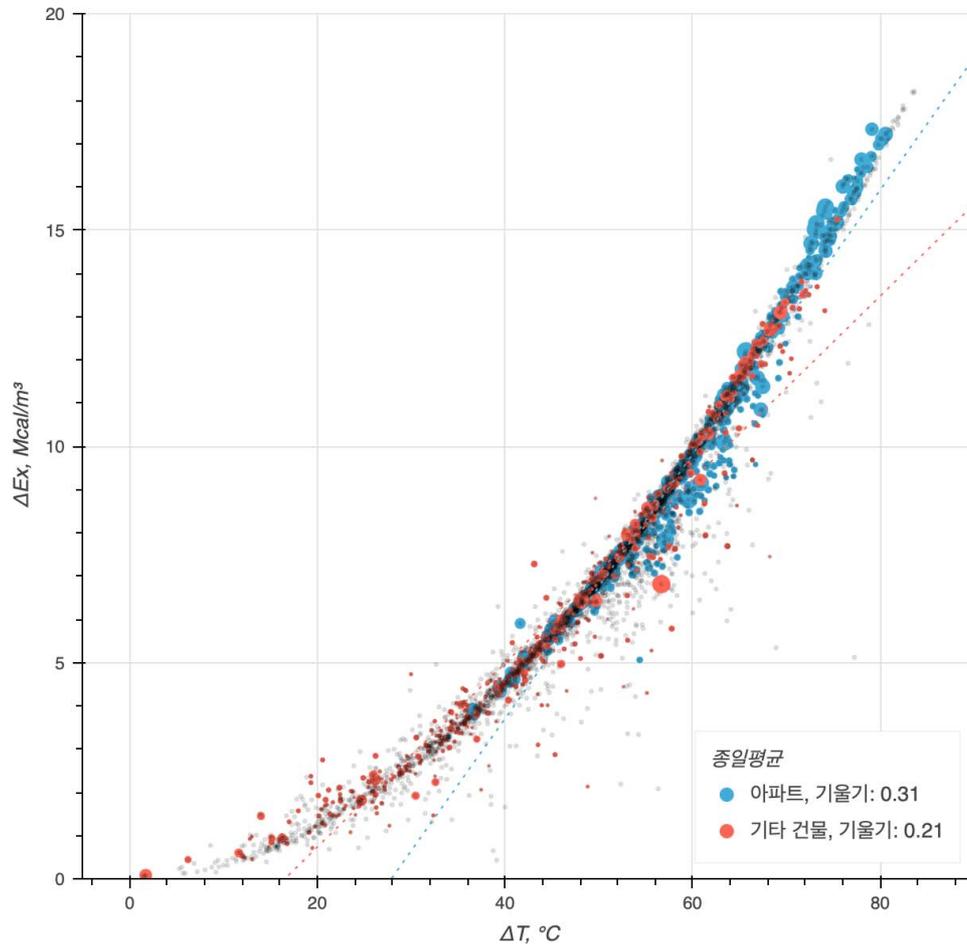


Fig. 13. 국내 A지사의 개별 기계실 별 2020년 연간 평균 온도차와 엑서지의 관계(점의 크기는 기계실의 규모를 나타냄).

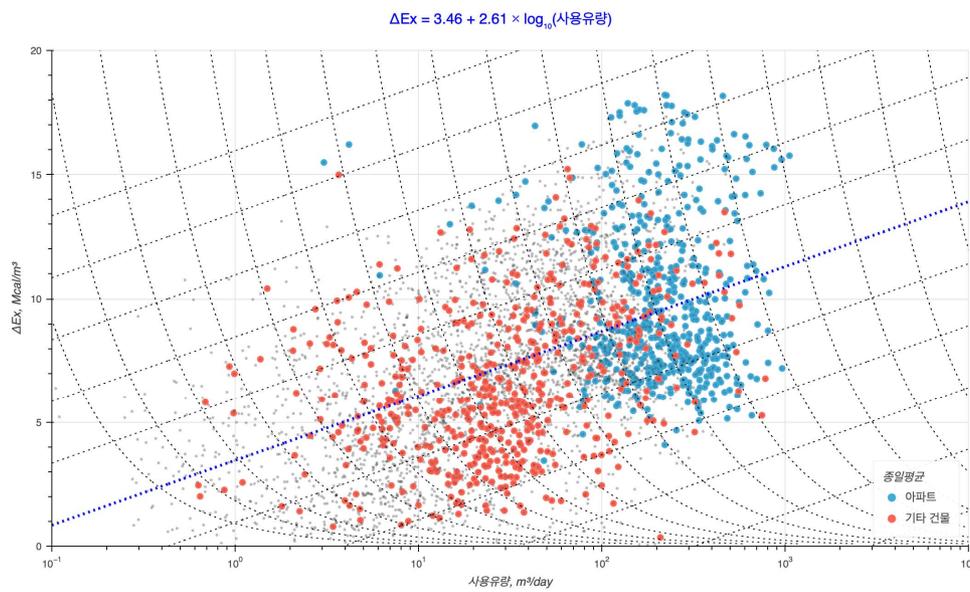


Fig. 14. 국내 A지사의 개별 기계실 2020년 겨울철 평균 사용유량별 온도차.

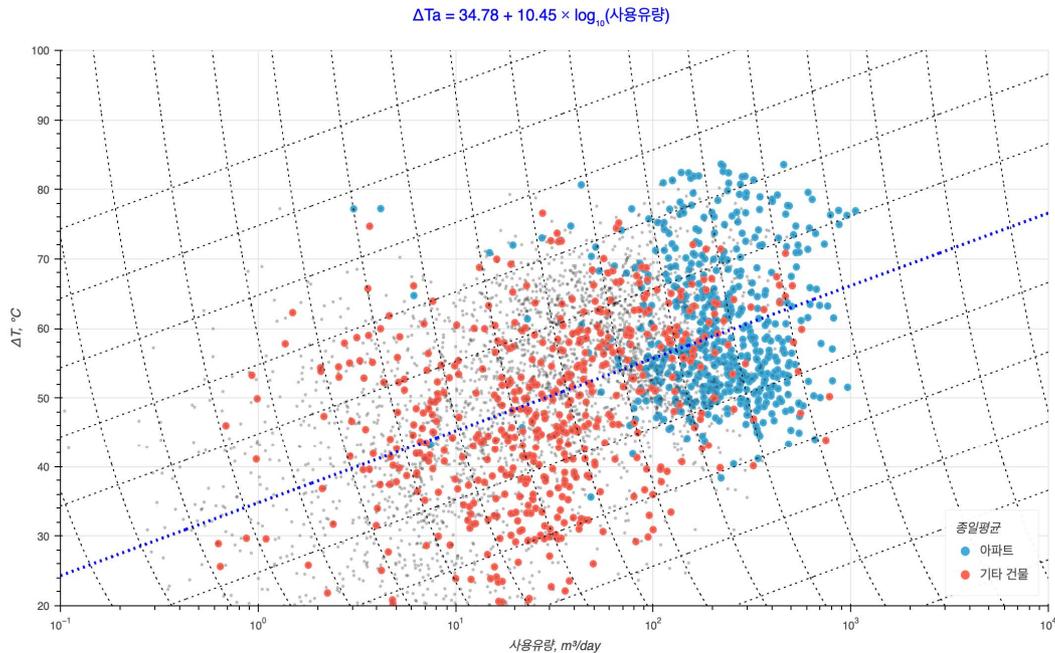


Fig. 15. 국내 A지사의 개별 기계실 2020년 겨울철 평균 사용유량별 엑서지.

유량을 적게 사용하고 다른 한 사용자는 온도차를 적게 유량을 많이 사용한다면 지역난방사업자는 어느 사용자를 우선 기술지원 하거나 우선 시설개선을 유도할 것인가? 당연히 후자일 것이다. 그러나 현업에 있는 담당자는 수많은 사용자 중에서 우선 순위를 정하는 것이 쉽지 않을 것이다. 이 표는 이 문제를 해결해 줄 수 있다. 그림에서 좌상에서 우하로 그려진 검정색 점선은 동일 열량곡선이다.

### 5.3. 공급유량과 사용자시설 엑서지 평가

Fig. 15의 “공급유량과 엑서지”를 나타내주는 그림에서는 계절별, 1단/2단 급탕 열교환기 설치 사용자별, 건물의 규모별, 주간운전상태, 야간운전상태 및 각 건물의 유형별로 사용자의 현 엑서지를 평가할 수 있다. 현재 A지사의 공급온도는 일정한 값을 가지므로 사용유량에 따른 엑서지 값은 온도차에 대한 경향과 유사함을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 연구는 각 지역난방 사용자 기계실의 열사용 실태를 정확히 분석함으로써 각 사용자 기계실별로 맞춤형 기술지원 또는 설비개선 지원 등을 할 수 있으며, 연구결과에 따라 지역난방수 회수온도를 낮추어 열생산시설, 전력생산시설 및 열수송시설의 효율향상에 따른 경영개선효과와 시너지효과를 기대할 수 있다. 이를 통해 얻게 되는 에너지절감효과를

EERS(에너지 공급자 효율향상 의무화 제도) 등의 방법을 통해 열공급사업자와 사용자가 공유할 수 있을 것이며 궁극적으로는 국가에너지 절약과 환경 개선에 기여할 것으로 기대된다.

또한 본 논문에서는 빅데이터 플랫폼 기반 지역난방 사용자 기계실별 열에너지 관리 시스템을 설계할 수 있다. 빅데이터 플랫폼은 지역난방 사용자 기계실별 열에너지 분석을 위한 다양한 종류의 데이터를 실시간으로 수집하고 관리하며, 그 사이의 연관성과 패턴을 분석하고 지속적으로 학습한다. 이러한 빅데이터 플랫폼을 기반으로 사용자에게 제공 가능한 분석 서비스들을 설계하였으며, 이를 기반으로 빅데이터 플랫폼 구축과 웹 기반 통합 관제 서비스 시스템 개발로 연구를 확장할 것이다.

## References

1. Ameri, M., Ahmadi, P. and Hamidi, A, 2009, ‘Energy, exergy and exergo-economic analysis of a steam power plant: A case study’, *International Journal of Energy Research*, Vol. 33, pp.499-505.
2. Ahmadi, P. and Dincer I, 2010, ‘Exergoenvironmental analysis and optimization of a cogeneration plant system using Multimodal Genetic Algorithm (MGA)’, *Energy*, Vol. 35, pp.5161-5172.
3. Balli, O., Aras, H. and Hepbasli, A, 2008, ‘Exergo-economic analysis of a combined heat and power

- (CHP) system’, *International Journal of Energy Research*, Vol. 32, pp.273-289.
4. Bejan, A., Tsatsaronis, G. and Moran, M, 1996, *Thermal Design and Optimization*, Wiley, NewYork, USA.
  5. Szargut, J., Morris, D.R. and Steward, F.R, 1988, *Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes*, Hemisphere Publishing Corporation, USA.
  6. Tsatsaronis, G. and Moran, M, 1997 ‘Exergy-aided cost minimization’, *Energy Conversion and Management*, Vol. 38, pp.1535-1542.
  7. Unver, U. and Kilic, M, 2007, ‘Second law based Thermo-economic analysis of combined cycle-power plants considering the effects of environmental temperature and load variations’ ,*International Journal of Energy Research*, Vol. 31, pp.148-157.
  8. Valero, A., Miguel, A., Lozano, S.L, 1994 ‘CGAM Problem: definition and conventional solution’, *Energy*, Vol. 19, No. 3, pp.297-185.
  9. P. Zikopoulos, C. Eaton, D. deRoos, T. Deutsch, and G. Lapis, 2012, *Understanding Big Data: Analytics for Enterprise Class Hadoop and Streaming Data*, McGraw Hill.
  10. Philip Hunter, 2013, “Journey to the center of Big Data,” *Engineering & Technology*, Vol.8, No.3, pp.56-59.
  11. 김정숙, 2012, “빅 데이터 활용과 관련기술 고찰”, 한국콘텐츠학회, 제10권, 제1호, pp.34-40.
  12. 정창섭, 2013, “빅데이터를 활용한 지방자치단체의 재난안전관리 거버넌스 구축연구”, 한국지역정보개발원, pp.1-113.