

# 건물 특성에 따른 냉수 순환 펌핑 시스템 별 에너지 소모량 분석

## Energy Consumption Evaluation in Pumping System with Different Building Characteristics

신동신(Dong-Shin Shin)<sup>1†</sup>, 박성빈(Sung-Bin Park)<sup>1</sup>, 전태익(Tae-Ik Jun)<sup>1</sup>, 마강일(Kang-Il Ma)<sup>1</sup>, 김태홍(Tae-Hong Kim)<sup>1</sup>, 이성구(Sung-Goo Lee)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>홍익대학교 기계시스템디자인공학과, <sup>2</sup>한일엠이씨

<sup>1</sup>Department of Mechanical System Design Engineering, Hongik University, Seoul, 04066, Korea

<sup>2</sup>HIMEC Co., Ltd., World Meridian Biz-center, 53, Yangsan-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul, 07271, Korea

(Received November 2, 2015; revision received January 11, 2016; Accepted: May 24, 2016)

**Abstract** This study analyzed the energy consumption of a building pump system that was originally equipped with a primary-secondary zone pump system. Using the HYSYS program the energy consumption of the primary pump system was compared with the primary-secondary zone pump system. The primary-secondary zone pump system consumes less energy than the originally designed primary pump system. When the distance between the machine room and each building is assumed to be equal, the primary pump system can be more efficient than the primary-secondary zone pump system with decreasing the distance. When the distance is 120 m, the primary system consumes less total annual energy than the primary-secondary zone pump system and saves 2,773 kWh. The suggested energy evaluation program can be useful if the designer seeks a more efficient pump system.

**Key words** Chilled water(냉수), Primary pump system(1차 펌프 시스템), Primary-Secondary pump system(1, 2차 펌프 시스템), Primary-Secondary zone pump system(1, 2차 존 펌프 시스템)

† Corresponding author, E-mail: seongbin.park@hec.co.kr

### 기호설명

$Q$  : 체적 유량 [LPM]  
 $\eta$  : 효율 [%]  
 $H$  : 진양정 [maq]  
 $\rho$  : 밀도 [ $\text{kg/m}^3$ ]  
 $n$  : 안전율

## 1. 서 론

부지가 넓고 여러 존으로 나뉘어 있는 대형 복합 건물에는 집중관리 및 유지가 용이한 중앙 냉난방식을 채택한다. 이 중 냉수 또는 온수를 이용하여 냉난방 부하를 제거하는 전수방식은 반송 동력이 적으며 개별 제어 및 운전이 가능하여 널리 적용되고 있다.<sup>(1)</sup> 이 때 규모가 큰 건물은 냉방을 위해 많은 유량을 필요로 하고 사용되는 펌프 또한 높은 동력이 소요되므로 설계자는 반드시 에너지 절약 문제를 고려하여 적절한 냉수

순환 펌프 시스템을 선정해야 한다.<sup>(2)</sup> 이를 위해 펌프 시스템 선정 시 냉방패턴, 생성 존과 분배 존사이의 거리와 같은 건물의 특성과 각 펌프 시스템의 설치 및 운전비용 등의 경제적 요소들을 복합적으로 고려하여야 한다.

하지만 위와 같은 과정이 복잡하고 오랜 시간이 걸리기에 현재 실무에서 자주 행해지고 있지 않고 있다. 또한 건물의 특성에 따른 펌프 시스템 별 에너지 소모량에 대한 국내 연구가 많이 수행되지 않아서 많은 설계자들이 경험과 감에 의존해 펌프 시스템을 선정하고 있다. 따라서 향후 좀 더 객관적인 펌프 시스템 선정을 위해 각 펌프 시스템의 에너지 소모량을 비교분석 할 필요성이 있다.

이와 관련된 현재 연구 동향은 다음과 같다. Lee<sup>(3)</sup>는 현장에서 설계 기준에 맞게 운용되는 펌프 시스템이 소수임을 밝혔고 정, 변속 펌프 시스템, 1차와 1, 2차 펌프 시스템의 최적 운전에 적합한 설계가 중요함을 강

조하였다. 이에 따라 각 펌프 시스템의 에너지 비용을 최소화하기 위한 거시적인 방향을 제시하였다. Steven<sup>(4)</sup>은 변유량 펌프를 사용한 1차 펌프 시스템과 1, 2차 펌프 시스템의 냉방부하에 따른 에너지 소모량을 비교하였다. 또한 각 펌프 시스템의 장단점에 대해 설명하였다. Yeon et al.<sup>(5)</sup>은 실제 건물을 대상으로 1차 펌프 시스템과 1, 2차 펌프 시스템의 일일 에너지 소모량을 분석하였으며 대상 건물에 설계된 펌프 시스템의 타당성을 검증하였다. 하지만 펌프 시스템의 정량적인 선정 기준은 제시하지 않았다.

이처럼 기존의 연구동향은 1차 펌프 시스템과 1, 2차 펌프 시스템의 에너지 소모량의 단순 비교 분석과 에너지 비용 절감 방향 제시에 그쳤다는 것을 알 수 있다.

이에 따라 본 연구에서는 특정 건물을 대상으로 1차 펌프 시스템과 1, 2차 펌프 시스템을 적용하였을 경우를 가정하여 에너지 소모량을 분석하고자 한다. 또한 공정설계 프로그램인 Hysys<sup>(6)</sup>를 이용하여 해석하고 건물의 특성 중 거리에 따른 에너지 소모량을 분석하여 당 건물에서 펌프 시스템 선정의 기준이 될 거리를 정량적으로 제시하고자 한다.

## 2. 냉수 순환 펌프 시스템

### 2.1 1차 펌프 시스템

냉수 순환 펌프 시스템이란 건물의 냉방을 위해 냉수를 공급해주는 시스템을 말한다. Lee<sup>(7)</sup>와 Kenneth<sup>(8)</sup>의 연구에서 각 펌프 시스템의 개념을 인용하였다.

1차 펌프 시스템은 냉동기 1대당 펌프가 1대씩 설치되어 있어 생성 존과 분배 존 모두를 담당하는 시스템이다. 이 시스템은 냉방 부하에 따라 공급되는 냉수의 유량이 변하면 필요 유량을 초과하는 과 유량이 환수관으로 바이패스 되어 냉동기 입구의 냉수 온도를 떨

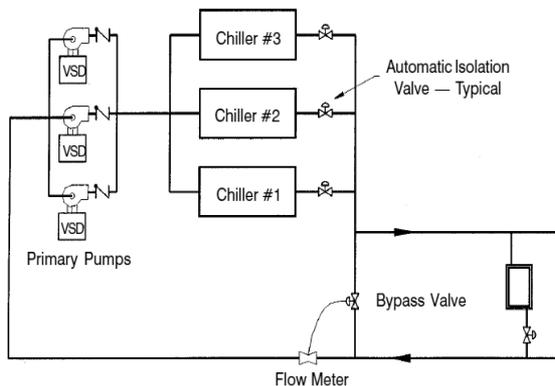


Fig. 1 Primary pump system.

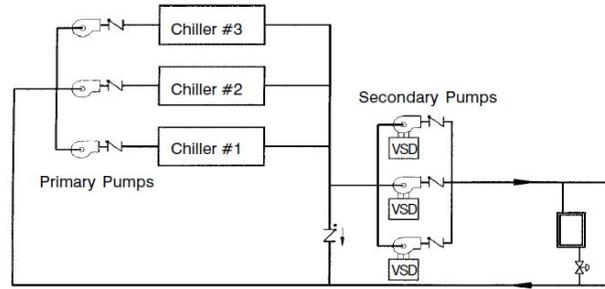


Fig. 2 Primary-secondary pump system.

어뜨린다. 제어 장치에서는 이를 감지하여 각각의 냉동기를 비례 제어하거나 대수운전을 하고 1차 변 유량 시스템의 경우 임펠러 회전수를 조절하여 펌프의 유량을 변화시킨다.

1차 펌프 시스템은 2차 펌프가 필요 없기 때문에 초기 투자비가 적으며 2차 펌프를 설치 할 공간을 아낄 수 있어 건물의 유효 면적을 더 확보 할 수 있다.

하지만 기계실과 각 존의 거리에 상관없이 모두 동일한 양정으로 운전되기 때문에 기계실과 가까운 거리의 존에는 과도한 압력이 걸리며 제어성이 떨어지고 적은 냉방부하에도 많은 동력이 소모된다는 단점이 있다.

### 2.2 1, 2차 펌프 시스템

1, 2차 펌프 시스템에서는 1차 펌프 외에 2차 펌프가 설치되며 1차 펌프가 생성 존을 담당하고 2차 펌프가 분배 존을 담당한다. 일반적으로 1차 펌프는 정속 펌프를 사용하고 2차 펌프는 정속 또는 변속 펌프를 사용한다. 1, 2차 펌프 방식은 냉동기와 분배 존을 분리 할 수 있고, 제어 밸브를 통한 압력 손실을 줄일 수 있기 때문에 가장 일반적으로 사용되는 방식이다. 그러나 2차 펌프의 설치로 1차 펌프 방식에 비해 초기 투자비용이 증가하고 바이패스 되는 유량에 의해 에너지 소비가 발생한다는 단점이 있다.

### 2.3 1, 2차 존 펌프 시스템

1, 2차 존 펌프 시스템은 1, 2차 펌프 시스템의 변형 방식으로 분배 펌프 시스템(Distributive Pumping System)이라고도 한다. 기본 개념은 1, 2차 펌프 시스템과 같으나 2차 펌프를 준별 또는 건물별 펌프로 대체하는 방식이다. Fig. 3은 1, 2차 존 펌프 시스템의 회로도를 나타낸다. 1차 펌프가 각 냉동기마다 한 대씩 총 3대가 설치되어 있는 것과 2차 펌프가 각 존마다 설치되어 있음을 확인할 수 있다.

1차 펌프 시스템과는 달리 각 준별 펌프로 인해 각 존마다 다른 양정으로 운전될 수 있어 제어성이 높다는

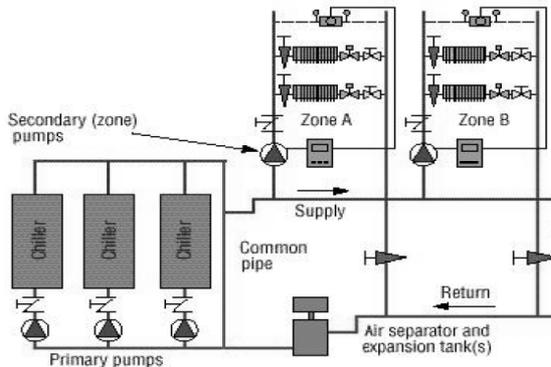


Fig. 3 Primary-secondary zone pump system.

장점이 있다. 2차 펌프의 배열로 펌프 동력이 절감되며 기계실에서 가까운 존에도 과압이 걸리지 않는다. 또한, 대규모 시스템에서는 배관계의 압력을 낮출 수 있어 배관, 밸브, 코일 및 팽창 탱크 등의 초기투자비가 절감된다.

하지만 각 존별 양정 차이가 크지 않은 경우에는 1차 펌프 시스템과 비교 할 때 동력 절감량이 크지 않아 초기 투자비가 큰 1, 2차 존 펌프 시스템의 효용성은 반감될 것이다.

### 3. 대상 건물 선정 및 해석 모델링

#### 3.1 대상 건물 선정

모델링 대상으로 선정된 건물은 A동부터 G동까지 7개의 동으로 나뉘어져 있으며 1, 2차 존 펌프 시스템이 설계되어 있다. 당 건물은 기계실에서 가장 먼 동까지 거리가 약 450 m, 가장 가까운 동까지는 50 m 떨어져 있다. 평균 거리는 약 265 m로 부지가 넓고 높이가 낮다는 특징이 있다. 거리에 따른 각 펌프 방식의 에너지 소모량을 분석하기 위한 본 연구에 적합하다고 판단되어 선정되었다.

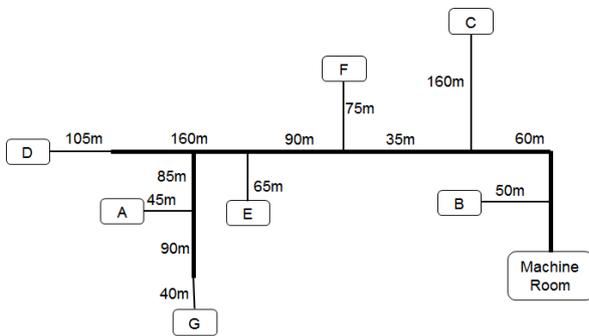


Fig. 4 Schematic diagram of pipe blueprint.

Fig. 4는 당 건물의 배관 구성도를 나타낸다. 기계실에는 냉동기 3대와 1차 펌프 3대, 각 동에는 2차 펌프가 2대씩 설치되어 있다. 본 연구에서는 펌프의 소요 동력을 해석하기 위해 공정 설계 프로그램인 Aspen Hysys를 이용하여 해석을 수행하였다.

#### 3.2 Hysys 소개

Hysys는 Aspen tech에서 개발한 공정설계 프로그램으로서 화학 공정 시뮬레이션 및 해석에 강점을 가지고 있는 프로그램이다. 열역학을 이용하여 공정을 수학적으로 모델화하고 이를 컴퓨터 하드웨어를 이용하여 실제 공정에서 일어나는 상황을 묘사, 해석하는 소프트웨어이다. Hysys는 많은 조건과 범위, 변수를 직접 설정해주어야 하는 번거로움이 존재하지만 실제 공정에 투입되는 물체의 물성치, 유량 및 운전 조건이 주어지면 실제로 그 공정을 실행하지 않아도 비교적 짧은 시간 내에 실제와 거의 같고 정확한 결과를 도출해낼 수 있다는 장점이 있다.

Hysys 이외에도 여러 공정 설계 프로그램이 존재하지만 Hysys가 다른 프로그램과 달리 입력한 사항을 바로 보관하고 진행하면서 그에 대한 정보를 보여주는 특징을 가지고 있어 더 빠르고 상대적으로 쉽게 사용이 가능하여 본 연구에 사용하였다.

#### 3.3 해석 조건

Table 1은 냉방 부하 100% 기준 1, 2차 존 펌프 시스템의 설계 유량(Q)과 양정(H)을 나타내며 Table 2는 1

Table 1 Primary-secondary zone system properties

Pump	Q(LPM)	$\eta$ (%)	H(maq)
Primary pump (3 EA)	9100	62.3	18
A(2 EA)	2700	59.3	44
B(2 EA)	1800	57.4	18
C(2 EA)	1300	55.5	41
D(2 EA)	2100	58.2	58
E(2 EA)	2200	58.4	36
F(2 EA)	1400	56	22
G(2 EA)	200	39.5	44

Table 2 Primary only system properties

Pump	Q(LPM)	$\eta$ (%)	H(maq)
Primary pump (3 EA)	9100	62.3	70

차 펌프 시스템의 설계 유량과 양정을 나타낸다. 실제 건물에는 1, 2차 존 펌프 시스템이 적용되어있으나 펌프 시스템의 효율성을 비교하기 위해 1차 정유량 펌프 시스템 적용을 가정하였다.

1, 2차 존 펌프 시스템에서 1차 펌프가 담당하는 유량은 총 27,300 LPM이며 2차 펌프가 담당하는 유량은 23,400 LPM이다. 3,900 LPM의 유량 차이가 나는데 당 건물은 증설분이 포함된 설계로 이 유량은 바이패스된다.

1차 펌프 시스템의 1차 펌프 양정은 1, 2차 존 펌프 시스템의 1차 펌프 양정과 2차 펌프 최고 양정을 더한 값에 부속기기 손실 수두를 뺀 값으로 산출하였다. 1차 펌프 시스템 적용 시 제거되는 2차 펌프의 부속기기 손실은 통상적으로 5~6 maq 정도이며 본 연구에서는 6 maq를 사용하였다. 펌프 선정은 (주)효성 펌프 카탈로그<sup>9)</sup>를 참고하였다.

각 펌프의 효율( $\eta$ )은 실제론 제조사나 모델마다 상이하다. 하지만 본 연구에서 효율은 독립변수로서 펌프 모델에 따른 효율 차이를 없애기 위해 일괄적으로 KS 소형 벌류트 펌프의 기준 효율(KS B 7501)을 이용하였다. 순환하는 냉수의 온도는 7°C로 열 손실은 없다고 가정하였다. 실제로 냉동기는 입, 출구 온도차가 5°C로 설계되며 이로 인한 유체의 물성치 차이는 미미하다. 당 시스템에 사용된 배관은 압력배관용 탄소강관으로 조도는 15 mm를 사용하였으며 1차 펌프는 정유량, 2차 펌프는 변유량으로 모델링 하였다.

냉방 부하는 냉수의 유량과 비례하며 냉방 부하가 100%일 때 냉수의 유량은 27,300 LPM이다. 본 연구에서는 계산의 편의를 위해 단위 냉수 유량을 300 LPM 씩 총 92구간으로 나누어 해석하였다.

#### 4. 해석

##### 4.1 해석 결과

Fig. 5는 거리를 줄이기 전 건물에 설계된 1, 2차 존 펌프 시스템과 본 연구에서 적용한 1차 펌프 시스템의 냉방 부하에 따른 동력 소모량을 나타낸다. 냉방 부하는 냉수의 유량과 비례하므로 그래프의 이해를 돕기 위해 가로축을 냉방부하로 나타내었다.

1차 펌프는 정유량 펌프로 대수 제어되어 동력 소모량 그래프가 계단식 양상을 보인다. 반면 2차 펌프는 인버터를 적용한 변유량 펌프로 계단과 곡선이 결합된 양상을 보인다.

모든 냉방 부하에서 1, 2차 존 펌프 시스템이 1차 펌프 시스템보다 에너지 절감 측면에서 효율적인 것을 확인할 수 있다. 당 건물은 기계실에서 각 동까지의 거리가 멀고 차이가 크기 때문에 1, 2차 존 펌프 시스템을 적용했을 때 많은 에너지가 절감될 수 있었다.

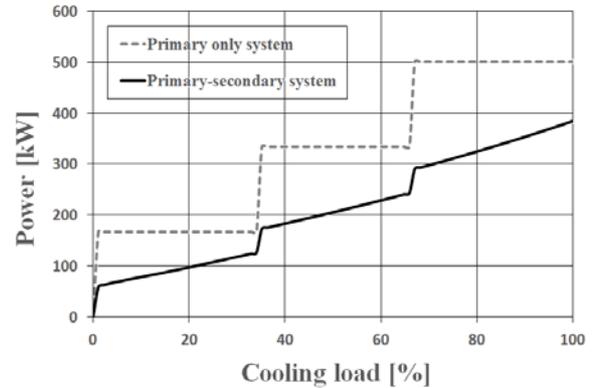


Fig. 5 Energy consumption for original system.

##### 4.2 거리의 변화에 따른 해석

본 연구에서는 1차 펌프 시스템이 더 효율적일 수 있는 접점을 찾기 위해 추가로 해석을 수행하였다. 만약 각 동까지의 거리 차이가 크다면 1, 2차 존 펌프 시스템의 에너지 소모량이 1차 펌프 시스템보다 적을 것이다. 따라서 거리를 줄일 때 각 동까지의 거리는 모두 동일하다고 가정하였다. 또한 기계실로부터 각 동까지의 거리를 평균 거리에 가까운 240 m부터 30 m씩 줄여가며 해석을 수행하고 소요 동력을 비교하였다.

기계실과 각 동 사이의 거리를 줄이면 2차 펌프의 설계 양정이 변하게 된다. 2차 펌프의 양정은 식(1)과 같이 계산된다.  $H_{s,p}$ 는 2차 펌프의 양정,  $n$ 은 안전율,  $H_f$ 는 마찰 손실,  $H_m$ 는 부속류 손실,  $H_v$ 는 밸브 손실,  $H_a$ 는 공조기 손실을 나타낸다.

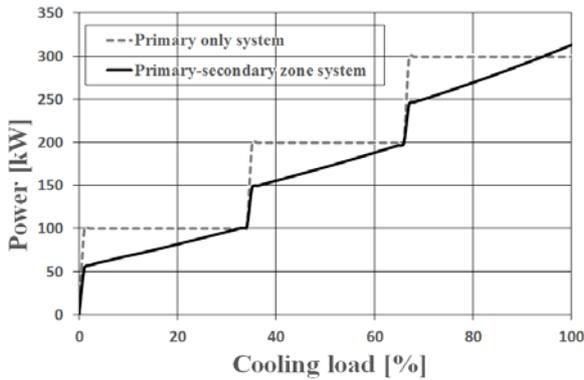
$$H_{s,p} = n \times (H_f + H_m + H_v + H_a) \quad (1)$$

식(2)는 펌프의 소요 동력을 구하는 공식을 나타낸다. 거리를 줄여도 유체의 밀도( $\rho$ )와 펌프의 효율( $\eta$ )은 변하지 않으며 유량( $Q$ )은 건물의 냉방부하에 따라 결정된다. 본 연구에서는 양정( $H$ )을 변수로 설정하고 해석을 진행하였다.

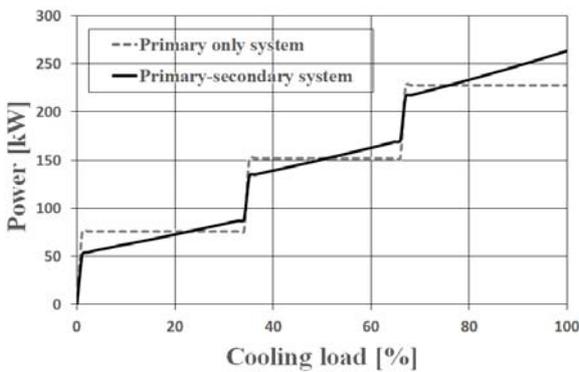
$$P = \frac{\rho \times H \times Q}{102 \times 60 \times 1000 \times \eta} \quad (2)$$

배관의 단위 길이 당 마찰 손실 값은 0.02 maq를 사용하였으며 부속류 손실은 마찰 손실과 같다고 가정하였다. 안전율은 1.1을 사용하였으며 밸브 손실은 5 maq, 공조기 손실은 3 maq로 실무에서 통상적으로 사용되는 값을 사용하였다.

냉방 부하에 따른 각 펌프 시스템의 동력 소모량 분석 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 6(a)는 기계실과 각 동 사이



(a)



(b)

Fig. 6 Energy consumption for equi-distance system (a) 240 m, (b) 120 m.

의 거리가 240 m인 경우로 대부분의 구간에서 1, 2차 존 펌프 시스템이 효율적이다. Fig. 6(b)는 각 동까지의 거리가 120 m인 경우로 1, 2차 존 펌프 시스템과 1차 펌프 시스템의 에너지 소모량이 거의 차이가 없으며 일부 구간에서 1차 펌프 시스템이 효율적인 것을 확인할 수 있다.

### 4.3 연간 에너지 소모량

위 결과를 토대로 각 펌프 시스템의 에너지 소모량을 정량적으로 비교하기 위해 1년을 8,760 h로 구분하였다. 대상 건물을 주 5일 12시간 근무하는 일반 오피스로 가정하여 ASHRAE Standard 90.1 스케줄 데이터를 사용하였다. 부하율 기준은 에너지 시뮬레이션 프로그램인 eQuest를 활용하였다. Fig. 7은 거리에 따른 연간 에너지 소모량을 나타낸다. Table 3은 거리를 줄이기 전, 240 m, 120 m인 경우의 연간 에너지 소모량과 1, 2차 존 펌프 시스템 대비 1차 펌프 시스템의 에너지 소모량 비를 나타낸다.

거리를 줄이기 전의 경우, 당 건물에서 1차 펌프 시

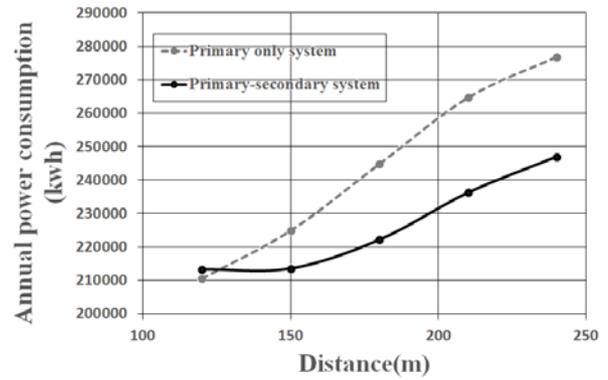


Fig. 7 Annual energy consumption for equi-distance system.

Table 3 Annual energy consumption

	Original system (kWh)	240 m (kWh)	120 m (kWh)
P only system(A)	463,425	276,834	210,539
P-S system(B)	309,557	247,002	213,312
Ratio(A/B)(%)	149.7	112.1	98.7

스템의 에너지 소모량은 1, 2차 존 펌프 시스템의 약 1.5배이다. 따라서 본 건물에 1, 2차 존 펌프 시스템의 적용은 타당하였다고 판단된다. 반면 1차 펌프 시스템의 에너지 소모량이 더 적어지는 기준은 기계실과 각 동사이의 거리가 약 120 m인 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 1, 2차 존 펌프 시스템이 적용되어 있는 특정 건물에 1차 펌프 시스템 적용을 가정하였고, 공정설계 프로그램인 HYSYS를 이용해 에너지 소모량을 분석하였다. 펌프 시스템의 선정 기준을 제시하기 위해 각 동까지의 거리를 같다고 가정하고 거리를 줄여가며 각 펌프 시스템의 에너지 소모량을 분석하였다. 대상 건물을 일반 오피스로 가정하고 1차 정유량 펌프 시스템이 효율적일 수 있는 거리를 정량적으로 제시하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) 대상 건물의 거리를 줄이기 전 모든 냉방 부하에서 1, 2차 존 펌프 시스템이 효율적이다. 1차 펌프 시스템의 연간 에너지 소모량은 1, 2차 존 펌프 시스템의 약 1.5배로 1, 2차 존 펌프 시스템 설계는 타당하였다.
- (2) 각 동까지의 거리를 같다고 가정하고 거리를 줄여가며 해석한 경우 120 m일 때 일부 냉방 부하 구간에서 1차 펌프 시스템의 에너지 소모량이 적은 것을 확인할 수 있었다.

- (3) 대상 건물을 일반 오피스로 가정한 경우 기계실에서 각 동까지의 거리가 120 m일 때 1차 펌프 시스템은 1, 2차 존 펌프 시스템과 비교했을 때 연간 2,773 kWh의 에너지가 절감된다.
- (4) 대상 건물은 증설분이 포함된 설계로 1, 2차 존 펌프 시스템에서 약 4,000 LPM 정도의 유량이 바이패스 된다. 이 유량으로 인한 절감과 1차 펌프 시스템의 초기 투자비가 저렴한 점을 고려하면 120 m 거리에서 1차 펌프 시스템이 보다 더 효율적이라고 판단된다.

다만, 실제로는 설계 시에 과도한 안전율 적용 등으로 과용량이 설치되는 경우가 많으므로 1차 펌프 시스템에서는 증설 예비용 이상의 에너지 소비가 발생할 것이다.

각 동까지의 거리가 같고 비교적 단거리인 경우에도 부하 패턴이 다른 존이 상존하여 부하율의 변화가 크면 1차 정유량 펌프 시스템이 부하 변동에 대응하지 못할 수 있다. 따라서 냉난방 시스템 설계 시 외기온도와 건물의 용도에 따른 부하 패턴을 반드시 고려하여야 한다.

마지막으로 본 연구에서 제시한 펌프 시스템의 선정 기준은 특정 조건을 가정한 경우지만, 본 연구에서 수행한 방법론을 이용한다면 보다 더 빠른 시간 안에 객관적인 펌프 시스템 선정이 가능할 것으로 기대된다.

## References

1. Korea energy information center, 2004, Selection of the Air-conditioning system, Energy equipment magazine, Vol. 12, pp. 1-9.
2. Kim, K. T., Lee, S. Y., Yeo, M. S., and Cho, H. G., 1999, A Comparative Study on the Operating Methods for the Secondary pump in Chilled Water Distribution System, Proceeding of SAREK, pp. 864-868.
3. Lee, S. O., 2014, The optimal pump system and minimizing energy consumption, SAREK Journal, Vol. 43, No. 4, pp. 36-41.
4. Taylor, S. T., 2002, Primary-Only vs. Primary-Secondary Variable Flow System, ASHRAE Journal, pp. 25-29.
5. Yeon, C. K., Lee, S. K. and Kim, M. H., 2009, The primary-secondary pump system design case using geothermal heat pump, KARSE, Vol. 26, No. 6, pp. 75-80.
6. Hyprotech, 2003, HYSYS 3.2 Operation Guide.
7. Lee, H., 2010, Pumping system of chilled water pipeline, Proceeding of SAREK, pp. 402-407.
8. Luther, K. R., 1998, Variable volume pumping fundamentals, HPAC, pp. 69-75.
9. HYOSUNG EBARA CO. LTD., 2007, HYOSUNG Pump Catalog.