

사무소 건물의 HVAC&R 시스템 에너지 분석방법 및 예측 프로그램 개발

Development of an HVAC&R Systems Energy Evaluation Methodology and Simulation Program for Office Buildings

조진균(Jinkyun Cho)^{1†}, 신승호(Seungho Shin)¹, 김종현(Jonghurn Kim)²,
황동곤(Dongkon Hwang)², 홍희기(Hiki Hong)³

¹삼성물산(주) 건설부문, ²(주)우원엠앤이, ³경희대학교 기계공학과

¹Construction Technology Center, Samsung C&T Corporation, Seoul 137-956, Republic of Korea

²Research Institute, Woowon M&E, Seoul 151-904, Republic of Korea

³Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University, Yongin 449-701, Republic of Korea

(Received December 13, 2012; revision received April 8, 2013)

Abstract HVAC&R systems are the most energy consuming building services, representing approximately half of the final energy use in the building sector. Despite their significant energy use, there is a lack of a consistent and homogeneous framework to efficiently guide research. This research is about the energy consumptions of HVAC&R systems, with the aim of establishing a common idea for the analysis of building energy efficiency. Our approach deals with the concept of an HVAC&R set that is composed of subsystems. A matrix combination evaluation is examined, and a total of 960 sets can be implemented in a large scale office building. A method as a tool for energy evaluations of HVAC&R systems, and HEET as a energy simulation program, were developed.

Key words Office building(사무소 건물), Energy efficiency(에너지 효율), HVAC&R system(공조-열원-반송시스템), Energy evaluation(에너지 성능평가)

† Corresponding author, E-mail: jinkyun.cho@samsung.com

1. 서 론

일반적으로 대규모 사무소 건물의 경우, 냉·난방, 환기를 위한 설비시스템의 에너지 소비량은 건물 전체 에너지 소비의 40~50%를 차지한다.^(1, 2) 건물이 대형화와 초고층화 됨에 따라 건물에서 소비되는 에너지는 계속적으로 증가한다. 국가별 에너지 소비구조상 건물에서 소비되는 비율이 높기 때문에 실질적인 에너지 절감은 합리적인 건축물 계획을 통해 우선적으로 달성될 수 있다.⁽³⁾ 에너지효율과 실내 열 쾌적은 HVAC&R (Heating Ventilation Air Conditioning and Refrigeration) 시스템과 밀접한 관계가 있다. 따라서 HVAC&R 시스템 계획에서 가장 중요한 사항은 건물에 적합한 방식을 결정하는 것이다. 그리고 소요되는 에너지를 효과적으로 절감하기 위해 구성 시스템간의 관계 및 영향도를 충분히 고려하여 계획해야한다.⁽⁴⁾ 건물의 HVAC&R 시스템은 최근 동일한 운영비에서 보다 에너지 절약

적이고, 쾌적한 환경의 우수한 성능이 요구되고 있다. 설비 시스템의 에너지 성능은 시스템의 조합과 운영 조건에 영향을 크게 받으며, 동시에 건물의 냉·난방 부하의 특성에도 민감하게 작용한다. 따라서 시스템의 다양한 조합을 평가하고 에너지를 예측하는 기술이 필요하다. 공조, 열원, 반송시스템에 대한 각각의 독립적인 에너지 평가는 지속적으로 수행되어 왔으나 서로의 영향도를 고려한 통합된 HVAC&R set 개념으로 평가하는 종합적인 연구는 극히 부분적으로만 시도되었다.⁽⁵⁾

본 연구는 동일한 건물부하를 기준으로 적용 가능한 모든 시스템의 에너지를 동시에 예측하는 방법론을 도출하였다. 또한 본 방법론을 바탕으로 사용자가 손쉽게 각 시스템 조합을 선정하고 평가할 수 있는 HEET(HVAC&R Energy Evaluation Tool) 프로그램을 개발하였고, 이를 통하여 초기 계획단계에서 에너지 소모량을 파악함으로써 보다 에너지 효율적인 건물설

계가 가능하다는데 그 의미를 부여할 수 있다.

2. HVAC&R 시스템 구성 및 조합

2.1 HVAC&R set 개념 및 구성

사무소 건물을 대상으로 다양한 시스템의 에너지를 분석할 수 있는 방법론과 평가 프로그램을 개발하기 위해 적용 가능한 모든 HVAC&R 시스템 구성을 도출하는 것이 선행되어야 한다. 따라서 공조-열원-반송시스템으로 구성된 각 하위 시스템의 구성개념 및 적용가능성에 대한 종합적인 매트릭스 조합평가가 필요하다. HVAC&R 시스템의 구성을 보면 크게 열을 생산하는 열원시스템, 생산된 열을 열매를 통해 이송하는 반송시스템 그리고 공급받은 열을 통해 실내에 최적 환경을 제공하는 공조시스템 등으로 나눌 수 있다. 즉, Fig. 1에서와 같이 HVAC&R set은 3개의 축으로 구성된 좌표와 같이 공조-열원-반송시스템이 조합된 통합 시스템으로 볼 수 있다. 또한 하부의 공조시스템은 크게 내부와 외주부의 냉·난방 방식에 따라 구분하고 외기를 공급하는 방식에 따라 나뉜다. 냉·난방 방식은 공기방식, 수·공기방식과 수방식으로 구분되고 각 방식의 특성을 고려하여 외주부와 내부의 시스템을 결정한다.

신선외기 도입을 위한 외기처리방식은 전용시스템을 구성하는 DOAS(dedicated outdoor air system)와 냉·난방을 위해 설치된 공조기를 겸용하는 방식이 있다. 공조방식에 의해 결정된 공조유닛에 필요열량을 공급하는 열원시스템은 크게 냉방과 난방열원설비로 구분된다. 반송시스템은 물 계통에서의 열원공급방식과 공급열매체(냉수)의 온도차를 기준으로 시스템 조합이 가능하다.

2.2 HVAC&R 시스템 매트릭스 조합평가

앞에서 언급했듯이, HVAC&R 시스템은 열원, 공조, 반송시스템의 구성되어있고 또한 각 구성시스템은 또 다른 하위시스템으로 구성되어 있다. 여기에는 각 시

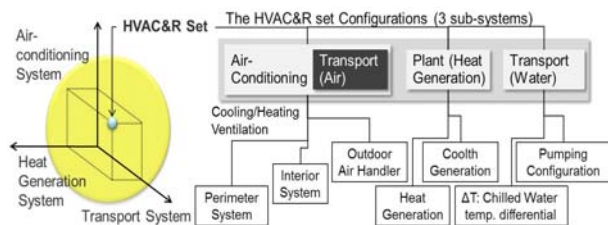


Fig. 1 The basic concept and composition of the HVAC&R set.

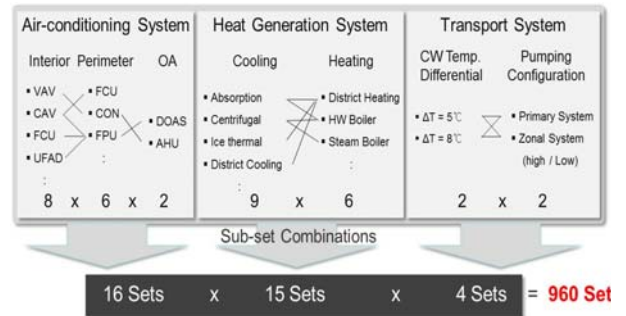


Fig. 2 The matrix combination check of the HVAC&R system.

스템의 특성에 따라서 조합이 불가능하거나 일반적으로 구성하지 않는 시스템이 존재한다. 따라서 Fig. 2와 같이 HVAC&R 구성 시스템에 대한 매트릭스 조합검토를 통해 공조시스템 16개, 열원시스템 15개, 반송시스템 4개를 도출하였다.⁽⁶⁾ 공조 및 열원시스템 구성은 현실적으로 조합이 가능한 시스템을 고려하여 구성하였기 때문에 보편성 확보가 가능하였다. 본 연구는 고층 사무소건물을 대상으로 하였기 때문에 반송시스템은 냉수의 온도차와 펌프의 고·저층 조닝에 국한하여 검토되었다.

재실자의 쾌적성 확보를 위해 동일한 실내조건을 만족하는 설계기준으로 모든 시스템을 구성하고 운전이 되도록 설정했다. Table 1은 HVAC&R 시스템의 구성 가능한 조합의 set을 보여주며 구성시스템의 조합은 총 960개(= 16(공조)×15(열원)×4(반송))가 가능하다.

3. HVAC&R 에너지 분석 방법론

앞에서 매트릭스 조합에 의해 공조, 열원, 반송시스템의 각 하위 set이 도출되었고 다시 각 하위 set의 조합에 따라 구성 가능한 HVAC&R set은 이론적으로 총 960개가 된다. 그러나 모든 시스템 set의 에너지 성능을 평가하는 것은 상당한 시간과 노력이 요구되며 현실적으로 불가능하다. 본 장에서는 사무소 건물에서 조합 가능한 960개의 HVAC&R 시스템의 에너지를 동시에 평가할 수 있는 방법론을 제시하였다.

3.1 1단계 : 기본 HVAC&R set 에너지 분석

Fig. 3은 33개의 기본(basic) HVAC&R set의 에너지를 평가하기 위한 분석방법을 보여준다. 공조-열원-반송의 3개 공중별 시스템을 각각 변경 및 조합하여 분석하게 되면 해석모델이 기하급수적으로 증가하기 때문에 비교대상이 되는 보편타당한 기준(base) HVAC&R 시스템으로 비교평가를 한다.

Table 1 HVAC&R system matrix combinations for office buildings

Air-conditioning System	(Heat) Plant System	(Heat) Transport System
A01 CAV System	P01 Direct-fired Absorption Chiller/Heater (Base)	T01 Primary Pump system +Chilled Water Temp. Differential($\Delta T = 5^{\circ}C$)(Base)
A02 VAV System		
A03 UFDA		
A04 FCU+DOAS	P02 Absorption Chiller+Steam Boiler	T02 Primary Pump system (1 Zone) +Chilled Water Temp. Differential($\Delta T = 8^{\circ}C$)
A05 Radiant C/H+DOAS	P03 Centrifugal Chiller+Steam Boiler	
A06 Chilled Beam+DOAS	P04 Ice Thermal Storage+Steam Boiler	
A07 PAC(EHP)+DOAS	P05 Water Thermal Storage+Steam Boiler	
A08 CAV+FCU	P06 Centrifugal Chiller+HW Boiler	
A09 VAV+FCU	P07 Ice Thermal Storage+HW Boiler	
A10 CAV+Convactor	P08 Water Thermal Storage+HW Boiler	T03 Zone Pump system(2 Zone) +Chilled Water Temp. Differential($\Delta T = 5^{\circ}C$)
A11 VAV+Convactor(Base)	P09 Centrifugal Chiller+District Heating	
A12 UFDA+FTU+DOAS	P10 Ice Thermal Storage+District Heating	T04 Zone Pump system (2 Zone) +Chilled Water Temp. Differential($\Delta T = 8^{\circ}C$)
A13 VAV+FPU	P11 Water Thermal Storage+District Heating	
A14 LTAD+FPU	P12 District Cooling+District Heating	
A15 CAV+PAC(EHP)	P13 HW Driven Absorption+District Heating	
A16 VAV+PAC(EHP)	P14 Geothermal Heat Pump System	
Total 16 systems	Total 15 systems	Total 4 systems

즉, 공조시스템을 평가할 때 열원, 반송설비는 기준 시스템으로 고정하고 공조시스템을 변화시키면서 에너지를 평가한다. 동일한 방법으로 열원시스템을 분석할 때는 공조와 반송시스템을, 반송시스템 평가 시는 공조와 열원시스템을 기준 시스템으로 고정하여 시스템별 에너지 사용량을 평가한다. Table 1의 기준 시스템은 대규모 사무소건물에 적용된 보편적인 시스템으로 구성하였다. 공조와 반송시스템은 국내 및 해외에서 적용되는 시스템이 거의 동일하지만 열원시스템은 국내의 법적인 기준에 의해서 차이가 있다.⁽⁷⁾

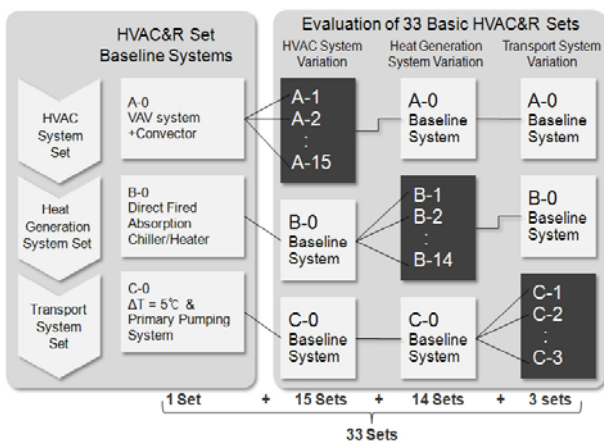


Fig. 3 A method for evaluating energy consumption of basic HVAC&R sets.

3.2 2단계 : 확장 HVAC&R set 에너지 예측

33개의 기본 HVAC&R set의 에너지 분석이 완료되면 총 960개 HVAC&R set의 에너지 산출 가능해진다 (Fig 4). 열원-공조-반송은 공종별로 에너지 소비측면에서는 시스템 구성이 독립적이고 상호작용이 비교적 작기 때문에 Table 2와 같이 33개의 기본 HVAC&R set을 기준으로 공종별 서로 다른 시스템의 에너지사용량 비율을 도출하고 확장(extended) HVAC&R set의 에너지 소비량을 예측하였다. 이러한 분석이 가능하기 위해서는 공종별로 사용되는 에너지 사용량을 세부적으로 구분하고, 각각 사용되는 에너지가 전기, 가스, 지역열원

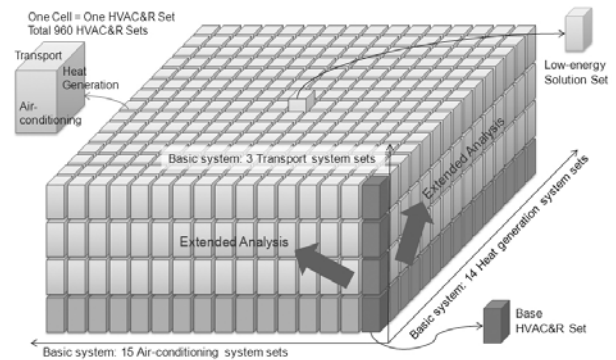


Fig. 4 The basic concept of extended HVAC&R energy consumption analysis.

Table 2 A method for predicting energy consumption of extended HVAC&R sets

	Energy Ratio of HG	Energy Ratio of AC	Energy Ratio of HT	Total Energy Ratio
Base HVAC&R set	1.0	× 1.0	× 1.0	= 1.0
Basic HVAC&R set(AC)	1.0	× 16 EA Evaluate	× 1.0	= Calculate
Basic HVAC&R set(HG)	15 EA Evaluate	× 1.0	× 1.0	= Calculate
Basic HVAC&R set(HT)	1.0	× 1.0	× 4 EA Evaluate	= Calculate
Extended #n HVAC&R set	0.8	× 1.1	× 1.0	= 0.88 (example)
Extended HVAC&R set(960 EA) (16 EA)	× (15 EA)	× (4 EA)	= Predict (960 EA)

AC : Air-conditioning System.
 HT : Heat Transport System.
 HG : Heat Generation System.

등 종류가 다양하므로 1차 에너지로 변경하여 산출해야 하는 작업이 선행되어야 한다. 반대로 에너지 사용 요금 분석은 다양한 에너지원에 따라 그 사용요금이 상이하기 때문에 2차 에너지를 기준으로 산출하되 공종별로 에너지 사용량이 각각 상세히 구분하여 서로 다른 조합으로 이루어진 HVAC&R set의 에너지 성능 예측이 가능하도록 하였다.

4. HVAC&R 에너지 평가 프로그램 개발

앞에서 도출한 에너지 예측 방법론을 활용하여 종합적인 HVAC&R 시스템의 에너지 평가 프로그램 개발이 가능하였다. 즉, 각 구성 시스템을 선택하고 조합을 하면 공조-열원-반송을 포함한 HVAC&R set이 구성된다. 구성된 시스템은 기준 시스템과 비교하여 에너지 평가를 하며, 최종적으로는 1차 에너지 소비량, 에너지 요금 및 경제성 평가가 가능하도록 구성되었다. 또한 세부적으로 요소별 에너지 사용량을 구분하여 분석이 가능하다. 본 프로그램의 가장 큰 특징은 하나의 건축 부하조건에 대해서 960개의 HVAC&R 시스템의 에너지 평가가 동시에 가능한 점이다.

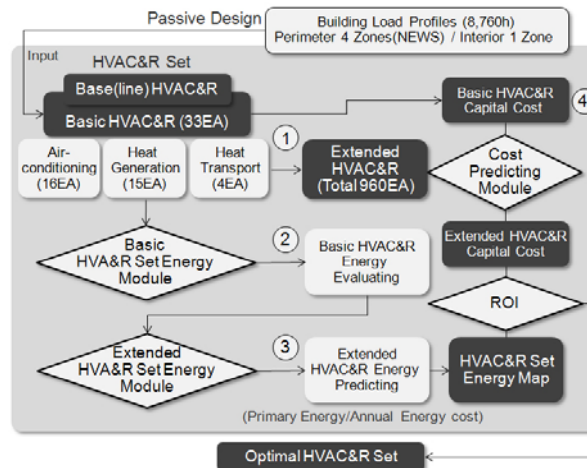


Fig. 5 Schematic flow chart of the major energy evaluation steps at the HEET.

4.1 HVAC&R set 에너지 평가 프로세스

Fig. 5는 HEET(HVAC&R Energy Evaluation Tool)의 기본적인 구성 및 해석 프로세스를 보여주고 있다. 기본적으로 기준층에서 4개의 외주부 존(동, 서, 남, 북)과 내부 존의 시간별 건물부하를 입력데이터로 사용한다. 따라서 어떠한 동적에너지 시뮬레이션 프로그램을 사용하여도 기준층의 8,760시간의 건물부하만 산출하면 본 프로그램을 구동할 수 있다.

첫째, 건물부하와 기상데이터에 대한 기본적인 정보가 입력되면 기준 시스템을 해석해야하며 이것이 모든 시스템의 평가기준이 된다. 둘째, 입력데이터를 이용하여 33개의 기준/기본 HVAC&R 시스템의 에너지 분석을 실시한다. 그 다음 기본 시스템의 열원-공조-반송 시스템에 대한 기준시스템 대비 에너지 소비비율을 각각 산출한다. 셋째, 구성시스템의 변경에 따른 각각의 영향도가 계산되면 이러한 비율과 가중치를 이용하여 확장 시스템의 에너지를 분석하게 된다. 여기에는 2차 에너지 기준의 연간 에너지 비용과 1차 에너지 소비량이 산출된다. 넷째, 시스템의 초기투자비도 에너지 분석과 동일한 방법으로 기준/기본 시스템을 산출하고 기준층, 기계실, 입상부분의 공사비를 세분화하여 960개 확장 시스템의 초기투자비를 산출할 수 있도록 구성하였다. 마지막으로 시스템별 에너지 비용과 초기투자비를 비교하여 경제성분석이 가능하다.

4.2 HVAC&R set 에너지 소비량 산출방법⁽⁷⁾

HVAC&R 시스템 해석방법은 시간(8,760h)별 건물부하를 기준으로 각 시간대별로 부하처리를 위한 에너지

를 정상상태로 계산하여 장비용량을 결정하고 대수분할에 의한 기본적인 운전제어를 반영하였다. 즉 선정된 장비용량을 기준으로 각 시간대의 부하를 제거하기 위해 가동되는 장비의 입력 에너지를 산출하고 합산하였다. HVAC&R 시스템의 에너지 소비량은 건물부하 입력, 부하계산, 에너지 사용량 계산, 에너지 요금 계산, 1차 에너지 환산 등의 총 5개의 단계로 구성되어 있다. Fig. 6은 HVAC&R 시스템의 에너지 소비량을 계산하는 방법을 나타낸 흐름도이다. 또한 이러한 프로세스를 기준으로 에너지 평가방법을 제시하였다. 1단계 부하계산 관련 입력에서는 동적 에너지 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 산출한 건물부하를 입력 값으로 사용한다. 기본사항인 냉·난방 온도조건과 공조부하 계산과 관련된 외기부하, 외기냉방과 관련항목을 입력하고 열원부하 계산은 구성 펌프와 송풍기에 의해 추가되는 냉·난방부하 비율을 고려하였다. 2단계는 시스템의 에너지 계산과 관련된 입력내용으로 공조풍량 및 외주

부 공조시스템의 정보를 입력한다. 열원기기와 관련된 장비의 대수, 용량 및 효율을 입력을 하고, 시스템의 가동조건을 설정한다. 열원기기의 용량제어 특성상 일반적으로 30% 이하의 부분부하 운전이 어렵기 때문에 정격 연료 소비량의 소비되도록 열원기기의 제어범위에 따른 최소 운전 비율을 입력하도록 하였다. 반송시스템은 펌프의 대수, 유량, 양정, 동력, 온도차를 고려하였다. 3단계에서는 시간별 건물부하를 이용하여 공조부하와 열원부하를 계산한다. 공조 송풍량은 실내현열부하를 기준으로 산출한다. 최대부하를 기준으로 송풍기를 선정한 후, 송풍기의 상사법칙을 적용하여 공조 동력을 산출하고, 외기부하는 재실자를 위한 외기도입량을 기준으로 산출하였다. 실내·외의 엔탈피를 비교하여 외기도입이 유리한 시간대에 대해서는 외기냉방에 의한 효과를 고려할 수 있도록 하였다. 최종적으로 공조기에서 담당하게 되는 공조부하는 건물부하, 외기부하, 송풍기 발열, 외기냉방을 합산한 값이다. 열원부하는 공조부하에 사용자가 입력하는 배관부하와 펌프발열 비율을 적용하여 산출한다. 4단계는 에너지 사용량을 계산하는 단계이다. 에너지 사용량은 공조, 열원, 반송에너지로 구분하여 산출하고 공조부하를 기준으로 각각 독립적으로 계산이 이루어지도록 하였다. 공조에너지는 난방기와 냉방기로 구분하여 산출하였다. 열원에너지는 열원부하를 기준으로 열원기기의 효율을 반영하여 2차 에너지 요구량을 계산하였다. 반송에너지는 공조부하를 기준으로 온수와 냉수, 냉각수 순환량을 대수제어를 적용하여 요구되는 반송동력 에너지를 산출하였다. 5단계에서는 4단계에서 계산된 에너지 사용량을 기준으로 에너지 사용요금과 1차 에너지 사용량을 계산하였다. 열원요금은 계절별, 시간대별 차등 적용되는 요금을 적용하여 사용금액을 산출하였다. 전력요금은 난방기에 비해 냉방기에 수전용량이 최대가 되므로 이를 기준으로 전력기본요금을 계산하였다. 1차 에너지 소비량은 2차 에너지 소비량을 기준으로 1차 에너지 환산계수를 적용하여 변환할 수 있도록 하였다. 마지막 6단계에서는 output을 출력할 수 있도록 구성하였고 프로그램은 excel 기반 엔진구동 방식으로 구현된다.

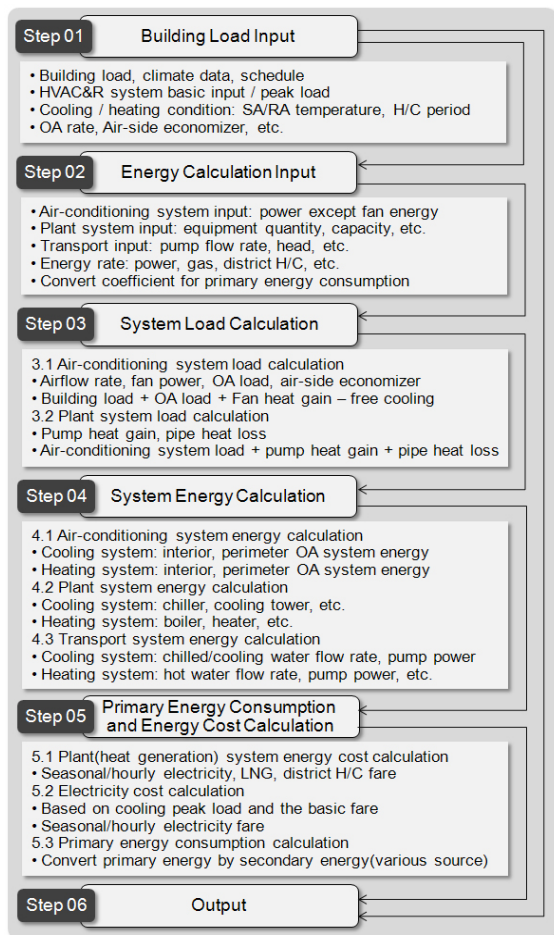


Fig. 6 Flow diagram of HVAC&R system energy calculation steps.

4.3 프로그램 구성 및 기능

Fig 7과 같이 HEET 프로그램의 입력은 크게 필수설정과 상세설정으로 구분되어 있다. 필수설정은 건물관련 정보로서 새로운 건물에 대한 에너지 분석을 위해서 필수로 입력해야 하는 사항이다. 상세설정은 에너지, 공조-열원-반송 시스템 등과 관련된 입력 내용으로써, 일반 사용자들은 초기값을 사용하며, 전문가들은 COP, 효율, 운전 조건 등에 대해 상세 설정을 할 수 있도록 하였

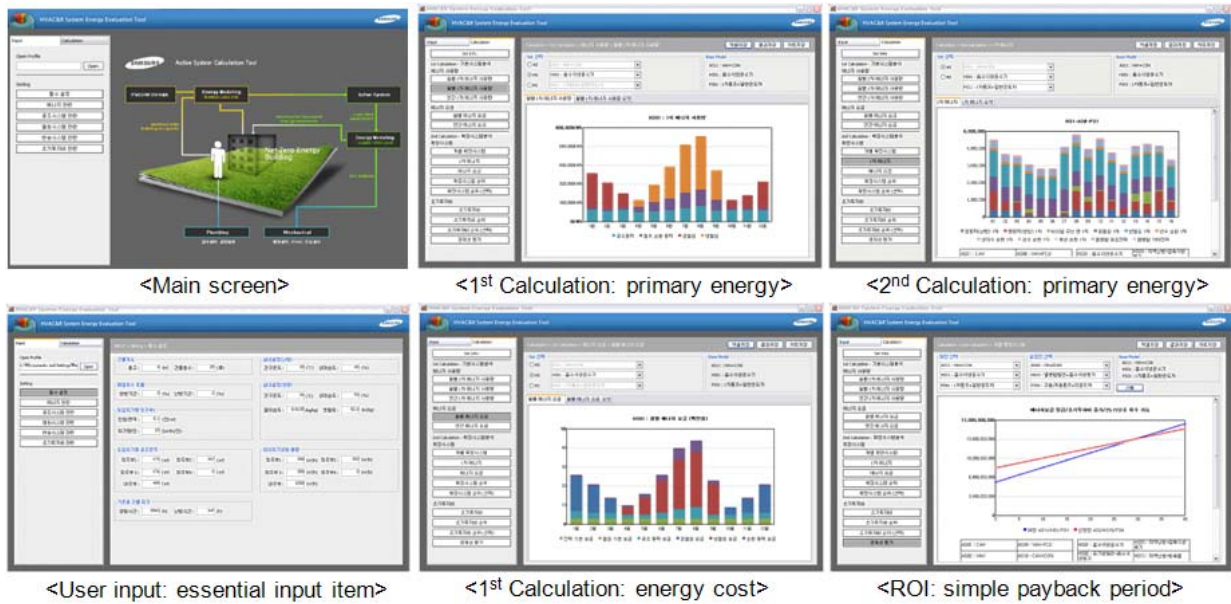


Fig. 7 Overview of HEET(HVAC&R energy evaluation tool) program.

다. 초기투자비는 건물의 층수, 피크부하, 외기부하 등을 입력하여 건물 규모, 냉난방 부하가 변경 될 경우에 대해 960개 확장 HVAC&R set의 초기투자비를 예측할 수 있다. 1차 계산은 33개 기본 HVAC&R set에 대해 상세한 에너지 사용량, 에너지 요금을 산출하며 2차 계산은 960개 확장 HVAC&R Set에 대해 에너지 사용량, 요금, 초기투자비 등을 예측하여, 최종적으로 경제성을 평가한다. 기본 시스템분석에서 에너지 사용량은 월별, 2차 에너지 사용량, 연간 1차 에너지 사용량으로 구분되어 그래프와 수치를 선택할 수 있다. 동일하게 월별 에너지 요금과 연간 에너지 요금으로 구분하여 확인할 수 있다. 960개 확장 HVAC&R set의 경우, 정렬하고자하는 구성 시스템(공조-열원-반송)을 선택한 후 해당되는 set에 대해 상대비교가 가능하다. 에너지 요금도 유사한 형태로 출력화면이 구성되어 있으며, 순위정렬을 통해 에너지 요금 및 1차 에너지가 우수한 시스템을 확인할 수 있다. 경제성 평가는 선정안과의 비교를 통해 상대적인 평가를 한다. 에너지 요금의 증감과 초기투자비의 증감 여부를 판단하여, 단순투자회수기간을 계산한다.

5. HVAC&R 에너지 평가 프로그램 검증

개발한 HVAC&R 에너지 평가 프로그램의 타당성을 검증하기 위하여 상용 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS와 비교하였다. 이를 위해서 우선적으로 건물부하는 TRNSYS를 사용하여 산출하였고 HVAC&R 분석을 위해 동일한 입력데이터로 사용되었다. 총 3개의 HVAC &R set을 비교하였으며 시스템 구성은 Table 3과 같다.

분석대상 HVAC&R set #1은 VAV+컨벡터와 흡수식냉온수기로 구성된 시스템(Table 4)에 대해 동일한 건물부하 프로파일을 기준으로 에너지 소비량을 비교하였으며, set #2는 열원시스템을 압축식냉동기+온수보일러로 변경하여 분석하였다. 마지막으로 set #3은 칠드빔+DOAS와 압축식냉동기+지역난방이 조합되었을 때의 에너지 성능평가를 실시하였다. Fig. 8은 HVAC&R set #1의 TRNSYS 모델링 예를 보여준다. TRNSYS와 HEET의 계산 방식 중 가장 큰 차이는 공조풍량의 산출 방법이다. HEET의 경우, 실제 설계방법에 의해서 피크부하를 기준으로 급기풍량을 산출하지만, TRNSYS는 실내온도를 기준으로 필요 풍량을 산출하여 공급한다.

따라서 급기/환기팬 소비동력의 차이가 발생하며, 이로 인해 열원기기의 가동시간 및 순환펌프의 에너지소비에도 약간의 차이가 발생한다.

Table 3 Test HVAC&R sets for program comparison (HEET vs. TRNSYS)

HVAC &R	Air-conditioning System	(Heat) Plant System	Transport System
Set #1	A11	P01	T01
Set #2	A11	P06	T01
Set #3	A06	P09	T01

A11 : VAV+Convactor A06 : Chilled Beam+DOAS
 P01 : Direct-fired Absorption Chiller/Heater
 P06 : Centrifugal Chiller+HW Boiler
 P09 : Centrifugal Chiller+District Heating
 T01 : Primary Pump system+CW Temp($\Delta T = 5^{\circ}C$).

Table 4 HVAC&R set #1 configurations for energy simulation

Air-conditioning System (A11)	<ul style="list-style-type: none"> • VAV+Convactor ◦ SA(Airfoil) : 18,000 m³/h, 1,000 Pa 7.2 kW×25 EA ◦ RA(Sirocco) : 15,000 m³/h, 400 Pa 4.74 kW×25 EA ◦ Convactor : 730 kcal/h, 20 W×850 EA
(Heat) Plant System (P01)	<ul style="list-style-type: none"> • Direct-fired Absorption Chiller/Heater ◦ Capacity : 1,089 Mcal/h×2 EA ◦ Fuel consumption : 79.3 Nm³/h
Transport System (T01)	<ul style="list-style-type: none"> • Primary Pump+CW Temp(ΔT = 5°C). ◦ Chilled/hot water circulation pump : In-line, 3,475 LPM, 27 kW×2 EA ◦ Cooling water circulation pump : In-line, 5,734 LPM, 65 kW×2 EA

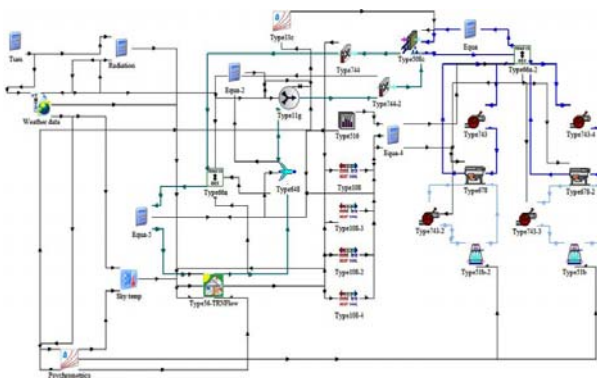


Fig. 8 TRNSYS simulation studio model components and connections of set #1.

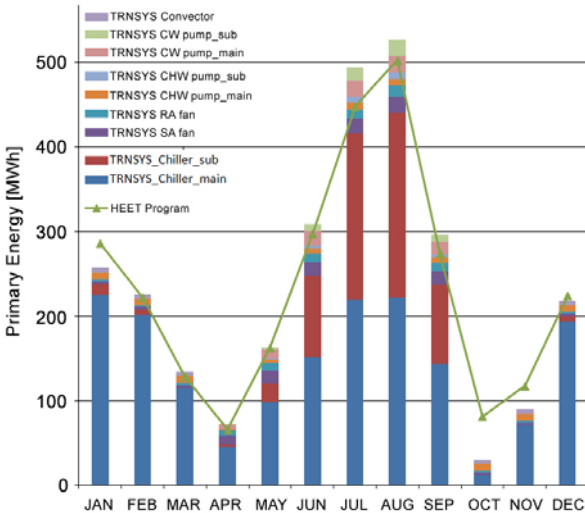


Fig. 9 Comparison of monthly energy demand of set #1 for TRNSYS and HEET.

Fig. 9는 HVAC&R set #1의 월별 1차 에너지 소비량 누적 값으로 중간기를 제외한 전체적인 소비경향은 유사하였다. Fig. 10에서와 같이, 연간 총 에너지 소비량은 공조관련 팬이 약 10% 전후의 오차가 발생하는 것을 제외하고는 상당히 유사한 경향을 보이고 있다. 또한 누적 에너지 소비량 기준으로는 HVAC&R set #1은 1.5%, set #2는 6.6%와 set #3은 4.8%의 오차가 발생하는 것으로 나타났다(Table 5). 최종적으로 본 연구를 통하여 개발된 HEET와 TRNSYS를 동일한 건물부하 조건하에 3개의 HVAC&R 시스템의 에너지 성능을 분석한 결과, 시스템별로 약간의 차이는 있지만 오차를 7%이내에서 동일한 에너지 성능 및 소비패턴을 보이는 것으로 검증되었다.

6. 결론

건물에서 다양한 조합으로 구성이 가능한 HVAC&R 시스템의 에너지 효율을 평가하는 것은 어렵고도 중요한 사항이다. 본 연구는 시스템 구성과 조합에 초점을 둔 통합된 개념에서 HVAC&R 시스템의 에너지 성능을 분석하였다. 공조, 열원, 반송 등 각 구성시스템의 변경에 따른 영향도 분석이 가능한 에너지 평가/예측 방법론을 도출하고, 이를 활용한 HVAC&R 에너지 평가 프로그램인 HEET를 개발하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 매트릭스 조합평가에 의해 공조, 열원, 반송 시스템 등 각 구성시스템의 개념과 조합 가능한 HVAC &R

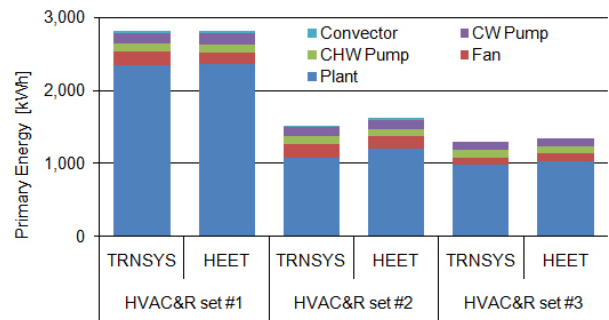


Fig. 10 Primary energy consumption results for selected HVAC&R sets.

Table 5 Comparison of annual energy demand of test HVAC&R sets

HVAC&R	Primary Energy(kWh/yr)		Comparison
	TRNSYS	HEET	
Set #1	2,763,096	2,805,740	-1.5%
Set #2	1,515,035	1,622,042	6.6%
Set #3	1,283,977	1,339,085	4.8%

set를 도출하였고 이론적으로 총 960개의 조합이 가능하다(사무소건물 기준).

- (2) 33개의 기본 HVAC&R set을 분석하고 이를 기반으로 다양한 시스템 조합으로 확장하여 전체 960개의 HVAC&R set의 에너지성능 예측이 가능한 방법론을 제시하였다.
- (3) 또한 도출된 방법론을 기반으로 HVAC&R 시스템 에너지 분석 프로그램을 개발하였으며, 상용 에너지 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS와 비교한 결과, 7% 이내의 오차를 보였다.

HVAC&R 시스템의 에너지 특성을 파악하는 것은 건물의 에너지 효율화에서 매우 중요한 선행업무이다. 따라서 개발된 HVAC&R 에너지 평가 프로그램은 설계 초기단계에서 시스템 선정에 위한 의사결정 및 범용적 활용의 관점에서 매우 유용할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. U.S. DOE, 2011, 2010 buildings energy data book.
2. Perez-Lombard, L., Ortiz, J., and Pout, C., 2008, A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 3, pp. 394-398.
3. Hong, T., Chou, S. K., and Bong, T. Y., 2000, Building simulation : an overview of developments and information sources, *Building and Environment*, Vol. 35, No. 4, pp. 347-361.
4. Cho, J. K., Jeong, C. S., and Kim, B. S., 2008, Energy conservational HVAC system design approaches of the large-scale buildings, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 24, No. 6, pp. 347-354.
5. Lu, L., Cai, W., Xie, L., Li, S., and Soh, Y. C., 2005, HVAC system optimization : in-building section, *Energy and Buildings*, Vol. 37, No. 1, pp. 11-22.
6. Cho, J. K., Lee, S. J., Kim, J. H., and Shin, S. H., 2012, Energy consumption characteristic of office building HVAC&R systems, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 28, No. 9, pp. 251-260.
7. Cho, J. K., Shin, S. H., and Kim, J. H., 2012, System Impact Assessment for Energy Consumption Characteristic of Office Building HVAC&R Systems, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 28, No. 11, pp. 393-400.