



가스 엔진 VRF시스템의 에너지 실사용량 & 시뮬레이션 평가와 전기 구동 VRF 시스템과의 성능비교에 관한 연구

Evaluation of actual Energy consumption & Simulation of Gas Engine VRF System and Comparison with Electric VRF System

최슬건* · 전종욱** · 김강수***

Choi, Sul-Geon* · Jeon, Jong-Ug** · Kim, Kang-Soo***

* Department of Architecture, Korea University, Seoul, South Korea

** Research Planning, Korea University, Seoul, South Korea

*** Corresponding Author, Department of Architecture, Korea University, Seoul, South Korea (kskim@korea.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: As the recent climate environment changes so rapidly, environmental problems such as hot weather and fine dust have occurred, and interest in environmental policies and technology development is increasing in countries around the world. Similarly in the Architecture, researches to reduce greenhouse gas emissions and to reduce energy application are actively conducted. Looking at previous studies, it is analyzed that the electric VRF is more energy efficient than the gas engine VRF. However, energy costs have changed due to recent price hikes and discounts on gas charges due to high electricity consumption in summer. **Method:** In this study, the actual building of Gas Engine VRF system was modeled using SketchUp program, and EnergyPlus was used to simulate actual building. Also, Electric VRF system was simulated, and compared with Gas Engine VRF system. **Result:** The total secondary energy requirement of Electric VRF system was 19.6% less than that of the Gas Engine VRF system, But when analyzing with primary energy requirement, EHP used 15.8% more energy. CO₂ emissions were also estimated to be 16.9% more EHP. Energy costs were 14.8% more in Electric VRF systems, because their electricity charges are 0.6 to 160% more expensive than gas charges.

KEYWORD

가변유량시스템
가스 히트펌프
전기 히트펌프
1차 에너지 소요량
성능곡선
에너지플러스

Variable Refrigerant Flow
Gas Engine Driven Heat Pump
Electric Heat Pump
Primary Energy
Performance Curve
EnergyPlus

ACCEPTANCE INFO

Received July 4, 2017

Final revision received Aug 3, 2017

Accepted Aug 8, 2017

© 2017 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 전 세계적으로 기후환경이 변화하면서 폭염과 미세먼지 등의 여러 환경문제가 발생하고 있다. 자연환경이 변화하면서 세계 각국에서 환경정책과 기술 개발에 관심이 높아지고 있다. 건축에서도 마찬가지로 온실가스 감축과 에너지 사용절감에 대한 방안에 대해서 연구가 활발히 진행되고 있다. 건축물이 사용하는 에너지 중에서 건축설비가 큰 비중을 차지하고 있어 에너지 효율이 높은 건축설비에 대한 관심이 커지고 있다. 또한 한국에너지공단에서 ‘배출권거래제 할당대상업체 대상 온실가스 감축설비 지원사업 시행’을 위해 건축설비장치 설치를 지원하고 있고 그중에 히트펌프가 포함이 되어 있다. 히트펌프는 증발기에서 열을 흡수하고 응축기에서는 열을 방출하는 원리를 냉난방시에 역으로 교차 이용해 냉매순환 방향에 따라 냉난방을 하는 기기로써, 기존의 냉동기와 보일러를 대체할 수 있는 설비기기이다. 히트펌프는 압축기의 에너지원에 따라 크게 전기

엔진 구동 히트펌프(EHP)와 가스 엔진 구동 히트펌프(GHP)로 나눌 수 있다. 기존의 히트펌프는 실외기 한 대에 실내기 한 대가 설치하는 것이 일반적이었으나 본 연구의 대상건물에는 가스 엔진 구동 VRF (Gas Engine Variable Refrigerant Flow) 시스템이 적용되어 있다. VRF는 Variable Refrigerant Flow의 약어로 VRF 시스템은 하나의 실외기에 여러 대의 실내기가 연결되어 제어를 할 수 있는 시스템을 말한다. 이전 연구를 보면 전기 엔진 구동 VRF가 가스 엔진 구동 VRF보다 경제성이 있는 것으로 분석되고 있다.[1] 하지만 최근 전기 요금 인상과 여름철 전기 수요 공급 대책으로 가스 요금을 할인 등으로 에너지 비용의 변화가 발생하고 있다.

따라서 본 연구는 실제 대학건물의 가스 엔진 구동 VRF의 에너지 사용량을 분석하고 EnergyPlus상의 가스 엔진 구동 VRF 모델링 결과와 비교한 후, 에너지 비용의 변화로 인한 경제성이 달라질 수 있는 전기 엔진 구동 VRF 시스템으로 교체해서 시뮬레이션을 통해 에너지성능을 평가하고자 한다.

1.2. 선행연구 분석

히트펌프 시스템의 에너지 성능비교에 관한 국내 연구는 주로 가

스 엔진 구동 히트펌프 (GHP)와 전기 엔진 구동 히트펌프 (EHP)의 에너지 사용량을 비교 분석하는 방향으로 연구가 진행되었다.

김동균(2011)의[1]는 실제 대학건물의 GHP 시스템을 Energy Plus에서 여름철만 모델링하여 실제 사용량과 비교하고 EHP 시스템으로 교체한 후 냉방에너지 비용 및 사용량을 비교하였다. 분석 결과 교육용 전기요금을 적용했을 경우 EHP가 GHP보다 냉방에너지 비용이 4.3% 낮게 평가되었지만 1차 에너지 소요량으로 비교했을 경우 EHP가 GHP보다 27.2% 높게 평가되었다. 하지만 이 논문은 EnergyPlus상 GHP를 구현할 수 없어 히트펌프를 냉동기로 바꾸어서 GHP를 구현했기 때문에 여름철 냉방기만을 비교했다.

김영일(2008)[2]는 중용량 공조의 GHP와 EHP의 경제성을 비교하기 위해 건축공사비, 설치공사비, 지원금 등 항목을 나누어서 비교 분석하였다. EHP가 GHP보다 초기투자비와 유지관비에 모두 유리했고 연간 부담액도 GHP가 EHP보다 3.1% 많은 것으로 평가되었다. 하지만 기기의 성능비교가 이론과 제품 사양을 통한 에너지 해석으로 동적에너지해석프로그램을 통한 해석보다 신뢰도가 낮을 수 있다.

Lee(2012)의[3]는 사무소 건물에 동일한 용량의 GHP와 EHP를 각각 설치했을 경우 연간 에너지 사용량과 에너지 비용, 탄소배출 비용, LCC 까지 비교했다. 여름철 냉방기에 GHP가 EHP보다 에너지 비용이 19.5% 적게 평가되었다. 이는 한국에서 여름철 전기 수요공급 대책을 위해 가스 요금을 할인을 해주고 있기 때문이다. 하지만 이 논문은 기기의 성능 비교를 이론과 제품사양을 통해 에너지 해석을 했다.

본 연구는 실제 대학건물의 가스 엔진 구동 VRF 시스템을 EnergyPlus상에서 구현을 하였고 대상건물의 가스 엔진 구동 VRF 시스템의 실제 성능곡선 계수를 적용하여 실제 에너지 사용량과 시뮬레이션 사용량의 오차 범위를 줄였다. 또한 Energy Plus상에서 전기 엔진 구동 VRF 시스템으로 교체해 가스 엔진 구동 VRF와의 연간 에너지 사용량과 에너지 사용 비용 및 탄소 배출량을 비교하였다.

2. 이론적 고찰

2.1. VRF 성능곡선

EnergyPlus에서는 VRF 성능곡선을 식으로 표현이 된다.[5] 식 (1)은 VRF의 냉방능력 비를 표현한 식이고 식 (2)는 VRF의 냉방시 온도변화에 따른 가스소비 비를 표현한 식이다. 두 식은 외기 건구온도 및 실내 습구온도와 상관관계를 갖고 있다.

$$CAPFT_{HP,cooling} = a + b(T_{wb,avg}) + c(T_{wb,avg})^2 + d(T_c) + e(T_c)^2 + f(T_{wb,avg})(T_c) \quad (1)$$

$$EIRFT_{cooling} = a + b(T_{wb,avg}) + c(T_{wb,avg})^2 + d(T_c) + e(T_c)^2 + f(T_{wb,avg})(T_c) \quad (2)$$

여기서,

CAPFT_{HP,cooling} : VRF의 냉방능력 비(Cooling Capacity Ratio

Modifier Function)

EIRFT_{cooling} : VRF의 냉방시 온도변화에 따른 가스소비 비 (Cooling Energy Input Ratio Modifier Function)

T_{wb,avg} : 실내 터미널 유닛의 냉방 코일로 들어가는 평균 실내 습구온도

T_c : 응축기로 들어가는 외기 건구온도

식 (3)은 VRF의 난방능력 비를 표현한 식이고 식 (4)는 VRF의 난방시 온도변화에 따른 가스소비 비를 표현한 식이다. 두 식은 외기 습구온도 및 실내 건구온도와 상관관계를 갖고 있다.

$$CAPFT_{HP,heating} = a + b(T_{db,avg}) + c(T_{db,avg})^2 + d(T_c) + e(T_c)^2 + f(T_{wb,avg})(T_c) \quad (3)$$

$$EIRFT_{heating} = a + b(T_{db,avg}) + c(T_{db,avg})^2 + d(T_c) + e(T_c)^2 + f(T_{wb,avg})(T_c) \quad (4)$$

여기서,

CAPFT_{HP,heating} : VRF의 난방능력 비(Heating Capacity Ratio Modifier Function)

EIRFT_{heating} : VRF의 난방시 온도변화에 따른 가스소비 비 (Heating Energy Input Ratio Modifier Function)

T_{wb,avg} : 실내 터미널 유닛의 난방 코일로 들어가는 평균 실내 건구온도

T_c : 응축기로 들어가는 외기 습구온도

a, b, c, d, e, f : 성능계수

EnergyPlus에서 VRF 시스템의 부분부하 식은 다음 식 (5)와 같다.

$$EIRFPLR = a + b(PLR) + c(PLR)^2 + d(PLR)^3 \quad (5)$$

여기서,

EIRFPLR : 실외기 정격소비전력에 대한 각 부분부하별 소비전력비(Energy Input Ratio Modifier Function of Part-Load Ratio)

PLR : 실외기 정격냉난방능력에 대한 각 부분부하별 냉난방능력비(Parr-Load Ratio)

EnergyPlus에서 VRF 시스템의 성적계수 계산은 다음 식 (6)와 같다.

$$COP_{cooling/heating} = \frac{\dot{Q}_{cooling/heating,total}}{(Cooling/HeatingPower + P_{crankcaseHeater} + P_{EvaapCooler} + P_{defrost})} \quad (6)$$

여기서,

COP_{cooling/heating} : VRF 시스템의 냉난방 성적계수

Cooling/HeatingPower : 냉난방 소비에너지

$P_{\text{crankcaseHeater}}$: crankcase 히터 소비에너지
 P_{defrost} : defrost 제어 소비에너지

2.2. 시뮬레이션 데이터 검증 방법

대상건물의 실제 에너지 사용 데이터와 시뮬레이션을 통한 에너지 사용 데이터의 타당성을 검증하기 위해 ASHRAE's Guideline의 통계 검증 방법인 MBE (Mean Bias Error)법과 Cv(RMSE) (Coefficient of Variation of Root Mean Square Error)법을 이용하였다.[4] MBE법과 Cv(RMSE)법의 계산식은 (7)~(10)와 같다.

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{\text{period}} (S - M)_{\text{interval}}}{\sum_{\text{period}} M_{\text{interval}}} \times 100 \quad (7)$$

$$RMSE_{\text{period}} = \sqrt{\frac{\sum (S - M)_{\text{interval}}^2}{N_{\text{interval}}}} \quad (8)$$

$$A_{\text{period}} = \frac{\sum_{\text{period}} M_{\text{interval}}}{N_{\text{interval}}} \quad (9)$$

$$C_v(RMSE_{\text{period}}) = \frac{RMSE_{\text{period}}}{A_{\text{period}}} \times 100 \quad (10)$$

여기서,

S : 시뮬레이션에서 계산된 에너지 사용량

M : 측정된 에너지 사용량

N_{interval} : 측정된 데이터의 수

A period : 측정된 기간의 평균 에너지 사용량

M&V Guideline에 의하면 측정값과 시뮬레이션 결과 값의 오차 범위가 Table 1의 범위 안에 있는 경우 신뢰할 수 있는 것으로 규정하였다.

Table 1. Acceptable Calibration Tolerance

| Calibration Type | Index | Acceptable Value* |
|------------------|---------------|-------------------|
| Monthly | MBEmorth | ± 5% |
| | Cv(RMSEmorth) | 15% |
| Hourly | MBEmorth | ± 10% |
| | Cv(RMSEmorth) | 30% |

*Lower values indicate better calibration

3. 대상건물 개요 및 에너지해석 조건

3.1. 대상건물 건축 개요

본 연구에서는 가스엔진 VRF를 EnergyPlus에 적용하기 위해 K 대학교 연구동을 대상 건물로 선정하였다. 대상건물의 개요는 Table2와 같다. 대상건물의 냉난방은 히트펌프를 이용한 개별공조

구조이지만 중앙에서 제어를 하고 있고 환기를 위해 환기용 공조기를 운영하고 있다.

Table 2. Building Overview

| Category | Content |
|------------------|-------------------------------------------------|
| Location | Seoul Seongbuk |
| Usage | Lectures and research |
| Number of Floors | 5 FL |
| Gross Area | 5,413m ² |
| Axis | Southwest |
| Control System | Central Control |
| System | Gas Engine VRF 11 Outdoor Unit, 130 Indoor Unit |

3.2. 대상건물 모델링 개요

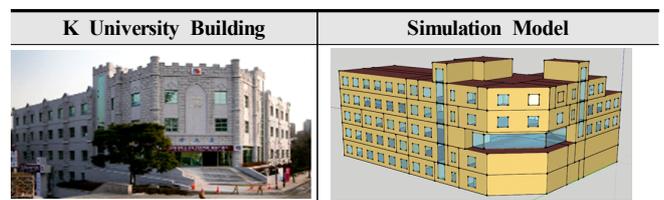


Fig 1. Building Image

대상건물의 모델링은 Sketchup을 이용했고 Open Studio를 통해 EnergyPlus에 연동시켰다. 이를 통해 모델링된 대상건물은 Fig. 1과 같다. 대상 건물은 개별공조를 하고 있지만 실 용도에 따라 냉매공급 온도를 중앙에서 제어하고 있다. 따라서 대상건물의 시뮬레이션 조건은 실 용도와 실 스케줄에 따라 강의실, 교수실, 사무실, 복도로 구분하였다.

3.3. Gas Engine VRF 모델링 개요

Table 3는 각 실외기에 연결된 실내기 현황을 나타내고 있다.

Table 3. Status of Outdoor Unit of Building

| Outdoor Unit No. | Cooling Capacity (kW) | Heating Capacity (kW) | Indoor Unit |
|------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| 1 | 112 | 126 | 1 st Floor 10 Indoor Unit |
| 2 | 142 | 160 | 2 nd Floor 14 Indoor Unit |
| 3 | 142 | 160 | 2 nd Floor 15 Indoor Unit |
| 4 | 116 | 130 | 3 rd Floor 11 Indoor Unt |
| 5 | 127 | 142 | 3 rd Floor 14 Indoor Unt |
| 6 | 142 | 160 | 4 th Floor 12 Indoor Unit |
| 7 | 142 | 160 | 4 th Floor 22 Indoor Unit |
| 8 | 101 | 113 | 5 th Floor 14 Indoor Unit |
| 9 | 112 | 126 | 5 th Floor 18 Indoor Unit |
| 10 | 142 | 160 | 1,2,3 Floor AHU |
| 11 | 90 | 100 | 4,5 Floor AHU |

연구동의 Gas Engine VRF는 11대의 실외기와 130대의 실내기로 구성되어있다. 이 중 2대의 실외기는 환기용 공조기(AHU)에 열원을 공급하고 있다. 실의 용도에 따라 건물의 조닝을 하였다. 한 대의 실외기에 여러 대의 실내기가 연결되어 있는 공조시스템은 실내기 한 대만 작동을 해도 실외기가 작동하기 때문에 실의 용도와 실의 사용시간이 유사한 실은 하나의 존으로 설정하였다. 따라서 하나의 존에 여러 대의 실내기가 설치되어 있어서 각 존에 설치된 실내기 대수만큼 냉난방용량과 소비전력 등을 실내기 수량만큼 더해서 입력하였다.

3.4. 에너지해석 조건

Table 4. Simulation Condition

| Category | Content |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| People | 0~40 Person (Survey and visiting) |
| Lighting | 0~40 W/m ² (Survey and visiting) |
| Equipment | 0~10,150W (Survey and visiting) |
| Occupancy hours (Except for the 4th floor laboratory) | |
| Lighting hours (Except for the 4th floor laboratory) | |
| Equipment hours (Except for the 4th floor laboratory) | |
| Weather Data | Create an EPW file from January 2016 to December 2016 using data from Seoul Metropolitan Government |

내부부하에는 인체부하, 조명부하, 기기부하가 있다. 대상건물 실내 발열부하는 강의실 경우 학기별 시간표를 찾아 강의시간과 각 수업별 수강인원을 적용하였고 연구실과 교수실 및 사무실은 개별적으로 설문 및 탐방을 통해 이용시간과 채실자, 조명, 기기, 환기 횡수를 조사하였다. 실내 설정온도는 냉방 설정온도 24℃, 난방 설정온도 21℃로 설정하였다. 시뮬레이션 조건에 관한 값은 table 4와 같

다. 시간별 기상조건은 기상청의 ‘기상자료개방포털’에서 온도, 풍속, 풍향, 기압, 습도 자료를 받았고 2016년 실제 외기조건을 최대한 반영하기 위해 기상 데이터 중 일사량은 K대학교 실험실 옥상에서 실측한 수평면 전일사량, 확산일사량, 법선면 직달일사량 데이터를 합쳐 EPW 형식의 기상 데이터로 변환하여 사용하였다.

4. 실제 건물에너지사용량 분석 및 Gas Engine VRF 모델링

4.1. 실제 건물에너지사용량 분석

2016년 1월부터 2016년 12월까지 12개월의 대상건물이 사용한 총 가스사용량과 전력사용량을 Fig. 2에 나타냈다. 이때 총 가스사용량은 Gas Engine VRF 시스템이 냉난방을 위해 사용한 가스사용량을 의미하고 총 전력사용량은 Gas Engine VRF를 가동하기 위한 전력과 조명, 기기 등 건물에서 사용한 전체 전력사용량을 의미한다. 대상건물의 냉방기는 5~9월이고 난방기는 1,2,3,4,10,11,12월로 설정하였다.

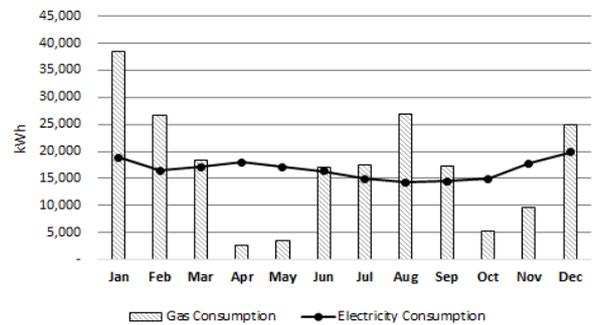


Fig. 2. Monthly Gas and Electricity Consumption of Buildings

4.2. EnergyPlus Gas Engine VRF 모델링

VRF 시스템의 EnergyPlus상에서 구현된 계통도는 Fig. 3와 같다.

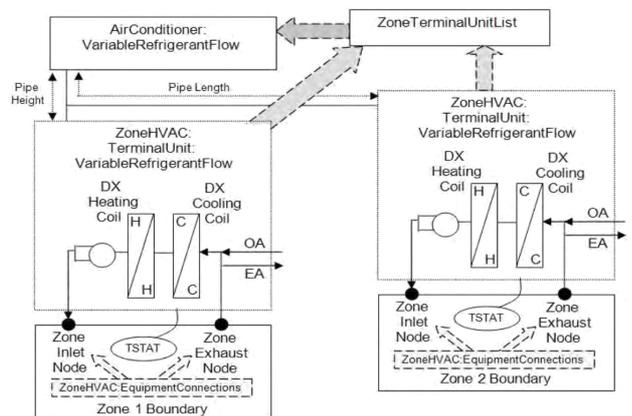


Fig. 3. VRF System Diagram of EnergyPlus

VRF 시스템은 실외기(AirConditioner: VariableRefrigerant

Flow)와 실내기(ZoneHVAC: TerminalUnit: VariableRefrigerant Flow)를 통해 열을 이동하는 구조이다. ZoneTerminalUnitList는 실외기에 연결된 실내기의 목록을 의미한다. 총 11개의 히트펌프 (Outdoor Unit)로 설정하였고 각 히트펌프의 냉난방능력, COP 등의 입력 값은 대상건물의 장비일람표를 참고하였다. 각 히트펌프와 연결된 실내기와 환기조화기 공조시스템 개요도는 Fig4. 과 같다.

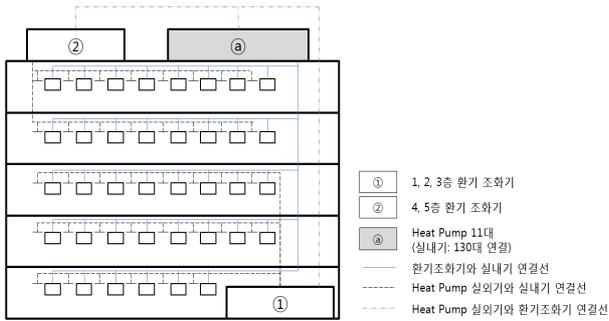


Fig. 4. Outline of the Indoor Unit and the AHU of the Building

4.3. 성능곡선 비교

EnergyPlus에서 제공하는 VRF 기본 성능곡선은 일본 M사의 Electric VRF의 성능곡선이다.[5] 대상건물의 Gas Engine VRF는 일본의 A사 제품으로 관련계수는 A사 제품의 데이터북[6]에서 제공하는 성능곡선자료와 2장의 이론식 식(1)~(4)를 바탕으로 설정되었으며 Table 5과 같이 제시하였다.

Table 5. Gas Engine VRF Performance Curve Coefficient

| | a | b | c | d | e | f |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| VRFCoolCa pFT | -3.794 | 0.393 | -0.007 | 0.036 | 0.000 | -0.001 |
| VRFCoolCa pFTHi | -3.794 | 0.393 | -0.007 | 0.036 | 0.000 | -0.001 |
| VRFCoolEI RFT | -4.527 | 0.432 | -0.010 | 0.050 | 0.000 | -0.001 |
| VRFCoolEI RFTHi | -4.527 | 0.432 | -0.010 | 0.050 | 0.000 | -0.001 |
| VRFHeatCa pFT | -0.317 | 0.142 | -0.004 | 0.041 | 0.000 | -0.001 |
| VRFHeatCa pFTHi | 0.048 | 0.087 | -0.002 | 0.112 | 0.000 | -0.005 |
| VRFHeatEI RFT | -0.117 | 0.146 | -0.003 | -0.011 | -0.005 | -0.002 |
| VRFHeatEI RFTHi | 1.074 | -0.004 | 0.000 | -0.005 | 0.001 | -0.002 |

4.4. Infiltration 해석방법

침입외기는 건물 냉난방에너지해석에서 큰 영향을 준다. 대상건물은 Gas Engine VRF 시스템을 이용한 개별공조를 사용하고 있어 별도의 환기조화기를 운영하고 있다. 대상건물은 환절기(4,5,9,10월)에 외기온도가 24~26도일 때 환기조화기의 댐퍼를 100% 개방을 한다. 하지만 그 외의 기간에 댐퍼를 개방하면 건물에 부하가 과도하게 증가해서 댐퍼를 개방하지 않고 있다. 따라서 대상건물은 별도의 침입외기 입력이 필요하다. 윤갑천(2011)외[7]에서는 건축물 에너지시뮬레이션 침입외기에 대한 해석방법을 제시했다. 건물의 배기 팬이 있을 경우 배기 팬을 통해 건물 내 공기를 밖으로 배출을

한다. 이때 공기를 밖으로 배출하기 때문에 건물 내 압력이 낮아져 배기 팬을 통해 배출한 공기의 양만큼 외부에서 건물 내로 침입외기가 유입되는 것으로 해석하였다. 대상건물의 배기 팬 풍량과 가동시간은 Table 6과 같다.

Table 6. Exhaust Fan Airflow and Operating Time

| Category | Content |
|----------------|--------------------------------|
| Exhaust Fan | 6,120 CMH |
| Gross Area | 5,413 m ² |
| Operating Time | 14 hours (8:00 am to 10:00 pm) |

대상건물의 연면적은 5,413 m²로 단위 면적당 침입외기는 전체 배기 팬 풍량에서 연면적으로 나누어서 1.131 m³/h·m² 이다. 여기서 Bennett(2006)외[8]는 겨울철(1,2,12월) 침입외기가 다른 기간보다 많이 측정되는 것으로 나타났고 윤갑천(2011)외[7]에서 선행 연구를 통해 겨울철 침입외기를 2배 가중한 후 평균한 침입외기를 사용하였다. 본 연구에서 앞서 선행연구를 참고하여 겨울철 침입외기를 2배 가중한 후 평균한 침입외기 1.414 m³/h·m² 값을 시뮬레이션 상에 입력하였다.

Table 7. Infiltration

| Category | Infiltration (m ³ /h·m ²) |
|---------------|--------------------------------------------------|
| Mar ~ Nov | 1.131 |
| Jan, Feb, Dec | 2.262 |
| Average | 1.414 |

4.5. 겨울철 개인난방 해석방법

겨울철에는 사무실, 연구실, 교수실 등에서 개인적으로 난방기기를 흔히 사용하고 있다. 개인 난방기기를 간과하고 기기부하를 산정하면 겨울철 시뮬레이션 전력사용량이 실제 사용량과 비교하면 현저히 낮게 평가된다. 개인 난방기 사용현황을 설문조사를 하였고 Table 8과 같다.

Table 8. Status of Using of Personal Heating Equipment

| zone | People | Product | Quantity | Power Consumption (W) | Winter additional power consumption(W) |
|----------------------------------------|--------|---------|----------|-----------------------|----------------------------------------|
| 2 nd Floor Laboratory 1 | 4 | E.C | 4 | 20 | 1,280 |
| | | Heater | 1 | 1,200 | |
| 3 rd Floor Laboratory 1 | 4 | E.C | 4 | 20 | 1,280 |
| | | Heater | 1 | 1,200 | |
| 3 rd Floor Office 1 | 10 | E.C | 10 | 20 | 2,600 |
| | | Heater | 2 | 1,200 | |
| 4 th Floor Laboratory 1 | 4 | E.C | 4 | 20 | 1,280 |
| | | Heater | 1 | 1,200 | |
| 5 th Floor Professor Room 1 | 2 | E.C | 2 | 20 | 2,440 |
| | | Heater | 2 | 1,200 | |
| 5 th Floor Professor Room 2 | 6 | E.C | 6 | 20 | 7,320 |
| | | Heater | 6 | 1,200 | |
| 5 th Floor Professor Room 3 | 6 | E.C | 6 | 20 | 8,520 |
| | | Heater | 7 | 1,200 | |

E.C: Electric Cushion

연구실과 사무실은 전기방석은 1인당 1개씩, 온열기는 5인당 1대씩, 교수실은 1인당 전기방석 1개, 온열기 1대씩 사용하는 것으로 조사되었다. 겨울철 (11,12,1,2월) 개인난방기기의 소비전력을 겨울철과 비 겨울철로 스케줄을 나누어 겨울철 기기부하 스케줄에 추가 해주었다.

4.6. Gas Engine VRF 실사용량과 시뮬레이션 비교

대상건물의 월별 실제 에너지 사용량과 시뮬레이션 상의 월별 에너지 사용량을 비교한 결과는 Fig 5와 같다.

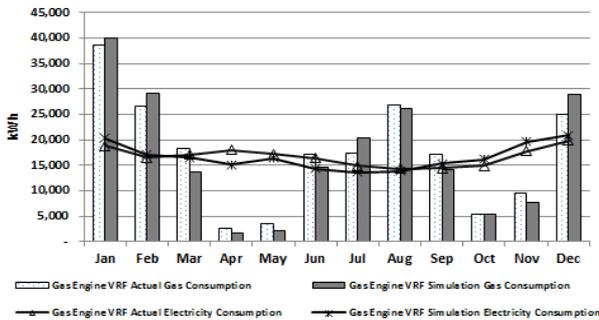


Fig. 5. Comparison of Actual Gas and Electricity Consumption and Simulation of Gas Engine VRF System

EnergyPlus상의 가스사용량을 환산하기위해 도시가스(LNG)의 저위 발열량 9,420kcal/Nm³을 적용하였다. 대상건물의 실제 총 가스사용량은 208,025 kWh이고 시뮬레이션 상의 총 가스사용량은 203,954 kWh로 평가되었다. 전력사용량도 대상건물은 200,076 kWh이고 시뮬레이션 상은 199,170 kWh로 전체적으로 시뮬레이션이 약간 낮게 평가되었다. 시뮬레이션 결과 값을 MBE법과 Cv(RMSE)법을 통해 타당성 검토를 하였을 때 가스사용량 MBE=-1.96%, Cv(RMSE)= 14.68%로 나타났고 전기사용량 MBE=-0.45%, Cv(RMSE)= 8.62%로 나타났다. MBE (신뢰범위: ±5%)값과 Cv(RMSE) (신뢰범위: ±15%)값이 ASHRAE기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

5. Gas Engine VRF와 Electric VRF 비교

5.1. Gas Engine VRF와 Electric VRF 1,2차 에너지소요량 비교

Gas Engine VRF와 Electric VRF 1,2차 에너지소요량 비교
 대상건물의 Gas Engine VRF는 일본의 A사 제품을 사용하였다. 이에 성능이 비교될 Electric VRF를 선정하기 위해 EnergyPlus에서 제공하는 기본성능곡선의 회사인 일본 M사의 제품을 조사하여, 대상건물의 Gas Engine VRF와 동일한 용량의 2013년형 모델[9]을 시뮬레이션에 반영하였다. 이 두 제품의 성능비교는 Table 9와 같다.

Table 9. Performance Comparison of Gas Engine VRF and Electric VRF

| | Gas Engine VRF (A) | Electric VRF (M) |
|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| Capacity | 20HP | 20HP |
| Energy | Natural Gas | Electricity |
| Rated Power Consumption | Cooling: 1.10 kW Heating: 1.02 kW | Cooling: 16.47 kW Heating: 16.40 kW |
| Rated Gas Consumption | Cooling: 41.7 kW Heating: 42.0 kW | |
| COP | Cooling: 1.31 Heating: 1.46 | Cooling: 3.40 Heating: 3.84 |
| Release Year | 2012 | 2013 |
| Control System | Central Control | Central Control |
| Performance Curve | Company A Performance Curve | EnergyPlus Default Performance Curve |

Fig. 6은 대상건물의 기존 Gas Engine VRF시스템을 Electric VRF 시스템으로 교체한 후 사용한 전력량과 가스량을 kWh로 환산한 그래프이다. Gas Engine VRF와 Electric VRF의 2차 에너지소요량을 비교하면 난방기(11월~2월)에는 대략 6.4 ~ 16.7% 정도 차이가 난다. 냉방기(6월~9월)에는 28.6 ~ 39.4% 정도 차이나 난방기보다 냉방기에 차이가 더 크다. Gas Engine VRF와 Electric VRF의 연간 2차 에너지소요량을 비교하면 Electric VRF가 Gas Engine VRF보다 19.6% 적게 사용하는 것으로 평가되었다.

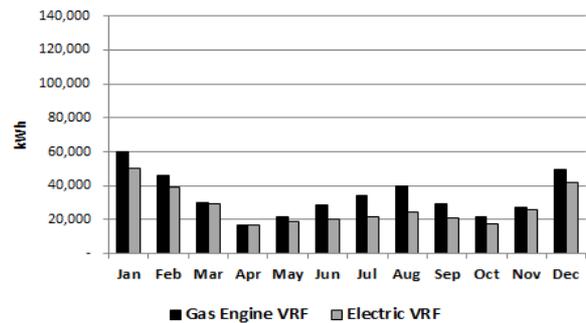


Fig. 6. Comparison of Secondary Energy Consumption by Gas Engine VRF and Electric VRF

Fig. 7은 2차 에너지소요량을 1차 에너지소요량으로 환산한 그래프이다. 전력의 경우 환산계수를 2.75, 가스는 1.1의 환산계수를 적용한다.[10] Gas Engine VRF와 Electric VRF의 1차 에너지소요량을 비교하면 난방기(11월~2월)에는 대략 12.6 ~ 38.4% 정도 차이가 난다. 냉방기(6월~9월)에는 0.0 ~ 0.7% 정도 차이나 2차 에너지소요량과 반대로 냉방기보다 난방기에 차이가 더 크다. Gas Engine VRF와 Electric VRF의 연간 1차 에너지소요량을 비교하면 Electric VRF가 Gas Engine VRF보다 15.8% 많이 사용하는 것으로 평가되었다.

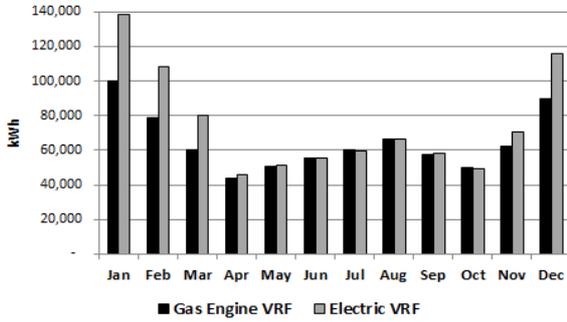


Fig. 7. Comparison of Primary Energy Consumption by Gas Engine VRF and Electric VRF

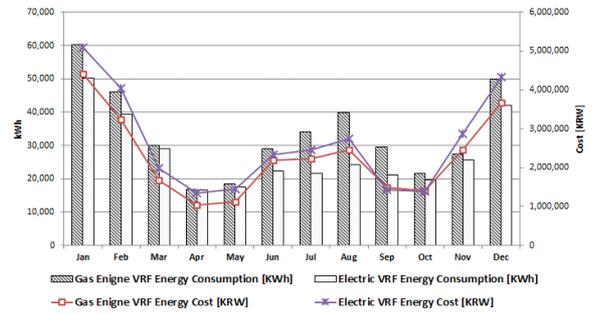


Fig. 8. Gas Engine VRF and Electric VRF Energy Cost Comparison

5.2. Gas Engine VRF와 Electric VRF CO2배출 비교

한국에너지공단에서 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 탄소계수 자료를 바탕으로 이산화탄소배출량 계산기를 운영하고 있다. IPCC는 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 공동으로 설립한 유엔 산하 국제 협의체로 기후변화와 환경문제를 평가하고 대책을 마련하는 협의체이다. IPCC의 탄소계수 자료에서 도시가스의 이산화탄소배출계수는 56.1 kg CO₂/GJ이고[11] 한국환경산업기술원에서 제공하는 자료에서 전기 탄소배출계수는 137.5 kg CO₂/GJ로 이 계수들을 적용하였다.[12] Table 10은 각 시스템별 이산화탄소배출량과 이산화탄소배출비용을 나타낸 표이다.

Table 10. Comparison of CO₂ Emissions and Emission Costs by Gas Engine VRF and Electric VRF

| | Gas Engine VRF | Electric VRF |
|-----------------------------------------------------------|----------------|--------------|
| Natural Gas CO ₂ Emissions (tCO ₂) | 46.63 | 0 |
| Electricity CO ₂ Emissions (tCO ₂) | 100.06 | 171.46 |
| Total CO ₂ Emissions (tCO ₂) | 146.69 | 171.46 |
| KRW/tCO ₂ | 21,000 | 21,000 |
| CO ₂ Emission Cost (KRW/year) | 3,080,490 | 3,600,660 |

한국거래소 2017년6월21일 기준 한국의 배출권은 21,000 KRW/tCO₂ 으로 거래되었다.[13] Gas Engine VRF 시스템은 연간 146.69 tCO₂를 배출하고 배출권비용으로 환산하면 3,080,490원의 이산화탄소배출비용이 든다. Electric VRF 시스템인 경우 연간 171.46 tCO₂를 배출하고 3,600,660원의 배출비용이 들어 Gas Engine VRF 시스템보다 16.9% 더 많은 비용이 발생한다.

5.3. Gas Engine VRF와 Electric VRF 에너지비용 비교

가스요금단가는 2017년 6월 기준으로 서울도시가스의 냉난방공조용 가스 요금을 적용하였고[14], 전력요금은 한국전력공사의 교육용 전력요금[15]을 적용하였으며 기본요금은 전력요금 계산에 포함하지 않았다.

Fig. 8은 Gas Engine VRF와 Electric VRF의 에너지비용 비교한 그래프다. 기존의 대상건물인 Gas Engine VRF 시스템은 연간 가스 사용량은 203,954 kWh로 9,487 천원의 가스사용비용이 발생하고 전력사용량은 199,170 kWh로 17,951 천원의 전력사용비용이 발생하며 총 에너지사용량은 403,124 kWh이고 27,438 천원의 총 에너지비용이 발생한다. Electric VRF 시스템으로 교체하면 연간 전력사용량이 329,371 kWh이고 31,512 천원 전력사용비용이 발생한다. Electric VRF 시스템이 Gas Engine VRF 시스템보다 에너지 사용량은 18.3% 적게 사용하나 에너지사용비용은 14.8% 더 많이 발생하는 것으로 평가되었다. 이는 전력요금단가가 가스요금단가보다 비싸기 때문이다. 평균 전력요금단가[15]는 6~8월은 84.9원/kWh, 11~2월은 79.09원/kWh, 나머지 달은 57.03원/kWh이고 가스요금단가[14]는 5~9월은 32.6원/kWh, 12~3월은 56.7원/kWh, 나머지 달은 55.3원/kWh이다. 전력요금이 가스요금보다 0.6~160% 만큼 더 비싸 Electric VRF 시스템이 총 에너지사용량이 18.3% 적어도 전력사용량이 Gas Engine VRF 시스템보다 65.4% 많기 때문에 총 에너지비용은 14.8% 더 많이 발생하는 것으로 평가 되었다.

6. 결론

본 연구는 Gas Engine VRF시스템이 적용된 실제대학건물을 대상으로 EnergyPlus로 모델링한 후 시뮬레이션 결과와 실제사용량을 비교하였다. 또한 Gas Engine VRF시스템을 Electric VRF시스템으로 변경하였을 때의 에너지사용량과 에너지비용을 분석하였다. 이를 바탕으로 결론은 다음과 같다.

(1) Gas Engine VRF시스템의 시뮬레이션 결과 값과 대상건물의 실제가스사용량의 차이가 MBE=-1.96%, Cv(RMSE)= 14.68%로 나타났고 전기사용량 MBE=-0.45%, Cv(RMSE)= 8.62%로 나타났고. MBE (신뢰범위: ±5%)값과 Cv(RMSE) (신뢰범위: ±15%) 값이 신뢰범위 내에 들어간다.

(2) Gas Engine VRF시스템을 적용한 건물과 Electric VRF시스템 적용한 건물간의 연간 총 2차 에너지소요량은 Electric VRF시스템이 Gas Engine VRF시스템보다 19.6% 적게 사용하는 것으로 평가되었다. 그러나 연간 총 1차 에너지소요량으로 비교하면 Electric

VRF시스템이 Gas Engine VRF시스템보다 15.8% 많이 사용하는 것으로 평가되었다.

(3) 이산화탄소배출량을 비교하면 전력사용량이 많은 Electric VRF시스템을 적용한 건물이 Gas Engine VRF시스템을 적용한 건물보다 연간 16.9% 더 많이 배출한다. 이를 배출권으로 환산을 하면 21,000 KRW/tCO₂ 기준으로 연간 520,170원 비용이 더 발생하는 것으로 평가되었다.

(4) 대상건물인 Gas Engine VRF 시스템은 연간 가스사용비용은 9,487 천원, 전력사용비용은 17,951 천원으로 총 에너지비용은 27,438 천원이 발생한다. Electric VRF 시스템으로 교체하면 연간 전력사용비용이 31,512 천원 발생한다. Electric VRF 시스템이 Gas Engine VRF 시스템보다 에너지사용비용이 14.8% 더 많이 발생하는 것으로 평가되었다.

(5) 2017년 6월 기준으로 전력 요금이 가스요금보다 상대적으로 0.6~160% 비싸다. 이로 인해 전력사용량이 많은 Electric VRF시스템을 적용한 건물이 연간 총 2차 에너지소요량이 Gas Engine VRF 시스템을 적용한 건물보다 18.3% 적어도 에너지비용은 14.8% 더 많이 발생하는 것으로 평가되었다.

(6) 원전 축소 정책방향과 저유가 추세 등으로 전력요금이 가스요금보다 점점 비싸져가는 추세이다. 따라서 Gas Engine VRF시스템과 Electric VRF시스템간의 기기 경제성 비교와 에너지요금 변동에 따른 민감도 분석이 추후에 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgements

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1D1A1B03028205)

Reference

[1] 김동균, 전종욱, 김강수, “EnergyPlus의 시뮬레이션 결과와 실제 냉방에너지 사용량의 비교 분석 및 GHP와 EHP의 에너지 성능비교에 관한 연구”, 대한건축학회지회 논문집-계획계, 2011.05 // (Kim, Dong-Kyun, Jeon, Jong-Ug, Kim, Kang-Soo, Comparison of Actual Cooling Energy Consumption with Calculated Cooling Energy Consumption and Analysis of Energy Performance between GHP and EHP, Architectural Institute Of Korea, 2011 .05)

[2] 김영일, “중용량 공조에서 EHP와 GHP의 경제성 비교, 설비공학 논문집, 2010 .03 // (Kim, Young-II, The Economic Comparison of EHP and GHP for Medium Capacity Air-conditioning, The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, 2010 .03)

[3] Lee, Woo-Nam, Kim, Hyeong-Jung, Park, Jong-Bae, Cho, Ki-Seon, Son, Sung-Young, Economic analysis of heating and cooling systems from the various perspectives: Application to EHP and GHP in Korea, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012

[4] M&V Guidelines : Measurement and Verification for Federal Energy Projects Version 3.0, U.S. Department of Energy

[5] Richard Raustad, Creating Performance Curves for Variable Refrigerant Flow Heat Pumps in EnergyPlus, Florida Solar Energy Center, 2012

[6] 16 Technical guidebook, Aisin, 2016

[7] 윤갑천, 전종욱, 김강수, “에너지시뮬레이션에서의 부하요소가 건물에너지사용량에 미치는 영향 분석”, 한국생태환경건축학회, 2011 .08 // (Yoon, Kap-Chun, Jeon, Jong-Ug, Kim, Kang-Soo, Analysis on the Impact of Load Factors in Building Energy Simulation Affecting Building Energy Consumption, Korea Instituts of Ecological Architecture and Environment, 2011. 08)

[8] D.H. Bennett, P.Koutrakis, Determining the infiltration of outdoor particles in the indoor environment using a dynamic model, Journal of Aerosol Science, 2006

[9] Air Conditioning System City Multi Data Book-R410A series, Mitsubishi Electric, 2013

[10] “건축물 에너지효율등급 인증제도 운영규정”, 한국에너지공단, 2016 // (Evaluation of energy efficiency of building Certification system operation regulations, Korea Energy Agency, 2012)

[11] 석유환산톤(TOE) 및 이산화탄소배출량(tCO₂)자동계산, 한국에너지공단, <http://co2.kemco.or.kr/toe/toe.aspx>

[12] 탄소배출계수, 한국환경산업기술원, <http://www.epd.or.kr/lci/co2.asp>

[13] 배출권시장, 한국거래소, <http://marketdata.krx.co.kr/>

[14] 서울도시가스, <http://www.seoulgas.co.kr/front/payment/gasPayTable.do>

[15] 한국전력공사, <http://cyber.kepco.co.kr/>