

국내 기상조건하 주거용 건물 가스 보일러의 부분부하 특성과 에너지 사용량 분석

Analysis of the Part Load Ratio Characteristics and Gas Energy Consumption of a Hot Water Boiler in a Residential Building under Korean Climatic Conditions

유병호(Byeong Ho Yu)¹, 서병모(Byeong-Mo Seo)¹, 문진우(Jin-Woo Moon)², 이광호(Kwang Ho Lee)^{3*}

¹국립한밭대학교 대학원 건축공학과, ²국립한밭대학교 설비공학과, ³국립한밭대학교 건축공학과

¹Graduate School, Hanbat National University, Daejeon, 34158, Korea

²Department of Building and Plant Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 34158, Korea

³Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 34158, Korea

(Received June 19, 2015; revision received July 22, 2015; Accepted: July 29, 2015)

Abstract Residential buildings account for a significant portion of the total building-energy usage in Korea, and a variety of research studies on the domestic boiler have therefore been carried out; however, most of these studies examined the boiler itself, whereby the part-load ratio characteristics and the corresponding gas-energy consumption patterns were not analyzed. In this study, the part-load ratio and operating characteristics of a domestic gas boiler were analyzed within a residential building equipped with a radiant floor-heating system; in addition, the energy consumption between condensing and conventional boilers was comparatively analyzed. Our results show that significant portions of the total operating hours, heating load, and energy consumption are in the part-load ratio range of 0 through 40%, whereby the energy consumption was significantly affected by the boiler efficiency under low part-load conditions. These results indicate that the part-load operation of a boiler is an important factor in residential buildings; furthermore, replacing a conventional boiler with a condensing boiler can reduce annual gas-energy usage by more than 20%.

Key words EnergyPlus(에너지플러스), Residential building(주거용 건축물), Heating energy(난방 에너지), Radiant heating system(바닥 복사 난방), Part load ratio(부분부하율)

* Corresponding author, E-mail: kwhlee@hanbat.ac.kr

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 대한민국은 유엔기후변화협약의 가입 국가 및 교토의정서의 대상국가 중 하나로 온실가스 감축을 위한 정책과 조치를 취해야 하며, 그 관련 분야는 에너지 효율향상, 온실가스의 흡수원 및 저장원의 보호 그리고 신·재생에너지 개발 및 연구 등이 포함된다. 이러한 국제사회적 배경에 따라서 현재 에너지관리공단은 산업 부문, 건물부문, 수송부문, 그리고 기기부문에 있어 효율관리제도, 목표관리제도 등 각종 제도를 추진하고 있으며, 점진적으로 온실가스 및 에너지의 소비량을 감축하기 위한 각종 방안을 제시 하고 있다.⁽¹⁾

2010년 에너지 통계연보에 따르면 건축물의 에너지

사용은 국가 전체 에너지 사용량 중 25%를 차지하고 있으며, 점차 증가하고 있는 추세이다.⁽²⁾ 또한 2010년 기준, 가정부문의 에너지 소비량 중 도시가스를 이용한 난방이 약 50.0%를 차지하고 있으며,⁽³⁾ 이에 따라 현재 주거용 건물의 열원기기로써 일반적으로 적용되는 가정용 가스 보일러에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만 현재까지 진행된 연구는 가정용 가스 보일러 자체의 성능 및 효율 향상을 위한 연구가 대부분이며, 주거용 건물에 적용된 열원기기의 에너지 소비 특성을 고려하지 않은 것으로 여겨진다.⁽⁴⁾ Korea Boiler Engineering Assoc.⁽⁴⁾은 효율등급제도의 시행으로 인하여 보일러의 운전 특성을 무시한 채로 진행되는 단순 효율 경쟁 등의 보일러 효율 경쟁 과열의 부작용에 대한 부정적인 의견을 제시했다. Park and Kim⁽⁵⁾은 현재 보일러의 효율시험방식이 전부하모드에 한정되어있으며, 그

로 인해 실운전상태인 부분부하에서의 효율은 반영되지 못하고 있다고 지적하였다. 또한 Choi et al.⁽⁶⁾은 현행 KS 규격상의 부분부하 효율시험방법에 대한 한계점에 대하여 논하였으며, Korea Boiler Engineering Assoc.⁽⁷⁾은 부분부하에 의한 효율 기준이 실사용 조건에서의 효율임을 강조하였다. 또한 고효율제도에 대한 문제점을 제기하고, 비례제어 기술 개발의 저해 요소가 존재한다고 언급하였다.

따라서 본 연구는 가정용 가스 보일러의 에너지 성능과 효율 향상을 위한 연구 및 현행 제도에 있어 방향성을 재고하는 것에 그 목적이 있다. 이를 위하여 바닥 복사 난방시스템이 적용된 주거 건물의 난방부하를 분석한 후 이에 기인되는 열원기기의 운전 및 부분부하 특성을 분석하였다. 그 후 전부하 조건 및 부분부하 조건별 가정용 가스 보일러의 에너지 사용량을 비교분석하였다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구의 방법 및 범위는 Fig. 1과 같다. EnergyPlus 시뮬레이션 프로그램을 사용하였으며, 바닥 복사 난방시스템이 적용된 주거용 건물을 대상으로 하였다. 또한, 열원기기로 저탕식 가정용 가스 보일러를 채택하였고, 부분부하조건 및 전부하 조건에서의 상호 비교를 위하여 보일러의 효율 패턴이 상이한 2개의 보일러(기존 보일러, 콘덴싱 보일러)를 사용하였다. 부하해석의 경우, 급탕부하에 의한 에너지 사용량은 재실자의 생활 패턴 및 습관에 따른 영향이 지대하므로 급탕부하를 고려대상에서 제외하였으며, 난방부하만을 해석하여 주거용 건물에 적용된 열원기기의 운전 및 부분부하 특성을 분석하였다. 그 후 앞서 분석된 열원기기의

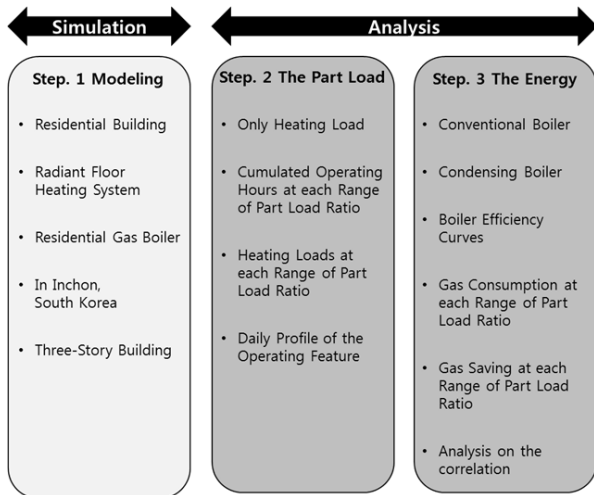


Fig. 1 The research methods and scope.

운전 및 부분부하 특성에 근거하여 각 보일러가 적용된 상태에서의 전부하 조건 및 각 부분부하 조건의 에너지 성능 및 효율에 따른 에너지 특성 및 사용량에 대한 분석을 실시하였다.

2. 시뮬레이션 개요 및 조건

2.1 시뮬레이션 프로그램 선정

본 연구의 해석을 위한 도구로 미에너지성에서 개발된 EnergyPlus 시뮬레이션 프로그램을 선정하였다. 이는 기존에 사용되던 2개의 프로그램(DOE-2, BLAST)의 장점만을 통합시킨 프로그램으로^(8,9) 비정상 상태에서의 동적 해석이 가능하며, ASHRAE에서 권장하는 Heat Balance를 사용하므로 건물의 외피를 통한 복사, 대류, 전도의 열전달 현상에 대한 정밀 분석이 가능하다.^(8,10) 또한, 주 구성 요소인 Zone, Surface, Air Heat Balance 및 System과 Pant 모델링을 각 시간 단계별로 통합 실시하므로 각 구성 요소간의 유기적인 연결 관계를 모사하는 큰 장점이 있다.

2.2 시뮬레이션 모델링

본 시뮬레이션 대상은 Fig. 2와 같다. 각 층이 1개 세대로 구성된 지상 3층의 주거용 건물이며, 그 형상은 직사각형의 형태로 내부 공간(8×11.5×3.3 m)과 서측의 계단실(3×8×3.3 m)로 구성된다. 또한 각 층의 내부공간은 발코니(8×1.5×3.3 m)와 실내 공간(8×11×3.3 m)으로 구성되어 있으며, 17.7%의 창면적비를 갖는다. 기상 데이터는 EnergyPlus에서 자체 제공되는 대한민국 인천 지역의 기상 데이터를 사용하였으며, 외피 및 창호 물성 등은 ASHRAE Standard 90.2⁽¹¹⁾를 기준으로 적용하였다.

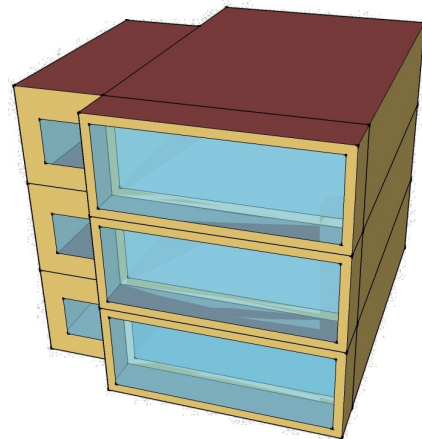


Fig. 2 Simulation model.

또한 난방시스템으로는 바닥 복사 난방시스템을 적용하였으며, 냉방시스템으로는 실내 벽걸이형 에어컨을 적용하였다. 난방시스템의 각 구성 요소의 성능 및 조건은 Table 1과 같다. 또한 내부 발열 요소 및 각 시스템의 작동시간 등 시뮬레이션 입력 조건은 Table 2⁽¹⁾와 같으며, ASHRAE Standard 90.2⁽¹¹⁾를 기준으로 한다. 대

상 시뮬레이션 모델의 해석기간은 연중으로 설정하였으며, 해석공간으로는 중간층에 위치한 실내공간을 선정하였다. 또한 해석 주기는 10분으로 설정하였다.

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

3.1 주거용 건물에서의 운전 및 부하 특성

3.1.1 열원기기의 운전시간 및 열공급량 분석

Table 3은 부분부하율을 10% 단위로 분할하여 각 구간의 운전시간 및 그 비율을 분석한 것이다. 열원기기는 연중 총 8,760시간 중 2,031시간, 약 23.2% 동안 운전되는 것으로 확인되었다. 또한 낮은 부분부하율 조건에서 운전될수록 많은 운전 시간을 차지하는 것으로 나타났으며, 총 운전시간 중 약 90.3%가 0~40%의 낮은 부분부하율 조건에서 운전되는 것으로 확인되었다.

Fig. 3은 각 부분부하율 구간에 따른 열공급량과 그 비율 그리고 운전시간의 비율을 나타낸다. 분석결과 열공급량 및 운전시간의 비율이 유사한 패턴을 형성하는 것으로 확인됐으며, 운전시간에 해당되는 부분부하 크기의 대소차이에 의하여 근소한 차이가 발생했다. 또한 총 열공급량은 4,468.8 kWh가 발생하였으며, 총 열공급량의 약 72.8%에 해당하는 3,255.3 kWh가 0~40%의 낮은 부분부하율 조건에서 발생하였다. 이는 총 운전시간의 약 90.3%가 0~40%의 낮은 부분부하율 조건에서 운전되는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

Table 1 Properties related to heating system

System Component	Category	Value
Radiant Floor (88 m ²)	Depth of Tube Spacing	0.1524 m
	Hydronic Tubing Inside Diameter	0.013 m
	Hydronic Tubing Length	350 m
Boiler (Conventional)	Nominal Capacity	9,304 W
	Nominal Efficiency	0.835
Boiler (Condensing)	Nominal Capacity	9,304 W
	Nominal Efficiency	0.878
Pump (Variable Flow)	Rated Flow Rate	0.000059 m ³ /s
	Rated Power Consumption	14.97 W

Table 2 Simulation condition⁽¹⁾

Category	Subcategory	Value
Internal load	People	82.3 W/person (Sensible heat)
		57.7 W/person (Latent heat)
		4 Person
	Lights	3.88 W/m ² (per floor area)
	Equipment	5.38 W/m ² (per floor area)
Heating and cooling Setpoint	Infiltration	0.000302 m ³ /s · m ² (per exterior surface area)
	Occupied	21.1 °C/23.9 °C
	Non occupied	13 °C/30 °C
Heating and cooling system schedule	Hot water supply	60 °C (Always)
		Weekdays : 00 : 00~08 : 00 19 : 00~24 : 00 The others : 00 : 00~24 : 00
	Non occupied	Weekdays : 08 : 00~19 : 00

Table 3 The profile of cumulated hours according to the part load ratio

Part-Load Ratio	Cumulated Hours	Ratio (Operated)	Ratio (Total)
0%	6,729 h	-	76.8%
0~10%	298 h	14.7%	3.4%
10~20%	739 h	36.4%	8.4%
20~30%	564 h	27.8%	6.4%
30~40%	233 h	11.4%	2.7%
40~50%	45 h	2.2%	0.5%
50~60%	36 h	1.8%	0.4%
60~70%	21 h	1.0%	0.2%
70~80%	44 h	2.1%	0.5%
80~90%	53 h	2.6%	0.6%
90~100%	0 h	0.0%	0.0%
Operated	2,031 h	100%	23.2%
Non Operated	6,729 h	-	76.8%
Total	8,760 h	-	100%

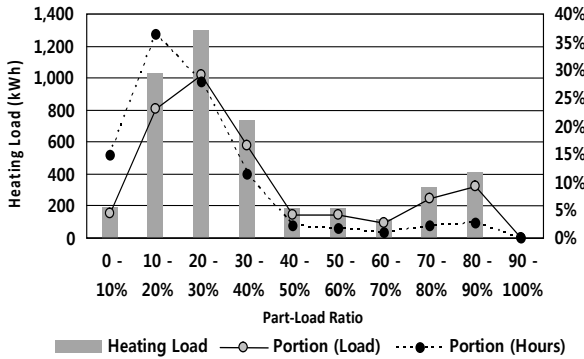


Fig. 3 The profile of heating load according to the part load ratio.

3.1.2 열원기기의 운전 특성 분석

Fig. 4⁽¹⁾에는 해석 기간 중 최저 실내 온도가 측정된 2일을 대표일로 선정하여 실내 온도, 평균 복사 온도, 바닥 표면 온도, 부분부하율, 설정온도 불만족 발생 시간을 나타냈다. 또한 Fig. 5에는 해석 기간 중 임의의 연속된 3일을 선정하여 실내 온도, 부분부하율, 설정온도 불만족 발생 시간을 나타냈다. 분석 결과 대표일의 최저 실내온도는 15.6℃로 해당 시간의 설정온도를 2.6℃ 상회하였다. 따라서 부하가 발생하지 않는 것으로 확인됐으며, 열원기기의 운전시간 중 상당부분이 0~40%의 낮은 부분부하율 조건으로 운전되는 현상은 낮은 설정온도에 의한 것이 아닌 것으로 판단된다.

Fig. 4⁽¹⁾와 Fig. 5에서 19:00(설정온도가 13℃에서 21.1℃로 상승하는 시점, 운전 정지 후 처음 부하가 발생하여 운전이 시작되는 시점)를 기점으로 부분부하율이 약 90%까지 급상승한다. 이후 설정온도 만족 시점을 기점으로 급하강하여 낮은 부분부하 조건에서 안정적으로 유지 및 운전되는 패턴을 보인다.

또한 설정온도 불만족 시간은 해당 시간대의 설정온도와 실내온도가 0.2℃ 이상의 차이를 나타낼 경우 발생하는 값으로 총 77.17시간 동안 발생했다. 이는 바닥 복사 난방의 특징에 기인된 것으로 바닥 복사 난방 시스템에 적용된 열원기기의 열공급량이 1차적으로 바닥 구성 물질에 공급되어 바닥에 축열된 후 그 복사열이 실내에 방열된다. 따라서 바닥의 열용량에 의하여 부하의 변동에 따른 즉각적인 방열량의 조절에 불리하다. 이와 같은 시간지연 현상에 의해 설정 온도 불만족 시간이 발생하는 것으로 판단되며, 설정온도 불만족 시간은 19:00를 기점으로 설정온도 만족 시점까지 발생한다. 반면 이 구간을 제외한 구간에서는 설정온도 불만족 시간이 전무한 것으로 확인됐다.

따라서 바닥 복사 난방시스템이 적용된 주거용 건물의 열원기기는 설정온도가 상승하는 시점, 혹은 열원기기의 운전 정지 후 첫 부하 발생으로 운전이 시작

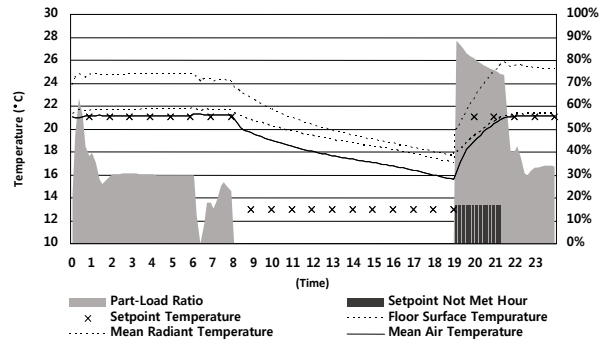


Fig. 4 The daily profile of the operating feature.⁽¹⁾

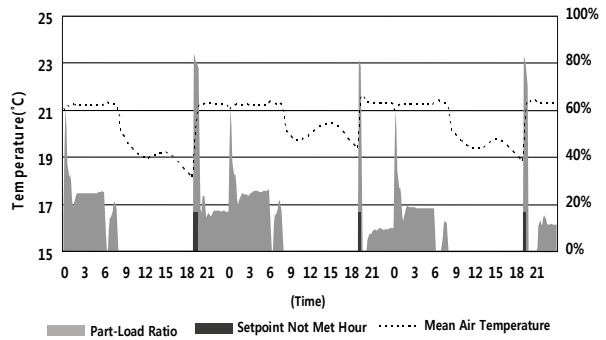


Fig. 5 The daily profile for random three days.

되는 시점을 기점으로, 설정온도 만족 시점까지 즉, 설정온도 불만족 시간 동안 높은 부분부하 조건에서 운전되며, 이후 낮은 부분부하 조건에서 총 운전시간의 상당부분이 안정적으로 운전되는 것으로 분석되었다.

3.2 보일러 효율에 따른 가스 소비량 분석

3.2.1 보일러 효율 분석

Fig. 6⁽¹⁾은 본 연구에서 사용된 보일러의 효율 곡선이다. 보일러는 최소 연소량 이하에서 운전되는 경우 급격한 효율 저하를 나타낸다.⁽¹²⁾ 하지만 본 연구에서는 그에 따른 효율 감소를 고려하지 않았으며, 부분부하율 0~10% 조건에서의 효율은 부분부하율 10%에서의 효율과 같은 것으로 가정 하였다.⁽¹³⁾ 콘텐싱 보일러의 경우 89.3~97.6%의 효율을 가지며, 응축 잠열의 회수 및 활용하므로 기존 보일러에 비하여 전반적으로 높은 효율을 나타냈다. 또한 낮은 부분부하율 조건에서의 효율이 증가하는 패턴을 보였다. 기존 보일러의 경우 70.9~72.5%의 효율을 가지며, 부분부하율의 증감에 따른 효율 증감이 미미한 것으로 확인됐다. 또한 콘텐싱 보일러에 비해 전반적으로 낮은 효율을 나타냈다.

기존 보일러를 콘텐싱 보일러로 교체시 각 부분부하율 조건에서의 효율은 약 18.4~26.6% 상승이 기대

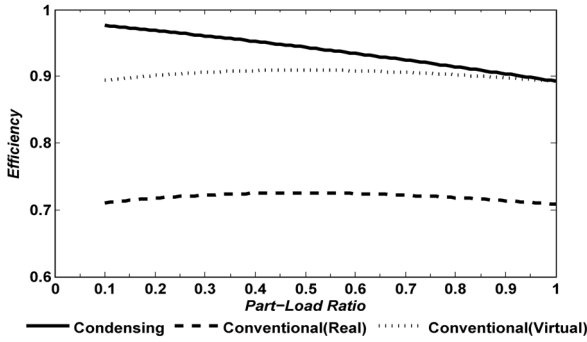


Fig. 6 Boiler efficiency as a function of part load ratio.⁽¹⁾

되며, 그로 인한 에너지 절감은 약 20.6~27.3%로 추정된다. 또한 동일한 전부하 효율을 갖는 또는 일정한 효율차를 보이는 두 보일러의 비교를 통한 추가분석 위하여 기존 보일러의 효율을 Y축 방향으로 평행이동한 가상의 효율 곡선을 추가하였다. 가상 보일러는 전부하 조건에서의 효율이 89.3%로 콘덴싱 보일러와 동일한 효율을 가지며, 0~100%의 전체 부분부하율 조건에 걸쳐 기존 보일러와 일정한 효율차를 갖는다. 또한 각 부분부하율 조건에서 콘덴싱 보일러는 가상 보일러에 비하여 0.0~8.2% 높은 효율을 가지며, 그로 인한 에너지 절감은 약 0.0~8.4%로 추정된다. 또한 가상 보일러가 기존 보일러에 비하여 0~100%의 전체 부분부하율 조건에 걸쳐 일정하게 18.4% 높은 효율을 가지며, 그로 인한 에너지 절감은 약 20.2~20.6%로 추정된다.

3.2.2 가스 소비량 및 절감량 분석

Fig. 7⁽¹⁾과 Table 4는 각 부분부하율 구간에서의 보일러의 열공급량과 콘덴싱 보일러, 기존 보일러, 가상 보일러의 가스 소비량을 나타낸다. 각 부분부하 조건의 운전시간과 그에 해당되는 부분부하 크기의 차이에 의해 각 부분부하율 구간의 열공급량이 큰 차이를 보였으며, 이에 기인하여 각 보일러간의 가스 소비량이 낮은 부분부하율 조건에서 큰 차이를 나타냈다. 또한 0~100%의 전체 부분부하율 고려시 총 열공급량은 4,468.8 kWh, 가스 소비량은 콘덴싱 보일러 4,668.5 kWh(연간 효율 95.7%), 기존 보일러 6,198.9 kWh(72.1%), 가상 보일러 4,935.3 kWh(90.6%)로 나타났다. 특히, 0~40%의 낮은 부분부하율 조건만을 고려할 시 총 열공급량은 3,255.3 kWh, 가스 소비량은 콘덴싱 보일러 3,359.6 kWh(96.9%), 기존 보일러 4,519.9 kWh(72.0%), 가상 보일러 3,597.9 kWh(90.5%)로 0~100%의 전체 부분부하율 조건에서의 연간 효율은 0~40%의 낮은 부분부하율 조건에서의 연간 효율과 동등한 것으로 나타났다. 또한 0~40%의 낮은 부분부하율 조건에서 총 가스 소

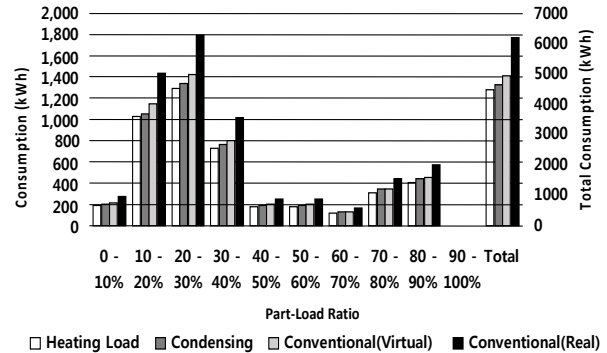


Fig. 7 Heating load and gas consumption according to part load ratio.⁽¹⁾

Table 4 Heating load and gas consumption according to part load ratio

Part-Load Ratio(%)	Load (kWh)	Gas consumption(kWh)		
		Condensing	Virtual	Real
0~10	194.1	198.3	216.5	272.6
10~20	1,030.6	1,057.0	1,144.2	1,439.0
20~30	1,295.9	1,339.1	1,429.7	1,795.3
30~40	734.7	765.1	807.5	1,013.0
40~50	183.0	195.3	200.8	251.8
50~60	182.7	193.9	200.4	251.3
60~70	121.2	129.8	133.2	167.1
70~80	317.3	345.2	350.3	439.9
80~90	409.2	447.6	452.8	569.0
90~100	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	4,468.8	4,668.5	4,935.3	6,198.9

비량의 72.0%, 72.9%, 72.9%를 차지하였다. 따라서 보일러의 연간 효율은 0~40%의 낮은 부분부하율 조건에서의 운전에 의해 좌우되는 것으로 사료된다.

또한 각 부분부하율 구간에서의 절감량에 대한 분석을 위하여 전부하 조건에서 동등한 효율을 갖는 가상 보일러에 대한 콘덴싱 보일러의 절감량(Case 1), 0~100%의 전체 부분부하율 조건에서 일정한 효율을 보이는 기존 보일러 대비 가상 보일러의 절감량(Case. 2), 기존 보일러에 대한 콘덴싱 보일러의 절감량(Case. 3) 총 3가지의 사례를 선정하여 비교분석하였다. Fig. 8은 Case 1, Case 2, Case 3의 각 부분부하율 구간에서의 절감량을 나타낸다. 또한 Table 5~Table 7은 Case 1~Case 3의 각 부분부하율 구간에서의 절감량, 총 절감량에 대한 각 부분부하율 구간에서의 절감량의 비율, 대상 보일러간의 효율차를 나타낸다. 분석 결과 Case 2와 Case 3의 비교시 교체된 보일러가 전부하 조건에

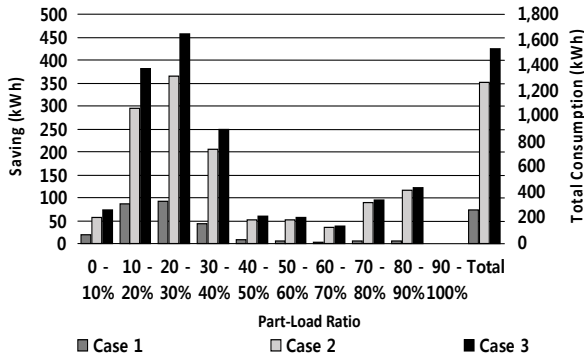


Fig. 8 The gas saving according to the part load ratio.

Table 5 The profile of the gas saving according to the part load ratio(Case 1)

Part-Load Ratio	Saving	Saving Portion	Efficiency Difference
0~10%	18.2 kWh	6.8%	8.2%
10~20%	87.1 kWh	32.6%	7.4%
20~30%	90.6 kWh	33.9%	6.0%
30~40%	42.4 kWh	15.9%	4.9%
40~50%	8.5 kWh	3.2%	3.9%
50~60%	6.5 kWh	2.4%	3.0%
60~70%	3.4 kWh	1.3%	2.2%
70~80%	5.1 kWh	1.9%	1.5%
80~90%	5.1 kWh	1.9%	0.9%
90~100%	0.0 kWh	0.0%	0.3%
Total	266.8 kWh	100.0%	-

서 동일한 효율을 갖음에도 가상 보일러가 사용된 Case 2보다 콘텐츠 보일러가 사용된 Case 3에서 더 많은 절감량을 나타냈다. 또한, Case 1의 경우 두 보일러가 전부하 조건에서 동일한 효율을 갖는다고 하여도 부분부하 조건에서의 효율차로 인한 절감량의 차이가 발생하였다. 따라서 전부하 조건에서 동일한 효율을 갖는다고 하여도 부분부하 조건에서의 효율에 따라 가스 사용량 및 절감량의 차이가 발생하는 것으로 사료된다. 또한 Case 2의 경우 0~100% 전체 부분부하율 구간에서 18.4%의 일정한 효율차를 갖음에도 각 부분부하율 구간에서 절감량의 차이를 보였으며, 각 부분부하율 구간에서의 열공급량이 클수록 더 많은 절감량을 나타냈다. 이에 기인하여 연간 총 열 공급량의 72.8%를 차지하는 0~40%의 낮은 부분부하율 조건에서 Case 1, Case 2, Case 3의 총 절감량의 89.3%, 73.0%, 75.8%를 차지하는 것으로 사료된다. 따라서 전부하 조건에서의 효

Table 6 The profile of the gas saving according to the part load ratio(Case 2)

Part-Load Ratio	Saving	Saving Portion	Efficiency Difference
0~10%	56.1 kWh	4.4%	18.4%
10~20%	294.8 kWh	23.3%	18.4%
20~30%	365.6 kWh	28.9%	18.4%
30~40%	205.5 kWh	16.3%	18.4%
40~50%	51.0 kWh	4.0%	18.4%
50~60%	50.9 kWh	4.0%	18.4%
60~70%	33.9 kWh	2.7%	18.4%
70~80%	89.6 kWh	7.1%	18.4%
80~90%	116.2 kWh	9.2%	18.4%
90~100%	0.0 kWh	0.0%	18.4%
Total	1,263.6 kWh	100.0%	-

Table 7 The profile of the gas saving according to the part load ratio(Case 3)

Part-Load Ratio	Saving	Saving Portion	Efficiency Difference
0~10%	74.3 kWh	4.9%	26.6%
10~20%	382.0 kWh	25.0%	25.8%
20~30%	456.2 kWh	29.8%	24.4%
30~40%	247.9 kWh	16.2%	23.3%
40~50%	59.5 kWh	3.9%	22.3%
50~60%	57.4 kWh	3.7%	21.4%
60~70%	37.2 kWh	2.4%	20.6%
70~80%	94.8 kWh	6.2%	19.9%
80~90%	121.3 kWh	7.9%	19.3%
90~100%	0.0 kWh	0.0%	18.7%
Total	1,530.5 kWh	100.0%	-

율 상승 보다 열공급량의 크기가 큰 낮은 부분부하 조건에서의 효율 상승이 에너지 절감에 지대한 영향을 미칠 것으로 사료된다. 또한 총 절감량의 경우 Case 1, Case 2, Case 3에서 각각 266.8 kWh, 1,263.6 kWh, 1,530.5 kWh로 각각 총 가스 소비량의 약 5.4%, 20.4%, 24.7%의 절감이 가능한 것으로 분석됐다.

3.2.3 상관관계 분석

Fig. 9은 Table 5~Table 7을 이용하여 보일러의 효율과 운전특성 그리고 가스 절감량에 대한 상관관계를 분석하기 위하여 R² 값을 통한 회귀분석을 수행한 것이다. 열원기기의 운전특성으로서 각 부분부하율 구간

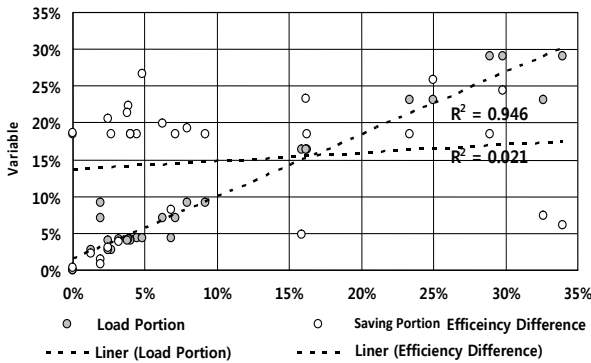


Fig. 9 The regression analysis on the correlation through the R²-Value.

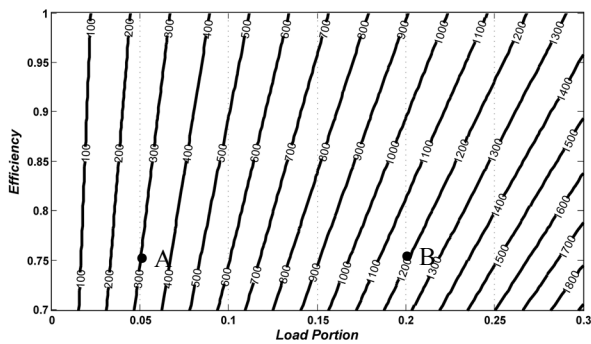


Fig. 10 The gas consumption according to the efficiency and the load portion through the contour graph.

에서의 총 열공급량에 대한 열공급량의 비율을 선정했으며, 분석 결과 각 부분부하율 조건에서의 열공급량의 비율과 총 절감량에 대한 절감량의 비율은 0.946의 높은 R² 값을 보임으로써 높은 상관관계를 나타냈다. 반면 두 보일러의 효율차와 절감량의 비율의 경우 0.021의 낮은 R² 값을 보임으로써 낮은 상관관계를 나타냈다. Fig. 10는 보일러의 효율과 운전 특성에 따른 절감량에 대한 분석을 수행하기 위한 등고선 그래프로, 가로축과 세로축에 각각 보일러의 효율과 열공급량의 비율을 나타냈으며, 그로 인한 가스 소비량을 등고선으로 나타냈다. 그 결과 열공급량이 증가 할수록 등고선의 간격이 좁아지는 패턴을 나타냈으며, 이는 효율 상승 대비 절감 효과의 증가를 나타낸다. 또한 Fig. 10의 점 A는 보일러의 효율이 75%, 열공급량의 비율이 5%일 때의 가스 소비량을 나타내며, 점 B는 75%, 25%일 때를 나타낸다. 예를 들어 두점에서 모두 10%의 효율이 상승했다고 가정할 시, 두점 모두 현재의 가스 소비량 대비 약 11.8%의 동일한 절감률을 갖는다. 하지만 이를 절감량으로 환산할 시점 A에서 35.1 kWh, 점 B에서는 점 A의 약 5.0배인 175.2 kWh의 절감량을

나타냈다. 따라서 보일러의 효율 상승은 열공급량의 비율이 높은 부분부하 조건의 효율에서 일어나는 것이 보일러의 효율 상승으로 인한 가스 사용량의 절감에 있어 더욱 유리할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 가정용 가스 보일러의 에너지 성능 향상의 방향성을 재고하기 위하여 바닥 복사 난방시스템이 적용된 주거 건물의 난방부하 특성을 분석하였다. 또한 그에 따른 열원기기의 운전 및 부분부하 특성을 분석하였으며, 이후 각 보일러의 에너지 사용량에 대하여 비교분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 열원기기의 운전 정지 후 첫 부하 발생시 시간지연 현상과 같은 바닥 복사 난방시스템의 특성에 기인하여 불가피한 설정온도 불만족 시간이 발생하며, 급격히 큰 순간부하가 발생한다. 또한 총 운전시간의 다소 적은 부분이 높은 부분부하 조건에서 운전되는 것으로 확인되었다.
- (2) 열원기기의 운전 시작 후 설정온도 만족 시 열환경이 안정적인 상태로 접어든다. 이에 기인하여 부하가 현저히 감소하며, 낮은 부분부하 조건에서 운전되는 것으로 사료된다. 또한 보일러의 총 운전시간 중 대부분이 낮은 부분부하 조건에서 운전되는 것으로 확인되었다.
- (3) 열원기기의 운전시간 분석 결과 0~40%의 부분부하율 조건에서 총 운전시간의 90.3%가 발생하였다. 이에 기인하여 총 열 공급량의 72.8%가 발생하였다. 또한 기존 보일러, 가상 보일러, 콘덴싱 보일러에서 사용되는 가스 소비량이 각각 총 가스 소비량의 72.9%, 72.9%, 72.0%를 차지하는 것으로 확인되었다. 또한 0~100%와 0~40%의 부분부하율 조건에서 보일러의 연간 효율은 동등한 것으로 확인되었다. 따라서 보일러의 연간 효율 및 가스 소비량은 낮은 부분부하 조건에서의 운전에 의해 크게 좌우되는 것으로 사료된다.
- (4) 사례분석 결과 전부하 조건에서 동일한 효율을 갖는다고 하여도, 부분부하 조건에서의 효율차로 인한 가스 사용량 및 절감량의 차이가 발생하였다. 또한 효율차가 일정하여도, 각 부분부하율 조건에서의 열공급량에 의해 가스 사용량 및 절감량의 차이가 발생하였으며, 부분부하율의 크기와 상관없이 각 부분부하율 조건에서의 운전시간과 그에 따른 열공급량의 크기가 가스 사용량 및 절감량에 지대한 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- (5) 각 부분부하율 조건에서의 가스 소비량 및 절감량은 효율 및 효율 상승보다 운전특성에 기인되는 열공급량과의 상관관계가 깊은 것으로 분석되었다. 또

한 동일한 효율 상승에도 불구하고 열공급량의 크기에 의해 절감량이 큰 차이를 보였다. 따라서 열공급량의 크기가 큰 부분부하율 조건에서의 효율을 개선하는 것이 에너지 성능에 유리할 것으로 판단된다.

결과적으로 바닥 복사 난방이 적용된 주거 건물의 에너지 성능 향상을 위한 보수 및 보강시 단순히 보일러의 교체만으로도 경우에 따라 약 24.7%의 에너지 절감이 가능할 것으로 사료된다. 또한 위의 결론들에 기인하여 전부하 조건에서의 성능 및 효율은 보일러의 에너지 성능을 대표할 수 없을 것으로 판단되며, 전부하 조건에서의 성능 및 효율보다 낮은 부분부하 조건에서의 성능 및 효율이 보일러의 에너지 성능에 지대한 영향을 미칠 것으로 사료된다. 따라서 바닥 복사 난방시스템이 적용된 주거건물의 부분부하 특성은 가정용 가스 보일러의 성능 및 효율 향상을 위한 연구 및 현행 제도에 있어 충분히 고려되어야 될 것으로 사료된다.

향후에는 바닥 복사 시스템이 적용된 주거 건물을 대상으로, 보일러의 작동 모드(On/Off 모드, 비례제어 모드 등) 및 턴다운비(Turn and Down Ratio) 등을 고려하여 부분부하 조건에서의 성능 및 효율을 분석·도출할 예정이다. 또한 그에 따른 에너지 사용량 및 성능에 대하여 비교·분석할 예정이다.

References

1. Yu, B. H., Seo, B. M., Moon, J. W., and Lee, K. H., 2015, Analysis of the Part Load Ratio Characteristics and Gas Energy Consumption of Hot Water Boiler in Korean Residential Building, Proceeding of The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp. 695-698.
2. Yoon, Y. B., Kim, D. S., Park, J. W., and Lee, K. H., 2013, A Study on the Building Energy Performance Depending on the Blind Location, Blind Operation and Glazing Type, Journal of The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 29, No. 7, pp. 309-316.
3. Statistics Korea, 2010, The Energy Consumption of the Household Sector for each Energy Source, Korean Statistical Information Service.
4. Korea Boiler Engineering Assoc., 2000, The Concerns about the Side Effects of the High Efficiency Policy on the Gas Boiler, Korea Boiler Engineering Assoc., Vol. 73, pp. 60-63.
5. Park, C. I. and Kim, R. H., 2012, A Study for Energy Consumption Efficiency Test Method of Domestic Gas Boiler, Proceeding of The Korea Society for Energy Engineering, p. 157.
6. Choi, K. S., Yang, D. J., Yu, K. S., and Park, K. S., 2005, A Study on Improvement Scheme of Thermal Efficiency and Set-up Test Standard for Domestic Gas Boiler, Proceeding of Korea Society Energy and Climate Change, pp. 99-104.
7. Korea Boiler Engineering Assoc., 2004, The Truth and the Falsity of the High Efficiency Policy on the Gas Boiler, Korea Boiler Engineering Assoc., Vol. 124, pp. 95-104.
8. The U. S. DOE. EnergyPlus Engineering Reference. The Reference to EnergyPlus Calculations, Available online : <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/engineeringreference.pdf>, (accessed on 29 October 2012).
9. Hitchcock, R. J., Carroll, W. L., 2003, DELight : A daylighting and electric lighting simulation engine. In Proceedings of the 8th International IBPSA Conference, Eindhoven, The Netherlands, pp. 483-489.
10. Winkelmann, F., 2001, Modeling Windows in Energy Plus, Building Simulation 2001, 7th International IBPSA Conference.
11. ASHRAE, 2013, ANSI/ASHRAE Standard 90.2-2007, Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings.
12. Renato, M. and Lazzarin, 2014, The Importance of the Modulation Ratio in the Boilers Installed in Refurbished Building, Energy and Buildings, Vol. 75, pp. 43-50.
13. The U. S. DOE. EnergyPlus Input Output Reference. The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, 2011.