

군간부 숙소에 적용된 중용량 및 멀티 보일러 시스템의 난방 및 급탕에너지 비교

김민용, 김영일*[†], 정광섭*

서울과학기술대학교 에너지환경대학원, 서울과학기술대학교 건축학부*

Heating and Hot Water Supply Energy Comparison of Medium Capacity and Multi Boilers System applied to Military Officer Housing

Min-Yong Kim, Young Il Kim*[†], Kwang Seop Chung*

Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea,
School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea*

Abstract

Heating and hot water supply energy consumption of medium and multi boiler systems applied to military officer housing are compared with in-situ experiment and TRNSYS dynamic simulation program. In a multiple boiler system, small capacity boilers are connected in parallel to meet the required capacity. For handling partial loads, medium capacity boiler relies on on-off control, while multi boiler adopts PI control. Since multi boiler has higher efficiency and better control strategy, the results show that energy consumption can be reduced significantly with the multi boiler system.

Key words: Multi boiler(멀티 보일러), Dynamic characteristic simulation(동특성 시뮬레이션), On-off control(온오프컨트롤), PI control(비례적분 제어), TRNSYS(TRNSYS)

1. 서 론

최근 들어 산업발전과 삶의 질 향상으로 전기 에너지의 사용이 급증하고 있으며, 이상기후의 발생으로 인해 전기에너지를 이용한 냉난방 장치들의 과도한 사용으로 전력 수급에 대한 문제가 국가적 문제로 대두되고 있다. 이러한 전력 수급 곤란에 대한 문제는 해마다 반복되고 있지만 새로운 발전소 건설과 전기에너지 사용을 억제하는

등의 현실적인 해결방안은 미비한 실정이다.

이에 국가적인 차원에서 에너지 이용 효율화 기조가 형성되고 있는 바, 에너지 사용단가가 비교적 저렴하고 수급이 안정적인 가스에너지의 사용이 증가하고 있으며, 공동주택이나 상업시설에 대한 에너지 초절약형 기계설비 도입도 적극 추진되고 있다. 또한 가스에너지를 이용한 효율이 높은 장치의 개발과 에너지 절감을 위한 시스템이 개발되는 등 석탄과 석유, 전기에너지를 대체하는 방안이 연구되고 있다.

이에 본 연구에서는 군간부 숙소건물을 대상으로 가스를 연료로 사용하는 중용량 보일러 시스템과 멀티 보일러 시스템의 난방 및 급탕에너지 사용량을 비교하였으며, 동적 에너지 해석을 목적

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6557, Fax:+82-2-974-1480

E-mail: yikim@seoultech.ac.kr

접수일 : 2014년 7월 7일

심사일 : 2014년 7월 30일

채택일 : 2014년 8월 6일

으로 모듈화되어 개발된 프로그램인 TRNSYS (transient systems simulation) 17을 이용하여 시뮬레이션 하였고, 이를 바탕으로 증용량 보일러 시스템과 멀티 보일러 시스템의 적용에 따른 난방 및 급탕에너지의 사용량을 비교·분석하였다.

2. 멀티 보일러 시스템

멀티 보일러 시스템이란 다수의 소용량 가스 보일러 또는 온수기를 병렬로 연결한 시스템으로 부하에 필요한 열량을 기준으로 복수의 개별 보일러 중에서 선택적으로 보일러를 가동시키되 보일러에서 부하측으로 공급되는 공급수의 유량부족과 압력손실을 방지함으로써 보일러의 연소열이 부하측으로 원활하게 공급될 수 있도록 한 시스템이다.^[1]

멀티 보일러 급탕 시스템은 저탕탱크를 생략한 Tankless 순간 중앙 공급 방식으로 위생성 향상과 경제성이 강화되지만 저탕탱크와 열원장비가 분담했던 최대 급탕 부하를 열원장비가 모두 담당해야

하기 때문에 열용량이 증가되는 특성을 갖고 있다.

Fig. 1은 멀티 보일러 난방 시스템의 개략도로 열원과 부하측 경계에 수분배 장치를 적용하여 유량 불균형을 해소하고 온도차이로 발생하는 열량의 차이를 극복하여 효율적인 운전이 가능하도록 설계 되었으며, Fig. 2는 멀티 보일러 급탕 시스템의 개략도이다.

3. 보일러 성능 시험

KS 규격에 따른 보일러의 성능 시험 방법은 ‘KS B 8127 콘덴싱 가스 온수 보일러’, ‘KS B 8116 가스 순간 온수기’에 명시되어 있으며, 본 연구에서 진행된 멀티 보일러 시스템과 중형 보일러 시스템의 비교 시험은 00인재개발원에 설치된 멀티 보일러(NPW-48KS 48,000 kcal/h, 5대)와 중형 보일러(연수동 : 1035GPS 100,000 kcal/h, 1대 / 숙소동 : 1535GPS 150,000 kcal/h, 1대)로 진행하였고, 시험은 멀티 보일러 시스템과 중형 보일러 시스템의 온수 출구온도를 일정하게 유지하는 시험을 통한 보일러 입/출구 온수 온도 및 압력, 온수유량, 가스소비량을 측정하였다.

3.1 보일러 성능 시험 개요

시험은 온수 유량을 조절하여 전부하 조건과 부분부하 조건을 변경하여 시험하였으며, 보일러 입구와 출구측의 온도는 배관에 RTD온도센서를 삽입하여 측정하였고, 압력은 같은 방법으로 배관에 압력센서를 삽입하여 측정하였으며, 온수 출탕 유량은 측정범위 200~12,000 lph인 Oval사의 용적식 유량계를 이용하여 측정하였다.

또한, 가스 사용량은 숙소동과 연수동에 설치된 가스메타기를 이용하여 유량에 따른 출력 신호를 받아 측정하였으며, 소비 전력량은 종합적인 전력량을 측정하는 장비로 전압측정범위 150~600V, 전류측정범위 20~200A인 Yokogawa사의 CW240을 이용하여 보일러와 급수펌프의 소비 전력량을 측정하였다.

성능 시험 구성도는 Fig. 3과 같고, 시험 조건은 Table 1과 같다.

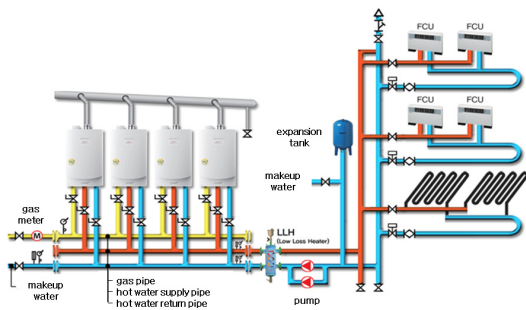


Fig. 1 Multi-boiler heating system.

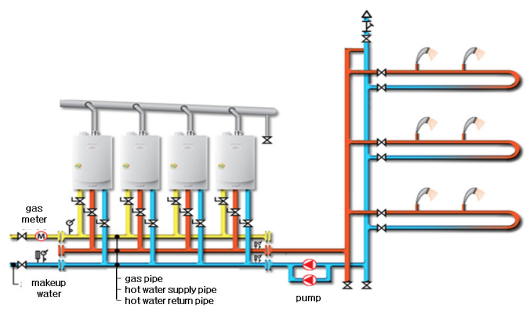


Fig. 2 Multi-boiler hot water supply system.

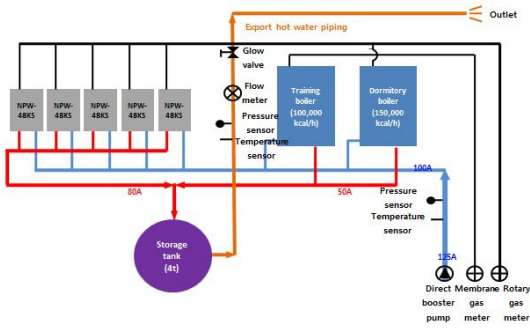


Fig. 3 Boiler performance test diagram.

3.2 보일러 성능 시험 결과 및 분석

Table 2는 멀티 보일러 시스템의 가스소비량을 나타낸 것으로 전부하 조건에서 온수 출구온도 안정화 후 20분간 운전 시 298,960 W의 가스에너지를 소비하였으며, 유량을 감소시킨 부분부하 조건에서는 각각 208,318 W, 161,192 W, 125,445 W, 120,528 W, 43,668 W의 가스에너지를 소비하였다.

Table 3은 중형 보일러 시스템의 가스소비량을 나타낸 것으로 전부하 조건에서 온수 출구온도

Table 1. Boiler performance test conditions

Load condition	Sample		Boiler Inlet/Outlet T $\Delta T(^{\circ}C)$	Water pressure (kPa)	Operating time
Full load	Medium boiler	120 lpm	30 ± 3.0	285 ± 5	Boiler Inlet/Outlet T $\Delta T=30 \pm 3.0$ Stabilization, 20 minutes after
	Multi boiler	135 lpm			
Part load	Medium boiler	100 lpm			
	Multi boiler				
	Medium boiler	70 lpm			
	Multi boiler				
	Medium boiler	60 lpm			
	Multi boiler				
	Medium boiler	50 lpm			
	Multi boiler				
Medium boiler	20 lpm				
Multi boiler					

Table 2. Multi boiler performance test data

Item	Multi boiler system					
	135 lpm*	100 lpm	70 lpm	60 lpm	50 lpm	20 lpm
Calorie (W) obtained by water	287,646	210,232	158,197	127,253	120,072	42,797
Calorie (W) supplied by gas	298,960	208,318	161,192	125,445	120,528	43,668

* Full load

Table 3. Medium capacity boiler performance test data

Item	Medium capacity boiler system					
	120 lpm*	100 lpm	70 lpm	60 lpm	50 lpm	20 lpm
Calorie (W) obtained by water	262,358	211,842	157,372	127,501	110,269	44,176
Calorie (W) supplied by gas	320,552	260,766	208,597	177,808	161,998	62,859

* Full load

안정화 후 20분간 운전 시 320,552 W의 가스에너지를 소비하였으며, 부분부하 조건에서는 각각 260,766 W, 208,597 W, 177,808 W, 161,998 W, 62,859 W의 가스에너지를 소비하여 멀티 보일러 시스템의 가스에너지 소비량이 적은 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 보일러 성능 시험 결과를 바탕으로 멀티 보일러 시스템과 중용량 보일러 시스템의 20분간 운전 데이터로써, 물이 얻은 열량을 가스 소비량으로 나누어 효율을 나타낸 그래프이다. 멀티 보일러 시스템의 경우 전부하 조건에서 98.2%의 효율을 나타내었고, 부분부하 조건에서도 98.4~99.8%로 일정한 보일러 효율을 유지한 반면, 중형 보일러 시스템의 경우는 전부하 조건에서 82.1%의 효율을 나타내었고, 부분부하 조건에서는 80.3~66.3%로 부하율이 낮아질수록 보일러 효율도 낮아지는 것으로 나타났다.

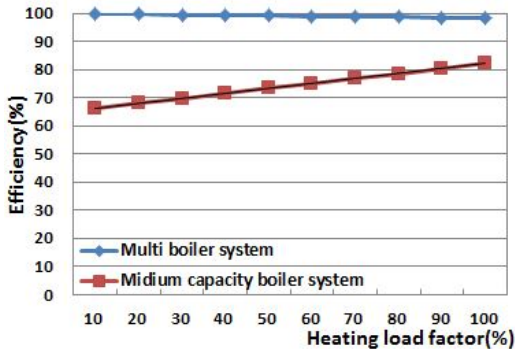


Fig. 4 Medium and multi boilers efficiency.

4. 시뮬레이션

멀티 보일러 시스템과 중용량 보일러 시스템 가동 시 가스에너지 소비량의 절감 효과를 시뮬레이션 하기 위해 본 연구에서는 모듈 구조를 갖는 비정상 시스템 해석프로그램인 TRNSYS 17[®]을 사용하였으며, 시뮬레이션 대상 건물과 동일 기종의 보일러가 설치되어 있는 00인재개발원의 보일러 성능 시험을 통한 성능데이터를 입력하여 시뮬레이션 하였다.

해석의 도구로 사용된 건물 에너지 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS (Transient System Simulation)는 동적 에너지 해석을 목적으로 모듈화 되어 개

발된 최초의 프로그램으로 건물 전체에 대한 다양한 에너지 이용 시스템을 포함하고 있는 시스템 시뮬레이션 프로그램이다.

4.1 시뮬레이션 개요

시뮬레이션 대상 건물은 경기도 고양시에 위치한 군사시설로서 군간부들의 숙소로 사용되고 있는 건물이며, 건물 모델링은 Google Sketchup8[®] 프로그램을 이용하여 3D로 모델링 하였다.

Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)는 시뮬레이션 대상 건물의 조감도와 건물 모델링 프로그램을 이용하여 3D 모델링한 그림이며, 가로 51.6 m, 세로 31.8 m, 지상 4층, 연면적 3,143.63m² 규모의 건물이다.

또한, 대상 건물의 열원 설비로는 난방용량 300,000 kcal/h와 급탕용량 150,000 kcal/h의 온수 보일러가 설계 되어 있고, 난방방식은 바닥복사식을 사용하고 있다.

대상 건물의 구체적인 개요는 Table 4와 같다.

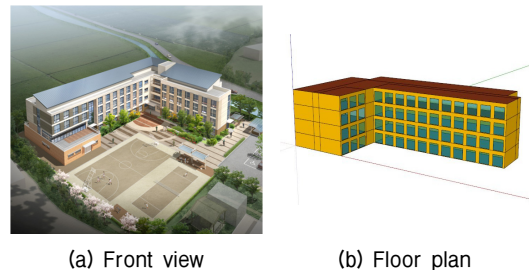


Fig. 5 Base building.

Table 4. Summary of subject building

Area(m ²)	Land area	28,158.00
	Building area	4,218.00
	Total floor area	3143.63
Location	Goyang, Korea (N37.5, E127)	
Structure	Reinforced concrete	
Floor height(mm)	2,900	
Ceiling height(mm)	2,400	
Total floor	4 F	
Base floor area(m ²)	767.89	
Usage	Military officer housing	

4.2 시뮬레이션 조건 및 방법

건물에너지의 해석을 위해 입력한 기상 조건은 TRNSYS에서 제공되는 서울 지역 기상 데이터인 KR-Seoul-471080.tm2를 입력하였고, 입력한 재료의 물성치 및 벽체 구성은 설계 도서와 설계 기준을 참고하여 실제 건물의 설계 조건에 맞게 구성하였다. 시뮬레이션을 위한 대상 건물의 물성치 및 벽체 구성은 Table 5와 Table 6과 같다.^{[2][3][6]}

Table 5. Massive layer

Constituent	Thermal conductivity [kJ/h·m·K]	Capacity [kJ/kg·K]	Density [kg/m ³]
Concrete	5.40	0.24	2,200
Mortar	5.40	0.22	2,000
Brick	2.89	0.22	2,300
Metal shingle	5.40	0.13	7,800
Gypsum	0.61	0.31	910
Wallpaper	0.75	0.36	700
Insulation	0.11	0.35	30

Table 6. Wall layer

Wall	Wall thickness [mm]	U [W/m ² ·°C]
Roof	318	0.271
Outside wall	390	0.416
Party wall	230	2.414
Floor-1	260	0.635
Floor-2	220	1.549
Window	24	2.890

또한, 정확한 해석을 위해 Table 7과 같이 건물의 에너지 소비에 큰 영향을 미치는 실내발열 중 재실부하는 현열 65 W/P, 잠열 55 W/P, 조명부하는 20 W/m², 기기부하는 5 W/m²를 입력하였고, 층별 재실인원은 1F 27명, 2F~4F 33명을 입력하였으며, 침기횟수 및 환기횟수는 각각 0.3 ACH, 1.2 ACH를 입력하였다.

위의 조건들은 설계도와 설계 기준을 참조하여 실제 설계 조건과 같은 수치를 입력하였다.

시뮬레이션 대상 건물의 시간에 따른 부하를 산

Table 7. Internal load conditions

Indoor design conditions	Heating : 22°C(RH : 50%)	
Internal load	People(sensible) : 65(W/P) People(latent) : 55(W/P) Lighting : 20(W/m ²) Equipment : 5(W/m ²)	
Person	1F	27
	2F	33
	3F	33
4F	33	
Air change per hour	1.2 Volume/h	

정하기 위한 재실, 조명, 기기의 스케줄은 ASHRAE Standard 90.1의 multifamily, low-rise에 대한 스케줄을 적용하였으며, 급탕량 산정은 동절기, 중간기, 하절기별로 1년 동안의 사용 패턴을 나타낸 월별 사용 패턴과 하루 24시간 동안의 사용 패턴을 나타낸 시각별 사용 패턴을 적용하여 산출하였다.^{[4][5]}

Table 8과 Table 9는 월별 부하 사용 패턴과 시각별 부하 사용 패턴을 나타낸 것으로 건물 용도별 실제 사용 패턴을 조사하여 나타낸 연구 자료이다.

Table 8. Monthly hot water consumption patterns of subject building

Month	Category (%)	
1	Winter Season	12.08
2		12.55
3		12.32
4	Mid Season	10.32
5		9.04
6		6.76
7	Summer Season	5.41
8		3.76
9		3.87
10	Mid Season	6.22
11		7.10
12	Winter Season	10.57

Table 9. Hourly hot water consumption patterns of subject building

Time	Category (%)			Time	Category (%)		
	Summer Season	Winter Season	Mid Season		Summer Season	Winter Season	Mid Season
0	1.50	2.70	3.00	12	1.80	2.10	1.60
1	1.70	0.30	0.30	13	1.80	2.10	1.60
2	1.10	0.20	0.10	14	1.80	1.80	1.40
3	0.00	0.00	0.00	15	1.80	1.80	1.40
4	0.00	0.00	0.00	16	4.00	3.60	3.40
5	0.20	0.30	0.30	17	7.00	7.20	9.50
6	1.30	2.00	2.30	18	9.50	8.50	11.20
7	2.30	3.50	2.80	19	12.50	11.80	13.20
8	2.50	2.90	2.60	20	12.30	13.30	13.80
9	2.00	3.50	2.70	21	12.20	11.30	9.40
10	1.70	2.90	2.00	22	12.10	9.00	9.50
11	2.10	2.60	2.30	23	6.80	6.60	5.60

월별과 시각별 급탕 사용 패턴을 조합한 사용 패턴 적용 결과, 동절기인 1, 2, 3, 12월 19시~22시 사이 12.1%, 12.6%, 12.3%, 10.6%로 사용빈도가 가장 높았으며, 하절기인 7, 8, 9월 0시~15시 사이 0%~2.5%로 사용빈도가 가장 낮았다.

적당 난방 부하를 나타낸 것으로 4F_02에 위치한 실의 최대 난방 부하는 6,327 W이고, 단위 면적당 난방 부하는 96.1 W/m²로 가장 높은 값을 나타내었으며, 3F_03에 위치한 실의 최대 난방 부하는 21,445 W이고, 단위 면적당 난방 부하는 77.4 W/m²로 가장 낮은 값을 나타내었다.

대상건물의 최대 난방 부하 합은 235,157 W이며, 단위 면적당 평균 난방 부하는 83.8 W/m²로 나타났다.

5. 시뮬레이션 결과 및 고찰

5.1 난방 부하 분석

Table 10은 각 실별 최대 난방 부하와 단위면

Table 10. Comparison of heating load

Heating load (W)					
Zone	Peak load (W)	Load (W/m ²)	Zone	Peak load (W)	Load (W/m ²)
1F_01	5,767	87.6	3F_01	12,342	80.3
1F_02	5,753	87.4	3F_02	5,404	82.1
1F_03	17,914	81.6	3F_03	21,445	77.4
1F_04	19,673	81.5	3F_04	18,732	77.6
2F_01	13,046	84.9	4F_01	14,461	94.1
2F_02	5,497	83.5	4F_02	6,327	96.1
2F_03	22,158	80.0	4F_03	25,352	91.5
2F_04	19,060	79.0	4F_04	22,225	92.0
Average heating load per area(W/m ²)				83.8	
Total peak heating load(W)				235,157	

Table 12. Monthly hot water supply energy consumption and gas consumption

Month	Multi boiler system		Medium capacity boiler system	
	Energy consumption (MJ)	Gas consumption (Nm ³)	Energy consumption (MJ)	Gas consumption (Nm ³)
1	173,661	3,999	239,023	5,504
2	180,418	4,154	248,323	5,718
3	177,112	4,078	243,772	5,613
4	148,360	3,416	204,199	4,702
5	129,958	2,992	178,872	4,119
6	97,181	2,238	133,758	3,080
7	77,774	1,791	107,046	2,465
8	54,054	1,245	74,398	1,713
9	55,635	1,281	76,574	1,763
10	89,418	2,059	123,073	2,834
11	102,069	2,350	140,485	3,235
12	151,954	3,499	209,145	4,816
Sum	1,437,594	33,101	1,978,668	45,560

* 1Nm³ = 43.43 MJ

5.2 급탕 사용량 분석

Fig. 6은 시뮬레이션 대상 건물의 연간 급탕 사용량을 분석한 그래프로 설계도를 바탕으로 월별과 시각별 사용패턴을 고려하여 산출하였다.

연간 급탕 사용량 분석결과 동절기인 12~3월 2,442,077 liter, 하절기인 7~9월 670,132 liter, 중간기인 4, 5, 6, 10, 11월 2,026,842 liter를 사용하여 1년 동안 총 5,139,051 liter의 급탕 사용량을 나타내었다.

Table 11. Monthly heating energy and gas consumption

Month	Multi boiler system		Medium capacity boiler system	
	Energy consumption (MJ)	Gas consumption (Nm ³)	Energy consumption (MJ)	Gas consumption (Nm ³)
1	414,352	9,541	637,412	14,677
2	333,802	7,686	505,059	11,629
3	263,376	6,064	383,519	8,831
11	227,989	5,250	354,758	8,169
12	368,449	8,484	564,786	13,005
Sum	1,607,968	37,024	2,445,534	56,310

* 1Nm³ = 43.43 MJ

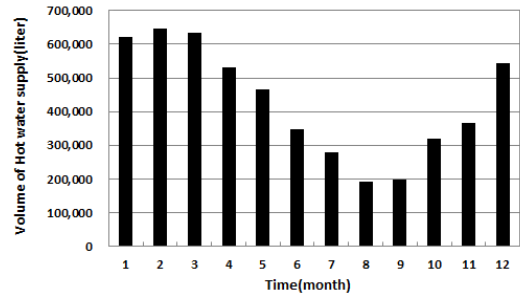


Fig. 6 Volume of hot water supply.

5.3 시스템별 난방에너지 사용량 분석

Fig. 7과 Table 11은 멀티 보일러와 중용량 보

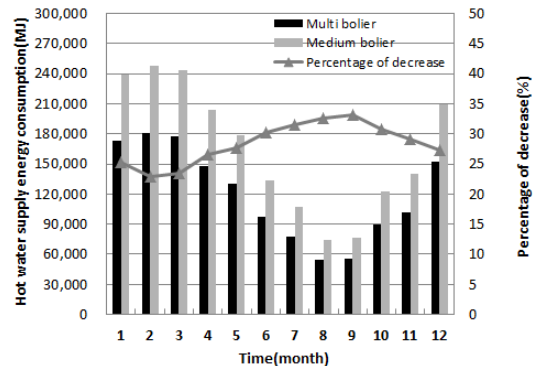


Fig. 8 Hot water supply energy consumption.

일리의 연간 난방에너지 소비량을 비교한 그래프와 표로 멀티 보일러 시스템은 1월 414,352 MJ, 2월 333,802 MJ, 3월 263,376 MJ, 11월 227,989 MJ, 12월 368,449 MJ의 에너지를 소비하였으며, 같은 기간 중용량 보일러는 637,412 MJ, 505,059 MJ, 383,519 MJ, 354,758 MJ, 564,786 MJ의 에너지를 소비하여 멀티 보일러 가동 시 총 837,566 MJ의 가스에너지 소비를 절감하였다.

5.4 시스템별 급탕에너지 사용량 분석

Fig. 8과 Table 12는 멀티 보일러와 중용량 보일러의 연간 급탕에너지 소비량을 비교한 그래프와 표로 멀티 보일러 시스템은 동절기인 12~3월 681,280 MJ, 하절기인 7~9월 189,278 MJ, 중간기인 4, 5, 6, 10, 11월 567,036 MJ의 에너지를 소비하여 1년 동안 총 1,437,594 MJ을 소비하였고, 같은 기간 중용량 보일러 시스템은 904,986 MJ, 279,668 MJ, 794,014 MJ의 에너지를 소비하여 1년 동안 총 1,978,668 MJ을 소비하였다.

6. 결론

군간부 숙소건물의 난방 및 급탕에너지 사용량을 멀티 보일러 시스템과 중용량 보일러 시스템에 대하여 비교하고자 동특성 건물에너지 해석 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS 17을 이용하여 시뮬레이션 하였고, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 멀티 보일러 시스템과 중용량 보일러 시스템의 성능 시험 결과 부하율이 100%~10%로 떨어질 때 멀티 보일러 시스템은 98.2~99.8%의 일정한 보일러 효율을 나타낸 반면, 중용량 보일러 시스템은 82.1~66.3%로 보일러 효율이 하락하는 것으로 나타났다.
- (2) 각 실별 1F_01~4F_02의 최대 난방 부하는 235,157 W이며, 단위 면적당 난방 부하는 83.8 W/m²이다.
- (3) 연간 급탕 사용량 분석결과 동절기인 12~3월 2,442,077 liter, 하절기인 7~9월 670,132 liter, 중간기인 4, 5, 6, 10, 11월 2,026,842 liter를 사용하여 연간 총 5,139,051 liter의 급탕 사용량을 나타내었다.
- (4) 멀티 보일러 시스템과 중용량 보일러 시스템의 난방에너지 사용량은 각각 1,607,968 MJ, 2,445,534 MJ로 멀티 보일러 가동 시 837,566 MJ의 에너지 소비를 절감하였고, 34.3%의 절감률을 나타내었다.
- (5) 멀티 보일러 시스템과 중용량 보일러 시스템의 급탕에너지 소비량은 각각 1,437,594 MJ, 1,978,668 MJ로 멀티 보일러 가동 시 541,072 MJ의 에너지 소비를 절감하였고, 27.4%의 절감률을 나타내었다.
- (6) 난방에너지와 급탕에너지를 합친 에너지 사용량 비교 결과 멀티 보일러 가동 시 연간 총 1,378,638 MJ의 에너지 소비를 절감하였고, 31.2%의 에너지 절감률을 나타내었다.

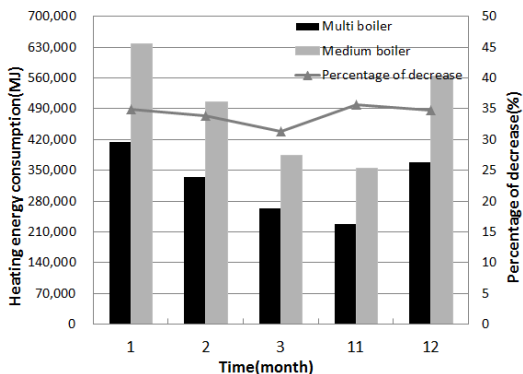


Fig. 7 Annual heating energy consumption.

참고문헌

1. Min, T. S., 2010, Cascade System and Control Method of the Cascade System and a Heating Boiler Comprising The Cascade System, Patent (publication number : 1020120076092), Korea.
2. SAREK, 2010, Advancement of Building Mechanical Code, pp. 30-34.
3. SAREK, 2011, Air-Conditioning and Refrigeration Engineering Handbook, Vol. 2, pp. 1.2.1-1.2.8.
4. Lee, K. G. and Hong, W. H., 2006, The Pattern Analysis of Urban Central Area Energy

- Consumption Using Mesh Data, The Architectural Institute of Korea, Vol. 22, No. 7, pp. 223-232.
5. ASHRAE, 2007, Ashrae Standard 90.1, pp. G.1-G.47.
6. ASHRAE, 2005, Ashrae Hand book fundamentals, pp 24.1-24.24.