

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 18, No. 4, 1998

초등학교 건물의 난방설비 선정을 위한 모델 설계 연구

윤용진*, 박효순*, 변운섭**, 강호석**

* 한국에너지기술연구소 건물에너지연구팀

** (주) 우원

Model Study for Guidelines of Heating Systems Installation in the Elementary School Buildings

Y. J. Yoon*, H. S. Park*, W. S. Byun**, H. S. Kang**

* *Korean Institute of Energy Research*

** *Woowon Co.*

ABSTRACT

Indoor environment of the classrooms in most school buildings have not been maintained comfortably during the heating and cooling seasons due to the insufficient installation of the heating and cooling systems and their operation in our country.

This study aimed to suggest the guideline for installing the appropriate heating systems to make a better environment of the classrooms in the elementary school buildings. Field survey and the computer simulation of the model school were carried out, and the cost of the both installation and operation were compared with different heating systems.

1. 서 론

건축기술의 급속한 발전을 통해 최근의 건축물들은 형태적으로나 기능적으로 많은 발전을 거듭하여 왔으며, 실내 환경 또한 기술의 발달에 따라 지속적으로 개선되어 왔다. 그러나 이러한 건축기술 및 환경여건의 발전은 대부분 업무시설, 상업시설 등에 한정되고 있으며, 특히 교육시설의 여건은 상대적으로 매우 열악한 상태에 머물러 있다. 본 연구는 우리나라 초등학교 건물의 실내 환경 개선을 위한 최적의 난방설비 시스템 적용 방안 제시를 목적으로 하고 있다. 실태조사를 통해 초등학교건물에 적용 가능한 난방설비 시스템을 분석하고 모델학교를 대상으로 시뮬레이션을 이용한 적용성 평가를 수행하였다. 이를 바탕으로 실제 설계를 통해 현장에서 난방시스템을 선정하기에 도움이 될 수 있는 종합적 검토 자료를 작성하였다.

2 모델학교 난방설비시스템의 평가

2.1 모델학교의 선정

학교건물에 적용가능한 난방설비시스템을 대상으로 경제성, 운전, 유지관리 측면의 평가를 위해 모델학교를 선정하여 각 방식별 적용성을 검토하였다. 모델학교는 건물의 배치형태 및 규모, 지역 조건, 단열기준 및 준공연도 등을 기준으로 하여 선정하였으며 선정기준별 고려사항 및 선정결과는 Table 1과 같다.

2.2 부하계산

냉난방 부하계산의 목적은 건물의 연간에너지 소비량 산정과 냉난방 장비의 선정에 필요한 냉난방 최대부하(peak load)를 산정하는 것으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 모델건물 대상 냉난방시스템 설계가 목적이므로 최대부하 산정을 위

Table 1. 모델학교 선정기준 및 결과

선정 항목	기 준	선정 결과
건 물 배치형태	一자 형태 (남, 남동향)	ㄷ 초등학교(서울) - 1994년 준공 - 지하1층, 지상4층 - 30학급 - 남동향 - 난방방식 : 지역난방
규 모	30학급 정도의 중규모	
에너지원 공급조건	각종 난방방식 적용	
준공연도	1990년도 이후	

한 부하계산을 수행하였다. 냉난방 부하계산은 최대부하계산 컴퓨터 프로그램인 LOADSYS를 사용하였다. LOADSYS는 공조장치의 용량을 결정하기 위한 최대부하 계산법으로 개발되었으며 응답계수(Response Factor)를 사용한 벽체의 비정상열전도 해석을 통해 복사성분의 축열에 의한 지연효과를 고려할 수도 있다.

외피의 열전도부하는 기존의 정상열전도 해석에 의해 작성된 상당온도차 TETD(Total Equivalent Temperature Difference)값을 대체한 냉방부하온도차 CLTD값을 통해 산출한다. 일사에 의한 복사열취득은 태양열취득계수 SHGF(Solar Heat Gain Factor)값을 사용하며, 복사열취득으로부터 냉방부하를 계산하는 전달함수인 CLF(Cooling Load Factor)값을 통해 계산한다.

2.2.1 입력조건

부하계산의 입력조건은 외기 및 실내온도조건, 구조체의 열관류율, 내부발열조건, 침입외기량 등이 있으며, 모델학교에 대한 부하계산 입력조건은 Table 2와 같다.

2.2.2 부하 계산 결과

부하계산 실행결과, 모델초등학교의 최대 난방 부부하는 265,548kcal/h로 나타났으며 단위면적당

Table 2. 모델초등학교 부하계산 입력조건

구분	입력 조건
외기온도 기준	난방 : 건구온도 -11.9°C , 상대습도 69% (건설교통부 고시 인용, 서울기준, TAC 2.5%)
실내온도 기준	난방 : 교실, 관리실, 화장실 18°C
구조체 (열관류율)	외벽 : $0.46 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ 지붕 : $0.33 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ 창문 : $2.6 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$, 차폐계수 0.89
내부발열 기준	재실인원밀도 : 교실 $0.7\text{인}/\text{m}^2$, 특별교실 $0.5\text{인}/\text{m}^2$, 교무실 $0.3\text{인}/\text{m}^2$, 기타관리실 $0.2\text{인}/\text{m}^2$ 인체발열 : 현열 $48 \text{ kcal/h}\cdot\text{인}$, 잠열 $43 \text{ kcal/h}\cdot\text{인}$ (성인의 75%) 조명밀도 : $30 \text{ W}/\text{m}^2$
침입외기 기준	난방 : 외기량 - 실체적의 2회/h (ASHRAE기준 준용)

난방부하는 $88.7 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2$ 로 나타났다. 건물 전체의 난방부하를 부하요소별로 분석하면 Table 3과 같다. 난방시에는 전체부하 중 차지하는 비율이 침입외기(60.0%), 간막이벽(15.5%), 창문(15.3%) 순으로 나타났다. 특히 침입외기 부하가 매우 크게 나타나 난방부하 저감을 위해서는 개구부의 기밀화가 가장 필요한 것으로 나타났다. 또한 간막이벽의 부하가 상대적으로 높게 나타난 것은 외벽에 비해 간막이벽의 단열조건이 열악하기 때문인 것으로 판단되며 간막이벽의 단열화 방안도 고려되어야 할 것으로 생각된다.

2.3 난방설비시스템 기본설계

모델 학교건물에 적용을 위한 검토 대상 난방설비시스템은 중앙난방방식과 개별난방방식으로 대별하여 적용하며, 중앙난방방식에서도 열매에

Table 3. 모델초등학교 최대 난방부하의 부하요소별 분석

부하요소	부하단위	난방부하 (kcal/h)	비율(%)
지붕	858 m^2	9,309	3.5
외벽	745 m^2	11,267	4.2
창문	475 m^2	40,653	15.3
일사	-	-	-
간막이벽	$1,440 \text{ m}^2$	41,210	15.5
바닥	723 m^2	3,667	1.4
조명	$84,038 \text{ W}$	-	-
인원	1,718 인	-	-
기기	$14,006 \text{ W}$	-	-
침입외기	-	159,441	60.0
계	-	265,548	100.0

따라 온수난방방식과 증기난방방식으로 구분하여 검토하였다. 온수난방방식으로는 온수보일러 및 지역열원 이용방식, 증기난방방식으로 증기보일러 이용방식을 적용하며, 또한 개별난방방식으로 가스온풍기와 축열식 전기온풍기를 적용하였다.

Table 4는 모델학교에 대해 중앙난방방식을 적용한 기본설계 사항을 정리한 것이다. 온수보일러 용량과 증기보일러의 용량은 예열부하와 배관손실에 대한 안전율을 고려하여 각각 20, 35% 가산하여 산정하였다.

Table 5는 모델학교에 대해 개별난방방식을 적용한 기본설계 사항을 정리한 것이다. 가스온풍기는 교실당 1대 설치 기준으로 용량을 산정하였으며, 화장실 계통은 벽걸이형 가스히터를 설치하여 초기투자비를 줄일 수 있도록 하였다. 전기온풍기의 축열용량은 교실 및 관리실의 경우 주간의 난방시간을 기준으로 산정하였고, 난방시간 기준을 달리하여 장비를 선정하였다. 화장실계통은 심야

Table 4. 모델학교의 중앙난방방식 기본계획사항

구분 항목	온수난방		증기난방
	온수보일러 열원방식	지역난방 열원방식	
열원 기기	진공온수보일러 400,000kcal/hr	관형열교환기 300,000 kcal/hr	관류형 증기보일러 800 kg/hr
순환 펌프	온수순환펌프 670 lpm × 2대	온수순환펌프 250 lpm × 2대	-
사용 연료	가스, 경유 등	중온수 (115-65℃)이용	가스, 경유 등
열매 조건	온수 : 70-80℃	온수 : 50-70℃	증기 : 0.5kg/cm ² G
부하 기기	강판제 방열기 : 91대 주철제 방열기 : 74대 알루미늄제 방열기 : 91대 콘벡터 : 91대 FCU : 91대	강판제 방열기 : 174대 주철제 방열기 : 174대 알루미늄제 방열기 : 174대 콘벡터 : 91대 FCU : 91대	주철제 방열기 : 91대

Table 5. 모델학교의 개별난방방식 기본계획사항

	가스온풍기	축열식 전기온풍기
사용 연료	도시가스(LNG)	심야전기
부하 기기	· 교실 : 가스온풍기 9,600kcal/hr × 30대 · 교무실, 과학실 등 : 가스온풍기 9,600kcal/hr × 10대 가스온풍기 15,000kcal/hr × 3대 · 화장실 : 가스히터 4,800 kcal/hr × 8대	· 교실 : 전기온풍기 4.8kW × 60대 · 교무실, 과학실 등 : 전기온풍기 4.8kW × 23대 · 화장실 : 전기온풍기 3.2kW × 8대
기타 사항	강제배기식(FE식) 연소방식 적용	축열용량 산정기준 · 교실 : 8시간 난방 · 교무실, 과학실 등 : 10시간 난방 · 화장실 : 24시간 난방

시간에 축열과 방열을 겸용하면서 난방하도록 설정하였다.

2.4 난방설비시스템 평가

2.4.1 초기투자비

초기투자비는 난방설비의 열원기기, 부하기기, 배관공사, 인건비 등을 산출하여 합산하였으며, 자동제어공사, 보일러 연도공사, 경비, 공구손료 등은 산출항목에서 제외하였다. Fig. 1은 중앙난방방식과 개별난방방식의 초기투자비를 함께 비교한 것이다. 온수난방인 온수보일러와 지역난방(중온수)은 콘벡터 설치를 기준으로 하였다. 증기난방방식「증기보일러+주철제방열기」의 초기투자비는 「온수보일러+콘벡터」보다 크게 산정되었다. 이러한 이유로는 부하기기인 주철제방열기가 콘벡터보다 고가이기 때문이며, 증기배관의 배관보온두께가 온수배관보다 크기 때문이다. 개별난방방식 중에서 가스온풍기는 타방식의 절반수준의 공사비만이 소요되어 초기투자비가 가장 저렴한 방식임을 알 수 있다. 심야축열식 전기온풍기는 제품의 가격도 고가이며, 수변전설비의 공사비도 증가하여 전체 공사비가 커지게 된다.

본 연구에서 초기투자비는 난방설비에 국한하여 비교하였으며, 만일 타공사와 관련하여 공사비를 분석한다면 다른 결과가 나타날 것으로 예상된다. 가령 급탕설비를 공사비에 포함하여 비교할 경우, 중앙난방방식은 급탕열원을 별도로 두지 않고도 급탕공급이 가능한 반면, 개별난방방식은 별도의 급탕열원설비를 필요로 하게 된다.

2.4.2 운전비

모델 학교건물의 실제 난방에 사용된 연간 총사용열량(155,360Mcal; 97년)에 대한 각 난방방식의 연간 운전비는 Fig. 2와 같다. 운전비는 각 난방방식의 사용연료의 단가에 주로 의존하며, 장비의 운전에 필요한 동력비가 전체 금액에서 차지하는 비율은 적다. 심야축열식 전기방열기와 지역

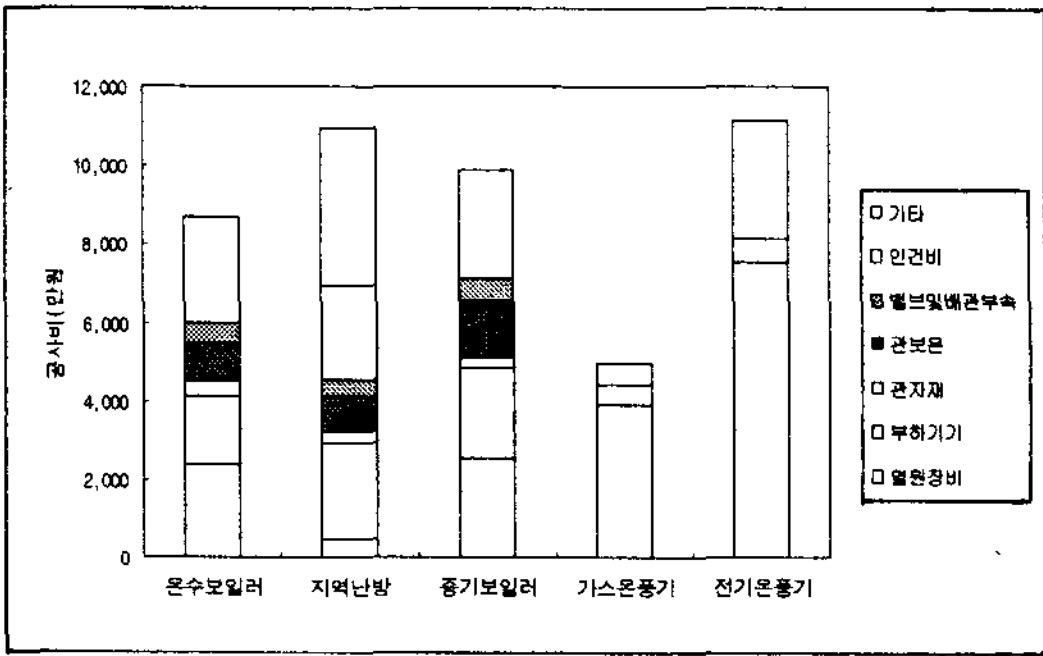


Fig. 1.

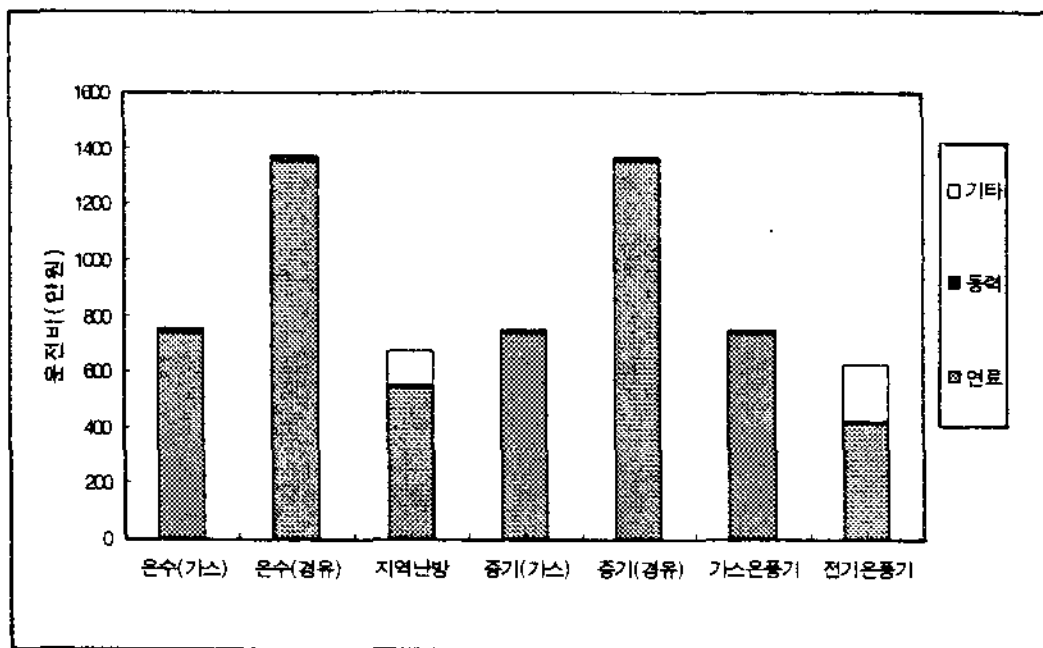


Fig. 2. 난방방식별 운전비 분석

난방방식은 가스 및 경유연료에 의한 난방방식보다 운전비가 저렴하게 나타났다. 기타 비용 항목으로 심야축열식 전기방열기는 별도로 전기안전관리비용이 추가되며, 지역난방방식은 난방열용량을 기준으로 기본요금이 부과되므로 추가된다.

각 난방방식의 운전비를 연간 에너지소비량을 동일하게 적용하여 비교한 것은 실제 연간 운전비와 다를 수 있다. 이는 각 난방방식별 운전방법이 상이하기 때문이며, 이에 따라 실제 운전비용은 다소 차이가 생길 것으로 예상된다.

2.4.3 난방설비시스템의 종합적 평가

모델학교에 적용가능한 난방설비시스템의 초기투자비, 운전비, 쾌적성 측면 등의 종합적 검토결과는 Table 6과 같다. 경제성 측면은 초기투자비와 운전비로 구분하여 검토하였다. 초기투자비는

Table 6. 난방방식별 종합 검토 결과

구분	온수난방		증기난방 (증기보일러)	개별난방		
	온수보일러	지역난방		가스온풍기	축열식전기온풍기	
경제성	초기 투자비	강판방열기 106% 주철방열기 117% 알미늄방열기 81% 콘베터 88% 팬코일유닛 89%	강판방열기 151% 주철방열기 150% 알미늄방열기 115% 콘베터 111% 팬코일유닛 108%	100%	51%	113%
	운전비	101% (LNG)	90%	100% (LNG)	100% (LNG)	84%
쾌적성	실온 제어성	보통	유리	불리	유리	유리
	복사난방 성분	강판방열기 35% 주철방열기 25% 알미늄방열기 25% 콘베터 10%	강판방열기 25% 주철방열기 25% 알미늄방열기 25% 콘베터 10%	25%	-	-
	공기 환경	FCU : 공기비산 우려	FCU : 공기비산 우려	-	산소결핍 우려	공기비산 우려

난방설비에만 국한하여 비교하였으므로, 급탕설비까지 포함하여 고려할 경우 별도의 열원설비가 추가되는 개별난방방식은 상대적으로 공사비가 상승될 것으로 보인다. 본 연구에서 산출한 운전비는 연간 에너지소비량을 동일하게 적용하여 비교하였으므로, 각 방식의 운전조건이 상이함에 따른 실제 운전비와의 차이가 있을 것으로 보인다. 축열식 전기온풍기 방식과 지역난방방식은 초기투자비면에서 불리하고, 운전비를 통한 절감율도 그다지 크지 않게 나타났다. 가스온풍기 방식은 초기투자비면에서 가장 저렴하고, 온수보일러방식

중 알루미늄방열기, 콘벡터, 팬코일유닛 설치시에도 비교적 저렴한 것으로 보인다.

쾌적성 측면에서 실내온도 제어성, 복사난방성분비, 공기환경 등을 구분하여 검토하였다. 증기난방방식은 제어성능이 떨어지며, 실내온도를 일정하게 유지하기가 어렵다. 공기환경측면에서 볼 때, 가스온풍기 설치방안은 실내 연소작용으로 산소결핍이 우려되며, 온풍기와 팬코일 설치시에는 바닥공기를 비산시킬 수 있다.

가스온풍기 설치방안은 초기투자비가 상당히 절감되는 경제적인 시스템으로서 바람직하지만, 실내환경악화에 대한 우려가 있으므로 이에 대한 방안이 충분히 보완되어야 할 것이라고 판단된다. 심야축열식 전기온풍기는 운전비가 절감되고 쾌적성 등에서 유리한 반면에, 초기투자비가 큰 것으로 나타났다. 증기난방방식은 열매에 대한 제어가 어렵기 때문에 실온을 일정하게 유지하기 어려운 단점이 있다. 또한 증기난방방식은 시스템이 복잡하여 운전이 어렵고, 소음에 대한 우려가 있다.

온수난방방식은 유지관리적인 측면과 열적쾌적성 측면에서 유리하며, 실내소음발생에 대한 우려도 적어 바람직하다고 판단된다. 부하기의 유형에 따라 초기투자비 및 실내환경, 내구성 등이 달라지므로 이에 대한 충분한 고려가 필요하다. 강판제방열기와 주철제방열기는 초기투자비가 높아지지만, 내구성이 있고 실내복사환경이 우수한 장점이 있다. 콘벡터와 팬코일유닛은 초기투자비를 줄일수 있으나, 복사난방성분이 적어 열관리상에서 비경제적이다. 알루미늄 방열기의 경우 내구성이 약하고 부식하자가 발생할 수 있어 바람직하지 않다고 판단된다.

3. 결 론

본 연구는 학교건물의 적정 난방설비 시스템

제시를 목적으로, 모델학교의 난방 부하계산을 실시하여 적용 가능한 난방설비 시스템별로 기본설계를 하고 난방시스템별 경제성(초기투자비, 운전비)과 적용성(쾌적성, 운전성, 유지관리성)을 비교 검토하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

모델학교의 난방부하계산 결과, 학생들의 재실율이 높아서 냉방시에는 전체 냉방부하 가운데 구조체를 통한 부하에 비해서 조명, 인원, 기기 등의 내부발열부하가 차지하는 비중이 높게 나타났다.

난방시에는 전체부하중 침입외기 부하와 간막이벽의 부하가 크게 나타나 난방부하 저감을 위해서는 개구부의 기밀화, 간막이벽의 단열화 방안이 고려되어야 할 것으로 생각된다.

모델학교 난방설비시스템의 평가결과, 운전비 산정 등의 항목에 있어서는 각 방식의 운전조건이 상이하여 동일조건에서 비교하는 것은 어려우므로 정량적인 분석보다는, 전체적인 면을 고찰하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 또한, 각 방식마다 장단점을 가지고 있으므로 모델학교의 최적 난방설비시스템을 규정하기는 다소 어려움이 있다. 따라서 학교건물의 난방설비시스템의 선정에 있어서는 시스템별 종합적인 특징을 검토하고 에너지원의 공급 등의 지역적인 여건을 고려하여 선정하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김영호, 1995, 건축설비, 보문당
2. (사)공기조화 냉동공학회, 1991, 공기조화·냉동위생공학 편람 제2권
3. 落藤澄, 1987, 暖房方式と溫熱環境-學校暖房の實測を中心にして, 空氣調和衛生工學 第61卷 第4号
4. ASHRAE, 1997, ASHRAE Handbook of Fundamentals(1997), ASHRAE,