

윤용진 공학박사
한국에너지기술연구원
책임연구원
yiyoon@kier.re.kr

1. 서론

학교 건물은 근래 들어 교실환경 개선사업에 힘입어 다양한 냉난방설비가 설치되어 감에 따라 에너지 수요 증대에 대한 대비와 아울러 쾌적한 학습환경 조성에 대한 많은 관심이 필요한 실정이다. 냉난방설비의 보급은 필연적으로 에너지소비 증대로 이어지며, 아울러 쾌적한 실내환경 향상에 대한 관심도 높아지고 있는 상황에서 에너지절약과 환경개선 문제에 대한 합리적 개선방안과 대책이 요구된다.

현재 학교건물의 냉난방관련 기준으로는 '고등학교이하각급학교설립운영규정' (대통령령 제5,483호: '97.9.23)에 의한 '교실의 온도기준을 18℃ 이상으로 유지해야 한다' (제11조 제1항), 그리고 '건축물의 설비기준등에관한규칙'에 의해 연면적의 합계가 1만제곱미터 이상으로 중앙집중식 공기조화설비 또는 냉·난방설비를 설치할 경우에는 '건축물의에너지절약설계기준' (건설교통부 고시 제2001-118호: '01.5.11)을 준수하도록 되어 있다.

본고에서는 학교시설의 관련기술에 대한 현황을 분석하고 각종 냉난방설비시스템의 초기투자비 및 유지비 등을 검토하였다.

2. 학교건물의 부하계산

2-1 계산방법

학교건물에 적용가능한 적정냉난방시스템 검토를 위하여 모델설계를 실시하였다.

서울 소재 초등학교 건물을 대상으로 부하계산 및 냉난방설비 시스템의 적용을 위한 설계를 시행하고 이로부터 각종 냉난방설비시스템의 실제 설치에 따른 특성을 비교 분석하였다.

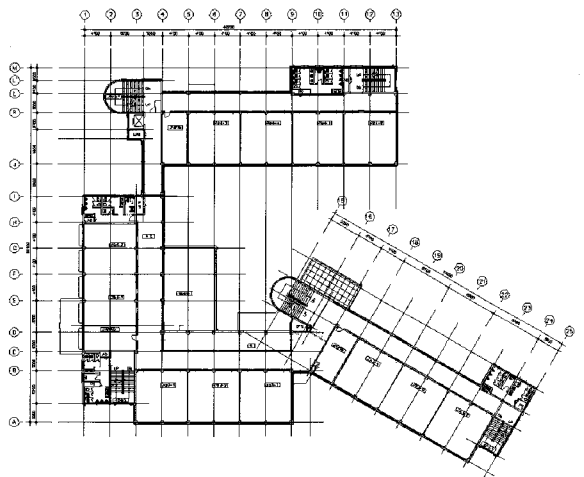
분석대상 건물은 남동향에 지하 2층, 지상 4층에 약 8,800㎡ 규모이며, 기준층 평면도는 <그림 1>과 같다. 모델건물의 최대부하 산정을 위한 부하계산에는 CLTD법에 의한 최대부하계산 컴퓨터 프로그램인 LOADSYS를 사용하였다.

입력조건은 <표 1>과 같으며 설계용 외기온도 및 실내온도조건은 건설교통부 고시 '건축물의에너지절약설계기준'에 의한 값을 적용하였다.

2-2 냉난방 부하

부하계산 결과, 이 건물의 냉방부하는 현열 474,453W, 잠열 129,443W로서 전체 냉방부하는 603,897W, 최대 난방부하는 529,561W로 나타났다. 냉난방 면적을 기준으로 하였을 때, 단위면적당 냉방부하는 135.1W/㎡, 난방부하는 118.5W/㎡로 나타났다.

건물 전체의 최대 냉난방부하를 부하요소별로 분석하면 <그림 2>와 같다. 냉방시에는 전체부하 중 차지하는 비율이 인체발열(42.4%), 조명발열(31.8%), 일사(17.6%) 순으로 나타났으며, 일반 업무용건물에 비해 인체발열이 차지하는 비중이 크게 나타났다. 또한 전체 냉방부하 가운데 건물외피 등의 구조체를 통한 부하(23.2%)에 비해서 조명, 인원, 기기 등의 내부발열부하(75.5%)가 차지하는 비중이 높게 나타났다. 난방시에는 전체 부하중 차지하는 비율이 침입외기(54.7%), 간막이벽(14.2%), 창문(13.1%) 순으로 나타났다.



<그림 1> 모델학교 기준층 평면도

구분	입력조건
외기온도 기준	냉방: 건구온도 31.2℃, 습구온도 25.5℃ 난방: 건구온도 -11.3℃, 상대습도 63% ※ 서울기준, TAC 2.5%
실내온도 기준	냉방: 교실, 교무실 등 27℃ 난방: 교실, 교무실, 화장실 등 21℃
구조체 조건 (열관류율)	외벽: 0.49 kcal/m ² h℃ 지붕: 0.32 kcal/m ² h℃ 창문: 2.8 kcal/m ² h℃, 차폐계수 0.84
내부발열기준	제실인원밀도: 교실 0.7인/m ² , 특별교실 0.5인/m ² , 교무실 0.3인/m ² , 기타관리실 0.2 인/m ² 인체발열: 현열 44/잠열 47 kcal/hr.인(교무실은 45/57 kcal/hr·인) 조명밀도: 30 W/m ²
침입외기기준	난방: 외기량 - 실제적의 2회/h

<표 1> 부하계산 입력조건

3 냉난방설비 시스템 설계 및 평가

3-1 냉난방설비 시스템의 적용방식

초등학교 건물에 적용가능한 냉난방설비시스템은 여러 가지가 있으나, 여기서는 현 시점에서 실제 적용 가능성이 높은 '냉온수기+팬코일유닛' 방식과 '천장형 인버터 냉난방기'에 대하여 검토하였다. <표 2>는 냉난방방식별 주요장비의 목록과 설계결과이다.

3-2 냉난방설비 시스템 평가

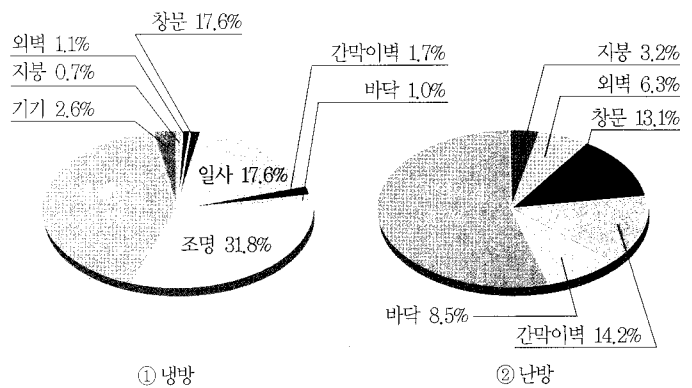
가. 초기투자비(순공사비)

모델학교건물에 적용한 각 냉난방설비시스템에 대해 초기투자비를 산출하였다. 초기투자비는 열원기기, 부하기기, 배관공사, 인건비 등을 산출하여 합산하였으며, 부대공사 및 자동제어공사, 경비, 공구손료 등은 산출항목에서 제외하였다. 그림 3은 냉난방 유형에 따른 초기투자비를 비교한 것이다. 개별냉난방방식인 '천장형 인버터 냉난방기'는 기기 자체의 가격은 고가이나 별도의 부대장비나 배관자재 등이 상대적으로 불필요하여 전체 공사비가 '냉온수기 + 팬코일유닛'에 비해서 저렴하게 나타났다. 단, 기기가격은 검토 시점에 따라 차이가 날 수 있으며, 초기투자비 또한 이에 따라

변경될 가능성이 있다.

나. 운전비

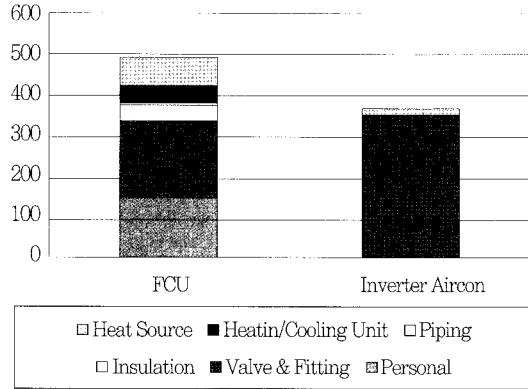
냉난방부하 계산결과를 이용하여 냉방은 1년에 2개월(7월, 9월)에 걸쳐 400시간, 난방은 1년에 3개월간 400시간 운전하는 것을 기준으로 연간 운전비를 검토하였다.



<그림 2> 건물부위별 부하

항목	구분	냉온수기 + 팬코일 유닛	천장형 인버터 냉난방기
열원기기	냉온수기	냉온수기 × 1대 - 냉방용량 200 USRT - 난방용량 604,800kcal/hr 냉각탑 300 CT × 1대	-
	순환펌프	냉각수순환펌프 3,470 lpm × 30m × 2대 냉온수순환펌프 2,020 lpm × 30m × 2대	-
사용연료	가스, 경유 등	-	
열매조건	냉수: 12 - 7℃, 온수: 55 - 60℃	-	
배관방식	배관방식	• 복관방식 및 역회수방식 • 배관상밸브 • 공급환수헤더 간에 차압밸브 • 밀폐형 팽창탱크 설치(기계실)	-
	배관재 및 보온재	• 배관재: 동관(L-TYPE) • 보온재: 유리솜 + 폴리마 마감 - 15-40Ø: 25t - 50Ø이상: 40t	• 배관재: 동관(L-TYPE), PVC관 • 보온재: 아티론
부하기기	• 팬코일유닛: 천장카세트형 600 × 242대	• 천장형 인버터 냉난방기 - 3.5HP × 49대 - 2.5HP × 21대	

<표 2> 모델학교의 냉난방설비 주요장비



<그림 3> 초기 투자비

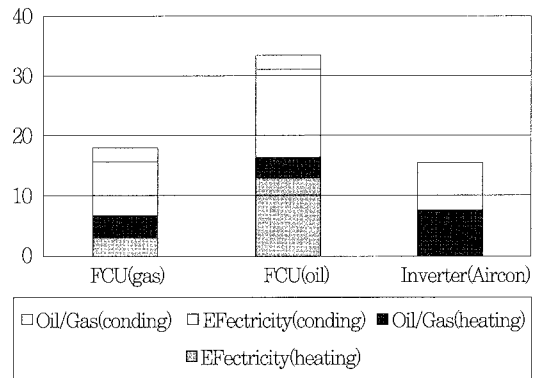
연간 총사용열량에 대해 각 냉난방방식의 연간 운전비 산출결과는 <그림 4>와 같다. '천장형 인버터 냉난방기'가 '냉온수기+팬코일유닛' 방식에 비해 운전비가 저렴한 것으로 나타났으며, 특히 냉온수기의 연료로 경유를 사용할 경우에 비해서는 약 50%이하의 운전비가 소요되는 것으로 나타났다.

냉방시 '천장형 인버터 냉난방기'의 경우에는 펌프나 냉각탑 등의 부대장비에 소요되는 동력이 필요 없으나 주에너지원인 전기가 가스에 비해 고가이므로 '냉온수기+팬코일유닛' 방식에 비해 운전비가 다소 많이 소요되는 것으로 나타났다.

그러나 난방시에는 가스가 전기에 비해 고가이며 '천장형 인버터 냉난방기'의 경우 히트펌프 원리를 이용하여 난방을 하므로 적은 에너지로 높은 난방효과를 나타낼 수 있어 '냉온수기+팬코일유닛' 방식

에 비해 운전비가 적게 소요되는 것으로 계산되었다.

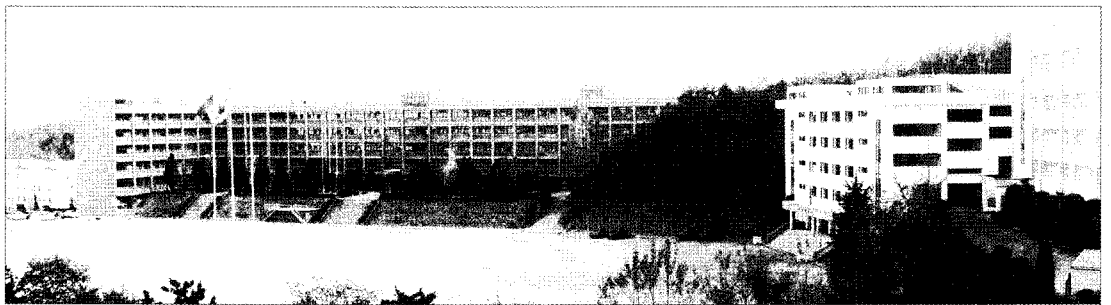
'냉온수기+팬코일유닛' 방식에 있어서 도시가스에 비해서 경유 사용시 경제성이 상당히 낮게 나타난 이유로는 도시가스의 경우 냉방시의 요금인 난방시의 약 44%정도로 차등 적용되고 있으나, 경유의 경우에는 이러한 요금 차등 적용제도가 없으며 연료 단가도 동일열량의 도시가스에 비해 고가이기 때문인 것으로 판단된다.

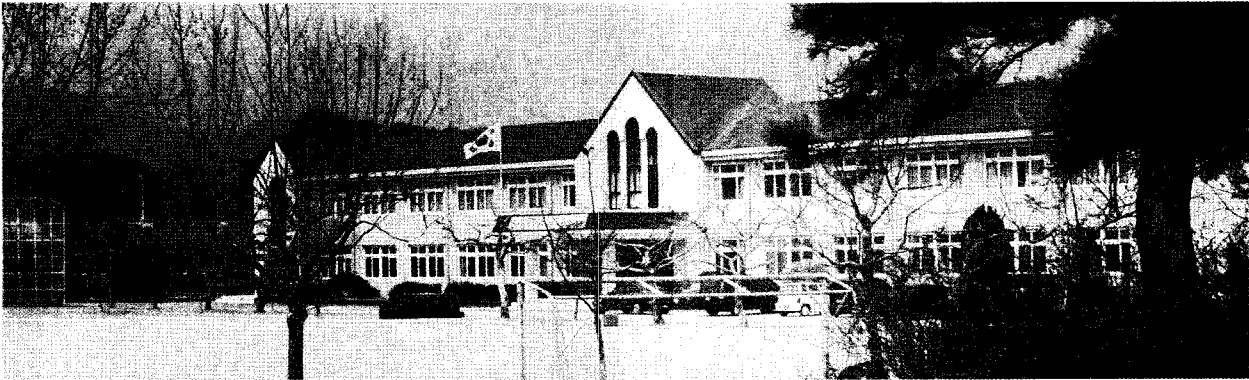


<그림 4> 운전비

다. 쾌적성

부하기기의 일반적인 외주부 설치는 외피부하의 감당이나 콜드 드래프트 방지 측면에 있어서는 효과적이나 국소 부위에 부하기기가 설치됨에 따라 교실 전체적인 측면에서는 불균등한 냉난방으로 재실자



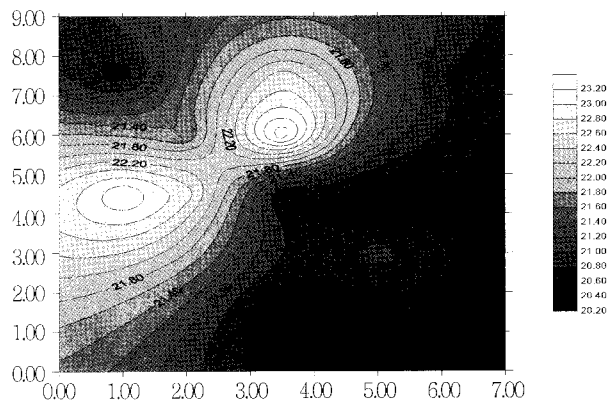


로 하여금 열적 불쾌감을 느끼게 하는 요인이 되기도 한다. 특히 난방기에는 외벽 뿐만 아니라 복도와 접한 간막이벽을 통한 부하가 차지하는 비율이 비교적 크기 때문에 이러한 불균등 난방에 의한 불쾌감 발생이 더욱 문제시되고 있다. '천장형 인버터 냉난방기'의 경우 부하기기가 천장면에 설치됨에 따라 '냉온수기+팬코일유니트'에 비해 교실 전체의 냉난방 효과가 비교적 균등하게 나타난다. 또한 냉난방시의 취출각도를 조절할 수 있으므로 냉난방시의 취출기류 도달거리 변화에 따른 냉난방효과 저하를 어느 정도 해소할 수 있을 것으로 판단된다.

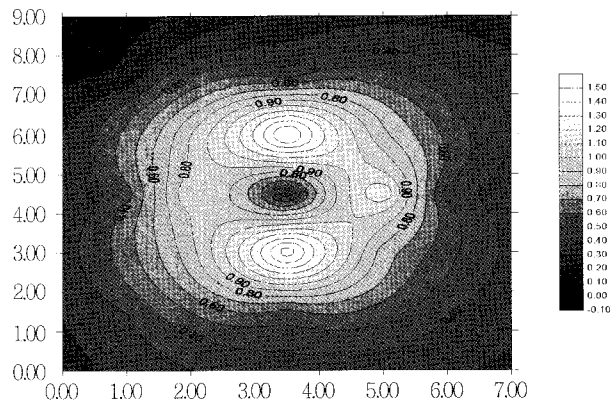
〈그림 5〉는 초등학교 일반교실에 천장형 인버터 냉난방기를 설치한 후, 운전효과를 측정한 결과이다. 외기온도가 5℃이고, 토출온도가 약 49℃일 때, 바닥면으로부터 1m 높이에서의 측정결과로서 카세트에 부착된 안내깃 운전시에는 실내 온도분포가 20.3℃~23.4℃로 상당히 고른 분포를 보여주고 있다. 〈그림 5〉의 하부는 교실의 전면이며, 우측은 창측으로 이들 벽은 외기에 면해 있어 그림에서와 같이 교실의 다른 부위에 비해 온도가 낮음을 알 수 있다. 〈그림 6〉은 난방운전시의 기류분포이다. 토출풍속이 5.2℃~7.3℃/초일 때 1.5m 높이에서의 측정결과로서 기류속도는 측정부위에 따라 1.6m에서 0.3m까지의 분포를 보여주고 있다.

라. 유지관리성

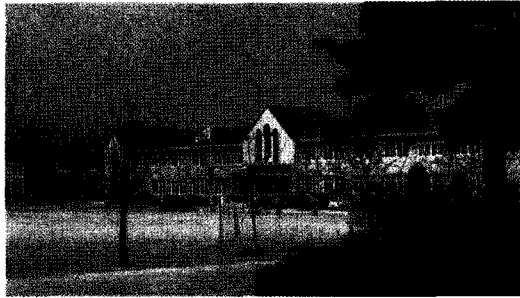
유지관리 측면에서는 중앙냉난방방식인 '냉온수기+팬코일유니트'가 개별냉난방방식인 '천장형 인버터 냉난방기'에 비해서 불리한 것으로 판단된다. '냉온수기+팬코일유니



〈그림 5〉 실내온도 분포



〈그림 6〉 실내 기류속도(난방시)



트'는 중앙의 냉온수기 뿐만 아니라 냉각탑, 펌프 등의 부대장비에 대한 정기적인 점검이 필요하며, 시스템이 비교적 복잡하여 전문적인 관리인을 필요로 하고 특정실만 사용할 경우에 대한 부분운전이 어렵다. 또한 부하기기가 바닥면에 설치되어 학생들의 부주의한 관리로 인해 고장이나 파손이 발생할 소지가 있다. 그러나 '천장형 인버터 냉난방기'의 경우에는 별도의 부대장비가 없고 조작이 간편하며 몇 개의 교실을 1개군으로 하여 원격 제어할 수 있는 장점이 있다. 또한 개실운전에 대한 제어성이 우수하며 부하기기가 천장면에 설치되므로 학생들의 장난으로 인한 파손의 우려가 적은 것으로 판단된다.

4. 결론

모델설계 및 평가 결과에 의하면 천장형 인버터 냉난방기가 경제성, 유지관리성, 쾌적성 등에서 우수한 제품으로 평가되었다. 단, 이와 같이 전기를 열원으로 하는 냉난방방식의 보급이 확산될 경우에는 국가에너지 수급 측면에서의 고려가 필요하다. 다행히 학교의 방학기간이 냉난방부하가 가장 큰 기간에 속하기 때문에 현재와 같은 학기제에서는 별 문제가 없으나, 일정 규모 이상의 건물에 중앙냉방방식을 설치할 경우에는 현행 규정에 의해 가스나 축열을 권장하고 있는 점을 고려하여 비록 개별 냉난방방식 일지라도 운전시 국가 전체적 전력소비 추이를 감안하여 peak 부하시에 대비한 적절한 대처가 필요하다.

후기

본 원고는 2000년도 교육부 학술연구비(교육정책 개발)지원에 의해 수행된 '학교건물의 에너지절약형 냉난방시설 모형개발에 관한 연구'의 결과의 일부입니다. ☺

참고문헌

- 1.Yoon, Y. J. et al., 2000, Unification and improvement of energy efficiency code for buildings and houses, MOCIE Report, pp. 294-319
- 2.Hwang, Y. J. et al., 2000, The case study of application of the heat pump system in school building, Proceedings of the Korean Solar Energy Society, p.142
- 3.Park, H. S. et al., 1998, A study on heating and cooling systems installation for better environment of the classrooms in the school buildings, MOCIE, KIER Report 973440
- 4.ASHRAE, 1997, ASHRAE Handbook of Fundamentals