

대공간 체육관의 공조 계획 사례

써멀터널을 활용한 공조계획 내용을 중심으로 대공간 체육관의 공조 계획 사례를 소개하고자 한다.

이 상 업

(주) 한일엠이씨 (sangyoup.lee@himec.co.kr)

이 수 연

(주) 한일엠이씨 (sylee@himec.co.kr)

건축 개요

- 공 사 명 : ○○체육관 건립공사(턴키 프로젝트)
- 대지면적 : 49,587 m²
- 건축면적 : 9,874 m²
- 연 면 적 : 43,000 m²(지하 2층, 지상 3층)
- 주경기장 면적 : 4,765 m²(관람석 : 7521석)

주경기장 공조 계획 접근 방향

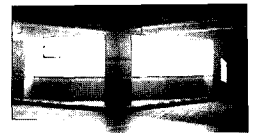
일반적으로 체육관의 주경기장은 대공간으로 계획

되기 때문에 냉난방 에너지 소비가 크게 발생하게 된다. 따라서 본 체육관에서는 주변의 자연환경을 최대한 이용하여 에너지 소비를 줄이기 위한 계획을 중점적으로 고려하였다.

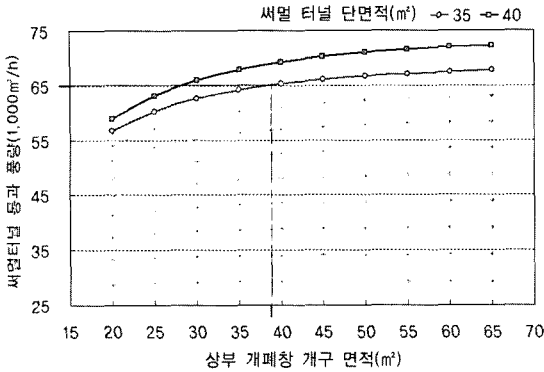
대지분석을 통해 체육관 대상 부지의 현황을 파악한 결과 상대적으로 중간기 외기온도가 낮고, 평균 3.8 m/s의 일정한 풍속(주풍향은 남서풍)이 확보되어 적극적인 자연환기 활용에 중점을 두어 계획하였으며, 공조시 에너지를 절감할 수 있는 친환경 기법을 적극적으로 계획하고자 하였다. 이러한 공조 계획 접근 방향에 따라본 체육관에서는 써멀 터널 및

<표 1> 써멀터널 및 전동개폐창 설계 프로세스

| 프로세스 | 내 용 |
|------------------|---|
| 주경기장 필요 환기량 선정 | • 주경기장 자연환기량 설정 : 좌석점유율 50%를 기준으로 필요한 외기량을 확보하는 조건에서 65,000CMH의 환기량 필요 |
| 써멀터널 및 전동창 크기 선정 | • 중간기 자연환기를 위한 최소 풍량인 65,000 CMH를 충족하기 위한 써멀터널의 단면적과 상부 전동개폐창의 개구부 면적 선정 • 오사카 중앙체육관 자연환기 실측 자료 활용 |
| 써멀터널 적정 길이/유속 선정 | • 자연환기가 가능한 써멀터널의 단면적에서 최대한의 효과를 얻을 수 있도록 열 터널의 적정 길이 및 유속 검토 • 정량적 검토를 위해 에너지 시뮬레이션 툴(TRNSYS 15) 사용 |
| 환기 및 공조모드별 운전계획 | • 모드별 운전 계획 수립 - 자연환기 및 기계환기 계획 - 동절기 및 하절기 운전 계획 - 기타 워밍업/화재/비사용시 운전 계획 |
| 적용 효과의 정량적 검토 | • 중간기 자연환기 및 기계환기를 통한 에너지 절감 효과 • 동절기/하절기 외기 도입 부하 절감 효과 • 적용안의 LCC 평가 |



대공간 체육관의 공조 계획 사례



[그림 1] 자연환기를 위한 개구부 크기

상부 전동개폐창과 공조기를 연동한 적극적인 자연 환기 및 공조 계획으로 냉난방 에너지 절감을 도모하고자 하였다.

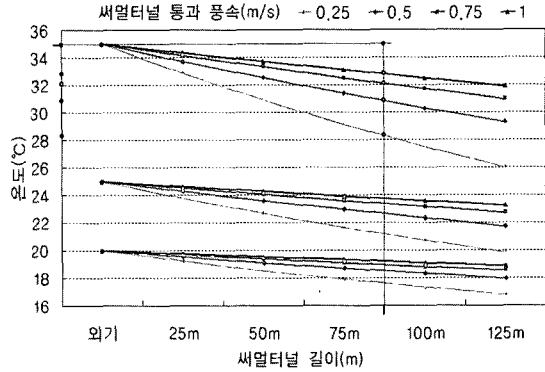
써멀터널 및 전동개폐창 설계 프로세스

친환경 기법을 설계에 적용할 경우에는 계획 초기 단계에서부터 건축과 구조, 설비가 면밀한 협의를 통해 합의점을 도출해 나가야 보다 완성된 시스템을 구축할 수 있다. 이러한 관점에서 본 체육관에서는 설계 초기단계에서 써멀터널 및 전동개폐창의 설계 프로세스를 세우고 이 프로세스에 따라 설계를 진행하였다. 설계프로세스는 표 1에서 보는 바와 같다.

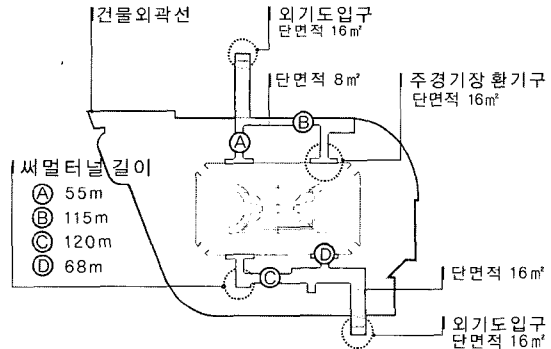
써멀터널 적용계획

써멀터널은 지중에 콘크리트 구조물을 매설하여 지중의 향온성을 이용하는 친환경 기법이다. 본 체육관에서는 설계 프로세스에 따라 써멀터널과 전동개폐창의 단면적을 변화시키면서 환기량 65,000 CMH를 만족하는 개구 면적을 산정하였다. 또한 써멀터널의 길이와 유속에 따라 얻을 수 있는 온도조건을 검토하였다.

최종적으로는 이 두가지 사항을 동시에 고려하여 써멀터널 내부 통과 풍속이 1 m/s 이내가 될 수 있도록 써멀터널 단면적은 32 m²로 선정하였다. 써멀터널을 통해 유입된 공기가 외부로 배출될 수 있도록



[그림 2] 길이/유속에 따른 써멀터널 온도



[그림 3] 써멀터널 적용 계획

상부 전동개폐창 단면적은 38 m²로 최종 선정하였다. 써멀터널 길이는 평균 90 m 이상이 되도록 계획하였으며, 선정 과정에서 검토한 결과 그래프는 그림 1과 그림 2에서 보는 바와 같다.

본 체육관에 적용된 써멀터널은 최종적으로 그림 3에서 보는 바와 같이 계획하였다. 써멀터널은 두개의 외기도입구에서 외기를 인입(써멀터널 너비 8 m, 높이 2 m)하여 주경기장 바닥의 4개 환기구(써멀터널 너비 4 m, 높이 2 m)로 외기를 공급할 수 있도록 계획하였다.

기존 체육관 사례조사를 통한 설계 개선 사항

본 체육관에서는 기존의 체육관 사례를 검토하고 문제점을 분석하여 대공간의 특성을 반영한 설계 개

선사향을 도출하였으며 기존 체육관 건조방식의 문제점을 분석하여 개선된 건조방식을 제안하였다. 표 2에서는 기존현황과 문제점을 분석하여 설계 개선 사항을 정리하였다.



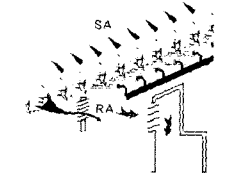
중간기 하이브리드 환기 및 외기냉방 계획

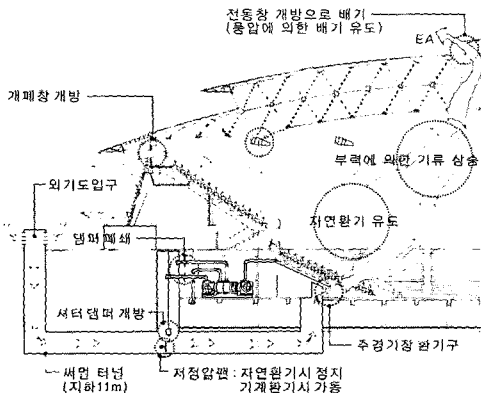
그림 4는 중간기에 주경기장의 하이브리드 환기 계획을 보여준다. 하이브리드 환기는 써멀터널 통과 공기온도가 18℃ 이하일 경우 적용하였다. 평소에는

자연환기를 통해 환기를 수행하다가 외부에 바람이 없거나 부력 효과가 발생하지 않아 원하는 풍량이 공급되지 않을 경우에는 써멀터널 내부에 설치한 팬으로 기계환기를 수행할 수 있도록 계획하였다. 경기장으로 도입된 공기는 경기장 상부에 위치한 전동창을 통해 외부로 배출되도록 계획하였다. 중간기에 하이브리드 환기를 적용할 경우 건조에 필요한 에너지를 절감할 수 있으며, 지속적이고 충분한 환기로 실내 공기질을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

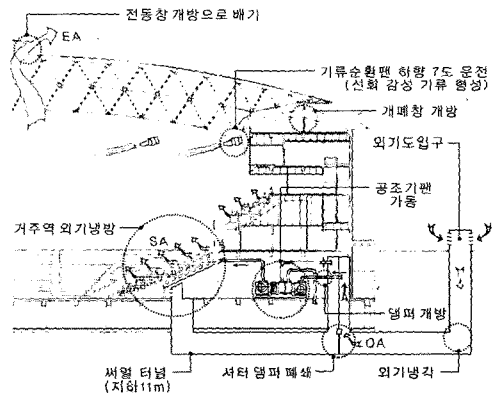
그림 5는 중간기에 주경기장의 외기냉방 계획을

<표 2> 써멀터널 및 전동개폐창 설계 프로세스

| 구분 | 기존현황 및 문제점 | 설계 개선 사항 | |
|--------|---|--|--|
| 대공간 특성 | <ul style="list-style-type: none"> • 동절기 워밍업시 기류가 상승하여 워밍업 시간 지연 및 에너지 손실 • 난방시 기류가 상승하여 객석 상부는 덥고 하부는 추운 현상 발생 • 외기 도입부하가 상대적으로 높음 • 비사용시 체육관 환기를 수행하지 않아 취기발생 | <ul style="list-style-type: none"> • 가변형 기류순환팬을 적용하여 더욱 적극적으로 활용 • 써멀터널과 건조기를 연동하여 외기 도입부하 절감 • 써멀터널과 전동개폐창으로 자연환기 수행 • 비사용시에도 계절에 따라 선택적으로 환기를 수행하여 취기 제거 및 구조체 축열 제거 |   |
| 체육관 건조 | <ul style="list-style-type: none"> • 상부취출/하부리턴으로 설계된 경우 냉난방시 에너지 손실 발생 • 거주역 건조시 객석 상부 리턴으로 설계된 경우 난방시 경기장 바닥쪽에 찬 공기가 정체되어 쿨드 드래프트 유발 | <ul style="list-style-type: none"> • 거주역 건조 적용 • 객석 하부 취출하고 경기장 바닥레벨에서 리턴공기를 흡입하여 동절기 쿨드 드래프트 방지 • 경기시 관람객의 활동지수를 감안한 급기온도 설정 |  |



[그림 4] 하이브리드 환기 계획



[그림 5] 외기냉방 계획

보여준다. 외기냉방은 써멀터널 통과 공기온도가 18℃에서 22℃사이 에 위치할 경우 적용하였으며, 통과 공기온도가 다소 높기 때문에 공조기 팬을 운전하여 거주역에 급기함으로써 실내 환기량을 증가시켜 실내 부하를 제거할 수 있도록 계획하였다. 외기냉방 시에도 하이브리드 환기와 마찬가지로 상부 전동창을 개방하여 배기시킬 수 있도록 계획하였으며, 상부에 설치된 기류순환팬을 운전하여 실내에 충분한 기류를 형성시킬 수 있도록 계획하였다. 중간기에 이렇게 외기냉방을 적용할 경우 냉동기 가동시간 단축으로 인해 냉방에 필요한 에너지를 절감할 수 있으며, 써멀터널을 통한 전외기 도입으로 충분한 환기가 가능하여 실내 공기질을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

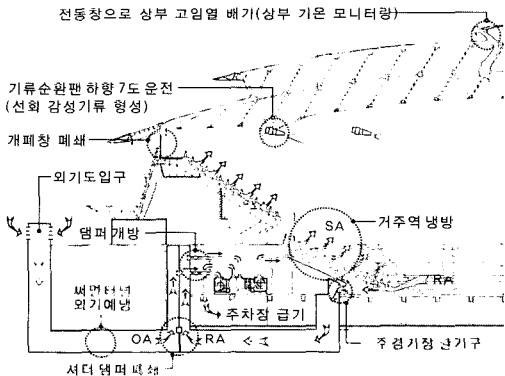
동·하절기 냉난방 계획

냉·난방기에는 중간기에 경기장 바닥에서 써멀터널을 통한 외기를 도입하기 위해 설치한 경기장 환기구를 공조 리턴 용도로 활용하였다. 또한 공조시에 배기되는 공기는 외부로 버리지 않고 지하 주차장 급기에 재이용함으로써 지하주차장의 공기질과 온열환경을 향상시킬 수 있도록 계획하였다.

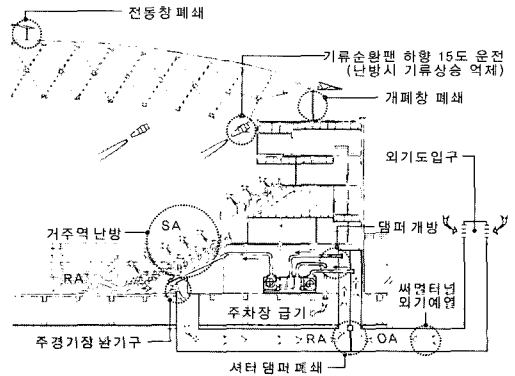
그림 6은 하절기에 주경기장의 냉방 운전 계획을 보여준다. 하절기에는 외기 도입시 도입되는 외기를 예냉하는 목적으로 써멀터널을 활용하도록 계획하였다. 하절기 외기온도가 32℃일 경우 써멀터널을

통과시킨 후 공기온도는 29℃정도로 써멀터널을 통해 약 3℃정도의 예냉 효과가 있을 것으로 예상된다. 이러한 예냉 효과에 의해 공조기 코일 부하를 절감할 수 있어 냉방에 사용되는 에너지를 상당부분 절감할 수 있을 것으로 예상된다. 하절기 공조시에는 객석 하부에서 급기하여 경기장 바닥으로 리턴되는 방식의 거주역 공조를 계획하였으며, 실내에 충분한 기류를 형성시켜 관람객들의 쾌적감을 향상시킬 수 있도록 기류순환팬을 하향 7도로 운전하도록 계획하였다. 또한, 상부에 축적되는 정체열을 효과적으로 배기할 수 있도록 상부 기온 모니터링을 통해 전동창을 개방하여 일부 공기를 배기할 수 있도록 계획하였다.

그림 7은 동절기에 주경기장의 난방 운전 계획을 보여준다. 동절기에도 외기 도입시 도입되는 외기를 예열하는 목적으로 써멀터널을 활용하도록 계획하였다. 동절기 외기온도가 -10℃일 경우 써멀터널을 통과시킨 후 공기온도는 -7℃정도로 써멀터널을 통해 약 3℃의 예열 효과가 있을 것으로 예상된다. 이는 냉방의 경우와 마찬가지로 난방 에너지를 절감시킬 수 있을 것으로 보인다. 한편, 동절기 공조시에 객석 하부에서 급기하여 경기장 바닥으로 리턴하는 거주역 공조방식은 거주역에 충분한 급기되는 공기가 바로 상승해버려 난방이 제대로 수행되지 않는 기존의 체육관 공조방식의 문제점을 상당부분 해결할 수 있을 것으로 예상된다.



[그림 6] 공조 계획 : 하절기



[그림 7] 공조 계획 : 동절기

기타 모드별 운전 계획

그림 8은 비사용시 주경기장 운전 계획을 보여준다. 중간기 및 하절기에 주경기장을 사용하지 않을 경우에도 써멀터널을 통한 자연환기로 주경기장 내부에 열축적을 방지하고, 취기를 제거할 수 있도록 계획하여 실내 공기질을 향상시킬 수 있도록 하였다. 동절기에는 취기 제거를 위한 목적으로 필요시 상부 개폐창을 개방하여 환기를 수행할 수 있도록 계획하였다.

그림 9는 화재시 주경기장 운전 계획을 보여준다. 화재시에는 공조 급기에 의한 실내 가압 및 기류순환팬 상향 20도 운전으로 상승된 연기를 지붕 전동창 및 측면 제연팬을 통해 제연하여 안전한 피난이 가능하도록 계획하였으며, 대공간용 방수층을 적용하여 주경기장 화재를 소화할 수 있도록 하였다.

주경기장 실내 온열환경 평가

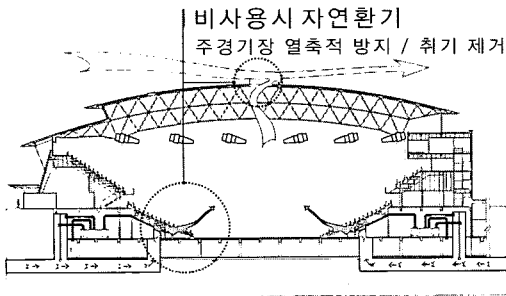
그림 10과 그림 11은 CFD 시뮬레이션을 통하여

냉방과 난방시에 주경기장의 온도분포를 해석한 결과를 보여준다. 냉난방 모두 설계 온도조건을 만족하고 있으며 하절기에는 지붕 전동창을 통해 상부 고임열이 효과적으로 배기되는 것을 확인할 수 있다. 동절기에는 기류 순환팬 운전과 좌석급기+경기장 바닥 환기의 공조방식에 따라 온도 성층이 억제되는 것을 확인할 수 있다.

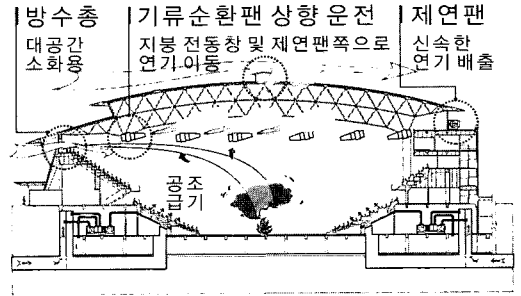
써멀터널의 경제성 평가

그림 12는 계절에 따라 써멀터널을 적용해 운전할 경우와 써멀터널을 적용하지 않았을 경우의 에너지 절감량을 보여준다. 두 가지 경우 모두 하이브리드 환기 및 외기냉방을 적용하였을 경우를 비교하였다. 그림 12에 나타난 바와 같이 써멀터널을 적용할 경우 써멀터널을 적용하지 않았을 경우에 비해 연간 약 26%의 에너지를 절감할 수 있는 것으로 나타나 에너지 절감 효과가 상당히 큰 것으로 평가되었다.

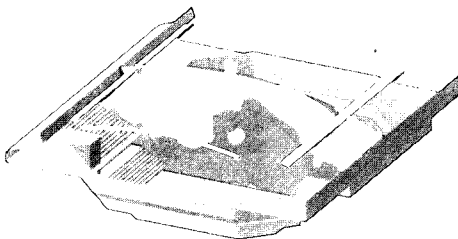
그림 13에서는 써멀터널의 공사비와 써멀터널의 에너지 절감량을 산출하여 초기투자비 회수기간을



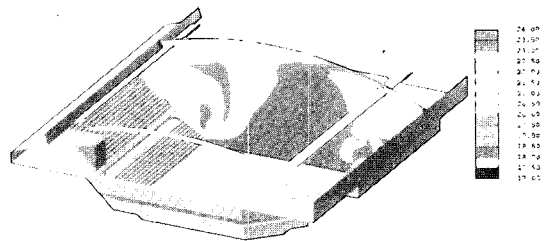
[그림 8] 비사용시 운전 계획



[그림 9] 화재시 운전계획

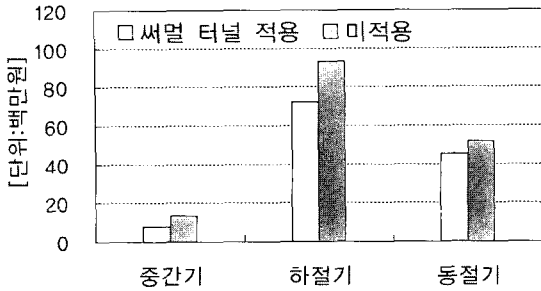


[그림 10] 하절기 주경기장 온도분포



[그림 11] 동절기 주경기장 온도분포

대공간 체육관의 공조 계획 사례



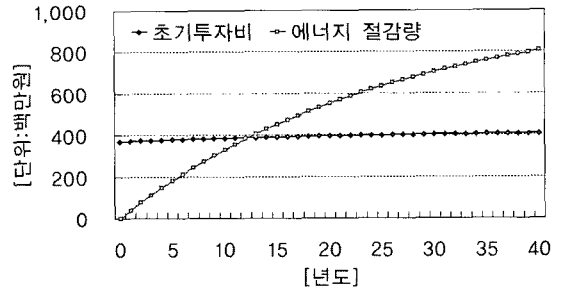
| 구분 | 중간기 | 하절기 | 동절기 |
|-----|--------------------|----------|----------|
| 적용 | 7,390천원 | 67,992천원 | 43,185천원 |
| 미적용 | 13,645천원 | 93,513천원 | 51,964천원 |
| 절감 | 썬터널 적용 시 연간 26% 절감 | | |

[그림 12] 연간 에너지 절감량

나타내었다. 썬터널을 적용할 경우 에너지 절감량 누적금액이 초기투자비와 유지보수비 총액을 초과하는 초기투자비 회수기간이 12년으로 나타났다.

맺음말

이상과 같이 썬터널을 활용한 대공간 체육관의 공조 계획 사례를 살펴보았다. 건물에 적용되는 썬터널 등과 같은 친환경 기법들은 설계 초기단계에



| | |
|----------|----------------|
| 공사비 | 355,714천원 |
| 절감액 | 40,555천원 |
| 회수기간 | 12년 후 투자회수 가능 |
| 40년간 절감액 | 초기투자비의 약 2배 회수 |

[그림 13] 썬터널 투자 회수기간

서부터의 접근과 계획이 중요하며, 건물 특성에 따라 적절하게 계획된 친환경 기법들은 건물에서 사용되는 냉난방 에너지를 상당부분 절감시킬 수 있다. 이는 바로 환경에의 부담을 저감시킬 수 있으며, 에너지 비용을 절감할 수 있다. 최근 국내에서는 고유가 시대에 따라 에너지 절약에 대한 요구가 증가하고 있으며, 환경에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 시대적 상황에 따라 건물에서의 친환경 요소의 도입이 보다 활성화되기를 기대해 본다. (중략)