

국내외 돔경기장에 적용된 친환경 요소 및 적용특성 분석

A Study on the Environment-Friendly Factors and Application Characteristics of Domestic and Foreign Domed Stadiums

김 동 우*
Kim, Dong-woo

석 호 태**
Seok, Ho-tae

양 정 훈***
Yang, Jeong-hoon

요 약

본 논문에서는 국내외 돔경기장에 도입된 친환경 요소의 사례를 조사하였다. 이를 바탕으로 국내외 친환경건축물 인증제도의 인증세부항목 중 이미 건축된 돔경기장에 도입된 친환경 요소를 도출하고 이를 에너지, 실내환경, 재료 및 자원의 3부문으로 분류하였다. 또한 돔경기장이 위치한 기후특성 및 규모별 친환경 기법 도입 특징을 분석하였다.

Abstract

This study was carried out environment-friendly factors in domestic and foreign domed stadium, and was derived environment-friendly factors of built domed stadium and these are divided into 3 parts; energy, indoor environment and material & resource. In addition, this study analyzed characteristics of application about environment-friendly factor related its space size and climate.

키워드 : 대공간, 돔경기장, 친환경 요소

Keywords : Large enclosure, A domed stadium, Environment-friendly factor

1. 서 론

돔경기장은 대규모의 공간, 경량화된 외피구조 및 재료, 불특정 다수 이용 시설 등 고유의 특징으로 인해 단일 공간내에서 막대한 에너지 및 자원을 소비하는 대표적인 건축물 중 하나이다. 또한 사용자 편의에 대한 고려와 쾌적한 실내환경의 구축이 반드시 필요한 건축물이다. 따라서 이러한 돔경기장의 계획은 친환경적 접근이 반드시 필요하다 할 수 있다. 더욱이 2004년 '신재생에너지 또는 재생에너지 개발 및 이용보급 촉진법'이 시행됨에 따라 연면적 10,000m² 이상이며, 공공기관 발주가 일반적인 돔경기장은 건축물의 친환경 기법 중 하나인 신재생에너지 이용 설비의 설치가

불가피하게 되었다. 하지만 아직까지 국내에서는 돔경기장의 친환경설계기법 적용을 위한 기술체계와 적용기술이 정립되지 않음으로서 친환경적 돔경기장 건설의 큰 걸림돌로 작용하고 있다.

이에 본 연구에서는 국내 돔경기장에 적용 가능한 친환경 기술체계 및 설계기법을 제안하기 위한 기초자료로서 이미 건설된 국내외 돔경기장에 적용된 친환경 요소들을 도출하고 그 적용특성에 대해 분석하고자한다.

2. 국내외 돔경기장의 분류

검토대상 돔경기장은 국내의 광명경륜돔경기장 1건, 국외 사례로 일본의 돔경기장 21건으로 총 22건의 사례를 선정하였다. 22건의 돔경기장 분류결과 주로 온난지역에 위치한 중·대규모의 사례가 많았다. 이는 일본의 경우 1988년 도쿄돔 개장 이후 주

* 학생회원, 영남대학교 대학원 건축학과 석사과정

** 정회원, 영남대학교 건축학부 부교수, 공학박사

*** 정회원, 영남대학교 건축학부 조교수, 공학박사

Tel : 053-810-2598 Fax : 053-810-4625

E-mail : yangjh@ynu.ac.kr

〈표 1〉 국내외 돔경기장의 기후특성 및 규모에 따른 분류

구분	소규모 (연면적 8,000~15,000㎡)	중규모 (연면적 15,000~20,000㎡)	대규모 (연면적 100,000㎡ 이상)	합계
온난지		나가하마돔 나미하야돔 센다이돔 오사카중앙체육관 오션돔 이즈모돔 코마츠돔 타지마돔 파크돔 구마모토	광명경륜돔경기장 그린돔 마에바시 나고야돔 도쿄돔 사이타마 수퍼 아레나 오사카돔 키타큐슈 미디어돔 후쿠오카돔	17
한랭지	아온 스카이돔 야마비코돔	오다테 수해돔 썬돔	삿포르돔	5
합계	2	11	9	22

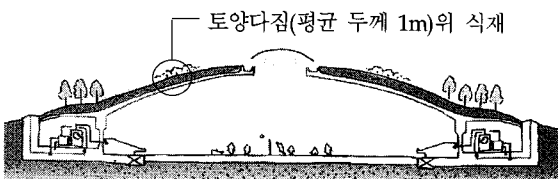
로 야구경기를 위한 돔경기장이 다수 건립되었기 때문인 것으로 판단된다. 전체 사례 중 온난지역에 위치한 소규모 돔경기장의 사례를 찾아볼 수 없는 것은 일반적으로 소규모 돔경기장의 경우 그 주용도가 전천후 시민체육활동을 위한 시민돔이기 때문인 것으로 판단된다. 온난지의 경우 극한 및 극서 환경에서 야외 체육활동을 실시할 기회가 적으며, 폭설 등의 염려가 적기 때문에 굳이 시민체육시설을 돔경기장으로 조성할 필요성이 적다.

3. 돔경기장의 친환경 요소 도입사례

3.1 오사카 중앙체육관

3.1.1 외피 단열성능 향상

오사카 중앙체육관은 전 시설을 지하화하고 외기에 노출된 천장부를 평균두께 1m의 흙으로 덮었다. 이를 통해 천장 및 외주부 벽체를 통한 열관류를 저감시킴으로써 냉난방 부하의 감소 및 그에 따른 냉난방 에너지 저감의 효과를 기대할 수 있다.



〈그림 1〉 오사카 중앙체육관 단면

3.1.2 자연녹지 조성을 통한 옥외공간의 공원화

오사카 중앙체육관의 식재한 돔경기장 천장은 멀리서 보았을 때 완만한 구릉지의 형상을 하며, 도심지속의 쾌적한 시공간을 형성한다. 또한 외부공간에는 산책로를 형성하여 일반 시민들이 이용할 수 있도록 개방하였다. 이러한 흙으로 덮어 식재한 돔경기장의 천장부는 미관상 쾌적한 도심 환경을 제공할 뿐 아니라, 도심의 열섬현상 완화효과와 토양의 함수작용으로 인한 우수배출량을 경감시켜 도시 기반시설의 부하를 줄이는 효과가 있다.

3.1.3 지중덕트를 통한 지열의 이용

오사카 중앙체육관은 기본적으로 전 시설이 지하화 되어 있기 때문에 실내 환기를 위해서는 별도의 개구부 계획이 필요하다. 따라서 환기를 위한 개구부로서 지중 콘크리트 덕트를 계획하였다.

지중덕트는 깊이 15m, 단면적 8㎡의 콘크리트 덕트 4개가 계획되었다. 돔경기장 지붕 상부의 대형 루프모니터와 연계하여 각각의 지중 콘크리트 덕트는 자연환기 급기의 통로로서 이용하고 있다. 이때 지중의 항온성으로 인해 전 계절에 걸쳐 지중 콘크리트 덕트를 통해 경기장 실내로 유입되는 외기 부하가 감소된다. 또한 지중 콘크리트 덕트는 공조용 급배기 덕트와 겸용하고 있어 공조시 외기의 예열, 예냉 효과로 공조부하를 감소시키는 효과도 있다.

3.1.4 루프모니터를 통한 자연채광, 자연환기

오사카 중앙체육관의 메인아레나와 서브아레나 지붕 상부에는 각각 직경 17m, 9m의 막구조 대형 루프모니터가 계획되어 있다. 이 루프모니터와 지중 콘크리트 덕트, 남·북출입구, 메인아레나 지붕과 주위 벽 상부 사이의 극간을 통한 3계통으로 자연 환기가 이루어진다. 또한 루프모니터를 통해서도 흐린 날에도 모니터 하부 아레나 바닥면에서 300lx의 조도 확보가 가능⁽⁵⁾해 내부 청소, 보수 점검 등의 작업 시에는 자연채광만으로도 충분히 조명에너지 절감이 가능하다.

3.1.5 로컬지역 에너지 생산(코제너레이션)

오사카 중앙체육관은 자체의 전기와 열에너지 공급을 위해 가스터빈 코제너레이션 시스템을 도입하였다. 코제너레이션 시스템을 도입할 경우 높은 에너지 효율 및 적은 에너지 운반손실로 인해 결과적으로 CO₂ 발생을 억제하는 효과가 있다.

3.2 도쿄돔

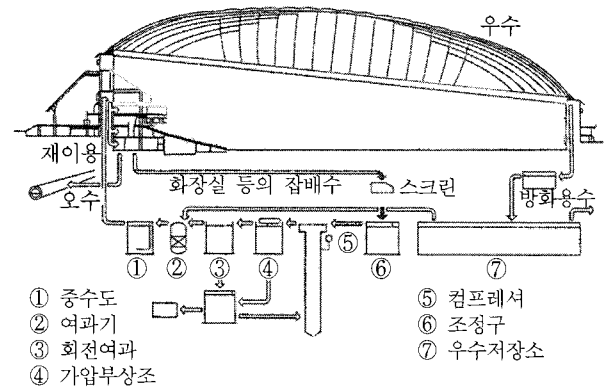
3.2.1 자연채광

도쿄돔의 지붕은 2겹의 테플론막으로 구성되어 있다. 각각의 테플론막은 외막 0.8mm, 내막 0.3mm의 두께이며, 막재의 투광성을 통해 돔 내부의 자연채광이 가능하다. 실험결과 2중막을 통한 자연채광에 의해 실외 수평면 조도 80,000lx시, 돔내부 내야측 2,500~2,750lx, 외야측 1,500~2,500lx의 수평면 조도를 얻을 수 있는 것으로 확인되었다.⁽⁵⁾

3.2.2 우수·중수이용

도쿄돔에서는 수자원의 유효이용 및 우수 배출의 억제를 위해 우수·중수이용의 시설을 계획했다. 우수이용의 경우 도쿄돔 지붕 면적의 약 1/2에 해당하는 16,000m²의 지붕면적을 통해 우수를 집수하고, 객석하부 피트부에 위치한 최대 저장량 약 3,000m³의 우수저장소에 우수를 저장한다. 저장된 우수는 모래여과 등의 간이 여과를 거친 뒤 화장실 세정수,

방화용수 등으로 쓰이게 된다. 또한 우수이용 시설과 더불어 중수이용 시스템을 운영해 하루에 약 220m³의 중수를 처리하여 재이용한다. 이러한 우수 및 중수의 재이용 효과는 매년 강우량 및 수자원 사용량에 따라 약간의 차이가 있긴 하지만, 연간 잡수 사용량의 약 30~40% 정도를 담당하고 있다.

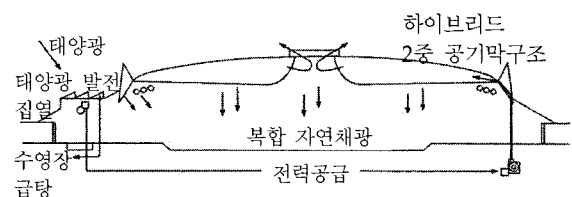


〈그림 2〉 도쿄돔의 우수·중수이용 계통도

3.3 파크돔 구마모토

파크돔 구마모토는 일본 구마모토현 종합운동공원내에 위치한 실내경기장으로서 2중막으로 구성된 사이공간을 가압하여 형상을 유지하는 지붕구조로 계획되었다. 파크돔 구마모토에는 자연채광, 자연환기, 심야전기를 이용한 축열, 우수이용, 하이브리드 태양광 발전 등의 일부 친환경 요소가 도입되었다.

특히 하이브리드 태양광 발전 시스템의 경우 태양전지내부에 냉각조를 설치하여 태양전지의 온도 상승을 억제해 발전효과를 높이는 것과 동시에, 냉각조용 냉각수로서 급탕수를 순환시켜 배열을 회수할 수 있는 하이브리드형의 태양전지를 설치하였다. 하이브리드 태양광 발전 시스템에 의해 이중막내 가압장치의 연간전력 대부분을 조달하며, 급탕비용의 절감 또한 가능하였다.



〈그림 3〉 하이브리드 태양광 시스템 개념도

4. 국내외 돔경기장에 적용된 친환경 요소

국내의 돔경기장에 적용된 친환경 요소를 도출하고 분류하기 위해 현재 시행중인 국내외의 친환경 건축물 인증제도를 선정하여 비교검토 세부항목을 도출하고 재분류한 후 돔경기장에 도입된 사례와 비교·분석하였다.

4.1 국내외 친환경 건축물 인증제도 개요

본 연구에서는 우리나라의 GBCC, 미국의 LEED, 영국의 BREEAM, 캐나다의 GBTool, 일본의 CASBEE의 총 5개 대표적인 국내외 친환경 건축물 인증제도를 검토대상 인증제도로 선정하여 비교검토 세부항목을 도출하고 재분류하였다.

검토대상 항목은 토지이용, 교통 등 계획 부문에 해당하는 항목과 방위별 개구부 면적 등 대공간의 적용에 적합하지 않은 항목은 제외하였으며, 크게 에너지, 실내환경, 재료 및 자원 관련의 3부문을 재분류한 후 검토를 실시하였다. 검토대상 세부항목은 5가지 검토대상 국내외 친환경 건축물 인증제도의 세부항목중 하나라도 포함되는 항목의 경우 대상 항목에 추가하였다.

4.2 돔경기장에 적용된 친환경 요소 분석

친환경 건축물 인증제도의 세부항목과 검토대상 돔경기장에 도입된 사례를 비교하여 도출된 돔경기장에 적용된 친환경 요소는 <그림 4>와 같다.

전체적으로 국내외 돔경기장에 적용된 친환경 요



<그림 4> 국내외 돔경기장에 적용된 친환경 요소

소는 돔경기장의 에너지 절약적 요소와 밀접한 관련을 맺고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 돔경기장의 경우 대공간으로서 에너지 다소비형 특성을 가지기 때문에 운영유지비 절감을 위해 가능한 에너지 절약 계획을 적극적으로 실시한 결과로 판단된다. 국내외 돔경기장에 적용된 친환경 요소의 각 부문별 세부 적용내용은 다음과 같다.

4.2.1 에너지 부문

국내의 돔경기장에 적용된 친환경 요소 중 에너지 부문에 도입된 요소는 7건으로 실내환경 부문 2건, 재료 및 자원 부문 3건보다 2배 이상 많이 적용되었다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 돔경기장의 에너지 다소비형 특성과 밀접한 관련이 있다 할 수 있다. 특히 조명제어를 제외한 모든 에너지 부문의 적용 요소들은 돔경기장의 대응적으로 인해 소비되는 냉난방 에너지의 절감을 위한 요소이다.

4.2.2 실내환경 부문

실내환경 부문에 도입된 국내외 돔경기장에 적용된 친환경 요소는 자연채광과 자연환기로 나타났다.

자연채광의 경우 주로 막재로 구성된 천장을 이용한 사례가 많았으며, 환기를 위한 지붕면 배기구와 결합하여 실시하는 경우가 많았다. 자연환기는 돔경기장의 상하 성층온도구배를 완화하기 위하여 천장배기구와 외주부 개구부를 연계한 자연환기 루트 계획을 이용한 사례가 많았다. 후쿠오카돔 등 최근 일부 돔경기장에서는 지붕을 개폐식으로 하여 외부 기상이 좋은 날에는 지붕개방을 통해 적극적으로 자연채광, 자연환기 등의 자연에너지를 이용하는 사례를 찾아볼 수 있었다.

4.2.3 재료 및 자원 부문

우수이용, 중수이용, 지하수이용의 방법이 국내외 돔경기장에 적용된 친환경 요소 중 재료 및 자원 부문에 해당하는 것으로 나타났다. 일반적으로 대규모의 인원이 이용하는 시설의 경우 특히 화장실에서 물 사용량이 매우 많다. 또한 건축 규모가 커지

면 강우시 건축물을 통한 우수 배출량도 많아져 도시 하수 기반시설의 부하가 증가한다. 따라서 돔경기장에서 수자원의 유효이용과 기반시설의 부하경감을 위해 우수, 중수, 지하수이용의 요소를 도입한 사례를 찾아볼 수 있었다.

5. 돔경기장에 적용된 친환경 요소 적용 특성 분석

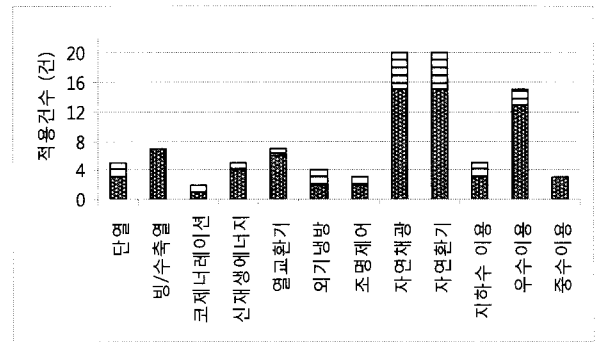
대공간 건축물에 속하는 돔경기장은 일반적인 건축물과 다른 고유한 특성을 가지며, 계획시 환경·설비계획의 기본조건을 고려해야 한다. 이러한 돔경기장의 고유특성은 이용용도 및 기후특성과 밀접한 연관을 가지며, 이용용도는 건물의 규모와 매우 밀접한 관계가 있다. 돔경기장은 그 규모가 작을수록 시민체육활동을 위한 용도로 사용되며, 규모가 클수록 전문 스포츠활동 및 대규모 집회행사에 주로 이용되고 있다.

5.1 기후특성별 친환경 요소 도입 특성

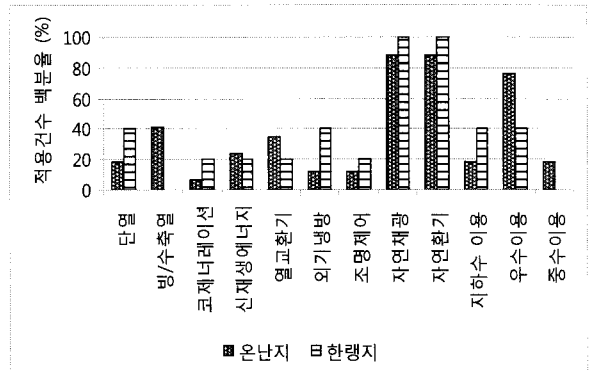
자연채광, 자연환기의 경우 기후대에 관계없이 모든 지역에서 80% 이상 적용되었다. 이는 돔경기장의 넓은 지붕면적과 대응적 등으로 인해 자연채광과 자연환기의 적용이 비교적 용이하며, 적은 초기투자비로 큰 효과를 거둘 수 있는 항목 중의 하나이기 때문인 것으로 판단된다. 자연환기의 경우 주로 천장환기구와 측면 개구부를 연계한 사례가 많았으며, 자연채광의 경우 막재로 구성된 지붕의 높은 투광율 또는 일부 천장 개구부를 통한 사례가 많았다.

빙/수축열 이용의 경우 전체 사례 중 한랭지역에서 적용된 사례가 없다. 이는 빙/수축열 시스템이 하절기의 피크컷을 통해 냉방비용 절감을 위해 빙/수축열이 도입되는 것이 일반적으로서 한랭지의 경우 냉방부하가 크지 않기 때문인 것으로 판단된다.

우수 이용의 경우 온난지에서 적용된 비율은 76%로서 한랭지에서의 40%보다 약 2배가량 높다. 이는 온난지가 한랭지에 비하여 연중 고른 강우를 나타내어 우수의 집수가 용이하여 안정적인 우수이용 환경이 조성되기 때문이다.



(a) 기후특성별 적용건수



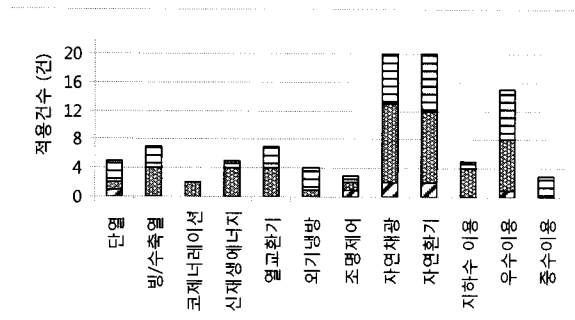
(b) 기후특성별 적용건수 백분율 (%)

5.2 규모별 친환경 요소 도입 특성

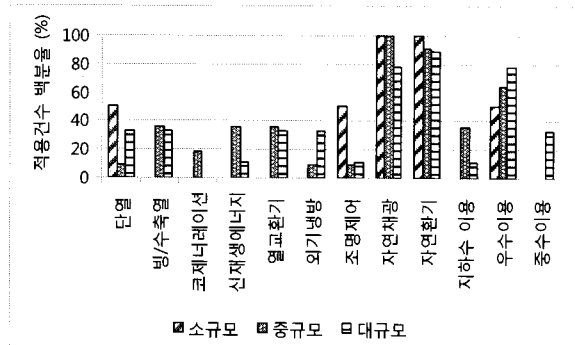
자연채광과 자연환기의 경우 돔경기장의 기후별 도입특성과 마찬가지로 규모에 관계없이 모든 규모의 돔경기장에서 70% 이상 적용되었다. 이것은 자연채광과 자연환기가 돔경기장의 쾌적한 실내 환경 조성뿐만 아니라, 조명, 냉난방 등의 에너지 절약을 위한 유효한 검증된 친환경 요소라 판단할 수 있다.

신재생에너지 이용은 돔경기장 이용의 간헐성 및 짧은 이용시간, 큰 부하규모에 의해 전체 검토대상 22건 중 5건의 사례에서만 찾아볼 수 있었다. 또한 5건의 사례 중 돔경기장의 경기부(아레나) 및 관람부에 적용된 사례가 거의 없었으며, 대부분 중규모의 지원·관리부에 적용되었다. 태양열, 태양광, 풍력, 지열 등 신재생에너지의 경우 아직까지 에너지의 효율 및 담당할 수 있는 부하가 크지 않고 안정적인 에너지 공급이 어렵기 때문에 돔경기장에 적용시 경기부 및 관람부에의 도입은 비효율적이다. 따라서 돔경기장의 부대시설을 중심으로 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

우수이용의 경우 모든 규모의 돔경기장에서 50%



(a) 규모별 적용건수 (건)



(b) 규모별 적용건수 백분율 (%)

이상의 적용을 보이고 있다. 돔경기장은 넓은 천장 면을 통한 우수의 집수가 매우 유리하다. 또한 소규모 50%, 중규모 64%, 대규모 돔경기장에서 78%로 규모가 커질수록 우수이용의 적용 비율이 증가함을 볼 수 있는데, 이는 돔경기장의 규모가 커질수록 사용자가 증가하고, 그로인해 물의 이용량이 폭발적으로 증가하기 때문에 우수 이용의 유효성이 높아지기 때문인 것으로 판단된다.

중수이용의 경우 대규모 돔경기장의 3건에서만 적용된 사례를 찾아볼 수 있었다. 이는 중수도 시설의 규모가 커질수록 투자비 대비 효율이 좋아지므로, 일정량 이상의 오수 및 잡배수가 배출되는 곳에 적용되었기 때문인 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구는 국내외 돔경기장의 친환경 요소 도입 사례에 대해 고찰하고 돔경기장에 적용된 친환경 요소의 도출 및 분류를 통해 도입특성에 대해 고찰한 것으로 그 연구결과는 다음과 같다.

1) 국내외 돔경기장에 적용된 친환경 요소를 도출

한 결과, 도출된 친환경 요소들은 전체적으로 돔경기장의 에너지 절약적 요소와 밀접한 관련을 맺고 있는 것을 확인할 수 있었다.

2) 돔경기장의 계획과 밀접하게 관련된 규모 및 기후특성별 돔경기장에 도입된 친환경 요소를 분석한 결과 자연채광과 자연환기의 경우 규모 및 기후특성에 관계없이 대부분의 돔경기장에 적용된 것을 확인할 수 있었다. 빙/수축열 이용과 우수이용의 경우 온난지에서의 적용비율이 높았으며, 신재생에너지는 중규모 이상 돔경기장의 지원·관리부에 적용되었다. 중수이용의 경우 효율의 문제로 주로 대규모 돔경기장에 대부분 적용되었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(#06 R&D B03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. MENDLER 외 2명, "The HOK guidebook to sustainable design", WILEY, New Jersey, 2006, p.459
2. J. KIBERT, "Sustainable construction : green building design and delivery", WILEY, New Jersey, 2008, p.407
3. 양정훈 외 2명, "일본 돔경기장의 냉난방 설비 시스템에 관한 사례연구", 한국공간구조학회지 제7권 제3호, 2007.6, pp.109-118
4. 高井啓明 외 1명, "ドームの計画, V.設備計画", 建築技術, 1997.2, pp.138-147
5. 中原利之 編集委員会, "ドームの建築, ドーム建築の事例", 空気調和・衛生工学 第73巻 第10号, 1999.10, pp.11-51
6. 金泰彦, "環境調和型全地下体育館の自然エネルギー利用・空調計画-大阪市中央体育館", 空気調和・衛生工学 第72巻 第11号, 1998.11, pp.95-98