

대공간 구조물의 공기조화설비

HVAC System of Large Enclosures for Sports Events



송 두 삼*
Song, Doosam



박 재 중**
Park, Jaejoong

1. 공조 측면에서 대공간 구조물의 특징

최근 국내에 다양한 목적의 대공간 구조물이 건설되고 있다. 대형 매장, 컨벤션센터, 스포츠 경기장, 대형 극장, 아트리움 등 다양한 형태와 규모의 대공간 구조물이 건설되고 있다. 아울러 88올림픽을 수행하기 위해 건설된 대공간 구조물에 대한 리모델링 계획도 발표되고 있다. 일반적으로 대공간 구조물은 구조물의 형태나 사용상의 특이성 등으로 인하여 거주공간의 필수적 요소라고 할 수 있는 냉난방, 환기, 즉, 공조시스템 설계가 일반 건축물과 매우 다르다고 보고되고 있다. 이것은 대공간 구조물이 온열환경 관점에서 다음과 같은 특징을 가지고 있기 때문이다.

- 천장고가 높다.
- 공간의 용적(체적)이 크다.

- 공간의 용적 전체 중에 거주역이 차지하는 비율이 적다.
- 외부에 접하는 벽면의 비율이 크다.

건물의 천장고가 높다는 것은 공기의 밀도 차이에 의한 부력효과에 의해 공간 내 상하 온도차이가 발생하기 쉽다는 것을 의미한다. 이것은 건물의 난방, 냉방, 환기 등 실내 공기, 온열환경을 제어하기 어려운 원인이 된다.

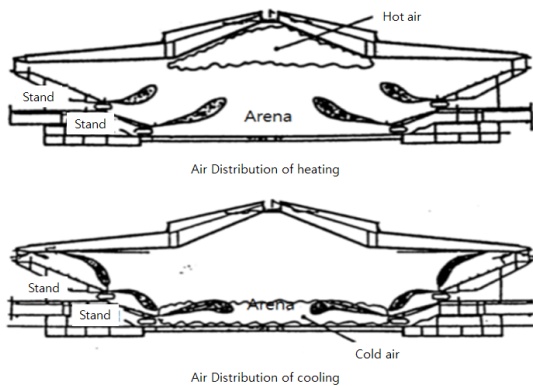
공조해야할 공간의 용적(체적)이 크다는 것은 천장고가 높은 것과 더불어 효율적인 공조를 구현하기 어려운 원인이 된다. 대공간의 거주역 즉 공조역은 대공간 전체에서 보면 바닥면 부근의 일부 공간에 편재되어 있고 대부분 계단형태의 높이를 가지고 형성된다는 특징이 있다. 따라서 전체 공간을 냉난방하기 보다는 효율적으로 거주역만을 공조 대상으로 하는 부하계산, 시스템 설계가 요구된다. 아울러 대공간은 공간 전체를 모두 사용하는 대규모 행사도 있지만 대부분의 시간은 부분적으로 사용되는 경우가 있다. 그러나 공간이 전부 개방되어 부분적

* 성균관대학교 건설환경공학부
School of Architectural, Civil and Environmental Eng., Sungkyunkwan University

** 성균관대학교 글로벌건설엔지니어링학과
Dept. of Global Const., Eng., Sungkyunkwan University

인 공조를 한다고 해도 전체 공간을 공조하는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 이러한 부분공조의 가능성을 고려해서 공조설계를 해야 한다.

외피면적 비율이 높은 문제는 대공간이 외부환경에 영향을 받기 쉽다는 것을 의미한다. 따라서 대공간을 친환경적으로 설계하기 위해서는 외부환경을 어떻게 잘 활용하고 또는 차단하느냐가 매우 중요한 이슈가 된다.



<Fig. 1> Air distribution

위 <Fig. 1>은 대공간의 냉·난방 시 기류분포의 기본적인 특성을 보이고 있다. 난방 시에는 취출기류는 부력의 영향에 의해 상승한다. 상승한 따뜻한 공기는 관람석의 거주역이 아닌 천장 부근에 체류하게 된다. 이 경우에 가장 효과적인 난방방식은 대상구역에 직접 난방하는 방식이다. 예를 들면, 객석 바닥이나 의자를 직접 복사난방하는 방식이나 의자 아래나 의자에서 따뜻한 공기가 취출되도록 하는 방식이다. 즉 국소난방을 실시하는 것이다. 그러나 이러한 국소난방이 어려운 상황에서는 대공간 전체의 공기를 순환시키는 시스템이 필요하다. 이런 기류 순환시스템을 통해 대공간 상부에 체류하는 따뜻한 공기를 대공간 저층부의 거주역에 공급하는 것이 중요하다. 또한 난방은 가능하면 흡입구를 대공간의 저층부에 설치하는 것이 중요하다.

냉방 시에는 부분냉방이 가능하도록 냉방계획을 작성하는 것이 중요하다. 대공간의 사용 목적에 따라 예를 들면, 관람석을 국소냉방하거나 아레나 부

분을 냉방할 수 있도록 설계 시에 고려하는 것이 필요하다. 일반적으로 공연장과 경기장은 무대구역 및 경기구역, 관람구역을 분리하여 공조방식을 적용하는 것이 효율적이다. 이것은 앞서 언급한 기류 특성으로 인한 것으로 무대구역과 경기구역은 조명에 의한 발열부하가 지배적으로 작용하지만 거주역은 관람객의 인체부하가 지배적으로 작용하기 때문에 냉방 시 무대구역과 경기구역 상층부의 뜨거운 공기를 바로 배출할 수 있도록 배기구를 설치하고 관람구역(거주역)에는 인체 발열부하에 대응하기 위한 거주역 국소공조를 실시하는 것이 바람직하다.

또한 최근의 대공간 건축물은 다양한 목적에 의해 사용될 수 있기 때문에 레이아웃의 변화 또는 관람객의 밀집도 변화에 대응할 수 있도록 설비시스템이 계획되어야 한다. 이러한 대공간의 특성을 고려하지 못한다면 실내 환경은 사용목적에 맞게 쾌적하게 유지하지 못하면서 에너지만을 낭비하는 결과를 초래할 수 있을 것이다.

2. 해외 대공간 설비 시스템 적용 사례

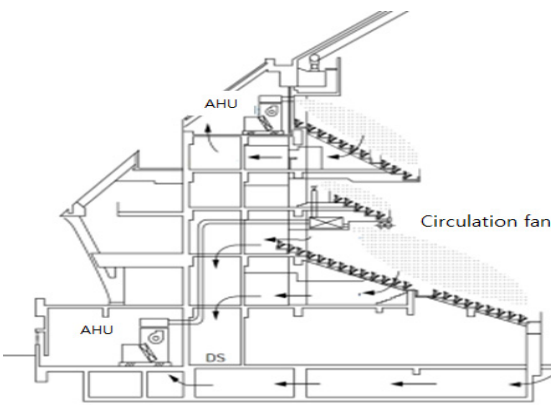
2.1 나고야 돔

나고야 돔은 일본 나고야시의 오소네 지구에 위치한 1997년 2월말 완성된 다목적 돔이다. 나고야 돔의 아레나 공조계획은 에너지의 효율적으로 사용하기 위해서 대공간 전체를 공조하는 것이 아니라 관객 구역에 한정하여 공조를 하는 것에 중점을 두었다. 각 이벤트 및 계절별로 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 통해 온도·풍속 분포의 시뮬레이션을 실시하여 공조 취출구의 풍량·풍속 및 각도를 결정하였다. 나고야 돔은 관객의 체감온도에 따른 공조제어를 통해 관람객의 쾌적성 향상과 공조부하의 절감을 도모하고 있다. 아레나에는 10대의 순환류 팬을 설치하여 약 0.8m/s의 쾌적한 바람을 만들 수 있다. 또한 아레나 공조의 온열환경 제어에는 종래의 습도 제어뿐만이 아니라 순환류 팬에 의한 기류와 이벤트 및 계절에 따른 관객의 활동

량, 착의량을 고려한 종합 온열환경지표(SET*)를 이용하여 제어하고 있다. 환기를 위한 외기 도입량은 공조부하에 차지하는 비율이 높으며 각 상황별 이벤트나 상태에 따라 크게 변동한다. 따라서 각 상황별 관객수에 따라 외기도입량을 조절하고 전열교환기에 의한 배기열 회수를 통해 외기부하 절감에도모하고 있다. 공조 조닝은 평면상 6분할을 하고 단면방향으로 상·중하단의 2계통으로 분할하여 공간분할막 시스템에 의한 아레나 분할 이용에 대응하고 있다.



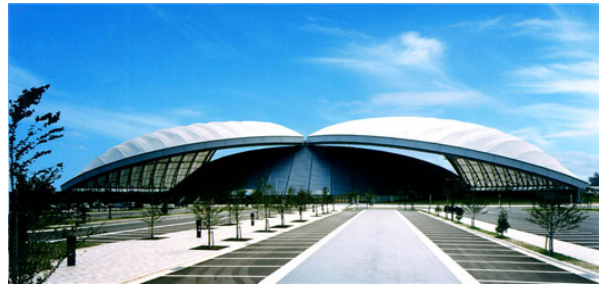
〈Fig. 2〉 Air-circulation fan and diffuser in Nagoya Dome



〈Fig. 3〉 Arena air conditioning in Nagoya Dome

2.2 츠가루 돔

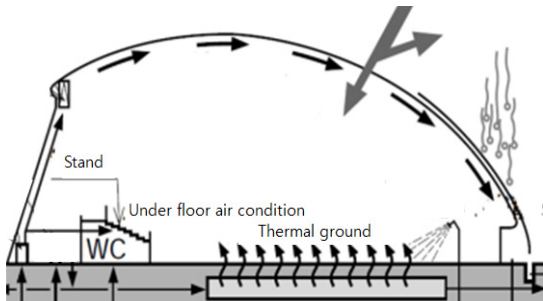
츠가루 돔은 2002년 3월 일본 아오모리현 고쇼가와라시에 건설된 스포츠나 이벤트가 가능한 돔이다. 츠가루 돔은 겨울철의 추위가 심한 시기나 여름철 더위가 심한 시기에 지붕을 폐쇄한 상태에서도 쾌



〈Fig. 4〉 Tsugaru Dome in open roof

적한 스포츠 공간을 유지하기 위해서 여러 가지 공조 방안을 적용하였다. 우선 그라운드 이용자를 극단적인 추위로부터 보호하기 위해 서멀그라운드(Thermal ground)라고 하는 바닥난방시스템을 적용하였다. 본 시스템은 그라운드 밑에 매설한 배관에 온수를 흘리는 것으로 그라운드 근방의 온도를 극단적인 추위로부터 보호하여 이용자에게 쾌적한 공간을 유지하는 것을 목적으로 하고 있다. 당초는 테니스 코트 부근에 설치를 계획하였으나 관계자 및 사용자의 의견에 따라 야구 벤치 부근 등 이용자의 체류가 발생하기 쉬운 장소로 설치 위치를 변경하였다. 또한 관객석에 대한 온열환경 유지를 위해 관객석 발밑에 공조 취출구를 설치하였다. 여기로부터 취출되는 공기온도를 컨트롤 하여 관객이 항상 최적한 환경에서 관전할 수 있도록 하였다. 여기서 서멀그라운드용 순환수와 관객석의 공조용 공기는 사전에 채열관이라고 하는 지하의 대수층에 매설된 배관으로 여름은 냉열을, 겨울은 온열을 회수하고 있다. 이것은 지하의 대수층의 온도는 연간 거의 일정한 것을 활용한 지중열이용 시스템이다. 막지붕은 태양광을 투과하는 것으로 낮의 조명전력 절약이 가능한 것은 물론이고 지붕 철골의 경량화가 가능하지만 한편 한랭지에서는 결로가 발생하기 쉽다고 하는 결점이 있다. 츠가루 돔에서는 결로방지 대책으로 막지붕 근방에 완만한 기류를 형성하여 막 표면온도를 빙점 이상으로 유지하여 막 표면의 눈이 녹아 흘러내리도록 하였다. 이 기류는 프린트 킬이라고 불리는 박스 대들보 철골에 공조덕트를 설치하여 원형상의 노즐을 막지붕을 향해 설치

하는 것으로 실현하였다. 막 전체에 균일한 기류가 발생하는 것 같은 송풍 방향과 풍량에 대해 사전 시뮬레이션 해석을 실시하여 그 결과를 설계에 적용하였다. 그 결과 막지붕 근방의 전역에 10cm/s 정도의 유속이 흐르는 것을 확인할 수 있었다.



〈Fig. 5〉 Arena air conditioning

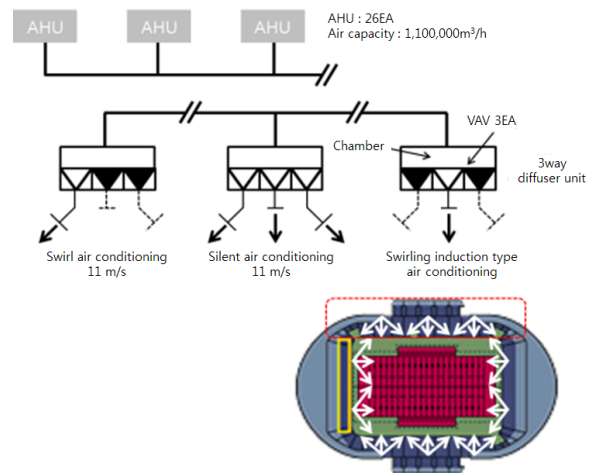


〈Fig. 6〉 Thermal ground

2.3 사이타마 아레나

사이타마 아레나는 일본 사이타마현 사이타마에 있는 다목적 체육관 시설로 스포츠 경기, 콘서트, TV 프로그램, 상품 전시회 등에 이용된다. 본 아레나는 각종 다양한 행사에 대응하기 위하여 평면을 변경할 수 있도록 무빙블럭(Moving block)이라는 관람석을 움직이게 할 수 있도록 설계 되어 있다. 무빙블럭을 조정해서 공간을 스타디움, 메인 아레나, 커뮤니티 아레나 이상 3가지 평면으로 구성할 수 있다. 이러한 평면 변화와 서로 상이한 각종 행사들의 특성에 대응하기 위해서 다양한 공조시스템이 적용되었다. 아레나용 공조기는 전풍량 110만m³/h 능력의 총 26대가 배치되어 있는데 이 공조기의 편

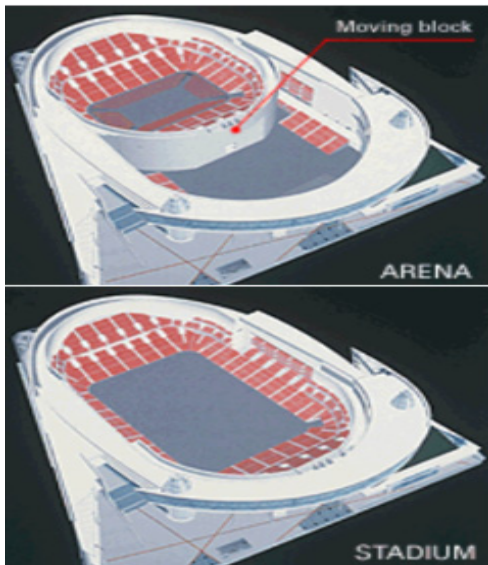
성을 각기 부하 특성에 맞게 선택하여 각 행사나 평면에 맞게 선택할 수 있다. 공조방식은 3방향 취출유닛을 사용하여 3가지 모드(정속/성층/선회)로 선별 사용이 가능하다. 이 유닛은 2층 객석의 바닥에 연속되어진 링의 형태로 설치되어 있으며 각각의 취출구의 각도와 VAV유닛의 조합에 의해 공조방식을 선택하게 된다. 공조방식 중 정속공조는 공조와 이에 따른 기류로 인한 실내 소음에 민감한 클래식 연주회 등과 같은 경우에 취출풍량을 크게 하고 풍속을 낮게 하여 공조로 인한 소음과 기류의 강도를 최대한 억제한다. 두 번째로 성층 공조의 경우, 취출구에서 공조를 고풍속으로 실시하여 내부 공간의 공조나 공조 전 설정온도 도달을 위한 가동시간의 단축을 목적으로 한다.



〈Fig. 7〉 Arena air conditioning

마지막으로 기류의 선회방식은 VAV 1대를 아래 방향으로 취출시켜 냉방 시 거주역에 선회 기류를 발생하여 거주역에 있는 사용자들이 기류감을 직접 느끼게 함으로서 설정온도와 어느 정도의 차이가 있더라도 열쾌적성을 일부 보완할 수 있게 하는 방식이다. 이 방식을 사용하면 설정온도에 맞게 공조를 운영하지 않고 기류로 그 차이를 보완함으로써 일정량의 에너지 절감 효과를 볼 수 있다. 그리고 내부 평면 변경에 대응하기 위하여 각 설비 기구 또한 이에 대응할 수 있는 시스템이 요구되었다. 이를

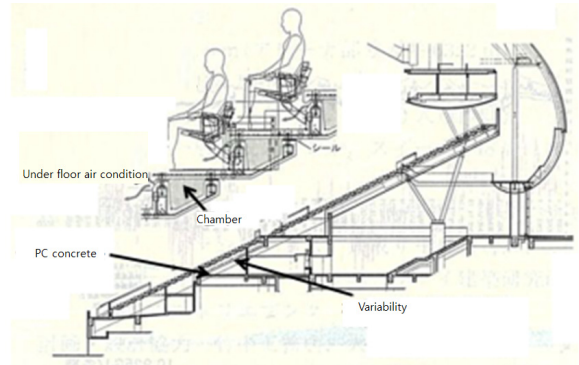
충족하기 위하여 각종 설비 덕트 및 배관에 대하여 분리와 재연결이 가능한 시스템이 적용되었으며 이 시스템은 무빙블럭의 이동에 따라 층별로 설치되어 있는 연결부에서 분리와 연결이 가능하게 설계되었다. 분리와 연결은 에어 실린더를 사용한 압착방식을 사용하였으며 이 시스템에 따른 기밀성능은 일반 시스템과 거의 동일한 성능을 유지하였다.



〈Fig. 8〉 Arena moving block

2.4 삿포르 돔

삿포르 돔은 일본 홋카이도 삿포르 시에 있는 돔 구장으로서 2001년 6월 완공되어 축구장 겸용으로 쓰이고 있다. 삿포르 돔은 대공간에서 일반적으로 많이 적용하는 좌석 취출 방식을 사용하여 전체 체적을 공조하면서 소비되는 에너지를 국부적인 거주역에 집중하여 공조함으로써 에너지 절약을 실현하였다. 일반적인 좌석 취출 공조방식과 상이하게 층층이 쌓여 있는 골조(PC)를 사용하여 챔버 및 슬릿을 구성하고 이를 통하여 공조를 실시하고 있다. 이 방식은 좌석 배치에 영향은 받지 않으면서 좌석 취출 공조방식을 손쉽게 적용할 수 있어 시공측면이나 경제적인 측면에서도 유리한 공조 방식이다. 또한 겨울의 자연풍을 이용하여 3가지 환기방식을 도입하였다. 첫 번째로 돔 외벽에 열리는 개구부를 통

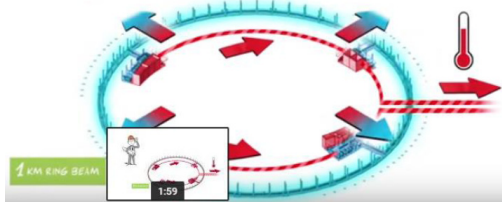


〈Fig. 9〉 Under floor air conditioning

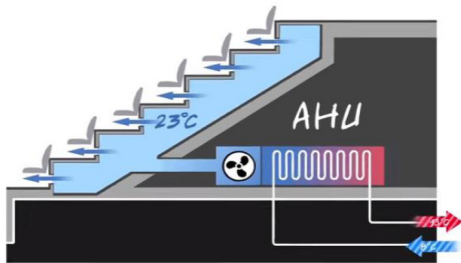
해 외기를 도입, 지붕 정상부 배기구를 통해 배출하는 방식과 나이트 퍼지를 이용하여 야간에 아레나 공조계의 외기담퍼와 지붕 정상부 배기구를 개방하여 자연배기의 구동력으로 외기 트렌치로부터 관람석 아래 통로를 통해 외기를 통과하는 방식을 적용하였다. 마지막으로 하이브리드 환기를 적용하여 자연환기가 유효하지만 도입량이 부족한 경우, 거주역인 객석부에 외기를 도입하고자 하는 경우에는 자연환기와 병용하여 아레나 공조기의 급기팬만 운전할 수 있도록 적용하였다.

2.5 싱가포르 스포츠 허브

싱가포르 스포츠 허브는 복합 스포츠 시설로 55,000석의 관중석과 310m의 너비를 갖춘 거대한 돔형 건축물로 2014년 준공되었다. 이 돔구장의 에너지 효율성을 높인 설비 시스템을 위해 행사 전 예비냉각과 경기장 좌석의 적정 요구량에 맞추기 위한 설계를 축열 탱크와 통합시켰다. 이는 인접한 오피스, 리테일, 실내 경기장과 수영장에 매일 쿨링 시스템을 제공함으로써 같은 환경을 충족시키기 위한 것이다. 경기장의 관람석은 Bowl cooling system이라는 혁신적인 시스템을 통해 고온다습한 싱가포르 기후에서도 항상 쾌적한 환경에서 경기를 관람할 수 있도록 하였다. Bowl cooling system은 약 1km에 달하는 Ring beam을 통해 공급된 냉수를 각 준별 AHU에 공급한다. 각 AHU에서는 관람석 밑에 구비된 챔버를 통해 냉기가 관람석 의자 밑에서 공

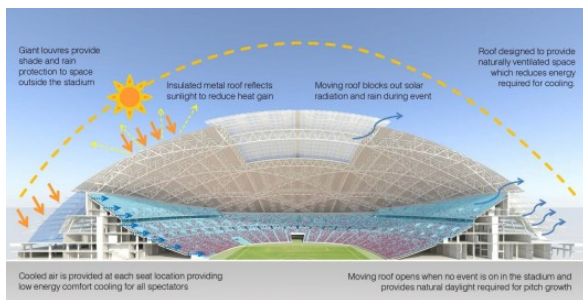


(a) Ring beam of bowl cooling system



(b) Cold air distribution with AHU

〈Fig. 10〉 Bowl cooling system



〈Fig. 11〉 Sustainable strategies of Sports Hub in Singapore

급되도록 하고 있다. 냉풍이 공급되는 존은 관객들이 경기장에 입장할 때 티켓팅하는 자리 정보를 인식하여 결정된다. 즉 관객이 부재한 공간에는 냉풍이 공급되지 않는다. 스타디움에 적용한 Bowl cooling은 기존 시스템 대비 약 60%의 에너지 절감을 이루었다. 이 스타디움에 설치된 태양전지의 에너지는 Bowl cooling의 작동에 이용됨으로 공조를 위한 시스템 가동이 환경에 미치는 영향이 미미한 탄소 제로배출 건축이다. 또한 이동식 지붕이 태양열 차단과 좌석에 그늘을 제공하기 위한 경량 외피 시스템으로 설계하였으며 동시에 이동식 지붕은 ETFE의 반투명으로 주간엔 경기장에 자연채광이 유입되도록 계획되었다.

3. 결론

국내에도 대공간 건축물의 수요가 증가하고 있다. 종래의 대공간 건축물과 달리 최근의 대공간 건축물은 다양한 이벤트를 수용해서 사용성의 증대를 통해 경제성을 확보하는 것이 매우 중요한 이슈가 되고 있다. 따라서 최근 대공간 건축물에서 가장 중요한 기술 중의 하나가 이러한 다양한 공간 사용, 사용 패턴에 대응하는 냉난방 환기계획이다. 최적화된 공조설계를 통해 다양한 대공간의 사용상의 에너지를 최소화할 수 있기 때문이다.

본 고에서는 해외 대공간 건축물의 공조설비 설계 사례를 분석하여 국내 대공간 설계에 활용하고자 하였다. 본 고에서 사례분석을 통해 정리한 대공간 건축물의 공조설계 핵심사항은 다음과 같다.

1. 대공간 건축물의 사용 목적을 고려한 설비 시스템 및 Layout 구성
2. 대공간 건축물의 각 존별 열부하 특성의 분석과 반영
3. 대공간 건축물의 가변적인 사용 목적에 대한 이용패턴의 분석과 대응 가능한 다양한 공조 모드 구축
4. 자연에너지를 이용한 건물 운용에너지의 절감

국내에는 아직 대공간 건축물의 공조설계 기준이 마련되어 있지 않다. 국내에서 대공간 건축물의 수요가 증가하고 있는 상황을 고려해서 대공간 건축에 따른 에너지 소비를 최소화하기 위해서는 시급하게 대공간 건축물의 공조설계 기준이 마련되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원(15AUDP-B100343-01)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Yang J., Song D., A case study on the cooling system and heating system of domed stadium in Japan, Journal of the Korea Association for Spatial Structures, Vol.7. No.3, pp.109~118, 2007.
2. Kim D., Seok H., Yang J., A Study on the Environment-Friendly Factors of Domestic and Foreign Domed Stadiums, Journal of the Korea Association for Spatial Structures, Vol.8. No.3, pp.37-44, 2008.
3. Berg, Miriam. 2014. The 7 Most Energy-Efficient Baseball Stadiums in the U.S. Accessed June 27, 2014.
4. Miami Marlins. 2013. Electronic waste recycling to be held at Marlins Park. Miami: Marlins Press Release.
5. Jeffrey L.E., Blake E.E., P.E., Flexibility, Efficiency in San Antonio Arena, ASHRAE Journal, Vol. 47, No.9, pp.18-23, 2005.
6. <http://www.worldofstadiums.com/-asia/japan/nagoya-dome/>
7. http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/-about/csr/pdf/CR_2014e.pdf