

“ 월드컵 경기장은 과학적인 예술품으로 우리 모두의 정성으로 세워진 것입니다.
현대의 과학과 첨단 기술이 어우러진 월드컵 경기장은
축구 경기를 관람하러 가시는 물론
경기가 없을 때 방문하여도 훌륭한 과학 탐방 장소가 됩니다. ”

월드컵 경기장 과학 탐방 모임

오원근

1998. 6. 12.
Pusan

추천의 말씀

월드컵 경기장은 과학적인 예술품으로 우리 모두의 정성으로 세워진 것입니다.
 경기장을 계획하고 설계를 하여 시공한 것은
 현대의 건축과학으로 말미암은 것으로
 선수들은 마음껏 기량을 발휘할 수 있게 하고
 우리 청소년을 비롯하여 6만 명 이상의 많은 사람들이
 안락하게 관람할 수 있게 합니다.
 현대의 과학과 첨단 기술이 어우러진 경기장은
 축구 경기를 관람하러 가서는 물론
 경기가 없을 때 방문하여도 훌륭한 과학 탐방 장소가 됩니다.

서울 월드컵 경기장을 세우는데 공헌하신 여러분들에게 존경을 드리는 동시에
 본 안내서를 연구 개발하는 데 애쓰신 오원근 박사에게 감사의 마음을 전합니다.
 아무쪼록 청소년을 비롯하여 경기장에 오시는 모든 분들이
 이 자료를 즐겁고 보람 있게 보시며
 과학을 이해하는 데 조금이라도 도움이 된다면 큰 기쁨이겠습니다.

2006년 7월

과학문화교육연구소 소장 | 박승재



저자 소개 | 오원근

서울대학교 대학원 과학교육과에서 박사 학위를 받았고,
 현재 충북대학교 과학교육학부 교수로 재직중이다.

2 추천의 말씀

제1부 월드컵경기장을 바라보며

5 1장 멋진 경기장의 설계

- 1. 멋지고 훌륭한 경기장이 되려면? 2. 경기장의 외관은 어떤 면을 고려해야 할까?
- 3. 경기장의 평면은 어떤 도형이 적합할까?

제2부 월드컵경기장 안에서

11 1장 경기장의 구조와 형태

- 1. 전통과 현대가 조화된 경기장 구조 2. 거대한 경기장의 지붕과 기둥
- 3. 관중석의 구조 4. 경기장의 로얄 박스는?

20 2장 경기장 채광과 전기

- 1. 경기장의 햇빛과 그림자 2. 경기장의 조명
- 3. 전광판이 잘 보이려면

25 3장 경기장의 음향

- 1. 경기장에 울려 퍼지는 함성 2. 파도타기 응원
- 3. 서울 월드컵 경기장의 음향은 어떤 점이 고려되었을까?

28 4장 경기장 잔디

- 1. 잔디를 심을 때 고려해야 할 점들 2. 잔디 구장의 과학
- 3. 잔디 무늬와 잔디 깎기 4. 경기장의 급수와 배수

제3부 월드컵경기장을 나와서

35 1장 경기장의 환경과 미래

- 1. 쓰레기 매립장에서 월드컵 생태환경공원으로 2. 월드컵 공원의 조성
- 3. 미래의 경기장 활용

부록

40 한국과 일본의 월드컵경기장

42 서울 월드컵경기장 교통과 입장 안내





제1부

월드컵경기장을 바라보며

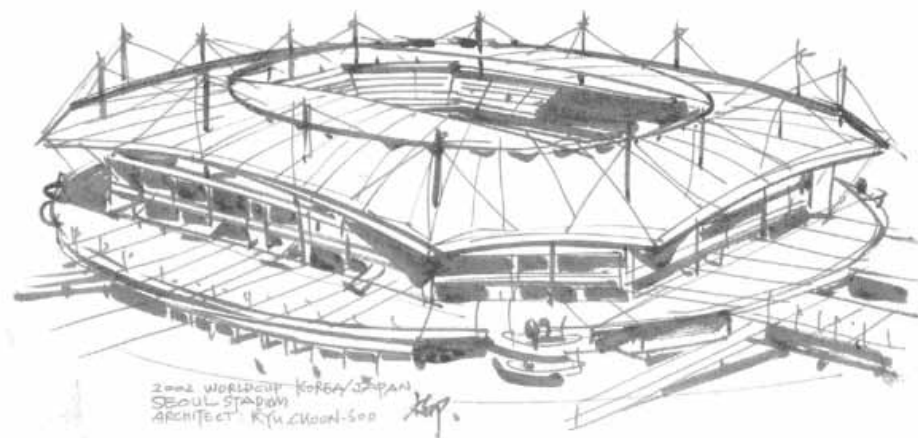
1장 멋진 경기장의 설계

제1부 월드컵경기장을 바라보며

1장 멋진 경기장의 설계

1. 멋지고 훌륭한 경기장이 되려면?

멋진 경기장이 되려면 안과 밖이 모두 조화롭게 설계되어야 한다. 우선 외부적 요인을 고려해보자. 축구 경기장은 300m가 훨씬 넘는 거대한 규모이다. 이러한 건물이 높이는 너무 낮고 길이는 너무 길거나 또는 길이에 비해 너무 높아지거나 하는 것은 그렇게 조화롭지 못하다. 그리고 이런 거대한 건물이 도심 한복판에서 주변의 다른 건물들과 조화롭지 못하고 혼자 우뚝 서 있으면 도시의 미관을 오히려 해칠 수도 있다. 그렇기 때문에 경기장은 그 구조적인 비례 뿐 아니라, 어떠한 지역에 위치하는가, 외벽의 색상은 어떤 것이 주



서울 월드컵 경기장의 스케치 모습 (스케치 출처: 이공건축 홈페이지)

변과 잘 조화되는가, 그 건물이 어떠한 사회적 상징을 지니는가 하는 것들이 충분히 고려되어야 한다.

그 뿐 아니라, 이러한 경기장이 들어선 지역은 경기가 열리는 날에는 일시에 많은 관중들이 몰려들어서 심각한 교통 혼잡을 유발하게 된다. 반대로 경기가 없는 날은 텅 빈 상태로 남아있어서 그 지역의 역동성을 떨어뜨리는 요인이 될 수도 있다. 따라서 이러한 교통 문제를 어떻게 소화할 것인가, 경기가 열리지 않을 때에는 어떻게 활용되어야 하는지를 고려해서 계획해야 한다.

2. 경기장의 외관은 어떤 면을 고려해야 할까?

경기장의 전체 외관은 지붕과 외벽이 어떻게 잘 어울리게 구성해야 하는지 결정하는 것이 가장 중요한 문제이다. 지붕을 더 강조하여 설계할 수도 있고, 벽의 구조를 강조하여 설계할 수도 있다. 서울 올림픽 경기장과 서울 월드컵 경기장을 비교해보자.

잠실의 서울 올림픽 경기장은 쉼틸레버라고 하는 ‘ㄱ’ 자형 기둥이 좁은 간격으로 박혀 있



서울 올림픽 경기장 (사진출처: 공간건축 홈페이지)

지붕이 강조된 서울 월드컵 경기장

는 벽의 구조를 중심으로 하여 외부에서 지붕이 잘 보이지 않는 구조로 세워져 있다.

과거의 경기장은 맑은 날 경기가 열리는 것을 전제로 해서 경기장을 설계했다. 또한 축구 경기장과 같은 거대한 건축물에 지붕을 씌우는 것에 대하여 기술적, 경제적 어려움이 많기 때문에 벽의 구조를 더 강조한 설계를 많이 하였다. 그렇지만 지붕이 없는 경기장이 비가 오면 관람객이 불편할 뿐 아니라, 여름에 태양 빛이 강할 경우에도 관중들이 관람하는데 불편함을 느끼게 된다.

현대의 경기장은 경기장의 관중석에 가능한 한 넓게 지붕을 씌워 관중들이 비와 직사광선을 피하면서 쾌적하게 경기를 관람하는 것을 중요하게 생각한다. 이러한 점을 고려하여 최근에 지어지는 축구 경기장은 경기장 전체 설계에서 지붕의 형태가 중요한 부분을 차지하게 된다.

서울 월드컵 경기장은 거대한 지붕이 경기장을 덮고 있고, 밖으로도 한옥의 처마처럼 드리워져 있어서 외부에서 보면 벽체의 형태보다 지붕의 형태가 더 강조된 모습을 하고 있다.

주변 경관과 조화를 시키기 위해서는 어떤 입지 조건이 좋을까?

경기장을 선택하는 입지 조건을 두 가지로 나누어 생각할 수 있다. 하나는 개방된 넓은 공간에서 오히려 우뚝 솟은 아름다운 경기장을 설립하거나, 아니면 주변 공간에 적절하게 문혀서 환경과 조화를 시키는 방법이다. 잠실 경기장과 서울 월드컵 경기장은 어떤 방법으로 환경과 조화를 시켰는지 비교해보자.

잠실 월드컵 경기장은 한강변의 넓은 잠실벌에 자리잡고 있다. 따라서 이러한 지역에 우뚝 솟아 있는 형태로 경기장을 건설함으로써 강 건너 편에서도 쉽게 경기장의 모습을 볼 수 있다. 또한 경기장이 건설되기 전에 이 지역은 아직 충분히 개발되지 않은 상태였기 때문에 이러한 기념비적인 건축물이 들어섬으로써 지역에 대한 상징적인 역할을 할 수도 있

다.

난지도에 있는 서울 월드컵 경기장의 배치에 비하여 난지도에 위치한 서울 월드컵 경기장은 과거 서울시민들이 사용하고 배출한 쓰레기에 의하여 만들어진 높이 80m의 거대한 인공산에 의하여 만들어진 분지에 위치하고 있다.

이렇게 만들어진 쓰레기산은 안정화 작업과 녹지화를 거쳐서 최근에는 생태 공원으로 조성되고 있다. 이러한 지역적 특성에 따라서 서울 월드컵은 외부에 돌출되어 지역의 이정표 역할을 하는 형태로서 존재하는 것이 아니라, 버려진 땅이 하나의 생태 공원과 신도시라는 개념으로 재개발되는 중심에 위치함으로써 환경의 복원과 새로운 도시 공간을 형성하도록 돕는 기능을 하고 있다.



난지도에 있는 서울 월드컵 경기장의 배치

경기장 높이를 어떻게 하면 어림할 수 있을까?

- 제일 쉬운 방법은 주변에 높이를 알고 있는 건물과 비교해 본다.

서울 월드컵 경기장 옆에는 아파트들이 있다. 아파트와 경기장의 높이를 비교해 보자.

- 사람의 키와 비교해보자.

제일 높은 곳까지 사람 키의 몇 배나 될까? 경기장에 서 있는 사람과 높이를 비교해 보자.

- 더 정확하지만 어려운 방법: 그림자를 이용하기

건물에서 그림자까지 거리를 재고, 그림자 끝에서 건물 높은 곳까지 각도를 잴다. 그 다음은 어떻게 할까?



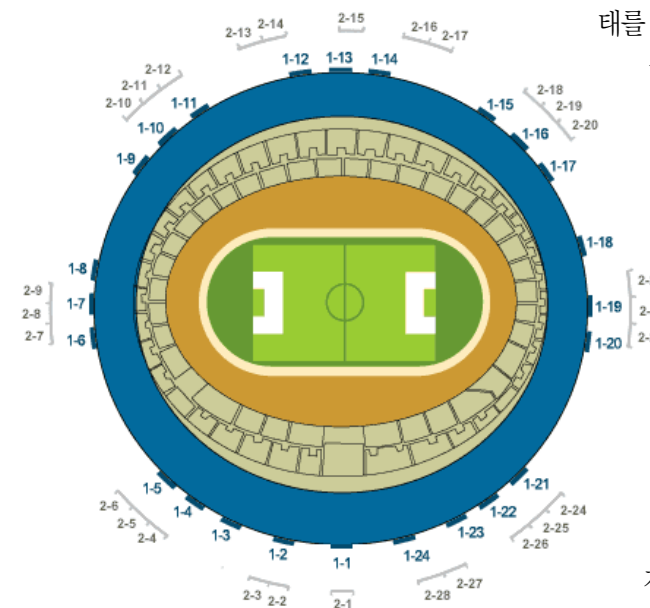
3. 경기장의 평면은 어떤 도형이 적합할까?

축구 경기장의 평면은 기본적으로 직사각형이다. 경기장을 정사각형으로 만들면 각 관람석마다 특징 있는 지붕을 설계하고, 다양한 아름다움을 연출하기 쉽다. 그러나 모서리 부분의 관람석을 적절하게 마무리하기 어렵다. 이런 경우에 모서리에 관중석을 만들지 않고 해결하면 관람석의 수가 줄어들어서 경제적인 효율을 떨어뜨리게 된다. 따라서 이런 문제를 해결하기 위해서는 경기장의 평면을 타원형이나 원형으로 설계하는 경우가 많다. 서울 월드컵 경기장의 평면 설계는 어떤 착상을 바탕으로 했는지 알아보고, 서울 올림픽 경기장과 비교해보자.

서울 올림픽 경기장은 종합경기장이기 때문에 축구 경기장의 외곽에 타원형의 트랙이 있다. 따라서 경기장의 전체 평면은 내부의 축구장이 이루는 사각형에서 트랙의 타원형으로, 그리고 트랙과 접하는 안쪽 관중석의 타원형이 점점 벌어지면서 바깥쪽의 관중석에

이르면 완전한 원형으로 바뀌는 점진적 형태를 취하고 있다. 이러한 점진적

형태 변화를 통하여 사각형과 원형의 조화가 이루어지는 것이다. 그러나 이러한 원형 관중석은 관중석과 경기장의 거리가 너무 멀어지는 단점을 안고 있다. 특히 관중들이 선호하는 경기장 장축 방향의 양쪽 관중석이 더 경기장과 간격이 벌어지기 때문에 선수들의 경기에 대하여 친밀감을 느끼기 어렵다.



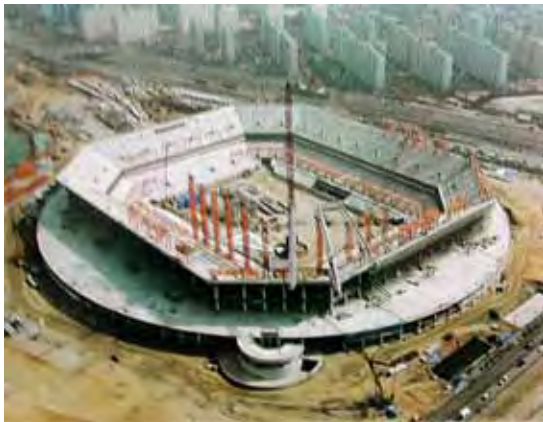
서울 올림픽 경기장 평면도

서울 월드컵 경기장은 축구 전용 경기장이기 때문에 육상 경기용 트랙이 필요하지 않다. 이에 따라서 관중석을 우리나라의 전통적인 과일 소반에서 착상하여 사각형에 가까운 팔각형의 형태로 하였다. 이렇게 하면 관중석과 경기장의 모양이 동일하기 때문에 간격을 최소화하여 관중들이 좀 더 가까이서 선수들이 경기하는 모습을 관람할 수 있다. 경기장에서 관중석의 가장 아랫부분까지 거리는 불과 11m이고, 관중석과 경기장의 높이 차이는 거의 없다.

보행자 이동 공간은 어떻게 구성되었을까?

경기장에서는 많은 사람들이 이동하기 때문에 경기장 출구에 계단을 설치하는 것은 사고의 위험성이 높다. 따라서 경사로 형태로 이동로를 설치하는 경우가 많다. 경기장의 상부 관람석에서 지상까지는 높이가 상당히 높기 때문에 이러한 경사로를 아름답게 설치하기가 어려운 경우가 많다.

서울 월드컵 경기장 관중석을 받치고 있는 외곽의 원형 데크는 상단 스탠드의 관중들이 지면까지 내려오지 않도록 도와줌으로써 관중들의 수직 이동거리를 절반 정도 줄이는 역할을 한다. 이곳에 모인 관중들은 수평면을 따라 이동하여 육교를 통하여 밖으로 나가게



공시중인 팔각형 모양의 관중석



전통적인 팔각형 과일소반

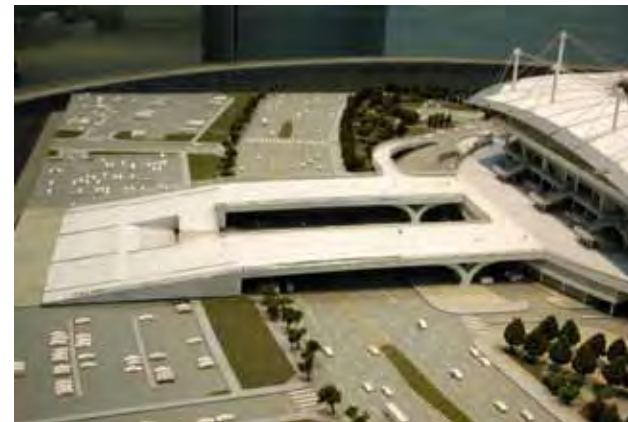
된다. 또한 데크의 네 부분에 설치된 나선형 램프를 통해서도 안전하게 지면으로 내려설 수 있다. 이렇게 함으로써 계단을 가능한 한 적게 만들면서도 많은 관중들의 통로를 분산시킬 수 있다.

경기장의 마무리는 어떤 점을 생각해야 할까?

경기장의 외벽은 시각적으로도 아름답고, 주변 환경과 조화로울 뿐 아니라 도시의 산성비, 매연 등으로 인하여 벽에 얼룩이 생기거나 부식되는 등의 문제를 피할 수 있어야 한다. 이를 위하여 월드컵 경기장은 지붕을 경사면으로 처리함으로써 비나 눈에 의하여 자연적으로 청소되는 효과를 기대할 수 있게 설계하였다. 또한 지붕이 경기장 밖으로 처마처럼 드리워져 있어서 경기장 외벽에 비나 눈과 직사광선이 닿는 것을 막는다. 이러한 구조는 산성비 때문에 벽이 부식되거나 직사광선을 받아서 외벽의 색이 바래거나 변하는 것을 막을 수 있다.



지붕이 처마처럼 드리운 모습



보행자의 신속한 이동을 위한 둥근 육교, 원형 데크와 나선형 램프



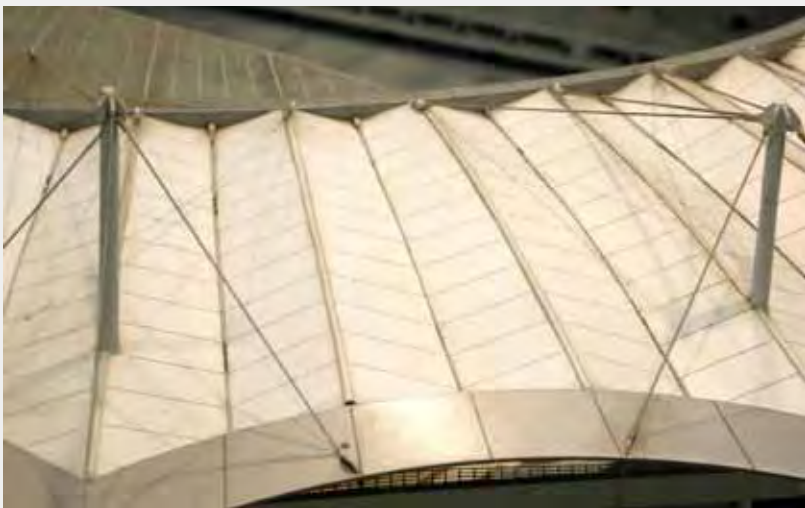
보행자의 신속한 이동을 위한 둥근 육교, 원형 데크와 나선형 램프

경기장 건설에 어떤 첨단 소재들이 사용되었을까?

가장 큰 특징이라고 할 수 있는 거대한 지붕 막은 열에 강하고 잘 부식되지 않으며, 가벼운 소재인 테프론으로 만들어졌다. 이러한 지붕 막의 두께는 불과 1mm이지만, 자동차가 올라가도 찢어지지 않을 만큼 튼튼하다.

테프론막으로 이루어진 지붕관중석은 현장에서 시멘트를 부어서 만드는 방식이 아니라 공장에서 고품질, 고강도로 생산되어 현장에서 조립되는 방식인 PC콘크리트로 이루어져 있어서 공사 시간을 단축하는데 도움이 된다.

천장의 구조물을 형성하는 외부와 내부의 각종 트러스와 지붕을 지지하는 거대한 기둥인 마스트와 케이블들은 고강도의 강철 소재로 되어 있다. 또한 관중석의 의자는 고밀도 폴리에틸렌이다.



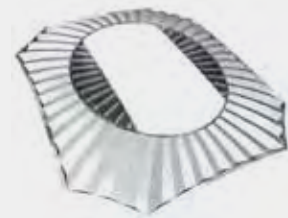
테프론막으로 이루어진 지붕

경기장 건설에 컴퓨터가 어떻게 활용되었을까?

서울 월드컵 경기장을 건설하기 위하여 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션과 설계가 많이 활용되었다. 특히 경기장의 복잡한 구조 계산이나, 경기장에 대한 바람의 영향, 잔디 성장을 위한 일광 조도 확보 등은 컴퓨터를 이용한 좋은 사례이다. 건설된 경기장을 운영하기 위한 각종 운영 및 보안을 위한 중앙 통제 시설에도 컴퓨터가 활용된다.

과학 실험을 위한 많은 인터넷 사이트들이 있으니 한 번 들어가서 여러 가지 시뮬레이션을 체험해보자.

추천사이트: 과학문화재단 <http://www.ksf.or.kr/> → 과학교육 → 가상실험실





제2부

월드컵경기장 안에서

1장 경기장의 구조와 형태

2장 경기장의 채광과 전기

3장 경기장의 음향

4장 경기장의 잔디

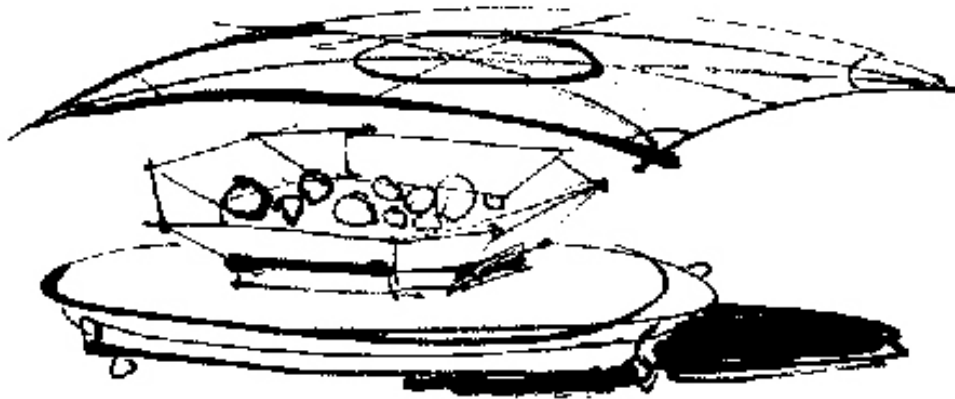
제2부 월드컵경기장 안에서

1장 경기장의 구조와 형태

1. 전통과 현대가 조화된 경기장 구조

서울 월드컵 경기장은 현대적인 건축 기법이 적용되어 건설된 건축물이다. 그러나 그러한 현대적 기술이 담아내고 있는 형태는 우리나라의 전통적인 문화들을 상징하고 있다.

서울 월드컵 경기장은 기하학적 형태로 보면 사각형과 원형을 적절하게 조화시키고 있다.



전통 연과 전통 소반을 형상화한 월드컵 경기장의 설계 아이디어

이러한 기하학적 형태의 조화는 추상적인 형태 구성을 통하여 이루어진 것이 아니라, 사각형과 원형이 조화를 이루는 우리나라의 전통적 생활에서 그 이미지를 찾아내어 이를 의미있게 배치함으로써 이루어낸 것이다. 건축가에 의하여 최초로 착상된 것은 방패연, 쟁반, 소반 세 가지이다.

21세기의 소망을 담은 전통 소반

서울 월드컵 경기장의 관중석은 팔각형 모양이다. 이러한 팔각형은 과일을 담은 전통적인 소반에서 그 이미지를 가져온 것이다. 이렇게 팔각형의 형태로 관중석을 배치함으로써 관중석이 사각형과 원형의 장점을 동시에 가지도록 구성한 것이다.

또한 이러한 관중석을 받치고 원형의 데크는 과일 쟁반을 받치게 하는 소반과 같은 형상을 한다. 이렇게 함으로써 경기장의 전체적인 모습은 과일을 담은 쟁반이 둥근 소반 위에 얹힌 것과 같이 미래의 소망을 담은 소반의 이미지를 형상화하고, 이 원형의 데크는 관중들이 이동하는 동선을 돕는 적절한 기능을 한다.



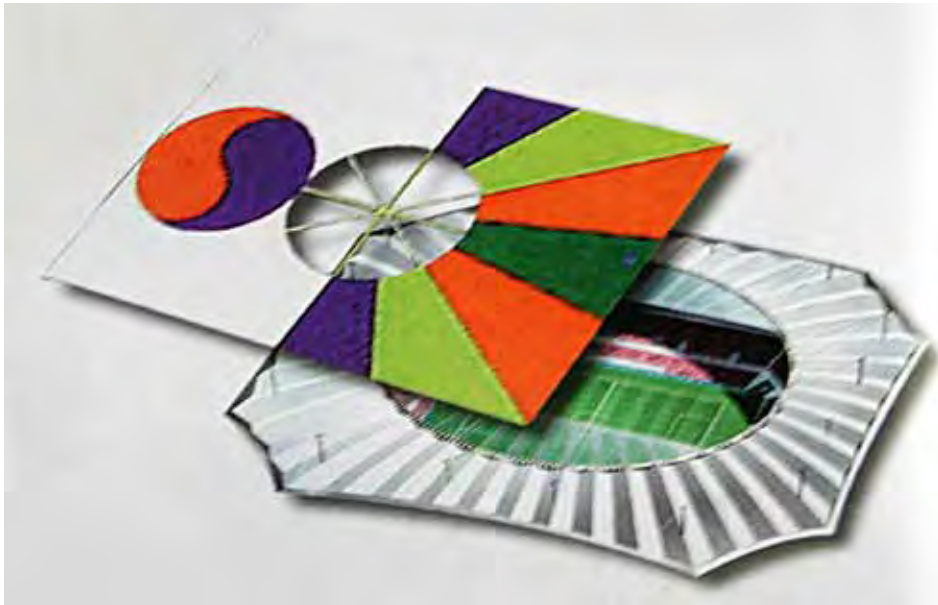
소반 위에 얹힌 쟁반 같은 서울 월드컵 경기장의 모습

인류의 희망을 띄우는 방패연

서울 월드컵 경기장의 관중석이 원형과 사각형을 절충한 팔각형의 이미지를 취한데 비하여, 경기장의 지붕은 사각형과 원형을 동시에 취한 적극적인 형태이다.

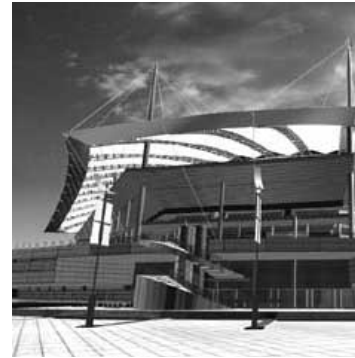
전체적으로 사각형을 기본 형태로 하는 경기장의 구조와 잔디에 햇빛이 들게 하기 위한 창이 열려 있어야 하는 요구가 동시에 만족되는 모습을 가진 전통적 형태로서 방패연이 선택되었다. 또한 방패연은 하늘로 띄우는 것이기 때문에 경기장의 가장 윗 부분인 지붕의 이미지로 적절하다.

이러한 형상들을 결합시켜 방패연 형태의 지붕을 만들고 이 지붕을 16개의 기둥을 통하여 경기장 위에 띄우는 모습을 함으로써, 월드컵 경기장은 월드컵을 통하여 21세기 인류의 희망을 띄우는 방패연을 역할을 하는 의미를 가지게 된다.



방패연 모양의 지붕

한옥의 지붕, 창호지, 한강의 황포 돛배



한옥 처마처럼 밖으로 드리운 경기장 지붕

경기장의 주름진 지붕은 한옥의 기와선을 연상하게 한다. 경기장의 지붕이 굴곡지게 건설되어 형태의 변화를 주기 때문에 보는 사람들이 지루한 느낌을 가지지 않게 한다. 이러한 형태를 통하여 한옥의 지붕과 같은 느낌을 줄 뿐 아니라, 비나 눈이 오면 지붕의 고랑으로 모여서 아래로 떨어지게 함으로써 비와 눈이 지붕에 쌓이게 되어 주는 피해를 막는 역할도 한다.

한편 지붕을 받치고 있는 거대한 마스트와 케이블 들은 황토색의 주름진 지붕 모양과 어울려 한강에 떠있던 우리 나라의 전통적인 황포 돛배를 연상하게 한다.

황포 돛배는 서울의 마포를 중심으로 조선 시대에 한강을 떠다니며 물자를 나르던 중요한 운송 수단이었다.



황포 돛배

방패연을 띄우고 있는 16개의 배흘림 기둥

천장을 지지하며 천장 전체를 공중에 띄워 방패연과 같은 이미지를 형상화하는데 가장 중요한 역할을 하는 것은 지붕 전체를 받치고 있는 16개의 기둥이다.

이렇게 각 면마다 단지 4개의 기둥만을 받치고 있기 때문에 전체적으로 보면 지붕은 경기장 외벽에 붙어있는 것이 아니라 공중에 떠 있는 형태가 된다.

이러한 기둥들은 위아래가 좁고 가운데가 굵은 배흘림 기둥의 형태를 하고 있다. 이러한 기둥은 우리 나라의 전통 사찰에서 많이 사용되는 형태이다. 이렇게 기둥의 가운데가 굵게 되어 있게 배흘림 기둥 형태를 취함으로써, 상대적으로 부러지기 쉬운 기둥의 가운데 부분을 보강하는 역할을 한다.



지붕을 지탱하는 배흘림 기둥들

2. 거대한 경기장의 지붕과 기둥

월드컵 경기장은 관중들에게 직사광선과 비를 막아줌으로써 쾌적한 관람 환경을 제공할 수 있다. 그러나 공기 흐름을 제한하기 때문에 환기의 문제, 비가 온 다음에 잔디가 마르는 것을 방해하는 문제 등을 일으킨다. 또한 잔디에 햇볕이 드는 것을 막아서 잔디의 성장을 방해하게 된다. 이러한 문제를 예방하기 위한 고려가 서울 월드컵 경기장의 각 요소에 어떻게 적용되었을까?

지붕의 면적을 결정하는 요인은 무엇일까?

경기장의 지붕을 모두 덮으면 비가 와도 지장을 받지 않고 경기를 할 수 있지만, 잔디를 제대로 관리하는 것이 어렵게 된다. 또 지붕을 너무 조금 덮으면 지붕으로서 제대로 역할을 할 수 없다. 따라서 지붕의 면적으로 최대화하면서도 동시에 잔디에는 적절한 양의 햇볕이 들게 되어야 한다. 또한 적절한 통풍이 이루어질 수 있어야 한다.



서울월드컵경기장의 지붕 모습

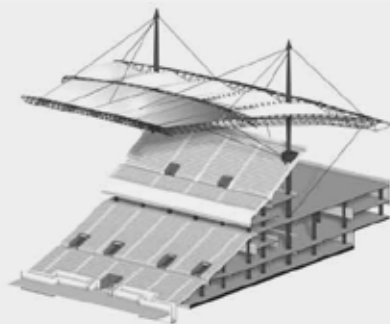
이러한 요인들을 결정하려면 서울 지역의 계절에 따른 태양의 고도 변화를 고려해야 한다. 태양의 고도와 방향에 따라서 그림자가 생기는 지역과 방향이 결정되므로, 이에 따라서 지붕의 높이와 각도가 결정된다.

경기장 지붕 설계가 어려운 것은?

서울 월드컵 경기장은 막구조인 지붕 구조로 되어 있다. 이 지붕은 막과 골조를 합쳐서 그 무게가 8000톤이나 되는 엄청난 무게이다. 잠실경기장은 '켄틸레버'라고 부르는 방식의 'ㄱ'자형 지붕을 촘촘히 배치하여 그 위에 지붕을 얹었지만, 서울 월드컵 경기장은 불과 16개의 철제 마스트가 있을 뿐이다.

이러한 마스트에 얹혀진 지붕은 안쪽의 원형을 이루는 322m 둘레의 링트러스와 바깥쪽의 8각형 테두리를 이루는 684m의 외곽트러스, 그리고 안과 밖을 연결하면서 서까래 역할을 하는 44개의 방사형 트러스로 이루어져 있다.

한일월드컵 경기대회에 사용된 20개의 경기장 중 트러스로 된 지붕 구조와 켄틸레버로 된 지붕 구조를 가진 경기장은 어떤 것들이 있는지 알아보자.



서울 월드컵 경기장의 기본 구조

어떻게 기둥이 가운데 있지 않아도 넘어지지 않을까?

고층 건물의 공사장에 가보면 흔히 타워크레인을 볼 수 있다. 타워크레인도 기둥에 가로로 긴 트러스로 된 팔이 달려 있는 구조이다. 또한 이러한 트러스의 중앙이 아닌 한 쪽에 받침 기둥이 있다.

그러나 이러한 트러스는 팔이 짧은 쪽에 무거운 콘크리트 블록을 매달아 양쪽에 작용하는 돌림힘이 같아지는 평형을 유지하게 한다. 즉 팔이 짧은 대신에 아래로 당기는 무게가 커지면 팔이 길지만 당기는 무게가 적은 부분과 평형이 이루어지는 것이다. 이것은 지렛대의 원리와 동일하다.

그리고 이러한 타워크레인은 긴 팔이 자체의 무게 때문에 아래로 처지는 것을 막기 위해서 받침 기둥을 팔보다 더 높게 해서 강철선으로 잡아당겨 주고 있다. 이렇게 아래로 당기는 힘과 위로 당기는 힘을 적절하게 조화시키면 거대한 크레인이 넘어지지 않고 잘 작동할 수 있다.

서울 월드컵 경기장의 지붕도 마치 여러 개의 타워 크레인을 이어 붙여 놓은 것과 같다. 수평 방향의 방사형 트러스와 수직의 마스트는 타워크레인의 받침 기둥과 팔의 역할과 동일하다.



공사장의 타워크레인

타워크레인과 비슷한 모습의 기둥과 지붕 구조

이 경기장의 지붕도 처짐을 막기 위해서 마스트에서 방사형 트러스에 강철선을 연결하여 위쪽에서 당겨주는 것이다. 그러나 이 지붕은 안쪽이 오히려 기둥의 바깥쪽보다 더 무겁기 때문에 타워크레인처럼 수직을 유지하지는 못한다. 따라서 뒤쪽에서 아래로 당겨주는 힘을 보강하기 위해서 외곽트러스로부터 강철선을 기둥 아래쪽에 연결하고 있다. 이렇게 함으로써 무게 중심보다 뒤쪽에 기둥이 위치하여 앞으로 무너지는 것을 일부 막을 수 있다.



외곽트러스를 아래로 당겨주는 강철케이블

지붕을 이루는 아치의 역할

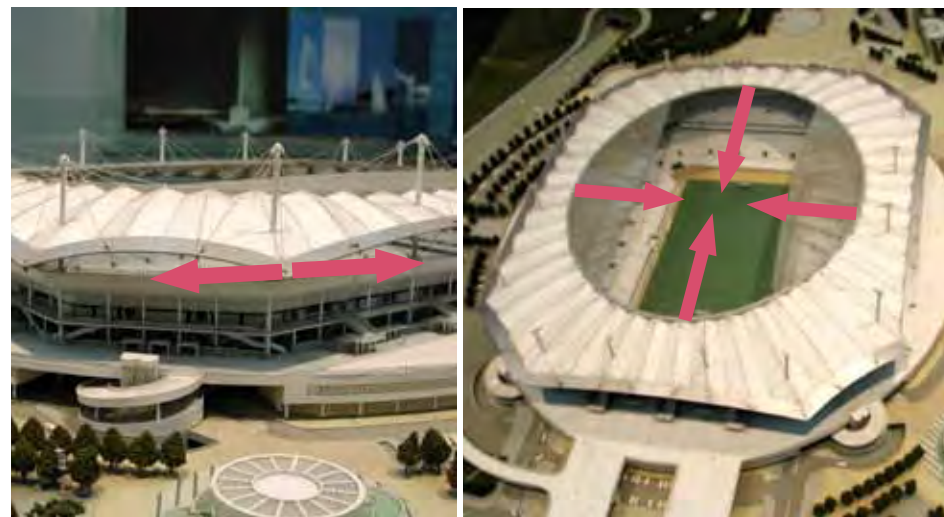
지붕은 옆에서 보면 평면이 아니라 안쪽이 높고 바깥쪽이 낮게 구부러진 활 모양과 같은 아치 구조를 하고 있다. 지붕에는 전체적으로 네 종류의 아치 구조가 있다. 하나는 지붕의 외곽 트러스에서 안쪽의 압축 트러스로 이어지는 아치이고, 나머지 세 개는 외곽 트러스가 이루는 아치이다. 외곽을 이루는 세 종류의 아치는 긴 외곽트러스들이 자체 하중에 의하여 무너지지 않도록 무게를 인접한 아치의 접합점 부분으로 이동시켜 수평 방향으로 작용하는 힘으로 변환되게 한다.

이러한 수평 방향의 힘들은 서로 접합되면 전체적으로 반대방향으로 작용되어 합력이

0이 된다.

밖에서 안으로 이어지는 거대한 아치는 안쪽의 링트러스가 중심을 향하여 압축되게 한다. 그러나 링트러스 자체가 반원으로 이루어진 2개의 아치를 붙여놓은 것과 같은 역할을 하므로, 밖에서 안으로 미는 힘을 아치의 반대편에 전달하는 역할을 하여, 결국 천장은 중앙에 구멍이 뚫려 있어도 전체적으로 아치의 형태를 이루게 된다.

결국 기둥의 앞부분에 있는 방사형 트러스의 자체 무게는 안쪽의 링트러스를 중심방향으로 밀게 되고, 이러한 힘은 반대편의 트러스의 동일한 작용에 의하여 평형이 된다. 따라서 지붕은 전체적으로 하나의 거대한 판과 마찬가지로 된다. 그렇기 때문에 처짐과 앞으로 쓸림을 방지하는 케이블은 아치구조가 아닐 때보다 더 적은 당김힘을 받게 된다.



외곽 아치는 만나는 점에서 서로 미는 힘을 받는다. 내부 링트러스는 안쪽으로 당겨지는 힘을 받는다.

삼각형과 아치의 비밀

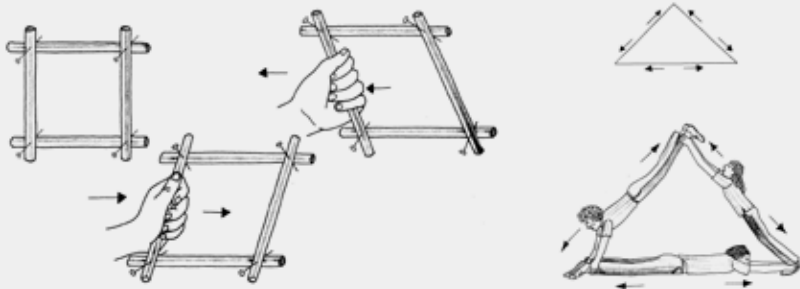
서울 월드컵 경기장의 지붕을 받치기 위해서 사용된 트러스는 삼각형이 연속적으로 연결된 구조체를 말한다. 그러면, 왜 사각형이 아니라 삼각형일까?

다음과 같은 같은 질문을 생각해보자.

- 네 변의 길이가 같은 사각형은 몇 개나 될까?
- 세 변의 길이가 같은 삼각형은 몇 개나 될까?

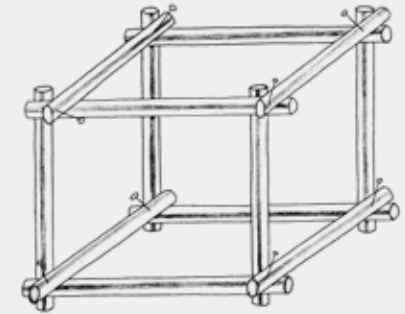
네 변의 길이가 같은 사각형은 무수히 많다는 것을 알 수 있다. 따라서, 네 개의 막대를 가지고 만들 수 있는 사각형은 무수히 많기 때문에, 사각형 구조는 쉽게 변형될 수 있다.

그러나, 세 변의 길이가 주어진 삼각형은 단 하나 밖에 없다. 따라서, 삼각형 모양의 구조는 변형되지 않고 튼튼하다.

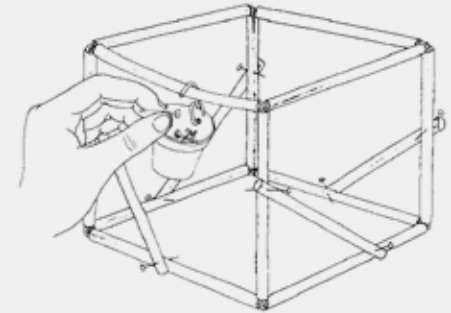


오른쪽과 같은 구조물을 생각해보자.

이러한 구조물은 모든 면이 사각형으로 이루어져 있기 때문에 변형되기 쉽다는 것을 이해할 수 있다. 어떻게 보강하면 이 구조물이 변형되지 않고 튼튼하게 될 수 있을까?



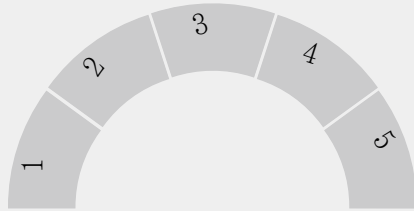
답은 오른쪽 그림과 같이 옆으로 막대를 덧대어 삼각형이 되도록 하는 것이다. 서울 월드컵 경기장 뿐 아니라 주변의 여러 가지 건축물들 속에 이러한 삼각형 구조가 어떻게 숨어 있는지 찾아보자.



아치의 탐구

1. 아치 만들기

- 다음과 같이 스티로폼을 잘라서 아치를 만들어보자.
- 1번과 5번 외부에 적당한 무게의 추를 두어 아치가 밖으로 밀려나지 않게 한 다음, 3번 위에 적당한 추를 올려보자.
- 3번에 올려놓은 추의 무게를 바꾸어 가며, 1번과 5번에 어느 정도의 추를 두어야 아치가 무너지지 않는지 관찰해보자.



2. 아치 찾아보기

우리 주변의 여러 가지 물체나 건축물이나 전통 유물들 속에서 아치의 모양을 찾아보자. 각각의 아치는 어떤 특징을 가지고 있는지 관찰해보자.

- 그 아치는 어디에 쓰이고 있는가?
- 그 아치의 크기는 얼마나 되는가?
- 그 아치의 용도는 무엇인가?

참고: 불국사의 청운교와 백운교, 한강의 다리, 체육관 등

3. 관중석의 구조

경기가 열리는 시간에 따라서 관중이 해를 마주보게 해서는 안된다. 또한 관중들이 가능한 한 경기장에 가까이 있어야 하며, 앞에 앉은 사람 때문에 경기가 잘보이지 않아서도 안된다. 이런 요인들이 서울 월드컵 경기장에 어떻게 고려되어 있는지 알아보자.

서울 월드컵 경기장은 어떤 방향으로 배치되어 있을까?

서울 월드컵 경기장은 운동장의 장축을 따라서 남북으로 배치되어 있다. 따라서 관중석은 긴 부분은 동향과 서향이 된다. 경기가 오후에 열린다면 남쪽과 북쪽, 서쪽의 관중석은 지붕의 그늘 때문에 쾌적하게 경기를 볼 수 있지만, 동쪽의 관중은 해를 향하게 된다.

동쪽의 관중들이 편안하게 경기를 보려면 서쪽 관중석의 지붕은 얼마나 높아야 될까? 계절에 따라 태양의 고도가 달라진다. 경기가 주로 열리는 계절은 언제인지 생각해보고, 적절한 높이를 알아보자.



춘분 무렵 정오에 경기장에 드는 햇볕

관중들의 안전을 위해서 어떤 점을 고려해야 할까?

출입구의 위치를 충분하고 적절하게 하여 관중들이 혼동없이 쉽게通行할 수 있어야 한다. 또한 안내판을 알기 쉽고 보기 쉽게 배치하여 관중들이 찾아다니는데 편리하도록 해야 한다. 서울 월드컵 경기장은 6만의 관중들이 8분만에 모두 밖으로 나갈 수 있도록 설계되어 있다. 이를 위하여 어떤 점들이 고려되었는지 알아보자.

서울 월드컵 경기장에는 모두 102개의 출입구가 있다. 전체 관중이 약 6만 5천명이므로 한 출입구마다 대략 650명 정도가 사용하게 된다.

동시에 여러 사람이 빠져나갈 수 있는 출입구스탠드의 계단에 동시에 6명 정도가 설 수 있다고 하고 계단을 빠져나가는데 약 15초가 걸린다고 하면 650명이 나가는데 3분도 걸리지 않는다. 따라서 전체 경기장은 10분 안에 모든 관중이 안전하게 나갈 수 있다. 이 정도면 화재나 큰 사고가 생겼을 때에도 모든 관중이 신속하게 대피하는 것이 가능하다.

경기장 외부에는 알기 쉬운 그림과 글자를 통하여 출입구의 위치를 잘 알려주어, 관중들이 자신들의 관람석을 찾아가거나 나중에 출구를 찾는 것이 쉽도록 안내하고 있다.



각 응원석 구역마다 있는 출입구

출입구와 출입구 안내판

경기장의 좌석은 안전과 관람 편이를 위하여 어떤 점들이 고려되었을까?

벽을 따라 설치된 난간은 벽면을 사람들로부터 보호할 수 있게 한다. 좌석과 좌석 사이의 공간을 충분히 확보함으로써 관람이 편리할 뿐 아니라 이동하기에 불편이 없게 하여 비상시에도 관중이 쉽게 빠져나갈 수 있어야 한다. 서울 월드컵 경기장의 관람석은 어떤 특징이 있는지 알아보자.

서울 월드컵 경기장은 다른 경기장들과는 달리 모두 등받이가 되어 있다. 따라서 두 시간이 넘는 경기 시간 동안 관중들이 경기를 관람하더라도 피곤하지 않고 편안하게 관람할 수 있다.

관람석은 2층으로 되어 있기 때문에 2층 부분은 운동장과 거리가 멀어지지 않기 위하여 경사가 더 크게 되어 있다. 그러나 경사가 너무 급하면 관중들이 불안감을 느끼고, 또 미끄러지는 사고가 일어날 수 있기 때문에 FIFA가 규정한 안전 경사각 이내인 32도의 경사를 유지하고 있다.



통행의 안전을 돕기 위한 계단 손잡이

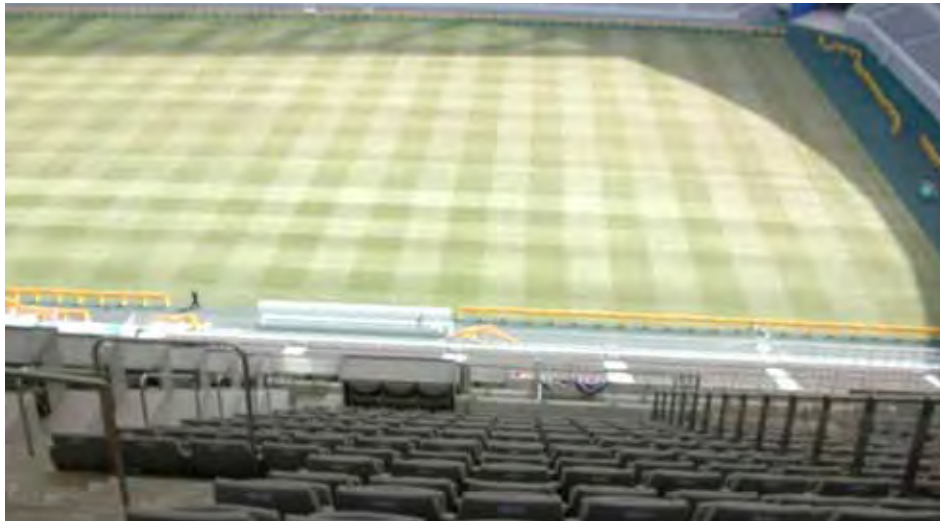
편안한 관람과 통행이 쉽도록 넓게 설계된 좌석

관중석의 크기는 어느 정도가 적당할까?

서울 월드컵 경기장이 수용할 수 있는 관객의 수는 6만 5천명 정도이다. 이보다 더 관중석을 크게 지으면 더 많은 관중들이 경기를 관람할 수 있는 장점은 있다. 그러나 관중석이 너무 커지면 여러 가지 문제점이 생긴다.

관중석이 너무 커지면 많은 관중들이 출입하는데 시간이 오래 걸리므로 비상시에 위험성이 더 커질 수 있다. 관중들이 경기장을 빠져나가는데 시간이 더 오래 걸리고, 혼란스러워하기도 쉽기 때문이다. 그 뿐 아니라 많은 관중을 수용하기 위해서는 관중석이 더 크고 높아져야 한다. 그렇게 되면 관중석에서 경기장까지 거리가 너무 멀어져서 경기 관람이 제대로 안될 수가 있다. 또한 상단의 관중석은 경사각이 너무 커져서 위험할 수도 있다.

FIFA에서는 이러한 점들을 고려하여 축구 전용 경기장이 갖추어야 할 최적의 크기를 규정하고 있다. 서울 월드컵 경기장은 이러한 규정에 따라 관중석의 규모를 결정한 것이다.



관중석 꼭대기에서 내려다 본 경기장의 모습

4. 경기장의 로얄 박스는?

서울 월드컵 경기장에는 로얄박스과 비즈니스 전용 관람석이 마련되어 있다. 이런 관람석의 용도는 무엇일까?

로얄 박스는 왜 있어야 할까?

월드컵 경기는 국제적으로 가장 영향력이 있는 큰 스포츠 행사이다. 따라서 단지 축구를 좋아하는 관중들이 모이는 장소일 뿐 아니라, 여러 나라 사이의 친선을 도모하는 중요한 외교적인 장소이다. 그렇기 때문에 경기가 열리면 개최국가나 참가국가의 국가 원수나 중요한 정치, 외교 인사들이 관람을 하는 경우가 많다.

그러나 이러한 중요 인물들은 또한 국제 정세에 따라서 여러 가지 공격의 대상이 되기도 하기 때문에 경호와 안전에도 신경을 써야 하고, 또한 직위에 맞는 의전도 필요하다. 따라서 월드컵 경기장은 이러한 귀빈들을 위한 로얄 박스를 설치하게 된다.



로얄박스과 일등석

로얄 박스는 어디에 있어야 할까?

대체로 로얄 박스는 가장 경기를 편안하게 관람할 수 있으면서 동시에 안전한 위치여야 한다. 또한 귀빈들의 동선이 너무 커서도 안된다. 서울 월드컵 경기장은 서측 하단 관람석의 제일 윗부분에 로얄 박스가 있다. 이 위치는 관중석의 중간 지점이기 때문에 가장 편안하게 경기하는 선수들을 내려다 볼 수 있다. 또한 박스의 윗부분은 중앙 통제실과 같은 주요 시설이 있어서 상대적으로 다른 관중들이 로얄 박스에 접근하는 것을 차단하기도 쉽다.

왜 동쪽이 아니라 서쪽일까?

축구 경기는 오전에 열리는 경우가 드물다. 대부분의 경기는 오후에 열리거나 또는 야간에 열린다. 경기가 야간에 열릴 때에는 태양의 직사광선을 염려할 필요가 없지만, 경기가 오후에 열릴 때에는 동쪽 관중석에 햇빛이 들기 때문에 약간의 시야 방해가 생길 수 있다.

또한 서울 월드컵 경기장은 동쪽이 아니라 서쪽에 주출입구가 있어서 서쪽이 동선을 줄이는 효과도 있다. 따라서 로얄 박스는 서쪽에 있는 것이 좋다.

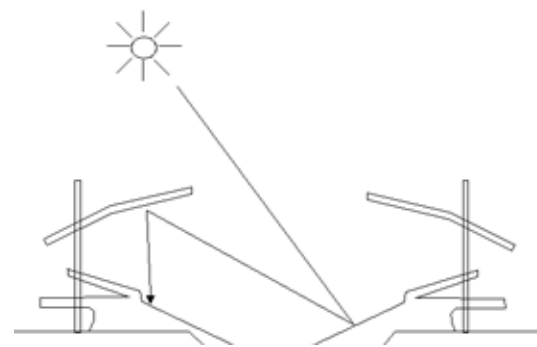
2장 경기장의 채광과 전기

1. 경기장의 햇빛과 그림자

경기장에 드는 햇빛은 잔디에게는 광합성에 필요한 빛을 주고, 비가 와서 젖어 있는 잎을 말려 주기도 하기 때문에 잔디의 성장에는 큰 도움을 준다. 그러나 직사광선은 경기를 관람하는 관중이나 경기를 진행하는 선수들에게 더위를 느끼게 하고 피부를 자극하기 때문에 가능한 한 피하게 해야 한다.

경기장에 햇빛은 어떻게 도달할까?

경기장에 도달하는 햇빛은 직접 도달하는 빛과 이 빛이 경기장의 관중석이나 잔디에서 반사되어 경기장 내부로 확산되는 빛, 그리고 경기장의 반투명 천장을 통하여 경기장 내부로 들어와 확산되는 빛 등 세 가지로 생각할 수 있다.



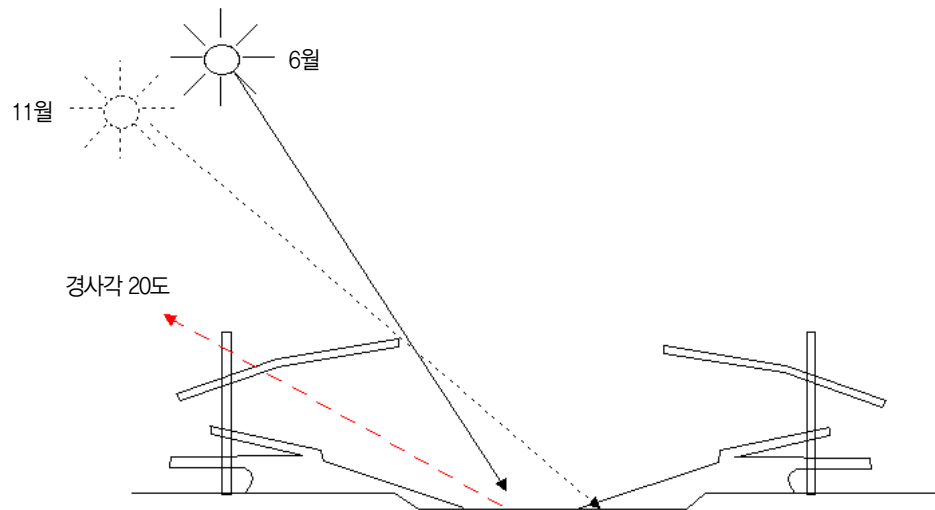
경기장에 도달하는 햇빛의 경로

경기를 하는 선수나 관중들에게는 직사광선을 피하는 것이 중요하다. 그러나 경기장의 잔디는 직사된 햇빛이든 반사, 확산된 햇빛이든 관계없이 이러한 빛들이 합쳐져서 광합성에 사용되므로, 총 조도가 중요하다. 따라서 적절한 지붕의 크기와 지붕막의 투과도, 관중석과 경기장의 반사 특성에 따라서 직사광선을 최소화하면서도 잔디에는 필요한 햇빛을 제공할 수 있는 설계가 가능하다.

태양의 고도는 어떤 영향을 줄까?

서울의 위도는 북위 37.5도이다. 따라서 춘분이나 추분점에서 태양의 하루 중 최대 고도는 정오 때의 52.5도이다. 그리고 동지 때는 이보다 23.5도 낮은 29도이고, 하지 때는 23.5도 높은 76도이다. 따라서 태양의 고도는 동지에서 하지로 한달에 약4도 정도 높아지게 되고 겨울에는 그 반대가 된다. 따라서 잔디가 성장하는데 햇빛이 필요한 시기인 4월부터 11월까지를 기준으로 보면 가장 고도가 낮은 11월은 태양의 남중 고도가 약 56도이고, 가장 높은 6월은 76도이다. 따라서 지붕의 높이와 경기장 면이 이루는 각도는 잔디와 관중석에 직사일광이 어느 정도까지 도달하는지를 결정하게 된다.

춘분 무렵 정오에 생긴 그림자경기장 전체의 동서간 길이는 200m정도이고 지붕까지 바닥에서 평균 높이가 약 40m 정도이므로 경기장 중앙에서 기둥까지 수평면과 수직면이 이루는 각도는 약 20도 정도이다. 따라서 지붕의 수평 거리는 경기장과 태양의 반대편 관중석에 쏘이는 직사 일광의 범위를 결정한다.



계절별 태양의 고도와 지붕의 크기

한편 춘분을 기준으로 태양은 하루에 시간당 약 10도 정도 고도가 변화되기 때문에 햇빛이 쏘이는 범위는 시간에 따라서 달라진다. 오전 9시경에는 햇빛이 약 30도 정도의 고도에서 경기장의 북서쪽 부분을 비추게 되고, 12시경에는 60도 정도 고도에서 경기장의 북쪽 부분을 비추며, 오후 3시경에는 30도 정도의 고도에서 경기장의 북동쪽 부분을 비추게 된다. 이에 따라서 시간마다 잔디가 직사일광을 받는 구역이 달라진다. 서울 월드컵 경기장은 정밀한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 경기장의 잔디를 24구역으로 나누고, 각 구역에 쏘이는 햇빛이 모두 하루 평균 5시간 이상이 되도록 하였다.

2. 경기장의 조명

서울 월드컵 경기장은 조명탑이 보이지 않는다. 또한 밖에서 바라보면 대단히 경기장의 야경이 아름답다. 이러한 아름다움과 경기 관람의 편의를 위하여 설계된 서울 월드컵 경기장의 야간 조명에는 어떤 특징이 있을까?



야간 조명이 켜진 경기장의 모습: 조명탑은 보이지 않는다.

도대체 조명탑은 어디에 있을까?

과거에 지어진 축구 경기장들은 관중석 윗부분에 높이 솟아있는 조명탑을 이용하여 운동장을 밝히는 형태를 취하고 있다. 이러한 구조에서는 조명등의 직사광선이 맞은편 관중석의 관중들의 눈에 도달하여 경기 관람을 방해하고 시력을 해칠 수도 있다. 이러한 문제점을 피하려면 조명탑을 최대한 높여야 한다. 그러나 이런 구조는 다른 문제점을 일으킨다.

높은 조명탑 때문에 경기장 외부로 조명등이 새어나가서 경기장 밖의 야간 환경에 영향을 줄 수 있다. 또한 관중석이나 경기장 외부 등 불필요한 부분을 조명하기 때문에 큰 전력 소모에도 불구하고 조명효율도 떨어진다. 이러한 문제들은 모두가 조명등을 최대한 경기장 가까이 설치하지 못하기 때문에 발생하는 문제들이다.

서울 월드컵 경기장은 경기장 중앙의 링트러스에 2kW의 용량을 가진 메탈할라이드 전등을 264개 설치하였다. 이러한 전등은 구식 경기장의 조명탑의 전구 배열과는 달리 정밀하게 조명 각도가 조절되어 불필요한 부분에 대한 조명없이 필요한 공간만을 비출 수 있도록 되어 있다.

경기장 전체를 24구역으로 나누어 구역당 평균 11개의 전등이 FIFA에서 요구하는 조명 기준인 1500룩스보다 높은 2000룩스의 조도를 내고 있다. 이러한 조도는 최근에 시작된 첨단 고품질 TV 중계방송이 충분한 가능한 정도이다.



링트러스에 설치된 경기장 조명등

큰 경기장을 구석구석 밝게 비추려면?

서울 월드컵 경기장은 경기장의 잔디밭 전체를 2000룩스의 조도가 되도록 조명을 설치하였다. 이 정도 밝기는 교실의 3배 정도이다. 이렇게 많은 전등이 고르게 경기장을 비추게 하기 위하여 경기장 전체를 24구역으로 나눈 다음, 각 구역마다 조도계를 이용하여 일정한 조도가 되도록 조명등의 위치를 조절하였다.

조명등의 위치는 조도에 어떤 영향을 줄까?

조도는 전등의 밝기를 나타내는 것이 아니라, 빛이 도달하는 지점의 밝기를 뜻한다. 따라서 전등의 밝기가 일정해도 전등에서 도달 지점까지 거리나 각도가 달라지면 조도가 달라진다. 빛은 직진하므로 원형의 광원에서 사방으로 퍼지는 빛은 거리가 멀어지면 도달 면적이 제곱에 비례하여 늘어난다. 따라서 조도는 제곱에 반비례하여 줄어든다. 또한 도달면이 전등에서 도달면까지 거리와 이루는 각에 따라서 달라지게 된다.



관중석은 깜깜할까?

경기장의 야경 사진을 보면 경기장 밖으로 영향을 주는 조명탑은 보이지 않는 대신에 지붕 전체가 마치 전통적인 한옥의 창호지로 만든 창문을 통해 빛이 새어 나오는 것과 같은 은은한 빛을 볼 수 있다.

서울 월드컵 경기장은 지붕이 빛을 일부만 통과시키는 반투명 재질인 것을 이용하여 관중석 상단의 지붕 아래에서 위쪽으로 빛을 비추는 간접 조명 방식을 사용하고 있다. 따라서 지붕에서 반사되어 관중석을 비추는 조명은 경기장 내부에 비하여 훨씬 은은한 느낌을 주어 경기에 집중하기 쉽게 만들고, 맞은편에 있는 관중들의 시야도 전혀 방해하지 않는다. 그 뿐 아니라 경기가 열리고 있는 경기장을 가까이 있는 월드컵 공원이나 주변의 주택 단지에서 보면 아름다운 경기장의 야경을 연출하게 된다.



지붕을 비추는 간접조명등

3. 전광판이 잘 보이려면

전광판은 경기장의 장축은 남쪽과 북측의 관중석 제일 상단에 배치하였다. 이 위치는 어떤 측면에서 유리할까?

서울 월드컵 경기장은 남북으로 긴 축을 이루고 있어서, 대부분의 관중들은 동측과 서측의 관중석에 앉아 있게 된다. 따라서 대다수 관중들의 시선을 덜 빼앗아가는 방향인 남북쪽 관중석에 위치하고 있다.

또한 남북쪽 관중석의 상단은 상대적으로 관중들이 가장 잘 안가려고 하는 구역일 뿐 아니라, 서울 월드컵 경기장의 일조 특성상 가장 직사 광선이 적게 드는 구역이다. 따라서 경기장의 관중석 규모를 가장 적게 단축시키면서, 오히려 직사광선의 영향을 받지 않고 선명하게 화면을 볼 수 있는 위치가 남북 방향이다.



경기장의 북측에 있는 전광판

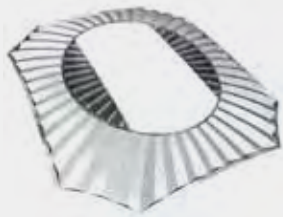
저렇게 큰 영상을 어떻게 만들 수 있을까?

집에서 보는 TV는 브라운관에서 영상을 만든다. 그러나 전광판은 LED라고 부르는 작은 전구들로 이루어져 있다. 영상은 이러한 LED들이 켜지거나 꺼지는 것을 이용하여 만들어낸다.

서울 월드컵 경기장의 전광판은 가로 25m, 세로 9m로 작은 실내 수영장의 크기와 같다.

화면을 구성하는 제일 작은 단위를 화소라고 하는데, 여기에 사용된 화소의 크기는 20mm이다. 이 화소 안에 적색 세 개, 녹색 세 개, 청색 두 개 등 모두 여덟 개의 LED가 들어간다.

- 적색, 녹색, 청색 세 가지만으로 어떻게 모든 색을 만들까?
- 화소의 크기가 20mm이면 우리 집 TV보다 얼마나 선명할까?



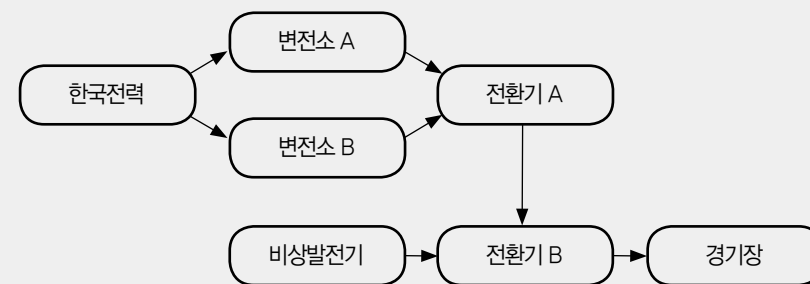
정전이 되거나 벼락이 치면?

축구 경기가 열리는 동안에 벼락이 치거나 정전이 되어서 경기가 중단되거나, 또는 중계 방송이 이루어지지 못하면 전 세계의 많은 사람들이 동시에 경기를 관람하는 데에 큰 영향을 줄 수 있으므로 이러한 사고에 대한 대비가 되어 있어야 한다.

서울 월드컵 경기장은 보통의 건물과는 달리 2개 지역의 서로 다른 변전소에서 전기가 들어온다. 따라서 어느 한 쪽의 변전소가 우연한 사고로 정전이 되더라도 다른 쪽을 통하여 정상적으로 전원 공급이 가능하다.

또한 2개의 전원이 모두 사고가 나는 경우에 대비하여 경기장 전체에 필요한 전기를 공급하는 대용량의 비상발전기를 자체적으로 가동하여 적어도 3단계의 비상 공급이 가능한 체계를 이루고 있다.

그리고 60m나 되는 수직 마스트의 꼭대기에는 모두 피뢰침이 달려 있어서 벼락으로부터 피해를 막을 수 있다.



경기장의 전력 공급 계통도

3장 경기장의 음향

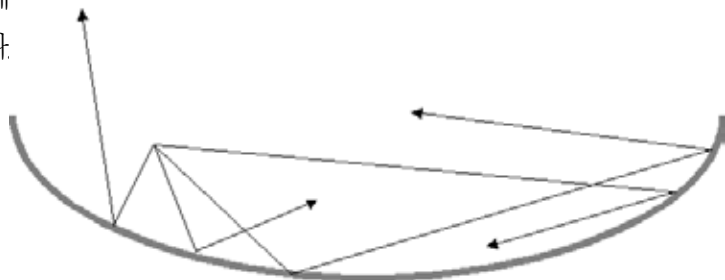
1. 경기장에 울려 퍼지는 합성

축구나 야구와 같은 운동 경기가 열리는 날에 경기장 주변을 지나가면 경기장 안에서 나오는 우렁찬 합성 소리가 밖에서도 크게 들린다. 경기장 안에서는 합성 소리가 너무 커서 옆 사람과 대화를 하기도 힘들 정도이다. 왜 경기장의 합성 소리는 그렇게 크게 들릴까?

소리의 반사

소리는 공기의 떨림이 만들어내는 파동이다. 이러한 음파는 옆으로 전달되어 가다가 단단한 벽을 만나면 다시 반사되어 되돌아온다. 반대로 물렁물렁한 물체를 만나면 물체에서 제대로 반사되지 못하고 파동이 사라지게 된다.

축구 경기장은 대체로 경기장 안쪽이 오목하고 바깥쪽이 솟아있는 접시와 같은 형태의 단면을 하고 있다. 또한 경기장을 구성하는 재료는 대체로 콘크리트로 구성된 단단한 관중석과 잔디로 이루어진 넓은 경기장 바닥으로 이루어진다. 따라서 잔디는 일부 소리를 흡수하는 특성을 가지지만, 다른 부분들은 소리를 잘 반사하는 역할을 한다. 이 때문에 관중석에 만들어진 합성은 경기장의 양쪽 벽에서 서로 반사되어 울리기 때문에 안에서는 더 크게 느끼고 바깥에서는 경기장에서 나오는 소리가 바깥으로 퍼져 나가기 때문에 잘 들리게 된다.



경기장 내부의 소리 반사

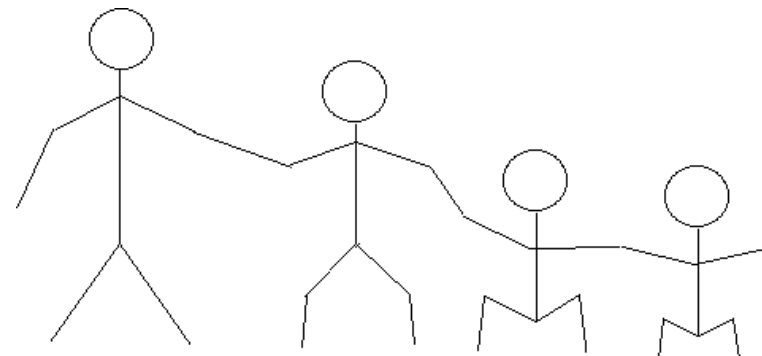
2. 파도타기 응원

파도타기 응원은 파동이 무엇인지 잘 설명해주는 재미있는 응원 방법이다. 파도타기 응원이 이루어지려면 어떻게 해야 할까?

파도 만들기

파도타기 응원이 시작되면 한 쪽 끝의 사람이 먼저 일어난다. 이 때 바로 옆에 있는 사람은 일어나는 사람을 보면서 조금 늦게 일어난다. 다음 순간에 다시 그 옆에 있는 사람이 역시 조금 늦게 일어난다. 한편 처음에 일어났던 사람은 다시 앉기 시작한다. 이렇게 모든 사람들이 조금씩 시간차를 두고 일어났다 앉았다를 반복하면 멀리서 볼 때 작은 산봉우리 같은 모양이 옆으로 흘러가는 모습을 볼 수 있다. 이것을 호수에 돌을 던지면 파문이 생기면서 파문이 옆으로 흘러가는 것과 같은 원리이다.

파도타기 응원에서 응원하는 관중 각자는 그저 위아래로 앉았다 일어났다 하는 움직임을 할 뿐이다. 그러나 만들어지는 봉우리는 옆으로 흘러가게 된다. 바닷가의 파도도 마찬가지로 방법으로 만들어진다. 그렇기 때문에 이러한 응원법을 '파도타기 응원'이라고 하는 것이다.



파도타기 응원이 시작되면 순서대로 옆의 사람을 따라서 일어났다 앉는다.

파도가 더 빨라지게 하려면?

파도의 봉우리가 옆으로 전달되는 속도를 파동의 속도라고 한다. 어떻게 하면 이 속도를 더 빠르게 할 수 있을까?

옆 사람을 보고 나서 일어나면 시각의 반응 속도 때문에 빠른 파도를 만들 수 없다. 또 옆 사람이 파도가 오는 것을 모르고 경기를 관람하고 있다면 파도가 끊어질 수도 있다. 그러나 옆 사람의 손을 붙잡고 있으면 눈으로 보지 않아도 손이 당겨지면서 일어나게 되어 파동의 속도는 더 빨라진다. 더 빠르게 하려면 아예 어깨동무를 하고 있으면 된다.

자연에서 발생하는 음파나 지진파, 수면파도 이처럼 파동을 만드는 물질이 얼마나 단단하게 결합되는가에 따라서 속도가 달라진다.

소리의 속도는 어떻게 달라질까?

소리는 단단한 물질이 앞뒤로 진동하면서 그 방향으로 전달되는 파동에 의하여 만들어진다. 특히 이러한 파동이 공기에서 전달되면 결국 우리 귀 속의 공기가 떨리게 되고, 이에 따라서 고막이 떨려서 우리가 소리를 느끼게 된다.

공기는 폭신한 것 같지만 그렇지 않다. 풍선에 공기를 가득 넣고 꼭 눌러보면 다시 튀어나오는 것을 알 수 있다. 이처럼 공기도 용수철과 같이 탄성이 있기 때문에 음파가 만들어진다. 그렇다면 공기의 온도가 더 높아지면 어떻게 될까?

당연히 공기의 탄성은 더 높아지고, 따라서 음파의 속도는 더 빨라지게 된다. 소리의 속도는 온도에 따라서 대체로 다음과 같다.

$$\text{소리속도} = 331.6 + 0.6 \times \text{온도 (m/s)}$$

3. 서울 월드컵 경기장의 음향은 어떤 점이 고려되었을까?

지붕이 있는 경기장은 스탠드와 지붕에서 소리가 반사되어 생기는 심한 잔향 때문에 지붕이 없는 경기장보다 소리가 관중들에게 제대로 전달되기 어렵다. 또한 공간이 넓기 때문에 확성기 가까이 있는 사람과 멀리 있는 사람에게 전달되는 소리가 균질하지 못할 수 있다. 서울 월드컵 경기장은 이러한 점들을 최소화 하기 위해 어떤 점들을 고려하였을까?

소리의 반사를 막는 것들

서울 월드컵 경기장의 지붕을 이루는 막은 소리를 흡수하는 성질이 높은 유리 섬유에 테프론을 코팅한 것이다. 따라서 콘크리트 구조로 된 지붕을 가진 건축물과 달리 서울 월드컵 경기장의 지붕은 소리를 반사하는 역할보다는 오히려 흡수하는 역할을 더 많이 한다. 또한 지붕을 버티는 방사형 트러스 내부에는 소리를 흡수하는 물질을 집어넣어 소리의 반사를 더 차단하도록 돕고 있다.

한편 경기장의 잔디와 잔디의 바닥을 이루고 있는 두터운 모래층도 소리를 흡수하는 좋은 물질이다. 그 뿐 아니라 경기장에 관중이 가득 차면 사람과 사람이 입고 있는 옷도 좋은 소리 흡수 물질이 된다. 따라서 이런 것들이 경기장 내에서 소리의 과도한 반사를 막는데 도움을 줄 수 있다.



소리의 난반사를 막기 위하여 방사형 트러스에 설치된 흡음재

경기장에서 소리가 음악실 같이 잘 들리게 하려면?

우리가 실내에서 사용하는 소리의 대부분은 반사음이다. 방 안에서 대화를 하면 내 입에서 나온 소리가 바로 상대방의 귀에 전달되는 것은 일부분이고, 대부분의 소리가 벽이나 천장을 통해 반사되어 들린다. 따라서 방안에 책이나 커튼 등 흡음이 아주 높은 경우에는 좀 더 큰 소리로 이야기를 해야 한다.

그러나 반사가 많은 곳에서는 직접음과 반사음의 시간차 때문에 소리가 울리게 된다. 목욕탕이나 텅빈 교실과 같이 흡음이 거의 되지 않는 곳에서 대화를 하면 그래서 잘 알아듣기 어렵다. 보통의 학교 운동장이나 구식 경기장에서는 장내 방송을 위한 스피커를 많이 설치하지 않고, 큰 소리로 틀기 때문에 직접음보다는 반사음이 더 많아져서 알아듣기 어렵다.

서울 월드컵 경기장에서 장내 방송용으로 사용하는 스피커는 보통 많이 쓰이는 확산형 스피커가 아니라, 오히려 소리를 한 곳으로 모으고 그 바깥으로는 잘 전달하지 않는 특성을 가진 고지향성 스피커이다.

경기장 전체의 흡음성을 높여서 반사음의 전달을 억제한 다음, 경기장 곳곳에 328개의 스피커를 설치하여 각 스피커가 일정한 구역에만 직접음을 전달하도록 하고 있다. 이처럼 배치하면 관중들은 과거의 경기장과 달리 명료하고 좋은 음질의 방송을 들을 수 있다. 또 정해진 구역에만 소리가 전달되기 때문에 불필요하게 경기장 전체에 방송을 할 필요가 없어서, 방송이 경기 관람을 방해하지 않을 뿐 아니라, 적절한 장소에 필요한 정보를 선택적으로 제공하기 쉽게 된다.



정밀한 고음질의 음향을 전달하기 위한 고지향성 스피커

4장 경기장의 잔디

1. 잔디를 심을 때 고려해야 할 점들

축구장이나 야구장, 골프장 같은 곳에는 항상 잔디가 있다. 심지어 테니스장도 잔디가 있는 곳도 있다. 잔디를 심으면 어떤 점이 좋을까? 잔디는 어떤 특징이 있을까?

잔디의 기원과 특징

지구 상에는 많은 풀들이 존재한다. 그러나 특히 잔디가 가장 좋은 풀로 선택되는 이유는 무엇보다도 잔디잎이 거칠지 않고 부드러워 질감이 좋고, 사람이나 동물이 밟고 다니면서 자주 잎이 망가지거나 꺾여나가도 잘 견디고 쉽게 운동장을 잘 덮으면서 자라기 때문이다.

현재까지 알려진 잔디는 다년생 풀로서, 약 600속 7500종이 있고, 이 중 30여종만이 실제 잔디로 이용되고 있다. 이러한 잔디 품종들은 처음에 발생된 지역과 기후나 토양의 조건을 가진 곳에서 가장 잘 자란다. 그러나 그렇지 않은 지역에서는 농약, 비료 등을 통하여 인공적으로 재배를 해주어야 한다.

잔디작물은 목축업이 발달한 서유럽의 목초지에서 개발되어 왔다. 소 말 양 및 염소 등의 가축을 방목하면서 여러 가지 작물을 재배해서 이들 가축의 사료로 이용하였다. 이러한 사료작물 중에서 가축이 지나다니면서 밟거나 뜯어먹어도 죽지않고 계속 잘 번성하는 특성이 강한 풀들이 잔디로 개발되었다. 이러한 특성들 때문에 오늘날 경기장 등에서 잔디를 일정한 길이로 관리하기 위하여 잔디깎기를 하는 것이 가능하다.

잔디의 종류

잔디는 원산지에 따라 남방계 잔디 및 북방계 잔디로 나뉜다. 남방계잔디는 원산지가 열대 아열대 지역에 자생하던 잔디이다. 이에 비하여 북방계 잔디는 원산지가 온대 한대 등 상대적으로 더 북쪽지역에 자생하는 잔디이다.

또한 잔디가 성장하는 온도에 따라서 난지형 잔디 및 한지형 잔디로 나눌 수 있다. 난지형 잔디는 대개 남방형 잔디이다. 남방의 따뜻하고 건조하거나 습윤한 지대에서 주로 재배되는데 하루 평균기온이 10℃ 이상이 되는 4월 초순부터 생육이 시작되어 6-8월의 25-35℃ 사이에서 가장 생육이 왕성하다. 가을이 되어 온도가 내려가면 평균 10℃이하가 되는 10월 중순 경에 잎이 누렇게 변하면서 성장이 멈추고 휴면기에 들어간다. 대표적인 난지형 잔디로는 금잔디, 왕잔디, 들잔디 같은 우리 나라의 잔디와 미국 남부 텍사스 플로리다주 등에서 많이 자라는 세인트 오거스틴그라스 등이 있고, 열대 아열대 기후에서 자라는 잔디로는 버뮤다그라스 등이 있다.

한지형 잔디는 대개 북방계 잔디이다. 북방의 춥고 건조하거나 습윤한 지대에서 주로 재배된다. 3월 초순 무렵 하루 평균기온인 6℃ 이상이 되는 때부터 자라기 시작하여 13-20℃사이인 5, 6월에 가장 활발하게 자라다가, 오히려 온도가 25℃ 이상이 되면 하고현상이라고 하여 생장이 정지되는 시기가 된다. 그러다가 다시 가을이 되어 9-10월경에 온도가 20-13℃로 내려가면 다시 자라서 1년 동안 2번 성장하는 특징을 가진다. 한지형 잔디로는 애뉴얼블루그라스, 러프블루그라스, 켄터키 블루그라스 등의 블루그라스류 (Bluegrass), 톨 웨스큐, 크리핑 레드웨스큐 등의 화인 웨스큐류 등이 있다.

잔디가 자라는 모양도 잔디를 구분하는 방법이 된다. 잔디는 성장 모양에 따라서 수직형의 줄기만 자라는 주형잔디, 수직뿐 아니라 지상부에서 옆으로 퍼지는 포복경잔디, 지하에서만 옆으로 퍼지는 지하경잔디 및 포복 지하경 잔디 등 4종류가 있다. 들잔디나 버뮤다그라스는 포복 지하경 잔디이다.

켄터키 블루그래스

서울 월드컵 경기장에 사용된 잔디는 켄터키블루그래스라는 품종이다. 이 잔디는 우리나라의 산들에서 볼 수 있는 들잔디에 비하여 어떤 장점이 있는지 알아보자.

켄터키 블루그래스의 학명은 *Poa pratensis*이다. 이 잔디는 전 세계에서 가장 다양한 용도로 광범위하게 쓰이는 잔디 중의 하나이며 지하경을 통하여 생육한다. 원산지는 북위 50도, 주요 재배지는 북위 42도 정도의 지역이어서 우리나라의 북부 지역과 기후가 비슷한 곳에서 잘 자란다. 잔디들의 밀도가 높고 낮게 깎아 주어도 잘 적응하며 잎이 부드럽고 다시 자라는 속도가 빠르다. 고온 건조한 날씨에는 매우 약한 편이나 우리나라 장마기의 다습 조건에서는 비교적 좋은 상태를 유지할 수 있고 햇볕이 부족해도 잘 견딘다.

이 잔디는 잎의 끝이 배의 끝과 유사하여서 보트형이라고 부른다. 잎혀는 아주 얇고 폭이 0.6mm 이하이어서 육안으로 보기에 거의 없는 것과 같이 보인다. 잎귀는 없으며 깃은 나뉘어져 있는 형태를 보인다. 새로 나오는 잎은 접혀서 나오며 잎맥이 두드러지지 않다. 우리나라 기후에서 잘 자라게 하려면 물을 잘 주어야 한다.



경기장에 심긴 켄터키블루그래스

우리나라 기후의 가장 두드러진 특징은 여름에 고온다습하고 겨울에는 한랭건조한 점이다. 특히 장마기간중 고온다습한 기후에서는 한지형 잔디의 유지관리가 아주 어렵다. 유럽이나 온대지방 중 여름 기온이 우리와 비슷한 나라도 다습하지 않다면 한지형잔디의 유지관리가 훨씬 쉽다. 우리나라 여름 기후에 적응이 가장 잘 되는 초종은 켄터키 블루그래스이다. 스포츠용으로 쓰이고 있는 초종에는 켄터키 블루그래스 외에도 페레니알 라이그라스, 톨 웨스큐 등이 있으며 유럽에서는 몇가지 화인웨스큐류도 혼합사용하고 있는데 우리나라 기후에서는 대체로 하절기에 잘 견디지 못하는 경향이 있다. 켄터키 블루그래스는 다른 초종에 비하여 발아기간이 훨씬 길고 초기 생육 속도도 비교적 느려 정상적인 경기를 치룰 수 있기 위해서는 파종 후 대략 일년정도의 기간이 소요된다. 이 잔디는 조성하기는 어려워도 일단 조성 후에는 하절기 생육이 우수하고 경기시 손상되는 부위도 보파할 필요가 없을 정도로 회복이 잘 되며 그라운드 피복력이 뛰어나 손상이 적을 뿐만 아니라 선수보호에도 유리한 특징을 가진다.

한국형 잔디

한국형 잔디의 학명은 *Zoysia spp.*이다. 한국잔디류에 속하는 잔디들은 난지형 잔디이나 생태적 적응지가 온대에서 열대에 걸쳐 분포되어 있다. 특히 국내에서 가장 흔히 볼 수 있는 잔디인 들잔디는 중국 동부, 한국 및 일본이 그 원산지로서 한지형 잔디에 접근하는 내한성과 타 난지형 잔디가 가지고 있는 내서성을 동시에 가진 유일한 잔디이다. 장기적인 기후 안전성 및 자생력을 포함하여 판단할 경우 우리나라의 기후에 가장 적절한 잔디이며 내마모성이 모든 잔디중 가장 우수하여 경기장 잔디로서의 큰 장점을 가지고 있으나 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 가장 큰 문제점은 비교적 늦은 조성속도와 생육속도이다. 전통적으로 평떼, 줄떼 등의 영양번식에 의존하여 왔고, 조성 후 성숙까지 1년 이상의 기간이 소요되며, 사용으로 인한 훼손 시에는 회복에 비교적 장시간이 소요되고 있다. 두 번째 문제점은 육종된 우수품종이 부족한 것이다. 본 잔디의 속내에는 많은 우수한 형질

들이 내재되어 있으나 품종화 되어 경기장 잔디용으로 개발된 잔디가 거의 없는 상황이다. 세 번째 문제는 본격적인 녹색기간이 5월부터 9월까지로 제한된다는 점이다. 국내의 겨울 상황을 볼 때 11월부터 3월까지의 야외 경기장의 이용이 제한되지만 4월부터 10월까지의 기간에는 경기장의 사용이 예상되는데 이중 4월과 10월의 잔디상태가 이용에 적합한 상태가 되지 못하는 점이다. 덧파종 등의 보조 수단을 동원하여도 잔디의 종합적인 밀도를 유지하기가 까다로운 점이 본 잔디류의 이용에 제한이 되고 있다. 그러나 현재 국내외에서 많은 육종 연구가 진행되고 있고, 종자 파종 방법 등이 개선되어 많은 단점을 보완해 주고 있어, 미래의 가치는 매우 높다. 한국잔디류(중지류)로 불리는 잔디류가 여러 우수한 특징을 가지고 있다. 이들은 들잔디에 비해 밀도가 높고 생장속도가 빠르며 금잔디류에 비해 내한성도 높아 중부 이남의 지방에서 사용되고 있다.

2. 잔디 구장의 과학

우리나라 축구 선수들은 어려서 잔디 경기장에서 경기할 기회가 드물다. 그래서 실제로 잔디에서 경기를 하면 잘 적응을 못해서 실력 발휘가 안된다고 한다. 잔디에서 운동 경기를 하면 어떤 점이 좋을까? 잔디가 없는 운동장에서 어떤 차이가 있을까?

운동량과 충격량

물체가 움직이고 있을 때 그 질량과 움직이는 속도의 곱을 운동량이라고 한다. 예를 들어 10kg의 볼링공이 초속 2m/s로 굴러가면 5kg의 볼링공이 초속 2m/s로 굴러가는 것보다 2배의 운동량을 가진다.

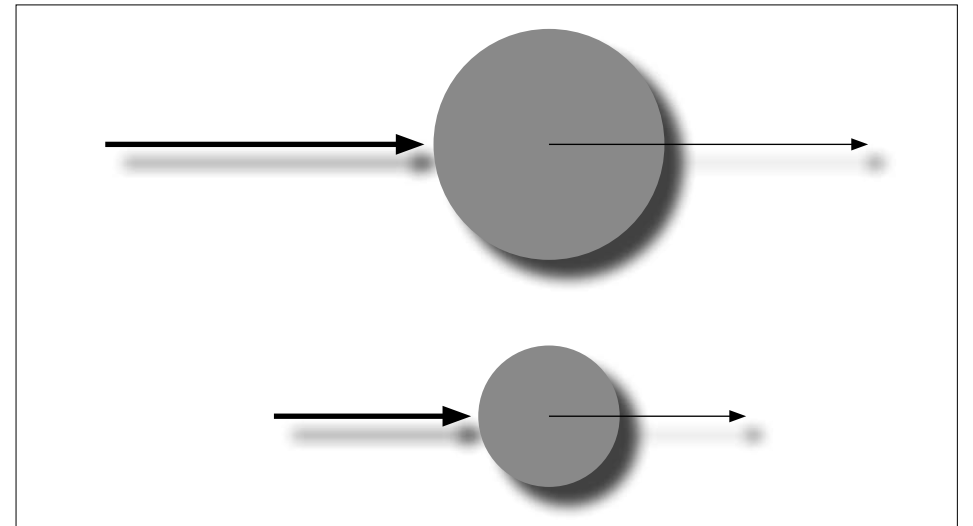
$$\text{운동량} = \text{질량} \times \text{속도}$$

그렇다면 정지해 있던 두 볼링공을 굴리려면 어떻게 해야 할까? 당연히 10kg을 굴려서 2m/s가 되게 하려면 5kg을 굴려서 같은 속도가 되게 하는 것보다 2배의 힘이 필요하다. 즉 힘을 주면 물체의 운동량이 생기거나 늘어나게 할 수 있다.

물체가 운동하는 방향의 반대로 힘을 주면 어떻게 될까? 물체의 속도가 줄어들게 된다. 따라서 힘이 반대 방향으로 가해지면 오히려 운동량이 줄어든다는 것도 알 수 있다. 즉, 힘이 가해지면 물체는 운동량이 달라진다고 할 수 있다.

만일 볼링공에 힘이 10초간 가해지면 5초간 가해지는 것과 어떤 차이가 있을까? 10초간 가해진 것은 5초간 2번 가해진 것과 같으므로 볼링공의 운동량이 5초 가해져서 달라진 것의 2배가 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 생각을 반대로 하면, 같은 크기의 운동량이 변화되는데 가해지는 힘의 크기가 작아질수록 가해지는 시간이 늘어난다는 것을 알 수 있다. 이렇게 운동량을 변화시키기 위하여 가해지는 힘의 크기와 시간의 곱을 충격량이라 한다.

$$\text{운동량 변화} = \text{가해지는 충격량} = \text{힘} \times \text{가해지는 시간}$$



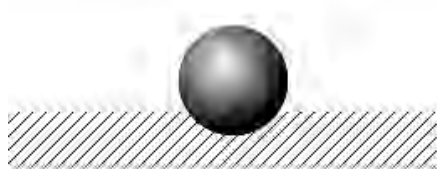
공에 가해지는 힘의 크기와 운동량 변화

잔디 운동장

잔디 운동장의 가장 큰 특징은 잔디가 없는 일반 운동장보다 덜 단단하다는 것이다. 축구공은 등근 가죽주머니에 공기를 채워 넣은 특징을 가지고 있기 때문에 찌그러졌다가 펴지는 탄성이 아주 크다. 공중으로 날아온 공이 땅에 닿는 순간 운동량 변화가 어떻게 될까?

잔디에 떨어지는 공은 잔디 속으로 파고들면서 대부분의 운동량을 잃어버린다. 그래서 잔디 바닥에 닿을 무렵이면 별로 찌그러들지 않기 때문에 다시 튀어오를 때 그렇게 높이 오르지 않는다. 그래서 선수들이 공중으로 길게 패스된 공이 바닥에 떨어지면 다루기가 편하다. 그러나 잔디가 없는 운동장에서는 공이 바닥에 닿을 때까지 운동량을 잃지 않기 때문에, 바닥에 닿으면서 심하게 찌그러진다. 그 다음에 공이 탄성에 의하여 많이 반발하면서 튀어 오르게 되고, 따라서 튀어 오르는 높이도 높아진다. 따라서 높은데서 떨어진 공은 선수들이 그 다음에 더 다루기가 어렵다.

한편 경기장의 마찰력도 잔디가 있는 운동장이 없는 운동장보다 더 크다. 잔디가 없는 운동장은 땅이 건조할 경우에는 운동장 표면의 흙이나 모래가 미끄럼을 크게 하고, 비가 와서 물이 고이면 진흙이 되어 역시 미끄럼이 커진다. 그러나 잔디가 있는 운동장은 잔디가 토양을 결합시키는 역할을 하고, 잔디 뿌리들이 서로 얽히기 때문에 일정한 마찰력을 유지한다. 마찰이 크면 공이 미끄러지지 않고 더 잘 회전하게 된다. 또한 폭신한 잔디층이 구름에 대한 저항을 일으켜서 선수들의 공의 속도를 조절하기가 더 쉽다. 따라서 원하는 속도, 원하는 거리로 정밀하게 공을 주고받을 수가 있으므로 높은 기술력을 발휘할 수 있다.



잔디밭에 떨어진 공



맨땅에 떨어진 공

가장 큰 장점은 선수들이 넘어지거나 뛰어 올랐다가 떨어질 때 부상의 위험이 적다는 것이다. 잔디가 없는 일반 운동장은 넘어질 때 표면의 거친 모래나 작은 돌조각 등에 선수들의 신체가 쓸리면서 상처가 날 수 있다. 또한 바닥이 단단하여 운동량을 줄이지 못하기 때문에 떨어지는 선수들은 그 충격을 고스란히 받게 된다. 이에 비하여 잔디 구장에서는 부드러운 잔디 잎이 선수들의 상처를 방지하고, 또한 떨어질 때 충격도 잔디층과 잔디 바닥의 부드러운 토양이 흡수하여 선수들을 보호한다.

이러한 잔디층의 충격 흡수 능력은 90분 이상을 뛰는 선수들의 무릎 관절과 허리를 보호하는 역할을 하기도 한다. 선수들은 경기하는 동안 계속 달리고 뛰어 오르고 하기 때문에 그러한 충격들은 지속적으로 무릎 관절과 허리 등으로 전달된다. 따라서 경기장의 잔디층이 이러한 충격을 흡수하면 선수들은 일반 운동장에 비하여 경기 후 부상의 위험이 줄어들게 된다.

3. 잔디 무늬와 잔디 깎기

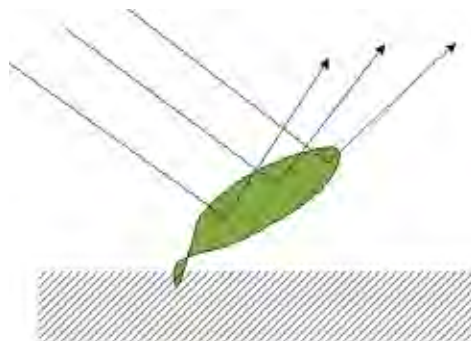
잔디 무늬는 잔디 깎기 방향에 따라 생긴다. 왜 이런 현상이 생기는지 물리적으로 생각해보자. 서울 월드컵 경기장의 잔디 무늬는 직선형, 정사각형, 다이아몬드형 등 여러 가지 모양으로 깎아 검토한 후 결정된 것이다.



축구장의 잔디 무늬

빛의 반사

빛은 물체에 닿으면 반사하여 반대편으로 진행한다. 이 때 입사각과 반사각은 같게 된다. 잔디를 깎으면 깎는 방향에 따라서 잔디가 눕는 방향이 달라진다. 그러면 잔디의 눕는 방향에 따라 한쪽에서는 반사된 빛이 잘 전달되어 밝게 보이고, 다른 쪽에서는 빛이 잘 전달되지 않아서 어둡게 보이게 된다.



잔디 앞에 반사되는 빛의 경로

잔디 깎기

경기장의 잔디는 너무 자라면 오히려 선수들이 경기하기에 방해가 되기 때문에 항상 적당한 길이가 유지되게 해야 한다. 그러나 잔디의 생육 또한 고려해야 하므로 적절한 높이와 회수를 선택할 필요가 있다. 잔디깎기는 식물의 기능유지에 절대적인 광합성 기능을 약화시키는 것이므로 깎는 높이는 각 초종별 고유범위 내에서 잔디상태에 따라 다른 접근이 필요하다. 즉 한지형 잔디는 생육 적정온도가 15~24℃ 사이이기 때문에 생육이 왕성한 봄과 가을에는 낮게 깎을 수 있으나, 여름에는 35℃ 까지 올라가는 고온 환경으로 인해 잔디가 약해진다. 따라서 여름 고온에 약한 이 시기에 보통 때보다 높게 깎아 잔디가 스트레스를 덜 받게 하는 것이 바람직하다.

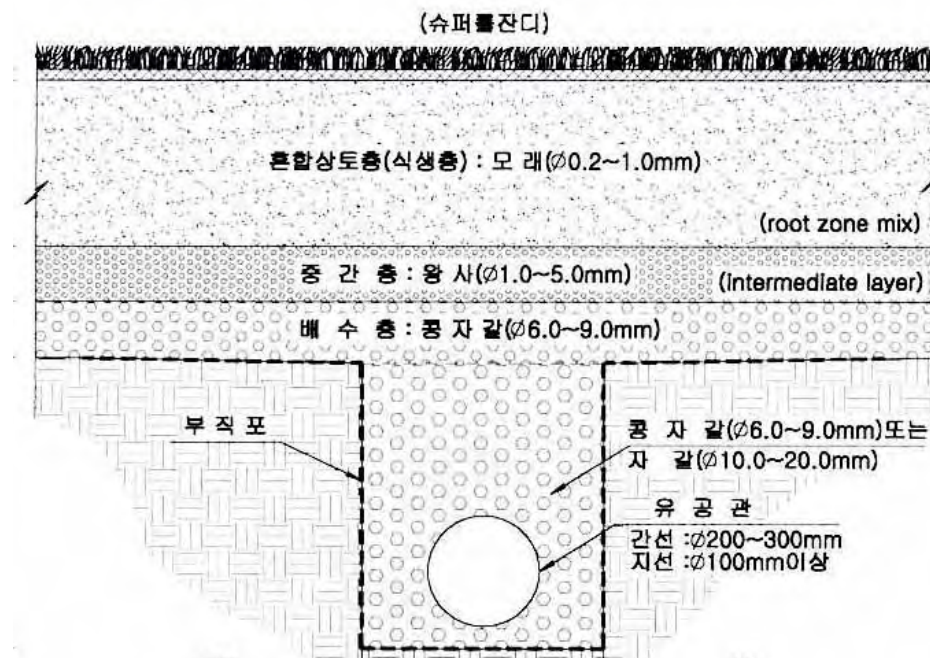
잔디 깎는 회수는 잔디의 생육속도에 맞추어 조절해야 한다. 한지형 잔디는 생육이 왕성한 봄과 가을의 경우는 한 주일에 5회 정도 자주 깎아주고, 여름의 경우는 잘 자라지 않기 때문에 회수를 반 정도로 줄여야 한다.

4. 경기장의 급수와 배수

비가 올 때에도 무난히 경기를 하고, 잔디가 잘 자라게 하기 위해서는 운동장의 물빠짐이 중요하다. 서울 월드컵 경기장은 어떤 지반 구조를 가지고 있을까?

경기장의 지반 구조

잔디 경기장의 지반은 여러 층으로 구성된다. 우선 잔디가 자라는 제일 위층은 300mm 두께의 고운 모래층이다. 진흙에서 자라는 우리나라의 토종 잔디와는 달리 한지형 잔디인 캔터키 블루그래스는 모래층에서 자란다. 그리고 그 아래에는 배수를 위해 물빠짐이 쉬운 100mm 굵은 공자갈 층과 그 위에 중간층인 50mm 두께의 굵은 모래층이 있다.



지반 조성 단면도

그러나 이러한 모래층만으로는 위에서 밑으로 빠지는 물을 다 흡수하는데 한계가 있다. 따라서 모래층 아래에는 경기장 전체에 걸쳐서 5m 간격으로 일반 가정의 난방 배관처럼 촘촘하게 위로 구멍이 뚫린 배수관이 지나가고 있다. 이러한 구조 때문에 경기장에 뿌려진 물이나 비는 잔디에 의하여 흡수되고, 그 나머지는 배수층을 통과하여 배수관으로 모여 배출된다.

잔디의 물주기

잔디는 항상 적정한 유효수분을 유지할 수 있도록 적절하게 주기적으로 물을 주어야 한다. 물을 줄 때에는 뿌리지역에까지 도달되도록 깊이하되 자주 하지 않는 것이 중요하다. 잔디의 물을 너무 자주 주게 되면 오히려 잔디 뿌리가 수분을 흡수하는 능력을 약화시켜 뿌리층이 지반 깊숙히까지 분포되지 못하고 지표면 부근의 얇은 곳에서만 자라게 되어 다시 건조에 약해지는 악순환이 생길 수 있다. 특히 서울 월드컵 경기장같이 한지형 잔디가 심어져서 지반의 모래 함량이 높은 곳에서는 한 여름에 매일 가벼운 물주기가 필요하다. 물주기는 보통 스프링클러를 사용하여 실시하는데 너무 습하거나 건조한 부위가 생기지 않도록 균일하게 해야 한다.

물주기는 토양의 마른 상태를 보고 결정하는 것이 일반적이다. 물주기에 적합한 시간은 해가 뜬 직후 이른 아침이다. 아침에 물주기를 하면 경기를 피할 수 있고 잔디 근처 공기의 상대습도를 떨어뜨려 병의 원인이 되는 곰팡이를 줄이게 되며 낮은 지온을 높여주는 효과도 있다. 그러나 오후나 저녁의 물주기는 지온을 하강시키고 잔디에 묻은 물이 병을 유발할 수 있다. 한낮의 물주기는 잔디가 햇볕에 열상을 입을 수도 있다. 바람없이 고요한 낮에는 물이 고르게 떨어지고 속히 건조되기 때문에 지온을 낮출 목적으로 가벼운 살수는 가능하다.



제3부

월드컵경기장을 나와서

1장 경기장의 환경과 미래

제3부 월드컵경기장을 나와서

1장 경기장의 환경과 미래

1. 쓰레기 매립장에서 월드컵 생태환경공원으로

난지도는 원래 여의도와 같이 한강 하류에 있던 섬이었다. 이 섬은 난초와 지초 향기가 가득한 아름다운 섬이라고 해서 이름도 난지도라고 하였다.

그러나 1970년대 후반에 우리나라의 경제가 성장하면서 서울도 급격한 경제개발과 산업화가 이루어졌다. 이 과정에서 시민들이 사용한 생활쓰레기와 공단에서 발생한 산업용 쓰레기를 처리하는 것이 큰 문제가 되었다. 그래서 1978년부터 난지도에 쓰레기 매립이 시작되어 1993년까지 15년간 생활쓰레기, 건설폐자재, 산업폐기물 등 약 9,200만톤이 매립되었다.

이렇게 해서 본래 강변에 있던 섬

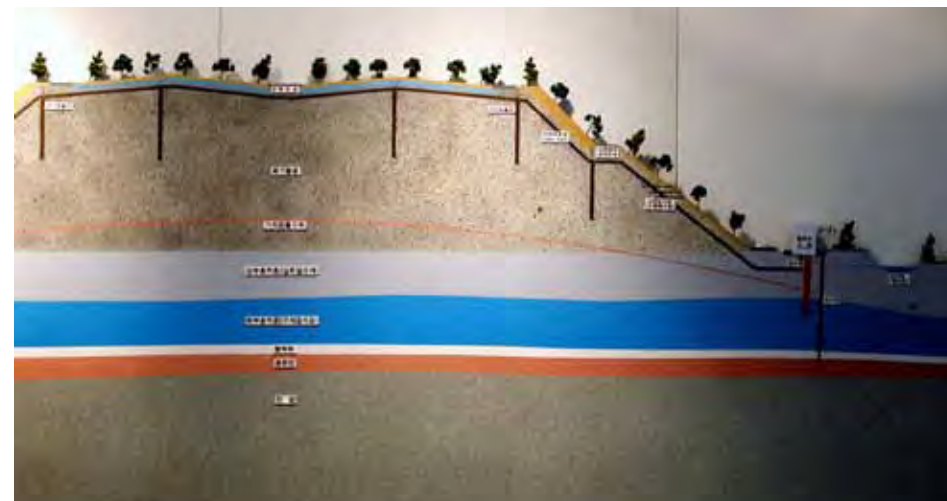


난지도 주변 지도 (위) 난지도에 쓰레기를 매립하는 모습 (아래)

은 없어지고, 높이가 해발 98m나 되는 봉우리 없는 고원같은 2개의 커다란 산이 만들어졌다. 결국 서울 한복판에 있는 난지도 매립지는 20세기 후반 우리나라의 급성장하고 도시화의 부작용인 환경의 오염과 자연환경 파괴를 보여주는 상징처럼 되었다. 포플러나무 숲과 갈대밭이 사라졌고, 사철 날아들던 철새와 샛강의 붕어 참게도 자취를 감췄다. 생활·산업 폐기물이 들어선 자리엔 악취와 파리떼가 들끓었다.

난지도의 안정화

1993년부터 쓰레기 매립지가 김포 매립지로 이전한 이후 난지도는 안정화 작업을 시작하였다. 쓰레기가 묻힌 땅이기 때문에 비가 오면 계속 빗물이 안으로 스며들어 안에 있는 쓰레기가 썩게 되고, 이 때문에 그런 쓰레기의 각종 유독 성분이 녹아 나와서 빗물과 함께 한강으로 배출된다. 이러한 침출수를 막는 것은 난지도 때문에 생기는 2차적인 환경오염을 막기 위하여 중요한 것이다. 또한 쓰레기를 쌓아올리다 보니 산의 경사도가 크게 되었는데, 이를 적절하게 보완하지 않으면 큰 비가 오거나 태풍 등으로 인하여 경사면이 붕괴되거나 하는 문제가 발생할 수 있다.



난지도의 안정화처리 단면도

쓰레기 매립장에서 가장 큰 문제 중 하나는 쓰레기가 썩으면서 나오는 매립가스를 처리해야 한다는 것이다. 이러한 가스는 여러 가지 인체에 유해한 성분을 포함한 메탄 가스가 주성분이다. 이 가스는 연료로 쓰이므로 불이 붙으면 폭발의 위험성도 크고, 포함된 다른 성분들 때문에 흡입하면 인체에도 해로워서 대기 오염을 유발시킨다. 1994년에 설계가 시작되어 1996년부터 진행된 안정화공사의 주요 내용은 매립지 상부의 불투수 처리, 배수층 및 표토층의 포설, 불안정한 사면의 보완, 매립가스와 침출수의 포집 및 처리시설 건설이다.

상부 정지 및 복토

매립지 위에 빗물의 침투를 방지하여 침출수 발생을 최소화하고 매립가스의 발산을 억제하면서 식물이 생육할 수 있는 환경을 조성하기 위해 가스와 물을 차단하는 차단막(1.5mm 두께의 HDPE 필름)을 전면적에 설치하고 그 위에 쇄석으로 배수층 30cm와 양질의 흙으로 양질의 흙으로 식생토층 60cm를 조성했다.

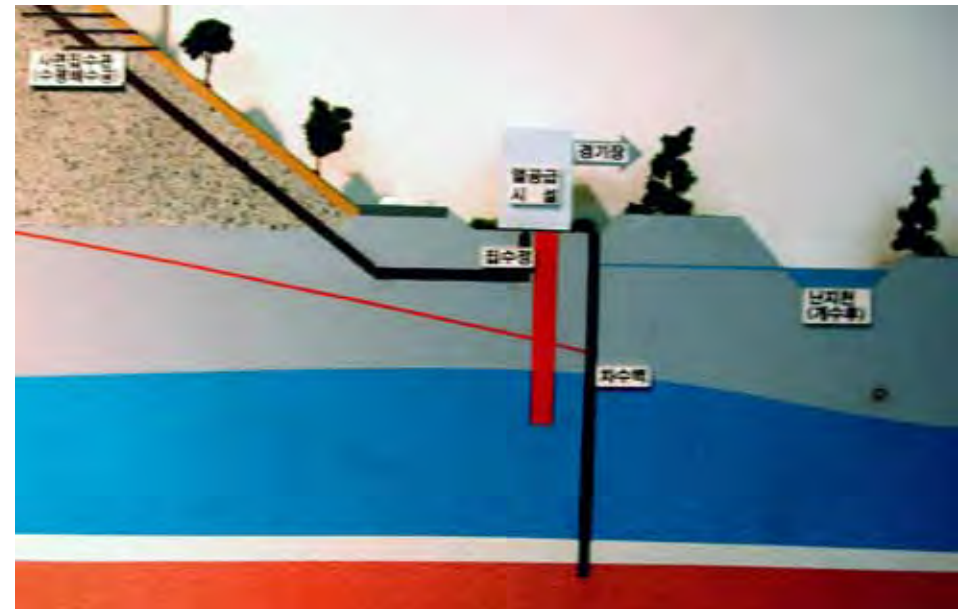
침출수 처리시설

2개의 매립지 둘레에 침출수 유출을 차단하기 위해 풍화암층 1m 깊이까지 총연장 6,017m의 차수벽 설치를 계획하여 난지천의 조립식 주택단지 부근 약 400m 구간을 제외한 5,622m 구간을 완료하였으며 200m 간격으로 31개소의 집수정 계획중 30개소를 설치하였다.

또한, 집수정으로 모이는 침출수를 매립지 중앙부로 이송하여 펜톤산화처리 방식으로 처리하는 침출수처리장을 건설 중에 있다. 이곳에서 1차 처리후 난지하수처리장으로 다시 이송하여 하수병합 처리 후 한강으로 방류할 계획이다.

매립가스 포집 및 처리

2001년 기준 가스발생량은 분당 165m³, 발열량은 m³당 4,000~5,000kcal로서 매립가스의 주성분은 매탄가스 51%, 탄산가스 46%, 기타 3%이다. 매립지 깊이 40~60m까지 관경 20cm의 가스 추출정은 계획된 106개소 중 현재 100공을 설치완료하였으며 매립가스를 열생산 공급시설로 이송하기 위한 이송관로는 총 12,800m 중 2,750m(21.4%)를 완료하였다. 2개의 매립지에서 발생하는 가스는 강제추출하여 매립지 중앙부에 위치한 열생산 공급시설로 이송시켜 열원을 생산하여 월드컵경기장과 상암택지개발 지구 및 업무용 시설에 공급하여 냉난방용으로 활용하게 되는데, 현재 64.3%의 건설공정을 보이고 있다.



침출수 처리 단면도

2. 월드컵 공원의 조성

새천년 공원개발의 모델로 조성되어 2002. 5.1 개장한 월드컵공원은 쓰레기매립지로 인식되어 온 난지도를 친환경적공간으로 재생하여 미래지향적인 환경이슈 및 문화적 특성을 표출하고 2002년 월드컵의 성공적인 개최와 상암 새천년신도시와의 연계를 통한 환경친화적인 도시의 이미지를 부여한다. 총 105만평 규모의 월드컵 공원은 평화의 공원, 난지천 공원, 난지한강공원, 하늘공원, 노을공원 등 5개의 테마 공원으로 구성되어 있다.

평화의 공원

평화의 공원은 서울 월드컵경기장 남측에 위치하는 공원으로 총13만 5천평 중 2만 8천평은 월드컵개최시 주차장(1,720대)으로 활용하고 대회 개최 후 월드컵 공원과 경기장내 사후활용시설로서 주차장 겸 광장 기능을 하는 공간으로 조성되었다. 그리고 나머지 10만



월드컵 경기장을 포함한 월드컵 공원의 전경

7천평의 부지에는 6,500평 규모의 생태연못과 계류장, 3천평의 프로미나드, 청소년마당과 행사마당, 월드컵 공원 종합통제시설, 홍보관 등을 갖춘 월드컵공원 전체를 대표하는 공원이다.

난지천공원

난지천 공원은 매립지 북측 폐천부지 총8만9천 평에 조성된 자연형 하천을 갖춘 수변공원으로서 임시 주차장을 포함해 총 496대 규모의 주차장과 5천평 규모의 야외공연장, 7천5백평 규모의 생태관찰원 등이 조성되었다. 조성방향은 훼손된 하천을 맑은 물이 흐르는 자연의 모습을 갖춘 하천으로 조성하여, 물과 친숙한 동식물이 살 수 있는 여건을 마련하고, 지역 주민, 노약자, 몸이 불편하신 분 및 청소년을 위한 시설이 되게 하는 것이다.

난지한강공원

난지한강공원은 난지도 매립지 남측 둔치로서 23만 5천평을 한강의 수변공원으로 조성, 월드컵 개최시 세계 청소년들이 야영할 수 있는 78천평 규모의 캠핑장과 중앙광장 및 2만 7천평 규모의 잔디 운동장을 조성하였다. 또한 초지광장, 화원 등과 2천 3백평 규모의 주차장(300대)과 선착장 등을 고루 갖추고 있다. 특히, 난지한강공원은 차량동선과 자전거·보행동선을 분리 시설함으로써 기존의 여의도지구 등 한강공원이 갖고 있던 문제점을 보완하였다. 캠핑장 등 적극적 이용시설 공간과 생태 습지같은 자연환경 보존공간으로 구분하여 설치하였다.

하늘공원

하늘공원은 두 개의 난지도 매립지 가운데 한강상류측에 위치한 제2 매립지에 5만 6천평 규모의 공원으로서 매립지 상부라는 부지특성을 고려하여 건생초지 위주의 공원으로 조성되었다. 또한 공원내 1만 4천평에는 호랑나비의 밀원식물인 엉겅퀴를 포함한 17종으로 순초지를, 원추리 등 14종으로 혼생초지를 조성하고 억새, 띠, 해바라기, 메밀 등으로 대지예술을 고려한 2만평 규모의 조형식재지를 갖추는 등 총 3만 4천평의 생태공원으로 조성되었다. 이 외에 관리도로 2.5km, 산책로 5.1km, 광장과 휴게소, 전망공간, 비지터센터 등이 있다. 이곳은 북한산, 남산, 서해의 낙조를 감상할 수 있는 전망공간을 마련하고, 자연이 새로 시작되는 장소라는 의미로 들풀 위주로 조성하였으며, 들풀의 종류별 높낮이를 적절히 배치하여 자연생태와 환경예술이 어우러지도록 조성하였다.

노을공원

노을 공원은 하늘공원과 바로 인접한 제1 매립지 상단에 10만 3천평의 규모로 조성되었다. 특히 매립지 안정화기간(30년) 동안 임시용도로서 환경친화적인 9홀의 생태 골프장(5만 8천평)을 건설하고, 이외 조망이 좋은 지역은 시민 이용 공간으로 조성된다. 한편, 노을 공원에 들어서는 생태골프장은 기존환경에 대한 훼손 및 주변 자연환경에 미치는 피해를 최소화하는 목적으로, 녹색시민위원회에서 선정한 각계의 전문가로 구성된 검토위원회의 종합의견을 받아 녹화방식을 최종확정 후 추진된다.

3. 미래의 경기장 활용

상암동 일대 200만 평에 생태 환경과 디지털 미디어 산업이 어우러진 미래형 복합도시 새천년 신도시(Millennium City)가 조성된다. 상암 새천년 신도시는 크게 첨단 디지털·미디어 기업이 집적된 디지털미디어시티(DMC), 사람과 자연이 공존하는 친환경주거단지, 여의도보다 더 큰 105만평의 월드컵 공원으로 구성된다.

월드컵 경기장은 이렇게 들어선 신도시에서 중심적인 역할을 한다. 단지 축구 경기장이 아니라, 관람석 아래에 있는 거대한 공간에 대규모 쇼핑센터와 영화관, 수영장 등의 운동 시설, 식당가, 전시장과 같은 문화시설이 들어서게 된다. 이렇게 되면 이 경기장은 그저 경기가 열리는 일 년 중의 몇 일만 사람들이 모이는 낭비된 공간이 아니라, 항상 사람들이 모여서 생활에 필요한 활동이나 여가, 문화 활동이 가능한 공간이 될 수 있다. 또한 주변의 월드컵 공원과 함께 자연을 체험하는 휴식 공간으로도 활용될 수 있다.



월드컵 경기장의 활용 계획도



부록

1. 한국과 일본의 월드컵경기장
2. 서울 월드컵경기장 교통과 입장 안내

부록

1. 한국과 일본의 월드컵경기장

한국의 월드컵 경기장



서울월드컵경기장

대지위치	서울시 마포구 상암동 1568
형태	축구전용경기장
수용규모	64,677석
완공	2001년 11월 10일



인천문학경기장

대지위치	인천시 남구 문학동 80
형태	종합경기장
수용규모	50,256석
완공	2001년 12월 2일



수원월드컵경기장

대지위치	수원시 팔달구 우만동 228
형태	축구전용경기장
수용규모	43,138석
완공	2001년 5월 13일



대전월드컵경기장

대지위치	대전시 유성구 노은동 270
형태	축구전용경기장
수용규모	40,407석
완공	2001년 9월



전주월드컵경기장

대지위치	전주시 덕진구 반월동
형태	축구전용경기장
수용규모	42,477석
완공	2001년 9월 30일



대구월드컵경기장

대지위치	대구시 수성구 내환동 504
형태	종합경기장
수용규모	65,857석
완공	2001년 5월 20일



광주월드컵경기장

대지위치	광주시 서구 풍암동 232-7
형태	축구전용경기장
수용규모	42,880석
완공	2001년 9월 30일



울산문수축구경기장

대지위치	울산시 남구 옥동 산 5번지
형태	축구전용경기장
수용규모	43,512석
완공	2001년 4월 28일



부산아시아드주경기장

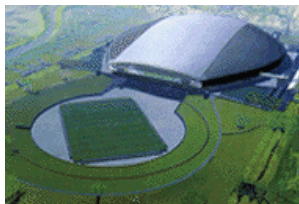
대지위치	부산시 연제구 거제동 1300번지
형태	종합경기장
수용규모	54,534석
완공	2001년 7월 31일



제주월드컵경기장

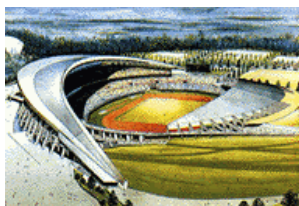
대지위치	서귀포시 법환동 914번지
형태	축구전용경기장
수용규모	42,256석
완공	2001년 12월 9일

일본 월드컵 경기장



삿보로돔

대지위치	삿보로시 도요히라구
형태	축구·육상겸용경기장
수용규모	42,122석
완공	2001년 5월



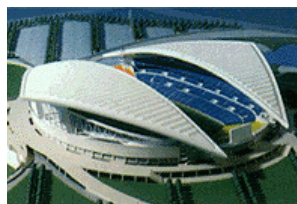
미야기스타디움

대지위치	미야기현 미야기군 리후쵸
형태	축구·육상겸용경기장
수용규모	49,133석
완공	2000년 3월 31일



이바라키현립 가시마 축구스타디움

대지위치	가고시마시
형태	축구전용경기장
수용규모	41,800석
완공	2001년 5월



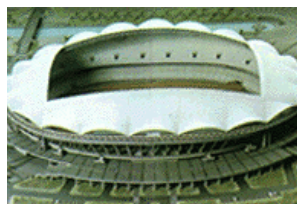
사이타마스타디움2002

대지위치	우라와시 오지 나까노다
형태	축구전용경기장
수용규모	63,700석
완공	2001년 7월



요코하마 국제종합 경기장

대지위치	요코하마시 미나토기타구
형태	축구·육상겸용경기장
수용규모	70,564석
완공	1997년 10월



니이가타 스타디움 빅스완

대지위치	니이카타시 나가타
형태	축구·육상겸용경기장
수용규모	42,300석
완공	2001년 2월



시즈오카스타디움에 코빠

대지위치	시즈오카현 후쿠로이시
형태	축구·육상겸용경기장
수용규모	51,349석
완공	2001년 3월



나카이육상경기장

대지위치	오사카시 히가시스미요시구
형태	축구 · 육상겸용경기장
수용규모	50,000석
완공	1996년 5월



고베잉스타디움

대지위치	효고현 고베시 효고구
형태	축구전용경기장
수용규모	42,000석
완공	2001년 10월



오이타 스포츠 공원 종합경기장 비아

대지위치	오이타현 오오지마초오카
형태	축구 · 육상겸용경기장
수용규모	43,000석
완공	2001년 3월

2. 서울 월드컵경기장 교통과 입장 안내

주소: 서울시 마포구 상암동 1568

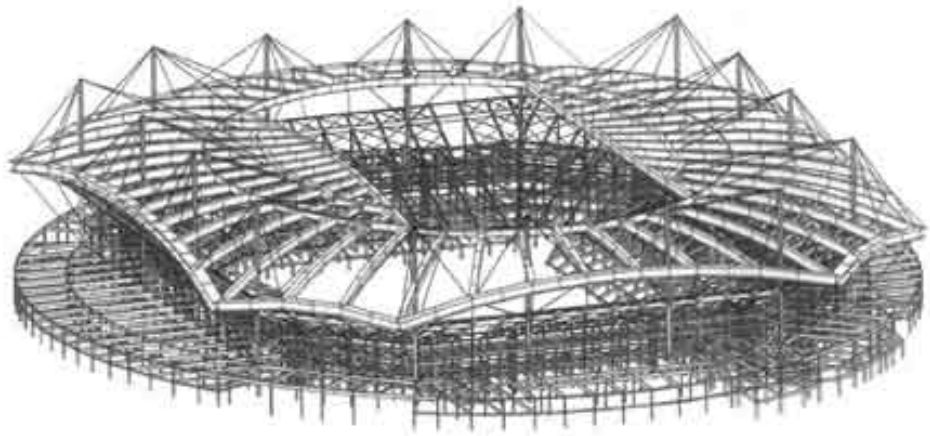
수용규모: 64,677석

일반관람석	61,745석
귀빈석	832석
언론보도석	2,100석
회원석	1실당 12~29석의 6개 형태의 회원석 75실

주차대수: 총 2,525대 (주경기장 대지 1,013대, 남측대지 1,512대)

홈페이지: <http://worldcup.metro.seoul.kr>





지은이 오원근 | 충북대학교

기획자 박승재 | 과학문화교육연구소 | 02-875-0640

펴낸날 2006년 7월 25일 초판

펴낸이 박철호

펴낸곳 볼록미디어 | 출판사 신고 제387-2006-000012호

주소 경기도 부천시 원미구 소사동 44-25 | 우420-819

전화 070-7018-4096 | 팩스 0303-3104-4096

홈페이지 <http://bolog.com/> | 전자우편 support@bolog.com

저작권 © 2006 오원근, 볼록미디어