

2005년 이공계 진로 지도를 위한
현대 과학 탐방 지도자료③ (부록 CD)

현대 과학과 첨단 기술 속의 과학을 찾아서

서울 상암월드컵경기장 과학 탐방 지도자료



교육인적자원부 · 서울대학교 과학교육연구소

2005년 이공계 진로 지도를 위한 현대과학 탐방 지도자료 ③ (부록 CD)

현대 과학과 첨단 기술 속의 과학을 찾아서

서울 상암월드컵경기장 과학 탐방 지도자료

대표저자_박승재 (과학문화연구소 소장)

공동저자_심재규 (안양 평촌고등학교 교사)

교육인적자원부·서울대학교 과학교육연구소



제 1 부

경기장 과학탐방의 준비와 사전지도

1.1	경기장 과학탐방의 교육적 의미	7
1.2	경기장 과학탐방의 계획과 준비	8
1.3	경기장 과학탐방 사전 지도	10
	• [활동 1-1] 축구장 설계시 고려해야 할 사항은?	14
	• [활동 1-2] 축구장의 규모는 어떻게 결정하는가?	19

제 2 부

경기장 과학탐방의 현장지도

2.1	경기장의 구조와 형태의 과학탐구 지도	23
	• [활동 2-1A] 경기장 지붕 설계가 어렵고 힘든 이유는?	28
	• [활동 2-1B] 축구장의 높이를 어렵해 보자	31
	• [시범] 경기장에는 왜 삼각형 구조가 많은가?	34
2.2	경기장 조명과 전기의 과학탐구 지도	35
	• [활동 2-2] 조명등 설치하는 어떻게 해야 하는가?	38
	• [시범] 조명등이 구현하는 밝기는?	42
2.3	경기장 음향의 과학탐구 지도	43
	• [활동 2-3] 경기장의 음향시설은?	47
2.4	경기장 잔디의 과학탐구 지도	49
	• [활동 2-4] 왜 잔디 구장인가?	54
	• [토론] 어떤 잔디를 심어야 하나?	59

제 3 부

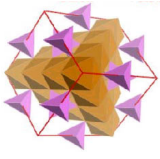
경기장 과학탐방의 사후지도

2.5	관중의 편의와 안전 관리 과학탐구의 지도	61
	• [활동 2-5] 관중석의 입장과 퇴장을 원활하게 하려면?	64
	• [토론] 안전대책으로 무엇이 있는가?	66
3.1	경기장 심화탐구 활동의 지도	69
	• [활동 3-1] 전광판이 잘 보이려면?	72
	• [활동 3-2] 잔디 밑의 구조는 어떠한가?	75
	• [토론] 관중석의 구조는?	78
3.2	경기장 과학탐방의 진로지도	79
붙임	상암 월드컵경기장에 가는 교통과 입장 및 활용 안내	81

제 1 부

경기장 과학탐방의 준비와 사전지도

- 1.1 경기장 과학탐방의 교육적 의미
- 1.2 경기장 과학탐방의 계획과 준비
- 1.3 경기장 과학탐방 사전 지도



제 1 장

경기장 과학탐방의 준비와 사전지도

1.1 경기장 과학탐방의 교육적 의미

상암 월드컵경기장은 건축기술이 뛰어난 우리나라의 명물이다. 여러 기술이 종합된 구조물로써 동양에서 축구 전용 경기장으로는 가장 규모가 크며 월드컵 이후 사후 관리에서 흑자 경영을 하는 경기장으로 유명하다. 2003년 세계 최고권위를 자랑하는 영국의 축구전문지 '월드사커'는 서울월드컵경기장을 『세계10대 가장 아름다운 경기장』의 하나로 선정하였고, 2004년 7월에는 국내 체육시설로는 최초로 ISO9001(품질경영)과 ISO14001(환경경영)을 획득하였다. 때문에 하루에도 수많은 관광객들이 상암 월드컵경기장을 찾으며 외국인들의 서울관광코스에 거의 필수 코스으로써 방문하고 있다.

그러나 대부분의 사람들은 겉으로 축구장을 방문하고 획 둘러볼 뿐 축구장에 숨어있는 과학 원리에 대해 충분한 이해를 하지 못하는 경우가 많다. 또한, 전문적인 안내를 받는 탐방이나 교육적인 목표를 달성하기 위해 준비된 단체 방문의 경우에서도 월드컵의 외형과 신화에만 관심을 가질 뿐 현대과학 발전의 과학적인 면과 가치에 대해서는 깊이 생각하지 못하는 경향이 있다.

전 국민의 과학적 소양 증진을 위한 한 가지 방법으로 우리 건축물에 대한 과학적 긍지를 지니게 하는 것은 의미 있는 일이고 효율적인 방법이 될 수 있을 것이다.



1.2 경기장 과학탐방의 계획과 준비

상암 월드컵경기장은 다음의 몇 가지 활동을 통하여 탐방 전에 학생들의 동기를 유발하고 참여도를 높일 수 있다.

예를 들어, 경기장에 오기 전에 경기장의 구조에 대한 과학적인 관심과 궁금증을 가지게 하기 위해서 다음의 활동을 할 수 있다.

- 상암 경기장의 조명등의 개수와 설치하는 어떻게 했을지 예상 배치도를 그려보게 한다.
- 잔디를 키우기 위한 채광과 동시에 관중들이 비를 맞지 않게 하는 두 가지 요구를 동시에 만족시키기 위해서 지붕의 구조는 어떻게 할지 토론한다.
- 수 만 명의 많은 관중의 원활한 입장과 퇴장을 위해서 필요한 문의 크기와 개수는 얼마인지 예측해 보게 한다.

상암 경기장은 지하철 7호선 역 바로 옆에 위치해 있으며 다른 지하철역에 비해 복잡하지 않고 한산하기 때문에 학생들 집합 및 인솔이 다른 탐방장소에 비해 용이한 편이다. 혹시 자동차나 버스로 이동할 때도 성산대교만 건너면 바로 좌측에 있기 때문에 교통이 편리하다. 탐방을 위한 교통이 용이할 뿐만 아니라 축구장 안에는 지붕시설이 되어 있기 때문에 웬만한 비나 눈에도 탐방을 하는 데는 큰 지장이 없다. 또한, 모든 탐방 내용이 축구장 한 건물 안에 있기 때문에 다른 탐방에 비해 체력적인 소모나 시간 소모를 최대한으로 줄일 수 있는 장점도 있다.



일반적인 탐방은 다음의 과정을 포함하는 것이 보통이다.

- 경기장의 VIP석에 앉아서 숨어 있는 과학적 원리를 안내한다. 이 때, 자리에 앉아 있으면 경기장 구조물들을 한 눈에 다 볼 수 있다. 조명, 음향, 잔디장, 관중석, 지붕 등을 한 눈에 볼 수 있기 때문에 종합적으로 안내할 수 있다. 단, 주의할 점은 입장 가능한 공간은 서쪽 자리이기 때문에 오전에 VIP석에 앉을 경우 햇빛을 곧장 받기 때문에 여름에는 매우 더울 수 있다. 따라서, 가능하다면 오후시간에 VIP석에 앉아서 안내를 하는 것이 좋을 것이다.
- 관중석 밑으로 내려가서 일반인들에게 평소에 알려져 있지 않은 선수대기실, 감독실 등을 안내한다.



정도 영상을 시청할 수 있다, 외국인들이 함께 시청하러 들어오면 영어로 방영을 하게 되는 경우도 있다.

- 자유롭게 경기장 안을 다니며(평소에는 경기장 측에서 개장한 부분만 다닐 수 있다. 서쪽 관중석 아래석과 관중석 밑의 선수대기실, 감독실 등을 관람할 수 있다) 개인적으로 또는 조별로 탐구주제를 찾고 탐구활동을 진행한다.
- 지하로 내려가서 2002월드컵 장면 하이 라이트 영상을 시청한다. 탐방으로 지친 학생과 교사에게 청량제 역할을 할 것이다. 한국팀의 활약을 중심으로 15분

1.3 경기장 과학탐방의 사전지도



축구장 설계 시 고려해야 할 사항

▶ 활용개요

본 탐방 전 활동은 축구장을 설계할 때 고려해야 할 사항들을 학생들과 논의해 봄으로써 경기장에 대한 관심과 동기를 증진시키는데 있다.

▶ 활동과정

1) 학생들을 조별로 편성한 다음 학생들에게 다음과 같은 질문을 던진다.

“축구장과 같은 일반적인 건축물을 설계할 때 고려해야 할 사항은 무엇이 있을까?”
축구장도 하나의 건축물이기 때문에 건축물의 일반적인 요건을 만족해야 한다고 강조하면서 학생들의 응답을 유도한다. 여러 가지 응답이 나올 수 있겠지만, 여러 응답을 일반적으로 다음과 같은 3가지 내용으로 일반적으로 묶을 수 있을 것이다.

첫째로, 튼튼하게 지어야 한다.

둘째로, 멋있게 지어야 한다.

셋째로, 유용하게 지어야 한다.

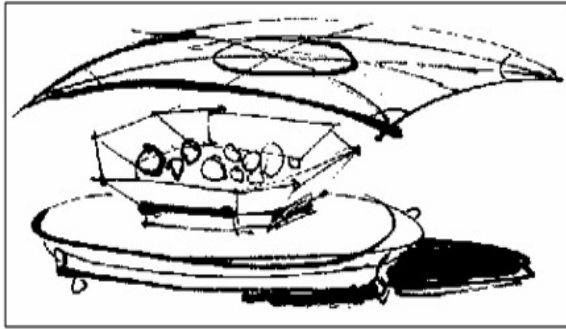
여기서, 튼튼하게 짓는 것과 유용하게 짓는 것은 차차 세부적으로 논의해 보기로 하고 두 번째 멋있게 짓는 것에 대해서만 학생들과 논의하자고 안내한다.

2) 멋있게 짓는 것에 대해서 논의한다고 하면서 다음과 같은 질문을 던진다.

“경기장은 무엇을 고려해서 디자인했을까?”

학생들에게 왼쪽 스케치와 오른쪽 상암 경기장을 비교하면서 관련 있는 그림끼리 선 잇기 활동을 하게 한 후 발표를 시킨다. 학생들에게 경기장에 숨어있는 전통적인 미를 설명해 준다. 서울 월드컵 경기장은 기하학적 형태로 보면 사각형과 원형을 적절하게 조화시키고 있다. 이러한 기하학적 형태의 조화는 추상적인 형태 구성을 통하여 이루어진 것이 아니라, 사각형과 원형이 조화를 이루는 우리 나라의 전통적 생활에서 그 이미지를 찾아내어 이를 의미있게 배치함으로써 이루어낸 것이다. 건축가에 의하여 최초로 착상된 것은 방패연, 쟁반, 소반 등이 있다.

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 구성하였다.

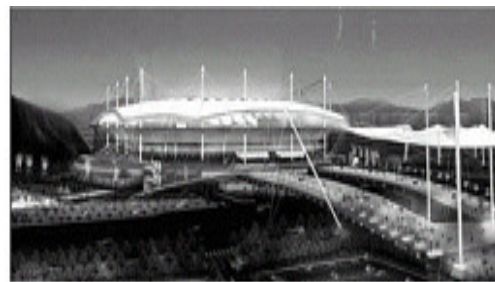
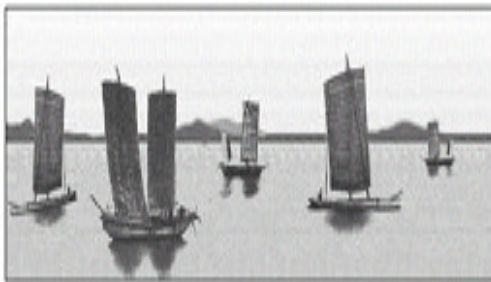


또한 이러한 관중석을 받치고 있는 원형의 데크는 과일 쟁반을 받치고 있는 소반과 같은 형상을 하고 있다. 이렇게 함으로써 경기장의 전체적인 모습은 과일을 담은 쟁반이 둥근 소반 위에 얹힌 것과 같이 미래의 소망을 담은 소반의 이미지를 형상화하고, 이 원형의 데크는 관중들이 이동하는 동선을 돕는 적절한 기능을 한다.

전체적으로 사각형을 기본 형태로 하는 경기장의 구조와 잔디에 햇볕이 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.

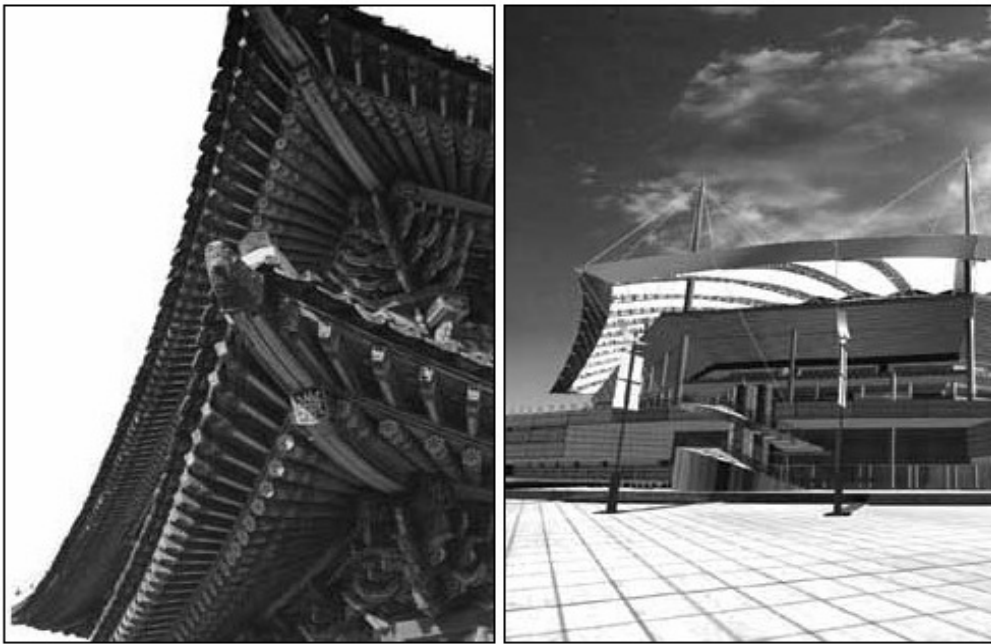
이러한 형상들을 결합시켜 방패연 형태의 지붕을 만들고 이 지붕을 16개의 기둥을 통하여 경기장 위에 띄우는 모습을 함으로써, 월드컵 경기장은 월드컵을 통하여 21세기 인류의 희망을 띄우는 방패연의 의미를 가지게 된다.

한편, 기장을 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 효율을 떨어뜨리게 된다. 따라서 이런 문제를 해결하기 위해서는 경기장의 평면을 타원형이나 원형으로 설계하는 경우가 많다. 잠실 경기장은 타원형으로 평면을 설계한 반면, 서울 월드컵 경기장은 우리나라의 전통적인 과일 쟁반에서 착상하여 직사각형 평면에 모서리를 부드럽게 한 내부 평면을 설치하였다.



또한, 지붕을 받치고 있는 거대한 마스트와 케이블들은 황토색의 주름진 지붕 모양과 어울려 한강에 떠있던 우리나라의 전통적인 황포 돛배를 연상하게 한다. 황포돛배는 서울의 마포를 중심으로 조선 시대에 한강을 떠다니며 물자를 나르던 중요한 운송 수단이었다.

지붕재료로 사용된 막 구조에 의해 표현될 수 있는 자연스러운 곡선을 이용해 첨단 기술로 한국의 전통적인 지붕과 처마선을 아름답게 담아내었다. 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 쌓여 발생하는 피해를 막는 역할도 한다.



3) 축구장을 설계할 때 기본적으로 고려해야 할 사항 5가지만 말해보게 한 후 경기장 설계 전문가인 **해리 브라운(Harry Brown)**이 제시한 고려사항과 비교해 본다.

세계적으로 유명한 경기장 설계 전문가 해리브라운은 축구장 설계의 기본요소를 다음과 같이 말하고 있다.

첫 번째는 관중이 경기장에 입장하는 목적인 관전을 위한 관중의 시야확보이다. 보다 정확한 상황 파악과 선수들의 호흡을 느낄 수 있는 현장감이 넘치는 관전 조건을 만족시켜야 한다.

두 번째는 안전성이다. FIFA에서는 ‘축구장의 건축 또는 개축을 위한 기술적 지침(Technical Recommendation and Requirements for the Construction or Modernization of Football Stadia)’을 규정, 경기장의 안전성을 강조하고 있다.

세 번째는 접근성이다. 관중과 선수들이 찾아오기 편하고 경기장으로서의 역할 뿐 아니라 문화 공간적인 요소도 포함하여야 한다. 요즘에는 주차설비 또한 접근성의 중요한 요소가 되고 있다.

네 번째는 관객이 최대한 편안한 상태에서 관전을 할 수 있어야 한다. 이 조건은 현대에 들어와 새로이 강조되는 부분이다.

다섯 번째는 경제성과 효율성이다. 이는 건축비와 시설의 유지비 등이 고려되어야 하고, 경기장의 이용 가치를 높이는 요소들을 고려하여 계획하여야 한다는 것이다.





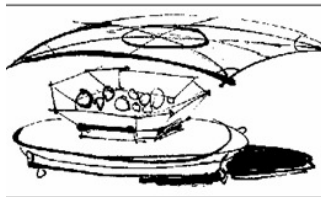
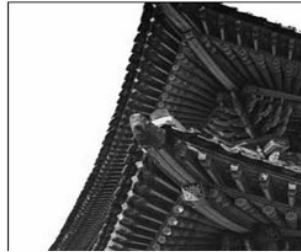
[활동 1-1] 축구장 설계 시 고려해야 할 사항은?

()년 ()월 ()일 ()학년 ()반 ()번 이름 ()

1. 축구장을 설계할 때 일반적으로 고려해야 할 사항들은 무엇이 있을까? 생각해 보고 아래에 적어보자.

2. 경기장은 무엇을 고려해서 디자인했을까?

다음 오른쪽 경기장 사진과 그것에 연관되는 왼쪽 그림을 줄을 이어본다.



다음의 각 요소들이 경기장에 어떻게 반영되어 있는지 알아보자.

요소들	반영된 부분
방패연	
황포돛배	
전통적인 소반	
한국의 전통적인 지붕과 처마선	

3. 축구장과 같은 경기장을 설계할 때 특별히 기본적으로 고려해야 할 사항은 무엇이 있을까? 고려해야 할 사항을 5가지만 아래에 적어 보자.

경기장 설계 시 고려사항	본인 의견	경기장 전문가 의견
1		
2		
3		
4		
5		

👑 축구장의 규모

▶ 활용개요

전반적인 축구장의 규모가 어떻게 결정되는지 알아보고 그 결과를 바탕으로 효과적인 가지 거리에 대한 정보를 제공함으로써 가장 쾌적한 거리에서 볼 수 있는 반경을 작도하게 한다.

▶ 활동과정

- 1) 먼저, 축구경기장 자체의 크기부터 시작해야 한다. 축구 경기장 자체의 크기는 가로 105m × 세로 68m이다. 서울 월드컵 경기장이 수용할 수 있는 관객의 수는 6만 5천명 정도이다. 관중석을 더 크게 지으면 더 많은 관중들이 경기를 관람할 수 있겠지만 그에 따른 여러 가지 문제점이 생긴다.

관중석이 너무 커지면 많은 관중들이 출입하는데 시간이 오래 걸리므로 비상시에 위험성이 더 커진다. 그 뿐 아니라 많은 관중을 수용하기 위해서는 관중석이 더 크고 높아져야 한다. 그렇게 되면 관중석에서 경기장까지 거리가 너무 멀어져 경기 관람이 제대로 안 된다. 또한 상단의 관중석은 경사각이 너무 커져 위험할 수도 있다.



6만 명이 넘는 관중을 수용하기 위한 관중석

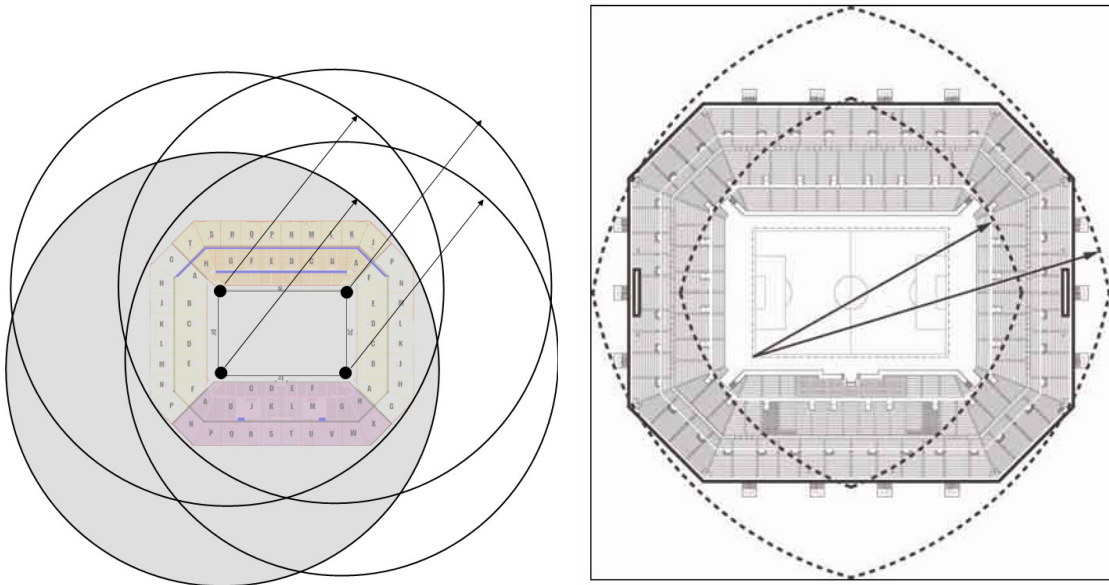


관중석 꼭대기에서 내려다 본 경기장의 모습

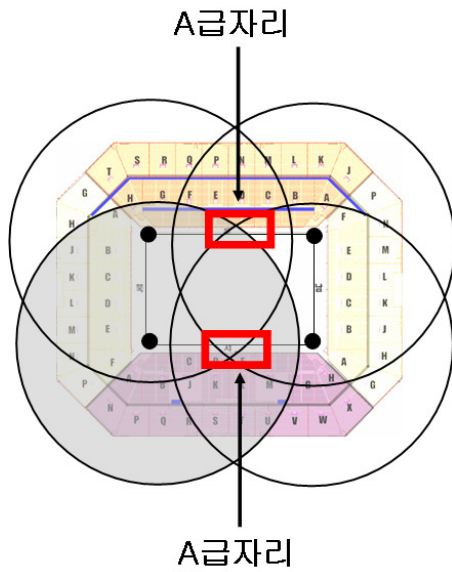
FIFA에서는 이러한 점들을 고려하여 최대 가지거리가 190 m 이상을 넘지 않도록 규정하고 있다. 최대 가지거리란 그라운드의 선수가 관중과 반대편으로 나아갈 때 가장 멀리 있는 지점까지의 거리를 말한다. 적정 가지거리는 150m이며 어느 곳에 있는 관중이든지 최대 190m를 넘지 못하도록 설계할 것을 요구하고 있다. 190m가 넘으면 축구 경기하는 선수의 모습이 너무 작아서 현장감이 떨어지기 때문이다. 이 사실을 학생들에게 알려 준 후 경기장의 모습이 다음 그림처럼 8각형 쟁반 형태이기 때문에 축구장의 크기가 대략 가로, 세로로 얼마가 되는지 계산해 보게 한 후 실제 자료와 비교해 본다. 또한, 이 자료를 근거로 경기장의 관중석 수를 어렵게 보게 한다. 한 사람이 앉을 수 있는 앞 뒤 거리와 좌우 폭을 정하여 한 사람이 차지하는 면적을 계산한다. 위에서 구한 축구장 관중석 면적을 한

사람이 차지하는 면적으로 나누면 축구장이 최대한 수용할 수 있는 관중석 수가 결정된다.

- 2) A급, B급, C급 자리는 어떻게 결정이 되는지 작도를 하여 범위를 그려보게 한다. 예를 들어, 190m 지점만을 그려보면 아래 그림에서 왼쪽 아래 모서리 지점에서 190m 원을 그리면 색칠한 부분이 표시된다. 이런 식으로 축구장의 각 모서리에서 190m원을 그려서 4원이 모두 중복되는 부분이 나오게 되며 이 부분이 오른쪽에 있는 바깥쪽 점선이 된다.



따라서, 이 바깥쪽 점선 밖으로 경기장이 설계되면 안 된다. 이런식으로 B급 자리는 150-90m 사이에서 중복되는 부분이 될 것이며 A급 자리는 90m이내가 된다. 다음과 같이 A급 자리를 그려보면 VIP자리가 A급 자리가 아니라는 사실을 학생들이 알게 된다. 왜, VIP석은 선수들을 가까이서 볼 수 있는 A급 자리가 아닐지 학생들에게 토론하게 한다.



로얄박스과 일등석

VIP석이 A급 자리에 있게 되면 홀리건 등의 난동이 있을 때 보호하기 힘들게 되며 축구 경기를 하게 되면서 180도 정도까지 과도하게 목을 돌려야 하는 불편함이 있다. 따라서, 축구하는 모습까지의 거리만으로 좌석의 등급을 매기는 것이 문제가 있다는 점을 학생들에게 인식시킬 수 있다. 대체로 귀빈석은 가장 경기를 편안하게 관람할 수 있으면서 동시에 안전한 위치여야 한다. 또한 귀빈들의 동선이 너무 커서도 안 된다. 서울 월드컵 경기장은 서측 하단 관람석의 제일 윗부분에 VIP석이 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 VIP석에 접근하는 것을 차단하기도 쉽다. 또한, 하필 동쪽이 아니고 서쪽에 VIP석을 설치하는 이유는 축구 경기는 오전에 열리는 경우가 드물고 대부분의 경기는 오후에 열리거나 또는 야간에 열리기 때문에 경기가 오후에 열릴 때에는 동쪽 관중석에 햇빛이 들어 시야 방해가 생길 수 있기 때문이다. 또한 서울 월드컵 경기장은 동쪽이 아니라 서쪽에 주출입구가 있어서 서쪽이 동선을 줄이는 효과도 있다. 따라서 VIP석은 서쪽에 있다.



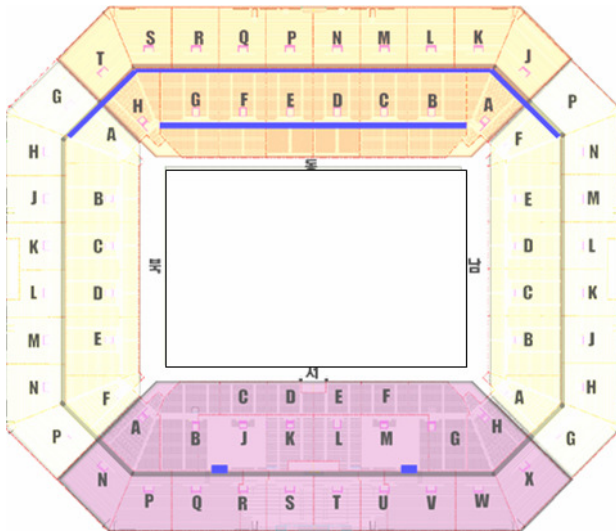
[활동 1-2] 축구장의 규모는 어떻게 결정하는가?

()년 ()월 ()일 ()학년 ()반 ()번 이름 ()

1. 축구장의 규모는 어떻게 결정하는가? 아래에 제시된 정보와 다음 그림을 보고 어떻게 축구장의 크기를 결정하는지 알아보시오.

정보 1. 이 거리 이상이 되면 사람이 너무 작게 보여 현장감이 급격히 떨어진다. (190m)

정보 2. 축구장의 가로×세로 크기는 (105m×68m)



2. 축구장에서 A급, B급, C급, VIP석은 각각 어디일까?

다음 정보를 보고 경기장 단면도에 A급, B급, C급을 작도해 보시오.

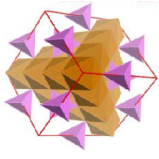
자리 유형	가시거리
A급 자리	90m이내
B급 자리	90-150m
C급 자리	150-190m

상암 경기장 홈페이지 등을 들어가서 VIP석이 어디에 있는지 표시해 보시오. VIP석은 A급 자리와 일치할까?

제 2 부

경기장 과학탐방의 현장지도

- 2.1 경기장의 구조와 형태의 과학탐방지도
- 2.2 경기장 조명과 전기의 과학탐방지도
- 2.3 경기장 음향의 과학탐구 지도
- 2.4 경기장 잔디의 과학탐구 지도
- 2.5 관중의 편의와 안전관리 과학탐구의 지도



제 2 부

경기장 과학탐방의 현장지도

2.1 경기장의 구조와 형태 과학탐방지도

경기장 지붕설계가 어렵고 힘든 이유

▶ 활용개요

학생들을 인솔해서 관중석에 앉혀놓고 안내를 할 때 먼저 안내할 수 있는 부분이 지붕이다. 일반 건축물과 다르게 축구장은 관중과 잔디의 요구가 상충되고 있음을 강조하면서 지붕의 구조와 지붕의 재질 및 건축법 등에 있어서 다양한 아이디어가 필요하다는 점을 강조한다.

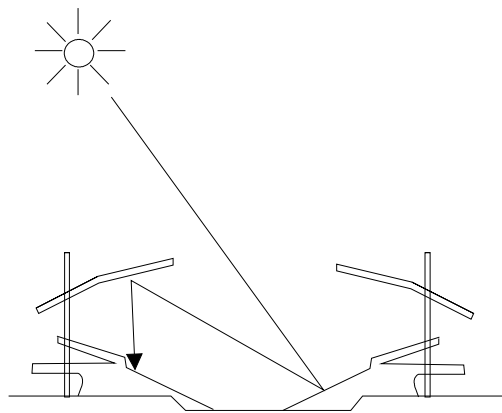
▶ 활동과정

- 1) ‘지붕의 고민’ 부분에서 관중과 잔디의 요구가 서로 상반되기 때문에 지붕 설계 자체가 매우 힘들다는 것을 강조한다. 경기를 관전하기에 좋은 채광 조건은 직사광선이 직접적으로 관중들의 눈으로 들어오지 않고 관전하고 있는 운동장 내부를 밝게 비추어 주는 것이다. 또한 경기를 하고 있는 선수들에게도 시야에 방해가 되는 햇빛 또한 제거하는 것이 좋다. 그러나, 잔디의 경우에는 입장이 달라진다. 생육에 필요한 햇빛의 양을 충분히 받아들여야 한다. 하루 평균 5시간의 햇빛이 잔디에게 필요하다.



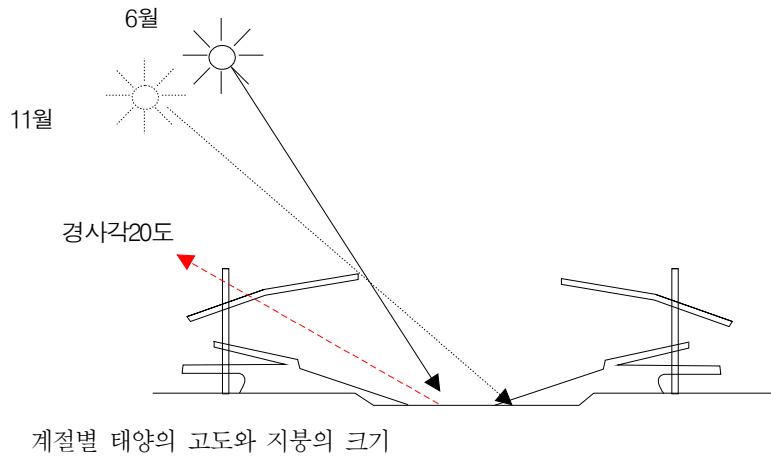
관중들의 관전 조건을 좋게 하기 위해 필요 이상으로 지붕을 덮었다면 잔디가 자라는데 영향을 미칠 것이며 반대로 잔디의 발육 조건을 좋게 하기 위해 지붕을 제거한다면 맑은 날 낮 경기를 관전하는데 어려움이 많을 것이다. 모두를 만족시키기 위해서 상암 경기장의 지붕은 어떠한 구조를 가지고 있는가? 다음 사진을 보면 일단 관중의 머리 위로는 불투명한 재질을 사용하여 직사광선을 피하게 하였다. 그리고, 투명한 유리를 사용하여 잔디에게 충분한 햇빛을 공급하도록 하였다.

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. 다음 그림을 보면 햇빛이 경기장에 들어오는 몇 가지 경로를 보여주고 있다. 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 3가지로 생각할 수 있다. 경기를 하는 선수나 관중들에게는 직사광선을 피하는 것이 중요하다. 그러나 경기장의 잔디는 직사된 햇빛이든 반사, 확산된 햇빛이든 관계 없이 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 필요하다.



경기장에 도달하는 햇빛의 경로

한편, 태양의 고도에 따른 고려도 필요하다. 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 약 4도 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 기동과 경기장 면이 이루는 각도는 잔디와 관중석에 직사광선이 어느 정도까지 도달하는지를 결정하게 된다.



경기장 전체의 동서간 길이는 200m 정도이고 지붕까지 바닥에서 평균 높이가 약 40m 정도 이므로 경기장 중앙에서 기둥까지 수평면과 수직면이 이루는 각도는 약 20도 정도이다. 따라서 지붕의 수평 거리는 경기장과 태양의 반대편 관중석에 쏘이는 직사 일광의 범위를 결정한다.

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 지붕을 엮는 방법 및 인장케이블의 굵기를 맞추는 활동은 학생들에게 크레인을 가장 적게 사용하는 방법이라고 힌트를 준다. 즉, 인장케이블을 연결하는 순서는 순서없이 해도 크레인이 계속 붙들고 있으면 상관이 없지만 가장 적은 비용을 들이려면 크레인은 빨리 철수를 해야 한다. 따라서, 가장 많은 하중을 받는 인장케이블부터 연결해야 한다고 말해 준다. 결국 그렇게 되면 인장케이블을 연결하는 순서대로 인장케이블의 굵기가 결정되기 때문에 가와 나의 정답은 같아지게 된다.

지붕판은 내부의 압축성 원형 트러스와 외부의 인장 트러스를 바탕으로 지붕판을 연결하는 트러스들이 촘촘히 연결되어 있으며 이렇게 해서 일체가 된 지붕판을 마스트에 연결된 강철케이블들이 잡아당겨서 매달고 있는 형태이다.

빠대는 굵기에 비해 강한 힘에도 견딜 수 있는 3각 단면의 철골 트러스로 제작하여 전체를 둘러쌌으며, 지붕의 무게를 지탱하기 위해 위쪽에 인장 케이블을 설치하여 지지대 두 곳을 거쳐 관중석 아래쪽에 위치한 주기둥에 연결하였다.

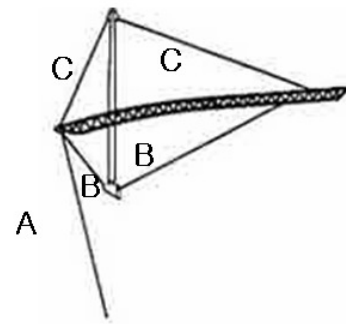
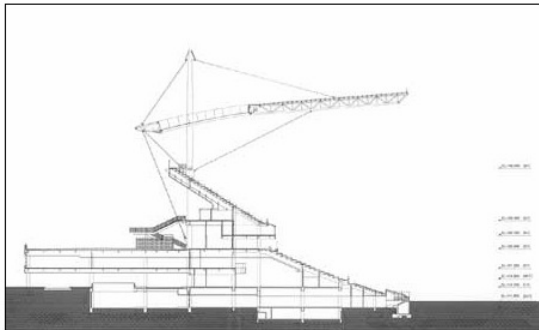
인장 케이블의 장력은 지붕의 중력에 의한 무게와 지면에 수평 방향으로 작용하는 힘의 합력과 같은 크기로 작용한다. 이러한 힘의 평형으로 지붕이 기둥 없이 공중에 떠 있는 구

조를 가지게 되는 것이다. 또한 강한 바람에 의해 지붕이 위로 뜨려하는 힘을 견디기 위하여 아래쪽에도 인장 케이블을 설치하였다.

따라서, 가장 큰 힘을 받는 것은 지붕 철골구조의 중력이기 때문에 이것을 위로 받쳐주는 인장케이블이 필요하기 때문에 C케이블을 가장 먼저 설치해야 한다.

다음으로 역시 경기장 안쪽의 철골이 훨씬 길기 때문에 많은 중력을 받으므로 이것을 보정해 주는 인장케이블 A가 그 다음으로 설치되어야 한다.

마지막으로 B케이블은 지붕위로 바람이 불 때 공기의 압력이 약해져서 지붕이 위로 들러지는 경우에 대비해서 필요한 케이블이다. 따라서, C→A→B 순서로 인장케이블을 연결해야 하며 이 순서대로 케이블의 굵기가 달라야 한다. 따라서, 학생들에게 각 케이블의 개수 및 굵기를 확인해 보게 할 수 있다.



3) 경기장 지붕의 재질에 대해서는 학생들에게 생소한 단어는 설명해 주면서 어떤 특징을 지녀야 할지 말하게 한다.

1. 비접착성, 접착성 : 먼지가 묻는 것을 방지하기 위해서
2. 저마찰계수, 고마찰계수 : 물 등이 잘 미끄러져서 빨리 배수되기 위해서
3. 비유성, 유성(유성이 크다는 말은 물, 기름에 잘 묻는다는 말) : 물, 기름에 잘 얹 젖어서 빨리 배수가 되고 지붕의 하중이 증가하지 않아야
4. 저온도 내구력 필요, 불필요 : 추위에 견딜 수 있어야
5. 내열성 필요, 불필요 : 뜨거운 태양열에 견딜 수 있어야
6. 절연성, 전도성 : 번개가 지붕에 내리지 않아야
7. 내화학적 필요, 불필요 : 산성비 등의 피해가 없어야
8. 질량이 큼, 작음 : 지붕 자체의 하중을 줄여야
9. 투명, 불투명, 어느 정도 투명 : 잔디에게는 간접조명을 비추고, 관중에게는 직사광선을 피할 수 있도록 하여야

이러한 특징을 갖춘 재질이 바로 유리섬유로 직조된 막인 테프론(PTFE)이다. 테프론 막은 경기장에서 마감재이자 구조재로서 역할을 하고, 부드러운 빛(자연광 투과율 13%)을 유입, 주간에도 필요했던 인공조명을 줄이고, 아늑한 분위기를 만들어 냈고 동시에 야간에는 빛

의 확산으로 도시의 새로운 풍경을 연출하게 된다.

테프론의 마찰계수는 0.05~0.20이며 영하 270℃의 온도에서 사용될 수 있으며 205℃에서의 고열에도 견디며 적절한 통풍 조건하에서는 최고 315℃/600°F까지도 간헐적으로 사용할 수 있다. 이러한 지붕막의 두께는 불과 1mm이지만, 자동차가 올라가도 찢어지지 않을 만큼 튼튼하다.

- 4) 경기장의 지붕을 받치는 기둥이 중간 부분이 뚱뚱하다. 이러한 기둥들은 위아래가 좁고 가운데가 굵은 배흘림기둥의 형태를 하고 있다. 이러한 기둥은 우리나라의 전통 사찰에서 많이 사용되는 형태이다. 이렇게 기둥의 가운데가 굵게 되어 있는 배흘림기둥 형태를 취함으로써, 상대적으로 부러지기 쉬운 기둥의 가운데 부분을 보강하는 역할을 한다.



[활동 2-1A] 경기장 지붕설계가 어렵고 힘든 이유

()년 ()월 ()일 ()학년 ()반 ()번 이름 ()

1 지붕의 고민

다음의 관중과 잔디의 요구사항을 듣고 지붕을 어떻게 설계해야 할지 아래에 지붕의 개략적인 그림을 그려보세요.

관중 : 경기를 관람할 때 햇빛이 눈에 들어오지 않도록 해야 하고 비가 올 때 비에 젖지 않도록 해야 한다.

잔디 : 공기와 햇빛이 충분히 내려줘야 하며 공기가 순환되어야 된다.

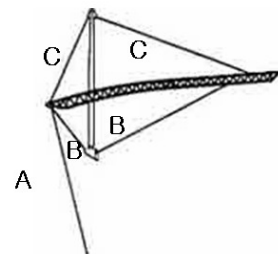
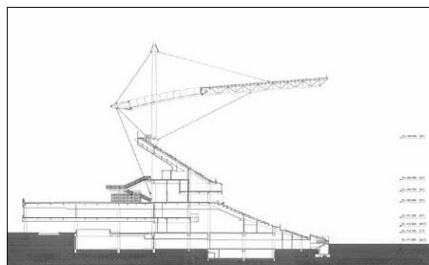
요구 대상	요구를 수용할 수 있는 지붕의 구조
관중	
선수	
잔디	
모두의 요구	

지붕의 개략적인 그림:

2 경기장의 지붕은 어떠한 방법으로 엮었을까?

상암 경기장의 지붕은 막과 골조를 합쳐서 그 무게가 8000톤이나 되는 엄청난 무게이다. 그런데, 서울 월드컵 경기장은 불과 16개의 철제 마스트가 있을 뿐이다. 다음 그림은 기둥에 연결된 인장케이블을 표시한 측면도 그림이다. 다음의 질문에 답해보자.

가. 다음과 같이 기둥과 지붕 철골을 제작한 후에 어느 케이블부터 설치했을까? 순서대로 알파벳을 적어본다.



정답은 (→ →) 순이다.

나. 어느 케이블이 가장 굵기가 굵어야 할까? 역시 굵기가 굵은 순서대로 아래에 적어보자.

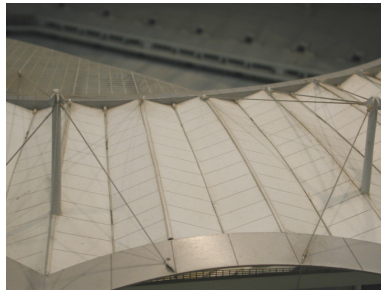
정답은 (→ →) 순이다.

다. 가와 나의 정답은 서로 어떠한가? 왜 그런가?

3 지붕의 재질은 어떤 특성을 지녀야 할까?

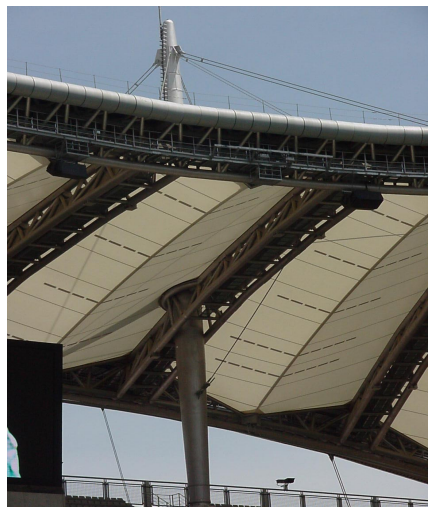
다음의 여러 가지 반대되는 특성 중에 지붕의 재질로 적합한 것이 무엇이 되어야 할지 경기장의 지붕을 관찰하면서 답해보자.

- 가. 비접착성, 접착성
- 나. 저마찰계수, 고마찰계수
- 다. 비유성, 유성
(유성이 크다는 말은 물, 기름에 잘 묻는다는 말)
- 라. 저온도 내구력 필요, 불필요
- 마. 내열성 필요, 불필요
- 바. 절연성, 전도성
- 사. 내화학성 필요, 불필요
- 아. 질량이 큼, 작음
- 자. 투명, 불투명, 어느 정도 투명



테프론막으로 이루어진 지붕

4 경기장의 지붕을 받치는 기둥의 모양이 좀 이상하다. 가운데 부분이 뚱뚱하다. 왜 그럴까?



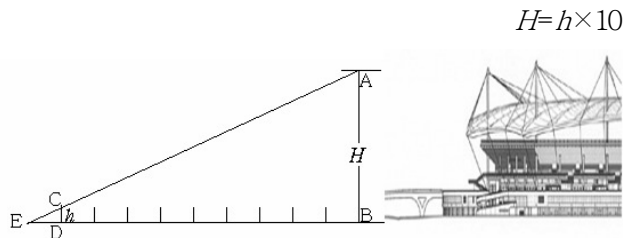
👑 축구장 높이의 어림

▶ 활용개요

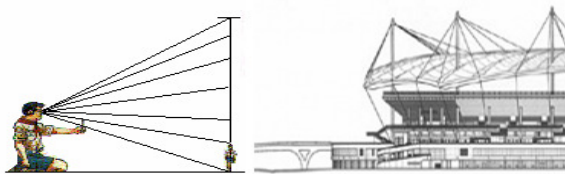
과학과 수학이 동떨어진 과목이 아니라는 사실을 알 수 있다. 즉, 학생들은 수학적 지식을 수단으로 필요한 정보를 수집하거나 과학적인 현상을 해석하고 문제를 해결하려고 할 것이며 과학에서 어림의 방법이 왜 필요한지를 알게 될 것이다.

▶ 활동과정

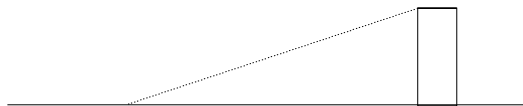
- 1) 경기장의 높이를 어림하는 첫 번째 방법은 그림과 같이 경기장의 높이를 재려면 경기장 바닥 B 에서 시작하여 미리 정한 임의의 단위 Y 의 9배 되는 지점 D 에 막대기를 세운 다음 다시 Y 만큼 더 가서 점 E 를 정한다. E 에서 A 를 볼 때 EA 의 막대기끝이 지나는 점을 C 라 하면 경기장의 높이는 다음과 같다.



- 2) 경기장의 높이를 어림하는 두 번째 방법은 경기장의 높이를 재기 위해 적당한 위치에 자기 키의 높이만큼을 표시한다. 또는, 한 사람이 서 있고 다른 사람이 측정할 수도 있다. 그 다음 연필이나 막대를 쥐고 뒤로 멀리 물러서서 한 눈을 감고, 손을 펴 표시된 자기 키 높이와 연필의 높이가 일치하는 곳에 엄지손가락으로 표시 한 후 연필을 위로 들어 올린다. 경기장의 높이가 연필의 몇 배가 되는지를 어림하여 경기장의 높이를 잰다.



- 3) 다른 방법으로 경기장의 그림자를 이용할 수도 있다. 그림자의 길이를 측정해야 하며 각도를 이용하여 건축물 끝까지의 각도를 측정해야 한다. 그러면, 삼각함수표를 이용하여 높이를 어림할 수 있다.





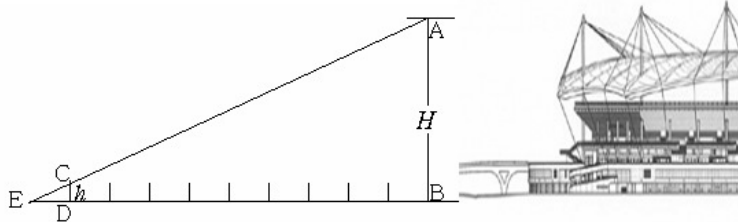
[활동 2-1B] 축구장 높이를 어렵해 보자

()년 ()월 ()일 ()학년 ()반 ()번 이름 ()

다음은 일반적으로 알려진 높이를 어렵해 보는 활동의 개략적인 안내 도들이다. 어떻게 축구장의 높이를 어렵했는지 그 방법을 추론해서 적어 본 후 실제로 이동해서 축구장의 높이를 어렵해 보자.

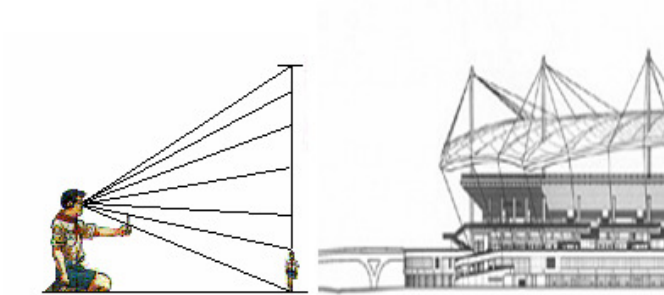
제
2
부

1 축구장의 높이를 어렵 하는 방법 i.



어떻게 어렵했을까?	나가서 실제로 어렵해 본 값

2 축구장의 높이를 어림 하는 방법 ii.



어떻게 어림했을까?	나가서 실제로 어림해 본 값

3 다른 방법은 무엇이 있을까? 아래에 방법을 적어보고 실제로 어림해 본 값을 적어보자.

다른 어림 방법은	나가서 실제로 어림해 본 값

👑 경기장에 많은 삼각형 구조

▶ 활용개요

학생들은 이 활동을 통하여 건축물에 숨어있는 삼각형 구조가 많은 이유를 이해하게 된다. 간단하게 학생들이 쉽게 따라 할 수 있기 때문에 교사가 수수깡 및 핀을 준비해 가면 학생들이 경기장을 둘러보면서 삼각형 트러스 구조를 보면서 제작해 보게 할 수 있을 것이다.

▶ 활동과정

- 1) 학생활동 1번을 그대로 한다. 핀 등은 따로 준비하기 보다 수수깡 세트안에 있는 플라스틱 핀을 사용해도 무방하다.



- 2) 삼각형, 사각형, 오각형을 만든 후 힘을 주어 변형시켜 본다. 변형을 주면 다음 그림처럼 삼각형을 제외한 도형들이 쉽게 변형되는 것을 알 수 있다. 왜 그런가? 삼각형은 세 변의 길이가 주어지면 그것에 해당하는 도형이 한 개만 결정된다. 그렇지만, 사각형만 되도 네 변의 길이가 주어지면 그것에 해당하는 도형은 2개 이상이 된다. 예를 들어 세 변의 길이가 같은 삼각형은 정삼각형 한 개다. 그렇지만, 네 변의 길이가 같은 사각형은 정사각형, 마름모꼴, 평행사변형이 있을 수 있다.
- 3) 사각형, 오각형 등이 변형되기 쉬울 때는 다시 한번 수수깡을 대서 삼각형을 만들어 주면 더 이상 물체는 쉽게 변형되지 않을 것이다.

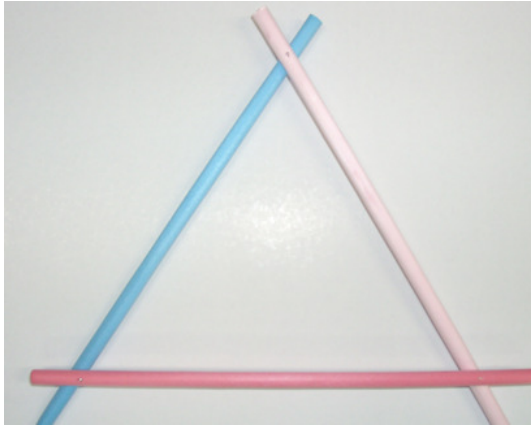
<참고> 트러스(truss)

트러스란 곧은 강재(鋼材)나 목재(이것들을 部材라고 한다)를 삼각형을 기본으로 그물 모양으로 짜서 하중을 지탱하는 구조방법으로, 부재의 결합점은 사람의 관절처럼 자유롭게 회전할 수 있고, 또 하중도 결합점에 작용하도록 공작되어 있으므로 트러스의 부재는 인장력이 작용하는 것과 미는 힘이 작용하는 것뿐이며 휘는 경우는 없으므로 재료의 낭비가 적다. 또 짧은 막대를 조합해서 지간이 큰 공간을 걸치는 이점도 있다.

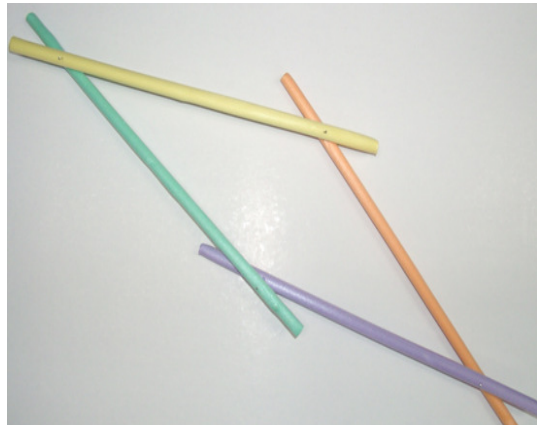
 [시범 2-1] 경기장에 왜 삼각형 구조가 많은가?

★ 준비물 : 수수깡, 핀

1. 수수깡과 핀을 이용하여 다음과 같은 3각형, 4각형, 5각형 등을 만들어본다.



2. 힘을 주어 변형시켜 본다. 수수깡을 부러트리지 않고 변형시키려고 할 때 어느 형태가 변형이 쉽게 되고 어느 것이 잘 안 되는가? 왜 그런가?



3. 변형이 잘 되는 구조를 변형이 안 되게 보정하려면 어떻게 하면 되는가?

2.2 경기장 조명과 전기 과학탐방지도

조명등의 설치

▶ 활용개요

본 활동을 통하여 학생들은 선수가 경기할 때 조명탑 및 조명등을 어떻게 설치해야 하는지에 안목을 가지게 될 것이다. 실제로 학생들이 지붕에 설치된 조명등을 보는 활동은 목 근육이 매우 피로해 질 수 있기 때문에 조별로 활동할 것을 권장한다.

▶ 활용과정

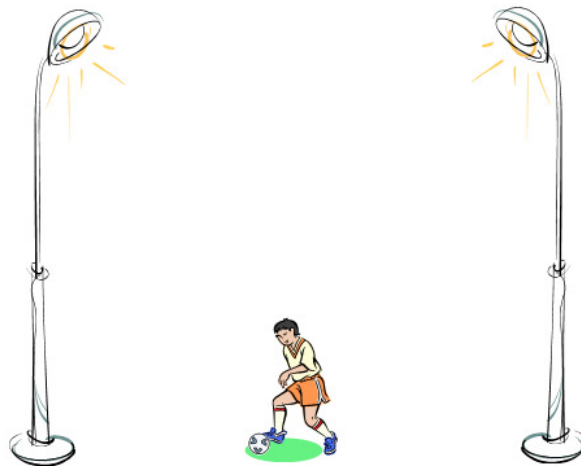
- 1) 조명탑과 조명등의 차이점을 비교하는 활동이다. 학생들에게 충분히 생각해 볼 기회를 준다. 예를 들어, 선수들이 경기할 때 특히 축구의 경우는 공이 수평으로만 이동하는 것이 아니라 수직으로도 공이 이동하기 때문에 선수의 눈은 좌우뿐만 아니라 위아래로도 움직이게 된다는 사실을 주지시킬 필요가 있다. 조명탑과 조명등의 특징은 다음과 같다.



링트러스에 설치된 경기장 조명등

- ① 조명탑을 세워서 조명하는 방식 : 조명을 설치할 때 유의해야 할 점은 어느 곳에 있더라도 눈부심이 없어야 한다는 점이다. 이를 위해 “수평조도”와 “수직조도”라는 것을 측정하는데, 선수의 입장에서 수평시선이나 수직 시선에서 측정한 밝기가 적당해야 한다. 코너 배치의 경우 골키퍼를 방해하는 눈부심을 없애고, 골포스트 뒤에 설치된 보조 카메라가 촬영하기 좋은 조도를 만들기 위해 조명탑을 지정된 지역 내에 설치해야 한다. 또한 경기장 중앙과 투광 조명이 수평면을 기준으로 25°각도를 유지하도록 조명탑과 조명의 헤드프레임을 조정해야 한다. 이처럼 코너배치 방법은 여러 가지 제약이 따른다. 더구나 조명탑 설치에 드는 비용도 만만치 않다. 과거에 지어진 축구경기장들은 관중석 윗부분에 높이 솟아있는 조명탑을 이용하여 운동장을 밝히는 형태를 취하고 있다. 이러한 구조에서는 조명등의 직사광선이 맞은편 관중석의 관중 및 선수들의 눈에

도달하여 경기 및 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.



② 조명등을 측면에 배치하여 조명하는 방식 : 요즘에는 측면배치의 방법을 많이 쓰고 있다. 측면배치는 부산 아시안드 주경기장에서 볼 수 있는 방식으로 투광조명을 터치라인과 평행하게 집단으로 설치하고 조명은 스탠드 지붕 위에 주로 설치하고 있다. 이때 골키퍼를 방해하는 섬광을 없애기 위해 프리킥 지역에는 투광 조명을 설치하지 않는다.

2) FIFA에서 규정한 조명에 대한 규정은 무슨 의미를 가지는가? 선수들이 운동을 할 때 눈부심이나 어두움이 없어야 한다. 눈부심이나 어두움은 주변의 밝기와 상대적인 차이를 느낄 때 생길 수 있다. 즉, 선수들이 수평으로 고개를 돌렸을 때 밝기의 차이가 크면 안 된다. 또한, 축구선수들은 하늘 높이 차 올려진 공도 보아야 하기 때문에 수직으로 눈을 돌렸을 때도 밝기의 차이가 크면 안 된다.

	FIFA규정	상암 경기장
최소밝기/최대밝기(수직면)	0.6이상	0.79
최소밝기/평균밝기(HDTV촬영위해)	0.7이상	0.87
눈부심 방지위한 조명등의 그라운드 위 높이	20m이상	48m

3) 조명등의 개수와 조명 방향설정은 다음과 같은 퀴즈를 통해서 힌트를 줄 수 있다.

※퀴즈 : 선수 중에 특히 밝기를 더 고려해야 할 선수는 다음 중 누구일까?(정답 3번)
① 공격수 ② 수비수 ③ 골키퍼

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 조명 없이 필요한 공간만을 비출 수 있도록 되어 있다.(2kW는 매초 2000J의 에너지를 사용하는 용량으로 가정용 냉장고가 대략 50W인 점을 감안하면 전구 한 개가 내는 에너지는 가정용 냉장고 40대가 사용하는 에너지와 맞먹는다)

필요한 공간만을 비추기 위하여 경기장 전체를 24구역으로 나누어 구역 당 평균 11개의 전등이 서울 월드컵 경기장은 경기장의 잔디밭 전체를 일정한 조도가 되도록 조명을 설치하였다.

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.



[활동 2-2] 조명등 설치는 어떻게 해야 하는가?

()년 ()월 ()일 ()학년 ()반 ()번 이름 ()

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?

1. 조명탑이 왜 없을까? 밤에 조명을 하는 방식은 다음과 같이 3가지가 있다.

- 가. 조명탑을 가장자리에 세워서 조명하는 방식
- 나. 조명등을 측면에 배치하여 조명하는 방식
- 다. 위 두 가지를 같이 사용하는 방식

먼저 위에서 조명탑과 조명등을 세웠을 때 각각의 장점과 단점은 무엇인지 친구들과 토론해서 아래 빈칸에 적어보자.

	조명탑	조명등
장점		
단점		

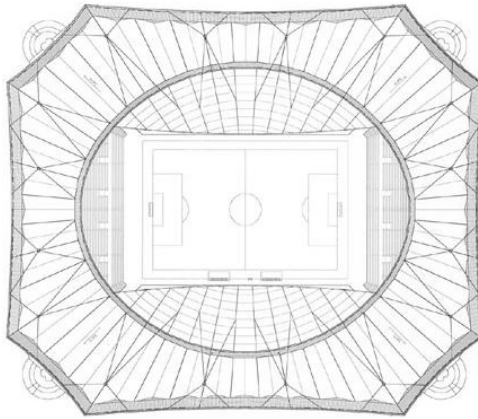
어느 것이 선수와 관중들에게 좋을까?

2. FIFA는 조명등에 대해서도 세부적으로 규정하고 있다. 다음의 규정은 무엇을 말하는 것이며 왜 필요한가?

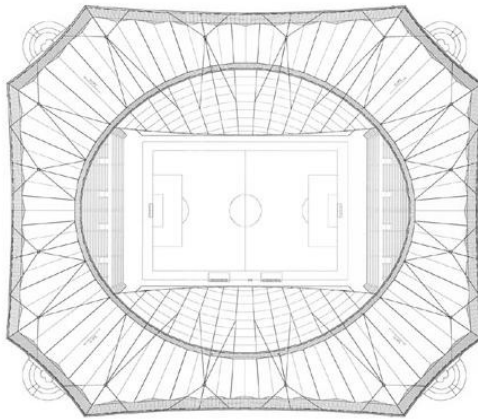
	FIFA규정	상암 경기장
최소밝기/최대밝기 (수직면)	0.6이상	0.79
최소밝기/평균밝기 (HDTV촬영위해)	0.7이상	0.87
눈부심 방지위한 조명등의 그라운드 위 높이	20m이상	48m

3. 조명등 설계 및 실제 조명등 위치(이 조명등은 경기장만을 비추기 위한 조명등을 말함) : 다음 그림 왼쪽에는 경기장을 비추기 위한 조명등을 개수와 방향을 생각해서 그려본다. 오른쪽에는 실제로 경기장을 비추는 조명등을 확인해 보면서 왼쪽 설계와 어떠한 차이가 있는지 확인해 본다.

위의 안내에 따라 아래에 조명등을 O표로 표시 한다



실제 경기장에 설치된 조명등과 비교한다.



차이점이 있다면 어떠한 차이점이 있는가?

왜 이러한 차이점이 있는가?

조명등의 밝기

▶ 활용개요

본 활동을 통하여 학생들은 조명등이 구현하는 밝기가 예상했던 것 보다 훨씬 높은 밝기인 것을 알게 되며 그 이유도 정리할 수 있다. 조도계는 사전에 준비해서 가져가면 학생들이 좀 더 진지한 자세로 본 활동에 임할 것이다.

▶ 활용과정

- 1) 실제 조도계를 이용하여 주변의 밝기를 측정해보는 활동이다. 대부분의 조도계는 단위라 룩스(lux)이며 이것은 일반 양초 한 개가 내는 밝기와 같다. 이 활동을 통하여 현재 낮시간의 밝기를 룩스 단위로 연관시키는 활동을 하게 된다. 다음은 장소와 용도에 따른 필요한 조도를 비교한 표이다. 학생들에게 이 중 몇 가지만 알려주어도 좋은 정보가 될 수 있다.

(단위 : 룩스)

조도 장소	1만 - 3000	3000-1500	1500-1000	1000-500	500-200	200이하
일반 주택			재봉일	독서, 화장	면도	화장실
사무실			제도실, 타이프	사무실, 회의실	엘리베이터, 강당	휴게실, 비상계단
학교			독서, 정밀실험	실험실습실	교실	
공장		정밀기계, 전자부품	인쇄 교정, 시험	검사, 포장	복잡한 조립	휴게실, 창고
백화점		쇼윈도 진열	상점내 진열	탈의실, 엘레베이터	계단	
병원	시력검사실, 수술실		구급처치, 주사실	진찰실		

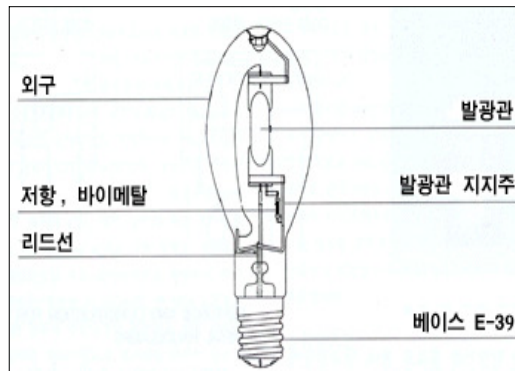
- 2) FIFA에서 요구하는 경기장 조명 기준은 1500lx이며 상암 경기장은 이보다 높은 2000lx의 조도를 내고 있다. 이 정도 밝기는 교실의 3배 정도이다. 인간의 눈으로 경기를 관람하기에는 800lx면 충분하다. 이렇게 밝은 조도가 필요한 이유는 바로 최근에 시작된 첨단 고풍질 TV 중계방송을 가능하게 하기 위해서이다. TV는 인간의 눈보다 인식하는 능력이 떨어지기 때문이다.
- 3) 조명등의 특성 중 가장 중요한 것은 선수들이 주로 시합하는 시간이 오후 늦은 시간일 경우 주간 경기에서 야간 경기로 이어질 때 조명등의 빛이 태양이 내는 자연광과 다를 경우

시합하는데 지장을 줄 것이다. 그러므로, 자연광과 비슷한 백색광원이 필요하다. 따라서, FIFA에서는 4000K 이상을 낼 수 있는 메탈할라이드 전구를 사용하며 연색성은 60이상으로 할 것을 규정하고 있으며 상암 월드컵 경기장은 5600 K 정도를 낼 수 있는 메탈할라이드 전구를 사용하였으며 연색성은 90이상이다.

<참고> 연색성

광원에 따라 물체의 색이 달라지는 효과를 연색성이라 한다. 인공광원이 얼마나 기준광원과 비슷하게 물체의 색을 보여주는지를 연색지수(Color rendering index:Ra)로 표기하는데, 연색지수는 100에 가까울수록 기준광원에 가깝고 색이 고루 자연스럽게 보인다는 뜻이다. 연색지수 규정의 기준광원은 흑체를 기준으로 한 3000K, 주광을 기준으로 한 6000K의 두 가지가 있다.

형광등은 양쪽 끝이 봉해진 좁은 유리관으로 되어 있다. 관속에는 아르곤, 네온, 크립톤 기체가 희박하게 차 있다. 또 관속에 액체 수은이 한두방울 들어 있고 그 일부는 증발하여 기체 상태로 있다. 이 기체 상태의 수은 가스가 빛을 내는 역할을 한다. 형광등 양끝에 도선을 연결시키면 음극에서 전자가 방출된다. 이 전자들은 기체 원자들과 수시로 충돌하는데, 이 중 수은 원자가 에너지를 흡수하여 이를 다시 빛으로 방출하게 된다. 그러나 수은 원자가 내는 빛은 대부분 254nm 파장의 자외선이다. 형광등은 유리 안에 형광물질을 발라 자외선을 가시광선으로 바꾸게 한 것이다. 메탈 할라이드 전구는 수은 대신 원하는 파장이 다량 방출되는 메탈 할라이드 Salt를 주입하여 주로 320mm ~ 420mm의 빛을 연속적으로 나오게 만든 램프이므로 자연광과 가장 비슷하여 빛을 받은 물체가 매우 안정하게 보인다. 이 때문에 주로 전문 사진촬영, 영화나 텔레비전 촬영, 무대 조명 등에 쓴다.



메탈할라이드 램프의 모양

- 4) 야간조명에서 경기장을 비추는 것 외에도 다음과 같이 필요한 조명이 더 있다. 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

[시범 2-2] 조명등이 구현하는 밝기는?

★ 준비물 : 조도계, 꼬마전구, 건전지

1. 조도계를 사용하여 현재의 밝기를 측정하여 아래에 적어보자.



조도계

현재 시간	현재 구름양	현재 밝기를 대략 말로 표현한다면	조도계로 측정한 현재 밝기

2. 조도계에 꼬마전구와 건전지를 이용하여 밝기를 조정하여 밝기의 단위를 알아 본 후 다음을 예측하여 기록해 보자.

여러 가지 상황	예측조도(lux)	실재조도(lux)
일반 축구 경기에서 필요한 밝기는		
세계 축구연맹이 요구하는 월드컵 경기장의 밝기는		
상암 월드컵경기장이 구축한 밝기는		

FIFA에서 요구하는 밝기는 왜 이렇게 (밝은가, 어두운가)?

3. 이러한 밝기를 구현하기 위한 조명등의 특성은 어떠한가 할까?
4. 선수들의 경기장면 외에 야간에 조명이 더 필요한 곳이 어디 있을까? 다음의 경기장 야간 조명사진을 보고 답해보자.

2.3 경기장 음향의 과학탐구 지도

경기장의 음향시설

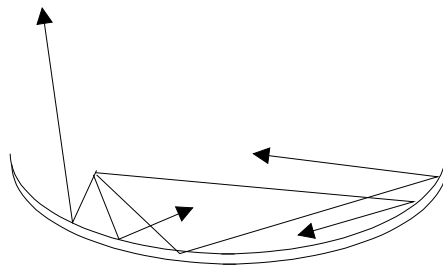
제
2
부

▶ 활용개요

경기장의 음향시설을 통하여 소리의 기본적인 성질을 학생들이 알 수 있으며 소음계를 통한 활동을 경기장이라는 주제로 다양하게 해 볼 수 있다.

▶ 활용과정

- 1) 학생들에게 경기장에서 실제 경기를 관람한 적이 있는 학생이 있는지 물어본다. 그 학생들에게 관중들이 응원하는 소리가 밖으로 퍼지지 않고 마치 경기장 안에 머물러서 다시 내 귀에 크게 들리는 경험을 말해 보게 한다. 축구나 야구와 같은 운동 경기가 열리는 날에 경기장 주변을 지나가면 경기장 안에서 나오는 우렁찬 함성 소리가 너무 커서 옆에 사람하고 대화를 하기도 힘들 정도이다. 왜 경기장의 함성 소리는 그렇게 크게 들릴까? 이것은 경기장과 같이 비교적 넓고 평면적이며 내부 기둥이 없는 건축에 있어서 음향적인 특징은 하부 바닥이 대부분 평탄한 마루이거나 고무계 코팅 또는 얼음판으로 구성되어 이 부분의 반사율이 절반은 객석 방향으로 절반은 천장으로 반사되어 사이클을 형성하기 때문이다. 두 번째 이유는 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.



경기장 내부의 소리 반사

이 때문에 관중석에 만들어진 함성은 경기장의 양쪽 벽에서 서로 반사되어 울리기 때문에 안에서는 더 크게 들리고, 밖에서는 경기장에서 모아진 소리가 밖으로 퍼져 나가기 때문에 잘 들리게 된다.

이 경우 응원소리는 위 아래로 반사되어 소리의 증폭효과를 가져와 심리적으로 더 응원에

몰입하게 되는 장점이 있다.

그러나, 음향시설의 경우 경기장은 스탠드와 지붕에서 소리가 반사되어 생기는 심한 잔향 때문에 소리가 관중들에게 제대로 전달되기 어려운 구조적 특성이 있다. 또한, 공간이 넓기 때문에 확성기 가까이 있는 사람과 멀리 있는 사람에게 음질이 균질하게 전달되지 못할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 경기장의 음향시설은 종합적으로 다음과 같은 설비를 갖추었다.

① 좋은 음향을 위해서 준비된 관중석 의자?

먼저, 잔향에 대해서 말해야 한다. 잔향(殘響, reveration)이란, 음원이 진동을 그친 뒤에도 음이 계속 들리는 현상을 말한다. 이 현상은 실내 벽이나 천장의 반향에 따른 것으로 음향효과에 큰 영향을 미친다. 음원이 진동을 멈춘 순간부터 음이 들리지 않게 된 순간까지를 잔향시간이라 하는데, 이는 음의 에너지가 처음의 100만분의 1이 되기까지의 시간에 해당한다. 실내는 음향효과의 목적에 따라 알맞은 잔향시간을 유지해야 한다. 잔향시간은 주로 실내 용적과 흡음력에 따라 변하는데 음이 너무 울리는 것은 잔향시간이 길기 때문이며, 반대로 음이 잘 들리지 않는 것은 잔향시간이 짧기 때문이다. 잔향시간은 청중의 수와도 관계가 있다.



따라서 청중의 수와 관계없이 잔향시간을 일정하게 유지하려면 의자의 흡음력을 청중의 흡음력과 비슷한 수준으로 유지할 필요가 있다. 상암 경기장의 의자의 흡음력이 사람의 흡음력과 비슷한 재질로 제작되었다. 잔향시간을 일정하게 유지해야만 이에 맞게 음향시설을 할 수 있기 때문이다.

② 소리의 반사를 막는 지붕

결론부터 말하면 지붕은 소리의 반사를 최대한 억제하여 소리가 울리지 않도록 하기 위한 재질을 사용하고 있다. 서울 월드컵 경기장의 지붕을 이루는 막은 소리를 흡수하

는 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.

③ 넓게 퍼지는 스피커가 아니라 지향성이 높은 스피커

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 모이고 인접한 곳에는 잘 전달하지 않는 특성을 가진 고지향성 스피커이다.

경기장 전체의 흡음성을 높여서 반사음의 전달을 억제한 다음, 경기장 곳곳에 경기장 지붕에 대형 스피커 108개와 회원석 발코니 및 천정에 220개 등 총 328개를 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 제공하

기 쉽게 된다.



고지향성 스피커

- 2)~3) 평평한 바닥과 지붕이 있다는 건물자체의 구조적 특성으로 인한 관중소리의 방해 뿐만 아니라 지붕이 없어서 외부 날씨에 그대로 노출되기 때문에 날씨에 의한 영향도 받게 된다. 예를 들어, 오후에 경기를 하게 되면 지표면의 온도가 높아서 소리가 하늘로 굴절하는 현상이 생기게 된다. 이렇게 소리의 명료성을 확보하기 어렵다. 이를 해결하기 위해서는 스피커를 분산/집중방식으로 세밀하게 배치하였다. 지붕이 없을 때는 집중방식을 사용할 수 밖에 없으며 전체가 지붕이 있을 때는 분산방식을 사용하는 것이 좋기 때문에 일부만 지붕이 있는 경우는 두 방식을 혼합한 방식을 사용하게 된다.
- 4) 관중들이 내는 평균 굉음레벨인 90-95dB정도이며 FIFA에서는 음향시설 레벨이 95dB 이상이 되어야 한다고 권고하고 있다. 상암경기장은 객석바닥에서 110dB를 유지하도록 설치하였다. 어느 정도를 벗어나면 소음만 커질 뿐 정확성은 오히려 떨어진다. 일반적으로 스피커의 적정 소리크기는 1미터 떨어져서 보통의 대화가 가능한 정도이며 대략 70~80 dB이고, 축구장에서 100 dB 이상이면 방송을 알아들을 수 없게 된다.



[활동 2-3] 경기장의 음향시설은?

()년 ()월 ()일 ()학년 ()반 ()번 이름 ()

1. 경기를 하면서 지붕과 스탠드 사이에 앉은 관중이 내는 응원 등의 소리는 어떻게 될까?

준비물
소음측정기

제 2 부

2. 음향시스템은 크게 다음과 같이 3가지 방식이 있다. Pewback 시스템은 의자 뒤에 스피커가 각각 붙어 있는 형태로 청취자들이 각각 필요에 따라 조절 할 수 있는 장점이 있고, 하울링(howling)이 생기지 않는 장점이 있을 수 있으나 경제적으로 비용이 많이 들어가는 단점이 있어 경기장에는 적합하지 않다.

가. 중앙집중 방식	
나. 분신 배치 방식	
다. Pewback 방식	

그렇다면, 지붕의 유무에 따라서 음향시스템 설치 방법은 무엇이 적합할까?

지붕의 유무	적합한 방식
지붕이 있는 경우	중앙집중방식, 분산배치방식
지붕이 없는 경우	중앙집중방식, 분산배치방식

3. 상암 경기장은 지붕이 경기장의 일부만을 덮는 구조로 되어있다. 경기장의 음향시설을 둘러보면서 어떠한 방식을 채택했는지 알아보자.

4. FIFA에서는 일정 수준 이상의 음압을 권고하고 있다. 주어진 소음계를 이용하여 다양한 음압의 소리를 내 본 후 FIFA에서 요구하는 수준이 얼마일지 예측해 보자.

◆ FIFA의 권고안 : ()dB이상

2.4 경기장 잔디의 과학탐구 지도

왜 잔디구장인가

▶ 활용개요

잔디구장 주제는 학생들에게 생물학과 공학 물리학 등이 함께 통합된 과학을 접하게 해주는 좋은 학생활동이다. 그렇게 어렵지도 않기 때문에 초등학생부터 일반인까지 함께 생각해 볼 수 있는 주제이다.

▶ 활용과정

- 1) 다음의 이야기를 통하여 잔디에 대한 학생들의 관심을 유도할 수 있다.

지난 1998년 프랑스 월드컵 경기 당시 우리 대표팀은 선취골을 넣고도 16강에 진출하지 못하는 불운을 맞아야 했다. 골을 넣은 하석주가 2분 뒤 미드필드 왼쪽 터치라인 부근에서 라미레스에게 두발로 백테클을 범해 오스트리아의 군테르 벵코 주심으로 부터 퇴장 명령을 받았고, 결국 게임에서 졌기 때문이다.

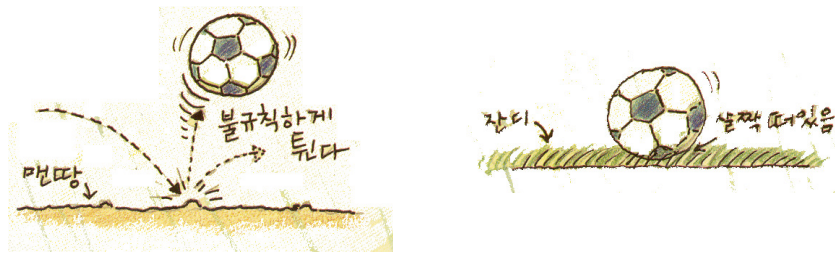


멕시코전에서 퇴장 명령을 받고 있는 하석주 선수

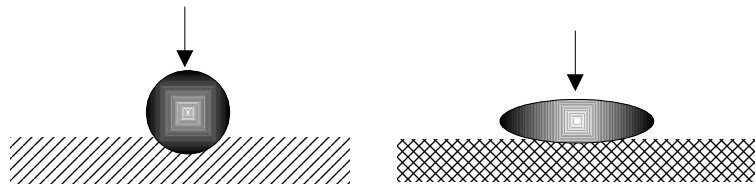
물론 하석주 선수가 무리한 테클을 한 것도 잘못이었지만, 당시 한국 선수들이 프랑스의 잔디구장에 익숙하지 않아 이 같은 실수를 할 수 밖에 없었다는 분석도 제기됐다.

잔디구장은 직접 들어가 볼 수는 없지만 경기장 관람코스 입구에 잔디가 심기어져 있기 때문에 간단한 활동을 해 볼 수 있다. 먼저, 흙구장과 차이점은 다음과 같다.

- ① 선수 기량 이외의 우연적 요소를 경기에서 최대한 배제하기 위해서이다. 다음 그림처럼 흙구장은 약간의 불규칙한 모양이 있어도 공은 불규칙하게 튀게 된다. 잔디구장에서는 선수가 볼을 컨트롤하기 쉽다. 잔디가 깔린 축구장에서는 축구공이 땅바닥에 직접 닿지 않고 잔디위에 살짝 떠 있게 된다. 맨땅에서라면 작은 돌멩이나 패어진 흙 때문에 공이 엉뚱한 방향으로 튀기도 하지만, 잔디가 덮여 있으면 그런 일을 막을 수 있다. 따라서, 잔디구장은 흙구장에 비해 선수들이 잔기술을 사용하기 유리하다.



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



잔디밭에 떨어진 공은 덜 변형되므로 많이 튀지 않지만, 맨 땅에서는 공의 변형이 크기 때문에 많이 튀어 오른다.

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.

- ② 경기 도중에 넘어져도 상처를 주지 않음으로 선수들이 안심하고 경기를 행할 수 있다. 선수들의 부상 정도가 잔디구장에서는 많이 줄어들기 때문에 훨씬 박진감 넘치는 경기를 펼칠 수 있다. 잔디 자체가 완충제 역할을 해 선수가 태클이나 슬라이딩을 할 때 발목과 다리를 보호하기 때문이다. 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.
- ③ 선수들의 체력소모가 적다. 잔디구장은 맨 땅에 비해서 마찰력이 어떨까? 사람은 발과

지면의 마찰력에 의하여 걷거나 달릴 수 있다. 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 공의 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.



- ④ 선수들의 호흡에 도움을 준다. 바람에 의해 먼지가 발생하는 것을 방지해주고, 공기정화에 효과적이다. 잔디가 이산화탄소를 흡수하고 산소를 방출하기 때문에 선수들이 땀 때 호흡에 약간이나마 도움을 줄 수 있다.
- ⑤ 잔디는 수분을 가지고 있기 때문에 수분이 없는 흙 구장에 비해 비열이 높아 기온이 심하게 내려갈 때와 더울 때 어느 정도 기온 조절의 효과도 있다. 해양성 기후가 대륙성 기후에 비해 온도차이가 적은 것을 학생들에게 상기시키면 될 것이다.
- ⑥ 우천시 비를 효과적으로 제거할 수 있다. 이 부분에 대해서는 따로 깊이 있게 다루기 때문에 여기서는 간단하게 언급만 하겠다.
- ⑦ 눈부심이 적다. 흙구장에 비해 광원이 지면에서 반사되는 정도가 적어서 선수들이 시합을 하는데 방해가 되지 않는다.
- ⑧ 소음제거에 탁월하다. 선수들이 시합할 때 공이 튀기는 소리, 관중들의 소리 등이 심리적인 압박이 될 수 있다. 잔디는 특히 그 잎이 부드럽고 유연하되, 이들로 구성된 잔디면은 일단 소리가 부딪치면 그 반사는 매우 적고 소리를 흡수하는 독특한 성질을 가지고 있어 소음제거에 효과적이다.

- 2) 측정도구를 사용하면 다음의 내용에 대해서 확인해 볼 수 있다.
 먼지센서를 이용하면 흙 구장과 잔디구장에서 먼지가 발생하는 정도 측정이 가능하다.
 산소센서를 이용하면 현재 흙 구장과 잔디구장에서 산소의 농도를 비교해 볼 수 있다. 사실 산소의 차이는 관중이 없을 때는 큰 차이가 나지 않을 것이라 생각된다.
 현재 온도센서를 이용하면 흙 구장과 잔디구장에서 온도를 비교해 볼 수 있다.
 조도센서를 이용하면 같은 광원을 비추었을 때 반사되는 빛의 세기를 비교해 볼 수 있다.
 소음계 또는 핀 마이크를 이용하면 실제로 발생하는 소리와 반사되어 돌아오는 소리의 세기의 비를 비교해 볼 수 있다.
 위의 각각의 실험은 정밀한 실험설계와 측정도구가 필요하다. 하나의 실험에 대해서 실험을 잘 설계해서 실험 자료를 얻고 분석하는 과정은 학생들에게 의미 있을 것이다.
- 3) 맨땅에서 슛을 하는 경우는 공이 흙 위에 놓여있다고 할 수 있고, 잔디구장은 공이 잔디위에 살짝 떠 있다고 할 수 있다. 따라서, 흙 구장의 경우 일정 각도 이상으로 공을 띄우기 위해서는 발을 잔디구장의 경우보다 바깥 지면에 부쳐서 슛을 해야 한다. 만일 흙 구장에 익숙한 사람은 잔디구장에서 그렇게 지면에 발을 부쳐서 슛을 한다면 흙 구장에 비해 공의 더 아래 부분을 차기 때문에 생각보다 더 높이 공이 뜨게 된다.
- 4) 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.



축구장의 잔디무늬

- 5) 잔디는 항상 적절한 유효수분을 유지할 수 있도록 적절하게 주기적으로 물을 주어야 한다. 물을 줄 때에는 뿌리지역에까지 도달되도록 많이하되 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 심

어저서 지반의 모래 함량이 높은 곳에서는 한 여름에 매일 가벼운 물주기가 필요하다. 물 주기는 보통 스프링클러를 사용하여 실시하는데 너무 습하거나 건조한 부위가 생기지 않도록 균일하게 해야 한다.

한편, 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 물 뿌리기는 가능하다.



[활동 2-4] 왜 잔디구장인가?

()년 ()월 ()일 ()학년 ()반 ()번 이름 ()

- 잔디구장은 설치 및 관리에 많은 비용이 들에도 불구하고 FIFA에서 모든 구장이 잔디구장일 것을 요청한다. 잔디구장과 흙 구장을 비교하는 다음 표를 채우시오.

	잔디구장	흙 구장
선수들의 기량발휘		
경기 중 선수들의 안전		
선수들 호흡에 유리		
우천 시 경기진행		
눈부심		
소음제거		
온도조절효과		
기타 비교		

- 위 비교 특징 중에 컴퓨터를 이용한 실험(MBL)도구인 인터페이스와 조도센서, 산소센서, 먼지센서, 핀 마이크 등을 이용하여 위를 확인할 수 있는 실험을 설계하여 검증해 보아라.

3. 맨땅에 익숙한 축구 선수들이 잔디 경기장의 골문 앞에서 슛을 할 때 의도한 방향으로 공을 보내지 못하고 공을 띄워버린다고 한다. 왜 그럴까?

4. 잔디분향은 왜 생기는 것일까?

5. 잔디보호를 위해 물을 주어야 한다. 다음의 질문에 답해보자.

◆ 잔디에 물을 주는 것은 자주 조금씩 주어야 하는가? 아니면, 가끔 많이 주어야 하는가?

◆ 잔디에 물을 주는 시간은 언제가 적당한가? 오전, 오후, 저녁 중 어느 시간인가?



어떤 잔디를 심어야 하나?

▶ 활용개요

잔디를 어느 품종으로 결정하는가의 문제는 상암경기장 건설과정 중에 심도깊게 연구되었던 과제중 하나였다. 다른 시설은 일반적인 경기장 건축의 양식을 사용할 수 있지만 잔디품종결정의 문제는 한국의 기후에 적합하고 경기에도 무리가 없는 최적화된 품종을 찾는 새롭고 어려운 일이기 때문이다. 이 활동을 통해서 학생들은 주어진 잔디품종에 대한 자료를 보고 최적화된 품종 결정의 과정을 같이 해 보게 될 것이다.

▶ 활용과정

- 1) 다음의 난지형 잔디와 한지형 잔디의 기본적인 특징을 먼저 학생들에게 안내해 준 후 대표적인 난지형 잔디인 들잔디와 한지형 잔디인 켄터키블루그래스에 대한 자료를 분석하여 둘 중에 적당한 잔디를 택하는 사고활동을 하게 한다.

난지형 잔디의 특징

- ① 남방의 따뜻하고 건조하거나 습윤한 지대에서 주로 재배되는데 하루 평균기온이 10°C 이상이 되는 4월 초순부터 생육이 시작되어 6-8월의 25-35°C 사이에서 가장 생육이 왕성하다.
- ② 가을이 되어 온도가 내려가면 평균 10°C이하가 되는 10월 중순 경에 잎이 누렇게 변하면서 성장이 멈추고 휴면기에 들어간다.
- ③ 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 베티다그라스 등이 있다.

한지형 잔디의 특징

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

- 2) 경기장용 잔디는 다음과 같은 특징을 지녀야 한다.

가. 성장속도가 빠르며 손상, 마모에 대한 회복력이 빨라야 한다.(20일 정도)

나. 잔디 잎의 촉감이 부드럽고 잔디면이 미끄러워 공이 튀기에 적합해야 한다.

다. 쿠션이 좋아 선수보호에 효과적이어야 한다.

라. 경기장용 잔디에서 연간 경기 가능 횟수는 100~120회 정도이다.



일반 잔디



경기장용 잔디

일반 잔디는 생장 속도가 느리고 손상, 마모에 대한 회복력도 느리다(2개월 이상). 입의 촉감이 뽀뽀하고 잔디면이 거칠어 공이 많이 된다. 또한 면이 단단하여 쿠션이 없기 때문에 부상의 위험이 있다. 그리고 일반잔디는 연간 12~34회 정도의 경기만이 가능하기 때문에 경기장용 잔디로 쓰기에는 부적합하다.

- 3) 켄터키블루그래스는 내서성과 내한성이 타 한지형 잔디보다 강하고 지하경에 의한 번식으로 뗏장의 인장력이 강한 편이다.

따라서 초기 뗏장 형성이 느리기는 하지만 운동경기에 의한 내마모성과 회복력이 좋아서 주 초종으로 선정하였으며 켄터키블루그래스 단종으로 식재될 경우 m²당 종자 12g이 기준 파종량이나 타초종이 혼합될 경우 초종간 경합이나 종자발아율이 상대적 감소를 고려하여 켄터키블루그래스 12g 또는 증량을 실시하였고 타 초종의 파종량은 그대로 두어 전체 파종량을 증가 시켰다. 구미 각국에서 거의 대부분의 정원과 공원의 잔디 초지를 이루는 풀로서 서양잔디의 대표적인 초종이다. 서양잔디라고는 하지만, 우리나라 종가의 담밀이나 개울가, 즉, 그늘지고 습기가 많은 곳에서 생육하고 있으므로 그늘진 곳에 있는 풀은 거의 대부분의 경우 이 켄터키 블루그래스임을 알 수 있다. 생육에 적합한 기온은 15~32℃사이이며, 33℃이상에서는 식물체 내에 저장된 탄수화물이 고갈되어 매우 불량한 생육을 보인다. 특히 장기간의 가뭄기간에 살아남을 수도 있지만, 수분 조건이 유리하게 좋아질 경우에는 지하경과 오래된 관부의 마디로부터 새로운 싹이 돋아나기도 한다. 저온에 대하여 견디는 힘과 가을철 색조 유지 및 봄철의 녹색형성 비율이 좋고, 완전히 일광이나 약간의 그늘을 좋아한다. 무엇보다도 회복잠재력이 아주 강하기 때문에 축구경기과 같은 격렬한 운동경기장에 알맞다.

특히 페레니얼라이그래스(Perennial RyeGrass)는 초기 생육이 활발하여 뗏장의 강도와 밀도를 높이며 짙은 녹색 형성에 일조를 하여 켄터키블루그래스와 혼파를 추천하는 경우가 많았다. 가정정원이나 공원, 묘지, 도로변, 비행장, 골프장등에 이용되고 있으며, 주로 혼파조합되어진다. 이 품종은 높은 침식력을 가진 경사지와 성공적인 정착의 가능성이 낮은 시기의 파종, 관개할 수 없는 지역의 가뭄기간 동안 이식할 때 등 빠른 조성과 토양안정을 바라는 곳에 관습적으로 이용되고 있는 잔디이다. 개최도시에 따라 내마모성과 환경내성을 고려하여 툴웬스큐와 화인웬스큐의 혼파를 제안하였다.



Kentucky BlueGrass



Perennial RyeGrass

결국 상암 경기장에는 1안의 잔디가 심기어 졌다. 즉, 잔디품질은 최고를 지향하였으며 초기
조성에 걸리는 시간을 감수하여 품종을 결정하였다.



[토론] 어떤 잔디를 심어야 하나?

()년 ()월 ()일 ()학년 ()반 ()번 이름 ()

1. 상암경기장의 잔디의 품종을 결정할 때 우리나라 환경에 적절한 것을 찾기 위해 심도 깊은 연구가 진행되었었다. 크게 우리나라에서 기존에 번식하고 있던 난지형 잔디의 종류인 들잔디와 대표적인 서양의 한지형 잔디인 켄터키블루그래스의 장단점을 보고 당신은 어느 잔디를 선택하겠는가? 왜 그렇게 생각하는가?

켄터키 블루그래스	장점	<ul style="list-style-type: none"> ① 잔디들의 밀도가 높고 낮게 깎아 주어도 잘 적응하며 잎이 부드럽고 다시 자라는 속도가 빨라 선수보호에 좋다. ② 다른 한지형 잔디에 비해 고온다습한 날씨에 잘 견딘다. ③ 경기 시 손상되는 부위도 보파할 필요가 없을 정도로 회복이 잘 되며 그라운드 회복력이 뛰어나 손상이 적다. ④ TV 중계 및 시각적 효과 우수
	단점	<ul style="list-style-type: none"> ① 하절기 사용곤란 (6~8월 생육정지 기간) ② 다른 초중에 비하여 발아기간이 훨씬 길고 초기 생육 속도도 비교적 느려 정상적인 경기를 치룰 수 있기 위해서는 파종 후 대략 일 년 정도의 기간이 소요된다. ③ 초기시설비(약 4억원) 및 관리비(한국잔디의 1.5배) 과다 소요 ④ 매년 종자파종 필요(수명 : 1~2년)

들잔디	장점	<ul style="list-style-type: none"> ① 난지형 잔디 중에 한지형 잔디에 접근하는 내한성과 타 난지형 잔디가 가지고 있는 내서성을 동시에 가진 유일한 잔디이다. ② 내마모성이 모든 잔디 중 가장 우수하여 경기장용 잔디로 적합하다. ③ 장기적인 기후 안전성 및 자생력을 포함하여 판단할 경우 우리나라의 기후에 가장 적절한 잔디
	단점	<ul style="list-style-type: none"> ① 조성 후 성숙까지 1년 이상의 기간이 소요되며, 사용으로 인한 훼손 시에는 회복에 비교적 장시간이 소요되고 있다. ② 육종된 우수품종이 부족하여 품종화 되어 경기장 잔디용으로 개발된 잔디가 거의 없다. ③ 본격적인 녹색기간이 5월부터 9월까지이기 때문에 4월부터 10월까지의 기간에 경기장이 사용되므로 이중 4월과 10월의 잔디상태가 이용에 적합한 상태가 되지 못한다.

2. 위의 활동을 통하여 경기장용 잔디를 선정하는 기준은 무엇인지 아래에 적어보자.

3. 다음의 실제 비교조사활동을 잘 보고 어떤 종을 선택하였는지 결정해 보라.

난지형 잔디(3종) : 들잔디, 안양중지, 제니스와 한지형 잔디(6종) : 켄터키블루그래스, 페레니얼라이그래스, 톨웨스큐, 혼합3종 총 9종을 모형 실험장에 파종하여 다음과 같은 항목을 중심으로 비교 조사하였다.

- 1) 잔디상태 : 질감, 색깔, 녹색기간 등
- 2) 토양 특성 : 화학적, 물리적 특성, 투수계수, 유기물함량 등
- 3) 경기력 관련 : 볼스피드, 탄력성, 회복력 등

한지형 잔디로 조성되는 경우 환경내성이 가장 강한 켄터키블루그래스(Kentucky BlueGrass, 왕포아풀)를 주초종으로 하는 것을 원칙으로 하였다. 그러나, 다음과 같은 문제점과 함께 최종 선택하는데 다음과 같은 3가지 안이 발생하였다.

잔디초종 및 배합비율(단위 : g/m²)

- 1) 1안 : 켄터키블루그래스 12
- 2) 2안 : 켄터키블루그래스 16 + 페레니얼라이그래스 4
- 3) 3안 : 켄터키블루그래스 17.5 + 페레니얼라이그래스 3.8 + 톨웨스큐 3.8

각 안의 특징은 다음과 같다.

- 1) 1안 : 잔디품질은 상(上)이며 균일도가 높음. 여름 고온·건조에 강하며 잔디깎기에 의한 문양효과가 크고, 지하경에 의한 회복력이 강한 장점이 있음. 하지만, 켄터키블루그래스 종자에 의한 Overseeding 효과는 약하고 초기 조성이 느린 단점이 있음.
- 2) 2안 : 잔디품질 및 균일도 중상(中上)임. 여름 고온·건조시 잔디상태는 중(中), 잔디깎기에 의한 문양효과는 중(中) 정도이지만, 혼합종자에 의한 Overseeding 효과 및 초기 조성속도는 제1안보다 개선되는 장점이 있음.
- 3) 3안 : 잔디성능은 제2안과 유사하지만, 제2안에 비해 여름 고온·건조시 잔디상태가 다소 개선되나 3종류 혼합 종자에 의한 잔디 균일도는 불량함.

2.5 관중의 편의와 안전관리 과학탐구의 지도

관중석의 입장과 퇴장

▶ 활용개요

수학적인 계산과정을 통하여 공학적인 문제를 해결하는 과정을 체험하게 될 것이다. 이 때, 학생들은 단순한 계산과정보다는 공학적인 문제를 해결하는 과정에서 고려해야 할 다양한 변인들에 대해서 고민하게 될 것이다.

▶ 활용과정

- 1) 입장 및 퇴장 중에 더 고려해야 할 것은 ‘퇴장’이다. 입장은 관중들이 일시에 몰려들지 않지만 퇴장은 경기가 종료되는 순간 일시에 퇴장하기 때문에 짧은 시간 내에 관중들이 안전하게 퇴장할 수 있도록 고려해야 한다.
- 2) 퇴장시간은 FIFA에서 10분 내에 모든 관중이 퇴장하도록 요구하고 있다. 학생들이 관중이라고 생각하고 한 번 만일의 사태에 급히 자리를 뜨고 싶은데 몇 분까지 심리적으로 참을 수 있는지 한 번 모의실험을 해 볼 수도 있을 것이다.
- 3)~4) 실제 관람객이 모두 경기장을 빠져나가는데 걸리는 퇴장 시간공식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{퇴장시간}(T) = & \frac{(\text{1개의 출입구가 담당하는 관람자 수})}{(\text{매초 폭 } 1m \text{에 대한 유출인원}) \times (\text{출입구 폭})} \\
 & + \frac{(\text{출입구에서 대피장까지의 수평거리})}{(\text{관람객의 보행 속도})} \\
 & + 4 \times (\text{출입구에서 대피장까지의 수직거리})
 \end{aligned}$$

이 공식을 분석해 보면 먼저, 퇴장할 때 사람들의 평균속도를 알아야 한다. 대략 사람들의 평균 보행속도는 얼마가 될까? 1초에 1.2m정도이다. 이를 확인해 보기 위해서 간단히 초시계와 줄자를 이용해 볼 수 있다.

또한, 보통 폭 1m에 한사람이 빠져나갈 수 있다.

왜, 출입구에서 대피장까지의 수평거리가 들어가야 하는가? 그 이유는 관중들이 출입구만 나오면 되는 것이 아니라 대피장까지 이동해야 되기 때문이다.

왜, 출입구에서 대피장까지의 수직거리가 들어가야 하는가? 그냥 관중들이 이동하는 거리만을 넣어서는 안된다. 같은 이동거리라도 수평한 거리와 경사가 급한 거리는 이동시간이

차이가 크기 때문이다. 특히 수직거리가 클 경우 경사가 급하기 때문에 이동거리는 더욱더 줄어들게 된다. 따라서, 수직거리는 경험적으로 4배수의 시간이 더 걸리게 된다. 또는 학생들에게 위에서 정한 총관객수, 평균보행속도, 게이트의 폭, 그리고, FIFA에서 규정한 퇴장시간을 가지고 필요한 게이트 수를 구하는 공식을 구해보게 할 수 있다.

5) 차량 및 관중 분산을 위해서 다음과 같이 설계하였다.

가. 서문, 남문 2 방향으로 차량 출입구가 있다.

나. 동쪽출입구 쪽으로는 지하철과 연결되어 있다.

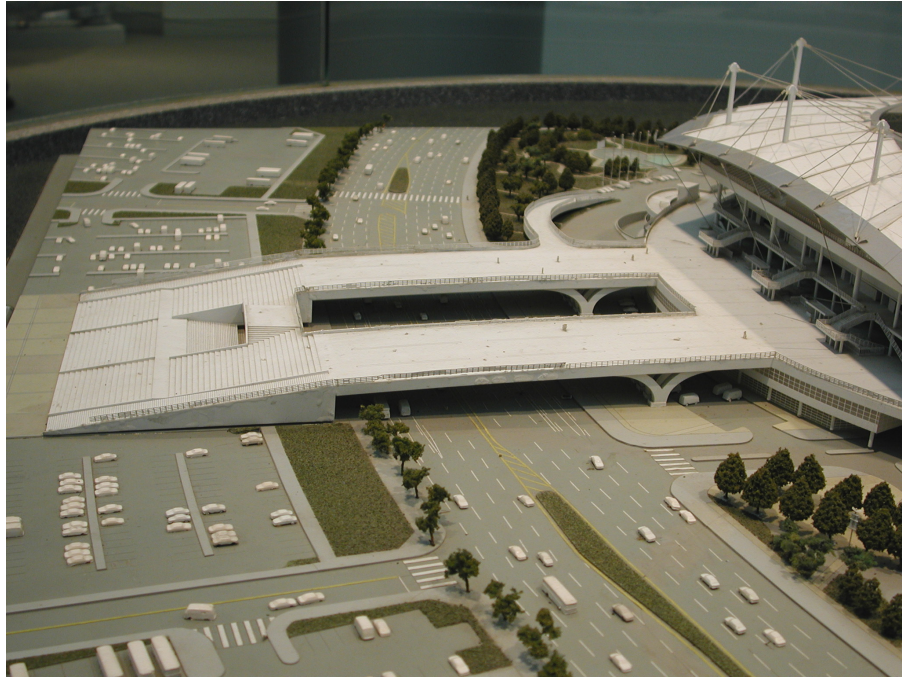
다. 남쪽 출입구는 많은 사람들을 공원으로 유도하여 퇴장 시 관중들이 물리는 것을 방지하고 있다.

라. 남쪽 출입구쪽에 총 주차대수인 2525대 중 1512대를 배치하여 차량의 분산을 유도하고 있다.



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. 그러나 서울 월드컵 경기장은 경기장의 바닥면의 높이를 많이 낮추고,

경기장 상부와 외부 공간의 높이 차이를 크게 하지 않았기 때문에, 직선형의 구름다리를 통하여 많은 관객들이 동시에 이동할 수 있게 하는 것이 가능하다. 이렇게 동선을 직선화하면 회전식 경사로에 비하여 시야 확보, 보행 속도 증가에 유리하므로 보행자의 이동 속도를 증가시켜 같은 시간동안 더 많은 관중을 안전하게 이동시킬 수 있다.



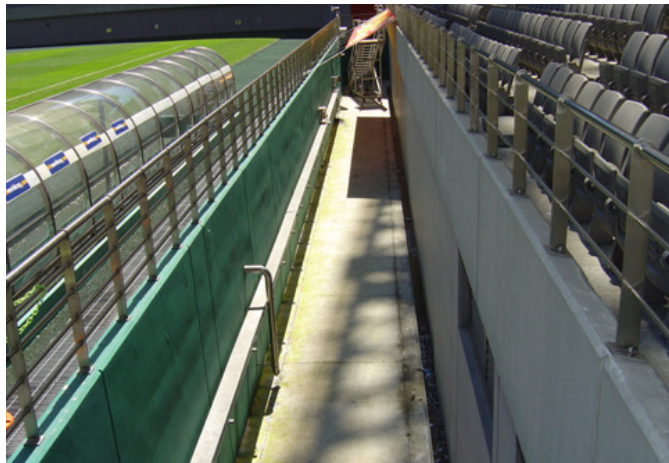
👑 안전대책

▶ 활용개요

경기장에 구현된 안전대책을 위해 필요한 과학적인 기술이 무엇이 있는지 학생들이 고민해 보게 될 것이다.

▶ 활용과정

- 1) 월드컵 대회동안 홀리건, 테러 등에 대해 경기장 시설 전체를 보호하기 위해 경기장 외곽과 출입구 바로 앞에 검색선을 설치하고 관람석은 총 15개 섹터로 나눠 서로 이동하지 못하도록 펜스로 차단, 구역별 안전감시가 가능하게 하였다. 선수를 보호하기 위해 관람석과 그라운드 사이 등, 서측엔 도랑, 남, 북측엔 높이 2.5m의 옹벽이 설치되었다.



- 2)~3) 경기장내외 각 요소에 104대의 감시카메라를 설치, 중앙통제소에서 집중 안전감시를 하도록 하고, 경기운영과 관련된 중요한 공간은 출입이 통제되는 카드키 시스템이 설치되었다. 다음은 감시카메라의 특징이다.

가. 어두운 곳에서도 촬영이 가능해야 한다.

나. 줌, 포커스 기능이 있어야 한다.

다. 급격한 조도변화에 자동으로 신속하게 조절할 수 있어야 한다.

라. 카메라 주위에 설치된 감지센서에 의하여 자동으로 VCR로 녹화할 수 있다.



[토론] 안전대책으로 무엇이 있는가?

()년 ()월 ()일 ()학년 ()반 ()번 이름 ()

1. 홀리건 및 테러부터 안전대책은 무엇이 있는가?

2. 감시카메라는 몇 대가 설치되어 있으며 어디에 설치되어 있을지 예상하고 찾아보자. 감시카메라 말 그대로 눈에 쉽게 띄는 곳에 있지 않기 때문에 주의해서 찾아야 한다.

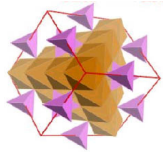
3. 감시카메라의 특징은 무엇이 있을까?

제 3 부

경기장 과학탐방의 사후지도

3.1 경기장 심화탐구활동의 지도

3.2 경기장 과학탐방과 진로지도



제 3 부

경기장 과학탐방의 사후지도

3.1 경기장 심화탐구활동의 지도

제 3 부

전광판

▶ 활용개요

본 활동을 통하여 학생들은 전광판의 기능, 배치, 특성 등을 통하여 전광판과 관련된 과학적 원리를 알게 될 것이다.

▶ 활용과정

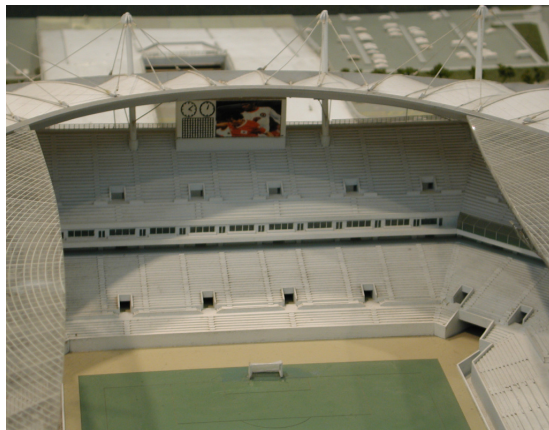
1) 전광판은 다음과 같은 기능을 한다.

- ① 경기 스코어 및 남은 경기시간을 알려준다.
- ② 타 경기 결과를 알려준다.
- ③ 골을 넣었을 때 환호의 메시지를 보낸다.
- ④ 공익광고 등을 할 때 사용된다.
- ⑤ 슈팅 볼의 속도, 경기장 내의 기상 상태(온도, 습도, 풍향, 풍속)도 알려준다.
- ⑥ 청각 장애인을 위한 배려: 음향에 따라 이퀄라이저 막대가 변화해서 청각신호를 시각적인 신호로 변환해서 전달해 준다.



2) 전광판은 경기장의 장축인 남쪽과 북측의 관중석 제일 상단에 배치하였다. 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 전광판이 위치하고 있다.

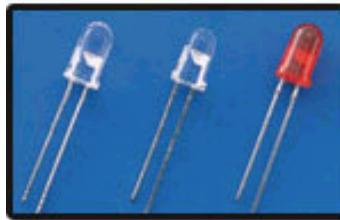
또한 남북쪽 관중석의 상단은 상대적으로 관중들이 가장 잘 안가려고 하는 구역일 뿐 아니라, 서울 월드컵 경기장의 일조 특성상 가장 직사광선이 적게 드는 구역이다. 따라서 경기장의 관중석 규모를 가장 적게 단축시키면서, 오히려 직사광선의 영향을 받지 않고 선명하게 화면을 볼 수 있는 위치가 남북 방향이기 때문이다.



경기장의 북측에 있는 전광판

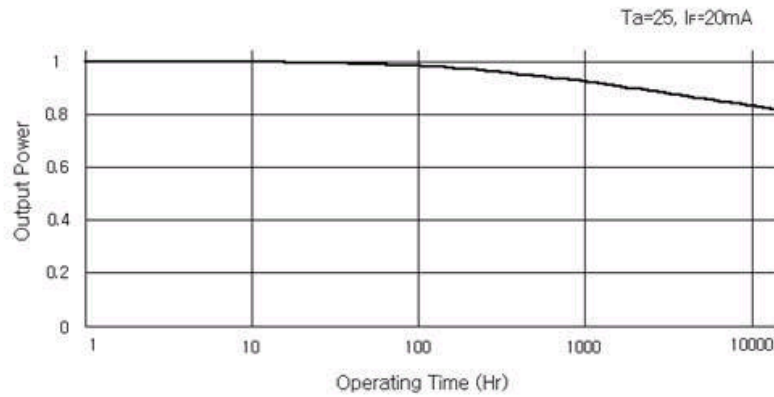
3) 전광판은 LED라고 부르는 작은 전구들로 이루어져 있다. 영상은 이러한 LED들이 켜지거나 꺼지는 것을 이용하여 만들어낸다. 상암 경기장의 전광판은 가로 25m, 세로 9m로 작은 실내 수영장 만하다. 화면을 구성하는 제일 작은 단위를 화소라고 하는데, 여기에 사용된 화소의 크기는 20mm이다. 이 화소 안에 적색 3개, 녹색 3, 청색 2 등 모두 8개의 LED가 들어간다.

발광다이오드의 첫 번째 특징으로는 첫째로는 소비 전력이 낮다는 것이다. 일반적으로 LED는 2~4V에서 작동되며, 일반 소형 꼬마 전구에 비해 약 5배 정도나 전력이 단축되는 셈이다. 물론 LED를 잘 쓰기 위해선 전류 제어를 잘 해야 한다. 제품에 따라 약간에 차이는 있지만 주로 20mA를 기준으로 LED가 정상 작동 되도록 제작되어 있다. 회로를 구성하여 구동할 때에는 실제로 10%정도 저전류를 인가하면 동일한 밝기가 지속적으로 유지될 수 있다.



발광다이오드(LED)

둘째로, LED는 일반전구처럼 필라멘트가 단락되는 경우가 없어 반영구적(약 1백만 시간)으로 사용할 수 있다는 것이다.

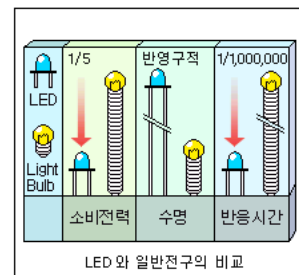


Output power vs Typical operating time for an edge-emitting device

일본 T사의 제품 중에 LED수명을 나타낸 그래프. 가로 축을 시간 세로 축을 휘도(밝기)로 생각하시면 만 시간 동안 20% 미만으로 떨어지는 것을 볼 수 있다.

셋째로, 응답속도가 빠르다. 응답속도란 반응속도를 말하는데, 일반 전구에 전압을 인가하면 필라멘트가 가열된 후에 정상 밝기가 나오는데 비해, LED는 반도체라는 특성으로 인해 전류를 인가하면 곧 바로 응답한다.

네 번째 특징으로, LED는 소형이라는 것이다. LED는 기본적으로 3mm, 5mm 정도의 크기를 가지고 있어, 광 디바이스로는 가장 소형이다.



다섯 번째로, LED는 소형일 뿐만 아니라 무한 확장이 가능하다. 예를 들어 전광판 같은 경우, EL이나, LCD는 이런 면에서 한계가 있다. 또 가끔 TV에서 브라운관을 몇 개 연결해서 멀티비전으로 사용하는 경우가 있는데, 이런 경우는 각 TV의 이음 부분 처리가 LED만큼 완벽하지 못하다.

여섯째로, LED는 일반 전구나 형광등처럼 램프가 깨지는 경우가 없어서 내구성이 강하다. 칩부분에 에폭시(Epoxy)로 마감(Package)을 해서 약 200℃에 4시간동안 경화시킴으로 강한 충격에도 LED램프는 손상을 입지 않는다.

마지막으로 LED반도체 소자를 여러 개 가용하여 Full Color 구현이 가능하다. 청색 LED의 상용화로 LED의 풀컬러 구현이 가능해지고 가격도 크게 낮아졌다. 하지만 일본에서 칩(Chip), 마감(Package) 기술에 대한 특허권을 가지고 있기 때문에 성장이 크게 지연되는 것은 사실이다.



[활동 3-1] 전광판이 잘 보이려면?

()년 ()월 ()일 ()학년 ()반 ()번 이름 ()

준비물

발광다이오드, 건전지,
전선, 꼬마전구

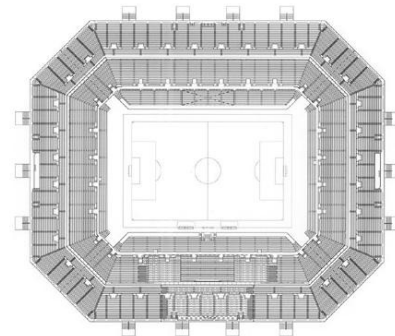
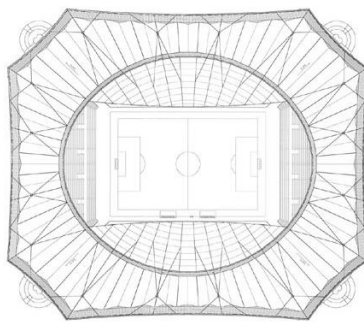
1. 전광판은 관중과 선수들에게 여러 가지 정보 제공용으로 사용될 수 있다. 전광판의 사용용도로 무엇이 있을까?



2. 전광판을 어디에 설치해야 할까?

일단 전광판은 많이 설치할수록 좋겠지만 비용도 만만치 않고 관중석도 줄어들다는 점 때문에 2개를 설치하였다. 상암 경기장의 전광판은 너비25m, 높이9.2m로 작은 수영장 하나의 크기이다. 여기서 동영상이나오는 부분의 크기는 8×14m이다. 어디에 2개를 설치하는 것이 가장 좋을까? 설치하는 장소를 결정할 때 고려해야 할 점은 무엇인가? 고려해야 할 점 중 하나는 관중석 어떤 곳에서든 가시각도 (120°)내에서 관람자에게 보여야 한다.

참고로 아래 그림에서 왼쪽이 북쪽이다.



- 전광판을 모서리에 설치하는 방법
- 전광판을 동서쪽에 하나씩 설치하는 방법
- 전광판을 남북쪽에 하나씩 설치하는 방법
- 위의 방법을 혼용하는 방법



잔디 밑의 구조

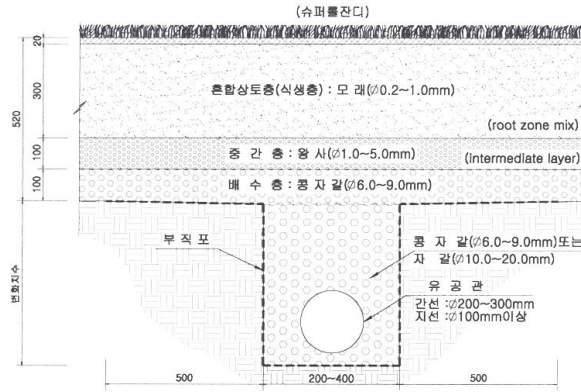
▶ 활용개요

가장 적합한 잔디 밑의 구조를 알아보기 위하여 학생들이 실험실 등에서 변인통제를 하며 실험한 후 실제 설치된 구조와 비교해 볼 수 있다.

▶ 활용과정

- 1) 월드컵 경기가 진행되고 있는 동안 폭우가 내리면 월드컵 경기를 중단할 것인가? 그러나, 폭우로 경기를 중단하거나 연기할 경우 전 세계로 방영될 텔레비전 중계에 차질이 생기며, 5만에서 7만 명이나 되는 관중의 숙박도 문제가 되기 때문에 경기를 계속해야 한다. 특히, 우리나라의 연평균 강우량은 약 1,200mm(약 1140억 t)로서 전 세계 평균 강우량의 거의 배에 가까운데, 대부분 여름철의 폭우나 장마 때에 발생한다. 월드컵 경기가 치뤄지는 우리나라의 6월은 비록 장마나 폭우가 많이 발생하는 시기는 아니지만 게릴라성 폭우 때문에 어려움을 겪을 수 있다. 또한 많은 양의 습기는 잔디의 생육에도 치명적인 영향을 미치기 때문에 물은 잔디구장에서 빨리 제거해야 한다.
- 2) 첫째 조건으로 축구는 다른 스포츠와는 달리 웬만한 비에도 경기를 속행하기 때문에 우천시 경기력 향상을 위해 그라운드의 배수성이 좋아야 한다. 또한 많은 양의 습기는 잔디의 생육에도 치명적인 영향을 미치기 때문에 물은 잔디구장에서 빨리 제거해야 한다. 두 번째 조건은 비가오지 않는 평상시에 잔디의 생육에 지장이 없어야 한다. 이 두 가지를 동시에 만족시킬 수 있는 구조를 지녀야 한다.
- 3) 잔디 경기장의 지반 구조는 여러 층으로 구성된다. 우선 잔디가 자라는 제일 위층은 300mm 두께의 고운 모래층이다. 진흙에서 자라는 우리나라의 토종 잔디와는 달리 한지형 잔디인 켄터키 블루그래스는 모래층에서 자란다. 그리고 그 아래에는 배수를 위해 물빠짐이 쉬운 100mm 굵은 콩자갈 층과 그 위에 중간층인 50mm 두께의 굵은 모래층이 있다. 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 구조때문에 경기장에 뿌려진 물이나 비는 잔디에 의하여 흡수되고, 그 나머지는 배수층을 통과하여 배수관으로 모여 배출된다.

지반조성 단면도(표준,USGA권장)



왜 이러한 구조인가? 위로 갈수록 놓여 있는 입자가 가는 이유는 동일한 부피에서 많은 양의 물을 머금을 수 있기 때문이다. 입자가 가늘수록 표면적은 늘어나게 되고, 따라서 맨 위의 가는 모래층의 표면적이 가장 크고 맨 아래의 자갈층이 가장 작다. 표면적이 클수록 물 분자가 스며들 수 있는 공간이 늘어나 더 많은 물을 받아들일 수 있다. 따라서 많은 양의 물도 쉽게 받아들일 수 있다.

또한 위로 갈수록 머금은 물의 양이 많기 때문에 물이 아래로 흘러내리는 속도가 빨라진다. 제일 위층의 물 무게는 아래층을 누르고 아래층으로 내려갈수록 입자가 커지기 때문에 물의 통과 속도는 빨라질 것이다. 맨 위층이 자갈층이라면 물이 통과하는 속도는 빠를 것이다. 하지만 아래로 갈수록, 속도는 점점 느려져 결국 아래층부터 물이 차올라 올 것이다. 더구나 자갈층은 모래에 비해 표면적이 작아 순간적으로 머금을 수 있는 물의 양도 적다. 결국 경기장은 물바다가 될 것이다.

한편, 여러 차례 실험결과 굵은 모래층을 5cm, 가는 자갈층을 10cm로 설계하였다. 가장 아래층으로 이동한 물은 어떻게 될까? 맨 아래의 자갈층 밑에는 구멍이 수 없이 뚫린 지름 10cm의 파이프가 있다. 자갈층까지 도착한 물은 이 파이프를 통해 그라운드 밖으로 나가게 되는 것이다. 이 파이프는 그라운드 가장 밑에 그물처럼 촘촘히 깔려 있어 물을 효과적으로 제거할 수 있다. 그라운드 가장자리에는 물이 최종적으로 모이는 지름 20cm의 파이프가 연결돼 있다.



[활동 3-2] 잔디 밑의 구조는 어떠한가?

()년 ()월 ()일 ()학년 ()반 ()번 이름 ()

1. 월드컵 경기를 할 때 비가 와서 경기를 중단해야 한다면 어떠한 일이 생길까?

고운 모래, 굵은 모래, 가는 자갈, 패트병, 송곳, 가위, 초시계 등

2. 잔디 밑의 구조는 무엇을 고려해야 하는지 적어본다.

3. 이러한 구조를 가장 잘 만족시키기 위한 잔디 밑 구조를 알아보기 위한 탐구활동을 해 볼 수 있다. 다음과 같은 절차로 최적의 잔디 밑 구조를 알아보자.

1) 패트병 하단에 송곳으로 여러 곳에 구멍을 뚫어 물이 빠져나갈 수 있도록 한다.

2) 가는 모래, 굵은 모래, 가는 자갈을 가장 물이 잘 빠질 것 같은 모형을 몇 가지를 생각한 뒤 위에서 제작한 패트병에 채워 넣는다. 패트병에 채워 넣는 경우는 여러 가지가 있을 수 있다. 예를 들어, 가는 모래만 채운 경우, 가는 모래를 위에 채우고 가는 자갈을 그 밑에 채운 경우 등 이 있을 수 있다.

4) 일정량의 물을 비커에 담아서 패트병 위에 부은 뒤 패트병 바닥에 비커를 받쳐서 빠져나온 물의 양을 시간에 따라 측정한다.

4. 경기장에서 비가 올 때 빼야하는 물의 양은 어떻게 계산해야 할까?
다음의 설명을 듣고 마지막 질문에 답해보자.

토목 공사에서 시간당 처리해야 할 배수량을 나타내는 값을 ‘우수 유출량’이라고 하고, 그 값을 구하기 위해 「 $Q = \frac{1}{360} \times C \times I \times A$ 」 식을 사용한다. 이 식은 어떻게 만들어졌는지 함께 식을 만들어보자.

첫째, 시간당 내리는 비의 양이 많을수록 빗물 유출량이 커질 것이다. 시간당 내리는 비의 양을 평균 강우 강도(I)라 하고, 단위는 한시간 동안 채워진 빗물의 높이인 mm/hr을 쓴다. (물의 두께)

둘째, 운동장과 관중석에 내린 비가 한곳으로 몰려 강으로 빠진다면 운동장과 관중석의 넓이가 처리해야 할 배수량 결정의 한 요소가 될 수 있다. 이를 유역 면적(A)라 하며, 단위는 헥타아르(ha)를 사용한다. (물의 면적)

셋째, 나무나 풀이 많은 지역에서는 비가 내려도 빗물이 땅 아래로 많이 빠지지 않는다. 식물의 뿌리나 땅의 공극에서 빗물을 일부 저장할 수 있기 때문이다. 어느 지역에서 땅으로 빠지는 최대 빗물의 양을 평균 강우량으로 나눈 값을 유출계수(C)라고 한다. 유출계수는 상수이므로 단위는 없다. 여러 종류의 토양에서 구한 유출 계수는 다음과 같다.

땅의 종류	유출 계수	땅의 종류	유출 계수
잔디와 나무가 많은 공원	0.05-0.25	지붕	0.85-0.95
경사가 작은 산지	0.20-0.40	도로	0.80-0.90
경사가 심한 산지	0.10-0.60	수면	1

위의 세 가지 요소가 모두 빗물 유출량(Q)에 기여할 것으로 생각하고 이 요소들을 곱하여 식을 만들면, 「 $Q = C \times I \times A$ 」 이 된다. 그런데 이 식은 앞에서 제시한 식과 $\frac{1}{360}$ 의 상수 차이가 생긴다. 왜 이런 차이가 생기는 것일까?

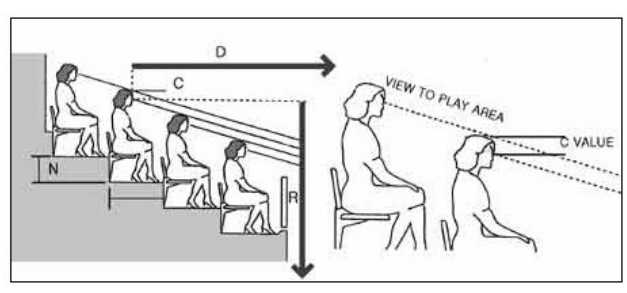
관중석의 구조

▶ 활용개요

축구장 설계 시 관중의 요구는 매우 중요한 요인이라고 설계 전문가가 1부에서 한 말을 기억할 것이다. 관중들의 시선 확보 및 안전을 위한 대책은 중요하면서도 섬세한 배려가 필요한 것을 학생들로 알게하는 것이 필요하다.

▶ 활용과정

- 1) 단높이를 계산하고 이를 기준으로 경기장의 관람석기울기를 결정한다. 지나친 관람석의 경사에 의한 구조적인 무리와 불안감을 최소화하고 보다 쾌적한 관람조건을 고려하여 C값을 70mm 이상으로 결정하였다(프랑스 생드니 경기장 : 70mm). C값이 전체적으로 공통된 값을 갖지 못한 것은 건물이 너무 높아 보이지 않게 하고 가변무대의 가시권을 유지하기 위함이다.



R : 경기장위의 집중점과 관람객 눈과의 높이
 D : 경기장위의 집중점과 관람객 눈과의 거리
 N : 단높이, C: "C" 값, T: 단너비

다음은 C값에 의한 분류이다.

C값	150mm	120mm	90mm	60mm
C값에 대한 분류	모자를 쓴 관람객	합리적 가시기준	뒤로 기울여 관람	앞 관람객 사이로 관람

FIFA에서는 상단 관중석의 경사각이 34도를 넘지 못하도록 규정하고 있다. 서울 월드컵 경기장은 이러한 규정에 맞추어 상단 관중석의 경사각을 32도 정도로 설정하고, 경기장과 관중석 사이의 최대 거리를 69m로 설정하여 모든 관중이 한 눈에 경기장 전체를 관람할 수 있도록 하였다.

- 2) 벽을 따라 설치된 난간은 벽면을 사람들로 부터 보호할 수 있게 한다. 좌석과 좌석 사이의 공간을 충분히 확보함으로써 관람이 편리할 뿐 아니라 이동하기에 불편이 없게 하여 비상 시에도 관중이 쉽게 빠져나갈 수 있어야 한다. 서울 월드컵 경기장의 관람석은 어떤 특징

이 있는지 알아보자.

서울 월드컵 경기장은 다른 경기장들과는 달리 모두 등반이가 되어 있다. 따라서 2시간 넘는 경기 시간동안 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 너무 크면 관중들이 불안감을 느끼고, 또 미끄러지는 사고가 일어날 수 있기 때문에 FIFA가 규정한 안전 경사각이내인 32도의 경사를 유지하고 있다.



계단에서 관객들의 통행과 안전을 돕기 위한 손잡이



편안한 관람과 통행이 쉽도록 넓게 설계된 좌석



[토론] 관중석의 구조는?

()년 ()월 ()일 ()학년 ()반 ()번 이름 ()

1. 관중석의 기울기는 어떻게 결정하는가?
2. 경기장의 좌석은 안전과 관람 편이를 위하여 어떤 점들이 고려되었을까?

3.2 경기장 과학탐방과 진로지도

상암 경기장과 관련한 직업 및 진로는 크게 경기장 건설과 관련한 범주와 건설 후 유지 관리와 관련한 범주로 나눌 수 있다.

먼저, 경기장 건설과 관련한 직업으로 건설업이 있다. 관련된 대학 학과로는 건축설계학과, 건축공학과, 건축학과 등이 있다. 건축은 형태·공간의 조형요소와 공학적 요인들을 종합하는 분야로서, 인간의 생활을 담는 아름답고 기능적인 건축물을 창조하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 건축학과에서는 건축 기초적·객관적인 해석과 이론·역사에 대한 이해를 바탕으로 이에 독창적인 조형성을 부여하는 설계능력을 배양한다. 동시에 그 구조물의 역학적인 면과 재료, 환경, 에너지 측면을 검토하면서 그 실질적인 시공 방법과 절차를 공부한다.

건축학과의 연구 분야는 크게 건축계획 및 설계, 건축구조공학, 건설기술, 건축환경계획으로 나누어진다. 건축 계획 및 설계분야는 건축물의 설계 및 그 기초를 이루는 계획분야를 말하며, 건축사를 비롯하여 건축과 관련된 인문사회적 연구를 포함한다. 건축계획은 건물 용도별로 적절한 설계원칙 및 공간 구성원리를 연구하며, 여기에 독창적인 조형성을 부여하는 능력을 배양한다. 건축 이론 및 역사는 한국 및 동서양의 건축사를 연구하면서 각 시대별로 건축을 규정했던 사고방식들을 이해함으로써 건축과 사회의 상호관련성을 탐구한다. 건축설계는 건축에 대한 전반적인 이해를 바탕으로 건축물을 실제로 설계해 보는 과정으로, 지속적인 피드백 과정을 통해 주어진 상황의 현실적인 문제들을 해결해 가는 방식을 습득한다.

건축구조공학 분야는 물리학적인 원리를 통해 건축물을 역학적으로 지지하는 구조에 대한 힘의 흐름을 이해하고, 그것을 토대로 공학적인 재료를 이용하여 안전하고 창조적인 건축구조를 설계하는 방법을 연구한다.

건설기술 분야는 건설의 전반적 과정에 대한 관리와 운영을 최적화할 수 있는 관리기술을 개발하고, 여기에 소요되는 자재, 인력, 장비 등 각 요소들의 효율적 활용을 위한 시공기술을 연구한다.

건축환경계획 분야는 기존의 건축개념에 환경 및 에너지라는 새로운 계획요소를 도입하여 보다 쾌적하고 에너지 절약적인 건물의 개발을 추구하며, 건물내 열·빛·음 환경계획, 건축기계 설비, 건물자동화 관련 연구를 수행한다.

건축의 전공분야들은 연구 및 개발에 있어 상호의존적이며, 동시에 사회나 문화 등 건축 외부의 요인들과도 밀접한 관계를 맺고 있다. 따라서 인문·사회·자연과학, 예술 등 기본적인 제 학문에 대한 개별적인 학습 및 공동연구가 교과과정에 병행하여 이루어지고 있다.

건설 후 유지 관리와 관련한 직업으로는 다음과 같이 주로 전자 전기 관련 공학엔지니어를 들 수 있다.

방송기술 엔지니어 : 상암 경기장의 주된 목적은 축구경기이며 이를 위해 다양한 시설을 구비함과 동시에 꼭 필요한 것이 축구경기 방송이다. 그런 면에서 방송기술 엔지니어는 매우 중요한 관련직업이라고 할 수 있다.

방송기술 엔지니어는 크게 제작기술분야와 송출기술분야 그리고 기술연구 분야로 분류할 수 있다. 제작기술분야는 방송국의 주조정실, 부조정실, 중계차 등에서 기술감독업무, 영상, 음향, 조명 및 편집 관련 업무를 담당하고, 송출기술분야는 방송의 최전방이라고 할 수 있는 송신소에서 방송과의 송출업무를 담당한다.

정보통신공학기술자 : 경기장은 매우 복잡한 네트워크가 구성되어 있는 정보통신의 총체라고 할 수 있다. 조명, 음향, 방송, 인터넷, 통신 등의 복잡한 신호를 종합적으로 관리하고 통제해야 한다. 정보통신 공학기술자는 유무선통신망의 설계 및 시공과 음성, 데이터, 방송관련 기기 설비에 관한 연구, 설계, 분석, 개발, 운영 그리고 통신시스템의 설계, 제작, 설치, 보수, 유지 및 관리 업무를 계획하고 이에 관한 기술자문과 감리를 수행하는 업무를 담당한다.



상암 경기장에 설치되어 있는 다양한 통제 합

(출처 : <http://scienceall.com>)

[붙임] 상암 월드컵경기장에 가는 교통과 입장 및 활용 안내

▶ 위치 : 서울특별시 마포구 성산동 515번지 일원(시청에서 서남쪽 9km)



▶ 찾아가는 길 :

- 인천국제공항에서 월드컵 경기장까지(42km)
 - 공항리무진601번/ 25분 간격/ 60분 소요 ⇒ 합정역에서 버스2, 7, 131, 361번으로 환승
 - 공항리무진 602번/ 14-20분 간격/ 60분 소요 ⇒ 합정역에서 버스 2, 7, 131, 361번으로 환승
- 김포공항에서 월드컵 경기장까지(13km)
 - 버스 63-1번/ 16-18분 간격/ 30분 소요 ⇒ 공덕역에서 버스 3, 772, 773번로 환승
 - 버스 68번/6-7분 간격/ 30분 소요 ⇒마포구청에서 버스 2, 7, 41, 72-1, 130, 131, 328, 328-1, 588-1, 588-2, 61-1번으로 환승
 - 버스 128번/ 4-5분 간격/ 40분 소요 ⇒삼각지역에서 버스772, 773로 환승
 - 버스130번/ 6분 간격/ 30분 소요
- 서울역에서 월드컵경기장까지(10km)
 - 지하철 4호선 삼각지역에서 6호선으로 환승 ⇒월드컵경기장 하차
- 강남고속버스터미널에서 월드컵경기장까지(15km)
 - 지하철 7호선 이수역에서 4호선으로 환승 삼각지역에서 6호선으로 환승 ⇒월드컵경기장
- 서울시청에서 월드컵경기장까지(10km)
 - 지하철 2호선 합정역에서 6호선으로 환승 ⇒월드컵경기장

