

<기교>

스타디움의 화재안전

신병철 / 연구컨설팅부 컨설팅팀장



1. 머리말

국내·외 대부분의 스타디움은 수 만 명의 경기관전을 위한 많은 좌석열 배치 및 시야 확보를 위한 높은 경사를 갖는 여러 개의 층으로 구성되는 특징이 있으며, 또한 이에 따른 여러 가지 편의시설이나 기능상 필요한 부속시설이 혼재되는 복합 공간을 형성하고 있다.

스타디움 건물의 경우 대부분 불연성재료인 철재와 콘크리트가 주로 사용되나 관람용 좌석은 플라스틱, 목재 또는 직물의자가 사용되며, 관람석 이외에 접견실, 특별실, 편의시설의 기능 및 미적 감각을 극대화하기 위한 내부 인테리어 시설에 다양한 가연성물질이 사용되고 있다.

스포츠 경기 중 경기장에서 화재가 발생하는 경우는 매우 드문 일이나 경기장의 대부분은 부가적인 사업으로 무역박람회, 베틀시장, 자동차 및 보트 전시장, 콘서트장 등 비스포츠 관련 이벤트 장소로도 이용되며, 이에 따른 이용자의 편의 및 부대시설로 레스토랑, 카페테리아 및 판매시설(소형매점 등)이 운영되므로 스타디움의 화재위험을 증대시키고 있다.

특히 많은 관람객이 수용되는 스포츠 경기 중에 화재가 발생하면 관람자의 대중 패닉에 의한 예상치 못한 대형 참사로 발전될 수 있으므로 스타디움의 설계 및 운영에 보다 적극적인 화재안전에 대한 검토가 필요하다.

2. 화재안전의 구성요소

스타디움은 건물이 갖는 큰 체적과 개방성으로 화재발생시 충분히 연기를 배출시킬 수 있으며, 또한 구조적인 측면에서 높은 안전율을 갖도록 설계되어 건물전체의 붕괴 가능성은 매우 적다. 그러나 스타디움을 이용하는 수 만명 관중의 경기관람에 따른 높은 밀도, 부속시설의 운용에 따른 화재하중의 증가 및 화기시설 사용 등으로 인한 화재위험성의 증대 등을 고려할 때 화재안전 측면의 방화설계가 필수적이다. 이러한 방화설계에는 제연(연기제어와 수용자의 대피), 화재소화(fire extinguishments), 화재진압(fire fighting) 및 관람자 등 수용자의 안전과 직결되는 건축구조의 적정성에 대해 시스템적 고려가 요구되며, 건물의 화재안전성에 영향을 주는 것은 다음과 같다.

- ① 화재발생 유형 및 건수
- ② 수용자의 화재진압 가능성
- ③ 감지기와 경보시스템의 신뢰성 및 효율성
- ④ 통신 시스템

- ⑤ 비상운영절차 및 직원의 훈련 상태
- ⑥ 스프링클러의 신뢰성과 효용성
- ⑦ 화재특성 : 화염과 연기의 확산속도, 화재크기 및 가혹도
- ⑧ 대피수단
- ⑨ 수용인원 및 그들의 행동
- ⑩ 제연설비의 신뢰성 및 효용성
- ⑪ 소방대의 활동
- ⑫ 건축구조물의 성능

3. 화재의 특성 및 화재발생 가능성

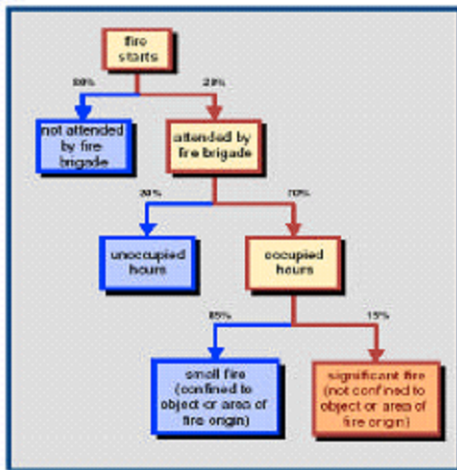
화재는 경기장 관람석의 의자나 기타 여러 장소에서 발생될 수 있다. 경기장 관람석 의자는 대개 폴리프로필렌과 같은 플라스틱 제품이 사용되기 때문에 화재발생원이 될 수 있으나, 좌석사이와 좌석열 간의 간격확보로 화재가 관람석에서 다른 관람석으로의 연소확대가 진행되기 위해서는 상당량의 열원(의자하부에 많은 양의 쓰레기 연소와 같은)과 충분한 발화시간이 요구된다. 그러나 좌석 아래에는 많은 쓰레기가 축적되지 않으며, 작은 화재의 경우 주변의 관람자에 의해 소화가 가능하므로, 적절한 통제(관리인에 의한 쓰레기 수거 등)가 이루어진다면 관람석의 화재 위험성은 높지 않다.

일반적으로 화장실,更衣실 및 콘코스(콘코스 내 개방된 음식 및 음료 소매점은 제외) 등과 같은 구역은 가연성물질이 적어 화재위험도는 낮다. 그러나 스타디움 이외 지역의 경우 화재가 발생할 수 있는 잠재적 공간으로 고려되어야 한다. 이들 공간의 화재발생 확률은 소매점에서 화재가 발생할 확률에 이들의 총 바닥면적을 곱하여 추정할 수 있다. 소방대에 보고되지 않았으나 보험회사의 기록과 그 외의 다른 자료를 분석한 화재발생율은 약 $2.5 \times 10^{-4}/\text{yr}/\text{m}^2$ 이다.

화재는 건물이 사용 중이거나 사용 중이지 않을 때로 구분될 수 있으며, 화재통계(호주 통계기준)에 의하면 약 70% 정도가 건물사용기간 중에 발생한 것으로 보고되고 있다. 그러므로 화재발생확률은 상기의 확률에 0.7을 곱하여 예측할 수 있다.

통계에 따르면 이들 화재의 80%가 화재규모가 너무 작아 소방대가 출동하지 않으며, 소방대가 출동한 나머지 20%중에서도 85%는 소방대원이나 관람자에 의해 발화지역이나 발화물에 한정된 화재였고, 이러한 화재에 의해 관람자나 건물의 구조에는 거의 손상을 주지 않았다.

점유시간대 화재의 97%($100 - 20 \times 0.15$)는 매우 작은 화재였고 별도의 화재성능 평가를 필요로 하지 않았으며 소화활동장비, 비상대응절차, 직원의 훈련 등과 같은 적절한 조치가 선행되는 경우 이 같은 화재에 충분히 대응할 수 있는 것으로 판단되고 있다. 그러나 나머지 3%의 화재는 발화지역에서 다른 지역으로 연소가 확대되는 대형화재로 발전될 수 있으므로, 건물 수용자에게 큰 위협이 될 수 있다.



[도표 1] 화재발생 가능성

경기장 건물은 주요 경기가 열리는 기간동안에는 최대 수용인원에 도달하지만 나머지 대부분의 기간은 수용인원이 극히 적다. 경기장이 일주일에 한번 또는 두번 사용된다고 추정할 때 경기장의 최대 수용인원이 수용된 상태에서 화재가 발생할 확률은 심각한 화재가 발생할 확률의 약 1/10 정도로 볼 수 있다. 만약 경기장에 스프링클러설비가 설치되어 화재발생시 작동된다면 대형화재가 발생할 확률은 더욱 감소될 것이다.(여기에서 스프링클러 설비가 설치되는 지역은 가연성물질 수납이 적은 콘코스, 화장실 및更衣실을 제외한 모든 지역에 스프링클러를 설치하는 것을 의미한다.)

스프링클러의 효율성은 98%이상으로 예상된다. 그러므로 대형화재가 발생할 가능성을 요약하는 다음의 표와 같다.

[표 1] 화재발생 확률

스타디움 사용시간	스프링클러 미설치	스프링클러 설치	비고
평상 시간대	$5.25 \times 10^{-6} \times A$	$5.25 \times 10^{-6} \times 0.02 \times A$	점유시간동안 연간 대형화재가 발생할 수 있는 예상 평균 건수
주요 경기 시간대	$5.25 \times 10^{-6} \times A / 10$	$5.25 \times 10^{-6} \times 0.02 \times A / 10$	

ㄷ. 화재발생 가능성 산출의 예

$5.25 \times 10^{-6} / \text{yr} / \text{m}^2 = 2.5 \times 10^{-4} \times 0.7 \times 0.03$ 이며, 바닥면적 A(m²)는 창고부분, 상점, 사무용도 및 방송용도 부분, 레스토랑 및 식당 등을 포함한 층 면적을 의미한다.

바닥면적합계(A)=2,000m²인 경우, 스프링클러 설비가 없는 조건에서 연간 화재발생가능성은 $5.25 \times 10^{-6} \times 2000 \div 10 = 0.00105$ 이다.

즉, 스프링클러가 없는 조건하에서 대형화재가 발생할 확률은 952년에 1번이고 스프링클러가 설치되었다는 조건하에서는 화재가 발생할 확률이 47,619년에 1번 정도이다.

[표 2] 스타디움 각 실의 예상 화재하중

대상용도	화재하중(kg/ m ²)*	대상용도	화재하중(kg/ m ²)*
창고부분	<80	사무실	<40
Function Room	<30	식당	<25
방송 관계실	<25	식·음료 편의점	<20
Corporate Suites	<18	Gymnasium	<5
콘코스	<5	주방	<5
화장실 및 탈의실	<5		

※ 상기의 수치는 바닥면적(m²) 당 목재 등가 화재하중임.

4. 화재위험도

화재위험도 평가는 경기장의 모든 구조물과 시설물을 대상으로 평가하며, 구조물과 시설지역이 적정한 화재위험도인가를 평가하여야 한다.

경기장의 화재위험도는 매우 낮은 장소, 보통 또는 높은 장소로 구분하고, 화재위험도에 따라 비상대피 허용시간은 2분 30초에서 8분 이내가 권장되고 있다.

가. 낮은 화재위험도(low fire risk)

- (1) 화재발생 위험이 극히 낮은 장소
- (2) 화재발생 우려가 없는 곳으로 화재에 의해서 발생된 열이나 연기의 축적에 의해 확산이 될 우려가 없는 장소
- (3) 인명에 대한 위험성이 적은 장소

※ 낮은 위험도를 갖는 관람석과 스탠드 지역의 경우 모든 관람객이 안전한 지역으로 피난하는데 필요한 대피시간은 8분 이하이어야 한다.

나. 보통 화재위험도(normal fire risk)

- (1) 화재확산 될 위험이 낮은 장소
- (2) 화재가 발생하는 경우 개별실이나 발화장소에 한정될 수 있는 장소
- (3) 자체 화재진압과 봉쇄시스템이 잘 갖춰진 장소

※ 보통 위험도를 갖는 관람석과 스탠드 지역의 경우 모든 관람객이 안전한 지역으로 피난하는데 필요한 대피시간은 6분 이하이어야 한다.

다. 높은 화재위험도(high fire risk)

- (1) 가연성물질로 구성된 구조물
- (2) 구조적으로 화재, 열 및 연기의 확산 위험이 큰 장소

- (3) 쓰레기나 폐기물 등이 축적될 수 있는 관람석, 바닥 또는 테라스하부에 공간이 있는 장소
- (4) 접견지역을 통해 상층으로 피난이 가능한 다층지역
- (5) 소매점, 음식점 및 비상탈출통로 사이에 방화구획이 되지 않은 콘코스 부분
- (6) 높은 인화성 및 폭발성 물질이 있는 부분
- (7) 인접구역의 사고시 위험한 상황이 될 수 있는 관람석 또는 스탠드 지역

상기에서 언급된 요소 중 1개 또는 2개 이상이 포함된 지역은 높은 화재위험지역으로 구분된다. 높은 화재위험도를 갖는 관람석과 스탠드 지역의 경우 모든 관람객이 안전한 지역으로 피난하는데 필요한 비상대피시간은 2분 30초 이하이어야 하며 이러한 지역은 ① 주방, ② 음식 배출구, ③ 접견실, ④ 사무편의시설, ⑤ 보일러실, 기름저장실 및 일반 창고, ⑥ 밀폐된 지하차고 등이며, 위험도별 비상대피시간은 영국자료를 인용하였음.

5. 사고 사례

가. 영국 Bradford City Football Stadium 화재

(1) 개요

1985년 5월 11일, Bradford City Football Stadium의 Grand stand의 G구역에서 화재가 발생, 확산되었다. 이 화재로 인해 56명의 관중이 사망하였고 300명의 관중이 부상을 당했다.



화재는 스타디움 전체가 관중으로 응집된 상태에서 발생하였으며, Grand stand에는 5,000명의 관중이 경기를 관람하고 있었다. 화재가 발생한 Grand stand는 지붕을 포함하여 건물 대부분이 목조건물로, 수 년 동안 여러 겹의 타르가 방수목적으로 펠트형 단열재료 위에 도포되었다.

희생자들은 회전식 십자문 지역과 세면장 입구에서 발견되었다. 이것은 연기 등에 의한 낮은 시계로 인해 출입구 위치에 대한 혼돈이 발생한 것으로 추정되며, 42명의 사체가 콘코스 지역에서 발견되었고, 그들 중 대부분은 노인들이었다.

사고발생 후 정부차원의 조사가 실시되었다. 이 위원회는 화재원인을 목재관람석 하부에 축적된 쓰레기 더미에 담뱃불에 의한 발화로 조사하였다. 화재가 크게 성장되었기 때문에 목재 관람석과 킥보드 재료가 발화되어 화재의 성장을 가속시켰고, 화염이 지붕에 도달한 후 지붕재가 화염에 의해 팽창되고, 하부에 있는 가연성 재료에 복사열이 공급되어 수평확산 및 다른 가연성 물질의 발화를 촉진시킨 결과가 되었다. 또한 콘코스 지역의 심한 농연의 확산으로 인해 관중들은 비상탈출구의 위치를 식별하는데 많은 어려움이 있었던 것으로 확인되었다.

(2) 화재발생 원인 및 문제점

- (가) 목재 관람석 하부에 축적된 쓰레기 더미의 발화
- (나) 쓰레기와 경량목구조 관람석에 의한 초기연료의 공급
- (다) 목재 관람석과 지붕재료의 연소성

- (라) 화염이 지붕데크에 도달하였을 때 화염전파로 인한 구조내력에 영향을 미침.
- (마) 초기 단계에서 화재발전의 위험성에 대한 관중들의 인식이 부족한 상태에서 대피가 시작되었다.
- (바) 복도와 피난출입문의 1방향 거주자 유동설계(occupant flow design)
- (사) 피난용 출구의 부족

나. 미국 Atlanta Fulton County Stadium 화재

(1) 개요

1993년 7월 20일에 발생한 화재사고로, 풋볼 게임이 시작하기 전이기 때문에 스타디움에는 관중이 아직 입장하지 않은 상태였으며, 화재영향지역이 발화지역 근처에 한정되어 스타디움은 폐쇄되지 않고 예정대로 경기가 진행되었고, 부상자는 없는 것으로 보고되었다.



Atlanta Fulton County Stadium은 야구 게임시 52,220명의 관중을 수용하는 좌석이 설치된 다층구조의 스타디움이며, 160개의 기자석과 42개의 private suite가 설치되었다. 스타디움 전체는 불연재료의 구조였으나, 많은 양의 가연성 재료가 스타디움 전역에 설치되었다. 화재는 화려한 내장을 한 특별실(Luxury suites) 근처의 프레스실에서 발화되어 급속히 확산되어 화재에 영향을 받은 지역은 심한 손상을 입었다. 화재원인은 음식물 가열장치였다. 요리담당자가 고체 연료를 이용한 개방형 불꽃 가열장치에 점화시키고 식사준비를 완료한 후 가열장치에 대한 아무런 조치도 없이 식당을 나와, 가열장치의 불꽃이 인접된 가연성 물질로 착화되어 화재가 확산되었다.

(2) 화재발생 원인 및 문제점

- (가) 치장 목적으로 가연성재료가 사용되었다.
- (나) 화재발생지역에 화재감지기가 설치되지 않아 화재를 발견한 시간에는 화재가 크게 성장된 상황이었다.
- (다) 소화수원의 공급상태가 부적절하여 소화활동의 효용성이 낮았다.
- (라) 화재가 발생한 실에 스프링클러설비가 설치되지 않았다.
- (마) 특별실(Luxury suites)간에 개방된 복도

다. 미국 Texas Stadium 화재

(1) 개요

1993년 10월 13일 Irving에 위치한 Texas Stadium에서 화재가 발생하였다. Atlanta Stadium의 경우처럼 관중은 화재 발생 당시에는 입장하지 않았으며, 화재는 제한된 장소에만 피해를 주었기 때문에 경기는 예정대로 진행되었고, 희생자는 없었던 것으로 보고되었다.



Texas Stadium은 풋볼 게임동안 65,000명의 관객을 수용할 수 있는 시설과 관람석이 설치된 다층구조의 스타디움이며, 일반 관람석, 프레스룸, 귀빈실, Private Club으로 구성되었다. 이 스타디움의 구조는 완전한 불연구조이었으나 Atlanta Stadium 화재와 같이 내부치장, 가구 및 기술적 장비 등의 장식을 위한 많은 양의 가연성 물질이 사용되었다.

관람석 전체가 지붕으로 덮혀 있는 구조이며, 경기장 부분에만 장방형의 개구부가 형성되었고 지붕은 스틸 트러스로 구성되었다.

화재로 인해 여러 실이 심한 손상을 입은 것은 발화장소와 인접실에서 플래쉬 오버에 의한 것으로 추측되고 있다. 소방대가 화재현장에 도착하기 전에 플래쉬 오버에 도달하였다는 것은 화재가 상당히 빠른 속도로 확산된 것으로 추정되고, 연기는 경기장 상부의 개방공간과 지붕에 설치된 개구부로 배출되었다.

Texas Stadium의 화재원인은 밝혀지지 않았으나, 지역소방 담당자는 이 화재가 우발적인 발화로 믿고 있으며, 화재조사관들은 전기케이블에 의한 발화로 추정하고 있으나 그 외의 원인에 대해서는 정확히 밝혀지지 않았다.

(2) 화재발생 원인 및 문제점

(가) 스타디움 인테리어를 위한 치장용 가연성 물질의 사용

(나) 많은 양의 가연성 물질이 수납된 개별실에 자동화재탐지설비의 누락

(다) 개실(Private box)내 스프링클러 누락

(라) 화재로 인해 플라스틱 전망패널이 녹아 떨어지면서 일반 관람석의 플라스틱 좌석을 점화시킴

(마) 화재진압작전 중 소화용수 공급중단

6. 맺음말

1985년 Bradford Football Stadium의 화재사고와 1989년 Hillsborough stadium의 입석 스탠드 붕괴사고로 인한 대형참사(96명 사망, 200여명 부상) 등 각국의 재난사례는 스타디움에서 화재예방을 포함한 안전의 중요성을 단적으로 보여주고 있다.

한국의 월드컵 개최로 서울을 비롯한 각 시도에 스타디움이 세워져 앞으로 많은 경기와 이벤트 장소로 활용될 것으로 사료되는 바, 스타디움 운영자 및 정부의 화재예방을 위한 보다 적극적인 참여, 연구 및 투자가 필요하다. 또한 스타디움에서 화재가 발생하지 않도록 제어·관리할 수 있는 화재예방 프로그램의 마련과, 많은 관중을 효과적이고 안전하게 대피시킬 수 있는 피난계획을 포함한 비상대응계획에 대한 연구·수립이 요구된다.

[참고 문헌]

- 1) Design of Sports Stand Building for Fire Safety : I.D.Bennetts, K.W.Poh, S.L.Poon, I.R.Thomas외, Published by Onesteel-Market Mills Ingal Street Newcastle NSW 2300 Australia(2001. 07 개정판)
- 2) Football Statia after Taylor : Sir Norman Chester Centre for Football Research, university of Leicester(2002 .03 개정판)

3) Natural Fire Modelling of Large Space(helsinki university of Technology 석사논문, 저자 : Eero Sakari korhonen. 2000. 08)