

Stadium의 화재안전설계

박승민*, 김운형**, 박재성***, 윤명오***
안국 E&C*, 경민대학**, 서울시립대학교 ***

A Fire Safety Design of Stadium

Park Seung Min*, Kim, Woon Hyung**, Jae sung Park***, Yoon, Myong-o***
Ankuk E&C*, Kyung Min College**, The University of Seoul***

1. 서론

스타디움은 경기 시 수만명의 불특정 다수의 관람객이 운집하는 대규모 운동시설이다. 최근 국내에서는 2002년 월드컵 개최준비로 인한 대형 경기장 시설물이 전국에 건설되고 있다. 대부분의 경기장은 수용인원 상 많은 좌석 열이 설치되고 전망 상 높은 경사로 인하여 여러 level를 구성한다. 또한 이에 따른 여러 가지 편의시설이나 기능상 필요한 부속시설이 혼재되는 복합기능의 공간을 형성하게 된다. 현재 국내에서는 건축법과 소방법에서 스타디움을 운동시설로 분류하고 있으며, 미국의 경우는 Life Safety Code - New Assembly Occupancies(chapter8)에서 집회시설로서 규정하고 있다. 호주의 경우는 Building Code of Australia (BCA)에서 개방된 형태의 관람석을 규정하고 있다. 본 글은 이러한 복합기능의 경기장 시설의 화재안전 설계를 위한 기본 원칙과 안전성 확보를 위한 설계과정에 관하여 국내기준과 미국 LSC 그리고 호주의 BCA 등을 기준으로 살펴보기로 한다.

2. 화재사례

● Texas 스타디움 화재, USA 1993

1993년 10월 13일 17:53 미국 텍사스 Irving에 있는 Texas Stadium 화재는 몇 개의 귀빈실에 심각한 손상을 입혔다. 화재조사원들은 중층에 있는 Suites가 불연성 조적조 벽에 의해서 구획되었음에도 불구하고 수평으로 확산되었다고 결론을 내렸다. Suites에서 발생한 연기는 통풍구를 통하여 공조 덕트 내부로 침투하였고, 화재에 직접적으로 영향을 받지 않는 많은 Suites로 확산되었다.

● Atlanta 스타디움 화재, USA 1993

1993년 7월 20일 18:00 조지아주 애틀랜타에 있는 Atlanta Fulton County 스타디움 프레스룸에서 화재가 발생하였다. Pre-game 준비동안 음식 온열장치가 가동 중 직원들이 없을 때 가연성 물질에 발화되어 화재가 시작되었다. 화재는 급속도로 다른 프레스룸과 인접한 귀빈실로 확대되었고, 이 지역에서의 막대한 피해의 원인이 되었다. 화재조사원들은 화재가 룸들을 연결하는 문이 없는 공용복도를 통하여 출화실에서 다른 프레스 실까지 확대되어진 것으로 판단하였다.

3. 화재안전설계

3.1 설계 시 고려사항

건물의 화재안전은 인명안전과 재산 보호 측면으로 구분될 수 있지만 인명안전에 관한 대책이 충분하다면 재산피해에 대비한 일정 수준 이상은 확보되었다고도 볼 수 있다. 최근에 지어지는 스타디움 건물은 그 크기나 공간 개방성 등으로 화재 시 연기처리가 유리한 구조를 가지며 구조형식도 일정시간 이상의 내화도를 유지하고 있다.

스타디움의 화재안전 설계 시 고려할 사항은 다음과 같다.

- 발화 유형 및 발화장소의 수
- 관람자에 의한 화재진압 가능성
- 감지 및 경보시스템의 신뢰성과 효용성, 통신시스템
- 비상대책 및 직원의 훈련상태
- 스프링클러설비의 신뢰성과 효용성, 제연설비의 신뢰성과 효용성
- 연소특성 - 화염과 연기를 결정하는 화염확산비율, 크기, 화재가혹도
- 피난수단, 관람객 수 및 이들의 행태
- 공공 소방대의 활동
- 건물 구조의 내화성능

3.2 피난계획

피난계획의 설계 목표는 화재 시 위협에 처한 거주자를 위한 안전한 피난수단을 확보하는 것이다.

1) 설계기준

- 건물내의 모든 구획된 공간과 장소는 고립(entrapment)되지 않도록 설계한다.
- 모든 구획된 공간과 장소는 안전구역, 옥외공간 또는 차도 등으로 단계적 피난이 가능한 피난통로를 충분히 확보한다.
- 단계적 피난을 위한 계획을 수립한다.

2) 미국 Life Safety Code 주요 기준

- 주출입구/피난구(8-2.3.3)
 - 용량 : 총 수용인원의 50% 이상 폭 확보 필요
 - 거주인원 1,000명 이상 층은 4개 피난수단 필요(승강기 제외)
- 피난문의 간격 (5-5.1.4)
 - 문의 최소폭 36인치, 유효폭 32인치
 - 2개 이상의 피난문 간격은 $> 2/D$ (스프링클러 공간 3/D)
- EXITS
 - 계단 등 : 3층 이하 연결시 1시간 내화벽 1시간 방화문, 4층 이상 연결시 2시간 내화벽 1 1/2문
- 통로(aisles) 폭(8-2.5.6)
 - 의자 통로간 유효폭 12인치 이상
 - aisles 경사도 1/20 초과 1/8미만시 램프 설치, 1/8 초과시 계단통로(aisle stair) 설치
- 피난수단 간격
 - 특정 좌석부터 2방향 피난선택 점까지 50ft(15m) 8-4.2.6
 - 임의 위치에서 출구까지 총 길이 150ft(45m) 이하 스프링클러 설치시 200ft(60m) 8-2.6.1
 - 방연공간의 경우 특정좌석부터 최단 피난통로 입구 400ft(122m)미만, 피난 루프코스에서 피난계단까지 200ft(60m) 미만

- 소화설비 8-3.2
 - 보일러실, 가연물 보관창고, HAZMAT 보관창고 : 1시간 내화 구획분리 또는 스프링클러 설치
- 내장제한 (마감재료) 8-3.3
 - 모든 복도, 로비 Class A,B 구획된 계단 Class A
 - 거주인원 > 300 천장 벽 마감재 Class A,B
- 감지 및 통신설비
 - 관중 감시실 : 300인 이상, 경보설비 설치 (7-6.1 기준) 8-3.4.1
 - 자동식 감지기 : 300인 이상 건물 상시 비거주공간인 모든 위험장소에 설치
- 복도 (corridor)
 - 피난통로 복도는 30인 이상의 거주인원인 경우에 1시간 내화벽으로 구획, 20분 방화문
 - exit access corridor (50인 이상 사용) 의 최소 유효폭 : 44인치 (112cm)
- 비상전원 5-9
 - 지속시간 : 1 1/2시간

3) 발화 및 화재 확산

관람석의 의자나 기타 여러 장소에서 화재가 발생할 수 있다. 관람석 의자는 보통 폴리프로필렌과 같은 플라스틱 제품이므로 발화 시 화재 확산 가능성이 높으나 좌석 사이의 간격 확보와 관람석간의 구획 등을 고려하면 상당량의 발화원과 발화시간이 요구된다. 좌석 밑에 많은 양의 쓰레기가 모여 있을 가능성은 낮으며 만일 화재가 발생하더라도 관중에 의하여 초기에 소화가 될 것으로 예측할 수 있다. 한편 콩코스에 설치되는 식음료 편의시설을 제외한 화장실, 강의실 등은 가연물량이 적어서 화재 위험도는 낮다고 볼 수 있다. 그러나 스타디움의 모든 공간은 발화 가능한 지역으로 반드시 고려되어야 한다.

호주의 경우 콩코스의 화재 확률은 소매점의 발화 통계 ($2.5 \times 10^{-4}/\text{년}/\text{m}^2$)를 사용하는 바닥 면적으로 곱한 값으로 예측한다. 콩코스 내 많은 공간이 소매점의 활동과 관련된 가연물이 차지하고 있기 때문에 비록 화재 확률은 낮지만 이러한 통계를 적용하고 있다. 화재는 건물을 사용하거나 사용하지 않는 시간에 발생할 수 있다. 호주에서 소매점의 화재통계를 보면 약 70% 정도가 건물 사용 시간 중에 발생하고 있다. 따라서 스타디움 경기 중의 화재 확률은 위에서 계산한 값의 0.7를 곱하여 예측할 수 있다. 통계상 특정시간 별 화재발생을 알 수 있지만 화재로 인한 피해를 예측하는 것이 중요하다. 통계에 따르면 역 80% 정도의 화재는 소방관의 출동이 필요 없는 작은 규모이며 출동한 20%의 경우에 85% 이상은 관중이나 소방관에 의하여 최초 발화 물 또는 발화지역으로 한정된 것으로 알려져 있다.

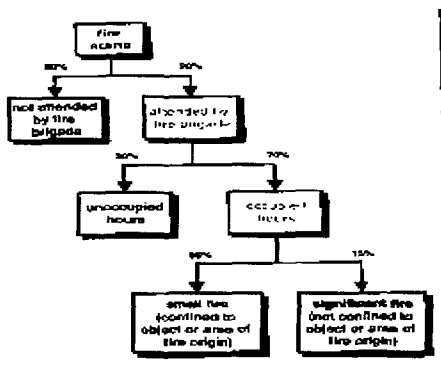


그림 1. 화재발생 확률

결론적으로 건물 사용 중인 시간에 발생한 97% $\{(100-20) \times 0.15\}$ 의 화재는 작은 화재로 공학적 평가대상에서 제외할 수 있다. 효율적인 소방설비 시스템이나 비상대응 체계, 직원의 교육 등을 통하여 충분히 대응할 수 있다. 여기서 나머지 3%화재는 발화장소에서 확산되는 대형화재로써 거주자의 인명을 위협할 수 있다.

경기장의 최대 수용인원 조건에서 대형화재가 발생할 확률은 건물 사용 중 대형화재 발생 확률의 1/10 정도로 볼 수 있다. 건물내부에 스프링클러가 설치된 경우에는 대형화재의 확률은 보다 감소된다. 여기서 스프링

표 1. 건물 사용중 대형 화재가 발생할 확률 (년간)

사용 시간	스프링클러 미설치	스프링클러 설치
평상시간 대	$5.25 \times 10^{-6} \times A$	$5.25 \times 10^{-6} \times 0.02 \times A$
주요 경기 시간 대	$5.25 \times 10^{-6} \times A \div 10$	$5.25 \times 10^{-6} \times 0.02 \times A \div 10$

클러가 설치된 건물의 범위는 반드시 설치할 필요성이 적은 콩코스화 화장실 그리고 강의실을 제외한 모든 지역으로 본다. 스프링클러의 효율성은 최소 98%로 가정할 수 있다.

따라서 건물 사용 중에 대형 화재가 발생할 확률 P 는
 $P = 2.5 \times 10^{-4} / \text{년} / \text{m}^2 \times 0.7 \times 0.03 = 5.25 \times 10^{-6} / \text{년} / \text{m}^2$

여기서 바닥면적(A)은 창고부분, 상점부분, 사무용도, 방송관련 부분, 식당 등을 포함한 총 면적을 말한다. 예로서 바닥면적의 합계가 10,000m² 인 경우 스프링클러 설비가 없는 조건에서 연간 화재확률은 $5.25 \times 10^{-6} \times 10,000 \div 10 = 0.00525$, 즉 주요 경기 시간대에 스프링클러가 없는 조건에서 대형 화재는 190년에 1번 정도 발생한다고 기대된다. 만일 스프링클러를 설치하면 확률은 0.000105가 되며 약 9523년에 1번 발생하는 빈도를 갖는다.

4) 설계화재 결정(Design Fires)

창고부분, 판매편의점, 사무실, 방송관련부분 장소 등 스프링클러설비가 없는 장소에서의 화재는 플래쉬오버 조건을 반드시 검토해야 한다. 앞에서 검토한 바와 같이 이러한 장소에서의 대형화재 가능성은 매우 작다. 화재하중이 매우 높은 공간의 경우 보안상 또는 사용상 보통 작은 공간으로 구획되며 출입과 피난을 위한 통로를 확보하게 된다. 따라서 화재 시 화염 확산이나 화재 강도를 억제할 수 있다. 스타디움 내부 용도별 가연물량에 기초한 화재하중분포는 표2와 같다. 컴퓨터 오락실 등 게임 룸의 화재하중은 사무실에 준한다고 볼 수 있다.

스프링클러가 설치된 장소에서의 예상되는 화재 규모는 스프링클러로 제어되는 크기로 본다.

표 2. 화재하중 분포

대 상 용 도	화재 하중(kg/m ²)
창고부분	< 8 0
사무실	< 4 0
Function Rooms	< 3 0
식당	< 2 5
방송관계 실	< 2 5
식음료 편의점	< 2 0
Corporate Suites	< 1 8
Gymnasium	< 5
콩코스 부분	< 5
주방	< 5
화장실 및 탈의실	< 5

5) 연기확산 및 제어

화재 시 발생하는 연기의 제어는 거주자의 안전피난과 소방관의 원활한 소화 활동을 위한 가지거리 확보와 연기로 인한 재산피해를 감소하기 위하여 필수적이다.

이를 위하여 고려할 설계요소는 다음과 같다.

- 화재규모를 작게 유지하여 연기 발생량을 줄인다.
- 신속하게 연기발생지역에서 대피할 수 있는 적절한 피난수단과 통로를 확보한다.
- 필요시 건물외부로 배출 또는 거주자로부터 차단할 수 있는 배연시설을 갖춘다.
- 연기확산의 최소화를 위한 차연 장애물을 설치한다.

4. 소화활동

4.1 개요

공공소방대의 소화활동은 화재안전 시스템의 주요 부분으로 경보 시 다음과 같은 역할을 수행한다.

- 화재 징후가 없는 경우에 경보작동의 원인과 상황을 조사
- 작은 화재, 거주자에 의해 제어되거나 스프링클러로 억제된 화재 등의 소화활동
- 대형 화재의 경우 미리 거주자의 피난 유도
- 스프링클러가 미 설치된 장소에서의 대형 화재의 제어 및 소화
- 인접공간 또는 인접건물로의 화재확산 억제

위의 활동은 경보 접수상황, 현장도착 및 소화활동 준비시간, 소화장비 그리고 화재 규모 등에 따라 영향을 받는다. 스프링클러가 없는 장소에서의 소화활동 시 화재확산을 억제하고 발화장소의 방출 열량을 감소시킬 수 있는 시간을 예측할 필요가 있다. 스타디움의 원활한 동선확보와 각 공간의 구획화로 이는 가능하다고 판단되며 따라서 일정시간이 경과된 후에는 소방활동으로 제어할 수 있다.

건물이 사용 중인 경우 관할 소방대가 스타디움에 도착하는 시간은 10분 정도이며 실제로 이 보다 훨씬 짧을 수 있다. 화원에 수원 공급하기 전에 준비시간은 10분 정도이다. 이것은 발화장소에 접근하려는 소방관의 진입과 피난동선간의 방해가 거의 없는 경우를 가정한다. 만일 이러한 상황이 아니라면 준비시간은 길어지고 화재는 상당히 확산되며 따라서 소방활동의 의미를 재검토할 필요가 있다.

따라서 피난 도중에 소방대와 거주자간의 상호 방해를 최소화하고 건물 여러 장소에 접근이 가능한 소방대 전용 진입로를 확보하는 것이 중요하다. 결론적으로 스타디움에서의 소방대의 소화활동은 매우 중요한 화재안전설계 요소이며 대부분의 공간에서 30분 이내에 효과적인 소화억제가 기대되지만 이는 소방대 활동에 방해를 최소화하기 위한 피난계획이나 전용 접근로에 따라 영향을 받는다. 물론 화재는 30분 이내에 스스로 소화될 수도 있다. 화재강도의 억제를 위한 소방대의 효용성은 스타디움의 구조적 강도 유지에 필요한 방호수준을 결정하는 경우에 고려된다.

4.2 국내 소방법 상 주요 기준

1) 소화설비

- 소화기구 : 소방법 시행령 제28조 제1항에 의해 연면적 33m² 이상인 것
- 옥내소화전 : 소방법 시행령 제28조 제2항에 의해 연면적 3,000m² 이상인 소방대상물은 전 층
- 스프링클러 : 소방법 시행령 제28조 제3항에 의해 지하층, 무창층 또는 층수가 4층 이상인 층으로서 바닥면적이 1,000m² 이상인 층
- 그 외 물분무 등 소화설비, 옥외소화전설비를 설치토록 규정하고 있음.

- 2) 소화용수설비
- 상수도소화용수설비 : 소방법시행령 제31조 제1항에 의해 연면적 5,000m² 이상인 것
 - 연결송수관설비 : 소방법시행령 제32조 제2항에 의해 층수가 5층 이상으로서 연면적 6,000m² 이상인 것
 - 그 외 소화용수설비용 수조설비, 연결살수설비, 무선통신보조설비를 설치토록 규정하고 있음
- 3) 경보설비
- 비상경보설비 : 소방법 시행령 제29조 제1항에 의해 연면적 400m² 이상인 것
 - 자동화재탐지설비 : 소방법 시행령 제29조 제4항에 의해 관람집회시설로서 연면적 1,000m² 이상인 것. 전력 또는 통신사업용 외의 지하구로서 동일구내에 설치된 특수 장소간을 연결하는 것은 50m 이상인 곳
 - 비상방송설비 : 소방법 시행령 제29조 제2항에 의해 연면적 3,500m² 이상인 것
- 4) 피난설비
- 피난기구 : 소방법 시행령 제30조 제1항에 의해 소방대상물의 피난층, 2층 및 층수가 11층 이상인 층을 제외한 모든 층
 - 그 외 유도 등 설비, 비상조명등을 설치토록 규정하고 있음.

5. 결론

많은 인원이 동시에 수용되는 스타디움의 경우, 가연성 구조로 건축된 이전의 건물에서는 종종 화재가 발생하여 다수의 인명피해가 발생하였지만, 근래에는 영국의 Bradford 축구장 화재 피해를 제외하면 인명피해는 매우 적다고 볼 수 있다. 이는 화재 시 관람자가 없거나 관람객 시설인 스탠드는 옥외에 준하는 공간이므로 피난에 충분한 시간이 확보된 이유로 보여진다. 그러나 화재가 발생하면 인명손실의 최소화를 위하여 우선 관람객이나 거주자가 고립되지 않도록 공간이 설계되어야 한다. 따라서 각 부분에서 제2의 피난통로를 확보해야 한다. 피난통로는 건물을 벗어나기 위하여 거주자가 사용하는 부분으로 콩코스, 보행로, 복도, 문, 계단, 경사로 등이 포함된다. 연기가 복도나 콩코스를 통하여 확산될 수 있으며 이 경우 연기에 오염될 수 있는 모든 부분에서 적절한 제2의 피난수단을 확보해야 한다.

통계적으로 볼 때 설계 및 유지관리가 양호한 스프링클러가 설치된 경우의 대형 화재 확률은 매우 감소된다. 따라서 스프링클러설비의 설치에 바람직하며 스프링클러가 미 설치된 경우의 대형화재도 낮은 확률이지만 반드시 고려되어야 한다. 연기 제어를 위하여 스타디움의 최대 수용 좌석 수, 경기장의 사용 시간계획, 부대시설 활용방안 등을 검토하고 관람석에서 콩코스 부분으로의 피난 시 발생하는 대기행렬을 반드시 고려해야 한다.

참고문헌

1. Bennetts, I. D. , Poh, K. W., Thomas, I. R., "Design of Sports Stand Buildings for Fire Safety", BHP Research & Technology Development, 1998, A.U.
2. Isner, M. S., Stadium Fire Demonstrate Unique Protection Problems, NFPA Journal, Vol. 88, Jul/Aug 94, pp. 49-54.
3. Isner, M. S., Two Stadium Fires, Atlanta, Georgia July 20, 1993 and Irving, Texas, October 13, 1993, Fire Investigation Report, NFPA.
4. 소방법규집, 한국소방안전협회, 1999.
5. John A. Sharry, Assembly Occupancies, NFPA Handbook, NFPA, 1997.
6. Ron Cote, Life Safety Code Handbook, NFPA, 1997.