

스프링클러 설비용 빌딩 코드 내진 요건과 현장 시스템에 따른 특별한 인터페이스 요건

Robert E. Bachman, P. E.

컨설팅 엔지니어

소개

미국에서 적용되고 있는 빌딩 코드의 내진 요건은 지난 20년 동안 크게 변화되었다. 이러한 변화는 주로 대형 지진 사고에서 구조(structural) 및 비구조(nonstructural) 시스템의 성능을 관측하는 것으로부터 촉구되었고, NFPA 13에서 설명된 스프링클러 설비 요건 그 이상의 추가적인 내진 요구사항을 포함하고 있다. 이 글에서는 NFPA 13에 설명된 스프링클러 설비 요건 이상으로 특별히 추가된 내용과 지난 20년 동안 빌딩 코드 내진 요건의 변화를 이러한 요구사항을 반영하기 위한 NFPA 13의 변화와 더불어 설명하고 있다.

현행 빌딩 코드의 비구조 구성요소(스프링클러 시스템 포함)에 대한 내진 요건은 International Building Code²(IBC)에서 언급하고 있는 ASCE 7-05¹의 13장에 제공된다. 비구조 구성요소에 대한 요건은 2003 NEHRP 권장 조항³의 제6장에 기반을 두고 있다. 2003년 NEHRP 권장 조항의 제6장에서 언급된 상당수의 기준은 주로 1991년과 1997년 사이에 이루어진 NEHRP Provisions Update Committee(PUC)의 기술소위원회(TS-8)의 초창기 개발 작업을 기반으로 한 것이다. 이 기간 동안 TS-8은 1989년 Loma Prieta 및 1994년 Northridge 지진 중에 비구조 구성요소의 성능 관찰에 의해 크게 영향을 받았다. 이 두 지진 모두에서 스프링클러 설비 피해를 포함하여 상당한 비구조 구성요소에 피해가 있었다.

2000년 IBC가 만들어지기 전까지, 지진 활동이 보다 높은 지역(higher seismic areas)에서 빌딩 코드 내진 요건은 주로 Uniform Building Code⁴(UBC)에 있는 내용을 기반으로

로 했다. UBC에서 1961년에 처음으로 비구조 구성요소에 대한 지진으로 인한 수평 응력 요건을 도입했다. UBC 기준에서 비구조 구성요소에 대한 지진력(seismic force)에 대한 요구 사항의 중요한 변화가 1997년에 있었다. 1997년 UBC는 1994 NEHRP 권장 조항에서 제공된 비구조 구성요소에 대한 응력 요건을 채택하였고, 1989년과 1994년 두 지진에 의한 고려 사항을 포함하였다. 이러한 비구조 구성요소에 대한 응력 요건은 오늘날 ASCE 7에서 볼 수 있는 것과 아주 유사하다.

이와는 별개로, the National Board of Fire Underwriters는 1947년에 시작된 스프링클러 설비의 결쇠와 버팀대에 대한 비의무(non-mandatory) 내진 요건을 처음으로 만들었다.⁵ 1951년에는 0.50g의 수평응력계수를 적용하여 결쇠와 버팀대를 설계하도록 하는 규칙을 구체적인 요구사항으로 추가하였다. 1980년에는 지진의 영향을 받는 지역에 적용하도록 지진에 대한 요구사항이 NFPA 13⁶의 필수 부분으로 이동되었다. NFPA 13의 내진 조항에서 다른 부분은 개선이 되었지만, 수평응력계수 0.50g은 NFPA 13의 2007년 판까지 그대로 남아 있었다. 또한, 이것은 NFPA 13 지진력이 허용 응력 설계 절차에서 사용되었다는 것을 의미한다는 것에 특히 주의해야한다. 1994년까지 UBC에서는, NFPA 13 지진력 계수와 다른 설계 요건을 호환하였고 빌딩코드에 기술되어 있는 값은 약간 더 보수적이었다.(0.45g 대 0.50g) 그러나 1994년 이후, 빌딩 코드 내진 요건 및 NFPA 13 내진 요건은 달라지기 시작했다.

Fleming, R.에 의한 "Northridge 지진에 의한 스프링클러설비의 성능분석" 보고서⁵에서는 스프링클러 설비의 손상을 관측한 종합적인 검토 내용과 기존 코드 및 기준 요건과의 비교 내용을 언급하고 있다. 이 보고서에서는 각 손상 유형을 관찰하고, NFPA 13의 1996년 판에서 이 문제를 해결하기 위해 어떤 종류의 코드 변화가 필요한가에 대하여 제안하고 있다. Northridge 지진 관측 수행 결과를 기반으로 많은 변경이 고려되었고, 1996년판 NFPA 13에 반영되었다. 그러나 일부 변화는 채택되지 않았고, 다른 문제는 해결되지 못했다. 개정에서 채택되지 못하거나 해결되지 못한 것들 중에는 아래와 같은 내용이 있다.

- 다소 지진이 많이 발생하는 지역(진역, seismic areas)에서는 수평 지진력 계수를 0.50g 보다 크게 증가시키고, 지진 가속도는 지상보다 건물 상단에서 더 크게 된다는 것에 주목해야 한다.
- 스프링클러 설비의 물입자 궤적과 달반자(suspended ceilings) 사이의 간섭 문제를

방지하기 위해 상세 설계 요건이 제공되어야 한다.

- 스프링클러 설비 물입자가 저장 랙에서 유효하게 역할을 할 수 있도록 구체적인 드리프트(drift) 기준이 제공되어야 한다.

ASCE 7¹의 13장에는 두 가지 유형의 비구조적 요건을 설명하고 있다. 이것들은 등가 정적 횡력과 상대적인 변위 요구사항이다. 지진 활동이 낮은 지역의 건물에 있는 비구조적인 구성요소는 ASCE 7의 13장에서 언급한 내진 요건 적용에서 제외된다는 것에 특히 주의해야 한다.

등가 정적 횡력은 주로 구성요소의 버팀대와 고정부의 설계에 반영된다. 그러나 구성요소가 내진 시스템으로 지정되어있는 경우, 구성요소 자체가 응력을 반영하여 설계되어야 한다. 스프링클러 설비는 내진 시스템으로 고안되어 있다.

상대 변위 요구(relative displacement demand) p 는 구성요소가 부착되는 구조의 분석으로 간단히 결정된다. 기본적으로 상대 변위를 알 수 없는 경우에는 상대 변위 요구는 ASCE 7에서 구조체에 적용하는 최대 허용 드리프트(drift) 변위를 적용할 수 있다. 상대 변위 요구는 상대적으로 앵커의 움직임에 의한 변위에 민감한 구성 요소에 미치는 영향을 확인하는 데 사용된다. 이러한 구성 요소에 대한 탄성 변형은 수용할 수 있는 것이며, 인명안전에 위협을 일으킬 수 있는 구성 요소의 실패는 수용할 수 없다.

강제 요구 사항 이외에, ASCE 7에서는 지진활동이 높은 지역의 달반자를 관통하는 스프링클러 설비의 물입자는 다음 기준 중 하나 이상 만족하도록 기술하고 있다 :

1. 물입자가 떨어지는 부분 주위로 1 in(25mm)의 유효한 공간이 있도록 큰 관통 공간(holes)이 있어야 한다.
2. 배관, HVACR 시스템과 천장 시스템은 통합된 시스템으로 작동하도록 설계되어야 한다.
3. 스프링클러 설비의 물입자가 모든 수평 방향으로 천장 인터페이스에서 적어도 1 in(25mm)의 이격공간을 확보할 수 있도록 연계된 접속 형태로 설계되어야 한다.

다른 재료에 대한 기준을 제외하고, 상기 아이템은 모두 1996년판 NFPA 13에는 포함되어 있지 않았지만 NISTR 보고서에서 인정된 사안들이다.

2004년과 2007년 사이에, NEHRP PUC TS - 8 소위원회와 ASCE 7 비구조체 소위원회의 회원들은 NFPA 13 소위원회와 공동으로 ASCE 7-05와 일치시키는 작업을 하여

NFPA 13으로 통합 변경 작업을 하였다. 결과적으로 결쇠와 버팀대와 배관 설계는 ASCE 7을 만족하도록 NFPA 13(2007)의 influence tables를 수정하게 되었다. 또한, 연계되는 접속 형태를 만족하는 방법의 하나로서 개념을 수용하기 위하여 스프링클러 설비의 말단부에 대한 선택으로 '플렉시블 디바이스'(flexible device)용어가 추가되었다. NFPA 13(2007)이 ASCE 7과 호환되어, 프로비전(Pro-visions)에서 추천된 2009년판 IBC와 2009년판 NEHRP의 ASCE 7을 준수하는 것으로 간주되었다. NFPA 13(2010)은 ASCE 7와의 호환성 개선을 위해 보다 강화된 규정을 제공하였다.

NEHRP PUC TS - 8 소위원회와 ASCE 7 회원은 또한 ASTM E 5807 기준의 업데이트를 위해 긴밀히 작업을 하고 있다. 그 기준은 "지진동(Earthquake Ground)이 있는 지역에 음향 타일과 내장 패널을 위한 달반자 시스템의 설치에 관한 품질 기준"에 대한 것이다. 업데이트된 기준은 스프링클러 설비가 천장 패널을 관통하게 되는 곳에는 위에서 설명된 기준들 중 하나를 만족해야한다는 요구사항을 포함하고 있다.

ASCE 7(2010)에서는 NFPA 13(2007)과 ASTM E 580(2009) 둘 다 채택하였기 때문에 스프링클러 설비 및 스프링클러 설비와 천장간의 인터페이스에 요구되는 내진 요건의 부분에서 근본적인 기준 수정은 없었다. 그러므로 두 기준을 만족한다면, ASCE 7(2010)을 만족하는 것으로 간주된다.

플렉시블 스프링클러 드롭 장치와 달반자 시스템 내진 성능

ASCE 7의 13장에서 제공하는 옵션 중 하나는 비구조적 시스템 및 구성 요소에 대해 진동 테이블 테스트(shake table testing)로 평가하는 것을 허용하고 있다. 진동 테이블 테스트 초안(protocol)⁸은 the International Code Council Evaluation Services(ICC-ES)에 의해 개발되었다. 그것은 비구조적 응력 방정식과 연계된 진동 테이블 테스트 기준을 제공한다. 기본적으로, 바닥(또는 천장) 테스트 모션은 비구조적 응력 방정식을 만드는데 사용되는 매개 변수에서 파생되었다. 테스트 모션이 보다 커지고 바닥 모션의 값이 높아질수록, 내진 조건 값이 커진다.

일반적인 반자는 구조 분석 절차에 의하여 확실하게 분석하기가 특히 어렵다. 이런 이유로, 다수의 천장 제조업체는 객관적으로 자체 천장 시스템 제품 생산라인의 내진 성능을 객관적으로 평가할 수 있도록 진동 테이블 테스트를 수행하고 있다.

2006년 초 진동 테이블 테스트의 일환으로 수행된 암스트롱 천장(Armstrong ceilings)에서는 하드알무버(hard-armover) 스프링클러 설비 말단부 대신 플렉시블 스프링클러 설비 말단부 장치(FlexHead Industries사에서 제공됨)에 대하여 테스트를 실시하였다. 그 장치는 전체적으로 설치되었고, 동작가능한 스프링클러 설비와 연결 되었다. 테스트 사진은 그림1에서 보여지는 바와 같다. 약한 내진과 강한 내진 천장 시스템의 다양한 진동 테이블 테스트 모션 범위에서 테스트되었다.

결합 천정 시스템(conjunction ceiling systems)에 설치한 FlexHead사의 플렉시블 장치는 뛰어난 성능을 보였고 천장시스템의 성능을 저하시키지 않았다. 이러한 타입의 플렉시블 장치는 1990년대 초에 NEHRP Recommended Provisions의 내진 코드 개발자가 처음으로 고안하였을 때 계획되었던 것이다.



<그림 1 진동판>

또한, 이러한 플렉시블 장치는 스프링클러 설비 물입자가 수직 모션에 의해 관통 공간(holes)에서 튀어나오는 문제와 물입자가 다시 들어가려 할 때 스프링클러가 스냅핑하는 문제를 해결했다. 이러한 스프링클러 설비 물입자에 대한 특정 문제는 NISTR 보고서⁵에서 강조되었다. 플렉시블 장치가 제조업체에 따라 다르게 생산되는 것은 주목할 가치가 있다. 모든 플렉시블 장치가 지진 사고에서 같은 방식으로 작동할 것이라는 광범위한 가정을 해서는 안 된다. 테스트 데이터를 대신할 수 있는 것은 없다.

참조 :

1. SCE/SEI Standard 7, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2005.
 2. International Building Code, International Code Council, Washington, DC, 2009.
 3. NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, FEMA 450-1/Building Seismic Safety Council, Washington, DC, 2003.
 4. Uniform Building Code, International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1997.
 5. Fleming, R. "Analysis of Fire Sprinkler System Performance in the Northridge Earthquake," NISTGCR-98-736, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1998.
 6. NFPA 13. Installation of Sprinkler Systems, National Fire Protection Association, Quincy, MA, (edition as noted).
 7. ASTM E 580, Standard Practice for Installation of Ceiling Suspension Systems for Acoustical Tile and Lay-in Panels in Areas Subject to Earthquake Ground, ASTM International, West Coshohocken, PA, 2009.
 8. Acceptance Criteria for the Seismic Qualification Shake-Table Testing of Nonstructural Components and Systems, AC-156, International Code Council Evaluation Services, Country Club Hills, IL, 2007.
-

출처 : Fire Protection Engineering 2010년 3호

번역 : 위험사업부문 조사연구팀 사원 김 은