

해외정보

안전위주 설계 [Design for Life]

글_ 안 제 순(방재설비부 연구원)

2001년 9월 11일 발생한 테러리스트의 공격으로 인한 세계무역센터의 붕괴에 대한 심층적인 연구를 진행하고 있는 미국의 공학전문가로 구성된 팀에 의해 건축물의 설계와 성능향상을 위한 몇 가지 중요한 권고사항이 발표되었다.

보고서는 미연방위기관리국(Federal Emergency Management Agency, FEMA)과 미 토목공학협회의 구조공학 전문가로 이루어진 팀에 의한 연구결과를 근간으로 하고 있다.

연구팀은 고층건물 설계, 철골접합기술, 화재 및 폭발공학 및 구조진단 전문가들로 구성되었으며 연구팀은 공중 납치된 항공기의 충돌이후 110층 높이의 초고층건물을 완전히 붕괴시키고 주변지역을 초토화시킨 일련의 과정을 밝혀내는 데 역점을 두었다.

연구를 진행하는 동안, 연구팀은 세계무역센터 부지 및 철골잔존물의 현장답사를 실시했고, 붕괴된 건물표본의 시험, 충돌 및 붕괴과정이 녹화된 비디오 화면의 분석, 목격자들과의 인터뷰, 설계에 반영된 요소 및 붕괴에 의해 영향을 받은 건물들의 유지보수와 관련된 자료의 조사를 수행하였고, 몇몇 지역은 충돌에 뒤이은 화재의 확산과, 화재로 인한 구조적 강도의 저하, 각각의 건물을 붕괴시킨 메커니즘에 대해 세밀하게 조사되었으며, 센터 직근에 위치한 건물들의 구조성능 또한 화재 및 비산물로 인한 피해정도를 파악하기 위해 연구되었다.

그러나, 연구팀의 권고사항들은 테러리스트에 의한 공격으로부터 피해를 줄이기 위한 건축구상 및 설계의 중요성을 넘어서, 항공기안전을 위한 추가적인 방안과 화재예방 및 건설회사로 하여금 건축물의 설계 및 시공에 더욱 만전을 기할 것을 권고하고 있다.

특히, 보고서는 설계단계에서 건축물의 화재시 구조적 성능을 평가하기를 권고하고 있는데, 이는 또한

향후 건축물의 설계 및 성능을 평가하기 위한 보다 진보된 기술 및 장치가 필요하다는 것을 역설하고 있다.

보고서는 9.11테러로 인해 부분적, 전체적 붕괴를 야기하고 주변 30 m에 달하는 사무실 밀집지역의 파괴로 인해 403명의 구급요원을 포함한 총 2830명의 사망자를 낸 경위에 대해서 조사하였다.

보고서에 따르면, 각각의 건물에 공중 납치된 항공기가 충돌하였을 때, 직접적으로 충돌된 몇 개 층에 부분적인 붕괴로 인해 구조적인 피해가 집중되었다. 또한 구조물이 이런 수준의 충격에도 얼마간의 시간을 유지함으로써 대부분의 건물거주자들이 안전하게 탈출할 수 있게 된 것은 괄목할만한 사실이라 덧붙이고 있다.

항공기의 제트연료가 점화되어 건물로 화염이 확산되지 않았더라면 더 오랜 시간 동안 건물의 형태를 유지할 수 있었다.

막대한 양의 연료가 Fireball을 형성할 만큼 순간에 소비되었으나 잔여연료가 퍼져나감으로써 건물 상층부 전체에 화재가 집중된 결과를 야기하게 되었고 이러한 화재로 인해 철골구조의 강도가 현저히 약화되었고, 결과적으로 완전한 붕괴를 초래했다고 보고서는 설명하고 있다.

제트연료에 의해서만 발생된 열은 무역센터의 완전붕괴를 유발할 만큼 충분하지 않았을 것이다. 하지만, 연료가 몇 개 층에 걸쳐 퍼져나감에 따라 건물내부에 있던 가연물들을 점화시켰고 몇 개 층이 동시에 발화가 진행되었다. 이 화재로 인한 열방출은 대규모 상용발전소가 생산할 수 있는 전력량과 유사한 것이라 추측된다.

수 분이 지난 후, 발생된 열은 이미 상당한 피해를 입은 철골구조부를 연화시킴으로서 부가적인 하중을 제공하게 되었다. 이런 식으로 부가된 하중은 두

건물의 완전붕괴를 초래시키는데 충분했다라고 보고서는 밝히고 있다.

설계형태

보고서에 따르면, 세계무역센터의 구조에는 어떠한 곳도 규격에 미달하는 부분이 없었고, 설계 및 시공시 건축관련법규의 최소 요구사항을 상당 부분 상회한 것으로 나타났다. 연구팀은 몇 가지 설계형태가 대부분의 건물 거주자가 탈출할 수 있을 정도의 시간을 보장한 데 크게 기여했다고 보고 있다.

이러한 설계에는 철골구조시스템의 중복과 강도 보강을 포함하고 있다.

피난계단의 표시는 쉽게 인식할 수 있도록 구비되었고, 건물거주자를 대상으로 한 긴급탈출훈련프로그램 또한 체계적이었다.

이와 같이, 몇 가지 설계형태가 직접충격을 받은 층과 그 상부층에 있었던 거동이 자유롭지 못한 초기피해자들 또한 안전하게 탈출하게 할 수 있었던데 중요한 구실을 했다.

이러한 설계적 요소는 향후 건축규격에 설계상 부적합 요소로 간주되어서는 안되지만, 반드시 다음과 같은 세밀한 평가가 이루어져야 한다.

- 이러한 형태의 건축물에 현존하는 철제바닥트러스 시스템의 구조적 견고성 및 중복구조
- 비상탈출로 상의 개구부의 내-충격 공법사용
- 건축물 내부에 충격이나 폭발을 감지하는 수동형 화재방지설비 구비
- 비상탈출계단을 건물 곳곳에 산개시키는 것보다 건물중심으로의 그룹화.

건축관련법규의 수정

향후 건축물시공에 있어서 테러리스트의 공격에 대비하여 건축관련법규들에 어떠한 방식으로든 수정을 가해야 할 것이냐는 주제에 관해서도 연구되었다. 그러나 비행체의 크기가 매우 다양함으로 인해, 모든 건축물에 고속으로 질주해오는 비행체에 대한 충격과 그에 수반되는 화재로 인해 건축물이 붕괴되지 않도록 설계와 시공을 하도록 규정을 제정하는 것은 기술적으로 불합리할 것이다. 게다가, 그러한 설계대로 건축물을 시공하는 데에는 어마어마한 비용이 소요되므로 특히 어렵다는 결론을 내렸다. 비록 세계무역센터 공격은 설계에 어떤 문제점이 있었는지 없느냐는 의문이 제기되었지만 연구팀은 강화된 건축법규를 적용하여 테러공격이 일어날 가능성이

있는 특수한 건물을 지정하기에는 자료가 충분치 못하다는 결론을 내렸다.

몇몇 특수한 건물에 대한 테러공격의 가능성은 매우 희박하므로 고려대상이 되지 않는다고 믿는 사람도 있으나, 개개의 건물주들은 테러공격과 같은 예측불허의 사고에 쉽게 동요될 수 있는 건물세입자들의 요구에 따라 구조물의 견고성과 강도보강을 위한 대책을 고려하기를 희망할 것이다.

비록 연구과정에서 건축법규에 있어서 화재나 충격에 대한 내구성을 증가시키고, 비상탈출에 효율성을 기할 수 있는 몇몇 구상적인 대책을 마련했으나, 이러한 구상이 실제 건축법규로 적용되기 전 기술 및 정책, 경제적인 연구가 집약적으로 선행될 필요가 있다고 지적했다.

건축법규 수정은 무역센터 붕괴 및 주변건물의 피해가 충분히 연구된 후 고려되어질 것이다.

견고사항

보고서는 향후 건축물의 설계 및 성능향상을 위한 방안을 제시하고 있는데, 그중 하나는, 관례적인 방내화 등급에 관한 것으로, ASTM E 119 화재시험의 경우 건축물이 실제 화재시 구조부를 구성하는 부분이 얼마만큼 견딜 수 있느냐에 대해서 충분한 정보를 제공하지 못하고 있다는 것이다. 화재시 건축물을 구성하고 있는 구조부재의 성능평가 방법은 건축설계자 및 위험관리자도 알아야 할 필요가 있다고 밝혔다.

보고서는 또한 화재시의 구조부재는 통합된 부분으로 간주되어야 하므로, 화재에 의한 열 및 구조부재의 열상승과 열에 대한 응답을 통합적으로 고려할 수 있는 설계 틀이 마련되어야 한다고 밝혔다. 또한, 건물 내에서 화재예방 및 화재시 행동과 같은 교육이 방화기술자와 건축기술자에게도 제공되어야 한다고 덧붙였다. 구조기술자와 방화기술자의 상호 이해를 통해 설계단계에서 통합적으로 고려되어야 한다.

보고서에서 밝힌 기타 권고사항은 다음과 같다.

- 건축구조, 화재예방, 기계, 설계, 발파, 폭발, 바람에 의한 영향 및 지진 전문가 그룹이 단일 혹은 다중위험상황 하에 붕괴의 가능성을 줄이거나 예방하기 위해 콘크리트 및 철골구조물의 설계, 개축, 취약성평가를 위한 지침을 공동으로 연구하여야 한다.
- 현존하는 화재시험 및 화재전파, 화재심도, 연

기성상, 건물구조와 인간의 행동에 관한 모델을 개선시킴으로써 지속적인 성능위주의 설계 개발이 필요하다.

- 현재 단계적인 탈출에 의존하고 있는 건축설계의 적합성을 평가하기 위한 고층빌딩의 비상탈출시스템의 분석을 포함한 피난에 관한 연구가 필요하다.
- 건물주, 시공자, 세입자, 관계기관, 설계자와 같은 건물 관계자는 건물의 개축 및 개조가 이루어질 경우 이로 인해 예상되는 건물성능에 대

해서 고려하여야 한다. 예를 들어 한 장소의 화재위험도가 증가되었을 경우, 관계자는 그에 따른 적절한 화재방호시스템을 구비하여야 한다.

끝으로, 보고서는 구조요원의 안전강화를 요구했다. 방화 및 구조전문가는 화재시 건물의 성능 및 구조부재의 화재응답 및 위험도의 세부적인 평가, 특히 취약한 구조부재 지정 등이 포함된 사전계획의 작성으로 구조요원의 안전을 도모할 수 있다고 밝혔다. (FILK)

일반건축물에도 공통으로 적용하여야 하는 몇 가지 권고사항

- 건축물의 골격을 이루는 구조부는 강도보강이나 또는 중복시공을 함으로써 건물에 물리적 피해가 발생하였을 경우 하중을 추가적으로 분산할 수 있는 경로를 마련하거나 내하중 용량을 늘릴 필요가 있다.
- 내연, 난연재료는 철제 구조물에 충격이나 화재로 인해 의도된 내연, 난연성능을 제공할 수 있도록 충격이나 화재시 철제 구조물에서 이탈되지 않아야 한다.
- 충격이나 화재에 의한 하중에 따른 접합부의 성능은 건축골격을 이루는 부분의 취약요소로서 그 성능을 강화하여 설계특성을 개선할 수 있도록 세밀한 분석이 필요하다.
- 건물내부의 화재방호설비로서 스프링클러는 물 공급경로가 신뢰성이 있어야 하며 중복되어야 한다. 만약 물 공급이 여의치 않을 경우, 예상되는 화재방호성능은 현저하게 감소된다.
- 현재 사용중인 피난시스템은 피난경로, 피난계단의 용적 및 위치, 계단실의 충격에 대한 내성 등 이들의 견고성과 중복성이 재검토되어야 한다.
- 구조부재의 내화등급과 하중분산성능은 건축물의 견고성에 주요한 역할을 하므로 적합성이 평가되어야 한다.

Fire Engineers Journal, 2002년 7월