

01. 화재안전



화재안전 / 도로 / 첨단교통 / 구조교량 / 지반 /
수자원 / 하천해안항만 / 건설환경 / 건축계획환경 / 건축구조자원 /
설비플랜트 / 건설관리경제 / 건설정보 / U-국토 / 기타 /



600MPa급(SM570TMC) 고성능강 기둥-보 용접접합부의 탄소성 거동에 관한 연구

이용호 (화재안전연구소 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 지진대응기술

키워드

고성능강, 기둥-보 용접접합부,
탄소성 거동

01

화
재
안
전

1. 개요 최근 건축물이 고층화, 대형화, 장스팬화되면서 강구조 건축물의 건설이 증가하였고, 국내·외적으로 초고층빌딩 및 대형구조물의 건설이 활발하게 건설되고 있다. 따라서, 최근 초고층 건축물의 수용에 대응하여 고성능·고강도 강재에 대한 수요가 급증하고 있으며, 고층건축물에 대한 지진피해에 대한 인식이 확산되면서 건축구조용강에 대한 요구성능이 증가하는 추세이다.

이러한 수요에 의해 600MPa급 강재가 출현되었으며 현재 강교량 및 초고층 건축물에 적용하려고 많은 연구가 이루어지고 있다.

따라서, 이번 연구에서는 600MPa급(SM570TMC)강재를 적용한 기둥-보 접합부의 초기연구로서 논스캘럽과 추천형 스캘럽상세의 실구조물 규모의 기둥-보 용접접합부 실험체를 제작, 내진성능실험을 통해 구조성능을 평가하였다.

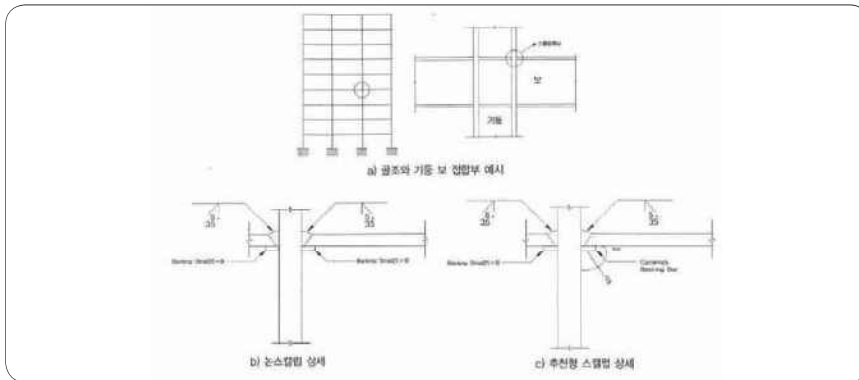
기존의 일반구조용 SM490강재를 적용한 기존의 연구와 비교 분석하여 초고 층 건축물에 적용을 위한 내진설계자료 및 제작상의 주의사항을 제시하였다.

2. 스캘럽 형상 및 접합부 상세 스캘럽형상이 접합부의 소성변형 능력에 미치는 영향을 파악하기 위하여 스캘럽을 두지 않은 실험체(논스캘럽)와 스캘럽 선단의 응력집중을 완화하기 위하여 보 플랜지와 웨브가 만나는 부위를 10R 추가 개선한 추천형스캘럽 (35R, 10R)을 사용한 실험체를 계획하였다.

이러한 실험체들은 표1의 실험체와 같이 구분하고 표2의 용접조건으로 용접을 시행하였다. 표2의 HP는 기둥의 사용강재, P는 십(+)형 기둥 보 접합부 그리고 600은 보 부재의 인장강도를 N, A는 각각 스캘럽의 상세를 의미하는 것이다. <그림 1>은 스캘럽 형상을 나타낸 것이다. (b)는 논스캘럽 상세로서 보 플랜지와 만나는 부분에 스캘럽을 대신, 웨브부분을 기둥 플랜지 부분에서 떨어뜨려 하향용접을 할 수 있도록 하는 상세이며, 뒷댐재(25×9)를 용접하였다. 그림(c)는 추천형 스캘럽 상세로서 용접시 세라믹 뒷댐재를 사용하여 용접한 후 뒷댐재를 제거하였다.

3. 실험방법 가력방법은 AISC 내진규준(2005)에 의거하여 가력하고, 변위제어에 사용되는 물리량은 층간변위비(Story drift ratio)를 기준으로 0.375%, 0.5%, 0.75%일때 각각 6cycle, 1%일 때 4cycle, 1.5% 이상의 경우는 2cycle씩 반복하여 가력하였다. 실험체가 파괴되지 않을 경우 변위계의 용량한도까지 최대한 하중을

가하여 실험체의 파괴를 관찰하였다.



〈그림 1〉 논스칼립 및 추천형 스칼립 상세

〈표 1〉 용접조건

용접봉	전류(A)	전압(V)	용접속도(cm/min)	입열량(KJ/cm)
Φ 1.4	300 ~ 350	38 ~ 42	30 ~ 35	22.8 ~ 25.2

〈표 2〉 실험체 구분

시험체명	스칼립 형상	내력비(보:패널:기둥)
HP-P-600-N	논스칼립	1:1.39:1.92
HP-P-600-A	추천스칼립(35R, 10R)	

4. 결론 본 연구에서는 600MPa급(SM570 TMC)강재를 적용한 기둥 보 접합부의 초기연구로서 소재특성을 검토하였고, 논스칼립과 추진형 스칼립(35R, 10R) 상세의 실구조물 규모의 십(+)자형 기둥보 용접접합부 실험체를 제작, 내진성능실험을 통해 구조성능을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 소성변형능력은 탄성구간에서는 거의 일직선을 이루고 있으며, 논스칼립 상세를 채택한 HP-P-600-N와 스칼립 상세를 채택한 HP-P-600-A의 최대 하중과 최대변위를 측정된 결과 스칼립 실험체는 논스칼립 실험체보다 우수한 변형능력을 보였다.
- (2) 기둥 보 접합부 인성평가의 경우 논스칼립, 스칼립 형상의 실험체 모두 AISC 내진규준(2005)의 특별연성모멘트골조(SMF)에서 요구되는 접합부 내진성능을 충분히 만족시키고 있으며, 스칼립 실험체가 논스칼립 실험체에 비해 소성율, 소성배율, 접합부 총회전각 및 내력상승률이 훨씬 높은 값을 가졌다.
- (3) 본 연구에 적용한 600MPa급(SM570TMC)강재의 기둥 보 접합부는 기존 SM490 강재를 적용한 접합부와 동등한 소성변형에 의한 에너지 흡수능력을 가지고 있는 것으로 판단되었다.

■ 관련(참고)사이트

<http://www.kssc.or.kr/>

■ 출처

http://www.kssc.or.kr/paper/search_list.asp?multi=2&searchv=%b0%ed%bc%ba%b4%c9%b0%ad/

기기분석을 통한 내화구조 화재안전관리방법

조남욱 (화재안전연구소 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 화재대응기술

키워드

내화구조, 성분분석, 열분석

01

화
재
안
전

최근 건축물이 고층화되고 있고 건축물의 하중을 최소화하기 위해 기둥과 보의 시공에 철골구조를 많이 사용하고 있다. 그러나 철골은 열에 노출되면 팽창하며 열을 전달하고 약 500°C에서 강도를 잃는다.¹⁾ 구조물에서의 철재의 붕괴는 건물 일부 또는 전체의 붕괴로 이어질 수 있다. 따라서 화재로부터 철골의 온도상승을 방지하여 건축물의 구조적 안전을 확보하기 위해 철골구조에 내화뿔칠재를 시공하고 있다. 관련 특허자료에 따르면 내화뿔칠재는 시멘트 계열과 석고 계열 그리고 펄라이트 등을 구성되어 있다. 시멘트 계열은 주로 포틀랜드 시멘트 보다는 열적 성질이 우수한 알루미늄 시멘트를 사용을 주로 하며 석고 및 발포제, 팽창제, 기포제 등의 미량성분을 포함한다.

내화재료가 열에 대한 내성을 갖는 물질이므로, 열분석을 통하여 내열특성을 분석하면 내화재료의 특성을 파악할 수 있다. 물체를 가열 또는 냉각시키면서 그 물체의 온도를 측정하면 초기에는 수평한 곡선을 나타내며 물질이 전이점을 갖거나 분해되는 상변화가 있을 때, 곡선은 그 온도에서 정지점 또는 이상변화를 나타낸다. 따라서 이 곡선에 의해 상변화나 반응의 생성 등 각종 변화를 알 수 있다. 열분석은 시료를 대상으로 온도를 일정한 프로그램에 따라 변화시키면서 열에 대한 물리적 성질을 온도 또는 시간의 함수로 연속적으로 기록한다. 시간의 함수로 무게 또는 무게 백분율을 도출한 것을 서모그램(thermogram) 또는 열분해곡선이라고 한다.^{2,3,4,5)} 열분석기는 시

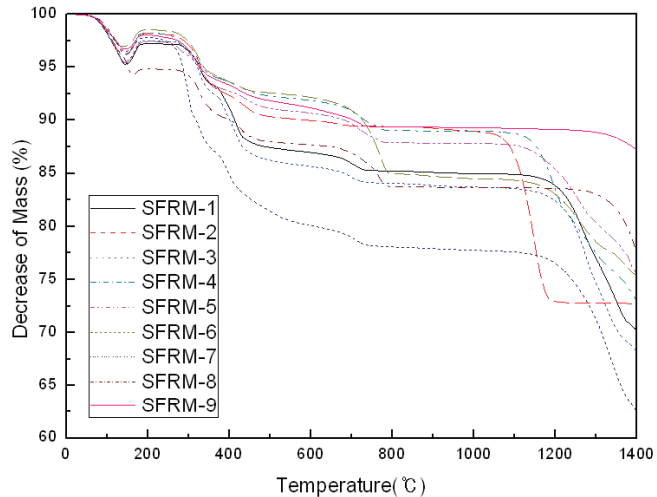


Fig 1. Thermogram of normal fire proofing materials(9 species).

멘트의 열에 대한 질량 연구를 위하여 일반적으로 사용되는 장비이기 때문에 본 연구에서의 내열 특성을 연구하는데 매우 적합한 장비로 사료된다.^{6,7)} 열분해에 의한 질량 변화로부터 발생되는 가스의 성분을 확인하는 방법으로 적외선 분광기 (Infrared spectrometer)를 동시에 사용하면 열분해시 발생하는 가스에 대한 정성이 가능하다. 이 적외선 분광

장치는 Michelson 간섭계를 이용하여 시간 지배 스펙트럼인 인터 페로그램 (interferogram)을 얻은 뒤 이를 Fourier 변화시켜 주파수 지배 스펙트럼을 얻는 방법이다.

이 FT-IR의 경우에는 기존의 dispersive IR 에 비해 스펙트럼을 얻는 시간과 감도면 등에서 장점이 있다.²⁾

본 연구에서는 국내에서 성능이 인정된 내화뿔칠재 9종 및 내화성능이 없는 일반 흡음뿔칠재 2종에 대해 열 분석기를 이용하여 열에 대한 각 제품의 특징을 분석하고 적외선 분석기를 이용하여 열분해가스의 성분을 조사하여 두 제품군의 데이터를 비교 하였다. Fig1, 2는 각각 내화뿔칠재 및 일반흡음뿔칠재의 열분해곡선을 나타내며 또한 결과 데이터를 분석하기 위해 통계적

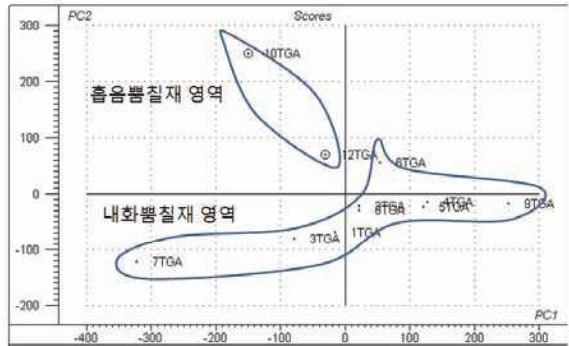
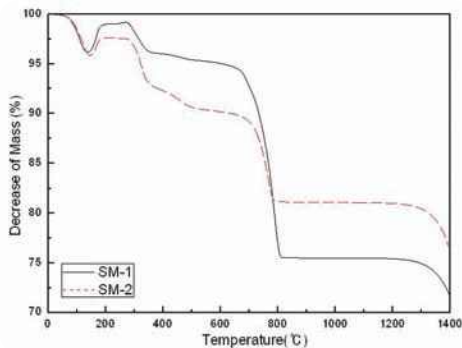


Fig 2. Thermogram of abnormal fire proofing materials(2 species)

처리 방법인 PCA (Principal components analysis)^{3, 9)}를 사용 하였다. Fig3은 열분해곡선의 PCA통계처리 결과이며 그림에 서와 같이 내화뿔칠재와 일반 흡음뿔칠재를 간단히 구분할 수 있어 현장에서 시공되는 시료에 대한 일치성분석이 가능 함을 확인하였으며 향후 현장품질시험방법으로 적용이 가능 함을 입증하였다.

Fig 3. PCA result of normal & abnormal fire proofing materials.

■ 출처

1. Arthur E. Cote, P.E., Fundamentals of Fire Protection, Jones & Bartlett Pub, Massachusetts, pp,151-152(2004)
2. Skong D. A., Holler F. J, and Nieman T. A, Principle of Instrumental Analysis, Saunders College Publishing pp,47-48, p,328(1998)
3. V. S. Ramachandran, Applications of Differential Thermal Analysis in Cement Chemistry, Chemical Publishing Company, Inc., New York, p307(1969)
4. T. L. Webb, J. E. Kruuger, in: R. C. Mackenzie (Ed.): Differential Thermal Analysis, Vol, 2, Academic Press, London, pp,181-205(1972)
5. R. Barta, Differential Thermal Analysis, Vol, 2, Academic Press, London, pp,207-228(1972)
6. V. S. Ramachandran, Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology, William Andrew Publishing, Norwich, pp,127-173(2001)
7. S. K. Handoo, Advances in Cement Technology: Chemistry, Manufacture and Testing, 2nd Edition, Tech Books International, New Delhi, pp,631-659(2002)
8. Ku, W., Storer, R. H, and Georgakis, C., Disturbance Detection and Isolation by Dynamic Principal Component Analysis, Chemometrics Intell. Lab. Syst., pp. 179-196(1995)
9. R.M Silverstein, G. C. Bassler and T.C. Morrill, Spectrometric Identification of Organic Compound, 5th ed., New York, pp,158-163 (1991)

NEESwood Shake-Table Experiment

전수민 (화재안전연구소 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 지진 대응기술

키워드

Wood frame building, NEESwood, PBSD,
Shake table

01

화
재
안
전

역사적으로 지진발생시 목조건축물은 구조적 또는 비구조적 피해를 덜 받아왔으나, 지진시 목구조 건축물의 역학적 반응에 대한 이해부족 및 화재에 대한 안전성 확보문제 등 비구조적 원인 등에 기인하여 목구조 건축물의 층수는 제한을 받고 있다. 목구조 건축물 관련 규정에 내진설계 이론이 반영된 사례는 찾아보기 힘들며, 부재간의 영향을 고려한 구조적 시스템으로서의 목구조에 대한 접근 보다 각 부재에 대한 개별적 접근이 이루어지는 경우가 일반적이다.

이에 목조건축물의 내진성능에 대하여 2005년 NEESwood(The Network for Earthquake Engineering and Simulation in mid-rise wood frame construction) project가 착수되었으며, 수년간의 진행된 project에 대한 최종 test가 최근 수행되었다.

2009. 7.14 미국 NSF(National Science Foundation) 및 Colorado 주립대학 등의 주관으로 일본 防災科學技術研究所 (NIED : National Research Institute for Earth science and Disaster prevent) 내진공학연구소에서 6층 목구조 건축물에 대한 shake table test를 실시하였다.

세계 최대 규모의 shake table (15×20m)에서 이루어진 금번 test는 PBSD(Performance-Based Seismic Design) 이론이 적용된 중규모 목조 건축물이 디자인 과정에서 가정한 내진 성능을 충족시키는가를 확인하고, 동 건축물이 미국 서부 지진이 재현된 상황에서 보이는 다양한 반응을 관찰하는 과정으로 진행되었다.



<그림 1> Woodframe Building Shake table test

Test의 목표는 PBSD 이론을 적용하여 복합용도 중규모 목조건축물을 디자인하는 일반적 방법을 제시하는 것이다.

Shake test 대상 목구조 건축물의 규모는 1400㎡이며 23개의 거주공간으로 구성되었고, 지진조건은 1994년 Northridge 지진의 1.5배 정도의 강도(평균 2500년에 한번 발생하는 규모)로 근래 캘리포니아에서 발생한 어떠한 경우보다도 큰 규모의 지진을 재현하였다.



〈그림 2〉 Horizontal actuator



〈그림 3〉 Shake table(15×20m)

금번 시험은 그 규모가 역대 최대라는 점에서 의미가 있으며, 미국과 같이 지진우려지역의 경우 5층을 초과하는 건축물은 거의 허용되지 않는 국가들에게는 더욱 중요한 의미를 가질 수 있다. 본 시험을 통하여 축적된 정보는 목조 건축물의 규모 확대와 미래의 목구조 건축물 설계방향에 영향을 미칠 수 있을 것이다.

실제로 지난 4월1일 목구조 건축물의 허용층수를 4층에서 6층으로 늘이는 새로운 법안을 통과시킨 브리티시 컬럼비아 주정부(캐나다)는 본 시험결과에 각별한 관심을 보이고 있다.

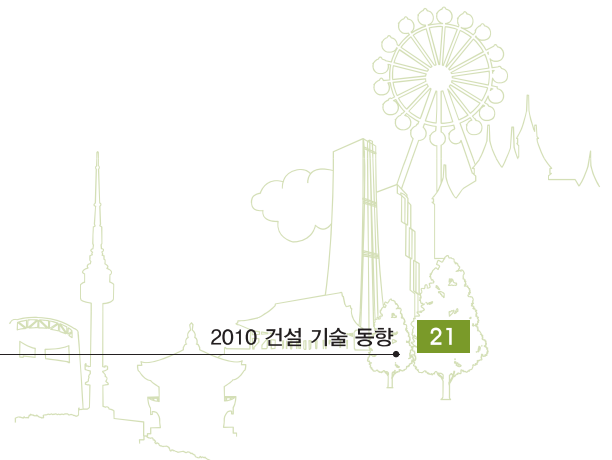
■ 관련(참고)사이트

<http://www.nsi.gov/news/newsmedia/neeswood/>

<http://www.engr.colostate.edu/NEESWood/>

■ 출처

https://www.nees.org/news/detail/neeswood-webcast_july-2009/



World Trade Center의 화염전파와 구조적 거동해석

안찬슬 (화재안전연구실 / 전임연구원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 화재현상 분석 및 예측기술

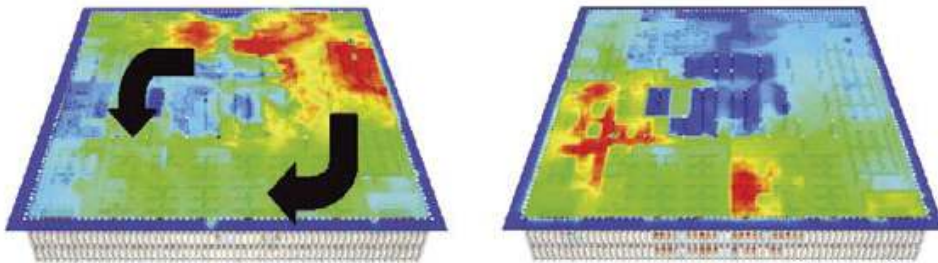
키워드

FDS, 시뮬레이션, 화재해석, 거동해석

01

화재안전

FDS는 열거동을 열역학적 모델로 계산하는 프로그램으로서 설계, 과학적 재현, 교육 등 내화 엔지니어링 분야에 다양하게 적용될 수 있다. 지난 3년간 FDS와 smokeview는 World Trade Center의 화재조사에 중추적인 역할을 해왔다. WTC 조사에서 FDS는 WTC 1, 2의 화염온도와 바닥 충격에 따른 거동을 예측하는데 사용되었다. 또한 이러한 온도예측을 통해 빌딩이 붕괴된 원인과 강재의 취약점에 대한 정보를 구조 설계자들에게 제공하였다. 이러한 과학적 재현은 물리적, 시각적인 증거를 동시에 뒷받침해 줄 수 있는 모델로서 BFRL 스태프들과 외부 화재 설계자들이 수많은 화재 사고를 규명하기 위해 사용하고 있다.



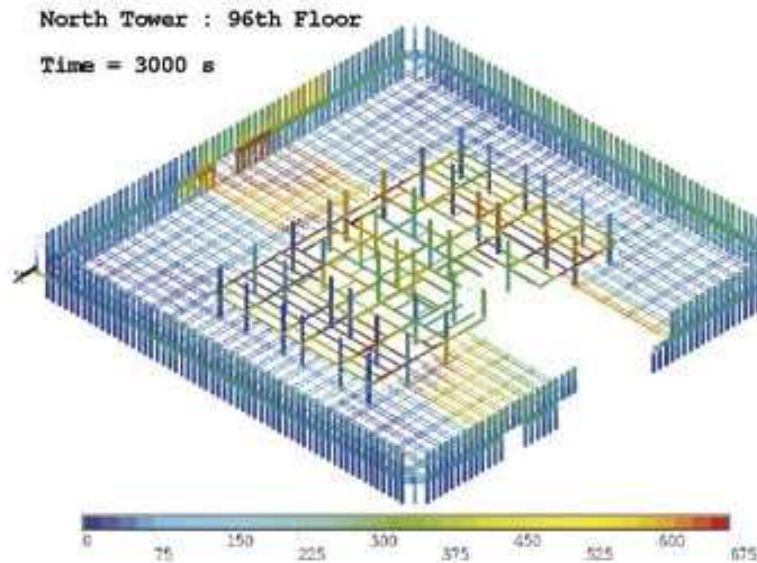
<그림 1> FDS/Smokeview를 이용한 WTC1 94층의 화염 이동 예측

뜨거운 가스화염의 거동은 화재과학의 한 분야로서 확고히 발전되어왔으나, 비행기의 충돌에 따른 화재로 인해 붕괴된 최근 WTC 1, 2의 사례를 통해 화재와 빌딩의 역학적인 구조에 대한 상호이해가 반드시 필요한 것으로 밝혀졌다.

WTC의 붕괴를 통해 설계자들 사이에서는 화재 시 강구조의 최대온도와 건물붕괴 시 강재의 열적 취약성에 대한 활발한 토론이 진행되었다. 건물 붕괴 후의 사진 증거물들은 빌딩의 화재성장과 이동에 대한 증거를 제시할 수는 있지만 관찰된 화재거동에 대한 구조적 요소의 열적 반응과 연관시켜 증거를 제시할 방법은 없었다. WTC 재난에 대한 NIST의 조사기간 동안 이러한 특별 수요의 요구사항에 대해 도출된 성과가 바로 FSI(The Fire-Structure Interface)이다.

FSI는 NIST의 FDS를 기본으로 하여 유한요소 구조해석 프로그램인 ANSYS를 연계한 프로그램이다. FSI는 다른 구획의 화재모델로부터 차용한 기술을 사용 하여 뜨겁고 그을음이 일어나는 상위층(Upper Layer)과 상대적으로 차가운 구획인 하위층(Lower Layer)으로 나누어 사용한다. 이 두층의 특성은 각층의 열전도성과 열 방출량을 토대로 계산된 구조적 요소의 열유량 결과값을 산출하는 FDS 시뮬레이션의 시간평균값들을 추출하여 사용하는 것이다.

이러한 방법은 NIST의 WTC 조사팀이 화재가 성장하는 시간과 공간에서의 열에 의한 구조요소 반응을 예측하기 위해 널리 사용되는 것이다. 비행기 충돌에 의한 구조적 피해 및 내화처리의 피해 방법이 이 모델에 통합되어있다. WTC1 과 WTC2 건물에 대해 수행한 2가지 시뮬레이션을 포함한 4가지의 포괄적인 시뮬레이션이 수행되었으며, 강재의 온도와 열적 거동을 가장 큰 변수로 설정한 포괄적인 시뮬레이션 결과 값을 토대로 비행기 충돌시의 내화두께 및 내화피해를 산출하였다.



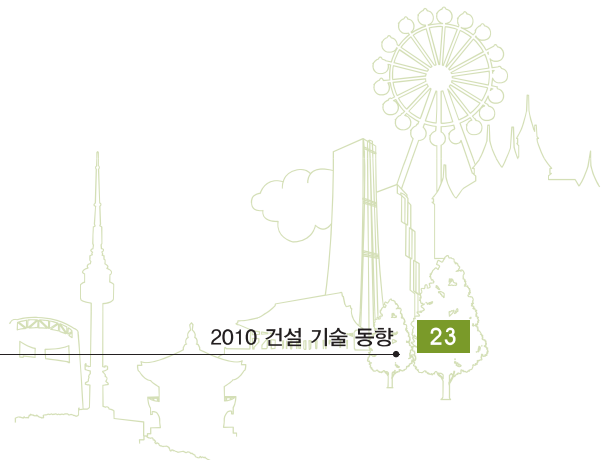
〈그림 2〉 FSI를 이용한 WTC1 96층의 바닥온도 분석

■ 관련(참고)사이트

<http://www.bfrl.nist.gov/>

■ 출처

<http://www.bfrl.nist.gov/Annual/2004-2005/BFRL06.pdf/>



대심도 지하공간 개발을 위한 화재안전설계

유용호 (화재안전연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 화재방지대책

키워드

대심도 터널, 화재, 방재대책

주요 내용

01

화
재
안
전

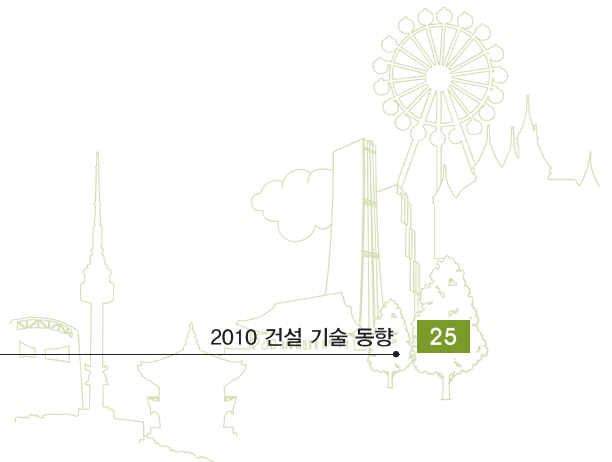
복잡화되고 있는 대도시와 수도권 지역의 지하공간 활용성을 높이기 위해 현재 정부는 '지하공간기본법' 제정을 통하여 대심도 지하공간 개발에 박차를 가하고 있다. 이에 일환으로 서울시는 교통문제를 해결할 수 있는 대안 도로와 홍수시 방수로의 역할을 담당할 수 있는 대심도 지하터널 건설을 추진하는 등 국내외에서 대도시 교통체증을 해소함과 동시에 지상 녹지공간을 확보하기 위해 다양한 도심지 대심도 지하도로의 건설을 진행하고 있다. 특히, 이러한 대심도 지하공간 개발의 경우 화재에 대비할 수 있는 방재대책이 매우 큰 비중을 차지하는 중요한 요소기술로 분류되고 있다.

대표적인 국외의 대심도 터널로는 프랑스 파리 A86 지하도로, 일본 동경도 중앙환상 신주쿠선, 말레이시아 쿠알라룸푸르 SMART 터널, 중국 상하이의 Fuxing 터널 등을 꼽을 수 있다. 이중 프랑스 파리 A86 지하도로는 터널 내부의 환기 설비를 통해 배출가스가 정화되어 배출되므로 온실가스 배출 감소효과를 함께 얻을 수 있어서 친환경 녹색성장에도 일조하고 있다. 특히 과거 몽블랑터널 화재등 대형 화재사고 겪으면서 관련 연구를 지속적으로 수행하여 방재분야에 대한 노력을 집중하였으며, 화재영상 감지기등 첨단 화재감지 설비, 전광판과 FM방송에 의한 30초 이내 운전자 사고 인지 설비, 그리고 비상대피소 및 피난로 확보등 인명 피난 시설등 화재에 대비하기 위한 노력이 집중되고 있다. 특히, 유로연합을 중심으로 2000년대 초반부터 거대한 연구 역량을 투입하여 UPTURN등 대규모의 터널 화재 안전 연구를 진행하였으며, Runeharmer Fire Tests(200MW 규모의 대형 화재 실험)등 끊임없는 대심도 터널 화재 안전 대책을 위한 연구를 진행하여 왔다.

이러한 대심도 터널에서의 화재시 연소 확대 방지 기술, 연기 제어 및 배연 기술, 피난 설계 기술, 내화설계 기술 등은 대도시의 대심도 지하공간 개발뿐 아니라 한일 해저터널등 국내외적으로 구상되고 있는 초국가적인 대형 프로젝트에 대비하기 위한 매우 중요한 핵심기술이 될 것으로 전망된다.

■ 출처

<http://www.a86ouest.com/>, <http://www.uptun.net/>, <http://www.etnfit.net/>



적외선분광법을 이용한 내화피복재 일치성 평가방법 연구

조남욱 (화재안전연구소 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 화재방재 대책

키워드

내화구조, 내화도료, 적외선분광분석, 현장관리시험

01

화재안전

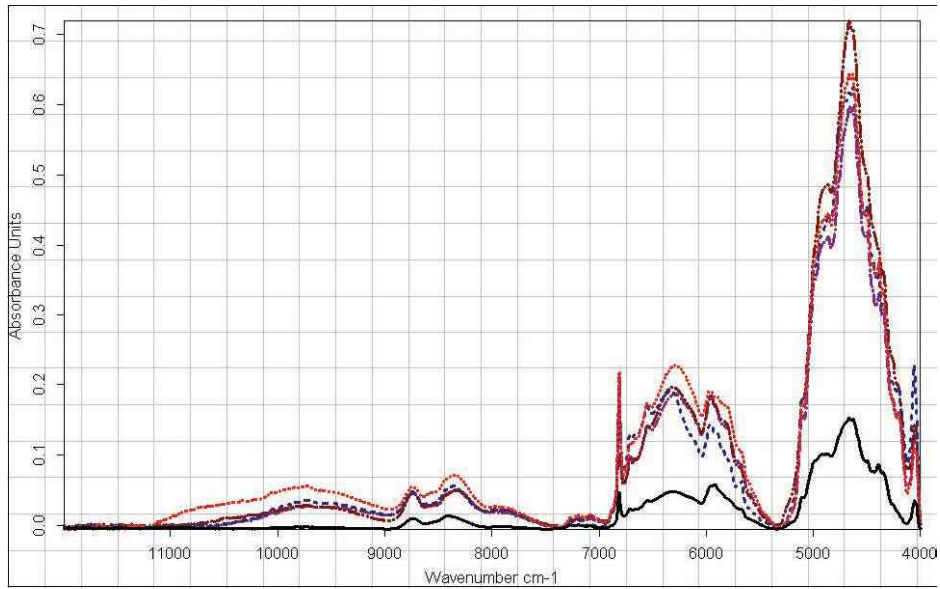
주요 내용 최근 건축물이 고층화되고 있고 건축물의 하중을 최소화하기 위해 기둥과 보의 시공에 철골구조를 많이 사용하고 있다. 그러나 철골은 불연성이지만 열에 노출되면 팽창한다. 일반적으로 철재는 섭씨 38도(화씨 100도)가 오를 때마다 약 0.06~0.07%씩 열팽창이 일어난다. 30 m의 철재는 섭씨 538도(화씨 1000도)로 가열되면 약 241 mm 늘어난다. 철재의 또 다른 문제점은 열은 전달한다는 것이다. 많은 화재에서 철재가 열을 전달하여 인접한 가연성 물질을 발화시킨 경우들이 있다. 철재의 세 번째 문제점은 내부 구조물 화재에서 상당히 높은 온도에서도 강도를 잃는다는 것이다. 일부 연구에서 철재가 화씨 900~1100도(섭씨 482~593도)의 온도에서 40~50%의 강도를 잃는 것으로 확인되었다. 구조물에서의 철재의 붕괴는 건물 일부 또는 전체의 붕괴로 이어질 수 있다. 이러한 이유로 건축물의 뼈대가 되는 철골에는 내화피복재를 코팅하여 화재에 견딜 수 있는 구조로 시공한다.

내화구조의 시공으로 화재발생시 건물의 붕괴 및 구획간 연소 확대를 방지할 수 있으며 건축물 내 인명의 피난시간을 확보하고 소방 및 구조활동의 안전을 도모한다. 또한 주변 건축물로의 화재확산을 방지하기도 한다. 그러나 인명과 재산에 관계되는 내화구조 시공에 대한 체계적인 현장관리는 부재하다. 내화구조의 성능은 내화시험을 통하여 확인될 수 있으나, 실제 규모와 가까운 내화시험의 특성으로 내화성능을 확인하는 데는 많은 시간과 비용이 필요하여 현장품질관리에 어려움이 있기 때문이다.

내화도료가 유기물질인 점을 착안하여, 유기화합물의 정량 및 정성분석에 널리 응용되고 있는 적외선분광분석법을 내화도료의 일치성분석에 적용하려는 연구가 진행되고 있다. 특히 중-적외선 영역에서 O-H, N-H, C-H 등의 관능기에 의한 기준 신축진동 및 변각진동의 배음(over tone) 및 결합(combination band)흡수가 근적외선영역에서 일어나며 일반적으로 중적외선보다 흡광도가 적지만 서로 다른 관능기의 중요한 적외선 흡수차이를 일치성분석으로 활용할 수 있다.

근-적외선분광분석을 통하여 내화도료에 대하여 고유 흡수(결합흡수, 배음흡수)영역을 특정 제품의 지문영역으로 하여 일반도료(미지시료)에 대한 적외선 분석을 실시하고 두 스펙트럼에 대한 통계적 기법의 상관계수를 구하여 정량적인 비교를 수행하여 제품의 일치성 여부를 확인할 수 있다. <그림 1>은 내화도료에 대한 독특한 흡수스펙트럼이며 고유한 흡수영역을 지문영역으로 하여 현장관리에 활용할 수 있다.

근적외선 분광분석법은 내화시험에 비하여 매우 빠르며, 비용효율(Cost-effective)이 높은 현장관리 시험방법으로 적용하여 내화구조의 현장관리에 활용성이 높을 것으로 판단된다.



〈그림 1〉 내화도료의 적외선 흡수 스펙트럼

■ 출처

1. Arthur E. Cote, P.E.(2004), Fundamentals of Fire Protection
2. Skong D. A. , Holler F. J. and Nieman T. A. (1998), Principle of Instrumental Analysis, Saunders College Publishing

세라믹을 이용한 내화피복 공법

강성훈 (화재안전연구소 / 전임연구원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 화재대응기술

키워드

내화구조, 철골피복, 세라믹

01

화재안전

주요 내용 건축물이 고층화 대형화됨에 따라 건축물의 주요구조부 중에 하나인 보와 기둥을 철근콘크리트가 아닌 철골을 사용하기 시작하였다. 철골은 철근콘크리트에 비해 그 자중이 가볍고 공기를 단축할 수 있는 장점이 있어 그 사용이 점점 널리 퍼지기 시작하였으나, 그 특성상 연성이 풍부하고 고온에는 취약하여 화재 시에는 구조적 성능을 발휘하지 못하기 때문에 시공시에 열에 저항할 수 있는 보강공법이 요구되고 있다.

내화구조는 화재시 화재현장에 소방장비가 도착할 때까지의 건축물의 구조적 안전성을 도모하기 위한(화재시 불에 타지 않는 불연/준불연/난연 재료와 동일하다고는 할 수 없다.) 구조로서, 최근까지 국내에서 내화구조로 인정받은 철골 피복 공법은 크게 보드피복, 뽕칠피복, 철골피복 세가지로 분류할 수 있다.

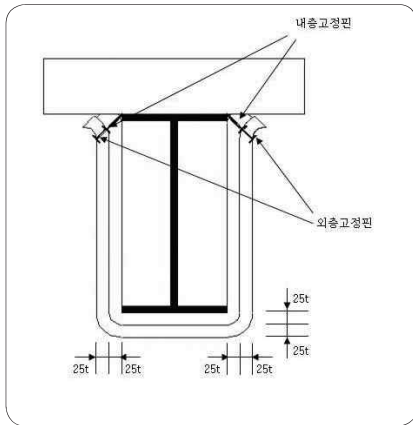
보드피복은 석고보드 등의 무기질 판형재료로서 철골을 감싸는 구조이며, 뽕칠피복은 석고나 질석 등의 무기질 재료를 물에 혼합하여 철골에 스프레이하는 공법이다. 도료피복은 발포 또는 팽창기능이 있는 기능성 도료를 철골에 1mm 정도의 두께로 도포하는 공법으로 화재시에는 수십~수백배 발포하여 철골하는 보호한다.

앞서 소개한 공법 이외에 세라믹으로 철골을 피복하는 공법이 개발되어 국내에 유입되고 최근 내화구조로 인정받은 사례가 있다. 세라믹은 국내에서도 1986년 KS로 제정되어 산업계에서는 여러 분야에 많이 사용되어 오던 건축자재이며 특히 고온에서의 안정성과 낮은 열전도율로 인하여 차열 또는 차열이 요구되는 내화, 방화, 불연이 요구되는 부위에 사용되어 왔다. 일본에서는 세라믹이 이미 내화피복 공법으로 개발되어 사용되어져 왔으나 국내에서는 시공방법에 대한 개발 미흡과 상대적으로 고비용의 이유로 유입이 미뤄져 왔다.

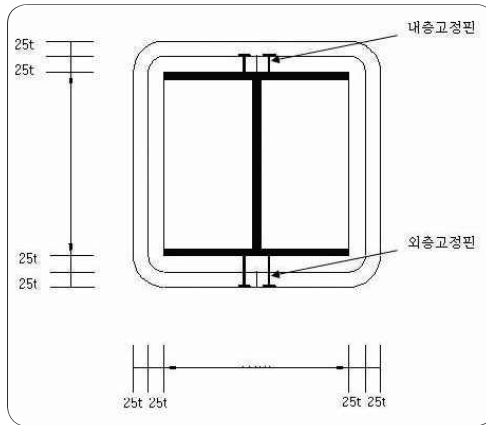
국내에서는 KS L 9104(세라믹을 섬유 블랭킷) 제품을 사용하여 내화구조로 인정받은 세라믹을 피복공법은 철골 보와 기둥에 적용되는 기법이며 그 피복두께는 50mm로 2시간의 내화성능을 나타내고 있다. 내화성능 2시간이라 함은 철골이 1000℃ 내외의 표준가열온도에서 2시간 동안 철골의 항복온도인 평균 538℃, 최고 549℃를 초과하지 않는다는 것으로 화재시에도 2시간동안 철골이 구조적으로 안전성을 유지할 수 있음을 의미한다.

세라믹을 피복 공법은 뿔칠피복이나 도료피복 공법과 비교하여 건식 공법으로 양생기간이 소요되지 않기 때문에 시공기간에 있어 매우 많은 이점을 지니고 있으며 내화성능도 뿔칠공법에 비해 동등하거나 그 이상의 성능이 나타나고 있다.

또한 보드피복공법에 비해 재료의 자중이 매우 가볍기 때문에 건축물의 경량화에 기여할 수 있는 우수한 내화재료이며, 설비가 관통되거나 기타 시공상의 이유로 피복부위를 절개를 하여야 하는 경우 그 재료의 유연성이 뛰어나 시공장소에 구애를 받지 않고 시공이 가능하다.



<그림 1> 세라믹을 피복 철골 보



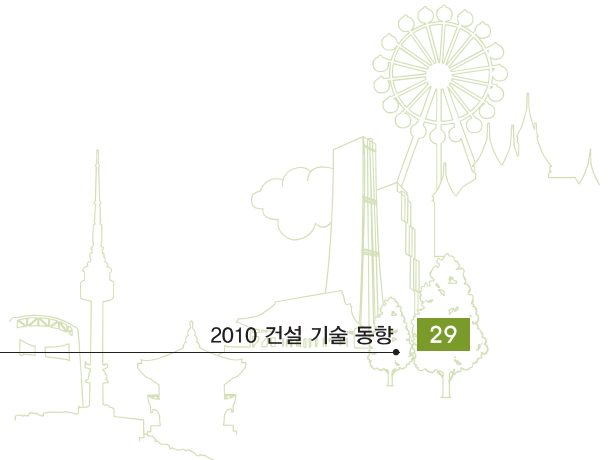
<그림 2> 세라믹을 피복 철골 기둥

이 공법은 그 특성상 시공 시에 재단이나 절단시에 먼지가 비산될 수 있고 시공 후에도 외기에 노출이 된다면 생활 환경이나 구조의 내구성에 불리한 영향을 미칠 수 있기 때문에 작업환경이나 구조의 마감에 신중을 기해야 할 것이다.

세라믹을 피복공법은 내화성능이 우수하고 시공의 유연성, 자재의 경량성, 빠른 공기 등 많은 장점을 지니고 있기 때문에 보드, 뿔칠, 도료피복으로 대변되는 국내 내화피복 현장에 공법과 재료의 다양성을 제공하면서 그 사용성이 점점 확대될 것으로 기대된다.

■ 출처

1. 耐火被覆材 ファイアガード - イソライト工業株式会社
2. <http://www.kccworld.co.kr/>



내화성능설계 기술현황

옥치열 (화재안전연구소 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 화재대응기술

키워드

내화구조, 성능설계, 철골구조

01

화재안전

1. 개요 최근 건축물은 건설기술의 발달에 따라 점차 고층화, 대형화 되어지고 있으며, 동시에 화재의 위험 또한 증가하고 있다. 따라서, 화재시 건축물의 구조적 안전성에 대한 관심이 증가하고 있다.

국내의 건축물은 구조부재에 대한 내화시험을 통해 인정하도록 규정되어 있으나, 시험체의 규모 및 시험장비의 한계성에 의해 실제 현장에 적용되어지는 주요 건축부재에 대해 모두 시험을 통해 그 성능을 인정하기에는 한계가 있는 실정이다.

이에 따라, 최근들어 건축물의 주요구조부에 대해 현행과 같은 부재성능시험을 통한 인정과 더불어, 여러 종류의 건축부재에 대해 경제적이고 효율적으로 성능을 확인할 수 있는 내화성능에 대한 계산적 설계방법의 필요성이 대두되어지고 있다. 본 논문에서는 최근에 제시되어지고 있는 내화성능 설계방법중 유럽기준(EC 3.2)에 의한 설계방법을 소개하고자 한다.

2. 주요내용 국내에서는 관련 규정에 따라 철골구조에 대해 내화구조 성능인정을 받기위해서는 철골이 화재시 견딜수 있는 한계온도 평균 538℃, 최고 649℃의 온도를 내화피복된 상황에서 그 철골부재가 도달하지 않도록 규정하고 있으며, 내화시험을 위한 철골부재 또한 H형강의 단일부재로 한정되어 있다. 즉, H형강 이외의 부재에 대한 성능판단을 위한 근거나 관련 조사가 부족한 실정이다.

유럽기준인 EC기준은 각 부재의 프로필 계수(Profile factor)를 변수로 하여 부재의 가열상승온도를 측정한다. 프로필 계수는 부피와 단면적의 비(V/A)이며 각 부재 크기별로 다르게 되며 중량부재일수록 온도 상승이 느리고, 경량부재일수록 빠른 경향을 보이고 있다. 여기에 하중비를 고려하여 한계온도를 산정하고 있으므로, 각 하중의 상태에 따라 한계온도가 차별화 하여 적용하고 있다.

따라서, 실제로 내화성능을 평가하기 위한 기준으로 국내는 철골의 온도로만 판단을 하게 되나, 유럽기준으로는 온도 및 강도에 대한 검증이 같이 이루어지고 있다. 이 경우, 국내에서는 시험에 의해서만 내화성능을 판단하게 되므로 아직 현실적으로 다양한 형태의 구조부재에 대해 판단하기에는 부족한 면이 있다. 기둥의 경우 H-300×300 보다 큰 단면에서 실제보다 강재온도가 높게 예측되어 내화성능이 저평가될 수 있는 소지가 있다.

〈표 1〉 국내 내화기준과 유럽기준의 특징 비교

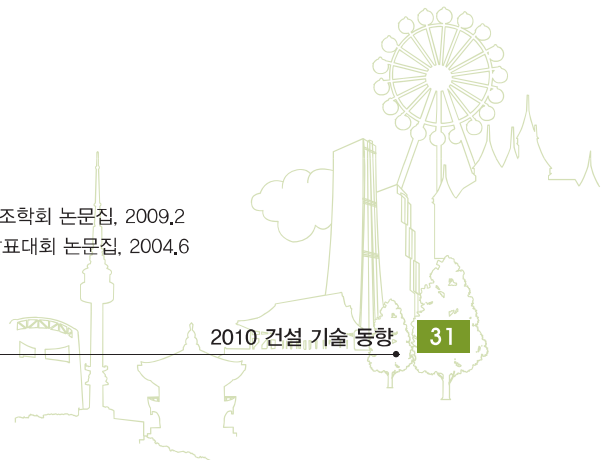
항 목		국 내	유 럽
내화성능		1, 2, 3시간	30, 60, 90, 120분
부재크기		H형강	프로필계수
한계온도		538℃	강도비에 따라 변함. 강도비가 0.65일 때 538℃
화재하중효과		-	화재시 하중계수 규정
내화성능 평가항목	온도	강재의 온도가 한계온도 이내	강재의 온도가 한계온도 이내
	강도	-	화재시 설계강도와 소요강도를 산정

3. 결론 온도에 의한 피복두께를 인정하는 국내의 내화구조의 인정방식이 해당 시험체의 온도적인 측면만을 고려했을 때는 어느정도 안전성을 확보할 수 있으나, 현재의 국내의 내화구조의 인정을 위한 평가방법은 내력에 대한 고려가 이루어지지 않아 실제 화재시 구조적으로 내력저하에 대한 평가가 이루어지지 못하고 있다.

따라서, 내화성능을 판단하기 위해 재료의 물성치에 대한 보다 자세한 기초 조사가 선행되어야 하며, 그 결과 실제 내화시험으로 검증하기 어려운 여러 구조에 대해 이론적으로 예측할 수 있는 토대가 마련되어야 할 것이다.

■ 출처

1. 국토해양부 고시 제2009-864호, 내화구조의 인정 및 관리기준
2. 신태송(2009), 국내 피복 철골기둥의 내화성능 분석 및 평가, 한국강구조학회 논문집, 2009.2
3. 신태송(2004), 화재시 철골보의 내화성능 평가, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 2004.6



건축물 피난구조 기술현황

인기호 (화재안전연구실 / 기술원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 지진대응

키워드

- 방화구조, 양방향 피난,
- 하향식 피난

01

화
재
안
전

1. 개요

우리나라의 주거문화는 공동주택인 아파트가 주택의 50%이상을 차지하고 있으며, 최근 5년 동안에도 약200만호 이상의 공동주택이 건설되었으며 앞으로도 많은 공동주택이 지속적으로 공급 될 것이다. 공동주택은 건설기술의 발전과 더불어 고층화 및 주거와 상가의 복합화 등 다양한 형태로 변화하면서 단일 건축물에 많은 사람이 주거하면서 공동주택의 편리성을 누리고 있다. 그러나 최근 서울 도심의 한 공동주택에서 발생한 화재를 피해 외부(난간)로 탈출을 시도하다 추락하는 인명사고 장면이 전국적으로 보도되어 매우 충격적이었다.

최근 공동주택 화재로 인한 추락 사고는 2006년 5건에서 2007년 12건, 2008년 20건으로 매년 증가하고 있으며 이로 인한 인명피해도 2006년 6명에서 2008년에는 13명을 급증하였다.¹⁾

현재 국내 기준은 공동주택의 화재를 대비하여 방화구획을 설치하도록 하고 4층 이상의 각 층에는 대피공간을 확보하거나 인접세대의 벽을 파괴하고 피난 할 수 있도록 의무화 하고 있다.

그러나 최근 공동주택 화재시 대피 및 피난 방법을 선택적으로 적용 할 수 있도록 기존의 피난 방법 이외에 하향식 피난 방법을 추가하여 제도 개정을 추진 중에 있다. 하향식 피난방법은 일본 등에서는 오래전부터 사용하고 있는 공동주택의 피난구조로 화재안전성 및 도난, 방범 문제 등이 검증되어 공동주택의 피난 방법 많이 사용되고 있다. 이런 하향식 피난 구조를 국내 공동주택에 적용 할 수 있도록 하고 있어 조만간 국내 공동주택에서도 피난방법을 다양하게 선택하여 적용 할 수 있어 화재로 인한 인명피해를 최소화는 물론 편리하고 안전한 주거 공간을 확보 할 수 있도록 제도에 반영한 하향식 피난구에 대하여 소개하고자 한다.

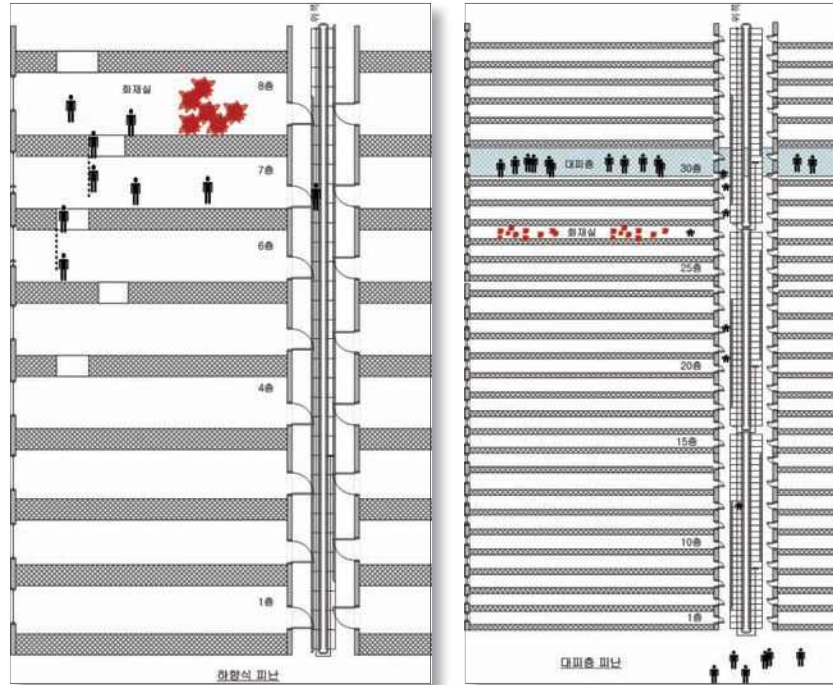
2. 주요내용

국내 건축법에서는 공동주택 중 아파트로서 4층 이상의 각 세대에는 2개 이상(양방향 피난)의 직통계단을 설치하도록 하고 있으며, 양방향 피난 계단을 설치 할 수 없는 경우에는 별도 기준에 따라 성능이 확보된 대피공간을 설치하거나 인접 세대에 설치되는 경계 벽을 파괴하기 쉬운 경량구조로 설치하여 양방향 피난을 할 수 있도록 하고 있으나, 현재 적용하고 있는 공동주택의 피난 방법을 건설 기술의 발전에 맞추어 다양한 구조로 현장 조건에 적합하게 선택적으로 적용 할 수 있도록 하기위해 선진 건설 기술에서도 검증된 하향식 피난방법(그림 1)을 반영한 것으로 보인다.

이는 공동주택의 대피 공간 설치 및 피난 방법을 현장 조건 · 계획에 맞추어 적용 할 수 있도록 다양화하여 공동주

택의 화재 안전성을 향상하였으며, 또한 국내 에서 지속적으로 증가하고 있는 초고층(50층 이상, 200M이상)건축물의 화재 안전을 고려하여 30층마다 1개 층 전체를 대피 층<그림 1>으로 규정하여 초고층 공동주택 화재시 인명 피해를 최소화 하고자 한 것이다.

<그림 1> 하향식 피난 및 대피 층



이렇게 현실적으로 공동주택에서 양방피난이 용이한 하향식 피난구의 설치는 건설사 및 세대주 모두 만족 할 수 있는 편리하고 안전한 피난방법으로 현재 시공 또는 계획 중인 현장에서도 하향식 피난 구를 적용을 적극 검토 하고 있다.

3. 결론 현재 공동주택의 화재시를 대비하여 규정한 대피공간설치 및 인접세대의 경계 벽을 파괴하고 피난하는 구조는 관리 및 설계상 비현실적인 방법으로 실질적인 효과를 얻지 못하는 구조이나, 이번 제도 개정 시 반영 예정인 하향식 피난 방법은 매우 편리하고 안전하게 피난을 할 수 있고, 또한 저렴한 공사비용으로 건설사 및 사용자가 쉽게 선택하여 적용 할 수 있는 것으로 많은 건설 현장에 적용 될 것으로 보인다.

그러나 현재 하향식 피난구에 대한 안전성능 기준이 세부적으로 마련되지 않아 설치 후 피난 및 화재 안전상의 문제점이 발생할 우려가 있어 제도 시행 이전에 우리나라의 주거문화 등을 고려하여 화재확산 방지 및 피난 안전성 등 세부적인 성능기준을 마련하고, 성능이 확보된 구조를 현장에 적용 할 수 있도록 하여 공동주택의 화재확산·추락 및 질식 등으로 인한 인명 피해를 최소화 할 수 있도록 다시 한 번 확인하여 국민의 안전을 최우선으로 반영한 국가 정책이 되어야 할 것이다.

- 출처 : 1. 소방방재신문¹⁾
- 2. 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 개정(안) 2009.6

초고층 건축물의 제연시스템 기술현황

김정업 (화재안전연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 화재대응

키워드

- 초고층 건축물, 제연시스템,
- 피난안전

01

화재안전

건축물 제연시스템은 건축물에서 화재발생시 피난경로, 대피지역 및 소방활동거점지역에의 연기농도와 연기확산을 제어하여 피난과 소방활동이 원활히 이루어지도록 지원하는 시스템이다. 제연시스템과 관련하여 국내에서는 표 1과 같이 거실에 대한 배연기준과 피난계단 및 부속실에 대한 제연기준이 제시되고 있으나, 초고층 건축물에서는 고층의 강한 풍압, 층고증가, 연돌효과 및 구획실간 과압발생 등의 원인으로 인하여 국내 설계기준에 따른 제연설비가 설치되기 힘들거나 적용되어도 연기안전을 확보하기 어려울 수 있다.

〈표 1〉 국내 제연시스템 설계기준

구분	품질기준		피난계단 및 부속실에 대한 제연기준
방법	자연배연	기계배연	압력차
설계수단	배연창	배연설비	급기가압설비
관련법규	건축물의 설비기준등에 관한 규칙	제연설비의 화재안전기준 (NFSC 501)	특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A)
초고층 건축물에 대한 적용성	● 고층의 강한 풍압으로 배연 효과에 대한 신뢰성 저하	● 배연덕트 설치로 인한 층고증가	● 구획실간 과압 발생 ● 연돌효과로 인한 압력장 교란 ● 피난문 개방시 차압유지 곤란

선진외국에서는 구획(Compartment), 가압(Pressurization), 유동(Airflow), 배연(Exhaust), 부력(Buoyancy) 등의 제배연 기법을 바탕으로 초고층 건축물의 화재, 건축, 피난, 연기유동, 설비적 특성을 반영하는 PBD 설계방안을 적용하여 비용효과적으로 연기안전을 확보할 수 있는 초고층 건축물의 제연시스템을 개발하여 적용하고 있다. PBD 연기안전 설계에서는 연기안전 목표와 기능적 요구조건을 설정하고 화재시나리오를 작성한 후 수치해석프로그램이나 설계DB를 활용하여 화재시나리오에 따른 연기 안전성을 평가하도록 하고 있으며, 설계수단으로 연기확산, 화염전파 등의 프로그램과 재료의 발열량, 화재실에서의 연소속도, 화재지속시간, 연기발생량 등의 설계DB가 개발되어 활용되고 있다.

미국에서는 초고층 건축물의 거실에 대한 제연방식은 80년대 이전에는 주로 화재에 의해 발생하는 연기를 배출시키는 설비의 설치가 요구되었으나, 90년대 초고층 건축물의 층수가 올라가면서 배연덕트에 따른 층고증가와 복잡한 설비로 인하여 기계배연시스템이 배제되게 되었다. 한편 화재공학적 해석과 실규모 실험 결과를 바탕으로 가압과 감

압에 의한 구획간 연기유동 제어를 기반으로 하는 Zoned Smoke Control 기법이 90년대에 개발되어 관련 설계기준과 DB가 확립되었다. Zoned Smoke Control 기법의 기본원리는 건축물에서 화재발생시 발화지역의 제연구역에서는 연기를 배연하고 그 주변구역에는 가압을 수행함으로써 연기의 확산을 방지하는 기법이다.

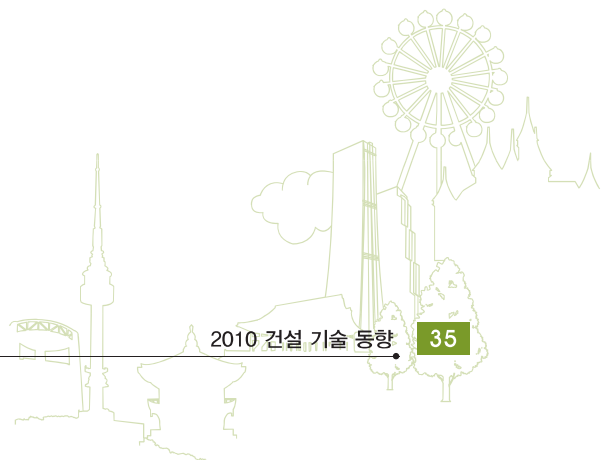
WTC 사고에 대한 후속연구(Federal Building and Fire Safety Investigation of the WTC Disaster)에서 Zoned Smoke Control 기법 중 Core Pressurization, Building Pressurization, Sandwich Pressurization 등 다양한 방안에 대한 성능을 평가하였다. 각 방식에 대한 분석결과 1 zone/loor 단위의 층별 가압 및 감압을 수행하는 Sandwich Pressurization 제연시스템의 효과가 가장 뛰어난 것으로 판단되며, 국내·외에서 향후 설계되는 초고층 건축물의 거실 제연시스템으로 Sandwich Pressurization 방식의 적용이 증가할 것으로 예상된다. 표2는 현재 운영중인 초고층 건축물의 거실 제연시스템에 대한 현황을 보여주고 있다.

〈표 2〉 초고층 건축물 제연시스템 적용 현황

건물명	Burj Dubai	Jin Mao Building	Petronas Towers	101 Tower	Sears Tower
위치	(Burj Khalifa)	상하이	쿠알라룸푸르	타이페이	(Willis Tower)
높이(m)	두바이	421	452	508	시카고
층수	828	88	88	101	442
준공년도	162	1999	1998	2004	108
거실 제연방식	2010	sandwich 가압	sandwich 가압	복도 가압	1974

■ 관련(참고)사이트
<http://wtc.nist.gov>

■ 출처
<http://wtc.nist.gov/pubs/NISTNCSTAR1-4DDraft.pdf>



목조 건축물 내화구조 기술현황

안재홍 (화재안전연구소 / 수석연구원)

>> 1차분류 | 재해안전 대응기술
>> 2차분류 | 지진 대응기술

키워드

목구조, 탄화두께, 내화구조

01

화
재
안
전

1. 개요

내화구조는 건축물의 화재시 재실자가 대피할 수 있는 피난시간을 확보하고 일정시간 동안 건물의 붕괴를 막기 위한 것으로서 화재저항성을 가진 주요 건축부재 또는 구조시스템을 말한다. 건축물의 화재안전을 확보하는 방법은 크게 사양적 설계방법(prescriptive design)과 성능적 설계방법(performance based design)으로 구분할 수 있다. 국내에서는 거의 사양적 설계방법에 의존하고 있는데 목조건축에 대해서는 사양적 기준마저도 미흡한 형편이다. 현재 성능적 설계방법에 대한 연구가 학계 및 국책연구소 위주로 진행되고 있으나 아직 실용화단계에는 못 미치고 있다.

현대 건축의 복잡화, 다양화, 대형화 추세와 새로운 소재 및 시공기술의 발전은 사양적 설계만으로는 해결하기 곤란한 여러 문제점에 직면하게 되며, 이의 극복을 위해서는 다양한 조건에 적합한 합리적 방안을 제공할 수 있는 성능설계의 도입과 실행이 필수적이라 하겠다.

최근 국내에는 전 세계적인 에너지 위기와 함께 정부의 저탄소 녹색성장 정책과 맞물려 전통한옥을 비롯한 친환경 목조건축의 활성화에 대한 기대가 어느때보다도 활발하다. 그러나 목조건축과 관련한 국내의 기술적 제도적 기반은 아직 취약한 편이며, 특히 화재안전과 관련한 분야는 거의 전무한 형편이다.

2. 주요내용

● 목조 내화구조 설계기준

내화구조의 설계는 건축물 화재시 일정시간 동안 피난시간의 확보, 소방활동의 안전성 확보, 건축물 내의 화재확산 방지 및 구조적 붕괴 방지를 목적으로 한다. 이를 위해 각국에서는 건축물의 요소별 내화안전기준을 규정하고 건축물의 용도와 규모별로 요구 내화시간을 정하고 있다.

내화설계에 있어 사양적 방법은 표준화재조건에서 보, 기둥, 벽, 지붕 등의 개별 건축요소별로 성능이 확인된 부재 또는 시스템에 대해 선택적으로 사용하는 방법이다. 이에 비해 성능적 방법은 자연화재 상태에서의 실제 화재하중과, 환기조건, 소화설비 작동 유무, 재실인원 및 피난시간 등의 복합적인 화재확산 영향요인을 감안한 예측기법을 사용한다.

사양적 방법은 직접선택의 용이성과 설계가 간편하다는 장점이 있는 반면 비경제적이면서 다양한 공간의 특성을 반영하지 못한다는 단점이 있다. 반면 성능적설계법은 방대한 재료정보의 확보와 복잡한 설계과정을 거쳐야 하지만 공간의 형태와 규모에 관계없이 합리적 설계수단을 제공한다는 장점을 갖는다.

영국을 비롯한 유럽국가들과 북미, 일본, 호주, 뉴질랜드 등의 경우 종래의 사양적방법과 성능적방법을 병용하고 있으나, 아직 국내에는 거의 사양적 설계방법에 의존하고 있다.

● 해외 목구조 화재안전설계

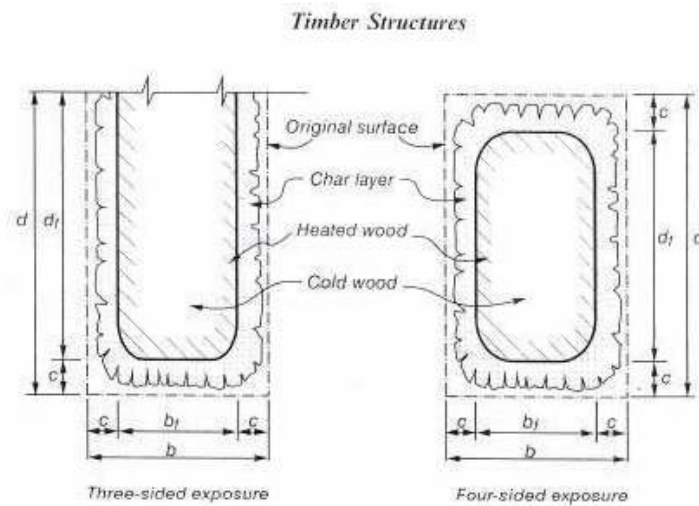
목재는 화재에 노출되었을 때 일정 온도 이상 상승하게 되면 연소하게 된다. 목재의 단면 $b \times d$ 가 화재에 노출되어 잔존단면 $b_f \times d_f$ 로 줄어들었을 때 노출면의 탄화깊이는 다음과 같다.

$$c = \beta t \quad \text{식 (1)}$$

여기서 c = 탄화깊이(mm), β = 탄화속도(mm/min), t = 시간(min)

<그림 1> 에서 보는 바와 같이 이 때 잔존단면은 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\begin{aligned} b_f &= b - 2c \\ d_f &= d - c \quad (\text{3면가열}) \\ d_f &= d - 2c \quad (\text{4면가열}) \end{aligned} \quad \text{식 (2)}$$



<그림 1> 3면가열 및 4면가열 목재 보의 탄화

유럽의 목구조설계기준(Eurocode 5)에서 제시하고 있는 목재의 탄화깊이 모델은 식(1)과 같으며, 탄화속도 β 는 탄화깊이와 시간과의 관계에서 얻어진다. 한편 목재 단면 코너부분의 탄화는 일반면보다 약 10%정도 더 발생하기 때문에 목구조 화재설계시에는 이를 고려한 가상의 탄화깊이를 적용하기도 한다. 표2는 Eurocode 5(EC5, 1994)에서 권장하는 목재의 탄화속도 기준값이다.

미국 Wood Handbook의 기준은 White가 제시한 비선형 모델식을 따른다.

〈표 1〉 목재의 탄화속도

Material	Minimum density (kg/m ³)	Char rate	
		B (mm/min)	B1 (mm/min)
Glue-laminated softwood timber	290	0.64	0.70
Solid or glue-laminated hardwood timber	450	0.50	0.55
Softwood panel products(plywood, particle board) minimum thickness 20mm	450	0.9	

β : 측정탄화깊이에 의한 탄화속도 β_1 : 가상 탄화속도

01

$$\beta = 2,58\beta_n t^{0.167} \quad \text{식 (3)}$$

여기서 β_n = 측정 탄화속도(1시간 가열시 0.635mm/min),

t = 시간(min)

시간 t (min)에서의 탄화두께 설계값 c (mm)는 다음과 같다.

$$c = \beta t = 2.58 \beta_n t^{0.813} \quad \text{식 (4)}$$

화재안전

식(3)은 단면 코너의 곡률을 고려한 것으로서 일반면 측정탄화속도의 약 20%정도를 더 가중한 것이다. White의 모델식은 1시간까지는 탄화깊이-시간의 1차 함수 직선과의 차이가 그리 크지 않으나, 2시간 이후부터는 탄화속도가 줄어드는 것으로 나타난다. 몇몇 수종에 대해서는 ASTM E 119 표준화재조건 실험에서 경험적으로 얻어진 간단한 예측식이 이용되기도 한다.

뉴질랜드의 경우 목재 두께 90mm 이상이면 탄화층 아랫부분은 화재의 영향이 없는 것으로 간주하고 있으며, Radiata pine 집성목에 대한 밀도-탄화속도의 관계 실험결과로부터 목재의 탄화속도를 0.65mm/min로 규정하고 있다.

이상과 같이 각국은 목재의 탄화속도에 대한 사양적 기준 또는 모델식을 통한 예측방법을 사용하고 있으며, 이를 통해 산출된 화재 노출 후의 유효단면 정보와 목재의 강도, 탄성계수 등의 물리적 특성, 복합시스템에 사용되는 자재의 열전달특성, 접합부처리에 관한 사항 등 다양한 인자를 포함한 목구조내화설계를 실시하고 있다.

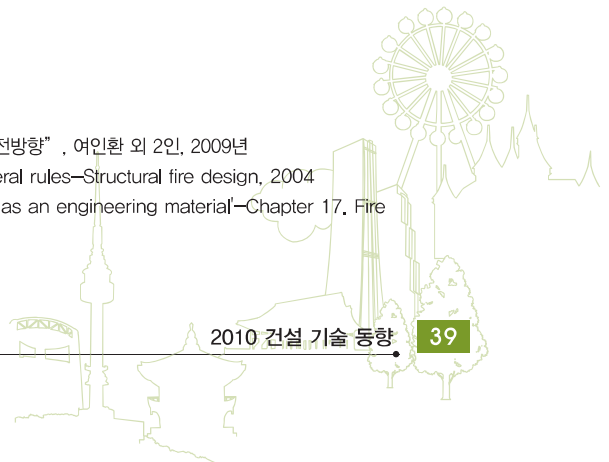
3. 결론

화재안전과 관련하여 목조건축물에 대한 국내의 기술기준은 아직 초보적인 단계에 있다. 최근의 사회, 경제적 여건의 변화와 환경문제에 대한 공감 및 인식의 일반화는 전통건축에 대한 관심으로 이어지고 있고 저에너지형 친환경건축으로서 목조건축의 활성화방안이 활발하게 논의되고 있다.

목조건축의 규모가 커지고 집단적 형태의 공급이 늘어난다고 했을 때 그 기술적 토대에 있어 화재안전기술은 중요한 위치에 있다. 목재가 갖는 재료적 특성을 감안한 기술기준의 일반화 또는 표준화는 관련 산업의 성장을 위한 필수조건이 된다. 한편 성능적 설계방법의 도입과 실행은 새로운 디자인과 공법의 적용을 가능하게 한다. 따라서 내화설계를 비롯한 화재안전설계에 있어 다양한 표준의 정립과 성능적기법의 조화를 달성하기 위한 다각적 차원의 연구와 제도적 보완이 필요하다.

■ 출처

1. 공업화 목조건축 국제학술포지엄- “국내 목조 내화구조 현황 및 향후 발전방향” , 여인환 외 2인, 2009년
2. EN 1995-1 Eurocode 5-Design of timber structures Part1-2 General rules-Structural fire design, 2004
3. Robert H. White & Mark A. Dietsberger, 'Wood Handbook-Wood as an engineering material'-Chapter 17. Fire Safety, Forest Products Laboratory, U.S,D,A Forest Service, 1999.



터널 화재안전 기술 현황

김흥열 (화재안전연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 화재대응기술

키워드

터널, 내화구조, 화재안전설계

01

화
재
안
전

산업화에 따른 도시집중화와 교통량증가에 대응하기 위해 터널의 개발이 활발해지면서 터널에서의 화재발생에 따른 인명 및 재산피해의 최소화를 위한 화재안전기술의 개발이 요구되고 있다. 터널은 반밀폐적 구조로 인하여 화재발생시 효과적인 배연에 많은 어려움이 있으며, 고온의 온도상승과 함께 유독성 연기로 인하여 피난과 소화활동이 불리하고 유사시 대형인명피해의 가능성이 상존하므로, 지하공간 특성 · 화재연소현상 · 소화설비 · 비상환기운용 등 폭넓은 분야에 대한 방재기술의 체계적이고 종합적인 개발이 요구되고 있다. 터널에서 화재가 발생하게 되면 약 1,300℃로 추정되는 고열에 의하여 제반설비의 훼손과 함께 콘크리트 구조체의 폭열(Spalling)현상으로 인하여 심각한 구조적 손상이 발생할 가능성이 높으며, 이로 인한 내력구조물의 붕괴에 의한 2차 피해의 우려가 높으므로 터널구조물의 화재안전 설계 분야에 대한 대응 기술개발이 이루어져야 한다.

선진각국에서는 터널의 화재안전에 깊은 관심을 가지고 종합적인 화재안전기술을 개발하고 있으며, 특히 몽블랑 터널 등 최근의 터널 화재참사를 계기로 ① 반밀폐공간의 화재현상을 해석하기 위한 요소기술 개발 ② 터널 구성재료와 구조의 화재특성자료 DB 구축 ③ 방재시설 및 설비의 신뢰성 · 내화성 향상방안을 제시 등을 위하여 실규모 화재실험과 국제적 화재안전 연구 프로그램을 수행하여 안전한 터널 구축에 심혈을 기울이고 있다. 이러한 노력의 결과로서 신뢰성과 경제성을 모두 만족하는 터널 방재설비 설치기준이 유럽과 북미국가를 중심으로 제시되고 있으며, Fire Risk Analysis 방안과 화염 · 연기확산 예측방안 등의 핵심내용이 포함되어 있다.

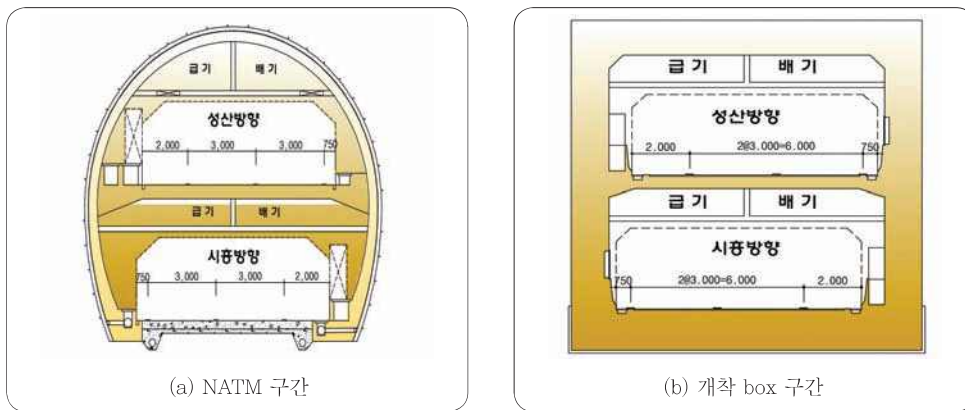


<그림 1> 몽블랑터널 화재



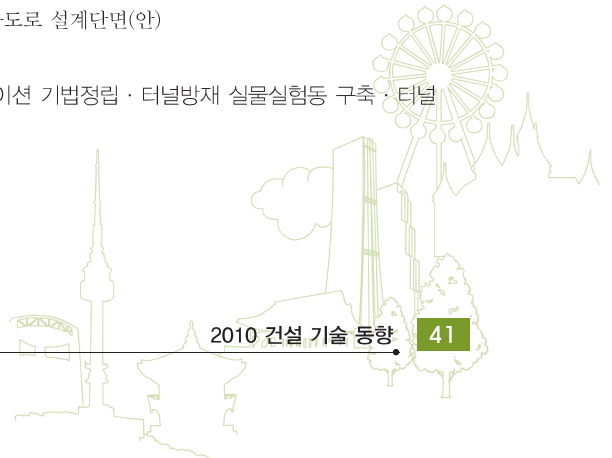
〈그림 2〉 선진외국의 터널 화재안전 기술 개발 현황

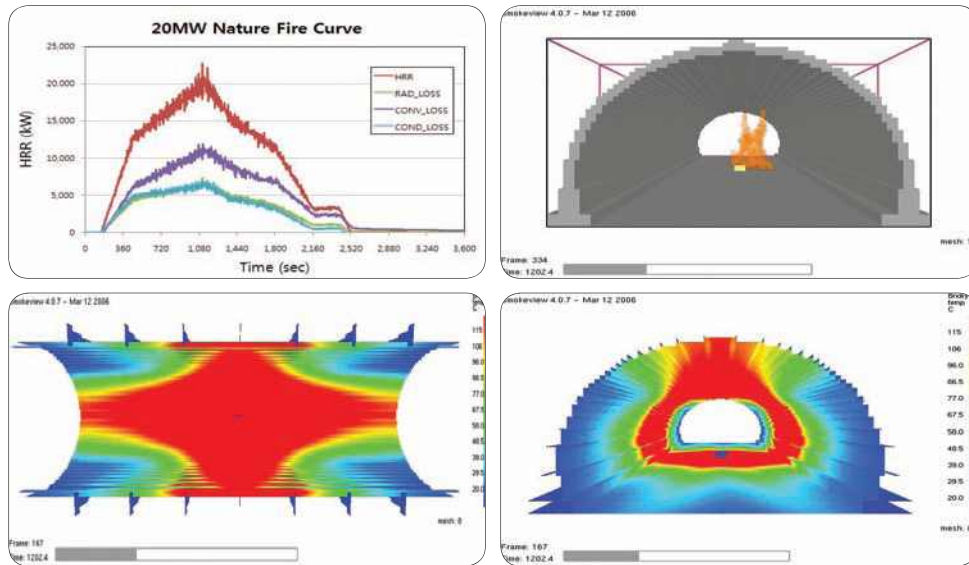
국내에서도 심각한 도심지 교통난 해소와 쾌적한 도시공간을 창출을 위해 정부 또는 민간 주도로 지하도로, 지하고속도로 및 지하광역철도 사업들이 제안되고 있으며, 특히 서울시에서만 약 12개의 지하도로 사업이 제안되어 2008년 현재 올림픽대로 하부 지하도로를 제외한 총 사업비는 약 3조 660억원에 달할 것으로 추정되고 있다. 또한 동탄~서울 삼성 구간을 포함한 3개의 지하 광역철도 구간 건설의 사업비는 10조원으로 추정되고 있는 등 관련 사업의 규모가 매우 크며 경제적·사회적 파급효과 또한 매우 클 것으로 보고되고 있다.



〈그림 3〉 국내 서부간선도로 하부 지하도로 설계단면(안)

현재 국내의 기술개발 수준은 터널내 가연물 DB구축·화재시뮬레이션 기법정립·터널방재 실물실험동 구축·터널 환기 및 제/배연 기술 등 요소기술 개발 등이 수행되고 있다.



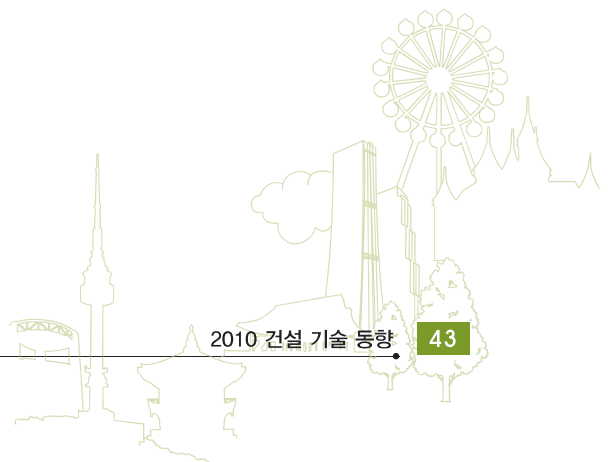


〈그림 4〉 20MW급 터널내 열분포 시뮬레이션 예측(FDS)

그러나 아직까지 국내에서 터널 화재안전 기술은 선진외국의 기술 모방 및 단순 요소기술의 개발에 머물러 있어 화재발생시 터널의 구조적 안전성 확보를 위한 내화설계, 안전한 대피와 신속한 소화활동을 위한 방재환기설비의 설계 및 제어기술 개발을 위한 연구가 시급히 요구된다.

■ 출처

1. 한국건설기술연구원, “철도터널 내화성능 기술개발”, 2009.
2. 한국건설기술연구원, “도심지 대심도 지하도로 건설 기술”, 2009.
3. Ennemak, F., "The Oresund tunnel", International Conference on Fires in Tunnels, Boras, Sweden, October 10-11, 1994.



재료의 연소가스독성평가 방법

이종천 (화재안전연구실)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 화재대응기술

키워드

연기독성, 가스유해성, 연소가스분석

01

화재안전

화재반응시험을 통해 측정할 수 있는 데이터 중에는 연소독성평가 항목이 있다. 건축물의 화재시 재실자를 사망에 이르게 하는 큰 원인중 하나는 내장재에서 발생하는 유독가스에 있으며, 따라서 건축내장재의 사용 적절성 판단을 위해서는 화재시 가스의 발생과 그 유해정도의 측정판단이 매우 중요하다. 국내에서는 KSF2271의 가스유해성시험에서 설치류(쥐)를 이용한 시험을 규정하고 있으며 표1과 같이 국토해양부 고시 제2009-866호에서 규정하는 건축물 내부 마감재료의 난연성기준에서 각 등급(불연재료, 준불연재료, 난연재료)에서 필수로 하는 시험방법으로 정하고 있다. 가스유해성시험은 대상 시험체의 연소로부터 발생하는 가스의 정량 정성적 분석은 불가능하지만 설치류를 대상으로 하는 동물시험으로 명확한 기준(평균행동정지시간 9분)을 제시하고 있기 때문에 화재로 인한 피난시간의 확보에 중요한 지표가 되고 있다.

최근에는 가능한 동물실험을 적게 하는 것으로 가스분석장치를 이용한 독성가스의 정량적 평가방법이 도입되고 있다.

연소독성 평가는 독성가스의 위험성 실태 및 시험방법에 대한 연구가 ISO/TC92/SC3에서 계속 진행되고 있으며 2004년에는 국내에서 KSF ISO TR9122 (화재생성물의 독성시험방법)이 한국산업규격으로 제정되었다. 이 규격에는 화재 시 연소생성물의 독성위험을 평가하는데 필요한 시험방법의 개발에 활용할 수 있는 전반적인 사항, 인명에 위험을 미치는 요소, 연소생성물이 화학적 특성, 화재모델에 의해 발생된 화재 연소생성물의 급성 흡입독성을 정의하기 위해 적합한 방법에 대한 정보, 연소생성물에서 발생된 CO₂, CO, HCl, HCN, HBr, NO_x, H₂S, HF, SO₂등에 대한 분석방법 및 독성평가에 대한 지침 등을 국제규격에 맞도록 표준화하여 건축물의 건축 시 설계자나 시공자가 요구성능을 확보한 재료를 선택하도록 함으로써 화재로 인한 인명 및 재산상의 손실을 경감할 수 있도록 하고 있다.

특히 분석장비를 이용한 연소가스분석에 대하여 국제표준화기구(ISO)에서는 분석방법의 표준화작업을 진행하고 있으며 FT-IR을 이용한 분석방법으로 ISO 19702(Toxicity testing of fire effluents – Analysis of gases and vapours in fire effluents using FTIR technology)에서 구체적인 방법에 대하여 기술하고 있다. 우리 연구원에서도 2002년부터 콘 칼로리미터 및 FT-IR을 도입하여 연소독성평가분야의 선두 역할을 수행하고 있다.

〈표 1〉 난연등급별 성능기준(국내)

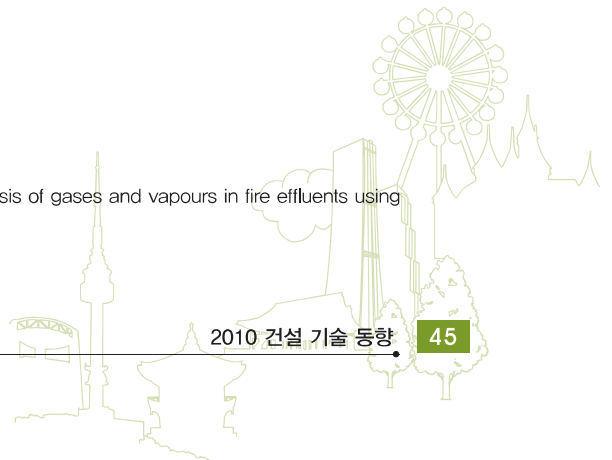
등급	규격	성능기준
불연재료	KS F ISO 1182 (건축재료의 불연성시험방법)	<ul style="list-style-type: none"> ● 가열시험 개시 후 20분간 가열로 내의 최고온도가 최종평형온도를 20K이상 초과 상승하지 않을것(단, 20분 동안 평형에 도달하지 않으면 최종 1분간 평균온도를 최종평형온도로 한다) ● 질량감소율이 30%이하 일것
	KS F 2271 (가스유해성시험)	<ul style="list-style-type: none"> ● 실험용 쥐의 평균행동 정지시간 9분 이상일 것
준불연재료	KS F ISO 5660-1 (큰칼로리미터법)	<ul style="list-style-type: none"> ● 가열 개시 후 10분간 총방출열량 8MJ/m²이하이며, 10분간 최대열방출율이 10초이상 연속으로 200KW/m²을 초과하지 않음. ● 10분간 가열 후 시험체를 관통하는 균열, 구멍 및 용융(복합자재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함)등이 없어야 함.
	KS F 2271 (가스유해성시험)	<ul style="list-style-type: none"> ● 실험용 쥐의 평균행동 정지시간 9분 이상일 것
난연재료	KS F ISO 5660-1 (큰칼로리미터법)	<ul style="list-style-type: none"> ● 가열 개시 후 5분간 총방출열량 8MJ/m²이하이며, 5분간 최대 열방출율이 10초이상 연속으로 200KW/m²을 초과하지 않음. ● 5분간 가열 후 시험체를 관통하는 균열, 구멍 및 용융(복합자재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함)등이 없어야 함.
	KS F 2271 (가스유해성시험)	<ul style="list-style-type: none"> ● 실험용 쥐의 평균행동 정지시간 9분 이상일 것

■ 출처

KS F 2271:2006 건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법

ISO TR 9122-1~6:2004 화재 생성물의 독성 시험

ISO 19702:2006 Toxicity testing of fire effluents – Guidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FTIR gas analysis



에어로겔 블랭킷 활용 고강도 콘크리트 내화피복

여인환 (화재안전연구소 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 화재대응기술

키워드

에어로겔, 내화성능,
고강도콘크리트, 피복공법

01

화
재
안
전

1. 개요 급속한 도시의 성장과 인구집중에 수반되는 효율적 토지이용의 필연성은 향후 초고층건축물의 지속적 증가로 이어질 전망이다. 보통 대규모 복합용도로 건설되는 초고층건축물은 거주성능 측면에서 철골구조보다 유리한 철근콘크리트구조가 주종을 이룰 것이며, 이 때 고강도콘크리트의 사용은 필수적이다. 그러나 고강도콘크리트는 화재시 폭발발생 및 강도저하에 따라 구조물의 붕괴로 이어질 수 있는 취약성을 안고 있다.

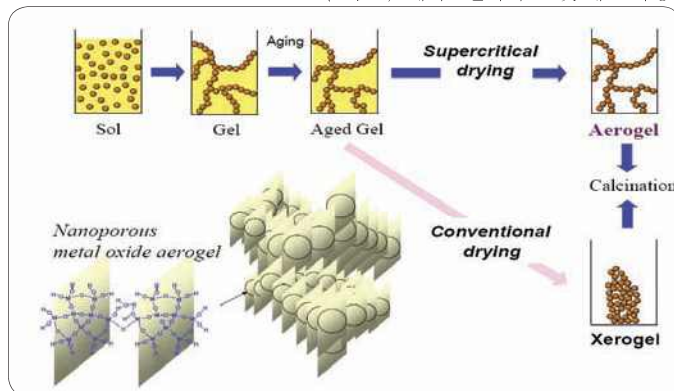
고강도콘크리트의 내화성능 확보 대책은 첫째, 내부의 증기압을 줄여 폭발을 방지하는 방법과 둘째, 구조체의 표면을 피복하여 콘크리트의 온도상승을 차단하는 방법으로 구분된다. 두 번째 방법은 구조체 시공 후 피복재 추가시공 및 이의 유지관리가 필요한 단점이 있으나, 수밀성이 높은 고강도콘크리트의 작업성 저하 문제를 해결하면서도 구조체의 강도손실이 없다는 장점이 있다. 여기에 화재 노출 후 구조물의 재사용성 및 보수용이성도 강점으로 볼 수 있다.

최근 단열성이 매우 우수한 에어로겔(Aerogel)의 활용성에 대해 다양한 산업분야의 관심이 높아지고 있다. 건축에서도 고성능 단열재로서 사용될 수 있으며, 무기질 지지체와 결합하여 고행화하면 고온영역에서의 단열성도 기대할 수 있다. 여기서는 에어로겔블랭킷(Aerogel blanket)을 활용한 고강도콘크리트의 내화피복시스템을 소개하고자 한다.

2. 주요내용 에어로겔은 솔-젤반응에 의하여 제조된 습윤젤을 기-액 계면이 존재하지 않는 초임계 조건에서 수축 없이 건조하여 젤의 기공구조를 그대로 유지할 수 있도록 함으로써 높은 표면적과 기공도, 낮은 밀도를 가지는 물질이다. <그림 1>은 에어로겔의 구조와 제조 과정을 도식화 한 것이다.

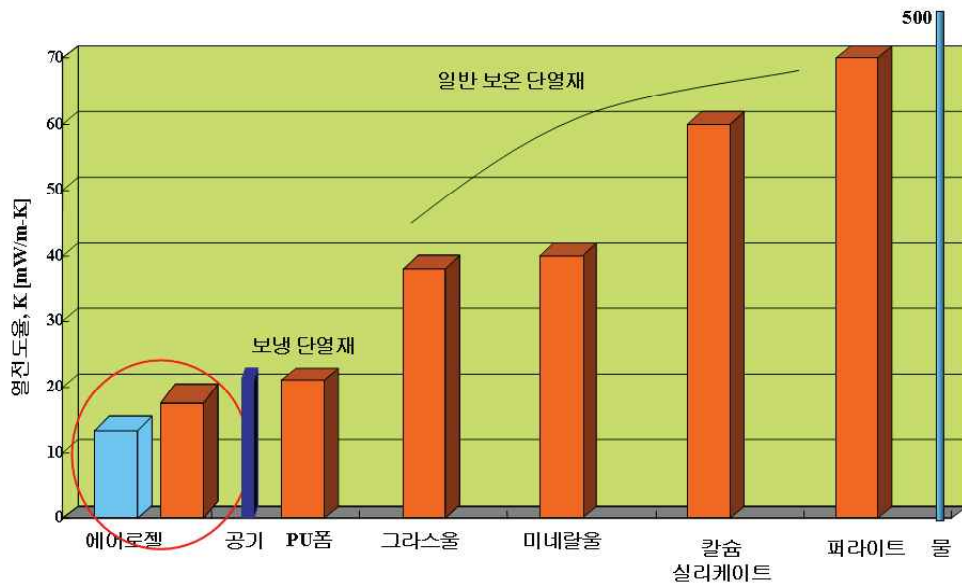
에어로겔은 기공도가 보통 95%이상

<그림 1> 에어로겔의 구조 및 제조 과정



99%까지도 가능하다. 이러한 높은 기공도와 저밀도로 인해 전도가 잘 일어나지 않고 단열재로 매우 우수한 물성을 지니게 된다. 단열재 별 열전도율은 <그림 2>와 같다.

현재 연구개발이 가장 활발한 분야는 실리카에어로젤을 단열재로 활용하기 위한 상용화 기술개발 분야이다. 실리카 에어로젤은 사용목적에 따라 여러 형태로 제조가 가능하고 폐기시에도 환경오염을 시키지 않는 장점이 있다. 현재의 기술로 0,005W/m·K 이하의 열전도도를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 실리카 에어로젤은 800℃ 이상까지도 안정하므로 고온단열재로도 유망하다.

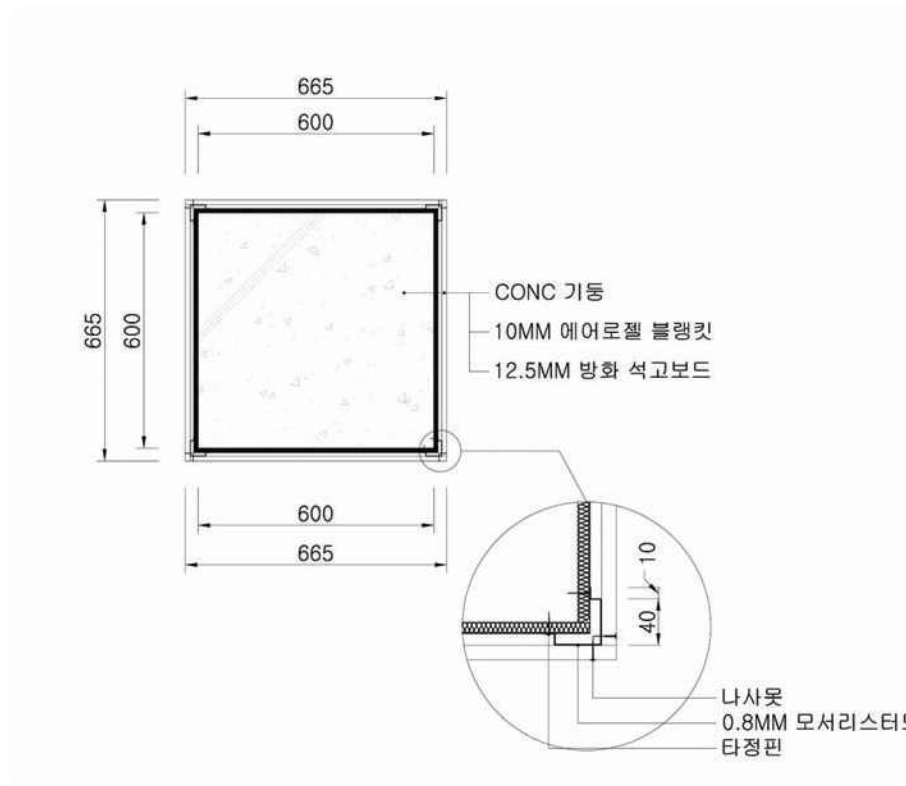


<그림 2> 단열재 별 열전도율

이러한 에어로젤의 고단열성은 고강도콘크리트의 폭발방지를 위한 피복시스템에서 유용하게 활용될 수 있다. 에어로젤 자체는 매우 성긴 상태로서 쉽게 부서지기 때문에 피복재의 형상유지를 위해 미네랄울(Mineral wool), 글래스울(Glass wool) 등의 내화성이 우수한 지지체를 이용하게 된다. 이렇게 제조된 에어로젤 블랭킷은 고온영역에서 단열성이 우수할 뿐만 아니라 두꺼운 천의 형태로 제조되므로 유연하고 성형이 자유로워 시공성이 우수하다는 장점이 있다.

최근의 연구를 통해 60MPa의 고강도콘크리트 기둥에 에어로젤블랭킷과 석고보드를 조합 시공한 피복시스템의 성능을 측정된 결과 기존의 시스템과 비교되는 우수성이 있는 것으로 입증되었다. '에어로젤블랭킷(5mm)+방화석고보드(15mm)'로 구성된 총두께 20mm의 피복으로 3시간 내화성능을 확보할 수 있고, '석고보드+에어로젤블랭킷+석고보드' 구성에서는 바깥쪽의 석고보드와中间的 에어로젤블랭킷이 탈락 없이 잘 유지되는 경우 안쪽의 석고보드는 9.5mm의 일반 석고보드로 구성하더라도 충분한 내화성능 확보가 가능한 것으로 나타났다. 이는 피복두께기준으로 기존시스템의 50~70% 수준이다.

한편 콘크리트 기둥에 폭발방지 용 보강부재가 있더라도 에어로젤블랭킷이 없는 상태에서는 내화성능 확보에 실패한 것으로 나타나 에어로젤 단열효과 의 유의성이 확인되었다. <그림 3>은 '에어로젤+방화석고보드' 피복시스템 구성 예이다.

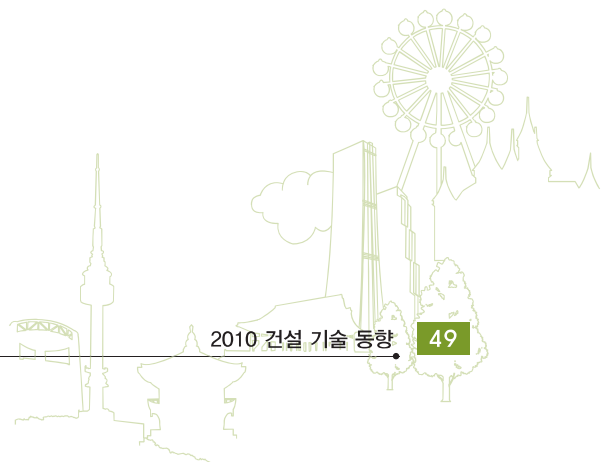


〈그림 3〉 에어로젤+방화석고보드 피복 예(AG(10) + FGB(12.5))

3. 결론 에어로젤은 기공도가 매우 높은 저밀도, 고단열물질로 무기질 지지체와 결합하여 블랭킷 또는 보드 형태로 고형화함으로써 환경성, 시공성이 좋은 내화피복재로 활용할 수 있다. 아직은 가격이 높은 단점이 있으나 사용목적에 적합한 생산표준 구축 및 양산체계를 갖춘다면 건축물의 에너지 저감 및 화재안전성 확보를 위한 고효율 단열재로 널리 이용될 수 있을 것으로 전망된다.

■ 출처

1. 한국건설기술연구원, 고강도콘크리트 피복용 내화보드의 화재안전성능 평가연구, 건기연2010-011, 2010.4
2. 한국과학기술정보원, 초다공성 에어로젤의 제조 및 응용, 2005.12



RC보 내화성능에 대한 에너지 기반 평가방법

Energy based time equivalent approach for evaluating fire resistance of reinforced concrete beams

전수민 (화재안전연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 화재안전 대응기술
- >> 2차분류 | 화재 대응기술

키워드

Energy based time equivalent method,
Fire resistance, Reinforced concrete beam

01

화
재
안
전

1. 개요 및 배경 부재의 내화성능 평가에 대하여 등가면적, 최고온도, 최대하중, CIB, Law, Eurocode formulae 등의 기존 접근방법의 대안으로 에너지를 고려한 접근방법, 구체적으로는 RC보의 내화성능 평가를 위한 에너지 기반 등가시간 활용방법이 제시되었다. 기존 등가면적법은 실제 화재와 비교할 때 단기 고온 화재의 열전달은 과소평가되고 장기 저온 화재의 열전달은 과대평가되는 등의 단점이 있고, 최고온도법은 RC부재 평가시 단면의 구체적인 온도분석이 수반되어야 의미가 있기 때문에 실무 적용이 용이하지 않으며 아직까지는 검증이 부족한 상태이다. 또한 등가면적법 외의 방법은 통상 유한요소해석이 수반되기 때문에 실무 적용이 용이하지 않아 보다 현실적이고 간편한 본 대안이 제시되었다.

2. 등가 에너지 방법 사양설계의 경우 표준화재조건에서 부재의 내화성능을 평가하는 반면 성능설계의 경우 가연물, 환기, 마감재 등 공간의 특성에 따른 다양한 화재 시나리오가 고려된 조건에서 부재의 내화성능을 평가한다. 후자와 전자의 화재강도를 비교하여 대처가능한 값을 찾아내기 위하여 등가에너지 이론을 활용한다. 등가에너지 이론은 부재에 전달된 에너지 총량으로 화재강도를 추정하므로 면적 방식이나 온도 방식보다 현실적이며 합리적이다. 화재에 노출된 RC보에 대류와 복사를 통해 열전달되는 에너지총량(E)은 다음 식으로 표현된다.

$$E = \alpha A \int (4\sigma \varepsilon T_f^4 + h_c T_f) dt \quad \text{또는}$$
$$E = \alpha A \times \text{Area under heat flux curve} \left(\frac{q}{\alpha} \right)$$

또한, 유한요소해석에 의한 등가시간($t_{e(FE)}$)은 다음 식으로 표현된다.

$$t_{e(FE)} = (1.6 - 0.0004 \times T_{\max}) t_{e(\text{energy})}$$

그리고, 설계화재와 표준화재의 heat flux 곡선면적이 다음 그래프와 같이 동일한 시점(A=B)을 등가시간으로 볼 수 있다. 이러한 접근은 공간의 온도가 균일하고 부재의 열전도계수와 방사율이 균일한 경우 적용가능하다.

저자가 제시한 에너지 기반 방법의 적용 사례를 살펴보면 특정 화재 시나리오(FS1) 조건에서 RC보에 전달되는 설계화재와 표준화재의 에너지 총량은 다음 표와 같이 303분 시점(te(energy))에서 같아진다(ED=ES), 또한, 논문에 제시된 RC보에 대하여 표준화재 조건을 가정하고 유한요소해석을 하면 내화성능은 277분으로 산정된다. 등가시간이 내화성능보다 크므로 이 사례의 RC보는 내화성능이 확보되지 않는다. FS1 조건에 적합한 안정적인 등가시간은 상기 식을 활용하여 단순계산가능하며 이 경우 유한요소해석은 불요하다. FS1의 최고온도(Tmax)는 1270°C이며 보정된 등가시간(te(FE))은 330분으로 계산된다. 즉, FS1에 적합한 RC보는 표준 화재조건에서 330분 이상의 내화성능이 확보되어야 한다. 이와 같이 설계화재의 실제 등가시간을 세부적인 유한요소해석 없이 간단한 몇가지 계산과정을 거쳐 산정할 수 있는 것이다.

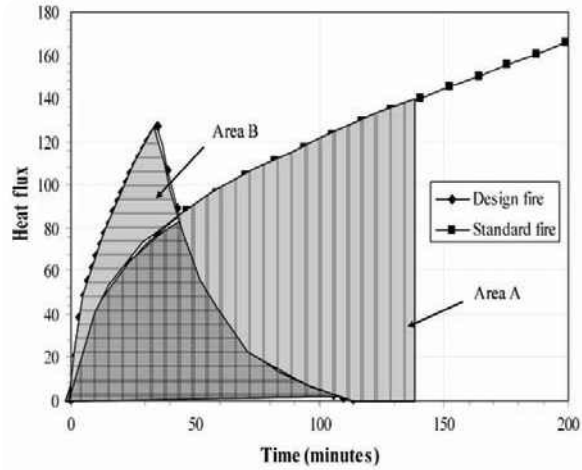


Fig. 5. Equivalent energy concept for standard and design fire.

Time step	Time (min)	Design fire temperature (θ)	Heat flux (q/z) (W/m²)		Energy (Joules) = Cumulative area under heat flux curve		Difference in total energy of design fire and cumulative energy of standard fire
			Design fire	Standard fire	Design fire	Standard fire	
1	t ₁ =0	T ₁ =20	Heat flux at time step t ₁ (HF _{1,DF}) calculated using Eq. (5)=8161	Heat flux at time step t ₁ (HF _{1,SF}) calculated using Eq. (5)=8161	ED ₁ =0	ES ₁ =0	ES ₁ -ED ₁ =(1782332-0)=1782332
2	t ₂ =t ₁ +Δt=0.5	T ₂ =319	Heat flux at time step t ₂ (HF _{2,DF}) calculated using Eq. (5)=28730	Heat flux at time step t ₂ (HF _{2,SF}) calculated using Eq. (5)=22094	ED ₂ =0.5 × (t ₂ -t ₁) × (HF _{1,DF} +HF _{2,DF})+ED ₁ =154	ES ₂ =0.5 × (t ₂ -t ₁) × (HF _{1,SF} +HF _{2,SF})+ES ₁ =127	ES ₂ -ED ₂ =(1782332-127)=1782205
...
i	t _i =303	T _i =303	Heat flux at time step t _i (HF _{i,DF}) calculated using Eq. (5)=28162	Heat flux at time step t _i (HF _{i,SF}) calculated using Eq. (5)=506521	ED _i =0.5 × (t _i -t ₁) × (HF _{1,DF} +HF _{i-1,DF})+ED _{i-1} =1768628	ES _i =0.5 × (t _i -t ₁) × (HF _{1,SF} +HF _{i-1,SF})+ES _{i-1} =1782530	ES _i -ED _i =(1782332-1782530)≈0
...
n-1	t _{n-1} =350	T _{n-1} =20	Heat flux at time step t _{n-1} (HF _{n-1,DF}) calculated using Eq. (5)=8951	Heat flux at time step t _{n-1} (HF _{n-1,SF}) calculated using Eq. (5)=544264	ED _{n-1} =0.5 × (t _{n-1} -t ₁) × (HF _{1,DF} +HF _{n-2,DF} +HF _{n-1,DF})+ED _{n-2} =1781634	ES _{n-1} =0.5 × (t _{n-1} -t ₁) × (HF _{1,SF} +HF _{n-2,SF} +HF _{n-1,SF})+ES _{n-2} =2220220	ES _{n-1} -ED _{n-1} =(1782332-2220220)=-437888
n	t _n =355	T _n =20	Heat flux at time step t _n (HF _{n,DF}) calculated using Eq. (5)=8161	Heat flux at time step t _n (HF _{n,SF}) calculated using Eq. (5)=548474	ED _n =0.5 × (t _n -t ₁) × (HF _{1,DF} +HF _{n-1,DF})+ED _{n-1} =1782332	ES _n =0.5 × (t _n -t ₁) × (HF _{1,SF} +HF _{n-1,SF})+ES _{n-1} =2266281	ES _n -ED _n =(1782332-2266281)=-483949
			Total Energy of design fire		ED _n =1782332		

저자는 구조부재 내화성능 평가에 대한 기존의 방법과 비교할때 등 접근방법의 장점으로 작은 편차, 안정적 결과, 과학적인 근거, 실무적용 용이, 성능기반설계 적용 용이 등을 제시하고 있다.

■ 관련(참고)사이트 : <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03797112/>

■ 출처: Fire Safety Journal, vol45(June 2010), issue4, pages 211-220

초고층빌딩의 내진성능 수계소화설비 기술동향

안찬슬 (화재안전연구소 / 전임연구원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 지진 대응기술

키워드

초고층빌딩, 내진, 소화설비

01

화재안전

국내의 건축설비 내진설계 관련기준은 1988년에 제정한 건교부의 '건축물의 구조기준 등에 관한 규칙' 제14조 9항 '비구조 부재 및 건축설비의 내진설계'에 관한 규정에서 언급하였으나 구체적인 기준이 제시되지 않고 내진설계 시 간단한 조치사항만을 언급하여 해당분야 전문가의 판단에 의해 안전성을 확보하도록 하였다. 이후 개정을 통해 건축물의 골조에 장착되는 비구조 부재 및 건축설비는 지진하중에 대한 조치를 하고 지진하중의 하중계산방법을 제시하였으나 건축설비 항목별 내진기준이나 지침이 없어 실질적으로 활용되는 위한 내진설비설계 및 시공지침은 전무한 실정이다.

미국, 일본 등 선진외국의 경우 오래전부터 건물의 내진설계는 물론, 소방시설이나 설비에 대해 내진조치를 의무화하여 지진 발생 시 화재 피해에 대비하도록 대응하고 있다. 이처럼 선진외국에서는 지진 발생 시 소방 설비 및 배관의 건전성을 유지하기 위한 방법들을 제시함으로써 건물의 과도한 변형을 흡수할 수 있도록 유도하고 있으며, 특히 미국의 경우에는 각 지역의 지진발생 규모나 빈도가 다르므로 해당지역의 빈도나 규모에 따라 의무 이행의 정도를 달리하고 있다.

<표 1> 국외 기술개발 현황 및 수준

업체명 (국적)	보유기술 또는 특허	기술 수준
Steven Scandaliato (미국)	● Seismic Design for Fire Sprinkler System	● High Level(50%)
유한회사 K&G (일본)	● 건식 진공 스프링클러 시스템(국제특허번호: PCT/JP2008/051625)	● High Level(50%)

초고층 건축물 내수시장에서 해외의존도가 가장 높은 방재안전 핵심기술의 기술자립화를 실현하고 세계 초고층 건설시장의 점유율 확대 및 국가 신성장동력 창출을 위해서 관련 기술의 확보가 절실히 필요하다. 비록 국내 건설사는 국내·외 초고층 건설 경험 축적에 따른 시공분야에서의 발전이 있었으나, 설계/엔지니어링 등 소프트웨어 측면의 기술은 부족하며, 특히 소방시설에 대한 내진성능에 대해서는 거의 기술기반이 갖추어지지 못하고 있기 때문이다. 초고층 건축물의 이용자들에게 있어서 가장 관심이 높은 화재안전성 확보는 초고층 건축물의 시장을 선점할 수 있는 핵심 엔지니어링 분야이다. 이러한 관점에서 초고층 건축물의 방재안전의 기초가 되는 위험도 평가기술에 대한 해외 의존도를

탈피하여 기술자립화를 이루기 위해서 세계 최고의 실적을 보유하고 있는 외국의 엔지니어링사와 국제공동연구를 수행하는 것도 바람직할 것이다.

또한 최근 국내·외에서 대형지진발생 및 피해 증가로 인해 설계기준 등의 연구가 요구되고 있으므로 국내·외 전문가의 자문 및 관련 연구를 통하여 건축설비 내진설계 기준이 시급히 마련되어 신규 건축물만이 아니라 기존 건축설비에 대한 보수보강을 위한 설계지침으로의 활용도 필요하다. 특히 실무에서의 활용을 위해 구체적인 건축 기계, 전기 및 소방설비를 통합한 “건축설비 내진설계 및 시공지침마련”을 위한 작업이 시급히 이루어져야 한다.

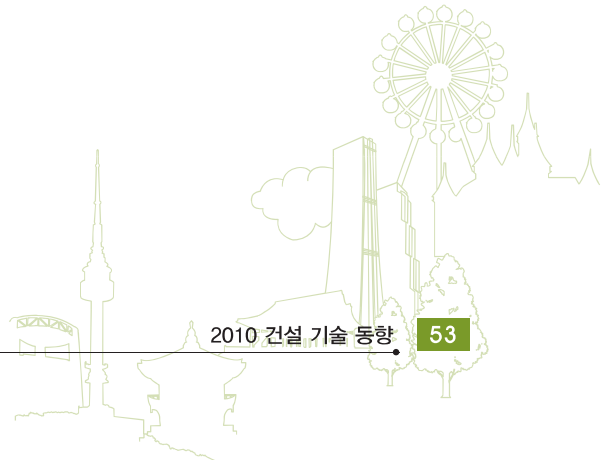


기
타
사
항

우리나라도 더 이상 지진 안전지역이 아니므로 내진설계의 필요성을 정부 담당자 및 국회의원에게 설명하여 법적, 제도적 뒷받침이 되도록 해야 하며 관련 공공기관인 소방산업기술원에게도 충분히 설명하여 인증을 받는 방법을 모색해야 한다. 또한 내진성능확보 기술뿐만 아니라 초고층복합빌딩에는 지진을 포함한 모든 위험성에 대한 대응을 위한 기술이 요구되는 바, 이에 대한 대책으로 초고층복합빌딩의 정량적 위험도 평가 기술의 개발이 절실히 요구된다. 이러한 정량적 위험도 평가를 통해 사전에 위험도 경감대책을 수립하고 대규모 재난과 같은 위기에 대응할 수 있는 체계가 마련될 것이다.

■ 관련(참고)사이트
<http://www.supertall.org/>

■ 출처
 초고층복합빌딩사업 연구개발계획서



프랑스 A86 Duplex 터널의 방재시설

유용호 (화재안전연구소 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 재해안전 대응기술
- >> 2차분류 | 화재대응기술

키워드

대심도 지하도로, 화재, 영상유고감지

01

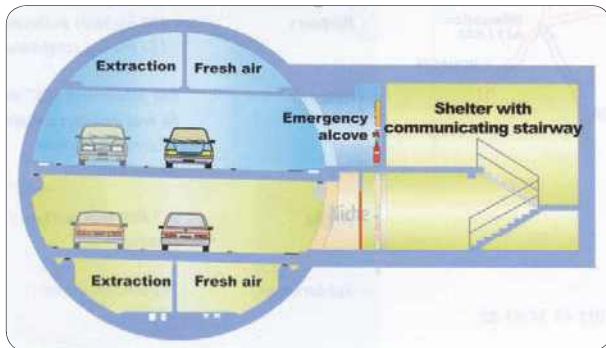
화
재
안
전

근 유럽을 중심으로 도심지의 교통 문제를 해결함과 동시에 지상의 녹색공간 창출을 위한 대심도 지하도로 건설이 활발히 진행되고 있다. 대심도란 일반적으로 지하철이 건설되지 않는 지하 40m 이상을 지칭하며, 포화상태에 이른 도심의 지상공간을 대체할 수 있는 신공간으로 관심이 집중되고 있다. 대표적인 도심지 대심도 지하도로로 프랑스의 A86, 그리고 스페인의 M30 프로젝트를 들 수 있다. 두 터널은 현재 서울시가 구상중에 있는 대심도 지하도로 계획의 대표적인 벤치마킹 사례로 들 수 있으며, 프랑스 파리 외곽 A86 west 프로젝트는 소형차 전용 지하도로, 마드리드 M30 프로젝트는 중량천 동부간선도로로 지하화 계획의 해법으로 주목 받고 있다. 특히 마드리드 M30 프로젝트와 같은 방법으로 중량천 동부간선도로를 지하화 할 경우 우기마다 반복되는 차량통제 등의 문제는 사라지고 서울의 대기환경은 한층 더 깨끗해 질 것으로 전망하고 있다.

이중 A86 west 프로젝트는 여러 첨단기술이 적용되었으며, 방재측면에서 매우 좋은 사례연구의 대상이 될 수 있다. 대형 터널 화재사고로부터 알 수 있듯이, 피난과 우회가 극히 제한적인 대심도 터널 내부에서 발생한 사고는 그 피해 범위가 급속하게 확대되기 때문에 대규모 인명 피해를 초래할 수 있기 때문이다.



<그림 1> 프랑스 A 86 동터널 방재설계도 (2010한국터널공학회 터널기술토론회 자료집)



〈그림 2〉 프랑스 A 86동터널 피난대피통로

우선 사고 및 화재등 유고상황을 감지하는 설비인 CCTV 카메라와 화재감지설비가 설치되어 있다. CCTV는 80m 간격으로 설치되어 있으며, 교통사고 및 화재등으로 차량이 정지하거나 차량의 흐름에 이상이 생기면 10초 이내에 자동으로 사고를 감지할 수 있는 시스템이 계획되어 있다. 이는 정지된 차량, 교통 정체와 역 주행 차량은 물론 터널 평균 주행 속도 등 터널 내 교통 상황을 감지하여 운전자에 통보함으로써 사고를 미연에 방지하여야 하는 것은 물론 화재에 안전한 대책을 수립하기 위하여 매우 중요한 의미를 가지는 것으로 초기감지는

터널 화재 예방의 첫 단계이며 수많은 인명과 재산의 피해를 막을 수 있는 최선의 방책이라 할 수 있다.

영상검지기를 이용한 터널 교통사고 조기경보 시스템은 비디오 카메라로 터널내에 주행하는 차량의 흐름을 분석하여 터널내 교통사고 및 정지 차량과 화재와 스모그 상태를 실시간으로 검출하는 시스템이다. 영상검지기에서 검출된 데이터는 터널 감시실 또는 교통관제 센터의 운영 서버에 자동으로 경보신호 및 교통자료를 제공하여 주어 운영자가 터널내 상황에 즉시 대처하도록 구성되어 있다. 주요 유고상황 검출 내용은 터널내 교통사고, 화재 및 스모그, 저조명 상태 검출 조기경보, 역주행 차량(Wrong direction vehicle)의 존재 검출, 정지차량(Stopped vehicle) 존재 검출, 차량 속도(0~150Km/h), 점유율, 기타 교통정보 등을 제공할 수 있다. 대표적인 유고감지 알고리즘은 패턴인식, 통계적 기법, 신경망과 같은 인공지능을 사용한 방법 등이 있다. 현재 국내에도는 계룡 1, 2터널을 비롯하여 부산-거제간 침매 터널등에 설치되어 운영중에 있다.

또한, 인명의 안전한 대피를 위한 피난통로는 200m 간격으로 설치되어 있다. 상하층의 차도를 연결하는 계단으로 이루어져 있으며, 2시간 내화성능의 방화문으로 차단되어 있다. 화재시 터널에서의 연기침입을 방지하기 위한 급기 가압설비와 압력조절밸브가 설치되어 있으며, 방화문 사이의 틈새에는 일정 온도이상에서 팽창하는 실링재가 구비되어 연기의 침입을 방지하도록 계획되어 있다. 비상탈출계단은 최소 1 km이내의 간격으로 설치되어 있으며, 이 중 3개소에는 급배기 환기설비가 설치되어 있고 비상탈출계단의 중간을 이용해 엘리베이터가 설치되어 있다.

A86 Duplex 지하도로는 현재 전세계적으로 가장 우수한 방재시스템을 갖춘 것으로 평가되고 있다. 복층구조의 소형차 전용 지하도로라는 특수성을 감안하여, 영상유고시스템, 고압 미분무 소화설비 그리고 피난설비등 화재안전분야의 대표적인 참고자료를 제시하고 있으며 특히 국내에서도 야심차게 계획하고 있는 복층구조의 소형차 전용 지하도로 건설에 롤모델이 될 수 있을 것으로 기대된다.

■ 관련(참고)사이트

<http://www.cofiroute.fr/cofiroute.nsf/en/duplex-a86.htm/>

■ 출처

<http://www.roadtraffic-technology.com/projects/a86/>

