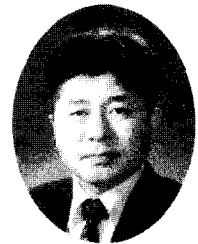


국내외 콘크리트 구조물의 화재피해 사례분석 - Evaluation of Concrete Structures Damaged by Fire -



김인수*

1. 머리말

건물에 있어서 주요 재해는 지진, 폭풍, 홍수 등의 자연현상에 의한 피해와 인위적인 화재에 의한 피해가 있다. 화재는 도시가 확대됨과 동시에 그 빈도가 높아지고 화재규모는 대형화되는 추세며, 이에 따른 인적·물적 피해의 가능성이 높기 때문에, 도시에서는 큰 고민거리가 아닐 수가 없다. 도시는 경제와 산업이 집중하고 인구밀도가 높으며, 건물은 점차 고층화 및 다양화되고 더욱 복잡한 기능을 갖게 되었다. 따라서 대도시가 될수록 건물의 화재예방 및 소방, 재해 후의 조치가 중요시되며, 또한 앞으로의 과제이기도 하다.

이러한 경향은 1960년대 후반부터 국내의 여러 도시에 있어서 건물화재가 뚜렷하게 나타나고 있다. 특히, 1970년대는 산업 근대화의 일환으로 건설 붐이 크게 일어나 고층빌딩이나 아파트 및 공장 등의 건물이 급속히 증가하는 한편, 건물화재의 빈도도 높아져 이에 따른 물질적 피해는 물론 인명피해도 급증했다.

철근 콘크리트 구조물은 다른 구조물에 비해서 내구성이 크고 화재에는 강하고 거의 반영구적으로 생각했지만, 1971년 12월에 발생한 대연각호텔화재를 비롯하여 대왕코너건물(1975년), 남대문상가건물(1977년), 대신상가맨션(1979년), 부산대아호텔(1984년) 등의 화재에 있어서는 철근 콘크리트조의 기둥이나 보가 치명적인 피해를 받아 그 내화성에 의구심을 불러일으키게 되었다. 이

에 따라 내화설계의 필요성과 화재(火害)의 합리적인 평가가 요구되어 1999년에 건설교통부에서는 내화구조기준개선에 대한 연구가 진행되었다.

화재에 관한 연구는 건물자체의 내화성을 확보하기 위한 구조적 연구와 방화성에 관한 공간 기능적인 연구가 주로 실시되고 있으나, 화해를 받은 건물의 화재 정도의 평가에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 건물의 주요부재에 있어서 화해는 그 정도에 따라 내력에 큰 영향을 받기 때문에 화해 정도의 파악은 화재 후의 재사용 여부와 그 보수법의 검토에 대해 중요한 자료가 된다.

따라서, 본고에서는 화해를 받은 철근 콘크리트 건물을 대상으로 조사한 실례를 검토하여 화재 건물의 안전성 판단에 한 자료로 제공하고자 한다.

2. 내화설계

2.1 내화설계의 목적

건축물의 방화대책에 따른 내화설계는 1) 인명보호, 2) 피난, 소방활동의 안전확보, 3) 부지 주변의 위험한 재해의 방지와 화재 확대 방지, 4) 화재가 발생된 건물의 물적 재산보호와 같은 목적으로 이뤄지고 있다.

이러한 목적을 실현하기 위해 각 건축물에 실시하는 방화대책은 계속적으로 수립되어 왔으며, 구조부재의 내화성은 그 중에서도 중요한 대책의 하나이다. 건축물 내의 어느 지역에서 화재가

* 정회원, 여주대학교 건축과 교수

발생하더라도 거주자의 피난 행동이나 건물 내의 인명보호가 우선 확보되어야 한다. 이와 같이 화재 확대 방지의 직접적인 역할을 하는 부재가 바닥, 벽 등의 구획구조부재이다. 이 부재들은 화재로부터 피난통로를 안전하게 확보하고 소방대의 소방활동이나 구조활동을 수행하기 위한 거점을 확보하는 중요한 역할을 수행한다. 기둥, 보 등의 구조부재는 구획부재를 지지하고 있으므로 화재시에 구획구조부재의 기능이 발휘될 수 있도록 구조적 내력을 유지해야 한다. 이 때문에 대부분의 국가에서는 구조부재에 요구되는 내화성능을 건축법규로 규정하여 방화대책을 세우고 있다.

구조부재의 내화성능은 일반적으로 화재로 고온가열 된 부재가 그 기능을 상실하지 않을 때까지의 가열시간으로 평가되고 있다. 우리나라와 일본 등에서는 30분에서 1시간, 2시간, 3시간까지의 내화구조로 규정하고 있다. 이러한 성능은 내력기능과 방화구획 기능을 동시에 만족해야한다. 내력기능은 구조부재가 화열을 받아 그 강도의 저하에 따른 구조적인 파괴에 저항할 수 있는 성능이다. 또한, 방화구획 기능은 화재를 받은 벽이나 바닥의 이면 온도가 상승하여 반대편에 놓여 있는 가연물의 착화로 인한 화재 확대를 차단하는 차열성과 부재의 균열이나 구멍 등으로 불꽃이나 화열이 통과하여 화재가 확대되는 것을 방지하는 차열성이 필요하다. 건축 구조부재에 대해서 화재시 이 내력기능을 확보하기 위한 설계를 일반적으로 내화설계라 한다. 따라서, 내화설계는 건축물의 용도에 따른 화재발생의 위험률, 내화 연한이나 소화설비 등을 고려하여야 하며 건축물의 중요도에 따라 결정된다.

2.2 내화설계법

2.2.1 건축법규에 의한 내화설계

구조부재의 내화성능을 확인하기 위해서 일반적으로 이용되고 있는 방법에는 ISO 834에 규정된 표준내화시험의 결과를 이용하는 방법이 있다. 이 시험은 다음 식과 같이 온도가 제어되는 내화시험가열로 내부에서 구조부재를 가열한다.

$$\theta - \theta_0 = 345 \log(8t - 1) \quad \text{식(1)}$$

여기서, t = 시간(분)

θ = 시간 t 에서의 가열로 내부온도(°C)

θ_0 = 초기 가열로 내부온도(°C)

따라서, 구조부재의 내화성능은 작용하중을 기초로 하여 파괴하기까지의 시간으로 나타낸다.

건축물을 설계할 경우에 각국의 건축법규는 그 구조부재가 화재시에 하중을 지탱할 수 있는 기능을 확보해야 하는 요구 내화시간을 규정하고 있다. 이 요구 내화시간은 건물의 용도 및 구조부재의 중요도에 따른다. 이러한 내화설계에서 상정하고 있는 화재 성상은 표준내화시험에 규정하고 있는 화재온도시간곡선이다.

이 설계법은 표준내화시험에서 얻어진 구조부재의 내화성능이 요구내화시간 이상 도달하는지의 여부만을 평가한다. 이 설계법은 우리나라와 일본 등에서 채택하고 있는 일반적인 방법이다.

2.2.2 표준 화재에 의한 내화설계

건축구조의 내화성에 관한 연구는 최근 상당히 진전되고 있으며, 화재시 건축물의 거동을 해석적 수법으로 예측할 수도 있게 되었다. ISO 834에 의한 표준내화시험은 상당히 오래 전부터 이용되어 온 시험방법으로 구조부재의 내화성능에 필요한 자료를 축적해 왔다. 그러나, 현 시험방법은 규정에 불충분한 점이 많다. 즉, 동일 구조부재를 시험할 경우, 가열조건, 지지 및 구속조건에 대한 재현성이 없기 때문에 시험결과에 상당한 차이가 발견된다. 이를 위해서 편의적인 내화시험에 기초로 해서 구조부재의 안전성을 판단하는 대신에 해석적인 설계법이 유럽 등에서 이용되고 있다.

이 설계법은 표준내화시험에 규정된 표준화재온도시간곡선을 기초로 하여 구조 부재의 내화성능을 이론적으로 산정하는 방법이다. 이를 위해서 우선 1) 구조 부재의 단면형상, 2) 구조 재료의 열특성, 3) 구조 부재 표면부의 열전달 특성을 이용하고 가열된 구조 부재 내부의 비정상 온도 분포를 산정하고, 다음에 이 온도 분포에 의해 4) 구조 재료의 기계적 특성, 5) 하중 상태, 6) 구조 부재의 단부구속조건을 고려하여 구조 부재의 구속력, 열응력 및 내력의 시간적 변동을 산정한다. 구조부재의 내력이 설계 하중치까지 감소한 시간을 내화시간으로 결정한다.

2.2.3 실내 화재에 의한 내화설계

건축물에 화재가 발생했을 때, 화재가 성장기를 거쳐 진화되기까지 화재온도의 시간적 경과를 추정하는 것은 내화설계에 매우 중요한 요인이다. 이들은 그 건물의 여러 조건 등에 따라 달라진다. 다음은 그 중요한 요인을 나타낸다.

- 1) 실내의 가연물의 종류와 양
- 2) 실내의 가연물의 형상과 상태
- 3) 실내의 가연물의 분포
- 4) 화재실의 규모와 형상
- 5) 실내에 유입되는 공기량(개구부의 크기와 형상)
- 6) 화재실을 구성하는 구조부재의 열적 성질

이와 같이 각 건물의 조건에 따라 화재성상이 달라지는데, 현재 요구내화시간의 도달여부만을 판정하는 건축법규는 매우 획일적으로 적용하고 있다. 이 때문에 실제 화재를 받은 구조부재의 안전성을 명확히 규명할 수 없다. 따라서, 건축물을 설계할 때에는 이와 같이 실제로 발생할 수 있는 화재성상을 대상으로 하여 건물설계에 적용하는 것이 바람직하다.

이 설계법은 표준화재온도시간곡선을 이용하지 않고 실제로 산정한 화재성상에 의한 온도 경과를 이용하면 보다 정확한 구조부재의 내화성능을 평가할 수 있다. 설계화재온도곡선은 구조 부

재의 열특성에 따라서 그 부재의 비정상적인 내부 온도분포로 결정된다. 이 온도분포와 구조재료의 기계적 성질과 하중상황에 따른 구조부재의 구속력, 열응력 및 내력의 시간적 변동을 구할 수 있다. 화재로 수열된 구조 부재의 내력이 최소치가 될 때를 설계 내력으로 한다.

설계내력과 화재시의 설계하중을 비교해서 구조 부재가 그 요구성능을 만족하는지 또는 화재로 인한 가열로 구조 부재의 성능의 저하 정도로 판단한다. 이 설계 방법은 지금까지 제안된 방법 중에서 가장 이론적인 내화설계 방법이다.

3. 화해 콘크리트구조물의 진단 방법

화재에 의한 철근 콘크리트 부재의 화해 정도를 조사하기 위해서 현장의 상황을 고려하여 주로 슈미트해머와 초음파속도법에 의한 콘크리트의 비파괴시험과 재하시험을 실시한다. 또, 화재시에 있어서 콘크리트 부재는 주로 가열된 온도에 따라 재질의 변화가 생겨 건물의 내력성상에 문제가 되므로, 우선 화재온도를 정확히 파악하는 일은 콘크리트 부재의 화해 정도를 검사하는 기본 조건이다. 그러나, 돌발적인 건물화재 시의 화재온도 또는 콘크리트의 수열온도를 직접 측정하는 일은 불가능하므로 화재온도 이력의 추정치에 따라 화재 최고온도 및 콘크리트 부재의 내부온도분포를 일반적으로 계산으로 구한다. 다음은 화해를 받은 콘크리트 구조물의 피해 정도를 추정하는 방법에 대해서 간략히 기술한다.

3.1 육안 관찰

피해 공간의 전 부분에 걸쳐 외관상 피해상황을 육안으로 관찰한다. 구체적으로는 콘크리트의 변색, 폭열, 균열, 들뜸, 박리, 변형 등을 상세히 관찰한다. 개괄적인 피해등급만을 분류할 수 있어 많은 경험적인 지식이 필요하다.

3.2 슈미트해머에 의한 콘크리트 반발 경도 측정

슈미트해머에 의해 가열 콘크리트 표면의 반발 경도를 측정하여 가열 표면의 압축강도를 추정한다. 콘크리트 표면의 반발 경도만 측정할 수 있고, 콘크리트 내부(깊이방향)의 강도 분포는 측정할 수 없다. 또, 가열 후의 압축강도에 대해서 기존 자료가 부족하므로 상대적인 평가만이 가능하다.

3.3 콘크리트의 중성화시험

콘크리트는 500℃ 이상의 열을 받으면 알칼리성에서 중성화로 변화한다. 이를 이용하여 화해 콘크리트 부재의 탈락 부분에 페놀프탈레인용액을 분무해서 중성화의 깊이를 측정하여 손상부분의 피해정도를 평가한다.

3.4 코어 채취에 의한 압축강도 시험

콘크리트 부재에서 코어를 채취하여 잔존 압축강도를 추정한다. 그러나, 일반적으로 코어는 깊이 방향으로 그 피해정도가 다르기 때문에 해당 부분의 잔존 압축강도의 추정은 곤란하다.

3.5 초음파에 의한 압축강도 추정

콘크리트의 양면에 초음파의 투과시간을 측정하여 그 속도를 계산하고 초음파속도와 압축강도와의 관계식을 이용하여 압축강도를 추정하는 방법이다. 부재의 전 두께에 대한 평균 초음파속도이므로 깊이 방향의 강도 차를 명확히 추정하기가 곤란하다. 그러나, 기존 연구에 의하면 신뢰도가 높은 방법으로서 활용도가 높다.

3.6 마이크로파에 의한 압축강도 추정

콘크리트의 마이크로파의 특성치(감쇠정수 및 위상정수)를 조사하여 고온시의 잔존 압축강도를 추정한다. 깊이 방향의 강도 분포를 구할 수 없다. 또, 콘크리트의 함수량에 따라 측정오차가 생긴다.

3.7 콘크리트의 수열온도추정 방법

3.7.1 화학적 수법에 의한 방법

콘크리트의 중성화, 탄산가스, 유리석회량의 분석 및 X선회절법 등에 의해 수열온도를 추정한다.

3.7.2 이론적 계산에 의한 방법

화재실내의 크기, 형상, 가열물량(내장재료 및 적재물의 종류와 양) 및 개구부의 조건을 설정하여 화재성상을 예측하고 내부온도를 계산한다.

3.7.3 화재상황에서 구하는 방법

소방서 자료, 화재실내의 사용재료의 연소특성 및 목재의 탄화 깊이, 탄화속도에서 화재성상(화재지속시간 및 화재최고온도)을 추정하고, 더욱이 콘크리트의 변색상황으로부터 콘크리트의 표면온도를 추정하여 내부온도분포를 계산한다.

4. 화해건물의 조사 사례

4.1 국내의 화해건물

4.1.1 화재 현황

본 건물은 1969년 3월에 준공된 이래 1972년 8월 1층 식당



사진 1. 건물 화재 전경



사진 2. 화재건물 2층 내부 피해 상태

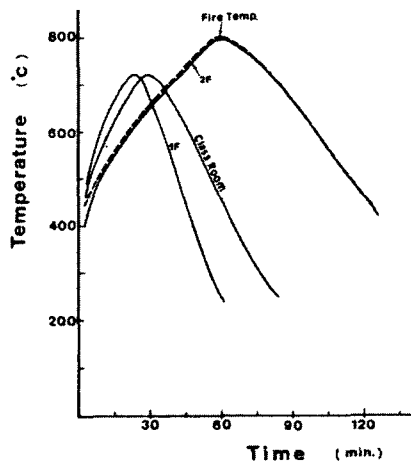


그림 1. 단실(單室)의 화재온도

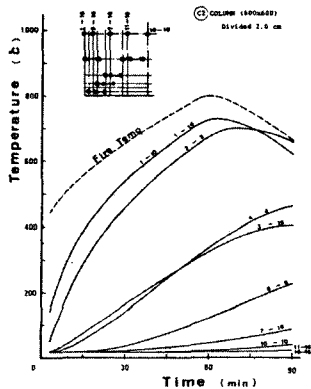


그림 2. 기둥의 내부온도분포

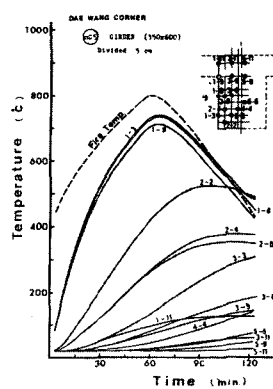


그림 3. 보의 내부온도분포

에서 프로판가스 폭발에 의한 첫 번째 화재, 1974년 11월 7층 호텔복도 천장 속의 누전에 의하여 화재가 발생하여 88명의 희생자와 33명의 부상자를 낸 두 번째 화재와 1975년 10월에 세 번째 화재가 있었으며, 그 중 세 번째 화재 규모가 가장 컸다. 이 건물은 철근 콘크리트조 지상 7층, 지하 1층의 규모로 발화 지점은 2층 양품부 중앙계단천장에서 전기누전으로 발생했다. 연소시간은 약 5시간 30분이었다. 구조체인 기둥은 일반적으로 바닥에서 50 ~ 120 cm 정도의 위치에서 모서리가 파괴되어 주근이 노출된 곳이 많으며 마감 모르타 바름층이 떨어진 콘크리트면은 팽화된 콘크리트면과 같은 상태였다. 기둥 표면에는 많은 균열이 무질서하게 나타나 있으나 이는 모르타 바름층에 의한 것으로 콘크리트 자체의 균열은 적었다. 보는 기둥과 거의 같은 상태이며 밀면 모서리가 떨어져 주근이 노출된 부분이 많았으나 외관상으로 크게 변형된 곳은 없는 상태였다. 바닥은 마감재료에 따라 다소 차이는 있으나 미세한 균열이 많았다. 특히 변형된 부분은 보이지 않았다.(사진 1, 사진 2)

4.1.2 건물의 피해조사

가. 부재내부온도분포

〈그림 1〉과 같이 구획된 단실내의 온도와 건물의 평균 화재 온도는 서로 유사한 경향의 온도곡선을 나타내고 있으나 단실내의 화재온도는 화재발생 후 약 30분 이내에 급속하게 상승되었다. 화재성황기의 최고온도는 800°C로써 발화 후 60분 정도 경과하여 최고온도에 이르렀다. 이에 따라 기둥표면에서 40 cm까지는 400°C, 모서리부분에서 6.0 cm까지는 500°C 정도로 가열되었다(그림 2). 따라서, 기둥 콘크리트의 강도저하는 화재 이전의 약 50%로 추정된다. 설계기준강도를 180 kgf/cm²로 가정할 때 화재 후의 강도는 90 kgf/cm²로 추정된다. 보는 표면에서 10 cm 깊이에서는 400°C 이하, 모서리에서는 약 500°C로 가열되었다(그림 3). 따라서 콘크리트의 압축강도는 약 50% ~ 65% 잔존 압축강도를 가지게되며 기둥보다 압축강도가 낮았다.

나. 재하시험 결과

재하시험은 콘크리트 강도시험에 불합격인 경우 또는 시공상의 결함이 인정되는 경우 그 조치로서 수평재에 대하여 실시한다. 이 시험규정에는 A법과 B법이 있으며 구조체의 시험조건에 따라 적절하게 적용한다. A법은 등분포하중법으로써 구조물의 처짐에 따라 전 처짐량으로 나타내는 방법이며, B법은 오일잭(oil jack)으로 집중하중을 서서히 재하하여 규정하중에 도달하면 즉시 하중을 제거하는 방법이다. 이들 시험은 모두 규정량의 하중에 의한 수평재 중앙의 최대처짐량에 대한 하중제거 후의 잔존처짐량의 비율로 산출한다. A법은 15%, B법에서는 10%를 평가 기준으로 하고 있다. ACI나 DIN 등의 규정에서는 그 평가기준이

표 1 초음파법에 의한 압축강도 측정

Column Concrete							
Member	Measuring Point	Propagation of Ultra			Average		
N O	Floor	Length (mm)	Time (us)	Velocity (km/sec)	Velocity (km/sec)	Strength 2 (kg/cm ²)	
0-7	2	Upper	670	199	3.37	3.17	165
		Center	659	227	2.90		
		Lower	658	200	3.25		
0-6	2	Upper	663	183	3.62	3.27	173
		Center	653	214	3.05		
		Lower	660	210	3.14		
H-6	2	Upper	660	208	3.17	2.65	122
		Center	663	322	2.06		
		Lower	670	245	2.73		
H-7	2	Upper	693	246	2.82	2.92	145
		Center	680	231	2.94		
		Lower	655	218	3.00		
H-6	2	Upper	623	225	2.77	2.86	140
		Center	623	218	2.86		
		Lower	620	210	2.95		
L-7	2	Upper	613	201	3.05	2.90	143
		Center	615	218	2.82		
		Lower	625	220	2.84		
K-8	2	Upper	620	201	3.08	2.98	150
		Center	618	217	2.85		
		Lower	618	206	3.00		
J-8	2	Upper	618	175	3.53	2.83	137
		Center	610	224	2.72		
		Lower	610	272	2.24		
I-7	2	Upper	600	202	2.97	2.92	145
		Center	603	200	3.02		
		Lower	603	218	2.77		
L-4	2	Upper	603	198	3.05	2.81	136
		Center	600	246	2.44		
		Lower	603	206	2.93		
H-6	2	Upper	618	214	2.89	3.05	155
		Center	588	187	3.14		
		Lower	593	190	3.12		
G-7	2	Upper	660	292	3.27	3.26	172
		Center	648	200	3.24		
		Lower	-	-	-		

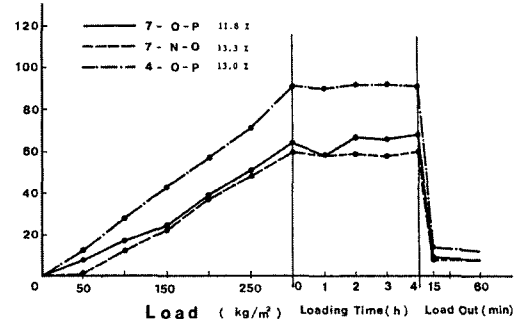


그림 4. 2층보의 처짐 그래프



사진 3. 화재건물 내부

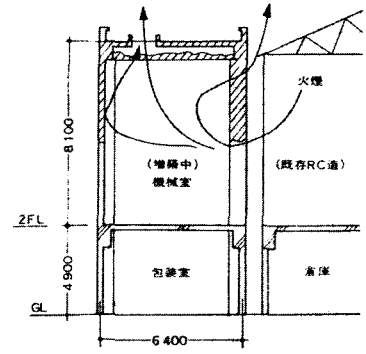


그림 5. 화재 상황과 화열

다르다.

본 건물에서는 A법과 B법을 병행하여 시험하였다. <그림 4>는 A법에 의해서 구해진 2층 보의 처짐량을 나타낸 것이다. 본 시험 대상인 7개의 보 모두 합격 범위 내에 들었다.

다. 초음파법에 의한 압축강도

초음파법에 의한 시험에서 보의 콘크리트 압축강도는 평균 137 kgf/cm², 기둥은 158 kgf/cm²로서 평균 148 kgf/cm² 정도이다. <표 1>은 콘크리트 기둥의 압축강도 측정결과이다.

4.2 국외의 화재 건물

4.2.1 화재 현황

준공을 앞둔 철근 콘크리트조 지상 2층 건물, 건축면적 500m²의 규모로 공사 중에 인접한 공장에서 발생한 화재가 구 공장지붕에 적재되어 있는 단열재(발포폴리우레탄)를 연소시켜 약 5시간 후에 진화됐다. 이 때 공사 중인 2층 부분 철근 콘크리트조 기둥, 보, 바닥 등에 화열을 받았고, 특히 출화 장소에 가까운 구조체를 비롯한 옥상슬래브에 개구부가 있는 곳에서는 연통효과를 발휘하여 그 부근의 보와 슬래브를 크게 손상시켰다. 또한, 화열이 구조체의 바닥에서 약 4.0m 위쪽에 집중하였기 때문에 기둥과 벽체의 피해가 상부만에 그치지 않고 전체적으로 보아 손상부는 한쪽으로 치우쳐 있는 상태였다.<사진 3, 그림 5>

4.2.2 건물의 피해 조사

가. 재료 조사

① 콘크리트의 표면경도

구조체 콘크리트 강도를 슈미트해머에 의해 추정함과 동시에 피복부분의 들뜸 등을 타격음으로 조사하였다. 조사대상 부재는 큰 보, 작은 보, 바닥으로 하고, 화열을 받은 부분과 받지 않은 부분을 비교하였다.

손상된 콘크리트의 표면에는 거북이등 모양의 균열이 발생했고, 피복 콘크리트에는 들뜸 부분도 있었다. 기둥은 2층 바닥에서부터 높이 약 4m까지는 화열의 영향을 받지 않았다(이부분을 건전부라 함). 이에 대해 보는 그 대부분이 화열을 받았으며, 옥상층 바닥의 개구부근에서는 연통효과로 콘크리트 표면부가 탈락하고 슬래브 철근이 노출된 곳도 있었다.

슈미트해머에 의한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 화재콘크리트의 표면은 풍화한 상태이고, 이 현상은 기둥의 상부와 보의 밑면에서 볼 수 있다. 기둥과 벽의 하부(건전부)에서의 슈미트해머 시험치는 이상이 없었다.

- 큰 보와 작은 보는 화열을 받아 균열이 심하게 나타났으며, 강도도 154 kgf/cm²로써 설계강도 이하로 저하하였다.

결국, 기둥 상부 4.0m 정도에서는 강도나 균열이 많아 만족할 수 없었다. 보는 전면개수의 대상으로 판단했다. 바닥 슬래브도 철근이 노출된 스패는 전부 철거하여 콘크리트 재시공이 필요하였다. 벽도 기둥과 같이 상부가 손상을 입어 직접 화열을 받은

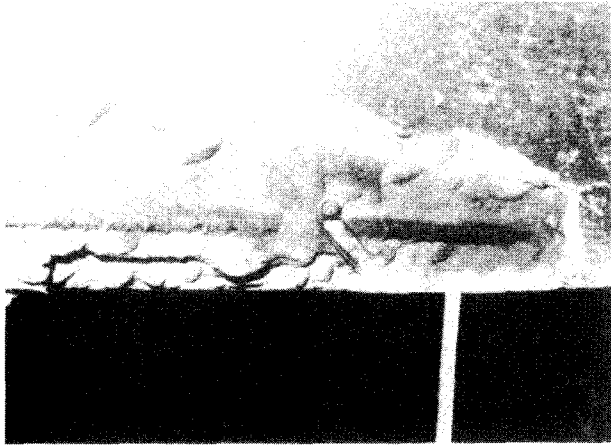


사진 4. 보의 중성화 시험

곳에서는 일부 콘크리트 표층이 탈락한 것도 있었다. 벽면은 그
 을음에 의해 검게 변색된 부분이 눈에 띄었다.

㉠ 중성화시험

콘크리트의 표면부를 벗기고 그 부분에 페놀프탈레인용액을 분
 무하여 자두색 변색하지 않는 부분을 스케일로 측정하여 중성화
 깊이를 측정하였다.

육안 및 중성화시험에 의해 건전한 것으로 판단된 것은 기둥과
 벽 중에서 2층 바닥에서부터 4m까지였고, 중성화 깊이도 측정
 오차범위인 2mm 이하였다. 그러나, 화해 콘크리트는 표면에서
 약 4~5mm 정도에서 중성화가 되었다. 거북이 등 모양의 균
 열이 나타난 부분은 열은 분홍색을 띠고 중성화 깊이는 피복두께
 (기둥에서는 40~50mm)까지 이르고 있고, 건전부와 비교하면
 명확히 화열의 영향을 받은 것으로 판정되었다.

철근부분의 콘크리트는 페놀프탈레인용액에 순간적으로 자두색
 을 띠어 철근층에서는 건전한 콘크리트에 가깝다고 판단했다.

나. 철근

콘크리트 표면에서 약 40mm의 피복두께 부분은 기둥의 상부
 와 보에서는 약 500°C 전·후가 되었다고 추정된다. 콘크리트의
 압축강도는 500°C에서 상온에서의 50%가 되고, 탄성계수나 크
 리프에 대해서도 큰 영향을 받았다. 기둥과 보에 관해서는 피복
 되어 있는 철근의 인장강도는 300°C에서는 거의 정상적이지만
 500°C에서 약간의 저하를 볼 수 있다. 항복강도도 거의 변화하
 지 않을 것으로 판단했다. 다만, 부착력에서는 급격한 저하를 나
 타내므로 부착력 확보를 위해 명확한 보수가 요망된다.

다. 화재온도의 추정

㉡ 콘크리트에서의 추정

콘크리트의 중성화 깊이에서 화재온도를 정확히 추정할 수 없
 으나, 정성적으로 어느 정도의 깊이까지 열의 영향을 받았는지를
 검토해 보았다.

콘크리트 중의 수산화칼슘은 페놀프탈레인용액에 의해 적색을
 띠지만 500~580°C로 열을 받으면 분해 탈수하여 산화칼슘으
 로 변화하여 페놀프탈레인용액의 반응이 일어나지 않는다. 따라
 서, 페놀프탈레인 용액에 의해 적색으로 변하면 500°C 이하의
 열을 받은 것으로 추정할 수 있다.

이와 같이 건전부는 거의 중성화되지 않았고, 화열을 받은 기
 둥의 상부와 보의 철근부근에서는 적색을 띠므로 500°C 이하로
 추정된다.

㉢ 다른 재료에서의 추정

건물 내에는 가연물이 전혀 없었기 때문에 콘크리트 이 외의
 재료로는 온도추정이 불가능하였다. 다만, 벽에 도포된 페인트류
 을 비롯한 옥상의 아스팔트방수와 단열재노출 부분은 연소해 있
 었다. 아스팔트방수층은 300°C 이상이 되면 착화하고, 단열재도
 370°C가 인화온도이다.

즉, 기둥상부와 보의 측면에 심한 균열이 보이는 콘크리트의
 표면은 페놀프탈레인용액에 분홍색에 가까운 색으로 변색되었으
 므로, 400~500°C가 되는 것으로 추정했다. 또, 벽이나 천장
 에는 검게 늘어붙었거나 부분적으로 콘크리트가 탈락한 곳도 보
 이고, 이와 같이 콘크리트가 폭열한 부분은 일시적으로 800~
 1,000°C에 가열된 것으로 보인다.

4.3 콘크리트 부재의 화해 상태

일반적으로 화재를 받은 철근 콘크리트 부재의 화해 상태는 그
 을음, 변색, 미소균열, 모르타르 마감층의 박리 등의 표면적 손상
 과 폭열, 폭열에 의한 주근의 노출과 기둥의 좌굴, 보의 변위 등
 의 화해 상태가 주이다. 전자는 주로 표면적인 화해로 비교적 간
 단히 보수할 수 있고, 후자는 이미 부재로서의 기능을 잃고 있다
 고 생각될 정도의 것으로 육안으로도 간단히 관찰할 수 있어 건
 물 전반의 안전성에 관련한 치명적인 파괴 상태의 것이다. 화해
 상황을 동일한 화재 영역에 있어서도 부재의 역학적 기능, 단면
 의 크기, 재질 등에 따라 그 상태가 다르므로 이들의 보수에 대
 해서는 각 부재의 화해상황과 그 상태에 대응하는 적절한 보수법
 을 이용하는 것이 중요하다. 또, 보수법의 선택방법은 화재이전
 의 구조 및 공간 기능을 최대한으로 살리는 방법으로 공사 진행
 중의 충격, 진동 등을 최소한으로 하는 방법이 바람직하다. 슬래
 브 또는 비내력벽 등의 보수에 대해서는 화해 상태에 따라서 여
 러 가지 방법을 취하지만, 일반적으로 내력의 저하가 확인될 수
 있는 경우는 완전히 철거해서 새롭게 교체하는 편이 최선의 보수
 방법이 되는 것이 많다. 다음은 화해 정도에 있어서 화해 상태를
 3가지의 패턴으로 나눌 수 있다.

4.3.1 A Type의 화해

육안 관찰에서도 파악할 수 있을 정도의 변형, 좌굴, 폭열 등

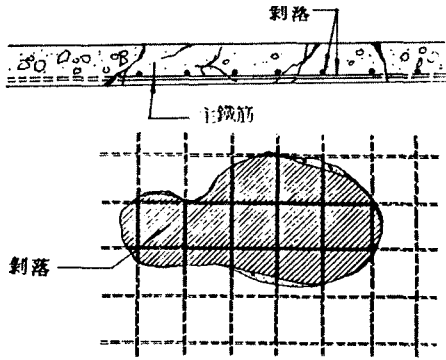


그림 6. 슬래브의 중앙부 파괴(박락)

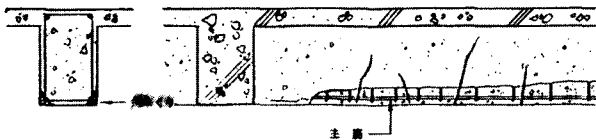


그림 7. 보 단부의 파손

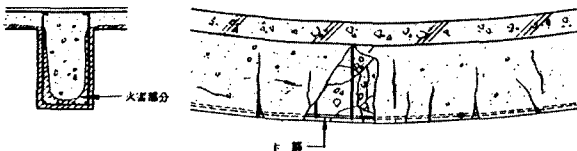


그림 8. 보 중앙부의 파괴(폭열)

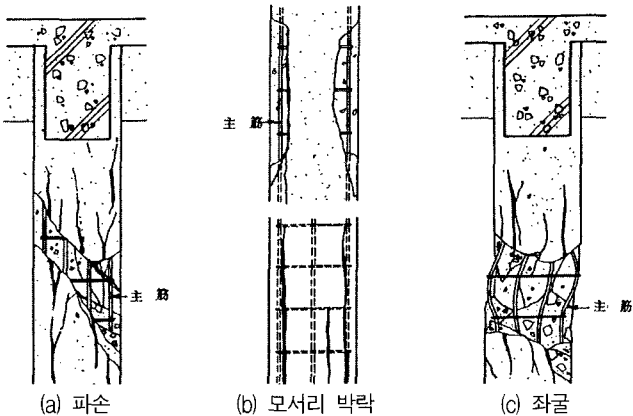
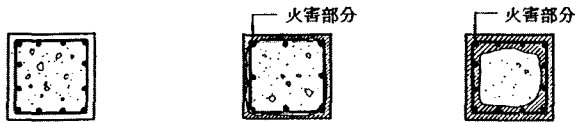


그림 9. 기둥의 피해상태

에 의한 파괴 현상으로 건물전반의 안전성에 직접 관련한 화재 상태이다. 이들의 상태는 비교적 화재 온도가 높고 집중적인 화열에 의한 부재의 국부적 또는 전체적 파괴 주로 기둥의 상부와 하부에서 생긴다. 또 보에 있어서는 주로 중앙부 또는 콘크리트의 이어지기 부분에서 생기고 하단 철근이 늘어나서 주근이 완전히 노출, 균열 또는 이에 의한 차이에 의한 화재상태를 말한다. (그림 6, 그림 7, 그림 9(a))

4.3.2 B Type의 화재

부재의 내부온도분포계산에 의한 콘크리트의 역학적 성질을 고찰한 결과와 콘크리트의 강도 시험 및 재하시험 결과에 의해 부재 기능의 약화가 확인된 화재상태이다. 이와 같은 화재는 단지 표면적 손상으로 볼 수 있는 경우가 많이 있고, 또 비교적 연소 시간이 긴 경우의 화재로 기둥과 보에 있어서 주근의 피복 콘크리트의 손상이 눈에 띄는 일이 많다.

4.3.3 C Type의 화재

외관적으로는 다소 손상이 생겨 있지만 콘크리트의 강도시험 및 역학적 성질 변화의 고찰결과에 의해 부재로서의 내력을 유지하고 있는 화재 상태이다. 이는 주로 급격한 화재 온도의 상승 또는 비교적 단시간의 연소에 의한 화재로 부재의 모서리부가 폭락, 콘크리트 피복의 표면적 손상의 경우가 많다. □

참고문헌

1. 건설교통부, "내화구조기준 개선연구", 1999. 3.
2. 김인태, "10대 화재사례 분석 및 대책", 방재기술, 제28호, pp.55~63.
3. 오창희, "화해건물의 구조내력에 관한 연구", 박사학위논문, 1983.
4. 補修ハンドブック編輯委員會編, "コンクリート構造物の補修ハンドブック", 1980.
5. 齋藤 光, "耐火設計の新しい考え方と今後の動向", 火災 215号 vol.45, No.2, 1995. 4, pp.8~12.
6. 荒井 光興, "火災を受けた鉄筋コンクリート造建物の補修", 建築技術, No 351, 1980. 11, pp.75~87

건설 취업자 동향(1997~2002.1)

(단위 : 천명)

구 분	1997	1998	1999	2000	2001	2001.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2002.1
취업인구	2,004	1,578	1,476	1,581	1,575	1,366	1,366	1,478	1,555	1,615	1,632	1,625	1,606	1,663	1,665	1,687	1,648	1,525
전년동기	1,971	2,004	1,578	1,476	1,581	1,382	1,345	1,478	1,592	1,637	1,649	1,656	1,623	1,653	1,690	1,655	1,614	1,366
고용증감	33	△426	△102	107	△6	△16	21	0	△37	△22	△17	△31	△17	10	△25	32	34	159
증감율(%)	1.7	△21.3	△6.5	7.2	△0.4	△1.2	1.7	0	△2.3	△1.3	△1.0	△1.9	△1.0	0.6	△1.5	1.9	2.1	11.6

(자료 : 대한건설협회)