

화재피해를 입은 철근콘크리트 구조물의 조사, 평가 및 리해빌리테이션방안

권영진

(호서대 소방학과)

1. 개 요

현대 도시지역에서 화재피해를 입는 경우, 인구밀도의 증가로 인한 건물의 고밀도화에 의해 그 피해가 더 크게 작용하고 있는 실정이다. 부주의에 의한 화재로 인해 화재가 발생한 건물은 물론이고 인접건물에게까지 영향을 미치고 있어 화재로 인한 피해는 갈수록 대형화되고 있다. 이에 따른 국민들의 정신적·물질적 피해가 커져가고 있으며 국가의 사회간접시설의 피해 또한 그 정도가 커져만 가고 있다.

부주의에 의한 화재를 막을 수만 있다면 좋겠지만 화재로 인한 건축물이 발생했을 경우, 우리는 그 피해를 최소화하기 위한 노력의 일환으로 무조건적인 철거보다는 화재발생 후 화재의 원인조사와 구조물의 재사용여부 또는 보강필요성, 자산의 평가의 과학적인 근거를 위해 신뢰성 있는 안정성 평가에 대한 연구가 촉구되고 있다.

또한 우리는 화재피해를 입은 구조물의 보수·보강을 수행하기 전에 화재로 인한 구조물 전체 또는 부분의 각 부재들의 물성변화의 정도파악, 보수·보강이 가능여부와 신축공사를 할 경우와 비교한 경제성 검토가 선행되어야 할 것이다.

화재피해를 입은 구조물의 상태는 중성화, 염해, 알칼리골재반응 그리고 이러한 열화요인들의 복합적인 작용에 의한 열화피해보다 더 심각하다. 사진 1~3에서 보는 바와 같은 피해상황에서의 열화진행속도는 매우 빠르기 때문에 적절한 시기에서 적절한 보수가 필요한 실정이다.

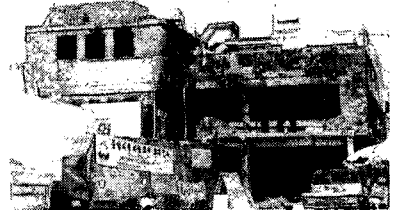


사진 1. 화재피해를 입은 구조물



사진 2. 슬래브에서의 박락현상

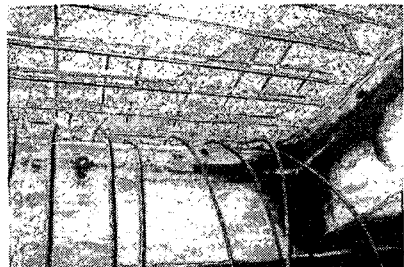


사진 3. 화재에 의한 철근노출

따라서 본 장에서는 화재를 입은 구조물의 조사진단방법과 적절한 보수공사 원칙과 사례를 제시함으로써 화재로 인해 성능 저하된 철근콘크리트 구조물의 내구성 회복 및 향상을 위한 진단·유지·보수 공법의 기초적 자료 및 적합한 보수설계·시공방법을 제시한다.

2. 부재의 화재피해

콘크리트는 화열을 받게 되면 시멘트경화물과 골재가 각각 다른 팽창수축거동을 하고 그에 따라 콘크리트의 조직은 연화되고 단부의 구속 등에 의해 나타난 열응력 등에 따라 균열이 나타나고 콘크리트가 열화되며 박락한다. 이것이 화재에 의한 열화의 매커니즘이며 사진 1에 그 상황을 나타내었다. 가열온도의 상승에 따라 콘크리트중의 시멘트수화물이 화학적으로 변질하고 약 600℃까지 시멘트페이스트부는 수축하나, 골재는 팽창하는 상반되는 거동을 나타낸다. 또한 콘크리트중의 자유수는 수분팽창하여 내부응력이 점차 증대하고 내부조직이 파괴되어 강도 및 탄성 등의 역학적 성질이 저하한다.

그 저하율은 사용재료의 종류, 배합, 재령 등에 따라 다르며 그림 1 및 2와 같이 300℃까지는 강도의 저하현상이 그다지 나타나지 않으나 500℃를 넘으면 50%이하로 되고 탄성계수도 가열에 의해 저하하여 500℃에서는 거의 반감한다. 가열에 따라 저하한 강도는 화재 피해 후 어느 기간이 경과하면 그림 3에 나타난 바와 같이 회복하고 수열온도가 500℃이내에 있다면 재사용이 가능한 상태까지 복원된다. 한편 탄성계수도 어느 정도 복원되지만 그 정도는 그림 4에 나타내는 바와 극히 미소하다.

그러나 화재 피해를 입은 콘크리트부재의 진단면이 이와 같은 높은 온도에 동시에 도달하는 경우는 거의 없으며, 보통은 표면이 가장 높고 깊이방향으로 서서히 저하하는 온도구배를 가지며 화재의 규모, 콘크리트의 종류, 단면의 형상·최대치수, 부위 등에 따라 각각 다르므로 부재의 깊이방향에 대하여 온도저하나 균열 등의 피해 정도도 달라진다.

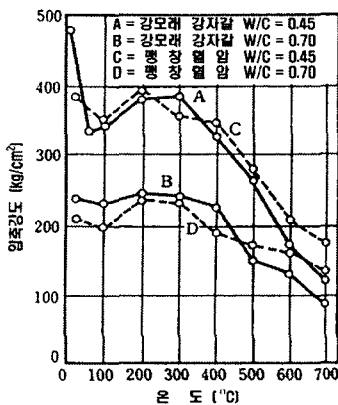


그림 1. 보틀 및 경량콘크리트의 가열 온도에 따른 압축강도의 변화

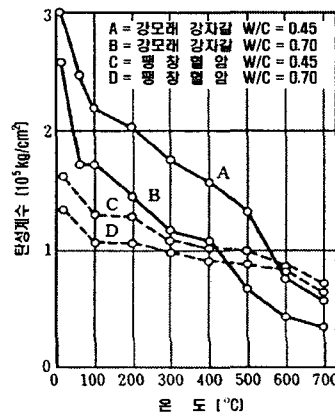


그림 2. 보틀 및 경량콘크리트의 가열 온도에 따른 압축강도의 변화

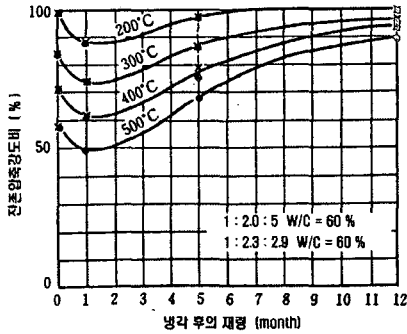


그림 3. 가열된 콘크리트 강도의 자연 회복

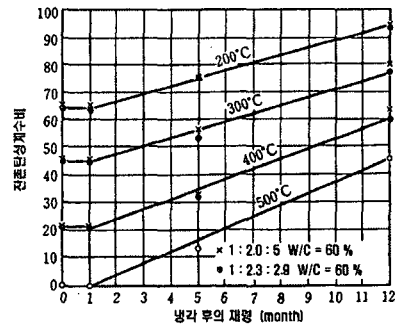


그림 4. 가열된 콘크리트 탄성계수의 자연회복

또한 화재에 의해 새롭게 발생한 균열에는 그늘음이 부착되지 않으므로 균열이 화재에 의한 것인지의 여부를 육안을 통해 용이하게 판단할 수 있다.

화재를 입은 콘크리트의 표면에는 일반적으로 크고 작은 균열이 발생한다. 시멘트 경화물은 유리수 외에 다량의 결정수를 가지고 있어 100°C 이상에서는 이들의 분리·소실해감에 따라 수축하고 약 700°C에서는 완전하게 탈수하여 불가역 변화하게 된다.

또한 콘크리트의 약 75%는 골재가 차지하고 있으므로 콘크리트의 고온시의 성질은 골재의 성질에 의존하는 경우가 있다. 콘크리트는 약 1200°C 이상에서 장시간 가열하면 표면으로부터 점차 용융한다.

한편, 콘크리트는 500°C ~ 580°C의 가열에서 콘크리트 중의 유리알칼리성분인 수산화칼슘(Ca(OH)₂)이 열분해하여 알칼리성을 소실해가는 화학적 피해를 입는다. 이러한 현상에 따라 철근콘크리트구조물의 내구성이 현저하게 소실된다.

콘크리트부재는 화재초기에 표면부 콘크리트의 박락을 발생시켜 철근을 노출시킴으로써 특이한 파괴현상을 일으키는데 이를 콘크리트의 폭열이라 부른다. 폭열의 주원인은 다음과 같다.

- ① 온도상승에 따른 콘크리트 중 골재자체의 화학적 성질의 변화
- ② 콘크리트 중의 모세관극 내의 자유수 수증기압의 증대
- ③ 가열에 의한 시멘트페이스트부와 골재의 상반된 거동
- ④ 콘크리트내부와 철근간의 동일하지 않은 팽창으로 인하여 발생하는 구속응력의 증대
- ⑤ 콘크리트내부에 대한 승온속도의 다른 점등에 따라 발생하는 내부열응력의 증대 등이다. 특히 골재자신의 성질에 기인하는 경우가 크다.

3. 보수방법과 사양

3.1. 화재피해를 입은 콘크리트구조물의 조사

일반적으로 철근콘크리트구조물은 내화성이 우수하여 화재에 의한 피해가 다른 구조물

에 비하여 작다고 알려져 있다. 그러나, 화재의 정도에 따라 대규모의 보수·보강을 부득이하게 실시해야 하는 경우도 있으며, 화재 피해의 정도가 작다면 국부적, 소규모의 보수 정도에 그치는 수도 있다. 그러므로, 화재를 입은 RC구조물의 재사용 여부는 중요한 사회적 문제이다. 피해 후의 재사용이나 보수·보강을 검토하는 데 있어 부재내부의 콘크리트와 철근의 수열온도를 추정하여 각 부재의 피해정도를 정확히 진단하는 일이 중요하다.

조사는 육안조사를 주로 하는 1차조사와 재료시험 혹은 구조시험에 의한 2차조사로 나누어 실시하며 조사항목을 표 1에 나타냈다. 화재조사·진단은 분쟁·보험 등에 관련한 조사로 실시하는 경우가 많으며 대부분 특수한 조사를 위해 전문가에게 조사·진단을 위임한다.

표 1. RC조의 화재조사항목

조사수단	조사항목	화재 상황	콘크리트			철근의 역학적 성질	부재	
			압축 강도	영 계 수	수열온도		내력	강성
	육안관찰 (균열, 깊이, 변형, 박락, 폭열등)	○						
	콘크리트 변색상황				○			
	중성화깊이의 측정				◎*			
	슈미트해머에 의한 압축경도시험		◎					
	코아샘플에 의한 시험(압축)		◎					
	(영계수)			◎				
	철근의 인장시험					◎		
	재하시험						◎	
	진동시험							◎

○ : 일차조사, ◎ : 2차조사, * : 500℃이상의 추정이 가능

1) 1차조사

사진 4에서 보는 바와 같이 육안관찰로 가능한 외관상의 피해상황을 관찰하고 화재상황을 조사한다. RC구조물이 화재를 입은 경우, 외관상의 피해로는 보나 상판의 휨, 균열, 콘크리트의 결손(들뜸·박리)등이 있다.

이는 가열에 의한 부재의 강도와 강성의 저하, 화재 시에 발생하는 열응력, 혹은 폭열으로부터 기인한다. 또한 표 2에서와 같이 콘크리트표면의 변색상황으로부터 콘크리트표면의 수열온도를 추정할 수 있다. 관찰결과로부터 화재개소에서 표면 수열온도분포를 개략추정하고, 상세한 조사대상 부위의 범위를 선정한다.

표 2. 콘크리트의 변색상황과 수열온도의 관계

변색상황	온도범위
그늘음 등이 부착	300 미만
핑크색	300~600
회백색	600~950
담황색	950~1200
용융상태	1200이상



사진 4. 콘크리트 표면의 변색과 폭열상황

표 3에 나타난 화재판정기준을 참고하여 각 부재의 피해도를 경미한 순에서 무거운 순으로, 피해등급 I 부터 V의 5등급으로 크게 나누어 평가한다. 또한 관찰에 있어서는 다음과 같은 점에 주안점을 두도록 한다.

- ① 콘크리트의 변색
- ② 폭열이 유무, 크기, 깊이
- ③ 균열의 유무, 폭
- ④ 들뜸이나 박리의 유무 및 깊이
- ⑤ 부재의 휨이나 변형
- ⑥ 철근의 상태
- ⑦ 기타

2) 2차조사

1차조사를 기본으로 하여 피해규모와 경제성·효과를 고려하여 2차조사를 행하고 1차조사의 등급별 적부를 판단할 자료를 얻게 된다.

(1) 1차조사 실시 후, 피해등급 I 급(무피해) 이외의 경우는 간단한 조사로서 재료시험을 실시한다.

재료시험에는 반발경도시험, 중성화시험, 코아콘크리트 및 철근의 채취시험 등이 있으며 또한 구조시험으로는 재하시험, 진동시험 등이 사용되고 있다. 이중에서 코아콘크리트의 채취시험은 가능한 최소로 실시하도록 하며 철근에 어떠한 이상이 있다고 판단되는 경우에는 철근의 채취시험을 행한다. 이러한 재료시험의 대상이 구조부재인 경우로서 엄밀한 판단이 필요한 경우에만 진동시험을 행하며, 재하시험을 행해야 하는 부재를 선정한다. 콘크리트의 안전한계로 생각되는 온도, 500℃의 깊이를 조사할 필요가 있는 경우에는 수열온도를 추정한다.

표 3. 피해등급과 화재형태

피해등급	형태
I 급	<ul style="list-style-type: none"> · 무피해의 상태 ① 피해가 전혀 없다. ② 마감재료 등이 남아 있다.
II 급	<ul style="list-style-type: none"> · 마감재부분에 피해가 있는 형태 ① 구체에 그을음이 부착 ② 콘크리트표면의 수열온도가 500℃ 이하 ③ 상판, 보의 박리가 약간 있다.
III 급	<ul style="list-style-type: none"> · 철근위치에 도달하지 않은 피해 ① 미세한 균열 ② 피복콘크리트의 수열온도가 500℃를 초과 (부근위치까지는 500℃ 이하) ③ 기둥의 폭열이 약간 있다.
IV 급	<ul style="list-style-type: none"> · 주근의 부착이 문제가 있는 상태 ① 표면에 수 mm 폭의 균열 ② 철근의 일부 노출
V 급	<ul style="list-style-type: none"> · 주근이 좌굴 등의 실질적 피해가 있는 상태 ① 구조부재로서의 손상이 크다. ② 폭열의 범위가 크다. ③ 철근노출이 크다. ④ 휨이 두드러진다.

(2) 피해등급이 II급 보다 상위인지 하위인지 그 판단이 곤란한 경우는 상세조사(콘크리트·코아채취시험, 콘크리트의 수열온도추정 등)를 실시한다. 콘크리트의 고온시의 압축강도 및 탄성계수의 자연회복은 냉각 후 충분한 시간이 지나면 500℃까지의 가열온도라면 약 90%까지 강도를 회복할 수 있다. 따라서 콘크리트를 재사용할 수 있는 안전한계온도는 강도의 2/3를 확보할 수 있는 500℃로 판단하는 것이 바람직하다. 철근의 가열온도 역시 500℃라면 냉각 후 강도를 거의 회복한다. 이러한 결과로부터 JIS A 1304 「건축구조부분의 내화시험방법」에 의해 500℃를 철근과 콘크리트의 안전한계온도로 판단하는 것이 적당하다. 콘크리트의 안전한계온도라 판단할 수 있는 온도 500℃의 깊이를 조사하여 피해등급III~V급(보수가 필요한 등급)으로 분류한다. 이와 같은 상세조사로 콘크리트 혹은 철근의 온도추정은 화재진단에 있어 중요한 의미를 가진다. 콘크리트의 변색 등으로 수열온도를 추정할 수 없는 경우는 채취시험을 통하여 콘크리트 및 철근의 강도 등을 직접 조사하여 안전성을 평가한다.

(3) 피해등급 IV급 또는 V급의 구별이 곤란한 경우 다시 상세조사(진동시험 및 재시험)를 실시하여 피해등급이 IV급인지 V급인지를 판단한다.

① 슈미트햄머에 의한 반발경도시험

화재부분의 강도가 설계기준강도이상, 혹은 건전(健全)부분과 비교하여 동일 이상인지, 어떤지를 조사한다.

② 중성화시험

콘크리트표면을 치핑하여 중성화시험을 행하고 화재부분이 건전부분과 비교하여 깊이 진행해 있는지, 어떤지를 조사한다.

③ 코아콘크리트의 채취시험

부재로부터 채취한 코아콘크리트를 이용하여 압축시험을 행하여 압축강도를 구한다. 부재의 강성을 구할 필요가 있는 경우에는 영계수를 구한다. 압축강도시험 후의 코아를 이용하여 중성화깊이를 측정한다.

④ 철근의 인발시험

부재로부터 철근을 채취하여 철근의 인장시험을 행하고 역학적 특성(항복점, 인장강도 및 신율 등)을 구한다. 조사방법은 다음과 같은 순서에 따라 진행한다.

- JIS Z 2201 「금속재료인장시험편」에 따라 철근을 채취한다.
- 채취한 샘플이 인장강도시험편으로 가공이 가능한지 어떤지 확인후 가공한다.
- 인장강도시험은 JIS Z 2241 「금속재료인장시험방법」에 따른다.

⑤ 진동시험

진동시험에 의해 슬래브나 보의 고유진동수, 진폭, 모드, 감쇠 등을 조사하여 슬래브나 보의 일체성 및 지지조건을 검토한다. 그 방식은 기진기에 의한 강제진동방식과 모래주머니나 충격시험장치에 의한 충격진동방식이 있다.

⑥ 재하시험

슬래브나 보의 재하시험 방법은 JASS 5에 규정되어 있으며 장기의 설계분포하중에 의한 A법과 집중하중에 의한 B법이 있으며, A법이 실상에서 즉시 행할 수 있어 보다 바람직하다. A법으로 시멘트주머니, 인고트, 모래 및 물 등을 재하하여 재하에 따라 발생하는 최대변형과 잔류변형(하중제거 1시간 후에 잔류하고 있는 변형)을 측정한다. B법은 오일 자키로 재하하여 예정하중(설계하중의 2배)에 도달한 시에 즉시 재하하며 최대변형과 재하 후의 잔류변형을 측정한다.

⑦ 수열온도의 추정

- X선회절

콘크리트를 X선 회절하여 결정형의 변화로부터 수열온도를 추정하며 결정형의 미소한 변화도 분석할 필요가 있다.

- 시차열 천칭분석(DTA · TGA)

사전에 모르터를 가열하여 중량감소 · 흡발열변화를 측정하여 자유수나 결정수의 탈수, SiO₂의 변화형태, 탄산가스의 방출변화 등을 조사하여 화재를 입은 콘크리트와 비교하여 수열온도를 추정한다. 화재를 입은 건물의 경우, 방수 등에 의한 수분의 영향이 있으므로 부착수 등의 유무로부터는 추정이 불가능하지만 고온역에서의 CO₂방출 등의 열분해로부터 추정이 가능하다.

(4) 재사용의 판정

재사용에 대한 판정은 다음과 같다. 기본적으로 피해등급 I 및 II의 경우에는 보수를 필요로 하지 않는다. 또한 피해등급III의 경우에는 보수를 필요로 하며, IV는 보강, V는 부재 교환을 필요로 한다. 전체적으로 표 4에 나타내는 기준에 따라 판정하는 것이 바람직하다.

표 4. 피해등급과 재사용의 판정

피해등급	판 정
I 급	보수의 필요가 없음 (내장 등, 콘크리트이회의 마감재부분 교환)
II 급	보수의 필요가 없음(콘크리트 표면세척)
III 급	보수(표층으로부터 피복콘크리트부분까지 타설)
IV 급	보강(부재로서의 보강)
V 급	부재의 교환 또는 새로운 부재의 설치

3.2. 화재피해건물에 대한 보수·보강

철근콘크리트구조물은 내화성에 우수하며, 화재에 의해서 급격하게 파괴·변형이 발생되지 않는 것으로 알려져 있다. 또한, 철근콘크리트구조물이 내화성을 가지고 있어 목조나 철골조에 비해 화재에 의한 구조물의 영향이 비교적 작기 때문에 보수·보강에 의해 재사용도 가능하다.

표 5. 화재에 대한 보수대책의 원칙

열화상태	열화현상	대책의 원칙
콘크리트의 변색·균열	가열 온도변화에 따라 변색 및 균열이 발생	<ul style="list-style-type: none"> · 화재의 경우 대책으로는 보강을 전제로 해야 하며 표층의 화재에 의한 피해만인 경우는 보수대책을 선정한다. · 취약화된 콘크리트는 제거한다 (강도 및 탄성계수의 저하) · 내부강재위치의 콘크리트가 중성화 된 경우에도 제거한다. · 콘크리트의 가열온도가 200℃를 초과하면 품질저하가 지속되고 500℃에 이르면 1/2까지 현저하게 저하된다. · 콘크리트의 가열온도가 100~200℃을 초과하는 경우 철근부착강도의 저하가 크다.
콘크리트의 폭열 및 폭열	고온가열에 따라 취약화되어 박락 및 내부에 발생한 수증기압에 의해 폭열 발생	
콘크리트 강도 저하 및 중성화	가열에 의해 시멘트 경화체가 변질되고 강도저하 및 중성화 발생	
내부강재의 연화	가열의 의해 변질되고 내부 철근 및 PC강재는 연화	<ul style="list-style-type: none"> · 일반적으로 철근콘크리트 구조물의 화재의 경우에는 내부강재의 가열 변질 이전에 콘크리트 자체의 열화가 발생한다. · 내부강재의 가열온도가 500~600℃이하의 경우는 강재의 변질은 발생하지 않는다고 말할 수 있다.

표 5는 화재에 의해서 발생된 열화에 대한 보수대책의 원칙을 나타낸 것으로서 화재에 의한 열화는 비교적 심각한 경우가 많고, 부재내력도 저하하게 되며 콘크리트의 변색이나 균열 등의 표면적인 열화도 발생하기 때문에 「미관 회복」 「내구성 확보」 「내력 회복」을 목표로 하여 대책이 이루어진다. 이들 열화현상은 단기간에 급격하게 발생한 피해이고 비교적 심각하기 때문에 우선 안전성 측면에서의 「응급」 「잠정」 조치를 신속하게 실시할 필요가 있다. 그 이후에는 열화정도에 따라서 「연명」 「항구」의 대책을 취하게 된다. 또한 표 7.6에는 화재에 의해서 발생한 열화에 대한 보수·보강공법의 선정원칙을 나타낸 것이다.

표 6. 화재에 대한 보수·보강공법의 선정

표구 성능	경도(輕度)의 열화		중도(中度)의 열화		중도의열화		손괴(損壞)	
	적용성	공 법	적용성	공 법	적용성	공 법	적용성	공 법
미관 회복	◎	표면피복 시멘트계도포재, 모르터계재료, 도장재, 라이닝재에 의한 열화표면개수	○	표면피복 시멘트계도포재, 모르터계재료, 도장재, 라이닝재에 의한 열화표면개수			-	-
열화 인자의 차단	○	표면피복 콘크리트 중의 열화의력의 침입을 차단. 미관회복을 겸하는 것도 있음	◎	표면피복 콘크리트 중의 열화의력의 침입을 차단. 미관회복을 겸하는 것도 있음			-	-
열화 인자의 제거 (열화한 부분을 제거)	△	단면복구 콘크리트 열화부를 떼어내거나 연마에 의해 제거. 표면피복전의 전처리와 겸하여 행하는 경우가 있다.	◎	단면복구 콘크리트 중의 열화부를 제거	◎	단면복구 콘크리트 중의 열화부를 제거		-
내하력 변형 성능을 제거		-	○	보강 강판접착, 탄소시트접착, 부재증설	◎	보강 강판접착, 탄소시트접착, 부재증설, 부재갱신	◎	보강 부재증설, 부재갱신

(주) 기호는 다음과 같은 의미를 나타낸다.

- ◎ : 주공법으로서 적용해야할 공법
- : 주공법 다음으로 적용성이 높은 공법
- △ : 구조물의 열화상황 등에 따라 적용을 검토해야 하는 공법

표 7. 화재에 대한 보수·보강공법의 선정

표구 성능	경도(輕度)의 열화		중도(中度)의 열화		중도(中度)의 열화		손괴(損壞)	
	적 용 성	공 법	적 용 성	공 법	적 용 성	공 법	적 용 성	공 법
공 법 선 정	<ul style="list-style-type: none"> · 표면에 화재를 받은 정도이다. · 표면변색 부위 등의 미관회복을 목적으로 표면피복을 실시한다. · 중성화 진행 및 철근부식의 억제를 위해 표면피복에 의해 연회인자를 차단하는 것도 있다. · 표면 피복처리와 겸하여 실시하는 경우도 있다. 제거 두께가 얇기 때문에 단면복구에는 모르터 등을 이용한다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 화재에 따른 열화가 철근위치까지 도달하지 않는 정도. · 표면의 변색 및 균열이 발생하고 콘크리트의 취약화도 표층에 발생하는 경우가 있다. · 콘크리트의 열화 정도에 따라 표면피복, 단면복구를 선정한다. 경우에 따라 보강도 실시한다. · 열화부재의 연속사용을 전제로한 내구성의 확보를 목적으로 대책을 실시한다. · 제거 두께가 얇기 때문에 단면복구에는 모르터 등을 이용한다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 화재에 의한 열화가 철근위치를 초과하여 내부까지 도달한 상태. · 표층 콘크리트는 고온에 의해 폭열하여 취약화 되어 있다. · 철근에는 고온이력에 따른 연화는 발생하지 않고 있다. · 콘크리트에 폭열이 발생하고 있다. · 열화부재의 연속사용을 전제로한 내구성확보 또는 구조적인 보강대책을 실시한다. · 제거두께가 비교적 두껍기 때문에 단면복구에는 콘크리트도 이용할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 상당히 내부까지 화재에 의한 열화가 진행되어 있는 상태. · 배근외주의 콘크리트는 취약화 되고 내부 콘크리트에도 취약화가 보여진다. · 콘크리트에 폭열이 발생하고 있다. · 철근에는 온도이력에 따른 연화가 발생하고 있다. · 열화부재에 대한 보강을 실시해도 효과가 없는 경우에는 부재 증설 및 새로운 부재 갱생에 의한 구조적인 보강대책을 실시한다. 				

한편, 강재에 대한 고온가열의 영향은 콘크리트에 비해 작고 500~600℃ 이하이면 상온 냉각 후에는 고온에 의한 영향이 없다는 보고도 있다. 그 이상의 고온으로 되면 인장강도나 항복점 등의 역학적 특성 저하가 발생하게 된다. 따라서, 화재에 의해 강재의 열화가 문제로 되는 경우에는 해당 부재나 개소의 내력저하가 현저하므로 보강 또는 재의 교체 등의 대책을 세우는 것이 좋다.

4. 섬유쉬트로 보강된 RC부재의 내화성능 평가

4.1. 섬유쉬트로 보강된 RC 구조부재의 방·내화성능^{13),14)}

탄소섬유쉬트(CFRP)로 보강된 RC구조부재의 방·내화성능에 관한 국내 규정 및 연구 자료는 거의 전무한 실정이다. 그러나, 화재에 대하여 매우 민감하게 반응하고 있는 일본의 경우는 아래와 같은 견해가 각 종 자료를 통하여 나타나고 있으며, 건설성을 중심으로

지침의 형태로 제시되어 있으나 아직 통일된 기준은 없는 실정이다.

① 내화구조는 기본적으로 불연성재료로 구성되어 있고 그 자체가 화재 발생이나 확대를 일으키는 경우는 없다. 또한, 내화구조인 기둥, 보 등의 가구부재는 화재로 인한 가열을 받아도 항시 연직하중을 지지하고, 건축물의 붕괴를 방지하기 위하여 필요한 「하중 지지능력」을 갖고 있어야 한다. 더욱이, 내화구조인 벽체, 슬래브 등의 구획부재는 화재에 의한 가열을 받아도 그 열 및 화염·고온가스를 뒤쪽 면에 통과시키지 않는 「차열성」과 「차염성」을 가지고 있어야 한다. 또한, 차열성과 차염성은 연소방지 측면에서 필요한 성능이다. 이상과 같은 불연성(즉 방화성) 그리고 하중 지지능력, 차열성 및 차염성(즉 내화성)은 내화구조부재가 본래 갖추어야 할 방·내화성능으로서 매우 중요하다. 기둥, 보, 슬래브, 벽체 등의 주요 구조부를 내화구조로 한 건축물의 화재안전성은 이와 같은 방·내화성능을 전제로 하여야 한다. 따라서, 탄소섬유쉬트를 사용한 내진 보강공법을 방·내화구조부재에 적용하는 경우는 필요에 따라 적절한 조치를 강구하여 그 부재의 방·내화성능의 확보가 필요하다. 또한, 내진 보강촉진법의 제5조 및 시행규칙(1995년 건설성 제 28호)에서는 내진 보강을 촉진시키기 위하여 화재 발생을 유효하게 감지하고 건축물을 항시 관리하는 자가 있는 장소에 통보할 수 있는 장치가 설치되어 있을 경우에는 내화건축물에 관한 건축기준법 상의 규정은 적용하지 않는다고 되어 있다.

② 철근콘크리트 기둥의 경우, 건축기준법 상에서는 「내장제한 규정」을 받고있지 않기 때문에 특별히 방·내화성능을 확보할 필요는 없다. 특히, 내진보강을 실시하는 경우에는 건축기준법이 화재와 지진은 동시에 작용하지 않는다는 전제 하에 성립되므로 법률상 내화피복이 필요하지 않다고 생각하고 있다. 한편, 슬래브나 보를 보강하는 경우에는 탄소섬유쉬트가 응력을 분담하는 것이므로 에폭시수지의 가연성을 고려하면 방·내화피복을 실시하는 것이 바람직하다고 생각하고 있다.

③ 화재에 의한 피해부위를 재보강하는 경우, 내화피복은 필요하지 않지만 화재 후도 부재를 그대로 사용하는 것을 의도하는 경우에는 탄소섬유쉬트가 260℃를 넘지 않도록 내화피복을 실시하여 둘 필요가 있다. 또한, 건물소유자가 피복 공사를 요구하는 경우에는 피복재료로서 불연, 준불연이 바람직하고 피복시에는 줄눈의 벌어짐이나 피복재료의 탈락에 주의를 할 필요가 있다.

④ 1995년 12월에 시행된 「건축물의 내진보강 촉진에 관한 법률·동시행령」에 의하면 일반 건축물, 특정건축물(학교, 체육관, 백화점 등) 다수의 사람이 이용하는 건축물」을 내진보강 할 경우, 건축기준법 상의 내화규정에 부적합 부분이 있어도 좋다고 되어 있으므로 특히, 내진보강의 경우에는 내화피복에 대하여 거의 신경 쓰지 않아도 좋다는 생각을 하고 있다.

이와 같은 상황을 고려하면, 철근콘크리트 구조부재를 탄소섬유쉬트로 보강하는 경우에는 반드시 방·내화피복이 필요하지 않다고 판단 할 수 있다. 그러나, 국내의 탄소섬유쉬트 보강은 주로 과하중 및 축력에 대한 보강이므로 탄소섬유쉬트가 화재에 의하여 열화된 경우는 보강효과 상실과 함께 가스 및 화재 위험성이 있으므로 건축물의 경우에는 반드시 적절한 방·내화피복을 실시하는 것이 타당하다고 판단된다.

4.2. 탄소섬유쉬트 경화체의 방·내화 성능

탄소섬유는 약 2000℃ 이상에서의 불활성 가스 중에서 열처리에 의해 순도 높은 탄소화, 흑연화된 재료이므로 통상적으로 안정적이며 질소가스 등의 비산화성 분위기 하에서는 2000℃정도까지의 내열성을 갖는 불연성 재료이다. 통상 500~600℃정도의 일반화재 시에는 탄소섬유가 화학변화를 일으키지 않으나 CFRP 경화체를 구성하는 에폭시수지는 가연성의 물질이므로 방·내화성능은 에폭시수지에 의하여 결정된다고 하겠다. 그림 5는 CFRP 경화체를 각 온도에서 장기간 방치한 경우의 강도 유지율로서 80℃의 환경온도에서도 80% 이상의 강도유지를 나타내어 비교적 고온이 되는 굴뚝의 보강공사에도 탄소섬유쉬트 보강 공법이 적용되고 있다. 한편 그림 6에 시험온도에 따른 CFRP 경화체의 열간 인장시험 및 열이력 후의 인장시험 결과를 나타낸다. 열간에서의 인장시험에서는 시험온도가 40℃에서 100℃로 상승하면 인장강도는 50% 정도로 저하한다. 한편, 열이력 후의 인장강도 시험에서는 260℃의 온도 환경 하에 2시간 방치한 후라도 강도저하를 일으키지 않는다. 따라서, 화재 등의 영향을 받더라도 260℃이상으로 CFRP 경화체의 온도가 상승하지 않도록 내열처리를 실시하면 상온으로 냉각한 후에는 열이력 이전 인장강도를 기대할 수 있다.

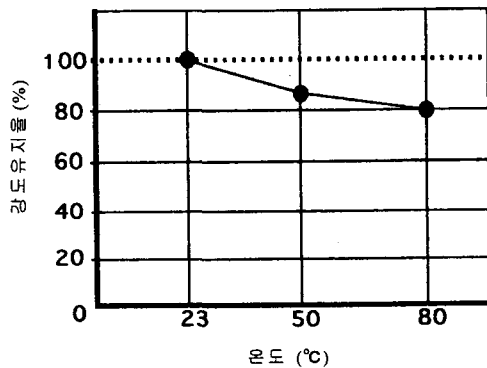


그림 5. 탄소섬유쉬트 경화체의 열특성

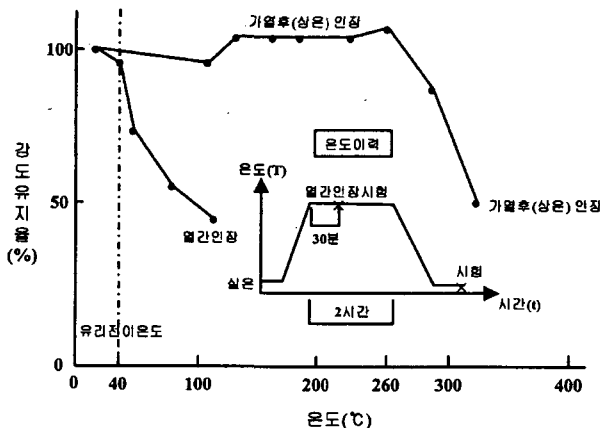
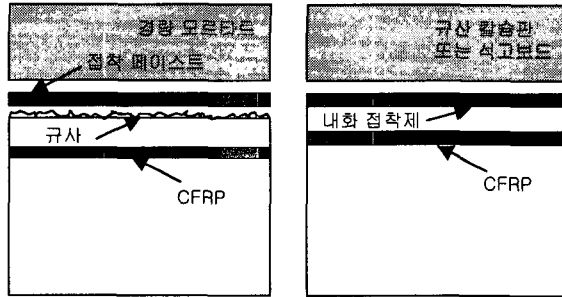
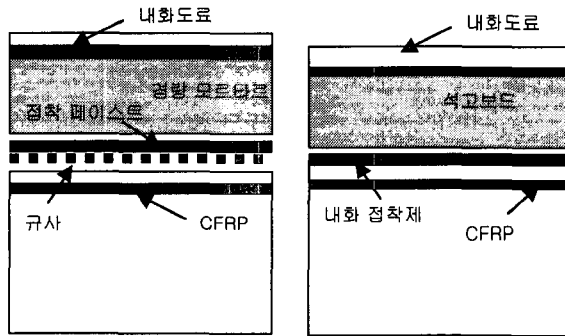


그림 6. 탄소섬유쉬트 경화체의 열특성

한편, 그림 7과 같이 5종류의 마감층을 시공한 탄소섬유쉬트 보강 콘크리트 판에 ISO 834에 준거한 표준적인 내화가열곡선을 사용하여 1시간 및 2시간의 가열시험을 실시한 결과, 탄소섬유쉬트 경화체의 허용열화온도로서 제안되고 있는 220~260℃이하를 넘지 않는 마감재 피복두께를 표 8과 같이 제안하고 있다.



(1) 경량 모르타르판 마감 (2) 규산칼슘판/석고보드 마감



(3) 경량 모르타르 + 내화도료 (4) 석고보드 + 내화도료

그림 7. 각종 마감재를 시공한 시험체 개요도

표 8. CFRP의 인장강도 확보를 위한 마감재 별 최소 피복두께

마감재 종류	두께(mm) 1시간	두께(mm) 2시간
1. 경량 모르타르판	35	50
2. 섬유혼입 규산칼슘판	20	40
3. 석고보드	27.5	42.5
4. 경량 모르타르	25	35
5. 경량모르타르+각종내화도료	15+내화도료(3mm)	20+내화도료(3mm)

표 9에 탄소섬유쉬트의 재료적 특성측면에서의 방·내화성 평가방법을 나타낸다. 한편, 탄소섬유쉬트의 방화성능을 평가하기 위하여 그림 8과 같이 모르타르판에 접착한 탄소섬유쉬트 위에 불연피복 한 공시체를 사용하여 연소시험(표면시험)을 실시한 결과, 암면 10mm을 피복 한 상태에서는 표 10에 나타낸 바와 같이 불연재료의 표면시험을 합격하여 준불연재료에 상당하는 것이 확인되고 있다. 한편, 그림 9에서 알 수 있듯이 탄소섬유를

고탄성으로 사용하는 경우, 열전도성이 높고 방열하기 때문에 불연성 시험결과에 의하면 타지 않는 것이 보고되어 있다.

표 9. 탄소섬유쉬트의 재료적 특성측면에서의 방·내화성 평가방법

평가 항목	세부 항목	평가 방법 (규격)	평가 내용
연 소 성	발열성	1) 고압 펌프 칼로리 메타 법 (ISO 1716)	재료가 완전히 연소한 때에 발생하는 열을 측정. 화재 확대를 조장하는 정도의 판정기준. 2)는 로내의 온도 상승 등에 기초하여 발열성을 판단하는 것이므로 발열량을 직접 측정하는 것은 아님.
		2) 기재시험 및 표면시험 (건설성 제 1828호)	
	인화· 발화온도 (착화성)	1) 플라스틱 발화성 시험	인화· 발화온도는 화재 시 착화 난이도(출화의 위험도)의 판정기준. 시료의 크기, 기류속도, 승온 속도 등에 크게 영향을 미치므로 시험조건과의 대응이 필요. 2)는 복사강도와 착화시간과의 관계를 구하는 것으로 시험조건이 화재시의 재료 가열조건에 비교적 가까움
		2) 착화성 시험 (ISO/DP 5657)	
	산소 지수	1) 산소지수법 (JIS K 7201)	재료의 연소 난이를 나타내는 지표. 자기 소화성의 판단기준으로 된다. 1)에서는 연소를 지속시키기 위하여 필요한 산소농도의 하한 값을 구한다.
	자기 소화성	1) 경질우레탄폼재의 연소 시험 방법 (JIS A 9514)	가연성이지만 열원이 없어지면 자연적으로 소화하는 (계속 타지 않음) 연소특성. 1)과 2)에서는 화염을 제거한 후의 연소계속시간을 구한다.
2) 폼 폴리스티렌 보온재의 연소시험 방법(JIS A 9515)			
화염 전파성	1) 터널시험(ASTM E 84)	재료표면에서 화염확대의 성장. 초기화재의 성장·확대 방지 면에서 내장재에서는 가장 중요한 특성. 1)과 2)는 기본적으로 같은 방법이며 시험체 표면을 화염이 진전하는 속도를 측정한다.	
	2) 표면연소 특성 시험 (ULC S 102)		
	3) 화염전파성 시험 (ISO/DP 5658)		
연 기 발생 / 가 스 발생	발연량	1) 표면시험 (건설성 제 1828호)	피난자의 거리감을 저하시키는 연기의 발생량이나 발생 속도를 측정. 2)와 3)은 거의 같은 방법. 모든 시험방법도 시험체를 가열(복사, 접근화염)하고 발생하는 연기를 상자에 모아 그 농도를 공학적으로 측정
	발연 속도	2) 고체재료에서 발생하는 연기의 광학적 농도 (ASTM E 662)	
		3) Smoke Chamber 시험 (ISO/DP 5659)	
	가스 유독성 (연소생성 가스의 조성)	1) 가스 유해성 시험 (건설성 제 1231호)	피난자의 행동을 저해하는 연소생성가스의 유해성을 평가. 1), 2)는 가열중의 시험체에서 발생하는 연소생성가스를 취에게 흡입시켜 독성을 평가. 기기분석 등에 의해 얻어진 가스조성에서 판단하는 방법도 있음. 재료의 연소조건(가열온도, 공기의 공급상태) 등에 의해 가스의 유해성(가스 조성)은 크게 변화하므로 주의가 요망된다.
2) 기류 중에 있어서 재료의 열분해 생성물과 그 유해성 시험 (DIN 53436)			

경과시간 (분)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
배기온도 (°C)	70	80	90	155	205	235	260	275	290	305

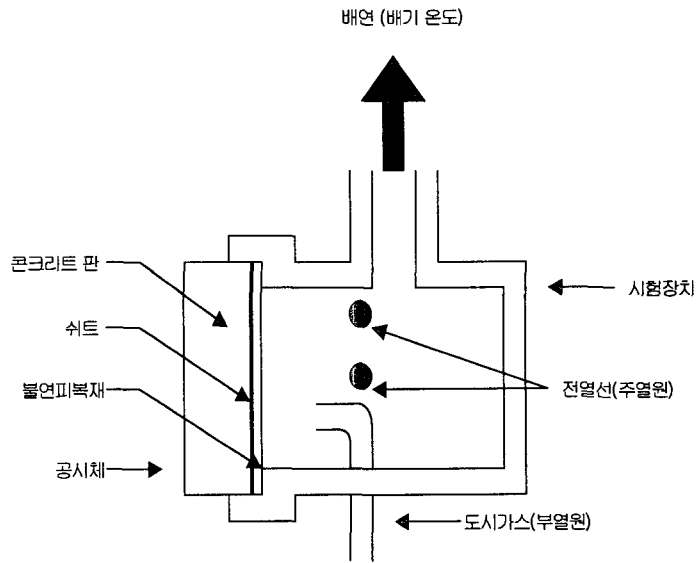


그림 8. 불연재료의 표면시험 방법

표 10. 표면시험 결과

항 목	결 과	판정 기준
유독가스 발생유무	없음	발생 없음
표준곡선 초과시간	없음	표준곡선을 넘지 않음
배연계수	0.3	30 미만
잔염시간	0	30sec 미만
방화상 유해한 변형	없음	없음
전체두께에 걸친 용융	없음	없음
균열폭 · 길이 mm	0	전체두께 1/10미만
판정	합격	

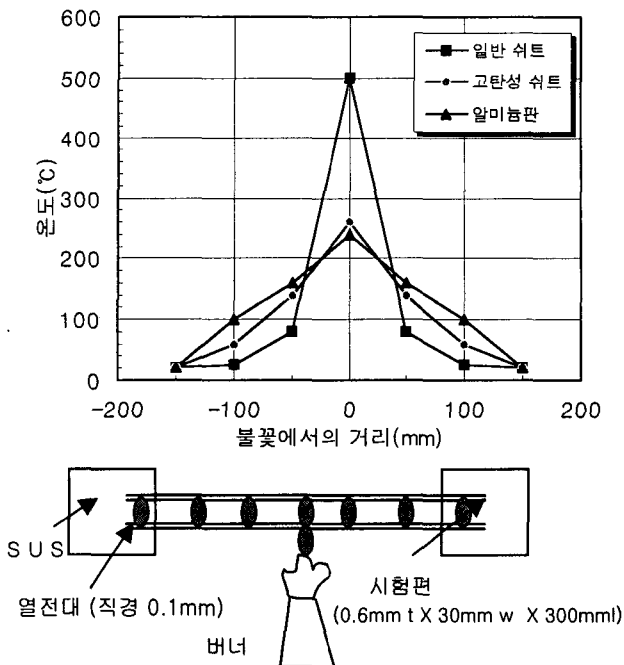


그림 9. 고탄성 탄소섬유슈트의 불연성 시험

4.3. 탄소섬유슈트의 부착 성능과 내화 특성

방·내화성능 관점에서 탄소섬유슈트 보강공법을 평가한다면, 우선, 에폭시수지와 콘크리트와의 부착성능이 화재에 의하여 손상되는 일이 없어야 보강효과를 유지할 수 있다. 3항에서 실시한 각종 마감을 대상으로 1시간 및 2시간 내화시험 종료 후 부착시험을 실시한 결과, 탄소섬유슈트 표면의 최고온도가 150°C이하의 경우 부착강도 측정에서는 콘크리트와의 응집파괴가 나타나지만, 180°C부근에서 콘크리트와 슈트 계면과의 파괴가 일부 보여지게 되며, 210°C를 넘으면 콘크리트와 슈트 계면에서의 파괴가 반수 이상을 접하게 된다. 또한, 400°C 이상이 되면 슈트에 사용되고 있는 에폭시 함침수지 그 자체가 열 때문에 열화하여 함침수지의 내부응집파괴가 나타나게 된다.

이상의 CFRP 경화체의 인장강도 특성 및 마감재와의 부착시험결과를 종합하여 보면, 지금까지 탄소섬유슈트의 열적 열화는 인장강도 저하 측면에서 220°C에서 260°C로 알려져 있었지만 약 180°C부터 부착성능 저하가 시작되고 약 210°C에서 부착강도가 크게 저하하는 것이 확인되었다. 특히, 실험에서 부착관계를 조사한 온도는 최고온도이며, 그 온도에서 유지된 것이 아닌 순간적으로 기록된 온도이기 때문에 실제로 탄소섬유슈트에 축열된 온도는 당연히 이 값보다 낮다고 판단된다. 이 때문에 부착강도에서만 본 탄소섬유슈트 보강공법의 화재에 대한 내력저하를 방지하기 위해서는 슈트 표면을 200°C이하, 가능하면 180°C이하로 하는 내화피복이 피복재 종류에 따라 표 11과 같은 두께가 필요하다고 판단되며, 이에 대한 정밀한 연구가 필요하다고 판단된다.

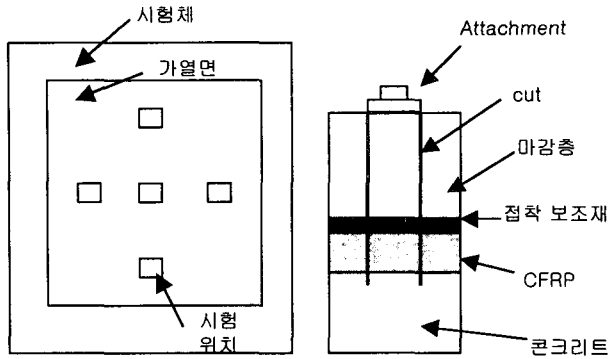


그림 10. 탄소섬유쉬트의 화재시험 후 부착성능 시험 방법

표 11. 부착강도 확보 측면에서 마감재 별 최소 피복두께

마감재 종류	두께(mm) 1시간	두께(mm) 2시간
1. 기초합 모르타르	50	-
2. 섬유혼입 규산칼슘판	25	40
3. 석고보드	27.5	42.5
4. 경량 모르타르	25	40
5. 경량모르타르+각종내화도료	15+내화도료(3mm)	20+내화도료(3mm)

4.4. 탄소섬유쉬트로 보강된 RC구조부재의 내화성능 평가

기존 국내 연구에 의하면 탄소섬유쉬트 등과 같은 면재를 RC구조부재에 보강한 경우의 내화시험 연구결과는 전무한 실정이다. 일반적으로 외국에서는 그림 11과 같이 탄소섬유로 보강된 RC구조부재의 내화성능 평가·내화설계의 기본 순서가 제안되어 있고, 구조부재 내화시험방법에 준하여 보강된 RC구조부재의 내화시험을 실시하여 검증하고 있다. 또한, 화재에 의한 탄소섬유쉬트 보강 RC구조부재의 내하력 저하를 정확히 평가하기 위해서는 탄소섬유쉬트의 상온시 인장강도나 탄성계수와 함께 고온시의 인장강도 및 탄성계수, 크리프계수, 열팽창율, 열전도율 등을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 또한, 화재에 의해 발생하는 열에 의한 콘크리트의 열화정도를 정확히 평가하는 것과 함께 콘크리트 내부의 수분이 탄소섬유쉬트에 의해 증발되는 것이 억제되어 콘크리트가 폭열하여 내력이 급격히 저하할 우려가 있으므로 폭열방지에 대한 주의도 함께 필요하다. 한편, 모든 검증을 실험에 의하여 실시하는 것은 매우 힘들므로 열전도해석이나 이를 근거로한 구조응력해석을 통하여 화재에 의한 탄소섬유쉬트 보강 RC구조부재의 내력저하 성능을 명확히 규명하는 것이 필요하다고 하겠다.

4.5. CFRP 보강 RC구조부재의 방·내화성능 확보 방법

1) 가연물량의 증대 방지

CFRP에 사용되는 가연성 에폭시수지는 화재시 연소할 우려가 있지만, 내진보강에 사용

되는 정도의 양에서는 수납 가연물의 양과 비교하여 극히 적기 때문에 일반적으로는 방·내화상 문제는 없다고 판단된다. 그러나, 동일 층수, 구획 등에서 내진보강 대상 부재가 많고 또한 각 부재에 대한 보강재의 사용량(보강층수 등)이 많으면 가연물도 증대하게 된다. 따라서, 내진보강 효과가 크고, 또한 보강재 사용량이 한정되어 있는 것을 조건으로 내화설계가 되어 있는 건축물의 내진보강을 실시하는 경우, 보강재 사용에 의한 가연량 증대가 화재성상에 미치는 영향을 검토하여 그 결과에 따라 설계를 다시 할 필요가 있다.

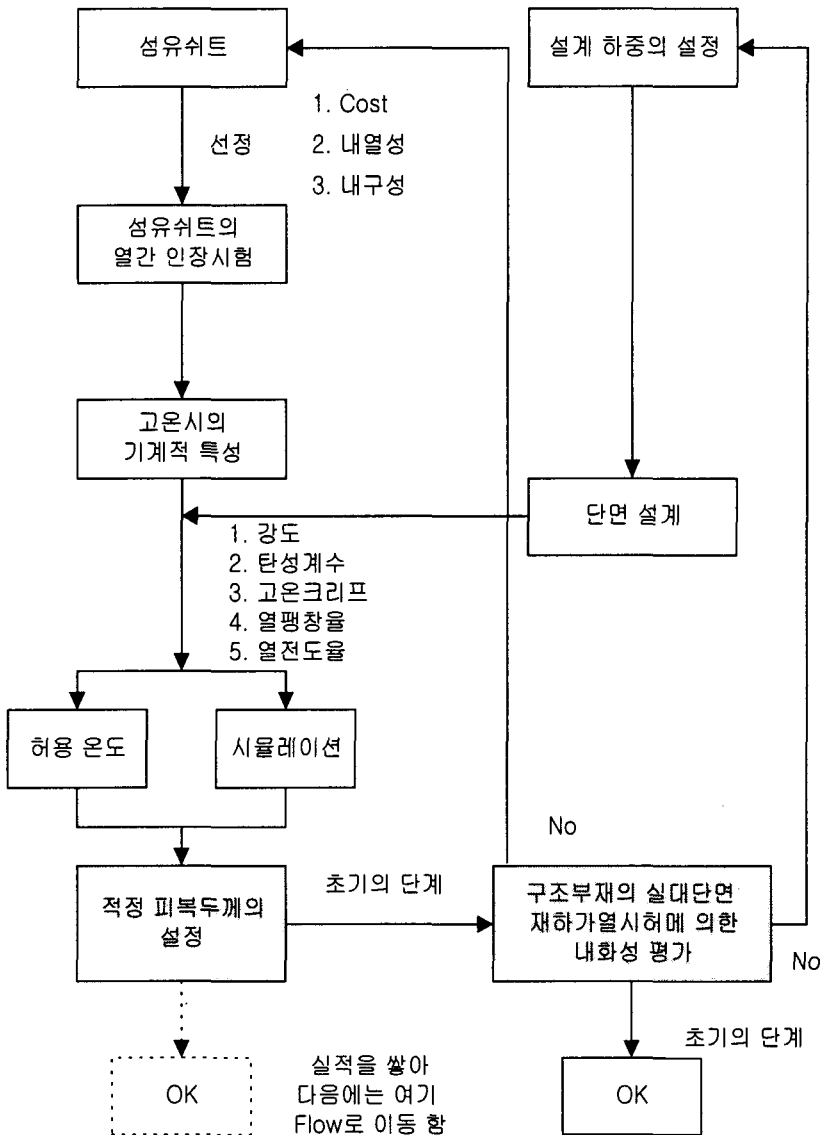


그림 11. 섬유쉬트로 보강된 RC구조부재의 내화성능 평가·내화설계의 순서 (안)

2) 내장재료의 불연화

건축물의 용도, 규모, 구조 등에 따라서는 내진보강의 대상으로 되는 부재의 실내에 면하는 부분을 불연재료, 준불연재료 등의 방화재료로 마감할 필요가 있으며, 내장제한이 건축기준법에 의해 규정되어 있다. 이와 같은 경우에는 탄소섬유쉬트의 실내에 면하는 부분을 불연재료, 준불연재료 등으로 피복 할 필요가 있다. 부재표면에 시공된 보강재는 그것에 포함된 가연성수지의 양이 극히 적기 때문에 그대로 실내에 노출하여도 화재위험은 거의 없지만 내장제한의 적용을 받지 않은 경우에서도 방화를 위하여 불연성재료를 피복하는 것이 바람직하다. 내장마감재 시공은 접착재를 사용하여 붙이는 방법, 경량철골의 바탕을 만들어 그 위에 붙이는 방법, 라스를 붙여 모르타르로 미장하는 등의 방법이 있지만 어느 것이든 보강재를 손상하지 않도록 하는 것이 매우 중요하다.

3) 구조내화성의 확보

건축기준법에서는 철근콘크리트조의 내력벽, 기둥 및 보의 콘크리트 피복두께를 3cm 이상 확보하도록 규정하고 있다. 내화구조의 철근콘크리트 부재도 당연히 이 피복두께를 만족할 필요가 있고 더욱이 내화성능을 확보하기 위하여 벽의 최소두께나 기둥·보 등의 구멍지름 최소 값도 정하고 있다. 한편, 탄소섬유쉬트를 사용한 내진보강에서는 콘크리트 부재의 마감재 제거, 구체콘크리트 표면의 절삭, 코너부분의 면따기 등의 하지조정이 실시된다. 이와 같이 하지조정을 실시할 경우에는 모르타르 미장 등에 의하여 그림 12와 같이 규정의 단면크기를 만족하도록 보수하지 않으면 안된다. 또한, 방화구획을 구성하는 측벽이 있는 기둥을 보강하는 경우에는 기둥과 벽의 접합부에 슬리트를 설치하여 보강재를 기둥에 감싸도록 하기 때문에 이 슬리트를 통하여 혹은 기둥에 감싼 보강재의 연소에 의하여 비화재실측면으로 연소할 우려가 있다. 따라서, 방화구획의 연소방지성능을 확보하기 위해서는 그림 13과 같은 슬리트 부분은 모르타르나 콘크리트로 충분히 매립함과 동시에 보강재표면을 모르타르 등의 불연재료로 피복 할 필요가 있다.

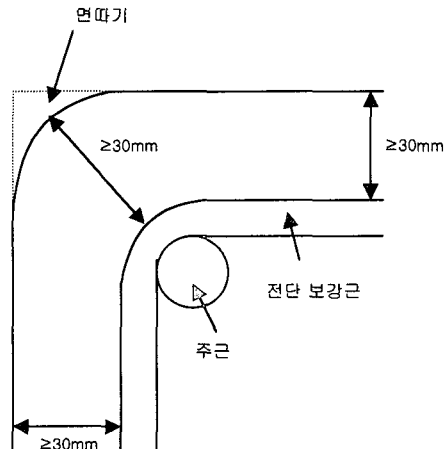


그림 12. 피복두께 확보

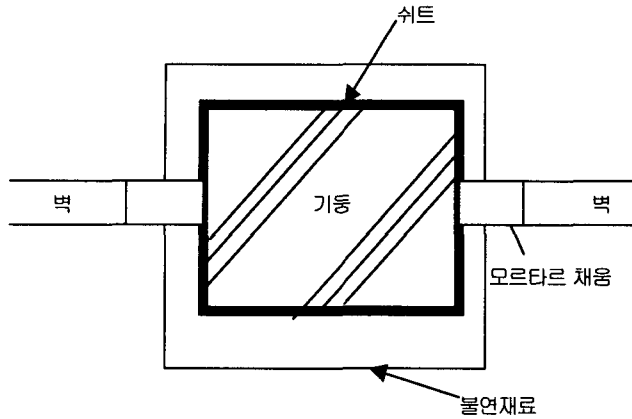


그림 13. 방화구획의 내화성능 확보

4) 탄소섬유쉬트 보강재의 내화피복

국내의 규정에도 일정한 기준을 만족하는 RC조 및 SRC조 부재는 내화구조로 지정되어 있다. 한편, 탄소섬유쉬트로 진단보강한 경우는 장기하중의 지지에는 기여하지 않으므로 화재 가열에 의해 성능이 열화 하거나 혹은 손상되어도 장기하중에 대하여는 구조내력 측면에서 지장이 없다. 따라서, 일반적으로 따로 진단보강면에 내화피복을 설치 할 필요는 없다. 예를 들면, 섬유에 탄소섬유를, 함침 접착수지에 에폭시수지를 사용한 탄소섬유쉬트 보강재는 약 260℃까지의 가열이력에서는 인장강도의 저하는 없기 때문에 화재시의 탄소섬유쉬트 보강재 온도를 260℃이하로 억제하면 화재 후 재사용이 가능하다고 판단된다. 이처럼 내화피복은 예상되는 화재의 규모(화재계속시간, 화재온도 등)에 적합한 내화성능이 확보되도록 설계하지 않으면 안 된다. 실제로는 30분~3시간 내화의 철골내화구조 내화피복 중에서 보강재의 피복으로서 적당한 공법을 선택하는 경우가 많다. 이 경우 내화피복재의 붙임공법은 보강재를 손상하지 않도록 하는 것이 중요하다. 또한, 철골내화구조의 내화피복은 철골부재를 대상으로한 것이므로 예를 들면 1시간 내화구조의 내화피복이 탄소섬유쉬트보강재에 대하여도 동일하게 1시간의 내화성능을 가지고 있다는 의미는 아니라고 판단된다. 이것은 내화구조의 지정을 받기 위하여 필요한 내화시험에 있어서 철골부재의 강재 온도 제한 값은 기둥이나 보에서 평균 350℃이지만 탄소섬유쉬트 보강재는 일반적으로 이것보다도 낮은 온도의 가열이력에서도 탄소섬유쉬트 경화체 및 부착성능의 저하를 일으키기 때문이다. 또한, 내진보강된 부재가 화재를 받은 경우는 설령 내화피복을 실시하였어도 화해가 극히 경미한 경우(연기에 의한 내화피복재 표면의 오염 등)를 제외하고는 내화피복을 제거하고 탄소섬유쉬트 보강재의 열화 유무를 조사하지 않으면 안 된다고 판단된다.

5) 화재후의 보수·보강

내진보강된 RC구조부재가 화재를 받은 경우는 탄소섬유쉬트의 들뜸, 박리, 손상, 구체 콘크리트의 균열, 폭열 등의 화재피해를 먼저 목시로 조사할 필요가 있다. 또한, 필요한

경우는 탄소섬유쉬트의 인장시험 등을 실시할 필요가 있다. 한편, 화재에 의하여 탄소섬유쉬트가 열화되어 있으면 이것을 제거하여 다시 내진보강을 실시하지만 화재피해가 콘크리트 및 철근까지 영향을 미친 경우는 RC구조부재 자체의 보수·보강도 필요하며, 열화한 콘크리트의 제거, 철근의 증설, 콘크리트 단면의 증설 등을 실시할 필요가 있다. 이 경우에도 탄소섬유쉬트 보강재를 사용한 내진보강을 실시하는 것보다 상기 부재의 보수·보강이 내진보강을 겸하도록 계획하여 시공하는 방법이 효율적이고 합리적이라고 판단된다.

4.6. 보수보강사례

화재발생 후 철근콘크리트구조물의 진단을 통해 보수·보강이 가능한 경우 다음과 같은 공법에 따라 저하된 콘크리트의 물성을 회복시켜준다. 사진 5에서의 화재피해건물을 보수·보강하였다.

① 화재피해 건물의 보수가 용이하게 하기 위해서는 사진 6에서와 같이 들뜬 부위나 이물질 등을 제거하여야 한다.

② 사진 7에서 보는바와 같이 하중에 대한 저항력을 높이기 위해 열화된 콘크리트에 강재를 이용한 포스트텐션공법을 사용했다.

코어채취 후 인장재를 고정시킬 수 있는 철재를 삽입하고 그라우팅재를 충전하여 보양한 후 포스트텐션을 도입했다. 이 때 코어채취 부분에 대해 응력저항에 대해 사전의 충분한 검토가 이루어져야 한다.

③ 화재 후 철근과 콘크리트 물성저하에 의해 인장강도가 저하됨에 따라 휨저항이 떨어지게 된다. 화재에 의해 부착력이 저하된 하부철근이 인장응력에 충분한 저항을 하기 어렵기 때문에 휨저항을 많이 받는 부분에 인장재를 설치하여 저항하도록 한다. 사진 8에서 보는바와 같이 인장재의 설치는 특히 보부분에 집중하여 시공한 것을 볼 수 있다.

④ 사진 9의 시공장면은 균열면과 공극의 충진을 위해 좌대 및 에폭시주입을 한 것이다. 콘크리트의 상태를 호전시키고 화재에 의해 빨라진 열화속도를 늦추는 역할을 하게 된다.

⑤ 사진 10과 같이 탄소섬유를 부착하여 열화된 표면을 보호하고 휨에 저항하도록 하였다. 표면의 회복은 열화의 진행을 막아주는 역할을 하게 된다.

⑥ 화재 후의 건물 성능 저하를 회복하기 위해 사진 11과 같이 기둥 및 보 등 주요구조부재들을 철판을 덧대어 강성을 높여주어 피해입은 구조물을 보강했다.

⑦ 화재를 입은 구조물은 내화성이 극심하게 저하했기 때문에 내화피복재 시공에 세심한 주의를 기울여야 한다. 사진 12는 내화피복공법 중 뽕칠에 의한 시공을 보여준다.

⑧ 사진 13에서와 같이 마감재 시공전에 이루어져야 할 공사로 밀실한 표면피복공사를 하였다.

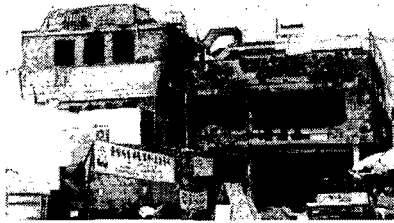


사진 5. 화재피해후의 건물

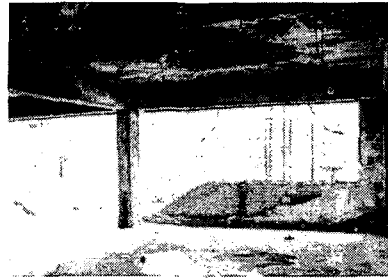


사진 6. 시공전 표면 세척 및 정리

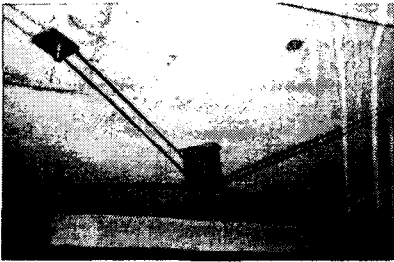


사진 7. 포스트텐션공법의 사용



사진 8. 인장재 설치공사



사진 9. 좌대 및 에폭시주입

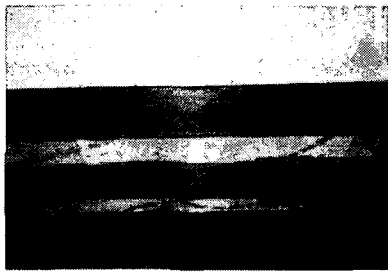


사진 10. 탄소섬유 부착



사진 11. 철판보강공사



사진 12. 내화피복 시공

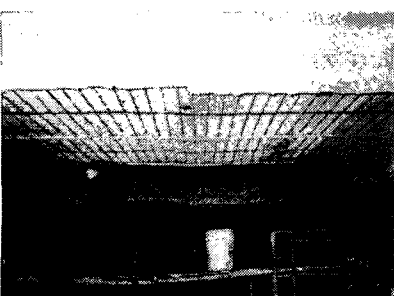


사진 13. 모르타르 미장시공

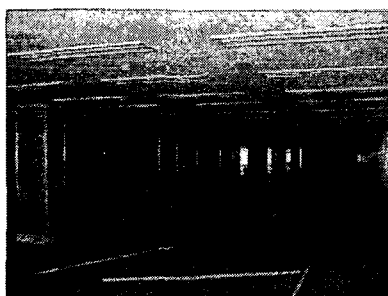


사진 14. 보수·보강시공 후

이상의 시공과정을 거쳐 사진 14에서와 같이 구조물의 제성능을 회복하여 이용될 수 있도록 했다.

이러한 시공사례가 적지 않지만 우리가 주목해야 할 것은 외국의 경우에 비하여 국내의 진단·보수·보강 지침과 규정이 극히 미비하며 연구진행도 거의 전무하여 이에 대한 연구가 시급하다는 것이다.

이를 위해서는 먼저 화재피해를 입은 철근콘크리트 구조물의 조사진단 방법과 절차가 확립되어야 하고, 이에 따른 구조물 사용가능성, 보수·보강에 의한 구조물의 기능발휘 여부 그리고 신축공사에 대한 경제성이 고려되어야 한다. 또한 보수·보강 후에 안전성 검토를 통하여 시공 후 구조물 거동을 평가하는 시스템 또한 확립되어야 한다. 이러한 연구와 시공방법을 기초로 화재피해를 입은 건물의 보수·보강이 이루어지고 이를 해석적·합리적으로 평가하는 기법이 확립되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, “최신콘크리트공학” 기문당 1999.
2. 박현준, 권영웅, “콘크리트의 피복두께와 내화성,” 콘크리트 학회지, 11권 4호, pp. 25-31, 1999.9
3. 권영진외, 건축구조물의 보수보강, 대한건축학회, 1998
4. 권영진외, 콘크리트구조물의 보수보강, 한국콘크리트학회, 2000
5. 권영진외, 화재피해를 입은 콘크리트의 물성변화에 관한 연구, 2002년도 한국화재소방학회 추계학술발표대회논문집, 2002
6. 권영진외, 화재에 의해 성능저하된 콘크리트구조물의 진단 및 보수공법, 2003년도 한국화재소방학회 춘계학술발표대회논문집, 2003
7. 권영진외, 화재와 콘크리트, 한국콘크리트학회, 2003. 8 발간확정
8. 콘크리트 구조설계기준, 건설교통부, 1999.
9. 日本コンクリート工學協會, コンクリート診断技術'01[基礎編] 2001.
10. “Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements, ACI216, American Concrete Institute, Detroit, 1989”
11. 오창희, “화재건물의 구조내력에 관한 연구,” 조선대학교 박사학위 논문, 1983.
12. H.L.Malhotra, "The Effect of Temperature on the Compressive Strength of Concrete", Magazine of Concrete Research, Aug., 1965.
13. N.G.Zoldners, "Effect of High Temperature on Concrete Incorporating Different Aggregate", ASTM, Material Journal, Vol. 87, No. 1, pp. 47-53, 1990.
14. T.D.Lin, R.I.Zwiers, R.G.Burg, T.T.Lie, and R.J.McGrath, "Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns," Portland Cement Association, PCA R&D Serial Nos. 1870 and 1871, 1992.

15. M.Maruta, M.Yamazaki, and T.Miyashita, "A Study on Shear Behavior of Reingorced Concrete Beams Subject to Long-term Heating", Nuclear Engineering and Design, No.156, pp. 29~37, 1995.
16. 日本建築學會, 連続纖維補強材のコンクリート構造への 應用, 1998.9
17. CRS研究會, CFRPによる既存鐵筋コンクリート柱の耐震補強工法 設計・施工指針, 1995.9
18. 连续纖維補強コンクリート編輯委員會, 连续纖維補強コンクリート(諸性質と設計法), 技報堂出版, 1995. 7