

화재를 당한 콘크리트 구조물의 내구성 진단

서 치 호 / 건국대학교교수 공학박사

ABSTRACT

A diagnosis of the concrete structure suffered a fire has an end in the view of safe investigation of structures and judgement of the re-use for the existing facilities to close examination of structural resisting forces and the extent of damages.

And then, in this report, it has an object of references needed to fit management of concrete structure suffered a fire, with describing epitome of concrete crack examination, displacement strain investigation, strength examination, steel bar probing & carbonation test.

1. 머리말

최근 콘크리트 구조물의 고층화, 대형화, 복합용도화가 이루어짐으로써 경제성과 쾌적성은 다소 향상되었다. 그러나 구조물의 필수적인 성능인 안전성은 저하되어 화재의 위험성은 날로 증가하는 경향을 보이고 있다. 따라서 화재로 인한 피해를 방지하거나 극소화하기 위한 대책이 매우 중요하게 인식되어지고 있다.

콘크리트 구조물이 그 기능을 충분히 발휘하기 위해서는 구조물을 정기적으로 검사하고 구조물의 재해사고 및 노후화에 따른 내구성 진단, 성능저하, 손상의 조기발견, 원인규명을 통해 보수·보강을 행하는 등 구조물의 정밀진단 및 유지·관리가 중요하게 되었다.

화해를 받은 콘크리트 구조물의 진단은 구조내력

및 피해현황을 정밀조사하여 그 안전성을 검토하고 구조물의 재사용 여부를 판단하는 데 1차적인 목적이 있으며, 재사용이 가능한 경우, 이에 대한 적절한 대책을 강구하는 데 2차적인 목적이 있다.

따라서 화재를 당한 구조물의 성능저하 현상의 정도를 측정하기 위해서, 먼저 육안과 간단한 장비로 평가한 후, 상세한 정밀조사가 필요한가를 검토한다.

육안에 의한 외관조사시는 구조물의 현황조사와 주거성능에 대한 설문조사를 실시하여 정밀조사시에 필요한 진단방법 및 장비, 중점 진단내용 등을 수립한다.

이에, 본고에서는 화재를 받은 콘크리트 품질의 양부를 판가름하기 위하여 실시하는 콘크리트의 균열조사, 변위·변형의 조사, 강도조사, 철근탐사, 중성화시험 등의 개요를 기술하여 구조물의 내력평가 및 안전성 검토와 재사용 여부 등에 필요한 참고자료를

제공하고자 한다.

2. 콘크리트의 균열조사

콘크리트 구조물에서의 균열은 여러가지 원인에 기인하는데 재료적 요인, 시공적 요인, 구조적 요인, 외적 요인 그리고 복합적인 요인에 의한다. 콘크리트 표면에서 균열이 발견되어지면 이미 콘크리트 내부 조직에는 미세균열로 인하여 조직이 상당히 손상되어 있는 경우가 많고, 콘크리트의 내구성이나 내력에 많은 영향을 미친다고 볼 수 있다.

콘크리트 구조물이 화재에 의해 변형되었을 경우는 거의 균열발생을 수반하게 되므로, 일반적으로 균열발견에 의해 구조물의 변형을 알게 되는 경우가 많다.

그러므로 콘크리트 구조물에 대해서는 균열의 발견에 유의하고 균열이 발생한 경우에는 균열상태 이외에 구조물의 전반적인 조사를 통한 종합적인 판정을 필요로 한다. 특히, 균열의 발생상태, 콘크리트 구조물의 상태, 시공상태 등을 파악하여 균열분포도의 작성, 균열폭의 측정, 균열 길이 및 방향 측정, 균열 진행의 측정, 균열의 개폐 측정, 균열에서의 누수 조사를 통하여 화재를 당한 콘크리트 구조물의 성능이 유지되는지의 여부를 검토하여 필요한 조치를 강구한다. 또한, 효율적인 균열보수를 위하여 균열의 원인을 규명하기 위한 균열조사가 선행되어야 한다.

3. 콘크리트 구조물의 변위·변형의 조사

화재를 당한 콘크리트 구조물은 재하하중이나 외력에 따라서 수직방향 혹은 수평방향으로 변위가 생길 경우 변위량이 허용값을 초과하는 경우나 과도한 외력작용에 따라 구조물에 소성변형이 생기며, 지반 침하, 이동, 지지력 저하 등에 따라서 변위·변형이 생긴 경우는 구조물의 안정에 장애가 생긴다.

구조물에 이상한 변위·변형이 생긴 경우는 구조물의 강성이나 내력이 부족하던가, 부재에 과도한 응력이 생기고, 구조물이 불안정한 상태가 될 우려가

있으므로 충분한 조사와 연구가 필요하다.

조사에 있어서는 변위·변형이 생긴 원인의 규명, 구조물의 내력판정, 기능장애 정도, 다른 부재 또는 구조물에의 영향정도에 유의하면서 구조물 전체의 변위·변형 상태를 파악하는 것이 중요하다. 또 화재를 당한 콘크리트 구조물의 변위·변형에는 균열발생을 수반하는 것이 보통이기 때문에 이 조사도 겸하여 실시할 필요가 있다.

콘크리트 구조물의 변형의 측정에는 하중에 의한 처짐 측정과 침하의 측정에 의한 것으로 전자의 경우 정적하중 및 동하중에 의하여 다이얼게이지 또는 전기적 변위계를 사용하여 측정하고, 후자의 경우 구조물 이외의 견고한 지반상의 기준점을 설치하고, 구조물상의 측정점과 고저차를 레벨 또는 수준기 등에 의해 임시적으로 측정한다. 화재를 당한 콘크리트 구조물에 변위·변형이 발견된 경우는 그것이 진행중이거나 정지되었는가를 확인하고, 진행되는 경우는 그 원인을 조급히 배제하지 않으면 안된다. 변위·변형이 확인되지 않는 경우는 특히 주의를 기울여 조사하여야 한다.

변위·변형이 콘크리트 구조물에 미치는 영향을 그 구조물의 종별이나 정정, 부정정 등의 구조형식 및 특성에 따라 다르므로 화재를 당한 구조물의 재사용을 위해서는 안정성과 부재의 응력에 대한 한도를 검토하지 않으면 안된다.

4. 구조물의 내력조사

물체가 붕괴될 때는 가장 약한 곳부터 붕괴가 시작된다. 건물의 붕괴도 이와 같으므로 설계할 때 외력을 가정해서 계산한다. 가정한 값은 부정확한 값이므로 이를 표준으로 삼아 지나치게 신뢰하기 때문에 피해가 발생하기도 한다.

본 조사법의 내용은 구조계산, 재하시험을 기준으로 구조상 화해를 받아 위험한 상태에 있는 구조물을 판정한다.

먼저, 구조계산에 의한 조사는 콘크리트 구조물의 유효단면을 측정하는 조사로서 화재를 당한 콘크리트 구조물에 균열이 발생하여 균열의 진행이 확인된

경우와 콘크리트의 박리 등 단면의 결손도가 큰 하중이 된 경우, 그리고 휨이 설계값에 비하여 큰 경우 등에서는 단면의 상태를 파악하여 응력을 검토할 필요가 있다. 구조물의 설계도면이 없는 경우와 시공상의 이유 등으로 시공단면과 설계단면에 차이가 있는 경우 등에서는 구조물의 주요단면에 대해서 실측을 하고 실단면과 유효단면을 구한다.

재하시험은 콘크리트 구조물이 콘크리트 강도시험에 불합격일 경우 또는 시공상의 결함을 인정받았을 경우에 있어 그 안전성의 양부의 판정을 위하여 보에 설계하중 또는 그 몇 배의 실하중을 싣고 보의 변형상태를 측정한다. 또한, 이의 응용으로서 구조물이 화재를 당하였을 경우, 노후화 되었을 경우 혹은 원설계 하중을 초과한 하중을 재하하였을 경우 등의 판단자료로 제공된다.

재하시험은 시험장치 및 시험의 안정성면에서 보, 슬래브에 대한 연직방향 재하시험이 일반적이지만, 기둥 등을 대상으로한 수평방향 재하시험도 행해진다.

5. 콘크리트의 강도조사

콘크리트는 시멘트와 잔골재 그리고 굵은골재로 만들어진 복합재료로서 각 재료의 품질, 배합, 타설, 보양 등에 따라 강도변화의 요인이 되고 있다. 이러한 콘크리트 구조물이 필요한 강도 및 내구성과 수밀성을 가짐과 동시에 균일한 품질을 지녔는지의 여부에 대한 확인과 그 품질관리를 수행하기 위하여 콘크리트 압축강도의 시험이 필요하다. 또한 노후된 콘크리트 구조물이나 화재를 당한 콘크리트 구조물에 대한 안전도 평가시 그 필요성이 절실하다.

기존 구조물의 콘크리트에 대한 압축강도의 측정에는 일반적으로 현장의 콘크리트 타설과 병행하여 제작된 표준공시체를 필요한 재령에 따라 시험한 결과를 이용하고 있으나, 이 측정치는 기존 콘크리트의 강도와 다소 차이가 나는 것이 보통이다. 그 이유는 콘크리트의 응결, 형상, 양생방법 등의 제조조건이 상이하기 때문이다. 또한 기존 구조물이 화재를 당한 경우, 미리 준비한 강도관리용 공시체가 없기 때문에

구조체의 콘크리트 강도를 직접 측정할 수도 없다.

결국 화재를 당한 구조체로부터 콘크리트 CORE를 채취하여 강도시험을 행하여 그 값을 취하지만, CORE의 채취 위치나 갯수의 한정, 구조물의 부분적 손상에 따른 제반 문제점 및 경비 등의 면에서 특별한 경우를 제외하고는 적용되지 않는다. 따라서 콘크리트 강도를 추정하는 보조수단으로 콘크리트 강도의 비파괴시험이 활용된다.

비파괴 시험방법에는 반발경도법, 초음파법, 복합법의 3가지 조사방법이 있으며, 먼저 반발경도법(Schmidt hammer Test)은 1948년에 Schmidt씨에 의해 고안되어 현재 세계에서 널리 사용되고 있으며, 실험실 및 현장에서 적용될 수 있는 가장 용이한 시험방법이다.

반발경도법은 콘크리트 표면의 경도로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 한 방법으로 그 측정방법, 적용가능한 강도범위, 판정식 및 판정의 평가방법에 대한 고려가 강도를 판정하는 과정에서 필요하다.

초음파에 의한 콘크리트 구조물의 강도 측정은 경화된 콘크리트 내부로 전달되는 초음파의 전달속도로 콘크리트의 내구성, 균질성 등의 판정 및 강도추정 등에 이용된다.

초음파에 의한 콘크리트의 강도추정 방법은 구조체 콘크리트의 음속을 추정하여 미리 구해진 음속과 압축강도와의 상관관계에 의한 도표 및 식을 이용하여 압축강도를 추정한다.

복합법은 반발경도법(Schmidt Hammer Test)에 의한 반발경도(R)와 초음파 전파속도법에 의한 전달속도의 측정값을 병용해서 콘크리트의 압축강도(F_c)를 추정하는 시험이다.

6. 콘크리트의 철근탐사

화재를 당한 콘크리트 구조물에 있어서 구조내력이나 강성을 산정 검토하기 위하여 기존 구조물의 기둥·보·바닥·벽 등의 배근에 관하여 조사할 필요성이 발생할 경우가 있다.

이러한 경우에는 구조체를 손상시키지 않고 조사

하는 비파괴조사에 의하지만 그렇게 하지 않으면 철근에 피복된 콘크리트를 제거한 후 철근을 노출시켜 조사하게 된다.

전자유도법에 의한 철근탐사 원리는 병렬공진회로(Parallel-Resonant Circuit)의 진폭감소의 물리적 현상을 이용한 것이다. 가하여진 진동수의 교류전류는 탐사자(Probe)에 내장된 코일을 통해 흐르고 여기에서 교류자장이 발생한다. 이 교류자장의 영향 범위 안의 금속체는 콘크리트 두께와 철근단면량의 함수로해서 탐사자내의 코일의 전압을 변화시키며, 이 변화량을 탐지하는 것에 따라서 철근의 존재와 위치, 방향, 피복두께 등의 추정이 가능하다.

전자레이더법에 의한 철근탐사 원리는 전자파를 콘크리트의 표면에서 내부에 방사해 대상물로부터의 반사신호를 받아서, 철근의 배근상태나 공동 등의 위치나 깊이를 화상표시로 기록하고, 이 데이터에 의해 철근이나 콘크리트 내부 공동의 존재와 위치, 깊이, 형태, 크기 등을 예측할 수 있다.

또한, 철근응력의 측정은 콘크리트에 균열 폭 및 균열간격으로부터 철근의 신장률을 구하고 계산에 의해서 그 값을 구할 수 있고, 필요에 따라서 철근을 노출시켜 그 응력을 구한다. 그러나 일반적으로 철근응력의 측정은 증가하중에 의한 철근응력의 증가량을 측정하는 것이 보통이며, Sam Steel Checker를 이용하여 강재 등 전기저항율을 측정하고 간접적으로 그 재료의 화학성분과 재질을 판별하기도 한다. 또한, 작용하고 있는 응력의 측정으로는 철근을 절단할 필요가 있으며, 구조물의 내력을 감소시키기 때문에 사후에 조치를 충분히 하여야 한다.

7. 콘크리트의 중성화 시험

콘크리트는 공기중의 탄산가스의 작용으로 인하여 서서히 표면에서부터 중성화가 되는데, 보강철근의 위치까지 진행되었을 경우 일단 콘크리트의 내구연한이 다한 것으로 평가하여 그 내구성을 판단하고 있다. 또한, 화재를 당한 콘크리트 구조물의 품질검사 및 철근콘크리트의 내력진단 등을 위해서도 중성화의 깊이를 측정하게 된다. 중성화의 속도에 미치는

요인으로는 시멘트의 종류, 골재의 종류, 표면활성제의 사용여부 및 물시멘트비이다.


시험방법으로는 콘크리트 공시체를 콘크리트 커터로 절단하여 페놀프탈레인 용액을 분무기로 콘크리트면에 도포하면 알카리성의 부위는 적색을 나타내므로 무색반응을 나타낸 부위의 깊이를 측정하여 중성화의 깊이로 한다.

콘크리트 구조부재의 화해의 정도를 시험하기 위한 방법으로 가장 대표적인 것이 콘크리트의 중성화 반응을 검사하는 중성화 시험이다.

8. 맺음말

이상과 같이 본고에서는 화재를 당한 콘크리트 구조물의 안전성과 구조내력 그리고, 성능 및 재사용의 양부를 판가름하는 여러 평가시험 방법에 관해 간략하게 고찰해 보았다.

화재를 당한 콘크리트 구조물에서 균열, 변위·변형, 강도저하, 중성화 등의 성능저하를 유발하는 결함이 발견되었을 경우, 결함요인을 제거하고 재사용을 위한 적절한 보수·보강 방법의 선택 및 적용이 필요하겠고, 결함요인의 최소화를 위하여 콘크리트의 특성을 정확히 파악하여 내구성 저해요인의 원초적 원인제거가 중요하다 하겠다.

따라서 화재를 당한 콘크리트 구조물에 이상현상이 발생시 철저한 원인조사로 구조물의 내력평가 및 안전성 여부를 판가름하여 그 대책을 수립하여야 하겠지만, 그 보다는 콘크리트 구조물의 화재로부터의 보호를 목적으로 내화성능 및 내화구조의 확보와 구조물의 철저한 유지관리가 이루어지도록 해야 할 것이다. 

**불낼 사람 따로 없다
너도 조심 나도 조심**