

고강도콘크리트의 내화성능 관리기준 해설

An Explanation of Fire Resistance Performance Management Standard for High Strength Concrete



이세현*
Sea-Hyun Lee



김대회**
Dae-Hoi Kim



최동호**
Dong-Ho Choi

1. 고강도콘크리트 내화성능 관리의 배경

내화구조는 건축법 시행령 제2조에서 ‘화재에 견딜 수 있는 성능을 가진 구조’로 정의하고 있는 것과 같이, 화재가 발생하였을 경우 다른 실로 화재확산을 방지하며 건축물의 붕괴를 막음으로써 피난시간의 확보 및 재산상의 피해를 최소화시키기 위한 것이다. 이와 같은 내화구조의 필요성에 따라 건축법 40조, 41조에서 일정높이 또는 층수 이상의 건축물에 대하여 기둥, 보, 바닥, 벽 등과 같은 주요 구조부를 내화구조로 할 것을 의무화하고 있으며, 건축물의 피난방화구조 등에 관한 규칙에서 벽, 바닥, 보, 기둥, 지붕, 계단 등의 내화구조사양을 정하고, 그 외 시험을 통한 부재에 대하여 내화구조인정을 규정하여 운용하고 있다.

그러나 건축물이 고층화 대형화 되어가고 기술이 발달함에 따라, 다양한 재료의 개발 및 성능개선이 이루어지고 있는 반면, 제도는 여기에 빠르게 적응하지 못하고 있는 것이 사실이다. 그 일 예가 대표적인 건설자재인 콘크리트이다. 기존의 콘크리트는 화재에 강한 재료로 인식되어 왔으며, 기둥은 작은 지름이 250 mm 이상, 보는 철근콘크리트조로만 이루어지면 모두 3시간 내화구조로 인정되었으나, 콘크리트가 고강도화 됨에 따라 화재시 콘크리트 내부의 수증기압에 의해 폭발현상이 나타나 콘크리트 부재의 단면손실로 인한 내력저하 등 급격한 내화성능 저하가 문제되고 있으며, 이에 대한 대책이 요구되어 왔다.

이에 국토해양부에서는 2008년 7월 21일 국토해양부고시 제 2008-334호[고강도콘크리트 기둥·보의 내화성능 관리기준]을 고시하여 시행함으로써 화재시 고강도콘크리트의 안전성을 확보하는 제도적 조치를 취하였다.

본고에서는 고강도콘크리트 내화성능관리[고강도콘크리트 기둥·보의 내화성능 관리기준]의 이해를 높이기 위해 각조별로 내포한 의

미 및 규정의 배경을 소개하고, 이 관리기준에 의해 내화성능평가를 받고자 할 때 유의사항을 알림으로써 원활한 관리기준의 운영을 통해 고강도콘크리트의 내화성능 확보에 도움을 주고자 한다.

2. 고강도콘크리트 기둥·보의 내화성능 관리기준 해설

고강도콘크리트의 사용에 따른 내화성능확보를 위해 고시된 국토해양부고시 제2008-334호[고강도콘크리트 기둥·보의 내화성능 관리기준]에 대한 이해를 돕고 원활한 관리기준의 적용을 위해 고시를 조별로 해설하면 다음과 같다.

제1조(기준의 목적) 이 기준은 건축법시행령 제2조의 내화구조와 건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙(이하 ‘규칙’이라 한다) 제3조의 규정에 의하여 설계기준강도 50 MPa 이상의 콘크리트(이하 “관리대상 콘크리트”라 한다)를 사용한 기둥·보의 내화성능 확인기준과 방법 등을 정함을 목적으로 한다.

해설) 국내 고강도콘크리트의 정의는 [콘크리트 표준시방서]에서 압축강도 40 MPa 이상의 콘크리트를 고강도콘크리트로 정하고 있으며, 일본에서는 압축강도 60 MPa를 초과하는 고강도 콘크리트에 대한 내화성능을 검증하도록 하고 있다. 이에 국내에서의 고강도콘크리트 관리기준강도를 설정함에 있어 전반적인 안전을 위해 압축강도 40 MPa를 관리기준강도로 설정해야 한다는 의견과 압축강도 40 MPa로 설정시 관리대상이 지나치게 넓어지며, 일본의 경우 압축강도 60 MPa로 관리하고 있는 점을 들어 압축강도 60 MPa 이상을 관리기준강도로 정하여야 한다는 등 다양한 의견이 있었다. 이에 국토해양부에서 관리기준강도를 압축강도 50 MPa로 정한 것은 국내에서 제작된 각각의 압축강도별 시험체를 대상으로 시행된 내화시험 결과를 종합적으로 검토하여 압축강도 50 MPa 미만의 콘크리트는 내화성능 3시간에 준하는 성능을 지닌 것으로 판단하였으며, 일본의 60 MPa 보다 낮은 값으로 설정된 것은 국내연구기관에서 시행된 내화시험 결과와 함께 국내 콘크리트용 골재 대부분이 고온에 취약한 화강암 골재가 사용되고 있음을 고려한 것이다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 책임연구원
shlee@kict.re.kr

** 정회원, 방재시험연구원 선임연구원

제2조(대상부재) 이 기준은 관리대상 콘크리트를 사용한 기둥 및 보를 대상으로 하며 내화성능 확인을 위한 시험체는 현장과 동일한 재료, 공법, 철근배근 및 피복두께 등을 반영한 기둥형 시험체로 제작시험한다.

해설) 콘크리트가 사용되는 부재는 기둥, 보, 벽, 바닥 등이 있으나, 관리대상부재를 기둥과 보로 한정하고 시험체는 기둥형 시험체로 설정하였다. 이는 화재시 노출되는 면의 수와 면적, 폭발 발생으로 인한 단면손실, 붕괴우려 및 고강도콘크리트의 사용빈도 등을 고려한 것이다.

관리대상이 보와 기둥임에도 불구하고 시험체를 기둥으로 제한한 것은 폭발현상이 주로 압축력을 받는 부재에서 주로 발생되며, 국내 시험기관이 수용할 수 있는 장비현황과 시험시 안전을 고려한 것이다.

제3조(시험체의 구성) 관리대상 콘크리트의 내화성능 시험체는 콘크리트와 철근, 철골 등으로 구성되며 기둥 또는 보에 내화성능 확보를 위한 재료 및 공법을 포함한 것으로 한다. 다만 수시로 변경 가능한 최종 마감재는 제외한다.

해설) 고강도콘크리트의 폭발현상을 방지하기 위한 일반적인 방법은 섬유와 같은 폭발방지재료를 콘크리트 내부에 혼입하는 방법과 콘크리트 부재 외측을 내화피복재료(도료, 뿔칠재, 보드류 등)로 감싸는 2가지 경우가 대표적인 것으로 시험체를 구성함에 있어 내화성능 확보를 위한 재료 및 공법을 명확히 하여야 한다. 이때, 부재외측에 내화피복을 하는 경우 내화피복공법의 인정범위는 미관을 위한 마감 또는 수시로 변경될 수 있는 최종마감재는 제외하며, 내화성능평가를 위한 시험체 제작은 공법의 인정범위까지만 제작한다.

제4조(내화성능기준) 관리대상 콘크리트 기둥보의 내화성능은 KS F 2257-1(건축부재의 내화시험방법 일반요구사항)에서 제시하는 표준시간-가열온도곡선에 의하여 별표2의 규정에 의한 시험을 실시한 결과, 시험체 모두 내화구조 성능기준(국토해양부 고시 제2005-122호)에서 규정한 시간까지 주철근의 온도가 평균 538℃, 최고 649℃ 이하이어야 한다.

해설) ISO에서는 콘크리트부재의 내화성능은 재하가열시험에 의해 평가하고 있으며, 일본의 고강도콘크리트 관리기준에서는 재하가열시험과 비재하가열시험에 의한 방법 2가지를 모두 운영하고 있다. 국제적으로 공통된 평가방법은 재하가열시험방법이나 재하가열시험을 수행하기 위한 시험장비의 경우 기둥가열로의 재하량이 10MN 이상의 용량을 지니고 있어야 하나, 국내 기둥가열로의 재하량은 최대 3MN 톤으로 재하가열시험의 수행은 불가능한 실정이다. 따라서 일본의 비재하가열시험에 의한 온도관정방법을 모델로 하였다.

비재하가열시 온도관정기준은 일본의 경우 500℃ 이하로 정하고 있으나, 일본은 지진의 피해를 고려하여 온도관정기준이 낮은 온도로 설정된 것으로 국내에서는 새로운 온도기준을 설정하지 않고 기존에 철골부재의 온도관정에 사용되는 기준인 평균 538℃, 최고 649℃ 이하를 그대로 적용토록 하였다. 기존에 인용된 국토해양부 고시 제2005-122호는 국토해양부고시 제2008-154호로 개정되었다.

제5조(시험체의 제작 및 시험의뢰) 관리대상 콘크리트를 사용한 기둥형 시험체는 다음 각 호의 규정에 따라 제작한다.

① 관리대상 콘크리트 기둥 및 보의 내화성능을 확인하기 위한 시험체는 별표 1에 따라 기둥형 시험체 2개를 제작하여 시험하여야 한다.

② 시험체의 제작 및 시험의뢰는 다음 각호에 해당하는 자가 할 수 있으며 시험체 도면, 재료, 공법, 제작일, 양생온도, 양생기간 및 관련 사항을 별지 서식1호에 따라 작성·기록하여 시험의뢰시 제출하여야 한다.

1. 건설산업기본법 제9조의 규정에 따라 등록된 일반 건설업을 영위하는 자(직영공사인 경우에는 건축주를 말한다)
2. 콘크리트 또는 내화구조를 구성하는 주요재료·제품의 생산 및 제조자
3. 건설현장의 감리자

해설) 내화성능을 확인하기 위한 시험은 신뢰성확보를 위하여 기존 철골구조의 경우 [내화구조 인정관리기준]에 2회를 시험토록 하고 있으며, 고강도콘크리트의 경우도 기둥시험은 시험체 2개를 수평가열로 내에서 동시에 시험토록 하였다.

시험의 의뢰자는 시험체를 제작 또는 감독하거나 품질관리 할 수 있는 자로써 건설회사, 레미콘제조사, 건설현장의 감리자가 성능확인을 위한 시험체를 제작하여 의뢰할 수 있으며, 인정제도와는 달리 시험기관이 시험체의 제작을 직접 관리, 감독할 수 없으므로 의뢰자가 시험체 제작에 대한 제반사항을 별지 서식 1호에 따라 직접 작성하여 제출토록 하였다. 내화구조인정제도는 해당 제품을 공장에서 직접 샘플링하고 시험기관의 제작장에서 관리, 감독하에 시험체를 제작한 후 내화시험을 실시하고 있으나, 콘크리트의 경우는 복합재료로서 인정 및 시험기관의 직접관리에는 한계가 있어, 의뢰자에 대한 신뢰와 사후확인을 바탕으로 의뢰자가 제작하고 제작과정에 대한 자료를 제출토록 하였다.

제6조(시험방법 및 시험성적서 등) 관리대상 콘크리트 기둥형 시험체의 내화성능을 평가하기 위한 시험방법은 수직부재용 가열로를 이용하는 경우 KS F 2257-7의 시험방법에 의하되 비재하가열시험인 경우 수평부재용 가열로를 이용하며 이 경우 구체적인 시험방법 및 시험성적서 등은 별표 2에 따른다.

해설) 콘크리트 기둥형 시험체는 기둥가열로에서 시험하는 것

이 원칙이나 국내의 기둥가열로는 재하량 및 내용적의 부족으로 인해 시험체 단면 500mm×500mm 이상의 시험체를 수용할 수 없어 큰 단면이 예상되는 고강도콘크리트 부재의 시험에 한계가 있다. 따라서 고강도콘크리트를 이용한 기둥부재를 높이 1.5m로 제작하여 내용적이 큰 수평가열로에서 시험을 실시하는 것으로 하였으며, 이에 대한 세부 방법은 별표 2에 정하였다.

현재 국내에서 본 규정의 시험이 가능한 기관은 한국건설기술연구원, 방재시험연구원, 한국조선기자재연구원이 있으며, 별표 2에 제시된 시험방법이외에 세부운영에 대한 지침이 있으므로, 의뢰자는 시험계획서 위의 시험기관에 사전 문의를 하는 것이 바람직하다.

제7조(전문위원회 운영 등) ① 시험기관은 이 기준의 콘크리트 내화성능 관리를 위하여 콘크리트·재료·구조 등의 전문가로 구성된 전문위원회를 운영할 수 있다.
 ② 전문위원회에서는 다음 각 호의 사항을 심의·자문할 수 있다.
 1. 관리대상 콘크리트의 표준내화공법
 2. 기타 시험기관이 필요하다고 인정하는 사항 등

해설) 시험기관간의 내화성능평가에 대한 정확성 확보 및 특수 구조에 대한 시험범위 설정 등 고강도콘크리트 부재의 성능평가에 있어 발생할 수 있는 기술적 문제를 심의, 자문할 수 있게 전문위원회를 운영할 수 있게 하였다.

제8조(내화성능 관리) 관리대상 콘크리트를 사용한 기둥보에 대한 내화성능은 다음과 같이 관리한다.
 ① 이 기준에 따라 국가표준기본법 제23조 제2항의 규정에 의하여 인정을 받은 시험기관에서 시험하여 제4조의 내화성능기준에 적합한 경우, 내화성능이 있는 것으로 본다. 다만, 관리대상 콘크리트중 설계기준강도 60MPa 이하의 경우 제4조의 규정에 의한 내화성능기준에 적합하도록 구조보강을 하여 구조기술사가 이를 확인·서명한 경우에는 시험을 실시하지 않을 수 있다.
 ② KS F 2257-7 또는 ISO 834-7의 재하가열시험방법에 의하여 국외의 시험기관에서 성능이 확인된 경우, 해당구조의 내화성능이 있는 것으로 본다.
 ③ 이 기준에 의하여 관리대상 콘크리트의 내화성능시험을 실시하여 내화성능이 있는 것으로 확인한 경우, 그 설계기준강도 이하의 콘크리트를 사용한 기둥 또는 보에 동일한 재료, 공법 등을 적용한 경우에는 별도의 시험을 실시하지 않을 수 있다. 다만, 기둥형 시험체의 단면적보다 작은 경우에는 적용에서 제외한다.
 ④ 관리대상 콘크리트의 내화시험 성적서 유효기간은 3년으로 하고, 동 콘크리트와 동일한 조건의 재료 또는 공법 등을 적용하는 관리대상 콘크리트는 내화시험을 실시하지 아니하고 유효기간 이내의 시험성적서로 갈음할 수 있다.
 ⑤ 감리자는 관리대상 콘크리트 부재의 내화성능 시험성적서 또는 제8조제1항 단서규정에 의한 확인서와 현장의 일차여부 등을 확인하여야 한다.

해설) ① 고강도콘크리트의 내화성능을 관리함에 있어, 60MPa를 초과하는 경우에는 관리기준에 따라 의무적으로 시험을 실시하여야 하나, 60MPa 이하의 고강도콘크리트를 사용할 경우, 구조기술사가 검토하여 제4조의 규정에 적합한 내화성능을 확인할 수 있는 경우 시험을 생략하고 구조기술사 책임하에 고강도콘크리트를 타설할 수 있다. 이는 부재의 내화구조설계방법과 연계된 것으로 재료적 방법이 아닌 구조적으로 화재안전성을 책임질 경우 시험을 면제해 주는 규정이며, 본 관리기준에서는 구조기술사가 제4조의 규정과 동일한 수준의 합당한 조치에 대한 확인과 책임을 전제로 60MPa 이하의 고강도콘크리트에 대하여 시험을 면제할 수 있도록 근거를 두고 있다.

② 관리기준에서는 국내의 시험설비 한계로 인해 온도측정에 의한 성능기준만을 제시한 것으로써 해외 시험기관에서 KS F 2257-7 또는 ISO 834-7의 규정에 따라 재하가열시험에 의하여 내화성능을 확인 받을 경우, 관리기준에 의해 확인 받은 것과 동등한 성능으로 인정한다.

③ 콘크리트 부재의 내화시험결과 시험체의 크기에 따른 열용량의 차이 등이 발생되며 일반적으로 동일한 콘크리트로 부재를 제작시 단면이 큰 것이 단면이 작은 것보다 내화성능이 우수한 것으로 나타나 관리기준에 의해 성능이 확인된 것보다 단면이 큰 경우 재시험 없이 사용할 수 있다. 반면, 성능이 확인된 것이어도 단면이 감소될 경우는 재시험 대상이 되는 것이다. 따라서 건설 현장에서 고강도콘크리트가 사용되는 가장 작은 단면크기로 관리기준에 따라 성능확인을 하여야 한다. 건설사 또는 레미콘사의 경우, 해당 구조에 대한 평가시 작은 단면으로 관리기준에 통과하는 것이 범용적인 활용측면에서 유리하다.

④ 관리기준에 합격한 구조의 경우 성적서 발급일로부터 3년간은 동일구조로 시공할 경우에 한하여 재평가 없이 활용이 가능하다.

⑤ 콘크리트는 완제품형태로 건설현장에 반입되는 것이 아니므로, 건설현장의 감리자는 관리기준에 합격한 시험성적서에 기재된 사항과 현장에서 시공되는 고강도콘크리트 부재의 사양이 일치하는가를 확인하여야 한다.

부 칙

제1조(시행일) 이 기준은 고시한 날로부터 시행한다.
 제2조(일반적 경과규정) 이 기준 시행당시 건축허가를 신청 중인 경우와 건축허가 및 건축신고를 받은 건축물의 경우에는 이 기준을 적용하지 아니한다.

3. 관리기준에 의한 시험준비서 유의사항

3.1 관리기준에 의한 시험계획서 유의사항

건설사나 레미콘사에서 시험을 준비할 경우 기술수준이 허락하는 범위 내에서 작은 단면의 시험계획을 수립하는 것이 적용범위

를 넓게 할 수 있는 장점이 있으며, 특히 특정 건설현장을 대상으로 할 경우 해당강도를 사용하는 보 및 기둥부재의 최소단면을 확인하여 그 이하의 단면적을 지닌 시험체 제작계획을 수립하여야 한다. 시험체의 제작에 앞서 제출용 기록, 시험체의 관련 자료, 압축강도 측정용 공시체관리, 제작 후 양생계획 등을 종합적으로 수립하여 제작된 시험체가 관리기준에 적합한 시험체가 되도록 사전에 검토하여야 하며, [고강도 콘크리트 내화성능시험체 제작 확인서]를 작성하여 시험 전까지 시험기관에 제출하여야 한다.

3.2 시험체 제작시 유의사항

시험체의 제작시 열전대의 설치위치 및 제작 단계에 대한 사진 자료를 제출하여야 하므로, 시험체 제작에 있어 충분한 자료확보가 되도록 사전에 단계별 촬영을 하여야 하며, 동일 시험체임을 확인하기 위한 식별을 포함하여 촬영하여야 한다. 시험체는 내부 철근을 선조립하고 콘크리트 타설 전에 <그림 1>과 같이 지정된 위치에 $\phi 1.6$ mm의 시스열전대를 설치하고 콘크리트 타설중 이동이 없도록 결속선 등으로 고정해 준다. 이때, 열전대의 길이는 보호된 부분이 수평각열로 외부까지 도달할 수 있는 충분한 길이를 확보하여야 한다.

고강도콘크리트 시험체는 콘크리트 타설 및 시험시 폭열, 변형 등으로 인해 온도센서의 불량발생이 예상되므로 센서불량에 대비한 예비센서를 설치할 수 있으며, 예비센서는 시험체 1/2높이에서 상부로 100mm 이내에 동일한 위치에 각 1개씩 총 4개의 센서를 추가설치 할 수 있으며, 예비센서는 기준에 따라 1/2 높이에 설치된 센서가 불량으로 판정되었을 경우, 대체하여 온도를 측정하는 용도로 사용된다.

콘크리트의 타설은 수직타설을 원칙으로 하며, 콘크리트 타설시 열전대의 손상 및 피복두께의 변경이 없도록 유의하여야 한다. 시험 후 시험기관에서 시험체를 파괴하여 철근의 피복두께와 열전대의 설치위치를 확인하므로 타설시 부주위로 인한 위치의 변동 또는 철근피복두께의 증가로 인한 문제가 발생되지 않도록 하여야 한다. 고강도콘크리트 기둥시험체는 중량물이므로 원활한 운반 및 설치를 위해 시험체 상부에 크레인으로 견인될 수 있도록 고리를 튼튼하게 설치하여 준다.

3.3 시험체 관리시 유의사항

제작된 시험체의 양생은 우수나 직사일광으로부터 보호하여야 하며, 압축강도 측정용 공시체도 동일한 방법으로 양생하여야 한다. 내화시험용 시험체의 양생기간은 91일 이상을 원칙으로 하며, 91일 이전이라도 설계기준강도를 상회하는 것이 확인되면 시험을 요청 할 수 있다. 압축강도측정용 공시체는 재령 91일 이

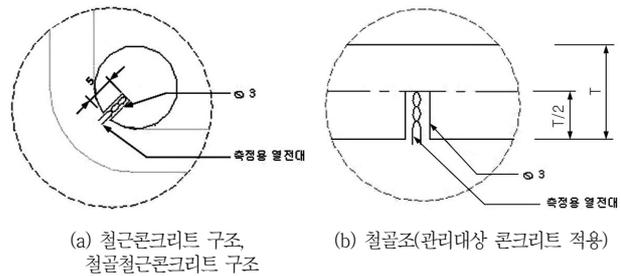


그림 1. 열전대 설치

전에 공인시험기관에서 강도측정에 대한 성적서를 받아 증빙서로 제출하여야 하며, 재령 91일 이후에 측정된 압축강도시험성적서는 강도관리기준일이 지난 것으로 해당 기간내에 설계기준 강도를 상회하였다는 유권해석을 할 수 없으므로 제출서류로 부적합하니 압축강도 시험시기를 넘기지 않도록 주의한다.

4. 맺음말

최근 2~3년간 고강도콘크리트의 내화성능에 관한 논란과 안전성 확보에 대한 대책으로 2008년 7월 21일에 국토해양부고시 제2008-334호가 [고강도콘크리트 기둥보의 내화성능 관리기준]으로 고시되었다. 그간 수차례의 공청회와 회의, 일본을 오갔던 고강도콘크리트의 내화시험 등이 이루어진 결과로서, 학계, 업계의 많은 연구자들이 관심을 가지고 노력하였다. 그러나 국내 인프라의 한계에 의해 기형적인 인증제도를 운영하게 된 것이 못내 아쉬우며, 향후 재하가열시험장비의 구축이나 기술개발, 여력이 낮은 중소기업을 배려한 표준내화구조의 개발과 같은 후속 작업이 이루어져야겠다. 또한, 고강도콘크리트의 내화성능확보에 있어서도 관리기준 만을 만족하기 위한 기술개발과 같은 임시적 방편이 아닌 오랜 내구수명이 요구되는 초고층초대형 건축물에 사용되는 재료임을 인식하고 내화성, 내구성, 역학적 특성 등 모든 성능을 만족시킬 수 있는 고강도콘크리트 내화성능 향상기술이 개발되기를 바란다. □

참고문헌

1. 국토해양부 고시 2008-154호, 내화구조의 인정 및 관리기준.
2. 국토해양부 고시 2008-334호, 고강도콘크리트 기둥보의 내화성능 관리기준.
3. 국토해양부령 523호, 건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙.
4. 대한건축학회, 고강도콘크리트 구조내화설계 지침서(안), 대한건축학회, 2007. 11.