



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0077524
(43) 공개일자 2009년07월15일

(51) Int. Cl.

G01N 3/18 (2006.01) G01N 3/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0003526

(22) 출원일자 2008년01월11일

심사청구일자 2008년06월03일

(71) 출원인

충남대학교산학협력단

대전광역시 유성구 공동 220번지 충남대학교

재단법인 한국전자재시험연구원

서울 서초구 서초3동 1465-4

(뒷면에 계속)

(72) 발명자

김규용

대전광역시 서구 삼천동 991 국화아파트 601-904

김영선

대전광역시 서구 복수동 275-15 계룡아파트 2-1006

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

조성광

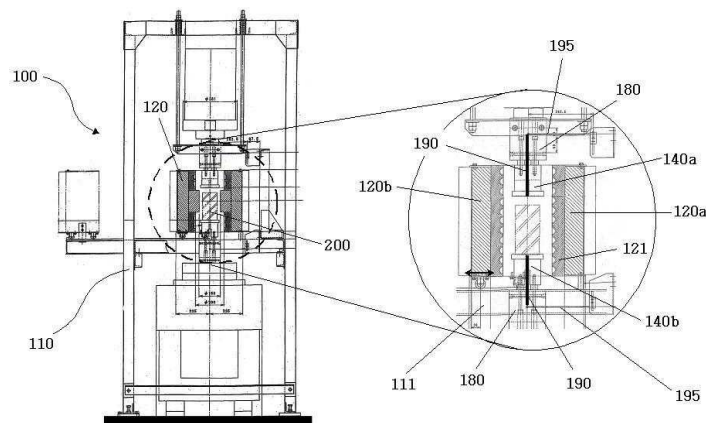
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 콘크리트 고온특성 시험장치 및 콘크리트 고온특성평가방법

(57) 요약

고온에서 콘크리트의 성능은 저하된다. 이러한 점에 의해 화재시 기둥과 같은 주요 구조부재의 내력이 급격히 저하되고, 더 나아가서는 건축물이 붕괴되기도 한다. 따라서 화재시 콘크리트 구조물의 내화성능설계 및 거동예측을 위해 설계하중의 재하상태에서 고온에 따른 압축강도 및 탄성계수의 저하, 열팽창변형 및 크리프 변형 등과 같은 요인을 고려한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 발명은 콘크리트의 고온특성에 대한 데이터 축적과 평가방법의 정립을 위한 시험장치 및 평가방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(71) 출원인

삼성물산 주식회사

서울특별시 서초구 서초동 1321-20

코아 카가쿠 인더스트리스 씨오 엘티디

일본 도쿄 쇼쿠 니혼나시 혼고 쿠쵸 4-5-3 나카오
빌딩 402

(72) 발명자

나철성

대전광역시 동구 대2동 55-30

김영덕

대전광역시 서구 월평1동 315번지 301호

이의배

대전광역시 서구 갈마동 1200번지 대성주택 403호

남정수

대전광역시 동구 대1동 204-2

이태규

충청남도 청양군 운곡면 영양리 2구 897

정상화

경기도 고양시 일산동구 풍동 1127-1 쌍용아파트
101동101호

김영봉

대전광역시 서구 용문동 241-48번지 영진빌라 201
호

최형길

경기도 광명시 광명5동 215-1번지 대흥5차 빌라
203호

구경모

대전광역시 서구 둔산동 한마루아파트 9동 1105호

박윤미

충청남도 부여군 홍산면 남촌리 352-6번지

이형준

대전광역시 서구 관저2동 1148번지 구봉마을 819
동1707호

이대회

대전광역시 서구 월평2동 무지개아파트 105-905

이승훈

경기 성남시 분당구 서현동 시범단지한양아파트
310동705호

박찬규

경기 군포시 당동 무지개마을 대림아파트 109동
1903호

손유신

경기도 용인시 수지구 죽전2동 1153번지현인마을e
-편한세상아파트 201-202

특허청구의 범위

청구항 1

콘크리트 시험체의 재하, 가열시험을 위한 장치로서,

소정 크기의 프레스 다이(110);

원통형으로서 상기 프레스 다이(110) 상부에 설치되며, 내부에는 시험체(200)가 배치되고, 내주면에는 가열수단(121)이 구비된 가열로(120);

상기 가열로(120) 내부에서 시험체(200)를 둘러감도록 설치되고, 상부로 돌출된 수직방향의 유격스프링(131)이 다수개 삽입된 열전달판(130);

상기 가열로(120) 상부에 관입되도록 배치되고, 가력장치(300)로부터 하중을 받아 상기 시험체에 전달하는 상부 재하지그(140a);

상기 가열로(120) 하부에 관입되도록 배치되고, 상기 시험체(200)를 지지하는 하부 재하지그(140b); 및

상기 가열로(120)의 가열온도를 조절하는 온도조절수단(150); 을 포함하는 콘크리트 고온특성 시험장치(100).

청구항 2

제1항에서,

상기 시험체(200)의 온도변화를 기록하는 기록장치(160);

상기 시험체(200)의 상단, 중단 및 하단 표면부에 관입되어, 시험체(200)의 표면부 온도변화를 측정하고, 상기 기록장치(160)에 측정값을 전달하는 표면부 열전대(170a); 및

상기 시험체(200)의 상단, 중단 및 하단 중심부에 관입되어, 시험체(200)의 중심부 온도를 측정하고, 상기 기록장치(160)에 측정값을 전달하는 중심부 열전대(170b); 를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 콘크리트 고온특성 시험장치(100).

청구항 3

제2항에서,

상기 가열로(120)는 원통을 수직으로 절개한 반원통형의 제1,2본체(120a, 120b)가 결합된 것으로서,

상기 제1본체(120a)는 상기 프레스 다이(110) 상부에 정착되어 있고,

상기 제2본체(120b)는 상기 프레스 다이(110) 상부에 설치된 레일(111)을 따라 좌우로 이동하여 상기 제1본체(120a)와 탈착가능하도록 구성된 것을 특징으로 하는 콘크리트 고온특성 시험장치(100).

청구항 4

제3항에서,

상기 상부 재하지그(140a)의 상단과, 상기 하부 재하지그(140b)의 하단에는 각각 냉각기(180)가 결합된 것을 특징으로 하는 콘크리트 고온특성 시험장치(100).

청구항 5

제4항에서,

상기 상,하부 재하지그(140a, 140b)에는 각각 중심을 수직방향으로 관통하는 삽입홀이 형성되어 있고,

상기 삽입홀에는 각각 매개막대(190)가 삽입, 설치되어 있으며,

상기 상부 재하지그(140a)의 삽입홀에 삽입되는 매개막대(190)는 아래로는 상기 공시체(200)의 상단에 접하고 위로는 변형계(195)와 연결되고,

상기 하부 재하지그(140b)의 삽입홀에 삽입되는 매개막대(190)는 위로는 공시체(200) 하단에 접하고 아래로는

변형계(195)와 연결되는 것을 특징으로 하는 콘크리트 고온특성 시험장치(100).

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항의 콘크리트 고온특성 시험장치(100)를 이용하여 다음의 각 단계로 이루어지는 콘크리트 고온특성 평가방법.

- (a) 설계강도를 고려하여 시험체(200)를 제작하는 단계;
- (b) 상기 시험체(200)는 열전달판(130)으로 둘러감은 후 하부 재하지그(140b) 위에 배치하고, 상기 가열로(120) 내부에는 상기 시험체(200) 및 열전달판(130)이 배치되고, 상부 재하지그(140a)는 상기 가열로(120) 상부에, 하부 재하지그(140b)는 상기 가열로(120) 하부에 관입되도록 셋팅하는 단계;
- (c) 가력장치로 상기 상부 재하지그(140a)로 요구되는 하중을 상기 시험체(200)에 가하는 단계;
- (d) 상기 가열로(120) 내부의 온도를 0℃에서 300℃까지 올리면서 상기 시험체(200)의 온도변화를 측정하는 단계; 및
- (e) 시험체(200)의 온도변화 측정값을 토대로 비정상 온도분포해석을 실시하는 단계;

청구항 7

제4항에서,

상기 (d)단계는 상기 가열로(120) 내부의 온도를 분당 0.7~0.8℃의 속도로 올려, 매 50℃ 상승 시마다 30분간 온도를 유지하는 과정을 한 사이클로 정하여, 상기 사이클을 반복 실시하는 것을 특징으로 하는 콘크리트 고온특성 평가방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 고온에서 콘크리트의 성능은 저하된다. 이러한 점에 의해 화재시 기둥과 같은 주요 구조부재의 내력이 급격히 저하되고, 더 나아가서는 건축물이 붕괴되기도 한다. 따라서 화재시 콘크리트 구조물의 내화성능설계 및 거동에 측을 위해 설계하중의 재하상태에서 고온에 따른 압축강도 및 탄성계수의 저하, 열팽창변형 및 크리프 변형 등과 같은 요인을 고려한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 발명은 콘크리트의 고온특성에 대한 데이터 축적과 평가방법의 정립을 위한 시험장치 및 평가방법에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 콘크리트는 일반적으로 내화재료로 알려져 있으며, 과거에는 원자력발전소와 같이 안전성을 요하는 구조물에 한하여 콘크리트의 내화연구가 실시되어 왔다. 그러나 최근에는 (초)고층 철근콘크리트조 건축물이 증가되고 있으며, 이러한 (초)고층 건축물에 사용되는 고강도 콘크리트는 화재시 폭열에 의해 급격히 구조적인 내력을 상실하므로, 고층건물의 화재 안전성이 문제되고 있다.
- <3> 이에 많은 연구자들은 콘크리트의 고온특성과 (초)고강도 콘크리트의 개발과 아울러 고층 건축물의 화재시 구조적 안전성에 대한 대책으로 폭열방지 및 내화대책을 강구하고 있다. 또한, 건축법의 성능규정화와 건축주 및 사용자의 건축적 요구성능에 대한 인식 향상으로 인해 건축물의 안전성능 등에 대해 명확히 이해하고자 하는 요구가 부각되고 있는 실정이다.
- <4> 현재까지, 콘크리트조 건축물의 내화성능에 대한 실험규준은 국제표준으로 인정되고 있는 RILEM Committee 129-MHT(Test Methods for Mechanical Properties of Concrete at High Temperatures)와 ASTM E119, ISO 834, JIS A 1304 등이 있으며, 국내에서는 KS F 2257(건축구조 부재의 내화시험방법)과 ISO 834(Fire-resistance tests. Elements of building construction) 등이 있다.
- <5> 이중 국내에서 사용되는 KS 및 ISO의 시험방법은 가열로를 활용하여 실 구조부재 크기의 부재를 표준화재조건에 시험체를 노출시키는 시험을 통해 얻은 결과가 규정된 성능기준을 만족하는지를 판정하는 방법으로서, 실제 화재시의 상황에 대한 거동을 파악하는데 유리한 시험방법이다. 그러나 이러한 실 부재 구조부재 크기의 시험은

설비 및 비용 면에서 난점이 있다. 그렇다고 소형 시험체를 화재에 노출시킴으로서 콘크리트의 내화성능을 상대적으로 평가하는 것은 화재 후의 겉보기 형성 및 잔존하는 역학적 특성만을 가지고 실제적인 콘크리트조 구조물의 내화성능을 평가하게 된다는 문제점이 있다.

<6> 따라서, 최근에는 이러한 문제점들을 해결하기 위한 방안으로 해석적 방법을 활용하여 콘크리트의 내화성능을 평가하고 있다. 그러나 이러한 해석적 방법은 화재시 고온을 받는 콘크리트의 특성에 영향을 미치는 요인으로 콘크리트의 배합조건, 시멘트 종류 및 골재의 종류와 같은 재료적인 조건, 가열장치 및 가열방법에 따른 시험조건, 콘크리트의 함수량 등 수많은 요인들을 반영하여 상온에서의 콘크리트의 역학적 특성뿐만 아니라, 콘크리트에 수열되는 각 온도별 역학적 특성 파악이 요구되며, 그 해석방법의 정밀성을 위해서는 화재의 다양한 환경을 상정하여 사전재하시험, 사전 비재하시험 및 사전 비재하 잔존강도 시험 등과 같은 방법 등을 고려하여 실시해야 한다.

<7> 즉, 해석적 방법을 통해 콘크리트의 고온특성을 평가하기 위해서는 가열과 재하를 동시에 컨트롤할 수 있는 시험장비 및 고온특성 데이터베이스 구축을 위한 표준적인 시험방법이 필요하다. 그러나, 아직까지 콘크리트의 고온특성을 평가하기 위한 체계화된 시험방법 및 시험장치가 정립되어 있지 않아 주로 연구자의 독자적인 방법에 의해 연구가 실시되고 있으며, 결과적으로 콘크리트의 고온특성에 관한 연구가 매우 부족한 현실이다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<8> 화재에 대한 콘크리트조 건축물의 안전성 확보를 위해서는 콘크리트 구조물의 화재에 대한 거동을 해석하고, 목표 하는 내화성능설계의 자유도를 향상시켜야 하며, 이를 위해 일반 및 고강도 콘크리트 복합부재에 대하여 다양한 재하, 가열조건 하에서 콘크리트 고온특성 평가데이터 축적이 필요하다.

<9> 이에 본 발명에서는 기존 연구에서 사용되는 재하장치, 가열장치 및 실험방법들을 응용하여 다양한 환경의 재하, 가열 시험과 콘크리트의 고온특성을 평가할 수 있는 시험장치를 제공함과 아울러, 다양한 환경에서 재하, 가열 시험방법을 표준화할 수 있는 콘크리트 고온특성 평가방법을 제공함을 그 목적으로 한다.

과제 해결수단

<10> 상기한 과제는 다음과 같은 수단에 의해 해결할 수 있다.

<11> 1. 재하와 가열이 동시에 가능하며, 프로그램에 의해 다양한 환경의 실험진행이 가능한 시험장치를 개발한다.

<12> 2. 기존의 직접열전달방식과 간접열전달방식에 대한 대안으로 상,하부 재하지그를 열전달 수단으로 활용함과 동시에 시험체를 둘러감는 열전달판을 설치하여 시험체가 전체적으로 균일하게 열을 전달받도록 하는 복합열전달방식을 구현한다.

<13> 3. 시험체에 표면부 열전대와 중심부 열전대를 나누어 설치하여 가열로 내부온도 조절 및 시험체 온도변화 측정에 활용한다.

<14> 4. 열효율과 시험체 전체적인 열전달을 고려한 최적의 가열방식을 적용한다.

효 과

<15> 본 발명에 따른 콘크리트 고온특성 시험장치와 평가방법에 따르면 시험체 전 부위의에 걸친 균일한 열전달이 이루어질 수 있으므로 콘크리트의 고온특성을 평가하는데 매우 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<16> I. 콘크리트 고온특성 시험장치

<17> 본 발명은 콘크리트 시험체의 재하, 가열시험을 위한 장치로서, 소정 크기의 프레스 다이(110); 원통형으로서 상기 프레스 다이(110) 상부에 설치되며, 내부에는 시험체(200)가 배치되고, 내주면에는 가열수단(121)이 구비된 가열로(120); 상기 가열로(120) 내부에서 시험체(200)를 둘러감도록 설치되고, 상부로 돌출된 수직방향의 유격스프링(131)이 다수개 삽입된 열전달판(130); 상기 가열로(120) 상부에 관입되도록 배치되고, 가력장치(300)로부터 하중을 받아 상기 시험체에 전달하는 상부 재하지그(140a); 상기 가열로(120) 하부에 관입되도록 배치되고, 상기 시험체(200)를 지지하는 하부 재하지그(140b); 및 상기 가열로(120)의 가열온도를 조절하는 온도조절

수단(150); 을 포함하는 콘크리트 고온특성 시험장치(100)를 제공한다(도 1 참조).

- <18> 콘크리트의 고온특성을 평가하기 위해서는 목표온도까지 가열을 실시해야 하지만, 콘크리트는 열전도율이 매우 낮아 시험체 도7에 도시된 바와 같이 부위별로 온도차이가 발생한다. 기존에는 시험체 전체에 균일한 가열을 위해 시험체 크기를 축소하고, 가열시간을 연장하는 방법을 사용하였다. 그러나 본 발명은 시험체 크기를 축소하지 않고도 시험체(예를 들어, 지름 100mm, 높이 200mm 시험체) 전체에 균일하게 열을 전달할 수 있는 재하-가열 시험장치이다. 따라서, 본 발명에서는 시험체 전체에 균일하게 열을 전달할 수 있는 구성이 핵심요소인 것으로서, 기존의 직접가열방식과 간접가열방식을 절충한 복합적 열전달방식으로 시험체 전체에 균일하게 열을 전달할 수 있게 되는 것이다.
- <19> 시험체를 가열하는 방법 중 기존의 직접가열방식(direct heating method)은 시험체를 직접 가열하는 방식으로 가열 속도가 빠르지만, 시험체 표면부에 손상을 주기 쉽고, 시험체 표면부는 높은 열을 한순간 받게 되므로 중심부와 온도차이가 커진다. 한편, 기존의 간접가열방식(non-direct heating method)은 시험체에 접하는 상부 지그와 하부지그를 가열하여 시험체에 열을 전달하는 방식으로 표면손상이 없어 시험체 전체에 균등한 열전달은 가능하지만, 목표온도까지의 온도상승을 위한 가열속도가 너무 느리다는 단점이 있다. 본 발명은 상기 가열로 내부에 상부 재하지그와 하부 재하지그가 관입되도록 배치하는 한편, 시험체를 둘러감는 열전달판을 사용하여 상기 상,하부 재하지그와 열전달판을 통해 시험체의 전체 표면으로 열이 전달되도록 구성된다. 따라서, 시험체 표면부는 열에 직접 노출되지 않아 직접가열방식에서와 같은 표면부 손상의 문제가 없게 되고, 간접가열방식에 비해 가열속도가 향상된다. 또한, 시험체 전체 표면으로 열이 전달되므로 시험체 모든 부위의 온도에 균일한 열전달이 이루어지게 된다.(도 2 참조)
- <20> 상기 가열로(120)는 원통형으로서 상기 프레스 다이(110) 상부에 설치되며, 내부에는 상기 시험체(200)가 배치되고, 내주면에는 가열수단(121)이 구비된 것이다. 상기 가열수단(121)은 금속히터를 활용한 전기가열방식을 채택할 수 있다. 상기 가열로(120)는 원통을 수직으로 절개한 반원통형의 제1,2본체(120a, 120b)가 결합된 구성을 취할 수 있다. 이 때, 상기 제1본체(120a)는 상기 프레스 다이(110) 상부에 정착시키고, 상기 제2본체(120b)는 상기 프레스 다이(110) 상부에 설치된 레일(111)을 따라 좌우로 이동하여 상기 제1본체(120a)와 탈착가능하도록 구성함으로써 제2본체(120b)를 분리시킨 상태에서 시험체(200) 및 열전달판(130)을 수월하게 배치할 수 있게 된다.
- <21> 상기 열전달판(130)은 상기 가열로(120) 내부에서 시험체(200)를 둘러감도록 설치되고, 상부로 돌출된 수직방향의 유격스프링(131)이 다수개 삽입된 것이다.(도 3 참조) 상기 열전달판(130)은 오로지 시험체로의 열전달을 위한 것이므로 상부 재하지그로(140a)부터 하중을 전달받아서는 아니된다. 따라서 상기 열전달판(130)의 높이는 시험체의 높이보다는 작아야 한다. 다만, 상기 열전달판(130)과 시험체(200)의 높이차에 의한 열손실을 최소화하기 위해서는 그 높이차를 최소로 줄여야 한다. 후술할 실험예들은 시험체 높이를 200mm로 제작하고 상기 열전달판의 높이는 187mm로 제작한 것이다.
- <22> 또한, 상기 열전달판(130) 상부에는 다수개의 유격스프링(131)이 종방향으로 배치함으로써, 상부 재하지그(140a)와 열전달판(130)의 열전달이 이루어지도록 하여, 시험체(200) 중 열전달판(130)보다 높아 노출되는 부분에도 열을 가할 수 있게 된다. 그리고 상기 유격스프링(131)의 설치에 의해 열전달판(130)의 하부가 하부 재하지그(140b)와 완전히 밀착되도록 밀어주는 효과도 있으므로, 시험체(200) 전체를 열전달판(130)으로 감싼 것과 같은 시험결과를 얻을 수 있게 되는 것이다.
- <23> 상기 하부 재하지그(140b)는 상기 가열로(120) 하부에 관입되도록 배치되어 상기 시험체(200)를 지지하는 부재이고, 상기 상부 재하지그(140a)는 상기 가열로(120) 상부에 관입되도록 배치되어 상기 시험체(200)에 하중을 가하는 부재이다. 즉 상기 상,하부 재하지그(140a, 140b)는 재하시험을 위한 구성요소임과 동시에 열전달수단이 되는 것이다.
- <24> 한편, 상,하부 재하지그(140a, 140b)가 가열로(120) 내에 관입되어 가열로(120)의 열을 받게 되면 시험체(200)에만 열전달이 되는 것이 아니라 상,하부 재하지그(140a, 140b)와 연결된 가력장치 등에도 열전달이 이루어지게 된다. 따라서, 하부 재하지그(140b) 아래에는 냉각기(180)를 설치하고, 그 냉각기(180) 아래에 가력장치를 연결시키고, 상부 재하지그(140a) 위에도 냉각기(180)를 설치하고 그 위에 공시체에 편심하중이 작용하는 것을 방지하기 위한 구면좌를 설치한 후 가력장치와 연결함으로써 가력장치로의 열전달을 막으면서 재하시험을 실시할 수 있다.
- <25> 기존의 재하장치에도 편심방지용 구좌는 설치되어 있으나 본 발명에서는 상부 재하지그 위에는 냉각기(180)가

설치되므로 상기 냉각기(180)의 상단에 구면좌가 설치되는 것이다.

<26> 상기 온도조절수단(150)은 상기 가열로(120)의 가열온도를 조절하는 장치로서, 온도조절 프로그램에 의해 제어할 수 있다. 온도조절방식에 대해서는 콘크리트 고온특성 평가방법에 관한 설명에서 다시 설명하기로 한다.

<27> 한편, 본 발명은 상기 시험체(200)의 온도변화를 기록하는 기록장치(160); 상기 시험체(200)의 상단, 중단 및 하단 표면부에 관입되어, 시험체(200)의 표면부 온도변화를 측정하고, 상기 기록장치(160)에 측정값을 전달하는 표면부 열전대(170a); 및 상기 시험체(200)의 상단, 중단 및 하단 중심부에 관입되어, 시험체(200) 중심부 온도 측정하고, 상기 기록장치(160)에 측정값을 전달하는 중심부 열전대(170b); 를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 콘크리트 고온특성 시험장치(100)를 제공한다.

<28> 도 4에 도시된 것은 시험체(200) 상단(시험체 하단면으로부터 190mm 지점), 중단(시험체 하단면으로부터 100mm 지점) 및 하단(시험체 하단면으로부터 10mm 지점)을 각각 5~7mm 깊이로 천공하고 표면부 열전대(170a)를 설치하고, 시험체(200) 상단(시험체 하단면으로부터 175mm 지점), 중단(시험체 하단면으로부터 100mm 지점) 및 하단(시험체 하단면으로부터 25mm 지점)에 시험체(200) 중심부까지 관입된 중심부 열전대(170b)를 설치한 실시예이다. 상기 표면부 열전대(170a)의 측정값을 기준으로 가열로(120) 내부 온도를 조절할 수 있으며, 상기 중심부 열전대(170b)의 측정값을 기준으로 시험체의 온도변화 상태를 파악할 수 있다.

<29> 도 5는 본 발명의 구성요소인 온도전달수단(150)과 기록장치(160)가 함께 구비된 장치를 도시한 것이다. 도시된 실시예와는 별도로 상기 온도전달수단(150)과 기록장치(160)는 별개로 나누어 상기 가열로(120), 표면부 열전대(170a) 및 중심부 열전대(170b)와 연계시킬 수 있다.

<30> 또한, 본 발명에 따른 콘크리트 고온특성 시험장치(100)에는 시험체(200)의 변형을 측정하는 변형계(195)를 추가로 설치할 수 있다. 다만, 시험체(200) 주변에는 열전달판(130)이 둘러 감겨 있고, 시험체(200) 상하단에는 상부 재하지그(140a)와 하부 재하지그(140b)가 설치되어 있어, 시험체(200)와 이격설치되면서도 시험체(200)의 변형을 정확히 측정해 낼 수 있게 하기 위한 구성요소가 필요하다. 따라서 본 발명에서는 상부 재하지그(140a)와 하부 재하지그(140b)의 중심을 수직방향으로 관통하는 삽입홀을 형성시키고, 상기 삽입홀에는 열팽창계수가 작은 매개막대(190)를 삽입, 설치하여 시험체(200)의 변형이 상기 매개막대(190)를 통하여 변형계(195)로 전달되도록 구성하였다. 즉, 상기 상부 재하지그(140a)의 삽입홀에 삽입되는 매개막대(190)는 아래로는 공시체(200)의 상단에 접하고, 위로는 변형계(195)와 연결된다. 또한, 상기 하부 재하지그(140b)의 삽입홀에 삽입되는 매개막대(190)는 위로는 공시체(200) 하단에 접하고 아래로는 변형계(195)와 연결된다. 이렇게 구성됨으로서 변형계(195)를 고온의 열로부터 보호하며 공시체(200)의 변형을 측정할 수 있게 되는 것이다.

<31> 상기 변형계(195)로는 LVDT(The linear variable differential transformer)를 적용할 수 있으며, 상기 전달막대(190)는 자체의 열변형에 따른 공시체 변형율의 왜곡을 방지하기 위해 열팽창계수가 작은 석영, 강화유리 등의 소재로 제작함이 바람직하다. 후술할 실험예에서는 상기 삽입홀을 15mm 지름으로 형성시키고, 상기 전달막대로는 석영관을 적용하였다.

<32> 도 6은 상,하부 재하지그의 천공으로 삽입홀을 형성시킨 것에 의한 오차를 평가하기 위한 압축강도 검증실험결과를 나타낸 것으로서 천공에 의한 압축강도의 차이는 크게 나타나지 않는 것을 검증할 수 있었다.

<33> II. 콘크리트 고온특성 평가방법

<34> 본 발명은 상기 콘크리트 고온특성 시험장치(100)를 이용하여 (a) 설계강도를 고려하여 시험체(200)를 제작하는 단계; (b) 상기 시험체(200)는 열전달판(130)으로 둘러감은 후 하부 재하지그(140b) 위에 배치하고, 상기 가열로(120) 내부에는 상기 시험체(200) 및 열전달판(130)이 배치되고, 상부 재하지그(140a)는 상기 가열로(120) 상부에, 하부 재하지그(140b)는 상기 가열로(120) 하부에 관입되도록 셋팅하는 단계; (c) 가력장치로 상기 상부 재하지그(140a)로 요구되는 하중을 상기 시험체(200)에 가하는 단계; (d) 상기 가열로(120) 내부의 온도를 0℃에서 300℃까지 올리면서 상기 시험체(200)의 온도변화를 측정하는 단계; 및 (e) 시험체(200)의 온도변화 측정값을 토대로 비정상 온도분포해석을 실시하는 단계; 로 이루어지는 콘크리트 고온특성 평가방법을 제공한다.

<35> 이하에서는 본 발명에 따른 콘크리트 고온특성 평가방법을 각 단계별로 설명하기로 한다.

<36> 1. (a)단계

<37> 본 단계는 설계강도를 고려하여 시험체(200)를 제작하는 단계이다. 따라서 강도에 영향을 미치는 물시멘트비, 시멘트 분말도, 골재량, 혼화제 종류, 양생기간 등을 고려하여 요구되는 설계강도가 발현되도록 제작하여야 한

다.

2. (b)단계

본 단계는 상기 시험체(200)는 열전달판(130)으로 둘러감은 후 하부 재하지그(140b) 위에 배치하고, 상기 가열로(120) 내부에는 상기 시험체(200) 및 열전달판(130)이 배치되고, 상부 재하지그(140a)는 가열로(120) 상부에, 하부 재하지그(140b)는 가열로(120) 하부에 관입되도록 셋팅하는 단계이다. 상술한 기록장치(160)와 표면부 열전대(170a), 중심부 열전대(170b)도 본 단계에서 함께 셋팅할 수 있다.

3. (c)단계

본 단계는 가력장치로 상기 상부 재하지그(140a)로 요구되는 하중을 상기 시험체(200)에 가하는 단계이다. 일반적인 가력장치로 재하시험을 하는 것과 마찬가지로 본 발명에 적용되는 상, 하부 재하지그(140a, 140b)는 가열로(120)에 관입되어 열을 받으므로, 고온의 열이 가력장치에 전달되지 않도록 상부 재하지그(140a)의 상단과 하부 재하지그(140b)의 하단에는 냉각기를 설치할 수 있다.

4. (d)단계

본 단계는 가열로(120) 내부의 온도를 0℃에서 300℃까지 올리면서 시험체(200)의 온도변화를 측정하는 단계이다. 기존의 연구결과에 의하면, 콘크리트가 열을 받으면 100~300℃ 범위에서 역학적 성능이 다양하게 변동한 후 300℃ 이후에는 계속적으로 역학적 성능이 저하된다. 따라서, 콘크리트 고온특성 평가는 역학적 성능이 다양하게 변동되는 300℃까지의 거동을 정확히 해석해 내는 것이 관건이며, 본 발명에서도 평가 목표온도를 300℃까지로 설정한 것이다.

한편, 본 단계에서는 가열로(120) 내부의 온도를 분당 0.7~0.8℃의 속도로 올려, 매 50℃ 상승 시마다 30분간 온도를 유지하는 과정을 한 사이클로 정하여, 상기 사이클을 반복 실시하는 것이 바람직하다.

5. (e)단계

본 단계는 시험체의 온도변화 측정값을 토대로 비정상 온도분포해석(Nonlinear transient heat flow analysis)을 실시하는 단계이다.

상기한 방식을 채택하는 것은 시험체 전체에 균일하게 열전달을 하기 위한 것이며, 이와 같은 방법이 가장 효율적인 방식이라는 점은 다음의 실험결과에 의해 입증된다.

아래 [표 1]은 열전달 효율을 테스트하기 위한 변수들이다.

[표 1]

선택요인	선택사항
열전달판	무, 1단, 2단
내화피복재	유, 무
가열속도(℃/min)	0.1, 0.77, 0.67
가열주기(℃/cycle)	50, 100

아래 [표 2]는 [표 1]의 선택사항을 달리한 여러 가지 실험예의 조건이다. 실험결과는 도 8에 각각 그래프로 도시되어 있다.

실험예	조 건
실험예Ⅰ	열전달판 무, 내화피복재 유, 가열속도 0.1℃/min, 가열주기 100℃/cycle
실험예Ⅱ	열전달판 1단, 내화피복재 유, 가열속도 0.67℃/min, 가열주기 50℃/cycle
실험예Ⅲ	열전달판 1단, 내화피복재 무, 가열속도 0.67℃/min, 가열주기 50℃/cycle
실험예Ⅳ	열전달판 2단, 내화피복재 무, 가열속도 0.67℃/min, 가열주기 50℃/cycle
실험예Ⅴ	열전달판 1단, 내화피복재 무, 가열속도 0.77℃/min, 가열주기 100℃/cycle
실험예Ⅵ	열전달판 1단, 내화피복재 무, 가열속도 0.77℃/min, 가열주기 50℃/cycle

도 5의 (a)는 내화피복재 및 열전달판을 사용하지 않고 실시한 실험예Ⅰ의 시험체 온도상승곡선이다. 열전대는

도 4에 도시된 바와 같이 표면부 열전대와 중심부 열전대를 각각 시험체의 상단, 중단, 하단에 나누어 설치하여 총 6부분을 측정하였다. 시험체의 상부와 하부의 경우 표면 및 중심에 관계없이 설정한 온도가 열곡선과 매우 유사하게 진행되는 것으로 나타났다. 그러나 시험체 중단 온도곡선의 경우 설정한 온도가 열곡선과 20~100℃ 범위로 차이를 나타내고 있어, 시험체 전체를 균일하게 가열하기 위해서는 60분 이상의 온도유지시간이 추가적으로 필요한 것으로 판단된다.

<55> 도 5의 (b)와 (c)는 각각 실험예Ⅱ와 실험예Ⅲ의 온도상승곡선이다. 실험예Ⅱ와 실험예Ⅲ 모두 열전달판을 사용하였으나, 실험예Ⅱ에서는 열전달판에 내화피복재를 추가로 설치한 것이고, 실험예Ⅲ는 내화피복재를 설치하지 않은 것이다. 이는 내화피복재를 설치할 경우 시험체의 내부열이 밖으로 방출되는 것을 막아 효과가 있을 것으로 예상하여 비교 실험한 것이다. 그러나 실험결과에서는 내화피복재를 실시하지 않은 시험체가 내화피복재를 실시한 시험체 보다 상, 하부 온도곡선이 시험체 중심온도 곡선과 다소 유사하게 상승하는 것으로 나타났다. 내화피복재를 사용한 경우 시험체 표면부와 시험체 중심부의 온도차 평균값은 10.06℃로 나타났으며, 내화피복재를 실시하지 않은 경우 평균값은 5.26℃로 나타났다. 내화피복재를 실시하지 않은 경우가 약 18~30분 빠른 열전달 효율을 나타냈다. 이는 내화피복재를 실시하지 않은 경우 가열로에서 발산되는 열이 상, 하부 재하지그를 직접 가열시켜 시험체 중단으로의 열전달 효과를 높여주며, 상, 하부에서 발생하는 높은 온도의 대류열이 가열로 내부 중앙 공간으로 순환하여 가열로 내부에 보온 효과가 생성되는 요인들에 의해 시험체 중심부로의 열전달 효과에 영향을 주어 내화피복재를 사용한 경우보다 높은 열전달 효과를 나타낸 것으로 판단된다. 도 9는 열전달판에 내화피복재를 추가로 설치된 상태와 내화피복재가 설치되지 않은 상태의 실험예를 촬영한 것이다.

<56> 도 5의 (c)와 (d)는 각각 열전달판의 종류를 달리한 실험예Ⅲ와 실험예Ⅳ의 시험체 온도상승곡선이다. 실험예Ⅲ의 1단 열전달판은 도 3에 도시된 바와 같이 본 발명에 적용되는 열전달판이다. 다만, 이러한 1단 열전달판을 사용하는 경우 시험체 높이와 차이를 위해 설치한 유격스프링에 의해 상단 재하지그와 열전달판이 완전히 밀착되지 않아 열효율이 떨어질 것으로 예상하여, 열전달판이 상하로 분리되고 중간에 유격스프링이 장착한 형태의 2단 열전달판을 적용하여 열효율을 실험한 것이다.(도 10 참조)

<57> 그러나, 실험예Ⅳ의 경우 시험체 상, 하단의 온도상승곡선만 1단 열전달판을 사용한 시험체에 비해 가열로 온도 컨트롤 곡선과 유사하게 진행하였으며, 중단의 온도는 약 40~80분 늦게 온도가 상승하는 현상을 나타내고 있어, 2단 열전달판의 경우 시험체 중단으로의 열전달이 균일하게 이루어지지 않는 것으로 나타났다.

<58> 도 5의 (e)와 (f)는 가열방법을 달리한 실험예Ⅴ와 실험예Ⅵ의 시험체 온도상승곡선이다.

<59> 실험예Ⅴ에서는 20~100℃ 및 200~300℃ 범위에서 시험체 상, 하단의 온도에 비해 중단의 온도가 10~20분 늦게 상승하는 것으로 나타났는데, 이는 여타 조건은 동일한 상태에서 가열속도만을 0.67℃/min으로 설정한 실험예Ⅲ(18~30분 늦게 상승)에 비해 시험체 중단으로의 빠른 열전달을 보이고 있어, 0.77℃/min으로 가열속도를 결정하는 것이 더욱 효율적인 것으로 나타났다.

<60> 한편, 온도범위에 따라 한 싸이클당 상승시키는 온도를 비교하면, 한 싸이클당 100℃ 범위로 온도를 상승시킬 경우 시험체 상, 하단과 중단의 온도차가 한 싸이클당 50℃ 범위로 상승시킬 때보다 크게 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 결과적으로 50℃마다 30분의 일정온도유지시간으로 설정하는 것이 가장 양호한 가열방법으로 나타났다.

<61> ※ 콘크리트 고온특성 시험방법의 검증

<62> 본 발명에 따른 콘크리트 고온특성 시험방법에 의한 실험결과를 근거로 외부열원의 영향에 의한 비정상 온도분포해석(Nonlinear transient heat flow analysis)을 실시하였다.

<63> 해석은 공시체에 대한 온도시간의존 열적특성을 온도함수로 치환하여 이를 고려하였으며, 해석방법에 대한 신뢰성 확보를 위하여 수행된 내화시험 결과를 이용하여 이를 검증하였다. 해석 시 사용된 프로그램은 범용 유한요소 해석 프로그램인 DIANA를 이용하였으며, 열전달해석 시 도입되는 열 $q(t)$ 는 [식 1]과 같이 나타낼 수 있다.

<64> [식 1]

$$q(t) = c(T, r) \frac{\partial T}{\partial t}$$

<65>

<66> 여기서 $c(T, r)$ 는 열용량으로 다음과 같은 수치근사해석으로 나타낼 수 있다.

$$r_m = \frac{Q_m}{Q_n}, Q_m \approx \sum_{i=1}^m c(T_i^*, r_i^*) \Delta T_i, m = 1, 2, \dots, n$$

<67>

<68> 여기서,

$$\Delta T_i = T_i - T_{i-1}, r_i^* = \frac{r_{i-1} + r_i}{2}, T_i^* = \frac{T_{i-1} + T_i}{2}$$

<69>

<70> ※ 유한요소 모델링

<71> 도 11은 시험체에 대한 유한요소(FE)모델링 개요를 나타낸 것이다. 해석 대상은 100×200mm의 원주형 시험체로 대칭성을 고려하여 분할하였다. 요소는 3D Solid요소(CHX60)를 적용하였으며, 온도 하중을 고려하기 위하여 경계면은 가상의 요소(BQ4HT)로 모델링하였다. 해석에 이용된 온도이력은 재하가열실험과 동일하게 하였으며, 초기 온도조건은 실험조건인 20℃로 설정하였다. 또한, 가열로 내의 열 순환에 대한 영향은 고려하지 않았으며, 대류계수는 실험실 내 조건을 고려하여 $h_c = 1.7\text{W/m}^2\text{℃}$ 으로 가정하였다.

<72> ※ 해석결과와 검증

<73> 도 12는 상승온도 650℃, 가열시간 1,235분에서의 분석결과를 나타낸 것이며, 도 13 및 도 14는 비정상 온도분포해석과 실험결과를 비교하여 나타낸 것으로 시험체에 대한 가열 후 시험체의 온도이력 곡선으로부터 해석결과는 시험체의 온도이력을 매우 유사하게 추정하고 있음을 알 수 있다. 특히, 시험체 상부 1cm지점의 중심온도와 중앙중심온도의 차이를 비교시 목표온도 도달에 있어서 열전달판을 사용하지 않았을 경우 약 22℃ 차이가 발생한 반면 열전달판을 사용한 경우 약 4℃ 안팎의 차가 발생하고 있어, 본 연구에서 제안한 방법의 열전달 효율성을 확인할 수 있다.

도면의 간단한 설명

<74> 도 1은 본 발명에 따른 콘크리트 고온특성 시험장치를 도시한 것이다.

<75> 도 2는 기존의 직접가열방식, 간접가열방식 시험방법과 본 발명에 따른 복합적 열전달방식 시험방법에 대한 개념도이다.

<76> 도 3은 본 발명의 구성요소인 열전달판을 도시한 것이다.

<77> 도 4는 본 발명에 적용되는 공시체 및 공시체에 설치된 표면부 열전대와 중심부 열전대를 도시한 것이다.

<78> 도 5는 본 발명의 구성요소인 온도전달수단과 기록장치가 함께 구비된 장치를 도시한 것이다.

<79> 도 6은 상,하부 재하지그의 천공에 따른 압축강도 시험의 결과를 나타낸 표이다.

<80> 도 7은 고온특성평가시 공시체 부위에 따른 온도상승곡선을 도시한 것이다.

<81> 도 8a 내지 도 8f는 여러가지 조건에 따른 공시체 가열, 재하시험의 실험값을 토대로 작성한 온도상승곡선을 도시한 것이다.

<82> 도 9는 열전달판에 내화피복재를 추가로 설치된 상태와 내화피복재가 설치되지 않은 상태의 실험예를 촬영한 것이다.

<83> 도 10은 2단 열전달판을 도시한 것이다.

<84> 도 11은 공시체의 유한요소 모델링을 도시한 것이다.

<85> 도 12는 공시체 둘레에 열전달판을 설치하지 않은 경우와 열전달판을 설치한 경우의 열해석 결과를 비교한 것이다.

<86> 도 13은 열전달판을 사용하지 않은 경우 시험체 내부로의 열전달 해석 검증결과를 도시한 것이다.

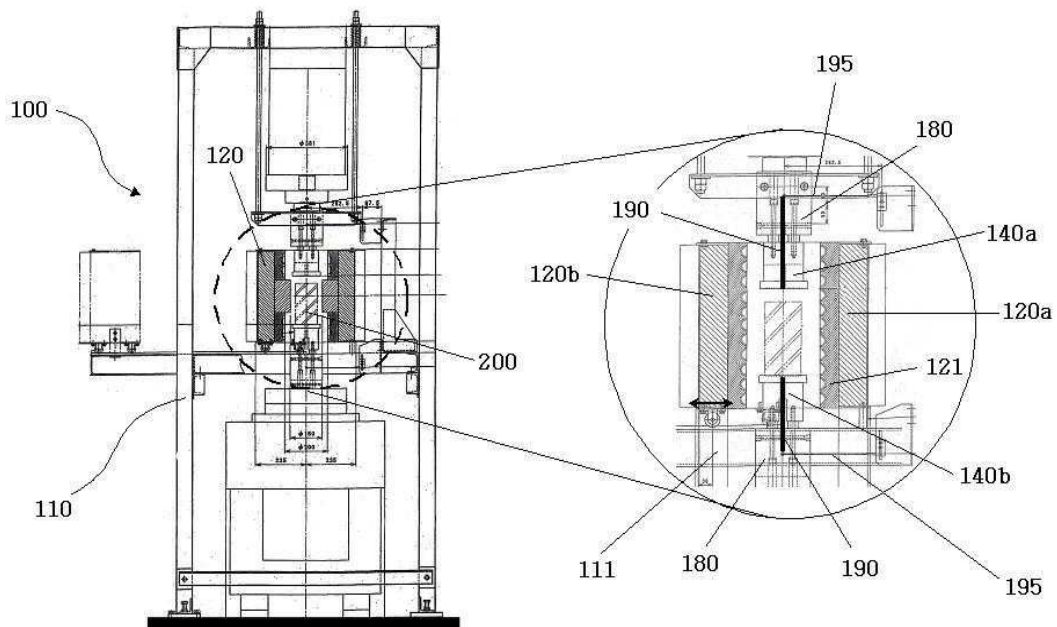
<87> 도 14는 열전달판을 사용한 경우 시험채 내부로의 열전달 해석 검증 결과를 도시한 것이다.

<88> <도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

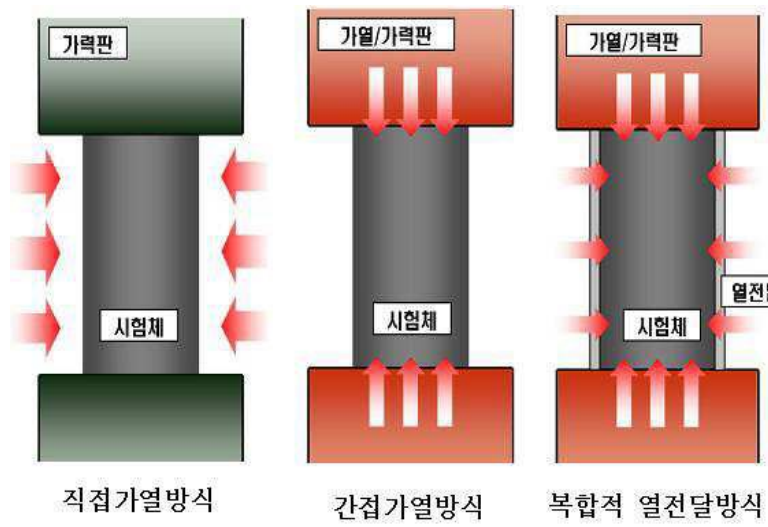
- | | |
|---------------------------|----------------|
| <89> 100 : 콘크리트 고온특성 시험장치 | 200 : 공시체 |
| <90> 110 : 프레스 다이 | 120 : 가열로 |
| <91> 130 : 열전달판 | 140a : 상부 재하지그 |
| <92> 140b : 하부 재하지그 | 150 : 온도조절수단 |
| <93> 160 : 기록장치 | 170a : 표면부 열전대 |
| <94> 170b : 중심부 열전대 | 180 : 냉각기 |
| <95> 190 : 매개막대 | 190 : 변형계 |

도면

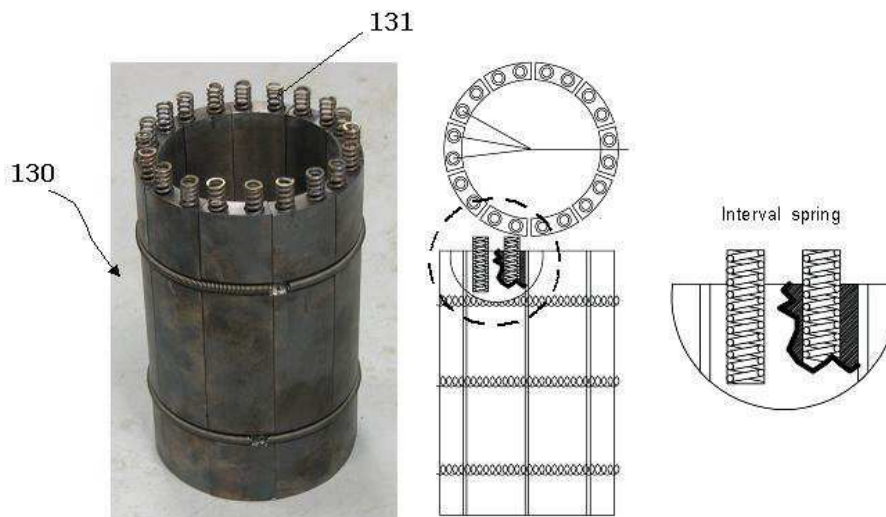
도면1



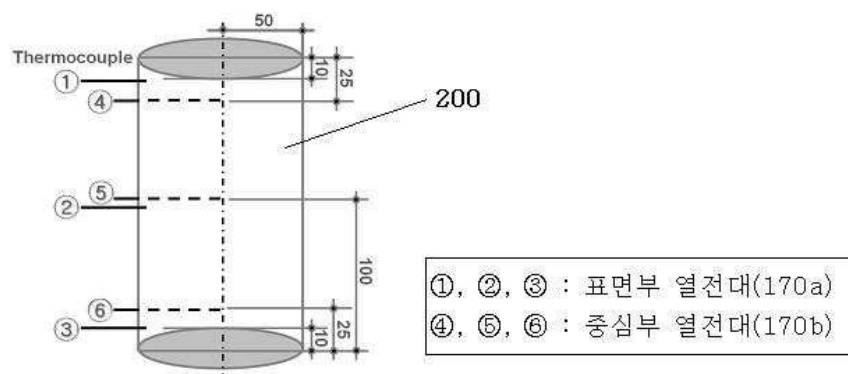
도면2



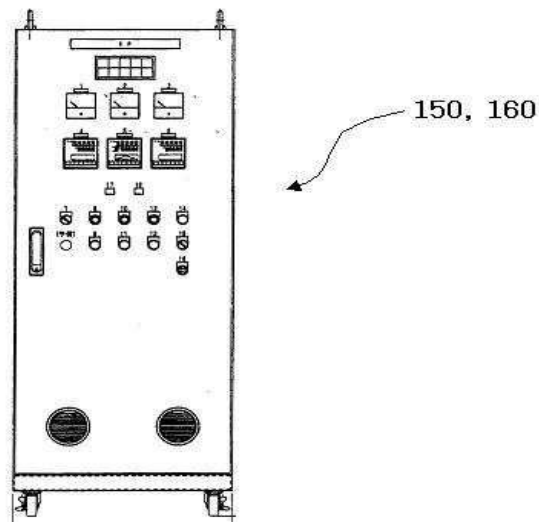
도면3



도면4



도면5



도면6

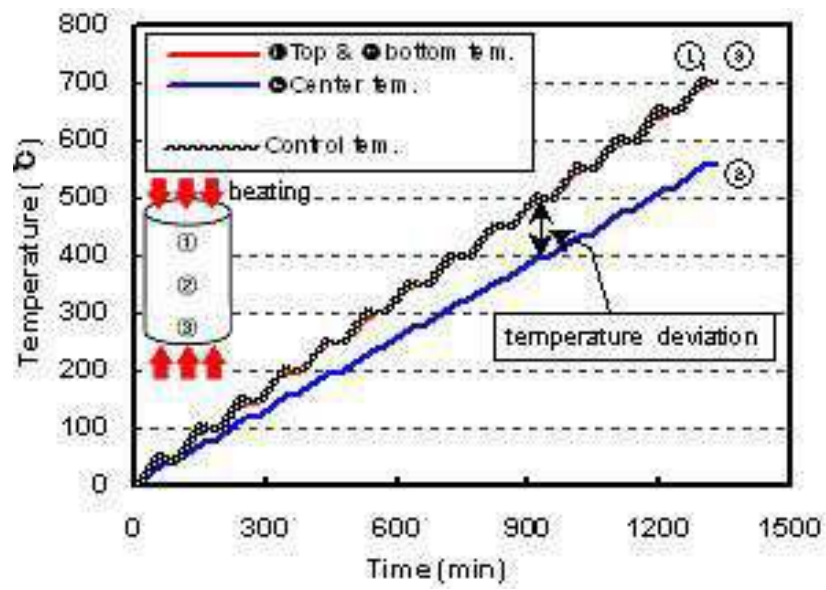
상,하부 재하지그의 천공에 따른 압축강도 시험의 결과

공시체 조건	No.	일반 U.T.M (MPa)	재하가열장치 ²⁾ (MPa)	오차 범위(%)
상, 중, 하부를 천공한 공시체 ¹⁾	1	43.8	42.5	3.0
	2	42.7	43.3	2.4
일반 공시체	1	43.3	43.1	1.0
	2	44.4	42.5	4.5

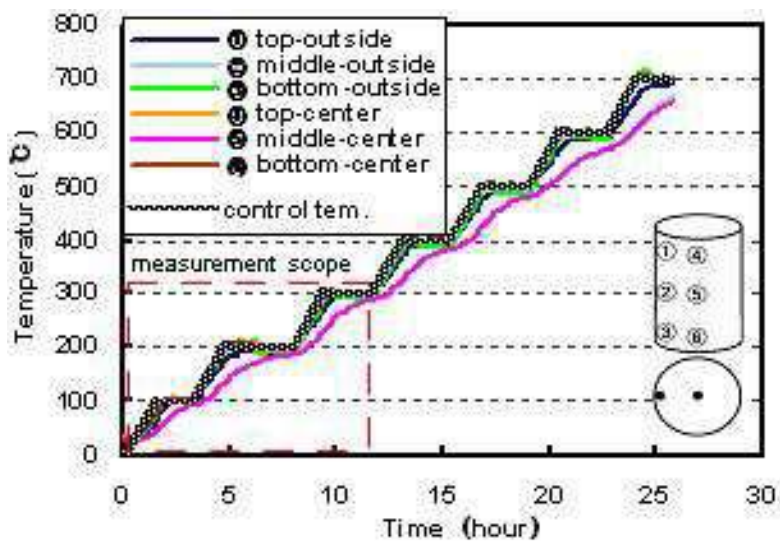
1) 천공사이즈 $\phi 1\text{mm} \times 5\text{mm}$; 열전대 설치

2) 천공사이즈 $\phi 15\text{mm}$; 석영관 설치

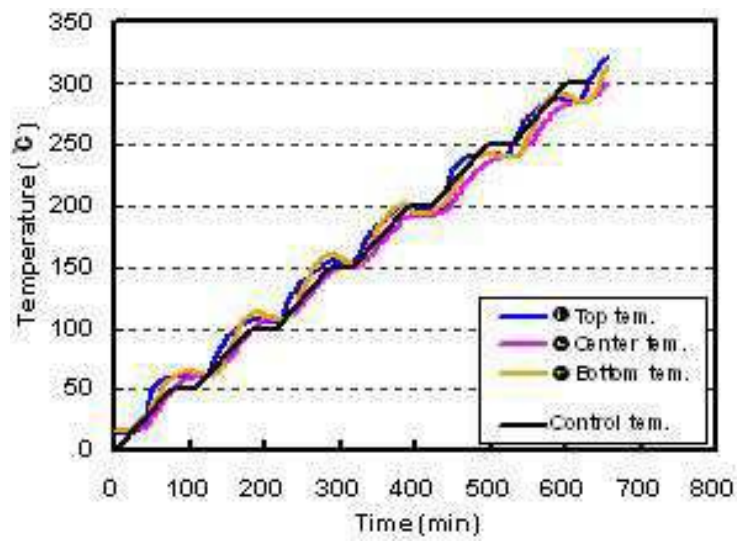
도면7



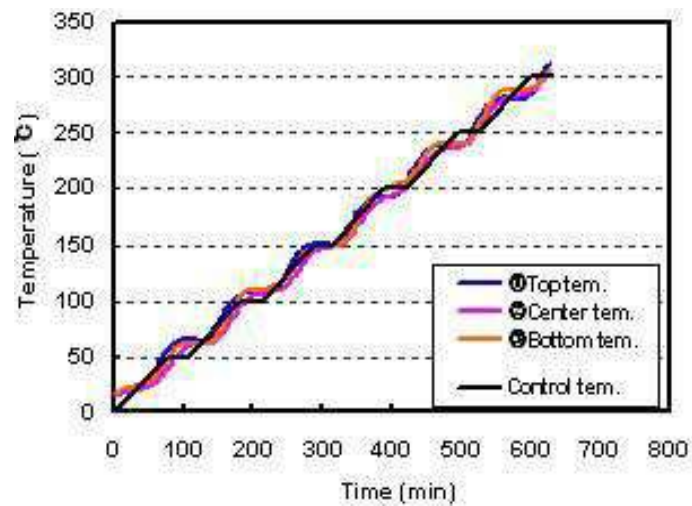
도면8a



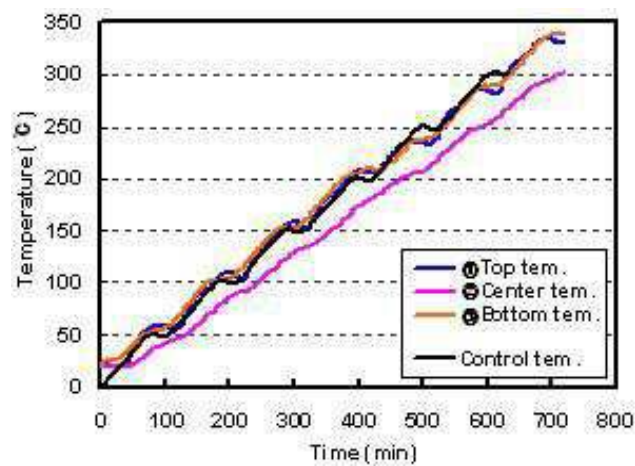
도면8b



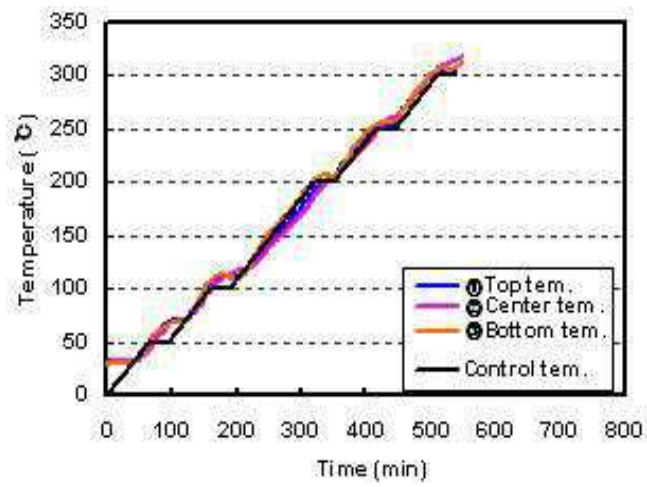
도면8c



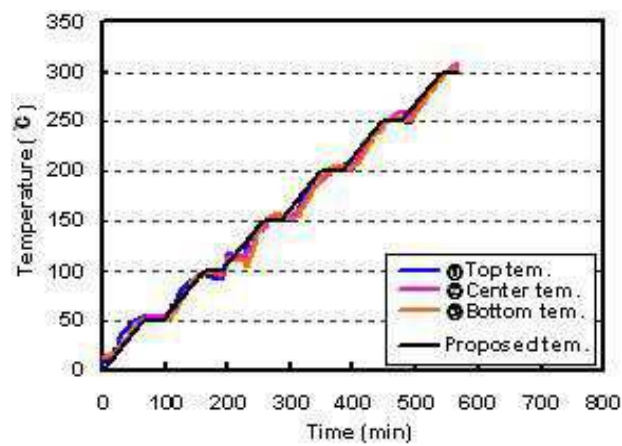
도면8d



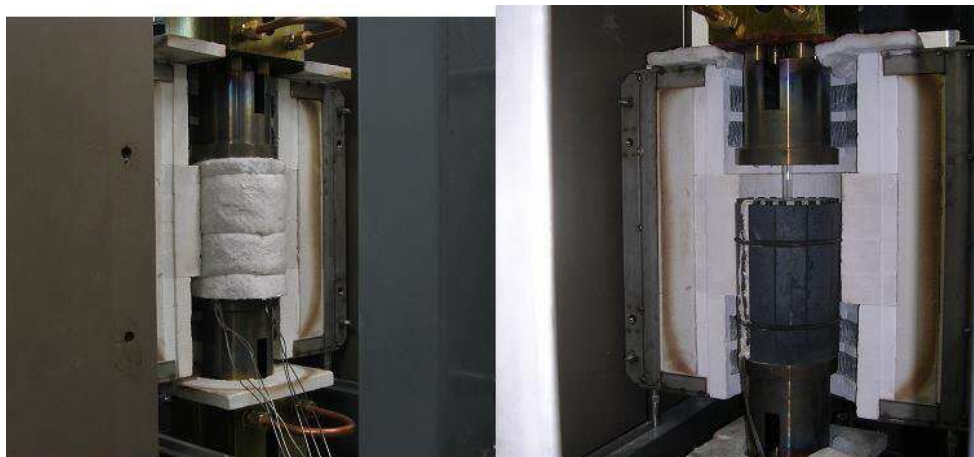
도면8e



도면8f



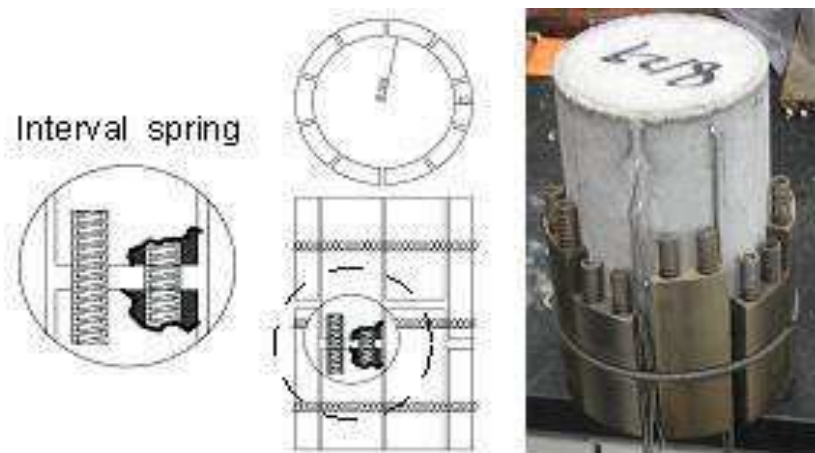
도면9



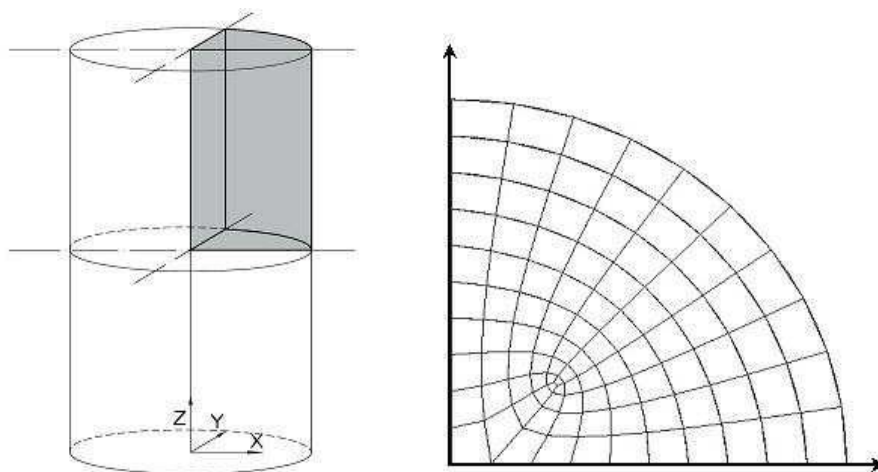
내화피복재 설치함

내화피복재 설치안함

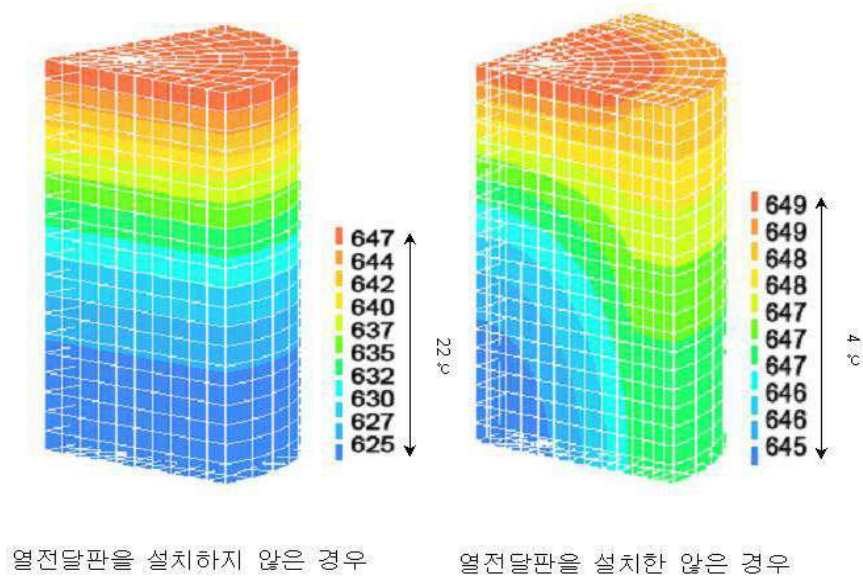
도면10



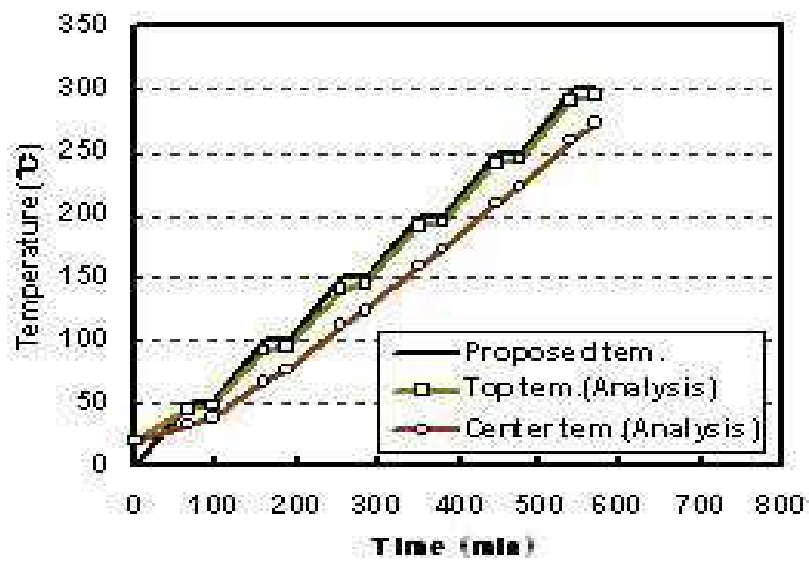
도면11



도면12



도면13



도면14

