(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0062696
(43) 공개일자 2019년06월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 13/00 (2006.01) *G01N 1/28* (2006.01)
G01N 33/38 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 13/00 (2013.01)
G01N 1/286 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0161155
(22) 출원일자 2017년11월29일
심사청구일자 2017년11월29일

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
이광명
서울특별시 서초구 서초중앙로 188, C-1610호
최슬우
경기도 안양시 동안구 관악대로69번길 14, 403호
신경준
대전광역시 유성구 학하남로 10, 206동 1802호
(74) 대리인
이준서, 김영철

전체 청구항 수 : 총 4 항

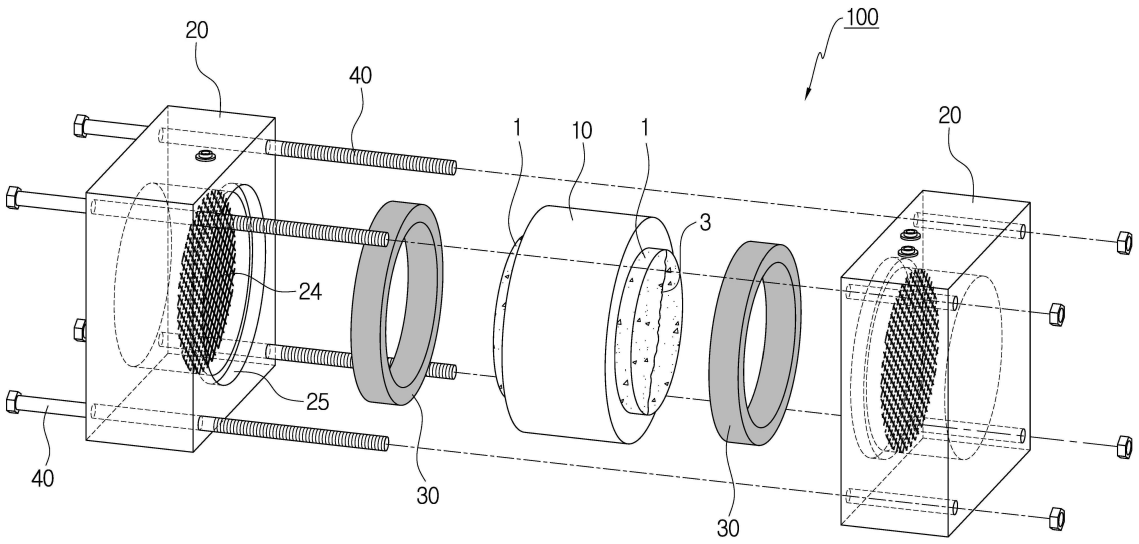
(54) 발명의 명칭 **시멘트 복합체의 자기치유 성능 시험평가방법**

(57) 요 약

본 발명은 자기치유 성능이 부여된 시멘트 복합체는 균열에 대한 자기치유 성능이 발현됨에 따라 균열면에 치유 물질이 생성되어 이온의 확산성에 차이가 발생하게 된다는 점을 이용하여, 사전에 균열을 미리 형성해둔 시멘트 복합체의 시편에서의 염소이온 확산계수의 변화를 관찰하고 측정함으로써, 시멘트 복합체의 자기치유 성능을 정

(뒷면에 계속)

대 표 도



량적인 수치에 의해 객관적으로 평가할 수 있게 되는 "시멘트 복합체의 자기치유 성능 시험평가방법"에 관한 것이다.

본 발명에서는 원하는 폭의 균열이 미리 형성된 균열 시편을 제작하고 이에 대하여 염소이온 확산 시험을 수행하여, 시간에 따른 염소이온 농도의 변화로부터 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 측정하며, 이렇게 측정된 염소이온 확산계수를, 균열 시편과 동일한 배합 및 조건으로 제작되었지만 균열이 존재하지 않은 비교 시편에 대한 염소이온 확산계수와 대비함므로써, 균열 시편의 자기치유율을 산출하여 취득하게 되고, 이를 통해서 균열 시편(1)을 이루는 시멘트계 복합체의 자기치유 성능을 정량적인 수치에 의해 매우 객관적으로 평가할 수 있게 된다.

(52) CPC특허분류
G01N 33/383 (2013.01)
G01N 2001/2873 (2013.01)
G01N 2013/003 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1615009152
부처명 국토교통부
연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원
연구사업명 건설기술연구
연구과제명 자기치유 콘크리트 성능평가 기술 개발 및 실용화 전략
기 여 율 1/1
주관기관 성균관대학교 산학협력단
연구기간 2017.02.14 ~ 2017.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

시멘트 복합체의 자기치유 성능을 시험하여 평가하는 방법으로서,

평가하고자 하는 시멘트 복합체에 해당하며 쪼갬인장에 의하여 사전 설정된 폭의 인공균열이 형성되어 있는 균열 시편(1)을 제작하는 단계(단계 S1);

균열 시편(1)의 양단면을 각각 염화나트륨 수용액과 수산화나트륨 수용액에 접촉시키고 시간에 따른 염화나트륨 수용액과 수산화나트륨 수용액 각각의 염소이온 농도를 측정하는 염소이온 확산 시험을 수행하여 시간에 따른 염소이온 농도의 변화로부터 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 산출하고, 균열 시편(1)과 동일한 구성을 가지되 균열이 존재하지 않는다는 점에서만 차이가 있는 비교 시편에 대해서도 염소이온 확산 시험을 수행하여 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 산출하는 단계(단계 S2); 및

균열 시편(1)에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수와, 비교 시편에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수를 대비하여 균열 시편(1)의 자기치유 성능을 평가하는 단계(단계 S3)를 포함하는 것을 특징으로 하는 시멘트 복합체의 자기치유 성능 시험평가방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

균열 시편(1) 및 비교 시편에 대한 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 산출하는 단계(단계 S2)에서는,

균열 시편(1) 및 비교 시편 각각에 대해 염소이온 확산 시험을 수행하여, 각각의 시편에 대하여 정상상태에 도달한 이후의 "염소이온 확산 진행 시간에 따른 염소이온 농도의 변화율"을 산출하고;

산출된 염소이온 확산 진행 시간에 따른 염소이온 농도의 변화율과 수학식 1을 이용하여, 정상상태에서의 염소이온 확산계수 D_{ssm}을 산출하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 시멘트 복합체의 자기치유 성능 시험평가방법.

(수학식 1)

$$D_{ssm} = \frac{RTL}{zFU}\frac{V}{A}\left|\frac{\triangle \ln(c_1)}{\triangle t}\right|$$

(수학식 1에서 D_{ssm}는 정상상태에서의 염소이온 확산계수이며, R은 기체상수이고, T는 절대온도이고, z는 이온 차수이며, L은 균열 시편의 높이이고, F는 패러데이 상수이며, U는 측정된 전위차이고, V는 단부마감 셀에 담겨진 수용액의 부피이며, A는 이온통과면적이다.)

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

균열 시편(1)과 비교 시편 간의 정상상태의 염소이온 확산계수를 대비하여 균열 시편(1)의 자기치유 성능을 평가하는 단계(단계 S3)에서는,

균열 시편(1)에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수와 비교 시편에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수 간의 차이가 시간에 따라 변화되는 비율을 산출하고;

산출된 비율과 수학식 2에 의해 시간 t에 따른 균열 시편(1)의 자기치유율 SH(t)를 산출하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 시멘트 복합체의 자기치유 성능 시험평가방법.

(수학식 2)

$$SH(t)(\%)=[1-\frac{D_{cr,t}-D_{uncr,t}}{D_{cr,0}-D_{uncr,0}}]\times 100$$

(수학식 2에서 $D_{cr,t}$는 치유재령 t에서의 균열 시편의 염소이온 확산계수이고, D_{uncr}는 치유재령 t에서의 비교 시편의 염소이온 확산계수이며, $D_{cr,0}$는 균열 발생재령에서의 균열 시편의 염소이온 확산계수이며, $D_{uncr,0}$는 균열 발생재령에서의 비교 시편의 염소이온 확산계수이다.)

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

균열 시편(1) 및 비교 시편에 대한 염소이온 확산 시험은, 균열 시편(1)이 삽입되도록 균열 시편(1)의 원기둥 형상 측면을 감싸는 원통형의 삽입본체(10)와, 염소이온 확산을 위한 수용액이 담겨지며 균열 시편(1)의 길이방향 양단부면에 수용액이 직접 접촉할 수 있도록 삽입본체(10)의 길이방향 양단부에 조립 결합되는 단부마감 셀(20)을 포함하여 구성되는 이온확산 셀 장치(100)를 이용하여 수행되는데;

준비된 균열 시편(1)을 삽입본체(10)에 삽입하고 삽입본체(10)의 양단부에 단부마감 셀(20)을 수밀하게 조립 설치하고;

염화나트륨 수용액과 수산화나트륨 수용액을 준비하여 각각의 단부마감 셀(20)에 투입하여 균열 시편(1)의 길이방향 양단부면을 각각 염화나트륨 수용액 및 수산화나트륨 수용액에 접촉시키며;

단부마감 셀(20)의 각각에 수용액을 투입하기 전,후 또는 투입함과 동시에, 음극 단자(21), 양극 단자(22), 및 온도센서 단자(23)를 단부마감 셀(20)에 부착 설치하고, 전원을 공급하여 사전 설정된 전압을 인가하고;

양측의 단부마감 셀(20)에서 동일한 양의 수용액을 소취한 후, 소취된 수용액의 염소이온 농도를 측정하고, 측정을 마친 수용액은 다시 각각의 단부마감 셀(20)에 투입하며;

수용액의 소취, 염소이온 농도 측정 및 재투입 과정을 사전 설정된 간격으로 반복 수행함으로써 시간에 따른 염소이온 농도의 측정값을 취득하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 시멘트 복합체의 자기치유 성능 시험평가방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 시멘트 복합체의 자기치유 성능을 시험하여 평가하는 방법에 관한 것으로서, 구체적으로는 자기치유 성능이 부여된 시멘트 복합체는 균열에 대한 자기치유 성능이 발현됨에 따라 균열면에 치유물질이 생성되어 이온의 확산성에 차이가 발생하게 된다는 점을 이용하여, 사전에 균열을 미리 형성해둔 시멘트 복합체 시편에서의 염소이온 확산계수의 변화를 관찰하고 측정함으로써, 시멘트 복합체의 자기치유 성능을 정량적인 수치에 의해 객관적으로 평가할 수 있는 "시멘트 복합체의 자기치유 성능 시험평가방법"에 관한 것이다.

[0002]

배 경 기 술

[0003] 시멘트를 이용한 시멘트 복합체가 자기치유 성능을 가지고 있어서 시멘트 복합체에 발생한 균열을 외부의 인위적인 작용 없이 시멘트 복합체 내부의 물질을 이용하여 스스로 복구하게 되는 기술이 "자기치유 콘크리트(Self-Healing Concrete)"라는 이름으로 개발되고 있다. 시멘트 복합체의 자기치유 성능을 평가하기 위하여, 종래에는 인위적으로 균열을 발생시킨 시멘트 복합체에 투수시험을 수행하는 방법이 제안되었다. 대한민국 등록특허 제10-1783136호에는 <균열 콘크리트의 자기치유 성능평가를 위한 투수시험장치>라는 명칭으로 이러한 종래 기술의 일예가 개시되어 있다. 편의상 청구범위를 포함한 본 명세서 전체에서는 <자기치유 성능의 평가 및 시험을 위하여 인위적으로 균열을 발생시켜 놓은 시멘트계 복합체의 시편(試片)>을 편의상 "균열 시편"이라고 약칭한다.

[0004] 투수시험에 의한 종래 기술도 균열 시편에 대한 자기치유 성능 평가에 유용하게 이용될 수 있지만, 시간이 오래

소요되고 수분의 증발로 인한 오차 발생 우려가 있고, 투수시험의 경우, 균열의 한 부분만 치유가 되어도 블럭 효과로 인하여 유출수량이 매우 작거나 거의 나타나지 않게 되어, '투수감소율'을 '균열 충진(치유)율'과 동일한 개념으로 보기 어려우며 투수감소율과 균열 충진율과의 상관관계가 명확하게 파악되지 않는 한계가 있다. 또한 균열폭이 0.1㎜ 미만으로 작은 경우에는, 종래의 투수시험에 의해 취득된 결과의 해상도가 매우 낮아지게 되는 문제도 있다. 따라서 이러한 종래 기술의 투수시험이 가지는 문제점과 한계를 개선하여 자기치유 성능 평가의 정확도를 더욱 높일 수 있는 시험평가 기술의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1783136호(2017. 09. 28. 공고).

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 위와 같은 기술분야의 필요성에 따라 개발된 것으로서, 균열 시편에 대한 자기치유 성능을 더욱 정확하고 정밀하게 평가할 수 있는 기술을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 위와 같은 과제를 달성하기 위하여 본 발명에서는, 시멘트 복합체의 자기치유 성능을 시험하여 평가하는 방법으로서, 평가하고자 하는 시멘트 복합체에 해당하며 쪼갬인장에 의하여 사전 설정된 폭의 인공균열이 형성되어 있는 균열 시편을 제작하는 단계; 균열 시편의 양단면을 각각 염화나트륨 수용액과 수산화나트륨 수용액에 접촉시키고 시간에 따른 염화나트륨 수용액과 수산화나트륨 수용액 각각의 염소이온 농도를 측정하는 염소이온 확산 시험을 수행하여 시간에 따른 염소이온 농도의 변화로부터 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 산출하고, 균열 시편과 동일한 구성을 가지되 균열이 존재하지 않는다는 점에서만 차이가 있는 비교 시편에 대해서도 염소이온 확산 시험을 수행하여 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 산출하는 단계; 및 균열 시편에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수와, 비교 시편에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수를 대비하여 균열 시편의 자기치유 성능을 평가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 시멘트 복합체의 자기치유 성능 시험평가방법이 제공된다.

[0008] 이러한 본 발명의 방법에서 균열 시편 및 비교 시편에 대한 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 산출하는 단계에서는, 균열 시편 및 비교 시편 각각에 대해 염소이온 확산 시험을 수행하여, 각각의 시편에 대하여 정상상태에 도달한 이후의 "염소이온 확산 진행 시간에 따른 염소이온 농도의 변화율"을 산출하고; 산출된 염소이온 확산 진행 시간에 따른 염소이온 농도의 변화율을 이용하여, 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 산출하는 과정을 포함할 수 있으며, 균열 시편과 비교 시편 간의 정상상태의 염소이온 확산계수를 대비하여 균열 시편의 자기치유 성능을 평가하는 단계에서는, 균열 시편에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수와 비교 시편에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수 간의 차이가 시간에 따라 변화되는 비율을 산출하고; 산출된 비율을 이용하여 시간에 따른 균열 시편의 자기치유율을 산출하는 과정을 포함할 수 있다.

[0009] 또한 본 발명에서, 균열 시편 및 비교 시편에 대한 염소이온 확산 시험은, 균열 시편이 삽입되도록 균열 시편의 원기둥 형상 측면을 감싸는 원통형의 삽입본체와, 염소이온 확산을 위한 수용액이 담겨지며 균열 시편의 길이방향 양단부면에 수용액이 직접 접촉할 수 있도록 삽입본체의 길이방향 양단부에 조립 결합되는 단부마감 셀을 포함하여 구성되는 이온확산 셀 장치를 이용하여 수행될 수 있는데; 준비된 균열 시편을 삽입본체에 삽입하고 삽입본체의 양단부에 단부마감 셀을 수밀하게 조립 설치하고; 염화나트륨 수용액과 수산화나트륨 수용액을 준비하여 각각의 단부마감 셀에 투입하여 균열 시편의 길이방향 양단부면을 각각 염화나트륨 수용액 및 수산화나트륨 수용액에 접촉시키며; 단부마감 셀의 각각에 수용액을 투입하기 전,후 또는 투입함과 동시에, 음극 단자, 양극 단자, 및 온도센서 단자를 단부마감 셀에 부착 설치하고, 전원을 공급하여 사전 설정된 전압을 인가하고; 양측의 단부마감 셀에서 동일한 양의 수용액을 소취한 후, 소취된 수용액의 염소이온 농도를 측정하고, 측정을 마친 수용액은 다시 각각의 단부마감 셀에 투입하며; 수용액의 소취, 염소이온 농도 측정 및 재투입 과정을 사전 설정된 간격으로 반복 수행함으로써 시간에 따른 염소이온 농도의 측정값을 취득하는 과정을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0010] 본 발명에서는 상기한 바와 같이 시험대상 시멘트계 복합체와 동일한 배합 및 조건으로 제작되고 원하는 폭의 균열이 미리 형성된 균열 시편을 제작하고 이에 대하여 염소이온 확산 시험을 수행하여, 시간에 따른 염소이온 농도의 변화로부터 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 측정하며, 이렇게 측정된 염소이온 확산계수를, 균열 시편과 동일한 배합 및 조건으로 제작되었지만 균열이 존재하지 않은 비교 시편에 대한 염소이온 확산계수와 대비함으로써 균열 시편의 자기치유율을 산출하여 취득하게 된다.

[0011] 따라서 본 발명에 의하면, 이러한 수치로 표현되는 자기치유율을 이용하여 균열 시편(1)을 이루는 시멘트계 복합체의 자기치유 성능을 평가하게 되는 바, 정량적이고 매우 객관적인 자기치유 성능의 평가가 이루어질 수 있게 되는 효과가 발휘된다.

[0012] 특히, 본 발명에서는 염소이온 확산계수에 근거하여 균열 시편의 자기치유율을 산출하게 되는 바, 이러한 염소이온 확산계수의 산출을 위한 본 발명의 염소이온 확산 시험에서는, 균열면의 일부가 치유되었을 경우에 이온확산이 봉쇄되는 것이 아니라 저해 혹은 지연시키는 효과가 있으므로, 종래의 투수시험에 의한 것보다 균열 전체의 충진(치유) 성능을 더욱 객관적으로 평가할 수 있게 되는 장점이 발휘된다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 본 발명에 따라 쪼갬인장에 의해 양분된 균열 시편 조각의 절단면을 보여주는 도면 대용 사진이다.

도 2는 본 발명에 따라 간격시트가 절단면 사이에 끼인 상태로 원기둥 형상을 가지도록 만들어진 균열 시편의 평면 형상을 보여주는 도면 대용 사진이다.

도 3은 도 2의 균열 시편을 보여주는 도면 대용 사진이다.

도 4는 염소이온 확산 시험을 위하여 이온확산 셀 장치에 균열 시편을 설치하는 상태를 보여주는 개략적인 분해 사시도이다.

도 5은 이온확산 셀 장치에 균열 시편을 설치 완료한 상태를 보여주는 개략적인 조립 사시도이다.

도 6은 실제 수행한 실험예의 측정데이터로부터 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 산출하는 것을 보여주는 그래프도이다.

도 7은 균열 시편과 비교 시편에 대하여 정상상태의 염소이온 확산계수의 시간에 따른 차이 변화를 통해서 자기치유율을 산출하는 일예를 보여주는 개략적인 그래프도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 설명한다. 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 하나의 실시예로서 설명되는 것이며, 이것에 의해 본 발명의 기술적 사상과 그 핵심 구성 및 작용이 제한되지 않는다. 참고로, 청구범위를 포함하는 본 명세서에서, "시멘트 복합체"는 시멘트풀, 모르타르, 콘크리트 등과 같이 시멘트를 기반으로 만들어진 복합재료를 의미한다.

[0015] 본 발명에 따라 시멘트 복합체의 자기치유 성능을 평가하기 위해서는, 우선 평가하고자 하는 시멘트 복합체에 해당하는 균열 시편(1)을 제작한다(단계 S1). 균열 시편은 원기둥 형상(실린더 형상)을 가진 것을 쪼갬인장에 의해 양분한 후 다시 원기둥 형상이 되도록 만들어서 관통 균열을 사전에 유발한 것이다. 구체적으로 시험 평가하려는 시멘트 복합체로부터 코어를 채취하거나 또는 시험 평가하려는 시멘트 복합체와 동일한 배합으로 별도 제작한 원기둥 형상의 시편을 쪼갬인장(할렬)에 의해 양분한 후, 절단면이 서로 마주하도록 양분된 조각을 모아서 다시 원기둥 형상으로 만든다(단계 S1-1). 도 1는 쪼갬인장에 의해 양분된 균열 시편 조각의 절단면(4)을 보여주는 도면 대용 사진이다. 시편의 양분된 조각을 모아서 다시 원기둥 형상으로 만들 때, 원하는 균열폭을 형성하기 위하여, 원하는 균열폭에 해당하는 두께의 간격시트(sheet)(2)를 서로 마주하게 되는 절단면(4)의 가장자리에 배치한 상태로 절단면(4)이 서로 마주 붙도록 양분된 조각을 모아서 다시 원기둥 형상으로 만든 후 이러한 원기둥 형상을 고정시키게 된다. 도 2는 간격시트(2)가 절단면 사이에 끼인 상태로 원기둥 형상으로 만들어진 균열 시편(1)의 평면 형상을 보여주는 도면 대용 사진이며, 도 3은 도 2의 균열 시편(1)을 보여주는 도면 대용 사진이다. 도면의 실시예에서는 밴드(band)(5)를 이용하여 균열 시편(1)의 외부를 감아서 구속함으로써 원기둥 형상을 유지하고 있으나, 원기둥 형상으로 모아진 시편 조각을 견고하게 구속하여 원기둥 형상을 유지하

는 방법은 이에 한정되지 않는다.

[0016] 위와 같은 과정에 의해 원하는 균열폭을 가지는 인공균열(3)이 인위적으로 형성되어 있는 원기둥 형상의 균열 시편(1)이 제작되면, 균열 시편(1)에 대하여 염소이온 확산 시험을 수행하여 <시간에 따른 염소이온 농도의 변화>로부터 <정상상태에서의 염소이온 확산계수>를 산출하게 된다(단계 S2).

[0017] 염소이온 확산 시험을 수행하기 위한 전(前)처리 과정으로서, 균열 시편(1)을 침수포화(浸水飽和)시키는 작업을 수행한다(단계 S2-1). 즉, 인공균열(3)이 만들어진 균열 시편(1)의 내부를 완전히 수분으로 포화시키는 작업을 수행하는 것이다. 이를 통해서 균열 시편(1)의 내부에 존재하는 공극으로 인한 시험 오차를 줄일 수 있게 된다. 이러한 침수포화 작업은 감압 데시케이터에서 5KPa 이하의 압력으로 3시간 이상 물에 침수시키는 방식으로 수행할 수 있으며, 균열 시편(1)의 침수포화 여부는 검전기를 이용하여 확인할 수 있다.

[0018] 본 발명에서는 균열 시편(1)에 대해 염소이온 확산 성능을 측정하고 평가하고, 이를 통해서 균열 시편(1)의 자기치유 성능을 측정하고 평가하게 된다. 이를 위하여 상기한 과정에 의해 제작되고 침수포화가 완료된 균열 시편(1)에 대하여 염소이온 확산 시험을 수행한다(단계 S2-1). 도 4에는 염소이온 확산 시험을 위하여 이온확산 셀 장치(100)에 균열 시편(1)을 설치하는 상태를 보여주는 개략적인 분해 사시도가 도시되어 있으며, 도 5에는 이온확산 셀 장치(100)에 균열 시편(1)을 설치 완료한 상태를 보여주는 개략적인 조립 사시도가 도시되어 있다.

[0019] 본 발명의 이온확산 셀 장치(100)는, 균열 시편(1)이 삽입되도록 균열 시편(1)의 원기둥 형상 측면을 감싸는 원통형의 삽입본체(10)와, 염소이온 확산을 위한 수용액이 담겨지며 균열 시편(1)의 길이방향 양단부면에 수용액이 직접 접촉할 수 있도록 삽입본체(10)의 길이방향 양단부에 조립 결합되는 단부마감 셀(20)을 포함하여 구성된다. 각각의 단부마감 셀(20)은 수용액을 담을 수 있는 내부 공간을 가지는 부재로서 단부마감 셀(20)에는 균열 시편(1)의 단부가 끼워질 수 있는 개구부(25)가 형성되어 있는 구성을 가진다.

[0020] 이온 확산을 촉진하기 위하여 수용액에 전압을 가하게 되는데, 이를 위하여 수용액이 담겨질 단부마감 셀(20)에는 수용액에 잠겨서 전압을 인가하게 될 전극(24)이 구비된다. 도면에 도시된 실시예에서 전극(24)은 원판형상의 망부재로 이루어져서 단부마감 셀(20)의 내부 공간에 배치되어 있다. 삽입본체(10)와 단부마감 셀(20) 사이의 수밀을 위하여 필요에 따라서는 도면에 도시된 것처럼 수밀링(30)이 설치될 수 있다. 도 4 및 도 5에서 도면부호 40은 삽입본체(10)와 단부마감 셀(20)을 견고하게 조립 결합하기 위한 결합봉(棒)(40)으로서, 도면에 도시된 실시예의 경우, 결합봉(40)이 균열 시편(1)과 나란하게 배치되고 그 길이 방향 양단이 단부마감 셀(20)을 관통한 상태로 너트에 체결 고정되어 있는 구성을 가지고 있다. 그러나 삽입본체(10)와 단부마감 셀(20)을 결합하는 구성은 이에 한정되지 아니한다. 도 5에서 도면부호 21, 22 및 23은 각각 전원을 인가하고 온도를 측정하기 위한 음극 단자(21), 양극 단자(22) 및 온도센서 단자(23)이다.

[0021] 염소이온 확산 시험을 위하여 이온확산 셀 장치(100)에 균열 시편(1)을 설치하게 되는데, 인공균열(3)이 형성되고 침수포화가 완료된 균열 시편(1)을 삽입본체(10)에 삽입하고 삽입본체(10)의 양단부에 단부마감 셀(20)을 수밀하게 조립 설치한다. 도면에 설치된 실시예에서, 균열 시편(1)의 양단부는 각각 단부마감 셀(20)의 개구부(25)에 끼워지게 된다. 따라서 단부마감 셀(20)의 내부 공간에 수용액이 채워진 상태에서는 수용액이 직접 균열 시편(1)의 단부면에 접촉하게 된다. 즉, 단부마감 셀(20)에는 수용액이 담겨져 있는 내부 공간이 형성되어 있으므로, 염화나트륨 수용액과 수산화나트륨 수용액을 준비하여 각각의 단부마감 셀(20)에 투입하게 되면, 균열 시편(1)의 길이방향 양단부면이 각각 염화나트륨 수용액 및 수산화나트륨 수용액에 접촉하게 되는 것이다. 이 때 염화나트륨 수용액이 담겨진 단부마감 셀은 음극(-) 셀에 해당하고 염화나트륨 수용액이 담겨진 단부마감 셀은 양극(+) 셀에 해당한다. 염화나트륨 수용액과 수산화나트륨 수용액을 각각 음극 셀과 양극 셀에 투입할 때에는, 수두차에 의하여 균열 시편(1)의 인공균열(3) 내부로 수용액이 즉각적으로 침투되는 것을 방지하도록 두 종의 수용액을 동시에 각각의 단부마감 셀에 투입하는 것이 바람직하다.

[0022] 단부마감 셀(20)의 각각에 수용액을 투입하기 전,후 또는 투입함과 동시에, 음극 단자(21), 양극 단자(22), 및 온도센서 단자(23)를 단부마감 셀(20)에 부착 설치하고, 전원을 공급하여 사전 설정된 전압을 인가한다. 이 때 인가되는 전압은 40V 이하인 것이 바람직하다. 양측의 단부마감 셀(20)(양극 셀 및 음극 셀)에서 동일한 양의 수용액을 소량으로 채취(소취/小取)한 후, 선택이온 전극을 사용하여 소취된 수용액의 염소이온 농도를 측정하고, 측정을 마친 수용액은 다시 각각의 단부마감 셀(20)에 투입한다. 이러한 수용액의 소취, 염소이온 농도 측정 및 재투입 과정은 사전에 정해놓은 일정한 간격(약 30분~1시간)으로 반복하면서 함으로써 시간에 따른 염소이온 농도의 측정값을 취득하는 과정을 진행하여 염소이온 확산 시험을 수행한다(단계 S2-2).

[0023] 위와 같은 염소이온 확산 시험의 수행에 의해 취득된 시간에 따른 염소이온 농도의 변화로부터 정상상태에서의

염소이온 확산계수를 산출한다(단계 S2-3). 여기서, "정상상태"는 이온의 흐름 등이 시간에 의해 변화하지 않는 상태를 의미한다. 즉, 이온의 이동(변화)이 일정한 상태를 말하는 것이다. 정상상태에서의 염소이온 확산계수는, 균열 시편(1)의 양단이 각각 음극 셀과 양극 셀에서 수용액에 접하여서 염소이온의 확산이 진행되는 시간과, 각 시간에서 측정된 염소이온 농도를 수평축과 수직축으로 하는 그래프("시간 - 염소이온의 농도 그래프")에서, 정상상태에 도달한 이후의 그래프 기울기 값을 이용하여 산출할 수 있다. 즉, 실제 시험에 있어서는 취득된 "시간 - 염소이온의 농도 그래프"에서 기울기가 변화하는 변곡점을 지나서 다시 일정해지는 지점을 정상상태에 도달하였다고 판단할 수 있으며, 정상상태에 도달한 이후의 <염소이온 확산 진행 시간에 따른 염소이온 농도의 변화율>을 이용하여 염소이온 확산계수를 산출하게 되는 것이다. 이러한 염소이온 확산계수는 해당 시편이 가지는 염소이온 확산 성능을 나타내는 지표이다.

[0024] 도 6에는 실제 수행한 실험예의 측정데이터로부터 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 산출하는 것을 보여주는 그래프도의 일예가 도시되어 있다. 도 6에서 수평축은 시간(time)을 나타내며, 수직축은 염소이온 농도를 나타내는데, 도 6은 하나의 실험예를 보여주는 것으로서 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.

[0025] 정상상태에 도달한 이후의 <염소이온 확산 진행 시간에 따른 염소이온 농도의 변화율>이 산출되면, 즉 위에서 설명한 <균열 시편(1)의 양단이 각각 음극 셀과 양극 셀에서 수용액에 접하여서 염소이온의 확산이 진행되는 시간과, 각 시간에서 측정된 염소이온 농도를 수평축과 수직축으로 하는 그래프>의 기울기가 산출되면, 정상상태에서의 염소이온 확산계수는 아래의 수학식 1에 의해 산출할 수 있다.

수학식 1

[0026] $$D_{ssm} = \frac{RTL}{zFU}\frac{V}{A}\left|\frac{\triangle \ln(c_1)}{\triangle t}\right|$$

[0027] 위의 수학식 1에서 D_{ssm}는 정상상태에서의 염소이온 확산계수이며, $\left|\frac{\triangle \ln(c_1)}{\triangle t}\right|$는, "정상상태에 도달한 이후의 그래프 기울기" 즉, <염소이온 확산 진행 시간에 따른 염소이온 농도의 변화율>에 해당한다. 기타 수학식 1에 기재된 각각의 기호가 가지는 의미는 아래와 같다.

[0028] R : 기체상수 = 8.3145 [J/mol/K]

[0029] T : 절대온도 [K]

[0030] z : 이온 차수 (절대값) = (Cl-) = |-1| = 1

[0031] L : 균열 시편의 높이(균열시편이 길게 연장된 길이) [cm]

[0032] F : 패러데이 상수 = 96485 [C/mol]

[0033] U : 측정된 전위차 (전압) [V]

[0034] V : 단부마감 셀에 담겨진 수용액의 부피 [cm^3]

[0035] A : 이온통과면적(균열 시편의 양단부 각각의 면적) [cm^2]

[0036] 참고로, 본 발명에서는 단부마감 셀(20)에 구비된 온도센서 단자(23)를 통해서 온도를 모니터링하게 되는데, 정상상태 도달 이후 염소이온 농도 측정 시점에서 확인된 단부마감 셀(20)의 온도 값의 평균값을 위 수학식 1에서의 절대온도 T로 이용할 수 있다.

[0037] 한편, 균열 시편(1)에 대한 자기치유 성능을 평가하기 위해서는, 균열 시편(1)과 동일한 구성을 가지되 균열이 존재하지 않는다는 점에서만 차이가 있는 "비교 시편"에 대해서도 균열 시편(1)에 대해 수행하였던 상기한 과정과 동일한 조건의 염소이온 확산 시험을 수행하여 "비교 시편"에 대해서도 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 산출한다(단계 S2-4). 즉, 균열 시편(1)과 동일한 배합을 가지며 동일한 방식과 조건으로 제작되지만 균열 시편(1)과는 달리 인공균열이 형성되어 있지 않은 "비교 시편"에 대해서, 위에서 설명한 균열 시편(1)에 대해 수행한 염소이온 확산 시험을 동일하게 수행하여 정상상태에 도달한 이후의 <염소이온 확산 진행 시간에 따른 염

소이온 농도의 변화율>을 산출하고, 상기 수학식 1을 이용하여 비교 시편에 대한 "정상상태에서의 염소이온 확산계수"를 산출하는 것이다. 이러한 비교 시편에 대한 정상상태에서의 염소이온 확산계수 산출은, 균열 시편(1)에 대한 염소이온 확산 시험을 수행하는 것과 동시에 또는 병행하여 진행될 수도 있지만, 균열 시편(1)보다 앞서서 미리 수행하여 데이터베이스로 구축해놓을 수도 있다.

[0038] 본 발명에서는 상기한 과정을 통해서 취득한 균열 시편(1)에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수를 비교 시편의 것과 대비함으로써, 균열 시편(1)의 자기치유 성능을 계산하고 평가하게 된다. 즉, 상기한 과정을 통해서 균열 시편(1)에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수를 산출하여 취득하게 되면, 이를 비교 시편의 것(비교 시편에 대한 염소이온 확산계수)과 대비하는 작업을 수행하는 것이다(단계 S3).

[0039] 동일한 재료를 이용하여 제작된 시편은 동일 재령에서 동일한 염소이온 확산성능을 갖게 되며, 따라서 동일한 조건의 염소이온 확산 시험을 수행하여 취득한 염소이온 확산계수에 차이가 발생한다면, 이러한 염소이온 확산계수의 차이는 시편에 발생한 균열의 영향에 기인한 것이 된다. 그러므로 동일한 재료를 이용하여 동일하게 제작되고 단지 인공균열의 존재 여부에서만 차이가 있는 균열 시편(1)과 비교 시편은, 동일한 조건의 염소이온 확산 시험을 통해서 취득된 염소이온 확산계수에 차이를 보이게 된다. 그런데 시간이 지나면서 이러한 염소이온 확산계수의 차이가 줄어든다면 결국 균열에 의한 영향이 감소되는 것이며, 이는 인공균열이 치유되는 것이라고 할 수 있다. 따라서 균열 시편(1)과 비교 시편간의 염소이온 확산계수 차이값의 시간에 따른 변화를 산출함으로써, 균열 시편(1)에서의 균열 영향 감소 정도를 파악할 수 있게 되고, 이를 통해서 균열이 줄어들게 되는 상태 즉, 자기치유 성능을 평가할 수 있게 되는 것이다.

[0040] 이러한 배경에 기초하여, 본 발명에서는 균열 시편(1)에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수와 비교 시편에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수 간의 차이가 시간(재령)에 따라 변화되는 비율을 산출하고, 이렇게 산출된 비율에 의해 <자기치유율>을 산출한다.

[0041] 도 7에는 균열 시편(1)에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수와, 비교 시편에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수 간의 시간에 따른 차이 변화를 통해서 자기치유율을 산출하는 일예를 보여주는 개략적인 그래프도가 도시되어 있다. 도 7에서 수직측은 염소이온 확산계수를 나타내며, 수평축은 시간(재령)을 나타낸다. 그리고 도 7에서 "UNCRACKED"라고 표시된 것은 균열이 없는 "비교 시편"에 대한 것을 의미하며, "CRACKED"라고 표시된 것은 인공균열(3)이 형성되어 있는 "균열 시편"에 대한 것을 의미한다.

[0042] 앞서 설명하였듯이, 본 발명에서는 균열 시편(1)에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수와 비교 시편에 대한 정상상태의 염소이온 확산계수 간의 차이가 시간(재령)에 따라 변화되는 비율을 산출하고, 이렇게 산출된 비율에 의해 <자기치유율>을 산출하게 되는 바, 시간 t에 따른 균열 시편(1)의 자기치유율 SH(t)는 아래의 수학식 2에 의해 산출된다.

수학식 2

[0043]
$$SH(t)(\%)=[1-\frac{D_{cr.t}-D_{uncr.t}}{D_{cr.0}-D_{uncr.0}}]\times 100$$

[0044] 위 수학식 2에 기재된 기호의 의미는 아래와 같다.

[0045] $D_{cr.t}$: 치유재령 t에서의 균열 시편의 염소이온 확산계수

[0046] $D_{uncr.t}$: 치유재령 t에서의 비교 시편의 염소이온 확산계수

[0047] $D_{cr.0}$: 균열 발생재령(균열 시편으로 제작한 시점으로부터 기간한 재령)에서의 균열 시편의 염소이온 확산계수

[0048] $D_{uncr.0}$: 균열 발생재령에서의 비교 시편의 염소이온 확산계수

[0049] 아래의 표 1 및 표 2는 각각 본 발명자가 실제로 수행한 시험결과를 정리한 것으로서, 표 1은 동일한 배합과 동일한 재령을 가지는 시멘트계 복합체의 시편을 각각 상이한 균열폭을 가지도록 제작하여 상기한 본 발명의 방법에 따라 염소이온 확산계수를 측정한 결과를 정리한 것이고, 표 2는 상기한 방법에 의해 각각의 시편에 대해 자기치유율(%)을 산출한 결과를 정리한 것이다. 표 1 및 표 2에서 "crack_free"는 균열이 없는 비교 시편을 의

미하며, "crack_0.1mm", "crack_0.2mm", 및 "crack_0.3mm"은 각각 인공균열 폭이 0.1mm, 0.2mm, 및 0.3mm인 균열 시편을 의미한다.

표 1

[0050]

구분	crack free	crack_0.1mm	crack_0.2mm	crack_0.3mm
slope	-9.521E-06	-1.144E-05	-1.939E-05	-2.605E-05
D_{ssm}	1.17E-07	1.40E-07	3.11E-07	5.69E-07

표 2

[0051]

구분	crack free	crack_0.1mm	crack_0.2mm	crack_0.3mm
SH(%)	100%	88.4%	40.3%	0.0%

[0052] 표 1에서 "slope"는 각각의 시편에 대해 염소이온 확산 시험을 수행하여 작성한, 각 시간에서 측정된 염소이온 농도를 수평축과 수직축으로 하는 그래프에서 정상상태에 도달한 이후의 그래프 기울기 값을 의미한다. 그리고 표 1 및 표 2의 결과에서 $D_{cr,0}$ = crack_0.3mm이고, $D_{uncr,0}$ = crack free 이다.

[0053] 자기치유율의 산출값이 높다는 것은, 그만큼 짧은 시간 내에 염소이온 확산계수에 차이를 가져오는 균열의 영향이 감소한다는 것이며, 이는 균열 자체가 감소하는 것을 의미하므로, 결국 자기치유 성능이 우수하다는 것을 보여준다, 반대로 자기치유율의 산출값이 낮다는 것은, 균열 감소가 원활하게 이루어지지 않으며 자기치유 성능이 낮다는 것을 보여주며, 그 만큼 염소이온 확산계수에 차이를 가져오는 균열의 영향이 감소하기 위해서는 오랜 시간이 소요된다는 것을 의미한다. 이와 같이 자기치유율은 자기치유 성능을 직접적으로 반영하여 보여주는 지표가 된다.

[0054] 본 발명에서는 상기한 바와 같이 시험대상 시멘트계 복합체와 동일한 배합 및 조건으로 제작되고 원하는 폭의 균열이 미리 형성된 균열 시편을 제작하고 이에 대하여 염소이온 확산 시험을 수행하여, 시간에 따른 염소이온 농도의 변화로부터 정상상태에서의 염소이온 확산계수를 측정하며, 이렇게 측정된 염소이온 확산계수를, 균열 시편과 동일한 배합 및 조건으로 제작되었지만 균열이 존재하지 않은 비교 시편에 대한 염소이온 확산계수와 대비함으로써, 균열 시편의 자기치유율을 산출하여 취득하게 되고, 이를 통해서 균열 시편을 이루는 시멘트계 복합체의 자기치유 성능을 정량적인 수치에 의해 매우 객관적으로 평가할 수 있게 된다.

부호의 설명

[0055] 1: 균열 시편

2: 간격시트

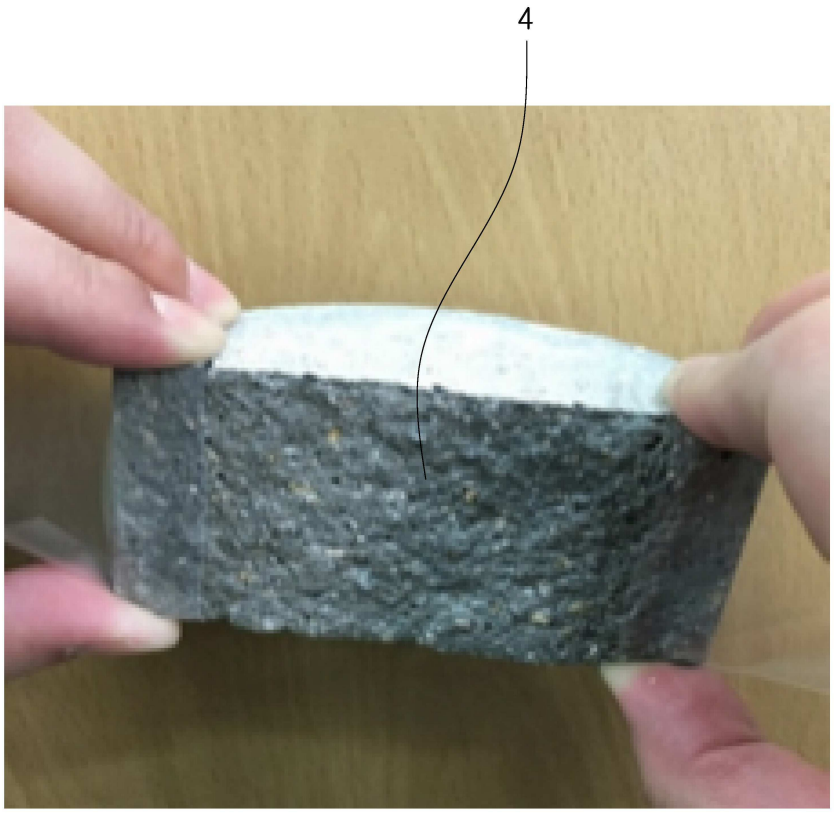
3: 인공균열

4: 절단면

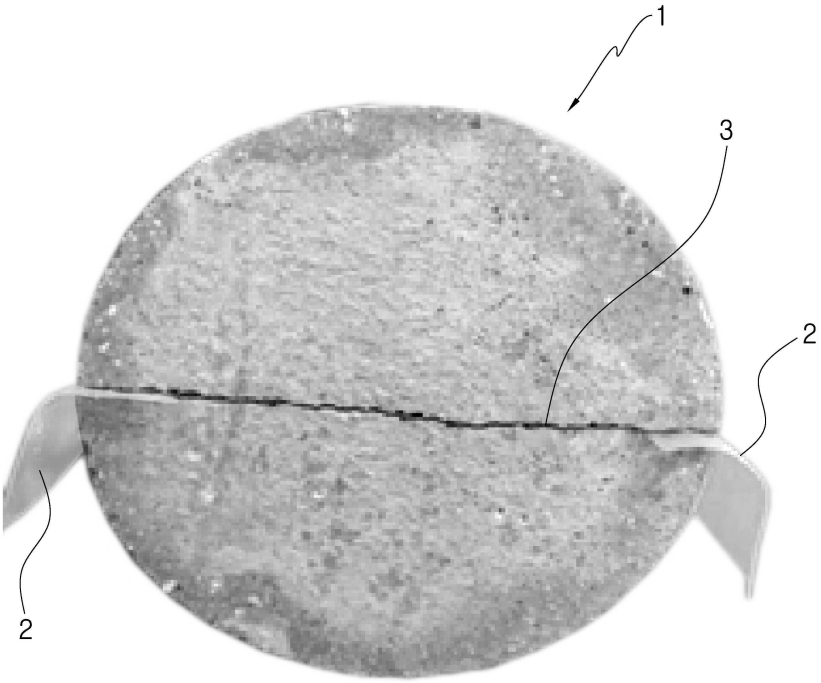
5: 밴드

도면

도면1

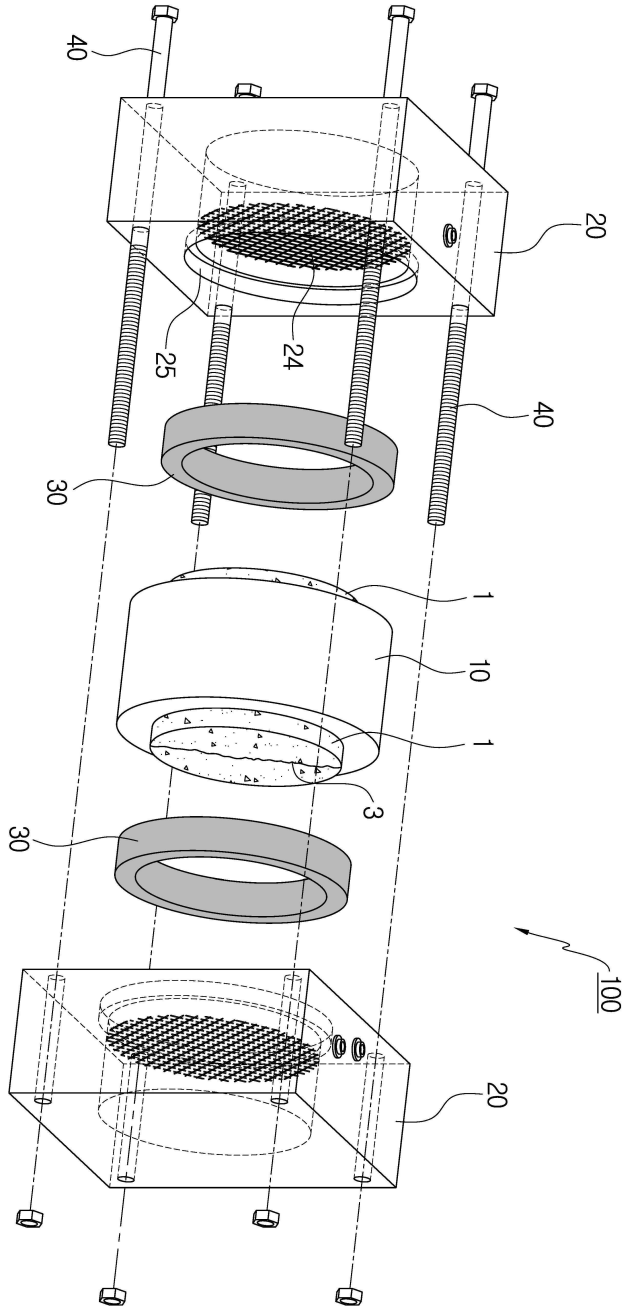


도면2

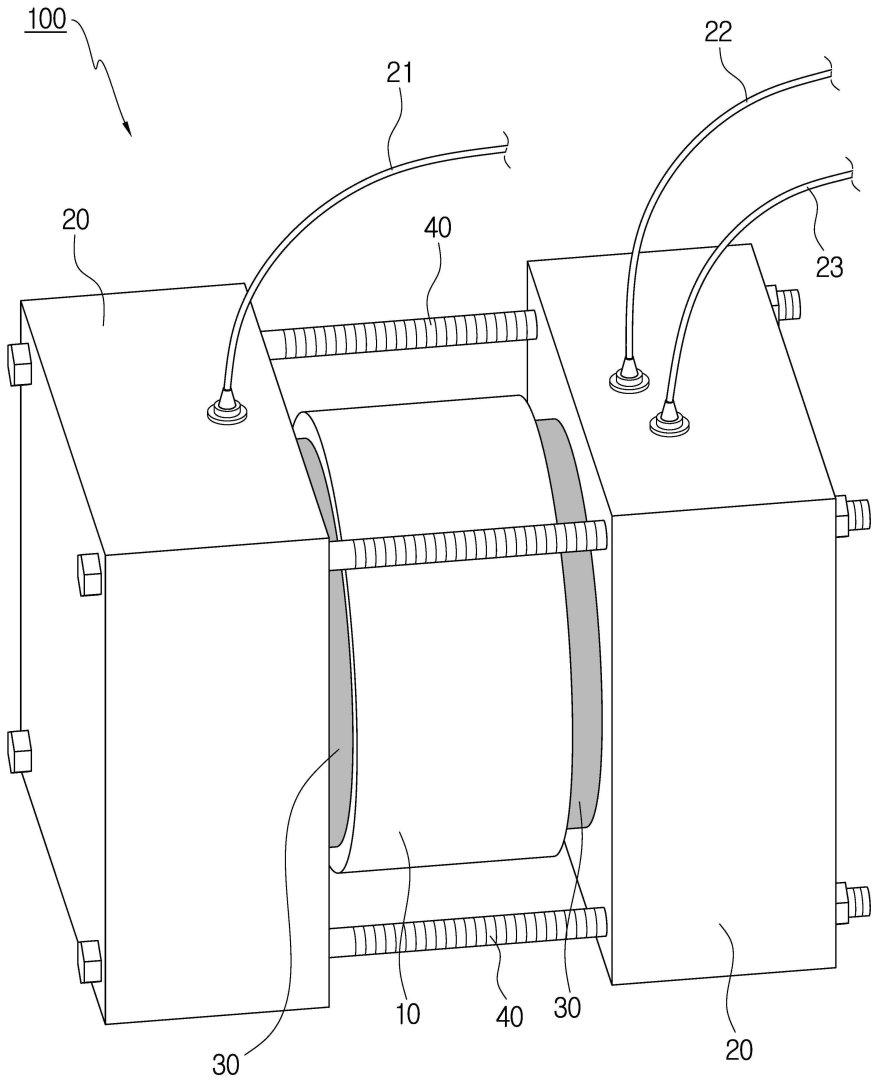


도면3

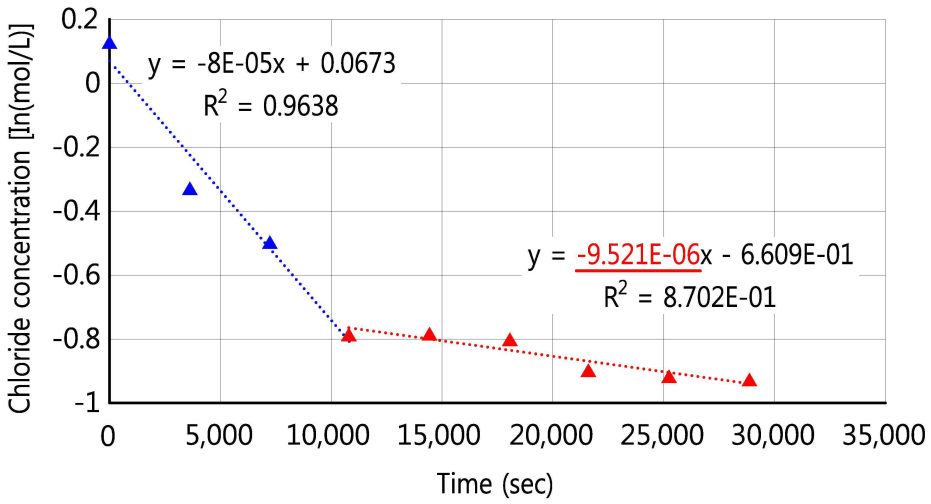
도면4



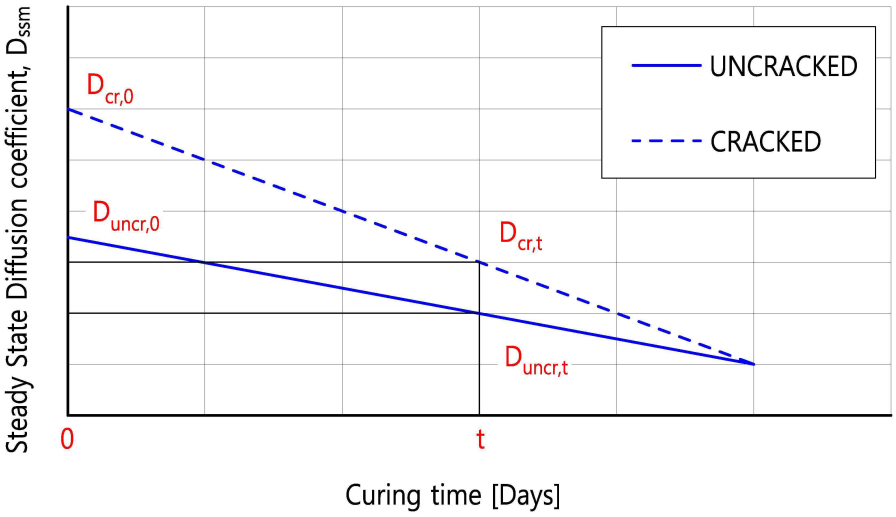
도면5


100
21
22
20
40
23
30
10
40
30
20

도면6


y = -8E-05x + 0.0673
R2 = 0.9638
y = -9.521E-06x - 6.609E-01
R2 = 8.702E-01
Chloride concentration [ln(mol/L)]
Time (sec)
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
0
5,000
10,000
15,000
20,000
25,000
30,000
35,000

도면7


Steady State Diffusion coefficient, Dssm
Dcr,0
Duncr,0
Dcr,t
Duncr,t
UNCRACKED
CRACKED
0
t
Curing time [Days]