



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년01월22일
(11) 등록번호 10-1587543
(24) 등록일자 2016년01월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
E04G 21/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류
E04G 21/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0002711

(22) 출원일자 2015년01월08일

심사청구일자 2015년01월08일

(56) 선행기술조사문헌

KR200233675 Y1

KR101386973 B1

KR100530426 B1

KR101180617 B1

(73) 특허권자

한국과학기술원

대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)

(72) 발명자

이행기

대전광역시 유성구 대학로 291, 한국과학기술원(구성동)

김광목

대전광역시 유성구 대학로 291, 한국과학기술원(구성동)

양범주

대전광역시 유성구 대학로 291, 한국과학기술원(구성동)

(74) 대리인

오위환, 정기택

전체 청구항 수 : 총 8 항

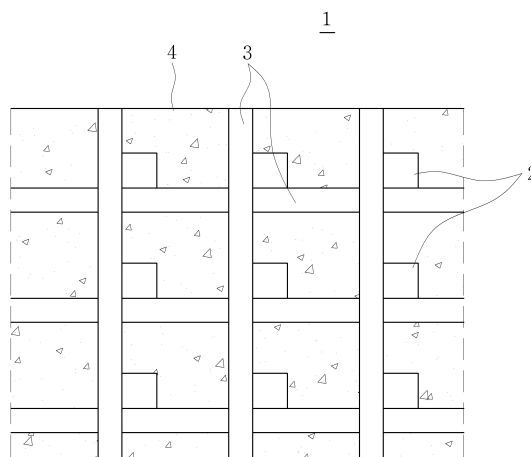
심사관 : 박우충

(54) 발명의 명칭 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 복수의 탄소나노튜브(CNT) 혼입 발열복합체를 콘크리트 내의 철근에 고정되게 설치하고, 상기 발열복합체에 전기를 인가하여 발열시킴으로써 콘크리트 내부의 온도 분포를 균일하게 제어할 수 있도록 한 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물 및 그 제조방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물은, 물과 시멘트와 탄소나노튜브를 혼합하여 특정한 형태를 갖도록 만들어져 거푸집 내에 설치된 철근에 고정되는 복수개의 발열복합체와; 상기 발열복합체를 외부의 전원과 연결하는 전선과; 상기 거푸집 내부에 타설되는 콘크리트를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015R1A2A1A10055694

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기초연구사업-중견연구자지원사업

연구과제명 나노 및 바이오 기술융합 고성능·기능성 차세대 건설재료 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국과학기술원

연구기간 2015.11.01 ~ 2018.10.31

명세서

청구범위

청구항 1

물과 시멘트와 탄소나노튜브를 혼합하여 특정한 형태를 갖도록 만들어져 거푸집 내에 설치된 철근(3)에 고정되는 하나 이상의 발열복합체(2)와;

상기 발열복합체(2)를 외부의 전원과 연결하는 전선(5)과;

상기 거푸집 내부에 타설되는 콘크리트(4)를 포함하는 것을 특징으로 하는 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 발열복합체(2)의 탄소나노튜브는 시멘트 중량 대비 0.6~1.0 중량%로 혼합되는 것을 특징으로 하는 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 발열복합체(2)는 실리카폼과 계면활성제와 나일론섬유를 더 혼합하여 만들어진 것을 특징으로 하는 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 실리카폼의 함량은 시멘트 중량 대비 10 ~ 20 중량%이며, 계면활성제는 시멘트 중량 대비 1.6~2.0 중량% 인 것을 특징으로 하는 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물.

청구항 5

- (a) 물과 시멘트와 탄소나노튜브를 혼합하여 발열복합체(2)를 제작하는 단계;
- (b) 상기 발열복합체(2)를 거푸집 내의 철근(3)에 고정하는 단계;
- (c) 상기 발열복합체(2)에 전선(5)을 연결하는 단계;
- (d) 상기 거푸집 내에 콘크리트를 타설하는 단계; 그리고,
- (e) 상기 발열복합체(2)에 전기를 인가하여 발열시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물의 제조방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 (e) 단계를 수행하고 일정 시간이 경과한 후 전선(5)을 제거하는 것을 특징으로 하는 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물의 제조방법.

청구항 7

제5항에 있어서, 상기 (a) 단계에서 상기 발열복합체(2)를 제작할 때 실리카폼과 계면활성제와 나일론섬유를 더 혼합하여 제작하는 것을 특징으로 하는 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물의 제조방법.

청구항 8

제5항에 있어서, 상기 (a) 단계에서 발열복합체(2)를 제조할 때 시멘트 매트릭스의 유동도(flow)는 100~120mm 인 것을 특징으로 하는 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물의 제조방법.

발명의 설명

기술분야

본 발명은 수화열을 제어할 수 있는 매스 콘크리트 및 그 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 복수의 탄

[0001]

소나노튜브(CNT) 혼입 발열복합체를 콘크리트 내의 철근에 고정되게 설치하고, 상기 발열복합체에 전기를 인가하여 발열시킴으로서 콘크리트 내부의 온도 분포를 균일하게 제어할 수 있도록 한 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 일반적으로, 콘크리트는 시멘트, 자갈, 모래 및 물을 일정 비율로 혼합하여 제조하며, 이 중 시멘트와 물이 혼합되게 되면 수화반응($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$)을 하게 되는데, 이 때 반응열인 수화열(Heat of Hydration)이 발생하게 된다.
- [0003] 특히, 콘크리트는 열전도율이 낮기 때문에 경화되면서 발생하는 수화열이 외부의 노출부위로 발산되는데 많은 시간이 필요하게 된다.
- [0004] 따라서, 두께가 얇고 공기중에 접한 면이 많은 구조물은 내부에서 발생하는 열을 쉽게 발산시키기 때문에 수화열에 의한 균열이 그리 큰 문제가 되지 않지만, 댐, 교량의 하부구조, 도로포장, 옹벽, 원자력 발전소 구조물과 같이 부재의 두께가 약 0.8m ~ 1.0m 이상인 매스 콘크리트(Mass Concrete) 구조물에서는 수화열에 의한 온도균열(Thermal Crack)이 발생할 가능성이 높으며, 최근에 많이 건설되는 LNG 저장탱크의 지하연속벽, 본체 구조물 및 건축물의 고층화 추세에 따른 하부의 매트부분에서도 수화열에 의한 온도균열이 문제시되고 있다.
- [0005] 더욱이, 콘크리트의 온도차가 25℃ ~ 30℃ 정도에 도달하면 열응력에 의한 온도균열이 발생하며, 수화열에 의해 발생한 인장응력은 경화후에도 잔류응력으로 남기 때문에, 주변의 콘크리트에 구속조건으로 작용하게 되어 구조물의 균열, 안전성, 내구성 및 방수성에 영향을 미치게 된다.
- [0006] 이에 당업계에서는 매스 콘크리트의 온도균열을 감소시키기 위하여 다양한 방법을 사용하고 있는데, 예를 들어 제3성분계 콘크리트를 사용하는 방법, 균열제어 철근을 배치하는 방법, 관로식냉각법(pipe-cooling), 발열체 내부삽입법 등이 있다.
- [0007] 제3성분계 콘크리트를 사용하는 방법은 수화열 저감에 한계가 있을 뿐만 아니라 거푸집 탈형 시기를 늦춰야 한다는 단점이 있으며, 철근배치에 따른 균열제어는 경제성을 고려할 때 적절치 않을 수 있다. 또한 관로식냉각법은 수평으로 길고 넓은 부재에는 적합하지만, 벽식 매스구조물이나 교각과 같은 수직으로 긴 구조물에는 부적합한 공법이다.
- [0008] 또한 발열체내삽입 방법은 시공비용과 시간이 과다 발생하는 문제가 있으며 발열체와 콘크리트간의 분리(debonding) 현상으로 매스콘크리트의 내구성을 떨어뜨릴 위험이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1343454호
- (특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제10-2001-0017568호
- (특허문헌 0003) 대한민국 공개특허 제10-2006-0068846호
- (특허문헌 0004) 대한민국 공개특허 제10-2009-0092021호

비특허문헌

- [0010] (비특허문헌 0001) 이승한, 윤용호, 정용욱 (2002), "Mass Concrete의 수화열 저감을 위한 Fly-ash 사용 Mock-up Test 및 현장적용 시험", 한국레미콘공업협회, 제 70권, pp. 35-47.
- (비특허문헌 0002) 이종열, 김태홍 (2004), "매스콘크리트 구조물의 온도균열 제어 방안", 한국시멘트협회, 제 162권, pp. 40-47
- (비특허문헌 0003) 강석화 (1997), "매스콘크리트의 온도균열제어대책", 한국콘크리트학회 논문집, 제9권, pp. 4-11.
- (비특허문헌 0004) 서태석, 조윤구, 이근주, 임창근(2014), "연직파이프쿨링 공법에 의한 매스콘크리트 온도균

열 제어에 관한 해석적 연구", 한국콘크리트학회 논문집, 제 26권, pp. 57-62.

(비특허문헌 0005) Zhi-Dong Xiang et al.,(2009), "Negative Temperature Coefficient of resistivity in Lightweight Conductive Carbon Nanotube/Polymer Composites", Macromolecular Materials and Engineering, Vol. 294, pp.91-95

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 상기와 같은 문제를 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 목적은 콘크리트 구조물의 중앙부에 수화열이 발생할 때 콘크리트 구조물이 전체적으로 균일하게 발열하게 하여 온도 분포를 균일하게 할 수 있으며, 구조 일체성이 우수하고, 매스 콘크리트의 형태에 제약이 없고, 거푸집 탈형 지연, 기존 시멘트 재료와의 분리(debonding) 현상 등이 방지될 수 있는 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물 및 그 제조방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물은, 물과 시멘트와 탄소나노튜브를 혼합하여 특정한 형태를 갖도록 만들어져 거푸집 내에 설치된 철근에 고정되는 하나 이상의 발열복합체와; 상기 발열복합체를 외부의 전원과 연결하는 전선과; 상기 거푸집 내부에 타설되는 콘크리트를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 그리고 상기와 같은 본 발명의 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물을 제조하는 방법은, (a) 물과 시멘트와 탄소나노튜브를 혼합하여 발열복합체를 제작하는 단계; (b) 상기 발열복합체(2)를 거푸집 내의 철근에 고정하는 단계; (c) 상기 발열복합체에 전선을 연결하는 단계; (d) 상기 거푸집 내에 콘크리트를 타설하는 단계; 그리고, (e) 상기 발열복합체(2)에 전기를 인가하여 발열시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0014] 본 발명에 따르면, 탄소나노튜브를 혼입한 시멘트 발열복합체가 구조물 전체에 균일하게 배치되어 콘크리트 타설시 발열하여 콘크리트 구조물 전체에 걸쳐 균일한 온도 분포를 유지할 수 있다. 따라서 수화열에 의한 구조물의 균열, 안전성과 내구성 및 방수성 저하 문제를 해결할 수 있다.

[0015] 특히 본 발명은 일정한 형태를 갖는 시멘트 발열복합체가 구조물의 철근에 고정되어 콘크리트 타설시 콘크리트 구조물 내에 매립되므로, 제작과 시공이 쉬울 뿐만 아니라 기존 구조물과 일체화가 쉬운 장점이 있다.

[0016] 또한 재료 자체의 물리·화학적 내구성이 뛰어나며, 다른 발열성능 재료와 비교하여 월등히 뛰어난 전기 전도 특성을 가지고 있어 뛰어난 발열 효율을 발휘한다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 매스 콘크리트 구조물을 투영하여 나타낸 사시도이다.
 도 2는 도 1의 콘크리트 구조물의 단면도이다.
 도 3은 본 발명의 발열복합체 시편의 전압에 따른 발열 온도 변화를 나타낸 그래프이다.
 도 4는 본 발명의 발열복합체 시편의 전력에 따른 발열 온도 변화를 나타낸 그래프이다.
 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 발열복합체를 나타낸 사시도이다.
 도 6 및 도 7은 본 발명의 매스 콘크리트 구조물을 제조하는 과정의 일부를 개략적으로 보여주는 단면도이다.
 도 8 및 도 9는 각각 본 발명에 따른 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물의 성능 시뮬레이션을 수행하기 위한 일반적인 매스 콘크리트 구조물과 매스 콘크리트 구조물을 나타낸 정면도 및 사시도이다.
 도 10은 도 8 및 도 9에 도시된 매스 콘크리트 구조물의 온도 분포 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.
 도 11은 도 8 및 도 9에 도시된 매스 콘크리트 구조물의 변형을 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물 및 그 제조방법의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다.
- [0019] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물(1)은, 거푸집 내에 설치된 철근(3)에 고정되는 복수개의 발열복합체(2)와, 상기 발열복합체(2)를 외부의 전원과 연결하는 전선(5) (도 5 참조)과, 상기 거푸집 내부에 타설되는 콘크리트(4)를 포함한 구성으로 이루어진다. 여기서, 상기 전선(5)은 콘크리트 구조물의 제작 과정에서 양생 완료 직전 또는 양생 완료 직후에 제거된다.
- [0020] 상기 발열복합체(2)는 물과 시멘트, 탄소나노튜브(CNT), 실리카폼, 계면활성제, 나일론섬유를 혼합하여 특정한 형태로 만들어진다. 이 실시예에서 상기 발열복합체(2)는 육면체 형태를 갖지만, 이외에도 다양한 다면체 형태, 원기둥 형태, 다각기둥형태, 바아형태 등 임의의 형태를 가질 수 있다.
- [0021] 상기 탄소나노튜브(CNT: Carbon Nanotube)는 튜브형태의 나노크기의 작은 입자로서 sp²라는 강한 화학결합에 의한 독특한 구조적, 화학적, 기계적 및 전기적 성질을 바탕으로 여러 분야에서 활용되고 있다. 상기 탄소나노튜브는 다양한 종류의 것이 사용될 수 있지만, 다양한 길이를 갖는 다중벽 탄소나노튜브(Multi-wall carbon nanotubes)를 사용하는 것이 바람직하다.
- [0022] 상기 발열복합체(2)의 발열 성능을 유지하기 위하여 상기 탄소나노튜브는 시멘트 중량 대비 0.6~1.0 중량%로 혼합되는 것이 바람직하다. 탄소나노튜브의 함량이 시멘트 중량 대비 1.0 중량%를 초과하게 되면 발열 시에 발열복합체(2)에 균열이 발생할 가능성이 있고, 탄소나노튜브의 함량이 시멘트 중량 대비 0.6 중량%를 미만인 경우에는 발열 성능이 크게 저하되는 결점이 있다.
- [0023] 상기 탄소나노튜브가 시멘트 매트릭스 내에서 적절하게 분산되도록 하기 위해서 유동도(flow)는 100~120mm 인 것이 바람직하며, 상기 실리카폼의 함량은 시멘트 중량 대비 10 ~ 20 중량%로 혼합되는 것이 바람직하다. 또한 탄소나노튜브가 시멘트 매트릭스 내에서 적절하게 분산되도록 하기 위해서 계면활성제는 시멘트 중량 대비 1.6~2.0 중량%로 혼합되는 것이 바람직하다.
- [0024] 상기 발열복합체(2)는 내부에 탄소나노튜브를 포함하여 전기가 인가되면 발열하는 특성을 갖는다. 또한 발열복합체(2)는 시멘트를 주재료로 하여 만들어지기 때문에 콘크리트 구조물에 매립되었을 때 콘크리트와 일체화되기 쉽고, 분리(deboding)되는 현상이 발생하지 않는다.
- [0025] 아래의 표 1의 조성으로 발열복합체(2) 시편을 제작하여 전기를 인가한 결과 도 3 및 도 4에 도시한 그래프에서 보이는 것과 같은 발열 성능을 얻을 수 있었다. 본 발명의 발열복합체(2) 시편의 전압 및 전력에 따른 온도 변화를 살펴보면, 시편의 탄소나노튜브 혼입량이 시멘트 중량 대비 0.6 중량% 임에도 불구하고 1.67W 전력 소모시 20분 내에 최대온도 50℃, 6.67.W 전력 소모시 20분 내에 100℃까지 발열이 가능함을 확인할 수 있다.

표 1

[0026]

	W(물)	C (시멘트)	SF (실리카폼)	SP (계면활성제)	NF (나일론섬 유)	MWNT (다중벽탄소나 노튜브)	유동도 (flow, mm)
함량 (중량%)	40	100	20	1	0.2	0.6	100±5

- [0027] 이와 같은 본 발명의 콘크리트 구조물은 다음과 같이 제조된다.
- [0028] 먼저, 물과 시멘트, 탄소나노튜브, 실리카폼, 계면활성제, 나일론섬유를 혼합하여 특정 형태로 된 복수개의 발열복합체(2)를 제작한다(도 5 참조).
- [0029] 그리고, 도 6에 도시한 것과 같이, 상기 복수개의 발열복합체(2)를 거푸집(10) 내의 철근(3)의 적재적소에 배치하여 고정한다. 콘크리트 구조물의 수화열은 구조물의 중앙부에서 발생하기 때문에 상기 발열복합체(2)는 콘크리트 구조물의 중앙부를 제외한 영역에 균일하게 배치된다. 상기 발열복합체(2)는 철사나 케이블타이(cable tie) 등 공지의 고정구에 의해 철근(3)에 고정될 수 있다.

- [0030] 이와 같이 발열복합체(2)를 철근(3)에 고정시킨 후 각각의 발열복합체(2)를 외부 전원과 연결되는 전선(5)과 연결한다.
- [0031] 상기 발열복합체(2)와 전선(5)의 시공이 완료되면, 도 7에 도시한 것처럼 상기 거푸집(10) 내에 물과 시멘트와 골재 등을 혼합한 콘크리트(4)를 타설한다.
- [0032] 상기 콘크리트(4)의 타설 후 거푸집(10) 내에 형성된 콘크리트 구조물(1)의 중앙부에서는 수화반응에 의해 수화열이 발생하게 된다. 이러한 수화열을 고려하여 상기 전선(5)을 통해 발열복합체(2)에 전기를 인가하면, 발열복합체(2)가 발열하여 매스 콘크리트 구조물(1) 전체에 걸쳐 균일한 온도 분포를 갖게 된다.
- [0033] 상기 콘크리트(4)가 양생되면서 수화반응이 종료되면, 발열복합체(2)에 전기 공급을 중단하고, 전선(5)을 제거한 다음, 거푸집에서 탈형하면 콘크리트 구조물이 완성된다.
- [0034] 본 발명에 따른 수화열 제어 매스 콘크리트 구조물의 성능을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행한 결과를 도 8 내지 도 11에 도시하였다.
- [0035] 도 8 내지 도 11에서 Case 1은 일반적인 매스 콘크리트 구조물이고, Case 2는 발열복합체(2)가 설치된 본 발명의 매스 콘크리트 구조물을 나타낸다.
- [0036] 도 8 및 도 9를 참조하면, 매스 콘크리트 구조물은 1m×1m×1m 인 정육면체 형태를 고려하였고, 매스 콘크리트 구조물 중앙에서 발생하는 수화열은 관련 실험연구(이승한, 윤용호, 정용욱 (2002), "Mass Concrete의 수화열 저감을 위한 Fly-ash 사용 Mock-up Test 및 현장적용 시험", 한국레미콘공업협회, 제 70권, pp. 35-47.)를 참조하여 50℃ 이며, 외부 표면온도는 20℃ 인 것으로 가정하였다.
- [0037] 그리고, 발열복합체(2)는 중앙을 제외하고 일정한 간격으로 26개를 배치하였고, 발열복합체(2)의 발열 온도는 30℃ 인 것으로 설정하였다. 시뮬레이션을 수행하기 위하여 상용 유한요소 프로그램인 ABAQUS를 통한 열응력 해석을 수행하였다.
- [0038] 이 열응력 해석이 사용된 콘크리트 재료의 특성치는 표 2와 같다.

표 2

구분	열전도성 (W/m℃)	열팽창계수	밀도 (kg/m ³)	탄성계수 (GPa)	프아송비
콘크리트	1.4	1e ⁻⁵	2300	2300	0.18

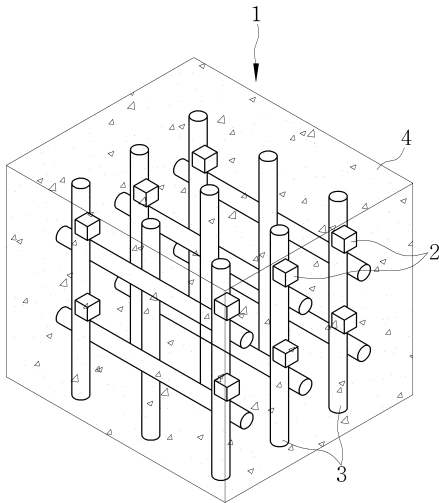
- [0040] 매스 콘크리트 구조물의 내부 온도분포에 대한 해석 결과, 도 10에 도시한 것과 같이 Case 1에 비하여 Case 2의 경우 온도가 더 고르게 분포됨을 알 수 있다.
- [0041] 또한 도 10에 도시된 온도분포를 통해 발생하는 매스 콘크리트 구조물의 변형율에 대해 예측한 결과, 도 11에 도시한 것과 같이 Case 1에 비하여 Case 2의 경우 변형 분포가 더 고르게, 낮은 차이를 보이며 발생함을 알 수 있다.
- [0042] 콘크리트의 온도 균열은 내외부의 온도차로 인한 변형의 간극으로 인해 발생하게 된다. 시뮬레이션을 통해 본 발명의 매스 콘크리트 구조물을 적용할 경우 고른 변형 분포로 온도균열의 가능성을 현저히 낮출 수 있음을 예상할 수 있다.
- [0043] 이와 같이 본 발명에 따르면, 매스 콘크리트 구조물 내부에 전기에 의해 발열하는 시멘트-탄소나노튜브 발열복합체(2)가 설치되어 매스 콘크리트 구조물의 온도 분포를 균일하게 유지할 수 있으며, 이에 따라 수화열을 효과적으로 제어할 수 있게 된다.
- [0044] 이상에서 본 발명은 실시예를 참조하여 상세히 설명되었으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기에서 설명된 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 부가 및 변형이 가능할 것임은 당연하며, 이와 같은 변형된 실시 형태들 역시 아래에 첨부한 특허청구범위에 의하여 정하여지는 본 발명의 보호 범위에 속하는 것으로 이해되어야 할 것이다.

부호의 설명

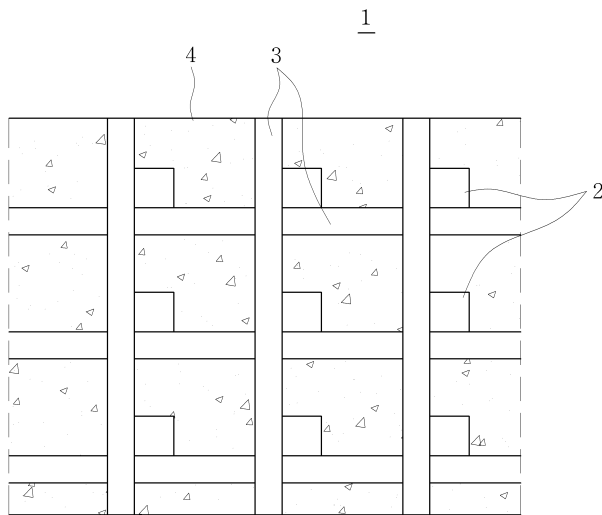
- [0045]
- | | |
|-----------------|-----------|
| 1 : 매스 콘크리트 구조물 | 2 : 발열복합체 |
| 3 : 철근 | 4 : 콘크리트 |
| 5 : 전선 | 10 : 거푸집 |

도면

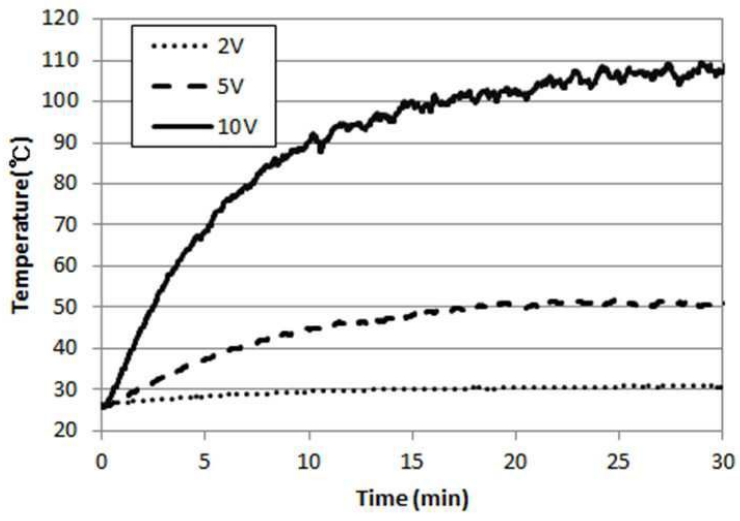
도면1



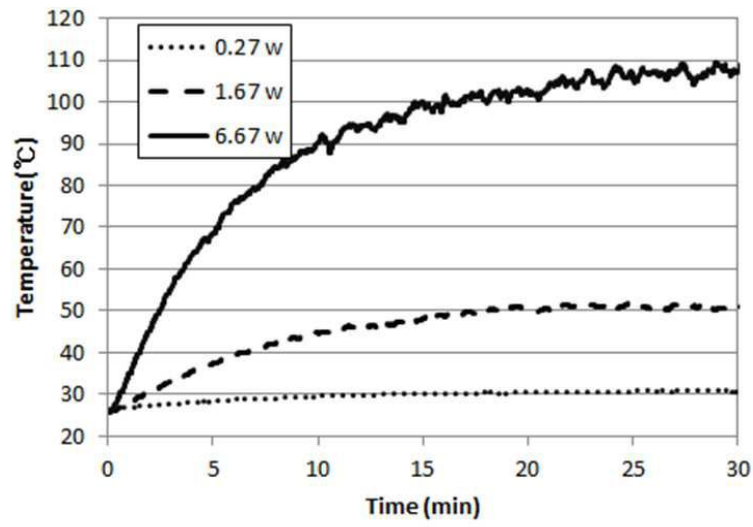
도면2



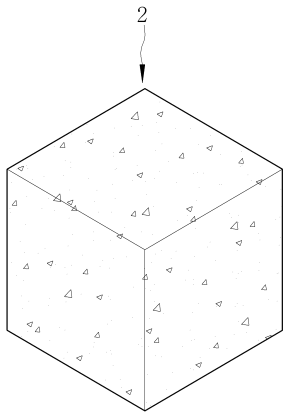
도면3



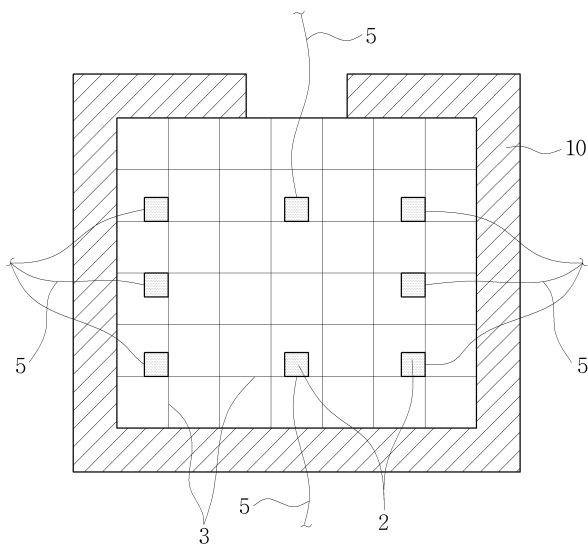
도면4



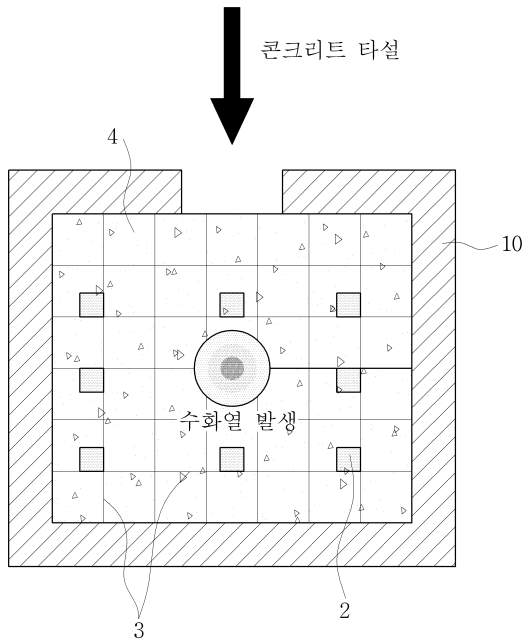
도면5



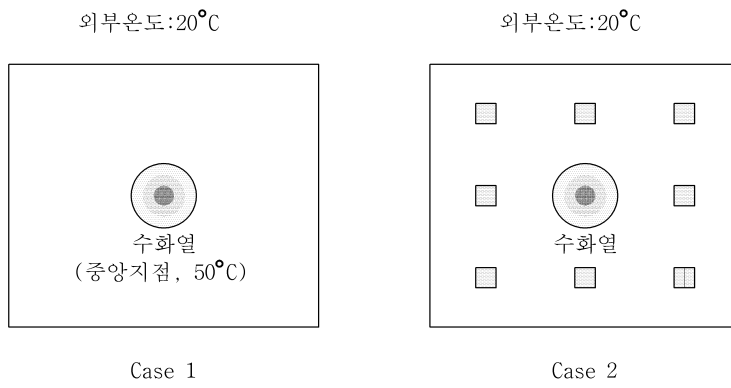
도면6



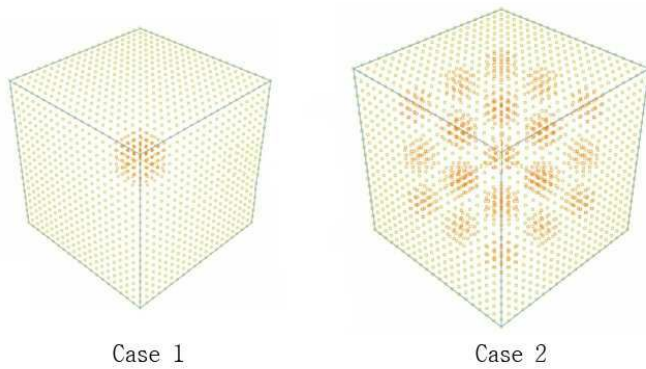
도면7



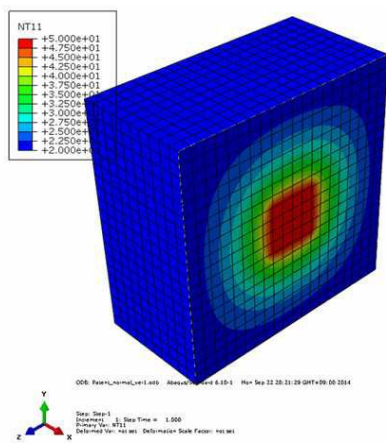
도면8



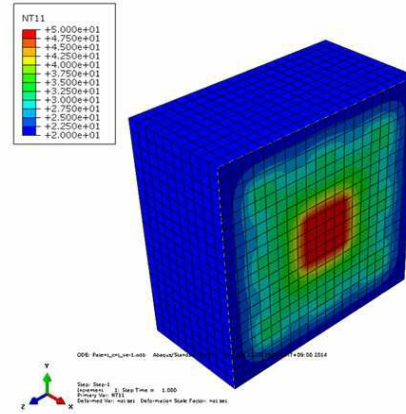
도면9



도면10

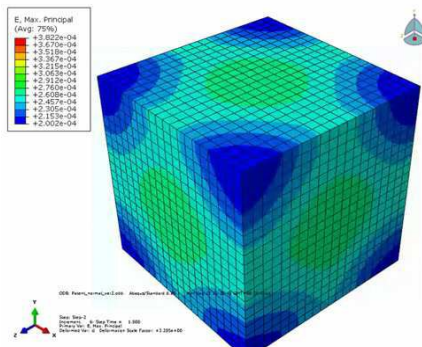


Case 1

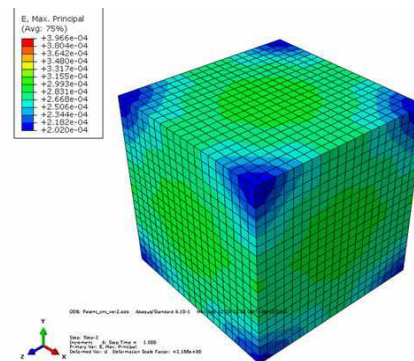


Case 2

도면11



Case 1



Case 2