(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0034581
(43) 공개일자 2024년03월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 33/38 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G01N 33/383 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0113786
(22) 출원일자 2022년09월07일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)
국립부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
손형민
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동, 삼성전자)
박솔뫼
부산광역시 남구 신선로 490, 103동 602호(대연동, 삼성아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
리앤목특허법인

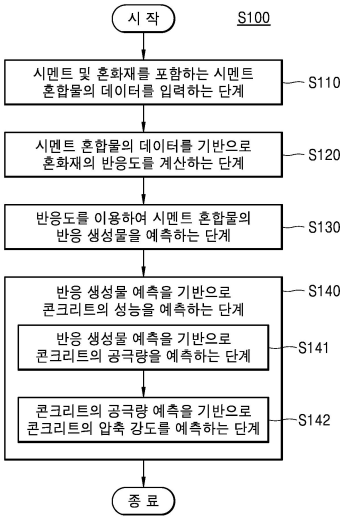
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **콘크리트 특성 예측 방법**

(57) 요 약

콘크리트 특성 예측 방법은 시멘트 및 혼화재를 포함하는 시멘트 혼합물의 데이터를 입력하는 단계; 상기 데이터를 기반으로 상기 혼화재의 반응도를 계산하는 단계; 및 상기 반응도를 이용하여 상기 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

데게파 아론 버하누

부산광역시 남구 유엔평화로41번길 93, 대연주택 B동 205호 (대연동)

유혜진

부산광역시 남구 분포로 111, 137동 1304호(용호동, 엘지메트로시티)

윤혜경

경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동, 삼성전자)

명 세 서

청구범위

청구항 1

시멘트 및 혼화재를 포함하는 시멘트 혼합물의 데이터를 입력하는 단계;

상기 데이터를 기반으로 상기 혼화재의 반응도를 계산하는 단계; 및

상기 반응도를 이용하여 상기 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측하는 단계를 포함하는 콘크리트 특성 예측 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 시멘트는 포틀랜트 시멘트(portland cement)를 포함하고,

상기 혼화재는 슬래그(slag), 플라이 애쉬(fly ash), 메타카올린(metakaolin), 및 실리카 퓸(silica fume) 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 콘크리트 특성 예측 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 데이터는 상기 시멘트 혼합물의 배합비, 상기 시멘트 및 혼화재의 화학 조성, 상기 혼화재의 비표면적, 상기 콘크리트의 양생 조건 및 상기 콘크리트의 양생 시간 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 콘크리트 특성 예측 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 반응도를 계산하는 단계는 하기 식을 통해 계산되는 것을 특징으로 하는 콘크리트 특성 예측 방법.

[식 (1)]

$$\text{반응도(wt\%)} = 47.19 \times \mathrm{A} - 0.01144 \times \mathrm{G} + 0.1144 \times \mathrm{I} - 0.6373 \times \mathrm{M} + 0.00185 \times \mathrm{J} \times (\mathrm{M} + \mathrm{D} \times \mathrm{H} + \mathrm{H} \times \mathrm{K}) + 0.6373 \times \sqrt{C} + 13.16 \times \sqrt{M} + E^2 \times (G - I) \times (4 \times G + H) \times 0.0001544 + 0.01144 \times B \times D \times K \times (F + G + L) - 9.762$$

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 반응 생성물을 예측하는 단계는 하기 식 (2)를 통해 계산되는 깁스 자유 에너지 최소화 방법을 통해 이루어지는 것을 특징으로 하는 콘크리트 특성 예측 방법.

[식 (2)]

$$\triangle_r G^\circ = \sum_j (\zeta_j \triangle_f G^\circ_j) = -RT\ln K$$

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 반응 생성물을 예측하는 단계는

포틀랜다이트(portlandite), 모노설페이트(monosulfate), 에트린자이트(ettringite), 및 미반응 혼화재 중 적어도 하나의 부피를 예측하는 것을 포함하는 콘크리트 특성 예측 방법.

청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 반응 생성물을 예측하는 단계는,

상기 시멘트 혼합물의 총 중량 대비 상기 혼화재의 중량비(wt%)에 따른 상기 반응 생성물을 예측하는 것을 포함하는 콘크리트 특성 예측 방법.

청구항 8

시멘트 및 혼화재를 포함하는 시멘트 혼합물의 데이터를 입력하는 단계;

상기 데이터를 기반으로 상기 혼화재의 반응도를 계산하는 단계;

상기 반응도를 이용하여 상기 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측하는 단계; 및

상기 반응 생성물 예측한 단계를 기반으로 상기 반응 생성물을 포함하는 콘크리트의 특성을 예측하는 단계를 포함하고,

상기 콘크리트의 특성을 예측하는 단계는

상기 시멘트 혼합물로부터 상기 콘크리트를 제조하는 과정에서의 알짜(net) 이산화탄소 발생량을 예측하는 단계를 포함하고,

상기 알짜 이산화탄소 발생량은 상기 제조 과정에서 발생하는 이산화탄소 양에서 상기 제조 과정에서 흡수하는 이산화탄소 양을 제외한 것을 의미하는 콘크리트 특성 예측 방법.

청구항 9

제8 항에 있어서,

상기 콘크리트의 특성을 예측하는 단계는,

상기 반응 생성물을 예측한 단계를 기반으로 하기 식 (3)을 통해 상기 콘크리트의 공극량을 예측하는 단계를 포함하는 콘크리트 특성 예측 방법.

[식 (3)]

공극량(%) = (1 - 최종 결과물의 부피/시작 단계에서의 부피) *100 %

청구항 10

제8 항에 있어서,

상기 콘크리트의 특성을 예측하는 단계는,

상기 반응 생성물을 예측한 단계를 기반으로 상기 콘크리트의 공극량을 예측하는 단계; 및

상기 콘크리트의 상기 공극량을 예측한 단계를 기반으로 하기 식 (4)를 통해 상기 콘크리트의 압축강도를 예측하는 단계를 포함하는 콘크리트 특성 예측 방법.

[식 (4)]

$$\sigma=\sigma_0\times[(1-2p)^{1.85}\times(1-p^{2/3})]^{0.5}$$

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 콘크리트의 특성을 예측하는 방법에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 시멘트 및 혼화재를 포함하는 콘크리트의 특성을 예측하는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 콘크리트는 전세계 구조물의 80%를 차지하는 가장 대표적이고 널리 활용되는 건설재료이다. 콘크리트의 구성 요소는 시멘트, 물, 골재 및 첨가제 등이 있으며, 이 중 시멘트는 콘크리트의 이산화탄소 발생량에 가장 많은 부분을 차지한다.

[0003] 대부분의 콘크리트는 포틀랜트 시멘트(portland cement)를 결합재로 사용하여 제작되나, 포틀랜트 시멘트의 이산화탄소 발생량이 문제됨에 따라 결합재의 탄소 발생량을 낮추기 위한 연구가 진행되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명의 기술적 사상이 해결하고자 하는 과제는 혼화재의 화학 조성 및 중량비(wt%)에 따른 콘크리트 특성 예측 방법을 제공하고자 하는 것이다.

[0005] 본 발명의 기술적 사상이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제에 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 기술적 사상에 의해 콘크리트 특성 예측 방법이 제공된다. 콘크리트 특성 예측 방법은 시멘트 및 혼화재를 포함하는 시멘트 혼합물의 데이터를 입력하는 단계; 상기 데이터를 기반으로 상기 혼화재의 반응도를 계산하는 단계; 및 상기 반응도를 이용하여 상기 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

[0007] 본 발명의 기술적 사상에 의해 콘크리트 특성 예측 방법이 제공된다. 콘크리트 특성 예측 방법은 시멘트 및 혼화재를 포함하는 시멘트 혼합물의 데이터를 입력하는 단계; 상기 데이터를 기반으로 상기 혼화재의 반응도를 계산하는 단계; 상기 반응도를 이용하여 상기 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측하는 단계; 및 상기 반응 생성물 예측한 단계를 기반으로 상기 반응 생성물을 포함하는 콘크리트의 특성을 예측하는 단계를 포함하고, 상기 콘크리트의 특성을 예측하는 단계는 상기 시멘트 혼합물로부터 상기 콘크리트를 제조하는 과정에서의 알짜(net) 이산화탄소 발생량을 예측하는 단계를 포함하고, 상기 알짜 이산화탄소 발생량은 상기 제조 과정에서 발생하는 이산화탄소 양에서 상기 제조 과정에서 흡수하는 이산화탄소 양을 제외한 것을 의미할 수 있다.

[0008] 본 발명의 기술적 사상에 의해 콘크리트 특성 예측 방법이 제공된다. 콘크리트 특성 예측 방법은 시멘트 및 혼화재를 포함하는 시멘트 혼합물의 데이터를 입력하는 단계; 상기 데이터를 기반으로 상기 혼화재의 반응도를 계산하는 단계; 상기 반응도를 이용하여 상기 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측하는 단계; 상기 반응 생성물 예측을 기반으로 상기 반응 생성물을 포함하는 콘크리트의 공극량을 예측하는 단계; 및 상기 콘크리트의 상기 공극량 예측을 기반으로 상기 콘크리트의 압축강도를 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0009] 본 발명의 기술적 사상에 의해, 혼화재의 중량비(wt%)에 따른 혼화재의 반응도, 반응 생성물, 상기 시멘트 혼합물에 의해 생성되는 콘크리트의 공극량 및 압축강도를 예측할 수 있다.

[0010] 본 발명의 기술적 사상에 의해, 혼화재의 중량비(wt%)에 따른 상기 콘크리트를 제조하는 과정에서의 알짜 이산화탄소 발생량을 예측할 수 있다.

[0011] 본 발명의 기술적 사상에 의해, 혼화재의 화학 조성 및 중량비(wt%)에 따른 콘크리트 특성 예측 방법이 제공될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명의 기술적 사상에 의한 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 2는 본 발명의 기술적 사상에 의한 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 3a 내지 도 3d는 본 발명의 기술적 사상에 의한 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측한 결과를 나타낸 그래프들이다.

도 4a 내지 도 4d는 본 발명의 기술적 사상에 의한 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 콘크리트의 공극량을 예측한 결과를 나타낸 그래프들이다.

도 5a 내지 도 5d는 본 발명의 기술적 사상에 의한 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 콘크리트의 압축강도를 예측한 결과를 나타낸 그래프들이다.

도 6a 내지 도 6d는 본 발명의 기술적 사상에 의한 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 콘크리트의 제조 과정에서 알짜 이산화탄소 발생량을 예측한 결과를 나타낸 그래프들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 이하, 첨부 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고, 이들에 대한 중복된 설명은 생략한다. 이하의 도면에서 각 층의 두께나 크기는 설명의 편의 및 명확성을 위하여 과장되어 표현되었고, 이에 따라 실제의 형상 및 비율과 다소 상이할 수 있다.

[0014] 도 1은 본 발명의 기술적 사상에 의한 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100)을 설명하기 위한 순서도이다.

[0015] 본 명세서에서 콘크리트 특성이란, 콘크리트의 공극량, 압축 강도, 콘크리트 제조 과정에서 발생하는 이산화탄소의 양, 및 콘크리트의 기타 성능을 포함하여 지칭하는 용어로 사용될 수 있다.

[0016] 도 1을 참조하면, 시멘트 및 혼화재를 포함하는 시멘트 혼합물의 데이터를 입력할 수 있다(S110).

[0017] 일부 실시예들에서, 상기 시멘트는 포틀랜트 시멘트(portland cement)를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 혼화재는 슬래그(slag), 플라이 애쉬(fly ash), 메타카올린(metakaolin), 및 실리카 퓸(silica fume) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기와 같은 혼화재를 포틀랜트 시멘트와 혼합하여 사용함에 따라, 포틀랜트 시멘트 사용량을 줄이고 탄소 발생량을 줄일 수 있다. 본 명세서에서 상기 혼화재로 슬래그, 플라이 애쉬, 메타카올린, 및 실리카 퓸을 사용하는 경우를 예시하였지만, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되지 아니하고, 고체 물질로서 화학 조성, 비표면적 등의 혼화재의 특성 값을 가질 수 있는 재료를 혼화재로 사용하는 경우에 관하여도 적용될 수 있다.

[0018] 일부 실시예들에서, 상기 데이터는 상기 시멘트 혼합물의 배합비, 상기 시멘트 및 혼화재의 화학 조성, 상기 혼화재의 비표면적, 상기 콘크리트의 양생 조건 및 상기 콘크리트의 양생 시간을 포함할 수 있다.

[0019] 구체적으로, 상기 데이터는 상기 시멘트 혼합물이 포함하는 상기 시멘트와 상기 혼화재 각각의 비율을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물이 포틀랜트 시멘트 및 슬래그를 포함하는 경우에, 상기 포틀랜트 시멘트 및 슬래그가 혼합된 비율을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물이 포틀랜트 시멘트 및 플라이 애쉬를 포함하는 경우에, 상기 포틀랜트 시멘트 및 플라이 애쉬가 혼합된 비율을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물이 포틀랜트 시멘트 및 메타카올린을 포함하는 경우에, 상기 포틀랜트 시멘트 및 메타카올린이 혼합된 비율을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물이 포틀랜트 시멘트 및 실리카 퓸을 포함하는 경우에, 상기 포틀랜트 시멘트 및 실리카 퓸이 혼합된 비율을 포함할 수 있다.

[0020] 구체적으로, 상기 시멘트 및/또는 혼화재는 SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, SO_3, Na_2O, 및/또는 K_2O를 포함할 수 있는데, 상기 데이터는 상기 시멘트 및/또는 혼화재에 상기 물질이 포함되어 있는 비율을 포함할 수 있다.

[0021] 본 발명의 실험예들에서 예시적으로 사용한 시멘트 및/또는 혼화재의 종류, 및 상기 재료들의 화학조성은 하기 표 1과 같다.

표 1

[0022]

wt%	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O
PC (포틀랜트 시멘트)	20.2	5.6	2.4	65.9	2.0	2.6	0.5	0.7
Slag (슬래그)	36.49	12.26	0	41.79	7.48	1.98	0	0

Fly ash (플라이 애쉬)	51.8	23.4	7.2	10.8	2.7	1.1	1.3	1.6
Metakaolin (메타카올린)	54.1	43.6	1.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.5
Silica fume (실리카 퓸)	99.3	0.1	0	0.1	0.1	0	0.1	0.2

[0023] 도 1을 계속 참조하면, 단계 S110에서 입력한 데이터를 기반으로 상기 혼화재의 반응도를 계산할 수 있다(S120).

[0024] 일부 실시예들에서, 상기 반응도는 하기 식 (1)을 통해 계산될 수 있다.

[0025] [식 (1)]

$$\text{반응도(wt\%)} = 47.19 \times A - 0.01144 \times G + 0.1144 \times I - 0.6373 \times M + 0.00185 \times J \times (M + D \times H + H \times K) + 0.6373 \times \sqrt{C} + 13.16 \times \sqrt{M} + E^2 \times (G - I) \times (4 \times G + H) \times 0.0001544 + 0.01144 \times B \times D \times K \times (F + G + L) - 9.762$$

[0026]

[0027] 상기 식 (1)을 통해 계산되는 반응도의 단위는 중량비(wt%)이다. 즉, 상기 식 (1)을 통해 투입한 혼화재의 중량 대비 반응하는 혼화재의 중량비(wt%)를 계산할 수 있다. 상기 식 (1)에서, A는 혼화재의 중량 대비 물의 중량의 비율을 의미할 수 있다. B는 양생 온도(℃)를 의미할 수 있다. C는 양생 시간을 의미할 수 있고, 상기 시간의 단위는 일(day)이다. D는 시멘트의 총 중량 대비 상기 시멘트에 포함된 SiO_2의 중량비(wt%)를 의미할 수 있고, 시멘트는 예를 들어, 포틀랜트 시멘트를 포함할 수 있다. E는 시멘트의 총 중량 대비 상기 시멘트에 포함된 CaO의 중량비(wt%)를 의미할 수 있다. F는 시멘트의 총 중량 대비 상기 시멘트에 포함된 MgO의 중량비(wt%)를 의미할 수 있다. G는 시멘트의 총 중량 대비 상기 시멘트에 포함된 SO_3의 중량비(wt%)를 의미할 수 있다. H는 혼화재의 총 중량 대비 상기 혼화재에 포함된 Al_2O_3의 중량비(wt%)를 의미할 수 있다. I는 혼화재의 총 중량 대비 상기 혼화재에 포함된 Fe_2O_3의 중량비(wt%)를 의미할 수 있다. J는 혼화재의 총 중량 대비 상기 혼화재에 포함된 CaO의 중량비(wt%)를 의미할 수 있다. K는 혼화재의 총 중량 대비 상기 혼화재에 포함된 SO_3의 중량비(wt%)를 의미할 수 있다. L은 혼화재의 총 중량 대비 상기 혼화재에 포함된 Na_2O의 중량비(wt%)를 의미할 수 있다. M은 혼화재의 비표면적을 의미할 수 있고, 상기 비표면적의 단위는 m^2/gm이다.

[0028] 예를 들어, 표 1을 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물이 포틀랜트 시멘트 및 슬래그를 포함하는 경우에, S120 단계에서 계산하는 반응도는 포틀랜트 시멘트의 화학 조성 및 슬래그의 화학 조성을 이용해 계산할 수 있다. 즉, 상기 식 (1)에 포틀랜트 시멘트의 화학 조성에 관한 값, 즉 D에 20.2, E에 65.9, F에 2.0, G에 2.6, 및 슬래그의 화학 조성에 관한 값, 즉 H에 12.26, I에 0, J에 41.79, K에 1.98, L에 0을 대입하고, 나머지 값(A, B, C, 및 M)을 입력하여 혼화재, 즉 슬래그의 반응도를 예측할 수 있다.

[0029] 예를 들어, 표 1을 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물이 포틀랜트 시멘트 및 플라이 애쉬를 포함하는 경우에, S120 단계에서 계산하는 반응도는 포틀랜트 시멘트의 화학 조성 및 플라이 애쉬의 화학 조성을 이용해 계산할 수 있다. 즉, 상기 식 (1)에 포틀랜트 시멘트의 화학 조성에 관한 값, 즉 D에 20.2, E에 65.9, F에 2.0, G에 2.6, 및 플라이 애쉬의 화학 조성에 관한 값, 즉 H에 23.4, I에 7.2, J에 10.8, K에 1.1, L에 1.3을 대입하고, 나머지 값(A, B, C, 및 M)을 입력하여 혼화재, 즉 플라이 애쉬의 반응도를 예측할 수 있다.

[0030] 예를 들어, 표 1을 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물이 포틀랜트 시멘트 및 메타카올린을 포함하는 경우에, S120 단계에서 계산하는 반응도는 포틀랜트 시멘트의 화학 조성 및 메타카올린의 화학 조성을 이용해 계산할 수 있다. 즉, 상기 식 (1)에 포틀랜트 시멘트의 화학 조성에 관한 값, 즉 D에 20.2, E에 65.9, F에 2.0, G에 2.6, 및 메타카올린의 화학 조성에 관한 값, 즉 H에 43.6, I에 1.1, J에 0.2, K에 0.1, L에 0.1을 대입하고, 나머지 값(A, B, C, 및 M)을 입력하여 혼화재, 즉 메타카올린의 반응도를 예측할 수 있다.

[0031] 예를 들어, 표 1을 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물이 포틀랜트 시멘트 및 실리카 퓸을 포함하는 경우에,

S120 단계에서 계산하는 반응도는 포틀랜트 시멘트의 화학 조성 및 실리카 퓸의 화학 조성을 이용해 계산할 수 있다. 즉, 상기 식 (1)에 포틀랜트 시멘트의 화학 조성에 관한 값, 즉 D에 20.2, E에 65.9, F에 2.0, G에 2.6, 및 실리카 퓸의 화학 조성에 관한 값, 즉 H에 0.1, I에 0, J에 0.1, K에 0, L에 0.1을 대입하고, 나머지 값(A, B, C, 및 M)을 입력하여 혼화재, 즉 실리카 퓸의 반응도를 예측할 수 있다.

[0032] 본 명세서에서, 혼화재로 슬래그, 플라이 애쉬, 메타카올린, 및 실리카 퓸을 실험예로 사용하였지만, 이는 예시적인 것일 뿐이고, 상기 나열한 혼화재를 제외한 다른 종류의 혼화재에 관하여도 상기 반응도를 계산하는 식 (1)을 적용할 수 있다. 즉, 상기 반응도를 계산하는 식 (1)에 관한 본 발명의 기술적 사상은 혼화재로 슬래그, 플라이 애쉬, 메타카올린, 및/또는 실리카 퓸을 사용하는 것에 한정되지 않는다.

[0033] 도 1을 계속 참조하면, 단계 S120에서 계산한 반응도를 이용하여 상기 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측할 수 있다(S130).

[0034] 상기 반응 생성물을 예측하는 단계(S130)는 깁스 자유 에너지 최소화 방법을 통해 이루어질 수 있다. 예를 들어, 하기 식 (2)를 이용해 이루어질 수 있다.

[0035] [식 (2)]

[0036] $$\triangle_r G^\circ = \sum_j (\zeta_j \triangle_j G^\circ_j) = -RT\ln K$$

[0037] 상기 식 (2)에서, R은 8.3145 $Jmol^{-1}K^{-1}$의 값을 갖는 기체 상수이고, T는 온도(K), ζ_j 및 $\triangle_j G^\circ$ 은 상수이다.

[0038] 일부 실시예들에서, 상기 반응 생성물은 콘크리트에 포함되는 구성 성분일 수 있다. 즉, 상기 반응 생성물을 예측하는 것(S130)은 상기 시멘트 혼합물을 이용하여 제조하는 콘크리트의 구성 성분을 예측하는 것일 수 있다.

[0039] 일부 실시예들에서, 상기 반응 생성물은 포틀랜다이트(portlandite), 모노설페이트(monosulfate), 에트린자이트(ettringite), 및/또는 미반응 혼화재를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 반응 생성물을 예측하는 것은 포틀랜다이트, 모노설페이트, 에트린자이트, 및/또는 미반응 혼화재의 부피를 예측하는 것을 포함할 수 있다.

[0040] 일부 실시예들에서, 반응 생성물을 예측하는 것(S130)은 상기 시멘트 혼합물의 총 중량 대비 상기 혼화재의 중량비(wt%)에 따른 상기 반응 생성물을 예측하는 것을 포함할 수 있다. 즉, 상기 반응 생성물을 예측하는 것은 상기 혼화재의 중량비(wt%)가 변화함에 따라 상기 반응 생성물의 부피가 변화하는 것을 예측하는 것을 포함할 수 있다.

[0041] S130에 따라 본 발명의 실험예들에서 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측한 결과는 도 3a 내지 도 3d와 같다.

[0042] 도 3a 내지 도 3d는 본 발명의 기술적 사상에 의한 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100)에 따라 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측(S130)한 결과를 나타낸 그래프들이다. 도 3a 내지 도 3d의 그래프들에서 세로축은 부피이며, 부피의 단위는 cm^3/100g 이다.

[0043] 구체적으로, 도 3a는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100)에 따라 슬래그를 포함하는 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 3a를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 슬래그의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 각 반응 생성물의 부피가 변화하는 것을 예측할 수 있다.

[0044] 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 슬래그의 중량비(wt%)가 증가함에 따라 미반응 슬래그의 부피가 증가하는 것을 예측할 수 있다. 예를 들어, 슬래그의 중량비(wt%)가 증가할수록 포틀랜다이트의 부피는 감소하고, 즉 포틀랜다이트의 부피는 슬래그의 중량비(wt%)와 반비례하게 변화하는 경향을 보일 것으로 예측할 수 있다. 예를 들어, 모노설페이트, 에트린자이트, 및 CNASH의 부피는 슬래그의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 80 wt%으로 증가할 때까지는 큰 변화가 없을 것으로 예측할 수 있다. 본 명세서에서, CNASH는 칼슘실리케이트수화물(calcium silicate hydrate; CSH)와 유사한 물질로, $CaO-Na_2O-SiO_2-Al_2O_3-H_2O$로 이루어진 비정질 수화물일 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 $CaO-Na_2O-SiO_2-Al_2O_3-H_2O$로 이루어진 수화물이란, CaO, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, H_2O 등으로 이루어지는 재료를 의미하는 것으로서, 이들의 화학양론적 관계를 나타내는 것은 아니다.

[0045] 구체적으로, 도 3b는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100)에 따라 플라이 애쉬를 포함하는 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 3b를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼

합물에서 플라이 애쉬의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 각 반응 생성물의 부피가 변화하는 것을 예측할 수 있다.

[0046] 예를 들어, 플라이 애쉬를 포함하는 시멘트 혼합물의 경우는 도 3a를 통해 예측할 수 있는 슬래그를 포함하는 시멘트 혼합물의 경우보다 포틀란다이트의 소비량이 크므로, 혼화재의 중량비 (wt%)가 증가함에 따라 포틀랜다이트가 더 이상 존재하지 않는 혼화재의 중량비 (wt%)가 낮을 것으로 예측할 수 있다.

[0047] 즉, 슬래그를 포함하는 시멘트 혼합물의 경우에는 혼화재의 중량비(wt%)가 약 80 wt% 이하인 경우까지 포틀랜다이트가 생성될 것으로 예측할 수 있는 반면, 플라이 애쉬를 포함하는 시멘트 혼합물의 경우에는 혼화재의 중량비(wt%)가 약 45 wt% 이하인 경우까지만 포틀랜다이트가 생성될 것으로 예측할 수 있다. 예를 들어, 플라이 애쉬의 중량비(wt%)가 약 50 wt% 이하인 시멘트 혼합물의 경우에서는 에트린자이트가 거의 생성되지 않지만, 플라이 애쉬의 중량비(wt%)가 증가하면 straetlingite와 에트린자이트가 더불어 생성되기 시작할 것으로 예측될 수 있다.

[0048] 구체적으로, 도 3c는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100)에 따라 메타카올린을 포함하는 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 3c를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 메타카올린의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 각 반응 생성물의 부피가 변화하는 것을 예측할 수 있다.

[0049] 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 메타카올린의 중량비(wt%)가 증가함에 따라 초기에는 포틀랜다이트의 생성은 감소하고, 모노설페이트 및 C_4AH_{19}의 생성은 증가할 것으로 예측할 수 있다. 예를 들어, 메타카올린의 중량비(wt%)가 35 wt%를 초과하는 시멘트 혼합물의 경우에는 에트린자이트 및 straetlingite가 생성될 것을 예측할 수 있다. 예를 들어, 메타카올린의 중량비(wt%)가 50 wt% 이상일 경우, $Al(OH)_3$ 및/또는 비정질 실리카(amorphous silica) 수화물이 생성되기 시작할 것으로 예측할 수 있으며, 이는 과도한 SiO_2 의 혼입에 의한 것으로 예측할 수 있다.

[0050] 예를 들어, 메타카올린을 포함하는 시멘트 혼합물의 경우는 도 3a 및 도 3b를 통해 예측될 수 있는 슬래그 및/또는 플라이 애쉬를 포함하는 시멘트 혼합물의 경우와 상기 반응 생성물의 부피 변화가 유사한 것으로 예측할 수 있다.

[0051] 구체적으로, 도 3d는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100)에 따라 실리카 퓸을 포함하는 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 3d를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 실리카 퓸의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 각 반응 생성물의 부피가 변화하는 것을 예측할 수 있다.

[0052] 예를 들어, 실리카 퓸을 포함하는 시멘트 혼합물의 경우는 도 3c를 통해 예측될 수 있는 메타카올린을 포함하는 시멘트 혼합물의 경우와 비교하여, 포틀랜다이트가 생성되지 않는 혼화재의 중량비(wt%)가 유사한 것으로 예측할 수 있다. 예를 들어, 메타카올린을 포함하는 시멘트 혼합물의 경우에서 포틀랜다이트의 감소는 CNASH의 생성을 야기하는 것과 달리, 실리카 퓸을 포함하는 시멘트 혼합물의 경우에서 포틀랜다이트의 감소는 주로 모노설페이트의 생성을 야기할 것으로 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 실리카 퓸의 중량비(wt%)가 약 50 wt%를 초과하게 되면 비정질 실리카가 생성되기 시작할 것으로 예측할 수 있다. 일부 실시예들에서, 비정질 실리카는 이를 포함하는 콘크리트의 강도에 대한 기여율이 낮기 때문에 시멘트 혼합물에서 실리카 퓸의 적정 중량비(wt%)는 약 45 wt% 미만일 것으로 예측할 수 있다.

[0053] S130 및 도 3a 내지 도 3d에 의해, 슬래그 기타 혼화재를 포함하는 시멘트 혼합물에서 혼화재의 중량비(wt%) 변화에 따른 반응 생성물을 예측할 수 있다.

[0054] 도 1을 계속 참조하면, 반응 생성물 예측(S130)을 기반으로 콘크리트의 특성을 예측할 수 있다(S140). 상기 콘크리트는 혼화재의 중량비(wt%)에 따라 단계 S130을 통해 예측한 해당 반응 생성물을 포함하는 것일 수 있다.

[0055] 일부 실시예들에서, 콘크리트의 특성을 예측하는 것(S140)은 상기 반응 생성물 예측을 기반으로 상기 콘크리트의 공극량을 예측하는 것을 포함할 수 있다(S141). 콘크리트의 공극량을 예측하는 것(S141)은 하기 식 (3)을 이용해 이루어질 수 있다.

[0056] [식 (3)]

[0057] 공극량(%) = (1 - 최종 결과물의 부피/시작 단계에서의 부피) * 100 %

[0058] 일부 실시예들에서, 콘크리트의 공극량을 예측하는 것(S141)은 상기 시멘트 혼합물의 총 중량 대비 상기 혼화재의 중량비(wt%)에 따른 상기 콘크리트의 공극량을 예측하는 것을 포함할 수 있다. 즉, 상기 콘크리트의 공극량을 예측하는 것은 상기 혼화재의 중량비(wt%)가 변화함에 따라 상기 콘크리트의 공극량이 변화하는 것을 예측하는 것을 포함할 수 있다.

[0059] S141에 따라 본 발명의 실험예들에서 상기 콘크리트의 공극량을 예측한 결과는 도 4a 내지 도 4d와 같다.

[0060] 도 4a 내지 도 4d는 본 발명의 기술적 사상에 의한 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100)에 따라 콘크리트의 공극량을 예측한 결과를 나타낸 그래프들이다. 도 4a 내지 도 4d의 그래프들에서 세로축은 공극량이고, 상기 공극량의 단위는 퍼센트(%)이다.

[0061] 구체적으로, 도 4a는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100)에 따라 슬래그를 포함하는 경우의 콘크리트의 공극량을 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 4a를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 슬래그의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 생성되는 콘크리트의 공극량을 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 슬래그의 중량비(wt%)가 약 85 wt% 내지 약 90 wt% 인 구간을 제외하고, 혼화재의 중량비(wt%)가 증가할수록 콘크리트의 공극량이 증가할 것으로 예측할 수 있다.

[0062] 구체적으로, 도 4b는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100)에 따라 플라이 애쉬를 포함하는 경우의 콘크리트의 공극량을 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 4b를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 플라이 애쉬의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 생성되는 콘크리트의 공극량을 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 플라이 애쉬의 중량비(wt%)가 약 45 wt% 내지 약 55 wt% 인 구간 및 약 75 wt% 내지 약 80 wt% 인 구간을 제외하고, 혼화재의 중량비(wt%)가 증가할수록 콘크리트의 공극량이 대체적으로 증가할 것으로 예측할 수 있다.

[0063] 구체적으로, 도 4c는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100)에 따라 메타카올린을 포함하는 경우의 콘크리트의 공극량을 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 4c를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 메타카올린의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 생성되는 콘크리트의 공극량을 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 메타카올린의 중량비(wt%)가 0 wt% 에서 약 20 wt%으로 증가함에 따라 콘크리트의 공극량이 감소할 것으로 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 메타카올린의 중량비(wt%)가 약 20 wt% 이상인 대부분의 구간에서는 혼화재의 중량비(wt%)가 증가할수록 콘크리트의 공극량이 대체적으로 증가할 것으로 예측할 수 있다.

[0064] 구체적으로, 도 4d는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100)에 따라 실리카 퓸을 포함하는 경우의 콘크리트의 공극량을 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 4d를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 실리카 퓸의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 생성되는 콘크리트의 공극량을 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 실리카 퓸의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 약 35 wt%으로 증가할 때까지는 콘크리트의 공극량이 크게 변하지 않을 것으로 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 실리카 퓸의 중량비 (wt%)가 0 wt%에서 약 35 wt%로 증가할 때까지 콘크리트의 중량비(wt%)는 크게 변하지 않으므로 콘크리트의 공극량을 예측할 수 있다.

[0065] S141 및 도 4a 내지 도 4d에 의해, 슬래그 기타 혼화재의 중량비(wt%)가 변화함에 따라 콘크리트의 공극량에 미치는 영향에 대해 예측할 수 있다.

[0066] 일부 실시예들에서, 상기 콘크리트의 특성을 예측하는 것(S140)은 상기 콘크리트의 공극량 예측(S141)을 기반으로 상기 콘크리트의 압축강도를 예측하는 것을 포함할 수 있다(S142). 콘크리트의 압축강도를 예측하는 것(S142)은 하기 식 (4)를 이용해 이루어질 수 있다.

[0067] [식 (4)]

[0068] $$\sigma=\sigma_0\times[(1-2p)^{1.85}\times(1-p^{2/3})]^{0.5}$$

[0069] 상기 식 (4)에서 σ는 예측하고자 하는 종류의 혼화재를 포함하는 콘크리트의 압축강도를 의미할 수 있다. σ_0는 비교군, 즉, 혼화재가 포함되지 않은 시멘트 혼합물, 다시 말해, 포틀랜트 시멘트의 중량비(wt%)가 100 wt% 인 시멘트 혼합물의 경우의 압축강도를 의미할 수 있다. p는 단계 S141에서 예측한 상기 콘크리트의 공극량(%)을 의미할 수 있다.

[0070] 일부 실시예들에서, 콘크리트의 압축강도를 예측하는 것(S142)은 상기 시멘트 혼합물의 총 중량 대비 상기 혼화

재의 중량비(wt%)에 따른 상기 콘크리트의 압축강도를 예측하는 것을 포함할 수 있다. 즉, 콘크리트의 압축강도를 예측하는 것(S142)은 상기 혼화재의 중량비(wt%)가 변화함에 따라 상기 콘크리트의 압축강도가 변화하는 것을 예측하는 것을 포함할 수 있다.

[0071] S142에 따라 본 발명의 실험예들에서 상기 콘크리트의 압축강도를 예측(S142)한 결과는 도 5a 내지 도 5d와 같다.

[0072] 도 5a 내지 도 5d는 본 발명의 기술적 사상에 의한 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100)에 따라 콘크리트의 압축강도를 예측한 결과를 나타낸 그래프들이다. 도 5a 내지 도 5d의 그래프들에서, 세로축은 혼화재가 포함되지 않은 시멘트 혼합물의 경우와 비교한 각 시멘트 혼합물의 압축강도의 비율(%)을 나타낼 수 있다.

[0073] 구체적으로, 도 5a는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 슬래그를 포함하는 경우의 콘크리트의 압축강도를 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 5a를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 슬래그의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 생성되는 콘크리트의 압축강도를 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 슬래그의 중량비(wt%)가 약 85 wt% 내지 약 90 wt% 인 구간을 제외하고, 혼화재의 중량비(wt%)가 증가할수록 콘크리트의 압축강도가 증가할 것으로 예측할 수 있다.

[0074] 구체적으로, 도 5b는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 플라이 애쉬를 포함하는 경우의 콘크리트의 압축강도를 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 5b를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 플라이 애쉬의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 생성되는 콘크리트의 압축강도를 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 플라이 애쉬의 중량비(wt%)가 약 45 wt% 내지 약 55 wt% 인 구간 및 약 75 wt% 내지 약 80 wt% 인 구간을 제외하고, 혼화재의 중량비(wt%)가 증가할수록 콘크리트의 압축강도가 대체적으로 감소할 것으로 예측할 수 있다.

[0075] 구체적으로, 도 5c는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 메타카올린을 포함하는 경우의 콘크리트의 압축강도를 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 5c를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 메타카올린의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 생성되는 콘크리트의 압축강도를 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 메타카올린의 중량비(wt%)가 0 wt% 에서 약 20 wt%으로 증가함에 따라 콘크리트의 압축강도가 증가할 것으로 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 메타카올린의 중량비(wt%)가 약 20 wt% 이상인 대부분의 구간에서는 혼화재의 중량비(wt%)가 증가할수록 콘크리트의 압축강도가 대체적으로 감소할 것으로 예측할 수 있다.

[0076] 구체적으로, 도 5d는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 실리카 퓸을 포함하는 경우의 콘크리트의 압축강도를 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 5d를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 실리카 퓸의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 생성되는 콘크리트의 압축강도를 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 실리카 퓸의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 약 35 wt%으로 증가할 때까지는 콘크리트의 압축강도가 크게 변하지 않을 것으로 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 실리카 퓸의 중량비(wt%)가 약 50 wt% 이상인 구간에서는 혼화재의 중량비(wt%)가 증가할수록 콘크리트의 압축강도가 대체적으로 감소할 것으로 예측할 수 있다.

[0077] 본 명세서의 S142 및 도 5a 내지 도 5d에 의해, 슬래그 기타 혼화재가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향 및 강도 변화에 대해 예측할 수 있다.

[0078] 본 명세서의 도 1 및 도 3a 내지 도 5d에 의해, 시멘트 및 혼화재를 포함하는 시멘트 혼합물에서 혼화재의 중량비(wt%)에 따른 혼화재의 반응도, 반응 생성물, 상기 시멘트 혼합물에 의해 생성되는 콘크리트의 공극량 및 압축강도를 예측할 수 있다. 즉, 도 1 및 도 3a 내지 도 5d에 의해 혼화재의 화학 조성 및 중량비(wt%)에 따른 콘크리트 특성 예측 방법이 제공될 수 있다.

[0079] 도 2는 본 발명의 기술적 사상에 의한 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법(S100a)을 설명하기 위한 순서도이다.

[0080] 도 2를 참조하면, 단계 S130에서의 상기 반응 생성물 예측을 기반으로 콘크리트의 특성을 예측할 수 있다(S140a). 일부 실시예들에서, 상기 콘크리트의 특성을 예측하는 것(S140a)은 상기 반응 생성물 예측을 기반으로 상기 시멘트 혼합물로부터 콘크리트를 제조하는 과정에서의 알짜(net) 이산화탄소 발생량을 예측하는 것을 포함할 수 있다(S143).

[0081] 일부 실시예들에서, 알짜 이산화탄소 발생량을 예측하는 것(S143)은 상기 시멘트 혼합물의 총 중량 대비 상기

혼화재의 중량비(wt%)에 따른 알짜 이산화탄소 발생량을 예측하는 것을 포함할 수 있다. 즉, 상기 알짜 이산화탄소 발생량을 예측하는 것은 상기 혼화재의 중량비(wt%)가 변화함에 따라 상기 알짜 이산화탄소 발생량이 변화하는 것을 예측하는 것을 포함할 수 있다.

[0082] 일부 실시예들에서, 알짜 이산화탄소 발생량을 예측하는 것(S143)은 상기 시멘트 혼합물로부터 상기 콘크리트를 제조하는 과정에서 발생하는 총 이산화탄소 양에서 상기 제조 과정에서 흡수하는 총 이산화탄소 양을 제외한 것을 의미할 수 있다. 구체적으로, 상기 제조 과정에서 흡수하는 총 이산화탄소 양은 단계 S130에서 예측되는 반응 생성물들 중 이산화탄소를 포함하는 반응 생성물, 예를 들어, 칼슘 카보네이트($CaCO_3$)의 양을 계산하여 산정할 수 있다.

[0083] S143에 따라 본 발명의 실험예들에서 상기 시멘트 혼합물로부터 콘크리트를 제조하는 과정에서의 알짜 이산화탄소 발생량을 예측한 결과는 도 6a 내지 도 6d와 같다.

[0084] 도 6a 내지 도 6d는 본 발명의 기술적 사상에 의한 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 콘크리트의 제조 과정에서 알짜 이산화탄소 발생량을 예측한 결과를 나타낸 그래프들이다. 도 6a 내지 도 6d의 그래프들에서 세로축은 알짜 이산화탄소 발생량이고, 단위는 Kg/tonne 이다.

[0085] 구체적으로, 도 6a는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 슬래그를 포함하는 경우의 콘크리트의 제조 과정에서 알짜 이산화탄소 발생량을 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 6a를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 슬래그의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 알짜 이산화탄소 발생량이 변화하는 것을 예측할 수 있다.

[0086] 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 슬래그의 중량비(wt%)가 0 wt% 에서 약 75 wt%으로 증가할 때까지는 알짜 이산화탄소 발생량을 낮출 것으로 예측할 수 있다. 이는 슬래그에 높은 비율(실시예의 경우, 약 40 wt% 이상)로 포함되는 CaO가 $CaCO_3$의 형태로 이산화탄소를 침전시키는 데에 효과적이기 때문으로 예측될 수 있다.

[0087] 구체적으로, 도 6b는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 플라이 애쉬를 포함하는 경우의 콘크리트의 제조 과정에서 알짜 이산화탄소 발생량을 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 6b를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 플라이 애쉬의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 알짜 이산화탄소 발생량이 변화하는 것을 예측할 수 있다.

[0088] 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 플라이 애쉬의 중량비(wt%)가 0 wt% 에서 약 22 wt%으로 증가할 때까지는 알짜 이산화탄소 발생량을 낮춰, 혼화재의 중량비(wt%)가 약 22 wt% 인 시멘트 혼합물의 경우에서 가장 적은 양의 이산화탄소가 알짜로 발생될 것으로 예측할 수 있다. 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 플라이 애쉬의 중량비(wt%)가 약 50 wt% 를 초과하는 경우에서는 혼화재를 사용하지 않은, 즉 시멘트만 사용한 경우보다 알짜 이산화탄소 발생량이 높을 것으로 예측할 수 있다.

[0089] 구체적으로, 도 6c는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 메타카올린을 포함하는 경우의 콘크리트의 제조 과정에서 알짜 이산화탄소 발생량을 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 6c를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 메타카올린의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 알짜 이산화탄소 발생량이 변화하는 것을 예측할 수 있다.

[0090] 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 메타카올린의 중량비(wt%)가 약 20 wt% 내지 약 50 wt% 인 구간에서 가장 적은 양의 이산화탄소가 알짜로 발생될 것으로 예측할 수 있다.

[0091] 구체적으로, 도 6d는 본 발명의 실시예들에 따른 콘크리트 특성 예측 방법에 따라 실리카 퓸을 포함하는 경우의 콘크리트의 제조 과정에서 알짜 이산화탄소 발생량을 예측한 결과를 나타낸 그래프이다. 도 6d를 함께 참조하면, 상기 시멘트 혼합물에서 실리카 퓸의 중량비(wt%)가 0 wt%에서 100 wt%으로 변화함에 따라 알짜 이산화탄소 발생량이 변화하는 것을 예측할 수 있다.

[0092] 예를 들어, 상기 시멘트 혼합물에서 실리카 퓸의 중량비(wt%)가 0 wt% 에서 약 22 wt%으로 증가할 때까지는 알짜 이산화탄소 발생량을 낮춰, 혼화재의 중량비(wt%)가 약 22 wt% 인 시멘트 혼합물의 경우에서 가장 적은 양의 이산화탄소가 알짜로 발생될 것으로 예측할 수 있다. 이는 도 6b를 통해 예측할 수 있는 플라이 애쉬의 경우와 유사할 것으로 예측할 수 있다.

[0093] 본 명세서의 도 2 및 도 6a 내지 도 6d에 의해, 시멘트 및 혼화재를 포함하는 시멘트 혼합물에서 혼화재의 중량비(wt%)에 따른 상기 콘크리트를 제조하는 과정에서의 알짜 이산화탄소 발생량을 예측할 수 있다. 즉, 도 2 및

도 6a 내지 도 6d에 의해, 혼화재의 화학 조성 및 중량비(wt%)에 따른 콘크리트 특성 예측 방법이 제공될 수 있다.

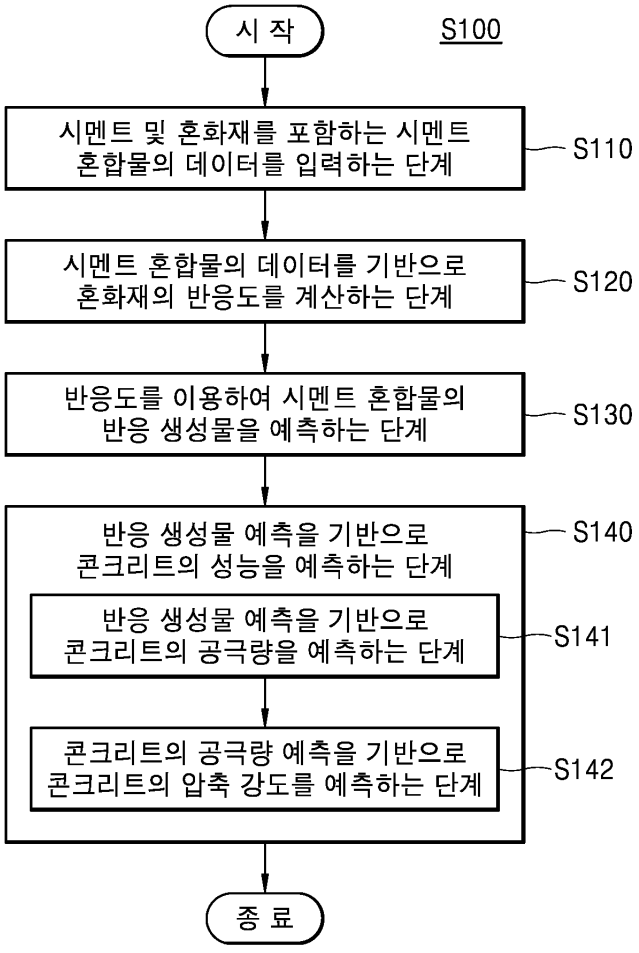
[0094] 이상, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예를 설명하였지만, 이상에서 기술한 실시 예에는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

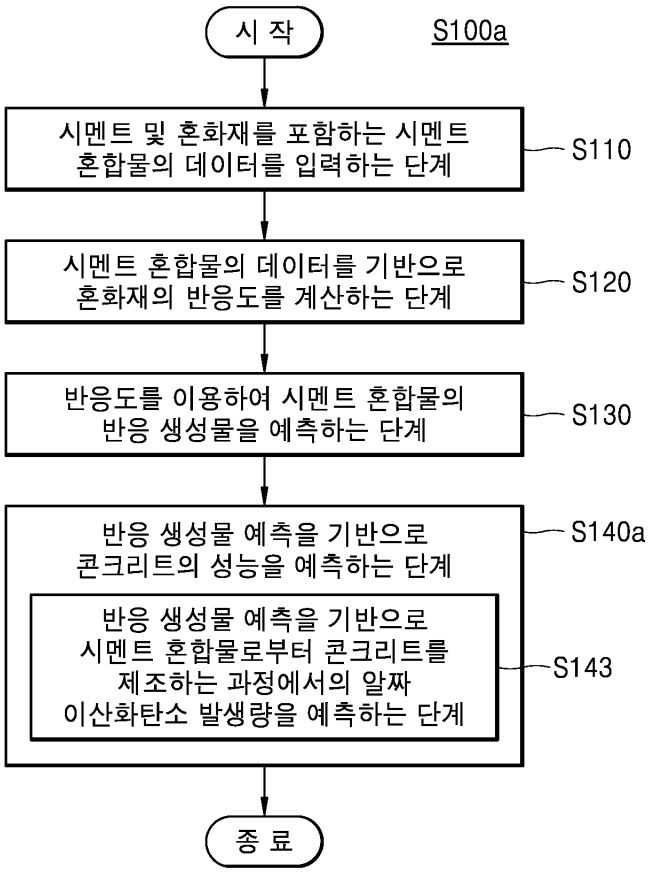
[0095] S100, S100a: 콘크리트 특성 예측 방법, S110: 시멘트 혼합물의 데이터를 입력하는 단계, S120: 혼화재의 반응도를 계산하는 단계, S130: 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측하는 단계, S140, S140a: 콘크리트의 특성을 예측하는 단계

도면

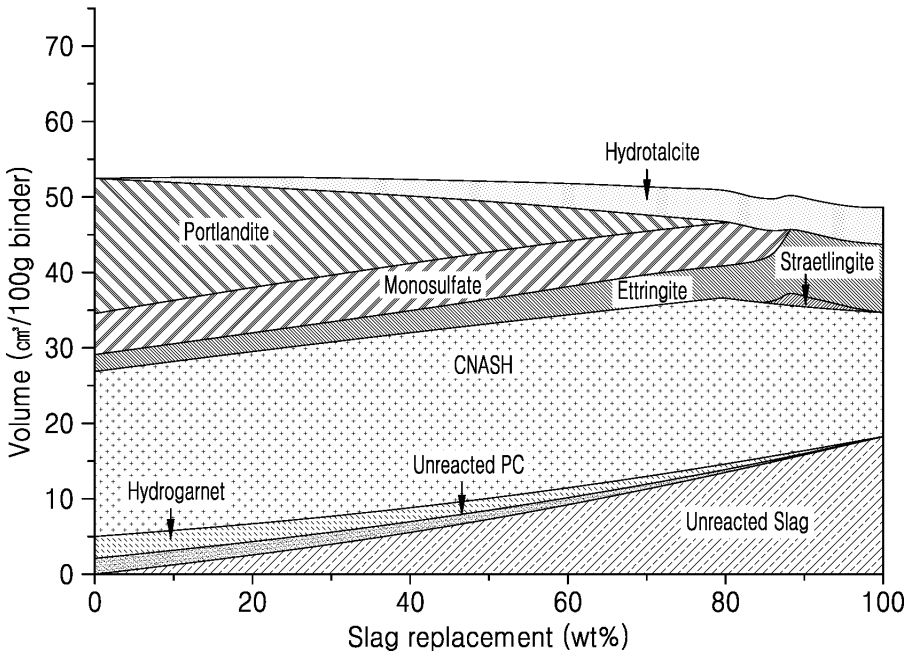
도면1



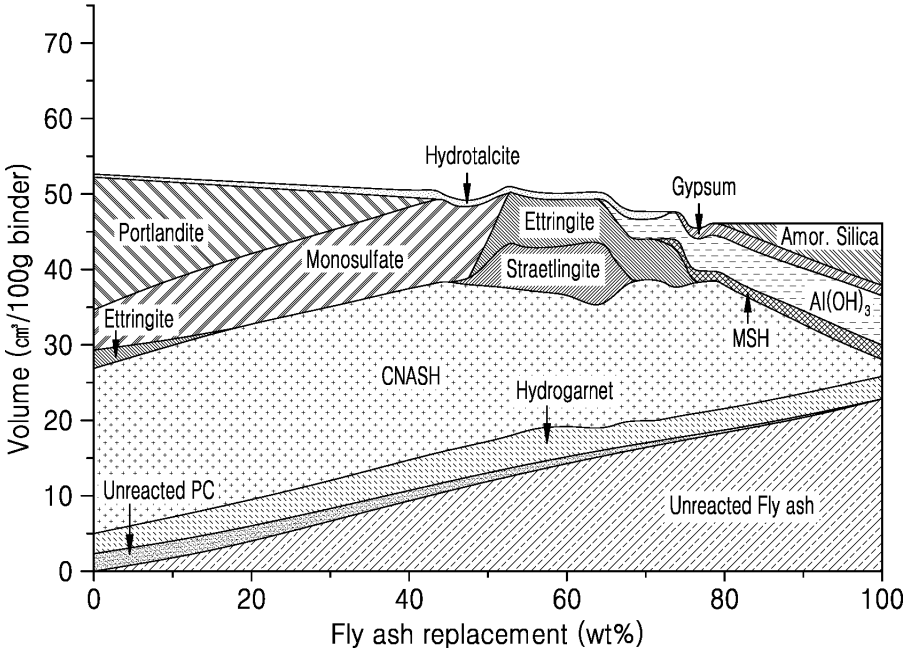
도면2


시 작
S100a
시멘트 및 혼화재를 포함하는 시멘트 혼합물의 데이터를 입력하는 단계
S110
시멘트 혼합물의 데이터를 기반으로 혼화재의 반응도를 계산하는 단계
S120
반응도를 이용하여 시멘트 혼합물의 반응 생성물을 예측하는 단계
S130
반응 생성물 예측을 기반으로 콘크리트의 성능을 예측하는 단계
S140a
반응 생성물 예측을 기반으로 시멘트 혼합물로부터 콘크리트를 제조하는 과정에서의 알짜 이산화탄소 발생량을 예측하는 단계
S143
종 료

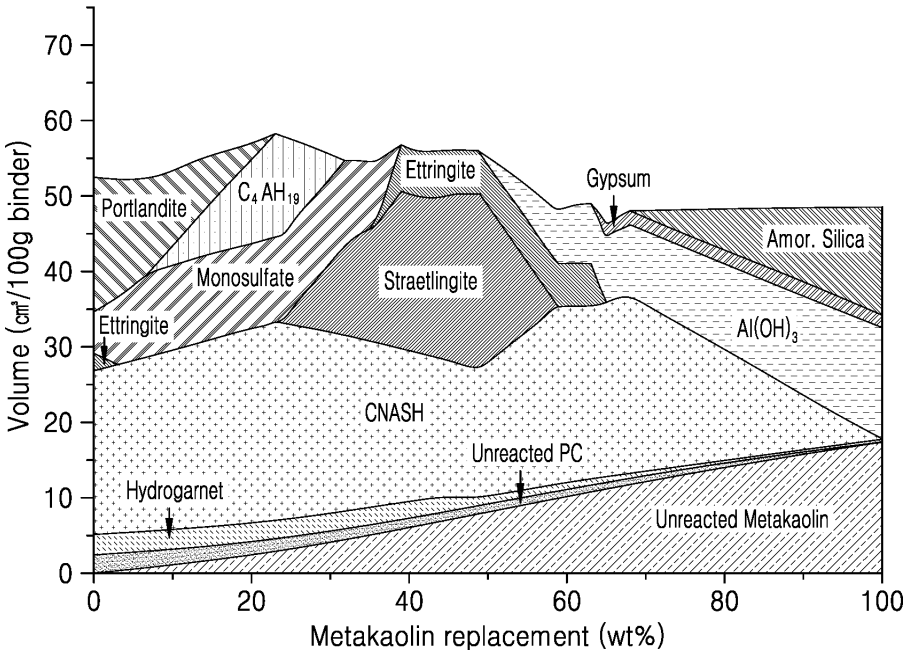
도면3a


Volume (㎤/100g binder)
Slag replacement (wt%)
0
10
20
30
40
50
60
70
0
20
40
60
80
100
Hydrotalcite
Portlandite
Straetlingite
Monosulfate
Ettringite
CNASH
Unreacted PC
Hydrogarnet
Unreacted Slag

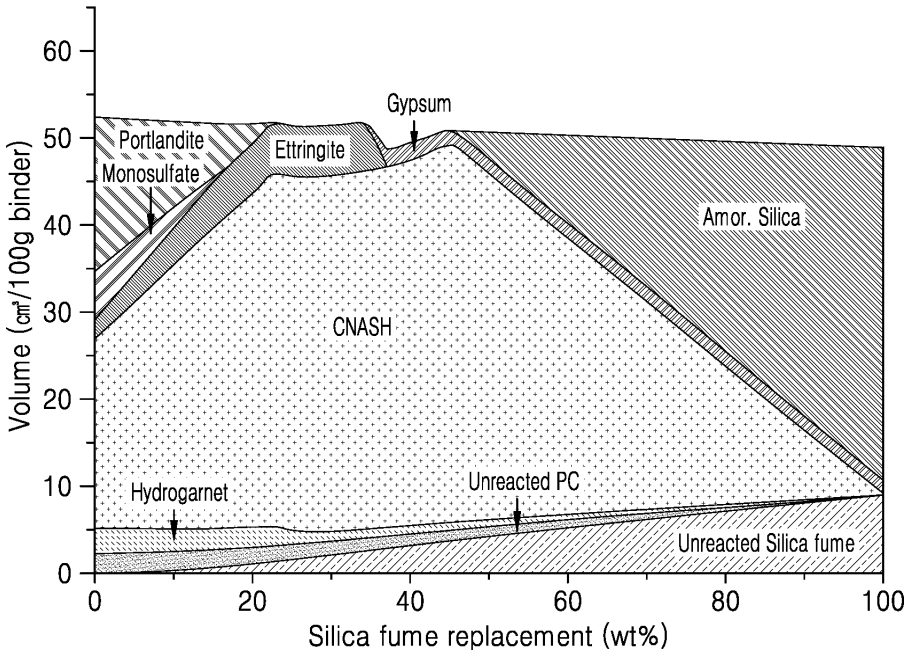
도면3b


Volume (㎤/100g binder)
Fly ash replacement (wt%)
Hydrotalcite
Gypsum
Portlandite
Ettringite
Amor. Silica
Monosulfate
Straetlingite
Al(OH)3
Ettringite
MSH
CNASH
Hydrogarnet
Unreacted PC
Unreacted Fly ash

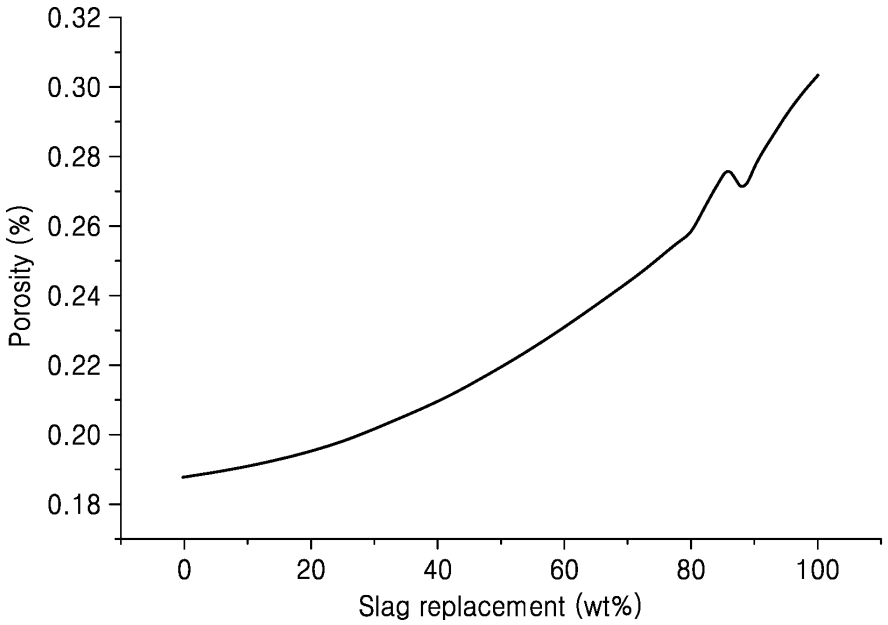
도면3c


Volume (㎤/100g binder)
Metakaolin replacement (wt%)
C4 AH19
Ettringite
Gypsum
Portlandite
Amor. Silica
Monosulfate
Straetlingite
Ettringite
Al(OH)3
CNASH
Unreacted PC
Hydrogarnet
Unreacted Metakaolin

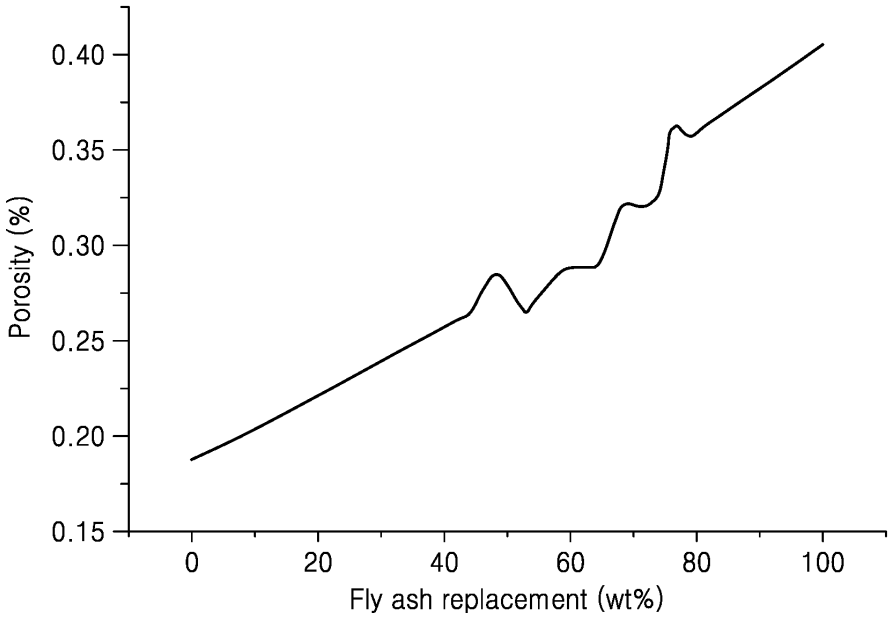
도면3d


Volume (㎤/100g binder)
Silica fume replacement (wt%)
Portlandite
Monosulfate
Ettringite
Gypsum
Amor. Silica
CNASH
Hydrogarnet
Unreacted PC
Unreacted Silica fume
0
10
20
30
40
50
60
0
20
40
60
80
100

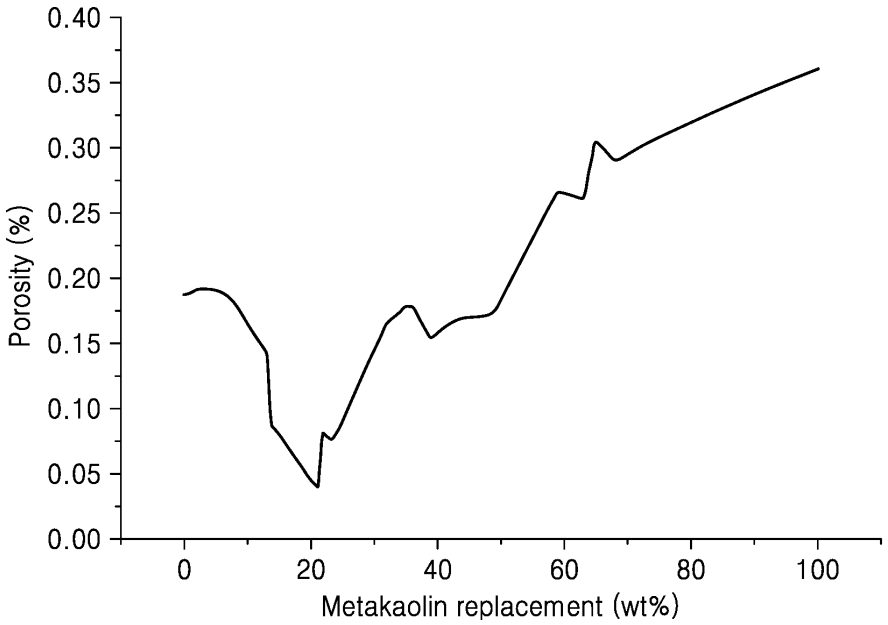
도면4a


Porosity (%)
Slag replacement (wt%)
0.18
0.20
0.22
0.24
0.26
0.28
0.30
0.32
0
20
40
60
80
100

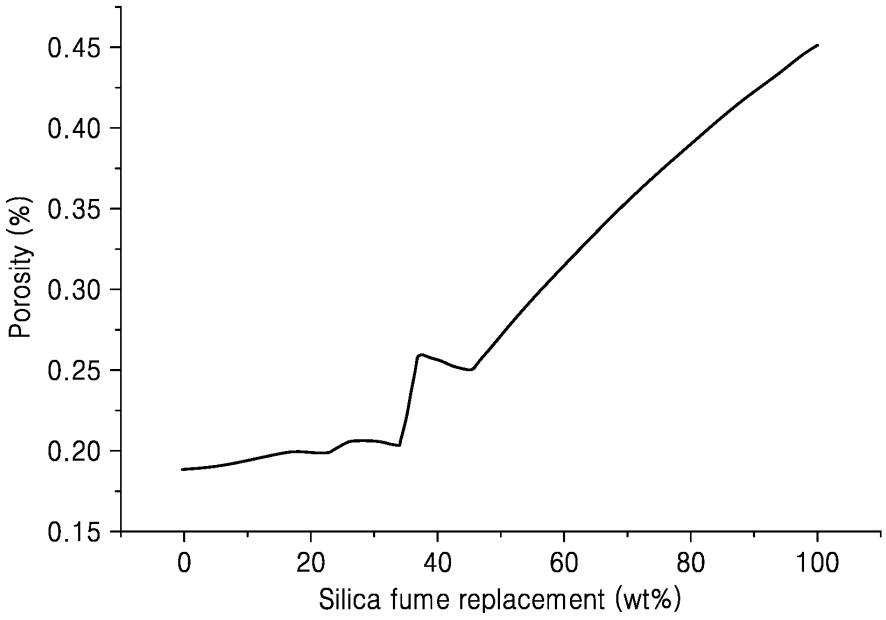
도면4b


0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
Porosity (%)
0
20
40
60
80
100
Fly ash replacement (wt%)

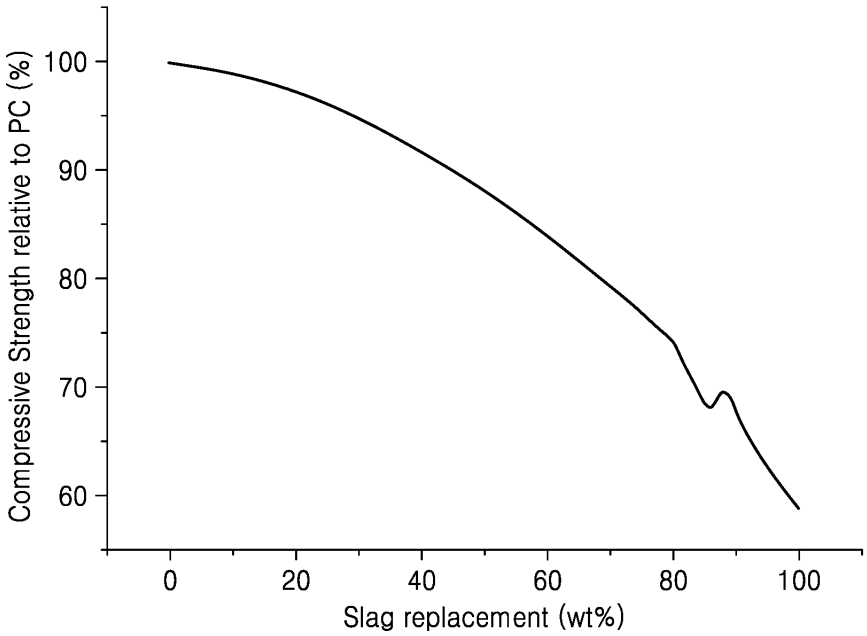
도면4c


0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
Porosity (%)
0
20
40
60
80
100
Metakaolin replacement (wt%)

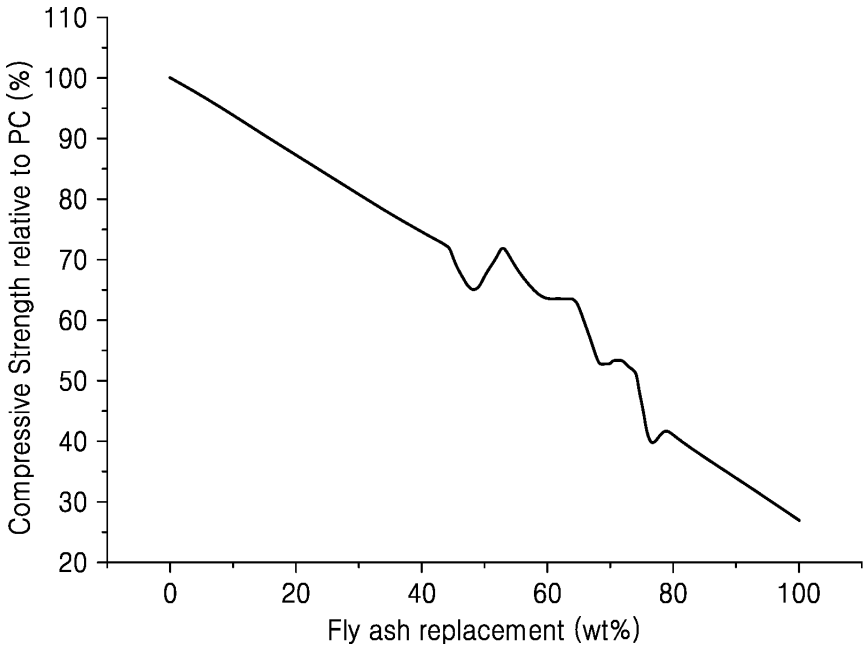
도면4d


0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
Porosity (%)
0
20
40
60
80
100
Silica fume replacement (wt%)

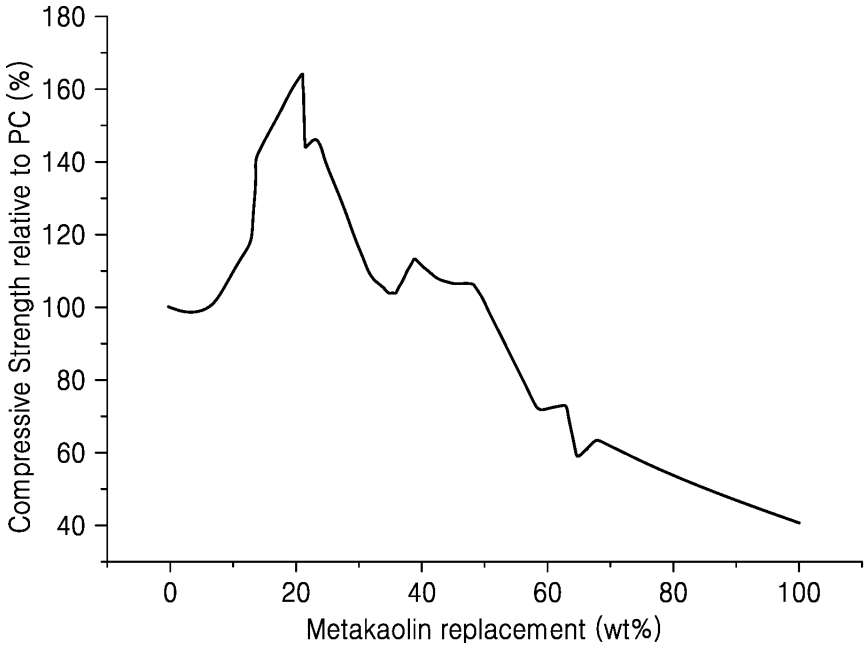
도면5a


100
90
80
70
60
Compressive Strength relative to PC (%)
0
20
40
60
80
100
Slag replacement (wt%)

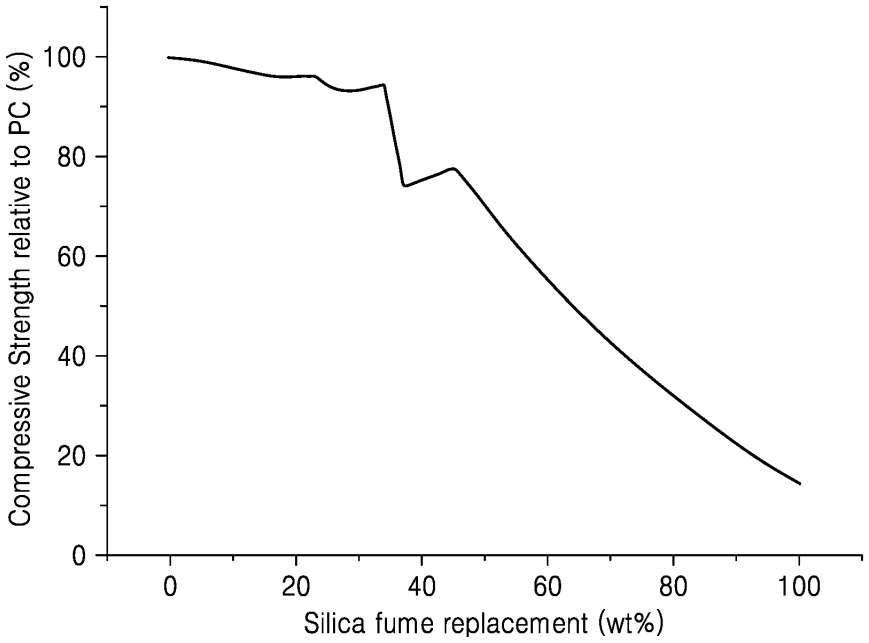
도면5b


Compressive Strength relative to PC (%)
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
0
20
40
60
80
100
Fly ash replacement (wt%)

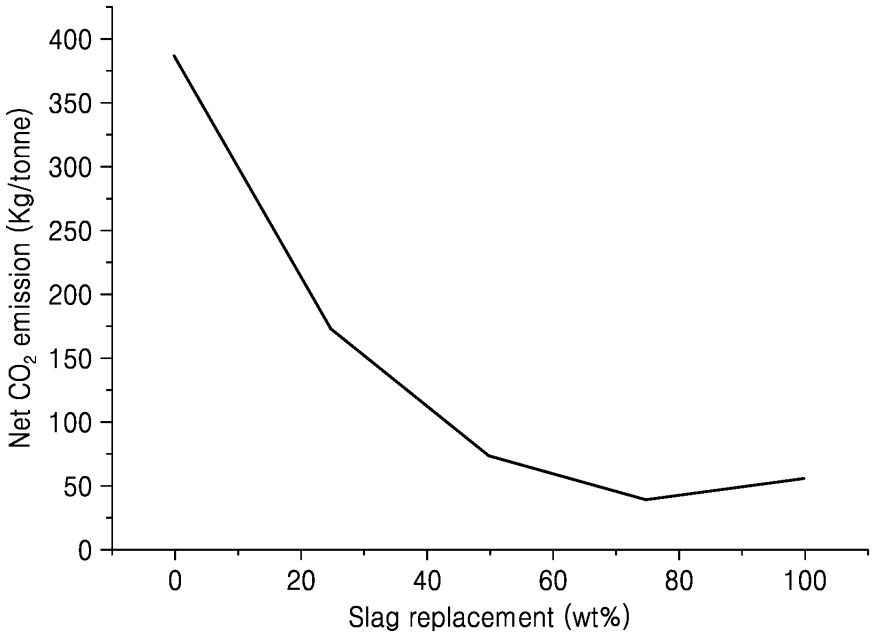
도면5c


Compressive Strength relative to PC (%)
180
160
140
120
100
80
60
40
0
20
40
60
80
100
Metakaolin replacement (wt%)

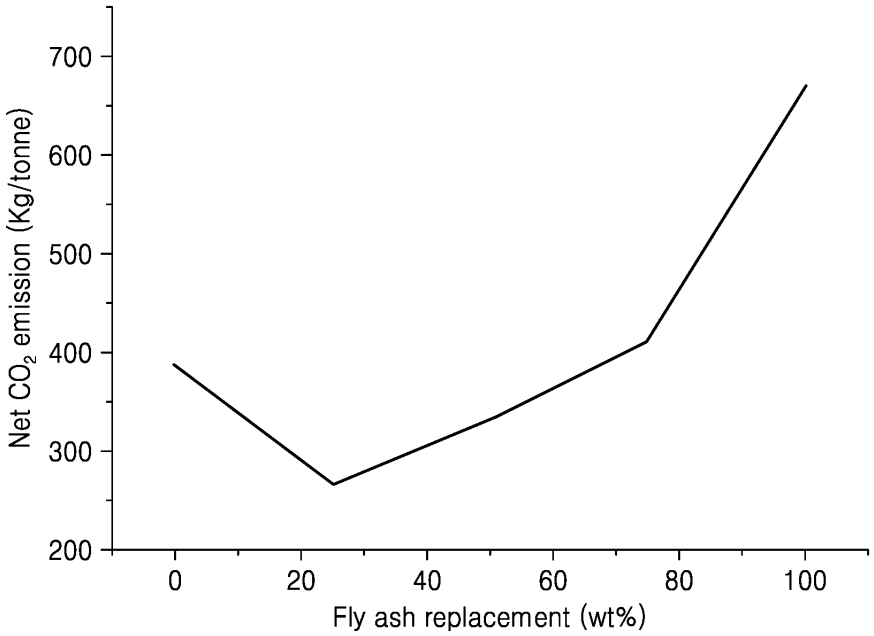
도면5d


Compressive Strength relative to PC (%)
0
20
40
60
80
100
0
20
40
60
80
100
Silica fume replacement (wt%)

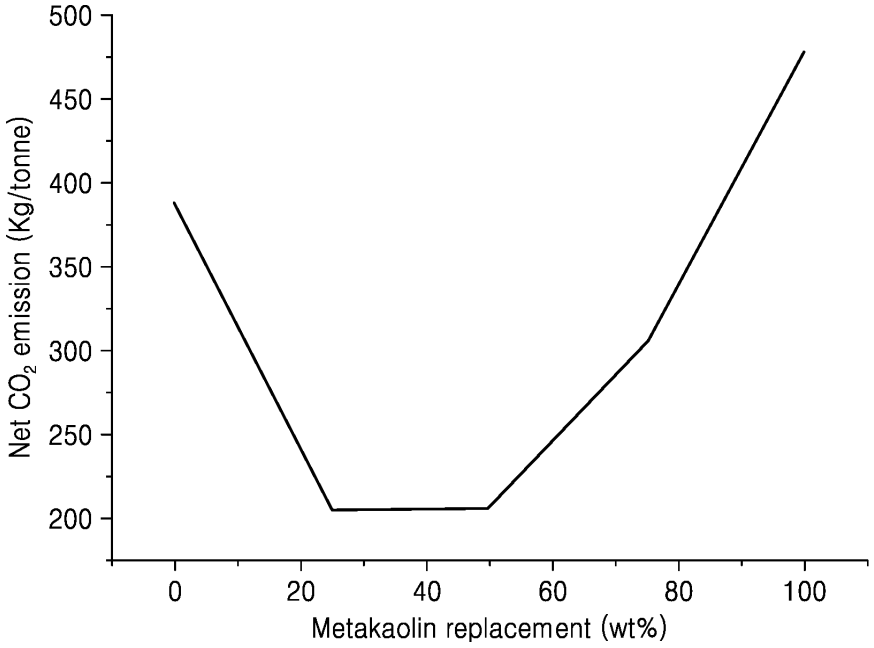
도면6a


Net CO_2 emission (Kg/tonne)
0
50
100
150
200
250
300
350
400
0
20
40
60
80
100
Slag replacement (wt%)

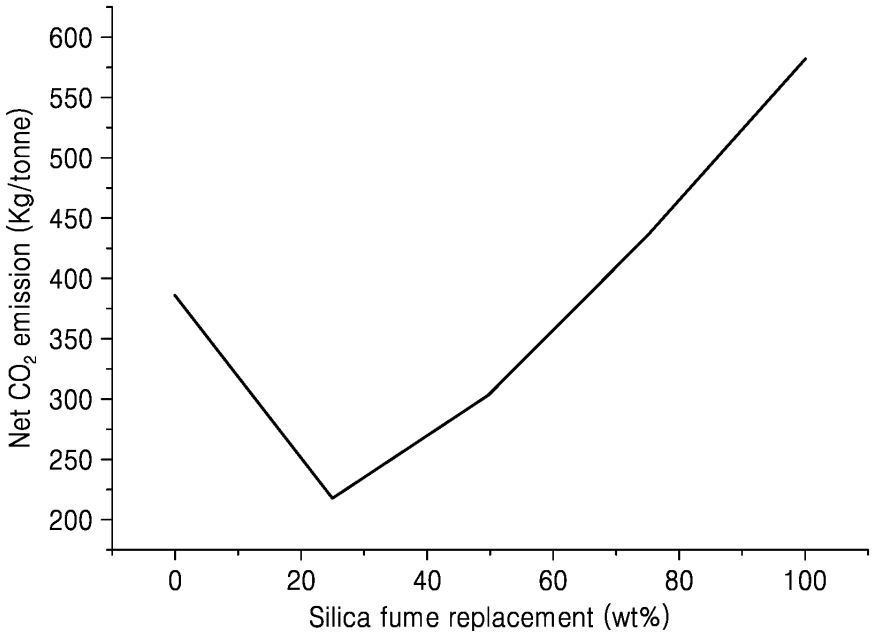
도면6b


Net CO_2 emission (Kg/tonne)
700
600
500
400
300
200
0
20
40
60
80
100
Fly ash replacement (wt%)

도면6c


Net CO_2 emission (Kg/tonne)
500
450
400
350
300
250
200
0
20
40
60
80
100
Metakaolin replacement (wt%)

도면6d


600
550
500
450
400
350
300
250
200
Net CO_2 emission (Kg/tonne)
0
20
40
60
80
100
Silica fume replacement (wt%)