(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0050609
(43) 공개일자 2025년04월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C04B 22/00 (2006.01) *C04B 22/06* (2006.01)
C04B 22/10 (2006.01) *C04B 24/10* (2006.01)
C04B 28/00 (2006.01) *C04B 28/02* (2006.01)
C04B 7/24 (2006.01) *C04B 111/10* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C04B 22/0026 (2013.01)
C04B 22/064 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0133809
(22) 출원일자 2023년10월06일
심사청구일자 2023년10월06일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
오재은
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원
김도훈
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원
(74) 대리인
특허법인지원

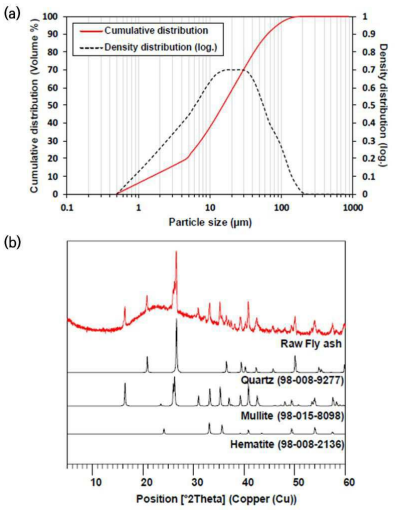
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **역삼투압 해수농축수를 이용한 무시멘트 결합재 및 이의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 무시멘트 결합재에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 역삼투압 해수농축수를 이용한 중성자 차폐가 가능한 무시멘트 결합재 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C04B 22/10 (2013.01)
C04B 24/10 (2013.01)
C04B 28/006 (2013.01)
C04B 28/021 (2013.01)
C04B 7/243 (2013.01)
C04B 2111/1037 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711186663
과제번호 2021R1A4A1030867
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 집단연구지원
연구과제명 탄소중립형 고성능 무시멘트 콘크리트 및 구조적용 기술 개발
과제수행기관명 울산과학기술원
연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29

명 세 서

청구범위

청구항 1

플라이 애쉬(Fly ash), 수산화칼슘($Ca(OH)_2$), 탄산나트륨(Na_2CO_3) 및 수크로스($C_{12}H_{22}O_{11}$)를 함유한 바인더; 및

역삼투압(RO) 해수농축수를 포함하며,

상기 해수농축수는 상기 수산화칼슘의 소진을 촉진시키는 것인,

무시멘트 결합재 조성물.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO 및 Fe_2O_3을 포함하는 것인,

무시멘트 결합재 조성물.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO 및 Fe_2O_3의 순서로 함량이 분포되는 것인,

무시멘트 결합재 조성물.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, MgO, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, SO_3, SrO, BaO, ZrO_2, MnO, V_2O_5, ZnO, Cr_2O_3, CuO, NiO, Y_2O_3 및 Ga_2O_3으로 구성되는 것인,

무시멘트 결합재 조성물.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 바인더에서 상기 플라이 애쉬 100 중량부, 상기 수산화칼슘 25 중량부, 상기 탄산나트륨 10 중량부 및 상기 수크로스 0.5 중량부로 구성되는 것인,

무시멘트 결합재 조성물.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 바인더 100 중량부 대비 상기 해수농축수는 40 중량부인 것인,

무시멘트 결합재 조성물.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 해수농축수는 나트륨 이온(Na^+) 19079 ppm 및 염소 이온(Cl^-) 38600 ppm을 포함하는 것인,

무시멘트 결합재 조성물.

청구항 8

플라이 애쉬(Fly ash), 수산화칼슘($Ca(OH)_2$), 탄산나트륨(Na_2CO_3) 및 수크로스($C_{12}H_{22}O_{11}$)를 혼합한 바인더 혼합물을 준비하는 단계;

상기 바인더 혼합물에 역삼투압(RO) 해수농축수를 투입하여 무시멘트 결합재 조성물을 제조하는 단계; 및

상기 무시멘트 결합재 조성물을 경화하는 단계를 포함하며,

상기 해수농축수는 상기 수산화칼슘의 소진을 촉진시키는 것인,

무시멘트 결합재의 제조방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO 및 Fe_2O_3을 포함하는 것인,

무시멘트 결합재의 제조방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO 및 Fe_2O_3의 순서로 함량이 분포되는 것인,

무시멘트 결합재의 제조방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, MgO, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, SO_3, SrO, BaO, ZrO_2, MnO, V_2O_5, ZnO, Cr_2O_3, CuO, NiO, Y_2O_3 및 Ga_2O_3으로 구성되는 것인,

무시멘트 결합재의 제조방법.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 바인더에서 상기 플라이 애쉬 100 중량부, 상기 수산화칼슘 25 중량부, 상기 탄산나트륨 10 중량부 및 상

기 수크로스 0.5 중량부로 구성되는 것인,

무시멘트 결합재의 제조방법.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 바인더 100 중량부 대비 상기 해수농축수는 40 중량부인 것인,

무시멘트 결합재의 제조방법.

청구항 14

제6항에 있어서,

상기 해수농축수는 나트륨 이온(Na^+) 19079 ppm 및 염소 이온(Cl^-) 38600 ppm을 포함하는 것인,

무시멘트 결합재의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 무시멘트 결합재에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 역삼투압 해수농축수를 이용한 중성자 차폐가 가능한 무시멘트 결합재 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 방사선은 높은 에너지를 가지고 있어 물질의 특성을 변화시킬 수 있으며, 특히 생물이 강한 방사선에 노출되거나 방사선을 방출하는 방사성 물질을 흡수하면 세포 및 세포 내 DNA가 손상될 수 있다. 방사선 중 γ선과 중성자선은 물질 투과력이 강하여 방사선 차폐 시 가장 조심해야 하며, 특히 중성자선은 핵분열 시 발생하는 중성자, 핵분열 생성물의 방사 붕괴, α 입자 충돌로 발생하는 중성자, Photoneutron 등 다양한 원인으로 발생하고 γ선에 비해 차폐가 매우 힘들다.

[0003] 기존 γ선 차폐 물질로 가장 많이 사용되는 물질로는 납이 있으나, 납의 경우, 중금속 물질로 인체에 축적될 경우, 납 중독 증상이 발생하여, 인체에 유해한 문제가 있으며, 기존의 중성자 차폐재는 폴리에틸렌을 기반으로 만들어져 열에 상당히 취약하며, 화재 시 열분해, 연소에 의해 자극성 가스, 유독성 가스, 인화성 증기, 일산화탄소, 이산화탄소 등이 발생한다.

[0004] 이에 따라, 저렴하고 가공이 쉬우며, 중성자 흡수/차폐 성능이 확보된 중성자 차폐재 개발 필요하며, 여러 방사선/중성자 차폐 소재의 단점을 보완할 수 있는 새로운 소재에 대한 필요성 크다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 공보 제10-1938528호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 RO(Reverse Osmosis) 농축폐수, 화력발전소 부산물 플라이 애쉬 등 활용되지 못하고 있는 산업부산물 자원을 활용하면서 기존의 콘크리트를 대체하고 중성자 차폐 기능을 보유한 새로운 건설재료를 제공하

는 것이다.

[0007] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 무시멘트 결합재 조성물은 플라이 애쉬(Fly ash), 수산화칼슘($Ca(OH)_2$), 탄산나트륨(Na_2CO_3) 및 수크로스($C_{12}H_{22}O_{11}$)를 함유한 바인더; 및 역삼투압(RO) 해수농축수를 포함하며, 상기 해수농축수는 상기 수산화칼슘의 소진을 촉진시키는 것일 수 있다.

[0009] 상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO 및 Fe_2O_3을 포함하는 것일 수 있으며, 상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO 및 Fe_2O_3의 순서로 함량이 분포되는 것일 수 있다.

[0010] 상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, MgO, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, SO_3, SrO, BaO, ZrO_2, MnO, V_2O_5, ZnO, Cr_2O_3, CuO, NiO, Y_2O_3 및 Ga_2O_3으로 구성되는 것일 수 있다.

[0011] 상기 바인더에서 상기 플라이 애쉬 100 중량부, 상기 수산화칼슘 25 중량부, 상기 탄산나트륨 10 중량부 및 상기 수크로스 0.5 중량부로 구성될 수 있다.

[0012] 상기 바인더 100 중량부 대비 상기 해수농축수는 40 중량부일 수 있다.

[0013] 상기 해수농축수는 나트륨 이온(Na^+) 19079 ppm 및 염소 이온(Cl^-) 38600 ppm을 포함하는 것일 수 있다.

[0015] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 무시멘트 결합재의 제조방법은 플라이 애쉬(Fly ash), 수산화칼슘($Ca(OH)_2$), 탄산나트륨(Na_2CO_3) 및 수크로스($C_{12}H_{22}O_{11}$)를 혼합한 바인더 혼합물을 준비하는 단계; 상기 바인더 혼합물에 역삼투압(RO) 해수농축수를 투입하여 무시멘트 결합재 조성물을 제조하는 단계; 및 상기 무시멘트 결합재 조성물을 경화하는 단계를 포함하며, 상기 해수농축수는 상기 수산화칼슘의 소진을 촉진시키는 것일 수 있다.

[0016] 상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO 및 Fe_2O_3을 포함하는 것일 수 있으며, 상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO 및 Fe_2O_3의 순서로 함량이 분포되는 것일 수 있다.

[0017] 상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, MgO, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, SO_3, SrO, BaO, ZrO_2, MnO, V_2O_5, ZnO, Cr_2O_3, CuO, NiO, Y_2O_3 및 Ga_2O_3으로 구성되는 것일 수 있다.

[0018] 상기 바인더에서 상기 플라이 애쉬 100 중량부, 상기 수산화칼슘 25 중량부, 상기 탄산나트륨 10 중량부 및 상기 수크로스 0.5 중량부로 구성될 수 있다.

[0019] 상기 바인더 100 중량부 대비 상기 해수농축수는 40 중량부일 수 있다.

[0020] 상기 해수농축수는 나트륨 이온(Na^+) 19079 ppm 및 염소 이온(Cl^-) 38600 ppm을 포함하는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명은 역삼투압 해수농축수를 이용하여 물성이 개선된 무시멘트 결합재를 제공하는 효과가 있다.

[0022] 또한, 본 발명은 중성자 차폐가 가능한 무시멘트 결합재를 제공하는 효과가 있다.

[0023] 본 발명의 기술적 효과들은 이상에서 언급한 것들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 플라이 애시의 입도 분석 결과를 도시한 것이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 무시멘트 결합재의 압축강도 측정 결과를 도시한 것이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 무시멘트 결합재의 XRD 분석 결과를 도시한 것이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 무시멘트 결합재의 열중량 분석(TGA)을 수행 결과를 도시한 것이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 무시멘트 결합재에 대하여 양생 일자별 MIP 분석 결과를 도시한 것이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 중성자 차폐 성능 실험 모식도를 도시한 것이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 선형감쇠계수(Linear attenuation coefficient, μ_{linear}) 및 질량감쇠계수(Mass attenuation coefficient, μ_{mass}) 분석 결과를 도시한 것이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 평균자유행로(mean free path, MFP), 반가층(half-value layer, HVL), 십가층(tenth-value layer, TVL) 분석 결과를 도시한 것이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 열중성자 차폐율 분석 결과를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예에 대하여 상세히 설명하고자 한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 또한, 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따른 무시멘트 결합재 조성물은 플라이 애쉬(Fly ash), 수산화칼슘($Ca(OH)_2$), 탄산나트륨(Na_2CO_3) 및 수크로스($C_{12}H_{22}O_{11}$)를 함유한 바인더; 및 해수농축수를 포함한다.

[0028] 상기 플라이 애쉬는 이산화규소(SiO_2)와 산화알루미늄(Al_2O_3)이 주요 물질로서 구성되는 것일 수 있으며, 보다 구체적으로, 상기 플라이 애쉬는 이산화규소(SiO_2)와 산화알루미늄(Al_2O_3)가 전체 플라이 애쉬 함량 중 과반이상 함량을 차지하는 것일 수 있다.

[0029] 상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO 및 Fe_2O_3을 포함하는 것일 수 있으며, 상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO 및 Fe_2O_3의 순서로 함량이 분포되는 것일 수 있다.

[0030] 상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, MgO, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, SO_3, SrO, BaO, ZrO_2, MnO, V_2O_5, ZnO, Cr_2O_3, CuO, NiO, Y_2O_3 및 Ga_2O_3으로 구성되는 것일 수 있다.

[0031] 상기 바인더에서 상기 플라이 애쉬 100 중량부, 상기 수산화칼슘 25 중량부, 상기 탄산나트륨 10 중량부 및 상기 수크로스 0.5 중량부로 구성되는 것일 수 있다.

[0032] 상기 바인더 100 중량부 대비 상기 해수농축수는 40 중량부일 수 있다.

[0033] 상기 해수농축수는 해수(seawater)를 역삼투압(reverse osmosis)을 이용한 것일 수 있으며, 역삼투압에 따른 해수폐수일 수 있다. 상기 해수농축수는 상기 수산화칼슘의 소진을 촉진시키는 것일 수 있으며, 상기 해수농축수는 나트륨 이온(Na+) 19079 ppm 및 염소 이온(Cl^-) 38600 ppm을 포함한다.

[0035] 본 발명의 일 실시예에 따른 무시멘트 결합재의 제조방법은, 플라이 애쉬(Fly ash), 수산화칼슘($Ca(OH)_2$), 탄산나트륨(Na_2CO_3) 및 수크로스($C_{12}H_{22}O_{11}$)를 혼합한 바인더 혼합물을 준비하는 단계; 상기 바인더 혼합물에 해수농축수를 투입하여 무시멘트 결합재 조성물을 제조하는 단계; 및 상기 무시멘트 결합재 조성물을 경화하는 단계를 포함한다.

[0036] 상기 플라이 애쉬는 이산화규소(SiO_2)와 산화알루미늄(Al_2O_3)이 주요 물질로서 구성되는 것일 수 있으며, 보다 구체적으로, 상기 플라이 애쉬는 이산화규소(SiO_2)와 산화알루미늄(Al_2O_3)가 전체 플라이 애쉬 함량 중 과반이상 함량을 차지하는 것일 수 있다.

[0037] 상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO 및 Fe_2O_3을 포함하는 것일 수 있으며, 상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO 및 Fe_2O_3의 순서로 함량이 분포되는 것일 수 있다.

[0038] 상기 플라이 애쉬는 SiO_2, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, MgO, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, SO_3, SrO, BaO, ZrO_2, MnO, V_2O_5, ZnO, Cr_2O_3, CuO, NiO, Y_2O_3 및 Ga_2O_3으로 구성되는 것일 수 있다.

[0039] 상기 바인더에서 상기 플라이 애쉬 100 중량부, 상기 수산화칼슘 25 중량부, 상기 탄산나트륨 10 중량부 및 상기 수크로스 0.5 중량부로 구성되는 것일 수 있다.

[0040] 상기 바인더 100 중량부 대비 상기 해수농축수는 40 중량부일 수 있다.

[0041] 상기 해수농축수는 해수(seawater)를 역삼투압(reverse osmosis)을 이용한 것일 수 있으며, 역삼투압에 따른 해수폐수일 수 있다. 상기 해수농축수는 상기 수산화칼슘의 소진을 촉진시키는 것일 수 있으며, 상기 해수농축수는 나트륨 이온(Na+) 19079 ppm 및 염소 이온(Cl^-) 38600 ppm을 포함할 수 있다.

[0043] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 상세히 설명하고자 한다. 이하의 실시예는 본 발명을 이해하는 것에 불과한 것일 뿐, 본 발명을 제한하는 것은 아니다.

[0045] **준비예 1. 플라이 애시(Fly ash)의 준비**

[0046] 하기 표 1의 조성을 갖는 플라이 애시(Fly ash; 석탄재)를 준비하였다.

표 1

[0047]

Fly ash	
Oxide	**Weight %**
SiO_2	48.94
Al_2O_3	26.57
CaO	8.25
Fe_2O_3	7.22
MgO	1.58
TiO_2	1.56
P_2O_5	1.45
K_2O	1.30
Na_2O	1.23
SO_3	1.06
SrO	0.26
BaO	0.26
ZrO_2	0.08
MnO	0.08
V_2O_5	0.05
ZnO	0.02
Cr_2O_3	0.02
CuO	0.02
NiO	0.02
Y_2O_3	0.01
Ga_2O_3	0.01
Sum	**99.99**

[0049] **실험예 1. 입도분석 및 XRD 분석**

[0050] 상기 준비예 1에서의 플라이 애시의 입도 분석 결과 및 XRD(X-ray diffraction) 분석 결과를 도 1에 도시하였다. 도 1의 (a)는 상기 준비예 1의 플라이 애시의 입도분석 결과를 도시한 것이다. 도 1의 (b)는 상기 준비예 1의 플라이 애시의 XRD 분석 결과를 도시한 것이다.

[0052] **준비예 2. 해수농축수 준비**

[0053] 하기 표 2의 성분 조성을 갖는 역삼투압(RO) 해수농축수(RO폐수)를 준비하였다.

표 2

[0054]

Na^{+}(ppm)	K^{+}(ppm)	Mg^{2+}(ppm)	Ca^{2+}(ppm)	Cl^{-}(ppm)	SO_4^{2-}(ppm)
19079	622	2664	852	38600	6700

[0056] **실험예 2. 해수농축수의 수질 분석**

[0057] 상기 준비예 2에의 해수농축에 대하여 해양환경공정시험기준(Korean standard method for marine environment)(2018) 및 APHA Standard Methods(2017)에 따라 수질분석을 수행하였으며, 분석 결과를 하기 표 3에 정리하였다.

표 3

[0058]

Parameters	Units	해수농축수	Water Quality Standard	Methods
pH	-	7.79	7.8 -8.3	Korean standard method for marine environment (2018)
Chemical Oxygen Demand(COD)	mg/L	2.8	< 1	
Suspended Solids(SS)	mg/L	12	< 10	
Total Nitrogen(T-N)	mg/L	0.677	< 0.05	
Total Solids(TS)	mg/L	76100	< 500	
Electrical Conductivity(EC)	μS/cm	115750	< 1000	APHA Standard Methods (2017)
Total Dissolved Solids(TDS)	mg/L	75800	< 500	

[0060] **제조예 1. 무시멘트 결합재 바인더 배합**

[0061] 상기 준비예 1의 플라이 애쉬(Fly ash), 수산화칼륨($Ca(OH)_2$), 탄산나트륨(Na_2CO_3), 수크로스($C_{12}H_{22}O_{11}$)를 하기 표 4의 배합비로 혼합하여 바인더(binder)을 제조하였다.

표 4

[0062]

플라이 애시	$Ca(OH)_2$	Na_2CO_3	$C_{12}H_{22}O_{11}$
100 g	25 g	10 g	0.5 g

[0064] **비교예. 탈이온수를 이용한 무시멘트 결합재 제조**

[0065] 상기 제조예 1의 혼합물 100 중량부(135.5 g)에 대하여, 탈이온수 40 중량부(54.2 g)를 혼합한 후, 70 ℃의 경화온도에서 1일(24 시간) 동안 무시멘트 결합재를 제조하였다.

[0067] **실시예. 해수농축수를 이용한 무시멘트 결합재 제조**

[0068] 상기 제조예 1의 혼합물 100 중량부(135.5 g)에 대하여 상기 준비예 2의 해수농축수 40 중량부(54.2 g)를 혼합한 후, 70 ℃의 경화온도에서 1일(24 시간) 동안 무시멘트 결합재를 제조하였다. 이때 상기 해수농축수에 함유된 Cl^-이온의 함량은 무시멘트 결합재 전체 중량에서 1.54 wt%를 차지한다.

[0070] **실험예 2. 압축강도 분석**

[0071] 상기 비교예 및 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재에 대하여 압축강도 분석을 수행하였으며, 양생 1일차(1d), 3일차(3d), 7일차(7d) 및 28일차(28d) 각각에 대하여 분석하였다. 분석결과를 도 2에 도시하였으며, 도 2에서 상기 비교예에서 제조된 무시멘트 결합재는 "FA-NC-W"로 표시하였으며, 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재는 "FA-NC-R"로 표시하였다.

[0073] 도 2를 참조하면, 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재의 압축강도가 비교예 대비 우수한 것을 확인할 수 있다.

[0075] **실험예 3. XRD 분석**

[0076] 상기 비교예 및 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재에 대하여 양생일자별 각각 XRD(X-ray Diffraction) 분석을 수행하였으며, 분석결과를 도 3에 도시하였다. 도 3의 (a)는 상기 비교예에서 제조된 무시멘트 결합재에 대한 XRD 분석 결과이며, 도 3의 (b)는 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재에 대한 XRD 분석 결과이다.

[0077] 도 3의 (a)에서 상기 비교예에서 제조된 무시멘트 결합재는 양생 1일차는 "FA-NC-W at 1 day", 양생 3일차는 "FA-NC-W at 3 day", 양생 7일차는 "FA-NC-W at 7 day", 양생 28일차는 "FA-NC-W at 28 day"로 표시하였다. 도 3의 (b)에서 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재는 양생 1일차는 "FA-NC-R at 1 day", 양생 3일차는 "FA-NC-R at 3 day", 양생 7일차는 "FA-NC-R at 7 day", 양생 28일차는 "FA-NC-R at 28 day"로 표시하였다.

[0078] 도 3을 참조하면, 도 3의 (a)와 대비하여 역삼투압 해수농축수를 이용한 도 3의 (b)의 경우, 수산화칼슘($Ca(OH)_2$) 소진 속도가 촉진됨에 따라 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)의 피크 세기가 약한 것을 확인할 수 있으며, 이는 도 2에서의 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재의 압축강도가 향상되었음을 확인할 수 있다.

[0080] **실험예 4. 열중량 분석(TGA)**

[0081] 상기 비교예 및 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재에 대하여 양생일자별 각각 열중량 분석(Thermogravimeteric analysis; TGA)을 수행하였으며, 분석결과를 도 4에 도시하였다. 도 4의 (a)는 상기 비교예에서 제조된 무시멘트 결합재에 대한 열중량 분석 결과이며, 도 4의 (b)는 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재에 대한 열중량 분석 결과이다.

[0082] 도 4의 (a)에서 상기 비교예에서 제조된 무시멘트 결합재는 양생 1일차는 "FA-NC-W at 1 day", 양생 3일차는 "FA-NC-W at 3 day", 양생 7일차는 "FA-NC-W at 7 day", 양생 28일차는 "FA-NC-W at 28 day"로 표시하였다. 도 4의 (b)에서 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재는 양생 1일차는 "FA-NC-R at 1 day", 양생 3일차는 "FA-NC-R at 3 day", 양생 7일차는 "FA-NC-R at 7 day", 양생 28일차는 "FA-NC-R at 28 day"로 표시하였다.

[0083] 도 4를 참조하면, 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재는 수산화칼슘($Ca(OH)_2$) 소모를 촉진하며(양생 1일차, 양생 3일차 참조), 이는 도 3의 (b)에서의 XRD 분석결과와 일치한다. 또한, 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재는 압축강도 발현의 주 요인이 되는 C-S-H에 해당하는 100 ℃ 부근의 피크(peak) 형성이 상대적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다(양생 1일차, 3일차, 7일차 참조). 일반적인 Calcite에 해당하는 피크는 500

내지 650 ℃이며, well-crystalline calcite는 800 ℃ 근처이다. well-crystalline calcite의 발생은 압축강도 발현에 긍정적인 영향을 주는 것으로 보고되어 왔으며, 실시예에서의 해수농축수를 사용하는 경우 well-crystalline calcite에 해당하는 피크가 생성된 것으로 보아 이 또한 압축강도 향상에 영향을 미친 것으로 예상할 수 있다.

[0085] **실험예 5. MIP 분석**

[0086] 상기 비교예 및 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재에 대하여 양생 일자별 MIP(mercury intrusion porosimetry) 분석을 수행하였으며, 분석결과를 도 5에 도시하였으며, 하기 표 5에 총 공극율을 정리하였다. 도 5에서 상기 비교예에서 제조된 무시멘트 결합재는 "FA-NC-W"로 표시하였으며, 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재는 "FA-NC-R"로 표시하였다. 도 5의 (a)는 양생 3일차(3 days)의 MIP 분석결과이며, 도 5의 (b)는 양생 28일차(28 days)의 MIP 분석결과이다.

표 5

[0087]

구분	양생일자 (Curing days)	Total porosity (%)
비교예	3	27.17
	28	18.35
실시예	3	25.64
	28	9.75

[0089] 도 5 및 표 5를 참조하면, 상기 실시에에서 제조된 무시멘트 결합재의 공극율이 감소한 것을 확인할 수 있다.

[0091] **실험예 6. 열중성자 차폐 성능 평가**

[0092] 상기 비교예 및 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재 양생 7일차에 150 x 150 x 50 mm^3 직육면체 시편(Concrete Sample)을 제작하여 중성자 차폐 성능 측정실험을 수행하였다.

[0093] 중성자 차폐 성능 측정은 ^{241}Am-Be(중성자 에너지 방출률: 1.227 x 10^7 s^{-1}) 이 중성자 선원으로 사용되었으며, 도 6에서와 같은 해당 선원을 고순도 그라파이트(High purity graphite) 블록 내부에 위치하도록 하며, 그라파이트 블록 일측에 직육면체 시편(Concrete Sample)을 위치시키고, 카드뮴 커버(Cadmium Cover)로 구성된 열 중성자 감지기(Thermal Neutron Detector)를 이용하여 고속중성자를 열중성자로 감속 후 실험을 진행하였다.

[0094] 상기 비교예 및 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재 양생 7일차에 대하여 하기 식 1로 표시되는 선형감쇠계수(Linear attenuation coefficient, μ_{linear}) 및 하기 식 2로 표시되는 질량감쇠계수(Mass attenuation coefficient, μ_{mass})를 도 7에 도시하였다. 도 7에서 상기 비교예에서 제조된 무시멘트 결합재는 "FA-NC-W"로 표시하였으며, 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재는 "FA-NC-R"로 표시하였다.

[0095] [식 1]

$$\mu_{linear} = \frac{1}{x} \ln \left(\frac{S_{th}}{R_{th}} \right)$$

[0096]

[0097] 식 1에서, S_{th}는 시편을 통과하는 열 중성자 개수비(Thermal neutron counting rate passing through the specimen)(s^{-1})이며, R_{air}는 시편이 아닌 공기 중 통과하는 열중성자 개수비(Thermal neutron counting rate at air without the specimen)(s^{-1})이다.

[0098] [식 2]

$$\mu_{mass} = \frac{\mu_{linear}}{\rho}$$

[0099]

[0100] 식 2에서 ρ는 결합재의 밀도이다.

[0101]

[0102] 상기 비교예 및 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재 양생 7일차에 대하여 식 1의 선형감쇠계수로부터 계산되는 하기 식 3으로 표시되는 평균자유행로(mean free path, MFP), 하기 식 4로 표시되는 반가층(half-value layer, HVL), 하기 식 5로 표시되는 십가층(tenth-value layer, TVL)을 도 8에 도시하였다. 도 8에서 상기 비교예에서 제조된 무시멘트 결합재는 "FA-NC-W"로 표시하였으며, 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재는 "FA-NC-R"로 표시하였다. 도 8의 (a)는 평균자유행로에 대한 것이며, (b)는 반가층에 대한 것이며, (c)는 십가층에 대한 것이다.

[0103] [식 3]

$$MFP = \frac{1}{\mu_{linear}}$$

[0104]

[0105] [식 4]

$$HVL = \frac{ln2}{\mu_{linear}}$$

[0106]

[0107] [식 5]

$$TVL = \frac{ln10}{\mu_{linear}}$$

[0108]

[0110] 상기 비교예 및 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재 양생 7일차에 대하여 식 1의 선형감쇠계수로부터 계산되는 하기 식 6으로 표시되는 열중성자 차폐율(, %)을 계산하여, 그에 대한 결과를 도 9에 도시하였다. 도 9에서 상기 비교예에서 제조된 무시멘트 결합재는 "FA-NC-W"로 표시하였으며, 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재는 "FA-NC-R"로 표시하였다.

[0111] [식 6]

$$Shielding\ Efficiency\ (\%) = \left[1 - \frac{S_{th}}{R_{air}}\right] \times 100$$

[0112]

[0113] 도 9를 참조하면, 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재는 중성자 차폐율이 98.76%에 이르는 것을 확인할 수 있다.

[0115] **실험예 7. 열중성자 차폐 벽돌 제작 및 평가**

[0116] 상기 실시예에서 제조된 무시멘트 결합재를 이용하여 벽돌(brick)을 제작하였으며, 제작된 벽돌에 대하여 수분 흡수율(Water absorption)을 분석하여 하기 표 6에 정리하였으며, 중금속 용출실험(TCLP) 결과를 하기 표 7에 정리하였다.

표 6

[0117]

Brick	Mass of saturated-surface-dry, m0(g)	Mass of absolute dry, m1 (g)	Water absorption(%)
실시예	1886.4	1697.5	11.13

[0119] 표 6에서, 벽돌의 표면건조포화상태 질량(Mass of saturated-surface-dry, m_0)과 벽돌의 절대건조질량(Mass of absolute dry, m_1)을 이용하여 수분흡수율을 계산하였다.

표 7

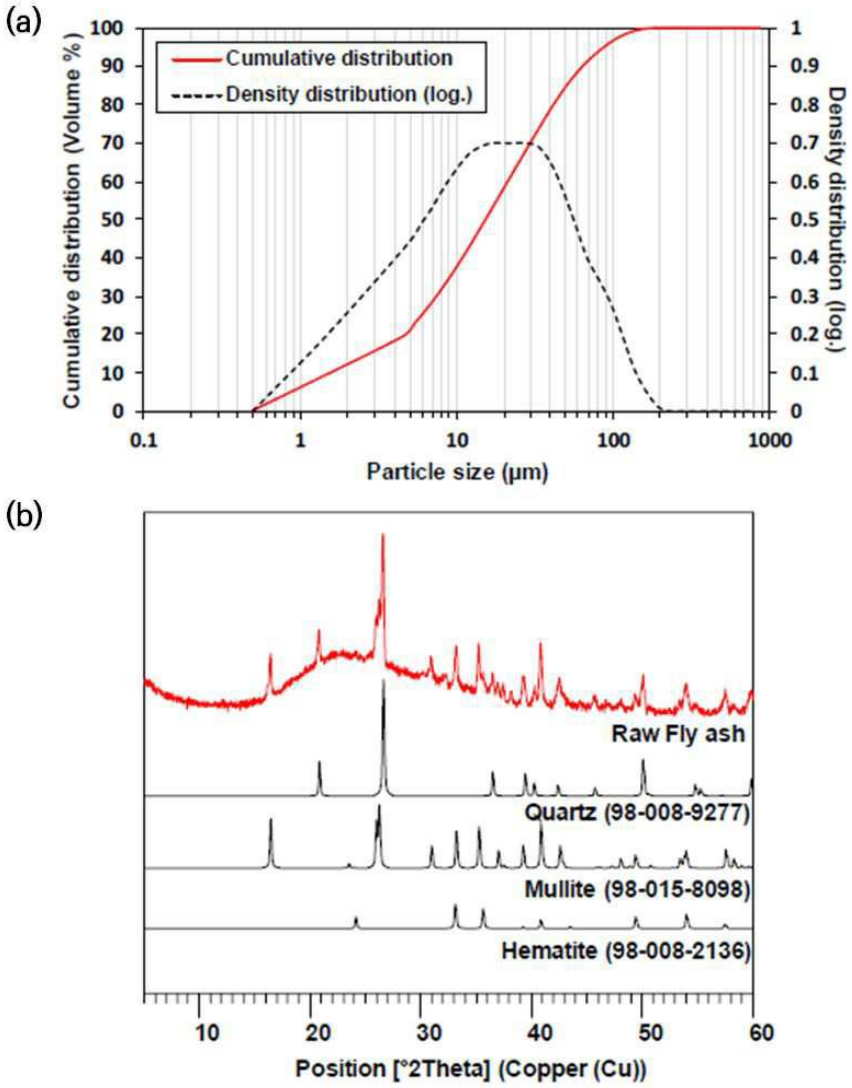
[0121]

Element	Regulated Level (ppm)	Concentration (ppm)			
		After the immersion leaching test			TCLP
		1 day	1 week	1 month	
Arsenic (As)	5	N.D.	N.D.	N.D.	0.002
Cadmium (Cd)	1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Chromium (Cr)	5	N.D.	N.D.	N.D.	0.001
Mercury (Hg)	0.2	N.D.	N.D.	N.D.	0.001
Lead (Pb)	5	N.D.	N.D.	N.D.	0.006

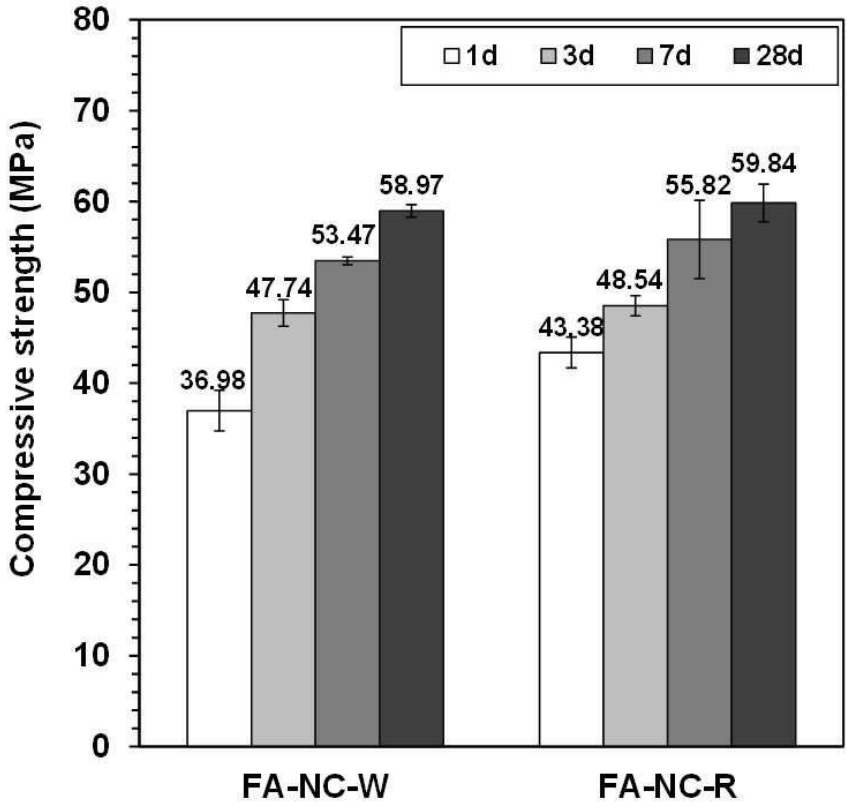
[0123] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지 만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하 고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

도면

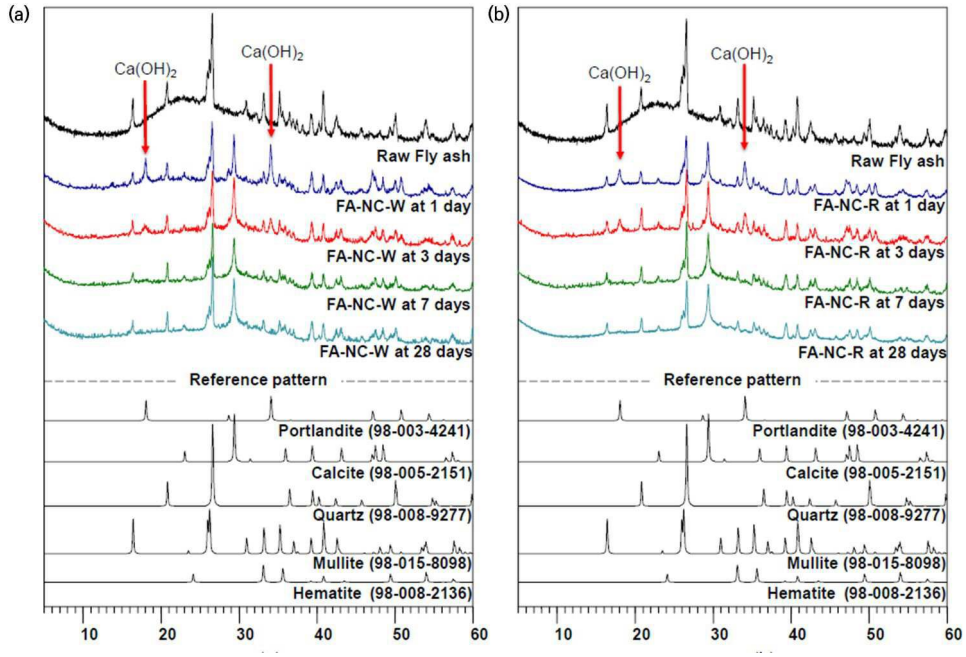
도면1


(a)
Cumulative distribution
Density distribution (log.)
Cumulative distribution (Volume %)
Density distribution (log.)
Particle size (μm)
(b)
Raw Fly ash
Quartz (98-008-9277)
Mullite (98-015-8098)
Hematite (98-008-2136)
Position [°2Theta] (Copper (Cu))

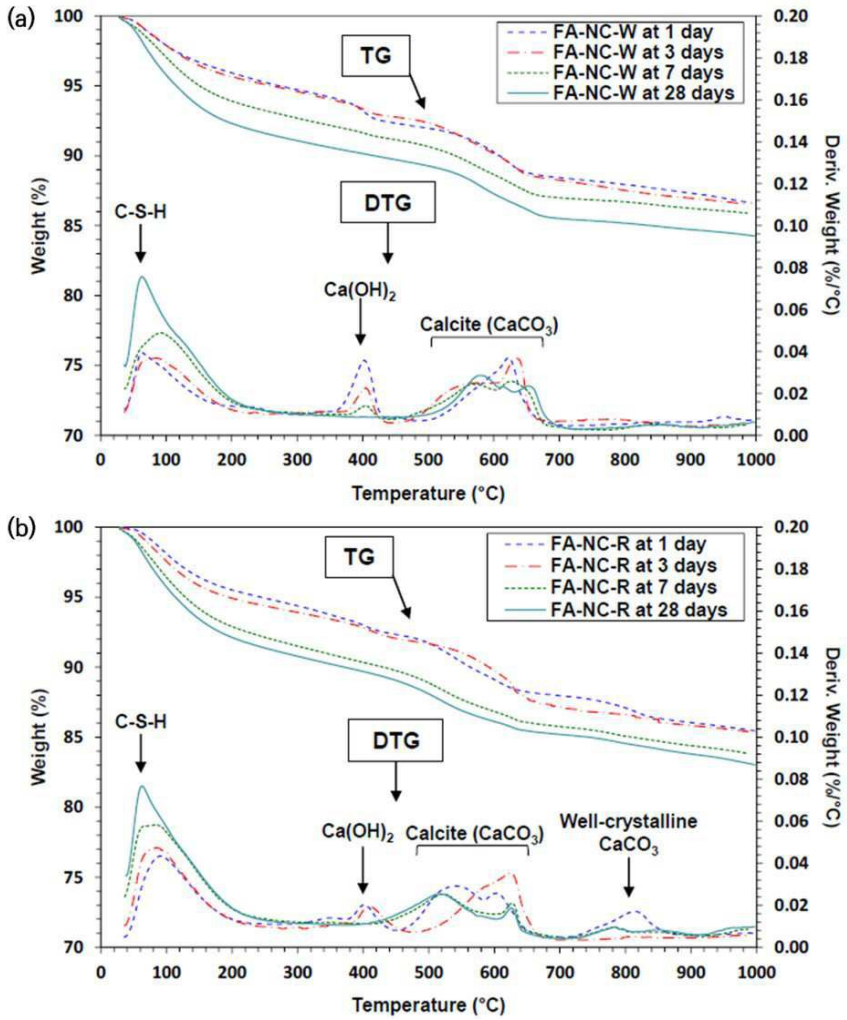
도면2


Compressive strength (MPa)
1d
3d
7d
28d
36.98
47.74
53.47
58.97
43.38
48.54
55.82
59.84
FA-NC-W
FA-NC-R

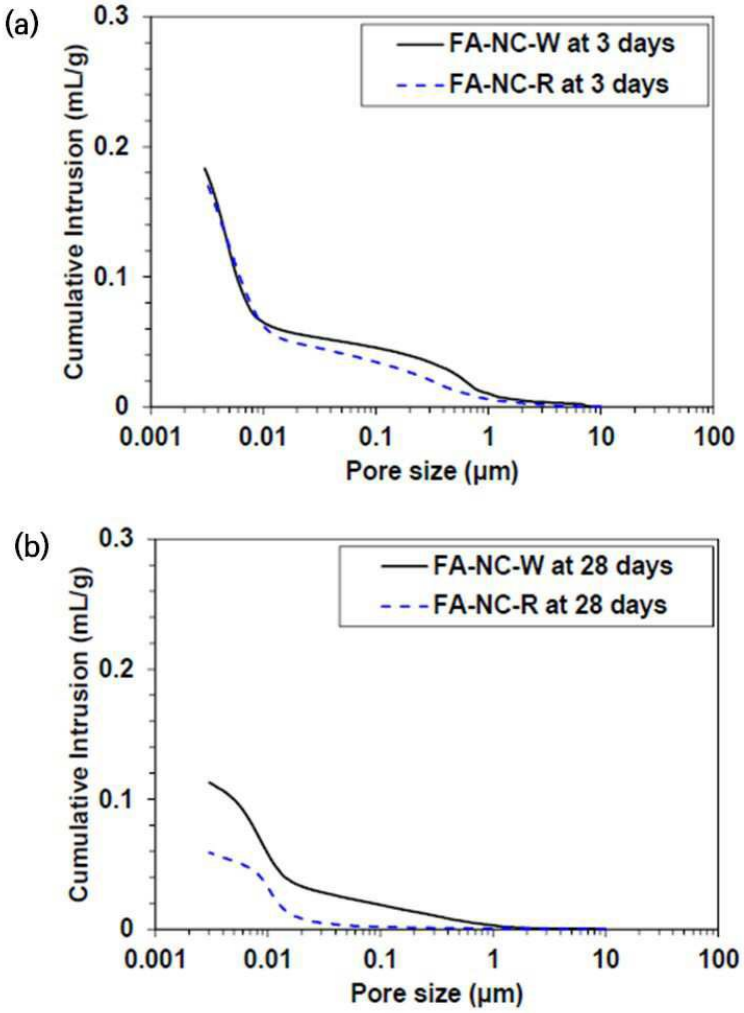
도면3


(a)
(b)
Ca(OH)2
Raw Fly ash
FA-NC-W at 1 day
FA-NC-W at 3 days
FA-NC-W at 7 days
FA-NC-W at 28 days
FA-NC-R at 1 day
FA-NC-R at 3 days
FA-NC-R at 7 days
FA-NC-R at 28 days
Reference pattern
Portlandite (98-003-4241)
Calcite (98-005-2151)
Quartz (98-008-9277)
Mullite (98-015-8098)
Hematite (98-008-2136)

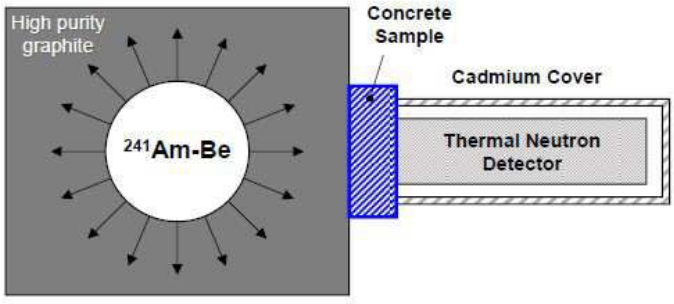
도면4


(a)
TG
DTG
FA-NC-W at 1 day
FA-NC-W at 3 days
FA-NC-W at 7 days
FA-NC-W at 28 days
C-S-H
Ca(OH)2
Calcite (CaCO3)
Weight (%)
Deriv. Weight (%/°C)
Temperature (°C)
(b)
TG
DTG
FA-NC-R at 1 day
FA-NC-R at 3 days
FA-NC-R at 7 days
FA-NC-R at 28 days
C-S-H
Ca(OH)2
Calcite (CaCO3)
Well-crystalline CaCO3
Weight (%)
Deriv. Weight (%/°C)
Temperature (°C)

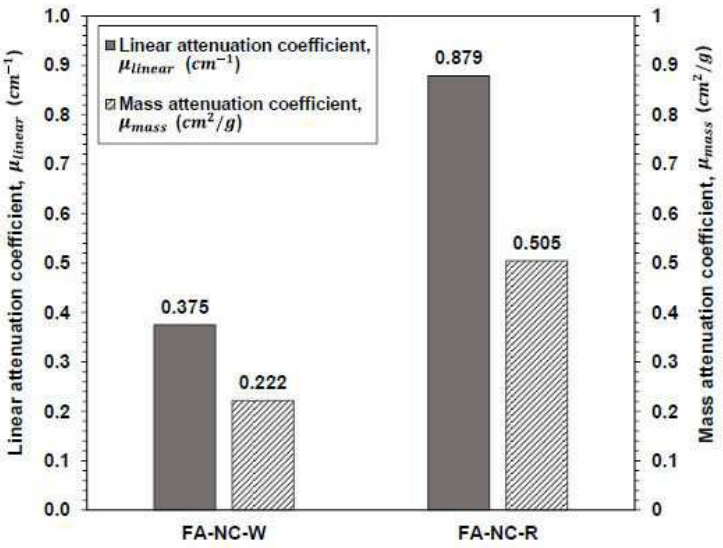
도면5


(a)
Cumulative Intrusion (mL/g)
0.3
0.2
0.1
0
FA-NC-W at 3 days
FA-NC-R at 3 days
0.001
0.01
0.1
1
10
100
Pore size (μm)
(b)
Cumulative Intrusion (mL/g)
0.3
0.2
0.1
0
FA-NC-W at 28 days
FA-NC-R at 28 days
0.001
0.01
0.1
1
10
100
Pore size (μm)

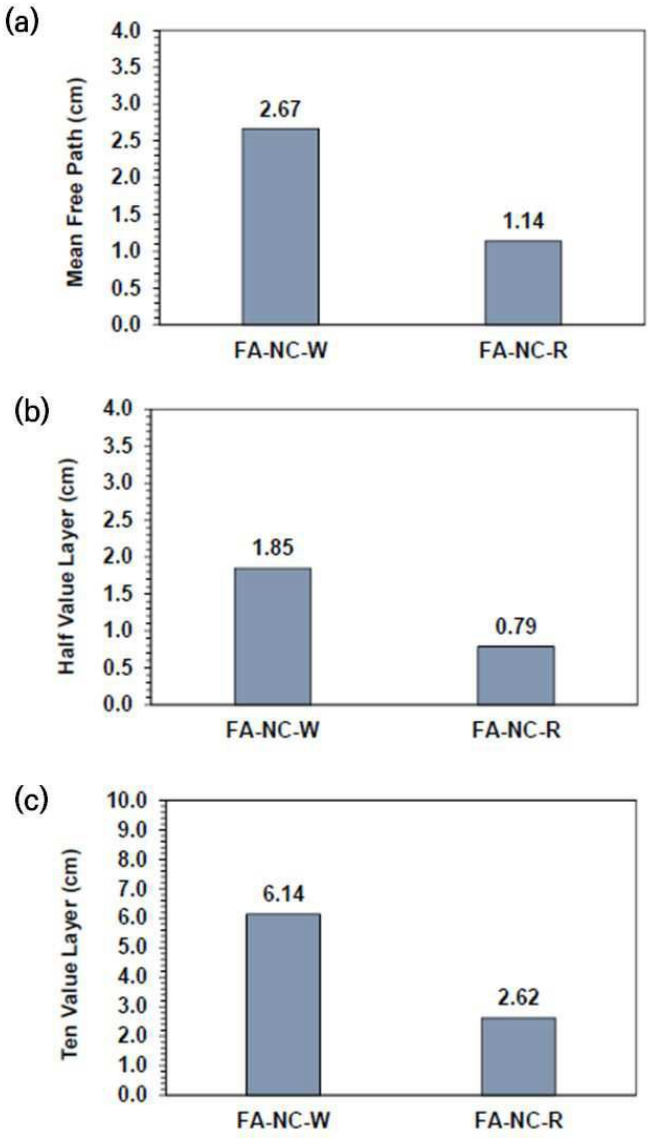
도면6


High purity graphite
241Am-Be
Concrete Sample
Cadmium Cover
Thermal Neutron Detector

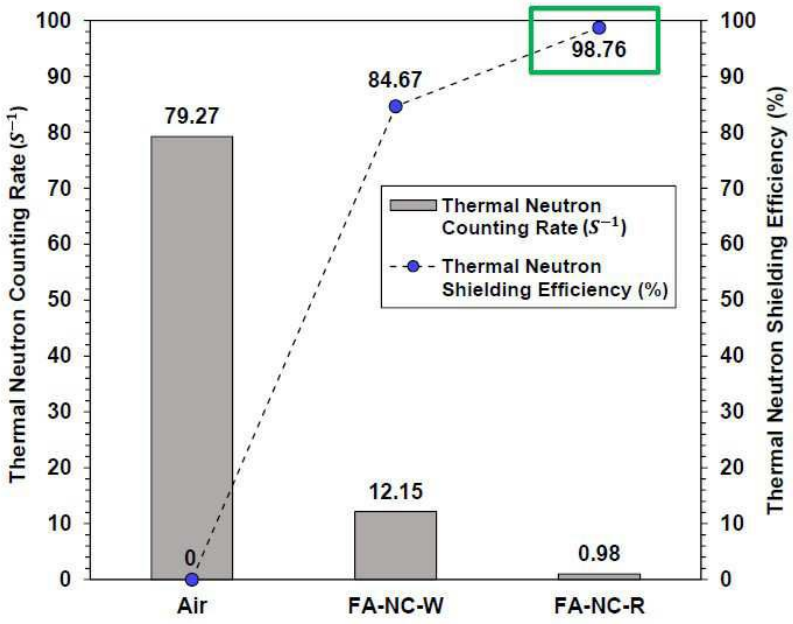
도면7


Linear attenuation coefficient, μ_{linear} (cm^{-1})
Mass attenuation coefficient, μ_{mass} (cm^2/g)
Linear attenuation coefficient, μ_{linear} (cm^{-1})
Mass attenuation coefficient, μ_{mass} (cm^2/g)
0.375
0.222
0.879
0.505
FA-NC-W
FA-NC-R

도면8


(a)
Mean Free Path (cm)
2.67
1.14
FA-NC-W
FA-NC-R
(b)
Half Value Layer (cm)
1.85
0.79
FA-NC-W
FA-NC-R
(c)
Ten Value Layer (cm)
6.14
2.62
FA-NC-W
FA-NC-R

도면9


Thermal Neutron Counting Rate (S^{-1})
Thermal Neutron Shielding Efficiency (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
79.27
84.67
98.76
12.15
0.98
0
Air
FA-NC-W
FA-NC-R
Thermal Neutron Counting Rate (S^{-1})
Thermal Neutron Shielding Efficiency (%)