

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0013411

(43) 공개일자 2020년02월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B01J 20/02 (2006.01) B01J 20/30 (2006.01)

C04B 18/16 (2006.01) C04B 22/06 (2006.01)

G21F 9/12 (2006.01) C04B 111/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

B01J 20/02 (2013.01)

B01J 20/3042 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0088580

(22) 출원일자 2018년07월30일

심사청구일자 2018년07월30일

(71) 출원인

인천대학교 산학협력단

인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)

(72) 발명자

장정국

인천광역시 연수구 먼우금로 19, 101동 1409호 (동춘동, 동남아파트)

박솔피

대전광역시 유성구 대학로 291, 한국과학기술원 W1-2 4223호 (구성동)

(74) 대리인

박상열, 최내윤

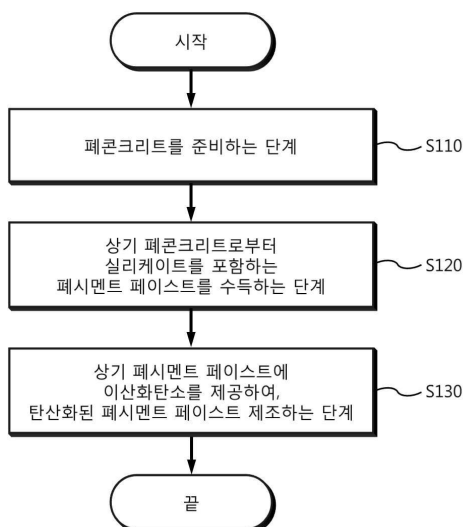
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 방사성핵종 흡착제의 제조 방법, 및 그 제조 방법으로 제조된 방사성핵종 흡착제를 포함하는 방사성 폐기물 처리 장치

(57) 요약

페콘크리트를 준비하는 단계, 상기 페콘크리트로부터 실리케이트를 포함하는 페시멘트 페이스트를 수득하는 단계, 및 상기 페시멘트 페이스트에 이산화탄소를 제공하여, 탄산화된 페시멘트 페이스트 제조하는 단계를 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법이 제공된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B01J 20/3085 (2013.01)

C04B 18/167 (2013.01)

C04B 22/06 (2013.01)

G21F 9/12 (2013.01)

C04B 2111/00862 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018R1C1B6002093

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 신진연구지원사업

연구과제명 지층처분을 위한 시멘트계 재료의 핵종 고정능 및 내열성 향상 연구

기 여 율 1/1

주관기관 인천대학교 산학협력단

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

페콘크리트를 준비하는 단계;

상기 페콘크리트로부터 실리케이트를 포함하는 페시멘트 페이스트를 수득하는 단계; 및

상기 페시멘트 페이스트에 이산화탄소를 제공하여, 탄산화된 페시멘트 페이스트 제조하는 단계를 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 단계는,

챔버 내부에, 상기 페시멘트 페이스트를 장입하고, 이산화탄소 가스를 제공하는 것을 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 페시멘트 페이스트를 수득하는 단계 이후에, 상기 페시멘트 페이스트를 분쇄하는 단계를 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 단계 이후에,

상기 탄산화된 페시멘트 페이스트를 유기 용매로 세척한 후에 건조하는 단계를 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법.

청구항 5

제4 항에 있어서,

상기 유기용매는 아세톤 및 이소프로필알코올 중에서 적어도 어느 하나를 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법.

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 페시멘트 페이스트를 수득하는 단계는,

상기 페콘크리트의 표면부로부터 수득된 제1 페시멘트 페이스트, 및 상기 페콘크리트의 내부로부터 수득된 제2 페시멘트 페이스트를 포함하되, 상기 제1 페시멘트 페이스트는 상기 제2 페시멘트 페이스트보다 많은 질량 비의

탄산칼슘을 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법.

청구항 7

제6 항에 있어서,

탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 단계는,

상기 제2 페시멘트로부터 제조된 제2 페시멘트 페이스트에, 상기 제1 페시멘트로부터 제조된 제1 페시멘트 페이스트보다, 장시간, 고온, 또는 고압으로 상기 이산화탄소를 제공하거나, 또는 고농도의 상기 이산화탄소를 제공하는 것을 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법.

청구항 8

제1 항에 있어서,

상기 페시멘트 페이스트는, $(\text{CaO})_3(\text{SiO}_2)$, $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$, $(\text{CaO})_3(\text{Al}_2\text{O}_3)$, 및 $(\text{CaO})_4(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 를 포함하는 미네랄 구성 요소를 포함하되,

상기 $(\text{CaO})_3(\text{SiO}_2)$, 상기 $(\text{CaO})_3(\text{Al}_2\text{O}_3)$, 및 상기 $(\text{CaO})_4(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 보다 많은 질량 비의 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 를 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법.

청구항 9

제1 항에 따른 방사성핵종 흡착제를 준비하는 단계;

세습을 포함하는 방사성 물질에, 상기 방사성핵종 흡착제를 제공하는 단계; 및

상기 방사성핵종 흡착제에 상기 방사성 물질의 상기 세습이 흡착되는 단계를 포함하는 방사성핵종의 흡착 방법.

청구항 10

제9 항에 있어서,

상기 페시멘트 페이스트의 상기 실리케이트의 농도가 증가할수록, 상기 방사성핵종 흡착제에 흡착되는 상기 세습의 양이 증가하고, 상기 페시멘트 페이스트의 칼슘의 농도가 증가할수록, 상기 방사성핵종 흡착제에 흡착되는 상기 세습의 양이 감소하는 것을 포함하는 방사성핵종의 흡착 방법.

청구항 11

방사성 물질을 보관하는 컨테이너의 외면에 제공되는 방사성핵종 흡착제를 포함하되,

상기 방사성핵종 흡착제는, 상기 컨테이너의 외면으로 유출되는 용해된 상기 방사성 물질을 흡착시켜, 용해된 상기 방사성 물질이 상기 컨테이너의 외부와 차폐되는 것을 포함하는 방사성 폐기물 처리 장치.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 방사성 물질은 세습을 포함하는 방사성 폐기물 처리 장치.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 방사성핵종 흡착제의 제조 방법, 및 그 제조 방법으로 제조된 방사성핵종 흡착제를 포함하는 방사성 폐기물 처리 장치에 관련된 것으로, 상세하게는, 탄산칼슘, 실리카 겔, 및 알루미늄 겔을 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법, 및 그 제조 방법으로 제조된 방사성핵종 흡착제를 포함하는 방사성 폐기물 처리 장치에 관련된 것이다.

배경 기술

- [0003] 산업 폐기물 중 60 %이상은 건설 폐기물에 해당한다. 이에 따라, 건설 폐기물을 재활용하기 위한 노력의 일환으로 폐콘크리트를 재활용하는 정책 및 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 노력에도 불구하고, 폐콘크리트의 재활용 방법은 골재를 회수하여 재활용하는 방법에 주로 초점이 맞춰져 있다.
- [0004] 예를 들어, 대한민국 공개특허공보 KR20070003737A에는, 폐시멘트콘크리트를 분쇄하여 골재를 분류함에 있어, 상기 골재의 최대크기가 25mm의 경우에는 40mm 체에서 100% 통과하고, 25mm 체에서 80-100% 통과하며, 5mm 체에서 5-60% 통과하고, 1.2mm 체에서 0-20% 통과하며, 0.6mm 체에서 0-10% 통과하고, 0.3mm 체에서 0-5% 통과하는 입도분포의 골재를 분류하고, 상기 골재의 최대 크기가 19mm의 경우에는 25mm 체에서 100% 통과하고, 19mm 체에서 80-100% 통과하며, 5mm 체에서 5-60% 통과하고, 1.2mm 체에서 0-20% 통과하며, 0.6mm 체에서 0-10% 통과하고, 0.3mm 체에서 0-5% 통과하는 입도분포의 골재를 분류하고, 상기 골재 최대 크기가 13mm의 경우에는 19mm 체에서 100% 통과하고, 13mm 체에서 80-100% 통과하며, 5mm 체에서 10-60% 통과하고, 2.5mm 체에서 5-40% 통과하며, 1.2mm 체에서 0-30% 통과하고, 0.6mm 체에서 0-15% 통과하며, 0.3mm 체에서 0-10% 통과하는 입도분포의 골재를 분류하고, 상기 골재 최대 크기가 8mm의 경우에는 13mm 체에서 100% 통과하고, 8mm 체에서 80-100% 통과하며, 5mm 체에서 30-80% 통과하고, 2.5mm 체에서 10-60% 통과하며, 1.2mm 체에서 5-35% 통과하고, 0.6mm 체에서 0-15% 통과하며, 0.3mm 체에서 0-10% 통과하는 입도분포의 골재를 분류하고, 상기 골재의 최대 크기가 5mm 경우에는 10mm 체에서 100% 통과하고, 5mm 체에서 80-100% 통과하며, 2.5mm 체에서 5-60% 통과하고, 1.2mm 체에서 0-30% 통과하며, 0.6mm 체에서 0-15% 통과하고, 0.3mm 체에서 0-10% 통과하는 입도분포의 골재를 분류하는 공정, 전기 공정에 의하여 분류된 상기 골재 1 중량부와, 유화아스팔트 0.01-0.10 중량부 및 상기 유화아스팔트 사용량의 5-50중량%에 해당하는 라텍스를 혼합하는 공정, 전기 공정의 혼합물에, 상기 골재 1 중량부에 대하여 시멘트 0.02-0.12 중량부와 물을 혼합하여 공극률이 8-30%이고 슬럼프 값이 0-3cm인 아스콘을 생산하는 공정, 및 전기 공정에서 생산된 상기 아스콘을 통상의 방법으로 포설하고 로라로 다짐하는 공정을 포함하는 폐시멘트 콘크리트 재생골재를 사용한 아스콘 도로포장방법이 개시되어 있다.
- [0005] 하지만, 폐콘크리트의 골재를 재활용 처리하는 과정에서 발생하는 폐시멘트는 대부분 매립 처분되고 있는 실정이다. 이에 따라, 폐콘크리트의 재활용에 대한 심도 높은 연구가 수행되었고, 최근에는 폐콘크리트에서 추출한 폐시멘트를 이용해 중금속 물질을 흡착하는 방법에 대한 연구가 수행되고 있다.
- [0006] 세습과 같은 방사성 물질의 방사성을 안전하게 붕괴하기 위해서는, 약 300 년 이상의 격리가 필요하다. 그러나, 폐시멘트의 유효확산 계수는 세습과 같은 방사성 물질의 유효확산 계수보다 현저히 낮을 뿐만 아니라, 세습과 같은 방사성 물질은 pH가 높은 환경에서도 용해가 용이하다. 이에 따라, 세습과 같은 방사성 물질을 컨테이너에서 보관 및 처리하는 동안, 용해된 세습이 상기 컨테이너의 외면으로 유출되는 심각한 문제가 발생한다.
- [0007] 이에 따라, 방사성 물질을 용이하게 흡착하는 물질의 개발이 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명이 해결하고자 하는 일 기술적 과제는, 탄산화된 폐시멘트 페이스트를 제조하는 방법을 제공하는 데 있다.
- [0010] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 일 기술적 과제는, 탄산칼슘을 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법을 제

공하는 데 있다.

- [0011] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 일 기술적 과제는, 실리카겔 및 알루미나 겔을 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법을 제공하는데 있다.
- [0012] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 일 기술적 과제는, 방사성핵종 흡착제에 세습이 흡착되는 방사성핵종의 흡착 방법을 제공하는 데 있다.
- [0013] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 일 기술적 과제는, 컨테이너의 외면에 제공되는 방사성핵종 흡착제를 포함하는 방사성 폐기물 처리 장치를 제공하는데 있다.
- [0014] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 일 기술적 과제는, 컨테이너 내부에 제공된 방사성 물질이 컨테이너의 외부와 차폐되는 방사성 폐기물 처리 장치를 제공하는 데 있다.
- [0015] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 상술된 것에 제한되지 않는다.

과제의 해결 수단

- [0017] 상술된 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 방사성핵종 흡착제의 제조 방법을 제공한다.
- [0018] 일 실시 예에 따르면, 상기 방사성핵종 흡착제의 제조 방법은, 페콘크리트를 준비하는 단계, 상기 페콘크리트로부터 실리카이트를 포함하는 페시멘트 페이스트를 수득하는 단계, 및 상기 페시멘트 페이스트에 이산화탄소를 제공하여, 탄산화된 페시멘트 페이스트 제조하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0019] 일 실시 예에 따르면, 상기 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 단계는, 버 내부에, 상기 페시멘트 페이스트를 장입하고, 이산화탄소 가스를 제공하는 것을 포함할 수 있다.
- [0020] 일 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트 페이스트를 수득하는 단계 이후에, 상기 페시멘트 페이스트를 분쇄하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0021] 일 실시 예에 따르면, 상기 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 단계 이후에, 상기 탄산화된 페시멘트 페이스트를 유기 용매로 세척한 후에 건조하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0022] 일 실시 예에 따르면, 상기 유기용매는 아세톤 및 이소프로필알코올 중에서 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0023] 일 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트 페이스트를 수득하는 단계는, 상기 페콘크리트의 표면부로부터 수득된 제1 페시멘트 페이스트, 및 상기 페콘크리트의 내부로부터 수득된 제2 페시멘트 페이스트를 포함하되, 상기 제1 페시멘트 페이스트는 상기 제2 페시멘트 페이스트보다 많은 질량 비의 탄산칼슘을 포함할 수 있다.
- [0024] 일 실시 예에 따르면, 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 단계는, 상기 제2 페시멘트로부터 제조된 제2 페시멘트 페이스트에, 상기 제1 페시멘트로부터 제조된 제1 페시멘트 페이스트보다, 장시간, 고온, 또는 고압으로 상기 이산화탄소를 제공하거나, 또는 고농도의 상기 이산화탄소를 제공하는 것을 포함할 수 있다.
- [0025] 일 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트 페이스트는, $(\text{CaO})_3(\text{SiO}_2)$, $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$, $(\text{CaO})_3(\text{Al}_2\text{O}_3)$, 및 $(\text{CaO})_4(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 를 포함하는 미네랄 구성 요소를 포함하되, 상기 $(\text{CaO})_3(\text{SiO}_2)$, 상기 $(\text{CaO})_3(\text{Al}_2\text{O}_3)$, 및 상기 $(\text{CaO})_4(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 보다 많은 질량 비의 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 를 포함할 수 있다.
- [0026] 상술된 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 방사성핵종의 흡착 방법을 제공한다.
- [0027] 일 실시 예에 따르면, 상기 방사성핵종의 흡착 방법은, 상기 방사성핵종 흡착제를 준비하는 단계, 세습을 포함하는 방사성 물질에, 상기 방사성핵종 흡착제를 제공하는 단계, 및 상기 방사성핵종 흡착제에 상기 방사성 물질의 상기 세습이 흡착되는 단계를 포함할 수 있다.
- [0028] 일 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트 페이스트의 상기 실리카이트의 농도가 증가할수록, 상기 방사성핵종 흡착제에 흡착되는 상기 세습의 양이 증가하고, 상기 페시멘트 페이스트의 칼슘의 농도가 증가할수록, 상기 방사성핵종 흡착제에 흡착되는 상기 세습의 양이 감소할 수 있다.
- [0029] 상술된 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 방사성 폐기물 처리 장치를 제공한다.

- [0030] 일 실시 예에 따르면, 상기 방사성 폐기물 처리 장치는, 방사성 물질을 보관하는 컨테이너의 외면에 제공되는 방사성핵종 흡착제를 포함하되, 상기 방사성핵종 흡착제는, 상기 컨테이너의 외면으로 유출되는 용해된 상기 방사성 물질을 흡착시켜, 용해된 상기 방사성 물질이 상기 컨테이너의 외부와 차폐되는 것을 포함할 수 있다.
- [0031] 일 실시 예에 따르면, 상기 방사성 물질은 세슘을 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0033] 본 발명의 실시 예에 따르면, 폐콘크리트를 준비하는 단계, 상기 폐콘크리트로부터 실리케이트를 포함하는 페시멘트 페이스트를 수득하는 단계, 및 상기 페시멘트 페이스트에 이산화탄소를 제공하여, 탄산화된 페시멘트 페이스트 제조하는 단계를 포함하는 방사성핵종 흡착제의 제조 방법이 제공될 수 있다.
- [0034] 이에 따라, 상기 제조 방법으로 제조된 상기 방사성핵종 흡착제는 탄산칼슘, 실리카 겔, 및 알루미늄 겔을 포함할 수 있다.
- [0035] 또한, 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 방사성핵종 흡착제를 준비하는 단계, 세슘을 포함하는 방사성 물질에, 상기 방사성핵종 흡착제를 제공하는 단계, 및 상기 방사성핵종 흡착제에 상기 방사성 물질의 상기 세슘이 흡착되는 단계를 포함하는 방사성핵종의 흡착 방법이 제공될 수 있다.
- [0036] 상기 방사성핵종 흡착제가 상기 실리카 겔, 및 상기 알루미늄 겔을 포함하는 것에 따라 상기 세슘이 상기 방사성핵종 흡착제에 용이하게 흡착될 수 있고, 상기 방사성핵종 흡착제가 상기 탄산칼슘을 포함하는 것에 따라, 상기 세슘이 상기 방사성핵종 흡착제에 용이하게 고정될 수 있다.
- [0037] 또한, 본 발명의 실시 예에 따르면, 방사성 물질을 보관하는 컨테이너의 외면에 제공되는 방사성핵종 흡착제를 포함하되, 상기 방사성핵종 흡착제는, 상기 컨테이너의 외면으로 유출되는 용해된 상기 방사성 물질을 흡착시켜, 용해된 상기 방사성 물질이 상기 컨테이너의 외부와 차폐되는 것을 포함하는 방사성 폐기물 처리 장치가 제공될 수 있다. 이에 따라, 방사능의 유출 없이 안전하게 방사성 물질을 보관 및 처리할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0039] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조 방법에서 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 방사성 폐기물 처리 장치를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 페시멘트 페이스트에 포함된 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 함량에 따른 탄산화 특성을 보여주는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 XRD 패턴이다.
- 도 6은 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 TGA(thermogravimetric analysis) 그래프이다.
- 도 7은 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 DTG(derivative of the TGA) 그래프이다.
- 도 8은 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 ^{29}Si MAS NMR 스펙트럼이다.
- 도 9는 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 ^{27}Al MAS NMR 스펙트럼이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0040] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명할 것이다. 그러나 본 발명의 기술적 사상은 여기서 설명되는 실시 예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시 예는 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될

수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.

- [0041] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한, 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.
- [0042] 또한, 본 명세서의 다양한 실시 예들에서 제1, 제2, 제3 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 따라서, 어느 한 실시 예에 제1 구성요소로 언급된 것이 다른 실시 예에서는 제2 구성요소로 언급될 수도 있다. 여기에 설명되고 예시되는 각 실시 예는 그것의 상보적인 실시 예도 포함한다. 또한, 본 명세서에서 '및/또는'은 전후에 나열한 구성요소들 중 적어도 어느 하나를 포함하는 의미로 사용되었다.
- [0043] 명세서에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 또한, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하는 것으로 이해되어서는 안 된다.
- [0044] 또한, 하기에서 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다.
- [0046] 이하, 본 발명의 실시 예에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조 방법이 설명된다.
- [0048] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조 방법을 설명하기 위한 순서도이고, 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조 방법에서 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.
- [0049] 도 1을 참조하면, 페콘크리트를 준비할 수 있다(S110). 상기 페콘크리트로부터 실리케이트를 포함하는 페시멘트 페이스트를 수득할 수 있다(S120). 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트 페이스트는, CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, SO₃ 및 알칼리 성분을 포함하고, (CaO)₃(SiO₂), (CaO)₂(SiO₂), (CaO)₃(Al₂O₃), 및 (CaO)₄(Al₂O₃)(Fe₂O₃)를 포함하는 미네랄 구성 요소를 포함할 수 있다.
- [0050] 또한, 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트 페이스트는 상기 (CaO)₃(SiO₂), 상기 (CaO)₃(Al₂O₃), 및 상기 (CaO)₄(Al₂O₃)(Fe₂O₃)보다 많은 질량 비의 상기 (CaO)₂(SiO₂)를 포함할 수 있다. 이에 따라, 후술되는 공정에서 상기 페시멘트 페이스트에 이산화탄소를 제공하는 경우, 상기 페시멘트 페이스트의 탄산화도(carbonation degree)가 증가할 수 있다.
- [0051] 일 실시 예에 따르면, 상기 페콘크리트는 대기 중에 노출될 수 있고, 상기 페콘크리트로 대기 중의 이산화탄소(CO₂) 및 수분(H₂O)이 침입할 수 있다. 상기 이산화탄소 및 상기 수분이 상기 페콘크리트에 침입하는 경우에, 아래의 화학식 1과 같은 반응이 일어날 수 있다.
- [0052] <화학식 1>
- [0053]
$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$$
- [0054] 상기 <화학식 1>에 따르면, 상기 페콘크리트에서, 상기 이산화탄소는 상기 수분에 의해 용해될 수 있다.
- [0055] 상기 이산화탄소가 상기 페콘크리트에 지속적으로 침입하는 경우에 일어나는 반응은 하기 <화학식 2> 및 <화학식 3>과 같이 정리될 수 있다.
- [0056] <화학식 2>
- [0057]
$$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$
- [0058] <화학식 3>

- [0059] $(\text{CaO})_x(\text{SiO}_2)(\text{H}_2\text{O})_z + x\text{CO}_2 \rightarrow x\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2(\text{H}_2\text{O})_t + (z-t)\text{H}_2\text{O}$
- [0060] 상기 <화학식 2>에 따르면, 상기 페콘크리트의 구성 요소 중 하나인 석회($\text{Ca}(\text{OH})_2$)가 상기 이산화탄소와 반응하여, 탄산칼슘(CaCO_3)을 생성할 수 있다. 다시 말해, 상기 페콘크리트가 지속적으로 상기 이산화탄소에 노출되는 경우, 상기 페콘크리트에 탈석회화 및 탄산화가 일어날 수 있다.
- [0061] 또한, 상기 <화학식 3>에 따르면, 상기 페콘크리트에 포함된 칼슘 실리케이트 수화물($(\text{CaO})_x(\text{SiO}_2)(\text{H}_2\text{O})_z$, CHS)이 상기 이산화탄소와 반응하여, 탄산칼슘(CaCO_3) 및 실리카 겔($\text{SiO}_2(\text{H}_2\text{O})_t$)이 생성될 수 있다. 다시 말해, 상기 페콘크리트가 지속적으로 상기 이산화탄소에 노출되는 경우, 상기 페콘크리트에 포함된 상기 칼슘 실리케이트 수화물이 탄산화되고 상기 실리카 겔이 생성될 수 있다. 상기 탄산화에 의해, 상기 칼슘 실리케이트 수화물에서 탈석회화가 일어나 탄산칼슘이 생성되고, 상기 탄산칼슘이 침전될 수 있다.
- [0062] 또한, 상기 페시멘트 페이스트에 포함된 상기 알루미늄(Al_2O_3)이 상기 이산화탄소와 반응하여, 알루미늄 겔이 생성될 수 있다. 상기 알루미늄 겔은 상기 실리카 겔과 함께 방사성핵종을 흡착하는 물질로 이용될 수 있다.
- [0063] 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트는, 상기 페콘크리트의 표면부로부터 수득된 제1 페시멘트 페이스트, 및 상기 페콘크리트의 내부로부터 수득된 제2 페시멘트 페이스트를 포함할 수 있다. 상기 페콘크리트의 내부보다 표면이 대기에 더 가깝고 노출되기 쉽기 때문에, 상기 페콘크리트의 내부보다 표면이 대기 중의 상기 이산화탄소와 더 반응하기 쉽다. 따라서, 상기 제1 페시멘트 페이스트에 상기 제2 페시멘트 페이스트보다 많은 탈석회화 및 탄산화가 일어날 수 있고, 이에 따라, 상기 제1 페시멘트 페이스트는 상기 제2 페시멘트 페이스트보다 많은 질량비의 탄산칼슘, 실리카 겔, 및 알루미늄 겔을 포함할 수 있다.
- [0064] 상기 페콘크리트의 영역을 표면부 및 내부로 구분지어 상기 제1 페시멘트 페이스트 및 상기 제2 페시멘트 페이스트로 설명하였으나, 상기 페콘크리트의 영역은 이에 한정되지 않는다. 다시 말해, 상기 페시멘트 페이스트는, 상기 페콘크리트의 표면부와 내부 사이의 중간부로부터 수득된 제3 페시멘트 페이스트, 제4 페시멘트 페이스트, 또는 그 이상의 페시멘트 페이스트를 포함할 수 있다.
- [0065] 이러한 경우, 상기 페콘크리트의 내부보다 표면부에 가까운 영역으로부터 수득된 상기 페시멘트 페이스트일수록 더 많은 질량비의 탄산칼슘, 실리카 겔, 및 알루미늄 겔을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 페콘크리트의 표면부로부터 수득된 상기 페시멘트를 제1 페시멘트 페이스트, 상기 페콘크리트의 내부로부터 수득된 상기 페시멘트를 제3 페시멘트 페이스트, 상기 페콘크리트의 표면부와 내부 사이의 중간부로부터 수득된 상기 페시멘트를 제2 페시멘트 페이스트라고 명명하는 경우, 상기 제1 페시멘트 페이스트, 상기 제2 페시멘트 페이스트, 상기 제3 페시멘트 페이스트의 순으로 더 많은 질량비의 탄산칼슘, 실리카 겔, 및 알루미늄 겔을 포함할 수 있다.
- [0066] 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트 페이스트를 제조한 이후에, 상기 페시멘트 페이스트를 분쇄할 수 있다. 이에 따라, 후술되는 상기 페시멘트 페이스트를 탄산화시키는 단계에서, 탄산화 효율을 향상시킬 수 있다. 예를 들어, 상기 페시멘트 페이스트는, 50 μm 이상 내지 150 μm 미만 크기의 입자를 포함하도록 분쇄될 수 있다.
- [0067] 상기 페시멘트 페이스트에 이산화탄소를 제공하여, 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조할 수 있다(S130). 본 발명의 실시 예에 따르면, 챔버 내부에, 상기 페시멘트를 장입하고, 이산화탄소 가스를 제공하여, 상기 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조할 수 있다.
- [0068] S120 단계에서 상술된 바와 같이, 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트로부터 수득된 상기 페시멘트 페이스트는, 상기 페콘크리트의 표면부로부터 수득된 제1 페시멘트 페이스트, 및 상기 페콘크리트의 내부로부터 수득된 제2 페시멘트 페이스트를 포함할 수 있다. 상기 페콘크리트의 내부보다 표면이 대기에 더 가깝고 노출되기 쉽기 때문에, 상기 페콘크리트의 내부보다 표면이 대기 중의 상기 이산화탄소와 더 반응하기 쉽다. 따라서, 상기 제1 페시멘트 페이스트에 상기 제2 페시멘트 페이스트보다 많은 탈석회화 및 탄산화가 일어날 수 있고, 이에 따라, 상기 제1 페시멘트 페이스트는 상기 제2 페시멘트 페이스트보다 많은 질량비의 탄산칼슘을 포함할 수 있다.
- [0069] 따라서, 상기 제2 페시멘트 페이스트에 상기 제1 페시멘트 페이스트보다, 장시간, 고온, 또는 고압으로 상기 이산화탄소를 제공하거나, 또는 고농도의 상기 이산화탄소가 제공될 수 있다.
- [0070] 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트 페이스트에 이산화탄소를 제공하는 것에 따라, 상기 페시멘트 페이

스트에 포함된 칼슘 실리케이트 수화물이 상기 이산화탄소와 반응하여, 탈석회화 및 탄산화될 수 있다. 이에 따라, 상기 칼슘 실리케이트 수화물에 포함된 칼슘의 농도는 저하되고, 실리케이트의 농도는 상승될 수 있다.

- [0071] 다시 말해, 상기 칼슘 실리케이트 수화물로부터 탈석회화 및 탄산화가 일어나, 탄산칼슘 및 실리카 겔이 생성되고, 또한, 상기 알루미늄으로부터 탄산화가 일어나, 알루미늄 겔이 생성되는 것에 따라, 상기 탄산칼슘, 상기 실리카 겔, 및 상기 알루미늄 겔을 포함하는 방사성핵종 흡착제가 제조될 수 있다. 상기 실리카 겔 및 상기 알루미늄 겔은 세습을 포함하는 방사성 물질을 흡착하므로 이에 따라, 상기 세습을 흡착하는 상기 방사성핵종 흡착제가 제조될 수 있다.
- [0072] 상기 페시멘트 페이스트가 상기 이산화탄소와 반응하여, 탈석회화되고 상기 탄산칼슘을 포함하는 것에 따라, 상기 페시멘트 페이스트 기질의 기공 네트워크를 현저히 감소시키고, 다공성을 크게 증가시킬 수 있다. 이에 따라, 상기 페시멘트 페이스트에 방사성핵종이 고정화되기 용이할 수 있다.
- [0073] S120 단계에서 상술된 바와 같이, 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트 페이스트를 크기가 50 μm 이상 내지 150 μm 미만인 입자로 분쇄할 수 있다. 이에 따라, 상기 페시멘트 페이스트를 탄산화시키는 과정에서, 탄산화 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0074] 다시 말해, 상기 페시멘트 페이스트의 탄산화는 대기 중의 상기 이산화탄소 및 상기 페시멘트 페이스트의 수화물 사이에서 일어나는 화학 반응일 수 있다. 따라서, 상기 페시멘트 페이스트에 포함된 상기 페시멘트 입자의 비표면적이 넓을수록, 상기 페시멘트 페이스트의 탄산화 반응성이 향상될 수 있다.
- [0075] 한편, 본 발명의 실시 예와는 달리, 상기 페시멘트 페이스트를 탄산화 시키는 과정에서, 상기 페시멘트 페이스트를 분쇄하지 않고, 상기 페시멘트 페이스트를 그대로 사용하여 탄산화를 진행하는 경우, 벌크한 상기 페시멘트 페이스트를 탄산화하기 위해 많은 시간이 소요되어 공정 효율이 저하될 수 있다.
- [0076] 또는, 본 발명의 실시 예와는 달리, 상기 페시멘트 페이스트를 크기가 50 μm 미만인 입자를 포함하도록 분쇄하는 경우, 상기 입자로 분쇄하는 데에 다량의 에너지가 소모되어 공정 효율이 저하될 수 있다. 또한, 상기 페시멘트 페이스트를 크기가 150 μm 이상인 입자로 분쇄하는 경우, 상기 입자의 비표면적이 작아져, 탄산화 반응성이 저하될 수 있다.
- [0077] 하지만, 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트 페이스트를 50 μm 이상 내지 150 μm 미만 크기의 입자를 포함하도록 분쇄한 후에, 상기 페시멘트 페이스트를 탄산화시킬 수 있고, 이에 따라, 탄산화 반응성이 향상되어 공정 효율이 향상될 수 있다.
- [0078] 도 2를 참조하면, 상기 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 단계에서, 이산화탄소를 공급하는 시간, 이산화탄소의 농도, 챔버의 압력, 및 챔버의 온도가 조절될 수 있다. 이에 따라, 상기 페시멘트 페이스트의 탄산화 효율을 향상시키고, 상기 페시멘트 페이스트를 탄산화하는 공정 시간을 단축시킬 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 이산화탄소를 공급하는 시간은, 1~28 일 범위에서 조절 가능하고, 상기 이산화탄소의 농도는, 5~99 % 범위에 조절 가능하다. 또한, 상기 챔버의 압력은, 1~20 bar 범위에서 조절될 수 있고, 상기 챔버의 온도는, 20~100 $^{\circ}\text{C}$ 범위에서 조절될 수 있다.
- [0079] 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 단계 이후에, 상기 탄산화된 페시멘트 페이스트를 유기 용매로 세척한 후에 건조하는 단계를 포함할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 유기용매는 아세톤 및 이소프로필알코올 중에서 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0080] 상술된 실시 예와는 다르게 본 발명의 변형 예에 따르면, 상기 방사성핵종 흡착제의 제조 방법은, 페콘크리트로부터 실리케이트를 포함하는 페시멘트 페이스트를 수득하는 단계, 상기 페시멘트 페이스트를 1차 분쇄하는 단계, 분쇄된 상기 페시멘트 페이스트에 이산화탄소를 제공하여, 1차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 단계, 상기 1차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 2차 분쇄하는 단계, 및 분쇄된 상기 1차 탄산화된 페시멘트 페이스트에 이산화탄소를 제공하여, 2차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0081] 상기 페시멘트 페이스트를 1차 분쇄하는 단계에서 제조된 상기 페시멘트 페이스트 입자의 크기보다, 상기 1차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 2차 분쇄하는 단계에서 제조된 상기 페시멘트 페이스트 입자의 크기가 더 작을 수 있다. 예를 들어, 상기 페시멘트 페이스트를 1차 분쇄하는 단계에서 제조된 상기 페시멘트 페이스트 입자의 크기는 140 μm 일 수 있고, 상기 1차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 2차 분쇄하는 단계에서 제조된 상기 페시멘트 페이스트 입자의 크기는 50 μm 일 수 있다.
- [0082] 상기 페시멘트 페이스트를 1차 분쇄한 후에, 1차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하고, 상기 1차 탄산화된

페시멘트 페이스트를 2차 분쇄한 후에, 2차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 것에 따라, 탄산화 반응성 및 효율이 향상될 수 있다.

[0083] 다시 말해, 상기 페시멘트 페이스트를 상기 1차 분쇄하는 단계, 및 상기 1차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 상기 2차 분쇄하는 단계를 통해, 상기 2차 탄산화된 페시멘트 페이스트에 포함된 상기 페시멘트 페이스트 입자의 비표면적이 넓어질 수 있고, 이에 따라, 상기 2차 탄산화된 페시멘트 페이스트의 탄산화 반응성이 향상될 수 있다.

[0084] 상기 페시멘트 페이스트를 1차 분쇄한 후에, 이산화탄소를 제공하여, 1차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 것에 따라, 상기 페시멘트 페이스트에 포함된 상기 칼슘 실리케이트 수화물, 및 상기 알루미늄이 상기 이산화탄소와 1차 반응하여, 탈석회화 및 탄산화가 일어나, 탄산칼슘, 실리카 겔, 및 알루미늄 겔이 1차 생성될 수 있다.

[0085] 이후, 상기 1차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 2차 분쇄한 후에, 1차 탄산화된 페시멘트 페이스트에 이산화탄소를 제공하여, 2차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 것에 따라, 상기 1차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 제조하는 과정에서 상기 이산화탄소와 반응하지 못했던, 칼슘 실리케이트 수화물 및 알루미늄이 상기 이산화탄소와 2차 반응하여, 탈석회화 및 탄산화가 일어날 수 있고, 이에 따라, 탄산칼슘, 실리카 겔, 및 알루미늄 겔이 2차 생성될 수 있다.

[0086] 이에 따라, 상기 2차 탄산화된 페시멘트 페이스트를 포함하는 변형 예에 따른 방사성핵종 흡착제는 실리카 겔 및 알루미늄 겔을 다량 함유할 수 있고, 이에 따라 세습에 대한 흡착도가 향상된 상기 방사성핵종 흡착제를 제공할 수 있다.

[0087] 이상, 본 발명의 실시 예에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조 방법이 상세히 설명되었다. 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 방사성핵종 흡착제의 제조 방법은, 페콘크리트를 준비하는 단계, 상기 페콘크리트로부터 실리케이트를 포함하는 페시멘트 페이스트를 수득하는 단계, 및 상기 페시멘트 페이스트에 이산화탄소를 제공하여, 탄산화된 페시멘트 페이스트 제조하는 단계를 포함할 수 있다.

[0088] 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트 페이스트에 이산화탄소를 제공하는 것에 따라, 상기 페시멘트 페이스트에 포함된 상기 칼슘 실리케이트 수화물 및 상기 알루미늄이 상기 이산화탄소와 반응하여, 탈석회화 및 탄산화가 일어나, 탄산칼슘, 실리카 겔, 및 알루미늄 겔이 생성되고, 상기 탄산칼슘, 상기 실리카 겔, 및 상기 알루미늄 겔을 포함하는 상기 방사성핵종 흡착제가 제조될 수 있다.

[0089] 상기 방사성핵종 흡착제는, 세습을 포함하는 방사성 물질에 제공될 수 있고, 상기 방사성핵종 흡착제가 상기 실리카 겔 및 상기 알루미늄 겔을 포함하는 것에 따라, 상기 방사성핵종 흡착제에 상기 방사성 물질의 상기 세습이 흡착되어 제거될 수 있다. 또한, 상기 방사성핵종 흡착제가, 상기 탄산칼슘을 포함하는 것에 따라, 상기 방사성핵종 흡착제에 상기 방사성 물질의 상기 세습이 고정화될 수 있다.

[0090] 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 페시멘트 페이스트의 실리케이트의 농도가 칼슘의 농도에 비해 증가할수록, 상기 방사성핵종 흡착제에 흡착 및 고정되는 상기 세습의 양이 증가할 수 있다. 반면에, 상기 페시멘트 페이스트의 칼슘의 농도가 실리케이트의 농도에 비해 증가할수록, 상기 방사성핵종 흡착제에 흡착 및 고정되는 상기 세습의 양이 감소할 수 있다.

[0091] 다시 말해, 상기 방사성핵종 흡착제에 포함된 상기 칼슘 및 상기 실리케이트의 농도 비율에 따라, 상기 방사성핵종 흡착제의 상기 세습에 대한 흡착화 특성 및 고정화 특성이 제어될 수 있다.

[0093] 이하, 본 발명의 실시 예에 따른 방사성 폐기물 처리 장치가 설명된다.

[0095] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 방사성 폐기물 처리 장치를 설명하기 위한 도면이다.

[0096] 도 3을 참조하면, 상기 방사성 폐기물 처리 장치(100)는, 방사성 물질(200)을 보관하는 컨테이너(110)의 외면에 제공되는 방사성핵종 흡착제(120)를 포함하되, 상기 방사성핵종 흡착제(120)는, 상기 컨테이너(110)의 외면으로 유출되는 용해된 상기 방사성 물질(200)을 흡착시켜, 용해된 상기 방사성 물질(200)이 상기 컨테이너(110)의 외부로 차폐될 수 있다.

- [0097] 일 실시 예에 따르면, 상기 방사성 물질(200)은 세습을 포함할 수 있다. 상기 세습의 방사성을 안전하게 붕괴하기 위해서는, 약 300 년 이상의 격리가 필요하다. 그러나, 폐시멘트의 유효핵산 계수는 세습과 같은 방사성 물질(200)의 유효핵산 계수보다 현저히 낮을 뿐만 아니라, 세습과 같은 방사성 물질(200)은 pH가 높은 환경에서도 용해가 용이하다. 이에 따라, 세습과 같은 방사성 물질(200)을 컨테이너에서 보관 및 처리하는 동안, 용해된 세습이 상기 컨테이너의 외면으로 유출될 수 있다.
- [0098] 하지만, 본 발명의 실시 예에 따른 방사성 폐기물 처리 장치(100)는, 상기 컨테이너(110)의 외면에 제공되는 상기 방사성핵종 흡착제(120)를 포함할 수 있고, 이에 따라, 상기 세습과 같은 방사성 물질(200)이 상기 컨테이너(110) 내부에서 보관 및 처리되는 동안에, 상기 컨테이너(110)외부로 유출되는 상기 세습을 흡착하여, 상기 컨테이너(110)의 외부와 차폐시킬 수 있다. 이에 따라, 방사능의 유출 없이 방사성 물질(200)을 보관 및 처리가 용이한, 안전한 방사성 폐기물 처리 장치(100)를 제공할 수 있다.
- [0100] 이하, 본 발명의 실시 예에 따른 방사성핵종 흡착제의 구체적인 실험 예가 설명된다.
- [0102] 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조
- [0103] 62.5 % CaO, 21.0 % SiO₂, 5.9 % Al₂O₃, 3.2 % Fe₂O₃, 2.1 % SO₃, 0.8 % total alkali content, 및 4.5% minor elements(MgO, Mn₂O₃, 및 TiO₂를 포함)를 포함하고, 3.15g/cm³의 밀도 및 3300cm²/g의 분말도(blaine fineness)를 가지는 Type I Portland 시멘트 분말을 준비하였다.
- [0104] 물 및 상기 Type I Portland 시멘트 분말을 0.5:1의 비율로 혼합하여 시멘트 페이스트를 제조하였다.
- [0105] 챔버 내부에, 상기 시멘트 페이스트를 장입하고, 20 °C의 온도 및 65 %의 상대습도(R.H.) 조건에서, 10 % 이산화탄소 가스를 56 일 동안 제공하여 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제를 제조하였다.
- [0107] 실시 예 2에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조
- [0108] 실시 예 1과 같은 방법으로 시멘트 페이스트를 제조하였다.
- [0109] 상기 시멘트 페이스트를 챔버 내부에 장입하기 전에, 밀폐된 상태로 56 일 동안 보관하여 실시 예 2에 따른 방사성핵종 흡착제를 제조하였다.
- [0111] 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조
- [0112] 실시 예 1과 같은 방법으로 시멘트 페이스트를 제조하였다.
- [0113] 상기 시멘트 페이스트를 챔버 내부에 장입하기 전에, 밀폐된 상태로 28 일 동안 보관한 후에, 챔버 내부에 장입하고, 실시 예 1과 같은 조건에서, 이산화탄소 가스를 28 일 동안 제공하여 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제를 제조하였다.
- [0115] 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제는 하기의 [표 1]과 같이 정리될 수 있다.

표 1

	밀폐된 상태로 보관	챔버 내부에서 이산화탄소 제공
실시 예 1	N/A	56 일
실시 예 2	56 일	N/A
실시 예 3	28 일	28 일

- [0118] 본 발명의 실시 예에 따르면, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제 즉, 밀폐된 상태로 보관되지 않고, 챔버 내부에서 이산화탄소가 가장 오랜 기간(58 일) 동안 제공되어 제조된 상기 방사성핵종 흡착제는, 본 발명의 실시 예에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조 방법에서 상술된, 상기 페콘크리트의 표면부로부터 수득된 상기 폐시멘트 페이스트로부터 제조된 방사성핵종 흡착제에 해당할 수 있다.
- [0119] 또한, 본 발명의 실시 예 2에 따른 방사성핵종 흡착제 즉, 밀폐된 상태로 56 일 동안 보관되어 제조된 상기 방사성핵종 흡착제는, 본 발명의 실시 예에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조 방법에서 상술된, 상기 페콘크리트의 내부로부터 수득된 상기 폐시멘트 페이스트로부터 제조된 방사성핵종 흡착제에 해당할 수 있다.
- [0120] 본 발명의 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제 즉, 밀폐된 상태로 28 일 동안 보관되고, 챔버 내부에서 이산화탄소가 28 일 동안 제공되어 제조된 상기 방사성핵종 흡착제는, 본 발명의 실시 예에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조 방법에서 상술된, 상기 페콘크리트의 표면부와 내부 사이의 중간부로부터 수득된 상기 폐시멘트로부터 제조된 방사성핵종 흡착제에 해당할 수 있다.
- [0122] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 폐시멘트 페이스트에 포함된 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 함량에 따른 탄산화 특성을 보여주는 도면이다. 도 4를 참조하면, 상기 폐시멘트 페이스트에 포함된 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 함량이 23 %인 경우보다, 48 %인 경우에, 탄산화 도가 증가한 것을 관찰할 수 있다.
- [0123] 구체적으로, 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 를 23 % 포함하는 상기 폐시멘트 페이스트에, 이산화탄소가 7 일 동안 공급된 경우의 탄산화 도는 33 %이고, 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 를 48 % 포함하는 상기 폐시멘트 페이스트에, 이산화탄소가 7 일 동안 공급된 경우의 탄산화 도는 37 %인 것에 따라, 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 를 48 % 포함하는 상기 폐시멘트 페이스트의 탄산화도가 더 큰 것을 확인할 수 있다.
- [0124] 반면에, 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 를 23 % 포함하는 상기 폐시멘트 페이스트에, 이산화탄소가 14 일 동안 공급된 경우의 탄산화 도는 61 %이고, 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 를 48 % 포함하는 상기 폐시멘트 페이스트에, 이산화탄소가 14 일 동안 공급된 경우의 탄산화 도는 54 %인 것에 따라, 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 를 23 % 포함하는 상기 폐시멘트 페이스트의 탄산화도가 더 큰 것을 확인할 수 있다.
- [0125] 그러나, 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 를 23 % 포함하는 상기 폐시멘트 페이스트에, 이산화탄소가 28 일 동안 공급된 경우의 탄산화 도는 77 %이고, 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 를 48 % 포함하는 상기 폐시멘트 페이스트에, 이산화탄소가 28 일 동안 공급된 경우의 탄산화 도는 92 %인 것에 따라, 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 를 48 % 포함하는 상기 폐시멘트 페이스트의 탄산화도가 확연히 향상된 것을 확인할 수 있다.
- [0126] 따라서, 상기 폐시멘트 페이스트에 포함된 상기 $(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)$ 의 함량이 증가하고, 이산화탄소가 장기간(28일 이상) 공급되는 경우에, 상기 폐시멘트 페이스트의 탄산화도를 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.
- [0127] 도 5는 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 XRD 패턴이다.
- [0128] 도 5를 참조하면, 본 발명의 실시 예 2 및 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제에서 관찰되는 C(Calcite, CaCO_3)피크의 intensity보다, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제에서 관찰되는 C피크의 intensity가 더 강한 것을 확인할 수 있다. 이에 따라, 밀폐된 상태로 보관되지 않고, 챔버 내부에서 이산화탄소가 가장 오랜 기간 동안 제공되어 제조된 방사성핵종 흡착제의 경우, 가장 많은 양의 탄산칼슘을 함유하는 것을 알 수 있다.
- [0129] 또한, 본 발명의 실시 예 2에 따른 방사성핵종 흡착제에서 관찰되는 C피크의 intensity보다, 본 발명의 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제에서 관찰되는 C피크의 intensity가 더 강한 것을 확인할 수 있다. 이에 따라, 챔버 내부에서 이산화탄소가 제공되는 기간이 동일한 경우, 밀폐된 상태로 보다 오랜 기간 보관되어 제조된 방사성핵종 흡착제가 가장 적은 양의 탄산칼슘을 함유하는 것을 알 수 있다.
- [0130] 한편, 본 발명의 실시 예 2 및 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제에서는 S(Calcium silicate hydrate, $\text{Ca}_{1.5}\text{SiO}_{3.5}\text{xH}_2\text{O}$)피크가 관찰되는데 반해, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제에서는 S피크가 관찰되지 않는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조 과정에서, 상기

시멘트 페이스트의 칼슘 실리케이트 수화물이 모두 이산화탄소와 반응하여, 탄산칼슘 및 실리카 겔이 생성된 것을 알 수 있다.

[0132] 도 6은 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 TGA(thermogravimetric analysis) 그래프이고, 도 7은 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 DTG(derivative of the TGA) 그래프이다.

[0133] 도 6 및 도 7을 참조하면, 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 weight loss는 하기 [표 2]와 같이 정리될 수 있다.

표 2

	Below 200 °C (H ₂ O)	400~450 °C (Ca(OH) ₂)	650~750 °C (CaCO ₃)
실시 예 1	3.6	0.7	14.3
실시 예 2	10.5	3.3	1.1
실시 예 3	7.7	2.0	7.8

[0136] [표 2]를 참조하면, 650~750 °C의 온도에서, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제의 CaCO₃ weight loss가 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 이에 따라, 밀폐된 상태로 보관되지 않고, 챔버 내부에서 이산화탄소가 가장 오랜 기간 동안 제공되어 제조된 방사성핵종 흡착제의 경우, 가장 많은 양의 탄산칼슘을 함유하는 것을 알 수 있다.

[0137] 한편, 본 발명의 실시 예 2에 따른 방사성핵종 흡착제의, 200 °C 이하의 온도에서 H₂O weight loss, 및 400~450 °C의 온도에서, Ca(OH)₂ weight loss가 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 이에 따라, 챔버 내부에서 이산화탄소가 제공되는 기간이 동일한 경우, 밀폐된 상태로 보다 오랜 기간 보관되어 제조된 방사성핵종 흡착제가 가장 많은 양의 수분 및 칼슘을 함유하는 것을 알 수 있다. 이는, 상기 방사성핵종 흡착제가 제조되는 과정에서, 상기 시멘트 페이스트에 제공되는 상기 이산화탄소가 부족한 경우에, 상기 탄산칼슘이 충분히 생성되기 어렵다는 것을 의미한다.

[0139] 도 8은 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 ²⁹Si MAS NMR 스펙트럼이다.

[0140] 도 8을 참조하면, 본 발명의 실시 예 1 및 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제에서 Q⁰ 내지 Q⁴에 해당하는 피크를 관찰할 수 있고, 본 발명의 실시 예 2에 따른 방사성핵종 흡착제에서 Q⁰ 내지 Q³에 해당하는 피크를 관찰할 수 있다.

[0141] -71 ppm 영역에서 관찰되는 상기 Q⁰는, 본 발명의 실시 예 2에 따른 방사성핵종 흡착제에서 intensity가 가장 강한 것을 확인할 수 있다. 상기 Q⁰는 미수화 시멘트 미네랄을 나타낸다. 이에 따라, 본 발명의 실시 예 2에 따른 방사성핵종 흡착제에 미수화 시멘트 미네랄이 가장 많이 존재하는 것을 알 수 있다.

[0142] 또한, -79 ppm 영역에서 관찰되는 상기 Q¹, 및 -84 ppm 영역에서 관찰되는 상기 Q²도, 본 발명의 실시 예 2에 따른 방사성핵종 흡착제에서 intensity가 가장 강한 것을 확인할 수 있다. 상기 Q¹ 및 Q²는 칼슘 실리케이트 수화물을 나타낸다. 이에 따라, 본 발명의 실시 예 2에 따른 방사성핵종 흡착제에 미반응 칼슘 실리케이트 수화물이 존재하는 것을 알 수 있다.

[0143] 반면에, -101 ppm 영역에서 관찰되는 상기 Q³, 및 -110 ppm 영역에서 관찰되는 상기 Q⁴는, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제에서 intensity가 가장 강한 것을 확인할 수 있다. 상기 Q¹ 및 Q²는 실리카 겔을 나타

낸다. 이에 따라, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제에 실리카 겔이 생성된 것을 알 수 있다.

[0145] 도 9는 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 ^{27}Al MAS NMR 스펙트럼이다.

[0146] 도 9를 참조하면, 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 tetrahedral 및 octahedral 사이트를 관찰할 수 있다. 13 ppm 영역에서 관찰되는 intensity는 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-tri(Aft)}$ 상(phase)을 의미하고, 9 ppm 영역에서 관찰되는 intensity는, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-mono(AFm)}$ 상을 의미한다. 55 ppm 영역에서 관찰되는 intensity는 알루미늄 겔을 의미한다. 도 8을 통해, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제가 상기 알루미늄 겔을 가장 많이 포함하는 것을 알 수 있다.

[0148] 하기 [표 3]은 본 발명의 실시 예 1 내지 실시 예 3에 따른 방사성핵종 흡착제의 흡착특성을 나타낸다.

표 3

	Zeta potential(mV)	$q_e(\text{mg/g})$	$K_d(\text{L/kg})$
실시 예 1	-9.32	66.55	1790
실시 예 2	12.65	27.82	360
실시 예 3	6.86	35.28	527

[0151] [표 3]을 참조하면, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제의 제타 포텐셜(Zeta potential)은 -9.32 mV, 본 발명의 실시 예 2에 따른 방사성핵종 흡착제의 제타 포텐셜은 12.65 mV, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제의 제타 포텐셜은 6.86 mV인 것에 따라, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제의 제타 포텐셜이 가장 작은 것을 확인할 수 있다.

[0152] 반면에, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제의 흡착 용량(absorption capacity)은 66.55 mg/g, 본 발명의 실시 예 2에 따른 방사성핵종 흡착제의 흡착 용량은 27.82 mg/g, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제의 흡착 용량은 35.28 mg/g인 것에 따라, 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제의 흡착 용량이 가장 큰 것을 확인할 수 있다.

[0153] 이에 따라, 제타 포텐셜 및 흡착 용량은 서로 상관관계가 있으며, 제타 포텐셜이 작을수록, 흡착 용량이 큰 것을 알 수 있다. 본 발명의 실시 예 1에 따른 방사성핵종 흡착제의 제타 포텐셜이 가장 작고, 흡착 용량이 가장 큰 것에 따라, 상기 방사성핵종 흡착제를 세습과 같은 방사성 물질에 제공하는 경우, 세습의 흡착이 용이할 수 있다.

[0155] 이상, 본 발명의 실시 예에 따른 방사성핵종 흡착제의 제조 방법, 및 그 제조 방법으로 제조된 방사성핵종 흡착제를 포함하는 방사성 폐기물 처리 장치의 특성에 대해 상세히 설명하였다. 본 발명을 바람직한 실시 예를 사용하여 상세히 설명하였으나, 본 발명의 범위는 특정 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 첨부된 특허청구범위에 의하여 해석되어야 할 것이다. 또한, 이 기술분야에서 통상의 지식을 습득한 자라면, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않으면서도 많은 수정과 변형이 가능함을 이해하여야 할 것이다.

부호의 설명

[0157] 100: 방사성 폐기물 처리 장치

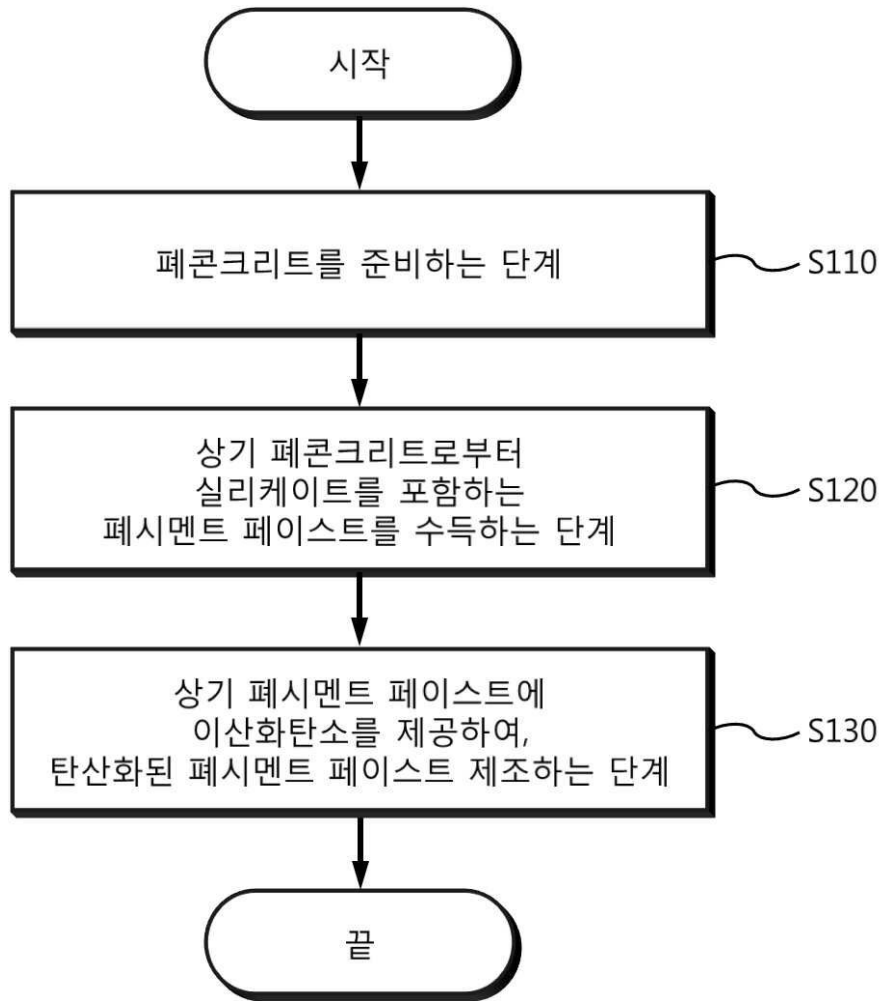
110: 컨테이너

120: 방사성핵종 흡착제

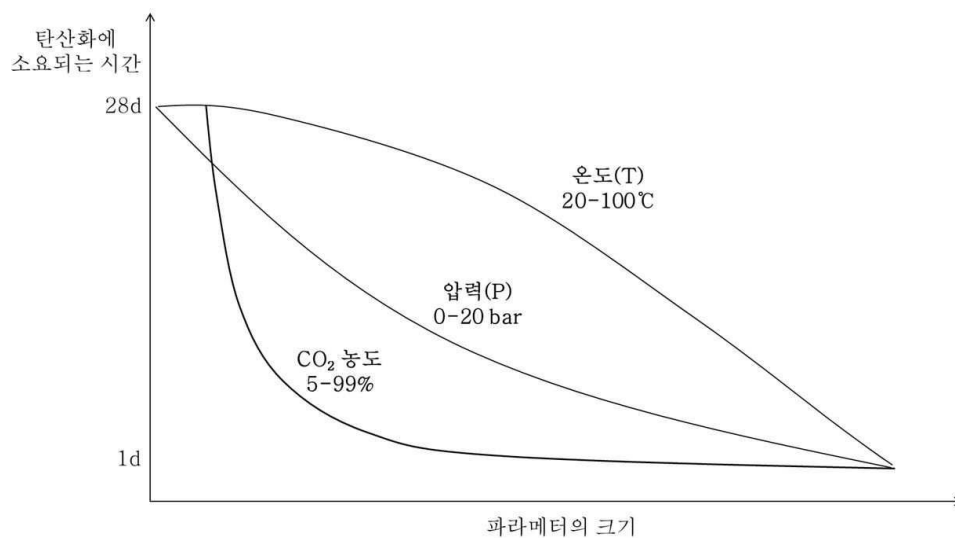
200: 방사성 물질

도면

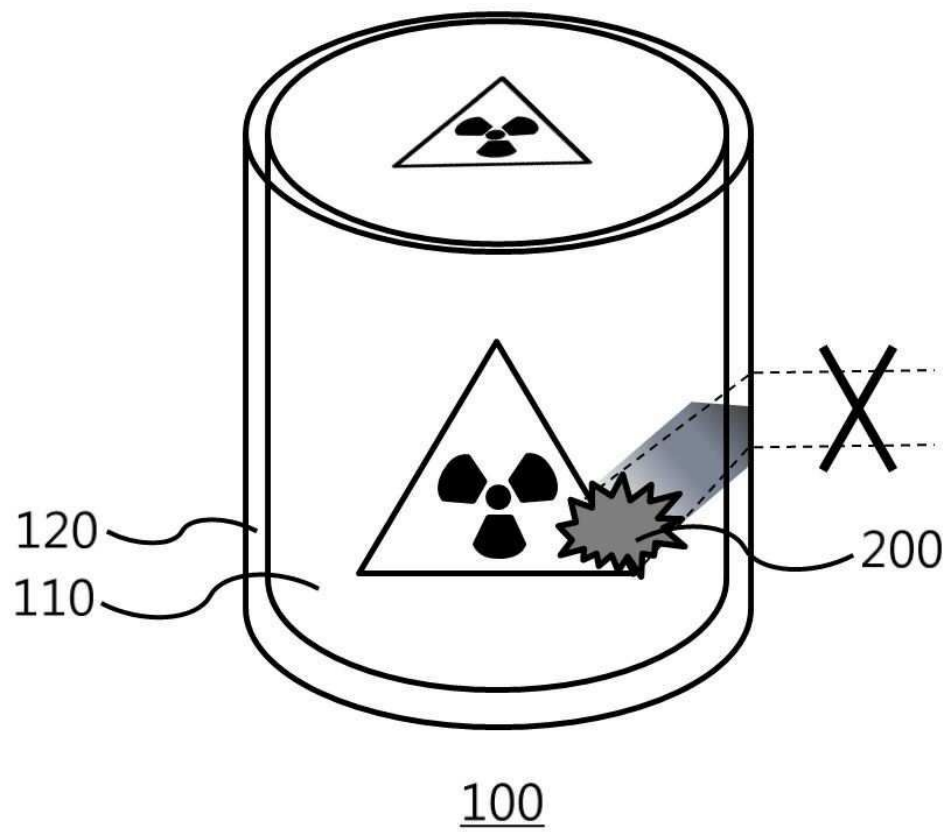
도면1



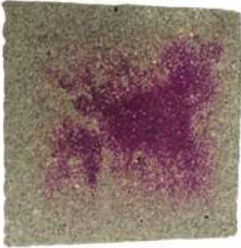
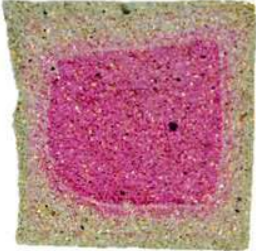
도면2



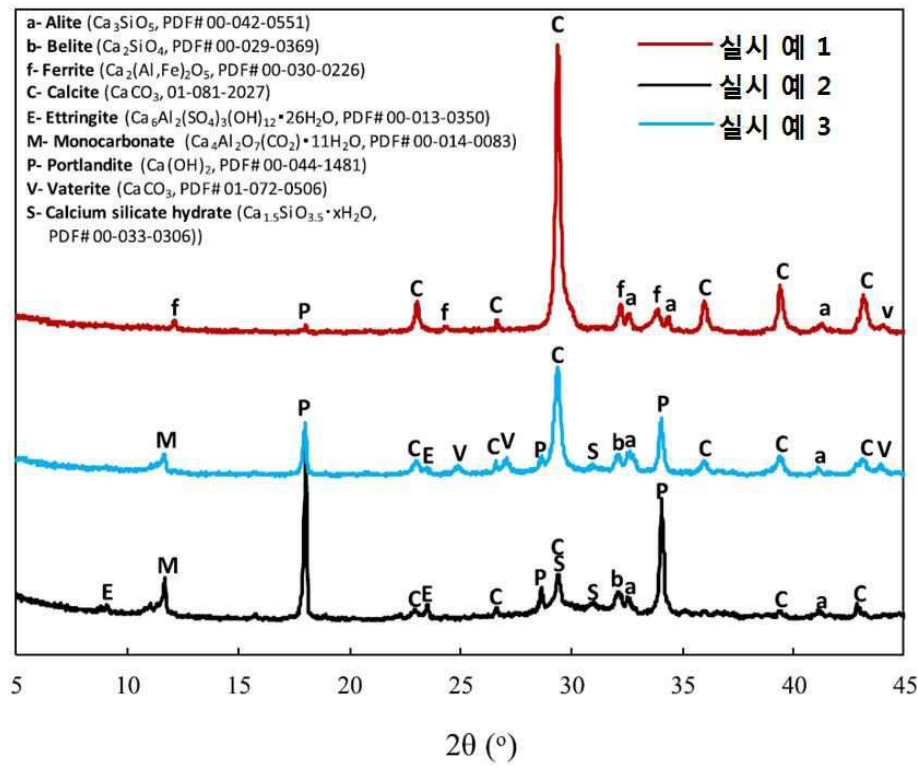
도면3



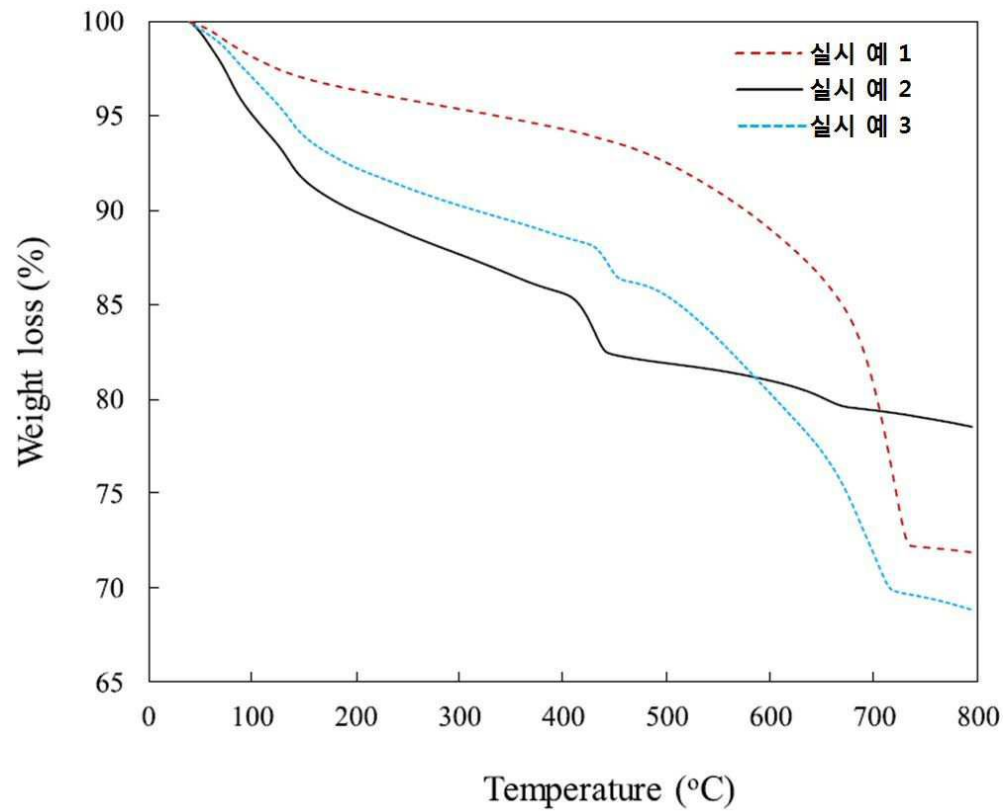
도면4

	7 days	14 days	28 days
C₂S 23%			
Carbonation degree	33%	61%	77%
C₂S 48%			
Carbonation degree	37%	54%	92%

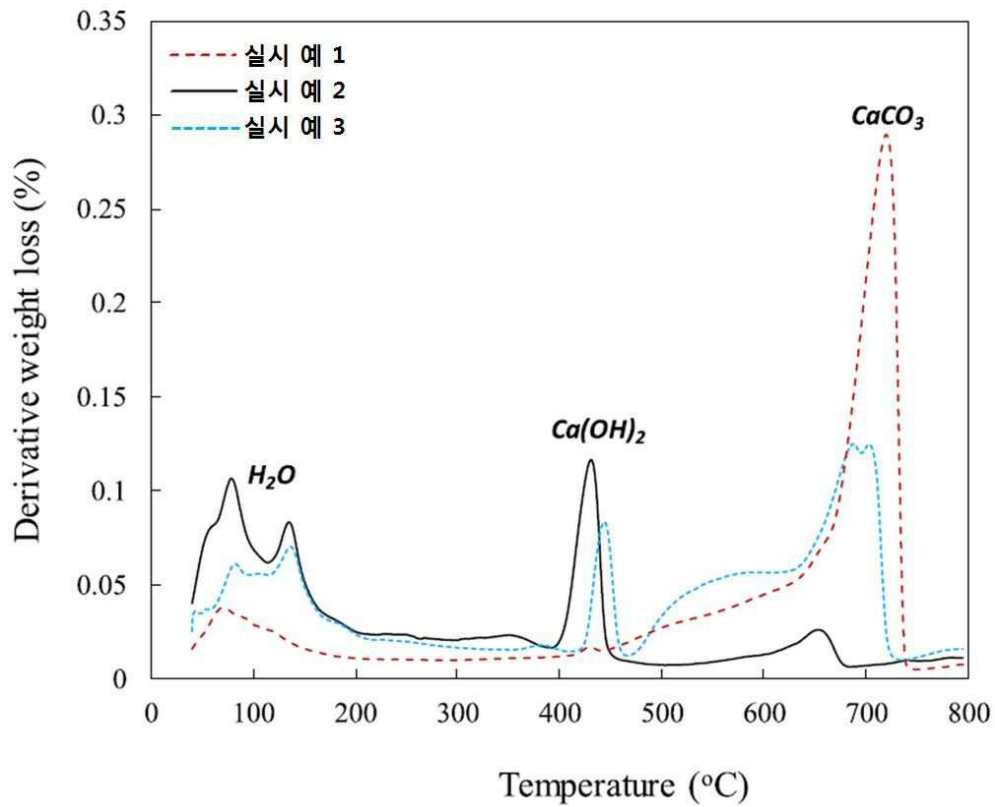
도면5



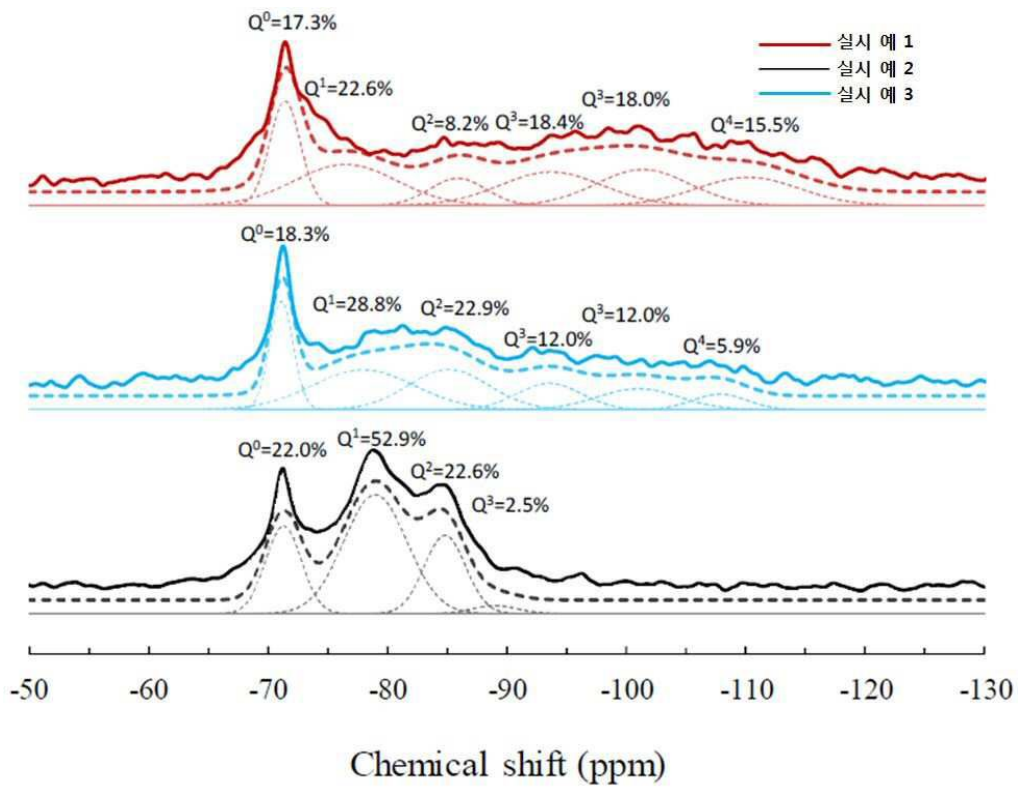
도면6



도면7



도면8



도면9

