(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0049243
(43) 공개일자 2011년05월12일

(51) Int. Cl.
B01D 53/62 (2006.01) *B01D 53/34* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2009-0106170
(22) 출원일자 2009년11월04일
심사청구일자 2009년11월04일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
윤성택
서울특별시 중랑구 신내동 신내9단지아파트 910동 701호
최병영
서울특별시 종로구 평창동 금강하이츠빌라 7동 211호
김경호
서울특별시 동작구 사당4동 296-11
(74) 대리인
특허법인 대아

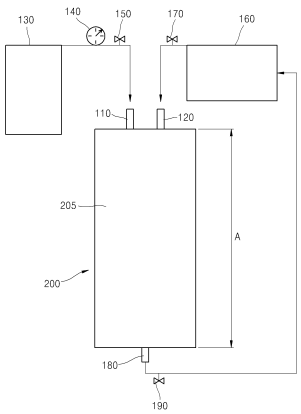
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 알칼리수와 콘크리트를 이용한 이산화탄소 처리 방법 및 이를 이용한 이산화탄소 처리 장치

(57) 요 약

본 발명은 알칼리수와 콘크리트를 이용한 이산화탄소 처리 방법 및 이를 이용한 이산화탄소 처리 장치에 관한 것으로, 알칼리수와 콘크리트를 이용한 이산화탄소 처리 방법은 콘크리트를 마련하는 단계와, 상기 콘크리트에 물을 주입시켜 공극수를 형성하는 단계와, 상기 공극수를 포함하는 상기 콘크리트에 알칼리수가 주입되도록 하는 단계 및 상기 알칼리수가 주입된 상기 콘크리트에 이산화탄소를 주입하는 단계를 포함하는 이산화탄소 처리 방법을 제공하고, 이를 실행할 수 있는 이산화탄소 처리 장치를 제공하는 발명에 관한 것이다.

대 표 도 - 도7



특허청구의 범위

청구항 1

콘크리트를 마련하는 단계;

상기 콘크리트에 물을 주입시켜 공극수를 형성하는 단계;

상기 공극수를 포함하는 상기 콘크리트에 알칼리수가 주입되도록 하는 단계; 및

상기 알칼리수가 주입된 상기 콘크리트에 이산화탄소를 주입하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 콘크리트의 중량 대 상기 물의 중량비율이 5:1 ~ 5:3의 비율이되도록 주입하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 알칼리수는 상기 콘크리트의 부피를 기준으로 5 ~ 15 mol/l의 양으로 주입하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 알칼리수가 상기 콘크리트에 주입되는 시간은 70 ~ 74시간이 되도록 하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 알칼리수는 석회(CaO) 대 물의 중량비가 1:10 ~ 1:2의 비율이 되도록 혼합하여 제조하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 이산화탄소를 주입하는 양은 상기 알칼리수가 주입되는 양과 동일하게 처리하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 이산화탄소의 부분압이 10^2 ~ 10^3 atm이 되도록 조절하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 이산화탄소는 상기 콘크리트의 부피를 기준으로 5 ~ 15mol/l의 비율로 주입하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 이산화탄소가 상기 콘크리트에 주입되는 시간은 70 ~ 74시간이 되도록 하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 방법.

청구항 10

콘크리트 및 공극수를 수용하는 반응조;

상기 반응조의 일측에 연결되는 이산화탄소 주입관;

상기 이산화탄소 주입관과 인접한 부분에 구비되는 알칼리수 주입관;

상기 알칼리수 주입관에 연결되는 알칼리수 생성조;

상기 알칼리수 주입관 및 상기 이산화탄소 주입관이 연결된 면과 타측 면에 연결되는 침출수 배출관; 및

상기 배출관을 통하여 나오는 침출수를 순환시켜 상기 알칼리수 생성조로 공급하는 순환 펌프를 포함하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 장치.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 공극수는 상기 콘크리트의 중량 대 물의 중량비율이 5:1 ~ 5:3의 비율이 되도록 주입되어 형성되는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 장치.

청구항 12

제 10 항에 있어서,

상기 알칼리수 주입관은 상기 콘크리트의 부피를 기준으로 5 ~ 15 mol/l의 알칼리수가 70 ~ 74시간 동안 주입되도록 하는 조절 밸브를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 장치.

청구항 13

제 10 항에 있어서,

상기 알칼리수 생성조는 석회(CaO) 대 물의 중량비가 1:10 ~ 1:2가 되도록 혼합하여 알칼리수를 제조하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 장치.

청구항 14

제 10 항에 있어서,

상기 이산화탄소 주입관은 상기 콘크리트의 부피를 기준으로 5 ~ 15 mol/l의 이산화탄소가 70 ~ 74시간 동안 주입되도록 하는 조절 밸브를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 장치.

청구항 15

제 10 항에 있어서,

상기 이산화탄소 주입관은 상기 이산화탄소의 부분압이 10^2 ~ 10^3 atm이 되도록 조절하는 압력게이지를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소 처리 장치.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 알칼리수와 콘크리트를 이용한 이산화탄소 처리 방법 및 이를 이용한 이산화탄소 처리 장치에 관한 것으로, 특히 건설폐기물인 폐콘크리트를 이용하여 발전소 및 공장 등에서 배출되는 이산화탄소를 효율적으로 처리하는 기술에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 지구 대기의 이산화탄소는 1800년대 이후로 지속적으로 증가하고 있으며, 지구 온난화의 주범이 되고 있다. 따라서 대기 중 이산화탄소 제거 및 저감 기술이 중요한 환경 문제의 연구 대상으로 떠오르면서, 1997년 선진 38개국이 온실 가스를 2008년에서 2012년까지 1990년 대비 평균 5.2% 감축한다는 교토의정서를 채택하였다. 우리나라는 개도국으로 분류되어 아직까지는 구속적 의무 부담을 받고 있지는 않으나, 감축 의무 당사국 가입이 임박하여 있으므로, 경제적이고 효율적으로 이산화탄소를 분리 및 제거하는 기술의 개발이 요구된다.

[0003] 대기 중으로 배출되는 가스로부터 이산화탄소를 제거 및 회수하는 것은 고도의 기술을 요하는 것이다. 이를 위하여 기존의 개발된 방법으로서, 우선, 물리화학적 흡착(흡수)법을 들 수 있는데, 이들은 크게 흡수액을 이용하는 방법과 흡착제를 사용하는 방법으로 대별될 수 있다.

[0004] 흡수액을 이용하는 방법은 대부분 아민계 흡수 용액을 이용한다. 아민 용액에 의한 이산화탄소 분리 기술은 60년 전에 석유 및 화학 산업에 있어서 H_2S와 이산화탄소 제거를 위하여 개발된 것이며, 상업적으로 폭넓게 상용화되어 있는 기술이다. 그러나 이러한 방법은 아민 용액이 산화되기 쉬우며 재생에 있어 엄청난 에너지의 소모가 요구된다는 단점을 갖고 있다.

[0005] 이외의 물리 화학적 흡착법으로는 제올라이트 또는 활성탄 등의 고형 흡착제를 사용하여 혼합 가스로부터 이산화탄소를 분리하는 방법이 있다. 상기 방법은 PSA(Pressure swing adsorption)와 TSA(Temperature swing adsorption)로 구분되어 사용되고 있으며, 일부는 이산화탄소 제거 및 수소 생산을 위해서 사용되기도 한다. 그러나 고형의 흡착제를 이용하는 흡착 방법은 흡착제의 용량에 한계가 있으므로 대규모의 산업 시설에 적용하기에는 아직 기술적인 어려움이 있다.

[0006] 이 외에도, 멤브레인에 의한 분리법이 있는데, 이는 여러 가지 특성을 갖는 멤브레인을 사용하는 단계적 분리를 필요로 하기 때문에, 복잡하고 에너지와 비용 소모가 크다. 또한, 극저온 분류법, 분자체를 사용한 흡착 등의 방법에 의해서도 이산화탄소의 분리, 제거가 가능하지만, 상기 각각의 이산화탄소 분리 공정은 비용이 많이 소요되고, 기타 불순물이 포함되어 있는 경우 별도의 전처리 공정이 필요하다는 단점이 있다.

[0007] 한편, 현재 이산화탄소 처리 방법 중 하나인 엑시투(ex-situ) 방법으로 지상에서 천연광물 등을 이용하여 이산화탄소를 탄산염 광물질로 침전시키는 방법이 사용되고 있다. 이와 같이, 천연광물을 이용하는 방법은 대부분

Ca 및 Mg이 풍부한 규산염광물을 이산화탄소와 반응시켜 탄산염으로 침전시키는 것이다.

[0008] 그러나 규산염광물은 반응속도가 매우 느리기 때문에 이산화탄소 처리를 위한 반응을 촉진시키기 위해서는 많은 비용이 소모된다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0009] 본 발명에서는 콘크리트를 이용하여 이산화탄소를 처리하되, 알칼리수를 활용하여 그 효율을 극대화시킬 수 있도록 하고, 나아가 폐콘크리트를 재활용하는 효율도 향상시킬 수 있도록 하는 알칼리수와 콘크리트를 이용한 이산화탄소 처리 방법 및 이를 이용한 이산화탄소 처리 장치를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제 해결수단

[0010] 본 발명에 따른 알칼리수와 콘크리트를 이용한 이산화탄소 처리 방법은 콘크리트를 마련하는 단계와, 상기 콘크리트에 물을 주입시켜 공극수를 형성하는 단계와, 상기 공극수를 포함하는 상기 콘크리트에 알칼리수가 주입되도록 하는 단계 및 상기 알칼리수가 주입된 상기 콘크리트에 이산화탄소를 주입하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 여기서, 상기 콘크리트의 중량 대 상기 물의 중량 비율이 5:1 ~ 5:3의 비율이되도록 주입하는 것을 특징으로 하고, 상기 알칼리수는 상기 콘크리트의 부피를 기준으로 5 ~ 15 mol/l의 비율로 주입하는 것을 특징으로 하고, 상기 알칼리수가 상기 콘크리트에 주입되는 시간은 70 ~ 74시간이 되도록 하는 것을 특징으로 하고, 상기 알칼리수는 석회(CaO) 대 물의 중량비가 1:10 ~ 1:2의 비율이 되도록 혼합하여 제조하는 것을 특징으로 하고, 상기 이산화탄소를 주입하는 양은 상기 알칼리수가 주입되는 양과 동일하게 처리하는 것을 특징으로 하고, 상기 이산화탄소의 부분압이 10^2 ~ 10^3 atm이 되도록 조절하는 것을 특징으로 하고, 상기 이산화탄소는 상기 콘크리트의 부피를 기준으로 5 ~ 15 mol/l의 비율로 주입하는 것을 특징으로 하고, 상기 이산화탄소가 상기 콘크리트에 주입되는 시간은 70 ~ 74시간이 되도록 하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 아울러, 본 발명에 따른 이산화탄소 처리 장치는 콘크리트 및 공극수를 수용하는 반응조와, 상기 반응조의 일측에 연결되는 이산화탄소 주입관과, 상기 이산화탄소 주입관과 인접한 부분에 구비되는 알칼리수 주입관과, 상기 알칼리수 주입관에 연결되는 알칼리수 생성조와, 상기 알칼리수 주입관 및 상기 이산화탄소 주입관이 연결된 면과 타측 면에 연결되는 침출수 배출관 및 상기 배출관을 통하여 나오는 침출수를 순환시켜 상기 알칼리수 생성조로 공급하는 순환 펌프를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 여기서, 상기 공극수는 상기 콘크리트의 중량 대 상기 물의 중량비율이 5:1 ~ 5:3의 비율이 되도록 주입되어 형성되는 것을 특징으로 하고, 상기 알칼리수 주입관은 상기 콘크리트의 부피를 기준으로 5 ~ 15mol/l 비율의 알칼리수가 70 ~ 74시간 동안 주입되도록 하는 조절 밸브를 더 포함하는 것을 특징으로 하고, 상기 알칼리수 생성조는 석회(CaO) 대 물의 중량비가 1:10 ~ 1:2의 비율이 되도록 혼합하여 알칼리수 주입 시간 조절하는 것을 특징으로 하고, 상기 이산화탄소 주입관은 상기 콘크리트의 부피를 기준으로 5 ~ 15mol/l 비율의 이산화탄소가 70 ~ 74시간 동안 주입되도록 하고, 상기 이산화탄소 주입관은 상기 이산화탄소의 부분압이 10^2 ~ 10^3 atm이 되도록 조절하는 압력게이지를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

효 과

[0014] 본 발명의 실시예에 따른 알칼리수 및 콘크리트를 이용하여 이산화탄소를 처리하는 방법에 있어서, 알칼리수의 주입 속도 및 주입 농도의 조절을 통하여 이산화탄소 처리 능력(이산화탄소 주입 위치로부터의 거리에 따른 공극수 내의 용존 탄소 함량, 즉 용해된 이산화탄소의 양)을 더욱 향상시킬 수 있었다.

[0015] 따라서 본 발명에 따른 이산화탄소 처리 방법은 콘크리트 중에서도 특히 폐콘크리트를 효율적으로 재활용하면서도 이산화탄소의 처리 능력을 극대화시킬 수 있는 효과를 제공한다.

[0016] 아울러, 본 발명은 이산화탄소 처리 장치를 간소화 시킬 수 있고, 처리 장치를 제조하는 비용을 절약할 수 있는 효과를 제공한다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0017] 이하에서는 상술한 본 발명의 기술에 근거하여 알칼리수와 콘크리트를 이용한 이산화탄소 처리 방법 및 이를 이용한 이산화탄소 처리 장치에 대해 상세히 설명하는 것으로 한다.

[0018] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0019] 본 발명에서는 콘크리트를 이용하여 이산화탄소를 처리하고자 하였으며, 또한 이 과정에서 알칼리수를 활용하여 그 효율을 증대시키고자 하였다.

[0020] 특히, 폐콘크리트는 발생량이 매우 많고 매립시 물과 반응하여 알칼리성 환경을 만들어 환경적으로 매우 위해하다. 따라서 이러한 폐콘크리트를 활용하면 이산화탄소도 처리하고 폐콘크리트도 재활용할 수 있는 장점이 있다.

[0021] 한편, 콘크리트는 Ca 또는 Mg과 같은 성분이 풍부하고, 주 성분이 포틀랜다이트($Ca(OH)_2$)와 CSH(Calcium Silicate Hydrate) 광물들을 포함하므로, 알칼리수와 혼합할 경우 이산화탄소와의 반응속도를 매우 빠르게 조절할 수 있다.

[0022] 따라서 본 발명에서는 지구화학 모델 코드인 PHREEQC를 활용하여 콘크리트와 알칼리수를 이용한 이산화탄소 처리 능력을 평가하였다.

[0023] 그리고 평가 모델은 다음과 같은 순서로 진행하였다.

[0024] 1) 포틀랜다이트 시멘트 성분을 이용하여 이를 물과 반응시켜 콘크리트를 제조하는 단계

[0025] 2) 상기 콘크리트가 포함된 반응조 및 이산화탄소 처리 장치를 제조하는 단계

[0026] 3) 상기 콘크리트가 포함된 반응조에 이산화탄소를 주입시켜 반응시키는 단계

[0027] 4) 상기 콘크리트가 포함된 반응조에 알칼리수를 먼저 주입하고, 다음으로 이산화탄소를 주입시켜 반응시키는 단계

[0028] 결과적으로 위 3), 4)의 결과를 통해서 콘크리트의 이산화탄소 처리 능력과 알칼리수를 주입 시 효율 변화를 살펴보았다.

[0029] <평가 방법>

[0030] 1. 콘크리트 제조

[0031] 본 발명을 위한 모델링에서 활용한 폐콘크리트는 수활석(Brucite) 1.5 ~ 2.5mol/l, 방해석(Calcite) (1.0 ~ 1.5)×10^{-3}mol/l, 에트링가이트(Ettringite) (2.0 ~ 3.0)×10^{-2}mol/l, 침철석(Goethite) (8.0 ~ 9.0)×10^{-1}mol/l, CSH(Calcium Silicate Hydrate) 7 ~ 8.5mol/l, 카토에이트(Katoite) 0.8 ~ 1.4mol/l 및 포틀랜다이트(Portlandite) 4.5 ~ 6.5mol/l의 조성이 포함될 수 있도록 설정하였다.

[0032] 상기 조성은 일반 폐콘크리트 조성과 매우 유사한 범위에 있는 것으로, 따라서 상기 조성과 유사한 콘크리트를 이용함으로써, 폐콘크리트가 충분히 재활용될 수 있음을 입증하고자 하였다.

[0033] 상기 조성 범위 중에서 실험에 사용하기 위한 구체적인 포틀랜다이트 시멘트의 성분은 하기 표 1과 같이 하였으며, 그 결과 콘크리트 생성물에 포함되는 조성의 종류와 양은 하기 표 2와 같이 나타내었다.

[0034] [표 1] 본 발명의 일실시예에 따른 포틀랜다이트 시멘트 성분

조성		중량%
SiO_2		23.4
Al_2O_3		3.05
Fe_2O_3		2.15
CaO		67.4
MgO		0.70
SO_3		2.1
K_2O		0.15
Na_2O		0.1
Corresponding clinker components	Tricalcium silicate, C_3S	71
	Dicalcium silicate, C_2S	13
	Tetracalcium aluminate ferrite, C_4AF	8
	석고(Gypsum)	3.5
	석회(Lime)	2.5
※ Abbreviations used for clinker components: C=CaO, S=SiO_2, A=Al_2O_3, F=Fe_2O_3		

[0035]

[0036] 상기 표 1에서 각 조성들의 합이 100%가 되지 않는 것은 시멘트 성분 분석과정에서 열을 가해 수분을 증발시키고 순수 고체상에 대한 %로 나타내었기 때문이다. 즉, 상기 각 조성에서 잔부의 중량%는 수분과 같이 증발된 함량으로 보아도 무방하다.

[0037] [표 2] 본 발명의 일실시예에 따른 콘크리트 조성물

조성물	농도(mol/l)
Brucite	1.88
Calcite	1.27×10^{-3}
Ettringite	2.43×10^{-2}
Goethite	8.75×10^{-1}
CSH	7.62
Katoite	1.08
Portlandite	5.29

[0038]

[0039] 2. 상기 콘크리트가 포함된 반응조 및 이산화탄소 처리 장치를 제조하는 단계

[0040] 본 발명에 따른 이산화탄소 처리 장치의 모델 개념은 하기 도 1과 같이 설계할 수 있으며, 그 구체적인 구성은 하기 도 7에서 상세히 설명하는 것으로 한다.

[0041] 도 1은 본 발명에 따른 이산화탄소 처리 방법을 실험하기 위한 모델을 도시한 개략도이다.

[0042] 도 1을 참조하면, 먼저 총 길이 1m의 반응조(150)를 구비시키고, 모델 계산을 위해 각 10^3 ㎤(1l)의 용량을 갖는 셀(100)로 구분하였다.

[0043] 다음으로, 이산화탄소와의 반응을 촉진시키기 위하여 각 셀(100)에 상기 표 2의 성분으로 구성되어 있는 콘크리트를 채우고, 콘크리트 입자 사이에 공극이 완전히 채워지도록 물을 채운다. 즉, 물과 콘크리트가 화학적 평형 상태가 되도록 하며, 이와 같은 상태의 물을 공극수라 한다.

[0044] 본 발명의 콘크리트 공극수는 탄소(C) 7.5 ~ 8.5×10^{-6}mol/l, 알루미늄(Al) 1 ~ 2×10^{-5}mol/l, 칼슘(Ca) 1 ~ 2×10^{-2}mol/l, 철(Fe) 6.5 ~ 8.0×10^{-9}mol/l, 황(S) 1 ~ 2×10^{-3}mol/l 및 실리콘(Si) 1.5 ~ 3×10^{-6}mol/l를 포함하고, pH 12.36 ~ 13.20인 범위 내에서 형성되도록 하였다.

[0045] 상기 범위의 공극수는 후속 공정에서 알칼리수에 포함되는 석회(CaO) 성분과 반응하여 콘크리트 내에 Ca 및 OH가 충분히 포함될 수 있도록 한다. 이와 같이 Ca의 공급이 증가될 경우에 $CaCO_3$가 침전되어 이산화탄소 처분 효율이 극대화될 수 있도록 하므로, 공극수 형성 후 상기 범위의 조성 및 pH가 되지 않는 공극수는 본 발명에 따른 이산화탄소 처리 방법에 적합하지 않은 군으로 분류하여 실험에서 제외시켰다.

[0046] 따라서, 본 발명에 따른 일실시예로서 상기 표 2의 콘크리트에 따른 공극수 pH는 13.2가 되도록 하였고, 구체적 성분은 하기 표 3과 같이 나타나도록 하였다. 아울러, 이산화탄소 처분 효율을 극대화시키기 위해서 공극수의 총탄소의 농도는 7.815×10^{-6} mol/l로 비교적 낮은 범위가 나타나도록 하였다.

[0047] [표 3] 본 발명의 일실시예에 따른 콘크리트 공극수의 성분

[0048]

성 분	농도 (mol/l)
C	7.815×10^{-6}
Al	1.621×10^{-5}
Ca	1.632×10^{-2}
Fe	7.256×10^{-9}
S	1.521×10^{-3}
Si	2.112×10^{-6}

[0049] 3. 상기 콘크리트가 포함된 반응조에 이산화탄소를 주입시키거나, 알칼리수를 먼저 주입하고 다음으로 이산화탄소를 주입시켜 반응시키는 단계

[0050] 상기와 같은 반응조에 이산화탄소를 주입하되, 각 주입 방법을 달리하여 비교예 및 실시예들로 구분하였으며, 그에 따른 구체적 데이터는 하기 도 2 내지 도 6을 통하여 나타내었다.

[0051] 여기서, 이산화탄소의 주입 시간은 한 셀을 이동하는데 3일이 소요되도록 하였다. 따라서 총 길이 1m의 반응조를 주입수가 이동하는데 30일(한달)이 소요되도록 하였다.

[0052] 또한, 주입되는 주입수의 총탄소 농도는 10 mol/l가 되도록 하였다.

[0053] 이는 이산화탄소의 부분압 약 $10^{2.5}$에 해당되도록 한 것으로, 대기 중 이산화탄소의 부분압이 $10^{-3.5}$임을 고려하면, 대기 중 부분압 보다 10^6배 높은 매우 높은 양으로 실험을 한 것이며, 그 결과는 하기 도 2 내지 도 6에 시간별로 나타내었다.

[0054] <비교예1>

[0055] 상기 '1.콘크리트 제조'단계에서 제조한 콘크리트의 중량에 대한 물의 첨가 비율(즉, 물/콘크리트 비율)이 각각 0.2, 0.4, 0.6이 되도록 하여 반응조를 제조하였으며, 여기에 이산화탄소를 주입하여 그 결과를 측정하였다.

[0056] 도 2는 콘크리트에 물만 첨가하였을 경우 이산화탄소 처리 효율을 나타낸 그래프이다.

[0057] 도 2를 참조하면, 물보다는 콘크리트의 비율이 높아질수록 이산화탄소 처리 효율이 증가되었다. 그러나 3일이 경과한 후 처리되지 않고 물에 잔류하는 최소한의 이산화탄소의 농도가 12.5 mol/l(0.2의 경우)로 나타나므로, 처리 효율이 비교적 낮게 나타났다.

[0058] 이때, 이산화탄소 농도는 이산화탄소가 주입된 물속에 녹아있는 탄소농도이며, 이를 CO_2 농도로 환산하여 그래프에 나타내었다.

[0059] <실시예1>

[0060] 반응조는 상기 비교예1 중에서 물/콘크리트의 비율이 0.2가 되는 상태로 제조하였다.

[0061] 다음으로, 알칼리수는 석회(Lime; CaO)를 물과 반응시켜 생성시켜 제조하였다. 석회는 석탄재(fly ash)에도 풍부한 성분으로 물과 반응하여 다음 반응과 같이 $Ca(OH)_2$를 형성한다.

[0062] $CaO + H_2O = Ca(OH)_2$

[0063] 여기서, $Ca(OH)_2$는 강알칼리이므로, 이와 같이 제조된 강알칼리수를 앞서 이산화탄소를 주입하듯이 30일 동안 주입하여 콘크리트와 반응하도록 하였다.

[0064] 이때, 본 실시예에서는 석회/물의 중량 비율이 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 인 경우 별로 실험을 하였으며, 그 결과는 하기 도 3과 같이 나타났다.

[0065] 도 3은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 알칼리수의 농도에 따른 이산화탄소 처리 효율을 나타낸 그래프이다.

[0066] 도 3을 참조하면, 석회의 비율이 높아질수록 이산화탄소의 처리 효율이 증가되었다. 아울러, 석회/물의 비율이 0.3 이상이면 처리 효율이 거의 일정하게 유지되었다.

[0067] 또한, 처리 효율이 가장 떨어지는 석회/물=0.1인 경우에도 상기 비교예의 처리 효율이 가장 좋은 경우(물/콘크리트=0.2의 경우)와 유사한 결과를 나타내고 있으므로, 본 발명에 따른 이산화탄소 처리 방법의 효율이 매우 뛰어남을 알 수 있다.

[0068] 특히, 0.3 이상의 경우 매우 우수한 이산화탄소 처리 효율을 보였다. 그러나, 0.3 이상의 경우 처리 효율 증가분은 실질적으로 거의 나타나지 않았으며, 0.3, 0.4, 0.5의 경우 모두 그래프가 겹쳐지는 결과가 나타났으나, 시각적 효과를 위해서 각 그래프가 분리된 형식으로 표현하였다.

[0069] <실시예2>

[0070] 상기 실시예1과 모든 조건을 동일하게 수행하되, 반응조의 물/콘크리트 중량 비율이 0.4인 경우를 측정하였으며, 그 결과는 하기 도 4와 같다.

[0071] 도 4는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 알칼리수의 농도에 따른 이산화탄소 처리 효율을 나타낸 그래프이다.

[0072] 도 4를 참조하면, 초기의 이산화탄소 처리 효율은 상기 실시예1의 경우와 유사하게 나타났으나, 물의 비율이 증가함에 따라서 처리 기간에 따른 효율이 다소 감소된 것으로 나타났다.

[0073] <실시예3>

[0074] 상기 실시예1과 모든 조건을 동일하게 수행하되, 반응조의 물/콘크리트 중량 비율이 0.6인 경우를

측정하였으며, 그 결과는 하기 도 5와 같다.

[0075] 도 5는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 알칼리수의 농도에 따른 이산화탄소 처리 효율을 나타낸 그래프이다.

[0076] 도 5를 참조하면, 상기 실시예2와 마찬가지로 초기 이산화탄소 처리 효율은 상기 실시예1의 경우와 유사하게 나타났으나, 물의 비율이 증가함에 따라서 처리 기간에 따른 효율이 다소 감소된 것으로 나타났다.

[0077] 이러한 이유는, 처리되는 이산화탄소가 대부분 방해석($CaCO_3$)으로 침전되어야하는데, 물의 비율이 증가함에 따라 에트링가이트(Ettringite, $(Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}:26H_2O)$), CSH($Ca_2SiO_3(OH)_2:0.17H_2O$), 카토에이트(Katoite, $(Ca_3Al_2H_{12}O_{12})$), 포틀랜다이트(Portlandite, $(Ca(OH)_2)$)와 같은 Ca을 포함하는 다른 광물들의 침전이 증가함으로써, 더 이상의 방해석 침전(이산화탄소 소모) 반응이 일어나지 않게 되기 때문인 것으로 조사되었다.

[0078] 아울러, 상기 실시예1 내지 실시예3을 종합하여 볼 때, 물/콘크리트의 중량 비율에 상관없이 석회/물의 비율이 0.3 이상인 경우 다음과 같은 우수한 이산화탄소 처리 효율이 나타남을 알 수 있다.

[0079] 도 6은 콘크리트 반응조에 물 및 알칼리수를 첨가하였을 경우 이산화탄소 처리 효율을 나타낸 그래프이다.

[0080] 도 6을 참조하면, 물/콘크리트의 중량 비율 0.2이상이고, 석회/물 비율이 0.3 인 알칼리수의 경우 모두 동일한 이산화탄소 처리 효율을 얻을 수 있으며, 최초 3일(주입된 이산화탄소가 0.1m 진행한 시점) 후의 잔류 이산화탄소 농도가 0.68 mol/l로 매우 우수한 처리 효율을 나타내고 있음을 알 수 있다.

[0081] 상술한 도 3 내지 도 6의 결과를 바탕으로 반응조에 포함되는 콘크리트의 중량 대 물의 중량비율이 5:1(0.2) ~ 5:3(0.6)이 되도록 주입하는 것이 바람직함을 알 수 있다. 또한, 상기 그래프 패턴을 분석하여 볼 때 물/콘크리트의 중량 비율이 0.2 미만인 경우에는 이산화탄소 처리 효과가 나타나지 않음을 알 수 있고, 물/콘크리트의 중량 비율이 0.6을 초과하는 경우에는 이산화탄소 처리 시간이 증가하고 효율이 떨어지는 현상이 나타날 수 있다.

[0082] 다음으로, 석회의 중량 대 물의 중량 비로 1:10(0.1) ~ 1:2(0.5)가 되도록 혼합하는 것이 바람직하다. 석회/물의 비율이 0.1 미만인 경우 앞서 살펴본 도 3 내지 도 5의 그래프에서 가장 처리 효율이 떨어지는 석회/물=0.1인 경우 보다 더 위쪽으로 그래프가 그려질 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 이산화탄소 처리 시간이 증가되는 현상이 나타날 수 있다.

[0083] 또한, 석회/물의 중량 비율이 0.5를 초과하는 경우 앞서 살펴본 도 3 내지 도 5의 그래프에서 석회/물=0.5인 경우 보다 더 아래쪽으로 그래프가 그려질 수 있음을 알 수 있다. 그러나, 상기 도 3의 설명부분에서 언급한 바와 같이 석회/물=0.3 이상의 경우에는 이산화탄소 처리 효율의 증가분이 거의 나타나지 않을 수 있으므로, 이산화탄소 처리를 위한 비용 대비 효율 증대에 대한 경제적 효율이 떨어질 수 있다.

[0084] 그 다음으로, 콘크리트 1l를 기준으로 알칼리수 및 이산화탄소가 주입되는 시간은 각각 70 ~ 74시간이 되도록 하는 것이 바람직하다. 알칼리수 및 이산화탄소가 주입되는 시간이 70시간 미만이 되면 이산화탄소 처리가 미흡하게 수행될 수 있으며, 알칼리수 및 이산화탄소가 주입되는 시간이 74시간을 초과하게 되면 처리 시간 대비 효율증가량이 미미하므로, 경제적인 이득을 취할 수 없게 된다. 따라서 처리 시간은 3일을 기준으로 70 ~ 74시간으로 설정하는 것이 바람직하다.

[0085] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 이산화탄소 처리 장치는 알칼리수를 이용하여 그 효율을 향상시킬 수 있도록 하며, 이를 수행하기 위한 이상적인 조건을 도출하였다. 따라서 상기 조건을 이용하여 이산화탄소 처리 장치를 설계하면 하기 도 7과 같이 나타날 수 있다.

[0086] 도 7은 본 발명에 따른 이산화탄소 처리 장치를 도시한 개략도이다.

[0087] 도 7을 참조하면, 콘크리트 및 공극수(205)를 수용하는 반응조(200)가 구비된다. 이때, 반응조(200)는 1l의 단위 반응조를 기준으로 5 ~ 15개의 단위 반응조가 연결된 형태로 구비될 수 있다.

[0088] 이와 같은 반응조의 형태는 상기 수치 범위에 한정되는 것이 아니며, 상기 수치 범위 비율에 부합하는 형태가

된다면 어느 것이든 가능하다.

[0089] 따라서 반응조(200)의 전체 길이(A)가 0.5 ~ 1.5m 가 되도록 하는 것이 바람직하다. 반응조(200)의 단위 반응조가 5개 미만이거나 0.5m 미만으로 구비되는 경우 이산화탄소 처리가 미흡하게 수행될 수 있으며, 단위 반응조가 15개를 초과하거나, 1.5m를 초과하는 길이로 구비될 경우 처리 효율 대비 길이가 지나치게 길어져 처리기간이 낭비되는 현상이 발생할 수 있다.

[0090] 다음으로, 반응조(200)의 일측에 연결되는 이산화탄소 주입관(110)과, 이산화탄소 주입관(110)과 인접한 부분에 구비되는 알칼리수 주입관(120)이 구비된다. 그리고 이산화탄소 주입관(110) 및 알칼리수 주입관(120)과 반대가 되는 면에 침출수 배출관(180)이 구비된다.

[0091] 여기서, 알칼리수 주입관(120)은 석회와 물을 혼합하여 알칼리수를 제조하는 알칼리수 생성조(160)와 연결되며, 알칼리수 생성조(160)는 다시 침출수 배출관(180)과 연결되어, 침출수가 재사용될 수 있도록 구비될 수 있다. 침출수가 재사용되면 알칼리수 제조 시간이 짧아지고, 이산화탄소 처리 효율이 증가될 수 있다. 이때, 배출관(180)과 알칼리수 생성조(160) 사이에는 침출수 순환을 위한 순환펌프(190)가 더 구비될 수 있으며, 알칼리수 생성조(160)와 알칼리수 주입관(120) 사이에는 주입량 및 속도를 조절할 수 있는 알칼리수 조절 밸브(170)가 더 구비될 수 있다.

[0092] 그 다음으로, 이산화탄소 주입관(110)은 독립적으로 이산화탄소 저장 탱크(130)와 연결되며, 그 연결관 사이에는 압력게이지(140)와 주입 이산화탄소 조절 밸브(150)가 구비될 수 있다.

[0093] 여기서, 알칼리수 조절 밸브(170)는 콘크리트의 부피를 기준으로 5 ~ 15 mol/l의 알칼리수가 70 ~ 74시간 동안 주입되는 속도가 될 수 있도록 한다.

[0094] 아울러, 이산화탄소 조절 밸브(150)는 상기 알칼리수 조절 속도와 동일한 속도가 되도록 조절한다.

[0095] 상기 조건에서 알칼리수가 콘크리트에 주입되는 비율이 5 mol/l 미만이거나, 주입시간이 70 시간 미만인 경우 이산화탄소 처리 효율이 감소될 수 있다. 아울러, 알칼리수가 콘크리트에 주입되는 비율이 15 mol/l 초과하거나, 주입시간이 74 시간을 초과하는 경우에는 이산화탄소 처리 비용 대비 효율이 감소될 수 있다.

[0096] 또한, 이산화탄소가 콘크리트에 주입되는 비율이 15 mol/l를 초과하거나, 주입시간이 70 시간 미만인 경우 이산화탄소 처리 시간이 증가되고, 처리 효율이 감소될 수 있다. 아울러, 이산화탄소가 콘크리트에 주입되는 비율이 5 mol/l 미만이거나, 주입시간이 74 시간을 초과하는 경우에는 이산화탄소 처리 비용 대비 효율이 감소될 수 있다.

[0097] 다음으로, 이산화탄소 주입관(110)을 통과하는 이산화탄소의 부분압은 압력게이지(140)를 이용하여 10^2 ~ 10^3 atm이 되도록 조절하는 것이 바람직하다. 이산화탄소의 부분압이 10^2 atm 미만인 경우에는, 충분한 이산화탄소 공급이 이루어지지 않아 전체 처리 시간이 증가될 수 있으며, 10^3 atm를 초과하는 경우 이산화탄소의 주입량이 지나치게 증가되어 처리 효율이 급격하게 떨어질 수 있다.

[0098] 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 콘크리트를 이용하여 이산화탄소를 처리하는 방법 및 이를 이용한 이산화탄소 처리 장치는, 알칼리수를 주입함으로써, 콘크리트를 재사용하면서도 이산화탄소 처리 능력을 향상시킬 수 있도록 한다.

[0099] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으

로 이해해야만 한다. 한편, 이러한 콘크리트와 알칼리수를 이용한 다양한 규모와 형태의 반응조에서의 이산화탄소 최적 처리 조건 및 처리 효율은 모델링 기법을 활용하여 손쉽게 평가할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0100] 도 1은 본 발명에 따른 콘크리트 반응조를 활용한 이산화탄소 처리 방법 및 처리 효율을 실험하기 위한 모델을 도시한 개략도.

[0101] 도 2는 콘크리트 반응조에 물만 첨가하였을 경우 물/콘크리트 비율에 따른 이산화탄소 처분 효율을 나타낸 그래프.

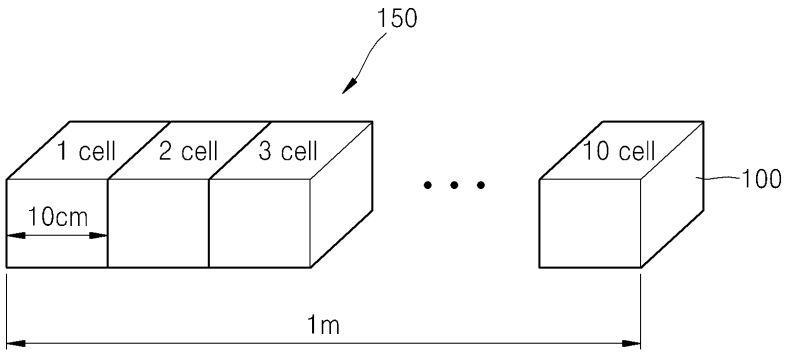
[0102] 도 3 내지 도 5는 반응조 내 알칼리수의 농도에 따른 이산화탄소 처리 효율을 나타낸 그래프.

[0103] 도 6은 콘크리트 반응조에 물 및 알칼리수를 모두 첨가하였을 경우 이산화탄소 처리 효율을 나타낸 그래프.

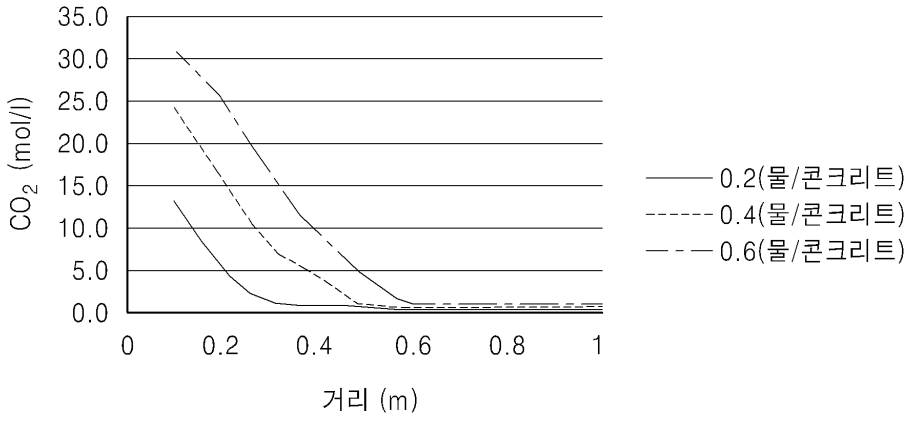
[0104] 도 7은 본 발명에 따른 이산화탄소 처리 장치의 설계 개념을 도시한 개략도.

도면

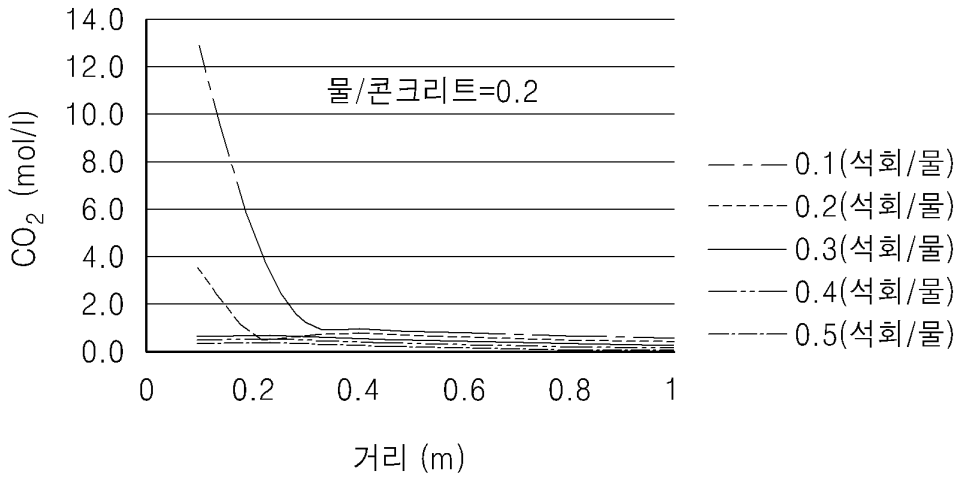
도면1



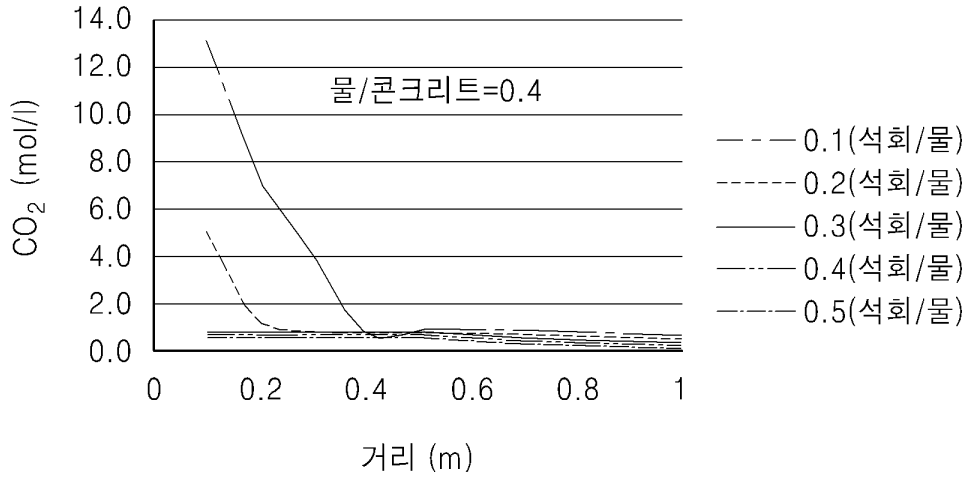
도면2



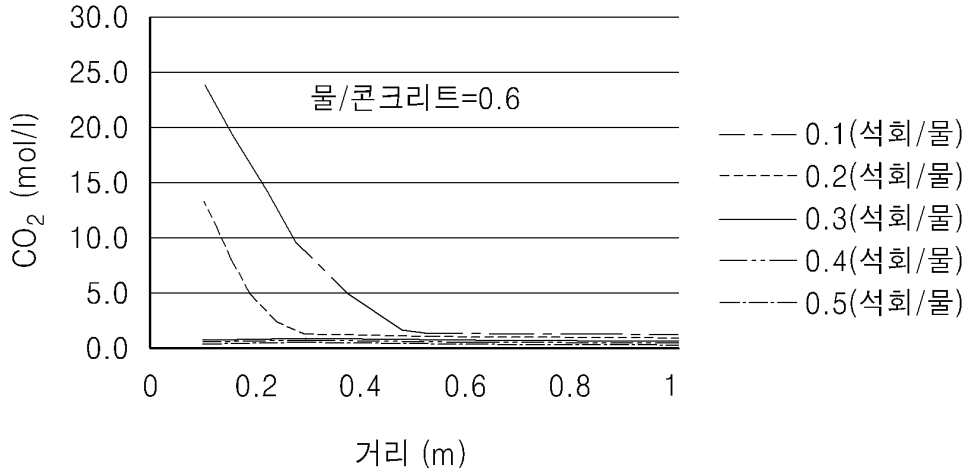
도면3


14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
CO_2 (mol/l)
물/콘크리트=0.2
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
거리 (m)
0.1(석회/물)
0.2(석회/물)
0.3(석회/물)
0.4(석회/물)
0.5(석회/물)

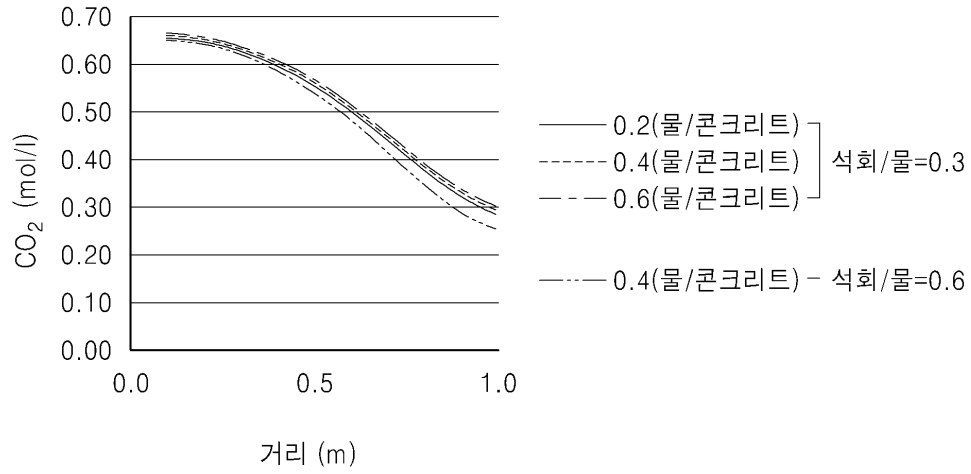
도면4


14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
CO_2 (mol/l)
물/콘크리트=0.4
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
거리 (m)
0.1(석회/물)
0.2(석회/물)
0.3(석회/물)
0.4(석회/물)
0.5(석회/물)

도면5


30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
CO_2 (mol/l)
물/콘크리트=0.6
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
거리 (m)
0.1(석회/물)
0.2(석회/물)
0.3(석회/물)
0.4(석회/물)
0.5(석회/물)

도면6


0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
CO_2 (mol/l)
0.0
0.5
1.0
거리 (m)
0.2(물/콘크리트)
0.4(물/콘크리트)
0.6(물/콘크리트)
석회/물=0.3
0.4(물/콘크리트) - 석회/물=0.6

도면7

