

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2012-0120087 (43) 공개일자 2012년11월01일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) C09K 17/42 (2006.01) C09K 103/00 (2006.01)		(71) 출원인 조선대학교산학협력단 광주광역시 동구 서석동 375 조선대학교 내
(21) 출원번호 10-2012-0042192 (22) 출원일자 2012년04월23일 심사청구일자 2012년04월23일		(72) 발명자 김대현 광주광역시 남구 주월동 호반베르디움2차아파트 202동 202호
(30) 우선권주장 1020110037517 2011년04월21일 대한민국(KR)		박경호 전라남도 여수시 미평동 삼익맨션 2동 105호
		(74) 대리인 특허법인세신

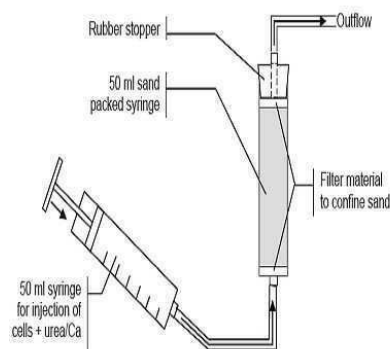
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 연약 지반 개량용 조성물 및 이러한 조성물을 사용하는 바이오 그라우트 방법

(57) 요약

본 발명에서는 미생물을 연약 지반에 적용함으로써 적용된 미생물의 생장을 통하여 탄산칼슘이 생성되도록 하고 이러한 탄산칼슘에 의하여 흙 입자와 흙 입자 간의 공극이 채워지도록 하며 그 결과 흙의 고결화(Cementation)에 따른 연약 지반의 개량 효과를 얻을 수 있는 조성물 및 이러한 조성물을 사용하는 바이오 그라우트 방법을 제공하고자 한다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2010-0003391

부처명 교육과학기술부 한국연구재단

연구사업명 기초연구사업-일반연구자지원사업-신진연구지원사업(연구비지원)

연구과제명 미생물을 이용한 흙의 고결화(Cementation) 특성 규명 및 지반개량 신공법 개발

주관기관 조선대학교

연구기간 2010.05.01 ~ 2013.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

연약 지반의 개량용 조성물로서,

미생물 용액, 염화칼슘 용액 및 기포제를 함유하고,

상기 미생물 용액의 미생물의 분해로부터 얻어지는 탄산염 이온과 상기 염화칼슘 용액으로부터 얻어지는 칼슘 이온의 반응으로 흙 입자 사이의 공극에 탄산칼슘을 침전시키고,

상기 기포제에 의하여 미생물에 공기가 공급되는 것인,

연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 미생물 용액은 물, 미생물 배지, 요소 및 미생물 액을 배합하여 얻어지는 것을 특징으로 하는, 연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 미생물 용액은 미생물 배지 0.2 내지 3.2 중량%, 요소 0.5 내지 8 중량%, 미생물 농도가 10^4 내지 10^8 개/㎖인 미생물 액 0.3 내지 4.5 중량% 그리고 잔부인 물을 배합하여 얻어지는 것을 특징으로 하는, 연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 미생물 용액의 미생물 농도를 10 내지 200배의 고농도로 농축하여 사용하는 것을 특징으로 하는, 연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 염화칼슘 용액의 물농도는 0.1M 내지 5M의 범위에서 선택되는 것을 특징으로 하는, 연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 기포제는 NaHCO_3 용액, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 용액 및 이들의 혼합물로 이루어진 군 중에서 선택되는 것을 특징으로 하는, 연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 NaHCO_3 용액 및 상기 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 용액의 물 농도는 각각 독립적으로 0.1M 내지 5M의 범위에서 선택되는 것을 특징으로 하는, 연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 NaHCO_3 용액 및 상기 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 용액의 혼합물은 NaHCO_3 및 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 이 0.1: 1 내지 1: 0.1의 부피 비율로 혼합되어 있는 것을 특징으로 하는, 연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 미생물 용액, 상기 염화칼슘 용액 및 상기 기포제는 상기 미생물 용액의 부피 100에 대하여 상기 염화칼슘 용액 50 내지 100 및 상기 기포제는 30 내지 70의 부피비로 상기 조성물 중에 함유되는 것을 특징으로 하는, 연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 미생물은 호기성 세균인 것을 특징으로 하는, 연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 연약 지반은 사질, 실트질 및 이들의 혼합물로 이루어진 군 중에서 선택되는 것으로 이루어지는 것을 특징으로 하는, 연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 사질의 토양 입자는 0.075mm 내지 4.75mm의 입경을 가지는 것을 특징으로 하는, 연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 13

제11항에 있어서, 상기 실트질의 토양 입자는 0.002mm 내지 0.075mm의 입경을 가지는 것을 특징으로 하는, 연약 지반의 개량용 조성물.

청구항 14

연약 지반의 개량을 위한 바이오 그라우트 방법으로서,

제1항 내지 제13항 중 어느 하나의 항의 연약 지반의 개량용 조성물을 연약 지반에 주입함으로써, 상기 기포제에 의하여 상기 미생물 용액의 미생물에 공기가 공급되고, 상기 미생물 용액의 미생물의 분해로부터 얻어지는 탄산염 이온과 상기 염화칼슘 용액으로부터 얻어지는 칼슘 이온의 반응으로 흙 입자 사이의 공극에 탄산칼슘을 침전시키며, 상기 탄산칼슘에 의하여 고결화가 이루어지는 것인, 연약 지반의 개량을 위한 바이오 그라우트 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 연약 지반 개량용 조성물 및 이러한 조성물을 사용하는 바이오 그라우트 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 천연 소재의 고갈로 인한 원자재 값 상승과 급속한 산업 발전에 따라 국가 기간 산업의 양적, 질적 확대에 의하여 국내 부지의 확보가 용이하지 않은 실정이다.

[0003] 이에 효율적인 토지 이용을 위하여 그동안 건설 부지로 고려치 않았던 느슨한 사질토나 연약한 점성토로 구성된 연약 지반의 개량에 대한 관심이 상당히 높아지고 있으며 해외 수주 등으로 중동 지역에 많은 건설업체가 나가고 있어 느슨한 사질토 지반 및 연약 지반의 개량에 대한 관심이 높아지고 있다.

[0004] 미생물을 이용한 바이오 그라우트에 관한 연구는 지반 공학 분야를 포함하여 국내 및 국외에 있어서 아직 초기 단계에 머무르고 있다. 지반 공학 분야에서 주입공법은 시멘트나 석회를 사용하여 지반을 개량하는데 이용되어 왔으며, 지반의 일부 또는 전체에 약액을 사용하여 개량하는 방법이 대부분이었다.

[0005] 한편, 현재 일반적으로 행하여지고 있는 주입 공법 및 주입 형태를 살펴보면 다음과 같다.

[0006] 주입 공법은 주사 바늘을 사용하여 체내에 주사하는 것처럼 비교적 가는 관("주입관"이라 함)을 사용하여 여러 가지의 주입재("그라우트"라 함)를 지반 속에 압력을 걸어 넣는 것이다. 그리고, 지반 속의 간극, 공동, 균열 등을 메워서 그 지수성이나 강도 증가를 꾀하는 지반 개량 공법의 하나이다.

[0007] 연약 지반 대책으로서의 주입 공법의 대상 지반은 도시 토목에서의 충적층이나 산악 터널에서의 화산 분출물이나 대수층의 강풍화암 층에 대표되는 미고결성 지반이다. 그 주입 목적이나 지반 조건, 주입 효과에 대한 요구도에 따라서는 할열 주입을 주체로 한 비교적 약한 층을 개량하는 것만으로 충분한 경우도 있지만, 그 굴삭시의 사고의 대부분은 부분적으로 충분히 고결되어 있지만, 고결의 불연속 부분에서 용수가 발생하여 토사의 유실, 그리고 전체적 붕괴에 이르는 경우가 많다. 따라서, 미고결성 지반에의 주입은 고결체끼리의 연속성을 어떻게 높이느냐가 중요하며, 설계 및 시공의 면에서의 유의 사항이 된다.

[0008] 주입 공법은 간편 신속, 또 그 설비도 콤팩트하기 때문에 다른 공법에서는 흉내낼 수 없는 유리한 면을 많이 가

지고 있다. 그러므로, 토목, 산악 공사에서의 굴착시의 가설로서 예부터 널리 사용되고 있으며, 수많은 실적도 남기고 있다. 주입 공법의 종류 및 용도는 매우 다양하다. 그러므로 주입재의 지반 속에 들어가기 혹은 넣기에 따라서 분류하면 도 1과 같이 된다.

[0009] 침투 주입

[0010] 침투 주입은 약액 주입 공법의 주류를 이루는 것으로 주입재가 토립자의 골격을 산란시키는 일 없이 토립자 간극에 침투하여 주입한 주입재는 소정의 시간("겔타임"이라 함)에 고결하여 지반을 다진다. 이것은 지반 내에 주입 관을 삽입, 이것을 통하여 화학 약액을 지중에 압송, 충전시켜 일정한 시간을 지중에 압송, 충전시켜 일정한 시간을 경과시키면 지반이 고결되는 것으로서, 지반의 불투수화 (차수, 지수) 또는 지반 강도 증대를 그 목적으로 한다.

[0011] 사질 지반 등의 투수성의 지반을 대상으로 하고 있으며 이 침투 주입에 의한 지반 개량의 기구는 약액이 토립자 간에 차지하고 있는 물이나 공기를 약액으로 밀어내서 치환하는 것이다. 이것은 기계적으로 흡과 고화제를 혼합 교반하던가, 증기를 사용하여 흡을 다지는 다른 지반 개량과 개량 기구가 크게 달라서, 원래 지반이 가지고 있는 토립자 간의 맞물림을 그대로 이용하는 특징을 가지고 있다.

[0012] 맥상 주입

[0013] 맥상 주입은 이미 지반 내에 존재하는 균열 혹은 크랙이나 새로운 주입압 등에 의해 지반을 할열한 극간에 주입재가 침입해서 맥을 형성하여 고결하는 것이다. 암반 주입에서는 이미 존재하고 있는 크랙에 주입재를 충전해서 수밀성을 높이는데 사용되고 있지만, 일반의 연약 지반에서는 과잉한 주입 압이나 주입 속도 등에 의해서 지반에 주입재를 밀어 넣음으로서, 개량하는 것을 말하고 있다. 암반 공학의 분야에서는 이전부터 원유의 채취나 지역 발전 등을 실시할 경우에는 지반의 수압 과채를 목적으로 한 할열 주입이 실시되고 있지만, 지반 주입에서는 연약 점토 지반을 대상으로 해서 시멘트계의 주입재가 이용되어 건물의 침하 억제 등을 목적으로서 이용되고 있다.

[0014] 충전 주입

[0015] 충전 주입은 주입재를 지반 속에 충전시키는 주입이다. 이때 지반 내에 충전하는 부분이 미리 공동으로 존재하고 있을 경우에는 문자대로 공동 충전이며 지반침하 등에 의해 생긴 건물과 지반과의 극간에 그라우트를 채울 경우의 충전 주입이 된다. 한편, 강제 압입형이라고도 불려야 할 충전 주입 방법이 근년 콤팩션 그라우팅공법이라는 이름으로 도입되고 있다. 이 방법은 지반 속에 공동을 강제적으로 발생시키고 그 부분을 주입재로 채우는 주입이다. 할열이 생기지 않게 공동을 만드는 데는 극히 비유동성의 주입재를 비교적 높은 압력으로 지반에 주입하므로 달성된다. 이렇게 주입재가 지반 내에서 미주하는 일 없이 거의 계획대로의 장소에 괴상의 고결체를 만들 수가 있다. 주입재로서는 슬럼프 0~3cm 정도의 시멘트계 소일모르타이고, 그 배합은 시멘트, 흙, 역분, 물로 구성되어 있다. 이와 같이 주입재가 유동하기 어렵기 때문에 그 고결체는 괴상 내지는 주상으로 경화되어서 지반 전체가 융기하고 있는 것이 된다. 이 성질을 적극적으로 이용해서 시설의 지하 구조물이나 건조물의 부등침하의 수정에 이용하고 있다. 또 구조물의 언더피닝도 가능하다.

[0016] 치환 주입

[0017] 치환 주입은 주입 범위의 흙을 고압 분사 등에 의해서 배출시키고, 그 배토된 부분에 주입재를 충전시키는 방법이다.

[0018] 상기한 바와 같은 다양한 주입 공법에 있어 구체적인 주입 방식으로는 현재 단관 로드 주입, 2중관 단상 주입, 2중관 복상 주입, 2중관 더블파커 주입의 4종류가 있다. 이들은 기본적인 사고법에 차이는 없지만, 장치나 주입재의 조합 등의 점에서 조금씩 특징을 달리하고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0019] 본 발명에서는 상기한 바와 같은 다양한 주입 공법 및 주입 방식의 종류에 제한을 받지 않고 다양한 방법으로 주입되어 연약 지반의 개량에 사용될 수 있는 조성물 및 이러한 조성물을 사용하는 바이오 그라프트 방법을 제공하고자 한다.

[0020] 즉, 본 발명에서는 미생물을 연약 지반에 적용함으로써 적용된 미생물의 생장을 통하여 탄산칼슘이 생성되도록

하고 이러한 탄산칼슘에 의하여 흙 입자와 흙 입자 간의 공극이 채워지도록 하며 그 결과 흙의 고결화(Cementation)에 따른 연약 지반의 개량 효과를 얻을 수 있는 조성물 및 이러한 조성물을 사용하는 바이오 그라우트 방법을 제공하고자 한다.

[0021] 특히, 본 발명에서는 미생물을 고농도로 처리하여 미생물의 효율성을 높이고 그 결과 비용 절감 및 공사 기간의 단축 등을 효과를 얻을 수 있으며, 기포제를 사용하여 호기성인 미생물이 공기가 미약한 지반 속에서도 호흡을 통하여 탄산칼슘을 침전시키는 것을 보다 극대화시킬 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다.

[0022] 상기 본 발명의 기포제는 콘크리트에 작은 기포를 고르게 발생시켜 내동결 용해성, 내식성, 내구성 등을 개선시킬 목적으로 사용하는 물질이나, 본 발명에서는 이를 연약 지반의 개량을 위한 조성물 중에 미생물을 위한 공기 주입을 더욱 원활하게 하는 기포제로서 함유시킴으로써 연약 지반의 강도를 더욱 크게 하고, 차수성을 증진시키는 효과도 얻을 수 있도록 한다.

과제의 해결 수단

[0023] 상기한 바와 같은 본 발명의 목적은

[0024] 연약 지반의 개량용 조성물로서,

[0025] 미생물 용액, 염화칼슘 용액 및 기포제를 함유하고,

[0026] 상기 미생물 용액의 미생물의 분해로부터 얻어지는 탄산염 이온과 상기 염화칼슘 용액으로부터 얻어지는 칼슘 이온의 반응으로 흙 입자 사이의 공극에 탄산칼슘을 침전시키고,

[0027] 상기 기포제에 의하여 미생물에 공기가 공급되는 것인,

[0028] 연약 지반의 개량용 조성물에 의하여 달성된다.

[0029] 바람직하게는, 상기 미생물 용액은 물, 미생물 배지, 요소 및 미생물 액을 배합하여 얻어진다.

[0030] 바람직하게는, 상기 미생물 용액은 미생물 배지 0.2 내지 3.2 중량%, 요소 0.5 내지 8 중량%, 미생물 농도가 10^4 내지 10^8 개/ml인 미생물 액 0.3 내지 4.5 중량% 그리고 잔부인 물을 배합하여 얻어진다.

[0031] 바람직하게는, 상기 미생물 용액의 미생물 농도를 10 내지 200배의 고농도로 농축하여 사용한다.

[0032] 바람직하게는, 상기 염화칼슘 용액의 물농도는 0.1M 내지 5M의 범위에서 선택된다.

[0033] 바람직하게는, 상기 기포제는 NaHCO_3 용액, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 용액 및 이들의 혼합물로 이루어진 군 중에서 선택된다.

[0034] 바람직하게는, 상기 NaHCO_3 용액 (탄산수소나트륨 용액) 및 상기 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 용액 (탄산암모늄 용액)의 물 농도는 각각 독립적으로 0.1M 내지 5M의 범위에서 선택된다.

[0035] 바람직하게는, 상기 NaHCO_3 용액 및 상기 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 용액의 혼합물은 NaHCO_3 및 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 이 0.1: 1 내지 1: 0.1의 부피 비율로 혼합되어 있다.

[0036] 바람직하게는, 상기 미생물 용액, 상기 염화칼슘 용액 및 상기 기포제는 상기 미생물 용액의 부피 100에 대하여 상기 염화칼슘 용액 30 내지 70 및 상기 기포제는 30 내지 70의 부피비로 상기 조성물 중에 함유된다.

[0037] 바람직하게는, 상기 미생물은 호기성 세균이다.

[0038] 바람직하게는, 상기 연약 지반은 사질, 실트질 및 이들의 혼합물로 이루어진 군 중에서 선택되는 것으로 이루어진다.

[0039] 바람직하게는, 상기 사질의 토양 입자는 0.075mm 내지 4.75mm의 입경을 가지는 것이다.

[0040] 바람직하게는, 상기 실트질의 토양 입자는 0.002mm 내지 0.075mm의 입경을 가지는 것이다.

[0041] 또한, 상기한 바와 같은 본 발명의 목적은,

[0042] 연약 지반의 개량을 위한 바이오 그라우트 방법으로서,

[0043] 제1항 내지 제14항 중 어느 하나의 항의 연약 지반의 개량용 조성물을 연약 지반에 주입함으로써, 상기 기포제에 의하여 상기 미생물 용액의 미생물에 공기가 공급되고, 상기 미생물 용액의 미생물의 분해로부터 얻어지는

탄산염 이온과 상기 염화칼슘 용액으로부터 얻어지는 칼슘 이온의 반응으로 흙 입자 사이의 공극에 탄산칼슘을 침전시키며, 상기 탄산칼슘에 의하여 고결화가 이루어지는 것인,

[0044] 연약 지반의 개량을 위한 바이오 그라우트 방법에 의하여 달성된다.

발명의 효과

[0045] 본 발명의 연약 지반 개량용 조성물 및 이러한 조성물을 사용하는 바이오 그라우트 방법의 효과를 살펴보면 다음과 같다.

[0046] 첫 번째로, 약액 주입 공법에 있어 현재 일반화된 약액은 물유리 약액이 대부분으로서, 차수 목적의 경우는 물유리만 사용하지만, 지반 강도 증대 목적의 경우는 시멘트를 병행하여 사용하여야 한다. 또한, 약액에는 흙이나 지하수를 오염시키는 성분이 없어야 하는데 지하수 오염이 가장 적은 공법으로 물유리계 공법을 사용하고 있다. 이에 본 발명의 조성물은 물유리 용액으로 사용되지만 차수 목적 뿐만 아니라 지반 강도 증진의 효과도 가져오며, 이러한 지반 강도 증진 효과를 가져오기 위하여 시멘트를 병합할 필요가 없으므로 비용 절감 효과까지 얻을 수 있다.

[0047] 두 번째로, 시멘트 주입 공법은 시멘트 현탁액을 펌프로 압송하여 지반 내에 고결시키는 것을 말하며 고결화 속도가 높으므로 급한 시공에 사용되나 시멘트의 압송 노즐에서 굳어져 주입이 되지 않는 불편함이 있고 석회재료로서 지반에 투입되면 주변의 pH의 변화나 생태계적으로 파괴를 일으켜 토양의 오염 및 지하수 오염을 일으킬 수 있다. 이에 본 발명의 조성물을 사용하는 바이오 그라우트 방법은 미생물 용액과 혼합 반응 용액의 노즐은 약액임으로 막힐 염려가 없고 석회와는 다르게 환경적인 측면에서도 상당히 안전한 공법으로서 생태계를 유지하면서 지반의 강도 효과를 가져올 수 있다.

[0048] 세 번째로, 콤팩션 주입 공법은 장비의 기기가 매우 고가이고 사질토의 경우에 사용되므로 적용성의 한계가 있다. 또한, 그라우트의 반죽질기의 의해 다짐 효과가 나타나므로 좋지 않은 효과가 나타날 수도 있다. 이에 비해 본 발명의 조성물을 사용하는 바이오 그라우트 방법은 매우 효율적인 비용으로 사질토 및 실트질에서도 적용성을 인정받으므로 더욱 다양한 지반에 주입에 의한 지반 강도 개선의 효과를 가져올 수 있다.

[0049] 네 번째로, 제트 주입 공법은 그라우트 관을 통해 고압의 공기나 압력수로 지반에 공동을 만들고 관을 일정한 속도로 들어 올리며 시멘트/슬러리, 몰타르 등을 주입하는 방식으로 시공하는데, 모든 토질에 적용 가능한 것이 장점이다. 그러나 그라우트 배합, 노즐의 크기와 압력, 주입율, 관인상속도, 관 회전율 등의 변수를 조정하는데 상당한 기술이 필요한 단점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0050] 도 1은 일반적인 주입 공법을 보이는 것이다.

도 2는 본 발명의 미생물 용액의 제조 방법을 보이는 것이다.

도 3은 본 발명의 연약 지반 개량용 조성물을 주입하는 시험 공시체를 보이는 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0051] 본 발명자들은 연약 지반을 개량하기 위한 조성물로서,

[0052] 미생물 용액, 염화칼슘 용액 및 기포제를 함유하고,

[0053] 상기 미생물 용액의 미생물의 분해로부터 얻어지는 탄산염 이온과 상기 염화칼슘 용액으로부터 얻어지는 칼슘 이온의 반응으로 흙 입자 사이의 공극에 탄산칼슘을 침전시키고,

[0054] 상기 기포제에 의하여 미생물에 공기가 공급되는 것인,

[0055] 연약 지반을 개량하기 위한 조성물에 의하여 연약 지반을 개량한다.

[0056] 1. 미생물 용액의 준비

[0057] 1.1 사용 미생물

[0058] 본 발명에 사용가능한 미생물은 호기성 세균이다. 바람직하게는 본 발명에서는 *Sporosarcina pasteurii*라는 균

으로서, 한국생명공학 연구원 생물자원센터에서 균배양체로 분양을 받아서 사용하였다.

- [0059] 1.2 일반 농도 처리 미생물 용액 제조 (도 2의 배양액 제조 내지 shaking incubator까지의 내용 참조)
- [0060] 먼저, 증류수 900ml 메스실린더에 담아서 비커에 넣고 시료 교반기 위에 놓고 속도를 조절한다.
- [0061] 그 다음 미생물 배지 0.2 내지 3.2%(용액 1000ml 기준으로 2 내지 32g 넣음)를 비커에 넣고 섞는다.
- [0062] 그 다음, 요소(Urea) 0.5 내지 8%(용액 1000ml 기준으로 5 내지 80g 넣음)를 비커에 넣고 섞는다.
- [0063] 그 다음 섞어진 미생물 배지 용액 900ml를 다시 메스실린더에 담아 1000ml를 만든다.
- [0064] 그 다음 삼각플라스크에 담긴 1000ml 배지 용액을 각각 호일을 이용하여 막고 멸균기에서 121도에서 15분간 멸균시켜 영양 배지를 만든다(멸균 과정에서 습기가 위로 올라와서 폭발하게 되는 것을 방지하기 위해서 호일로 감싼다).
- [0065] 그 다음, 멸균된 영양 배지 1000ml를 클린벤치로 가져온 후, 기존에 있던 미생물 액(미생물 농도 : 10^4 내지 10^8 개/ml, 바람직하게는 약 10^6 개/ml) 0.3 내지 4.5%(용액 1000ml 기준으로 3 내지 45g 넣음)를 상기 멸균된 영양 배지에 접종시킨다 (만약 1000ml를 접종한다면 $5000\mu\text{l}$ 의 스포이드로 두번 접종을 하면 1%인 10ml가 접종된다).
- [0066] 그 다음 접종한 1000ml의 삼각 플라스크를 인큐베이터에 넣고 24시간 정도 온도 30 °C에서 rpm 180으로 교반하면서 미생물을 키워 미생물 용액을 얻는다.
- [0067] 1.3 고농도 처리 미생물 용액 제조 (도 2 참조)
- [0068] 상기 1.2에서 설명된 절차에 따라 얻어진 일반 농도 처리 미생물 용액 2L를 만들어 1L씩 부어 저울을 이용하여 수평을 맞춘다.
- [0069] 수평을 맞춘 용액을 원심분리기에 넣고 온도 4 °C와 rpm 6000에서 10분간 회전을 시켜서 용액 안에 존재하는 미생물을 농축시킨다.
- [0070] 바람직한 고농도 처리 미생물 용액의 농축 비율은 10 내지 200배, 보다 바람직하게는 20 내지 100배, 더 좋게는 40 내지 50 배 정도이다. 농축 비율을 위와 같이 설정한 이유는 200배 이상에서는 미생물의 입자가 너무 적은 양으로 한곳으로 모으면 미생물균이 스트레스를 받아 짧은 시간에 세포가 많이 죽고, 10배 미만에서는 농축의 효과를 볼 수 없기 때문이다.
- [0071] 농축 방법은 1000ml 미생물 용액을 원심분리로 사용하여 농축을 시키면 미생물의 입자들이 한곳으로 모이고, 이때 용액들은 모두 버리고 농축된 미생물 세포들에게 스포이드를 이용하여 다시 풀어주게 되는데, 풀어줄 때 몇 ml로 만드냐에 따라서 용액의 배율이 정해진다. 즉, 1000ml 농축 후 용액을 버리고 새로운 영양배지 용액으로 농축된 입자들에게 스포이드로 쏘아서 25ml를 만든다면 40배가 되게 된다.
- [0072] 바람직한 실시예에서, 뭉쳐 있는 미생물을 스포이드로 이용하여 배양액을 뿌려 줌으로써 농도를 결정할 수 있는데 1L 미생물 용액을 농축된 25ml로 만들어 사용하여 약 40배의 농도로 농축하였다.
- [0073] 2. 염화칼슘 용액의 준비
- [0074] 본 발명에서 사용되는 염화칼슘 용액은 염화칼슘을 물에 용해함으로써 얻어진다. 바람직한 염화칼슘의 용액의 농도 범위는 0.1M 내지 5M이다. 이렇게 염화칼슘 용액의 농도 범위를 설정한 이유는 염화칼슘의 농도가 0.1M 미만에서는 염화칼슘 수용액에 녹아있는 칼슘의 양이 적으므로 고농도처리 미생물용액과 반응시 탄산칼슘의 생성이 잘 나타나지 않으며, 5M을 초과하면 염화칼슘 수용액과 고농도처리 미생물용액이 반응하는 정도가 한정되어 있어 탄산칼슘의 양이 더 이상 증가하지 않기 때문이다.
- [0075] 3. 기포제의 준비
- [0076] 기포제란 기포의 생성 및 성장을 통해 액체의 표면적이 확대되는 것이므로 기포제는 표면장력을 저하시킬 수 있

어야 한다. 기포제로는 비누, 로트유, 사포닌, 합성 세제, 달걀 흰자위 등이 있다. 또, 합성수지, 고무 등에 녹여서 가열에 의해 기체를 발생시키는 물질, 즉 발포제를 기포제에 포함시키는 경우도 있지만 발포제는 환경적인 오염성 물질이 있으므로 일반적으로는 구별하여 사용한다.

[0077] 본 발명에서는 미생물이 호흡을 통해 탄산염을 만들어 내는데 거기에 효과적으로 더욱 많은 탄산염을 만들기 위해서 공기가 필요함으로 탄산수소나트륨(NaHCO_3) 및/또는 탄산암모늄($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)을 액체 상태, 즉 용액 상태로 만들어 추가로 주입을 하였다.

[0078] 즉, 본 발명에서 사용되는 기포제는 NaHCO_3 용액 (탄산수소나트륨 용액), $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 용액 (탄산암모늄 용액) 및 이들의 혼합물로 이루어진 군 중에서 선택된다.

[0079] 바람직한 탄산수소나트륨 용액 및 탄산암모늄 용액의 몰 농도 범위는 각각 독립적으로 0.1M 내지 5M이다. 탄산수소나트륨 용액 및 탄산암모늄 용액의 농도가 각각 0.1M 미만에서는 각각의 수용액 중에 녹아있는 탄산수소나트륨 및 탄산암모늄의 양이 적으므로 기포제의 효과가 미미하며, 5M을 초과하면 더이상 기포제 주입으로 인한 효과가 증진되지 않기 때문이다.

[0080] 상기 탄산수소나트륨 용액 및 상기 탄산암모늄 용액의 혼합물은 탄산수소나트륨 용액 및 탄산암모늄 용액이 0.1: 1 내지 1: 0.1의 부피 비율로 혼합되는 것이 바람직하다.

[0081] 4. 미생물 용액과 염화칼슘 용액의 연약 지반에 대한 적용

[0082] 상기 1. 내지 3.에서 각각 준비된 미생물 용액, 염화칼슘 용액 및 기포제를 토양, 바람직하게는 사질 또는 실트질로 이루어진 연약 지반에 적용한다.

[0083] 즉, 미생물 용액은 미생물 배지 0.8%, 요소(Urea) 2%, 기존에 있던 미생물 액(미생물 농도 : 10^4 내지 10^8 개/ml) 1% 및 잔부인 물을 포함시켜 제조한다 (이하의 표에서는 "일반 농도"로 표시됨). 또한, 이렇게 제조된 미생물 용액을 40배 농축시켜 농축 미생물 용액을 제조한다 (이하의 표에서는 "고농도"로 표시됨).

[0084] 염화칼슘 용액은 농도가 0.7M인 것을 제조하고, 기포제는 농도가 0.7M인 탄산수소나트륨 용액으로 제조한다.

[0085] 이러한 미생물 용액, 염화칼슘 용액 및 기포제의 부피 비율은 2:1:1이고, 미생물의 용액 양에 따라서 염화칼슘 용액의 양이 결정될 수 있다. 아래의 실시예에서, 모래(실트)는 기본적인 물성치 실험을 통해 300g(300g)을 사용할 때에 최적 함수비가 약 1000ml(1000ml)이므로 미생물 용액, 염화칼슘 용액 및 기포제를 각각 1000ml(1000ml), 500ml(500ml) 및 500ml(500ml)로 사용하였다.

[0086] 일반적으로 연약 지반의 고결화 방법으로 지반에 적용하는 방법과 콘크리트에 적용하여 고결화하는 방법이 있는데 후자는 콘크리트의 특성상 시멘트가 들어가고 시멘트 성분 자체가 고결화 기능을 가지므로 온전한 미생물의 반응으로 고결화가 되었다고 할 수 없다. 또한 전자인 지반에 적용하는 방법에 있어서도 소석회를 일정량 섞어서 사용한 방법들이고 이 역시 소석회가 점토의 지반을 단단하게 하는 기능을 가지므로 온전한 미생물의 반응으로 볼 수 없다.

[0087] 이들과 달리 본 발명은 순수한 미생물 용액과 염화칼슘 수용액의 반응을 통하여 토양 입자 사이 공극에 탄산칼슘을 침전시켜 연약지반의 고결화를 얻을 수 있다.

[0088] 4. 흙의 고결화 특성

[0089] 4.1 흙의 고결화(Cementation) 개념

[0090] 흙의 고결화(Cementation)는 흙이 단단해 지는 일련의 과정이며, 퇴적물이 퇴적암으로 진행되어지는 과정 또한 장기적인 고결화 과정으로 볼 수 있을 것이다. 이러한 고결화는 공극을 통하여 고결물(Cement)이라 부르는 고형 물질들이 공극 내에 침전되어 퇴적물 입자들을 서로 묶어주어 흙 입자들을 단단하게 형성하도록 하는 것이다.

[0091] 자연적인 고결작용은 소규모, 일반 규모, 또는 대규모에서의 지층상 간격은 각기 다르게 나타난다. 또한 침전물 내부의 고결작용 정도는 환경적인 조건의 특성에 따라 조절이 가능하며, 많은 차이가 발생하기도 한다(Dejong

et al. 2006).

[0092] 인공적인 고결작용의 예로는 그라우팅 방법을 생각할 수 있을 것이다. 비배수 그라우팅의 중요한 특성은 자연성질을 이용한 것이며, 비배수 그라우팅 방법은 흙 퇴적물의 원상태를 유지하면서 지반보강을 하는 방법이다. 화학적 그라우팅은 보통 $10^{-1} \sim 10^{-4}$ cm/sec 범위의 침투성을 가진 토양을 처리하는데 사용된다(Karol 2003; Leonard and Moller 1963). 빈 공간을 중합된 겔로 채움으로써 전단강도를 증가시키게 되었으며, 이는 흙의 안정성을 증가시키고 동시에 침하로 인한 붕괴 가능성을 줄이고, 흙 입자를 고정시키는 결과를 가져온다.

[0093] 4.2 미생물을 이용한 흙의 고결화 시 고려해야 할 요인들

[0094] 4.2.1 미생물 용액의 pH

[0095] 미생물 반응으로 생성되는 탄산칼슘결정 침전은 pH 8.3에서 시작하며, 탄산칼슘 결정 침전이 증가하는 비율은 pH 9이상에서 발생된다고 하였다(Stock-Fischer 1999). 이에 본 발명에서 미생물 용액과 염화칼슘 용액을 섞어 pH를 확인한 결과 9.0 이상이 되었으며, 미생물 용액과 염화칼슘의 반응 pH는 무처리 된 시료에 적용한 경우 6.5, 일반농도 처리된 시료에 적용한 경우 7.0으로 나타났으며, 이는 미생물, 염화칼슘 용액을 흙에 적용 시 pH가 낮아짐을 알 수 있다.

[0096] 4.2.2 흙 입자의 크기 및 공극비

[0097] 흙 입자의 크기 및 공극비는 미생물 반응 실험이 실질적으로 이루어 질 수 있는 조건으로 미생물 성장에 중요한 요인이라고 할 수 있다. 지반공학적으로 통일분류법을 참고하여 흙을 분류 했을 때 직경을 보면 자갈의 경우 4.75mm이상의 입자들을 말하며, 모래의 경우 0.075mm이상 ~ 4.75mm미만의 입자들을 나타내고, 실트의 경우 0.002mm이상 ~ 0.075mm미만의 입자들이며, 점토의 경우 0.002mm미만의 입자들을 나타낸다. 실험에 사용된 미생물의 지름 길이는 보통 0.0030mm~0.0005mm 정도로 흙 입자와 흙 입자 사이의 공극을 자유롭게 통과할 수 있으나, 세포 밖에서 방해석 침전이 일어날 경우 미생물의 크기는 원래의 크기보다 약 20배 정도 커지게 되어 미생물의 원활한 통과가 이루어지지 않을 수도 있다(Mitchell and Santamarina 2005). 그러므로 미생물이 흙 입자 사이에서 성장하기 위해서는 0.006mm ? 0.01mm의 흙 입자의 크기가 필요하고, 미생물이 충분히 움직일 수 있는 공극이 확보 되어야 한다.

[0098] 4.2.3 흙의 종류

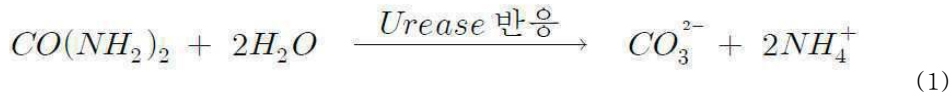
[0099] 미생물의 성장에 있어서 흙의 선정도 반응이 이루어지는 다른 요인과 마찬가지로 중요한 요인으로 작용한다. 2.2.2절에서 언급한 바와 같이 흙의 종류는 크게 자갈, 모래, 실트, 점토로 구분되어지며, 미생물 성장에 있어서 가장 적합 흙은 흙 입자의 크기를 통해 살펴 본 결과로써, 모래와 실트가 가장 적합한 흙임을 알 수 있다. 이에 본 발명에서는 모래와 실트에 미생물 용액을 첨가하여 미생물 반응을 살펴보았다.

[0100] 4.2.4 수분함량 및 온도

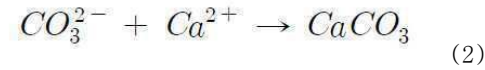
[0101] 미생물의 생장은 수분의 함량과 온도의 영향을 받는데 최적의 온도에서 가장 활발한 호흡속도를 나타낸다. 미생물의 호흡속도는 실질적으로 생성되는 탄산칼슘의 양을 증가시켜주는 역할을 한다. 본 발명에서는 미생물 최적의 성장 온도는 30° C이므로, 온도 조건을 30° C로 하여 미생물을 인큐베이터에서 배양하였다.

[0102] 4.3 미생물과 요소(Urea)의 반응과 탄산칼슘 생성

[0103] 미생물을 이용한 흙의 고결화(Cementation)는 미생물의 성장 반응을 통한 결과라고 할 수 있다. 본 발명에서는 미생물을 배양하기 위해 배양배지를 만들었으며, 배양배지는 영양배지(NB)와 요소 혼합액을 섞어서 사용하였다. 미생물과 요소의 반응은 식1과 같으며, 미생물 성장을 통해 요소와 반응하여, 아래와 같이 탄산이온(CO_3^{2-})과 두 개의 암모늄이온(NH_4^+)으로 가수분해 된다.



미생물은 요소를 먹잇감으로 삼아 반응을 통해 생성된 탄산이온(CO_3^{2-})과 염화칼슘($CaCl_2$) 수용액의 칼슘이온(Ca^{2+})이 반응하여 탄산칼슘($CaCO_3$)이 생성되며, 탄산칼슘 침전 반응은 식 2와 같다.



결국 미생물 반응을 통해서 생성된 탄산칼슘($CaCO_3$)은 지반 내의 공극을 채워 주고 결합력을 높여주어 지반의 고결화(Cementation)가 형성된다.

5. 미생물 고결화 특성 규명을 위한 실내시험

미생물을 이용한 흙의 고결화(Cementation)는 아직 전 세계적으로 초기 단계에 머무르고 있으며, 지반공학분야 이외에도 다양한 분야에서 폭 넓게 활용되고 있다. 미생물을 이용한 고결화(Cementation)는 입자와 입자사이에 비어있는 공간에 미생물이 직접 침투하여 지반과 지반사이의 공극을 보다 더 조밀하게 채워주는 역할을 하여 강도의 증가가 발생한다.

본 발명에서는 미생물을 이용하여 흙의 성질을 개선하고 강도 증가 정도를 실험을 통해 알아보았다. 강도측정을 위한 시험으로 포켓관입시험기를 통해 일축압축강도를 실시하였으며, 탄산칼슘 생성을 확인하기 위하여 전자현미경(SEM) 분석 및 XRD 시험을 실시하였다. 다짐시험을 통하여 최대건조단위중량($r_{d(max)}$) 및 최적함수비(OMC)를 결정하였고, 탄산칼슘($CaCO_3$) 생성을 위해서 0.75M의 염화칼슘($CaCl_2$)을 첨가하여, 재령 7일에 따른 고결정도를 확인하였다.

5.1 시험 시료 배합비

5.1.1 모래 시험 시료 배합비

본 발명에 사용된 모래시험시료의 배합비는 다짐시험을 통해 얻어진 최적 함수비 14.92% 기준으로 2배의 미생물 용액, 염화칼슘 수용액 및 기포제를 첨가했으며, 느슨한 모래의 상태를 재현하기 위하여 상대밀도 40%를 맞추어 시험을 실시하였다.

표 1

모래 시험 시료 배합비

시료	재령일	Soil(g)	염화칼슘 용액(ml)	탄산수소나트륨 용액(ml)	미생물 용액(ml)	물(ml)
모래	무처리 7일	300	-	-	-	2000
	일반농도처리 7일	300	1000	-	1000	-
	일반농도처리 +기포제 7일	300	500	500	1000	-

[0115] 5.1.2 실트 시험 시료 배합비

[0116] 본 실험에 사용된 실트 시험 시료 배합비는 다짐시험을 통해 얻어진 최적 함수비 11.6% 기준으로 2배의 미생물 용액, 염화칼슘 수용액 및 기포제를 첨가했으며, 상대다짐도(R_c) 70%를 맞추어 시험을 실시하였다.

표 2

[0117] 실트 시험 시료 배합비

시료	재령일	Soil (g)	염화칼슘 용액(ml)	탄산수소나트륨 용액(ml)	미생물 용액 (ml)	물 (ml)
실트	무처리 7일	300	-	-	-	50
	일반농도처리 7일	300	1000	-	1000	-
	일반농도처리+기포제 7일	300	500	500	1000	-

[0118] 5.2 미생물 주입공법에 의한 투수성 시험

[0119] 5.2.1 실시예 1- 모래시료에 대한 일반농도처리+기포제

[0120] 주입과 배수를 원활하게 하기 위해 윗부분과 아랫부분의 배수구를 제외하고 밀폐시킨 원통형 공시체(5cm*12cm)를 제작하였다. 공시체는 수두차를 주어 액체가 흐를 수 있도록 하였다. 먼저 모래(주문진 표준사 300g)를 준비하여 상대밀도 40%를 맞추어 자유 낙하방식으로 균일하게 공시체 내에 주입하였다. 미생물 용액이 잘 주입될 수 있도록 증류수를 통과시켜 우선적인 흐름경로를 만들고 배수구에 증류수가 빠져 나옴을 확인한다. 그 후에 일반농도 미생물 용액 1000ml와 염화칼슘 수용액 500ml와 기포제 500ml를 혼합한 용액을 20ml/min 속도로 주입하여 투수성 실험을 하였다. 시료의 투수계수를 측정하여 아래 표 3에 나타내었다.

[0121] 공시체는 주문제작하여 유입구를 만들고 고무링으로 밀폐시킨 후 다공판을 놓아 미생물이 흙에 직접 분사됨을 막고 골고루 표면으로 들어 갈 수 있도록 제작하였다. 또한 바닥부분은 조밀한 다공판을 설치하여 시료가 빠져 나가지 못하도록 하였고 주입된 용액은 잘 빠져 나갈 수 있도록 제작하였다. 도 3은 미생물 주입공법의 모식도와 시험 공시체이다.

[0122] 5.2.2 비교예 1-모래시료에 대한 일반농도처리

[0123] 미생물 용액 1000ml와 염화칼슘 수용액 1000ml를 혼합한 용액을 주입한 것 이외에는 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 투수성 시험을 하였다. 시료의 투수계수를 측정하여 아래 표 3에 나타내었다.

[0124] 5.2.3 비교예 2-모래시료에 대한 무처리

[0125] 물 2000ml를 혼합한 용액을 주입한 것 이외에는 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 투수성 시험을 하였다. 시료의 투수계수를 측정하여 아래 표 3에 나타내었다.

표 3

[0126] 모래시료에 대한 투수시험 결과

시 료	처 리 방 법	통과량(cm^3)	수두차 (cm)	시간 (sec)	투수계수(cm/sec)
모 래	일반농도처리 + 기포제 7일 (실시에 1)	110	59	300	3.20×10^{-3}
		115	59	300	3.40×10^{-3}
		110	59	300	3.20×10^{-3}
	일반농도 처리 (비교예 1)	215	59	300	6.50×10^{-3}
		210	59	300	6.35×10^{-3}
		200	59	300	6.05×10^{-3}
	무처리 (비교예 2)	780	59	300	2.29×10^{-2}
		783	59	300	2.30×10^{-2}
		775	59	300	2.28×10^{-2}

[0127] 투수시험 결과를 살펴보면, 모래시료는 표 3과 같이 무처리의 경우 투수계수가 약 $2.27 \times 10^{-2} (\text{cm/sec})$ 로 투수계수가 매우 높음을 알 수 있었으며, 일반농도처리의 경우 투수계수는 약 $6.30 \times 10^{-3} (\text{cm/sec})$ 으로 무처리에 비해 약 30% 정도 높은 차수의 효과를 볼 수 있었고, 기포제 혼합시료에서는 $3.30 \times 10^{-3} (\text{cm/sec})$ 로 나타났다. 이를 통해 미세한 탄산칼슘 알갱이가 입자와 입자사이의 공극에 침전되어 차수의 효과가 나타났음을 확인할 수 있었다.

[0128] 5.2.4 실시예 2-실트시료에 대한 일반농도처리+기포제

[0129] 먼저 곡성 심기전에서 채취한 모래질 실트 시료 300g을 준비하여 상대밀도 40%를 맞추어 자유 낙하방식으로 균일하게 공시체 내에 주입하였다. 이때 공시체는 실시예 1과 동일한 것을 사용하였다. 미생물 용액이 잘 주입될 수 있도록 증류수를 통과시켜 우선적인 흐름경로를 만들고 배수구에 증류수가 빠져 나옴을 확인한다. 그 후에 일반농도 미생물 용액 1000ml와 염화칼슘 수용액 500ml와 기포제 500ml를 혼합한 용액을 5ml/min 속도로 주입시킨다. 이는 미생물의 고결화를 높여나가면서 완전히 고결화 결정을 이룰 때까지 계속적으로 주입하여 투수성 실험을 하였다. 시료의 투수계수를 측정하여 아래 표 4에 나타내었다.

[0130] 5.2.5 비교예 3-실트시료에 대한 일반농도처리

[0131] 미생물 용액 1000ml와 염화칼슘 수용액 1000ml를 혼합한 용액을 주입한 것 이외에는 상기 실시예 2와 동일한 방법으로 투수성 시험을 하였다. 시료의 투수계수를 측정하여 아래 표 4에 나타내었다.

[0132] 5.2.6 비교예4-실트시료에 대한 무처리

[0133] 물 2000ml를 혼합한 용액을 주입한 것 이외에는 상기 실시예 2와 동일한 방법으로 투수성 시험을 하였다. 시료의 투수계수를 측정하여 아래 표 4에 나타내었다.

표 4

[0134] 실트 시료에 대한 투수 시험 결과

시 료	처 리 방 법	통과량(cm^3)	수두차 (cm)	시간 (sec)	투수계수(cm/sec)
실트	일반농도처리 + 기포제 7일 (실시에 2)	10	80	600	1.10×10^{-4}
		10	80	600	1.10×10^{-4}
		9	80	600	9.60×10^{-5}
	일반농도 처리 (비교예 3)	14	80	600	1.53×10^{-4}
		15	80	600	1.64×10^{-4}
		14	80	600	1.53×10^{-4}
	무처리 (비교예4)	28	80	600	4.64×10^{-4}
		27	80	600	4.47×10^{-4}
		27	80	600	4.47×10^{-4}

[0135] 모래질 실트시료는 표 4와 같이 무처리의 경우 투수계수가 약 $4.52 \times 10^{-4}(\text{cm/sec})$ 로 투수계수가 낮음을 알 수 있었으며, 일반농도처리의 경우 투수계수는 약 $1.57 \times 10^{-4}(\text{cm/sec})$ 으로 무처리에 비해 약 35% 정도 높은 차수의 효과를 볼 수 있었고, 기포제 혼합시료에서는 $1.03 \times 10^{-4}(\text{cm/sec})$ 로 나타났다. 이 또한 미세한 탄산칼슘 알갱이가 입자와 입자사이의 공극에 침전되어 차수의 효과가 나타났음을 확인할 수 있었다.

[0136] 6. 결론

[0137] 본 발명은 느슨한 모래와 모래질 실트에 미생물 용액과 염화칼슘 용액 및 기포제를 첨가하여 탄산칼슘의 생성을 통하여 연약한 지반의 차수성을 확인할 수 있었다. 투수시험을 통해 모래, 모래질 실트 각각의 무처리 시료와 일반농도처리 시료, 기포제 시료를 가지고 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

[0138] 느슨한 모래의 시험결과 무처리 시료에서 $2.29 \times 10^{-2}(\text{cm/sec})$ 의 투수계수를 가진 반면, 일반농도처리 시료에서는 $6.30 \times 10^{-3}(\text{cm/sec})$ 의 투수계수로 약 30%의 차수효과를 보였고, 기포제를 혼합한 시료에서는 $3.30 \times 10^{-3}(\text{cm/sec})$ 로 일반농도처리 미생물 보다 차수효과가 더 뛰어난 것으로 나타났다. 이는 미생물용액이 염화칼슘 수용액과 반응하여 생성된 탄산칼슘이 입자와 입자 사이에 침전됨으로서 공극을 메워 차수의 효과를 볼 수 있음을 확인할 수 있었다.

[0139] 모래질 실트의 시험결과 무처리 시료에서는 $4.53 \times 10^{-4}(\text{cm/sec})$ 의 투수계수를 가진 반면, 일반농도처리 시료에서는 $1.57 \times 10^{-4}(\text{cm/sec})$ 의 투수계수로 약 35%의 차수효과를 보였고, 기포제를 혼합한 시료에서는 $1.03 \times 10^{-4}(\text{cm/sec})$ 로 일반농도처리 미생물 보다 차수효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 이 또한 탄산칼슘의 침전이 공극을 메움으로서 차수의 효과를 볼 수 있음을 확인할 수 있었다.

[0140] 탄산칼슘의 침전으로 인한 순수한 미생물의 효과로 차수의 목적을 이루었으나, 강도의 증가는 높은 함수비로 인하여 물리적인 측정이 불가능 하였다. 시멘트나 석고를 포함하지 않는 친환경 재료로서의 바이오그라우트제에 대한 연구가 많이 필요하다고 볼 수 있다.

[0141] 바이오그라우트제는 그라우팅 기술의 개발을 통해 기존의 시멘트 및 약액을 대체할 수 있는 대체재로 지하수 오염, 환경오염, 그라우트제 효율감소 등 기존의 문제점을 해결할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 아직 기술개발이 기초단계에 있어 강도, 대량생산, 초기 생산비용 등의 큰 문제점이 존재하고 있다. 이러한 문제점을 해결한다면 친환경 그라우트제로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

[0142] 7. 본 발명의 기대 효과

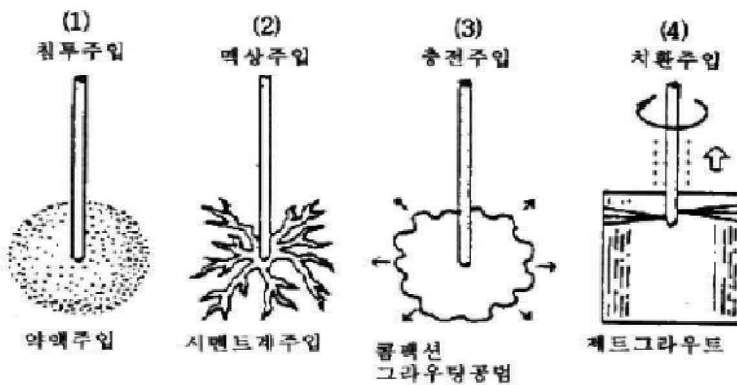
[0143] 최근 미생물을 이용한 국내외 연구가 활발히 진행됨에 따라 지반의 개량 방법과 철근 콘크리트의 균열 보수 등에 관한 연구가 끊임없이 나오고 있는 상황이다. 그러나 아직까지 큰 성과를 뚜렷이 나타내지 못하였으며 그 이유와 근본적인 원인을 찾아 본 발명을 완성하게 되었다.

[0144] 선행 연구 자료를 살펴보면 바이오-그라우트에 의한 지반 고결화를 이루고자 했으나 느슨한 사질토를 부분적으로나마 단단하게 만들 수 있었을 뿐이었으며 전체적인 강도의 효과를 보지 못하였고 공기의 접촉면이 있는 부분에서만 강도의 발현을 확인할 수 있었다.

[0145] 이는 호기성 미생물의 특징을 파악하지 못한 것으로 생각되며 본 발명의 요지는 미생물이 흙 속에서도 공기의 접촉을 높임으로서 이전에 나타나지 않았던 공기와 마찰 면이 없는 부분에 대해서도 강도의 효과를 높이하고자 콘크리트에 사용되는 기포제 및 AE제를 추가적으로 혼합용액으로 주입시키고 주입의 과정에서 용액을 주입시키고 일정 시간 뒤 지속적으로 공기를 주입함으로서 연약지반의 차수성 효과 뿐 만 아니라 지반의 강도 효과를 높이 고자 함이다. 또한, 미생물의 농도를 고농도로 증진시켜 기존의 일반적인 미생물 농도 보다 적은 양으로도 큰 효과를 볼 수 있고, 비용 절감과 대용량으로 효율적으로 공사기간을 단축시킬 수 있다.

도면

도면1



도면2



1. 배양액 제조



2. 멸균 과정



3. 개대배양



4. Shaking Incubator



5. 원심 분리기



6. 25ml의 고농축배양액

도면3

