



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년03월23일
 (11) 등록번호 10-1129047
 (24) 등록일자 2012년03월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
E02D 31/00 (2006.01) *B09B 3/00* (2006.01)
B09C 1/00 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2009-0115282
 (22) 출원일자 2009년11월26일
 심사청구일자 2009년11월26일
 (65) 공개번호 10-2011-0058472
 (43) 공개일자 2011년06월01일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR100879917 B1*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국지질자원연구원
 대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동)
 (72) 발명자
안주성
 대전광역시 유성구 송림로 20, 송림마을아파트
 205동 805호 (하기동)
이필원
 대전광역시 서구 갈마중로16번길 7, 7동 301호 (갈마동, 동산아파트)
김재곤
 대전광역시 유성구 가정로 43, 삼성 106-1606 (신성동, 한울아파트)
 (74) 대리인
임승섭

전체 청구항 수 : 총 1 항

심사관 : 허조영

(54) 발명의 명칭 **고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법**

(57) 요약

본 발명은 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따른 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법은 광산 폐기물인 광미(tailings)가 적치되어 있는 광미적치장을 안정화하기 위한 것으로서, 갈습공급원과 규산염공급원 및 광미를 혼합하여 광미적치장의 상부에 적층 및 고화시킴으로써 광미층 상부에 고화층을 형성하는 고화층 형성단계 및 고화층 위에 토양을 적층하여 복토층을 형성하는 복토단계를 포함하여 이루어진 것에 특징이 있다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 GP2009-020

부처명 지식경제부

연구사업명 기본사업

연구과제명 급경사지 및 휴폐광산지역의 재해예방기술 개발

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2009년 01월 01일 ~ 2011년 12월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

광산 폐기물인 광미(tailings)가 적치되어 있는 광미적치장을 안정화하기 위한 것으로서,
 갈습공급원으로서의 소석회와 규산염공급원으로서의 액상의 물유리 및 광미를 혼합하여 상기 광미적치장의 상부에 적층 및 고화시킴으로써 광미층 상부에 고화층을 형성하는 고화층 형성단계; 및
 상기 고화층 위에 토양을 적층하여 복토층을 형성하는 복토단계:를 포함하여 이루어지며,
 상기 소석회는 상기 광미에 대하여 5~20중량%의 비율로 혼합하며, 상기 물유리는 상기 광미와 소석회를 혼합한 양에 대하여 60~100중량%의 비율로 혼합하며,
 상기 고화층과 복토층 사이에 자갈층을 형성하되, 상기 자갈층은 석회석 자갈로 이루어진 것을 특징으로 하는 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 폐광 지역 내의 환경문제를 해결하기 위한 것으로서, 특히 광물찌꺼기인 광미가 유실 및 비산되는 것을 방지하고, 광미로부터 산성침출수가 배출되어 하천 및 토양을 오염시키는 것을 방지하도록 광미를 안정화시키는 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 광미는 광산에서 발생하는 잔재물들로 광석을 뺀 후 필요한 성분을 골라낸 뒤에 남은 광석 광물찌꺼기를 말하는 것으로서, 도 1의 사진에 보여지는 바와 같이, 폐광지역에 넓게 방치되어 있다.

[0003] 이렇게 방치된 광미는 집중강우에 의해 유실되거나 바람에 광미입자들이 비산되어 광산 주변의 하천, 농경지, 거주지 등을 오염시키게 된다. 이에 폐광 주변의 토양은 지속적으로 오염되어 보통의 토양에 비해 수십에서 수

백배 이상의 중금속을 함유하게 된다.

- [0004] 특히, 금속 광산의 광미 및 광폐석 등은 황화광물이 많이 포함되어 있는 바, 물속의 용존산소와 반응하면 산성수를 생성하며 중금속을 용출시키게 되고, 용출된 중금속은 침출수로 유출되어 주변의 토양 및 지표수나 지하수를 오염시킨다.
- [0005] 이에 광미를 적절한 방식으로 처리하여 폐광지역이 오염되는 것을 방지할 필요가 있다. 기존의 광미 처리방법으로는 차단형 매립방법, 고형화를 통한 안정화 방법 및 식물정화법 등이 제시되고 있다.
- [0006] 이들 중에서 가장 널리 사용되고 있는 차단형 매립방법은 광미층 상부에 점토나 HDPE시트 등의 차수재를 설치하고, 차수재 위에 토양을 적층하여 복토층을 형성하는 방법이다. 그러나 본 방법은 현장에서 차수재료의 획득 및 설치가 용이하지 않거나, 충분한 양의 성토재를 획득하기도 어려울 뿐만 아니라, 경제성에 있어서도 많은 한계점을 노출하고 있다.
- [0007] 한편, 위 방법들 중 고형화를 통한 안정화 방법에서는 시멘트를 이용하여 광미층 상부를 고형화하는 방법도 사용되고 있지만, 시멘트의 제조는 대표적인 이산화탄소 배출산업인 바 광미 처리방법으로서 바람직하지 않다. 또한, 황화광물 함량이 높은 광미의 경우 높은 산도와 황산염으로 인해 포틀랜드 시멘트를 이용하여 고형화를 하게 되면 안정성에 문제가 발생하게 된다.
- [0008] 최근에는 광미를 매립하지 않고 광미를 산업원료로 이용하기 위한 시도도 행해지고 있다. 즉, 포졸란 재료와 지오폴리머 등의 비소성 무기계 바인더를 활용하는 방안이 연구되고 있지만 실질적인 활용도는 매우 낮은 실정이다.
- [0009] 이에 현재에서는 현장적용이 용이하면서도 경제적인 방법으로 광미를 처리하여 광산지역의 오염을 막을 수 있는 방법이 요구되고 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- [0010] 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 광미로부터 산성 침출수의 발생을 억제하고, 강우가 광미로 침투하는 것을 최소화하도록 구조가 개선된 광미 안정화 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제 해결수단

- [0011] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법은 광산 폐기물인 광미(tailings)가 적치되어 있는 광미적치장을 안정화하기 위한 것으로서, 칼슘공급원과 규산염공급원 및 광미를 혼합하여 상기 광미적치장의 상부에 적층 및 고화시킴으로써 광미층 상부에 고화층을 형성하는 고화층 형성단계 및 상기 고화층 위에 토양을 적층하여 복토층을 형성하는 복토단계를 포함하여 이루어진 것에 특징이 있다.
- [0012] 본 발명에 따르면, 상기 칼슘공급원은 소석회이며, 상기 규산염공급원은 액상의 물유리인 것이 바람직하다. 다만, 물유리 대신 상기 규산염공급원으로는 고체 상태의 규산나트륨, 규산칼륨, 규산리튬 및 규산소다리튬 중 적어도 어느 하나일 수 있으며, 고화층 형성단계에서는 상기 규산염공급원과 함께 물을 첨가하여 혼합하는 것이 바람직하다.
- [0013] 또한 본 발명에 따르면, 상기 고화층과 복토층 사이에 자갈층을 형성할 수도 있다.

효과

- [0014] 본 발명에서는 중금속 함량이 높은 광미가 쌓여 있는 광미적치장의 상부에 고화층을 형성함으로써, 광미가 물리적으로 유실되는 것이 방지되며, 빗물 등이 광미 더미 내부로 유입되는 것이 차단되어 산성 침출수의 발생이 억제되고, 중금속이 안정화되는 효과를 얻을 수 있다.
- [0015] 또한 본 발명의 일 실시예에서는 하부 광미에서 발생할 수 있는 산성침출수의 모관상승을 방지하여 복토층의 식생복원에 기여할 수 있다.
- [0016] 또한, 본 발명은 물유리와 소석회를 이용함으로써 보다 단순한 재료와 시공법으로 현장에 용이하게 적용할 수 있다는 장점이 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0017] 이하, 첨부된 도면을 참고하여, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법에 대하여 더욱 상세히 설명한다.
- [0018] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법의 개략적 흐름도이며, 도 3은 도 2에 도시된 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법에 의하여 처리된 광미적치장의 개략적 구성도이다.
- [0019] 도 2 및 도 3을 참고하면, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법(S100)은 고화층 형성단계(S10)와 복토단계(S30) 및 식재단계(S40)로 이루어지며, 실시예에 따라서는 자갈층 형성단계(S20)를 더 포함할 수 있다. 이하에서는 자갈층 형성단계(S20)를 포함한 형태의 실시예를 대상으로 설명하기로 한다.
- [0020] 우선, 본 실시예가 적용되는 광미적치장은 광미(t)가 방치되어 쌓여 있는 곳을 정리하여 형성되는데, 도 3에 도시된 바와 같이, 광미(t) 더미의 하류측에 광미 더미 보다 높게 광미댐(d)을 설치하여 적치장을 형성한다. 여기서 광미(鑛尾, tailings)라 함은 광산에서 채취한 광석을 밀링(milling)공정에 의해 파우더 형태로 만든 후에 부유선광을 거치고 남은 광산생산물의 찌꺼기를 총칭하는 것으로서, 중금속이 다량 함유되어 있다.
- [0021] 광미적치장을 형성하는데 있어서 광미더미의 하부와 측부에 라이닝을 설치하여 광미를 완전히 고립화시킬 수도 있지만, 본 실시예에서는 경제적인 측면을 고려하여 광미 더미의 하부와 측부에는 라이닝 등의 차수재를 설치하지 않고 광미 더미의 상부에만 고화층(10)을 형성하여 차단한다. 다만, 본 발명이 광미 더미의 하부와 측부에 라이닝을 설치하여 차수하는 형태를 배제하지는 않음을 첨언한다.
- [0022] 본 실시예에 따른 고화층 형성단계(S10)에서는 광미(t) 더미의 상층에 고화층(10)을 형성한다. 고화층(10)을 형성하기 위해서, 본 발명에서는 칼슘공급원과 광미적치장 상부의 광미를 채취하여 혼합하고 다시 규산염공급원을 혼합하여 광미 더미에 적층하고 다짐을 실시한다. 칼슘공급원과 규산염공급원 및 광미(t)의 혼합물은 겔 상태의 칼슘실리케이트로 형성된 후 양생되어 고화됨으로써, 광미(t) 적치장의 상층부에 고화층(10)이 형성된다.
- [0023] 본 실시예에서 규산염공급원으로는 액상의 물유리가 사용되었다. 그러나, 규산염공급원은 물유리에 한정되는 것은 아니며, 규산염을 공급할 수 있는 다른 재료들, 즉 고체 분말 상태의 규산나트륨, 규산칼륨, 규산리튬, 규산소다리튬 등이 사용될 수도 있다. 다만, 고체 상태의 재료를 사용하는 경우 물을 첨가함으로써, 액상의 물유리를 사용할 때와 마찬가지로 칼슘공급원과 혼합되어 겔 상태를 형성할 수 있도록 한다.
- [0024] 또한, 본 실시예에서 칼슘공급원으로는 소석회(소석회)가 사용된다. 그러나, 칼슘공급원은 소석회에 한정되는 것은 아니며 칼슘을 제공할 수 있는 재료, 예컨대 생석회 등도 사용될 수 있다.
- [0025] 물유리와 소석회의 반응은 아래와 같다.
- [0026] $Na_2O \cdot nSiO_2 \cdot xH_2O + Ca(OH)_2 + mH_2O \rightarrow CaO \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O + 2NaOH$
- [0027] 상기한 반응에 의하여 겔 상태의 칼슘실리케이트($CaO \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$)이 형성되며, 칼슘실리케이트는 바인더 역할을 수행하게 된다. 즉, 분말 형태의 광미 사이에서 광미를 하나의 덩어리로 결합시키는 바인더 역할을 수행한다.
- [0028] 물유리 만으로도 바인더를 형성할 수 있지만 바인더의 강도가 일정 수준 이상 보장되지 않기 때문에, 소석회를 통해 바인더의 강도를 향상시키는 것이다. 또한, 소석회를 포함하여 고화층을 형성하게 되면 고화층의 pH를 일정 수준으로 장기간 유지할 수 있다는 장점도 있다.
- [0029] 고화층(10)을 콘크리트에 비유하면, 광미는 칼슘실리케이트 겔 속에 포함되어 일종의 골재 역할을 수행한다. 또한 광미로부터 나오는 금속들, 예컨대 철, 알루미늄, 망간, 구리, 아연 등은 칼슘실리케이트 겔에 공침되어 안정화 됨으로써, 더 이상 화학적 반응을 일으키지 않게 된다.
- [0030] 한편, 위에서는 칼슘공급원으로 소석회($Ca(OH)_2$)를 사용한 것으로 설명하였으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니며 칼슘을 제공할 수 있는 재료라면 예컨대 생석회(CaO) 등이 사용될 수도 있다. 다만, 생석회에 비하여 소석회를 사용하는 것이 더 유리하다. 즉, 고화층(10)을 형성하면, 그 내부에는 칼슘공급원(소석회 또는 생석회)이 일부 남아 있게 되는데, 소석회의 경우 물에 대한 용해도가 생석회에 비하여 현저하게 낮아 고화층(10)내에 계속적으로 유지되면서 pH를 일정하게 유지하는데 기여할 수 있으며, 빗물 등에 약간의 녹으면서 추가적으로 바인더 역할을 수행할 수도 있기 때문이다.

- [0031] 상기한 바와 같이, 광미적치장의 상부에 고화층(10)을 형성하면, 광미(t) 더미의 상층부는 빗물 등에 노출되지 않고 차수되며, 대기와의 접촉도 최소화된다.
- [0032] 고화층(10)을 형성한 후에는 자갈층(20)을 형성하는 자갈층 형성단계(S20)를 수행한다. 자갈층 형성단계(S20)에서는 일정한 입도의 자갈을 고화층(10)의 상부에 적층시켜 자갈층(20)을 형성하게 된다.
- [0033] 후술하겠지만 광미 더미로부터 모세관압에 의하여 산성의 모관수가 올라올 수 있다. 물론 산성 모관수는 고화층(10)에서 더 이상의 상방향 이동이 차단될 것으로 예상되지만, 일부 산성 모관수가 계속적으로 상승할 위험이 남아 있다. 이렇게 산성 모관수가 상승하면, 후술할 복토층(30) 위에 식재한 식물들에게 악영향을 미치게 된다. 그러나 본 실시예와 같이, 고화층(10) 위에 자갈층(20)을 형성하게 되면, 자갈층(20)의 공극률이 매우 크기 때문에 산성 모관수가 모세관압에 의하여 상승 이동되는 것이 차단된다.
- [0034] 또한, 본 실시예에서와 같이 석회석 자갈을 사용하게 되면, 광미적치장의 pH를 일정하게 유지할 수 있어 더욱 바람직하다. 다만, 본 발명에서는 고화층(10)에 의하여 산성 모관수도 차단될 뿐만 아니라 pH도 일정하게 유지될 수 있는 바, 자갈층(20)을 형성하는 것은 선택적으로 채택할 수 있다.
- [0035] 자갈층(20)을 형성한 후에는 복토단계(S30) 및 식재단계(S40)를 수행한다. 복토단계(S40)에서는 주지의 복토공법과 마찬가지로 자갈층(20) 위에, 자갈층(20)이 없는 경우에는 고화층(10) 위에 토양을 적층하여 복토층(30)을 형성한다. 복토층(30)은 고화층(10)에 비하여 대략 5배 내지 7배 정도의 높이로 형성한다. 이후, 복토층(30)에 나무나 풀을 식재하는 식재단계(S40)를 수행함으로써 본 실시예에 따른 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법(S100)이 완료된다.
- [0036] 이하, 본 발명에 따른 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법(S100)에서 가장 큰 특징을 이루는 고화층(10)에 대한 물성치를 실험하였다.
- [0037] 도 4는 고화층의 실험방법을 나타낸 흐름도이다. 도 4를 참조하면, 분말 상태의 광미(3개의 시료)와 소석회를 물탈 믹서에서 2분간 느린 속도로 혼합하여 파우더를 만든 후, 물유리를 첨가한 후 다시 물탈 믹서에서 1분간 느린 속도로 혼합하여 슬러리 상태를 형성하였다.
- [0038] 이와 같은 상태에서 유동성(flow) 테스트를 시행한 후, 슬러리를 50×50×50mm의 형틀에 넣어 몰딩한 후 24시간 후 형틀을 제거하고 실온(room temperature)에서 양생한 후 압축강도 및 중금속의 용출정도 등을 수행하였다. 양생시간은 3일, 7일 및 28일로 나누어서 관찰하였다.
- [0039] 시료로 사용된 광미는 여러 광산의 시료 중 산발생능력 시험(Acid Base Accounting Test)을 통하여 산발생능력이 상대적으로 높은 2개 지역을 선정하였으며 그 중 1개 지역시료는 다시 풍화받은 정도에 따라 비교적 신선한 시료(JF)와 풍화된 시료(JW)로 구분하여 총 3개의 시료(GP, JF, JW)에 대해 연구를 실시하였다.
- [0040] 광미시료(GP, JF, JW)의 주성분 조성, 국내 폐기물용출시험결과 및 입도조성 등에 대하여 비교, 분석하였으며, 그 결과가 도 5 내지 도 7에 나타나 있다. 도 5의 표를 참조하면, 광미시료의 조성을 볼 때 GP시료가 JF 및 JW 시료에 비해 황 함량이 낮지만 칼슘 함량도 월등히 낮아 산성배수 발생의 가능성이 높으며, 도 6의 표에 나타나 바와 같이, 폐기물 용출시험에서도 가장 낮은 pH를 나타내었다.
- [0041] 또한 GP시료의 폐기물용출시험에서 카드뮴, 구리가 기준치를 초과하였으며 철, 알루미늄, 아연 등도 상당량이 용출되어 광산폐기물로서 환경적 위해성이 지극히 높았다. JF와 JW 시료의 폐기물용출시험에서 pH는 중성내지는 약산성이지만 황 함량이 상대적으로 높으므로 국지적인 산성배수 발생 개연성이 있고 JW시료는 철, 망간, 아연 등이 상당량 용출되고 있다. 비소의 경우 모든 시료에서 용출함량이 상대적으로 낮게 나타나고 있다. 도 7의 그림을 참조하면, 입도분포는 GP시료에서 실트질 이하가 95%를 차지하며 입도가 가장 낮으며 JW시료가 JF에 비해 낮은 입도의 분포가 증가하여 나타나고 있다.
- [0042] 고화체 제작을 위해 각 광미시료에 소석회를 5, 10, 15, 20 중량%로 투여하여 모르타르 믹서로 2분간 고루 혼합하고 여기에 공업용 물유리(3호)를 적절한 작업조건이 될 수 있는 고액비가 되도록 투입하고 다시 1분간 혼합하였다. 구체적인 배합비, 고액비와 유동성(플로우 값)은 도 8의 표에 제시한 바와 같다. GP 시료의 경우 소석회 5% 투여시 고화체가 제대로 형성되지 않았다. 또한 JF 및 JW 시료에 비해 투여한 물유리의 비율(1.0 내외)이 높는데 이는 광미가 상대적으로 낮은 입도의 비율이 높아 혼합이 충분히 이루어지지 않으며 물유리의 경화속도가 너무 빠르기 때문이었다.
- [0043] 이후 몰딩과정을 거쳐 고화체 시편을 제작하고 일축압축강도 측정과 용출시험을 실시하였다.

- [0044] 도 9 내지 도 11에는 일축압축강도 시험결과가 그림으로 나타나 있다. 도 9 내지 도 11을 참조하면, 일축압축 강도 측정결과 모든 시료에서 3일 양생기간부터 미국 EPA 폐기물 매립권고기준인 0.34 MPa (3.5 Kg/cm², 50 psi)보다 높게 나오고 있으며 양생일이 3일, 7일, 28일 증가함에 따라 뚜렷이 증가하고 있다.
 - [0045] 소석회 비율 증가에 따라서는 5%, 10%, 15%에 대해 큰 차이가 없지만 20% 에서는 크게 증가하여 나타나며 JW시료에서 최대 6.7 MPa의 값을 얻었다. 시료별로 비교할 경우 뚜렷한 차이는 아니지만 초기에 해당하는 3일 및 7 일 강도는 GP와 JW시료에서 JF에 비해 상대적으로 높게 나타나며 이는 GP 시료의 낮은 입도분포와, JW 시료의 풍화에 따라 생성된 2차광물들이 강도증가에 영향을 준 것으로 판단한다. 하지만 28일치 강도에서는 JF 시료도 유사한 범위로 증가하여 이러한 영향이 양생기간이 길어짐에 의해 상쇄된다고 본다.
 - [0046] 도 12 및 도 13의 표에 나타난 바와 같이, 고화체 시료에 대한 국내 폐기물용출시험 및 미국 EPA Method 1311(TCLP) 시험결과 원 광미시료에서 기준치를 초과하거나 상당량이 용출된 Cd, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn 원소들이 모두 기준치 이하로 감소하거나 극히 낮은 양이 용출되어 중금속의 안정화가 효율적으로 이루어지고 있음을 보여준다.
 - [0047] 일축압축강도와 용출시험 결과로 볼 때 시험광미에 대한 소석회의 비율이 10% 정도에서도 충분한 효과를 달성할 수 있으며 특히 광미의 입도분포에 대한 평가가 사전에 충분히 이루어져야 함을 보여준다.
 - [0048] 위와 같은 실험결과를 토대로, 소석회는 광미에 대하여 5~20중량%의 비율로 혼합하는 것이 바람직하다. 소석회의 함량이 광미에 대하여 5중량% 미만으로 내려가는 경우 실리케이트겔이 제대로 형성되지 않으며, 소석회의 함량이 증가하면 압축강도에서는 유리하지만 유동성이 나빠져 작업성이 떨어지는 바 바람직하지 않다.
 - [0049] 또한 물유리는 광미와 칼슘공급원을 혼합한 양에 대하여 60~100중량%의 비율로 혼합하는 것이 바람직하다. 즉, 물유리를 분말에 비하여 60% 이하로 혼합하게 되면, 유동성이 저하되어 바람직하지 못하며, 100중량%를 넘어가는 경우 압축강도가 저하되어 바람직하지 못하다.
 - [0050] 상기한 실험과정에 의하여 형성된 고화체의 미세조직과 성상을 주사전자현미경(SEM) 분석을 통해 파악하였으며, 도 14에 나타난 바와 같이, 칼슘실리케이트 겔이 생성되어 바인더 역할을 하고 있음을 확인하였고 후방산란전자상 사진에서 밝게 나타나는 자류철석(Fe_{1-x}S), 섬아연석(ZnS) 등 중금속을 함유하는 광물입자를 칼슘실리케이트 겔이 포획하여 더 이상의 반응 및 용출을 막아 안정화를 이루고 있음을 알 수 있었다.
 - [0051] 또한 칼슘실리케이트 겔은 철, 알루미늄 등도 일부 함유하는 것으로 나타나 반응과정에서 용출된 중금속 원소들이 충분히 바인더에 결합될 수 있음을 보여주었다.
 - [0052] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에서는 중금속 함량이 높은 광미가 쌓여 있는 광미적치장의 상부에 고화층을 형성함으로써, 광미가 물리적으로 유실되는 것이 방지되며, 빗물 등이 광미 더미 내부로 유입되는 것이 차단되어 산성 침출수의 발생이 억제되고, 중금속이 안정화되는 효과를 얻을 수 있다.
 - [0053] 또한 본 발명의 일 실시예에서는 하부 광미에서 발생할 수 있는 산성침출수의 모관상승을 방지하여 복토층의 식생복원에 기여할 수 있다.
 - [0054] 또한, 본 발명은 물유리와 소석회를 이용함으로써 보다 단순한 재료와 시공법으로 현장에 용이하게 적용할 수 있다는 장점이 있다.
 - [0055] 본 발명은 첨부된 도면에 도시된 일 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 보호 범위는 첨부된 청구 범위에 의해서만 정해져야 할 것이다.
- 도면의 간단한 설명**
- [0056] 도 1은 폐광지역의 광미가 방치되어 있는 현장 사진이다.
 - [0057] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법의 개략적 흐름도이다.
 - [0058] 도 3은 도 2에 도시된 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법에 의하여 처리된 광미적치장의 개략적 구성도이다.
 - [0059] 도 4는 고화층의 실험방법을 나타낸 흐름도이다.
 - [0060] 도 5는 3개의 광미시료의 주성분 및 함량을 나타낸 표이다.

- [0061] 도 6은 도 5에 표시된 광미시료들의 폐기물 용출시험 결과를 나타낸 표이다.
- [0062] 도 7은 도 5에 표시된 광미시료들의 입도분포를 나타낸 그림이다.
- [0063] 도 8은 광미, 소석회 및 물유리 배합비 및 유동율을 나타낸 표이다.
- [0064] 도 9 내지 도 11은 3개의 3개의 광미시료를 고형화한 후 압축강도를 나타낸 그림이다.
- [0065] 도 12 및 도 13은 3개의 광미시료를 고형화한 후 국내 폐기물 용출시험과 미국 TCLP 시험결과를 나타낸 표이다.
- [0066] 도 14는 광미시료 고화체의 전자현미경 사진이다.
- [0067] <도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>
- [0068] S100 ... 고화층 형성을 통한 광미 안정화 방법 S10 ... 고화층 형성단계
- [0069] S20 ... 자갈층 형성단계, S30 ... 복토단계, S40 ... 식재단계
- [0070] 10 ... 고화층, 20 ... 자갈층, 30 ... 복토층, t ... 광미, d ... 광미댐

도면

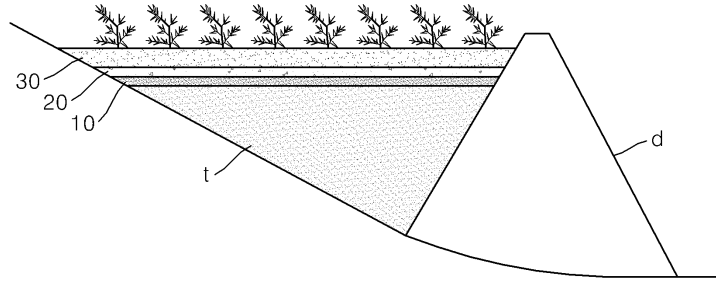
도면1



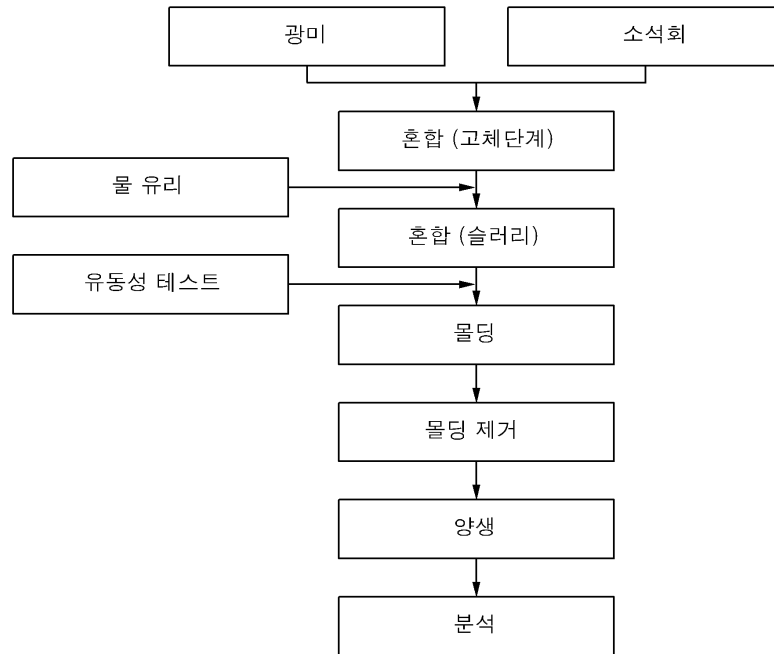
도면2



도면3



도면4



도면5

(단위: 중량%)

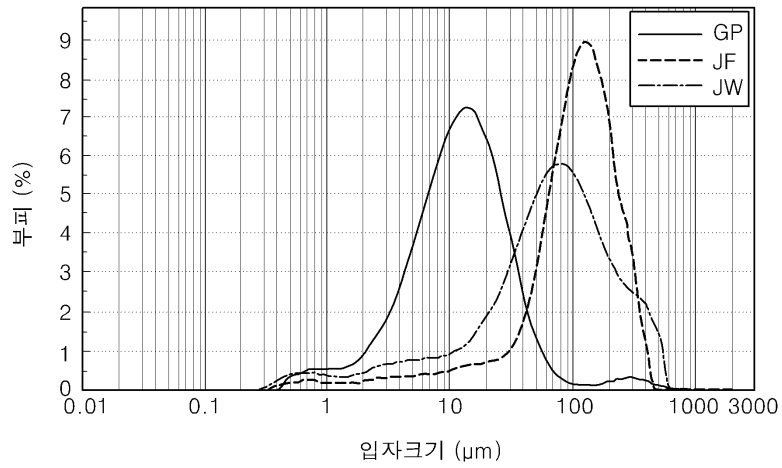
성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	S
광미시료										
GP	52.7	19.3	8.41	0.56	0.81	5.71	0.26	0.38	0.10	2.62
JF	43.0	5.20	19.2	18.2	1.48	0.63	0.22	0.35	4.44	6.31
JW	40.1	4.42	22.3	15.8	1.47	0.47	0.21	0.32	4.80	8.50

도면6

(단위: mg/l)

	GP	JF	JW	기준
pH	3.93	6.78	5.72	-
Ca	246	180	628	-
K	0.03	0.86	0.81	-
Mg	61.5	0.08	4.29	-
Na	5.11	3.99	4.62	-
Si	2.19	3.38	4.40	-
Al	26.9	0.16	1.63	-
Fe	116	0.61	10.9	-
Mn	53.6	6.58	161	-
As	0.29	0.17	0.18	1.5
Cd	6.30	<0.01	0.29	0.3
Co	2.2	<0.01	0.35	-
Cr	<0.01	<0.01	<0.01	-
Cu	32.6	<0.01	<0.01	3
Ni	0.77	0.20	<0.01	-
Pb	0.19	0.09	0.21	3
Zn	217	0.21	132	-

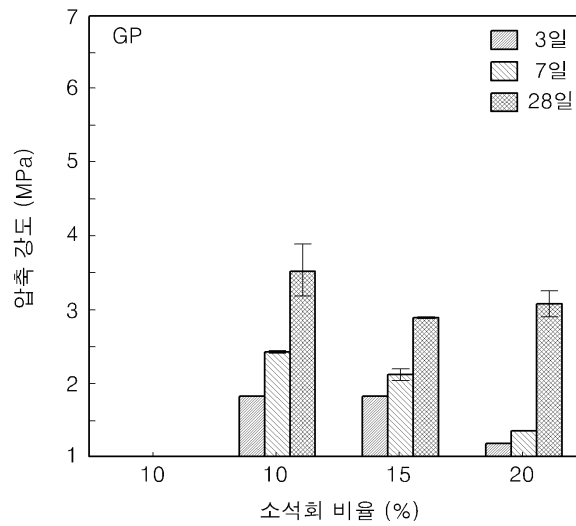
도면7



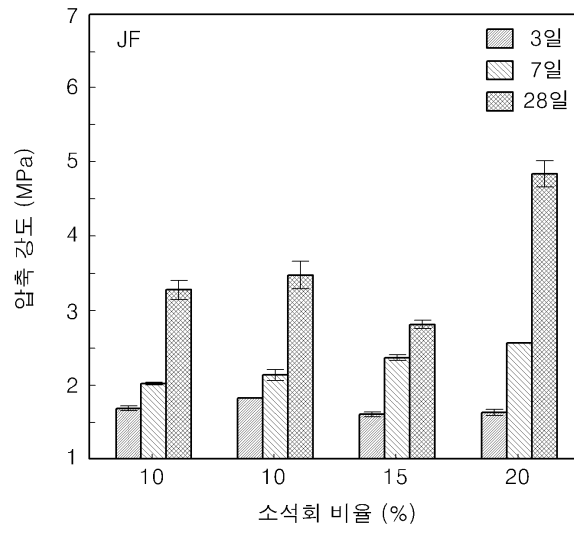
도면8

광미시료	혼합율 (총량%)		액체/고체	유동성 (%)	양생온도 (°C)
	광미	소석회			
GP	90	10	0.95	183	실온
	85	15	0.95	178	
	80	20	1.00	187	
JF	95	5	0.54	202	
	90	10	0.65	206	
	85	15	0.73	209	
	80	20	0.73	195	
JW	95	5	0.62	195	
	90	10	0.62	188	
	85	15	0.73	170	
	80	20	0.77	176	

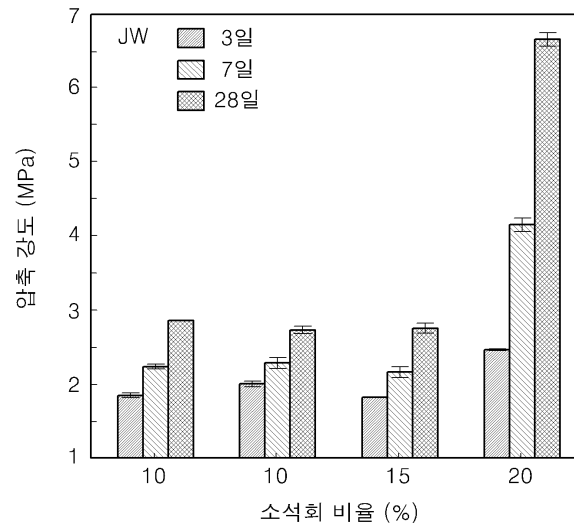
도면9



도면10



도면11



KSLT (unit : mg/l)																			
광미 시료 비율(%)	소석회 비율(%)	Cd			Cu			Fe			Mn			Pb			Zn		
		3일	7일	28일	3일	7일	28일	3일	7일	28일	3일	7일	28일	3일	7일	28일	3일	7일	28일
기준치		0.3			3.0			-			-			3.0			-		
광미		6.30			32.6			116			53.6			0.19			217		
GP	10	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	<0.01	0.14	2.15	1.55	2.92	0.85	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.27	0.39	0.39	0.98
	15	<0.01	<0.01	<0.01	0.07	<0.01	0.25	2.46	2.55	3.84	0.03	<0.01	0.06	<0.01	<0.01	0.21	0.38	0.37	1.22
	20	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	0.27	0.97	0.71	3.26	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.24	0.07	0.83
광미		<0.01			<0.01			0.61			6.58			0.09			0.21		
JF	5	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	1.18	1.37	3.40	0.18	<0.01	0.67	<0.01	<0.01	0.31	0.48	0.40	1.06
	10	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.63	1.01	1.39	6.59	0.19	0.06	1.91	<0.01	<0.01	0.46	0.27	0.07	1.52
	15	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	<0.01	0.26	1.14	0.89	3.62	0.22	<0.01	0.58	<0.01	<0.01	0.15	0.39	<0.01	0.84
	20	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.21	0.20	5.63	0.01	<0.01	1.21	<0.01	<0.01	0.33	0.10	<0.01	1.06
광미		0.29			<0.01			10.9			161			0.21			132		
JW	5	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	0.54	0.56	2.49	0.13	0.06	0.54	0.01	<0.01	0.12	0.60	0.68	1.59
	10	<0.01	<0.01	<0.01	0.07	<0.01	0.17	1.76	1.34	3.01	0.36	0.21	0.85	0.03	<0.01	<0.01	0.98	0.70	1.71
	15	<0.01	<0.01	<0.01	0.12	<0.01	0.28	1.56	0.77	3.23	0.30	0.09	0.81	<0.01	<0.01	0.22	0.56	0.45	1.61
20	<0.01	<0.01	<0.01	0.08	<0.01	0.52	0.55	0.32	3.21	0.07	<0.01	0.85	<0.01	<0.01	0.30	0.24	0.06	1.74	

TCLP (unit : mg/l)																		
광미 시료 비율(%)	Cd			Cu			Fe			Mn			Pb			Zn		
	3일	7일	28일	3일	7일	28일	3일	7일	28일	3일	7일	28일	3일	7일	28일	3일	7일	28일
기준치	1.0			-			-			-			5.0			-		
광미	2.78			9.60			2.66			2.66			0.06			95		
GP	10	0.02	0.08	1.36	0.05	1.81	0.17	0.19	0.31	1.34	0.26	0.71	0.02	0.03	0.05	2.05	0.26	1.32
	15	0.06	<0.01	0.39	0.01	0.31	0.13	0.25	0.22	0.99	0.29	0.35	0.03	0.03	0.05	2.16	0.20	0.33
	20	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.20	0.11	<0.01	0.28	<0.01	<0.01	0.07	0.03	0.03	0.06	0.05	0.02	0.25
광미	<0.01			<0.01			4.58			58.7			0.35			6.54		
JF	5	<0.01	<0.01	0.72	0.03	0.40	1.97	1.50	1.25	17.9	16.0	13.2	0.16	0.15	0.18	2.93	2.75	3.64
	10	<0.01	<0.01	0.15	0.04	0.08	0.44	0.27	0.43	3.80	2.08	2.66	0.03	0.04	0.08	0.32	0.17	0.54
	15	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.06	0.06	0.07	0.29	0.08	0.31	0.96	0.03	0.02	0.05	0.08	0.04	0.24
	20	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.30	0.37	0.26	1.08	0.17	0.57	0.03	0.03	0.05	0.06	0.06	0.22
광미	0.21			<0.01			25.9			121			0.28			83.2		
JW	5	0.06	0.03	0.07	0.47	0.47	1.11	2.05	1.12	17.5	18.4	14.0	0.13	0.14	0.15	19.6	16.0	18.1
	10	0.01	<0.01	0.03	0.24	0.49	0.30	0.20	0.51	1.58	2.93	6.46	0.04	0.02	0.07	1.93	0.95	5.08
	15	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.14	<0.01	0.01	0.25	0.01	0.08	2.14	0.04	0.04	0.06	0.02	0.04	1.19
	20	<0.01	<0.01	0.03	0.02	0.07	0.04	0.09	0.17	0.03	0.09	0.79	0.03	0.02	0.05	0.03	0.03	0.24

도면14

