



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년01월09일
(11) 등록번호 10-1220314
(24) 등록일자 2013년01월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C02F 1/72 (2006.01) C02F 1/52 (2006.01)
C02F 103/10 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0134454

(22) 출원일자 2010년12월24일

심사청구일자 2010년12월24일

(65) 공개번호 10-2012-0072612

(43) 공개일자 2012년07월04일

(56) 선행기술조사문헌

KR100672080 B1

KR200252264 Y1

KR100246043 B1

KR100874503 B1

전체 청구항 수 : 총 15 항

(73) 특허권자

한국지질자원연구원

대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동)

(72) 발명자

이동길

대전광역시 유성구 배울1로 35, 대덕테크노밸리아파트 404동 303호 (관평동)

정영욱

대전광역시 유성구 왕가봉로 23, 11단지 리슈빌아파트 1110동 202호 (노은동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

임승섭

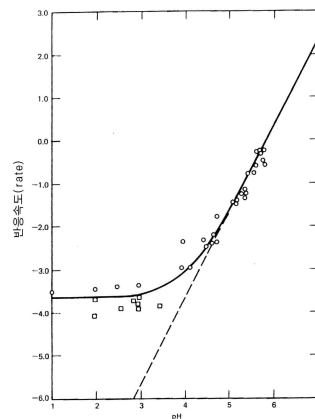
심사관 : 이강욱

(54) 발명의 명칭 광산배수 처리용 산화조

(57) 요약

본 발명은 폐광에서 배출되는 산성광산배수를 처리하기 위한 산화조에 관한 것이다. 본 발명에 따른 산성광산배수 처리용 산화조는 광산배수가 유입되는 입구부와, 입구부로 유입된 광산배수가 체류하는 수조와, 수조 내의 광산배수가 배출되는 출구부를 구비하여, 광산배수가 수조에 체류하는 동안 광산배수 내의 철이 산화되어 침전되게 하는 것으로서, 입구부를 통해 유입된 광산배수가 수조내에서 분산된 형태로 흐름을 형성하도록, 입구부의 앞쪽에 설치되는 분산가이드부재를 구비하는 것에 특징이 있다.

대표도 - 도7



(72) 발명자

임길재

대전광역시 유성구 가정로 63, 110동 707호 (신성동, 럭키하나아파트)

지상우

대전광역시 유성구 유성대로 1741, 102동 1402호 (전민동, 세종아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 GP2009-023

부처명 지식경제부

연구사업명 기본사업

연구과제명 광상 맞춤형 자원탐사, 채광 최적기술개발

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2009.01.01 ~ 2011.12.31

특허청구의 범위

청구항 1

광산배수가 유입되는 입구부와, 상기 입구부로 유입된 광산배수가 체류하는 수조와, 상기 수조 내의 광산배수가 배출되는 출구부를 구비하여, 상기 광산배수가 상기 수조에 체류하는 동안 상기 광산배수 내의 철이 산화되어 침전되게 하는 광산배수 처리용 산화조에 있어서,

상기 입구부를 통해 유입된 광산배수가 상기 수조를 지그재그 형태로 유동하여 상기 출구부로 배출될 수 있도록, 상기 입구부와 출구부를 연결한 다이렉트 방향과 교차되는 방향으로 형성되어 상기 입구부와 출구부 사이에 상호 이격되게 배치되는 복수의 메인 베플을 구비하는 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 메인 베플은 교대로 상기 산화조의 일측면과 타측면에 접하게 배치되는 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 복수의 메인 베플에 의하여 평면방향에서 지그재그 형태로 유동되는 상기 광산배수가 다시 상하방향을 따라 지그재그 형태로 유동될 수 있도록, 상기 메인 베플과 교차되는 방향으로 형성되어 상호 이격되게 배치되는 복수의 보조 베플을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 복수의 보조 베플은,

하면은 상기 수조의 바닥면으로부터 이격된 위치에 상면은 상기 수조의 수면 위에 배치되는 형태와, 하면은 상기 수조의 바닥면에 접하게 배치되고 상면은 상기 수조에 잠기게 배치되는 형태가 번갈아 가며 설치되는 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 복수의 보조 베플은 상하방향으로 이동가능한 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 6

제5항에 있어서,

상하방향으로 길게 형성되어 상기 수조의 바닥에 설치되며, 상기 보조 베플이 상하방향을 따라 슬라이딩 가능하게 끼워져 지지되는 지지봉을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 7

제1항 또는 제3항에 있어서,

상기 수조에는 상기 광산배수의 pH를 높이기 위하여, 석회석을 포함하는 중화체가 설치되는 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 메인 베플과 보조 베플 중 적어도 하나는 석회석을 포함하여 제조되어, 상기 중화체로 작용하는 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 수조의 벽면은 석회석을 포함하여 제조되어, 상기 중화체로 작용하는 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 중화체는 자연산 석회석 덩어리인 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 중화체는 석회석 미분체와, 상기 석회석 미분체를 하나의 덩어리로 형성시키는 응집제를 포함하며,

상기 응집제가 상기 광산배수 내에서 용해되면서 상기 석회석 미분체가 상기 광산배수와 접촉되는 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 중화체는 가압에 의하여 다수의 균열이 형성되어 있는 석회석 덩어리인 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 13

제7항에 있어서,

상기 중화체는 상기 수조의 수중에 매달려 있는 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 메인 베플에 지지대가 설치되며,

상기 중화체는 연결부재에 의하여 상기 지지대에 매달려 상기 수조의 수중에 배치되는 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

청구항 15

제7항에 있어서,

상기 중화체는 상기 출구부에 비하여 입구부에 근접하게 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 광산배수 처리용 산화조.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 환경오염을 저감하는 기술에 관한 것으로서, 특히 폐광 등에서 배출되는 산성광산배수를 처리하기 위한 소극적 처리방법에서 사용되는 산화조에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 산성광산배수를 정화하기 위한 자연적인 처리방법(Passive treatment method of AMD)에서 활용되는 산화조는 광

산배수를 일정한 시간 동안 체류시킴으로서 광산배수 내에 포함된 2가철을 포기(aeration)된 용존산소 및 대기 중의 산소와 산화반응을 유도하여 철산화물로 침전시키는 수조이다.

- [0003] 산화조에서 가장 중요한 설계요소는 광산배수의 체류시간으로, 일반적으로 광산배수의 체류시간을 48시간 이상으로 규정하고 있다. 산화조의 설계조건은 산소와 접촉하는 면적을 기준으로 광산배수의 유입조건을 규정하고 있는데, 즉 접촉면적 100m²당 1L/sec의 유량으로 규정하여 산화조 전체 체적을 유입유량으로 나눈 명목체류시간을 기준으로 설계하고 있다.
- [0004] 국내에 산성광산배수를 처리하기위한 목적으로 설치되어 있는 산화조를 도 1의 사진에 나타내었다. 대부분의 산화조의 크기 및 형상은 주변 입지여건 및 토지가격 등에 따라 달라지지만, 도 1에 나타난 바와 같이 산화조 내의 구조는 어떠한 구조물도 없이 광산배수로 가득 차 있는 것이 일반적이다. 이러한 산화조의 모습은 세계적으로 동일하다.
- [0005] 산화조로 유입되는 광산배수의 유동형태는 산화조, 입구와 출구의 크기 및 형상, 유량 등에 따라 다양하게 나타난다. 이러한 유동형태를 가지적으로 파악하기 위해서는 입구로 유입되는 광산배수에 추적자를 포함시켜 이들의 유동경로 및 특성으로 분석하는 방법이 유용하다.
- [0006] 종래의 산화조에 대한 평가를 수행하였다. 즉, 인체에 무해한 식용색소 Blue 2를 사용하여 종래의 산화조의 유동양상을 파악하였고, 체류시간 산정을 위해 소금물을 사용하였고, 전기전도도를 측정하기 위해서 CTD-DIVER가 사용되었다. 측정방법은 추적자(소금물)를 광산배수 유입구에 투입하여 광산배수가 출구까지 도달하는데 소요되는 시간인 체류시간과, 그 시간 동안 염료의 확산 범위를 측정하였다.
- [0007] 실험 대상 산화조는, 도 2의 사진에 나타난 바와 같이, 경상북도 문경시에 위치한 석봉 산화조로서 크기는 가로 14m, 세로 6m의 8각 형상이며, 전체 심도는 1.5 m로 설계되었다. 현재 산화조 바닥의 침전물의 두께는 0.35 m이며, 산화조 최상단에서 수면까지의 높이 0.4 m를 고려하면 측정 당시의 평균 심도는 약 0.75 m이다. 광산배수가 유입되는 입구는 내경 40cm의 관으로 설치되어 있으며, 관 내부의 수위는 관 내경 바닥에서 위로 약 0.15 m에 위치한다. 또한 출구의 구조는 폭0.4 m 높이 0.5m의 4각 콘크리트 수로로 설치되어 있다. 산화조로 유입되는 광산배수의 유량은 86.4 m³/hr이다.
- [0008] 도 3의 사진에 보이는 바와 같이, 식용색소 Blue 2를 산화조의 입구부에 일정한 농도로 주입하였으며, 시간에 따른 염료의 확산경로를 파악한 결과가 도 4의 사진에 나타나 있다. 도 4의 사진에 나타난 바와 같이, 염료 주입 후 염료는 입구와 출구를 잇는 직선적인 흐름 패턴을 보이고 있으며 주변으로의 유동은 거의 없는 것으로 나타났다. 도 4의 사진에서 일부 주변으로 이동되는 경향이 보이지만 이는 염료의 농도차에 의한 확산으로 간주된다. 실험결과, 염료가 투입되어 출구까지 도달하는 최초 시간은 1분 35초로 나타났다.
- [0009] 도 5의 표는 산화조 입구에 소금물을 추적자로 투입한 후 산화조 입구와 출구에 설치된 DIVER에 의해 측정된 전기전도도의 변화를 나타낸 것이다. 도 5의 표에 나타난 바와 같이, 산화조의 입구에서 소금물을 투입하기 시작한 시점은 139초이고 최초로 소금물이 출구에 도달하여 전기전도도 변화를 나타내기 시작한 시점은 400초이며 일정한 전기전도도에 도달하는 시간은 434초이다. 따라서 소금물이 입구에서 출구까지 도달하는데 소요되는 최초시간은 261초이고, 일정한 전기전도도에 도달하는데 소요되는 시간은 295초이다. 따라서 소금물이 출구에서 감지되는데 소요되는 시간은 소금물을 유입한 후 4.35분 후이다.
- [0010] 도 6에는 석봉산화조로 유입되는 광산배수의 유동특성을 파악하기 위해 전산유동해석을 수행한 결과가 나타나 있다. 도 6의 (a)에서 나타난 바와 같이, 석봉 산화조에서의 속도분포를 보면, 입구에서 출구로 이어지는 라인의 속도가 가장 빠르게 나타난다. 속도분포의 종단면도를 보면, 출구쪽으로 진행함에 따라 속도는 점차 하부까지 확대되어가는 모습을 보이고 있다. 그러나 속도가 높은 부분은 주로 수면부에 위치하고 있다.
- [0011] 도 6의 (b)에 나타난 바와 같이, 석봉 산화조의 유선분포를 보면, 속도가 높은 영역인 입구와 출구를 잇는 주흐름구간과 이를 경계로 좌측과 우측에는 큰 와류가 형성되는 정체영역으로 나타나는 2가지 유동패턴을 확인할 수 있다.
- [0012] 그리고, 도 6의 (c)에는 석봉 산화조의 체류시간이 나타나 있다. 도 6의 (c)에 도시된 바와 같이, 체류시간은 입구와 출구를 잇는 직선을 따라 유동되는 광산배수는 매우 짧은 체류시간을 나타낸 반면, 위 직선구간을 제외한 주변구간에 놓인 광산배수는 높은 체류시간이 나타난다. 즉, 위 직선구간 이외의 구간은 광산배수가 흐르는 구간이 아니라 대부분 정체되어 있는 영역으로 판단된다.

- [0013] 단면부에서의 체류시간 분포를 살펴보면, 입구에서 출구로의 진행함에 따라 체류시간은 하부로 갈수록 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 산화조에서 주된 흐름영역은 입구와 출구를 잇는 직선의 영역으로 나타나며, 광산배수의 유입 및 유출과정에서 산화조의 심부에서는 거의 유동이 없으며 광산배수는 대부분 수면을 따라 유동하는 것을 알 수 있다.
- [0014] 결과적으로, 산화조는 입구와 출구를 잇는 주흐름영역과 정체영역으로 나누어져서 유입된 광산배수가 특정한 루트인 주흐름영역을 따라 흘러가고 나머지 영역은 유동에 참여하지 않는 정체영역으로 남는 것을 알 수 있다.
- [0015] 즉, 유입된 광산배수가 산화조 전체로 흐르지 못하고 특정한 흐름영역을 따라 흘러가므로, 이러한 유동패턴은 산화조에서 광산배수의 체류시간을 급격하게 감소시키고 공간을 비효율적으로 활용하게 되어 산화조의 본 역할을 수행할 수 없게 한다. 또한 이렇게 광산배수의 체류시간이 짧아지는 경우 산소와의 충분한 접촉을 통한 2가 철의 침전반응이 저하되어 광산배수의 후속처리가 곤란해지는 문제점이 있다.
- [0016] 한편, 광산배수 내의 철이온이 산소와 만나 산화됨으로써 수산화물로 침전되는 반응의 반응속도는 광산배수의 pH와 깊은 관계가 있다. 도 7은 pH의 변화에 따른 철 침전반응의 반응속도의 변화가 나타난 그래프이다. 도 7의 그래프를 참조하면, pH3 근방에서 중성으로 갈수록 반응속도가 급격하게 증가함을 알 수 있다.
- [0017] 이에 산화조 내의 광산배수의 체류시간 증대와 더불어 pH의 변화를 이용한 광산배수 내의 철의 침전을 가속화시킬 수 있는 구체화된 기술이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0018] 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 광산배수가 유입된 후 산화조 전체 영역에 걸쳐 넓게 확산되게 함으로써 광산배수의 체류시간을 증가시켜 광산배수 내 철의 침전 제거 효율을 증가시킬 뿐만 아니라, 정체영역이 발생되지 않도록 구조가 개선된 산화조를 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0019] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 광산배수 처리용 산화조는, 광산배수가 유입되는 입구부와, 상기 입구부로 유입된 광산배수가 체류하는 수조와, 상기 수조 내의 광산배수가 배출되는 출구부를 구비하여, 상기 광산배수가 상기 수조에 체류하는 동안 상기 광산배수 내의 철이 산화되어 침전되게 하는 것으로서, 상기 입구부를 통해 유입된 광산배수가 상기 수조를 지그재그 형태로 유동하여 상기 출구부로 배출될 수 있도록, 상기 입구부와 출구부를 연결한 다이렉트 방향과 교차되는 방향으로 형성되어 상기 입구부와 출구부 사이에 상호 이격되게 배치되는 복수의 메인 베플을 구비한다.
- [0020] 또한, 상기 복수의 메인 베플에 의하여 평면방향에서 지그재그 형태로 유동되는 상기 광산배수가 다시 상하방향을 따라 지그재그 형태로 유동될 수 있도록, 상기 메인 베플과 교차되는 방향으로 형성되어 상호 이격되게 배치되는 복수의 보조 베플을 더 구비한다.
- [0021] 그리고 상기 복수의 보조 베플은 상하방향으로 이동가능하다.
- [0022] 또한, 본 발명에서, 상기 수조에는 상기 광산배수의 pH를 높이기 위하여, 석회석을 포함하는 중화체가 설치될 수 있다.
- [0023] 하나의 예로서, 상기 메인 베플과 보조 베플 또는 수조의 벽면중 적어도 하나는 석회석을 포함하여 제조되어, 이들이 중화체로 작용할 수 있으며, 중화체는 자연산 석회석 덩어리로 형성될 수 있다.
- [0024] 또한, 상기 중화체는 석회석 미분체와, 상기 석회석 미분체를 하나의 덩어리로 형성시키는 응집제를 포함하며, 상기 응집제가 상기 광산배수 내에서 용해되면서 상기 석회석 미분체가 상기 광산배수와 접촉되는 것이 바람직하다.
- [0025] 또한, 상기 중화체는 가압에 의하여 다수의 균열이 형성되어 있는 석회석 덩어리로 형성될 수도 있다.
- [0026] 그리고 상기 출구부에 비하여 입구부에 근접하게 배치되어, 상기 수조의 수중에 매달려 있는 것이 바람직하다.

발명의 효과

- [0027] 본 발명에서는 메인 베플과 보조 베플을 이용하여 광산배수가 수조 내에서 충분히 체류할 수 있도록 하였으며,

중화체를 이용하여 광산배수의 pH를 증가시킴으로써, 광산배수 내 대부분의 철 이온을 침전시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 국내에 설치된 여러 산화조의 전경이 나타난 사진이다.
- 도 2는 국내의 석봉 산화조를 위에서 찍은 사진이다.
- 도 3은 산화조 내의 체류시간 측정을 위한 실험에서 다이버를 설치하고 염료를 투입하는 모습을 보여주는 사진이다.
- 도 4는 석봉 산화조 내의 시간에 따른 염료와 추적자의 확산 모습이 나타나 있는 사진이다.
- 도 5는 석봉 산화조의 입구부와 출구부에서의 시간에 따른 전기전도도의 변화가 나타나 있는 표이다.
- 도 6은 석봉 산화조의 광산배수의 유동특성을 전산유동해석한 결과를 나타낸 것으로서, (a)에는 속도분포, (b)에는 유선분포 그리고 (c)에는 체류시간분포가 나타나 있다.
- 도 7은 pH의 변화에 따른 철 침전반응의 반응속도의 변화가 나타난 그래프이다.
- 도 8은 본 발명의 제1실시예에 따른 광산배수 처리용 산화조의 개략적 평면도이다.
- 도 9는 도 8의 IX-IX선 개략적 단면도이다.
- 도 10은 도 8의 X-X선 개략적 단면도이다.
- 도 11은 본 발명의 제2실시예를 설명하기 위한 개략적 도면이다.
- 도 12는 본 발명의 제3실시예를 설명하기 위한 개략적 도면이다.
- 도 13은 본 발명의 제1실시예에서 광산배수의 체류시간 및 성능을 알아보기 위한 실험의 결과 사진이다.
- 도 14는 황지-유창 산화조에서 소금 확산실험 결과가 나타나 있는 표이다.
- 도 15는 실험결과 산화조 출구부에서의 체류시간 도수분포표이다.
- 도 16 및 도 17은 본 발명의 성능에 대한 전산해석을 위한 모델이 나타난 도면으로서, 도 16은 모식도이며, 도 17에는 베플 배치상태가 나타나 있다.
- 도 18 내지 도 20은 전산유동해석을 수행한 결과로서, 도 18에는 각 케이스별 속도분포가, 도 19에는 각 케이스별 유선분포가, 도 20에는 각 케이스별 체류시간 분포가 나타나 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 우선 본 발명에 따른 광산배수 처리용 산화조의 처리대상인 광산배수에 대하여 간략하게 설명하다. 광산배수는 일반적으로 산성이므로 산성광산배수(AMD, Acid Mine Drainage)로 통칭된다. 산성광산배수는 대기 중에 노출된 황철석(FeS₂), 백철석 (FeS) 등의 황화광물이 산소 및 물과 반응하여 산화되면서 형성되며, pH가 낮아 산성을 띠고 있으며, 황산염을 비롯한 철, 알루미늄, 망간 등 금속함량이 높은 것이 특징이다.
- [0030] 황철석의 산화반응은 다음 식들과 같다.
- [0031]
$$FeS_2 + 7/2O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H^+$$
- [0032]
$$Fe^{2+} + 1/4O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{3+} + 1/2H_2O$$
- [0033]
$$Fe^{3+} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3(s) + 3H^+$$
- [0034]
$$FeS_2 + Fe^{3+} + 8H_2O \rightarrow 15Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 16H^+$$
- [0035] 위 식에서 나타난 바와 같이, 황철석은 산화되면서 철 이온 및 황산 이온이 발생되고 수소 이온으로 인해 산성화된다. 이러한 산성광산배수는 낮은 pH로 인해 독성 중금속의 이동도가 높아 주변 지표수와 지하수를 오염시켜 수중 생태계를 파괴시킨다. 또한 금속 이온들이 산화되어 Fe(OH)₃등의 금속 수산화물로 침전됨으로써 하천바

닥에 적갈색 또는 백색의 침전물을 발생(yellow boy현상)시켜 미관을 해치게 된다.

- [0036] 이에 광산배수의 소극적 처리법에서는 광산배수가 폐광으로부터 배출되는 초입에 산화조를 배치하여 산성광산배수로부터 철을 침전시킨다.
- [0037] 2가의 철이온은 아래의 반응식과 같이 산화되어 수산화물 형태로 침전된다.
- [0038] $4\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 4\text{H}^+ \rightarrow 4\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$
- [0039] $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + 3\text{H}^+$
- [0040] 상기한 바와 같이, 광산배수 내의 철이온이 수산화물로 침전되기 위해서는 대기중의 산소 또는 광산배수 내의 용존산소와 반응하여야 한다.
- [0041] 그러나 종래기술에서 설명한 바와 같이 광산배수가 산화조에서 체류하는 시간이 짧으면 충분한 반응이 일어나지 않아 산화조에서 배출되는 광산배수 내에 많은 양의 철이온이 함유될 수 있다. 이렇게 철이 제거되지 않은 상태로 광산배수가 후속 처리되는 경우 다양한 문제가 발생한다.
- [0042] 예컨대, SAPS(Successive Alkalinity-Producing systems)에서는 산화조 후단에 유기물층과 석회석층을 형성하는데, 광산배수 내의 철이온이 석회석층으로 침전되면서 석회석층의 투수율을 저하시키는 문제들을 발생시킨다.
- [0043] 본 발명에서는 광산배수 내의 철이온과 산소 사이에 충분한 철 침전반응이 일어날 수 있도록, 광산배수를 충분한 시간 동안 체류하게 하는 산화조를 제공한다.
- [0044] 이하, 첨부된 도면을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 광산배수 처리용 산화조에 대하여 더욱 상세히 설명한다.
- [0045] 도 8은 본 발명의 제1실시예에 따른 광산배수 처리용 산화조의 개략적 평면도이며, 도 9는 도 8의 IX-IX선 개략적 단면도이고, 도 10은 도 8의 X-X선 개략적 단면도이다.
- [0046] 도 8 내지 도 10을 참조하면, 광산배수 처리용 산화조는 폐광 등에 인접하게 배치되어 폐광으로부터 침출되는 광산배수를 일시적으로 수용하면서 광산배수 내의 철을 침전시키기 위한 일종의 수조이다. 이에 본 발명에 따른 산화조(100)는 광산배수를 유입시키는 입구부(11)와, 광산배수가 체류하는 수조(12)와, 광산배수가 배출되는 출구부(13)로 이루어진다.
- [0047] 국내에서는 지형상 자연상태로 이용할 수 있는 수조가 없기 때문에 콘크리트 등으로 수조를 인위적으로 형성하는 것이 일반적이지만, 해외에서는 자연상태의 수조를 그대로 산화조로 사용하는 경우가 많다.
- [0048] 본 발명에서는 입구부(11)를 통해 유입된 광산배수가 수조(12) 내에서 지그재그 형태의 흐름을 형성하며 출구부(13)로 배출될 수 있도록, 복수의 메인 베플(21)을 수조(12)에 설치한다. 광산배수가 지그재그 형태로 흐르게 되면 수조(12)의 전 영역을 지나게 됨으로써 체류시간이 증대되기 때문이다.
- [0049] 메인 베플(21)은 판 형상으로 형성되어 입구부(11)와 출구부(13) 사이를 연결하는 다이렉트 방향에 대하여 교차하는 방향으로 수조(12)에 설치된다. 본 실시예에서는 위 다이렉트 방향에 대하여 수직하게 배치된다.
- [0050] 그러나 메인 베플(21)이 반드시 다이렉트 방향에 대하여 수직하게 배치될 필요는 없으며, 수조(12)에서 입구부(11)와 출구부(13)의 배치상태, 광산배수의 주흐름 방향, 광산배수의 유량 및 pH 등의 조건을 고려하여, 광산배수 내에서 충분한 철 침전반응이 일어날 수 있는 체류시간을 보장하면 된다. 예컨대, 광산배수의 pH가 낮은 경우에는 침전반응의 속도가 저하되므로 체류시간을 길게 하여야 하며, pH가 높은 경우에는 침전반응의 속도가 증가되므로 체류시간을 상대적으로 짧게 할 수 있다.
- [0051] 메인 베플(21)은 교대로 수조(12)의 일측벽과 타측벽에 접하게 배치된다. 예컨대, 입구부(11)로부터 홀수 번째에 배치된 메인 베플(21)들은 그 일단부가 수조(12) 일측벽에 접하고 타단부는 수조(12)의 타측벽으로부터 이격되게 배치되어, 광산배수는 메인 베플(21)의 타단부와 수조(12)의 타측벽 사이를 통해 유동된다. 역으로, 입구부(11)로부터 짝수 번째에 배치된 메인 베플(21)들은 그 일단부가 수조(12) 일측벽과 이격되어 있고, 타단부는 수조(12)의 타측벽에 접하게 배치되어, 광산배수는 메인 베플(21)의 일단부와 수조(12)의 일측벽 사이를 통해 유동된다.
- [0052] 결국, 광산배수는 메인 베플(21)들 사이를 통해 유동되면서, 전체적으로 보면 수조(12)의 평면방향에서 지그재

그 형태로 흐름을 형성하게 된다. 이에 따라 광산배수의 수조(12) 내에서의 체류시간이 증가된다.

- [0053] 한편, 상기한 바와 같이, 평면방향에서는 광산배수가 수조(12) 전 영역을 통해 유동되지만, 메인 베플(21)만으로는 광산배수가 상하방향을 따라 유동되게 하는데 한계가 있다. 이에, 본 실시예에서는 복수의 보조 베플(22)을 설치하여 기존의 산화조에서 광산배수가 표면을 통해서만 유동되는 문제점을 해결하여, 광산배수가 수조(12)에서 상하방향을 따라 지그재그 형태로 흐르도록 유도한다. 그리고 메인 베플(21)의 높이는 수조(12)의 수위면보다 높게 형성되는 것이 바람직하다.
- [0054] 보조 베플(22)은 판 형상으로 메인 베플(21)과 수직한 방향으로 형성되어 메인 베플(21)들 사이에 설치된다. 보조 베플(21)을 수조(12)에 지지하는 구조는 다양할 수 있으며, 본 실시예에서는 지지봉(25)에 의하여 보조 베플(21)을 설치한다.
- [0055] 즉, 지지봉(25)은 상하방향을 따라 길게 형성되어 수조(12)의 바닥면에 삽입되어 고정된다. 그리고 보조 베플(22)은 이 지지봉(25)에 끼워져 승강가능하게 결합된다. 즉, 도시하지는 않았지만 보조 베플(22)의 내측에는 길게 홈부가 형성되어 있으며, 이 홈부에 지지봉(25)이 끼워져 들어가서 지지봉(25)을 따라 슬라이딩 가능하다. 따라서 각 보조 베플(22)은 설치되는 높낮이를 조절할 수 있다.
- [0056] 복수의 보조 베플(22)들은 수조의 상부와 하부에 교대로 배치된다. 즉, 수조(12)의 하부에 배치되는 보조 베플(22)은 그 하면이 수조(12)의 바닥과 접촉된다. 보조 베플(22)의 높이는 수조(12)의 수위보다 낮으므로 광산배수는 보조 베플(22)의 상부를 통해 유동될 수 있다. 그리고 수조(12)의 상부에 배치되는 보조 베플(22)은 상면이 수조(12)의 수위면 위에 배치되고, 하면은 수조(12)의 바닥면으로부터 상방으로 이격되어 있다. 따라서, 광산배수는 수조의 상부와 하부에 번갈아가면 배치된 보조 베플(22)을 통과하면서 상하방향을 유동된다.
- [0057] 상기한 바와 같이, 본 발명에서는 메인 베플(21)과 보조 베플(22)을 이용하여, 입구부(11)로 유입된 광산배수가 평면방향을 따라 지그재그로 흐름을 형성하며 출구부(13)로 배출되는 가운데, 상하방향을 따라서도 계속 유동되므로, 수리학적 체류시간이 증가된다. 또한 수조(12)의 전 영역이 광산배수의 유동에 참여하므로 정체구역이 없어서 수조(12)의 효율성이 증대된다.
- [0058] 본 출원인은 메인 베플(21)과 보조 베플(22)을 설치한 경우의 성능에 대하여 실험해 보았다.
- [0059] 본 발명의 성능을 검증하기 위해 먼저 추적자 실험과 전산유동해석을 수행하여 전산해석결과의 타당성을 입증한 후 이를 본 발명의 실시예로 적용함으로써, 본 발명의 실시예 따른 광산배수의 체류시간 상승 크기와 효과를 파악하였다.
- [0060] 산화조로 유입되는 광산배수의 유동형태와 체류시간은 산화조, 입구와 출구의 크기 및 형상, 유량 등에 따라 다양하게 나타난다. 이러한 유동형태를 가시적으로 파악하기 위하여 입구부로 유입되는 광산배수에 추적자를 포함시켜 이들의 유동경로 및 특성으로 분석하는 방법을 활용하여 실험을 수행하였다. 추적자로는 인체에 무해한 식용색소 Blue 2를 사용하여 유동양상을 파악하였고, 체류시간 산정을 위해 추적자로 소금을 사용하고 입구와 출구에서 CTD-DIVER로 전기전도도를 측정하였다.
- [0061] 실험 대상 산화조는 경상북도 문경시에 위치한 황지-유창 산화조로서, 크기는 46 m × 8.7 m로서 직각 삼각형과 같은 형상을 하고 있다. 또한 심도는 1 m로 시공되었지만 바닥에 쌓인 침전물의 깊이 약 0.3 m와 산화조 최상단에서 수면까지의 높이 0.35 m를 고려하면 실제 물이 차있는 심도는 평균 0.35 m이다. 입구는 내경 0.6 m의 배관으로 설치되어 있으며, 광산배수는 배관 아래로 떨어지면서 산화조로 유입되고 있다. 반면, 출구의 구조는 산화조 바닥부에 설치되어 있으며 0.5×0.2 m 정도의 크기를 가진다. 산화조로 유입되는 광산배수의 유량은 59.3 m³/hr이다. 본 실험은 메인 베플 및 보조 베플을 설치하지 않은 상태에서, 산화조의 유동 특성을 파악해 보고, 전산해석결과와 실제 실험결과가 일치하는지를 확인하기 위한 것이다.
- [0062] 식용색소 Blue 2를 입구부에 일정한 농도로 4분간 주입하여 시간에 따른 유동 및 확산의 영향을 살펴본 결과 도 13에 사진으로 나타나 있다. 도 13의 실험결과 사진에서와 같이, 주입 초반부(40분 경과)에는 염료가 입구와 출구를 잇는 측벽부에 주로 분포하다가 80분, 140분으로 시간이 경과됨에 따라 입구부의 우측으로 점차 확산되어가는 경향을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 도 13의 좌측에 표시된 전산해석결과에서도 동일하게 나타난다. 전산해석결과에서도 시간이 경과함에 따라 체류시간 영역이 점차 입구부 우측으로 확대되어가는 경향을 표에서 확인할 수 있다. 전산해석결과에서 파란 선은 염료 확산범위를 추정한 선이다. 도 13의 좌측과 우측의 비교를 통해 알 수 있는 바와 같이, 실제 실험을 통한 염료 확산범위와 전산해석에 의한 체류시간 범위가 비교적 잘 일치하고 있다.

- [0063] 도 14는 황지-유창 산화조에서 소금 확산실험 결과가 나타나 있는 표이다. 도 14에서와 같이 입구부에서의 전기 전도도는 최초 12분 지점에서 감지되며 출구에서 최초 감지되는 시간은 34분이므로 입구에서 추적자가 출구로 최초 도달하는 시간은 22분이 소요됨을 알 수 있다.
- [0064] 출구에서 전산해석을 통해 얻어진 체류시간결과를 100시간까지 히스토그램을 그려보면 도 15와 같다. 도 15에 나타난 바와 같이, 최초 체류시간은 약 17분, 21분, 22분으로서 실험에 의한 22분과 매우 유사한 값을 보이는 것을 확인할 수 있다. 실험결과와 전산해석결과가 약간의 오차를 보이는 것은 실험은 현장에서 수행하므로 현장에서의 바람의 영향 및 수중 침전층 형성 등의 현장조건을 전산해석에서 정확히 고려할 수 없기 때문이다. 이러한 영향들로 인하여 전산해석결과가 실험결과보다 약간 빠른 값을 보이지만 그래도 유사한 값을 나타내는 것으로 판단할 수 있다.
- [0065] 이처럼 전산해석결과는 실험결과와 시간에 따른 유동양상 및 체류시간에 있어서 매우 유사하게 나타났으므로 전산해석을 통하여 본 발명에 대한 비교적 타당한 해석이 가능하다.
- [0066] 제시된 방안의 성능을 평가하기 위해 배플이 설치되지 않은 사례와 메인 배플만 설치된 사례, 메인 배플과 보조 배플이 모두 설치된 사례의 총 3가지 사례에 대해서 전산유동해석을 수행하였다. 구조의 크기는 폭 1.45×1.45×0.3 m로 설정하였으며, 유량은 NCB(1982)에서 제시한 100m² 당 1 l/sec에 준하여 유량을 1.26 l/min으로 설정하였다. 전산유동해석을 위한 모델에 대한 모식도를 도 16에 도시하였다. 이처럼 대상 산화조에는 4개의 메인 배플이 설치되며 입구에서 유입된 광산배수는 지그재그형식으로 유동하여 출구로 유출된다. 전산해석을 위해 구성된 모델의 배플 배치상태를 도 17에 나타내었으며, 전산해석방법은 황지-유창 산화조에서 수행된 해석방법과 동일하다.
- [0067] 전산유동해석을 수행한 결과를 도 18 내지 도 20에 나타내었다. 도면들에 도시된 바와 같이 배플이 없는 경우(a)에 광산배수의 유동은 입구와 출구를 잇는 주흐름구간과 이를 경계로 좌측과 우측으로 정체영역으로 나타나며, 비균질한 속도 분포 및 체류시간 분포를 보이고 있는 반면에 배플이 설치된 경우(b,c)에는 배플에 의해 흐름방향이 좌우로 이어지며 산화조 전체 영역을 따라 유동이 이어지는 것을 확인할 수 있다. 특히 메인 배플만 있는 경우(b) 보다 보조 배플이 함께 설치된 경우(c)가 전체적으로 고른 흐름을 보이는 것을 알 수 있다.
- [0068] 도 18의 속도 분포를 보면, 배플이 없는 경우(a)에는 입구와 출구를 잇는 직선구간에서는 높은 속도가 나타나고 그 좌측과 우측으로는 낮은 속도구간을 보이는 반면, 칸막이가 있는 경우에는 입구부가 벽에 맞아 유속이 저하된 이후에는 수면에서는 속도차이를 쉽게 확인하기가 어렵다.
- [0069] 도 19의 유선분포를 살펴보면, 배플이 없는 경우에는 입구와 출구를 잇는 직선구간으로 주된 유동이 발생하고 좌측과 우측은 거의 참여가 어려운 실정이다. 반면, 배플이 설치된 경우(b,c)에는 입구에서 토출된 광산배수는 배플과 충돌하여 형성된 난류에 의해 유속분포가 일정해지며 배플에 의해 설정된 길을 따라 이동하므로 전반적으로 고른 유동분포를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 메인 배플만 설치된 경우(b)보다 보조 배플과 함께 설치된 경우(c)가 더 고른 흐름을 보이는 것을 알 수 있다.
- [0070] 도 20의 체류시간 분포를 살펴보면, 배플이 없는 경우(a)에는 입구와 출구를 잇는 직선구간에서는 낮은 체류시간을 보이고 그 좌측과 우측으로는 높은 체류시간을 보이는 정체구간이 나타나는 불균질한 체류시간분포를 보이는 반면, 배플이 설치된 경우(b,c)에는 전체적으로 균일하고 낮은 체류시간을 보이고 있다. 특히 메인 배플만 있는 경우(b)에는 유동방향이 변경되는 지점의 안쪽으로 와류에 의해 정체구간이 일부 나타나는 반면에 보조 배플이 함께 설치된 경우에는 이러한 정체영역은 없고 유동방향이 180° 전환되는 부분에 국부적인 와류에 의해 상대적으로 높은 체류시간을 보이지만, 이는 전체 체류시간 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.
- [0071] 이상에서 살펴본 바와 같이, 본 발명에 의해서 제공되는 산화조는 광산배수의 체류시간 향상에 있어서 매우 효과적임을 알 수 있다.
- [0072] 각 사례에 대한 성능평가를 위해 전산유동해석을 통해 도출된 체류시간을 표 1에 제시하였다. 표 1에서 각 사례별 명목체류시간이 다른 것은 칸막이에 의한 부피를 제외하였기 때문이다. 입구에서 출구로 최초로 도달하는 데 소요되는 시간인 최초 도달시간을 살펴보면, 기존 산화조인 케이스1은 1.2분으로 매우 짧은 시간내에 출구에 도달하는 것을 알 수 있는데, 이는 유입된 광산배수가 주흐름영역 중에서도 수면부를 따라 이동하기 때문이다.

표 1

[0073]

물 성	케이스1	케이스2	케이스3	케이스2 /케이스1	케이스3 /케이스1	케이스3 /케이스2
명목 체류시간 N(min)	500	476	467.2	1.0	0.9	1.0
최초 도달시간 M(min)	1.2	324.3	432.4	270.3	360.3	1.3
평균 체류시간 A(min)	406.0	478.4	466.9	1.2	1.1	1.0
체적평균속도 V(m/sec)	0.0014	0.0005	0.0005	0.4	0.4	1.0
체적평균체류시간 (min)	1729.7	312.4	282.5	0.2	0.2	0.9
M/N(%)	0.2	68.1	92.6	340.5	463.0	1.4
A/N(%)	81.2	100.5	99.9	1.2	1.2	1.0
교환효율(%)	14.5	76.2	82.7	5.3	5.7	1.1

[0074]

반면, 베플이 설치된 케이스2와 케이스3의 경우에는 최초 도달시간이 각각 324.3분, 432.4분으로 약 270~360배의 증가를 보이고 있다. 특히 메인 베플만 있는 경우보다 보조 베플을 포함한 경우에는 100분 이상의 최초 도달시간의 증가를 가져옴을 알 수 있다.

[0075]

명목체류시간에 대한 평균체류시간의 비를 살펴보면, 케이스1이 81.2%에 도달하는 반면, 케이스2와 케이스3은 약 100%에 도달하는 높은 체류시간을 보이고 있다. 명목체류시간에 대한 최초 도달시간의 비를 살펴보면 케이스1은 0.2%로 매우 낮고 케이스2와 사례 3은 각각 68.1%, 92.6%로서 전체적인 체류시간 분포가 베플이 설치된 경우 급격하게 증가하고 또한 메인 베플만 있는 경우보다 보조 베플을 포함한 경우가 약 1.4배 더 균일한 분포가 나타나는 것을 알 수 있다.

[0076]

광산배수의 교환효율을 살펴보면 사례 1이 14.5%로 낮은 반면 main baffle만 설치한 경우 76.2%로 향상되고, main baffle과 auxiliary baffle을 함께 설치한 경우에는 82.7%의 매우 높은 교환효율의 향상을 보이는 것을 확인하였다.

[0077]

따라서 기준안에 비해 칸막이를 설치한 경우, 특히 메인 베플과 보조 베플을 함께 설치할 경우 광산배수의 유동 분포는 균일해지고 최초 도달시간도 360배 이상 향상되며 교환효율도 14.5%에서 82.7%로 매우 높은 성능향상을 기대할 수 있다.

[0078]

이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에서는 산화조에 메인 베플과 보조 베플을 설치함으로써 광산배수가 산화조 전체에 걸쳐 유동될 수 있도록 하였다.

[0079]

이렇게 광산배수의 산화조 내의 체류시간이 증가되면서 광산배수는 충분한 시간 동안 산소와 반응하게 되어 광산배수 내의 철이온은 산화조의 바닥으로 침전되어 제거될 수 있다.

[0080]

지금까지, 광산배수 내의 철이온이 산화되어 수산화물로 침전되도록 하기 위하여, 광산배수가 수조 내에 체류하는 시간이 충분히 보장될 수 있도록 하는 구조에 대하여 설명하였다.

[0081]

광산배수 내의 철 침전반응은 산소와의 접촉시간과도 관계하지만, 광산배수의 pH와도 깊게 관계가 있다. 이에 본 발명에서는 광산배수의 pH를 상승시켜 철 침전반응을 가속화시키도록 하였다.

[0082]

즉, 수조(12)에 석회석을 투입하여 광산배수의 pH를 상승시킴으로써, 철 침전반응이 가속화되도록 한다.

[0083]

중래의 SAPS와 같은 처리조에서도 수조의 바닥면에 석회석층을 형성하여 광산배수가 하향류로 석회석층을 통과하게 하는 방안들이 제시되었다. 그러나 SAPS의 구조에서는 광산배수로부터 침전된 수산화철이 석회석에 코팅되거나, 석회석 사이의 공극을 메워 광산배수가 유동될 수 없었다.

[0084]

이에 본 발명에서는 이러한 문제점을 해결하고자, 석회석을 포함하는 중화체(30)를 수조(12)의 수중에 매달아 놓는 방식을 채택하였다. 즉, 중화체를 수중에 매달아 놓으면 유속에 의하여 철수산화물이 중화체에 코팅되는 것을 방지할 수 있기 때문이다. 석회석 중화체(30)를 수중에 매달기 위한 방식은 다양한데, 본 실시예에서는

지지대(35)를 메인 베플(21) 위에 설치하고, 예컨대 망사 주머니(37)가 달려 있는 로프와 같은 연결부재(36)를 지지대(35)에 매단다. 그리고 망사 주머니(37) 내에 석회석 중화체(30)를 넣어 광산배수가 유동하면서 석회석 중화체(30)와 접촉되도록 한다. 물론, 망사 주머니 같은 구조물 없이 연결부재에 직접 석회석 중화체를 연결하여 사용하는 방식도 채용될 수 있다.

[0085] 그리고 중화체(30)는 다양한 형태로 구성될 있는데, 도 10에 도시된 제1실시예에서는 자연산 석회석 덩어리를 사용하였다.

[0086] 중화체(30)의 형태를 선택함에 있어서 2가지 점에 주목해야 한다. 즉, 중화체에 철수산화물이 코팅되는 것이 효과적으로 방지되는지 여부와, 광산배수와 접촉면적을 넓혀 중화가 원활하게 이루어질 수 있는지 여부가 중요하다.

[0087] 이에, 도 11에 도시된 제2실시예와, 도 12에 도시된 제3실시예에 채용된 중화체(40,50)는 위의 2가지 측면을 고려한 구성으로 이루어진다.

[0088] 즉, 도 11을 참조하면, 제2실시예에 채용된 중화체(40)는 석회석을 매우 작은 미분체(41)로 형성한 후, 이 미분체들을 응집제(42)를 이용하여 하나의 덩어리로 형성하였다. 그리고 응집제(42)는 광산배수에서 시간이 지남에 따라 일정한 비율로 용해될 수 있는 재료를 선택한다. 응집제(42)가 일정한 용해도로 용해되므로 철 수산화물이 중화체(40)에 코팅되지 않는 장점이 있고, 응집제(42)의 용해에 의해서 석회석 미분체(41)가 광산배수 내로 풀리게 되는데 미분체는 동일 부피의 석회석 덩어리에 비하여 표면적이 훨씬 넓어 광산배수의 pH를 신속하게 상승시킬 수 있다.

[0089] 그리고, 도 12를 참조하면, 제3실시예에 채용된 중화체(50)는 석회석 덩어리를 가압하여 미세한 균열(51)들을 형성되게 하였다. 보다 구체적으로는 3축 압축기를 이용하여 석회석 덩어리를 가압함으로써 균열을 발생시킨다. 미세 균열(51)이 형성된 석회석을 수조(12)에 매달아 놓으면, 광산배수들이 이 미세 균열(51) 틈으로 유입되어 작은 조각의 석회석들이 분리된다. 이에 철 수산화물이 석회석 표면에 코팅되는 문제점을 해결할 수 있으며, 미세한 석회석 조각들이 광산배수 내로 유입되면서 효과적으로 광산배수의 pH를 증가시킬 수 있다.

[0090] 그리고 제1실시예 내지 제3실시예에 채용된 석회석 중화체(30,40,50)들은 수조(12)에서 입구부(11)에 근접하게 배치된다. 입구부(11) 근처는 유속이 상대적으로 빨라서 철수산화물이 중화체에 코팅되는 것이 방지되며, 철이 산소와 만나면 급격하게 침전되는 경향이 있으므로 입구부에서 광산배수의 pH를 높이는 것이 효과적이기 때문이다.

[0091] 한편, 본 발명의 다른 실시예에서는, 상기한 바와 같이 별도의 중화체를 설치하지 않고, 메인 베플(21) 또는 보조 베플(22)을 석회석으로 제조하여 중화체로 사용할 수도 있다. 마찬가지로 수조(12)의 측벽을 석회석으로 만들 수도 있다.

[0092] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에서는 메인 베플(21)과 보조 베플(22)을 이용하여 광산배수가 수조 내에서 충분히 체류할 수 있도록 하였으며, 중화체를 이용하여 광산배수의 pH를 증가시킴으로써, 광산배수 내 대부분의 철이온을 침전시킬 수 있게 되었다.

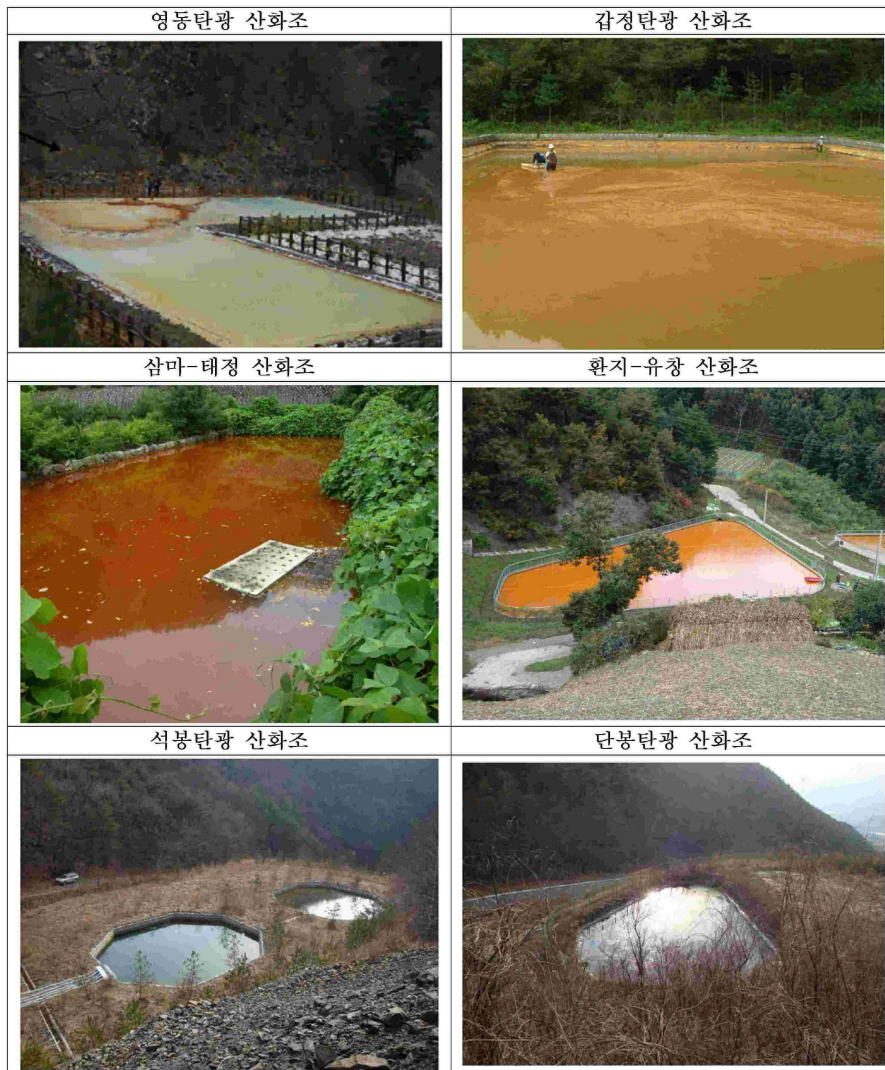
[0093] 본 발명은 첨부된 도면에 도시된 일 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 보호 범위는 첨부된 청구 범위에 의해서만 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

- [0094] 100 ... 광산배수 처리용 산화조
- 11 ... 입구부
- 12 ... 수조
- 13 ... 출구부
- 21 ... 메인 베플
- 22 ... 보조 베플
- 30,40,50 ... 중화체

도면

도면1



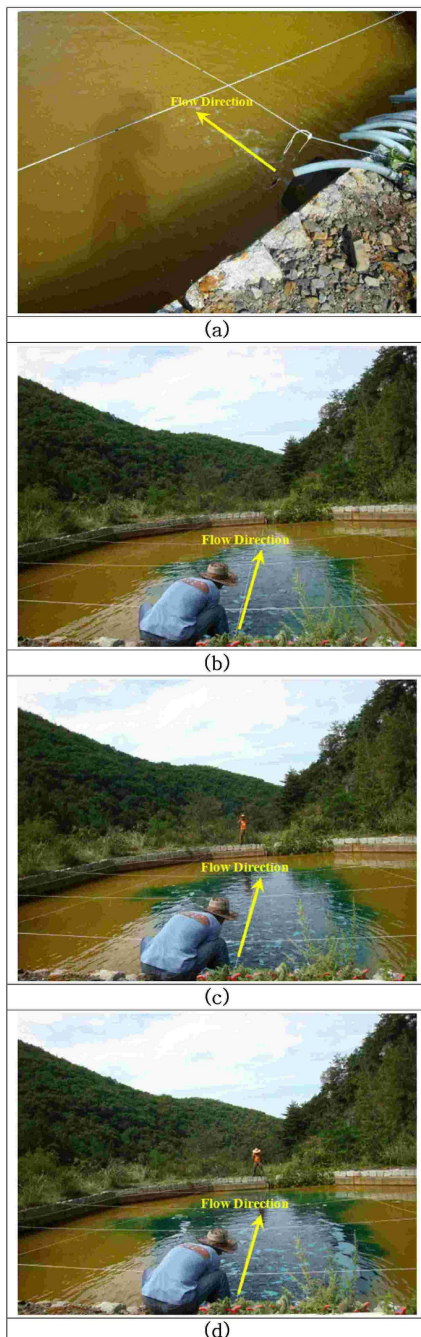
도면2



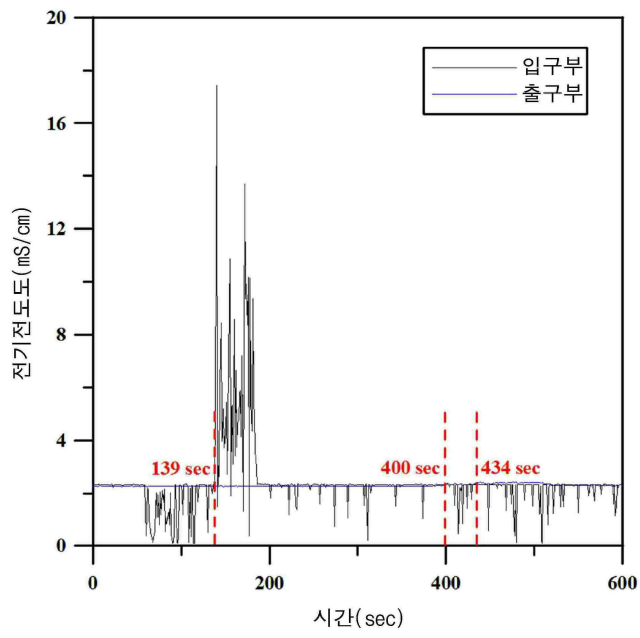
도면3



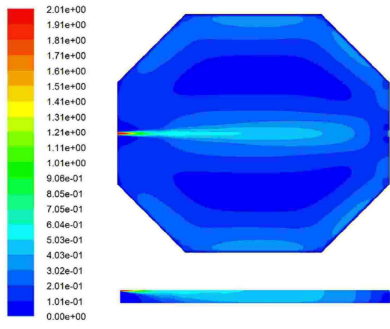
도면4



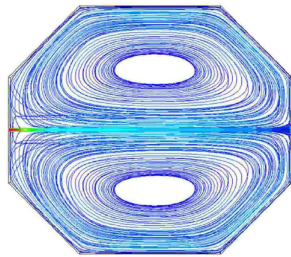
도면5



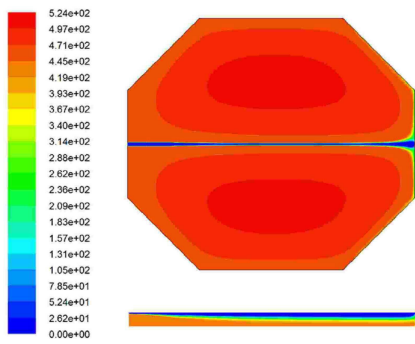
도면6



(a)

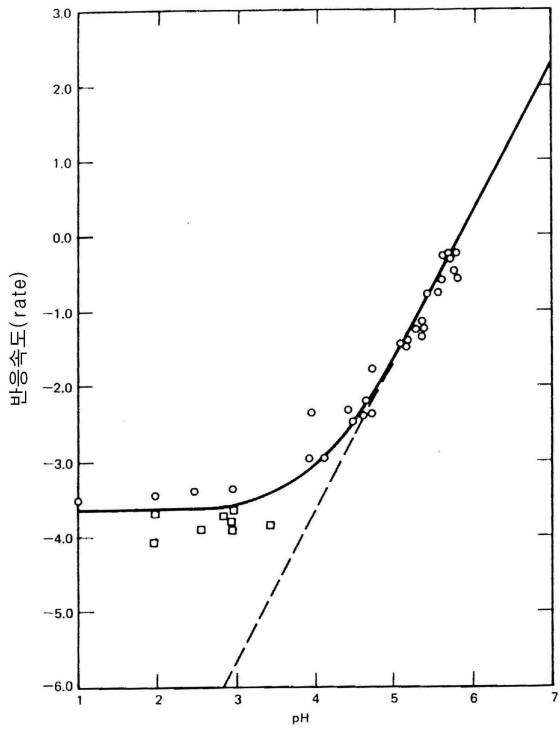


(b)

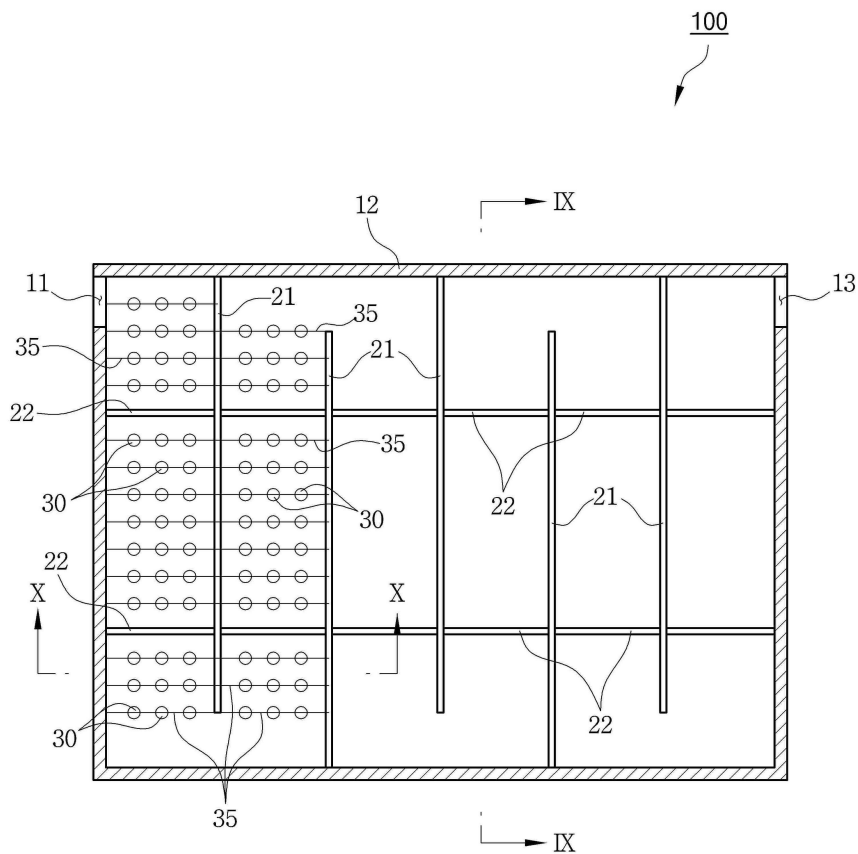


(c)

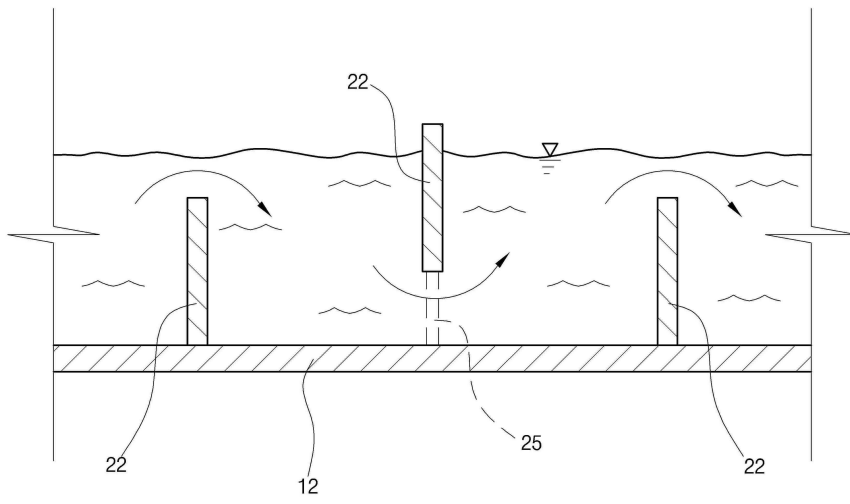
도면7



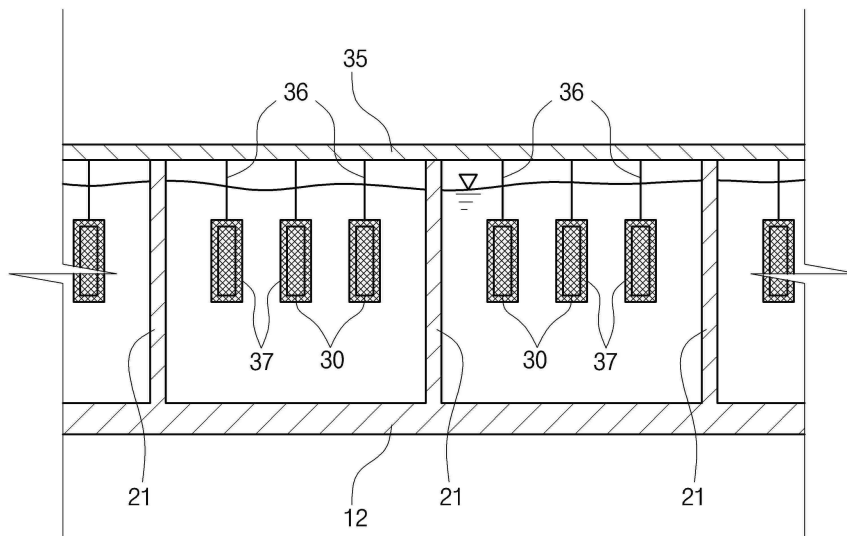
도면8



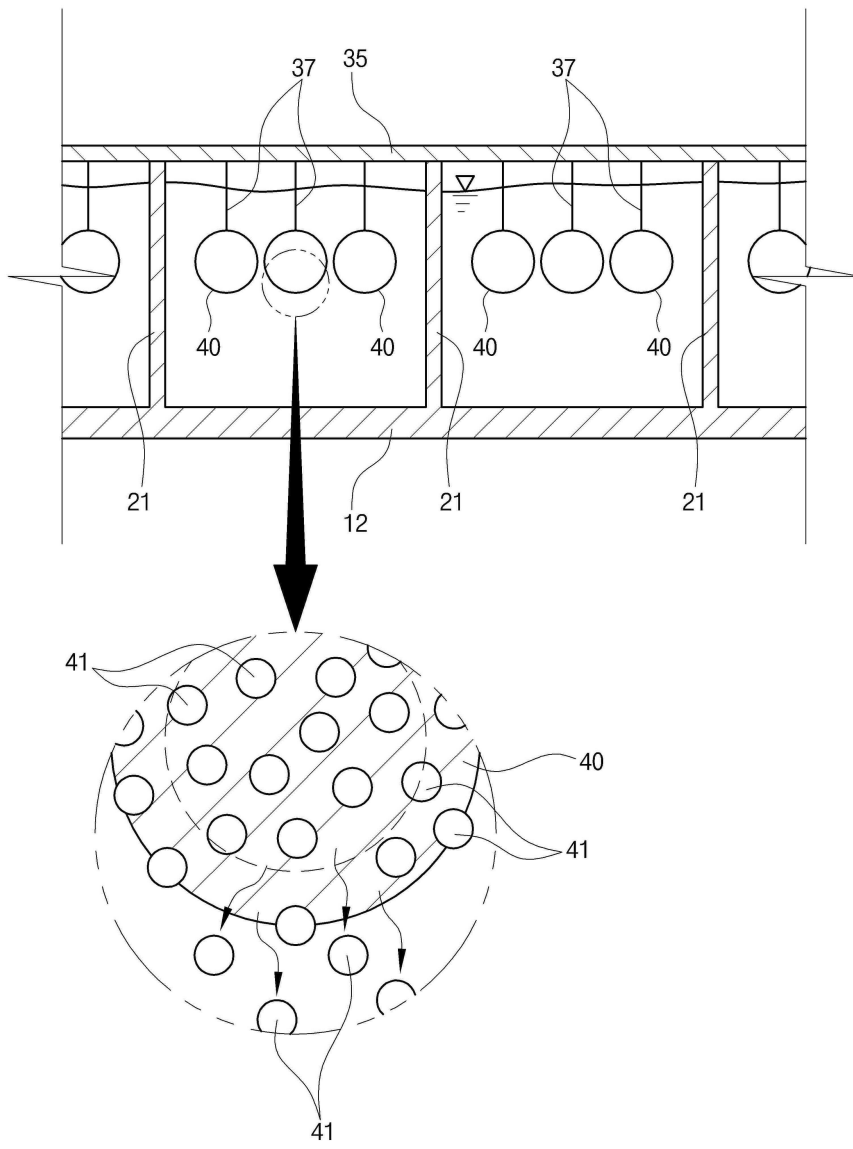
도면9



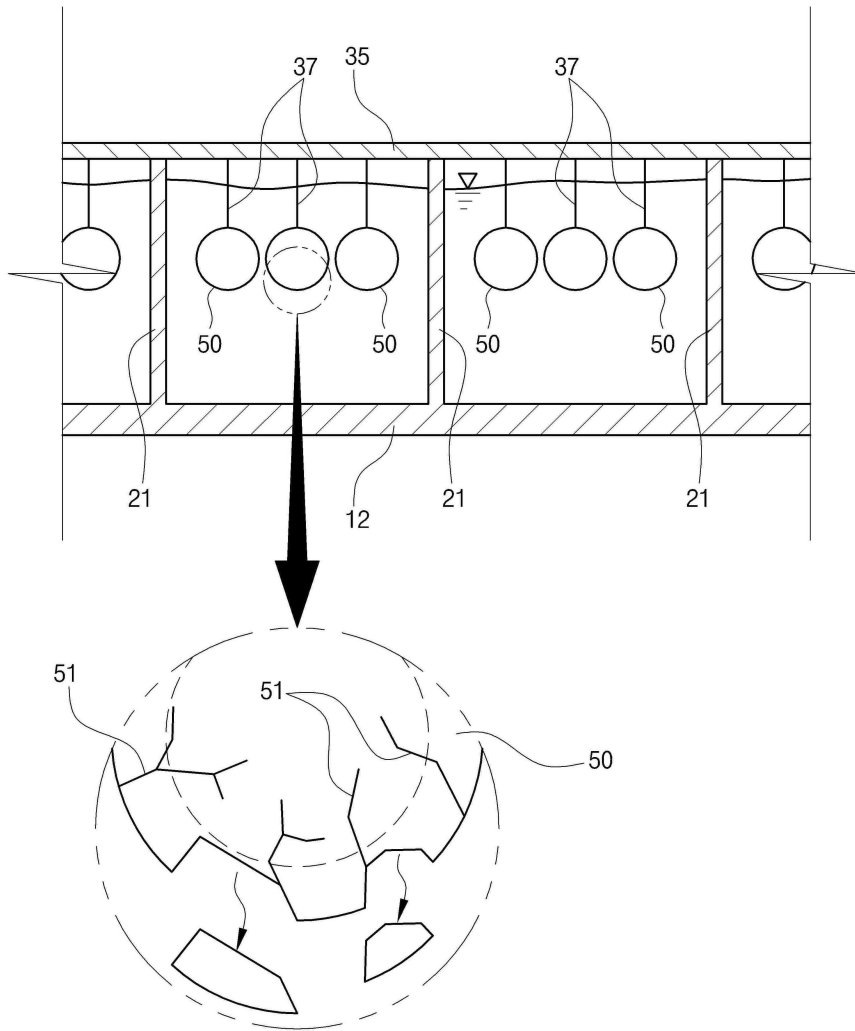
도면10



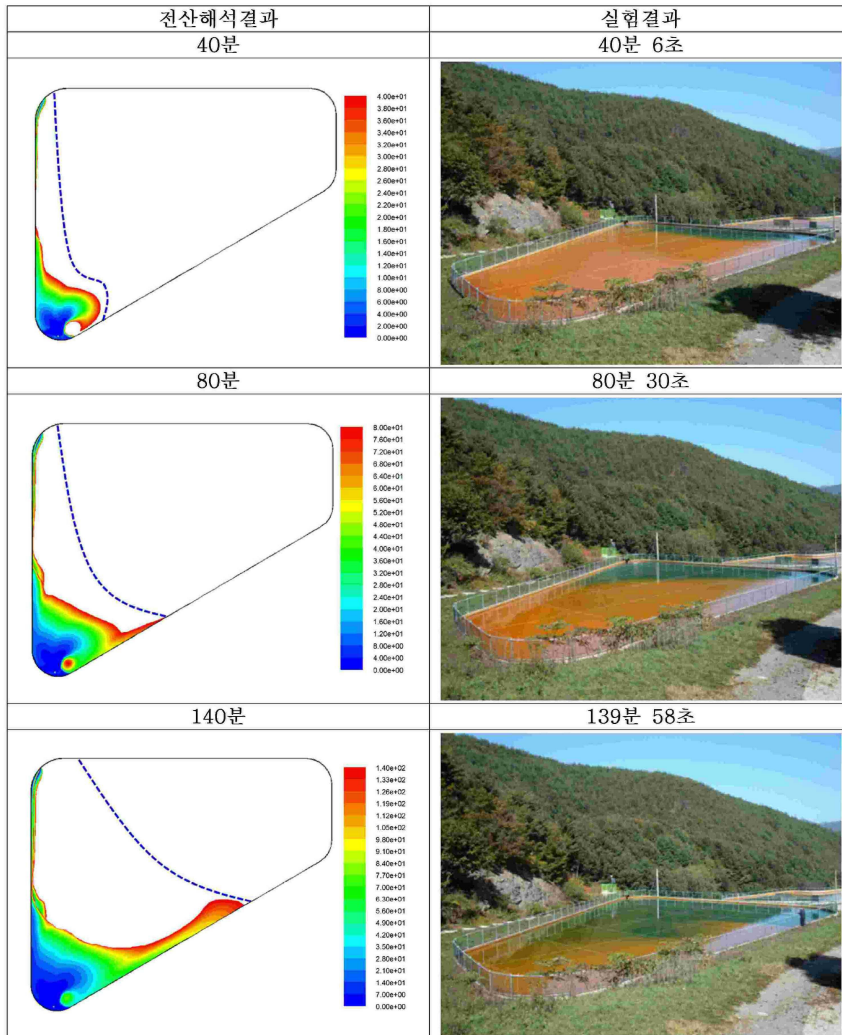
도면11



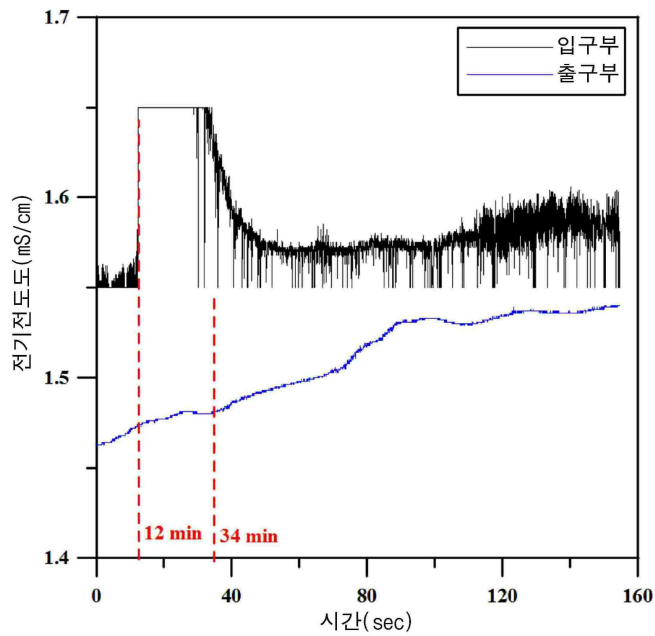
도면12



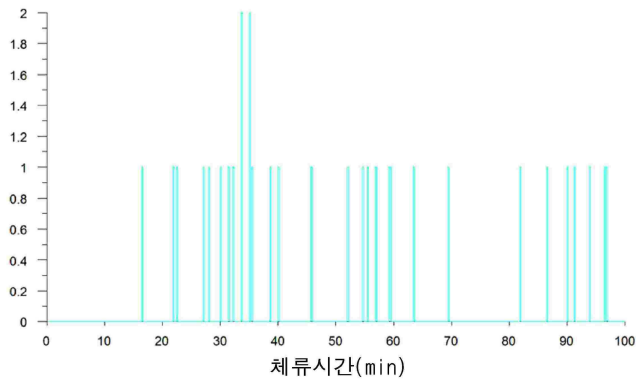
도면13



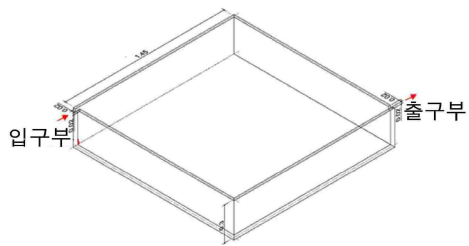
도면14



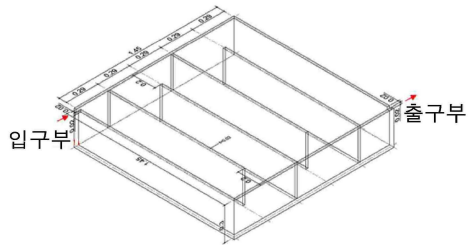
도면15



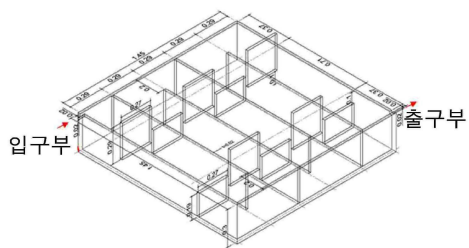
도면16



(a)

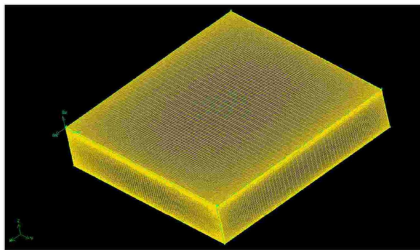


(b)

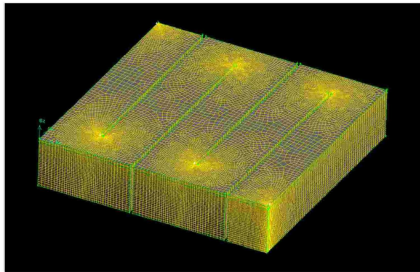


(c)

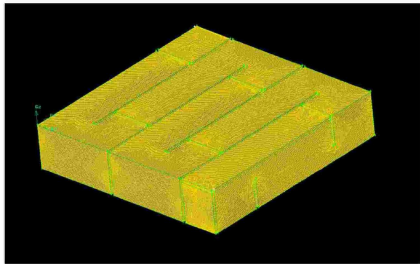
도면17



(a)

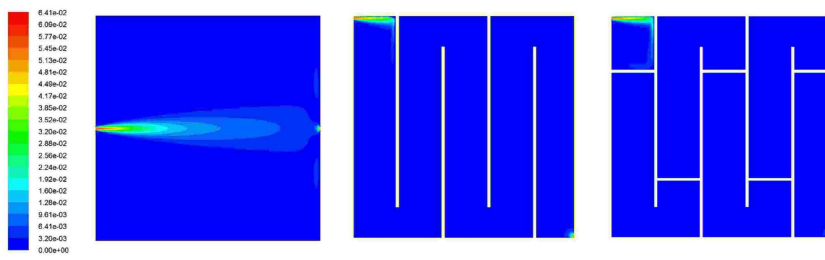


(b)



(c)

도면18

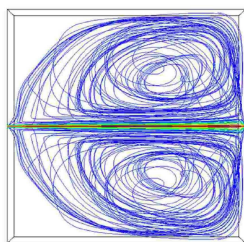


(a) 케이스 1

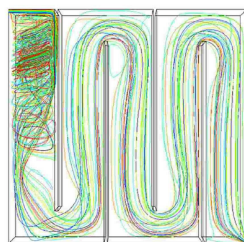
(b) 케이스 2

(c) 케이스 3

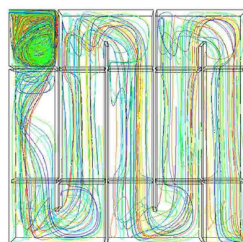
도면19



(a) 케이스 1

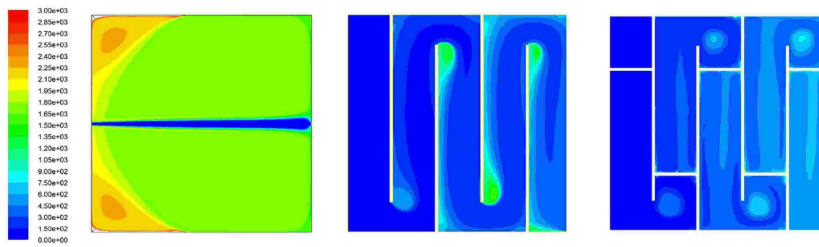


(b) 케이스 2



(c) 케이스 3

도면20



(a) 케이스 1

(b) 케이스 2

(c) 케이스 3