(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0075300
(43) 공개일자 2025년05월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A01K 63/04 (2014.01) *C02F 1/00* (2023.01)
C02F 1/56 (2006.01) *C02F 1/78* (2006.01)
(52) CPC특허분류
A01K 63/04 (2018.05)
A01K 63/045 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0162614
(22) 출원일자 2023년11월21일
심사청구일자 2023년11월21일

(71) 출원인
국립부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
박정환
경상남도 고성군 하일면 동화3길 63, 301호 (관사동)
운성천
부산광역시 남구 용소로34번길 6-5, 1004호 (대연제3동, 스카이타워)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
남건필, 정지향, 차상윤

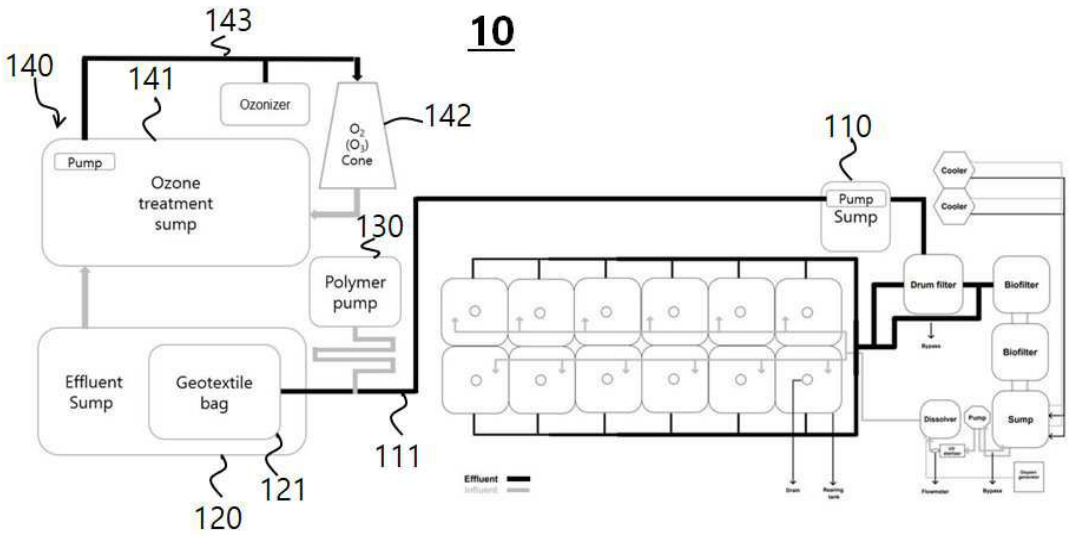
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템**

(57) 요 약

순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템을 개시한다. 본 발명의 순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템은 어류를 사육하는 양식조로부터 배출된 배출수를 저장하고, 내부에 수중 펌프가 설치되어 배출수를 유출시키는 저장 수조, 제1 배관을 통해 상기 저장 수조와 연결되고, 유입되는 배출수에 포함된 고형물을 여과하는 지오백(Geotextile bag)을 구비하고, 내부에 수중 펌프가 설치되어 여과된 배출수를 유출시키는 여과부, 상기 제1 배관에 연결되고, 내부에 유동 펌프가 설치되어 상기 저장 수조에서 유출된 배출수에 포함된 부유물을 응집시키기 위한 양전하성 폴리아크릴아마이드로 구성된 유기 고분자 폴리머 응집제를 주입하는 폴리머 응집제 공급부, 및 상기 여과부와 연결되고, 오존을 공급받아 상기 여과부에서 유출된 배출수를 오존 처리하는 오존 정화부를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
A01K 63/047 (2013.01)
C02F 1/001 (2013.01)
C02F 1/56 (2013.01)
C02F 1/78 (2013.01)

(72) 발명자
이영훈
부산광역시 남구 유엔평화로28번길 26-8, 101호 (대연동, 해오름)
김지수
강원특별자치도 강릉시 교동광장로 138-12, 312동 202호 (교동, 교동주공3단지아파트)

최진서
대구광역시 달서구 비슬로550길 38, 102동 1102호 (대곡동, 대곡이오스)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711193452
과제번호	2021-0-00225-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	ICT융합산업혁신기술개발사업
연구과제명	최적의 수산 양식 설계 · 운영을 위한 디지털 아쿠아 트윈 핵심 플랫폼 기술 개발
기 여 율	100/100
과제수행기관명	한국전자통신연구원
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

어류를 사육하는 양식조로부터 배출된 배출수를 저장하고, 내부에 수중 펌프가 설치되어 배출수를 유출시키는 저장 수조;

제1 배관을 통해 상기 저장 수조와 연결되고, 유입되는 배출수에 포함된 고형물을 여과하는 지오백(Geotextile bag)을 구비하고, 내부에 수중 펌프가 설치되어 여과된 배출수를 유출시키는 여과부;

상기 제1 배관에 연결되고, 내부에 유동 펌프가 설치되어 상기 저장 수조에서 유출된 배출수에 포함된 부유물을 응집시키기 위한 양전하성 폴리아크릴아마이드로 구성된 유기 고분자 폴리머 응집제를 주입하는 폴리머 응집제 공급부; 및

상기 여과부와 연결되고, 오존을 공급받아 상기 여과부에서 유출된 배출수를 오존 처리하는 오존 정화부;를 포함하는,

순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 폴리머 응집제는 배출수에 포함된 총부유고형물(TSS) 1g 당 1 내지 9㎕의 농도로 주입되는,

순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 폴리머 응집제는 상기 양식조에 공급되는 사료 공급량 1kg 당 0.5 내지 1 mL/day 의 농도로 주입되는,

순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 지오백의 공극 크기는 80 - 100 ㎛ 인,

순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 폴리머 응집제는 상기 제1 배관에서 배출수와 1분 내지 2분 동안 혼합되는 것인,

순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 오존은 배출수에 포함된 총부유고형물(TSS) 1g 당 18.75 내지 37.5 ㎎ 농도로 공급되는,

순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 오존은 상기 사육조에 공급되는 사료 공급량 1kg 당 4 내지 5 g O_3/day 의 농도로 공급되는,

순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 배출수를 효율적으로 처리할 수 있는 순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 순환여과 양식시스템은 물의 소모가 매우 적으면서도 수온이나 수질 제어가 상대적으로 용이하고 외부로의 오염물질 방출은 최소화할 수 있는 등 환경에 가중되는 부하가 적다는 장점이 있어, 양식업에서 문제가 되는 환경오염 문제 해결에 좋은 해결책이 될 수 있다. 또한 양식 과정에서 배출되는 배출수의 외부 방출 경로가 한정되므로 배출수의 관리 또한 용이하다. 이러한 특징은 친환경적인 양식시스템에 대한 수요와 맞물려 순환여과 양식시스템의 확산을 가속할 것으로 예상된다.

[0003] 어류 양식 과정에서 어류의 대사 및 배설 과정으로부터 발생하는 총암모니아성 질소, 이를 이용하는 세균의 대사활동으로부터 발생하는 아질산성 질소 및 질산성 질소, 고농도의 고형물 및 용존 물질 등, 환경에 악영향을 미칠 수 있는 요인의 외부 환경으로의 방출을 줄이기 위하여, 추가 도입이 용이하면서도 양식장 배출수가 환경에 미칠 악영향을 효율적으로 방지하거나 최소화할 수 있는 배출수 처리 방법의 마련이 필요하다.

[0004] 양식 과정에서 방출되는 물의 정화 처리에는 여러 방법이 존재한다. 양식업에서는 외부로 방출하는 배출수는 일반적으로 배출수 중 존재하는 일정 크기 이상의 고형물을 걸러내는 예를 들어 드럼스크린 필터, 모래 등 입자가 고운 물질로 채워진 입자 충진 여과기와 같은 물리적 여과, 중력을 이용해 고형물을 가라앉히는 침전조, 고형물을 응집시키기 위한 응집제와 응집물을 걸러내고 물만을 침출하는 여과법 등을 활용하여 물을 정화된 후 방출하고 있으며, 그 외 UV, 염소로 소독 처리하여 물을 정화하는 방법도 활용되고 있다.

[0005] 양식장에서 이용되는 여과 처리 방법에 대해서는 여러 연구와 실험, 특히 앞서 언급한 드럼 필터, 모래 여과기 등에 대한 성능 등에 대한 연구는 다수 실시된 바 있다. 그러나 앞서 거론된 수처리 방법 가운데 양식장 배출수를 응집제로 처리하고 정화하는 데 있어 적절한 응집제의 처리 과정을 도출하기 위한 연구 사례는 부족한 상황이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 일 목적은 배출수를 효율적으로 처리할 수 있는 순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 일 측면에서 본 발명은 어류를 사육하는 양식조로부터 배출된 배출수를 저장하고, 내부에 수중 펌프가 설치되어 배출수를 유출시키는 저장 수조, 제1 배관을 통해 상기 저장 수조와 연결되고, 유입되는 배출수에 포함된 고형물을 여과하는 지오백(Geotextile bag)을 구비하고, 내부에 수중 펌프가 설치되어 여과된 배출수를 유출시키는 여과부, 상기 제1 배관에 연결되고, 내부에 유동 펌프가 설치되어 상기 저장 수조에서 유출된 배출수에 포함된 부유물을 응집시키기 위한 양전하성 폴리아크릴아마이드로 구성된 유기 고분자 폴리머 응집제를 주입하는 폴리머 응집제 공급부, 및 상기 여과부와 연결되고, 오존을 공급받아 상기 여과부에서 유출된 배출수를 오존 처리하는 오존 정화부를 포함하는 순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템을 제공한다.

[0008] 일 실시예에 있어서, 상기 폴리머 응집제는 배출수에 포함된 총부유고형물(TSS) 1g 당 1 내지 9㎕의 농도로 주입될 수 있다.

[0009] 일 실시예에 있어서, 상기 폴리머 응집제는 상기 양식조에 공급되는 사료 공급량 1kg 당 0.5 내지 1 mL/day 의 농도로 주입될 수 있다.

[0010] 일 실시예에 있어서, 상기 지오백의 공극 크기는 80 - 100 ㎛ 일 수 있다.

[0011] 일 실시예에 있어서, 상기 폴리머 응집제는 상기 제1 배관에서 배출수와 1분 내지 2분 동안 혼합될 수 있다.

[0012] 일 실시예에 있어서, 상기 오존은 배출수에 포함된 총부유고형물(TSS) 1g 당 18.75 내지 37.5 mg 농도로 공급될 수 있다.

[0013] 일 실시예에 있어서, 상기 오존은 상기 사육조에 공급되는 사료 공급량 1kg 당 4 내지 5 g O_3/day 의 농도로 공급될 수 있다.

발명의 효과

[0014] 본 발명에 따르면, 배출수의 효율적 처리를 위해, 유기 고분자 폴리머 응집제, geotextile bag, 그리고 오존을 이용한 배출수의 적정 처리 조건을 도출함으로써, 양식장에서 외부 환경으로 배출되는 오염물질들을 효율적으로 제거하여 배출할 수 있어 효율적으로 환경 오염을 줄일 수 있다.

[0015] 일정 오염 부하량에 대한 필요 최소한의 응집제 및 오존 처리량의 도출은 어업 현장에서 소모되는 응집제 및 오존 소비량의 최소화로 이어지므로 어업 현장에서 소요되는 시설 유지 비용 저감에 큰 도움이 될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1 및 2는 본 발명의 실시예에 따른 순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템을 나타낸 개략도이다.

도 3 내지 18은 본 발명의 실험예에 따른 실험 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.

[0018] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로서 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0019] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템을 나타낸 개략도이다.

[0021] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 순환여과식 양식장의 배출수 처리 시스템(10)은 저장 수조(110), 여과부(120), 폴리머 응집제 공급부(130) 및 오존 정화부(140)를 포함할 수 있다.

[0022] 저장 수조(110)는 어류를 사육하는 양식조로부터 배출된 배출수를 저장하는 것으로, 제1 배관(111)을 통해 여과부(120)와 연결되며, 내부에 수중 펌프가 설치되어 배출수를 여과부(120)로 유출시킬 수 있다.

[0023] 여과부(120)는 제1 배관(111)을 통해 상기 저장 수조(110)와 연결되고, 저장 수조(110)로부터 유입되는 배출수에 포함된 고형물을 여과하는 지오백(Geotextile bag)(121)을 구비하고, 내부에 수중 펌프가 설치되어 지오백(Geotextile bag)(121)에서 고형물을 거른 후 침출된 배출수를 오존 정화부(140)로 유출시킬 수 있다.

[0024] 폴리머 응집제 공급부(130)는 상기 제1 배관(111)에 연결되며, 내부에 유동 펌프가 설치되어 상기 저장 수조(110)에서 유출된 배출수에 포함된 부유물을 응집시키기 위한 양전하성 폴리아크릴아마이드로 구성된 유기 고분자 폴리머 응집제를 주입할 수 있다. 상기 폴리머 응집제는 양전하성 폴리아크릴아마이드로 구성된 유기 고분자

폴리머 응집제로서, 에멀젼 형태로 제1 배관(111)에 주입될 수 있다.

[0025] 일 실시예에 있어서, 상기 폴리머 응집제는 배출수에 포함된 총부유고형물(TSS) 1g 당 1 내지 9㎕의 농도로 주입될 수 있다. 가장 바람직하게는 2 내지 4㎕의 농도로 주입될 수 있다. 또는, 상기 폴리머 응집제는 상기 양식조에 공급되는 사료 공급량 1kg 당 0.5 내지 1 mL/day 의 농도로 주입될 수 있다. 또한, 상기 폴리머 응집제는 상기 제1 배관(111)에서 배출수와 1분 내지 2분 동안 혼합되는 것이 바람직하다. 이를 위해, 상기 제1 배관(111)은 구불구불하게 설치되어 혼합 시간을 적절히 조절할 수 있다. 이러한 조건으로 폴리머 응집제를 주입하는 경우, 가장 최적으로 배출수의 고형물과 더불어 용존 물질 제거 효율을 극대화할 수 있다.

[0026] 한편, 상기 폴리머 응집제와 혼합된 배출수의 고형물은 응집되어 크기가 약 100㎛ 이상으로 커지게 된다. 따라서, 공극 크기가 약 80 - 100㎛ 인 지오백(121)에 고형물들이 여과되고, 고형물이 여과된 배출수는 침출되어 저장될 수 있다. 이후, 수중 펌프를 통해 오존 정화부(140)로 유출될 수 있다.

[0027] 오존 정화부(140)는 여과부(120)와 연결되고, 오존을 공급받아 상기 여과부(120)에서 유출된 배출수를 오존 처리하여 수질을 정화할 수 있다.

[0028] 일 실시예로, 상기 오존 정화부(140)는 배출수를 저장하는 수조(141) 내에 수중 펌프가 배치될 수 있고, 동일 수조(141) 내부로 배출용 파이프가 들어가는 액상 계면 제공 가압 방식의 콘 형태 산소용해기(142)와 연결·가동하여 오존 가스가 오존 정화부(140)를 순환되도록 구성될 수 있다. 이때 오존 가스는 배출수가 산소용해기(142)로 유입되기 직전 부분의 제3 배관(143)으로 유입되도록 하여 배출수 중으로의 오존 용해 효율을 극대화할 수 있다.

[0029] 일 실시예에 있어서, 상기 오존은 배출수에 포함된 총부유고형물(TSS) 1g 당 18.75 내지 37.5 mg 농도로 공급될 수 있다. 또는 상기 오존은 상기 사육조에 공급되는 사료 공급량 1kg 당 4 내지 5 g O_3/day 의 농도로 공급될 수 있다. 이러한 조건으로 오존 부하량을 설정하는 경우, 가장 최적으로 배출수의 고형물과 더불어 유기물을 비롯한 여러 수질 항목의 개선을 극대화할 수 있다.

[0030] 이하 본 발명의 구체적인 실시예에 대해 상술한다. 다만, 하기 실시예는 본 발명의 일부 실시 형태에 불과한 것으로서, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0031] **실시예 1: jar test**

[0032] jar test 단계에서는 해수 및 담수 양식장으로부터 발생하는 배출수가 저장되는 침전조의 슬러지를 재료로 사용하였다. 해수 슬러지 샘플은 유수식 양식시스템을 운용하는 경상남도 하동군 소재 넙치 양식장의 침전조 슬러지를 채취, 보관하여 실험에 사용하였다. 담수 슬러지 시료는 반순환여과 양식시스템으로 무지개 송어를 사육하는 경상북도 상주 소재 무지개송어 양식장의 슬러지를 채취하여 실험에 사용하였다.

[0033] 채취한 슬러지 시료는 돌, 자갈, 모래, 플라스틱 파편, 기타 이물질 등을 다수 포함하고 있어, 체를 이용하여 이를 제거한 후에 균질기를 이용해 슬러지 시료를 균질화 처리하였다. 균질 처리한 시료는 부패 방지를 위해 실험에 사용되기 직전 까지 냉동 보관하였다. 냉동 보관된 슬러지 시료는 실험 직전에 해동하여 사용하였다. 시료는 '해양환경공정시험기준'에 기술된 방법을 따라 시료 중의 총부유고형물(Total suspended solids, TSS) 농도를 측정 파악하였고, 측정 농도를 바탕으로 250 mL당 1 g의 TSS를 포함하도록 슬러지와 증류수를 혼합하여 실험에 사용하였다.

[0034] 배출수의 최적 폴리머 처리량 평가를 비롯한 모든 실험 과정에서 폴리머 응집제는 Solenis社의 양이온성의 유기고분자 폴리머 응집제(ZetagTM 9168FS, Delaware, USA) 제품을 사용하였다. 본 폴리머는 에멀션 형태의 폴리아크릴아마이드로, 점성이 높아 폴리머 유입용 펌프의 호스 막힘 등의 문제가 발생할 수 있다는 점과 고농도 상태에서의 정밀한 양의 폴리머 투입이 어렵다는 점을 고려하여, jar test에서의 폴리머 혼합을 용이하게 하고 실증실험 단계에서 사용하는 유동 펌프의 기능을 일정하게 유지할 수 있도록 폴리머를 100배로 희석한 후에 실험에 사용하였다. 폴리머와 시료는 마그네틱바와 아날로그식 자력 교반기(MSH-20A, DAIHAN Scientific, Kangwon, Republic of Korea)을 이용하여 혼합하였다.

[0035] Jar test 규모의 배출수 시료 적정 오존 처리량 평가 단계에서는 1g TSS/250 mL(4,000 mg TSS/L) 농도의 배출수를 다량 준비하여, 오존을 제외한 모든 수처리 과정을 거친 배출수와 총 처리 시간 별로 나누어 오존을 투입한 배출수 시료를 준비하였다. 수질 분석은 배출수 시료 원수, 폴리머와 혼합한 배출수 시료, 폴리머 혼합 후 100 μm 공극의 geotextile bag으로 여과한 배출수 시료, 그리고 처리 시간에 따라 일정량의 오존 처리가 이루어진 배출수 시료를 대상으로 실시하였다. 오존 처리될 시료는 차아염소산나트륨으로 소독한 증류수 보관용 하

구병에 2 리터씩(TSS 총량: 8 g/bottle) 옮겨 담은 후, 호스 끝에 고압 에어스톤이 연결된 100 mg/hr로 오존을 발생시키는 Weipro ET-100 (Youngcheng aquarium, China)의 오존발생기를 이용하여 오존 처리하였다. 오존발생기에 유입되는 기체의 오염을 방지하기 위해 공기 여과용 디스크 필터를 오존발생기의 산소 공급부에 연결하여 사용하였다. 오존발생기는 시료별로 1, 3, 6, 12, 24시간씩 가동함으로써 각각 100, 300, 600, 1200, 2400 mg의 오존을 처리하였다. 인체에 유해한 오존 특성을 고려하여, jar test에서의 오존 처리는 배기 장치를 가동한 상태의 클린 벤치 내에서 실시하였다.

[0036] **실시예 2: 배출수 처리 시스템**

[0037] 배출수 처리 시스템은 실제 운용중인 해수 및 담수의 완전순환여과양식시스템(Recirculating aquaculture system, RAS)에 연결 설치하였다(도 1, 2 참조). 배출수 처리 시스템은 각 수처리 단계의 배출수를 이송하기 위한 수중 펌프, 폴리머 정량 투입용 연동 펌프(FZ-10, Baoding Lead Fluid, Baoding, Hebei, China)(130), 앞서 사용된 제품과 동일한 유기 고분자 폴리머와 폴리머 저장 탱크, 1×1.5 m 크기로 제작된 평균 공극 크기 100 μm의 지오백(geotextile bag)(121), 3LPM 기준 최대 10 g/hr로 오존을 생성하는 산소발생기 내장형 오존발생기(PC-57, OZONETECH, Daejeon, Republic of Korea), 액상 계면 제공 가압 방식의 콘 형태 오존용해기(142), 그리고 geotextile bag에서 침출되는 여과 처리 후 배출수 저장용 수조(120) 및 배출수의 오존 처리용 수조(141)로 구성하였다.

[0038] 시스템 내 설치되어 있는 드럼필터의 역세척 과정에서 발생하는 배출수가 한 곳의 수조(110)로 모아지는 구조를 갖추고 있으며, 해당 수조(110) 내부에는 수위 센서를 부착한 수중 펌프를 설치하여 배출수가 항시 일정량이 geotextile bag(121)으로 유입되도록 하였다. 수중 펌프와 geotextile bag(121)을 연결하는 관(111) 사이에는 배출수가 재차 배출수 수조로 배출되도록 밸브를 별도 설치하였고, 밸브를 적정 수준으로 개방함으로써 배출수와 고형물이 저장 수조를 넘어 외부로 유출되는 경우가 없도록 하였다. 배출수 저장 수조 내부에는 에어 브로워와 연결된 에어스톤을 같이 넣어 폭기 처리함으로써 고형물이 배출수 중에 균등하게 섞인 상태를 유지하였다.

[0039] 폴리머를 주입하는 유동 펌프(130)의 호스 끝은 배출수가 지오백(121)으로 유입되는 파이프 내부로 연결하였다. 또한 배출수 저장 수조(110) 내 수조 펌프와 geotextile bag(121) 사이를 연결하는 파이프는 구불구불하게 설치하여 배출수와 폴리머와의 혼합시간을 늘림으로써 혼합 효율을 높였다. 유동 펌프(130)의 폴리머 주입량은 jar test를 통해 도출한 폴리머의 적정 처리량으로 설정하였다. 유동 펌프(130)는 배출수 저장 수조(110) 내 수중 펌프의 수위 센서와 연동시킴으로써, 수조(110) 내 배출수 수위 저하로 인한 수중 펌프 동작 정지시 함께 전원이 차단되도록 하였다. 또한 유동 펌프(130)에는 폴리머 잔량 센서 및 경고등을 설치하여 폴리머가 저장된 탱크 내 수위를 확인하고, 폴리머 고갈로 인하여 배출수가 정상적으로 처리되지 않는 경우를 방지하였다.

[0040] Geotextile bag(121)은 빈 수조 내부에 일정 높이로 고정된 플라스틱 팔레트 위에 배치함으로써 고형물이 걸러지고 침출되어 나온 배출수가 수조 내에 고일 수 있도록 하였다. Geotextile bag(121)을 통해 침출 및 저장된 배출수는 여러 방향으로 밸브가 설치된 수중 펌프를 이용하여 수조 내를 항시 순환시킴으로써 배출수의 수질 농도가 균일한 상태를 유지하도록 하였다.

[0041] 폴리머 혼합 및 geotextile bag(121)을 거쳐 저장된 배출수는 수중 펌프를 이용하여 오존 처리를 위한 수조(141)로 옮긴 후, RAS의 어류 급이량에 맞추어 오존 처리를 실시하였다. 오존처리용 수조(141)에 저장된 배출수는 수중 펌프로 압출하여 오존 용해용 oxygen cone(142)을 통과한 후에 재차 수조로 유입되도록 함으로써 연속 순환시켰으며, 오존발생기의 오존 방출부와 연결된 에어 호스를 oxygen cone(142) 상단 부분에 연결함으로써 오존이 배출수에 효율적으로 용해되도록 하였다. 오존발생기는 jar test 단계에서 도출된 1 g TSS 당의 적정 오존 부하량이 12시간에 걸쳐 처리되도록 설정하였고, 12시간이 경과한 후에도 오존발생기 가동을 지속하여 총 24 시간 동안 배출수의 오존 처리를 실시하였다. 배출수 처리 시스템 가동 후에는 RAS 배출수 원수, 폴리머 처리 후 배출수, geotextile bag 침출 배출수, 그리고 오존 처리 1, 3, 6, 12, 24시간 경과 후의 배출수를 채취하고 수질 분석을 실시하였다. 넙치를 사육중인 해수 RAS는 실험 당시 일간 3.6 kg, 무지개송어를 사육중인 담수 RAS는 일간 2.4 kg씩 사료가 급이되고 있었다. 배출수 처리 시스템에서의 오존 처리는 급이 사료 1 kg 당 25%에 해당하는 250 g 이 어류 분변 등의 형태의 고형물로 배출되는 것을 가정하고 jar test에서 도출된 적정 오존 부하량을 적용하여 실시하였다.

[0042] **<jar test 결과>**

[0043] **1. 적정 폴리머 처리량 결과**

[0044] 해수 배출수 시료의 폴리머 처리량에 따른 TSS의 농도변화를 도 3에 나타냈다. 도 3을 보면, 해수 배출수 시료

의 TSS 결과값은 폴리머 처리량에 따라 유의미한 차이를 보였다($P < 0.05$). 대조군에 해당하는 기본 상태의 해수 배출수 시료 중 TSS 농도는 4,000 mg/L로, 폴리머와 혼합하지 않은 시료의 침전 후 TSS 농도는 약 200 mg/L 이었다. 폴리머를 혼합한 해수 배출수 시료는 대조군 시료에 비해 TSS 농도가 전반적으로 낮게 나타났다. 1 g의 TSS 당 1 μL 이상의 폴리머를 투입 및 혼합한 실험군 시료의 TSS의 농도는 대조군에 비해 명료하게 낮게 측정됐으며, TSS 1 g 당 2~4 μL의 폴리머를 투입한 실험군 시료의 TSS 농도는 대조군 시료에 비해 유의하게 낮았다.

[0045] TSS를 비롯한 기타 수질 항목의 측정 결과는 하기 표 1 및 2에 나타냈다.

표 1

[0046]

	Polymer (μL/g TSS)						
	0	1	2	3	4	5	6
Turbidity (FAU)	245 ± 11^{a}	19.3 ± 1.2^{e}	8.00 ± 1.00^{e}	10.7 ± 1.5^{e}	21.3 ± 0.6^{e}	23.7 ± 3.1^{e}	27.7 ± 3.2^{e}
TOC (mg/L)	10.3 ± 0.8^{bc}	10.0 ± 0.4^{bcd}	9.58 ± 0.86^{bcde}	8.80 ± 0.57^{cde}	8.46 ± 0.19^{cde}	7.59 ± 1.81^{e}	8.82 ± 0.45^{cde}
COD (mg/L)	279±69	274±78	289±67	193±168	0.00±0.00	271±82	198±203
TP (mg/L)	1.00±1.73	0.70±1.21	0.43±0.75	0.70±1.21	0.53±0.92	0.60±1.04	0.67±1.15
TN (mg/L)	21.3±11.0	8.67±7.09	8.80±4.30	7.00±6.08	6.00±6.00	9.00±7.94	6.17±5.01
TAN (mg/L)	0.67 ± 0.06^{a}	0.33 ± 0.06^{bc}	0.30 ± 0.09^{c}	0.30 ± 0.10^{c}	0.33 ± 0.08^{bc}	0.32 ± 0.06^{bc}	0.33 ± 0.06^{bc}
Nitrite-N (mg/L)	0.14 ± 0.00^{a}	0.01 ± 0.00^{b}	0.01 ± 0.00^{i}	0.01 ± 0.00^{i}	0.01 ± 0.00^{hi}	0.02 ± 0.00^{ghi}	0.02 ± 0.01^{fgh}
Nitrate-N (mg/L)	32.3 ± 6.5^{a}	6.17 ± 1.53^{c}	7.67 ± 2.75^{c}	6.33 ± 2.31^{c}	8.50 ± 2.18^{c}	6.17 ± 1.76^{c}	5.83 ± 1.26^{c}

표 2

[0047]

	Polymer (μL/g TSS)						
	7	8	9	10	20	30	P value
Turbidity (FAU)	38.3 ± 3.8^{de}	39.0 ± 7.9^{de}	66.0 ± 16.6^{cd}	74.0 ± 21.8^{c}	87.3 ± 12.4^{c}	162 ± 36^{b}	0.000
TOC (mg/L)	8.41 ± 0.20^{cde}	7.97 ± 0.55^{de}	8.72 ± 0.19^{cde}	8.70 ± 0.89^{cde}	11.0 ± 0.4^{b}	14.8 ± 0.3^{a}	0.000
COD (mg/L)	0.00±0.00	0.00±0.00	175±171	0.00±0.00	0.00±0.00	176±176	0.055
TP (mg/L)	0.77±1.33	1.03±1.79	0.73±1.27	0.80±1.39	0.60±1.04	0.87±1.50	1.000
TN (mg/L)	1.33±1.53	5.00±3.61	5.93±3.58	12.0±8.9	11.5±9.9	4.17±2.02	0.131
TAN (mg/L)	0.37 ± 0.08^{bc}	0.38 ± 0.08^{bc}	0.43 ± 0.06^{bc}	0.45 ± 0.05^{bc}	0.50 ± 0.05^{abc}	0.52 ± 0.08^{ab}	0.000
Nitrite-N (mg/L)	0.03 ± 0.01^{f}	0.03 ± 0.00^{fg}	0.05 ± 0.01^{e}	0.05 ± 0.01^{e}	0.06 ± 0.00^{d}	0.11 ± 0.02^{c}	0.000
Nitrate-N (mg/L)	8.33 ± 2.25^{c}	8.50 ± 2.18^{c}	10.2 ± 4.3^{c}	9.50 ± 0.87^{c}	10.7 ± 3.7^{bc}	18.2 ± 3.8^{b}	0.000

[0048] 이 중 Turbidity, TOC, TAN, NO_2-N, NO_3-N의 농도는 폴리머 처리량에 따라 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$). 탁도는 TSS와 마찬가지로 1 g TSS 당 1 μL의 폴리머를 처리했을 때부터 큰 폭으로 개선되었다. TOC는 폴리머 처리 유무에 따른 극적인 농도 변화는 확인할 수 없었으나, 폴리머 처리량 증가에 따른 점진적인 농도 저하를 확인할 수 있었다. TAN, NO_2-N, NO_3-N은 폴리머를 처리한 직후 농도가 크게 저하하였으나, 이후 폴리머 처리량 증가에 따른 농도의 명료한 증감은 확인할 수 없었다. 기타 수질 항목은 폴리머 처리량에 따른 농도 변화에 유의성은 확인되지 않았다($P > 0.05$). 다만 폴리머 처리량이 증가함에 따라 농도가 저하되는 경향을 확인할 수 있었다.

[0049] 고형물 입자의 체적을 기준으로 입자의 평균 입자를 산출하는 D과 전체 입자의 50%가 차지하는 Dv(50)의 측정 결과를 도 4, 5에 나타냈다. 폴리머 처리량에 따른 해수 배출수 시료의 입도 결과에는 유의성을 확인할 수 없었으나($P > 0.05$), 폴리머 처리량이 증가함에 따라 시료 중의 고형물 입자 크기가 명료하게 확대되는 결과를 확인할 수 있었다.

[0050] D의 경우 TSS 1 g 당 1 μL 이상의 폴리머를 투입한 모든 실험군 시료의 고형물 입도는 geotextile bag의 일반적 공극 크기에 해당하는 100 um보다 큰 것으로 나타났다. Dv(50)은 1g TSS 당 2 μL의 폴리머를 처리하였을 때 평균 입자 크기가 100 μm 이상으로 확대되었다. 따라서 폴리머 처리를 실시한 해수 배출수 시료 중의 고형물 입자 크기는 TSS 1 g 당 2 μL 이상을 투입하였을 때 대다수의 고형물 입자가 geotextile bag의 공극 크기 이상으로 확대되는 것을 확인할 수 있었다.

[0051] 담수 배출수 시료의 TSS 농도 변화는 도 6에 나타냈다. 담수 배출수에 처리한 폴리머의 양과 TSS 농도 변화 사이에서 유의성을 확인할 수 있었다($P < 0.05$). 담수 배출수 시료의 TSS 농도는 4,000 mg/L 로, 폴리머를 투입하지 않고 혼합 처리를 실시한 시료의 상등액 TSS 농도는 168 mg/L였다. 그러나 폴리머와 혼합한 담수 배출수 시료의 TSS 농도는 더 큰 폭으로 저하되었다. 1 μL/g TSS 농도의 폴리머와 혼합한 시점에서 TSS 농도는 86.7±63.5 mg/L로 측정되었으며, 이는 대조군의 절반 수준까지 감소한 것이다. 실험군 시료의 TSS 농도는 다소의 등락이 있었으나 전반적으로 폴리머 처리량이 증가할수록 낮아지는 경향을 확인할 수 있었다. 한편 9 μL/g TSS의 농도를 초과하여 폴리머를 투입한 실험군의 TSS 농도는 오히려 상승하였다. TSS 외의 기타 수질 항목은 하기 표 3, 4에 나타냈고, 기타 수질 항목 중에서는 탁도, TOC, COD, TP, TAN 그리고 NO_2-N 등의 수질 분석 결과로부터 폴리머 처리량에 따른 유의성이 확인되었다($P < 0.05$).

표 3

[0052]

	Polymer (μL/g TSS)						
	0	1	2	3	4	5	6
Turbidity (FAU)	84.0±6.56^{a}	33.3±2.5^{cd}	22.7±3.1^{ef}	29.3±1.5^{de}	39.7±6.7^{c}	41.3±1.2^{c}	27.7±2.1^{de}
TOC (mg/L)	130±5^{a}	107±3^{b}	102±2^{bc}	98.8±1.2^{bcd}	95.1±1.8^{bcde}	89.5±7.5^{cdef}	84.6±8.4^{def}
COD (mg/L)	377±7^{a}	382±7^{a}	367±13^{a}	379±4^{a}	371±6^{a}	376±5^{a}	374±5^{a}
TP (mg/L)	25.7±11.9^{a}	6.67±1.15^{ab}	28.3±6.1^{a}	17.3±1.2^{ab}	23.3±2.5^{a}	22.0±2.7^{a}	17.3±4.0^{ab}
TN (mg/L)	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
TAN (mg/L)	20.7±1.2^{a}	14.7±0.6^{ab}	15.3±0.6^{ab}	15.3±0.6^{ab}	13.3±1.5^{b}	14.7±5.0^{ab}	15.0±1.7^{ab}
Nitrite-N (mg/L)	0.19±0.01^{b}	0.60±0.43^{a}	0.14±0.01^{b}	0.11±0.03^{b}	0.17±0.04^{b}	0.17±0.02^{b}	0.14±0.03^{b}
Nitrate-N (mg/L)	15.0±1.7	11.3±2.3	10.7±2.1	16.7±10.1	13.0±6.6	15.0±5.2	9.00±1.00

표 4

[0053]

	Polymer (μL/g TSS)						
	7	8	9	10	20	30	P value
Turbidity (FAU)	16.3±1.2^{fg}	28.3±3.8^{de}	9.67±1.53^{g}	7.33±1.53^{g}	36.3±6.5^{cd}	72.7±3.8^{b}	0.000
TOC (mg/L)	78.5±4.7^{ef}	72.4±4.2^{f}	79.2±2.4^{ef}	73.6±8.0^{f}	76.8±6.0^{f}	77.6±14.7^{f}	0.000
COD (mg/L)	375±3^{a}	373±3^{a}	346±11^{b}	309±12^{c}	296±6^{cd}	284±6^{d}	0.000
TP (mg/L)	16.3±1.5^{ab}	19.3±0.6^{ab}	21.0±2.0^{a}	18.0±7.8^{ab}	19.7±0.6^{ab}	15.0±5.3^{ab}	0.003
TN (mg/L)	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	-
TAN (mg/L)	16.3±1.5^{ab}	17.3±0.6^{ab}	16.7±0.6^{ab}	14.3±4.0^{ab}	13.7±3.2^{b}	15.7±0.6^{ab}	0.043
Nitrite-N (mg/L)	0.14±0.04^{b}	0.16±0.04^{b}	0.14±0.06^{b}	0.31±0.34^{b}	0.05±0.01^{b}	0.14±0.01^{b}	0.033
Nitrate-N (mg/L)	13.0±4.6	17.0±9.2	7.33±1.53	11.3±1.2	11.3±11.0	11.3±4.0	0.701

[0054] 수질 농도는 항시 3회씩 반복 측정하였으나 본 실험 단계에서 TN은 검출되지 않았다. 탁도는 TSS 농도 변화와 비슷한 경향을 보였으며, 최소량의 폴리머 투입으로도 큰 폭으로의 탁도 개선이 이루어지는 것을 확인할 수 있었던 한편, 폴리머를 10 μL/g TSS 이상의 농도로 투입한 시료의 경우에는 탁도가 오히려 상승하는 것으로 나타났다. COD는 폴리머 처리량 증가에 따라 감소하는 경향을 보였으나, 농도 감소폭은 아주 작은 수준이었다. TOC 농도도 폴리머 처리량의 증가와 더불어 감소하는 경향을 보였으나, COD에 비해 농도의 감소폭은 더 크게 나타났

다. TP 농도는 최종적으로 폴리머 처리량 증가와 더불어 개선되는 것으로 확인되었으나, 폴리머 처리량에 따른 농도 변화가 큰 것으로 나타났다. TAN은 최소량의 폴리머를 처리한 시점에서 농도가 저감되었으나, 그 이상의 폴리머를 처리하여도 농도가 크게 변하지 않는 양상을 보였다. NO_2-N은 최소량의 폴리머를 투입하였을 때 농도가 상승하였으나 추가로 폴리머를 투입한 시료는 다시 농도가 저하되었다. 그러나 2 μL/g TSS 이상의 폴리머를 투입한 시료의 NO_2-N 농도는 큰 변화가 일어나지 않았다. NO_3-N은 측정 결과 간의 유의성은 확인되지 않았으나, 폴리머 처리량이 증가할수록 농도는 감소하는 경향이 있음을 확인하였다.

[0055] 담수 배출수 시료의 입도 분석 결과는 도 7, 8에 나타냈다. Dv(50) 입도를 분석한 결과, 배출수 시료 중의 TSS 1 g 당 3 μL 이상으로 폴리머를 투입하였을 때 Dv(50) 입도가 100 μm에 인접하였다. 한편 D는 모든 실험군의 담수 배출수 중의 고형물 입도가 100 μm를 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 고형물 입자의 체적에 입각한 결과, TSS 1g 당 1 μL씩의 폴리머 투입으로도 geotextile bag의 공극 크기 수준에서 고형물 여과가 가능한 수준의 응집이 일어나는 것으로 나타났다.

[0056] **2. 적정 폴리머 처리 시간 결과**

[0057] 폴리머를 투입하지 않는 대조군 해수 배출수 시료와 폴리머를 투입 혼합할 실험군 해수 배출수 시료를 준비하였다. 앞선 실험과정에서 도출된 적정 폴리머 처리량 조건에 맞추어 실험군 시료에 폴리머를 투입한 후, 대조군 및 실험군 시료 모두 5분 동안 혼합 처리하였다. 혼합 후 상등액을 채취하기까지의 침전 시간은 앞선 실험과 동일하게 10분으로 설정하였다.

[0058] 혼합 시간에 따른 해수 배출수 시료의 TSS 농도 변화를 도 9에 나타냈다. 폴리머를 투입한 시료와 그렇지 않은 시료를 혼합 처리한 시료의 수질 분석 결과를 통계 분석한 결과, TSS, NO3-N, COD는 폴리머의 투입 여부와 혼합 시간에 따른 유의성을 보였다($P < 0.05$). 또한 폴리머를 처리한 시료의 수질 분석 결과를 통계 분석한 결과, 모든 시료의 농도 변화에서 유의성을 확인할 수 있었다.

[0059] 폴리머를 혼합하지 않은 시료의 TSS 농도는 교반 처리 시간이 증가함에 따라 점차 낮아져 400 mg/L 수준까지 감소하였다. 그러나 폴리머를 투입한 시료는 최소 실험군에 해당하는 0.5분 동안 혼합한 시점에서 잔류 TSS 농도가 600 mg/L 이하로 감소하였고, 0.5분을 초과하여 혼합을 실시한 기타 시료의 경우에도 혼합 후의 상등액 TSS 농도는 대조군에 비해 크게 낮게 측정되었다. 폴리머를 투입하여 혼합한 시료와 폴리머 투입 없이 혼합한 시료의 TSS 농도 모두 혼합 반응 시간이 길어질수록 농도가 감소하는 결과를 보였다. 폴리머를 투입하지 않고 4분 이상 혼합한 시료는 TSS 농도가 거의 변화하지 않았던 데 비해, 폴리머와 혼합한 배출수 시료의 TSS 농도는 4분 이상의 혼합 처리에서도 TSS 농도가 감소하였다.

[0060] TSS를 포함한 기타 수질 항목의 분석 결과를 표 5, 6에 나타냈다.

표 5

	Raw water sample					
	Time (min)					
	0.5	1	2	4	8	P value
Turbidity (FAU)	396±16^{a}	294±31^{b}	213±36^{c}	181±1^{c}	187±27^{c}	0.000
TOC (mg/L)	6.47±1.40^{ab}	8.17±0.86^{c}	6.63±1.92^{c}	9.83±2.85^{bc}	10.7±2.9^{a}	0.024
COD (mg/L)	569±22^{a}	568±19^{a}	570±8^{b}	577±22^{b}	559±16^{b}	0.000
TP (mg/L)	33.3±3.8^{a}	26.7±3.1^{a}	24.3±0.6^{ab}	27.0±2.7^{ab}	19.3±5.5^{b}	0.002
TN (mg/L)	33.7±2.1^{a}	28.0±4.4^{ab}	24.3±0.6^{bc}	27.0±3.0^{abc}	19.7±4.2^{c}	0.000
TAN (mg/L)	20.3±0.6^{ab}	19.0±1.0^{bc}	18.3±0.6^{c}	19.3±1.2^{abc}	20.7±0.6^{a}	0.000
Nitrite-N (mg/L)	0.40±0.03^{a}	0.24±0.04^{b}	0.27±0.06^{b}	0.26±0.06^{b}	0.23±0.08^{b}	0.000
Nitrate-N (mg/L)	73.0±2.6^{a}	44.3±1.2^{c}	48.3±6.7^{bc}	55.7±5.5^{b}	40.0±2.0^{c}	0.000

[0061]

표 6

[0062]

	Polymer treated sample					
	Time (min)					
	0.5	1	2	4	8	P value
Turbidity (FAU)	297±29^{a}	165±6^{b}	121±8^{c}	117±3^{c}	120±3^{c}	0.000
TOC (mg/L)	5.23±2.07^{b}	9.62±1.75^{ab}	6.97±1.52^{ab}	7.54±3.36^{ab}	9.09±1.68^{b}	0.024
COD (mg/L)	995±36^{a}	1008±13^{a}	554±33^{b}	561±5^{b}	542±14^{b}	0.000
TP (mg/L)	26.7±0.3^{a}	26.3±2.3^{a}	24.7±6.4^{ab}	24.2±4.0^{ab}	21.2±0.7^{b}	0.002
TN (mg/L)	22.0±1.0^{a}	25.3±5.1^{ab}	22.7±0.6^{bc}	23.3±1.5^{b}	22.3±0.6^{c}	0.000
TAN (mg/L)	15.3±2.5^{ab}	9.33±0.57^{c}	10.0±1.7^{c}	14.0±4.4^{bc}	15.7±2.5^{a}	0.000
Nitrite-N (mg/L)	0.16±0.01^{a}	0.16±0.02^{b}	0.15±0.03^{b}	0.16±0.03^{b}	0.18±0.01^{b}	0.000
Nitrate-N (mg/L)	27.1±1.4^{a}	26.7±0.9^{c}	24.3±6.1^{c}	23.5±0.8^{b}	20.6±2.5^{c}	0.000

[0063] 배출수 시료를 적정량의 폴리머와 혼합한 배출수 시료는 혼합 처리하는 시간에 따라 수질 농도가 개선됨을 확인할 수 있었다. 2분 이상 혼합 처리한 시료는 탁도 수준에 거의 차이를 보이지 않았다. 1분 이하로 폴리머를 혼합한 시료의 COD 농도는 개선을 확인할 수 없었으나, 2분 이상 혼합 처리한 실험구는 COD 농도가 일정 수준까지 감소하고 유지되었다. TP는 혼합 시간 증가와 더불어 작은 폭의 농도 감소가 지속되는 것을 확인할 수 있었다. TAN은 2분 미만으로 폴리머 혼합 처리를 실시한 경우에는 농도가 감소하였다. 그러나 2분을 초과하여 배출수 시료와 폴리머를 혼합 처리한 결과, 시료 중 TAN의 농도가 오히려 상승하였다. NO_3-N은 폴리머와 배출수 시료의 혼합 시간이 증가할수록 농도가 감소하였다.

[0064] 대조군 및 실험군의 폴리머 혼합 시간에 따른 입도 분석 결과를 도 10, 11 에 나타내었다. 해수 배출수 시료에 대한 폴리머 투입 유무와 혼합시간에 따른 입도 변화를 통계 분석한 결과, 폴리머 투입 유무와 혼합 시간의 상호작용에 따른 유의성이 확인되었다($P < 0.05$). 한편 폴리머 혼합시간 자체에 대해서는 유의성을 확인할 수 없었다($P > 0.05$). 고형물 입자의 체적에 입각한 D은 0.5분간 혼합한 실험군과 대조군 사이의 입도 크기에 차이가 거의 나타나지 않았다. 그러나 1분 이상 혼합한 해수 배출수 시료는 폴리머 처리 유무에 따라 입도 크기에 차이가 있었다. 폴리머를 투입하지 않고 단순 혼합한 시료는 고형물 입자 크기가 전반적으로 100 μm를 넘기지 못한 데 비해, 폴리머를 투입한 시료는 1분 이상 혼합하였을 때의 D 입도가 100 μm를 크게 상회하였다. 전체 고형물 중 50%에 해당하는 물질의 평균 입도를 산출한 Dv(50)도 이와 유사한 농도 변화 양상을 보였다.

[0065] 담수 배출수 시료와 폴리머의 혼합 시간에 따른 TSS 농도 변화를 도 12에 나타냈다.

[0066] 폴리머를 투입하여 혼합하는 실험군 시료와 대조군 시료의 혼합 시간에 따른 TSS 농도 변화를 분석한 결과, 폴리머 투입과 혼합시간에 대한 유의성이 확인되었으며($P < 0.05$), 최소한의 혼합 처리를 실시한 시점에서 폴리머 투입의 유무에 따른 실험군과 대조군 간의 명료한 농도 차이를 확인하였다. TSS 외에도 NO_2-N, TOC, COD 등의 수질 항목으로부터 폴리머 투입 유무와 혼합 시간에 따른 유의성을 확인하였다. 대조군 시료는 0.5분간 혼합한 시점에서 TSS 농도가 300 mg/L를 초과하였으나, 동일 시간동안 혼합 처리한 실험군 시료의 TSS 농도는 약 153 mg/L로 대조군의 절반 수준까지 감소하였다. 한편 1분을 초과하여 폴리머와 혼합 처리한 해수 배출수 시료는 TSS 농도 변화를 거의 보이지 않았다.

[0067] TSS를 비롯한 기타 수질 항목의 혼합시간에 따른 농도 변화는 표 7과 8에 나타냈다.

표 7

[0068]

Raw water sample						
	Time (min)					
	0.5	1	2	4	8	P value
Turbidity (FAU)	510±35^{a}	527±81^{a}	443±32^{a}	467±38^{a}	577±75^{a}	0.000
TOC (mg/L)	126±2^{b}	155±12^{a}	136±2^{b}	127±5^{b}	96.5±3.4^{b}	0.000
COD (mg/L)	759±14^{bc}	776±12^{ab}	798±8^{a}	754±7^{ab}	699±2^{c}	0.000
TP (mg/L)	48.0±3.0	35.0±2.0	34.7±3.1	43.3±1.2	41.3±0.6	0.369
TN (mg/L)	103±8	94.3±3.5	94.3±5.9	99.0±10.4	92.7±4.5	0.632
TAN (mg/L)	8.03±0.1	7.67±0.25	7.73±0.12	7.73±0.15	7.70±0.17	0.428
Nitrite-N (mg/L)	0.25±0.03	0.30±0.02	0.27±0.01	0.29±0.01	0.31±0.03	0.088
Nitrate-N (mg/L)	13.3±4.5	12.7±5.5	19.3±4.7	21.3±5.0	11.7±6.0	0.108

표 8

[0069]

Polymer treated sample						
	Time (min)					
	0.5	1	2	4	8	P value
Turbidity (FAU)	300±26^{a}	320±85^{a}	243±67^{a}	223±6^{a}	260±26^{a}	0.033
TOC (mg/L)	106±2^{b}	115±7^{a}	107±7^{b}	103±2^{b}	150±10^{c}	0.000
COD (mg/L)	624±10^{bc}	644±8^{ab}	641±2^{a}	662±11^{ab}	650±19^{c}	0.000
TP (mg/L)	35.3±5.0	33.3±3.2	34.3±2.5	36.3±4.2	36.7±0.6	0.369
TN (mg/L)	102.7±7.6	94.3±3.5	94.3±5.9	99.0±10.4	92.7±4.5	0.632
TAN (mg/L)	7.23±0.67	4.90±1.14	5.17±2.11	5.23±2.32	5.20±2.52	0.428
Nitrite-N (mg/L)	0.10±0.02	0.07±0.02	0.04±0.02	0.09±0.02	0.07±0.03	0.088
Nitrate-N (mg/L)	12.7±3.1	8.33±0.58	11.7±4.7	10.3±1.5	12.3±3.2	0.108

[0070] 수질 항목 가운데 탁도, TOC, COD 등은 배출수 시료와 폴리머의 혼합시간에 따른 유의성이 확인되었다(P <0.05). 탁도는 폴리머와의 혼합시간이 길어질수록 농도가 개선됐으나, 4분을 초과하여 혼합한 시료의 탁도는 오히려 상승하였다. 담수 배출수 중의 TOC는 혼합시간이 4분 이하인 경우에는 농도에 큰 차이가 일어나지 않았으나, 8분 동안 혼합 처리한 경우에는 농도가 큰 폭으로 상승하였다. COD는 혼합시간에 따른 유의성은 확인되었으나, 폴리머와의 혼합 시간이 길어질수록 농도가 오히려 상승하는 경향이 확인되었다. 한편 TP, TN, TAN, NO_2-N, NO_3-N 등의 수질 항목은 폴리머와의 혼합 시간에 따른 농도 변화 결과 간에 유의성을 확인할 수 없었으나(P >0.05), 1~2분 사이의 혼합처리를 실시한 경우에는 농도가 다소 개선되는 것으로 확인되었다.

[0071] 폴리머 혼합 처리 후의 담수 배출수 시료를 입도 분석한 결과는 도 13, 14에 나타내었다. 담수 배출수 시료는 혼합시간에 따른 농도 변화에 대한 유의성을 나타냈다(P < 0.05). 그러나 폴리머 투입 여부와 혼합 시간의 상호작용에 대한 유의성은 보이지 않았으며(P > 0.05), 혼합 시간에 따른 입자 크기는 폴리머 투입 여부와 상관없이 거의 변화가 없었다. 다만 1분간 혼합한 담수 배출수 시료는 타 실험군과 비교했을 때 고형물 입도가 최대 약 100 μm 가까이 차이가 나는 등, 담수 배출수 시료의 고형물 응집은 폴리머와 배출수를 1분간 혼합한 시점에서 응집이 최대에 달하는 것으로 확인되었다.

[0072] **3. 양식 배출수 적정 오존 처리 조건 결과**

[0073] 앞서 실시한 실험 과정에서 도출한 적정 폴리머 처리량 조건 아래, 100 mg/h로 오존을 생성하는 오존발생기를 1, 3, 6, 12, 24시간씩 가동함으로써 각각 100, 300, 600, 1200, 2400 mg의 오존을 해수 및 담수 배출수 시료에 처리하였다. 이때 1 g TSS 당 적용된 오존 부하량은 표 9에 나타냈다.

표 9

Ozonation time (hr)	Total O_3 treatment volume (mg O_3)	Ozone loading dose (mg O_3/g TSS)
1	100	12.5
3	300	37.5
6	600	75
12	1,200	150
24	2,400	300

[0074]

[0075] 일련의 폴리머 적정 처리 과정을 거친 해수 배출수 시료를 오존 처리한 후 수질을 분석한 결과, 모든 수질 항목에 있어 결과값 간의 유의성을 확인할 수 있었다($P < 0.05$). 오존처리량에 따른 해수 배출수 시료 중의 TSS 농도를 측정한 결과, 폴리머를 처리한 시료는 배출수 원수 상등액의 TSS 농도와 비교했을 때 폴리머 처리 직후부터 TSS 농도가 급격히 낮아졌다(도 15). 폴리머 처리 후의 해수 배출수 시료 중 TSS 농도는 geotextile bag을 통과하면서 추가로 감소하였으며, 이를 통해 폴리머 처리와 geotextile bag의 동시 적용이 해수 배출수 중의 TSS 여과에 정상적으로 작용하는 것을 확인하였다. 이후 배출수 내 고형물 및 유기물의 산화를 목적으로 실시한 오존 처리 과정에서도 TSS 농도가 지속적으로 낮아지는 경향을 확인할 수 있었다. TSS 농도는 오존 처리를 시작한 후 계속해서 낮은 수준으로 유지되었으나, 24시간동안 1 g TSS 당 총 300 mg의 오존 부하를 가한 경우에는 TSS 농도가 크게 상승하였다.

[0076] TSS를 비롯한 기타 수질 항목의 오존 부하에 따른 농도 변화는 표 10에 나타냈다.

표 10

	Treatment								
	Raw water	Polymer	Geotextile bag	Ozone 1h (12.5 mg O_3)	Ozone 3h (37.5mg O_3)	Ozone 6h (75 mg O_3)	Ozone 12h (150 mg O_3)	Ozone 24h (300 mg O_3)	$v^{r}_{alu}e$
Turbidity (FAU)	4.67±2.08	4.33±0.58^{b}	3.33±0.58^{b}	0.33±0.58^{b}	1.33±1.53^{b}	0.67±0.58^{b}	1.00±1.00^{b}	104±6^{a}	0.000
TOC (mg/L)	10.3±0.5^{e}	4.55±0.96^{f}	5.33±0.23^{f}	24.8±4.1^{bc}	34.0±0.9^{d}	38.1±0.3^{c}	42.6±0.2^{b}	546±36^{a}	0.000
COD (mg/L)	200±3^{d}	211±1^{c}	219±1^{b}	210±1^{c}	211±2^{bc}	216±2^{bc}	213±1^{bc}	254±7^{a}	0.000
TP (mg/L)	46.3±1.5^{b}	40.7±0.6^{bc}	37.3±0.6^{e}	44.0±1.0^{bc}	5.47±0.23^{h}	8.33±0.29^{f}	11.7±0.8^{f}	70.3±4.7^{a}	0.000
TAN (mg/L)	10.3±0.6^{a}	0.10±0.00^{b}	0.17±0.06^{b}	0.33±0.06^{b}	0.03±0.01^{b}	0.34±0.12^{b}	0.12±0.16^{b}	0.12±0.15^{b}	0.000
Nitrite-N (mg/L)	0.37±0.12	0.05±0.01^{b}	0.05±0.01^{b}	0.06±0.02^{b}	0.01±0.00^{b}	0.01±0.00^{b}	0.01±0.00^{b}	0.12±0.01^{b}	0.000
Nitrate-N (mg/L)	1.03±0.06	1.07±0.06^{b}	0.77±0.06^{c}	0.83±0.06^{bc}	0.93±0.06^{bc}	0.97±0.06^{b}	0.87±0.06^{bc}	26.87±0.4	0.000

- The figures in parentheses indicate the ozone loadings per 1 g TSS.

[0077]

[0078] 탁도는 TSS의 농도 변화와 마찬가지로 12.5 mg O_3/g TSS의 오존 부하가 가해지는 조건에서도 탁도가 크게 개선되었다. 탁도는 더 많은 오존 부하가 가해져도 낮은 수준의 TSS 농도를 보였으나, 총 300 mg O_3/g TSS의 오존 부하가 가해진 경우에는 탁도가 원수의 약 25배 수준까지 상승하는 것으로 나타났다.

[0079] TOC와는 오존 부하량의 증가와 더불어 오히려 농도가 함께 증가하는 양상을 보였는데, 가장 높은 오존 부하량이 가해지는 실험 구간에서는 농도가 해수 배출수 원수의 약 54배 수준까지 농도가 상승한 것으로 나타났다.

[0080] COD는 오존 부하량에 따른 농도 변화간의 유의성은 확인되었으나 전반적으로 큰 농도변화는 확인할 수 없었다. 단 300 mg O3/g TSS의 오존 부하가 가해진 경우에는 타 실험구 대비 큰 폭의 농도 상승이 발생하였다. TP, TAN, NO2-N의 경우, geotextile bag 여과 후의 수질 상태와 12.5mg/g TSS의 오존 부하량을 가한 후를 비교하였을

때, 오존을 처리하기 전의 상태에서 농도가 더 낮게 측정되었다. 그러나 총 37.5 mg O_3/g TSS의 오존 부하를 가한 결과, 세 가지 수질 항목의 농도가 모두 매우 낮은 수준으로 감소하였다. 이후 지속적으로 오존을 처리한 결과, 해당 수질 항목들은 작은 폭에서의 증감을 반복하며 농도가 상승하는 경향을 보였다. NO_3-N은 오존 부하량 증가에 따른 농도 개선 효과를 거의 확인할 수 없었다.

[0081] 담수 배출수 시료에 대한 폴리머 및 오존 처리에 따른 수질 변화를 분석한 결과, TP를 제외한 모든 수질의 농도 변화에 대해 유의성이 확인되었다($P < 0.05$). 오존 처리 후의 담수 배출수 시료 중 TSS 농도 변화를 도 16에 나타냈다. 담수 배출수 시료의 오존처리량에 따른 TSS 농도의 변화는 해수 배출수 시료와 유사한 경향을 보였다. 폴리머를 처리하지 않은 원수의 상등액과 비교했을 때, 담수 배출수 시료는 폴리머 처리 직후부터 TSS 농도가 급격히 낮아졌고, geotextile bag 통과 후에 농도가 추가로 저하되었다. 따라서 담수 배출수 시료도 폴리머와 geotextile bag을 이용한 여과가 정상적으로 작용하며, 상당량의 TSS를 걸러낼 수 있는 것으로 확인되었다. 이후 담수 배출수 시료 중의 고형물 및 유기물 분해를 목적으로 한 오존 처리 과정에서도 TSS 농도가 지속적으로 낮아지는 경향을 보였다. 총 75 mg O_3/g TSS의 오존 부하가 가해진 담수 배출수 시료는 TSS 농도가 약간 상승하는 경향을 보였으나, 이후 다시 낮은 TSS 농도 수준으로 하락하고 유지하였다.

[0082] TSS를 비롯한 기타 수질 항목의 오존 부하에 따른 농도 변화는 표 11에 나타냈다.

표 11

	Treatment								
	Raw water	Polymer	Geotextile bag	Ozone 1h (12.5 mg O_3)	Ozone 3h (37.5mg O_3)	Ozone 6h (75 mg O_3)	Ozone 12h (150 mg O_3)	Ozone 24h (300 mg O_3)	P_{value}
Turbidity (FAU)	20.5 ± 1.1^{bc}	15.3 ± 3.5^{c}	13.3 ± 2.1^{c}	17.7 ± 1.2^{bc}	14.7 ± 5.5^{c}	83.0 ± 6.2^{a}	26.7 ± 0.6^{b}	86.7 ± 5.5^{a}	0.000
TOC (mg/L)	72.4 ± 2.4^{ef}	52.9 ± 7.0^{fgh}	62.1 ± 5.9^{fg}	407 ± 26^{bcd}	265 ± 36^{de}	937 ± 5^{a}	479 ± 4^{bc}	607 ± 50^{c}	0.000
COD (mg/L)	394 ± 2^{a}	25.2 ± 0.2^{f}	24.1 ± 0.1^{h}	24.7 ± 0.1^{g}	25.7 ± 0.2^{e}	27.0 ± 0.1^{d}	27.8 ± 0.1^{c}	28.6 ± 0.1^{b}	0.000
TP (mg/L)	49.3±3.5	52.7±0.6	54.7±1.5	48.7±1.5	51.3±0.6	52.7±7.0	53.0±3.6	54.7±2.1	0.268
TAN (mg/L)	75.7 ± 1.5^{a}	14.8 ± 0.5^{b}	1.67 ± 0.29^{b}	14.1 ± 0.1^{b}	13.7 ± 0.6^{b}	14.3 ± 0.6^{b}	10.4 ± 0.3^{c}	11.0 ± 0.2^{c}	0.000
Nitrite-N (mg/L)	0.50 ± 0.00^{a}	0.07 ± 0.01^{b}	0.06 ± 0.02^{b}	0.05 ± 0.01^{b}	0.01 ± 0.00^{c}	0.01 ± 0.00^{c}	0.01 ± 0.00^{c}	0.01 ± 0.00^{c}	0.000
Nitrate-N (mg/L)	29.1 ± 1.1^{a}	3.03 ± 0.15^{f}	2.50 ± 0.17^{f}	4.93 ± 0.21^{e}	3.93 ± 0.06^{d}	29.6 ± 0.6^{a}	8.87 ± 0.21^{c}	41.9 ± 2.4^{b}	0.000
TN (mg/L)	13.3 ± 5.8^{abcde}	3.67 ± 0.58^{e}	0.67 ± 0.58^{e}	10.3 ± 2.5^{d}	18.1 ± 0.8^{bc}	24.9 ± 0.4^{a}	21.9 ± 0.3^{ab}	24.7 ± 0.5^{a}	0.000

- The figures in parentheses indicate the ozone loadings per 1 g TSS.

[0083]

[0084] 탁도는 오존 처리를 실시한 시점에서 다소의 악화 경향을 보였으나, 37.5 mg O_3/g TSS의 오존 부하를 가했을 때 개선되었다. 그러나 37.5 mg O3/g TSS 를 초과하는 양의 오존 부하가 가해지면서 다시 탁도가 악화되었다. TOC는 오존 처리 직후에 농도가 급상승하였으며, 37.5 mg O_3/g TSS의 오존 부하량 조건에서 농도가 크게 감소하였다. COD는 오존 처리량이 증가할수록 농도가 상승하는 결과가 확인되었다. TP와 TAN은 geotextile bag으로 여과 처리한 시점에서 매우 낮은 농도 수준을 보였으나, 오존 처리를 하자 농도가 상승하였으며, 150 mg O_3/g TSS의 오존 부하가 가해진 시점부터 TAN의 농도가 감소하였다. NO_2-N은 37.5 mg O3/g TSS 이상의 오존 부하가 가해졌을 때 시료 중의 농도가 매우 낮게 유지되었다. TP는 결과값 간의 유의성은 확인할 수 없었으나, 낮은 오존 부하량 조건에서 수질이 일정 수준 개선된 것으로 확인되었다.

[0085] **<배출수 처리 시스템 적정 처리 조건 결과>**

[0086] 앞선 모든 실험 과정에서 도출된 배출수의 적정 처리 기준들을 일괄 적용한 배출수 처리 시스템을 설치하고, 해당 시스템의 실증 가동을 실시하였다. 표 12와 13에 실시예 2에 따른 배출수 처리 시스템의 오존 처리 기준과 오존 발생기의 설정 운전 조건을 나타내었다.

표 12

System	Total daily feed (kg)	Amount of daily produced TSS (g)	Total ozone loading dose (mg O_3 /gTSS)	Total required ozone (g O_3 /day)	Ozone input time (hr)	Total ozone input (mg O_3)
Sea water	3.6	900	37.5	33.8	12	94
Fresh water	2.4	600	37.5	22.5	12	62.5

[0087]

표 13

Ozone treatment time (hr)	Ozone loading dose (mg O_3 /g TSS)	Total daily required ozone inputs (g O_3)	
		Seawater	Freshwater
1	6.25	5.63	3.75
3	18.75	16.9	11.3
6	37.5	33.8	22.5
12	75	67.5	45
24	150	135	90

[0088]

[0089] Jar test 단계에서 설정한 고형물 및 수질 처리에 대한 적정 오존 부하량은 해수와 담수 모두 6시간 동안 1 g TSS 당 37.5 mg의 오존 부하가 가해지도록 오존 발생기를 설정하고 가동하였다. 또한 충분한 오존 처리가 이루어진 6시간 경과 이후에도 오존발생기를 가동하여 총 24시간 동안 해수 및 담수 배출수의 오존 처리를 실시하였다.

[0090] 해수 배출수 처리 시스템 가동 후의 수질 분석 결과는 도 17과 표 14에 나타냈다.

표 14

	Treatment								
	Raw water	Polymer	Geotextile bag	Ozone 1h (6.25 mg O_3)	Ozone 3h (18.75 mg O_3)	Ozone 6h (37.75 mg O_3)	Ozone 12h (75 mg O_3)	Ozone 24h (150 mg O_3)	P value
Turbidity (FAU)	32.7±16.0^{a}	22.0±7.6^{ab}	15.3±6.8^{ab}	14.0±4.4^{ab}	9.00±4.36^{b}	4.33±1.53^{b}	3.00±3.61^{b}	3.33±2.08^{b}	0.001
TOC (mg/L)	180±44^{abc}	258±21^{a}	201±20^{ab}	146±4^{bcd}	27.7±9.0^{ce}	2.27±0.38^{e}	1.03±0.31^{ce}	2.23±0.21^{ce}	0.000
COD (mg/L)	228±7^{abc}	244±2^{a}	221±1^{bc}	218±5^{c}	218±14^{c}	244±3^{ab}	229±14^{abc}	216±7^{c}	0.001
TP (mg/L)	10.0±3.6	10.3±1.2	17.0±2.7	17.0±1.0	16.0±2.7	16.3±1.2	19.0±2.0	17.0±1.0	0.000
TAN (mg/L)	1.50±1.00	1.83±0.58	2.00±1.32	1.67±1.17	1.40±1.39	1.47±1.33	0.20±0.35	0.20±0.35	0.275
Nitrite-N (mg/L)	0.35±0.05	0.47±0.25	1.32±1.13	0.91±1.10	0.49±0.48	0.45±0.58	0.11±0.02	0.13±0.06	0.332
Nitrate-N (mg/L)	35.0±16.5	41.3±12.1	38.0±9.2	28.0±11.1	26.0±2.0	17.3±7.0	22.7±9.9	15.3±12.1	0.073
TN (mg/L)	18.7±6.0	18.3±6.4	31.0±14.8	21.0±2.0	22.0±2.0	21.7±0.6	26.0±8.0	23.3±13.3	0.632

- The figures in parentheses indicate the ozone loadings per 1 g TSS.

[0091]

[0092] 모든 적정 처리조건을 적용하여 해수 배출수를 수처리한 결과, TSS, 탁도, TOC, COD, TP 등의 수질 농도 변화에

서 유의성을 보였다($P < 0.05$). TSS 농도의 경우 폴리머 혼합 후 농도가 크게 하락하였으나, geotextile bag 여과 처리 후 배출수의 TSS 농도는 다소 상승하는 결과를 보였다. 오존 처리 단계에서는 6.25 mg O_3/g TSS의 오존 부하가 가해졌을 때 TSS 농도가 22.2±2.0 mg/L로 감소하였다. 이후 오존 부하량 증가와 함께 TSS 농도가 조금씩 증가하였으나, 계속된 오존 처리와 더불어 다시 감소하고 18.5±21.1 mg/L까지 농도가 감소하였다. 탁도, TOC는 폴리머 혼합과 geotextile bag 여과를 통해서도 일정 수준 농도를 낮출 수 있었으나, 해수 배출수에 대한 오존 부하량이 증가할수록 명료한 농도 개선 효과가 나타났다. 탁도와 TOC는 37.5~75 mg O_3/g TSS의 오존 부하가 가해진 시점에서 가장 수질 개선 효과가 높게 나타났으며, 150 mg O_3/g TSS의 오존 부하가 가해졌을 때 소폭의 농도 상승이 확인되었다. COD는 오존 부하량에 따른 농도 변화에 대해 유의성을 확인할 수 있었으나, 오존 부하량의 증가에 따른 명료한 수질 개선 효과는 확인할 수 없었다. TP는 37.5~75 mg O_3/g TSS의 오존 부하가 걸린 실험구간에서 다소의 농도 감소를 확인할 수 있었으나, 75 mg O_3/g TSS 이상으로 오존 부하를 가한 시료는 오히려 농도가 상승하였다. TN, TAN, NO_2-N, NO_3-N 등의 경우에는 결과값 사이의 유의성은 확인할 수 없었다($P > 0.05$). 그러나 TAN, NO_2-N의 경우 오존 처리가 진행될수록 농도가 점차 감소하고, TN은 6.25~37.75 mg O_3/g TSS의 오존 부하가 가해졌을 때 농도가 낮은 수준으로 유지되는 경향을 확인할 수 있었다.

[0093] 적정 처리 조건하에 수처리를 실시한 담수 배출수는 TSS, 탁도, TAN, TOC, COD 등의 농도 변화에서 유의성을 확인할 수 있었다(표 15).

표 15

	Treatment								
	Raw water	Polymer	Geotextile bag	Ozone 1h (6.25 mg O_3)	Ozone 3h (18.75 mg O_3)	Ozone 6h (37.75 mg O_3)	Ozone 12h (75 mg O_3)	Ozone 24h (150 mg O_3)	v^r_{alue}
Turbidity (FAU)	23.3±6.4^a	27.7±11.0^a	11.7±0.6^b	5.33±4.04^b	4.67±2.52^b	3.67±2.31^b	1.33±1.15^b	4.33±2.08^b	0.000
TOC (mg/L)	90.0±21.8^a	103±8^b	100±10^b	146±4^{abc}	27.7±9.0^{abc}	22.7±3.8^c	31.3±33.5^c	22.3±2.1^c	0.000
COD (mg/L)	227±1^a	235±1^a	239±1^a	229±0^a	229±3^a	244±2^a	246±15^a	276±28^b	0.002
TP (mg/L)	55.0±15.1	58.7±16.2	51.7±22.3	56.7±20.1	57.3±21.0	56.3±22.2	73.0±17.3	73.3±18.5	0.786
TAN (mg/L)	13.3±0.8^{bc}	15.5±0.0^a	12.0±0.5^c	13.5±0.6^b	13.9±0.2^b	13.8±0.4^b	13.5±0.5^b	13.3±0.9^{bc}	0.000
Nitrite-N (mg/L)	0.32±0.03	0.33±0.13	0.33±0.06	0.27±0.13	0.30±0.17	0.28±0.08	0.22±0.03	0.20±0.09	0.619
Nitrate-N (mg/L)	43.3±7.6	61.7±16.1	71.7±25.7	50.0±13.2	53.3±15.3	53.3±10.4	66.7±12.6	63.3±5.8	0.322
TN (mg/L)	63.7±2.3	66.3±4.2	63.3±0.6	69.0±4.6	71.0±9.6	50.7±8.3	51.0±24.4	45.3±12.1	0.075

- The figures in parentheses indicate the ozone loadings per 1 g TSS.

[0094]

[0095] 담수 배출수의 TSS 농도는 해수 배출수와 달리 일정 수준 이상의 오존 부하량이 가해질 경우 오히려 농도가 계속해서 상승하는 결과를 보였다(도 18). 폴리머 혼합 및 geotextile bag 여과를 거친 배출수의 TSS 농도는 담수 배출수 원수 대비 일정 수준 감소하였다. Geotextile bag 여과 후 배출수는 오존 처리 후에도 농도가 일정하게 감소하는 등, 앞서 도출된 배출수 적정 처리 기준을 적용하여 운용한 배출수 처리 시스템의 고형물 방출 저감 효과를 확인할 수 있었다. 다만 오존부하량이 37.5 mg O_3/g TSS를 초과하는 시점에서 TSS 농도가 다시 상승하기 시작하는 것으로 나타났다. 탁도는 TSS 농도와 마찬가지로 오존 부하량이 증가할수록 개선되었으나, TSS와는 달리 오존 부하량이 150 mg O_3/g TSS에 달하는 시점에서 수질이 악화되었다. TOC는 적은 양의 오존 부하 조건에서는 농도가 다소 상승하였으나, 18.75 mg O3/g TSS 이상으로 오존 부하를 가하였을 때 농도가 개선되기 시작하여 22.7±3.8 mg/L 수준까지 감소하였다. COD는 약한 수준의 오존 부하 조건에서는 농도가 다소 감소하였으나, 37.75 mg O_3/g TSS 이상의 오존 부하량 조건에서 처리된 배출수는 geotextile bag 여과 후의 시료와 농도 변화가 거의 없거나 오히려 악화되는 것으로 나타났다. TP는 결과값 간의 유의성은 확인할 수 없었고($P > 0.05$), 오존 부하량이 증가함에 따라 농도가 함께 상승하였다. TAN은 오존 부하량이 증가함에 따라 농도가 조금씩 상승하였으나, 37.75 mg O3/g TSS 이상으로 오존 부하가 가해지면서 재차 농도가 감소하였다. NO_2-N은 수처리 단계에 따른 유의성은 확인할 수 없었으나($P > 0.05$), 가해지는 오존 부하량이 증가할수록 농도가 감소하는 경향을 보였다. TN은 37.75 mg O_3/g TSS 이상의 오존 부하량 조건에서 농도가 감소하기 시작하였으며, NO_3-N은 6.25~

37.75 mg O3/g TSS 수준의 오존 부하량 조건에서 농도가 감소되었다.

[0096] 약 2개월간 가동한 해수 및 담수 배출수 처리 시스템의 geotextile bag을 절개하고, 내부에 집적된 슬러지를 수거하여 슬러지의 입도 분석을 실시하였다. 본 실험 과정에서의 입도는 슬러지를 건조한 후 현미경 관찰로 측정하였다. 해수와 담수 배출수 슬러지의 각 분석 결과는 표 16, 17에 나타냈다.

표 16

[0097]

	Particle size range (μm)					
	< 100	> 100				
		100≤x<200	200≤x<300	300≤x<400	400≤x<500	x≥500
Ratio (%)	63.7	36.3				
		12.1	7.6	4.5	3.2	8.9

표 17

[0098]

	Particle size range (μm)					
	< 100	> 100				
		100≤x<200	200≤x<300	300≤x<400	400≤x<500	x≥500
Ratio (%)	61.3	38.7				
		18.4	11.7	3.7	2.5	2.5

[0099] 해수 및 담수 배출수로부터 분리되어 geotextile bag 내부에 집적된 슬러지의 입도는 100 μm 보다 작은 입자가 전체의 약 60% 이상을 점하였다. 100 μm 보다 큰 입자들 중에서는 100~200 μm 크기 수준의 입자가 다수를 차지하는 것으로 나타났다.

[0100] 이상의 결과로부터 해수 및 담수 RAS 배출수를 대상으로 보다 적은 오존량으로 더 많은 항목의 수질 농도 개선이 이루어진 실험군를 종합하였을 때, 해수 및 담수 양식장 배출수 모두 18.75 mg - 37.5 mg O_3/g TSS의 오존 부하량 조건으로 처리하는 것이 가장 적합한 것으로 판단되었다. 사료 1 kg 급이 당 250 g의 고형물 발생을 가정하였을 때, 해수 및 담수 RAS 시설에서의 적정 조건의 폴리머 처리 및 geotextile bag 여과 처리 후 배출수는 급이량 1 kg 당 약 4.69 g O_3/day의 오존 부하량으로 처리하는 것이 적합한 것으로 판단되었으며, 이는 jar test에서 도출된 적정 오존 부하량에 비해 적게 나타난 것이다. Jar test 단계에서는 단순히 오존 발생기와 에어스톤으로 배출수를 처리하였으나, RAS에 설치된 배출수 처리 시스템은 고압력 수중 펌프를 이용하여 배출수를 압출하고, 이를 오존 가스와 함께 oxygen cone으로 통과시켰다. Shishida et al. (1999)에 따르면 오존 투입량과 오존 용해 수준은 물질 분해 처리 효율에 큰 영향을 주며, 오존 처리 방식의 차이에 따른 배출수 중으로의 오존 용해 효율을 향상이 해수 및 담수 배출수 중에 존재하는 고형물과 용존 물질을 제거하는데 필요한 오존 부하를 저감하였을 것으로 사료된다.

[0101] 해수 및 담수 RAS에 연결된 배출수 처리 시스템 가동 종료 후 geotextile bag 내부에 집적된 슬러지를 건조하여 입도 분석을 실시한 결과, 해수와 담수 슬러지 모두 100 μm 이하 크기의 입자가 전체의 약 60%를 점하고 있는 결과를 확인하였다. 본 실험 평가 과정에서 사용된 제품을 포함한 geotextile bag의 일반적인 공극 크기는 약 100 μm로, 100 μm 미만의 고형물은 본래 geotextile bag의 공극을 통과하여 외부로 유출된다. 그러나 배출수 처리 시스템의 geotextile bag에 집적된 슬러지의 절반 이상은 geotextile bag의 공극 크기에 미치지 못하였다. 이는 본래 geotextile bag의 공극 크기로 여과할 수 없는 작은 크기의 입자가 적정량 처리된 폴리머로 인해 포집되었고(Sharrer *et al.*, 2010), 폴리머에 의해 포집되어 크기가 향상된 고형물 입자는 geotextile bag 외부로의 유출이 차단된 것으로 사료된다.

[0102] Geotextile bag 내부에 집적된 슬러지 입자의 약 60%의 직경이 100 ㎛ 미만이었던 점을 고려했을 때, 적정량의 폴리머 처리와 geotextile bag의 운용은 양식 배출수에 존재하는 미세한 수준의 고형물 제거에 효과적으로 작용

하는 것으로 판단된다.

[0103] 따라서 일련의 실험 결과를 통해 도출한 적정 폴리머 처리 조건과 geotextile bag을 이용한 여과, 그리고 적정 오존 부하량 조건을 조합한 배출수 처리 시스템 운용은 양식장 배출수 내 오염물질 제거 및 정화에 있어 적합하고 효율적인 방법으로 활용 가능하다는 결론을 내렸다.

[0104] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0105] 10: 순환 여과식 양식장의 배출수 처리 시스템

110: 저장 수조 111: 제1 배관

120: 여과부 121: 지오백

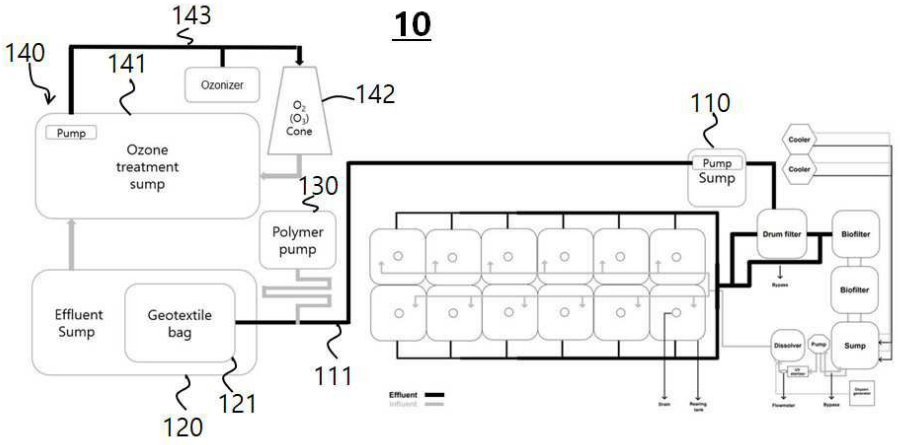
130: 폴리머 응집제 공급부 140: 오존 정화부

141: 수조 142: 산소용해기

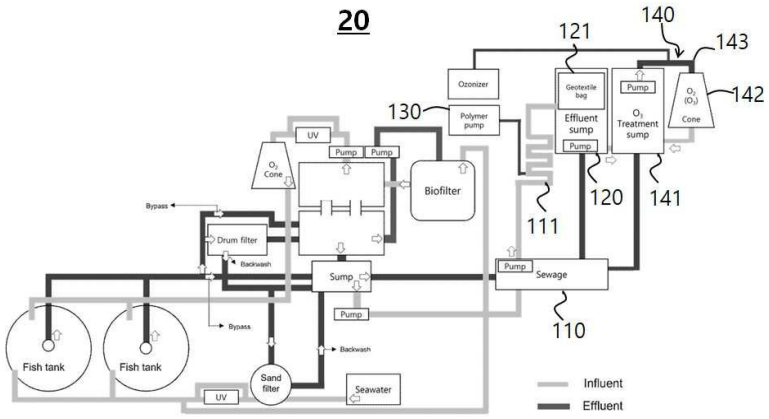
143: 제3 배관

도면

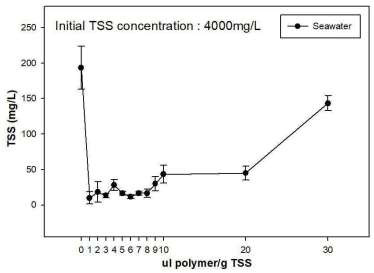
도면1



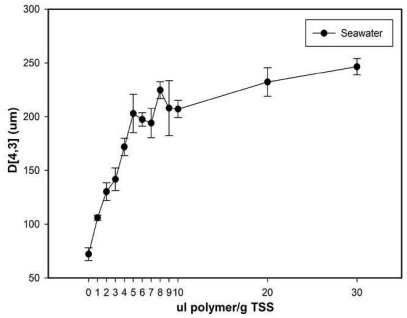
도면2



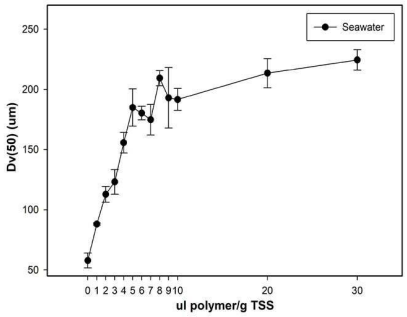
도면3



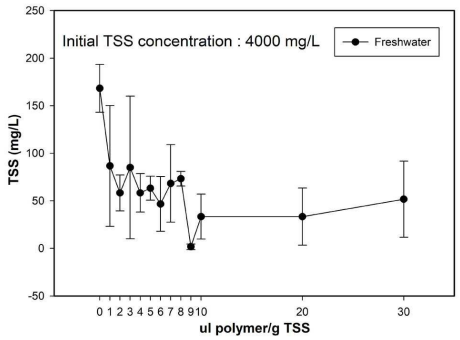
도면4



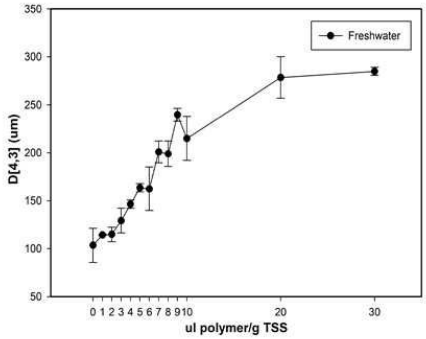
도면5



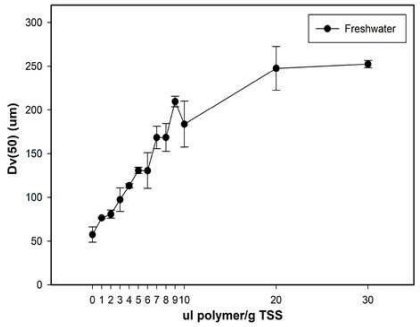
도면6



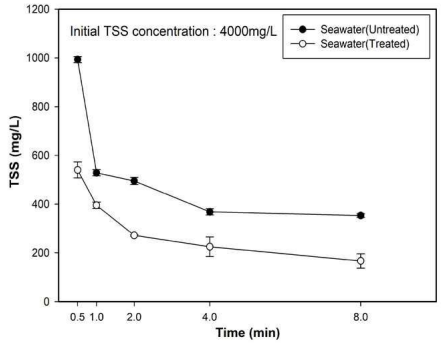
도면7



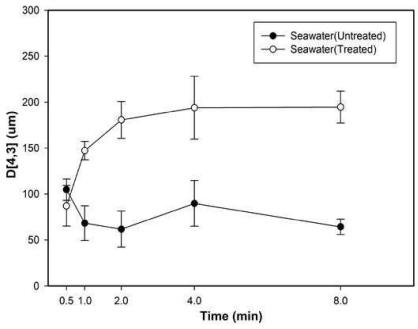
도면8



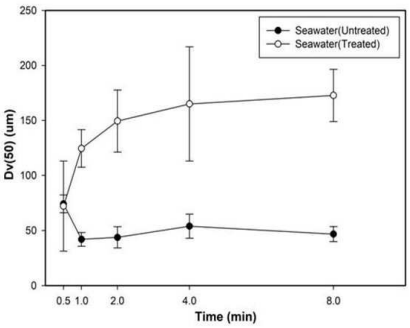
도면9



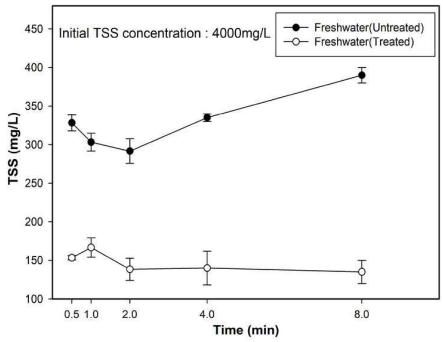
도면10



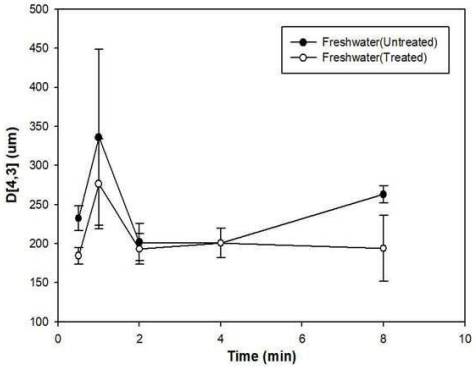
도면11



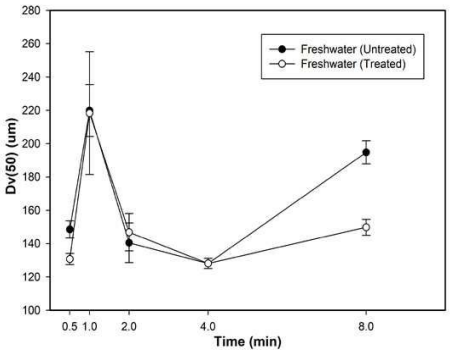
도면12



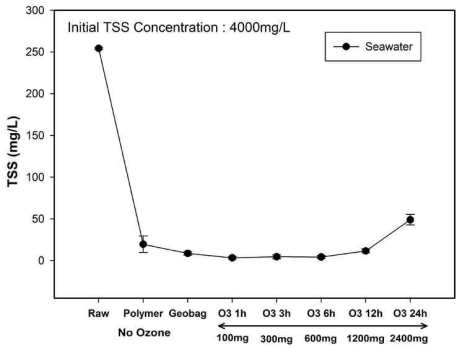
도면13



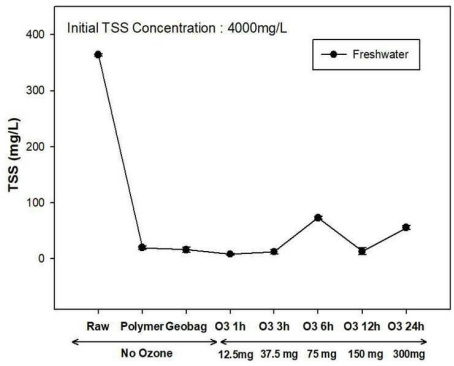
도면14



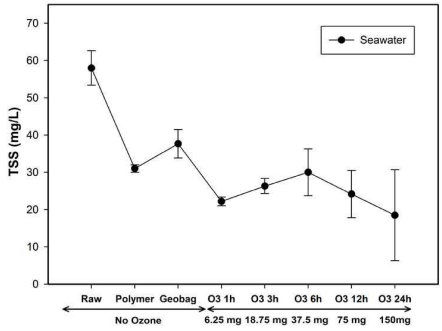
도면15



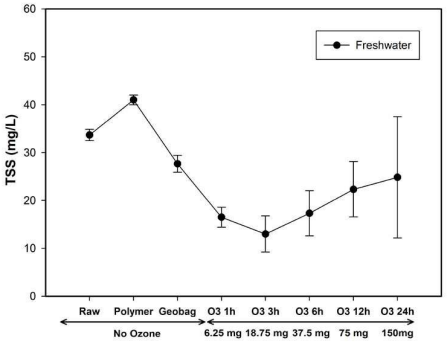
도면16



도면17



도면18


Freshwater
TSS (mg/L)
60
50
40
30
20
10
0
Raw
Polymer
Geobag
O3 1h
O3 3h
O3 6h
O3 12h
O3 24h
No Ozone
6.25 mg
18.75 mg
37.5 mg
75 mg
150mg