



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0088727

(43) 공개일자 2015년08월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C02F 3/32 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C02F 3/325 (2013.01)

C02F 3/341 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0007597(분할)

(22) 출원일자 2015년01월15일

심사청구일자 없음

(62) 원출원 특허 10-2014-0008572

원출원일자 2014년01월23일

심사청구일자 2014년01월23일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자

황선진

경기 용인시 기흥구 예현로35번길 21, 101동 303호 (서천동, 예현마을현대홈타운)

최경진

서울 서대문구 충정로6길 49-14, 1층 (미군동)

(74) 대리인

손민

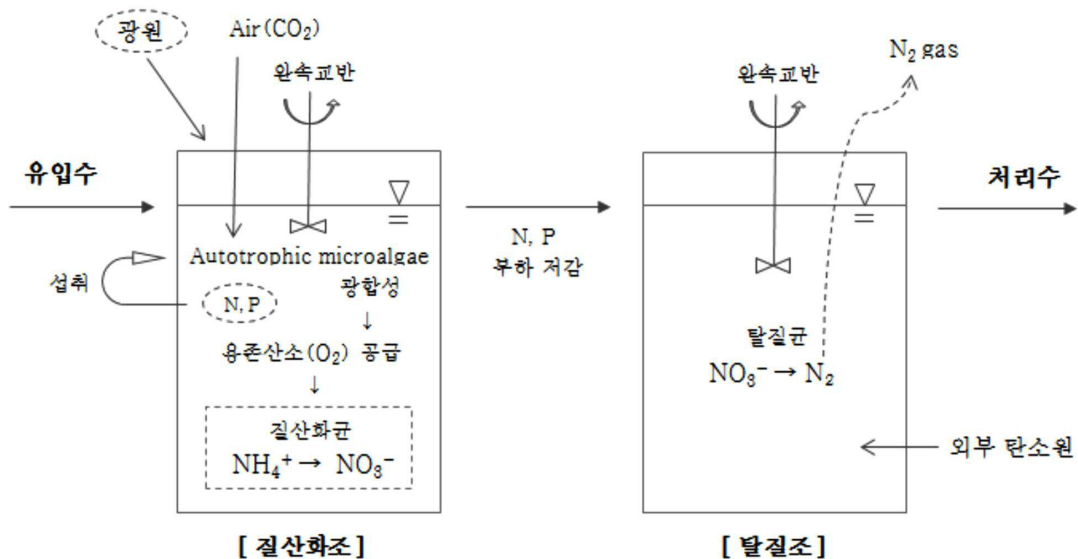
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아가 공생하는 질산화조

(57) 요약

본 발명은 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아가 공생하는 질산화조, 이를 이용한 하폐수 처리 장치 및 방법에 관한 것이다. 본 발명은 소폭의 개선만으로 공기 폭기가 필요 없는 질산화 공정을 구현할 수 있어 경제적이다. 나아가 추가적인 유기물의 공급 없이도 공정 운전이 가능하며, 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아가 함께 영양염류를 소비함으로써 높은 영양염류 처리 효과를 나타낸다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 405-112-033

부처명 환경부

연구관리전문기관 한국환경산업기술원

연구사업명 차세대 에코이노베이션 사업

연구과제명 개발/최적화 고효율/저비용의 PBR(Photo-Bioreactor)을 이용한 미세조류 하수폐수고도처리 시스템

기 여 율 1/1

주관기관 경희대학교 산학협력단(국제)

연구기간 2012.10.01 ~ 2013.09.30

명세서

청구범위

청구항 1

영양염류가 포함된 하폐수를 처리하는 질산화조.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아가 공생하는 질산화조, 이를 이용한 하폐수 처리 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 하폐수 처리장의 대부분은 영양염류 제거에 목적을 둔 재래식처리방법으로 설계, 운전 중에 있다. 이러한 처리 방법은 BOD, SS 등을 90% 정도 제거하는 반면에 질소와 인은 제거 효율이 매우 낮아 질소 10~30, 인 10~30% 정도만이 제거되는 실정이다. 일반적으로, 하폐수에 포함되어 있는 영양염류 자체는 무기성 원소이나, 이들이 하천이나, 연안바다, 호소(호수 및 저수지) 등으로 유입될 경우 조류의 성장을 촉진시켜 부영양화 현상을 발생시킨다. 이와 같은 조류의 이상증식에 따른 적조현상은 심할 경우, 수저부에서 부패에 의한 악취가 발생하여 수질 오염을 촉진시키는 원인이 된다. 따라서 이러한 영향을 미치는 영양염류에 관한 수질 기준은 갈수록 강화되고 있으며, 이들이 하천이나 호소로 유입되기 전에 제거되어야 한다. 질소와 인을 포함하는 상기 영양염류를 처리하기 위하여 크게 물리적 처리방법, 화학적 처리방법 및 생물학적 처리방법 등으로 3차 처리(고도처리) 시설을 확보하여 처리하고 있다.

[0003] 고도처리의 상기 물리적 처리방법 및 화학적 처리방법의 경우 사용되는 장비와 약품이 고가이므로 초기 시설비 및 운전비용이 많이 드는 문제가 있다. 특히 화학적 처리방법의 경우 2차적인 오염이 발생한다는 추가적인 문제점이 있다. 따라서 최근에는 고도처리에 있어 생물학적 처리방법의 사용이 증가하고 있다.

[0004] 상기 생물학적 처리방법은 하폐수 내 미생물의 산화환원 과정을 통하여 최종적으로 질소가스 형태로 변환시키는 과정으로, 주로 질산화(nitrification) 및 탈질(denitrification) 과정을 거쳐 이루어진다.

[0005] 질산화는 하폐수 내 암모니아성 질소인 암모늄(NH_4^+)을 *Nitrosomonas sp.*, *Nitrobacter sp.*와 같은 호기성 독립영양 박테리아(질산화균(nitrifier))로 생물학적으로 산화시켜 질산염(NO_3^-)으로 전환하는 과정이다. 또한 탈질은 질산화로 인하여 생성된 NO_3^- 등을 무산소 조건에서 *Pseudomonas*, *Paracoccus denitrifiers*와 같은 탈질 미생물들의 이화적 환원작용을 통하여 N_2 로 환원하는 과정이다.

[0006] 상기의 질산화 및 탈질 과정은 수처리 공정에 있어서 질산화조 및 탈질조에서 수행될 수 있으며, 이러한 종래의 생물학적 처리방법의 개요도를 도 1에 나타내었다.

[0007] 도 1에 나타난 바와 같이, 종래의 생물학적 고도처리에 있어서 질산화조와 탈질조를 연속적으로 연결하여 처리수 내 질소와 같은 영양염류를 제거하고 있다. 질산화조에서는 앞서 설명한 바와 같이 질산화균을 이용하여 호기성 질산화 반응을 수행하므로, 최소한 2 ppm 이상의 용존산소가 요구되며, 이를 위해 현장에서는 공기 폭기를 실시해 4~6 ppm 수준의 용존산소를 유지시키고 있는 실정이다. 하지만, 지속적인 공기 폭기를 수행하기 때문에 운전비용이 높다는 문제점이 있다. 나아가 종래의 질산화조는 영양염류를 모두 처리하기 어려운 문제가 있어 후단 공정인 탈질조에 질소 및 인과 같은 영양염류 부하를 줄 수 있다는 문제점이 있다.

[0008] 이와 관련하여, 대한민국특허 등록번호 제10-1063828호는 양이온교환막으로 연결된 질산화조를 구비하는 혐기조

에 관한 것으로, 이를 통해 질산화 및 탈질을 동시에 수행하면서 폐수 처리 공정을 단순화하고, 처리시간을 감소시킬 수 있음이 기재되어 있다. 하지만, 이는 기존의 공정한 질산화조 및 탈질조를 완전히 변경해야 하는 것으로 초기 시설비가 많이 들어 바로 현장에 적용되기 어려우며, 나아가 여전히 질산화를 위해 공기 폭기를 필요로 하기 때문에 운전비용이 높은 문제가 있다.

[0009] 한편, 생물학적 수처리 공정과 관련하여 서로 다른 종의 미생물의 공생관계를 이용한 수처리 방법에 관한 기술 및 연구들이 있다. 예를 들어, 대한민국특허 공개번호 제10-2005-0011587호에는 혐기성 아키아와 호기성 박테리아의 공생관계를 이용한 영양염류 제거 방법이 개시되어 있다. 하지만, 이와 같은 종래의 연구들은 미생물들의 공생을 이용한 직접적인 영양염류 제거 개선에만 초점이 맞추어져 있으며, 구체적으로 이들이 종래의 질산화조에 적용되어 현장에 바로 적용될 수 있는 공정 구현에 대해서는 아직까지 보고된바 없다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 이러한 배경 하에서, 본 발명자들은 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아가 공생하는 질산화조를 구현함으로써, 기존의 공정을 그대로 유지시키면서 소폭의 개선(retrofitting)만으로 폭기가 필요 없는 질산화 공정의 재구성이 가능함과 동시에 운전효율이 향상될 수 있음을 확인하였다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 제1양태는 영양염류가 포함된 하폐수를 처리하는 질산화조로서, 상기 질산화조는 독립영양(Autotrophic) 미세조류 및 질산화 박테리아가 공생하고, 상기 독립영양 미세조류가 광합성으로 생산한 산소를 상기 질산화 박테리아가 소비함으로써, 별도의 폭기를 필요로 하지 않음을 특징으로 하는 질산화조를 제공한다.

[0012] 본 발명의 제2양태는 하폐수가 유입되는 호기성 반응조; 상기 호기성 반응조와 연결되어 호기성 반응조에서 처리된 하폐수가 유입되는 혐기성 반응조; 상기 혐기성 반응조와 연결되어 혐기성 반응조에서 처리된 하폐수가 유입되는, 상기 제1양태에 따른 질산화조; 상기 질산화조와 연결되어 질산화조에서 처리된 하폐수가 유입되는 탈질조; 및 상기 탈질조에 연결되어 하폐수의 고형물, 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아를 응집시켜 반송하는 침전조를 포함하는 것을 특징으로 하는 하폐수 처리 장치를 제공한다.

[0013] 본 발명의 제3양태는 상기 제1양태에 따른 질산화조를 이용하여 하폐수를 처리하는 방법으로서, 유기물이 제거되고 영양염류가 포함된 하폐수를 상기 질산화조에 유입시키는 제1단계; 및 상기 질산화조 내 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아를 이용하여 질소 및 인을 제거하는 제2단계를 포함하며, 상기 독립영양 미세조류가 광합성으로 생산한 산소를 상기 질산화 박테리아가 소비함으로써, 별도의 폭기를 필요로 하지 않음을 특징으로 하는 하폐수 처리 방법을 제공한다.

[0014] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

[0015] 본 발명은 종래 질산화 박테리아만이 적용되던 질산화조에 있어서, 독립영양 미세조류를 추가적으로 적용 및 배양하여 이들의 공생관계를 이용함으로써, 별도의 공기 폭기 없이 경제적인 공정 운전이 가능하다. 나아가, 상기 독립영양 미세조류는 동화작용에 의해 질소 및 인을 추가적으로 제거할 수 있어 기존의 질산화 박테리아 단독 처리와 비교하여 영양염류 처리 효과가 우수하다. 또한 상기 독립영양 미세조류는 광조건 하에서 무기탄소(예를 들어, 하폐수 내 또는 대기 중의 CO₂)를 탄소원으로 이용하므로 추가적인 유기물의 공급 없이도 공정 운전이 가능한 이점이 있다.

[0016] 또한 본 발명은 상기 독립영양 미세조류가 광합성으로 생산한 산소만으로 상기 질산화 박테리아가 필요로 하는 산소를 충당함과 동시에 높은 영양염류 처리 효과를 보일 수 있는 최적의 공생 비율을 제공한다.

[0017] 이로써, 본 발명은 기존의 공정을 그대로 유지시키면서 독립영양 미세조류를 추가하는 소폭의 개선만으로 운전

비용을 낮추고 영양염류 제거 효과를 높일 수 있다. 따라서 현장에 바로 적용될 수 있는 실용성을 갖는다.

- [0018] 본 발명의 제1양태는 영양염류가 포함된 하폐수를 처리하는 질산화조로서, 상기 질산화조는 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아가 공생하고, 상기 독립영양 미세조류가 광합성으로 생산한 산소를 상기 질산화 박테리아가 소비함으로써, 별도의 폭기를 필요로 하지 않는다.
- [0019] 미세조류(microalgae 또는 microphytes)는 현미경으로 관찰가능한 작은 크기의 조류를 의미하며, 일반적으로는 민물 또는 해양계에서 발견된다. 이는 개별적으로 또는 사슬 또는 무리의 형태로 존재하는 단일세포종이다. 종에 따라 수 마이크로미터 내지 수백 마이크로미터의 크기를 가지며 고등식물과는 달리 뿌리, 줄기 및 잎을 가지지 않는다.
- [0020] 본 발명에 있어서, 상기 독립영양 미세조류는 에너지원으로 빛을 이용하며, 광합성을 통해 무기탄소를 탄소원으로 사용하여 대사작용하는 미세조류이다. 상기 독립영양 미세조류는 이산화탄소의 고정능이 가능하고, C/N비가 낮은 하수 내에서도 질소저감이 가능하다. 구체적으로, 독립영양 미세조류는 하기 반응식 1 및 반응식 2에 나타난 광합성을 통해 질소와 인을 소비하면서 성장하며, 무기탄소인 이산화탄소를 고정할 수 있다.
- [0021] [반응식 1]
- [0022] $106\text{CO}_2 + 16\text{NO}_3^- + \text{HPO}_4^{2-} + 122\text{H}_2\text{O} + 18\text{H}^+ \rightarrow \text{C}_{108}\text{H}_{265}\text{O}_{110}\text{N}_{16}\text{P}_1 + 138\text{O}_2$
- [0023] [반응식 2]
- [0024] $106\text{CO}_2 + 16\text{NH}_4^+ + \text{HPO}_4^{2-} + 108\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_{108}\text{H}_{265}\text{O}_{110}\text{N}_{16}\text{P}_1 + 107\text{O}_2 + 14\text{H}^+$
- [0025] 상기 반응식 1 및 반응식 2에 나타난 바와 같이, 독립영양 미세조류는 광합성을 통하여 처리수 내의 질소 및 인을 제거할 수 있으며, 구체적으로 상기 질소와 관련하여 암모늄 및 질산염을 제거할 수 있다. 다만, 상기 반응식 2에 따른 암모늄 소비 반응과는 다르게 상기 반응식 1에 따른 질산염 소비 반응은 효소를 이용한 환원과정을 필요로 하므로, 암모늄과 질산염이 공존하는 환경에서 독립영양 미세조류는 환원과정이 없어 에너지 절약이 가능한 암모늄 소비 반응(반응식 2)을 더 선호하게 된다.
- [0026] 상기 독립영양 미세조류는 뿔목말 속(*Scenedesmus* sp.), 클로렐라 속(*Chlorella* sp.), 데스모데스무스 속(*Desmodesmus* sp.), 클라마이도모나스 속(*Chlamydomonas* sp.), 페디아스트럼 속(*Pediastrum* sp.), 오에도고니움 속(*Oedogonium* sp.), 코에라스트럼 속(*Coelastrum* sp.), 안키스트로데스무스 속(*Ankistrodesmus* sp.), 옥세노클로렐라 속(*Auxenochlorella* sp.) 및 클로스테리옵시스 속(*Closteriopsis* sp.)으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있으며, 보다 바람직하게는 뿔목말 속(*Scenedesmus* sp.)일 수 있다.
- [0027] 본 발명에 있어서, 상기 질산화 박테리아(nitrifier)는 암모니아성 질소인 암모늄(NH_4^+)을 질산염으로 산화시키는 호기성 독립영양 박테리아를 의미하며, 크게 AOB(Ammonia Oxidizing Bacteria) 및 NOB(Nitrite Oxidizing Bacteria)의 두 가지 군으로 나눌 수 있다. 일반적으로 질산화는 두 단계의 생물학적 공정, 즉 암모늄($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)이 아질산염($\text{NO}_2^- - \text{N}$)으로 산화되고, 아질산염($\text{NO}_2^- - \text{N}$)이 질산염($\text{NO}_3^- - \text{N}$)으로 산화되는 두 단계에 거쳐 일어난다. 상기 각각의 단계에 대한 반응을 하기 반응식 3 및 반응식 4로 나타내었다.
- [0028] [반응식 3]
- [0029] $\text{NH}_4^+ + 1.5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + \text{New cells}$
- [0030] [반응식 4]
- [0031] $\text{NO}_2^- + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{New cells}$
- [0032] 여기서, 상기 반응식 3에 해당하는 반응을 수행하는 박테리아가 AOB로써, 대표적으로 *Nitrosomonas* sp.가 있으며, 상기 반응식 4에 해당하는 반응을 수행하는 박테리아가 NOB로써, 대표적으로 *Nitrobacter* sp.가 있다. 상기 질산화 박테리아는 각각의 반응에서 생성된 에너지를 이용하여 세포성장 및 유지에 사용한다.

- [0033] 상기 질산화 박테리아는 일반적인 수처리 공정에 있어서 사용되는 활성화 슬러지 내에 다량으로 포함되어 있으며, 니트로소모나스 속(*Nitrosomonas* sp.), 니트로소코쿠스 속(*Nitrosococcus* sp.), 니트로소스피라 속(*Nitrosospira* sp.), 니트로솔로부스 속(*Nitrosolobus* sp.), 니트로소비브리오 속(*Nitrosovibrio* sp.), 니트로박터 속(*Nitrobacter* sp.), 니트로스피나 속(*Nitrospina* sp.), 니트로코쿠스 속(*Nitrococcus* sp.) 및 니트로스피라 속(*Nitrospira* sp.)으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다. 구체적으로, 상기 질산화 박테리아에 있어서 AOB로는 니트로소모나스 속(*Nitrosomonas* sp.), 니트로소코쿠스 속(*Nitrosococcus* sp.), 니트로소스피라 속(*Nitrosospira* sp.), 니트로솔로부스 속(*Nitrosolobus* sp.), 니트로소비브리오 속(*Nitrosovibrio* sp.) 등이 포함될 수 있으며, NOB로는 니트로박터 속(*Nitrobacter* sp.), 니트로스피나 속(*Nitrospina* sp.), 니트로코쿠스 속(*Nitrococcus* sp.), 니트로스피라 속(*Nitrospira* sp.) 등이 포함될 수 있다.
- [0034] 본 발명에 있어서, 질산화조 내에 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아가 공생하며, 이러한 공생관계를 도 3을 참조하여 보다 구체적으로 설명한다.
- [0035] 상기 독립영양 미세조류는 광합성을 통하여 질산화조 내의 무기탄소, 암모늄 및 질산화 박테리아가 생산한 질산염을 소비하여 산소를 생산하고(반응식 1 및 반응식 2), 상기 질산화 박테리아는 미세조류가 생산한 산소를 소비하며 암모늄을 질산염으로 산화시키되(반응식 3 및 반응식 4), 독립영양 미세조류의 대사와 질산화 박테리아의 대사가 동시에 일어남으로써 서로 공생할 수 있다. 즉, 독립영양 미세조류-질산화 박테리아의 공생은 미세조류가 광합성을 통해 생산하는 산소를 박테리아가 이용하고, 반대로 박테리아가 생산하는 질산성 질소(NO_3^- -N)를 미세조류가 이용하도록 함으로써 상호 공생할 수 있는 원리에 따른다. 아울러 독립영양 미세조류는 CO_2 흡수, 중금속 제거 및 영양염류 제거 효과를 가지며, 나아가 질산화조 내에서 조류 증식에 의한 잉여 미세조류는 바이오매스 내지 바이오연료로 활용할 수 있다.
- [0036] 상기 독립영양 미세조류가 필요로 하는 무기탄소(이산화 탄소)는 하폐수 내에 용존하는 무기탄소일 수 있으며, 미세조류의 광합성으로 소모되는 무기탄소는 대기 중의 이산화탄소가 용해됨으로써 보충될 수 있다. 다만, 미세조류의 광합성이 활발하여 무기탄소가 부족할 경우에는, 공기와 같이 이산화탄소를 함유하는 기체를 질산화조 내에 공급함으로써 충족할 수 있다. 또는 하폐수 내 다른 각종 미생물의 대사에 의하여 발생하는 이산화탄소로 보충될 수도 있다. 나아가 상기 독립영양 미세조류가 필요로 하는 암모니아성 질소(NH_4^+ -N), 질산성 질소(NO_3^- -N) 및 인(HPO_4^{2-})은 하폐수 내에 포함된 것일 수 있으며, 특히 상기 질산성 질소(NO_3^- -N)의 경우에는 앞서 설명한 바와 같이 박테리아에 의해 생성된 것일 수 있다.
- [0037] 상기 질산화 박테리아가 필요로 하는 산소는 앞서 설명한 바와 같이 독립영양 미세조류의 광합성에 의해 생성된 것일 수 있으며, 따라서 추가적인 공기 폭기 없이도 질산화조 내에 박테리아가 필요로 하는 충분한 양의 산소가 마련될 수 있다.
- [0038] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 독립영양 미세조류-질산화 박테리아의 공생이 적용된 질산화조는 질산화 박테리아 단독 내지 독립영양 미세조류가 단독으로 적용된 경우 보다 높은 영양염류 제거능을 가지며, 추가적인 폭기를 필요로 하지 않음을 확인하였다(실험예 1 및 실험예 2).
- [0039] 본 발명에 있어서, 상기 질산화조는 건조중량 기준으로 상기 질산화 박테리아 100 중량부에 대하여 상기 독립영양 미세조류가 5 내지 100 중량부로 접종된 것일 수 있다. 특별히 제한되는 것은 아니나, 상기 질산화조 내의 독립영양 미세조류 : 질산화 박테리아의 비율은 질산화조 내에서 이들이 증식함으로써 그 비율이 변할 수 있으므로, 상기 비율은 초기에 질산화조 내에 투입(접종)해주는 중량 비율일 수 있다. 만약 질산화 박테리아 100 중량부에 대하여 독립영양 미세조류가 100 중량부를 넘어가는 경우 독립영양 미세조류가 질산화 박테리아에 비해 과다해 짐으로써 질산화 박테리아를 기반으로 하는 질산화조의 역할을 제대로 수행할 수 없으며, 독립영양 미세조류가 5 중량부에 미치지 못하는 경우 초기 공정 운전 시 미세조류의 산소 생산량이 박테리아의 필요 산소량에 미치지 못해 공정 효율이 떨어질 수 있다. 바람직하기로, 상기 질산화조는 건조중량 기준으로 상기 질산화 박테리아 100 중량부에 대하여 상기 독립영양 미세조류가 20 중량부로 접종된 것일 수 있다.
- [0040] 본 발명의 상기 질산화조는 종래의 질산화조와 같이 질산화 박테리아를 이용하여 영양염류인 암모니아성 질소를 산화시키는 처리 장치일 뿐만 아니라, 추가적으로 독립영양 미세조류가 적용됨으로써, 추가적으로 질소 및 인을 포함하는 영양염류를 처리할 수 있는 장치일 수 있다. 특히, 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아간의 공생 관계를 이용함으로써, 종래와 같은 공기 폭기 내지 이를 위한 장치가 필요치 않으며 질소 및 인과 같은 영양염류

를 상당 부분 제거해 줌으로써, 후단의 탈질조에 걸리는 영양염류 부하를 줄일 수 있다.

[0041] 본 발명의 일 구현예에 따른 질산화조를 도 2에 나타내었다. 상기 도 2에 나타난 본 발명의 질산화조는 도 1에 나타난 종래의 질산화조와 마찬가지로 하폐수가 유입되어 질산화 박테리아에 의해 암모늄을 질산염으로 산화시키고, 이를 후단의 탈질조에서 탈질 미생물을 통해 N_2 로 환원시킨다. 다만 상기 본 발명의 질산화조는 독립영양 미세조류가 광합성으로 산소를 생산하기 때문에 공기 폭기 수단을 따로 구비하지 않는다. 또한, 선택적으로 교반기를 구비함으로써 내부의 하폐수 및 이에 배양되는 미세조류와 박테리아를 완속교반 할 수 있다. 공기 중의 이산화탄소는 질산화조 내에 용해되어 상기 미세조류의 무기탄소원으로 이용될 수 있다. 질산화조 및 탈질조에서 처리된 하폐수는 영양염류가 제거된 상태의 처리수로 후단 공정으로 이송될 수 있다.

[0042] 본 발명의 제2양태는 하폐수 처리 장치로, 하폐수가 유입되는 호기성 반응조; 상기 호기성 반응조와 연결되어 호기성 반응조에서 처리된 하폐수가 유입되는 혐기성 반응조; 상기 혐기성 반응조와 연결되어 혐기성 반응조에서 처리된 하폐수가 유입되는, 상기 제1양태의 질산화조; 상기 질산화조와 연결되어 질산화조에서 처리된 하폐수가 유입되는 탈질조; 및 상기 탈질조에 연결되어 하폐수의 고형물, 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아를 응집시켜 반송하는 침전조를 포함한다.

[0043] 상기 질산화조 및 탈질조는 앞서 제1양태에서 설명한 바와 같다.

[0044] 본 발명의 일 구현예에 따른 하폐수 처리 장치에 관한 개요도를 도 4에 나타내었다. 일반적으로 하폐수는 유기물과 영양염류(특히 암모니아성 질소)를 고농도로 함유하므로, 일반적으로 호기성 반응조 및 혐기성 반응조를 거쳐 유기물을 제거한다. 그 후 유기물이 제거된 하폐수를 대상으로 하여 질산화조 및 탈질조에서 각각 질산화 공정 및 탈질 공정을 수행하여 영양염류를 제거한다. 이때, 질산화 공정을 유도하기 위해서는 유기물이 제거된 상태임이 바람직하므로, 통상 유기물 제거를 위한 호기성 반응조 및 혐기성 반응조가 질산화조 전단에 위치할 수 있다. 다만, 상기 호기성 반응조 및 혐기성 반응조의 배치 순서(즉 처리 순서) 및 장치의 개수는 변경될 수 있으며, 이는 하폐수의 성상에 따라 당업자가 적절히 변경할 수 있는 것으로 특별히 제한되는 것은 아니다.

[0045] 상기 침전조는 바이오매스 수확용 스크린을 구비할 수 있다. 상기 바이오매스 수확용 스크린을 통해 잉여 미세조류와 박테리아가 바이오매스로 수득될 수 있다. 또는 상기 바이오매스 수확용 스크린을 통해 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아를 침전시켜 공정 전단으로 반송(RAS : Return Active Sludge)함으로써 이를 질산화조에 재사용할 수 있다. 침전조를 통과한 처리수는 미세조류 및 박테리아와 함께 반송되거나 최종적으로 방류될 수 있다.

[0046] 또한 본 발명의 하폐수 처리 장치는 공정 최전단에 위치하며, 하폐수의 pH를 조절하는 전처리조를 더 포함할 수 있다.

[0047] 상기 전처리조, 호기성 반응조, 혐기성 반응조, 탈질조, 및 침전조는 종래의 하폐수 처리 시스템에서 사용되는 것과 동일한 것이므로, 이에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0048] 본 발명의 제3양태는 상기 제1양태의 질산화조를 이용하여 하폐수를 처리하는 방법으로서, 유기물이 제거되고 영양염류가 포함된 하폐수를 상기 질산화조에 유입시키는 제1단계; 및 상기 질산화조 내 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아를 이용하여 질소와 인을 제거하는 제2단계를 포함하며, 상기 독립영양 미세조류가 광합성으로 생산한 산소를 상기 질산화 박테리아가 소비함으로써, 별도의 폭기를 필요로 하지 않는다.

[0049] 상기 제1단계는 유기물이 제거되고 영양염류가 포함된 하폐수의 영양염류를 처리하기 위해 질산화조에 유입하는 단계이다. 앞서 설명한 바와 같이, 질산화를 수행하기 위해서는 질산화조에 유입되는 하폐수 내의 유기물이 제거된 상태임이 바람직하며, 따라서 이는 전단 공정인 호기성 반응조 및 혐기성 반응조를 통해 제거될 수 있다.

[0050] 상기 제2단계는 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아의 공생을 이용하여 하폐수 내 질소 및 인을 포함하는 영양염류를 제거하는 단계이다. 질산화 박테리아는 암모니아성 질소를 질산성 질소로 산화시킬 수 있으며, 이와 동시에 독립영양 미세조류는 광합성을 통하여 암모니아성 질소, 질산성 질소 및 인을 제거할 수 있다. 이때, 질산화 박테리아가 질산화에 필요한 산소는 독립영양 미세조류의 광합성을 통해 충당될 수 있으며, 또한 독립영양 미세조류가 소비하는 질산성 질소는 질산화 박테리아를 통해 충당될 수 있다.

발명의 효과

[0051] 본 발명은 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아가 공생하는 질산화조로서 소폭의 개선만으로 공기 폭기가 필요 없는 질산화 공정을 구현할 수 있어 경제적이다. 나아가 추가적인 유기물의 공급 없이도 공정 운전이 가능하며, 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아가 함께 영양염류를 소비함으로써 높은 영양염류 처리 효과를 나타낸다.

도면의 간단한 설명

[0052] 도 1은 질산화조 및 탈질조에 관한 종래의 생물학적 처리방법의 개요도이다.
 도 2는 본 발명의 일 구현예에 따른 질산화조 및 탈질조에 관한 개요도이다.
 도 3은 본 발명의 일 구현예에 따른 질산화조 내의 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아간의 공생관계를 나타낸 개요도이다.
 도 4는 본 발명의 일 구현예에 따른 하폐수 처리 장치에 관한 개요도이다.
 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 회분식 운전장치의 배양 운전을 나타낸 사진도이다.
 도 6은 본 발명의 비교예 1에 따른 독립영양 미세조류 단독 조건에서의 영양염류 제거능에 대한 결과이다.
 도 7a는 본 발명의 비교예 2에 따른 질산화 박테리아 단독 조건에서의 영양염류 제거능에 대한 결과이다.
 도 7b는 본 발명의 비교예 2에 따른 질산화 박테리아 단독 조건에서의 질산화 질량 평형에 관한 결과이다.
 도 8a는 본 발명의 실시예 1에 따른 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아 공생 조건에서의 영양염류 제거능에 대한 결과이다.
 도 8b는 본 발명의 실시예 1에 따른 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아 공생 조건에서의 질산화 질량 평형에 관한 결과이다.
 도 9는 본 발명의 비교예 1, 비교예 2 및 실시예 1에 있어서 이들 각각의 DO 농도 변화를 측정한 결과이다.
 도 10a는 본 발명의 실시예 2 내지 4에 있어서 이들 각각의 미세조류 Cell density의 변화를 측정한 결과이다.
 도 10b는 본 발명의 실시예 2 내지 4에 있어서 이들 각각의 미세조류 OD의 변화를 측정한 결과이다.
 도 11은 본 발명의 실시예 2(10:1)에 따른 영양염류 제거능에 대한 결과이다.
 도 12는 본 발명의 실시예 3(10:2)에 따른 영양염류 제거능에 대한 결과이다.
 도 13은 본 발명의 실시예 4(10:10)에 따른 영양염류 제거능에 대한 결과이다.
 도 14는 본 발명의 실시예 2 내지 4에 있어서 이들 각각의 DO 농도 변화를 측정한 결과이다.
 도 15는 본 발명의 실시예 2 내지 4에 있어서 이들 각각의 잔류 질소 및 제거된 질소의 양을 나타낸 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0053] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세하게 설명하기로 한다. 이들 실시예는 단지 본 발명을 예시하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되는 것으로 해석되지는 않는다.

[0054] 실시예 1: 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아가 공생하는 질산화조의 운전

[0055] 본 발명의 일구체예에 따른 질산화조를 실험실 규모의 회분식 운전장치로 구성하여 다음과 같이 운전하였다.

[0056] 먼저, 독립영양 미세조류로는 *Scenedesmus* sp.(뿔목말 속) 중 *Scenedesmus dimorphus*를 선정하여 KCTC(한국생명공학연구원)에서 분양받아 사용하였다. 운전에 사용하기 전에 상기 미세조류를 전배양하여 이를 활성화시켰다.

[0057] 질산화 박테리아로는 일반적으로 질산화조에서 사용되는, 질산화 박테리아가 포함된 활성 슬러지를 사용하였다.

상기 활성 슬러지는 수원 하수 종말 처리장의 폭기조에서 이용되고 있는 슬러지를 사용하였다.

[0058] 운전에 사용하는 인공하수는 수정된 볼드 기초배지(Bold's basal medium)를 이용하였으며, 구체적으로 이의 성분은 NH_4^+ 50 mg-N/L, NO_3^- 50 mg-N/L, PO_4^{3-} 15 mg-P/L, NaHCO_3 0.5 g-C/L이었다.

[0059] 상기 준비된 독립영양 미세조류, 질산화 박테리아 및 인공하수를 회분식 운전장치에 적용하고, 2L의 작업부피로 수행하였다. 이때, 질산화 박테리아와 독립영양 미세조류는 건조 중량 기준으로 질산화 박테리아 : 독립영양 미세조류 = 10 : 0.5가 되도록 적용(접종)하였다. 독립영양 미세조류의 광합성을 위한 광량은 $70 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 하였으며, 광주기(Light:Dark Cycle)=24:0으로 하였고, 항온 인큐베이터를 이용하여 온도를 25℃로 유지하고, 초기 pH는 7 내지 8을 유지하였다.

[0060] 상기 회분식 운전장치를 150 rpm으로 교반하면서 8일간 배양 및 운전하였다.

[0061] 실시예 2 내지 4: 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아의 접종 비율을 달리한 질산화조의 운전

[0062] 상기 실시예 1에 기재된 방법과 동일하게 질산화조를 구성하여 운전하되, 질산화 박테리아 : 독립영양 미세조류는 건조 중량 기준으로 10:1 (실시예 2), 10:2 (실시예 3), 10:10 (실시예4)으로 각각 변경하여 운전하였다. 이러한 회분식 실험 장치를 도 5에 나타내었다.

[0063] 비교예 1: 독립영양 미세조류만을 단독 적용한 운전

[0064] 상기 실시예 1에 기재된 방법과 동일하게 질산화조를 구성하여 운전하되, 질산화 박테리아는 제외한 *Scenedesmus dimorphus*만을 회분식 운전장치에 적용하여 운전하였다. 상기 *Scenedesmus dimorphus*는 실시예 1과 동일한 양으로 접종하였다.

[0065] 비교예 2: 질산화 박테리아만을 단독 적용한 운전

[0066] 상기 실시예 1에 기재된 방법과 동일하게 질산화조를 구성하여 운전하되, 독립영양 미세조류는 제외한 질산화 박테리아만을 회분식 운전장치에 적용하여 운전하였다. 이때, 질산화 박테리아의 대사를 위하여 운전 동안 0.1 vvm의 폭기를 함께 수행하였다.

[0067] 실험예 1: 독립영양 미세조류 단독, 질산화 박테리아 단독 또는 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아의 공생에 있어서의 영양염류 제거능 분석

[0068] 독립영양 미세조류 단독, 질산화 박테리아 단독 또는 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아의 공생의 경우에 대한 영양염류 제거능을 파악하기 위해, 실시예 1 및 비교예 1 내지 2 각각의 배양 운전에 대하여 분석을 수행하였다.

[0069] 구체적으로 각각의 배양 배치에 대하여 운전 기간 동안 NH_4^+ -N, NO_3^- -N, NO_2^- -N, PO_4^{3-} -P를 측정했으며, 수질분석 Kit법을 이용하여 Water Analyzer(model HS-3300, HUMAS, Inc.)로 분석하였다.

[0070] 1.1. 독립영양 미세조류 단독(비교예 1)의 경우

[0071] 독립영양 미세조류 단독 조건인 비교예 1의 영양염류 제거능의 결과를 도 6에 도시하였다.

[0072] 도 6에 나타난 바와 같이, 먼저, 0~2일의 경우 전배양을 통한 활성상태의 미세조류를 적용했음에도 질소와 인에 대한 소비가 상당히 적음을 볼 수 있다. 이는 미세조류의 초기 OD(optical density)값이 0.03으로 매우 낮았기 때문인 것으로 판단된다.

[0073] 2~6일의 경우, 미세조류는 질소원으로 NH_4^+ -N를 10.5 mg-N/L/d의 속도로 우선적으로 소비함이 관찰되었고, 인

($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 역시 1.5 mg-P/L/d의 속도로 꾸준히 소비됨을 확인할 수 있었다. 그러나, 후술할 미세조류 및 박테리아 공생조(실시예 1)의 경우와 비교하여 질소와 인의 제거속도가 1.5~2배 가량 느린 것으로 나타났다.

[0074] 6~8일의 경우, 6일 시점에서 무기탄소 고갈로 인해, 광합성 대사가 중지됨에 따라 미세조류의 성장이 멈추면서 질소와 인이 거의 소비되지 않는 것을 확인하였다. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 이 고갈되면 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 소비가 이루어져야 하지만, 무기탄소 고갈의 영향으로 소비되지 않고 유지됨을 볼 수 있다.

[0075] 1.2. 질산화 박테리아 단독(비교예 2)의 경우

[0076] 질산화 박테리아 단독 조건인 비교예 2의 영양염류 제거능의 결과를 도 7a 및 도 7b에 도시하였다.

[0077] 도 7a에 나타난 바와 같이, 질산화 박테리아 단독 조건의 경우, 운전 기간 동안 거의 일정한 거동을 나타내었다. 구체적으로, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 은 4 mg-N/L/d의 속도로 느리게 소비되었으며, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 는 거의 소비되지 않음을 볼 수 있다. 그리고 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 이 약 8 mg/L까지 계속 증가하였는데, 이는 NOB (Nitrite Oxidizing Bacteria)의 활성에 문제가 있었음을 의미한다. NOB의 활성에 문제가 생긴은, AOB(Ammonia Oxidizing Bacteria)와 산소경쟁을 함으로써, AOB의 더 높은 활성으로 NOB의 활성이 저해를 받은 것으로 판단된다.

[0078] 한편, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 소비에 대한 질산화 질량 평형(Mass Balance)인 도 7b에 나타난 바와 같이, 8일의 운전기간 동안 박테리아가 소비한 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 은 모두 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 및 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 으로 생성되어, 질량 평형이 잘 맞음을 확인할 수 있다.

[0079] 1.3. 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아 공생(실시예 1)의 경우

[0080] 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아 공생 조건인 실시예 1의 영양염류 제거능의 결과를 도 8a 및 도 8b에 도시하였다.

[0081] 먼저 0~2일의 경우, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 은 9 mg/L가 소비되고, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 과 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 은 각각 7.5 mg/L 및 1 mg/L가 생성되었다. 즉, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 대부분이 박테리아 질산화에 사용된 것이며, 아직 미세조류의 활성은 없다는 것을 확인하였다.

[0082] 2~5일의 경우, 미세조류와 박테리아에 의해 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 이 활발히 소비(12.3 mg/L/d)되었으며, 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 역시 1.8 mg-P/L/d의 속도로 소비되었다.

[0083] 한편 미세조류에 의한 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 소비로 인하여, 도 8b에 나타난 바와 같이, 질산화 질량 평형이 전혀 맞지 않게 됨을 확인할 수 있다 (빗금친 점선 영역은 미세조류에 의해 소비된 영역으로, 총 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 약 65%가 이에 해당됨).

[0084] 실험예 2: 독립영양 미세조류 단독, 질산화 박테리아 단독 또는 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아의 공생에 있어서의 용존산소(DO) 농도 변화 분석

[0085] 독립영양 미세조류 단독(비교예 1), 질산화 박테리아 단독(비교예 2), 독립영양 미세조류 및 질산화 박테리아 공생(실시예 1)의 경우 각각에 대하여 운전 기간 동안의 DO 농도 변화를 측정하여 이를 도 9에 나타내었다.

[0086] 0.1 vvm의 폭기를 수행한 질산화 박테리아 단독(비교예 2)의 경우, 질산화에 따라 DO 농도가 감소하지 않고 꾸준히 유지되었다. 이는, 앞서 실험예 1.2.에서 살펴본 바와 같이, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 이 4 mg-N/L/d의 속도로 느리게 질산화가 이루어졌기 때문으로 판단된다.

[0087] 독립영양 미세조류 단독(비교예 1)의 경우, 폭기 없이 오직 광합성만으로 DO가 9 mg/L까지 과포화 되었으나, 무기탄소 고갈 이후 급격히 감소함을 확인하였다.

[0088] 한편, 미세조류 및 질산화 박테리아 공생(실시에 1)의 경우 별도의 폭기 없이도 미세조류의 광합성에 의해 DO가 계속 유지되었으며, 상기 비교예 1의 경우보다 더욱 활발한 질산화가 이루어졌음에도 DO가 점점 상승하여 9 mg/L까지 과포화되었다. 따라서, 이를 통해 별도의 폭기 없이 질산화조 운전 수행이 가능함을 확인하였다.

[0089] 상기 실험예 1 및 실험예 2의 종합적인 결과를 아래의 표 1에 정리하여 나타내었다.

표 1

	비교예 1	비교예 2	실시에 1
NH_4^+-N 제거율 (mg-N/L/d)	10.5	5.6	12.3
NO_3^--N 제거율 (mg-N/L/d)	-	-	4
제거된 총 질소 (mg-N)	42	34	54
$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 제거율 (mg-P/L/d)	1.5	0.1	1.8
제거된 총 인 (mg-P)	6	0.6	7.2

[0091] 상기 표 1에 나타난 바와 같이, 질소원(NH_4^+-N , NO_3^--N , NO_2^--N) 제거 속도 및 제거량의 경우 실시에 1에 따른 공생 조건이 다른 단독 조건에 비해 현저히 우수함을 확인할 수 있다.

[0092] 또한, 인($\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$) 제거속도 및 제거량의 경우 공생 조건(실시에 1)이 미세조류 단독 조건(비교예 1)과 비슷하였으나, 박테리아 단일 조건(비교예 2)에 비해서는 월등히 빠르고 높은 것을 확인하였다.

[0093] 결론적으로, 비교예 2와 같은 조건의 종래 하폐수 고도처리의 질산화조를 고려해 보았을 때, 본 발명에 따른 공생 조건을 통해 하폐수 고도처리능을 향상시키고 운전 비용을 절감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

[0094] 실험예 3: 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아의 접종 비율에 있어서의 미세조류 성장량의 변화

[0095] 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아의 접종 비율을 달리한 공생의 경우에 있어서 미세조류의 성장량 변화를 살펴보기 위해, 실시에 2 내지 4 각각의 배양 운전에 대하여 분석을 수행하였다.

[0096] 구체적으로 운전기간 동안 매일 시료를 채취하여 시료 내 미세조류의 Cell density 및 OD를 측정하였다. Cell density는 Hemocytometer를 사용하여 측정했으며, OD는 시료가 침전되지 않도록 충분히 흔들어 섞어준 다음 660 nm 파장에서 UV spectrometer (model Optizen POP, Mecasys Co., Ltd)를 사용하여 측정하였다. 그 결과를 도 10a 및 도 10b에 나타내었다.

[0097] 도 10a 및 도 10b에 나타난 바와 같이, 질산화가 활발히 일어나는 2.5일 시점 까지는 실시에 2 및 3에 대하여 대체적으로 미세조류의 성장이 저조하였다. 그러나 실시에 4의 경우에는 박테리아의 비율이 상대적으로 낮았기 때문에 미세조류가 상대적으로 영향을 덜 받은 것으로 보인다. 한편, 암모늄이 고갈된 2.5일 이후부터는 10:2 접종 조건(실시에 3)에서 미세조류가 가장 빠른 속도로 성장하였다. 10:10 접종 조건(실시에 4)에서는 박테리아의 비율이 가장 낮음에도 불구하고 초기 접종한 미세조류의 양 자체가 많았기 때문에 성장률이 낮게 나타난 것으로 판단되었다.

[0098] 상기와 같은 미세조류 평균 성장률을 아래의 표 2에 나타내었다.

표 2

	실시에 2(10:1)	실시에 3(10:2)	실시에 4(10:10)
성장률 (d^{-1})	0.11	0.14	0.06

[0100] 실험예 4: 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아의 접종 비율에 있어서의 영양염류 제거능 분석

[0101] 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아의 접종 비율을 달리한 공생의 경우에 있어서 영양염류 제거능을 살펴보기 위해, 실시에 2 내지 4 각각의 배양 운전에 대하여 분석을 수행하였다. 구체적으로는 상기 실험예 1과 동일하게

수행하였다.

4.1. 질산화 박테리아 : 독립영양 미세조류 = 10 : 1 (실시예 2)의 경우

실시예 2의 접종 비율에 따른 영양염류 제거능의 결과를 도 11 및 하기 표 3에 나타내었다.

표 3

	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$
제거율 (mg/L/d)	20 (7.2 [*])	5.3	0.4
제거량 (mg)	50	26	3
잔류량 (mg)	0	55	12

* 미세조류에 의한 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 소비속도 계산 값

미세조류와 박테리아에 의해 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 이 활발히 소비(20 mg/L/d)되었으며, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 이 질산화로 인해 약 32 mg/L 생성되었고, 이는 상대적으로 박테리아의 비율이 높기 때문에 질산화가 더 활발히 이루어졌음을 나타낸다.

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 이 고갈된 이후에는 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 이 5.3 mg-N/L/d의 속도로 소비되었다. 질산화 비율이 68%로 매우 높아 미세조류가 소비하는 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 의 양이 적었음에도 불구하고 미세조류의 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 소비속도는 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 소비속도보다 높았다.

4.2. 질산화 박테리아 : 독립영양 미세조류 = 10 : 2 (실시예 3)의 경우

실시예 3의 접종 비율에 따른 영양염류 제거능의 결과를 도 12 및 하기 표 4에 나타내었다.

표 4

	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$
제거율 (mg/L/d)	20 (8.8 [*])	6.2	0.4
제거량 (mg)	50	31	3
잔류량 (mg)	0	47	12

* 미세조류에 의한 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 소비속도 계산 값

미세조류와 박테리아에 의해 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 이 활발히 소비(20 mg/L/d)되었으며, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 이 질산화로 인해 약 28 mg/L 생성되었다. 도 12에 나타난 바와 같이, 박테리아의 비율이 상대적으로 높음에 따라 소비된 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 의 질량평형 중 질산화의 비율이 높음을 확인할 수 있다.

한편, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 이 고갈된 이후에는 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 이 6.2 mg-N/L/d의 속도로 소비되었으며, 소비되지 않은 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 의 양은 후술할 실시예 4의 조건에 비해 1.3배 정도 많았다. 이는, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 가 질산화로 인해 실시예 4에 비해 더 많이 생성되었지만, 미세조류 개체 수는 실시예 4에 비해 더 적었기 때문인 것으로 판단된다.

4.3. 질산화 박테리아 : 독립영양 미세조류 = 10 : 10 (실시예 4)의 경우

실시예 4의 접종 비율에 따른 영양염류 제거능의 결과를 도 13 및 하기 표 5에 나타내었다.

표 5

	NH_4^+-N	NO_3^--N	$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$
제거율 (mg/L/d)	20 (11.6*)	7.1	0.4
제거량 (mg)	50	35	3
잔류량 (mg)	0	37	12

* 미세조류에 의한 NH_4^+-N 소비속도 계산 값

미세조류와 박테리아에 의해 NH_4^+-N 이 활발히 소비(20 mg/L/d)되었으며, NO_3^--N 이 질산화로 인해 약 21 mg/L 생성되었다. 인($\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$) 역시 꾸준히 소비(0.4 mg-P/L/d)됨을 볼 수 있다.

한편, NH_4^+-N 이 고갈된 이후에는 NO_3^--N 이 7.1 mg-N/L/d의 속도로 소비되었으나, NH_4^+-N 의 소비 속도에는 미치지 못하였다.

실험예 5: 독립영양 미세조류와 질산화 박테리아의 접종 비율에 있어서의 용존산소(DO) 농도 변화 분석

독립영양 미세조류와 질산화 박테리아의 접종 비율을 달리한 공생의 경우에 있어서 용존산소 농도 변화를 살펴 보기 위해, 실시예 2 내지 4 각각의 배양 운전에 대하여 분석을 수행하였다. 구체적으로는 상기 실험예 2과 동일하게 수행하였다. 그 결과를 도 14에 나타내었다.

상기 도 14에 나타난 바와 같이, 모든 조건, 즉 실시예 2 내지 4에 있어서 추가적인 공기 폭기 없이도 오직 미세조류의 광합성 만으로 DO가 충분하게 유지됨을 볼 수 있다. 한편 10:1 접종비(실시예 2)에서는 운전 초기에 질산화로 인해 DO가 4 mg/L까지 감소하여, 운전 초기에 가장 큰폭으로 감소되었다. 그러나, 전반적으로 모든 조건에 있어서 초기에 DO가 감소하다가 서서히 회복되어 포화값인 8.3 mg/L 수준으로 안정적으로 유지됨을 확인하였다.

박테리아와 미세조류의 접종 비율을 달리한 상기 실험예 3 내지 5의 전반적인 결과를 도 15 및 하기 표 6에 나타내었다.

표 6

	실시예 2	실시예 3	실시예 4
NH_4^+-N 제거율 (mg-N/L/d)	20	20	20
NO_3^--N 제거율 (mg-N/L/d)	5.3	6.2	7.1
$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 제거율 (mg-P/L/d)	0.4	0.4	0.4
미세조류 성장률 (d^{-1})	0.11	0.14	0.03

접종된 미세조류의 비율이 높을수록, 즉 실시예 2에서 실시예 4로 갈수록 질소 제거량이 높았고, 처리수 내에 남아있는 질소의 양도 적었다. 이는 미세조류의 비율이 높은 조건일수록 질산화가 상대적으로 덜 일어나게 되어 생성되는 NO_3^--N 의 양도 적을 뿐 아니라, 미세조류의 절대적인 개체수도 많기 때문에 질소가 빠르게 제거되기 때문이다.

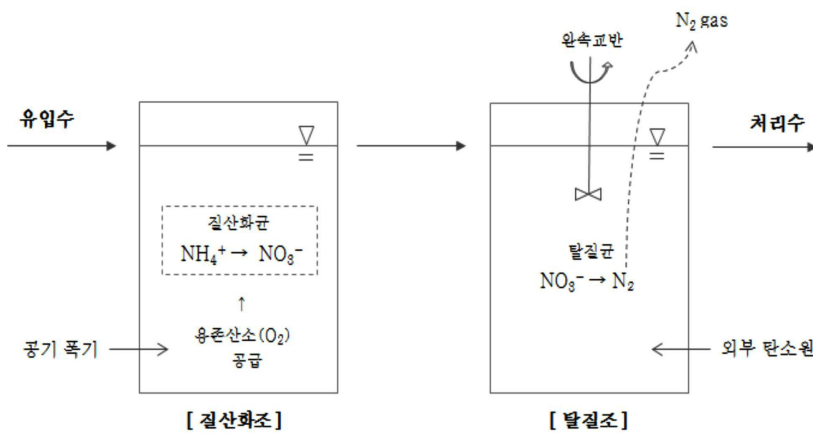
한편 박테리아의 비율이 상대적으로 가장 낮은 실시예 4의 경우, 미세조류의 성장률이 가장 낮음을 확인할 수 있었다. 일반적으로 박테리아의 비율이 낮을수록 미세조류의 성장률이 높아야 하나, 10:10 조건인 실시예 4의 경우 접종한 미세조류의 농도 자체가 높아서 그늘 효과(shading effect)가 빠르게 나타났기 때문으로 사료된다.

[0127] 한편, 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 제거 측면에 있어서는 박테리아와 미세조류의 접종 비율 변화에 따른 차이가 특별히 나타나지 않았다.

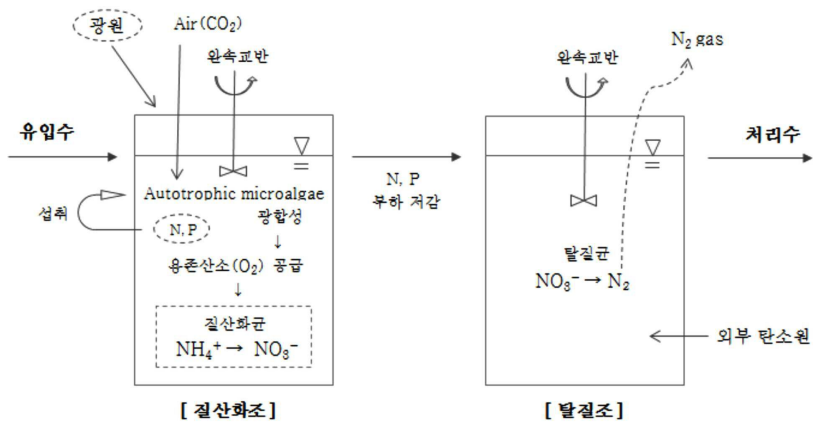
[0128] 전반적인 결과를 살펴보았을 때, 실시예 3에 따른 10:2의 접종 비율 조건이 질소원($\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$) 및 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 제거속도가 전반적으로 우수하고, 미세조류 성장률도 가장 높으며, 나아가 10:10의 접종 비율 조건에 비해 더 적은 양의 미세조류가 사용되어 더 경제적인 이점이 있다.

도면

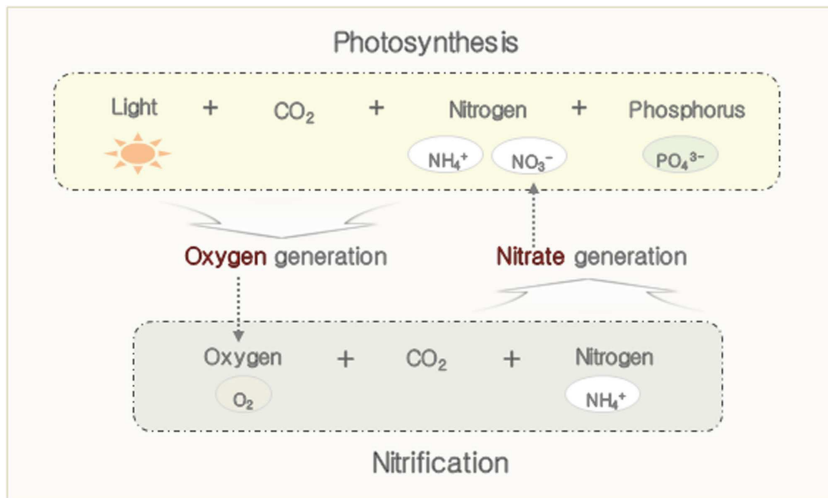
도면1



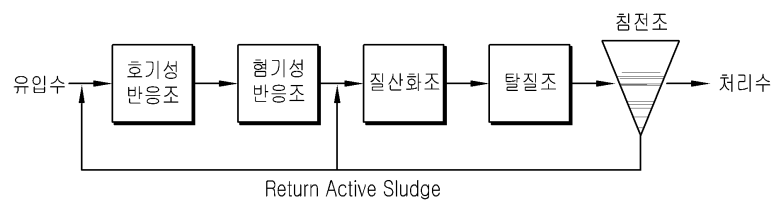
도면2



도면3



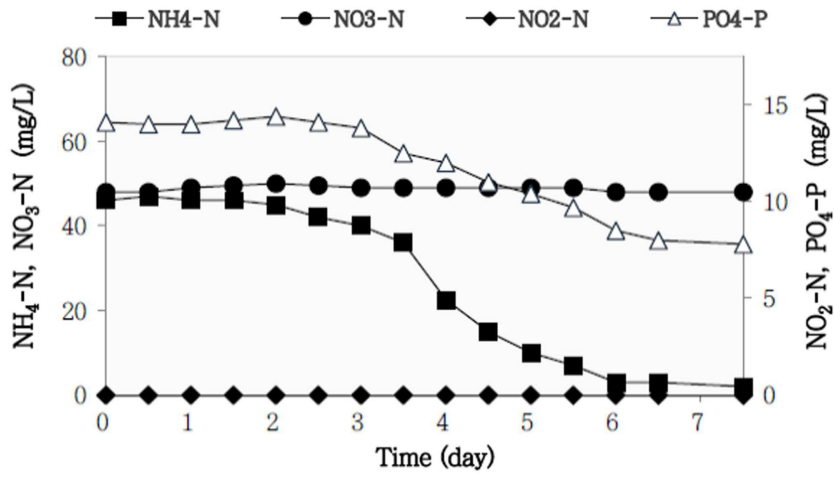
도면4



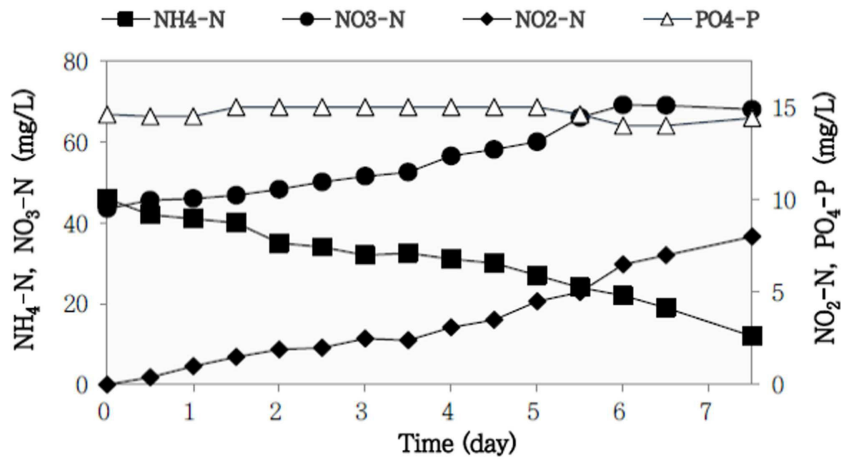
도면5



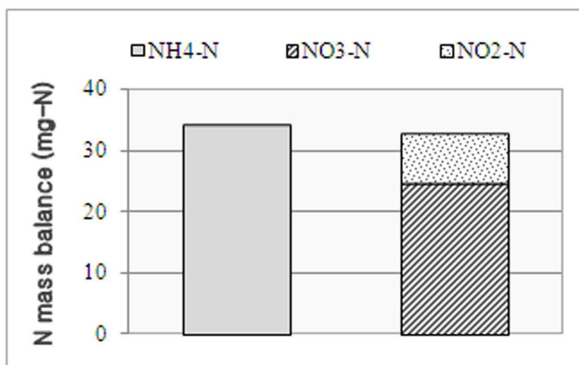
도면6



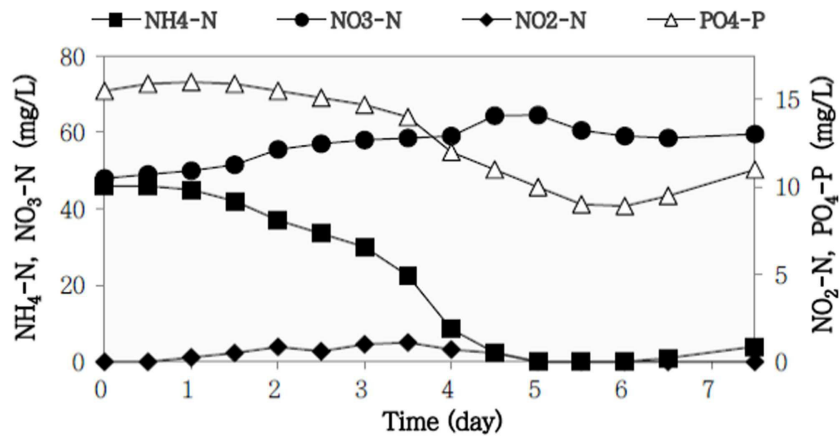
도면7a



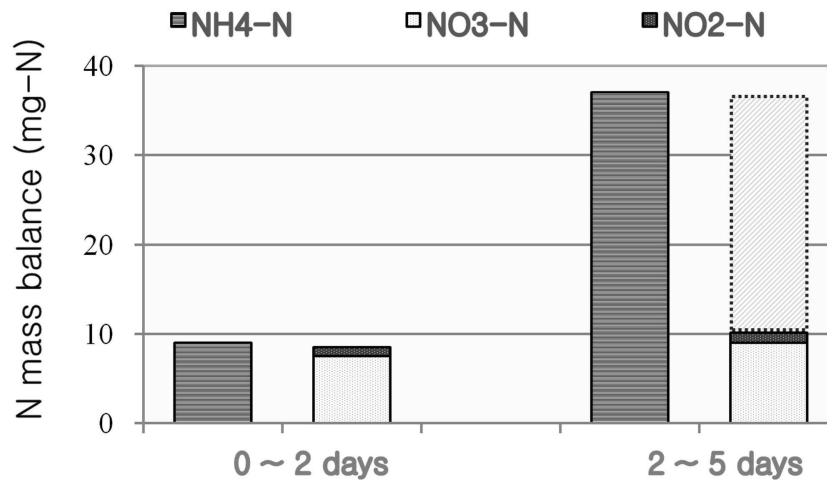
도면7b



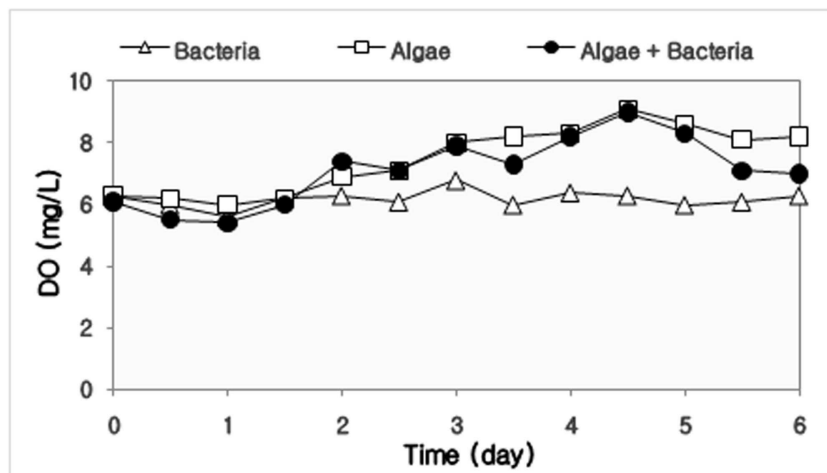
도면8a



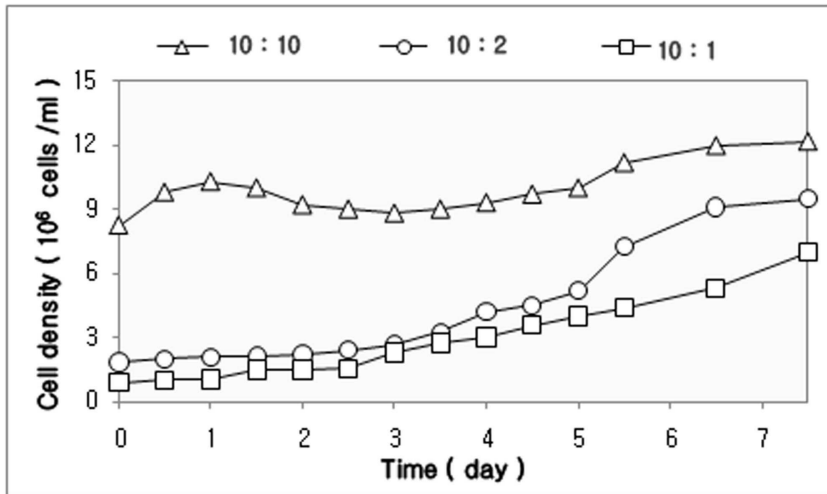
도면8b



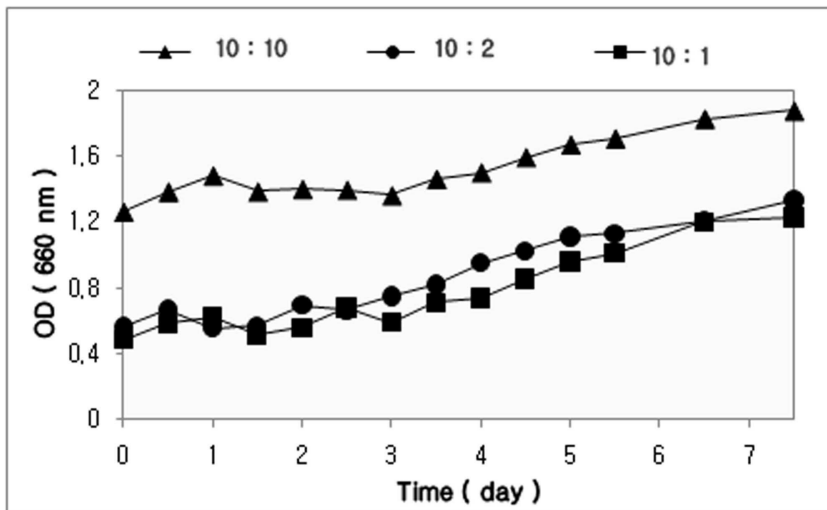
도면9



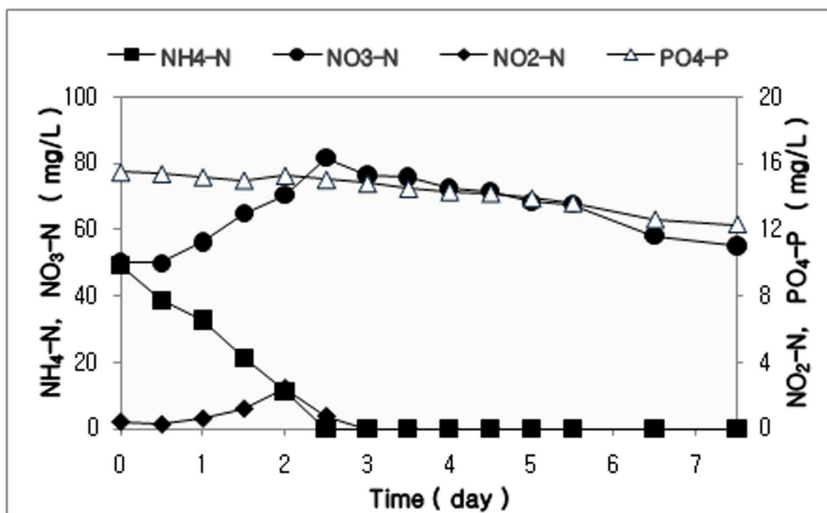
도면10a



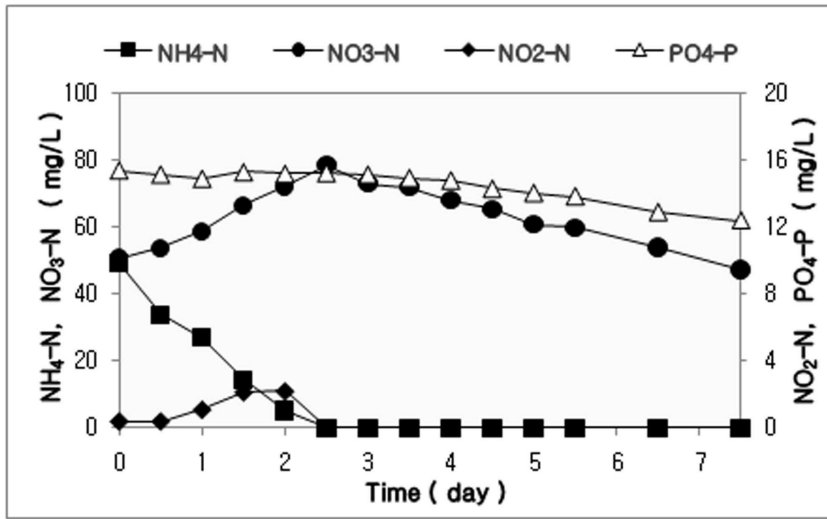
도면10b



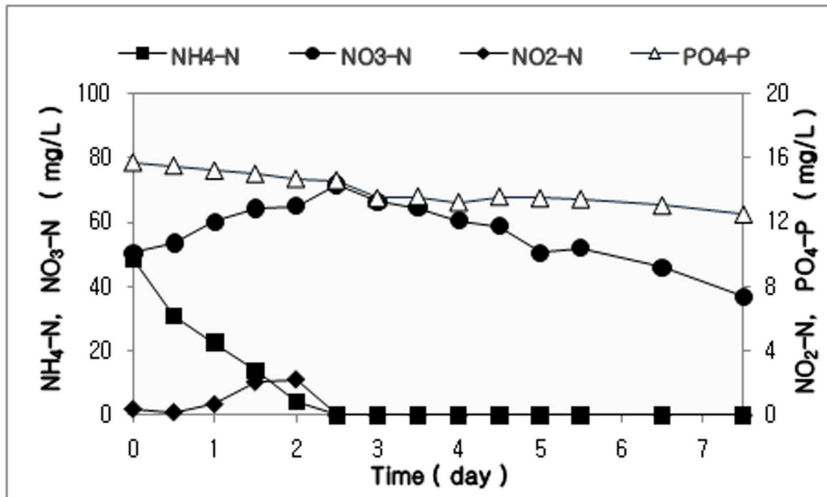
도면11



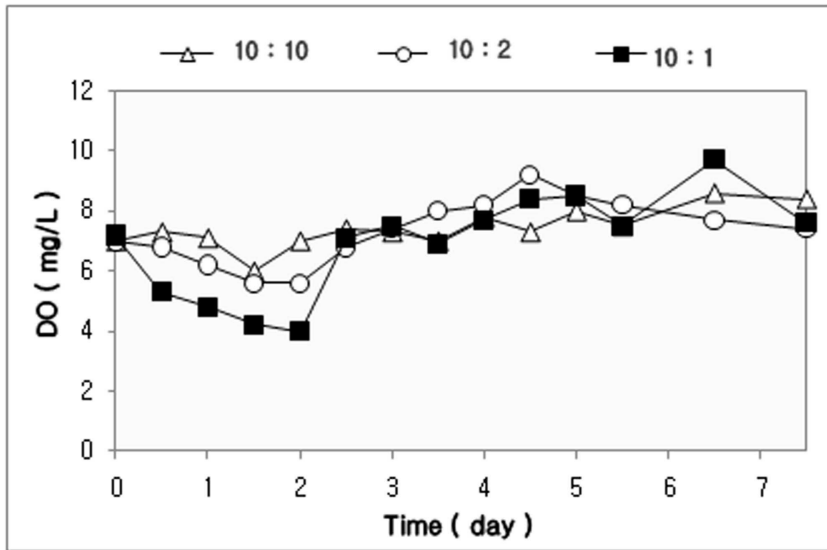
도면12



도면13



도면14



도면15

