

# MLSS와 미세조류가 광합성 산소기반 질산화에 미치는 영향

이지원·길경익<sup>†</sup>

서울과학기술대학교 건설시스템공학과

## Effect of MLSS and Micro-algae on Nitrification based Photosynthetic Oxygen

Jiwon Lee·Kyungik Gil<sup>†</sup>

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea

(Received : 22 March 2017, Revised: 10 November 2017, Accepted: 10 November 2017)

### 요약

부영양화로 인한 녹·적조류가 과잉 번식하여 다양한 환경문제를 야기해왔으나, 최근 조류를 에너지원으로 활용할 수 있는 바이오 디젤 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 하수처리장의 산소공급을 위한 송풍에너지 절약을 위해 미세조류의 광합성 작용으로 발생하는 산소를 하수처리장에 적용시키는 연구도 다양하게 이루어지고 있다. 본 연구에서는 조류광합성 산소를 질산화에 필요한 산소로 활용하고자 실험실 규모의 조류-질산화 반응조를 운영하였으며, 운전구간은 크게 3구간으로 운전하였다. MLSS(Mixed Liqueur Suspended Solid) 농도에 변화를 준 구간에서 24~38%, Micro-algae 농도에 변화를 준 구간에서는 38~50%, 그리고 HRT(Hydraulic Retention Time)에 변화를 준 구간에서 61~80%의 암모니아성 질소 제거율이 나타났다. 연구결과 MLSS가 감소함에 따라, Algae Biomass가 증가함에 따라 암모니아성 질소 제거율이 증가하는 경향을 보였으나, MLSS에 의한 영향보다 Algae biomass에 의한 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

핵심어 : 광합성, 미세조류, 부영양화, 질산화, 질소

### Abstract

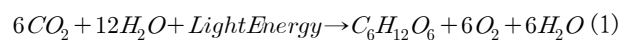
Water-bloom and red tide due to eutrophication have been overgrown and have caused various environmental problems. Recently, however, research on bio-diesel that can utilize algae as an energy source has been actively carried out. In particular, many studies variously have been conducted to utilize algal photosynthesis oxygen as a supply method for reducing the energy by an air blower in MWTP. In this study, a lab scale algae-nitrification reactor was operated to replace the oxygen required for nitrogen removal and the operation period was largely divided into three sections. In the first section, ammonia nitrogen removal efficiency was 24 ~ 38% according to the MLSS (Mixed Liqueur Suspended Solid) concentration. In the second section, ammonia nitrogen removal efficiency was 38 ~ 50% according to the micro-algae concentration and in the last section ammonia nitrogen removal efficiency was 61 ~ 80% according to HRT (Hydraulic Retention Time). As a result, as the MLSS decreased and algae biomass increased, the ammonia nitrogen removal efficiency tended to increase, but the effect of Algae biomass was greater than that of MLSS.

Key words : eutrophication, micro algae, nitrogen, nitrification, photosynthesis

## 1. 서론

우리나라 호소나 하천에서 부영양화로 인한 녹조류나 적조류가 과잉 번식하여 맑은 물 공급이 어려운 실정이며, 이에 부영양화에 의한 조류번식을 억제하기 위해 여러 가지 노력과 정책들이 진행되어왔다(Cho et al., 2016). 그러나 최근에는 이 조류를 에너지원으로 활용할 수 있는 바이오 디젤 연구(Kim et al., 2013) 등 다방면에서 조류와 관련된 연구가 활발하게

진행되고 있으며, 특히 하수처리 분야에서도 송풍에너지를 절감시키는 산소 공급 방안으로 활용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다(Lee et al 2015; Posadas et al 2014a, 2014b; Wang et al., 2010). 이는 조류의 광합성을 이용하는 것으로(식 1), 조류 광합성을 통해 발생한 산소를 하수처리에 활용하는 것이다.



국내의 경우 하수처리장 전력소비량은 16억 kWh로 이는 국내 전체 전력소비량의 약 0.5%를 차지하고 있으며, 하수처리 시 산소공급에 필요한 전력은 하수처리장 전체 전력 사용량의 약 40%로 매우 높아 조류를 이용한 산소절감이 가능하다면

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology  
E-mail: kgil@seoultech.ac.kr

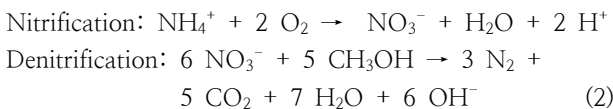
전력비 절감을 통한 하수처리장 운영비 절감이 가능할 것이다. 하지만 미세조류를 실 규모 하수처리장에 적용하기에는 아직 몇몇 한계점이 존재한다. 대표적인 문제점으로 기존의 활성슬러지 공법에 비해 수처리 시간이 길다는 문제가 있으며, 날씨와 기온에 조류의 성장과 광합성이 크게 영향을 받는다는 점이다.(Ras et al, 2013) 이러한 문제점을 해결하기 위해 유동담체에 미세조류와 박테리아를 배양하여 수처리 시간을 줄인 연구가 보고되고 있으며(Kang, 2016), 염분과 온도에 따른 연구(Kwon et al., 2011), 조류의 성장에 LED의 조건에 따른 변화 (Keiko et al., 2006; Kim and Choi., 2014; Wishkerman and Wishkerman, 2017) 등 다양한 조건에서의 미세조류 성장에 관한 연구도 수행되었다.

본 연구의 목적은 처리대상이었던 조류를 하수처리장에 활용하여, 조류제거비용뿐 아니라 하수처리 비용을 대폭 절감시키는 것이다. 따라서 본 연구에서는 미래 하수처리에 필수불가결한 이 조류를 적극적으로 활용하기 위해 기존에 문제점으로 남아있던 수처리시간을 줄이기 위한 운영인자를 찾고자 실험실 규모의 조류-질산화 반응조를 운영하였다. 실험결과를 피어슨 상관분석을 통해 살펴본 결과 MLSS (Mixed Liquer Suspended Solid)와 미세조류의 양이 질산화에 많은 영향을 끼치는 것으로 나타났으며, 향 후 조류를 활용한 하수처리장 운전인자에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. 연구방법

### 2.1 생물학적 질소제거

생물학적 질소 제거 방법에는 기존의 대표적인 방법인 질산화-탈질을 통한 질소제거에서 연구가 진보함에 따라 아질산-아탈질 공정, 최근에는 혐기성 암모늄 산화공정까지 이르게 되었다. 질산화-탈질 반응은 암모니아성 질소가 질산성질소로 산화 된 후 탈질반응을 통해 질소가스로 환원되는데, 질산성 질소로 산화되기 전 아질산성 질소의 단계를 거친다. 질산화 반응은 일반적으로 2단계로 알려져 있으며, 1단계는 암모니아성 질소가 아질산성 질소로 산화되는 단계, 2단계는 아질산성 질소가 질산성 질소로 산화되는 단계이다.



본 연구에서는 위와 같은 질산화-탈질 방식의 질소제거 방법을 사용하였고, 위 (2)식에서 볼 수 있듯이 질산화 과정에서 1개의 암모니아성 질소가 산화될 때 2개의 산소가 사용되어 지는데, 이 때 필요한 산소의 일부를 조류의 광합성 작용에서 발생하는 산소로 활용하였다.

### 2.2 연구 대상 시료

본 연구를 위한 실험실 반응조는 안정적인 조류-질산화 반

응을 유도하기 위해 합성폐수를 이용하여 운전하였다. Table 1은 반응조에 사용된 합성폐수의 성상을 나타냈으며, 합성폐수는 조류성장이 원활하게 될 수 있도록 질소성분(황산암모늄, Ammonium sulfate, 99%)과 인성분(제일인산칼륨, Potassium phosphate, monobasic, 99%)을 증류수에 녹여  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  50mg/L, TP 5mg/L로 조제하여 사용하였다. 또한 질산화 미생물의 최적 pH 범위는 7.5~8.5 사이로 발표되고 있는데(Im and Gil, 2011), 질산화로 인한 알칼리도 소비와 조류의 광합성으로 인한 pH 증가로 반응조내 pH 변화에 대한 영향을 최소화할 수 있도록 운전기간동안 알칼리도 및 pH를 확인하였고 필요시 조절하였다.

본 연구에서 사용된 조류는 M-A구간과 A-M 구간에서는 *Stigeoclonum sp.*와 *Chlorolla sorokiniana*를 혼합하여 사용하였으며, H-A 구간부터는 *Chlorella Vulgaris* 을 media에 부착시켜 사용하였다. 실험을 위해 수행된 수질 분석은 standard method에 의거하여 분석하였다(APHA, 1998).

**Table 1.** Characteristics of influent in laboratory scale Algae-Nitrification reactor.

Synthetic wastewater			
Parameter	concentration	Parameter	concentration
COD	30 mg/L	$\text{NH}_4^+-\text{N}$	50 mg/L
BOD	20 mg/L	TP	5 mg/L
TN	60 mg/L	Alkalinity	360 mg/L

### 2.3 실험실 규모 반응조

반응조는 원통형 아크릴을 이용하여 두 개를 제작-운전하였으며, 반응조 외부에 항온 수조를 두어 20°C의 온도를 유지하도록 하였다. 본 연구에서 반응조 이름은 편의상 Algae-nitrification Reactor 에서 따온 AR1 과 AR2 라고 명명하였다. Fig. 1은 운전구간 별 반응조의 구성을 모식도로 나타내었다. 운전구간은 크게 세 구간으로 구분하였으며, M-A(MLSS-Algae) 구간, A-M(Algae-MLSS)구간 그리고 H-A(HRT-Algae) 구간으로 나누었다. 특히, 운전구간 H-A에서는 두 개의 반응조 중 한 개(AR2)의 반응조에만 추가적인 산소 공급을 위해서 외부의 산소 공급 펌프를 설치 및 반응조 내부의 산기기와 연결하여 반응조 내부에 간헐적으로 산소를 공급할 수 있는 구조로 제작하였다. 이는 조류의 광합성만으로는 질산화에 필요한 산소가 부족하여 추가적인 산소 공급이 필요하기 때문이다. 또한 반응조 내부를 완전혼합상태로 유지하기 위하여 반응조 내·외부에 자석바와 교반기를 두었다.

### 2.4 Chl-a 분석

미세조류-질산화 반응조 내에는 미세조류와 질산화박테리아 등을 포함한 다양한 생물군이 함께 서식하기 때문에 미세조류의 양을 독립적으로 정량화 하는 것은 어렵다. 따라서 모든 광합성 미세조류가 공통적으로 함유하고 있는 Chlorophyll-a를

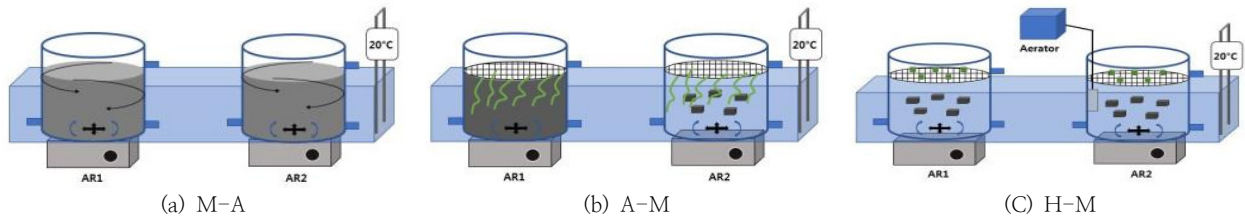


Fig. 1. Schematic diagram of laboratory scale reactor in various operating condition.

측정하여 개략적인 미세조류 바이오매스 농도를 산정할 수 있다. Raschke(1993)는 모든 조류에서 유기물의 건조한 무게중에서 약 1~2%를 차지하고 있다고 가정하여, 아래 식(3) 처럼 미세조류의 바이오매스 농도를 역산하는 방법을 제안하였다.

$$\text{Algae Biomass(mg/L)} = 100 \div 1.5 \times \text{Chl-a(mg/L)} \quad (3)$$

Chlorophyll-a는 Standard methods(2012)에서 제시된 방법을 이용하였다. 먼저, 측정할 시료를 GF/C로 여과 후, 아세톤(9+1)을 사용하여 분쇄하였다. 이 후 4°C 냉암소에서 약 하루(24시간) 정도 보관하여 꺼내어 원심분리기를 사용하여 (500g 20분간) 상등액을 채취한다. 이 후 750nm, 663nm, 645nm, 630nm 순서로 흡광도를 측정하여 나온 값을 아래 수식(4)에 대입하여 Chlorophyll-a 농도를 분석하였다.

$$\text{Chlorophyll-a(mg/ml)} = 11.64X_1 - 2.16X_2 + 0.10X_3 \quad (4)$$

$$X_1 = \text{OD}_{663} - \text{OD}_{750}$$

$$X_2 = \text{OD}_{645} - \text{OD}_{750}$$

$$X_3 = \text{OD}_{630} - \text{OD}_{750}$$

\*OD(Optical Density)

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 조류-질산화 반응조 운전조건

Table 2에서는 조류-질산화 반응조를 운전했던 운전구간별

특징들과 Algae biomass의 농도를 나타냈다. 운전구간은 크게 3구간으로 나눌 수 있으며, 각 구간별로 최적의 운전인자를 선정하기 위해 운전조건을 변화시키면서 운전하였다. 우선 M-A구간(MLSS-Algae)의 약자를 딴 구간으로, 동일한 algae 농도에서 MLSS(Algae Biomass 양 제외)농도에 따른 암모니아성 질소 제거율을 측정하였다. 운전기간은 14일이며, AR1은 MLSS 2000mg/L, AR2는 MLSS 1000mg/L로 설정하였다.

A-M 구간은 동일한 MLSS 농도에서 Algae 농도에 따른 암모니아성 질소 제거율의 변화를 보고자 하였으며, 특징으로는 조류를 mesh 망 위에 걸쳐놓은 형태로 운전을 하였으며, AR2의 경우 AR1의 MLSS 농도 1000mg/L와 동일하였으나, 질산화미생물을 media에 부착시켜 운전하였다. 20일간의 운전기간동안 AR1은 Algae Biomass가 156~160 mg/L였으며, AR2는 200~220 mg/L의 범위를 보였다.

H-A 구간은 Algae의 초기농도와 배양방식을 동일하게 하였을 때 HRT 차이와 추가 Aeration 유무로 인한 질산화율 변화를 분석하고자 하였다. H-A 구간에 Mesh 망을 적용한 점은 A-M 구간과 동일하지만, 조류배양도 media에 부착시켜 운전하였다. AR1은 HRT 3일로 조류의 순수 광합성 작용만으로 반응조를 운전한 반면, AR2는 HRT 12hr으로 운전을 하였다. 운전중 6hr은 펌프를 통한 산소공급을 하였고, 나머지 6hr은 순수 광합성 산소만으로 운전하였다. 운전결과 두 반응조 모두 Algae Biomass가 200 mg/L 이상 유지되는 것으로 보아

Table. 2 Characteristics and results of operating conditions

Period	Operating days	Reactor	Characteristics	Micro algae biomass (mg/L)	
				range	median
M-A	14	AR1	MLSS:Algae = 2000:200(mg/L) HRT 3days, SRT 20days	186.7~198.5	193.3
		AR2	MLSS:Algae = 1000:200(mg/L) HRT 3days, SRT 20days	198.5~205.4	200.3
A-M	20	AR1	Algae : mesh MLSS : suspended growth(1000mg/L) HRT 3days, SRT 20days	156.5~160.4	160.0
		AR2	Algae : mesh MLSS : Media (1000mg/L) HRT 3days	200.3~220.4	212.8
H-A	26	AR1	HRT 3days (Algae media, M:A=5:1)	200.3~213.3	206.3
		AR2	HRT 12hr (6hr Aeration) (Algae media, M:A=5:1)	200.3~209.5	205.6

Algae biomass의 손실없이 반응조가 운전되었다고 판단된다.

### 3.2 반응조 운전결과

Fig. 2는 전체 운전기간동안의 암모니아성 질소 농도변화를 나타냈다. Fig. 3는 두 반응조의 구간별 암모니아성 질소 제거율을 나타낸 것이며, M-A 구간에서 H-A 구간으로 경과됨으로서 암모니아성 질소 제거율이 향상되는 것을 확인하였다.

운전기간 1~14일인 M-A 구간의 경우 동일한 Algae 농도에 MLSS 농도를 다르게 해주었다. 이는 MLSS 농도가 증가함에 따라 질산화 미생물이 질산화에 미치는 영향과, MLSS 농도가 감소함에 따라 빛가림 현상이 줄어들면서 조류생성 및 광합성 작용이 미치는 영향을 분석하기 위함이었다. 그 결과 AR1은 15~32%, AR2는 28~49%의 암모니아성 질소 제거율을 보였다. 그 원인은 MLSS(Algae biomass 제외) 증가에 의한 질산화율은 큰 영향이 없었으며, 오히려 MLSS 감소에 의한 빛 투과도 증가로 algae가 광합성에 사용할 빛을 안정적으로 공급받아 효율이 상승한 것으로 판단된다.

운전기간 15~34일인 A-M 구간에서는 동일한 MLSS에서 Algae의 변화를 주어 암모니아성 질소 제거율을 분석하였다. 이 구간에서는 Algae biomass가 증가함에 따라 광합성에

의한 산소발생량 역시 증가하였으며, 이는 질산화에 영향을 미친것으로 판단된다. 아울러 추가적으로 두 반응조 모두 조류를 Mesh 망에 걸쳐서 운전하였으며, AR2에는 질산화 미생물을 Media에 부착하여 운전하였다. 그 결과 AR1은 29~43%, AR2는 38~50%의 암모니아성 질소 제거율을 보였다. 이는 질산화 미생물을 부착성장식으로 운전함으로 인해 SRT 조절에 의한 조류의 wash-out 현상이 감소하였으며, 빛 투과율 역시 증가하여 조류생성 및 광합성 작용이 보다 활발하게 일어난 것으로 판단하였다.

운전기간 35~60일인 H-A 구간에서는 산소발생량 증대와 질산화를 향상함으로써 안정적인 Algae biomass 확보를 하였으며, 이를 위해 조류종과 운전형태를 변경하였다. 조류종은 *Chlorella Vulgaris*를 이용하였으며, 운전 방식은 부착성장식 방법을 적용하였다. HRT 3일에 순수 조류의 광합성 작용만으로 운전한 AR1에서는 28~72%의 암모니아성 질소 제거율을 보였다. 아울러 HRT 3일은 일반적인 하수처리장에 적용시키기엔 여전히 긴 처리 시간임으로 AR2에서는 HRT 12hr을 목표로 설정하였으나, HRT 12hr을 순수 조류의 광합성산소만으로 충족하기에는 한계가 있다고 판단된다. 그 결과 암모니아성 질소 제거율은 51~90%의 범위를 보였다.

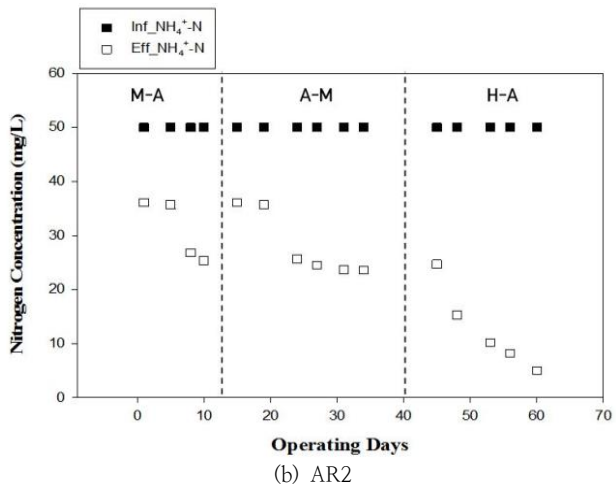
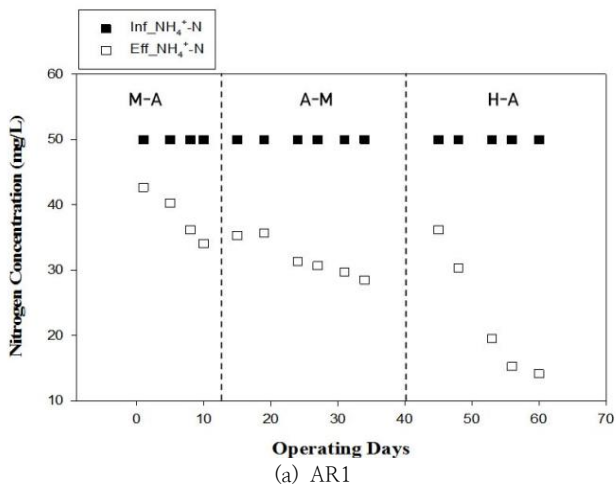


Fig. 2. Ammonium nitrogen concentration in reactors.

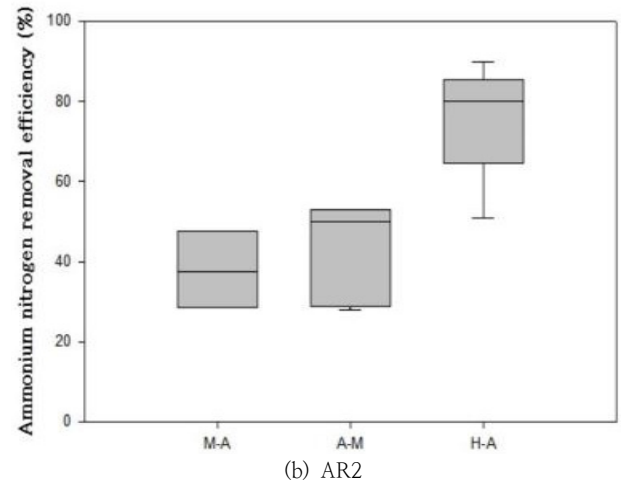
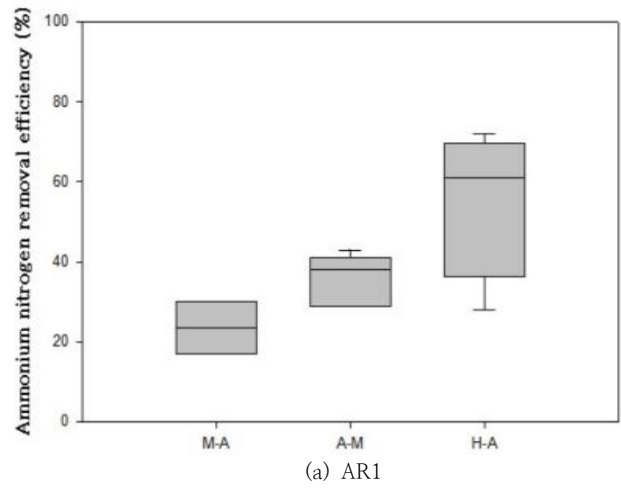


Fig. 3. Ammonium nitrogen removal efficiency in laboratory reactors.

**Table 3.** Pearson's correlation coefficients(r) of reactor

ARE	-				
MLSS:Algae	-0.631	-			
MLSS	-0.655	0.997	-		
Algae	0.980	-0.731	-0.615	-	
ALK	-0.793	-0.740	-0.786	0.970	-
	ARE	MLSS:Algae	MLSS	Algae	ALK

**3.3 피어슨 상관도 분석**

본 연구에서는 미세조류-질산화 반응조의 운전인자 중 암모니아성 질소 제거율에 영향이 큰 인자를 분석하기 위해 피어슨 상관도 분석을 수행하였다. 피어슨 상관분석이란 두 변수간의 직선적인 관련 정도를 나타내는 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 이용한 분석방법 의미한다. 피어슨 상관계수의 값은 -1부터 1까지의 범위를 지니며 양의 값일 경우 정적 상관관계, 음의 값일 경우 부적 상관관계수라 부른다. 또한 -1이나 1에 가까울수록 상호인자간의 관계가 크다고 판단할 수 있다(Baek and Gil, 2015).

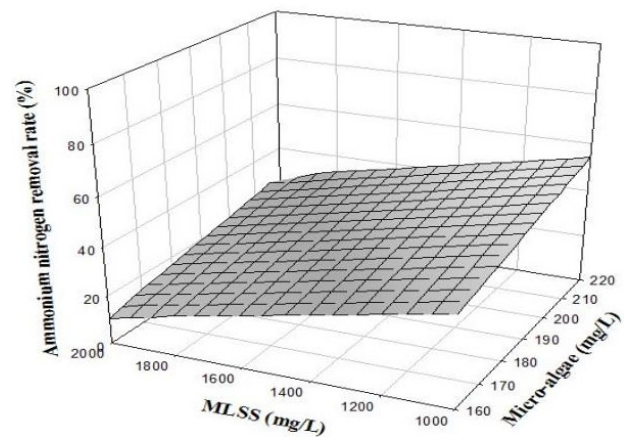
본 연구에서는 상관성 분석을 위해 ARE(Ammonium Removal Efficiency), MLSS, Algae, ALK(Alkalinity / ammonium nitrogen ratio)를 변수로 결정하였다. 그 결과 암모니아성 질소 제거율에 끼치는 영향인자 중 Algae 의 경우 0.98로 매우 높은 양의 상관관계를 가지고 있음을 확인하였다(Table 3 참조). 또한 MLSS 와 ALK 이 높은 음의 상관관계를 갖으며, Alkalinity의 경우 질산화과정에서 소모가 되므로 이와 같은 결과를 보였다고 판단하였다. 그러나 MLSS 인자의 경우는 일반적으로 질산화 미생물이 증가하면서 질산화율도 증가하는 경향이 있기 때문에 양의 상관관계가 나타날 것으로 판단하였으나, 본 연구에서 MLSS 는 ARE 와 음(-0.655)의 상관관계로 나타났다. 이에 대한 원인으로 MLSS의 증가가 질산화에 미치는 영향이 미미한 반면, MLSS 감소에 의한 Algae biomass의 증가와 조류 광합성 작용이 활발해지면서 질산화가 증가한 것으로 판단하였다.

Table 3은 조류질산화 반응조에서 암모니아성 질소 제거율에 영향에 미치는 인자를 분석하기 위해 피어슨 상관분석을 실시한 결과를 나타낸 것이다.

**3.4 MLSS와 Algae Biomass 의 상관관계 적용성 분석**

피어슨 상관도를 통하여 MLSS 와 Algae Biomass 가 암모니아성 질소 제거율과 높은 상관성이 있다는 것을 확인한 후 세 인자간의 다중상관성 분석을 실시하였다. Fig 4는 다중상관성 분석결과를 나타낸 것이며, MLSS 가 감소할수록, Algae 농도가 증가할수록 암모니아성 질소 제거율 또한 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 아울러 MLSS에 의한 암모니아성 질소 제거율보다 micro-algae에 의한 영향이 더 민감한 것으로 판단된다. 피어슨 상관분석을 통해 Algae biomass 와 암모니아성 질소 제거율간의 관계가 더 상관성이 높았던 점을 감안하였을

때, 미세조류-질산화 반응조의 안정적인 질소제거를 위해서는 MLSS 관리보다 Algae biomass의 관리가 더 필요할 것으로 판단된다.



**Fig. 4.** 3D correlation of MLSS, micro-algae and ammonium nitrogen reomoval efficiency in reactor.

**4. 결 론**

본 연구에서는 미세조류를 하수처리장에 적용할 운전인자를 찾기위한 실험을 하였으며, 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 미세조류 광합성 기반의 질산화 반응조를 약 60일간 운전한 결과 안정적인 암모니아성 질소 제거율을 나타냈다. 이를 위한 반응조 형태는 조류와 질산화 미생물을 media 형태로 배양하였으며, 조류는 mesh망에 걸쳐둠으로써 wash-out 발생을 최소화 시켰다. 그 결과 빛 투과율이 증가하여 algae biomass 가 증가하였고, 이는 안정적인 암모니아성 질소 제거율로 이어졌다.

2) 운전구간은 크게 3구간으로 나누어 운전조건을 변경해 주면서 운전인자들을 파악하였다. 그 결과 MLSS 증가에 의한 질산화율은 큰 영향은 없었으며, 오히려 MLSS 감소에 의한 빛 투과도 증가로 Algae biomass의 증가 및 광합성 작용이 활발해짐에 따라 질산화율이 증가한 것으로 나타났다. 또한 운전인자들 중 암모니아성 질소 제거율에 영향을 미치는 인자를 찾기 위해 피어슨 상관분석과 다중상관성 분석을 실시하였다. 그 결과 MLSS가 감소함에 따라, Algae 농도가 증가함에 따라 암모니아성 질소 제거율이 증가하는 경향을 보였으나, MLSS에 의한 영향보다 Algae biomass 에 의한 영향이 더

큰 것으로 나타났다.

3) 본 연구에서는 실규모 하수처리장에 적용시키기 위한 경쟁력을 확보하기 위해서 HRT 12hr를 목표로 운전하였는데, 순수 조류의 광합성을 이용한 운전으로는 한계가 있었다. 그러나 12hr 중 6hr을 추가 산소공급하여 운전한 결과, 90% 이상의 안정적인 암모니아성 질소제거율을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 하수처리장 송풍에너지를 절감할 수 있다는 것을 의미하며, 향후 조류-질산화 운전인자에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 보인다.

## 사 사

본 연구는 환경부 “글로벌 환경기술개발사업”으로 지원 받은 과제임(과제번호: 2016002190007)

## References

- American Public Health Association(2012). *Standard Methods for The Examination of Water and Waste Water*, American Public Health Association, Washington, DC
- Cho, YC, Jin SJ, Choi, HJ, Ryu, MH, Yoo, SH(2016). Estimation of the aesthetic and environmental costs of algal bloom, *J. of Environmental Policy and Administration*, 24(4), pp. 227-246. [Korean Literature]
- Choi, HJ, Lee, SM(2014). Effect of N/P Ratio on the Biomass Productivity and Nutrient Removal in the Wastewater using *Botryococcus braunii*, *Korean Society of Environment Engineers*, 36(9), pp. 609-613. [Korea literature]
- Gonzalez-Gil, G, Sougrat, R, Behzad, AR, Piet NL, Lens and Pascal ES(2015). Community Composition and Ultrastructure of Granules from a Full-Scale Anammox Reactor, *Microbial Ecology*, 70(1), pp. 118-131.
- Gutzeit, G, Lorch, D, Weber, A, Engels, M, Neis, U(2005). Biofloculent algal-bacterial biomass improves low-cost wastewater treatment, *Water Science & Technology*, 52(12), pp. 9-18.
- Husam A. Abu Hajar, R, Guy Riefler, Ben J. Stuart(2016). Anaerobic digestate as a nutrient medium for the growth of the green microalga *Neochloris oleoabundans*, *Environmental Engineering Research*, 21(3), pp. 265-275.
- Im, JY and Gil, KI(2015). Effects of the influent ammonium nitrogen concentration on nitrite accumulation in a biological nitrification process, *Environmental Earth Sciences*, 73(8), pp. 4399-4404.
- Kang, ZO, Kim, BH, Shin, SY, Oh, HM, Kim, HS(2012). Municipal Wastewater Treatment and Microbial Diversity Analysis of Microalgal Mini Raceway Open Pond, *Korean J. of Microbiology*, 48(3), pp. 192-199. [Korea literature]
- Kang, DH(2016). *Advanced wastewater treatment by microalgae-bacteria consortium*, Ph.D Dissertation, Myongji University, Yongin, Korea
- Kwon, HK, Oh, SJ, Yang, HS, Yu, YM(2011). Effects of temperature and Salinity on the Growth of Marine Benthic Microalgae for Phytoremediation, *The Korean Society for Marine Environment & Energy*, 14(2), pp. 130-137.
- Keiko OK, Kazuhiro F, Yoshikatsu K, Kenji K(2006). Effect of blue-light PPF percentage in Red and Blue LED low-light irradiation during storage on the contents of chlorophyll and rubisco in Grafted tomato plug seedlings, 44(4), pp. 309-314.
- Kim, DG, Choi, YE(2014). Microalgae cultivation using LED light, *Korean Chemical Engineering Research*, 52(1), pp. 8-16.
- Kim, DH, Kim, SM, Oh, YG, Park, CH(2013). A study on optimal treatment conditions and operational characteristics of nutrient removal using microalgae, *J. of Korea Society of Urban Environment*, 13(1), pp. 43-50. [Korean Literature]
- Kim, JH., Yoon, CM, Jung, SH(2016). On-off Control for Continuous Culture of Microalgae in Flat Panel Photobioreactor, *Korea Society of Manufacturing Technology Engineers*, 25(3), pp. 237-243. [Korea literature]
- Lee, JH. and Park, JH.(2011). Characterization of Algal-Bacterial Ecological Interaction and Nutrients Removal Under Municipal Wastewater Condition, *Korean Society of Environment Engineers*, 33(5), pp. 314-324. [Korea literature]
- Lee, CS, Lee, SA, Ko, SR, Oh, HM, Ahn, CY(2015). Effects of photoperiod on nutrient removal, biomass production, and algal-bacterial population dynamics in lab-scale photobioreactors treating municipal wastewater, *Water research*, 68, pp. 680-691.
- Posadas, E., Bochon, S., Coca, M., Garcia-Gonzalez, M. C., Garcia-Encina, P. A., & Munoz, R.(2014). Microalgae-based argo-industrial wastewater treatment: a preliminary screening of biodegradability, *J. of Applied Phycology*, 26(6), pp. 2335-2345.
- Posadas, E., Munoz. A., Gonzalez. M., Munoz. R., Garcia-Encina P.(2014). A case study of a pilot high efficiency algal pond for the treatment of fish farm and domestic wastewaters, *J. of Chemical Technology and Biotechnology*, 24(6), pp. 2345-2355.
- Ras, M., Steyer, JP., Bernard, O.(2013). Temperature effect on microalgae: a crucial factor for outdoor production, *Reviews in environmental science and biotechnology*, 12(2), pp. 153-164.
- Raul M, Benoit G(2006). Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review, *Water research*, 40, pp. 2799-2815.

- Wang, M., Yang, H., Ergas, S. J. and van der Steen, P.(2010). A novel shortcut nitrogen removal process using an algal-bacterial consortium in a photo-sequencing batch reactor(PSBR), *Water research*, 44, pp. 38-48.
- Wishkerman, A, Wishkerman, E(2017). Application note: A novel low-cost open-source LED system for microalgae cultivation, *Computers and electronics in agriculture*, 132, pp. 56-62.
- Zhang, W, Zhao, Y, Cui, B, Wang, H, Liu, T(2016). Evaluation of filamentous green algae as feedstocks for biofuel production, *Bioresource Technology*, 220, pp. 407-413.