

저수지 유입하천 현장적용실험을 통한 수질정화효율 평가

Evaluation of Pollutant Removal Efficiency through Field Test-Bed Experiment in the Rural Small Stream

최 선 화* / 오 종 민** / 김 태 훈***

Choi, Sun Hwa / Oh, Jong Min / Kim, Tae-Hoon

Abstract

This study was carry out to evaluate of water purification in oxidation pond with filamentous algae mat. It is the water treatment process in the small rural streams to remove the organic materials and nutrients. We used the filamentous algae mat (FAM) which selectively predominate the filamentous algae to prevent the additional contamination by algae outflow, and we conducted a experiment on the water treatment process using the aquatic plants such as Eichhornia crassipes. The removal efficiencies (%) of water quality parameters were SS 80.9%, COD 74.6%, TN 76.8%, TP 84.4%, DTN 93.8% and DTP 98.3%, respectively. Temperature, a effect factor, was $21.8\pm 5.9^{\circ}\text{C}$ during the operating period, according to temperature had no effect on the removal efficiencies of pollutants. Hydraulic retention time (HRT) strongly correlated with removal efficiencies (%) of SS and TP having $r=0.414$ ($p<0.005$), $r=0.446$ ($p<0.005$), respectively, and when HRT was 5day had highly removal efficiency (%) in SS and TP. TN and TP removal efficiency increased with ratio decreasing in both COD/TN and COD/TP of Influent.

keywords : filamentous algae, oxidation pond, water quality, water treatment

요 지

본 연구에서는 사상성 조류로 구성된 수질정화시설의 수질정화효율을 평가하고자 충남 서산시 음암면에 소재한 성암저수지 유입하천 홍수부지에 test-bed를 설치하고 유입하천수를 대상으로 현장적용실험을 실시하였다. 수질항목별로 정화효율을 평가한 결과, SS 80.9%, COD 74.6%, T-N 76.8%, T-P 84.4%, DTN 93.8%, DTP 98.3%의 제거효율을 보였다. 수온에 따른 정화효율은 수온이 약 20°C 로 유지되어 수질정화효율에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다. 수리학적 체류시간(HRT)은 SS 및 TP 처리효율과 유의한 상관성이 있는 것으로 나타났고, 체류시간을 5일로 했을 때 SS, TP 처리효율이 좋은 것으로 나타났다. 유입수의 COD/TN에 따른 처리효율은 TN, TP 모두 C/N비가 낮을수록 증가하였고, 유입수의 COD/TP에 따른 처리효율도 C/P비가 낮을수록 TN, TP 모두 처리효율이 증가하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 사상성 조류, 수질정화시설, 수질정화효율, 성암저수지

* 한국농어촌공사 농어촌연구원 선임연구원 (e-mail: csh@ekr.or.kr)

Researcher, Rural Research Institute. Korea Rural Community Corporation

** 교신저자, 경희대학교 환경학 및 환경공학과 정교수 (e-mail: jmoh@khu.ac.kr, Tel: 82-31-201-2461)

Corresponding Author, Professor, Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University

*** 경희대학교 환경응용과학과 박사과정 (e-mail: godori4520@nate.com)

Graduate student, Department of Environmental Application Science, Kyung Hee University

1. 서 론

농촌지역의 오염원은 도시지역과 다르게 대부분이 비점오염원이며, 비점오염물질은 오염정도가 비교적 저농도이면서 넓은 면적에서 대량으로 유출되는 특성이 있다. 따라서 도시지역처럼 하수처리시설 등의 환경기초시설에 의해 오염물질 배출량을 감소시키는 방안은 현실적으로 어렵다고 할 수 있겠다(MAFRA and RRI, 1998; Jang et al., 2005).

최근 저수지 유입하천과 소하천의 수질개선을 목적으로 농촌지역 환경에 적합한 자연정화공법에 대한 인식이 높아지면서 산화지나 습지 또는 식생대에 의한 수질정화 기능에 대한 연구가 국내·외적으로 활발히 진행되고 있다(Mara et al., 1990; Picot et al., 1991; Kim et al., 2000; Lee et al., 2002; Choi, 2006). 이러한 자연정화 처리공법(Natural treatment system)은 자연환경에서 일어나는 물리적, 화학적 및 생물학적 원리를 이용한 수처리 방법으로서 유럽과 미국에서는 산화지를 이용한 처리공법이 가장 널리 운영되고 있다. 현재 미국 전역에 걸쳐 약 7,500개의 산화지가 운영되고 있으며, 그 수효는 날로 증가하고 있는 추세이다(Hendricks et al., 1974; Jianhua et al., 1991). 국내에서도 최근에는 농촌 지역의 소규모 취락단지나 비점오염원에 의한 수질오염이 우려되는 지역을 중심으로 하천 및 호소로 오염물질이 유입되기 전의 지천에 산화지 시설을 설치하여 오염물질을 효과적으로 저감시켜 수질관리가 이루어지도록 하는 방안이 제시되고 있다(Choi et al., 2005)

산화지 공법은 수체의 유기물질 및 영양염류를 조류의 성장에 따른 생체량으로 전환하여 증식된 조류를 회수하는 원리로서, 자연의 정화능력을 이용하여 무동력, 친환경적으로 오염물질을 제거하는 수질정화기술이다. 이 공법은 유기물의 농도는 낮으나 질소와 인과 같은 영양염류가 높아 고도처리가 요구되는 농촌지역의 소하천과 저수지 유입

하천에서 효과적인 수질정화방법이다. 고속산화지(high-rate oxidation pond; HROP) 공법은 조류의 단백질 합성을 극대화(조류의 성장을 극대화)하도록 설계, 운전된 공법으로 1963년 미국의 Oswald에 의해 최초로 개발된 수처리 공법이다(Kim et al., 2001). 수중의 영양염류가 아주 짧은 시간내에 조류의 세포로 합성되므로 일반 산화지 공정에 비해 부지 요구도(land requirement)가 낮은 것이 주요한 특징이다(MAFRA and RRI, 1998). 특히, 사상성 조류를 이용한 고속산화지공법은 조류의 과도한 증식으로 전수침에 걸쳐 수표면 전체에 스폰지 형태의 algae-matrix가 형성되었으며, 따라서 오염물질과 조류군과의 접촉면적을 높게 만들어 영양염류에 대한 높은 제거효율을 나타낼 수 있다. 사상성 조류에 관해서는 성장동태학, 영양염 흡수능, 성장에 영향을 미치는 부착기질, 유속, 계절에 따른 온도와 빛의 영향 등 다양한 환경적 인자들에 대한 연구들이 수행되어 왔다(Son et al., 2009; Park et al., 2003). 따라서 본 연구에서는 사상성 조류로 구성된 산화지형태 수처리시설의 조건에 따른 수질정화효율을 평가하여 농업용 저수지 유입하천에 대한 적용성을 높이고자 현장에 Test-bed를 설치하여 현장적용실험을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 Test-bed 설치

본 연구를 수행하고자 충남 서산시 성암면 성암저수지 유입하천인 도당천 홍수부지에 Test-bed를 설치하였으며, 도당천의 위치 및 시설의 전체적인 평면도는 Figs. 1 and 2와 같다. 본 처리시스템은 크게 유량조정조, 산화지, 유출 제어조로 구성하였다. 유량조정조(FEB; Flow Equalization Basin)는 유량조정 및 수질 균등화를 위한 전처리 시설이고, 산화지(FAMP; Filamentous Algae Mat Pond)는 본 시스템의 주요 공정으로 사상성 조류를 선택적으로 우



Fig. 1. Location of Study Site (Seosan, Chungnam) and Dodang River from Left

점화 및 증식시킨 사상성 조류(*Spirogyra sp.* 등)로 이루어진 8조(cell)로 구성하였다. 그리고 유출수의 유량을 균등하게 하고 처리수의 안정화를 도모하기 위한 유출수 제어조(FCB; Effluent Control Basin)를 마지막 공정에 설치하여 하나의 통합된 수처리 시스템으로 구성하였다. 산화지 및 유출제어조는 다단식 형식의 산화지를 설치하였는데, 다단식 산화지 시설이 단일 산화지 시설에 비해 유기물 제거효율이 더 우수하다는 연구보고가 있다(Silva, 1982).

수처리조는 방수라이닝을 한 콘크리트 구조물로 전체 규격은 20.0m(가로)×12.0m(세로)×1.0m(높이)이고, 유량조정조는 2.0m(가로)×6.0m(세로)×1.0m(높이) 규모의 장방형 모양이다. 산화지 1개 cell의 규모는 2.0m(가로)×3.0m(세로)×1.0m(높이)의 직사각형 형상으로 최대한 자유수면흐름식 관형 반응기 흐름을 유지할 수 있도록 설계하였다. 유출제어조 역시 산화지와 동일한 형태의 8조의 다단식으로 설계되었으며, 1조(cell)의 크기는 산화지 1조(cell)의 규모와 동일하게 설계하였다. 유출제어조를 산화지와 동일한 형식과 규모로 설치한 이유는 산화지의 수질정화효율이 떨어질 경우에는 유출제어조 일부를 산화지로 활용해 수질정화효과를 증가시키기 위한 목적이다.

2.2 조류 증식 및 조류조사

본 수처리 시설에서 유기물질과 영양물질을 제거하는 반응의 주체로 조류(algae)를 이용하는데, 조류는 수생 생태계에서 가장 기본적인 생물체이며, 수질의 지표생물(indicator)로서 매우 중요한 역할을 한다(Ryther, 1959; Sladeck, 1961). 수중의 사상성 조류의 성장은 유속, 영양염, 온도, 광도, pH 등 많은 환경인자에 영향을 받는다. 각각의 인자들은 독립적으로 영향을 미치며, 또한 여러 인자가 복합적으로 상호관계를 가지며 조류의 성장에 영향을 미친다(Stevenson et al., 1996).

본 실험에서는 산화지에서 증식된 조류가 방류 수계로 유실되는 것을 방지하기 위하여 부착 성장하는 사상성 조류를 인위적으로 증식하였다. 사상적 조류를 짧은 기간 내에 증식하기 위해 수처리시설 설치가 끝난 직후 약 20일 동안 영양염류가 고농도인 물을 저류하였고, 인근 정체수역에서 사상성 조류의 일종인 *Spirogyra sp.*을 이식하여 유량과 수온, 햇빛 등 조류의 성장조건을 맞추어 주었다. 조류의 증식과정은 Fig. 3과 같으며, 부착조류의 성장효과를 증가시키기 위하여 4mm 망목의 그물망을 이용하였다. 산화지 수조 내에서 성장한 조류를 관찰 조사한 결과 사상성 조류군에 속하는 *Oedogonium sp.*와 *Spirogyra*

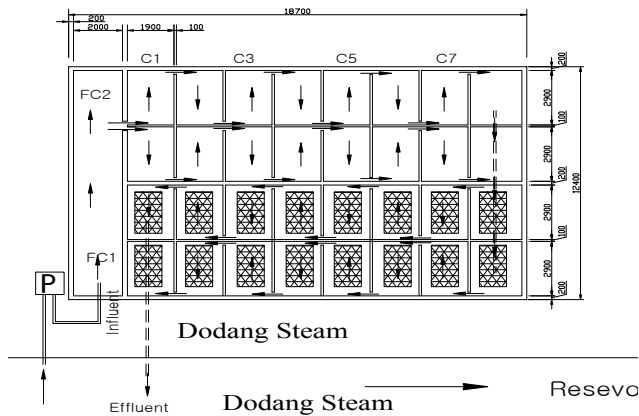


Fig. 2. A Cross Section and Photo of Test-bed Facility for Field Experiment from Left



Fig. 3. Growth Stages of Filamentous Algae



Fig. 4. Photos of Algae Sampling and Survey

sp.가 우점종으로 관찰되었다.

사상성 조류의 정성 및 정량분석을 위해서 일정량의 시료를 채취하여 수질오염공정시험방법 제 41항 식물플랑크톤에 명시된 시료의 보존 방법에 따라 냉암소에 보관하여 운반하였으며, 실험실 도착 즉시 시험하였다. 검체의 조제를 위한 검체의 개체수는 계수면적당 10~40 정도가 되도록 조정하며, 시료가 육안상 녹색이나 갈색으로 보일 경우 증류수로 적절한 농도로 희석하고, 검체의 개체수가 적을 경우에는 농축한다. 본 연구에서는 시료에 포르말린 용액을 1 v/v% 또는 루골용액을 1~2 v/v% 가하여 플랑크톤을 고정시켜 실린더 용기에 넣고 24시간 정치 후 싸이폰을 이용하여 상등액을 따라 내어 일정량으로 농축하였다.

2.3 운전조건 및 수질조사

현장적용실험을 위한 수처리 시설은 시설 공사가 끝난 직후부터 약 20일 동안 시운전을 하였고, 조류의 증식이 끝난 이후부터는 Table 1과 같이 유입수량을 조정하여 실험하였다. 1차 운영에는 유입수량 20 m³/일, HRT 4.8일, 수심 0.8m, 수온 26.7 ± 4.9°C, pH 8.1 ± 1.0, DO 7.9 ± 2.4 mg/L

이었고, 2차 운영에는 유입수량 40 m³/일, HRT 2.4일, 수온 15.7 ± 1.3°C, pH 8.8 ± 0.9, 이었고, 3차 운영에는 유입수량 30 m³/일, HRT 3.2일, 수온 23.1 ± 6.1°C, pH 8.5 ± 1.1, DO 7.3 ± 3.4 mg/L로 하여 운전하였다. 호기성 산화지의 경우에 보통 체류시간이 5~20일이고, 수온에 대한 적정 온도는 20°C 내외인 것으로 보고되고 있다(Gloyne, 1967; KWWA, 2001).

사상성 조류매트 수처리시설의 수질정화효율을 평가하기 위하여 총 15회의 수질조사를 실시하였다. 유입수는 도당천의 하류지점에서 취수하였고, 자동유량조절용 취수시설을 설치하였다. 동절기에는 결빙을 방지하기 위해 최소 유량을 20 m³/day로 조절하여 취수하였다. 유입수의 수질현황은 Table 2와 같이 수온은 12.1~32.2°C으로 계절에 따른 차이가 심하였으며, pH는 6.4~7.6으로 연중 비교적 안정된 값을 보였다. EC는 97.0~688.0 μs/cm, DO는 2.3~8.7 mg/L, BOD는 0.6~7.0 mg/L, SS는 11.6 mg/L (2.0~28.0 mg/L), Chl-a는 3.4 mg/m³ (0.0~13.8 mg/m³)으로 조사 시기에 따른 수질차이가 있었다. T-N은 평균 3.383 mg/L (0.965~5.660 mg/L)이었고, T-P는 평균 0.120

Table 1. Operating Conditions of the Oxidation Ponds

Operating	Inflow volume (m ³ /day)	Depth (m)	HRT (day)	Temp. (°C)	pH	DO (mg/L)
1st	20	0.8	4.8	26.7±4.9	8.1±1.0	7.9±2.4
2st	40	0.8	2.4	15.7±1.3	8.8±0.9	8.6±2.0
3st	30	0.8	3.2	23.1±6.1	8.5±1.1	7.3±3.4

HRT; Hydraulic retention time

Table 2. Water Quality Conditions of Inflow Water

Parameter	Tem. (°C)	pH	EC (μs/cm)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Max.	32.2	7.6	688.0	8.7	7.0	28.0	13.8	5.660	0.304
Min.	12.1	6.4	97.0	2.3	0.6	2.0	0.0	0.965	0.040
m±S.D	22.3±5.5	7.2±0.3	276.8±160.9	6.0±1.7	3.8±1.6	11.6±9.0	3.4±3.7	3.383±1.336	0.120±0.072

mg/L (0.040~0.304 mg/L)를 나타냈다. 수질조사는 수온, pH, EC, DO 등은 현장에서 측정하였고, COD, TN, TP, SS 등 기타항목은 수질오염공정시험법과 Standard Method에 준하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수처리 시스템의 수질정화효율

사상성 조류매트 수처리 시스템의 오염물질 평균제거효율을 정리한 내용은 Table 3과 같다. 부유물질의 측정항목인 SS는 FEB에서 43.4%, FAMP에서 17.6%, ECB에서 19.9%가 제거되어 총 80.9%의 높은 제거효율을 보였다. 유기물 지표인 COD는 FEB에서 23.6%, FAMP에서 -5.9%, ECB에서 56.8%가 제거되어 총 74.6%의 제거효율을 보였다. FAMP에서 (-) 효율을 보였는데, 이러한 원인으로서는 산화지내에서 사멸된 조류에서 COD 유발물질이 용출되어 COD 상승요인으로 작용하였고, 또한 수중의 과도한 pH 증가는 수중 미생물의 효소 활동을 저하시켜 미생물에 의한 유기물질 제거에 영향을 주게 된다. 영양염류인 TN은 FEB에서 52.6%로 정화효율이 가장 높았고, FAMP에서는 22.3%가 제거되어 총 76.8%의 높은 제거율을 보였다. 용존성 질소(DTN)는 FEB에서 67.5%로 전체효율 82.5%의 대부분이 제거되는 것으로 나타났다. TP는 FEB에서 59.0%, FAMP에서 23.6%, ECB에서 1.8%가 제거되어 총 84.4%가 제거되었다. 용존성 인(DTP)의 제거효율은 총 93.8%로 높은 정화효율을 보였고, 용존성 무기태 인(PO_4-P)은 총 98.3%로 거의 대부분이 제거되는 것으로 나타났다. 용존성 인의 제거 기작은 크게 조류 및 일반 호기성 박테리아의 증식과 pH 상승으로 인한 수중의 경도성분 칼슘이온과의 화학적 침전반응에 의해 제거된 것으로 판단된다. 본 연구와 유사한 Kim (2000)의 연구에서는 조류의 광합성 활동으로 인한 높은 DO와 pH 상승에 따라 질산화 현장(nitrification)

에 의해 유입 질소의 44.1%가 제거되었고, 유입 질소 중 27.3%가 세포합성으로 전환되며, 암모니아 탈기(Ammonia stripping)로는 전체 유입 질소 중 15.2%가 제거되었다. 인의 경우에는 세포합성으로 제거되는 인의 양이 전체의 36.4%에 해당하며, struvite 등 무기화합물 침전에 의해 29.6%의 제거효율을 보이는 것으로 나타났다.

3.2 영향인자에 따른 수질정화효율

3.2.1 수온에 따른 처리효율

조류의 성장 영향인자인 수온에 따른 산화지의 COD, SS, T-N, T-P에 대한 처리효율을 분석한 결과는 Fig. 5와 같다. 조사기간 동안의 수온은 $21.8 \pm 5.9^\circ C$ 이고, COD 처리율은 $2.5 \pm 27.4\%$ 로 나타났으며, 수온과 COD 처리율과의 상관관계를 분석한 결과 $r=0.020$ 으로 상관성이 없는 것으로 나타났다. 수온은 미생물의 성장에 필요한 필수 환경요인으로 일반적으로 수온이 상승하면 미생물의 활성도가 증가하여 유기물의 분해가 촉진된다. 그러나 본 연구에서는 수온이 $20^\circ C$ 이상의 온도로 유지되어 미생물의 생장이 불가능한 $10^\circ C$ 이하로 감소되지 않았기 때문에 COD 처리율이 수온에 영향을 받지 않은 것으로 나타났다. Zhao와 Zhang은 산화지에서의 BOD 제거와 온도와의 관계규명 연구에서 온도가 $8^\circ C$ 에서 $24^\circ C$ 로 상승할 경우에는 BOD 제거가 90.0%에서 96.6%로 증가하였고, 온도가 $4^\circ C$ 로 하강하였을 경우에는 제거효율이 87.6%로 떨어진다고 하였다.

수온에 따른 SS의 처리효율은 $79.4 \pm 20.8\%$ 로 나타났고, 수온과 SS 처리효율과의 상관성은 $r=0.093$ 으로 수온과 SS 처리효율과는 상관관계가 없는 것으로 분석되었다. 수온에 따른 T-N의 평균 처리효율은 $67.8 \pm 26.0\%$ 로서 수온과 T-N의 상관관계는 $r=-0.507$ ($p>0.05$)로 통계적 의미가 없는 것으로 나타났다. 수온에 따른 T-P의 평균 처리효율은 $77.6 \pm 23.4\%$ 로 나타났고, 수온과 T-P의 처리율은

Table 3. Pollutant Removal Efficiency (%) of Water Treatment System

Parameter	FEB	FAMP	ECB	Total
SS	43.4	17.6	19.9	80.9
COD	23.6	-5.9	56.8	74.6
TN	52.6	22.3	1.9	76.8
DTN	67.5	16.6	-1.6	82.5
TP	59.0	23.6	1.8	84.4
DTP	76.7	15.0	2.1	93.8
PO_4-P	84.8	12.9	0.7	98.3

FEB; Flow Equalization Basin, FAMP; Filamentous Algae Mat Pond, ECB; Effluent Control Basin

통계적으로 유의한 상관성이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 운전기간동안의 수온이 14.5~32.2℃로서 미생물과 조류의 최적의 생육 온도인 25℃에 가깝게 지속적으로 유지시켰기 때문에 수온에 따른 처리효율이 뚜렷하게 나타나지 않았다고 판단된다.

3.2.2 HRT에 따른 처리효율

수리학적 체류시간(HRT)에 따른 수질정화효율을 분석하고자 HRT를 2.4일, 3.2일, 4.8일로 설계하여 운영하였다. HRT에 따른 COD, SS, T-N, T-P의 처리효율을 분석한 결과는 Fig. 6과 같다. HRT와 COD 처리효율과는 상관관

계가 없는 것으로 나타나 HRT는 COD 처리효율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났고, HRT와 SS 처리효율은 상관분석 결과 $r=0.414$ ($p<0.005$)로 HRT와 SS의 처리효율은 41.4% 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 HRT가 3.2일인 경우보다 4.8일인 경우에 SS 처리효율이 높게 나타나 SS 제거효율을 높이기 위해서는 수리학적 체류시간을 증가시키는 것이 합리적이라고 판단된다.

HRT에 따른 TN의 처리효율은 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났으며, HRT와 TP의 처리효율을 분석한 결과는 $r=0.446$ ($p<0.005$)으로 HRT와 TP의 처리효율은 44.6%의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 HRT를 3.2

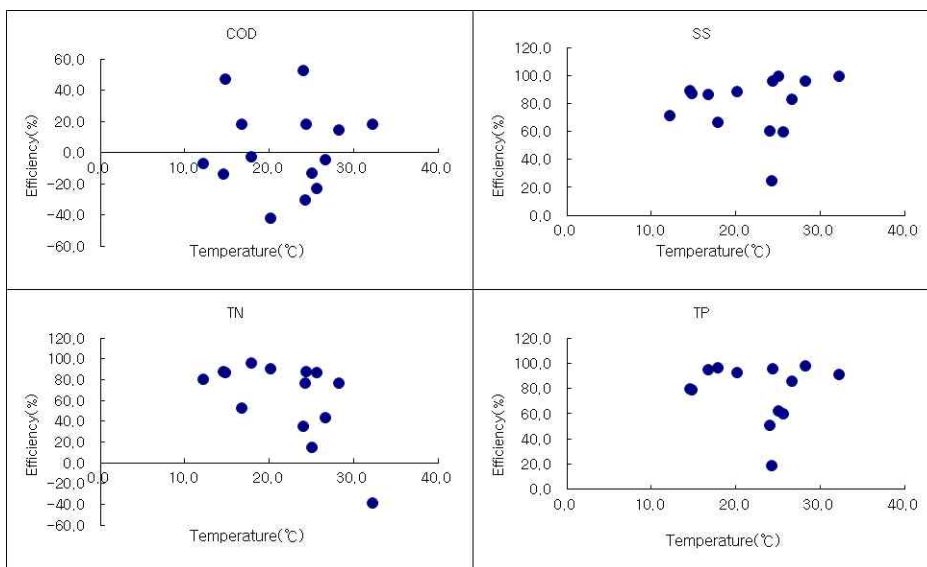


Fig. 5. COD, SS, T-N, and T-P Removing Efficiency with Different Temperature

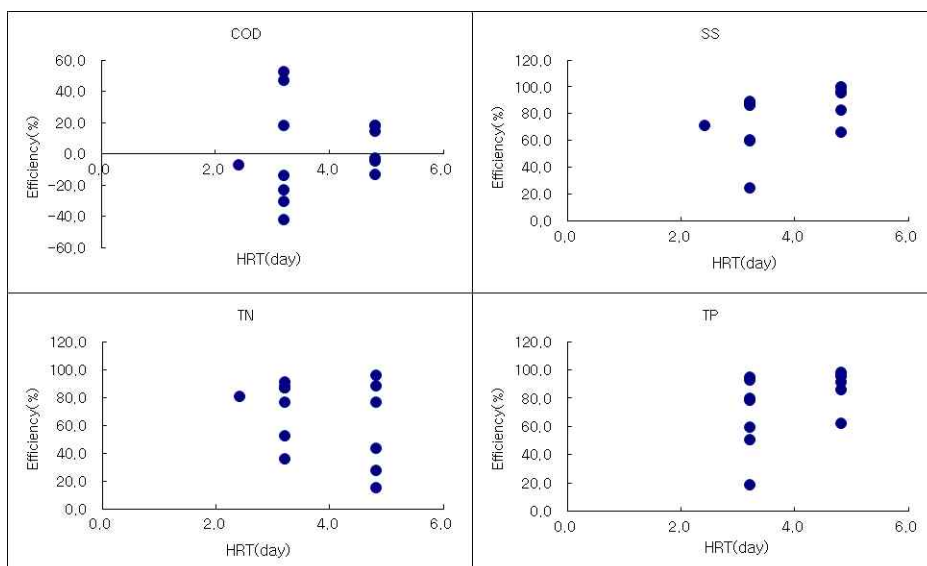


Fig. 6. COD, SS, T-N, and T-P Removing Efficiency (%) with Different HRT

일로 운영할 때보다 4.8일로 운영한 경우에 처리효율이 높게 나타났다. 본 연구에서는 HRT를 좀 더 다양한 조건으로 실험하지 못한 한계성을 갖고 있지만, HRT는 COD, T-N의 제거효율에는 영향을 주지 않았고, SS와 T-P의 제거효율에 영향을 미치는 인자로 나타났다. 따라서 본 시설은 농경배수 유입 등 유역 내 비점오염물질 유입으로 SS와 TP 농도가 높은 하천에 적용할 때는 수처리 시스템의 수리학적 체류시간을 최소 5일 이상으로 하는 것이 효율적이라고 판단된다.

3.2.3 C/N 및 C/P 변화에 따른 처리효율

C/N비(유입수 COD농도/유입수 TN농도)에 따른 TN 및 TP 처리효율과 C/P비(유입수 COD농도/유입수 TP농도)에 따른 TN 및 TP 처리효율을 비교한 결과는 Fig. 7과 같다. 유입수의 C/N비는 0.6~5.7(평균 2.0)의 범위로 유입되었으며, TN 처리효율은 15.4~96.5%(평균 67.8%)로 조사되었다. C/N비에 따른 TN 처리효율은 C/N비가 낮을수록 TN의 처리효율이 증가하였고, C/N비에 따른 TP 처리효율 역시 C/N비가 낮을수록 TP의 처리효율이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 C/N비가 낮을수록 TN과 TP 모두 처리효율이 증가하는 결과를 얻었으며, 이러한 결과는 C/N비가 낮은 경우는 질소함량이 많아 미생물의 빠른 증식이 이루어지므로 유기물의 빠른 분해가 이루어지며, 미생물의 분해에 영향을 주는 인자는 탄소가 아닌 질소가 중요한 인자임을 알 수 있다.

C/P비(유입수 COD농도/유입수 TP농도)와 TN 및 TP 처리효율을 비교한 결과, 유입수의 C/P비는 21.4~117.0

(평균 57.6)의 범위로 조사 시기에 따라 범위가 넓었으며, TP 처리효율은 15.4~96.5%(평균 66.8%)로 조사되었다. C/P비에 따른 TN 처리효율은 C/P비가 낮을수록 TN의 처리효율이 증가하는 것으로 나타났다. C/P비에 따른 TP 처리효율 또한 C/P비가 낮을수록 TP의 처리효율이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 C/P비가 낮을수록 TN과 TP 처리효율이 모두 증가하는 결과를 얻었으며, 이러한 결과는 C/P비가 낮은 경우는 미생물의 영양소인 인의 함량이 많아 미생물의 빠른 증식을 가져오고, 미생물의 과도한 증식은 유기물의 빠른 분해를 촉진한다. 따라서 미생물의 분해에 영향을 주는 인자는 유기물질의 탄소원보다 영양소인 인이 더 중요한 인자로 나타났다. 본 연구결과로부터 사상성 조류매트를 활용한 수처리 시스템은 질소와 인의 오염도가 높은 농어촌지역 농경배수 처리에 활용하면 효과가 높을 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 사상성 조류를 활용한 수처리시스템의 수질 정화효율을 평가하고자 충남 서산시 음암면 탐곡리에 위치하고 있는 도당천 홍수부지에 Test-bed를 설치하였다. 사상성 조류 수처리시스템은 사상성 조류를 증식한 산화지를 기본시설로 하고, 전처리시설인 유량조정조와 후처리시설인 유출제어조를 결합한 통합처리시스템이다. 수처리시설은 3회에 걸쳐 처리용량 10~20m³/day, 수심 0.8 m, HRT 3~5일로 조건을 변경하여 운전하였고, 조건에 따라 수질 정화효율을 평가하였다. 연구의 주요결과는 다음과 같다.

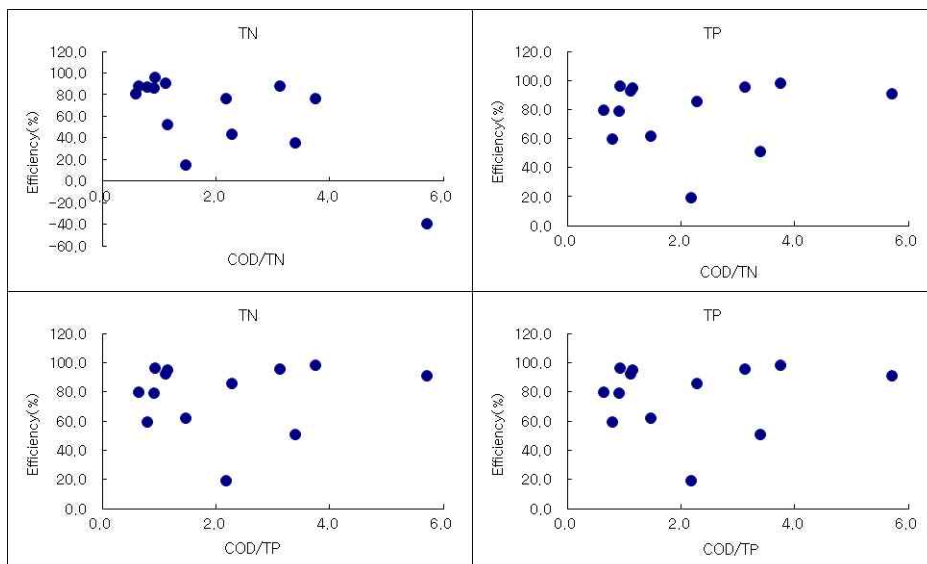


Fig. 7. T-N, and T-P Removing Efficiency (%) with Different C/N and C/P

- 1) 수질항목별로 수질정화효율을 분석한 결과, SS는 유량조정조에서 43.4%, 산화지에서 17.6%, 유출제어조에서 19.9%가 제거되어 총 80.9%의 제거효율을 보였고, COD는 유량조정조에서 23.6%, 조류매트 산화지에서 -5.9%, 유출제어조에서 56.8%가 제거되어 총 74.6%의 제거효율을 보였다. T-N은 유량조정조에서 52.6%, 산화지에서 22.3%가 제거되어 76.8%의 효율을 나타냈고, T-P의 제거효율은 유량조정조 59.0%, 산화지 23.6%, 유출제어조 1.8%로 총 84.4%의 효율을 나타냈다.
- 2) 수온에 따른 수질정화효율은 수온이 20°C 이상의 온도로 유지하여 미생물의 생존이 불가능한 10°C 이하로 감소되지 않았기 때문에 COD, SS, T-N, T-P의 정화효율에 미치는 영향이 없었고, 통계적으로 유의한 상관성도 없는 것으로 나타났다.
- 3) HRT에 따른 수질정화효율은 COD, T-N의 제거효율에는 영향을 미치지 않았으나 SS와 T-P의 제거효율에는 영향을 미치는 것으로 나타났다. SS와 T-P의 처리효율을 높이기 위해서는 산화지의 수리학적 체류시간을 5일 이상으로 증가시키는 것이 합리적이라고 판단된다.
- 4) 유입수의 C/N비에 따른 TN, TP 처리효율은 모두 C/N비가 낮을수록 증가하였고, 유입수의 C/P비에 따른 TN, TP 처리효율도 C/P비가 낮을수록 모두 효율이 증가하는 것으로 나타나 미생물의 증식 및 분해에 영향을 주는 인자는 탄소가 아닌 질소, 인이 중요한 인자로 나타났다.
- 5) 현장적용시험결과 부유물질(SS), 유기물질(COD), 영양염류(TN, TP) 모두 처리효율이 70% 이상으로 높게 나타났고, 하루 20~30 m³/day로 운영하는 소규모 시설로 특별한 동력과 유지관리 비용이 필요하지 않아 유량이 많지 않은 농촌지역의 하천수 및 농경배수의 수처리 시설로는 매우 유용할 것으로 평가되었다.

감사의 글

본 연구의 일부는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신CO2)에 의해 수행되었습니다.

References

- Choi, S.H. (2006). "Water treatment process by high-rate oxidation pond with filamentous algae mat." *KCID Journal*, Vol. 13, No. 1, pp. 118-126.
- Choi, S.H., Jang, J.Y., and An, Y. (2005). "Water treatment efficiency of oxidation pond with filamentous algae mat." 2005 the Korean Society of Agricultural Engineers conference proceedings, pp. 655-660.
- Gloyne, E.F. (1967). *Waste stabilization ponds*. Lecture series. University of Texas, Austin, Texas
- Hendricks, D.W., and Pote, W.D. (1974). "Thermodynamic analysis of a primary oxidation pond." *J. of Wat. poll. cont. Fed.*, Vol. 46, No. 2, pp. 333-351.
- Jang, J.Y., Kwun, S.K., and Choi, S.H. (2005). "Assessment of Free Water Surface Constructed Wetland Design Parameters for the Reduction of Agricultural Nonpoint Source Pollution." 2005 the Korean Society of Agricultural Engineers conference proceedings, pp. 637-642.
- Jianhua, Li., Jin, W., and Zhang, J. (1991). "Removal of salts in relation with algae in ponds." *Wat. Sci. & Tech*, Vol. 24, No. 5, pp. 75-83.
- Kim, B.C. (1982). "Nitrogen removal from Domestic sewage by Algae-Daphnia food chain system." *Journal of Kangwon National University*, Vol. 17, pp. 92-103.
- Kim, T.U. (2000). "The study on the nutritional Removal of Rural Small Stream using filamentous algae mats." Master's Thesis, University of Daejeon. Korea, pp. 39-86.
- Kim, T.U., Im, B.S., and Kim, Y.J. (2001). "Water treatment efficiency and characteristics of filamentous algae mats in high-speed oxidation." *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 23, No. 3, pp. 445-455.
- Korea Water and Wastewater Works Association (2011). "Sewer facility standards."
- Lee, S.H., and Lee, Y.J. (2002). "Retreatment of Artificial Wastewater by using Microalgae." *Korean J. Limnol.* Vol. 35, No. 2, pp. 133-140.
- MAFRA and RRI (1998). "The study on the arrangement of water treatment basin for water quality improving." Second year report, pp. 38-60.
- Mara, D.D., Maria, H.F., and Marecos, D.M. (1990). "The Design and operation of waste stabilization ponds in tourist areas of mediterranean Europe." *Wat. Sci. &*

- Tech*, Vol. 22, pp. 73-76.
- Park, K.S. (2003). "A study on the growth dynamics and nutrient removal by filamentous periphytic algae." Master's Thesis, University of Konkuk. Korea
- Park, K.S., Hwang, S.J., Kim, H.S., and Kong, D.S. (2006). "Factors to affect the growth of filamentous Periphytic algae in the artificial channels using treated wastewater." *Korean J. Limnol*, Vol. 39, No. 1, pp. 100-109.
- Ryther, J.H. (1959). "Potential productivity of the sea." *Science*. Vol. 130, pp. 65-69.
- Silva, S.A. (1982). "On the treatment of domestic sewage in waste stabilization ponds in Northeast Brazil." Ph. D. thesis. University of Dundee. Scotland.
- Son, J.W., Yoon, C.G., Kim, H.C., and Haam, J.H. (2009), "Analysis of the Phosphate Movement Using the Mesocosm in the Wetland." *Korean J. Limnol*. Vol. 42, No. 1, pp. 1-8.
- Vladimir, S. (1961). "Zur biologischen gliederung der hoheren saprobitat-sstufen." *Arch f Hydrbiol. Bd*. Vol. 58, pp. 103-121.

paper number : 14-096
Received : 23 September 2014
Revised : 31 October 2014
Accepted : 31 October 2014