

# 사상성 조류매트 산화지의 수질정화효율

## Pollutant Removal Efficiency in Oxidation Pond with Filamentous Algae Mat

최선화\*, 장정렬안 열(농업기반공사)

Choi, Sun Hwa\*Jang, Jeong Ryeol·Ahn, Yeul

### Abstract

This study was carried 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. The removal efficiencies of COD, SS, T-N and T-P in Oxidation Pond with Filamentous Algae Mat were -2.5%, 84.7%, 63.9% and 89.2%, respectively. The removal efficiencies of T-N and T-P which are nutrients index were high. Results of this study would help us to determine the possibility of using the water treatment on the contaminated small rural streams.

*keywords* : pollutant removal efficiency, water purification, oxidation pond, filamentous algae, COD, SS, T-N, T-P

### I. 서론

최근 농촌지역의 도시화, 산업화, 소비생활수준 향상 등의 사회·생활환경 변화 등으로 농어촌 지역의 소하천과 농업용수원인 저수지의 수질이 날로 악화되어가고 있다. 농촌지역의 오염원은 도시지역과 달리 대부분이 비점오염원으로, 오염정도가 비교적 저농도이면서 넓은 면적에서 대량으로 유출되는 특성이 있다. 따라서 도시지역처럼 하수처리시설 등의 환경기초시설에 의해 오염물질 배출량을 감소시키는 방안은 현실적으로 어렵다고 할 수 있겠다(농업기반공사, 1999; 장 등, 2004).

최근 저수지 유입하천과 소하천의 수질개선을 목적으로 한 농촌환경에 적합한 자연정화공법에 대한 인식이 높아지면서 산화지나 습지 또는 식생대에 의한 수질정화기능에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다(Mara D. D et al., 1990; Picot B. et al., 1991). 이러한 자연처리공법은 자연환경에서 일어나는 물리적, 화학적 및 생물학적 처리원리를 이용한 방법으로써 미국의 경우 산화지를 이용하는 공법이 가장 널리 운영되고 있다. 현재 미국 전역에 걸쳐 약 7,500개의 산화지가 운전되고 있으며, 그 수요는 날로 증가하고 있는 추세이다(Hendricks D. W. et al., 1974; Jianhua Li. et al., 1991).

산화지 공법은 수체의 용존성 영양염류를 조류의 성장에 따른 생체량으로 전환하여 증식된 조류를 회수하는 원리로서, 자연의 정화능력을 이용하여 무동력으로 친환경적으로 오염물질을 제거하는 수질정화 공법이다. 이 공법은 유기물의 농도는 낮으나 질소와 인과 같은 영양염류가 높아 고도처리가 요구되는 농촌지역의 소하천과 저수지 유입하천에서 적용이 가능한 효과적인 수질정화방법이라 할 수 있겠다(농업기반공사, 1999).

본 연구에서는 사상성 조류로 구성된 산화지의 수질정화 효율을 평가하여 현장 적용가능성을 검토하고자 충남 서산시 운암면에 위치하고 있는 성암저수지 유입하천 도당천 최하류부 수변에 현장플랜트를 설치하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1 실증플랜트 설치

본 연구를 위해 설치한 시설의 전체적인 평면도는 Fig. 1과 같다. 유량조정 및 수질 균등화를 위해 산화지 전에 유량조정조를 설치하였고, 사상성 부착조류를 선택적으로 우점화시켜 생성된 사상성 조류(*Spirogyra* sp. 등)로 이루어진 산화지 9조(cell)를 하나의 시스템으로 구성하였다. 수처리조는 모두 방수 라이닝을 한 콘크리트 구조물로 전체 규격은 20.0m(가로)×6.0m(세로)×1.0m(높이)이고, 유량조정조는 2.0m(가로)×6.0m(세로)×1.0m(높이) 규모의 1개조로 되어있다. 산화지 1개 cell의 규모는 2.0m(가로)×3.0m(세로)×1.0m(높이)의 직사각형 형상으로 최대한 관형 반응기 흐름을 유지할 수 있도록 설계하였다.

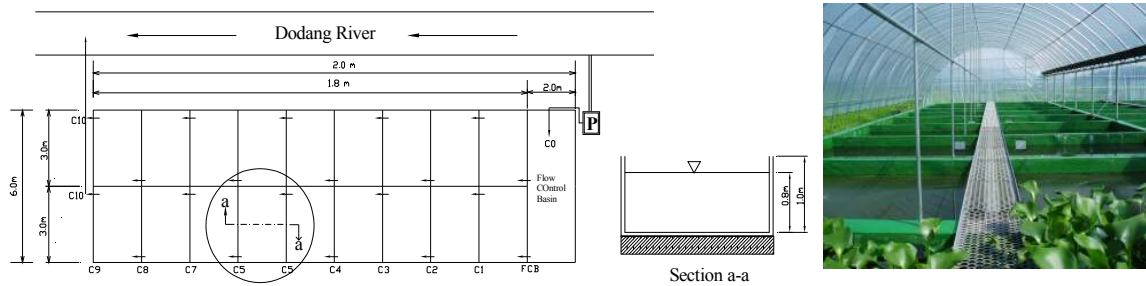


Fig. Plan view and photo of the oxidation pond from left

### 2.2 운전조건

산화지의 운전은 2004년 6월 초순 시설설치가 끝난 직후 약 20일간 시운전하였고, 운전초기에는 Fig. 2와 같이 사상성 조류의 증식을 위해 물을 저류하여 조류의 성장조건을 맞추어 주었다. 본 연구를 위해 증식된 사상성 조류는 우리나라 하천변에서 흔히 볼 수 있는 종류로 *Oedogonium* sp., *Ulothrix* sp., *Stigeoclonium* sp., *Hydrodictyon* sp., *Spirogyra* sp. 등이 존재하였으며, 우점종은 *Oedogonium* sp. 으로 나타났다. 유량조정조에는 부레옥잠(*Eichhornia crassipes*)의 수생식물을 이용하였고, 조류의 증식이 끝난 7월 1일 이후부터는 Table 1과 같이 유입수량 10m<sup>3</sup>/일, HRT 5일, 수심 0.8 m, 수온 27.4±5.6℃로 하여 정상 운전하였다. 일반적으로 호기성 산화지의 경우 체류시간이 5~20일이고, 수온에 대한 적정 온도는 20℃ 내외인 것으로 보고되고 있다(Gloyna, 1967; 건설교통부, 1992).

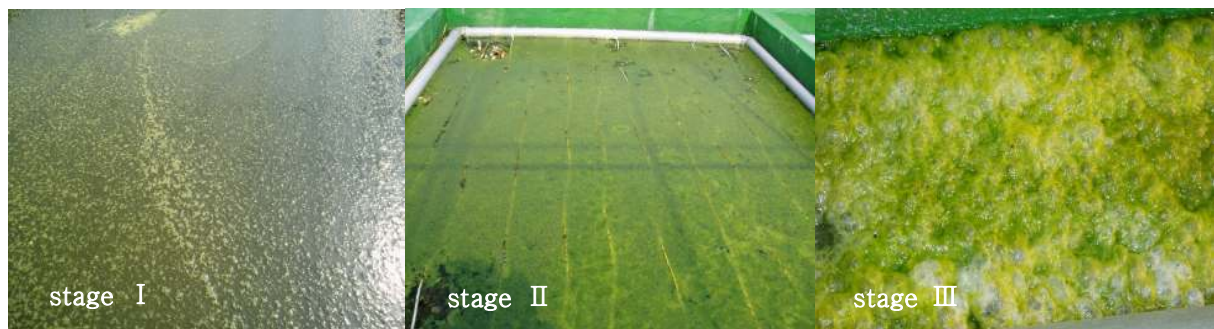


Fig. 2 Growth stages of filamentous algae

Table 1. Operating conditions of the oxidation ponds

Operating period	Inflow volume (m <sup>3</sup> /day)	Depth (m)	HRT (day)	Temp. (°C)	DO (mg/L)
6/15~10/30	10	0.8	5	27.4±5.6	7.9±2.5

Note) HRT; Hydraulic retention time

### 2.3 조사항목 및 분석방법

사상성 조류매트 산화지의 수질특성 변화와 수질정화효율을 분석하기 위하여 2004년 7월부터 10월까지 총 6회의 수질조사를 실시하였다. 수온, pH, EC, DO 등은 현장에서 측정하였고, COD, T-N, T-P, SS는 수질오염공정시험법과 Standard Method에 준하여 조사 및 분석을 실시하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 3.1 유입수 및 산화지의 수질특성 변화

유입수는 도당천에서 정량 펌프를 이용하여 양수하였으며, 유입수의 수질현황은 Table 2와 같다. 수온과 pH는 각각 평균 25.7±4.8, 7.2±0.3로 다소 일정한 값을 보이고 있으나, BOD 4.0~7.1 mg/L, SS 3.6~28.0 mg/L, T-N 0.965~4.351 mg/L, T-P 0.047~0.167 mg/L는 조사 시기에 따라 다소 차이가 있는 것으로 조사되었으며, 이는 조사시기가 여름으로 우기에 따른 영향으로 판단된다.

유량의 균등화를 위해 설치한 유량조정조(FCB; Flow control basin)와 사상성 조류를 증식한 산화지(Oxidation pond)의 수질특성변화를 조사시기별로 분석한 결과는 Fig. 3와 같다. 수온은 조사 초기와 조류가 사멸하기 시작하는 10월 조사에서는 조(cell)에 관계없이 거의 일정한 수온을 보이고 있으나 산화지가 안정화된 7월 28일 이후부터는 유입수나 유량조정조에 비해 산화지에서 5°C 이상 큰 폭으로 증가하는 것을 볼 수 있다. pH는 산화지에서는 매우 큰 폭으로 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 Algae가 주간동안에는 광합성 활동을 하여 수중에 있는 CO<sub>2</sub>를 소비하기 때문이며, 이러한 CO<sub>2</sub> 감소는 물속의 알칼리 형태를 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>에서 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>와 OH<sup>-</sup>로 전환시키므로 pH를 상승시키는 직접적인 요인이 된다. 전기전도도(EC; Electronic conductivity)는 조사 초기에는 유입수나 유량조정조에 비해 산화지에서 오히려 증가하고 있으나 안정화 이후부터는 산화지에서 다소 감소하는 다소 불규칙적인 양상을 보였다. DO는 유입수에 비해 유량조정조에서는 크게 감소하였고, 산화지에서는 큰 폭으로 증가하였는데, 이는 주간에 Algae의 과대한 성장과 활발한 광합성 활동을 통하여 수중에 산소(O<sub>2</sub>)를 생성하여 DO를 과포화상태가 되도록 한다.

Table 2. Water quality characteristics of inflow water

Date	수온 (°C)	pH	EC (µs/cm)	DO (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
8. Jul.	25.0	7.4	148.4	8.5	5.3	28.0	3.612	0.114
28. Jul.	26.6	6.7	188.0	7.1	7.1	6.0	3.133	0.079
13. Aug.	32.2	7.1	688.0	6.8	5.5	9.0	0.965	0.047
2. Sep.	28.2	7.2	447.0	7.2	6.2	10.7	1.654	0.072
17. Sep.	24.3	7.0	149.0	5.1	6.0	25.7	1.924	0.167
15. Oct.	17.8	7.6	218.0	8.7	4.0	3.6	4.351	0.115
Mean	25.7	7.2	306.4	7.2	5.7	13.8	2.607	0.099

부유물질인 SS는 유량조정조와 산화지를 거치면서 매우 큰 폭으로 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 비중차이에 의한 침전효과에 의한 것으로 보인다. 유기물의 오염지표인 COD는 유량조정조와 산화지를 거치면서 거의 변화가 없는 것으로 나타났으나 유출수(C10)에서는 다소 감소하는 것으로 나타났다. T-N은 유량조정조와 산화지의 초반부에서는 감소하다가 후반부로 갈수록 점차 증가하는 것으로 나타났고, T-P는 산화지의 단계를 거치면서 점차적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 혐기성 상태에서의 질산화작용과 호기성 상태에서의 인의 제거기작에 기인한 것으로 분석된다.

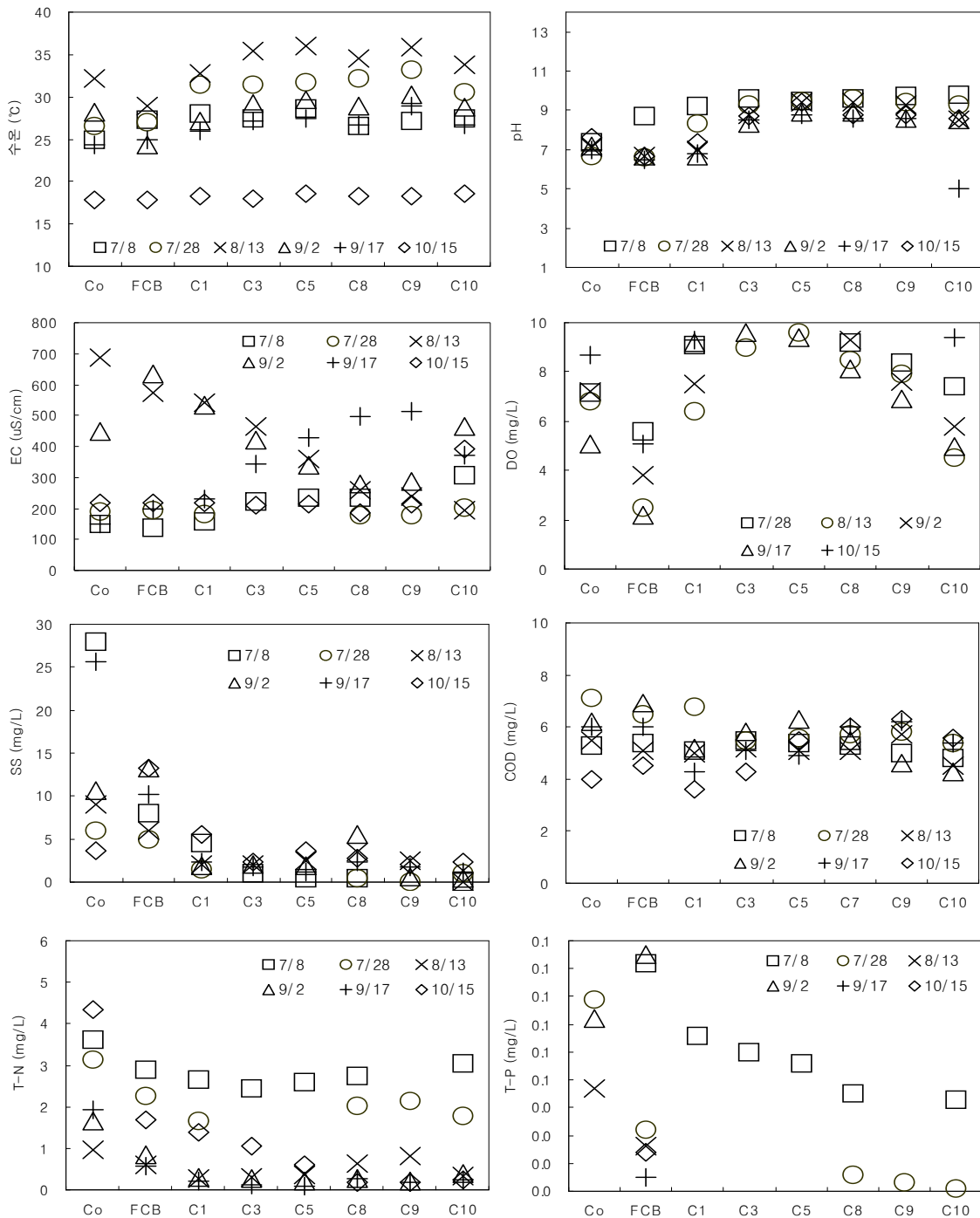


Fig. 3 Change of water quality characteristics in oxidation pond with filamentous algae

### 3.2 수질정화효율

유량조정조와 사상성 조류매트 산화지의 수질정화효율을 분석한 결과는 Table 3.에 정리하였다. COD의 평균 오염제거율은 유량조정조 -1.7%, 산화지 -0.8%로 오히려 유입수에 비해 다소 농도가 증가하는 경향을 보였는데, 이러한 결과는 수생식물과 조류를 대상으로 한 다수의 선행 연구와 비슷한 결과로 나타났다(Silva, S.A., 1982; 김태웅, 2000; 이수형외, 2002). 이러한 원인으로서는 사멸된 Algae에서 유기물질이 용출되어 COD 상승요인으로 작용하였고, 또한 수중 pH 상승으로 인하여 COD 물질을 제거하는 미생물의 효소활동이 방해받았기 때문으로 판단된다.

SS의 제거율은 유량조정조에서는 -266.7~71.4%, 산화지에서는 28.6~300%로 조사 시기에 따라 매우 차이가 심하였고, 유량조정조에서는 부레옥잠의 뿌리에 부착하고 있는 입자성 SS의 부상의 영향으로 인해 유입수에 비해 더 증가하는 것으로 판단되며, 산화지에서는 높은 비율로 제거되어 전체 시스템에서는 평균 84.7%로 제거효율이 높은 것으로 나타났다. T-N의 제거율은 유량조정조에서는 평균 44.2%, 산화지에서는 2.5%가 제거되어 총 63.9%가 제거되는 것으로 나타났고, T-N은 유량조정조에서 대부분 제거되는 것으로 나타났다.

**Table 3. Pollutant removal efficiencies of FCB and oxidation pond**

Item	Date	Flow control basin			Oxidation Pond			Total RE		
		Cin	Cout	RE(%)	Cin	Cout	RE(%)	Cin	Cout	RE(%)
COD	7/8	5.3	5.4	-1.9	5.4	6.0	-11.3	5.3	6.0	-13.2
	7/28	7.1	6.5	8.5	6.5	7.4	-12.7	7.1	7.4	-4.2
	8/13	5.5	5.1	7.3	5.1	4.5	10.9	5.5	4.5	18.2
	9/2	6.2	6.9	-11.3	6.9	5.3	25.8	6.2	5.3	14.5
	9/17	6.0	6.0	0.0	6.0	5.4	10.0	6.0	5.4	10.0
	10/15	4.0	4.5	-12.5	4.5	5.6	-27.5	4.0	5.6	-40.0
	평균	5.7	5.7	-1.7	5.7	5.7	-0.8	5.7	5.7	-2.5
SS	7/8	28.0	8.0	71.4	8.0	0.0	28.6	28.0	0.0	100.0
	7/28	6.0	5.0	16.7	5.0	1.0	66.7	6.0	1.0	83.3
	8/13	9.0	6.0	33.3	6.0	0.0	66.7	9.0	0.0	100.0
	9/2	10.7	13.3	-24.3	13.3	0.4	120.6	10.7	0.4	96.3
	9/17	25.7	10.2	60.3	10.2	1.2	35.0	25.7	1.2	95.3
	10/15	3.6	13.2	-266.7	13.2	2.4	300.0	3.6	2.4	33.3
	평균	13.8	9.3	-18.2	9.3	0.8	102.9	13.8	0.8	84.7
T-N	7/8	3.612	2.905	19.6	2.905	3.054	-4.1	3.612	3.054	15.4
	7/28	3.133	2.274	27.4	2.274	1.770	16.1	3.133	1.770	43.5
	8/13	0.965	0.606	37.2	0.606	1.338	-75.9	0.965	0.338	65.0
	9/2	1.654	0.838	49.3	0.838	0.380	27.7	1.654	0.380	77.0
	9/17	1.924	0.566	70.6	0.566	0.230	17.5	1.924	0.230	88.0
	10/15	4.351	1.694	61.1	1.694	0.231	33.6	4.351	0.231	94.7
	평균	2.607	1.481	44.2	1.481	1.167	2.5	2.607	1.001	63.9
T-P	7/8	0.114	0.092	19.3	0.092	0.043	43.0	0.114	0.043	62.3
	7/28	0.079	0.032	59.5	0.032	0.011	26.6	0.079	0.011	86.1
	8/13	0.047	0.026	44.7	0.026	0.004	46.8	0.047	0.004	91.5
	9/2	0.072	0.095	-31.9	0.095	0.001	130.6	0.072	0.001	98.6
	9/17	0.167	0.015	91.0	0.015	0.004	6.6	0.167	0.004	97.6
	10/15	0.115	0.024	79.1	0.024	0.001	20.0	0.115	0.001	99.1
	평균	0.099	0.047	43.6	0.047	0.011	45.6	0.099	0.011	89.2

Note) Cin ; Inflow concentration, Cout ; Outflow concentration, RE ; Removal efficiency

이는 크게 성장한 부레옥잠에 의한 햇빛의 차단으로 수면 부근에서의 광합성 활동이 일어나지 못하므로 수체의 DO가 평균  $3.8 \pm 1.5$  mg/L로 유지되어 혐기성상태에서의 Denitrification에 의해 질소가 감소된 것으로 판단된다. 산화지에서의 질소제거는 조류에 의한 탄소동화작용에 의해 형성된 높은 pH 상태에 의해 질산화과정(Nitrification)과 탈질산화과정(Denitrification) 없이 암모니아의 탈기현상에 의해  $N_2$ 가 대기 중으로 휘발되어 T-N이 감소되는 것으로 판단된다. T-P의 제거율은 유량조정조에서는 평균 43.6%, 산화지에서는 45.6%가 제거되어 전체 89.2%로 제거율이 매우 높은 것으로 나타났다. T-P는 T-N과 다르게 유량조정조부터 산화지의 후반부까지 지속적으로 감소하는 경향을 보였는데, 이것은 산화지의 높은 pH 조건에서 알칼리도, 경도 유발물질과 반응하여 무기화합물을 형성하여 침전되는 과정이 산화지에서 지속적으로 발생한 것으로 판단된다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구는 사상성 조류매트 산화지의 실증플랜트를 충남 서산시 성암저수지 유입하천에 설치하여 산화지내에서의 수질특성 변화와 COD, SS, T-N, T-P의 수질정화효율을 살펴보았다. pH와 DO는 산화지내에서 크게 증가하였고, EC와 COD는 산화지내에서 크게 변화가 없었으며, SS는 산화지의 후반부로 갈수록 크게 감소하였다. T-N은 DO가 낮은 유량조정조에서는 농도가 크게 감소하였고, T-P는 산화지의 단계를 거치면서 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 산화지의 수질정화효율은 COD는 -2.5%로 오히려 증가하였고, T-N은 63.9%, T-P는 89.2%, SS는 84.7%로 높은 정화효율을 나타냈다.

농어촌지역은 비점오염원으로 인해 유기물 오염의 농도는 낮고, T-N, T-P와 같은 영양염류가 매우 높아 소하천과 저수지 유입하천의 부영영화의 문제가 심각하다. 이러한 사상성 조류매트 산화지와 같은 친환경적 시설을 농어촌지역에 적용한다면 농어촌 수환경 개선에 도움을 줄 것으로 판단된다. 그러나 이러한 시설이 실용화되기 위해서는 영양염류뿐만 아니라 유기물도 함께 제거될 수 있는 방안 등 향후 추가적인 연구가 필요하다 하겠다.

#### V. 참고문헌

1. 건설교통부(1992). 하수도시설기준.
2. 김태웅(2000). 사상성 조류매트를 이용한 농촌소하천수의 영양제거법에 관한 연구, 박사학위논문, 대전대학교 대학원, pp. 39-86.
3. 김범철(1982). 조류와 물벼룩 배양을 이용한 이차처리수의 무기질소 제거, *강원대학교 논문집* 제17호, pp. 92-103.
4. 농림부, 농업기반공사(1998). 수질개선을 위한 수처리조 배열기법연구(2차년도 보고서). pp. 38-60.
5. 이수형, 이영준(2002). 조류를 이용한 인공하수의 재처리, *Korean J. Limnol.* 35(2), pp. 1d33-140.
6. 장정렬(2004). 농업유역 비점오염 저감을 위한 인공습지 설계인자 평가, 박사학위논문, 서울대학교 대학원, pp. 1-6.
7. Hendricks D.W. and Pote W.D.(1974), Thermodynamic analysis of a primary oxidation pond, *J. of Wat. poll. cont. Fed.*, 46(2), pp. 333-351.
8. Jianhua Li., Jin Wang and Jinlan Zhang(1991). Removal of salts in relation with algae in ponds, *Wat. Sci. & Tech.*, 24(5), pp. 75-83.
9. Mara D.D., Maria Helena F. and Marecos do Monte(1990). The Design and operation of waste stabilization ponds in tourist areas of mediterranean Europe, *Wat. Sci. & Tech.*, 22, pp. 73-76.
10. Silva, S.A.(1982). On the treatment of domestic sewage in waste stabilizationponds in Northeast Brazil. Ph. D. thesis. University of Dundee. Scotland.