

## 미나리를 이용한 계면활성성분 및 합성세제 제거에 관한 연구

김경민 · 최한영 · 신정식 · 나규환 · 이장훈\*  
연세대학교 환경학과, \*호서대학교 환경공학과

## The Removal of Surfactants and Commercial Detergents by *Oenanthe javanica*

K. M. Kim, H. Y. Choi, J. S. Shin, K. H. Ra and J. H. Lee\*

Dept. of Environmental Science, Yonsei University

\*Dept. of Env. Eng., Hoseo University

### ABSTRACT

The purpose of thesis was to investigate the removal efficiency of surfactants and commercial detergents by *Oenanthe javanica* that is one of aquatic plants in Korea. The experiment is concerned with measuring the concentrations of surfactants and commercial detergents in different media: 1) in pure water, 2) in water containing *Oenanthe javanica*, 3) in water containing *Oenanthe javanica* and commercial nutrients. The surfactants used in this research include linear alkylbenzene sulfonates (LAS),  $\alpha$ -sulfo fatty acid methyl esters(MES), and alkylbenzene sulfonates(ABS). Two commercial detergents designated as A and B were in the forms of power and liquid. The results showed that LAS and MES were more effectively removed by *Oenanthe javanica* probably because these have a chain of linear carbon than on ABS with a branched carbon structure. In the case of commercial detergents, when the except was performed on the basis of surfactants proportion, the removal trends were similar to LAS and MES. The 5-day cultivating test with initial concentration of 0.5-1.0 ppm surfactants showed that less than 10% was removed if no nutrients an *Oenanthe javanica* were added. When *Oenanthe javanica* was added into the sample solution containing surfactants, the removal efficiency was increased; 100% for the solution containing 0.5-1.0 ppm; 60-70% for 5-10 ppm. In addition, chlorosis on *Oenanthe javanica* was observed due to surfactants and commercial detergents for all three cases. To test the dependence of population density on nutrients, the initial population density was made 300 g/0.4 m<sup>2</sup>. Throughout the 5-day experiment, the on *Oenanthe javanica* grew 20-25% with 0.5-1.0 ppm without the synthetic nutrients but by 5% with a high concentrations of 5-10 ppm. The population density was appeared to be independent of synthetic nutrients. The leaves were to be grown with synthetic nutrients, while roots were grown without synthetic nutrients. Based on this research, the fundamental data concerning cultivation and an adequate adjustment of the water condition can provide for the utilization of *Oenanthe javanica* in real water treatment system.

**Keywords:** *Oenanthe javanica*, Surfactants, Synthetic detergent, LAS(linear alkylbenzene sulfonate), MES( $\alpha$ -sulfo fatty acid methyl esters), ABS(alkylbenzene sulfonates)

### I. 서 론

19세기 이후, 세정력과 경제성이 우수한 합성세제의 개발은 인류생활의 편의와 보건위생에 크게 기여하였다. 그러나 산업화와 도시화에 따른 인간의 건

강과 안전을 위협하는 환경오염 문제가 사회적 관심사로 등장하게 되면서, 합성세제와 관련된 환경상의 영향 및 보건안전상의 문제가 거론되기 시작하였다. 우리나라는 대규모 폐수시설에 중점을 두어 건설되고 있어, 소규모 폐수배출업체나 농촌지역에서는 수

질오염에 대한 문제가 방지되어 있는 상황이다. 이러한 지역에 처리시설이 설치되더라도 운전기술이나 경제적인 면에서 볼 때 여러 문제점이 있으며, 기술면에서도 도시의 대규모 처리장과는 다른 접근이 시도되어야 한다고 본다. 외국의 경우는 제방을 하고 자연을 복구하여 홍수에 의한 범람을 막고 하천 및 호수의 수질을 개선하기 위해 노력하고 있다. 이러한 생태계 복원작업의 하나가 친연 늪의 조성이다.<sup>1)</sup> 최근에는 이러한 자연처리법(natural treatment system)에 대한 연구가 매우 활발히 시도되고 있으며, 그 중 징수식물(emergent plant)에 의한 인공습지를 이용한 처리도 이 방법의 하나이다.<sup>2)</sup> 이러한 처리법은 자연습지의 원리를 이용하여 폐수를 처리하는 것이다. 미나리를 포함한 습지식물은 폐수의 안정화, 영양염류 제거, 수확된 수초의 퇴비화 등과 같이 폐수의 회수 및 재순환되는 목적에 이용되고 있다.<sup>3)</sup>

외국에서는 부레옥잠이나 개구리밥 등에 의한 수생식물시스템과 자연습지 및 인공습지를 이용한 영양염류의 제거가 실용화되어 있다. 국내의 경우에서도 부레옥잠<sup>4)</sup>이나 생이가래<sup>5)</sup> 등 수생식물을 이용하여 수처리 기능을 강화하기 위한 연구들이 진행되었다. 앞으로는 오염부하에서 3차처리가 실행된다 하더라도 날로 그 영향이 심각한 비점오염물질을 제어하기 위해 이러한 습지시스템의 적용은 생태계의 물질순환의 원리를 이용한 생태공학적인 접근<sup>6)</sup>인 점으로 비추어 볼 때 의의가 있다고 하겠다. 더욱이 습지를 이용한 하수의 처리는 경제적이고 그 효과도 높은 편이라고 할 수 있다. 그러므로 습지를 이용한 처리법은 수도권 지역의 하수처리 시설로 적용하기에 적합한 뿐만 아니라 하수-폐수처리장에서 나오는 방류수의 수질을 개선시키는 역할을 담당할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 습지에서 흔히 관찰할 수 있는 미나리(*Oenanthe javanica*)를 이용하여 합성세제의 제거능을 연구하여 몇 가지 지점을 얻었기에 보고하는 바이다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

실험에 사용한 미나리는 충북 제천시 미당리에서 채취한 것이며, 이것을 수돗물로 수세한 후 일부분을 잘라 뿌리와 줄기만을 다시 재배하였다. 재배조는 아크릴판으로 만든 10개조로 된 수조(20 cm × 20 cm × 20 cm)이며, 수정재배에 사용한 인공배양액의

**Table 1.** Composition of synthetic nutrient solution

Ingredient	Concentration(mg/l)
KNO <sub>3</sub>	41.48
NaNO <sub>3</sub>	25.80
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	5.63
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2.53
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	1.33
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	1.60
HOOC(CHOH)COOH	1.20
FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.24
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.21
NaMoO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.19

조성은 Table 1와 같다.<sup>7)</sup>

위의 배양액은 고등식물을 수정재배하는데 주로 이용되고 있다.

### 2. 실험방법

실험시기는 실험실내의 일일 일조시간을 일정하게 하기 위하여 1995년 10월과 1996년 5월(수온 12°C) 중에 실시했으며 각 실험수조의 재배기간은 4일이었 다. 총 수조의 수는 25개로 같은 실험을 각각 7회씩 반복했으며, 실험장소는 실온의 실험실 내에서 24시간 마다 오후 4시를 기준으로 시료를 채취하여 농도 변화를 측정하였다. 또한 대조군(control)을 제외한 모든 수조의 미나리 개체밀도는 300 g/0.4 m<sup>2</sup>로 조정 하였다.<sup>8)</sup>

실험에 사용한 계면활성제 및 세제의 농도는 각각 0 ppm(blank), 0.5 ppm, 1 ppm, 5 ppm, 및 10 ppm로 구분하여 아래와 같은 실험군으로 나누었다. 1군은 Fig. 1과 같이 증류수에 각 농도별 계면활성제 및 중성세제 첨가, 2군은 1군에 미나리를 수정재배 하였 으며(Fig. 2), 3군은 증류수에 인공배양액을 일정량 첨가하여(NO<sub>3</sub>-N 40 ppm, PO<sub>4</sub>-P 5 ppm) 여기에 각 농도별 계면활성제 및 중성세제를 첨가한 후 미나리를 수정재배하였다(Fig. 3). 각 조건하에서의 계면활 성제 및 중성세제의 잔류 또는 제거율 측정은 음이온 계면 활성제 측정법의 하나인 methylene blue active substances(MBAS)로 측정하였다.<sup>9)</sup>

## III. 결과 및 고찰

### 1. 계면활성제 성분에 따른 영향

수처리에서 많이 이용되어 온 부레옥잠과 비교해 보았다. 부레옥잠 쪽이 높은 제거효율을 보이나 우

리나라 여건에 맞지 않는 반면 수생식물중 국내에서 흔히 자생하거나 식용으로 재배되고 있는 미나리를 이용하여 수질정화능에 대해 조사하였다. 미나리는 동남아시아에서 흔히 볼 수 있기 때문에 계면활성제 제거실험에 적합하다고 생각된다.

미나리의 생육밀도(300 g/0.4 m<sup>2</sup>) 및 기타 조건(12°C, pH 7)을 일정하게 한 후 계면활성 성분 및 합성세제 초기농도별 실험을 시행하였다. 식물 형태학적인 관찰결과 합성세제 농도가 5 ppm 이상의 수조에서는 3일째부터 잎과 줄기가 마르기 시작하였는데 이는 과도한 합성세제의 독성작용에 기인한 것으로 보인다.<sup>10)</sup>

Fig. 1의 a에서 e까지는 4 l의 증류수에 각 농도별로 LAS, MES, ABS 및 시판되고 있는 분말상태인 A세제, 액상상태인 B세제를 각 각 넣고 미나리를 넣지 않은 상태에서 4일 동안의 수질 변화량을 측정된 결과 제거율은 8%이하로 낮았음을 알 수 있었는데 이것은 단시간내에 광분해나 미생물에 의해 계면활성성분 및 합성세제가 제거되지 않음을 나타낸다.<sup>11)</sup>

Fig. 2의 a에서 e까지는 4 l 증류수에 미나리와 계면활성제만을 각 농도별로 넣은 상태에서 위와 같은 실험을 4일간 실시하였다. 첫째날의 농도변화가 다

른 날들의 변화보다 월등하게 높게(60~70%) 나타났으나, Fig. 2-c의 ABS는 직쇄형의 구조를 가진 다른 세제보다 제거율이 낮게(30%) 나타났다. 이는 세제 구조가 가지형인 ABS의 분해가 직쇄형인 다른 세제에 비해 분해·제거가 현저히 떨어짐을 알 수 있었다. 또한 0.5 ppm과 1 ppm처럼 낮은 농도에서는 계면활성 성분 및 합성세제가 거의 제거되었다. 이는 미나리 뿌리부분에서의 흡수제거율이 저농도에서는 높음을 알 수 있다는 보고와 일치됨을 알 수 있다.<sup>12)</sup>

Fig. 3의 a에서 c까지는 4 l 증류수에 미나리와 배양액을 모두 넣은 후 위와 같은 조건에서 측정된 것이다. 이 실험에 쓰인 배양액은 Table 1과 같이 만든 인공배양액이며 영양염류의 초기농도를 각각 NO<sub>3</sub>-N 40 ppm, PO<sub>4</sub>-P 5 ppm 으로 정하여 실험하였다. 이 조사에서도 Fig. 2의 a-e와 비슷한 경향을 나타냈으나 영양분이 있는 상태에서의 제거율이 조금더 높게(70%) 나타남을 알 수 있었다.

계면활성제의 식물체 축적은 초기농도가 높은 것에 따라 체내 축적이 비례적으로 증가함을 나타내었다. 따라서 제거경향은 모두 실험초기에 급격한 제거율을 보인다는 것을 의미한다.<sup>13)</sup>

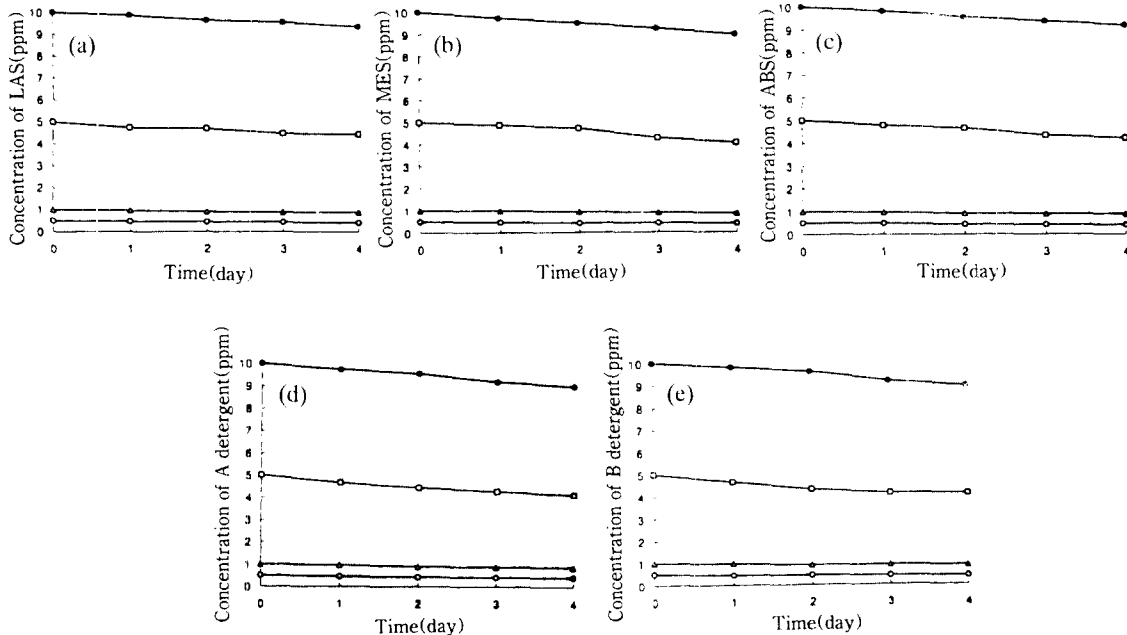
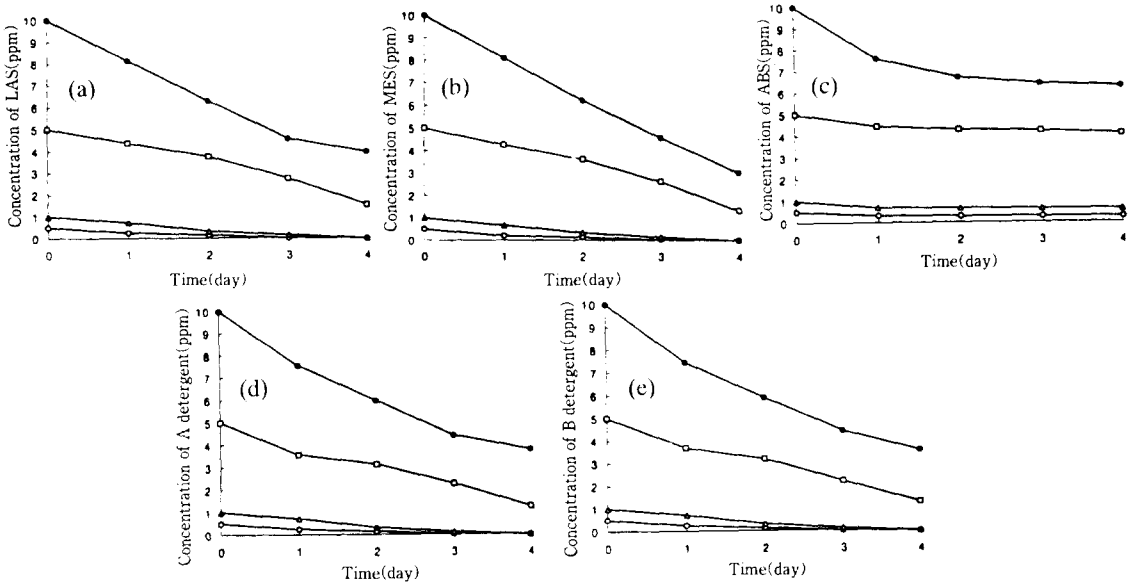
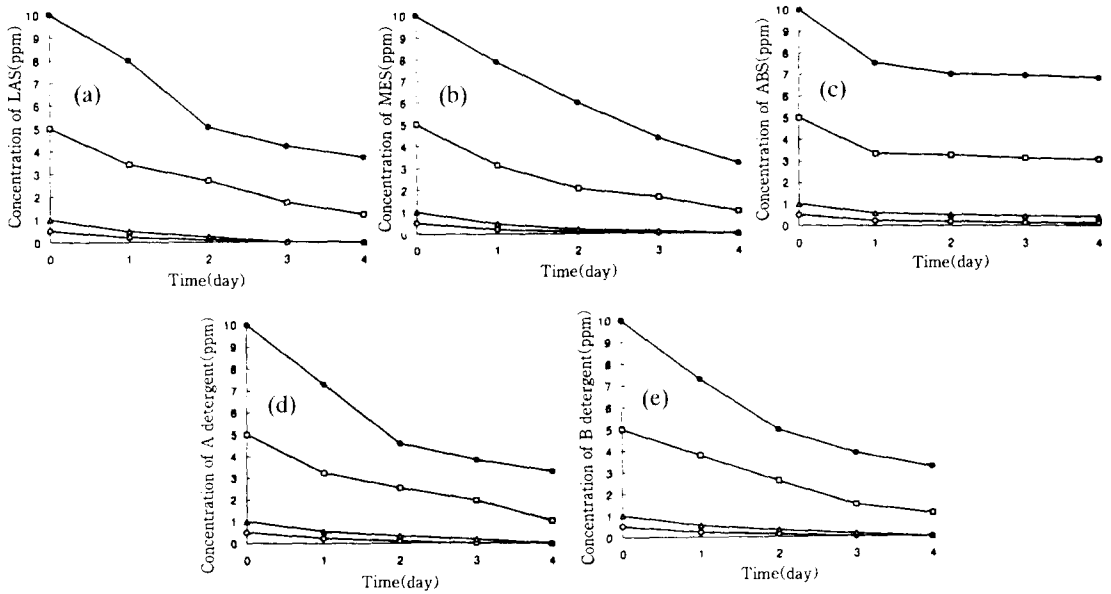


Fig. 1. Dependence of the detergents concentration on time without *Oenanthe javanica* and synthetic nutrients. a: LAS, b: MES, c: ABS, d: A detergent, e: B detergent. ○ : 0.5 ppm, △ : 1 ppm, □ : 5 ppm, ● : 10 ppm



**Fig. 2.** Dependence of the detergents concentration on time with *Oenanthe javanica* and without synthetic nutrients a: LAS, b: MES, c: ABS, d: A detergent, e: B detergent ○ : 0.5 ppm, △ : 1 ppm, □ : 5 ppm, ● : 10 ppm

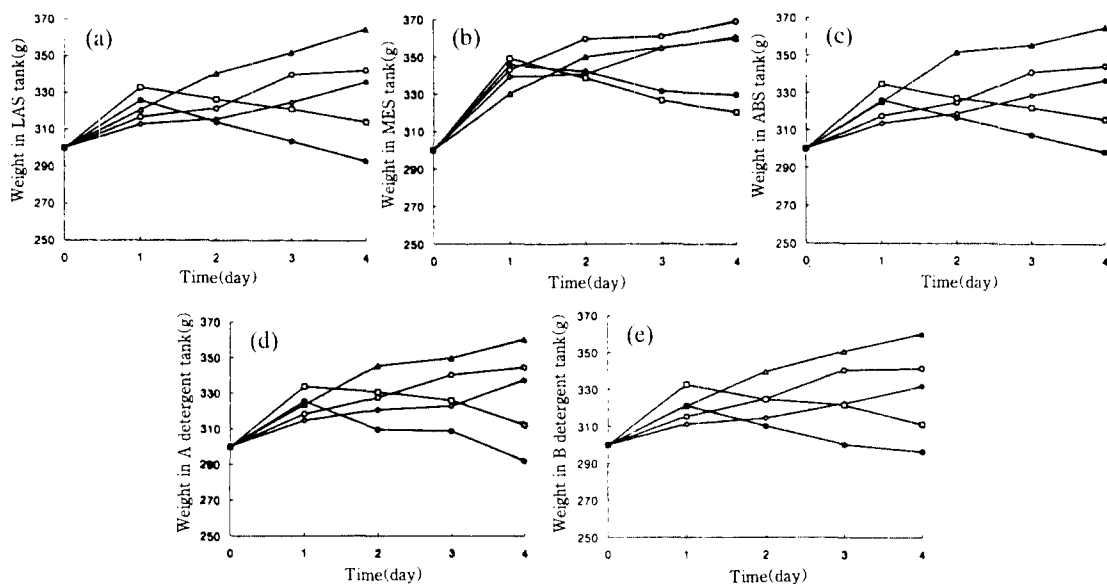


**Fig. 3.** Dependence of the detergents concentration of time with *Oenanthe javanica* and synthetic nutrients. a: LAS, b: MES, c: ABS, d: A detergent, e: B detergent ○—○ : 0.5 ppm, —△ : 1 ppm, □ : 5 ppm, —● : 10 ppm

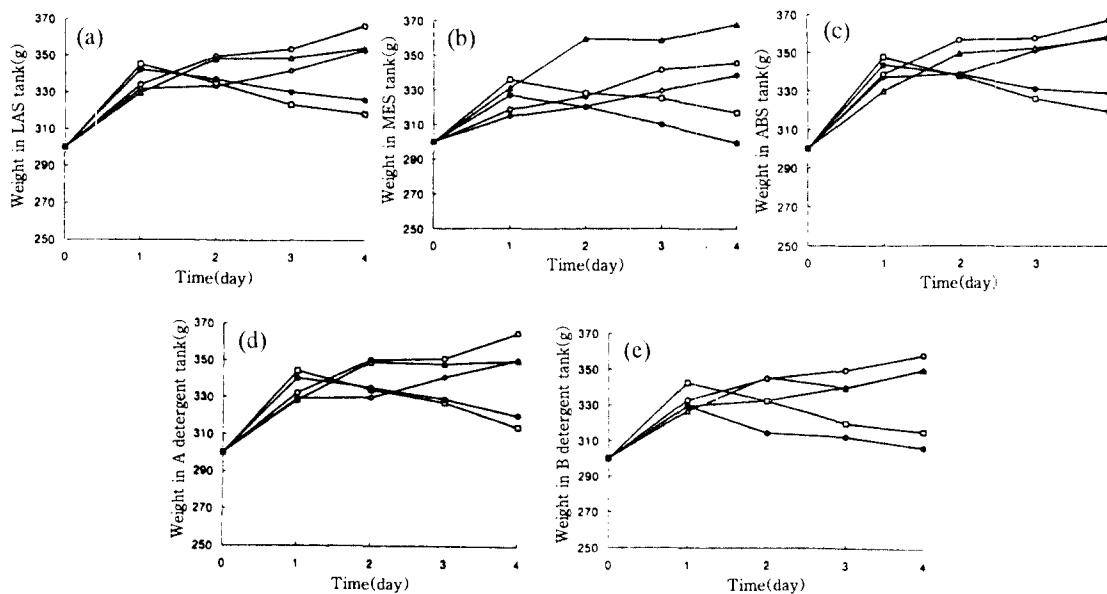
**2. 각 농도에 따른 생체중량 변화**

계면활성성분 및 합성세제에 의한 생체중량 변화

는 초기부계를 300 g/0.4 m<sup>2</sup>으로하여 각각의 무계변 화율을 측정하였다. Fig. 4와 같이 4l 증류수에 미나



**Fig. 4.** Dependence of the *Oenanthе javanica* weight on time in the detergents basin without synthetic nutrients. a: LAS, b: MES, c: ABS, d: A detergent, e: B detergent. ○ : 0.5 ppm, △ : 1 ppm, □ : 5 ppm, ● : 10 ppm



**Fig. 5.** Dependence of the *Oenanthе javanica* weight on time in the detergents basin with synthetic nutrients. a: LAS, b: MES, c: ABS, d: A detergent, e: B detergent ○ : 0.5 ppm, △ : 1 ppm, □ : 5 ppm, ● : 10 ppm

리만을 넣고 4일 동안 측정된 결과 0.5 ppm과 1 ppm에서는 10~14% 정도의 생체중량 증가를 보였

으며 비교적 고농도인 5 ppm에서는 6% 정도의 증가율을, 10 ppm에서는 -0.49~2.7%로 무게가 줄어드

는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 미나리 생장이 독성으로 저해됐기 때문이라 할 수 있다.

Fig. 5는 4 l 증류수에 미나리와 배양액을 모두 넣은 후 위와 같은 조건에서 무게를 측정할 결과 0.5 ppm과 1 ppm에서는 14~19% 정도의 생체중량 증가를 관찰할 수 있었으며 5 ppm에서는 5~8%의 증가율을, 10 ppm에서 8% 정도의 증가율을 관찰할 수 있었다. 이 조사에서 알 수 있듯이 Fig. 4와 Fig. 5는 생중량에서는 전체적으로 비슷한 경향을 나타내나 영양염류를 넣지 않은 Fig. 4의 경우는 뿌리부분의 무게가 증가한 반면 영양염류를 첨가한 Fig. 5의 경우는 잎부분이 육안으로도 구별될 정도로 무게가 증가함을 알 수 있었으며 최고 19%이다.

#### IV. 결 론

미나리를 이용한 계면활성성분 및 합성세제의 제거농도 변화량은 주변 환경의 요인과 크게 상관없이 초기농도에 따라 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 따라서 실제 처리시스템에서 이용한 경우 과도한 영양염류로 인한 독성을 일으키지 않는 범위로 전처리 해야 한다고 본다.

미나리를 이용한 계면활성성분 및 합성세제의 성분별 제거실험의 제거율은 직쇄형의 LAS와 MES가 가지형의 ABS보다 제거율이 높았다.

미나리를 이용한 계면활성성분 및 합성세제의 농도별 실험에서 저농도인 0.5 ppm과 1 ppm에서는 100%의 제거율을 보였고 5 ppm, 10 ppm에서는 60~70%의 제거율을 보임을 알 수 있었다.

미나리에 의한 계면활성성분 및 합성세제의 제거율은 초기농도와 상관없이 재배 초기에 큰 제거 정향을 보인 후 점차 일정한 수준의 경향을 보였다. 미나리에 의한 계면활성성분 및 합성세제의 제거율은 영양염이 있는 경우가 영양염이 없는 경우보다 전반적으로 각 세제의 제거율이 높아 나타났다.

미나리에 의한 개체밀도를 보면 계면활성성분 및 합성세제의 초기농도와 상관없이 재배 초기에 큰 성

장을 보인 후 점차 감소하는 경향을 보였다. 미나리를 이용한 계면활성성분 및 합성세제의 실험결과 체중량은 농도에 상관없이 일정한 무게를 유지했으나 고농도에서는 뿌리부분에 비대를 보인 반면, 저농도에서는 잎의 성장을 볼 수 있었다.

#### 참고문헌

- 1) 안창호: 수처리를 위한 모의습지의 실험적 연구. 석사학위논문, 서울대학교 환경대학원, 서울, 1993.
- 2) Metcalf and Eddy: Wastewater Engineering, McGraw-Hill Company, 297-298, 1991.
- 3) 권성환: 미나리를 이용한 수질정화에 관한 연구, 39-45, 석사논문, 1994.
- 4) 과학기술처: 호수 만입부에서의 조류대량증식 제어 기술 개발(2차년도 보고서), 1991.
- 5) 안윤주, 공동수: 생이가래를 이용한 영양물질의 제거 방안 연구, 대한환경공학회 추계학술연구논문집, 487-492, 1994.
- 6) 이남희: 수생식물을 이용한 돈사폐수의 처리, 석사학위논문, 부산수산대학교 대학원, 1993.
- 7) 이종식: 부레옥잠의 수질오염원 제거에 관한 연구, 석사학위논문, 충남대학교 대학원, 1986.
- 8) Mitch, W. J. and Sven Eric Jorgensen: Ecological Engineering, John Willy & Sons, 1989.
- 9) Anold, E. G., Lenore, S. C. and Andrew, D. E.: Standard methods for the water and wastewater 18th edition, APHA AWWA WEF, 4-1-4-8, 1992.
- 10) 강영희, 신용오: 식물영양학, 533-535, 1980.
- 11) D. M. Knoll: Effect of nitrogen-phosphorus Ratio of the culture medium on growth and nutrient removal by water hyacinth. Aquatic plants for water treatment and Resource Recovery, 657-663, 1987.
- 12) 홍사육: 한국비누세제공업협동 조합, 비누세제회보, 27-31, 1989.
- 13) W. F. Debusk and K. R. Reddy: Density Requirements to maximize productivity and nutrient removal capability of water hyacinth, Aquatic plants for water treatment and Resource Recovery, 673-680, 1987.