

윤충류를 활용한 하천 및 연안의 수질관리에 관한 연구

김 정 숙

부산지역환경기술개발센터

(2006년 12월 11일 접수; 2007년 2월 15일 채택)

A Study on the Water Quality Management Using the Rotifers

Jeong-Sook Kim

Busan Environmental Technology Center, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

(Manuscript received 11 December, 2006; accepted 15 February, 2007)

Water pollution in enclosed water bodies such as lake and river has become a serious problem over the world. Domestic wastewater is responsible for more than 60 % pollution load in public water area in Korea. Effluent of the treated domestic wastewater at low removal level is abundantly fed rivers and lakes and thus be an serious cause of lake pollution. Therefore, effective implement of domestic wastewater treatment in basin of lake and river must be prepared. The septic tank is one of the effective domestic wastewater treatment equipment and used in individual treatment for a unit of household. The purpose of septic tank as biological treatment system is simultaneously to remove BOD, T-N, T-P and reduce turbidity from influent. Accordingly, the appropriate control of functional microorganisms is important subject for the establishment of stability and economy of the biological treatment method. Especially, microanimals as a high-ranked microorganisms of food-chain are important, because microanimals control the other microorganisms especially various bacteria and effect on function of treatment. Therefore, it is necessary that functional predator like rotifers are attached in wastewater treatment process. In this study, the methods for attachment high density the rotifer to and improvement of transparency in the effluence by a dense rotifer was examined using laboratory scale biological treatment reactor simulated septic tank and real one.

Key Words : Microanimal, Rotifers, Septic tank, Domestic wastewater

1. 서 론

환경부는 산업화, 도시화, 인구집중, 그린벨트의 해제 등으로 수질오염물질 배출량은 지속적으로 증가하여 수질관리에 더욱 더 어려움을 겪을 것으로 예측하고 있다. 환경부의 제3차 환경보전중기종합계획 2003년-2007년에 따르면 하·폐수 발생량은 2001년 23,670 천 m^3 /일이던 것이 지속적으로 증가하여 2007년에는 26,270 천 m^3 /일이 될 것으로 예측하였다¹⁾. 발생한 하·폐수는 하수관거를 통해 하수처리장으로 이송되어 처리·방류되어야 하나, 하수관거 정비를 위한 전문인력 및 기술부족, 기술지

원체계 미구축 등으로 하수처리율은 하수발생량에 못미치고 있는 실정이다.¹⁾ 특히, 하수관거 및 그 처리시설이 미비한 농어촌의 수질오염은 대도시에 비해 상대적으로 심각한 상황이다. 따라서 제한된 경제적 여건과 미흡한 처리시스템하에서 수질오염을 효과적으로 방지하기 위하여 설치된 농어촌지역의 주택용 정화조의 고효율화가 필요하다.

한편, 정화조는 생물학적처리로 이루어져 있으며, 하·폐수중의 오탉물질은 세균류, 균류, 원생동물, 미소후생동물들로 구성되어 있는 복잡한 미생물생태계에 의해 처리되고 있다. 이중, 식물연쇄중의 상위에 위치하는 미소후생동물군중 여과섭식성 윤충류는 잉여슬러지 및 SS를 저감시키고 처리수의 투명도를 유지하는데 있어 중요한 역할을 담당하고 있다고 알려져 있다²⁻⁴⁾. 따라서 윤충류를 처리 장치내에 고밀도로 정착시킬 수 있다면 SS의

Corresponding Author : Jeong-Sook Kim, Busan Environmental Technology Center, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
Phone: +82-51-621-7326
E-mail: jkim@betec.ac.kr

유출을 줄이고, 처리수 투명도를 높일 수 있을 것으로 예측된다⁵⁾.

이러한 관점에서 본 연구는 식물연쇄중의 상위에 위치하는 윤충류를 수질정화시스템에 도입하여 윤충류의 초기부착 특성을 평가하고, 윤충류가 처리시스템내에 대량으로 존재할 시 포기조에 존재하는 미생물상에 어떠한 변동을 초래하는지에 대해 검토를 행하였다. 또한 실플랜트에 윤충류의 적용을 위하여 윤충류의 대량배양방법에 대해서도 검토를 행하였다. 본 연구를 통하여 하수관거 및 그 처리시설이 미비한 농어촌에서 방류되는 오수에 의해 야기된 하천 및 연안오염을 제어하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

Philodium erythropthalma(필로디움, 윤충류의 일종)의 고밀도화를 검증하기 위한 실험에 사용한 실험실규모의 반응기는 Fig. 1과 같다. 반응기는 ring mesh 미디어가 충전되어 있는 10 l의 혐기조 2기, 크기 10 mm, 공경이 약 500 μm인 폴리우레탄재질의 미디어를 충전한 6.4 l의 호기조 1기, 6 l의 침전조 1기로 구성되어 있다. 반응기는 20℃ 항온실에 설치하였다.

*P. erythropthalma*의 고밀도화 검증을 위한 현장실험에 사용한 장치는 Fig. 2와 같다. 5인용 정화조의 용량은 2.0 m³으로 구형미디어가 충전된 2개의 혐기조 (제 1조: 1 m³ 제 2조: 0.46 m³), 크기 10 mm, 공경 500 μm의 폴리우레탄재질의 미디어를 충전한 호기조(0.46 m³), 침전조(0.14 m³) 및 소독조(0.02 m³)로 평균처리량은 1,000 l/day이다.

본 연구에서 사용한 윤충류는 Fig. 3과 같은 거

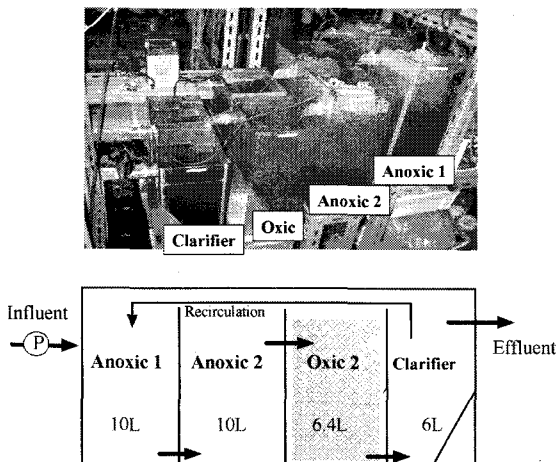


Fig. 1. Experimental apparatus.

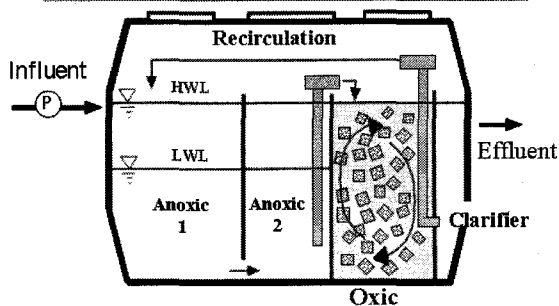


Fig. 2. Experimental apparatus for pilot plant.

머리형 윤충인 *P. erythropthalma*로 이 종은 하수처리나 정화조처리에 있어 안정된 처리성을 유지하고 있을 때의 슬러지중에 관찰되고 있기 때문에 지표미생물로 이용되고 있다⁶⁾. *P. erythropthalma*은 머리부분에 부착되어 있는 섬모판으로 물흐름을 일으켜 수중에 현탁하는 세균류 등을 여과섭식하며^{7,8)} 찌꺼기중에 포함되어 있는 성분에서 영양을 섭취하고 수명이 연장되는 것으로 알려져 있다⁹⁻¹¹⁾.

2.2. 실험방법

2.2.1. 윤충류 고밀도화에 미치는 증식촉진성분의 첨가에 따른 효과검증

본 연구에서 사용한 거머리형 윤충인 *P. erythropthalma*은 찌꺼기중에 포함되어 있는 성분에서

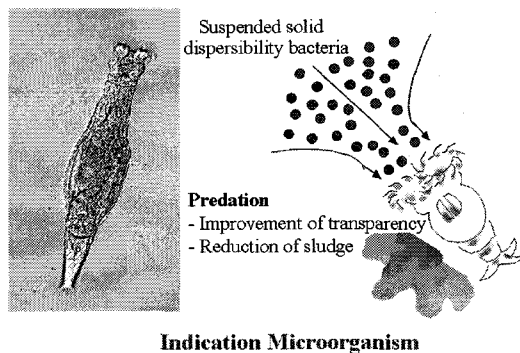


Fig. 3. Characteristic of *Philodium erythropthalma*.

의해 증식 촉진 및 수명이 연장된다고 알려져 있다⁹⁻¹¹⁾. 따라서 본 실험에서는 증식촉진물질(쌀찌꺼지) 첨가에 의한 *P. erythrophthalma*의 고밀도화를 평가하기 위하여 실험실규모 반응기를 이용하여 실험을 행하였다. BOD 200 mg/l, TN 50 mg/l, TP 6.4 mg/l로 조정된 인공하수를 2일의 수리학적체류시간(HRT)으로 연속주입하여, 그 처리수를 순환비 4로 하여 제 1협기조에 반송시켰다. 증식촉진성분 효과에 관한 영향을 평가하기 위해서는 쌀찌꺼기 추출액을 배양기질로 하여 25℃에서 10⁴ N/ml까지 배양시킨 *P. erythrophthalma*를 400 N/ml 되도록 한 배양액을 협기조에 첨가해서 실험을 시작하였다. 반응조내의 *P. erythrophthalma* 개체수가 감소하기 시작할 때 쌀찌꺼기를 현탁시켜 열처리시킨 증식촉진성분을 첨가하였다.

2.2.2. 현장실험에 의한 *P. erythrophthalma*의 고밀도화 검증

실험에 사용한 원수는 일본 이바라끼현 K 수처리센터에서 반송되는 하수를 사용하였다. 운전초기의 *P. erythrophthalma*의 개체수는 40 N/ml으로서 증식촉진성분을 동시에 첨가하였다.

2.2.3. 미생물제제화를 위한 *P. erythrophthalma*의 대량배양

윤충류를 현장에서 운전되고있는 처리장치에 식중제로 하여 공급할 수 있는 생산공정을 확립하기 위하여 파일럿규모의 미생물배양장치에 의한 *P. erythrophthalma*의 대량배양을 검토하였다. Fig. 4는 파일럿규모의 미생물배양장치이다. 대량배양에 사용된 배지의 주요기질은 비용면에서 저렴하면서도 구입하기 쉬운 곡물찌꺼기인 쌀찌꺼기를 이용하였다. 배양준비단계에서 121℃ 수증기로 소독한 미생물대량배양장치에 탈이온수 500 l를 주입한

후, 쌀찌꺼기를 2.5 g/l로 현탁(배양장치기준 12.5 kg첨가)시킨 뒤, 배양온도를 25℃로 설정하여 배양한 *P. erythrophthalma*의 초기 개체수 50 N/ml를 첨가하여 수증폭기(1 l/min)로 산소공급을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 증식촉진성분이 *P. erythrophthalma*의 고밀도화에 미치는 영향

3.1.1. *P. erythrophthalma*의 미디어 초기부착

Fig. 5는 호기조내에 *P. erythrophthalma* 및 증식촉진성분을 첨가한 뒤 미디어내의 *P. erythrophthalma* 개체수 변화를 나타낸 것이다. 첨가 24시간 후 *P. erythrophthalma*와 증식촉진성분에 포함되어 있는 SS성분 거의 대부분이 미디어내에 부착되었다. *P. erythrophthalma*의 개체수밀도는 1,800 N·material/ml로서 미디어내의 초기정착이 짧은 시간 동안에 이루어진다는 것을 알 수 있었다.

3.1.2. 미디어내 미소동물개체군의 변화

*P. erythrophthalma*의 미디어 초기부착실험을 행하는 동안, 호기조의 미디어내 미소동물의 개체수변화를 Fig. 6에 나타내었다. 실험시작 4일째 이후부터 미디어내 *P. erythrophthalma*의 증가가 현저하게 나타났으며, 12일째에는 12,000 N·material/ml까지 증가하여 고밀도화되었다. 그러나 12일째 이후부터 개체수가 급속히 감소하기 시작하여 4,000 N·material/ml까지 줄어들었다. 27일째에 증식촉진성분을 첨가한 결과, 개체수가 다시 증가하기 시작하였으며, 증식촉진성분을 첨가한지 3일후에는 11,000 N·material/ml까지 증가하였다. 한편, 증식촉진성분을 첨가하지 않은 정화조를 관찰한 결과 *P. erythrophthalma*의 개체수는 확인되지 않았다. 또한 섬모충류 *Paramecium*속, *Vorticella*속,

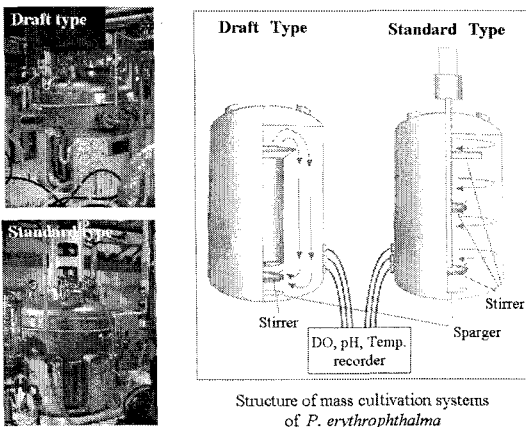


Fig. 4. Structure of mass cultivation systems.

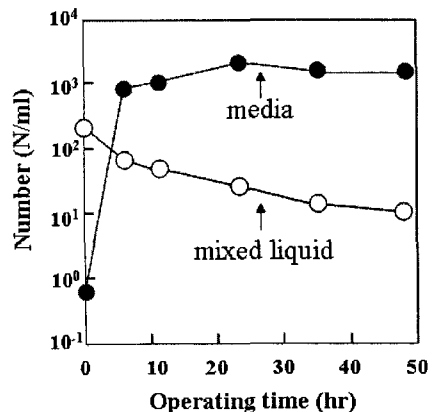


Fig. 5. Changes in of *P. erythrophthalma* under rice bran addition system.

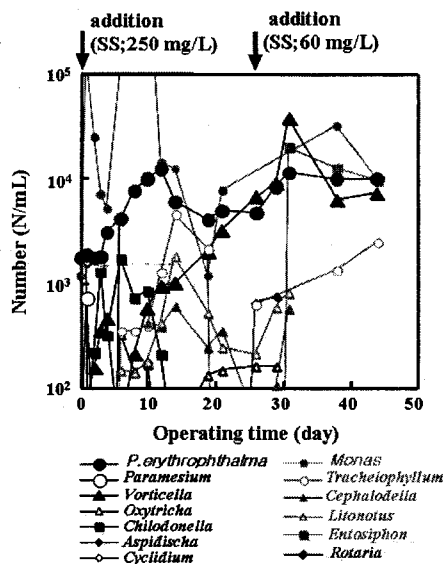


Fig. 6. Chages in microanimals.

*Oxytricha*속을 비롯하여 10종류의 미소동물류가 *P. erythroptthalma* 및 증식촉진성분을 첨가와 관계없이 확인할 수 있었다. 그러나 증식촉진성분을 첨가한 정화조에서는 증식촉진성분 첨가 후 *P. erythroptthalma* 증가하였으나 *P. erythroptthalma* 이외 현저하게 증가한 미소동물은 확인되지 않았다.

위의 결과로 부터 증식촉진성분 첨가에 따라 *P. erythroptthalma*가 빠른 시간에 매디아내에 부착된 것으로 파악된 것을 알 수 있었다. 또한, 다른

여러 종의 미소동물들이 존재하는 혼합미생물 생태계중에서 *P. erythroptthalma*는 증식촉진성분 효과로 인해 매디아내에서 선택적으로 증식하여 고밀도화가 촉진된다는 것이 확인되었다.

3.2. 현장실험에 있어서 고도합병정화조의 매디아 내의 미소동물개체군 동태

실험은 수온이 18℃ 정도인 11월 초에 시작하였으며, *P. erythroptthalma*와 성장촉진성분을 운전 시작 후에 첨가한 결과, 3.1과 거의 같은 24시간정도 후에 매디아에 형성되었다. 실험기간중 주로 출현한 미소동물개체수의 시간변화를 Fig. 7에 나타내었다. 매디아내에는 *Paramecium*속, *Vorticella*속, *Nematoda*속 등의 미소동물이 존재하고 있는데 *P. erythroptthalma*의 증식촉진성분 첨가에 대응하여 초기정착후에 있어서의 *P. erythroptthalma*는 100 N·material/ml이었다. 매디아내의 개체수는 점차적으로 증가하여 27일째에는 10,000 N·material/ml에 이르렀다. 한편, 50일째 이후에는 *P. erythroptthalma*의 개체수는 급속하게 감소하였다. 이것은 수온이 10℃이하로 떨어졌기 때문이라고 사료된다. 3월 중순(140일째)에는 수온이 15℃까지 상승하여 *P. erythroptthalma*가 관찰되어, 증식가능한 온도범위가 존재할 것으로 추측되었다. 따라서 158일째에 증식촉진성분을 30 g (첨가후 60 mg/l)첨가하였다. 그 결과, 재증식이 확인되었으며, 30일동안 1,000 N·material/ml로 유지되었다. 204일째에는 개체수가 감소하였기 때문에 158일째

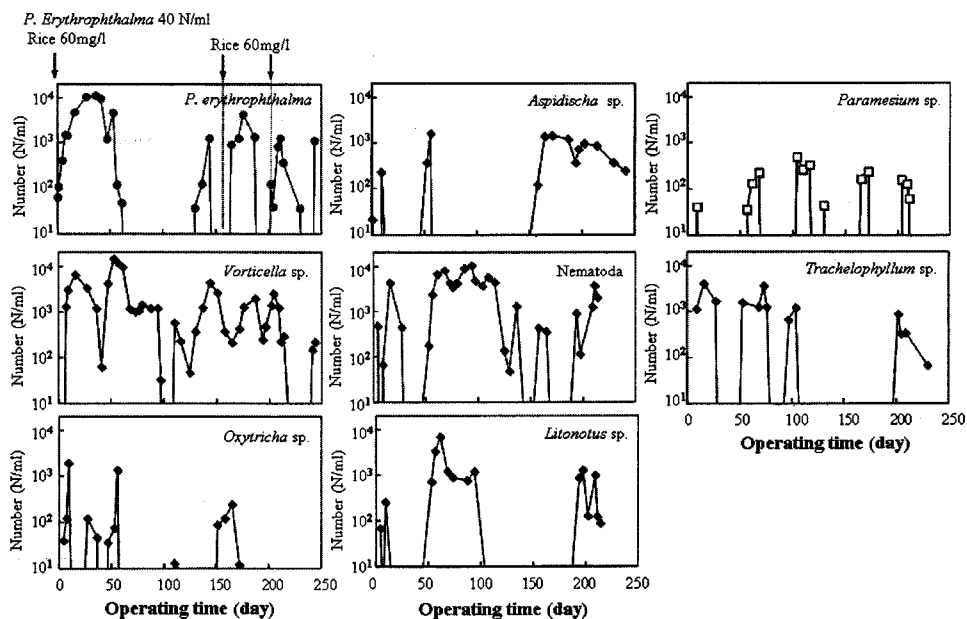


Fig. 7. Changes in *P. erythroptthalma* and other microanimals under rice bran addition system.

와 같은 양의 성장촉진성분을 첨가하였더니 *P. erythrophthalma*의 재증식이 확인되었다. 지금까지 *P. erythrophthalma*의 순수배양계에서 고밀도화가 검증되어져 왔지만^{12, 13)}, 본연구에 의해서 개방계인 현장에서 미디어유동방식의 유량조정형 고도합병 처리정화조에 *P. erythrophthalma* 및 증식촉진성분을 첨가하는 간편한 조작만으로 *P. erythrophthalma*의 고밀도화를 도모할 수 있다는 것이 명확해졌다.

실험기간중에 처리수의 투시도 변화를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 7과 Fig. 8을 대응시켜보면 *P. erythrophthalma*의 개체수 증가에 따른 투시도가 상승하고 있다는 것을 알 수 있다. 그렇지만 *P. erythrophthalma*이외에 미디어내에 증가한 미소동물(Fig. 7)도 세균류를 포식하기 때문에, 호기조내에 있어서 미소동물의 포식이 처리수의 투시도 상승에 크게 기여하고 있다고 사료된다. 따라서 *P. erythrophthalma* 및 다른 종의 미소동물과 처리수 투시도와와의 상관관계를 구한 결과, *P. erythrophthalma*의 개체수와 투시도 사이에 높은 상관관계를 띠고 있었으며, 또한 고밀도화에 의해 투시도 90 cm 이상까지 달성할 수 있었다.

이러한 결과로부터 처리수 투시도를 유지하는데 있어서는 *P. erythrophthalma*의 개체수 고밀도화가 유효하며, 실증실험에서 고밀도화를 달성함으로써 실용적으로도 활용 가능하다는 것을 시사하고 있다.

3.3. *P. erythrophthalma*의 고밀도대량배양

미생물대량배양에 있어서 *P. erythrophthalma*의 증식상황을 Fig. 9에 나타내었다. 배양시작 5일째에는 50N/ml 정도인 개체수가 1,000 N/ml에 이르렀으나, 그 이후로는 큰 증가를 나타내지는 못하였다. 이것은 기질부족에 의한 것으로 판단되어, 기질 1.25 kg을 첨가한 결과, 재증식이 일어나 7일 후에

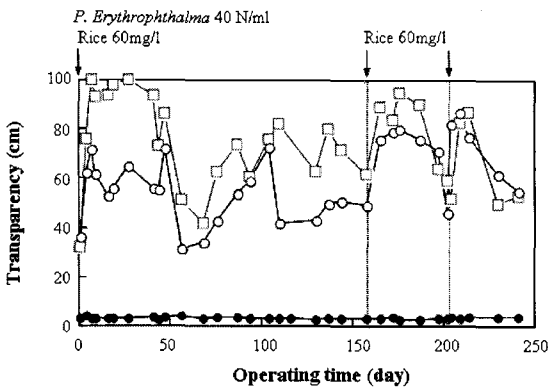


Fig. 8. Changes in transparency of effluent.

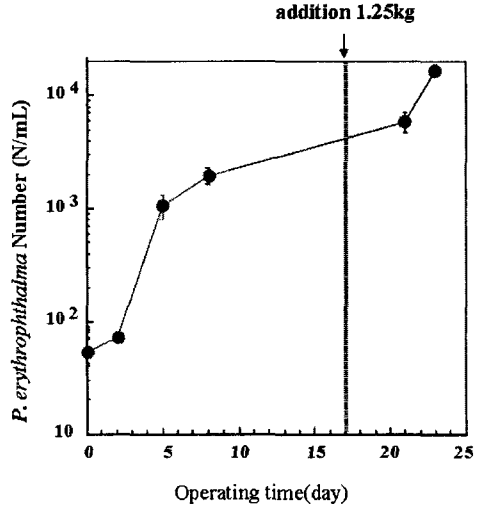


Fig. 9. Relative *P. erythrophthalma* and the time of culture.

는 약 1.7×10^4 N/ml에 이르렀다. 이 배양실험 결과로부터, 실험에 이용한 장치는 2.5 kg의 쌀찌꺼기를 이용하여 2주일 정도의 배양기간 동안에 1.7×10^4 N/ml의 *P. erythrophthalma*를 얻을 수 있었다. 또한, 이 개체수 밀도는 5인 가족규모의 정화조를 운전하는데 있어서 운전초기의 조건으로 3.2에 나타난 조건과 같은 약 40 N/ml를 첨가한다고 가정하면, 한번의 대량배양으로 약 470기의 정화조에 식중할 수 있는 *P. erythrophthalma*를 수확할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

1) 농어촌지역에 설치되어 있는 주택용 정화조의 호기조에 *P. erythrophthalma*와 증식촉진성분을 첨가하는 것으로 유출수의 수질을 향상시킬 수 있었으며 이로 인해 하천 및 연안의 수질오염을 감소시킬 수 있을 것으로 평가된다.

2) 다공질미디어 유동식의 고도합병정화조에 있어서 운전초기에 *P. erythrophthalma* 및 증식촉진성분(쌀찌꺼기 열처리액)을 첨가함으로써 *P. erythrophthalma*의 초기 정착과 고밀도화를 도모할 수 있다. 또한 개체수가 감소한 경우에는 증식촉진성분을 첨가함으로써 고밀도화 유지가 가능하다.

3) *P. erythrophthalma*의 개체수와 처리수 투시도 사이에는 높은 상관관계를 나타내었으며, 고밀도화에 의해 투시도 90 cm 이상 달성할 수 있었다.

4) 미생물대량배양장치에 있어서 12.5kg의 쌀찌꺼기를 사용하여 온도 25°C, 수중폭기(1 l/min)의 조건에서 2주일 정도의 배양으로 1.7×10^4 N/ml의 *P. erythrophthalma*를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 환경부, 2003, 제3차 환경보전중기종합계획 2003년-2007년, 478p.
- 2) Calaway, W. T., 1968, The metzoa of waste treatment process-rotifers, J. WPCF. 40, 412-422.
- 3) Ricci, C., 1987, Culturing of some bdelloid rotifers. *Hidrobiologia*, 147, 117-127.
- 4) Curds, C. R., 1973, The role of protozoa in the activated sludge process, *Auer. Zool.* 13, 161-169.
- 5) Inamori, Y., Y. Kuniyasu, N. Hayashi, H. Ohtake and R. Sudo, Monoxenic and mixed culture of the small metazoa *Philodina erythrophthalma* and *Aeolosoma hemprichi* isolated from a waste-water treatment process, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 25, 305-308.
- 6) 順藤隆一, 1995, 生物處理の管理, 月刊「水」, 東京, 37(2). 10-108.
- 7) James R. Litton, Jr., 1987, Specificity of the α-tocopherol(Vitamin E) effect on lifespan and fecundity of bdelloid rotifers. *Hidrobiologia*, 147, 135-139.
- 8) 國安克彦, 1999, 生物膜法を活用した生活排水處理システム機能改善と高度化袋に関する研究, 東北大學博士論文.
- 9) 順藤隆一, 1995, 生物處理の管理. 月刊「水」, 東京, 37(9), 10-106.
- 10) 順藤隆一, 稻森悠平, 1983, 生物相袋からみた生物機能診断, 産業用水調査會, 東京, 287pp.
- 11) 林 紀男, 稻森悠平, 岩見徳雄, 岡田光正, 順藤隆一, 1992, 生物膜に出現する微小動物間の相互作用, *日本水處理生物學會誌*, 28, 17-24.
- 12) 林 紀男, 國安克彦, 稻森悠平, 順藤隆一, 1998, 袋形動物輪虫類の増殖に及ぼす環境因子の影響, *水處理生物學會誌*, 34, 205-213.
- 13) 藤井邦彦, 稻森悠平, 松村正利, 戎野棟一, 1999, 有用微小後生動物輪虫類岡の大量定着と水質淨化に及ぼす擔體の効果, *水環境學會誌*, 22, 127-132.