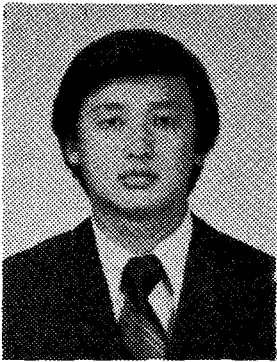


水中생태계에서 미생물의 기능



서울大 미생물학과教授
理博 김 상 종

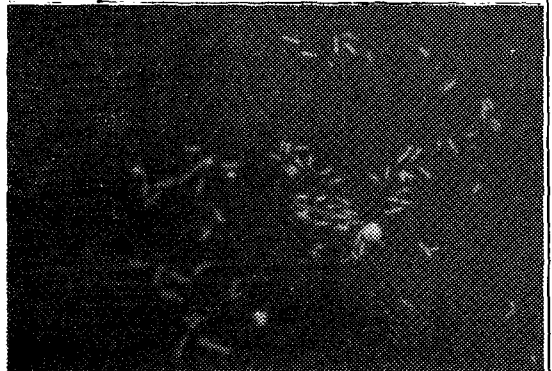
심각한 환경오염 문제로 인하여 생태학에 대한 사회적 관심이 크게 증가하여 국가별로 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 최근 10여년간은 새로운 분석방법의 개발로 인하여 생태학의 발전속도가 매우 빨라졌다. 우리나라에서의 생태학의 발전 현황을 미생물학적 관점에서 고찰하고자 한다.

미생물의 자연계에서의 기능은 크게 세 가지로 나뉘 볼 수 있다.

- (1) 물질 순환에 기여
- (2) 먹이 사슬에서 1차 생산자로부터 1차 소비자에게로의 에너지 전달자로서의 역할
- (3) 동·식물의 기생체로서 동식물의 군집 발전 조절

1. 미생물의 분포

위와 같은 미생물의 기능을 파악하기 위하여는 먼저 자연환경에 존재하고 있는 미생물 군집의 크기를 정확하게 측정하여야 한다. 미생물의 개체수는 오래 전부터 한천 배지상에 생성된 콜로니 수를 측정하는 방법을 많이 이용하여 왔다. 이 방법에 의한 미생물 개체수를 생균수(Total Viable Counts), 콜로니 생성균수(Colony Forming Units), 또는 부식 세균수(Saprophytic Number)라 하여 토양과 수중생태계에 관한 많은 자료가 축적되어 있다. 그러나 최근 10년간에는 직접 현미경으로 관찰하여 세균수를 측정하는 방법이 널리 이용되고 있다. 형광 물질로 염색한 후 형광 현미경하에서 오렌지 빛으로 염색된 세균의 수를 측정하는데 이를 총세균수(Total Bacterial Number)라 칭한다.



<그림-1> 형광 현미경으로 관찰한 수중 생태계에 존재하는 미생물.



(그림 1). 총세균수에는 살아있는 균이나 죽은 균, 생리적으로 활성인 균과 비활성인 균이 구별없이 모두 측정된다. 그러나 위에서 거론한 세 가지 기능 중에서 물질 순환이나 기생체로서의 역할은 단지 살아있고 활성인 균에 의해서만 일어날 수 있으므로 이들의 균체수를 정확하게 파악할 필요가 있다. 이 생리적으로 활성인 균수는 동위원소를 이용한 Micro-Autoradiography나 INT나 Nalidixic Acid를 이용하는 방법 등에 의해 측정이 가능하다.

이상의 방법들에 의해 측정된 결과에서 형광 현미경으로 측정된 총세균수와 콜로니 생성균수와의 사이에 큰 수적인 차이를 볼 수 있다

(그림 2). 이제까지 많은 자료가 축적된 콜로니 생성균수는 총세균수의 극히 일부분이며 오염이 심한 지역에서도 불과 10% 미만을 차지한다. 이러한 결과로 볼 때 이제까지 자연환경에서 분리·배양되어 알려진 미생물 종류보다 훨씬 많은 미생물이 아직 미지의 상태로 존재하고 있음을 알 수 있다.

우리나라 자연 환경에서의 미생물의 분포를 파악하기 위하여 수중 생태계의 특성에 따라 담수 생태계로서는 북한강 지류인 수동천, 하구 생태계로서는 낙동강 하구역, 해수 생태계로는 천수만을 선정하여 12개월 이상의 연중변화를 관찰하였다(표-1). 계절적으로는 수온이 낮

〈표-1〉 우리나라의 다양한 수중 생태계에서 조사한 미생물의 분포

세균수	생태계	담수 생태계	해양 생태계	하구 생태계
		수동천	천수만	낙동강
총세균수 (ml^{-1})		$1.1 \times 10^4 \sim 1.6 \times 10^6$ (3.9×10^4)*	$1.6 \times 10^5 \sim 1.1 \times 10^6$ (6.0×10^5)	$9.5 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^7$ (5.4×10^6)
콜로니 생성균수 (ml^{-1})		$8.0 \times 10^3 \sim 1.7 \times 10^5$ (1.3×10^4)	$8.6 \times 10^1 \sim 4.6 \times 10^5$ (2.6×10^4)	$1.0 \times 10^3 \sim 7.0 \times 10^5$ (1.1×10^5)
콜로니 생성균수 / 총세균수		0.4 ~ 10.6%	0.02 ~ 7.4%	0.5 ~ 3.0%
조사기간		85.7 ~ 86.8	85.9 ~ 86.9	84.8 ~ 86.9

* 괄호 안은 평균치

은 겨울철에 미생물의 현존량이 감소하며 수온 상승과 함께 증가하여 여름철에 최대값을 보인다. 또한 식물성 플랑크톤의 분포양상과 밀접한 관계가 있다. 생태계 특성에 따른 미생물 군집 크기의 차이를 선정된 세 지역에서 뚜렷이 관찰할 수 있으며 이러한 차이는 유기물의 함량과 종류에 크게 영향을 받는다. 미생물의 분포에 유기물 농도가 미치는 영향을 고찰하기 위하여 북한강 지류인 수동천에서 유기물 오염 정도에 따라 3개의 조사 정점을 설정하여 미생물 개체

수를 측정, 비교하였다(표-2). 빈영양상태에서 부영양상태로 변화할수록 총세균수는 약 3배 정도 증가하나 콜로니 생성균수는 약 60배, 장내세균수는 124배 증가하였다. 즉, 부영양화 현상에 의해 전체 미생물 군집 중에서 콜로니 생성균(높은 유기물 농도를 요구하는 군집)의 폭발적인 증가를 초래함을 알 수 있다. 또한 장내세균의 증가는 분변성 오염에 의한 결과이며 조사지역 인근에서 유입되는 축산폐수의 영향임을 확인할 수 있었다(최와 김, 1986).

〈표-2〉 수동천에서의 유기물 농도에 따른 미생물의 분포

유기물 농도 세균수	빈영양상태	중영양상태	부영양상태
총 세균수 (ml^{-1})	2.3×10^5	3.1×10^5	6.3×10^5
콜로니 생성균수 (ml^{-1})	8.6×10^2	1.3×10^4	5.0×10^4
장내 세균수 (ml^{-1})	1.7×10^1	3.8×10^2	2.1×10^3
콜로니 생성균수 / 총 세균수	0.4%	4.2%	7.9%

이상과 같이 미생물의 분포는 여러가지 환경요인의 변화와 밀접한 관계가 있다.

2. 물질 순환 과정에 기여

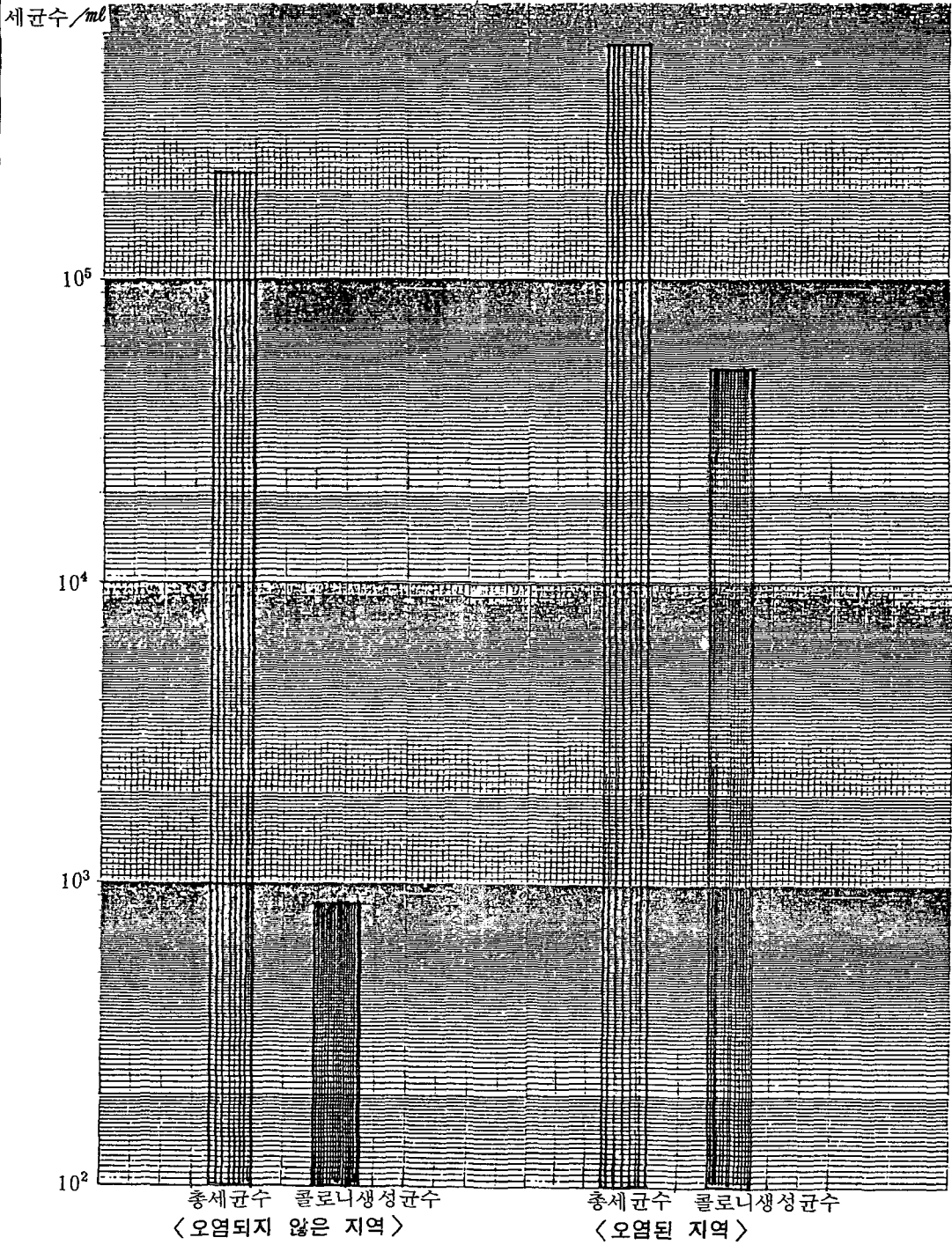
미생물은 자연계의 구성물질중 생명체에 중요한 원소의 순환과정에서 핵심적인 역할을 한다. 질소 순환과정에 참여하는 질산균과 탈질산균 및 질소 고정균, 유황 순환과정에서의 황화균 및 탈황화균 등의 작용에 의해 자연환경에서의 물질 순환의 평형이 유지되고 있다. 그러나 더욱 중요한 기능은 탄소순환에 관여하는 종속영양 세균으로서 다양한 종류의 유기물질에 대한 분해 능력이 있다. 미생물에 의해 유기물질이 완전히 분해되면 탄산가스와 물로 변화한다. 이러한 미생물의 기능 때문에 자연계에서 분해자로서의 중요한 기능을 담당하고 있다. 자연환경이 갖는 자정능력의 핵심적인 역할을 바

로 이 분해자로서의 기능을 갖는 미생물이 맞고 있다. 또한 분해자로서의 역할을 인류가 이용하는 대표적인 예가 생물학적 폐수처리 방법이다. 즉, 폐수속에 함유된 다양한 종류의 유기오염물질을 법정 허용치 이하의 BOD나 COD로 떨어뜨려 주는 것은 바로 미생물의 작용에 의한 것이다.

단백질이나 당분처럼 쉽게 분해되는 물질과 지방질, 셀룰로즈, 리그닌, 기타 오염물질들 같은 난분해성 물질의 유기물 종류에 따라 미생물의 분해도가 영향을 많이 받는다. 쉽게 분해되는 물질의 예로 포도당(^{14}C -glucose)을 선정하여 Radiotracer Method에 의해 포도당을 분해시키는 미생물의 생리적 활성도를 생태계별로 측정하였다(표-3). 동일한 기간에 측정된 미생물 개체수(표-1)와 생리적 활성도를 비교하여 보면, 미생물 개체수는 낙동강>

〈표-3〉 우리나라의 다양한 수중생태계에서 ^{14}C -glucose를 이용하여 측정한 세균의 생리적 활성도

생태계 생리적 활성도	담수생태계	해양생태계	하구생태계
	수동천	천수만	낙동강
최대흡수율 ($\mu g C / l / h$)	2.84	0.74	1.44
분해시간 (hr)	338.8	505.5	98.0
조사기간	85.7~86.8	85.9~86.9	85.6~86.6



〈그림-2〉 유기물 오염이 일어난 지역과 일어나지 않은 지역에서의 총세균수와 콜로니생성균수의 비교

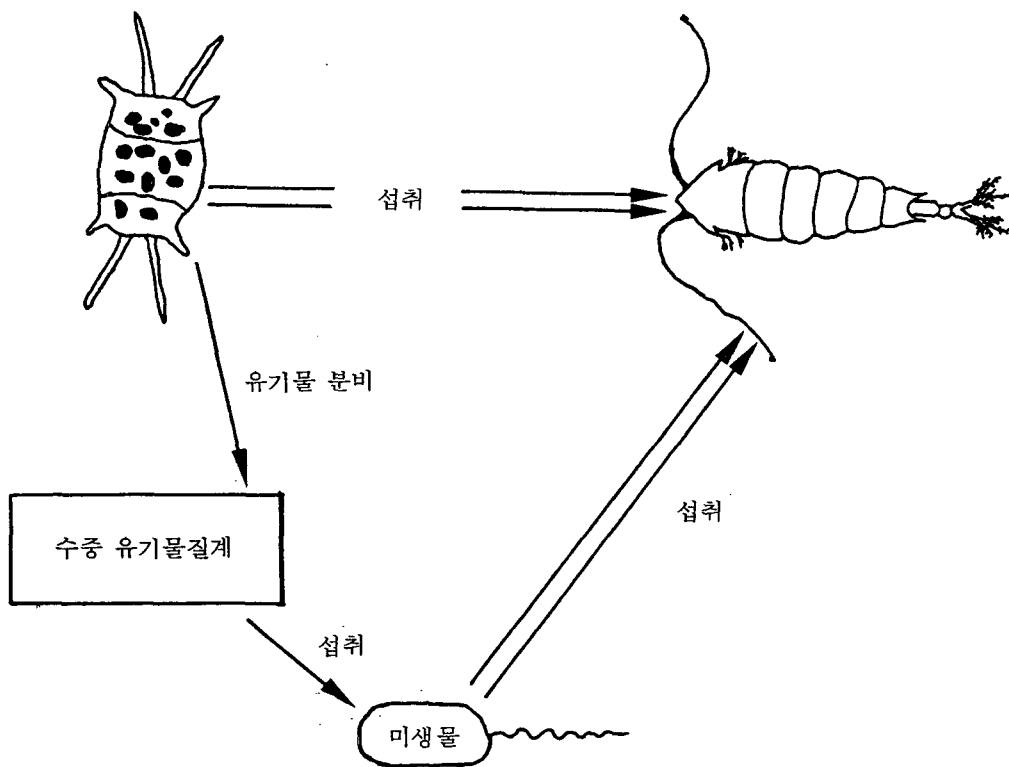
천수만>수동천이나 생리적 활성도는 수동천>낙동강>천수만으로 전혀 다른 양상을 보인다. 이 결과 동일한 양의 포도당을 분해시키는데 필요로 하는 시간(Turnover Time)은 천수만>수동골>낙동강으로 나타난다. 즉, 천수만에서는 낙동강보다 5배 이상의 시간이 소요됨을 알 수 있다. 이러한 비교 분석에 의하여 자연환경에서의 미생물의 기능을 파악하기 위해서는 미생물 군집의 크기 뿐 아니라 생리적 활성도의 측정이 필수적으로 이루어져야 한다.

수온이 10℃정도 상승하면 2배 정도의 활성도의 증가를 나타내 미생물의 생리적 활성도의 계절에 따른 현저한 차이를 볼 수 있다. 오염물질의 예로써 유류를 선정하여 석유를 분해하는 세균에 대한 분포조사를 우리나라 연안에서

실시한 결과 다양한 세균이 존재함을 알 수 있었다<김등 1985, 이등 1985, 오와 김 1986> 이러한 특성균의 분포는 전체 미생물군집 중에서 차지하는 비율은 매우 낮으나 특정 물질의 대량 유입시에는 이 특정균의 수가 급격히 증가하므로써 유입된 물질의 농도를 낮춰주는 자정현상이 일어난다. 자연환경에서의 오염물질의 분해는 온도, 영양염류 농도, 오염물질의 농도에 따라 큰 영향을 받는다.

3. 먹이사슬에서 에너지 전달자로서의 역할

미생물이 먹이사슬의 1차 생산자와 1차 소비자 사이에서 중요한 에너지 전달의 역할을 하는 것이 최근의 연구결과에서 밝혀졌다. 즉, 수중 생태계의 중요한 1차 소비자인 동물성 플



<그림-3> 수중 생태계에서 1차 생산자와 1차 소비자 사이의 미생물에 의한 에너지의 전달

랑크톤이 1차 생산자인 식물성 플랑크톤을 먹이로 섭취하는 외에 미생물을 중요한 먹이로 이용한다(그림 3). 이러한 현상은 식물성 플랑크톤의 1차 생산물의 상당량이 체외로 유출되어 세균에 의해 섭취되어 세균 생물량(Bacterial Biomass)을 합성하는데 이용되는 사실이 밝혀짐에 따라 더욱 의미를 갖게 되었다. 식물성 플랑크톤에 의한 1차 생산량의 25% 정도나 체외 배출량의 89% 정도가 세균에 의해 24시간 내에 이용된다(Wolter, 1982). 식물성 플랑크톤에 의해 생성된 유기물이 미생물에게는 좋은 영양원으로 이용되어 왕성한 미생물의 증식을 초래하며 이러한 미생물 자체가 동물성 플랑크톤이나 다른 무척추동물에게 훌륭한 단백질원으로 이용된다. Uronema 종은 세균을 먹이로 하여 20%의 생태학적 효율을 갖는 생산성을 보였다(Gast, 1985). 즉, 섭취한 양의 나머지 80%는 활동을 위한 에너지로 사용하였거나 소화가 안되는 물질로 체외배출된다. 최근에는 홍합, 해삼 등의 동물이 미생물만을 먹고도 살 수 있다는 보고들이 나오고 있어 미생물의 역할에 대한 새로운 인식을 갖게 한다.

4. 동·식물의 기생체로서 군집 발전 조절

세균이나 곰팡이 같은 미생물은 수계에서 다양한 상호관계를 유지하며 식물이나 동물의 표면, 또는 체내에 서식하고 있다. 미생물과 동물간의 이러한 관계는 생태계 내에서 서로의 군집크기를 조절하는 하나의 수단으로 생태계 안정성을 유지하게 된다. 대표적인 상호관계로는 공생(Symbiosis)과 기생(Parasitism)을 들 수 있는데 공생은 숙주와 미생물 모두에게 유익한 관계로 發光세균과 연체동물 또는 어류와의 관계를 대표적인 예로 들 수 있다. 이 관계에서 세균은 영양분을 공급받으며 빛을 발함으로써 어류의 인지작용을 돕게 된다. 다른 한 관계인 기생은 군집크기를 조절한다는 의미 외에도 현 인간 생활에 있어서 식량으로 이용되는 조류나 어패류의 양식에 커다란 영향을 미친다

는데서 관심의 초점이 되고 있다. 현재 미생물과 다른 생물간의 상호관계에 대한 연구는 매우 부진한 상태이나 경제적인 중요성에 의해 소수의 식용원으로 이용되는 조류나 어패류에 기생하는 병원성 미생물에 대한 연구만이 진행되고 있다. 수산양식에 있어서 이러한 병원성 미생물은 한정된 공간내에 한 종류만이 다량으로 서식하고 있기 때문에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 현재 조류에 있어서 세균에 의한 병에 대해서는 거의 알려진 바가 없고 풀이나 새우 같은 하등동물에 감염하는 병원성 미생물에 대한 몇 가지의 보고가 있을 뿐이다. 단지 잉어, 송어, 뱀장어, 연어와 같은 상품가치가 높은 어류에 기생하는 세균에 대해서만 일부 연구가 이루어지고 있다. 또한 세균 이외에도 바이러스가 주증식물이나 동물의 병원체로 작용하는데 바이러스는 많은 조류와 넙치, 송어, 뱀장어, 잉어같은 어류에 있어서 병을 유발하는 것으로 밝혀졌다. 현재, 우리나라에서 진행된 연구를 보면 1984년 처음으로 양식 뱀장어에 감염하는 세균으로 *Edwardsiella*, *Vibrio*, *Aeromonas* 를 분리·동정하였으며(하등 1984) *Edwardsiella*가 조사된 뱀장어에 발생하는 세균성 질병의 주 병원체임이 밝혀졌다. 또한 금붕어와 연어에 감염하는 몇 종류의 궤장괴저 바이러스가 분리되었으며(하등 1984, Hedrick et al., 1985) 이외에도 여러 어류들에 감염하는 병원체들에 대한 연구가 계속 진행되고 있다.

5. 결 언

미생물의 자연환경에서의 기능은 생태학의 발전에 따라 그 의미가 확대되고 있다. 그러나 우리나라에서는 미생물 생태학이나 환경미생물학 분야에 전공하는 전문인력이 극히 적어 우리나라 자연환경에 대한 미생물학적 자료가 거의 없다. 이러한 연구는 학문적으로 볼 때는 자연현상을 정확하게 이해하려는 궁극적인 학문의 목표에 접근하는 일이며 응용적으로는 국토의 효율적인 개발과 활용을 위한 중요한 자료를 제공

한다. 시행착오가 없는 국토개발을 위하여 선행되는 환경영향평가시에 이용된 기초자료를 제공하며 아울러 심각한 환경오염 현상에 대처할 정책수립을 위한 자료의 제공 등 국가적인 관점에서 요긴한 정보를 얻을 수 있다. 또한 수중 생태계의 자정능력의 핵심이 되는 미생물에 대한 연구가 진척됨에 따라 다양한 환경오염 물질의 효율적인 처리가 가능할 것이다. *

인 용 문 헌

김상중, 장광엽, 이건형, 이윤(1985): 한국 연안해역의 석유 분해세균 분포에 관한 연구. 한국 환경 생물학회지 3; 21-28.
 오영숙, 김상중(1986): 낙동강 하구에서 분리한 석유분해세균의 수리학적 분류. 한국 미생물학회지 24(4).
 이윤, 김상중, 하영칠, 홍순우(1985): 연안해역에서 석유 오염물질의 세균학적 분해에 관한 연구. 한국 수질 보존학회지 3; 21-28.
 최성찬, 김상중(1986): 북한강 지류 생태계에서의 미생물의 분포와 생리적 활성도. 강원대학교 한강 생태연구소 연구발표회.

하영칠, 홍순우, 오희복, J.L.Fryer, J.S. Rohovec (1984): 양식 뱀장어에 감염하는 세균의 분리동정 및 그 병원성에 관하여. 한국 미생물학회지 22(1); 41-48.
 하영칠, 홍순우, 김미희, J.L.Fryer, J.R. Winton(1984): 금붕어와 연어에서 채장피저 바이러스의 분리에 대하여. 한국 미생물학회지 22(2); 85-90.
 Gast, V.(1985): Bacteria as a food source for microzooplankton in the Schlei Fjord and Baltic Sea with special reference to ciliates. Mar. Ecol. Prog. Ser. 22; 107-120.
 Hedrick, R.P., W. D. Eaton, J. L. Fryer, Y.C.Hah, J.W.Park and S.W. Hong(1985): Biochemical and Serological Properties of Birnaviruses isolated from fish in Korea. Fish Pathology 20(4); 463-468.
 Wolter, K.(1982): Bacterial incorporation of organic substances released by natural phytoplankton populations. Mar. Ecol. Prog. Ser. 7; 287-295.

“會員社 여러분의 紙面을 活用하십시오”

環境保全協會報는

바로 여러분의 紙面이자 대변지입니다.
 그러므로 會員社 여러분들이 活用코자 하시면
 최대한 여러분의 지면을 마련해 드리겠습니다.
 특히 本報의 「회원사동정」은 會員社들의 게시판이나 다름없습니다.
 社内에서의 신제품개발, 人物동정, 흐뭇한 美談이 있으시면
 六何原則에 의거하시어 本協會 홍보부로 보내주시면
 우리가 기사화시키겠습니다.

서울시 중구 남대문로 4가 45번지
 사단법인 환경보전협회 홍보부