大 韓 衛 生 學 會 誌
KOREAN J. SANITATION
Vol. 10, No. 3, 56~66(1995)

내수면 유수식 송어양식장이 하천수의 수질에 미치는 영향

조장천·이승훈·박성주*·김상종

서울대학교 자연과학대학 미생물학과
*대전대학교 이과대학 미생물학과

Environmental Impacts of Inland based Trout-Farms on the Water Quality of a Stream

Jang-Cheon Cho·Seung-Hoon Lee·Seong joo park*·Sang-Jong Kim

Dept. of Microbiology, College of Natural Sciences, Seoul National University
**Dept. of Microbiology, College of Sciences, Taejon University*

Abstract

To investigate environmental impacts of inland fish-farms on the water quality of a stream, environmental parameters including physical, chemical and biological factors were estimated at trount-farm in 1994. Influents(F-1) were polluted as passing through fish tank(F-2) and settle pond(F-3), so organic and inorganic nutrient concentrations became very high in effluents(F-4). BOD_5, Chl. a, Nitrite and heterotrophic bacterial numbers in the junction site(S-2) of F-4 and S-1(upstream) were highest among the stream sites. BOD_5 was proved to a good parameter of organic pollution, and nitrite of inorganic nutrients in the fishery and it's affected stream. The high concentration of BOD_5 and Chl. a in S-2 were decreased in downstream(S-3, S-4). It seems that this results are due to dilution or sedimentation effect. This supposition requires further testing about the sediment of stream. The results of this paper demonstrate that fish farming can deteriorate water quality of a stream by changing environmental factors.

Ⅰ. 서 론

수질오염으로 인한 환경의 파괴와 보건위생상의 위협은 양식장 등 집수역 안에 존재하는 인간의 활동에 의해 직접적으로 결정된다. 최근, 인구의 증가와 생활수준의 향상으로 내수면 양식어업이 급속한 성장을 보이고 있다. 현재 국내의 내수면 양식장은 약 1300여개가 있으며 이 중 지수식(止水式) 양식장은 27%, 가두리 양식장은 24.9%, 순환 여과식 양식장은 22.2%, 유수식 양식장은 18.5%이다[1]. 호수와 강에 설치된 가두리 양식장은 잔여사료와 어류의 배설물이 호수 수층으로 유실됨으로써 수계의 부영양화(eutrophication)을 일으키는 등 문제점으로 지적되고 있어서[15] 최근에는 유수식 양식장으로의 전환이 활발히 수행되고 있다. 유수식 양식장의 경우, 대량양식업의 발달과 비료와 사료의 다량 투여는 어류의 성장기와 수확기에 양식장 및 양식장 배출수의 수질을 크게 위협하고 있다[16,17].

유수식 양식장은 하천수나 지하수를 끌어올려 양식을 수행하고 하천이나 강으로 다시 배출수를 방류하는 형태의 양식이다. 따라서 배출수가 적절히 처리되지 않는다면 하천으로 유입되는 유기물과 무기물 등으로 하천의 생태계가 위협받게 된다. 양식장 배출수의 주된 오염원은 유기물과 질소, 인 등의 무기영양염류이다. 하천으로 방출된 유기물은 미생물에 의한 분해과정에서 용존산소를 감소시키며 무기영양염류는 식물플랑크톤의 성장에 사용되어 급속한 부영양화를 유발시킨다. 또한, 어류에 감염된 병원성 세균이 하천으로 방출될 경우에는 보건 위생상의 심각한 문제를 가져오게 된다.

양식장 배출수의 하천오염에 대한 영향때문에 많은 규제가 있는 것이 사실이나 국내의 경우 양식장 배출수가 적절히 처리되지 못하고 그대로 방류되는 경우가 많다. 외국의 경우에도 1980년대까지는 배출수 처리에 대한 규정을 만들어 놓지 않아 양식장으로 인해 하천의 생태계가 파괴된 예도 존재한다[14]. 따라서 최근에는 북유럽 및 서유럽을 중심으로 해양 및 하천, 호수내에 설치된 양식장에 대하여 생태계에 미치는 영향 및 이를 저감시키기 위한 생물학적 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[8,14,16]. 그러나 국내에서는 아직까지 주로 어병에 대한 연구만 집중적으로 수행되고 있을 뿐 환경위생에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다.

본 연구에서는 하천수의 수질에 미치는 내수면 유수식 송어양식장의 영향을 살펴보기 위하여 연간 송어출하량이 150톤인 강원도 정선군에 위치한 유수식 송어 양식장에서 1994년 9월부터 11월까지 물리, 화학, 생물학적 항목에 대한 조사를 하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 시료채취정점

채수지역은 강원도 정선군에 위치한 선평양어장으로서 연간 송어출하량이 150톤에 이르는 대규모의 양식장이다. 본 연구에서는 총 8개의 정점에서 시료를 채취하였다(Fig. 1). 양식장의 정점은 4개인데, 정점 F-1은 양식장으로 유입되는 유입수로서 지하에서 용출되는 용천수를 사용하고 있다. 정점 F-2는 양식장 내 송어를 양식하는 수조이며, 정점 F-3은 모든 양식수조로부터 배출되는 유출수가 모여

침전지의 역할을 하는 연못이고, 정점 F-4는 인근 하천으로 배출되는 유출수이다. 양식장으로부터 배출되는 유출수는 인근의 하천과 만나게 되는데, 유출수가 유입되는 지점의 0.3km 상류에 위치한 정점이 S-1이며 유출수와 합류하는 지점이 정점 S-2, 합류지점으로부터 0.5km 하류에 위치한 정점이 S-2, 2km 하류에 위치한 지점이 S-4이다. 이 하천은 수량이 작고 폭이 넓어 수량의 변동이 심하다. 본 8개의 정점에서 1994년 9월부터 11월동안 총 4회에 거쳐 물리화학적 항목 및 생물학적 항목 등 다양한 환경요인을 측정하였다.

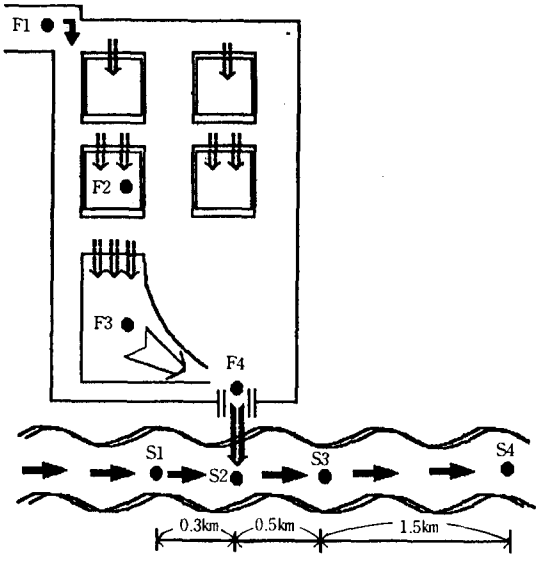

Fig. 1. Schematic diagram of reserch area and sampling sites.

2. 채수 및 물리화학, 생물학적 항목의 측정

채수는 멸균된 2ℓ polypropylene병을 사용하였으며 채취한 시료는 미생물의 성장을 고려하여 4℃ 상태에서 총 5시간을 넘지 않도록 하여 운반하였다. 현장에서 온도와 pH를 측정하였으며 용존산소량 측정을 위하여 채수 즉시 고정, 운반하였다. 용존산소(DO), 생물화학적 산소요구량(BOD_5), 부유물질량(seston), 엽록소 a, 인산염 인, 암모니아염 질소, 아질산염 질소는 Standard Methods[4]에 따라 측정하였다. 질산염 질소(NO_3-N)는 시료에 sodium salicylate를 첨가하여 nitrosalicylic acid를 생성시킨후 Rochell's salt를 사용, 발색시켜 420nm의 흡광도를 측정하여 계산하였다[10].

총세균수는 AODC법을 사용하였으며[6], 종속영양세균수는 증류수로 대체된 Zobell 배지를 사용하여 계수하였다. 총대장균은 m-Endo LES 배지를 사용하여 막여과법으로 계수하였다.

III. 결 과

1. 양식장 내의 수질변화

유입되는 지하 용천수의 수질이 양어장 내부와 산화지를 거치면서 급격히 악화되어 하천으로 유출되었다(Table 1). 온도는 가을과 겨울이라는 채취시기의 특징상 정점 F-1, F-2, F-3, F-4에서 큰 차이를 나타내지 않았다. 반면, 용존산소는 F-1이 평균 8.3mg l^{-1}인데 비해 F-2, F-3, F-4에서는 각각 평균 5.3, 6.1, 5.9mg l^{-1}로 큰 차이를 나타내어 송어와 미생물에 의해 용존산소가 소모되고 있음이 나타났다. BOD_5는 이러한 경향을 가장 잘 나타내 주었는데, F-1의 경우 0.4-3.0mg l^{-1}(평균 1.8)인데 비해 F-2, F-3, F-4에서는 각각 평균 4.4, 6.4, 6.7mg l^{-1}로서 사료와 송어 배설물로 인해 양식장 및 유출수에 유기물 오염이 증대되었다. 질산염 질소를 제외한 인산염 인, 암모니아염 질소, 아질산염 질소 모두 유입수에 비하여 양식장, 산화지, 유출수

Table 1. Range and means of environmental parameters inland based trout farms.

Parameter	Site	min-max	X	Parameter	Site	min-max	X
Temperature(℃)	F-1	10.0-13.8	12.6	PO_4-P(mg m^{-3})	F-1	1.2- 9.6	3.8
	F-2	8.6-16.1	12.7		F-2	3.9- 7.9	5.7
	F-3	8.5-16.1	12.7		F-3	3.2- 13.7	7.4
	F-4	9.0-15.1	12.5		F-4	2.3- 17.3	8.9
DO(mg l^{-1})	F-1	7.8- 8.9	8.3	NH_4-N(mg m^{-3})	F-1	0.1- 4.3	2.2
	F-2	4.3- 6.0	5.3		F-2	5.1- 60.1	32.6
	F-3	5.3- 6.8	6.1		F-3	4.3- 47.7	26.0
	F-4	5.4- 6.7	5.9		F-4	3.2- 53.0	28.1
BOD(mg l^{-1})	F-1	0.4- 3.0	1.8	NO_2-N(mg m^{-3})	F-1	0.0- 0.5	0.2
	F-2	4.2- 4.7	4.4		F-2	6.0- 29.7	19.7
	F-3	5.3- 9.6	6.4		F-3	17.6- 43.4	32.7
	F-4	5.2- 9.7	6.7		F-4	62.4-103.8	88.4
Seston(mg l^{-1})	F-1	0.0- 2.6	0.9	NO_3-N(mg l^{-1})	F-1	2,2- 2.6	2.4
	F-2	3.2-37.5	12.8		F-2	2.2- 2.6	2.3
	F-3	1.0- 8.9	5.8		F-3	2.0- 2.3	2.2
	F-4	2.0- 8.5	3.8		F-4	2.1- 2.7	2.3
Chl. a(mg m^{-3})	F-1	0.0- 0.3	0.1	HPC(CFU ml^{-1})	F-1	3.0E+2-7.1E+2	5.1E+2
	F-2	0.0- 5.8	2.3		F-2	3.4E+2-8.3E+3	3.5E+3
	F-3	0.1- 8.7	3.9		F-3	3.3E+3-1.4E+4	7.0E+3
	F-4	2.0- 4.7	3.2		F-4	5.3E+3-2.4E+4	1.3E+4
TC(cells $100ml^{-1}$)	F-1	1.0E+2-5.0E+2	2.2E+2	TBN(cells ml^{-1})	F-1	3.0E+3-6.0E+5	1.6E+5
	F-2	1.5E+3-1.1E+4	4.9E+3		F-2	1.1E+5-1.2E+6	4.1E+5
	F-3	1.5E+3-1.6E+4	7.9E+3		F-3	2.9E+5-1.2E+6	7.2E+5
	F-4	1.5E+3-1.9E+4	1.1E+4		F-4	3.4E+5-1.1E+6	6.9E+5

에서 5.7-68배의 큰 증가폭을 보였다. 질산성 질소는 유입수로 사용하고 있는 지하수에서 2.4mg l^{-1}의 높은 값을 나타내어 각 정점별로 차이를 나타내지 않았다.

엽록소 a의 농도는 F-1에서 평균 0.1mg m^{-3}로 가장 낮았으며 산화지인 F-3에서 3.9mg m^{-3}로 가장 높았다. 종속영양세균수와 총대장균수는 F-3에서 가장 높아 F-1에 비해 각각 26, 56배의 높은 값을 보였고 F-2, F-3에서는 F-2에 비해 7-23배 높았다. 총세균수도 F-2, F-3, F-4에서 유입수에 비하여 2.5-4.3배의 값을 나타냈다.

2. 하천수의 수질변화

전반적으로 양식장으로부터 배출되는 유출수가 하천수와 합류되는 지점인 S-2에서는 유출수가 하천수의 수질에 영향을 많이 미쳐 수질악화의 원인이 되고 있었으나 S-2로부터 2km 떨어진 하류정점인 S-4에서는 상류에 위치한 정점 S-1과 거의 같은 수준의 수질을 유지하였다.

온도는 9월부터 11월까지 순차적으로 감소하는 경향을 나타내었고 정점별로 큰 차이는 없었다(Fig. 2A). 용존산소(DO)는 조사기간 동안 S-2에서 급격하게 감소하는 경향을 나

타내었고, S-3와 S-4에서는 상류 S-1 지점인 DO와 같은 수준으로 회복되었다. 유출수 정점인 F-4의 DO가 평균 5.9mg l^{-1}인데 비하여 S-1은 평균 9.8mg l^{-1}이었기에 이들이 합류하는 S-2에서는 DO가 평균 8.1mg l^{-1}으로 떨어졌다(Fig. 2B).

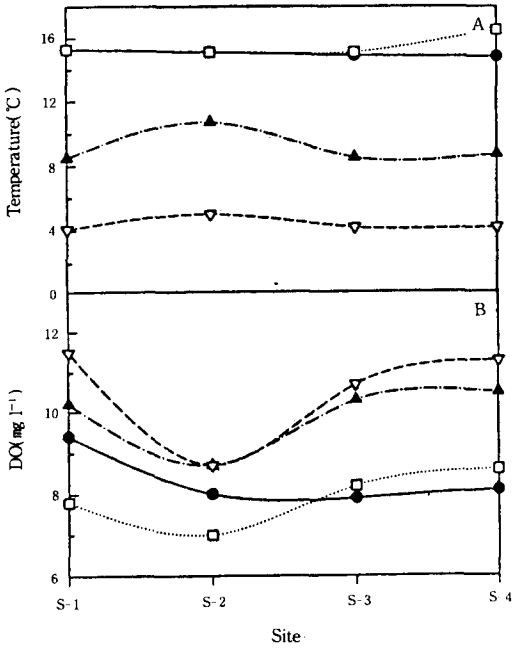

Fig. 2. Variations of temperature(A) and dissolved oxygen(B) with sites and sampling periods.
(● : 16th, September, □ : 14th, October, ▲ : 31th, October, ▽ : 28th, November)

유기물 오염의 지표가 되는 BOD_5와 N, P의 공급으로 인한 식물플랑크톤 성장의 지표가 되는 엽록소 a는 각 정점별 특징을 잘 나타내 주었다(Fig. 3). BOD_5는 S-1에서 0.2-3.1mg l^{-1}(평균 1.6mg l^{-1})이었으며 S-2에서는 1.6-8.3mg l^{-1}(평균 5.0mg l^{-1})으로 S-2에서 큰 증가 양상을 나타내었고, S-3에서는 평균 2.3mg l^{-1}, S-4에서는 평균 1.9mg l^{-1}로 합류된 지점에서 하류로 갈수록 점차로 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 시료채취 시기별로도 차이를 나타내었는데, 10월 14일 이전의 시료에서보다 그 이후의 시료에서 더 높은 값을 나타내어 온도가 낮을수록 BOD_5 값이 증가하는 경향을 나타내었다. 엽록소 a도 BOD_5의 경우처럼 S-2에서 큰 폭으로 증가하고 S-3와 S-4에서는 감소하는 경향을 보였다. S-1에서 0-0.7mg m^{-3}(평균 0.4)이었던 엽록소 a는 S-2에서는 0.6-7.0mg m^{-3}(평균 3.3)으로 증가되었으며, S-3에서는 0-2.4mg m^{-3}(1.3), S-4에서는 0-1.7mg m^{-3}(평균 1.0)이었다. 엽록소 a는 BOD_5와는 달리 온도가 높을수록 더욱 더 높은 값을 보였다.

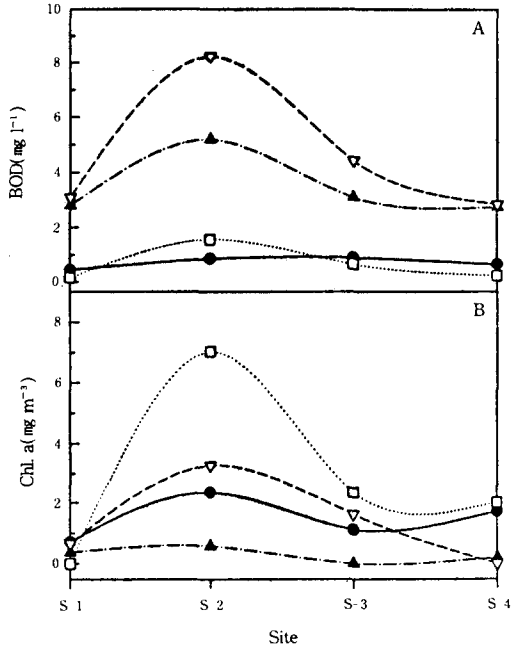

Fig. 3. Variations of BOD(A) and Chlorophyll a (B) with sites and sampling periods.
(● : 16th, September, □ : 14th, October, ▲ : 31th, October, ▽ : 28th, November)

인산염 인, 암모니아염 질소, 아질산염 질소, 질산염 질소의 농도는 유출수의 무기염 농도와 하천 상류의 농도에 따라 각각 그 변화양상이 다르게 나타났다(Fig. 4). S-1의 인산염 농도가 11.2mg m^{-3}로 매우 높았던 10월 14일의 경우에는 F-4의 유출수가 8.8mg m^{-3}이었기에, 오히려 S-2에서는 농도가 낮아지는 경향을 나타내었고 반대로 S-1의 농도가 낮았던 10월 31일과 11월 28일에서는 S-2에서 유출수의 영향을 받아 농도가 높았다(Fig. 4A). 암모니아염 질소의 경우 9월의 시료를 제외한 모든 시료에서 유출수의 영향을 받아 S-2에서의 농도가 높게 나타났다(Fig. 4B). 아질산염 질소는 다른 무기영양염류에 비해 유출수에 의한 영향을 가장 많이 받아 BOD_5와 Chl. a와 유사한 양상을 보이면서 변하였다(Fig. 4C). 질산염 질소는 상류의 S-1에서 평균 2.1mg l^{-1}으로 높아서 평균 2.3mg l^{-1}이었던 F-4의 영향이 거의 관찰되지 않았다(Fig. 4D).

미생물항목인 종속영양세균 수와 총세균수는 S-2에서 F-4의 영향을 받아 큰 폭으로 증가하는 경향을 보였다(Fig. 5). 종속영양세균수는 S-1에서 평균 2.9×10^3 CFU ml^{-1}이었던 것이 1.3×10^4 CFU ml^{-1}이었던 F-4의 영향을 받아 S-2에서는 평균 1.8×10^4 CFU ml^{-1}로 큰 폭으로 증가하였다. 이후 S-3과 S-4에서는 다시 각각 평균 4.3×10^3 CFU ml^{-1}과 3.0×10^3 CFU ml^{-1}로 낮아졌다. 총세균수는 10월 31일의 시료에서는 S-2에서의 증가현상이 관찰되지 않았으나 10월 14일과 11월 28일의 시료에서는 S-1에서는 10^4 cells ml^{-1} 수준이었으나 F-4의 영향을 받아 S-2에서는 10^5 cells ml^{-1} 수준으로 증가하였다. 병원성 세균의 지표세균으로 위생보건학적으로 매우 중요한 총대장균군도 S-2에서 큰 폭으로 증가하는 경향이 관찰되었다(Fig. 6).

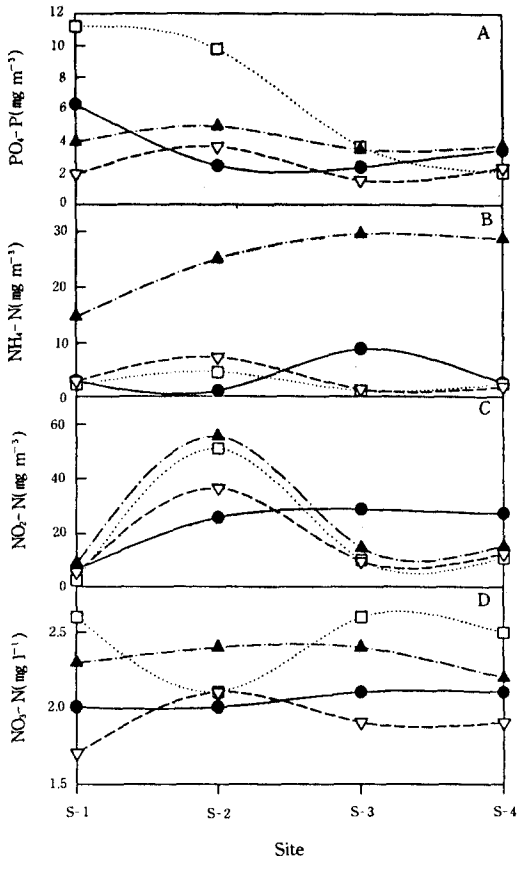

Fig. 4. Variations of inorganic nutrients. Phosphtae (A), ammonium(B), nitrite(C) and nitrate (D) are shown.
(● : 16th, September, □ : 14th, October, ▲ : 31th, October, ▽ : 28th, November)

Ⅳ. 고 찰

사료의 투입으로 인한 잔여사료와 물고기의 배설물은 양식장의 수질과 방류되는 하천의 수질 모두에 영향을 미치게 된다. 대개의 양식장의 경우 폐수처리시설을 갖추고 있지 못하

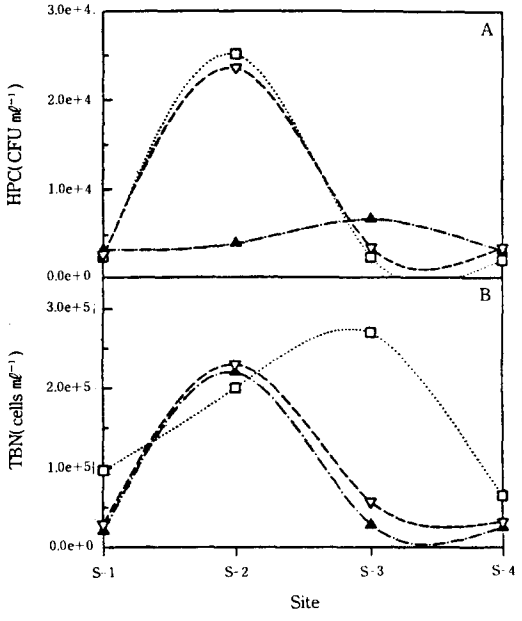

Fig. 5. Variations of heterotrophic bacterial numbers(A) and total bacterial numbers(B) with sites and sampling periods.
(● : 16th, September, □ : 14th, October, ▲ : 31th, October, ▽ : 28th, November)

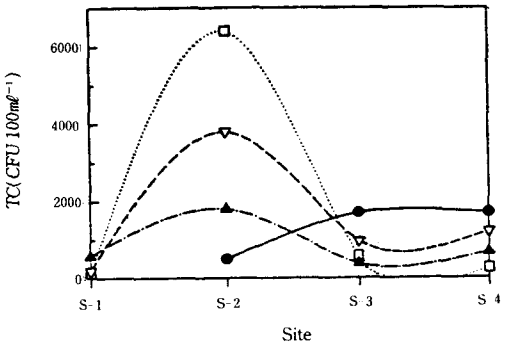

Fig. 6. Variations of total coliforms with sites and sampling periods.
(● : 16th, September, □ : 14th, October, ▲ : 31th, October, ▽ : 28th, November)

기에 배출수 처리에 물리적인 침전법만을 사용하게 되는데 이 방법은 오염물질의 효과적인 제거에 한계가 있다. 본 연구에서는 크게 양식장 내부의 수질과 방출되는 하천의 수질에 대한 연구를 수행하였는데 양식장으로부터 배출되는 배출수가 전혀 처리가 되고 있지 못하여 하천오염의 원인이 되고 있는 것으로 나타났다.

양식장 내부에서는 양식 수조인 F-2와 침전지인 F-3, 배출수인 F-4에서 유, 무기물 오염이 관찰되었다(Table 1). 양식장 오염은 유기물 오염과 무기물 오염으로 살펴볼 수가 있는데 유기물 오염에 대해서는 DO와 BOD_5가 잘 설명해 준다. 조사기간 중에 BOD_5는 유입수에서 1.8mg l^{-1}이었던 것이 양식수조와 침전지, 배출수에서는 각각 평균 4.4, 6.4, 6.7mg l^{-1}로 증가하여 유기물 부하량이 큰 것으로 나타났다. 유기물 부하량이 이처럼 많기에 용존산소도 급격하게 감소하는 경향을 나타내었다. 용존산소의 급격한 감소는 유기물이 미생물이나 화학적 작용에 의해 분해되면서 산소를 소모했기 때문이라고 판단되며 이는 양식장내 모든 정점에서 온도가 일정했던 것으로부터 확인할 수 있다. 특히, 엽록소 a와 BOD_5는 매우 유사한 경향을 보이고 있는데 이들은 BOD_5는 유기물 오염의 지표로 엽록소 a는 식물플랑크톤 생물량의 지표로 사용할 수 있다. 엽록소 a의 양이 증가한 것은 양식장으로부터 배출된 질소, 인 등 무기물이 식물플랑크톤의 성장으로 쓰였기 때문이다. 양식장을 대상으로 한 북유럽의 연구결과에서도 BOD와 엽록소 a의 농도가 세균 생물량과 함께 오염의 가장 중요한 지표가 된다고 보고하고 있다[15]. 또한, BOD_5가 침전지인 F-3에서 양식수조인 F-2에서보다 훨씬 더 높게 나타나고 있는 것으로 보아 양식수조로부터 배출되는

유기물이 침전지에서 효과적으로 제거되고 있지 못함을 알 수 있다. 식물플랑크톤은 미생물에 의한 분해시에는 유기물 덩어리로 기능하게 되는데 침전지에서의 높은 BOD_5는 식물플랑크톤 생물량의 지표인 엽록소 a가 이 정점에서 가장 높다는 것으로도 설명할 수 있다. 미생물항목인 종속영양세균수도 유기물오염의 지표가 될 수 있는데, 세균은 수층에서 분해자의 역할을 수행하여 유기물을 재빠르게 재광물화시키는 역할을 하기에 유기물 오염이 클수록 세균의 숫자가 커진다. 종속영양세균수가 F-2와 F-3, F-4에서 F-1에서보다 큰 폭으로 증가되고 있는 것도 BOD와 엽록소 a의 농도로부터 설명한 양식장의 유기물 부하를 증명해준다.

양식장 내부의 무기영양염 부하는 식물플랑크톤의 성장에 직접적인 영향을 미쳐 부영양화를 가져온다. 특히, 효과적인 폭기가 이루어지지 않을 경우에는 암모니아와 아질산염 질소가 대량으로 발생하여 독성을 나타내기도 한다[5]. 정점 F-2, F-3, F-4에서 아질산염 질소는 F-1에 비하여 큰 폭으로 증가하였으며 인산염 인과 질산염 질소의 변화양상보다 더욱 뚜렷한 정점별 증가양상을 나타내었다. 특히, 인산염 인, 암모니아, 질산염 질소가 아질산염 질소보다도 더 잘 식물플랑크톤에 의해 이용되므로[7,11] 정점 F-3에서는 암모니아염 질소와 인산염 인은 F-2보다 더 줄어 든 반면 아질산염 질소는 증가하는 경향을 나타내어 아질산염이 무기영양염 부하의 중요한 지표로 작용할 수 있음을 알 수 있다. 본 연구의 결과 전반적으로 유, 무기물이 양식장 내부에서 하천수로 유출되는 과정에서 효율적으로 제거되지 못한다는 것이 밝혀졌으며 물리적인 침전만으로는 배출수처리에 한계가 있는 것으로 드러났다.

한편, 양식장 배출수는 하천수의 수질에 직접적인 영향을 주고 있는 것으로 나타났다. BOD_5는 합류지점인 S-2에서 S-1에서보다 약 2~3배 증가되었고, 엽록소 a도 큰 폭으로 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 앞에서도 언급했듯이 유기물에 의한 오염의 결과이다. 이는 S-2에서의 DO의 감소, 아질산성 질소의 증가로 재차 증명할 수 있다. 종속영양세균수와 총세균수도 S-2에서 큰 폭으로 증가하여 이와 같은 현상을 뒷받침 해준다. 특히, 병원성세균의 지표세균인 총대장균군이 합류지점인 S-2에서 무려 평균 3.1×10^3 CFU $100ml^{-1}$로 나타나고 있어 보건위생상의 큰 문제점이 되고 있음을 알 수 있다. 합류지점에서의 이와 같은 농도는 1993년에 소양호에서 관찰된 최대값인 470 CFU ml^{-1}을 훨씬 초과하는 것[2]으로서 양식장 배출수에서 병원성 오염이 존재하고 있음을 나타내준다.

양식장 유출수에 의한 오염은 간단한 계산으로도 확인할 수 있다. 양식장에 유입되는 수량은 초당 375리터, 연간 1천1백8십2만6천 m^3이며, 연간 투입되는 사료량은 210톤, 송어 출하량은 150톤이다. 투입된 사료가 송어의 성장에 사용되었다고 가정하고 초기 치어의 무게를 감안하지 않았을 때에도 연간 60톤의 사료가 하천수에 유입됨을 알 수 있다. 전체 방출수에 유입되는 사료의 농도는 연 평균 5.07mg l^{-1}이라는 계산이 도출된다. 여기에 송어로부터 배설되는 배설물을 고려한다면 훨씬 많은 양의 유기물이 하천으로 유입되고 있음을 알 수 있다. 한편, 사료중의 조단백질 함량은 43.0%, 조지방은 3.0%, 조섬유는 3.0%,

조회분은 15.0%, 칼슘은 1.5% 이상, 인은 1.8%으로서 많은 부분이 탄소원으로 구성되어 있고 나머지 부분이 질소와 인 등으로 구성되어 있다. 계산결과로도 인의 부하량은 76mg m^{-3}이기에 무기영양염류의 부하가 실재함을 확인할 수 있다.

하천에서 자정작용은 크게 세가지로 이루어진다. 수체에 의한 희석, 미생물에 의한 분해, 퇴적토로의 퇴적이 그것이다. 본 연구에서는 양식장 배출수와 합류하는 하천지점인 S-2에서 높은 오염도를 보인 수체가 하류로 내려갈수록 점차 낮은 유, 무기물 오염도를 보이고 있었다. 수체의 흐름이 빠른 하천이기에 0.5km 및 2km 떨어진 하류에서는 미생물에 의한 분해가 일어나기까지 충분한 시간적 여유는 없다. 따라서 하류지점에서의 오염도의 감소는 수체에 의한 희석효과와 퇴적토로의 퇴적이 주된 원인으로 보인다. 오염이 희석되었을 경우에는 하류에서의 오염은 존재하지 않으나 하천의 경우 경사와 굴곡이 심하여 오염물질이 하천의 가장자리에 쉽게 퇴적되고 실제로 외국의 연구결과 양식장으로부터 배출된 유기물이 퇴적토에 많은 양이 퇴적된다는 것이 밝혀졌다[8,9]. 퇴적토로 퇴적된 유, 무기물은 재부유되어 다시 수체로 공급되므로 잠재적인 오염원으로 기능하게 된다. 본 연구에서는 퇴적토에 대한 조사는 수행하지 않았기에 퇴적토로의 퇴적이 실질적으로 일어난다는 증거는 없다. 이후에 퇴적토에 대한 집중적인 연구가 필요할 것이라고 판단된다.

본 연구의 결과는 내수면 유수식 송어양식장이 송어양식장 내부와 하천수의 수질악화에 영향을 미치고 있다는 것을 보여주고 있기에 물리적인 침전방법이외에 배출수를 처리할 수 있는 시스템을 조속히 내수면 양식장에 도입해야 할 것이다.

V. 결 론

1. 내수면 유수식 송어 양식장이 하천수의 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 물리, 화학, 생물학적 환경요인을 양식장과 하천수를 대상으로 조사하였다.
2. 양어장으로 유입되는 유입수는 양어장과 산화지를 거치면서 급속도로 오염되었고 그 결과 유기물 및 무기물의 농도가 하천으로 배출되는 배출수에서 높게 나타났다.
3. 하천수 상류와 양어장 배출수가 만나는 지점의 하천수에서는 생화학적 산소요구량, 엽록소 a, 아질산염 질소, 종속영양세균수가 다른 하천수 지점에서보다 훨씬 높게 나타났다.
4. 유기물오염의 지표로서는 생화학적 산소요구량(BOD_5)이 무기영양염류의 지표로서는 아질산염 질소가 적합한 것으로 나타났다.
5. 내수면 송어양식장의 운영은 여러 가지 환경요인의 변화를 수반하여 하천수의 수질을 악화시킬 수 있다고 판단되어진다.

사 사

본 연구는 교육부 기초과학연구소 학술연구조성비 연구과제(과제번호: BSRI-94-4414)의 연구비 지급에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 유홍일, 유재근, 권오상, 이영준, 이수형,

강경인, 박은경 : 내수면 양식장 오염물질 저감기술 개발에 관한 연구(I), 국립환경연구원보 15, 353-362, 1993.

2. 이은정 : 담수생태계에서의 대장군균 검출방법의 비교 연구, 서울대학교 이학석사학위논문, pp.28-29, 1994.
3. 허우명, 김범철, 안태석, 이기종 : 소양호 유역과 가두리로부터의 인부하량 및 인수지, 한국육수학회지 25, 207-214, 1992.
4. APHA-AWWA : Standard methods for the examination of water and wastewater, 17th ed., 1989.
5. Avnimelech, Y., M. Kochva, and S. Diab : Development of controlled intensive aquaculture systems with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio, *Israel Jounal of Aquaculture-Bamidgeh* 46, 119-131, 1994.
6. Fuhrman, J.A. : Influence of methods on the apparent size distribution of bacterioplankton cells, epifluorescence microscopy compared to scanning electron mcroscopy. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 5, 103-106, 1981.
7. Gu, B. and V. Alexander : Dissolved nitrogen uptake by a cyanobacterial bloom (*Anabaena flos-aqua*) in a Subarctic Lake, *Appl. Environ. Microbiol* 59, 422-430, 1993.
8. Holmer, M and E. Kristensen : Organic-matter mineralization in an organic-rich sediment-Experimental stimulation of sulfate reduction by fish food pellets, *FEMS Microbial. Ecol.* 14, 33-44, 1994.
9. Johnsen, R.I, O. Grahlnielsen, and B.T. Lunestad : Environmental distribution of organic waste from a marine fish farm, *Aquaculture* 118, 229-244, 1993.
10. Kalff, J. and E. Bentzen : A method for the analysis of total nitrogen in natural waters, *Can. J. fish. Aquat. Sci.* 41, 815-819, 1984.
11. Kanda, J. and A. Hattori : Ammonium uptake and synthesis of cellular nitrogenous macromolecules in phytoplankto. *Limnol. Oceanogr.* 33, 1568-1579, 1988.
12. Markosova, R. and J. Jezek : Indicator bacteria and limnological parameters in fish ponds, *Water Res.* 28, 2477-2485, 1994.
13. Smith, P., J. Donlon, R. Coyne, and D. J. Cazabon : Fate of oxytetracycline in a fresh-water fish farm-Influence of effluent treatment systems, *Aquaculture* 120, 319-325, 1994.
14. Solbe, J. F. : The nature and effect of fish farm effulents, *Water Reserch center*, 1982.
15. Subramaniam, S., S. A. Mahali, and S. H. M Taha : Red tide phenomena in Brunei-darussalam-Some inplications for fisheries, *Hydrobiologia* 28, 219-225, 1994.
16. Szabo, P. : Quality of effulent water from earthern fish ponds in Hungary, *J*

Appl. Ichthyol. Zeitschrift für Ichthyol. 10, 326-334, 1994.

17. Talbot, C. and R. Hole: Fish diets and the control of eutrophication resulting from aquaculture, *J. Appl. Ichthyol. Zeitschrift für Ichthyol.* 10, 258-270, 1994.