

백운산 지역에서 계류수의 이화학적 성질에 미치는 양어장의 영향(II)¹⁾

박재현²⁾ · 우보명³⁾ · 김우룡⁴⁾ · 안현철⁴⁾

²⁾ 임업연구원 · ³⁾ 서울대 산림자원학과 · ⁴⁾ 진주산업대 산림자원학과

Influences of Fish Farm on the Physicochemistry of Stream Water Quality in (Mt.) Paekun Area(II)¹⁾

Jae-Hyeon Park²⁾, Bo-Myeong Woo³⁾, Oue-Ryong Kim⁴⁾ and Hyun-Chul Ahn⁴⁾

²⁾Korea Forestry Research Institute, Seoul, Korea, ³⁾Dept. of Forest Resources, Seoul National University, Suwon, Korea, ⁴⁾Chinju National University, Chinju, Korea

ABSTRACT

Quantifications of fish farm influences on stream water quality may provide basic informations on watershed management to reduce environmental impact due to fish farm development and to conserve stream water quality in forested watershed area. In this research stream water qualities around Mt. Paekun area were monitored seasonally and the following results were obtained. Due to the increase of pH in effluent water from the fish farm it was believed that alkalization of stream water can be accelerated by large scale development of fish farms in the forested watershed area. Negative effects on stream water quality were observed by indications of increase in electrical conductivity and temperature of effluent water from the fish farm. Decreases in physicochemical indices such as the amount of dissolved oxygen, percentage of dissolved oxygen, total amount of cation, total amount of anion and total amount of ion in effluent water from the fish farm were also negative aspects in downstream ecology. It is recommended that water purification system as well as eco-friendly fish farm design should be incorporated to large scale fish farm development plan in forested watershed area.

Key words : *eco-friendly fish farm, fish farm development, Mt. Paekun, physicochemical indexes, stream water quality*

I. 서론

수질오염의 근원은 산림에서의 인간 활동에 의한 결과로(Packer, 1967) 우수한 수질을 포함하여 산림으로부터 최대의 이득을 얻기 위하여는 산림유역관리자의 끊임없는 주의와 노력이 필요

하다(Black, 1991; Brooks *et al.*, 1994; Amatya *et al.*, 1998). 최근 국립공원에서 정해놓은 자연 가운데 일부인 훼손된 계곡을 중심으로 수변생태계 및 수질환경을 포함한 광의적인 수서 생태계를 복원·보존하기 위한 계곡휴식년제가 이러한 산림유역관리 차원에서 실행되는 계류수질보전

의 한 예라 할 수 있다(국립공원관리공단북한산 관리소, 1997; 박재현과 마호섭, 1999). 그러나 아직까지 우리 나라에서 양어장 개발에 따른 계류수질오염에 대한 연구(박재현, 1999b)는 거의 전무한 상황이며, 그에 따른 하류수의 수질에 미치는 영향을 밝힌 연구도 전무한 실정이다. 따라서 이 연구는 백운산 지역을 대상으로 양어장 개발이 계류수질에 미치는 영향을 수량화함으로써 산지유역에서 양어장 개발로 인한 환경영향을 저감하고 계류수질보전을 위한 유역관리에 활용할 수 있는 과학적 기초자료를 제공하는 데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지의 개황

이 연구대상지의 개황은 한국환경복원녹화기술학회지 제2권 제3호(54-63)와 같다.

2. 연구방법

수질조사는 동결로 시료 채취가 곤란한 동기간(11월부터 익년 2월)을 제외하고 1999년부터 2000년까지 2개년간 계절별로 실시하였다.

계류수질의 이화학적 조사는 선행연구결과(岩坪 등, 1982; 佐藤 등, 1992; 박재현, 1995, 1996, 1997; 박재현, 1999a; 박재현과 마호섭, 1999), 계류수질평가인자라 판단되는 수온, 용존

산소량(DO), 용존산소포화도, 전기전도도(EC), 수소이온농도(pH), K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- -N, SO_4^{2-} , PO_4^{2-} 등 15개 항목에 대하여 측정·분석하였다.

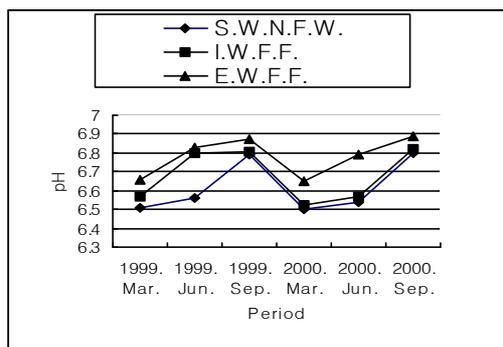
III. 결과 및 고찰

1. 양어장 개발에 따른 계류수질의 이학적 변화 (1) pH

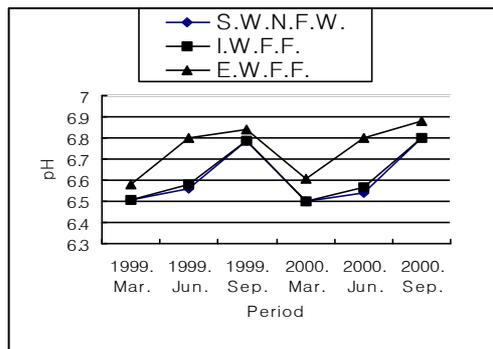
양어장 개발에 따른 유입수, 유출수, 그리고 대조구인 천연림 유역의 계류수에서 계절별 pH 변화는 Fig. 1에서와 같다.

1999년 3월에 site 1 유입계류수의 pH는 6.57이었으나, 유출수는 6.66으로 pH는 약 0.1이 높아졌으며, 유출수가 섬진강으로 유입되는 site 2의 유출수도 유입수보다 pH는 약 0.1이 높아졌다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 9월 모두 동일한 결과를 나타내었다. 즉, 양어장을 통과한 유출수의 pH는 양어장유입 계류수보다 site 1에서는 약 0.03~0.1이, site 2에서는 약 0.1~0.2가 높았다. 한편, site 1의 유출수는 인근 천연림유역 계류수의 pH와 계절별로 약 0.1에서 0.3이 높았으며, site 2에서는 양어장유출수가 천연림유역 계류수보다 pH가 약 0.1~0.2 높아 양어장을 통과한 유출수는 pH가 상승하는 것으로 나타났다.

한편, 2000년 3월에 site 1 유입계류수의 pH는



Comparison of site 1 and site 3



Comparison of site 2 and site 3

Fig. 1. Changes of pH of stream water due to fish farm development(Note: S.W.N.F.W.; Stream Water in Natural Forest Watershed, I.W.F.F.; Influent Water of Fish Farm, E.W.F.F.; Effluent Water of Fish Farm).

6.52이었으나, 유출수는 6.65로 pH는 약 0.13이 높아졌으며, 유출수가 섬진강으로 유입되는 site 2의 유출수도 유입수보다 pH는 약 0.11이 높아졌다. 이와 같은 현상은 전년도의 결과와 마찬가지로 동년 6월과 9월 모두 동일한 결과를 나타내었다. 즉, 양어장을 통과한 유출수의 pH는 양어장유입 계류수보다 site 1에서는 약 0.07~0.22가, site 2에서는 약 0.08~0.23이 높았다. 또한, site 1의 유출수는 인근 천연림유역 계류수의 pH보다 계절별로 약 0.09~0.25가 높았으며, site 2에서는 양어장유출수가 천연림유역 계류수보다 pH가 약 0.08~0.26이 높아 양어장을 통과한 유출수는 양어장 유입 전보다 pH가 상승하는 것으로 나타났다. 이는 송어 등 양식어종에 투입되는 사료의 알칼리성분 및 송어의 배설물이 정화되지 않고 퇴적되면서 염류와 결합하여 발생하는 결과에 기인(오영민과 신석봉, 1991)하기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 양어장 유입수, 양어장을 통과한 유출수, 그리고 대조구인 site 3의 계류수 pH는 모두 하천수질 환경기준에 의한 상수원수 1급수의 범위에 포함되어 pH만으로 판단할 때 하류 지역 주민이 상수원수로 계류수를 이용하는 데에는 가능한 것으로 판단되나, 대규모 양어장의 개발은 유출수의 알칼리화를 유발할 우려가 있으므로 이를 방지하기 위해서는 정수처리시설이 필수적이라 사료된다.

(2) 전기전도도

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수, 그리고 천연림유역의 계류수에서 계절별 전기전도도의 변화는 Fig. 2에서와 같다.

전기전도도는 수질의 오염 정도를 신속하게 평가할 수 있는 항목으로서, 산림내 계류수에서 물 속에 용존되어 있는 이온의 양을 파악하는 지표인자로 작용한다(西尾 등, 1988; 廣瀬 등, 1988; 박재현과 우보명, 1997). 1999년 3월에 site 1의 유입수에서 전기전도도는 28.3 μ S/cm이었으나, 양어장을 통과한 유출수는 34.1 μ S/cm로 전기전도도는 약 6 μ S/cm가 증가하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 약 2 μ S/cm가 증가하였다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 9월 모두 동일한 경향을 나타내었다. 즉, 양어장을 통과하여 유출된 물의 전기전도도는 양어장 유입수보다 site 1에서는 약 3.3~10.1 μ S/cm가, site 2에서는 약 1.5~13.8 μ S/cm가 증가하였다. 한편, site 1에서의 유출수는 대조구인 site 3 계류수의 전기전도도와 계절별로 6~16 μ S/cm 높았으며, site 2에서 양어장 유출수는 site 3 계류수보다 약 3~16 μ S/cm가 높았다.

또한, 2000년 3월에 site 1의 유입수에서 전기전도도는 30.2 μ S/cm이었으나, 양어장을 통과한 유출수는 38.2 μ S/cm로 전기전도도는 약 8 μ S/cm가 증가하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 약 11.2 μ S/cm가 증가하였다. 이와 같은

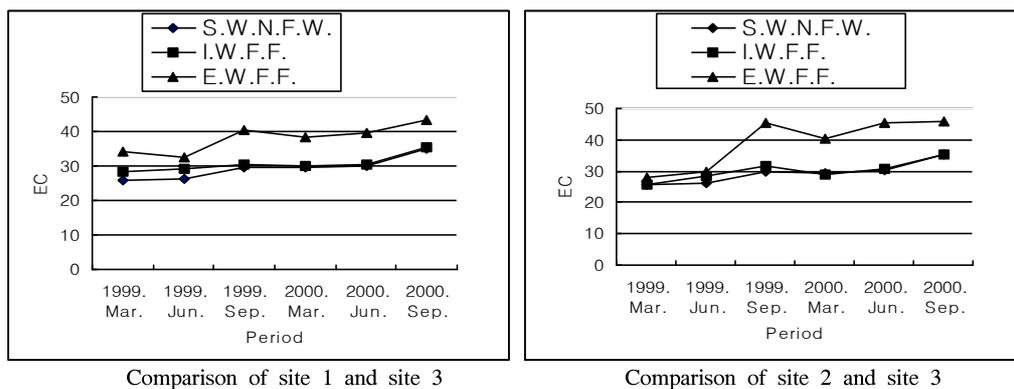


Fig. 2. Changes of Electrical Conductivity(μ S/cm) of stream water due to fish farm development(Note: S.W.N.F.W.; Stream Water in Natural Forest Watershed, I.W.F.F.; Influent Water of Fish Farm, E.W.F.F.; Effluent Water of Fish Farm).

현상은 동년 6월과 9월 모두 동일한 경향을 나타내었다. 즉, 양어장유출수의 전기전도도는 양어장 유입수보다 site 1에서는 약 $8.0\sim 9.2\mu\text{S/cm}$ 가, site 2에서는 약 $10.5\sim 14.6\mu\text{S/cm}$ 가 증가하였다. 한편, site 1에서의 유출수는 대조구인 site 3 계류수의 전기전도도보다 계절별로 $8.1\sim 9.4\mu\text{S/cm}$ 높았으며, site 2에서 양어장 유출수는 site 3 계류수보다 약 $10.5\sim 15.0\mu\text{S/cm}$ 높아 양어장을 통과한 계류수는 용존이온의 증가로 전기전도도가 증가하는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는, 전기전도도의 증가는 수질오염의 지표라는 선행연구결과(박재현과 우보명, 1997; 박재현, 1999a, 1999b)와도 같은 결과이었다. 그러나 site 1과 site 2의 양어장을 통과한 유출수의 전기전도도는 평균 $38.6\mu\text{S/cm}$ 로 일반적인 산림지역 계류수에서의 전기전도도 범위(박재현과 우보명, 1997; 박재현, 1999a)에 포함되어 아직 우려할 만한 전기전도도의 범위는 아닌 것으로 생각되는데, 이는 site 1과 site 2의 규모가 작는데 기인한 결과라 생각된다. 따라서 양어장의 규모가 대규모화되었을 때 유출수의 전기전도도는 청정한 유입수보다 과도하게 증가할 수 있으므로 양어장 개발시 규모를 선정할 때에는 사전에 유출수의 전기전도도에 대한 충분한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

(3) 용존산소량, 용존산소포화도

용존산소는 물의 오염강도를 평가하는 하나의 지표로서 물에 녹아 있는 유리산소량을 말하며(김좌관, 1995), 용존산소는 물 속의 탄산이온 혹은 중탄산이온에 영향하는 인자로 산림내 계류수의 부영양화를 나타내는 지표로 작용한다(國府田 등, 1984).

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수, 그리고 천연림유역의 계류수에서 계절별 용존산소량 및 용존산소포화도의 변화는 Table 1에서와 같다.

1999년 3월에 site 1 유입수의 용존산소량은 13.5mg/l 이었으나, 유출수는 11.4mg/l 로 용존산소량은 양어장을 통과하면서 약 2.1mg/l 가

감소하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 용존산소량은 약 3.3mg/l 가 감소하였다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 9월 모두 동일한 경향이 있었다. 즉, 양어장을 통과하여 유출한 물의 용존산소량은 양어장 유입수보다 site 1에서는 약 $2.1\sim 2.2\text{mg/l}$ 가, site 2에서는 약 $2.3\sim 3.3\text{mg/l}$ 가 감소하였다. 또한, 양어장을 통과한 유출수의 용존산소량은 대조구인 site 3 계류수의 용존산소량보다 site 1에서는 약 $2.3\sim 2.5\text{mg/l}$ 이, site 2에서는 약 $2.1\sim 3.3\text{mg/l}$ 가 감소하였다. 뿐만 아니라 2000년 3월에 site 1 유입수의 용존산소량은 13.4mg/l 이었으나, 유출수는 10.6mg/l 로 용존산소량은 양어장을 통과하면서 약 2.8mg/l 가 감소하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 용존산소량은 약 2.9mg/l 가 감소하였다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 9월 모두 동일한 경향이 있었다. 즉, 양어장을 통과하여 유출한 물의 용존산소량은 양어장 유입수보다 site 1에서는 약 $2.6\sim 2.9\text{mg/l}$ 가, site 2에서는 약 $2.9\sim 3.0\text{mg/l}$ 가 감소하였다.

또한, 양어장을 통과한 유출수의 용존산소량은 대조구인 site 3 계류수의 용존산소량보다 site 1에서는 약 $2.7\sim 2.9\text{mg/l}$ 이, site 2에서는 약 $2.8\sim 3.0\text{mg/l}$ 가 감소하였는데, 이는 유속이 빠른 유입수가 양어장에 유입되면서 정체됨에 따른 유속감소, 송어의 호흡 등 이용에 따른 용존산소량의 감소, 물 속에서의 유기물의 증가 등에 따른 결과(오영민과 신석봉, 1991; 김좌관, 1995) 때문이라 생각된다. 한편, 1999년에 용존산소포화도는 site 1에서 양어장 유출수는 유입수보다 약 $15\sim 21\%$ 가, site 2에서는 $18\sim 30\%$ 가 감소하였다. 또한, 양어장 유출수와 대조구인 site 3 계류수의 용존산소포화도(박중관, 1997)와 비교할 때 site 1에서는 양어장 유출수가 대조구보다 약 $17\sim 24\%$ 낮았으며, site 2에서는 약 $17\sim 32\%$ 낮았다.

그리고 2000년 3월에 용존산소포화도는, site 1에서 양어장 유출수는 유입수보다 약 $22\sim 29\%$, site 2에서는 $20\sim 29\%$ 감소하였다. 또한, 양어장 유출수와 대조구인 site 3 계류수의 용존산소포화도와 비교할 때 site 1에서는 양어장

Table 1. Changes of dissolved oxygen(mg/ℓ) of stream water due to fish farm development.

Year \ Category		Influent water of fish farm	Effluent water of fish farm	Stream water in natural forest watershed	
1999	March	Site 1	13.5(101)	11.4(86)	13.7(103)
		Site 2	13.7(105)	10.4(78)	
	June	Site 1	13.4(109)	11.2(91)	13.5(110)
		Site 2	13.7(111)	11.4(93)	
	September	Site 1	13.4(129)	11.2(108)	13.7(132)
		Site 2	13.5(130)	10.4(100)	
2000	March	Site 1	13.4(103)	10.6(81)	13.5(103)
		Site 2	13.4(103)	10.5(83)	
	June	Site 1	13.3(116)	10.7(93)	13.4(117)
		Site 2	13.6(119)	10.6(92)	
	September	Site 1	13.3(133)	10.4(104)	13.2(132)
		Site 2	13.2(132)	10.3(103)	

Note : () means % of Dissolved Oxygen

유출수가 대조구보다 약 22~28%, site 2에서는 약 20~29% 낮았다. 그러나 양어장 유입수, 유출수, 그리고 대조구인 site 3 계류수의 용존산소량은 하천수질환경기준 상수원수 1급수의 범위에 포함되어 용존산소량 항목만을 평가할 때 인근 주민의 계류수 이용에 따른 영향은 적을 것으로 판단된다.

그러나 양어장 유출수에서 용존산소포화도의 감소는 그만큼 물의 신선도 및 맛의 저하를 가져오므로(오영민과 신석봉, 1991) 양어장 개발시 용존산소량을 낮추는 유속 감쇄 및 유기물 퇴적을 최소화하는 설계가 필요할 것으로 생각된다.

(4) 수온

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수, 그리고 천연림유역의 계류수에서 계절별 수온의 변화는 Table 2에서와 같다.

수온은 물 속의 용존산소포화도와 밀접한 관계가 있으며, 물 속의 어류생태계에도 크게 영향하는데(박종관, 1997), 양어장 개발에 따른 유입수, 유출수, 그리고 천연림유역의 계류수에서 계절별 수온은 1999년과 2000년 모두 양어장 유입수보다 유출수가 높았다. 즉, site 1에서는

양어장 유출수가 유입수보다 1999년에는 약 0.2~0.3℃, 2000년에는 약 0.2~0.6℃가 높았으며, site 2에서는 1999년에 약 0.2~0.4℃, 2000년에는 약 0.3~0.6℃가 높았는데, 이는 유속의 감소 및 양어장에 정체된 유기퇴적물의 썩음, 태양의 복사열 등에 기인한 결과라 생각된다. 한편, 양어장 유입수의 수온은 대조구인 site 3 계류수보다 1999년에는 site 1에서 약 0.4~1.0℃, site 2에서는 약 0.3~1.2℃ 높았으며, 2000년에는 site 1에서 약 0.3~0.4℃, site 2에서는 약 0.4~0.6℃ 높아 이 유출수가 하류 하천에 유입되었을 때는 수온의 상승으로 계류생태계에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

아울러 이 연구에서는 양어장 유입수·유출수, 그리고 대조구인 site 3 계류수에서 산림소유역 유출수량 관측시설 등의 미비로 연속적인 유량에 대한 자료를 얻을 수 없어 岩坪과 堤(1968)가 보고한 계류의 양분량을 규제하는 요인인 연속적인 유량과 계류수질과의 관계는 밝힐 수 없었는데, 향후 이 부분에 대하여는 연속적인 유출량을 측정할 수 있는 시설을 각 site에 설치함으로써 유량자료와 계류수질 자료와의 관계를 분석하는 등 장기적인 연구가 이루어질 수 있도록 할 것이다.

Table 2. Changes of water temperature(°C) of stream water due to fish farm development.

Year \ Category		Influent water of fish farm	Effluent water of fish farm	Stream water in natural forest watershed
1999	March	Site 1	3.2	3.0
		Site 2	3.1	
	June	Site 1	5.7	4.9
		Site 2	5.8	
	September	Site 1	13.5	13.4
		Site 2	13.5	
2000	March	Site 1	3.3	3.2
		Site 2	3.3	
	June	Site 1	7.6	7.7
		Site 2	7.7	
	September	Site 1	13.6	13.5
		Site 2	13.5	

2. 양어장 개발에 따른 계류수질의 화학적 변화

(1) 양이온총량

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수, 그리고 대조구인 천연림유역 계류수에서 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ 등 5개 양이온량을 포함한 양이온총량의 계절별 변화는 Table 3에서와 같다.

조사기간 중 양어장 유출수는 유입수보다 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ 등 5개 양이온량을 모두 합한 양이온총량은 많은 것으로 분석되었다. 즉, 1999년에 site 1에서는 양어장 유출수의 양이

온총량은 유입수보다 약 $0.33 \sim 0.84 mg/l$ 가, site 2에서는 약 $0.84 \sim 1.41 mg/l$ 가 많았으며, 2000년에 site 1에서는 양어장유출수가 유입수보다 약 $0.54 \sim 1.79 mg/l$ 가, site 2에서는 약 $0.70 \sim 1.79 mg/l$ 가 많았는데, 이는 송어 등 어류의 배설물, 사료 등이 물에 용존되면서 발생하는 이온량의 증가에 기인한 결과로, 이러한 염류의 증가는 양어장 유출수의 pH를 높이는 원인으로 작용(平井 등, 1990) 하는 등 계류수질에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

Table 3. Changes of total amount of cation(mg/l) of stream water due to fish farm development.

Year \ Category		Influent water of fish farm	Effluent water of fish farm	Stream water in natural forest watershed
1999	March	Site 1	5.35	5.58
		Site 2	4.84	
	June	Site 1	7.63	5.95
		Site 2	6.37	
	September	Site 1	7.72	6.00
		Site 2	7.17	
2000	March	Site 1	5.38	5.36
		Site 2	4.92	
	June	Site 1	7.83	6.36
		Site 2	6.42	
	September	Site 1	7.42	7.20
		Site 2	7.30	

한편, 양어장 유출수의 양이온총량은 대조구인 site 3 계류수보다 1999년에는 site 1에서 약 0.10~2.56mg/ℓ 가, site 2에서 약 0.10~2.58mg/ℓ 가 많았으며, 2000년에는 site 1에서 약 0.56~2.60mg/ℓ 가, site 2에서 약 0.26~1.85mg/ℓ 가 많아 양어장 개발이 물 속에 용존된 양이온을 증가시키는 작용을 하는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 물의 전기전도도를 증가시켜 물의 오염을 가속화시키는데 좋지 않은 영향을 미칠 것으로 생각된다(박재현과 우보명, 1997).

(2) 음이온총량, 이온총량

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수, 그리고 대조구인 천연림유역의 계류수에서 Cl^- , NO_2^- , NO_3^- -N, SO_4^{2-} , PO_4^{2-} 등 5개 음이온량을 합한 음이온총량 및 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ 등 5개 양이온량과 Cl^- , NO_2^- , NO_3^- -N, SO_4^{2-} , PO_4^{2-} 등 5개 음이온량을 합한 이온총량은 Table 4에서와 같다.

조사기간 중 Cl^- , NO_2^- , NO_3^- -N, SO_4^{2-} , PO_4^{2-} 등 5개 음이온량을 합한 음이온총량은 양어장을 통과한 유출수가 유입수보다 많았다. 즉, 1999년에는 site 1에서 유출수의 음이온총량은 유입

수보다 약 1.09~1.81mg/ℓ 가, site 2에서는 0.48~1.92mg/ℓ 가 많았으며, 2000년에는 site 1에서 유출수의 음이온총량은 유입수보다 약 1.40~2.12mg/ℓ 가, site 2에서는 1.47~2.90mg/ℓ 가 많았는데, 이는 양어장을 통과한 유출수가 유입수보다 오염될 우려가 높다는 것을 의미하는 것이다(박재현, 1999a). 또한, 양어장 유출수는 대조구인 site 3 계류수보다 1999년에는 site 1에서 약 1.65~4.96mg/ℓ 가, site 2에서는 1.68~2.43mg/ℓ 가 많았으며, 2000년에는 site 1에서 약 2.25~2.98mg/ℓ 가, site 2에서는 2.55~3.14mg/ℓ 가 많아 양어장 유출수의 전기전도도 상승 원인이 되고 있음을 파악할 수 있었다(박재현, 1997). 한편, 어류의 배설물이나 사료에서 발생하는 PO_4^{2-} 이온은 1999년 3월에 site 1의 양어장을 통과한 유출수에서 1.83mg/ℓ, 9월에 site 1과 site 2의 유출수에서 각각 0.34, 0.27mg/ℓ 가 검출되었으며, 2000년 3월에는 site 1의 양어장을 통과한 유출수에서 2.10mg/ℓ, 6월에 site 2의 유출수에서 0.56mg/ℓ 가 검출되어 양어장 개발에 따른 하류수의 오염이 우려된다. 이는 박재현(1999b, 2000)의 연구결과와 유사한 결과로 청정지역에서의 개발이 계류수의 오염을 발생시킬 수 있

Table 4. Changes of total amount of anion(mg/ℓ) and total amount of ion of stream water due to fish farm development.

Category		Influent water of fish farm	Effluent water of fish farm	Stream water in natural forest watershed	
1999	March	Site 1	10.56(15.91)	12.37(18.05)	7.41(12.99)
		Site 2	8.61(16.24)	9.09(17.45)	
	June	Site 1	5.51(13.14)	6.60(14.96)	4.95(10.90)
		Site 2	5.36(11.73)	7.28(14.86)	
	September	Site 1	5.07(12.79)	6.33(14.89)	4.25(10.25)
		Site 2	5.36(12.53)	6.68(15.26)	
2000	March	Site 1	8.62(14.06)	10.40(16.32)	7.42(12.78)
		Site 2	8.50(13.42)	9.97(15.59)	
	June	Site 1	8.20(16.03)	10.32(19.28)	8.07(14.43)
		Site 2	8.31(14.73)	11.21(19.42)	
	September	Site 1	6.91(14.33)	8.31(17.52)	5.84(13.04)
		Site 2	6.95(14.25)	8.93(17.60)	

Note : () means total amount of ion

음을 의미하는 것이다.

또한, 조사기간 중 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ 등 5개 양이온량과 Cl^- , NO_2^- , NO_3^- -N, SO_4^{2-} , PO_4^{2-} 등 5개 음이온량을 합한 이온총량은 양이온총량, 음이온총량과 마찬가지로 양어장 유출수가 유입수보다 많았다. 즉, 1999년에 site 1에서는 유출수에 용존된 이온총량이 유입수에서의 이온총량보다 약 1.82~2.14mg/l 가, site 2에서는 1.21~3.13mg/l 가 많았으며, 2000년에는 site 1에서 유출수에 용존된 이온총량이 유입수에서의 이온총량보다 약 2.26~3.25mg/l 가, site 2에서는 2.17~4.69mg/l 가 많았다. 또한, 양어장 유출수에 용존된 이온총량은 대조구인 site 3의 계류수에 용존된 이온총량보다 1999년에는 site 1에서 약 4.06~5.06mg/l 가, site 2에서 3.96~5.01mg/l 가 많았으며, 2000년에는 site 1에서 약 3.54~4.85mg/l 가, site 2에서 약 2.81~4.99mg/l 가 많아 양어장 개발에 따른 유출수의 하천유입은 하류수질에 좋지 않은 영향을 미칠 것으로 생각된다. 따라서 대규모 양어장 개발에 따른 하류수질 오염을 방지하기 위해서는 어류의 배설물, 사료에서 용존되는 이온 등을 정화시키기 위한 시설의 설치가 필수적이라 사료된다.

IV. 결 론

백운산 지역을 대상으로 양어장 개발이 계류수질에 미치는 영향을 수량화함으로써 산지유역의 양어장 개발에 대한 환경영향을 저감하고 계류수질보전을 위한 유역관리에 활용할 수 있는 과학적 기초자료를 제공하기 위해 1999년부터 2000년까지 2개년간 계절별로 계류수질을 분석한 결과, 양어장을 통과한 유출수의 pH는 양어장유입수와 대조구의 계류수보다 높아져 대규모 양어장 개발시 유출수의 알칼리화가 촉진되는 것으로 분석되었으며, 양어장을 통과하여 유출된 물의 전기전도도도 양어장유입수와 대조구의 계류수보다 증가하여 양어장 개발이 하류수의 수질에 負의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 또한, 양어장을 통과하여 유출한

물의 용존산소량과 용존산소포화도, 유출수의 수온 등은 양어장유입수와 대조구 계류수보다 감소하거나 낮아져 하류의 수생태계에 負의 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그리고 양어장을 통과하여 유출한 물에 용존되어 있는 양이온총량, 음이온총량, 이온총량 등은 양어장유입수와 대조구 계류수보다 높아져 하류수질에 負의 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 대규모 양어장 개발시에는 계류 및 하천수질보전을 고려한 환경친화적 시설의 설치가 필수적이라 생각된다.

인 용 문 헌

- 국립공원관리공단북한산관리소. 1997. 북한산국립공원 자연생태계 보전계획. 국립공원관리공단북한산관리소. 128pp.
- 김좌관. 1995. 수질오염개론. 동화기술. 353pp.
- 박재현. 1995. 산림유역에 있어서 계류수질 평가기준 정립에 관한 고찰. 자연보존 92 : 23-38.
- 박재현. 1996. 산림유역에 있어서 계류수질 평가기준 정립에 관한 고찰. 자연보존 95 : 38-52.
- 박재현. 1997. 산림유역에 있어서 계류수질 평가기준 정립에 관한 고찰. 자연보존 97 : 33-42.
- 박재현. 1999a. 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질 특성. 한국임학회지 88(1) : 101-110.
- 박재현. 1999b. 백운산 지역에서 계류수의 이화학적 성질에 미치는 양어장 개발의 영향. 한국환경복원녹화기술학회지 2(3) : 54-63.
- 박재현. 2000. 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질 특성(II) 이화학적 특성을 중심으로. 한국임학회지 89(2) : 241-248.
- 박재현·마호섭. 1999. 북한산국립공원내 휴식년 계곡의 수질관리를 위한 계류수질모니터링. 한국환경복원녹화기술학회지 2(2) : 88-96.
- 박재현·우보명. 1997. 산림유역내 강수로부터 계

- 류수질에 미치는 영향인자 분석 pH, 용존 산소, 전기전도도 . 한국임학회지 86(4) : 489-501.
- 박종관. 1997. 물환경조사법. 청문각. 79-80pp.
- 오영민 · 신석봉. 1991. 수질관리. 신광문화사. 311pp.
- 西尾 敏, 佐佐木重行, 高木潤治. 1988. 降水及び溪流水の成分に関する研究 pHとEC(電氣傳導度)について . 日本九支研論集 41 : 169-170.
- 岩坪五郎, 平林ゆり, 堤利 夫. 1982. On the spraying of sewage water in a forest Effect of the spraying on the run-off water chemicals and the nutrient budgets of the forest watershed. 日本林學會誌 64(5) : 187-192.
- 岩坪五郎, 堤 利夫. 1968. 森林内外の降水中の養分量について 流亡水中の養分量について. 京大演報 40 : 140-156.
- 佐藤冬樹, 笹賀一郎, 藤原澁一郎, 桀本浩志. 1992. 道北地方における降雪の化學性と小河川の水質(1) 冬期渇水期の小河川の水質 . 日林論 103 : 601-602.
- 廣瀬 顯, 岩坪五郎, 堤利 夫. 1988. 森林流出水の水質についての廣域的考察(1). 京都大學農學部演習林報告 60 : 162-173.
- 國府田悅男, 荒川健司, 秋田求 等. 1984. 上郷池における炭酸・重炭酸イオン及び溶存酸素濃度の經時變化とその相關性. 筑波の環境研究 8 : 86-90.
- 平井敬三, 加藤正樹, 岩川雄幸, 吉田桂子. 1990. 樹幹流が林地土壤に與える影響 スギ・ヒノキ林における林外雨, 林内雨, 樹幹流, 土壤水のpH . 第101回 日林論 : 243-245.
- Amatya, D.M. J.W. Gilliam, R.W. Skaggs, M.E. Lebo, and R.G. Campbell. 1998. Effects of controlled drainage on forest water quality. Journal of Environmental Quality 27 : 923-935.
- Black, P.E. 1991. Watershed Hydrology. Prentice Hall Advanced Reference Series. pp. 408.
- Brooks, K.N., P.F. Ffolliott, H.M. Gregersen, and J.L. Thames. 1994. Hydrology and the management of watersheds. 392pp.
- Packer, P.E. 1967. Criteria for designing and locating logging roads to control sediment. Forest Science 13 : 2-18.

接受 2000年 12月 12日