

## 백운산 지역에서 계류수의 이화학적 성질에 미치는 양어장 개발의 영향

박 재 현<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 임업연구원

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

Park, Jae-Hyeon<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Forestry Research Institute, Seoul, 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 by seasons 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 was also observed by indications of increase in electrical conductivity and temperature of effluent water from the fish farm. Decreases of physicochemical indexes such as the amount of dissolved oxygen, percentage of dissolved oxygen 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 be incorporated to large scale fish farm development plan in forested watershed area.

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

### I. 서 론

최근 급증하고 있는 상류 산지유역에 대한 인위적인 개발과 이에 따른 산림의 파괴는 과거로부터 안전하고 깨끗한 물로서 인식되어 오던 산원수(山源水)에 대한 심각한 수질오염문제를 야기함으로써 인해, 하류지역의 인간생활 및

자연생태계에 미치는 악영향이 매우 클 것으로 예상되고 있다. 그러나 현재까지 1차적 상수원 지역인 산지유역에 대한 개발은 개발로 인한 자연훼손 및 수질오염에 대해 고려하지 않고 이용목적 및 개발편의에만 국한하여 진행되어 왔기 때문에, 향후 심각한 산원수 오염의 원인이 될 수 있으며, 이러한 상류 1차유역으로부터

터의 수질오염은 하류로 갈수록 그 파급효과가 심각할 것으로 우려된다.

현재까지 주요 상수원 지역인 산지유역에 있어서는 산림지가 청정수역이라는 기본적인 인식 하에 별다른 수질관리대책의 수립이 없이 인간의 간섭 및 개발행위를 최소화하는 산림지의 현상유지 및 시설규제 등의 소극적인 방법이 주도되어 왔다. 그러나 국민활동영역의 확대 및 휴양공간의 창출 등 점증하는 국민적 요구로 인하여 산지유역은 더 이상 방치되고 폐쇄적인 공간이 아닌 국민활동의 한 장소로서 자리매김할 수밖에 없으며(김기원, 1996), 이에 따라 증대되는 산원수 오염의 위험성을 저감하기 위한 새로운 방법의 도입 및 적극적인 대책의 수립이 시급히 요구된다.

수질목표는 현재의 수질현황, 오염원 조사 그리고 장래 수질농도의 예측 결과에 따라 적절히 설정되어야 할 것이며, 이에 준하여 오염물질 배출 등에 대한 기준이 마련되어야 할 것이다. 그러나 우리 나라의 경우 수질관리체계는 위와 같은 일련의 과정이 이루어지지 않은 채 다소 무계획적이고 지역적인 특성이 고려되지 않은 획일적인 정책실행으로 말미암아 많은 부분의 보완과 제도의 개선이 필요한 것으로 보인다. 특히, 최근 각종 위락시설의 증가와 인구유입 등으로 인한 산림지의 용도변경 등 각종 오염원이 양산되고 수질오염현상이 심화되고 있는 산지유역은 상수원수의 근원지라는 지리적 특성과 그 내부에 많은 생물을 담보하는 자연생태계라는 지위에도 불구하고 현재까지 이를 반영한 어떠한 수질 및 수자원관리체계도 마련되지 못한 채 방치되고 있어 이에 대한 대책이 시급히 요구된다.

최근 휴양인구 급증에 따른 위락요구의 증대는 산림지역에까지 확대되고 있고, 이러한 휴양인구의 급증과 음식문화의 발달은 양어장 개발을 부추기고 있으며, 청정한 산림내 계류수에서 생산하는 송어 등 어류의 양식이 산촌지역에서 확대 일로에 있다. 또 그 재료도 환경에 친화되기 어려운 시멘트 콘크리트 일색이다.

수질공해란 인간과 인간이 만든 화학적, 물

리적, 생물적 요인 및 방사능이 물을 오염시키는 것이라 정의되는데, 산림지는 ha당 생산하는 가장 높은 질의 물을 생산해 낸다(Megahan and Kidd, 1975; Brown and Binkley, 1994). 이러한 산림 지역에서 양어장을 개발하게 되면, 이를 위하여 필수적으로 요구되는 비료 및 각종 시설 설치에 따른 개발이 이루어짐으로써 이들 지역으로부터 수질오염이 발생된다. 이렇게 양어장에서 방류된 어류의 배설물 등이 섞여 있는 오염된 물은 정수 처리되지 않고 산지 계곡을 따라 하류로 유출되어 계곡과 만나는 하천이나 강으로 유입되어 부영양화 등 하천수질오염을 발생시킴으로써 수계생태계를 오염시키고 수질을 변화하게 하며, 나아가서는 계류수나 강물을 상수원으로 이용하는 주민들에게 악영향을 미치는 원인(Brooks *et al.*, 1994)이 되기도 한다.

이와 같이 산지 계류에 수질오염을 발생시키는 요인에 대하여 U.S. Environmental protection agency region and water division(1975)는 표면배수량, 수온 등의 영향이 크다고 보고하였다. 이중 계류수의 온도는 수질에 영향을 주는 중요한 변수인데, 이는 계류에서 산소와 고체물질을 용해시키는 역할을 하기 때문이다. 이러한 계류 온도의 상승은 태양복사에너지 때문이며, 이는 양어장 개발 등 각종 산림개발에 의하여 증가한다. 이렇게 계류 온도가 변하면 물의 맛, 색깔, 향기 등이 달라지며, 물 속에 박테리아를 증가시켜 이들 박테리아 오염원은 계류수에 서식하는 어류의 성장에 치명적인 영향을 미치게 된다(Brown and Krygier, 1970; U.S. Environmental protection agency region and water division, 1975).

이러한 수질오염의 근원은 산림에서의 인간 활동에 의한 결과로(Packer, 1967) 우수한 수질을 포함하여 산림으로부터 최대의 이득을 얻기 위하여는 산림유역관리자의 끊임없는 주의와 노력이 필요하다(Fredriksen, 1970; Larse, 1971; Gonsior and Gardner, 1971; Crown Zellerbach Corporation, 1971). 최근 국립공원에서 정해놓은 자연 가운데 일부인 훼손된 계곡을 중심으로 수변생태계 및 수질환경을 포함한 광의적인 수서 생태계를 복원·보존하기 위한 계곡휴식

년제가 이러한 산림유역관리 차원에서 실행되는 계류수질보전의 한 예라 할 수 있다(국립공원관리공단북한산관리소, 1997; 박재현과 마호섭, 1999).

그러나 아직까지 우리 나라에서 양어장 개발에 따른 계류수질오염에 대한 영향 연구는 전무한 상황이며, 그에 따른 하류수의 수질에 미치는 영향을 밝힌 연구도 전무한 실정이다. 따라서 이 연구는 백운산 지역을 대상으로 양어장 개발이 계류수질에 미치는 영향을 수량화함으로써 산지유역의 양어장 개발에 대한 환경영향을 저감하고 계류수질보전을 위한 유역관리에 활용할 수 있는 과학적 기초자료를 제공하는 데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구대상지의 개황

이 연구는 서울대학교 농업생명과학대학 부속 남부연습림(광양군, 구례군) 백운산(해발 1,217m) 지역에서 수행하였다. 이 지역의 최근 10년간 연평균강수량은 조사지 부근 담곡에서 1,927mm인데, 강수량 중 60% 이상이 장마기간인 6~8월 중에 집중되는 집중강우 형태를 나타내고 있고 지형은 해발 800~1,000m가 전체의 53.7%를 차지하고 있으며, 700~800m와 1,000~1,100m가 각각 11.8%, 12.2%를 점유하고 있다.

연구대상지는 해발 200~500m에 위치하고 경사도는 북사면이 남사면보다 급하고, 연구대상인 양어장은 담곡양어장(site 1)과 섬진강으로 유입되는 계류에 위치하는 도장동양어장(site 2)으로 구분하여 선정하였으며, 이들 양어장과 대조구로 천연림유역의 계류수(site 3)에서 수질을 측정·분석하였다. 이때 천연림의 유역면적은 약 13ha이었다.

이 연구대상지역의 대부분은 화강암 또는 편마암이며, 토양통의 분포는 행산~무등~청산 토양군이 주로 분포하고, 표고가 낮은 지역은 운곡~칠곡~안릉 토양군이 분포하며, 전체적으로 배수가 양호한 식·사양질 토양으로 특히

연구대상지 조사구의 토성은 미사질양토이었다. 지질은 중생대 백악기의 퇴적물이 선캄브리아기에 화강암의 관입으로 변성된 지리산 변성복합체에 속하며, 반상변정 화강암질 편마암이 주류를 이루고 있고, 화강암은 부분적으로 분포한다. 지리적으로는 온대남부지역에 위치하고 있으며, 산림대의 수직적 분포가 잘 나타나고 식생 구성도 비교적 다양하다. 천연림 임상은 참나무류, 서어나무, 들메나무, 단풍나무류 등 낙엽활엽수가 대부분을 차지하고 있으며, 신갈나무, 고로쇠나무 등이 분포한다. 남사면에는 신갈나무, 고로쇠나무, 때죽나무, 비목나무, 느티나무 등이, 북사면에는 신갈나무, 고로쇠나무, 노린재나무, 물푸레나무 등이 분포한다(환경처, 1991).

이 연구대상 양어장(site1, 2)은 송어를 주로 양식하고, 1일 사료 사용량은 약 20kg이며, 규모는 site 1이 약 225m<sup>2</sup>, site 2가 약 450m<sup>2</sup>이었다. 송어는 치어(평균몸체길이 10cm) 약 5,000수, 성어(평균몸체길이 30cm) 약 500수를 양식하고 있다. 연구대상지에서 계류수질 측정위치는 Fig. 1에서와 같다.

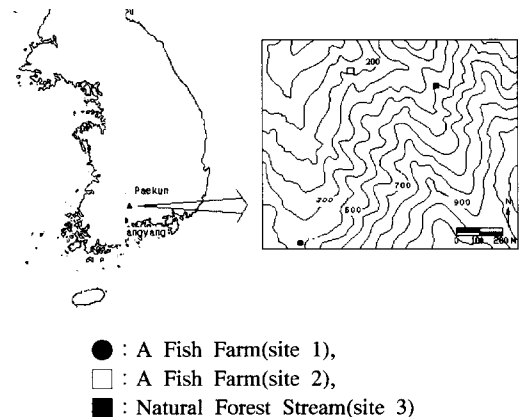


Fig. 1. Location map of sampling points of stream water quality.

### 2. 연구방법

양어장 개발에 따른 수질변화를 조사하기 위하여 양어장(site1, 2)의 유입수와 유출수를 각기 2ℓ 채수하였으며, 대조구로 인위적인 오염

이 발생되지 않고 상시 계류수심이 20cm 이상 되어 유량이 풍부하다고 판단되는 천연림 유역을 연구대상지로 하여 수질조사는 동결로 시료 채취가 곤란한 동기간(11월부터 익년 2월)을 제외한 계절별로 실시하였다.

계류수질의 이화학적 조사는 선행연구결과(岩坪 등, 1982; 佐藤 등, 1992; 박재현, 1995, 1996, 1997; 박재현, 1999; 박재현과 마호섭, 1999), 계류수질평가인자라 판단되는 수온, 용존산소량(DO), 용존산소포화도, 전기전도도(EC), 수소이온농도(pH),  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-N$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_2^-$ ,  $PO_4^{2-}$ , 경도 등 16개 항목에 대하여 측정·분석하였다. 이때 수온, 용존산소량, 전기전도도, pH 등 4개 항목은 계류수를 채수 직후 동일 지점에서 측정하였다. 수온과 pH는 HI 8314 Membrane pH meter, 용존산소량은 DO Meter(DO-11P), 전기전도도는 Conductivity meter(CM-11P)로 항목의 특성상 현장에서 시료 채취 즉시 측정하였다. 또한, 대조적인 계류수는 인위적 오염이 발생되지 않은 계류의 하류부에서 채수하였으며, 채수시기는 선행강우가 조사시점에서 5일 이전 동안 없었던 시점에 수심 20cm 이상 되는 계류의 중심부에서 2ℓ 채수하여 Ice Box에 보관한 후 실험실에 가져와 0.45  $\mu m$ 의 필터로 2회 여과한 후 양이온( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ) 및 음이온( $Cl^-$ ,  $NO_3^-N$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_2^-$ ,  $PO_4^{2-}$ )은 Ion chromatography로 분석하였다. 또한, 경도는 수질오염공정시험방법

(성문기술, 1995)에 따라 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 양어장 개발에 따른 계류수질의 이학적 변화

##### 1.1. pH

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

1999년 3월에 site 1의 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 0.1~0.2가 높아 양어장을 통과한 유출수는 pH가 상승하는 것으로 나타났다. 이는 송어 등 양식어종에 투입되는 사료의 알칼리성분 및 송어의 배설물이 정화되지 않고 퇴적되면서 염류와 결합하여 발생하는 결과(오영민과 신석봉, 1991)로 생각된다. 양어장 유입수, 양어장을 통과한 유출수, 그리고 대조구인 site 3의 계류수pH는 모두 하

Table 1. Variations of pH of stream water on development fish farm.

Category		Influent water of fish farm	Effluent water of fish farm	Stream water in natural forest watershed
March	Site 1	6.57	6.66	6.51
	Site 2	6.51	6.58	
June	Site 1	6.80	6.83	6.56
	Site 2	6.58	6.80	
September	Site 1	6.81	6.87	6.79
	Site 2	6.79	6.84	

**Table 2.** Variations of Electrical Conductivity( $\mu\text{S/cm}$ ) of stream water on development fish farm.

Category		Influent water of fish farm	Effluent water of fish farm	Stream water in natural forest watershed
March	Site 1	28.3	34.1	25.7
	Site 2	25.8	28.2	
June	Site 1	29.0	32.3	26.3
	Site 2	28.5	30.0	
September	Site 1	30.4	40.5	29.6
	Site 2	31.6	45.4	

천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수의 범위에 포함되어 pH 만으로 판단할 때 하류 지역 주민이 상수원수로 계류수를 이용하는 데에는 가능한 것으로 판단되나, 대규모 양어장의 개발은 유출수의 알칼리화를 방지하기 위한 정수 처리시설이 필수적이라 사료된다.

### 1.2. 전기전도도

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수, 그리고 천연림유역의 계류수에서 계절별 전기전도도의 변화는 Table 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; 廣瀨 등, 1988). 1999년 3월에 site 1의 유입수에서 전기전도도는  $28.3 \mu\text{S/cm}$ 이었으나, 양어장을 통과한 유출수는  $34.1 \mu\text{S/cm}$ 로 전기전도도는 약  $6 \mu\text{S/cm}$ 가 증가하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 약  $2 \mu\text{S/cm}$ 가 증가하였다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 9월 모두 동일한 경향을 나타내었다. 즉, 양어장을 통과하여 유출된 물의 전기전도도는 양어장 유입수보다 site 1에서는 약  $3.3 \sim 10.1 \mu\text{S/cm}$ 가, site 2에서는 약  $1.5 \sim 13.8 \mu\text{S/cm}$ 가 증가하였다. 한편, site 1에서의 유출수는 대조구인 site 3 계류수의 전기전도도와 계절별로 약  $6 \sim 16 \mu\text{S/cm}$  높았으며, site 2에서 양어장 유출수는 site 3 계류수보다 전기전도도가 약  $3 \sim 16 \mu\text{S/cm}$ 가 높아 양어장을 통과한 계류수에는 용존이온의 증가로 오염현상이 발생되

는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 전기전도도의 증가는 수질오염의 지표라는 선행연구결과(박재현과 우보명, 1997; 박재현, 1999a)와도 같은 결과이었다. 그러나 site 1과 site 2의 양어장을 통과한 유출수의 전기전도도는 평균  $35.1 \mu\text{S/cm}$ 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 작음에 기인한 결과라 생각된다. 따라서 영어장의 규모가 대규모화 되었을 때 유출수의 전기전도도는 청정한 유입수보다 과도하게 증가할 수 있으므로 양어장 개발시 사전에 유출수의 전기전도도에 대한 충분한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

### 1.3. 용존산소량, 용존산소포화도

용존산소는 물의 오염장도를 평가하는 하나의 지표로서 물에 녹아 있는 유리산소량을 말한다. 하천수가 오염될 경우 유기물에 의한 부패로 수중 미생물에 의하여 용존산소는 소비되어 유기물이 산화·분해된다. 즉, 물 속에 유기물이 많으면 용존산소는 적게 된다. 또한, 용액 중에 존재할 수 있는 산소는 기체의 용해도, 기체의 대기중 분압, 온도, 물의 성분에 따라 달라지는데, 용존산소는 철이나 망간 등에 대하여 부식작용을 일으키는 요인이 되고 물 속에 용존산소량이 많으면 산성수에서 철의 침식 정도가 크다(김좌관, 1995). 용존산소는 물 속의 탄산이온 혹은 중탄산이온에 영향하는 인자로

**Table 3.** Variations of Dissolved Oxygen(mg/ℓ) of stream water on development fish farm.

Category		Influent water of fish farm	Effluent water of fish farm	Stream water in natural forest watershed
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)	

Note : ( ) means % of Dissolved Oxygen

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 3에서와 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 6월과 9월 모두 동일한 경향이였다. 즉, 양어장을 통과하여 유출한 물의 용존산소량은 양어장 유입수보다 site 1에서는 약 2.1~2.2mg/ℓ 가 감소하였으며, site 2에서는 약 2.3~3.3mg/ℓ 가 감소하였다. 또한, 양어장을 통과한 유출수의 용존산소량은 대조구인 site 3 계류수의 용존산소량보다 site 1에서는 약 2.3~2.5mg/ℓ 이 감소하였으며, site 2에서는 약 2.1~3.3mg/ℓ 가 감소하였는데, 이는 유속이 빠른 유입수가 양어장에 유입되면서 정체됨에 따른 유속 감소, 송어 등의 이용에 따른 용존산소량의 감소, 물 속에 유기물의 증가 등에 따른 결과(오영민과 신석봉, 1991; 김좌관, 1995) 때문이라 생각된다. 용존산소포화도는 site 1의 양어장 유출수는 유입수보다 약 15~21%가 감소하였으며, site 2에서는 18~30%가 감소하였다. 또한, 양어장 유출수와 대조구인 site 3 계류수의 과포화상태인 용존산소포화도(박종관, 1997)와 비교할 때 site 1에서는 양어장 유출수가 대조구

보다 약 17~24% 낮았으며, site 2에서는 약 17~32%가 낮았다. 한편, 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 유출수의 용존산소포화도의 감소는 그만큼 물의 신선도 및 맛의 저하를 가져오므로(오영민과 신석봉, 1991) 양어장 개발시 유속 감쇄 및 유기물 퇴적을 최소화하는 설계가 필요할 것으로 생각된다.

#### 1.4. 수온, 경도

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수, 그리고 천연림유역의 계류수에서 계절별 수온 및 경도의 변화는 Table 4에서와 같다.

수온은 물 속의 용존산소포화도와 밀접한 관계가 있고, 물 속의 어류생태계와도 크게 영향하며, 경도는 물맛을 떨어지게 하고 세탁시에는 세척능력을 감소시키는 작용을 한다(박종관, 1997). 양어장 개발에 따른 유입수, 유출수, 그리고 천연림유역의 계류수에서 계절별 수온은 모두 양어장 유입수보다 유출수가 높았다. 즉, site 1에서는 양어장 유출수가 유입수보다 약 0.2~0.3℃가 높았으며, site 2에서는 약 0.2~0.4℃가 높았는데, 이는 유속의 감소 및 양어장에 정체된 유기퇴적물의 썩음, 태양의 복사열 등에 기인한 결과라 생각된다. 한편, 양어장 유입수의 수온은 대조구인 site 3 계류수보다 site 1에

**Table 4.** Variations of water temperature(°C) and hardness(mg/ℓ) of stream water on development fish farm.

Category		Influent water of fish farm	Effluent water of fish farm	Stream water in natural forest watershed
March	Site 1	3.2( 7.0)	3.5(5.6)	3.0(6.0)
	Site 2	3.1( 5.6)	3.3(5.6)	
June	Site 1	5.7(10.2)	5.9(9.5)	4.9(7.3)
	Site 2	5.8( 2.5)	6.1(9.8)	
September	Site 1	13.5(10.3)	13.8(11.1)	13.4(4.4)
	Site 2	13.5(10.1)	13.9(11.1)	

Note : ( ) means Hardness

**Table 5.** Variations of total amount of cation(mg/ℓ) of stream water on development fish farm.

Category		Influent water of fish farm	Effluent water of fish farm	Stream water in natural forest watershed
March	Site 1	5.35	5.68	5.58
	Site 2	4.84	5.68	
June	Site 1	7.63	8.36	5.95
	Site 2	6.37	7.58	
September	Site 1	7.72	8.56	6.00
	Site 2	7.17	8.58	

서는 약 0.4~1.0°C, site 2에서는 약 0.3~1.2°C가 높아 이 유출수가 하류 하천에 유입되었을 때는 계류생태계에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 조사대상지 계류수의 경도는 약 2.5~11.1mg/ℓ에 포함되어 조사대상 계류수는 모두 연수인 것으로 분석되었다. 그러나 조사 대상 계류수에서 경도의 변화는 일관적인 증감을 나타내지 않았는데, 이는 물 속에 용존된 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>의 변화에 민감하게 영향하기 때문(오영민과 신석봉, 1991)이라 생각된다.

아울러 이 연구에서는 양어장 유입수·유출수, 그리고 대조구인 site 3 계류수에서 산림소유역 유출수량 관측시설 등의 미비로 유량에 대한 자료를 얻을 수 없어 岩坪과 埧(1968)가 보고한 계류의 양분량을 규제하는 요인인 유량과 계류수질과의 관계는 밝힐 수 없었다. 따라서 유량 변화에 따른 양어장 개발의 계류수질 영향

을 밝히기 위해서는 산림소유역 유출수량 관측 시설 및 간이용량관측시설의 설치 등 장기적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 2. 양어장 개발에 따른 계류수질의 화학적 변화

### 2.1. 양이온총량

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수, 그리고 대조구인 천연림유역 계류수에서 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 등 5개 양이온량을 포함한 양이온총량의 계절별 변화는 Table 5에서와 같다.

조사기간 중 양어장 유출수는 유입수보다 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 등 5개 양이온량을 모두 합한 양이온총량은 많은 것으로 분석되었다. 즉, site 1에서는 양어장 유출수의 양이온총량은 유입수보다 약 0.33~0.84mg/ℓ가, site 2에서는 약 0.84~1.41mg/ℓ가 많았는데, 이는 송어 등 어류의 배설물, 사료 등이 물에 용존되면서 발생하는 이온량의 증가에 기인한 결과로, 이러

한 염류의 증가는 양어장 유출수의 pH를 높이는 원인으로 작용(平井 등, 1990)한 것으로 생각된다. 한편, 양어장 유출수의 양이온총량은 대조구인 site 3의 계류수보다 site 1에서는 약 0.10~2.56mg/ℓ가, site 2에서는 약 0.10~2.58mg/ℓ가 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).

2.2. 음이온총량, 이온총량

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수, 그리고 대조구인 천연림유역의 계류수에서 Cl<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등 5개 음이온량을 합한 음이온총량 및 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 등 5개 양이온량과 Cl<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등 5개 음이온량을 합한 이온총량은 Table 6에서와 같다.

조사기간 중 Cl<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등 5개 음이온량을 합한 음이온총량은 양어장을 통과한 유출수가 유입수보다 많았다. 즉, site 1에서 유출수의 음이온총량은 유입수보다 약 1.09~1.81mg/ℓ가, site 2에서는 0.48~1.92mg/ℓ가 많았는데, 이는 양어장을 통과한 유출수가 유입수보다 오염될 우려가 높다는 것을 의미하는 것이다(박재현, 1999). 또한, 양어장 유출수는 대조구인 site 3 계류수보다 site 1에서는 약 1.65~

4.96mg/ℓ가, site 2에서는 1.68~2.43mg/ℓ가 많아 양어장 유출수의 전기전도도 상승 원인이 되고 있음을 파악할 수 있었다(박재현, 1997). 한편, 어류의 배설물이나 사료에서 발생되는 PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 이온은 3월에 site 1의 양어장을 통과한 유출수에서 1.83mg/ℓ, 9월에 site 1과 site 2의 유출수에서 각각 0.34, 0.27mg/ℓ가 검출됨으로써 양어장 개발에 따른 하류수의 오염이 우려된다. 이는 박재현(1999b)의 연구결과와 유사한 결과로 청정지역에서의 개발이 계류수의 오염을 발생시킬 수 있음을 의미하는 것이다.

조사기간 중 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 등 5개 양이온량과 Cl<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등 5개 음이온량을 합한 이온총량은 양이온총량, 음이온총량과 마찬가지로 양어장 유출수가 유입수보다 많았다. 즉, site 1에서는 유출수에 용존된 이온총량이 유입수에서의 이온총량보다 약 1.82~2.14mg/ℓ가, site 2에서는 1.21~3.13mg/ℓ가 많았다. 또한, 양어장 유출수에 용존된 이온총량은 대조구인 site 3의 계류수에 용존된 이온총량보다 site 1에서는 약 4.06~5.06mg/ℓ가, site 2에서는 3.96~5.01mg/ℓ가 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.

Table 6. Variations of total amount of anion(mg/ℓ) and total amount of ion of stream water on development fish farm.

Category		Influent water of fish farm	Effluent water of fish farm	Stream water in natural forest watershed
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)	

Note : ( ) means total amount of ion



#### 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 1999년에 계절별로 수행한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 양어장을 통과한 유출수의 pH는 양어장유입수와 대조구의 계류수보다 높아져 대규모 양어장의 개발시 유출수의 알칼리화가 촉진될 것으로 판단된다.
2. 양어장을 통과하여 유출된 물의 전기전도도는 양어장유입수와 대조구의 계류수보다 증가하여 양어장 개발이 하류수의 수질에 부의 영향을 미치는 것으로 판단된다.
3. 양어장을 통과하여 유출한 물의 용존산소량과 용존산소포화도는 양어장유입수와 대조구 계류수보다 보다 감소하였으며, 양어장을 통과한 유출수의 수온도 양어장유입수와 대조구 계류수보다 낮아져 하류수의 생태계에 부의 영향을 미칠 것으로 판단된다.
4. 양어장을 통과하여 유출한 물에 용존되어 있는 이온총량은 양어장유입수와 대조구 계류수보다 높아져 하류수의 수질에 부의 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 대규모 양어장 개발시 하류수의 수질보전을 고려한 환경친화적 양어장 및 수질정화시설의 설치가 정착되어야 할 것으로 판단된다.

#### 인 용 문 헌

- 국립공원관리공단북한산관리소. 1997. 북한산국립공원 자연생태계 보전계획. 국립공원관리공단북한산관리소. 128pp.
- 김기원. 1996. 산림개발이 산림에 미치는 부하에 관한 연구. 산림과학 8 : 79-99.
- 김좌관. 1995. 수질오염개론. 동화기술. 353pp.
- 박재현. 1995. 산림유역에 있어서 계류수질 평가 기준 정립에 관한 고찰(I). 자연보존 92 : 23-38.
- 박재현. 1996. 산림유역에 있어서 계류수질 평가 기준 정립에 관한 고찰(II). 자연보존 95 : 38-52.
- 박재현. 1997. 산림유역에 있어서 계류수질 평가 기준 정립에 관한 고찰(III). 자연보존 97 : 33-42.
- 박재현. 1999a. 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질 특성. 한국임학회지 88(1) : 101-110.
- 박재현. 1999b. 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질 특성. 한국임학회지(미발표자료)
- 박재현·마호섭. 1999. 북한산국립공원내 휴식년 계곡의 수질관리를 위한 계류수질모니터링. 한국환경복원녹화기술학회지 2(2) : 88-96.
- 박재현·우보명. 1997. 산림유역내 강수로부터 계류수질에 미치는 영향인자 분석 - pH, 용존산소, 전기전도도 -. 한국임학회지 86(4) : 489-501.
- 박종관. 1997. 물환경조사법. 청문각. 79-80pp.
- 성문기술. 1995. 수질오염공정시험방법. 성문기술. 121-133pp.
- 오영민·신석봉. 1991. 수질관리. 신광문화사. 311pp.
- 정팔진·곽동희·권영호. 1997. 먹는 물의 세균학적 안전성 평가. 대한환경공학회지 19(4) : 521-528.
- 전상린. 1989. 수질조사지표생물로서 담수어류의 타당성에 대하여. 자연보호 12(3) : 12-13.
- 홍사오. 1985. 계류수의 오염과 대책. 자연보존 50 : 8-11.
- 홍옥희. 1995. 하천 시스템 복원의 생태학적 관점. 한국 담수생태계의 특성과 어류상. '95 한국생태학회, 한국어류학회 공동 심포지움 : 85-97.
- 환경처. 1991. '91 자연생태계 지역조사-광양 백운산 조사-. 235pp.
- 西尾 敏·佐佐木重行·高木潤治. 1988. 降水及び溪流水の成分に關する研究(I)-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(I)-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(III)-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・藤原滉一郎・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(II)-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.
- Brooks, K. N., P. F. Ffolliott, H. M. Gregersen, and J. L. Thames. 1994. Hydrology and the management of watersheds. 392pp.
- Brown, T. C. and D. Binkley. 1994. Effect of management on water quality in north american forests. United States Department of Agriculture Forest Service. General Technical Report RM-248 : 1-27.
- Brown, G. W. and J. T. Krygier. 1970. Effects of clear-cutting on stream temperature. Water Resources Research 6(4) : 1133-1139.
- Crown Zellerbach Corporation. 1971. Environmental Guide, Northwest Timber Operations. 32p.
- Fredriksen, R. L. 1970. Erosion and sedimentation following road construction and timber harvest on unstable soils in three small Oregon watersheds. USDA Forest Serv. Research Paper PNW-104, 15p.
- Gonsior, M. J. and R. B. Gardner. 1971. Investigation of slope failures in the Idaho Batholith. USDA INT-97. 34p.
- Larse, R. L. 1971. Prevention and control of erosion and stream sedimentation from forest roads. Proceedings of a symposium on forest land uses and environment. Oregon State University.
- Megahan, W. F. and W. J. Kidd. 1975. Effects of logging roads on sediment production rates in the Idaho Batholith. USDA Forest Service. Research Paper INT-123.
- Packer, P. E. 1967. Criteria for designing and locating logging roads to control sediment. Forest Science 13 : 2-18.
- U.S. Environmental protection agency region and water division. 1975. Logging roads and protection of water quality. U.S. environmental protection agency region and water division. EPA 910/9-75-007. 313p.

接受 1999年 9月 17日