

## 백운산 지역에서 계류수의 이화학적 성질에 미치는 양어장의 영향(III)

박 재 현<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 진주산업대학교 산림자원학과

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

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

<sup>2)</sup> Dept. of Forest Resources, Chinju National University, Chinju, Korea

#### ABSTRACT

Analysis 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. Baegun area were monitored seasonally for three years. 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. As a result of regression analyses, the linear equation of pH of influent and effluent water of fish farm was, pH of effluent water of fish farm =  $0.6234 \times \text{pH of influent water of fish farm} + 2.6263$ . Also, the linear equation of electrical conductivity of influent and effluent water of fish farm was electrical conductivity of effluent water of fish farm =  $1.7275 \times \text{electrical conductivity of influent water of fish farm} - 14.007$ . Negative effects on stream water quality were observed by indications of increase in electrical conductivity and water temperature of effluent water from the fish farm. Decreases in physicochemical indices such as the amount of dissolved oxygen, total amount of cation and total amount of anion in effluent water from the fish farm were also negative aspects in downstream ecology. It is recommended that water purification system as well as environmentally-friendly fish farm design should be incorporated to large scale fish farm development plan in forested watershed area.

Key words : *EAlkalization of stream water, stream water quality, environmentally-friendly fish farm, fish farm development*

#### I. 서 론

도시화와 산업화 그리고 소득 증대에 따른 삶의 질 향상으로 인한 상류 산지유역에 대한

인위적인 개발의 급증, 이에 따른 사회적 요구는 오랜 옛날부터 맑고 깨끗한 물로 인식되어 오던 고산 계곡수에 대한 수질오염 문제를 야기하게 되었고, 이로 인하여 하류지역 주민의

생활 및 자연생태계에 미치는 영향이 부정적으로 나타날 것으로 예상되고 있다(김기원, 1996).

특히, 최근 각종 위락시설의 증가와 인구유입 등으로 인한 산림지의 용도변경 등 오염원이 양산되고 수질오염현상이 심화되고 있는 산지유역은 상수원수의 근원지라는 지리적 특성과 그 내부에 많은 생물을 담보하는 자연생태계라는 지위에도 불구하고 현재까지 이를 반영한 수질 및 수자원관리체계도 마련하지 못한 채 방치되고 있어 이에 대한 대책이 시급히 요구된다(박재현, 2000).

또한, 인구증가와 삶의 질 향상에 따른 휴양인구의 급증은 농산촌 및 산림지역의 개발을 유도하였다. 이러한 개발 가운데 대표적인 것이 양어장 개발이라 할 수 있다(박재현, 1999).

과거로부터 산림지는 질이 좋은 물을 생산해내는 것으로 인식되어 왔다(Brown and Binkley, 1994; 黃鍾瑞와 鄭眞姬, 1998). 그러나 이러한 산림 지역에서 양어장을 개발하게 되면, 필수적으로 사료 투기 및 시설 설치에 따른 개발행위가 따름으로써 이들 지역으로부터 수질오염이 발생할 가능성이 크다(Brooks et al., 1994; 박재현, 2000).

U.S. Environmental Protection Agency Region and Water Division(1975)은 산지 계류에서 수질오염을 가중시키는 요인 중 수온 등의 영향이 크다고 보고하였는데, 이는 계류에서 산소와 고체물질을 용해시키는 역할을 하기 때문이다(Satterlund and Adams, 1992; 양홍준과 이용호, 1999).

결국 수질오염의 근원은 산림에서의 인간 활동 및 개발에 따른 결과로 맑은 물을 공급하는 등 산림으로부터 최대의 이득을 얻기 위하여는 산림유역관리자 뿐만 아니라 산림유역 인근에 거주하는 주민 등의 노력이 필요하다(Black, 1991; Brooks et al., 1994; Amatya et al., 1998). 그러나 아직까지 우리 나라에서 양어장 개발에 따른 계류수질오염에 대한 연구(박재현, 1999, 2000)는 일부 수질항목에 의한 분석에 그치고 있는 상황이며, 그에 따른 하류의 수질에 미치는 영향을 밝힌 연구는 미미한 실정이다.

따라서 이 연구는 현재 백운산 지역에 시설

되어 운영 중인 양어장을 대상으로 양어장 개발이 계류수질에 미치는 이화학적 영향을 분석·평가함으로써 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

연구대상지의 개황은 선행연구와 같다(박재현 1998).

### 2. 연구방법

양어장 개발에 따른 수질변화를 조사하기 위하여 양어장(site 1, 2)의 유입수와 유출수를 각기 1ℓ 채수하였으며, 수질조사는 동결로 시료채취가 곤란한 동기간(11월부터 익년 2월)을 제외하고 1999년부터 2001년까지 3개년간 계절별로 실시하였다.

계류수질의 이화학적 조사는 선행연구결과(佐藤 등, 1992; 박재현, 1995, 1996, 1999; 박재현과 마호섭, 1999)와 같다.

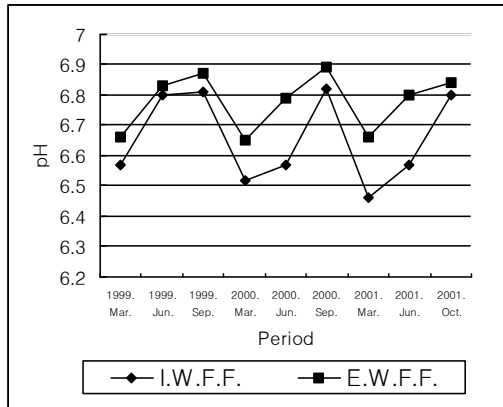
## III. 결과 및 고찰

### 1. 양어장 개발에 따른 3개년간 계류수질의 이학적 변화 특성 분석

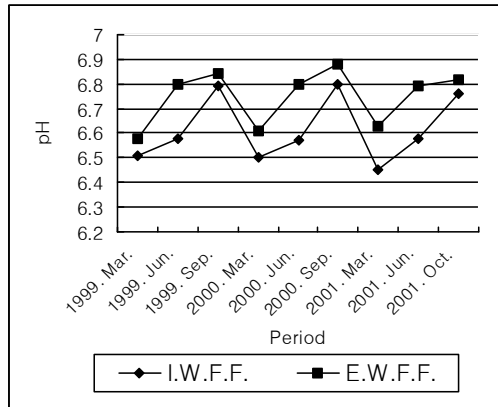
#### (1) 수소이온농도(pH)

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서의 계절별 수소이온농도(pH) 변화는 Fig. 1과 같다.

양어장 유입수와 인근 천연림 유역의 계류수에서 pH 변동은 크지 않아 이 연구의 분석에서는 제외하였는데(박재현, 2000), 1999년 3월에 site 1 유입계류수의 pH는 6.57이었으나, 유출수는 pH 6.66으로 pH는 0.1이 높아졌으며, 유출수가 점진강으로 유입되는 site 2의 유출수도 유입수보다 pH는 0.1이 높아졌다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 9월 모두 동일하였다. 즉, 양어장을 통과한 유출수의 pH는 양어장유입 계류수보다 site 1에서는 0.03~0.1, site 2에서는 0.1~



Changes of pH of site 1



Changes of pH of site 2

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

0.2가 높았다.

또한, 2000년 3월에 site 1 유입계류수의 pH는 6.52이었으나, 유출수는 pH 6.65로 pH는 0.13이 높아졌으며, site 2의 유출수도 유입수보다 pH는 0.11이 높아졌다. 이와 같은 현상은 전년도의 결과와 마찬가지로 동년 6월과 9월 모두 동일하였다. 즉, 양어장을 통과한 유출수의 pH는 양어장유입 계류수보다 site 1에서는 0.07~0.22, site 2에서는 0.08~0.23이 높았다. 2001 site 1 유입계류수의 pH는 6.46이었으나, 유출수는 6.66으로 pH는 0.20이 높아졌으며, site 2의 유출수도 유입수보다 pH는 0.18이 높아졌다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 10월 모두 동일하였다. 즉, 양어장을 통과한 유출수의 pH는 양어장유입 계류수보다 site 1에서는 0.04~0.23, site 2에서는 0.06~0.21이 높았다.

이는 송어 등 양식어종에 투입되는 사료의 알칼리성분 및 송어의 배설물이 정화되지 않고 퇴적되면서 염류와 결합하여 발생하는 결과(오영민과 신석봉, 1991)에 기인하기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 양어장 유입수, 양어장을 통과한 유출수의 pH는 모두 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수의 범위에 포함되어 pH 만으로 판단할 때 하류 지역 주민이 상수원수로 계류수를 이용하는 데에는 가능한 것으로 판단되나, 대규모 양어장의 개발은 유출수의 알칼리화

를 유발할 우려가 있으므로 이를 방지하기 위해서는 정수처리시설이 필수적이라 사료된다. 한편, 2001년 3월에 site 1과 site 2에서의 pH는 각각 6.46, 6.45로 하천수질환경기준 상수원수 1급수의 범위 내에 미치지 못하는 결과를 나타내었는데, 이는 2001년 겨울 기간 동안 많은 적설에 따라 봄기간 동안 상류 산지유역에서의 용설수 및 동결용해침식토사의 유입(Soulsby *et al.*, 1998; Stottlemeyer and Toczydlowski, 1999), 그리고 복류된 지하수의 pH변동특성(Peters and Leavesley, 1995)에 기인하는 결과로 생각된다.

양어장 유입수와 유출수에서의 pH 변동 특성에 미치는 영향 관계를 직선회귀 분석한 결과(Fig. 2), 직선회귀식은, 양어장 유출수의 pH = 0.6234 × 양어장 유입수의 pH + 2.6263 (R<sup>2</sup>=0.71)이었다.

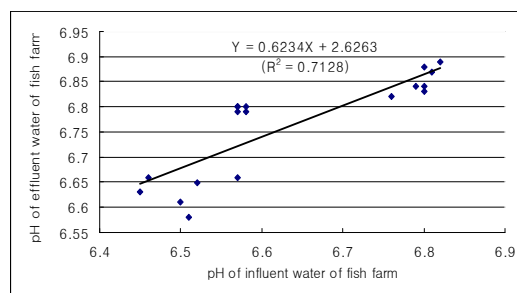
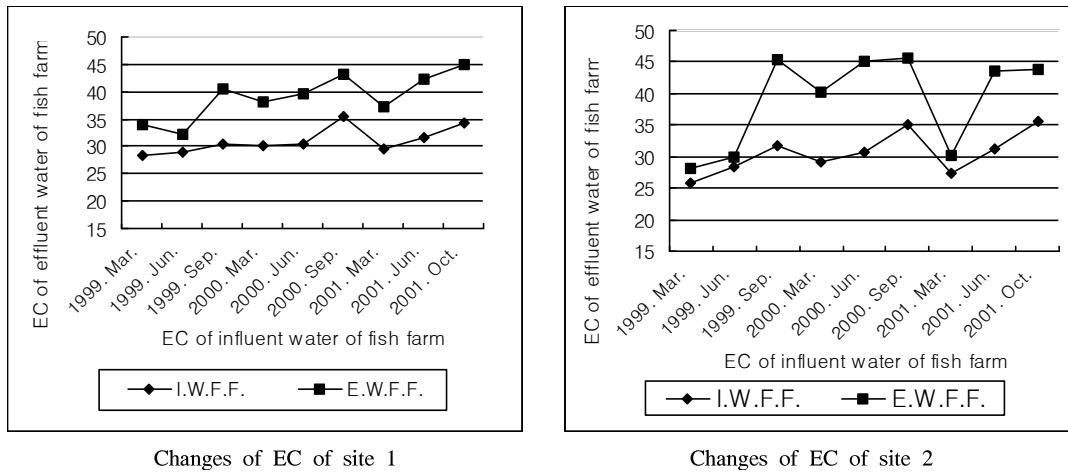


Fig. 2. Linear equation for pH of influent and effluent water of fish farm.



**Fig. 3.** Changes of electrical conductivity(μS/cm) of stream water due to fish farm development(Note : I.W.F.F.; Influent Water of Fish Farm, E.W.F.F.; Effluent Water of Fish Farm).

(2) 전기전도도(EC, μS/cm)

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서의 계절별 전기전도도의 변화는 Fig. 3과 같다.

수질의 오염 정도를 신속하게 평가할 수 있는 전기전도도(박재현과 우보명, 1997)를 분석한 결과, 1999년 3월에 site 1의 유입수에서 전기전도도는 28.3μS/cm이었으나, 양어장을 통과한 유출수는 34.1μS/cm로 전기전도도는 5.8μS/cm가 증가하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 약 2μS/cm가 증가하였다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 9월 모두 동일한 경향이었다. 즉, 양어장을 통과하여 유출된 물의 전기전도도는 양어장 유입수보다 site 1에서는 3.3~10.1 μS/cm, site 2에서는 1.5~13.8μS/cm가 증가하였다.

또한, 2000년 3월에 site 1의 유입수에서 전기전도도는 30.2μS/cm이었으나, 양어장을 통과한 유출수는 38.2μS/cm로 전기전도도는 8μS/cm가 증가하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 11.2μS/cm가 증가하였다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 9월 모두 동일한 경향이었다. 즉, 양어장 유출수의 전기전도도는 양어장 유입수보다 site 1에서는 8.0~9.2μS/cm, site 2에서는 10.5~14.6μS/cm가 증가하였다.

한편, 2001년 3월에 site 1의 유입수에서 전기전도도는 29.6μS/cm이었으나, 양어장을 통과한 유출수는 37.1μS/cm로 전기전도도는 7.5μS/cm

가 증가하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 2.9μS/cm가 증가하였다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 10월 모두 동일한 경향이었으나 유입수와 유출수의 전기전도도 차는 동년 3월보다 비교적 높은 값이었다. 즉, 동년 6월에 site 1에서 유입수와 유출수의 차는 10.8μS/cm로 동년 3월보다 3.3μS/cm 많았으며, site 2에서는 유입수와 유출수의 차가 12.3μS/cm로 동년 3월보다 9.4μS/cm 많았다. 또한 동년 10월에는 site 1에서 유입수와 유출수의 차는 10.9μS/cm이었고, site 2에서는 유입수와 유출수의 차가 8.2μS/cm로 동년 3월보다 비교적 높은 값이었다. 즉, 양어장 유출수의 전기전도도는 양어장 유입수보다 site 1에서는 7.5~10.9μS/cm, site 2에서는 2.9~12.3 μS/cm 높았다.

이와 같은 결과는, 전기전도도의 증가가 양어장 유출수에서 수질오염의 지표임을 의미하는 것으로 선행연구결과(박재현과 우보명, 1997; 박재현, 1999, 2000)와도 같은 결과이었다. 그러나 site 1과 site 2의 양어장을 통과한 유출수의 전기전도도는 평균 39.2μS/cm로 일반적인 산림 지역 계류수에서의 전기전도도 범위(田祥麟과 黃鍾瑞, 1995; 박재현과 우보명, 1997; 박재현, 1999)에 포함되어 아직 우려할 만한 전기전도도의 범위는 아닌 것으로 생각되는데, 이는 site 1과 site 2의 규모가 작은데 기인한 결과라 생

각된다. 따라서 영어장의 규모가 대규모화되었을 때 유출수의 전기전도도는 청정한 유입계류수보다 과도하게 증가할 수 있으므로 양어장 개발시 규모를 선정할 때에는 사전에 유출수의 전기전도도에 대한 충분한 검토가 필요할 것으로 생각된다. 아울러 사료 및 어류 배설물 등 유기물의 퇴적으로 인한 유출수에서의 전기전도도 상승을 저감하기 위해서는 양어장의 청소가 수시로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

양어장 유입수와 유출수에서 전기전도도의 변동 특성에 미치는 영향 관계를 직선회귀 분석한 결과(Fig. 4), 직선회귀식은, 양어장 유출수의 전기전도도 =  $1.7275 \times$  양어장 유입수의 전기전도도 -  $14.007$  ( $R^2 = 0.68$ )이었다.

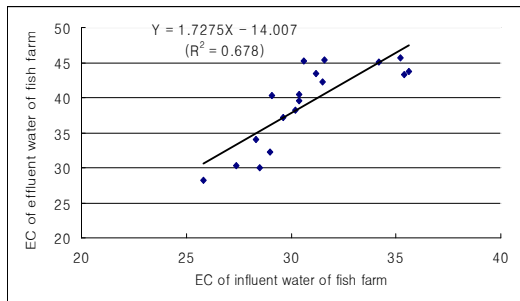
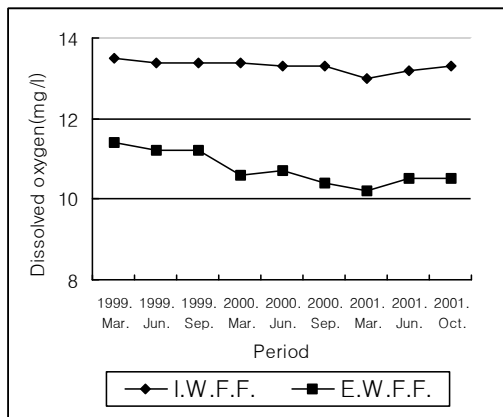


Fig. 4. Linear equation for electrical conductivity (EC,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) of influent and effluent water of fish farm.

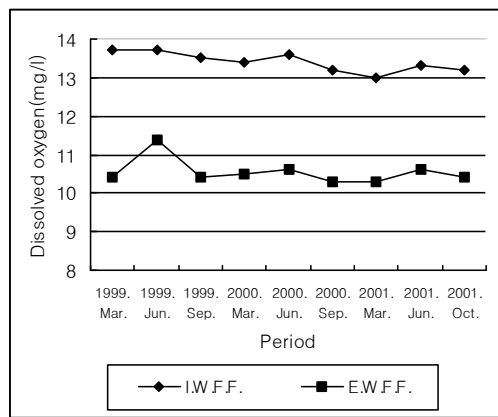
(3) 용존산소량(DO, mg/L)

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서 계절별 용존산소량의 변화는 Fig. 5와 같다.

양어장 개설에 따른 유입수와 유출수의 용존산소량(DO, mg/l)을 분석한 결과, 1999년 3월에 site 1 유입수는  $13.5\text{mg}/\ell$  이었으나, 유출수는  $11.4\text{mg}/\ell$  로 용존산소량은 양어장을 통과하면서  $2.1\text{mg}/\ell$  감소하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 용존산소량은  $3.3\text{mg}/\ell$  감소하였다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 9월 모두 동일한 경향이였다. 즉, 양어장을 통과하여 유출한 물의 용존산소량은 양어장 유입수보다 site 1에서는  $2.1\sim 2.2\text{mg}/\ell$ , site 2에서는  $2.3\sim 3.3\text{mg}/\ell$  감소하였다. 또한, 2000년 3월에 site 1 유입수의 용존산소량은  $13.4\text{mg}/\ell$  이었으나, 유출수는  $10.6\text{mg}/\ell$  로 용존산소량은 양어장을 통과하면서  $2.8\text{mg}/\ell$  감소하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 용존산소량은  $2.9\text{mg}/\ell$  감소하였다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 9월 모두 동일한 경향이였다. 즉, 양어장을 통과하여 유출한 물의 용존산소량은 양어장 유입수보다 site 1에서는  $2.6\sim 2.9\text{mg}/\ell$ , site 2에서는  $2.9\sim 3.0\text{mg}/\ell$  가 감소하였다. 뿐만 아니라 2001년 3월에 site 1 유입수의 용존산소량은  $13.0\text{mg}/\ell$  이었으나, 유출수는  $10.2\text{mg}/\ell$  로 용존산소량은 양어장을 통과하



Changes of DO of site 1



Changes of DO of site 2

Fig. 5. Changes of dissolved oxygen(mg/l) of stream water due to fish farm development.

면서 2.8mg/ℓ 감소하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 용존산소량은 2.7mg/ℓ 감소하였다. 이와 같은 현상은 동년 6월과 10월 모두 동일한 경향이였다.

이와 같은 결과는 유속이 빠른 유입수가 양어장에 유입되면서 정체됨에 따른 유속감소, 송어의 호흡 등 이용에 따른 용존산소량의 감소, 물 속에서의 유기물의 부패 등에 따른 용존산소의 소모 등의 결과(오영민과 신석봉, 1991;김좌관, 1995) 때문이라 생각된다. 그러나 양어장유입수 및 유출수에서의 용존산소량은 하천수질환경기준 상수원수 1급수의 범위에 포함되어 용존산소량 항목만을 평가할 때 인근 주민의 계류수 이용에 따른 영향은 적을 것으로 판단된다. 하지만 양어장 유출수에서 용존산소량의 감소는 용존산소포화도의 감소를 초래하는 등(박종관, 1997), 그만큼 물의 신선도 및 맛의 저하를 가져오므로 양어장 개발시 용존산소량이 낮아지지 않도록 하는 유속 유지장치 및 유기물 퇴적을 최소화하는 설계가 필요할 것으로 생각된다.

양어장 유입수와 유출수에서의 용존산소량의 변동 특성에 미치는 영향 관계를 직선회귀 분석한 결과(Fig. 6), 직선회귀식은, 양어장 유출수의 용존산소량=1.0162×양어장 유입수의 용존산소량-2.9279(R<sup>2</sup>=0.28)이었으나, 결정계수는 비교적 낮았다.

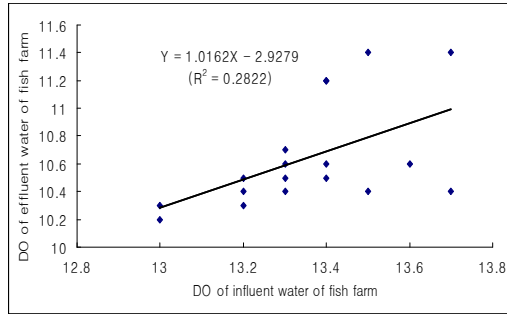
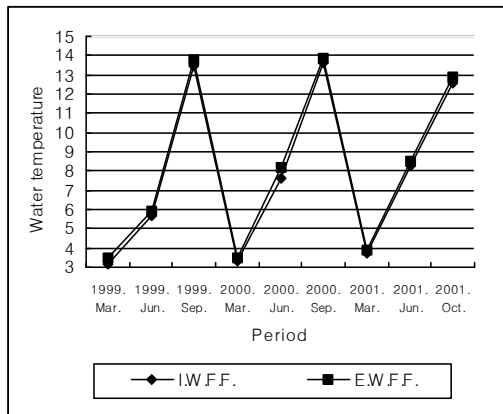


Fig. 6. Linear equation for dissolved oxygen(DO, mg/ℓ) of influent and effluent water of fish farm.

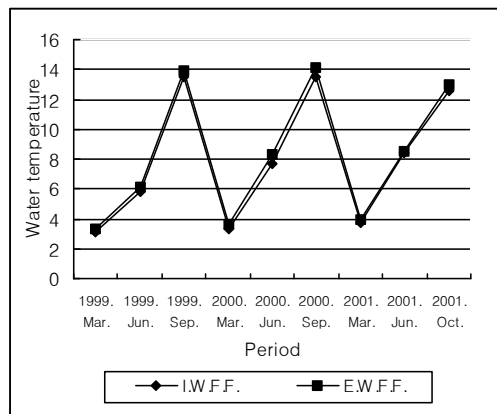
(4) 수온(℃)

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서 계절별 수온의 변화는 Fig. 7과 같다.

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서 계절별 수온은 1999년, 2000년, 2001년 모두 양어장 유입수보다 유출수가 높았다. 즉, site 1에서는 양어장 유출수가 유입수보다 1999년에 0.2~0.3℃, 2000년에 0.2~0.6℃, 2001년에 0.2~0.3℃ 높았으며, site 2에서는 1999년에 0.2~0.4℃, 2000년에 0.3~0.6℃, 2001년에 0.1~0.4℃ 높았는데, 이는 유속의 감소 및 양어장에 정체된 유기퇴적물의 부패, 양어장 개발에 따른 산림의 노출로 인한 태양의 직접적인 복사열 등에 기인한 결과라 생각된다. 따라서 양어장을 통과하여 유출되는 물이 하류 하천에 유입되었



Changes of water temperature of site 1



Changes of water temperature of site 2

Fig. 7. Changes of water temperature(℃) of stream water due to fish farm development.

을 때는 수온의 상승으로 계류생태계에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

아울러 이 연구에서는 양어장 유입수, 유출수에 대하여 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 조사구에 설치함으로써 유량과 계류수질과의 관계를 분석하는 등 장기적인 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

양어장 유입수와 유출수에서 수온의 변동 특성에 미치는 영향 관계를 직선회귀 분석한 결과 (Fig. 8), 직선회귀식은, 양어장 유출수의 수온 =  $1.0131 \times$  양어장 유입수의 수온 +  $0.2179$  ( $R^2 = 0.99$ ) 로 결정계수는 매우 높은 값을 나타내 양어장 유입수의 수온과 유출수의 수온은 밀접한 관계를 나타내는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 양어장 개발이 계류수온의 상승에 직접적인 영향을 미친다는 것을 의미하는 것으로 판단된다.

2. 양어장 개발에 따른 3개년간 계류수질의 화학적 변화

(1) 양이온총량

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서  $Ca^{2+}$ ,

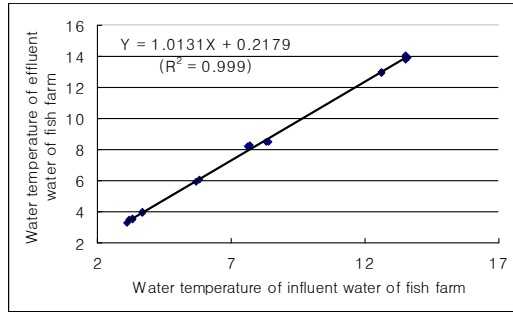
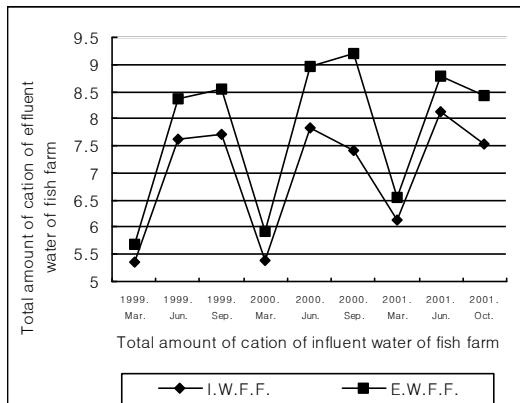


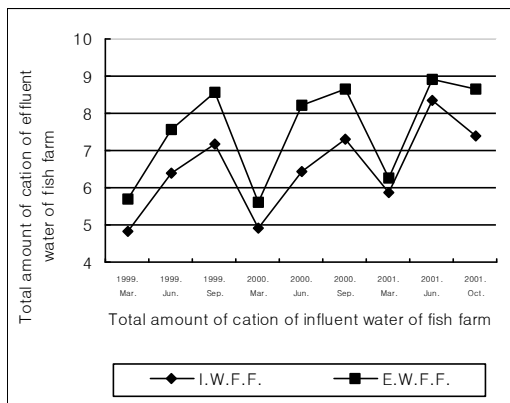
Fig. 8. Linear equation for water temperature(°C) of influent and effluent water of fish farm.

$Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$  등 5개 양이온량을 포함한 양이온총량의 계절별 변화는 Fig. 9와 같다.

조사기간 중 양어장 유출수는 유입수보다  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$  등 5개 양이온량을 모두 합한 양이온총량이 많은 것으로 분석되었다. 즉, 1999년에 site 1에서는 양어장 유출수의 양이온총량은 유입수보다  $0.33 \sim 0.84 mg/l$ , site 2에서는  $0.84 \sim 1.41 mg/l$  많았으며, 2000년에 site 1에서는 양어장 유출수가 유입수보다  $0.54 \sim 1.79 mg/l$ , site 2에서는  $0.70 \sim 1.79 mg/l$  많았다. 또한, 2001년에는 site 1에서 양어장 유출수가 유입수보다  $0.42 \sim 0.88 mg/l$ , site 2에서는  $0.37 \sim 1.24 mg/l$  많았는데, 이는 송어 등 어류의 배설물, 사료 등이 물에 용존되면서 발생하는 이온량의 증가에 기인한 결과로, 이러한 염류



Changes of total amount of cation of site 1



Changes of total amount of cation of site 2

Fig. 9. Changes of total amount of cation( $mg/l$ ) of stream water due to fish farm development.

의 증가는 양어장 유출수의 pH를 높이는 원인으로 작용(平井 등, 1990) 하는 등 계류수질에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 즉, 양어장 유출수가 유입수에서 보다 양이온 함량이 증가한 결과는 결국 물의 전기전도도를 증가시켜 물의 오염을 가속화시키는데 좋지 않은 영향을 미칠 것으로 생각된다(박재현과 우보명, 1997).

양어장 유입수와 유출수에서 양이온함량의 변동 특성에 미치는 영향 관계를 직선회귀 분석한 결과(Fig. 10), 직선회귀식은, 양어장 유출수의 양이온함량 = 1.1187×양어장 유입수의 양이온함량 + 0.1307(R<sup>2</sup> = 0.89)로 나타났다.

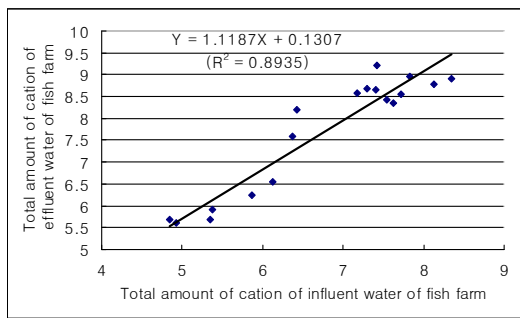


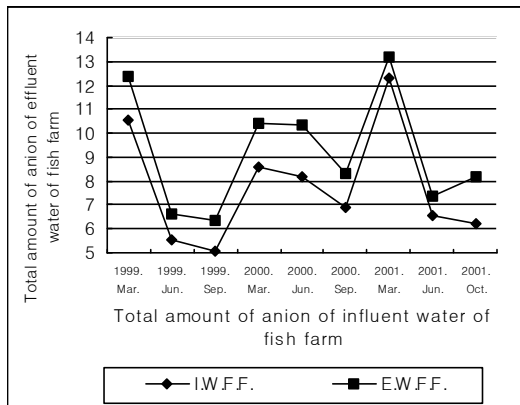
Fig. 10. Linear equation for total amount of cation (mg/l) of influent and effluent water of fish farm.

(2) 음이온총량

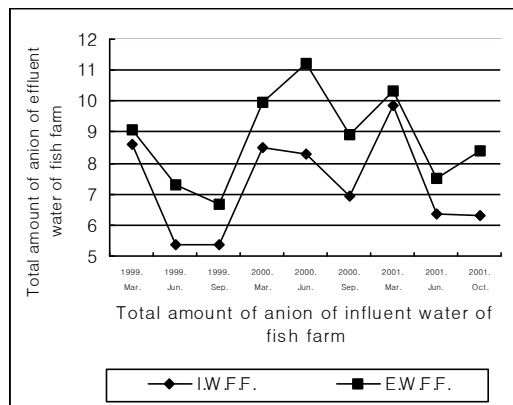
양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서 Cl<sup>-</sup>,

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 음이온총량의 변화는 Fig. 11과 같다.

조사기간 중 음이온총량은 양어장을 통과한 유출수가 유입수보다 많았다. 즉, 1999년에는 site 1에서 유출수의 음이온총량은 유입수보다 1.09~1.81mg/l, site 2에서는 0.48~1.92mg/l 많았으며, 2000년에는 site 1에서 유출수의 음이온총량은 유입수보다 1.40~2.12mg/l, site 2에서는 1.47~2.90mg/l 많았다. 또한, 2001년에는 site 1에서 유출수의 음이온총량은 유입수보다 0.78~1.93mg/l, site 2에서는 0.48~2.10mg/l 많았는데, 이는 양어장을 통과한 유출수가 유입수보다 어류의 배설물, 사료 등의 부패 등으로 인하여 오염될 우려가 높다는 것을 의미한다. 아울러 이와 같은 결과는 양어장 유출수의 전기전도도 상승의 원인이 되고 있는 것으로 생각된다(박재현, 2000). 한편, 어류의 배설물이나 사료에서 발생하는 PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 1999년 3월에 site 1의 양어장을 통과한 유출수에서 1.83mg/l, 9월에 site 1과 site 2의 유출수에서 각각 0.34, 0.27mg/l 검출되었으며, 2000년 3월에는 site 1의 양어장을 통과한 유출수에서 2.10mg/l, 6월에 site 2의 유출수에서 0.56mg/l, 2001년 6월에는 site 1의 양어장을 통과한 유출수에서 1.23mg/l 검출되어 양어장 개발에 따른 하류수의 오염이 우려된다. 이는 박재현(1999, 2000)의 연구결과와 유사한 결과로 청정지역에서의 개발이



Changes of total amount of anion of site 1



Changes of total amount of anion of site 2

Fig. 11. Changes of total amount of anion(mg/l) of stream water due to fish farm development.



계류수의 오염을 발생시킬 수 있음을 의미한다.

아울러 양어장 유입수와 유출수에서 양이온 함량의 변동 특성에 미치는 영향 관계를 직선회귀 분석한 결과(Fig. 12), 직선회귀식은, 양어장 유출수의 음이온함량 =  $0.9513 \times$  양어장 유입수의 음이온함량 +  $1.8589$  ( $R^2 = 0.90$ )로 나타났다.

따라서 장래 대규모 양어장 개발시에는 이로 인한 하류수질 오염을 방지하기 위하여 어류의 배설물, 사료에서 용존되는 이온 등을 정화시키기 위한 다양한 수질정화시설의 설치가 필수적이라 사료된다.

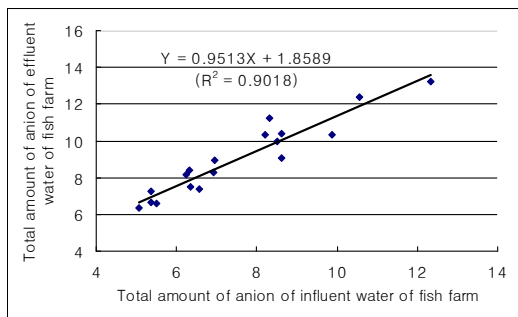


Fig. 12. Linear equation for total amount of anion ( $\text{mg}/\ell$ ) of influent and effluent water of fish farm.

#### IV. 결 론

백운산 지역에 시설된 2개 양어장을 대상으로 양어장 개발이 계류수질에 미치는 영향을 분석·평가함으로써 산지유역의 양어장 개발에 대한 환경영향을 저감하고 계류수질보전을 위한 유역관리에 활용할 수 있는 과학적 기초자료를 제공하기 위해 1999년부터 2001년까지 3개년간 계절별로 계류수질을 분석하였다.

1. 양어장을 통과한 유출수의 pH는 양어장 유입수 보다 높아져 대규모 양어장 개발시 유출수의 알칼리화가 촉진되는 것으로 분석되었다. 양어장 유입수와 유출수에서 pH 변동 특성에 미치는 영향 관계를 직선회귀 분석한 결과, 직선회귀식은, 양어장 유출수의  $\text{pH} = 0.6234 \times$  양어장 유입수의  $\text{pH} + 2.6263$  ( $R^2 = 0.71$ )이었다.

2. 양어장을 통과하여 유출된 물의 전기전도

도도 양어장 유입수보다 증가하여 양어장 개발이 하류수질에 負의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 즉, 양어장 유입수와 유출수에서 전기전도도의 변동 특성에 미치는 영향 관계를 직선회귀 분석한 결과, 직선회귀식은, 양어장 유출수의 전기전도도 =  $1.7275 \times$  양어장 유입수의 전기전도도 -  $14.007$  ( $R^2 = 0.68$ )이었다.

3. 양어장을 통과하여 유출한 물의 용존산소량, 유출수의 수온 등은 양어장 유입수보다 감소하거나 높아져 하류의 수생태계에 負의 영향을 미칠 것으로 판단된다. 이를 직선회귀식으로 나타내면, 양어장 유출수의 용존산소량 =  $1.0162 \times$  양어장 유입수의 용존산소량 -  $2.9279$  ( $R^2 = 0.28$ )이었으며, 양어장 유출수의 수온 =  $1.0131 \times$  양어장 유입수의 수온 +  $0.2179$  ( $R^2 = 0.99$ )로 나타났다.

4. 양어장을 통과하여 유출한 물에 용존되어 있는 양이온함량, 음이온함량은 양어장 유입수보다 높아졌으며, 직선회귀분석결과, 양어장 유출수의 양이온함량 =  $1.1187 \times$  양어장 유입수의 양이온함량 +  $0.1307$  ( $R^2 = 0.89$ )이었고, 양어장 유출수의 음이온함량 =  $0.9513 \times$  양어장 유입수의 음이온함량 +  $1.8589$  ( $R^2 = 0.90$ )로 나타나 하류수질에 負의 영향을 미칠 것으로 판단된다.

#### 인 용 문 헌

- 김기원. 1996. 산림개발이 산림에 미치는 부하에 관한 연구. 산림과학 8 : 79-99.
- 김좌관. 1995. 수질오염개론. 동화기술. 353pp.
- 박재현. 1995. 산림유역에 있어서 계류수질 평가기준 정립에 관한 고찰(I). 자연보존 92 : 23-38.
- 박재현. 1996. 산림유역에 있어서 계류수질 평가기준 정립에 관한 고찰(II). 자연보존 95 : 38-52.
- 박재현. 1999. 백운산 지역에서 계류수의 이화학적 성질에 미치는 양어장 개발의 영향. 한국환경복원녹화기술학회지 2(3) : 54-63.
- 박재현. 2000. 北漢山國立公園 北東斜面 一帶

- 溪流水質 特性(II)-理化學的 特性을 中心으로-. 한국임학회지 89(2) : 241-248
- 박재현·마호섭. 1999. 북한산국립공원내 휴식년 계류의 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.
- 양홍준·이용호. 1999. 소백산 국립공원 계류의 수환경 및 어류상과 어류 군집구조. 韓國生物相研究誌 4 : 221-236.
- 오영민·신석봉. 1991. 수질관리. 신광문화사. 311pp.
- 田祥麟·黃鍾瑞. 1995. 小白山 國立公園 溪流의 水環境 및 淡水魚類相. 韓國自然保存協會 調查報告書 第33號 : 141-149.
- 黃鍾瑞·鄭眞姬. 1998. 五臺山國立公園 西北斜面 一帶의 水環境. 韓國自然保全協會調查研究報告書 第38號 : 135-141.
- 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·桒本浩志. 1992. 道北地方における降雪の化學性と小河川の水質(1)-冬期湯水期の小河川の水質-. 日林論 103 : 601-602.
- 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.
- 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.
- 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.
- Peters, N., and G.H. Leavesley. 1995. Biotic and abiotic processes controlling water chemistry during snowmelt at Rabbit Ears Pass, Rocky Mountains, USA. Water Air Soil Pollut 79 : 171-190.
- Soulsby, C., M. Chen, R.C. Ferrier, R.C. Helliwell, A. Jenkins, and Harriman, R. 1998. Hydrogeochemistry of shallow groundwater in an upland Scottish catchment. Hydrology Proc.,; in press.
- Stottlemyer, R. and D. Toczydlowski. 1999. Seasonal change in precipitation, snowpack, snowmelt, soil water and streamwater chemistry, northern Michigan. Hydrological Processes 13 : 14-15.
- Satterlund, D.R. and P.W. Adams. 1992. Wildland watershed management. John Wiley & Sons, Inc. 298-403.
- 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.