

백운산 지역내 중소형 양어장에 의한 계류수의 이화학적 요인의 변화*

박 재 현¹⁾

¹⁾ 진주산업대학교 생명자원과학대학 산림자원학과

Changes on the Physicochemical Factor of Stream Water by Medium and Small type Fish Farm in Mt. Baegun Area*

Park, Jae-Hyeon¹⁾

¹⁾ Department of Forest Resources, Jinju National University, Jinju, Korea.

ABSTRACT

Evaluations of the 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 influent, effluent water in the fish farm and stream water qualities around Mt. Baegun area were monitored seasonally for six years 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. Also, effluent water from the fish farm increase of EC higher than influent and stream water. As a result of regression analyses, pH, EC, DO, water temperature, total amount of cation and anion in influent and effluent water of fish farm show high significance.

Key Words : *Fish farm development, Influent and effluent water, Mt. Baegun.*

I. 서 론

최근 상류 산지유역에 대한 인위적인 개발과 이에 따른 산림의 파괴가 급증하고 있고, 이로 인하여 계류수질 오염문제가 발생하게 되면서 하류 지역의 인간생활 및 자연생태계에 미치는 악영향이 클 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 증대되는

산원수 오염의 위험을 저감하기 위한 새로운 방법의 도입 및 적극적인 대책수립이 시급하다(김기원, 1996; 박재현, 1997; Satterlund와 Adams, 1992). 특히, 최근 각종 위락시설의 증가와 인구 유입 등으로 인한 산림지의 용도변경 등 각종 오염원이 양산되고 수질오염현상이 심화되고 있는 산지유역은 상수원수의 근원지라는 지리적 특성

* 본 연구는 2004년도 진주산업대학교 기성회연구비의 지원에 의하여 수행되었음.

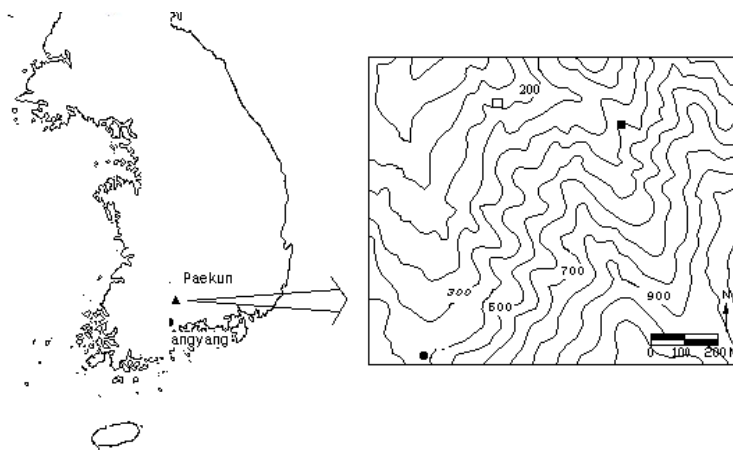
과 그 내부에 많은 생물을 담보하는 자연생태계라는 지위에도 불구하고 현재까지 이를 반영한 수질 및 수자원관리체제도 마련되지 못한 채 방치되고 있어 이에 대한 대책이 시급히 요구된다. 또한, 인구증가와 삶의 질 향상에 따른 휴양인구 급증은 산림지역의 개발을 유도하였다. 이러한 개발 중 대표적인 것이 양어장 개발이라 할 수 있고, 그 시설재료도 주변 산림환경과 친화되기 어려운 시멘트 콘크리트 일색이다. 그러나 산림지는 질이 좋은 물을 생산해 내는데(Megahan and Kidd, 1975; Brown and Binkley, 1994), 이러한 산림 지역에서 양어장을 개발하게 되면, 필수적으로 사료와 각종 시설 설치에 따른 개발이 이루어짐으로써 이들 지역으로부터 수질오염이 발생된다. 즉, 어류의 성장 증식을 위한 사료 및 양어장에서 방류된 어류의 배설물 등이 섞여 있는 오염된 물은 대부분 정수 처리되지 않고 산지 계곡을 따라 하류로 유출되어 계곡과 합류되는 하천이나 강으로 유입되어 부영양화 등 하천수질오염을 발생시킴으로써 수생태계를 오염시키고 수질을 변화시키며, 나아가서는 계류수나 강물을 상수원으로 이용하는 주민들에게 악영향을 미치는 원인(Brooks 등, 1994)이 되기도 한다. 산지 계류에서 수질오염을 가중시키는 요인에 대하여 U.S. Environmental Protection Agency와 Region

and Water Division(1975)는 표면배수량, 수온 등의 영향이 크다고 보고하였다. 이 가운데 수온은 수질에 영향하는 중요한 변수인데, 이러한 계류 온도의 상승은 태양복사에너지 때문이며, 양어장 등 각종 산림개발에 의하여 태양복사에너지가 직접 계류에 전달되어 수온이 높아지게 된다. 이렇게 계류수의 온도가 상승하면 물의 맛, 색깔, 향기 등이 달라지며, 물 속에 혐기성 세균이 증가됨에 따라 수질이 변화하게 되어 계류수에 서식하는 어류의 생장에 좋지 않은 영향을 미치게 된다(Teller, 1976; Satterlund and Adams, 1992). 이러한 수질오염의 근원은 산림에서의 인간 활동에 의한 결과로 우수한 수질을 포함하여 산림으로부터 최대의 이득을 얻기 위하여는 산림유역관리자의 끊임없는 주의와 노력이 필요하다(Black, 1991; Brooks 등, 1994; Amatya 등, 1998). 따라서 이 연구는 백운산 지역을 대상으로 중소형 양어장 개발이 계절적으로 계류수의 화학적 성질에 미치는 영향을 파악하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지 개황

연구대상지는 전라남도 광양군, 구례군에 걸쳐 있는 백운산(해발 1,217m) 지역으로 해발 200 ~



● : A Fish Farm(site 1), □ : A Fish Farm(site 2), ■ : Natural Forest Stream(site 3)

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

500m에 위치하고, 양어장은 닭꼭양어장(site 1)과 섬진강으로 유입되는 계류에 위치하는 도장동 양어장(site 2)으로 구분하여 선정(박재현, 1999a; Figure 1)하였으며, 이들 양어장의 계류에서 수질을 측정·분석하였다. 이 연구대상 양어장(site 1, 2)은 송어를 주로 양식하고, 1일 사료 사용량은 약 20kg, 규모는 site 1이 약 225m², site 2가 약 450m²이었다. 송어는 치어(평균몸체길이 10cm) 약 5,000수, 성어(평균몸체길이 30cm) 약 500수를 양식하고 있다.

2. 연구방법

양어장 개발에 따른 수질변화를 조사하기 위하여 양어장(site 1, 2)의 유입수와 유출수를 각기 1ℓ 채수하였으며, 수질조사는 겨울기간(11월부터 익년 2월)을 제외하고 1999년부터 2005년 3월 까지 6개년간 계절별로 실시하였다. 계류수질의 이화학적 조사는 선행연구결과(岩坪五郎 등, 1982; 佐藤冬樹 등, 1992; 박재현, 1997, 1999a; 박재현과 마호섭, 1999), 계류수질평가인자라 판단되는 수온, 용존산소량(DO), 용존산소포화도, 전기전도도(EC), 수소이온농도(pH), K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻-N, SO₄²⁻, PO₄²⁻ 등 15개 항목에 대하여 측정·분석하였다. 이때 수온과 pH는 pH meter(HI 8314 Membrane), 용

존산소량은 DO meter(DO-11P), 전기전도도는 conductivity meter(CM-11P)로 항목의 특성상 현장에서 채수 즉시 측정하였다. 또한, 대조구인 계류수는 인위적 오염이 발생되지 않은 계류의 하류부에서 채수하였으며, 채수시기는 선행강우가 조사시점에서 5일 이전 동안 없었던 시점에 계류의 중심부에서 1ℓ 채수하여 ice box에 보관한 후 실험실에 가져와 0.45μm의 필터로 여과한 후 양이온(K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺) 및 음이온(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, NO₂⁻, PO₄²⁻)은 ion chromatography로 분석하였다. 아울러 각 인자의 통계분석은 spss/pc+를 이용해 직선회귀분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 계류수질의 이화학적 변화

1) pH

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서 계절별 pH변화는 Figure 2와 같다.

6개년간(1999-2005) 3월에 site 1에서 평균 pH는 유입계류수에서 6.62였으나, 양어장을 통과한 유출수는 6.73으로 pH는 약 0.11이 높아졌으며, site 2의 유출수도 유입수보다 pH는 약 0.12가 높아졌다. 즉, 양어장을 통과한 유출수는 pH가 상승하는 것으로 나타났다. 이는 송어 등 양식어종

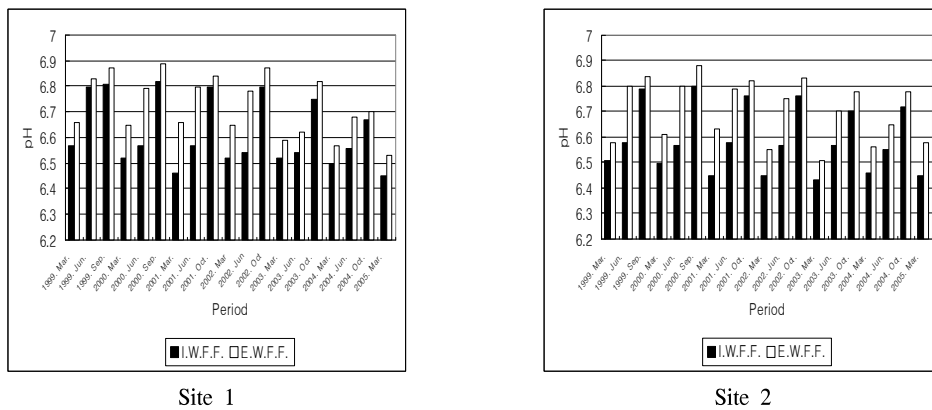


Figure 2. Changes of pH of stream water due to fish farm development(Note : watershed, I.W.F.F.; Inlet Water of Fish Farm, E.W.F.F.; Effluent Water of Fish Farm).

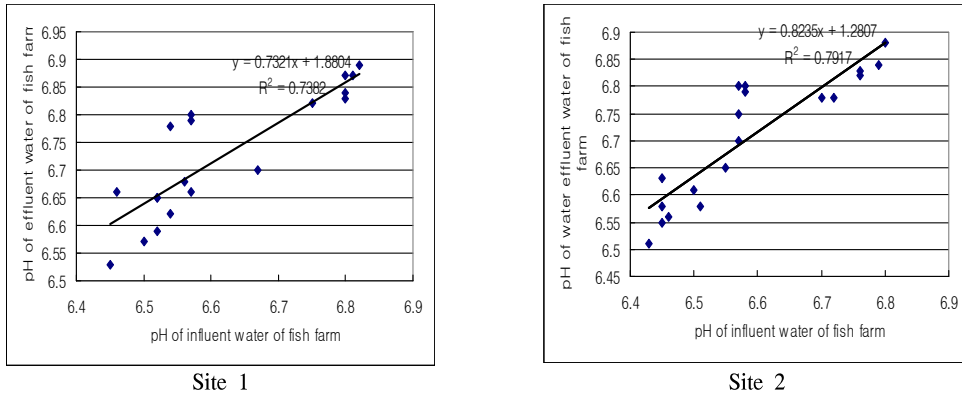


Figure 3. Result of linear regression of pH of influent and effluent water of fish farm.

에 투입되는 사료의 알칼리성분 및 송어의 배설물이 정화되지 않고 퇴적되면서 염류와 결합하여 발생하는 결과에 기인(오영민과 신석봉, 1991)하기 때문인 것으로 생각된다. 한편, site 1과 site 2에서 유입수와 유출수의 pH의 관계를 직선회귀 분석한 결과 site 1에서는 유출수의 $pH=0.7321 \times$ 유입수의 $pH+ 1.8804(R^2=0.7380)$ 으로 나타났으며, site 2에서는 유출수의 $pH=0.8235 \times$ 유입수의 $pH+1.2807(R^2=0.7917)$ 로 나타나 5% 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

2) 전기전도도

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서 계절별 전기전도도의 변화는 Figure 4와 같다. 1999년부터 2005년까지 6개년간 site 1의 평균

전기전도도는 유입수에서 $30.5\mu S/cm$ 이었으나, 양어장을 통과한 유출수는 $39.1\mu S/cm$ 로 전기전도도는 약 $8.6\mu S/cm$ 가 증가하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 약 $6.2\mu S/cm$ 가 증가하였다. 즉, 양어장을 통과하여 유출된 물의 평균 전기전도도는 양어장 유입수보다 증가하였는데, 이와 같은 결과는, 전기전도도의 급격한 증가는 수질 오염의 지표라는 선행연구결과(西尾 敏 등, 1988; 廣瀬 顯 등, 1988; 박재현, 1999b)와도 같은 결과이었다. 그러나 site 1과 site 2의 양어장을 통과한 유출수의 전기전도도는 평균 $30.8 \sim 37.0\mu S/cm$ 로 일반적인 산림지역 계류수에서의 전기전도도 범위(박재현과 우보명, 1997; 박재현, 1999b)에 포함되어 아직 우려할 만한 전기전도도의 범위는 아닌 것으로 생각되는데, 이는 site 1과 site 2의

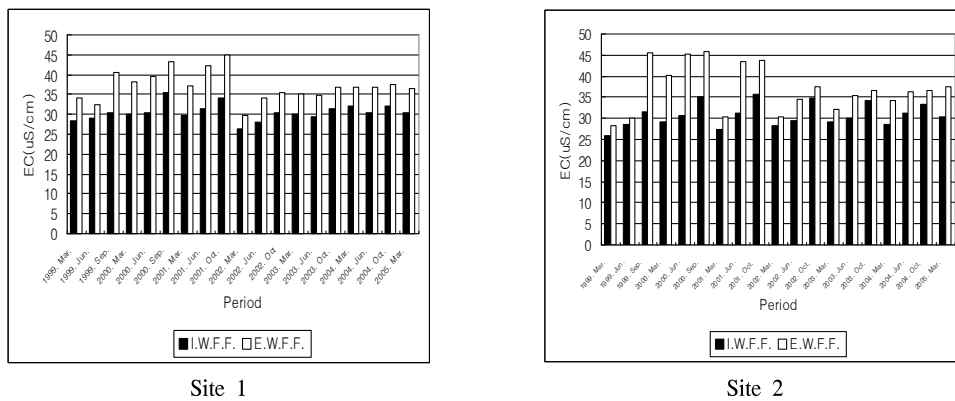


Figure 4. Changes of Electrical Conductivity($\mu S/cm$) of stream water due to fish farm development.

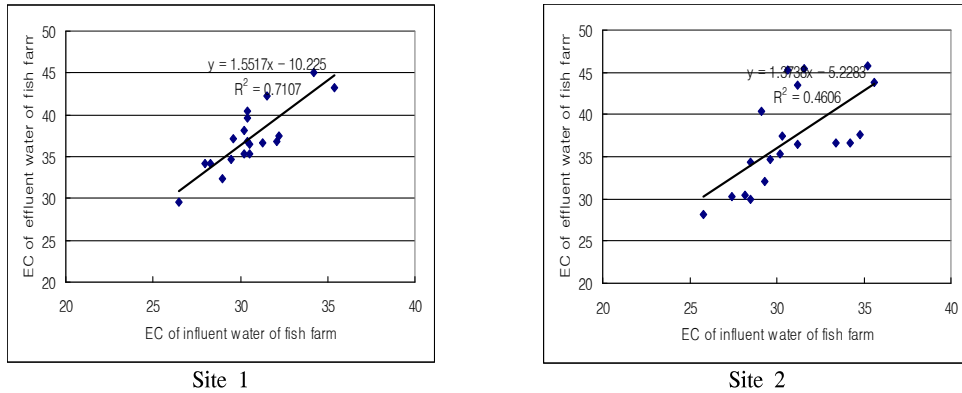


Figure 5. Result of linear regression of EC of influent and effluent water of fish farm.

규모가 작음에 기인한 결과라 생각된다. 따라서 양어장이 대규모화되었을 때 유출수의 전기전도도는 청정한 유입수보다 과도하게 증가할 수 있으므로 양어장 개발시 규모를 설정할 때에는 사전에 유출수의 전기전도도에 대한 충분한 검토가 필요할 것으로 생각된다. 한편, 1999년부터 2005년까지 6개년간 계절별로 평균 전기전도도는 양어장 유입수, 유출수에서 모두 3월과 6월보다는 9월(또는 10월)이 높은 결과를 나타내었는데, 이는 계절에 따른 낙엽·낙지의 계류 유입 및 산림 생태계에서의 유출 물질의 양 증가 등에 의한 영향이라 생각된다(Springer, 1977; 박재현, 1999a). 한편, site 1과 site 2에서 유입수와 유출수의 전기전도도의 관계를 직선회귀 분석한 결과 site 1에서는 유출수의 $EC=1.5517 \times \text{유입수의 } EC-10.225$

($R^2=0.7107$)로 나타났으며, site 2에서는 유출수의 $EC=1.3738 \times \text{유입수의 } EC-5.2283$ ($R^2=0.4606$)으로 나타나 5% 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

3) 용존산소량

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서 계절별 용존산소량의 변화는 Figure 6과 같다.

6개년간(1999-2005) 평균 용존산소량은 site 1 유입수에서 13.3mg/ℓ이었으나, 유출수는 10.2mg/ℓ로 용존산소량은 양어장을 통과하면서 약 2.6mg/ℓ가 감소하였으며, site 2의 유출수도 유입수보다 용존산소량은 약 3.1mg/ℓ가 감소하였다. 즉, 양어장을 통과하여 유출한 물의 용존산소량은 양어장 유입수보다 감소하였다. 이는 유속이

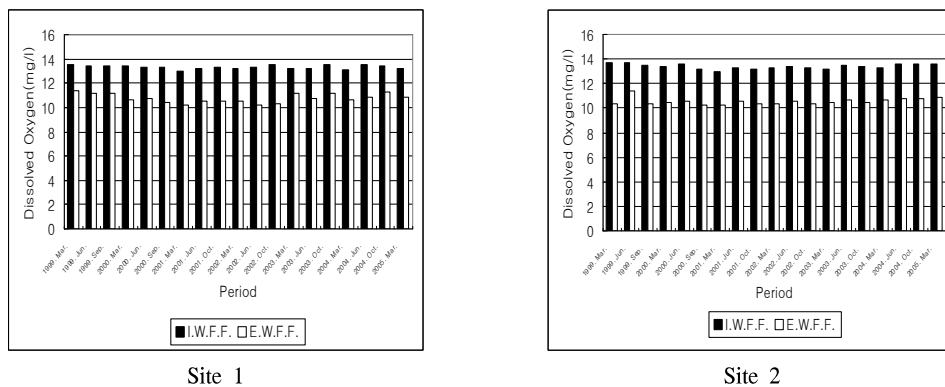


Figure 6. Changes of Dissolved Oxygen(mg/ℓ) of stream water due to fish farm development.

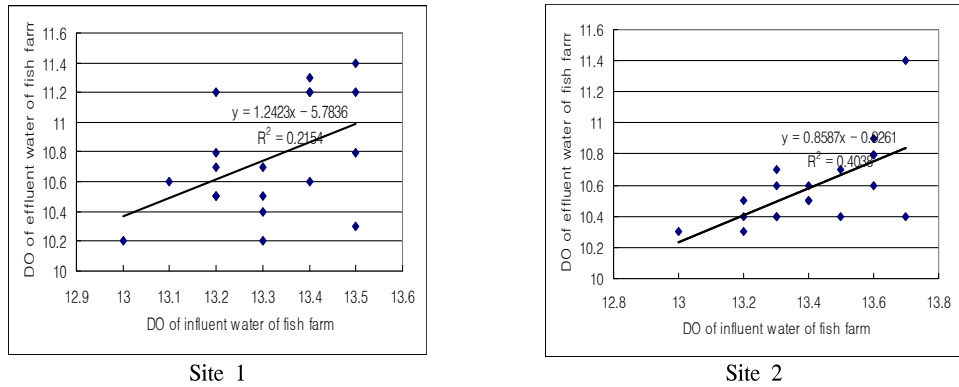


Figure 7. Result of linear regression of DO of influent and effluent water of fish farm.

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. 따라서 양어장 유출수에서 용존산소량의 감소는 물의 신선도 및 맛의 저하를 가져오므로(오영민과 신석봉, 1991) 양어장 개발시 용존산소량을 낮추는 유속 감쇄 및 유기물 퇴적을 최소화하는 설계가 필요할 것으로 생각된다. 한편, site 1과 site 2에서 유입수와 유출수의 용존산소량의 관계를 직선회귀 분석한 결과 site 1에서는 유출수의 $DO=1.2423 \times$ 유입수의 $DO-5.7836$ ($R^2=0.2154$)로 나타났으며, site 2에서는 유출수의 $DO=0.8587 \times$ 유입수의 $DO-0.9261$ ($R^2=0.4038$)로 나타나 5% 수준에서 유의한 것으

로 나타났다.

4) 수온

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서 계절별 수온의 변화는 Figure 8과 같다.

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서 계절별 수온은 1999년부터 2005년까지 6개년간 모두 양어장 유입수보다 유출수가 높았다. 즉, 평균적으로 site 1에서는 양어장 유출수가 유입수보다 약 $0.4^{\circ}C$ 가 높았고, site 2에서는 $0.6^{\circ}C$ 가 높았다. 이와 같은 결과는 양어장에 유입되는 계류수가 양어장에서 일단 정체됨으로 인한 유속의 감소 및 양어장에 정체된 유기퇴적물의 썩음, 태양의 복사열 등에 기인한 결과라 생각된다. 아울러 이 연구에서는 양어장 유입수 · 유출수에서 산림소유

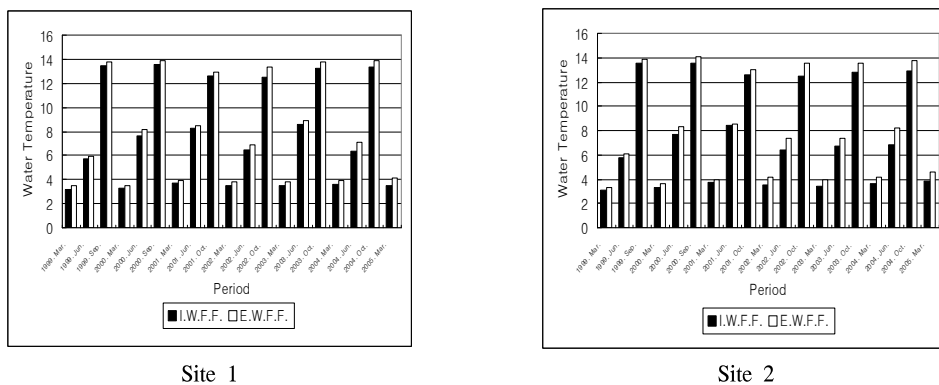


Figure 8. Changes of water temperature($^{\circ}C$) of stream water due to fish farm development.

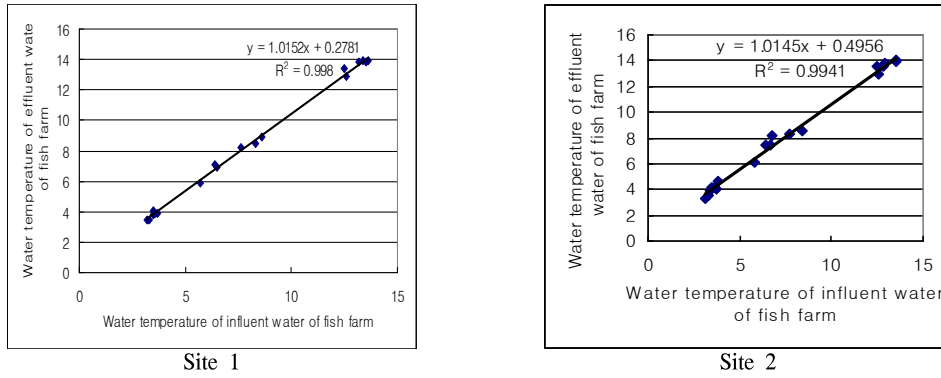


Figure 9. Result of linear regression of water temperature of influent and effluent water of fish farm.

역 유출수량 관측시설 등의 미비로 연속적인 유량에 대한 자료를 얻을 수 없어 廣瀨 顯 등 (1988)이 보고한 계류의 양분량을 규제하는 요인 및 강우에 따른 오염원의 흐름 파악을 할 수 있는 연속적인 유량과 계류수질과의 관계는 밝힐 수 없었는데, 향후 이 부분에 대하여는 연속적인 유출량을 측정할 수 있는 시설을 각 조사구에 설치함으로써 유량자료와 계류수질 자료와의 관계를 분석하는 등 장기적인 연구가 이루어질 수 있도록 할 것이다. 한편, site 1과 site 2에서 유입수와 유출수의 수온의 관계를 직선회귀 분석한 결과 site 1에서는 유출수의 수온=1.0152×유입수의 수온+0.2781(R²=0.9980)으로 나타났으며, site 2에서는 유출수의 수온=1.0145×유입수의 수온+0.4956(R²=0.9941)로 나타나 1% 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

2. 계류수질의 화학적 변화

1) 양이온총량

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, NH₄⁺ 등 5개 양이온량을 포함한 양이온총량의 계절별 변화는 Figure 10과 같다.

조사기간 중 양어장 유출수는 유입수보다 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, NH₄⁺ 등 5개 양이온량을 모두 합한 양이온총량은 많은 것으로 분석되었다. 6년간 site 1에서는 양어장 유출수의 평균양이온총량은 유입수보다 1.09mg/ℓ가, site 2에서는 1.10mg/ℓ가 많았는데, 이는 송어 등 어류의 배설물, 사료 등이 물에 용존되면서 발생하는 이온량의 증가에 기인한 결과로, 이러한 염류의 증가는 양어장 유출수의 pH를 높이는 원인으로 작용(平井敬三 등, 1990) 하는 등 계류수질에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는

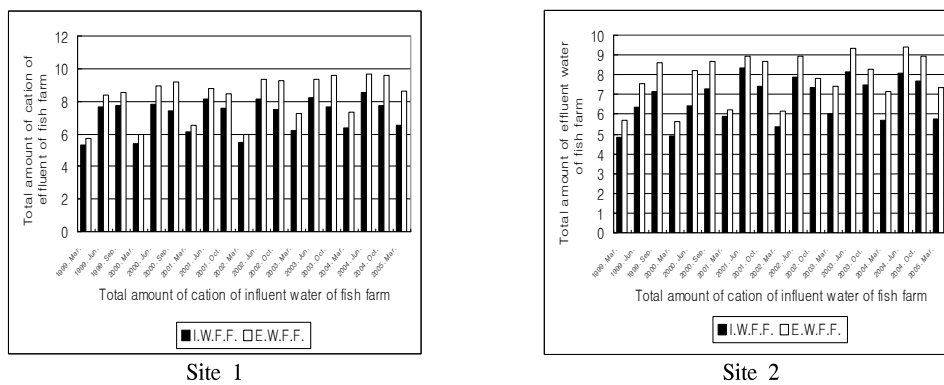


Figure 10. Changes of total amount of cation(mg/ℓ) of stream water due to fish farm development.

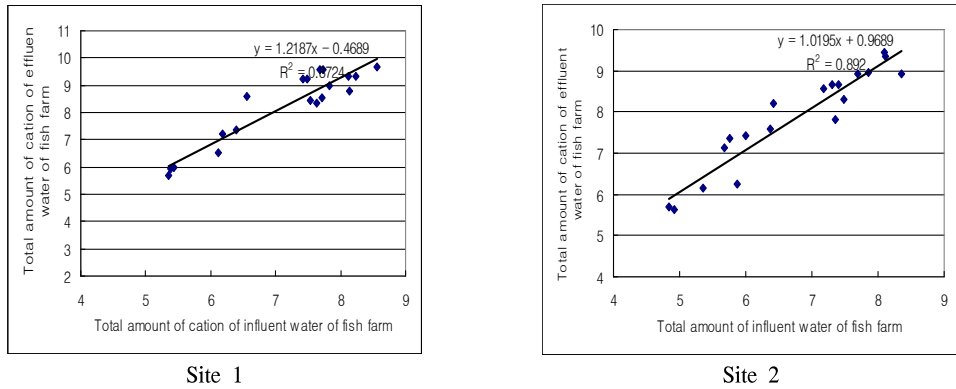


Figure 11. Result of linear regression of total amount of cation of influent and effluent water of fish farm.

물의 전기전도도를 증가시켜 물의 오염을 가속화시키는데 좋지 않은 영향을 미칠 것으로 생각된다(박재현, 1999a). 한편, site 1과 site 2에서 유입수와 유출수의 양이온총량의 관계를 직선회귀 분석한 결과 site 1에서는 유출수의 양이온총량 = $1.2187 \times$ 유입수의 양이온총량 $- 0.4689$ ($R^2 = 0.8724$)로 나타났으며, site 2에서는 유출수의 양이온총량 = $1.0195 \times$ 유입수의 양이온총량 $+ 0.9689$ ($R^2 = 0.8920$)로 나타나 1% 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

2) 음이온총량

양어장 개발에 따른 유입수, 유출수에서 Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} 등 5개 음이온량을 합한 음이온총량은 Figure 12와 같다.

조사기간 중 Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} 등 5

개 음이온량을 합한 음이온총량은 양어장을 통과한 유출수가 유입수보다 많았다. 즉, 6개년간 site 1에서 유출수의 음이온총량은 유입수보다 $1.47mg/\ell$ 가, site 2에서는 $1.62mg/\ell$ 가 많았는데, 이는 양어장을 통과한 유출수가 유입수보다 오염될 우려가 높다는 것을 의미하는 것이다(박재현, 1999). 한편, 어류의 배설물이나 사료에서 발생하는 PO_4^{2-} 이온은 1999년 3월에 site 1의 양어장을 통과한 유출수에서 $1.83mg/\ell$, 9월에 site 1과 site 2의 유출수에서 각각 0.34 , $0.27mg/\ell$ 가 검출되었으며, 2000년 3월에는 site 1의 양어장을 통과한 유출수에서 $2.10mg/\ell$, 6월에 site 2의 유출수에서 $0.56mg/\ell$ 가 검출되어 양어장 개발에 따른 하류수의 오염이 우려된다. 이는 박재현(1999a)의 연구결과와 유사한 결과로 청정지역

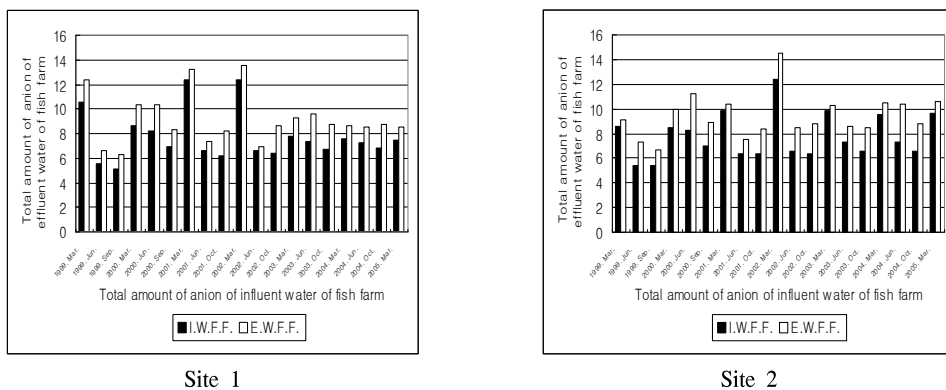


Figure 12. Changes of total amount of anion(mg/ℓ) of stream water due to fish farm development.

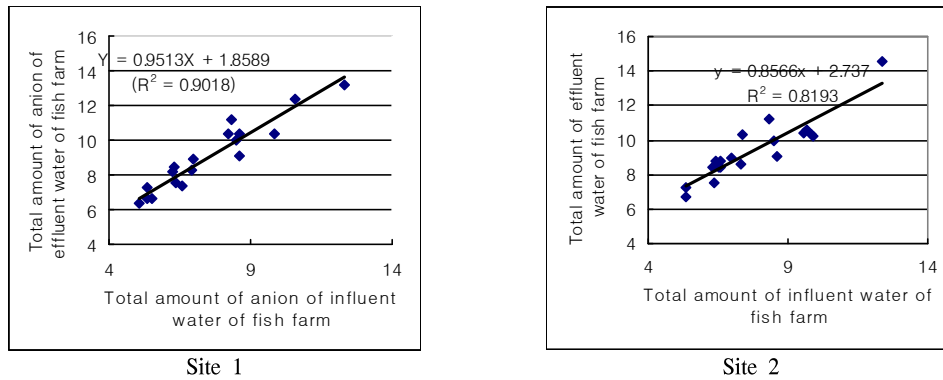


Figure 13. Result of linear regression of total amount of anion of influent and effluent water of fish farm.

에서의 개발이 계류수의 오염을 발생시킬 수 있음을 의미하는 것이다. 따라서 중소형 및 대규모 양어장 개발에 따른 하류수질 오염을 방지하기 위해서는 어류의 배설물, 사료에서 용존되는 이온 등을 정화시키기 위한 시설의 설치가 필수적이라 사료된다. 한편, site 1과 site 2에서 유입수와 유출수의 음이온총량의 관계를 직선회귀 분석한 결과 site 1에서는 유출수의 음이온총량=0.9513×유입수의 음이온총량+1.8589($R^2=0.9018$)로 나타났으며, site 2에서는 유출수의 음이온총량=0.8566×유입수의 음이온총량+2.7370($R^2=0.8190$)으로 나타나 5% 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

아울러 이 연구에서는 산림소유역 유출수량 관측시설의 미비로 수질오염원의 양과 수량과의 관계를 밝힐 수 없었는데, 장래에는 수량을 지속적으로 관측할 수 있는 같은 유출시설을 통하여 양어장의 수질오염과 연계시킨다면 추후 양어장의 수질관리를 위한 대안을 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 결 론

백운산 지역을 대상으로 양어장 개발이 계절적인 계류수질에 미치는 영향을 파악하는데 목적을 두고 연구를 수행하였다. 1999년부터 2005년까지 6개년간 양어장을 통과한 유출수의 pH는

양어장유입수와 대조구의 계류수보다 높아져 대규모 양어장 개발시 유출수의 알칼리화가 촉진되는 것으로 판단되었으며, 양어장을 통과하여 유출된 물의 전기전도도도 양어장유입수와 대조구의 계류수보다 증가하여 양어장 개발로 인한 수질오염이 나타나는 것으로 분석되었다. 또한, 양어장을 통과하여 유출한 물의 용존산소량, 유출수의 수온 등은 양어장유입수와 대조구 계류수보다 감소하거나 낮아져 수질에 변화가 나타난 것으로 분석되었다. 아울러 양어장을 통과하여 유출한 물에 용존되어 있는 양이온총량, 음이온총량은 양어장유입수와 대조구 계류수보다 높아져 물에 용존된 이온량이 증가한 것으로 분석되었다. 또한, 직선회귀분석결과 양어장 유입수와 유출수는 5%, 1% 수준에서 유의한 상관관계를 나타내 양어장 개발이 계류수질변화에 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

- 김기원. 1996. 산림개발이 산림에 미치는 부하에 관한 연구. 산림과학 8 : 79-99.
- 김좌관. 1995. 수질오염개론, 동화기술. 353p.
- 박재현. 1997. 산림유역에 있어서 계류수질 평가 기준 정립에 관한 고찰(III). 자연보존 97 : 33-42.
- 박재현. 1999a. 백운산 지역에서 계류수의 이화

- 학적 성질에 미치는 양어장 개발의 영향. 한국환경복원녹화기술학회지 2(3) : 54-63.
- 박재현. 1999b. 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질 특성. 한국임학회지 88(1) : 101-110.
- 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.
- 오영민·신석봉. 1991. 수질관리. 신광문화사. 311p.
- 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-. 日本九州大學支所研究論文集 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.
- 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)-冬期渇水期の小河川の水質-. 日本林學會論文集 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.
- 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-. 日本林學會論文集 101 : 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*. 392p.
- 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.
- 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. 40p.
- Satterlund, D. R. and P. W. Adams. 1992. *Wildland Watershed Management*. John Wiley & Sons, Inc. 298-403.
- Springer V. 1977. *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. *Biogeochemistry* 60 : 235-316.
- Teller, H. L. 1976. *Environmental Impact Analysis and Forest Activities*. FAO Conservation Guide : 15-26.
- 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 : 313.

接受 2005年 4月 25日