

대관령 지역 주요 하천 및 도암호의 수질 특성

박경훈 · 김병석 · 윤혜정 · 류경열 · 윤종철 · 최준열¹ · 김기덕² · 진용익^{2*}

국립농업과학원 유해생물팀, ¹국립식량과학원 작물환경과, ²국립식량과학원 고령지농업연구센터

Characteristics of Water Quality at Main Streams and Lake Doam in Daegwallyeong Area

Kyeong-Hun Park, Byeong-Seok Kim, Hye-Jeong Yun, Kyoung-Yul Ryu, Jeong-Chul Yun, June-Yeol Choi¹, Ki-Deog Kim², and Yong-Ik Jin^{2*}

Microbial Safety Team, National Academy of Agricultural Science, Suwon, 441-707, Korea

¹Crop Environment Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon, 441-857, Korea

²Highland Agriculture Research Center, National Institute of Crop Science, RDA, Pyeongchang 232-955, Korea

This study was surveyed that water physiochemical characteristics and phytoplankton incidence of main stream and Lake Doam near to Daegwallyeong agricultural area. Based on above results, it was conducted to get information overall water characteristics in south Han upstream river. COD value of Lake Doam was 6.1 mg L⁻¹ and T-P (Total phosphorous) from there was 0.26 mg L⁻¹ which was higher than the value of grade VI based on lake water living environment standard. Suspended solid was an average of 9.77 NTU which was higher than value of lake living standard. Concentration of phytoplankton was over 2.0×10³ Cell mL⁻¹ from July to September. It was considered that cyanobacteria were occurred due to massive influx of nutrient material by high temperature and rainfall during this season. Compare to Ontario's sediment quality guidelines, T-N and T-P was middle value between LEL and SEL in Lake Doam. This value means that contamination in water is serious. Therefore, it is considered that systematic management was needed to reduce and block contamination source.

Key words: Water quality, Phytoplankton, Daegwallyeong, Lake Doam

서 언

우리나라의 담수 생태계는 여름 집중강우와 겨울 가뭄에 의해 크게 영향을 받으며, 물리적으로 변형된 하천 및 호소의 수질 변화는 플랑크톤과 같은 생물 분류군에 의하여 크게 좌우되는 것으로 알려져 있다 (Park, 2004). 따라서 담수 생태계의 관리를 위해서는 수질과 오염물질에 대한 연구뿐만 아니라 생태계 전반에 대한 이해가 있어야 효과적인 관리가 가능하며, 장기적인 계획으로 지속적인 연구가 수행될 때 다양한 생태계 동태를 보다 정확하게 이해 할 수 있을 것이다.

본 연구는 감자 및 배추 주산지인 고령지농업이 이루어지고 있는 강원도 평창군 대관령에 위치한 송천, 용산천, 용평천, 차항천과 최종집수구인 도암호의 수질 생태계에 관한 연구로 고령지 농업활동에 의한 주요하천의 수질특성 및 조류 발생을 알아보고자 수행하였다. 송천은 평창군 대관령면

황계리에 위치한 소황병산에서 발원하여, 수하리 도암호로 유입되어 체류한 후 남한강 상류로 유입된다. 발원지로부터 도암호까지의 유로연장은 23.8 km이고 총유역면적은 148.8 km²로서 남한강 상류의 수질에 큰 영향을 미치고 있다 (Hur et al., 2001). 차항천은 황병산에서 발원하여 채소재배지가 산재해 있는 차항리를 지나는 하천이고, 용산천은 용산에서 발원하여 용산리 초지 및 농경지를 지나는 하천이며, 용평천은 발왕산에서 발원하여 용평 스키장 및 골프장 등을 지나는 하천으로 모두 송천 본류에 합류하여 최종 집수구역인 도암호로 유입된다. 이 수계는 배추, 감자, 당근, 양파 등 고랭지 채소 작물을 재배하고 있어, 농경지로부터 여름철 집중강우에 의한 토양 유실 및 질소, 인 등의 비료성분이 유입되고 있는 실정이다.

송천 상류 유역인 대관령면 일대는 대규모 축산단지가 산재해 있으며, 용평리에 위치한 관광단지과 골프장, 하천 사이로 경사지에 농경지가 위치하고 있어 집중 강우시 경작지 및 상류의 야산에 투입한 비료, 농약 및 가축분뇨 등 막대한 양의 오염물질이 인근 하천 및 송천을 통해 하류의 도암호로 모이고 있다 (Kim et al., 1995). 이렇게 도암호

접수 : 2012. 11. 6 수리 : 2012. 12. 10

*연락처 : Phone: +82333301620

E-mail: pyoddae@korea.kr

로 유입된 오염물질은 호수에 식물성플랑크톤을 발생시켜 수자원 이용에 악영향을 주고 배수시에 오염된 수질로 인하여 남한강 상류의 수질이 악화되고 있다 (Hur et al., 1995).

하천 및 호수의 부영양화 현상은 여름철 집중강우에 의한 영양물질의 유입으로 식물성플랑크톤의 밀도 급증과 종조성이 변화하여 유기물질의 양이 증가하고 이에 따른 수중 산소감소 현상 등에 의해 수질 변화가 일어나는 것을 말하며 (Lee and Cho, 1994), 일반적으로 인공적으로 축조된 호소의 경우, 주변 농경지, 인구, 산업단지 등 유역 환경여건 변화에 따라서 부영양화 현상이 나타나며 경우에 따라 수질에 심각한 영향을 초래하기도 한다 (Lee et al., 1994).

부영양화 현상으로 초래되는 여러 가지 문제점들은 대부분 식물성플랑크톤의 대량발생이 원인으로 이들이 수체에 대량으로 증식할 경우 수색변화로 경관을 크게 해치며, 식수원으로 사용시 여과지 폐쇄, 조류독소, 이취미 유발 등의 문제를 일으킬 뿐만 아니라, 수중 용존산소를 고갈시켜 수중환경 및 생태계를 크게 위협할 수도 있다. 이러한 부영양화 현상은 호소나 하천에 따라서 연중 발생하는 경우도 있지만, 대부분은 수온이 높고 일사량이 풍부한 기간에 집중적으로 발생하고 있다 (Park et al., 2005; Lee, 2004).

지금까지 도암호와 송천에 관한 연구는 주로 점오염원 및 비점오염원에 의한 오염물질의 부하량을 산정하는 모델링 연구 (Hur et al., 1995)와 집수구역의 수자원관리, 하상 및 저토관리 등의 연구 (Hur et al., 2001)에 치중되는 반면, 호소와 하천의 생태계에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 대관령 고랭지 농업지대의 주요 하천과 도암호의 수질특성을 조사하여 고랭지 농업이 이루어지고 있는 남한강 상류 수계의 특성을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

조사지 개황 본 연구에서 조사된 하천 지역은 한강의 최상류 발원지로 동경 128° 37'~128°47', 북위 38° 35'~38° 47'에 위치하고 있다. 강원도 평창군 대관령면 황계리에

위치한 소황병산에서 발원하여 남한강 상류로 유입되는 송천 수계를 대상으로 식물성플랑크톤의 발생 및 하천의 수질과 퇴적물의 특성을 조사하기 위하여 송천 (A), 용산천 (B), 용평천 (C), 차항천 (D), 도암호 (E)를 조사지로 설정하였다 (Fig. 1). 본 조사지역인 대관령면의 2005년 평균 기온은 6.5°C, 강수량은 1,296 mm인 것으로 나타났으며 기상개요는 Fig. 2에 나타내었다.

수질 분석 수질 측정은 송천, 용산천, 용평천, 차항천, 도암호에서 2005년 4월부터 2005년 12월까지 월 1회 실시하였으며, 수질 분석용 시료는 강우의 영향을 피하여 맑은 날을 대상으로 폴리에틸렌 용기 (2L)를 이용하여 채수하였다. 수질분석항목은 수온, 산도 (pH), 전기전도도 (EC), 용존산소량 (DO), 화학적산소요구량 (COD), 부유물질 (SS), 총질소 (T-N), 총인 (T-P), 클로로필 a 등 총 9개 였으며, 수질 시료 중 수온, 산도, 전기전도도, 용존산소량은 수질측정기 YSI-556MPS (YSI, USA)로 현장에서 측정하였고 총질소와 총인의 측정은 자외선 흡광도법과 아스코르빈산환원법을 이용하였다 (The Ministry of Environment, 2000). COD는 과망간산칼륨법으로 측정하였고 (APHA et al., 1998), 부유물질과 엽록소a는 환경부 수질오염공정시험법 (The Ministry

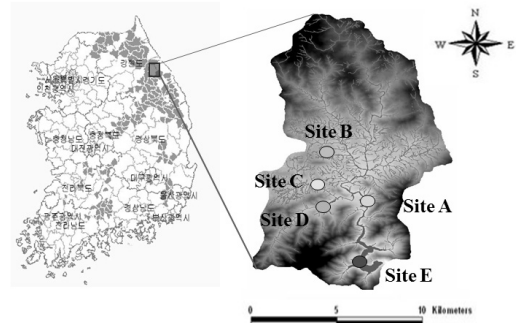


Fig. 1. The locations of sites investigated in this study experiments. (Site A : Song Stream, Site B : Chahang Stream, Site C : Yongsan Stream, Site D : Yongpyeong Stream, Site E : Lake Doam)

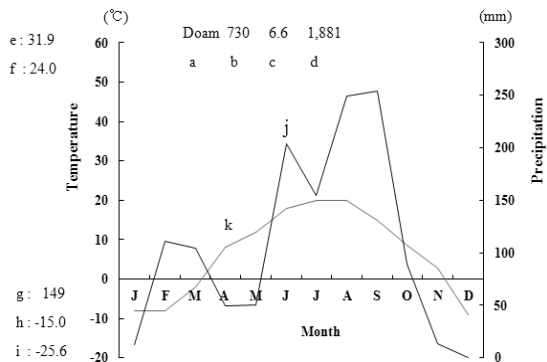


Fig. 2. Change phase in temperature and precipitation of survey area in 2005.

- a Station
- b Altitude above sea level(m)
- c Mean temperature(°C)
- d Annual precipitation(mm)
- e Highest temperature recorded
- f Minimum temperature of the warmest month
- g Duration of frost-free period
- h Minimum temperature of the coldest month
- i Lowest temperature recorded
- j Curve of mean monthly temperature
- k Curve of monthly precipitation

of Environment, 2000)에 준하여 분석하였다. 탁도는 미국 HACH사의 탁도 분석계 Model 2100N (HACH, USA)을 사용하여 조류발생이 많았던 8월과 9월기간 동안에 3회 측정하였다.

하천 퇴적물 분석 퇴적물은 2005년 8월과 10월에 시료를 채집하여 분석하였다. 퇴적물의 pH는 건시료 5 g에 1N-KCl 25 mL를 가하고 초자전극법으로 측정하였다. 유기탄소는 중크롬산칼륨 표준용액에 의한 산화환원 적정법을 이용하여, 분해되기 쉬운 플랑크톤 및 퇴적층에 침강되어 오랜 시간이 경과되지 않은 유기물의 유기탄소 함량을 측정하였고 (Park et al., 2001), 유기물 및 T-N, T-P 분석은 농촌진흥청 시험법에 (NIAST, 1998) 따라 실시하였다. 중금속 함량은 하천별로 수집한 퇴적물을 0.1 N HCl로 침출하여 ICP (Inductively Coupled Plasma, Optima 5300 DV of Perkin Elmer, USA)로 측정하였다.

식물플랑크톤 발생 조사 도암호를 포함한 송천, 용산천, 용평천, 차항천을 대상으로 영농활동 시기인 5월에서 9월까지 식물플랑크톤의 발생 양상을 조사하기 위하여, 2L용 플라스틱 채수병으로 수심 10~20 cm 범위에서 월 1회 시료를 채집하여 Lugol's slouction으로 고정하여 사용했으며, 동정을 위한 정성 시료는 Plankton net를 사용하여 채집하였다. 정량조사는 1L의 시료를 하루에서 이틀 정도 침전시킨 뒤 상등액을 제거하여 농축한 후, Sedgwick-Rafter Chamber를 사용하여 Schoen (1988)의 방법으로 계수하였다. 채집한 식물플랑크톤을 분리하기 위하여 고정된 시료를 원심분리기 또는 자연침강법 등을 이용하여 농축시킨 후 Sedgwick-Rafter Chamber를 사용하였으며, 한국동식물도감 담수조류편 (Jeong, 1993), Sournia (1978) 과 Wetzel and Likens (1991)의 방법에 따라 속(genus) 수준까지 동정하였다.

결과 및 고찰

수질특성 대관령지역 주요하천 4개와 도암호에서 수질 특성을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 조사지점별 평균 pH는 7.5~8.8로 조사되었으며 용산천과 도암호에서 각각 8.4와 8.8로 확인되었다. 전기전도도는 0.98~1.77 dS m⁻¹로 조사되었으며 용평리조트 등 휴락시설을 지나는 용평천과 배추·감자 주 재배지역 하천인 송천에서 각각 1.77 dS m⁻¹과 1.42 dS m⁻¹로 가장 높게 나타났으며, 차항천은 0.98 dS m⁻¹로 확인되어 이전의 보고 (Shin, 2004)와 유사한 결과로 조사되었다. 대기 중의 산소가 물에 녹아드는 양을 나타내는 용존산소는 유속, 수심, 기온 등이 관련이 있는 것으로 알려져 있다 (O'conner and Dobbins, 1958). 차항천의 용존산소량은 10.1 mg L⁻¹로 조사지점에서 가장 높게 나타났으며, 용평천에서 8.9 mg L⁻¹로 가장 낮게 나타났으며, 최종 집수구역인 도암호에서는 8.5 mg L⁻¹로 확인되었다. 도암호의 화학적산소요구량 (COD_{Mn})은 호수수의 농업용수 수질기준인 8 mg L⁻¹ 보다 낮은 6.1 mg L⁻¹로 확인되었으며, 조사지역별로 약간의 차이가 있었으나 2.6~3.6 mg L⁻¹ 범위로 조사되었다. 이 전의 연구결과에서 총질소의 함량은 대관령지역 산림 소유역 평균 0.77 mg L⁻¹로 조사되었고, 농경지 소유역은 평균 8.26 mg L⁻¹으로 확인되었다 (Shin, 2004). 본 연구결과 총질소량이 조사지역에서 4.49~7.04 mg L⁻¹로 확인되어 농경지 소유역 평균보다 낮게 나타났다. 총질소 함량은 농작물의 재배 단계에 따라 다르게 변화하는 것으로 알려져 있으며 (NIHA, 2004; Shin, 2004), 총인은 송천과 용평천에서 평균 0.11 mg L⁻¹로 조사되었으며, 용산천과 차항천에서 0.04 mg L⁻¹로 나타났다. 도암호에서는 호수수 생활환경 기준 VI등급 0.15 mg L⁻¹ 보다 높은 0.26 mg L⁻¹로 높게 조사되었는데, 이러한 이유는 Park et al. (2011)의 보고와 같이 여름철 빈번한 강우로 인하여 농작물의 재배기

Table 1. Water qualities characteristics of the investigated sites in Daegwallyeong streams.

Site	Water temp. (°C)	pH (1:5)	EC	DO	COD	T-N	T-P	SS	N/P ratio
			dS·m ⁻¹		----- mg L ⁻¹ -----				
Song stream	16.0	7.8±0.72	1.42±0.50	9.7±0.71	3.0±1.27	5.86±1.73	0.11±0.09	18.86±19.50	53
Yongsan stream	12.8	8.2±0.56	1.31±0.28	9.7±0.97	2.6±1.13	4.87±1.38	0.04±0.01	4.23±5.13	122
Yongpyeong stream	16.9	8.4±0.75	1.77±0.44	8.9±1.21	3.6±1.27	7.04±1.87	0.11±0.06	19.77±21.55	64
Chahang stream	17.0	7.5±0.34	0.98±0.20	10.1±1.45	2.9±0.84	4.49±1.15	0.04±0.01	3.18±3.49	112
Lake Doam	18.5	8.8±1.16	1.23±0.24	8.5±1.23	6.1±3.87	4.68±1.75	0.26±0.64	9.77±9.70	18

* Each data represents mean value and standard deviation.

간 동안 사용한 다량의 화학비료와 가축분 퇴비가 가용성의 무기태로 전환되어 용출되었기 때문으로 생각된다. 대관령 지역 농경지의 대부분은 마사토를 복토하여 토양유실에 매우 취약한 것으로 알려져 있다 (Hur et al., 2001; Park, 2002). 부유물질은 조사지점마다 표준편차가 큰 것으로 확인되었으며, 송천과 용평천에서 각각 18.86, 19.77NTU로 높게 나타났다. 도암호는 부유물질이 평균 9.77 NTU로 호소수 생활기준 보다 높았다. 하천별 엽록소a 농도는 송천의 경우 평균 2.2 mg m⁻³ (0.8~5.1 mg m⁻³, 차항천의 경우 평균 1.9 mg m⁻³ (0.7~3.8 mg m⁻³), 용산천의 경우 평균 1.1 mg m⁻³ (0.5~9 mg m⁻³), 용평천의 경우 평균 2.1 mg m⁻³ (0.8~3.9 mg m⁻³)의 낮은 밀도를 나타내었으나, 도암호의 경우에는 평균 39.4 mg m⁻³ (4.6~115.8 mg m⁻³)의 높은 농도를 보였다. 이처럼 도암호에서 조사 시기 동안에 엽록소a 농도가 높은 것은 앞에서 살펴본 바와 같이 다양한 식물플랑크톤이 연중 서식하고 있기 때문으로, 특히 7월에서 9월 까지 50 mg m⁻³ 이상의 농도를 보인 것은 여름철 고온과 강우에 의한 영양물질의 대량 유입으로 인한 규조류와 남조류 발생에 의한 것으로 생각된다 (Fig. 3). 탁도는 물속에 존재하는 부유물질의 유무에 따라 물의 맑고 탁한 정도를 나타내는 값으로, 모래와 같은 비생물 입자와 미세 플랑크톤과 같은 생물입자의 양에 좌우되는 것으로 알려져 있다 (Wetzel, 1991). 특히, 비생물 입자는 오염원의 유입-유출량 정도에 따른 수체의 유동성에 의해 변동 폭이 크게 좌우되

며, 미세 플랑크톤과 같은 생물 입자는 체류 시간이 길고 부영양화가 될수록 그 수가 증가하는데 이로 인한 탁도의 증가는 수중 광환경과 생태계에 광범위한 영향을 미치기 때문에 중요한 환경적 인자로 볼 수 있다 (Shin and Cho, 2001). 송천 수계의 탁도 변화는 하천마다 차이가 있지만, 평균 조사지점의 탁도는 Table 2에 나타내었는데 송천을 비롯한 차항천 용산천 용평천의 탁도 범위는 0.33~12.6 NTU의 범위로 변동 폭이 적었다. 도암호의 경우는 변동 폭이 매우 컸는데, 8월 한 달 평균 102.5 NTU 였으며 최고값은 136 NTU로 매우 높았다. 이것은 강우에 의한 영양물질의 수체 내 유입과 여름철 고온으로 인한 부영양화 때문으로 판단된다. 또한, 9월 중 도암호의 탁도는 2.2 NTU로 크게 낮아졌는데 이는 영양물질의 유입이 줄고 온도가 낮아져 조류가 감소하였기 때문인 것으로 판단된다.

하천 퇴적물 특성 퇴적물 시료의 화학분석 결과는 Table 2와 같다. 퇴적물의 pH는 평균 4.9~5.8 범위였으며, 도암호에서 가장 높았다. 유기탄소는 0.71~1.31% 범위로서, 송천, 차항천과 용산천은 0.8% 미만의 낮은 함량을 보였다. 이것은 송천, 차항천과 용산천에서 하천 퇴적물이 대부분 모래성분을 함유하고 있기 때문에 퇴적물의 입도 분포에 의해 유기탄소가 영향을 받은 것으로 생각된다. 유기물은 용평천과 도암호를 제외한 다른 지점에서 1% 내외의 낮은 함량을 보였다. 그 이유는 차항천과 송천, 용산천에서 하천의 유속이 빨라 퇴적물에 포함된 유기물 용출이 많이 일어났을 것으로 생각

된다. 총질소의 경우, 용산천이 3346.9 mg kg⁻¹로 가장 높았으며, 용평천이 1952.6 mg kg⁻¹의 범위로 가장 낮았다. 도암호에 유입되는 각 하천의 퇴적물에 함유된 인의 총량은 평균 899.0~1034.2 mg kg⁻¹으로 나타났으며, 대부분 조립질 모래의 함량이 높아 인의 용출에 의한 수질오염 가능성이 우려되었다. 특히, 송천과 용산천에 함유된 인의 농도가 다른 지역보다 높았다. 퇴적물 기준이 설정되어 있는 캐나다 온타리오 주정부의 퇴적물 환경기준 (Persaud et al., 1992)과 비교하면, 도암호의 총질소 및 총인의 농도는 LEL (Lowest Effects Level : 저서생물 다수가 견딜 수 있는 농

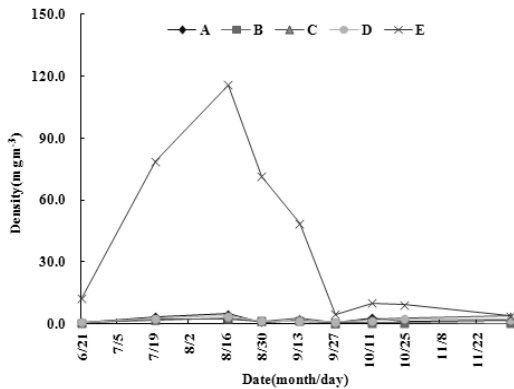


Fig. 3. Fluctuation of chlorophyll a in investigated sites.

Table 2. Fluctuation of water turbidity in investigated sites.

	1st ¹⁾	2nd	3rd	average	fluctuation ²⁾
Song stream	1.6	0.3	3.3	1.7	2.96
Chahang stream	0.6	0.3	0.8	0.6	0.54
Yongsan stream	2.4	0.4	4.8	2.5	4.46
Yongpyeong stream	6.7	0.7	12.6	6.6	11.95
Lake Doam	69.0	136.0	2.2	69.1	133.81

¹⁾: Investigated date : 8/14 (1st), 8/30 (2nd), 9/14 (3rd)

²⁾: Max value - min value

도이나 일부 종에게는 악영향을 미치거나 악영향이 시작될 수 있는 농도)과 SEL (Severe Effects Level : 저서생물에 뚜렷한 장애 발생이 시작되는 농도)의 중간 정도의 값을 보였다. 온타리오 기준을 근거로 판단하였을 경우, LEL과 SEL 사이의 값일 경우 퇴적물 오염으로 간주하고 일반적으로 수생태계에 악영향을 미치는 것으로 판단하고 있다 (Kim et al., 2005). 따라서 도암호의 퇴적물 상태는 이미 어느 정도 오염이 진행된 상태라고 볼 수 있으므로 상수원 보호 및 환경관리의 측면에서 이에 관한 국내 기준 설정 및 이에 대한 추가 연구가 수행 되어야 할 것으로 생각된다.

서 등 (2005)은 도암호와 지류 하천의 내분비계 연구에서 퇴적물의 중금속 농도가 As는 0.209~0.718 ug L⁻¹, Cd는 ND~0.627 ug L⁻¹, Cr은 ND~0.797 ug L⁻¹, Pb는 ND~2.078 ug L⁻¹ 농도로 존재하는 것을 확인하였다. 본 연구에서, 중금속 분석 결과 샘플링의 시기와 상관없이 Cd와 Cr은 조사기간 중 모든 곳에서 검출되지 않았다. 도암호와 송천에서 Cu가 각각 평균 0.089 mg L⁻¹, 0.139 mg L⁻¹로 검출되었으며, Ni은 도암호와 용평천에서만 검출되었다. Pb와 Zn, Mn는 모든 하천에서 검출되었으며, Pb은 도암호에서, Zn은 송천에서 Mn은 도암호에서 가장 높았다 (Table 3). 하천 수계로부터 유입된 오염물질이 퇴적될 경우, 퇴적물에 흡착·침전 되어 있는 중금속 또는 질소, 인 등 영양염류가 용출되어 수질생태계에 악영향을 끼칠 가능성이 높다. 따라서, 하

천의 수질 특성을 정확하게 파악하기 위해서는 퇴적물의 오염상태를 파악하고 체계적인 조사 및 관리가 필요할 것으로 생각된다.

식물플랑크톤 발생 송천에서 관찰된 식물플랑크톤의 종류는 Table 4에 나타낸 바와 같이 규조류의 경우는 *Melosira* 속, *Nitzshia* 속, *Diatoma* 속과 *Aulacoseira* 속에 포함되는 종들이 관찰되었으며, 녹조류의 경우 *Closterium*속과 *Pediastrum*속이 관찰되었고 남조류의 경우 *Oscillatoria* 속이 출현되는 양상을 보였다. 또한 여름부터 가을까지 *Phormidium* 속이 주로 하천의 가장자리에서 발생하였다. 용산천은 대관령면 수하리에 위치해 있고 용평천은 주변에 골프장과 콘도 등 위락 시설이 밀집해 있어서 하수로의 영양물질의 유입이 많아 다른 하천보다 다양한 조류가 관찰 된 것으로 생각된다. 규조류로는 *Aulacoseira* 속과 *Diatoma* 속 등이 조사되었으며, 녹조류로는 *Chlamydomonas* 속과 *Closterium* 속이, 남조류로는 *Anabaena* 속과 *Oscillatoria* 속이 확인되었고 *Phormidium* 속도 관찰되었다. 이런 이유는 용평천이 다른 하천보다 유속이 느리고 (Shin, 2004), 골프장 등 휴락시설로부터 유입된 영양물질로 인하여 식물성플랑크톤이 쉽게 서식할 수 있었던 것으로 생각된다. 차항천은 상류지점에 감자, 배추 및 하우스 포장지 존재하지만, 비교적 유속이 빨라 물이 정체 되어 있는 시간이 짧고 수심이 얕아 식물플랑크톤이 거의

Table 3. Physicochemical properties of sediment sampled in Streams.

Site	pH	Org-C		OM	T-N	T-P	Ontario sediment standard*
		----- % -----					
Song Stream	4.9	0.71	0.89		2193.2	1029.6	T-N LEL: 500
Yongsan Stream	5.5	0.75	1.01		3346.9	1034.2	SEL: 4800
Yongpyeong Stream	5.5	1.03	1.20		1952.6	962.5	T-P LEL: 600
Chahang Stream	5.5	0.77	0.95		2561.5	899.0	SEL: 2000
Lake Doam	5.8	1.31	1.31		3331.9	1054.6	

*LEL : Lowest Effects Level ; SEL : Severe Effects Level.

Table 4. The contents of heavy metals in investigated site.

Site	August(1st)							October(2nd)						
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Mn	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Mn
	----- mg L ⁻¹ -----													
Song Stream	-	0.144	0.133	0.639	-	-	1.890	-	0.135	0.123	0.593	-	-	2.432
Yongsan Stream	-	-	0.091	0.162	-	-	6.233	-	-	0.102	0.158	-	-	7.235
Yongpyeong Stream	-	-	0.091	0.184	-	-	4.012	-	-	0.096	0.189	-	0.015	4.325
Chahang Stream	-	-	0.193	0.266	-	-	4.559	-	-	0.193	0.249	-	-	4.899
Lake Doam	-	0.086	0.574	0.123	-	0.015	25.920	-	0.092	0.326	0.198	-	0.027	32.460

Table 5. The list of main phytoplankton species occurred in surveyed areas.

Site	Phytoplankton		
	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	Cyanophyceae
Song Stream	<i>Aulacoseira</i> spp. <i>Diatoma</i> spp. <i>Melosira</i> spp <i>Nitzshia</i> spp.	<i>Closterium</i> spp. <i>Pediastrum</i> spp.	<i>Oscillatoria</i> spp. <i>Phomidium</i> spp.
Yongsan Stream	<i>Cyclotella</i> <i>Diatoma</i> spp.	<i>Closterium</i> spp. <i>Chlamydomonas</i> spp.	<i>Phomidium</i> spp.
Yongpyeong Stream	<i>Aulacoseira</i> spp. <i>Cyclotella</i> <i>Diatoma</i> spp. <i>Nitzshia</i> spp.	<i>Chlamydomonas</i> spp. <i>Closterium</i> spp. <i>Cosmarium</i> spp. <i>Pediastrum</i> spp. <i>Scenedesmus</i> spp.	<i>Anabaena</i> spp. <i>Oscillatoria</i> spp. <i>Phomidium</i> spp. <i>Mycrocistis</i> spp.
Chahang Stream	<i>Aulacoseira</i> spp. <i>Cyclotella</i>	<i>Closterium</i> spp. <i>Cosmarium</i> spp.	<i>Oscillatoria</i> spp.
Lake Doam	<i>Aulacoseira</i> spp. <i>Cyclotella</i> <i>Cymbella</i> spp. <i>Diatoma</i> spp. <i>Melosira</i> spp. <i>Navicula</i> spp. <i>Nitzshia</i> spp. <i>Synedra</i> spp.	<i>Ankistrodesmus</i> spp. <i>Coelastrum</i> spp. <i>Chlamydomonas</i> spp. <i>Cosmarium</i> spp. <i>Crucigenia</i> spp <i>Endorina</i> spp. <i>Pediastrum</i> spp <i>Scenedesmus</i> spp. <i>Schroederia</i> spp. <i>Staurastrum</i> spp.	<i>Anabaena</i> spp. <i>Merismopedium</i> spp. <i>Mycrocistis</i> spp. <i>Oscillatoria</i> spp.

발생하지 않았다. 하지만, 다른 하천과 달리 바닥에 돌이 많아 7월부터 9월 중순까지 해감속의 일종이 우점 하였고, 규조류 *Aulacoseira* 속과 *Cyclotella* 속이 발생하였고, 녹조류의 경우 *Closterium* 속이 관찰되었다. 도암호에서 *Cyclotella* 속, *Cymbella* 속과 *Nitzschia* 속에 속하는 규조류가 계속 관찰되었으며, 녹조류의 일종인 *Closterium* 속이 확인되었다. 남조류의 경우 일반적으로 초여름부터 시작해서 초가을까지 출현하는 것으로 알려져 있는 것처럼 (Sommer et al., 1986), *Microcystis* 속에 속하는 종이 7월 중순부터 9월 중순까지 우점하였다. 발생 최성기인 8월 중순 경에는 도암호의 물이 진한 초록색으로 변하는 것이 관찰되었으며, 호 안의 물과 물체가 닿을 경우 물감이 퍼지는 현상이 관찰되었다. 김 등 (1995)은 도암호에서 우기에 유입된 인과 탁류 등으로 인해 9월 이후 *Staurastrum* sp에 의해 녹조현상을 보고 한 바 있다. 주로 부영양화된 호소에서 대량으로 발생하는 *Microcystis viridis*의 경우 간장독인 microcystin을 생산하여 인축에 피해를 주는 것으로 알려져 있다 (Park et al., 2005). 하지만, 본 조사에서는 속 수준으로 동정함에 따라 도암호에 발생한 종을 *Microcystis viridis*로 판정할 수 없었기에, 향후 보다 체계적인 연구가 필요하다. 도암호와 용평천을 제외한 다른 3개 하천에서는 조사기간 동안 식물플랑크톤의 발생량이 200 cell ml⁻¹ 미만으로 높지 않았으나, 도암호의 경우 6월에 1.9×10³ cell ml⁻¹을 나타냈으며 발생 최성기인 8월 중순

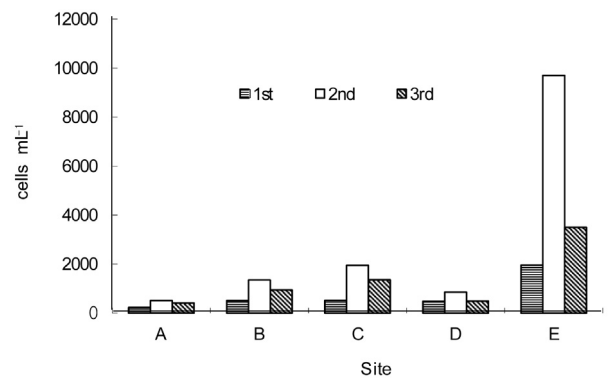


Fig. 4. Phytoplankton density in investigated sites. (Site A: Song Stream, B: Yongsan Stream, C: Yongpyeong Stream, D: Chahang Stream, E: Lake Doam *investigated date : 8/14 (1st), 8/30 (2nd), 9/14 (3rd))

에는 9.7×10³ cell mL⁻¹의 밀도를 보여주었다. 용평천은 6월에 3×10² cell mL⁻¹ 정도의 밀도를 보였으나 8월에는 1.5×10³ cell mL⁻¹ 이상의 밀도를 보였다 (Fig. 5). 이런 발생 유형을 보인 이유는 5~6월에는 강수량이 적어서 하천으로 유입되는 영양염류의 양이 적었고, 7~8월에는 집중 강우에 의해 영양염류 및 유기물들이 각 하천으로 유입되어 최종 집수구역인 도암호로 모였기 때문으로 판단된다.

식물플랑크톤의 발생은 수온과 pH, 질소와 인의 비율 등의 환경요인에 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Sommer

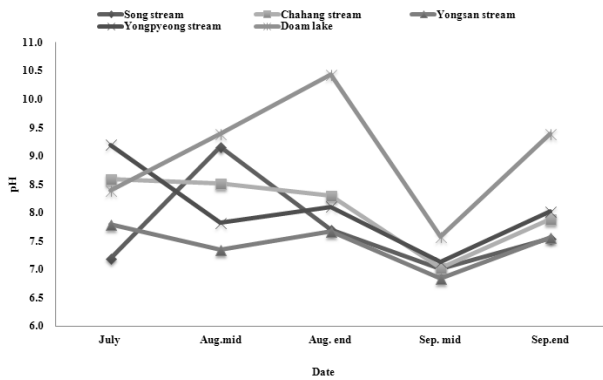


Fig. 5. Changes of pH at main streams and lake Doam.

et al., 1986; Shim, 2003). 온도조건에 따른 식물플랑크톤의 우점 정도를 보면, 온도가 10°C 이하일 경우 주로 규조류가, 10°C ~ 20°C 사이에는 규조류, 녹조류가, 20°C 이상인 경우 남조류가 주로 우점한다는 보고 (Park, 2004)와 유사하게 도암호의 경우에도 여름철 수온이 20°C가 넘을 때 남조류가 우점하는 경향을 보였다. 또한, N/P 율이 100 이하일 경우 남조류가 우점할 가능성이 높다는 보고 (Kim, 2004)에 따르면 용평천과 도암호의 경우 평균 N/P 율이 70 이하로 나타나 남조류가 번식할 수 있던 조건으로 판단되었다. pH 9가 넘는 경우에는 주로 호염기성인 남조류가 우점한다는 보고 (Park et al., 2005)처럼, 도암호에서 *Microcystis spp.*가 우점한 8월 중순에 pH가 10이 넘는 유사한 경향을 보였다 (Fig. 5).

이상과 같이 대관령 지역 주요 하천의 수질특성을 조사한 결과, 농경지에서 수계로의 토양 유실 및 영양물질의 유입을 저감하고 오염원의 퇴적을 차단시키는 효율적인 작물 재배, 토양관리 및 수질 관리 방안이 연구되어야 할 것으로 판단된다.

요 약

대관령 고랭지 농업지대 인근 주요 하천과 도암호의 수질의 이화학적 및 식물성플랑크톤의 발생 양상을 조사하여 남한강 상류 수계의 전반적인 수질특성을 파악하고자 하였다. 도암호의 화학적 산소 요구량 (COD)은 6.1 mg L⁻¹ 이고, 총 인 (Total phosphorous)의 함량은 0.26 으로 호소수 생활환경 기준 VI등급 보다 높았다. 부유물질은 평균 9.77 NTU로 호소수 생활기준 보다 높았다. 식물플랑크톤의 농도는 7월부터 9월까지 2.0×10³ cells mL⁻¹ 이상으로 확인되었는데 이는 여름철 고온과 강우에 의해 영양물질의 대량 유입으로 인해 남조류가 발생하였기 때문인 것으로 생각된다. 온타리오 퇴적물 기준과 비교해 보면, 도암호의 총 질소 및 총 인의 농도는 LEL과 SEL의 중간 정도 값을 보여 오염이

상당부분 진행되어 체계적인 관리로 오염원을 저감 및 차단할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것으로 생각된다.

인 용 문 헌

- APHA, AWWA, WEF. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. APHA, Washington.
- Hur, I.R., S.G. Park, K.Y. Choi., and U.H. Jeong. 1995. A study on the upstream water quality and distribution of pollution loading for song stream. J. Korean Soc. Water Qual. 11(3):175-181.
- Hur, I.R., G.S. Yong, G.H. Lee, K.Y. Choi, Y.J. Kim, U.H. Jeong, and M.S. Jeong. 2001. Water environment characteristics and efficient basin management of song stream. Korean J. Environ. Health Soc. 27(2):51-59.
- Jeong, Y.C. 1993. Illustration of the freshwater algae of Korea. Academy Publishing Company. 496pp.
- Kim, B.C., W.M. Hur, and G.S. Hwang. 1995. The eutrophication of lake Doam. Korean J. Limnol. 28(2):233-240.
- Kim, Y.J. 2004. Monthly variation of phytoplankton communities in the mid and lower parts of the Nakdong River. Algae. 19(4):329-337.
- Kim, K.J., J.S. Go, C.G. Lee, J.W. Kim, I.C. Shin, N.C. Baek, H. J. Song, and H. W. Noh. 2005. Water quality and sediment characteristics of Ganweol and Bunam lakes. J. CNIHE. 15: 51-71.
- Lee, E.J. and K.S. Cho. 1994. Yearly variation of phytoplankton in Lake Soyang. Korean J. Limnol. 27(1):9-22.
- Lee, E.J., K.S. Cho, and B.C. Kim. 1994. Monthly variation of plankton community in Lake Soyang. Korean J. Limnol. 27(4):349-356.
- Lee, J.H. 2004. The water quality and the phytoplankton communities in the Dong River of Kangwon Province, Korea. Algae. 19(3):217-226.
- NIAST. 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIHA. 2004. Experimental research report. National Institute of Highland agriculture. Pyeongchang. Korea. p. 310-328.
- O'Conner, D.J. and W.E. Dobbins. 1958. Mechanism of reaeration in natural streams. Transaction Am. Soc. Civil Eng. 123:641-666.
- Park, C. S. 2002. Soil management practices to reduce water erosion from the sloped farmland in highland. Ph. D. Tesiss. Kangwon National University. Chuncheon. Korea.
- Park, H.Y. 2004. Phytoplankton of Lake Paldang. Han River Environment Research Center, 131pp.
- Park, H.Y., H.J. Lee, E.K. Kim, and D.I. Jung. 2005. Characteristics of algal abundant and statistical analysis of environment factors in Lake Paldang. J. Korean Soc. Water

- Qual. 21:584-594.
- Park, K. H., H. J. Yun, K. Y. Ryu, J. C. Yun, J. J. Lee, H. A. Hwang, K. D. Kim, and Y. I. Jin. 2011. The monitoring of agricultural environment in Daegwallyeong area. *Korea J. Soil. Sci. Fet.* 40:1027-1034.
- Park, S. K., S. S. Kim, and O. S. Ko. 2001. Determination of heavy metals for sediment proximated to water in lake(Ⅱ). *Anal. Sci. Technol.* 14(2):140-146.
- Persaud D, R. Jaagumagi, and A. Hayton. 1992. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. ISBN 0-7729-9248-7. Final Report. Ontario Ministry of the Environment, Rexdale, ON, Canada.
- Schoen, S. 1988. Cell counting. experimental phycology. A Laboratory Manual. Cambridge University Press, London.
- Seo. Y. C., E. Y. Jeon, and K. D. Kim 2005. Determination of endocrine disruptors in the Song stream and the Namdaecheon stream. *J. Kor. Soci. Environ. Analy.* 8:91-94.
- Shim, J.H. 2003. The ecology of plankton. The publishing department, SNU. Seoul. 382pp.
- Shin, J.K. and K.J. Cho. 2001. Water environment and freshwater algae in the upstream of the Tamjin River Dam. *Korean Soc. Environ. Impact Assess.* 10(2):109-121.
- Shin, Y.G. 2004. Comparison of water quality between forested and agricultural subcatchments in Daegwallyeong Area. *J. Korean Geog. Soc.* 45(6):691-697.
- Sommer, U., Z. M. Gliwicz, W. Lampert and A. Duncan. 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh water. *Arch. Hydrobiol.* 106:433-471.
- Sournia, A. 1978. Phytoplankton manual. Unesco. Paris. 337pp.
- The Ministry of Environment. 2000. The test methods of pollutions process in water quality. M.E., Korea.
- Wetzel, R.G. and G.E. Likens. 1991. Limnological analyses. 2nd eds. Springer-Verlag, New York, 432pp.