Distribution of Nitrogen and Phosphorus in Arable and Forest Stand along the Boundary of Upstream Daechung Reservoir

Il Whan Seo^{1†}, Chul Soon Lim^{1†}, Hyun Gyu Jung², Dong Sung Lee³, Se Won Min⁴, Kyo Suk Lee^{5*}, and Doug Y. Chung^{6*}

¹Doctoral Student, Dept. of Bio-environmental Chemistry, Collage of Agriculture and Life Sci. Chungnam National Univ., Daejeon 34134, Korea

²Adjunct Professor, Dept. of Bio-environmental Chemistry, Collage of Agriculture and Life Sci. Chungnam National Univ., Daejeon 34134, Korea

³Manager, National Agricultural Cooperative Federation, Seoul 04517, Korea

⁴Undergraduate student, Dept. of Bio-environmental Chemistry, Collage of Agriculture and Life Sci. Chungnam National Univ., Daejeon 34134, Korea

⁵Reserch Professor, Dept. of Bio-environmental Chemistry, Collage of Agriculture and Life Sci. Chungnam National Univ., Daejeon 34134, Korea

⁶Professor, Dept. of Bio-environmental Chemistry, Collage of Agriculture and Life Sci. Chungnam National Univ., Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: kyosuk@cnu.ac.kr, dychung@cnu.ac.kr

[†]This author contributed equally to this works.

ABSTRACT

Received: July 14, 2020

Revised: August 21, 2020

Accepted: August 25, 2020

ORCID

Il Whan Seo

<https://orcid.org/0000-0003-0527-5938>

Chul Soon Lim

<https://orcid.org/0000-0003-2271-2204>

Dong Sung Lee

<https://orcid.org/0000-0003-2234-6996>

Kyo Suk Lee

<https://orcid.org/0000-0002-8668-5500>

Doug Y. Chung

<https://orcid.org/0000-0001-7948-1297>

This investigation was conducted to provide the control methods of N and P by observing the distribution of nitrogen and phosphorus in arable and forest stands along the boundary of upstream Daechung Reservoir in which water quality properties caused by N and P from land uses was not extensively studied. To do this, we selected three different soil zone such as arable (paddy and upland), orchard, and forest stands including pine and larch of which inputs of N and P have been known to be different due to their foliage properties. Soil samples were collected from surface and subsurface to measure soil physical and chemical properties. The results showed that the soil textures of investigation sites are loamy sand and sandy loam and the stone ratio of both forest stand are approximately 38.7%. The organic matter content in both forest stands was above 5.6% while that of the paddy and upland are less than 3%. Soil pHs are strongly acidic except for orchard of which it is above 5.7 but less than 6.64. However, pHs of all the sites slightly increased from May to October. The amount of NO_3^- and NH_4^+ as water soluble phase is less than that of exchangeable phase in paddy while that of NO_3^- and NH_4^+ as exchangeable phase is greater than that of water soluble phase in upland and the forest stands of pine and larch. For the proportions of phosphorus remained as water soluble- and exchangeable phase depending on the total P, the proportion of water soluble in paddy and pine stand was greater than 10% while those of exchangeable P are less than 10% in upland, orchard, and larch stands. From these results based on the amount and the proportion of N and P in soil, we could assume that N and P from the both pine and larch stands may contribute the deterioration of water quality of Daechung Reservoir.

Keywords: Nitrogen and Phosphorus, Paddy, Upland, Pine and larch stand

Comparison of chemical properties for different land uses in the investigation sites of Daechung reservoir.

Changes of T-N and ratio of A/B in top 20cm soil for various land uses along Daechung reservoir from May to October of 2019.

Introduction

국토의 약 64%가 산지로 구성되어 있는 우리나라에는 약 18,700개의 호소가 있으며 현재 국내 주요 호수의 대부분이 부영양화 수준에 도달하여 생활용수 및 농업용수의 확보 측면에서 호소의 중요성이 강조되고 있다 (Park and Chung, 2006; K water, 2013). 유역면적이 3,204 km²이고 총저수량은 약 14억 9천만톤인 대청호는 금강 중상류에 건설된 다목적 인공호수로서 대청호 상류유역의 연평균 총강수량의 약 68%에 해당하는 28억 m³이 대청호로 유입되어 충청권 지역에 연간 약 16억 m³의 생활·공업용수 및 관계수를 공급하고 있는 중요한 수자원으로 역할을 하고 있다 (Lim, 2007). 대청호 유역의 약 74% 정도가 임야로 구성된 대청호의 경우 1997년 조류예보제가 시행된 이후 1999년을 제외한 모든 연도에서 조류예보가 발령되고 있으며 특히, 부영양화 제어를 위해 요구되는 인의 삭감부하량이 매우 높아 현실적으로 관리가 이미 어려운 실정에 와 있다 (Sohn, 1996; Hwang et al., 2003; Cheon et al., 2006; Lee, 2007; Lee et al., 2009; Kim et al., 2012; K water, 2013).

대청호와 같은 호소의 부영양화는 인위적 및 자연적 부영양화 현상에 의해 부영양화속도가 가속화되며 특히 축산 폐수, 농경지나 산림과 같은 비점오염원으로부터의 부영양화에 미치는 영향도 매우 큰 것으로 보고되고 있다 (Lee, 2013). 비점오염원인 농경지나 산림에 존재하는 질소와 인은 지표면에서는 강우사상에 따라 유거의 형태로 호소로 이동되어 수질에 직접적인 영향을 미친다. 특히 농경지의 경우 논은 담수상태의 수용성 상태로 밭토양의 경우 토양침식에 따른 토양유실 시 토양 중에 존재하던 과다한 질소와 인이 호소로 유입되어 부영양화의 가속화 원인으로 작용하기도 한다 (Jung et al., 1989; Lee et al., 2000; Oh and Koh, 2003; Lee et al., 2006). 한편 농경지의 경우 담수 상태의 논은 강우 시 담수에 포함된 양분이 유출되어 수질 오염원으로 작용하기 때문에 담수된 논의 질소와 인의 농도는 논 수질오염 포텐셜의 지표로 활용된다 (Kim and Chung, 2010; Ham et al., 2013). Aber et al. (1990)가 발표한 자료에 따르면 농업 (농경지 포함)은 전체 인산이온 (P) 유출량의 각각 50% 이상을 차지하며 한편 산림은 약 7% 정도 인산이온 유출에 기여하는 것으로 보고하였다. 국내의 산림으로부터의 질소와 인의 호소 유입과 관련한 연구는 매우 미미하나 우리나라 산림지역 토양의 경우 A층 내의 T-N은 전국 평균 약 0.19% 정도이며 가용태 인산함량 (P₂O₅ 기준)은 약 25.6 ppm 정도인 것으로 보고되었다 (Chung and Lee, 2008). 그리고 낙엽송 임분의 경우 총질소는 0.06-0.42%, 가용성인 함량은 12-100 mg kg⁻¹ 정도로 조사되었다 (Kim et al., 2005; Park, 2008). Joo et al. (2007)이 발표한 자료에 따르면 논과 밭을 포함한 낙동강 산림유역으로부터 발생하는 총인 (T-P)과 총질소 (T-N)의 오염부하원단위는 각각 5,027 kg과 148,631 kg이며 이를 전체 유역면적 (431.99 km²)과 조사기간 (204일)으로 나눈 값으로 환산하여 보면 각각 0.06과 1.69 kg km⁻²이다. 또한 총인 (T-P)은 영농활동이 집중적으로 이루어지는 7월의 경우 하루 지역의 총인의 함량이 약 0.4 mg L⁻¹로 조류발생가능 수준 (0.05 mg L⁻¹)보다 8배 정도 높았으며, 이는 영농활동을 위하여 사용된 인산질 비료가 토양에 흡착되어 강우 시 토양유실과 함께 하천으로 이동되었기 기인한 것으로 판단하였다. 한편 Kim (2015)이 발표한 결과에 따르면 토지이용 특성 별 비점오염원 유출특성을 분석한 결과 논/밭 지역에서 유출되는 질소와 인의 유출량이 리조트 지역을 포함하는 산림지역에서의 유출량보다 매우 높은 것으로 조사되었다 (Kim et al., 2005). 그러므로 농업에서 기인되는 오염원의 관리방안과 오염 부하량의 저감대책 수립을 위해 농경지로부터 유출되는 질소와 인에 대한 연구가 필요하다. 특히 대청호와 같이 주변 유역의 대부분이 경사도가 높은 산지로 구성되어 있을 뿐만 아니라 상대적 분포비율은 낮으나 경사면에 위치하고 있어 강우 시 토양침식의 우려가 높은 대청호와 같은 경우 농경지와 산림으로부터 유입되는 질소와 인에 대한 적정 관리방법이 마련되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 대청호 상류 농경지 (밭, 논, 과수원 등)와 임야를 대상으로 농경지와 임야에 존재하는 질소와 인의 분포와 함량을 조사하여

대청호로 유입되는 질소와 인의 기여도를 조사하여 호소부영화의 비점오염원으로 작용하는 농경지와 산림으로부터 유입되는 질소와 인에 의한 부영양화를 저감하기 위한 방안을 마련하는데 근거자료로 활용하기 위하여 연구를 실시하였다.

Materials and Methods

조사지점 선정 연구는 2019년 4월 30일부터 5월 24일까지 현장 조사를 실시한 후 대전시 동구 오동부터 대덕구 황호동에 이르기까지 대청호 인접 수변지역 34 km 구간에 대하여 토지이용 특성에 따라 (DGIS, 2019) 농경지(논과 밭)는 경사지와 평지로 구분하여 각각 5개소, 과수원 2개소 (포도와 복숭아), 경사도를 기준한 지형 특성과 대표 수종을 중심으로 산림 임반 2개소 (소나무, 낙엽송), 그리고 산림이 대청호와 만나는 지점에 형성된 퇴적층 3개소를 선정하였다 (Fig. 1).

시료채취 분석방법 토양시료 채취는 각각의 조사 대상 필지 내에서 장방형 30 m 간격으로 조사지점을 선정한 후 원형 토양시료채취기 이용하여 표층 (0 - 20 cm)과 심층 (0 - 20 cm)으로 구분하여 조사지점별로 약 1 kg 정도의 토양시료 5개를 채취하였다. 그리고 강우사상에 따른 토양 내 질소와 인의 함량 변화를 조사하기 위하여 각각의 조사 지점에서 5월부터 10월까지 매월 25일 전후 표층과 심층에서 상기와 같은 방식으로 토양시료를 채취하여 실험실 내에

Fig. 1. Description of investigation area (A: Investigation sites and sampling points; B: Features of slope along the boundary of investigated Daechung reservoir; C: Distribution of tree species). Modified from DMC in 2019.

Table 1. Description of sampling sites and cropping system.

Land uses	No. of sampling plot	Remarks
Paddy	4	Rice single cropping, Conventional fertilization
Upland	4	Rotation cropping-Potato, Garlic, Hot pepper, Green onion, bare; Conventional fertilization
Orchard	2	Grape and Peach, Conventional fertilization
Forest	3	Pine, Larch, Mixed (Pine-larch)
Lake sediment	1	Sand top

Fig. 2. Soil sampling methods (left) and trenches installed on the slope of forest stand to collect rainfall through the experimental period.

서 풍건 후 2 mm 채를 통과한 시료를 Dry oven의 온도를 80°C로 조절한 후 72시간 건조하여 토양분석에 사용하였다 (Fig. 2). 한편 수질 내 질소와 인 함량을 조사하기 위하여 논 5개소와 대청호 모래톱 주변 5개소에서 2 liter 부피의 5개의 수질시료를 5월부터 매월 수질 시료를 채취하여 질소 (NO_3^- , NH_4^+)와 T-P를 조사하였으며 이와 별도로 각각의 조사지 논, 밭, 그리고 임반에 강우수집용 Acryl trench (가로 100 cm × 세로 150 cm)를 설치하여 월별로 채취한 강우 내 질소 (NO_3^- , NH_4^+)와 T-P를 조사하였다.

토양시료의 물리화학적 성분분석은 농촌진흥청 토양분석법과 Method of soils chemical analysis에 준하여 분석하였다. 특히 각각의 조사지점에 채취한 토양 내 질소와 인은 총 (Total N, Total P), 수용성-N (water soluble-N)과 치환성-N (exchangeable-N)으로 구분하여 T-N은 C/N 자동분석기로 (Flash2000, Thermo Fisher Scientific, Germany)로 측정하였으며, 수용성-N (Mobilized-N)은 건조한 토양 20 g을 채취하여 99% Ethyl alcohol 100 mL로 용출하여 용출수 내 NO_3^- 와 NH_4^+ 함량을 IC와 Kjeldal 법으로 그리고 치환성-N는 가용태-N에 사용하였던 토양을 Dry oven에서 72시간 건조한 후 100 ml 0.05 M oxalic acid로 용출하여 Kjeldal 법으로 분석하였다. 수용성과 치환성 상태의 총 질소 (Total-inorganic N)은 수용성과 치환성 상태의 NO_3^- 와 NH_4^+ 함량에 N 함유 비율 ($\text{NO}_3^- \times 0.258$, $\text{NH}_4^+ \times 0.7778$)을 곱하여 환산하였다. T-P는 Sulfuric-peroxide 분해법으로 수용성-P (water-soluble-P)은 건조한 토양 20 g에 증류수 100 mL로 용출하여 용출수 내 P 함량을 Ion Chromatography (Dionex 200i, USA)로 그리고 치환성-P는 수용성-P 추출에 사용하였던 토양을 Dry oven에서 72시간 건조한 후 Mehlich방법과 Oxalic acid 연속추출하여 UV-Spectrophotometer (UV-2450, Shimadzu, Japan)를 이용하여 720 nm에서 측정하였다. 그리고 토양 내 음이온과 양이온은 Ion chromatography (Dionex 200i, USA)와 ICP (Varian Vista- MPX)로 분석하였다. 통계 분석 자료의 통계분석은 SPSS를 이용한 분산분석으로 수행하였고, 95% 수준에서 Duncan's New Multiple Range Test로 유의성 정도를 분석하였다.

Results and Discussion

대전광역시 지역에 위치하는 대청호 유역은 동구 15개 동과 대덕구 6개동 총 21개 동이 인접되어 있으며 동구는 주원천이 대청호로 유입되고 있으며 대덕구는 용호천이 대청호로 유입되고 있다 (Fig. 1). 대청호 유역 주변의 지형 특성을 살펴보면 주변 산의 높이는 125 m에서 346 m (백골산)까지 분포하며 대청호에 인접한 상류 지역의 경사도는 5 - 10% 정도이나 중류 이상의 산지의 경사도는 대부분 40 - 60% 정도로 강우 시 임반에 떨어지는 강우는 빠른 속도로 대청호로 유입될 것으로 판단된다. 한편 경사도가 상대적으로 낮은 대청호 상류 지역에서 임반과 대청호와 만나는 지점에 호소퇴적층 (모래톱)이 발달되어 있다 (DMC, 2019). 대청호 유역 주변 토지피복도 현황을 살펴보면 조사 구간 대

Fig. 3. Daily, monthly and yearly precipitation in Daejeon district in 2019 (source : KMA, 2019).

청호 유역은 산림지역으로 형성돼 있으며 대청호 유역 주변 산림지역의 식생분포 특성을 살펴보면 (Fig. 1) 갈참나무가 가장 많이 자라고 있으며 이어 상수리, 일본 잎갈순으로 조사되었다 (DGIS, 2019).

2000년도 이후 대전지역의 연간 강수량은 2001년 최저 828.7 mm에서 2011년 최대 1943 mm였다. 한편 조사 기간인 2019년 년 총 강수량은 984 mm였으며 강수량은 7월 이후 급격히 증가하는 경향을 보였으며 일 최대 강수량은 10월 5일 82.5 mm로 전년도와 비교 시 매우 낮았다 (KMA, 2019). 그리고 장마기에 해당하는 6 - 8월 사이의 누적강수량은 381 mm로 년 강수량의 38.7%로 일반적인 장마기간에 강수가 집중되는 경향은 발생하지 않았다 (Fig. 3).

대청호 주변 담수상태의 논물, 농경지와 인접한 수계, 그리고 대청호 주변 산림에 설치한 Trench에서 채취한 강우에 포함된 질산과 NH_4^+ 이온, 그리고 인산이온함량을 조사하였다 (Table 6). 대청호 주변 논물의 이양시기는 5월 하순부터 시작되어 6월 10일 이전에 종료하였다. 논물의 경우 대부분 농촌진흥청이 추천한 맞춤형 비료를 사용하였으며 시비량은 토양검정 결과에 따라 기존의 추천 시비량의 약 80% 수준 (약 7 kg 정도) 시비를 실시한 것으로 조사되었다. 조사지역의 강우에 포함된 질소함량을 조사한 결과 NO_3^- 가 NH_4^+ 이온보다 많은 것으로 조사되었다. 조사 초기 논물에 존재하는 질소 중 질산이온 형태의 질소는 시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 보인 반면 암모늄태는 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 이는 Ham etc. (2013)이 발표한 자료에서 보듯이 논토양의 특성상 혐기적 토양조건에서 질산화가 억제되었고 생성된 NO_3^- 가 용탈 및 탈질 등에 의해 손실되었다가 논물의 배수가 시작되는 9월 중순 이후부터는 호기적 상태로 토양이 전환되어 NO_3^- 가 증가한 것으로 추정된다. 대청호 물의 경우 조사기간 동안 NO_3^- 가 이온의 농도는 최저 0.11 mg kg^{-1} 에서 최대 0.57 mg kg^{-1} 로 담수논물의 30% 이하이며 NH_4^+ 이온은 조사 기간 동안 0.05 mg kg^{-1} 이하로 조사되었다. 대부분 호소 내 질소는 주변 비점오염원으로부터 유입되는데 토양으로부터 호소로 유입되는 질소원의 대부분이 NO_3^- 로 유입되기 때문인 것으로 추정된다. 이러한 결과로부터 각각의 물에 존재하는 질소 형태 중 질산이온은 강우 > 논물 > 호소수 순이며 NH_4^+ 이온은 논물 > 강우 > 호소수 순으로 조사되었다. 한편 조사기간인 5월부터 10월까지의 수질 내 수용성 상태의 인함량은 논물 ($0.075 - 0.283 \text{ mg kg}^{-1}$), 강우 ($0.042 - 0.107 \text{ mg kg}^{-1}$), 호소수 ($0.011 - 0.041 \text{ mg kg}^{-1}$)로 논물과 강우에 포함된 인이 호소로 유입되면 호소수의 인 농도를 증가시킬 수 있는 요인으로 판단된다 (Table 2). 한편 Yoon et al. (2006)과 Choi et al. (2016)이 영산강과 섬진강 수계 논으로부터 배출되는 오염부하 특성조사 자료에 따르면 담수상태의 논물에 포함된 $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 $0.21 \pm 0.04 \text{ mg L}^{-1}$, T-P는 $1.25 \pm 0.22 \text{ mg L}^{-1}$ 였으며, $\text{PO}_4\text{-P}$ 와 T-P의 비율은 평균 0.30이었다. 강우 시와 비강우시 논으로부터 유출되는 $\text{PO}_4\text{-P}$ 농도와 $\text{PO}_4\text{-P/T-P}$ 는 비

숫하지만 T-P의 농도가 높은 이유는 강우 시 토양의 교란되면서 입자성 인이 함께 유출되었기 때문으로 판단된다고 추정하였다.

대청호 유역 주변 농경지 작물재배 현황을 조사한 결과 논은 단작으로 하절기만 벼를 재배하고 밭의 경우 봄 감자와 파를 재배 후 6월경 수확 후 윤작으로 두과류(콩 또는 땅콩)와 깨(참깨, 들깨) 등을 재배하거나 8월 하순경 김장용 배추가 밭 작물로 재배하고 있다. 그리고 일부 지역에서는 동절기 작목으로 마늘과 양파를 재배하고 있었다. 시비의 경우 벼, 콩, 참깨, 감자 등 6개 작물의 평균시비량은 표준시비량보다 다소 많은 양이 사용되고 있으며, 감자만 시비량이 표준시비량보다 다소 적게 사용되고 있는데 이는 퇴비를 사용하기 때문인 것으로 판단된다. 한편 과수원의 경우 사과, 배, 복숭아의 경우에는 시비량이 표준시비량보다 많고 단감의 경우는 시비량이 표준시비량보다 낮은 경향을 나타내었으며, 전체평균 단위면적당 농가 평균시비량은 10a당 17.1-10.3-16.0 kg (표준시비량 = 17.2-9.4-15.2 kg 10a⁻¹)이었고, 단감이 10a당 14.1-9.7-14.0 kg으로 표준시비량 (25.0-12.0-24.0 kg 10a⁻¹)보다 낮은 것으로 조사되었다.

조사지점의 토성을 조사한 결과 (Table 3) 논외의 경우 토성은 밭과 마찬가지로 사질양토 내지 양질사토로 모래함량은 42.7 - 53.3% (Average 47.5%)로 조사 대상지 중 가장 낮았으며 반면 점토함량은 14.2 - 18.8%로 가장 높았다. 그리고 토성 조사 전 조사한 최대 석령함량은 Forest stand로 약 48.8%이며 평균 석령함량은 Forest stand > Orchard > upland > Paddy 순으로 높은 모래와 석령함량으로 인하여 상대적 개별공극의 크기가 크고 한편 수분보유력도 낮은 것으로 판단된다. 조사지 토양의 평균 pH는 대청호와 인접한 모래톱을 제외하고는 논 (5.25), 밭 (5.89), 과수원 (5.76), 그리고 산림토양 (3.99)로 모두 산성으로 조사되었으며 산림토양의 경우 pH가 3.85 - 4.13로 논 (4.44 - 5.52)과 밭토

Table 2. Changes of N and P contents recovered from water collected from paddy, reservoir, and rainfall along Daechung reservoir from May to October of 2019.

Land use	Period	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	T-P
----- (mg kg ⁻¹) -----				
Rainfall	May	1.55def	0.22e	0.08e
	Jun	1.86bcd	0.17fg	0.09e
	Jul	1.89bc	0.21e	0.07ef
	Aug.	1.81bcd	0.19ef	0.09e
	Sep	1.85bcd	0.23e	0.09e
	Oct	2.01b	0.22e	0.06fg
Paddy	May	1.07g	0.68a	0.16b
	Jun	1.12g	0.67a	0.19a
	Jul	1.61cde	0.64ab	0.16b
	Aug.	2.79a	0.66a	0.20a
	Sep	2.16b	0.55c	0.13c
	Oct	2.25b	0.37d	0.10d
Reservoir	May	0.41h	< 0.05	0.02hl
	Jun	0.26h	< 0.05	0.02hl
	Jul	0.35h	< 0.05	0.03h
	Aug.	0.40h	< 0.05	0.03h
	Sep	0.29h	< 0.05	0.03h
	Oct	0.20h	< 0.05	0.02h

양 (5.79 - 6.51)의 pH보다 낮은 것으로 조사되었다. 그리고 표토의 평균 유기물함량은 논 (2.98%), 밭 (2.63%), 과수원 (4.14%), 모래톱 (1.42%), 그리고 산림토양 (5.68%)로 산림토양 표층의 유기물함량이 가장 높은 것으로 조사되었다. 표층토양 내 평균 T-N은 논 (84.5 mg kg^{-1}), 밭 (156 mg kg^{-1}), 과수원 (169 mg kg^{-1}), 모래톱 (6.20 mg kg^{-1}), 그리고 산림토양 (206 mg kg^{-1})이며 평균 T-P는 논 (142 mg kg^{-1}), 밭 (463 mg kg^{-1}), 과수원 (258 mg kg^{-1}), 모래톱 (4.20 mg kg^{-1}), 그리고 산림토양 (128 mg kg^{-1})으로 토양에 잔류하는 N은 산림토양이 가장 높았으며 P는 밭토양에서 가장 높은 것으로 조사되었다 (Fig. 4). 한편 심층 (20 - 40 cm)에 유기물, T-N, 그리고 T-P의 평균함량은 조사지 대부분의 표층의 50% 이하인 것으로 조사되었다. 총질소와 인의 경우 2018년 기준 전국 논토양과 밭토양 내에 잔류하는 평균 유효 인산함량인 131 mg kg^{-1} 과 657 mg kg^{-1} 보다 낮으며 농촌진흥청이 제시하고 있는 논토양과 밭토양의 N과 P의 적정 범위인 $80\text{--}120 \text{ mg kg}^{-1}$ 과 $350\text{--}450 \text{ mg kg}^{-1}$ 에 있다. 이와 같이 조사지 논과 밭토양에 잔류하는 인의 함량이 전국 논토양과 밭토양에 잔류하는 인 함량보다 낮은 것은 조사지 토양 내 점토함량이 전국 일반 농경지보다 매우 낮은 것에 기인한 것으로 추정된다.

상기에서 살펴 본 바와 같이 대청호 주변 농경지 표층토와 산림지역의 토성은 모래함량이 높은 사질 또는 양질사토로 모래함량이 높아 토양 내 양이온 성분들이 쉽게 용탈되어 지표면으로 유출되거나 지하수로 용탈이 가속화 될 수 있다. 특히 질소질 이온은 양이온인 암모늄태나 음이온의 형태인 질산태 질소로 토양에 존재하며 토양의 pH 조건에 따라 이온의 동태가 결정된다. 상기에서 조사된 바와 같이 대부분의 토양 pH가 약산성 또는 강산성을 띠고 있어 양이온 교환능이 감소되어 양이온인 암모늄태이온은 흡착량이 감소되어 용탈되며 음이온인 질산태이온은 비특정흡착 형태로 토양으로 유입되는 수분에 의해 쉽게 탈착된다. 반면 인산이온의 경우 토양 pH가 낮아짐에 따라 흡착량은 증가할 뿐만 아니라 낮은 토양 pH에 의해 수용성 상태로 존재한 2가 이상의 양이온과 반응하여 침전물로 토양에 잔류하는 양이 증가한다.

Table 3. Physical and chemical properties of soils and forest litters for paddy, upland, forest stand, and lake basin in the investigation sites of Daechung reservoir (May 18, 2019).

Land uses	Class	Depth	pH	OM	T-N	T-P	Soil particle distribution			Stone ratio
							Sand	Silt	Clay	
		(cm)	(1:5)	(%)	---- (mg kg ⁻¹) ----		----- (%) -----			
Paddy		0 - 20	5.25e	2.98d	84.5e	142c	47.5f	22.83a	15.7a	7.35h
		20 - 40	4.73f	1.23f	22.8g	58.9d	49.4e	23.5a	11.1b	8.52h
Upland		0 - 20	5.89b	2.63d	156b	463a	73.3c	21.4ab	11.6b	15.1g
		20 - 40	5.89bc	2.05de	86.4e	26.9d	72.1c	19.9cd	8.01de	19.4f
Orchard		0 - 20	5.76bc	4.14c	119c	258b	80.1a	14.5gh	11.1bc	27.1d
		20 - 40	5.91b	2.78d	84.2e	75.2c	72.5c	16.3fg	9.83cd	25.6d
Forest	Pine	0 - 20	3.99j	5.68b	184a	128c	75.9b	17.4ef	6.77fg	37.6ab
		20 - 40	4.21i	4.29c	75.3ef	54.9d	70.1d	19.5cd	10.8b	39.1a
	Larch	0 - 20	4.40h	5.68b	170b	274b	76.1b	17.9de	6.77f	37.6c
		20 - 40	4.61g	4.28c	106d	104c	72.3c	20.3bc	10.8b	39.1a
Lake basin		0 - 20	6.23a	0.74f	6.14g	4.24de	4.98g	3.07j	4.48h	30.6c
		20 - 40	6.34a	0.43fg	2.29h	1.55de	2.81h	5.93i	8.03f	23.1e
Forest litter			5.58d	93.5a	8200a	900a	-	-	-	-
			5.66d	93.8a	6800b	600b	-	-	-	-

2019년 5월부터 10월까지 조사지 표층 토양 내 평균 유기물함량 변화를 조사한 결과 7월까지 점진적으로 감소하다 8월 이후 유기물함량이 증가한 대청호 모래톱을 제외한 모든 토양에서 유기물함량은 점진적으로 감소하는 경향을 보였다 (Table 4). 감소량은 논 (0.42%), 밭 (0.25%), 과수원 (0.97%), 소나무 임반 (0.59%), 갈참나무 등의 낙엽송 임반 (0.24%) 정도이며 과수원 토양에서 유기물 감소량이 가장 큰 것으로 조사되었다. 한편 소나무임반의 평균 유기물함량 감소비율은 조사기간 동안 5.68%에서 5.09%로 약 0.59%가 감소한 반면 갈참나무가 주인 낙엽송임반의 유기물감소비율은 4.28%에서 4.04%로 약 0.24%가 감소하여 소나무임반이 낙엽송임반보다 유기물감소비율이 높은 것으로 조사되었다 (Fig. 5). 이는 Table 4에서 보는 바와 같이 소나무임반 내 유기물 중 질소함량이 낙엽송임반의 질소함량보다 높기 때문인 것으로 추정된다. 그리고 대청호 모래톱에서의 유기물함량 증가는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 2019

Fig. 4. Comparison of chemical properties for different land uses in the investigation sites of Daechung reservoir.

Table 4. Changes of pH and organic matter content in top 20cm for various land uses along the investigation sites of Daechung reservoir.

Land use	Category	Period					$\Delta(\text{Oct.- May})$	
		May	June	July	Sept.	Oct.		
Paddy	pH	5.25d	5.62d	5.99b	6.23b	6.49b		
	OM (%)	2.98d	2.82d	2.78c	2.65c	2.56c	-0.42	
Upland	pH	5.89b	5.84b	5.88b	5.89c	5.82c		
	OM (%)	2.83d	2.69d	2.63c	2.54c	2.58c	-0.25	
Orchard	pH	5.86c	5.79c	5.72bc	5.74d	5.62d		
	OM (%)	4.64b	4.42b	4.09b	3.88b	3.67b	-0.97	
Forest	Pine	pH	3.99f	4.64f	4.88e	5.01f	5.16f	
		OM (%)	5.68a	5.34a	5.22a	5.12a	5.09a	-0.59
	Larch	pH	4.69e	5.35e	5.49d	5.51e	5.56e	
		OM (%)	4.28c	4.22c	4.13b	4.03b	4.04b	-0.24
Lake basin	pH	6.23a	6.26a	6.46a	6.43a	6.52a		
	OM (%)	1.42e	1.37e	1.27d	1.42d	1.45d	+0.03

Fig. 5. Changes of average organic matter content in top 20 cm for various land uses along the investigation sites of Daechung reservoir from May to October of 2019.

년도 대청호 지역의 총강수량은 984 mm로 전년도와 비교 시 매우 낮았으며 또한 강수량은 7월 하순 이후 증가하였고 일 최대 강수량도 10월 5일 82.5 mm 발생한 것으로 미루어 7월 이후 모래톱 내 유기물함량 증가는 강수량 특성에 기인한 것으로 판단된다 (Fig. 5).

토양에 존재하는 질산이온 (NO_3^-)과 암모늄이온 (NH_4^+)은 농경지에 시비 또는 토양개량제로 투입되는 요소, 복합비료, 퇴비 및 유박과 같은 농자재에 아민기 ($-\text{NH}_2$) 형태로 존재하는 질소성분의 전환율에 따라 토양 내 존재 형태나 함량이 달라진다. 또한 음이온인 NO_3^- 과 양이온인 NH_4^+ 의 토양 내 잔류특성은 토양산도 따른 토양입자와 유기물의 표면전하에 의해 결정된다. 2019년 5월부터 10월까지 각각의 조사대상 토양 표층에 존재하는 수용성 (water soluble or solution phase)과 토양입자 또는 유기물에 흡착된 상태로 존재하는 치환성 (exchangeable) 형태의 질산이온 (NO_3^-)과 암모늄이온 (NH_4^+), 유기태 질소 (organo-N), 그리고 총질소 (Total N)의 변화를 조사한 결과 (Table 5), 토양산도가 산성에 속하며 환원상태인 논과 중성에 가까우나 대공극이 많아 통기성이 양호한 과수원 토양의 경우 수용성 NO_3^- 와 NH_4^+ 의 함량이 치환성 보다 낮았으나 밭과 소나무와 낙엽송임분 토양 내 수용성 NO_3^- 와 NH_4^+ 의 함량은 치환성 보다 높은 것으로 조사되었다. 논과 밭에서 NH_4^+ 은 수용성이 치환성보다 낮은 것으로 조사되었다. 이는 조사지 토양의 산도가 Table 2에서 보는 바와 같이 산성을 띠고 있어 음이온인 질산이온 (NO_3^-)은 토양입자나 유기물 표면에 흡착되어 존재하고 양이온인 암모늄 (NH_4^+)은 토양입자나 유기물 표면에 흡착되지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 유기태형태로 존재하는 질소는 시간이 지남에 따라 점진적으로 감소하는 경향을 보였으나 유기태 질소량의 감소에 따른 질산이온 (NO_3^-)이나 암모늄이온 (NH_4^+)의 함량 변화간에는 상관성이 낮은 것으로 조사되었다. 이는 감소된 유기태질소는 가스 형태인 암모니아부터 암모늄이온, 그리고 질산태이온으로 전환되나 각각의 전환된 이온의 흡착 또는 용탈 등에 의하여 지하로 이동되었기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 무기태인 NO_3^- 과 NH_4^+ 의 함량과 유기태 질소함량간의 분포비율을 조사한 결과 시간이 지남에 따라 유기태 질소의 함량이 증가하는 것으로 조사되었으며 논과 밭토양에서의 유기태질소함량은 무기태질소함량의 약 211%와 134.8%로 조사되었다 (Fig. 6). 이와 논토양에서 유기태질소함량이 시간이 지남에 따라 급격히 증가하는 것은 논토양의 담수기간에 따른 토양의 환원상태 지속

과 유기물의 분해가 낮은 것에 기인한다고 추정되며 반면 산림토양 내 T-N 함량은 논, 밭, 과수원과 비교 시 매우 빠른 속도로 감소하였으나 무기태와 유기태 질소함량간은 대부분 20% 이하로 무기화된 질소원이 자체 토양에 잔류하지 않고 강우 시 소나무와 낙엽송임반으로부터 이동되었기 때문인 것으로 추정한다.

인을 함유하는 유기물이나 비료 구성 요소로 토양에 유입된 음이온인 인산이온은 수용성, 치환성, 유기태-인(P)로 존재하며 이온화된 인산이온은 토양용액 내에서 2가 이상의 양이온과 결합하여 침전되거나 토양입자나 유기물 등에 특정흡착을 하여 불용화된다. Kim et al. (2016)이 발표한 자료에 따르면 밭토양의 인 최대 흡착량은 pH 4.4 - 4.5이고 점토함량이 11, 23, 37%일 때 토양의 인산 최대 흡착량은 각각 217, 909, 1,250 mg P kg⁻¹이었고, pH가 8.0 - 8.2이고 점토함량이 4, 22, 46%일 때 토양의 인산 최대 흡착량은 139, 769, 1,429 mg P kg⁻¹으로 토양 내 인 잔류량은 점토함량

Table 5. Changes of water-soluble and exchangeable N contents in top 20cm soil for various land uses along Daechung reservoir from May to October of 2019.

Land use	Period	NO ₃ ⁻		NH ₄ ⁺		Total (Inorg-N)			R-N [¶] (B)	T-N [§]	A/B [§]
		WS [†]	EX [‡]	WS	EX	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	T-N(A) [§]			
----- (mg kg ⁻¹) -----											
Paddy	May	17.3l	34.1de	4.03m	5.82h	21.3k	39.9h	35.9e	48.6j	84.5k	73.8
	Jun	19.2h	29.7g	4.41l	5.04l	23.6j	34.7l	32.4f	42.2l	74.6l	76.9
	Jul	21.8h	27.9h	5.05j	4.79j	26.8h	32.6k	31.5f	33.7n	65.2m	95.7
	Sep	16.3l	33.6de	3.76n	5.71h	20.0l	39.3h	35.2e	20.1o	55.3n	174.6
	Oct	19.6h	28.4h	4.51k	4.82j	24.1l	33.2j	31.4fg	14.8p	46.2o	211.2
Upland	May	61.3c	60.4a	14.1a	15.4e	75.4c	75.8a	76.2a	79.8g	156.0c	95.5
	Jun	71.8a	52.8b	12.1b	16.4d	83.9a	69.2b	73.0a	56.4l	129.4e	129.4
	Jul	66.4b	41.7c	9.84c	20.4c	76.2b	62.1c	65.7b	54.3l	120.0f	121.1
	Sep	58.2d	34.9d	8.76d	21.4a	67.0d	56.3d	59.1c	44.1k	103.2h	134.0
	Oct	45.4e	30.6f	6.69f	20.9b	52.1e	51.5e	52.0d	38.5m	90.5j	134.8
Orchard	May	3.51kl	36.2d	6.49g	6.21f	9.9n	42.4f	35.2e	83.8f	119.0f	42.0
	Jun	6.63k	35.4d	7.62e	6.02g	14.2m	41.4g	35.5e	63.4h	98.9l	55.9
	Jul	4.37k	28.1h	9.96c	4.85j	14.3m	32.9j	28.8h	54.6l	83.4k	52.8
	Sep	9.61j	22.4l	12.1b	3.83k	21.7k	26.2l	25.3j	40.9l	66.2m	62.0
	Oct	5.95k	18.4k	1.42o	3.11m	7.32o	21.5n	18.4m	34.6n	53.0n	59.8
Forest	May	27.6g	20.1j	6.35h	3.42l	33.9g	23.5m	26.0l	158.1a	184.1a	16.5
	Jun	28.5f	17.5k	6.56g	2.98n	35.1f	20.5o	23.9k	142.3b	166.2b	16.8
	Jul	25.4g	14.6l	5.20l	2.48o	30.6p	17.1p	20.3l	137.9c	158.2c	14.7
	Sep	20.6g	12.2k	5.84l	2.07o	26.4h	14.3p	17.1n	125.7d	142.8d	13.6
	Oct	18.7g	11.4kl	4.74k	1.94p	23.4l	13.3q	15.7o	97.0e	112.7g	16.2
	May	27.6e	18.9g	6.33g	5.54f	33.9k	24.4h	26.8g	143.4b	170.2b	18.7
	Jun	28.5ef	17.5hl	6.61g	3.06l	35.1f	20.6kl	24.0l	126.6e	150.6e	19.0
	Jul	35.8d	16.2hl	5.26j	4.17l	41.1d	20.4k	25.2h	118.2f	143.4f	21.3
	Sep	25.4e	14.2j	5.83h	4.92g	31.2c	19.1lm	22.0j	107.4g	129.4h	20.5
	Oct	20.6g	12.7k	4.35l	4.55h	25.0g	17.3o	19.1k	83.0l	102.1k	23.4

[†] water-soluble, [‡] exchangeable, [§] T-N(A) : Sum of NO₃⁻ N × 0.2258 + NH₄⁺ × 0.7778), [¶] R-N : Residual-N, [§] T-N : T-N(A) + R-N, [§] A/B : T-N(A)/R-N

과 토양 pH의 영향을 받는 것으로 조사되었다. 토양에 잔류하는 인의 분포와 함량을 조사한 결과 조사지 모두에서 시간이 지남에 따라 수용성 (water soluble)인 함량의 감소비율 (ΔS)은 논토양 > 밭토양 > 소나무임반 > 낙엽송임반 > 과수원 순이었으나 치환성 (ΔS)와 총인 (ΔTP)의 함량은 지속적으로 감소하는 경향을 보였으며 T-P와 E-P의 감소율은 논토양 > 소나무임반 > 낙엽송임반 > 밭토양 > 과수원 순이었다 (Table 6).

한편 토양에 존재하는 총인 (T-P) 함량에 따른 상대적 치환성 (EP)과 수용성 (SP)이온의 기간별 분배비율을 조사한 결과 (Fig. 7), 논과 소나무임반토양에서 수용성 (SP)이온의 분배비율이 10% 이상이었으나 밭토양, 과수원 그리고 낙엽송 임반에서는 10% 이하로 조사되었다. 이는 Chung and Kim (2010)과 Schneider (2011)에 연구결과에서 보듯이

Fig. 6. Changes of T-N and ratio of A/B in top 20 cm soil for various land uses along Daechung reservoir from May to October of 2019.

Table 6. Distribution of P contents of water-soluble and exchangeable phase in soil for various land uses along the investigation site of Daechung reservoir.

Period	Paddy			Upland			Orchard			Forest-Pine			Forest-Larch		
	S [†]	E [‡]	T [§]	S	E	T	S	E	T	S	E	T	S	E	T
May	23.9a	125.1d	149c	17.6b	470a	488a	10.9d	255b	266b	17.9b	110e	128d	15.8c	241c	257b
Jun	20.1a	81.9c	102d	15.7b	433a	449a	9.24d	239b	248b	15.8b	90.2c	106d	13.9c	216b	234c
Jul	14.7a	72.1d	86.8d	13.4b	404a	417a	8.29d	229b	237b	12.9b	75.3d	88.2d	11.4c	194c	211c
Sep	12.4a	63.0d	75.4d	11.4b	369a	380a	7.70d	202b	210b	11.4b	68.2d	79.6d	10.9c	176c	195c
Oct	11.9a	60.5e	72.4e	8.91d	343a	352a	6.81e	190b	197b	9.95b	62.5d	72.5d	9.81c	158c	178c
ΔS (%)	50.2			49.4			37.5			44.4			37.9		
ΔE (%)		51.6			27.0			25.4			43.2			34.4	
ΔTP (%)			47.4			26.1			24.6			35.6			30.7

[†]S: water soluble (solution phase), [‡]E: exchangeable, [§]T: Total P (sum of S and E)

ΔS (%) = {[amount of P in E (May) - amount of P in E (Oct.)]/amount of P in (May)}*100

ΔE (%) = {[amount of P in E (May) - amount of P in E (Oct.)]/amount of P in (May)}*100

ΔTP (%) = {[amount of P in T (May) - amount of P in T (Oct.)]/amount of P in (May)}*100

Fig. 7. Proportion of P contents of water-soluble and exchangeable phase in soil for various land uses along the investigation site of Daechung reservoir.

담수상태하의 토양은 환원상태로 전환되어 치환성 상태의 인산이온이 토양용액 속으로 용출되어 상대적으로 수용성 상태의 인산이온의 함량은 증가하는 것처럼 논토양의 경우 담수기간 중 토양은 환원상태로 유지되기 때문에 실제 토양에 잔류하는 총인의 양은 작을지라도 수용성 상태로 존재하는 인산이온의 비율은 높았으며 소나무 임반에서 토양 내 인산이온의 함량이 높은 것은 조사된 토양 중 표층과 표층 위에 있는 유기물 층으로부터 분해된 인산이온이 지속적으로 토양으로 유입되기 때문인 것으로 추정된다 (Schneider, 2011).

Conclusion

조사지점의 논과 밭의 토성은 사질양토 내지 양질사토이며 산림토양은 양질사토 또는 사토로 석령함량은 산림토양과 과수원이 각각 약 38.4%와 26.3% 정도로 높은 모래와 석령함량으로 인하여 상대적 개별공극의 크기가 커 강우시 용탈에 의해 질소와 인 같은 물질의 손실이 클 것으로 판단된다. 조사지 논, 밭, 과수원, 그리고 산림토양의 평균 pH는 모두 산성으로 음전하를 띠고 있는 치환성으로 존재하는 질산태질소와 인은 증가될 수 있다. 산성이며 환원상태인 논과 중성에 가까우나 대공극이 많아 통기성이 양호한 과수원 토양의 경우 수용성 NO_3^- 와 NH_4^+ 의 함량이 치환성보다 낮았으나 밭과 소나무와 낙엽송임반 토양 내 수용성 NO_3^- 와 NH_4^+ 의 함량은 치환성보다 높으며 논과 밭에서 NH_4^+ 은 수용성이 치환성보다 낮은 것으로 조사되었다. 토양에 잔류하는 인의 분포와 함량을 조사한 결과 조사지 모두에서 시간이 지남에 따라 수용성 인 함량의 감소비율은 논토양 > 밭토양 > 소나무임반 > 낙엽송임반 > 과수원 순이었으나 치환성과 총인의 함량은 지속적으로 감소하는 경향을 보였으며 T-P와 E-P의 감소율은 논토양 > 소나무임반 > 낙엽송임반 > 밭토양 > 과수원 순이었다. 혐기적 토양조건인 논토양의 특성상 논물에 존재하는 질산성 질소는 시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 보인 반면 암모니움태는 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 이상에서 살펴본 바와 같이 대청호 주변 유역의 농경지와 산림토양의 낮은 점토함량과 높은 석령함량에 의한 대공극에 의해 토양 내 존재하는 질소와 인의 용탈이 증가할 것으로 판단된다. 따라서 농경지나 산림으로부터의 질소와 인의 유입을 감소시키기 위하여

석회처리 등을 통하여 토양 pH를 높여야 할것으로 판단하고 특히 논외의 경우 시간이 경과함에 따라 토양과 담수 내에 질산성 질소이온은 대공극을 통해 용탈량이 증가할 것을 판단된다. 따라서 용탈에 의한 질소와 인의 호소 유입을 저감하기 위한 농경지와 산림토양의 토양물리성 개선 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단한다.

References

- Aber, J.D., J.M. Melillo, and C.A. McClaugherty. 1990. Predicting long-term patterns of mass loss, nitrogen dynamics, and soil organic matter formation from initial fine litter chemistry in temperate forest ecosystems. *Can. J. Bot.* 68:2201-2208.
- Cheon, S.U., J.A. Lee, J.J. Lee, Y.B. Yoo, K.C. Bang, and Y.J. Lee. 2006. Relationship among inflow volume, water quality and algal growth in the Daechung Lake. *Korean J. on Water Quality.* 22:342-349.
- Choi, D.H., K.S. Yoon, W.J. Choi, and S.H. Yoo. 2016. Estimation of pollutant unit load of paddy fields with and without a rainfall factor. *Irrig. And Drain.* 65:112-120.
- Chung, J.B. and B.H. Kim. 2010. Effect of Nitrification Inhibition on Soil Phosphate Release and Nutrient Absorption and Growth of Rice Plant. *Korean J. Environ. Agric.* 29(4):336-342.
- Chung, J.B. and Y.J. Lee. 2008. Comparison of soil nutrient status in conventional and organic apple farm. *Korean J. Soil Sci. and Fert.* 41:26-33.
- DGIS. 2019. Map of Daejeon geographycal features and natural conditions. <http://map.daejeon.go.kr/>. (Assessed in June 22, 2020).
- DMC (Daejeon Metropolitan City). 2019. Statistics in Daejeon. <https://www.daejeon.go.kr/dre/DreContentsHtmlView.do?menuSeq=2733> (Assessed in April 22, 2020).
- Ham, J.H., S.S. Lim, K.S. Lee, B.J. Jeon, S.I. Lee, K.S. Yoon, H.Y. Kim, and W.J. Choi. 2013. Concentration of nitrogen and phosphorus in ponding water and paddy rice (*Oryza sativa* L.) growth as affected by application rate and split ratio of fermented liquid pig manure. *Proceeding of Korean Soil Sci. and Fert.* Fall of 2013:190-192.
- Hwang, S.J., S.K. Kwun, and Yoon, C.G. 2003. Water quality and limnology of Korean reservoirs. *Paddy and Water Enviro.* 43:52-55.
- Joo, J.H., Y.S. Jung, J.E. Yang, Y.S. Ok, S.G. Oh, K.Y. Yoo, and S.C. Yang. 2007. Assessment of Pollutant Loads from Alpine Agricultural Practices in Nakdong River Basin. *Korean J. Enviro. Agri.* 26:233-238.
- Jung, P.K., M.H. Koh, and K.T. Um. 1989. Evaluation of soil erosion management practices on sloped farm land. *Res. Rept. RDA. Korean Soil Sci. and Fert.* 32:31-37.
- K water. 2013. Report on management of water qaulity of Daechung Lake. <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201800000560> (Assessed in May 25, 2020).
- Kim, B.H. and J.B. Chung. 2010. Effect of nitrate in irrigation water on iron reduction and phosphate release in anoxic paddy soil condition. *Korean. J. Soil Sci. and Fert.* 43:68-74.
- Kim, C.S., K.S. Koo, and J.K. Byun. 2005. Litterfall and Nutrient Dynamics in Pine (*Pinus rigida*) and Larch (*Larix leptolepis*) Plantations. *J. Korean For. Soc.* 94:302-306.
- Kim, G.H., J.H. Lee, and K.G. An. 2012. Spatio-temporal fluctuations with influence of inflowing tributary streams on water quality in Daechung Reservoir. *Korean J. Limnology.* 45:158-173.
- Kim, M.K. 2015 Characteristics of agricultural non-point source pollution discharge and development of its integrated management practice. Annual project report by NAAS.
- Kim, M.S., S.J. Park, C.H. Lee, B.G. Ko, Y.H. Kim, and J.E. Yang. 2016. Assessment of critical concentration of phosphorus adsorption-precipitation of soil. *Korean J. Soil Sci. and Fert.* 49:789-794.

- KMA. 2019. <https://www.weather.go.kr/weather/observation/currentweather.jsp> (Assessed in May 22, 2020).
- Lee, B.K., S.H. Hong, and D.S. Lee. 2000. Chemical composition of precipitation and wet deposition of major ions on the Korean peninsula. *Atmospheric Enviro.* 34:563-575.
- Lee, H.H, S.K. Ha, S.O. Hur, K.H. Jung, W.T. Kim, and K.H. Kim. 2006. Characteristics of Soil Water Runoff and Percolation in Sloped Land with Different Soil Textures. *Korean J. Soil Sci. and Fert.* Vol. 39:268-273.
- Lee, J.J., J.A. Lee, K.Y. Kim, and S.U. Cheon. 2009. Water quality and phytoplankton development in the Daecheong reservoir. National Institute of Enviro. Reserch. <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO201300007741> (Assessed in May 29, 2020).
- Lee, S.H. 2013. the eutrophication of lakes and reservoirs and their management plans. *KCID.* 28:127-139.
- Lee, S.I. 2007. Characteristics of pollutants release from forest and upland soil. Master thesis. Hanbat Univ.
- Lim, S.J. 2007. Establishment of water resource management for Daechung Reservoir. Daejeon Development Inst. Res. 2007-10. <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO200900000770>.
- Oh, K.H. and Y.K. Koh. 2003. Water quality and pollutions of river waters in Gwangju city. *J. Enviro. Sci.* 12:287-297.
- Park, N.C., K.S. Lee, M.S. Park, H.C. Shin, K.S. Jun. and S.Y. Jung. 2008. Relation of the Physico-chemical Properties of Forest Soil to Site Indices of *Larix leptolepis* Stands. *J. Korean For. Soc.* 97(6):589-596.
- Park, Y.S. and Y.J. Chung. 2006. Hazard rating of pine trees from a forest insect pest using artificial neural networks. *Forest Ecology and Management.* 222:222-233.
- Schneider, B. 2011. PO₄ release at the sediment surface under anoxic conditions: a contribution to the eutrophication of the Baltic Sea. *Oceanologia.* 53:415-429.
- Sohn, G.S. 1996. A Study on the Eutrophication of Daechung Reservoir. *Korean J. Clinical Path.* 28:203-216.
- Yoon, K.S., J.Y. Cho, J.K. Choi, and J.G. Son. 2006. Water management and N, P losses from paddy fields in southern Korea. *J. Amer. Water Resources Assoc.* 42:1205-1216.