

## 대청호 홍수조절지 내 경작활동이 수질에 미치는 영향

최혜선·전민수·김이형<sup>†</sup>

공주대학교 토목공학과

## Effect of Cultivation Activity in Daecheong Lake Flood Control Site on Water Quality

Hyeseon Choi·Minsu Jeon·Leehyung Kim<sup>†</sup>

Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University, Korea  
(Received : 06 February 2020, Revised: 17 February 2020, Accepted: 17 February 2020)

### 요약

경작지의 과다 비료와 퇴비의 사용은 토양내 양분 축적을 증가시키며 잉여 양분은 지표유출 및 지하유출 과정을 통해 수질 오염과 녹조발생 등을 유발시킨다. 또한 토양내 과다 양분축적과 함께 지속적 작물 재배는 토양의 산성화를 초래하여 토양의 물리적 구조를 변화시켜 양분의 침출을 더욱 증가시킨다. 대청호 저수구역 내 경작은 대청호의 수질에 직접적 영향을 주기도 하며, 대청댐 수위상승시 침수되어 토양 내 양분이 용출되기도 한다. 본 연구는 대청댐 저수구역 내 경작지의 물리화학적 성상을 분석하여 대청호 수질관리 대책수립에 활용가능한 기초자료를 제공하고자 수행되었다. 대청호 저수구역 경작지 토양은 잉여양분이 이동 가능한 Sandy Loam 토양으로 분류되었다. 작물별 토양내 화학적 성상은 작물별 서로 다른 시비량에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 농민의 경작방식과 미기후 변화 등도 경작지 토양의 화학적 성상변화에 영향을 주는 것으로 평가되었다. 경작지 토양내 양분양은 지하수 및 인근 하천의 수질 및 대청호 주요 녹조발생에 영향을 주는 것으로 나타났다. 논에서의 양분유출은 봄철 강우시 집중되었으며, 밭에서의 양분유출은 여름에서 가을까지의 기저유출 및 멀칭으로 인한 지표유출 등이 영향을 주는 것으로 나타났다. 하천내부의 과다한 식생과 경작지의 유기성 농업잔재물도 하천의 유기물 및 영양염류 증가에 기여하는 것으로 평가되었다. 본 연구결과는 대청호 녹조발생 저감을 위한 저수구역 내 경작지 관리를 위한 우선 관리지역 지정 및 관리기법 선정에 활용될 수 있다.

핵심어 : 경작지, 대청호, 퇴비, 홍수조절지, 영양소

### Abstract

The excessive use of fertilizer and compost in agricultural land increases the accumulation of nutrients in soil. The surplus nutrients in soil transported through surface and sub-surface flow can lead to water pollution problems and algal bloom. Moreover, nutrient accumulation and continuous crop cultivation changes the physical structure of the soil, which increases the potential of nutrient. The cultivation in the Daecheong Lake reservoir area may have a direct effect on the lake's water quality due to leaching and releasing of nutrients when water level rises. This research was carried out to analyze the physical and chemical properties of soil in the agricultural areas surrounding Daecheong Dam reservoir to provide basic data available for the establishment of Daecheong Lake water quality management measures. The soil of the Daecheong Lake reservoir was classified as sandy Loam, where surplus nutrients can be transported. Chemical compositions in the soil were found to be significantly affected by use of different fertilizer amounts. Nutrient outflow occurred during spring rainfall events from the rice paddy fields, whereas excess nutrients from summer to fall seasons originated from dry paddy fields. Nutrient outflow from dry paddy fields is mainly from sub-surface flow. Organic agricultural wastes from agricultural land and excessive vegetation inside the river was also evaluated to contribute to the increase in organic matter and nutrients of the river. The results can be used to select the priority management area designation and management techniques in the Daecheong Lake for water quality improvement.

Key words : Agricultural land, Daechung lake, Fertilizer, Flood control reservoir, Nutrients

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University, Korea  
E-mail: leehyung@kongju.ac.kr

• **Hyeseon Choi** Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University / Ph. D Candidate (hyeseon27@kongju.ac.kr)  
• **Minsu Jeon** Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University / Ph. D Student (minsu91@kongju.ac.kr)  
• **Leehyung Kim** Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University / Professor (leehyung@kongju.ac.kr)

# 1. 서론

농업지역에서는 작물의 성장과 생산량 향상을 위하여 다양한 퇴비, 비료 및 농약 등이 과다하게 사용되고 있으며, 과잉 양분은 지하유출 및 지표유출을 통하여 토양과 수질에 영향을 준다(Hamilton et al., 1993; Kim et al., 2003; Kim et al., 2004; Chase et al., 2016.). 지속적 경작활동과 비료의 과다 사용은 토양의 물리적 및 화학적 성상을 변화시키면서 환경에 영향을 가중시킨다(Clark et al., 1998; Ki et al., 2010; Ribaud et al., 2011). 특히 유기성 폐기물(슬러지, 가축 분뇨 등)의 자원화와 유기농업 확대 정책으로 인하여 퇴비의 사용이 늘어나고 있으나 부속도(비료 원료가 퇴비로 되는 과정) 차이로 인한 식물의 양분 흡수성 저하는 경작자의 화학적 비료 사용을 증가시켜 경작지양의 과잉양분을 초래하고 있다(Han et al., 1997; Oh et al., 2015). OECD 자료에 의하면 한국의 농업 경작지 토양 내 질소함량(약 230kg/ha)은 OECD 국가 중에서 가장 높게 나타났으며, 토양 내 인의 함량(약 50kg/ha)도 일본과 함께 가장 높게 보고되고 있다(Lee et al., 2010a; OECD, 2013). 이러한 토양 내 과잉양분은 퇴비와 비료의 과다사용으로 발생하고 있으며 지하수와 지표수의 수질 오염, 부영양화의 원인물질 및 녹조 발생의 원인이 되고 있다(Lee et al., 2010b; Choi et al., 2012). 또한 농업지역 경작지의 과다 양분축적과 함께 지속적 작물 재배는 토양의 산성화를 초래하여 토양의 물리적 구조를 변화시킴으로써 양분의 침출에 영향을 준다(Van et al., 2004; Glibert et al., 2005; Jung and Lee, 2008; Savci, 2012; Jarvie et al., 2013; Su et al., 2013). 농업지역의 경작활동에 의한 수질오염은 강우시 지표유출, 지표 하 유출 및 기저유출 등과 같은 비점오염원 형태로 장기간에 걸쳐 수계로 배출된다. 논은 경우 물꼬관리를 통하여 유출되는 양분양을 관리할 수 있지만, 밭은 받두렁이 별도로 없으며 시비량이 많은 채소위주로 재배되고 있기에 강우시 비점오염물질의 유출이 높은 지역에 해당한다(Jang et al., 2011; Gurung et al 2018).

이러한 토지계 오염원 관리를 위하여 환경부는 상수원 보호 구역, 수질보전 특별대책지역, 수변구역 등에서의 토지이용 관련 규제 정책과 수질오염총량제, 비점오염관리지역 등의 다양한 제도와 정책을 도입하여 적용하고 있다(Bae, 2014; MOE, 2018). 환경부의 다양한 정책 중에서 오염물질 배출규제와 지속적 환경기초처리시설 설치 등은 점오염원에 의한 오염물질 배출부하량을 크게 줄이면서 4대강 주요지점(팔당호, 물금, 대청호, 주암호)에서의 수질은 크게 개선되었다. 그러나 2000년대 하수처리장의 고도처리시설 도입을 통해 TP 농도와 안정적 BOD 농도와는 달리 난분해성 유기물질이 포함된 COD 농도는 다소 증가하고 있는 추세이며, TN 농도는 개선되지 않고 있다(MOE, 2014). 따라서, 국내 수계에서의 수질개선과 녹조 관리를 위해서는 TN, 난분해성 유기물질, 미량유해물질 등의 관리가 필요하며 도시와 농업지역에서 배출되는 비점오염원관리가 필요하다.

본 연구의 대상지인 대청댐은 용수공급, 에너지 생산, 홍수조

절 기능 등의 다양한 기능을 보유하고 있는 다목적 댐으로 중부권 최대의 상수원이다. 대청댐 홍수조절지의 홍수위는 80m이며 경작허가수위는 76.5m로 약 3.5m 수위 범위에서 수물민에 대한 경작허가가 이루어지고 있으나, 76.5m 이하의 일부 지역에서도 불법으로 다양한 형태의 경작활동이 진행되고 있다(Geum River Water Management Committee, 2019). 대청호는 국가적 특별대책지역으로 지정될 만큼 중요성이 높으나 매년 수질오염과 녹조발생이 반복됨으로써 큰 관심의 대상이다. 특히 대청호 상류는 수질에 영향을 끼치는 점오염원 배출원인 대도시나 산업단지가 존재하지 않음에도 불구하고 비점오염원에 의하여 지속적인 수질오염과 녹조발생이 발생되고 있다. 대청호 홍수조절지(76.5~80m) 내 위치하는 허가 및 불법경작지는 건기시 기저유출을 통해 하천으로 수질오염물질을 지속적으로 배출하고 있으며, 강우시는 침수에 의한 양분 공급원이 되면서 호수 수질에 직접적으로 영향을 준다. 홍수조절지내 경작지 침수는 작물의 고사 및 용해를 유발시켜 부영양화에 기여하는 영양염류의 공급원으로 작용한다. 따라서, 본 연구는 대청호 수질개선 및 녹조 저감을 위한 연구 중의 일환으로 홍수조절지 내 농업활동에 의한 비점오염원 발생(기저유출 포함)이 대청호의 수질에 끼치는 영향 및 원인을 규명하고자 수행하였다.

# 2. 연구방법

## 2.1 모니터링 지점

본 연구의 공간적 범위는 대청댐 홍수조절지 내 경작지이며 경작지 토양의 양분양은 경작활동에 따른 비료의 살포와 작물 성장 및 기상 현황에 따라 달라진다(Kim et al., 2004a; Kim et al., 2004b). 경작지의 대표 양분양 산정을 위해서는 경작 활동 및 기상 현황을 고려하는 모니터링 계획이 필요하다. 대청댐 홍수조절지 내 경작지의 토양 양분 현황조사를 위한 모니터링은 경작지 밀집지역, 녹조 발생이 빈번한 지역 및 침수가 빈번하게 발생하는 지역 등을 선정하였다. 경작지 토양 양분양 조사를 위한 모니터링 지점은 총 22개 지점으로 논 3개, 밭 12개 지점 및 원지반(대조군) 7지점이다(Fig. 1). 모니터링은

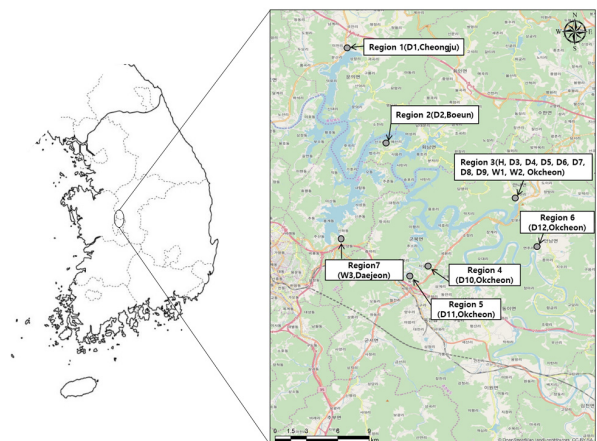

















Fig. 1. Location of monitoring sites

Table 1. Characteristics of cultivated crops in monitoring locations

Region	Site	Location	Photo	Crop	Region	Site	Location	Photo	Crop
Region 1	D1	36° 31'21.8"N 127° 30'09.2"E		Corn, Bean	Region 3	D9	36° 23'23.6"N 127° 39'11.9"E		Corn, Perilla
Region 2	D2	36° 26'08.1"N 127° 32'16.9"E		Bean, Perilla		W1	36° 23'23.6"N 127° 39'11.9"E		Barley, Rice
Region 3	D3	36° 23'23.6"N 127° 39'11.9"E		Perilla, Garlic		W2	36° 23'23.6"N 127° 39'11.9"E		Barley, Rice
	D4	36° 23'23.6"N 127° 39'11.9"E		Chili, Perilla, Chinese cabbage	Region 4	D10	36° 19'56.0"N 127° 33'20.9"E		Bulky feed
	D5	36° 23'23.6"N 127° 39'11.9"E		Garlic, Perilla, Potato	Region 5	D11	36° 19'45.7"N 127° 33'26.7"E		Sweet potato
	D6	36° 23'23.6"N 127° 39'11.9"E		Adlay, Corn, Potato	Region 6	D12	36° 21'08.9"N 127° 40'24.8"E		Bean, Perilla
	D7	36° 23'23.6"N 127° 39'11.9"E		Adlay, Bean, Perilla, Potato	Region 7	W3	36° 21'15.0"N 127° 29'50.4"E		Barley, Rice
	D8	36° 23'23.6"N 127° 39'11.9"E		Tobacco, Perilla					

2018년 5월부터 현재까지 수행되고 있으며, Table 1은 경작지 모니터링 지점별 재배작물 및 현장 현황을 보여주고 있다. 대청호 홍수조절지 내 논 지점의 주요작물은 벼와 보리이며, 밭의 주요 작물은 옥수수, 콩, 들깨, 고추, 배추, 마늘, 울무, 담배, 조사료, 고구마 등이다.

### 2.2 모니터링 및 분석 방법

경작지 토양의 물리화학적 성상 분석은 표토층 (0~15 cm) 과 하부층(15cm 이하)으로 나누어 수행되었다. 경작지 토양 내 양분양은 경작지 인근의 대조군 토양시료를 채취하였으며 교란 시료로 채취하였다. 경작지 및 대조군에서 채취한 토양시료는 현장에서 유기물함량(Loss of Ignition) 및 함수량을 측정하였으며, 풍건 및 건조 후 체분석, 입도분석, pH, TN, TP, 인의 존재형태별 함량(Adsorbed-P, NAI-P, Apatite-P), 중금속, 치환성 이온 등의 항목에 대하여 토양표준분석법을 기준으로 분석하였다(RDA, 2012). 토양 입경별 분포는 미국 농무국 농업토양 분류법(U.S Department of Agriculture Textural Classification) 이용하여 분석을 수행되었다(USDA, 1987). 경작지 토양 농도가 대청호 내 수질에 미치는 영향을 평가하기 위하여 경작지 주변 하천 수질 및 논 내부 수질 시료를 채수하여 분석하였다. 주요 수질 분석 항목은 pH, 전기전도도, 탁도, TN, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, TP, PO<sub>4</sub>-P 등이며 수질오염공정시험기준에 준하여 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 입도분석

토양 내 입도분석은 흙의 분류 및 오염물질의 이동 경로 등을 파악하기에 중요한 요인으로 그 결과는 Table 2와 같다. 대청호 홍수조절지 내 대부분의 경작지 토양은 잉여양분이 이동 가능한 Sandy Loam 토양으로 분류되었다(Cycon et al., 2006). D1(옥수수, 콩)의 경작지 토양은 2,000um 이하의 비율이 약 63%로 나타났으며, 대조군(In-situ)에서는 약 58%로 분석되었다. D2(콩, 들깨)의 경작지 토양(콩 및 들깨)은 대조군에 비해 모래(2,000um 이하)의 비중이 약 17% 이상 높은 것으로 나타났다. Region 3은 다양한 작물이 집중적으로 경작하고 있는 홍수조절지 지역이기에 모니터링 지점이 집중되어 있는 지역으로 D8(담배)의 토양은 모래, 실트, 점토의 비중이 약 76%로 다른 지점에 비해 다소 높은 것으로 조사되었다. Region 3의 D6, D9 지점은 자갈의 비중이 각각 33%, 37%로 다른 지점에 비해 매우 높은 것으로 나타났으며, 원지반에 비해 상당히 높은 것으로 분석되었다. 대부분의 원지반에서는 자갈(2,000um이상) 비율이 약 22%이지만 D10에서는 35% 이상으로 나타나 자갈의 비율이 높게 나타났다. 경작지 토양은 모래와 실트의 비율이 가장 높은 것으로 분석되었으나, 경작지의 원 토양 성분, 경작작물의 종류 등에 따라 지역 및 지점별 차이를 보이는 것으로 평가되었다.

Table 2. Grain size distribution and soil texture

Region	Site	Particle Size(%)				Soil staturm
		Clay (53um>P)	Silt (53um>P>250um)	Sand (2,000um>P>250um)	Gravel (P>2,000um)	
Region 1	In-situ	0.07	1.92	56.69	28.74	Sandy Loam
	D1	0.08	2.46	60.62	25.32	Sandy Loam
Region 2	In-situ	0.05	2.42	74.43	13.17	Sandy Loam
	D2	0.11	3.98	57.74	26.53	Sandy Loam
Region 3	In-situ	0.06	1.61	70.93	18.31	Sandy Loam
	D3	0.11	3.08	68.67	18.58	Sandy Loam
	D4	0.11	2.69	53.80	29.67	Sandy Loam
	D5	0.13	3.76	59.74	23.51	Sandy Loam
	D6	0.05	1.65	57.75	33.93	Sandy Loam
	D7	0.17	4.35	61.04	24.55	Sandy Loam
	D8	0.11	3.98	71.40	14.44	Sandy Loam
	D9	0.06	1.43	55.52	37.14	Sandy Loam
	W1	0.15	3.97	58.97	27.37	Sandy Loam
	W2	0.14	4.12	66.22	18.24	Sandy Loam
Region 4	In-situ	0.09	2.23	48.66	35.96	Sandy Loam
	D10	0.06	2.07	67.37	19.48	Sandy Loam
Region 5	In-situ	0.05	1.32	75.65	16.15	Sandy Loam
	D11	0.06	2.17	74.56	12.46	Sandy Loam
Region 6	In-situ	0.15	3.99	66.47	19.20	Sandy Loam
	D12	0.15	4.44	51.69	31.25	Sandy Loam
Region 7	In-situ	0.04	1.10	61.93	25.27	Sandy Loam
	W3	0.11	2.82	57.97	25.46	Sandy Loam

### 3.2 작물별 경작지 토양의 평균 화학적 성상

상수원 보호구역에서는 경작행위를 포함하여 다양한 규제가 적용되고 있으나, 친환경 농산물 또는 유기농에 대해서는 경작을 허가할 수 있도록 되어있다. 그러나 친환경 농업과 유기농 경작의 규정도 퇴비와 비료 사용을 허용하고 있기에 경작지에 과잉 사용된 질소와 인이 축적되고 있으며, 강우시 다양한 경로를 통해 유출되고 있다. Fig. 2는 작물별 경작지 토양의 평균 화학적 성상을 보여주고 있다. 경작지 토양의 pH는 원지반에 비해 낮게 나타났으며, 고구마 경작지에서 가장 낮은 값을 보이는 것으로 분석되었다. 전기전도도는 시비량이 높은 경작지에서 높게 나타났으며, 울무와 조사료 경작지에서 원지반 토양보다 낮게 나타났다. Ignition of loss는 퇴비를 주로 사용하는 보리 > 벼 > 고추 순으로 경작지에서의 함량이 높았으며, 울무, 담배 및 고구마 재배지에서는 원지반에 비해 낮은 유기물양을 보였다.

경작지의 평균 TN 농도는 4,600mg/kg으로 분석되었으며, 보리, 조사료, 고추, 고구마 경작지는 평균 TN 농도보다 높은 것으로 분석되었다. 고구마 경작지에서 TN의 농도는 6,400mg/kg로 가장 높은 것으로 분석되었으며, 마늘 경작지에서는 약 3,200mg/kg으로 가장 낮게 나타났다. 울무, 벼, 감

자, 담배는 원지반에 비해 다소 낮은 TN 농도를 보였으며, 이를 제외한 작물에서는 0.7~1.4배 이상 높은 농도 값을 보이는 것으로 조사되었다. 원지반에 비해 경작지 토양에서 더 높은 값을 보이는 이유는 토양의 산성화로 인하여 변화된 토양구조의 공극으로 인여 질소가 지속적으로 유출되었기 때문으로 판단된다. TP 농도는 벼 경작지에서 가장 낮게 나타났으며, 담배 경작지가 가장 높게 나타났다. 콩, 조사료, 옥수수, 마늘, 들깨, 담배 경작지에서는 평균 TP 농도보다 높게 나타났으며, 대부분의 작물에서 경작지별 농도는 작물별 살포되는 시비량과 작물의 성장 특성에 따라 편차를 보이는 것으로 나타났다.

경작지 토양의 중금속 농도는 원지반보다 높게 나타났으며, Cd은 전체적으로 경작지 토양의 농도가 원지반 농도보다 유사하거나 높게 나타났으며, 담배 경작지에서 가장 높은 것으로 분석되었다. Pb의 함량은 벼 경작지에서 가장 높게 나타났으며, 도로변에 존재하는 고구마 경작지에서 Zn, Ni, Cr 등의 중금속이 높은 것으로 분석되었다. 도로변 경작지의 중금속은 도로 내 차량 활동 및 강우 유출이 주요 원인으로 평가되었다. 치환성 양이온인 Ca은 원지반에 비해 경작지 토양에서 낮게 조사되었으며, 감자밭에서 가장 낮게 나타났다.

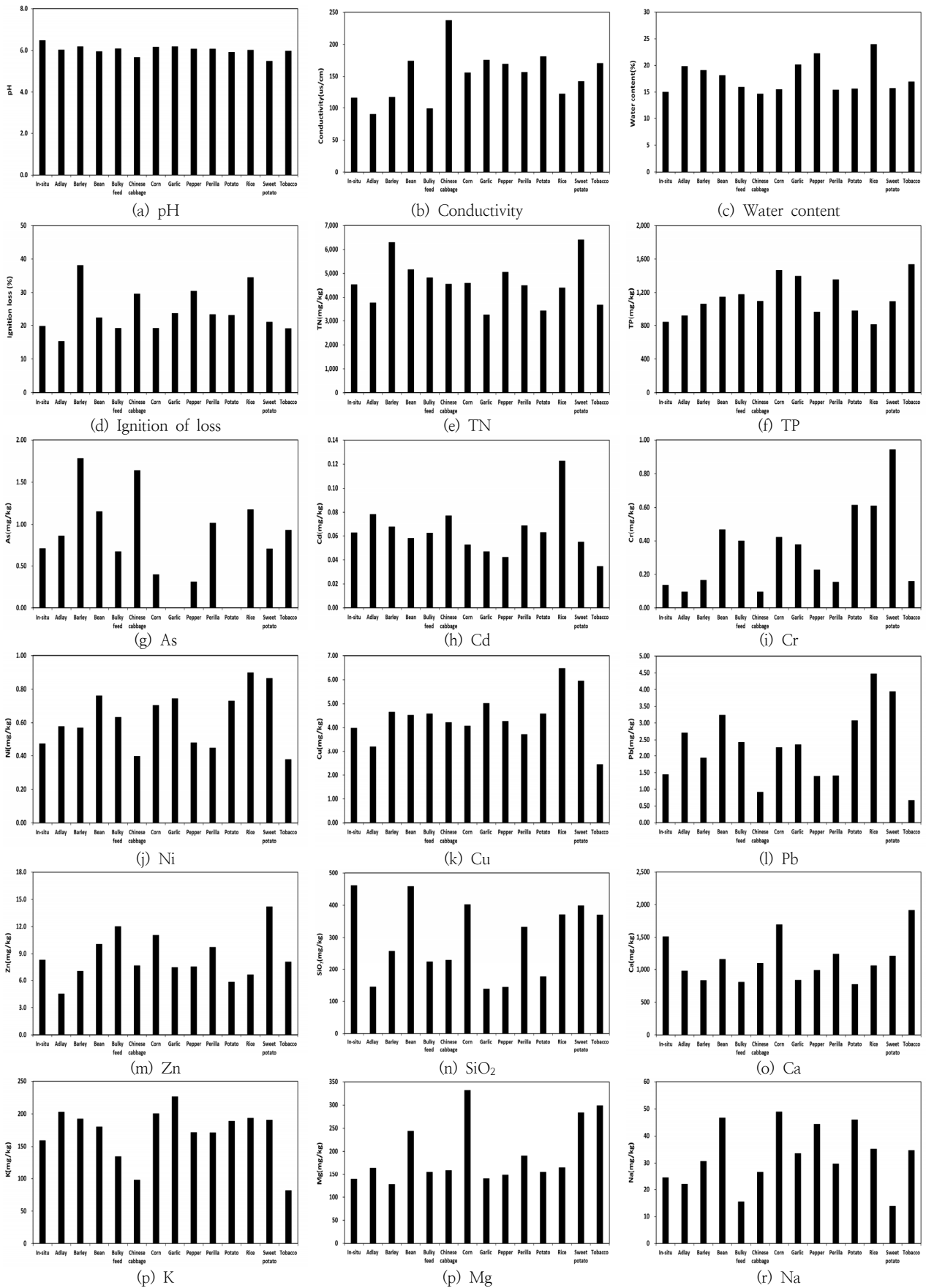


Fig. 2. Soil concentration of type of crops and original soil

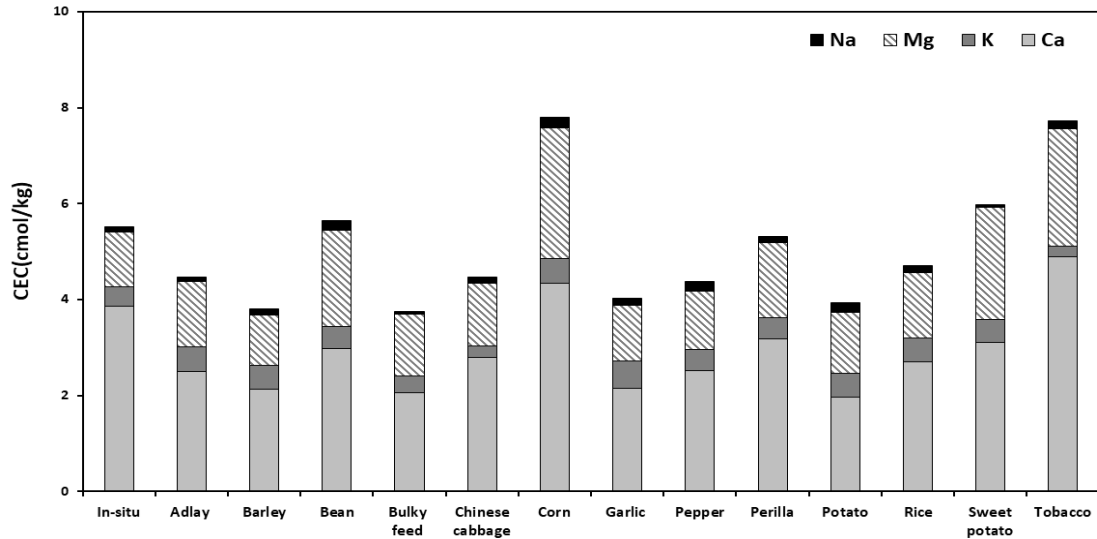
### 3.3 경작지 비옥도 평가

토양의 교질물(점토광물과 부식물)은 자체의 전기적 음성을 중화시키기 위해 수소이온이나 다른 금속성 양이온을 흡착하게 된다(Yang et al., 2009). 일반적으로 토양에 공급된 양이온은 빗물 등으로 씻겨 나가지 않고 작물에게 이용될 수 있는 형태로 보존된다. 토양 표면의 이온분포는 외부환경에 의해 결정되며, 양이온 치환용량(Cation Exchange Capacity, CEC)은 일정량의 토양이나 교질물이 가지고 있는 치환성 양이온 총량이다. Fig. 3(a)는 작물별 토양의 CEC 농도를 분석한 결과이며, Fig. 3(b)는 모니터링이 수행된 지점별 토양과 원지반 토양의 양이온 치환 용량을 비교한 것이다. 경작지 토양내 치환성 양이온의 함량은 Ca > Mg > K > Na 순으로 조사되었다. CEC 농도는 옥수수와 담배 경작지에서 가장 높게 나타났으며, 조사료와 감자 경작지에서 가장 낮은 농도를 보였다. 이러한 이유는 다모작 경작지에서 작물 수확을 위해 다량의 퇴비 살포가 원인으로 평가되었다. 밭 경작지 중 pH가 높은 D1 지

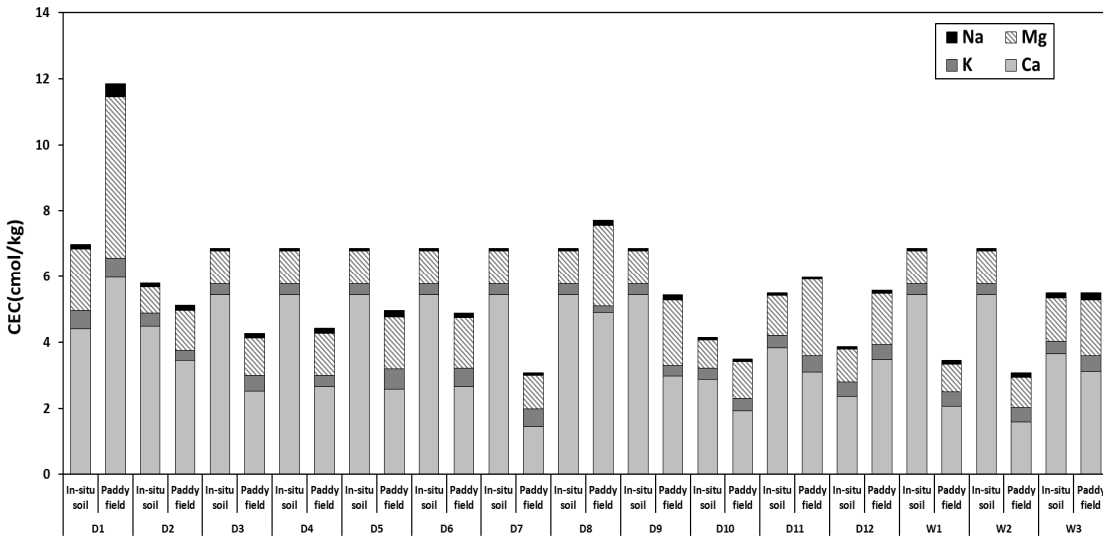
점이 다른 지점에 비해 가장 높은 CEC 값을 보였으며, 원지반에 비해서도 1.7배 이상 높은 것으로 분석되었다. 그러나 pH가 다소 낮은 D7은 CEC 값이 낮은 것으로 조사되어 이온성 양이온이 pH에 따라 쉽게 흡착 및 용탈될 가능성이 있는 것으로 평가되었다.

### 3.4 경작지 인근 하천수 수질 분석

Fig. 4는 대청호 홍수조절지 내에서 경작지가 크게 분포하고 있는 Region 3과 Region 7 인근 하천에서 채수한 수질 분석 결과이다. Region 7 인근 주원천 유역은 불법 경작지가 다수 위치하고 있으며, Region 3은 허가 경작지가 다수 존재하는 지역이다. Region 3 하천의 pH는 5.2~8.0의 범위를 보였으며, Region 7에서는 6.6~7.8로 두 지점 평균 pH는 7.3으로 분석되었다. 전기전도도는 Region 7의 농도가 Region 3에 비해 약 1.6배 높게 나타났는데, 이는 밭 작물에 살포되는 비료에 의해 지표 및 기저유출로 유출된 이온성 물질에 의한 영향이



(a) CEC concentration of type of crops



(b) CEC concentration of type of sites

Fig. 3. CEC concentration of type of crops and sites

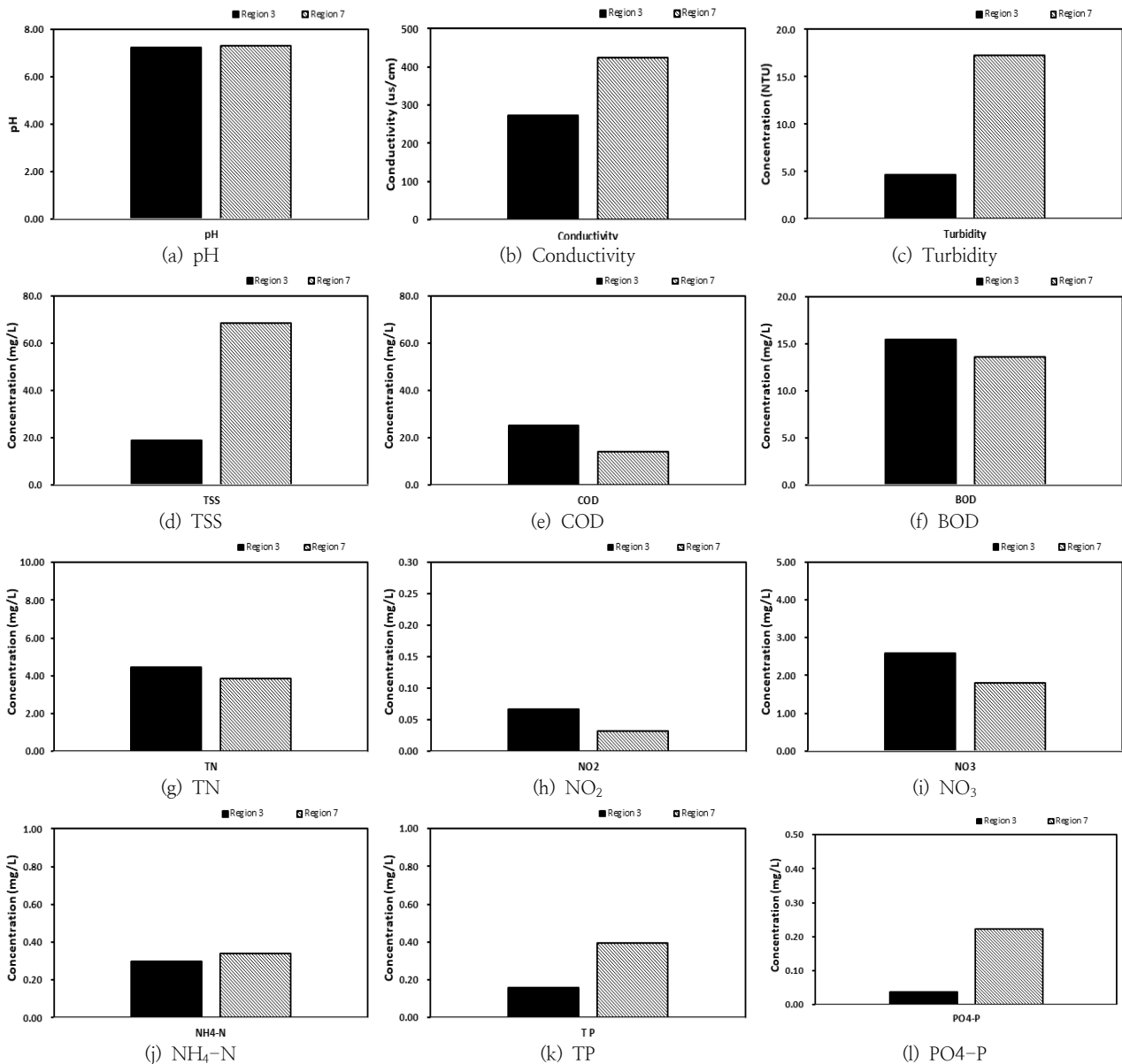


Fig. 4. Analysis of Water Quality in near river on the Agricultural area

원이다. 불법 경작지가 다수 위치하는 주원천의 수질이 합법 경작지가 위치하는 하천보다 악화되어 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 녹조 현상은 모든 경작지 인근에서 고르게 발생하는 것으로 조사되었다.

Region 7 하천의 탁도 및 TSS 농도는 Region 3에 비해 약 4배 정도 높게 나타났으나, 유기물(COD, BOD)은 Region 3 하천에서 다소 높게 나타났다. Region 3에서는 밭과 논이 혼재하고 있으며 하천 내 자연식생의 함량이 매우 높다. 이러한 이유로 Region 3 하천에서의 유기물 농도는 밭이 주요 경작지인 Region 7의 하천보다 다소 높은 유기물 함량을 보였다. 하천 내부 식생 기원 유기물은 대청호 유입시 분해과정을 거치면서 장기적으로 수질과 녹조 발생에 영향을 준다. 따라서 하천 내부의 적절한 식생관리는 수질개선과 녹조관리를 위하여 필요하다. Region 3 하천의 TN 농도는 4.5mg/L, Region 7

하천에서는 약 3.8mg/L로 분석되었으며, 이 중 약 50%가 NO<sub>3</sub>-N의 형태로 분석되었다. 옥천군 현리 하천의 질소 성상은 주로 질산성 질소이나, Region 7 하천에서는 질산성 질소 및 유기성 질소가 주요 성상으로 나타났다. TP는 밭 경작지가 몰려 있는 Region 7의 하천에서 높게 나타났다. Region 7과 Region 3의 하천의 수질을 비교한 결과 밭 경작지의 과잉양분이 강우시 지표유출 및 지하유출로 하천 수질에 영향을 주는 것으로 평가되었으며, 하천 내부 식생도 영양염류 및 각종 유기물 유출에 영향을 주는 것으로 평가되었다.

### 3.6 홍수조절지 내 댐용수의 경작시기별 수질 비교

Region 3은 경작지가 많은 지역으로 가을철 대청댐 수위상승시기에 침수가 발생된다. 경작지의 침수는 토양 내 양분 용출과 각종 유기성 물질의 분해를 유발시켜 댐용수의 수질에

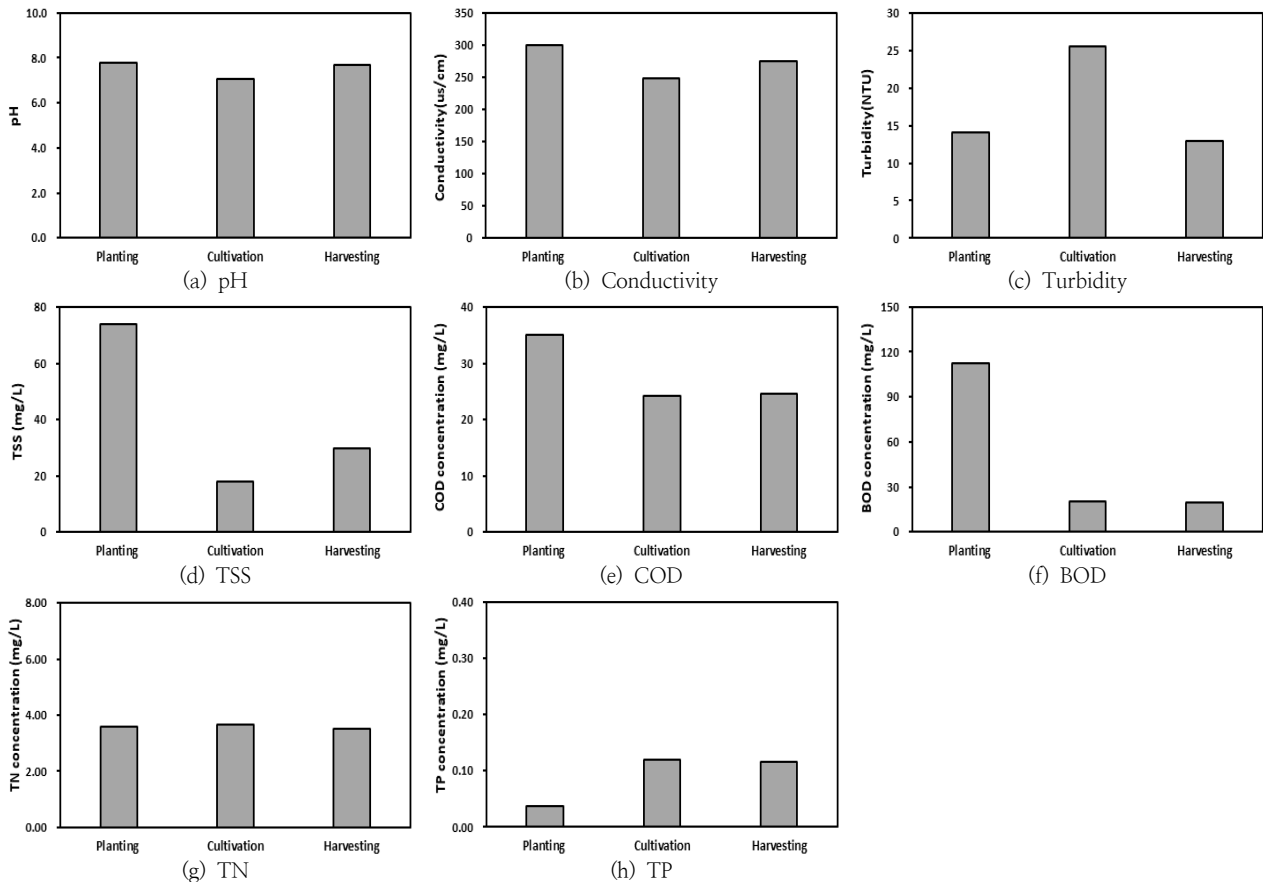


Fig. 5. Water Quality Analysis of Dam Water by Cultivation Period

영향을 준다. 경작시기별 댐용수의 수질변화는 Fig. 5와 같으며, 작물별 경작시기를 3단계(경작 초기, 경작 중, 수확 이후)로 구분하여 수질을 분석하였다. pH와 전기전도도는 경작초기 및 수확 이후보다 식물이 왕성하게 성장하는 경작 중에 다소 낮아지는 것으로 나타났다. 저수구역 내 경작지 주변 댐용수의 탁도는 식물의 성장이 왕성한 시기에 높게 나타났으나, TSS는 작물의 식재 시기 및 활착시기에 교란된 경작지의 영향으로 경작초기에 높게 나타났다. 경작지 인근의 댐용수의 유기물(BOD, COD) 농도는 경작 초기에 높게 나타났는데 그 이유는 작물을 심는 시기 직전 토양 개량 이후 다량의 비료 및 퇴비를 살포하기 때문이다. 댐용수에서의 TN 농도는 연중 유사한 값을 보인 반면 TP 농도는 경작 초기에 비하여 경작 중 및 수확 이후 높은 농도를 보였다. 댐용수에서 TN 농도는 인근 경작지의 기저유출 및 경작지 침수에서의 지속적 용출로 연중 유사한 농도를 보였으나, TP 농도는 경작지에 축적된 인이 침수시기 물리화학적 및 생물학적 분해과정으로 증가하는 것으로 평가되었다.

#### 4. 결 론

중부권 최대 상수원인 대청호는 특별대책지역으로 지정되어 수질관리가 이루어지고 있으나 대청호 저수구역 및 상류 유역의 점오염 및 비점오염원에서 배출되는 오염물질에 의하여 매

년 녹조 발생 및 수질악화 등의 문제를 겪고 있다. 본 연구는 홍수조절지 내 농업활동에 의한 비점오염원 발생(기저유출 포함)이 대청호의 수질에 끼치는 영향 및 원인을 규명하고자 본 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 대청호 홍수조절지 내 경작지 토양은 잉여양분이 이동 가능한 Sandy Loam으로 분류되어 분류되었다. 논은 원지반에 비해 2배 정도 더 높은 실트함량을 보여 용존성 양분 및 오염물질의 흡착이 높을 것으로 평가되며, 밭에서 잉여 용존 양분이 쉽게 이동이 될 것으로 평가되었다.

2) 토양 내 양분, 중금속, 유기물 등은 대부분 화학비료, 퇴비 등에 의하여 공급되었지만 비료를 살포하는 경작자의 영농행태, 작물종류, 토양종류 등이 토양내 양분 축적에 크게 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한, 토양내 양분을 포함하는 화학성분의 차이는 성분의 이동성과 반응성 및 토양특성이 크게 영향을 끼치는 것으로 평가되었다.

3) 작물별 실제 퇴비살포량은 고추, 감자, 마늘, 양파에서 높고, 참깨, 들깨, 콩 작물에서 상대적으로 낮게 조사되었으며, 다량의 퇴비가 살포되는 작물은 경작제한 작물로 검토할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

4) 밭 경작지의 과잉양분이 강우시 지표유출 및 지하유출로 하천수질에 영향을 주는 것으로 평가되었으며, 하천 내부 식생도 영양염류 및 각종 유기물 유출에 영향을 주는 것으로 나타났다.



5) 댐용수에서의 TN 농도는 연중 유사한 값을 보인 반면 TP 농도는 경작 초기에 비하여 경작 중 및 수확 이후 높은 농도를 보여, 경작 이후 침수시기에 발생농작물 및 경작지 관리에서의 지속적 용출로 인한 오염 방지가 필요할 것으로 사료된다.

## References

- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), and WEF (Water Environment Federation). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington, DC; 2005.
- Bae MS. (2014). *Environmentally Friendly Development Plan around the Daecheong Lake*. Chungbuk Research Institute, pp. 103–112.
- Chase JW, Benoy GA, Hann SWR, and Culp JM(2016). Small differences in riparian vegetation significantly reduce land use impacts on stream flow and water quality in small agricultural watersheds. *J. of Soil and Water Conservation*, 71(3), pp. 194–205. [DOI: 10.2489/jswc.71.3.194]
- Choi JY, Maniquiz MC, Lee BS, Jung SM and Kim LH(2012). Characteristics of Contaminant and Phosphorus Existence Types in Sediment of a Constructed Wetland, *Desalination and Water Treatment*, 38(1), pp. 342–348. [DOI:10.1080/19443994.2012.664385]
- Clark MS, Horwath WR, Shennan C and Scow KM(1998). Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. *Agronomy Journal*, 90(5), pp. 662–671.[DOI:10.2134/agronj1998.0002196200900050016x]
- Cycon M, Piotrowska-Seget Z, Kaczynska A and Kozdroj J(2006). Microbiological characteristics of a sandy loam soil exposed to tebuconazole and  $\lambda$ -cyhalothrin under laboratory conditions. *Ecotoxicology*, 15(8), pp. 639–646. [DOI:10.1007/s10646-006-0099-8]
- Geum River Water Management Committee(2019). Investigation of the impact on water quality and preparation of management measures from the cultivation in the reservoir area of Daecheong Lake. 11-1480355-000082-01.Geum River Water Management Committee.
- Glibert PM, Seitzinger S, Heil CA, Burkholder JM, Parrow MW, Codispoti LA and Kelly V(2005). Eutrophication. *Oceanography*, 18(2), pp. 198.
- Gurung SB, Geronimo FK, Hong JS and Kim LH(2018). Application of indices to evaluate LID facilities for sediment and heavy metal removal, *Chemosphere*, 206, pp. 693–700. [DOI:10.1016/j.chemosphere.2018.05.077]
- Hamilton PA, Denver JM, Phillips PJ and Shedlock RJ(1993). *Water-quality assessment of the Delmarva Peninsula, Delaware, Maryland, and Virginia—Effects of agricultural activities on, and distribution of, nitrate and other inorganic constituents in the surficial aquifer*. US Geological Survey open-file report, pp. 93–40.
- Han KW, Cho JY and Kim, SJ(1997). Effects of Farming on Soil Contamination and Water Quality in Keum River Districts. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 16(1), pp. 19–24.[Korean Literature]
- Jang H, Kim JS, Kim, YH and Song CM(2011). Characteristics of Nutrient Concentrations in Groundwater under Paddy and Upland Fields. *J. of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 53(6), pp. 67–74. [Korean Literature][DOI: 10.5389/KSAE.2011.53.6.067]
- Jarvie HP, Sharpley AN, Withers PJ, Scott JT, Haggard BE and Neal C(2013). Phosphorus mitigation to control river eutrophication: Murky waters, inconvenient truths, and “postnormal” science. *J of Environmental Quality*, 42(2), pp. 295–304.[DOI:10.2134/jeq2012.0085]
- Jung DY, Lee KS(2008). Role of Chemical Fertilizer and Change of Agriculture in Korea. *Korean Journal of Agricultural Science*, 35(1), pp. 69–83.
- Ki BM, Lim BM, Na EH and Choi JH(2010). A Study on the Nutrient Release Characteristics from Sediments in the Asan Reservoir. *J of Korean Society of Environmental Engineers*, 32(1), pp. 1169–1176. [Korean Literature]
- Kim SS, Kim TH, Lee SM, Park DS, Zhu YZ and Her JH(2004a). Mobility of pesticides in different slopes and soil collected from Ganwon alpine sloped-land under simulated rainfall conditions. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 9(4), pp. 316–329. [Korean Literature]
- Kim LH, Choi ES and Stenstrom MK(2003). Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments, *Chemosphere*, 50(1), pp 53–61. [DOI:10.1016/S0045-6535(02)00310-7]
- Kim LH, Choi ES, Gill KI and Stenstrom MK(2004). Phosphorus release rates from sediments and sediment characteristics in Han river, Seoul, Korea. *Science of the Total Environment*, 321, pp 115–125. [DOI:10.1016/j.scitotenv.2003.08.018]
- Kim WT, Lee DR and Yu CS(2004b). Effects of Climate Change on the Streamflow for the Daechung Dam Watershed. *J of Korea Water Resources Association*, 37(4), pp. 305–314. [DOI:10.3741/JKWRA.2004.37.4.305]
- Lee SY, Maniquiz MC and Kim LH(2010a). Characteristics of contaminants in water and sediment of a constructed wetland treating piggery wastewater effluent, *J. of Environmental Sciences*, 22(6), pp. 940–945. [DOI:10.1016/S1001-0742(09)60202-3]
- Lee SY, Maniquiz MC, Lee BS and Kim LH(2010b). Physico-chemical characteristics of sediment accumulated in settling basin of a filtration best management practice, *Desalination and Water Treatment*, 19(1), pp. 86–91.

- [DOI:10.5004/dwt.2010.1882]
- Ministry of Environment (MOE). (2014). 2014 Annual Report on Water Quality Monitoring Program, 11-1480000-001223-10, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2018). *White paper of Environment*. 11-1480000-000586-10. Ministry of Environment.
- OECD(2013). Environmental Performance of Agriculture. OECD countries since 2013.
- Oh KH, Kim YJ and Cho YC(2015). Effects of sediments on the growth of algae at Chusori area in Daechung Reservoir. *J. of Korean Society on Water Environment*, 31(5), pp. 533-542.
- RDA(Rural Development Administration)(2012). Korean feeding standard for Hanwoo. 3rd Edition. National Institute of Animal Science. Wanju, Korea.
- Ribaudo M, Delgado J, Hansen L, Livingston M, Mosheim R and Williamson J(2011). *Nitrogen in agricultural systems: Implications for conservation policy*. USDA-ERS Economic Research Report, (127).
- Savci S(2012). Investigation of effect of chemical fertilizers on environment. *Apcbee Procedia*, 1, pp. 287-292.[DOI:10.1016/j.apcbee.2012.03.047Get rights and content]
- Su X, Wang H, and Zhang Y(2013). Health Risk Assessment of Nitrate Contamination in Groundwater: A Case Study of an Agricultural Area in Northeast China. *Water resources management*, pp. 3025-3034.
- USDA(1987). Soil mechanics level I. Module 3 - USDA textural soil classification study Guide. National Employee Development Staff, Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Yang CH., Ryu JH, Kim TK, Lee SB, Kim JD, Baek NH and Kim SJ(2009). Effect of green manure crops incorporation with rice cultivation on soil fertility improvement in paddy field. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 42(5), pp. 371-378.
- Van Es HM, Schindelbeck RR, and Jokela WE(2004). Effect of manure application timing, crop, and soil type on phosphorus leaching. *J. of Environmental Quality*, 33(3), pp. 1070-1080.