



저수구역 경작지 토양의 유기물 및 영양염류 용출특성 분석

Analysis of Organic Matter and Nutrient Leaching Characteristics of Agricultural Land Soils in Reservoir Area

유나영^a · 신민환^b · 임정하^c · 금동혁^d · 남창동^e · 임경재^f · 김종건^{g,†}

Yu, Nayeong · Shin, Minhwan · Lim, Jungha · Kum, Donghyuk · Nam, Changdong · Lim, Kyoungjae · Kim, Jonggun

ABSTRACT

Soils in agricultural lands contain large amount of organic matter and nutrients due to the injected fertilizers and manure. During heavy rain, surface water and base runoff pollutants flows into a nearby stream or lake with eroded soil from agricultural lands. On the other hands, agricultural lands near the lake are inundated due to the increase of the water level in the lake, leading to organic matter and nutrient release from the inundated soil. In this study, releasing rates of nutrient salts and organic substances were analyzed for the soil in the agricultural land, where cultivation activities has been carried out and periodically flooded, to account for the possibility of contamination from the inundated agricultural land in reservoir areas. The experiment results have shown that COD was released from the soil in anaerobic conditions, and T-P was released in both anaerobic and aerobic conditions. However, in the case of T-N, it was found that the runoff by soil was not made before the rainfall occurred, and when the soil was impound due to rainfall, the elution occurred under the aerobic conditions. Through the results of this study, it was possible to account for the effect of flooded agricultural lands on the water quality in the lake, and this could be reflected in an efficient agricultural non-point pollution management policy. In order to determine the precise releasing rate for each agricultural land, it is believed that the leaching experiment for paddy fields and grasslands are needed.

Keywords: Agricultural land in reservoir area; leaching test; aerobic condition; anaerobic condition

1. 서론

국내 각종 용수 (생활용수, 농업용수, 농업용수 등)의 대부분은 지표수와 지하수이며, 그 중에서 댐과 저수지는 가장 중요한 용수공급처이다. 그러나 댐 및 저수지 조성 및 운영시 기존 지역주민과의 마찰을 줄이기 위하여 댐유역 홍수조절지 내에 다양한 형태의 경작을 허용해주고 있다. 즉, 댐 건설로 농지가 수몰된 농민들의 수익을 확보해 주는 방안의 하나로

홍수조절용지 내 농지점용 허가를 통하여 경작이 허가되고 있다. 일반적으로 하천 및 호소 경계를 중심으로 수변구역 등은 환경부가 관리하고 있으며, 제방 및 제외지 (하천, 호소)는 환경부 · 국토부 · 지자체 등에서 조성과 관리 의무가 있다. 그러나 댐 저수구역 내 토지는 「댐건설 및 주변지역 지원 등에 관한 법률」 제17조 댐관리규정에 따라 1996년 이후 K-water (댐 관리자)가 하천점용 인허가 등을 직접 관리 중이다.

경작지는 작물 수확과 생산에 필요한 자연적인 질소가 부족하기 때문에 화학비료 및 퇴비 등의 인공적 질소 자원에 크게 의존한다 (Ribaud et al., 2011). 그러나 과잉으로 공급된 비료와 퇴비에서 유출된 질소와 인은 지하수, 호소, 댐 등의 주요 수질오염의 원인이 되고 있다 (Su et al., 2013). 인공적 질소 (비료, 퇴비 등)가 주입된 토양의 화학 침출로 인한 수질 오염은 국내외에서 다수 보고되고 있다. 질소와 인 등의 영양 물질은 강우시 강우유출수와 함께 지표 수역으로 흘러들어 부영양화를 야기시킨다. 또한, 하천 및 수계로 직접 배출되는 농지의 질소와 인은 조류 및 수생 식물의 성장에 영향을 준다 (Jarvie et al., 2013).

Cho et al. (2007)은 퇴적물로부터 영양염류의 용출속도를 측정하고, 영양염류 용출이 호수의 수질에 미치는 영향을 분석하였으며, 이러한 결과를 통해 저수지를 효율적으로 관리

^a Director, EM Research Institute

^b Team Leader, EM Research Institute

^c Director, EM Research Institute

^d Director, EM Research Institute

^e Section Chief, Korea Rural Community Corporation

^f Professor, Department of Rural Construction Engineering, Kangwon National University

^g Assistant Professor, Department of Rural Construction Engineering, Kangwon National University

[†] Corresponding author

Tel.: +82-33-250-6467

E-mail: kimjg23@gmail.com

Received: October 12, 2020

Revised: November 25, 2020

Accepted: December 15, 2020

할 수 있는 근거자료를 마련하고자 하였다. 또한, 저수지나 인공호수와 같은 정체성 수역에서는 상대적으로 퇴적되는 오염물질의 양이 많기 때문에 퇴적물로부터 용출되는 영양염에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있어 호소의 수질관리를 위해 퇴적물 성상과 퇴적물에서 발생하는 영양염 용출량을 측정함으로써 퇴적물이 수질에 미치는 영향에 대해 살펴보고 최적 수질을 위한 퇴적물 관리방안을 모색해 보고자 하였다 (Ki et al., 2010). 호소의 수질관리를 위하여 퇴적물이 수질에 미치는 영향을 예측하는 연구는 꾸준히 진행되고 있으나, 저수구역으로부터 유입되는 오염원 (점오염원, 비점오염원) 관련 연구는 진행되지 않고 있다.

대청호의 경우 여름철 집중호우 및 강우에 의해 유역에서 발생된 영양염류 (인, 질소), 수온 및 체류시간 등의 요인이 상호 복합적으로 작용하여 거의 매년 조류경보가 발령되고 있다. 일반적으로 강우 이전에는 조류 증식이 거의 없고, 수질은 아주 양호한 상태를 보이고 있으나, 강우 이후 대청호 전 수역에서 조류의 증식이 발생된다. 강우량이 적은 연도에도 상류에서 유입된 영양염류와 증식된 조류가 천천히 이동 및 확산되어 대청호 중간 지역인 회남수역에 조류가 많이 발생하고 있으며, 강우량이 많은 해에는 대청호 유입수에 함유된 영양염류와 상류에서 발생된 조류가 급격히 하류로 이송되어 댐 지점을 중심으로 조류 발생이 크게 증가하고 있다 (환경부, 2018). 따라서, 대청호의 녹조발생 저감을 위해서는 다양한 유역내 오염원 대책이 필요하다. 그 중에서 호내 저수구역에 위치하는 경작지는 토양내 과잉양분을 지표유출, 지하유출 그리고 기저유출로 대청호 수질에 직접적 영향을 끼치기 때문에 오염원 관리가 필요하다. 그러나 홍수조절지 내 경작지 토양에 대한 양분량 조사 및 수질오염 기여도 등에 대한 과학적 자료가 미흡하여 종합적 수질관리에 어려움이 있다.

따라서, 본 연구에서는 대청호 저수구역 내에서 영농활동이 이루어지는 지역을 대상으로 영양염류 및 유기물의 용출속도를 분석하고자 하였다. 실험결과를 통해 얻은 용출특성은 저수구역 내 경작지로부터 발생하는 오염가능성 예측과 침수된 경작지가 저수구역 내 수질에 미치는 영향을 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 방 법

1. 연구대상지역

대청호로 유입되는 오염물질은 대청호 상류에서 금강분류로 유입되는 부하량과 대청호로 직유입되는 하천부하량, 대청호 홍수조절지 내 침수에 의한 용출부하량, 홍수조절지의

경작지에서 지표 및 기저유출로 배출되는 부하량 등으로 구분된다. 오염물질 부하량은 오염물질 농도와 유량으로 산정되기에 대청호 유입 오염물질 부하량 중에서 가장 큰 부하량은 높은 유량을 가진 대청호 상류 금강분류로 유입되는 부하량이다. 그러나 대청호 상류의 금강분류를 통해 유입되는 부하량 관리는 높은 유량 때문에 비용측면에서 효율적인 관리가 쉽지 않다. 따라서, 대청호 수질개선을 위한 효율적 오염부하량 관리는 대청호 직유입 하천 (옥천천, 회인천, 품곡천, 주원천), 홍수조절지 내 침수지역과 경작지 관리가 중요하다.

대청호는 건설 당시부터 수몰지역 주민과의 마찰을 줄이기 위하여 홍수조절지 내에 다양한 형태의 경작을 허용하고 있다. 대청호 홍수조절지의 계획홍수위는 80 m이며, 경작허가수위 (상시만수위)는 76.5 m로 약 3.5 m의 수위 범위에서 경작허가가 이루어지고 있으나, 일부 지역에서는 경작허가수위인 76.5 m 이하에서도 미허가의 경작활동이 이루어지고 있는 실정이다. 허재영과 박정규 (2009)의 홍수조절지 내 친환경농업의 수질오염 기여도에 관한 조사연구에서 대청호 유역의 계획홍수위와 상시만수위 사이의 홍수조절지내 경작면적은 2007년 기준 3,665필지, 면적은 3,815.84 m²으로 대부분 수몰민을 중심으로 점용이 허가되었지만, 현황조사 및 경작, 수확실태 등 사후관리가 전무하고 수질오염의 현황이 계량화되어 있지 않다.

대청호 유역 홍수조절지 내 미허가 경작지와 재배작물 조사를 위해서는 정확한 경작지 경계 DB구축이 필요하다. 이에 본 연구에서는 대청호유역을 대상으로 수집한 항공정사영상을 기반으로 경작지 경계를 디지털화하여 경작지 경계 DB를 구축하였다. 이때 경작지 분포도는 계획홍수위 (80 m)에서 경작허가수위 (상시만수위, 76.5 m) 사이에 위치한 경작지와 경작허가수위 이하에서 미허가로 경작되고 있는 경작지에 대해서 분포도를 작성하였다.

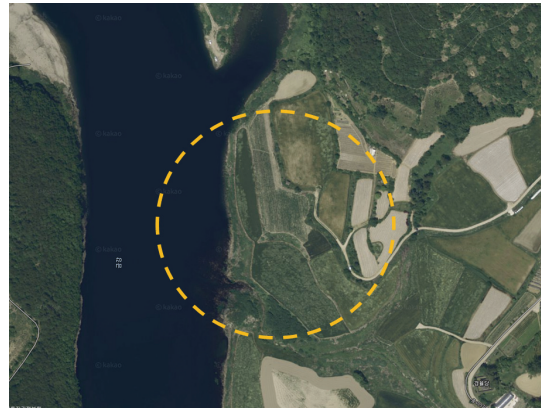
경작지 분포도 작성을 위하여 국토지리정보원에서 제공하고 있는 해상도 50 cm의 2016년 항공정사영상을 동일한 좌표계로 대청호 유역의 항공정사영상 자료를 수집하였다. 수집된 대청호 유역 항공정사영상 자료를 활용하여 계획홍수위 이하에 위치한 경작지를 기준으로 디지털화 작업을 수행하였으며, 이를 통해 대청호 유역 홍수조절지 내 경작지 경계를 구축하였다. 구축된 경작지 경계 자료를 이용하여 소권역·행정구역별 경작지 개소수 및 경작지 면적 현황 조사를 수행하였다.

2. 저수구역 내 시료채취

대청호 유역 홍수조절지 내 경작지의 침수에 따른 영양염류 용출특성을 분석하기 위해 토양 샘플링 대상 경작지를 선



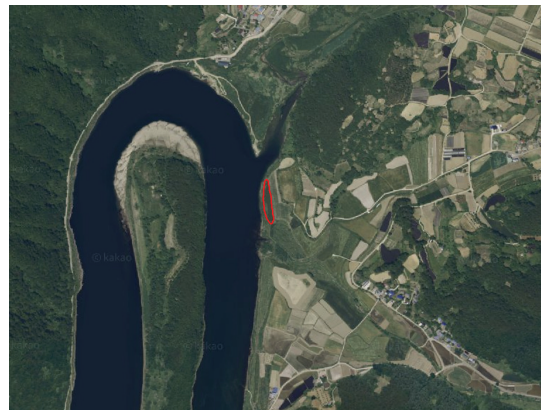
(a) Aerial image in 2012



(b) Aerial image in 2016

Fig. 1 Comparison of aerial images for selecting inundated agricultural lands

(a) Agricultural land A



(b) Agricultural land B

Fig. 2 Soil sample collection sites in the Daecheong lake

정하였다. 대상지역 내 경작지 중 최근 10년간 최대 수위 (77.91 m) 이하에 위치한 경작지 중 모니터링 수행 지점에 해당되는 경작지를 조사하였다. 조사된 경작지 중 최근 10년간 최대 수위를 기록했던 해 (2012년)와 최근 (2016년)의 항공정사영상을 비교하여 과거에 침수된 적이 있는 경작지를 토양 시료 채취 대상 경작지로 선정하였다 (Figs. 1, 2). 두 경작지의 토양을 각각 A와 B로 기술했으며, Fig. 2의 (a) 지역을 A, (b) 지역을 B로 하였다.

3. 용출실험 및 분석

대청호 상류 농경지의 토양으로부터 발생하는 오염가능성을 예측하기 위하여 대청호 상류에서 영농활동이 이루어지는 지점을 대상으로 용출시험을 실시하고자 하였다. 대청호 유역 저수구역 내 경작지 시료는 A와 B 두 지점에서 여름철 장마가 발생하기 전에 채취한 토양시료를 사용하였다. 토양

시료는 운반 및 코어작업 중 교란을 막기 위해 원형통을 이용하여 채취하였으며, 용출실험을 위한 아크릴 반응조에 최대한 교란없이 이동하였다. 또한, 농경지 침수에 의한 토양의 용출속도를 재현하기 위하여 강우 전·후 현장용수를 채수하여 용출실험을 실시하였다.

용출실험은 Table 1과 같이 3차례에 걸쳐 2개씩 총 6개를 수행하였으며, 1차 실험에서는 경작지 시료 A와 B 그리고 강우 전 현장용수를 이용하여 용출실험을 실시하였다 (A, B). 2차 실험에서는 경작지 시료 A와 강우 후 현장용수를 이용하여 실험하였으며 (A-1, A-2), 3차 실험은 현장용수와 증류수에 따른 용출반응 속도를 분석하기 위하여 경작지 시료 A와 강우 후 현장용수를 이용하여 실험하였다 (A-1(증류), A-2(현장용수)).

용출실험은 6개의 시료모두 Fig. 3과 같이 아크릴 재질 반응조에 1리터 부피의 대상 퇴적물을 넣은 후, 현장용수를 채

Table 1 Condition for analysis of leaching test

Experiment order	Soil conditions	Water samples	Experiment periods	Sample ID
1st	Agricultural land soil A	Field water before rainfall	18.09.11~10.11	A
	Agricultural land soil B		18.09.11~10.11	B
2nd	Agricultural land soil A	Field water after rainfall	18.10.24~11.02	A-1
			18.10.24~11.02	A-2
3rd	Agricultural land soil A	Distilled water	18.11.12~12.09	A-1
		Field water after rainfall	18.11.12~12.09	A-2

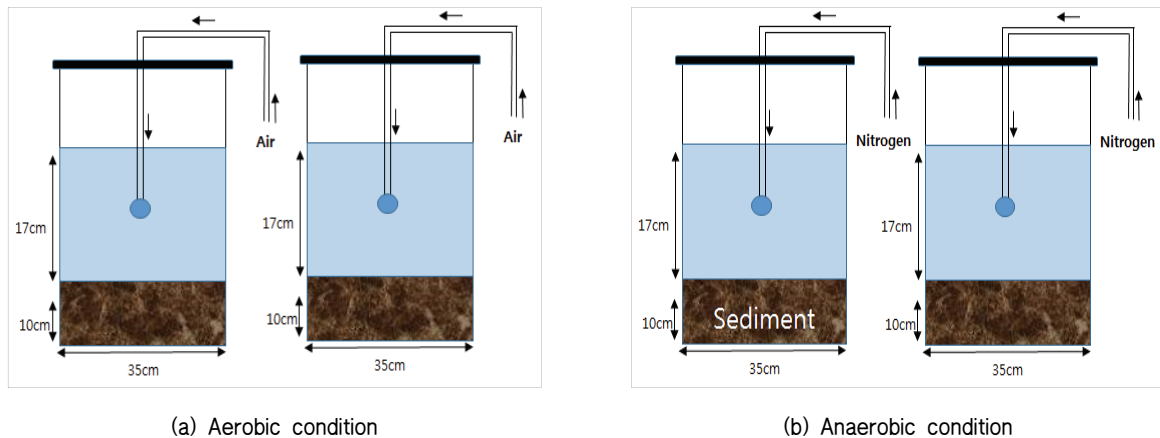


Fig. 3 Schematic diagram of apparatus used for leaching test

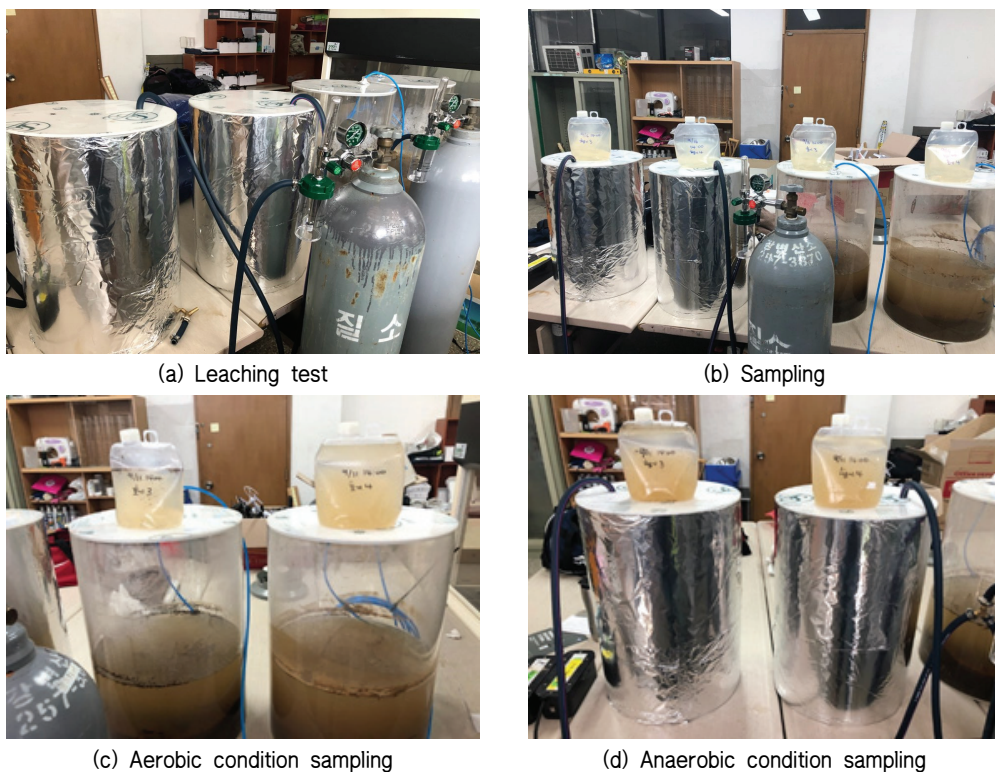


Fig. 4 Photographs and sampling of leaching test

우고 호기조건과 혐기조건을 유지하여 수행하였다. 혐기성 조건은 실험장치 내의 산소공급이 되지 않도록 밀봉하여 질소 (N₂)가스를 연속적으로 주입하였으며, 광합성에 의한 산소 조건 방지를 위해 알루미늄 호일을 이용하여 반응조의 빛을 차단하였다. 호기성 조건은 아크릴 반응조 내의 DO 농도가 9~10 mg/L를 유지하도록 연속적으로 산소 (O₂)를 주입하였다.

용출실험 장치에 농경지 토양을 넣고, 상등수를 채우는 과정에서 물리적인 충격에 의해 영양염류가 용출되는 것을 최소화하기 위하여 반응조의 벽면을 따라 천천히 물을 채웠다. 1차 실험에서는 15리터의 물을 상등수로 채웠으며, 2차 실험부터는 시료를 채취하면서 용출속도를 분석하기 위한 시료량을 충분히 하기 위해 20리터로 증가하여 실험하였다.

1차 실험은 반응조 설치 후 하루는 12시간 간격으로 채수하고, 그 후에는 24시간 간격으로 일주일 동안 채수하며, 그 이후에는 3일 간격으로 총 1개월 동안 채수하여 분석하였다. 2차 실험에서는 하루는 12시간 간격으로 채수하고, 그 후에는 24시간 간격으로 일주일 동안 채수하며, 이후에는 3일 간격으로 채수하여, 총 10일간 분석하였다. 3차 실험에서는 1개월 동안 3일 간격으로 채수하여 분석하였다 (Fig. 4).

채취한 시료는 수질공정시험기준 (환경부, 2017)에 준하여 COD_{Mn}, T-N, T-P, PO₄-P, NH₃-N, NO₃-N, NO₂-N 총 7개 항목을 분석하였으며, 분석된 결과와 식 (1)을 이용하여 용출속도를 산출하였다.

$$\text{용출속도} = \left(\frac{g \text{ N or P}}{m^2 \times \text{day}} \right) = \frac{(C_A - C_I) \times V}{(T \times A)} \quad (1)$$

여기서, C_I : 초기 N 및 P 계열의 초기농도 (g N or P / L)

C_A : N과 P 계열의 나중 농도 (g N or P / L)

V : 반응조 내 현장수의 용량 (L)

T : 시간 (day)

A : 반응조의 면적 (m²)

III. 결과 및 고찰

1. 저수구역 특성 분석

대청호 홍수조절지 내 소권역은 7개 (대청댐, 대청댐상류, 소옥천하류, 대청댐조절지, 보청천하류, 보청천합류전, 소옥천상류)이며, 대청호 유역 홍수조절지 내 경작지 경계를 대상으로 디지털타이징을 수행한 결과 3,439개의 경작지가 분포하는 것으로 나타났다 (Fig. 5). 대청댐 소권역에 2,190개, 대청댐상류 소권역에 1,126개, 소옥천하류 소권역에 121개, 보청천

하류 소권역에 2개의 경작지가 분포하는 것으로 나타났다.

홍수조절지의 계획홍수위 (80m) 이하 모든 경작지 (상시만수위 이하 경작지 포함) 면적은 2.1 km²로 산정되었으며, 이 중에서 경작허가수위 (76.5 m) 이하 경작지 면적은 0.4 km²로 조사되었다. 계획홍수위와 경작허가수위 사이에 위치하고 있는 경작지는 1.7 km²로 조사되었다.

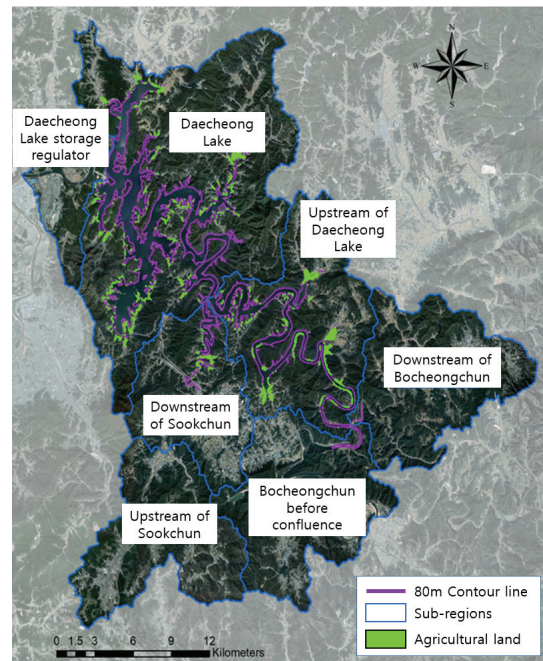


Fig. 5 Current status of agricultural land in sub-regions and flood control areas in Daechung Lake

2. 용출속도 분석

대청호 유역 저수구역 내 경작지 시료 토양으로부터 영양염류 및 유기물의 용출속도를 분석하였다. 농경지의 영농활동 및 토양에 포함된 영양염류는 용출을 통하여 대청호로 유입되어 내부부하를 가중시킬 수 있기 때문에 홍수기 대청호 유역 저수구역 내 경작지 시료에서 용출될 수 있는 영양염류의 양과 용출조건을 파악하는 것은 호소의 수질관리 측면에서 중요하다.

1차 실험결과 경작지 A의 COD 용출속도는 호기와 혐기조건에서 (+)양의 값, T-N의 호기와 혐기조건에서 (-)의 값으로 나타났으며, T-P의 호기와 혐기조건에서 (+)양의 값인 것으로 나타났다. 경작지 B의 COD 용출속도 산정결과 호기조건에서 (-)음의 값, 혐기조건에서 (+)양의 값으로 나타났으며, T-N의 호기와 혐기조건에서 (-)음의 값, T-P의 호기와 혐기조건에서 (+)양의 값인 것으로 나타났다 (Table 3). NO₃-N는 경작지 A와 B 시료에서 모두 혐기와 호기조건에서 (-)음의 값으로 나

타났으며, $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 혐기와 호기조건에서 (+)양의 값으로 나타났다. 그러나 $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 혐기조건에서는 (+)양의 값, 호기조건에서는 (-)음의 값으로 나타났다. $\text{NO}_2\text{-N}$ 의 경우는 호기조건에서는 모두 (-)음의 값으로 나타났으나 혐기조건에서는 경작지 A는 (+)양의 값, 경작지 B는 (-)음의 값인 것으로 나타났다 (Fig. 6, Fig. 7). 1차 실험에서 혐기조건의 경작지 A와 B 토양 모두 COD와 T-P 항목에서 용출속도가 양의 값으로 나타났다. 이는 혐기조건에서 미생물이 DO 부족으로 퇴적물 내 화학적으로 결합되어 있는 산소를 소모하고, 이온교환을 통하여 인을 수중으로 용출되었기 때문으로 보여진다. T-N 항목은 용출 속도가 음의 값으로 나타났으며, 이는 용출이 끝난 후 더

이상 용출이 일어나지 않고 오히려 용출된 질소가 분해 또는 토양에 흡착된 것으로 보여진다.

2차 실험결과 경작지 A-1과 A-2의 COD 용출속도는 호기와 혐기조건에서 (+)양의 값, T-N의 호기조건에서 (+)양의 값, 혐기조건에서 (-)음의 값으로 나타났으며, T-P의 호기와 혐기조건에서 (+)양의 값인 것으로 나타났다 (Table 3). 2차 실험의 경우 $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 항목에서 모두 (+)양의 값으로 나타났다. 그러나 $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 혐기조건에서는 (+)양의 값, 호기조건에서는 (-)음의 값으로 나타났다 (Fig. 8, Fig. 9). 2차 실험의 경우 1차 실험과 달리 강우에 의한 현장용수의 변화와 10일간의 짧은 시간 동안 분석한 결과가 용출속도의 변화를 보여준 것으로

Table 2 Soil analysis results before and after leaching test

Sample number	Sample name	Total nitrogen(%)	Total phosphorus(mg/kg)
1	Before release experiment	0.10	696.67
2	Field water (aerobic condition)	0.11	615.25
3	Field water (anaerobic condition)	0.12	604.96
4	Distilled water (aerobic condition)	0.11	613.51
5	Distilled water (anaerobic condition)	0.12	597.64

※ Total nitrogen ppm = % $\times$ 10,000

Table 3 Releasing rate result

(Unit: mg/m²/day)

1st		Agricultural land A	Agricultural land B
COD	Aerobic condition	73.93	-3.52
	Anaerobic condition	159.93	131.77
T-N	Aerobic condition	-28.31	-35.25
	Anaerobic condition	-17.48	-38.57
T-P	Aerobic condition	4.65	0.39
	Anaerobic condition	8.92	5.47
2nd		Agricultural land A-1	Agricultural land A-2
COD	Aerobic condition	120.57	39.50
	Anaerobic condition	143.43	72.76
T-N	Aerobic condition	80.93	56.67
	Anaerobic condition	-24.01	-31.74
T-P	Aerobic condition	16.98	7.67
	Anaerobic condition	18.58	9.83
3rd		Agricultural land A-1	Agricultural land A-2
COD	Aerobic condition	137.20	29.80
	Anaerobic condition	155.21	105.32
T-N	Aerobic condition	27.24	26.34
	Anaerobic condition	17.50	-1.83
T-P	Aerobic condition	6.47	2.00
	Anaerobic condition	6.57	3.94

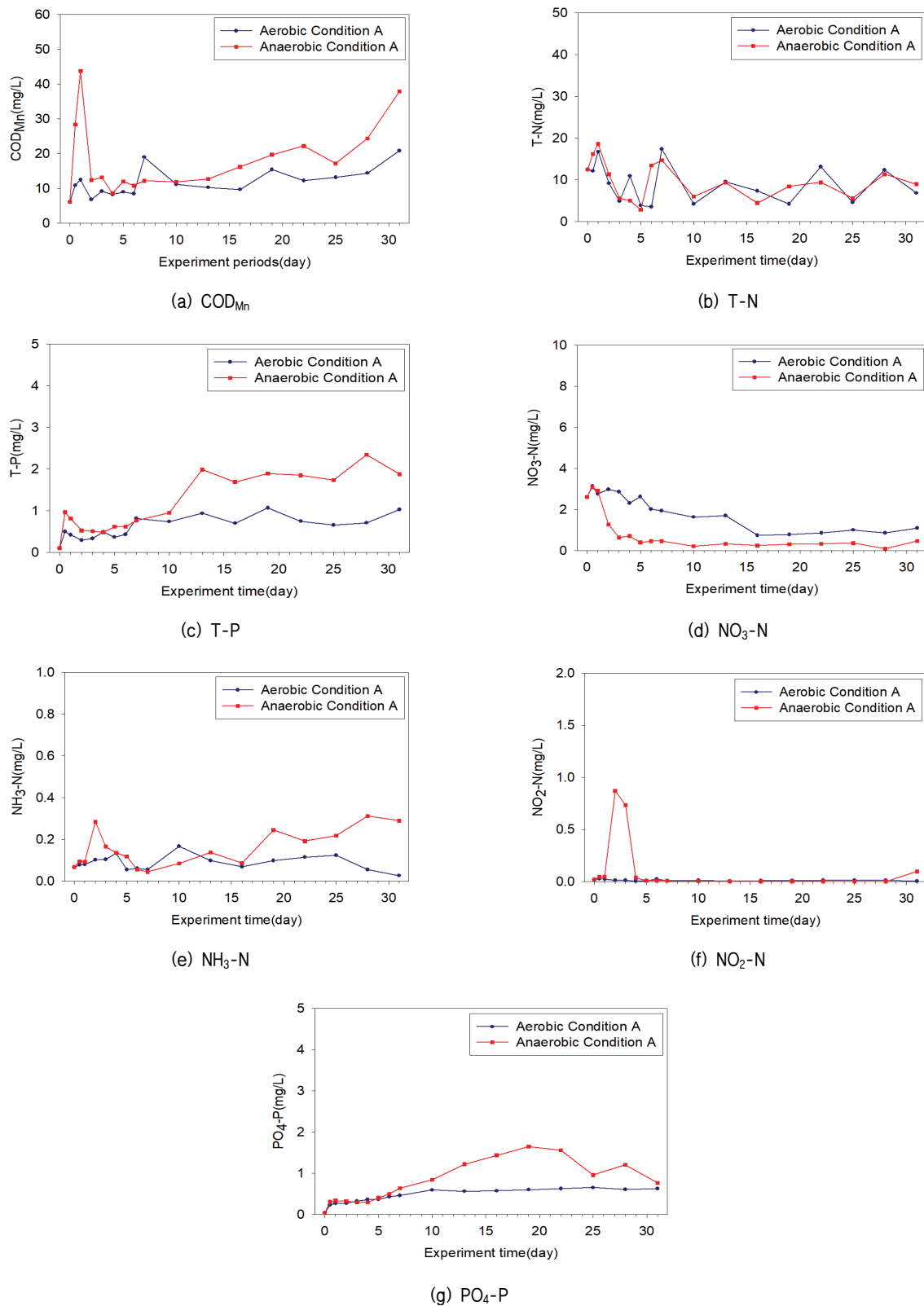


Fig. 6 Variation in concentration over time in agricultural land A (1st)

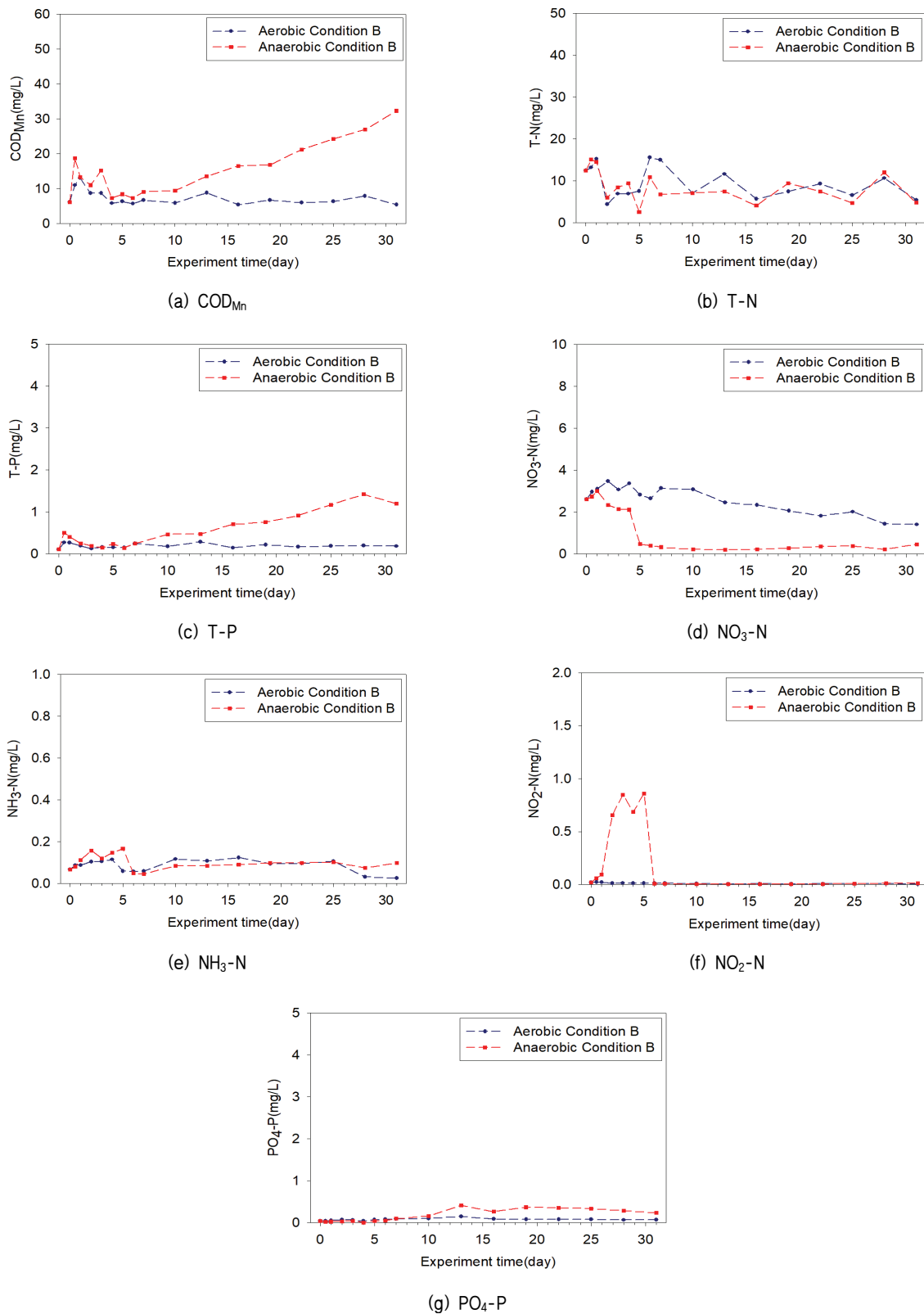


Fig. 7 Variation in concentration over time in agricultural land B (1st)

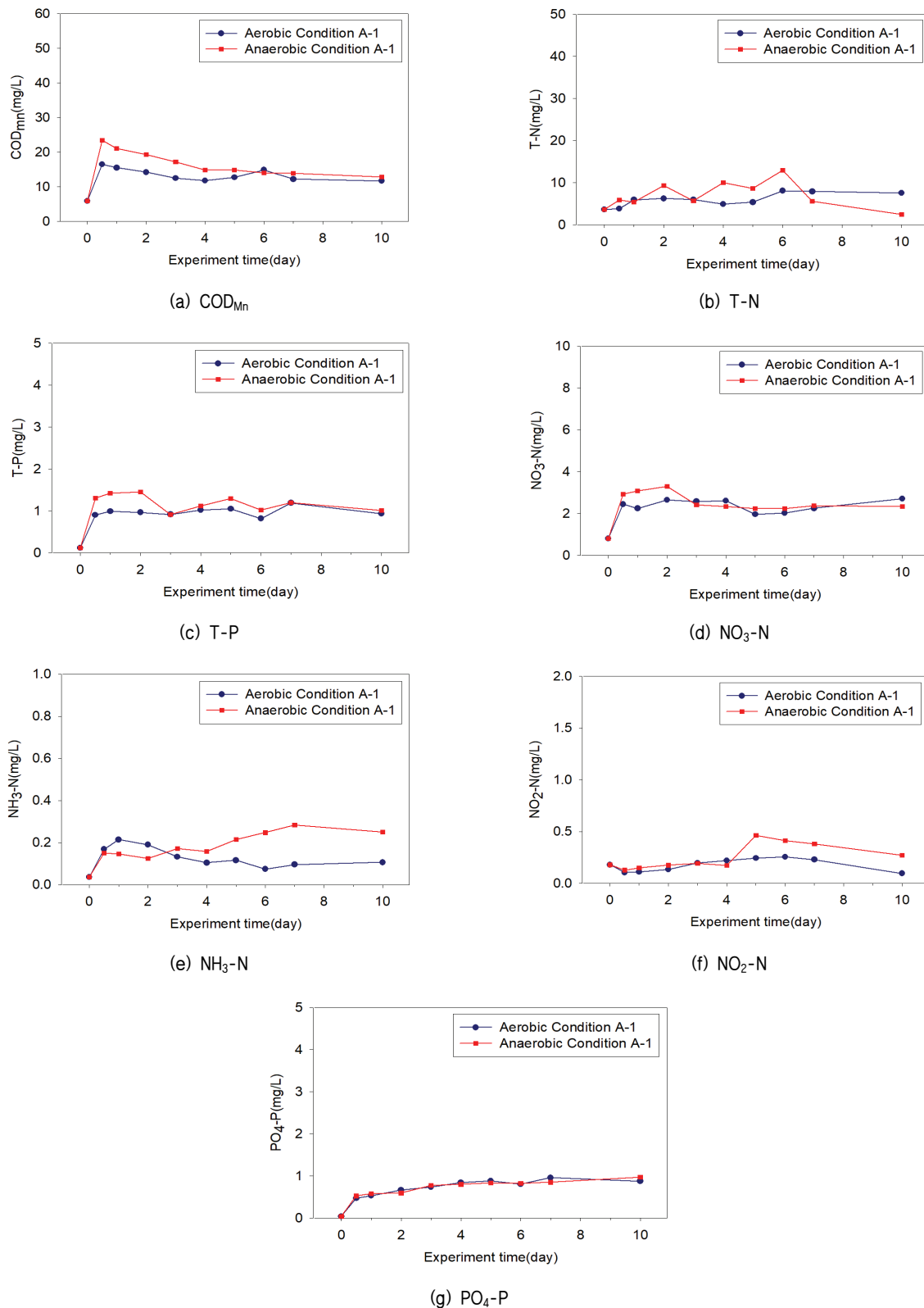


Fig. 8 Variation in concentration over time in agricultural land A-1 (2nd)

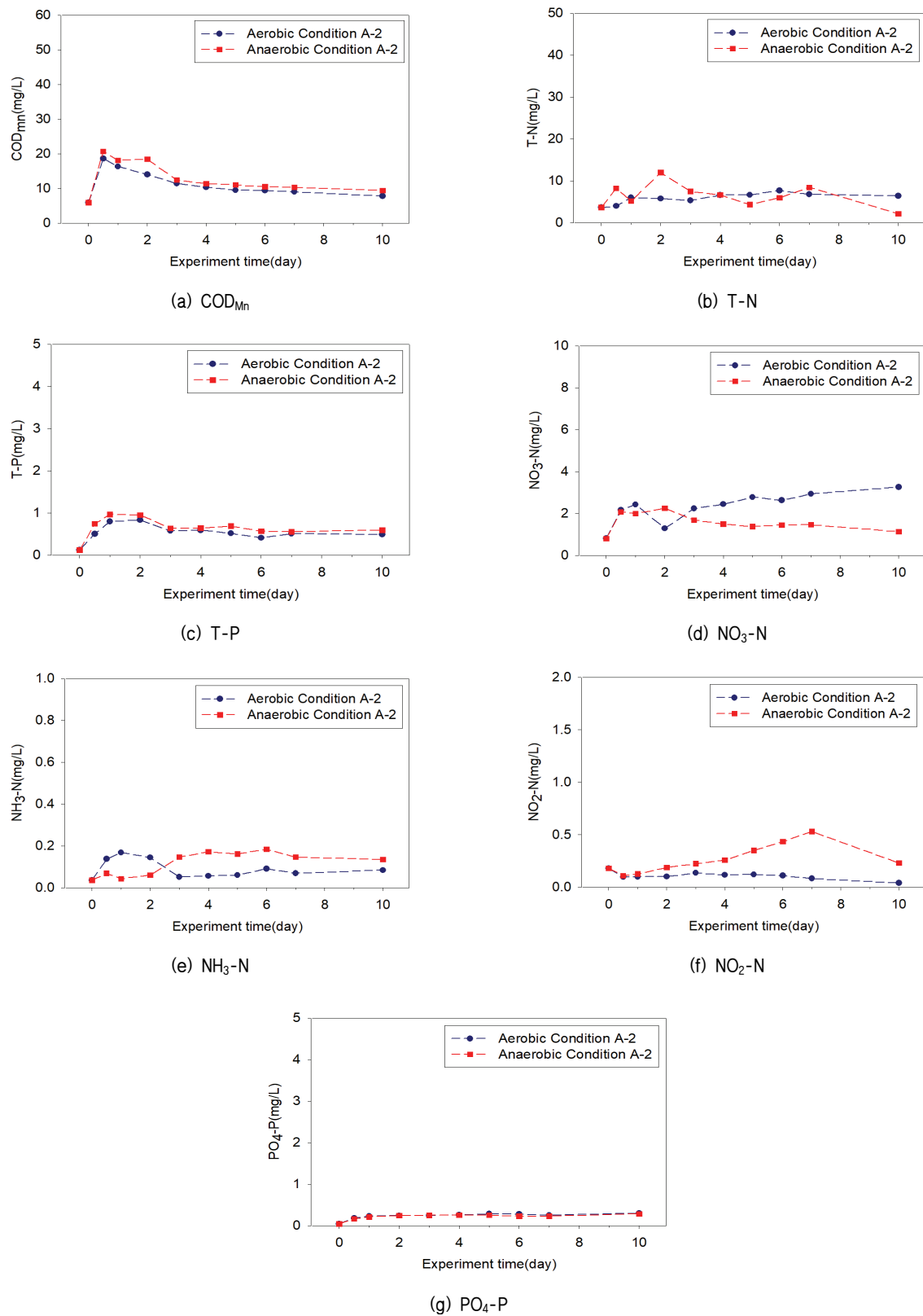


Fig. 9 Variation in concentration over time in agricultural land A-2 (2nd)

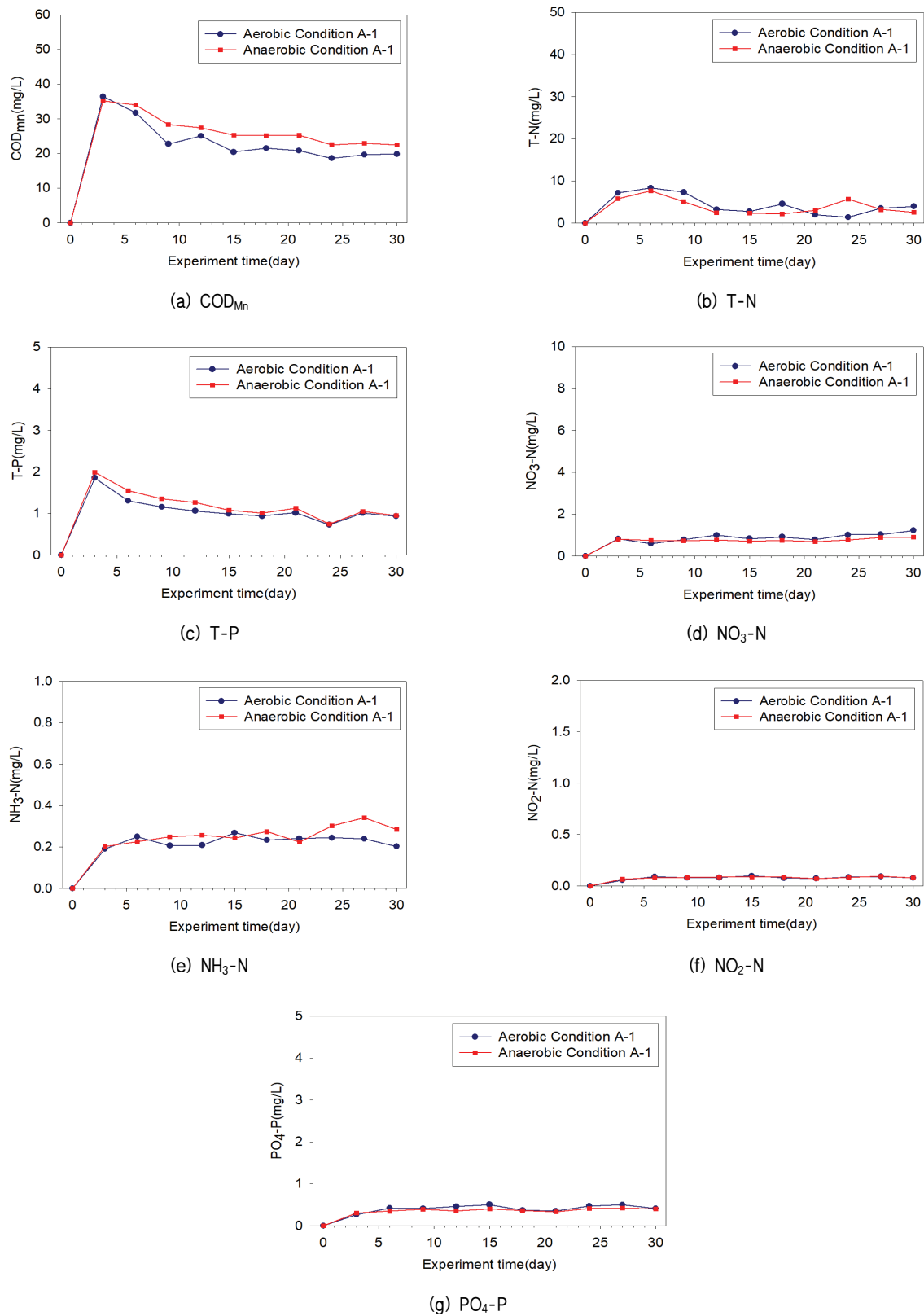


Fig. 10 Variation in concentration over time in agricultural land A-1 (3rd)

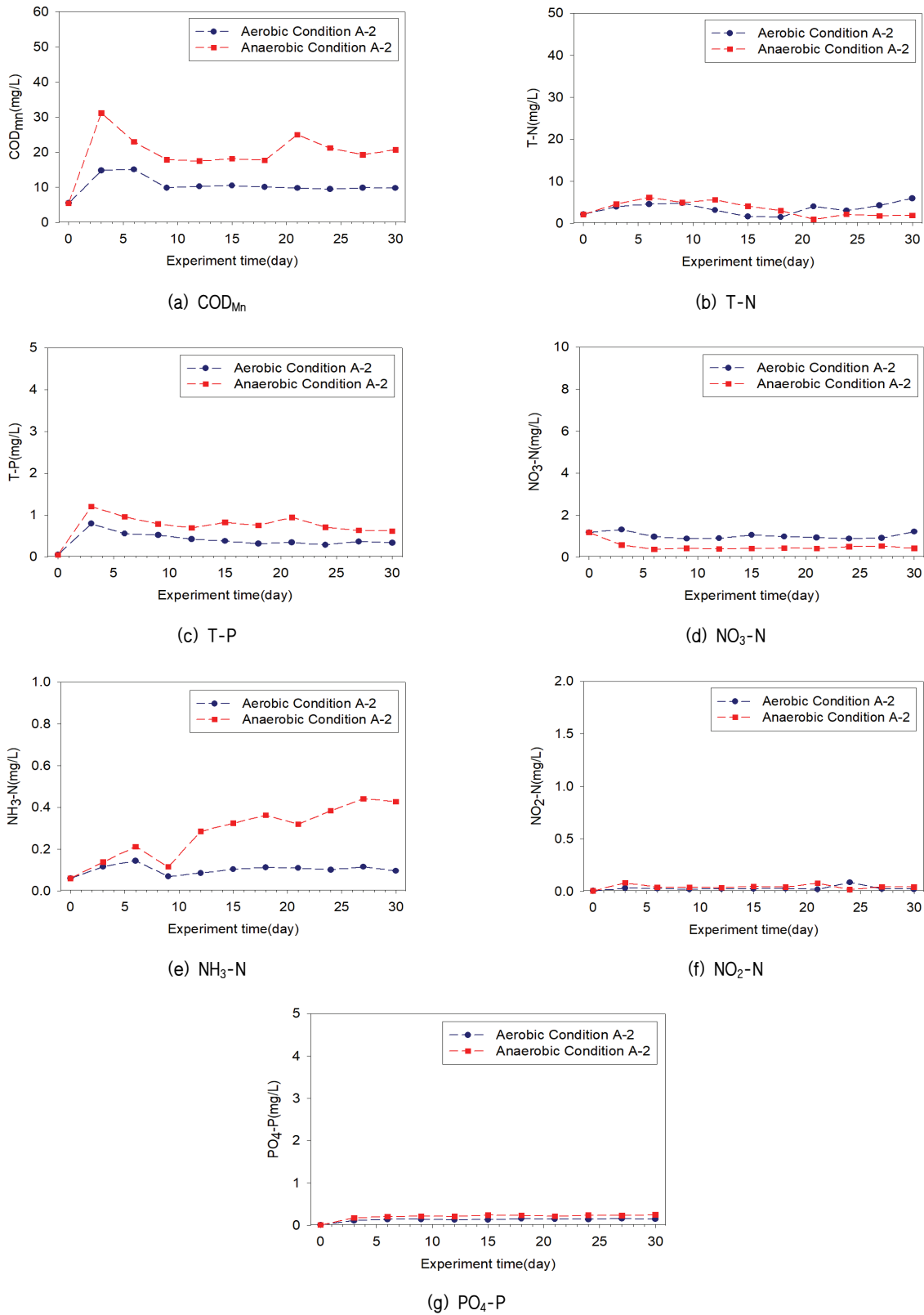


Fig. 11 Variation in concentration over time in agricultural land A-2 (3rd)

판단된다. 또한, 2차 실험에서 동일한 경작지의 조건으로 실험하였음에도 불구하고 용출속도가 차이가 나는 것은 토양에 함유되어 있는 유기물과 영양염류가 차이로 보여진다.

따라서, 3차 실험에서는 토양시료의 총질소와 총인의 함량을 분석하여 용출에 따른 변화를 추가 분석하였다. 2차 실험에서는 COD와 T-P 항목에서 용출속도가 양의 값으로 나타났으며 T-N 항목의 용출속도는 호기조건에서 양의 값, 혐기조건에서 음의 값으로 나타났다. 이는 혐기성 상태에서 미생물이 호흡을 하기 위하여 질소를 질소가스로 환원시키는 탈질화가 일어났기 때문으로 보여진다.

3차 실험결과 경작지 A-1 (증류수)의 COD 용출속도는 호기와 혐기조건에서 (+)양의 값, T-N의 호기와 혐기조건에서 (+)양의 값으로 나타났으며, T-P의 호기와 혐기조건에서 (+)양의 값으로 나타났으며, T-P의 호기와 혐기조건에서 (+)양의 값으로 나타났으며, T-N의 호기조건에서 (+)양의 값, 혐기조건 (-)음의 값으로 나타났으며, T-P의 호기와 혐기조건에서 (+)양의 값으로 나타났으며, T-N 항목의 혐기조건인 경우 증류수는 양의 값으로 나타났으나 현장용수는 음의 값으로 나타났다 (Table 3). 이는 현장용수에 존재하는 미생물의 호흡에 의해 탈질화가 일어났기 때문으로 보여지며, 반대로 증류수에는 미생물이 존재하지 않기 때문에 탈질화가 발생되지 않아 질소가 용출된 것으로 분석된다. 또한, 질소계열을 제외한 COD와 T-P 그리고 $PO_4\text{-P}$ 항목에서 현장수보다 증류수 실험에서 용출이 더 큰 것으로 나타났으며, T-N은 호기조건에서 혐기조건보다 용출되는 속도가 더 빠른 것으로 나타났다 (Figs. 10, 11).

연구결과와 같이 수질의 유기물 오염물질을 나타내는 지표인 COD 항목의 경우 혐기조건에서 모두 농경지 토양의 용출이 발생하는 것으로 나타났으며, 하천이나 호소의 부영양화를 나타내는 지표중의 하나인 T-P의 경우도 혐기와 호기조건에서 모두 용출이 되는 것으로 나타났다. 그러나 질소계열의 경우 강우가 발생하기 전에는 토양에 의한 용출이 되지 않는 것으로 나타났으며, 강우가 발생하여 토양이 저류되면 호기성 조건에서 용출이 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 토양시료의 영양염류 변화를 분석하기 위해 용출실험 전과 용출 실험 후 토양을 채취하여 분석한 결과 현장수와 증류수 그리고 호기와 혐기 조건에서 질소의 함유량은 증가하여 용출이 발생하지 않는 것으로 보여지며, 인의 함유량은 감소하여 토양의 용출이 이루어진 것으로 보여진다 (Table 2).

IV. 결 론

본 연구에서는 저수구역 내 경작지로부터 발생하는 오염가

능성을 예측하기 위하여 영농활동이 이루어지는 경작지의 토양을 대상으로 영양염류 및 유기물의 용출속도를 분석하였다.

대청호 유역 홍수조절지 내 경작여부 및 재배작물 조사 등을 위해 대청호 유역의 항공정사영상을 기반으로 홍수조절지 내 경작지 경계를 추출한 결과, 3,439개의 경작지가 분포하는 것으로 나타났으며, 전체 경작지 면적 중 약 46.6%의 경작지는 대청댐 소권역, 약 46.5%의 경작지는 대청댐상류 소권역에 위치하는 것으로 나타났으며, 소옥천하류와 보청천하류 소권역에는 각각 약 6.8%와 약 0.1%의 경작지가 위치하는 것으로 나타났다.

대청호 유역 홍수조절지 내 경작지 (밭)가 홍수기 내 침수가 될 경우 수질의 유기물 오염물질을 나타내는 지표인 COD 항목의 경우 혐기조건에서 모두 농경지 토양의 용출이 발생하는 것으로 나타났으며, 하천이나 호소의 부영양화를 나타내는 지표중의 하나인 T-P의 경우도 혐기와 호기조건에서 모두 용출이 되는 것으로 나타났다. 그러나 질소계열의 경우 강우가 발생하기 전에는 토양에 의한 용출이 되지 않는 것으로 나타났으며, 강우가 발생하여 토양이 저류되면 호기성 조건에서 용출이 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 토양시료의 영양염류 변화를 분석하기 위해 용출실험 전과 용출 실험 후 토양을 채취하여 분석한 결과 현장수와 증류수 그리고 호기와 혐기조건에서 모두 질소와 인의 함유량이 감소하여 토양의 용출이 이루어진 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구결과와 같이 저수구역 내 경작지에서의 홍수기 용출이 발생하기 때문에 적정 시비를 통한 오염물질 투입을 줄이거나 영농활동을 줄일 수 있는 대책마련이 필요할 것으로 보여진다. 실험결과를 통해 얻은 용출특성은 침수된 경작지가 저수구역 내 수질에 미치는 영향을 파악하여 효율적 농업비점오염 관리정책에 반영 가능할 것으로 판단되며, 경작지별 용출속도를 산정하기 위해 농경지 외에 추가적으로 논과 초지를 대상으로 한 용출실험이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 금강수계관리위원회에서 시행한 “대청호 저수구역 경작영향 조사 및 대책마련”에 의해 수행되었음.

REFERENCES

1. Cho, Y. C., and S. W. Chung, 2007. Sediment release rate of nutrients from namyang reservoir. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 29(12): 1345-1352 (in

- Korean).
2. Huh, J. Y., and J. K. Park, 2009. A Survey on effects of environment-friendly farming in the flood control area of a dam reservoir on water pollution. *2009 Korean Society of Civil Engineers of Academic Conference* 3491-3494 (in Korean).
3. Jarvie, H. P., A. N. Sharpley, P. J. Withers, J. T. Scott, B. E. Haggard, and C. Neal, 2013. Phosphorus mitigation to control river eutrophication: Murky waters, inconvenient truths, and “postnormal” science. *Journal of Environmental Quality* 42(2): 295-304.
4. Ki, B. M., B. M. Lim, E. H. Na, and J. H. Choi, 2010. A study on the nutrient release characteristics from sediments in the asan reservoir. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 32(1): 1-8 (in Korean).
5. Ribaud, M., J. Delgado, L. Hansen, M. Livingston, R. Mosheim, and J. Williamson, 2011. *Nitrogen In Agricultural Systems: Implications For Conservation Policy*. USDA Economi. Research Report NO. 127
6. Su, X., H. Wang, and Y. Zhang, 2013. Health risk assessment of nitrate contamination in groundwater: A case study of an agricultural area in Northeast China. *Water resources management*: 3025-3034.
7. Ministry of Environment, 2017. Water pollution process test standards.
8. Ministry of Environment, 2018. Annual report on the occurrence and response of algee (water bloom) in 2017.