홍동저수지 퇴적토의 유기물 용출 특성 분석을 통한 효율적인 저수지 관리 방안 연구

이영신¹ · 신상희^{2*}

¹한서대학교 환경공학과, ²한국건설기술연구원 Geo-인프라연구실

Effective Reservoir Management Methods using Nutrients Leaching Characteristic Analysis: Case Study of the Hongdong Reservoir

Young-shin Lee¹ and Sang-hee Shin^{2*}

¹Department of Environmental Engineering, Hanseo University

²Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Construction and Technology

농업용 저수지의 수질 개선을 위한 효율적 관리 방안은 본 연구에서 제시되었다. 홍동 저수지는 저수지 유역 내에 농경지, 산림지역, 주거지역, 그리고 축산지역 등을 포함하고 있다. 수질 환경을 복원시키기 위해 우선 저수지 내 퇴적물의 오염도를 조사되었고 저수지내 퇴적토의 잠재적인 영양염류인 분석한 결과 총질소(T-N)는 1.06 g/m²-d~3.67 g/m²-d로 분포를 보이고 총인(T-P)는 0.52 g/m²-d~1.12 g/m²-d로 측정되었다. 또한 퇴적토 준설 시 용출 특성 분석을 위해 72시간동안 20 혐기성 조건으로 시험을 진행되었다. 총인(T-P)과 (인산염인) PO₄-P의 농도는 시간에 따라 비교적 일정하게 용출되는 특성이 나타났으며 총질소(T-P)의 경우에 아질산성 질소(NO₂-N)와 질산성 질소(NO₃-N)의 탈질산화로 인하여 그농도가 불규칙적으로 용출되는 특성을 보였다. 특히, 암모니아인 경우는 컬럼 내부의 혐기성 조건으로 형성된 낮은 pH로 인하여 질소(N₂)와 함께 용출 양은 극히 미량으로 측정되었다.

주요어 : 저수지 관리, 퇴적토, 인, 질소, 용출특성, 영양분

This study proposes an efficient management plan for improving the water quality of agricultural reservoirs. Hongdong reservoir is located in an area that includes farmland, forest, residential housing, and livestock farms. The levels of pollutants in Hongdong reservoir were investigated with the aim of improving the water quality in the reservoir. The potential concentrations of total nitrogen (T-N) and total phosphorus (T-P) in Hongdong reservoir were 1.06-3.67 and 0.52-1.12 g/m²-d, respectively. An analysis of leaching characteristics was performed under anaerobic conditions for 72 hours at 20°C. The concentrations of T-P and PO₄-P were measured by general leaching for a set period. In the case of T-P, the leaching was measured by irregular leaching due to denitrification of nitrite nitrogen (NO₂-N) and nitrate nitrogen (NO₃-N). A very small amount of NH₃-N on nitrogen (N₂) was measured due to the low pH in the column, as a consequence of the anaerobic conditions.

Key words : Reservoir management, Sediment, Phosphorus, Nitrogen, Leaching characteristics, Nutrients

*Corresponding author: scott@kict.re.kr

© 2013, The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

국내 전국의 많은 지역에 댐 건설로 인해 저수지가 확장 및 보수되었으며, 생활용수, 공업용수, 농업용수의 저장기능을 하는 저수지에 가정하수, 산업폐수에 포함된 영양염의 유입으로 각종 플랑크톤이 대량 번식하여 부영양화 되었거나, 부영양화 발생가능성이 높다. 또한, 안정된 용수공급과 홍수조절을 위해 흐르는 하천의 흐름을 막아 많은 인공 저수지를 건설하고 있으며, 이로 인하여 정제된 수역이 형성됨으로서 수질을 악화시키는 요인으로 작용하고 있다(Kwon, 1998).

우리나라의 강우특성은 연중 강우량의 60-70%가 하절기에 집중되기 때문에 농·산간지역의 비 점원 오염원으로부터 유입되는 오염물질량 역시 강우기에 대량 유출되고 있다. 특히 농·산간지역에 위치한 저수지의 경우 강우 시 유출되는 수량을 저수하여 관개 시에 사용하기 때문에 저류시간이 긴 것이 특징이다. 이와 함께 강우 유출수와 함께 저수지로 유입된 오염물질 역시 저수지 내에 축적되며, 유역에서 과도한 영양물질이 유입되게 되면 저수지의 부영양화 등 수질악화를 초래하게 된다. 그러나 저수지로 유입되는 오염물질의 많은 부분은 강우 시 초기 유출수와 함께 일시에 유입되는 양이 대부분을 차지하기 때문에 저수지의 수질관리를 위하여 강우중의 오염물질을 효과적으로 배제 또는 처리할 수 있는 관리기법의 연구가 절실하다.

이러한 필요성에 따라 현재 국내에서 대규모의 다목적 댐유역에 대한 비점원 오염원의 유출특성에 대한 연구는 기존에 개발된 기술의 적용 및 검증 등을 통하여 상당히 진행되었으나, 전국에 걸쳐 산재한 소규모 농업용 저수지에 대한 비점원 오염원에 의한 오염기여도와 부하 량에 대한 자료는 전무한 형편이다. 따라서 초기강우 유출수의 처리 또는 배제를 통한 효율적인 저수지 수질관리기법의 도입을 위해서는 오염물질 부하량에 대한 조사가 필요하다.

본 연구에서는 저수지 관리를 위해 저수지내 퇴적토의 용출 특성을 파악하여 발생하는 영양염류의 양을 산정 및 추산하여 관리대책의 저수지 관리 데이터로 이용할 수 있는 근거를 마련하고자 한다.

연구 지역 및 방법

연구지역

충남 홍성군 장곡면 지정리에 위치하고 있는 홍동저수

Fig. 1. Location of Hongdong reservoir. (<https://maps.google.co.kr/>).

지는 북쪽의 홍동면, 서쪽의 광천읍과 경계를 이루고 있으며 청양군 및 보령시와도 접하고 있다. 상송천과 신흥천 수계가 넓게 분포하고 있는 남쪽에서는 홍동저수지의 지속적인 하천수의 유입이 이루어지고 있는 것으로 조사되었으며, 동쪽에서는 해발고도를 기준으로 약 70-100 m의 산봉우리들이 형성되어 있어 홍동저수지를 감싸고 있는 것으로 조사되었다. 1955년 총 저수량 1,084천 m^3 으로 준공된 홍동정수지는 유효저수량이 972천 m^3 으로써 북쪽, 서쪽 및 동쪽 지형이 높고 중앙부가 평탄한 남북으로 길게 형성된 유역형상을 이루고 있다(Fig. 1).

퇴적물 조사 방법 및 특성

퇴적물 채취

본 연구대상 저수지내 퇴적물 분포 조사를 위하여 Fig. 2a 및 2b에 나타난 클램프(Clamp)형 퇴적물 샘플러와 코어(Core)형 퇴적물 샘플러를 사용하였다. 각 채취지점에서 퇴적물의 존재 및 양을 추산하기 위해서 클램프 형 샘플러를 사용하였으며 퇴적층의 두께 및 수심

Fig. 2. (a) Clamp type sampler, (b) Core type sampler.

Table 1. Location of sediment sampling at Hongdong reservoir.

	1st sampling location	2nd sampling location
H-Up	N 36° 30' 33" E 126° 41' 54"	N 36° 30' 45" E 126° 41' 49"
	N 36° 30' 35" E 126° 41' 57"	N 36° 30' 46" E 126° 41' 56"
	N 36° 30' 36" E 126° 42' 03"	N 36° 30' 46" E 126° 41' 52"
H-Mid	N 36° 30' 45" E 126° 42' 02"	N 36° 30' 56" E 126° 41' 58"
	N 36° 30' 49" E 126° 42' 03"	N 36° 31' 03" E 126° 41' 52"
	N 36° 30' 54" E 126° 42' 03"	N 36° 31' 05" E 126° 41' 55"
H-Down	N 36° 30' 58" E 126° 41' 57"	N 36° 31' 10" E 126° 41' 54"
	N 36° 31' 00" E 126° 41' 53"	N 36° 31' 13" E 126° 41' 52"
	N 36° 31' 05" E 126° 41' 54"	N 36° 31' 16" E 126° 41' 41"

Fig. 3. Sampling location at Hongdong reservoir (circle: location of the 1st investigation; double circle: location of the 2nd investigation).

측정은 코어 형 샘플러를 이용하였다(Fig. 2).

저수지 내 퇴적물 채취지점은 Fig. 3에 나타난 것처럼

저수지를 상류, 중류, 하류지점을 3등분한 후 각각의 위치에 따라 6개 지점을 선정하고 GPS를 이용하여 9회의 퇴적물 조사를 실시하였다(Table 1 and Fig. 3).

퇴적물의 토성

입도 분포 결과를 이용하여 Shepard (1964)의 방법에 따라 삼각 그림에 도식화하여 Fig. 4에 나타내었다. 1차 조사 시 홍동 저수지인 경우 H-Down 지점은 모래가 6.3%를 차지하고 있었으며, H-Up 지점은 Silt 질이 31.5% 정도로 높게 나타났다. 2차조사시 중류(H-Mid) 지점의 경우 1차 조사 시 입도 분포를 비교 한 결과 Sand, Silt 성분이 증가한 대신 Clay 성분이 감소하였다. 입도분포의 분류방법은 입도 분석기를 이용하는 방법 등이 있으나, 각각의 방법마다의 오차범위는 발생한다. 본 연구에서는 가장 보편적으로 사용되고 있으면서 오차가 적고 건식법으로 분류가 불가능한 미세입자의 비율도 산정 가능한 Shepard 분류 방법을 사용하였다 (Shepard 1964).

Fig. 4에서 알 수 있는 것처럼 전 지점에서 Clay가

Fig. 4. Soil texture (after Shepard 1964). (1): 1st investigation, (2): 2nd investigation.

주성분이고 Silt와 Sand 순으로 구성되어 있다. H-Up에서 H-Down으로 갈수록 Clay 성분은 증가하지만, Silt와 Sand 성분은 감소하였다.

퇴적물의 입도분석

퇴적물은 유기물질과 점토를 다량 함유하고 있기 때문에 시료를 건조시키면 수축 등에 의해 입자구조가 크게 변화되어 입도 측정이 힘들어 지거나 전혀 다른 분포 형이 되기 쉽다. 따라서 퇴적물의 입도 분석을 위해 습식법을 이용하여 125 μm 이하, 125-180 μm , 180-250 μm , 250 μm 이상으로 구분하여 체질한 다음 각 체의 걸러진 시료를 105-110°C로 수분이 완전 증발할 때까지 건조시킨 후 무게를 달아 각 지점별 퇴적물 입도 분석을 수행하였다. 채취한 퇴적물을 증류수로 희석하여 해양환경공정시험방법으로 단위건조 중량당 퇴적물 내 함유된 T-N과 T-P를 정량하였다.

퇴적물 내 인의 형태분석을 분석하기 위한 방법은 많은 연구자들(Williams et al., 1971; Kurmies, 1972; Hieltjes and Lijeklema, 1980; Calender and Hammond, 1982) 의해서 연구를 되었다. 그들의 연구에 의하면 호소 퇴적층에 존재하는 오염물질은 수층의 물리, 화학적 변화나 퇴적층의 조건변화에 따라 수층으로 이동되어 호소수질을 오염시키게 된다. 퇴적층의 오염물질이 수층으로 이동하는 속도는 퇴적물의 조성, 저서생물의 활동, 수생식물의 대사작용, 퇴적물 중 오염물질의 존재형태 등에 따라 변화한다. 퇴적물 내 인의 존재형태를 분석하는 방법은 퇴적물을 NaOH, NaCl, Nadithionate, NaH_4CO_3 등과 같은 화학물질을 통해 순차적으로 인을 추출하는 것인데, 한 형태의 인을 추출할 때 다른 형태의

Fig. 5. Phosphorus types based on the process test.

인도 함께 추출되거나 이미 추출된 성분이 다시 흡착될 가능성이 있다는 단점이 있다. 인의 존재형태를 분석하는 방법은 Absorbed-P, NAI-P, Apatite-P와 같이 3가지가 있다.

Williams et al. (1971)은 인회석에 인이 존재하는 경우, 인회석이 아닌 무기인 그리고 유기인 총 3가지로 퇴적물에서 인을 구별하는 방법을 제안하였다. 또한, 인회석에 존재하는 인은 칼슘과 결합되어 있고, 철이나 알루미늄과 착화합물을 이루는 인은 인회석이 아닌 무기인과 거의 같다고 한다. Hieltjes et al. (1980)는 Williams et al. (1971)의 방법과 Kurmies (1972)의 방법에 문제점을 제시하였다. Williams 방법의 경우는 인회석에 존재하는 인과 인회석이 아닌 무기인을 추출하기 위해서 사용된 NaOH와 CDB의 부적절하였음을 지적하였다. 인과 느슨하게 결합된 칼슘을 제거하기 위하여 Alcoholic KCl의 사용을 주장한 Kurmies 방법은 인회질 퇴적물에서 탄산염을 제거하려는 방법을 이용하여 그것의 단점을 확인하였다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 Hieltjes et al. (1980)는 Kurmies 방법에서 제시한 Ethanol과 NH_4Cl 을 같이 사용하는 방식과 NH_4Cl 만을 사용하는 방법을 총 2가지의 실험을 비교한 결과, NH_4Cl 만을 사용하여도 느슨하게 흡착되어진 인을 추출할 수 있다는 결론을 얻었다. 본 방법으로 인들의 형태를 4가지로 구분 하였는데 첫 번째로 인의 형태로 퇴적되어 인을 입자표면에 유동적으로 흡착되어 있는 인(Adsorbed-P), 두 번째로 철 또는 알루미늄과 착화합물을 이루는 인(NAI-P), 세 번째로 인회석 내에 존재하는 인(Apatite-P), 마지막으로 유기물과 관련이 있는 인(Org-P)이다(Fig. 5). 추출된 인(phosphorus)은 수질공정시험법상의 아스코르브산(ascorbic acid) 법을 이용하여 분석되었다.

Fig. 6. a: Schematic diagram of leaching instrument, b: Leaching instrument.

Table 2. Predicted value of T-N and T-P in Hongdong reservoir for the 1st investigation.

Class	H-Up	H-Mid	H-Down	Avg.
T-N (mg/g as N)	1.06	1.00	1.77	1.28
T-P (mg/g as P)	0.52	0.68	0.59	0.60

Table 3. Predicted value of T-N and T-P in Hongdong reservoir for the 2nd investigation.

Class	H-Up	H-Mid	H-Down	Avg.
T-N (mg/g as N)	2.94	2.99	3.67	3.20
T-P (mg/g as P)	1.18	0.54	0.63	0.78

퇴적물샘플러를 사용하여 저수지 저층으로부터 채취한 퇴적물에 대해서 아래 Fig. 6의 장치를 이용하여 영양염류 용출실험을 수행하였다. 본 조사 대상 저수지 하부에서는 용존산소가 존재하지 않는 혐기성 상태를 나타내었으므로 용출컬럼 내의 혐기성 상태를 유지하기 위하여 일정량의 질소가스를 통기시켰다. 한편, 질소가스의 주입으로 탈리될 가능성이 있는 가스 상 암모니아를 포집하기 위하여 0.1 N H_2SO_4 용액으로 충전된 NH_3 트랩을 Fig. 6a, b와 같은 형태로 설치하였다. Fig. 6a는 포집기의 대략적인 모습을 나타내고 Fig. 6b는 실제 시험에 사용된 포집기의 모습이다.

분석결과

퇴적물 내 잠재적 오염물질 추정량

조사대상 저수지 퇴적물이 내포하고 있는 잠재적인 T-N, T-P 함유량을 분석하여, 단위 건조퇴적물중량 당 오염물질 중량으로 Table 2와 Table 3에 나타내었다. 1차 퇴적물분석 결과 홍동지에서 T-N은 H-Down 유역에서 높게 조사되었으며, T-P는 전 지점에서 비교적 고르

게 조사되었다. 2차 조사(강우 시)에 채취한 퇴적물에서 1차 조사(비강우시)보다 전 지점에 걸쳐 T-N과 T-P의 농도가 높게 나타났다.

조사 대상 저수지의 퇴적물 내 T-N and T-P 함유량이 준설기준치를 훨씬 초과한 가장 큰 이유로는 홍동저수지 유역 내 축산농가로부터 강우시 축분의 유출 때문인 것으로 판단된다. 퇴적물 내 잠재적인 오염물질 추정량자료와 퇴적물량 자료를 이용하여 홍동저수지내 오염물질 함유량을 Table 4에 나타내었다.

Table 5에서 미국 EPA에 보고된 저수지나 호수의 퇴적물의 잠재적인 오염강도를 오염정도에 따라 보여주고 있다. 표에 따르면, 홍동 저수지는 T-N과 T-P는 오염이 심한 저수지에서 나타나는 퇴적물 범위에 속하고 있다 (Bannerman et al., 1975).

퇴적물내 인의 존재형태

Fig. 7과 Fig. 8은 1차 및 2차조사시 채취한 지점별 인의 존재형태를 나타내었다. 1차 조사 시에는 인의 형태 중 식물성 플랑크톤 또는 식물의 사체, 박테리아, 암설(detritus) 등에 의한 유기인 이 주종을 이루고 있으며,

Table 4. Predicted values of T-N and T-P in Hongdong reservoir.

Location	Depth of sediment (cm)	Weight of sediment (ton)	T-N (ton)	T-P (ton)
H-Up	less 10 cm	2,349	6.9	2.8
	10 - 25 cm	6,192	18.2	7.3
	25 - 35 cm	-	-	-
	35 - 45 cm	159,100	46.8	18.8
	over 50 cm	-	-	-
H-Mid	less 10 cm	1,587	4.7	0.8
	10 - 25 cm	8,841	26.5	4.7
	25 - 35 cm	3,084	9.2	1.6
	35 - 45 cm	29,561	88.4	15.8
	over 50 cm	-	-	-
H-Down	less 10 cm	2,714	10.0	1.7
	10 - 25 cm	-	-	-
	25 - 35 cm	11,599	42.5	7.2
	35 - 45 cm	35,434	130.0	22.1
	over 50 cm	6,049	22.2	3.8
Total		123,320	405.0	87.0

Table 5. Predicted values of TVS, TKN, T-P, Grease/Oil and Sulfides in U.S. reservoirs (Bannerman et al., 1975; U.S. EPA, 2013).

List	Reservoir of normal condition		Contaminated reservoir	
	Avg.	Range	Avg.	Range
TVS (%)	2.90	0.70 - 5.00	19.60	10.20 - 49.30
TKN (mg/g)	0.55	0.01 - 1.31	2.64	0.58 - 6.80
T-P (mg/g)	0.58	0.24 - 0.95	1.06	0.59 - 2.55
Grease/oil (mg/g)	0.56	0.11 - 1.31	7.15	1.38 - 32.10
Sulfides (mg/g)	0.14	0.03 - 0.51	1.70	0.10 - 3.77

Fig. 7. Types of phosphorus from sediment (1st investigation). **Fig. 8.** Types of phosphorus from sediment (2nd investigation).

홍동저수지의 경우는 상류, 중류, 하류에 걸쳐 이러한 경향이 뚜렷하였다.

반면, 2차 조사시 철이나 알루미늄과 착화합물을 이

루는 인(NAI-P) 성분이 1차조사시 보다 낮게 나타났다. 앞서 인들의 형태는 첫 번째로 인의 형태로 퇴적되어 인을 입자표면에 유동적으로 흡착되어 있는 인

Fig. 9. Calculation of phosphorus concentration from leaching at H-Up (1st investigation).

Fig. 12. Calculation of nitrogen concentration from leaching at H-Up (1st investigation).

Fig. 10. Calculation of phosphorus concentration from leaching at H-Mid (1st investigation).

Fig. 13. Calculation of nitrogen concentration from leaching at H-Mid (1st investigation).

Fig. 11. Calculation of phosphorus concentration from leaching at H-Down (1st investigation).

Fig. 14. Calculation of nitrogen concentration from leaching at H-Down (1st investigation).

(Adsorbed-P), 두 번째로 철 또는 알루미늄과 착화합물을 이루는 인(NAI-P), 세 번째로 인회석 내에 존재하는 인(Apatite-P), 마지막으로 유기물과 관련이 있는 인(Org-P)과 같이 총 4가지 형태로 구분하였다(Fig. 5).

퇴적물로부터 영양염류의 용출 및 실험결과

저수지로 유입되는 점오염원 및 비점오염원과 같은 외부 영양염류 공급원 이외에, 저수지 바닥의 퇴적물로부터 용출되어 순환되는 내부 공급원 또한 대단히 중요하다. 퇴적물로부터 영양염류의 용출은 저수지 저부에서

퇴적물과 그 상부에 위치하는 심층수 사이에 존재하는 농도경사에 의해 유발된다.

Fig. 9 - Fig. 11에서 1차 조사 데이터로 홍동저수지의 상부부터 하부까지 3개의 지점에서 채집한 퇴적토에서 72시간 동안 20°C 혐기성 조건에서 인의 용출량을 시간

Fig. 15. Calculation of phosphorus concentration from leaching at H-Up (2nd investigation).

Fig. 18. Calculation of nitrogen concentration from leaching at H-Up (2nd investigation).

Fig. 16. Calculation of phosphorus concentration from leaching at H-Mid (2nd investigation).

Fig. 19. Calculation of nitrogen concentration from leaching at H-Mid (2nd investigation).

Fig. 17. Calculation of phosphorus concentration from leaching at H-Down (2nd investigation).

Fig. 20. Calculation of nitrogen concentration from leaching at H-Down (2nd investigation).

별로 측정하여 나타내었다.

Fig. 12 - Fig. 14에서 1차 조사 데이터로 홍동저수지의 상부부터 하부까지 3개의 지점에서 채집한 퇴적토에서 72시간 동안 20°C 혐기성 조건에서 질소의 용출량을 시간 별로 측정하여 나타내었다.

Fig. 15 - Fig. 17에서 2차 조사 데이터로 홍동저수지

의 상부부터 하부까지 3개의 지점에서 채집한 퇴적토에서 72시간 동안 20°C 혐기성 조건에서 인의 용출량을 시간 별로 측정하여 나타내었다.

Fig. 18 - Fig. 20에서 2차 조사 데이터로 홍동저수지의 상부부터 하부까지 3개의 지점에서 채집한 퇴적토에서 72시간 동안 20°C 혐기성 조건에서 질소의 용출량을

시간 별로 측정하여 나타내었다.

인의 용출 농도변화 용출실험 결과에 따르면 T-P와 PO_4 -P인 경우에는 시간에 따라 비교적 일정한 속도로 용출이 진행되었지만, 총질소인 경우에는 아질산성 질소와 질산성 질소의 탈질산화로 인한 총량의 불규칙적인 변화로 농도의 증감이 있었다. 한편, 암모니아인 경우는 컬럼 내부의 혐기성 조건으로 인하여 형성된 낮은 pH로 인하여 N_2 와 함께 용출되는 양은 극히 미미하였다. 홍동저수지의 퇴적물은 121,278 ton, 건조중량은 123,320 ton으로 추산되었으며, 퇴적물의 유기물량은 총 퇴적물은 123,320 ton 중 51,670 ton으로 추정되었다. 조사대상 저수지 퇴적물이 내포하고 있는 잠재적인 T-N, T-P 함유량을 분석한 결과 홍동저수지에서 T-N은 H-Down 유역에서 높게 나타났으며, T-P는 전 지점에서 비교적 고르게 나타났다.

홍동저수지에서 혐기성 조건하에서 수행한 T-P의 용출속도는 $8.32\text{--}58.94\text{ mg/m}^2\text{-day}$ 로 지점별로 심한 차이가 있었다. 또한, PO_4 -P인 경우에도 지점별로 $10.74\text{--}20.72\text{ mg/m}^2\text{-day}$ T-P의 변화와 비슷한 경향을 보였다. 이러한 수치는 미국 EPA에서 조사된 오염된 저수지 퇴적물의 용출속도 $34\text{--}96\text{ mg/m}^2\text{-day}$ 의 범위에 속한다(U.S.EPA, 2013). 혐기성 조건하에서 수행한 퇴적물로부터 질소 성분의 용출실험은 아질산염(NO_2 -N) 및 질산염(NO_3 -N)의 탈질소화로 인한 손실 및 용출컬럼 내에서 퇴적물 입자의 재부상 등의 문제로 인하여 용출속도 값의 변동이 있었으며, 퇴적물 내 유기물질이 혐기성 미생물에 의해 분해될 때 생성되는 부산물인 암모니아는 용출속도 범위는 $99.58\text{--}284.64\text{ mg/m}^2\text{-day}$ 였다.

결론 및 고찰

점별 인의 형태 분포를 분석한 결과, 1차 조사시 인의 형태 중 식물성 플랑크톤 또는 식물의 사체, 박테리아, 암설(detritus) 등에 의한 유기 인이 주종을 이루고 있으며, 본 저수지의 경우 상류, 중류, 하류에 걸쳐 이러한 경향이 확인 되었다. 반면, 2차 조사시 철이나 알루미늄과 착화합물을 이루는 인(NAI-P) 성분이 1차조사시 보다 낮게 조사되었다. 저수지 내 퇴적물의 토성(soil texture)을 살펴보면, 1차 조사 시 홍동 저수지인 경우 H-Down 지점은 모래가 6.3%를 차지하고 있었으며, H-Up 지점은 Silt 질이 31.5% 정도로 높게 나타났다. 2차 조사시 중류(H-Mid) 지점의 Sand, Silt 성분이 증가한 대신 Clay 성분이 감소하였다.

일반적으로 점원의 유출량, 비점원의 유출량 그리고 내부 순환량(용출속도로부터 계산)을 계절적인 요인 등으로 인해 수치를 산정하여 직접적인 불가능하다. 하지만 홍동 저수지인 경우에 차후 비점원 오염원 제어시설을 설치한 후 적절한 수질개선 효과 및 평가를 위해서 준설이 필요하다고 판단된다. 만약 준설을 봄에 실시할 경우 물고기의 산란기간을 피하고 겨울철에는 결빙으로 인한 준설작업 장애 등을 피해서 실시하여야 할 것이다. 우리나라의 기후적 특징으로 인해 저수지 내부의 순환율이 비교적 빠른 여름철에 작업을 할 경우 재부상 또는 용출되는 영양염류가 저수지에서 축적되지 않고, 바로 하천으로 씻겨서 유입(wash-out)된다. 그러므로 여름철에 시공하는 것이 가장 안정적일 것으로 사료된다. 또한 준설작업이 시작되기 전에 시료를 채취하여 침전 실험 등을 통하여 침적지의 면적, 수심 등을 결정하고 준설토를 효율적 활용을 위해 준설토의 성분을 조사를 하여야한다. 부가적으로 준설물량, 운반거리, 준설시기 등을 세밀하게 검토하고 준설사업의 경제성을 높이며 준설토 재활용기술을 개발하여 경제적 가치를 가질 수 있도록 해야 한다.

본 연구는 홍동저수지 유역에 대하여 최초로 실시된 연구로서 본 연구에서 얻은 오염 부하량을 포함한 오염물질의 유출특성자료는 저수지 효율적인 관리대책을 수립하는데 유익한 자료가 될 것이다. 또한 퇴적물조사에서 얻은 오염물질의 성상 및 농도에 대한 자료와 총 퇴적량 산정결과는 저수지내 퇴적물의 준설여부 및 퇴적물의 재활용방안을 검토하는데 기초자료를 제공할 것으로 생각된다.

References

- Bannerman, R. T., Armsrtong, D. E., Harris, R F and Holdren, G. C., 1975, Phosphorus uptake and release by lake ontario sediments, US EPA, EPA-600/3-75-006, 51p.
- Calender, E. and Hammond, D. E., 1982, Nutrient exchange across the sediment-water interface in the potomac river estuary, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 15(4), 395-413.
- Hieltjes, A. M. H. and Likhlema, L., 1980, Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments, Journal of Environmental Quality, 9(3), 405-407.
- Kurmies, B., 1972, Zur fraktionierung der bodenphosphate. Die Phosphorsäure, 29, 118-151.
- Kwon, S. K., 1998, Management improvement and perspective on nonpoint sources of water pollution, Korean Society of Environmental Engineers, 20(11), 1497-1510 (In Korean).

- Shepard, R. N., 1964, Circularity in judgments of relative pitch, *Acoustical Society of America*, 36(12), 2346-2353.
- US EPA, 2013, Water Quality Standards Regulations and Federally Promulgated Standards, <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/wqs-regs.cfm>.
- Williams, J. D H., Syers, J. K., Harris, R. F. and Armstrong, D. E., 1971, Fractionation of inorganic phosphate in calcareous lake sediments. *Soil Science Society of America Journal*, 35(2), 250-255.

원고접수일 : 2013년 3월 11일
 수정본채택 : 2013년 4월 9일(1차)
 2013년 5월 8일(2차)
 게재확정일 : 2013년 5월 14일

이영신

한서대학교 환경공학과

356-706 충청남도 서산시 해미면 한서 1로 46

Tel: 041-660-1434

E-mail: leeys@hanseo.ac.kr

신상희

한국건설기술연구원 Geo-인프라연구실

411-712 경기도 고양기 일산서구 고양대로 283

Tel: 031-910-0027

E-mail: scott@kict.re.kr