

팔당호 퇴적물 오염 현황 조사

Survey on the Contaminated Sediments on Lake Paldang

정 용 준*⁺

Yong-Jun Jung*⁺

.....

:: Abstract ::

The extent and degree of contaminated sediments on lake Paldang were analyzed at 40 sites for organic matters, nutrients and heavy metals. COD, T-N and T-P were fairly correlated with the grain size of sediments, and the sites which were most distributed with sand were less contaminated with the sites covered with silt and clay. Phosphorus species were in the range of 7-58 for adsorbed-P, 13~411 $\mu\text{g/g}$ for NAI-P, 52~482 $\mu\text{g/g}$ for Apatite-P and 75~894 $\mu\text{g/g}$ for residual-P, respectively. Although heavy metals of sediments were detected at the range of 0.2-4.2 $\mu\text{g/g}$ (Cr), 1.6~20.7 $\mu\text{g/g}$ (Cu), 1.4~78.0ng/g(Hg), 2.1~18.9 $\mu\text{g/g}$ (Pb), 1.8~99.5 $\mu\text{g/g}$ (Zn), further survey over the long period were required for more monitoring data. The release rate of nutrients were found no relationship in this study.

Keywords: Heavy metals, Lake Paldang, Nutrients, Sediments, Release rate

.....

:: 요 지 ::

팔당호의 총 40개 지점에서 채취한 퇴적물 시료를 대상으로 토질, 영양염류, 중금속 및 용출시험(공기주입, 공기무주입) 등을 조사하였다. 퇴적물내 COD, 강열감량, T-N 및 T-P의 농도분포는 입도분포와 밀접한 상관관계를 가지기 때문에 Sand의 분포율이 높은 지역은 Silt 및 Clay의 분포율이 높은 지역보다 농도 분포가 낮았다. 퇴적물내 인의 존재형태별 농도분포는 Adsorbed-P가 7~58 $\mu\text{g/g}$, NAI-P가 13~411 $\mu\text{g/g}$, Apatite-P가 52~482 $\mu\text{g/g}$, Residual-P가 75~894 $\mu\text{g/g}$ 으로 조사되었다. 하상퇴적물의 중금속 농도분포는 Cd N.D.~0.44 $\mu\text{g/g}$, Cr 0.2~4.2 $\mu\text{g/g}$, Cu 1.6~20.7 $\mu\text{g/g}$, Hg 1.4~78.0ng/g, Pb 2.1~18.9 $\mu\text{g/g}$, Zn 1.8~99.5 $\mu\text{g/g}$ 로 검출되었으나, 용출시험 결과로 미루어보면 용출 등으로 인한 영향은 미미할 것으로 판단된다. 5개 지점의 퇴적물을 대상으로 공기주입 및 공기미주입에 의한 용출 실험에서 중금속과 영양염류는 거의 검출되지 않았다.

핵심용어: 영양염류, 용출, 중금속, 퇴적물, 팔당호

+ Corresponding author, yjjung@emc.or.kr

* 교신저자-환경관리공단 유역관리처

1. 서론

팔당호는 1973년도에 발전용 댐으로 완공된 하천형 인공호수였으나, 1979년부터 상수원수로 사용함에 따라 수질에 대한 수도권 시민의 관심이 높아지고 있으며, 생활문화의 향상과 산업의 고도화가 진행되면서 오염물질의 유입 요인이 증가하게 되어 수질악화의 우려가 높은 실정이다. 일단 수자원이 오염되면 피해가 장기간 지속될 가능성이 높는데, 이는 유입 오염물질들이 최종적으로 입자상태의 물질로 변화하거나, 퇴적물의 형태로 저장되었다가 물리·화학적 조건변화에 수반하여 상부 수층으로 장기간에 걸쳐 재이동하기 때문이다.

수계내 퇴적물에서 상부 수층으로 전이되는 오염물질의 양이나 기간 등은 퇴적물의 토성, 저서생물의 활동 및 오염물질의 존재 상태 등에 따라 상이하므로, 퇴적물내에 존재하는 오염물질의 존재 형태와 이동 형태에 영향을 미치는 요인들을 분석(조 등, 1998; 윤 등, 2004; 홍 등, 2005)함으로써 퇴적물에 의한 수질오염의 가능성을 평가하는 것이 하천과 호소의 정화 계획에 앞서 선행되어야 한다.

1980년대 후반부터 팔당호 등 상수원 수질관리 일환으로 유기오염퇴적물의 제거 및 처리에 대한 부분적인 연구가 시작되었고, 준설방법 등과 관련된 기술개발의 필요성이 일부에서 제기되면서(이 등, 1998), 1990년과 1993년도에는 정부차원에서 팔당호의 퇴적물에 대한 전반적인 조사가 진행되었으나, 장기간에 걸친 지속적인 모니터링 수행이 필요하다.

이에 반해 외국에서는 수계로 유입된 오염물질의 총체적 양상을 평가하기 위하여 오래전부터 퇴적물에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며(Yeats et al., 1982; Prusty et al., 1994), 유해화학물질의 제거나 수로확보를 목적으로 준설작업을 수행하고 있다.

따라서 본 연구에서는 1999년도에 수행한 팔당호 및 경안천 일대 40개 지점의 토질 특성, 퇴

적물의 오염도 및 용출 특성 등의 조사 결과를 분석하여 장래 팔당호 수질개선을 위한 계획수립과 기초 자료를 제공하는데 목적을 두었다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사지점

팔당호 퇴적물의 오염도 조사는 1999년 8월부터 11월 사이에 팔당호를 중심으로 남북한강과 경안천 수계에 대하여 40개 지점을 대상으로 선정하였다. 조사지점별 시료채취는 원지반을 기준으로 하였고, 오염도조사는 각 지점별 물리적 성상에 따라 상·중·하로 구분하여 총 120개 시료를 대상으로 오염도 분석을 실시하였다. 또한, 40개 조사 지점 중 퇴적물의 양이 많아 이로 인한 영향이 클 것으로 예상되는 5개 지점을 선정하여 공극수 분석, 용출 특성(공기주입 및 공기무주입) 및 EPA조사기준에 따른 항목을 비교·분석하였다. 조사 위치는 그림 1에 표시한 바와 같이 지역을 크게 5개 구간으로 구분하여 각 구간별 퇴적물의 물리적 특성 및 오염분포 현황을 분석하였다. I구간은 경안천 광동교 상류로 퇴적물 조사지점 1~5, II구간은 경안천 하류로 퇴적물 조사지점 6~13, III구간은 팔당호 하부로 경안천이 유입되는(소내섬 아랫쪽)구간으로 퇴적물 조사지점 14~22, IV구간은 팔당호 본류 상부로(소내섬 윗쪽), 퇴적물 조사지점 23~33 및 V구간은 남북한강이 합류되어 팔당호 본류로 유입되는 구간으로 퇴적물 조사지점 34~40에 각각 해당된다.

2.2 조사항목 및 방법

팔당호 40개 지점에서 채취한 퇴적물의 오염도 조사항목 및 시료를 표 1에 정리하였다. 지층탐사 결과와 기존조사 정점을 참조하여 팔당호를 전체적으로 대표할 수 있도록 북한강, 남한강 및 경안천 지역의 모래 지역, 슬러지 집적 지역으로 하여 퇴적물 시료 채취 정점을 선정하였다. 퇴적물과 용출량 측정 퇴적물시료는 교란되지

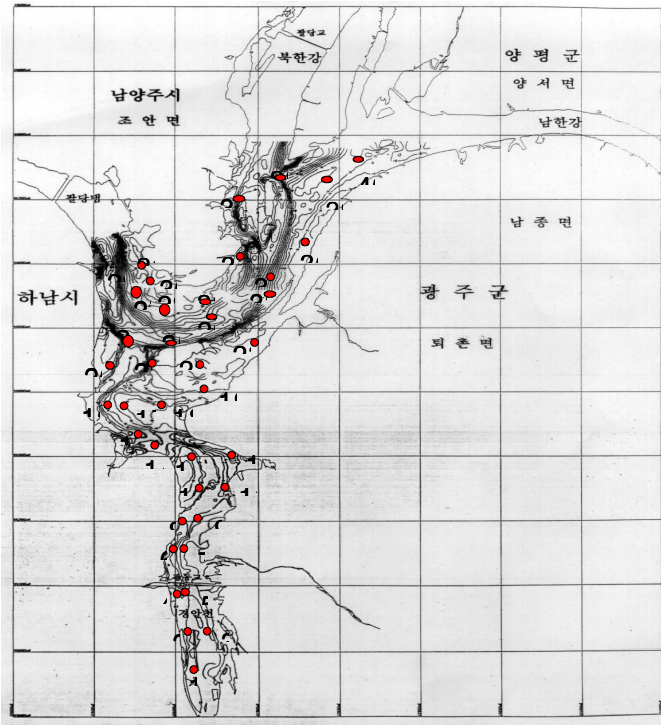


그림 1. 팔당호 퇴적물 조사 지점 위치도

표 1. 퇴적물의 오염도 조사항목

구분		조사항목	조사시료
토질조사		pH, 함수율, 입도분석	40개 지점 상·중·하 총 120개 시료
영양염류 및 중금속		COD, 강열감량, T-N, T-P, Adsorbed-P, NAl-P, Apatite-P, Residual-P, Zn, Pb, Cu, Cd, As, Cr, CN, Hg	
용출 시험	자연용출 (공기주입안함)	T-N, T-P, Pb, Cu, Cd, Cr, Hg	5개 대표지점 상·중·하 총 15개 시료
	EPA방법 (공기주입)		5개 대표지점 표층 총 5개 시료
공극수		T-N, T-P	5개 대표지점 총 5개 시료
전층분석		표층에서 10cm 간격으로 TOC분석	1개 대표지점 총 10개 시료

않도록 소형 Gravity corer(내경 60mm 아크릴 파이프 장착)을 이용하여 채취한 후, 현장에서 대기중 산소와의 접촉을 완전 차단하여 실험실 내로 냉장운반, Teflon Pusher로 퇴적물을 밀어 내어 물리적 및 화학적 특성을 분석하였다. 그 외 Core 시료는 내경 60mm 아크릴 파이프를 장착한 저속 회전식 시추장비를 이용하여 바지선 상에서 퇴적물의 교란을 최소화하여 원층 2m 깊이까지 채취하였고, 채취된 Core 시료의 양

끝단은 완전 밀봉하여 공극수의 배출을 차단하여 시료 원상태를 유지하도록 한 후 실험실로 운반하여 분석하였다.

Glove box내에서 분리된 Gravity core 퇴적물시료는 원심분리하여 공극수와 퇴적물로 분리하였고, 퇴적물과 부유물질 시료는 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 온도에서 완전히 건조시킨 후 200mesh 체를 통과하도록 분말화하여 1g씩 평량하여 분석용 시료를 준비하였다.

일정량의 부유물과 퇴적물을 각각 여과된 담수를 투입 후 포기하면서 총 10일간 EPA용출 실험법으로 매일 단위시간당, 단위면적당 용출량을 측정하였다. 표 2에 용출시험의 구체적 조건을 제시하였다.

시험은 폴리에틸렌 용기를 사용하고, 항시 염산 희석수와 2차 증류수로 세척하여 오염을 방지하였다. 채취한 시험의 항목별, 구체적 분석 방법을 표 3에 정리하였다.

표 2. 용출시험조건(공기주입법)

구 분	실 험 조 건
용출용기	내부직경 14cm
포기	퇴적물 표층의 50cm 상부
퇴적물의 두께(cm)	14cm
수층의 깊이(cm)	84cm
수온(°C)	18~22°C
pH	7.2~7.4
DO(mg/L)	9.7~10.5
고액비	1 : 6
용기의 총용량(ℓ)	153.86cm ³ *84cm=12,924.24cm ³ =12.924ℓ
용출 단면적(cm ²)	7.00*7.00*3.14=153.86cm ²

표 3. 항목별 분석방법

구 분	분석기기(모델명)	관련법규	
pH	pH meter (HANNA-HI8424)	토양오염공정시험방법	
COD	일반초자	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편	
입 도 분 석	입도분석기	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편	
함 수 율	건조기(Sheldon Manufacturing, Inc.)	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편	
강 열 감 량	회화로 (Sheldon Manufacturing, Inc.)	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편	
공극수채취	원심분리기	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편	
중금속 함량측정	ICP (PERKINELMER OPTIMA-3200- XL)	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편	
T-N, T-P	UV (SHIMAZU UV-160)	수질오염공정시험법	
용출실험	<ul style="list-style-type: none"> ◦중금속류 : ICP (PERKINELMER OPTIMA-3200-XL) ◦T-N, T-P: UV, (SHIMAZU UV-160) Visible Spec-trophometer (Milton Roy, Vis Spec-trophometer) 		
EPA	TS, TVS	Dry oven 회화로 (Sheldon Manufacturing, Inc.)	폐기물공정시험법
	암모니아	UV (SHIMAZU UV-160)	
	중금속	ICP, 수은분석기(HITECH MD-1, NIC)	토양오염공정시험법
	TOC		
	Phenols ¹⁾	GC-MASS (HP 5890, USA)	토양오염공정시험법
	TPHs ²⁾	GC-MASS (HP 5890, USA)	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편
PAHs ³⁾	GC-MASS (HP 5890, USA)	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편	

1) Phenols :
 Column - DB-5, 30m×0.32mm ID, 0.25film
 Temp. condition - 40°C → 10°C/min → 300°C(5min)

2) TPHs :
 Column - DB-5, 30m×0.32mm ID, 0.25film
 Temp. condition - 40°C(5min) → 5°C/min → 100°C(5min) → 10°C/min → 280°C(10min)

3) PAHs :
 Column - PTE-5, 30m×0.25mm ID, 0.25film
 Temp. condition - 70°C(2min) → 8°C/min → 280°C(5min)

3. 결과 및 고찰

3.1 토질 조사

팔당호 퇴적물의 pH, 함수율 및 입도분석 결과를 그림 2에 표시하였다. pH는 6.4~6.9로 조사되었고, 평균 농도는 상층에서 pH 6.8, 중층과 하층의 pH 6.7 보다 0.1정도 높게 나타났으며, III구간의 하층에서 평균 pH 6.6으로 가장 낮게 조사되었다. 전 수역에 걸쳐 유사한 분포를 나타내었으나, 소내섬과 취수장 사이에 있는 21, 22 지점의 pH가 비교적 낮게 조사되었다. 상층에서 pH의 농도가 일정하게 분포하는 것은 상층의 퇴적물내에 함유된 공극수가 수계의 직접적인 영향을 받기 때문인 것으로 사료되며, 하층 pH와의 농도차이는 유기물의 분해속도 차이로 판단된다. 상층퇴적물은 유기물의 분해가 진행중이며, 하층의 퇴적물은 분해과정이 완료된 상태로 판단된다.

팔당호 퇴적물의 함수율은 0.1~78.3%로 조사되었으며, 평균농도는 상층에서 16.7%, 중층에서 10.3%, 하층에서 6.7%로 나타났다. 함수율의 분포특성은 상층부에서 하층부로 갈수록 농도가 급격히 감소하는 것으로 나타났으며, 조사지점별로 상층부에서 I구간의 함수율은 4.9%, II구간의 함수율은 29.5%, III구간의 함수율은 34.6%, IV구간의 함수율은 0.4%, V구간의 함수율은 8.3%로 분포특성이 상이하게 나타났는데, 이는 입도분포 특성에 따른 차이로 판단된다. 즉, 함수율이 낮은 곳은 입도분포 중 Sand의 함량이 60%를 상회하는 지점으로써, 퇴적물내의 공극률이 낮아 Silt 및 Clay의 함량이 상대적으로 높은 II,III구간 보다 함수율이 낮게 조사되었다.

팔당호 퇴적물의 평균입도는 상층에서 0.8~9.8φ, 중층에서 0.6~7.1φ, 하층에서 0.6~7.8φ로 나타났으며, Silt성분이 주를 이루고 있는 것으로 조사되었다.

3.2 오염도 분석

퇴적물의 오염물질 농도는 입도분포와 밀접한 상관관계를 가지고 있다. 각 지점별 시료는 입도분포에 따라 각각의 표면적을 갖기 때문에 입도가 작을수록 표면적이 상대적으로 크다. 오염물질의 농도분포는 입도 차이에 따라 수십~수백배의 차이를 나타내는 경우도 있으며, 이러한 입도별 차이에 따라 각각 오염물질의 농도분포는 큰 차이를 보이고 있다. 이에 따라 오염물질의 농도분포는 64μm이하의 시료를 대상으로 분석을 실시하였다.

팔당호 퇴적물의 COD는 1.8~24.6mg/g으로 조사되었고, 평균 농도는 상층에서 14.7mg/g, 중층에서 12.9mg/g, 하층에서 12.0mg/g으로 상층의 농도보다 중·하층에서의 COD의 농도가 낮은 것으로 조사되었다.

휘발성고형물의 농도분포는 0.2~16.9%로 조사되었으며, 평균 농도는 상층에서 4.0%, 중층에서 2.7%, 하층에서 1.3%로 나타났다. 36 지점 상층의 농도가 16.9%로 높게 나타난 것은 나뭇잎 등의 유입으로 인하여 유기물의 농도가 매우 높았기 때문인 것으로 판단된다.

강열감량의 농도분포는 0.1~20.2%로 조사되었으며, 평균 농도는 상층에서 4.5%, 중층에서 3.6%, 하층에서 2.1%로 나타났다. 각 항목별로는 상층의 농도가 하층의 농도보다 높게 나타났

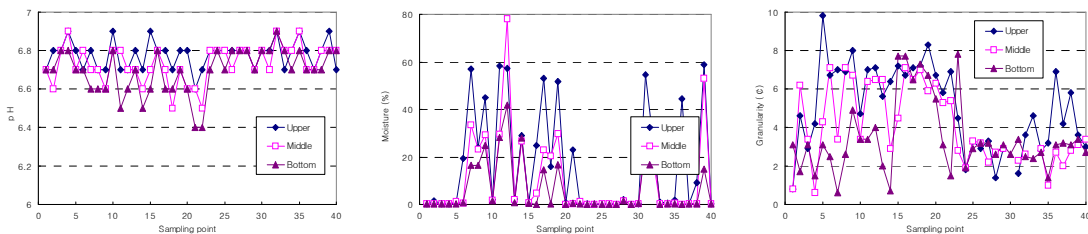


그림 2. 팔당호 퇴적물의 토질 특성 (pH, 함수율, 입도)

는데, 이는 상층내 유기물의 분해가 활발히 진행되어 중·하층보다는 유기물의 양이 상대적으로 높기 때문인 것으로 사료된다.

T-N과 T-P의 분포를 그림 3에 제시하였다. T-N의 농도분포는 20~2,200 $\mu\text{g/g}$ 으로 조사되었으며, 상층에서 평균 790 $\mu\text{g/g}$, 중층에서 평균 660 $\mu\text{g/g}$, 하층에서 430 $\mu\text{g/g}$ 로 나타났다. T-P의 농도분포는 214~1,625 $\mu\text{g/g}$ 으로 조사되었으며, 평균 농도는 상층에서 769 $\mu\text{g/g}$, 중층에서 634 $\mu\text{g/g}$, 하층에서 평균 458 $\mu\text{g/g}$ 로 나타났다. 팔당호 퇴적물내 COD, 강열감량, T-N 및 T-P의 농도 분포 역시 입도분포와 밀접한 상관관계를 가지기 때문에 Sand의 분포율이 높은 남·북한강 합류부와 소내섬 위 팔당분류, 광동교 상류는 Silt 및 Clay의 분포율이 높은 소내섬부근과 광동교에서 선착장에 이르는 구간의 농도 분포 보다 낮게 조사되었다. 이와 같은 각 구간별 입도특성은 광동교에서 소내섬 아래에 이르는 구간은 수계의 정체성으로 인해 미립자의 퇴적이 많음을 알 수 있으며, 상대적으로 남·북한강 합류부와 팔당분류, 광동교 상류는 유속의 흐름이 원활하여 강우시 Sand 등과 같은 퇴적물의 유입으로 인해 미립자의 퇴적물 보다는 모래 및 자갈 등과 같은 퇴적물이 퇴적되어 있음을 알 수 있다. 이에 따라 퇴적물의 오염도 역시 II, III구간에서 COD 21.4mg/g, 20.8mg/g로 조사되었으며, I, IV, V구간에서의 COD 13.1mg/g, 8.1mg/g, 9.1mg/g 보다 상대적으로

로 낮게 조사되었다.

강열감량은 II, III구간에서 6.3%, 6.4%로 조사되었으며, I, IV, V구간에서 5.4%, 1.5%, 2.7%로 COD와 유사한 농도분포를 나타내고 있으며, 총질소의 경우 II, III구간에서 T-N 1,129mg/kg, 1,327mg/kg로 조사되었고, I, IV, V구간에서 484mg/kg, 219mg/kg, 656mg/kg로 조사되었다. 총인의 경우 II, III구간에서 1,113mg/kg, 1,113mg/kg로 조사되었으며, I, IV, V구간에서 505mg/kg, 350mg/kg, 672mg/kg로 나타나 COD, 강열감량, 총질소와 유사한 분포특성을 보이고 있는 것으로 나타났다. 특히, 광동교~선착장~소내섬아래에 이르는 구간은 영양염류 등의 오염도가 높아 수계에 미치는 영향이 클 것으로 예측되기 때문에 퇴적오염물질에 대하여 지속적인 모니터링이 수반되어야 할 것으로 사료된다.

퇴적물 내에 존재하는 인의 형태는 여러 가지로 분류되지만 일반적으로 미립자에 흡착되어 있는 인(Adsorbed-P), 철이나 알루미늄 등과 착화합물을 형성한 인(NAI-P : nonapatite inorganic phosphorus), 인회석과 같은 광물에 포함된 인(Apatite-P) 및 유기물과 관련이 깊은 잔류인(Residual-P)으로 분류된다.

인의 존재형태별 농도분포를 그림 4에 제시하였다. Adsorbed-P 7~58 $\mu\text{g/g}$, NAI-P 13~411 $\mu\text{g/g}$, Apatite-P 52~482 $\mu\text{g/g}$, Residual-P 75~894 $\mu\text{g/g}$ 으로 조사되었다. 미립자의 표면에

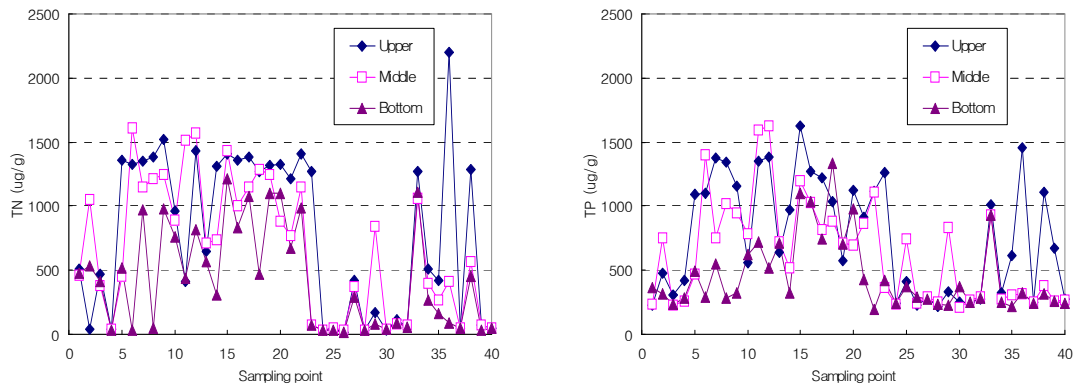


그림 3. 팔당호 퇴적물내의 영양염류 농도 분포

표 4. 팔당호 퇴적물내 인의 존재형태별 농도분포

구 분	Adsorbed-P		NAI - P		Apatite-P		Residual-P	
	μg/g	%	μg/g	%	μg/g	%	μg/g	%
상층	26	3.4	145	18.8	182	23.6	418	54.2
중층	19	3.0	98	15.3	175	27.3	348	54.4
하층	16	3.5	53	11.5	147	31.9	245	53.1

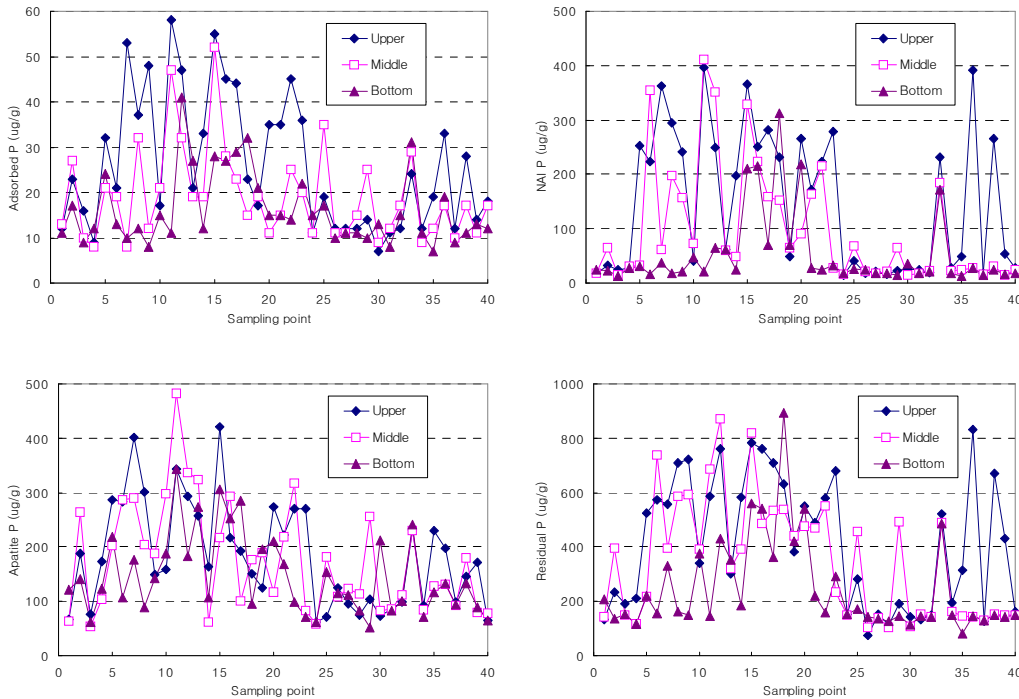


그림 4. 팔당호 퇴적물내 존재형태별 인의 농도 분포

흡착된 인은 수중에 용존되어 있던 인이 점토 등의 표면에 전기적으로 흡착된 것으로 그 결합력이 약하여 물리적인 충격, 염분도 변화, 퇴적물 입자의 교란, 수층의 pH 및 인 농도의 변화 등에 의해 쉽게 수층으로 이동될 수 있는 부분이기 때문에 수질관리상 중요하다. 호수의 표층 퇴적물 경우에는 이 부분의 50~80%가 용출되는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 인의 분석은 4단계로 형태별 분석을 실시한 결과를 표 4에 정리하였다. 상층부에서의 인의 존재형태별 평균 농도분포는 Adsorbed-P 26mg/kg(3.4%), NAI-P 145mg/kg(18.8%), Apatite-P 182mg/kg(23.6%) 및 Residual-P 418mg/kg(54.2%)로 조사되었으며, 용출가능성이 있는 인을 Adsorbed-P, NAI-P

로 간주할 때 상층부의 총인 중 용출가능성이 있는 인은 22.2%로 나타났다.

팔당호 하상퇴적물의 중금속 농도분포를 그림 5에 표시하였다. Cd N.D.~0.44μg/g, Cr 0.2~4.2μg/g, Cu 1.6~20.7μg/g, Hg 1.4~78.0ng/g, Pb 2.1~18.9μg/g 및 Zn 1.8~99.5μg/g로 검출되었으나, 용출시험 결과로 미루어보면 용출 등으로 인한 영향은 미미할 것으로 판단된다. 광주지역의 하천퇴적물(김 등, 1999)과 대전 지역의 하천수 및 하상퇴적물(김 등, 1996)을 조사한 연구에서도 중금속 오염 농도를 보고한 바와 같이 팔당호 하상퇴적물의 중금속 농도는 지속적으로 모니터링 되어야 할 필요가 있을 것으로 판단된다.



그림 5. 팔당호 퇴적물의 중금속 농도분포

5개 대표 지점을 대상으로 공극수를 분석한 결과, T-N 4.94~7.44mg/L, T-P 0.195~0.361mg/L 으로 나타났다.

지점 19를 선정하여 상층에서부터 10cm 간격으로 10개층에 대하여 TOC 농도 분석을 실시한 범위는 그림 6에 표시한 바와 같이 0.75~1.40%로 조사되었다.

다시 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 퇴적물의 퇴적시기에 따른 외부유입의 영향과 퇴적물의 부식화 정도에 따른 영향으로 판단된다. 즉, 외부에서 유입되는 퇴적물의 오염농도가 시기별로 상이한 차이를 나타낼 때 이러한 결과가 발생할 수 있으며, 퇴적물의 층별 부식화정도에 따라 농도 차이를 나타낼 수 있기 때문이다.

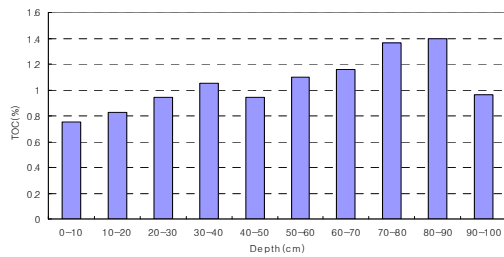


그림 6. 팔당호 퇴적물의 TOC 농도 분포

상층에서 하층으로 약 90cm 까지는 TOC의 농도가 약 2배로 증가하였으나, 100cm 부분에서는

3.3 용출시험

현재까지는 퇴적물과 관련한 용출시험법의 법제화가 이루어지지 않은 관계로 폐기물공정시험법(용출시험방법)에 의한 시험이 수행되어왔으나, 본 시험에서는 진탕기를 이용하지 않았으며, 일정용기에 퇴적물을 넣고 호소수를 가하여 정치한 후 용출액을 채취하는 방법과 퇴적도가 부유하지 않을 정도로 공기를 주입하여 교반하면서 용출액을 채취하는 방법을 병행하여 용출시험을 수행하였다.

5개 지점(No. 10, 19, 20, 23, 36)의 퇴적물을 대상으로 T-N, T-P, Zn, Pb, Cu, Cd, Cr, Hg항목에 대해 공기주입 없이 정지한 상태에서 10일간 용출시험을 실시한 결과, 중금속은 검출되지 않았다. T-N의 경우에는 그림 7에 나타난 바와 같이 각 지점별 용출율에 있어 경미한 차이를 보이고 있으나, 7일을 전후해서는 지점 19의 농도가 타지점보다 상대적으로 높은 값을 나타냈다. T-P의 경우에는 5개 지점 모두 24시간 후의 용출농도를 최고점으로 하여 일정한 농도를 유지하다가, 7일을 전후해서는 다시 상승하는 추이를 보이고 있다.

5개 지점(No. 10, 19, 20, 23, 36)의 퇴적물을 대상으로 T-N, T-P, Zn, Pb, Cu, Cd, Cr, Hg항목에 대해 공기를 주입하면서 10일간 용출시험을 실시한 경우에도 중금속은 검출되지 않았다. T-N의 경우에는 그림 8에 나타난 바와 같이 일정한 추이를 나타내지 않았고, 각 지점의

변화양상은 유사하였지만, 지점 36의 용출율이 타지점보다 높은 수치를 나타냈다. T-P의 경우에는 5개 지점 모두 24시간 후의 용출농도를 최고점으로 하여 점차적으로 감소하는 추이를 보이고 있다. 이는 용출시험 초기에 퇴적물의 교란에 의한 총용존인의 농도가 높아진 것에 이유도 있겠지만, 인의 용출은 24시간 이내에 모두 이루어질 수 있음을 예측할 수 있다. 공기주입에 의한 실험 방법은 팔당호의 DO 농도조건을 반영할 수 있기 때문에 실제에 가까운 자료를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 오염물질의 용출에 따른 영향을 고려하여, 향후 다각적인 방향에서 오염물질의 이동에 따른 연구 분석이 수행되어야 한다. 예를 들어, 퇴적물의 용출 실험을 수행할 경우 혐기성상태와 호기성상태 등의 인위적인 조건을 갖추어 수계에서 예측되는 여러 조건(수온, pH, DO등)을 검토·평가한 후 위해성 여부를 정확히 판단하여야 할 것이다.

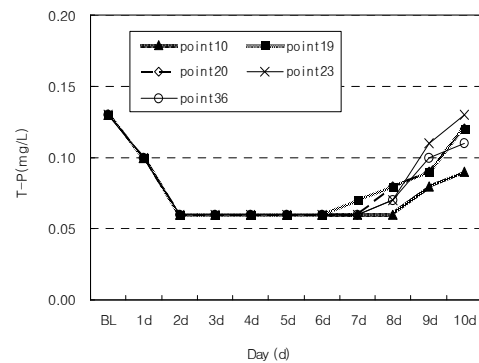
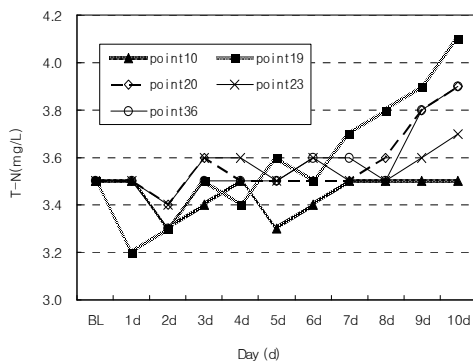


그림 7. 팔당호 퇴적물을 대상으로 공기 무주입에 의한 영양염류 농도 변화

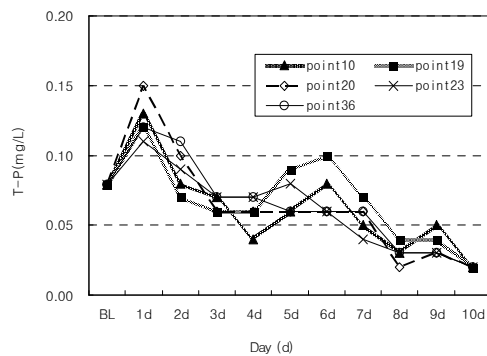
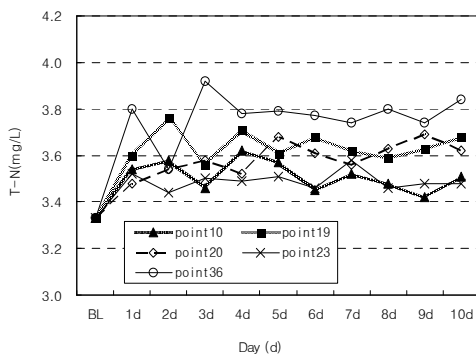


그림 8. 팔당호 퇴적물을 대상으로 공기주입에 의한 영양염류 농도 변화

4. 결론

팔당호 퇴적물의 오염도를 총 40개 지점에서 채취한 시료를 대상으로 토질, 영양염류, 중금속 및 용출시험(공기주입, 공기무주입) 등을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) 퇴적물의 평균 입도는 상층에서 0.8~9.8 ϕ , 중층에서 0.6~7.1 ϕ , 하층에서 0.6~7.8 ϕ 로 나타났으며, Silt성분이 주를 이루고 있는 것으로 조사되었다.
- 2) 퇴적물내 COD, 강열감량, T-N 및 T-P의 농도분포는 입도분포와 밀접한 상관관계를 가지기 때문에 Sand의 분포율이 높은 남·북한강 합류부와 소내섬 위 팔당분류, 광동교 상류는 Silt 및 Clay의 분포율이 높은 소내섬부근과 광동교에서 선착장에 이르는 구간의 농도 분포 보다 낮았다.
- 3) 광동교~선착장~소내섬아래에 이르는 구간은 영양염류 등의 오염도가 높아 수계에 미치는 영향이 클 것으로 예측되기 때문에 지속적으로 퇴적오염물질의 모니터링을 실시하여야 한다.
- 4) 퇴적물내 인의 존재형태별 농도분포는 Adsorbed-P 7~58 $\mu\text{g/g}$, NAI-P 13~411 $\mu\text{g/g}$, Apatite-P 52~482 $\mu\text{g/g}$ 및 Residual-P 75~894 $\mu\text{g/g}$ 으로 조사되었다.
- 5) 하상퇴적물의 중금속 농도분포는 Cd N.D.~0.44 $\mu\text{g/g}$, Cr 0.2~4.2 $\mu\text{g/g}$, Cu 1.6~20.7 $\mu\text{g/g}$, Hg 1.4~78.0ng/g, Pb 2.1~18.9 $\mu\text{g/g}$ 및 Zn 1.8~99.5 $\mu\text{g/g}$ 로 검출되었으나, 용출시험 결과로 미루어보면 용출 등으로 인한 영향은 미미할 것으로 판단된다.
- 6) 5개 지점의 퇴적물을 대상으로 공기주입 및 공기미주입에 의한 용출 실험에서 중금속과 영양염류는 거의 검출되지 않았거나

검출 정도가 미미한 것으로 나타났으나, 오염물질의 용출에 따른 영향을 고려하여 향후 다각적인 방향에서 오염물질의 이동에 따른 연구 분석이 수행되어야 한다.

참고문헌

- 김경우, 이현구 (1996). “대전 지역 하천수 및 하상퇴적물에서의 중금속 오염”, 한국자원공학회지, 33(4), pp. 266-273.
- 김주용, 정철환, 오강호, 고영구, 문정준, 유경아 (1999). “광주 부근 영산강과 광주천의 하상퇴적물의 중금속 오염”, 한국지구과학회지, 20(1), pp. 96-100.
- 윤석태, 고영구, 오강호, 문병찬, 김해경 (2004). “영산강 하류권역 하상퇴적물의 지화학적 특성과 오염 평가”, 환경영향평가, 13(5), pp. 251-262.
- 조영길, 김주용 (1998). “영산강 하상퇴적물의 중금속 함량”, 한국환경과학회지, 7(3), pp. 281-290.
- “호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안”, 한국환경정책·평가연구원
- 홍혁기, 박종민, 김동훈, 임흥빈 (2005). “시화호 표층퇴적물의 중금속 분석”, 한국물환경학회지, 8(1), pp. 1-6.
- Prusty, B.G., Sahu, K.C. and Godgul, G (1994). “Metal contamination due to mining activities at the Zawar zinc mine, Rajasthan, India, 1.Contamination of stream sediments”, Chem.Geol., 112, pp. 275-291.
- Yeats, P.A. and Bowers, J.M (1982). “Discharge of metals from the St. Lawrence river”. Can. J.Earth. Sci., 19, pp. 982-992.