

연구논문

동절기 댐저수지 수색변동에 영향을 미치는 인자 및 원인물질 분석

이요상* · 신현상* · 이해숙 · 박재충**

한국수자원공사 수자원연구원 · 서울산업대학교 환경공학과* · 한국수자원공사 수자원기획처**

(2006년 8월 1일 접수, 2007년 2월 7일 승인)

Analysis of Origin Matter of Blackish Water in Dam Reservoir During Winter

Yosang Lee · Hyun Sang Shin · Hye Suk Yi · Jae-Chung Park**

Korea Institute of Water and Environment, K-WATER, Daejeon 305-730, Korea

Dept. of Environmental Engineering, Seoul National Univ. of Technology, Seoul, 139-743, Korea*

Water Resources Planning Dept., K-water, Daejeon 306-711, Korea**

(Manuscript received 1 August 2006; accepted 7 February 2006)

Abstract

This study has been conducted to assess blackish-water phenomena in Dam reservoir. To searching for the reason, we survey physical changes in reservoir and analyze metal and organic content in particulate materials and water.

The blackish-water phenomena in lake A are occurred with turbidity increases in turnover season irregularly. It was reported on 6 Jan. 2005 weakly and the water column mixed with 35~40m depth and water temperature shows 7°C. The turbidity of AD and AM site increased up to 20NTU. Especially, AN site shows 27NTU, such a result makes that Dam manager conclude it to blackish-water phenomena. The results of sequential extraction analysis show that over 80% of Al, Cr and Fe is existed in residual form in sediment. On the other hand, the most part of Mn shows exchangeable and carbonates form, which have a good possibility of release to water column. Mn contents in pore waters of the sediment samples are also found to be ~4 times higher than Fe contents. The metal contents in pore water of different dam sites are in order of AN (Fe: 9.98, Mn: 40.6) > AD(8.33, 37.5) > DD(1.91, 2.55).

According to the results of extracted organic materials from sediment, humic substances is occupied with over 85% in total organic carbon including 23~45% of humic acid (HA) and 0.9~8.5% of fulvic acid (FA). However, HA content in pore water is not detectable while FA contents, acid-soluble humic fractions is higher than that of sediment(10~15%). which indicating that FA is a main humic components affecting water color. The color unit per DOC of FA in pore waters of different dam sites are found to be higher in lake A than lake D.

From the results, it could be suggested that blackish-water phenomena of lake A are mainly arise from higher concentration of Mn and water soluble organic fractions (e.g., FA) released from sediments as well as the strength of turnover in Dam reservoir.

Key words : blackish-water, physical change, metal content, organic content

1. 서론

최근 들어, 오염물질이 다양화되고 댐 주변구역의 대규모 개발로 인해 저수지에서 새로운 수질문제가 발생하고 있다. 또한 호수는 계절의 변화에 따라 수체의 물리적 변화가 나타나며 이는 수질에 영향을 미친다(Hakanson, *et al*, 1983) 일부 다목적 댐에서는 호소수의 전도가 발생하는 시기에 종종 흑수현상이 발견되고 있다. 호소 내 흑수 현상은 수체가 가지는 심미적 가치를 크게 감소시킬 뿐 만 아니라, 태양광의 흡수로 인한 수중 빛 전달을 감소이외에도 상수용 원수 수질의 저하 등 환경 문제를 유발할 수 있다. 따라서 이에 대처하기 위해서는 흑수 발생의 원인규명에 대한 보다 근본적이며 과학적인 접근방법의 적용이 필요하다.

본 연구에서는 흑수현상 기원물질 분석을 위해 호소 퇴적물의 입자성 물질을 대상으로 금속이온의 존재형태별 특성과 대표적인 착색 자연 유기물질인 휴믹물질의 함량 분포와 고유 물질특성 등에 대한 조사를 통해 물색변동 요인을 추적하고 흑수발생 물질을 분석하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 현장조사 및 시료채취

흑수발생현황 조사와 기원물질 분석 실험을 위한 시료채취는 흑수현상이 발생하는 시기에 실시하였다. 조사는 A호에서 흑수현상이 미약하게 발생한 2005년 1월 6일에 3지점(AD, AN, AM)에서 현장 조사를 실시하였으며, 흑수가 발생한 AN지점에서는 저수지수와 퇴적물을 시료로 취하였고, 흑수가 발생하지 않은 AD와 AM지점에서는 퇴적물 시료만 취하였다. 비교 시료로는 아직까지 흑수현상이 발생

하지 않은 D호 3개 지점(DD, DN, DH)에서 퇴적물 시료를 취해 사용하였다.

흑수 발생 시 수체의 물리적 환경변화를 조사하기 위하여 2004년 1월부터 2005년 5월까지 수심별 수온, 용존산소 및 탁도를 측정하여 결과를 분석하였다. 퇴적물 채취는 grab sampler를 사용하였으며, 시료는 취득 즉시 밀봉한 후 실험실로 운반하여 시료의 목적에 따라 처리하였다.

2. 성분분석

1) 입자성 물질의 특성 분석

수중 입자성 물질과 저수지 퇴적물 시료의 기본 물리화학적 특성 분석으로 입도분포, 색, 수분 및 유기물 함량 등을 Standard Method 및 토양시험방법에 의거하여 수행하였다. 입도분포는 체분리-피펫팅 방법(sieving and pipetting method)을 적용하였으며, 시료의 색은 'Munsell color chart'와 비교를 통하여 분석하였다. 퇴적물시료 중 유기물함량(%)은 한국산업규격의 강열감량법(LOI)에 의한 유기물함량시험방법(KS-F2104)에 준하여 실시하였다.

2) 무기성분 분석

무기성분 중 금속의 존재형태 분석을 위해 자연 건조 시킨 시료는 -10 mesh 표준망체를 이용하여 체질한 후, 4분하여 -80 mesh로 다시 체질하였다. 본 연구에서는 Tessier 연구그룹에서 제시한 단계별 추출법에 의한 단계별 연속추출법(그림 1)을 적용하였다(Tessier, 1979).

3) 유기성분 분석

토양 및 퇴적물에 존재하는 자연유기물(natural organic matter)의 대부분은 휴믹물질이며 이는 다시 수중 pH에 따른 용해도에 따라 알칼리 용액에서

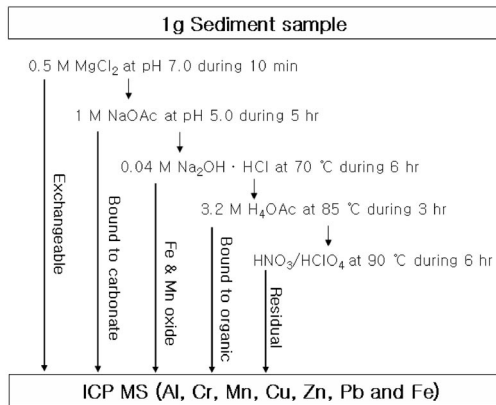


그림 1. 연속추출과정 모식도

용해되거나 pH < 2의 산성조건에서 침전되는 휴믹산(humic acid: HA), 모든 pH 조건에서 용해되는 풀빅산(fulvic acid: FA) 및 불용성의 휴민(humin: Hu)으로 분류된다. 저수지 퇴적물에 존재하는 휴믹 물질은 전구물질의 종류 및 그들이 형성된 환경 조건에 따라 각 세부 항목의 함량이 상이하므로 (Ishiwatari, 1967) 이를 분석하여 평가하고, 수층으로의 용출특성 등에 대한 평가를 실시하여 자연유기물이 수색에 미치는 영향에 대한 평가를 실시하였다. 퇴적물로부터 HA, FA 및 Hu 성분의 분리·추출 및 정제는 국제휴믹학회(International Humic Substances Society, IHSS)의 표준절차에 따라 산염기 침전법과 XAD 흡착법을 사용하여 수행하였다. 분리 추출한 각 휴믹 성분의 함량(mg/L)은 TOC 분석(SHIMAZU, TOC-5000A)을 통하여 결정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수체의 특성

A 저수지의 계절적 수직 수온분포는 4월부터 상층부분의 수온이 서서히 상승하여 8~9월에는 15m 이하에서 뚜렷한 수온약층을 형성하였고, 11월부터 빠르게 수온약층이 하강하여 12월말에서 3월초까지 지속적인 혼합조건이 형성되는 것으로 조사되었다. 이번 조사에 나타난 바와 같이, 비교적 수심이 낮은

AM지역에서는 12월경에 상하층간 완전혼합이 이루어지면서 탁도가 상승하고, 상대적으로 수심이 깊은 AD와 AN지점은 이듬해 1월에 상하층간 완전혼합이 이루어지면서 탁도가 상승하는 것으로 조사되었다. 2005년 1월 6일 조사에서는 약 35~40m까지 수체혼합이 이루어 졌고 수온은 약 7°C까지 낮아졌으며, 탁도는 AD, AM지점 모두 높아져 전 층이 20 NTU까지 높아졌다. 특히 AN지점 표층은 27 NTU까지 높아져 미약한 흑수현상이 나타난 것으로 평가되었다(그림 2). 그 이후부터는 부유한 입자들이 침강하면서 탁도가 조금씩 개선되었으며, 2월 4일에는 13 NTU로 개선되었고 3월 이후에는 탁도가 5 NTU 이하로 낮아지는 것을 확인 할 수 있었다. 흑수현상 전·후의 수온과 탁도의 수직적 분포를 조사한 결과 전도현상과 흑수는 이상과 같이 밀접한 관련이 있는 것으로 평가되었다.

2. 퇴적물의 물리·화학적 특성

저수지 수저 퇴적물은 2 μm이하의 점토입자가 42~65%를 차지하며, 2~63 μm의 미사질(silt)입자가 35~57%를 차지하는 점토질에 해당한다. 이는 입자크기 > 63 μm의 사질(sand)이 20~60%를 차지하는 국내 표층 토양(정명채, 2000)에 비하여 저수지 퇴적물이 매우 미세한 입자로 이루어져 있음을 나타낸다. 수저 퇴적물의 색은 A호(AD)와 D호(DN)의 경우 7.5 YR 계열의 적갈색을 보이며, 나머지 수저 퇴적물은 국내 토양의 대표적인 토색인 황갈색의 10 YR을 띠었으며, pH는 6.1~6.7로 중성을 띠었다(표 1).

수저 퇴적물의 유기물 함량은 전체적으로 10~15%의 범위로서 비교적 높았으며, 이는 국내 표층 토양의 유기물 함량(2~9%)에 비하여도 높은 값이다. 다목적댐 저수지의 퇴적물 중 유기물은 대부분 강우 시 외부에서 유입되는 유기물에 더하여 저수지 내에서의 생물학적 기원에 기인하여 축적된다(Aiken *et al.*, 1985; 이요상 *et al.*, 2004). 저수지 퇴적물에서의 높은 유기물 함량은 혐기성 상태인 저수지 하층에 축적된 유기물이 호기성의 토양에 비

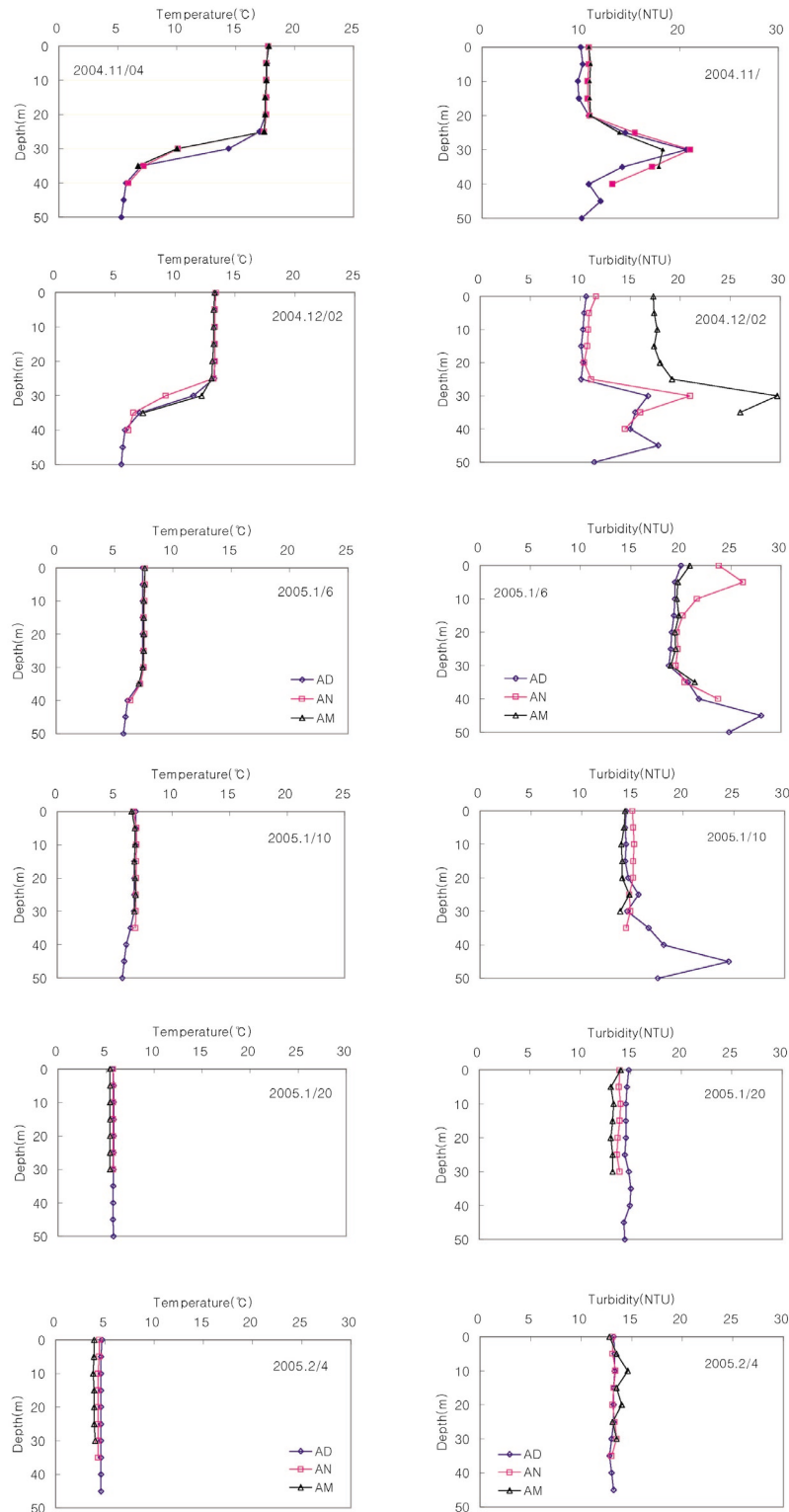


그림 2. A호의 동절기 수온 및 탁도 변화

표 1. 호소 퇴적물의 물리·화학적 특성

Samples		Soil texture	Soil color ^a	< 63 μm^b (%)	Organic matter ^c (%)	Water content (g/g-sed.)	pH ^d
A lake	AD	Silty clay	7.5YR 4/4	99.7 (52.9)	14.4 ± 1.01	13.30 ± 1.47	6.3
	AN	Clay	10YR 3/N	99.8 (63.3)	14.0 ± 1.03	6.69 ± 0.56	6.1
	AM	Clay	10R 3/2	99.9 (64.7)	10.4 ± 0.95	2.43 ± 0.46	6.4
D lake	DD	Clay	10YR 4/2	99.8 (62.5)	15.2 ± 0.89	3.16 ± 1.02	6.5
	DN	Silty clay	7.5YR 3/4	99.9 (56.2)	11.9 ± 1.48	5.48 ± 0.49	6.5
	DH	Silty clay	10YR 4/1	99.9 (42.8)	10.1 ± 0.98	4.55 ± 0.82	6.7

^aSoil color (by Munsell Color Chart)

^bValues in the parenthesis are the percentage of clay

^cOven-dried coil basis (by KS-F2104 Method)

^dby 1 : 5 (Soil : H₂O)

하여 미생물에 의한 분해 작용이 활발하지 못하기 때문에 판단된다(Meyers *et al.*, 1993). 호소별 비교에서는 A호와 D호 퇴적물의 물리화학적 기본 특성은 상호 유사한 것으로 나타났으나, 시료채취 지점별로는 두 지역 모두에서 상류(AM, DH) 보다 하류(AD, DD)에서 유기물 함량이 높아지는 경향을 보였다. 이는 유기물을 포함하는 미세입자가 하류인 댐앞 쪽으로 갈수록 침적이 많이 되었음을 나타낸다.

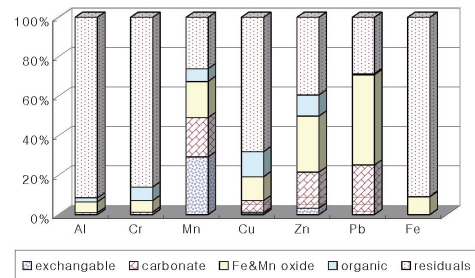
3. 금속성분의 분포 특성

1) 금속의 존재 형태 분석

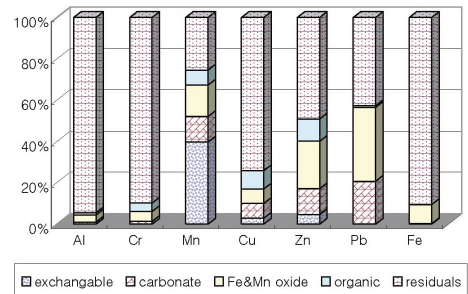
연구대상 지역에서 채취한 시료에 대한 금속 연속추출분석 결과, 시료 내에 존재하는 Al, Cr, Cu, Fe의 80% 이상이 Residuals 상태로 이동성이 거의 없는 안정된 상태로 존재함을 확인하였고(그림 3), 반면에 Mn과 Zn는 Exchangeable과 Carbonates (Frostner, *et al.*, 1981) 부분이 다른 부분에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타나 단순한 교란만으로도 수계로의 용출 가능성이 높은 것으로 평가되었다.

2) 퇴적층 간극수의 금속함량

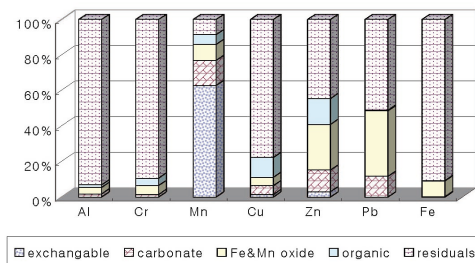
호소별 비교를 위해 간극수 시료는 A호의 댐앞(AD)과 최근 흡수현상이 관찰된 바 있는 호소 중간 지점(AN)시료를 사용하였으며, 비교지역으로는 아직까지 흡수 현상이 보고된 바 없는 D호의 댐앞(DD)지점 시료를 선정하였다.



(a) AD site



(b) AN site



(c) AM site

그림 3. 연속추출법에 의해 분석된 퇴적물중 금속존재 형태

물색에 영향을 주는 주요 금속인 Mn과 Fe의 함량을 측정된 결과, A호 퇴적층 간극수 중 Mn의 함량이 39 mg/L로서 Fe(9.2 mg/L)에 비하여 약 4.3 배 더 높았다(표 2). 이는 앞서 연속추출실험 결과와도 일치하는 것으로서 Fe는 80%이 용출가능성이 적은 residual fraction에 존재하는 반면, Mn은 40%이상이 용출이 용이한 산-용해성 fraction에 존재하기 때문이다. 이러한 산-용해성 부분의 Mn은 대부분 퇴적물 입자 표면과 약한 정전기적 인력에 의해 흡착되어 있거나 Mn 탄산염의 형태로 존재하며, 산성이나 혐기성 조건이 되면 쉽게 용출된다. 한편, 지역별로는 두 금속(Mn, Fe) 모두 AN(40.6, 9.98) > AD(37.5, 8.33) >> DD(2.55, 1.91)의 순으로 A호가 D호에 비하여 각각 Mn의 함량은 약 15배 이상, Fe의 함량은 4배 이상 높게 나타났다.

간극수에 포함된 총 유기탄소(TOC)함량에서도 표 2에서 볼 수 있듯이 AD과 AN에서 각각 29.3mg/L과 33.9mg/L로서 DD(17.5mg/L)에서 보다 높았다. 간극수 부피를 고려한 퇴적물 시료 무게(kg) 당 유기탄소 함량(mg-TOC/kg-sediment)을 계산하면, AN(14.4) > AD(13.2) > DD(8.0)의 순으로, A호 저질 간극수의 용존성 유기탄소 함량이 D호 저질 간극수에 비하여 ~1.6 배 이상 높음을 알 수 있다.

가시광선 영역(400~700 nm)에서의 투광도 측정을 통해 저질 간극수의 색도(color) 값을 측정된 결과, AD(344.9) > AN(252.2) >> DD(55.2)의 순으로, A호 저질 간극수의 색도가 D호 저질 간극수에

비하여 4.5~6.5 배 이상 높은 것으로 나타났다. 지역별 간극수의 유기탄소 함량을 고려하여 색도 값(i.e., color unit/TOC)을 비교하였을 경우에도 AD와 AN이 각각 11.8, 7.44로 DD의 3.15에 비하여 2.4~3.7 배 이상 높게 나타났다.

4. 유기물성분의 특성

1) 휴믹성분 분포 및 특성

유기물 성분별 분포 특성은 호소 내 오염물질의 분포와 거동 및 호소 수질에 미치는 유기물 성분의 영향을 평가하는데 중요한 기초 자료로 활용될 수 있다. 특히, 용존성 휴믹 성분인 HA와 FA는 수질에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 성분으로서 물의 색도 및 원수 특성 등을 평가하는데 유용한 자료가 된다.

Hu 성분은 휴믹물질 분류 체계상 알칼리 불용해성 성분 전체를 포함한 것으로서 퇴적물 Hu 중에는 생물체 유기물이나 불용성의 비-휴믹물질 성분이 포함되어 있을 수 있다(Aiken and Cotsaris, 1995; Shin *et al.*, 1996). Hu성분을 포함한 휴믹물질의 함량은 퇴적물 시료 전체 유기탄소의 약 86~89%를 차지하고 있었으며, 알칼리(0.1 M NaOH) 용해성 유기물 성분 중에서는 HA가 23~45%, FA가 1.2~8.5%로 FA가 HA에 비하여 상대적으로 매우 낮은 함량 분포를 보였다. 이러한 결과는 FA 분자가 분자량이 작고 용해성이 높아 대부분이 퇴적물로부터의 용출되어 수층에 존재하기 때문으로 판단된다.

2) 휴믹 성분별 색도 특성

물의 색도를 유발하는 주요 자연유기물질은 휴믹 성분인 것으로 알려진다. 퇴적물 휴믹 성분의 색도는 400~700 nm의 가시선 영역에서 얻은 투광도(T%) 자료를 가지고 아담스-니켈슨(Adams-Nickerson)의 색도 공식을 근거로 한 10 분할법을 이용하여 결정하였다. 표준용액의 색차 값과 보정계수에 대한 Calibration curve를 산정한 결과 색차 값이 증가할수록 보정계수가 증가하는 경향을 볼 수 있었으나, 보정계수 값의 차에 의한 색도 값은 큰 차이는 보이지 않았다.

표 2. 호소 퇴적물 간극수의 특성

Characteristics	A lake		D lake	
	AD	AN	DD	
Extracted volumes (ml) ^a	90	85	91	
pH	6.60	6.76	7.11	
DO (mg/L)	1.50	1.77	1.65	
TOC (mg/L)	29.3	33.9	17.5	
Color units ^b	344.9	252.2	55.2	
Metals	Mn (mg/L)	37.5	40.6	2.55
	Fe (mg/L)	8.33	9.98	1.91

^a obtained by centrifugation of 200g sediment samples at 10,000 rpm for 20 min.

^b measured by 10-partitioning methods

표 3. 호소 퇴적물에 존재하는 휴믹 성분별 탄소함량

Samples		Total-OC ^a	Humin-C ^b	HA-C	FA-C	Others ^c
		g/kg (%w/w)	g/kg (% of TOC)	g/kg (% of TOC)	g/kg (% of TOC)	g/kg (% of TOC)
A lake	AD	30.29 (3.03)	19.25 (63.54)	7.55 (24.92)	0.18 (6.56)	3.31 (10.93)
	AN	31.70 (3.17)	18.36 (57.90)	7.91 (24.96)	0.86 (2.70)	4.58 (14.44)
	AM	21.10 (2.11)	10.77 (51.02)	8.07 (38.24)	1.53 (7.23)	2.58 (12.72)
D lake	DD	32.19 (3.22)	18.88 (58.62)	7.68 (23.85)	0.90 (2.80)	4.73 (14.70)
	DN	16.91 (1.69)	6.39 (37.78)	6.92 (40.94)	1.43 (8.46)	2.17 (12.82)
	DH	18.19 (1.82)	7.14 (39.25)	8.31 (45.68)	0.21 (1.16)	2.53 (13.91)

^a measured by TOC analyzer in solid mode

^b as humin residues(humin extractant, g × organic carbon %)

^c non-humic fractions, determined by differences [(Total-OC) - (humin-C + HA-C + FA-C)]

휴믹 성분 대하여 각 파장에서의 색도표(Standard method for water and wastewater 20th Eds, 1998)를 사용하여 색도유발 주요 파장(dominant wavelength, nm)과 순도(purity, %)를 구하였다. 그 결과 A호와 D호의 HA의 주된 파장은 575~585 nm 사이에 속하였고, 파장에 따른 색깔은 Yellow, Yellowish orange색에 속하는 것으로 나타났으며 순도는 10~20%로 나타났다. A호와 D호의 FA의 주된 파장은 485~495 nm 사이에 속하고, 색깔은 Blue-green색에 속하는 것으로 나타났으며 순도는 0~10%로 나타났다.

산-용해성 성분인 FA와 HICs 및 HA 성분에 대한 지역별 색도율(e.g., color unit/DOC) 비교를 도식화하여 그림 4에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 HA의 색도율은 A호의 경우 AM(30.4) > AD(27.8) > AN(21.7)의 순이며, D호의 경우

DN(37.0) > DH(31.5) > DD(19.6)의 순으로 나타났다. 또한, 용존성이 높은 FA와 HICs에서는 A호의 경우 AM, AD(15.9) > AN(11.8), D호의 경우 DN(15.0) > DH(11.8) > DD(10.1)의 순으로 나타났다. 결과적으로, HA의 색도율은 A호 보다는 D호 퇴적물에서 다소 높은 반면, 용출 가능성이 높아 원수의 색도에 보다 직접적인 영향을 미칠 수 있는 용존성 성분(FA + HICs)의 색도율은 A호가 D호에 비하여 더 높음을 알 수 있다.

3) 간극수 유기물의 색도 기여도

간극수 유기탄소의 성분별 분포 특성을 조사하기 위해 앞서 퇴적물에 적용하였던 휴믹성분 분리 방법을 사용하여 각 유기물 성분별 함량을 결정하였고, 그 결과는 표 4에 제시하였다. 모든 분석시료에서

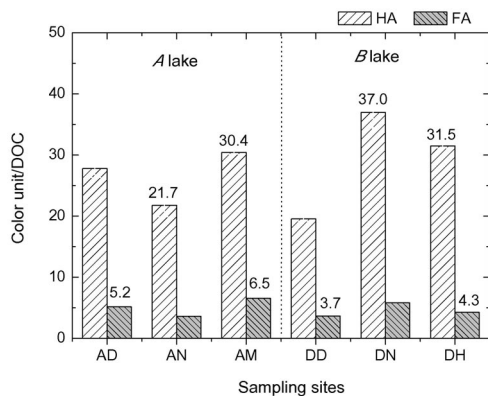


그림 4. 저수지 퇴적물 내 용존 유기탄소의 색도율 비교

표 4. 호소 퇴적물 간극수에 존재하는 용존 유기탄소의 분포

Characteristics	A lake		D lake
	AD	AN	DD
TOC in pore water (mg/L)	29.3	33.9	17.5
HA (mg/L)	n.d. ^b	n.d.	n.d.
FA	mg/L	3.4	3.4
	(%) ^d	(11.3)	(10.0)
Others ^c	mg/L	26.0	30.5
	(%) ^d	(88.7)	(90.0)

^a same as TOC of 표 2.

^b not detectable

^c non-humic fractions, determined by differences (TOC - FA contents)

^d percentage of organic fractions in pore water based on OC

HA는 검출되지 않았으며, FA이 10~15%, HICs 성분이 85~90%로서 간극수의 용존성 유기물은 대부분 HICs 성분임을 알 수 있다. 앞서 표 3의 퇴적물 유기탄소 분포 함량 분석 결과와 비교하였을 때, 이 결과는 간극수에 존재하는 총 유기탄소가 대부분이 퇴적물 입자에서 용출된 산-용해성 성분인 FA와 HICs이며, 이들 유기탄소 성분이 저수지 수층으로 유입될 수 있음을 의미한다. 이는 토양 및 퇴적 유기물 관련 문헌의 일반적인 결과와 일치하는 것으로서 저수지 수층의 수질에 직접적인 영향을 미치는 성분은 대부분 산-용해성 성분에 기인함을 알 수 있다.

한편, 각 지점별 퇴적물 FA의 색도율(color unit/DOC) 분석결과 및 간극수 중 상대분포 함량(DOC, mg/L)결과를 토대로 간극수 중 FA에 의한 색도 기여도를 정량적으로 평가하면, AD-FA는 17, AN-FA는 12, DD-FA는 4로서 A호의 저질 간극수 중 FA 성분이 D호의 간극수에 비하여 상대적으로 높은 색도 유발 효과를 보임을 알 수 있다. HICs의 경우, 정제물질이 아니므로 FA의 경우처럼 단순히 유기물 함량을 기준으로 한 색도 기여도를 평가하기는 어렵다. 결론적으로 A호 저질 간극수가 D호 저질 간극수에 비하여 FA 성분에 의한 색도 기여도가 높게 나타났다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 호소의 흑수현상에 영향을 미치는 수체의 물리적 거동과 물색 유발성분 분석을 실시하였으며 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 동절기에는 12월부터 전도현상이 두드러졌으며, 2005년 1월 6일 조사에서는 약 35~40m까지 수체 혼합이 이루어 졌고 수온은 약 7℃ 까지 낮아졌으며, 탁도는 AD, AM지점 모두 높아져 전층이 20 NTU까지 높아졌다. 특히 AN지점 표층은 27 NTU까지 높아져 전도현상에 의해 미약한 흑수현상이 나타난 것으로 평가되었다.

2. 물색을 검게 하는 금속성분 확인을 위해 단계별 연속추출법을 적용하였다. 분석결과 Al, Cr, Fe

등의 금속은 약 80% 이상이 이동성이 거의 없는 Residuals의 상태로 존재함을 확인하였으며, Mn은 이동성이 좋은 Exchangeable과 Carbonates부분이 41.5~82.8%로 나타나 수계로의 용출가능성이 가장 높은 물질로 평가되었다.

3. 간극수는 퇴적층에서 용출된 색도유발 물질의 수층이동을 매개하는 부분으로 호소수의 색도 특성을 평가하는 중요한 자료이다. 간극수 중 Mn과 Fe의 함량(mg/L)은 Mn이 Fe에 비해 약 4배 이상 높게 나타났으며, 이는 퇴적층에 대한 연속추출실험결과와도 일치하였다. 지역별로는 두 금속(Mn, Fe) 모두 AN(40.6, 9.98) > AD(37.5, 8.33) >> DD(2.55, 1.91)의 순으로 A호가 D호 보다 높게 나타났다.

4. 물색에 영향을 주는 주요 유기성분인 휴믹물질의 성분함량은 용존성이 낮은 HA의 경우 퇴적층에서는 전체 유기탄소의 25~46%를 차지하고 있으나 간극수 중에서는 검출되지 않았다. 반면, 산용해성 성분인 FA의 경우 퇴적층에서의 함량이 1.2~8.5%로 낮은 반면, 간극수 전체 용존 유기탄소의 10~15%로 나타나, 용출에 의해 쉽게 수층으로 전이되면서 물색을 유발하는 주요 휴믹 성분임을 알 수 있다.

5. 저수지 퇴적층에서 분리한 순수 휴믹성분의 색도율 값(e.g., color unit/DOC)을 비교한 결과, HA는 A호 보다는 D호 퇴적물에서 다소 높은 색도율 값을 보인 반면, 용출 가능성이 높아 원수의 색도에 보다 직접적인 영향을 미칠 수 있는 FA의 색도율은 A호가 D호에 비하여 더 높게 나타났다.

6. 각 지점별 퇴적물 FA의 색도율 분석결과를 토대로 간극수 중 FA에 의한 색도 기여도(즉, FA의 색도율 × 간극수 중 FA 함량)를 정량적으로 평가한 결과, AD(17) > AN(12) >> DD(4)로서 A호의 간극수 중 FA 성분이 D호의 간극수에 비하여 상대적으로 높은 색도 유발효과를 나타냈다.

참고문헌

이요상, 이경식, 2004, 대청호 유기퇴적물 분포 및

- 용출특성, *대한환경공학회지*, 26(6), 665-669.
- 정명채, 2000, 토양오염처리공학, <http://venus.semyung.ac.kr/~jmc65>
- Aiken, G. and E. Cotsaris, 1995, Soil and hydrology: their effect on natural organic matter, *Journal of the American Water Works Association*, 87, 36-45.
- Aiken, G. R., Mcknight, D. M., Wershaw, R. L., and MacCarthy, P. eds., 1985, *Humic Substance in soil, sediment, and water: Geochemistry, Isolation, and Characterization*, John Wiley and Sons, USA, pp. 275-302.
- APHA, AWWA, WEF, 1998, *Standard Methods for the examination of water and wastewater 20th Eds.*, American Public Health Association., Washington, D.C.
- F rstner, U. and G. T. W. Wittmann, 1981, *Metal Pollution in the Aquatic Environment*, pringer-Verlag.
- Hakanson, L. and Jansson, M., 1983, *Principles of lake sedimentology*, Springer-Verlag.
- Ishiwatari, R., 1967, Elementary composition of humic acid from lake sediment, *Geochemistry*, 1, 7-14.
- Meyers and Ishiwatari, 1993, Lacustrine organic geochemistry an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments, *Organic Geochemistry*, 20, 867-900.
- Shin, H. S., Rhee, S. W., Lee, B. H., and Moon, H., 1996, Metal binding sites and partial structures of soil fulvic and humic acids compared: aided by Eu (III) luminescence spectroscopy and DEPT/QUAT ¹³C NMR pulse technique, *Soil Science*, 161, 250-256.
- Tessier, A., Campell, P. G. C., and Bisson, M., 1979, Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals, *Analytical Chemistry*, 51, 844-851.