



의암호에 유입되는 오염물질 관리를 통한 호소 수질개선 방안

Measures to improve water quality of Lake Euam by controlling the incoming pollutants to the lake

황환민¹ · 이건호² · 김미연³ · 김동진⁴ · 김영관^{1*}

Hwan Min Hwang¹ · Geon Ho Yi² · Mi Yeon Kim³ · Dong Jin Kim⁴ · Yeong Kwan Kim^{1*}

1 강원대학교 환경공학과, 2 강원도보건환경연구원, 3 원주지방환경청, 4 환경부 토양지하수과.

(2011년 9월 8일 11접수 ; 2011년 10월 12일 수정 , 2011년 10월 14일 채택)

Abstract

The purpose of this study was to suggest the alternative measures to properly manage the water quality of Lake Euam, Chuncheon. Current pollution level of Gongji stream (influent to Lake Euam) and sources of contamination in Lake Euam were investigated. Particle size, organic matter and nutrient contents, heavy metals were analyzed for sediment samples taken from lower region of Gongji stream. Average organic matter content of nine sediment samples was 5.7%, and for nitrogen and phosphorus it was 750 mg/kg and 977mg/kg, respectively. Heavy metals including aluminum, iron, manganese and zinc were measured, whereas Cd and As were not detected. Effluent from Chuncheon Wastewater Treatment Plant appeared to be one of the main cause of organic matter and nutrients level in Lake Euam. Inhibition of primary production and consequent reduction of organic matter content within the Lake should be a key measure to protect the water quality of Lake Euam. Preventive measures to reduce the level of nutrients in wastewater treatment effluent were found necessary.

Key words : sediment, organic matter, nutrient, heavy metal, primary production

주제어 : 퇴적물, 유기물, 영양염류, 중금속, 1차생산

1. 서론

의암호는 북한강 수계의 주요 호소로서 춘천 시가지 유역에서 발생하는 오염물질 대부분을 수용하는 수체이다. 의암호의 지류인 공지천을 통하여 의암호로 직접 유입되던 생활하수 등 수질 오염물질은 하수관거 정비 등으로 대부분 제거되었으나 의암호의 수질은 예전과 비교하여 크게 향상되지 못하고 있다. 특히 근래에도 춘천시 하수종말처리장 방류구 인근 수역에서 조류가 대량 발생하는 오염현상이 관측

되고 있다.

하천은 상류지역을 침식시켜, 하류로 운반하고 퇴적하는 일을 끊임없이 반복한다. 하천 상류로부터 수체와 함께 운반되는 물질은 하천이나 호수, 바다와 만나는 지역에서 유속이 느려지면 바닥에 퇴적 된다. 하천 상류에 인간 활동이 활발한 대도시가 자리 잡고 있는 경우 상류로부터 운반되는 물질은 토사뿐만 아니라 유기물질, 중금속류 및 비중에 큰 쓰레기 등 환경오염물질이 함께 운반되어 퇴적되기도 한다. 이때 환경용량을 초과하는 다량의 유기물과 인이나, 질소등

* Corresponding author Tel:+82-33-250-6350, Fax:+82-33-254-6357, E-mail: yeong@kangwon.ac.kr(Kim, Y.K.)

과 같은 영양염류가 지속적으로 유입되는 경우 용존산소가 고갈 되어 혐기성 분해가 일어나며 악취와 함께, 스컴이 발생하기도 한다. 또한 중금속등 유해물질이 포함되어 있는 경우에는 퇴적되었던 독성물질 등이 용출되어 수중 생물이 폐사하는 등의 2차적인 오염현상을 일으킬 가능성이 매우 크다. 퇴적물은 먼 과거부터 현재까지의 수환경 정보를 포함하고 있으므로 퇴적물을 분석하면 과거부터 현재까지의 수질 변화를 추측할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 춘천시 의암호에 유입되는 주요지천인 공지천의 하류 지역과 호수 내 퇴적물의 오염상태를 분석하고, 과거의 수질측정 자료 및 연구 자료를 참고하여 현재 의암호로 유입되는 수체와 바닥에 존재하는 퇴적물이 의암호의 수질 변화에 영향을 줄 가능성이 있는지를 판단하고자 하였다. 또한 의암호의 가장 큰 오염물질 배출원인 춘천시 하수종말처리장 방류수가 의암호 수질에 미치는 영향을 조사하여, 의암호의 수질관리를 위한 하수종말처리장 방류수의 방류 방안을 제안하고자 하였다.

2. 연구방법

공지천 유입부를 비롯하여 의암호내 총 8개 지점의 퇴적물 시료를 채취하여 분석하고, 과거 수질 조사자료를 참고하여 의암호에서 하수종말처리장 방류수 확산에 따른 의암호내 1차 생산 유기물량을 고찰하고 의암호의 수질관리를 위한 하수종말처리장 방류수의 영향에 관하여 연구하였다.

2.1. 조사지점 및 시료 채취방법

의암호 퇴적물의 오염물질 함량 조사를 위한 시료채취는 2009년 10월 31일 실시되었다. 시료채취 지점은 하천과 호소의 형상과 특성을 고려해서 그 경계를 호반교로 설정하였으며, 유입부인 호반교 지점(St.1)을 시작으로 수체의 흐름

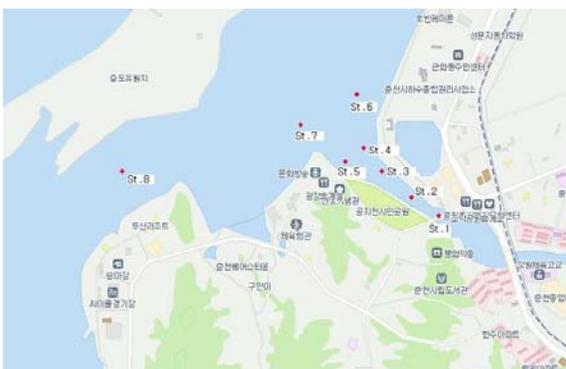


Fig. 1. Sampling stations at lower Gongji stream and Lake Euim.

방향으로 보트장 앞(St.2, St.3), 배수지 앞(St.3, St.4), 하수종말처리장 방류구 앞(St.6, St.7), 두산리조트 앞(St.8) 등 8지점에서 grab sampler 및 core sampler를 이용하여 퇴적물 시료를 채취하였다. 퇴적물 시료의 입도분포와, 중금속 및 영양염류 함량을 조사하고 과거 자료 (전, 1984, 1988)를 참고하여 퇴적물로부터의 수질 오염 가능성과 의암호 수질 개선을 위한 방안을 고찰하였다. 조사 지점 위치와 퇴적물 시료의 모습은 각각 Fig. 1과 Fig. 2와 같다.

2.2. 퇴적물 시료의 항목별 분석방법

퇴적물의 입도분포 조사는 채취한 시료를 서늘한 그늘에서 풍건시켜 고무망치를 이용하여 분쇄한 후 Melvern사의 Mastersizer 2000 입도분석 장비와 표준망체를 사용하여 조사하였다. 퇴적물의 유기물 함량은 풍건시킨 시료를 110°C로 조절된 건조기에서 2시간 건조시킨 후 황으로 방냉하여 건조감량을 구하고 muffle furnace에서 550°C로 2시간 동안 회화 시킨 후 방냉하여 회화 전후의 무게차로 총 유기물 함량(강열감량)을 산정하였다. 퇴적물의 중금속 측정은 풍건 시료를 질산 3 : 염산 1의 왕수로 분해한 후 Perkin Elmer ICP(Optima5100 DV)를 사용하여 Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, Al, Cd, As 등의 항목을 분석하였다. Hg은 풍건 고체 시료를 직접 투입하여 분석하는 Milestone 사의 DMA 80 Direct Mercury Analyzer를 이용하여 분석하였다. 퇴적물에 포함된 총질소와 총인의 함량은 황산 과염소산 분해법을 사용하여 유기물을 분해시킨 후 BRAN+LUBE 질소인 분석기(Model ACSC-III)를 사용하여 측정하였다.

춘천시 하수종말처리장 방류수에 포함되어 유출된 영양염류가 의암호 내부에서 어떻게 이동, 확산되는지 조사하기 위하여 인위적인 오염물질이며 비교적 농도가 높고, 추적물질로 사용할 수 있는 염소이온을 Ion chromatograph (Dionex, DX-500)로 측정하였다. 이를 위하여 의암호의



Fig. 2. Photos of sediment samples.

수면을 격자로 구획하여 2차에 걸쳐 각각 86지점과 136지점의 시료를 채취하여 염소이온 농도를 측정하고 이를 바탕으로 하수종말처리장 방류수의 확산 및 이동을 Surfer 6.0(Golden Software)를 이용하여 등농도선을 작성하였다. 춘천시하수종말처리장 앞 지점 등 6개 지점에서 YSI Model 33을 이용하여 측정된 conductivity 자료를 이용하여 의암호 수체 중 전기전도도의 수직적 분포를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 퇴적물 시료의 현장 관찰

채취한 퇴적물 시료를 현장에서 육안으로 관찰한 결과 전 지점 모두 퇴적물의 표면이 황갈색으로 수체로부터 산소가 충분히 공급되고 있음을 관측할 수 있었다. 퇴적물의 깊이는 대략 10~20cm 정도인 것으로 조사되었으며(Fig. 2, St. 5 사진 참조), St. 6의 시료는 특이하게 나무부스러기 등 육상으로부터 유입된 오염물질이 다량 포함되어 있었다. 이는 조사지점 인근 상류지역에서 조사시기와 가까운 과거에 있었던 준설작업의 영향으로 퇴적물에 교란이 있는 후부유물질이 재침전 되면서 비중이 작은 물질이 표층에 침전되었기 때문인 것으로 추정된다.

3.2. 퇴적물의 입도분석

토양 조성을 입자의 크기에 따라 지름이 0.002mm(2 μm) 이하인 미세한 흙 입자를 점토(粘土, clay)라 하며, 입자 지름이 0.002~0.05mm(2~50 μm)인 토양 입자를 미사(微砂, silt)라고 하고, 0.05~2mm 크기의 입자를 모래(sand)로 분류한다. 모래는 또 0.05~0.10mm 크기를 극세사(極細砂, Very fine sand)라 하며, 0.10~0.25mm 크기를 세사(細砂, Fine sand), 0.25~0.5mm 크기를 중사(中砂, Medium sand), 0.5~1.0mm 크기를 조사(粗砂, Coarse sand), 1.0~2.0mm 크기를 극조사(極粗砂, Very coarse sand)로 분류한 USDA(United States Department of Agriculture)의 기준에 따라 퇴적물 시료의 입도분포를 조사하였다. 점토(clay)는 암석이 풍화·분해되어 주로 규소·알루미늄과 물이 결합하여 이루어지는

광물로써 모래나 실트에 비해서 단위 무게 당 표면적이 훨씬 크므로 토양 중에서는 부식(腐植)과 함께 가장 활동적인 부분이며 수분 및 양분의 보유력이 강하다. 점토 함량이 높은 토양을 식토(植土)라 하는데 토양 중 점토의 함량이 높을수록 오염물질 함량도 높아지는 경향이 있다. 미사(silt)는 연안성 퇴적물에서 많이 발견되는데, 하천의 운반물질이 퇴적할 때 가장 빨리 침전된다. 또 점토와 함께 이암의 주성분으로, 실트가 점토보다 많으면 실트암, 점토가 실트보다 많으면 점토암이라고 한다.

USDA의 토양 조성에 따른 분류에 의하면 St. 1의 입도 조성은 99% 이상이 0.05~2.0mm 크기의 모래질로 구성되어 전체적인 토성은 모래로 판정되었다. St.2, St.3, St.4, St.5, St.7은 silt 함량이 51.1~74.5% 사이의 미사양토(silt loam)의 토성을 갖는 것으로 조사되었으며, St. 6과 St. 8은 sand 함량이 52.8~69.6% 정도로 사질양토(sandy loam)의 토성을 갖는 것으로 조사되었다. 점토 함량은 St. 1 지점이 0.1%로 가장 낮았으며, 퇴적물이 교란된 지역인 골재채취장 인근인 St. 6은 1.3%인 것으로 조사되었다. St. 1 시료의 입경분포를 보면 0.2~0.8mm 사이의 모래가 대부분을 차지하고 있다. 각 지점별 퇴적물의 입도 분포 조사 결과는 Table 1과 같으며, 토양 입경 조성에 따른 조직 분류도를 Fig. 3에 제시하였다.

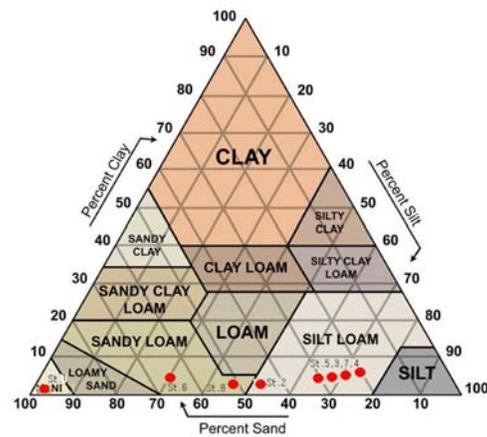


Fig. 3 Classification of each sediment soil textures according to USDA(조, 1987).

Table 1. Size distribution of the sediment samples (unit: %).

Site	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8
Clay <2μm	0.10	2.36	4.39	5.03	3.63	1.34	4.15	3.13
Silt 2~50μm	0.70	51.11	67.86	74.51	65.99	29.07	68.75	44.03
Sand >50μm	99.20	46.55	27.75	20.49	30.4	69.6	27.06	52.82
Soil Texture	sand	silt loam	silt loam	silt loam	silt loam	sandy loam	silt loam	sandy loam

각 지점별 시료들의 입경분포를 나타낸 Fig. 4를 보면 St. 2도 0.2~0.5mm 크기의 모래가 다량 포함되어 있는데 이 지점은 공지천 유입수의 영향을 받고 있어 수체의 유속에 의하여 크기가 작은 침전물은 쓸려 내려가고 상대적으로 크기가 큰 모래가 많이 남아 있기 때문인 것으로 판단된다. St.

3, St. 4, St. 5, St. 7 퇴적물의 입경별 조성은 거의 정규분포와 유사한 경향을 보이고 있다. 그러나 준설로 퇴적물이 부유하였다 재침전 된 것으로 추정되는 St. 6은 0.1mm 크기의 모래 함량이 가장 많았으며 입경 분포도가 우측으로 쪼그러진 왜곡 현상이 나타나고 있다. 또 St. 8 지점도 St.

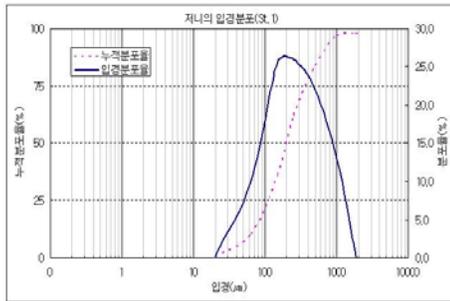


Fig. 4a. Size distribution at St.1 and St.2.

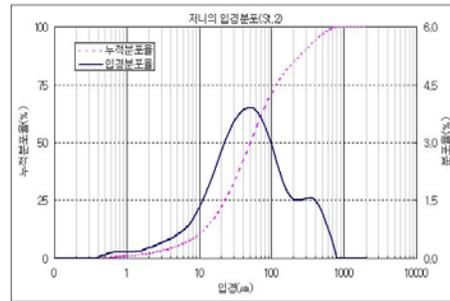


Fig. 4b. Size distribution at St.3 and St.4.

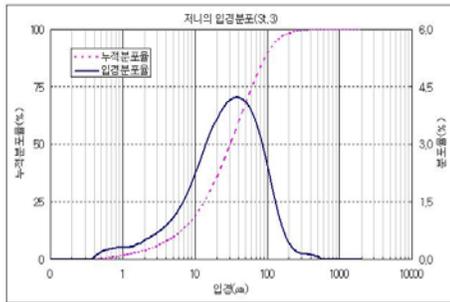


Fig. 4c. Size distribution at St.5 and St.6.

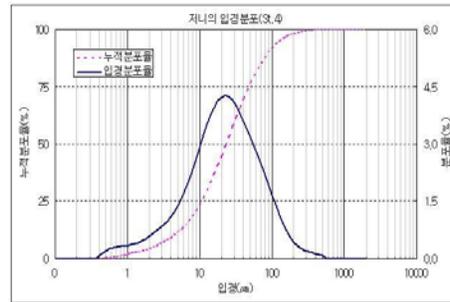


Fig. 4d. Size distribution at St.7 and St.8.

2와 같이 우기나 댐 방류시 호수 내 유속의 영향으로 점토질이 씻겨 내려가고 0.03mm 크기의 미사와 0.3mm 크기의 모래가 주로 함유되어 있는 것으로 판단된다.

3.3. 퇴적물의 건조감량과 유기물함량(강열감량)

시료 채취시 현장조사에서 퇴적물은 표면에 산소가 공급되지 않아 혐기성 상태인 시료는 없는 것으로 관찰되었다. 퇴적물의 유기물 함량도 퇴적물의 토양조성에 따라 크게 달라진다. 각 지점별 퇴적물 시료의 건조감량은 0.1%에서 2.5%정도로 높지 않은 것으로 조사되었다. 유기물 함량은 퇴적물 토성이 모래인 St. 1은 1% 미만, 하수종말처리장으로부터 상대적으로 멀고 상류지점인 St. 2에서는 3% 정도였으나, 토성이 식질양토인 St. 3부터 St. 7까지는 8% 내외로 비슷한 수준이었다. 의암호 수체의 중심 수로로 판단되는 지점인 St. 8의 토성은 사질양토로서 강열감량이 2% 정도의 낮은 값을 보였다. 전체 평균값은 5.7%로 나타났으나 St. 3~7의 평균값은 8.0%로 비교적 높게 나타나 하수종말처리장과 충분한 영양염류 공급에 따른 수체의 1차 생산 유기물 증가의 영향을 받고 있는 것으로 판단된다. 그러나 이 값은 의암호 퇴적물의 강열감량 조사결과 0.5~7.5%(전, 1984) 보다 약간 높고, 의암호 침강물의 9.4~21.0%(이, 2005)보다 낮은 것으로 나타났으며, 경포호의 13.1%(강릉시, 1990)와 소양호의 10.3% (전, 1989) 등의 선행 연구 자료와 비교해 볼 때 특별히 높지 않은 것으로 판단된다. 각 지점별 퇴적물 시료의 건조감량과 유기물 함량을 Fig. 5에 제시하였다.

3.4. 퇴적물의 총질소 및 총인 함량

지점별 총질소 함량은 St. 1에서 371mg/kg, St. 4에서 1,353mg/kg, 8개 지점 평균값은 750mg/kg 이었다. St.

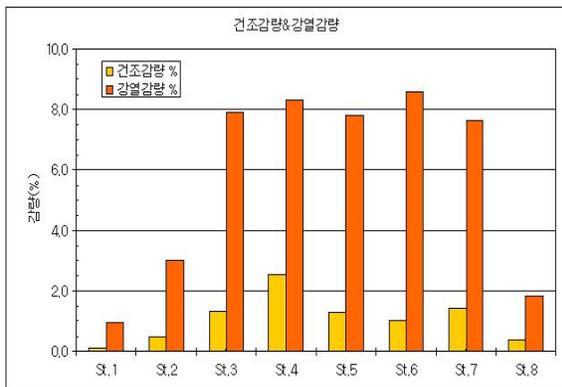


Fig. 5 Organic matter content at each station.

1, 5, 7, 8 지점을 제외한 의암호의 춘천시 하수종말처리장 방류구 인근 지점의 총질소 함량 평균값은 1,090mg/kg으로 과거 하수종말처리장 가동 이전 생활하수가 유입되던 시기의 공지천 퇴적물의 1,610mg/kg (전, 1986), 경포호의 2,000mg/kg (전, 1990) 보다는 낮은 것으로 나타났다. 총인 함량은 St. 1에서 228mg/kg, St. 6에서 1,572mg/kg, 8개 지점 평균값은 977mg/kg 이었다. St. 1 지점과 St. 8 지점을 제외한 의암호의 춘천시 하수종말처리장 인근 지점의 총인 함량 평균값은 1,181mg/kg으로 경포호의 평균 측정값 679mg/kg (전, 1990) 보다 1.7배 높고 소양호의 측정값 770±170mg/kg(전, 1989) 보다 높은 값을 보였으며, 대청호의 1,028mg/kg (배등, 1994)와 비슷한 것으로 조사되었다. 이것은 퇴적물 내에 총인이 일시적으로 축적되고 있다는 자료(이, 2005)와 같은 결과로 볼 수 있다.

3.5. 퇴적물의 중금속 함량

퇴적물의 중금속 함량 측정결과는 Table 3과 같다. 각 성분별로는 알루미늄과 철이 가장 많이 포함되어 있었고 그 밖에 망간과 아연의 순으로 함량이 높게 나타났으며 Cd, As 등은 검출되지 않았다. Table 3에서 보듯이 각 지점별 수은 함량은 St. 1이 가장 낮은 14.4 μg/kg이었으며, St. 7이 가장 높은 111.2 μg/kg으로, 8개 지점 평균값은 63.6 μg/kg이었다. 알루미늄 함량은 St. 1에서 약 2,500mg/kg, St.4에서 약 48,000mg/kg으로, 평균값은 36,080mg/kg으로 조사 되었다. Fe 함량은 St. 1에서 6,330mg/kg, St.4

Table 2. Depth of the sampling stations and analytical results of the sediment samples.

	수심	T-N	T-P
	m	mg/kg	mg/kg
St.1	1.9	371	228
St.2	1.8	756	556
St.3	3.8	1,015	1,171
St.4	6.1	1,353	1,405
St.5	4.0	577	1,146
St.6	6.3	1,224	1,572
St.7	7.5	382	1,236
St.8	10.0	319	502
평균	5.2	750	977
표준편차	2.83	406	483
경포호*	-	2,000**	679

주) * : 전, 1990, **: Kjeldahl nitrogen

Table 3. Heavy metals content in the sediment samples.

지점	구분	수심(m)	Hg	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Al
	unit	unit	µg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
St.1		1.9	14.4	3.0	8.6	6,330	128	2.8	29	2,530
St.2		1.8	31.0	11.9	15.1	17,210	384	8.7	105	19,500
St.3		3.8	95.0	25.2	53.5	16,830	692	18.5	239	44,050
St.4		6.1	93.9	38.9	40.8	32,440	661	28.1	198	48,440
St.5		4.0	78.1	28.4	53.3	30,550	667	20.4	211	43,580
St.6		6.3	59.2	67.4	33.9	31,720	547	37.7	133	28,220
St.7		7.5	111.2	36.2	61.9	31,970	698	27.0	196	43,870
St.8		10.0	26.3	30.7	19.8	17,980	363	19.9	55	15,270
평균		5.2	63.6	30.2	35.9	23,130	517	20.4	146	30,680
표준편차		2.83	36.40	19.3	19.8	9,840	207	11.0	77	16,880
금호강하류 (권,1994)	-	-	-	17.4~ 301.7	23.2~ 399.9	-	-	9.5~ 116.8	74.2~ 964.3	-
광양만 (주 등, 2000)	-	-	-	26.2~ 121.5	8.5~ 52.93	36,16~ 57,01	-	-	29.4~296.0	56,29~ 106,53

에서 32,440mg/kg으로, 8개 지점 평균값은 23,130mg/kg, Mn 함량은 St. 1에서 128mg/kg, St. 7에서 698mg/kg, 8지점 평균은 517mg/kg, Zn 함량은 St. 1에서 29mg/kg, St.3에서 239mg/kg, 평균 146mg/kg이었다. Cu 함량은 St. 1에서 8.6mg/kg, St. 7에서 61.9mg/kg, 8개 지점의 평균값은 35.9mg/kg, Cr 함량은 St. 1에서 3.0mg/kg, St. 6에서 67.4mg/kg, 8개 지점 평균값은 30.2mg/kg, Ni 함량은 St. 1에서 2.8mg/kg, St. 6에서 37.7mg/kg, 8개 지점 평균값은 20.4mg/kg 이었다.

각 지점의 퇴적물은 St. 4, 3, 7, 5, 8, 2, 6, 1의 순서로 점토 함량이 높은 것으로 나타났다. 지점별 중금속 측정 결과를 보면 St.6의 알루미늄, 망간, 아연 함량은 다른 지점보다 낮게 나타났으나, 특이하게 크롬(Cr)과 철(Fe), 니켈(Ni)의 함량이 다른 지점보다 크게 높은 것으로 나타났다. 이러한 현상의 원인은 St.6 지점 인근에서 골재 채취 시 사용되는 골재 채취 기구가 가동 될 때 회전하면서 물과 함께 골재를 흡입하는 니켈-크롬강으로 만들어진 "커터"의 마모에 의한 국지적 오염현상인 것으로 추정되는데 이와 관련하여 정밀한 조사연구가 필요한 것으로 판단된다.

이와 같은 퇴적물 조사결과 및 문헌을 참고해 볼 때 퇴적물 내에 함유된 오염물질 함량이 과거의 조사 자료와 비교해 크게 높지 않으며, 용존산소가 충분히 공급되고 있고, 의암호가 하천형 호수로서 수체의 흐름이 왕성하고 수심이 깊지 않아 우기에 수체의 흐름에 의하여 간헐적으로 퇴적물이 침식, 제거되는 점 등으로 볼 때 퇴적물에 의한 오염사고나 수질오염 가능성은 크지 않은 것으로 판단된다.

3.6. 의암호의 수질 개선 방안

3.6.1. 하수처리장 방류수의 확산형태에 따른 의암호 수질 변화

Fig. 6은 좌측 그림은 하절기 소양댐의 방류가 없는 시간 동안 1.3 m/sec의 남풍이 불 때 측정된 자료이다. 이러한 기상 및 수리 조건에서 의암호의 하수처리장 방류구 인근 표층에는 풍부한 영양염류가 공급되는 것으로 예측된다. 실제로 1차 측정 시에 식물성플랑크톤이 급격히 증식한 것이 관측 되었으며 증식한 식물성플랑크톤은 의암댐 방향에서 불어오는 취송류에 밀려 상류쪽인 상중도 배터와 소양2교 부근에 집중적으로 모여 녹조류가 급격히 발생하는 water bloom 현상이 발생하였다. 이 현상은 2010년 9월 춘천에서 개최되었던 세계 레저총회 기간 직전에도 이 지역에 밀집된 식물성플랑크톤이 사멸하면서 악취를 풍기는 등 수질 오염사고를 일으킨 원인이기도 하였다. Fig.6의 우측 그림은 풍향이 춘천지역의 주풍향이 아닌 북서풍이 부는 날 소양댐의 방류가 있는 시간에 측정된 자료로서 하수처리장 방류수의 일부는 공지천 보트장 인근으로 밀려가고 일부는 소양댐 방류수의 흐름을 따라 봉어섬(하중도) 방향으로 흘러가는 현상이 나타나는 것으로 볼 수 있다. 이날의 현장조사에서는 상류지역에 식물성플랑크톤이 밀집한 현상을 관측할 수 없었다. 두 조사 결과로 볼 때 바람의 방향과 소양댐의 방류 여부가 의암호의 수질에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 따라서 의암호의 수질개선을 위하여 춘천시 하수처리장 방류수의 방류방식 개선을 통하여 1차 생산을 줄이고, 취송류의 영향을 받지 않을 수 있는 방안을 강구하여야 할 것으로 판단된다.

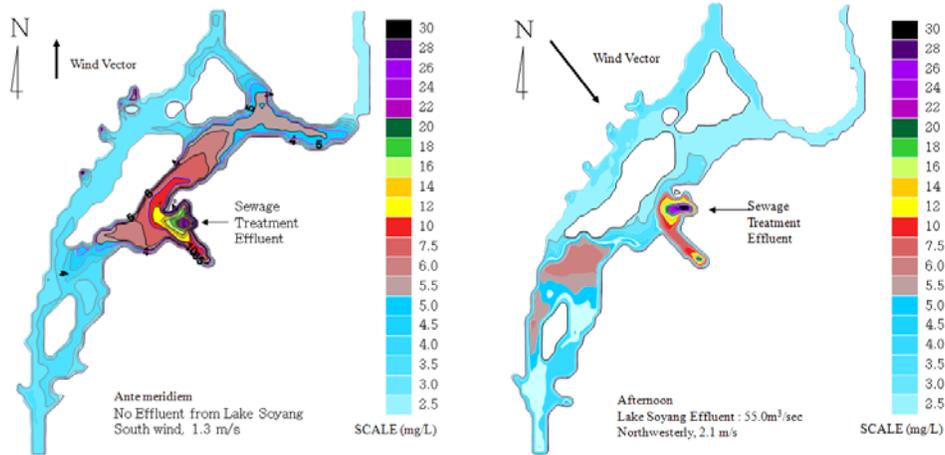


Fig.6. Effect of sewage treatment plant effluent on spatial distribution of chloride ion concentration within Lake Euiam (이, 2005).

3.6.2 의암호 유입수의 영양염류 농도와 공공수역의 1차 생산성

과거 자료에 따르면 의암호로 유입된 총유기물량은 BOD로서 10,866kg/일이었으나 의암댐으로 유출된 양은 13,289kg/일로 내부생성에 의하여 일평균 2,400kg 정도의 유기물이 생성되고 있으며, 또한 의암호에 유입되는 총 유기물량 중 하수종말처리장으로부터 유입되는 비율은 10%이 내였으나, 내부생성 과정이 포함되어 호수 내부에서 유기물이 증가하여 댐 하류로 유출되는 유기물 유출총량은 유입총량 보다 20%가 많다고 보고하였다. 또 의암호에 유입되는 총인은 약 1/3이 하수종말처리장으로부터 유입 될 정도로 많은 양이 공급되고 있었으며 이렇게 과다 공급된 인은 호수 내에 55kg/일 정도 축적되어 의암호의 1차 생산을 증대시켜 수질을 악화시키고 있다고 보고하였다 (이, 2005).

이와 같이 공공수역에서 1차 생산에 의한 유기물이 다량으로 증가하는 원인 중 하나는 공공수역으로 방류되는 하수종말처리장 방류수에 함유된 총인 중 용존무기인(PO₄-P)의 비율이 높은 것이다. 고도처리 시설 완성 이전의 춘천시 하수종말처리장 방류수의 총인 농도는 약 1.1mg/L 정도였는데 2003년과 2004년 동시에 측정된 춘천시하수종말처리장 방류수의 PO₄-P/T-P 비의 5회 평균값은 0.65 이었다. 용존 무기인은 식물성플랑크톤이 곧바로 흡수하여 생체 증식에 사용하며, 충분히 공급되고 있는 상황에서는 장래에 부족할 경우를 대비하여 과량으로 섭취(Luxury uptake)하여 체내에 축적한다. 또한 영양염류를 다량 함유한 이 방류수 수체는 수온이 높아 주변 수체보다 밀도가 작아 표층으로 확산되고, 이 표층에서는 식물성플랑크톤이 광합성을 하는데 필요한 충분한 빛 에너지를 받을 수 있어 1차 생산에 의한 유기물 증가량을 높이고 있다. 유역으로부터 공급

되는 다량의 영양염류에 의하여 식물성 플랑크톤이 왕성하게 증식하고, 사멸되면서 침강하여 호수 바닥에 침강하여 미생물에 의하여 분해되며, 이 과정에서 유기물함량과 영양염류 함량을 증가시키고 또 다시 영양염류를 공급하여 식물성플랑크톤의 성장에 영양염류를 공급하는 악순환이 일어나고 있다 따라서 이 순환 고리를 끊을 수 있는 적절한 대책이 필요한 것으로 사료된다.

Fig. 7은 의암호내 몇몇지점의 전기전도도 측정결과로서 하수처리장 방류구 앞 지점 표층의 전기전도도는 160 μs/cm로 다른 지점 보다 2배 정도 높지만 심층은 다른 지점과 크게 차이가 나지 않는 것으로 조사되었다. 이것으로 보아 수온이 낮아 밀도가 크고 전기전도도가 낮은 소양댐 방류수가 의암호의 바닥을 따라 흐르는 것으로 판단된다. 의암호의 1차 생산량을 감소시키는 방안으로 이러한 수체의 물리적 특성을 이용하여 수온과 영양염류 농도가 높은 하수처리장 방류수와 수온과 영양염류 농도가 낮은 소양댐 방류

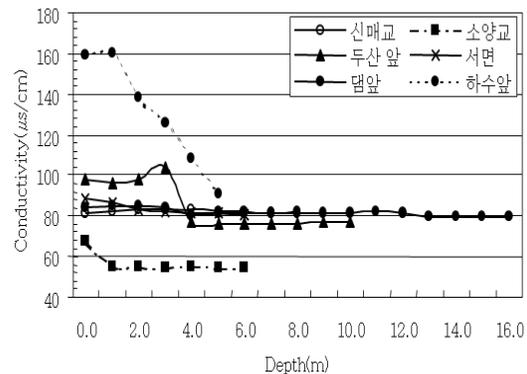


Fig. 7. Spatial conductivity data in Lake Euiam.

수를 적절한 양으로 혼합하여 인위적으로 온도와 영양염류 농도를 낮추어 적당한 밀도로 조절하여 중층이나 저층으로 흐르게 한다면 의암호의 1차 생산량을 크게 감소시킬 수 있을 것으로 예측된다. 하수종말처리장 방류수를 방수관이나 확산기를 설치하는 방안은 오염물질이 함유된 방류수가 수 표면에 넓게 확산되어 호수 전체에서 1차 생산이 증가하는 위험성도 있음을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

363. 강우시 공지천 주변 도로의 초기유출 오염물질 차단 공지천 좌우안의 강변도로는 물론 춘천시내 외곽지역에서 시내방향으로 진입하는 주도로의 우수는 강우 시 대부분 공지천으로 유입되고 있다. 국내에서 발표된 측정자료에 의하면 강우 시 초기에 유출되는 유출수의 COD_{Cr} 농도는 수천~20,000mg/L를 초과하는 것으로 보고하였다 (방 등, 2000). 이 결과를 볼 때 의암호의 수질오염과 관련하여 고려해야 할 또 하나의 오염원은 공지천 주변의 포장도로로부터 유입되는 도로상 오염물질의 유입을 차단하는 것이라 하겠다. 실제로 강우시 공지천의 수질이 악화된다는 자료 (고 등, 2009)를 볼 때 유입수의 수질, 특히 초기 강우 처리 등을 통한 공지천 유입수의 수질 개선이 필요한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 공지천 하류지역 퇴적물의 입도 조성 및 오염실태를 조사하였으며, 수질 측정 자료와 과거 보고 자료를 참고하여 춘천시하수종말처리장 방류수가 의암호의 수질에 미치는 영향을 고찰하였다. 조사 결과를 바탕으로 의암호의 수질개선을 위하여 다음과 같은 결론을 도출하고 의암호의 수질개선 방안을 제안한다.

- 1) 의암호의 공지천 유입부 주변에 퇴적된 퇴적물의 조성은 대부분 미사양토(silt loam) 였으며 골재 채취 시 사용되는 골재 채취 기구의 마모에 의한 퇴적물의 국지적인 중금속 오염이 있는 것으로 나타났다.
- 2) 공지천 하류 및 호수내 퇴적물에 의한 의암호의 수질 오염 가능성은 크지 않은 것으로 나타났으며 초기 강우시 공지천 주변도로와 도심지로부터 유입되는 오염물질 유입을 차단하여 의암호 수질에 미치는 영향을 저감시키는 방안이 필요한 것으로 판단된다.
- 3) 춘천시 하수종말처리장 방류수에 포함된 유기물과 영양염류는 호수 내 조류의 1차 생산에 의한 유기물 증가의 원인이 되며, 조류의 사멸시 퇴적물 내 유기물 및 영양염류 함량을 증가 시키는 원인이 되는 것으로 판단된다.
- 4) 의암호의 수질 개선을 위해서는 춘천시 하수종말처리장 방류수에 포함되어 방류되는 영양염류 농도를 더욱 엄격

히 제한하여야 할 것으로 판단된다.

5) 방류수를 냉각시켜 방류하거나 수온이 낮은 소양담 방류수와 적절한 비율로 혼합하여 인위적으로 밀도류를 조성하여 의암호의 저층으로 댐 앞까지 흐르도록 유도 할 경우 하수종말처리장 방류수가 의암호의 표층으로 넓게 확산되는 것을 억제함으로써 의암호의 1차 생산량이 감소 할 것으로 예상되며, 이와 관련한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 강릉시(1990) *경포호수수질오염방지조사연구*, pp. 127-128.
- 고상열, 허병녕, 현근우, 허인량, 정원구, 이석중, 이태욱, 박성빈, 오홍석, 김영진(2009) 공지천 수질변화에 관한 연구. *강원도 보건환경연구원보*, 제20호, pp.58-66.
- 권오역(1994) 금호강 하류의 저니 중 중금속 함량분포. *보건학중앙학회*.
- 농업기반공사(2004) *저수지 준설 환경기준 정립 및 준설도 활용방안 연구(III) 보고서*.
- 방기웅, 이준호, 최중수(2000) 강우시 산업단지에서의 오염물질 유출특성, *대한환경공학회지*, 22(2), pp. 641-353.
- 배정옥, 김홍겸, 김도한, 전상호, 김휘중(1994) 부영양호수의 수질 개선을 위한 인산염의 불활성화에 관한 연구. *한국육수학회지*, 27권 3호, pp. 251-256.
- 이건호(2005) *의암호 수질관리를 위한 내부생성량 예측과 제어에 관한 연구*, 강원대학교 박사학위논문.
- 전상호(1984) 의암호 퇴적물의 입도분포와 유기물 함량, *한강유역 조사보고서*, 강원대 한강생태연구소보.
- 전상호(1988) 춘천지역의 인공호 퇴적물에 함유된 인의 존재 형태에 따른 수질오염의 가능성에 대하여, *한국수질보전학회지*, 4권 2호, pp. 49-57.
- 전상호(1990) 김휘중. 경포호의 준설에 의한 수질 개선 가능성에 관하여, *한국지구과학회지*, 11권 2호, pp. 174-180.
- 전상호, 박용안(1989) 소양호 퇴적물에 함유된 인의 존재 형태와 용출가능성에 대하여, *한국육수학회지*, 22권 3호, pp. 262-271.
- 전상호, 이해금(1986) 의암호 저니에 의한 상부 수층의 오염 가능성에 대하여, *한국수질보전학회지*, 2권 2호, pp. 1-8.
- 조성진 외 8명(1987) *삼정 토양학*, 향문사.
- 주수현, 박종철, 김 진, 이우범, 이성우(2000) 광양만의 퇴적물에 대한 이화학적 조성 및 중금속 함량, *한국육수학회지*, 33(1), pp. 31-37.
- 환경부(2008) *수질오염공정시험기준*, 환경부, 서울.
- 환경부(2008) *토양오염공정시험기준*, 환경부, 서울.