

# 강우시 유입된 오염물질이 흥부 저수지내 퇴적물에 미치는 영향

## Effect of infow contaminants on Sediment in the Heung-bu reservoir during the Raining Season

정희진\*, 최이송\*\*, 이태호\*\*\* 오종민\*\*\*\*

Hee-jin Jung, I-song Choi, Tae-ho Lee, Jong-min Oh

### 요 지

본 연구에서는 현재 날로 심각해지는 흥부지역 농업용수의 수질을 개선하기 위한 기본계획을 수립하는데 있어, 기초데이터의 확충 및 현황 파악을 위하여 흥부지구 강우시 저수지내의 퇴적물 상태를 조사 하고자 하였다. 또한 조사된 자료를 바탕으로 저수지 퇴적물에 의한 내부오염 발생여부 및 저수지의 수질에 미치는 영향을 예측하고, 퇴적물에 의한 오염 방지 및 필요수량을 안정적으로 유지하기 위하여 준설여부를 검토함으로써 흥부지역 농업용수의 수질개선방안을 제시하는 것이 목적이다.

본 조사연구는 1) 저수지 내 퇴적물 추정량, 2) 퇴적물의 입도분포 및 유기물질·무기물질 분석으로 이루어졌다. 본 조사연구 결과는 퇴적물의 준설을 결정하는데 있어서 중요한 인자로 인식되는 저수지의 퇴적속도, 저수지 내 퇴적물의 용적량, 잠재적 오염물질의 함유량에 대한 연구 자료로서, 앞으로 흥부저수지를 효율적으로 관리함에 있어 중요한 근거자료가 될 수 있을 것으로 판단되며, 수질개선 사업의 수행 시 설계 인자로 반영 하고자 한다.

**핵심용어** : 퇴적물, 퇴적속도, 입도분포, 영양염류

### 1. 서 론

조사 대상 지역인 흥부 저수지는 경기도 시흥시 물왕동 및 산현동에 위치하고 있는 저수지로 농업용수의 확보를 위하여 1945년 건설되었고, 관개면적이 697.2 ha에 총저수량은 1994천 톤이다. 흥부저수지 유역은 주변이 낚시터로 개발되어 있어 사람들의 왕래가 잦고 주변에 음식점 및 가게가 산재해 있다. 이러한 지역의 특성상 현재 2차선의 도로를 확장하고자 공사 중에 있으며 지류유입부에는 준설작업도 병행하고 있어 수질상태는 육안으로 보기에 탁해져 있는 상태다. 현재 흥부저수지는 흥부지역의 농업용수로 이용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 날로 심각해지고 있는 흥부지역 농업용수의 수질을 개선하기 위한 기본계획을 수립하는데 있어, 기초데이터의 확충 및 현황 파악을 위하여 흥부지구 강우시 저수지내의 퇴적물 상태를 조사 하고자 하였다. 또한 조사된 자료를 바탕으로 저수지 퇴적물에 의한 내부오염 발생여부 및 저수지의 수질에 미치는 영향을 예측하고, 퇴적물에 의한 오염 방지 및 필요수량을 안정적으로 유지하기 위하여 준설여부를 검토함으로써 흥부지역 농업용수의 수질개선방안을 제시하는 것이 목적이다.

### 2. 재료 및 방법

퇴적물에 대한 실험은 현장의 퇴적물 오염지표 분석 및 SOD 측정으로 이루어졌다. 조사 지점 및 조사시

\* 비회원.경희대학교 환경응용과학과 석사과정·E-mail : spirogyra79@naver.com  
\*\* 정회원.경희대학교 환경연구센터 선임연구원·E-mail : isongchoi@hotmail.com  
\*\*\* 정회원.한국농촌공사  
\*\*\*\* 정회원.경희대학교 환경응용화학부 교수(corresponding author)·E-mail : jmoh@khu.ac.kr

기는 <그림. 1>, <표 1.>에 각각 나타내었다. 현장 시료채취는 현장관리 사무소의 도움을 받아 현장의 보트를 이용하여 그랩 샘플러와 코아 샘플러를 이용하여 채취하였다. 시료의 채취는 강우가 있는 후 청명한 날을 택하여 실시하였다.



그림 1. 조사지점

현장에서 채취된 시료는 실험실로 옮겨진 후 실험을 위한 전처리 과정으로 실온에서 약 일주일동안 풍건세토를 실시하여 건조시킨 후 2mm의 체로 걸러 그 이하의 시료만을 가지고 실험을 실시하였다. 퇴적물에 대한 오염지표의 측정항목은 VS, FS, COD, T-N 및 입도분석으로 이들에 대한 자세한 실험방법은 <표 2.>에 나타내었다.

표 1. 퇴적물 조사위치 및 시기표

지점명	위치	시기
HBR1	N 37°22'35.7", E 126°50'11.5"	7월 21일, 10월 13일
HBR2	N 37°22'37.3", E 126°50'37.2"	7월 21일, 10월 13일
HBR3	N 37°22'47.1", E 126°50'22.3"	7월 21일, 10월 13일
HBR4	N 37°22'48.1", E 126°50'03.4"	7월 21일, 10월 13일

표 2. 퇴적물 측정 항목 및 실험방법

항목	실험 방법
VS	강열감량법
FS	강열감량법
COD	산성100℃에서 과망간산칼륨에 의한 화학적 산소요구량
T-N	자외선 흡광도법(SHIMADZU, UV - 1601 PC)
T-P	질산-황산 분해법
입도	입도분석기(Malvern Mastersizer S, version 2.19)

현장에서 채취된 시료는 실험실로 옮겨진 후 실험을 위한 전처리 과정으로 실온에서 약 일주일동안 풍건세토를 실시하여 건조시킨 후 2mm의 체로 걸러 그 이하의 시료만을 가지고 실험을 실시하였다. 퇴적물에 대한 오염지표의 측정항목은 VS, FS, COD, T-N 및 입도분석으로 이들에 대한 자세한 실험방법은 <표 2.>에 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 퇴적물 내 잠재적 오염물질 추정량

##### 3.1.1 퇴적물 오염도 조사결과

다음의 <그림 2-1, 2-2.> 는 각 저수지 내 조사지점의 퇴적물 상태를 조사한 1차조사 결과이다. 퇴적물의 오염상태는 전반적으로 HBR4 지점에서 가장 높게 나타났고, HBR3 지점은 가장 양호한 상태를 보였다. 다만 HBR1 지점은 T-N 농도가 타 지점에 비해 월등히 높게 나타났다. 이와 같이 HBR4 지점에서 오염상태가 가장 높게 나타난 것은 HBR4 지점의 수심이 가장 깊어 퇴적작용이 오래동안 진행되어 유기물이 많이 포함되어 있기 때문으로 판단되며, HBR3 지점은 HBR2 지점과 HBR4 지점의 중간 유출 단계이며 HBR1과 HBR2 와 같은 유입하천이 주변에 없기 때문으로 판단된다. 2차 조사에 있어서도 대체로 4지점과 2지점의 퇴적물

이 오염물을 상대적으로 많이 함유하고 있는 결과를 보였다. 1차 조사와 달라진 점이 있다면 HBR2 지점의 오염도가 크게 상승했다는 점이다.

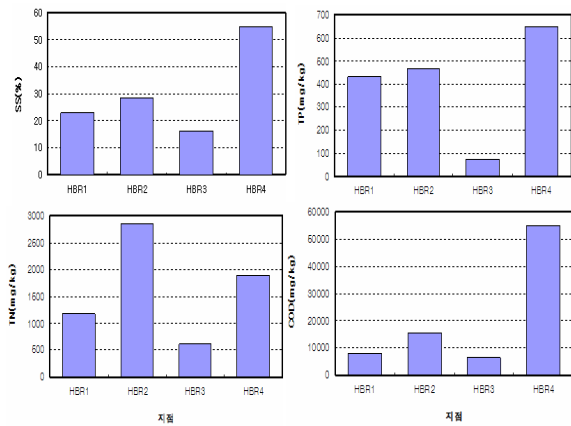


그림 2-1. 1차 조사 시 지점별 퇴적물 내 오염물 농도

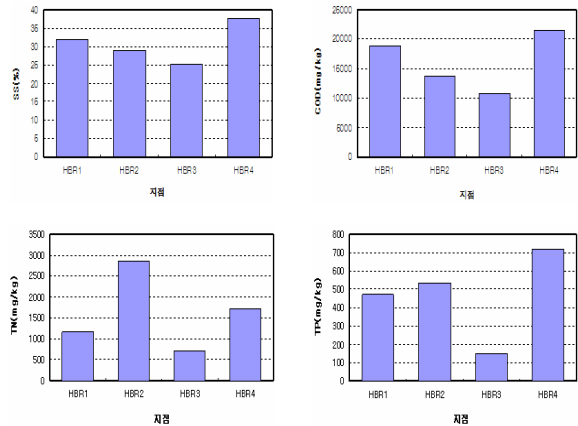


그림 2-2. 2차 조사 시 각 지점별 퇴적물 내 오염물 농도

### 3.1.2 퇴적물 내 잠재적 오염물질 추정량

퇴적물 조사 자료의 각 오염물질 함유량을 기준으로 전체 퇴적물에 포함되어 있는 잠재적 오염물질의 총량을 산정하였다. 잠재적 오염물의 총량은 앞에서 산정된 총 퇴적물량에 각 지점별 퇴적물 내 오염물 농도를 계산하여 추정되었다. 이에 따른 결과를 보면, 퇴적물의 건조중량인 TS량은 97,059 ton인 것으로 조사되었고, 이중 유기물 함유량은 23.3%인 22,589 ton으로 조사되었다. 또한 건조중량 중 COD 총량은 1,810 ton인 것으로 조사되었으며, T-N은 190.3 ton, T-P는 42.88 ton인 것으로 조사되었다(<표 3.> 참조).

표 3. 각 지점별 퇴적물 중 1차 및 2차의 잠재적 오염물질 추정량 결과

		TS(ton)	VSS(ton)	FSS(ton)	COD(ton)	T-N(ton)	T-P(ton)
HBR1 지역	1차	8,563	1,923	6,640	67.47	10.02	3.713
	2차	11,956	3,589	8,367	226.1	13.91	5.673
	평균	10,259	2,756	7,503	146.8	11.97	4.693
HBR2 지역	1차	43,957	8,562	35,395	672.0	125.5	20.43
	2차	44,703	11,803	32,900	614.4	128.3	23.93
	평균	44,330	10,183	34,148	643.2	126.9	22.18
HBR3 지역	1차	17,879	2,385	15,494	112.4	10.90	1.360
	2차	27,886	7,511	20,375	300.2	20.31	4.145
	평균	22,883	4,948	17,935	206.3	15.60	2.752
HBR4 지역	1차	23,316	4,972	18,344	1,285	44.37	15.15
	2차	15,858	4,434	11,424	342.9	27.32	11.36
	평균	19,587	4,703	14,884	813.9	35.84	13.25
총량		97,059	22,589	74,470	1,810	190.3	42.88

### 3.2 퇴적물 입도분석 결과

퇴적물의 입도분석 결과를 다음의 <표 4> 에 나타내었다. 입도분석결과 HBR1, 2, 3 지점은 모두 가는 모래를 50% 이상 포함하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 HBR4 지점은 실트질이 54.1%로 나타나 가장 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 일반적인 퇴적물의 특성상, 저수지의 퇴적물은 점토성 및 실트성이 많을 것이라고 예측했으나, 모래 성분이 많은 결과를 보여 의외로 판단된다. 그러나 저수지 주변의 공사가 활발히 진행되고 있기 때문에 이에 따른 영향도 어느 정도 있었을 것으로 생각된다. 얻어진 결과를 토대로 각각 토양의 토성을 삼각도법을 이용하여 구분해본 결과, HBR1 지점은 Loam 토양인 것으로 나타났고, HBR2가 Sandy Loam, HBR3가 Loam, HBR4가 Silty Loam인 것으로 나타났다.

표 4. 퇴적물 입도분석 결과 및 토성구분

지점	점토	실트	가는모래	굵은 모래	토성구분
HBR1	4.42	32.3	62.8	0.52	L
HBR2	3.10	24.7	66.9	5.33	SL
HBR3	6.05	33.7	51.5	8.78	L
HBR4	7.04	54.1	38.2	0.69	SiL

### 3.3 퇴적물의 퇴적속도

#### 3.3.1 퇴적속도 실험결과

다음의 <표 5>은 흥부저수지 내에서 TS, COD, T-N, T-P의 퇴적속도를 측정된 결과를 나타내고 있다. TS의 퇴적속도는 표층보다는 하층에서 왕성하게 일어나는 것을 알 수 있다. 또한 지점별로는 HBR2 지점에서 1차 조사 시 하층이 540.8 g/m<sup>2</sup>·day로 월등히 높게 나타났다. 이는 유입하천의 영향도 어느 정도 있었을 것으로 판단되나, 주변이 퇴적물의 준설작업 및 도로 확장공사 등 토사 유입이 우려되는 공사가 진행되고 있어 이에 대한 영향을 크게 받았기 때문으로 사료된다. 또한 퇴적속도에 대한 1차 및 2차 조사의 결과를 비교해 보면 2차 조사 시에 비하여 1차 조사의 결과 값이 월등히 높게 나타났다. 이는 1차 조사시기에 2차 조사 시기보다 빈번하게 내린 강우의 영향을 받았기 때문으로 판단된다. HBR3 지점은 타 지점에 비하여 상대적으로 적은 퇴적속도를 보였다. 1차 및 2차의 퇴적속도 평균은 각각 206 g/m<sup>2</sup>·day, 88.47 g/m<sup>2</sup>·day인 것으로 나타났다.

이외에 COD, T-N, T-P의 퇴적속도에 대한 결과도 TS의 변화와 비슷한 경향을 보여 HBR2 지점에서 이들의 퇴적속도가 가장 컸던 것으로 나타났고 HBR3 지점이 낮게 조사되었다. 각각의 평균농도는 1차 조사에서 COD, T-N, T-P가 각각 3.817 g/m<sup>2</sup>·day, 0.476 g/m<sup>2</sup>·day, 0.094 g/m<sup>2</sup>·day인 것으로 조사되었고, 2차 조사에서는 각각 1.329 g/m<sup>2</sup>·day, 0.206 g/m<sup>2</sup>·day, 0.047 g/m<sup>2</sup>·day로 나타났다.

<표 5> 흥부저수지 1차 및 2차 조사에 의한 각 지점별 퇴적속도

		TS(g/m <sup>2</sup> ·day)	COD(g/m <sup>2</sup> ·day)	T-N(g/m <sup>2</sup> ·day)	T-P(g/m <sup>2</sup> ·day)
HBR1	1차	95.34	0.811	0.120	0.043
	2차	-	-	-	-
	평균	95.34	0.811	0.120	0.043
HBR2	1차	540.7	8.101	1.528	0.256
	2차	162.7	2.147	0.472	0.087
	평균	351.7	5.124	1.000	0.171
HBR3	1차	83.47	0.556	0.053	0.007
	2차	40.78	0.448	0.032	0.007
	평균	62.12	0.502	0.043	0.007
HBR4	1차	104.2	5.799	0.202	0.071
	2차	61.88	1.392	0.113	0.047
	평균	83.04	3.595	0.158	0.059

#### 3.3.2 퇴적물의 연간 퇴적량 산정

연간 퇴적물을 산정의 결과, TS의 HBR1 지역에서 연간 퇴적물량은 2,036 ton/년, HBR 2지역은 24,940 ton/년, HBR 3지역에서는 3,352 ton/년, HBR 4지역에서는 1,418 ton/년으로 나타나, 지역면적이 가장 넓었던 HBR 2지점에서 가장 높게 나타났고, 전체 TS의 퇴적속도는 31,746 ton/년인 것으로 조사되었다. 또한 COD의 전체 퇴적속도는 469 ton/년, T-N은 48.5 ton/년, T-P는 14.5 ton/년으로 조사되었다. 이와 같은 연간 퇴적속도는 앞에서 산정된 퇴적물 총량과 비교하여 TS가 32.7%에 해당하는 양이다. 물론 이는 모든 외부적 환경변화 및 내부적 환경변화를 전혀 고려하지 않은 양이므로 실제적으로 이와 같이 빠른 퇴적활동이 일어나지는 않을 것으로 판단되나, 이와 같은 비율로 간다면 결국 약 3년이면 현재 쌓여 있는 퇴적물의 양이 두 배

로 증가하는 것을 의미하므로 퇴적물에 대한 지속적인 관리노력이 필요할 것으로 판단된다(<표 6> 참조).

**표 6. 홍부저수지 1, 2차 평균 지점별 연간 퇴적량**

	TS(ton/yr)	COD(ton/yr)	T-N(ton/yr)	T-P(ton/yr)
HBR1 지역	2,036	17.33	2.573	0.918
HBR2 지역	24,940	363.3	70.90	12.16
HBR3 지역	3,352	27.08	2.307	0.366
HBR4 지역	1,418	61.40	2.692	1.012
총 퇴적량	31,746	469.1	78.47	14.46

## 4. 결론

### 4.1 퇴적물 조사 결과

홍부저수지의 퇴적물을 채취하여 분석해 본 결과 지점별로는 HBR2 지점과 HBR4 지점의 퇴적물에 오염 물이 많이 함유되어 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 HBR2 지점이 유입하천의 직접적 영향을 받기 때문으로 판단되며, HBR4 지점은 수심이 깊어 퇴적작용이 꾸준히 일어났기 때문으로 판단된다. 이러한 결과는 퇴적물의 유기물 함량 결과로도 잘 일치한다.

퇴적속도 실험결과에서는 각 지점별로 역시 HBR2 지점과 HBR4 지점의 퇴적속도가 다른 지점에 비해 큰 것으로 나타났고, 전체 홍부저수지에서 퇴적속도에 따른 퇴적량을 연간으로 산출해 보면 TS가 31,746 ton, COD가 469 ton, T-N이 78.5 ton, T-P가 14.5 ton인 것으로 조사되었다. 이들이 어떠한 환경변화에 받지 않고 퇴적된다고 가정할 때 이를 용적으로 계산하면 32,651 m<sup>3</sup>으로 저수지의 유효용적의 1.72%에 해당하는 양이다.

### 4.2 퇴적물 준설의 타당성 검토

본 연구를 결과로 홍부저수지의 수질개선을 위한 준설의 필요성에 대해서는 명확히 밝히기는 힘들다. 다만 조사결과를 토대로 준설의 가능성을 피력한다면, 수질적 측면에서 준설이 필요하다고 판단되는 지점은 HBR2 지점과 HBR4 지점으로, 이들 퇴적층은 상대적으로 오염정도가 높아 국내외의 준설지침에 해당되는 것으로 판단된다. 따라서 만약 준설계획을 세운다면 착수에 앞서 보다 정밀한 조사연구를 반복 수행하고 생태계에 안전한 준설방법이 도입되어야 할 것으로 사료된다.

수질적 측면에서 보다 준설의 필요성이 더욱 대두되는 것은 가용수량 확보라고 판단된다. 실험적 결과를 보더라도 연간 퇴적되는 퇴적물 양은 결코 무시할 수 없을 정도로 크다. 또한 홍부저수지의 물을 농업용수로써 안정적으로 농지에 계속 보급하기 위해서는 일정량의 수량이 확보될 필요성이 있기 때문에 퇴적물에 의한 용적감소량 대비 필요수량을 정확히 산정함으로써 이에 대한 줄어드는 필요수량을 확보할 수 있는 대책 마련의 차원에서 준설은 고려되어질 수 있다.

## 감 사 의 글

본 연구는 한국농촌공사의 지원으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. 박진홍, Hydrocyclone을 이용한 저수지 퇴적물의 분리, 경희대학교 석사학위 논문, 2002.
2. 화용호 수질보전 보완대책, 경기도, 2006.