

대청댐 저수지 퇴적물의 용출특성과 수질에 미치는 영향에 관한 연구

이요상* · 이경식**

한국수자원공사 수자원연구소* · 댐관리처**

A Study on Release Characteristics of Sediment and its Impacts on Water Quality in Daecheong Dam Reservoir

Lee, Yo-Sang* · Lee, Kyeong-Sik**

Environmental Research Team, Water Resources Research Institute, KOWACO*

Environmental Department, Dam Management Division, KOWACO**

Abstract

In order to solve water quality problem of domestic dam reservoir, many projects have been performed in a point of view to restoration of water quality. This study was carried out to evaluate the effect of release from sediment on water quality and release characteristics. Daecheong dam reservoir was investigated for two years, from 1998 to 1999.

The nutrient release rates of Daecheong reservoir is less than foreign eutrophic reservoir at anoxic condition. For the evaluation of the effect of nutrient release on water quality, internal and external loading was calculated at Daecheong reservoir. As total phosphorus loading from sediment is calculated 9.3 ton/yr and inflow loading from Daecheong reservoir watershed 118 ton/yr, internal loading shows the portion of 7.88% to external loading. At this study, because sampling point was choosed at the point where much sediment is accumulated, experimental result is more than average release rates. Because Daecheong reservoir shows complete thermal stratification and anoxic condition below 30m from water surface in summer seasons, released phosphorus from sediment can not transfer to epilimnion and eventually resettles. Therefore sediment has insignificant impacts on water quality on Daecheong dam reservoir.

Keyword: anoxic condition, release rates, thermal stratification, nutrient

I. 서론

대부분의 국내 다목적 댐은 유역면적이 넓고 댐 상류로부터 유입되는 오염물질의 양도 많아 매년 7월경이나 장마 이후에는 조류의 서식환경이 좋아져 조류의 대량 발생으로 물 이용에 지장을 받고 있다.⁷⁾ 일반적으로 댐 저수지에서 수화(水華: water bloom)현상이 발생하게 되면 여과지 폐색 등으로 정수공정에 지장을 초래하게 되고, 냄새발생 등과 같은 문제로 수돗물에도 나쁜 영향을 줄 수 있는 것으로 알려져 있으며, 조류가 저수지 수면에 부유하여 서식함으로 경관을 해치게 되기도 한다.

호소의 수질개선을 위한 방법은 영양염 조절법(Nutrient Control Methods)과 생체의 통제나 제거법(Methods for Control or Removal of Biomass)등 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 이 중에서 특히 영양염 조절법에는 영양염류 전환, 희석과 세척, 인 고정화, 퇴적물산화, 퇴적물 제거 및 정체층 방류 등의 방법이 있는데¹⁰⁾¹⁶⁾ 그 중에서 호소바닥의 퇴적물 제거가 대청호 수질개선을 위한 하나의 방법으로 거론됨에 따라 본 연구를 실시하였다. 준설을 수질개선의 수단으로 채택하는 경우에는 우선 용출에 의한 수질영향을 먼저 조사하여야 하며 그후에 준설 작업이나 준설 폐기물의 투기에 의해 오염물질의 부유나 확산, 생태계의 교란 가능성에 대한 신중한 검토가 필요하다.⁸⁾ 호소의 퇴적물들은 대부분 수층에서 침강하여 형성된 것으로 일정기간 축적되어 있다가 분해, 확산, 재부유, 생물교란 등의 생물·물리·화학적 과정에 의해 다시 수층으로 용출되어 수질 및 수생태계에 영향을 미칠 수 있다. 수질 및 수생태계에 대한 퇴적물의 영향은 오래 전부터 많은 연구가 진행되어 왔으며 대부분의 연구는 실험실에서 이뤄지나¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾ 현장에 대형 반응기를 설치하고 실시하는 경우도 많이 있다.¹⁷⁾ 국내에서는 90년도부터 많은 연구자들이 호수 퇴적물로부터

용출되는 현상을 실험하였으며,¹⁾²⁾⁴⁾⁵⁾ 해외에서는 70년대부터 실험 결과들이 보고되어 있다. 국내에서는 김도한(1990)등이 대청호 10개 지점에서 호기성 상태에서 용출율을 실험한 것을 시작으로, 권오현(1994)등이 혐기성과 호기성 상태에서의 결과를 발표하였다.

본 연구에서는 그 동안 국내와 외국에서 발표된 현황을 토대로 대청댐 퇴적물의 용출 현상을 연구하여 다목적댐 저수지에서 퇴적물에 의한 수질영향을 분석함으로써 저수지 수질보전을 위한 효율적인 평가방안으로 사용하고자 한다.

II. 연구방법

1. 대청댐 저수지의 특성

대청댐 저수지의 유역면적은 4,134km²이고 유로 총 연장은 250km이다. 덕유산 및 속리산 발원 지점에서 시작되는 대청댐 유로는 하류로 유하되면서 근접 소도시와 농경지를 거쳐 호수로 유입되는데 대청호로 유입되는 주요지천은 서화천, 봉황천, 남대천, 영동천, 초강천, 보청천, 옥천천 등이 있다.

대청댐의 지난 16년간('81~'96) 월별 수위현황(Fig. 1)에 의하면 8월이 월별수위 평균이 가장 높은 EL. 72.20m로 나타났으며, 6월이 월별수위

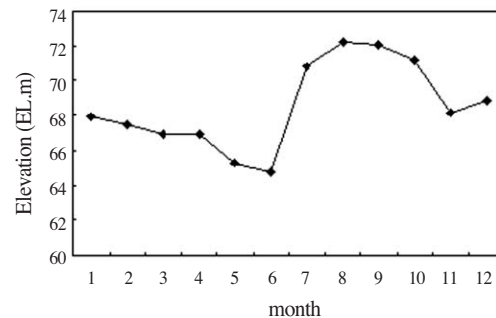


Fig. 1. 대청호의 월별 수위 현황 ('81~'96년)

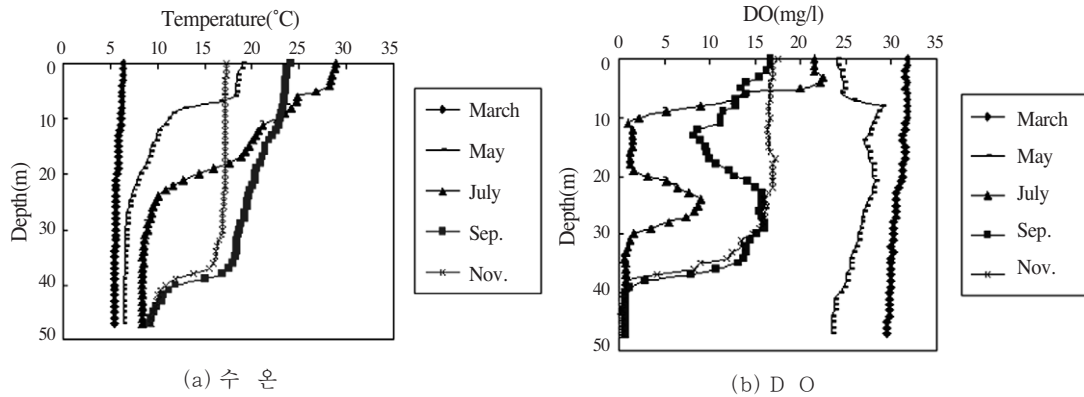


Fig. 2. 대청호 댐앞지점에서 성층변화

평균이 가장 낮은 EL, 64.73m로 나타났다. 대청댐 저수지의 수위에 따라 댐 저수지 내 혐기성 층의 면적이 크게 달라진다.

수심이 30m 이상 되는 호수에서는 하절기에 뚜렷한 성층현상이 나타나는데, 호수 수층간의 물질전달을 현저하게 감소시키는 성층현상은 용존산소 농도의 수직 분포에 많은 영향을 미친다. 한편 성층현상의 계면에서는 급격한 밀도차이가 발생하여 이 지점에서 유기물질들의 침전속도는 저하하게 되며, 이들의 분해로 인하여 일시적으로 용존산소농도는 다른 수층보다 더욱 낮아지게 되어 저수지 수질에 많은 영향을 미치게 된다 (Fig. 2). 대청호에서의 성층현상은 3월말 표수층에서부터 수온이 변화하기 시작하여 4월부터 성층현상을 나타내며, 5월과 6월에는 7~20m 사이에서 전이층을 볼 수 있다. 7월 이후부터 여름철 동안에는 30m수심에서 뚜렷한 성층을 이루며 전이층 이하에서는 약 8°C 정도로 일정한 상태를 유지하는 것으로 측정되었다 (Fig. 2). 또한 일반적인 호수들의 경우 봄과 가을철에 두 번의 역전현상을 보이는 것으로 알려져 있으나 대청호의 경우 수심이 깊은 본댐과 청남지역에서의 완전한 역전현상은 겨울철 1회만 일어나는 것으로 나타났다.

대청댐 저수지에서의 퇴적물 시료채취지점은

Fig. 3에 나타난 바와 같이 수심이 가장 깊은 댐 앞지점, 댐과 회남지점의 중간에 위치한 내담, 가두리 양식장이 많았던 회남지점, 회남과 장계교의 중간에 위치한 대정리, 상류유입하천과 가장 가까이 접한 장계교지점 등 5개 지점을 선정하였으며, 대청댐의 부영양화에 관련이 있는 총질소(TN), 총인(TP) 그리고 용존성 인($PO_4\text{-P}$)의 용출특성을 실험하였다.

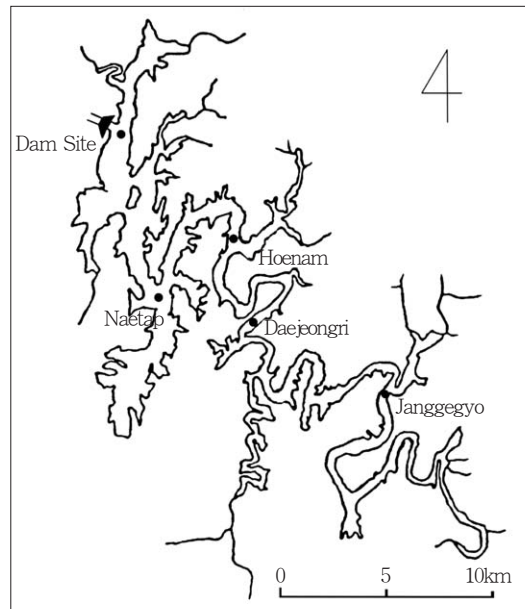


Fig. 3. 시료채취지점도

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 장치의 구성은 Fig. 4에 나타난 바와 같으며, 채취한 퇴적물 시료를 채운 후 퇴적물이 부유되지 않도록 조심스럽게 현장에서 채수한 원수를 주입하였다. 시료를 주입한 후에는 대기로부터의 공기유입을 방지하기 위하여 시험조의 상부에 고무관과 아크릴 덮개를 설치한 후 밀폐상태를 유지하였다. 또한 반응조 내에서 조류의 광합성에 의한 산소 발생을 방지하기 위하여 완벽하게 차광시켰다. 실험대상지역은 수심이 비교적 깊고 혐기성상태를 나타내므로 본 실험에서는 이와 같은 현장조건을 만들기 위하여 N_2 gas를 주입하여 수중의 용존산소를 방출시켜 혐기성 상태를 유지 시켰으며 온도를 $25 \pm 1^\circ C$ 로 유지하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 대청댐 저수지의 물질수지

수체의 오염문제를 효과적으로 제어하기 위해

서는 수질문제를 일으키는 원인을 파악하는 것이 가장 기본적인 요건이 된다. 수질오염의 원인은 크게 두 가지로 대별되는데 첫째는 외부로부터 유입되는 오염이며 다른 하나는 내부적으로 축적되어 있는 퇴적물에 의하여 발생하는 오염이다. 외부에서 발생하는 오염물질에서 점오염원은 비교적 쉽게 파악이 가능하다는 점에서 제어하기가 상대적으로 용이하나, 비점오염원의 경우는 발생 경로와 발생주기가 불확실하다는 점에서 제어하기 어려운 점이 있다. 수체 내부에서 발생하는 오염물질은 주로 호수 바닥에 침전되어 있는 물질들이 재차 용출됨으로써 발생하는데, 이는 성층 현상이 발달하여 저수층이 혐기성 상태가 되는 하절기에 특히 심하게 나타난다.

권오현⁷⁾ 등의 보고에 의하면 대청호의 수질변화에 주요한 원인은 외부적인 오염원에 의한 것이고, 수체내의 영양염류 농도의 변화는 강우 후에 심하게 증가하는 경향을 보인다고 하였다. 이러한 관찰 결과는 유역에서 발생하는 비점오염원의 역할이 특히 중요하다는 것을 시사하는데, 대청호와 같이 유역이 넓고 농경지 (19%)와 삼림

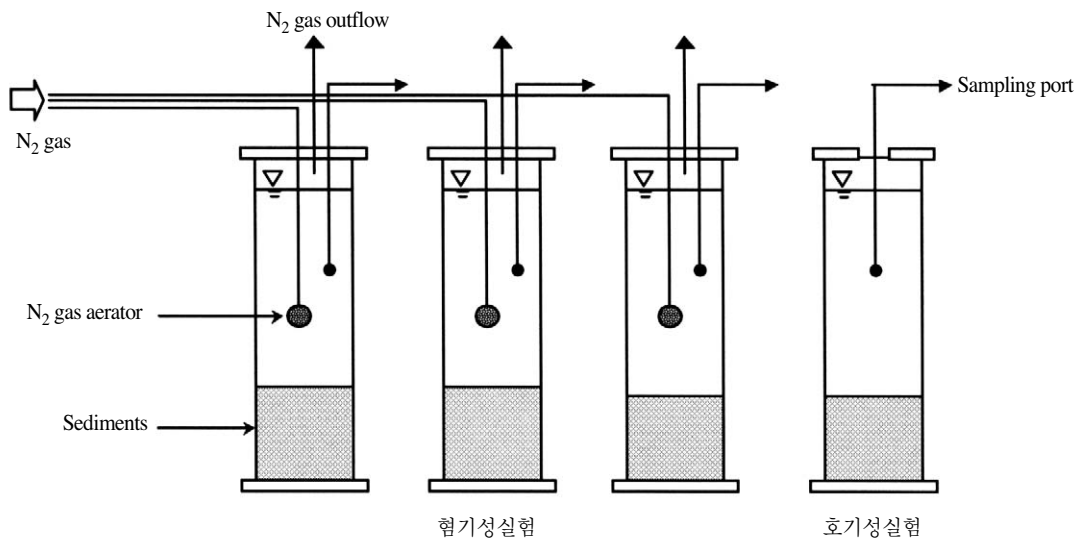


Fig. 4. 퇴적물 용출 실험장치의 구성

(78%)이 큰 비중을 차지하는 지역에서는 타당한 해석으로 보인다.

우리 나라의 경우 비점오염물질은 초기강우가 발생하는 4월경과 장마가 시작되는 6, 7월경에 다량 유입되는 것으로 알려져 있다. 다른 호소에서 다소의 차이는 있으나, 하절기에 오염물질의 유입량이 특히 증가되어 유입되는 오염물질은 강우특성과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 이러한 오염물질의 유입은 하절기에 집중됨으로써 풍수기와 그 이후에 수질문제가 더욱 심화되는 경향을 보인다. 따라서 대청호의 수질관리는 비점오염원의 발생특성 및 이동특성에 대한 분석과 이에 대한 대책이 상당히 중요한 비중을 차지한다고 볼 수 있다. 그러나 점오염원들은 일반적으로 농도가 높고 지속적으로 유입되는 특성이 있으므로 이에 대한 대책 또한 간과될 수 없다.

대청호로 유입, 유출되는 총인을 실측 또는 산정한 자료에 따르면 1986년부터 1996년까지 측정된 대청댐의 영양염류 유입량은 유역의 강우량에 따라 다르지만 총인기준으로 연간 118톤인 것으로 조사되었다. 또한 조규송⁷⁾ 등이 1990년도에 실측한 자료에 의하면, 대청호에 유입되는 총인은 7월중에 홍수에 의하여 연간 유입량의 38% 가량이 집중적으로 발생하며, 7월~9월중의 하절기에 유입되는 양은 연간 총량의 56% 가량으로 나타

나고 있다. 또한 99년도에 조사한 섬진강댐 저수지의 경우에도 총 7회의 강우에 의해 유입되는 영양염류의 부하가 T-N일 경우 49.3%, T-P일 경우에는 49.9%로 조사되어 강우시에 유입되는 영양염류에 대한 관리가 중요함을 나타내고 있다.

2. DO, 수온, pH의 변화

호수내에서 영양염류의 용출에 영향을 미치는 인자로는 수층과 저니층간의 농도차, 수온, pH, 용존산소의 농도 등을 들 수 있다. 이중 용존산소의 농도 변화는 수중의 산화-환원 조건을 변화시킴으로써 영양염류의 용출특성에 중요한 역할을 한다. 용존산소 농도는 초기에는 약 2mg/l 정도의 농도를 나타내었으나 질소가스를 주입시킨 후 약 2일 후에는 1mg/l 이하로 감소되었고(Fig. 6), 그 이후에는 0.5mg/l 이하의 혐기성 조건을 유지할 수 있었다. 실험 반응조내의 pH는 실험기간 중 비교적 일정한 pH 정도를 유지하였다(Fig. 5).

3. 영양염류의 용출특성

댐저수지내에서 질소와 인은 부영양화 원인 물질로 중요시되고 있다. 본 연구에서는 용출실험장치내 상등수의 영양염 농도변화를 분석함으로

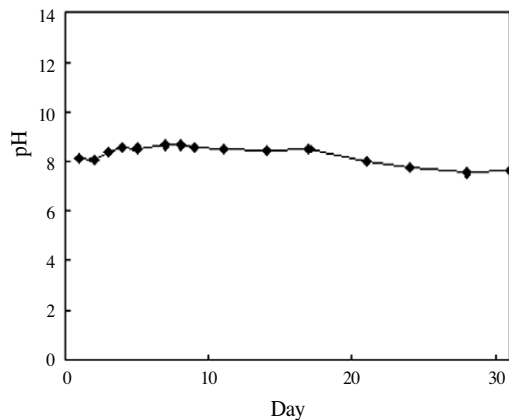


Fig. 5. 퇴적물 용출실험시 pH 변화

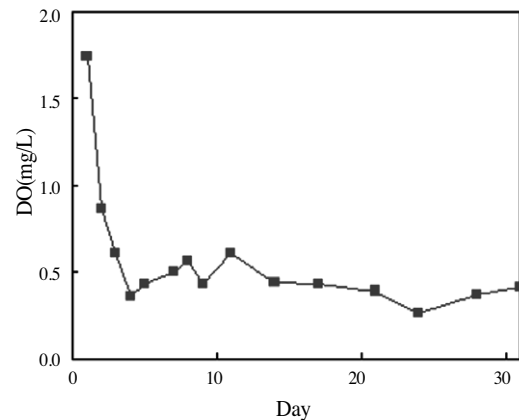


Fig. 6. 퇴적물 용출실험시 DO 변화

Table 1. 대청호 각 지점별 TN 용출률 (단위:mg/m²·day)

호내 위치	용출율	조건	비고
장계교	27.05	협기성	1999년 실험결과
대정리	5.06		
회남	16.52~41.97		
내탑	30.78		
댐앞	6.20		
	0	호기성	
회남	62.14~84.72	협기성	이요상 외 (1998)
	0	호기성	
대정리	124.1	협기성	서동일 외 (1997)
회남	191.4		
내탑	196.8		
본댐	209.2		

써 저니로부터 총질소와 총인 그리고 용존성인의 용출량을 산정하였다.

Table 1은 대청호 각 지점의 TN 용출률을 나타내고 있다. TN의 용출률은 97년 본댐과 회남지역이 각각 209.2와 191.4mg/m²·day로 비교적 높은 값을 나타냈으며, 98년에는 용출문제가 가장 심할 것으로 예상되는 회남지역에서만 실험을 실시하였다. 용출율은 62.14~84.72mg/m²·day로 97년에 비해 용출량이 상당히 감소한 것으로 나타났고, '99년에는 조금더 감소한 것으로 나타났다. 회남지점은 '98년과 동일한 지점에서 시료를 취해 동일한 조건에서 실험을 실시한 것으로 용출율이 현격하게 줄어든 것은 중요한 내용으로 평가되어야 한다. 그러나 '99년 결과를 가지고 지점간 비교를 하면 회남지점이 전반적으로 다른 지점들 보다 높은 것으로 나타나 상대적으로 심하게 오염되었음을 알 수 있다.

용출실험 장치에서 수행한 대청호 퇴적물의 총인 용출실험 결과는 Table 2에 나타난 바와 같이 외국의 실험결과와 유사하거나 조금 낮은 것으로 나타났으며, 1999년에 수행한 다섯 지점의 실험지역에서 회남지점이 가장 높은 용출율을 나타내는 것으로 평가되었다.

1994년에 발표된 총인의 용출량은 2.87~

Table 2. 대청호 각 지점별 TP 용출률 (단위:mg/m²·day)

호내 위치	용출율	조건	비고
장계교	4.12	협기성	1999년 실험결과
대정리	5.51		
회남	4.52~7.86		
내탑	6.56		
댐앞	3.38		
청주취수탑	3.54		
	0.0 ~ 0.807	호기성	
회남	13.02 - 14.38	협기성	이요상 외 (1998)
회남	0.052 - 0.065	호기성	
대정리	5.52	협기성	서동일 외 (1997)
회남	9.37		
내탑	5.54		
댐앞	7.72		
회남, 내탑, 댐앞	0.2 - 4.7	호기성	권오현 외 (1994)
	2.9 - 10.6	협기성	
호내 9개 지점	0.1 - 1.2	호기성	이인선 외 (1990)
호내 10개 지점	0.5 - 4.1	호기성	김도한 외 (1990)
	1.4 - 4.4	협기성	
Trummen 호수(Sweden)	-	호기성	
	0.65	협기성	
	0.023	호기성	
Cannonsville 호수(미국)	12.9±2.2	협기성	Erickson, M. J. 외 (1998)
국외 기타 호수	0.0 - 30.0	호기성	
	1.0 - 96.0	협기성	

10.55mg P/m²/day이고 그 이후에도 비슷한 용출량이 발표되었으나 1999년에는 용출량이 상당히 줄어든 것으로 나타났다. 이는 1998년에 발표된 미국의 Cannonsville호수¹¹⁾ TP용출율에 비해 대청호의 1999년 용출율이 낮은 것을 보여준다. 1999년 실험에서 회남지점은 1998년에 실시한 지점과 동일한 지점에서 시료를 취하여 실시한 것이며 동일한 실험장치로 동일한 실험자가 실험한 결과여서 상당히 의미 있는 것으로 보여진다. 이러한 결과는 이후에도 계속실험을 실시하여야 정확한 평가가 가능하겠지만 현재로서는 가두리 양식장이 철거된 효과인 것으로 평가되어 진다.

지금까지 발표된 자료를 바탕으로 대청호 퇴적물의 총인 용출률은 협기성 조건에서 5~10mg/

Table 3. 대청호 각 지점별 PO₄-P 용출률
(단위:mg/m²·day)

호내 위치	용출율	조건	비고
장계교	0.612	협기성	1999년 실험결과
대정리	0.311		
회남	1.020~3.550		
내탑	2.769		
댐앞	0.463		
청주취수탑	2.377	호기성	
회남	2.056	협기성	이요상 외 (1998)
	0	호기성	
대정리	6.804	협기성	서동일 외 (1997)
회남	6.768		
내탑	4.627		
댐앞	3.248		

m²·day 가량으로 추정된다. 이러한 결과는 문헌을 통하여 조사한 세계 각국 호수의 협기성 상태의 용출률과 비교하여 볼 때 대청호의 용출률은 비교적 낮은 범위를 나타내고 있다. 이는 대청호가 비교적 상류에 위치하고 있고 인공호수로서 자연 호수들에 비하여 유역의 오염원이 침적된 기간이 길지 않은 것이 중요한 요인으로 분석된다.

한편 Table 3은 조사지점별 용존성 인의 용출률을 나타낸다. 용존성 인의 용출특성은 총인의 경우와 다르게 변동이 크나 '97년에 비해 '98년과 '99년의 용출량은 많이 줄어든 것으로 나타났다. 또한 호기성상태에서는 인이 용출되지 않는 것으로 나타났으며 일부는 오히려 수체중의 인이 제거되는 것으로 나타났다. 이 결과는 '98년에 발표된 Cannonsville reservoir에서 실시했던 실험과 일치하는 결과를 보여주고 있다. 그러나 용존성 인의 용출량은 변동이 크므로 연구를 계속하여 정확한 용출현상을 규명할 계획이다.

4. 퇴적물의 용출이 대청호 수질에 미치는 영향

대청호의 수리적 특성을 살펴보면, 수심이 깊

고 년중 기온차가 많이 나는 기후 특성으로 인하여 계절에 따라 많은 물리적 차이를 나타내나 영양염 용출과 관련이 깊은 하절기에는 뚜렷한 성층현상을 나타낸다. 일반적으로 매년 11월부터 이듬해 6월까지의 최하층까지 산소가 공급되어 호기성을 나타내므로 용출이 거의 일어나지 않으나 7월부터 10월까지의 뚜렷한 성층이 나타나는 것으로 조사되었다. 이러한 뚜렷한 성층현상은 7월부터 나타나기 시작하여 9월에 가장 크고 뚜렷이 나타나므로 이때부터 퇴적물로부터 용출이 발생하기 시작하는 것으로 평가된다.

대청호에서 용출되는 총인 부하를 산정해 보기 위하여 대청호의 하절기 수표면 표고를 70m라고 보면 이에 대한 유효 저수 면적은 52.7km²가 되고, 하절기에 용출이 활발하게 이루어지는 지역은 수심이 30m 이하인 협기성상태의 퇴적층이므로 수표면 표고 40m에서의 표면적은 8.16km²이다. 이를 근거로 뚜렷한 성층기에 용출량을 산정해 보면, 협기성분해가 일어나는 면적은 8.16km²이므로 용출률 5mg/m²·d로 계산하면 3.7톤이며, 수심 30m 이하지역의 호기성 상태에서의 용출량을 0.5mg/m²·d로 보고 계산하면 2.0톤이 된다. 또한 이기간 이외 시기의 평균 용출률을 0.25mg/m²·d로 보고 275일간의 용출량을 산정해 보면 3.6톤으로 계산된다. 따라서 연간 총용출량은 9.3톤이며 이는 유역에서 유입되는 년평균 총인 유입량 118톤 대비 7.88%에 해당되는 양임을 알 수 있다. 협기성 및 호기성 상태에서의 용출량은 Table 1과 Table 2를 참조하여 산정하였다.

또한 Bengtsson (1975) 이 분석한 바와 같이 퇴적물에서 용출되는 인성분은 다시 침강되어 축적될 수 있다. 그리고 협기성 상태가 발달하는 시기는 강력한 성층현상이 발달한 시기이므로 용출된 영양물질이 표층으로 이동하기 용이하지 않는 점 또한 고려되어야 한다. 이런점에서 살펴볼 때 대청호의 하절기 성층현상이 너무나 뚜렷하여 용출된 영양염이 상층으로 이동할 수 없으므로 상층

수에 영향을 끼치지 못할 것으로 평가된다. 또한 수심이 30m보다 깊은 지역의 하층 수온이 년중 10°C 이하이며 10°C 이하에서는 인의 용출이 발생하지 않는다는 연구결과를 인용 한다면 용출이 거의 일어나지 않는 것으로 평가된다.³⁾ 이상과 같은 연구결과를 종합해볼 때 수심이 30m이상되는 혐기성층에서 영양염의 용출은 극히 미량인 것으로 판단되며 상층수에 영향이 거의 없는 것으로 평가된다.

또한 1999년에 실시한 용출실험에서 특이한 현상을 발견하였는데, 약 4주간의 용출실험이 끝나고 광합성 방지용 차광시설을 제거한 후에 혐기성 실험용장치의 퇴적층을 살펴보니 수많은 실지렁이가 활동하는 것을 발견하게 되었다. 이로 미루어 볼 때 수많은 저서생물이 퇴적층에 서식하면서 퇴적유기물을 분해하여 영양분을 섭취하는 것으로 판단되었다. 생태학적으로 퇴적물은 저서생물이 부착 또는 생활할 수 있는 공간을 제공하는 수생태계(水生態界)의 중요한 요소로 수체(水體)와 유기적으로 연결되어 있다.⁹⁾¹⁵⁾ 이런 경로로 영양물질이 이동된다면 수층으로의 이동보다 먹이사슬에 의한 영양염류 이동이 큰 것으로 볼 수 있으나 이에 대한 정확한 연구결과는 계속연구를 통하여 규명할 계획이다. 우리나라의 경우 상수원으로 이용되는 호소가 많고 호소 및 하천 관리를 통해 단순한 수질보호뿐만 아니라 건강한 수생태계를 보호한다는 종합적인 틀 속에서 추진될 향후의 수질환경관리를 고려하면 용출보다는 직접적인 저서생물에 대한 악영향을 근거로 퇴적물 관리기준이 설정되어야 할 것으로 판단된다.⁶⁾

IV. 결론

댐저수지 퇴적물의 용출실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 퇴적물의 용출은 주로 혐기성 상태에서만 일어난다. 총인의 경우 혐기성 상태에서는 3,38

~7,86mg/m²·day이나 호기성 상태에서는 0~0,807mg/m²·day로 아주 미약하다.

- 2) 대청댐 저수지 퇴적물의 용출량은 외국호소와 비교하여 낮다. 99년 자료에 의하면 대청댐에서는 총인의 경우 3,38~7,86mg/m²·day 인데, 가장 최근에 발표된 Cannonsville 호소에서는 12,9±2mg/m²·day이고, 지금까지 발표된 외국 호수들의 용출율은 1,0~96,0mg/m²·day이다.
- 3) 저질로부터 용출된 영양염의 총인부하는 외부에서 유입되는 부하대비 7,88%로 미약하며, 대청호 표수층까지 이동하여 부영양화를 심화시키는 주 요인이라고 판단하기는 어렵다. 즉 대청호의 혐기성 조건은 성층현상이 강력하게 발달된 하절기에 형성되므로 이 시기에 인이 용출된다 하더라도 심수층에 머물러 있다가 재차 침강하는 것이 많을 것으로 추정되기 때문에 대청호 상층의 인 농도에 대한 용출의 효과는 매우 적을 것으로 평가된다.
- 4) 대청댐 저수지의 가두리 양식장 하층의 퇴적물 용출량은 매년 급격히 줄어든다. 가두리 양식장이 많았던 회남지역은 총질소의 경우에 1997년에 191,4mg/m²·day였으며 1998년에는 62,14~84,72mg/m²·day이고, 1999년에는 16,52~41,97mg/m²·day로 감소하였고, 총인의 경우에는 1997년 9,37mg/m²·day에서 1998년에는 13,02~14,38mg/m²·day로 증가하였으나 1999년에는 4,52~7,86mg/m²·day으로 감소하였다.

참고문헌

1. 김성한, 1996, 낙동강 하구 저서층의 환경요인과 영양염류 용출, 인제대학교 대학원 석사학위논문.
2. 김태응, 1997, 금강하구호 Sediment로부터 수질오염물질 용출특성에 관한 연구, 대전대학교 대학원 석사학위논문.

3. 이정엽, 강선홍 1999. 저질토로부터의 인의 용출거동 예측 및 제거기술 개발-I. 저질토로부터의 인의 용출거동 예측. 대한상하수도학회지 제 13권, 제 2호.
4. 임홍탁, 1991, 호수의 퇴적물에 함유된 인의 존재형태와 용출에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
5. 정창규, 1991, 하천 및 호수에서 퇴적물과 수층 사이의 인의 교환에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
6. 최지용, 김은정, 호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안, 한국환경정책평가연구원, 1998
7. 한국수자원공사, 1997, 댐 유역 오염물질 유입 특성 및 영향에 관한 연구 (2차년도)
8. 한국환경정책·평가연구원, 팔당호 퇴적물 준설타당성 검토 공청회, 1998.
9. 황순진, 공동수 1999. 습지의 인Sink 기능에 영향을 미치는 생물학적 요인들. 한국육수학회지 제 32권, 제 2호, pp79~91.
10. Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S. A., and Newroth, P. R., 1993, Restoration and Management of Lakes and Reservoirs, 2nd Ed., Lewis Pub.,
11. Dunst, R. Sediment Problems and Lake Restoration in Wisconsin, In S.A, Peterson and K.K. Randolph, eds., Management of Bottom sediments Containing Toxic Substances: Proceedings of the 5th U.S./Japan Experts Meeting, EPA Ecol. Res. Ser. Rept. EPA-600/9-8-044, Corvallis, OR: USEPA, CERL.
12. L. J. Lennox, Freshwater Biology, 1984, 14, Lough Ennell: laboratory studies on sediment phosphorus release under varying mixing, aerobic and anaerobic conditions, 183~187.
13. Novotny, V. and Olem, H, 1994, Water Quality- Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution, VNR.
14. Nurnburg, G. K., 1988, Prediction of release rates from total and reductant-soluble phosphorus in anoxic lake sediments, Can. J. Fish. Aquat. Sci., Vol. 45, p. 453-462.
15. Smith R. E., and J. Kalff, 1982. Size-dependent phosphorus uptake kinetics and cell quota in phytoplankton, *J. Phycol.* 18: 275-284
16. USEPA, 1990, The Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual, 2nd Ed., EPA-440/4-90-006.
17. W. C. SONZOGNI, D. P. LARSEN et. al. 1977, Use of large submerged chambers to measure sediment - water interactions, Water Research, Vol, 11, pp461~464.