

## 호소의 난분해 물질 축적 영향요인의 평가

김성원 · 김건하\* · 최의소†

고려대학교 사회환경시스템공학과

\*한남대학교 토목환경공학과

## Evaluation of Affecting Factors for Refractory Organics Accumulated in the Lakes

Kim, Sungwon · Kim, Geonha\* · Choi, Euiso†

Department of Social and Environmental System Engineering, Korea University

\*Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University

(Received 13 February 2006, Accepted 20 June 2006)

### Abstract

Long-term monitoring results of water qualities at major lakes in Korea showed COD (chemical oxygen demand) concentrations have been increasing while BOD (biochemical oxygen demand) concentrations have been decreasing during last decades. This was mainly due to refractory organic matters have been accumulated in the water body. In this study, the possible causes of COD concentration increase were evaluated. From the statistics, it can be understood that potent pollutant sources including fertilizer consumption, population, livestock, and carbon uptake have increased. Leaching tests were carried out with soils and biomasses sampled at agricultural-forestry area. From the leaching experiments, leachate qualities as a ratio of COD<sub>C</sub>/BOD were in the range of 2.5-5.0, implying that NOM (natural organic matters) discharged from the forestry area was mainly responsible for the COD accumulation. It can be understood from this research that diffuse pollutants from forestry areas should be controlled properly to reduce COD accumulation in the lakes.

**keywords** : Biomass residues, Diffuse sources, Lake, Refractory organics, Reservoir

### 1. 서론

우리나라 호수는 대부분이 강이나 하천에 댐을 막아서 형성된 인공호이다. 이러한 인공호의 생성원인은 우리나라의 하천의 길이가 짧고 경사가 급한 편으로 하상 계수가 높아 수자원을 확보하기가 어렵고 또한 몬순기후의 영향으로 강우가 여름철에 집중되어 있어 강우량의 대부분이 단기간 내에 바다로 유출되는 특성을 지니고 있기 때문이다(천, 2000). 따라서 용수확보 및 홍수조절을 위한 저수지의 건설은 필연적이었고, 아직도 더 많은 댐을 건설하기 위한 노력을 기울이고 있다. 우리나라의 수자원 중 호소수 이용율은 1994년 34.2%에서 2001년 40.2%로 증가하였다(건설교통부, 2003).

지속적인 지표수 수질관리의 결과로 호수 수질중 BOD (Biochemical Oxygen Demand) 농도는 감소하는 추세를 보이고 있으나 COD(Chemical Oxygen Demand) 농도는 증가하는 추세이며 이는 난분해성 유기물(refractory organic matters)의 축적이 주요한 원인이다(박, 2002; Kim et al., 2004). 이와 같은 지표수 유기물질 농도의 증가는 여러 나라에서 관찰되고 있다. Evans 등(2005)는 영국의 11개 호

소와 11개 하천의 수질 모니터링 결과 용존유기탄소(Dissolved Organic Carbon, DOC) 농도가 증가하고 있음을 보고하였다. 일본의 경우, 비와호를 비롯한 주요한 호수의 난분해성 유기물질 농도가 증가하는 추세를 보이고 있다(Ide et al., 2005; Imai et al., 2001).

이러한 난분해성 유기물은 지표수에 유입되는 NOM(Natural Organic Matter)에 의한 것인데, NOM은 상수처리 효율성과 소독부산물의 생성에 중요한 영향을 미치므로(Owen et al., 1995), NOM의 발생과 분석은 수질관리에 있어서 중요한 이슈이다. 유 등(2005)은 금강수계 주요상수원으로 사용되는 지점에서 채수한 수질의 이화학적 분석을 통하여 자연유기물의 특성을 분석한 결과 humus 평균분포는 호소에서 휴믹산에 가까운 고분자 유기물이 약 40%이며 집중강우 후 고분자 유기물이 많아지고 있고 난분해 유기물질의 비율이 호수평균 68.2%라고 하였다.

Evans 등(2005)은 지표수의 용존유기물질의 축적은 온도, 강우, 산성비, 토지이용 변화, 질소 및 이산화탄소의 증가라고 하였으나 산성비와 DOC 용출간에 뚜렷한 상관관계가 없을 뿐 아니라(Cronan, 1985) 우리나라와 같이 산지가 많고 유역이 비교적 작은 지역에 적용할 수 있을지 확실하지 않다.

본 연구에서는 우리나라 주요 호수에서 유기물질 증가의 추이를 살펴보고 이에 영향을 주는 잠재적 요인을 살펴본 것이며, 농지-임야지역의 토양과 농업잔재물의 침출실험을

† To whom correspondence should be addressed.  
echoi@korea.ac.kr

통하여 난분해성 유기물이 호수에 축적되는 원인을 파악하고자 하였다.

## 2. 연구방법

호수 수질의 변화를 파악하기 위하여 환경부(국립환경연구원, 2003)의 수질측정자료를 이용하여 팔당호, 소양호, 충주호, 대청호 등 4개 호수별 수질측정지점의 월평균, 년평균 COD<sub>MN</sub>와 BOD농도를 구하였다. 장기간 수질변동 평가를 위하여 비모수 통계기법인 Mann-Kendall 테스트를 실시하였다(김 등, 2004; Hirsch et al., 1982). Mann Kendall 테스트는 n개 자료로 구성되어 있는 시계열 자료의 장기간 증감 추세를 결정할 때 사용된다. 연속된 자료의 차이의 부호를 합하는 방법이며 양일 경우는 증가추세, 음일 경우는 감소추세로 판정된다. 또한 비점원으로 유출될 수 있는 잠재적 오염물질의 증가를 조사하기 위하여 농림부의 통계자료(농림부, 2003)를 이용하여 1992년부터 2002년까지의 우리나라의 가축두수, 단위면적당 농산물 생산량, 농지로부터의 농업 잔재물, 비료, 임야의 탄소소모량, 인구증가율을 조사하였다.

비점원으로부터 호수에 유입되는 난분해성 유기물을 평가하기 위하여 토양 및 농업잔재물의 용출실험을 실시하였다. 축산폐수처리장 유출수를 5일 동안 포기하여 분해 가능한 유기물을 모두 제거한 후 토양에 지속적으로 통과시켜 축산지역의 토양을 제조하였다. 논, 밭, 임야 등 3개 토지이용별로 팔당호 주변 5개소에서 2회에 걸쳐 토양시료를 채취하였으며 토지이용별로 혼합하여 시료로 사용하였다. 농업잔재물은 벼짚과 부식되기 시작한 나뭇잎을 역시 팔당호 주변 5개소에서 2회에 걸쳐 채취한 후 혼합하였다.

토양시료에서 발생 가능한 난분해성 유기물의 양을 추정하기 위하여 용출실험을 실시하였다. 2 L 용량의 플라스크에 증류수를 넣고 건조시킨 시료를 넣었다. 고품질/증류수의 무게비는 토양시료의 경우 1/20 이었고 농업잔재물의 경우 1/5 이었다. 혼합액을 25°C에서 큰 교란 없이 6 rpm으로 저속 진탕시키는 동안 시간별로 시료를 채취하였으며 채취한 시료량만큼 증류수를 보충하였다. 용출은 용출농도가 일정한 상태로 유지 될 때까지 300 시간 이상 계속하였다.

용출실험에서 채취한 시료는 BOD<sub>5</sub>, 용존성 COD(SCOD), TOC(Total Organic Carbon) 항목을 분석하였다. 모든 화학 분석은 *Standard Methods*(APHA, 1998)에 의하여 분석하였다. TOC는 TOC-N CPN(Shimadzu, Japan)을 사용하여 측정하였다. 본 연구에서는 NBD COD(Non-biodegradable chemical oxygen demand)를 난분해성 유기물로 간주하였는데 BOD와 용존성 COD와의 차이를 NBD COD로 간주하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 4개 호수의 수질

Fig. 1은 환경부(국립환경연구원, 2003) 자료를 이용하여

최근 10 여년간 팔당호, 소양호, 충주호, 대청호의 BOD와 COD<sub>MN</sub>의 변화를 보이고 있다. 전반적으로 BOD농도는 감소하고 있는 추세를 보이고 있으며 COD<sub>MN</sub> 농도는 증가하는 추세를 보이고 있다. 팔당호(Fig. 1(a))의 BOD농도는 90년대 후반까지 증가하다 다시 감소하는 추세에 있어 지난 10년간 농도변화는 평형상태에 있다고 평가할 만하다. 그러나 COD<sub>MN</sub> 농도는 뚜렷한 증가추세에 있다. COD<sub>cr</sub>과 COD<sub>MN</sub> 농도의 비가 2.5라고 하였을 때(Kim et al., 2004), COD<sub>cr</sub>/BOD 비율을 농도자료와 같이 나타내었다. COD<sub>cr</sub>/BOD 비율은 뚜렷한 증가추세를 보이고 있다. 소양호의 경우(Fig. 1(b)), BOD농도는 감소하고 있으며 COD농도는 증가하고 있는 추세를 보이고 있다. 충주호의 경우(Fig. 1(c)), BOD농도는 감소하고 있으나 COD농도는 증가하는 추세에 있다. 최근 10년간의 자료만을 평가하면 COD 농도가 정체 상태에 있는 것이 특이하다. 대청호의 경우(Fig. 1(d)), BOD 농도는 감소하고 있으며 COD농도는 증가하는 추세를 보이고 있다.

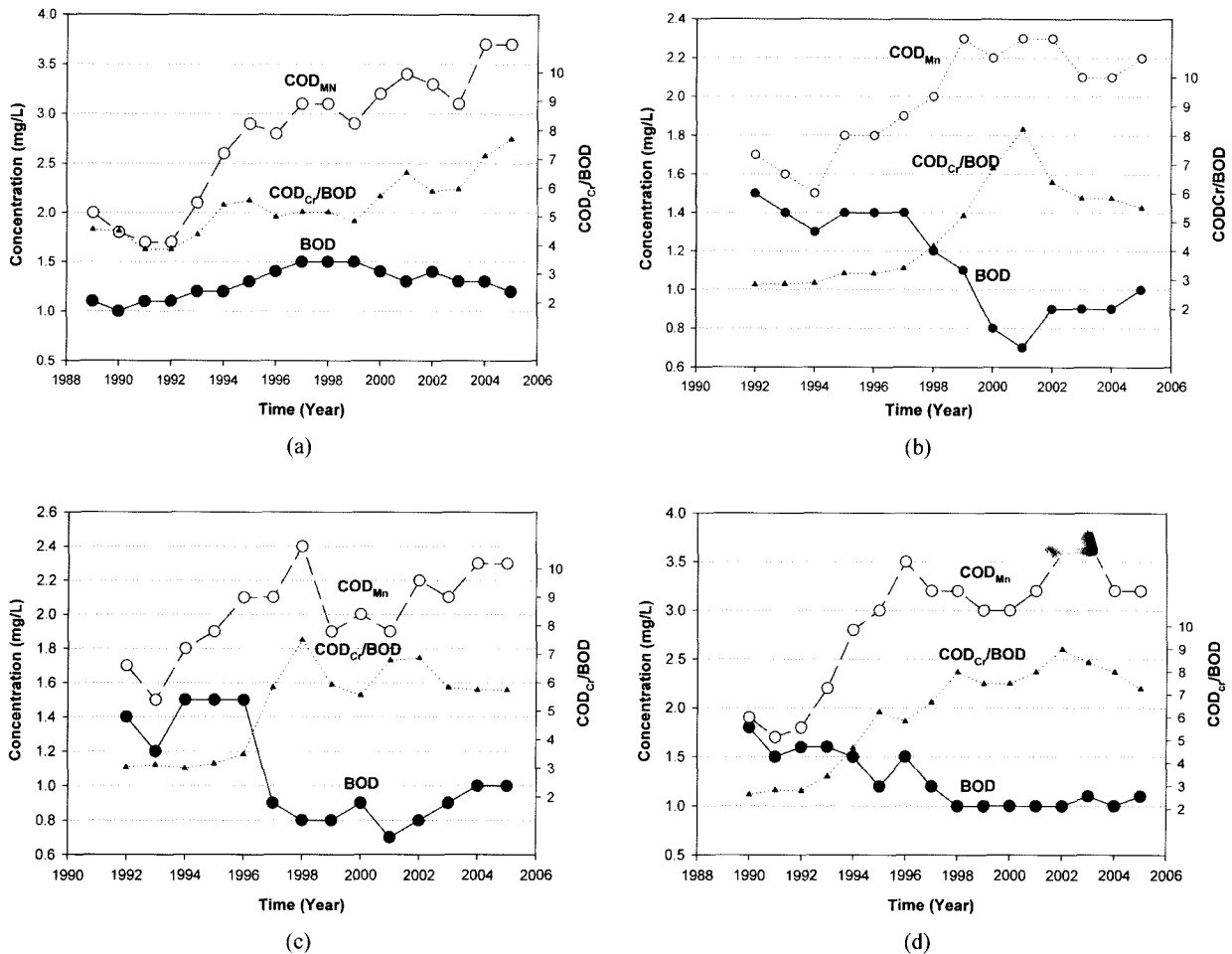
Table 1은 Fig. 1의 자료를 1996년부터 2005년까지 10년간에 대하여 정리한 것이다. COD농도는 약 0-32% 이상 증가한 반면 팔당호를 제외한 모든 호수에서 BOD농도는 이 기간 동안에 대략 0-36%정도 감소하였다. 팔당호의 경우 매년 0.04 mgCOD<sub>MN</sub>/yr의 유기물 농도가 증가하는 추세를 보이고 있다. COD<sub>cr</sub>/BOD의 비는 3.9-7.7이고 평균 5.4를 보이고 있다. 이와 같은 BOD농도 감소와 COD 농도 증가는 분해가능한 유기물이 차츰 감소하고 있는 반면 난분해성(Non-Biodegradable: NBD) 유기물이 증가하고 있음을 의미한다.

각 호수의 월평균 농도를 이용한 Mann-Kendall 테스트 결과를 Table 1에 같이 나타내었다. 대상기간 동안 월 평균 자료간의 비교이므로 연 평균 농도를 이용한 Fig. 1보다 정확하다고 판단되는데, Fig. 1에서 보인 추세와 약간 다른 것을 알 수 있다. 전반적으로 BOD는 감소하고 있고, COD와 COD/BOD의 비는 증가하고 있음을 알 수 있다.

### 3.2. 수질에 영향을 미치는 주요인들의 변화

Table 2는 한강유역에 위치한 팔당호, 소양호, 충주호와 금강유역에 위치한 대청호의 지형적 특징을 나타냈다. 팔당호의 수자원이용현황을 살펴볼 때 발전용수로 9,346 백만 m<sup>3</sup>/yr, 상수원수로 2,000 백만 m<sup>3</sup>/yr, 농업용수로 509 백만 m<sup>3</sup>/yr(환경부, 2005)를 사용하고 있어 발전용수를 제외하고는 대부분을 상수원수로 사용하고 있다. 팔당호 주변 토지 이용도는 도시 2.9%, 농업 13.5%, 임야 83.6%로 이루어져 있다. 이러한 토지이용은 다른 지역 호수도 비슷하여 모든 호수는 임야 지역이 대부분이고 산업 폐수에 의한 영향은 거의 없다.

Fig. 2는 농림부 통계자료(농림부, 2003)를 이용하여 작성한 우리나라의 임야와 농업 지역에서 생물자원, 화학 비료 사용, 가축과 인구의 수를 포함한 잠재적 오염물질 발생원 변화이다. 가축 수는 약 51.4% 증가하였으며 생물자원 중 임야는 74.3%증가하였고, 탄소는 191% 증가하였다. 비료



**Fig. 1.** Annual change of biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD<sub>Mn</sub>) of the lakes in Korea: (a) the Paldang Lake; (b) the Soyang Lake; (c) the Chungju Lake; (d) the Daechung Lake (data acquired from the Korean Ministry of Environment, 2003).

**Table 1.** BOD (Biochemical Oxygen Demand) and COD (Chemical Oxygen Demand) concentration change and Mann-Kendall test results for lakes from 1996 to 2005

Parameter \ Lakes	Paldang	Soyang	Chungju	Daechong
BOD	Steady (-) -1.687	36% decreased (-0.04 mgBOD/yr) -2.664	33% decreased (-0.05 mgBOD/yr) -0.091	27% decreased (-0.04 mgBOD/yr) -2.68
COD <sub>Mn</sub>	32% increased (+0.04 mgCOD <sub>Mn</sub> /yr) 3.235	22% increased (+0.04 mgCOD <sub>Mn</sub> /yr) 3.114	10% increased (+0.02 mgCOD/yr) 2.013	Steady (-) 2.909
COD <sub>Cr</sub> /BOD <sup>a</sup>	3.9 - 7.7 (5.4) 2.468	2.8 - 8.2 (4.7) 3.143	3.0 - 7.5 (5.1) 1.492	2.6 - 9.0 (6.2) 2.886

<sup>a</sup> assumed COD<sub>Cr</sub>/COD<sub>Mn</sub> = 2.5

**Table 2.** Topographical Characteristics of Major Reservoirs in Korea

Lakes parameter	Paldang	Soyang	Chungju	Daechong
Drainage area (km <sup>2</sup> )	23,800	2,703	6,648	4,134
Water surface area (km <sup>2</sup> )	36.5	63.3	86	64.3
Reservoir capacity (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	244	2,900	2,750	1,490
Average depth (m)	6.5	41.4	28.4	20.5
Inflow (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /yr)	10,804	2153.2	6490.3	2842.4

(Data source: Korean Ministry of Construction and Transportation, 2003)

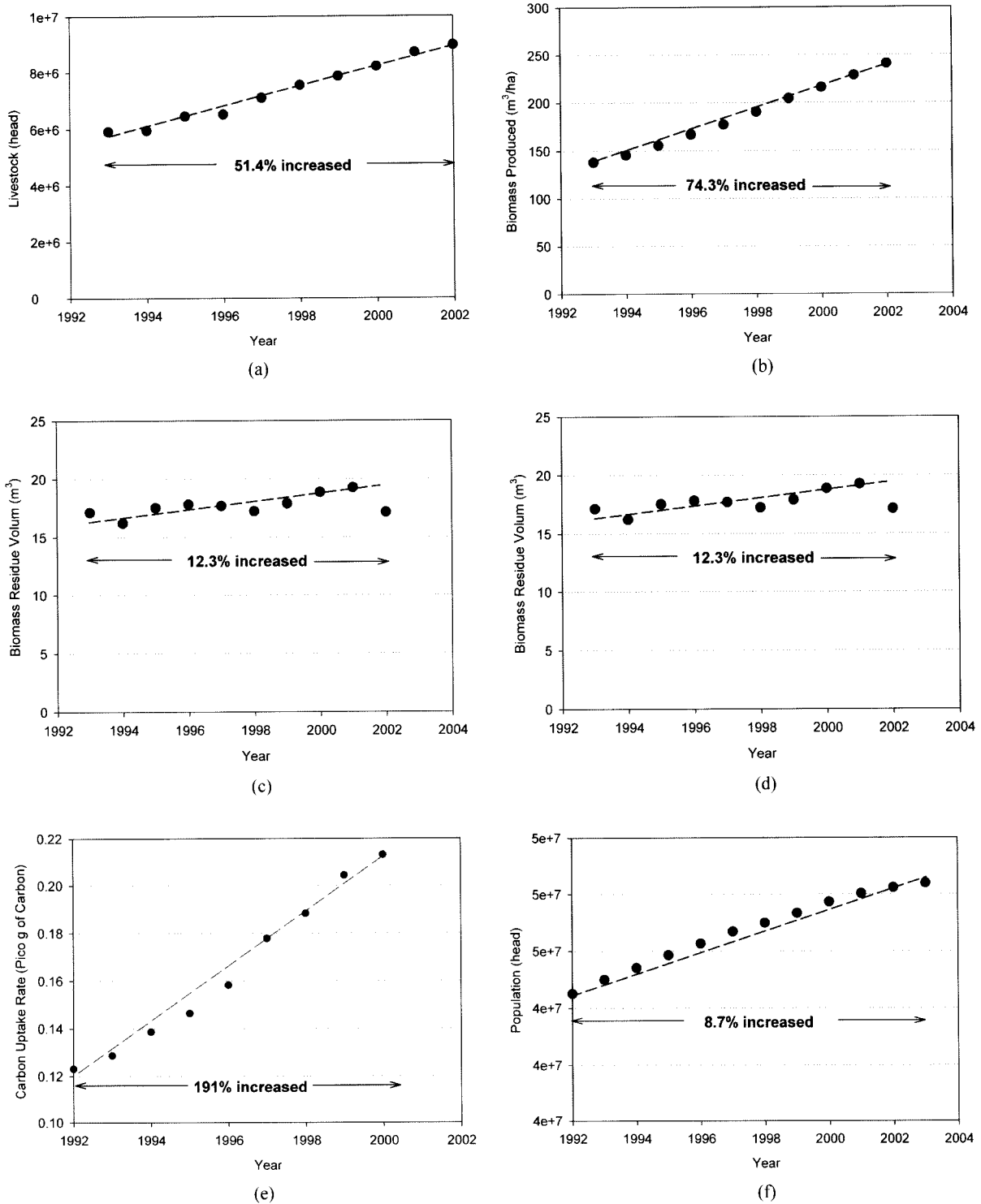


Fig. 2. Increase of potential pollutant sources of chemical oxygen demand in the form of diffuse pollution from 1992 to 2004: (a) total head of livestock; (b) sum of biomass produced per unit area; (c) biomass residue produced from agriculture; (d) chemical fertilizer; (e) carbon uptake in forestry; (f) population (data acquired from the Korean Ministry of Agriculture and Forestry, 2003).

사용은 26.1% 증가되는 동안 농업생산량은 12.3% 증가되는데 그쳤다. 인구 증가는 같은 기간 동안 8.7% 뿐이었다.

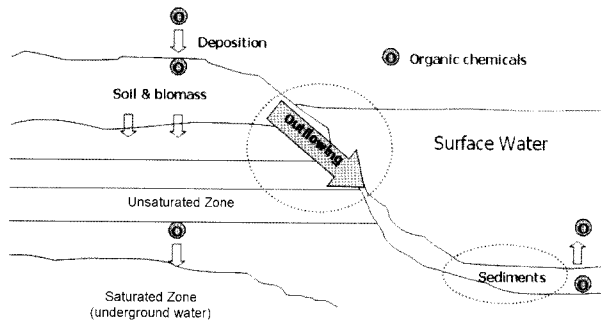
우리나라의 강우의 pH는 약 5.0 내외로 자연적 중성치인 5.6보다 약간 낮은 산성비에 속하지만 년도별로 큰 차이가 없이 일정한 값을 보이고 있어서(국립환경연구원, 2003), 토양산성화 심화에 따른 유기물질 유출의 증가 영향은 적을

것으로 짐작된다. 또한 주변 토지이용도 변화에 따른 지하 침투율 변화량도 작을 것으로 판단된다.

따라서 난분해성 유기물질의 축적의 잠재적 원인으로는 가축, 입야, 농지등에서 발생하는 비점원오염물질로 요약할 수 있다. 축산농가에 대한 관리강화등을 생각하여 보면 입야와 농지에 대한 관리 또한 지속되어야 할 것이다.

### 3.3. 토양에서 용출된 탄소의 양

Fig. 3은 강우시 강우유출수가 발생하는 양상을 보이고 있다. 농작물과 식물 역시 호소의 유기 오염물의 원인일 수 있다. 식물은 현장에서 분해될 수 있고 강우시 하류로 이동할 수 있다. 가장 주된 용존유기탄소(Dissolved Organic Carbon) 공급원은 지표면의 용출과 더불어 퇴적층 표면 탄

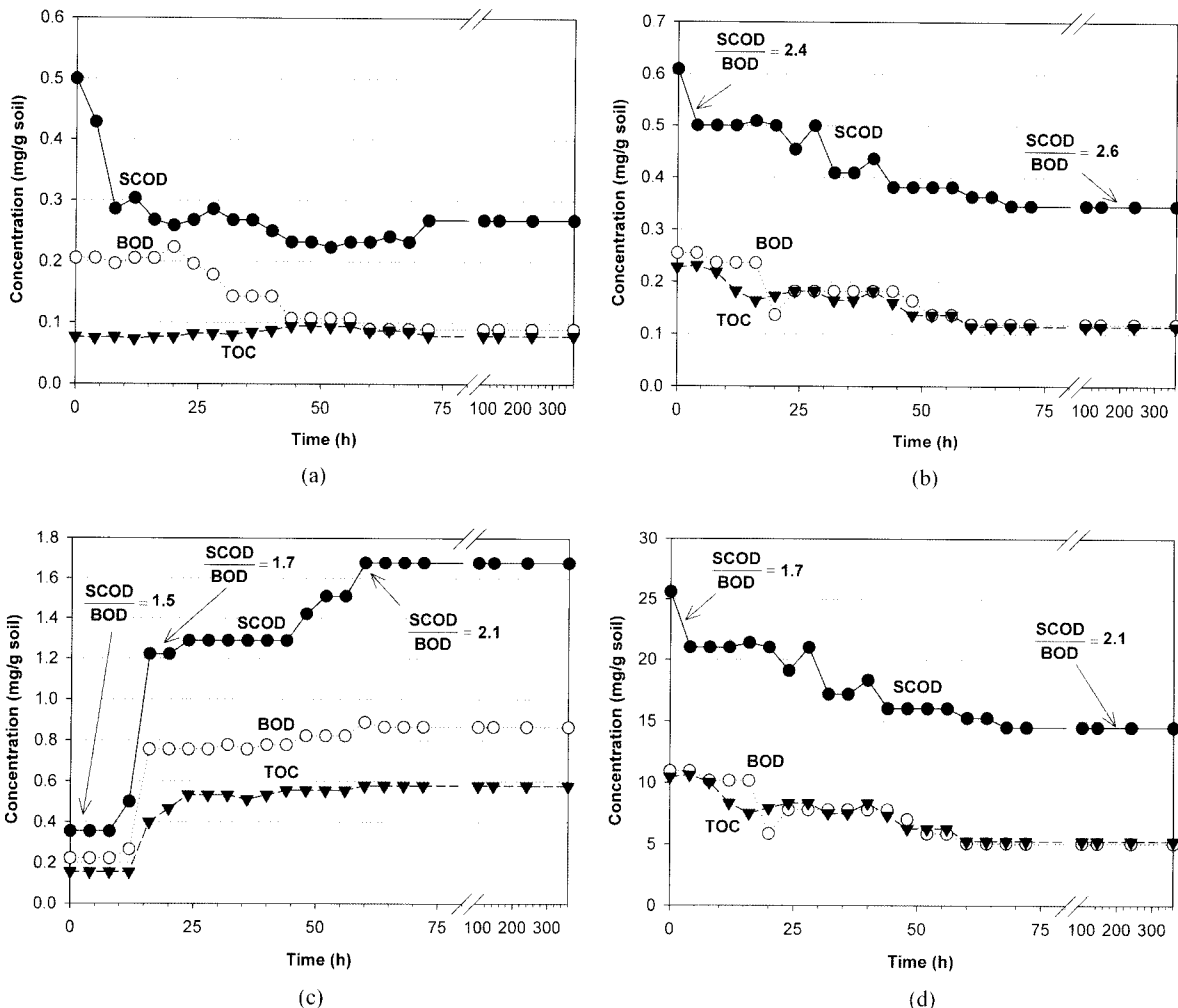


**Fig. 3.** Concept of dissolved organic matters outflowing from soils and biomasses in agricultural-forestry watersheds. Suspended solid associated organic matters form sediments, which subjected to the dissolution to the surface water body depend on environmental condition.

소질의 미생물 분해-용출이다(Cronan et al., 1985; Guggenberger et al., 1994). David 등(1991)은 토양에서의 DOC 저류 및 용출이 호소와 하천의 DOC 농도에 절대적인 영향을 미친다고 하였다. 난분해성 물질은 지표, 지하 유출경로를 따라 유하하여 수체에 영향을 미치는데, 그 경로가 복잡하여 단기간, 미시적인 고찰보다는 장기간, 거시적인 영향평가가 적합하다.

논지-임야 유역의 토양과 낙엽, 볏짚등의 농업잔재물이 난분해성 유기물의 주요한 발생원으로 가정하여 이를 확인하고자 토양과 농업잔재물의 용출실험을 실시하였다. 도시 지역은 포장율이 높아 식물종들을 포함하지 않는 곳이 대부분이고 그 비율도 작기 때문에 이 연구에서는 고려하지 않았다. Fig. 4는 논, 밭, 임야, 축산농가에서 채취한 토양의 용출실험 결과를 COD, BOD, TOC 농도의 변화를 나타낸 것이다.

논과 밭 토양의 용출 농도가 천천히 감소하는 동안 산림 지역 토양으로부터 용출된 COD와 BOD농도는 증가하는 경향을 보인다. 이는 산림 지역의 토양이 호소에서 NBD COD를 증가시킬 수 있는 주요인이 될 수 있다는 것을 보여준다. 이것은 연구 유역 호소에서 난분해성 물질 또는 분해가 어려운 퇴적 물질은 대부분 임야와 농업 지역에서



**Fig. 4.** Leaching characteristics of soils: (a) rice paddy field; (b) crop field; (c) forest; (d) piggery waste applied.

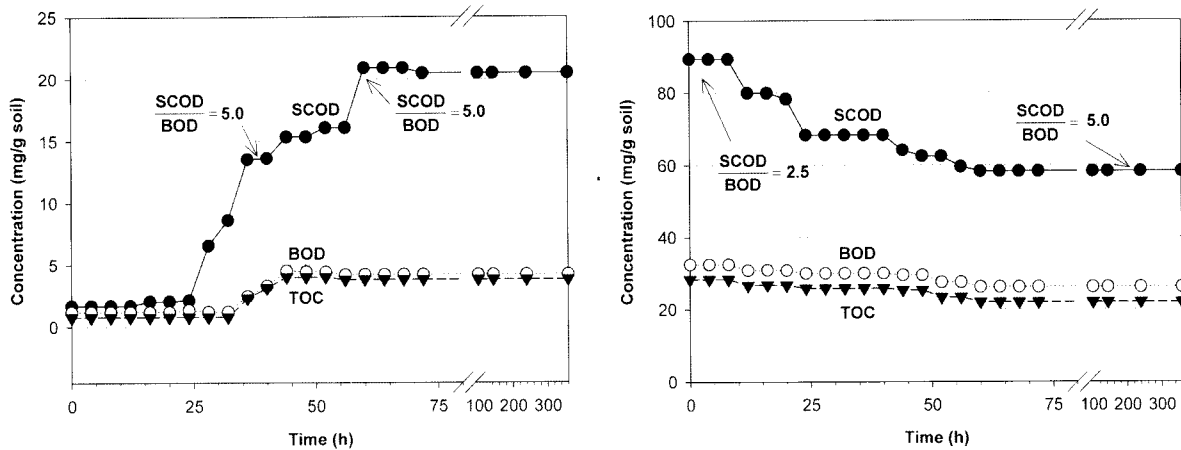


Fig. 5. Leaching characteristics of biomass residue: (a) tree leaves; (b) rice straws.

발생한다는 것을 의미한다. 용출농도의 상대적인 크기 또한 주목할 만한데, 최종 평형상태의 SCOD농도를 비교하여 보면 논, 밭 토양의 경우보다 임야의 경우 4배 가량, 축산의 경우 무려 37.5배 정도 높은 것을 알 수 있다.

3.4. 생체퇴적물에서 용출된 탄소의 양

Fig. 5는 농업잔재물에 대한 용출실험결과를 보이고 있다. 그림에서 SCOD/BOD 비율이 용출 초기에 2.5가량이다가 용출 후반에 5.0으로 증가하는데, 이를 미루어 보아 분해성 물질은 단기간에 용출되고 NBD COD같은 난분해성 물질은 용출 속도가 느린 것을 보이고 있다. 이러한 경향은 Fig. 4의 임야 지역 토양에서도 비슷한 경향을 보인다. 평형상태의 용존성 COD농도를 비교하면 짚의 농도가 낙엽보다 3배 가량 높으므로 난분해성 물질의 양이 낙엽에 비해 더 많다고 말할 수 있다. 하지만 호소의 토지 이용 현황에서 볼 때, 임야지역이 농지보다 훨씬 넓으므로 임야지역에서 배출되는 난분해성 물질의 총량이 더 많을 것이다. 문헌상의 비교자료로 대청호 수변식물의 용출실험결과(이 등, 2003)인 3.9-11.4 mg/g과 비교하여 보면 상당히 큰 값을 보이고 있는데 본 연구에서는 부식되기 시작한 생체퇴적물을 사용하였기 때문으로 짐작된다.

4. 결론

본 연구에서는 우리나라 주요 호소에서 유기물질 증가의 추이를 살펴보고 이에 영향을 주는 잠재적 요인을 살펴본 것으로, 농지-임야지역의 토양과 농업잔재물의 침출실험을 통하여 난분해성 유기물이 호수에 축적되는 원인을 파악하고자 하였다. 팔당호, 소양호, 충주호, 대청호 등 4개 호수별 수질측정지점의 최근 연평균 COD<sub>Mn</sub>와 BOD농도를 고찰한 결과 대체적으로 BOD 농도는 감소하고 있으며 COD 농도는 증가하는 추세를 보이고 있다. 이와 같은 BOD농도 감소와 COD 농도 증가는 분해가능한 유기물이 차츰 감소하고 있는 반면 난분해성 유기물이 증가하고 있음을 의미한다.

난분해성 유기물질의 축적의 잠재적 원인으로서는 가축, 임야, 농지등에서 발생하는 비점원오염물질로 요약할 수 있으며, 따라서 임야와 농지에 대한 관리가 지속되어야 할 것이다. 농지에서 발생하는 난분해성 유기물의 농도가 임야의 경우보다 높지만 호소주변 토지 이용을 고려하면 임야지역이 농지보다 훨씬 넓으므로 임야지역에서 배출되는 난분해성 물질의 총량이 더 많을 것이다.

난분해성 유기물은 상수원 관리, 정수처리뿐 아니라 하류의 수질관리 있어도 중요하므로 지속적인 관심과 모니터링이 필요하다.

사 사

본 연구는 과학기술부 금수강산 과제 중 상수원 호소 관리 및 오염예방 과제의 지원을 받았습니다.

참고문헌

건설교통부, 수계별 댐현황 (2003).  
 국립환경연구원, 2002년에 우리나라에 내린 비는 약산성비, pH 5.0, 국립환경연구원 보도자료 (2003).  
 김주화, 박석순, 비모수 통계기법을 이용한 낙동강 수계의 수질 장기 경향 분석, 한국물환경학회지, 20(1), pp. 63-71 (2004).  
 농림부, 농림통계연보 (2003).  
 박재홍, 팔당호 유기물증가의 원인규명에 관한 연구, 고려대학교 대학원 환경시스템공학과 박사학위논문, p. 129 (2002).  
 유순주, 김창수, 하성룡, 황종연, 채민희, 금강 수계 자연유기물 특성 분석, 한국물환경학회지, 21(2), pp. 125-131 (2005).  
 이요상, 부유조류가 저수지 수질에 미치는 영향, 대한환경공학회 2003 춘계학술연구발표회 논문집, KAIST, pp. 1251-1252 (2003).  
 이요상, 박종근, 이경식, 수변식물의 침수시 용출특성, 대한상하수도학회·한국물환경학회 2003 공동추계학술발표회 논문집, BEXCO, pp. 213-216 (2003).  
 천세익, 유역환경이 대청호의 수질과 조류에 미치는 영향, 인하대학교 대학원 생물학과 박사학위 논문, p. 4 (2000).

- 환경부, 물환경정보시스템, <http://water.nier.go.kr>, 국립환경과학원 (accessed Dec 2005).
- APHA, AWWA, WEF, *Standard methods for the examination of water and wastewater* 20th Ed., Washington DC, USA. (1998).
- Cronan, C. S., Comparative Effects of Precipitation Acidity on Three Forest Soils: Carbon Cycling Responses, *Plant Soil*, **88**, pp. 101-112 (1985).
- Cronan, C. S. and Aiken, G. R., Chemistry and Transport of Soluble Humic Substances in Forested Watersheds of the Adirondak Park, New York, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **49**, pp. 1697-1705 (1985).
- David, M. B. and Vance, G. F., Chemical Character and Origin of Organic Acids in Streams and Seepage Lakes of Central Maine, *Biogeochemistry*, **12**, pp. 17-41 (1991).
- Evans, C. D., Monteith, D. T. and Cooper, D. M., Long-term Increase in Surface Water Dissolved Organic Carbon: Observations, Possible Causes and Environmental Impacts, *Environmental Pollution*, **137**, pp. 55-71 (2005).
- Guggenberger, G. and Zech, W., Dissolved Organic Carbon in Forest Floor Leachate: Simple Degradation Products or Humic Substances?, *Science of Total Environment*, **152**, pp. 63-72 (1994).
- Hirsch, R. M., Slack, J. T. and Smith, R. A., Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data, *Water Resources Research*, **18**(1), pp. 107-121 (1982).
- Ide, S. and Kobayasi, F., Relationship between the Concentration of Non-biodegradable Dissolved Organic Matters in Lake Biwa North Basin and Storage Capacity of Its Catchment Area-A Change in Contact Time between Soil and Water, *Proceeding on the 2<sup>nd</sup> IWA Conference on instrumentation, control and automation-Busan Korea*, pp. 971-978 (2005).
- Imai, A., Fukushima, T., Matsushige, K. and Kim, Y. H., Fractionation and Characterization of Dissolved Organic Matter in a Shallow Eutrophic Lake, its Inflowing Rivers, and Other Organic Matter Sources., *Water Research*, **46**(17), pp. 4019-4028 (2001).
- Kim, S., Kim, T., Kim, G., Choi, S. and Choi, E., Diffuse Sources Contribute Non-biodegradable COD in Reservoirs in Korea, *Proceeding of 8<sup>th</sup> specialized conference on Diffuse Pollution*, International Water Association, Kyoto, CD-Rom (2004).
- Kim, S., Kim, G., Hong, S., Choi, S., Shon, J. and Choi, E., Accumulated Non-biodegradable Chemical Oxygen Demand in the Reservoirs in the Republic of Korea, *Journal of Environmental Monitoring* (in process).
- Owen, D. M., Amy, G., Chowdhury, Z. K., Paode, R., McCoy, G. and Viscosil, K., NOM Characterization and Treatability, *Journal of American Water Works Association*, **87**, pp. 46-63 (1995).