Korean J. Limnol. 33 (1) : 23~30 (2000)

팔당호 수변부 퇴적물이 수층의 산소소모에 미치는 영향

강 양 미 · 송 홍 규*

(강원대학교 생명과학부, 춘천 200-701)

Effect of Bottom Sediments on Oxygen Demand of Overlying Water in Onshore of Lake Paldang. ***Kang, Yang-Mi and Hong-Gyu Song**** **(*Division of Biological Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701*)**

In situ **sediment oxygen demand (SOD), which takes place with the uptake of dissolved oxygen for biological metabolism and chemical oxidation in sediments, ranged from 1.57 to 12.55 mg O_2 m^{-2} h^{-1} in onshore of Lake Paldang from April to November 1999. SOD was influenced by the amount of organics and oxygen diffusion. Comparing the oxygen demands partitioning between overlying water and sediment during initial phase, SOD accounted for 63.8~94% of total oxygen demand in Lake Paldang. The chemical SOD and nitrogenous oxygen demand ranged 1.2~18.3% and 8.3~51.7% of total SOD, respectively. This result indicated that SOD in Lake Paldang occurred mainly by aerobic respiration and nitrification. Although the flow velocity could increase SOD within a certain limit, the effect of sediment depth on SOD was dependent on physicochemical properties of the sediment. This study showed that SOD can represent a significant portion of the total oxygen uptake in Lake Paldang. Therefore, the assessment of SOD might be necessary for the control of water quality.**

Key words : Sediment oxygen demand, BOD, Nitrogenous oxygen demand, Chemical oxygen demand, Lake Paldang

서 론

수질오염 정도를 파악하는데 일반적으로 용존산소(DO)와 생화학적 산소요구(biochemical oxygen demand, BOD)를 측정하고 있다. BOD는 미생물에 의해 유기물질 또는 무기물질이 생화학적으로 분해 및 산화될 때 소모되는 용존산소의 양으로 정의되는데 이때 유기물질에 의한 산소요구를 탄소성 산소요구(carbonaceous BOD, CBOD)라 하고 질화작용(nitrification)에 의한 산소소모를 질소성 산소요구(nitrogenous oxygen demand, NOD)라 한다(APHA, 1985). 그러나 현재의 표준 BOD_5 측정은 5일간 배양하기 때문에 NOD를 정확히 측정하지 못하고 있다. 더욱이 수환경에서 DO의 소모는 수생생물의 대사에 의해서만 일어나는 것이 아니라 저층 퇴적물(bottom sediments)에 의해서도 일어날 수 있다(Tomaszek, 1991). 수층에서의 산소요구에 비하여 퇴적물에 의한 산소요구(sediment oxygen demand, SOD)는 중요하게 취급되지 않았으나 여러 수환경에서 SOD가 전체 수층의 산소소모의 대부분을 차지할 수 있다고 보고된 바 있다(Belanger, 1981; Tanaka and Kato, 1991; Gelda *et al.*, 1995).

퇴적층의 산소요구는 생물의 호흡 등의 대사에 필요한 생물학적 퇴적층 산소요구(biological sediment oxygen demand, BSOD)와 환원된 무기물(CH_4, NH_3, HS^-, Fe^{2+}, Mn^{2+} 등)이 저층 표면 또는 수층에서 산화될 때

* Corresponding author: Tel: 0361) 250-8545, Fax: 0361) 241-4627, E-mail: hgsong@cc.kangwon.ac.kr

발생하는 화학적 퇴적층 산소요구(chemical sediment oxygen demand, CSOD)로 구성된다(Belanger, 1981; Tomaszek, 1991; Gelda *et al.*, 1995). 또한 수환경에서 생물학적 퇴적층 산소요구가 SOD의 대부분을 차지하며 퇴적물에 존재하는 미생물의 호흡에 의해 소모되는 DO가 BSOD의 상당량을 차지한다고 보고되었다(Tomaszek, 1991). 한편 BSOD는 퇴적유기물에 의한 탄소성 산소요구(sediment carbonaceous oxygen demand, SCOD)와 질화작용에 필요한 질소성 산소요구(sediment nitrogenous oxygen demand, SNOD)로 구성되는데 일반적인 경우 SNOD가 SCOD에 비해 적게 나타난다. 그러나 하수 방류 등에 의해 질소가 다량 유입되면 SNOD가 SCOD보다 커질 수도 있다(Balls *et al.*, 1996).

퇴적층 산소요구는 퇴적 유기물질이 많거나(Tomaszek, 1991), 산소고갈시 혐기성 호흡에 의해 환원된 물질들이 수층으로 많이 용출될수록 증가하는데(Gelda *et al.*, 1995; Suplee and Cotner, 1996) 수층에서는 큰 비중을 차지하지 못하지만 저층에서는 화학적 산소소모가 비교적 크게 나타날 수도 있다(Sommaruga, 1991). 한편 수층의 유속이 빨라지면 퇴적층과 상부 수층의 경계면에서 퇴적물내로 DO의 확산이 빠르게 진행되어 퇴적물의 산소소모가 증가하게 된다(Belanger, 1981; Moore *et al.*, 1996; Mackenthun and Stefan, 1998).

우리나라는 수자원의 효율적 이용을 위해 하천에 인공호수를 많이 만들었는데 호수에서 퇴적유기물이 지속적으로 쌓이게 되면 SOD가 수층의 산소소모에 큰 비중을 차지할 수 있게 된다. 그 대표적인 예로는 소양호를 들 수 있는데 심수층에서 많은 유기물 축적으로 인해 무산소층이 형성된 바 있다(Kim and Cho, 1989). 한편 대부분의 상수원으로 인공호수를 이용하는데 이런 곳에서의 SOD에 대한 연구는 거의 없었다. 수도권의 주요 상수원으로 이용되는 팔당호는 평균수심이 6.7 m 정도로 얕으며 유역에서 생활오수와 축산폐수 및 산업폐수가 많이 유입되어(호소수질연구소, 1992), 퇴적층 산소요구가 매우 클 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 팔당호를 대상으로 현장에서 퇴적층 산소요구를 측정하였으며 퇴적물을 분석하여 유기오염 정도를 파악하였고 실험실내에서 여러 퇴적층 산소요구를 측정하고 이에 영향을 미칠 것으로 예상되는 요인들을 조사하였다.

재료 및 방법

1. *In situ* SOD 측정

팔당호에서 *in situ* SOD 측정지점은 경기도 양평군 양수리 두물머리의 북한강과 남한강의 합류지점으로 수심 70～90 cm 깊이의 가장자리에서 측정하였다(Fig. 1). Benthic chamber를 퇴적층 위에 설치해야 하므로 접근이 가능한 호수의 가장자리에서 측정하였으며 남한강과 북한강의 합수지점에 가까우며 저층이 자갈이 아닌 모래와 점토로 이루어져 있어서 이 지점을 선택하였다. 1999년 4월에서 11월까지 총 6회에 걸쳐 현장에서 SOD를 측정하였다. 퇴적층의 산소소모는 바닥면적이 0.094 m^2이고 부피가 12 L인 benthic chamber (Suplee and Cotner, 1996)를 이용하였다. Chamber 상부에 산소전극을 연결하고 chamber를 수중에서 뒤집어 물이 가득 차게 하여 공기를 모두 제거한 후 퇴적층 위에 올려놓고 3～5 cm 정도 바닥으로 밀어 넣어 물의 유출입을 차단하였다. 시간 경과에 따라 chamber 내의 용존산소량을 DO meter (YSI model 55)로 측정하였다. 광합성에 의한 산소 생산이 chamber내 용존산소량에 미치는 영향을 조사하기 위해서 불투명 chamber와 투명 chamber를 함께 설치하였다. 실험실내에서의 SOD 측정을 위하여 퇴적물을 플라스틱 용기로 직접 채취하였는데 이때 퇴적물의 혼합이 일어났으며 4°C에 보관하여 2주 이내에 사용하였다. BOD_5 측정을 위해 물도 함께 채수하였다.

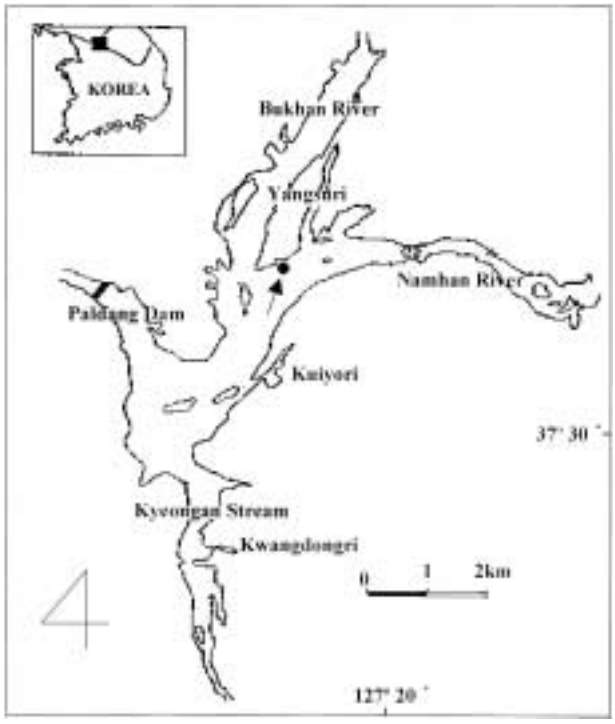

Fig. 1. The study site in Lake Paldang.

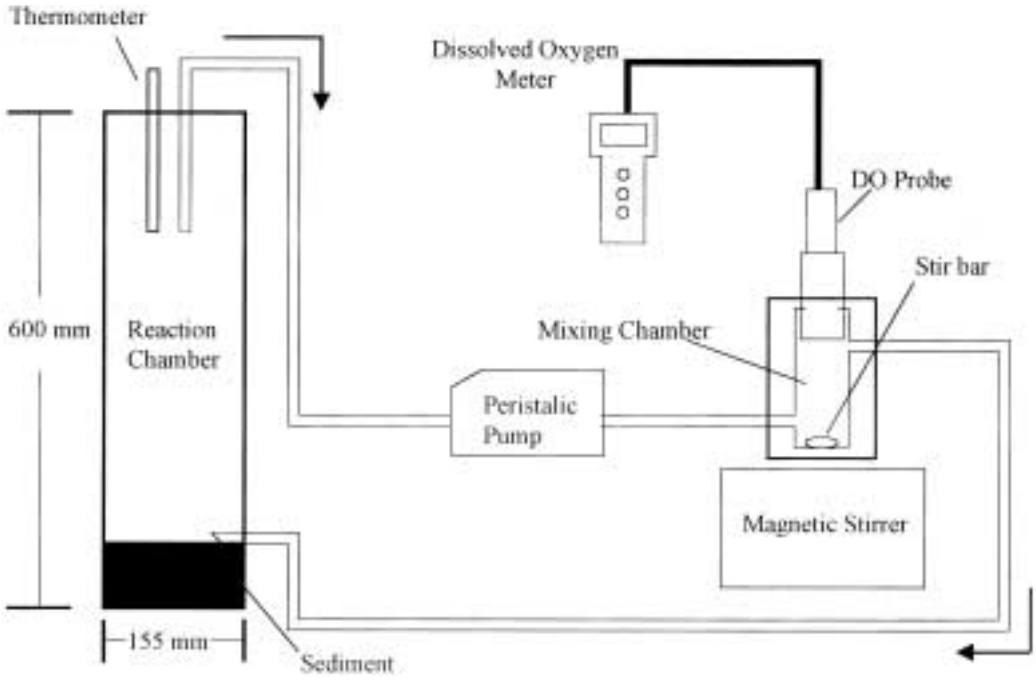

Fig. 2. Schematic diagram of laboratory sediment incubation system.

2. 퇴적층 시료의 분석

대부분의 퇴적층에서 호기성 미생물의 호흡에 의한 산소소모가 생물학적 산소소모의 상당량을 차지하므로 전자전달계 활성(electron transport system activity)을 측정하여 미생물의 활성도를 조사하였다. 전자전달계 활성은 dehydrogenase activity를 측정하였는데 미생물의 총활성도 측정에 널리 이용되는 INT [2 (*p*−iodophenyl)−3−(*p*−nitrophenyl)−5−phenyl tertazolium chloride] assay를 이용하여 조사하였다. 퇴적물 0.1 g (wet weight)을 1.5 ml의 microcentrifuge tube에 넣은 다음 여기에 SP buffer (0.06 M Na_2HPO_4−NaH_2PO_4, pH 7.0) 1 ml과 0.2% INT solution 0.5 ml을 첨가하여 항온수조(30°C)에서 1시간 배양하였다. 배양 후 원심분리 (22,600 × g, 10 min)하여 상등액을 버리고 methanol 1 ml을 넣고 형성된 INTF (iodonitrotetrazolium formazan)을 완전히 녹이기 위해 vortex mixer로 1분간 격렬히 섞은 후 원심분리 (22,600 × g, 10 min) 하였다. 원심분리 후 상등액만 취하여 490 nm 파장에서 흡광도를 측정하였고 회귀선식으로부터 INTF를 정량하였다 (Friedel *et al.*, 1994).

팔당호 퇴적물의 총킬달질소(total Kjeldahl nitrogen, TKN), 강열감량(ignition loss), 총유기탄소(total organic carbon, TOC)를 측정하여 유기오염의 정도를 조사하였는데 각각의 분석은 APHA (1983), Goldin (1987) 및 Tiessen and Moir (1993)의 방법을 이용하였다.

3. 퇴적층 산소요구에 미치는 각종 요인의 영향

실험실내에서 퇴적층의 산소요구가 수층에 미치는 영향을 조사하기 위해 Fig. 2와 같은 reaction chamber를 이용하였다 (Moore *et al.*, 1996). 바닥면적이 0.024 m^2이며 높이가 60 cm인 reaction chamber에 퇴적물을 3 cm 깊이가 되게 넣고 그 위에 퇴적물의 교란을 최대한 방지하며 증류수를 부었다. 부유물질이 완전히 가라앉은 후 산소전극을 꽂은 mixing chamber와 연결하고 reaction chamber의 뚜껑을 완전히 밀봉하여 공기와의 접촉을 배제하였다. 두 chamber 사이에 연동펌프를 설치하여 reaction chamber의 상부에서 뽑아낸 물이 mixing chamber를 거쳐 다시 reaction chamber 하부의 퇴적층 위로 유입되도록 50 ml/min의 유속으로 순환시켰으며 자석교반기를 통해 mixing chamber의 물을 균일하게 혼합하였다. 이 모든 장치를 빛을 차단한 20°C의 BOD 배양기내에 설치하였고 배양기간 동안 chamber내 잔류용존산소를 8시간 간격으로 측정하였다.

퇴적층 산소요구중 화학적 산소요구를 측정하기 위해서 호흡저해제인 NaN_3를 최종 농도가 1.5 g/L이 되도록 퇴적물 시료에 첨가하여 배양하였고 퇴적층 탄소성 산

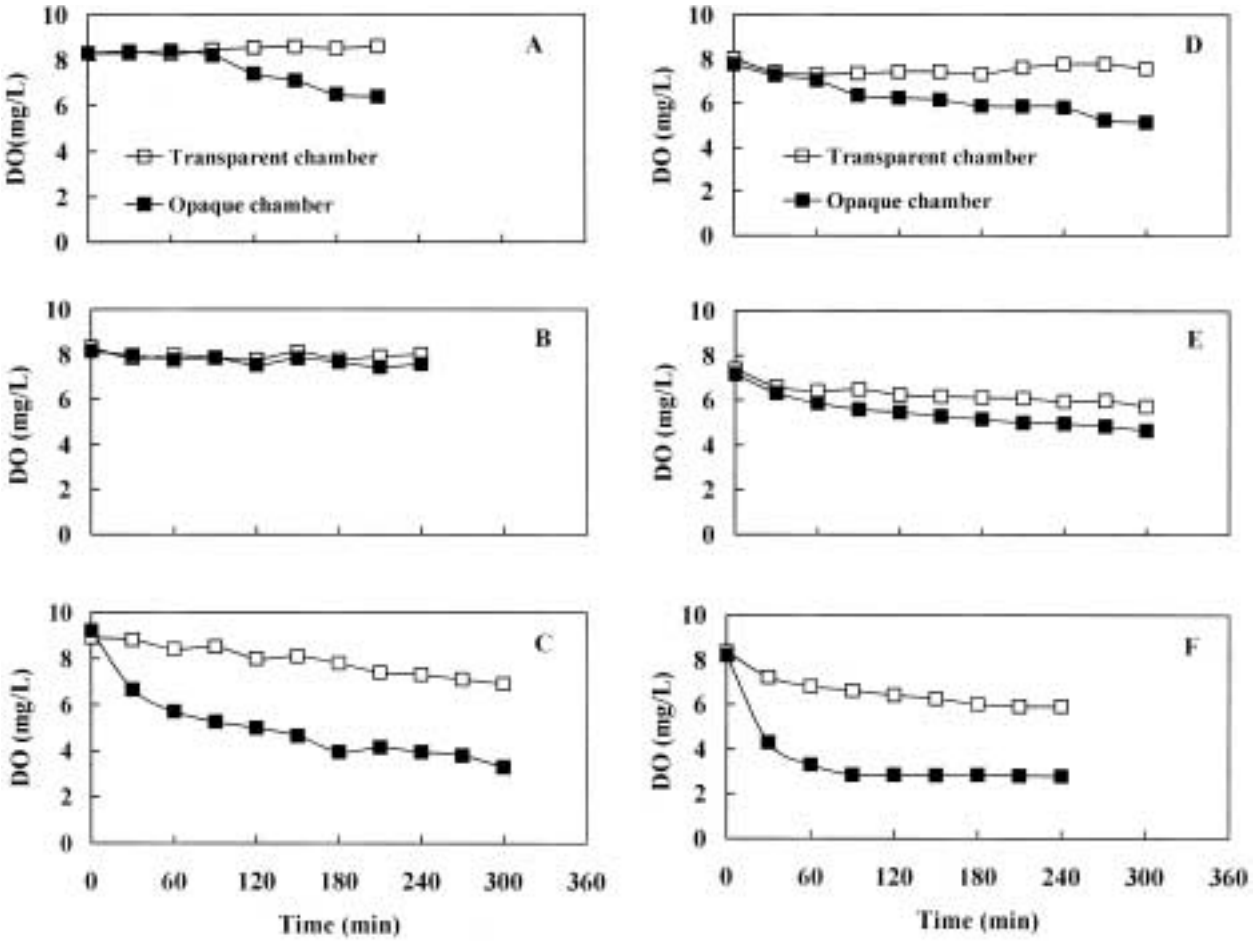

Fig. 3. *In situ* measurement of dissolved oxygen (DO) in benthic chamber at Lake Paldang (A: April 20, 1999, B: May 7, 1999, C: June 22, 1999, D: August 16, 1999, E: September 30, 1999, F: November 18, 1999).

소요구를 측정하기 위해서 질화작용 저해제인 2-chloro-6-(trichloro-methyl)pyridine을 methanol에 용해시켜 chamber 내 최종 농도가 0.01 g/L이 되도록 첨가하여 배양하였다. 또한 reaction chamber 내의 퇴적층의 높이를 2배로 증가하여 SOD에 미치는 유기물량의 영향을 조사하였고 연동펌프로 물의 유속을 2～3배로 조절하여 수층의 유속이 퇴적층 산소소모에 미치는 영향을 알아보았다.

결과 및 고찰

1. 현장에서의 SOD 측정

현장실험을 수행한 날짜에 따라 퇴적층 산소요구가 각기 다르게 나타났다(Fig. 3). 약 4～5시간의 측정기간 중 불투명 benthic chamber에서 용존산소 소모가 1.57～12.55 mg O_2 m^{-2} h^{-1}로 조사되었으며 투명 chamber의 SOD는 0.8～5.21 mg O_2 m^{-2} h^{-1}으로 용존산소 요구가 매우 적게 나타났는데 이는 chamber 내로 빛이 투과되어 광합성이 일어나 산소가 일부 공급되었기 때문인 것으로 추정된다. 현장실험 중 특히 퇴적층의 산소소모가 높게 나타난 경우는 6월 22일과 11월 18일인데 후자의 경우, 다른 퇴적층 시료들과 비교해 볼 때 TOC의 양이 풍부하며 전자전달계 활성이 높기 때문이며 (Table 1) 6월 22일 시료는 11월 18일에 비하여 유기물의 양은 다소 적으나 미생물의 호흡 활성이 가장 왕성하기 때문인 것으로 판단된다. 본 연구에서 측정된 팔당호 수변부 *in situ* SOD는 세계 각지의 여러 호수와 하천의 *in situ* SOD가 수십～수백 mg O_2 m^{-2} h^{-1}를 나타낸 결과들 (Sommaruga, 1991; Truax *et al.*, 1995; Park *et al.*, 1996; Mackenthun and Stefan, 1998)에 비하여 매우 낮은 수치이다. 이는 이들 조사지점의 수층 및 퇴적물 특성과 크게 다르기 때문일 수도 있으나 팔당호 조사지점의 수

Table 1. *In situ* sediment oxygen demand (SOD) and characteristics of sediments of Lake Paldang.

Sampling date	*In situ* SOD (mg O^2 m^{-2} h^{-1})	TOC (mg/g sediment)	Loss on ignition (%)	ETS activity (μg formazan /g sediment/h)	TKN (mg/L)	Water temperature (°C)	BOD of water column (mg/L)
1999. Apr. 20	5.8	2.40	6.0	N.D.[a]	946	15.0	2.7
May 7	1.6	2.40	5.0	N.D.[a]	961	17.5	2.2
June 22	12.6	1.16	3.7	861	1003	20.0	2.3
Aug. 16	5.7	1.18	2.0	229	897	23.0	2.0
Sep. 30	5.3	1.99	4.5	410	777	20.5	2.0
Nov. 18	10.9	2.59	4.2	622	870	12.1	1.8

a: not determined

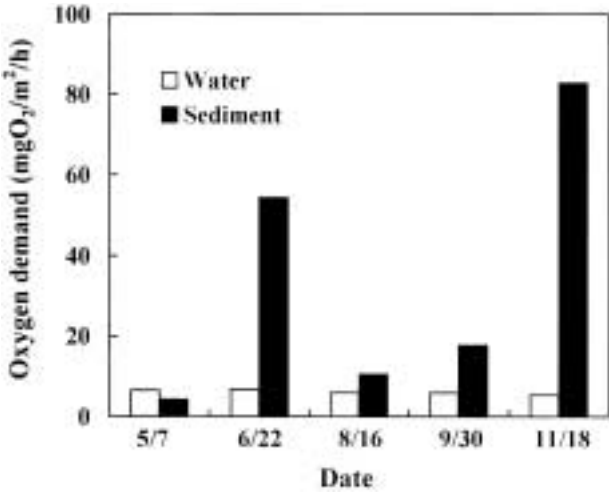

Fig. 4. Oxygen demand partitioned into water column and sediment fractions.

심이 얕아서 대기로부터 수층으로의 산소확산이 비교적 용이하며 또한 측정용 chamber 하부의 퇴적층을 통한 외부수층으로 부터의 용존산소의 확산으로 인해 나타날 수 있는 것으로 추정된다. 따라서 초기 30분 이후에는 DO 소모가 크게 나타나지 않게 된다. 이를 뒷받침하는 것은 4월 20일의 관찰결과인데 (Fig. 3A) benthic chamber 내의 물을 수중펌프를 이용하여 순환시킬 때에는 DO가 높은 수준으로 유지되었고 펌프를 정지시키면 DO 수준이 감소하는 것을 관찰할 수 있었으며 이는 단순히 물의 순환시 chamber 내 DO의 균일화에 의한 것만이 아니라 chamber 하부를 통한 퇴적층으로의 산소의 확산이 촉진되었기 때문인 것으로 판단되어 초기 90분간 펌프로 물을 순환시키다가 용존산소의 감소가 일어나지 않아 펌프 가동을 중단하였으며 그 이후에 DO의 감소가 일어났다. 1999년 5월 7일 측정시에는 바람이 많이 부는 기상조건하에서 수층의 용존산소 확산이 활발히 일어나 불투명 chamber와 투명 chamber 모두 퇴적층 산소요구가 거의 일어나지 않는 것을 관찰할 수 있었다 (Fig. 3B). 이같은 산소 확산의 영향을 최소화하기 위해 초기 30분까지의 SOD를 계산하면 10.43～82.77 mg O_2 m^{-2} h^{-1}로 다른 보고들에서의 수치들 (Sommaruga, 1991; Truax *et al.*, 1995; Park *et al.*, 1996; Mackenthun and Stefan, 1998)에 접근하게 된다. 한편 각 측정일에 채수한 물의 BOD_5로 chamber의 부피와 하부면적을 고려하여 chamber 내의 수층 산소소모를 계산하면 (Suplee and Cotner, 1996) 5.32～6.8 mg O_2 m^{-2} h^{-1}가 된다. 기상조건 때문에 SOD가 거의 나타나지 않았던 5월 7일을 제외하고 수층 산소소모를 30분내 SOD와 비교하면 호수전체 산소요구의 63.8～94%가 퇴적층에 의한 것이며 6～36.2%만이 수층에서 일어난다는 것을 알 수 있다 (Fig. 4). 이런 결과는 수층의 BOD만으로 수질오염의 정도를 파악하는 것이 실제 환경에서의 산소요구와 큰 차이를 나타낼 수 있음을 의미한다.

2. SOD에 미치는 각종 요인의 영향

In situ SOD 측정시에는 SOD에 미칠 수 있는 각종 요인의 영향을 조사하기 어려우므로 퇴적물을 채취하여 실험실에서 reaction chamber를 이용하여 각종 SOD의 변화와 기타 요인의 영향을 조사하였다. 생물의 호흡억제제를 넣은 laboratory chamber에서의 화학적 퇴적층 산소요구는 전체 SOD의 1.2～18.3%로 매우 적게 일어났는데 (Fig. 5) 이는 이전의 다른 연구들에서도 대부분의 경우 SOD 중 생물학적 산소요구가 화학적 산소요구보다 월등히 높게 나타났던 것과 유사한 결과이다 (Belanger, 1981; Tomaszek, 1991). 이것은 퇴적층에 호흡기질로 이용될 수 있는 유기물이 많이 존재하며 서식하는 생물의 호흡이 활발하게 이루어지고 있어 SOD가 대부분 생물학적 활성에 의한 것임을 나타낸다. 질화작용 억제제를 넣어 화학독립영양 세균인 질화세균의 질화작용을 억제한 경우 퇴적층의 탄소성 산소요구가 SOD에 비해 크게 감소하였는데 (Fig. 5) 이는 질화세균

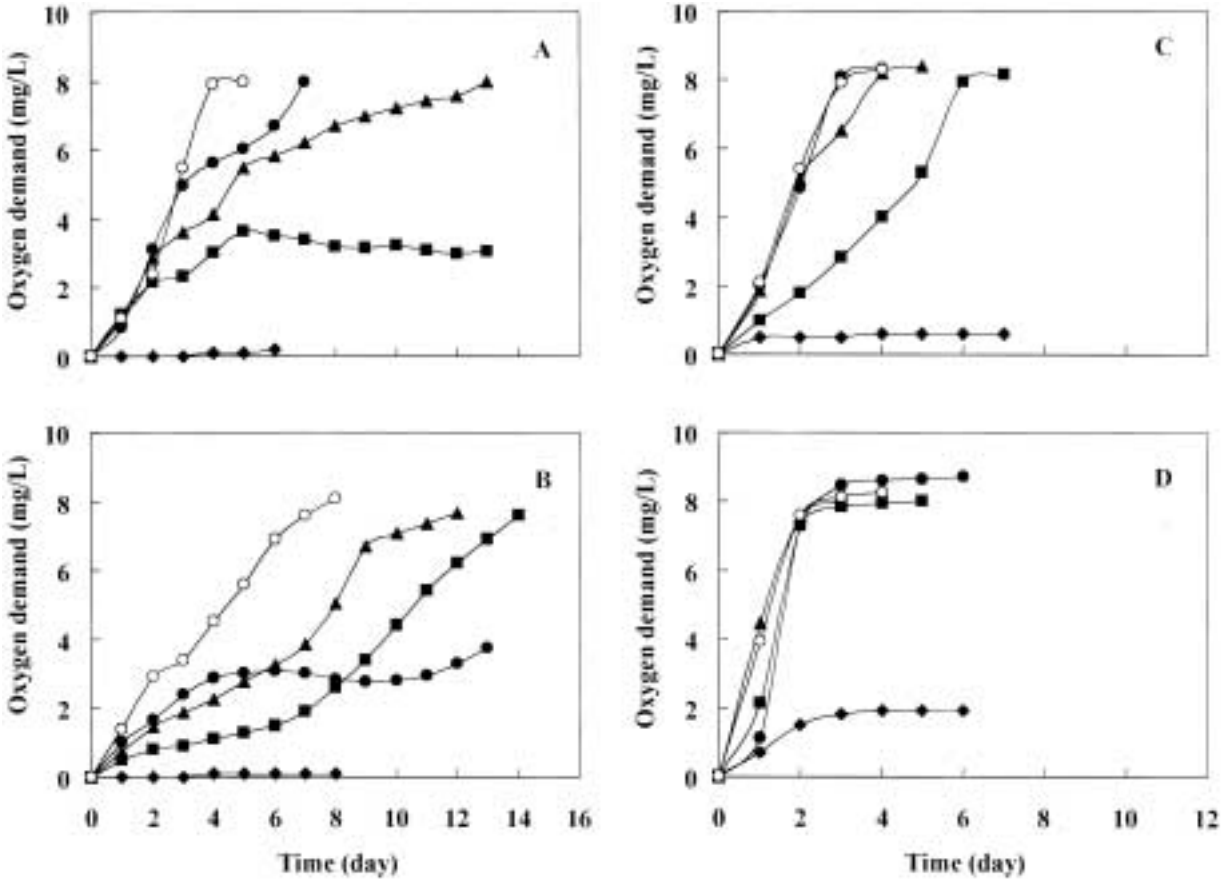

Fig. 5. Changes of sediment oxygen demands in laboratory chamber with sediment sampled from Lake Paldang on June 22, 1999 (A), August 16, 1999 (B), September 30, 1999 (C), November 18, 1999 (D). Symbols: ● SOD, ◆ CSOD (chemical sediment oxygen demand), ■ SCOD (sediment carbonaceous oxygen demand), ▲ SOD of 2x sediment depth, ○ SOD of 2x water velocity.

에 의한 질소성 산소요구가 전체 퇴적층 산소요구의 상당 부분을 차지한다는 것을 의미한다. 그러나 8월 16일 시료의 경우 배양 8일 이후에 SOD보다 더 많은 용존산소의 소모가 나타났는데 이것은 측정오차도 있을 수 있으나 또한 TOC와 강열감량 측정치(Table 1)와 같이 유기물의 양이 적어서 배양 8일 이후 저서생물이 이용할 기질이 고갈되어 질화작용 억제제와 용매인 methanol이 분해되면서 DO가 계속 이용되었을 것으로 추정된다. 호기성 호흡의 낮은 수준은 INT assay를 통한 전자전달계 활성에서도 유사하게 나타났다(Table 1). 한편 질소성 산소요구는 전체 SOD의 8.3～51.7%를 차지하여 미생물에 의해 무기화되거나 환원되어 생성된 암모니아가 산화되는데 매우 많은 DO가 소모된다는 것을 알 수 있다. 흔히 담수에서 수질에 영향을 미치는 주요 요인으로 인산염을 드는데(Egli *et al.*, 1990; Vaithiyanathan and Richardson, 1997; Correll, 1999), 본 연구 결과 환경내에서의 질소가 수층의 산소소모에 매우 중요한 것으로 나타났다. 팔당호에서 퇴적유기물의 TKN은 SOD나 NOD와는 큰 상관관계를 보이지 않았는데(Table 1) 부식화가 진행되어 쉽게 이용되지 못하는 형태의 유기질소가 상당량 퇴적물 내에 존재하는 것으로 추정된다. 따라서 질소에 의한 부영양화 영향와 더불어 퇴적물의 유기질소, 암모니아 등 질소의 각 성분에 의한 용존산소 요구는 수계에서 매우 중요한 것으로 판단된다.

퇴적유기물의 양이 SOD에 영향을 미칠 수 있는데 reaction chamber 내 퇴적층의 깊이가 3 cm에 불과하여 퇴적층 깊이에 따라 퇴적층 산소소모에 변화가 있는지 살펴보기 위하여 chamber 내 퇴적층의 두께를 2배로 하였을 때 시료에 따라 다른 결과가 나타났다(Fig. 5).

8월 16일 시료의 경우 SOD가 2.3배 증가하였으나 9월 30일과 11월 18일 시료에서는 거의 유사한 수준을 보였다. 그러나 6월 22일 시료에서는 오히려 산소소모량

이 감소하였다. 이러한 현상은 퇴적유기물의 양이 많으면 SOD가 증가했던 이전의 연구보고(Tomaszek, 1991; Suplee and Cotner, 1996)와는 다른 결과로서 퇴적층 깊이의 증가에 따른 퇴적층에서 DO의 확산과 유기물의 분산 정도가 시기에 따라 변화하였기 때문인 것으로 추정된다. 실제로 팔당호는 물의 체류시간이 짧은 하천형 호수로(호소수질연구소, 1992), 상류지역의 강우로 인해 퇴적층의 특성이 크게 변화할 수 있으며 그로 인해 퇴적층 두께와 SOD간에 일정한 경향을 보이지 않은 것으로 추정된다.

SOD에 영향을 미치는 또 다른 요인으로 물의 유속을 조사하였는데 유속을 2배로 빠르게 하였을 때 퇴적층의 산소소모가 1.4～1.9배 증가하였다(Fig. 5). 이는 물의 흐름이 빨라지면서 퇴적층으로 DO의 전달 속도가 증가하여 퇴적물내 유기물에 의한 산소소모를 촉진한 결과로 판단되며 이와 같은 결과는 이전의 보고들(Belanger, 1981; Moore *et al.*, 1996; Mackenthun and Stefan, 1998)로써 뒷받침 될 수 있다. 유속을 3배로 증가시켰을 때의 SOD는 유속이 2배일 때와 큰 차이가 없었는데(결과 미제시) 이는 산소소모에 영향을 미치는 요인을 물의 유속과 퇴적유기물로만 제한할 때 수층의 유속이 증가함에 따라 퇴적물의 산소소모가 증가하지만 퇴적물내의 DO가 일정한 농도에 이르면 더 이상 증가하지 않게 되며(Belanger, 1981) 이 시기 이후의 퇴적층 산소소모는 산소 농도보다는 유기물, 즉 기질에 의해 영향을 받게 된다는 보고(Moore *et al.*, 1996)와 일치하는 결과이다. 그러나 제한 유속범위는 퇴적층의 특성에 따라 크게 다를 수 있으며(Suplee and Cotner, 1996), 본 연구에서 팔당호 퇴적물은 상당히 낮은 유속범위에서만 SOD가 영향을 받았다.

팔당호 수변부에서 SOD가 수층 DO 소모의 63.8～94%까지 차지할 수 있으므로 퇴적물에 존재하는 생물들과 이들이 이용할 수 있는 유기물, 암모니아와 환원된 무기물에 대해 분석하여 어떠한 연관관계가 있는지 조사하고 SOD에 영향을 줄 수 있는 여러 환경요인을 파악하는 더욱 체계적인 SOD에 대한 연구가 필요하다. 또한 이러한 연구와 더불어 상수원수 공급원으로 이용되는 호수에서 SOD를 감안한 수질관리가 바람직할 것으로 판단된다.

적 요

퇴적층 산소요구는 수중의 퇴적층에서 생물학적 호기성 대사와 화학적 산화에 소모되는 용존산소량으로 1999년 4월부터 11월 사이에 팔당호 현장에서의 SOD는 조사시점에 따라 4～5 시간동안 1.57～12.55 mg O_2 m^{-2} h^{-1}로 나타났다. 또한 SOD는 퇴적유기물의 양과 퇴적층 내로의 산소 확산의 영향이 컸다. 초기 30분 동안에 물과 퇴적층의 산소요구를 비교하면 SOD가 수층 전체 산소소모의 63.8～94%를 차지하였다. 실험실 내의 SOD 측정에서 화학적 퇴적층 산소요구는 크게 일어나지 않았으며 퇴적층의 탄소성 산소요구는 전체 SOD보다 적게 나타났다. 이 결과로부터 팔당호의 SOD는 주로 생물학적 산소요구에 의한 것이며 질화작용에 의한 산소요구가 SOD에 큰 비중을 차지함을 알 수 있었다. 퇴적층의 두께가 SOD에 미치는 영향은 퇴적물의 특성에 크게 좌우되며 유속을 2배로 빠르게 한 경우에는 SOD가 1.4～1.9배 증가하였다. 본 연구를 통해 SOD가 수층의 용존산소를 감소시키는 주요한 요인임을 알 수 있었으며 상수원으로 이용되는 호수에서 이를 감안한 수질관리가 적용되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 1998년도 한국학술진흥재단의 기초과학연구소 지원사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

인 용 문 헌

호소수질연구소. 1992. 팔당호 현황. 국립환경연구원 호소수질연구소. p. 1–9.

APHA. 1985. Standard methods for examination of water and wastewater. 16th ed. APHA, AWWA, WPCF, Washington DC.

Balls, P.W., N. Brockie, J. Dobson and W. Johnston. 1996. Dissolved oxygen and nitrification in the upper Forth estuary during summer (1982–92): Patterns and trends. *Estuarine Coastal Shelf Science* **42**: 117–134.

Belanger, T.V. 1981. Benthic oxygen demand in Lake Apopka, Florida. *Water Resources* 15: 267–274.

Correll, D.L. 1999. Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. *Poult. Sci.* **78**: 678–682.

Egli, T., M. Bally and T. Uetz. 1990. Microbial degradation of chelating agent used in detergents with special reference to nitrilotriacetic acid (NTA). *Biodegradation* **1**: 121–132.

Friedel, J.K., K. Molter and W.R. Fischer. 1994. Comparison and improvement of methods for determining soil dehydrogenase activity by using triphenylterazolium chloride and iodonitrotetrazolium chloride. *Biol. Fertil.*

Soils. **18**: 291–296.

Gelda, R.K., M.T. Auer and S.W. Effler. 1995. Determination of sediment oxygen demand by direct measurement and by inference from reduced species accumulation. *Mar. Freshwater Res.* **46**: 81–88.

Goldin, A. 1987. Reassessing the use of loss–on–ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **18**: 1111–1116.

Kim, B.C. and K.S. Cho. 1989. The hypolimnetic anoxic zone and the metalimnetic oxygen minimum layer in a deep reservoir, Lake Soyang. *Korean J. Limnol.* **22**: 159–166

Mackenthun, A.A. and H.G. Stefan. 1988. Effect of flow velocity on sediment oxygen demand: experiments. *J. Environ. Eng.* **124**: 222–230.

Moore, B.C., P.H. Chen, W.H. Funk and D. Yonge. 1996. A model for predicting lake sediment oxygen demand following hypolimnetic aeration. Water Resources Bulletin **32**: 723–731.

Park, K., A.Y. Kuo and B.J. Neilson. 1996. A numerical model study of hypoxia in the tidal Rappahannock River of Chesapeake Bay. *Estuarine Coastal Shelf Science* **42**: 563–581.

Sommaruga, R. 1991. Sediment oxygen demand in man–made Lake Ton–Ton (Uruguay). *Hydrobiologia* **215**: 215–221.

Suplee, M.W. and J.B. Cotner. 1996. Temporal changes in oxygen demand and bacterial sulfate reduction in inland shrimp ponds. *Aquaculture* **145**: 141–158.

Takada, K. and K. Kato. 1991. Benthic oxygen consumption in Lake Suwa. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **24**: 1091–1094.

Tiessen, H. and J.O. Moir. 1993. Total and organic carbon. p. 187–199. *In*: Soil sampling and methods of analysis (M.R. Carter ed). Lewis Pub. NY.

Tomaszek, J. 1991. Oxygen consumption by bottom sediments. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **24**: 3045–3049.

Truax, D.D., A. Shindala and H. Sartain. 1995. Comparison of two sediment oxygen demand measerument techniques. *J. Environ. Eng.* **121**: 619–624.

Vaithiyanathan, P. and C.J. Richardson. 1997. Nutrient profiles in the Everglades: examination along the eutrophication gradient. *Sci. Total Environ.* **205**: 81–95.