

안동호와 진양호의 상류하천발생 난분해성유기물질 제어에 대한 호소의 기능

최 병 우* / 강 미 아*** / 손 호 용***

Lake's Function on Control of Refractory Dissolved Organic Matter caused by Upstream Rivers to Andong Lake and JinYang Lake

Byoungwoo Choi* / Meea Kang*** / Ho-Yong Sohn***

요약 : 집중강우, 장마 및 태풍의 직접적인 영향을 배제한 기간 동안에 안동호와 진양호의 상류하천으로부터 발생하는 DOM과 RDOM의 부하량(DOC 기준)은, 안동호 상류하천에서 $5.01-7.29(\times 10^2 \text{ kg/day})$ 였고, 진양호 상류하천에서 $1.23-3.75(\times 10^3 \text{ kg/day})$ 이었다. 진양호 상류 두 개의 하천에서 진양호로 유입되는 DOM과 RDOM의 발생비율은 SS 발생비율과 높은 상관성($R^2 > 0.8$)을 나타내었으므로 장비사용과 장기간의 실험기간을 요구하는 DOC 및 RDOC 분석에 대체할 수 있는 신속·경제적인 지표로써 SS 수질인자를 활용할 수 있을 것으로 기대한다. 안동호와 진양호는 여름철 강한 강우 이후기간동안에 DOM 및 RDOM의 증가를 야기하고, 여름철 강우 이전 기간동안에도 DOM 및 RDOM에 대한 제어기능을 가지지 못하였다. 따라서 이들 두 호소수의 DOM 및 RDOM에 대한 수질적 개선을 위해서는 호소 상류유역의 비점오염원 자체의 제거가 이루어지거나, 호소로 유입되기 전에 이를 제어할 수 있는 완충지의 확보가 필요하다.

핵심용어 : 용존성유기물질, 난분해성 용존성유기물질, 호소, 상류하천, 오염부하

Abstract : Variations of load in both DOM and RDOM of inflowing rivers to lakes were in the range of $5.01-7.29(\times 10^2 \text{ kg/day})$ for AD lake and $1.23-3.75(\times 10^3 \text{ kg/day})$ for JY lake during the research period excluding the period directly affected by the strong rainy season and the monsoon and typhoon season. We observed a good relationship($R^2 > 0.8$) between SS load and DOM load (including RDOM) in both inflowing rivers to JY lake. Therefore, it was determined that SS would be an alternative parameter with a rapid and energy-efficient method for the analysis of both DOC and RDOC, which require the analytical equipment and a long time period. Both AD lake and JY lake may act as a DOM(including RDOM) source through primary production in the fall season. Because AD lake and JY lake may not act as a DOM buffer zone, both lakes couldn't control the DOM and RDOM in spring before the rainy season. Therefore to improve water quality in downstream rivers is needed to remove pollutants such as DOM and RDOM before inflowing to these lakes in upstream rivers, or to have the unique landscape of wetlands as a buffer zone.

Keywords : DOM(dissolved organic matter), RDOM(refractory dissolved organic matter), lake, upstream river, pollutant load

+ Corresponding author : wdream@andong.ac.kr

* 학생회원 · 국립안동대학교 환경공학과 대학원 박사과정 학생 · E-mail : luki21@hanmail.net

** 정회원 · 국립안동대학교 환경공학과 교수 · E-mail : wdream@andong.ac.kr

*** 비회원 · 국립안동대학교 식품영양학과 교수 · E-mail : hysohn@andong.ac.kr

1. 서 론

하천 및 호소로 유입되는 DOM(dissolved organic matter, 용존성유기물질) 발생은 기후변화의 영향을 많이 받으므로 외부생성기원이 대부분을 차지한다(Madh et al. 2004, Onstad et al. 2000). 물환경에서의 DOM은 매우 복잡한 물질로 미생물의 종속영양적 성장에 영향을 미치는 잠재적 에너지원으로 작용하며, 토양으로부터 발생하는 DOM은 복잡한 구조적 특성으로 인해 수중 미생물분해에 대해 비교적 저항성을 가진다(Palmer, 1997). DOM의 지표 중에서 널리 이용되고 있는 DOC(dissolved organic carbon, 용존성유기탄소)는 대부분의 물환경에서 수문학적과정에서 발생하며, 범지구적 탄소사이클의 중요한 부분을 차지한다(Battin et al. 2009, Schlesinger and Melack 1981). 따라서 DOC의 경시적 변화는 기원, 토양 미생물 활동도, 지형, 지하수 희석 및 토지이용 등의 유역환경의 특성에 의존하게 된다(Boyer et al. 1997)

호소가 상류에 존재하는 경우, 호소 아래 하천에 미치는 DOM의 영향을 제어할 수 있는 것으로 보고하고 있으며(Arp et al. 2006, Mulholland et al. 1997), 이러한 호소의 긍정적 완충효과 또는 제어기능에 대해 연구가 진행되고 있다. 안동호와 진양호는 다목적댐으로써 유역의 수자원을 확보하고 이용하는 기능과 더불어 수력발전의 기능도 함께 하고 있으므로 수력발전을 하지 않는 일반호소와 비교할 때, 호소내 체류에 의한 DOM 제어 기능이 다를 것으로 예상된다. 우리나라는 6월부터 8월에 걸쳐 장마와 태풍 등이 빈번하게 발생하는 기상조건을 나타내므로, 이 기간 동안에 많은 양의 DOM과 생물학적 이용이 어려운 RDOM(refractory dissolved organic matter, 생물학적 난분해성 용존성유기물질)이 발생할 것으로 예상된다. 그러나 현재까지는 이러한 연구를 찾아보기는 쉽지 않으며, 나아가 강우의 영향이 적은 평수기의 DOM과 RDOM 등의 발생현황도 파악이 되어 있지 않은 상태이다. 따라서 본 연구

에서는 강우의 영향을 최소화하면서 여름철 강우 시기 전, 후의 DOM 및 RDOM 등에 대한 부하량과 성상변화 등에 대해 우선적으로 조사하고자 하였다.

안동호와 진양호는 낙동강수계에 존재하며, 각각 1584km² 및 228km²의 유역을 거쳐 저수면적 51.5km² 및 28.2km²의 각 호소로 오염물질을 유입시키고 있다. 안동호는 유효저수용량이 1000×10⁶ m³로 진양호의 유효저수량 299.7×10⁶ m³에 비해 약 3.3배에 해당되며, 월류정표고 기준으로 안동호/진양호 비율은 5 이상이다. 이것은 동일한 수준의 DOM 또는 RDOM이 유입된다고 가정하였을 때, 오염물질 거동에 대한 이들 두 호소의 기능을 비교할 수 있을 것이다. 현재까지 이들 국내의 호소에 대한 연구는 여러 연구자에 의해 보고되었으나(Kim et al 2006, Kim et al. 2008, 허진 등 2006), 호소내로 유입되는 DOM의 대부분을 차지하는 토질유래의 DOM의 제어에 대한 이들 호소의 기능에 대한 연구 및 DOM 중 생물들의 이용이 곤란한 RDOM에 대한 이들 호소에서의 정보는 찾기가 어려운 실정이다.

DOM은 수생태계의 생물학적 기능을 결정하는 중요한 인자 중 하나로 미량원소들의 이동성과 생지화학적 순환에 중요한 역할을 한다고 알려져 있으므로 DOM의 농도와 성상을 파악함으로써 물환경의 질적 수준을 직·간접적으로 판단할 수 있다. 안동호와 진양호 역시 다른 호소들과 마찬가지로 상류하천에서 발생하는 DOM은 강우, 수문학적 특성, 유로길이, 식물 종류 등에 의해 영향을 받으면서 호소로 유입될 것이다(Boyer et al. 1997, Gergel et al. 1999, Hornberger et al. 1994, Imai et al. 2001, Meybeck, 1982). 본 연구에서는 비강우시기를 중심으로 안동호와 진양호에 유입되는 DOM과 RDOM의 오염부하량을 DOC 및 RDOC로 분석하여 산정하고, 일반적인 수질오염지표와의 연관성을 확보하였다. 따라서 이러한 연구결과를 통해 안동호 및 진양호에 부하되는 외부오염부하량 산정에 사용할 수 있는 신속하고 경제적인 수질지표의 이용가능성을 제

시하고, DOM과 RDOM의 제어에 대한 안동호 및 진양호의 기능에 대해 평가하는 것을 목적으로 하였다.

2. 연구방법

2.1 조사지점

안동호 및 진양호를 대상으로 유입하천수 및 댐방류수를 채수하여 각각의 유입수와 유출수로 사용하였다. 안동호는 2010년 6월과 10월에, 진양호는 2010년 10월과 2011년 4월(5월에는 유입수만 채수)에 유입수 및 유출수의 시료를 채수하여 분석하였다. 시료채수 지점과 호소유입부와의 거리는 Table 1에 나타낸 바와 같다.

2.2 실험방법

2.2.1 현장조사

안동호와 진양호를 대상으로 강우에 대한 영향을 배제할 수 있는 시기에 두 호소에 유입되는 유

입하천수를 채수하고, 동일한 시기에 호소의 방류수를 채수하였다. 유입하천수의 수질과 방류수의 수질을 직접적으로 비교하기 위해서는 유역내에서의 흐름과 방류량 등을 고려하여야 하므로 본 연구에서는 시료채수 시기 전의 호소유입량, 방류량 및 저수량 등을 고려하여 호소 유입하천수와 방류수의 수질을 비교분석하였다. 모든 시료는 채수 후 즉시 수온, pH(HI991003, Rumania), DO(DO24P, Japan) 등의 수질항목을 측정하였고, DOC분석을 위한 시료는 0.45µm membrane filter(Whatman GF/F, Whatman International Co., UK)를 이용하여 시료채수 현장에서 여과하였다. 시료는 냉장 보관하여 이송하였으며, 실험은 수질오염공정시험 방법(환경부, 2008)에 따라 당일에 실시하였다.

2.2.2 DOM성상 및 RDOM 분석

본 연구에서는 DOM을 소수성 물질과 친수성 물질을 분리하기 위하여 Amberlite XAD-7과 Amberlite XAD-4 수지(Collins et al. 1986, Huck 1990, Malcom 1985)를 이용하였으며,

Table 1 Sampling sites in AD lake, JY lake and their inflowing rivers

	lake	AD (An Dong)	JY (Jin Yang)
inflow	site (distance to downstream lake)	36°46'43.88"N 128°53'6.65"E (9.7 km)	35°16'55.98"N 127°57'42.38"Ea (1.2 km)
			35°9'28.25"N 127°57'28.26"Eb (3.8 km)
	date	10/06/07 10/10/07	10/10/06 11/04/07 11/05/09
outflow	site	36°35'3.96"N 128°46'18.30"E	35°9'40.43"N 127°2'9.30"E
		date	10/06/07 10/10/07

※ outflow means lake effluent, date: yy/mm/dd

a) inflow is located in Kyongho river

b) inflow is located in Dukchen river

각 수지를 사용하기 전에 수지의 전처리 세척 과정을 거쳐 수지자체의 DOC를 배제하였다. DOM 정상분류 방법은 Fig. 1에 나타내었다. 0.45 μ m membrane filter로 여과시킨 후 시료수를 pH 2(0.1N HCl)로 산성화시킨 다음 Amberlite XAD-7에 통과 시킨 후, Amberlite XAD-7 수지에 흡착된 물질은 0.1N NaOH 250mL로 탈착시켜 0.45 μ m membrane filter로 여과하여 그 여액을 펄빅산으로 분류하였고, 여과지 위에 남은 잔류물은 0.1N NaOH 250mL로 용해시켜서 그 용액을 휴믹산으로 분류하였다. 모든 수지 통과 시 유속은 10 mL/min으로 유지하였다.

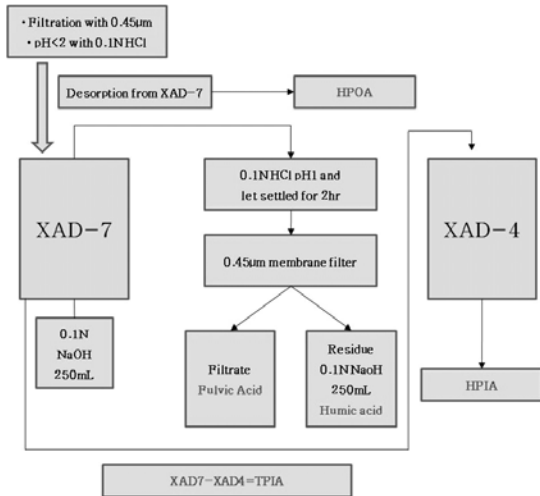


Fig. 1. Schematic diagram of the procedure for DOM fraction. DOM fraction are HPOA, hydrophobic acid; HPIA, hydrophilic acid; TPIA, transphilic acid

DOM 중 중속영양 박테리아에 의해 무기화되어 생분해(Servais et al., 1989, Huck, 1990, Frias et al., 1992) 되고 난 후 남아있는 DOC 농도를 측정하여 RDOM의 대표인자로 사용하였다. 실험 전에 vial을 세제로 충분히 세척한 후, 질산으로 세정하여 3차 증류수로 3번 이상 행군 다음, 회화로에서 550 $^{\circ}$ C로 4시간 동안 열처리 하여 잔존하는 유기물질을 모두 태운 후 실험에 사용하였다. 원수 중에 존재하는 큰 유기물 입자 및 원생동

물(protozoa)을 제거하기 위해 시료수를 2 μ m polycarbonate filter(millipore, USA)로 여과한 후 시료 100mL 당 시료원수 1mL를 첨가하였다 (Servais et al. 1989). 28일간 20 $^{\circ}$ C의 암소에서 배양한 후 DOC(Sievers900, USA)를 측정하여 RDOC로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 호소 상류하천에 의한 오염물질 부하특성

안동호(AD lake) 및 진양호(JY lake)의 상류유역 하천으로부터 유입되는 오염물질의 부하량을 조사하여 Table 2에 나타내었다. 안동호로 유입되는 오염물질 중, 부유물질(SS)의 부하량은 1.07-1.18($\times 10^3$ kg/day), 화학적산소요구량(COD)의 부하량은 1.60-1.63($\times 10^3$ kg/day), 생물학적산소요구량(BOD₅)의 부하량은 3.21-8.13 ($\times 10^2$ kg/day), 용존성유기탄소(DOC) 및 난분해성유기탄소(RDOC)의 부하량은 각각 5.40-7.29 ($\times 10^2$ kg/day) 및 5.01-5.08 ($\times 10^2$ kg/day) 수준이었다. 진양호로 유입되는 모든 오염물질의 부하량은 안동호로 유입되는 부하량보다 많았으며, 최고부하량은 SS 1.66($\times 10^4$ kg/day)이었으며, 최저부하량은 RDOC 1.23($\times 10^3$ kg/day)이었다.

안동호와 진양호의 상류하천 조사가 비슷한 시기(2010년 10월 6-7일)에 수행된 경우의 오염부하량을 비교하여 Fig. 2에, JY/AD(유량 및 오염부하량) 비율을 Fig. 3에 각각 나타내었다. 오염부하수준은 COD, SS, BOD, DOC, RDOC의 순서로 적게 조사되었다. 한편, JY/AD(유량 및 오염부하량) 비율은 가장 적은 비율이 BOD₅에서 2.12로 나타났으며, 다음으로 유량(flow volume)과 SS에서 2.28, DOC와 RDOC는 각각 2.92와 2.46으로 다른 오염부하비율보다 높게 나타났다. 따라서 진양호는 안동호에 비해 상류유역에서 유입되는 오염물질 중에서 호소, 하천 등의 생물학적 활동에 영향을 미칠 것으로 예상되는 DOC와 RDOC의 유입량 비율이 상대적으로 많음을 알 수 있다.

Table 2 Comparison of pollutant loads in AD lake and JY lake

Load(kg/day)	AD lake		JY lake		
	10/06/07	10/10/07	10/10/06	11/04/07	11/05/09
SS	1.07×10^3	1.18×10^3	2.68×10^3	7.87×10^3	1.66×10^4
BOD ₅	3.21×10^2	8.13×10^2	1.72×10^3	2.79×10^3	2.66×10^3
COD	1.60×10^3	1.63×10^3	4.65×10^3	6.52×10^3	7.60×10^3
DOC	7.29×10^2	5.40×10^2	1.57×10^3	3.04×10^3	3.75×10^3
RDOC	5.08×10^2	5.01×10^2	1.23×10^3	1.29×10^3	1.35×10^3

※ date: yy/mm/dd

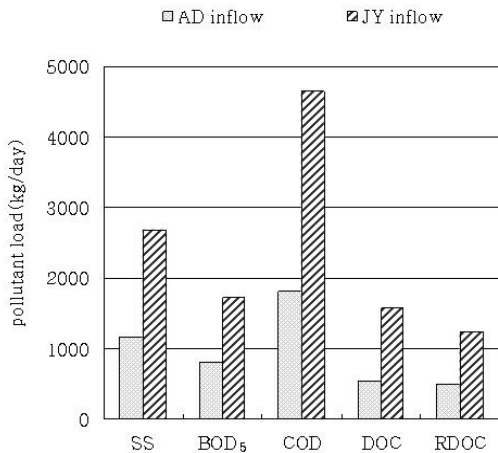


Fig. 2 Load of SS, BOD₅, COD, DOC and RDOC caused by inflowing rivers to AD and JY lake(Oct. 2010)

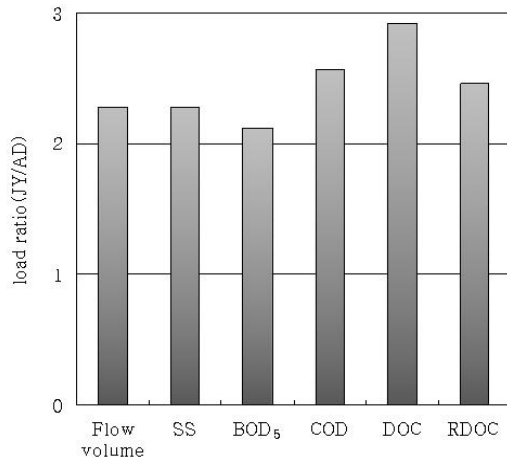


Fig. 3 Ratio of JY lake to AD lake in the volume and pollutants(Oct. 2011)

진양호의 상류유입하천은 경호강(KH river)과 덕천강(DC river)로 구분된다. 낙동강수계관리위원회 의 보고서(2010년)에 따르면, 비강우시의 BOD₅ 기준으로 부하 기여도는 경호강과 덕천강에서 각각 70% 및 30%로 발생한다고 한다. 이번 연구에서도 기존의 연구와 비교할 수 있도록 강우의 영향을 피하여 2010년 1회(10월 6일), 2011년 2회(4월 7일과 5월 9일)에 걸쳐 두 하천에서 발생하는 오염부하 발생 기여도를 조사하였다. 오염물질에 따라 발생부하량에는 큰 차이를 나타내

었으나 두 하천에서 발생하는 오염물질 부하 기여도는 경호강이 덕천강에 비해 높았다. 경호강 기준, SS 및 COD의 발생 기여도는 약 70-80%, BOD₅ 발생 기여도는 약 70-75%이었으며, DOC와 RDOC의 발생 기여도는 각각 65-70%와 65-75%로 분석되었다. 경호강과 덕천강에서 발생하는 유량 기여도가 각각 54-65% 및 35-46% 임을 고려할 때, 경호강과 덕천강에서 발생하는 오염물질 부하 기여도는 우선적으로 유량의 영향을 받는 것을 알 수 있다. 또한 경호강의 경우 비강우시기에 해

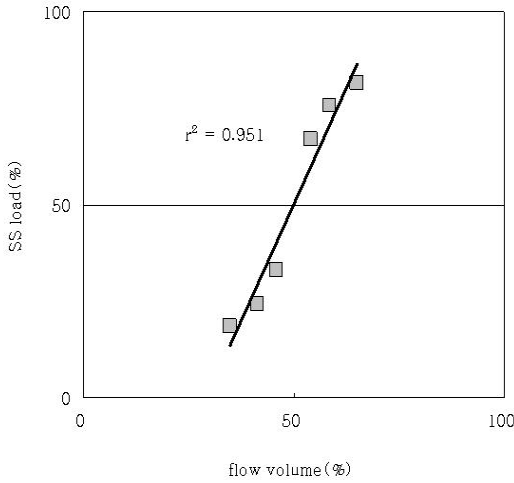


Fig. 4 Relationship between the volume and SS load in inflowing rivers to JY lake(Jun. and May 2011)

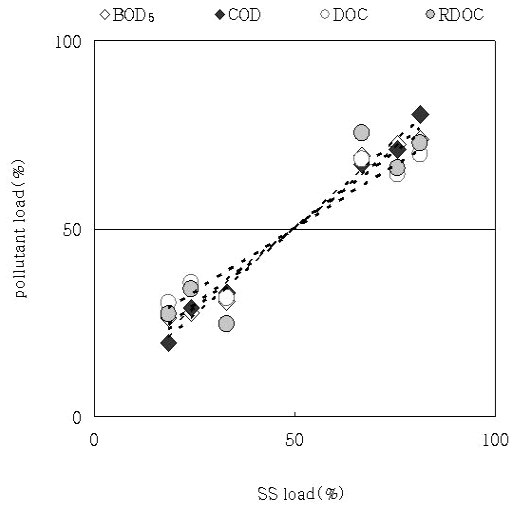


Fig. 5 Relationship between SS load and other pollutants in inflowing rivers to JY lake(Jun and May, 2011)

당하는 각각의 시기에 발생하는 오염부하기여 비율은 유량기여비율보다 더 높은 값을 나타내었다.

경호강과 덕천강에서 발생하는 상대적 유량비율과 SS 발생비율간의 상관성을 조사하여 Fig. 4에 나타내었다. 상호간의 관계는 상관계수 0.951로 매우 양호한 값을 나타내어 이들 지표를 호소 상류유역 특성을 고려하여 이용할 수 있는 가능성을 나타냈다. 비점오염물질 발생의 경우, 신속하고 분석이 용이한 SS 항목을 다른 수질항의 대체지표로 제안 한 연구결과들도 보고되고 있다(Kang et al. 2010, 강미아 등 2010). 경호강과 덕천강에서 발생하는 오염물질들은 비점오염물질이 대부분이므로 제안된 이러한 관계를 이용가능 할 것이라고 판단하여 발생된 오염부하기여도간의 상관성을 조사하여 Fig. 5에 나타내었다 이들 인자간의 상관계수는 0.883-0.993의 범위로 매우 양호한 수준이었다. 이것은 경호강과 덕천강에서 발생하는 오염물질들은 자연상태의 유기물질들을 토사 및 SS 성분들과 함께 이동하는 것으로 이해 할 수 있고, 지속적인 모니터링을 하여 자료를 축적한다

면, 28일간의 장시간의 실험기간을 요구하는 RDOC와 장비를 사용하는 DOC 분석에 대체할 수 있는 신속, 저에너지 사용으로 이용 가능한 유용한 지표로써 SS 수질인자를 활용할 수 있을 것이다.

3.2 난분해성유기물질 제어에 대한 호소 효과

호소로 유입되는 DOC 농도는 상류유역의 지형, 토질, 식생 등의 영향을 직접적으로 받고 강우, 유로길이 등과 같은 수문학적 영향도 함께 받는다. 호소내에서의 DOC 농도는 하천에서의 DOC 농도보다 수문학적 이송에 의해 받는 영향이 적으므로 보고되고 있다(Kaste et al. 2003, Ito et al. 2007). 그러나 안동호와 진양호는 수력을 목적으로 하는 다목적댐이거나 취수량이 많은 상수원수로서의 기능을 하고 있어 앞서 보고된 여러 호소에 비해 체류시간이 짧은 특성이 있다.

안동호와 진양호의 상류 하천수에서 발생한 DOM 중의 RDOC/DOC 비율과 (HPOA+ TPIA)/(HPOA+ TPIA+ HPIA) 비율간의 상관성을 Fig. 6(a)-(b)에 나타내었다. 진양호의 경우에는 두 개의 유입하천을 각각 구분하여 표시하였다. 상류유

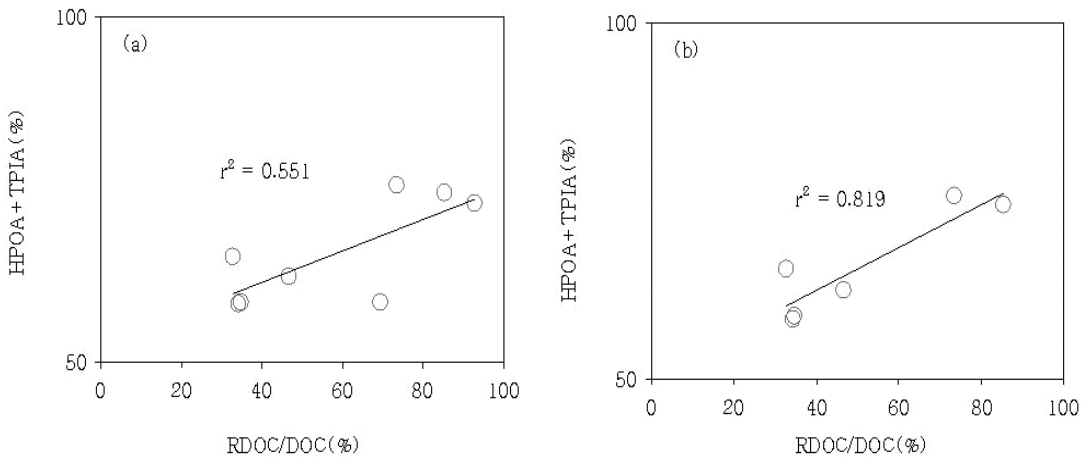


Fig. 6 Relationship between proportion of (HPOA+TPIA)/ (HPOA+TPIA+HPIA) in inflowing rivers (a) to AD and JY lakes, (b) to JY lake only

역 특성이 다른 안동호와 진양호를 모두 고려하였을 때에는 Fig. 6(a)에서 보는 바와 같이 상관계수 0.551로 유의한 결과를 나타내지 않았으나, 진양호의 상류 두 하천만을 고려하였을 때에는 Fig. 6(b)에 나타낸 바와 같이 상관계수 0.819로 유의한 수준을 보였다. 호소간의 유의성은 찾기가 쉽지 않으나, 특정호소와 그 상류유역에서의 하천수는 DOC와 RDOC 간에 매우 밀접한 관계를 나타내고 있음을 알 수 있다. 특히 진양호로 유입되는 상류하천수 중의 DOC중에서 차지하는 RDOC의 비율은 대부분이 HPOA과 TPIA로부터 기인함을 알 수 있다.

안동호와 진양호로 유입되는 하천수(진양호는 2개 하천의 평균값 이용)와 호소 방류수의 HPOA, TPIA, HPIA가 차지하는 상대적 비율을 조사하여 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보여준 바와 같이 안동호와 진양호의 상류유입하천수 중 HPOA과 TPIA의 합이 (HPOA+ TPIA+ HPIA)에서 차지하는 상대적 비율은 56.1-74.8%를 차지하고 HPIA는 25.2-43.9%를 차지하였다. 두 호소의 경우, 강우시기 후인 10월의 하천수에서는 (HPOA+ TPIA+ HPIA)중 HPOA과 TPIA의 합이 차지하는 상대적 비율이 73% 및 75%로 강우시

기 전의 하천수에서 차지하는 그것보다 상대적으로 높았다. 유입하천수와 방류수 중의 DOM 성상에는 유의한 차이를 찾기가 어려웠으나 안동호(2010년10월07일)의 경우에는 유입하천수와 호소 방류수와의 DOM 성상에 가장 큰 차이를 나타내었다. TPIA는 17.9%에서 18.8%로 거의 변화가 없었으나 HPOA는 55.1%에서 61.6%로 약 6.5% 증가한 반면 HPIA는 27.0%에서 19.6%로 약 7.4% 감소하였다. 이러한 HPOA 증가와 HPIA 감소는 안동호 유입하천수의 DOC에서 차지하는 RDOC의 비율은 대부분이 HPOA과 TPIA로부터 기인함을 기초로 할 때, 호소내부에서의 RDOC의 증감을 예측할 수 있다.

호소로 유입되는 DOC와 RDOC에 대한 안동호와 진양호의 기능을 파악하기 위해 두 호소의 방류수 중의 DOC와 RDOC의 변화를 조사하여 Fig. 8에 나타내었다. 안동호의 경우, 호소내 체류에 의한 DOC 증가비율(DOC_{out}/DOC_{in})과 RDOC 증가비율($RDOC_{out}/RDOC_{in}$)은 2010년 6월 및 10월에 각각 1.65와 4.17 및 1.15와 4.45로 매우 큰 차이를 나타내었다. 하절기 장마와 태풍 등에 의한 영향과 조류증식 등에 따른 DOC 호소내부생산이 활발할 것으로 예측할 수 있으며, 이 때 발생하는 DOC는 대부분이 RDOC 임을 알 수 있다.

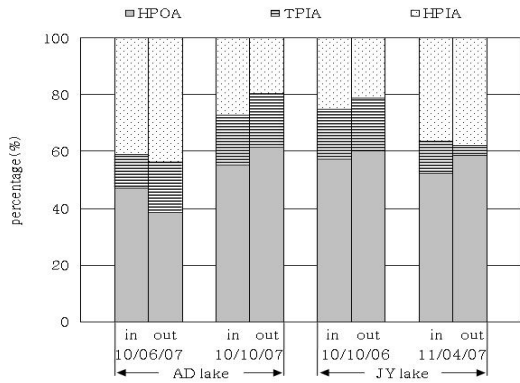


Fig. 7 Proportion of HPOA, TPIA and HPIA in the DOM from in(inflowing rivers) and out(lake effluent)

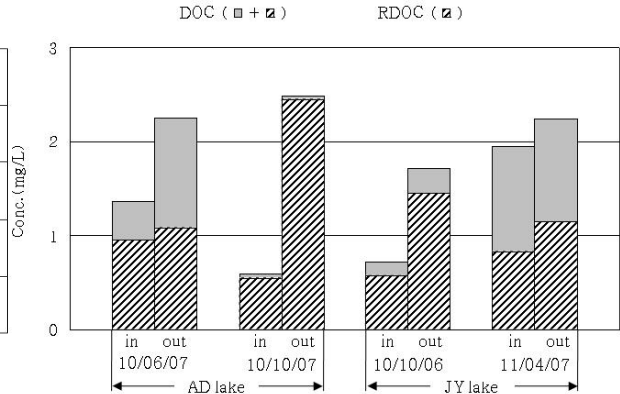


Fig. 8 Concentration of DOC and RDOC from in(inflowing rivers) and out(lake effluent)

안동호는 진양호에 비해 DOC 증가비율(DOC_{out}/DOC_{in})과 RDOC 증가비율($RDOC_{out}/RDOC_{in}$)이 낮게 나타났으며 특히 하절기 이후의 DOC 및 RDOC 증가비율은 약 160%에 해당한다. 이것은 안동호와 진양호의 수위, 저수용량, 체류시간 등의 차이에 의한 것으로 해석할 수 있다. 진양호 유입하천수 및 방류수의 DOC 증가비율(DOC_{out}/DOC_{in})과 RDOC 증가비율($RDOC_{out}/RDOC_{in}$)은 2010년 10월 및 2011년 4월에 각각 2.38과 1.15 및 2.56과 1.38로 매우 큰 차이를 나타내었다. 이 결과는 비강우시기라 하더라도 강우시기 전후에 호소로 유입되는 DOC와 RDOC의 성장과 수준이 달라지므로 하절기 수문학적 특성을 고려하여 난분해성유기물질 관리를 해야 함을 명확히 한다. 진양호는 안동호에 비해 호소내부에서 생성되는 DOC와 RDOC가 적으며, 진양호로 유입되는 DOC와 RDOC 농도는 진양호에서의 체류에 의해 증가(2010년 10월) 또는 유지(2011년 4월)되는 수준이었다.

3.3 난분해성유기물질생산에 미치는 조류활동

호소내부 유기물질의 증감요인은 외부생산과

내부생산으로 구분할 수 있다. 내부생산의 영향인 자로는 조류활동과 미생물활동을 들 수 있으며, 조류나 박테리아의 생리작용 및 자기분해에 의한 유기탄소 생성과 그 생물학적 분해에 의해 유기물질 등이 증감될 수 있다(허진, 2006). 본 연구에서는 진양호를 대상으로 여름철 강우시기 전후의 DOC 및 RDOC에 대해 호소내부 생산 가능성을 검토하였다. DOC 및 RDOC 증감과 관련한 진양호 내부 생산에 기여할 것으로 예측되는 조류활동을 파악하기 위해 시료채수 전후의 조류 현황을 정리하여 Table 3에 나타내었다. 2010년 10월, 진양호에서는 남조류(*Mycrosystis sp.*)와 녹조류(*Coelastrum sp.*)가 발생한 반면, 2011년 4월에는 규조류(*Cyclotella sp.*)와 *Dinobryon sp.*가 우점을 차지하였다. 진양호의 봄철에 검출되는 조류는 호소내부 생산(DOC, RDOC)에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있으나 지속적인 연구가 요구된다. 저수지 내에서는 상층부의 조류활동보다 저층부의 미생물활동이 더 활발할 수 있다는 허등의 연구결과와 비교할 때, 진양호의 비강우시기 특히 여름철 장마나 태풍 등의 강우가 발생하지 않은 시기에는 호소 저층부에서의 미생물활동도 활발하지 않을 것이라는 것을 예측할 수 있다.

Table 3 Algae in JY lake

(Unit : cells/mL)

Date	Sum	Cyanophyceae	Chlorophyceae	Bacillariophyceae	Others
10/09/20	1,725	485	665	440	135
	M.A	Mycrosystis sp.	Eudorina sp.	Aulacoseira sp.	Trachelomonas sp.
10/09/27	1,785	385	280	990	130
	M.A	Mycrosystis sp.	Coelastrum sp.	Aulacoseira sp.	Trachelomonas sp.
10/10/04	1,590	370	225	930	65
	M.A	Mycrosystis sp.	Coelastrum sp.	Aulacoseira sp.	Trachelomonas sp.
10/10/11	1,225	220	240	695	70
	M.A	Mycrosystis sp.	Coelastrum sp.	Aulacoseira sp.	Cryptomonas sp.
11/04/04	1,020	-	-	160	860
	M.A	-	-	Cyclotella sp.	Dinobryon sp.
11/04/11	438	-	-	242	196
	M.A	-	-	Cyclotella sp.	Dinobryon sp.

※M.A : Major Algae

4. 결 론

안동호 및 진양호의 상류하천에 의해 발생하는 DOC 및 RDOC의 부하량은 안동호 5.01-7.29($\times 10^2$ kg/day)이었고 진양호 1.23-3.75($\times 10^3$ kg/day)이었다. 안동호와 진양호의 상류하천 조사가 비슷한 시기(2010년 10월 6-7일)에 수행된 경우의 JY/AD(DOC와 RDOC)는 각각 2.92와 2.46으로 나타났으며, 이는 호소의 DOC 및 RDOC 관리에 있어 진양호가 안동호에 비해 어렵다는 것을 나타낸다.

진양호의 상류하천(경호강 및 덕천강)으로부터 발생하는 DOC 및 RDOC의 부하량은 경호강 약 70% 및 덕천강 약 30%로 기존의 연구보고서에서 제시한 BOD₅ 부하비율과 유사하였다.

경호강과 덕천강에서 발생하는 오염물질들은 자연상태의 유기물질들을 토사 및 SS 성분들과 함께 이동하므로 경호강과 덕천강에서 발생하는

상대적 유량비율과 SS 발생비율간의 상관성을 조사한 결과($R^2 > 0.95$)는 이들 지표를 호소 상류유역 특성을 고려하여 이용할 수 있는 가능성을 나타냈다. 유사한 조사 시기에 발생한 호소 유입하천수의 DOM 중에서 RDOC/DOC 비율과 (HPOA+ TPIA)/ (HPOA+ TPIA+ HPIA) 비율간의 상관성은 호소간의 유의성은 찾기가 쉽지 않으나, 특정호소와 그 상류유역에서의 하천수는 DOC와 RDOC 간에 매우 밀접한 관계를 나타내고 있음을 알 수 있다. 특히 진양호로 유입되는 상류하천수 중의 DOC중에서 차지하는 RDOC의 비율은 대부분이 HPOA과 TPIA로부터 기인함을 알 수 있다. 안동호와 진양호에서는 10월에는 호소체류에 의해 RDOC가 매우 상승하였으며, 4-6월에는 호소 체류에 의한 영향을 파악하기 어렵다. 즉 안동호와 진양호는 여름 이후에는 DOM 및 RDOM의 증가를 야기하고, 여름 이전에도 DOM 및 RDOM에 대한 제어기능을 가지지 못하고 있다. 본 연구는

비강우시기를 중심으로 조사하였으므로 향후 여름철 강우시기의 안동호 및 진양호에 의한 DOM 및 RDOM 제어기능에 대해 조사할 필요성이 있다. 특히 RDOM은 수생태계에 직접적인 영향을 미치는 인자로 호소 유입 전에 제거해야 하는 수질지표이므로 상류하천 및 호소에서 RDOM 수질관리방법을 확립해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Arp CD. Gooseff MN. Baker MA. Wurtsbaugh W. 2006. Surface-waterhydro dynamics and regimes of a small mountain stream-lake ecosystem. *Journal of Hydrology* 329: 500-513.
- Battin TJ. Luysaert S. Kaplan LA. Aufdenkampe AK. Richter A. Tranvik LJ. 2009. The boundless carbon cycle. *Nat. Geosci.* 2: 598-600.
- Boyer EW. Hornberger GM. Bencala KE. McKnight DM. 1997. Response characteristics of DOC flushing in an alpine catchment. *Hydrol. Proc.*, 11: 1635-1647.
- Collins MR. Amy CL. Steelink, C. 1986. Molecular weight distribution, carboxylic acidity, and humic substances content of aquatic matter: implication for removal during water treatment. *Environ. Sci. Technol.* 20: 1018-1032.
- Gergel, SE. Turner MG. Kratz TK. 1999. Dissolved organic carbon as an indicator of the scale of watershed influence on lakes and rivers, *Ecol. Appl.*, 9: 1377-1390.
- Hornberger, GM. Bencala KE. Mcknight DM. 1994. Hydrological controls on dissolved organic carbon during snowmelt in the Snake River near Montezuma, Colorado. *Biogeochemistry* 25: 147-165.
- Huck PM. 1990. Measurement of biodegradable organic matter and bacterial growth potential in drinking water. *Jour. AWWA* 82(7): 78-86.
- Imai A, Fukushima T, Matsushige K. Kim Y. 2001. Fractionation and characterization of dissolved organic matter in a shallow eutrophic lake, its inflowing rivers and other organic matter sources. *Water Research*, 35(17): 4019-4028
- Ito M. Mitchell M. Driscoll C. Newton R. Johnson C. Roy K. 2007. Controls on surface water chemistry in two lake-watersheds in the Adirondack region nitrogen solute of New York: differences in sources and sinks. *Hydrol. Proc.*, 21: 1249-1264.
- Kang MA. Choi BW. Lee JK. 2010. Correlation analysis on the runoff pollutants from a small plot unit in an agricultural area. *Environ. Eng. Res.* 15(4): 191-195.
- Kaste O. Stoddard J. Henriksen A. 2003. Implication of lake water residence time on the classification of Norwegian surface water sites into progressive stages of nitrogen saturation, *Water, Air, Soil Pollut.* 142: 409-424.
- Kim S, Hong S. Kim G. Sohn J. Choi E. 2008. Source identification and characterization of the accumulating non-biodegradable organics in Korean reservoirs. *Journal of Environmental Management* 88: 1056-1065.
- Kim YH. Lee SH. Kim JH. Park JW. Choi KS. 2006. Charzterization of recalcitrant dissolved organic matter in lake and inflow river waters. *Environ. Eng. Res.* 11(4): 191-193.

- Malcom RL. 1985. The Geochemistry of stream fulvic and humic substances. In: Humic Substances in Soil, Sediment and Water: Geochemistry, Isolation and Characterization. G.R. Aiken, D.M. McKnight, R.L. Wershaw and P. MacCarthy(eds). Wiley-Intersciences, New York: 181-209
- Mash H. Westerhoff PK. Baker LA. Nieman RA. Nguyen ML. 2004. Dissolved organic matter in Arizona reservoirs : assessment of carbonaceous sources. *Organic Geochemistry* 35: 831-843.
- Meybeck, M. 1982. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers, *Am. J. Sci.* 282: 401-450.
- Mulholland, PJ. Hill WR. 1997. Seasonal patterns in streamwater nutrient and dissolved organic carbon concentrations: Separating catchment flow path and instream effects. *Water Resour. Res.* 33: 1297-1306.
- Onstad GD. Canfield DE. Quay PD. Hedges JI. 2000. Sources of particulate organic matter in rivers from the continental USA : lignin phenol and stable isotope compositions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64: 3539-3564.
- Palmer MA. Poff NL. 1997. The influence of environmental heterogeneity on Pattern-s and processes in streams. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16: 169-173.
- Schlesinger WH. Melack JM. 1981. Transport of organic carbon in the world rivers. *Tellus* 33: 172-187.
- Servais P. Anzil A. Ventresque C. 1989. Simple method for determination of biodegradable dissolved organic carbon in water. *Applied and Environmental Microbiology* 55: 2732-2734.
- 강미아, 최병우, 유재정. 2010. 강우시 비점오염원의 오염부하특성. *지질공학회지* 20(4): 401-407.
- 낙동강수계관리위원회, 2010. 남강댐 상류지역 비점오염원 파악 및 대책수립(1), 낙동강수계 2010년도 환경기초조사사업. pp 236-244.
- 박현진, 진은정, 정태만, 주현, 이재화. 2009. 광합성 미세조류 *Nanochloropsis oculata* 최적 배양조건. *Appl. Chem. Eng.* 21(6) :659-663.
- 허진, 신재기, 박성원. 2006. 하천 및 호소 수질 관리를 위한 용존 자연유기물질 형광특성 분석. *대한환경공학회지* 28(9): 940-948.
- 환경부, 2008. 수질오염공정시험방법

논문접수일 : 2011년 06월 20일

심사의뢰일 : 2011년 06월 21일

심사완료일 : 2011년 08월 26일