

## PE1) 실험적 방법에 의한 낙동강 본류 주요 지점 및 지천에 대한 탈산소계수 조사

윤영삼, 유재정, 김문수, 이철구, 신찬기  
국립환경과학원 낙동강물환경연구소

### 1. 서 론

현재 국내 수계에 수질모형을 적용할 때 실측된 수질모형 입력 자료의 부족으로 인해 대부분 기존 연구자들의 반응계수를 이용하여 무리하게 모형을 보정하거나 현장 특성을 무시한 채 기존의 외국자료를 이용하고 있어 예측결과의 신뢰도가 떨어지고 있는 실정이다. 낙동강 수계 역시 오염총량제시행, 대권역 물관리종합대책 수립, 장기적인 수질관리 대책 수립 등에 수질모형의 활용은 필수적이다.

그러나 현재까지 낙동강 유역에 대한 신뢰성 있는 체계적인 수질모형 입력자료에 대한 조사가 대단히 미미한 실정이며, 타 수계 역시 수질모형 반응계수, 유달부하량에 대한 실측자료가 미미하여 수질관리를 위한 수질모형 개발을 통한 오염부하 삭감량 설정 등에 대한 운용에 어려움이 따르고 있다. 그러므로 낙동강 유역의 특성을 최대한 반영한 수질모형을 적용하기 위해 필요한 모형 입력 자료는 흐름 및 운동특성 또는 반응특성에 관계하는 수체 내부적인 자료와 오염물의 발생 및 전달특성에 관계하는 수체 외부적인 요소 등에 대한 종합적인 조사가 이루어져야한다.

따라서 본 연구에서는 수체내의 오염물질의 농도 변화를 지배하는 내부적인 요인인 각 오염물질의 반응 관련 계수들 중 탄소성 BOD의 분해에 대해 자연수 및 현장에서 시료 채수 후 실험실로 옮겨 시간대 별 시료 분석을 통한 실험실 BOD 분해를 낙동강 본류 주요지점에 대해 조사하여 낙동강 유역에 대한 수질모형링에 기초 자료로 활용할 수 있도록 하였다.

또한 자연하천의 특징을 최대한 반영 할 수 있는 자연수에 대한 탈산소계수 조사는 하천 수역구간별 상하류 2개 구간에서 2시간 간격으로 연속 8회 채수하여 상하류간의 BOD 농도 차를 이용하여 자연수에 대한 탈산소 계수를 구하여 제시하였다.

### 2. 재료 및 실험 방법

#### 2.1. 실험실(Incubation Method) 탈산소계수(k1)

수중에서 유기물 분해 시 소비되는 산소소비속도는 BOD 연속측정의 방법으로 측정한다. 현장에서 수심방향(2~3개 지점), 횡 방향(5개 지점)에서 채수된 시료를 혼합하여 대표시료를 제조하여 이들 대표시료를 실험실로 옮긴 후 산소를 충분히 공급한 후에 여러 개의 BOD 병에 시료를 채운다. 이 중 두 개를 사용하여 초기 DO를 측정한 후 시료를 20°C에서 배양하면서 1, 2, 3, 5, 6, 7일에 한 개씩 BOD 병의 DO를 측정하여 시간변화에 대한 BOD 병내의 DO 농도 변화로부터 실험실 탈산소계수를 구하였다. 일반적으로 질소의 산화는 7일

이후에 발생하는 것으로 알려져 있으며, 암모니아의 농도가 높은 경우에만 유의적으로 발생하므로 본 연구에서는 측정된 BOD는 CBOD 인 것으로 간주하였다.

측정된 BOD<sub>t</sub> 자료를 다음 식에 nonlinear regression 법으로 최적 적합 시켜 탈산소계수를 구하였다.

$$BOD_t = BOD_u (1 - e^{-kt}) \quad (1)$$

여기서, BOD<sub>t</sub>=BOD at time t day(mg/L), BOD<sub>u</sub>=ultimate BOD(mg/L), k=deoxygenation coefficient 탈산소계수(day<sup>-1</sup>), t=incubation time (day)

현장수온에서의 탈산소계수는 아래 식으로 구한다. 이 식은 모든 계수의 온도보정에 일반적으로 사용된다.

$$k_t = k_{20} * \theta^{(t-20)} \quad (2)$$

여기서, k<sub>t</sub> = decay coefficient at temperature t°C, k<sub>20</sub> = decay coefficient at temperature 20°C, θ = calibration constant (≒ 1.05)

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 실험실 Incubation Method에 의한 탈산소계수(k1)

낙동강 본류 구미, 왜관, 고령, 남지, 삼랑진 등 주요 10개 지점 및 6개 지천(상류, 하류) 12개 지점에 대한 시료를 채수하여 실험실로 옮긴 후 시간대 별 BOD 변화를 통한 탈산소계수를 구하였다. '05년 조사의 경우 본류구간에 대해서만 실시하였고 '06년 조사에서는 본류는 물론 지천을 포함시켰다.

본류에 대한 시간대 별 BOD 변화 실험을 통해 구한 탈산소계수를 수록한 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 조사 지점별, 조사시기별 실험실 탈산소계수 값은 차이를 보였다. 특히 1차 조사('05년 4월)에 비해 2차~4차('05년 6월~9월)의 탈산소계수 값들이 조사대상 대부분의 지점에서 높게 나타났다. 이는 각 유역별 강우 증가에 따른 하천 내 오염물질의 대량 유입에 따라 조사대상 대부분의 지점에서 탈산소계수 값이 증가하는 경향을 보이는 것으로 판단된다. 1차 조사 시기('05년 4월)의 탈산소계수 값은 0.121~0.218 day<sup>-1</sup>의 범위를 보였으며, 울지교와 적포교 지점에서 각각 0.218 day<sup>-1</sup>와 0.215 day<sup>-1</sup>로 높게 나타났다. 반면 고령교 지점이 0.121 day<sup>-1</sup>로 낮게 나타났다. 2차 조사인 '05년 6월의 경우 특히 구담교 지점과 왜관지점의 탈산소계수 값이 높게 나타났으며, 1차 조사에서 높은 값을 보였던 울지교 지점의 탈산소계수 값이 2차 조사에서는 가장 낮게 나타났다. 3차 조사('05년 7월)의 경우 낙동강 본류 상류 지점에서 탈산소계수 값이 높게 나타났으며, 중하류 지점들이 비교적 낮게 조사되었다. 3차 조사의 경우 낙동강 상류에 위치한 구담교 지점이 0.408 day<sup>-1</sup>로 가장 높게 나타났으며, 낙동강 중류권의 고령 지점이 0.157 day<sup>-1</sup>값으로 가장 낮은 탈산소계수를 보였다. 4차 조사(9월)의 경우 0.210 day<sup>-1</sup>(구담교)~0.391 day<sup>-1</sup>(구포)의 범위를 보였으며, 2005년 11월 조사인 5차 조사결과는 4차 조사와 유사한 경향으로 구담에서 0.258 day<sup>-1</sup>로 가장 낮았으

며, 남지와 수산교 지점이 각각  $0.305 \text{ day}^{-1}$ 과  $0.305 \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높게 조사되었다. 6차 조사인 2006년 1월의 경우 극심한 가뭄에 기인 하천의 유량이 최소인 상황으로 수질오염도가 증가되어 조사대상 전 지점에서 탈산소계수 값은 대체로 증가하였다. 6차 조사결과는 남지 지점이  $0.324 \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮은 탈산소계수를 보였으며, 왜관지점이  $0.514 \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높은 탈산소계수를 보였으며, 7차 조사 시기인 '06년 5월의 경우 성주대교, 구미대교에서 각각  $0.433, 0.419 \text{ day}^{-1}$ 로 대단히 높은 탈산소계수를 보였다. 8차 조사인 '06년 8월의 경우 낙동강 중류권의 성주대교, 왜관대교 등이 탈산소계수 값  $0.492, 0.477 \text{ day}^{-1}$ 로 대단히 높은 값을 보였으며, 9차 조사인 '06년 10월의 경우 왜관대교, 성주대교에서 8차 조사와 유사하게 높게 조사되었다. 또한 시기별로 다소 차이를 보였으나 상류에서 하류로 진행됨에 따라 비교적 탈산소계수 값이 감소하는 경향을 보였다. '07년 1월의 경우는 낙동강 본류 상·중·하류 모든 구간에서 탈산소계수 값이 낮게 조사되었으며, 상류  $0.062 \text{ day}^{-1}$ , 중류  $0.077 \text{ day}^{-1}$ , 하류  $0.082 \text{ day}^{-1}$ 를 각각 보였다.

표 1에 수록된 바와 같이 낙동강 본류 상·중·하류 모두 2006년 1월에 조사한 탈산소계수 값이 각각 상류  $0.406 \text{ day}^{-1}$ , 중류  $0.388 \text{ day}^{-1}$ , 하류  $0.399 \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났다. 낙동강 본류 상·중·하류의 평균 실험실 탈산소계수 값은 상류  $0.270 \text{ day}^{-1}$ , 중류  $0.281 \text{ day}^{-1}$ , 하류  $0.273 \text{ day}^{-1}$ 로 낙동강 중류의 탈산소계수 값이 다소 높게 조사되었다. 위와 같이 낙동강 본류 12개 지점에 대한 탈산소계수 조사 결과 조사시기와 지점에 따라 각기 다른 값을 보였다. 따라서 수질모델링에 있어서 모델계수를 적용하기 위해서는 시기에 관계없이 동일지점에 대해 동일 값을 적용할 경우 모델의 결과는 왜곡된 결과를 보여줄 수 있기 때문에 모델계수에 대한 면밀한 고찰을 통해 모델 입력자료를 선택해야 모델링의 결과에 대한 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

표 1. 낙동강 본류 상·중·하류의 시기별 실험실 탈산소계수( $k_1$ )

시기	유역	탈산소 계수 $k_1$ ( $\text{day}^{-1}$ )		
		상류(구담↔구미)	중류(구미↔적포)	하류(적포↔구포)
'05년 4월		0.165	0.173	0.178
6월		0.309	0.260	0.287
7월		0.368	0.277	0.236
9월		0.266	0.321	0.334
11월		0.271	0.286	0.294
'06년 1월		0.406	0.388	0.399
5월		0.237	0.279	0.257
8월		0.237	0.279	0.257
10월		0.162	0.229	0.221
'07년 1월		0.268	0.357	0.372
평균		0.270	0.289	0.283

표 2. 실험실 Incubation Method에 의한 탈산소계수( $k_1$ , A: 상류, B:하류)

지점	항목	'06년 5월			'06년 8월		
		BOD5 (mg/L)	BODu (mg/L)	$k_1$ (day <sup>-1</sup> )	BOD5 (mg/L)	BODu (mg/L)	$k_1$ (day <sup>-1</sup> )
내성천A		-	-	-	0.8	4.4 ± 1.2	0.057 ± 0.182
내성천B		-	-	-	0.6	0.9 ± 0.5	0.177 ± 0.160
감천A		2.5	3.2 ± 1.1	0.256 ± 0.171	0.7	1.5 ± 0.9	0.188 ± 0.206
감천B		2.0	2.2 ± 0.3	0.553 ± 0.196	0.8	1.2 ± 0.1	0.361 ± 0.116
금호강A		3.2	9.6 ± 9.2	0.067 ± 0.078	1.6	2.3 ± 0.3	0.369 ± 0.146
금호강B		3.0	3.4 ± 1.1	0.292 ± 0.193	1.5	2.6 ± 0.6	0.364 ± 0.238
황강A		1.6	1.9 ± 0.2	0.316 ± 0.074	0.7	1.6 ± 0.5	0.209 ± 0.121
황강B		1.6	1.7 ± 0.2	0.332 ± 0.083	0.7	1.1 ± 2.1	0.390 ± 0.212
남강A		3.2	7.1 ± 2.2	0.107 ± 0.045	2.9	7.2 ± 2.7	0.108 ± 0.058
남강B		1.8	2.5 ± 0.3	0.239 ± 0.056	2.4	4.5 ± 0.9	0.187 ± 0.076
밀양강A		0.9	1.4 ± 0.4	0.261 ± 0.145	1.0	3.8 ± 1.4	0.065 ± 0.030
밀양강B		1.4	4.0 ± 3.8	0.064 ± 0.073	1.6	3.2 ± 0.6	0.180 ± 0.067
		'06년 10월			'07년 1월		
내성천A		0.3	2.7 ± 1.8	0.029 ± 0.097	1.3	4.1 ± 2.1	0.067 ± 0.042
내성천B		0.6	3.0 ± 1.9	0.052 ± 0.038	1.3	2.2 ± 0.6	0.166 ± 0.074
감천A		1.2	2.5 ± 0.5	0.150 ± 0.046	2.4	3.6 ± 0.7	0.239 ± 0.100
감천B		1.3	2.3 ± 0.8	0.155 ± 0.089	1.4	1.7 ± 0.1	0.613 ± 0.144
금호강A		1.2	1.9 ± 0.2	0.255 ± 0.054	1.8	3.1 ± 1.1	0.250 ± 0.181
금호강B		0.9	1.3 ± 0.1	0.266 ± 0.043	1.5	2.3 ± 0.6	0.367 ± 0.250
황강A		1.0	1.9 ± 0.4	0.179 ± 0.062	0.8	1.1 ± 0.1	0.503 ± 0.177
황강B		0.8	1.3 ± 0.2	0.232 ± 0.073	1.2	1.5 ± 0.1	0.504 ± 0.128
남강A		2.4	5.0 ± 1.5	0.135 ± 0.064	2.5	5.9 ± 1.1	0.169 ± 0.049
남강B		1.8	2.6 ± 0.2	0.217 ± 0.038	1.8	1.9 ± 0.3	0.438 ± 0.130
밀양강A		1.8	3.2 ± 0.4	0.164 ± 0.039	1.8	2.2 ± 0.3	0.367 ± 0.099
밀양강B		1.5	2.8 ± 1.0	0.144 ± 0.081	1.3	1.8 ± 0.2	0.291 ± 0.078

또한 '06년 5월, 8월, 10월 3차에 걸쳐 낙동강 수계 지천 구간들에 대한 실험실 모델계수를 구한결과 표 2에서와 같이 1차 조사인 '06년 5월의 경우 감천하류와 황강 하류에서 각각 0.553 day<sup>-1</sup>, 0.332 day<sup>-1</sup>로 가장 높은 값을 보인 반면 금호강 상류와 밀양강 하류에서 각각 0.067 day<sup>-1</sup>와 0.064 day<sup>-1</sup>로 낮은 값을 보였다. 2차 조사인 '06년 8월의 경우 1차 조사결과와는 다소 다른 경향으로 금호강 상류와 황강 하류에서 0.369 day<sup>-1</sup>와 0.390 day<sup>-1</sup>로 높은 값을 보인 반면 수질이 양호한 내성천 상류와 밀양강 상류에서 낮은 값을 보였다. 3차 조사의 경우 금호강 상류와 하류에서 각각 0.255 day<sup>-1</sup>와 0.266 day<sup>-1</sup>로 높은 탈산소계수를 보였다. '07년 1월의 경우 밀양강에서 0.416 day<sup>-1</sup>로 가장 높은 값을 보인 반면 남강에서 0.102 day<sup>-1</sup>로 가장 낮은 탈산소계수를 보였다. 또한 지점별 탈산소계수 값의 범위를 그림 1에 도식화하여 수록하였으며, 밀양강 상류에서 시기별로 비교적 넓은 탈산소계수 값을 보였다

#### 4. 요약

낙동강 본류 상류의 2005년 4월~2007년 1월까지의 자연수에 대한 평균 탈산소계수 값은  $0.553 \text{ day}^{-1}$ 의 값을 보였다. 중류 구간의 경우  $0.384 \text{ day}^{-1}$ , 하류의 경우는  $0.252 \text{ day}^{-1}$ 을 각각 보였다. 또한 낙동강 본류 상·중·하류의 평균 실험실 탈산소계수 값은 상류  $0.270 \text{ day}^{-1}$ , 중류  $0.289 \text{ day}^{-1}$ , 하류  $0.283 \text{ day}^{-1}$ 로 낙동강 상류의 탈산소계수 값이 다소 높게 조사 되었다.

#### 참고 문헌

- 권순국.(1998). 우리나라 비점원 수질오염 관리의 문제점과 개선방안. 대한환경공학회지 20(11):1497-1510.
- 김상욱. (1995). 토지이용변화에 따른 경안천 유역 토양유실에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 국립환경연구원. (2001). 낙동강 수계별 오염부하량 조사연구 (I)
- 박규석. (1997). 우리나라 하천의 수질현황 및 문제점. 한국수자원학회지. 30, 11.
- 백경원, 김상호, 한건연, 송재우. (1995). QUAL2E에 의한 한강 하류부에서의 수질 해석. 대한토목학회 논문집, 제15권 제2호
- 송동하. (1993). 비용최소화 기법에 의한 하천의 수질관리 방안연구-한강본류구간을 대상으로-. 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문.
- 우효섭 등. (1995). 하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용. 한국수자원공사.
- 윤영삼 등. (2003). 낙동강 유역 소수계별 유달부하량 산정 및 평가모델 개발. 낙동강물환경연구소
- 양상용 등. (2002). 낙동강 수계별 오염부하량 조사연구(II). 낙동강물환경연구소.
- 한건연. (1999). 하천수질 모델링의 이론과 적용. 한국수자원학회지 32(1). 22-31
- Armbose, R.B., Barnwell, T.O., McCutcheon, S.C., and Williams, R.T. (1996). "Computer models for water quality analysis." in Water Resources Handbook (ed. by Mays, L.W.), McGraw-Hill, New York.
- Bhargava. D. S. (1983). Most rapid BOD assimilation in Ganga and Yamura Rivers. ASCE Jour. Env. Eng. 109:174-188.
- Brown, L., T.O. Barnwell, Jr., (1987). The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS : Documentation and User Manual. Report EPA/600/3-87/007. U. S. EPA, Athens, GA.