

낙동강수계에 대한 탄소성 BOD 분해속도연구

윤영삼 · 유재정 · 신찬기
국립환경과학원 낙동강물환경연구소
(2008년 2월 4일 접수; 2008년 7월 10일 채택)

A Study of Carbonaceous BOD Decay Rates for the Nakdong River Water System

Young-Sam Yoon, Jae-Jung Yu and Chan-Ki Shin
Nakdong River Water Environment Research Center, National Institute of
Environmental Research, Goryeong 717-873, Korea
(Manuscript received 4 February, 2008; accepted 10 July, 2008)

Abstract

Deoxygenation process in which CBOD(carbonaceous BOD) is biochemically oxidized to reduced inorganic compounds is of great significance in the oxygen demand of stream waters. The CBOD decay rate has traditionally been determined in a laboratory by CBOD bottle incubation method. But in this study, CBOD decay rates were obtained by laboratory incubation method and natural waters experiment. Average CBOD decay rate for the Nakdong river(upper zone) in natural waters were 0.553 day^{-1} during April 2005 to January 2007. The values in the middle and down parts of the Nakdong river in natural waters were 0.384 day^{-1} and 0.252 day^{-1} at the same period of time, respectively. Average CBOD decay rates using by incubation method in the upper/middle/down parts of the main stream in the Nakdong river basin was 0.270 day^{-1} , 0.289 day^{-1} , and 0.283 day^{-1} during April 2005 to January 2007, respectively.

Key Words : Deoxygenation process, CBOD decay rate, Incubation method

1. 서 론

Bansal¹⁾은 하천에서 산소의 물질수지는 하천에 대한 재폭기 용량, 산소의 침전 및 하천의 흐름 특성에 의존한다고 하였으며, 하천의 산소원은 대기로부터의 재폭기, 광합성에 의한 산소생산 및 외부로부터 산소의 유입의 결과라고 하였다. 또한 용존산소의 감소는 탄소성 및 질소성 유기물의 생화학적 산화, 하상산소요구, 살아 있는 유기생명체의 호흡,

대사, 재생산에 의해 발생한다고 하였다.

Thomas²⁾는 Merrimack River에 대한 산소물질수지에 대한 현장 연구를 통해 대기로부터 재폭기 보다는 광합성에 의한 산소의 공급속도가 훨씬 크다는 연구결과를 발표하였고 다양한 조건에서 탈산소계수를 조사하여 제시하였다. 이와 같이 수질모델에 선도적인 미국의 경우 모델 입력자료의 중요성을 인식하고 1950년대부터 꾸준히 실험을 통한 모델입력 반응계수 연구를 진행하고 있다.

유 등³⁾에 의하면 국내 수계의 경우 수질모델을 적용할 때 실측된 수질모델 입력 자료의 부족으로 인해 대부분 기존 연구자들의 반응계수를 이용하여

무리하게 모델을 보정하거나 현장 특성을 무시한 채 기존의 외국자료를 이용하고 있어 예측결과의 신뢰도가 떨어지고 있다고 하였다. 낙동강 수계 역시 오염총량제 시행, 대권역 물관리종합대책 수립 및 시행, 장기적인 수질관리 대책 수립 등에 수질모델의 활용은 필수적이다. 또한 윤 등⁴⁾에 의하면 낙동강 유역권내의 산업 및 주변 환경이 복잡·광역화 되어감에 따라 환경오염 요인 또한 복잡·다변화되어 이러한 다변적 환경 요인들을 수질모델에 포함시켜 신뢰성 있는 수질모델링 결과를 제시하기 위해서는 모델관련 입력자료의 실측이 대단히 중요하다고 하였다. 이러한 수질모형이 수계에 적용되어 보다 정확한 예측결과를 생성하기 위해서는 다양한 모델입력정보가 보다 정확하게 조사되어야 하며, 입력정보 중에 수질매개변수, 유달부하량 및 유달율은 하천의 특성에 따라 다르게 나타나고 있으며, 특히 낙동강은 유속의 변화가 심하고 산업폐수, 생활하수 및 유입지천 등이 복잡하게 얽혀 있고 비점오염원의 영향도 강하게 나타나고 있어 수질 및 수리적 특성이 국내 다른 하천에 비해 매우 복잡한 양상을 띠고 있다.

그러나 현재까지 낙동강 유역에 대한 신뢰성 있는 체계적인 수질모델 입력자료에 대한 조사가 대단히 미미한 실정이며, 타 수계 역시 모델식에 포함된 반응계수, 유달부하량에 대한 실측자료가 미미하여 수질관리를 위한 수질모델 개발을 통한 오염부하 삭감량 설정 등에 대한 운용에 어려움이 따르고 있다. 그러므로 낙동강 유역의 특성을 최대한 반영한 수질모델을 적용하기 위해 필요한 모델 입력자료는 흐름 및 운동특성 또는 반응특성에 관계하는 수체내부적인 자료와 오염물의 발생 및 전달특성에 관계하는 수체 외부적인 요소 등에 대한 종합적인 조사가 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서는 수체내의 오염물질의 농도 변화를 지배하는 내부적인 요인인 각 오염물질의 반응 관련 계수들 중 CBOD의 분해에 대해 자연수 및 현장에서 시료 채수 후 실험실로 옮겨 시간대 별 시료 분석을 통한 실험실 CBOD 분해속도상수를 낙동강 본류 주요지점 및 주요지천에 대해 조사하여 낙동강 유역에 대한 수질모델링에 입력 자료로 활용할 수 있도록 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 탄소성 BOD의 탈산소 계수

수중에서 산소의 소모는 주로 유기탄소의 분해(CBOD), 퇴적물에서의 소비(SOD, Sediment Oxygen Demand), 질산화(NOD, Nitrogenous Oxygen Demand)에 의해 이루어진다. 일반적으로 수체에서는 유기탄소에 의해 소비되는 산소소비를 CBOD 측정의 해 탈산소계수를 구하고 유기물 자정작용을 평가하게 된다. 이 등⁵⁾ 및 Bowie 등⁶⁾은 탈산소계수는 온도, 유기물의 종류, 미생물의 활성도 등에 영향을 받으며, 분해되기 쉬운 유기물이 많이 포함되어 있는 가정하수의 원수에서는 탈산소계수 값이 크고, 자연상태의 부식물질이 많이 포함되어 있는 지표수에서는 분해속도가 느려져 탈산소계수 값이 작다는 연구결과를 발표하였다.

수중에서 유기물 분해 시 소비되는 산소소비속도는 BOD 연속측정의 방법으로 측정하였다. 시료를 혼합하고 산소를 공급한 후에 여러 개의 BOD 병에 담았다. 이 중 두 개를 사용하여 초기 DO를 측정하였다. 이후 시료를 20℃에서 배양하면서 1, 2, 3, 5, 6, 7일에 한 개씩 BOD 병의 DO를 측정하였다. 일반적으로 질소의 산화는 7일 이후에 발생하는 것으로 알려져 있으며, 암모니아의 농도가 높은 경우에만 유의적으로 발생하므로 본 연구에서 측정된 BOD는 CBOD 인 것으로 간주하였다.

시간대 별로 측정된 CBOD_t 자료는 식(1)을 이용하여 비선형회귀법으로 탈산소계수를 구하였다.

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

여기서, CBOD_t = 시간 t에서 CBOD (mg/L)

BOD_u = 최종 BOD (mg/L)

k = 탈산소계수(day⁻¹), t = 배양시간(day)

현장수온에서 탈산소계수는 아래 식(2)를 이용하여 구하였다. 이 식은 모든 계수의 온도보정에 사용하였다.

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

여기서, k_t = t℃에서 탈산소계수, k₂₀ = 20℃에서 탈산소계수, θ = 온도보정상수 (= 1.05)

또한 자연하천의 특징을 최대한 반영 할 수 있는

자연수에 대한 탈산소계수 조사는 하천 수역구간별 상·하류 2개 구간에서 2시간 간격으로 연속 8회 채수하여 상·하류간의 CBOD 농도차를 이용하여 자연수에 대한 탈산소 계수를 구하여 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 자연수에 대한 탈산소계수(k_d)

자연수에 대한 탈산소계수 조사의 경우 '05년 4월~'07년 1월까지 약 2년간에 걸쳐 진행하였으며, '05년도 연구의 경우 본류를 중심으로 모델계수를 조사하였으며, '06년도 연구에서는 '05년도에 포함되었던 본류 지점은 물론 낙동강 수계 주요지천을 대상으로 자연수에 대한 모델계수를 조사하였다. 상세한 조사지점에 대한 모식도는 Fig. 1에 도시하였다.

Fig. 1에 도시된 바와 같이 자연수에 대한 모델계수 조사의 경우 교량을 이용하여 임하호와 안동댐 방류 후 약 27 km 지점인 단호교 지점을 $Z_0(0 \text{ km})$, 하류 방향으로 지천의 유입이 없는 구담교 지점을 $Z_1(21.4 \text{ km})$ 으로 하여 두 지점의 CBOD 농도 변화(지점별 2시간 간격 총 8회 조사), 유하시간을 실측하여 이들 구간에 대한 자연수에서 탈산소계수를 구하였다. 이와 같은 방법으로 낙동강 본류 상류 단호교에서 하류 구포교까지의 구간에 대한 탈산소계수

를 10회('05년 4월~'07년 01월) 실측한 결과를 종합하여 상류(구담↔구미), 중류(구미↔적포), 하류(적포↔구포)로 구분하여 Table 1에 수록하였다.

Table 1에 수록된 탈산소계수의 경우 수리모형을 이용 유량특성별 유속을 모의 산정하여 이들 값으로부터 구간별 유하시간을 사용하였다. 일반적으로 오염물질이 유입된 후 하류로 이동함에 따라 정작용 등의 효과로 인해 오염도가 낮아지게 된다.

실제적으로 본 연구에서 선정된 낙동강 상류에서 하류까지의 각 구간 구간은 비교적 외부의 유입원이 없는 구간을 선정하였으나 '05년 1차년도 연구의 경우 구간에 따라 오히려 하류 지점의 CBOD 값이 높게 나타나는 경우도 있었다. 이러한 구간에서는 탈산소계수를 구할 수 없기 때문에 하류 지점의 CBOD 값이 높은 경우는 제외하고 자연수에 대한 탈산소계수를 구하였다.

반면 2차년도 연구에서는 지점별로 2시간 간격으로 총 8회에 걸쳐 시료를 채수한 후 조사된 CBOD의 최대값과 최소값을 제외한 6개의 결과를 평균하여 CBOD를 구한 결과 상류에 비해 하류의 CBOD 값이 조사대상 모든 구간에서 낮게 나타났다. 이와 같은 방법으로 구한 자연수에 대한 탈산소계수는 조사 시기별, 구간별로 큰 차이를 보였다.

'05년 4월의 경우 중동교와 낙단교, 풍지교와 상풍교 구간에서 각각 2.545 day^{-1} , 1.409 day^{-1} 로 높은 값을 보였으며, 사문진교와 고령교 구간, 박석진교

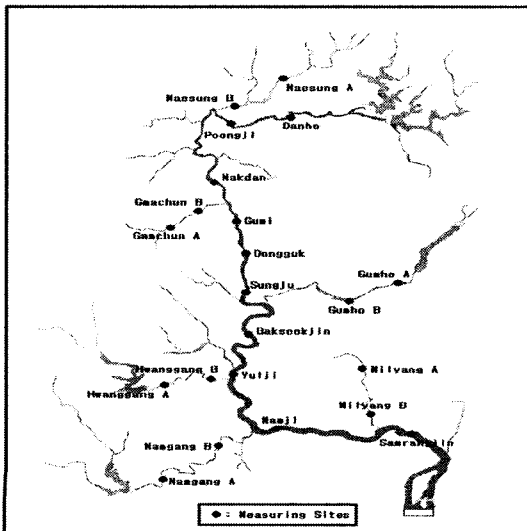


Fig. 1. The illustration of study sites.

Table 1. CBOD decay rate constants of natural streams for Nakdong main stream(k_d)

Year, Month	Deoxygenation constants k_d (day^{-1})		
	Basin Upper(Gudam ↔ Gumi)	Middle(Gumi ↔ Jukpo)	Lower(Jukpo ↔ Gupo)
'05. 4	1.308	0.280	0.664
'05. 6	0.710	0.504	0.091
'05. 7	0.988	0.679	0.057
'05. 9	0.316	0.385	0.407
'05. 11	0.683	0.266	0.313
'06. 1	0.660	0.443	0.573
'06. 5	0.297	0.304	0.118
'06. 8	0.340	0.470	0.173
'06. 10	0.146	0.352	0.043
'07. 1	0.062	0.077	0.082
Average	0.553	0.384	0.252

와 울지교 구간이 각각 0.030 day^{-1} 와 0.038 day^{-1} 로 가장 낮은 값을 보였다. 이는 중동교와 낙단교 구간의 경우 짧은 유하시간에 비해 이들 두 구간 사이의 CBOD 값 차가 크게 조사되어 탈산소계수 값이 높게 산정되었다. '05년 6월의 경우 '05년 4월 낮은 탈산소계수 값을 보였던 고령교와 박석진교 구간에서 1.603 day^{-1} 로 '05년 4월과는 큰 차이를 보였다.

'05년 7월의 경우 특히 구미와 남구미대교 구간에서 2.709 day^{-1} 로 가장 높은 탈산소계수를 보였다. 반면 낙동강 하류의 삼랑진 물금 구간에서 0.030 day^{-1} 로 가장 낮은 탈산소계수를 보였다.

'05년 9월, 11월 및 '06년 1월의 경우는 단호교와 구담교구간에서 각각 0.944 , 0.907 , 0.932 day^{-1} 로 가장 높은 탈산소계수를 보였으며, '06년 5월의 경우 낙단교와 구미대교 구간 및 박석진교와 울지교 구간에서 각각 0.482 day^{-1} , 0.486 day^{-1} 로 높은 값을 보였으며 '06년 8월의 경우 동국교와 성주대교에서 각각 0.477 day^{-1} , 492 day^{-1} 로 높은 탈산소계수 값을 보였다.

'06년 10월의 경우 '06년 8월과 유사하게 동국교와 성주대교의 탈산소계수 값이 높게 나타났다. 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 day^{-1} , 중류 0.077 day^{-1} , 하류 0.082 day^{-1} 를 각각 보였다.

Table 1에 낙동강 본류 구간들을 상·중·하류로 구분하여 자연수에 대한 탈산소계수를 구한결과 낙동강 상류(구담↔구미)의 경우 '05년 4월과 7월이 각각 1.308 day^{-1} 와 0.988 day^{-1} 로 높게 조사되었으며, 9월이 0.316 day^{-1} 로 가장 낮게 조사되었다. 낙동강 본류 상류의 '05년 4월~'07년 1월까지의 평균 탈산소계수 값은 0.553 day^{-1} 의 값을 보였다. 중류(구미↔적포) 구간의 경우 상류와는 다소 다른 경향으로 '05년 7월과 6월이 각각 0.679 day^{-1} 와 0.504 day^{-1} 로 높은 탈산소계수를 보였다. 반면 '05년 11월과 4월의 탈산소계수 값이 각각 0.266 day^{-1} 와 0.280 day^{-1} 로 낮게 조사되었다. 낙동강 본류 중류 수역구간의 평균 탈산소계수 값은 0.384 day^{-1} 로 나타났다. 낙동강 본류 하류(적포↔구포)구간에 대한 탈산소계수 값

은 '05년 4월이 0.664 day^{-1} 로 가장 높은 값을 보인 반면 '05년 7월 0.057 day^{-1} 로 가장 낮은 값을 보였으며, 하류의 평균 탈산소계수 값은 0.252 day^{-1} 로 조사되었다.

낙동강 수계 주요지천의 자연수에 대한 탈산소계수를 본류와 동일한 방법으로 구하여 Table 2에 수록하였다. Table 2의 5월 내성천에 대한 조사결과는 조사당일 내성천 유역에 많은 비가 내려 채수된 물은 흙탕물 상태를 보였다. 따라서 BOD 값 역시 비이상적으로 높은 값을 보임으로서 내성천의 5월 조사결과는 본 연구의 조사결과 내용에 포함시키지 않았다. 내성천을 제외한 낙동강수계 주요 5개 지천

Table 2. CBOD decay rate constants of natural waters in Nakdong branch streams(k_d , A: up-stream, B: down-stream)

'06. 5					
Items	BOD (mg/L)	Ave. flow (m/s)	Distance (km)	Flow time (day)	(k_d , day^{-1})
NaesungchunA↔B	-	0.49	22.9	0.68	-
GamchunA↔B	1.6↔1.1	0.35	16.0	0.53	0.601
GuemhogangA↔B	2.1↔1.7	0.44	16.3	0.43	0.525
HwanggangA↔B	1.5↔1.2	0.43	23.5	0.63	0.354
NamgangA↔B	1.2↔0.7	0.60	46.1	0.89	0.576
MeelyanggangA↔B	1.6↔1.2	0.42	22.1	0.60	0.369
'06. 8					
NaesungchunA↔B	0.6↔0.5	0.56	22.9	0.47	0.384
GamchunA↔B	0.8↔0.4	0.42	16	0.44	1.560
GuemhogangA↔B	2.1↔1.8	0.51	16.3	0.37	0.381
HwanggangA↔B	0.5↔0.4	0.46	23.5	0.59	0.378
NamgangA↔B	2.3↔2.0	0.69	46.1	0.77	0.182
MeelyanggangA↔B	0.8↔0.7	0.51	22.1	0.50	0.267
'06. 10					
NaesungchunA↔B	0.5↔0.3	0.67	22.9	0.40	1.281
GamchunA↔B	0.8↔0.6	0.35	16	0.53	0.538
GuemhogangA↔B	1.2↔0.9	0.44	16.3	0.43	0.673
HwanggangA↔B	1.2↔1.1	0.43	23.5	0.63	0.138
NamgangA↔B	1.6↔1.4	0.60	46.1	0.89	0.150
MeelyanggangA↔B	1.0↔0.7	0.42	22.1	0.60	0.590
'07. 1					
NaesungchunA↔B	2.2↔1.9	0.49	22.9	0.54	0.270
GamchunA↔B	3.2↔2.8	29.9	16.0	0.53	0.250
GuemhogangA↔B	2.9↔2.6	38.2	16.3	0.43	0.255
HwanggangA↔B	1.1↔0.9	37.3	23.5	0.63	0.319
NamgangA↔B	2.3↔2.1	51.8	46.1	0.89	0.102
MeelyanggangA↔B	1.8↔1.4	36.5	22.1	0.60	0.416

에 대한 '06년 5월의 탈산소계수 값을 살펴보면 Table 2에 수록된 바와 같이 감천, 금호강, 남강에서 각각 '06년 5월 0.601 day^{-1} , 0.525 day^{-1} , 0.576 day^{-1} 로 높게 조사되었다. '06년 8월의 경우 '06년 5월에 비해서는 감천을 제외하고는 탈산소계수 값이 낮아졌으며, 감천의 '06년 8월 탈산소계수값은 1.560 day^{-1} 로 대단히 높은 값을 보였다. '06년 10월의 경우 내성천에서 탈산소계수 값이 1.281 day^{-1} 로 가장 높은 값을 보였다. '07년 1월의 경우 밀양강에서 0.416 day^{-1} 로 가장 높은 값을 보인 반면 남강에서 0.102 day^{-1} 로 가장 낮은 탈산소계수를 보였다.

본 연구에서 구한 자연수에 대한 탈산소계수의 경우 '05년 6월 삼랑진에서 물금구간 탈산소계수 0.018 day^{-1} , '05년 4월 중동교에서 낙단교구간 탈산소계수 6.441 day^{-1} 를 제외하고는, Brown과 Barnwell⁷⁾이 제시한 모델계수의 상한(3.4 day^{-1})과 하한(0.02 day^{-1}) 사이의 값을 보였다.

3.2. 실험실 BOD 병에 의한 탈산소계수(k)

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 탈산소계수에서 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 $0.121 \sim 0.218 \text{ day}^{-1}$ 의 범위를 보였으며, 울지교와 적포교 지점에서 각각 0.218 day^{-1} 와 0.215 day^{-1} 로 높게 나타났다. 반면 고령교 지점이 0.121 day^{-1} 로 낮게 나타났다.

2005년 11월 조사인 5차 조사결과는 4차 조사와 유사한 경향으로 구담에서 0.258 day^{-1} 로 가장 낮았으며, 남지와 수산교 지점이 각각 0.305 day^{-1} 와

0.305 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 day^{-1} 로 가장 낮은 탈산소계수를 보였으며, 왜관지점이 0.514 day^{-1} 로 가장 높은 탈산소계수를 보였으며, 7차 조사 시기인 '06년 5월의 경우 성주대교, 구미대교에서 각각 0.433 , 0.419 day^{-1} 로 대단히 높은 탈산소계수를 보였다.

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^{-1} 로 가장 높게 나타났으며, 낙동강 중류권의 고령 지점이 0.157 day^{-1} 값으로 가장 낮은 탈산소계수를 보였다.

4차 조사(9월)의 경우 0.210 day^{-1} (구담교)~ 0.391 day^{-1} (구포)의 범위를 보였으며, 2005년 11월 조사인 5차 조사결과는 4차 조사와 유사한 경향으로 구담에서 0.258 day^{-1} 로 가장 낮았으며, 남지와 수산교 지점이 각각 0.305 day^{-1} 와 0.305 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 day^{-1} 로 가장 낮은 탈산소계수를 보였으며, 왜관지점이 0.514 day^{-1} 로 가장 높은 탈산소계수를 보였으며, 7차 조사 시기인 '06년 5월의 경우 성주대교, 구미대교에서 각각 0.433 , 0.419 day^{-1} 로 대단히 높은 탈산소계수를 보였다.

8차 조사인 '06년 8월의 경우 낙동강 중류권의 성주대교, 왜관대교 등이 탈산소계수 값 0.492 , 0.477 day^{-1} 로 대단히 높은 값을 보였으며, 9차 조사인 '06년 10월의 경우 왜관대교, 성주대교에서 8차 조사와 유사하게 높게 조사되었다. '07년 1월의 10차 조사결과는 낙동강 상류 0.268 day^{-1} , 중류 0.357 day^{-1} , 하

류 0.372 day⁻¹로 각각 조사되었으며, 낙동강 중류권에 위치한 왜관과 성주에서 높게 조사되었다.

Table 3에 수록된 바와 같이 낙동강 본류 상·중·하류 모두 2006년 1월에 조사한 탈산소계수 값이 각각 상류 0.406 day⁻¹, 중류 0.388 day⁻¹, 하류 0.399 day⁻¹로 가장 높게 나타났다. 낙동강 본류 상·중·하류의 평균 실험실 탈산소계수 값은 상류 0.270 day⁻¹, 중류 0.289 day⁻¹, 하류 0.283 day⁻¹로 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.

또한 '06년 5월, 8월, 10월, '07년 1월까지 4차에 걸쳐 낙동강 수계 지천 구간들에 대한 실험실 모델계수를 구한결과 Table 4에서와 같이 1차 조사인 '06년 5월의 경우 감천하류와 황강 하류에서 각각 0.553 day⁻¹, 0.332 day⁻¹로 가장 높은 값을 보인 반면 금호강 상류와 밀양강 하류에서 각각 0.067 day⁻¹와 0.064 day⁻¹로 낮은 값을 보였다. 2차 조사인 '06년 8월의 경우 1차 조사결과와는 다소 다른 경향으로

Table 3. CBOD decay rate constants of BOD incubation method for Nakdong main stream(k₁)

Deoxygenation constants k _d (day ⁻¹)			
Basin Year, Month	Upper(Gudam ↔ Gumi)	Middle(Gumi ↔ Jukpo)	Lower(Jukpo ↔ Gupo)
'05. 4	0.165	0.173	0.178
6	0.309	0.260	0.287
7	0.368	0.277	0.236
9	0.266	0.321	0.334
11	0.271	0.286	0.294
'06. 1	0.406	0.388	0.399
5	0.237	0.279	0.257
8	0.237	0.279	0.257
10	0.162	0.229	0.221
'07. 1	0.268	0.357	0.372
Average	0.270	0.289	0.283

Table 4. CBOD decay rate constants of BOD incubation method for Nakdong branch streams(k₁, A: up-stream, B: down-stream)

'06. 5			
Items Sites	BOD5 (mg/L)	BOD _u (mg/L)	k ₁ (day ⁻¹)
GamchunA	2.5	3.2 ± 1.1	0.256 ± 0.171
GamchunB	2.0	2.2 ± 0.3	0.553 ± 0.196
GuemhogangA	3.2	9.6 ± 9.2	0.067 ± 0.078
GuemhogangB	3.0	3.4 ± 1.1	0.292 ± 0.193
HwanggangA	1.6	1.9 ± 0.2	0.316 ± 0.074
HwanggangB	1.6	1.7 ± 0.2	0.332 ± 0.083
NamgangA	3.2	7.1 ± 2.2	0.107 ± 0.045
NamgangB	1.8	2.5 ± 0.3	0.239 ± 0.056
MeelyanggangA	0.9	1.4 ± 0.4	0.261 ± 0.145
MeelyanggangB	1.4	4.0 ± 3.8	0.064 ± 0.073
'06. 8			
NaesungchunA	0.8	4.4 ± 1.2	0.057 ± 0.182
NaesungchunB	0.6	0.9 ± 0.5	0.177 ± 0.160
GamchunA	0.7	1.5 ± 0.9	0.188 ± 0.206
GamchunB	0.8	1.2 ± 0.1	0.361 ± 0.116
GuemhogangA	1.6	2.3 ± 0.3	0.369 ± 0.146
GuemhogangB	1.5	2.6 ± 0.6	0.364 ± 0.238
HwanggangA	0.7	1.6 ± 0.5	0.209 ± 0.121
HwanggangB	0.7	1.1 ± 2.1	0.390 ± 0.212
NamgangA	2.9	7.2 ± 2.7	0.108 ± 0.058
NamgangB	2.4	4.5 ± 0.9	0.187 ± 0.076
MeelyanggangA	1.0	3.8 ± 1.4	0.065 ± 0.030
MeelyanggangB	1.6	3.2 ± 0.6	0.180 ± 0.067
'06. 10			
NaesungchunA	0.3	2.7 ± 1.8	0.029 ± 0.097
NaesungchunB	0.6	3.0 ± 1.9	0.052 ± 0.038
GamchunA	1.2	2.5 ± 0.5	0.150 ± 0.046
GamchunB	1.3	2.3 ± 0.8	0.155 ± 0.089
GuemhogangA	1.2	1.9 ± 0.2	0.255 ± 0.054
GuemhogangB	0.9	1.3 ± 0.1	0.266 ± 0.043
HwanggangA	1.0	1.9 ± 0.4	0.179 ± 0.062
HwanggangB	0.8	1.3 ± 0.2	0.232 ± 0.073
NamgangA	2.4	5.0 ± 1.5	0.135 ± 0.064
NamgangB	1.8	2.6 ± 0.2	0.217 ± 0.038
MeelyanggangA	1.8	3.2 ± 0.4	0.164 ± 0.039
MeelyanggangB	1.5	2.8 ± 1.0	0.144 ± 0.081
'07. 1			
NaesungchunA	1.3	4.1 ± 2.1	0.067 ± 0.042
NaesungchunB	1.3	2.2 ± 0.6	0.166 ± 0.074
GamchunA	2.4	3.6 ± 0.7	0.239 ± 0.100
GamchunB	1.4	1.7 ± 0.1	0.613 ± 0.144
GuemhogangA	1.8	3.1 ± 1.1	0.250 ± 0.181
GuemhogangB	1.5	2.3 ± 0.6	0.367 ± 0.250
HwanggangA	0.8	1.1 ± 0.1	0.503 ± 0.177
HwanggangB	1.2	1.5 ± 0.1	0.504 ± 0.128
NamgangA	2.5	5.9 ± 1.1	0.169 ± 0.049
NamgangB	1.8	1.9 ± 0.3	0.438 ± 0.130
MeelyanggangA	1.8	2.2 ± 0.3	0.367 ± 0.099
MeelyanggangB	1.3	1.8 ± 0.2	0.291 ± 0.078

금호강 상류와 황강 하류에서 0.369 day⁻¹와 0.390 day⁻¹로 높은 값을 보인 반면 수질이 양호한 내성천 상류와 밀양강 상류에서 낮은 값을 보였다. 3차 조사의 경우 금호강 상류와 하류에서 각각 0.255 day⁻¹와 0.266 day⁻¹로 높은 탈산소계수를 보였다. 4차 조사인 '07년 1월의 경우 감천 하류와 황강 하류에서 각각 0.613 day⁻¹, 0.503 day⁻¹로 높게 나타났으며, 내성천 상류와 하류에서 각각 0.067 day⁻¹와 0.166 day⁻¹로 낮게 조사되었다. 지점별 탈산소계수 값의 범위를 Fig. 2에 도식화하여 수록하였으며, 밀양강 상류에서 시기별로 비교적 넓은 탈산소계수 값을 보였다.

Thomas⁸⁾는 하천에서 탈산소계수는 실험실 BOD 배양법에 의해 측정된 탈산소계수인 k₁과 응집, 침전, 휘발 등에 의한 산소소모계수인 k₃의 합으로 정의할 수 있다는 개념의 연구결과를 제시하였다.

결과적으로 Table 1과 2의 자연수에 대한 탈산소

계수 값에 비해 Table 3과 4의 실험실 BOD 배양법에 의한 실험실 탈산소계수 값이 낮게 조사된 것은 Thomas⁸⁾의 연구결과에서와 마찬가지로 현장 자연수에 대한 탈산소계수의 경우 상·하류 두 지점의 BOD 값의 차는 단순히 BOD 분해에 의해서만 이루어지는 것이 아니기 때문이다. 이는 침전, 대기중 산소의 재포기 등 현장에서 BOD 값의 변화 요인이 실험실에서의 순수 BOD 분해만이 고려되는 실험실 BOD 변화에 비해 높게 나타나기 때문에 자연수에 대한 탈산소계수 값이 높게 나타나게 된다.

4. 결 론

수질모델링 결과의 신뢰도 향상을 위해 수질모델의 수학적 수식에 포함되어 있는 다양한 수질모델 입력자료들 중 탈산소계수에 대한 실험실 및 자연수에 대한 실험적 접근을 시도하였다. 탈산소계수는 수체내의 오염물질 들 중 BOD의 농도 변화를 지배하는 내부적인 요인으로 낙동강 본류 상류의 2005년 4월~2007년 1월까지의 자연수에 대한 평균 탈산소계수 값은 0.553 day⁻¹의 값을 보였다. 중류 구간인 경우 0.384 day⁻¹, 하류의 경우는 0.252 day⁻¹을 각각 보였다. 또한 낙동강 본류 상·중·하류의 평균 실험실 BOD incubation 방법에 의해 조사된 탈산소계수 값은 상류 0.270 day⁻¹, 중류 0.289 day⁻¹, 하류 0.283 day⁻¹로 낙동강 상류의 탈산소계수 값이 다소 높게 조사 되었다. 지천의 경우 0.029~0.613 day⁻¹값으로 조사시기별, 지점별로 큰 차이를 보였다. 그러나 조사대상 모든 지천에서 시기별, 지점별로 조사된 탈산소계수 값은 Brown과 Barnwell⁷⁾이 제안한 탈산소계수의 하한과 상한 범위에 포함되었다.

또한 본연구를 통해 도출된 결과는 낙동강 유역에 대한 실측 모델계수 제공을 통한 신뢰성 있는 수질모델링을 가능케 하였으며, 낙동강 유역특성에 적합한 수리 및 수질 모형에 필요한 기초자료를 제공하였다. 아울러 낙동강 대권역 종합대책 및 오염총량관리 시행 등에 필요한 정교한 모델 입력자료로 활용가능하며, 수질모델 프로그램 개발에 있어서 보다 신뢰성 있는 수질 및 모델계수 자료로 활용 가능한 결과를 제시하였다.

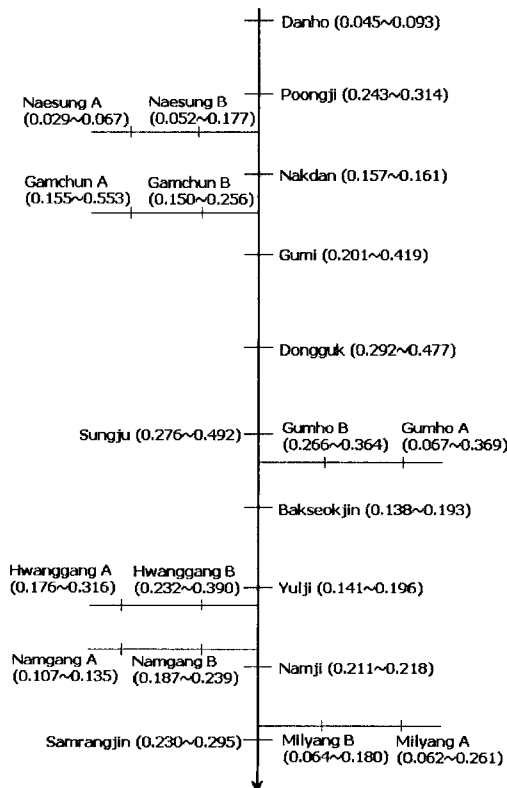


Fig. 2. The range of CBOD decay rate constants using BOD incubation method.

참 고 문 헌

- 1) Bansal M. K., 1975, Deoxygenation in natural streams, Water Res. Bulletin, 11(3), 491-504.
- 2) Thomas R. C., 1965, Field estimates of oxygen balance parameters, J. Sanitary Eng. Div., 91(SA5),1-16.
- 3) 유재정, 윤영삼, 김문수, 신찬기, 박제철, 2006, 낙동강 수계에 대한 통합적 수질모델 입력자료 조사 연구, 낙동강수계관리위원회, 324pp.
- 4) 윤영삼, 유재정, 김문수, 이해진, 양상용, 2003, 낙동강 유역 소수계별 유달부하량 산정 및 평가모델 개발, 국립환경과학원 연구보고서, 273pp.
- 5) 이종빈, 김범철, 황순진, 박제철, 2004, 낙동강수계 수중생태계 수질모델 인자 조사(II), 국립환경연구원, 288pp.
- 6) Bowie G. L., Mills W. B, Porcella D. B., Campbell C. L., Pagenkopf J. R., 1985, Rates, Constants and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling, EPA, 455pp.
- 7) Brown L., Barnwell T. O. 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, 189pp.
- 8) Thomas H. A. Jr., 1948, Pollution load capacity of streams, Water and Sewage Works Journal, 95, 409-414.