

관측간격에 따른 COD 오염부하 추정오차 분석 Estimation Error Analysis on the COD Loads due to the Sampling Intervals

조홍연* · 조범준** · 김영호***

Hong Yeon Cho*, Beom Jun Cho** and Young Ho Kim***

요 지 : 낙동강 하구둑 지점의 1일 수량 및 COD 농도 관측자료를 이용하여 산정한 오염부하량을 기준(기준 오염부하량)으로 하여 관측간격에 따른 월별 및 연별 COD 추정 오염부하 변화와 수량 및 수질변화를 분석하였다. 수량 및 수질 변화비율을 이용한 영향인자 분석결과, 오염부하 양상은 흐름 강주도형(오염부하 추정에 흐름의 영향이 매우 큰 경우)으로 파악되었다. 또한, 관측간격 변화에 따른 추정 오염부하를 분석한 결과, 평균은 관측간격에 따라 큰 차이를 보이고 있지는 않으나, 표준편차가 관측일수가 증가함에 따라 뚜렷한 증가양상을 보인다. 월 평균 수량 및 수질자료를 이용하여 추정한 오염부하량은 평균적으로 100% 정도, 특히 하계에는 300~400% 정도의 추정오차가 발생할 수 있는 것으로 파악되었다. 따라서, 월평균 자료를 이용한 오염부하 추정은 신뢰수준이 매우 낮기 때문에 적어도 10~20일 이내의 관측간격 자료를 이용하여 추정하는 것이 권장되며, 하계의 수량은 1일 간격이 필수적이며, 수질농도는 5~7일 정도의 관측간격이 요구된다.

핵심용어 : 오염부하, 추정 오차, 관측간격, 영향인자, 낙동강 하구

Abstract : The change patterns of the water quantity, water quality(WQ, exclusively COD in this study) and monthly / annual pollutant loads(PL) estimated using the daily effluent discharges and WQ measurement data are analyzed in the Nakdong river estuarine seadike. The contribution factor defined by the ratio of the water quantity range and WQ range shows that the PL pattern in this estuary is classified as the strongly flow(water quantity)-dominated situation. The estimated PL(EPL)s with respect to the increasing sampling periods, e.g., 2-days, 5-days, 7-days, and so on, show that the mean values of the EPLs remain nearly same, whereas the standard deviations of the EPLs have an obvious increasing trend. The PL values using the monthly-averaged water quantity and WQ measurement data could have approximately 100% estimation error in annual mean and 300~400% estimation errors in summer season because its confidence level is relatively low. It is recommended that the PL should be estimated using at least 10~20 day interval data sets and also the water quantity(river discharges) and WQ should be measured at the intervals of at least 1 day interval and 5 to 7 days, respectively in summer.

Keywords : pollutants loads, estimation error, sampling intervals, contribution factor, Nakdong river estuary

1. 서 론

연안해역의 환경변화를 정확하게 예측하기 위해서는 환경변화에 영향을 미치는 인자, 즉 육상에서 발생하는 오염물질의 해역으로의 부하량에 대한 시간적·공간적인 변화양상 및 정확한 오염부하량 추정이 중요한 부분을 차지하

고 있다. 육상기인 오염 부하량을 정확하게 추정하기 위해서는 육상에서 배출되는 오염물질의 이동경로 및 수량·수질에 대한 정보가 수량 및 수질의 시간적·공간적인 변동양상을 반영할 수 있는 빈도로 관측되어야 한다. 그러나, 현재 수행되고 있는 오염부하량 추정방법은 비용 및 인력의 제한으로 인하여 추정방법의 신뢰도 및 정확도에 대한 검

*한국해양연구원 연안개발연구본부 책임연구원(hycho@kordi.re.kr)

**한국해양연구원 연안개발연구본부 연수연구원(Corresponding author : Beom Jun Cho, Coastal Engineering Research Department, Korea Ocean R&D Institute, Ansan PO Box 29, Seoul 425-600, Korea. bjcho@kordi.re.kr)

***한국해양연구원 연안개발연구본부 선임연구원(yhkim@kordi.re.kr, Young Ho Kim)

증 없이 월별 관측자료를 이용하여 추정하는 경우가 대부분을 차지하고 있다(Dai et al., 2000; 조 등, 2004; Cerco et al., 2004). 연속적인 수량자료와 간헐적인 수질자료를 이용하여 수량·수질 상관관계를 분석하여 오염부하량을 추정하는 경우도 있으나, 상관관계가 낮은 경우에는 적용이 곤란한 단점이 있다(조 등, 2004). 해역의 환경변화를 예측하기 위하여 추정된 오염부하량이 큰 오차를 가지고 있는 경우에는 정확한 해역 환경변화 예측이 불가능하며, 잘못된 분석결과를 제시할 수도 있기 때문에 오염부하량을 정확하게 추정하는 작업은 해역환경 변화 예측 및 환경개선 사업의 정량적인 효과분석 평가에 매우 중요한 위치를 차지하고 있다(조·채, 1998, 1999; 조 등, 2004).

본 연구는 낙동강 연안해역의 COD 오염부하 추정오차를 분석하고, 신뢰수준(허용 가능한 오차범위)에 따른 수량 및 수질의 관측간격 제시를 목적으로 수행하였다. 본 연구에서 사용한 자료는 한국수자원공사에서 관리하고 있는 낙동강 하구둑의 일평균 방류량 자료와 해양수산부에서 제공하는 일평균 COD 농도 자료이다.

그리고, 관측간격을 1일부터 90일까지 단계적으로 증가시켜 가며 관측간격 변화에 대한 오염부하량을 각각 산정하고, 관측간격 1일 자료를 이용하여 추정된 오염부하량(가장 정확한 오염부하량으로 가정, 기준 오염부하량)을 기준으로 각각의 관측간격에 대하여 산정된 오염부하량과 기준 오염부하량과의 차이, 즉 추정오차를 분석하였다.

2. 수량 COD 농도변화 분석 및 기준 오염부하 추정

2.1 오염부하 추정 방법

오염부하량(P)은 식 (1)과 같이 수량(Q)과 수질(c)의 곱으로 산정할 수 있다(Thomann and Mueller, 1987). 수량 및 수질의 시간적인 변화가 없는 경우(steady state)에는 1~2회 정도의 관측자료를 이용하여 오염부하를 추정하는 방법이 별 문제가 없으나, 수량 및 수질의 시간적인 변화가 있는

경우에는 시간적인 편차성분의 영향을 받기 때문에 일정한 기간의 수량 Q(t) 및 수질 c(t) 자료를 평균하여 추정하는 방법은 평균기준 편차성분(Q', c')이 반영되어 있지 않고, 관측자료가 시간적인 변동에 따른 대표성을 가지지 못하기 때문에 상당한 오차를 수반하게 된다. 수질항목의 농도는 공간적인 변화(수심방향 농도변화, 하천의 폭 방향 농도변화 등)도 중요한 요소이나, 본 연구에서는 생략하였다. 공간적인 농도변화는 확산계수의 도입으로 처리하는 방법이 널리 이용되고 있으나, 관측 자료를 이용하여 검토하는 과정이 필수적이다. 식 (1)에서 86.4는 단위환산계수이고, 식 (2)에서 overbar는 오염부하 추정기간의 평균이다.

$$P(\text{kg/Day}) = 86.4 \cdot Q(\text{m}^3/\text{sec}) \cdot c(\text{mg/L}) \quad (1)$$

$$P = \sum [Q(t) \cdot c(t)] = \overline{Qc} + (\overline{Q'c'}) \approx \overline{Qc} \quad (2)$$

2.2 수량 및 COD 농도변화 분석과정

분석 대상으로 하는 낙동강 하구둑 방류량 자료는 국가수자원관리종합정보시스템 홈페이지(www.wamis.go.kr)·댐수문자료에서 제공되고 있으나, 2006년도 결측자료가 많고 신속한 자료 제공에 따른 시간적인 제약으로 품질관리가 미수행된 자료가 있는 것으로 파악(2006년 5월말~6월초, 9월중순 등)되어 낙동강 하구둑 수문정보 관리 담당자에게서 품질관리가 수행된 자료를 제공 받아 이용하였다. WAMIS 제공자료를 사용하기 위해서는 자료관리 담당자의 자료 신뢰수준 및 품질검증 등에 대한 문의가 필요할 것으로 사료된다. 수질 관측자료는 해양수산부(해양환경과)에서 해양오염원격감시 체계구축 사업(한국해양연구원, 2005)의 일환으로 추진되고 있는 ‘해양수질자동측정망’ 운영사업을 통하여 연속적으로 오염물질의 농도를 관측하고 있으며, 관측자료를 실시간으로 제공(해양환경포탈서비스, www.meps.go.kr/tmsinfo/default.asp)하고 있는 자료 중에서 2005년~2006년 낙동강 하구(낙동강 하구둑 지점)에서 연속적으로 관측된 COD 일평균 농도자료이다. COD 일평균 농도자료의 관측기간은 2003년 1월 1일부터 2006년 12월 31일까지이다.

Table 1. Percentage of COD Missing Data

Year	Numbers			Missing percentage
	Total Possible Data	Available Data	Missing Data	
2003	365	177	188	51.51
2004	366	63	303	82.79
2005	365	272	93	25.48
2006	365	333	32	8.77
2005~2006 (in this Study)	730	605	125	17.12
2003~2006 (Total Data)	1,461	845	616	42.16

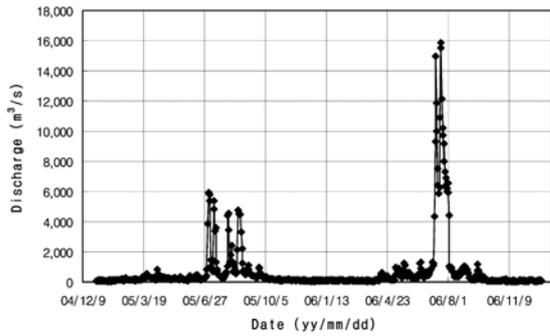


Fig. 1. Discharge change patterns in Nakdong River estuary (2005~2006).

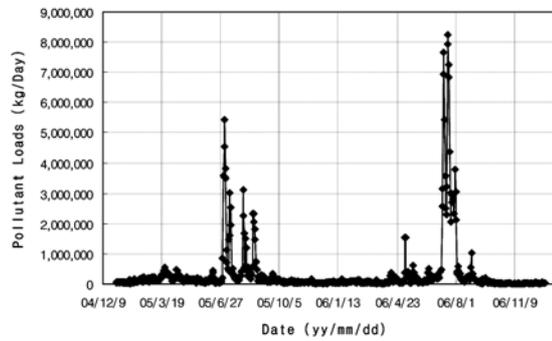


Fig. 3. Reference pollutants load change patterns in Nakdong River estuary.

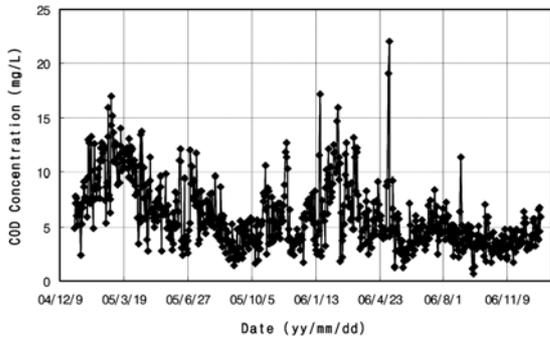


Fig. 2. COD concentration change patterns (2005~2006).

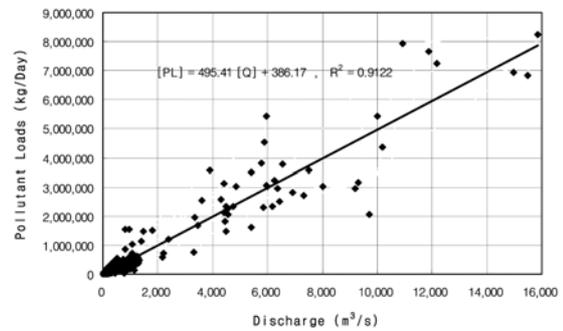


Fig. 4. Scatter plot between the pollutants loads and discharge.

특히, 2003년과 2004년의 관측일수에 따른 COD 농도자료의 결측비율이 50% 이상으로, 결측자료 추정이 곤란하여 자료 결측비율이 상대적으로 적은 2005년과 2006년의 2년 동안을 본 연구의 분석기간으로 결정하여 결측자료를 추정·보완하였다. 또한, 관측간격에 따른 결측비율이 가장 적은 2006년도는 8.77%로 10% 미만의 결측비율을 나타내고 있다(Table 1). 1일 COD 농도자료에서 결측구간에 해당하는 자료는 결측구간의 선형보간결과에 가용한 자료의 편차 변동성분을 반영하는 수정선형보간기법(조 등, 2007)을 이용하여 자료를 보완하였다. 수량 및 COD 농도 자료의 시간적인 변동양상은 각각 Fig. 1과 2에 제시되어 있다. COD 농도관측의 1일 자료는 2시간 간격으로 측정되었으나, 본 연구에서는 가용한 1일 자료를 모두 산술평균하여 1일 자료로 환산하여 오염부하량 산정·분석에 이용하였다(Fig. 3).

2.3 오염부하와 수량 및 수질의 상관관계 분석

본 연구에서 추정하는 COD 오염부하와 수량, 수질의 상관관계를 분석하였다. 상관관계 분석은 산포도(결정계수)를 이용하여 수행하였다(Fig. 4-6). COD 오염부하와 하구둑

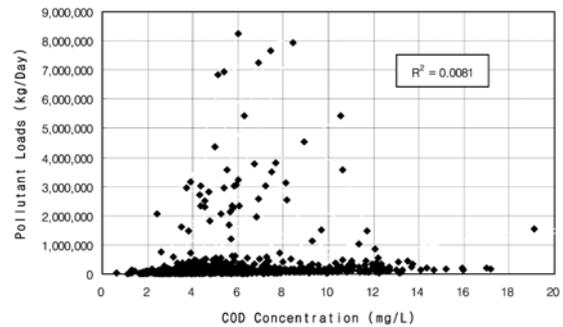


Fig. 5. Scatter plot between the pollutants loads and COD concentration.

방류량(수량)과는 매우 높은 상관관계(결정계수 = 0.9122)를 보이는 것으로 파악되었으나, COD 오염부하와 COD 농도 그리고 수량과 COD 농도의 상관관계는 매우 낮은 것으로 파악되었다(결정계수는 각각 0.0081, 0.0007). 즉, 조 등(2007)의 오염부하 영향인자(contribution factor, R_{QC}) 측면에서 분석하면, 낙동강 연안지역의 오염부하는 수량 강주도형으로 판단된다. 오염부하 영향인자(=수량변동비율/수질변동비율)는 수질 변동범위에 대한 수량의 변동범위의 비

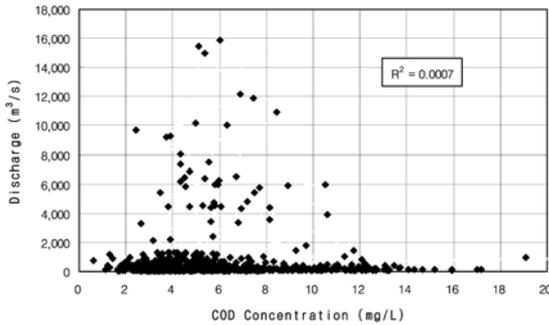


Fig. 6. Scatter plot between the discharge and COD concentration.

율로 정의되며, 수량 및 수질자료(전체자료)의 변동범위는 이상자료(Outlier) 영향을 저감하기 위하여 전체 자료의 상위 5%, 하위 5% 자료를 제외한(trimmed) 자료(변동비율 분석에 사용한 자료) 중에서 최소값에 대한 최대값의 비율로 나타내며, 수량의 경우 $4,318/44 = 98.1$, 수질(COD)의 경우 $12.09/2.41 = 5.02$ 로 오염부하 영향인자는 수량변동범위/수질변동범위 = $98.1/5.02 = 19.54 > 10$ (수량 강주도형 인자)정도로 파악되었다.

3. 관측간격에 따른 오염부하 추정오차

3.1 COD 오염부하 추정 과정

본 연구에서 검토하는 오염부하량 추정기법은 매우 간단한 개념으로, 현재 일반적으로 사용하고 있는, 관측·활용하고 있는 월 단위 기준 오염부하량 추정에 이용되는 자료보다 시간간격이 짧은 자료(본 연구에서는 일단위, 정확한 오염부하량은 관측시간간격이 이론적으로 0.00으로 접근하는 경우)를 이용하면 상대적인 오차를 분석할 수 있다. 오염부하량 추정오차는 1일 관측자료를 이용하여 계산한 기준 오염부하량을 참값으로 하고, 관측간격을 1일부터 2일, 3일, 5일, 7일, 15일, 20일, 30일, 60일, 90일까지 늘려가면서 계산한 오염부하량을 근사값으로 하여 오차를 분석하였다.

오염부하량 추정오차 분석과정은 다음과 같다.

1 단계. 일자료를 이용한 기준 오염부하량을 계산한다(Fig. 3참조).

2 단계. 관측간격에 따른 수량·수질자료 추출(2일 간격부터 90일 간격), 관측간격이 1일인 경우에는 수량·수질 각각 365개의 자료가 이용되고, 하나의 기준 오염부하량이 계산되며, 관측간격이 2일인 경우에는 수량·수질 각각 183개의 자료가 이용되며 2개의 오염부하량이 계산된다. 한편, 30일 간격인 경우에는 수량·수질자료는 12개가 이용되며, 30

개 정도의 오염부하량이 계산된다.

3 단계. 관측간격에 따른 오염부하량 평균, 분산 및 수량·수질자료의 기본적인 통계정보를 산정한다.

4 단계. 관측간격에 따른 통계정보의 변화양상을 도시·분석한다.

3.2 관측간격에 따른 월평균 오염부하 추정범위 분석

관측간격의 변화는 분석자료의 변화(자료의 수 및 시간 간격 등)를 유발한다. 2일 간격으로 추출한 오염부하량 자료는 가용자료에서 2일 간격(시작은 자료의 첫째날, 둘째날)으로 추출한 중복되지 않는 자료(추출자료의 시작이 셋째날, 네째날인 것은 각각 첫째날, 둘째날 자료의 중복으로 간주; 가능한 자료세트는 2세트[($Q_{2-1}, C_{2-1}, P_{2-1}; Q_{2-2}, C_{2-2}, P_{2-2}$); 처음첨자는 관측간격, 두 번째 첨자는 자료세트의 번호를 의미하며, 이하 동일한 첨자 체계적용]. 자료의 개수는 전체자료의 개수/표본추출간격 = $730/2 = 365$ 개)를 나타낸다. 3일 간격으로 추출한 오염부하량 자료는 가용자료에서 3일 간격(시작은 자료의 첫째날, 둘째날, 세째날)으로 추출한 중복되지 않는 자료(가능한 자료세트는 3세트; 자료의 개수는 전체자료의 개수/표본추출간격 = $730/3 = 243$ 또는 244개)이다. 또한, 7일(일주일) 간격으로 추출한 오염부하량 자료는 가용자료에서 7일 간격(시작은 자료의 첫째날, 둘째날, ... 일곱번째날)으로 추출한 중복되지 않는 자료(가능한 자료세트는 7세트; 자료의 개수는 전체자료의 개수/표본추출간격 = $730/7 = 104$ 또는 105개)이다. 30일(월) 간격으로 추출한 오염부하량 자료는 가용자료에서 월 간격(시작은 자료의 첫째날, 둘째날, ... 해당월의 마지막날)으로 추출한 중복되지 않는 자료(가능한 자료세트는 30세트[($Q_{30-1}, C_{30-1}, P_{30-1}; \dots, Q_{30-30}, C_{30-30}, P_{30-30}$); 자료의 개수는 전체자료의 개수/표본추출간격 = $730/30 = 24$ 또는 25개)를 의미한다.

관측간격에 따른 COD 오염부하량은 위에서 설명한 바와 같이 산정했고, 월별 최대·최소 COD 오염부하량은 전체자료의 개수가 각각의 관측간격 일수에 따라 가능한 자료세트의 개수만큼이나 만들어지는데 이 전체자료의 개수 중에서 월별 COD 오염부하의 최소값과 최대값이 결정된다. 다시 말해서, 관측간격이 2일인 경우에는 2세트의 오염부하량이 산정되는데 이 중에서 큰 값이 월별 COD 오염부하량의 최대값이 되고, 나머지 하나가 최소값이 된다. 관측간격이 3일인 경우에는 3세트의 오염부하량이 산정되고, 이 세 개 중에서 가장 큰 값이 월별 최대 COD 오염부하량이 되고, 가장 작은 값이 월별 최소 COD 오염부하량이 된다. 또

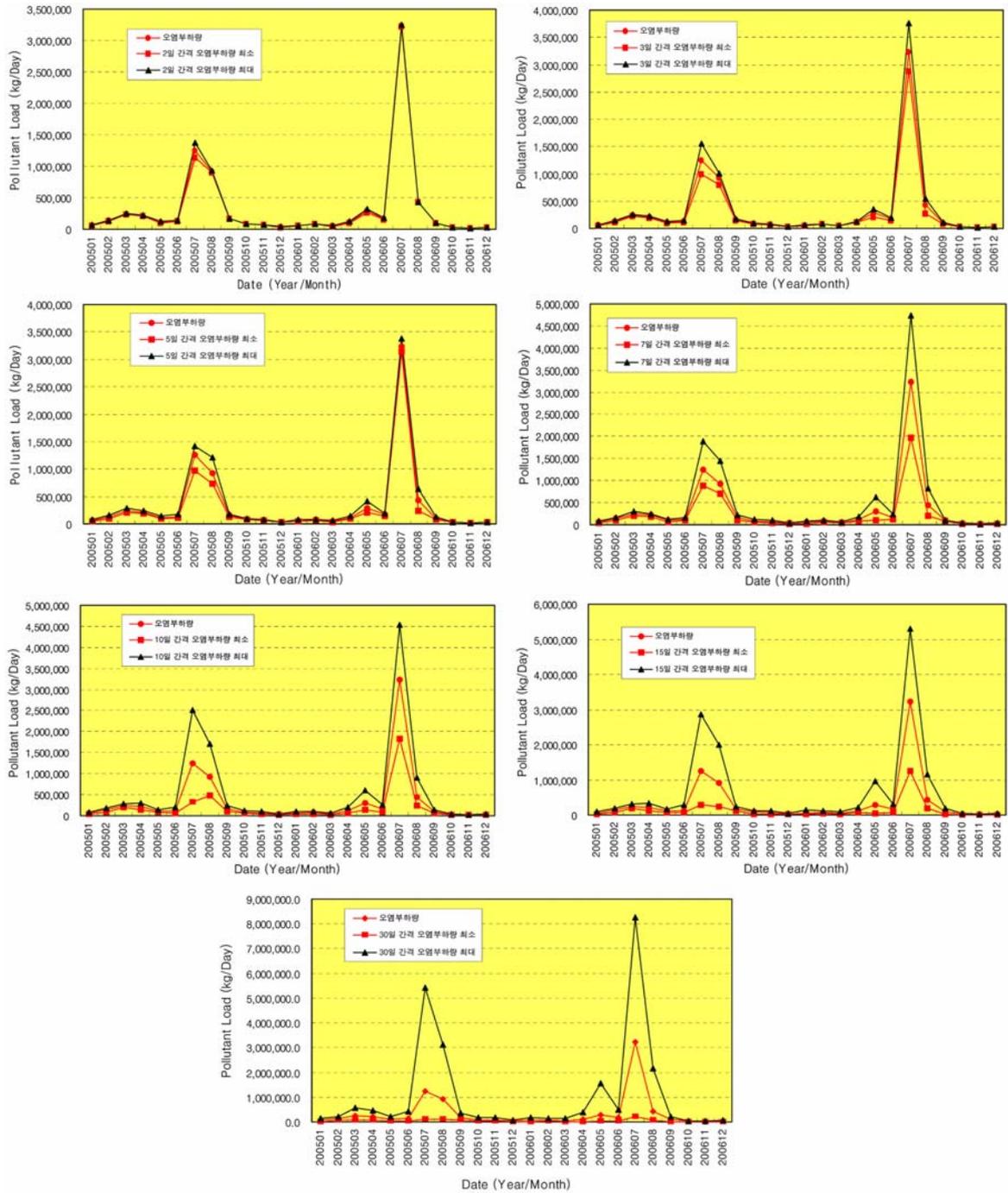


Fig. 7. Monthly COD pollutant load ranges due to sampling periods.

한 관측간격이 7일인 경우도 마찬가지로 7세트의 오염부하량이 산정되는데 이 일곱 개의 COD 오염부하량에서 가장 큰 값이 월별 최대 COD 오염부하량이 되며, 가장 작은 값

이 월별 최소 COD 오염부하량이 된다. 관측간격이 30일인 경우도 마찬가지이다.

1일 관측자료를 이용하여 산정한 2005년과 2006년 일평

균 오염부하량은 각각 286,901(kg/Day), 389,018(kg/Day) 정도이다. 2005년과 2006년 일별 관측자료인 낙동강 하구 독 방류량(수량)과 COD 농도로 산정한 일별 COD 오염부하량을 현 상황에서 가능한 가장 정확한 오염부하량(기준 오염부하량)으로 가정하였다. 그리고, 관측간격을 단계적으로 증가시켜 가며 일별 오염부하량의 범위를 산정하여 기준 오염부하량과 대비하여 도시하였다(Fig. 7).

오염부하 변화양상을 보면, 2005년 7월과 2006년 7월의 COD 오염부하가 가장 크게 나타났다. 관측간격 일수가 다르더라도 2005년 6월~9월과 2006년 6월~9월 기간 동안의 COD 오염부하가 다른 기간의 COD 오염부하보다 월등하게 많다는 사실을 알 수 있으며, 이 시기를 제외한 다른 시기의 기준 COD 오염부하와 최대·최소 COD 오염부하 차이가 상대적으로 미미하다. 그 이유는 낙동강 연안지역의 오염부하가 수량 강주도형으로 파악되었으며, 강우가 집중되어서 수량이 오염부하에 미치는 영향이 매우 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 관측간격 일수가 늘어날수록 기준 오염부하와 최대·최소 COD 오염부하 차이가 크게 나

타고 있다. 관측간격이 7일 미만일 경우에는 기준 오염부하가 최대·최소 COD 오염부하의 평균값으로 유지되고 있지만, 7일 이상인 경우에는 최대·최소 COD 오염부하는 평균값에 비하여 상당한 비율로 증가·감소하는 경향을 보이고 있으나, 절대적인 COD 오염부하는 최대 오염부하가 매우 크게 증가하고 있는 것으로 파악되었다.

3.3 관측간격에 따른 연평균 오염부하 추정오차 분석

연간 일평균 오염부하 추정오차를 관측간격에 따라 기준 오염부하량 대비 추정 오염부하의 범위, 표준편차, 상대오차를 이용하여 분석하였다(Table 2). 관측간격이 증가할수록 월별 오염부하 양상과 동일하게 추정 오염부하 범위가 증가하는 양상을 보였다. 평균은 관측간격에 따라 큰 차이를 보이고 있지는 않으나, 표준편차는 관측간격이 증가함에 따라 뚜렷한 증가양상을 보이고 있기 때문에 동일한 신뢰수준에 따른 오염부하 신뢰구간(신뢰구간은 변수의 표준편차에 비례)이 증가하게 된다.

한편, 관측간격에 따른 추정 오염부하의 최대값 및 최소

Table 2. Statistical information of the pollutants loads due to sampling intervals (Unit : kg/Day)

Sampling interval	2005				Relative Error(%)		
	Min. Value	Max. Value	Mean	Standard deviation	Min.	Max.	Mean
1-Day	286,901	286,901	286,901	-			
2-Day	280,832	292,937	286,884	8,559	-2.1	2.1	0.0
3-Day	268,923	297,466	287,518	16,116	-6.3	3.7	0.2
5-Day	267,932	305,978	286,901	14,166	-6.6	6.6	0.0
7-Day	250,397	329,851	286,998	29,420	-12.7	15.0	0.0
10-Day	174,287	416,487	286,634	98,591	-39.3	45.2	-0.1
15-Day	184,525	390,237	287,015	58,169	-35.7	36.0	0.0
20-Day	134,104	470,969	286,398	101,255	-53.3	64.2	-0.2
30-Day	129,984	650,491	286,026	137,082	-54.7	126.7	-0.3
60-Day	107,616	857,762	283,834	179,806	-62.5	199.0	-1.1
90-Day	84,038	1,176,768	281,409	249,933	-70.7	310.2	-1.9

Sampling interval	2006				Relative Error(%)		
	Min. Value	Max. Value	Mean	Standard deviation	Min.	Max.	Mean
1-Day	389,018	389,018	389,018	-			
2-Day	379,466	398,622	389,044	13,545	-2.5	2.5	0.0
3-Day	355,343	429,724	389,880	37,473	-8.7	10.5	0.2
5-Day	351,131	433,948	389,018	30,833	-9.7	11.5	0.0
7-Day	292,073	486,339	389,215	74,132	-24.9	25.0	0.1
10-Day	252,170	585,246	388,465	114,329	-35.2	50.4	-0.1
15-Day	192,942	529,958	389,071	94,035	-50.4	36.2	0.0
20-Day	213,047	678,735	389,588	153,707	-45.2	74.5	0.1
30-Day	105,476	823,593	390,653	197,396	-72.9	111.7	0.4
60-Day	78,909	1,523,595	392,881	390,900	-79.7	291.7	1.0
90-Day	41,833	2,135,996	393,187	516,638	-89.2	449.1	1.1

값, 평균값을 이용하여 상대오차를 분석하였다(Table 2). 상대오차는 표준편차의 증가양상과 유사한 양상을 보였으며, 오염부하 추정치 중에서 최대치의 상대오차가 최소치의 상대오차보다 다소 크게 나타나는 것으로 파악되었다. 2005년의 추정 오염부하는 7일 간격 이상인 경우 10% 상대오차를 상회하였으며, 2006년 추정 오염부하는 최대 오염부하의 경우 7일 간격 이전에 10% 정도를 상회하였으나, 최소 오염부하는 7일 간격부터 상대오차 10% 수준을 상회하였다. 따라서, 상대오차가 10% 이하 수준을 만족하기 위하여 필요한 분석기간(관측간격)은 5일 이내로 파악되었으며, 환경부 고시(특정요일이 연속되지 않는 7일 이상의 간격으로 연간 30회 이상)를 기준으로 사용하는 경우(8~12일 간격정도이므로 10일 간격으로 간주)의 상대오차는 평균적으로 40%를 약간 상회하는 수준에 해당한다. 또한, 자료의 가용성 등으로 인하여 월별자료(30일 간격)를 이용하여 오염부하를 추정하는 경우에는 100% 정도의 상대오차를 가지는 것으로 파악되었다. 연간 일평균 오염부하 추정 상대오차는 월별 오염부하 추정 상대오차를 평균한 값이기 때문에 월별 오염부하 변동이 심한 하계에는 상대오차가 보다 더 크게 나타나고 있는 것으로 파악되었다.

월평균 수량 및 수질자료를 이용하여 추정한 오염부하량은 평균적으로 100% 정도, 특히 하계에는 300~400% 정도의 추정오차가 발생할 수 있는 것으로 파악되었다. 따라서, 월평균 자료를 이용한 오염부하 추정은 신뢰수준이 매우 낮기 때문에 적어도 10~20일 이내의 관측간격 자료를 이용하여 추정하는 것이 권장되며, 하계의 수량은 1일 간격이 필수적이며, 수질농도 관측간격은 5~7일 정도의 관측간격이 요구된다.

4. 결론 및 제언

관측간격 일수에 따른 월별 추정 오염부하 변화를 분석한 결과, 관측간격 일수가 늘어날수록 기준 오염부하와 최대·최소 COD 오염부하 차이가 크게 나타나고 있다. 관측간격이 7일 미만일 경우에는 기준 오염부하가 최대·최소 COD 오염부하의 평균값으로 유지되고 있지만, 7일 이상인 경우에는 최대·최소 COD 오염부하는 평균값에 비하여 상당한 비율로 증가·감소하는 경향을 보이고 있으나, 절대적인 COD 오염부하는 최대 오염부하가 매우 크게 증가하고 있는 것으로 파악되었다.

하천 및 연안 환경예측변화에 중요한 입력자료에 해당하

는 오염부하량 추정오차는 본 연구에서의 경우, 일자료를 이용하여 산정한 오염부하량을 기준으로 하였으며, 평균은 관측간격에 따라 큰 차이를 보이고 있지는 않으나, 표준편차는 관측간격이 증가함에 따라 뚜렷한 증가양상을 보이고 있기 때문에 동일한 신뢰수준에 따른 오염부하 신뢰구간(신뢰구간은 변수의 표준편차에 비례)이 증가하게 된다. 월평균 수량 및 수질자료를 이용하여 추정한 오염부하량은 평균적으로 100% 정도, 특히 하계에는 300~400% 정도의 추정오차가 발생할 수 있는 것으로 파악되었다. 따라서, 월평균 자료를 이용한 오염부하 추정은 신뢰수준이 매우 낮기 때문에 적어도 10~20일 이내의 관측간격 자료를 이용하여 추정하는 것이 권장되며, 하계의 수량은 1일 간격이 필수적이며, 수질농도 관측간격은 5~7일 정도의 관측간격이 요구된다.

한편, 보다 정확하고 신뢰성 있는 오염부하량 추정이 곤란한 이유는 원하는 지점에서의 연속적인 수량자료도 미흡하지만, 연속적인 수질자료가 매우 미흡하기 때문이다.

최근에는 센서를 이용한 연속적인 수질관측 등이 수행되고 있으나, 센서관측이 용이한 수온, TDS, 염분, DO, pH, 탁도(NTU≒SS) 등의 항목으로 제한되어 있다. 실질적으로 환경관리 대상 오염물질 항목에 해당하는 COD, TN, TP 항목 등은 최근 자동채수 및 분석장비를 이용하여 관측하는 경우가 있으나, 장기적인 자료 및 대부분의 자료는 월별 자료이다. 따라서, 오염부하량 추정은 월별 수질자료를 이용하여 추정하는 방법 이외에는 근본적인 개선은 곤란한 상황이었다. 그러나, 정확한 오염부하량 추정과 경제적인 상황은 무관하기 때문에, 현 상태에서는 본 연구 성과를 포함한 다양한 수량 및 수질변동 특성을 포함한 연구성과를 참조하여 현재 환경변화 예측에 활용하고 있는 오염부하량의 신뢰수준을 필수적인 고려사항으로 포함하여야 할 것이며, 향후 중요한 지점을 대상으로 연속적인 수질관측, 즉 수질의 시간적인 변동 상황을 파악할 수 있는 정도의 빈도, 원하는 신뢰도의 오염부하량을 추정할 수 있는 관측빈도로 수질을 측정하여야 하며, 수량 관측도 병행하여야 할 것이다.

또한, 최근 점오염원의 차단이 어느 정도 진전을 보이고, 비점오염원의 차단이 중요한 정책사안 및 연구주제로 부각되고 있는 상황에서 비점오염원 연구는 강우에 의한 영향이 지배적이기 때문에 일단위 이하(시간, 30분 또는 10분 단위 정도)의 관측빈도로 접근할 필요가 있으며, 자동관측 및 연속관측을 통하여 양질의 자료를 확보하여야 한다(Novotny and Chesters, 1981).

감사의 글

본 연구는 한국해양연구원 기본연구사업(하구 관리 및 복원기술 개발, PE-977-01)의 일환으로 추진되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 조범준, 조홍연, 강성현 (2007). 수질자료 결측기간의 오염부하 추정기법 비교평가, 한국해양공학학회지, 19(1), 45-56.
- 조홍연, 김창일, 이달수 (2004). 강릉 신리천의 수량 수질 분석 및 오염부하량 추정, 한국해양공학학회지, 16(4), 196-205.
- 조홍연, 채장원 (1998). 진해 마산만의 오염부하량 특성 분석, 한국해양공학학회지, 10(3), 132-140.
- 조홍연, 김창일, 오영민 (2006). 연안해역 퇴적물 입도분포 추정오차 분석, 한국해양공학학회지, 18(2), 124-136.
- 조홍연, 채장원 (1999). 진해 마산만의 환경관리를 위한 수질모델링, 한국해양공학학회지, 11(1), 41-49.
- 한국해양연구원, (주)백년기술 (2005). 해양오염 원격 감시체제 구축연구, 해양수산부.
- Cerco, C.F., Noel, M.R. and Kim, S.C. (2004). Three-Dimensional Eutrophication Model of Lake Washington, Washington State, ERDC/EL TR-04-12, US Army Corps of Engineers.
- Dai, T., Wetze, R.L., Christensen, T.R.L. and Lewis, E.A. (2000). BasinSim 1.0, A Windows-Based Watershed Modeling Package, User's Guide, Virginia Institute of Marine Science.
- Novotny, V. and Chesters, G. (1981). Handbook of Nonpoint Pollution : Sources and Management, van Nostrand Reinhold Co.
- Thomann, R.V. and Mueller, J.A. (1987). Principles of Surface Water Quality Modelling and Control, Harper & Row.

Received May 16, 2007

Accepted June 15, 2007