

연안해역의 오염부하량 추정오차 분석 Analysis on the Pollutants Load Estimation Error in the Coastal Zone

조홍연¹, 강성현², 조범준³

Hong Yeon Cho¹, Sung-Hyun Kahng² and Bum Jun Cho³

1. 서 론

연안해역의 환경변화를 정확하게 예측하기 위해서는 환경변화에 영향을 미치는 인자, 즉 육상에서 발생하는 오염물질의 해역 부하량에 대한 시간적-공간적인 변화양상 및 정확한 오염부하량 추정이 중요한 부분을 차지하고 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 검증없이 월별 관측자료를 이용하여 추정하는 경우가 대부분을 차지하고 있다. 연속적인 수량자료와 간헐적인 수질자료를 이용하여 수량-수질 상관관계를 분석하여 오염부하량을 추정하는 경우도 있으나, 상관관계가 낮은 경우에는 적용이 곤란한 단점이 있다. 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 환경개선사업의 정량적인 효과분석 평가에 매우 중요한 위치를 차지하고 있다(조홍연 등, 1998, 1999, 2004).

본 연구에서는 2005년 낙동강 하구(낙동강 하구둑 지점)에서 연속으로 관측된 COD, TN, TP 농

도자료 및 일일 방류량 자료를 이용하여 기준 오염부하량(가장 정확한 오염부하량으로 가정)을 우선 추정하고, 다음에는 관측간격을 늘려가며 오염부하량을 추정하여 기준 오염부하량과의 차이(오염부하량 산정오차)를 분석하였다. 오염 부하량 추정오차는 수량 및 수질의 시간적인 변동성에 크게 영향을 받기 때문에 목표로 하는 정확도를 확보하기 위한 최소한의 관측빈도를 도출할 수 있다. 공간적인 변동성도 반영하여 추정하는 것이 최상의 방법으로 판단되나, 본 연구에서는 시간적인 변동성에 중점을 두어 수행하였다.

2. 오염 부하량

2.1 기본적인 방법

오염부하량(P)은 수량(Q) 및 수질(c)의 곱으로 산정할 수 있다(Tomann & Nueller, 1987). 수량 및 수질의 시간적인 변화가 없는 경우(steady state)에는 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 편차성분(Q', c')이 반영되어 있지 않기 때문에 기본적으로 오차를 포함하게 된다. 수질항목의 농도는 공간적인 변화(수심방향 농도변화, 하천의 폭 방향 농도변화 등)도 중요한 요소이나, 본 연구에서는 생략하였다. 공간적인 농도변화는 확산계수의 도입으로 어느 정도 처리할 수

1 발표자: 한국해양연구원 연안개발연구본부 연안방재연구사업단 책임연구원

2 한국해양연구원 해양환경연구본부 해양생태계 환경관리연구사업단 책임연구원

3 한국해양연구원 연안개발연구본부 연안방재연구사업단 연수연구원 (박사후과정)

있으나, 관측 자료를 이용하여 검토하는 과정이 필요하다.

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

$$P = \sum Q(\bar{c}) \cdot \alpha(\bar{c}) = \overline{Qc} + \overline{Qc'} \neq \overline{Qc}$$

2.2 분석절차 및 과정

본 연구에서 검토하는 오염부하량 추정기법은 매우 간단한 개념으로, 현재 관측-활용하고 있는 월 단위 기반 오염부하량 추정에 이용되는 자료보다 시간간격이 짧은 자료(본 연구에서는 일 단위, 정확한 오염부하량은 관측시간간격이 이론적으로 0.00으로 접근하는 경우)를 이용하면 상대적인 오차를 분석할 수 있다. 오염부하량 추정오차는 일일 관측자료를 이용하여 계산한 기본 오염부하량을 참값으로 하고, 관측간격을 1일부터 2일, 3일, 5일, 일주일, 보름, 30일까지 늘려가면서 계산한 오염부하량을 근사값으로 하여 오차를 분석하였다. 분석 대상으로는 낙동강 하구둑 방류량 자료는 국가수자원관리종합정보시스템 홈페이지(www.wamis.go.kr) - 댐수문자료에서 획득하였으며, 일일 수질자료 관측자료는 방류수 수질을 대표할 수 있는 낙동강 하구둑 배수갑문 지점에서 관측한 COD, TN, TP 일일 농도 자료이다(한국해양연구원, 2005). 관측 수량 및 수질자료의 2005년 자료의 시간적인 변동양상은 그림 1, 2에 제시하였다. 수질 관측은 1일 자료는 2시간 간격으로 측정되었으나, 본 연구에서는 가용한 1일 자료를 모두 산술평균하여 1일 자료로 환산하여 오염부하량 산정-분석에 이용하였다.

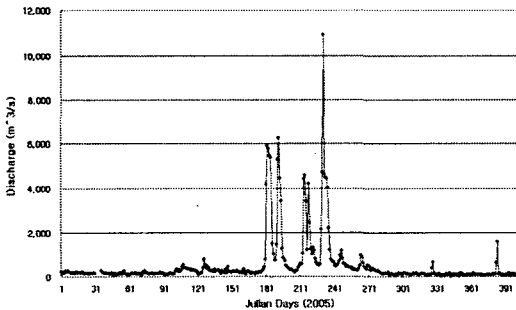


그림 1. 낙동강 하구둑 방류량 변화(2005)

오염부하량 추정오차 분석과정은 다음과 같다.
1단계. 일자료를 이용한 기준 오염부하량 계산

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

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

4단계. 관측간격에 따른 통계정보의 변화양상을 도시-분석한다.

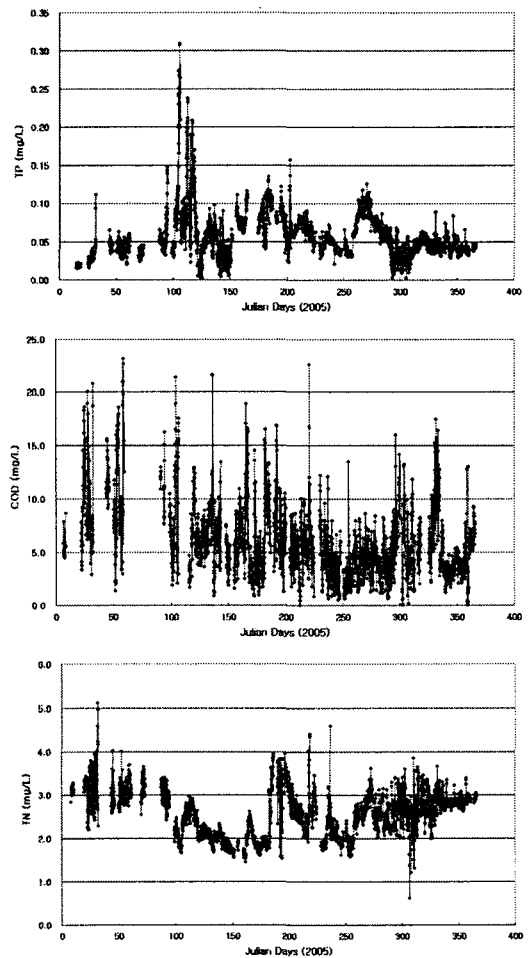


그림 2. 오염물질 항목의 농도변화(2005)

한편, 수질항목의 농도와 수량과의 상관관계도 분석하였다. 상관관계 분석은 산포도를 이용하여 일일 자료를 모두 이용한 경우와 일반적으로 수행하는 방법에 해당하는 월 자료(본 연구에 사용된 일 자료에서 30일 간격으로 월자료 추출)를 이용한 경우에 대하여 수행하였다. 수량과 수질에 대한 상관관계도는 그림 3에 제시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 수질항목의 농도는 수량과는 상관관계수가 0.05 정도로 매우 낮게 파악되었으며, 이는 수량-수질의 상관관계 도출에 의한 오염부하량 추정의 한계성 및 낙동강 하구둑에 의하여 형성된 수역의 일반적인 특성을 시사하는 것으로 판단된다.

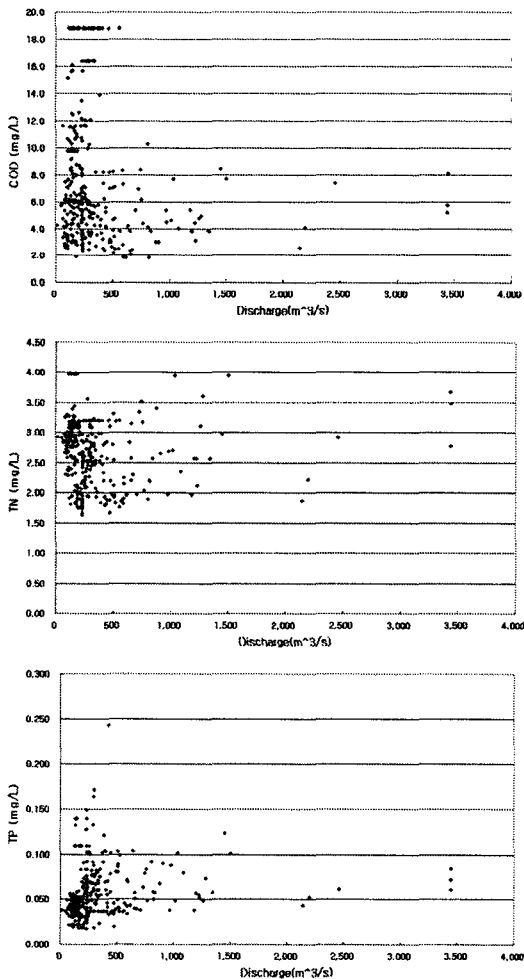


Fig. 3. 수량 - 수질(COD, TN, TP) 산포도

일일 수량 및 수질자료에서 이상자료(outlier)

는 수동으로 제거하였으며, 결측구간은 가장 최근의 자료로 보충하였다. 그러나, 결측이 장기화되는 경우에는 수량 및 수질의 변화경향을 반영하여 추정하는 것이 바람직할 것으로 사료되나, 본 연구에서는 일괄적으로 최근값으로 결측자료를 보충하였다. 연속 측정에서 결측자료는 기기의 오작동 등으로 상시 발생하는 일이기 때문에 향후 자료의 변동성을 고려한 결측자료 보완 및 이상자료 처리기법에 관한 통계적, 경험적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3. 분석결과

일일 관측자료를 이용하여 오염부하량을 추정 한 결과, 연간 COD, TN, TP 오염부하량은 각각 125,174톤, 48,109톤, 1,252톤이며, 일평균 오염부하량은 각각 342,000kg/Day, 131,446kg/Day, 3,420kg/Day로 산정되었다. 하천 및 연안 환경에 측변화에 중요한 입력자료에 해당하는 오염부하량 추정오차는 본 연구에서의 경우, 일자료 기준 오염부하량을 기준으로 할 경우, 월별 관측자료를 이용한 오염부하량은 총 30개가 산정(매월 1일, 2일, ... 30일 관측자료를 이용하는 경우)되었으며, 10일 간격 관측자료를 이용한 오염부하량은 총 10개가 산정되었다. 기준오염부하량 및 각각의 방법으로 추정된 오염부하량(톤)의 통계 정보는 표 1에 제시하였다.

표 1. 오염부하량 추정 결과 통계정보

(a) 평균

오염부하량	COD	TN	TP
1일 자료(기준)	125,174	48,109	1,251
10일 자료	124,860	47,968	1,250
30일 자료	125,447	46,889	1,251

(b) 표준편차

오염부하량	COD	TN	TP
1일 자료(기준)	-	-	-
10일 자료	41,482	14,656	501
30일 자료	57,579	20,001	668

(c) 변동계수(C.O.V)

오염부하량	COD	TN	TP
1일 자료(기준)	-	-	-
10일 자료	0.332	0.306	0.401
30일 자료	0.459	0.427	0.533

보다 많은 관측빈도에 대하여 오염부하량 추정 성과를 평가할 필요가 있으나, 우선 10일 관측빈도, 30일 관측빈도의 변동계수 자료에 의하면 오염부하량 추정 신뢰도가 30일 관측빈도 자료를 이용한 경우에 비하여 10일 관측빈도 자료를 이용한 경우가 25% 이상 향상되고 있음을 알 수 있다.

본 연구는 일일자료를 가지고 수행하였기 때문에 일변화 이하의 시간단위에서 시시각각변하는 강우 전·후의 오염부하량(비점오염원) 추정에는 한계가 있다. 또한, 일변화가 우세한 수질항목(수온, DO 등)의 변화를 파악하기 위해서는 시간자료 또는 시간규모 이하의 관측자료가 요구된다. 관측의 기본은 목적에 따라 다르겠지만, 기본적으로 시간적, 공간적인 변동 양상을 어느(?) 정도의 수준으로 파악할 수 있는 시간적-공간적 빈도(밀도)로 수행되어야 한다. 예를 들면, 조위 변화는 1시간 E는 10분 간격으로 관측하며, 파고는 연속 관측방식은 약간 다르지만 초 단위 이하로 관측하며, 홍수에 의한 수위변화는 시간단위로 관측하고 있다. 관측의 정확도를 한 단계 향상시키기 위해서는 비용이 한 단계(예, 1억→10억) 상승하는 것은 통상적인 경험규칙에 해당한다(자료에 대한 요구사항이 증가할 수록, 연구비도 증가한다).

4. 결론 및 제언

보다 정확하고 신뢰성있는 오염부하량 추정이 곤란한 이유는 원하는 지점에서의 연속적인 수량자료도 미흡하지만, 연속적인 수질자료가 매우 미흡한 실정이다. 최근에는 센서를 이용한 연속적인 수질관측 등이 수행되고 있으나, 센서관측이 용이한 수온, TDS, 염도, 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 연구성과를 포함한 다양한 수량 및 수질변동 특성을 포함한 연구성과를 참조하여 현재 환경변화 예측에 활용하고 있는 오염부하량의 신뢰수준을 필수적인 고려사항으로 포함하여야 할 것

이며, 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.

한편, 최근 점오염원의 차단이 어느 정도 진전을 보이고 있는 상황에서 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 & Chesters, 1981).

감사의 글

본 연구는 한국해양연구원 중점연구사업(하구관리 및 복원기술 개발, PE-971-01)의 일환으로 추진되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 조흥연, 김창일, 이달수, 2004. 12. 강릉 신리천의 수량·수질분석 및 오염부하량 추정, 한국해양학회지, 제16권, 제4호, pp. 196-205.
- 조흥연, 채장원, 1998. 9. 진해·마산만의 오염부하량 특성 분석, 한국해양학회지, 제10권, 제3호, pp. 132-140.
- 조흥연, 김창일, 오영민, 2006. 6. 연안해역 퇴적물 입도분포 추정오차 분석, 한국해양학회지, 제18권, 제2호, pp. 124-136.
- 조흥연, 채장원, 1999. 3. 진해·마산만의 환경관리를 위한 수질모델링, 한국해양학회지, 제11권, 제1호, pp. 41-49.
- 한국해양연구원, (주)백년기술, 2005. 12. 해양오염 원격 감시체계 구축연구, 해양수산부.
- 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.