

동적 수질분석을 위한 시계열 자료 획득 방안 제시

A New Approach to Obtain Time Series for Dynamic Water Quality Analysis

박재일*, 김종훈**

Chae Il Park, Joong Hoon Kim

요 지

최근 오염총량관리제도를 위한 오염부하량의 관리문제가 대두되면서 이를 위한 수질분석의 중요성이 인식되고 있다. 그러나 시간적 변화를 가진 유입유량, 유입부하량 자료의 한계로 인하여 기준유량을 대상으로 하는 정적수질분석의 결과가 환경정책에 반영되고 있는 실정이며, 이는 하천유량의 변동과 강우 시 비점오염 부하량을 무시한 지극히 제한된 분석에 국한되어 있다. 따라서 시간적 변화를 가진 동적수질분석의 결과가 정책에 반영되기 위해서는 자료의 확보가 우선이다. 본 연구에서는 월 별, 소유역 별 시계열 자료 확보를 위하여 합리적이고 사용이 용이한 방법을 제시하였다. 유출량의 경우, 기존의 비유량법과는 달리 저류효과를 고려한 토양수분 저류구조 Tank모형을 적용하여 장기간의 유출량을 산정하였고, 유출농도의 경우, 기존 인접 유역의 동일 유달계수 적용과는 달리, 월 오염부하총량비와 유역오염부하 전달함수를 이용하여 월 별, 소유역 별, 수질변수 별 유출농도를 산정하였다. 산정된 유출량과 유출농도는 남강댐 상류유역 하천에서 WASP 모형을 가지고 동적수질분석을 하기 위하여 적용되었다. 그 결과 적절한 오염물질 농도곡선을 얻을 수 있었으며, 제안된 가정의 적용 가능성은 충분하였다.

핵심용어 : 동적수질분석, Tank모형, WASP모형, 오염부하총량비, 유역오염부하 전달함수

1. 서 론

최근 하천의 오염저감 노력을 위한 오염총량관리제도가 하천수질개선사업의 중요성이 인식되고 있으나, 이러한 사업의 밑바탕인 수질분석이 자료의 한계로 인하여 분석의 한계로 이어지고 있다. 주된 원인으로는 현재 수질분석 관련 제도가 평균 오염규모를 대상으로 하는 정적인 수질상태를 전제로 하고 있기 때문이다(하성룡, 2005). 그러나 현재에 대한 정확한 분석만이 미래를 계획할 수 있는 밑바탕이 되므로, 현실을 반영할 수 있는 동적수질분석에 대한 평가와 연구가 필요하다. 동적수질분석을 위해서는 장기간의 하천 유량자료와 농도자료가 필요하나, 유역 내 존재하는 수위-유량 측정망, 수질측정망으로는 목표지점의 유량과 농도를 얻을 수 없으므로 자료의 한계를 극복할 합리적인 방안이 필요하다.

극복할 방안으로 유출량의 경우, 유역과 하도의 저류효과와 같은 수문학적 특성을 무시하고 적용되던 비유량법과는 달리, 토양수분 저류구조 Tank모형을 이용하여 일 별, 소유역 별 유출량을 산정하고, 유출농도의 경우, 기존 인접유역의 동일 유달계수 적용과는 달리, 월 오염부하총량비와 유역오염부하 전달함수를 이용하여 월 별, 소유역 별, 수질변수 별 유출농도를 산정한다. 본 연구에서는 산정된 유출량과 유출농도를 WASP 모형에 적용하여 BOD에 대한 수질을 예측 및 평가를 하여 미계측유역의 동적수질분석을 위한 유출농도 시계열 자료 확보를 위한 방안을 제시하고자 한다.

* 정희원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : bestques@korea.ac.kr

** 정희원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : jaykim@korea.ac.kr

2. 유출농도 시계열 자료 확보방안

2.1. 유출량(cms)

유출량 자료 확보를 위해 장기유출모형인 토양수분 저류구조 Tank모형을 적용하였다. 토양수분 저류구조 Tank모형은 개념적 유출모형으로 16개의 매개변수와 5개의 초기상태변수를 가지며 이 매개변수를 추정하기 위해서는 장기간의 강우량, 증발량, 실측유량이 필요하다(강신욱, 2004). 비교적 유입량 자료가 양호한 남강댐 유역전체 유입량 자료를 기준으로 탱크모형의 매개변수를 추정하였으며, 추정된 매개변수는 목표지점 소유역의 매개변수와 유사하다는 가정으로 일 별, 소유역 별 유출량을 산정하였다.

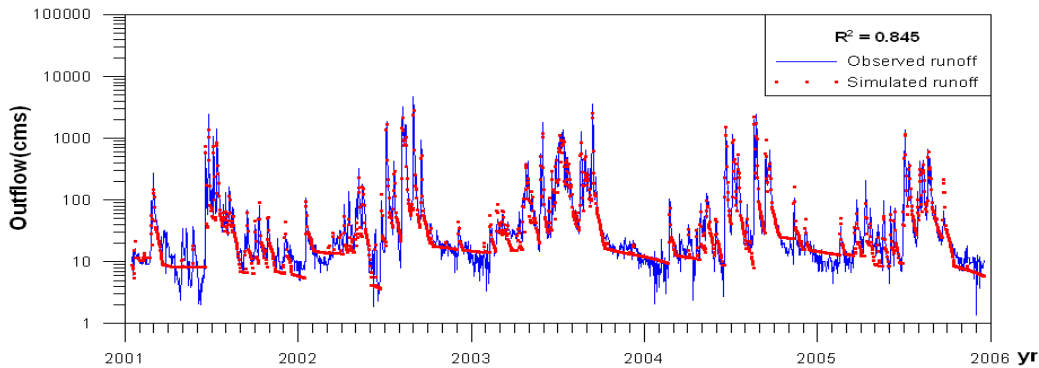


그림 1. 남강댐 지점의 실측유량, 모의유량

2.2. 유달부하량(kg/day)

유달부하량 산정을 위해 환경부 수질측정망의 월 별 실측자료를 우선으로 하였고, 실측자료가 없는 경우는 원단위 개념이 적용된 연평균 배출부하량 자료를 사용하였다. 환경부는 미계측 유역의 발생부하량을 산정하기 위해 발생 원단위 개념을 도입하였고, 발생부하량이 환경기초시설로 이송되어 처리되고 방류되는 부하량을 배출부하량, 배출부하량이 하천에 도달하는 과정에서 오염저감효과를 받고 난 후 부하량을 유달부하량으로 정의하고 있다. 발생부하량의 경우, 오염원을 생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 양식계, 매립계로 구분하고 계열 별, 년 별, 소유역 별, 수질변수 별 방대한 양의 자료를 조사하고, 배출부하량의 경우, 환경기초시설의 분포, 종류, 처리능력 등의 자료를 조사하여야 한다. 그러나 본 연구에서는 기존의 인력과 자본이 많이 소요되는 방법과는 달리, 건설교통부의 년 별, 표준유역 별, 수질변수 별 기 조사된 자료의 활용방안에 초점을 두었다.

소유역 별 배출부하량 산정을 위해 한 개의 정의와 두 개의 가정을 하였다. 우선, 수자원 공사의 수자원 단위지도 최소단위인 표준유역을 소유역으로 정의하였고, 일평균 산정이 어려운 부하량은 수질분석학적 동질성을 가질 수 있는 최소단위를 월평균 부하량으로 가정하였다. 또한, 기 조사된 연평균 부하량을 월평균 부하량으로 분리하기 위하여 식(1)처럼 매 월 계측유역의 월 평균농도(mg/l)와 월 평균유량(cms)을 가지고 월 오염부하총량(kg)을 계산, 월 오염부하총량(kg)비율을 결정한 후 인접유역의 월 오염부하총량비는 미계측유역의 총량비와 유사하다는 가정을 하였다. 정의와 가정을 근거로 기 조사된 년 별, 표준유역 별 배출부하량 자료를 월 별, 소유역 별 배출부하량 자료로 분리하였다.

$$\text{월 평균농도}(mg/l) \times \text{월 평균유량}(cms) \times \text{월 일수}(d) = \text{월 오염부하총량}(kg) \quad (1)$$

소유역 별 유달부하량은 일반적으로 식(2)처럼 산정된 배출부하량에 유달계수를 곱하여 산정하고 있다. 계측유역의 유달계수는 식(2)를 역으로 적용하였고, 미계측유역의 유달계수는 식(3, 4)와 같은 유역형상계수, 유달저감계수의 관계를 지수형태로 회귀하여 도출한 유역오염부하 전달함수를 적용하였고 산정된 월 별, 소유역 별 배출부하량과 유달계수로 유달부하량을 구하였다(하성룡, 2005).

$$P_M = P_O \times K \quad (2)$$

$$K = e^{-\phi \cdot S_f} \quad (3)$$

$$\phi = 1.155 S_f^{-0.9757} \text{ (BOD)} \quad (4)$$

여기서, ϕ 는 유달저감계수, S_f 는 형상계수, K 는 유달계수, P_O 는 배출부하량, P_M 은 유달부하량으로 식(2) ~ 식(4)를 이용하면 월 별, 소유역 별 BOD 배출부하량으로부터 BOD 유달계수와 BOD 유달부하량을 계산할 수 있다. 이와 같은 방법을 이용하면 월 별, 소유역 별, 수질변수 별 유달부하량을 계산할 수 있다.

2.3. 유출 농도(mg/l)

수질모형의 입력자료로 쓸 수 있는 농도의 단위는 mg/l이다. 유출량(cms)과 유달부하량(kg/d)를 산정하고 나면 유출농도(mg/l)는 식(5)와 같은 방법으로 환산할 수 있다.

$$\text{유출량}(cms) \times \text{유출부하량}(kg/d) = \text{유출농도}(mg/l) \quad (5)$$

3. 대상유역 및 자료수집

3.1. 대상유역

남강댐 유역은 동경 127° 30' ~ 128° 15', 북위 35° ~ 35° 45'에 해당하는 남강유역의 최상류 지역에 위치하고, 남덕유산에서 발원한 경호강과 지리산에서 발원한 덕천강이 합류하여 진양호를 이루고 있으며 면적은 2293.4km², 둘레는 328.0km, 평균경사는 35.4%이다(박준일, 1997). 유역 내에는 10개의 수위 - 유량 관측소(★), 13개의 수질관측소(●)가 분포하고 있고, 유역은 수자원 단위지도 기준에 의하면 1개 중권역, 14개 표준유역으로 나뉘며 전체적인 개황은 그림 2와 같다.

3.2. 자료수집 및 분석

3.2.1. 수리특성 변수

WASP모형에서 수리특성을 결정하는 중요한 입력 자료로 수체의 체적, 길이, 평균 폭, 경사 등이 있다. 이 변수들은 수질분석에서 꼭 필요한 유량에 따른 유속과 평균수심을 결정하기 위한 변수로서, 각 지류와 본류의 가장 최근 하천정비기본계획 보고서의 결과를 반영하였다. 하천정비기본계획이 수립되지 않았거나 구할 수 없는 자료는 근처 수위 - 유량관측소를 찾아 그림 3과 같이 유량 - 수심, 유량 - 유속 관계곡선을 정의하고 그 계수를 사용하여 보완하였다.

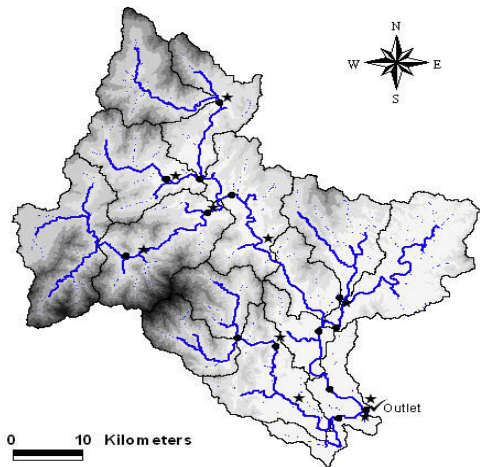


그림 2. 남강댐 유역 개황

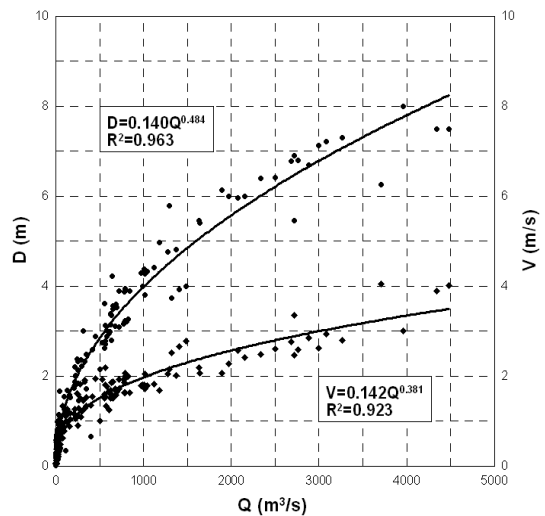


그림 3. 산청수위표에서 D-Q, V-Q 관계곡선

3.2.2. 환경특성 변수

WASP모형에서는 12종류 환경변수의 Time Functions을 사용할 수 있으며, 본 연구에서는 수온, 기온, 풍속, 일조량, 일조율을 사용하였다. 이 중 수온은 남강댐 유입수의 환경부의 월평균 수온자료를 사용하였고, 기온과 풍속, 일조량, 일조율은 진주 지역의 기상자료를 사용하였다(과학기술부). **그림 4.**의 일조량은 기상청에서 제공하는 단위는 mj/s이므로 Langley 단위로 꼭 환산해야 하고, **그림 5.**의 증발량은 Tank모형의 매개변수를 산정할 때 사용되었으며, WASP모형의 입력 자료로 사용하지 않았다. 2001년 이후 자료를 분석한 결과 각 변수들은 풍속을 제외하고는 계절에 따른 뚜렷한 양상을 보였다.

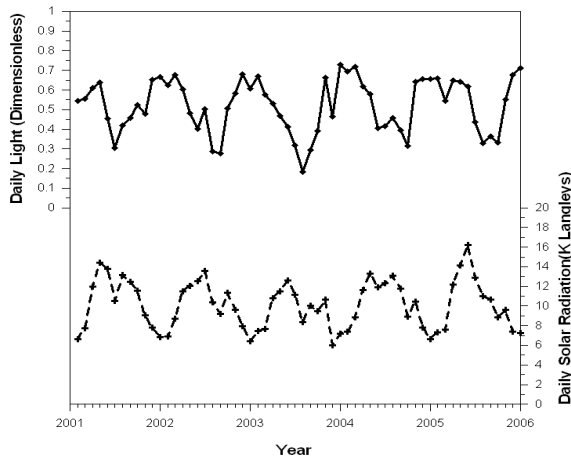


그림 4. 일조량과 일조율

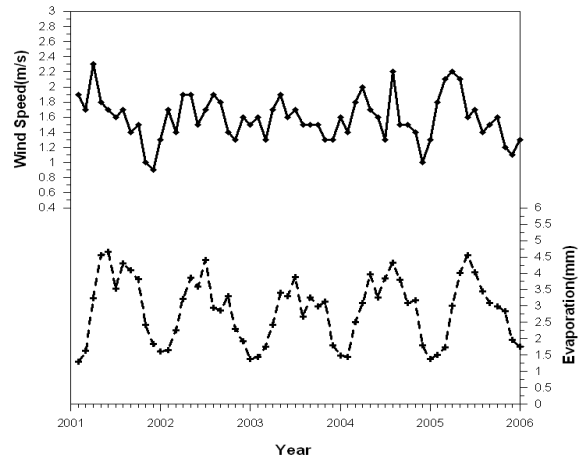


그림 5. 풍속과 증발량

4. 적용 및 결과

유역을 모형화 하기 위해 **그림 2.**에서 표준유역과 하천길이 2km를 기준으로 **그림 6.**과 같이 소유역과 수체를 정의하였다. 모형을 정의할 때, 유입수체를 정의하지 못하는 소유역은 유량과 농도가 해당유역의 수체에 균등배분 유입으로 가정하였다. 부하량 자료의 경우 건설교통부는 1997 ~ 2001년, 경상남도 2002 ~ 2010년의 자료를 제공하고 있으나, 2006년 이후의 자료는 예측자료이고, 경상남도 자료는 시, 군 기준의 대분류, 건설교통부 자료는 읍, 면, 동 기준의 소분류 단위이다. 또한, 유입량 자료와 환경변수 자료는 2001 ~ 2005년이므로 자료의 신뢰성 확보와 가용자료를 고려하여 2001년의 BOD 부하량, 유입량, 환경변수 자료를 사용하였다.

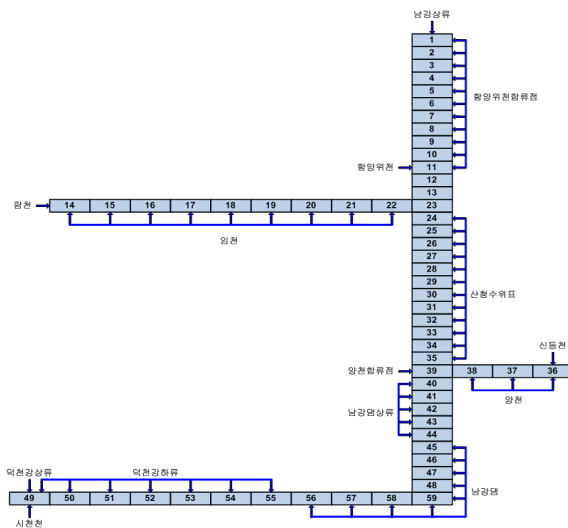


그림 6. 유역의 구획화

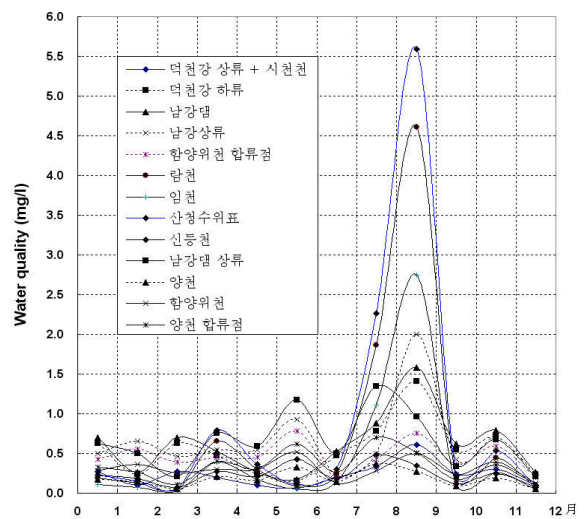


그림 7. 월 별, 소유역 별 유입농도(2001, BOD)

시간에 따른 각 수체의 유입농도를 결정하기 위하여 수질측정망 별 월 오염부하총량비를 결정, 인근 소유역에 적용하였다. 소유역 별 유역인자를 가지고 유달계수를 산정하고, 일 별, 소유역 별 유입량을 산정하였으며, 최종 산정된 소유역 별 유입농도는 **그림 7.**과 같다. 산정결과, 산청수위표와 람천 유역의 유입농도는 7~9월에 축산계와 토지계로 인한 BOD 비점오염부하량의 급격한 유출이 발생하는 것으로 보이며, 3~5월 건기와 7~9월 우기에 유입수질농도는 상대적으로 크게 예측되었다.

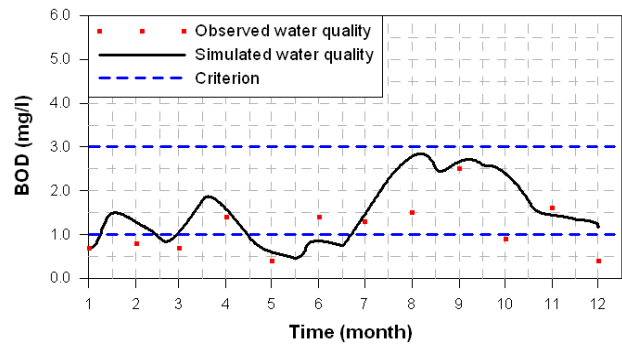


그림 8. 24번 수체의 BOD 농도곡선

WASP모형으로 산정된 BOD에 대한 입력자료를 구축한 후, 2001년 1월부터 12월 기간 동안 수질을 모의하였다. 수질반응계수의 경우 경상남도(2005)의 자료를 사용하였으며 민감도 분석을 통하여 보정하였다. 24번 수체 지점인 경호강1(수질측정망 명칭)의 실측 자료와 비교해 본 결과, 어느 정도의 상관성을 보였으며 수질환경기준 II등급(하천의 경우 BOD 1~3 ppm이 기준)이하를 만족하는 것으로 나타났다. **그림 7.**과 **그림 8.**의 결과는 점오염부하량이 상대적으로 큰 3~5월보다는 비점오염부하량이 상대적으로 큰 7~9월에 더 관심을 갖게 하며, 이는 3~5월의 기준유량으로 분석하는 정적수질모형의 한계를 반증하고 있는 것으로 판단된다.

5. 결 론

국내의 수질측정망에서는 호우시 급격하게 악화되는 수질은 측정하지 않고 있으며, 월 평균 오염규모를 대상으로 하는 정적인 수질을 측정하고 있다. 측정망을 통한 수질자료는 호우시 비점오염부하량으로 인한 오염을 고려하지 않고 있으며, 이를 기반으로 하는 환경정책 역시 비점오염부하량을 배제시키는 결과를 초래하고 있다.

본 연구에서는 저류효과를 고려할 수 있는 토양수분 저류구조 Tank 모형으로 수위-유량 미계측유역의 일 유출량을 산정하였고, 수질 계측유역의 월 오염부하총량비를 가지고 수질 미계측유역의 월 유출농도를 산정하였으며, 산정된 유량과 농도를 가지고 WASP모형으로 동적수질분석을 하였다. 제시된 방법으로 수행된 동적수질분석의 결과를 이용하면 미래에 대한 수질예측 시, 기존의 정적수질분석모형보다 더 적합하리라 판단된다. 이를 위해서는 자료의 한계를 극복할 수 있는 많은 연구와 제도적 뒷받침이 수반되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 거설핵심기술연구개발사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

1. 강신욱, 이동률, 이상호(2004). 토양수분 저류구조를 가진 탱크모형의 보정에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 제37권 제2호, pp. 134-144.
2. 경상남도(2005). 경상남도 낙동강 오염총량관리 기본계획 수립 연구, 창원시
3. 건설교통부, 국가 수자원관리 종합정보시스템 홈페이지, <http://www.wamis.go.kr>
4. 과학기술부, 기상청 홈페이지, <http://www.kma.go.kr>
5. 박준일(1997). 남강댐 유역에 있어서 강우분포의 변화, 한국수자원학회 논문집, 제28권 제1호, pp. 91-106.
6. 하성룡(2005). 지속가능한 수질오염총량관리제도 발전을 위한 오염부하량의 관리방향, 한국수자원학회지, 제38권 제3호, pp.565-567.
7. 환경부, 물 환경 정보시스템 홈페이지, <http://water.nier.go.kr>