

TANK 모형을 이용한 오염총량관리 목적 낙동강 유황 분석

Flow Duration Curve Analysis for Nak-dong River Basin TMDL Using TANK Model

김상단†, 김재철‡, 강두기***, 신현식****
Sangdan Kim, Jae Chul Kim, Doo Kee Kang, Hyun-Suk Shin

요 지

그동안의 하천 유량자료는 주로 홍수방어를 목적으로 구축되어진 관계로 대부분 홍수기에만 의미있는 자료를 갖추고 있으며, 환경관리에 필요한 저갈수기 유량자료는 그 신뢰도가 매우 떨어지고 있다. 다행히 지난 2004년 하반기부터 4대강 물환경 연구소에서 직접 오염총량관리 단위유역 말단부에서 8일 간격으로 유량과 수질을 동시에 측정하기 시작하였고, 사업의 결과 전기 우기의 구별 없이 연중 일정한 간격으로 하천유황 및 수질의 변동여부를 확인하는 것이 가능하게 되었으나, 각 단위유역별 유황곡선을 작성할 목적으로 8일 간격 유량자료를 사용할 수 없다는 단점이 있다. 즉, 현재 관측 중인 8일 간격 유량자료만으로는 동시 관측이 진행 중인 수질항목과 유량 사이의 상관관계 정도를 파악한다거나, 어떤 방법으로든 수문모형을 구축한 후 이를 부분적으로 검정할 때 참고자료로 사용하는 정도로 그 용도가 한정될 수밖에 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 낙동강 오염총량관리 41개 단위유역 전체를 대상으로 관측된 8일 간격 유량자료를 이용하여 이를 1일 간격 유량자료로 확장할 시도하였다. 이를 위하여 기존의 TANK 모형에 하도추적기능을 추가한 보다 진보된 TANK 모형을 구성하였다. 낙동강 단위유역별 취수량과 방류량을 바탕으로 한 물수지 자료 또한 구비하여 모형에 고려되도록 하였다. 모형의 매개변수 추정을 위하여 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 8일 간격으로 관측한 유량자료가 이용되었다. 분석결과 모의된 일유량이 실제 유량을 비교적 잘 재현하는 것으로 나타남에 따라 8일간격 유량관측자료의 일유량으로의 확장 가능성을 확인할 수 있었다. 구축된 모형은 적용에 앞서 10년 평균 저수량을 기준으로 1차 오염총량관리 기준유량과의 비교를 시도하였으며, 상류 댐 방류의 영향 및 물수지의 영향을 배제한 상태의 자연유량을 산정하여 이를 현재 유황과의 비교를 수행하였다. 현재유량과의 비교 결과 다목적 댐의 방류효과로 인한 유량 증가효과 및 대규모의 취수로 인한 유량 감소효과가 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다. 산정된 자연유량을 통하여 비유량을 산정한 결과 5,000km³이하인 유역 면적의 경우 비유량 0.0048m³/s/km를, 5,000km³이상인 경우에는 비유량 0.0043m³/s/km를 적용하는 것이 바람직 할 것으로 분석되었다. 여기에 유역의 물이용 및 상류의 댐 방류 효과가 고려되면 실제 유역의 저수량을 개략적으로 산정할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 낙동강, 오염총량, 유황분석, TANK 모형

1. 서 론

그동안의 하천 유량자료는 주로 홍수방어를 목적으로 구축되어진 관계로 대부분 홍수기에만 의미있는 자료를 갖추고 있으며, 환경관리에 필요한 저갈수기 유량자료는 그 신뢰도가 매우 떨어지고 있다. 다행히 지난 2004년 하반기부터 4대강 물환경 연구소에서 직접 오염총량관리 단위유역 말단부에서 8일 간격으로 유량과

† 정회원 + 부경대학교 환경시스템공학부 조교수 + E-mail : skim@pknu.ac.kr

‡ 정회원 + 부경대학교 환경시스템공학부 석사과정 + E-mail : kimcaprio007@nate.com

*** 정회원 + 부산대학교 토목공학과 박사과정 + E-mail: dookee1@naver.com

**** 정회원 + 부산대학교 토목공학과 부교수 + E-mail: hsshin@pusan.ac.kr

수질을 동시에 측정하기 시작하였다. 사업의 결과 건기 우기의 구별 없이 연중 일정한 간격으로 하천유황 및 수질의 변동여부를 확인하는 것이 가능하게 되었으나, 각 단위유역별 유황곡선을 작성할 목적으로 8일 간격 유량자료를 사용할 수 없다는 단점이 있다. 즉, 현재 관측 중인 8일 간격 유량자료만으로는 동시 관측이 진행 중인 수질항목과 유량 사이의 상관관계 정도를 파악한다거나, 어떤 방법으로든 수문모형을 구축한 후 이를 부분적으로 검정할 때 참고자료로 사용하는 정도로 그 용도가 한정될 수밖에 없는 실정이다. 이에 김 등(2007)은 개념적 장기유출 수문모형인 TANK 모형이 적용하여 8일 간격 유량자료를 1일 간격 유량자료로 확장하려는 기본적인 연구를 수행하였다. 그러나 김 등(2007)에서 사용한 낙동강 유역 안동댐, 임하댐, 합천댐, 남강댐 상류유역 유입량 유량자료는 그들 또한 지적하였듯이 기본적으로 댐 운영을 위하여 저수지 수위변화를 이용해 계산된 댐 유입유량자료임에 주목하여야 한다. 이는 특정한 강우사상이 발생하였을 때 누적된 수위변화를 이용해 계산된 일평균 개념의 유입유량으로, 현재 총량관리를 위해 측정하고 있는 유량자료는 하천 유속계를 이용한 순간 유량자료임을 상기해볼 때, 댐 유입자료와 하천 순간 유량자료의 차이점이 분명 존재한다는 한계점을 내포하고 있다. 이에 본 연구에서는 상기 연구결과의 추가연구로서 낙동강 오염총량관리 41개 단위유역 전체를 대상으로 관측된 8일 간격 유량자료를 직접 사용하여 이를 1일 간격 유량자료로 확장을 시도하였다. 이를 위하여 기존의 TANK 모형에 하도추적기능을 추가하여 모형을 새롭게 구성하였으며, 낙동강 단위유역별 취수량과 방류량을 바탕으로 한 물수지 자료 또한 구비하여 모형에 고려되도록 하였다. 구축된 모형은 적용에 앞서 10년 평균 저수량을 기준으로 1차 오염총량관리 기준유량과의 비교를 시도하였으며, 상류 댐 방류의 영향 및 물수지의 영향을 배제한 상태의 자연유량을 산정하여 이를 현재 유황과의 비교를 수행하였다.

2. 연구방법

본 연구에서 사용한 TANK 모형은 앞서 김 등(2007)에서 검증이 된 4단 TANK를 근간으로 구축되었다. 그러나 구축된 TANK 모형은 하도추적기능이 없음에 따라 41개 단위유역 중 최상류에 해당하는 단위유역(낙본A, 반변A, 용전A, 길안A, 미천A, 내성A, 금천A, 영강A, 이안A, 병성A, 위천A, 감천A, 금호A, 회천A, 황강A, 남강A, 밀양A)에만 적용이 가능하다는 단점이 있다(Fig. 1 참조). 예를 들어, 단위유역 낙본B의 유출을 모의하고자 할 경우 낙본B 출구에서 관측된 유량은 낙본B 자체에서 발생된 유량뿐만 아니라 낙본A에서 발생되어 낙본B 구간의 하천을 유하한 유량이 합해진 유량이므로 이를 기 구축된 TANK 모형으로 모의하려면, 낙본 A와 낙본 B를 다시 하나의 유역으로 간주하여 낙본 B의 관측 유량자료를 이용하여 모형을 구축할 수밖에 없게 된다. 유역면적이 비교적 작은 경우에는 유역을 누적시켜가면서 모형을 순차적으로 구축하는 것도 하나의 방법이 될 수도 있겠으나, 낙동강 전체 유역을 모의하는 것과 같이 하류방향으로 갈수록 유역면적은 기하급수적으로 커질 경우 또는 대형 다목적 댐을 지나게 될 경우 상류와 하류 사이에는 수문학적 특성이 완전히 다르게 되므로 이와 같은 방법을 사용하기가 곤란해지게 된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 TANK 모형에 하도추적(River Routing) 기능을 추가한 수정 TANK 모형을 구축하여 연구를 수행하였다. 예를 들어 단위유역 낙본B의 유출을 모의하고자 할 경우, 낙본A에서 모의된 유량은 낙본B 상류의 Head water로 입력되어 낙본B 하도구간을 따라 추적된 후 낙본B에서 자체 발생된 유량과 합산되어 이를 낙본B 출구에서 흐르는 유량으로 모의하게 된다. 이 때 낙본B 단위유역 자체에서 발생된 유량은 기존에 구축된 TANK 모형과 같은 방법으로 모의를 수행하게 된다. 사용된 하도추적기법은 현재 가장 일반적으로 쓰이고 있는 Muskingum의 흥수추적방법을 적용하였다. 또한 각 단위유역에서 발생되는 취수량과 방류량은 유역출구에서 일괄 합하거나 감하는 방식을 취하여 모형의 구조에 포함하였다.

TANK 모형은 추정해야 할 매개변수가 많아 단순한 수학적 방법으로는 각 TANK의 매개변수를 올바르게 추정할 수 없으므로 시행착오법에 의해서 추정하는 것이 일반적인 방법이었다. 그러나 TANK 모형의 매개변수 해석은 경험과 이에 따르는 직감이 요구돼 처음 시도하는 사람은 방대한 계산을 해야 하기 때문에 매개변수 추정은 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 그러나 최근 컴퓨터 기술의 발전에 따라 컴퓨터에 의해 자동적으로 최적 계산을 하는 방법, 예를 들면 Powell 방법, Standardized Powell 방법, Simplex 방법, Sequential Quadratic Programming(SQP) 방법 등이 개발되어 매개변수의 추정을 용이하게 할 수 있게 되었

다. 본 연구에서는 이들 중 제약적인 조건하에서의 비선형 매개변수 최적화 기법인 SQP 방법을 이용하여 TANK 모형의 최적매개변수를 추정하였다. SQP 방법에 대한 자세한 사항은 Gill et al.(1999)을 참조할 수 있다. 이 때 매개변수 추정을 위한 입력 일유입량자료는 낙동강물환경연구소에서 2005년 1년동안 8일 간격으로 관측한 유량자료를 사용하여 TANK 모형의 매개변수를 추정하였다.

3. 연구결과

낙동강 44개 단위유역을 대상으로 2005년 일 강수자료, 월별 pan 증발량 자료 및 8일 간격 관측 유량 자료를 이용하여 TANK 모형의 매개변수를 추정한 결과 중 단위유역 병성A와 낙본J의 결과를 Fig. 2에 도시하였다. 관측 자료의 재현 여부를 보다 정량적으로 판단하기 위하여 연별 및 월별, 일별 모의자료와 관측자료 사이의 통계적 상관성을 분석한 결과, 단위유역별로 편차는 있으나 평균적으로 결정계수 R^2 는 0.82, Nash and Sutcliffe(1970)에 의해 제안된 계수 NSC는 0.73 정도로 우수하게 관측유량자료를 재현하고 있음을 확인하였다. 장기 구축된 매개변수를 사용하여 2006년에 관측한 유량측정자료를 대상으로 모형의 검증을 수행한 결과 단위유역별로 편차는 있으나 평균적으로 결정계수 R^2 는 0.69, NSC는 0.53정도인 것으로 계산되었다. 또한, 본류부의 경우는 결정계수 R^2 기준으로 보면 평균 0.80을 유지하는 것으로 파악되었다.

구축된 모형을 이용한 적용의 일환으로 제1차 낙동강 오염총량관리계획의 수행을 위한 기준유량과의 비교를 수행하였다. 단, 1차 오염총량의 기준유량은 1992~2001의 10년평균저수량이고, 본 연구의 TAKN-낙동강 모형으로부터의 결과는 1996~2005년까지의 10년 평균저수량으로 강우량에 있어서 차이가 존재하며 물이용에 있어서도 다소 차이가 나고 있는 것도 사실이다. 그러나 Fig. 3에 알 수 있듯이 그러한 차이를 감안하더라도 1차 오염총량의 기준유량이 전반적으로 과소 산정되었다고 판단할 수 있다. 이는 1차 오염총량의 산정 시 23,000km³ 이상의 낙동강 유역전체를 진동지점의 하천유출량을 기준으로 비유량으로 산정하였기 때문에 발생되는 오차이며, 상류의 다목적 댐의 방류 효과가 제대로 반영되지 못한 것도 한 원인으로 판단된다. 본 연구에서는 또한 구축된 TANK-낙동강 모형을 이용하여 낙동강 유역의 자연유량을 모의하였다. 여기서 자연유량은 현재 유역의 수문조건하에 다목적 댐의 방류량과 유역의 물이용을 배제하였을 때의 유량으로 정의하였으며, 모형 실행 시 매개변수는 그대로 두고, 다목적 댐 방류부분과 유역에서의 취수량과 방류량을 0으로 입력하여 결과를 도출하였다. Fig. 4는 10년 평균 저수량을 기준으로 낙동강 본류의 현재유량과 자연유량을 도시하고 있다. 하류로 갈수록 다목적 댐의 방류효과로 인한 유량 증가효과가 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 5와 6은 10년평균저수량을 기준으로 낙동강 본류 및 지류를 대상으로 산정된 자연유량에 대한 비유량을 도시하고 있다. 대략적으로 5,000km³이상인 유역면적에 비유량 0.0043m³/s/km의 적용이 가능할 것으로 판단되며, 5,000km³이하인 유역면적에 비유량 0.0048m³/s/km의 적용이 가능할 것으로 추천할 수 있으며, 여기에 물이용과 댐 방류 효과를 더하면 실제 유역의 저수량을 개략적으로 산정할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 유역면적이 작아질 경우 여러 가지 수문학적 이질성으로 인하여 불확실성이 매우 커짐을 또한 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 낙동강 유역의 유황이 분석되었다. 장기 일 유출 수문모형으로서 TANK 모형이 사용되었으며, 낙동강 유역을 상류 다목적 댐의 방류량 및 물이용량 등을 모의하기 위하여 TANK 모형에 하도추적 기능을 추가한 보다 진보된 TANK 모형을 구성하였다. 모형의 매개변수 추정을 위하여 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 8일 간격으로 관측한 유량자료가 이용되었다. 분석결과 모의된 일유량이 실제 유량을 비교적 잘 재현하는 것으로 나타남에 따라 8일간격 유량관측자료의 일유량으로의 확장 가능성을 확인할 수 있었다. 모형 적용의 일환으로 낙동강 유역의 자연유량을 산정하였으며, 현재유량과의 비교 결과 다목적 댐의 방류효과로 인한 유량 증가효과 및 대규모의 취수로 인한 유량 감소효과가 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다. 산정된 자연유량을 통하여 비유량을 산정한 결과 5,000km³이하인 유역면적의 경우 비유량 0.0048m³/s/km를,

5,000km²이상인 경우에는 비유량 0.0043m³/s/km를 적용하는 것이 바람직할 것으로 분석되었다. 여기에 유역의 물이용 및 상류의 댐 방류 효과가 고려되면 실제 유역의 저수량을 개략적으로 산정할 수 있을 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 낙동강 수계 환경기초조사사업(낙동강 물순환 특성조사 및 모의예측기법 개발)의 일환으로 수행되었음.

참 고 문 헌

김상단, 강두기, 신현석, 김문수, 유역모형구축을 위한 8일간격 유량측정자료의 일유량 확장 가능성, 23, 94-71 (2007).

Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V., River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles, Journal of Hydrology, 10, pp. 282-290 (1970).

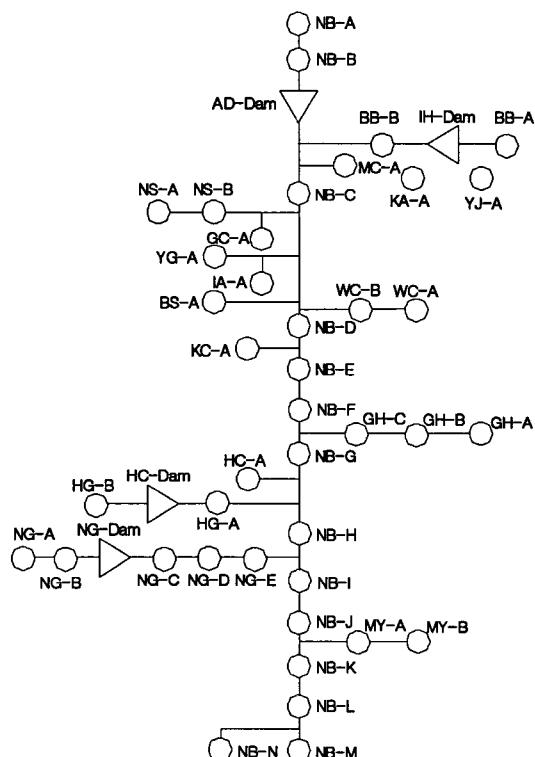


Fig. 1. Subbasins for TANK-Nakdong River Model

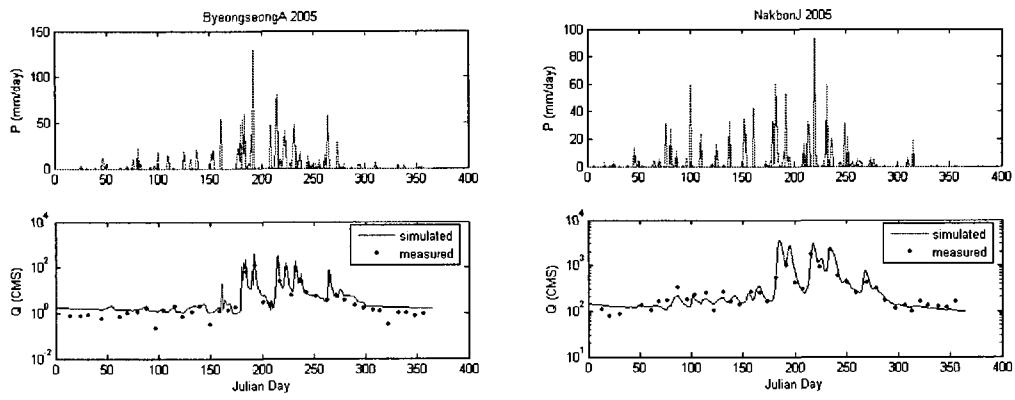


Fig. 2. Examples of Calibration Results

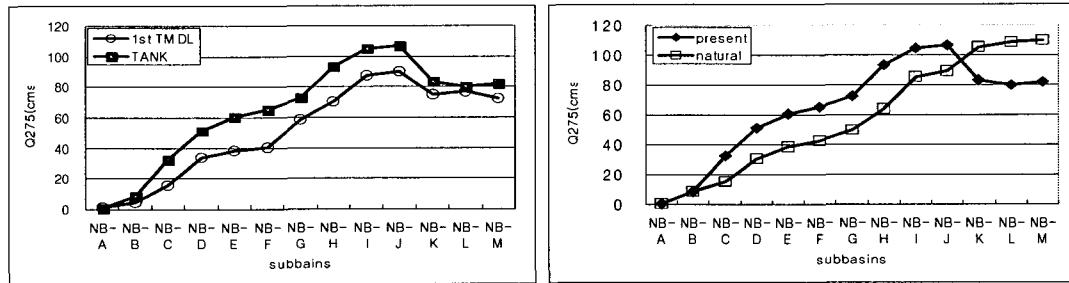


Fig. 3. Comparison between 1st TMDL and this study

Fig. 4. Comparison between present and natural River Flow (Main Stream)

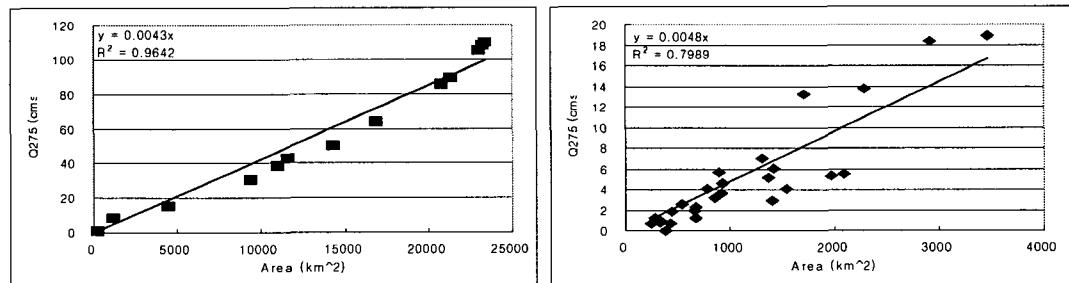


Fig. 5. Specific Flow (Main Stream)

Fig. 6. Specific Flow (Tributary)