

오염총량관리 유량측정자료를 이용한 낙동강 유역 유황분석

김재철 · 김상단[†]

부경대학교 환경시스템공학부

Flow Duration Curve Analysis for Nakdong River Basin using TMDL Flow Data

Kim, Jae Chul · Kim, Sangdan[†]

Department of Environmental System Engineering, Pukyong National University

(Received 31 January 2007, Accepted 30 March 2007)

Abstract

In this study the flow duration curves for Nakdong river basin are analyzed. The TANK model is used as a hydrologic simulation model whose parameters are estimated from 8-day intervals flow data measured by NIER Nakdong River Water Environment Laboratory. As a comparison result between generated natural and present river flow, the present river flow is higher than the natural river flow in the up- and mid-stream of Nakdong river, while the present river flow is lower than the natural river flow in the down stream of Nakdong river.

keywords : Flow duration curve, Nakdong river, TANK model

1. 서론

그동안의 하천 유량자료는 주로 홍수방어를 목적으로 구축되어진 관계로 대부분 홍수기에만 의미있는 자료를 갖추고 있으며, 환경관리에 필요한 저갈수기 유량자료는 그 신뢰도가 매우 떨어지고 있다(국립환경과학원, 2006). 다행히 지난 2004년 하반기부터 4대강 물환경 연구소에서 직접 오염총량관리 단위유역 말단부에서 8일 간격으로 유량과 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 방법으로도 수문모형을 구축한 후 이를 부분적으로 검증할 때 참고자료로 사용하는 정도로 그 용도가 한정될 수밖에 없는 실정이다(김 등, 2007).

이에 김 등(2007)은 개념적 장기유출 수문모형인 TANK 모형을 적용하여 8일 간격 유량자료를 1일 간격 유량자료로 확장하려는 기본적인 연구를 수행하였다. 그러나 김 등(2007)에서 사용한 낙동강 유역 안동댐, 임하댐, 함천댐, 남강댐 상류유역 유입량 유량자료는 그들 또한 지적하였듯이 기본적으로 댐 운영을 위하여 저수지 수위변화를 이용해 계산된 댐 유입유량자료임에 주목하여야 한다. 이는 특정한 강

우사상이 발생하였을 때 누적된 수위변화를 이용해 계산된 일평균 개념의 유입유량으로, 현재 총량관리를 위해 측정하고 있는 유량자료는 하천유속계를 이용한 순간 유량자료임을 상기해볼 때, 댐 유입자료와 하천 순간 유량자료의 차이점이 분명 존재한다는 한계점을 내포하고 있다(김 등, 2007).

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 물수지자료 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. 이를 정리하면 다음과 같다.

- 하도추적 기능이 추가된 TANK 모형 구축
- 낙동강 단위유역별 8일 간격 관측 자료와 주요 다목적 댐 유입량, 방류량 자료 및 단위유역별 물수지 자료 및 강우량 자료를 이용한 TANK 모형매개변수 추정
- 구축된 모형을 이용하여 낙동강 단위유역별 10년 동안의 일 유량 생성
- 모형결과 도출된 최근 10년 평균 저수량과 1차 오염총량관리 기준유량과의 비교
- 모형을 이용하여 상류 댐 및 물수지 요소를 제거한 자연 상태 일 유량(자연유량) 생성 후, 현재 상태 일 유량과 비교

[†] To whom correspondence should be addressed.
skim@pknu.ac.kr

2. 재료 및 방법

2.1. TANK 모형

TANK 모형이란 대상 유역을 오리피스형의 유출공을 가진 몇 개의 저류형의 가상용기(TANK)를 조합하여 유량을 유량으로 변환하는 유출계산법으로 장기유출해석에서 비교적 높은 평가를 받고 있는 모형 중 하나이다. TANK 모형의 적용에서 가장 어려운 점들 중 하나는 모형 매개변수의 수가 많고, 이들을 시행착오에 의해서 결정하므로 직감과 경험에 의존할 수밖에 없는 점이나, 한편 계산법이 명확하고, 유출기구가 수문현상을 잘 재현한다는 점에서 모형의 객관성을 인정받고 있다. TANK 모형의 구성으로서는 병렬 TANK 모형과 직렬 TANK 모형이 있는데 Fig. 1에 보이는 직렬 TANK 모형이 일반적인 모형구조이다. 각각의 TANK에서의 유출량 및 침투량 계산 등 보다 상세한 사항은 Sugawara(1995), 배 등(2003), 성 등(2004), 강 등(2004), 김 등(2005)에서 살펴볼 수 있다.

2.2. TANK 모형의 확장

본 절에서 사용한 TANK 모형은 앞서 김 등(2007)에서 검증이 된 4단 TANK를 근간으로 구축되었다. 그러나 구축된 TANK 모형은 하도추적기능이 없음에 따라 41개 단위 유역 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. 2 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

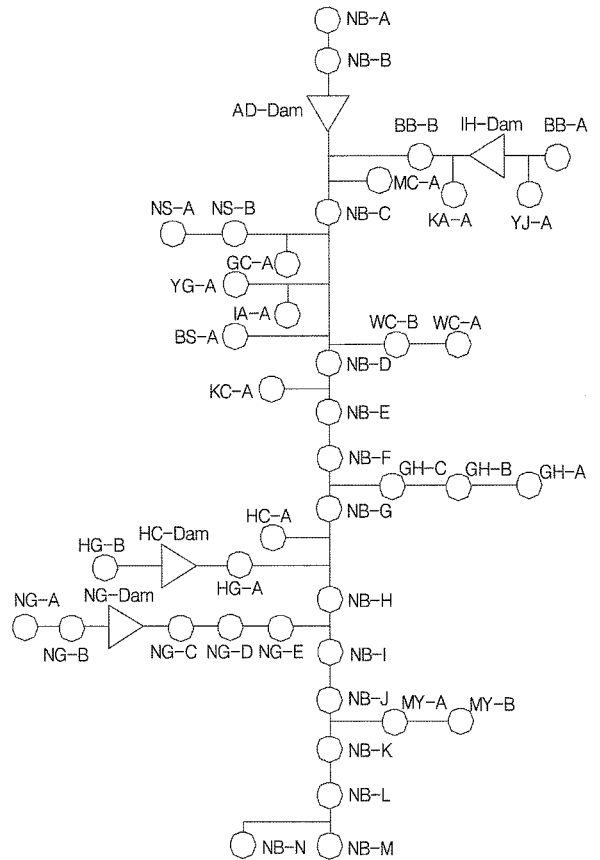


Fig. 2. Subbasins for TANK-Nakdong river model.

누적시켜가면서 모형을 순차적으로 구축하는 것도 하나의 방법이 될 수도 있겠으나, 낙동강 전체 유역을 모의하는 것과 같이 하류방향으로 갈수록 유역면적이 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 구축하

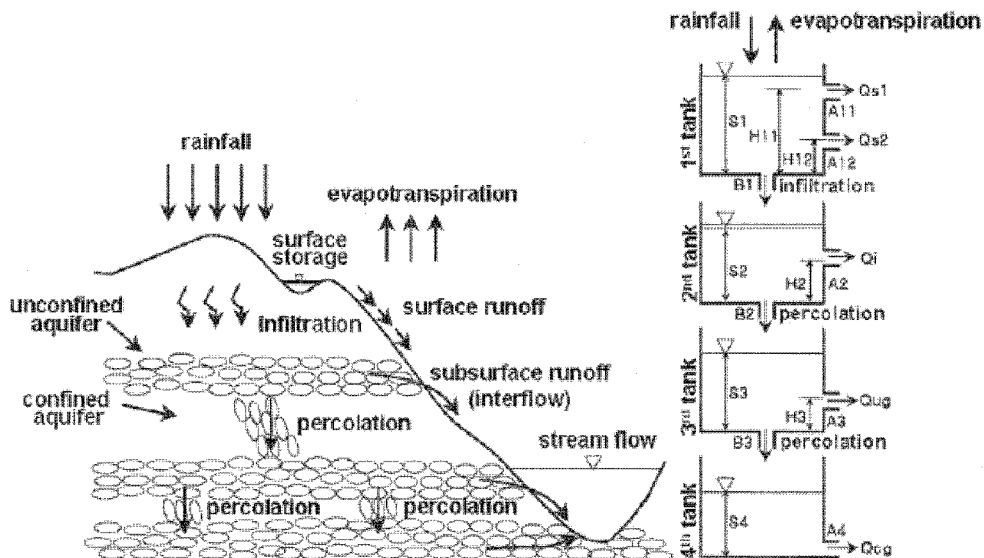


Fig. 1. TANK model concept (Kim et al., 2007).

여 연구를 수행하였다. 예를 들어 단위유역 낙본B의 유출을 모의하고자 할 경우, 낙본A에서 모의된 유량은 낙본B 상류의 Head water로 입력되어 낙본B 하도구간을 따라 축적된 후(Fig. 3에서 $q_{A \rightarrow B}$) 낙본B에서 자체 발생된 유량(Fig. 3에서 q_B)과 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 하도축적기법은 현재 가장 일반적으로 쓰이고 있는 Muskingum의 홍수축적방법(윤, 2005)을 적용하였으며, 이 때 필요한 매개변수인 K 와 x 값 중 x 값은 0.2로 고정하여 적용하였으며, K 값은 관측된 유량자료를 이용하여 TANK 모형의 매개변수를 추정할 때 동시에 보정하여 적용하였다. 참고로 K 값의 추정 시 초기 값은 0.5(days)를 사용하였으며, 최종적인 추정결과는 단위유역에 따라 0.013~2.39(days)로 결정되었다. 또한 각 단위유역에서 발생하는 취수량과 방류량(Fig. 3에서 각각 W 와 D)은 유역출구에서 일괄 합하거나 감하는 방식을 취하여 모형의 구조에 포함하였다. 전체적인 모형의 구조는 Fig. 3과 같다.

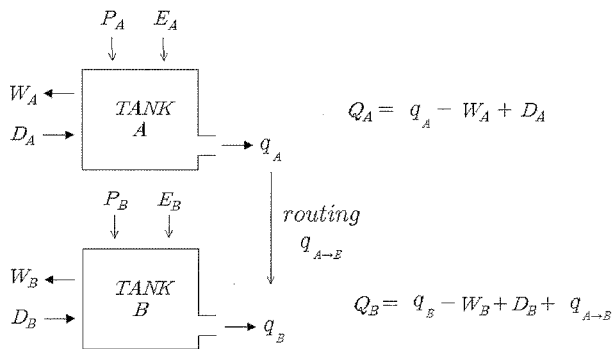


Fig. 3. Modified TANK model.

2.3. TANK 모형의 매개변수 추정

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 Programing(SQP) 방법 등이 개발되어 매개변수의 추정을 용이하게 할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 이들 중 제약적인 조건하에서의 비선형 매개변수 최적화 기법인 SQP 방법을 이용하여 TANK 모형의 최적매개변수를 추정하였다. SQP 방법에 대한 자세한 사항은 Gill 등(1999)을 참조할 수 있다.

이 때 매개변수 추정을 위한 입력 일유입량자료는 낙동강물환경연구소에서 2005년 1년동안 8일 간격으로 관측한 유량자료를 사용하여 TANK 모형의 매개변수를 추정하였

다. 본 연구에서 설정한 44개 단위유역별 TANK 모형의 구축과정을 설명하면, 예를 들어 단위유역 금호A의 강우자료 및 관측 유량자료, 물수지 자료 등을 이용하여 TANK-금호A 모형의 매개변수를 추정하여 금호A의 장기간 일 유량자료를 모의한 후, 모의된 금호A의 일 유량자료는 다시 TAKN-금호B 모형의 매개변수를 추정하기 위한 입력자료(Head Water)로 사용된다. 이와 같은 방법으로 금호C까지의 일 유량자료 모의가 가능함을 알 수 있다. 같은 방법으로 낙동강 최상류인 낙본A부터 낙본F까지의 일 유량자료가 모의되면, 금호C와 낙본F에서 모의된 일 유량자료는 다시 낙본G의 일 유량을 모의하기 위한 입력자료(Head Water)로 사용된다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 대상유역 및 사용된 입력자료

서론에서 언급한 바와 같이 대상유역은 낙동강 유역 오염총량관리 41개 단위유역이다. 그러나 낙동강 수계의 안동댐, 임하댐, 합천댐, 남강댐 유역의 경우 각각 단위유역 낙본C, 반변B, 황강B, 남강C 내에 위치해 있음에 따라 이들 유역을 다시 세분할 필요성이 발생한다. 또한 단위유역 낙본N의 경우 낙동강 본류에서 서낙동강으로 분기되는 유역으로 본 연구에서 취급하기에는 어려운 측면이 있어 낙본N은 본 연구대상에서 제외하였다. 그 결과 총 44개 단위유역으로 낙동강 유역을 분할하여 각각의 단위유역별로 축차적으로 모형을 구축하였다.

모형 구축에 사용된 강수량자료는 1994~2005년까지 기상청 일 자료로부터 티센면적가중평균법을 적용하여 각 단위유역별로 공간평균 강수량자료를 구축하였다. 보정에 사용된 자료는 낙동강물환경연구소에서 2005년 1년동안 8일 간격으로 측정된 단위유역별 유량자료, 국가수자원관리종합정보시스템(www.wamis.go.kr)에서 제공하고 있는 4개 다목적 댐의 일별 유입량과 방류량, 2005년 365일 단위유역별 일 강수량자료, 그리고 기상청에서 제공하고 있는 월별 pan 증발량 자료(안동지점)를 이용하였다. 월별 pan 증발량 자료는 월별 증발접시계수를 곱하여 월별 잠재증발산량을 산정한 후, TANK 모형의 보정을 위한 입력 자료로 이용하였다. 취수량 및 방류량 자료는 낙동강수계 오염총량관리 기본계획(강원도, 2005; 경상북도, 2005; 대구광역시, 2004; 경상남도, 2005; 부산광역시, 2004)상의 기록을 통하여 단위유역별로 수집, 이용하였다.

3.2. 일 유량 모의결과

낙동강 44개 단위유역을 대상으로 2005년 일 강수량자료, 월별 pan 증발량 자료 및 8일 간격 관측 유량 자료를 이용하여 TANK 모형의 매개변수를 추정한 결과 중 단위유역 병성A와 낙본J의 결과를 Fig. 4에 도시하였다. Fig. 4에서 P 는 일 강우량, Q 는 일 유량을 나타낸다. Fig. 4에 도시된 바와 같이 연간 40회 정도의 유량관측 횟수를 바탕으로 매개변수를 추정하였으며, 특히 주기적으로 8일 간격으로 측

정합에 따라 강우 시에도 유량관측이 시행되었음을 알 수 있다.

관측 자료의 재현 여부를 보다 정량적으로 판단하기 위하여 연별 및 월별, 일별 모의자료와 관측자료 사이의 통계적 상관성을 Table 1에 나타내었다. 여기서 R^2 는 관측 자료와 모의 자료 사이의 회귀분석 결과 도출된 결정계수이며, NSC는 Nash 등(1970)에 의해 제안된 계수로서 아래 식과 같다.

$$NSC = \frac{F_o - F}{F_o} \quad (1)$$

여기서,

$$F_o = \sum_{i=1}^n (q_{oi} - \bar{q}_o)^2, \quad F = \sum_{i=1}^n (q_{oi} - q_{si})^2 \quad (2)$$

위 식들에서 i 는 계산시간, n 은 총 자료의 수, q_{oi} 는 시간 i 에서의 관측유량, q_{si} 는 시간 i 에서의 모의유량, \bar{q}_o 는 모의기간 내 관측유량의 평균값이다. Table 1로부터 단위유역별로 편차는 있으나 평균적으로 결정계수 R^2 는 0.82, NSC는 0.73 정도로 우수하게 관측유량자료를 재현하고 있음을 알 수 있다. 다만, 임하댐이 위치해 있는 반변천 인근 유역은 정확도가 매우 떨어지고 있으며, 위천 상류 및 금호강 상류, 낙동강 최하류부(낙본K~낙본M) 등에서 정확도가 다소 떨어지고 있음을 알 수 있다.

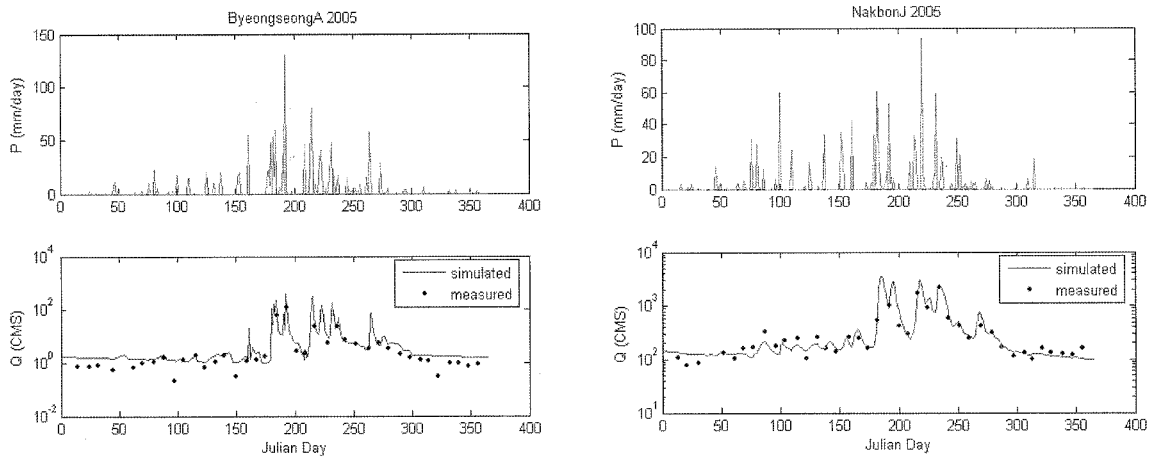


Fig. 4. Examples of calibration results.

Table 1. Calibration results

Subbasins	R^2	NSC	Subbasins	R^2	NSC
NB-A	0.9649	0.8560	GH-A	0.5331	0.5266
NB-B	0.8956	0.8952	GH-B	0.6380	0.6329
AD-Dam	0.7916	0.6730	GH-C	0.7909	0.7787
BB-A	0.0981	-0.5955	NB-G	0.9446	0.9315
YJ-A	0.2850	-0.0403	HC-A	0.9786	0.9771
IH-Dam	0.7223	0.6765	HG-A	0.8403	0.8224
KA-A	0.6546	0.6033	HC-Dam	0.7715	0.7214
BB-B	0.6721	-0.2954	HG-B	0.9111	0.8422
MC-A	0.9880	0.9848	NB-H	0.9216	0.9167
NB-C	0.9659	0.9639	NG-A	0.8582	0.7690
NS-A	0.9847	0.9616	NG-B	0.9125	0.7981
NS-B	0.9100	0.8952	NG-Dam	0.7623	0.7156
GC-A	0.9968	0.9953	NG-C	0.9221	0.7877
YG-A	0.9812	0.9721	NG-D	0.9153	0.8801
IA-A	0.9937	0.9931	NG-E	0.9453	0.9199
BS-A	0.9980	0.9974	NB-I	0.8771	0.8428
WC-A	0.5347	0.4967	NB-J	0.9613	0.9313
WC-B	0.9167	0.9109	MY-A	0.8665	0.7939
NB-D	0.9273	0.9222	MY-B	0.7545	0.7293
KC-A	0.9196	0.9015	NB-K	0.6693	0.5187
NB-E	0.8359	0.8322	NB-L	0.6733	0.5312
NB-F	0.9445	0.8866	NB-M	0.7150	0.4326

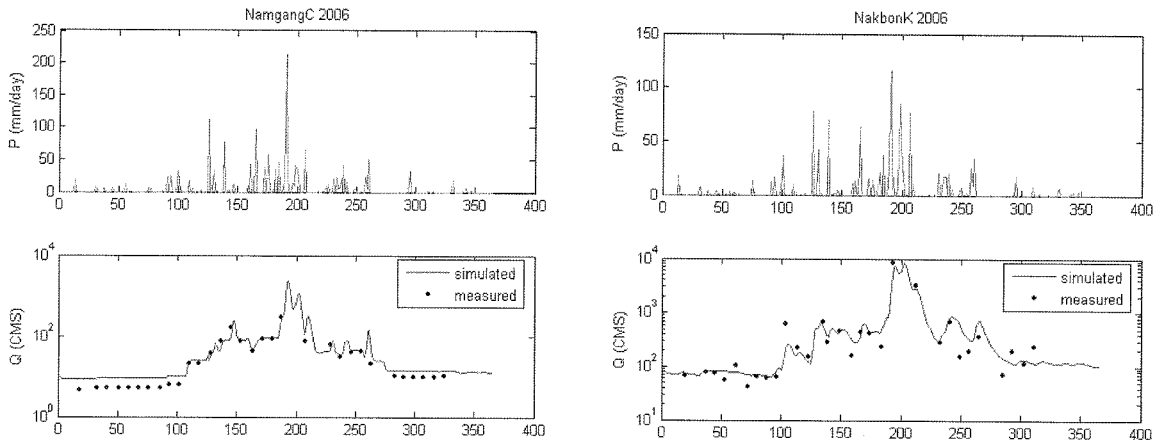


Fig. 5. Examples of verification results.

상기 구축된 매개변수를 사용하여 2006년에 관측한 유량 측정자료를 대상으로 모형의 검증에 수행하였다. 검증 결과 단위유역별로 편차는 있으나 평균적으로 결정계수 R^2 는 0.69, NSC는 0.53정도인 것으로 계산되었으며, 그 일부 결과를 Fig. 5에 도시하였다. 보정 시의 정확도를 유지하지 못한 가장 큰 이유는 길안천, 이안천, 위천, 감천 등 낙동강 지류의 검증 결과가 좋지 못한데 있으며, 상대적으로 본류부의 경우는 결정계수 R^2 기준으로 보면 평균 0.80을 유지하는 것으로 파악되었다.

3.3. 모형의 적용

구축된 모형을 이용한 적용의 일환으로 제1차 낙동강 오염총량관리계획의 수행을 위한 기준유량과의 비교를 수행하였다. 단, 1차 오염총량의 기준유량은 1992~2001년의 10년 평균저수량이고, 본 연구의 TANK-낙동강 모형으로부터의 결과는 1996~2005년까지의 10년 평균저수량으로 강우량에 있어서 차이가 존재하며 물이용에 있어서도 다소 차이가 나고 있는 것도 사실이다. 그러나 Fig. 6에 알 수 있듯이 그러한 차이를 감안하더라도 1차 오염총량의 기준유량이 전반적으로 과소 산정되었다고 판단할 수 있다. 이는 1차 오염총량의 산정 시 23,000 km² 이상의 낙동강 유역전체를 진동지점의 하천유출량을 기준으로 비유량으로 산정하였기 때문에

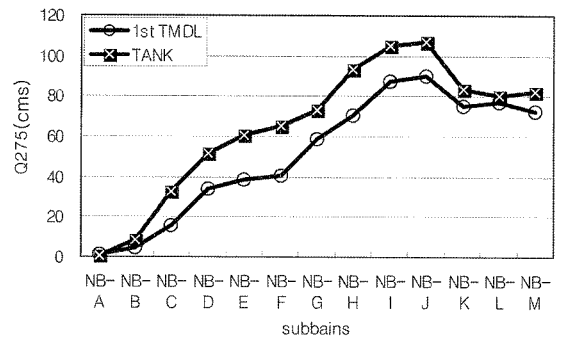


Fig. 6. Comparison between 1st TMDL and this study.

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. 7에 단위유역 낙본1과 낙본L의 현재유량과 자연유량의 10년 평균유량을 비교 도시하였다. 평수량이하저·갈수량은 다목적 댐의 방류량 조절로 인한 유량 증가

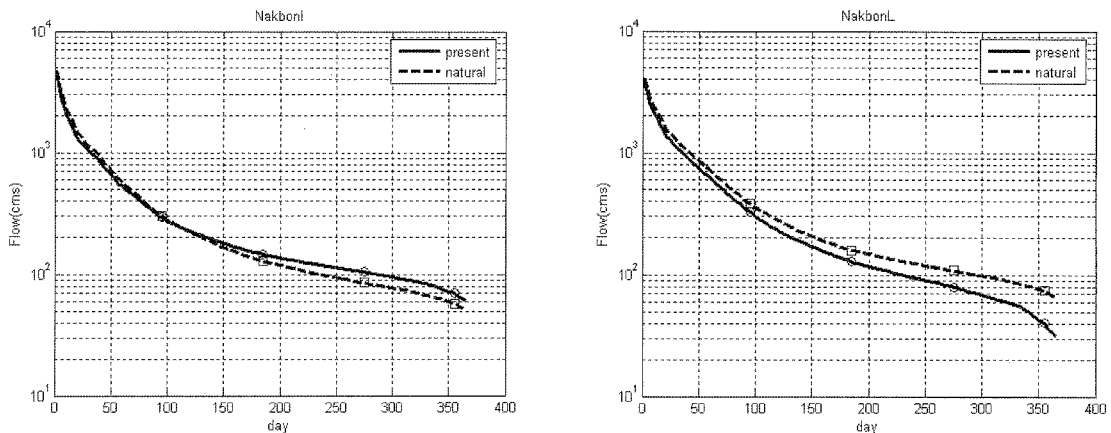


Fig. 7. Comparison between present and natural river flow (flow duration curves).

효과가 상당량임을 확인할 수 있다. 이는 낙본C~낙본J구간에서 공통으로 나타나는 현상이다. 또한 낙본L의 결과에 나타났듯이 낙동강 최 하류부는 댐에 의한 유량 증가분이 상으로 용수를 이용하고 있음을 알 수 있으며, 이는 낙본K~낙본M구간에서 공통으로 나타나는 현상이다.

Fig. 8은 10년 평균 저수량을 기준으로 낙동강 본류의 현재유량과 자연유량을 도시하고 있다. 하류로 갈수록 다목적댐의 방류효과로 인한 유량 증가효과가 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. 안동댐과 임하댐 방류량이 합류되는 낙본C에서부터 자연유량보다 현재유량이 현격하게 증가하기 시작하고 있으며, 이 후 합천댐 방류량이 낙본H에서 합류되고 남강댐 방류량이 낙본I에서 합류되고 있으나, 낙본G와 낙본I의 취수량 규모 또한 상당량이어서 그 효과는 반감되어 나타나고 있다. 또한 부산-경남권 용수공급을 위한 낙본K에서의 취수 효과도 비교적 잘 나타나 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 지류에서의 자연유량과 현재유량의 비교인데, 금호C와 황강B가 가장 큰 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 금호C의 경우는 처리장의 방류수가 대량 유입됨에 따른 것이고, 황강B의 경우는 합천댐의 댐 방류 효과의 영향인 것으로 판단된다. 지류의 또 다른 다목적 댐인 남강댐의 영향이 나타나지 않은 이유는 남강댐의 경우 2000년부터 그 기능을 시작한 바, 10년 평균유량의 산정 시 댐 건설 이전의 유황과 댐 건설 이후의 유황이 서로 중첩되어 나타났기 때문이다.

Fig. 10은 10년평균저수량을 기준으로 낙동강 본류를 대상으로 산정된 자연유량에 대한 비유량을 도시하고 있다. 대략적으로 5,000 km² 이상인 유역면적에 비유량 0.0043 m³/s/km

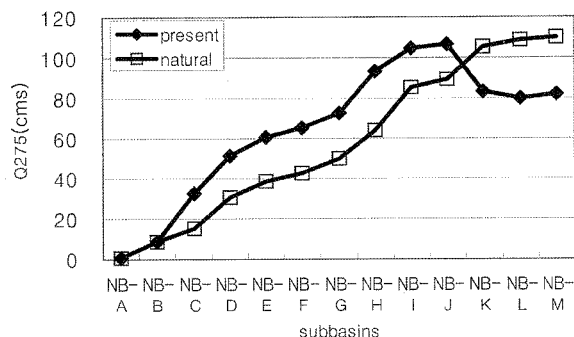


Fig. 8. Comparison between present and natural river flow (main stream).

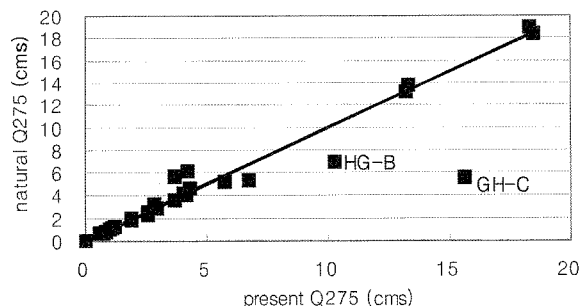


Fig. 9. Comparison between present and natural river flow (tributaries).

의 적용이 가능할 것으로 판단되며, 여기에 유역의 물이용과 상류의 댐 방류 효과가 고려되면 실제 유역의 저수량을 개략적으로 산정할 수 있을 것이다.

Fig. 11은 10년평균저수량을 기준으로 낙동강 지류를 대상으로 산정된 자연유량에 대한 비유량을 나타내고 있다. 대략적으로 5,000 km² 이하인 유역면적에 비유량 0.0048 m³/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. 이는 본류구간을 대상으로 산정한 비유량의 R²(0.96)보다 지류구간을 대상으로 산정한 비유량의 R²(0.80)을 비교해 보더라도 파악이 가능할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 낙동강 오염총량관리의 지원 목적으로 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 8일 간격으로 관측한 유량자료를 이용하여 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 나타

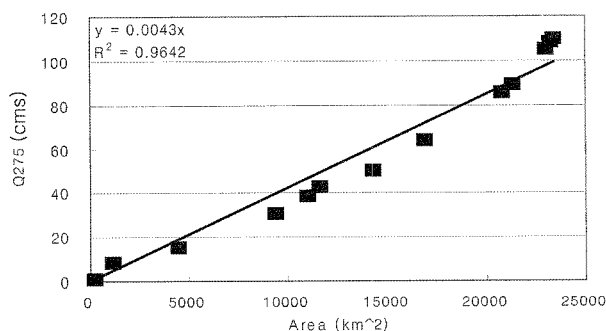


Fig. 10. Specific flow (main stream).

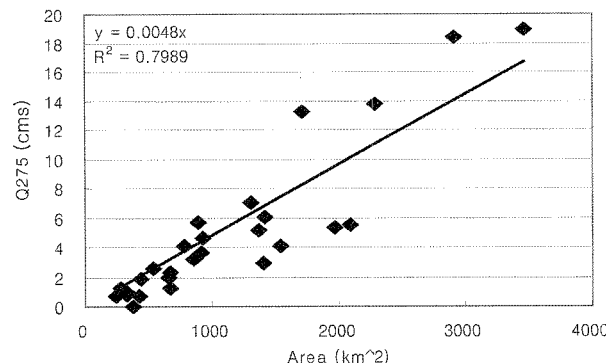


Fig. 11. Specific flow (tributary).

남에 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 5,000 km² 이하인 유역면적의 경우 비유량 0.0048 m³/s/km를, 5,000 km² 이상인 경우에는 비유량 0.0043 m³/s/km를 적용하는 것이 바람직할 것으로 분석되었다. 여기에 유역의 불이용 및 상류의 댐 방류 효과가 고려되면 실제 유역의 저수량을 개략적으로 산정할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

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

참고문헌

- 강신옥, 이동률, 이상호, 토양수분 저류구조를 가진 탱크모형의 보정에 관한 연구, *한국수자원학회논문집*, **37**, pp. 133-144 (2004).
- 강원도, 강원도 오염총량관리기본계획, pp. 2.1-2.33 (2005).
- 경상남도, 경상남도 오염총량관리기본계획, pp. 2.1-2.94 (2005).
- 경상북도, 경상북도 오염총량관리기본계획, pp. 2.1-2.137 (2005).
- 국가수자원관리종합정보시스템, <http://www.wamis.go.kr> (accessed Aug. 2006).
- 국립환경과학원, 낙동강수계 제2차 오염총량관리 기준설정 연구, 낙동강수계오염총량관리조사연구반 (2006).
- 김상단, 강두기, 신현식, 김문수, 유역모형구축을 위한 8일간격 유량측정자료의 일유량 확장 가능성, *수질보전 한국물환경학회지*, **23**, pp. 94-71 (2007).
- 김상단, 이진행, 김형수, 장기유출 수문모형을 이용한 하천 수질모형의 기준유량 산정, *수질보전 한국물환경학회지*, **21**, pp. 575-583 (2005).
- 대구광역시, 대구광역시 오염총량관리기본계획 (2004).
- 배덕효, 정일원, 강태호, 노준우, 유출성분을 고려한 Tank 모형의 매개변수 자동추정, *한국수자원학회논문집*, **36**, pp. 423-436 (2003).
- 부산광역시, 부산광역시 오염총량관리기본계획, pp. 2.1-2.36 (2004).
- 성윤경, 김상현, 김현준, 김남원, 다양한 목적함수와 최적화 방법을 달리한 SIMHYD와 TANK 모형의 적용성 연구, *한국수자원학회논문집*, **37**, pp. 121-131 (2004).
- 윤용남, *공업수문학*, 청문각, pp. 315-390 (2005).
- Gill, P. E., Murray, W. and Saunders, M. A., User's Guide for SNOPT 5.3: A FORTRAN Package for Large-scale Nonlinear Programming, University of California, San Diego (1999).
- 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).
- Sugawara, M., *Tank model, in Computer models of watershed hydrology*, Water Resources Publications, pp. 164-214 (1995).