

유역물수지모형을 이용한 일별 유출량 모의

Daily Runoff Simulation

Using the Watershed Water Balance and Streamflow Simulation Model

김학관*, 박승우**, 황세운***, 장태일****

Hak Kwan Kim, Seung Woo Park, Hwang Sye Woon, Jang Tae Il

요 지

본 연구의 목적은 새만금 유역의 복잡한 용-배수체계와 다양한 하천의 유출체계를 반영할 수 있는 유역 물수지모형을 구축하여 합리적인 유출량 추정을 위하여 새만금 상류유역의 신태인수위표 소유역을 대상으로 유역물수지모형의 적용성을 검토하고 일별 유출량을 모의하였다. 유역물수지모형을 이용하여 대상유역에서 모형의 보정기간인 1998년의 유출량을 모의한 결과, RMSE는 2.64mm/day, RMAE는 0.24mm/day, 그리고 결정계수(R^2)는 0.91로 모의되었으며, 모형의 검정기간인 2003년의 유출량을 모의한 결과, RMSE는 3.53mm/day, RMAE는 0.35mm/day, 그리고 결정계수(R^2)는 0.83로 모의되었다.

핵심용어: 물수지, 유역물수지모형, 유입량 모형, 공급량 모형, 일별 유출

1. 서 론

종래 수자원 시설물 위주의 물수지는 댐 또는 취입보 지점에서 단일 유역의 유입량과 시설물의 용수 공급량을 주어진 시간간격으로 계산하고 부족수량의 발생여부를 파악하는 것이었다. 이때 해당유역이 아무리 크고 복잡하더라도 하나의 유역으로 보고 가지야마식이나 탱크모형 등 장기 유출량 수문모형을 사용하여 적용하였다. 이러한 시설물 위주의 물수지는 댐지점 상류 유역내 물수지가 복잡하여 농업용수의 회귀와 타유역으로 도수(diversion)가 존재할 때는 유입량 추정결과가 무의미해지는 단점을 가지고 있다. 또한 하천 수계에 따라 기존의 수자원 시설의 영향이나 취수의 영향을 분석할 수 없다(김현영 등, 1998)

이러한 문제점을 해결하기 위해 김현영 등(1998)은 수계간이나 지역간 또는 유역간에 산재하는 단순 및 다중시설물의 운영조작, 논용수의 공급과 회귀를 고려한 유역물수지모형 WWASS(Watershed Water balance And Stramflow Simulation)을 개발하여 적용성을 검토한 바 있다.

본 연구에서는 용-배수체계가 복잡하고 수리시설물이 많으며 하천의 유출체계가 다양한 새만금 유역의 합리적인 유출량 추정을 위하여 새만금 상류유역의 신태인수위표 소유역을 중심으로 유역물수지 모형(WWASS)의 개념 및 구성요소를 이용하여 유역물수지 모형을 구축하고 그 적용성을 검토하였으며 일별 유출량을 모의하였다.

2. 유역물수지 모형(WWASS)의 개요

유역물수지모형은 크게 유입량산정모형, 공급량(필요수량) 산정모형, 물수지모형 및 하천유출의 순서와 각 소유역간의 물수지 요소를 연결시켜주는 하천네트워크 모형 등으로 구성된다.

* 정회원 · 서울대학교 대학원 · E-mail : kwans2@snu.ac.kr
** 정회원 · 서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수 · E-mail : swpark@snu.ac.kr
*** 정회원 · 서울대학교 대학원 · E-mail : aceace1@snu.ac.kr
**** 정회원 · 서울대학교 대학원 · E-mail : uriduri7@snu.ac.kr

2.1 유입량 산정모형

일반적으로 하천의 임의 구간에서의 유입요소는 상류유역으로부터 유하되어 오는 유입량과 그 구간내의 자체유역으로부터 경우에 의해 자연유출되는 횡유입량, 각종용수의 회귀수 및 타 유역이나 시설로부터 도수되는 유입량 등을 들 수 있다. 이들 유입요소를 위하여 시스템에 구축된 해석방법과 수문모형은 다음과 같다.

상류유역으로부터의 유입량은 하천구간의 최상부에서는 0이 되고, 기타유역에서는 상류유역의 물수지로부터 계산되는 월류량(Overflow)이 된다.

자체유역으로부터의 횡유입량은 자연상태의 소유역으로부터 경우에 의해 유출되는 유입량이며, 유역물수지 모형에서는 우리나라 미계측 소유역에서 일별 유출량을 추정할 수 있도록 개발된 DIROM 모형 (김현영, 1988)을 이용하여 산정할 수 있도록 구성되었다.

각종 용수의 회귀수는 식 (1)과 같이 공급한 수량의 회귀율로 정의하였다. 관개용수의 경우는 월별 회귀율을 사용하고 기타용수는 일정율을 사용토록 하였다.

$$R_i = \sum F_j \cdot D_j \quad \text{-----} \quad (1)$$

여기서, R은 회귀수량, F는 회귀율, D는 용수량, j는 용수종류를 나타내는 첨자이다.

도수유입량은 타 유역이나 수리시설로부터 도수되어 유입되는 수량을 말하는 것으로써 도수 목적에 따라 유입량을 구분하여 처리 할 수 있도록 구성되었다.

2.2 공급량 산정모형

하천의 공급요소는 농업용수, 생활용수, 공업용수, 축산용수, 환경용수 및 도수유출량 등으로 구분할 수 있다.

농업용수는 논벼를 위해 공급하는 관개용수로서 증발산량, 삼투량 및 유효강우량 등으로 구성되며 농업용수의 공급량과 필요수량이 같다고 가정한 것으로써 실제 DIROM의 적용성을 검토한 결과 계획수립 관점에서 큰 무리가 없는 것으로 나타났다.(김현영 등, 1988).

$$REQP_{(t)} = ET_{p(t)} \times K_C + I - R_e(t) \quad \text{-----} \quad (2)$$

여기서 $REQP_{(t)}$ 는 농업용수량(mm), $ET_{p(t)}$ 는 잠재증발산량(mm), K_C 는 논벼의 작물계수 I 는 삼투량(mm/day), R_e 는 유효우량(mm), t는 일자를 나타내는 첨자로서 잠재증발산량은 FAO의 Penman 식을 이용토록 하고, 작물계수는 1982~1986년까지 5개년간 우리나라 9개 대학 시험포에서 실측하여 산정된 값을, 삼투량은 실측값을 이용하였다. 그리고 유효우량은 강우량의 크기와 현재 담수심과 물꼬 높이에 따라 일별로 담수심을 추적하여 결정하도록 구성하였다.

기타 비농업용수로는 생활용수, 공업용수, 축산용수 및 환경용수 등이 있으며 이들 용수는 연간을 통해 일정량으로 공급하게 되는 것이 일반적이므로 유역물수지모형에서는 이들 용수량을 위하여 일단위의 일정공급량을 입력토록 하였다. 도수유출량은 타유역으로 유출되는 수량을 말하며 일정량 형태와 각종 용수의 필요수량 형태를 모두 고려할 수 있도록 하였다.

2.3 물수지 모형

하천의 임의 지점에서 하천유출량은 그 지점에서의 유입량과 공급량의 물수지 결과로부터 얻어지는 월류량 즉, 하류로의 유출량을 말하며, 이를 추정하기 위하여 물수지 모형에서 계산하도록 하였다. 따라서 유역물수지모형에서는 하도나 보 및 저수지 등에 의한 저류량 등을 고려한 다음의 식 (3)으로 표현되는 물수지 방정식을 이용하여 모형을 구축하였다.

$$OVF_t = Qin_t + R_t - DV_t - LSS_t \pm \Delta S_t \quad \text{-----} \quad (3)$$

여기서 OVF 는 월류량, Qin 는 유입량, R_t 는 수면 강우량, DV 는 공급되어야 할 필요수량, LSS 는 손실량, $\pm \Delta S$ 는 저류변화량이며, t는 일자를 나타내는 첨자이다.

2.4 하천 네트워크 모형

하천 네트워크 모형에서는 소유역의 물수지 요소의 관계와 각 소유역간의 유출순서와 특성을 정의하고, 이 하천 네트워크를 따라 물수지를 행하고 하천유출량의 추적과 합성하는 고정을 수행하게 된다.

3. 연구대상유역 및 자료구축

3.1 연구대상유역

유역물수지모형의 적용을 위한 대상유역은 새만금 상류 유역에 속해있는 신태인수위표 상류유역으로 선정하였다. 신태인수위표 상류유역은 전라북도 정읍시 태인읍과 신태인읍에 위치하고 있으며, 영산강 홍수통제소에서 수위관측을 실시하고 있다(그림 1). 신태인수위표 상류유역은 유역면적이 219.1km²이고, 토지이용은 산림이 전체유역면적의 53%를 차지하고 있으며, 논이 25%, 밭이 13%로 구성되어 있다. 신태인수위표 상류유역은 섬진강댐의 방류량이 유입되고 있으며, 이 방류량이 칠보지점의 동진도수로와 태인읍 낙양리 지점 낙양보에서 취수된 양을 제외한 유량이 신태인수위표를 거쳐 하류로 흘러감으로써 신태인수위표의 유출에 큰 영향을 미치고 있는 특징을 보이고 있다.

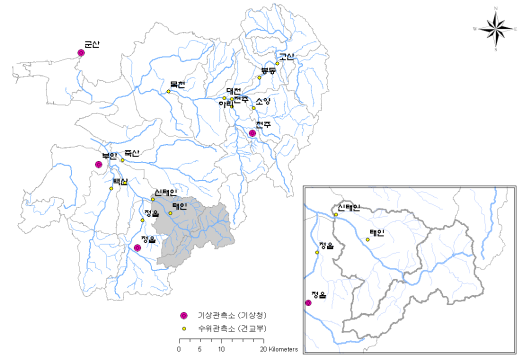


그림 1. 신태인수위표 유역의 개요

3.2 하천 네트워크 구성 및 입력자료의 구성

유역특성을 고려하여 보림보, 낙양보, 신태인관측소를 하천 조절점으로 구성하고, 도수량과 환원수량을 고려하여 대상유역의 하천 네트워크를 구성하였다(그림 2).

강수량, 최저온도, 최고온도, 상대습도, 태양복사량, 그리고 풍속 등의 일별 기상자료는 정읍기상관측소의 자료를 이용하였으며, 하천수위자료는 건설교통부 영산강 홍수통제소 관할 관측소인 신태인관측소의 수위자료를 이용하였고, 수위측점에 대한 수위-유량관계를 결정하기 위해, 건설교통부와 농업기반공사의 수문조사 보고서를 참조하여 수위-유량관계를 결정하고 유출량을 산정하였다.

토지피복분류는 2000년 IRS-1C 위성영상과 1999년 Landsat TM 위성영상을 이용하여 환경부에서 구축한 중분류토지피복지도를 이용하여 재분류하였다(그림 3).

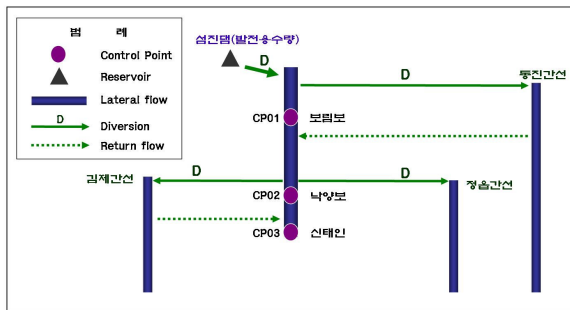


그림 2. 신태인 상류유역의 하천네트워크

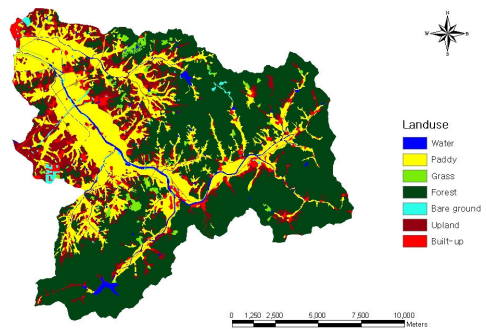


그림 3. 신태인 상류유역의 토지이용

농업용수 취수량자료는 신태인관측소 지점의 상류에 위치한 섬진강댐 방류량, 김제, 동진, 정읍용수간선의 농업용수 취수량을 조사하여 산정하였다(표 1).

표 1.섬진강댐 방류량 중 농업용수 취수량 및 신태인 관측소 유입량

| 구분 | 섬진강댐 방류량 | | | 농업용수 취수량 | | | | 신태인지점 유입량 | |
|------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------|
| | 운암 수갱 (백만 m ³) | 칠보 발전량 (백만 m ³) | 소계 (백만 m ³) | 김제 간선 (백만 m ³) | 정읍 간선 (백만 m ³) | 동진 간선 (백만 m ³) | 소계 (백만 m ³) | 유입량 (백만 m ³) | 유입량 (mm) |
| 1998 | 456.6 | 95.5 | 552.1 | 198.2 | 37.2 | 185.7 | 421.1 | 131.0 | 597.7 |
| 1999 | 391.5 | 107.8 | 499.3 | 192.3 | 37.5 | 195.9 | 425.7 | 73.6 | 336.0 |
| 2000 | 396.1 | 94.8 | 490.9 | 169.8 | 32.7 | 131.1 | 333.6 | 157.3 | 718.3 |
| 2001 | 382.2 | 92.9 | 475.1 | 174.6 | 35.6 | 163.2 | 373.4 | 101.7 | 464.6 |
| 2002 | 374.8 | 63.3 | 438.1 | 148.9 | 36.4 | 191.6 | 376.9 | 61.2 | 279.1 |
| 2003 | 562.7 | 90.5 | 653.2 | 141.0 | 23.3 | 290.3 | 454.6 | 198.6 | 906.6 |
| 평균 | 427.3 | 90.8 | 518.1 | 170.8 | 33.8 | 193.0 | 397.6 | 120.6 | 550.4 |

4. 모형의 보정과 검증

4.1 모형의 보정

유역물수지 모형을 이용한 유출량 보정은 단순시행착오법을 이용하여 DIROM의 매개변수를 중심으로 수행하였으며, 목적함수로서 RMSE(root mean square error)와 RMAE(relative mean absolute)를 사용하였다. 모형의 보정을 위해 대상유역인 신태인수위표 상류유역을 대상으로 1998년의 수문자료를 이용하였다. 표 2는 통계적인 변량을 이용하여 실측치와 모의치를 비교하여 평가한 결과를 나타내고 있다. 결측기간을 제외한 모형의 보정기간에 대해서 모의한 결과, RMSE는 2.64mm/day, RMAE는 0.24mm/day, 그리고 결정계수(R²)는 0.91로 모의되었다.

표 2. 모형의 보정기간 동안의 실측치와 모의치의 비교

| 연도 | 관측일수 (day) | 강우량 (mm) | 유출량 (mm) | | RMSE (mm/day) | RMAE (mm/day) | R ² |
|------|---------------|-------------|----------|--------|------------------|------------------|----------------|
| | | | 실측치 | 모의치 | | | |
| 1998 | 229 | 1758 | 1995.8 | 1911.6 | 2.64 | 0.24 | 0.91 |

그림 4는 자료의 보정기간에 대한 유출량의 모의결과를 실측치와 비교하여 보여주고 있으며, 그림 5는 유출에 대한 모형의 보정과 검증 결과를 실측치와 일대일로 비교하여 보여주고 있다.

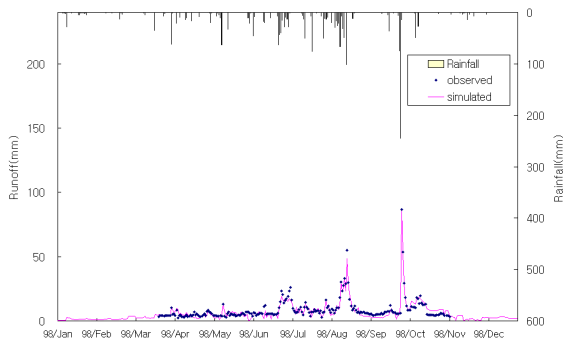


그림 4. 모형의 보정기간에 대한 유출량비교

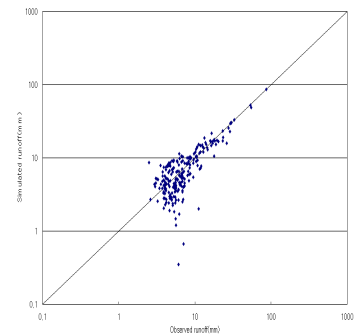


그림 5. 유출 보정결과

4.2 모형의 검증

유역물수지모형에 대한 매개변수의 보정 후, 모형의 검증은 신태인수위표 소유역에 대하여 모형의 보정에

이용하지 않은 2003년 자료에 대해 수행하였다. 표 4는 통계적인 변량을 이용하여 실측치와 모의치를 비교하여 평가한 결과를 나타내고 있다. 결측기간을 제외한 모형의 검정기간에 대해서 모의한 결과, RMSE는 3.53mm/day, RMAE는 0.35mm/day, 그리고 결정계수(R^2)는 0.83로 모의되었다.

표 3. 모형의 검정기간 동안의 실측치와 모의치의 비교

| 연도 | 관측일수 (day) | 강우량 (mm) | 유출량 (mm) | | RMSE (mm/day) | RMAE (mm/day) | R^2 |
|------|---------------|-------------|----------|--------|------------------|------------------|-------|
| | | | 실측치 | 모의치 | | | |
| 2003 | 365 | 1870 | 2433.1 | 2363.5 | 3.53 | 0.35 | 0.83 |

그림 6은 자료의 보정기간에 대한 유출량의 모의결과를 실측치와 비교하여 보여주고 있으며, 그림 7은 유출에 대한 모형의 보정과 검정 결과를 실측치와 일대일로 비교하여 보여주고 있다.

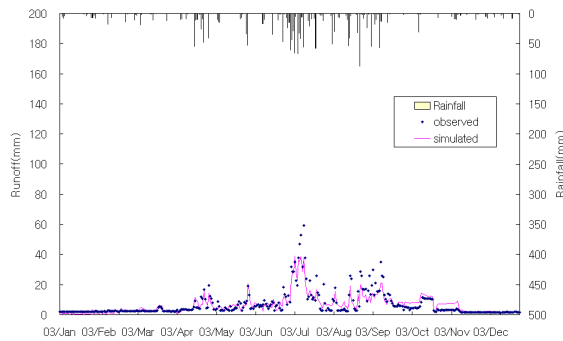


그림 6. 모형의 보정기간에 대한 유출량비교

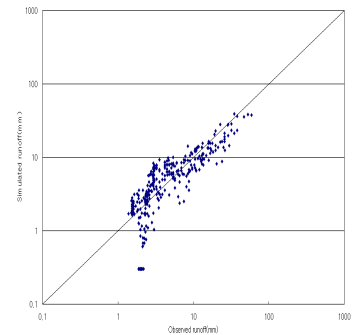


그림 7. 유출 검정결과

5. 결 론

유역물수지모형을 이용하여 일별 유출량을 모의하기 위하여 연구대상유역인 신탄인수위표 상류유역을 대상으로 수문자료, 토지피복자료, 도수량 및 취수량 등을 수집·분석하였다. 획득된 자료를 이용하여 유역물수지모형을 대상유역에 적용하고 유출량에 대하여 실측자료와 모형결과 자료를 통해 모형의 보정 및 검정을 실시하였다. 적용결과 모형의 보정기간인 1998년의 유출량을 모의한 결과, RMSE는 2.64mm/day, RMAE는 0.24mm/day, 그리고 결정계수(R^2)는 0.91로 모의되었으며, 모형의 검정기간인 2003년의 유출량을 모의한 결과, RMSE는 3.53mm/day, RMAE는 0.35mm/day, 그리고 결정계수(R^2)는 0.83로 모의되었다.

감사의 글

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임

참고문헌

1. 농림부·농어촌진흥공사, 1997. 새만금지구 간척종합개발사업 수문조사 보고서
2. 농림부, 농업기반공사. 2001. 새만금호 종합 물관리 방안 수립(I) 수문조사보고서
3. 김현영, 황철상, 강석만, 이광야, 1998. 유역물수지모형(WWASS)에 의한 임의 하천지점에서 일별 유출량의 모의발생, 한국수자원학회지 31(4) : pp.503-512
4. 김현영, 박승우, 1988. 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생, 한국농공학회지