

洛東江流域의 低水管理시스템

李舜澤 · 池洪基 嶺南大學校 教授 · 副教授

南宣祐 東國大學校 教授

崔榮博 高麗大學校 教授

1. 서론

물부족이 예상되는 유역의 물관리는 장기적인 관점에서 운영되어야 하며, 유역의 물수지는 유역에서 발생하는 유출량의 정확한 추정과 하류의 용수수요 패턴을 고려하여 계산되어야 한다. 일반적으로 장기유출량을 추정할 수 있는 수문모형은 여러가지가 있으나 이들 모형의 대부분이 복잡한 구조를 가지고 있으며, 매개변수가 많고 실측자료를 요구하고 있다. 이들 가운데 Tank 모형은 장기유출량을 추정하는데 있어서 구조의 단순성과 입력시퀀 매개변수가 적다는 점에서 비교적 우수한 모델로 인정되고 있으나, 이 모델을 사용하는데 있어서는 많은 노력과 시간이 소요되는 결점도 있다.

따라서 본 연구에서는 합리적인 저수유출의 해석 및 관리를 위하여 낙동강유역의 수문조건에 적합한 저수관리시스템 모델을 개발하는데 그 목적이 있다. 본 연구의 저수관리시스템 모델은 유역과 하도의 자연유량 시뮬레이션, 물수지 시뮬레이션, 댐운영 시뮬레이션 및 예측 시뮬레이션 등으로 구성하였으며, 유역유출 시뮬레이션의 기본모형은 직렬4단 Tank모형을 이용하였다.

2. 저수관리 시스템

저수관리 시뮬레이션시스템은 하천유역의 저수관리를 원활히 수행할 수 있도록 6개의 부시스템으로 구성하였다. 본 연구에서의 저수관리시스템은 자료관측 및 전송시스템, 데이터뱅크시스템, 하도물수지 시뮬레이션시스템, 댐운영조작 시뮬레이션시스템 및 예측지시스템 등으로 구성하였다.

2.1 유출 시뮬레이션 이론

탱크모델의 유출과정은 각 탱크에서 유출되는 유량의 합으로 구할 수 있으며, 그관계는 식 (2.1)과 같다.

$$Q_{ij} = \sum (S_{ij} - H_j) A_j \quad (2.1)$$

여기서 Q_{ij} = 유출량(mm), i = 단위시간(일), j = Tank번호, n = Tank수, S = Tank의 저류고(mm), H = 유출공의 높이(mm) 및 A = 유출공의 유출계수이다. 그리고 저류고 S 는 시간에 따라 변하며, 그 크기는 식(2.2)와 같다.

$$S_{ij} = S_{i-1,j} + R_i - E_i - I_{i-1} - Q_{i-1,j} \quad (2.2)$$

여기서 R = 강유량(mm), E = 증발산량(mm) 및 I = Tank의 침투량이다. 또한 침투량 I 는 Tank의 저류고와 침투공의 침투계수(B)에 따라 시간적으로 변하며, 그 관계는 식(2.3)과 같다.

$$I_{ij} = (S_{ij} - H_j) B_j \quad (2.3)$$

2.2 하도 물수지 시뮬레이션

하도추적 : 유량의 하도추적은 각 소유역에서 계산된 자연유량이 하도구간에서 지체와 저류현상이 발생하게 되므로 하도구간을 세분하여 계산해야 한다. 특히 하도의 유달시간은 하도의 특성과 유량의 크기에 따라 큰 차이가 있으므로 저수시에는 상류의 댐으로부터 방류량의 크기에 따라 주요지점별로 측정된 값을 사용한다.

하도 물수지 : 하도구간에서의 물수지는 기준점의 자연유량과 그 지점 상류에서의 취배수량 및 상류의 댐운영실적을 고려한 기준지점의 유량계산 결과이다. 따라서 기준지점의 유량은 하도구간에서 취수된 물이 계산지점상류에서 환원되는 경우와 하류에서 환원되는 경우로 구분이 된다. 먼저 동일 하도구간에서 취수와 환원이 발생하는 경우 기준지점 (i)의 유량(Q_i)은 식(2.7)과 같다.

$$Q_i = Q_{ni} - (1-k) q_i \quad (2.4)$$

여기서 Q_{ni} 는 i 지점의 자연유량이며, q_i 는 i 지점의 상류취수량 및 k 는 환원율이다. 다음으로 취수와 환원이 동일 하도구간이 아니고 상류 하도구간에서 취수가 되어 기준지점 하류에서 배수되는 경우의 유량은 식(2.8)과 같다.

$$Q_{i-1} = Q_{ni-1} - q_{i-1}$$

$$Q_i = Q_{ni} + k \cdot q_{i-1}$$

2.3 댐운영 시뮬레이션

(2.5)

댐운영은 하류의 용수수요에 따라 운영되어야 하며, 방류량은 댐의 저수량과 유입량을 고려하여 결정한다. 그러므로 댐운영 시뮬레이션은 저수시에 하류의 용수수요에 따라 기준지점별로 관리(확보)유량을 설정하고 댐의 유입량, 저류상황 및 저류와 방류능력 등을 검토하여 댐운영 rule을 결정한다.

용수수요와 관리유량 : 갈수기에 하도의 관리유량은 하류의 용수패턴과 절수율을 적용해야 하며, 절수율은 갈수피해 예상정도 및 물의 용도와 지역에 따라 우선순

위를 두어 결정해야 한다. 용수수요는 용도, 지역 및 계절에 따라 달라지므로 유역과 하도구간별로 용수수요를 조사하고 계절에 따라 용도별로 용수수요패턴을 분석하여 결정한다. 용도별 물수요는 농업용수, 생활용수 및 공업용수로 구분하며, 유역별 용수수요는 소유역과 하도구간으로 나누어 분석한다. 다음으로 관리유량은 용도와 지역에 따라 분석된 용수수요패턴을 이용하여 하도의 각 기준지점에 대하여 결정한다. 즉, 기준지점의 관리유량은 해당 기준지점의 하류유역의 총수요이며, 그 계산은 용도별로 수요패턴에 따라 계산한다.

댐 운영rule : 댐운영 rule은 예측기간동안에 댐의 수위가 지정수위에 접근하도록 방류량을 조절하여 하류의 관리유량을 만족시키고, 만일 방류량이 하류의 관리유량을 만족지 못할 때의 관리유량은 하류의 댐군을 운영하여 이를 확보해야 한다. 댐의 방류량(Q_0)은 하류 기준지점에서 관리유량(Q_n)과 거의 같아야 한다. 그러나 Q_0 가 Q_m 보다 클때의 댐방류량은 앞에서 계산된 방류량 Q_0 를 방류해야 하며, Q_0 가 Q_m 보다 적을 때의 댐방류량은 하류의 댐군을 연계운영시켜 부족량($Q_m - Q_0$)을 하류의 댐으로 부터 확보해야 한다.

2.4 예측 및 관리 시뮬레이션

저수유향의 예측정보는 저수시의 갈수대책을 수립하는데 매우 중요한 사항이므로 그 예측은 장기와 단기로 구분하여 수립함이 필요하다. 그러므로 저수유출예측 시뮬레이션은 유역의 수문패턴, 용수수요에 대한 관리rule 및 이에 대한 예측시스템의 시뮬레이션 등으로 구성된다.

수문학적 패턴 : 저수예측 시뮬레이션에 필요한 입력자료는 예측수문자료를 사용하며, 예측수문자료는 유역에서 발생한 기왕의 대표갈수년 패턴과 최근의 패턴을 사용한다. 따라서 저수예측 시뮬레이션은 예측코자 하는 시점의 수문패턴과 유사한 패턴(갈수, 평수 및 대표갈수)을 선정하여 수문시계열을 작성하고 이를 시뮬레이션모델에 입력시켜야 한다.

관리rule : 유역의 저수관리 시뮬레이션은 예측유량과 하도의 기준지점에서 확보해야 할 유량을 비교하여 하류의 수요와 공급이 균형을 이루어야 한다. 그러므로 저수시에 관리(확보)유량은 하류의 용수수요를 추정하여 이를 충족시킬 수 있도록 결정한다. 그러나 제한용수공급을 해야할 때의 관리유량은 댐의 저수량과 용수수요에 따라 용도별로 절수율을 적용해야 한다.

3. 모델의 적용 및 검토

3.1 유역의 수문학적 조건

저수관리 시스템모델의 적용유역은 낙동강유역으로서 유역내의 저수시설은 4개의 기존댐(안동, 합천, 영천, 남강댐)과 2개의 건설중인 댐(임하, 운문댐)이 있으며,

본류의 하구에는 하구언이 건설되어 있다. 저수관리 시스템모델을 적용하기 위한 소유역과 하도구간은 유역의 지형특성, 하도특성, 토지이용 및 이수시설 등을 고려하여 圖1과 같이 분할하였다.

3.2 유역유출 시뮬레이션

모델의 매개변수 추정 : 낙동강유역의 저수유출 시뮬레이션시스템에 적용코자 하는 기본유출모델은 Tank모델이며, 매개변수 추정에 적용된 시산유역은 비교적 정밀

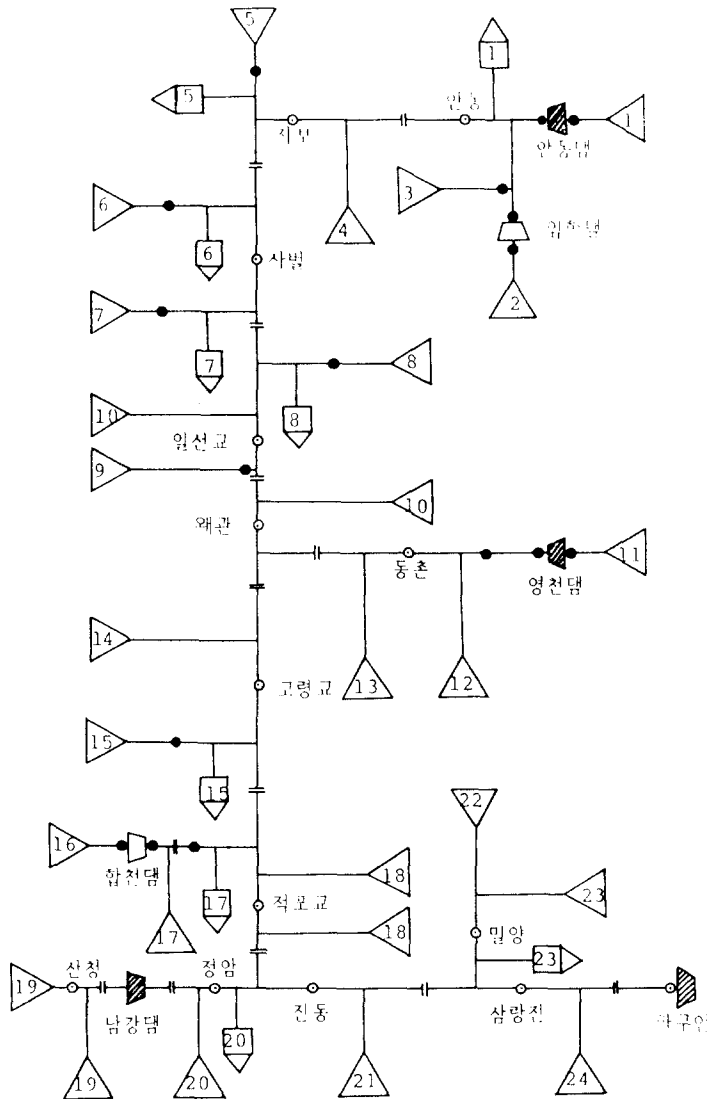


圖 1 낙동강유역의 저수관리 모식도

한 rating curve가 있는 7개지점(No.5, 6, 8, 9, 12, 15, 20)을 대상으로 분석을 실시하였다. 각 소유역의 모델매개변수는 유역특성인자인 유역면적과 담면적의 구성비에 따라 변하고 있으며, 특히 제 1, 2, 3단 Tank의 유출계수는 유역면적에 지배되고 제 1, 2, 3, 4단 Tank의 침투계수와 제 4단Tank의 유출계수는 담면적의 구성비에 지배됨을 알 수 있었다. 그러므로 본 유역의 모델매개변수는 이들 관계로부터 결정하였다.

자연유량 시뮬레이션 : 자연유량 시뮬레이션은 소유역별 시뮬레이션과 하도의 기준지점별 시뮬레이션으로 나누었다. 본 유역의 자연유량 시뮬레이션은 24개 소유역에 대하여 계산하고 기준지점의 자연유량은 하도추적에 의하여 산출하였다. 하도추적은 유량의 크기에 따라 도달시간이 달라지므로 홍수시의 도달시간은 USBR의 추천식을 이용하고 저수시의 도달시간은 실측시간을 이용하였다.

3.3 하도물수지 시뮬레이션

하도물수지 시뮬레이션은 자연유량 시뮬레이션으로 부터 얻어진 각 기준지점의 자연유량과 그 상하류의 취배수에 의한 환원량을 입력시켜 물수지를 계산하고 취배수후의 각 기준지점의 유량을 계산도록 하였다. 물수지계산에 필요한 농업용수의 환원율(k)은 이양기($k = 0.4 - 0.6$) 및 비이양기($k = 0.6 - 0.8$)를 적용하였으며, 생공용수의 환원율(k)은 0.6 - 0.8 범위 내에서 적용하였다. 그 결과 시뮬레이션유량과 실측유량은 갈수기에 저수유출부분이 매우 접근하고 있었으며, 홍수기의 침투유출 부분은 갈수기 보다 다소 차이가 있으나 대체로 접근하고 있음을 보여 주었다.

3.4 댐관리 및 예측 시뮬레이션

댐조작rule : 유역내의 안동, 영천, 합천 및 남강댐의 조작rule은 각 댐의 용수공급능력과 하류의 용수수요를 고려하여 결정하였으며, 각 댐의 방류량(Q_0)은 예측강우패턴에 의해서 댐유입량을 시뮬레이션한 결과와 각 댐의 제약조건을 대입하여 댐의 과부족량을 계산하였다.

관리유량 : 유역내의 주요 기준지점별 관리유량은 각 댐이 분담해야 할 공급지역과 장래의 용수수요에 의해서 결정토록 하였다. 각 댐이 분담해야 할 공급지역은 낙동강본류(안동, 합천댐), 금호강 본류와 포항지역(영천댐), 그리고 남강본류와 사천지역(남강댐)으로 구분하였다. 그리고 용수수요는 현재 (1988)와 장래(1991, 1996, 2001)로 구분하여 용도별로 추정하였다. 따라서 각 기준지점들의 관리유량(Q_m)은 그 지점 하류의 용수수요를 합산하여 결정하였다.

수문학적 패턴 : 낙동강유역의 저수예측 시뮬레이션에 필요한 수문패턴은 강우패턴과 증발산패턴이 있으며, 강우패턴은 본 유역에서 기왕에 발생한 대표갈수년 (1967-1968)의 강우패턴과 최근 6년간의 강우패턴을 분석하여 대표갈수, 갈수, 평수및 풍수로 구분하여 설정하였다. 또한 증발산은 유역내 5개 측후소의 자료를 이용하여

월평균 증발산량을 추정하였으며, 증발산 패턴은 추정된 각 지점의 증발산량으로 부터 지배면적을 고려하여 24개 소유역의 월평균치를 추정하였다.

예측시뮬레이션 : 낙동강유역의 저수예측 시뮬레이션 시스템에 의한 그 적용예로서 강우패턴은 본 유역의 대표갈수년에 해당하는 강우패턴을 사용하고 댐운영rule은 앞에서 제시한 일정량 방류rule을 적용하였다. 예측시뮬레이션 결과를 하도의 주요 기준지점인 왜관과 진동지점에 대하여 비교하였다.

4. 결 론

지금까지 낙동강유역에 설치된 수문관측및 전송시스템과 데이터뱅크시스템을 이용하여 갈수시 용수수요에 대비할 수 있는 저수관리 시스템모델은 Tank모델에 의한 저수유출 시뮬레이션시스템, 하도물수지 시뮬레이션시스템, 댐운영 및 예측 시뮬레이션시스템으로서 그 시스템의 알고리즘을 개발하였다. 그리고 이를 낙동강유역에 적용한 결과 실측치에 매우 근사한 값이 하도의 각 기준지점에서 시뮬레이션되고 있음을 발견하였다. 그리고 낙동강유역의 갈수기간 중 하류의 용수수요에 합리적으로 대처할 수 있는 저수예측 시뮬레이션시스템을 구축하기 위하여 이 유역의 강우패턴 분석으로부터 얻은 예측강우, 하류의 용수수요패턴으로부터 얻은 장래 용수수요 및 유역내의 댐별 운영rule 등으로 장단기 저수예측을 수행할 수 있는 저수예측 시뮬레이션시스템 모델을 설정하였으며, 이를 우리나라의 대표 갈수년에 적용한 결과 비교적 잘 맞는 모델임을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서 개발된 저수관리 시스템모델은 일반적으로 유역의 수계가 복잡한 대유역에 있어서 하류의 다양한 용수수요패턴과 댐군의 최적연계운동을 통하여 유역의 저수관리를 효율적으로 수행할 수 있는 시스템시뮬레이션 모델이라고 판단된다.

참 고 문 헌

1. J.R. Nuckols and C.T. Haan, Evaluation of TVA Streamflow Model on Small Kentucky Watersheds, Transactions of the ASCE, 1979.
2. R.L. Bengtson, F.R. Crow and A.D. Nicks, Calibrating the USDAHL Hydrologic Model on Grassland Watersheds, Transaction of the ASCE, 1980.
3. U.S. Army Corps of Engineers, Program Description and User Manual for SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) Model, 1987.
4. M.Sugawara, I.Watanabe, E.Ozaki and Y.Katsuyama, Reference Manual for Automatic Calibration Program of the Tank Model Parameters, National Research Center for Disaster Prevention, 1985.