

저류함수기법을 이용한 격자기반의 강우-유출 모형 개발

Grid Based Rainfall-Runoff Modeling Using Storage Function Method

신철균* / 조호섭** / 정관수*** / 김재한****

Shin, Cheol-Kyun / Cho, Hyo-Seob / Jung, Kwan-Sue / Kim, Jae-Han

Abstract

According to the report of hydrologic modeling study, from a quantitative point of view, a lumped model is more efficient than a distributed model. A distributed model has to simplify geospatial characteristics for the sake of restricted application on computer calculation and field observation. In this reason, a distributed model can not help having some errors of water quantity modelling. However, considering a distribution of rainfall-runoff reflected spatial characteristics, a distributed model is more efficient to simulate a flow of surface water. The purpose of this study is modeling of spatial rainfall-runoff of surface water using grid based distributed model, which is consisted of storage function model and essential basin-channel parameters(slope, flow direction & accumulation), and that procedure is able to be executed at a personal computer. The prototype of this model is developed in Heongseong Multipurpose Dam basin and adapted in Hapchon Multipurpose Dam basin, which is larger than the former about five times. The efficiency coefficients in result of two dam basin simulations are more than about 0.9, but ones at the upstream water level gauge station meet with bad result owing to overestimated rating curves in high water level. As a result of this study, it is easily implemented that spatially distributed rainfall-runoff model using GIS, and geophysical characteristics of the catchment, hereafter it is anticipated that this model is easily able to apply rainfall data by real time.

Keywords : Rainfall-Runoff Model, Distributed Model, Storage Function, GIS Model

요 지

수문학적 모델에 대한 연구보고에 의하면 유출량 모의 측면에서 집중형 모형은 분포형 모형보다 적용성이 좋다고 볼 수 있다. 분포형모형은 컴퓨터 계산환경 및 현장 실험이 허용하는 범위내에서 지형인자를 단순화하여야만 하기 때문에 양적인 오차를 가진다. 하지만 공간적 지형인자를 고려한다는 측면에서 분포형모형은 지표수 흐름을 분석하는데 더욱 효과적이다. 본 연구의 목적은 흐름의 특성을 결정짓는 최소한의 지형인자(흐름경사, 방향, 누적도)를 고

* 한국수자원공사 물관리센터 대리

Water Resources Management Center, San6-2, Yeonchuk-dong, DaeDeok-Gu, Daejeon, 306-711, Korea
(E-mail: kyun@kowaco.or.kr)

** 일신하이텍 기술연구소 공학박사

Vice Director, Tech.Ins.of IShin-HiTech Co. 3th. DaeKwang B/D, 552-22, Dogok-Dong, GangNam-Gu, Seoul 137-858, Korea
(E-mail: chohs@cnu.ac.kr)

*** 충남대학교 공과대학 토목공학과 부교수

Associate Professor, Dept. of Civil Engrg., ChungNam National Univ.Daejeon 305-764
(E-mail: ksjung@cnu.ac.kr)

**** 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수

Professor, Dept. of Civil Engrg., ChungNam National Univ.Daejeon 305-764
(E-mail: kjh@cnu.ac.kr)

려한 저류함수를 이용하여, 격자기반의 공간적 강우-유출모형을 개발하는 것이며, 이러한 작업의 과정은 개인용 컴퓨터에서 이루어진다. 모형의 원형은 비교적 작은 유역인 횡성다목적댐을 대상으로 개발하여, 유역면적이 비교적 넓은 합천댐 유역을 대상으로 적용하였다. 댐지점에 대한 유역유출 모의결과 Nash J.E. 와 Sutcliffe J.V.가 제안한 효율계수는 약 0.9를 상회하였으나, 유역내 상류 수위관측소에 대한 효율계수는 양호하지 못하였는데, 이러한 이유는 대상댐 유역에 대하여 산정된 수위-유량 곡선식의 고수위부분이 과추정 되었다고 판단된다. 본 연구결과 유역의 공간적으로 분포된 유역특성을 고려한 강우-유출모형은 GIS를 이용하여 손쉽게 구현할 수 있었다. 향후 강우레이더와 같이 공간적으로 분포된 강우량의 실시간 취득이 범용화되면, 본 연구의 분포형 모형을 직접 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 강우-유출모형, 분포형 모형, 저류함수식, GIS모형

1. 서 론

최근 들어 전 세계적으로 극심한 기후변화와 그에 따른 기상이변으로 집중호우에 의한 피해가 급증하고 있다. 이러한 국지적, 집중적 호우를 소수의 소유역과 하도망의 구성으로 해석하는 기존의 집중형 모형(Lumped model)으로는 강우-유출 현상에 관한 정교한 해석이 곤란한 상황이다. 분포형 모형의 지형특성을 고려한 유출량의 공간적인 분포상황 파악이 가능한 장점을 고려한다면 그 활용성은 훨씬 크다고 할 수 있다(신사철, 1996).

이러한 활용성을 반영하여 격자기반의 강우유출 모의모델 개발(김성준, 2001) 및 TOPMODEL의 적용성 검토와 알고리즘 개선에 관련한 연구(조홍제와 조인률, 1998) 등이 활발히 진행되었으며, 최근에는 최우희 등(2003)이 기상레이더와 지형정보 시스템을 이용한 분포형 강우-유출 유역모형의 개발을 연구한 바 있다.

또한, 강우-유출 모형으로 적용하려는 저류함수기법은 일본의 木村俊晃(1958)가 이론적 배경을 발표한 이래 선우중호(1985), 범진은(1985) 등이 강우유출과 하도 추적 모형의 적용연구로 오늘날까지 홍수에·경보 업무의 홍수분석모형으로 적극 활용되고 있다.

본 연구에서는 이러한 집중형 및 분포형 모형의 특성을 이용하여 해당유역의 공간적 강우-유출을 모의하

되, 그간에 보고되어오던 분포형 모형의 실무적용시 문제가 되는 분석시스템의 기술적 제약 등을 현실적인 측면에서 극복하고자 하였다.

2. 적용 이론

2.1 저류함수 유출해석

2.1.1 유역 저류함수의 특성

저류함수모형에서 소유역이라 할 수 있는 격자단위의 유출을 모의하기 위한 개념도는 그림 1과 같다. 여기서 $R_{mm, i}$ 은 i 번째 격자에 대한 강우량(Rainfall), A_i 는 소유역 면적(km²), $A_{r, i}$ 은 유출역(Runoff Area), $A_{p, i}$ 는 침투역(Percolation Area), $R_{sa, i}(H)$ 는 포화우량(Saturation Rainfall), L_i 은 하도의 길이, S_i 은 하도저류량, I_i 는 하도유입량(소유역 유출량), Q_i 는 하도의 유출량이다.

하도구간은 아래로 경사져 있으며 유역 전체에 강우량 $R_{mm, i}$ 이 발생하고, 소유역 A_i 에서의 초과강우량에 유출계수를 적용하여 얻어지는 유출량은 하천에 유입(I_i)된 후, 하도 형상에 따른 저류과정을 거쳐 출구로 배출된다고 가정한다.

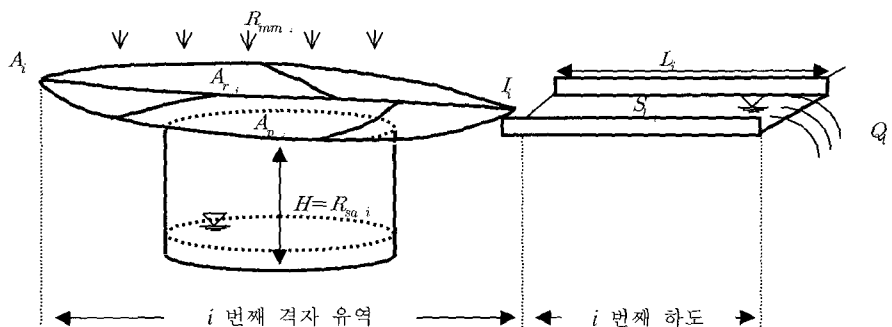


그림 1. 저류함수모형의 강우-유출모의 개념도

본 연구의 유역 유출계산은 유역지류와 유출에 관한 단위를 강우량단위(mm/hr)와 같이 단위저류고(mm), 단위유출고(mm/hr)로 사용한다. 이에 따라 유역의 저류함수식은 식(1) 및 식(2)로 표시한다.

$$Re_i(t) - q_{l_i}(t) = dS_{l_i}(t)/dt \quad (1)$$

$$S_{l_i}(t) = k_i q_{l_i}(t)^{p_i} \quad (2)$$

여기서, t 시간의 유역출구에서의 유출량 $q_i(t)$ 는 $q_{l_i}(t - \Delta t)$ 의 개념이며, Re_i : 유효강우(mm/ Δt), k_i : 저류상수($mm^{(1-p_i)}/\Delta t^{(-p_i)}$), p_i : 저류상수(무차원), T_{l_i} : 지체시간(hr), S_{l_i} : 저류고(지체)(mm), q_{l_i} : 유출고(지체)(mm/ Δt), q_i : 유출고(출구)(mm/ Δt), Δt : 계산단위시간(여기서는 1시간)

식(2)를 식(1)에 대입하고 차분식으로 쓰면 식(3)과 같다.

$$\frac{k_i q_{l_i}(t)^{p_i}}{\Delta t} + \frac{q_{l_i}(t)}{2} = \quad (3)$$

$$\frac{k_i q_{l_i}(t - \Delta t)^{p_i}}{\Delta t} - \frac{q_{l_i}(t - \Delta t)}{2} + Re_i(t)$$

식(3)에서 우변항은 기지의 값이므로 상수로 고려하면 식(4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_i \cdot q_{l_i}(t)^{p_i} + b_i \cdot q_{l_i}(t) = Constant(a_i, b_i: \text{일정}) \quad (4)$$

식(4)은 포함된 여러개의 미지수 때문에 직접적으로 해를 구할 수 없으므로, 변수 초기치를 가정하여 반복 수행함으로써 해를 얻을 수 있는 비선형해법인 Newton-Raphson 해법에 의하여 $q_l(t + \Delta t)$, $q_l(t + 2\Delta t)$, ..., $q_l(t + n\Delta t)$ 의 값을 구한다.

상기 계산과정을 격자에 대한 유출역과 침투역별로 각각 수행하면 전유역의 단위유출고 q'_i 는 유출역의 단위유출고 q_{f_i} (mm/h)와 침투역의 단위유출고 q_{s_i} (mm/h)로 식(5)와 같이 표시된다.

$$q'_i = f_{1_i} \cdot q_{f_i} + (1 - f_{1_i}) \cdot q_{s_i} \quad (5)$$

여기서, f_{1_i} : i 번째 격자의 1차유출률(무차원)

격자유역의 총 유출 Q_{T_i} 는 기저유량을 포함하여 m^3/sec 단위로 변환하여 쓰면 식(6)과 같다.

$$Q_{T_i} = \frac{1}{3.6} f_{1_i} A_i q_{f_i} + \frac{1}{3.6} (1 - f_{1_i}) A_i q_{s_i} + q_{b_i} \quad (6)$$

여기서, q_{b_i} : 기저유출(m^3/sec), A_i : 단위격자(Cell)에 대한 유역면적(km^2)

본 연구에서 선정한 격자의 크기는 모형의 수행시간 단축과 가용한 GIS입력자료(DEM 등)를 고려하여 $100 \times 100m$ 의 격자를 선정하여, 각 격자의 유역면적은 $0.01 km^2$ 이고, 하도의 유로연장은 GIS로 분석한 8방향 흐름도를 기준으로 하천의 흐름방향이 격자와 직각인 경우 흐름방향 거리인 $0.1 km$ 로 적용하고, 대각선 흐름인 경우 피타고라스의 정리에 따라 흐름방향거리를 $0.1 \times \sqrt{2} km$ 로 적용하였다.

2.1.2 하도의 홍수추적

수문학적 하도 추적의 방법은 하천의 연속방정식과 저류함수를 사용하여 나타낸다.

$$I_i(t) - Q_{l_i}(t) = \frac{dS_{l_i}(t)}{dt} \quad (7)$$

$$S_{l_i}(t) = k'_i Q_{l_i}(t)^{p'_i} - T'_{l_i} Q_{l_i}(t) \quad (8)$$

$$Q_i(t) = Q_{l_i}(t - T'_{l_i}) \quad (9)$$

여기서, $I_i(t)$: 유입량(m^3/s), k'_i : 저류상수($m^{(1-p'_i)}/sec^{(-p'_i)}$), p'_i : 저류상수(무차원), T'_{l_i} : 지체시간(hr), $S_{l_i}(t)$: 저류량($m^3/sec \cdot hr$), dt : 계산 단위시간(hr), $Q_{l_i}(t)$: 지체된 유출량(m^3/s), $Q_i(t)$: 출구에서의 유출량(m^3/s)

식(7)의 연속방정식을 차분식으로 표시하면 식(10)이 된다.

$$\frac{I_i(t - \Delta t) + I_i(t)}{2} - \frac{Q_{l_i}(t - \Delta t) + Q_{l_i}(t)}{2} = \frac{S_{l_i}(t) - S_{l_i}(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (10)$$

식(8)의 $S_{l_i}(t)$ 을 식(10)에 대입하여 정리하면 식(11)이 성립한다.

$$\frac{k'_i Q_i(t)^{p'_i}}{\Delta t} + \frac{Q_i(t)}{2} - \frac{T'_i Q_i(t)}{\Delta t} = \frac{k'_i Q_i(t-\Delta t)^{p'_i}}{\Delta t} - \frac{Q_i(t-\Delta t)}{2} - \frac{T'_i Q_i(t-\Delta t)}{\Delta t} + \frac{I_i(t) + I_i(t-\Delta t)}{2} \quad (11)$$

식(11)의 우변항은 상수로서, 비선형식의 해법인 Newton-Raphson 방법으로 $Q_i(t)$ 를 계산한다.

$$A'_i Q_i(t)^{p'_i} + B'_i Q_i(t) = Constant \quad (12)$$

(A'_i, B'_i : 일정)

2.1.3 매개변수 추정

유역의 유출계산 방법은 도해법, 반도해법, 수치추적 방법 등에 의해서 유역 및 하도에 대한 매개변수를 추정할 수 있으나, 본 연구에서는 유역내 유출특성이 수많은 인자들의 영향에 의해 간단히 고유의 독립적인 매개변수로 규정되지 못하는 이유로 우리나라 하천과 지형적으로 유사한 일본 이근천(利根川)에 적용된 추정식(식 13~18)을 적용하여 초기값을 정한다.

1) 소유역 매개변수 추정식

$$T'_i = 0.0506 \cdot L_i - 0.31 \quad (13)$$

단, L_i : 주하천장(격자폭)(km)

$$k_i = 118.84 \cdot \left(\frac{1}{s_i}\right)^{-0.3} \quad (14)$$

단, s_i : 주하천(격자) 평균경사

$$p_i = 0.175 \cdot \left(\frac{1}{s_i}\right)^{0.235} \quad (15)$$

2) 하도 매개변수 추정식

$$T'_{li} = 0.00165 \cdot L'_i \cdot s_i^{-0.5} \quad (16)$$

단, L'_i : 하도(격자) 연장(km)

$$k'_{li} = 1.67 \cdot Ks_i \quad (17)$$

$$\text{단, } Ks_i = 0.185 \cdot L'_i \cdot Wd_i^{0.4} \cdot \left(\frac{1}{s_i}\right)^{0.3} \cdot n_i^{0.6}, Wd_i = \text{하도의 평균폭(m), } n_i \text{ (Manning조도계수)} = 0.1 - 0.02 \cdot \log(1/s_i)$$

$$p'_{li} = 0.6 \quad (18)$$

3. 홍수분석시스템의 개발 및 적용

3.1 홍수분석시스템의 개발

모형에서의 GIS 분석을 통해 유역의 수치고도모델, 흐름방향도, 누적흐름도, 경사도(그림 2.) 등을 입력자료로 하여 격자 개개의 지형특성인자에 대한 매개변수 초기값을 추출하며, 유역내 관측된 지점강우 및 예측강우를 면적강우 분포기법중 Kriging 기법을 이용하여 공간 분포시킨다.

저류함수 강우-유출분석에 이용될 매개변수 중 유효강우산정에 필요한 f_{li} 및 $R_{sa i}$ 매개변수는 다목적댐의 홍수분석에 적용중인 집중형모형의 방법과 같이 대상지역의 과거 홍수 실적 자료에 의한 유출 분석으로 초기값을 채택하고 기타 저류매개변수는 일본의 이근천(利根川)을 대상으로 만든 경험식을 사용하여 초기값으로 적용하여 컴퓨터의 분석능력(처리시간), 자료구축에 필요한 노력 등 제반 여건을 고려하였다. 또한 다목적댐의 홍수분석에 사용되는 집중형 저류함수기법을 분포형 모형에 적합하도록 개선하였으며, 사용자가 모형수행전 수작업으로 작성하여야만 하는 유출체계와 초기 매개변수 등은 프로그램 상에서 자동으로 구성하도록 하였다.

모형의 유출해석 순서는 그림 3.과 같이 프로그램의 수행초기에 사용자가 요구하는 매개변수 비율백터, 연산기간, 관측 수문자료, 기저유량, 예측강우량 및 패턴 등을 입력하는 부프로그램으로 시작하여, 단계별 GIS 선행 작업을 통해 구해진 유역의 흐름도, 방향도, DEM 등을 이용하여 지형특성인자를 추출하며, 유출구에서의 기저유량을 격자별 지하수 감수곡선이 고려되도록 배분한 후, 관측된 유역평균 강우와 6개 분포형의 예측하려는 강우를 격자별로 시·공간 분포시킨다. 준비된 기초자료를 바탕으로 전체 유역의 격자(소유역) 유출해석을 수행하며, 분석된 격자 유출은 흐름도에서 제시된 방향으로 하도추적(Routing)을 수행하게 된다. 마지막으로 이들 분석 결과는 ASCII 형태의 TEXT 자료로 출력되어 사용자 편의에 따라 시각화 작업을 수행하도록 구성된다.

3.2 횡성다목적댐 유역의 적용

3.2.1 집중형 저류함수 모형에 의한 강우-유출 해석

횡성다목적댐 유역은 유역면적은 209km²이고 유로연장은 37km로서 홍수분석모형으로 사용하고 있는 한국수자원공사의 KOWACO 홍수분석모형(version 2003)을 이용하여 집중형 강우-유출 모의 실시로 댐 및 주요지

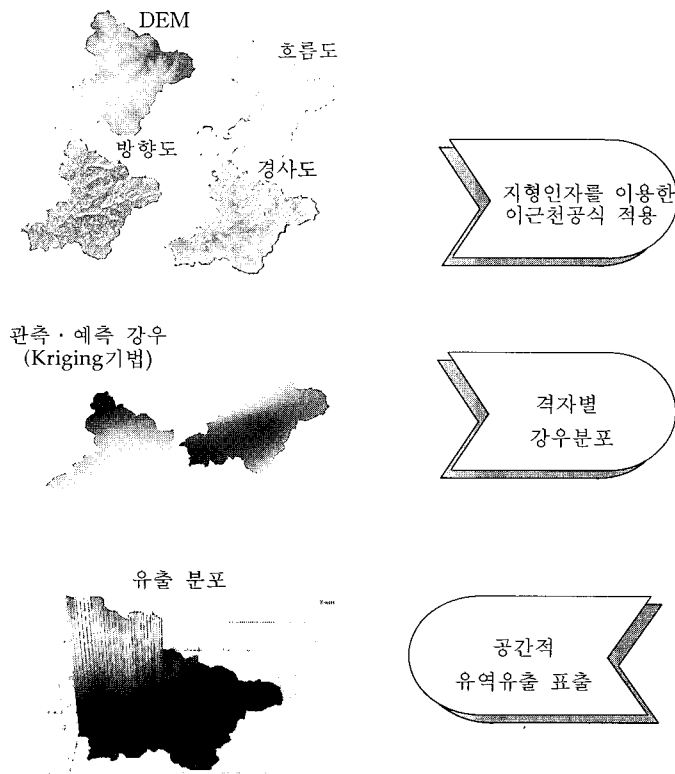


그림 2. 단계별 GIS 분석도



그림 3. 유출해석 프로그램 순서도

점에 대한 관측자료와 계산자료를 분포형 모형과 비교하고자 한다.

집중형모형의 수행은 2003.09.18 07:00 ~ 20:00(14시간) 동안의 집중호우에 대하여 분석하였으며, 동기간동안 티센법에 의한 댐유역 평균강우는 111.5mm, 매일교 지점 유역평균 강우는 110.4mm를 기록하였다.

분석결과 매일교 수위표 지점의 관측 및 계산유량에 많은 차이가 발생하였다. 횡성댐 유역의 관측 최대 유입량이 345.3m³/sec를 기록하였고, 상류의 지배면적이 댐유역 보다 작은 매일교 지점은 환산된 관측유량이 355.8m³/sec를 기록하였으며, 분석기간(50시간) 총유입량의 경우 댐유역은 13.3백만m³이고, 매일교 지점은 18.6백만m³이었다(그림 12, 13, pp. 976 참조).

매일교 지점의 첨두유량과 총유입량이 댐지점보다 크게 나타난 현상은 하천흐름의 물리적 설명이 불가한 점을 고려할 때 원인이 수위-유량 환산곡선식의 부정확성에 있다고 판단된다.

모형수행결과의 객관적 검증에 위해 Nash J.E. 와 Sutcliffe J.V.가 제안한 효율계수식(식 19)을 사용하며, 여기서 O_j 는 j 번째 관측값, P_j 는 j 번째 모의값, 그리고 O_{ave} 는 관측값의 평균이다.

$$E = \left[1.0 - \frac{\sum_{j=1}^N (O_j - P_j)^2}{\sum_{j=1}^N (O_j - O_{ave})^2} \right] \quad (19)$$

댐지점 및 매일교 지점의 효율계수는 각각 0.9712 및 0.5570로 나타났으나, 매일교지점의 수위-유량곡선식이 보완되면 좀더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

3.2.2 분포형 저류함수 모형에 의한 강우-유출 해석

분포형 저류함수 모형의 수행은 GIS를 이용한 자료의 전처리가 필요하며, 유역의 유출을 모식화 하는 과정은 컴퓨터의 빠른 계산능력에 의해 자동으로 수행되도록 하였다.

모형의 수행을 위해서 그림 4.와 같이 GIS 프로그램을 이용하여 수자원 단위지도의 횡성댐 유역과 관련된 수위·유량국을 추출하며, 강우량 입력에 필요한 우량국은 12개, 수위국은 매일교 및 댐지점 2개소를 선정하였다.

횡성댐 유역에 대하여 연구자료로 많이 배포되어있는 100×100m DEM(그림 5)을 적용하였고, 횡성댐 유역 면적을 표현하기 위한 격자의 수는 20,345개로 이는 향

표 1. 횡성댐 매개변수 현황

매개변수		Calibration비율계수	최종 선정된 매개변수 범위
유역	k_i	0.9	15.9747 ~ 102.6121
	p_i	0.9	0.1627 ~ 0.6985
	T_{l_i}	0.5	0.0025 ~ 0.0036
	f_{1_i}	1.2	0.6
	R_{sa_i}	1.0	20mm
하도	k'_i	0.9	0.0346 ~ 0.1705
	p'_i	0.9	0.54
	T'_{l_i}	0.9	0.0002 ~ 0.0050

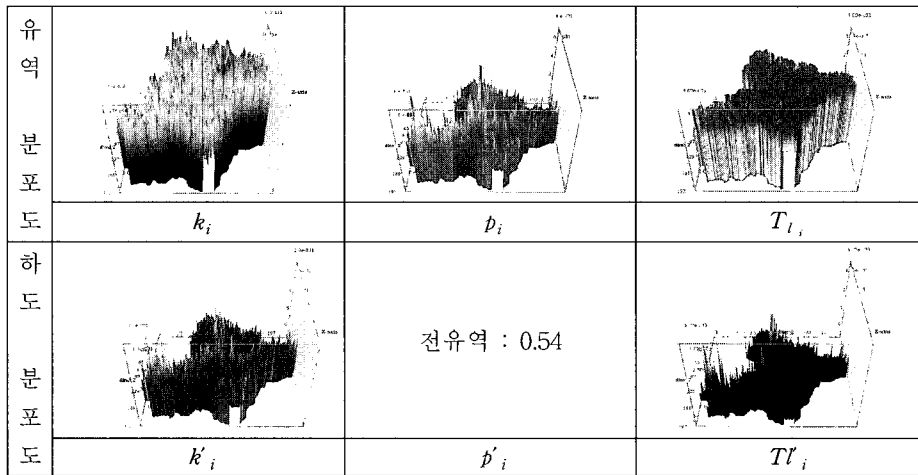


그림 10. 횡성댐유역 분포형모형 매개변수 현황

모형과 달리 원하는 지점의 격자 위치를 파악하여 손쉽게 그래프화 하는 장점이 있으며, 이는 강우유출의 공간 분포를 한눈에 볼 수 있어 유역관리에 유용한 정보를 제공 가능하다. 분석결과에 있어서 그림 11은 유역 최대 유출이 발생하는 시점인 13시간째의 유출 현황을 보여주고 있다. 효율계수(식 19)는 댐지점 및 매일교 지점에 대하

여 각각 0.91 및 0.57 이었으며, 매일교 지점의 침투유량과 총유입량은 집중형모형의 분석결과에서 언급한바와 같이 댐지점보다 크게 분석되어 수위-유량곡선식의 오류로 인한 관측환산유량의 과다로 효율계수 감소현상이 발생하였다고 판단되나, 유량의 증폭 차이를 제외한 침투 유량의 도달시간 모의는 양호함을 알 수 있다.

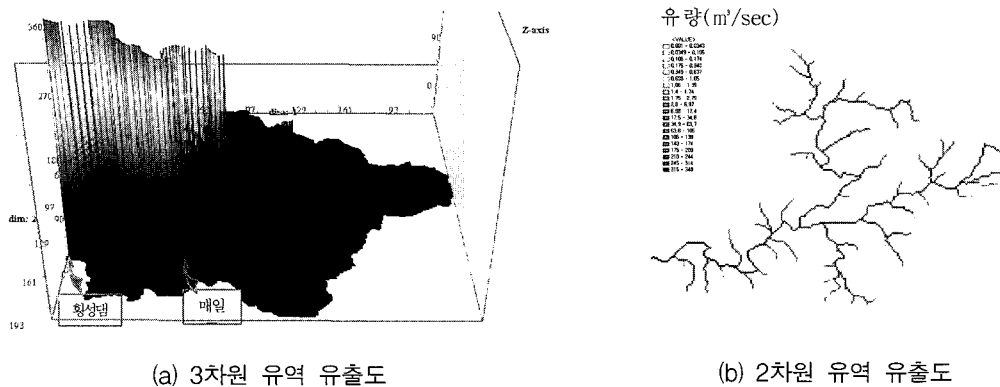


그림 11. 횡성댐유역 강우-유출 현황도(13H : '03. 9. 18 19:00)

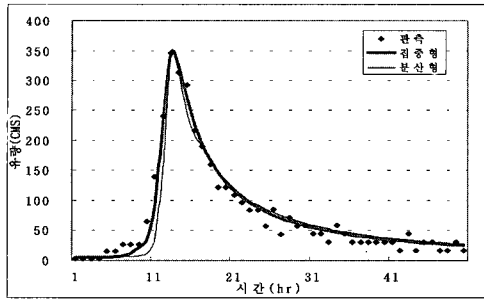


그림 12. 황성댐지점 유입수문곡선 비교

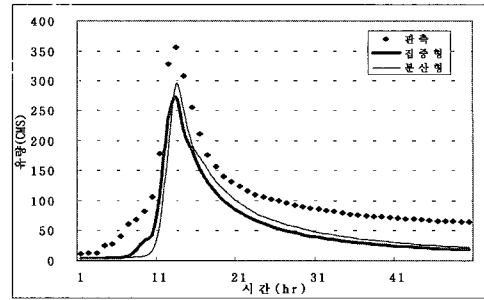


그림 13. 매일교지점 유입수문곡선 비교

3.3 합천다목적댐 유역의 적용

3.3.1 집중형 저류함수 모형에 의한 강우-유출 해석

합천댐은 유역면적이 925km²로서 유역내 수위관측소인 거창1·2, 지산 지점이 있으며, 모형의 수행은 2002.08.30 17:00 ~ 9.1 06:00(38시간) 동안의 태풍 “루사” 기간에 대하여 분석하였고, 동기간동안 댐유역에는 티센법에 의한 유역 평균 강우가 219.4mm를 기록하였다.

분석결과 홍수기간 중 유입량의 대부분을 차지하는 50시간 동안의 유출량을 비교하였으며, 효율계수는 댐 지점, 거창1, 거창2, 지산이 각각 0.97, 0.97, 0.94, 0.90 순으로 매우 양호한 상태를 보여주고 있다. 그러나 댐 지점을 제외한 3개 수위국 지점에서의 유출률이 표 2.에서와 같이 100%를 상회한 것으로 볼 때, 이는 물리적인 현황을 고려하지 않고 계산값을 관측그래프에 무조건 접근시킨 결과로 관측된 수위국의 유량이 '02년 유량추정결과에 과다하게 산정되어 고수위에서의 실제 하천유량보다 많은 유출결과를 나타냈다. 동기간의 강우 패턴은 댐 및 지산지점에 집중되어 거창1,2 지점의 강우와 비교할 경우 40mm이상 차이가 발생하므로 댐상류 지역의 유출은 과대하게 평가되었으며, 신뢰성 있는 결과 도출을 위해서는 비교적 정교한 수위-유량 환산식의 적용이 필요하다.

3.3.2 분포형 저류함수 모형에 의한 강우-유출 해석

모형의 수행을 위한 합천댐 유역은 그림 14에서 보

는바와 같이 11개소의 우량국과 3개소의 수위관측국으로 이루어져 있다. 대상호우는 3.3.1절에서 선정한 호우로 티센법과 Kriging기법에 의한 댐유역 평균 강우량을 비교한 결과 누가량이 각각 219.4mm와 218.2mm로서 그 차이가 근소하였고, 금번강우의 중심은 유역의 하류에 집중되어 댐지점에 많은 강우를 기록하였다. 분포형 모형의 수행은 댐지점의 유입량을 기준으로 매개변수를 조정하였으며, 적용된 저류함수 매개변수는 이근천 공식의 기본값에 대한 비율계수를 곱하여 91,777개에 달하는 격자를 대상으로 산정 하였고 분석결과는 표 3과 같다. 매개변수중 유출률에 직접적인 영향을 주는 f_{1i} 및 R_{sa_i} 값이 기준값을 많이 벗어나는 이유는 태풍 “루사” 직전, 댐유역에 8월 집중호우가 내려 유출에 충분한 선행강우를 발생시켜 손실량이 적은 것으로 판단되며, 확정된 매개변수에 의해 모의된 상류 3개 수위국 지점의 유입량 현황은 집중형모형의 수행에서 언급한바와 같이 수위-유량 곡선식에 의한 유량의 과다 환산으로 불합리한 부분이 있어 관측값에 대한 효율계수 산정이 무의미하나, 유량변화의 경향성을 비교하고자 댐지점을 포함한 4가지점을 비교하였다. 모형수행 결과는 그림 15와 같으며, 산정된 효율계수는 댐지점, 거창1, 거창2, 지산에 대하여 각각 0.94, 0.87, 0.75, 0.43의 값을 가지나, 지체시간 매개변수의 조정으로 도달시간을 관측값에 접근시키면 양호한 유출분석결과를 얻을 수 있으리라 판단된다.

표 2. 합천댐 유출률 현황(집중형 모형)

항 목	지 점	합천댐	거창1	거창2	지산
유역평균강우(mm)		219.4	174.1	175.2	216.3
총강우유출(백만m ³ , A)		203.0	39.5	31.7	34.6
직접유출(백만m ³ , B)		179.0	40.6	32.1	35.6
유출률(% , B/A)		88.0	102.8	101.3	103.1

※ 총강우유출(백만m³) : 강우량(mm)×유역면적(km²)/1000, 직접유출 : 기저유량제외

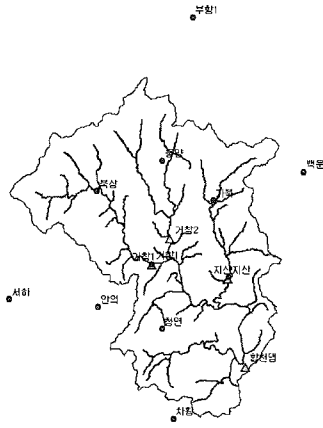
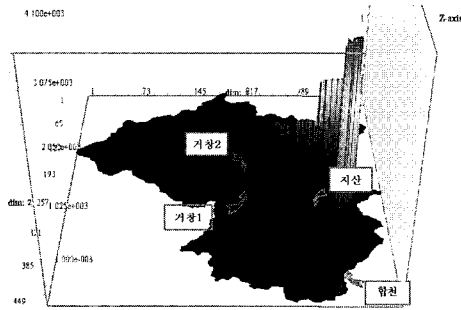


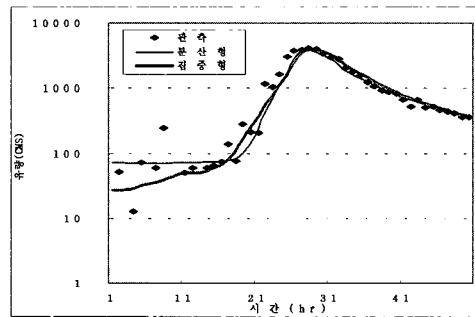
그림 14. 합천댐 유역도

표 3. 합천댐 매개변수 현황

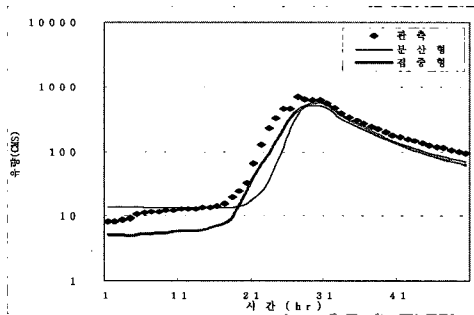
매개변수		Calibration 비율계수	최종 선정된 매개변수 범위
유역	k_i	0.9	37.4317 ~ 106.4237
	p_i	0.97	0.3864 ~ 0.7528
	T_{l_i}	1.3	0.0066 ~ 0.0093
	f_{1_i}	1.9	0.95
	R_{sa_i}	0.1	2mm
하도	k'_i	0.9	0.0946 ~ 0.1705
	p'_i	1.0	0.60
	Tl'_i	1.0	0.0013 ~ 0.0055



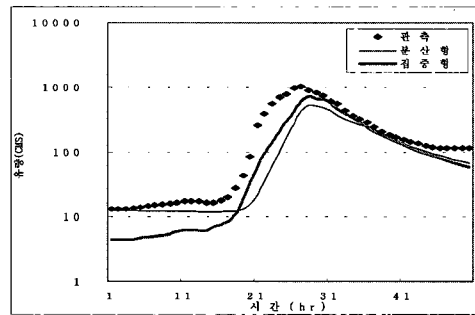
(a) 합천댐 유출('02.8.31 20:00)



(b) 합천댐 지점



(c) 거창2 지점



(d) 지산 지점

그림 15. 합천댐 유입수문곡선 비교(집중형모형 자료는 댐지점을 대상으로 매개변수조정수행)

4. 결론

본 연구는 저류함수기법을 이용한 분포형 모형을 개발하여 중진의 집중형모형이 유역출구 및 사용자가 정의한 위치에서만 분석결과를 얻을 수 있다는 점을 보완하여 최근 격자별 공간 강우관측이 가능하고, 발달된 컴퓨터 및 GIS 분석 기술을 이용하여 유역의 공간적 유황을 예측하고자 하였으며, 유역면적이 비교적 작은 황성다목적댐을 대상으로 모형의 원형(Prototype)을 구

축하여, 대유역인 합천다목적댐을 대상으로 호우 기간을 달리하여 적용함으로써 매개변수에 대한 보정 및 검증 실시하였다.

전 유역을 미소 격자로 구분하여 각각의 격자에 대한 유출계산을 수행하여 유역의 공간적 정보를 효과적으로 분석 가능하였으며, 최소의 매개변수만을 선정하여 홍수에·경보 분야에 널리 사용되고 있는 저류함수 모형을 적용함으로써 실무자에 친숙한 모형을 구축하고자 하였다.

한편, 모형 수행과정에서 보정점(Calibration Point)으로 사용하고 있는 유역내 수위표 지점의 수위-유량 환산식이 고수위에서 유량의 과대평가 오차가 발생하여 매개변수의 정확한 보정이 곤란하였고, 저류함수모형의 매개변수는 지형요소를 감안한 객관적 자료가 없어 분석시간 단축을 위해 경험공식에 의하여 초기값을 선정 후 보정하였으나, 향후 이러한 점에 대한 객관적 자료가 정립되면 적용성은 양호한 것으로 판단된다. 또한 분산형 모형의 모의시간은 횡성댐의 경우 약 2분, 유역면적이 횡성댐의 약 4배인 합천댐의 경우는 약 8분이 소요되었으며, 이는 연산시간을 결정짓는 유역의 최소단위격자 선정에 따라 변화하였다. 만일 사용자가 분석격자의 단위를 100×100m이하로 한다면 더 많은 분석시간이 소요되지만 유역의 상세한 지형 및 강우의 공간분포를 고려한다는 측면에서는 좋다고 할 수 있으므로 분석 격자단위의 선정을 위해서는 모형구성의 목적, 소요시간 및 가용한 자료 등에 대한 기획비용을 고려하여 가장 경제적인 방향을 모색하는 것이 바람직하다.

마지막으로 컴퓨터 기술이 발달과 공간의 정량적 강우 계측이 가능한 수문레이더 장비의 도입으로 격자별 강우량 산정이 가능해지면 공간 분포를 고려한 분포형 모형의 실시간 홍수분석이 가능하며 그 적용도 증대될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

김성준 (2001). “분포형 수문·수질 모델링의 최근 동향

과 활용방안”, **한국수자원학회논문집**, 제34권, 제6호, pp. 33~45.

범진은 (1985). 산업기지개발공사, 다목적댐 홍수유출 해석연구, pp. 96~100.

선우중호, 건설교통부 (1985). 충주다목적댐 건설에 따른 홍수예경보 프로그램 개선 보고서.

신사철 (1996). “분포형 강우-유출 모형에 의한 유출해석”, **한국수자원학회논문집**, 제29권, 제6호, pp. 131~139.

조홍제, 조인률 (1998). “분포형 유출모형을 이용한 홍수 유출해석”, **한국수자원학회논문집**, 제31권, 제2호, pp. 199~208.

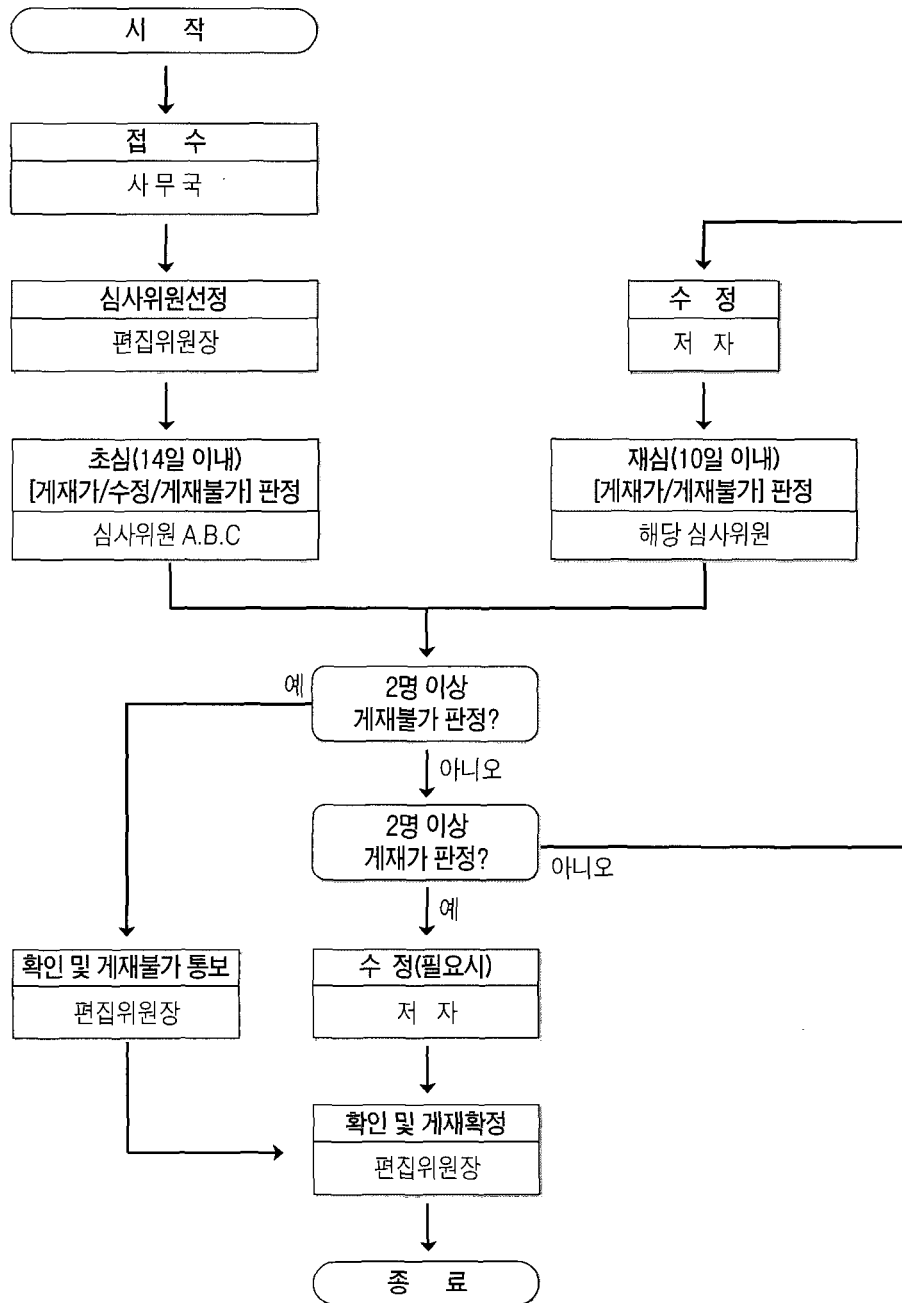
최우희, Brian E. Skahill, 김민환 (2003). “기상레이더와 지형정보시스템을 이용한 분포형 강우-유출 유역모형의 개발과 검증”, **한국수자원학회논문집**, 제36권, 제2호, pp. 285~300.

한국수자원공사 (2003). KOWACO 홍수분석모형 개발 (Final Report)..

Burrough P. A. (1986). “Principles of Geographical Information System for Land Resources Assessment”, Oxford University Press, New York, pp. 50.

木村俊晃 (1958). “洪水流出の推定法に關する研究(I) - 貯留關數に關する一考察 -.” **土木研究所報告**, 102號, pp. 9-16.

(논문번호:04-69/접수:2004.07.14/심사완료:2004.10.18)



한국수자원학회 논문심사 흐름도

논문심사에 소요되는 기간은 초심(14일 이내)과 재심(10일 이내)을 포함하여 3개월 이내에 처리함을 원칙으로 하며, 논문심사와 관련된 행정처리는 학회 사무국이 담당한다. 저자가 6개월 이내에 논문수정에 응하지 않을 경우 게재불가로 처리한다. 토의 및 회답은 논문집 편집위원회에서 처리한다.