

RRFS에 의한 금강수계의 주요지점별 유역유출지표 개발

Development of Watershed Runoff Index for Major Control Points of Geum River Basin Using RRFS

맹승진*, 이현규*, 황만하**, 고익환**
충북대학교 지역건설공학과*, 한국수자원공사 수자원연구원**

Seung-Jin Maeng(maeng@chungbuk.ac.kr)*, Hyeon-Gue Lee(bnx83@hanmail.net)*,
Man-Ha Hwang(hwangmh@kowaco.or.kr)**, Ick-Hwan Koh(ihkoh@kowaco.or.kr)**

요약

본 연구에서는 금강수계를 대상으로 주요지점별 유역유출지표를 개발하기 위해 금강수계를 14개의 소 유역으로 분할하였다. 금강수계의 주요지점은 용담댐, 대청댐 및 공주수위표 지점으로 선정하였으며 각 지점에서의 관측유출량은 수위-유량 곡선식에 의해 산정하였고 모의유출량은 미국 공병단에서 개발한 SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) 모형을 기반으로 하고 사용자 중심의 소프트웨어로 한국수자원공사에서 개발한 RRFS (Rainfall-Runoff Forecasting System)에 의해 산정하였다. 일단위 관측유출량과 모의유출량을 일, 반순, 순, 월, 계절, 연별 누가이동평균 유출량 및 정상월/년 유출량으로 구성하였다. 구성된 단위 기간별 누가이동평균 유출량과 정상월/년 유출량을 사용하여 각각에 대한 유황분석을 실시하였다. 각각의 유황분석에 의해 산정된 4개의 값인 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량을 주요 지점별 유역유출지표로 활용하였다. 또한 구성된 각각의 유출량을 대상으로 갈수 및 홍수빈도분석을 통해 현재의 단위기간별 유출량과 정상월/년 유출량이 갈수량 또는 홍수량인지를 파악함으로써 해당 지점에서의 유량이 적고 많음을 판정할 수 있는 체계로 유역유출지표를 개발하였다.

■ 중심어 : | 금강수계 | 수위-유량 곡선 | 강우-유출 모형 | 민감도 분석 | 유역유출지표 |

Abstract

In this study, we attempted to develop a watershed runoff index subject to main control points by dividing the Geum River basin into 14 sub-basins. The Yongdam multipurpose dam, Daecheong multipurpose dam and Gongju gage station were selected to serve as the main control points of the Geum River basin, and the observed flow of each control point was calculated by the discharge rating curve, whereas the simulated flow was estimated using the Rainfall Runoff Forecasting System (RRFS), user-interfaced software developed by the Korea Water Corporation, based on the Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation (SSARR) model developed by the US Army Corps of Engineers. This study consisted of the daily unit observed flow and the simulated flow of the accumulated moving average flow by daily, 5-days, 10-days, monthly, quarterly and annually, and normal monthly/annually flow. We also performed flow duration analysis for each of the accumulated moving average and the normal monthly/annually flows by unit period, and abundant flow, ordinary flow, low flow and drought flow estimated by each flow duration analysis were utilized as watershed runoff index by main control points. Further, as we determined the current flow by unit period and the normal monthly/annually flow through the drought and flood flow analysis subject to each flow, we were able to develop the watershed runoff index in a system that can be used to determine the abundance and scarcity of the flow at the corresponding point.

■ keyword : | Geum River Basin | Rating Curve | Rainfall-Runoff Model | Sensitivity Analysis | Watershed Runoff Index |

* 본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

I. 서론

한국수자원공사 물관리센터에서는 용담댐, 대청댐 및 공주 지점의 유출상황을 고려하여 물관리를 수행하고 있다. 용담댐과 대청댐은 이치수기 모두에 중점을 두고 물관리를 하고 있으며, 공주지점은 이수기 물관리 보다는 홍수기 물관리를 위한 지점으로 선정하여 사용하고 있는 실정이다. 금강수계의 이치수기 물관리를 위해 한국수자원공사 물관리센터에서는 금강수계의 각 주요지점 및 소유역의 유출상황을 단위 기간별로 산정하여 보다 과학화되고 신뢰성 있는 최적의 물관리를 수행하는 것이 목적이다. 그러나 현재의 상황으로는 치수기의 유출상황을 파악하는 기술은 과거 30여년 동안 많은 성장을 하였으나 상대적으로 이수기 유출상황을 파악하는 기술은 낙후되었다고 할 수 있다. 한국수자원공사에서 관리하는 다목적댐들의 치수기 물관리는 KOWACO 모형에 의해 이루어지고 있다. KOWACO 모형의 전신은 저류함수모형으로서 이 모형이 GUI 체계로 바뀌며 과거 홍수기 댐운영을 통한 기술 축적으로 인해 KOWACO 모형으로 구축되게 된 것이다[7]. 현재 치수기 물관리를 위한 한국수자원공사의 댐운영 기술은 우리나라의 대표적 성공사례인 산림녹화 사업과 견줄 수 있는 대표적인 것이라고 볼 수 있다. 반면 연중 대부분을 차지하고 있는 이수기 물관리 기술은 2000년대 들어 한강, 낙동강, 금강, 영산강 및 섬진강 수계를 대상으로 SSARR 모형에 의한 유출체계를 구축하여 GUI 체계로 개발하고 있는 중이다. 이들 중에서 한국수자원공사 물관리센터에서 시험운영하고 있는 것은 본 연구의 대상수계인 금강수계가 유일하다. 그러므로 본 연구에서는 이수기 금강수계의 주요지점의 유출상황을 과거의 유출자료에 의해 분석한 결과를 바탕으로 현재의 유출상황을 손쉽게 판단할 수 있도록 하기 위해 유역유출지표를 개발하고자 한다. 수자원 관리, 분석 및 운영과 관련된 지표 중에서 가뭄과 홍수에 대한 지표는 과거 많은 연구가 되어 왔으나 본 연구에서 개발하고자 하는 유역의 유출상황을 판단하기 위한 지표 개발은 전문한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 금강수계의 주요지점을 대상으로 1983년부터 2005년까지의 수위-유량곡선식에 의해

추정된 유출량과 RRFS에 의해 모의된 유출량에 대해 단위기간을 달리하여 분석함으로써 RRFS 운영시 현재의 유역유출상황을 판단할 수 있는 지표를 개발하고자 한다. 개발된 유역유출지표는 RRFS를 운영하는 사용자가 금강수계의 주요지점에 대한 유출 현황을 파악함으로써 물관리를 위한 기초자료로 활용될 것이다.

II. 이론분석

본 연구에서 개발하고자하는 금강수계의 각 지점별 유역유출지표에 적용된 갈수 및 홍수빈도분석은 현재 한국수자원공사 물관리센터에서 사용하고 있는 확률분포인 Log-Pearson Type 3와 빈도계수법에 의한 방법에 의해 실시하였으며 이에 대한 이론은 다음과 같다.

Log-Pearson Type 3 분포는 미국연방수자원평의회(U.S. Federal Water Resources Council)가 1967년에 미국정부기관에 추천한 빈도분포형으로 Pearson Type 3 분포에서 다만 변수 x 를 대수로 취하여 변환시킨 것이다. Log-Pearson Type 3 분포의 확률밀도함수 $p(x)$ 는 다음과 같이 표시된다[4][6][13-17].

$$p(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \cdot \left(\frac{\ln x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-(\ln x - \gamma)/\alpha} \quad (1)$$

식 (1)에서 α , β 및 γ 는 각각 척도, 형상 및 위치 매개변수이며, $\Gamma(\beta)$ 는 감마함수이다. 매개변수는 모멘트방법에 의하여 추정할 수 있으며, 평균치 \bar{x} , 표준편차 s 및 왜곡도계수 γ_1 으로부터 매개변수인 α , β 및 γ 를 구할 수 있다. 왜곡도계수 $\hat{\gamma}_1$ 은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\hat{\gamma}_1 = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} = \frac{\sum(x - \bar{x})^3}{[\sum(x - \bar{x})^2]^{3/2}} \quad (2)$$

식 (2)의 편의(Bias)를 보정하기 위해 식 (3)과 같은 보정 왜곡도계수식을 사용한다.

$$\gamma_1 = \hat{\gamma}_1 = \frac{\sqrt{n(n-1)}}{n} \left(1 + \frac{8.5}{n}\right) \quad (3)$$

여기서 n 은 표본의 크기이다.

$$\mu_1 = 2\beta + \gamma \quad (4)$$

$$\mu_2 = \sigma^2 = \alpha^2 \beta \quad (5)$$

$$\mu_3 = 2\alpha^3 \beta \quad (6)$$

위의 식에서 μ_1 는 원점에 관한 제1차 모멘트이고, μ_2 와 μ_3 는 각각 평균치측에 관한 제2차 및 제3차 모멘트이다.

따라서, 식 (3)~식 (6)으로부터 다음과 같은 식이 유도된다.

$$\beta = \left(\frac{2}{\gamma_1}\right)^2 \quad (7)$$

또한, 식 (4)와 식 (5)로부터 다음과 같은 식이 유도된다.

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}} \quad (8)$$

$$\gamma = \mu - \sigma \sqrt{\beta} \quad (9)$$

빈도계수법에 의한 수문자료의 빈도해석은 다음과 같은 일반식으로 표시한다.

$$X = \mu + K\sigma \quad (10)$$

식 (10)에서 μ 와 σ 는 모집단의 평균치와 표준편차로서 실제로는 표본수문량의 평균치 \bar{x} 와 표준편차 s 로 대체된다. 그리고 K 는 빈도계수로서 재현기간과 왜곡도 계수의 함수이다. 수문자료치 x 를 상용대수인 $y = \log_{10} x$ 로 고친 후 대수치의 평균치 \bar{y} 와 표준편차 σ_y 및 왜곡도계수 γ_1 을 구함으로써 다음과 같은 식으로 빈도분석을 할 수 있다.

$$y = \log_{10} x = \bar{y} + K\sigma_y \quad (11)$$

III. 유역 개황 및 소유역 분할

본 연구의 대상 수계인 금강수계는 유역면적이 9,810.4 km²이고 하천의 길이가 395.9km로써 한국에서 3번째로 큰 유역이다. 금강수계는 장기용수공급계획 측면과 유역 종합개발계획 측면, 방재종합대책측면에 따른 주요지점을 종합적으로 고려하여 [그림 1]과 같이 14개의 소유역으로 분할하였다[1-2][8].

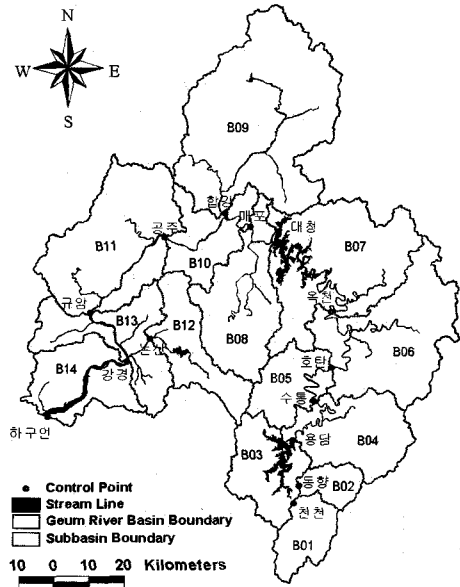


그림 1. 소유역 분할도

IV. 관측 및 모의유출량 산정

1. 관측 유출량 산정

금강수계에 대한 유역의 유출특성의 적용을 위하여 금강수계의 주요지점으로 용담댐, 대청댐 및 공주수위 표 지점을 선정하였다. 용담댐과 대청댐의 관측유출량

은 유입량 자료로 하였고 공주 수위표 지점의 수위-유량 곡선은 “기존댐 용수공급 능력 조사(금강수계) 보고서”(건설교통부, 1997)에 제시된 것을 사용하였으며 이들 식에 의해 산정된 각 지점별 유출량을 해당 지점에 대한 관측유출량으로 하였다[3][9][10][12][19]. 금강수계의 타 지점인 천천, 동향, 수통, 호탄, 옥천, 매포, 공주, 규암, 논산, 강경, 하구둑 지점은 과거에 개발된 수위-유량 곡선식의 부재와 개발된 소수의 곡선식으로 수십년간의 수위자료에 적용하여 사용함으로써 발생하는 유량의 불확실성으로 인해 분석 대상에서 제외하기로 하였다.

2. 모의 유출량 산정

2.1 강우-유출 모형의 선정 및 RRFS 개발

본 연구의 대상수계인 금강수계에 적용하기 위한 강우-유출 모형은 한국의 주요 수계에 적용되어 현재 실무부서인 한국수자원공사 물관리센터에서 사용하고 있는 SSARR 모형을 선정하였다. SSARR 모형은 미국 공병단의 북태평양지부에서 수자원시스템의 계획, 설계 및 관리를 위한 수문모형으로 1956년 처음 개발된 이래, 1975년 유역 및 하도 추적에 대한 기본 골격을 갖추었으며, 이후 integrated Snowband 유역모형과 운영예보 기능이 추가되어 현재에 이르고 있다. 한국수자원공사에서는 SSARR 모형을 기반으로 하는 사용자 중심 모형인 RRFS를 개발하여 금강수계에 적용하고 있다[5][18].

한국수자원공사에서 개발한 RRFS는 금강수계를 대상으로 강우-유출 분석을 할 수 있도록 개발되었으며 향후 우리나라 5대강 수계로 확장하여 개발 될 예정이다[11].

2.2 수문기초자료의 구성

강우-유출 모형의 적용에 앞서 14개 소유역에 대한 일 강수량, 관측유량, 생·공·농업용수 계획 이용량, 취수량, 댐 유입량, 댐 방류량 및 온도 등을 한국수자원공사 수문 DB에서 수집하였으며, 실측자료 중 모형에서 유출량에 가장 큰 영향을 미치는 강수량, 관측유량 및 용수 이용량 자료에 대해서는 결측 및 이상치를 보완하였다.

강수량자료는 1983~1988년은 37개소, 1989~1992년은

45개소, 1993년은 39개소, 1994~1995년은 40개소, 1996~1999년은 41개소, 2000년 이후는 53개소의 강우 관측소를 선별하여 해당 관측소의 일 강수량 자료를 이용하였다. 강수량자료의 결측치 보완은 현재 한강홍수통제소나 한국수자원공사에서 공식적으로 사용되고 있는 역거리 가중치 방법을 사용하였으며, 강수량자료의 이상치 판별은 연·월별 강수량의 통계분석 및 기상청에서 제공하는 과거 월별 최고 강수량자료와 인근지역 일별 기후변화를 토대로 하였다.

또한 “기존댐 용수공급 능력 조사(금강수계) 보고서”(건설교통부, 1997)를 참조하여 용수수요 계획량을 산정하고, 이를 유역유출모의에 적용하여 용수 수요량을 보정하였다.

2.3 강우-유출 모형에 의한 모의 유출량 산정

금강수계에 대한 모형 적용에 앞서 RRFS의 기반 모형인 SSARR모형의 매개변수의 민감도분석을 실시하였다. SSARR 모형의 매개변수 중에서 토양습윤상태별 유출률(SMI-ROP)은 고수와 저수를 막론하고 가장 민감한 변수로 분석 되었으며 침투량별 지하수 유입률(BII-BFP), 지표수와 복류수 분리(S-SS) 및 지하수 중 회귀지하수가 차지하는 비율(PBLZ)은 고수시 민감도보다 저수시 민감도가 크게 나타났다. BII의 저류시간(BIITS), 최대BII(BIIMX)와 최대지하수유출율(BFLIM)의 분석결과 고수시는 물론이고 저수시에도 상대적으로 둔감한 결과를 나타내었다.

매개변수의 민감도 분석결과를 바탕으로 적정매개변수를 결정하기 위한 요소로서 관측 유출량과 모의 유출량의 오차를 최소화하여야 한다. 그러나 모형에서 유량이 큰 홍수기의 오차를 감소시킬 목적으로 매개변수를 결정하게 되면 저수시의 정확도가 저하될 수 있으며, 반대로 저수시 위주로 매개변수를 결정하게 되면 고수시 유량을 전혀 반영하지 못할 소지가 있다.

따라서 고수시와 저수시로 분리하여 각각에 대해 민감한 변화를 보이는 매개변수를 각각의 목적함수로 선정하여 SSARR모형 수행을 위한 최종 매개변수를 산정하였다. 최종 매개변수 추정시 이용된 관측유출량자료는 전절에서 언급한 각 지점별 수위-유량관계곡선

식으로 환산된 유량이다.

이러한 매개변수의 초기치는 SSARR 매뉴얼에 제시된 값을 사용하였으며 소유역별 매개변수는 용담댐 상류유역, 대청댐 유역 공주 상류유역 및 공주 하류유역으로 구분하여 [그림 1]에 표시된 주요지점을 대상으로 1983년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지에 대한 모의 유출량을 산정하였다[11].

V. 주요지점별 유역유출지표 개발

금강수계의 주요지점별 유역유출지표 개발을 위한 주요 지점별 분석대상 기간은 1983년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지 23년간이며 대상 자료는 지점별 일유출량으로 한다. 관측유출량의 경우에는 대상 지점을 전술한 바와 같이 용담댐, 대청댐, 공주 3개 지점으로 한정하고자 하며, 용담댐의 경우에는 용담댐이 운영된 시점인 2001년 1월 1일 이후의 자료만을 분석대상으로 하였다. 금강수계의 주요지점 관측유출량은 미관측 지점들로 인해 14개 지점 모두에 대해 확보가 어려운 실정이다. 한편 RRFs에 의해 모의된 모의유출량은 14개 지점에 대한 유출량을 모의할 수 있어 관측유출량에 의해 산정할 수 없는 주요지점의 유출지표를 산정할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 금강수계의 주요지점에 대하여 관측유출량과 모의유출량에 의한 유출지표를 개발하고자 한다.

1. 누가이동평균 유출량에 의한 유역유출지표

일단위 관측유출량과 모의유출량을 일, 반순, 순, 월, 계절, 연별 누가이동평균에 의해 분석된 지점별 유역유출지표는 해당 지점에 대한 유황분석에 의해 산정된 4개의 값인 풍수량, 평수량, 저수량 및 갈수량으로 구분하여 이를 지표로 활용하고자 한다. 또한 해당 일에 대한 단위기간별 유출량을 대상으로 갈수 및 홍수빈도분석을 통해 현재의 단위기간별 유출량이 갈수량 또는 홍수량인지를 파악함으로써 해당 지점에서의 유량이 적고 많음을 판정할 수 있는 체계로 개발하였다.

본 분석에 사용된 빈도분석은 전술한 방법에 의해 실시하였다. 이러한 방법에 의해 수행된 결과를 표본 예인

대청댐 지점의 5월에서 관측유출량과 RRFs에 의한 모의유출량을 대상으로 산정한 일, 반순, 순, 월, 계절 및 연별 누가이동평균 유출량, 유출량 판정 지표인 유황분석 및 빈도분석 결과는 각각 [표 1][그림 2]와 같다.

여기서 지점별 관측유출량 및 모의유출량의 분석은 대청댐의 경우 대청댐 유역에 의해 발생된 유출량만을 사용하여 분석하였다. 즉, 1983년부터 2000년까지는 금강발원지부터 대청댐까지의 유출량을 분석대상으로 하고, 2001년 이후로는 용담댐에서 유입되는 유입량을 제외한 대청댐으로 유입되는 유출량만을 사용하여 분석을 실시하였다. 이러한 이유는 유출분석시 유역 상류의 인위적인 구조물의 조작에 의한 유출량 변동을 제거함으로써 순수 해당유역에서의 유출상황을 판단해야 되기 때문이다.

[표 1(a)]에서 보는바와 같이 대청댐 지점의 5월 1일의 관측유출량 즉 대청댐 유입량을 일, 반순, 순, 월, 계절, 연별로 각각의 통계치를 산정하였다. 5월 한달간의 일단위 통계치를 살펴보면 일유출량 평균범위가 21.28m³/s~115.35m³/s로서 차이가 무려 5배가 넘으며 일 최대치와 최소치는 이보다 더 큰 차의 범위를 나타내고 있다. 이러한 원인은 1983년부터 2005년 사이에 매년 5월의 일유출량 변동이 컸음을 나타내는 것으로써 5월에 홍수와 가뭄이 반복하여 나타났음을 입증해 주는 것이다. 왜곡도계수를 보면 5월의 일유출량은 우향 왜곡된 형태를 나타내고 있으며 이는 일단위 유출량이 평균에 비해 크게 나타나는 경우가 많음을 보여 준다.

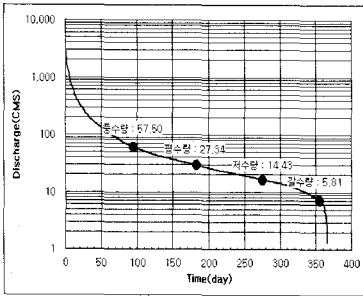
표 1. 누가이동평균에 의한 관측/모의 유출량(대청댐)

단위 기간	날짜	기본통계치					
		최대치	평균	최소치	표준 편차	왜곡도	첨도
일	5월1일	356.70	68.50	10.00	98.51	3.84	3.23
	5월2일	200.80	49.04	6.10	57.26	3.97	1.70
반 순	5월1일	321.10	61.26	4.60	82.26	1.97	5.82
	5월2일	340.38	61.58	5.82	83.42	2.00	5.71
순	5월1일	345.94	62.28	4.14	75.88	1.69	9.06
	5월2일	350.60	62.63	4.71	77.85	1.64	8.65
월	5월1일	152.79	55.27	4.45	40.73	1.11	0.48
	5월2일	148.90	55.57	4.42	41.12	1.11	0.28
계 절	5월1일	86.16	42.03	15.80	20.48	0.57	-0.42
	5월2일	86.63	42.44	15.95	20.71	0.55	-0.40
연	5월1일	147.45	87.60	24.46	34.38	-0.10	-0.55
	5월2일	147.49	87.57	24.65	34.29	-0.10	-0.55

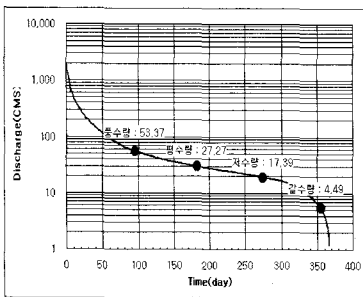
(a) 관측유출량

단위 기간	날짜	기본통계치					
		최대치	평균	최소치	표준 편차	왜곡도	첨도
일	5월1일	386.00	41.50	0.60	83.45	4.89	14.10
	5월2일	200.00	24.07	0.00	41.14	5.05	16.58
반 순	5월1일	224.52	45.73	7.38	59.26	3.05	3.55
	5월2일	212.66	43.58	5.78	57.85	3.15	2.85
순	5월1일	181.80	42.35	8.32	42.60	2.54	4.73
	5월2일	181.32	41.51	7.48	43.18	2.55	4.28
월	5월1일	114.62	37.84	9.94	24.51	1.48	3.07
	5월2일	106.95	37.54	9.61	23.78	1.47	1.84
계 절	5월1일	77.18	38.64	17.94	15.47	0.34	0.45
	5월2일	75.12	38.54	17.76	15.20	0.31	0.26
연	5월1일	137.18	75.77	28.60	27.17	0.45	0.17
	5월2일	137.13	75.74	29.14	27.14	0.45	0.16

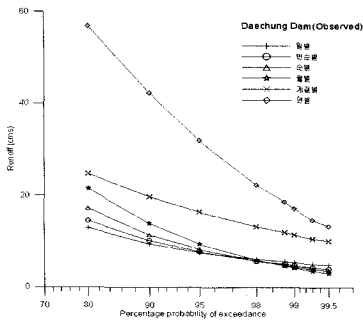
(b) 모의유출량



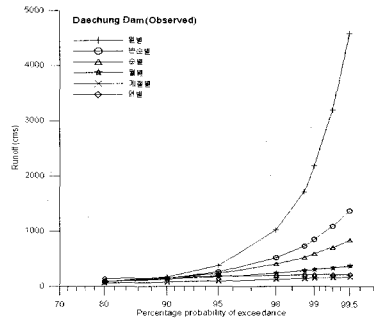
(a) 관측유출량에 의한 유황분석



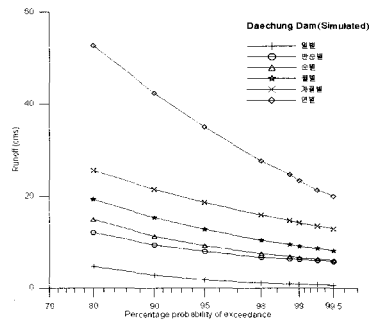
(b) 모의유출량에 의한 유황분석



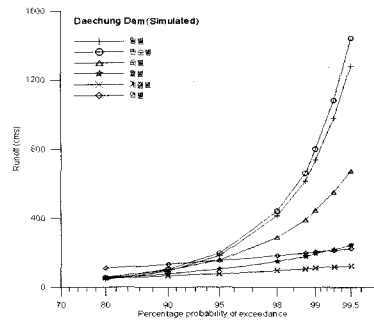
(c) 관측유출량 갈수빈도분석(5월1일)



(d) 관측유출량 홍수빈도분석(5월1일)



(e) 모의유출량 갈수빈도분석(5월1일)



(f) 모의유출량 홍수빈도분석(5월1일)

그림 2. 누가이동평균에 의한 관측/모의 유역유출지표(대칭법)

따라서, 댐 운영자는 5월의 경우 RRFS에 의해 모의된 유출량에서 실제 유출량은 크게 발생할 확률이 크다는 것을 인지하여 물관리 업무에 반영하면 된다. 반순, 순, 월, 계절, 연단위 유출량에서는 유출량의 단위 기간이 커질수록 일별 유출량의 변동은 작아지고 있으며 단위기간이 증가할수록 평균 유출량이 증가하다가 순단위 유출량

을 기준으로 단위기간이 증가할 수록의 평균 유출량이 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 단위기간이 증가함에 따라 일별 유출량에 영향을 적게 받는 것으로 나타났기 때문이다. 반순, 순, 월, 계절단위 일유출량은 우향 왜곡된 형태를 나타내고 있으나 연단위 일별유출량은 좌향 왜곡된 형태를 나타내고 있고 연단위 일유출량은 평균보다 작게 산정될 확률이 크다고 할 수 있다.

[표 1(b)]에서는 RRFs에 의한 대청댐 지점의 5월 1일의 모의유출량을 일, 반순, 순, 월, 계절, 연별로 각각의 통계치를 산정하였다. 5월 한달간의 일단위 통계치를 살펴보면 일유출량 평균범위가 7.67m³/s~62.96m³/s로서 차이가 무려 9배에 이르고 있으나 두 값의 차이는 관측 유출량 94.07m³/s 보다 적은 55.29m³/s로서 유출변동이 관측유출량보다 작음을 나타내었다. 이러한 원인은 1983년부터 2005년 사이에 매년 5월의 일유출량 변동이 컸으나 상대적으로 관측유출량보다는 적음을 나타내는 것이다. 왜곡도계수를 보면 5월의 일유출량은 우향 왜곡된 형태를 나타내고 있으며 이는 일단위 유출량이 평균에 비해 크게 나타나는 경우가 많음을 나타내 준다. 댐 운영자는 5월의 경우 RRFs에 의해 모의된 유출량에서 실제 유출량은 크게 발생할 확률이 크다는 것을 인지하여 물관리 업무에 반영하면 된다. 반순, 순, 월, 계절, 연단위 유출량에서는 유출량의 단위 기간이 커질수록 일별 유출량의 변동은 작아지고 있으며 단위기간이 증가할수록 평균 유출량이 증가하다가 순단위 유출량을 기준으로 단위기간이 증가할 수록의 평균 유출량이 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 단위기간이 증가함에 따라 일별 유출량에 영향을 적게 받는 것으로 나타났기 때문이다. 반순, 순, 월, 계절, 연단위 일유출량 역시 우향 왜곡된 형태를 나타내고 있다. 연단위 일유출량을 관측유출량의 경우에는 좌향 왜곡된 형태를 나타내고 있으나 모의유출량의 경우에는 우향 왜곡된 형태를 나타내고 있다. 이것은 모의유출량이 연단위 일유출량의 평균보다 크게 모의하는 경향이 있음을 나타내는 것이다.

[그림 2(a)]와 [그림 2(b)]는 대청댐 지점에서 관측유출량과 모의유출량에 대한 유황분석을 실시한 결과로서 각각에 대한 풍수량, 평수량, 저수량 및 갈수량으로 구분하여 유출지표로 활용하고자 하였다. 관측유출량에 의한

풍수량은 57.5m³/s이며 모의유출량에 의한 풍수량은 53.37m³/s로서 관측유출량 대비 7.2%의 차이를 나타내고 있으며 평수량, 저수량 및 갈수량은 각각 0.3%, 20.5% 및 22.7%로 나타났다. 즉 풍수량과 평수량은 관측유출량과 모의유출량의 차가 크지 않으나 저수량과 갈수량은 관측유출량과 모의유출량의 차가 상대적으로 크게 나타났다. 이는 모의유출량이 저수기에 관측유출량보다 작게 모의되었음을 알게 하는 것이다. 이러한 원인의 하나로서 RRFs를 모의운영시 홍수기의 유출은 관측유출량의 값으로 모의할 수 있으나 이수기의 모의유출량은 인위적인 조작 등과 같은 미지의 변수로 인해 관측유출량과의 차이가 많이 발생하는 경향이 있다. [그림 2(a)]와 [그림 2(b)]는 [표 1(a)]와 [표 1(b)]에서 유출지표로 활용하는 것으로써 [표 1(a)]의 일단위 5월 1일 유출량 68.5m³/s은 [그림 2(a)]에서 풍수량에 해당되고 5월 2일 유출량 49.04m³/s은 평수량에 해당되기 때문에 평상시 물관리 체제로 시행하면 된다. [표 1(b)]의 일단위 5월 1일 유출량 41.5m³/s은 [그림 2(b)]에서 평수량에 해당되고 5월 2일 유출량 24.07m³/s은 저수량에 해당되기 때문에 물관리 기관에서는 저수기 물관리 체제로 관리하면 된다. 또한 이러한 유황분석에 의한 유출지표가 가뭄에 해당하는 유출량인지 또는 홍수에 해당하는 유출량인지와 과연 가뭄이면 몇 년 빈도이며 홍수라면 몇 년 빈도인지를 파악하기 위해 전술한 방법에 의해 빈도분석을 실시한 결과는 [그림 2(c)][그림 2(d)][그림 2(e)][그림 2(f)]와 같다. 관측유출량에 의한 가뭄빈도분석의 경우에는 빈도년이 커질수록 월단위 이하의 일유출량은 빈도년이 커질수록 역전 현상이 발생하였다. 이것은 관측유출량의 편차가 심하기 때문인 것으로 판단된다. 모의유출량에 의한 가뭄빈도분석의 경우에는 빈도년이 커지고 시간단위가 커질수록 일정하게 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 모의유출량의 변동이 크지 않기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 현상은 홍수빈도분석에서도 동일하게 나타났다. 전술한 바와 같이 관측유출량에 의한 일단위 5월 1일 유출량 68.5m³/s과 5월2일 49.04m³/s는 가뭄도 홍수도 아니며 모의유출량에 의한 일단위 5월 1일 유출량 41.5m³/s과 5월2일 24.07m³/s 역시 가뭄도 홍수도 아닌 상황이다.

상기의 유출특성은 타 주요지점인 용담댐 및 공주지점

에서도 동일하게 나타났다.

이상의 내용을 종합적으로 판단해 보면 5월 1일과 2일의 일유출량은 평상시의 유출로서 물관리 측면에서 매우 안정적인 상황으로 판단할 수 있다. 모의유출량이 관측 유출량보다 적게 산정된 원인은 첫째, 용수수요량의 과다 추정에 의한 유출량의 저감, 둘째, 현재의 관측유출량은 과거 관측유출량에 의해 개발된 수위-유량 곡선식으로부터 산정되기 때문에 실질적인 현재의 관측유출량이라고 하기에는 무리가 따르는 것으로 사료된다.

본 분석에서 다루고자 하는 유역의 유출량이란 유역에 내린 강우가 땅속에 침투할 수 없고 혹은 침투해서도 땅속에 저류되지 않고 유출되어 하천에 유입되는 양이다. 침투량의 일부는 중간유출이나 지하수 유출성분이 되고 나머지는 땅속에 저류되어 증발산의 성분이 되기도 한다. 이러한 유출과정은 동일한 토양, 식생에 대해서도 토양습윤상태에 따라 다르게 나타난다. 일반적으로 유출율(F)은 총강우량과 유출량(통상 직접유출량)의 비로 정의되며, 이는 총강우량 R에 대한 유효강우량 R_E(즉 유출량 Q=R_E=R-L, L은 손실강우량)의 비를 의미한다[7]. 즉,

$$F = R_E/R = Q/R \quad (12)$$

2. 정상기간 유출량에 의한 유역유출지표

물관리 운영 실무자들은 강우와 유출을 나타내는 관계를 분석하여 현재, 금월 또는 금년의 유출을 파악하여 의사결정 자료로 활용하고자 한다. 따라서, 본 분석에서는 금강수계의 주요지점에 대한 강우량과 관측유출량 및 강우량과 모의유출량과의 분석을 정상기간 월단위로 실시하였다. 또한 분석된 각각의 유출량을 전술한 방법에 의해 유출량 판정 지표인 유허분석 및 빈도분석을 실시하여 해당 기간의 유출 상태를 파악하고자 하였다.

따라서, 유출율 F는 토양습윤 정도, 강우강도, 총강우량, 강우지속시간, 기온, 풍속, 식생피복도 등에 따라 달라진다. 따라서, 분석 목적 및 방법 등에 따라 유출율이 다양하게 정의되고 연구되어 왔다.

여기서는 금강유역의 유출정도를 가능하기 위해 정상월 또는 정상년에 대한 총유출면적과 총강우량으로부터

표 2. 정상월에 의한 관측/모의 유출량(대청댐)

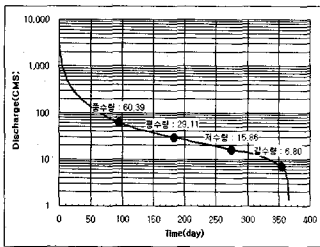
(a) 관측유출량

년도	구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
1983	강우량	17.85	40.65	69.01	140.22	42.55	161.30	278.17	124.60	149.59	45.41	27.96	9.12	1,106.43
	유출량	8.65	12.63	49.93	59.71	32.59	52.11	186.90	43.10	93.68	23.01	10.71	10.52	583.55
	유출율	0.48	0.31	0.72	0.43	0.77	0.32	0.67	0.35	0.63	0.51	0.38	1.15	0.53
1984	강우량	8.96	9.55	23.70	151.54	52.85	136.48	299.22	153.18	237.38	38.38	79.82	19.37	1,210.42
	유출량	7.11	4.11	6.97	55.65	32.90	43.66	194.94	37.48	205.39	26.22	29.42	14.07	657.92
	유출율	0.79	0.43	0.29	0.37	0.62	0.32	0.65	0.24	0.87	0.68	0.37	0.73	0.54
1985	강우량	17.00	31.74	52.48	51.98	128.14	113.95	363.47	267.64	348.50	126.89	76.25	31.33	1,609.36
	유출량	7.75	11.62	38.55	32.82	81.11	32.19	265.58	190.10	297.52	90.56	44.21	32.09	1,124.10
	유출율	0.46	0.37	0.73	0.63	0.63	0.28	0.73	0.71	0.85	0.71	0.58	1.02	0.70
중간생량														
2003	강우량	11.99	46.73	43.51	176.77	158.25	135.01	568.78	306.90	234.52	21.54	37.70	16.48	1,758.19
	유출량	14.22	27.90	43.54	106.48	109.36	82.27	491.04	228.98	255.40	18.95	15.82	15.20	1,409.16
	유출율	1.19	0.60	1.00	0.60	0.69	0.61	0.86	0.75	1.09	0.88	0.42	0.92	0.80
2004	강우량	6.97	27.77	23.40	67.40	86.69	263.16	283.24	335.08	155.61	1.99	49.35	32.07	1,352.75
	유출량	12.16	9.05	16.70	11.92	22.49	173.33	253.19	128.52	79.37	13.28	10.40	12.48	742.90
	유출율	1.74	0.33	0.71	0.18	0.26	0.66	0.89	0.36	0.51	6.69	0.21	0.39	0.55
2005	강우량	4.68	25.02	45.71	43.14	47.95	165.51	318.92	378.48	117.18	23.33	17.64	2.85	1,190.43
	유출량	7.26	9.60	20.54	19.08	11.16	28.00	195.00	244.04	44.78	20.80	9.54	7.82	617.61
	유출율	1.55	0.38	0.45	0.44	0.23	0.17	0.61	0.64	0.38	0.89	0.54	2.74	0.52
합계	강우량	609.52	772.34	1,085.87	1,716.74	1,810.04	3,743.82	6,253.33	5,917.09	3,098.15	1,133.50	968.15	533.52	27,642.06
	유출량	293.97	384.02	650.18	809.09	831.01	1,457.01	4,291.80	3,482.67	2,412.76	621.67	359.21	318.10	15,911.50
평균	유출율	0.48	0.50	0.60	0.47	0.46	0.39	0.69	0.59	0.78	0.55	0.37	0.60	0.58
	강우량	26.50	33.58	47.21	74.64	78.70	162.77	271.88	257.26	134.70	49.28	42.09	23.20	1,201.83
	유출량	12.78	16.70	28.27	35.18	36.13	63.35	186.60	151.42	104.90	27.03	15.62	13.83	691.80

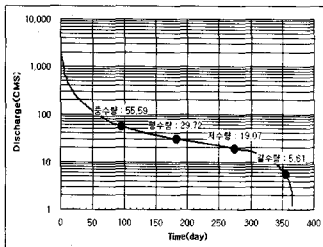
(b) 모의유출량

년도	구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
1983	강우량	17.85	40.65	69.01	140.22	42.55	161.30	278.17	124.60	149.59	45.41	27.96	9.12	1,106.43
	유출량	0.71	12.17	25.00	39.64	8.77	51.00	139.90	32.36	74.10	21.90	12.94	11.18	429.67
	유출율	0.04	0.30	0.36	0.28	0.21	0.32	0.50	0.26	0.50	0.48	0.46	1.23	0.39
1984	강우량	8.96	9.55	23.70	151.54	52.85	136.48	299.22	153.18	237.38	38.38	79.82	19.37	1,210.42
	유출량	10.6	7.90	8.56	38.85	17.07	25.64	150.25	29.44	167.44	28.67	33.98	18.48	536.95
	유출율	1.19	0.83	0.36	0.26	0.32	0.19	0.50	0.19	0.71	0.75	0.43	0.95	0.44
1985	강우량	17.00	31.74	52.48	51.98	128.14	113.95	363.47	267.64	348.50	126.89	76.25	31.33	1,609.36
	유출량	18.34	23.89	28.13	16.86	43.07	19.46	222.14	150.17	227.01	82.55	38.80	32.56	902.98
	유출율	1.08	0.75	0.54	0.32	0.34	0.17	0.61	0.56	0.65	0.65	0.51	1.04	0.56
중간생략														
2003	강우량	11.99	46.73	43.51	176.77	158.25	135.01	568.78	306.90	234.52	21.54	37.70	16.48	1,758.19
	유출량	12.16	24.11	22.85	55.19	55.11	29.16	394.33	176.11	174.90	33.62	25.29	21.57	1,024.40
	유출율	1.01	0.52	0.53	0.31	0.35	0.22	0.69	0.57	0.75	1.56	0.67	1.31	0.58
2004	강우량	6.97	27.77	23.40	67.40	86.69	263.16	283.24	355.08	155.61	1.99	49.35	32.07	1,352.75
	유출량	15.64	14.27	14.64	14.33	6.54	163.86	168.90	162.97	95.10	24.37	19.61	19.74	719.95
	유출율	2.24	0.51	0.63	0.21	0.08	0.62	0.60	0.46	0.61	12.27	0.40	0.62	0.53
2005	강우량	4.68	25.02	45.71	43.14	47.95	165.51	318.92	378.48	117.18	23.33	17.64	2.85	1,190.43
	유출량	10.63	15.64	18.95	13.84	5.29	32.85	181.35	244.71	54.42	28.09	14.94	11.91	632.62
	유출율	2.27	0.62	0.41	0.32	0.11	0.20	0.57	0.65	0.46	1.20	0.85	4.18	0.53
합계	강우량	609.52	772.34	1,085.87	1,716.74	1,810.04	3,743.82	6,253.33	5,917.09	3,098.15	1,133.50	968.15	533.52	27,642.06
	유출량	475.01	536.89	603.97	556.05	443.60	1,200.22	3,359.95	2,955.48	1,966.80	762.63	505.99	444.89	13,811.48
	유출율	0.78	0.70	0.56	0.32	0.25	0.32	0.54	0.50	0.63	0.67	0.52	0.83	0.50
평균	강우량	26.50	33.58	47.21	74.64	78.70	162.77	271.88	257.26	134.70	49.28	42.09	23.20	1,201.83
	유출량	20.65	23.34	26.26	24.18	19.29	52.18	146.08	128.50	85.51	33.16	22.00	19.34	600.50

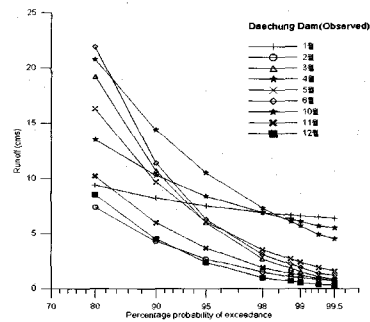
유출율을 정의하여 그 특성을 살펴보기로 한다. 표본 예로 대청댐 지점의 유출특성을 분석하기 위해 분석자료는 대청댐 준공이후인 1983년 1월1일부터 2005년 12월 31일 까지의 일자료를 이용하였으며 분석 결과는 다음의 [표 2] 및 [그림 3]과 같다.



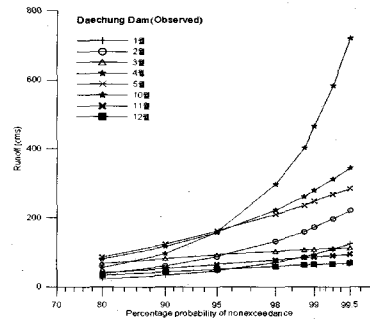
(a) 관측유출량에 의한 유형분석



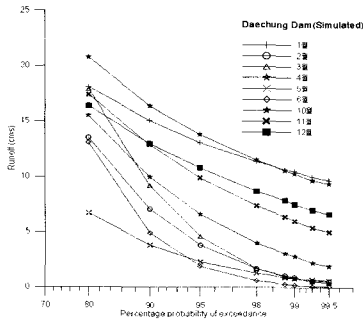
(b) 모의유출량에 의한 유형분석



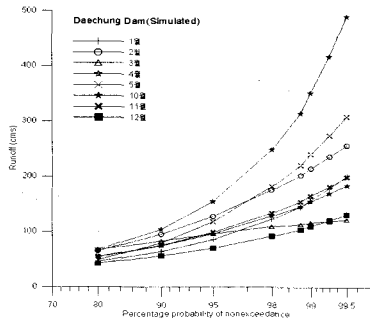
(c) 관측유출량 월별 갈수빈도분석



(d) 관측유출량 월별 홍수빈도분석



(e) 모의유출량 월별 갈수빈도분석



(f) 모의유출량 월별 홍수빈도분석

그림 3. 정상월에 의한 관측/모의 유역유출지표(대청댐)

수집된 일자료로부터 연도별 강우량과 관측 및 모의 유입량 및 각 정상월별 강우량에 대한 관측 및 모의유출량에 대한 유출율(누가유입량/누가강우량)을 산정한 결과는 [표 2(a)] 및 [표 2(b)]와 같다. 대청댐의 유출율은 관측유출량의 경우 2001년도에 27%, 모의유출량인 경우 2001년도에 38%였으며 이를 제외하고는 관측유출량 및 모의유출량이 50%내외를 유지하였다. 1983년부터 2005년까지의 관측유출량과 모의유출량의 평균 유출율은 각각 58%와 50%로 산정되었다. 대청댐에서의 연강수량과 유출율의 변화는 어느 정도 선형적인 관계를 나타내고 있었으며, 그 관계를 나타내기 위해 회귀분석을 실시한 결과 관측유출량의 경우 $y = 0.0391x + 7.9547$ (결정계수: 0.7475), 모의유출량의 경우 $y = 0.0222x + 21.795$ (결정계수: 0.7053)로서 연강수량의 크기가 증가 할수록 유출율도 증가하는 것으로 나타났다.

23년 동안의 강우량과 유출량과의 관계를 보면 100mm 이상의 강우에서는 강우와 유출율의 증가현상이

뚜렷하였고 분기별 유출율의 변화를 보아도 강우가 많은 3/4분기에도 동일한 경향을 보임을 알 수 있었다. 이러한 경향은 대청댐 지점의 모의유출량의 결과에서도 동일하게 나타났다. 따라서, 각 월의 누가강우량과 누가유입량은 강우량이 크지 않을 경우에는 일정한 관계를 갖지 않는 것으로 나타났으며, 기술적으로 용이하지 않음을 알 수 있었다.

[그림 3(a)]와 [그림 3(b)]는 [그림 2(a)] 및 [그림 2(b)]와는 달리 용담댐 방류량을 포함하여 분석한 유황분석이다. 그래서 [그림 2(a)] 및 [그림 2(b)]의 관측 및 모의 유출량에 의한 유황분석의 결과보다 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이 각각 크게 산정되었다. [그림 3(a)] 및 [그림 3(b)]에 의한 결과는 대청댐 지점의 유출량 산정시 [그림 2(a)] 및 [그림 2(b)]와는 달리 대청댐 지점의 유황 상태를 신속하게 결정할 수 있다.

또한 [그림 3(c)][그림 3(d)][그림 3(e)][그림 3(f)]와 같이 월별 갈수 및 홍수빈도분석을 통해 현재의 유출상황이 갈수 또는 홍수로 어느 정도빈도의 유출량인지를 판단함으로써 물관리를 위한 의사결정 기초자료로 활용 할 수 있도록 하였다. RRFS는 이수기 물관리를 위해 개발된 시스템이기 때문에 월별 갈수 및 홍수빈도분석시 홍수기인 7월~9월에 대한 빈도분석 결과는 본 연구에서 포함하지 않았다.

상기의 유출특성은 타 주요지점인 용담댐 및 공주지점에서 동일하게 나타났다.

본 분석에서 결과된 단위기간별 일유출량의 갈수 및 홍수빈도분석은 자료의 방대함으로 인해 사용자가 직접 프로그램을 구동하여 산출 할 수 있는 체계로 개발하였다.

VI. 결론

본 연구에서는 이수기 금강수계의 주요지점의 유출상황을 과거의 유출자료에 의해 분석한 결과를 근거로 하여 현재의 유출상황을 손쉽게 판단 할 수 있도록 하기 위해 유역유출지표를 개발하였으며 이에 대한 결과를 요약 하면 다음과 같다.

1. 대상 수계인 금강수계의 주요지점을 선정하여 14개의 소유역으로 구분하였고 소유역별 강우자료를 포함한 수문기초자료를 수집하여 RRFS 입력자료로 활용하였다.
2. 금강수계의 주요지점으로 용담댐, 대청댐 및 공주수위표 지점을 선정하여 유입량 자료와 수위-유량곡선식에 의해 관측유출량을 산정하였다.
3. 강우-유출모형으로 SSARR 모형을 선정하여 매개변수의 민감도분석과 검·보정을 실시하였으며 SSARR 모형을 기반으로 하는 RRFS에 의해 1983년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지의 모의유출량을 산정하였다.
4. 단위기간별 누가이동평균에 의한 관측 및 모의 유출량과 정상월/년에 의한 관측 및 모의 유출량을 사용하여 금강수계의 주요지점별 유행분석과 홍수 및 갈수빈도분석의 결과를 해당지점의 유역유출지표로 하였다.
5. 향후, 본 연구에서 개발된 유역유출지표는 RRFS를 운영하는 사용자가 주요지점에 대한 현재의 유역유출상황을 간편하고 손쉽게 파악하여 물관리를 할 수 있는 의사결정 도구로 사용할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 건설교통부, 기존댐 용수공급 능력조사 (금강수계) 보고서, 1997.
- [2] 건설교통부, 수자원장기종합계획 보고서, 2000.
- [3] 건설교통부, 금강홍수통제소, 금강수계 유량측정조사 보고서, 2002.
- [4] 박성우, 응용수문학, 향문사, 2000.
- [5] 안상진, 이용수, "SSARR 모형에 의한 유역유출 해석", 한국수문학회지, 제22권, 제1호, pp.109-116, 1989.
- [6] 한국수자원공사, 수문자료 빈도분석 기법 및 갈수기 적용 방안 연구, 1997.
- [7] 한국수자원공사, 수자원 시험유역의 수문 분석 방안 연구, 2001.
- [8] 한국수자원공사, 금강유역조사 보고서, 2004.
- [9] 한국수자원공사, 다목적댐 운영 실무편람, 2004.

- [10] 한국수자원공사, 대청다목적댐 관리연보, 2004.
- [11] 한국수자원공사, 실시간 물관리 운영 시스템 구축 기술 개발, 2004
- [12] 한국수자원공사, 다목적댐 운영 실무편람, 2005.
- [13] A. R. Rao and P. S. Arora, "An Empirical Study of Probability Distribution of Annual Maximum Floods," Proc. of the Int. Symposium on Flood Frequency and Risk Analysis in Hydrologic Frequency Modelling edited by Singh, V. P., pp. 449-466, 1987.
- [14] B. Bobée and F. Ashkar, *The Gamma Family and Derived Distributions Applied in Hydrology*, Water Resources Publications, 1991.
- [15] D. R. Maidment, *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill, Inc., pp.17.1-17.55, 1992.
- [16] J. D. Salas, R. A. Smith, G. Q. Tabios, and J. H. Heo, *Statistical Computer Techniques in Hydrology and Water Resources*, Department of Civil Engineering Colorado State University, 1993.
- [17] R. H. McCuen, *Microcomputer Applications in Statistical Hydrology*, PTR Prentice Hall, 1993
- [18] USACE. *SSARR Users' Manual*, North Pacific Div., Portland, USA. 1991.
- [19] http://www.wamis.go.kr/WKW/WL_DUBWLOBS.ASPX

저자 소개

맹 승 진 (Seung-Jin Maeng)

정희원



- 1995년 8월 : 충북대학교 농공학과 (농학석사)
- 2002년 2월 : 충북대학교 농공학과 (농학박사)
- 1996년 4월 ~ 2005년 2월 : 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원

• 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 지역건설공학과 조
교수

<관심분야> : 강우-유출, 방재, 시스템

이 현 규(Hyeon-Gue Lee)

준회원

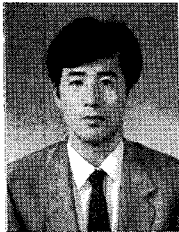


- 2006년 2월 : 충북대학교 지역건설공학과 (공학사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 지역건설공학과 석사과정

<관심분야> : 수문통계, 강우-유출

황 만 하(Man-Ha Hwang)

정회원



- 1986년 2월 : 전북대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : 전북대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1996년 4월 ~ 현재 : 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원

<관심분야> : 수자원 관리 및 개발, 댐운영

고 익 환(Ick-Hwan Koh)

정회원



- 1980년 2월 : 강원대학교 농공학과 (농학사)
- 1990년 8월 : 충북대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 5월 : 미국 Colorado State University, Civil Eng. Dept (공학박사)

• 1980년 3월 ~ 현재 : 한국수자원공사 조사계획처, 메콩강사업단, 수자원연구원 연구위원

<관심분야> : 댐 운영, 수자원 시스템