

# 한강수계 장기 가뭄 수문시나리오 개발

## Hydrologic Scenarios for Sustained Drought in Han River

이 광 만\* / 차 형 선\*\* / 이 승 윤\*\*\*

Lee, Gwang Man / Cha, Hyung Sun / Lee, Seung Yoon

### Abstract

Many studies on sustained droughts have often been limited to the analysis of historic flow series. A major disadvantage in this approach can be described as the lack of long historic flow records needed to obtain a significant number of drought events for the analysis. To overcome this difficulty, one of the present study idea is to use synthetically generated hydrologic series. A methodology is presented to develop flow series based on the probabilistic analysis of the stochastic properties of the observed flows. The method can be utilized to generate a flow series of desired length so as to include many multiyear drought events within the process. In this paper, a concept of creating multiyear drought scenarios is introduced, and its development procedure is illustrated by a case study of the water supply system in Han River Basin. Also, it was found that the generated flow series can be reliably used to predict the long drought duration and sustained drought hydrologic scenarios within a given return period.

**keywords** : hydrologic scenarios, sustained drought, return period, probabilistic analysis

### 요 지

장기지속 가뭄에 대한 많은 연구는 과거 기록 자료에 제한을 받아왔다. 장기지속가뭄과 관련된 연구의 애로점은 분석을 위한 많은 가뭄 사상을 얻는데 필요한 장기간의 과거 수문자료의 기록이 부족하다는데 있다. 이와 같은 어려움을 극복하기 위해 근래의 연구방법중 하나는 합성유량자료 계열을 이용하는 것이다. 과거 관측 자료의 통계학적 특성에 근거하여 수문시나리오를 개발하는 것으로, 방법론은 분석에 필요한 다양한 수문사상이 포함될 수 있도록 희망하는 수문자료계열을 인위적으로 생성하는 것이다. 본 논문에서는 이와 같은 방법을 이용하여 수자원 평가를 위한 장기 가뭄 수문시나리오를 한강수계의 저수지 시스템을 대상으로 개발하였다. 아울러 갈수분포모형과 비교하여 합성 유량계열이 주어진 재현기간내에서 신뢰성 있는 장기가뭄빈도와 이에 해당하는 가뭄시나리오 개발에 이용될 수 있음을 확인하였다.

**핵심용어** : 수문시나리오, 장기가뭄, 재현기간, 확률적해석

\* 한국수자원공사 수자원연구원 물정보화연구소 수석연구원  
Korea Water resources Corporation 462-1 Jeonmin-Dong Yuseong-Gu, Daejeon, 305-730, Korea  
(e-mail: lkm@kwater.or.kr)

\*\* 한국수자원공사 관리본부 총무관리처 팀장  
Korea Water resources Corporation San 6-2 Yeonchuk-dong Daedeok-gu, Daejeon, 306-711, Korea

\*\*\* 한국수자원공사 수자원연구원 유역환경연구소 선임연구원  
Korea Water resources Corporation 462-1 Jeonmin-Dong Yuseong-Gu, Daejeon, 305-730, Korea  
(e-mail: leesy@kwater.or.kr)

## 1. 서론

전 세계적으로 가뭄은 기상과 인간생활의 밀접한 관계 속에서 사회·경제적으로 많은 피해를 유발하며 언제 어디서나 일어날 수 있는 현상중의 하나이다. 우리나라는 1904년 이후 장기가뭄 실태에 관한 보고에 의하면 봄 가뭄 사례는 지역이나 기간에 따라 차이는 있으나 거의 매년 발생하고 있는 것으로 나타나 자연환경 뿐만 아니라 사회경제 전반에 걸쳐 큰 영향을 미치기 때문에 홍수와 함께 특별히 다루어야 할 과제로 인식되고 있다. 특히 극단적 강우부족이나 저유황 상황이 지속되는 경우에는 수자원 공급에 심각한 영향을 미칠 수 있으며, 하천오염, 수생태계 파괴, 저수지 고갈, 용수공급 장애 그리고 하천미관의 악화 등이 포함될 수 있다. 그 중 극한 가뭄의 지속으로 인해 용수공급의 중단과 같은 사태가 발생할 경우 그 한계를 예측할 수 없는 매우 심각한 결과가 초래될 수 있다.

역으로 부정확한 가뭄예측이나 대비는 오히려 더욱 심각한 상황을 초래하고 사회·경제적 피해뿐만 아니라 자연환경에도 돌이킬 수 없는 결과가 일어날 수 있다. 실제 가뭄이라는 것은 공간적으로 어느 곳에서나 발생할 수 있으며 시기적으로도 언제든지 발생할 수 있는 특징을 가지고 있다. 다만 가뭄(drought)은 건조(aridity)와는 달리 일시적 현상으로 정상상태에서 벗어난 경우라 할 수 있다. 자연세계에서는 일시적 가뭄에 대해서는 적용할 수 있는 여력이 있으며, 인간사회에서도 사전에 필요한 물을 댐이나 지하수 등을 개발하여 사용하기 때문에 그 피해를 줄일 수 있다. 그러나 가뭄이 지속되는 경우에는 적응능력이 떨어지고 개발되어 있는 용수로는 부족한 경우가 발생할 수 있다. 또한 가뭄은 자연현상의 무작위성에 기인하기 때문에 예측이 어렵고 그 크기를 유추하는 것은 거의 불가능하다.

가뭄은 그 시작과 끝을 인식하기 어렵고 진행속도가 느리며 광역적으로 시간과 공간을 통하여 전파되는 특성이 있어 어느 정도 진행된 후에야 인지가 가능하다. Beran and Rodier(1985)도 가뭄에 대한 정의를 가뭄의 주요 특성은 특별한 기간에 특별한 지역에서 물의 이용 가능성이 줄어드는 것"이라 하였는데 특별한 기간이라는 것이 가뭄의 지속여부를 의미하는 것으로 장기지속 가뭄의 해석은 가용자료의 한계로 인하여 적절한 해석이 어려운 경우가 많다. 따라서 가뭄해석은 과거 관측된 가용자료에 의해 제약될 수 밖에 없어 이와 같은 문제를 해결하고자 하는 노력이 있어왔다.

결국 이와 같은 문제의 핵심은 이용 가능한 정보를 최대한으로 확보해야 하는데 기록 자료가 짧은 경우 원

초적 어려움에 직면하게 된다. 이를 극복하기 위한 방법중 하나는 합성유량자료 계열을 이용하는 것이다(Yevjevich, 1975). 즉 과거 관측 자료의 추계학적 특성에 의거하여 수문시나리오를 개발하는 것으로, 방법론은 추계학적 시계열 모형을 이용하여 분석에 필요한 다양한 수문사상이 포함될 수 있도록 희망하는 수문계열을 인위적으로 생성하는 것이다.

실제, Tarboten (1995)은 이와 같은 개념을 이용하여 미국 주요 하천의 장기 가뭄에 따른 수자원 평가를 위하여 연 단위의 합성유량을 만들어 적용한 예가 있다. Wijayarathne and Golub(1991)는 미국 New Jersey의 Pequest강 유역을 대상으로 연 합성유량 계열을 만들어 장기 가뭄해석에 이용했으며, Arena *et al.*(2005)은 기대치 아래에서 일정량의 용수공급을 유지하기 위한 모의를 시계열 분석 기법을 이용하여 다 지점의 장기 가뭄 빈도해석을 하였다. Burn *et al.*(2004)은 재구성된 합성자료로부터 하천유량 가뭄정보를 통합하는 법을 개발하여 캐나다의 Athabasca강에 적용하고 극치 가뭄의 심각성을 평가한바 있다. 국내에서는 고석구 등(1992)이 한강수계 충주저수지 시스템의 운영을 개발을 위하여 합성유량을 이용한 예가 있으며 이광만, 고석구(1993)는 저수지군의 기대편익 추정을 위한 Monte Carlo Simulation의 간략화 방법에 합성유량을 활용하였다.

일반적으로 용수공급을 평가하기 위한 가뭄 시나리오의 유역에서 이루어지는 물 이동과 수자원 시설물 체계 그리고 이용 가능한 수문자료 등을 고려하여 개발할 수 있다. 특히 한강유역과 같이 수문자료의 연역이 짧은 경우 시계열 수문 모형의 적용이 하나의 대안이 될 수 있다. 이를 위해서는 과거 조사된 자료를 바탕으로 수문특성을 가장 잘 반영하는 절차와 기법의 적용이 필요하다. 즉 기존의 이용 가능한 시계열 수문자료를 기초로 장기 수문계열을 모의한 후 주어진 지속기간별, 재현기간별 가뭄 수문시나리오를 개발하는 것이다. 본 연구에서는 팔당댐 기준의 한강 수계를 대상으로 장기 지속 기간 개념의 극치가뭄이 발생할 경우 현재의 수자원 시설물을 이용하여 수도권의 용수공급 능력을 평가하기 위해 사전적 연구로 장기 지속 가뭄의 수문시나리오를 개발하였다. 장기 가뭄 수문시나리오는 과거 관측 자료의 가뭄빈도해석과 추계학적 수문시계열 모형으로 모의된 합성유량의 가뭄빈도해석 결과를 비교하여 합치할 경우 합성유량계열에서 주어진 지속기간 및 재현기간의 가뭄시나리오를 도출하여 과거 자료의 기간에 대한 한계성을 극복할 수 있는 방법을 제시하였다.

## 2. 장기 가뭄 수문시나리오 개발 방법

장기 가뭄 수문시나리오를 개발하기 위한 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 가장 손쉬운 방법은 과거 수문 자료의 계열이 충분히 길 경우에는 갈수분포모형을 이용하거나 확률이론을 적용하여 구할 수 있다. 또 하나의 방법은 과거 기록자료의 통계적 특성을 이용하는 추계학적 수문시계열 모형을 적용하여 합성 수문계열을 모의하는 것이다(Tarboten, 1995). 그러나 한강수계와 같이 이미 수문학적으로 독립된 다수의 댐들이 위치하고, 용수 수요 지점이 하류에 위치하는 경우 상류의 수문자료를 다루는 문제가 복잡해진다. 예를 들면 한강수계에는 이미 10개 이상의 댐이 건설되어 있으며, 이중 저류량 조절이 가능한 대형 댐만 3개에 이른다. 또한 나머지 댐 중에서 팔당댐은 하류에 위치하지만 수도권의 용수공급을 위한 기준지점 역할을 하고 있다.

이와 같은 특성은 수문학적으로나 수자원시스템 해석 측면에서 여러 가지 중요한 의미를 갖는다. 우선 수문통계학적으로는 하나의 수문변수로 한강수계 전체를 표현할 수 없다는 것이다. 다시 말해 같은 수계내에서도 어느 주어진 시점에 주어진 여러 지점에서의 수문변수는 서로 상이한 내용을 보여줄 수 있어 상관성이 크지 않아, 가능한 수문자료를 여러 소유역으로 분할하여 접근할 필요가 있다. 즉, 유역의 적정크기나 주요 수자원 시설물, 유역 및 하천의 특성을 고려하여 다변수(multivariate)으로 다룰 필요가 있다. 이는 또한 수자원 시스템해석에 필요한 수문시나리오 역시 해석하

고자 하는 수자원 시스템의 구성요소에 따라 개발되어야 한다는 것이다. 따라서 한강수계에서의 가뭄해석을 위한 수문시나리오는 주요 수자원 시설물의 운영과 용수공급 지점을 고려해야하기 때문에 다지점 수문변수로 개발할 필요가 있다. 본 연구에서는 이와 같은 점을 고려하여 지속가뭄에 대한 수문시나리오를 아래와 같은 절차를 적용하였으며, 이를 Flowchart로 나타내면 Fig. 1과 같다.

- (1) 한강수계를 대상으로 화천댐, 소양강댐, 충주댐, 중주조절지댐 및 팔당댐을 하류지점으로 하는 5개 소유역에 대한 과거 월 유량자료를 조사한다.
- (2) 조사된 5개 소유역 월 유량자료에 대한 통계분석을 실시한다.
- (3) 팔당댐 기준(소유역 유량을 모두 합한 값)의 전유역의 월 유량자료를 대상으로 지속기간별, 빈도별 유량을 가뭄분포모형을 이용하여 추정한다.
- (4) 5개 소유역의 월 유량자료를 이용하여 추계학적 수문모형을 이용하여 5개 소유역에 대한 월 단위 합성유량을 모의한다.
- (5) 모의된 월 기간 합성유량을 대상으로 팔당댐 기준(소유역 유량을 모두 합한 값) 전체 유량을 대상으로 지속기간별, 빈도별 가뭄빈도를 해석한다.
- (6) 과거 유량자료 계열의 지속기간별, 빈도별 가뭄유량과 합성유량의 지속기간별, 빈도별 가뭄유량을 비교하여 합치여부를 판단한 후 지속기간별, 빈도별 수문시나리오를 합성유량계열에서 선택한다.

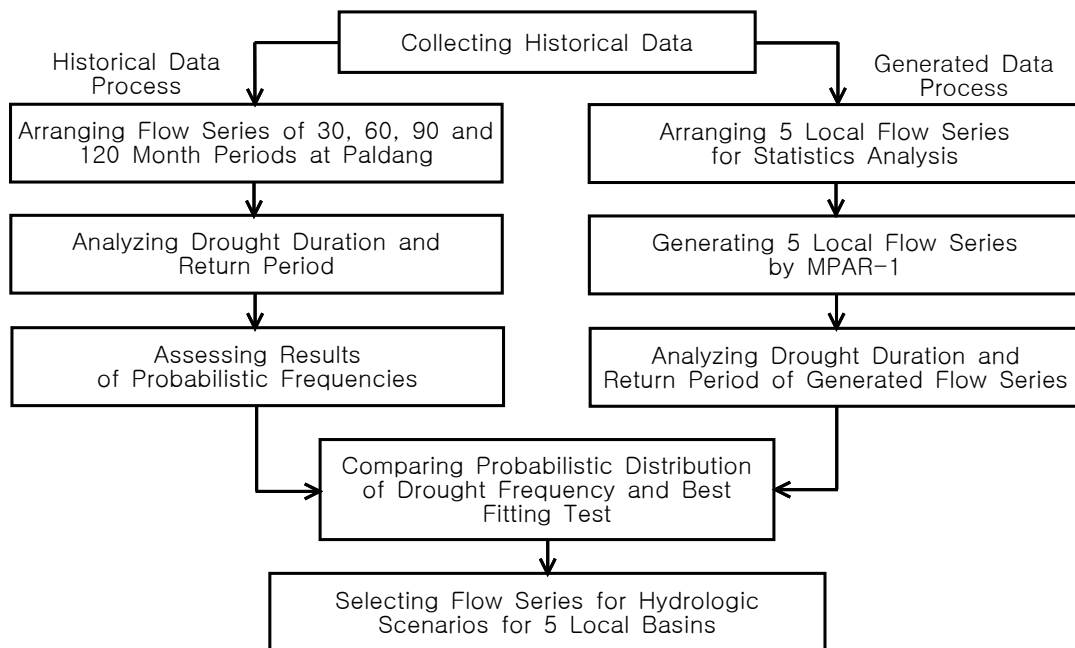


Fig. 1. The Procedure of Developing Sustained Drought Hydrologic Scenarios

### 3. 과거 유량자료 갈수빈도 해석

#### 3.1 과거 유량 자료 정리

관측 유량자료 계열이 짧은 경우를 대상으로 장기간 지속가뭄의 영향을 평가하기 위해서는 가뭄수문시나리오의 개발이 효과적이다. 특히 재현기간 100년 이상의 빈도해석을 위해서는 상당기간의 자료가 축적되어 있어야 하며 자료 취득기간에 걸쳐 인위적 영향을 거의 받지 않아야 한다. 한강수계에서 수도권 지역의 용수공급에 영향을 주는 다목적댐으로 충주댐과 소양강댐이 있으며, 발전목적으로 분류되고 있으나 용수공급 기여도가 높은 화천댐과 그리고 춘천, 의암, 청평 및 팔당 등 수력발전용댐이 있다. 다른 다목적댐에 비하여 용수공급 능력이 낮은 중규모 댐으로 횡성댐이 운영되고 있다. 이들 댐에서 저류된 후 방류된 유량은 팔당댐에 모여서 수도권의 각처로 공급된다. 본 연구에서는 이와 같은 특징을 고려하여 한강유역의 장기가뭄에 대한 수자원 공급체계를 평가하기 위하여 Fig. 2와 같이 수자원시설

물을 기준으로 상류의 충주댐, 소양강댐 그리고 화천댐 등 3개 대규모 댐과 충주댐 하류의 조절지댐(달천유입), 그리고 이들 하류 유역인 팔당댐 유역 등 5개 소유역으로 구분하였다. 장기 가뭄 수문시나리오 개발에 필요한 과거 수문자료 역시 이들 5개 소유역을 대상으로 월 유량자료로 정리하였다.

한강수계에서 수위관측은 1913년 3월에 여주에서 처음 시작하였고 1918년까지 18개소의 관측소가 설치되었다. 1917에서 1940년까지 남한강과 달천의 합류점 탄금대 부근에 충주수위표를 설치하여 일수위를 기록한 자료의 이용이 가능하다(건설부/한국수자원개발공사, 1971). 또한 충주본댐 지점으로 유입하는 1917~1940년, 1956~1990년 자료 중 충주 본댐 지점에 유입하는 1974년 이전의 월유입량 자료는 한강유역조사(건설부/한국수자원개발공사, 1971)의 조사 성과에 의거하여 충주 다목적댐 타당성조사(ECI(Engineering Consultants Inc.)용역단, 1976) 자료를 이용할 수 있다. 1975~1983년의 자료는 충주댐 건설시 일본공영(1985)

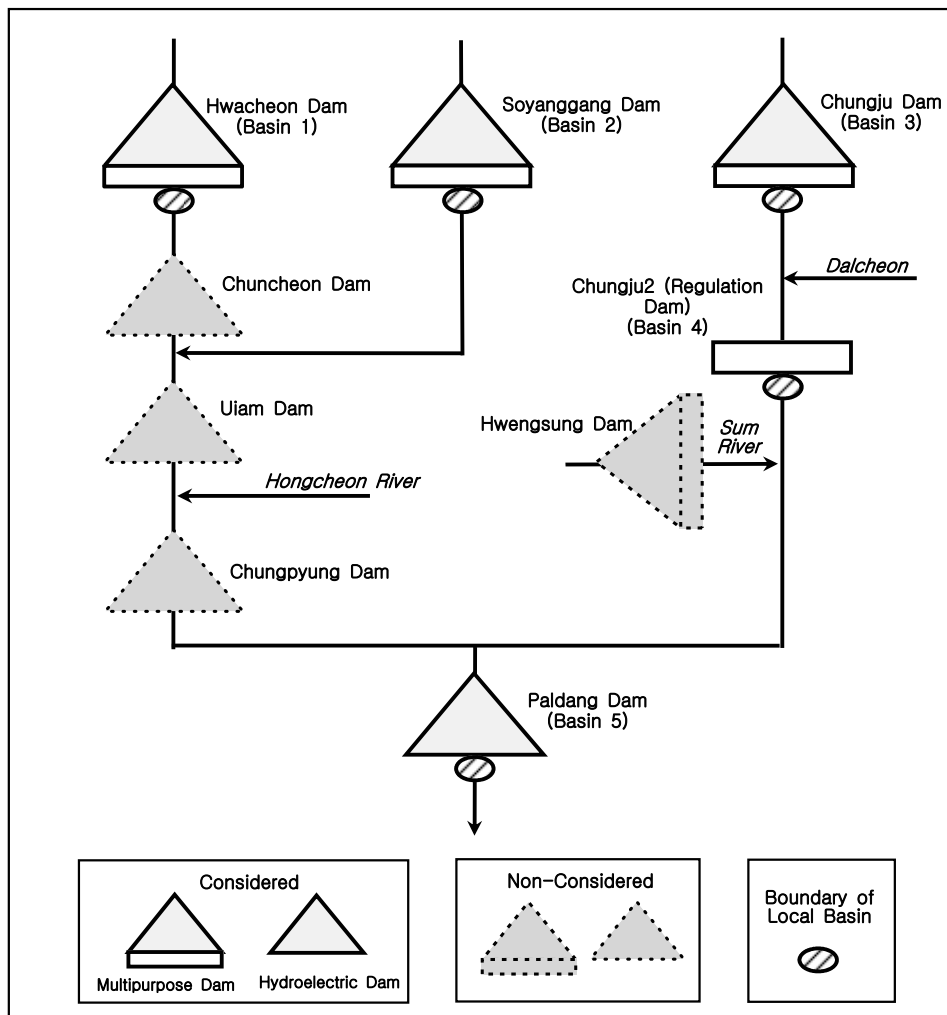


Fig. 2. Demarcating 5 Local Basins According to Dams in Han River

이 강우자료로부터 Tank모형으로 산정한 유량 자료가 있고, 1984년 이후의 자료는 공사기간 중 설치되었던 수위자료, 이후의 댐 운영자료가 이용 가능하다. 국가수자원관리 종합정보시스템(WAMIS)에 수록된 이전의 자료들에 대해서는 한강 유역 조사사업 보고서(건설부/한국수자원개발공사, 1971)의 자료가 있으며 이후에도 많은 조사와 연구를 통하여 유량자료가 제시되었다.

소양강댐 유입량 자료에 대해서는 소양강댐 공사지(건설부/산업기지개발공사, 1974)에 의하면 댐 지점의 유입량은 1915~1939년(25개년)에 대해서는 춘천과 인제 우량관측소의 월강우량을 카지야마(Kajiyama)공식을 사용하여 월별 유출량으로 환산한 것이 있으며, 1958년 이후의 유입량자료는 천전수위관측소의 일수위 기록으로부터 환산한 것이 있었으나 자료의 기록은 남아있지 않다(한국수자원공사, 1997).

이들 댐들은, 화천댐은 1940년, 소양강댐은 1976년, 충주댐은 1986년부터 운영되어 각각의 자료계열이 다른 관계로 본 연구에서 사용할 유량자료는 장기지속가뭇을 고려하여 수자원장기종합계획 수립을 위해 장기유출모형으로 구한 1968~2003의 유량자료를 이용한 유량계열 이외에 가능한 실측유량이나 과거 수자원사업보고서에서 제시된 정리된 자료를 활용하는 2가지의 방법을 검

토해 보았다. 따라서 위와 같이 조사된 자료를 바탕으로 5개 소유역에 대해 결측된 기간(1941~1967)을 제외하고 한강 유역 조사사업 보고서(1971)를 근거로 한 1917년부터 1940년까지의 자료와 과거 월 유입량 기록 및 댐별 운영자료로부터 정리한 1968년 이후 1988년까지의 자료 및 수자원장기종합계획(건설교통부, 2006)에서 적용한 1968년부터 2003년까지의 유량자료를 정리하여 Table 1과 같이 두 종류의 월 유량자료 계열을 만들었다.

이들 각 자료계열간의 결측기간(1941~1967) 및 연속성에 대한 일관성 검증을 위해 결측기간 전·후에 대한 통계특성을 자료출처별로 구분하여 양 자료의 동질성(homogeneity)에 대한 T-Test를 시행하였다. 분석결과, 결측기간 전·후의 계열은 모두 95% 신뢰도의 유의수준에서 유의차가 없는 것으로 나타나 동질성을 유지하고 있다고 판단하였다.

실제 이들 두 유량자료 계열 간에는 다소 차이가 있으나 어느 것이 더 적합한지를 평가하는 것은 큰 의미가 없어 장기 지속 가뭇시나리오를 만드는 목적에 부합하는 적은 유량값을 보이는 Table 1의 Data-II를 이용하였으며, 이 자료계열의 각 소유역간 계절을 대표하는 월(1, 4, 7 및 10월)의 상호상관계수는 Table 2와 같다.

Table 1. Periods of Available Flow Data in the Han River Basin

	1917~1940	1968~1988	1989~2003
Data-I	Observed flow records	Flow data used in National Water Resources Plan	
Data-II	Observed flow records	Observed flow records	Flow data used in National Water Resources Plan

Table 2. Cross Correlation Coefficients Matrix of the Seasonal Representative Months

	January					July					
	Hwachon	Soyang	Chungju	Chungju2	Paldang	Hwachon	Soyang	Chungju	Chungju2	Paldang	
Hwachon	1.000	0.635	0.457	0.628	0.340	Hwachon	1.000	0.698	0.564	0.476	0.652
Soyang		1.000	0.205	0.559	-0.035	Soyang		1.000	0.727	0.552	0.727
Chungju			1.000	0.395	0.673	Chungju			1.000	0.547	0.729
Chungju2				1.000	0.350	Chungju2				1.000	0.569
Paldang					1.000	Paldang					1.000
	April					October					
	Hwachon	Soyang	Chungju	Chungju2	Paldang	Hwachon	Soyang	Chungju	Chungju2	Paldang	
Hwachon	1.000	0.575	0.422	0.606	0.611	Hwachon	1.000	0.683	0.486	0.633	0.515
Soyang		1.000	0.377	0.409	0.496	Soyang		1.000	0.609	0.706	0.584
Chungju			1.000	0.488	0.491	Chungju			1.000	0.561	0.689
Chungju2				1.000	0.678	Chungju2				1.000	0.602
Paldang					1.000	Paldang					1.000

이 표와 같이 유역간 상호상관계수는 낮은 값을 보여주어 전체 유역을 하나의 수문계열로 다루는 것은 불합리하여 소유역 단위의 유량자료 계열로 적용하는 것이 타당한 것으로 판단되었다.

### 3.2 과거 유량의 지속기간-빈도별 갈수 분석

가뭄사상에 대한 확률적 해석은 수자원시스템을 계획하고 관리하는데 매우 중요한 요소이다. 용수공급 시계열을 고려할 때 가뭄사상은 용수부족이 발생하는 지속기간을 확대시킬 수 있다. 실제 각각의 가뭄사상은 가뭄지속기간, 용수부족의 크기 그리고 가뭄강도 등 3가지 요인에 의해 결정되어 진다(Yevjevich, 1967). 그러나 과거 관측 자료가 제한적일 경우 장기 가뭄 사상에 대한 분포계수의 적절한 추정은 쉽지 않다. 게다가 장기 가뭄의 재현기간을 평가할 때는 지속기간과 크기를 같이 고려할 필요가 있다. 또한 분포모형마다 각각 특징이 있으므로 하나의 분포모형을 선정하여 적용하는 것 보다 여러 가지의 모형을 이용하여 적합도 평가를 통하여 선정하는 것이 보다 바람직하다.

본 연구에서는 이와 같은 점들을 고려하여 제2장에서 제시한 장기 가뭄 수문시나리오 개발을 위한 갈수빈도 해석은 다음과 같이 11개의 모형을 이용하여 추정된 후 적합도 검정을 거쳐 몇 가지로 압축하였다(이미 널리 알려진 모형이라 세부 설명은 생략).

L-모멘트 :

$$M_{p,r,s} = E[X^p \{F(X)\}^r \{1 - F(X)\}^s] \quad (1)$$

$$= \int x^p \{F(x)\}^r \{1 - F(x)\}^s dF(x)$$

Gamma 분포 :

$$f(x) = \frac{1}{|\alpha| \Gamma(\beta)} \left[ \frac{x}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp \left[ - \frac{x}{\alpha} \right] \quad (2)$$

Generalized Extreme-value 분포 :

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[ 1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha} \right]^{1/k-1} \quad (3)$$

Generalized Logistic 분포 :

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \frac{e^{-(1-k)y}}{(1+e^{-y})^2} \quad (4)$$

Generalized Normal 분포 :

$$f(x) = (2\pi)^{-1/2} \alpha^{-1} e^{-ky - y^2/2} \quad (5)$$

Generalized Pareto 분포 :

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-(1-k)y} \quad (6)$$

Gumbel 분포 :

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left\{ \frac{-(x-\xi)}{\alpha} - \exp \left[ \frac{-(x-\xi)}{\alpha} \right] \right\} \quad (7)$$

Normal 분포 :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ - \frac{1}{2} \left[ \frac{x-\mu}{\sigma} \right]^2 \right\} \quad (8)$$

Pearson Type 3 분포 :

$$f(x) = \frac{1}{|\alpha| \Gamma(\beta)} \left[ \frac{x-\xi}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp \left[ - \frac{x-\xi}{\alpha} \right] \quad (9)$$

Wakeby 분포 :

$$x = \xi + \frac{\alpha}{\beta} \{1 - (1-F)^\beta\} - \frac{\gamma}{\delta} \{1 - (1-F)^\delta\} \quad (10)$$

Log Pearson Type 3 분포:

$$f(x) = \frac{1}{|\alpha| \Gamma(\beta)_X} \left[ \frac{y - y_0}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp \left[ - \frac{y - y_0}{\alpha} \right] \quad (11)$$

위의 분포모형을 이용하여 한강수계에서 1917부터 2003년까지 이용 가능한 월 유량자료를 대상으로 30, 60, 90 및 120개월 지속기간에 대해 재현기간 5, 10, 25, 50, 100 그리고 200년에 대하여 분석하였다. 빈도분석에 적용된 유량자료 계열은 한강수계 팔당댐 상류 5개 소유역에 대한 월 유량자료를 대상으로 팔당댐 기준 상류 5개 소유역의 월 유량자료를 합하여 하나의 시계열 자료를 만들었으며 이를 분석하였다. 즉 Table 2와 같이 소유역 유량자료 계열간 상관성은 낮아 주어진 빈도에 대한 개별 소유역의 빈도해석을 통해 전체 유역의 빈도 값을 추정하는 것은 논리적으로 불가능하여(예를 들면 어느 시점에 5개 소유역에서 똑같이 100년 빈도의 가뭄이 발생하는 경우) 한강수계 용수공급체계와 수자원 시설물을 고려하여 팔당댐 기준(전체 유역의 유량 값을 대상으로)의 빈도해석을 실시하였다. 이의 결과는 Fig. 3~6과 같다.

분포모형을 이용하여 추정된 값들 중에서 적합도 검정을 거쳐 가장 적절한 값을 선정된 것을 모형과 변수를 정리하면 Table 3과 같다. 이들 결과는 다음 장에서

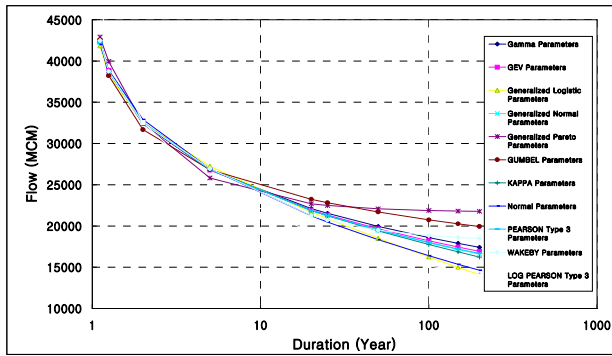


Fig. 3. Streamflow Duration Curve of 30 Month-Period at Paldang

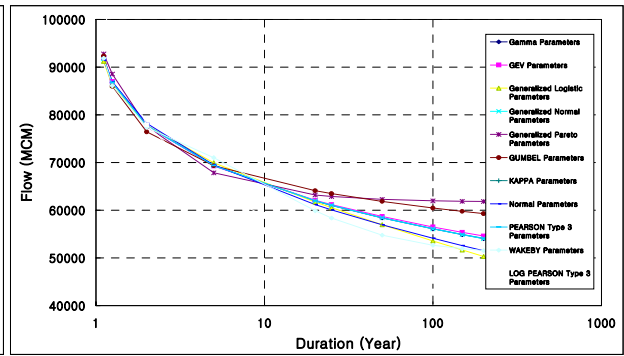


Fig. 4. Streamflow Duration Curve of 60 Month-Period at Paldang

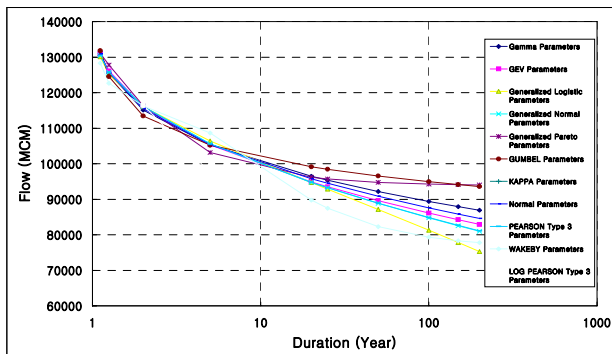


Fig. 5. Streamflow Duration Curve of 90 Month-Period at Paldang

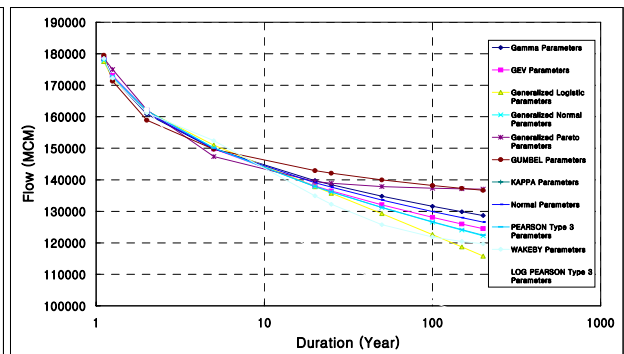


Fig. 6. Streamflow Duration Curve of 120 Month-Period at Paldang

Table 3. Selected Distribution Models and Their Droughts by Return Period

Duration	Distribution Model	Drought Flows By Return Period (106 m <sup>3</sup> )						
		5 Year	20 Year	25 Year	50 Year	100 Year	150 Year	200 Year
30 Month	Generalized Normal Parameters	26841.2	21859.1	21233.4	19479.8	17949.5	17144.4	16856.9
60 Month	Generalized Logistic Parameters	69968.8	61718.6	60530.0	56974.1	53578.8	51676.8	50311.4
90 Month	Gamma Parameters	105300.7	96486.0	95363.2	92196.8	89410.4	87935.8	86911.1

구할 합성유량의 빈도해석결과와 비교되며, 두 결과의 적합성 여부를 판단하는 자료로 활용된다.

#### 4. 장기 기름 수문시나리오 개발

##### 4.1 합성 유량 모의 (MPAR-1)

수자원 계획이나 평가에 있어 추계학적 수문 모형은 매우 유용하게 활용되고 있다. 이와 관련된 모형은 문헌을 통해 쉽게 찾을 수 있으며 주로 Box and Jenkins (1970)을 대표로 Fiering and Jackson(1971) 그리고

Yevjevich(1972) 등의 모형이 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 Yevjevich 이론(Salas *et al.*, 1985)에 근거하여 개발된 모형(Multivariate Periodic Autoregressive Lag(1))을 적용하였다. 다지점 주기성 계열  $y_{\nu, \tau}^{(i)}$   $i = 1, \dots, n$ 의 생성을 위한 기본식은 다음과 같다.

$$y_{\nu, \tau}^{(i)} = \mu_{\tau}^{(i)} + \sigma_{\tau}^{(i)} z_{\nu, \tau}^{(i)} \quad i = 1, \dots, n \quad (12)$$

$$z_{\nu, \tau}^{(i)} = \phi_{1, \tau}^{(i)} z_{\nu, \tau-1}^{(i)} + \varepsilon_{\nu, \tau}^{(i)} \quad (13)$$

Table 4. Statistics of Synthetically Generated Flow Series at 5 Basins (10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>)

River basin	Average	Min	Max	Variance	Standard Deviation	Skewness
Hwachon	2871.4	844.6	23122.3	2201562.4	1483.8	4.174
Soyanggang	2261.8	439.8	11648.4	1427923.7	1195.0	2.235
Chungju	5274.6	1590.7	25197.1	5491258.3	2343.3	2.164
Chungju2	1128.4	263.9	7845.5	426379.8	653.0	3.471
Paldang	5602.3	1562.0	45992.1	8122776.6	2850.0	4.106

여기서  $y_{\nu,\tau}^{(i)}$  는 유량원소,  $\mu_{\tau}^{(i)}$  는 평균원소,  $\sigma_{\tau}^{(i)}$  는 표준편차 원소,  $z_{\nu,\tau}^{(i)}$  는  $y_{\nu,\tau}^{(i)}$  의 표준화된 값이다.  $\phi_{1,\tau}^{(i)}$  는 주기성 매개변수이고  $\varepsilon_{\nu,\tau}^{(i)}$  는 무작위 수이다. 첨자  $i$  는 지점을,  $\nu$  는 연을,  $\tau$  는 월을 나타낸다. 본 연구에서는 위의 모형을 이용하여 Fig. 2에서 제시된 한강수계 5개 소유역을 대상으로 Table 1의 과거유량자료 계열을 이용하여 1000년간의 월 유량자료를 모의하였다. 모의된 합성유량자료의 통계적 특징은 Table 4와 같다. 이중 화천댐 소유역의 경우는 북한에 위치한 임남댐의 유역외 도수는 반영하지 않았다.

#### 4.2 장기 가뭄 수문시나리오

Fig. 1의 절차에 따라 앞 절에서 얻어진 한강수계 팔

당댐 상류 5개 소유역에 대한 1000년의 월 유량자료를 팔당댐 지점을 기준으로 합하여 하나의 시계열 자료를 만든 후 이를 대상으로 30, 60, 90 및 120개월 지속기간에 대한 빈도분석을 실시하고, 앞에서 구한 과거 관측 자료에 대한 가뭄분포 모형의 결과와 비교하였다. 비교 결과, 지속기간 30개월은 Fig. 7과 같이 과거 자료 분포 모형보다 재현기간 100년 이내에서는 약간 큰 값을 보이나 나머지는 비교적 Fig. 3~6의 과거자료의 결과와 비슷한 경향을 보여주고 있다. 이는 본 연구에서 제시하고 있는 방법에 의거 장기 가뭄 수문시나리오를 개발할 수 있음을 보여주는 것으로 장기 가뭄 수문시나리오는 1000년의 합성유량에서 지속기간별, 재현기간별로 추출해 시계열로 정리하면 한강수계 5개 소유역에 대한

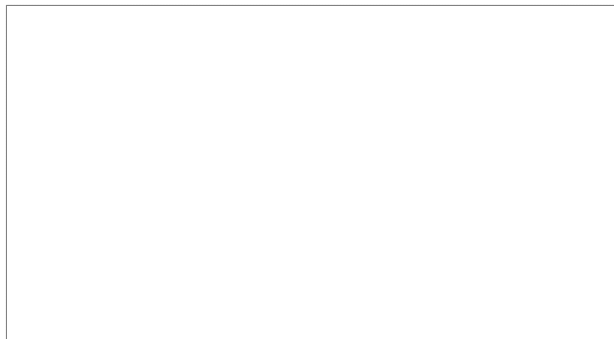


Fig. 7. Comparison of Drought Probabilistic Frequency Curve for 30 Month-Period

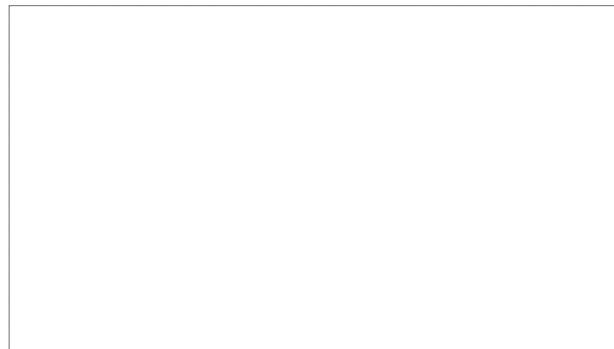


Fig. 8. Comparison of Drought Probabilistic Frequency Curve for 60 Month-Period

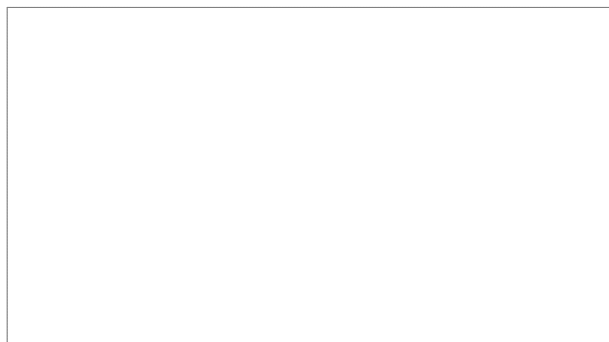


Fig. 9. Comparison of Drought Probabilistic Frequency Curve for 90 Month-Period

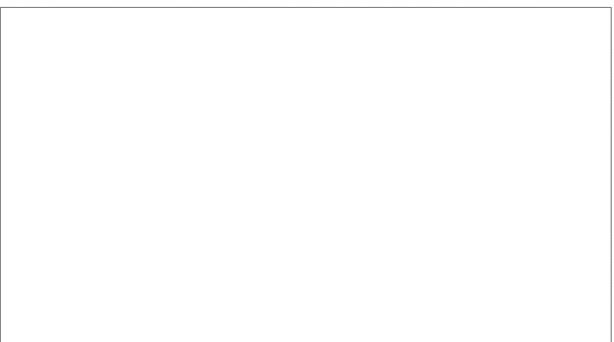


Fig. 10. Comparison of Drought Probabilistic Frequency Curve for 120 Month-Period



극치 가뭄 수문사상의 개발이 가능하다.

실질적으로 장기 지속가뭄의 수문시나리오 1000년의 월 유량계열에서 주어진 지속기간과 재현기간별로 Fig. 11과 같이 추출해 낼 수 있다. 본 연구에서는 장기

가뭄 수문시나리오 중 재현기간 100년에 해당하는 지속기간 30, 60, 90 및 120개월의 수문시나리오를 대상으로 Tables 5~8와 같이 예로서 제시하였다. 이때 주의할 점은 가뭄 지속기간과 재현기간간의 모순점이다. 즉 여

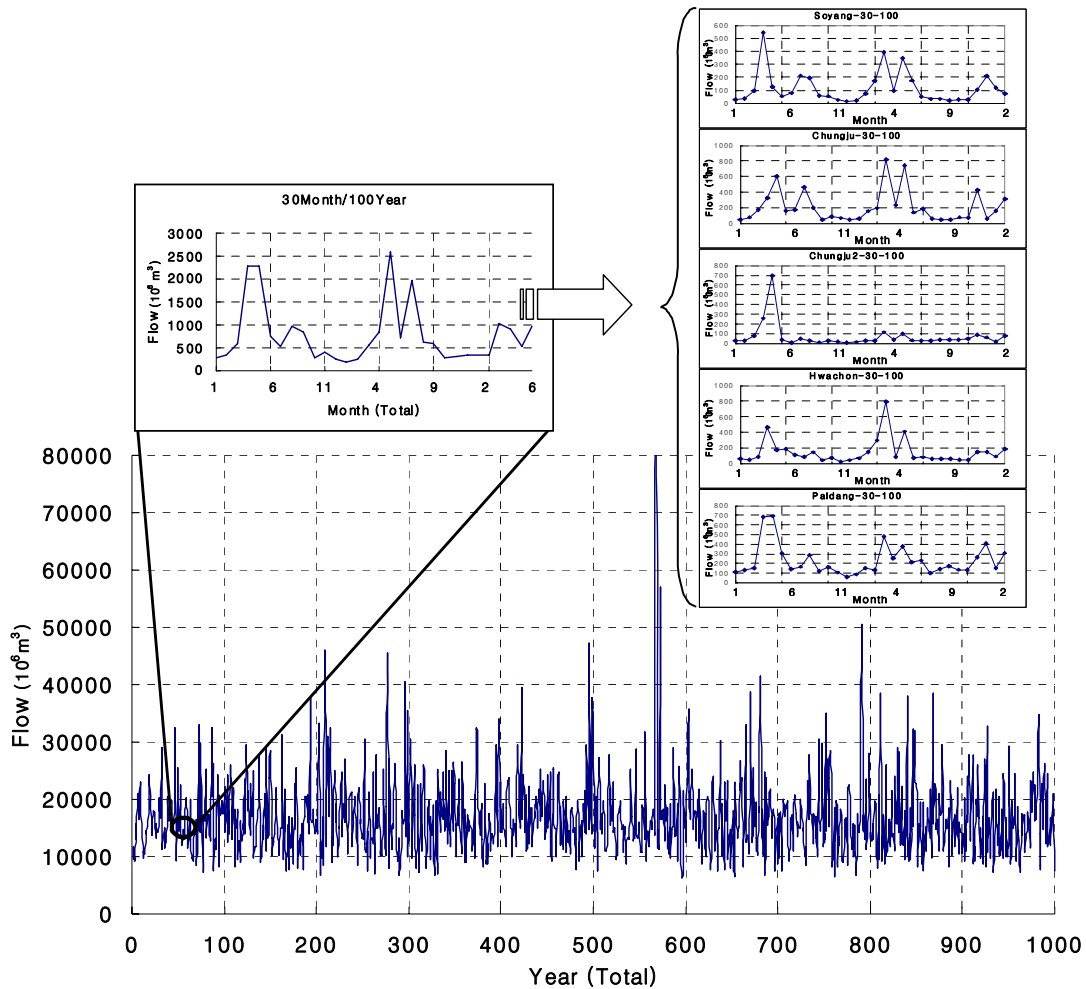


Fig. 11 Hydrologic Drought Segments in the Generated Flow Series

Table 5. Streamflows for Hydrologic Scenarios of 30 Month/100Year Return Period ( $10^6 \text{ m}^3$ )

30Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Hwacheon	64.6	52.4	88.4	467.6	174.9	186.8	110.9	87.4	145.0	43.0	72.8	22.5
	42.2	69.4	149.0	296.7	793.4	85.8	408.3	73.0	80.1	60.2	62.5	57.3
	49.8	45.5	146.2	152.2	91.1	190.8						
Soyang	31.4	36.2	95.9	544.6	125.0	54.6	79.5	214.2	196.5	61.4	54.3	25.7
	16.9	21.5	74.1	174.2	390.9	100.0	345.6	176.3	52.4	32.8	33.3	19.6
	26.8	29.3	102.9	213.6	119.7	77.5						
Chungju	52.3	78.7	173.6	326.2	601.0	166.5	178.5	462.8	201.8	46.3	84.4	68.6
	46.1	57.3	156.9	193.8	817.7	231.7	743.9	143.3	183.7	62.8	50.6	51.1
	79.4	76.1	424.6	58.6	159.7	312.3						
Chungju2	25.2	27.9	76.5	257.1	692.8	40.9	11.5	49.6	31.4	13.0	25.4	19.5
	11.3	14.8	27.7	30.7	116.3	39.2	101.5	33.0	29.7	25.6	40.7	36.7
	41.8	51.3	88.7	62.5	15.8	79.5						
Paldang	110.7	134.3	150.3	686.5	690.6	303.9	140.0	166.6	288.7	122.1	162.5	106.9
	60.6	86.1	154.6	134.7	477.6	252.4	379.5	215.8	229.4	101.2	139.4	168.9
	136.2	132.9	261.3	406.4	152.2	308.9						

러 해에 걸친 장기지속가뭄을 생각할 때 N기간의 가뭄이 발생할 확률을  $P_N$ 이라 하면 재현기간은  $1/P_N$ , 또는  $R = N/P_N$ 이기 때문에 N년 지속가뭄에서 어느 한해의

가뭄확률은  $N/R = P_N$ 이므로 재현기간 R이 지속기간 N보다 적은 경우는 논리에 맞지 않는다(예를 들면 지속기간 10년에 재현기간 5년 등).

**Table 6. Streamflows for Hydrologic Scenarios of 60 Month/100Year Return Period ( $10^6$  m<sup>3</sup>)**

60Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Hwacheon							745.5	322.8	281.3	65.0	44.8	15.9
	41.5	22.5	20.4	81.4	56.7	176.4	463.4	736.4	97.8	27.6	17.8	13.7
	39.4	40.8	79.3	238.5	97.3	244.5	1016.9	1594.7	114.5	54.3	126.5	70.4
	19.3	12.6	20.4	52.5	65.7	32.3	496.6	249.9	92.8	75.9	92.2	57.5
	55.3	35.9	75.8	110.6	50.8	128.7	558.3	107.6	297.8	107.5	70.2	80.9
	73.7	64.1	230.5	280.6	311.9	122.4						
Soyang							198.7	333.0	145.7	48.5	21.0	14.0
	8.7	4.8	8.5	33.6	39.5	155.9	481.4	226.0	91.7	18.7	10.6	7.4
	49.0	39.1	67.7	327.2	70.9	174.1	1019.8	811.9	153.0	62.4	110.6	34.3
	6.9	3.2	8.7	46.6	112.1	36.6	118.9	88.7	28.9	64.6	80.1	23.6
	33.5	23.0	35.6	111.3	94.6	189.3	618.0	131.6	164.7	92.4	34.8	55.2
	45.7	41.8	101.4	162.2	175.3	109.5						
Chungju							914.8	842	96.0	189.5	64.5	35.4
	33.4	27.0	51.2	405.0	47.9	400.0	803.5	840	252.3	37.5	28.0	28.2
	45.9	72.7	202.7	922.6	230.1	472.5	1227.6	696.3	151.9	90.6	338.4	133.5
	53.4	26.0	71.4	401.4	345.7	190.2	216.4	156.4	233.6	278.3	95.5	63.1
	46.5	50.0	117.9	293.5	95.3	163.4	1047.2	1012.7	849.1	232.6	66.9	116.1
	54.2	34.1	245.7	367.4	455.7	280.2						
Chungju2							274.8	157.5	33.3	31.6	25.0	13.6
	11.7	7.6	21.1	34.7	12.3	66.6	246.0	335.1	35.6	6.7	10.5	8.2
	18.7	28.7	31.9	82.0	35.5	44.8	113.8	181.5	39.3	22.5	48.9	31.8
	7.4	3.9	15.7	100.1	98.2	43.6	35.5	85.7	15.8	22.0	26.4	21.6
	55.3	71.3	20.4	58.1	13.3	12.3	117.5	121.9	84.4	48.8	24.5	35.9
	18.0	22.1	27.0	28.0	23.5	34.6						
Paldang							494.4	901.9	130.4	125.3	104.3	77.9
	78.5	36.6	64.9	179.7	100.6	248.4	1069.6	1493.0	247.7	53.7	57.5	49.0
	60.2	74.7	153.5	343.5	128.1	202.5	842.3	1001.8	177.3	171.7	178.1	192.4
	109.9	78.2	95.4	186.1	230.1	249.7	369.8	204.3	147.5	256.2	211.3	109.4
	121.7	101.9	158.1	185.3	103.7	122.4	3514.6	1180.4	519.3	109.8	88.9	158.5
	108.3	109.7	217.0	301.8	542.7	663.4						

**Table 7. Streamflows for Hydrologic Scenarios of 90 Month/100Year Return Period ( $10^6$  m<sup>3</sup>)**

90Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Hwacheon								332.0	62.7	95.3	56.3	33.2
	27.3	18.5	20.4	70.4	178.9	61.3	425.1	143.4	122.2	53.5	60.3	47.8
	70.8	34.7	71.2	67.2	78.0	91.7	311	417.7	697.8	183.7	104.1	70.4
	28.3	25.2	68.7	140.8	124.4	26.8	257.9	752.0	78.5	49.9	39.6	15.9
	37.2	39.5	101.1	128.9	170.6	78.5	756.1	565.7	271.0	141.0	65.8	39.1
	52.9	21.0	62.7	170.3	370.6	538.8	1330.8	277.3	83.9	53.3	45.7	47.5
	70.2	56.5	84.2	135.3	48.6	26.8	544.8	251.6	210.7	115.7	88.7	110.8
	48.8	39.1	78.2	152.5	112.5	43.6	801.1	429	361.9	78.5	105.7	70.6
	14.7											

Soyang								264.5	64.8	26.3	37.7	11.1
	22.1	9.8	50.3	264.4	212.8	86.1	518.9	336.2	150.6	24.5	51.1	23.1
	22.5	11.8	48.2	18.4	38.9	54.3	207.3	274.7	828.4	218.5	67.3	48.6
	25.7	15.4	68.7	147.7	116.8	19.6	239.5	243.8	46.1	23.4	56.8	31.9
	20.0	18.4	40.4	152.3	216.1	91.7	274.2	257.9	120	79.5	42.0	72.7
	71.8	29.9	78.4	105.3	153.8	292.6	1406.0	300.3	243.2	60.9	27.3	16.5
	33.7	22.4	59.0	87.0	24.7	13.0	233.5	256.7	143.1	83.2	112.8	113.3
	36.6	57.2	75.3	78.5	134.7	38.4	339.2	161.3	125.0	42.2	50.0	60.3
19.5												
Chungju								428.3	132.3	142.2	129.6	139.5
	69.3	18.1	119.9	604.4	331.8	168.0	220.9	312.3	190.5	59.6	170.7	75.8
	47.9	37.0	127.5	175.2	107.2	126.3	1015.2	1442.1	3132	576.2	118.4	92.0
	74.8	10.0	136.2	285.2	373.1	225.3	1512.3	602.9	216.8	217.4	176.2	126.1
	94.7	80.1	78.7	335.8	189.7	201.9	563.6	467.4	186.0	266.3	110.0	96.3
	23.1	26.5	97.7	376.5	362.1	347.4	1236.3	601.1	313.5	273.0	174.3	94.5
	83.5	118.5	123.4	178.2	57.5	133.9	1417.6	382.6	333.5	210.1	240.9	224.0
	99.0	78.4	271.9	453.2	374.1	115.5	859.5	540.4	308.0	118.2	126.6	129.9
16.1												
Chungju2								101.1	15.8	13.4	10.5	8.2
	9.0	8.6	15.9	24.4	16.6	46.0	131.2	43.9	118	21.7	38.9	20.7
	20.7	17.6	101.3	18.8	25.6	11.3	125.9	604.1	305.9	113.7	34.3	30.4
	7.4	4.3	18.2	53.7	93.9	52.8	869.7	353.8	37.1	12.4	26.8	13.6
	16.9	20.9	23.7	38.5	7.9	90.1	177.3	146.0	69.7	45.1	38.2	26.7
	15.6	13.8	24.1	45.5	65.6	61.8	88.7	29.5	84.1	60.9	25.9	46.5
	25.3	52.1	22.4	81.3	33.5	54.7	38.3	91.0	276.5	169.7	89.2	70.5
	26.8	25.2	29.0	34.6	39.8	13.8	55.0	213.4	62.0	25.4	28.7	18.8
5.4												
Paldang								406.7	179.8	271.1	157.1	128.7
	194.7	129.6	157.4	284.1	569.6	390.4	467.2	216.3	128.0	103.8	143.2	107.6
	89.4	84.3	178.5	103.2	69.2	87.0	531.5	983.5	2245.5	285.1	158.2	142.4
	51.4	49.4	86.2	217.3	458.4	604.3	1488.4	920.9	192.0	194.4	329.4	129.3
	174.6	148.3	200.9	185.6	157.0	189.1	728.1	1101.0	458.5	155.3	163.7	73.0
	52.2	34.0	59.7	61.4	102.3	204.3	1795.1	235.1	467.5	296.5	166.1	230.5
	160.2	172.6	68.1	229.2	66.8	107.5	959.3	383.9	1745.2	303.7	220.9	276.6
	140.3	102.1	139.7	233.1	203.7	113.0	2290.3	673.4	397.4	138.6	211.8	149.3
55.0												

Table 8. Streamflows for Hydrologic Scenarios of 120 Month/100Year Return Period (10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>)

120Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Hwacheon			132.6	262.5	211.2	185.6	1280.4	866.4	300.4	45.5	29.0	34.7
	32.7	32.9	82.7	155.6	122.8	87.5	206.2	95.3	244.3	42.0	24.7	27.8
	33.0	53.4	54.1	149.5	271.9	313.5	1010.0	370.8	149.4	78.9	97.0	57.5
	95.0	68.9	82.6	99.8	57.7	63.7	1101.7	190.7	251.9	140.9	61.2	19.9
	42.6	35.9	84.6	89.9	247.0	49.0	163.8	220.6	67.0	195.9	263.1	139.6
	77.7	67.8	213.1	213.5	68.3	101.6	1315.6	232.5	373.1	73.3	60.5	52.0
	36.1	26.7	59.6	73.4	133.6	266.8	279.5	475.8	253.9	96.9	147.0	160.6
	23.1	20.5	43.2	33.7	99.7	26.8	400.1	186.0	499.9	282.8	107.2	58.9
	68.4	38.6	138.2	109.8	121.5	213.7	2961.5	50.8	142.6	80.2	72.0	49.3
	84.9	31.3	81.9	138.9	254.3	32.0	226.0	129.5	74.0	117.6	92.3	33
17.3	36.1											
Soyang			141.0	282.7	259.0	106.2	205.4	124.7	53.6	33.5	11.9	5.9
	15.0	25.4	48.1	195.1	139.2	32.3	142.6	79.1	252.4	23.1	18.0	21.4
	16.7	25.8	21.4	42.2	87.7	152.9	566	474.9	76.3	39.9	52.4	23.6

	32.2	46.7	55.5	108.2	41.0	80.5	1086.7	125.4	74.6	69.9	33.4	10.5
	32.4	31.0	119.1	158.6	299.6	60.7	131.0	109.3	28.5	69.0	68.4	39.4
	39.6	51.3	160.2	162.6	53.9	145.7	843.3	607.9	123.1	70.8	111.0	59.4
	20.5	17.0	73.2	81.1	102.2	80.5	601.4	888.7	369.4	59.8	65.2	43.3
	27.5	16.4	94.5	80.3	185.1	31.5	648.1	224.3	1216.7	68.6	47.9	23.8
	26.9	26.2	258.9	104.7	150.2	237.7	1724.3	38.9	101.9	67.5	29.9	17.4
	56.4	50.6	104.4	61.5	88.9	10.9	196.6	45.7	46.7	57.7	49.9	23.7
	12.9	18.1										
Chungju			795.4	1351.9	294.9	146.3	694.7	1061.6	158.6	125.8	73.9	54.8
	48.5	26.7	203.9	364.3	378.5	86.4	457.6	153.8	867.4	93.7	65.3	99.9
	75.6	141.7	75.4	575.2	469.3	364.2	1422.1	1111.5	225.6	117.8	164.1	79.7
	73.2	90.5	104.9	83.7	74.5	347.6	2308.3	283.5	91.2	166.0	102.4	72.6
	79.2	15.3	230.1	101.6	254.5	134.9	278.0	304.7	88.4	95.3	197.4	127.8
	90.2	78.1	331.3	328.5	131.7	243.1	3225.7	544.4	106.4	317.6	175.3	106.4
	50.7	11.5	71.2	235.2	141.7	217.3	863.4	472.3	1023.6	110.2	190.6	169.1
	43.1	42.0	146.3	316.2	152.3	41.0	1635.3	554.7	2292.7	365.3	182.0	115.7
	48.2	43.3	386.9	124.7	101.6	171.8	2186.8	116.3	731.7	144.8	138.4	64.0
	106.7	93.7	158.9	100.4	389.2	66.1	473.4	441.8	184.7	429.3	171.9	103.7
58.6	71.8											
Chungju2			56.9	79.4	19.5	40.1	861.3	695.9	69.1	16.1	17.7	24.3
	14.4	10.0	17.9	11.9	13.5	6.0	67.3	32.4	86.8	6.4	10.5	9.1
	31.8	76.7	28.5	18.7	11.5	42.2	376.4	322.2	35.2	21.1	41.1	25.3
	28.4	30.8	31.9	46.2	13.3	81.7	94.5	88.4	32.5	27.7	23.4	12.8
	26.5	19.2	68.6	35.9	116.7	10.3	46.5	121.1	19.7	15.4	51.3	34.8
	27.0	42.4	46.8	47.8	49.3	23.3	716.8	191.9	17.6	30.8	48.0	34.6
	19.2	9.1	30.3	51.0	24.3	25.1	46.9	62.8	125.4	30.5	56.0	48.4
	7.8	6.3	12.3	11.1	6.2	4.9	307.8	55.2	716.6	78.5	50.4	42.3
	32.2	20.6	46.9	17.2	22.6	40.8	507.3	33.4	18.4	28.4	47.0	26.0
	30.7	23.4	47.1	29.9	173.7	24.3	120.3	144.5	16.8	17.4	13.6	11.9
11.0	15.2											
Paldang			495.2	486.0	344.5	381.0	1221.8	1126.8	270.9	134.1	106.4	162.2
	75.8	60.8	193.3	230.4	270.5	163.0	489.6	177.4	361.3	156.0	85.1	81.8
	105.6	152.6	186.2	210.6	320.4	333.5	2241.9	1321.8	102.8	165.7	181.0	119.9
	127.7	96.3	129.7	189.6	89.4	257.8	3948	568.3	353.3	306.6	150.1	69.5
	111.6	80.8	170.9	105.8	266.6	87.7	304.5	901.5	40.6	105.5	325.9	124.5
	147.7	215.1	339.7	257.4	122.4	184.1	2105.8	742.5	122.3	147.8	187.9	141.0
	46.7	59.8	83.4	177.5	221.8	171.5	747.0	482.7	397.4	199.6	245.4	263.0
	100.8	82.9	81.9	74.5	186.0	77.0	978.8	198.3	1777.4	204.4	185.6	99.6
	106.5	124.3	252.7	113.8	98.6	165.6	3034.3	227.1	237.8	163.3	171.7	104.2
	113.3	56.2	80.9	146.8	232.2	57.0	683.8	492.1	356.6	666.6	198.6	135.8
92.0	111.9											

## 5. 결 론

수자원 계획이나 시설물 운영과 관련된 문제에 있어 장기 수문 자료의 부족은 발생 가능한 수문사상의 예측을 어렵게 한다. 우리나라와 같이 하천수 이용이 높은 경우에는 다양한 수문 시나리오를 바탕으로 예상되는 문제점을 진단하고 대책이 수립되어야 하나 수문정보의 한계에 의한 제약이 따를 수밖에 없다. 수문 사상의 추계학적 특성에 근거하여 극한 사상을 포함하는 수문계열의 확장은 수자원 이용과 하천관리 문제에 큰 도움을 줄 수 있다. 본 연구는 이와 같은 수문자료의 한계성을

극복하기 위한 방법으로 한강수계 5개 소유역을 대상으로 과거 관측자료의 이론분포모형에 의한 갈수분석과 추계학적 수문모형에 의해 생성된 유량자료의 빈도해석을 통해 적합도를 평가하고, 장기 가뭄에 의한 수자원 시스템의 용수공급 능력을 평가하기 위한 지속기간별, 재현기간별 수문시나리오를 개발하였다. 결국 한강수계와 같이 대규모 용수공급 시설이 위치하고 있는 유역의 가뭄 해석을 다양화시키기 위해 시도된 결과는 극한 사상의 수문시계열 자료의 확보가 가능해 가뭄 해석 문제에 유용하게 활용될 수 있다.

## 참 고 문 헌

- 고석구, 이광만, 고익환 (1992). "다기준 의사결정기법에 의한 다목적 저수지의 운영을 평가." **한국수문학 회지**, 한국수문학회, 제25권, 제1호, pp. 75-82.
- 건설부/한국수자원개발공사 (1971). **한강유역조사 사업보고서**.
- 건설부/산업기지개발공사 (1974). **소양강댐 공사지**.
- 건설교통부 (2006). **수자원장기종합계획**.
- 이광만, 고석구 (1993). "저수지군으로부터 기대편익 산정을 위한 Monte Carlo 기법의 간략화." **한국수문학 회지**, 한국수문학회, 제26권, 제2호, pp.89-97.
- 일본공영 (1985). **충주 다목적댐 사업 운영 유지 지침서 제1권 토목구조물**.
- 한국수자원공사 (1992). **한강수계 충주저수지 시스템의 실시간 최적운영을 위한 의사결정 지원시스템 개발 (이수관리부문)**.
- 한국수자원공사 (1997). **소양강 다목적댐 치수능력 증대 사업 기본설계 보고서**.
- Arena, C., Cannarozzo, M., Mazzola, M.R. (2005). "Multi-year drought frequency analysis at multiple sites by operation hydrology: a comparison." *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, No. 08561.
- Beran, M., Rodier, J.A. (1985). Hydrological aspects of drought, Studies and reports in Hydrology. Report 39, *UNESCO-WMO*, Paris, France.
- Box, G.E.P., Jenkins, G. (1970). *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. First Ed. Holden-Day Inc., San Francisco.
- Burn, D.H., Wychreschuk, J., Bonin, D.V. (2004). "An integrated approach to the estimation of streamflow drought quantiles." *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 49, pp. 1011-1024.
- ECI(Engineering Consultants Inc.)용역단 (1976). **충주 다목적댐 타당성조사**.
- Fiering, M.B., Jackson B.B. (1971). *Synthetic Hydrology*. Monograph No. 1, American Geological Union, Washington D.C.
- Salas, J.D., delleur, J.W., Yevjevich, V., Lane, W.L. (1985). *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. *Water Resources Publications*, Littleton, Colorado, pp. 379-384.
- Tarboten D.G. (1995). "Hydrologic Scenarios for Severe Sustained Drought in the Southwestern United States." *Water Resources Bulletin*, Vol. 31, No. 5, pp. 803-814.
- Wijayarathne, L.H., Golub, E. (1991). "Multilayer drought simulation." *Water Resources Bulletin, American Water Resources Association*, Vol. 27, No. 3, pp. 387-395.
- Yevjevich, V. (1967). "An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts." *Colorado State University, Fort Collins, USA*.
- Yevjevich, V. (1972). "Stochastic Processes in Hydrology." *Water Resources Publications, Fort collins, Colorado, USA*.
- Yevjevich, V. (1975). "Generation of hydrologic samples, Case study of the Great Lakes." *Colorado State University, Fort Collins, Colorado*.

(논문번호:07-84/접수:2007.08.29/심사완료:2008.04.15)