

일 강우량의 모의 발생을 통한 갈수유량 계열의 산정 및 빈도분석

Low Flow Frequency Analysis of Streamflows Simulated from the Stochastically Generated Daily Rainfall Series

김 병 식* / 강 경 석** / 서 병 하***

Kim, Byung Sik / Kang, Kyung Seok / Seoh, Byung Ha

Abstract

In this study, one of the techniques on the extension of low flow series has been developed, in which the daily streamflows were simulated by the Tank model with the input of the extended daily rainfall series which were stochastically generated by the Markov chain model. The annual lowest flow series for each of the given durations were formulated from the simulated daily streamflow sequences. The frequency of the estimated annual lowest flow series was analyzed. The distribution types to be used for the frequency analysis were two-parameter and three-parameter log-normal distribution, two-parameter and three-parameter Gamma distribution, three-parameter log-Gamma distribution, Gumbel distribution, and Weibull distribution, of which parameters were estimated by the moment method and the maximum likelihood method. The goodness-of-fit test for probability distribution is evaluated by the Kolmogorov-Sminrov test. The fitted distribution function for each duration series is applied to frequency analysis for developing duration-low flow-frequency curves at Yongdam Dam station. It was shown that the proposed technique in this study is available to generate the daily streamflow series with fair accuracy and useful to determine the probabilistic low flows in the watersheds having the poor historic records of low flow series.

Keywords: Markov chain, Tank Model, Stochastic Generation, Low flow series, Frequency analysis

요 지

본 연구에서는, Markov 연쇄 모형에 의해 산정된 모의 일 강우량을 일 유출모형인 Tank 모형에 입력시켜 모의 일 유출량을 산정함으로써 저수유량계열을 확장하는 방법을 개발하였다. 또한, 모의된 일 유량계열로부터 지속기간별 연 최저치 계열을 작성하였으며, 지속기간별 연 최저치계열에 대한 빈도분석을 시행하였다. 분석에 사용된 분포형은 Lognormal-2, Lognormal-3, Gamma-2, Gamma 3, LogGamma 3, Gumbel-2, Weibull 2 분포이었으며, 모수 추정은 모멘트법과 최우도법을 사용하였다. Kolmogorov - Sminorv 검정방법으로 지속기간별 연 최저치 계열에 적합한 확률분포형을 결정하고, 용담댐 지점을 대상으로 하여 지속기간별 갈수 빈도곡선을 산정하였다. 본 연구에서 제안된 방법을 적용하면 과거 저수 유량계열의 통계적 특성을 잘 나타내는 일 유량의 모의가 가능 하여, 갈수유량계열 자료가 빈곤한 유역에서 확률 갈수량을 추정하는데 유용하리라고 판단된다.

핵심용어 : Markov, Tank 모형, 추계학적 모의, 저수량계열, 빈도분석

- * 인하대학교 대학원 토목공학과 석사과정 졸업
MS Degree, Dept. of Civil Engrg., Inha Univ., Incheon, 402-751, Korea
- ** 인하대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료
Doctoral Candidate, of Civil Engrg., Inha Univ., Incheon, 402-751, Korea
- *** 인하대학교 공과대학 토목공학과 교수
Prof., Dept. of Civil Engrg., Inha Univ., Incheon, 402-751, Korea

1. 서 론

국가의 수자원을 개발하고 관리하기 위한 수자원 계획 수립에는 계획의 지표가 되는 수문 자료의 분석에 의하여 얻을 수 있는 수문학적 계획변수의 설정이 필요하다. 치수 및 이수 계획에는 각각 빈도별 확률 홍수유량 및 확률 갈수유량을 산정하여 계획변수로 이용하고 있다. 확률 홍수유량은 치수계획 수립시 치수방재 및 하천 구조물의 규모를 결정하는 설계기준으로 이용되고, 확률 갈수유량은 이수계획 수립시 하천 유역에서의 용수공급 시설물의 규모를 결정하는 기준으로 이용된다. 확률 홍수유량이나 확률 갈수유량은 수문관측 지점에서 기록된 강우량, 유출량 및 기타 기상자료를 사용하여 홍수유량이나 갈수유량 시계열을 작성하고 초과확률의 개념을 도입하여 빈도분석을 실시함으로써 결정된다.

하천에서의 홍수 및 갈수 유량계열은 수위 및 유량 관측을 통한 수위-유량 관계분석에 의해 작성되어야 하나, 국내의 경우 수위-유량관계 곡선은 대부분 고수위 및 평균수위에서 개발되어 홍수유량 계열의 경우는 비교적 정확하나, 저수위에서는 관측자체의 어려움과 그 동안의 무관심으로 인해 갈수 유량계열을 작성하기 위한 수위-유량관계 곡선은 거의 전무한 실정으로서 갈수 유량계열을 산정하기에는 어려움이 많다. 최근에 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 저수위 부분의 유량측정에 많은 노력을 기울이고 있을 뿐만 아니라, 장기간의 자료획득에 이용되는 추계학적 모의발생에 의하여 유량 시계열 자료를 확충하는 방법의 적용도 시도된 바 있다. 그러나, 종래의 하천유량 모의발생 방법은 대부분 월 유출량 시계열을 모의 한 것으로, 일 유출량 시계열을 모의한 경우는 전무하다고 볼 수 있다.

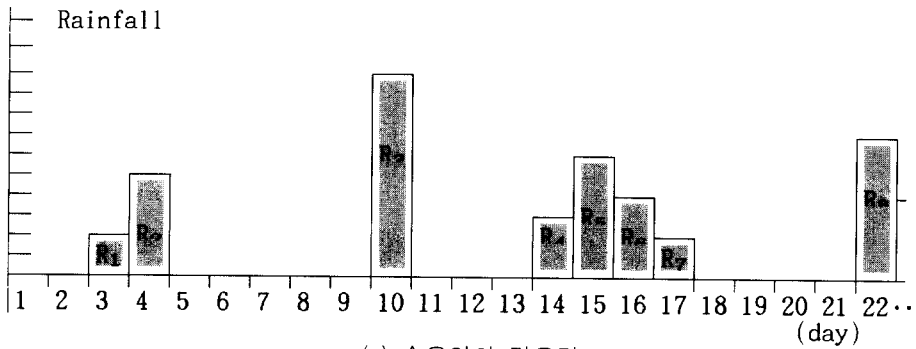
따라서, 본 연구에서는 우리 나라와 같이 일 유량 관측자료가 부족하거나 결핍된 경우에 일 유출량을 모의할 수 있는 방법으로 Markov 연쇄모형을 이용하여 일 강우량 자료를 추계학적으로 모의 발생하여 확장하고, 모의된 일 강우량을 일 유출모형인 탱크 모형에 입력하여 일 유출량을 산정함으로써 유량 관측 기록년 수보다 큰 유량계열을 획득 가능하도록 제시하였다. 또한, 여기서 모의 산정된 일 유출량 자료를 이용하여 갈수 빈도분석을 실시함으로써 이수 계획을 위한 계획변수인 빈도별 갈수유량 추정에 적용할 수 있는지를 검토하였다.

2. 모의 일 강우량 산정 시스템의 구성

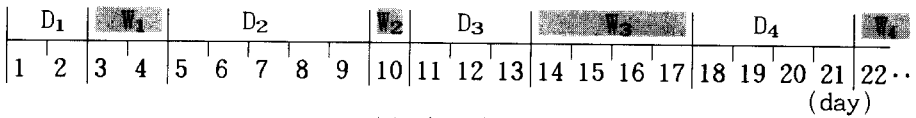
일 강우계열의 구조는 그림 1과 같이 건조기간과 습윤기간이 교대로 계속되는 연속계열로 이루어져 있으며 습윤일에는 강우량이 발생하는 계열로 구성되어 있다. 그림에서 D_1, D_2, D_3, \dots 는 건조일의 지속기간을 의미하며, W_1, W_2, W_3, \dots 는 습윤일의 지속기간을 의미하고 R_1, R_2, R_3, \dots 는 습윤일이 계속되는 동안에 발생한 일 강우량이다(Khanal과 Hanrick, 1974). 습윤일의 정의는 양(+)의 강우량을 기록한 날로 정의할 때 이슬이나 안개 등과 같이 극히 작은 양에 의해서도 초래될 수도 있다. 그러므로, 어떤 기준이 되는 강우 관측치(threshold or trace)보다 작은 날을 건조일로 할 수 있으며 여기에서는 수문학적 무강우의 기준치인 0.1mm/day 이하를 건조일로 가정하였다. 또한, 건조계속기간이라 함은 어떤 기간의 양쪽이 모두 습윤일로 제한되는 기간으로 정의하며 습윤 계속기간은 양쪽이 모두 건조일로 제한되는 기간으로 정의할 수 있다.

강우계열을 그림 1과 같이 건조일 및 습윤일의 두가지 상태로 나눌 경우 두 상태의 변화는 Markov 연쇄의 천이확률로서 표현하여 건조일 및 습윤일 계열을 추정하며, 강우량의 발생은 연속확률분포에 의해 모의 발생할 수 있는 상태-2 Markov 연쇄 모형을 적용할 수 있다(Gabriel과 Neuman, 1962; Todorovic과 Woolhisr, 1975). 이와같이 건조·습윤일 발생 과정과 강우량 모의발생 과정의 2 단계로 모형화하는 것이 종래의 일반적인 해석방법이었다. 그러나 상태-2의 Markov 연쇄모형을 이용할 경우 습윤일이 발생되면 그 습윤일에 해당되는 강우량을 다시 추정하여야 하는 복잡한 과정을 거쳐야 한다.

본 연구에서는 대상지점의 해당 기간동안 강우의 발생여부에 관계없이 Markov 연쇄의 상태로 선정하고 대상기간 동안에 발생한 강우량의 크기와 특성을 고려하여 강우량의 상태를 구분하여 적용하는 방법(Khanal과 Hamrick, 1974)을 이용하였다. 여기서 건조·습윤일 및 강우량을 함께 발생시키기 위한 Markov 연쇄모형의 차수는 1차에 한하였고, 강우상태수의 수는 강우발생 유무인 상태-2, 즉 건조일과 습윤일을 기본으로 하고 실제 강우량의 크기를 가능한 한 근사하게 표현할 수 있도록 강우량의 크기별 강우의 발생빈도와 강우량의 크기를 고려하여 강우량을 상태-30으로 세분화 시킨 상태-30 Markov 연쇄 모형(박찬영, 1995; 김주환 등 1996)을 이용하여 강우량을 모



(a) 습윤일의 강우량



(b) 건조-습윤상태

그림 1. 일 강우계열의 구조

의발생 하였다.

3. 일 유출량 산정 시스템의 구성

유출계산은 강우량에서 하천유출량을 계산하는 기술이다. 유출계산 방법은 그 목적에 따라 홍수유출계산과 저수유출계산으로 나누어진다. 우량에 의한 유출수문곡선 중 단기유출성분을 대상으로 할 때는 홍수유출계산이 되고 장기유출성분을 대상으로 할 때는 저수유출계산이 된다.

유출계산은 일반적으로 해당유역의 강우·유출기록을 사용해서 그 유역의 강우·유출특성을 명백히 하는 유출모형을 결정하는 유출해석과 이 유출모형을 사용해서 강우량에서 유출량을 추정하는 유출예측의 두 단계로 나눌 수 있다.

일반적으로 유출계산법에는 강우량과 유출량의 관계

를 보는 관점에 따라 선형 유출 계산법, 비선형 유출 계산법으로 분류하고 있다. 선형 유출 계산법으로는 단위도법과 유출 함수법등이 있고, 비선형 유출 계산법으로는 우량에서 유출로의 전환과정에 유역 저류 과정을 도입한 저류함수법과 Tank 모형 등이 있으며, 이러한 유출계산법은 모두 강우와 유출사이의 응답특성을 조사하여 계산하는 방법이다.

이러한 유출 계산을 위해 개발된 모형들 중 일 유출량의 산정이 가능한 모형으로는 Sacramento 모형, Tank 모형, SSARR 모형 등이 있다. 이 중에서 Tank 모형은 이론이 단순하고, 입력자료의 수와 매개변수의 수가 적을 뿐만 아니라, 국외에서는 일본의 일 유출량 산정을 위하여 Tank 모형을 흔히 사용하고 있고, 우리 나라에서도 낙동강의 저수유출분석을 위한 일 유출량 산정 및 충주댐의 유입량 산정을 위해 Tank

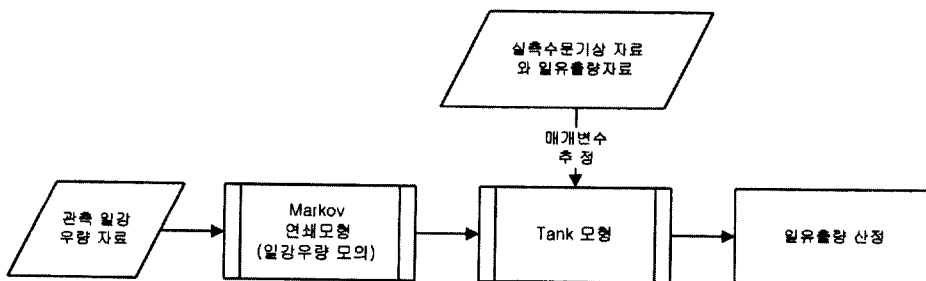


그림 2. 일 유출모의 시스템의 모식도

모형을 사용한 예가 있으므로 본 연구에서는 저수유출 모형으로 Tank 모형을 선택하였다.

따라서 본 연구에서는 대상지점에서의 장기간의 일 유출량 자료를 얻기 위해 Tank 모형에 의한 일 유출모의 시스템을 그림 2와 같이 구성하였다. 장기간의 일 유출량 자료를 얻기 위해서 먼저, 실측 수문기상자료와 단기간의 실측 일 유출량을 이용하여 Tank 모형의 매개변수를 추정하였다. Tank 모형의 매개변수가 결정되면 앞에서 기술한 Markov 연쇄이론을 이용하여 일 강우량을 모의발생시켜 Tank 모형에 입력자료로 사용하였다.

4. 모형의 적용

4.1 대상지점의 선정과 기본자료

본 연구는 Markov 연쇄모형과 Tank 모형에 의한 일 유출량 추정방법을 용담댐예정지 유역(용담지점)에 적용하였다. 용담댐예정지의 경우 용담수위표지점이 30년 이상의 수위자료를 보유하고 있으며 수위-유량관계 곡선식이 작성되어 있고 유역내에 진안, 무주, 계북, 장수 등 4개의 우량관측소가 분포되어 있으므로 기존의 수위-유량관계 곡선식에 의해 산정된 갈수량과 본 연구에서 제시한 방법에 의해 산정된 갈수량 값을 비교·검토할 수 있기 때문에 본 연구 대상지점으로 선정하였다.

본 연구는 용담수위표지점의 1963년 1월~1995년 12월간의 일 수위자료(한국 건설기술연구원 수문D/B),

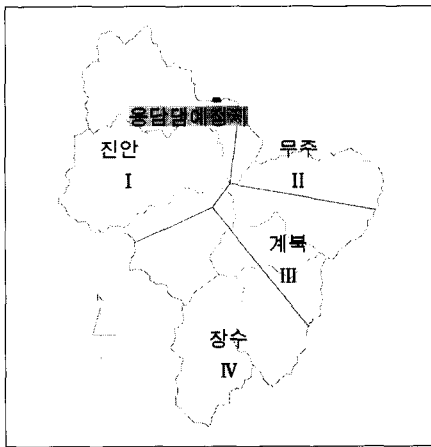


그림 3. 용담댐예정지 유역의 Thiessen망도

진안, 무주, 계북, 장수 지점의 일 강우량, 금산측후소의 일증발량 자료를 이용하였으며 유역 평균 강우량과 평균 증발량은 수자원공사에서 제시한 Thiessen계수를 이용하여 산정하였다.

그림 3은 용담댐예정지 유역의 우량관측소의 위치와 Thiessen망도를 나타낸 것이다.

4.2 일 강우량의 모의발생

4.2.1 강우상태와 강우량 간격의 설정

상태공간의 구축을 위한 강우상태의 수와 강우량 간격은 가능한 한 실측 강우사상을 실제에 근접하도록 나타낼 수 있어야 한다. 즉, 상태별 강우량의 간격을 좁히면 현실에 가까운 강우사상을 재현할 수는 있으나 상태의 수가 증가하여 상태공간인 천이확률행렬의 크기가 커지므로 강우특성을 고려하여 적절한 구간으로 강우상태를 설정할 필요가 있다.

즉, 강우량의 상태 분류시 강우량의 크기를 5mm 등간격으로 할 경우 500mm 이상의 강우량을 나타내기 위해서는 상태의 수가 100 이상이 됨에 따라 천이확률행렬의 크기가 (100×100)이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 일 강우량의 발생빈도를 분석해 보면 일 강우량의 크기가 70mm 이하인 경우는 전체의 약 98%에 이르고 일 강우량이 70mm 이상이 되는 강우의 발생빈도는 약 2%에 지나지 않는다.

따라서, 상태별 강우량의 범위를 결정하기 위하여 강우량의 크기 및 그 발생빈도를 고려하여 표 1과 같이 상태별로 다르게 즉, 부등간격(Non Uniform Interval)으로 구성하면 우기에 발생하는 최대강우량의 표현이 가능할 뿐만 아니라 천이확률행렬의 크기를 줄여 계산시간의 단축효과를 기대할 수 있다. 이러한 점을 고려하여 상태별 강우의 간격을 표 1과 같이 70mm 이하에서는 5mm 간격, 70mm~150mm에서는 10mm 간격으로, 150mm 이상에서는 50mm 간격으로 구분하여 30개의 강우상태로 구분하였다.

4.2.2 일 강우량의 모의발생

Markov 연쇄모형에 의해 일 강우량을 모의 발생시키기 위해서는 먼저, 표 1과 같이 실측 일 강우량을 30개의 상태로 구분했을 때 Markov 연쇄 모형이 실측 일 강우량자료를 잘 재현할 수 있는지를 검증할 필요가 있다.

즉, Markov 연쇄모형이 일 강우량의 모의발생기구로 적합한지를 확인해야 한다. Markov 연쇄모형을 검

표 1. 일 강우량의 상태 구성

강우량의 간격(mm)	상 태 (State)	대표값	비 고
비 등간격			
$S_1 \leq 0.1$	1	0	건조일
$0.1 < S_2 \leq 5.0$	2	2.5	
$5.0 < S_3 \leq 10.0$	3	7.5	
$10.0 < S_4 \leq 15.0$	4	12.5	
$15.0 < S_5 \leq 20.0$	5	17.5	
$20.0 < S_6 \leq 25.0$	6	22.5	
$25.0 < S_7 \leq 30.0$	7	27.5	
$30.0 < S_8 \leq 35.0$	8	32.5	
$35.0 < S_9 \leq 40.0$	9	37.5	
$40.0 < S_{10} \leq 45.0$	10	42.5	
$45.0 < S_{11} \leq 50.0$	11	47.5	습윤일
$50.0 < S_{12} \leq 55.0$	12	52.5	
$55.0 < S_{13} \leq 60.0$	13	57.5	
$60.0 < S_{14} \leq 65.0$	14	62.5	
$65.0 < S_{15} \leq 70.0$	15	67.5	
$70.0 < S_{16} \leq 80.0$	16	75.0	
$80.0 < S_{17} \leq 90.0$	17	85.0	
$90.0 < S_{18} \leq 100.0$	18	95.0	
$100.0 < S_{19} \leq 110.0$	19	105.0	
$110.0 < S_{20} \leq 120.0$	20	115.0	
$120.0 < S_{21} \leq 130.0$	21	125.0	
$130.0 < S_{22} \leq 140.0$	22	135.0	
$140.0 < S_{23} \leq 150.0$	23	145.0	
$150.0 < S_{24} \leq 200.0$	24	175.0	
$200.0 < S_{25} \leq 250.0$	25	225.0	
$250.0 < S_{26} \leq 300.0$	26	275.0	
$300.0 < S_{27} \leq 350.0$	27	325.0	
$350.0 < S_{28} \leq 400.0$	28	375.0	
$400.0 < S_{29} \leq 450.0$	29	425.0	
$450 < S_{30}$	30	475.0	

증하기 위해 각 관측점에서 실측된 일 강우량기록의 전체 중 일부는 천이확률행렬인 상태공간을 구성하여 모의발생 방법에 따라 강우자료를 모의 발생시켰으며 나머지 실측자료는 모의발생 자료의 검증에 사용하였다.

또한, 지점별로 전기간 자료를 이용하여 강우상태의 천이확률행렬인 상태공간을 구축하여 강우자료를 모의 발생시켰으며 발생 년수는 80년, 100년, 150년, 200년간 강우자료를 모의 발생시켜 실측치와 비교 검토하였다.

(1) 상태공간의 구축

먼저, Markov 연쇄모형을 구축하기 위해서 전 강우기간의 실측 강우량을 30개의 상태로 세분하여 각 지점별 그리고 월별로 시간변화에 따른 강우 상태변화

에 대한 3차원 공간인 천이확률행렬을 구성하였다.

장수 지점의 1월과 진안 지점의 7월의 강우량의 천이확률 행렬을 도시하여 보면 그림 4와 그림 5와 같다. 그림 4의 경우는 장수지점의 1월 천이확률행렬로 상태는 30으로 구분되었지만 천이확률 행렬의 행과 열의 구성이 대부분 상태-10 이하임을 알 수 있으며, 이는 상태-10 이상의 강우발생 빈도가 그리 많지 않음을 뜻한다. 그림 5의 경우는 진안지점의 7월 천이확률행렬로 상태-23의 강우가 존재함을 알 수 있다. 이와 같은 상태공간의 결과로 볼 때 장수 지점의 분석 기간 중 1월의 최대 강우량은 45.0mm 이하이며, 진안 지점의 7월 최대 강우량은 150.0mm 이하임을 알 수 있다. 본 연구에서는 4개 관측소에 대하여 총 48개(4개 지점×12월)의 30×30의 천이확률행렬을 구축하였다.

(2) 강우자료의 모의발생

모든 지점에 대하여 상태별 강우의 천이확률행렬인

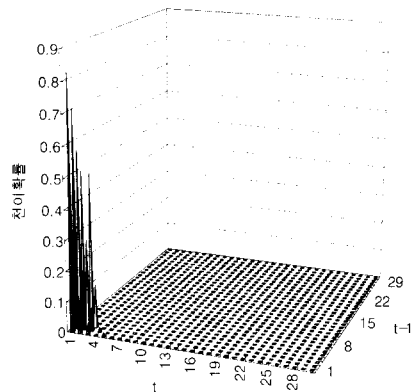


그림 4. 장수 지점의 1월의 상태공간

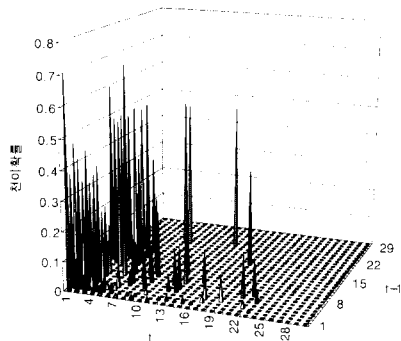


그림 5. 진안 지점의 7월 상태공간

상태공간이 구축되고 강우의 초기상태가 결정되면 균등분포난수를 발생시켜 지점별로 강우의 상태를 추정할 수 있다.

모의발생시킨 자료의 형태는 강우의 상태이지만 표 1을 이용하여 이를 다시 강우량, 건조·습윤일수, 건조·습윤계속기간(Run Length), 평균 건조·습윤일수 등으로 변환하게 된다. 특히, 본 연구에서는 일 유출 모형인 Tank 모형에 입력자료로 쓸 일 강우량 자료가 필요하므로 모의 일 강우량 자료를 산정하는데 비중을 두고 검토하였다.

(3) 모형의 검정

일반적으로 모형을 이용하여 자연현상을 구명하고자 노력하는 연구자들이 직면하는 가장 중요한 문제중의 하나는 사용한 모의발생 모형(simulation model)이 실제 시스템(system)의 정밀한 표현인지 아닌지를 결정하는 것이다. 이러한 노력은 계속 발전중에 있으며, 많은 학자들이 모의발생 모형로부터의 출력자료(output data)와 그에 상응하는 실세계 시스템(Real-world system)을 비교하는 데 사용할 수 있는 통계적 절차의 개발에 노력하고 있다(Khanal과 Hamrick, 1974).

모의발생 모형의 타당성 확인(validation)을 위해 사용되는 통계적 방법으로는 검사 접근방법(inspection approach)과 신뢰구간 접근방법(confidence-interval approach) 및 시계열 접근방법(time series approach) 등이 있으며, 검사 접근방법과 신뢰구간 접근방법은 모집단의 분포함수에 대한 규정 유무를 따라 모수적 검정(parametric test)과 비모수적 검정(nonparametric test)으로 분류된다. 즉, 모집단의 분포함수에 대한 확실한 근거가 있을 때는 일반적으로 모수적 방법이 좋으나 모집단이 “정규분포”를 따른다는 등의 가정을 할 수 없는 경우에는 비모수적 방법이 더 양호한 결과를 주는 것으로 알려져 있다(이재준, 1987).

모의발생 모형의 통계적 검정을 위해 관측치 표본과

모의발생 표본의 동질성(homogeneity test)검사를 위해 비모수적 검정방법인 Mann - Whitney test와 Kruskal - Wallis test를 실시하여야 하나 표본의 수가 많을 경우 비모수적 방법과 모수적 방법에 의한 검정결과가 크게 차이가 없으므로 모수적 검정방법인 t-test와 f-test를 실시하였다. 표 2는 4개 지점에 대하여 2표본 가설검정인 T-test와 F-test의 검정 결과를 수록한 것이다.

T-test와 F-test의 검정 통계량은 표본의 크기가 ∞ 인 t 분포와 F 분포에 해당하므로 유의수준 5%에서 모든 지점의 귀무가설이 채택되었으므로 두 집단은 동일함을 알 수 있다.

검사 접근방법(inspection approach)의 대상 통계량으로는 월 평균 강우량과 각 월별 평균 건조·습윤기간을 선택하여 비교하였으며, 그 결과는 다음 표 3과 같다. 표에 수록된 결과는 장수지점과 무주지점에 대해 모의발생치와 관측치를 비교한 것으로, 모의된 자료는 관측치 30년 자료 중 15년만을 이용하여 모의된 80년치 자료이며 초기치의 영향을 고려하여 전반부의 모의치 30년을 제거한 후 50년치만을 사용하였다. 검정에 사용한 관측 강우량자료는 나머지 15년치 자료이다. 표 3에서 보면 관측치와 모의치의 평균강우량이 1월 ~ 12월 동안 비교적 좋은 적합도를 나타내고 있으며, 극치값을 잘 재현하고 있다. 그러나, 상기 비교에서 사용된 모의치는 관측치의 일부자료를 이용하여 모의한 다음, 관측치중 나머지 자료를 이용하여 검증했다는 점을 고려한다면 관측자료 전체를 이용하여 모의할 경우 더 좋은 적합도를 나타낼 것으로 판단된다. 월강우량의 지속성을 비교하기 위하여 시계열 접근방법(time series approach)을 사용하였으며, 관측계열과 모의발생 계열의 correlogram을 대상 통계량으로 하였다. 그림 6과 그림 7은 장수와 무주의 결과를 도시한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 모의치 correlogram은 관측계열의 correlogram을 모두 잘 재현하고 있음을 알

표 2. 관측일 강우량과 모의일 강우량의 동질성 분석 결과

관측소 \ 분석	T-test		F-test	
	t_t	$t_{2.5\%, 97.5\%}$	F_t	$F_{2.5\%, 97.5\%}$
무주 관측소	-1.634	± 1.960	0.689	1.000
계북 관측소	-1.718	± 1.960	0.750	1.000
진안 관측소	-1.577	± 1.960	0.987	1.000
장수 관측소	-1.320	± 1.960	0.948	1.000

표 3. 월평균강우량 및 월별 건조·습윤기간 발생빈도 비교

구분	평균강우량				평균 습윤 기간				평균 건조 기간			
	장수		무주		장수		무주		장수		무주	
	관측	모의	관측	모의	관측	모의	관측	모의	관측	모의	관측	모의
1월	30.01	34.80	32.83	22.10	1.456	1.462	1.483	1.453	6.290	5.986	5.476	5.099
2월	31.51	48.00	38.13	44.27	1.614	1.624	1.633	1.566	5.737	5.648	5.189	5.111
3월	41.97	58.90	46.53	63.31	1.561	1.577	1.571	1.594	5.161	4.963	4.398	4.273
4월	80.05	80.70	67.55	101.85	1.471	1.481	1.567	1.518	4.439	4.379	4.253	4.245
5월	80.31	89.00	63.86	81.62	1.489	1.469	1.539	1.551	4.643	4.508	4.709	4.548
6월	136.65	136.20	133.01	155.88	1.713	1.776	1.679	1.778	4.226	4.248	4.049	4.139
7월	282.65	266.70	281.47	300.56	2.323	2.268	2.315	2.363	3.178	3.166	2.952	2.899
8월	241.75	231.00	197.42	182.50	2.093	2.120	1.959	2.022	3.814	3.806	3.384	3.390
9월	129.01	175.00	111.69	137.02	1.817	1.847	1.790	1.754	5.399	5.379	5.168	5.116
10월	56.05	69.70	53.15	49.76	1.453	1.545	1.623	1.645	6.712	6.268	6.164	5.864
11월	42.33	53.70	41.84	54.11	1.621	1.603	1.620	1.652	5.455	5.226	4.722	4.710
12월	29.64	35.10	19.89	33.30	1.528	1.550	1.589	1.606	5.978	5.700	5.657	5.427

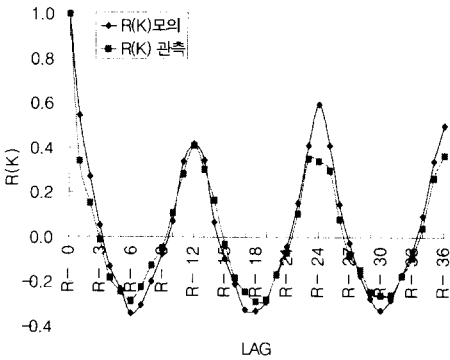


그림 6. 장수 지점 월강우량의 correlogram

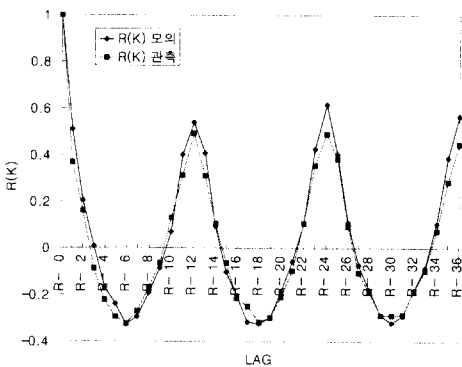


그림 7. 무주 지점 월강우량의 correlogram

수 있다. 그러나 지체월수 12와 24 등에서는 모의치가 지속성이 더 크게 나타나고 있는데, 이 원인으로는 1

년의 수문사상을 월별로 분리하여 해석했기 때문에 월과 월사이를 연결하는 내용의 결여로 인해 12 또는 24개월간의 상관관계는 실제보다 과대하게 나타날 수 밖에 없기 때문인 것으로 사료된다. 이상의 결과를 고찰해볼 때 본 연구에서 사용한 Markov 연쇄모형은 실제계 시스템(real world system)의 관측계열과 동일한 집단으로 볼 수 있는 출력자료(out data)를 산출하고 있으므로, 본 모형을 일강우량 모의발생기구로 사용해도 문제가 없을 것으로 판단된다.

(4) 장기간의 일 강우량 자료의 모의

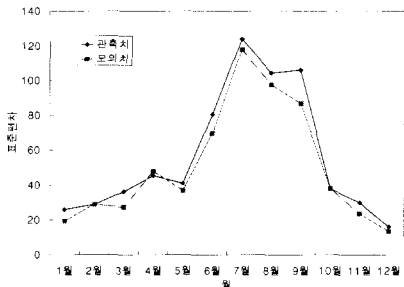
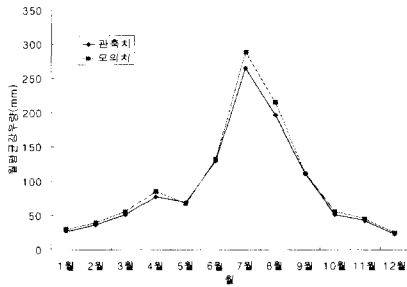
Tank 모형의 입력자료로 쓸 장기간의 일 강우량 자료를 얻기 위해 앞에서 검증된 Markov 연쇄모형을 이용하여 80, 100, 150, 200년으로 모의하였으며 전반부 30년은 초기치의 영향을 고려하여 제거하였다.

그림 8~11은 무주지점에 대한 각 모의기간에 대해 모의치와 관측치의 월 평균강우량과 표준편차를 도시한 것이다. 아래 그림에서 보면 4가지 기간으로 발생시킨 모의치들이 모두 관측치를 비교적 잘 재현하고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 관측치의 기간을 고려하여 그 중에서 80년 모의치를 선택하였으며 전반부 30년을 제거한 후 50년치 자료를 일 유출모형의 입력자료로 사용하였다.

4.3 지속기간별 갈수유량 선정

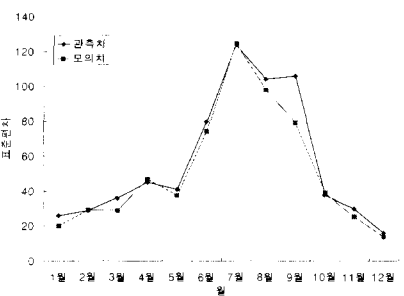
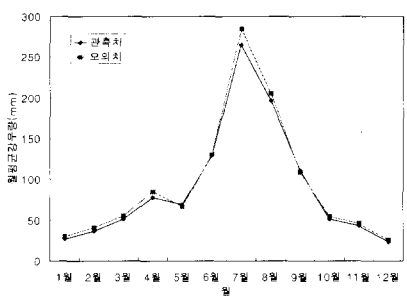
4.3.1 일 유출량 모의

일 유출모형은 4단 Tank를 이용하였다. 4단 Tank의 구조를 살펴보면 제 1단 Tank는 2개의 유출공과



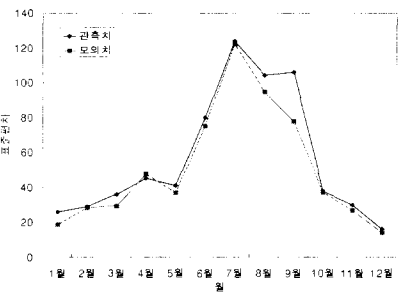
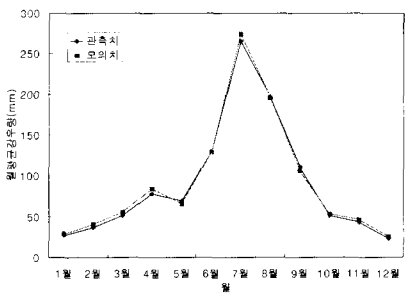
(a) (b)

그림 8. 무주 지점의 월평균 강우량(a)과 표준편차(b)(80년 모의)



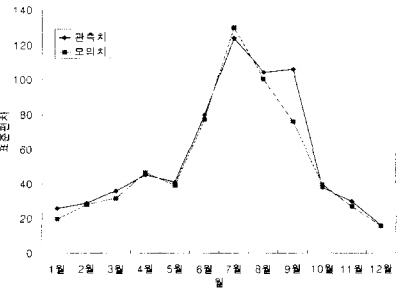
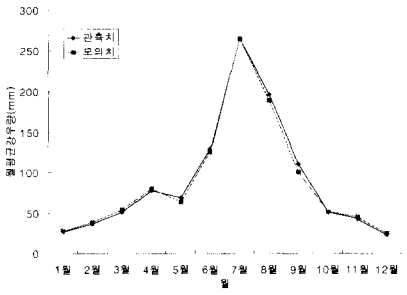
(a) (b)

그림 9. 무주 지점의 월평균 강우량(a)과 표준편차(b)(100년 모의)



(a) (b)

그림 10. 무주 지점의 월평균 강우량(a)과 표준편차(b)(150년 모의)



(a) (b)

그림 11. 무주 지점의 월평균 강우량(a)과 표준편차(b)(200년 모의)

1개의 침투공을 갖고 있으며 침투손실외에 증발산에 의한 손실도 고려하였다. 증발산량 자료는 금산 측후소의 실제 증발량에 증발집시 계수 0.7을 곱하여 적용하였다. 그리고, 제 2단 및 3단 Tank는 1개씩의 유출공과 침투공을 가지며 제 4단 Tank는 Tank의 저면에 1개의 유출공만을 갖고 있어 침투손실을 고려하지 않았다. 용담댐예정지 구역의 경우 Tank 모형의 매개변수가 결정되어 있지 않기 때문에 1995년 1월부터 1995년 12월까지의 관측 일 강우량, 일 증발산량 및 일 유출량 자료를 이용하여 시행오차법으로 매개변수를 추정하였다.

모형의 매개변수를 결정된 후 앞에서 모의된 50년의 일 강우량자료를 Tank 모형에 입력하여 일 유출량을 산정하였다. 이때 사용한 증발산량은 전 관측기간 동안의 월 평균치를 사용하였다.

표 4는 용담댐 유역에 적용한 일 유출 Tank 모형의 매개변수를 수록한 것이다. 그림 12는 1995년 1월부터 1995년 12월까지의 관측유량과 Tank 모형에 의해 모의된 유량을 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 홍수위보다는 평수위 또는 저수위시의 실측유량과 Tank 모형의 계산유량이 잘 맞도록 매개변수를 추

정하였다. 이 매개변수를 이용하여 계산된 유출고와 실측 유출고의 평균제곱오차를 계산해본 결과 3.88mm를 나타내었다.

그림 13은 Markov 연쇄모형에 의해 모의된 50년의 일 강우량 자료를 매개변수가 추정된 Tank 모형에 입력자료로 사용하여 유출을 모의한 결과를 나타낸 것이다. 즉, 50년의 모의 일 유출량을 나타낸 것이다.

4.3.2 지속기간별 갈수유량계열의 작성

수자원 계획 및 관리측면에서 중요한 갈수량의 해석 문제는 댐과 저수지등과 같은 용수개발 시설의 미비로 갈수에 의하여 하천에서의 용수공급을 제한 받는 경우와 갈수가 계속됨에 따라 댐의 저수량이 감소되어 용수공급을 위협하는 2가지로 대별할 수 있다. 즉, 갈수 분석은 홍수량과 같이 순간유량이 중요한 것이 아니라 갈수가 계속되는 기간과 그 기간 동안 공급가능한 유량을 파악하는 것이 주된 관심사이다(서병하, 1996). 따라서, 본 절에서는 갈수량과 지속기간별 갈수량을 산정하고자 대상지점의 모의기간에 대하여 유황분석을 실시하였다. 유황분석이란 일반적으로 댐등의 수자원개발이 필요한 경우, 그 용량의 결정이나 발전량 및 하

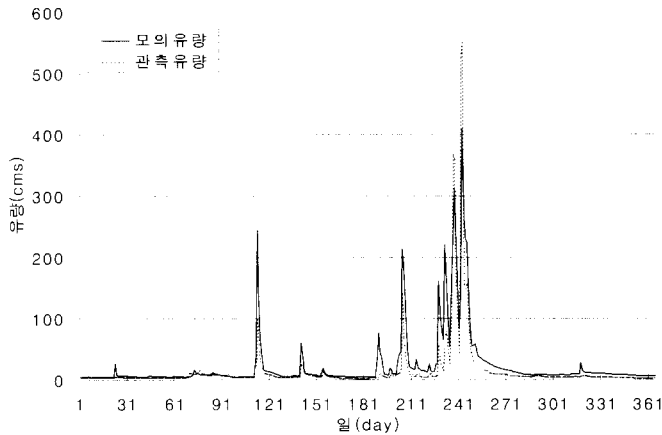


그림 12. Tank 모형에 의해 계산된 일 유량과 관측 일 유량의 비교

표 4. 저수유출시의 Tank 모형의 매개변수

매개변수 탱크단	상부유출공계수 (1)	하부유출공계수 (2)	침투공계수	상부유출공높이 (1)	하부유출공높이 (2)	초기저류고
1 단	0.260	0.016	0.170	14.0	6.0	0
2 단	0.030	0.000	0.040	10.0	0.0	0
3 단	0.002	0.000	0.010	5.0	0.0	40
4 단	0.002	0.000	0.000	0.0	0.0	360

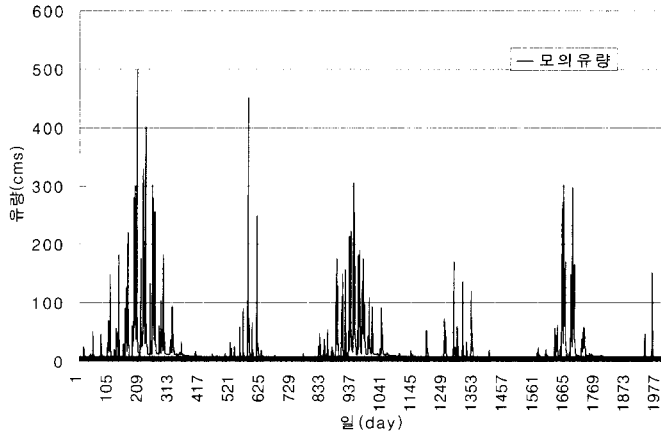


그림 13. Markov 연쇄 모형과 Tank 모형에 의해 산정된 50년의 일 유출량

류의 유수점용을 위한 공급기능량을 결정하기 위하여 행해진다.

유형분석의 기준이 되는 하천의 유량으로는 갈수량 (drought flow), 저수량(low flow), 평수량(median flow), 풍수량(annual mean flow)으로 그 지배일수는 355일(97.26%), 275일(75.34%), 185일(50.68%), 95일(26.03%)이다.

본 절에서는 Markov 연쇄모형과 Tank 모형에 의해 산정된 50년치의 일 유출량 자료를 이용하여 유황 분석을 실시하였으며 그 결과는 그림 14에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 평균 갈수량은 6.38cms로 나타났으며, 저수량, 평수량, 풍수량의 평균치는 8.42cms, 11.91cms, 22.27cms로 나타났다.

앞에서 언급했듯이 갈수량은 성격상 홍수량처럼 순간유량이 중요한 것이 아니라 한발이 계속되는 기간 동안의 총 유량이 주된 관심사이므로 분석을 위하여 지속기간(duration)을 선정하는 것이 일반적이다. 지속기간은 년 유량이나 월 유량 혹은 일 유량자료계열을 사용할 수 있으나 년 월유량계열의 분석으로는 대체로 만족할만한 정확도를 얻기가 어려운 것으로 판단되므로, 본 연구에서는 일 유량계열을 사용하여 지속기간별 갈수량 분석을 실시하였다.

지속기간별 갈수량 분석에 이용된 갈수의 지속기간은 5, 7, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360일로 결정하였으며, 지속기간별 갈수량은 각 지속기간별로 매년의 최저유량을 선별

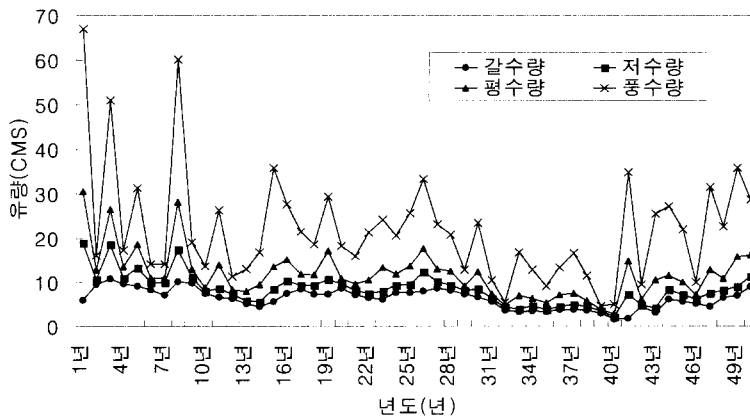


그림 14. 유황 분석결과 (50년 모의치)

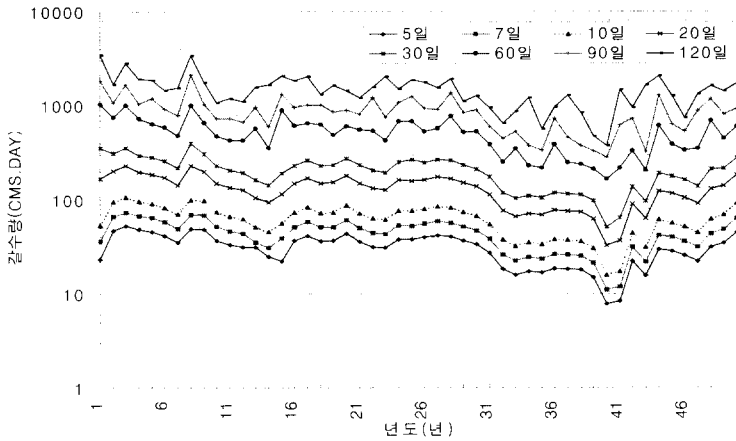


그림 15. 지속기간별(5일~120일) 갈수량(모의치 50년)

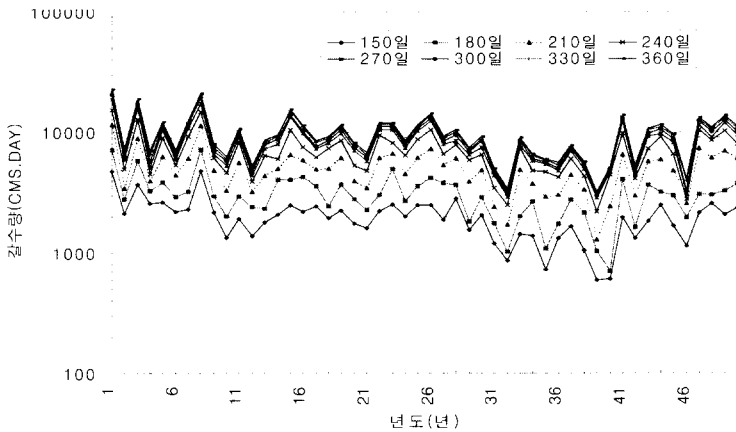


그림 16. 지속기간별(150일~360일) 갈수량(모의치 50년)

하여 연 최저치유량계열을 작성하였으며 그 결과는 그림 15와 그림 16에 나타내었다.

4.4 빈도별 지속기간별 갈수량의 산정

본 절에서는 앞에서 작성된 지속기간별 년 최저치유량자료가 무작위성(randomness)과 정상성(stationarity)을 갖고 있는 것으로 가정하고 지속기간별 연 최저치유량계열(지속기간 5, 7, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360일)을 대상으로 빈도분석을 실시하였다. 확률분포형으로는 Lognormal-2, Lognormal-3, Gamma-2, Gamma-3, LogGamma-3, Gumbel-2, Weibull-2 등 8가지 분포형을 적용하였으며 모수 추정은 모멘트법과 최

우도법을 사용하였다. 적합도 검정은 Kolmogorov-Sminov 검정을 유의수준 $\alpha=0.05$ 로 실시하였다. 적합도 검정 결과 적합한 것으로 판정된 분포형은 표 5에 나타내었다.

빈도별 지속기간별 갈수량을 산정하기 위하여 지속기간별 갈수량의 적정 분포형을 이용하여 재현기간 2, 5, 10, 20, 50, 100년인 경우에 대해 빈도분석을 실시하였다. 그 결과 각 지속기간에 대한 재현기간(빈도)별 갈수량은 표 6과 같고, 이를 전대수지에 도시하여 보면 그림 17 및 그림 18과 같다.

4.5 관측 및 모의 일 유출량자료의 비교 분석

본 연구를 통해 산정된 모의 일 유출량자료를 이용

표 5. 지속기간별 연 최저치 유량 계열에 대한 적합도 검정 결과

지속기간	5일	7일	10일	20일
적정분포형	Weibull-2	Weibull-2	Weibull-2	Weibull-2
지속기간	30일	60일	90일	120일
적정분포형	Weibull-2	Normal	Weibull-2	Gamma-2
지속기간	150일	180일	210일	240일
적정분포형	Log-normal-2	Weibull-2	Gamma-2	Gamma-2
지속기간	270일	300일	330일	360일
적정분포형	Gamma-2	Gamma-2	Log-normal-2	Gamma-2

표 6. 지속기간별 갈수량에 대한 빈도분석 결과

(단위 ; cms · day)

지속기간 \ 재현기간	2년	5년	10년	20일	50년	100년
5일	31.23	21.80	16.89	12.81	8.23	5.18
7일	43.87	30.63	23.71	18.00	11.58	7.29
10일	63.09	44.13	34.23	26.05	16.85	10.71
20일	131.31	91.02	69.96	52.57	32.99	19.95
30일	203.22	136.12	103.62	79.15	54.96	41.12
60일	494.13	320.19	245.30	193.74	147.58	123.70
90일	810.96	540.44	441.22	380.71	333.32	311.93
120일	1418.52	973.87	784.97	649.70	518.43	442.41
150일	2124.90	1545.00	1307.80	1139.70	976.20	880.40
180일	2832.57	1931.89	1615.00	1427.68	1285.92	1224.17
210일	4827.18	3342.64	2708.78	2252.87	1808.98	1550.76
240일	6682.04	4624.84	3746.72	3115.28	2500.60	2143.11
270일	7807.38	5358.71	4318.56	3578.86	2851.21	2432.80
300일	8353.41	5698.62	4575.30	3772.54	2996.62	2548.49
330일	8137.50	5748.30	4793.10	4125.30	3484.30	3113.30
360일	9178.50	6301.17	5078.79	4203.50	3354.07	2862.21

하여 이수관련 계획변수를 추정할 경우 얼마만큼의 실용성이 있는지를 판단하고자 용담수위표 지점의 관측 일 유출량자료(1963.1.1.~1992.12.31)와 모의 일 유출량자료(50년 모의)를 자료를 이용하여 유행분석결과와 지속기간별 갈수량의 평균을 비교하였다. 그 결과를 도시하여 보면 그림 19~그림 20과 같다.

그림에서 보는 바와 같이 관측치와 모의치의 유행분석결과는 평균갈수량의 경우 모의치가 6.38cms, 관측치가 4.50cms로 모의치가 조금 높게 나타났으나, 나머지의 경우에는 모두 비슷한 값을 나타내었다.

지속기간별 갈수량의 평균값은 그림 20에서 보는 바와 같이 지속기간 5일~30일의 경우는 모의치와 관측

치의 차이가 거의 없으나, 지속기간 60일~210일의 경우는 모의치가 관측치보다 높게 나타났으며, 지속기간 240일~360일의 경우는 관측치가 모의치보다 낮게 나타났으나 경향은 일치하는 것으로 나타났다.

5. 결 론

장래에 발생 가능한 갈수사상을 예측하는데 있어서 현재 직면하고 있는 문제점은 여러 가지가 있다. 그 중에서 가장 큰 문제점은 저수시의 유출자료가 결핍되어 있고 유량의 관측년수가 짧다는 점이다. 따라서, 본 연구에서는 추계학적 모형인 Markov 연쇄모형과 일 유출모형인 Tank 모형으로 일 유출모의 시스템을 구

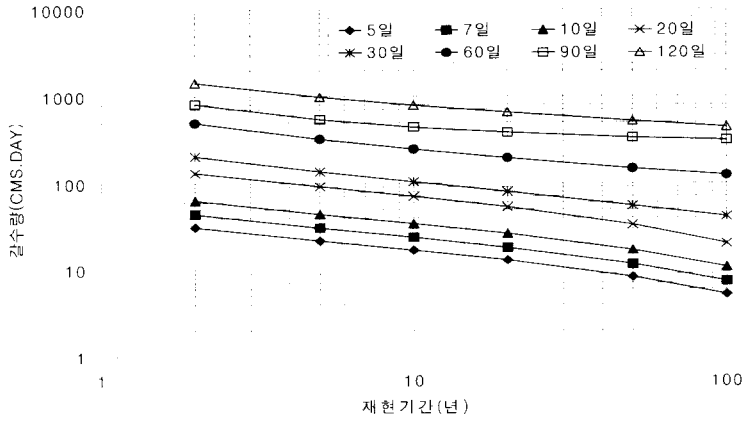


그림 17. 용담지점의 갈수빈도곡선(지속기간 5일~120일)

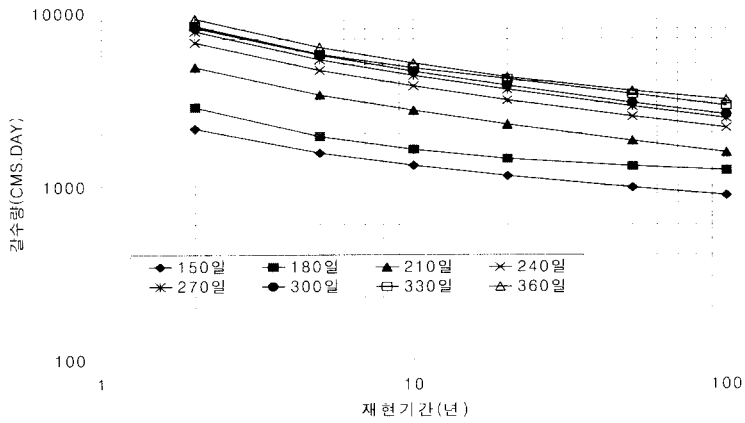


그림 18. 용담지점의 갈수빈도곡선 (지속기간 150일~360일)

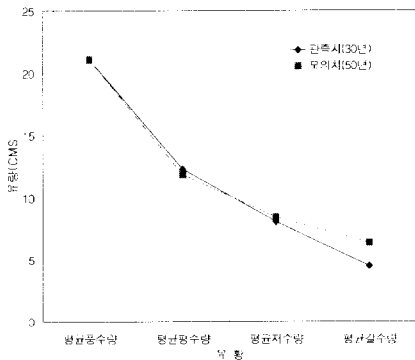


그림 19. 유황분석 평균 비교

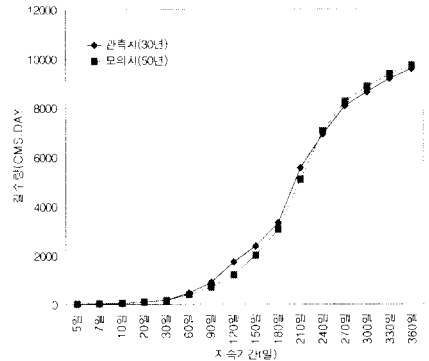


그림 20. 지속기간별 갈수량의 평균 비교

성하여 일 유출량자료를 확충하고자 하였다.

본 연구는 이 방법을 용담댐예정지 유역에 적용하여 Markov 연쇄 이론에 의해 일 강우량 자료를 모의발생시켜 확장하였으며 이를 Tank 모형에 입력하여 장기간의 일 유출량을 산정하였다. 또한, 유황분석과 지속기간별 연 최저치 유황계열을 작성하여 이를 대상으로 갈수빈도분석을 실시하였다. 본 연구는 이와 같이 산정된 유황분석값과 지속기간별 갈수량의 평균값을 실측 유황으로부터 구한 동일한 값들과 비교함으로써 본 방법을 이용하여 이수계획을 위한 계획변수 값의 추정이 가능함을 확인할 수 있었으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 지속기간별 갈수유황계열에 대한 빈도분석을 실시하여 빈도별 지속기간별 갈수유량을 산정하여 지속기간별 갈수빈도곡선을 작성, 제시하여 이수계획 수립 시 기초자료로 이용할 수 있도록 하였다.

(2) 유황관측자료가 결핍된 지점일지라도 유출모형의 매개변수를 추정할 수 있는 단기간의 유황 실측자료와 비교적 기록년수가 긴 일 강우량 자료만 있다면 본 연구에서의 분석과정을 활용하면 유출량 자료의 확충이 가능할 것으로 판단된다.

(3) 본 연구에서 적용한 방법으로 지속기간별 확률갈수량을 산정하여 이용하면, 이수계획을 위한 이수안전도의 설정, 댐 저수지의 이수용량 결정 및 기존 다목적댐의 용수공급 능력 평가 등 계획변수의 추정이 가능하므로 수자원의 계획, 운영 및 관리를 위한 설계수문량을 설정하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 본 연구에서 제시된 방법에 의해 실제 수문량을 결정하기 위해서는 대상유역별로 적합한 일 강우 모의발생 모형과 일 유출 모형이 요구되므로 앞으로 일 강우량 모의 발생 모형과 일 유출 모형에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 1997년 국제수문개발계획(IHP) 사업과 인하대학교 교내 연구의 일환으로 수행되었으며 이를 지원한 건설교통부 및 인하대학교 당국에 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

강경석, 서병하 (1996). "댐 저수지 설계를 위한 갈수량 분석." 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제16권, 제II-6호, pp. 543~554.

건설교통부 (1989, 1993, 1997). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.

건설교통부 (1990). 용담 다목적댐 타당성 조사보고서, pp. 13, 4-22~4-23.

김진홍 (1974). 하천의 유출기구 특성에 관한 연구. 석사학위논문, 인하대학교.

김주환, 박찬영, 강관원 (1996). "강수계열의 상태분류에 의한 Markov 연쇄 모의발생 모형." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제29권, 제6호, pp. 155~166.

박찬영 (1995). Markov 연쇄모형에 의한 일강수계열의 모의발생. 박사학위논문, 인하대학교.

이원환, 이재준 (1985). "시간적 확률구조를 고려한 일강수량의 모의발생에 관한 연구." 연세대학교 산업기술 연구소 논문집, 제17권, 제1호, pp. 37~46.

이재준 (1987). 강수계열의 모의발생 모델 개발. 박사학위논문, 연세대학교.

Caskey, J.E. (1963). "A Markov chain model for the probability of precipitation occurrence in intervals of various length." *Monthly Weather Review*, Vol. 91, No. 6, pp. 298-301.

Coleman, R. (1974). *Stochastic Processes*. George allen & Unwin Ltd.

Dawdy, D.R., and Lichty, R.W. (1968). "Methodology of hydrologic model building." *Proceedings of Symposium on Use of Analog and Digital Computers in Hydrology. International Association of Scientific Hydrology, Tucson, Ariz.*, Vol. 2, pp. 347~355.

Dahmen, E.R., and Hall, M.J. (1990). "Screening of hydrological Data: Tests for stationarity and relative consistency." *International Institute of Land and Reclamation*.

Gabriel, K.R. and Neumann, J. (1962) "A Markov chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv." *Quart. J. of Royal Meteor. Soc.*, Vol. 88, No. 375, pp. 90~95.

Gupta, V. K. (1975). "A stochastic analysis of extrema droughts." *Wat. Res. Research*. Vol. 11, No. 2, pp. 221~228.

- Hann, C.T., Allen, D.M., and Street, J.O. (1976). "A Markov chain model of daily rainfall." *Water Resour. Res.*, Vol. 12, No. 3, pp. 443~449.
- James, L.D., and Burges, S.J. (1982). "Selection, calibration, and testing of hydrologic models." Hydrologic modeling of small watershed, Edited by Haan, C.T., Johnson, H.P., and Brakensiek, D. L., *Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Mi*, pp. 437~472.
- Khanal, N.N. and Hamrick, R.L. (1974). "A stochastic model for daily rainfall data synthesis." *Proceedings of Symposium on Statistical Hydrology, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture*, pp. 154~196.
- Kite, G.W. (1991). *Hydrologic applications*. Computer programs for water resources engineering, Water Resources Publications, pp. 72~98.
- Maidment, ed. (1993). *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, pp. 27.1~27.51.
- McMahon, T.A. (1984). "Low flow and yield data requirements." *Proc. of Workshop on Surface Water Resource Data*, pp. 79~124.
- McMahon, T.A., and Mein, R.G. (1986). *River and reservoir yield*. Water Resources Publications, Colorado. pp. 96~189.
- Millan, J. and Yevjevich, V. (1971). *Probabilities of observed droughts*. Hydrol. Paper 80, Colorado State Univ., Ft. Collins, Colorado.
- Nord, J. (1975). "Some applications of Markov chains." *Proceedings of Fourth Conference on Probability and Statistics in Atmospheric Science*, Tallahas, pp. 125~130.
- Ries, Kemell G. (1994). "Estimation of low-flow duration discharge in Massachusetts." *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper*.
- Salas, J. D. (1993). "Analysis and modeling of hydrologic time series." *Handbook of Hydrology, Chapter 19*, McGraw-Hill, pp. 19.1 ~ 19.71.
- Sugawara, M. (1995). *Tank model*. Computer models of watershed hydrology, Water Resource Publications, Colorado. pp. 165~264.
- Todorovic, P., and Woolhiser, D.A. (1975). "A stochastic model of n-day precipitation." *J. of Appl. Meteor.*, Vol. 14, pp. 17~24.
- Yevjevich, V.M. (1984). *Structure of daily hydrologic series*. Water Resources Publications. Colorado.
- Yevjevich, V.M. (1984). *Probability and statistics in hydrology*. Water Resources Publications. Colorado. pp. 32~66.
- Zekai Sen. (1990). "Critical drought analysis by second-order Markov chain." *J. of Hydrol.*, Vol. 120, pp. 183~202.

(논문번호:98-078/접수:1998.12.22/심사완료:1999.04.29)