

비동질성 Markov 모형에 의한 시간강수량 모의발생을 이용한 IDF 곡선의 유도

Derivation of IDF Curve by the Simulation of Hourly Precipitation using Nonhomogeneous Markov Chain Model

문 영 일* · 최 병 규** · 오 태 석***
Moon, Young-Il · Choi, Byung-Kyu · Oh, Tae Suk

Abstract

A non-homogeneous markov model which is able to simulate hourly rainfall series is developed for estimating reliable hydrological variables. The proposed approach is applied to simulate hourly rainfall series in Korea. The simulated rainfall is used to estimate the design rainfall and compared to observations in terms of reproducing underlying distributions of the data to assure model's validation. The model shows that the simulated rainfall series reproduce a similar statistical attribute with observations, and especially maximum value is gradually increased as number of simulation increase.

Key words : Nonhomogeneous Markov model, Hourly precipitation

1. 서 론

수공구조물의 설계에 있어 극치수문량에 대한 추정은 가장 중요하면서도 어려운 문제이다. 특히, 수자원 개발시에 계획, 설계, 운영 및 관리에 있어 기준이 되는 수문량은 주로 재현기간에 따른 첨두홍수량에 의해 결정되므로, 합리적인 설계홍수량은 매우 중요하다. 그러나 현재 우리나라 대부분의 유역에서 관측된 유량 자료는 매우 제한적이며, 계측유역의 관측자료도 매우 부족한 실정이다.

수문시계열 자료 중에서 강수량을 모의하기 위한 추계학적 모형으로는 Markov chain Model과 Alternating Renewal Process, Poisson process 등이 있다. Markov 연쇄에 근거한 모형은 강수와 무강수 사이의 전이확률(transition probability)에 근거하여 강수의 발생 유무를 결정하는 것을 기초로 하는 모형으로 강수의 모의발생이 상대적으로 쉽고 그 확률의 추정도 과거 자료의 분석을 통해 상대적으로 쉽게 할 수 있다는 장점이 있다. Richardson(1981)은 일강수량을 1차 Markov 연쇄-지수분포 모형으로 먼저 결정하였다. 이원환 등(1985)은 2변량 모형을 이용하여 건조기간과 습윤기간의 단일지점에 대하여 일강수량을 모의하였으며, 한국 수자원공사(1999)에서는 Markov 연쇄이론을 이용해 강수량을 모의하여 강수량을 확정한 후 이를 강우-유출 모형에 이용하였다. 문영일 등(2004a; 2004b)은 비동질성 Markov 모형을 통해 일강수량을 모의발생하였다.

따라서 본 연구에서는 대상유역을 선정하여 비동질성 Markov 모형을 통해 시간강수량을 모의발생하였다. 모의한 시간강수량 자료를 통해 대상 유역의 IDF곡선을 유도하여 관측강수량을 통해 유도된 IDF 곡선과 비교하였다.

2. 비동질성 Markov 모형

본 연구에서는 대상유역의 IDF곡선 및 홍수빈도곡선의 유도를 위해 핵밀도함수를 이용한 비동질성

* 정회원 · 서울시립대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ymoon@uos.ac.kr
** 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 · E-mail : waterboy@uos.ac.kr
*** 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 · E-mail : waterboy@uos.ac.kr

Markov 모형을 통한 시간강수량 자료의 모의를 수행하였다. 비동질 Markov 모형은 크게 두가지 부분으로 구분된다. 첫 번째는 천이확률을 이용하여 습윤시간을 결정하는 것이며, 두 번째는 습윤시간의 강수량을 변동확률도함수를 이용해 결정하는 것이다. 다음 그림 1은 비동질성 Markov 모형을 이용하여 시간강수량을 모의하는 절차이다.

3. 대상 유역의 선정

비동질성 Markov 모형을 통해 시간강수량을 모의발생하여 IDF 곡선 및 홍수빈도곡선을 유도하기 위하여 강수량 및 유입량의 관측이 비교적 잘 이루어진 안동댐 유역을 대상유역으로 선정하였다. 안동댐 유역에는 기상청에서 관할하는 안동, 봉화 및 태백 강수관측소가 존재하고 있다. 따라서 안동, 봉화 및 태백의 Thissen 면적 계수를 산정한 후에 각각의 지점에서 관측된 한시간 단위의 시간강수량 자료들을 이용해 면적평균한 한시간 단위의 시간강수량 계열을 구성하였다. 그림 2는 안동댐 유역의 Thissen망도이다.

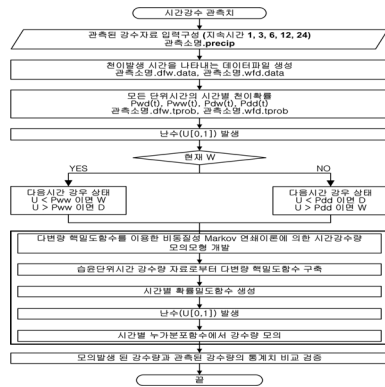


그림 1. 시간강수량 모의 절차

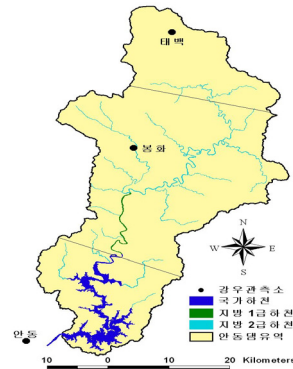


그림 2. 안동댐 유역 Thissen 망

관측강수량을 이용한 IDF곡선의 유도는 안동, 봉화 및 태백 지점의 관측자료를 각각 빈도해석하여 면적 평균한 확률강수량을 이용하였으며, 비동질성 Markov 모형을 통한 시간강수량의 모의는 원자료를 면적평균한 시계열 자료를 모의하여 IDF곡선을 유도해 비교하였다.

4. 비동질성 Markov 모형을 이용한 시간강수량의 모의 및 적용

강수량을 모의하기 위한 기준 자료는 안동댐 유역의 기상청 관할 안동, 봉화, 태백관측소의 시간강수량을 안동댐 유역 Thiessen 면적비를 적용한 면적평균 시간강수량을 이용하였고 자료의 크기는 전기간에 대하여 시간강수 자료가 확보된 1988년 1월 1일부터 2006년 12월 31일까지의 시간강수 자료를 사용하였다.

비동질성 Markov 모형에 의해 시간강수량을 모의발생하기 위하여 면적평균 시간강수량 자료를 1, 3, 6, 12, 24시간의 시간강수량으로 변환하여 입력하였다. 따라서 1시간단위의 시간강수량은 1년 동안 총 8,760개의 관측자료가 존재하며 24시간 365개의 관측자료가 존재하게 된다. 천이확률의 계산을 위한 변동폭의 설정은 1, 3, 6, 12, 24시간 순으로 240, 80, 40, 20, 10 단위시간을 광역폭으로 설정하였다. 이는 지속시간이 짧을수록 관측자료에서 보이는 무강수의 단위시간들이 길어지기 때문에 강수 발생의 불확실성을 모형에 감안하기 위해 강수 단위시간이 짧을수록 변동폭을 크게 설정해주었다.

비동질성 Markov 모형을 통해 모의된 시간강수량의 통계적 특성을 관측자료의 통계적 특성과 비교 분석하였다. 관측자료와 모의자료의 특성을 분석하기 위하여 습윤시간에 대한 여러 통계값(①평균값 ②표준편차 ③최소값 ④1사분위 값(25% quantile) ⑤중간값 ⑥3사분위 값(75% quantile) ⑦최대값)을 비교 분석하였다. 모의기간은 50, 100, 200년으로 설정하였다.

안동, 태백 및 봉화지점에서 관측된 시간강수량 자료에서 지속시간 1, 3, 6, 12, 24시간 연최대 시간강수량

계열을 구성하였다. 각 지속시간별 연최대강수량은 Markov 모형을 통해 모의된 시간강수량의 입력자료와 일관성을 유지하기 위해서 1988년부터 2006년까지의 자료를 이용하였다.

따라서 관측 및 모의 자료 중에서 연최대치를 추출하여 빈도해석을 수행하였다. 빈도해석하기 위해 사용된 확률분포형은 Gamma 2변수 및 3변수, GEV, Gumbel, Log-Gumbel 2변수 및 3변수, Log-Normal 2변수 및 3변수, Log-Pearson Type III, Weibull 2변수 및 3변수, Wakeby 4변수 및 5변수의 총 13개 분포형을 적용하였다. 매개변수 추정방법은 모멘트법(method of moments), 최우도법(method of maximum likelihood) 그리고 확률가중모멘트법(method of probability weighted moments)을 적용하였다. 검정방법으로는 χ^2 검정, K-S(Kolmogorov-Smirnov) 검정, CVM(Cramer Von Mises) 검정, PPCC(probability plot correlation coefficient) 검정이 있으며 본 연구에서는 4가지 방법을 모두 적용하였다.

관측 및 모의자료의 지속시간별 연최대시간강수량에 임의시간 환산계수를 적용하여 확률가중모멘트법으로 매개변수를 추정하여 적합도 검정 결과를 비교한 결과에서 Gumbel 분포형이 최적분포형으로 선정되었다.

지속시간별 재현기간별로 산정된 확률강수량을 이용하여 강우강도식을 유도하고 빈도별 결정계수가 가장 크고 편차가 가장 작게 산정된 Japanese형($I(t) = a/(\sqrt{t}+b)$)으로 안동댐 유역의 IDF곡선을 작성하였다.

그림 3과 그림 4에서 관측강수량과 모의강수량을 대상으로 지속시간별 및 재현기간별로 확률강수량을 산정하고 IDF 곡선을 각각 작성하였다. 지속시간별로 구분하여 결과를 비교하여 보면 3시간에서는 모의강수량과 관측강수량을 이용한 값이 거의 같게 산정되었으며 1시간과 24시간에서는 모의강수량을 이용한 값이 약간 크게 산정된 반면 6시간과 12시간에서는 관측강수량을 이용한 값이 약간 크게 산정되었다. 지속시간 24시간은 관측자료를 이용한 확률강수량과 모의자료를 이용한 확률강수량을 비교한 결과에서 2년 빈도를 제외한 나머지 빈도에서 모의강수량에 의한 값이 관측강수량보다 0.80~4.25%정도 크게 산정되었다.

그림 5은 지속시간 24시간의 관측 및 모의자료를 이용해 빈도해석하여 산정한 확률강수량을 비교한 결과이며, 그림 6은 재현기간 200년의 확률강수량을 지속시간별로 비교하여 도시한 결과이다. 지속시간이 짧으면 관측강수량에 의한 확률강수량과 모의강수량에 의한 것이 거의 같아지는 경향을 보이고 있는 반면 지속시간이 길어질수록 모의 강수량을 이용한 강우강도의 값이 커지는 것을 알 수 있다.

표 1. 습윤기간의 시간강수량에 대한 관측치와 모의치의 통계자료(mm)

구분	평균	표준편차	최소값	1분위	중앙값	3분위	최대값	
관측	1.5580	2.5750	0.10	0.20	0.60	1.80	36.80	
1시간	50년	2.1893	2.9449	0.00	0.30	1.10	2.89	36.58
	100년	2.2045	2.9605	0.00	0.30	1.12	2.90	38.26
	200년	2.2036	2.9702	0.00	0.30	1.11	2.90	38.35
관측	2.9042	5.2711	0.10	0.30	0.80	3.10	82.10	
3시간	50년	2.7787	4.9931	0.00	0.26	0.80	3.03	82.95
	100년	2.8496	5.0677	0.00	0.26	0.81	3.12	88.25
	200년	2.8636	5.0870	0.00	0.27	0.81	3.13	89.58
관측	4.4802	8.3221	0.10	0.30	1.20	4.60	96.20	
6시간	50년	4.8111	8.4446	0.00	0.37	1.29	5.22	99.74
	100년	4.8031	8.4353	0.00	0.36	1.29	5.21	104.90
	200년	4.6651	8.1891	0.00	0.36	1.28	5.02	108.74
관측	6.7358	12.9171	0.10	0.40	1.70	7.10	174.80	
12시간	50년	9.7461	14.4514	0.00	1.85	4.51	10.98	179.48
	100년	9.6718	14.2410	0.00	1.86	4.50	11.02	193.71
	200년	9.6327	14.2825	0.00	1.87	4.51	10.91	204.66
관측	9.5372	17.9283	0.10	0.50	2.40	10.70	192.10	
24시간	50년	12.9057	19.1141	0.00	2.20	5.81	14.44	209.82
	100년	12.8996	19.1477	0.00	2.21	5.85	14.75	238.00
	200년	12.9206	19.5058	0.00	2.19	5.82	14.84	242.95

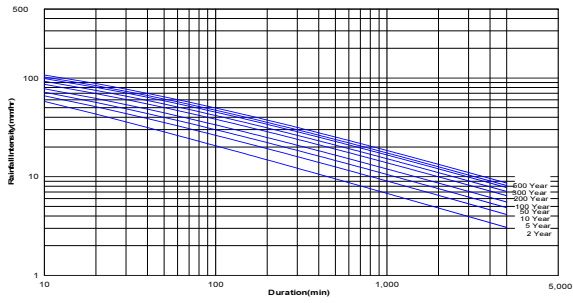


그림 3. 관측강수량에 의한 안동댐유역 IDF 곡선

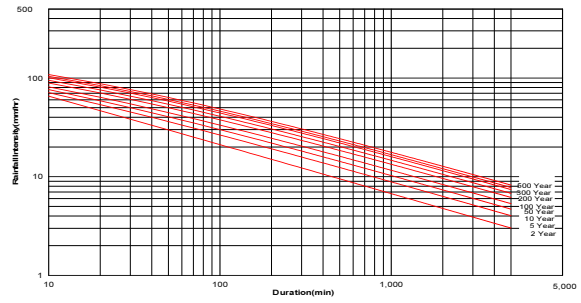


그림 4. 모의강수량에 의한 안동댐유역 IDF 곡선

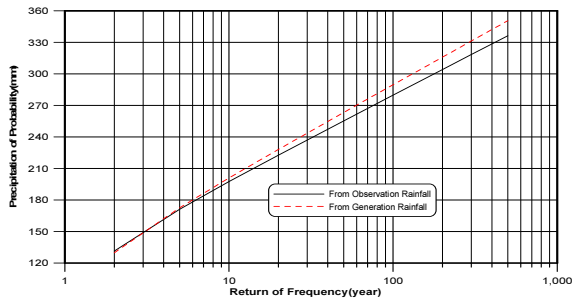


그림 5. 24시간의 재현기간별 확률강우량 비교

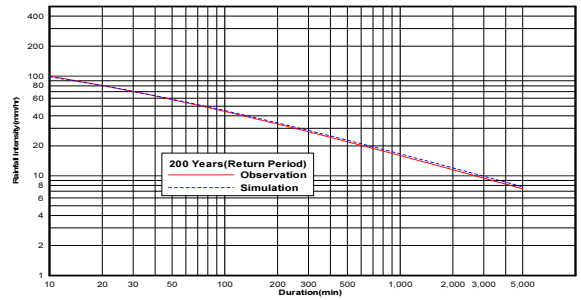


그림 6. 200년빈도의 지속시간별 강우강도의 비교

5. 결론

본 연구에서는 시간단위 강수계열의 모의발생이 가능한 핵밀도함수를 이용한 비동질성 Markov 모형을 대상유역에 적용하여 관측강수량의 통계특성값과 유사한 결과를 도출함으로써 모형 개발의 적정성을 검증하였고, 확률강우량을 산정하여 그 결과를 관측수문자료를 이용한 결과값과 비교함으로써 적용성을 검증하였다.

1. 시간단위 강수를 모의 발생시킬 수 있는 다변량 핵밀도함수를 이용한 비동질성 Markov 모형을 개발하고 대상지점의 시강수계열을 지속시간 1, 3, 6, 12, 24시간 및 50년, 100년, 200년으로 모의발생 하였고, 모의된 시강수의 전기간과 습윤기간의 2가지에 대하여 통계적 특성을 비교한 결과 관측자료의 통계적 특성과 거의 유사하면서 모의년수가 길어질수록 유연하게 증가하는 것으로 나타났다.
2. 다변량 핵밀도함수를 이용한 비동질성 Markov 모형을 통해 모의발생된 강수량을 대상유역의 확률강우량을 산정하여 관측자료를 이용하여 산정한 결과와 비교하였다. 모의 발생된 강수량의 지속시간별 연최대값을 이용한 확률강우량 산정에 있어서는 관측강수량 자료를 이용하여 산정한 확률강우량과 약 0.8~4.25%의 미미한 차이가 났으며 지속시간이 짧을수록 거의 같아지는 경향을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

1. 문영일, 차영일 (2004a). “비동질성 마코프 모형을 이용한 일강수자료 모의발생 I -이론-.” 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제24권, 제5B호, pp.431-435.
2. 문영일, 차영일, 서병하 (2004b). “비동질성 Markov 모형을 이용한 일강수자료 모의발생 II -이론-.” 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제24권, 제5B호, pp.437-441.
3. 한국수자원공사 (1999). 확률강우량 산정 및 이용방법 연구.
4. Richardson, C. W. (1981). “Stochastic Simulation of Daily Precipitation, Temperature, and Solar Radiation.” Water Resource Research, Vol. 17, No. 1, pp. 182-190.