

Bootstrap 방법에 의한 하천유출량 모의와 왜곡도 Streamflow Generation by Bootstrap Method and Skewness

김 병 식* / 김 형 수** / 서 병 하***

Kim, Byung-Sik / Kim, Hung-Soo / Seoh, Byung-Ha

Abstract

In this study, a method of random resampling of residuals from stochastic models such as the Monte-Carlo model, the lag-one autoregressive model(AR(1)) and the periodic lag-one autoregressive model(PAR(1)), has been adopted to generate a large number of long traces of annual and monthly steamflows. Main advantage of this resampling scheme called the Bootstrap method is that it does not rely on the assumption of population distribution. The Bootstrap is a method for estimating the statistical distribution by resampling the data. When the data are a random sample from a distribution, the Bootstrap method can be implemented (among other ways) by sampling the data randomly with replacement. This procedure has been applied to the Yongdam site to check the performance of Bootstrap method for the streamflow generation. and then the statistics between the historical and generated streamflows have been computed and compared. It has been shown that both the conventional and Bootstrap methods for the generation reproduce fairly well the mean, standard deviation, and serial correlation, but the Bootstrap technique reproduces the skewness better than the conventional ones. Thus, it has been noted that the Bootstrap method might be more appropriate for the preservation of skewness.

keywords : stochastic model, bootstrap method, skewness, generation

요 지

본 연구에서는 Monte-Carlo 모형, AR(1)모형, PAR(1) 모형과 같은 추계학적 모형의 잔차값을 무작위적 복원추출하여 연 및 월 하천 유출량자료를 모의발생하였다. Bootstrap 이라고 불리는 이 복원추출방법은 자료의 모집단의 가정이 필요없다는 장점이 있으며 자료로부터 직접 통계적 분포형을 추정하는 방법으로써 자료의 순위변동법을 이용한다. 본 연구에서는 이 방법을 용담지점에 적용하였으며 Bootstrap 방법으로 모의발생된 하천 유출량 자료의 거동을 검토하기 하기 위해 관측 유출량과 모의 발생된 유출량의 통계치를 산정하여 비교하였다. 그 결과 기존의 방법과 Bootstrap 방법 모두 평균, 표준편차, 자기상관성은 잘 재현하였으나 왜곡도 계수의 경우 Bootstrap 방법이 더 뛰어남을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 추계학적 모형, Bootstrap 방법, 왜곡도, 모의발생

* 인하대학교 토목공학과 박사과정

Doctoral Student, Dept. of Civil Engrg., Inha Univ., Incheon, 402 751, Korea

** 선문대학교 토목공학과 교수 · 공학박사

Prof., Dept. of Civil Engrg., Sunmoon Univ., Asan, Korea

*** 인하대학교 토목공학과 교수 · 공학박사

Prof., Dept. of Civil Engrg., Inha Univ., Incheon, 402 751, Korea

1. 서 론

수자원시스템의 정확한 분석을 통한 최적의 수자원 시스템 개발계획과 운영 및 설계를 위해서는 충분한 양의 수문자료를 필요로 하는 것이 주지의 사실이나 실제로는 한정된 짧은 기간의 과거 기록치가 대부분이므로, 수학적 방법에 의해 단기간의 자료로부터 통계학적인 인자를 추출하고 자료의 추계학적 특성을 파악한 후 그 자료의 특성에 적절한 방법으로 장기간의 하천 유량자료를 얻어내어 보다 개선된 시스템분석을 실시하고자 하는 것이 하천유량을 모의 발생시키는 중요한 목적이라 볼 수 있다. 이러한 목적으로 하천유량을 모의 발생시키기 위한 여러 가지 방법이 많은 학자들에 의해 연구 개발되어져 왔으며 유량자료 계열이 지니고 있는 수문학적 특성에 따라 각각 다른 추계학적 방법에 의해 유량자료를 모의 발생시키게 된다. 이러한 추계학적 방법의 공통점은 사전에 관측유량계열의 분포형을 선정한 후 선정된 분포형에 맞는 난수발생 방법을 이용한다는 점이다. 그러므로, 가정된 분포형이 관측유량자료와 맞지 않는다면 모의된 유량자료는 잘못된 유량자료를 모의 발생시킬 수 있다. 또한, 기존의 난수발생기법을 이용한 추계학적 모의방법은 관측 유량의 왜곡도 계수를 재현하는데는 무리가 있음이 알려져 있다(윤용남과 이동률, 1987). 국외의 경우 연 또는 월 유출량의 왜곡도를 유지할 수 있는 방법에 대한 많은 연구가 지금까지 진행되어왔다. Thomas와 Burden(1976)은 Wilson와 Hilferty의 변환법을 이용하여 정규분포 난수를 Gamma분포형 난수로 변환시켜 모의 유출량자료에 관측 유출량의 왜곡도의 특성을 반영하였다. Matalas (1967)는 1차(평균), 2차(분산), 3차(왜곡도) 모멘트와 자기상관계수를 유지하기 위해 모멘트 변환식을 제시하였다. Srikantan(1978)은 월 왜곡도 계수를 유지할 수 있도록 Valencia와 Schaake의 분해모형을 수정하였다. Srinivasan와 philipose(1993)은 모의된 연 및 월 유출량을 이용하여 가뭄분석(drought analysis)를 실시하였으며, 유출량의 왜곡도 계수의 유지 여부에 따라 가뭄의 심도와 재현기간이 달라짐을 보여주었다. 국내의 경우 김형수 등(1999)에 의해 왜곡도 계수가 극대값 또는 극소값에 미치는 영향에 대해 연구된 바 있으나 아직까지는 추계학적 모형에 의해 모의된 유출량자료의 왜곡도에 대한 연구는 거의 진무한 상태이다.

Bootstrap 방법은 Tasker(1987), Woo(1989), Zucchini와 Adamson(1989) 그리고 Moss와 Tasker

(1991) 등에 의해 통계학적 모형을 비교하고, 매개변수의 불확실성을 추정하기 위해 수문학 분야에서 이용되어져 왔다. Pereira과 Oliveira(1984)은 연 유출량의 다지점 분해모형에 대해서 잔차항을 발생시키기 위해 Bootstrap 방법을 이용하였다. Cover과 Unny(1986)은 유출량의 ARMA 모형의 매개변수의 불확성을 추정하기 위해 Bootstrap 방법을 이용하였다. Lall과 Sharma(1996), Vogel과 Shallcross(1996) 그리고 Sharma(1997)은 장기간의 유출량을 모의발생시키기 위하여 Bootstrap 방법을 이용하였다. Gary와 Paul(1997)은 Bootstrap 방법을 다지점 PAR(1)모형에 적용하여 모의된 월 유출량자료가 관측 유출량자료의 월별 왜곡도 계수를 유지하도록 하였으며 이를 이용하여 가뭄빈도분석을 실시하였다.

본 연구에서는 비매개변수 방법인 Bootstrap방법을 3가지의 추계학적모형, 즉 Monte Carlo 모형(MCS), AR(1), PAR(1)에 적용하여 연 및 월 유출량자료를 모의발생시켰으며, 난수발생(random number generation)을 이용하는 기존의 모의방법과 비교하였다.

2. 모형의 구성

추계학적 모형은 식 (1)과 같이 결정론적 부분과 추계학적 부분으로 구분되며 추계학적 부분은 무작위 성분(random component, white noise, 또는 innovation)이라 불리운다. 기존의 모형들은 ϵ_t 를 구하기 위해 관측자료의 분포형에 맞는 난수의 종류를 선택하고 난수를 발생시켜 모의자료를 생성하게 된다(Clements and Taylor, 2001).

$$y_t = D_t + \epsilon_t \quad (1)$$

그러나, 본 연구에서는 분포형의 가정이 필요 없는 Bootstrap 방법을 이용하여 식 (2)와 같이 추계학적 부분을 구성하였고, 이를 앞 절에서 언급한 3가지의 추계학적 모형에 적용하였다. 다음은 Bootstrap 방법을 이용한 AR(1) 모형(BAR(1))과 Bootstrap 방법을 이용한 PAR(1)모형(BPAR(1))의 구조를 예로 나타낸 것이다.

$$(1) \text{ Bootstrap 방법을 이용한 AR(1) 모형 - BAR(1)}$$

$$\epsilon_j = Q_j - \hat{a}Q_{j-1}, \quad j=2, \dots, n \quad (2)$$

$$Q_j^* = \hat{a}Q_{j-1}^* + \epsilon_j^*, \quad j=2, \dots, n \quad (3)$$

여기서, Q_j^* 는 Bootstrap를 통해 복원 추출된 연 유출량의 자료

$\hat{\alpha}$ 는 1차 자기상관계수,

ϵ_j 는 관측 연 유출량 자료의 잔차

ϵ_j^* 는 Bootstrap를 통해 복원 추출된 연 유출량 자료의 잔차

Q_i^* 는 Q_i 으로 가정

$$Q_{i+1}^* = Q_{i+1} + b_{i+1}(Q_i^* - Q_i) + \epsilon_{i,r}^* \quad j=1, \dots, n \quad (6)$$

여기서, Q_i^* 는 Bootstrap를 통해 복원 추출된 i의 월 유출량 자료

$\epsilon_{i,r}$ 는 관측 월 유출량 자료의 잔차

$\epsilon_{i,r}^*$ 는 Bootstrap를 통해 복원 추출된 관측 월 유출량 자료의 잔차

(2) Bootstrap 방법을 이용한 PAR(1) 모형 - BPAR(1)

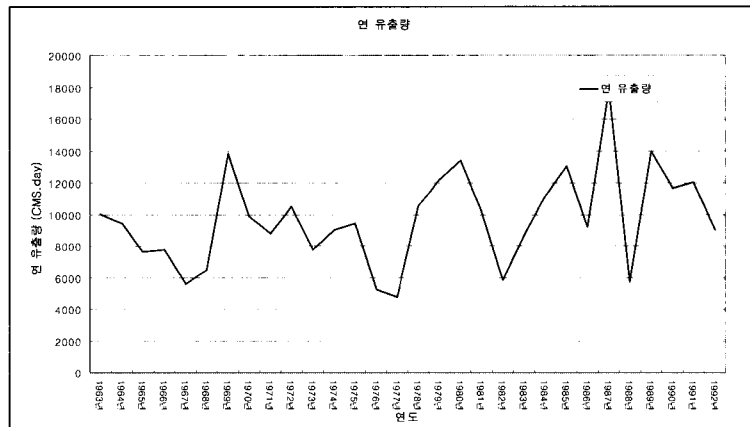
$$Q_{i+1} = \overline{Q_{i+1}} + b_{i+1}(Q_i - \overline{Q_i}) + \epsilon_{i,r} \quad (4)$$

$$\epsilon_{i,r} = Q_{i+1} - [\overline{Q_{i+1}} + b_{i+1}(Q_i - \overline{Q_i})] \quad (5)$$

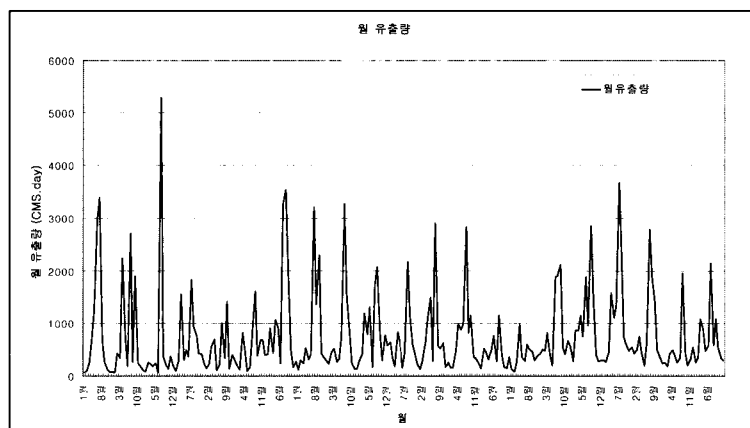
3. 대상지점의 적용

3.1 분석자료

본 연구에서는 용담댐유역의 용담수위표 지점을 연



(a) 연 유출량 시계열



(b) 월 유출량 시계열

그림 1. 용담수위표 지점의 연 및 월 유출량 시계열

구 대상지점으로 선정하였으며, 사용한 자료는 1963년 1월 ~ 1992년 12월의 월 및 연 유출량 자료이다(그림 1).

3.2 연 유출량자료의 Screening 분석

본 연구에서는 연 유출량자료의 특성을 파악하기 위해 Screening 분석(Dahmen 와 Hall, 1990)을 실시하였다. 이를 통해 용담지점의 연 유출량자료가 정상시

계열(stationary time series)이며 또한 무작위적 특성을 지니고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 정규성 검정을 통해 정규분포에 가까우나, 분포형의 꼬리(tail) 부분이 정규분포형과 다름을 확인하였다. 그림 2는 Screening 분석과정의 흐름도이다.

그림 3은 시계열 자료가 정규분포에 가까운지를 알아보기 위해 작성한 자료의 정규점수와 표준화된 자료의 산점도(scatter diagram)이며 시계열 자료들이 직

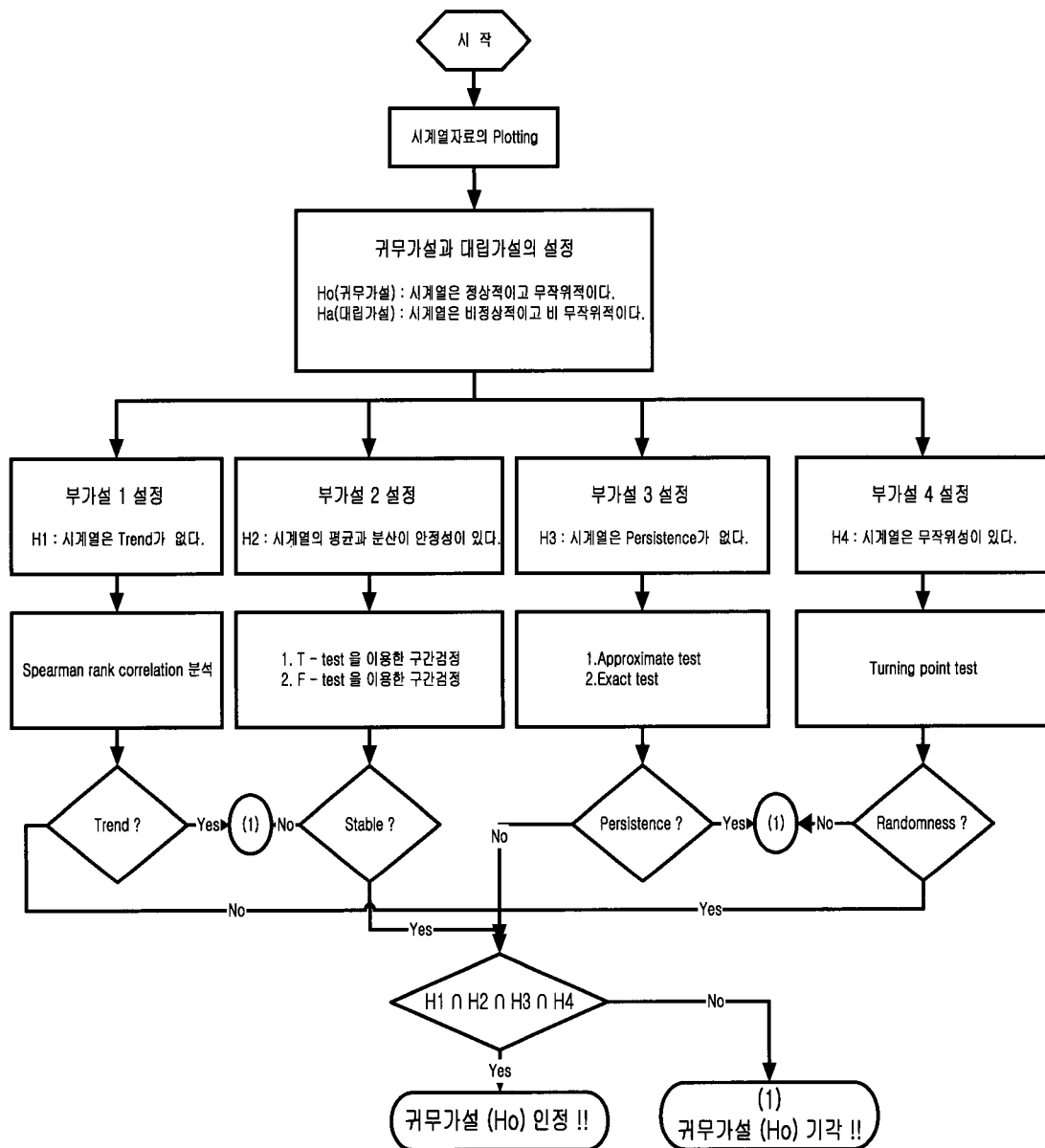


그림 2. 시계열의 Screening 분석과정

정규확률그림

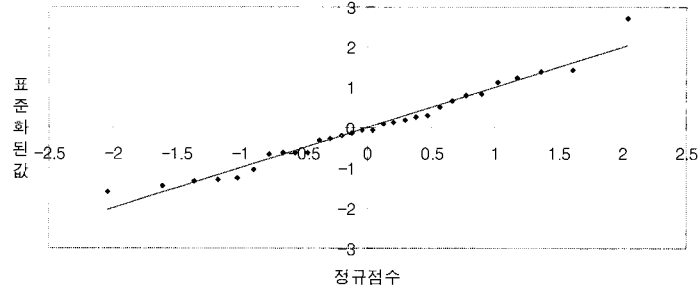


그림 3. 정규성 검사

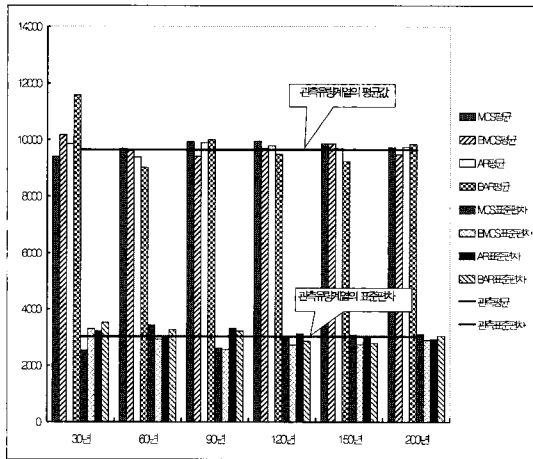


그림 4. 모의기간별 평균 및 표준편차

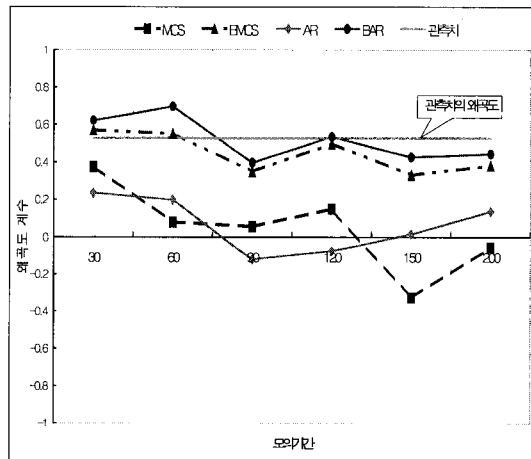


그림 5. 모의기간별 왜곡도 계수

선상에 위치하면 정규분포로 볼 수 있다 (Mthsoft, 1999).

3.3 유출량계열의 모의발생

3.3.1 연 유출량자료의 모의발생

본 연구에서는 난수발생기법을 이용한 AR(1), MCS (Monte Carlo Simulation) 모형과 Bootstrap을 이용한 BAR(1)(Bootstrap+AR)과 BMCS(Bootstrap+Monte Carlo)모형으로 30년, 60년, 90년, 120년, 150년, 200년 기간의 연 유출량계열을 모의 발생하여 관측 연 유출량계열의 기본통계치 및 자기상관도와 비교하였다.

모의 유출량자료의 평균과 표준편차는 그림 4와 5에서 볼 수 있듯이 난수발생 모형과 Bootstrap 모형 모

두 관측 유출량의 통계적 특성을 잘 재현하고 있다. 또한, 그림 6과 7 같이 자기상관도 역시 관측 유출량의 특성을 잘 반영하고 있는 것을 확인할 수 있다. 그러나, 모의 유출량의 왜곡도 계수를 모의기간의 변화에 따라 분석해본 결과 난수발생에 의한 모형은 관측 유출량의 특성을 전혀 유지하지 못했지만 Bootstrap에 의한 모형은 관측 유출량의 특성을 잘 재현하였다(그림 5).

3.3.2 월 유출량자료의 모의발생

월 유출량 자료의 확충을 위하여 난수발생방법을 이용한 PAR(1) 모형과 Bootstrap을 이용한 BPAR(1) 모형에 의하여 월별로 모의기간 30년, 60년, 90년, 120년, 150년, 200년을 모의하였고, 각각의 기본통계치와 자기상관도를 비교하였다.

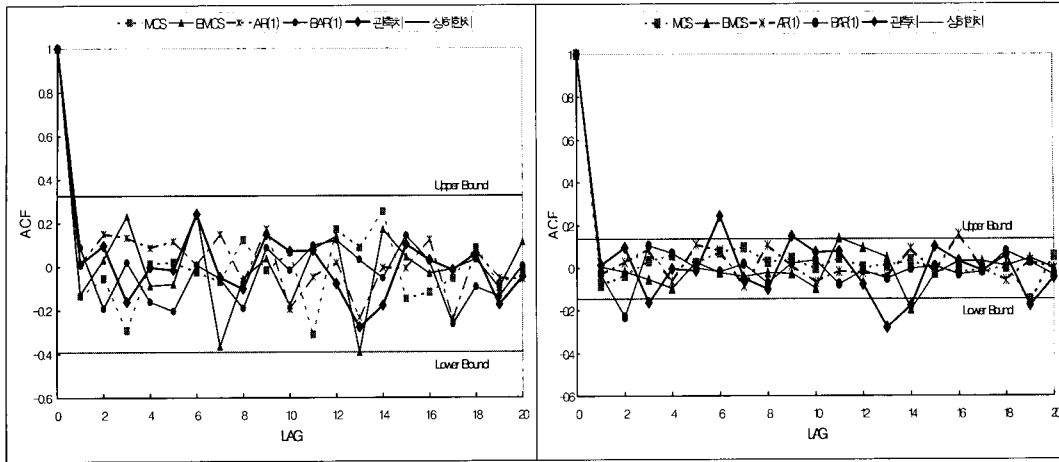


그림 6. 연 모의자료에 대한 자기상관계수 (30년) 그림 7. 연 모의자료에 대한 자기상관계수 (200년)

상자그림 (Box Plot)

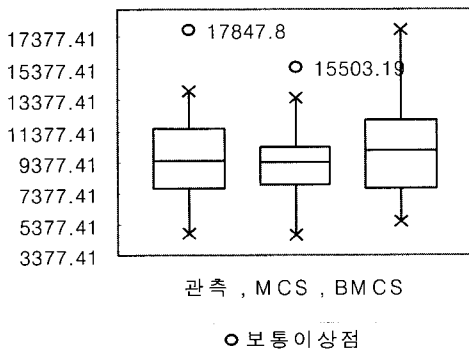


그림 8. 30년 모의 (MCS 비교)

상자그림 (Box Plot)

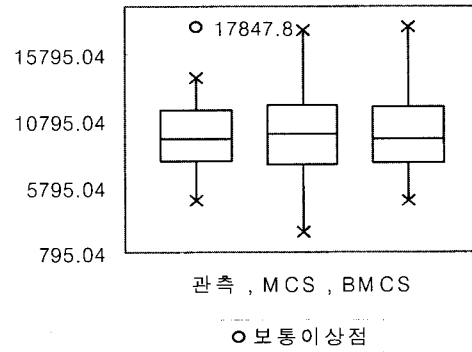


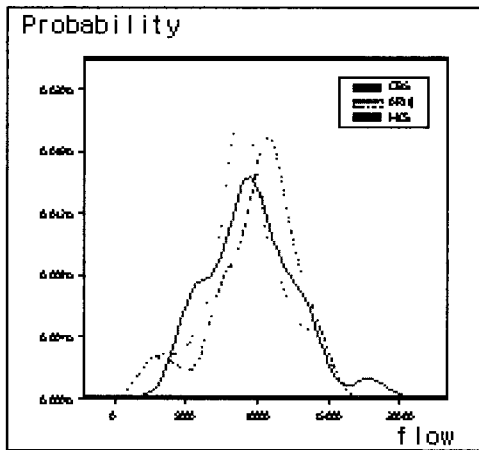
그림 9. 200년 모의 (MCS 비교)

표 1. 관측 연 유출량과 AR(1) 모형 및 BAR(1) 모형에 의한 모의치의 모의기간별 통계치

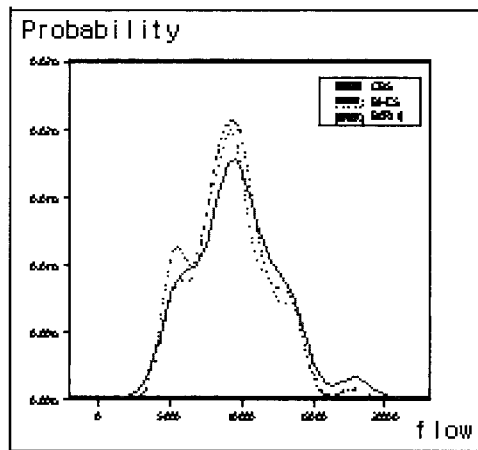
	관측치	30년		60년		90년		120년		150년		200년	
		AR(1)	BAR(1)	AR(1)	BAR(1)	AR(1)	BAR(1)	AR(1)	BAR(1)	AR(1)	BAR(1)	AR(1)	BAR(1)
평균	9652.26	9856.72	11577.0	9390.89	9022.05	9902.30	10001.3	9797.69	9487.16	9703.00	9242.49	9748.46	9847.36
중앙값	9440.60	10139.8	10324.4	9643.53	9026.01	9885.27	9652.10	9855.49	9411.39	9679.10	9158.39	9629.65	9478.54
표준편차	3028.54	3228.27	3516.88	2988.67	3268.94	3317.85	3222.23	3133.78	2862.68	3015.31	2798.41	2939.90	3053.11
사분위수	3812.55	3945.73	3843.00	4552.26	4907.82	4551.29	4319.78	4382.64	3454.09	4427.77	3369.85	4142.01	4271.91
범위	13056.40	15200.2	12290.8	15200.5	13047.7	18297.6	13164.2	18297.6	13010.0	18297.6	13009.1	18297.6	13118.4
변동계수	0.3138	0.3275	0.3038	0.3183	0.3623	0.3351	0.3222	0.3198	0.3017	0.3108	0.3028	0.3016	0.3100
왜곡도	0.5277	0.2347	0.6206	0.1982	0.6962	-0.1206	0.3965	-0.0749	0.5347	0.0162	0.4263	0.1357	0.4426
첨도	0.3953	0.9388	-0.4103	0.3302	-0.0211	-0.0418	-0.2065	0.0359	0.2365	0.0230	-0.0604	0.1221	0.1187

표 2. 관측 연 유출량과 MCS 모형 및 BMCS 모형에 의한 모의치의 모의기간별 통계치

	관측치	30년		60년		90년		120년		150년		200년	
		MCS	BMCS	MCS	BMCS	MCS	BMCS	MCS	BMCS	MCS	BMCS	MCS	BMCS
평균	9652.26	9412.54	10180.8	9702.17	9613.29	9936.28	9415.24	9950.61	9704.29	9867.62	9866.76	9729.64	9482.56
중앙값	9440.60	9315.86	10114.0	9305.82	9652.26	10217.9	9444.60	9720.01	9548.43	10346.1	9652.26	9779.14	9436.60
표준편차	3028.54	2541.07	3298.47	3433.20	2940.71	2610.49	2575.10	2962.84	2737.95	3092.23	2747.21	3107.04	2903.40
사분위수	3812.55	2476.40	4394.90	5169.35	5279.78	3650.55	2770.13	4112.44	3430.20	4089.06	4297.32	4495.21	4140.98
범위	13056.40	10810.2	12253.6	13470.2	12253.6	13145.0	13056.4	14021.0	13056.4	14077.9	13056.4	15192.7	13056.4
변동계수	0.3138	0.26996	0.3240	0.35386	0.3059	0.2627	0.2735	0.2978	0.2821	0.3134	0.27843	0.3193	0.3062
왜곡도	0.5277	0.37498	0.5707	0.07923	0.5521	0.0561	0.3497	0.1493	0.4983	-0.3266	0.33146	-0.0556	0.3812
첨도	0.3953	0.05530	0.1291	-0.8915	0.2828	0.0117	0.2282	-0.4655	0.6287	-0.3212	-0.0022	-0.3393	-0.1551

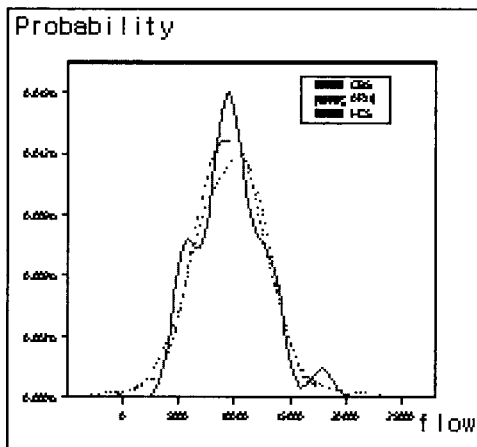


(a) 관측치와 난수발생 모형

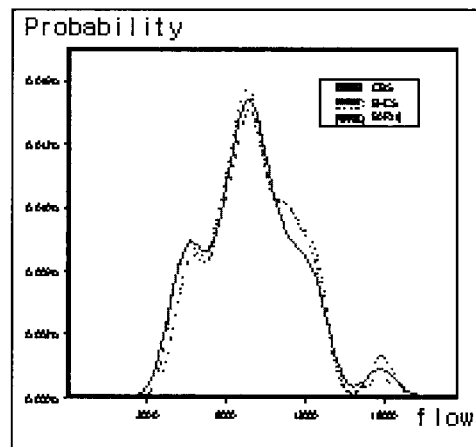


(b) 관측치와 Bootstrap 모형

그림 10. 관측 연 유출량과 모형에 의해 발생된 연 유출량의 확률밀도함수의 비교 (30년 모의)



(a) 관측치와 난수발생 모형



(b) 관측치와 Bootstrap 모형

그림 11. 관측 연 유출량과 모형에 의해 모의된 연 유출량의 확률밀도함수의 비교 (200년 모의)

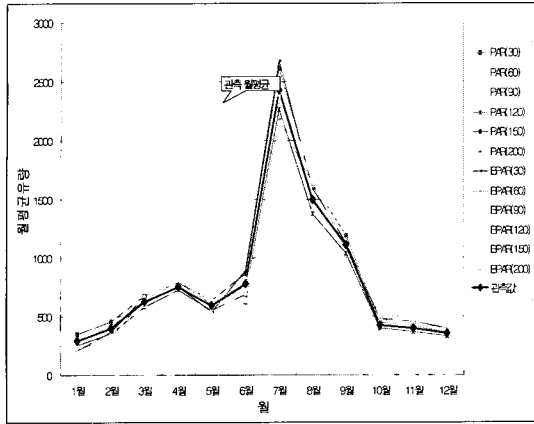


그림 12. 월모형의 평균치 비교

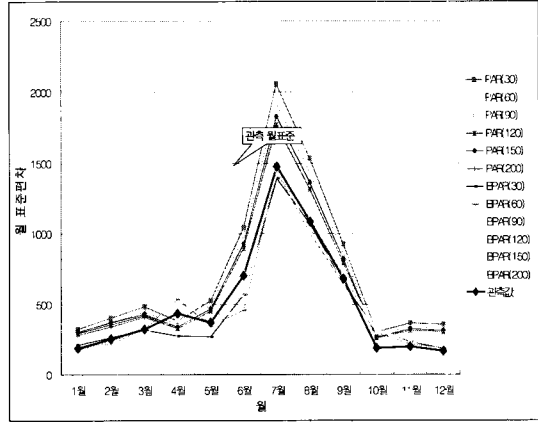


그림 13. 월모형의 표준편차 비교

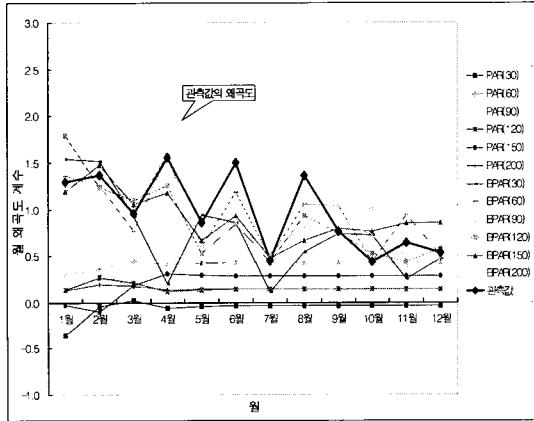


그림 14. 월모형의 월 왜곡도 계수 비교

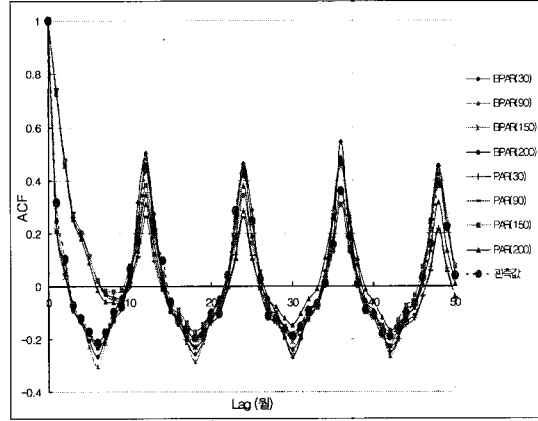


그림 15. 월모형의 월 자기상관계수 비교

표 3. 모의기간별 모형별 월 왜곡도 계수

모형	모의기간	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
PAR	관측값	1.2959	1.3684	0.9571	1.5563	0.8564	1.4972	0.4489	1.3614	0.7604	0.4379	0.6404	0.5375
	30년	-0.356	-0.039	0.0247	-0.057	-0.038	-0.034	-0.0330	-0.0328	-0.0328	-0.032	-0.032	-0.032
	60년	0.3071	0.3561	0.4405	0.4157	0.4239	0.4257	0.4262	0.4262	0.4262	0.4263	0.4262	0.4263
	90년	0.3092	0.3030	0.1691	0.1154	0.1237	0.1259	0.1265	0.1266	0.1267	0.1267	0.1267	0.1267
	120년	0.1385	0.2693	0.2123	0.1206	0.1391	0.1437	0.1449	0.1451	0.1452	0.1452	0.1452	0.1452
	150년	-0.027	-0.096	0.1813	0.3078	0.2889	0.2837	0.2823	0.2821	0.2821	0.2820	0.2820	0.2820
BPAR	200년	0.1240	0.1907	0.1768	0.1345	0.1433	0.1455	0.1460	0.1461	0.1461	0.1462	0.1462	0.1462
	30년	1.5376	1.5147	0.9195	0.2022	0.9362	0.8557	0.1093	0.5380	0.7354	0.7168	0.2526	0.4648
	60년	1.3618	1.2584	0.7658	1.5770	0.5957	1.1852	0.4755	1.0519	1.0342	0.4376	0.9382	0.5074
	90년	1.3093	1.1963	1.1440	1.5614	0.6149	0.6363	0.4053	0.8146	1.0355	1.0042	0.4536	0.7001
	120년	1.7923	1.2405	1.0924	1.2541	0.5274	0.8413	0.4379	0.9345	0.7430	0.5281	0.4399	0.5712
	150년	1.1878	1.4734	1.0539	1.1730	0.6643	0.9326	0.4758	0.6638	0.7946	0.7585	0.8461	0.8617
	200년	1.2511	1.1850	0.9888	1.5827	0.8474	0.8566	0.5152	0.8490	0.8842	0.7199	0.3863	0.4883

월 평균 유출량은 그림 12와 같이 PAR(1) 및 BPAR(1) 두 모형이 관측 유출량의 특성을 재현하였으나 표준편차는 그림 13과 같이 BPAR(1) 모형이 PAR(1) 모형보다 관측 유출량의 특성을 더 정확히 재현함을 알 수 있다. 또한, 월 유출량의 왜곡도 계수는 그림 14와 같이 PAR(1)은 관측 유출량의 특성을 재현하지 못하지만 BPAR(1) 모형은 관측 유출량의 월별 특성을 비교적 근접하게 재현하고 있는 것을 볼 수 있다. 월 유출량의 자기상관도를 비교한 결과 그림 15에서 알 수 있듯이 BPAR(1) 모형이 PAR(1) 모형보다 주기성을 잘 나타내었다. 표 3은 모의기간의 변화에 따른 PAR(1)과 BPAR(1) 모형의 왜곡도 계수를 정량적으로 나타낸 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 연 및 월 하천 유출량을 확충하기 위해 난수발생 방법을 적용한 AR(1), MCS, PAR(1)과 Bootstrap 방법을 적용한 BAR(1), BMCS, BPAR(1)을 이용하였다. 모의된 연 및 월 유출량자료가 관측 유출량자료의 통계적 특성을 잘 재현하는지를 확인하기 위해 평균, 표준편차, 자기상관계수 이외에도 왜곡도 계수를 비교하였으며 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 난수발생방법을 이용하는 기존의 AR(1), MCS, PAR(1) 모형 등은 관측 유출량의 1차, 2차 모멘트인 평균, 표준편차 등은 비교적 잘 재현하지만 3차 모멘트인 왜곡도 계수는 재현하지 못함을 확인하였다.
- (2) 난수발생방법을 이용한 모형에 의해 얻어진 모의 연 유출량의 PDF 곡선을 관측 유출량과 비교해 본 결과 모의기간이 길어질수록 모의 유출량의 PDF 곡선은 정규분포 곡선의 형태로 변함을 확인하였다.
- (3) 본 연구에서 이용한 용단지점의 관측 연 유출량 자료의 PDF 곡선은 정규분포형에 근사하기는 하지만 꼬리(tail)부분이 정규분포와는 다른 특성을 나타내었다. 기존의 방법은 이러한 PDF 곡선의 꼬리(tail)부분을 잘 재현하지 못하였지만 본 연구에서 제시한 방법은 PDF 곡선의 꼬리(tail)부분을 재현할 수 있었다.
- (4) 본 연구에서는 비매개변수적인 방법인 Bootstrap 방법을 추계학적 연 및 월 모형에 적용하여 관측 유출량의 평균, 표준편차, 자기상관계수 이외

에도 왜곡도 계수를 근사하게 유지하는 유출량 자료를 확충하였다.

- (5) 본 연구에서는 관측 유출량의 1차, 2차, 3차 모멘트의 특성만을 재현하였으나 차후에는 4차 모멘트인 첨도(kurtosis)까지 재현할 수 있는 모의기법의 연구가 필요하다고 사료되어진다.

참 고 문 헌

- 김형수, 서병하, 정상만, 문영일, 강경석 (1999). "지속 기간별 갈수유량의 최소, 최대치가 확률 갈수량에 미치는 영향." 99년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 87-92
- 윤용남, 이동률 (1987). "河川流量의 模擬發生을 위한 長技 및 短期 推計學的 模型의 比較研究." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제20권, 제4호, pp. 257-266.
- Box, G. E. P., and Cox, D. R. (1964). "An analysis of Transformation", *J.R. Stat. Soc.*, Vol. 26, pp. 211-243
- Cover, K. A., and Unny, T. E. (1986). "Application of computer intensive statistics to parameter uncertainty in streamflow synthesis." *Water Resour. Bull.*, Vol. 22(3), pp. 495-507
- Dahmen, E. R., and Hall, M. J. (1990). *Screening of Hydrological Data ; Tests for Stationarity and Relative Consistence*, International Institute of Land and Reclamation.
- Ezio Todini (1980). "The presevation of Skewness in Linear Disaggregation Schemes." *Journal of Hydrology*, Vol. 47, pp. 199-214
- Gary, D. T., and Paul Dunne (1997). "Bootstrap Position Analysis for Forecasting Low Flow Frequency." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Nov-Dev pp. 355-367
- Lall, U., and Sharma, A. (1996). "A nearest neighbor bootstrap for resampling hydrologic time series." *Water Resour. Res.*, Vol. 32(3), pp. 679-693.
- Matalas, N. (1967). "Mathematical assessment of synthetic hydrology." *Water Resour. Res.*, Vol. 3(4), pp. 937-945
- Moss, M. E., and Tasker, G. D. (1991). "An in-

- tercomparision of hydrological network-design technologies." *Hydrological Sci. J.*, Vol. 36(3), pp. 209-221
- Mthsoft (1999). S-Plus 2000 : *Modern Statistics and Advanced Graphics*.
- Pereira, M. V. F., oliveria, G. C., Costa, C. G., and Kelman, J. (1984). "Stochastic streamflow models for hydroelectric system." *Water Resour. Res.*, Vol. 20(3), pp. 379-390
- Sharma, A., Tarboton, D. G., and Lall, U. (1997). "Streamflow simulation: a non-parametric approach." *Water Resour. Res.*, Vol. 33(2), pp. 291-308.
- Srikanthan, R. (1978). "Sequential Generation of Monthly Streamflows." *Journal of Hydrology*, Vol. 38, pp. 71-80
- Srinivasan, K., and M. C. Philipose (1993). "Stochastic Modeling for Drought Analysis." *ASCE symposium on Engineering*, pp. 323-328.
- Tasker, G. D. (1987). "Comparison of methods for estimating low flow characteristics of streams." *Water Resour. Bull.*, Vol. 23(6), 1077-1083
- Thomas, H. A., and Burden, R. P. (1976). "Statistical analysis of reservoir yield relation, Chapter 1: Operation sresearch on water quality management." Final Rep, Cambrige, Mass., pp. 1-21
- Vogel, R. M., and Shallcross, A. L. (1996). "The moving blocks bootstrap versus parametric time series models." *Water Resour. Res.*, Vol. 32(6), pp. 1875-1882
- Woo, M. K. (1989). "Confidence intervals of optimum risk-based hydraulic design parameters." *Water Resour. J.*, Vol. 14(2), pp. 10-16.
- Zucchini, W., and Adamson, P. T. (1989). "Bootstrap confidence intervals for des-ign storms from exceedence series." *Hydrological Sci. J.*, Vol. 34(1), pp. 41-48

(논문번호:01-072/접수:2001.10.25/심사완료:2002.04.22)