韓國水資源學會論文集
第30卷 第2號·1997年 4月
pp. 155～163

다변량 추계학적 모형을 이용한 낙동강 유역의 가뭄해석에 관한 연구

Drought Analysis of Nakdong River Basin Based on Multivariate Stochastic Models

허 준 행* · 김 경 덕** · 조 원 철***
Heo, Jun Haeng • Kim, Kyung Duk • Cho, Won Cheol

Abstract

In this study, drought analysis of annual flows of Jindong, Hyunpoong, and Waekwan stations located at Nakdong River Basins was performed based on multivariate stochastic models. The stochastic models used were multivariate autoregressive model (MAR) and multivariate contemporaneous (MCAR) model. MCAR(1) and MAR(1) models were selected to be appropriate models for these stations based on skewness test of normality, test of uncorrelated residuals, and correlograms of the residual series of each model. The statistics generated by MCAR(1) model and MAR(1) model resembled very closely those computed from historical series. The drought characteristics such as run length, run sum, and run intensity were fairly well reproduced for the various lengths of generated annual flows based on the MCAR(1) and MAR (1) models. Thus, these drought characteristics may give the important informations in planning mid or long term water supplying systems.

요 지

본 연구에서는 낙동강유역 진동, 현풍, 왜관 지점의 연평균 유량자료에 대하여 다변량 추계학적 모형을 적용하여 가뭄특성을 해석하였다. 추계학적 모형으로는 다변량 자기회귀 (MAR) 모형과 다변량 contemporaneous 자기회귀 (MCAR) 모형을 사용하였으며, 잔차계열의 왜곡도 검사, 계열상관도(correlogram) 등의 적합도 검정을 통하여 MCAR(1) 모형과 MAR(1) 모형을 적정 모형으로 선정하였다. 또한 MCAR(1) 모형과 MAR(1) 모형에 의해 모의발생된 자료 모두 실제자료의 기본적인 통계값과 매우 비슷하게 나타났다. 따라서 모의발생된 다양한 크기의 자료를 통하여 산정된 3개 지점의 재현기간별 가뭄특성치, 예를 들면 가뭄기간, 가뭄부족량, 가뭄강도 등은 비교적 잘 재현된 것으로 판단된다. 위와 같이 산정된 가뭄특성치는 중·장기간 수자원 공급체계를 위한 계획과 설계에 중요한 정보를 제공할 것으로 기대된다.

* 연세대학교 공과대학 토목공학과 부교수
** 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정
*** 연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

keywords : drought, multivariate autoregressive model, multivariate contemporaneous autoregressive model, run length, run sum, run intensity

1. 서 론

건조한 지역은 말할 것도 없고 강우량이 많은 지역도 실제로 가뭄이나 가능성에 노출되어 있다. 최근에 이상기상으로 인하여 전세계적으로 가뭄이 도처에 발생하고 있으며, 문명의 발전으로 물수요는 날로 증가하게 되어 가뭄의 피해는 더욱 치명적으로 다가오고 있다.

가뭄의 정의는 분야별로 다양하게 정의되고 있는데, 가뭄의 효과는 모든 분야에 있어서 거의 비슷하다(Yevjevich 등, 1983). 가뭄을 일반적인 용어로 정의한다면 "인간, 식물, 동물 등에게 어려움을 주기에 충분한 상태"라 할 수 있다(Warrick, 1975). 그러나 강우의 부족이 장기화되는 현상이 가뭄을 설명하는데 더욱 밀접한 관련이 있다고 할 수 있다(Russell 등, 1970). 가뭄을 단순히 수요와 공급의 차원에서 검토할 수 있겠는데, 물공급은 단기간에서는 어느 정도 유동성이 있으나 장기적으로 보면 거의 일정한 수준이다. 반면에 물수요는 생활용수, 공업용수, 농업용수 등과 관계가 있는데, 인구의 증가와 산업발전으로 인하여 물수요는 증대되며 이는 현상태의 수자원 체계를 위협함을 의미한다. 따라서 가뭄의 현상을 잘 이해하고 가뭄의 빈도와 정도를 결정하는 것은 가뭄에 따른 피해를 최소한으로 줄이기 위한 합리적인 계획과 운영을 가능하게 한다.

가뭄문제를 해석하는 고전적인 방법은 확률분포형을 통한 빈도해석이 있으나(Matalas, 1963), 이 방법으로는 기간이나 지역적인 영향을 설명할 수 없다. 홍수문제와 달리 가뭄에 있어서는 가뭄지속이 매우 중요하기 때문에 다른 방법을 모색해야 한다. 지난 20여 년 간 가뭄연구가 확장되었고, 보다 발전된 통계적 기법을 가지고 접근하고 있는데, 예를 들면 Yevjevich (1967), Saldarriaga 와 Yevjevich (1970), Mallan 과 Yevjevich (1971), Guerrero 와 Yevjevich (1975), Gupta 와 Duckstein (1975), Sen (1976, 1980), Chander 등 (1981), Frick 등 (1990)이 있다. 국내에서는 최근에 저유량 자료에 대하여 빈도해석한 바 있는데, 이는 크기차원에서만 다루어진 연구로서 기간차원에서는 접근하지 않았다(김경덕 등, 1996).

본 연구에서는 낙동강유역의 진동, 현풍, 왜관 지점의 연평균 유량자료에 대하여 기간차원에서 해석을 실시하였으며, 다변량 추계학적 모형을 이용하여 자료를 모의발생시켜 재현기간별 가뭄특성을 해석하였다. 추계학적 모형으로는 다변량 자기회귀 (MAR) 모형과 다변량 contemporaneous 자기회귀 (MCAR) 모형을 사용하였으며, 적용한 모형에 대하여 여러 가지 통계적인 검정을 통한 최적의 모형차수를 결정하였고, 적합성 검토를 실시하였다. 또한 실제자료와 모의발생된 자료를 비교하여 실제자료의 특성을 잘 나타내고 있는지를 검토하므로써 모형의 적정성을 조사하였다. 이를 통하여 낙동강유역의 재현기간별 3가지 가뭄특성치, 즉 가뭄기간, 가뭄부족량, 가뭄강도 등을 산정하였다.

2. 본 론

2.1 자료구축 및 자료의 통계적 해석

본 연구에서는 낙동강 유역의 진동, 현풍, 왜관 지점의 연평균 수위자료를 획득하고 유량자료로 환산하여 자료를 구축하였다. 그림 1은 각 지점의 연도별 유량을 나타내고 있으며, 현풍과 왜관은 상관성이 매우 큰 것을 알 수 있다. 자료의 관측기간은 1956년부터 1994년까지 39년간의 자료로서 표 1에 자료의 기본적인 통계적 특성을 나타내었다.

표 1에서 살펴보면 진동 지점이 203.067 cms 로서 현풍(70.420 cms)이나 왜관(94.791 cms)에 비해 크고 왜곡도 계수는 1. 019 로서 양으로 왜곡되어 있음을 알 수 있으며, 현풍 지점(0.019)은 거의 좌우 대칭 분포임을 알 수 있다.

2.2 가뭄특성

가뭄사상은 그림 2와 같이 어떤 기준값(censoring

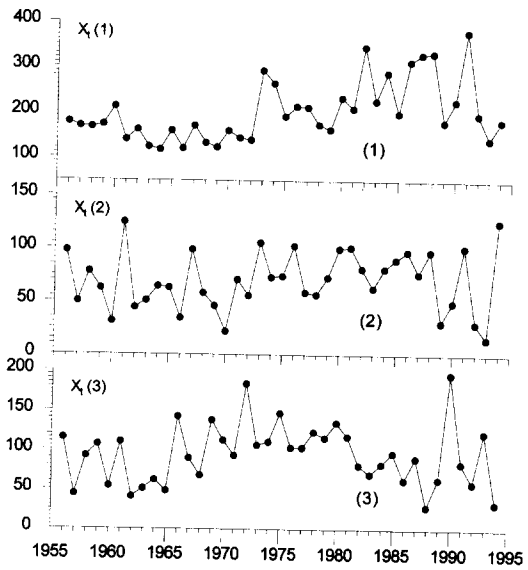

그림 1. 각 지점의 연도별 평균유량
(1) 진동, (2) 현풍, (3) 왜관

표 1. 실제자료와 모의발생된 자료의 기본적인 통계값

지점명	평균(cms)		표준편차		왜곡도 계수		Lag-1상관계수	
	실제자료	모의발생	실제자료	모의발생	실제자료	모의발생	실제자료	모의발생
진 동	203.067	203.229	69.284	71.726	1.019	1.894	0.522	0.507
현 풍	70.420	70.454	27.999	28.351	0.019	0.021	-0.129	-0.154
왜 관	94.791	94.942	38.599	38.818	0.496	0.496	0.047	0.051

level 또는 truncation level)이하의 유량을 나타내는 하나 혹은 그 이상의 기간으로 정의한다. 기준값은 특수한 상황에 따라 상수일 수도 있고 변할 수도 있는 물수요를 나타낸다. 본 연구에서는 연평균 유량자료를 기준값으로 결정하였으며, 대상지역의 변동되는 물수요에 따라 기준값은 변할 수 있다. 각 가뭄사상에 대하여 3가지 가뭄특성치가 정의되는데, 즉 가뭄기간(run length), 가뭄부족량(run sum), 가뭄강도(run intensity)이다. 가뭄기간은 가뭄이 연속적으로 발생하였을 때의 전체기간이며, 가뭄부족량은 하나의 가뭄기간동안 기준값이하의 부족량의 합을 나타낸다. 가뭄강도는 가뭄부족량을 가뭄기간으로 나눈 값으로 정의되며, 하나의 연속적인 가뭄기간 동안의 평균적인 가뭄부족량을 의미한다(그림 2).

그림 2는 진동지점의 가뭄특성치를 나타낸 것이며, 일반적으로 최대 가뭄부족량과 가뭄기간은 다를 수 있으며, 가뭄강도와도 다를 수 있다. 그러나 최대 가뭄부족량을 갖는 가뭄사상은 최대 가뭄기간을 갖는 가뭄사상과 일치하는 경향이 일반적이며, 최대 가뭄강도를 갖는 가뭄사상은 가뭄기간이 1, 2년으로 매우 짧은 것이 일반적이다. 물론 가뭄기간이나 가뭄강도도 매우 중요하지만 실제 가뭄문제에서 치명적인 영향을 주는 부분은 가뭄부족량이다.

표 2, 3, 4는 각 지점별로 재현기간에 따른 실제자료의 가뭄특성치를 나타내고 있다.

표 2, 3, 4 중에서 진동 지점의 경우를 예로 들면, 최대 가뭄기간은 재현기간 39년 일 때 12년으로 나타났고, 가뭄부족량은 22,721.44 × 10^6 m^3이고, 가뭄강도는 1,893.45 × 10^6 m^3/yr(39년 빈도)인 것으로 나타났다.

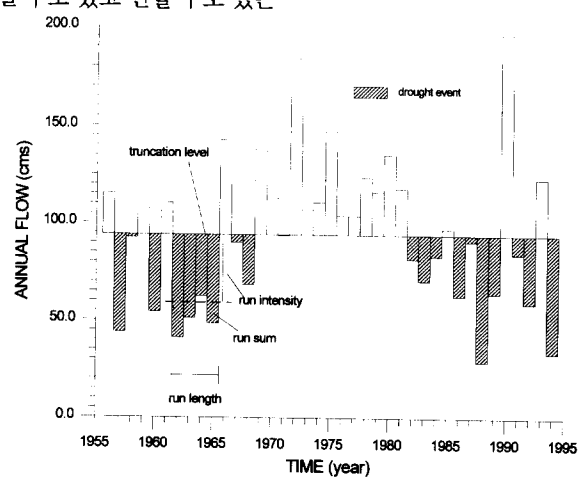

그림 2. 가뭄특성치에 대한 용어정의

표 2. 진동 지점의 가뭄특성치

재현기간	가뭄기간(year)				가뭄부족량(10^6m^3)				가뭄강도($10^6m^3/yr$)			
	실제자료	모의발생			실제자료	모의발생			실제자료	모의발생		
		구분	MCAR	MAR		구분	MCAR	MAR		구분	MCAR	MAR
20	12	최소	1.00	1.00	222721.44	최소	65.59	212.82	1893.45	최소	65.59	196.64
		평균	5.68	5.85		평균	8518.34	9065.15		평균	1658.53	1712.42
		최대	19.00	19.00		최대	40366.14	37936.87		최대	3074.39	3349.58
39	12	최소	2.00	2.0	22721.44	최소	1874.40	373.60	1893.45	최소	913.86	186.80
		평균	8.36	8.60		평균	13188.21	14008.98		평균	1894.22	1945.56
		최대	32.00	33.0		최대	54299.80	58885.91		최대	3196.65	3340.11
50	–	최소	2.00	3.00	–	최소	2795.29	3856.73	–	최소	1086.38	1070.25
		평균	9.30	9.70		평균	14868.08	15981.96		평균	1968.85	017.28
		최대	32.00	33.00		최대	54299.80	68470.33		최대	3074.39	3261.38
100	–	최소	5.00	5.00	–	최소	5214.89	5525.66	–	최소	1304.11	1422.91
		평균	11.92	12.36		평균	19703.58	21126.43		평균	2145.42	2184.76
		최대	33.00	33.00		최대	54299.80	68470.33		최대	3074.39	3261.38
200	–	최소	6.00	7.00	–	최소	11577.32	11142.26	–	최소	1617.42	1709.08
		평균	14.52	15.16		평균	24523.78	26472.52		평균	2306.03	2356.25
		최대	33.00	33.00		최대	54299.80	68470.33		최대	3074.39	3261.38
500	–	최소	10.00	10.00	–	최소	15972.45	17532.81	–	최소	1997.97	2051.64
		평균	17.67	18.41		평균	30398.94	33078.86		평균	2490.81	2509.10
		최대	33.00	33.00		최대	54299.80	68470.33		최대	3196.65	3261.38

표 3. 현풍 지점의 가뭄특성치

재현기간	가뭄기간(year)				가뭄부족량(10^6m^3)				가뭄강도($10^6m^3/yr$)			
	실제자료	모의발생			실제자료	모의발생			실제자료	모의발생		
		구분	MCAR	MAR		구분	MCAR	MAR		구분	MCAR	MAR
20	5	최소	1.00	1.00	2833.19	최소	349.46	296.24	914.73	최소	307.39	296.24
		평균	3.19	3.21		평균	2463.27	2440.30		평균	1326.51	1306.55
		최대	10.00	10.00		최대	7869.68	2604.62		최대	3769.69	3394.10
39	5	최소	1.00	2.00	2929.47	최소	1065.56	972.67	1464.73	최소	561.21	578.52
		평균	4.07	4.05		평균	3116.67	3074.44		평균	1577.99	1559.72
		최대	12.00	12.00		최대	8369.63	7256.36		최대	3769.69	3394.10
50	–	최소	2.00	2.00	–	최소	1315.23	1140.44	–	최소	561.21	578.52
		평균	4.33	4.36		평균	3313.78	3306.80		평균	1675.89	1652.84
		최대	12.00	12.00		최대	9023.09	7921.74		최대	3372.22	3317.82
100	–	최소	2.00	2.00	–	최소	1801.69	1703.05	–	최소	1037.22	1106.43
		평균	5.24	5.26		평균	3975.43	3926.73		평균	1915.67	1896.84
		최대	12.00	12.00		최대	9023.09	7921.74		최대	3769.69	3394.10
200	–	최소	3.00	3.00	–	최소	2592.97	2276.46	–	최소	1206.48	1407.49
		평균	6.09	6.15		평균	4609.09	4539.36		평균	2156.23	2131.75
		최대	12.00	12.00		최대	9023.09	7921.74		최대	3769.69	3394.10
500	–	최소	5.00	5.00	–	최소	3280.09	3203.79	–	최소	1825.17	1743.25
		평균	7.20	7.25		평균	5529.23	5266.19		평균	2498.96	2427.88
		최대	12.00	12.00		최대	9023.09	7921.74		최대	3769.69	3394.10

표 4. 왜관 지점의 가뭄특성치

재현기간	가뭄기간(year)				가뭄부족량(10^6m^3)				가뭄강도($10^6m^3/yr$)			
	실제자료	모의발생			실제자료	모의발생			실제자료	모의발생		
		구분	MCAR	MAR		구분	MCAR	MAR		구분	MCAR	MAR
20	4	최소	1.00	1.00	5563.36	최소	519.76	726.13	1390.84	최소	259.14	430.53
		평균	3.90	3.88		평균	3931.33	3823.05		평균	1478.08	1475.77
		최대	16.00	16.00		최대	16632.76	15200.93		최대	3252.80	3110.02
39	4	최소	2.00	2.00	5563.36	최소	1614.56	1686.16	1390.84	최소	746.96	805.07
		평균	5.06	4.98		평균	5161.84	4957.61		평균	1725.97	1716.34
		최대	17.00	17.00		최대	16632.76	15747.98		최대	3252.80	3110.02
50	–	최소	2.00	2.00	–	최소	1768.82	1846.45	–	최소	857.07	812.53
		평균	5.48	5.39		평균	5583.29	5324.62		평균	1806.08	1795.33
		최대	17.00	17.00		최대	16632.76	15747.98		최대	3252.80	3110.02
100	–	최소	3.00	3.00	–	최소	2937.53	3044.34	–	최소	1177.53	1239.90
		평균	6.62	6.53		평균	6827.91	6454.61		평균	2020.64	2018.42
		최대	17.00	17.00		최대	16632.76	15747.98		최대	3252.80	3110.02
200	–	최소	4.00	4.00	–	최소	3375.76	3180.27	–	최소	1397.02	1445.02
		평균	7.76	7.67		평균	8027.84	7590.14		평균	2219.20	2222.28
		최대	17.00	17.00		최대	16632.76	15747.98		최대	3252.80	3110.02
500	–	최소	6.00	5.00	–	최소	5559.38	5765.61	–	최소	1917.55	1759.25
		평균	9.28	9.23		평균	9657.95	9211.64		평균	2459.19	2464.37
		최대	17.00	17.00		최대	16632.76	15747.98		최대	3252.80	3110.02

2.3 다변량 추계학적 모형

본 연구에서는 다변량 CAR 모형(Salas 등, 1980; Frick 등, 1990)과 다변량 AR 모형을 낙동강 유역의 3개 지점에 대하여 적용하였으며, 각 모형에 대해 간략히 서술하면 다음과 같다.

2.3.1 다변량 AR 모형(MAR)

실제자료 $x_t^{(i)}$, (i는 지점번호, t는 자료기간)를 정규화시켜 $y_t^{(i)}$라고 하면 식 (1)과 같이 쓸 수 있다. 식 (1)의 $z_t^{(i)}$는 MAR(1) 모형일 때 식 (2)와 같이, MAR(2) 모형일 때 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$y_t^{(i)} = \mu^{(i)} + \sigma^{(i)} Z_t^{(i)}, \quad i = 1, 2, 3 \tag{1}$$

$$Z_t^{(i)} = \overline{A_1} Z_{t-1}^{(1)} + \overline{B} \varepsilon_t^{(i)} \tag{2}$$

$$Z_t^{(i)} = \overline{A_1} Z_{t-1}^{(1)} + \overline{A_2} Z_{t-1}^{(1)} + \overline{B} \varepsilon_t^{(i)} \tag{3}$$

여기서 $\overline{A_1}$, $\overline{A_2}$, $\overline{B}$는 지점수에 따른 정방행렬이고 $\mu^{(i)}$와 $\sigma^{(i)}$는 각각 i 지점의 평균 및 표준편차이다. MAR(2) 모형일 경우에 모멘트법에 의한 매개변수 추정값은 다음과 같다(Salas 등, 1980).

$$\widehat{A}_1 = [\widehat{M}_1 - \widehat{M}_2 \widehat{M}_0^{-1} \widehat{M}_1^T] [\widehat{M}_0 - \widehat{M}_1 \widehat{M}_0^{-1} \widehat{M}_1^T]^{-1} \tag{4}$$

$$\widehat{A}_2 = [\widehat{M}_2 - \widehat{M}_1 \widehat{M}_0^{-1} \widehat{M}_1] [\widehat{M}_0 - \widehat{M}_1^T \widehat{M}_0^{-1} \widehat{M}_1]^{-1} \tag{5}$$

$$\widehat{B}\widehat{B}^T = \widehat{M}_0 - [\widehat{A}_1 \widehat{M}_1^{-T} + \widehat{A}_2 \widehat{M}_2^T] \tag{6}$$

여기서 $\widehat{M}_0$, $\widehat{M}_1$, $\widehat{M}_2$는 지체시간 0, 1, 2의 상관계수 행렬을 각각 나타낸다.

2.3.2 다변량 CAR 모형 (MCAR)

MCAR 모형은 시간적, 공간적으로 종속적인 구조를 표현할 수 있는데, 다음과 같은 과정을 통하여 표현한다. 우선 시간적, 공간적으로 종속적 구조를 나타내기 위하여 각 시계열 자료에 대하여 AR 모형을 적합시킨다. 그 다음에 각 시계열 자료로부터 얻어진 잔차계열을 이들의 공간적 종속구조를 재현하기 위하여 지체시간이 0인 다변량 모형에 적합시킨다. 무엇보다도 실제자료를 정규화하는 것이 중요하다. 실제자료를 정규화시킨 자료를 $y_t^{(i)}$로 표시하고, 시간적으로 차수가 p인 AR(p) 종속구조이며 공간에 대하여 지체시간 0인 종속구조라 가정하면 다음과 같다.

$$y_t^{(i)} = \mu^{(i)} + \sigma^{(i)} Z_t^{(i)}, \quad i = 1, 2, 3 \tag{7}$$

$$Z_t^{(i)} = \sum_{j=1}^{p(i)} \phi_i^{(i)} Z_{t-1} + \varepsilon_t^{(i)}, \quad i = 1, 2, 3 \tag{8}$$

여기서 $Z_t^{(i)}$은 표준화된 시계열 자료이고, $\phi_i^{(i)}$는 AR 계수(autoregressive coefficients) 이며, $\varepsilon_t^{(i)}$는 시간적으로 독립변수이나 공간적으로 종속변수이다. 이러한 교차계열의 종속성(cross-series dependence)은 다음과 같이 모형화할 수 있다.

$$\varepsilon_t^{(i)} / \sigma_\varepsilon^{(i)} = \overline{B} \zeta_t^{(i)} \tag{9}$$

여기서 $\zeta_t^{(i)}$는 표준화된 정규분포의 변수로서 시간과 공간에 대하여 독립이고 $\sigma_\varepsilon^{(i)}$는 잔차계열의 표준편차이다. $\overline{B}$는 하부삼각형 변수 행렬(lower triangular parameter matrix) 이다.

2.3.3 MAR 모형과 MCAR 모형의 특징

일반적인 MAR 모형은 매개변수가 증가하게 되면 즉, 대상 지점의 수가 많아지면 모형의 차원(dimension)이 급격히 증가하게 된다. 이로 인하여 지금까지 개발되어 온 모형의 확인(identification), 매개변수 추정(parameter estimation), 적합도 검정(diagnostic check) 등의 기법을 적용하기가 매우 어렵게 된다. 이를 극복하기 위한 방법으로 MCAR 모형을 사용할 수 있다.

MAR(1) 모형의 일반식은 식 (2)와 같으며, 지점별로 나타내면 식 (10)과 같고, 상관구조를 그림으로 나타내면 그림 3과 같다.

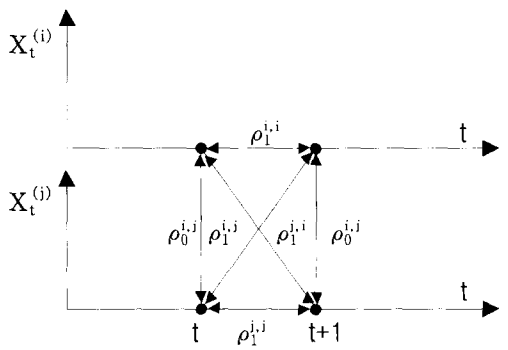

그림 3. MAR(1) 모형에 대한 상관구조

식 (10)과 그림 3에서 각 시계열의 $Z_t^{(1)}$와 $Z_{t-1}^{(1)}$ 사이에는 지체시간 1인 계열 상관구조(lag-one serial correlogram structure)를 갖고, $Z_t^{(1)}$와 $Z_{t-1}^{(2)}$ 사이에는 지체시간 1인 교차 상관구조(lag-one cross serial correlogram structure)를 가지며, $Z_t^{(1)}$와 $Z_{t-1}^{(1)}$ 사이의 잔차계열에는 지체시간 0인 교차 상관구조를 갖는다. 따라서 매개변수 $\overline{A_1}$는 지점수에 따른 정방행렬을 갖게 된다. 마찬가지로 MAR(p) 모형은 모형차수에 따라 각 매개변수가 정방행렬로 이루어진다. 그러나 MCAR 모형은 매개변수 행렬의 주대각선을 제외한 요소들이 0이 되며, 동시간 다중 시계열간(concurrent multivariate observations)의 관계를 나타내므로 MCAR 모형이라 한다.

MCAR 모형은 MAR 모형의 부분집합이며, 지점 AR 모형의 집합이다. 이 모형은 MAR 모형에 비하여 매개변수의 수가 훨씬 적으며, 각 시계열에 적용하기가 매우 수월하다. 따라서 MAR 모형의 특별한 형태이면서, 지점 AR 모형의 확장이라 할 수 있다 (Hipel 과 McLeod, 1994).

2.4 모형의 적용과 모의발생

시계열 자료의 정규화 작업이 매우 중요한데, 이는 본 연구에서 적용하려는 모형이 정규분포 자료에 기초하기 때문이다. 대상지점인 진동, 현풍, 왜관 지점의 시계열 자료를 정규화시키기 위하여 다음과 같은 변환기법을 적용하였다 : ① 대수변환, ② 지수변환, ③ 제곱근 대수변환, ④ 2중 대수변환, ⑤ Wilson-Hilferty 변환(Matalas, 1967), ⑥ 대수 Wilson-Hilferty 변환(McGinnis와 Sammons, 1970).

정규화시키는 조건으로서 왜곡도 계수가 0에 가깝고 첨도 계수가 3에 가깝도록 하는 변환기법을 채택하기로 하였다. 그러나 ①~④ 기법을 적용할 경우 변환상수 C값이 매우 크게 되어 변환된 자료의 변동계수가 극도로 작게 된다. 따라서 모형의 매개변수를 추정하는 과정에서 고차 모멘트값을 계산할 경우 매우 민감하게 반응하여 정규분포를 따르는 표본자료로 사용하기에는 적합하지 않았다. 그러나 Wilson-Hilferty 변환과 대수 Wilson-Hilferty 변환의 경우 본 대상자료에 대하여 비교적 정규분포로 변환시킬 수 있었다. 진동 지점의 경우는 대수 Wilson-Hilferty 변환, 현풍, 왜관 지점은 Wilson-Hilferty 변환으로 정규화시켰다. 그 결과 각 지점의 변환된 자

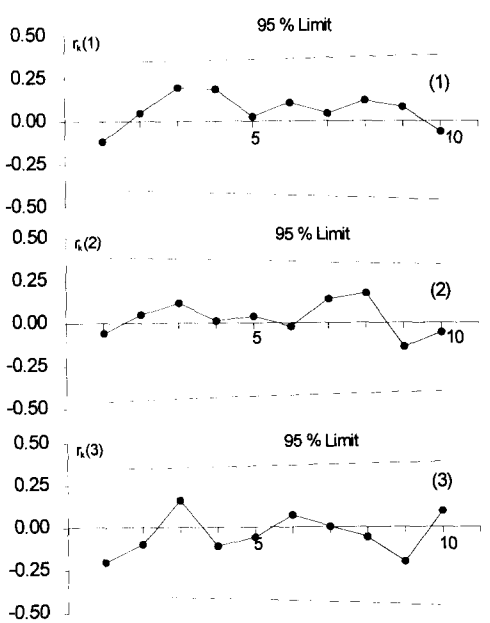

그림 4. MCAR(1) 모형의 잔차계열에 대한 계열상관표

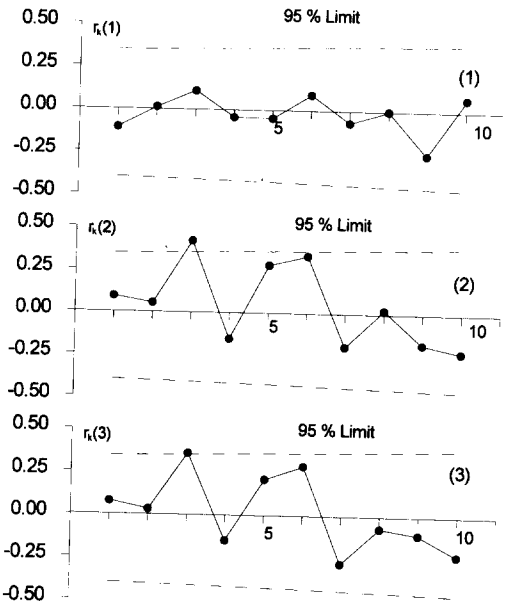

그림 5. MCAR(2) 모형의 잔차계열에 대한 계열상관표

료에 대한 왜곡도 계수는 0.185(진동), 0.006(현풍), 0.062(왜관), 첨예도 계수는 2.505(진동), 2.509(현풍), 2.933(왜관)으로 나타났다.

MCAR(1), MCAR(2), MAR(1), MAR(2) 모형을 적용하였는데, 각각 잔차계열에 대하여 정규화를 검토하는 왜곡도 검사(skewness test of normality)와 계열상관도 검사를 실시하였다. MCAR 모형에 대한 잔차계열의 계열상관도는 그림 4, 5와 같다.

MCAR(1) 모형은 잔차계열이 95% 허용구간에 포함되었으나 MCAR(2) 모형은 95% 범위에 벗어나는 구간이 발생하여 MCAR(1) 모형이 MCAR(2) 모형보다 적합한 것으로 나타났다. MAR(1) 모형과 MAR(2) 모형은 모두 95% 한계안에 포함되었으나 표 5와 같이 왜곡도 계수를 통한 잔차계열의 정규화 검사에 의해서 MAR(1) 모형이 보다 적합한 것으로 나타났다.

표 5. MAR 모형의 잔차계열 왜곡도 검사

지점명	MAR(1) 잔차의 왜곡도 계수	MAR(2) 잔차의 왜곡도 계수	표 값	판 정
진 동	-0.258	-0.270	0.711	적 합
현 풍	0.334	0.367	0.711	적 합
왜 관	-0.075	-0.424	0.711	적 합

MCAR(1) 모형과 MAR(1) 모형을 선정하여 각 지점에 대하여 50,000 개의 자료를 발생시켰으며, 발생된 자료에 대한 기본적인 통계자료를 계산하여 표 1에 나타내었다. 발생된 자료를 살펴보면 실제자료의 기본적인 통계값과 매우 비슷함을 알 수 있으며, 이는

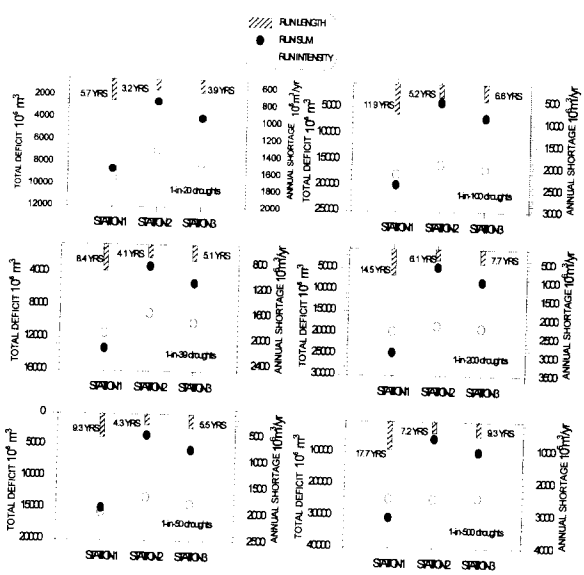

그림 6. MCAR(1) 모형에 의한 가뭄특성치

실제자료의 특성을 반영하여 모의발생하기 위한 기본적인 조건이다. 모의발생된 50,000 개의 자료를 이용하여 왜관 지점에서 발생할 수 있는 20년, 39년, 50년, 100년, 200년 500년 빈도의 가뭄특성치를 유도하였다. 가뭄특성치의 기준값으로는 실제자료의 평균값을 사용하였으며, 이를 표 2, 3, 4 나타내었고, 그림 6에 MCAR(1) 모형에 대한 결과를 그림으로 나타내었다.

표 2, 3, 4와 그림 6 중 진동 지점의 재현기간 500년에 대하여 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

가뭄기간은 최소 10년, 최대 33년이고 평균적으로 17.67년으로 나타났으며, 가뭄 부족량은 15972(최소), 54299(최대), 30398(평균) 10^6 m^3이고, 가뭄강도는 1997(최소), 3196(최대), 2490(평균) 10^6 m^3 / yr으로 나타났다. 이는 MCAR(1) 모형에 의한 것이고, MAR(1) 모형에 의한 가뭄특성치는 가뭄기간에 대하여는 전체적으로 매우 비슷하게 나타났다. MCAR(1) 모형과 MAR(1) 모형에 의해 유도된 각 가뭄특성치에 있어서 평균값은 매우 비슷하게 나타났으나 최소값과 최대값은 차이가 발생하였다. 이는 각 자료계열의 상관관계에 대한 구조를 나타내는 매개변수 행렬의 차이 때문에 발생하는 것으로 판단된다.

3. 결 론

낙동강 유역 진동, 현풍, 왜관 지점의 연평균 유량자료를 대상으로 MCAR 모형과 MAR 모형을 적용하고 모의발생을 통한 가뭄특성치를 해석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 잔차계열의 왜곡도 검사, 계열상관도 등의 적합도 검정을 통하여 MCAR(1) 모형과 MAR(1) 모형을 최적 모형으로 선정하였다.

(2) MCAR 모형과 MAR 모형을 통해 모의발생된 자료 모두 기본적인 통계값은 실제자료의 기본적인 통계값과 매우 유사하게 재현되었으며, 이 자료를 이용하여 재현기간별 가뭄특성치를 산정하였다.

위와 같이 산정된 가뭄특성치는 중.장기 수자원 공급체계를 위한 계획과 설계에 중요한 정보를 제공할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

김경덕, 허준행, 조원철 (1996). "빈도해석을 통한 확률저유량 산정에 관한 연구." '96 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 274~279.

Chander, S., Kambo, N.S., and Kumar, A. (1981). "Analysis of surplus and deficit using runs." *Journal of Hydrology*, Vol. 49, No. 1/2, pp. 193~208.

Frick, D., Bode, D., and Salas, J.D. (1990). "Effect of drought on urban water supplies. I : Drought analysis." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 116, No. 6, pp. 733~753.

Guerrero, P., and Yevjevich, V. (1975). "Analysis of drought characteristics by the theory of runs." *Hydrology Paper*, No. 80, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Gupta, V.K., and Duckstein, L. (1975). "A Stochastic analysis of extreme droughts." *Water Resources Research*, Vol. 11, No. 2, pp. 221~228.

Hipel, K.W., and Mcleod. A.I. (1994). *Time series modelling of water resources and environmental systems*. Elsevier Science B. V.

Mcginnis, D.F., Jr., and Sammmons, W.H. (1970). "Discussion of daily streamflow simulation by K. Payne, W. D. Neumann and K. D. Kerri." *Journal of Hydraulics Div.* ASCE, Vol. 96, No. HY5, pp. 1201-1206.

Mallan, J., and Yevjevich, V. (1971). "Probabilities of observed droughts." *Hydrology Paper*, No. 50, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Matalas, N.C. (1963). "Probability distribution of low flows." *USGS Professional Paper*, No. 434-A.

Matalas, N.C. (1967). "Mathematical assessment of synthetic hydrology." *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 931-945.

Russell, C.S., Arey, D.G., and Kates, R.W. (1970). *Drought and water supply*, Resources for the Fu-

ture Inc., Johns Hopkins Press, Baltimore, Md.

Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V., and Lane, W.L. (1980). *Applied modeling of hydrologic time series*. Water Resour. Publications, Littleton, Colorado.

Saldarriaga, J., and Yevjevich, V. (1970). "Applications of run-lengths to hydrologic series." *Hydrology Paper*, No. 40, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Sen, Z. (1980). "Regional drought and flood frequency analysis : Theoretical consideration." *Journal of Hydrology*, Vol. 46, No. 3/4, pp. 265~279.

Sen, Z. (1976). "Wet and dry periods of annual flow series." *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 102, No. 10, pp. 1503~1514.

Warrick, R.A. (1975). "Drought hazard in the United States: A research assessment." *NSF-RA-E-75-004*, National Technical Information Service, Springfield, Va.

Yevjevich, V. (1967). "An objective approach to definition and investigation of continental hydrologic droughts." *Hydrology Paper*, No. 23, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Yevjevich, V., Cunha, L., and Vlachos, E. (1983). *Coping with droughts*. Water Resour. Publications, Littleton, Colorado.

〈접수 : 1997년 1월 7일〉