

# 크기 및 기간차원을 이용한 한강유역의 가뭄해석

## Drought Analysis of Han River Basins based on Magnitude and Duration Dimensions

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

### 1. 서론

본 연구에서는 한강유역에 대하여 크기차원(magnitude dimension)과 기간차원(duration dimension)으로 구분하여 가뭄해석을 실시하였다.

크기차원 부문에서는 갈수량과 저유량 자료에 대하여 빈도해석을 실시하여 확률저유량과 확률갈수량을 산정하였으며, 기간차원 부문에서는 5개 기존댐에 유입하는 매년 유효유입량에 대하여 추계학적 모형을 적용하여 연도별 용수수요에 대한 가뭄기간, 가뭄부족량, 가뭄강도 등을 산정하였다.

크기차원의 가뭄해석을 위하여 고안, 흥천, 소양, 화천지점의 갈수량과 3, 5, 7, 15일 저유량에 대하여 13개 확률분포형( $\gamma$ -2,  $\gamma$ -3, General extreme value, Gumbel, lognormal-2, lognormal-3, log-Gumbel-2, log-Gumbel-3, log-Pearson type III, Weibull-2, Weibull-3, Wakeby-4, Wakeby-5)을 적용하였다. 매개변수는 확률가중 모멘트법(probability weighted moments)을 사용하였으며, 적합도 검정, 도시적 해석, L-모멘트 일람도(L-moment diagram) 등을 통하여 적정분포형을 선정하였다. 선정된 확률분포형을 통하여 확률갈수량과 확률저유량을 산정하였다.

한편, 기간차원의 가뭄해석을 위하여 화천, 춘천, 소양, 의암, 팔당댐의 유효유입량에 대하여 MCAR(multi-variate contemporaneous autoregressive) 모형을 적용하여 가뭄해석을 실시하였다. 기준값은(truncation level)은 팔당댐 하류부의 각 연도별 용수수요량으로 결정하였으며, 모의발생을 통하여 자료를 발생시켜 가뭄특성치(가뭄기간, 가뭄부족량, 가뭄강도 등)를 산정하였다.

한강유역의 가뭄해석을 위해서는 크기와 기간차원에서 동시에 고려하는 것이 바람직하다고 판단된다.

---

\* 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

\*\* 연세대학교 공과대학 토목공학과 부교수

\*\*\* 연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

## 2. 본 론

### 2.1 크기차원의 가뭄해석

1960년대 미국에서는 저유량 자료에 대하여 4가지 확률분포형(Gumbel, lognormal-3, Pearson type III, Pearson type V distributions)을 선정하고 모멘트법과 최우도법을 사용하여 빈도해석을 실시한 바 있다(Matalas, 1963).

본 과업에서는 관측 기록년수가 비교적 길며, 저수위 자료에 대하여 비교적 신뢰할 수 있고, 댐 등에 의하여 영향을 받지 않는 주요지점을 선정하여 저유량 자료와 갈수량 자료를 구축하였다.

일반적으로 7일이나 15일 연속 최소유량을 저유량으로 정의하는데, 본 연구에서는 3일, 5일, 7일, 15일 등 4개 지속기간에 대하여 저유량 자료와 355일 유량인 갈수량 자료를 구축하였다.

유량 자료는 수위자료로부터 수위-유량관계곡선을 통하여 구할 수 있으며, 관계곡선식의 범위를 벗어나는 경우에는 자료의 일관성을 위하여 수자원 관리기법 보고서에서 제시한 확장식을 이용하였다(건설부, 1994).

구축된 저유량 자료와 갈수량 자료에 대해 빈도해석을 실시하였다. 적정 분포형의 결정은  $\chi^2$  검정과 Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정 등의 적합도 검정을 통하여 대상 분포형의 기각유무를 판단하고, L-모멘트비 일람도와 도시적 해석 등을 고려하였다. 최종적으로 선정된 확률분포형을 이용하여 확률저유량과 확률갈수량을 산정하였다. 다음 표 1에 관측기록, 기본적인 통계값등을 나타내고 있다.

표 1. 선정자료 현황 및 기본적인 통계값(갈수량)

지점명	자료년도	평균 (cms)	표준편차	변동계수	왜곡도 계수
고 안	1926 - 1940	44.6	18.6	0.418	0.016
홍 천	1963 - 1992	5.8	2.8	0.477	0.808
소 양	1974 - 1996	2.0	1.5	0.738	0.391
화 천	1974 - 1996	8.3	3.8	0.465	0.610

13개 확률분포형 가운데, gamma-2, Weibull-2 분포형의 경우 모든 지점에서 매개변수 추정이 가능하였으며, 매개변수 적합성 조건을 만족하고 있다. 그밖에 2변수 확률분포형의 경우 매개변수 추정은 문제가 없었으며, 적합성 조건 역시 모두 만족하였다.

각 확률분포형별로 추정된 매개변수중 적합성 조건을 만족하는 경우에 대하여 적합도 검정을 실시하였다. 확률밀도함수에 대하여는  $\chi^2$ -검정, 누가분포함수에 대하여는 Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정을 실시하였다. 검정결과 gamma-2, Weibull-2 분포가 모든지점에 대하여 채택되었다.

L-모멘트의 경우에 L-변동계수, L-왜곡도계수, L-첨예도계수를 가지며(Hosking, 1986, 1990, 허준행 등, 1997a), 다음 그림 4.5.2와 4.5.3은 3일, 5일, 7일, 15일 저유량과 갈수량 자료에 대한 L-변동

계수와 L-왜곡도계수, L-왜곡도계수와 L-첨예도계수의 관계를 각각 나타내고 있다.

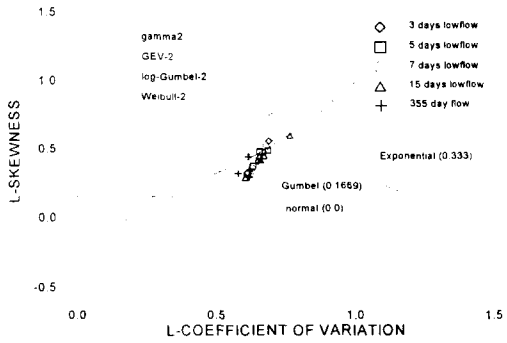


그림 1. 변동계수 vs. 왜곡도계수

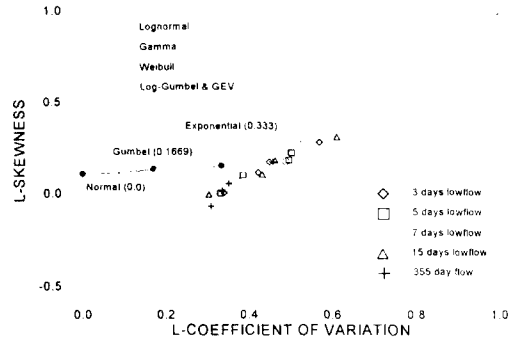


그림 2. L-왜곡도계수 vs. L-첨예도계수

그림 1에서 보는 바와 같이 갈수량과 저유량 자료는 gamma-2, Weibull-2 분포형의 곡선형을 나타내고 있음을 보여주고 있다. 또한, 그림 2에서도 비교적 gamma-2, Weibull-2 분포형의 곡선형을 나타내고 있다.

대상자료는 동일한 구역이며, 상류와 하류로 연결되어 있으므로 동일한 모집단을 갖는 자료일 가능성이 있는데, L-모멘트비 일람도와 적합도 검정을 통하여, 이들 갈수량 자료와 저유량 자료와 동일한 분포형(gamma-2, Weibull-2)을 모집단일 가능성이 매우 높다. 따라서 본 과업에서는 대상 자료의 적정 확률분포형으로 gamma-2 분포와 Weibull-2 분포형을 선정하였다.

다음 표 2는 갈수량 자료에 대한 확률갈수량을 나타내고 있다(고안). 각 분포형별로 대략 비슷하게 나타나고 있는데, 매개변수가 3개 이상인 분포형의 경우에는 위치 매개변수에 따라 재현기간이 커지면서 음(-)의 확률갈수량을 나타내고 있다. 따라서, 갈수량이나 저유량 자료와 같이 최소치 자료에 대한 빈도해석에서는 이러한 사항을 고려해야 한다. 이렇게 산정된 확률저유량을 가운데, gamma-2 분포와 Weibull-2 분포에 의해서 구해진 확률저유량을 선정하였다.

표 2. 고안의 확률갈수량

RETUEN PERIOD	GAM2 DIST.	GEV DIST.	GUM DIST.	LQU2 DIST.	LN2 DIST.	LN3 DIST.	LP3 DIST.	WBU2 DIST.	WBU3 DIST.	WKB4 DIST.	WKB5 DIST.
2.00	41.7	44.3	41.2	.0	44.3	44.3	.0	43.3	44.4	43.7	43.3
2.33	38.3	40.7	38.1	.0	41.0	40.9	.0	39.7	40.8	40.3	39.5
3.00	34.0	35.8	34.0	.0	36.7	36.0	.0	34.8	35.8	35.8	34.7
5.00	27.6	27.9	27.9	.0	30.7	28.2	.0	27.3	27.7	28.6	28.3
7.00	24.5	23.7	24.9	.0	27.8	23.9	.0	23.5	23.3	24.1	25.7
10.00	21.7	19.8	22.3	.0	25.3	19.8	.0	20.1	19.4	19.4	23.6
20.00	17.6	13.3	18.1	.0	21.6	13.0	.0	15.0	13.0	11.7	17.6
30.00	15.7	10.0	16.1	.0	19.9	9.5	.0	12.7	9.9	8.3	11.2
50.00	13.7	6.2	13.9	.0	18.0	5.4	.0	10.3	6.6	5.3	1.1
70.00	12.5	3.9	12.6	.0	17.0	2.9	.0	9.0	4.7	3.9	-5.6
100.00	11.4	1.7	11.3	.0	16.0	.4	.0	7.7	2.9	2.8	-12.0

## 2.2 기간차원 가뭄해석

본 연구에서는 화천댐, 소양강댐, 춘천댐, 의암댐, 팔당댐의 연유입량 자료에 대하여 해석하였다. 그러나, 연유입량중에서 홍수시 무효방류량은 실질적으로 용수이용을 할 수 있으므로 무효방류량을 제외한 유효유입량자료 계열을 구축하였으며, 이 자료에 대하여 기간차원의 가뭄해석을 실시하였다.

가뭄사상은 어떤 기준값(censoring 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 팔당댐 하류부 각 연도별 용수수요량(수자원공사, 1997)을 기준값으로 정하였다.

각 가뭄사상에 대하여 3가지 가뭄특성치가 정의되는데, 즉 가뭄기간(run length), 가뭄부족량(run sum), 가뭄강도(run intensity)이다(허준행 등, 1997b).

본 연구에서 적용한 MCAR 모형은 MAR(multi-variate autoregressive) 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(Frick 등, 1990; Hipel 과 McLeod, 1994; 허준행 등, 1997b).

모형을 적용하는데 있어서 시계열 자료의 정규화 작업이 매우 중요한데, 이는 본 과업에서 적용하려는 모형이 정규분포 자료에 기초하기 때문이다.

대상지점의 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).

다음 표 3은 정규변환을 실시하여 정규화 검사한 결과를 나타내고 있는데, 비교적 정규화가 잘 된 것으로 나타났다.

표 3. 정규화에 대한 왜곡도 검사

지점명	화천댐	춘천댐	소양강댐	의암댐	팔당댐	표값
변환 방법	log Wilson Hilferty	Wilson Hilferty	log 변환	Wilson Hilferty	Wilson Hilferty	
계산값	-0.075	0.210	0.066	-0.429	0.0945	
판정	○	○	○	○	○	

MCAR(1)과 MCAR(2) 모형에 대하여 각각 잔차계열에 대하여 정규화를 검토하는 왜곡도 검사(skewness test of normality)를 한 결과 모두 만족하였으나, 잔차계열의 정규화에 대한 correlogram 검사를 실시한 결과 MCAR(2) 모형의 경우 95% 한계를 벗어나므로 MCAR(1) 모형을 선정하였다.

선정된 MCAR(1) 모형에 대하여 매개변수를 추정하고 각 지점별로 51,000 개의 자료를 발생시켰다. 전반부 1,000개의 자료는 초기값의 영향을 받을 수 있으므로 절단하여 50,000개의 자료를 생

성하였다. 발생한 자료에 대한 기본적인 통계자료를 계산하여 실제자료의 기본적인 통계값과 비교하였다. 이는 실제자료의 특성을 반영하여 모의발생하기 위한 기본적인 조건이다.

다음 표 4는 실제자료와 모의발생된 자료의 기보적인 통계치를 나타내고 있는데, 비교적 실제자료를 잘 반영하고 있다. 특히 자료의 정규성이 큰 지점(소양)은 실제자료의 통계치와 매우 유사하게 나타났다.

표 4. 실제자료와 모의발생된자료의 통계값 비교

지점명	통계값	실제자료	모의발생된 자 료
화천	평균	2299.413	2315.978
	표준편차	934.356	967.752
	변도계수	.406	.417
	왜곡도 계수	1.440	1.633
춘천	평균	3201.808	3005.719
	표준편차	2744.896	1755.278
	변도계수	.857	.583
	왜곡도 계수	2.935	2.176
소양	평균	2006.469	2008.914
	표준편차	537.983	547.777
	변도계수	.268	.272
	왜곡도 계수	.325	.333
의암	평균	4420.765	4352.671
	표준편차	800.690	157.034
	변도계수	.181	.036
	왜곡도 계수	.001	.118
팔당	평균	9683.004	9671.267
	표준편차	2356.979	2440.696
	변도계수	.243	.252
	왜곡도 계수	-.490	-.488

이와 같이 모의발생된 50,000개의 자료를 이용하여 재현기간별 빈도의 가뭄특성치를 유도하였다. 모의발생된 50,000개의 자료는 자료의 크기를 20, 23, 30, 50, 70, 100, 200, 300, 500 등 9개 로 구분하여 표본자료를 구성하였다.

예를 들면, 자료크기 20인 경우는 총 2,500개의 자료집단으로 구성되며, 100년은 500개, 500년은 100개의 자료집단이 형성된다. 이러한 자료집단에 대하여 기준값을 설정하여 가뭄특성치를 산정하였다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 한강유역에 대하여 저유량과 갈수량 자료에 대한 크기차원과 유효유입량 자료에 대한 기간차원으로 구분하여 가뭄해석을 실시하였다.

크기차원에서는 L-모멘트비 일람도와 적합도 검정을 통하여 대상자료의 적정 확률분포형으로 gamma-2 분포와 Weibull-2 분포형을 선정하였고, 이를 이용하여 확률저유량을 선정하였다.

한편, 기간차원에서는 추계학적 모형을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

팔당댐의 2001년 용수수요를 기준값으로 설정하였을 때를 살펴보면, 재현기간 50년인 경우 전체 1,000개 자료집단에서 평균적으로 2.289년동안 용수수요량보다 적게 유효유입량이 나타나며, 용수 부족량은 5341.977 백만 ton, 가뭄강도는 4097.174 백만 ton/yr인 것으로 산정되었다. 재현기간 100년인 경우는 가뭄기간 2.716년, 가뭄부족량 6517.908 백만 ton, 가뭄강도 4880.284 백만 ton/yr 로 산정되었다.

기존의 가뭄해석에 있어서는 크기차원이나 기간차원 만을 고려하는 경우가 많았는데, 크기차원과 기간차원을 동시에 고려할 경우, 보다 합리적이며 다원적인 가뭄해석이 가능하리라 판단된다.

### 참고문헌

- 건설부(1994). 1994년도 수자원 관리기법개발 연구조사 보고서.
- 한국수자원공사(1997). 영월 다목적댐 건설사업 기본설계 보고서
- 허준행, 김경덕, 조원철(1997a). "우리나라 주요지점 저유량의 빈도해석에 관한 연구.", 대한토목학회 논문집, 제 17권, 제 II-3호, pp. 207~215.
- 허준행, 김경덕, 조원철(1997b). "다변량 추계학적 모형을 이용한 낙동강 유역의 가뭄해석에 관한 연구.", 한국수자원학회 논문집, 제 30권, 제 2호, pp. 155~163.
- 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.
- Hipel, K. W., and McLeod. A. I.(1994). Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems, Elsevier Science B. V.
- Hosking, J. R.(1986). The Theory of Probability Weighted Moments, IBM T. J. Watson Research Center.
- Hosking, J. R.(1990). "L-moments analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics.", Journal of Royal Statistical Society, Vol. 52, No. 1, pp. 105~124.
- 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, 96(HY5), pp. 1201-1206.
- 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.