

소양강댐 유입량의 확률분포형별 누가갈수빈도 분석

강권수*, 맹승진**

1. 서론

이상기후에 대응하고 수자원의 사용상황, 갈수의 발생 빈도, 지속기간에 따라 안정적인 용수 공급을 목표로, 본 연구에서는 다목적댐 운영에 있어 갈수에 대한 수문자료의 특정 확률분포형 적용에 대한 이론적 근거 및 빈도분석의 신뢰성을 부여하고 지속적인 분석의 효율성을 기하기 위하여 프로그램 개발을 통한 분석방법의 공식화를 꾀하고자 한다.

대상은 소양강댐을 중심으로 적용하였으며 현재 수자원공사에서 사용하는 빈도분석 방법이며 빈도계수법에 의한 비매개변수적 추정방법인 log-Pearson type III와 요즈음 많이 사용되는 L-moment를 이용한 분포형별 빈도분석방법을 비교 검토함으로써 향후 댐별로 적용 가능한 분포형을 모색하고자 하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 댐유입량에 대한 최적 확률분포형 선정

수자원공사에서 현재 사용되고 있으며 미국 수자원평의회에서 추천했던 log-Pearson type III와 L-moment법에 의한 9개 분포형중 2개의 분포형만을 선정하여 Plotting Position에 의한 시각적 검토와 상대평균오차(RAE)와 상대절대오차(RME)가 적게 나오는 분포형을 선정하며 이중 최적의 분포형으로 빈도별 유입량 자료를 생산하여 실무에 활용하고자 한다. 이에 덧붙여 과거의 프로그램에 빈도별 월별 통계치인 평균, 표준편차, 변동계수, 왜곡도계수, 첨예도계수를 log-Pearson type III에 추가시켰으며 L-moment법에 의한 9개 분포형에 L-CV, L-SKEW, L-KURTO항목을 첨가하여 월별로 유입량을 누가시킴에 따라 변화추세를 쉽게 알 수 있도록 하였다.

가. 자료의 구성 및 기본통계치

본 연구의 수행을 위해 선정된 자료는 “다목적댐 운영 실무편람(한국수자원공사, 1998)”에 게재된 1974년부터 1997년까지의 소양강댐 지점에 대한 월평균유입량을 이용하여, 매년 각 월의 월평균유입량 자료를 1개월부터 36개월까지 누가시킨 누가유입량을 구성하였다. 예를 들면, 1개월의 누가유입량은 “다목적댐 운영 실무편람”에 게재된 소양강댐 지점에 대한 월평균유입량 그 자체이고, 2개월의 누가된 월평균유입량은 각 년의 누가시작 월과 다음 월의 월평균유입량을 합한 값으

* 한국수자원공사 댐본부 물관리센터 물관리기술과 대리

** 한국수자원공사 수자원연구소 수자원연구부 연구원

로 한다. 이러한 방법으로 누가 월을 36개월까지 하여 총 36개의 자료군을 형성하였다.

본 연구의 원활한 분석을 위해 상기의 방법으로 구성된 누가 개월 수에 따른 1월부터 12월까지의 기본 통계치인 평균치, 표준편차, 변동계수, 왜곡도 및 첨예도를 표본 예로 누가 개월 수 12개월에 대한 결과만을 표 1에 나타내었다.

표 1. 기본 통계치

누가월	월	자료개수, N	월별누가평균, \bar{X} (m^3/s)	표준편차, S_x	변동계수, C_v	왜곡도, C_s	첨예도, K
12	1	24	799.8	283.8	0.355	1.356	5.907
	2	23	800.5	288.7	0.361	1.332	5.724
	3	23	800.4	281.1	0.351	1.267	5.515
	4	23	801.1	264.2	0.330	1.306	5.398
	5	23	798.3	261.0	0.327	1.102	4.767
	10	23	803.3	325.4	0.405	1.365	5.823
	11	23	803.3	305.9	0.381	1.486	6.417
	12	23	804.1	291.5	0.363	1.291	5.653

표 1에서 누가 개월 수 12개월에서의 월별 평균, 표준편차, 변동계수, 왜곡도 및 첨예도는 각각 798.3~806.6, 247.6~325.4, 0.308~0.405, 0.328~1.486 및 2.553~6.417의 범위를 나타내었다.

이상의 표본 누가 개월 수 이외에도, 전반적으로 누가 개월 수가 증가함에 따라 월별 평균 유입량은 증가, 표준편차 및 변동계수 범위의 간격 차는 감소, 왜곡도는 약간 우간왜곡으로 변화하며, 첨예도는 증가하다가 감소하는 것으로 나타났다.

나. L-모멘트 법을 이용한 분포형 선정

1) Gamma 분포

$$f(x) = \frac{1}{a\Gamma(\beta)} \left[\frac{x}{a} \right]^{\beta-1} \exp\left[-\frac{x}{a} \right]$$

2) Generalized extreme-value 분포

$$f(x) = \frac{1}{a} \left[1 - \frac{k(x-\xi)}{a} \right]^{(1/k)-1}$$

3) Generalized logistic 분포

$$f(x) = \frac{1}{a} \frac{e^{-(1-k)y}}{(1+e^{-y})^2}$$

4) Generalized normal 분포

$$f(x) = (2\pi)^{-1/2} a^{-1} e^{-ky - y^2/2}$$

5) Generalized pareto 분포

$$f(x) = \frac{1}{a} e^{-(1-k)y}$$

6) Gumbel 분포

$$f(x) = \frac{1}{a} \exp\left\{ \frac{-(x-\xi)}{a} - \exp\left[\frac{-(x-\xi)}{a} \right] \right\}$$

7) Normal 분포

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{x-\mu}{\sigma} \right]^2 \right\}$$

8) Pearson type III 분포

$$f(x) = \frac{1}{|a|\Gamma(\beta)} \left[\frac{x-\xi}{a} \right]^{\beta-1} \exp\left[-\frac{x-\xi}{a} \right]$$

9) Wakeby 분포

$$x = \xi + \frac{\alpha}{\beta} \{1 - (1-F)^\beta\} - \frac{\gamma}{\delta} \{1 - (1-F)^{-\delta}\}$$

10) log-Pearson type III 분포

$$f(x) = \frac{1}{|a|\Gamma(\beta)x} \left[\frac{y-y_0}{a} \right]^{\beta-1} \exp\left[-\frac{y-y_0}{a} \right]$$

다. 댐 유입량 자료의 L-모멘트비 산정

표 2에는 소양강댐의 L-모멘트비인 L-CV, L-SKEW, L-KURTO 계수를 수록하였다.

표 2. L-모멘트비 산정

누개월	월	L-CV	L-SKEW	L-KURTO
12	1	0.1961	0.2269	0.2261
	2	0.2002	0.2307	0.2150
	3	0.1965	0.2195	0.2133
	4	0.1847	0.2408	0.2187
	5	0.1857	0.2120	0.2162
	10	0.2217	0.2458	0.2189
	11	0.2066	0.2483	0.2409
	12	0.2017	0.2214	0.2168

라. 확률 플로팅 포지션법과 적정 분포형의 선정

누가 개월 수에 따른 각 월의 누가 월평균유입량을 사용하여 본 연구에서 적용한 확률분포형들에 의해 유도된 확률분포형별 설계 누가 월평균유입량을 그것들과 비교하므로써 누가 개월 수에 따른 각 월의 가장 적절한 분포형을 선정하고자 한다.

먼저, 각 분포형들에 대한 적합도 검정을 위하여 확률분포형들에 의해 유도된 설계 누가 월평균유입량을 플로팅 포지션법에서 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Glingolten 공식에 의한 비초과확률인 다음의 식 (1), (2), (3), (4)에 의해 정규확률지에 도시하였다.

$$P = 1 - m/(N+1) \tag{1}$$

$$P = 1 - (2m-1)/2N \tag{2}$$

$$P = 1 - (m-0.4)/(N+0.2) \tag{3}$$

$$P = 1 - (i-0.44)/(N+0.12) \tag{4}$$

여기에서 N 은 표본크기이며, m 은 가장 작은 값부터 나열한 순서이다.

이상의 플로팅 포지션 방법에 따른 누가월평균 유입량과 확률분포형들에 의해 유도된 설계 누가월평균 유입량들 간의 상대평균오차(relative mean error, RME) 및 상대절대오차(relative absolute error, RAE)를 식(5), (6)에 의해 누가 개월 수에 따른 각 월별로 구하였으며, 그에 대한 결과는 표본 예로 누가 개월 수 12개월에 대한 결과만을 표 3에 나타내었다.

$$RME = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right) \right]^{0.5} \quad (5)$$

$$RAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right| \quad (6)$$

여기에서 Q_0 는 플로팅 포지션 방법에 따른 누가월평균 유입량이며, Q_c 는 확률분포형들에 의해 유도된 설계 누가월평균 유입량이다.

표 3. 확률 플로팅 포지션법별 상대평균오차(RME) 및 상대절대오차(RAE)에 의한 월별 적정분포형

누가월	월	Weibull		Hazen		Cunnane		Gingolten	
		RME, 분포형	RAE, 분포형	RME, 분포형	RAE, 분포형	RME, 분포형	RAE, 분포형	RME, 분포형	RAE, 분포형
12	1	0.9851 GEV	3.3927 GLO	0.8536 GEV	3.2808 GLO	0.8423 GEV	3.2032 GLO	0.8429 GEV	3.2332 GLO
	2	0.9713 GEV	3.2362 GEV	0.8609 GEV	3.2742 GEV	0.8370 GEV	3.1869 GEV	0.8419 GEV	3.2228 GEV
	3	0.8821 GEV	2.9870 GEV	0.7826 GEV	3.0010 GLO	0.7522 GEV	2.9340 GLO	0.7594 GEV	2.9478 GLO
	4	0.7751 GEV	2.5595 GEV	0.6084 GEV	2.2744 GEV	0.5885 GEV	2.1888 GEV	0.5906 GEV	2.2242 GEV
	5	0.8422 GEV	3.0373 GEV	0.7217 GEV	2.7992 GEV	0.6951 GEV	2.7437 GEV	0.7006 GEV	2.7475 GLO
	10	1.1563 WAK	4.3955 WAK	1.0170 GLO	3.8690 GLO	1.0314 WAK	4.0318 WAK	1.0244 GLO	4.0516 GLO
	11	1.2968 GLO	4.8502 GUM	1.0750 GLO	4.2741 GEV	1.0774 GLO	4.3816 GEV	1.0716 GLO	4.3246 GEV
	12	1.0102 GEV	3.4192 GEV	0.8931 GEV	3.2429 GEV	0.8719 GEV	3.1861 GEV	0.8759 GEV	3.2096 GEV

1 : GAM, 2 : GEV, 3 : GLO, 4 : GNO, 5 : GPA, 6 : GUM, 7 : NOR, 8 : PE3, 9 : WAK, 10 : LPE3

표 4. Weibull 플로팅 포지션법과 상대평균오차(RME)에 의한 누가 개월 수별 각 월의 적정분포형

누가월 \ 월	1	2	3	4	5	10	11	12
1	3	10	5	5	10	10	10	10
2	10	9	9	8	8	10	10	10
3	5	9	8	8	6	10	10	8
4	9	8	9	9	6	10	10	9
5	2	9	9	6	3	10	9	9
6	9	9	1	9	9	10	5	2
7	9	6	6	2	3	5	9	4
8	6	6	3	2	3	9	10	9
9	9	3	2	2	2	3	9	6
10	3	2	2	4	9	9	6	9
11	2	2	2	4	9	6	9	2
12	2	2	2	2	2	9	3	2

표 5. Weibull 플로팅 포지션법과 상대절대오차(RAE)에 의한 누가 개월 수별 각 월의 적정분포형

누가월 \ 월	1	2	3	4	5	10	11	12
1	9	10	5	5	10	10	9	10
2	10	9	9	9	10	10	10	5
3	5	9	2	5	6	10	10	8
4	9	8	9	9	9	10	10	9
5	9	9	9	2	9	10	9	9
6	9	9	6	9	9	5	9	9
7	9	6	9	2	3	9	9	10
8	3	9	6	4	3	9	10	9
9	9	3	3	3	3	9	2	6
10	6	9	3	2	9	9	6	9
11	9	3	2	2	9	6	9	6
12	3	2	2	2	2	9	6	2

마. 적정 분포형 및 log-Pearson Type III 분포형에 의해 유도된 설계 누가 월평균유입량의 비교

소양강댐 지점의 누가 월평균유입량 자료의 갈수빈도분석 결과 적정 분포형으로 선정된 Generalized Logistic 분포와 그 다음으로 적정 분포로 선정된 Wakeby 분포 및 현재 실무에 적용하여 사용 중인 log-Pearson type III 분포에 의해 유도된 각각의 빈도별 누가 월평균유입량을 구하였으며, 그에 대한 결과는 표본 예로 누가 개월 수 12개월에 대한 결과만을 표 6에 나타내었다.

표 6. Generalized Logistic, Wakeby 및 log-Pearson type III 분포에 의한 빈도별 누가 월평균유입량

누가월	월	분포형	재현기간				
			5	10	20	50	100
12	1	GLO	571.5	493.7	433.6	370.7	332.0
		WAK	587.5	489.6	409.0	344.4	319.4
		LPE3	571.7	503.1	455.0	408.5	381.3
	2	GLO	567.3	488.6	428.0	364.7	325.9
		WAK	579.8	485.2	408.5	347.3	323.7
		LPE3	568.8	500.0	451.9	405.5	378.5
	3	GLO	571.4	491.9	430.2	365.1	324.9
		WAK	579.9	482.6	410.6	356.6	336.4
		LPE3	573.1	504.0	455.4	408.3	380.8
	4	GLO	585.9	515.1	461.0	405.0	371.0
		WAK	598.5	514.2	443.6	386.0	363.6
		LPE3	589.3	527.1	483.8	442.1	417.8
	5	GLO	582.6	506.3	446.6	383.4	344.1
		WAK	597.3	502.9	423.9	360.0	335.2
		LPE3	585.4	516.3	467.7	420.1	391.9
	10	GLO	544.4	460.3	396.3	330.3	290.4
		WAK	566.0	480.7	381.1	277.3	231.4
		LPE3	542.1	463.7	409.0	356.3	325.7
	11	GLO	562.0	484.1	425.0	364.2	327.4
		WAK	589.4	500.5	399.9	300.2	257.3
		LPE3	560.7	490.6	441.9	395.2	368.1
	12	GLO	568.1	486.5	423.3	356.8	315.7
		WAK	581.8	481.6	400.7	336.7	312.2
		LPE3	568.6	497.1	446.7	398.0	369.5

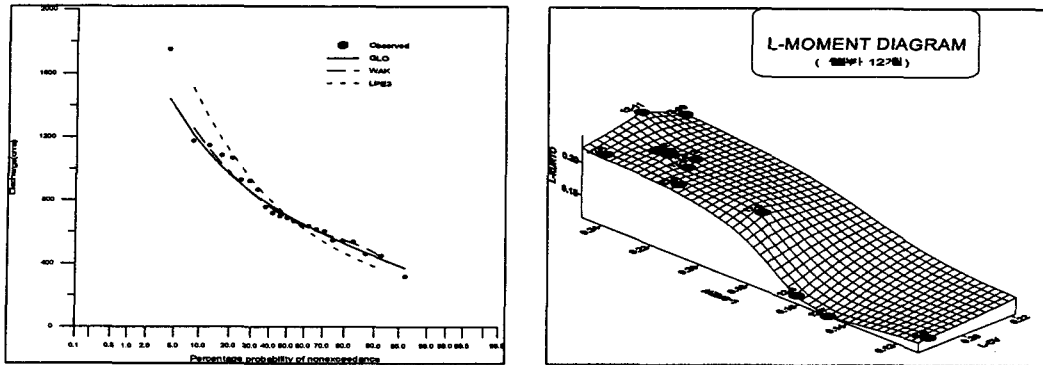


그림 1. 적용 분포들에 의해 유도된 설계누가 월평균유입량의 비교(누가 12개월의 1월) 그림 2. L-MOMENT DIAGRAM에 의한 L-CV, L-SKEW, L-KURTO 산포도

3. 결론

소양강댐 지점에 대한 월평균유입량을 이용하여, 매년 각 월의 월평균유입량 자료를 1개월부터 36개월까지 누가시킨 누가 월평균유입량에 대한 갈수빈도분석을 10개의 확률분포형에 적용 분석을 시도하였다. 본 연구에서는 Weibull 플로팅 포지션법에 의한 누가 개월 수에 따른 각 월의 상대평균오차(RME) 및 상대절대오차(RAE)를 계산하여 누가 개월 수에 따른 각 월에 대한 적정 분포형을 선정한 결과, 전체 432개(36개월 × 12월)의 적용 자료 중 상대평균오차와 상대절대오차가 가장 작게 나타난 분포는 Generalized Logistic(GLO) 분포로서 이들은 전체 적용 자료 중 모두 158개가 선정되었다. 다음으로 상대평균오차와 상대절대오차가 작게 나타난 분포는 Wakeby 분포로서 이들은 전체 적용 자료 중 각각 85개 및 140개가 선정되었다. 따라서 본 연구에 사용된 소양강댐 지점의 유입량 자료에 대한 갈수빈도분석 결과에 의하면 이들에 적용된 10개 분포형들중에 Generalized Logistic(GLO) 분포가 가장 적절한 것으로 나타났다. 향후 소양강댐 이외에도 다른 다목적댐의 확률분포형별 갈수빈도분석 결과에 대한 연구가 필요하다고 본다.

참고문헌

1. 한국수자원공사, 제14회 댐관리기술 발표문집(1998.10)
2. Greenwood, J.A., Landwehr, J.M., Matalas, N.C., and Wallis, J.R., Probability weighted moments : definition and relation to parameter of several distributions expressible in inverse form. Water Resources Research, Vol. 5, pp.1049-1054, 1979
3. Hosking, J.R.M., Fortran Routines for Use with the Method of L-Moments, Research Report RC17097, IBM T. J. Watson Research Center Yorktown Heights, New York, 1991
4. World Meteorological Organization, Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis, pp. A4.1-A4.14, 1989