

빈도분석에 의한 저수지 유입량 산정

Estimation of Reservoir Inflow Using Frequency Analysis

맹승진*[†] · 황주하* · 시강*

Maeng, Seung Jin*[†] · Hwang, Ju Ha* · Shi, Qiang*

ABSTRACT

This study was carried out to select optimal probability distribution based on design accumulated monthly mean inflow from the viewpoint of drought by Gamma (GAM), Generalized extreme value (GEV), Generalized logistic (GLO), Generalized normal (GNO), Generalized pareto (GPA), Gumbel (GUM), Normal (NOR), Pearson type 3 (PT3), Wakeby (WAK) and Kappa (KAP) distributions for the observed accumulative monthly mean inflow of Chungjudam. L-moment ratio was calculated using observed accumulative monthly mean inflow. Parameters of 10 probability distributions were estimated by the method of L-moments with the observed accumulated monthly mean inflow. Design accumulated monthly mean inflows obtained by the method of L-moments using different methods for plotting positions formulas in the 10 probability distributions were compared by relative mean error (RME) and relative absolute error (RAE) respectively. It has shown that the design accumulative monthly mean inflow derived by the method of L-moments using Weibull plotting position formula in WAK and KAP distributions were much closer to those of the observed accumulative monthly mean inflow in comparison with those obtained by the method of L-moment with the different formulas for plotting positions in other distributions from the viewpoint of RME and RAE.

Keywords: Chungjudam; monthly mean inflow; drought; l-moment; probability distribution; frequency analysis

1. 서 론

최근 지구 온난화와 엘니뇨 현상 등의 요인으로 일컬어지는 기상이변이 지구 곳곳의 이상 홍수와 가뭄 등의 형태로 나타나고 있으며 우리나라에서도 여러 가지 변화의 징후가 나타나고 있다. 우리나라의 가뭄기록에 의하면 1930년의 기록적인 가뭄은 해양성 열대기단의 지나친 발달에 의한 것이고, 1949년 중부 이북지방의 가뭄은 해양성 한대기단의 지나친 발달에 의한 것으로 알려져 있다.

특히 최근 30년 동안, 1970년에는 경기 및 서울 지방의 가뭄, 1972년에 영동지방, 그리고 1976년 및 1977년에도 지속

적으로 지역적 또는 전국적으로 한해가 있었으며, 특히 1982년의 가뭄은 전국적으로 심각한 피해를 입혔다.

1994년의 가뭄으로 남부지방에서 극심한 용수난을 겪었으며 댐의 유입량은 평년 수준의 37%에 불과하여 많은 저수지가 고갈되기도 하였다. 이렇게 극심한 가뭄이 20~30년만에 여러 차례 발생되고 있는 것도 기상변화에 따른 이상가뭄으로써 지역에 따라 가뭄의 깊이가 더욱 심각해지는 양상을 띠고 있다.

2001년에는 매년 수차례에 걸쳐 발생하던 태풍이 한차례도 발생하지 않아 2002년도 봄까지 최악의 가뭄피해를 겪었다. 2001년 3월 1일부터 6월 16일까지의 기상청 관측소 72개중 기간 최소 강우량을 기록한 관측소는 58개소에 달했으며, 일부 관측소 지점에서의 3월~5월의 3개월 강우량의 발생빈도는 50~60년에 달할 정도로 봄 가뭄이 극심하였다. 또한 동일 기간 중 용수부족으로 인한 생활용수의 비상급수지역은 381개 읍면으로 제한급수인구는 약 30만 명에 달하였으며, 가뭄 피해를 입은 농경지는 약 19,000ha에 이르렀다. 또한, 2001년도 한해 동안의 다목적댐 유역의 평균 강우량은 919mm로서 평년

* 충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과

[†] Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2576

Fax: +82-43-271-5922

E-mail address: maeng@chungbuk.ac.kr

2009년 5월 12일 투고

2009년 5월 15일 심사완료

2009년 5월 22일 게재확정

의 76%에 지나지 않았으며, 특히 2001년의 무 태풍으로 8월 이후 2002년 4월 22일까지의 강수량은 464mm로 평년의 68% 수준이었다. 2002년 4월 22일 현재 소양강댐을 위시한 13개 다목적댐의 저수량은 약 44.5억 톤으로 평균저수율이 36%에 해당하며 이것은 평년의 42%에 대비하여 86%에 그치고 있어 가뭄이 계속되고 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 2001년에서 2002년 봄까지의 극심한 가뭄으로 인한 용수부족은 생활용수 및 공업용수의 제한급수, 급수 중단 등의 사태로 피해지역이 점차적으로 확산되었다. 또한, 농업용 저수지 고갈로 인한 농업용수 공급 부족은 막대한 농작물의 피해로 이어졌다.

이와 같은 심각한 가뭄상황을 겪으면서 장차 예상되는 물 수요량을 충족시키기 위한 수자원 계획을 수립함에 있어서 가장 먼저 필요한 것은 기본 수문자료와 또한 이들 자료를 합리적으로 해석하는 것이라 할 것이다(Korea Water Resources Corporation, 1997).

따라서 본 연구에서는 이상기후에 대응하고 수자원의 사용상황, 갈수의 발생 빈도, 지속시간에 따라 안정적인 용수 공급을 목표로, 다목적댐 운영에 있어서 갈수에 대한 수문자료의 특정 확률분포 적용에 대한 이론적 근거 및 빈도분석의 신뢰성을 부여하고 지속적인 분석의 효율성을 정립하고자 한다. 이를 위해 충주댐 유역의 유입량 자료를 사용하여 10개의 확률분포에 대한 매개변수를 확률가중모멘트의 선형조합인 L-모멘트법에 의해 추정된 후 댐 유입량자료와 적용 확률분포의 확률밀도함수들에 의해 추정된 설계 누가 월평균유입량과의 비교 분석을 통해 적절한 확률분포를 제시하고자 한다. 이상의 분석 결과는 갈수시 댐운영 편의를 최대로 하여 물 관리의 효율화 및 예측적 댐 운영을 제고시킴으로써 용수의 수요관리와 공급관리에 대한 중장기 대책 수립을 위한 기초자료로 제공 되어질 것이다.

II. 이론분석

본 연구에서는 확률분포에 의한 빈도분석 시 일반적으로 사용되는 Gamma(GAM), Generalized extreme value(GEV), Generalized logistic(GLO), Generalized normal(GNO), Generalized pareto (GPA), Gumbel(GUM), Normal(NOR), Pearson type 3(PT3), Wakeby(WAK) 및 Kappa(KAP) 분포를 대상으로 하였다.

적용되는 확률분포의 매개변수 추정법은 모멘트법, 최우법, 혼합모멘트법, L-모멘트법 등이 있다. 이들 중에서 확률가중모멘트의 선형조합으로 인해 편의가 제거된 모멘트를 구하는 방법인 L-모멘트법의 효율성이 검증되었다(Hosking, 1986, 2006; World Meteorological Organization, 1989).

따라서 본 연구에서는 적용 분포의 매개변수를 L-모멘트법

에 의해 산정하기로 한다. 적용된 분포의 매개변수 추정방법인 L-모멘트는 확률가중모멘트의 선형조합으로서 이들의 관계는 각각 Hosking (1986, 2006), Mairment (1992) 및 WMO (1989)에 의해 언급되었다. 확률가중모멘트와 L-모멘트의 관계는 다음과 같다.

누가분포함수 $F(X)$ 를 갖는 확률변수 X 에 대한 확률가중모멘트(probability weighted moments, PWM)의 일반식은 식(1)과 같이 주어진다(Koh et al., 2008; Maeng et al., 2006; Lee et al., 2003).

$$M_{p,r,s} = E[X^p\{F(X)\}^r\{1-F(X)\}^s] \quad (1)$$

$$= \int x^p\{F(x)\}^r\{1-F(x)\}^s dF(x)$$

여기서 p, r, s 는 정수이고, $M_{p,0,0}$ 이면 원점에 대한 기존의 p 차 모멘트와 동일한 값을 나타낸다. 매개변수 추정에 있어서 특별히 관심의 대상이 되는 것은 $p=1, s$ 또는 r 이 0 또는 음이 아닌 정수일 때이다. 모집단의 확률가중모멘트(population PWM)는 식(2) 및 식(3)과 같이 두 가지 형태로 나타낼 수 있으며, 이에 대한 표본자료의 불편 확률가중 모멘트(unbiased sample PWM)는 식(4) 및 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$M_{1,r,0} = E[X\{F(X)\}^r] \equiv B_r, \quad p=1, r, s=0 \quad (2)$$

$$M_{1,0,s} = E[X\{1-F(X)\}^s] \equiv B'_s, \quad p=1, r=0, s \quad (3)$$

$$\hat{B}_r = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \frac{(j-1)(j-2) \cdots (j-r)}{(N-1)(N-2) \cdots (N-r)}, r \geq 0 \quad (4)$$

$$\hat{B}'_s = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \frac{(N-j)!(N-s-1)!}{(N-j-s)!(N-1)!}, s \geq 0 \quad (5)$$

여기서 $x_1 \leq x_2 \leq \cdots \leq x_N, \hat{B}_0 = \hat{B}'_0 = \bar{X}$ 이며, \bar{X} 는 표본자료의 평균을 나타낸다. 불편 확률가중 모멘트의 사용은 선정된 분포에 따라 매개변수 추정에 편리한 것을 사용한다. GAM, GEV, GUM 분포는 식(4)를 이용하고, WAK 분포의 경우는 식(5)를 이용하여 매개변수를 추정하는 것이 편리하다. 그러나 추정량 B_r 과 B'_s 간의 관계는 식(6)~식(9)와 같이 주어지므로, B_r 과 B'_s 중 한가지를 알고 있는 경우에도 다른 추정량을 이용하여 확률가중모멘트에 의한 매개변수 추정치를 구할 수 있다.

$$B_0' = B_0 \quad (6)$$

$$B_1' = B_0 - B_1 \quad (7)$$

$$B_2' = B_0 - 2B_1 + B_2 \quad (8)$$

$$B_3' = B_0 - 3B_1 + 3B_2 - B_3 \quad (9)$$

또한 L-모멘트 방법에 의한 모집단의 추정량은 다음 식과 같이 주어진다.

$$\lambda_{N+1} = (-1)^N \sum_{k=0}^N p_{N,k}^* B_k' = \sum_{k=0}^N p_{N,k}^* B_k \quad (10)$$

여기서 $p_{N,k}^* = (-1)^{N-k} \binom{N}{k} \binom{N+k}{k}$ 이다. 참고적으로, 모집단의 L-모멘트와 확률가중 모멘트의 관계는 다음과 같이 주어진다.

$$\lambda_1 = B_0' = B_0 \quad (11)$$

$$\lambda_2 = B_1' - 2B_1 = 2B_1 - B_0 \quad (12)$$

$$\lambda_3 = B_0' - 6B_1' + 6B_2' = 6B_2 - 6B_1 + B_0 \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \lambda_4 &= B_0' - 12B_1' + 30B_2' - 20B_3' \\ &= 20B_3 - 30B_2 + 12B_1 + B_0 \end{aligned} \quad (14)$$

위 관계식에서 보는 바와 같이 L-모멘트 추정량은 확률가중 모멘트의 선형조합이며, 확률가중모멘트에 의한 매개변수 추정치와 L-모멘트법에 의한 추정치는 동일한 값을 갖는다. 식(11)~식(14)에 표시된 L-모멘트의 경우에도 일반 모멘트법에서의 변동계수, 왜곡도 및 첨예도에 해당하는 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도를 가지며, 각각 다음의 식과 같이 정의된다.

$$\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \equiv \text{L-변동계수} \quad (15)$$

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \equiv \text{L-왜곡도} \quad (16)$$

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} \equiv \text{L-첨예도} \quad (17)$$

여기서 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 와 λ_4 는 식(11)~식(14)에 정의되어 있다. 참고적으로, λ_2, τ_3 와 τ_4 의 범위는 다음과 같이 주어진다.

$$\lambda_2 > 0 \quad (18)$$

$$-1 < \tau_3 < 1 \quad (19)$$

$$\frac{1}{4}(5\tau_3^2 - 1) \leq \tau_4 \leq 1 \quad (20)$$

본 연구에서 적용한 10개 확률분포의 매개변수 추정을 위한 확률밀도함수, 누가밀도함수 등은 Hosking (1986, 1996)에 의해 제시되었다.

III. 사용 수문자료

본 연구의 수행을 위해 선정된 자료는 Korea Water Resources Corporation (2008) 및 Water Management Information System (2008)에서 제공하는 1956년부터 2008년까지의 충주댐 지점에 대한 월평균유입량을 이용하여, 매년 각 월의 월평균유입량 자료를 1개월부터 36개월까지 누가 시킨 누가유입량을 구성하였다. 예를 들면, 누가 시작월이 1월이고 1개월의 누가 월평균 유입량은 충주댐 지점에 대한 1월의 월평균유입량이고, 누가 시작월이 1월이고 2개월의 누가된 월평균유입량은 각 년의 1월과 2월의 월평균유입량을 합한 값이다. 누가 시작월이 2월이고 3개월의 누가된 월평균유입량은 각 년의 2월, 3월 및 4월의 월평균유입량을 합한 값이다. 이러한 방법으로 누가 시작월을 1월부터 12월까지 하고 누가월을 36개월까지 하여 총 432개의 누가 월평균유입량 계열을 구성하였다.

IV. 결 과

1. 수문자료의 기본통계치

본 연구의 원활한 분석을 위해 상기의 방법으로 구성된 누가 시작월이 1월부터 12월까지의 기본 통계치인 평균치, 표준편차, 변동계수, 왜곡도 및 첨예도를 표본 예로 누가 개월 수가 12개월, 24개월 및 36개월에 대한 결과만을 Table 1에 나타내었다.

2. 독립성, 동질성 및 Outlier 검정

누가 시작월 및 누가 개월별로 구성된 누가 월평균유입량의 통계학적 분석 여부를 판단하기 위해 독립성 및 동질성 검정을

Table 1 Basic statistics

Accumulative month	Start month for accumulation	Number of data	Mean (m^3/s)	Standard deviation	Coefficient of variation	Coefficient of skewness	Coefficient of kurtosis
12	Jan	53	2022.27	631.35	0.312	0.294	2.42
	Feb	52	2039.17	625.48	0.307	0.270	2.42
	Mar	52	2039.00	614.75	0.301	0.187	2.35
	Apl	52	2033.91	591.19	0.291	0.114	2.43
	May	52	2030.48	545.63	0.269	0.015	2.58
	Jun	52	2029.03	508.97	0.251	0.093	2.56
	Jul	52	2020.10	502.28	0.249	0.144	2.38
	Aug	52	2010.77	627.82	0.312	0.896	3.45
	Sep	52	2014.43	588.01	0.292	0.782	3.16
	Oct	52	2011.05	646.54	0.321	0.496	2.83
	Nov	52	2010.60	635.32	0.316	0.427	2.69
	Dec	52	2010.43	630.31	0.314	0.345	2.49
24	Jan	52	4049.57	847.06	0.209	0.199	2.18
	Feb	51	4056.88	856.55	0.211	0.156	2.14
	Mar	51	4056.87	850.75	0.210	0.127	2.18
	Apl	51	4053.18	845.32	0.209	0.095	2.17
	May	51	4048.19	802.51	0.198	0.093	2.08
	Jun	51	4047.72	777.05	0.192	0.102	2.00
	Jul	51	4039.28	777.47	0.192	0.381	2.47
	Aug	51	4019.69	850.39	0.212	0.764	3.40
	Sep	51	4028.79	774.12	0.192	0.516	2.42
	Oct	51	4040.30	862.72	0.214	0.304	2.08
	Nov	51	4040.22	852.64	0.211	0.256	2.15
	Dec	51	4039.50	851.36	0.211	0.233	2.18
36	Jan	51	6068.43	976.79	0.161	0.040	2.09
	Feb	50	6058.23	988.90	0.163	0.063	2.07
	Mar	50	6057.96	989.92	0.163	0.060	2.09
	Apl	50	6052.51	994.82	0.164	0.096	2.12
	May	50	6047.08	972.00	0.161	0.055	2.02
	Jun	50	6047.04	963.54	0.159	0.037	1.86
	Jul	50	6039.71	940.31	0.156	0.094	1.90
	Aug	50	6056.59	1016.26	0.168	0.508	2.87
	Sep	50	6062.90	961.20	0.159	0.216	2.52
	Oct	50	6060.10	975.15	0.161	0.032	2.03
	Nov	50	6056.74	976.16	0.161	0.052	2.09
	Dec	50	6053.44	976.98	0.161	0.075	2.09

각각 Wald-Wolfowitz 및 Mann-Whitney 방법에 의해 실시하였다. 또한 구성된 누가 월평균유입량의 통계학적 분석을 실시하고자 할 때 극치자료를 포함하여 분석하면 결과가 왜곡될 가능성이 커지기 때문에 이를 방지하기 위한 방편으로 상한과 하한의 극치자료가 포함되었는지의 여부를 판단하는 Outlier 검정

방법인 Grubbs-Beck Test를 실시하였다(Bobée et al., 1991).

예로서 누가 시작월이 1월부터 12월까지, 각각에 대하여 누가 12개월로 구성된 누가 월평균유입량의 독립성 검정인 Wald-Wolfowitz의 척도 u 값은 0.19~1.14이며, 동질성 검정인 Mann-Whitney의 척도 Z 값은 -0.61~-0.05로 나타났다. 이러한 값

Table 2 Results of L-coefficient of variation (L-CV), L-skewness and L-kurtosis

Accumulative month	Start month for accumulation	L-moment ratios		
		L-CV	L-skewness	L-kurtosis
12	Jan	0.1814	0.0767	0.1219
	Feb	0.1785	0.0732	0.1234
	Mar	0.1760	0.0573	0.1175
	Apl	0.1696	0.0398	0.1256
	May	0.1562	0.0248	0.1524
	Jun	0.1466	0.0318	0.1491
	Jul	0.1460	0.0458	0.1273
	Aug	0.1747	0.1713	0.1714
	Sep	0.1655	0.1639	0.1687
	Oct	0.1836	0.1104	0.1683
	Nov	0.1819	0.0984	0.1525
	Dec	0.1817	0.0874	0.1341
24	Jan	0.1242	0.0596	0.1082
	Feb	0.1255	0.0498	0.1040
	Mar	0.1247	0.0425	0.1113
	Apl	0.1241	0.0365	0.1085
	May	0.1185	0.0349	0.0981
	Jun	0.1150	0.0404	0.0888
	Jul	0.1142	0.0850	0.1254
	Aug	0.1223	0.1384	0.1456
	Sep	0.1133	0.1362	0.1129
	Oct	0.1265	0.0922	0.0875
	Nov	0.1251	0.0757	0.1053
	Dec	0.1251	0.0693	0.1109
36	Jan	0.0972	0.0180	0.1069
	Feb	0.0987	0.0255	0.1044
	Mar	0.0987	0.0245	0.1085
	Apl	0.0992	0.0344	0.1122
	May	0.0971	0.0227	0.0949
	Jun	0.0966	0.0218	0.0740
	Jul	0.0945	0.0336	0.0740
	Aug	0.0993	0.0912	0.1429
	Sep	0.0951	0.0395	0.1388
	Oct	0.0973	0.0180	0.0962
	Nov	0.0975	0.0220	0.1079
	Dec	0.0976	0.0265	0.1078

들은 5% 유의수준에서 $u_{\alpha/2}$ 와 $Z_{\alpha/2}$ 의 값인 1.96 보다 작기 때문에 구성된 누가 월평균유입량의 독립성과 동질성이 인정되었다. Outlier 검정 결과 구성된 자료의 모든 값이 하한의 경계값인 721.5와 상한의 경계값인 3,825.9 사이에 있어 Outlier

가 없음이 검정되었다. 또한 구성된 타 누가 월평균유입량에서도 동일한 경향의 결과를 나타내어 독립성과 동질성이 인정되었고 Outlier가 없음이 검정되었다.

따라서 구성된 누가 월평균유입량은 통계학적 분석이 가능한 것으로 인정되었다.

3. L-모멘트비 산정

L-모멘트법은 통계학적 효율성 면에서 확률가중모멘트법과 동일하나 L-모멘트비를 사용함으로써 모멘트법의 변동계수, 왜곡도 및 첨예도와 유사한 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도를 적용할 수 있으며, 또한, 이들은 본 연구에 적용된 확률 분포함수들의 매개변수를 유도하는데 사용된다.

따라서 누가 개월 수에 따른 각 월의 L-모멘트비를 표본 예로 누가 개월 수 12개월, 24개월 및 36개월에 대한 결과만을 Table 2에 나타내었다.

4. 적합도 검정

누가 시작월 및 누가 개월별로 구성된 누가 월평균유입량을 대상으로 L-모멘트법에 따른 10개 확률 분포의 적합도 판정을 위해 비매개변수 방법인 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 검정을 사용하였다(Lee et al., 2003; Maeng et al., 2006).

예로서 누가 시작월이 1월이며 누가 12개월로 구성된 누가 월평균유입량에 대한 K-S 검정 결과 적용된 10개 분포에서 D_n 값이 0.084~0.104의 범위로 나타났고 5% 유의수준에서 $D_{0.05}$ 값은 0.187 이다. K-S 검정 척도인 D_n 값이 0.187보다 모두 작게 산정되었기 때문에 구성된 누가 월평균유입량은 모든 분포를 따르는 것으로 인정되었다. 또한 구성된 타 누가 월평균유입량에서도 동일한 경향의 결과를 나타내어 적용 시도한 모든 분포를 따르는 것으로 인정되었다.

따라서 본 연구에서는 누가 시작월 및 누가 개월별로 구성된 누가 월평균유입량의 적정 확률분포로 10개의 분포 모두를 선정하였다.

5. L-모멘트법에 의한 적정 분포의 매개변수 산정 및 설계갈수량 유도

누가 시작월 및 누가 개월별로 구성된 누가 월평균유입량에 적정 확률분포인 GAM, GEV, GLO, GNO, GPA, GUM, NOR, PT3, WAK 및 KAP 분포를 적용하여 각 분포의 확률밀도함수에 대한 매개변수를 L-모멘트법에 의해 산정하였다. 산정된 적정 분포별 매개변수를 사용하여 누가 시작월 및 누가 개월별로

Table 3 Appropriate distribution by relative mean error (RME) and relative absolute error (RAE) according to probability plotting position methods

Accumulative month	Start month for accumulation	Weibull		Hazen		Cunnane		Gringorten	
		RME, Distribution	RAE, Distribution	RME, Distribution	RAE, Distribution	RME, Distribution	RAE, Distribution	RME, Distribution	RAE, Distribution
12	Jan	0.2996 WAK	1.6422 WAK	0.3671 WAK	1.9557 WAK	0.3416 WAK	1.8592 WAK	0.3509 WAK	1.8963 WAK
	Feb	0.2974 WAK	1.6043 KAP	0.3602 WAK	1.8483 WAK	0.3340 WAK	1.7422 WAK	0.3437 WAK	1.7832 WAK
	Mar	0.3451 WAK	1.7806 GEV	0.3953 WAK	1.9270 GEV	0.3735 WAK	1.8562 GEV	0.3815 WAK	1.8820 GEV
	Apl	0.3013 NOR	1.6895 NOR	0.3239 GEV	1.7114 GEV	0.2902 GEV	1.5728 GEV	0.3004 GEV	1.6240 GEV
	May	0.3666 WAK	2.1858 WAK	0.4227 WAK	2.3210 WAK	0.3959 WAK	2.2270 WAK	0.4057 WAK	2.2565 WAK
	Jun	0.2555 WAK	1.5571 WAK	0.3405 WAK	1.7506 PE3	0.3114 WAK	1.6618 GNO	0.3223 WAK	1.6920 PE3
	Jul	0.2849 GEV	1.5019 KAP	0.3436 GEV	1.8845 GEV	0.3103 GEV	1.7665 GEV	0.3220 GEV	1.8122 GEV
	Aug	0.4762 KAP	2.6388 KAP	0.4858 GNO	2.6870 GNO	0.4693 GUM	2.6279 GEV	0.4753 GNO	2.6560 GEV
	Sep	0.3108 WAK	1.6486 WAK	0.3625 PE3	1.7728 WAK	0.3449 GEV	1.7228 WAK	0.3523 PE3	1.7409 WAK
	Oct	0.4586 WAK	2.4598 WAK	0.5042 GAM	2.7111 WAK	0.4940 GAM	2.6238 WAK	0.4964 GAM	2.6577 WAK
	Nov	0.3029 WAK	1.7254 WAK	0.3750 GAM	2.0326 WAK	0.3497 PE3	1.9212 WAK	0.3579 PE3	1.9627 WAK
	Dec	0.2950 WAK	1.6168 WAK	0.3836 WAK	1.9510 GEV	0.3512 WAK	1.8369 GEV	0.3633 WAK	1.8738 GEV
24	Jan	0.2507 KAP	1.2955 KAP	0.3419 WAK	1.5084 KAP	0.3135 KAP	1.4394 KAP	0.3244 KAP	1.4620 KAP
	Feb	0.2600 KAP	1.4223 KAP	0.3545 KAP	1.6495 KAP	0.3247 KAP	1.5643 KAP	0.3358 KAP	1.5973 KAP
	Mar	0.2366 KAP	1.2347 KAP	0.3407 WAK	1.5520 KAP	0.3141 KAP	1.4468 KAP	0.3276 KAP	1.4873 KAP
	Apl	0.2292 KAP	1.2154 KAP	0.3391 KAP	1.5393 KAP	0.3039 KAP	1.4481 KAP	0.3171 KAP	1.4834 KAP
	May	0.2415 KAP	1.2557 KAP	0.3204 GPA	1.5261 KAP	0.3076 WAK	1.4436 KAP	0.3145 WAK	1.4757 KAP
	Jun	0.2470 KAP	1.3916 KAP	0.2956 GPA	1.5704 KAP	0.2909 GPA	1.5048 KAP	0.2927 GPA	1.5303 KAP
	Jul	0.2040 WAK	1.1074 PE3	0.2754 WAK	1.3597 PE3	0.2535 WAK	1.2862 PE3	0.2617 WAK	1.3140 PE3
	Aug	0.2435 PE3	1.2748 PE3	0.2737 PE3	1.4212 PE3	0.2579 PE3	1.3787 PE3	0.2635 PE3	1.3958 PE3
	Sep	0.2072 WAK	1.2032 WAK	0.2841 WAK	1.5244 WAK	0.2613 WAK	1.4385 WAK	0.2700 WAK	1.4718 WAK
	Oct	0.3137 WAK	1.7758 WAK	0.3710 WAK	1.9885 KAP	0.3551 WAK	1.9205 KAP	0.3612 WAK	1.9470 KAP
	Nov	0.2819 WAK	1.5373 KAP	0.3577 WAK	1.8167 KAP	0.3373 WAK	1.7269 KAP	0.3451 WAK	1.7575 KAP
	Dec	0.2426 KAP	1.2663 KAP	0.3325 WAK	1.5309 KAP	0.3101 WAK	1.4417 KAP	0.3187 WAK	1.4747 KAP

Table 3 Continued

Accumulative month	Start month for accumulation	Weibull		Hazen		Cunnane		Gringorten	
		RME, Distribution	RAE, Distribution	RME, Distribution	RAE, Distribution	RME, Distribution	RAE, Distribution	RME, Distribution	RAE, Distribution
36	Jan	0.2390 WAK	1.3217 WAK	0.2912 GPA	1.5748 WAK	0.2844 WAK	1.5134 WAK	0.2886 GPA	1.5374 WAK
	Feb	0.2471 WAK	1.3731 WAK	0.2845 GPA	1.6099 WAK	0.2799 GPA	1.5512 WAK	0.2817 GPA	1.5742 WAK
	Mar	0.2446 WAK	1.3849 KAP	0.2905 GPA	1.5959 WAK	0.2860 GPA	1.5364 WAK	0.2878 GPA	1.5593 WAK
	Apl	0.2421 GEV	1.3600 GEV	0.3061 GPA	1.6504 GEV	0.3019 GPA	1.5792 GEV	0.3035 GPA	1.6062 GEV
	May	0.2817 GPA	1.5348 KAP	0.3007 GPA	1.8273 KAP	0.2962 GPA	1.7547 KAP	0.2980 GPA	1.7822 KAP
	Jun	0.2266 GPA	1.3578 GPA	0.2509 GPA	1.5183 GPA	0.2453 GPA	1.4817 GPA	0.2475 GPA	1.4963 GPA
	Jul	0.2162 GPA	1.2941 GPA	0.2415 GPA	1.4019 GPA	0.2358 GPA	1.3744 GPA	0.2381 GPA	1.3854 GPA
	Aug	0.2505 PE3	1.4549 PE3	0.3002 PE3	1.6623 WAK	0.2823 PE3	1.5905 PE3	0.2888 PE3	1.6188 PE3
	Sep	0.2259 WAK	1.2499 WAK	0.2885 WAK	1.5196 GEV	0.2660 WAK	1.4242 PE3	0.2732 WAK	1.4622 PE3
	Oct	0.2814 WAK	1.5353 WAK	0.3044 GPA	1.7895 WAK	0.3001 GPA	1.7284 WAK	0.3018 GPA	1.7523 WAK
	Nov	0.2431 WAK	1.3630 KAP	0.2887 GPA	1.6218 WAK	0.2842 GPA	1.5672 WAK	0.2860 GPA	1.5885 WAK
	Dec	0.2396 WAK	1.3585 WAK	0.2835 GPA	1.5805 WAK	0.2789 GPA	1.5223 WAK	0.2807 GPA	1.5451 WAK

구성된 누가 월평균유입량(이하 관측 누가 월평균유입량이라 칭함)의 재현기간별 갈수량(이하 설계 누가 월평균유입량이라 칭함)을 유도하였다.

6. 최적의 확률 플로팅 포지션법과 적정 분포 선정

본 분석에서는 관측 누가 월평균유입량을 사용하여 적정 분포로 선정된 10개 확률분포에 의해 유도된 확률분포별 설계 누가 월평균유입량을 상호 비교함으로써 관측 누가 월평균유입량에 가장 적절한 최적의 분포를 선정하고자 한다.

관측 누가 월평균유입량에 적용된 분포의 우열을 판정하기 위해 10개 확률분포에 의해 유도된 설계 누가 월평균유입량을 플로팅 포지션법에서 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorten 공식에 의한 비초과확률인 식(21)~식(24)에 의해 정규확률치에 도시하였다.

$$P = 1 - m / (N + 1) \tag{21}$$

$$P = 1 - (2m - 1) / 2N \tag{22}$$

$$P = 1 - (m - 0.4) / (N + 0.2) \tag{23}$$

$$P = 1 - (i - 0.44) / (N + 0.12) \tag{24}$$

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

이상의 플로팅 포지션 방법에 따른 관측 누가 월평균유입량과 확률분포들에 의해 유도된 설계 누가 월평균유입량들 간의 상대평균오차(relative mean error, RME) 및 상대절대오차(relative absolute error, RAE)를 식(25) 및 식(26)에 의해 누가 시작월 및 누가 개월별로 구하였다.

$$RME = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right) \right]^{0.5} \tag{25}$$

$$RAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right| \tag{26}$$

여기에서 Q_0 는 플로팅 포지션 방법에 따른 관측 누가 월평

Table 4 Appropriate distribution of observed accumulative monthly mean inflow by Weibull plotting position method and relative mean error (RME)

Accumul- ative month	Start month for accumulation											
	Jan	Feb	Mar	Apl	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	10	9	4	10	10	4	9	9	10	4	9	9
2	5	10	4	9	10	9	9	5	5	4	9	9
3	9	4	9	8	6	9	9	5	10	4	9	5
4	10	9	4	9	9	9	9	10	10	9	10	8
5	9	1	9	9	9	9	9	10	8	10	9	8
6	1	9	10	9	9	9	10	10	10	9	8	9
7	9	10	9	9	9	9	9	5	4	4	9	9
8	10	9	9	2	9	9	9	9	10	9	9	9
9	9	9	9	2	9	9	9	9	9	1	9	10
10	9	9	10	4	9	9	9	9	9	9	10	9
11	9	9	9	4	9	9	9	9	9	10	9	9
12	9	9	9	7	9	9	2	10	9	9	9	9
13	9	9	8	9	9	2	2	8	9	9	9	9
14	9	9	9	9	9	2	9	2	9	9	9	9
15	9	9	9	9	1	10	8	3	9	9	9	9
16	9	9	9	9	10	10	8	3	9	9	9	9
17	9	9	9	10	10	10	8	3	9	9	9	9
18	9	9	10	10	8	10	8	10	9	9	9	7
19	9	10	10	2	2	10	8	3	9	9	7	9
20	10	10	10	2	2	10	2	10	9	7	9	9
21	10	10	10	2	10	10	2	2	9	9	9	10
22	10	10	10	10	2	10	10	2	9	9	10	10
23	10	10	10	2	10	10	10	3	9	10	9	10
24	10	10	10	10	10	10	9	8	9	9	9	10
25	10	10	10	10	10	9	10	10	9	9	10	10
26	10	10	10	10	9	10	10	9	9	10	10	10
27	10	10	10	2	10	8	10	9	9	10	10	10
28	10	10	2	2	8	9	10	9	9	10	10	10
29	10	2	2	8	9	9	10	9	10	10	10	10
30	2	10	1	2	9	5	10	10	10	10	10	10
31	10	1	9	2	9	5	10	10	10	5	10	10
32	1	9	9	2	9	5	10	10	5	5	10	10
33	9	9	9	2	10	5	10	8	5	9	10	2
34	9	9	9	2	10	5	5	2	5	10	2	9
35	9	9	9	2	10	5	5	2	9	2	9	9
36	9	9	9	2	5	5	5	8	9	9	9	9

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

균유입량이며 Q_c 는 확률분포들에 의해 유도된 설계 누기월평

Table 5 Appropriate distribution of observed accumulative monthly mean inflow by Weibull plotting position method and relative absolute error (RAE)

Accumul- ative month	Start month for accumulation											
	Jan	Feb	Mar	Apl	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	10	9	4	10	10	4	9	3	10	4	9	9
2	5	10	4	9	10	9	9	5	9	9	9	8
3	8	10	4	8	6	9	9	5	10	4	9	10
4	10	9	4	9	9	9	9	10	10	9	10	8
5	9	4	9	9	9	9	9	10	10	9	9	9
6	8	9	10	9	9	9	9	10	10	9	8	9
7	9	10	9	9	9	9	9	9	9	1	9	9
8	10	9	9	10	9	9	9	10	4	9	9	9
9	9	9	10	10	9	9	9	2	9	1	9	10
10	9	9	10	10	9	9	9	9	9	9	10	9
11	9	10	10	2	9	9	9	9	9	9	9	9
12	9	10	2	7	9	9	10	10	9	9	9	9
13	9	2	9	9	9	2	8	8	9	9	9	9
14	9	9	9	9	9	10	9	9	9	9	9	9
15	9	9	9	9	10	5	9	3	9	9	9	9
16	9	9	9	9	10	10	9	3	9	9	9	9
17	9	9	9	10	10	9	8	3	9	9	9	9
18	9	9	10	10	9	9	8	10	9	9	9	9
19	9	10	10	2	9	10	8	3	9	9	9	9
20	10	10	10	2	2	10	9	10	9	9	9	9
21	10	10	10	2	10	10	2	2	9	9	9	10
22	10	10	10	10	2	10	10	8	9	9	10	10
23	10	10	10	2	10	10	10	6	9	10	10	10
24	10	10	10	10	10	10	8	8	9	9	10	10
25	10	10	10	10	10	9	10	2	9	10	10	10
26	10	10	10	10	9	9	10	9	9	10	10	10
27	10	10	10	2	10	9	5	9	9	10	10	10
28	10	10	2	2	9	5	10	9	9	10	10	10
29	10	2	2	8	9	10	5	10	10	10	10	10
30	2	10	1	2	10	5	10	2	10	10	10	10
31	10	1	9	2	10	5	10	10	10	5	10	10
32	1	9	2	2	10	5	5	2	5	5	10	10
33	9	9	9	2	10	5	5	2	5	9	10	2
34	9	9	9	2	10	5	5	2	10	10	9	10
35	9	9	10	2	10	5	5	2	9	2	9	9
36	9	9	10	2	10	5	5	8	9	9	10	9

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

균유입량이다.

이들에 대한 결과는 표본 예로 누가 개월 수 12개월, 24개월 및 36개월에 대한 결과만을 Table 3에 나타내었다.

이상의 결과에서 각 확률분포에 사용된 4개 플로팅 포지션법 중에서 Weibull 플로팅 포지션법에 의한 상대평균오차 및 상대절대오차가 Hazen, Cunnane, Gringorten 플로팅 포지션법에 의한 것보다 전반적으로 작게 나타났다.

따라서 본 연구에서는 Weibull 플로팅 포지션법에 의한 누가 시작월 및 누가 개월에 따른 각 월의 상대평균오차 및 상대절대오차를 계산하여 관측 누가 월평균유입량의 최적 분포를 선정하였으며, 이에 대한 결과는 각각 Table 4 및 Table 5와 같다.

Table 4와 Table 5의 결과에서 관측 누가 월평균유입량 계열 432개에서 각 관측 누가 월평균유입량과 설계 누가 월평균유입량간의 상대평균오차와 상대절대오차가 가장 작게 나타난 분포는 WAK 분포로서 이들은 전체 적용 자료 중에서 각각 192개 및 132개가 선정되었다. 다음으로 상대평균오차와 상대절대오차가 작게 나타난 분포는 KAP 분포로서 이들은 전체 적용 자료 중 각각 131개 및 146개가 선정되었다.

따라서 본 연구에 사용된 충주댐 지점의 관측 누가 월평균유입량을 사용하여 갈수빈도분석을 수행한 결과에서 적용된 10개 분포들 중에서 WAK 분포에 의해 유도된 설계 누가 월평균유입량이 가장 적절한 것으로 나타났다. 누가 개월에 따른 결과를 살펴보면, 누가 1개월부터 19개월까지의 관측 누가 월평균유입량을 사용하여 유도된 설계 누가 월평균유입량은 WAK 분포에 의한 것이 가장 적절한 분포로 나타났으나, 누가 20개월부터 30개월까지는 KAP 분포, 누가 30개월 이상에서는 WAK, KAP 및 GPA 분포 순으로 나타났다.

이상의 결과에 따라, 충주댐 월평균유입량 자료를 사용하여 누가 시작월 및 누가 개월별로 구성된 누가 월평균유입량에 대한 갈수빈도분석을 수행함에 있어서 최적의 분포를 선정할 때는 유입량 자료의 누가 개월을 고려해야 할 것으로 판단된다.

V. 결 론

충주댐 지점에 대한 월평균유입량을 사용하여, 매년 각 월의 월평균유입량 자료를 1개월부터 36개월까지 누가 시킨 누가 월평균유입량에 대한 갈수빈도분석은 10개 확률분포를 대상으로 수행하였다.

적용 확률분포에 의해 유도된 설계 누가 월평균유입량과 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorten 플로팅 포지션법에 의한 누가 월평균유입량과의 비교를 위해 상대평균오차 및 상대절대오차를 구한 결과 Weibull 플로팅 포지션법에 의한 것들이 타 플로팅 포지션법에 의한 것보다 전반적으로 작게 나타

났다. Weibull 플로팅 포지션법에 의한 누가 월평균유입량과 적용 분포에 의해 유도된 설계 누가 월평균유입량에 따른 상대평균오차 및 상대절대오차를 계산하여 누가 시작월 및 누가 개월에 따른 최적의 분포를 선정한 결과, 전체 432개의 적용 자료 중 설계 누가 월평균유입량을 유도하는 최적의 분포는 WAK 및 KAP인 것으로 나타났다. 또한 누가 개월이 증가할수록 설계 누가 월평균유입량을 유도하는 최적의 분포는 WAK, KAP, GPA 분포 순으로 나타났다.

향후 어느 특정 지점에 대한 월평균유입량 자료를 사용하여 누가 시작월 및 누가 개월별로 구성된 누가 월평균유입량에 대한 갈수빈도분석을 수행함에 있어서 최적의 분포를 선정할 때는 유입량 자료의 누가 개월을 고려해야 할 것으로 판단된다.

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

(This work was supported by Chungbuk National University Grant in 2007).

REFERENCES

- Bobée B. and F. Ashkar, 1991. *The Gamma Family and Derived Distributions Applied in Hydrology*, Water Resources Publications.
- Hosking J. R. M., 1986. The Theory of Probability Weighted Moments. 3-16. RC12210. IBM Research Center: Yorktown Heights.
- Hosking J. R. M., 1996. Fortran routines for use with the method of L-moments. 1-43. RC2025. IBM Research Center: Yorktown Heights.
- Hosking J. R. M., 2006. On the characterization of distribution by their L-moments. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 136: 193-198.
- Koh, D. K., T. H. Choo, S. J. Maeng, and C. Trivedi, 2008. Regional frequency analysis for rainfall using L-moment, *Journal of the Korea Contents Association* 8(3): 252-263 (in Korean)
- Korea Water Resources Corporation, 1997. Frequency analysis using hydrological data for drought season (in Korean).
- Korea Water Resources Corporation, 2008. *Guide Book of Multipurpose Dam* (in Korean).
- Lee S. H, Maeng S. J, 2003. Frequency analysis of

- extreme rainfall using L-moment, *Irrigation and Drainage* 52(3): 219-230.
- Maeng, S. J., S. H. Lee, K. S. Ryoo, G. H. Song, and H. G. Lee, 2006. Flood frequency analysis by wakeby and kappa distributions using L-moments. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineering* 48(5): 17-27 (in Korean)
- Maidment, D. R., 1992. *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill, Inc., 17.1-17.55.
- Water Management Information System, <http://wamis.go.kr>. 2008.
- World Meteorological Organization, 1989. Statistical distributions for flood frequency analysis. Operational Hydrology Report No.33. Secretariat of the World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland: A4.1-A4.14.