우리나라의 연 강수량, 계절 강수량 및 월 강수량의 확률분포형 결정

김동엽 · 이상호 · 홍영주 · 이은재 · 임상준*

서울대학교 산림과학부

(2010년 3월 2일 접수; 2010년 6월 23일 수정; 2010년 6월 23일 수락)

The Determination of Probability Distributions of Annual, Seasonal and Monthly Precipitation in Korea

Dongyeob Kim, Sang Ho Lee, Youngjoo Hong, Eunjai Lee and Sangjun Im*

Dept. of Forest Sciences, Seoul National University, San 56-1, Sillim 9-dong,

Gwanak-gu, Seoul, 151-921, Korea

(Received March 2, 2010; Revised June 23, 2010; Accepted June 23, 2010)

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the best probability distributions of annual, seasonal and monthly precipitation in Korea. Data observed at 32 stations in Korea were analyzed using the L-moment ratio diagram and the average weighted distance (AWD) to identify the best probability distributions of each precipitation. The probability distribution was best represented by 3-parameter Weibull distribution (W3) for the annual precipitation, 3-parameter lognormal distribution (LN3) for spring and autumn seasons, and generalized extreme value distribution (GEV) for summer and winter seasons. The best probability distribution models for monthly precipitation were LN3 for January, W3 for February and July, 2-parameter Weibull distribution (W2) for March, generalized Pareto distribution (GPA) for April, September, October and November, GEV for May and June, and log-Pearson type III (LP3) for August and December. However, from the goodness-of-fit test for the best probability distributions of the best fit, GPA for April, September, October and November, and LN3 for January showed considerably high reject rates due to computational errors in estimation of the probability distribution parameters and relatively higher AWD values. Meanwhile, analyses using data from 55 stations including additional 23 stations indicated insignificant differences to those using original data. Further studies using more long-term data are needed to identify more optimal probability distributions for each precipitation.

Key words : Probability distribution, Precipitation, L-moment, Average weighted distance (AWD)

I. 서 론

지구상의 수문 과정은 불확실성을 내포하고 있어서 미래의 수문 과정에 대한 예측은 쉽지 않은 작업이다. 이러한 점을 극복하기 위해서 수문 과정의 해석에 있어서 확률통계학적인 방법론을 많이 이용하여 왔다. 이러한 접근법은 어떤 수문 현상이 특정한 확률분포를

따른다는 가정하에 특정한 수문사상의 발생 빈도나 혹은 특정 빈도를 가지는 수문사상의 크기에 대한 분석이 주를 이루고 있으며, 이러한 측면에서 확률통계학적인 방법론은 빈도해석기법을 의미하고 있다고도 할 수 있을 것이다(윤용남, 2007).

대부분의 수공학적 구조물을 건설하는 기준은 이러한 빈도해석기법을 이용하여 강수량이나 홍수량이

* Corresponding Author : Sangjun Im (junie@snu.ac.kr)

어떤 기준값을 초과하게 되는 확률값을 계산하여 결정한다. 설계홍수량이나 확률강수량은 모두 이러한 빈도 해석을 통해 산정된다. 특히, 확률강수량은 유출량 자료가 없는 무계측지역에서 설계홍수량을 결정하는데 이용되므로 이에 대한 정확한 추정은 매우 중요하다.

확률강수량은 과거의 관측자료를 이용하여 지정된 기준량을 초과할 확률을 계산한 것으로서, 이것을 산정하는 데에는 관측 강수에 적합한 확률분포형을 선택하는 과정이 가장 중요하다. 강수는 수문순환과정의 가장 기본적이고 중요한 요소 중의 하나로서, 이전부터 다양한 방식으로 최적의 확률분포형을 찾고자 하는 연구들이 계속되어 왔다. Heo and Kim(1995)은 전국 22개 관측지점의 연 최대치 강우 자료를 이용하여 7개의 지속기간별 확률분포형을 선정하기 위하여 확률가중모멘트법을 이용하였다. 건설교통부(2000)는 우리나라의 확률강우량도를 작성하기 위한 확률분포형 선정에 확률가중모멘트법을 이용하였으며, Gumbel 분포를 우리나라의 대표 강수 확률분포형을 선택하였다. Lee *et al.*(2000)도 21개 관측지점의 연 최대치계열 자료를 이용하여 우리나라의 강수 확률분포형을 분석한 결과, Gumbel 분포를 대표 확률분포형으로 선정하였다. 최근에는 지역빈도해석을 통하여 지역별 강수의 대표 확률분포형을 선정하는 연구가 활발히 진행되고 있다(Lee and Heo, 2001; Oh *et al.*, 2006).

이런 연구에서는 대부분 연 최대계열 혹은 극치계열을 이용하여 적정 확률분포형을 선정하였다. 이에 반하여 연 강수량, 계절 강수량 그리고 월 강수량에 대한 확률분포형 선정에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 국외의 경우에도 연 강수량, 계절 강수량,

월 강수량의 확률분포에 관한 연구는 많지 않으며, Markovic(1965), Guttman *et al.*(1993), Yue and Hashino(2007) 등이 미국과 일본에 대한 연 강수량과 월 강수량에 대한 연구를 수행한 바 있다. 이러한 장기간의 강수량 예측은 도시 지역의 물 공급이나 발전과 같은 이수적 측면에서 중요한 의미를 가지며, 또한 작물 성장 예측에 매우 중요하므로(Yue and Hashino, 2007), 적절한 확률분포형의 선정이 필요하다.

이에 따라 본 연구는 우리나라의 연 강수량, 계절 강수량 그리고 월 강수량의 최적 확률분포형을 선정하려는 목적으로 실시되었다. 이를 위해서 우리나라 전 지역을 고르게 반영할 수 있는 강수자료를 토대로 가장 효율적으로 확률분포형을 선정할 수 있는 방법 중 하나인 L-모멘트 방법을 이용하였다.

II. 연구 방법

2.1. 강수량 자료

본 연구에 이용된 월 강수량 자료는 한국확률강우량도 작성(건설교통부, 2000)에 이용된 68개의 기상청 지점 자료 중에서 자료 기간이 30년 이상인 관측지점을 대상으로 국가수자원관리 종합정보 홈페이지(<http://www.wamis.go.kr>)를 통하여 수집되었다. 대상관측 지점은 총 32 지점이며, 자료기간은 32~44년의 범위를 가지고 있다(Table 1). Fig. 1은 각 관측점의 지리적 위치를 나타낸 것이다.

2.2. L-모멘트

본 연구에서 이용된 확률분포형의 매개변수를 추정

Table 1. Length of data at each observation station

No.	Station	Length of data (year)	No.	Station	Length of data (year)	No.	Station	Length of data (year)
1	Sokcho	1968-2004	12	Daejeon	1969-2004	23	Yeosu	1961-2004
2	Daegwallyeong	1972-2004	13	Chupungnyeong	1961-2004	24	Wando	1972-2004
3	Chuncheon	1966-2004	14	Pohang	1965-2004	25	Jinju	1970-2004
4	Gangneung	1961-2004	15	Gunsan	1968-2004	26	Inje	1973-2004
5	Seoul	1961-2004	16	Daegu	1965-2004	27	Chungju	1973-2004
6	Incheon	1961-2004	17	Jeonju	1961-2004	28	Namwon	1973-2004
7	Wonju	1973-2004	18	Ulsan	1965-2004	29	Yeongju	1973-2004
8	Suwon	1964-2004	19	Gwangju	1961-2004	30	Uiseong	1973-2004
9	Seosan	1968-2004	20	Busan	1965-2004	31	Geochang	1973-2004
10	Ulsan	1972-2004	21	Tongyeong	1968-2004	32	Miryang	1973-2004
11	Cheongju	1967-2004	22	Mokpo	1961-2004

Fig. 1. Location of 32 observation stations.

하는 방법은 Hosking(1990)이 제안한 L-모멘트 방법이다. 이 방법은 확률가중모멘트의 선형조합을 통하여 매개변수를 추정하는 방법으로서, 전통적인 모멘트 방법과 비교하여 고차 모멘트 추정치가 편향되는(biased) 경향이 작으며(Hosking, 1990), 이상치에 대하여 덜 민감한 경향을 나타내는 등(Royston, 1992; Vogel and Fennessey, 1993)의 여러 장점을 가지고 있다.

L-모멘트 방법은 이러한 장점으로 인하여 강수량이나 유출량 혹은 홍수량 등의 수문현상의 확률분포를 추정하는 방법으로 많이 이용되고 있다(Royston, 1992; Vogel and Fennessey, 1993). 본 연구에서는 확률가중모멘트(probability weighted moment, PWM)를 이용하여 확률분포의 L-모멘트를 계산하는 방법을 이용하였다. 확률분포형의 L-모멘트는 식 (1)~(4)와 같이 정의된다.

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (1)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (2)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (3)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (4)$$

여기서, β_r 은 $\beta_r = E[X\{F(X)\}^r]$ 로 표현되는 r차 확

률가중모멘트이다. 실제 자료의 적용에 있어서는 표본 자료에 의해 계산된 확률가중모멘트의 불편 추정량이 이용되어야 한다. 확률가중모멘트의 불편 추정량은 아래의 식 (5)로 계산된다(Hosking and Wallis, 1997).

$$\hat{\beta}_r = n^{-1} \binom{n-1}{r}^{-1} \sum_{i=r+1}^n \binom{i-1}{r} x_{(i)} \quad (5)$$

여기서, n 은 표본크기이며, $x_{(i)}$ 는 오름차순으로 재배열된 표본자료의 값으로서, $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$ 이다. 각 측정점에서 관측된 연, 계절, 월 강수량에 대한 L-모멘트 값을 구하여 그 비로써 τ_2, τ_3, τ_4 를 계산할 수 있다.

$$\tau_2 = \lambda_2 / \lambda_1 \quad (6)$$

$$\tau_3 = \lambda_3 / \lambda_2 \quad (7)$$

$$\tau_4 = \lambda_4 / \lambda_2 \quad (8)$$

τ_2, τ_3, τ_4 는 각각 L-변동계수(L-Cv), L-왜(곡)도(L-Skewness), L-첨(예)도(L-Kurtosis)이다.

2.3. 최적 확률분포의 결정

본 연구에서는 L-모멘트 간의 비율인 L-변동계수(τ_2), L-왜도(τ_3) 및 L-첨도(τ_4) 값을 이용하여 L-모멘트 비 다이어그램(L-moment ratio diagram)을 작성하여 최적 확률분포형을 결정하였다. 분석은 정규분포(NOR), 2변수 gamma 분포(GAM), Pearson type III 분포(P3), log-Pearson type III 분포(LP3), 2변수와 3변수 대수정규분포(LN2, LN3), 일반화된 극치 분포(GEV), Gumbel 분포(GUM), 2변수와 3변수 Weibull 분포(W2, W3), 일반화된 Pareto 분포(GPA), 일반화된 logistic 분포(GLO) 등 총 12개의 확률분포형을 대상으로 하였다. Fig. 2는 본 연구에서 이용된 분포형의 확률밀도함수(probability density function)를 예시한 것이다. P3의 경우 위치매개변수가 포함된 GAM의 3변수형이고 LN3과 W3 역시 LN2와 W2에 위치매개변수가 추가된 것으로서, 전체적인 분포형태는 각각의 2변수형 분포들과 동일하다.

L-모멘트 비 다이어그램은 관측자료와 확률분포형의 L-변동계수와 L-왜도(2변수형 확률분포에 적용) 혹은 L-첨도와 L-왜도(3변수형 확률분포에 적용)를 도시하여 적합한 확률분포형을 결정하는 방법이다. 각 확률분포형을 L-모멘트 비 다이어그램에 나타내는 방법은 아래의 식 (9)를 이용하여 다항식으로 근사하는 방법을 이용하였다(Hosking, 1996; Vogel and Wilson, 1996).

Fig. 2. The probability density functions of the distributions used in this study.

Table 2. Coefficients of polynomial approximations of L-Cv and L-Kurtosis as function of L-Skewness

	LN2	GAM	W2	GLO	GEV	LN3	P3	GPA
A0	—	—	0.17864	0.16667	0.10701	0.12282	0.12240	0
A1	1.16008	1.74139	1.02381	—	0.11090	—	—	0.20196
A2	-0.05325	—	-0.17878	0.83333	0.84838	0.77518	0.30115	0.95924
A3	—	-2.59736	—	—	-0.06669	—	—	-0.20096
A4	-0.10501	2.09911	-0.00894	—	0.00567	0.12279	0.95812	0.04061
A5	—	—	—	—	-0.04208	—	—	—
A6	-0.00103	-0.35948	-0.01443	—	0.03673	-0.13638	-0.57488	—
A7	—	—	—	—	—	—	—	—
A8	—	—	—	—	—	0.11368	0.19383	—

Table 2는 각각의 확률분포형에 따른 다항식의 계수들을 나타낸 것이다. NOR, GUM은 하나의 상수값으로 나타나며, W3는 GEV의 다항식을 이용하였으며, LP3는 P3의 다항식을 이용하였다. 특히, LP3의 경우 대수(log)값을 취하므로 다른 3 매개변수 확률분포와 동일한 다이어그램에 나타내지 못하고 별개의 다이어그램을 이용하였다.

$$\tau_2(\text{or } \tau_4) = \sum_{k=0}^8 A_k \tau_3^k \quad (9)$$

L-모멘트 비 다이어그램을 이용하는 방법은 하나의 다이어그램에 관측자료와 여러 종류의 확률분포형을 동시에 나타내므로 비교하기가 쉽고 이해가 빠르다는 장점이 있다. 하지만, 이 방법은 그 결과에 대하여 자의적인 해석을 할 가능성이 크고, 정량화된 결과치를 얻을 수 없다는 한계점이 있다(Peel *et al.*, 2001).

따라서, 본 연구에서는 Kroll and Vogel(2002)이 제안한 평균가중거리(Average Weighted Distance, AWD)를 계산하여 L-모멘트 비 다이어그램의 결과를 정량적으로 나타내었다. 이 방법은 표본자료와 확률분

포의 L-모멘트 비 차이를 계산하는 것으로 식 (10)으로 표현된다.

$$AWD = \frac{\sum_{i=1}^N n_i d_i}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (10)$$

Where,

$$d_i = \begin{cases} \tau_2[\tau_3^o(i)] - \tau_2^o(i) & \text{2 변수형 확률분포 대상일 경우} \\ \tau_4[\tau_3^o(i)] - \tau_4^o(i) & \text{3 변수형 확률분포 대상일 경우} \end{cases}$$

여기서, N 은 분석에 이용된 전체 관측점의 개수이며, n_i 는 이용된 자료의 기간(기록연수)이다. 또한, $\tau_k^o(i)$ ($k=2,3,4$)은 각각 관측치 혹은 표본의 L-변동계수, L-왜도, L-첨도이다. $\tau_2[\tau_3^o(i)]$ 와 $\tau_4[\tau_3^o(i)]$ 는 관측치의 L-왜도에 대응하는 확률분포형의 L-변동계수와 L-첨도 값이다. 일반적으로 평균가중거리 값이 작을수록 선택된 확률분포형은 표본자료에 잘 적합한다고 할 수 있다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 연 강수량의 확률분포형

Fig. 3은 연 강수량의 L-변동계수-L-왜도 다이어그램이다. Fig. 3과 같이 2변수 확률분포는 표본자료에 잘 적합하지 못하는 것으로 나타났다. 비록 GAM의 경우 표본의 평균과는 상당히 가까운 거리에 있으나 전체적인 표본의 분포를 따라가지 못하고 있다.

Fig. 4는 연 강수량의 L-첨도-L-왜도 다이어그램이다. 여기서는 W3, P3, GEV 등이 비교적 표본의 평균과도 가깝고 표본의 분포를 잘 통과하고 있는

Fig. 3. L-moment ratio diagram of L-Cv - L-Skewness for annual precipitation. 'Obs.' and 'SM' mean observation and sample mean, respectively.

Fig. 4. L-moment ratio diagram of L-Kurtosis - L-Skewness for annual precipitation.

Fig. 5. L-moment ratio diagram of L-Kurtosis - L-Skewness of LP3 for annual precipitation.

것으로 나타났다. 한편, Fig. 5와 같이 LP3는 다른 3변수 확률분포들보다 표본자료에 잘 적합하고 있다고 하기는 힘들다.

Table 3은 연, 계절, 월 강수량의 평균가중거리를 계산한 것이다. L-첨도-L-왜도 다이어그램의 결과와 유사하게 W3가 가장 작은 값을 갖는 것으로 나타났다. 그러므로 연 강수량의 최적 확률분포형은 W3라고 할 수 있을 것이다.

3.2. 계절 강수량의 확률분포형

Fig. 6, Fig. 7 그리고 Fig. 8은 각각 계절 강수량의 L-변동계수-L-왜도 다이어그램, L-첨도-L-왜도 다이어그램 그리고 LP3 검정을 위한 L-첨도-L-왜도 다이어그램이다. 각 다이어그램을 비교하면 모든 계절에서 LN3, GEV, P3 등이 적합한 것으로 나타났으며, 여름과 가을의 경우에는 LP3 또한 비교적 적합이 잘 되는 것으로 보였다. Table 3의 계절 강수량의 평균

Table 3. The average weighted distance (AWD) values of probability distributions for annual, seasonal, and monthly precipitation from data of 32 stations. Bold and underlined numbers are the least values, and only bold numbers are the second least values for each precipitation, respectively

Precipitation	LN2	GAM	W2	GLO	GEV	LN3	P3	W3	GPA	LP3
Annual	0.0833	0.1136	0.1375	0.0738	0.0365	0.0383	0.0359	<u>0.0345</u>	0.0803	0.0370
Spring	0.1453	0.1130	0.0416	0.0494	0.0352	<u>0.0347</u>	0.0352	0.0415	0.1114	0.0476
Summer	0.0989	0.1139	0.1016	0.0718	<u>0.0437</u>	0.0486	0.0488	0.0490	0.0848	0.0440
Autumn	0.0785	0.0764	0.0868	0.0608	0.0355	<u>0.0347</u>	0.0363	0.0376	0.0695	0.0418
Winter	0.0921	0.0742	0.0731	0.0625	<u>0.0423</u>	0.0430	0.0431	0.0456	0.0771	0.0433
Jan.	0.1115	0.0804	0.0649	0.0665	0.0532	<u>0.0483</u>	0.0486	0.0504	0.0562	0.0593
Feb.	0.1836	0.0792	0.0497	0.0934	0.0634	0.0543	0.0451	<u>0.0428</u>	0.0478	0.0689
Mar.	0.1517	0.0888	<u>0.0465</u>	0.0585	0.0560	0.0578	0.0620	0.0665	0.1002	0.0683
Apr.	0.1237	0.0644	0.0425	0.0936	0.0605	0.0558	0.0538	0.0460	<u>0.0411</u>	0.0467
May	0.1577	0.0994	0.0454	0.0567	<u>0.0334</u>	0.0372	0.0413	0.0429	0.0799	0.0471
Jun.	0.1327	0.1098	0.0623	0.0600	<u>0.0330</u>	0.0366	0.0461	0.0439	0.0687	0.0472
Jul.	0.1143	0.0726	0.0581	0.0786	0.0422	0.0408	0.0374	<u>0.0318</u>	0.0605	0.0493
Aug.	0.0978	0.0815	0.0724	0.0687	0.0428	0.0412	0.0466	0.0471	0.0585	<u>0.0399</u>
Sep.	0.1838	0.0997	0.0558	0.1178	0.0812	0.0731	0.0592	0.0494	<u>0.0342</u>	0.0662
Oct.	0.1597	0.0950	0.0616	0.0860	0.0580	0.0548	0.0546	0.0465	<u>0.0368</u>	0.0578
Nov.	0.0942	0.0747	0.0698	0.0867	0.0590	0.0415	0.0286	0.0257	<u>0.0243</u>	0.0405
Dec.	0.1831	0.1060	0.0617	0.0986	0.0652	0.0574	0.0505	0.0420	0.0412	<u>0.0381</u>

가중거리 값을 살펴보면 봄과 가을에는 LN3, 여름과 겨울에는 GEV가 가장 작은 값을 가지는 것으로 나타났다.

3.3. 월 강수량의 확률분포형

Table 3에서 나타나듯이 월 강수량의 최적 확률분포형은 월별로 다양하게 나타났다. 1월은 LN3, 2월과 7월은 W3, 3월은 W2, 4월, 9월, 10월, 11월은 GPA, 5월과 6월은 GEV, 그리고 8월과 12월은 LP3이 최적 확률분포형으로 나타났다. 전반적으로 월 강수량의 평균가중거리 값은 월별로 변이가 컸다. 특이한 점은 GPA가 4개의 월, 특히 가을(9월~11월)에 최적 분포로 나타난 것이다. 하지만, 계절 강수량에서 GPA는 상대적으로 큰 값을 가지고 있는 것으로 보아 월 강수량과 계절 강수량은 큰 관계가 없는 것으로 판단되었다.

3.4. 강수량별 최적 확률분포형의 지점별 적합도 검정

선정된 강수량별 최적 확률분포형에 대하여 지점별 적합도 검정을 실시하였다. 매개변수 추정방법은 확률가중모멘트 방법을 이용하였으며, LP3의 경우에는 최대우도법을 이용하였다. 적합도 검정에는 χ^2 검정, K-S 검정, Cramér-von-Mises 검정, PPCC 검정 방법을

이용하였다. Table 4는 그 결과를 나타낸 것으로서 ‘×’ 표시는 위의 검정방법 중에서 하나라도 통과하지 못한 경우이며, ‘○’ 표시는 모든 검정 방법을 통과한 경우이다.

Table 4에서 확인할 수 있듯이 1월, 4월, 9월~11월의 경우에 AWD 값에 의해 최적분포로 선정된 확률분포가 모든 지점에서 적합도 검정을 통과하지 못하였다. 4월, 9월~11월의 경우에는 GPA의 매개변수 추정에 확률가중모멘트 방법이나 최대우도법을 이용할 경우 발생할 수 있는 제한된 매개변수 범위 문제 혹은 계산상의 오류(Zhang and Stephens, 2009)로 인한 것으로 판단된다. 반면, 1월의 경우에는 AWD값이 높은 것으로 보아 강수량이 어떤 특정한 분포를 따른다고 보기 힘든 경우라고 할 수 있다. 실제 자료에서도 1월은 강수량 평균값은 작은 반면 그 변동폭이 다른 계절보다 큰 편이었다. 하지만, 그 이외의 강수에서는 대부분 0.7 이상의 통과율을 보였다.

3.5. 표본자료 개수의 영향

각 기간별 적합 확률분포형을 선정하는데 있어 표본자료의 개수의 영향을 알아보기 위하여 추가적으로 23개의 관측지점 자료를 포함한, 총 55개 관측지점의 자료를 이용하여 위와 같은 작업을 수행하였다. Fig. 9

Fig. 6. L-moment ratio diagrams of L-Cv – L-Skewness for seasonal precipitation, (a) Spring, (b) Summer, (c) Autumn, (d) Winter.

Fig. 7. L-moment ratio diagrams of L-Kurtosis – L-Skewness for seasonal precipitation, (a) Spring, (b) Summer, (c) Autumn, (d) Winter.

Fig. 8. L-moment ratio diagrams of L-Kurtosis – L-Skewness of LP3 for seasonal precipitation, (a) Spring, (b) Summer, (c) Autumn, (d) Winter.

은 전체 55개 관측지점의 위치를 지도에 나타낸 것이며, 추가된 23개 관측지점의 자료 기간은 모두 1973년부터 2004년까지 총 32년으로 동일하다.

Table 5는 55개 관측지점 자료를 이용하여 평균가중거리를 계산한 결과이다. 연 강수량의 경우 GEV가 가장 낮은 평균가중거리 값을 가지는 것으로 나타났다. 계절 강수량의 경우, GEV와 LN3, 월 강수량의 경우에는 32개 관측지점 자료를 이용한 결과와 마찬가지로 다양한 분포들이 각 월에서 가장 낮은 값을 가지는 것으로 나타났다. 55개 관측소를 이용한 결과는 32개 관측지점 자료를 이용한 결과에 비하여 전체적으로 값이 높게 나타났다. 또한, 55개 관측지점 자료를 이용한 결과에서 각 기간별로 가장 낮은 값이 나온 확률분포형은 32개를 이용한 결과와 크게 다르지 않았으며, 몇몇 기간에서 상반된 결과를 보인 경우에도 순위에서 약간의 차이가 있는 정도였다.

Table 6는 결과분석에 이용한 관측지점 개수에 따른 각 기간별 1위부터 3위까지 최적 확률분포의 순위와 각 순위별 평균가중거리의 평균을 나타낸 것이다. 전술한 바와 같이 최적 확률분포의 순위는 거의 변화하지 않은 것을 알 수 있다. 또한, 55개 관측지점 자료

를 이용한 결과가 평균가중거리의 평균값이 더 컸다. 결론적으로 추가된 23개 관측지점의 자료는 각 기간별 강수량의 최적 분포 선정에 별다른 영향을 미치지 못한 것으로 판단되었다.

3.6. 일본 지역의 연구 결과와 비교

Yue and Hashino(2007)는 일본 내 22개 관측소의 약 110년 동안의 월 강수량 자료를 이용하여 연, 계절, 월 강수량의 최적 확률분포형을 선정하였다. 그 결과, 일본의 경우에 연 강수량은 LP3가 최고의 적합도를 보였으며, 계절별로는 봄에는 P3, 여름과 겨울에는 LP3, 가을에는 LN3가 최고의 적합도를 보였다. 월별 강수량의 경우, 1월, 2월, 3월, 5월, 7월, 10월, 12월에는 P3, 6월에는 LP3, 나머지 4월, 8월, 9월, 11월에는 LN3가 최고의 적합도를 나타내었다. 종합적으로 P3와 LP3가 가장 적절한 확률분포형인 것으로 나타났다.

이처럼 일본 지역은 연, 계절, 월 강수량의 최적 확률분포형이 대부분 LP3, P3, LN3로 나타나는 경향을 보였다. Yue and Hashino(2007)가 이용한 자료는 본 연구의 자료보다 지역적으로 그리고 계절별로 더 큰

Table 4. Results of goodness-of-fit tests for the best probability distributions of annual, seasonal, and monthly precipitation in each station

Station No.	Ann- ual	Spr- ing	Sum- mer	Aut- umn	Win- ter	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
	W3	LN3	GEV	LN3	GEV	LN3	W3	W2	GPA	GEV	GEV	W3	LP3	GPA	GPA	GPA	LP3
1	○	○	×	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	×	×	×	○
2	○	○	○	○	×	×	○	○	×	○	×	○	○	×	×	×	○
3	○	○	○	×	○	×	○	○	×	×	○	○	○	×	×	×	○
4	○	○	○	○	○	×	○	×	×	×	○	○	○	×	×	×	○
5	×	○	×	×	○	×	○	○	×	○	×	○	○	×	×	×	○
6	×	×	○	×	○	×	○	×	×	×	○	○	○	×	×	×	○
7	○	○	○	×	○	×	○	○	×	○	×	○	○	×	×	×	○
8	×	○	○	×	×	×	○	○	×	×	○	○	○	×	×	×	○
9	○	○	○	×	○	×	○	○	×	○	×	○	○	×	×	×	○
10	×	×	○	○	○	×	×	○	×	○	○	○	○	×	×	×	○
11	○	○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	○	○	×	×	×	○
12	○	○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	○	○	×	×	×	○
13	○	○	○	○	×	×	○	○	×	○	×	○	○	×	×	×	○
14	○	×	○	×	×	×	○	○	×	○	○	○	○	×	×	×	○
15	○	○	○	○	○	×	○	×	×	○	○	○	○	×	×	×	○
16	○	○	×	×	○	×	○	×	×	○	○	○	○	×	×	×	○
17	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	×	×	×	○
18	×	○	○	×	×	×	○	○	×	×	×	×	○	×	×	×	○
19	○	○	○	○	○	×	○	○	×	×	○	○	○	×	×	×	×
20	○	○	○	○	×	×	○	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×
21	○	○	○	○	×	×	○	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×
22	○	○	○	×	○	×	×	○	×	○	○	×	○	×	×	×	○
23	○	×	×	×	○	×	×	○	×	○	×	○	○	×	×	×	○
24	○	×	○	×	○	×	×	○	×	×	○	○	○	×	×	×	○
25	○	○	×	×	○	×	○	○	×	×	○	○	○	×	×	×	○
26	○	○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	○	○	×	×	×	○
27	×	○	○	×	○	×	×	○	×	○	○	×	○	×	×	×	○
28	○	○	×	×	○	×	○	○	×	○	○	○	○	×	×	×	○
29	○	○	○	○	○	×	○	×	×	○	○	×	○	×	×	×	○
30	×	○	×	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	×	×	×	○
31	○	×	×	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	×	×	×	○
32	○	○	×	×	×	×	○	○	×	×	○	○	○	×	×	×	○
Acceptance rate	0.78	0.81	0.71	0.41	0.78	0	0.84	0.69	0	0.72	0.78	0.88	1	0	0	0	0.91

변동을 나타내고 있음에도 불구하고 최적 확률분포형 이 세 개의 분포로만 나타난 것은 평균 110여년의 보다 긴 자료 기간 때문인 것으로 판단된다. Chow and Watt(1994)는 GUM을 이용하여 표본을 추출하는 Monte Carlo 시뮬레이션을 실시한 결과, L-모멘트 역시 표본자료의 크기(sample size)에 영향을 받는다는 것을 보였다. 충분히 긴 관측기간 동안의 자료 즉 충분한 표본 크기를 가진 자료는 L-모멘트의 표본오차를

최소한으로 줄여서 평균가중거리의 값도 감소시킨다. 그러므로 보다 신뢰할 만한 최적 확률분포형을 선정하기 위해서는 보다 긴 기간의 자료를 이용한 연구가 필요할 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 우리나라의 연 강수량, 계절 강수량 그리

Fig. 9. Location of 55 observation stations (● : original 32 stations, ○ : additional 23 stations).

고 월 강수량의 최적 확률분포형을 선정하기 위하여 실시되었다. 이를 위하여 전국 32개 강우 관측소에서 측정된 자료를 이용하여 L-모멘트 다이어그램을 그려

서 평균가중거리 값을 계산하였고, 이를 바탕으로 선정된 강수량별 최적 확률분포형에 대하여 지점별 적합성 검정을 실시하였다. 그 결과, 연 강수량에서는 W3, 봄과 가을에는 LN3, 여름과 겨울에는 GEV가 최적 확률분포형으로 선정되었다. 또한, 월 강수량의 경우에는 1월은 LN3, 2월과 7월은 W3, 3월은 W2, 4월, 9월, 10월, 11월은 GPA, 5월과 6월은 GEV, 그리고 8월과 12월은 LP3이 최적 확률분포형으로 선정되는 등 월별로 다양한 결과를 나타내었다. 한편, 선정된 최적 확률분포형에 대하여 각 지점별로 적합성 검정을 실시한 결과, 월 강수량 중 GPA와 LN3에 대한 기각율이 매우 높게 나타났으며, 이것은 확률분포의 매개변수 추정에서의 오류와 상대적으로 높은 AWD 값으로 인한 것으로 생각되었다. 그리고 추가적으로 23개 관측지점 자료를 추가하여 분석한 결과, 32개 관측지점 자료만을 이용한 원래의 결과와 크게 다르지 않았다. 또한, 일본의 연구 결과(Yue and Hashino, 2007)와 비교하였을 때는 평균가중거리 값이 상대적으로 높게 나타났고, 그 변동도 큰 것으로 나타났다. 결론적으로 각 강수량에 보다 적합한 확률분포형을 선정하기 위해서는 본 연구에서 이용한 자료보다 더 장기간의 것을 이용한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

Table 5. The average weighted distance (AWD) values of probability distributions for annual, seasonal, and monthly precipitation from data of 55 stations. Bold and underlined numbers are the least values, and only bold numbers are the second least values for each precipitation, respectively

Precipitation	LN2	GAM	W2	GLO	GEV	LN3	P3	W3	GPA	LP3
Annual	0.0907	0.1205	0.1326	0.0704	<u>0.0378</u>	0.0396	0.0384	<u>0.0379</u>	0.0855	0.0387
Spring	0.1624	0.1359	0.0390	0.0473	0.0322	<u>0.0308</u>	<u>0.0315</u>	0.0382	0.1142	0.0453
Summer	0.1102	0.1242	0.0936	0.0776	<u>0.0494</u>	0.0552	0.0558	0.0544	0.0830	<u>0.0506</u>
Autumn	0.0684	0.0884	0.1043	0.0553	<u>0.0377</u>	<u>0.0388</u>	0.0448	0.0468	0.0733	0.0434
Winter	0.0879	0.0695	0.0741	0.0587	<u>0.0433</u>	<u>0.0437</u>	0.0446	0.0481	0.0810	0.0471
Jan.	0.1038	0.0774	0.0654	0.0612	<u>0.0508</u>	<u>0.0460</u>	0.0516	0.0526	0.0595	0.0633
Feb.	0.1746	0.0683	0.0448	0.0969	0.0679	0.0570	<u>0.0447</u>	<u>0.0424</u>	0.0460	0.0701
Mar.	0.1616	0.0997	<u>0.0402</u>	0.0561	<u>0.0534</u>	0.0546	0.0577	0.0632	0.1070	0.0703
Apr.	0.1363	0.0702	<u>0.0365</u>	0.1052	0.0687	0.0649	0.0606	0.0508	<u>0.0392</u>	0.0497
May	0.1596	0.1014	0.0434	0.0550	<u>0.0378</u>	<u>0.0407</u>	0.0447	0.0470	0.0861	0.0590
Jun.	0.1493	0.1167	0.0601	0.0674	<u>0.0398</u>	<u>0.0435</u>	0.0506	0.0468	0.0668	0.0457
Jul.	0.1187	0.0731	0.0526	0.0753	0.0439	0.0431	<u>0.0410</u>	<u>0.0378</u>	0.0659	0.0514
Aug.	0.0970	0.0766	0.0665	0.0693	0.0423	<u>0.0412</u>	0.0455	0.0451	0.0614	<u>0.0421</u>
Sep.	0.1893	0.1106	0.0616	0.1221	0.0857	0.0793	0.0678	<u>0.0565</u>	<u>0.0369</u>	0.0723
Oct.	0.1680	0.1025	0.0658	0.0886	0.0599	0.0565	0.0576	<u>0.0493</u>	<u>0.0385</u>	0.0556
Nov.	0.0914	0.0852	0.0777	0.0798	0.0551	0.0419	0.0361	<u>0.0336</u>	<u>0.0321</u>	0.0452
Dec.	0.2001	0.1235	0.0670	0.1044	0.0701	0.0638	0.0552	0.0459	<u>0.0434</u>	<u>0.0402</u>

Table 6. The best three probability distributions for each precipitation by AWD

(a) The analysis from data of 32 stations

Ranks	Annual	Spring	Summer	Autumn	Winter	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
1	W3	LN3	GEV	LN3	GEV	LN3	W3	W2	GPA
2	P3	P3	LP3	GEV	LN3	P3	P3	GEV	W2
3	GEV	GEV	LN3	P3	P3	W3	GPA	LN3	W3
Ranks	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Mean of AWD
1	GEV	GEV	W3	LP3	GPA	GPA	GPA	LP3	0.0376
2	LN3	LN3	P3	LN3	W3	WW3	WW3	GPA	0.0412
3	P3	GPA	LN3	GEV	W2	PE	PE	W3	0.0442

(b) The analysis from data of 55 stations

Ranks	Annual	Spring	Summer	Autumn	Winter	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
1	GEV	LN3	GEV	GEV	GEV	LN3	W3	W2	W2
2	W3	P3	LP3	LN3	LN3	GEV	P3	GEV	GPA
3	P3	GEV	W3	LP3	P3	P3	W2	LN3	LP3
Ranks	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Mean of AWD
1	GEV	GEV	W3	LN3	GPA	GPA	GPA	LP3	0.0393
2	LN3	LN3	P3	LP3	W3	W3	W3	GPA	0.0436
3	W3	LP3	LN3	GEV	W2	LP3	P3	W3	0.0463

적 요

본 연구의 목적은 우리나라의 연 강수량, 계절 강수량 그리고 월 강수량의 최적 확률분포형을 선정하는 것이다. 이를 위해서 전국 32개의 강우 관측소에서 얻은 자료에 대하여 L-모멘트 비 다이어그램과 평균가중거리 값을 이용하여 각 강수량별 최적 확률분포를 산정하였으며, 최종적으로 선정된 최적 확률분포형을 관측 지점별로 적합도 검정을 실시하였다. 그 결과, 연 강수량에서는 3변수 Weibull 분포(W3), 봄과 가을에는 3변수 대수정규분포(LN3), 여름과 겨울에는 일반화된 극치분포(GEV)가 관측값에 가장 잘 적합하는 것으로 나타났다. 또한, 월 강수량에서는 1월은 LN3, 2월과 7월은 W3, 3월은 2변수 Weibull 분포(W2), 4월, 9월, 10월, 11월은 일반화된 Pareto 분포(GPA), 5월과 6월은 GEV, 그리고 8월과 12월은 log-Pearson type III 분포(LP3)가 가장 잘 적합하였다. 하지만, 최적 확률분포형의 지점별 적합도 검정의 결과, 1월, 4월, 9월, 10월, 11월의 GPA와 LN3에 대한 기각율이 확률분포의 매개변수 추정에서의 오류와 상대적으로 높은 AWD 값으로 인하여 매우 높게 나타났다. 한편, 23개 관측소의 자료를 추가하여 분석해본 결과 기존의 32개의 관측소 자료를 이용한 것과 큰 차이를 나타내지

않았다. 종합적으로 보다 적합한 확률분포형을 선정하기 위해서는 더 장기간의 표본자료를 이용한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Chow, K. C. A., and W. E. Watt, 1994: Practical use of the L-moments. *Stochastic and Statistical Methods in Hydrology and Environmental Engineering vol. 1*, K. W. Hipel (Eds.), Kluwer Academic Publishers, 55-69.
- Guttman, N. B., J. R. M. Hosking, and J. R. Wallis, 1993: Regional precipitation quantile values for the continental United States computed from L-moments. *Journal of Climate* **6**, 2326-2340.
- Heo, J., and K. Kim, 1995: A study of the selection of probability distribution for rainfall data in Korea. *Journal of the Engineering Research Institute, Yonsei University* **27**(2), 193-200. (in Korean with English abstract)
- Hosking, J. R. M., 1990: L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B* **52**, 105-124.
- Hosking, J. R. M., 1996: Fortran routines for use with the method of L-moments. IBM Research Report RC 20525 (90933), 33pp.
- Hosking, J. R. M., and J. R. Wallis, 1997: *Regional Frequency Analysis*. Cambridge University Press, 224pp.
- Kroll, C. N., and R. M. Vogel, 2002: Probability distribution

- of low streamflow series in the United States. *Journal of Hydrologic Engineering* **7**(2), 137-146.
- Lee, J., J. Lee, B. Kim, and J. Park, 2000: Derivation of probable rainfall intensity formula of individual zone based on the representative probability distribution. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, The Korea Water Resources Association, 124-129. (in Korean)
- Lee, D., and J. Heo, 2001: Frequency analysis of daily rainfall in Han River basin based on regional L-moment algorithm. *Journal of Korean Water Resources Association* **34**(2), 119-130. (in Korean with English abstract)
- Markovic, R. D., 1965: Probability of best fit to distributions of annual precipitation and runoff. Hydrology Paper no. 8, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado, USA, 35pp.
- Oh, T. S., J. S. Kim, Y. Moon, and S. Y. Yoo, 2006: The study on application of regional frequency analysis using kernel density function. *Journal of Korean Water Resources Association* **39**(10), 891-904. (in Korean with English abstract)
- Peel, M. C., Q. J. Wang, R. Vogel, and T. A. McMahon, 2001: The utility of L-moment ratio diagrams for selecting a regional probability distribution. *Hydrological Sciences Journal* **46**(1), 147-155.
- Royston, P., 1992: Which measures of skewness and kurtosis are best? *Statistics in Medicine* **11**(3), 333-343.
- Vogel, R. M., and N. M. Fennessey, 1993: L moment diagrams should replace product moment diagrams. *Water Resources Research* **29**(6), 1745-1752.
- Vogel, R. M., and I. Wilson, 1996: Probability distribution of annual maximum, mean, and minimum streamflows in the United States. *Journal of Hydraulic Engineering* **1**, 69-76.
- Yue, S., and M. Hashino, 2007: Probability distribution of annual, seasonal and monthly precipitation in Japan. *Hydrological Sciences Journal* **52**(5), 863-877.
- Zhang, J., and M. A. Stephens, 2009: A new and efficient estimation method for the generalized Pareto distribution. *Technometrics* **51**(3), 306-615.
- 건설교통부, 2000: 한국확률강우량도 작성. 1999년도 수자
원관리기법개발연구조사 보고서. 건설교통부.
- 윤용남, 2007: 수문학 -기초와 응용-. 청운각, 1152pp.