부산지역 확률강수량 결정에 따른 재현기간 및 분포도 분석

임윤규¹ · 문운섭^{1*} · 김진석² · 송상근³ · 황용식⁴

¹한국교원대학교 환경교육과, 363-791, 충북 청원군 강내면 태성탑연로 250

²한국표준과학연구원 대기환경표준센터, 305-340, 대전광역시 유성구 가정로 267

³부산대학교 지구환경시스템학부, 609-735, 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2

⁴부산대학교 석면중피종연구센터, 626-870, 경남 양산시 물금읍 범어리

An Estimation of Probable Precipitation and an Analysis of Its Return Period and Distributions in Busan

Yun-Kyu Lim¹, Yun-Seob Moon^{1*}, Jin Seog Kim²,
Sang-Keun Song³, and Yongsik Hwang⁴

¹Department of Environmental Education, Korea National University of Education,
Chung-buk 363-791, Korea

²Cent for gas analysis, Korea Research Institute of Standards and Science, Deajeon 305-340, Korea

³Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

⁴Korea Research Center for Asbestos Related Diseases, Pusan National University,
Busan 626-870, Korea

Abstract: In this study, a statistical estimation of probable precipitation and an analysis of its return period in Busan were performed using long-term precipitation data (1973-2007) collected from the Busan Regional Meteorological Administration. These analyses were based on the method of probability weighted moments for parameter estimation, the goodness-of-fit test of chi-square (χ^2) and the probability plot correlation coefficient (PPCC), and the generalized logistics (GLO) for optimum probability distribution. Moreover, the spatial distributions with the determination of probable precipitation were also investigated using precipitation data observed at 15 Automatic Weather Stations (AWS) in the target area. The return periods for the probable precipitation of 245.2 and 280.6 mm/6 hr with GLO distributions in Busan were estimated to be about 100 and 200 years, respectively. In addition, the high probable precipitation for 1-, 3-, 6-, and 12-hour durations was mostly distributed around Dongrae-gu site, all coastal sites in Busan, Busanjin and Yangsan sites, and the southeastern coastal and Ungsang sites, respectively.

Keywords: probable precipitation, return period, probability weighted moments, goodness-of-fit test, generalized logistics

요약: 본 연구에서는 부산지방기상청 장기 강수량 자료(1973-2007)를 이용하여 부산지역 확률강수량 및 이에 따른 재현기간을 산정하였다. 확률강수량 산정에 있어서 확률가중모멘트법을 이용하여 매개변수를 추정하였고, χ^2 및 PPCC 검정을 통해 적합성분석을 실시하였다. 분석결과 최적의 확률분포형으로 GLO 모형을 채택하였다. 또한 AWS 자료를 이용하여 부산지역 확률강수량 분포도를 작성하였다. 6시간 지속강수량에 있어서 245.2 mm의 강수량이 100년 마다 발생할 수 있으며, 280.6 mm가 200년에 한번 정도 나타날 수 있다. 확률강수량 분포도 결과 1시간 지속강수일 경우 동래구에서 높은 값을 가지며, 3시간 지속강수는 부산연안 전반에 걸쳐 높게 나타나고 있다. 6시간 지속강수량일 경우는 부산진과 양산일대에서 높은 값을 나타내며 12시간 지속강수의 경우 남동연안지역과 웅상 일대에서 높은 값을 보이는 특징이 나타났다.

주요어: 확률강수량, 재현기간, 확률가중모멘트법, 적합성 검정, generalized logistics

*Corresponding author: ysmoon@knue.ac.kr

Tel: 82-43-230-3769

Fax: 82-43-230-3785

서 론

강수량의 물리적·역학적 생성과정은 아직까지 명확하게 밝혀지지 않은 불확정한 영역에 해당된다. 이를 극복하기 위한 일환으로 확률통계적인 방법론을 많이 이용하여 왔다. 이러한 접근법은 어떤 강수현상이 특정한 확률분포를 따른다는 가정 하에 특정한 강수현상의 발생 빈도나 혹은 특정 빈도를 가지는 강수현상 크기에 대한 분석이 주를 이루고 있으며, 이러한 측면에서 확률통계학적인 방법론은 빈도해석 기법을 의미하고 있다고 할 수 있다(윤용남, 2007).

확률강수량은 과거의 관측자료를 이용하여 지정된 기준량을 초과할 확률을 계산하는 것으로, 이를 위해서는 관측된 강수량에 적합한 확률분포형을 선택하는 과정이 중요하다. 강수는 수문순환과정의 가장 기본적이고 중요한 요소 중의 하나로서, 이전부터 다양한 방식으로 최적의 확률분포형을 찾고자 하는 연구들이 계속되어왔다.

김연희 외(2009)는 한반도 재해피해와 호우의 재현 주기를 확률밀도함수를 이용하여 산정하였고, Heo and Kim(1995)은 전국 22개 관측지점의 연 최대 강우자료를 이용하여 7개의 지속기간별 확률분포형을 선정하기 위하여 확률가중모멘트법을 이용하였으며, Gumbel 분포를 우리나라 대표 강수 확률분포형으로 선택한 바 있다. 또한 Lee et al.(2000)도 21개 관측 지점의 자료를 이용하여 Gumbel 분포를 대표 확률 분포형으로 선정하였다. 하지만, 최근 정창삼 외(2009)는 강원도 지역에서의 최적 확률분포형으로 GLO를 선정한 바 있다. Mohammad et al.(2010)은 년평균강수량 추정에서 있어 최적의 주기분포 선택을 위해 확률밀도함수를 사용하였고 또한 적절한 분포선택에 영향을 주는 자료의 길이의 효과를 평가하였다. Legates (1991)은 전지구적인 수문학적 분석을 위해 월별 총 강수량 산정에 있어 다양한 확률밀도함수를 적용한 바 있다.

이와 같이 최적의 확률분포형 결정에 있어서 강수 기간과 지역에 따라서 상이한 결과가 도출될 수 있음을 시사한다. 따라서 본 연구에서는 기상재해가 빈번히 발생하는 부산지역의 대상으로 적절한 확률분포형 선정에 따른 확률강수량을 산정하고 이에 따른 재현기간 및 주변 AWS 강수량 관측자료를 이용한 확률강수량 분포도를 작성하였다.

자료 및 연구방법

대상지역 및 자료

부산지역 확률강수량·재현 기간은 관측치를 기초로 확률 분포를 적용시켜 추정하는 방법으로 보다 신뢰성 있는 결과를 위해서는 장기간 강수량 자료가 필수적이라 할 수 있다. 이와 같이 기상학적인 현상을 통계적으로 처리하는 방법에는 자료의 신뢰성이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 부산지역에서 30년 이상 장기간 강수량 자료를 확보할 수 있는 부산지방기상청 시간별 강수량 자료(1973-2007년)를 이용하였으며, 자료의 결측이나 하루 중 75% 미만의 자료 수집률을 가지는 날은 분석에서 제외시켰다.

부산지역 확률강수량 분포도를 작성하기 위해서는 공간적인 확률강수량 추정값이 필요하다. 비교적 장기간 강수량자료가 확보된 부산지방기상청 자료와는 달리 부산지역 AWS 자료는 Table 1에 제시된 바와 같이 1994년 이후에 설치되었다. 따라서 본 연구에서는 10년 이상 강수량 자료를 포함하는 AWS 지점(Table 1)을 선정하여 재현기간에 해당하는 확률강수량을 크리깅 기법을 통해 분포도를 작성하였다. Fig. 1은 본 연구를 위해 사용된 AWS(15개 지점) 관측자료의 위치를 나타낸 것이다.

연구방법

부산지역 확률강수량 산정을 위하여 부산지방기상청 1시간 강수량 자료를 이용하여 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12, 15, 18, 24시간의 지속기간(10개)에 대한 연 최대 값 시계열 자료를 구축하여, Table 2에 제시한 각 확률밀도 함수(Generalized Logistic(Stukel, 1988; Hosking and Wallis, 1997), Generalized Extreme Value(Hosking et al., 1985), Generalized Normal(Nadarajah, 2005), Pearson Type III(Pearson, 1895), Gumbel(Gumbel, 1954))에 적합한 매개변수 추정과 적합도 검정을 통하여 최적의 확률밀도함수를 선정한다. 이와 같이 최적의 확률밀도함수 선정이 필요한 이유는 각 확률밀도함수 따른 확률강수량의 재현기간이 길어질수록 그 차이가 크게 나타나며, 이는 실제 실무에 있어서 100년 이상의 재현기간이 매우 중요하게 작용하기 때문에 적절한 확률밀도함수의 선정에 따른 오차가 최소화가 되어야 한다.

매개변수 추정방법은 최우도법, 모멘트법, 확률가중

Table 1. Characteristics of meteorological monitoring sites in and around Busan

Site name	Site Num.	Initial	Obs. start day	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Height (m)
Yangsang	905	YS	1991.04.22	35.3319	129.0386	40
Yeongdo	910	YD	1990.06.23	35.0661	129.0742	138
Gadukdo	921	GD	1992.12.27	34.9896	128.8285	72
Wondong	922	WD	1992.12.28	35.3700	128.9700	19
Kijang	923	KJ	1992.11.10	35.2700	129.2300	12
Ganjeolgod	924	GJ	1992.12.28	35.3517	129.3640	24
Saenglim	925	SL	1992.12.12	35.3277	128.8534	28
Ungsang	928	US	1993.11.13	35.4122	129.1792	99
Haeundae	937	HU	1994.12.16	35.1604	129.1669	25
Busanjin	938	BS	1994.12.16	35.1540	129.0508	16
Geumjeong-gu	939	GJ	1994.12.17	35.2354	129.0823	75
Dongrae-gu	940	DR	1994.12.17	35.1911	129.0787	25
Buk-gu	941	BG	1994.12.17	35.2040	128.9980	38
Daeyeon	942	DY	1994.12.16	35.1350	129.1044	14
Suyoungman	950	SY	2001.09.15	35.1500	129.1333	11
Busan	159	BU	1904.04.09	35.1047	129.0320	69

Fig. 1. Geographical locations of meteorological monitoring sites (15 sites) in and around Busan. YS=Yangsang, YD=Yeongdo, GD=Gadukdo, WD=Wondong, KJ=Kijang, GJ=Ganjeolgod, US=Ungsang, HU=Haeundae, BS=Busanjin, GJ=Geumjeong-gu, DR=Dongrae, BG=Buk-gu, DY=Daeyeon, SY=Suyoungman, BU=Busan.

모멘트법이 주로 사용된다. 최우도법의 경우 표본자료가 아주 많은 경우에 아주 효율적인 방법이지만 하나 적은 표본에 있어서 파라미터값이 발산하는 경우가 종종 발생한다. 본 연구에서와 같이 우리나라의 경우 30년 이상 누적된 강수량자료가 거의 없기 때문에 부적합하다. 비교적 확률가중모멘트법이 모멘트법에 비해서 좀더 안정적인 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서도 확률가중모멘트법을 이용하였는데, 이는 김동엽 외(2010)에 의한 우리나라 강수량 확률

분포형 결정방법에 쓰인 것과 동일한 방법이다.

적합도 검정을 시행함에 있어서 이에 대한 명확한 기준은 아직까진 제시되어 있지 못한 실정이다. 다만, 계산된 검정통계량과 해당 유의수준의 이론적인 검정통계량을 비교하여 기각여부를 결정하는 것으로 여기에서 계산되는 검정통계량은 각각의 적합도 검정방법에 따라 차이는 있으나 대부분 실제 자료와 이론값의 차이를 계산하여 구해진다. 따라서 적합도 검정방법에 따라 계산된 검정통계량의 대소는 실제값과의

Table 2. Probability density function of five distributions (x_0 , μ_y and α , σ and are location, scale and shape parameters, respectively, and $\Gamma(\beta)$ is gamma function)

Probability Models	PDF
Gumbel	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left\{-\frac{x-x_0}{\alpha} - \exp\left[-\frac{x-x_0}{\alpha}\right]\right\}$
Generalized extreme value	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left\{1 - \beta \left[\frac{x-x_0}{\alpha}\right]\right\}^{1/\beta-1} \exp\left\{-\left[1 - \beta \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{1/\beta}\right]\right\}$
Generalized normal	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(x-x_0)\sigma_y} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2\right\}$
Pearson type III	$f(x) = \frac{1}{(\alpha)\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{(x-x_0)}{\alpha}\right)$
Generalized logistic	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left\{1 - \beta \left[\frac{x-x_0}{\alpha}\right]^{\left(\frac{1}{\beta}-1\right)}\right\} \left\{1 + \left[1 - \beta \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{1/\beta}\right]\right\}^{-2}$

유사성을 나타내므로 계산된 검정통계량을 이용하여 검정 확률분포형을 선정할 수 있을 것으로 판단된다. 본 적합도 검정방법 중 Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mies 검정, χ^2 검정의 경우 귀무가설이 기각되지 않는 조건은 계산된 검정통계량이 이론적인 검정통계량보다 작을 때이므로 검정통계량이 작으면 작을수록 실제값에 가깝다고 할 수 있고, PPCC 검정의 경우 귀무가설이 기각되지 않는 조건은 계산된 검정통계량이 이론적인 검정통계량보다 클 때이므로 검정통계량이 크면 클수록 실제값에 가깝다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 검정통계량 특성을 이용하여 다른 적합도 검정에 비해 기각력이 우수한 것으로 알려져 있는 χ^2 검정과 PPCC 검정(허준행 외, 2001)의 검정결과와 검정통계량을 이용하여 적정 확률분포형의 선정기준을 가정해 보았다.

부산지역 확률강수량 분포도 작성을 위해 Table 1에 제시된 AWS 관측지점 강수량 자료(2000-2010년)를 이용하여 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12시간의 지속시간(7개)에 대한 연 최대값 시계열 자료를 구축하였다. AWS 강수량 관측자료의 경우, 자료기간 및 각 지점별 지

속기간 차이에서 발생하는 오차를 최소화하기 위해 모든 관측지점에서 유효 연최대 강수량 지속시간 관측자료를 포함하는 7개만을 선정한 것이다. 매개변수 추정과 적합성 선정을 통한 최적의 확률밀도함수에 따른 각 관측지점의 재현기간을 산정하여 Krigging Method를 이용하여 부산지역 확률강수량 분포도를 살펴보았다.

결과 및 고찰

확률분포형 결정

부산 지역 확률강수량 산정을 위하여 부산지방기상청(1973-2007년) 1시간 강수량 자료를 이용하여 지속시간별 연최대값을 Table 3에 나타내었다.

1시간 지속시간별 연최대강수량 자료를 이용하여 Generalized Logistic(GLO), Generalized Extreme Value(GEV), Generalized Normal(GNO), Pearson Type III (PT III), Gumbel 등의 5가지 확률분포형에 적합한 매개변수를 추정하고 적합도 검정을 수행하였다.

매개변수 추정결과를 Table 4에 나타내었다. 모든

Table 3. Annual maximum precipitation (mm) for several rainfall durations during 1973 through 2007

Year	1 h	2 h	3 h	4 h	6 h	9h	12 h	15 h	18 h	24 h
1973	68.0	110.0	144.5	159.2	173.4	181.8	182.5	154.0	154.4	40.3
1974	34.2	39.9	57.7	63.1	88.2	105.8	115.8	146.6	176.6	190.4
1975	31.4	41.6	54.6	54.9	59.4	64.3	71.3	74.6	74.7	65.6
1976	28.1	30.6	32.3	43.7	58.3	71.8	92.5	97.0	98.2	62.6
1977	27.1	28.1	34.6	42.9	53.5	73.3	79.8	81.4	82.0	82.6
1978	39.8	67.0	91.7	117.9	133.0	163.6	186.0	216.6	246.5	257.3
1979	39.0	50.1	68.2	87.6	115.6	141.8	180.3	195.0	205.6	232.3
1980	50.0	48.0	58.0	58.8	61.5	86.2	103.8	119.3	124.5	140.1
1981	60.0	98.4	109.4	111.7	116.0	140.7	159.8	164.3	183.1	126.9
1982	48.5	56.7	65.2	73.8	83.7	96.6	104.9	107.4	107.8	61.3
1983	84.6	111.0	157.2	173.1	179.8	181.9	184.8	85.9	99.0	120.6
1984	81.5	100.0	109.2	120.4	144.9	179.2	194.5	238.3	245.6	246.5
1985	52.8	86.3	109.1	131.0	135.8	138.2	140.4	170.4	184.8	225.5
1986	30.5	42.2	56.0	71.0	98.0	116.2	132.4	144.9	148.9	113.5
1987	43.2	76.0	106.9	122.5	140.3	150.4	153.3	153.8	70.0	73.8
1988	26.4	45.9	51.6	66.2	72.7	75.6	59.5	62.5	64.5	64.8
1989	40.2	67.2	92.0	107.7	161.2	206.3	238.0	252.6	257.9	258.3
1990	22.7	27.7	29.5	39.3	49.3	58.4	79.3	52.3	62.3	71.0
1991	70.5	99.7	105.3	141.4	210.3	296.8	361.8	400.4	433.4	460.9
1992	36.0	55.0	63.9	71.9	85.6	106.7	124.6	130.7	132.5	87.5
1993	39.8	57.3	79.0	97.0	119.4	125.8	126.4	112.1	115.0	70.4
1994	24.0	29.3	37.3	45.8	62.1	73.0	85.0	106.6	115.6	119.9
1995	25.7	39.7	61.1	75.6	96.3	119.4	126.8	103.0	107.2	71.7
1996	28.0	42.9	60.7	63.5	68.2	64.8	88.0	92.1	102.3	122.4
1997	82.1	57.1	70.7	72.0	80.8	92.1	98.0	107.4	114.7	140.8
1998	46.1	63.7	79.1	79.7	87.4	96.9	111.3	135.2	152.3	168.2
1999	47.3	77.1	81.7	84.3	101.6	133.8	149.0	177.0	213.9	282.2
2000	53.0	89.0	94.8	99.5	105.7	106.7	107.3	112.0	137.8	160.5
2001	38.8	57.6	63.8	67.9	69.9	82.7	90.3	99.1	105.1	142.1
2002	38.5	74.5	95.0	112.0	132.5	137.5	147.0	168.5	171.0	186.0
2003	45.0	69.0	77.0	84.0	111.0	121.5	144.0	156.0	159.0	164.0
2004	32.5	48.5	51.5	62.0	82.5	98.5	100.0	103.0	104.0	104.5
2005	37.0	62.5	73.0	96.5	107.0	111.7	132.5	149.5	159.5	161.5
2006	49.0	67.5	69.0	79.5	103.5	133.5	139.5	134.5	137.5	69.5
2007	58.0	48.0	58.5	65.5	77.0	83.0	93.5	95.5	83.5	39.5

확률밀도함수의 매개변수 추정결과, 확률분포형의 확률변수 범위와 매개변수 적합성 조건의 허용범위 내에서 모두 적합한 것으로 나타났다. Table 5는 χ^2 검정과 PPCC 검정결과 및 통계량을 나타낸 것이다. χ^2 검정은 가장 널리 사용하는 적합도 검정방법 중의 하나로 대상자료에 대해 적합하다고 가정한 확률밀도 함수와 근집화된 자료를 이용한 빈도해석을 통하여 구해지는 경험적 확률밀도함수를 비교하는 검정방법이다. PPCC 검정은 유의수준 및 자료의 크기에 따른 검정통계량을 유도하여 검정하는 방법으로 자료의 적모멘트 상관계수를 이용하여 적합도 검정을 수행한다. Table 5에 제시된 χ^2 는 이론적인 검정통계량에서 계

산된 검정통계량을 뺀 값이며, 그 차가 음수의 경우 부적합경우이고 편차가 클수록 실측치에 가깝다는 것을 의미한다. 또한 PPCC 값은 계산된 검정통계량에서 이론적인 검정통계량을 뺀 값으로 음수의 경우 부적합을 나타내고, 그 차가 큰 값일수록 실측치에 근사함을 나타낸다. χ^2 검정결과 GNO의 15시간 지속강수만 부적합으로 나타났고, PPCC 검정결과에서는 GNO(9, 12, 15, 18, 24)와 PTIII(12, 15)에서 부적합한 것으로 나타났다. 따라서 GNO와 PTIII를 제외한 나머지 확률밀도함수의 적합성 결과에서 가장 적절한 타입을 선정하는 것이 바람직하다. χ^2 검정결과와 PPCC 검정결과가 모두 적합한 경우, 편차 값이

Table 4. Summary of parameter estimations of generalizd normal (GNO), generalized extreme value (GEV), gumbel (GUM), generalized logistic (GLO), and Pearson type III (PT III) distributions for several rainfall durations

Rainfall duration		1	2	3	4	6	9	12	15	18	24
GNO	x_0	44.6	61.9	75.7	86.9	103.6	120.5	133.8	140.0	146.6	142.4
	Xmin (Obs.)	22.7	27.7	29.5	39.3	49.3	58.4	59.5	52.3	62.3	39.5
	Xmax (Obs.)	84.6	111.0	157.2	173.1	210.3	296.8	361.8	400.4	433.4	460.9
	α	16.5	23.6	28.7	32.6	38.6	45.7	50.8	58.0	65.1	82.1
	β	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Validity check	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
GEV	x_0	36.2	50.9	62.1	71.0	84.8	97.3	107.2	109.4	112.2	99.8
	Xmin (Obs.)	22.7	27.7	29.5	39.3	49.3	58.4	59.5	52.3	62.3	39.5
	Xmax (Obs.)	84.6	111.0	157.2	173.1	210.3	296.8	361.8	400.4	433.4	460.9
	α	12.5	20.0	23.7	26.0	30.9	34.5	36.0	40.2	44.6	56.9
	β	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1
	Validity check	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
GUM	x_0	36.8	50.8	62.2	71.6	85.5	99.0	110.0	112.7	116.0	103.9
	Xmin (Obs.)	22.7	27.7	29.5	39.3	49.3	58.4	59.5	52.3	62.3	39.5
	Xmax (Obs.)	84.6	111.0	157.2	173.1	210.3	296.8	361.8	400.4	433.4	460.9
	α	13.4	19.2	23.3	26.5	31.4	37.2	41.3	47.2	53.0	66.8
	β	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Validity check	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
GLO	x_0	41.2	58.8	71.5	81.4	97.2	111.1	121.8	125.6	130.2	122.8
	Xmin (Obs.)	22.7	27.7	29.5	39.3	49.3	58.4	59.5	52.3	62.3	39.5
	Xmax (Obs.)	84.6	111.0	157.2	173.1	210.3	296.8	361.8	400.4	433.4	460.9
	α	8.5	12.9	15.5	17.4	20.6	23.7	25.4	28.7	32.1	41.1
	β	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
	Validity check	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PTIII	x_0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Xmin (Obs.)	22.7	27.7	29.5	39.3	49.3	58.4	59.5	52.3	62.3	39.5
	Xmax (Obs.)	84.6	111.0	157.2	173.1	210.3	296.8	361.8	400.4	433.4	460.9
	α	6.3	9.4	11.3	12.7	14.9	18.0	20.0	25.1	30.5	51.8
	β	7.1	6.6	6.7	6.9	7.0	6.7	6.7	5.6	4.8	2.8
	Validity check	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

Table 5. Goodness-of-fit test of precipitation data using the method of probability weighted moments for several rainfall durations among 5 categories (GNO, PTIII, GEV, GUM, and GLO)

Rainfall duration	GNO		PTIII		GEV		GUM		GLO	
	χ^2	PPCC*	χ^2	PPCC	χ^2	PPCC	χ^2	PPCC	χ^2	PPCC
1	6.64	-0.01	6.95	0.01	3.79	0.05	5.95	0.03	3.45	0.05
2	2.52	0.01	7.52	0.02	2.76	0.05	4.58	0.02	4.13	0.04
3	3.90	0.00	3.52	0.02	3.45	0.05	5.27	0.03	2.76	0.05
4	3.55	0.00	4.67	0.02	3.79	0.06	5.61	0.03	3.79	0.06
6	6.30	0.00	7.24	0.03	5.50	0.06	7.67	0.04	4.82	0.06
9	6.64	-0.03	7.52	0.01	4.82	0.01	5.95	0.02	4.82	0.07
12	1.15	-0.07	6.95	-0.01	4.48	0.04	3.90	0.00	3.79	0.07
15	-1.25	-0.07	4.10	-0.01	4.82	0.04	1.84	0.01	1.73	0.08
18	3.55	-0.06	6.10	0.00	5.16	0.05	6.98	0.01	5.16	0.08
24	0.12	-0.04	7.52	0.02	4.82	0.01	5.27	0.02	4.82	0.07
Sum			62.09		43.39	0.42	53.02	0.21	39.27	0.63

*PPCC: probability plot correlation coefficient.

Fig. 2. (a) Probability density and (b) cumulative distribution for 12-hour rainfall duration. EMP means a empirical value calculated with the observed precipitation data.

Table 6. The estimated probable precipitation for several rainfall durations and return periods

Return period (year)	Rainfall duration									
	1 h	2 h	3 h	4 h	6 h	9 h	12 h	15 h	18 h	24 h
2	41.2	58.8	71.5	81.4	97.2	111.1	121.8	125.6	130.2	122.8
3	47.6	68.2	82.9	94.3	112.4	128.9	141.1	147.6	154.8	154.1
5	55.1	78.6	95.6	108.9	129.6	149.7	164.4	174.2	184.7	191.7
10	65.5	92.0	112.3	128.5	152.8	178.5	197.6	212.5	227.9	245.5
20	76.8	105.9	129.7	149.5	177.4	210.2	235.3	256.4	277.6	306.6
30	84.1	114.4	140.5	162.7	192.9	230.6	260.1	285.6	310.6	346.9
50	94.2	125.6	155.0	180.6	213.8	258.8	295.1	326.9	357.5	403.7
70	101.5	133.4	165.1	193.2	228.6	279.1	320.7	357.3	392.1	445.3
80	104.5	136.6	169.2	198.5	234.7	287.6	331.5	370.1	406.7	462.9
100	109.8	142.0	176.3	207.5	245.2	302.3	350.3	392.6	432.4	493.5
150	120.0	152.4	189.9	224.8	265.4	331.0	387.5	437.1	483.2	554.1
200	127.8	160.0	200.0	237.9	280.6	352.9	416.4	471.8	522.8	601.0
300	139.7	171.4	215.1	257.5	303.4	386.3	461.0	525.6	584.4	673.6
500	156.3	186.6	235.5	284.5	334.6	432.9	524.3	602.5	672.7	776.9

두 방법 모두 최대치가 나타나는 경우가 가장 적합하나, 본 연구결과와 같이 χ^2 는 GUM이 PPCC는 GLO가 최대치를 나타내는 경우에는 PPCC 최대치를 적정 확률분포형으로 채택하게 된다.

Fig. 2는 5가지 각 확률분포형의 확률밀도분포와 누적분포를 나타낸 것으로 경험적 확률밀도함수 및 경험적 누적분포함수를 바탕으로 가장 적합한 확률분포형을 확인 할 수 있다. 누적분포에서는 분포형 간에 큰 차이를 분별하기 어렵지만, GLO 분포형이 경험적 누적분포 모습과 가장 유사하게 나타난다. 또한 확률밀도분포에서도 침투 부분에서 GLO 분포형이 경험적 확률밀도분포와 가장 유사한 모습을 보여주고

있다. 따라서 본 연구에서는 GLO 분포형이 가장 적합한 확률분포형으로 결정되었다. 이 분포형은 영국의 Flood Estimation Handbook(Institute of Hydrology, 1999)에서 영국의 홍수량 자료에 대해서 사용이 추천된 바 있는 분포형이다. 또한 이 결과는 건설교통부(2000)에서 우리나라 확률강우량도 산정시 GUM을 최적 확률분포형을 선정한 것과는 다르나, 정참삼 외(2009)가 우리나라 강원도 지역의 확률강수량 산정 결과와는 일치한다. 이와 같은 결과에서 확률분포형 선정에 관측자료의 특성이 매우 중요하게 작용하고 있음을 유추할 수 있다.

Fig. 3. The estimated probable precipitation for several rainfall durations and return periods.

재현기간 및 분포도 산정

앞서 선정된 GLO 확률밀도함수에 의한 부산지역 지속시간별 강수량 재현기간을 산정하여 Table 6과 Fig. 3에 나타내었다. 강수량의 재현기간은 GLO의 누가분포함수를 확률변수의 역함수로 구성하여 계산할 수 있다. GLO의 누가분포함수는 식(1)과 같이 정의된다.

$$F(x) = \left[1 + 1 - \beta \left(\frac{x - x_0}{\alpha} \right)^{1/\beta} \right]^{-1} \quad (1)$$

여기서 x_0 는 위치 매개변수, α 는 강수량의 빈도를 의미하는 규모매개변수, β 는 강수량의 세기를 의미하는 형상매개변수이고, $\beta < 0$ 이면 $x_0 + \frac{\alpha}{\beta} \leq x < \infty$ 이고,

$\beta > 0$ 이면 $-\infty < x \leq x_0 + \frac{\alpha}{\beta}$ 이다.

누가분포함수는 0과 1사이의 값을 갖는 비초과확률을 나타내는 것으로 비초과확률(q)과 재현기간(T)이 $q = 1 - 1/T$ 의 관계를 이용하여 관측자료로부터 추정된 매개변수(Table 4)를 역함수에 대입하여 임의의 재현기간에 대한 확률강수량을 산정할 수 있다. 산정 결과에 의하면 6시간 지속강수량에 있어서 245.2 mm의 강수량이 100년 마다 발생할 수 있으며, 280.6 mm가 200년에 한번 정도 나타날 수 있다.

이상과 같은 방법으로 부산지역 10년 이상 강수량 자료를 확보한 AWS 지점(Table 1)의 자료를 이용하여 재현기간을 산출하고, 각 관측지점의 위치에 따른 Krigging method를 도입하여 분포도를 작성하였다.

Fig. 4는 재현기간 100년에 해당하는 부산지역 확률강수량 분포를 나타낸 것으로, 이는 댐과 같은 건설 설계시 수문자료 분석에 근거한 100년에 해당하는 강수량이 중요하기 때문이다. 지속 시간별 확률강수량 분포형태를 살펴보면 1시간 지속강수일 경우 동래구와 가덕도 부근에서 높은 값을 가지며, 상대적으로 북구와 김해지역은 낮은 값을 보인다. 3시간 지속강수는 영도, 대연, 수영, 해운대와 기장인근에 이르는 부산지역의 남동면에 해당하는 연안지역 전반에서 높게 나타나는 특징이 있다. 6시간 지속강수량은 부산청, 부산진 부근과 양산일대에서 높은 값을 나타내며 12시간 지속강수의 경우 부산 남동연안지역에서 비교적 높은 값을 보이며, 특히 웅상 지역에서 피크를 보이는 특징이 나타난다. 이와 같이 부산지역 확률강수량의 분포형태가 강수 지속시간에 따라 차이를 보이는 것은 부산지역에 강수를 유발하는 패턴과 그에 따른 강수 지속시간의 차이에서 기인된 것으로 사료되며, 추후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 부산지역 확률강수량 결정에 의한 재현기간을 산정하고, 재현기간에 따른 확률강수량 분포를 살펴보았다.

부산지역 확률강수량 산정을 위해 부산지방기상청 1시간 강수량자료를 이용하였으며, 확률가중모멘트법을 이용하여 매개변수를 추정하였고 χ^2 및 PPCC 검정을 통해 적합성분석을 실시하였다. 최적의 확률분

Fig. 4. Spatial distributions of probable precipitation for a 100-year return period.

포형으로 GLO를 채택하였다. GLO 분포형에 따른 부산지역 확률강수량에 의하면 6시간 지속강수량에 있어서 245.2 mm의 강수량이 100년 마다 발생할 수 있으며, 280.6 mm가 200년에 한번 정도 나타날 수 있다. 또한 AWS 자료를 이용하여 부산지역 확률강수량 분포도를 작성하였으며, 그 결과 1시간 지속강수일 경우 동래구에서 높은 값을 가지며, 3시간 지속강수는 부산연안 전반에 걸쳐 높게 나타나고 있다. 6시간 지속강수량일 경우는 부산진과 양산일대에서 높은 값을 나타내며 12시간 지속강수의 경우 남동연안 지역과 웅상 일대에서 높은 값을 보이는 특징이 나타났다.

본 연구결과는 부산지역 최적의 확률강수량을 산정한 것으로 강수지속시간에 따른 재현기간을 제시하였다. 이와 같은 방법으로 계산된 확률강수량은 현재 댐건설의 설계, 하천 재방설계 및 재해방지대책 마련

과 같은 다양한 수문자원을 이용하는 분야에서 사용되고 있다. 따라서 본 연구의 결과는 부산지역의 수문자원 활용과 관련된 정책입안 및 다양한 재해방지 대책 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 기초기술연구회의 “기후변화 대응 측정 기술 개발(NAP)” 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 건설 교통부, 2000, 1999년도 수자원관리기법개발 연구조사 보고서 제 1 권 한국확률강우량도 작성.
김동엽, 이상호, 홍영주, 이은재, 임상준, 2010, 우리나라의 연 강수량, 계절 강수량 및 월 강수량의 확률분포형 결정, 한국농림기상학회지, 12(2), 83-94.

- 김연희, 김맹기, 이우섭, 백을선, 2009, 한반도 재해피해와 호우의 재현주기, 기후연구, 4(2), 96-109.
- 윤용남, 2007, 수문학 기초와 응용-, 청운각, 1152 p.
- 정창삼, 엄명진, 허준행, 2009, 공간분석을 이용한 강원도 지역의 강수분포 분석 (II): 지속기간 및 재현기간별 확률강수량 분석, 한국방재학회논문집, 9(6), 99-109.
- 허준행, 고연우, 김경덕, 2001, 확률도시상관계수 적합도검정 검정통계량 유도 및 기각력 검토, 2001년도 대한토목학회 논문집 B, 21(2B), 85-92.
- Gumbel, E.J., 1954, Statistical theory of extreme values and some practical applications. Applied mathematics series 33. U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards.
- Heo, J., and Kim, K., 1995, A study of the selection of probability distribution for rainfall data in Korea. Journal of the Engineering Research Institute, Yonsei University 29(2), 193-200.
- Hosking, J.R.M., Wallis, J.R., Wood, E.F., 1985, Estimation of the generalized extreme value distribution by the method of probability-weighted moments, Technometrics, 27(3), 251-261.
- Hosking, J.R.M., and Wallis, J.R., 1997, Regional Frequency Analysis, New York, Cambridge University Press.
- Institute of Hydrology, 1999, Flood Estimation Handbook, UK, Institute of Hydrology.
- Legates, DR., 1991, An evaluation of procedures to estimate monthly precipitation probabilities, Journal of Hydrology, 122(1-4), 129-140.
- Lee, J., Lee, J., Kim, B., and Park, J., 2000, Derivation of probable rainfall formula of individual zone based on the representative probability distribution, Proceedings of the Korea Water Resources Association, 124-129.
- Mohammad, M., Khaled, O., Sayed, A.N.S., Bahktiar, K., and Jalil, M., 2010, Determining suitable probability distribution models for annual precipitation data (a case study of Mazandaran and Golestan provinces), Journal of Sustainable Development, 3(1), 159-168.
- Nadarajah, S., 2005, A generalized normal distribution, Journal of Applied Statistics, 32(7), 685-694.
- Pearson, K., 1895, Contributions to the mathematical theory of evolution, II: Skew variation in homogeneous material, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 186, 343-414.
- Stukel, T.A., 1988, Generalized logistic models, Journal of American Statistical Association, 83(402), 426-431.

2011년 11월 28일 접수

2011년 12월 23일 수정원고 접수

2012년 2월 22일 채택