

공간분석을 이용한 강원도 지역의 강수분포 분석 (II): 지속기간 및 재현기간별 확률강수량 분석

Analysis of Precipitation Distribution in the region of Gangwon with
Spatial Analysis (II): Analysis of Quantiles with Interested Durations and Return Periods

정창삼* · 엄명진** · 허준행***

Jeong, Chang-Sam · Um, Myoung-Jin · Heo, Jun-Haeng

Abstract

In this study, often the spatial distribution of precipitation was analyzed using the quantile with regional frequency analysis and spatial analysis to find out the detail distribution of extreme precipitation for preventing the disaster in the region of Gangwon. The hourly precipitation data of 66 stations in Gangwon were used. As the results of regional frequency analysis, it shows that the generalized logistic (GLO) distribution is the best for the region of Gangwon. As the results of spatial analysis, the quantiles have high values nearby Seolakdong, Daegwallyeong and Cheongil as the duration of precipitation increase, and the change of spatial distribution occurs severely according to the duration of precipitation. The spatial characteristics of precipitation appears clearly as the return period of quantile increases. As the results of the spatial distribution of precipitation in Gangwon heavy quantiles usually are appeared in Yongdong, and the spatial distributions of quantile in Yongseo are various according to the duration and the return period of quantile. Therefore, to estimate more accurate quantiles in Gangwon, various geographical and weather conditions are considered additionally for the regional precipitation frequency analysis.

Key words : quantile, regional frequency analysis, spatial analysis

요 지

본 연구에서는 강원도내 정확한 극치강수분포를 파악하여 최근 증가하고 있는 재해를 예방하고자 지역빈도해석 방법을 이용하여 산정한 확률강수량과 공간분석을 통하여 강원도의 강수분포를 분석하였다. 강수자료는 강원도내 기상청 관할의 66개 관측소의 자료를 사용하였다. 지역빈도해석결과 GLO 분포형이 강원도에 가장 적합한 분포형으로 나타났다. 강수분포를 지속기간별로 분석한 결과 지속기간이 증가할수록 설악동, 대관령 및 청일 일원에서 높은 확률강수량을 나타내었으며, 지속기간에 따라서 강수의 공간분포가 확연히 변화됨을 확인하였다. 또한 재현기간별로 분석한 결과 재현기간이 길어질수록 지역별 강수 특성이 강하게 나타났다. 강원도 강수분포를 공간분석한 결과 영동지방에서는 일관적으로 높은 강수량이 발생하였으나 영서지방에서는 지속기간 및 재현기간에 따라 다양한 분포를 나타내었다. 따라서 지역별 강수량의 보다 정확한 예측을 위해서는 지역빈도해석 이외에 다양한 지리 및 기상조건을 고려할 수 있는 모형에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

핵심어 : 확률강수량, 지역빈도해석, 공간분석

1. 서 론

확률강수량 산정시 지점빈도해석은 자료수가 일정 수 이상일 때 적용 가능한 모형이다. 따라서 지점의 자료가 부족할 경우의 문제점을 보완하기 위하여 동질한 지역의 자료를 이용할 수 있는 지역빈도 해석 방법이 도입되었다(허준행 등, 2004; Heo 등, 1990; Cunnane, 1989; Institute of Hydrology, 1999). 따라서 최근 도입되어 운영 중인 AWS(Auto Weather

System)의 시우량 자료를 빈도해석에 적용하기 위해서는 지점 빈도해석 보다 지역빈도해석이 더욱 합리적이라 할 수 있다.

지역빈도해석은 Darlymple (1960)에 의해 실무에 도입되기 시작하였다. 미국 수자원평의회(U.S. Water Resources Council, 1981)는 지역화된 왜곡도 계수를 이용한 Log-Pearson type III 분포를 이용한 홍수빈도 해석을 추천하였으며, 영국은 Flood Studies Report(NERC, 1975)를 발간하여 General Extreme Value(GEV) 분포형을 이용한 홍수빈도해

*정회원 · 인덕대학 토목환경설계과 전임강사 (E-mail: csjeong@induk.ac.kr)

**연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정

***정회원 · 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 교수

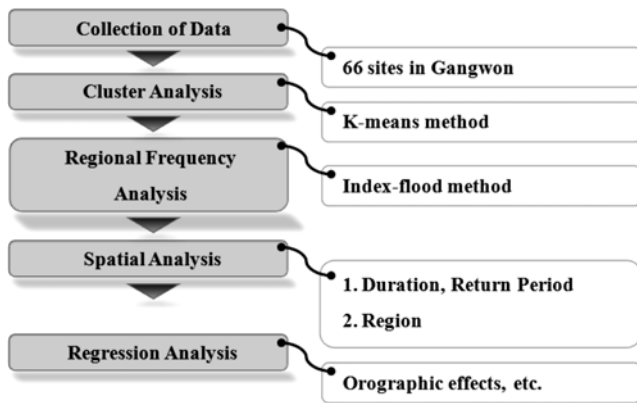


Fig 1. The procedure of study.

석을 추천하였으나, Flood Estimation Handbook(Institute of Hydrology, 1999) 발간 후 홍수빈도해석시 적정 분포형으로 Generalized Logistic(GLO) 분포를 사용하도록 권장하고 있다.

Bradley (1998)은 수문학적 극치사상의 변화를 측정하기 위하여 지역빈도해석을 적용하였다. 빈도해석에서 수문학적 극치사상은 랜덤 과정이므로 기후 변동성은 극치 분포를 바꿀 수 없어야 한다. 하지만 Bradley (1998)은 지역빈도해석을 실제 수문 시계열에 적용해 본 결과 수문극치 사상의 무작위성이 존재 하지 않을 수 있음을 확인하였다. Fowler 등 (2003)은 영국의 1961-2000년의 극치 강수량자료에 대하여 지역빈도해석을 수행하였다. 그들은 자료기간 1, 2, 5 및 10일에 대한 분석을 실시하였으며 또한 자료기간을 10년으로 나누어 이동적인 방법과 고정적인 방법(예: 60년대, 70년대 등)으로 분석한 후 분석된 자료에 대하여 기후 경향을 분석하였다. Norbiato 등 (2007)은 2003년 8월 29일 이탈리아 쪽의 알프스 산에 발생한 호우를 분석하기 위하여 지역빈도해석을 수행하였다. Wallis 등 (2007)은 워싱턴 주의 지속기간 2시간 및 24시간 강수에 대하여 지역빈도해석 및 공간분석을 적용하였다. 이러한 연구는 1973년 미국의 National Weather Service(NWS)에 의해 수행되었던 연구를 보완하기 위하여 수행되어졌다. 워싱턴 주는 다양한 지형 및 기후조건을 가지고 있다. PRISM(Precipitation-elevation Regressions on Independent Slopes Model)을 적용하여 지점간의 값들을 보간하였다. 또한 GEV 분포가 적합 분포형으로 선정되었다.

따라서 본 연구에서는 Fig. 1의 연구절차와 같이 강원도의 확률강수량을 산정하기 위하여 지역빈도해석 기법 중 지수홍수법을 적용하였으며, 산정절차는 Hosking 등 (1997)이 제안한 방법에 의거하였다. 또한, 산정된 확률강수량을 공간분석을 통하여 지속기간 및 재현기간별로 도시하여 강원도 지역의 극치강수분포를 분석하였다. 산정된 강원도의 극치강수분포를 통하여 지역특성이 복잡한 강원도 지역의 보다 효율적인 수공구조물 설계 및 현실적인 재해 예방 관리가 가능할 것으로 판단된다.

2. 지역빈도해석

지역빈도해석은 확률수문량의 정확한 산정을 위해 지점별

도해석을 보완한 방법으로 자료 보유기간이 비교적 짧은 자료보유기간보다 긴 재현기간에 대한 설계수문량 산정에 어려움을 겪는 지역에서 설계수문량을 재산정할 수 있도록 고안된 방법이다. 지역빈도에 사용되는 여러 지점의 자료는 동일한 지역의 자료로 각 지점별로 규모는 다르지만 동일한 분포형으로부터 추출된 자료로 간주하여, 각 지역에 적합한 확률 분포형을 선정하는데 이용된다. 특히, 본 연구에서 사용된 지수홍수법은 서로 다른 자료 표본들로부터 대표 통계량을 도출하는데 유용한 방법이다.

2.1 지점별 자료의 검증

지역빈도해석을 수행하기 위해 지역화한 각 지점들의 자료들이 일치정도를 파악하는 것이 매우 중요하다. 지역 내 각 지점에서의 자료는 L-모멘트비(L-CV, L-skewness, L-kurtosis)를 이용하여 표현할 수 있다. 각 지점들의 특성을 고려한 지역의 범위를 타원이라고 정의하면 일치 정도가 좋을수록 지점들은 타원 중심으로, 일치정도가 나쁠수록 타원 밖으로 밀려날 것이다. 따라서 불일치(Discordancy) 척도 D_i 를 통하여 대상 지점이 대상 지역에 포함시킬 것인지를 판단할 수 있다. N 개의 지점을 보유한 지역에서 n 개의 자료개수를 가지고 있는 지점 i 에 대하여 L-moment가 t_1 (L-CV), t_3 (L-skewness), t_4 (L-kurtosis)라고 하면, D_i 는 식(1)과 같이 계산된다.

$$D_i = \frac{1}{3}N(u_i - \bar{u})^T A^{-1}(u_i - \bar{u}) \quad (1)$$

여기서, u_i 는 t_1, t_3, t_4 를 구성요소로 가지는 벡터이며, \bar{u} 는 소유역내 지점들의 u_i 를 산술평균한 값이다. A 는 표본자료의 공분산으로서 식(2)로 산출된 값이다. 이 때, T 는 전치행렬이다.

$$A = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T \quad (2)$$

따라서 불일치 척도 (D_i)가 지나치게 큰 지점의 자료는 지역을 하나로 간주했을 때 지역의 일치도가 떨어지는 것임을 의미하며, 이러한 지점의 자료로부터 오류가 있는지 확인할 수 있다. 일반적으로 대상지역이 15개 이상의 지점을 포함하는 경우 $D_i \leq 3$ 의 기준이 제시되었으나, 15개 이하의 지점을 포함하는 지역에서는 지점의 자료수와 관계하여 검토되어야 한다 (Hosking 등, 1997). 또한, 지역 내 지점의 최소 개수의 기준을 Flood Estimation Handbook (Institute of Hydrology, 1999)에서는 7개소 이상을 추천하고 있다.

2.2 동질성 검사

지역빈도해석에 동질 지역이란 지형학적인 의미가 아닌 통계적 특성이 동일한 지점들의 집단을 의미한다. 따라서 지역 내 지점들이 수문학적인 동질성을 가지는지 평가하기 위하여 기준이 마련되어야 하며, 이러한 목적으로 이질성 척도를 산정한다. 동질지역에서 이산도를 추정하기 위하여 이질성 척도 H 는 자료의 이산도(Dispersion)를 모의 발생시킨 평균과 이산

도의 차, 그리고 모의 발생시킨 표준편차의 비로 정의한다 (Hosking, 1990).

동질성을 가진 지역에서의 모든 지점은 같은 모집단 L-모멘트를 가질 수 있다고 가정한다. 하지만 표본의 변동성으로 인하여 표본 L-모멘트가 서로 다를 수 있기 때문에 동질성을 가진 지역에서 예측되는 이산도는 그룹의 표본 L-모멘트간의 이산도 및 각 지역 내 모집단의 이산도로 산정할 필요가 있다. 이질성 척도 H 는 식 (3)을 이용하여 산정한다.

$$H = \frac{V - \mu_v}{\sigma_v} \quad (3)$$

여기서, V 는 L-moment비를 Kappa분포형에 적합시킨후 모의 발생하여 식 (4)와 같이 산정하며, σ_v 는 각각 계산된 V 의 평균과 표준편차이다.

$$V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^{(R)})^2}{\sum_{i=1}^N n_i}} \quad (4)$$

또한, $t^{(i)}$ 는 n_i 개의 자료개수를 가지고 있는 지점 i 에 대한 표본 L-CV, $t^{(R)}$ 은 지점의 자료개수를 비례 가중시킨 L-CV의 지역평균이다.

Hosking 등 (1997)은 사용된 L-moment에 따라 이질성 척도를 H_1 (L-CV), H_2 (L-skewness), H_3 (L-kurtosis)의 세 가지 형태로 분류하였으며, 동질성지역(Acceptably homogeneous) $H < 1$, 이질성 가능지역(Possibly homogeneous) $1 \leq H < 2$, 이질성 지역(Definitely heterogeneous) $H \geq 2$ 의 기준을 제시하였다.

2.3 적합도 검사

동질성을 가진 지역 내 각 지점들에 대하여 가장 적합한 분포형을 선정하는 척도로서 적합도를 나타내는 Z_{DIST} 를 사용한다. 지역 내 각 지점별 L-모멘트의 평균은 지역의 특성을 충분히 대표하므로 검정하고자 하는 확률분포형의 모멘트가 이들 평균값들과 일치하는가를 검정하여 적정 확률 분포형을 산정한다.

지역의 자료수가 20개미만 또는 모집단의 L-skewness의 값이 0.4보다 클 경우 L-kurtosis와 달리 L-skewness는 편이 될 수 있으며 이 때 L-kurtosis의 편의를 수정하여 적용한다. Kappa분포를 사용하여 L-CV, L-skewness와 L-kurtosis의 지역평균인 t_3^R, t_4^R 을 가지는 자료집단을 충분한 횟수인 N_{sim} 에 걸쳐 모의 발생시키게 되면, m 번째 모의 자료집단의 L-kurtosis와 표본 L-kurtosis의 편의는 식(5)와 같이 산정된다.

$$B_4 = \frac{1}{N_{sim}} \sum_{m=1}^{N_{sim}} (t_4^{(m)} - t_4^R) \quad (5)$$

이 때, 표준편차를 계산하면 식(6)과 같다.

$$\sigma_4 = \left[\frac{1}{(N_{sim} - 1)} \left\{ (t_4^{(m)} - t_4^R)^2 - N_{sim} B_4^2 \right\} \right]^{1/2} \quad (6)$$

따라서 각 분포형에 대한 적합성 척도는 식 (7)과 같이 계산된다.

$$Z_{DIST} = \frac{t_4^{DIST} - t_4^R + B_4}{\sigma_4} \quad (7)$$

Z_{DIST} 가 0에 가까울수록 분포형의 자료에 대한 적합성은 높으며, 신뢰구간 90%를 고려하면 적합성 인정의 최소기준은 $|Z_{DIST}| \leq 1.64$ 로 정의된다 (Hosking 등, 1997).

2.4 지수홍수법

지수홍수법(Index Flood Method)은 서로 다른 자료 표본들로부터 대표 통계량을 도출하는데 매우 유용한 방법이다. 지역빈도해석을 위하여 사용하는 여러 지점의 자료는 동질성 있는 지역 내의 자료로 간주한다. 즉, 각 지점별 자료의 규모는 다르지만 동일한 분포형으로부터 추출된 자료라 가정 한 후 각 지역의 자료에 적합한 확률분포형을 선정한다. 동질성 있는 자료에 대하여 확률강수량을 산정하는 다음과 같다.

N 개의 지점을 보유한 지역에서 자료개수 n_i 를 갖는 지점 i 에 대하여 Q_{ij} , $j = 1, \dots, n_i$ 의 관측자료를 보유하고 있다고 가정 하자. 여기서, $Q(F)$ ($0 \leq f \leq 1$)는 지점 i 에서 quantile 함수를 나타내며, 동질한 지역에 대해 quantile은 식(8)과 같이 계산된다.

$$Q(F) = \mu_i q(F), \quad i = 1, \dots, N \quad (8)$$

여기서, μ_i 는 지수홍수(index-flood)로서 각 지점의 개별 규모 함수이며, $q(F)$ 는 모든 지점에 공통으로 적용할 수 있는 무차원 quantile 함수로 지역 성장곡선(Regional growth curve)이다. 지수홍수는 지점 i 에서의 관측자료의 평균 \bar{Q}_i 를 이용하며 식 (9)와 같다.

$$\hat{\mu}_i = \bar{Q}_i \quad (9)$$

지수홍수를 지점 i 에서의 지점분포함수의 평균과 같다고 가정하면, 지역 빈도분포함수의 평균은 1로 산정된다

3. 확률강수량 산정

본 연구에서는 대상관측소로 강원도내 기상청 관할 관측소 중 자료기간이 7년 이상인 곳을 대상으로 선정하였다. 선정된 관측소는 지상관측소 11개소와 AWS 55개소 (총66개소)이다. 각 관측소의 1시간, 2시간, 3시간, 4시간, 6시간, 9시간, 12시간, 15시간, 18시간, 24시간의 지속기간(10개)에 대한 연 최대값 시계열 자료를 구축하여 지역빈도해석을 실시하였다. 지속기간 10개중 대표적 4개 기간(1시간, 6시간, 12시간, 24시간)에 대한 시계열 평균을 Table 1에 나타내었다.

3.1 지역구분

본 연구에서는 ‘공간분석을 이용한 강원도 지역의 강수분포 분석(I): 강수지역 구분과 계절별 및 연평균 강수량 분석’에서 통계적 방법인 K-means 기법을 이용하여 구분한 강수지역에 대하여 지역빈도 해석을 적용하였다.

Table 1. Mean of annual maximum series for interested durations (1-, 6-, 12- and 24-hour)

Region	Station	Elev. (m)	Duration (hr)				Region	Station	Elev. (m)	Duration (hr)			
			1	6	12	24				1	6	12	24
I	Hyeonnae	6	33.39	108.72	152.28	190.78	III	Seoseok	327	40.83	87.42	122.92	160.88
	Kyeongpodae	9	34.75	102.54	147.29	199.08		Sillim	331	35.29	84.38	128.96	166.29
	Wondeok	12	37.50	104.64	142.77	208.55		Chiaksan	370	37.29	98.83	139.38	175.83
	Geundeok	13	37.38	107.21	141.17	192.54		Anheung	430	33.25	84.96	124.58	165.17
	Okgye	14	31.83	90.17	123.21	180.42	IV	Yeongwol	240	33.74	80.50	116.81	153.26
	Sokcho	18	32.71	101.15	141.08	186.04		Jucheon	262	35.27	96.00	139.05	174.86
	Ganghyeon	19	30.25	94.50	132.58	189.00		Pyeongchang	302	33.58	88.33	119.71	148.63
	Gangneung	26	36.91	110.37	156.53	210.78		Jeongseonbuk	386	34.58	80.88	111.08	159.21
	Daejin	29	29.96	95.08	126.88	159.88		Jeongseon	389	32.14	87.68	120.73	163.91
	Jumunjin	34	26.50	77.33	112.71	154.71		Nam-myeon	435	38.75	89.88	126.75	171.88
	Kansung	38	35.71	109.21	148.29	185.63		Daehwa	445	33.63	92.38	125.33	167.08
	Donghae	40	31.21	90.51	129.32	189.39		Imgye	507	34.50	82.88	114.83	161.88
	Seorim	159	33.04	104.71	142.21	189.63		Sangdong	509	32.36	84.82	115.32	154.23
	Seorakdong	188	37.17	116.54	174.54	241.50		Jinbu	563	36.79	88.17	120.46	162.46
	Yeongok	226	40.92	123.13	167.21	215.13		Bongpyeong	564	37.25	95.46	130.38	178.71
	Osaeak	337	34.17	90.33	126.96	166.83		Myeonon	567	35.22	96.56	132.50	177.67
Hyangnobong	1267	32.21	102.07	147.21	185.50	Hajang	656	33.96	96.96	126.71	170.00		
II	Chuncheon	77	35.34	92.75	127.05	164.69	Taebaek	713	33.69	89.15	125.03	163.97	
	Hwacheon	121	36.42	115.21	151.88	191.63	Yongpyeong	760	38.14	100.86	142.07	191.86	
	Cheolwon	154	38.31	106.52	141.22	181.38	Daegwanryeong	772	30.39	107.66	167.48	232.60	
	Jeongyeon	200	43.30	124.45	164.80	206.60	V	Inje	199	33.46	88.36	123.34	160.74
	Daema	202	42.50	110.55	147.30	176.55		Yanggu	208	33.08	108.17	146.13	181.25
	Gimhwa	213	39.50	106.33	136.54	170.33		Duchon	223	40.75	108.54	137.33	180.33
	Sangseo	265	36.57	98.64	134.21	188.07		Sinnam	235	35.25	93.33	125.25	163.58
	Mahyeon	269	35.79	90.86	127.57	169.93		Buksan	240	36.17	101.04	133.67	164.88
Sanae	288	37.88	123.08	157.96	204.42	Wontong		253	30.79	94.14	140.21	167.21	
Buron	64	38.83	95.71	128.50	154.21	Bangsan		261	33.96	105.63	145.63	187.79	
Namsan	93	40.83	92.92	120.38	169.25	Seohwa		311	34.54	107.00	141.79	177.96	
III	Bangkok	94	34.46	94.13	123.50	166.46	Girin	323	36.21	89.13	115.46	142.77	
	Hoengseong	128	41.00	110.88	159.42	206.21	Haean	448	38.73	118.91	163.91	212.59	
	Hongcheon	141	39.16	95.23	131.21	171.71	Naemyeon	598	32.58	85.96	119.46	156.63	
	Wonju	150	38.86	91.39	126.37	160.52	Jinburyung	601	24.21	83.88	117.75	155.13	
	Cheongil	235	45.42	128.00	169.92	219.04	Mishiryung	770	32.68	114.77	167.27	221.45	

3.2 불일치 및 이질성 척도 산정

대상 지역 내 지점 자료들의 이상치 여부를 판단하기 위하여 지점별 자료에 대해 각각 표본 L-모멘트를 계산하여 이산도 D 를 산정하였다. Table 2는 각 지역 및 지속기간별 불일치 척도를 산정한 결과를 요약한 것이다. 지역 I에서는 170개 경우 중 166개 경우, 지역 II에서는 90개 경우 중 88개 경우, 지역 III에서는 110개 경우 중 109개 경우, 지역 IV에서는 160개 경우 중 154개 경우 그리고 지역 V에서는 130개 경우 중 128개 경우가 동질한 지역으로 가정하여도 적합한 것으로 나타났다. 모든 지역에서 96%이상의 경우에서 동질한 분포를 가져도 무난한 것으로 산정되었다. 또한 지속

기간별로 살펴보아도 모든 지속기간에 대하여 95.45% 이상으로 동질한 것으로 나타났다. 그리고 불일치한 경우라도 D_i 가 2.37-3.93으로 모두 4이하의 값을 나타내었다. 따라서 자료의 상태가 양호하여 지역빈도 해석의 적용에 무리가 없는 것으로 판단하였다.

각 지역에 대한 지속기간별로 산정된 표본 L-모멘트비를 이용하여, 이를 Kappa분포에 적합시켜 매개변수를 추정하고, 각 지점의 지속기간별로 자료연수에 맞게 Monte Carlo 모의를 500번 반복수행하여 얻어진 매개변수 및 Eqs. (3)-(4)를 이용하여 이질성 척도 H_1, H_2, H_3 를 산정하였다. Table 3은 각 지역의 지속기간별 이질성 척도를 산정한 결과를 나타낸

Table 2. Summary of discordancy measure

Duration	Total		Region I		Region II		Region III		Region IV		Region V	
	H	D	H	D	H	D	H	D	H	D	H	D
Total	635	15	166	4	88	2	109	1	154	6	128	2
1hr	63	3	17	-	9	-	10	1	15	1	12	1
2hr	64	2	16	1	9	-	11	-	15	1	13	-
3hr	65	-	17	-	9	-	11	-	15	1	13	-
4hr	65	1	17	-	9	-	11	-	15	1	13	-
6hr	64	2	17	-	8	1	11	-	16	-	12	1
9hr	66	-	17	-	9	-	11	-	16	-	13	-
12hr	65	1	17	-	9	-	11	-	15	1	13	-
15hr	65	1	16	1	9	-	11	-	16	-	13	-
18hr	64	2	16	1	8	1	11	-	16	-	13	-
24hr	64	2	16	1	9	-	11	-	15	1	13	-

H: Harmonious, D: Discordant

Table 3. Summary of heterogeneity measure

Duration		1hr	2hr	3hr	4hr	6hr	9hr	12hr	15hr	18hr	24hr
Region I	H ₁	-1.47	-0.05	0.23	-0.06	0.24	-0.44	-0.69	-0.90	-1.30	-1.65
	H ₂	-2.16	-0.99	-1.03	-0.94	-0.47	-0.38	-0.27	-0.38	-0.41	-0.92
	H ₃	-2.57	-2.26	-2.12	-2.01	-1.45	-1.36	-1.18	-1.25	-1.03	-1.43
Region II	H ₁	-1.85	-1.38	-1.10	-1.23	-2.01	-2.32	-2.01	-1.62	-1.05	-0.38
	H ₂	-0.55	-1.52	-1.00	-1.19	-1.31	-2.07	-1.88	-1.24	-0.87	-0.03
	H ₃	-1.20	-2.18	-1.80	-2.04	-2.14	-2.37	-2.29	-1.78	-1.46	-0.66
Region III	H ₁	-0.92	-0.63	-0.75	-0.79	-1.01	-0.69	-0.87	-0.80	-0.73	-0.61
	H ₂	-1.69	-1.88	-1.99	-2.10	-1.70	-2.43	-2.12	-1.60	-0.96	-1.43
	H ₃	-1.75	-2.05	-2.25	-2.23	-1.90	-2.51	-1.80	-1.50	-1.12	-1.29
Region IV	H ₁	-0.93	-0.43	-0.24	-0.53	-0.54	-0.66	-0.90	-1.40	-1.47	-1.54
	H ₂	-2.51	-2.31	-2.29	-2.28	-1.91	-2.11	-2.44	-2.36	-2.01	-2.53
	H ₃	-2.33	-2.34	-2.54	-2.58	-2.24	-2.74	-3.15	-2.93	-2.43	-2.58
Region V	H ₁	-0.35	-1.01	-1.19	-1.04	-0.80	-0.68	-0.68	-0.62	-0.87	-1.30
	H ₂	-1.45	-1.02	-1.38	-1.42	-1.31	-1.31	-1.73	-1.41	-1.65	-2.69
	H ₃	-2.20	-1.21	-1.69	-1.73	-1.80	-1.54	-1.59	-1.38	-1.75	-2.89

것이다. 군집화한 지역의 이질성 척도 H_1, H_2, H_3 을 산정한 결과 모든 경우 1보다 작은 값을 나타내었고, 지역 I의 지속기간 3시간 및 6시간의 H_1 값을 제외한 모든 지속기간에 대하여 0보다 작은 값을 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 지역빈도해석시 강원도 지역에서 군집분석으로 구분된 강수지역 모두에 대하여 동질한 지역으로 가정하였다.

3.3 적합도 검정 및 적정 분포형 선정

이질성 척도에 의해 판명된 동질성을 가진 한 지역 내 지점들에 대하여 가장 적합한 분포형을 선정하기 위하여 적합성 척도 Z 값을 산정한다. 본 연구에서는 적정 분포형 산정을 위하여 Generalized Logistic (GLO), Generalized Extreme Value (GEV), Generalized Normal (GNO), Pearson Type III (PTIII), Generalized Pareto (GPA) 등의 5가지 확률분포

형을 적용하여 매개변수를 추정하고 적합도 검정을 수행하였다. 각 분포형을 적용한 적합성 척도가 절대값 1.64를 넘을 경우 해당 분포형에 대하여 적절치 못하다고 판단하여 적정 분포형에서 제외시켰다. Table 4에 본 연구에 적용한 분포형의 확률밀도함수(Partial Density Function, PDF)를 나타내었다.

Table 5는 각 지역의 지속기간에 대한 적합성 척도 결과를 나타낸 것이다. 지속기간별 적합성 척도를 비교한 결과 GLO 분포형이 각 지역의 지속기간별에 대하여 적합도 척도를 대부분 만족시키는 것으로 보인다. Table 5는 각 지속기간, 분포형 및 지역별 적합성 척도 산정결과를 나타낸 것이다. 그 결과 GLO 분포형이 90%의 적합성을 보여 가장 우수한 산정결과를 보였고, GEV 분포형이 54%, GNO 분포형이 38%, Pearson TypeIII 분포형이 22%의 적합성을 나타냈고,

Table 4. PDF of five distributions in this study

Probability Models	PDF
Generalized logistic	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \beta \left(\frac{x-x_0}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}-1} \right] \left[1 + \left\{ 1 - \beta \left(\frac{x-x_0}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right\} \right]^{-2}$
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	$f(x) = \frac{1}{ \alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp \left(-\frac{(x-x_0)}{\alpha} \right)$
Generalized Pareto	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left\{ 1 - \frac{\beta}{\alpha} (x-x_0) \right\}^{1/\beta-1}$

x_0 and μ_y , α , and β are location, scale, and shape parameters, respectively, and $\Gamma(\beta)$ is gamma function.

Table 5. Summary of goodness-fit-measure

Duration		1hr	2hr	3hr	4hr	6hr	9hr	12hr	15hr	18hr	24hr
Region I	GLO	<u>-0.13</u>	<u>-0.25</u>	<u>-0.40</u>	<u>-0.52</u>	<u>-0.09</u>	<u>-0.34</u>	<u>-0.64</u>	<u>-1.21</u>	<u>-1.21</u>	<u>-0.57</u>
	GEV	<u>-1.06</u>	<u>-1.22</u>	<u>-1.24</u>	<u>-1.26</u>	<u>-0.86</u>	<u>-1.23</u>	<u>-1.59</u>	-2.22	-2.31	-1.71
	GNO	<u>-1.45</u>	<u>-1.57</u>	-1.68	-1.77	<u>-1.37</u>	<u>-1.64</u>	-1.93	-2.51	-2.53	-1.90
	PT	-2.15	-2.22	-2.45	-2.65	-2.27	-2.37	-2.57	-3.09	-3.03	-2.36
	GPA	-3.33	-3.53	-3.35	-3.22	-2.87	-3.41	-3.86	-4.57	-4.79	-4.25
Region II	GLO	<u>-1.18</u>	<u>-0.64</u>	<u>0.02</u>	<u>0.19</u>	<u>0.27</u>	<u>-0.17</u>	<u>0.10</u>	<u>0.51</u>	<u>0.89</u>	<u>1.28</u>
	GEV	-2.37	<u>-1.62</u>	<u>-0.92</u>	<u>-0.70</u>	<u>-0.63</u>	<u>-1.05</u>	<u>-0.79</u>	<u>-0.44</u>	<u>-0.05</u>	<u>0.25</u>
	GNO	-2.20	<u>-1.62</u>	<u>-0.97</u>	<u>-0.81</u>	<u>-0.74</u>	<u>-1.14</u>	<u>-0.89</u>	<u>-0.52</u>	<u>-0.16</u>	<u>0.19</u>
	PT	-2.26	-1.81	<u>-1.22</u>	<u>-1.11</u>	<u>-1.03</u>	<u>-1.42</u>	<u>-1.19</u>	<u>-0.79</u>	<u>-0.47</u>	<u>-0.08</u>
	GPA	-4.67	-3.67	-2.92	-2.64	-2.60	-2.95	-2.72	-2.50	-2.11	-1.95
Region III	GLO	<u>-1.30</u>	<u>-0.97</u>	<u>-0.51</u>	<u>-0.07</u>	<u>-0.03</u>	<u>-0.73</u>	<u>-1.32</u>	<u>-1.25</u>	<u>-1.26</u>	<u>-1.13</u>
	GEV	-2.27	-2.09	<u>-1.46</u>	<u>-0.99</u>	<u>-0.99</u>	<u>-1.62</u>	-2.23	-2.12	-2.09	-1.97
	GNO	-2.46	-2.17	-1.66	<u>-1.24</u>	<u>-1.22</u>	-1.87	-2.46	-2.38	-2.37	-2.25
	PT	-2.88	-2.47	-2.10	-1.75	-1.70	-2.35	-2.93	-2.89	-2.91	-2.79
	GPA	-4.44	-4.48	-3.60	-3.12	-3.18	-3.68	-4.33	-4.16	-4.07	-3.94
Region IV	GLO	-1.95	-2.84	-1.73	<u>-1.01</u>	<u>-1.18</u>	-1.98	<u>-1.31</u>	<u>-1.06</u>	<u>-0.96</u>	<u>-0.48</u>
	GEV	-2.86	-3.77	-2.63	-1.90	-2.07	-2.96	-2.37	-2.08	-1.95	<u>-1.45</u>
	GNO	-3.18	-4.07	-2.95	-2.24	-2.40	-3.23	-2.58	-2.32	-2.21	-1.73
	PT	-3.78	-4.66	-3.56	-2.86	-3.03	-3.77	-3.04	-2.82	-2.74	-2.28
	GPA	-5.02	-5.96	-4.79	-4.05	-4.20	-5.22	-4.76	-4.41	-4.25	-3.70
Region V	GLO	<u>-1.64</u>	-2.15	<u>-1.38</u>	<u>-1.48</u>	<u>-0.86</u>	<u>-0.44</u>	<u>-0.64</u>	<u>0.00</u>	<u>0.48</u>	<u>0.21</u>
	GEV	-2.40	-2.83	-1.98	-2.12	<u>-1.54</u>	<u>-1.25</u>	<u>-1.51</u>	<u>-1.04</u>	<u>-0.62</u>	<u>-0.84</u>
	GNO	-2.72	-3.20	-2.42	-2.52	-1.92	<u>-1.54</u>	-1.75	<u>-1.18</u>	<u>-0.74</u>	<u>-0.99</u>
	PT	-3.30	-3.87	-3.17	-3.23	-2.59	-2.07	-2.23	<u>-1.55</u>	<u>-1.09</u>	<u>-1.36</u>
	GPA	-4.25	-4.55	-3.58	-3.78	-3.25	-3.19	-3.52	-3.33	-3.03	-3.16

GPA 분포형은 기각되었다. 따라서 본 연구에서는 적합성 척도 산정결과 강원도 지역에 가장 적합한 분포형으로 GLO 분포형을 선정하였다.

3.4 확률강수량 산정

강원도 지역에서 GLO 분포형을 이용하여 확률강수량을

산정하여 Table 6에 나타내었다. Table 6에는 각 지역별 성장 곡선 값과 GLO 분포형의 매개 변수를 정리하였다. 각 관측소의 확률강수량은 Table 1의 지속기간별 평균을 이용하여 산정할 수 있다. 본 연구에서는 지속기간 및 지역별 확률강수량은 4절의 공간분석을 통하여 자세히 분석하였다.

Table 6. Estimated GLO distribution parameters and regional growth curve estimates for interested durations (1-, 6-, 12- and 24-hour) and return period (10-, 100- and 1000-year)

Region	Duration	GLO distribution parameters			Regional growth curve estimates for the T-year event		
		Shape	Scale	Location	10yr	100yr	1000yr
I	1h	-0.2402	0.1993	0.9157	1.492	2.588	4.444
	6h	-0.2402	0.1993	0.9157	1.511	2.801	5.221
	12h	-0.2287	0.2078	0.9168	1.510	2.607	4.418
	24h	-0.1852	0.2183	0.9308	1.523	2.513	3.988
II	1h	-0.0723	0.1694	0.9797	1.383	1.903	2.497
	6h	-0.1703	0.2007	0.9418	1.477	2.341	3.584
	12h	-0.1708	0.1972	0.9427	1.469	2.319	3.545
	24h	-0.1525	0.2081	0.9464	1.490	2.332	3.494
III	1h	-0.1925	0.1722	0.9430	1.414	2.215	3.430
	6h	-0.2029	0.1722	0.9397	1.416	2.247	3.537
	12h	-0.2054	0.1772	0.9371	1.429	2.292	3.639
	24h	-0.2257	0.1917	0.9244	1.470	2.471	4.112
IV	1h	-0.2278	0.1750	0.9303	1.429	2.351	3.868
	6h	-0.2331	0.1867	0.9237	1.459	2.460	4.130
	12h	-0.1922	0.1866	0.9384	1.448	2.315	3.628
	24h	-0.2144	0.2108	0.9215	1.513	2.572	4.261
V	1h	-0.2407	0.1948	0.9174	1.482	2.554	4.376
	6h	-0.2672	0.2034	0.9027	1.511	2.740	4.961
	12h	-0.2124	0.2015	0.9258	1.490	2.494	4.090
	24h	-0.1752	0.2125	0.9365	1.506	2.437	3.791

4. 공간분석

GIS를 이용하여 지역빈도해석을 이용한 확률강수량을 크리깅 기법으로 공간분석하였다. 대상자료는 재현기간 10, 100 및 1000년과 지속기간 1, 6, 12 및 24시간에 대하여 수행하였다. Figs. 2-4에 각 사례별로 공간 분석한 결과를 도시하였다.

재현기간 10년의 경우 지속기간 1시간일 때 청일 부근 지역에서 가장 확률강수량이 높게 산정되었다. 그 외 지역에서는 원덕, 연곡, 해안 및 정연 일원에서 확률강수량이 높게 나타났으나 그 지역이 넓지 않았다. 또한 진부령과 주문진 근처에서는 확률강수량이 낮게 산정되었으며 강원도 전반적으로 편차가 30 mm 미만으로 크지 않았다. 지속기간 6시간의 경우 여전히 연곡, 청일, 정연 및 해안 부근에서 확률강수량이 높게 나타났으며, 추가적으로 설악동 및 미시령에서도 강수량이 높게 산정되었다. 그리고 강원도 북부지역이 남부 지역보다 전체적으로 높은 강수량을 나타내었다. 또한 영동지방의 중부 이상의 지역에서 높은 강수량을 산정하였다. 지속기간 12시간의 경우 용평 및 대관령, 미시령 및 설악동 부근에서 240 mm 이상의 높은 강수량을 나타내었으며 남한강 지역인 영월, 평창, 정선 및 상동의 넓은 지역에서 강수량이 180 mm 이하로 나타났다. 지속기간 24 시간의 경우에서도 지속기간 12시간과 동일하게 용평 및 대관령, 미시령 및 설악동 부근에서 325 mm 이상의 높은 강수량을 나타내었다.

또한 청일 및 횡성 지방을 제외한 영서지방 중 중남부 지역이 대체적으로 낮은 강수량을 보여주었다.

재현기간 100년의 경우 지속기간 1시간일 때 연곡 및 두촌 일원에서 100 mm 이상의 높은 강수량을 나타내었으며 진부령 일원 및 영서지방 중 서북부 지역의 마형, 사내, 상서 및 화천 지방에서 70 mm 이하의 낮은 강수가 산정되었다. 강원도 전체적으로 중부 및 영동지방에서 강수가 대체적으로 높게 산정되었다. 지속기간 6시간의 경우 영동지방에서는 연곡 일원, 설악동 일원 및 원덕 일원 등 전반적으로 강수가 높게 산정되었으나 영서지방에서는 북한강 유역 중 해안 일원지역에서만 높은 강수량이 나타났다. 또한 남한강 지역 중 안흥 및 신림, 영월 지역에서 낮은 강수를 나타내었다. 지속기간 12시간의 경우에는 지속기간 6시간의 경우처럼 영동지방에서는 설악동 일원 및 연곡 일원에서 높은 강수를 나타내었다. 그리고 남한강 지역에서 낮은 강수를 나타내었지만 지속기간 6시간과 달리 정선일원, 영월 및 상동 일원에서 낮은 강수를 보여주었다. 지속기간 24시간의 경우 대관령 및 설악동 일원에서 높은 강수량을 산정하였으며 영동지방이 영서지방보다 전반적으로 높은 강수를 나타내었다.

재현기간 1000년의 경우 지속기간 1시간일 때 두촌 및 연곡 지역에서 높은 강수를 나타내었으며 강원도의 서북부 지역에서 낮은 강수량이 도시되었다. 또한 영동지방이 영서지방보다 전반적으로 높은 강수가 나타났으며 북한강 지역 중 태백산맥과 가까운 지역의 강수가 높게 나타났다. 지속기간 6

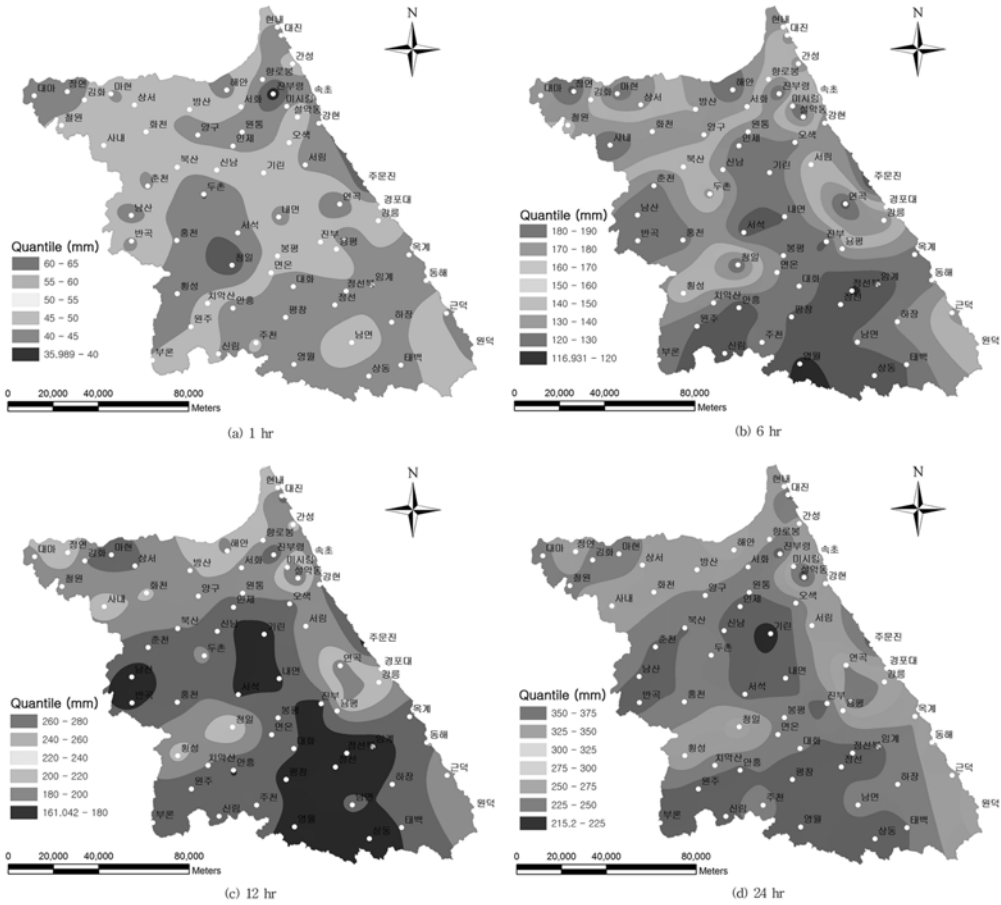


Fig 2. Spatial distribution analysis for return period 10yr.

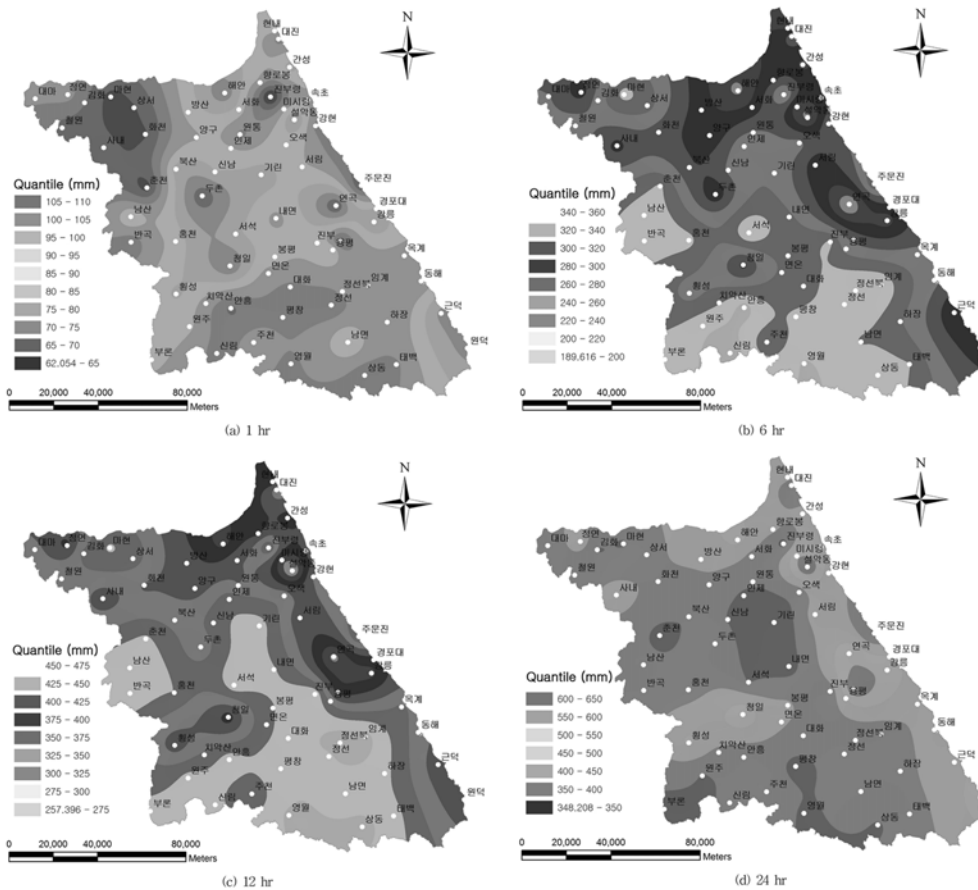


Fig 3. Spatial distribution analysis for return period 100yr.

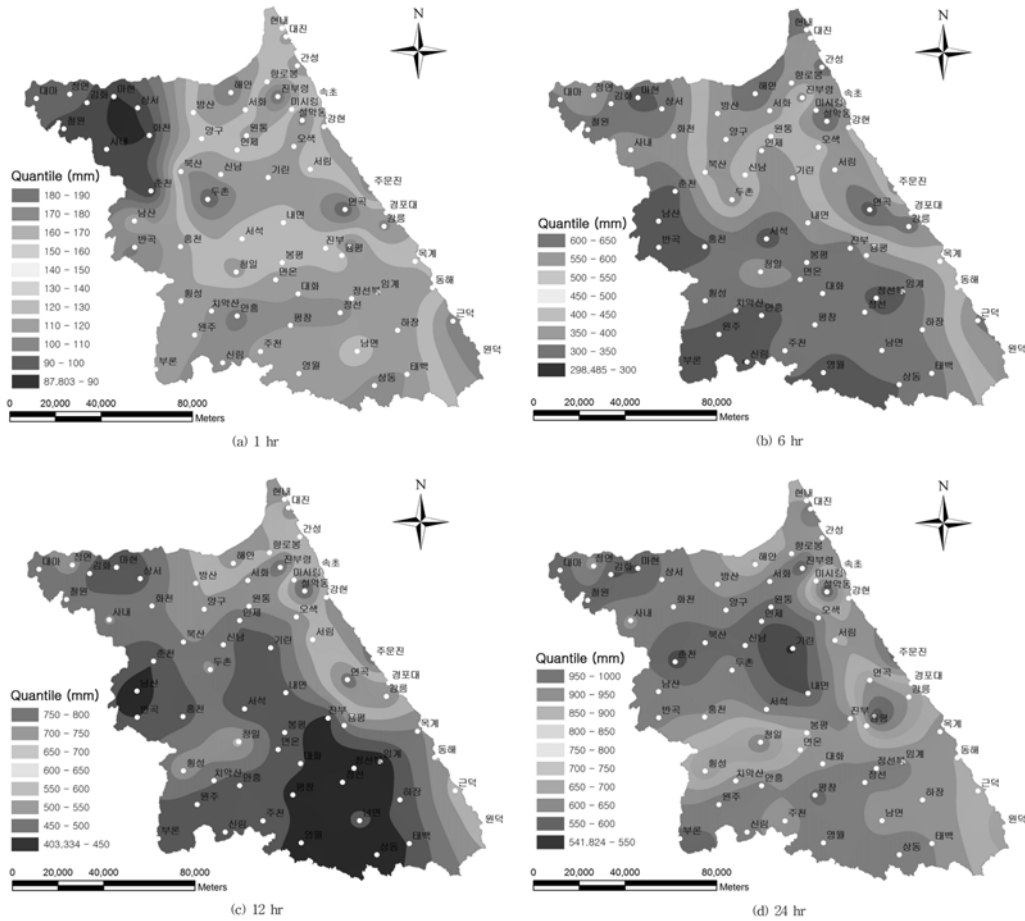


Fig 4. Spatial distribution analysis for return period 1000yr.

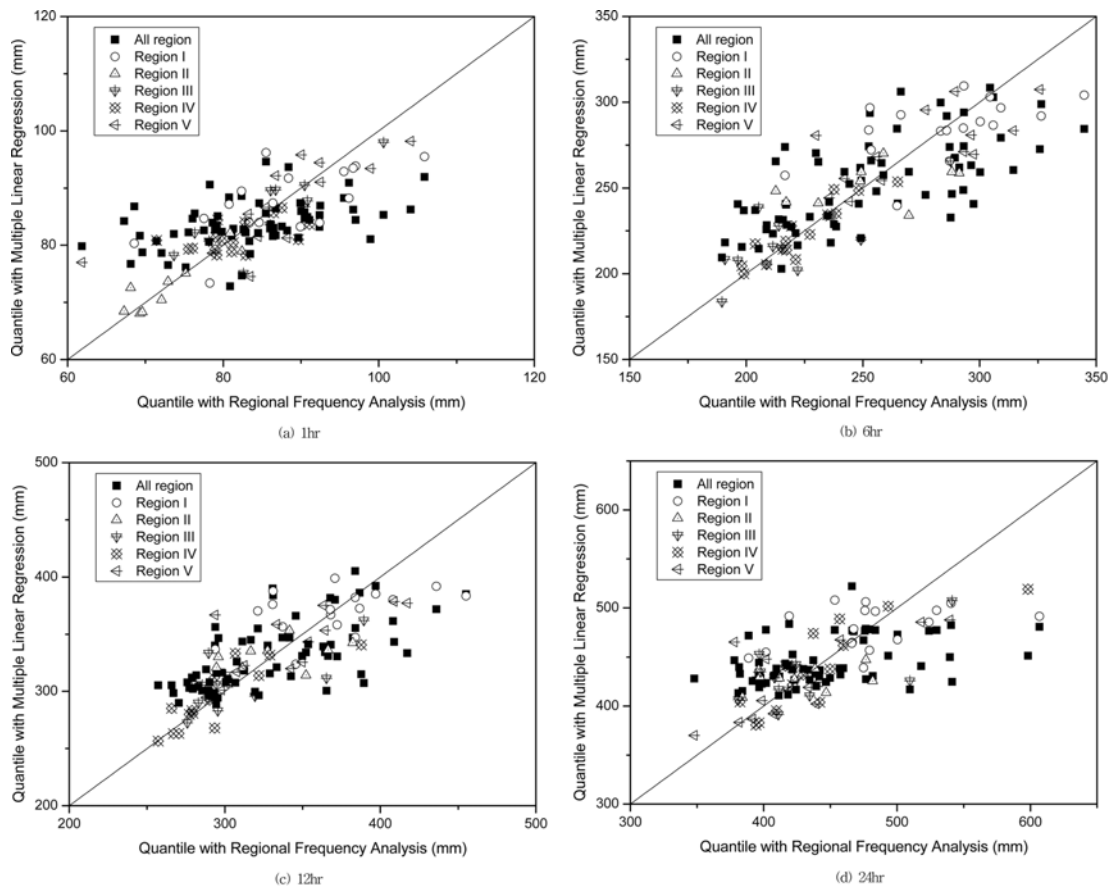


Fig 5. Using quantile, observed versus estimated quantile were generated from multiple linear regression for return period 100yr.

Table 7. The summary of multiple linear regression for return period 100yr

Duration	Parameter	Region					
		ALL	I	II	III	IV	V
1hr	Const.	603.6024	-1384.1407	32.6120	164.0426	1901.3682	3724.1280
	TM_x	-0.0008	0.0023	-	0.0003	-0.0028	-0.0063
	TM_y	-0.0005	0.0013	0.0001	-0.0002	-0.0016	-0.0030
	Z	-0.0092	-0.0185	0.0004	-0.0954	-0.0100	0.0359
	D1	-0.0003	-0.0001	0.0018	0.0014	-0.0002	-0.0024
	D2	-0.0007	0.0041	-0.0016	-0.0019	-0.0031	-0.0044
	Zone	7.1797	-	-	-	-	-
	R-Square	0.2006	0.4379	0.8278	0.7061	0.2559	0.5914
6hr	Const.	-1282.3539	-5485.8813	260.7311	33740.9358	-1447.5922	2470.5713
	TM_x	0.0020	0.0087	-	-0.0459	0.0024	-0.0052
	TM_y	0.0016	0.0054	-0.0001	-0.0332	0.0014	-0.0010
	Z	-0.0251	-0.0621	0.0659	-0.3009	0.2093	0.1258
	D1	-0.0010	-0.0009	0.0016	0.0176	0.0035	-0.0016
	D2	0.0030	0.0146	-0.0008	-0.0766	0.0009	-0.0024
	Zone	36.0196	-	-	-	-	-
	R-Square	0.4671	0.3242	0.1626	0.5632	0.8441	0.4599
12hr	Const.	-1301.5361	-5839.4046	349.2667	32861.7647	-3238.0109	-571.9202
	TM_x	0.0021	0.0093	-	-0.0443	0.0051	-0.0002
	TM_y	0.0017	0.0058	0.0000	-0.0326	0.0031	0.0017
	Z	-0.0012	-0.0594	0.0641	-0.3091	0.3407	0.1309
	D1	-0.0009	-0.0019	0.0036	0.0152	0.0061	0.0015
	D2	0.0033	0.0151	-0.0029	-0.0726	0.0026	0.0004
	Zone	63.4224	-	-	-	-	-
	R-Square	0.4138	0.2351	0.1552	0.4386	0.6986	0.5026
24hr	Const.	-838.7971	-4919.0800	379.5750	41079.9127	-2192.5755	3674.6750
	TM_x	0.0019	0.0085	-	-0.0552	0.0036	-0.0079
	TM_y	0.0012	0.0049	-0.0001	-0.0403	0.0024	-0.0014
	Z	0.0311	-0.0675	0.1670	-0.3991	0.4504	0.2624
	D1	-0.0004	-0.0040	-0.0022	0.0250	0.0087	0.0000
	D2	0.0024	0.0118	0.0024	-0.0970	-0.0015	-0.0059
	Zone	54.9174	-	-	-	-	-
	R-Square	0.1991	0.1758	0.1143	0.3860	0.6683	0.5491

시간의 경우 강원도 북동부 지역이 강수량이 높게 나타났다. 그 중에 연곡 및 설악동 지역에서 특히 높게 산정되었다. 지속기간 12시간의 경우 지속기간 6시간의 강수 경향이 더욱 심해졌다. 영동지방에서는 강릉 북부지역이 모두 강수량이 높게 나타났으나 영서지방에서는 횡성 및 청일 지역 등 일부 지역만 높은 강수를 보여주었다. 지속기간 24시간의 경우 대관령, 설악동 및 청일 지역에서 높은 강수량을 보여주었으며 북한강 지역 중 기린 일원에서 대체적으로 낮은 강수량을 나타내었다.

동일 재현기간일 경우 지속기간이 길어질수록 설악동, 대관령 및 청일 일원에서 확률강수량이 높게 산정되었으며 지속기간 6시간 및 12시간의 경우 강원도 북부의 강수량이 남부

보다 높게 나타났다. 또한 동일 지속기간일 경우 재현기간이 길어질수록 재현기간이 낮을 경우에 발생한 강수 특성이 좀 더 뚜렷하게 나타났다. 그러나 지속기간에 따른 강수 특성 차이보다는 그 차이가 심하지 않았다.

그리고 본 연구에서는 본 연구에서는 ‘공간분석을 이용한 강원도 지역의 강수분포 분석(I): 강수지역 구분과 계절별 및 연평균 강수량 분석’에서 제시한 다중회귀모형을 재현기간 100년 빈도에 대하여 적용하여 보았다. 다중회귀분석 결과는 Table 7 및 Fig. 5에 나타내었다. 분석결과 지속기간 1시간 일 경우 지역 II 및 지속기간 6시간일 경우 지역 IV에서는 제시된 다중회귀모형이 결정계수 0.8이상을 나타내었으나 그 외에 대부분의 경우에서 낮은 결정계수를 나타내었다. 이러한

결과는 ‘공간분석을 이용한 강원도 지역의 강수분포 분석(I): 강수지역 구분과 계절별 및 연평균 강수량 분석’에서와 동일 하였으며 윤혜선 등 (2009)의 연구와는 상반된 결과를 나타 내었다. 따라서 강원도 지역에서는 확률강수량의 추정시 단순 지형조건 만을 고려한 다중회귀모형은 적합하지 않은 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 강원도 지역에 대하여 공간분석을 통하여 지속기간 및 재현기간에 따른 확률강수량의 변화경향을 분석 하였다. 확률강수량은 지역빈도해석 기법인 지수홍수법을 이 용하여 산정하였으며, 강수지역구분은 ‘공간분석을 이용한 강 원도 지역의 강수분포 분석(I): 강수지역 구분과 계절별 및 연평균 강수량 분석’ 결과를 적용하였다. 산정된 확률강수량 을 크리깅 기법을 적용한 후 GIS로 도시하여 강원도의 강수 특성을 분석하였다. 이를 위하여 강원도의 기상관측소 66개 소(지상관측소: 11개소, AWS:55개소)의 자료를 이용하였으며 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 강수지역의 불일치 및 이질성 척도 산정결과 통계적 기 법인 군집분석 방법인 K-means를 이용한 지역구분이 합리적이라 판단된다. 그리고 강원도 지역에 대한 강수 분포형의 적합도 산정 결과 GLO 분포형이 가장 적합한 분포형으로 나타났다.
- 2) 강수의 공간분포를 지속기간별로 살펴보면 지속기간이 증가할수록 설악동, 대관령 및 청일 일원에서 높은 확률 강수량을 나타내었다. 그러나 영서지방의 강수 공간분포 는 지속기간이 짧을 경우에는 북서 지역에서 작은 강수 량을 나타내었으나 지속기간이 증가하면서 남한강 지역 에서 낮은 확률강수량을 나타내다가 지속기간이 더욱 증 가하여 24시간 일 경우에는 북한강의 북부 지역 및 남 한강의 북부지역에서 높은 강수량을 나타내고 그 이외의 지역에서 낮은 강수 분포를 나타내었다.
- 3) 강수의 공간분포를 재현기간별로 분석하면 지속기간의 차이만큼 급격한 변화는 발생하지 않았으나 재현기간이 길어질수록 지역별 강수 특성이 확실해 지는 경향을 나 타내었다.

강원도에서 공간분석을 통하여 강수특성을 분석한 결과 영 동지방은 전반적으로 해안성 기후의 영향을 받아 높게 나타 났으며 지속기간이 길어질수록 대관령 일원 등의 강수가 높 게 산정되어 산악형 강수 특성도 일부 보여 주었다. 하지만 강원도의 지형이 전체적으로 복잡하여 뚜렷하게 산악형 강수 가 발생하지는 않았다. 이러한 연구 결과는 기존 지상관서의 분석결과에만 의존 했던 강원도 지역의 재해 예방 대책에 보 다 현실적인 극치강수분포를 제시하여 최근 증가하고 있는 집중호우 등에 대하여 효율적인 관리를 수행 가능하게 할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 추후 고도이외의 지형인자(평 면위치, 경사, 해안으로부터의 거리, 태백산맥으로 부터의 거

리 등) 및 기상인자(풍향, 풍속, 기온 등) 등을 고려한 강수 모형의 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 부족한 고도별 관측소의 보완과 자료 확충 역시 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비지원(과제 번호# '08지역기술혁신 B-01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 윤혜선, 엄명진, 조원철, 허준행 (2009) 지역빈도해석 및 다중회 귀분석을 이용한 산악형 강수해석. *한국수자원학회논문집*, 제 42권, 제6호, pp. 465-480.
- 허준행, 이영석, 남우성, 김경덕(2004) 한강유역에 대한 강수지역 빈도해석의 적용성 연구, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp. 168-172.
- Bradley, A.A. (1998), Regional Frequency Analysis Methods for Evaluating Changes in Hydrologic Extremes, *Water Resour. Res.*, Vol. 34, No. 4, pp. 741-750.
- Cunnane, C. (1989) Statistical distributions for flood frequency anal- ysis. World Meteorological Organization Operational, *Hydrol. Rep.* No. 33, WMO Publ. No. 718, Geneva, pp. 73.
- Darlymple, T. (1960) "Flood-Frequency Analyses", Water Supply Paper 1543-A, U. S. Geological Survey, Reston, USA.
- Fowler, H.J. and Kilsby, C.G. (2003) A regional frequency analysis of united kingdom extreme rainfall from 1961 to 2000, *International journal of climatology*, 23, pp. 1313-1334.
- Heo, J.-H., Boes, D.C. and Salas, J.D. (1990) Regional Flood Fre- quency Modeling and Estimation, *Water Resour. Pub.*, No. 101, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado, U.S.
- Hosking, J.R.M. (1990) "L-moments: Analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics". *Jour- nal of the Royal Statistical Society*, Series B, 52, pp. 105-124.
- Hosking, J.R. and Wallis, J.R. (1997) Regional Frequency Analysis: An Approach based on L-Moments. *Cambridge University Press*.
- Institute of Hydrology(1999) Flood estimation handbook, *Institute of Hydrology*, Wallingford, UK.
- Norbiato D., Borga, M., Sangati, M. and Zanon, F. (2007) Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern Ital- ian Alps and the August 29, 2003 flash flood, *Journal of hydrolog- y*, Vol. 345, pp. 149-166.
- U.S. Water Resources Council (1981) Guidelines for determining for flood flow frequency. Bulletin 17B, *Hydrology Committee*, Washington, D.C.
- Natural Environmental Research Council (1975) Flood studies report: Vol. 1 Hydrological studies, London.
- Wallis, J.R., Schaefer, M.G., Barker, B.L. and Taylor, G.H. (2007) Regional precipitation-frequency analysis and spatial mapping for 24-hour and 2-hour durations for Washington State, *Hydrol- ogy & Earth System Sciences*, Vol. 11, No. 1, pp. 415-442

© 논문접수일 : 09년 10월 06일
 © 심사의뢰일 : 09년 10월 06일
 © 심사완료일 : 09년 10월 26일