

연최대 강우자료의 빈도해석을 통한 지역적 고찰에 관한 연구

Regional Analysis for Annual Maximum Rainfall Data Based on Frequency Analysis

허 준 행 · 김 경 덕* · 조 원 철**

1. 서 론

표본자료의 크기, 대상지점, 모수 추정방법, 적용하는 확률분포형의 종류, 적합도 검정 방법 등에 따라 선정하는 분포형이 제각기 달라 실무에서 빈도해석을 통하여 얻어지는 설계량 산정에 혼란을 주고 있다. 또한 지점 빈도해석이기 때문에 대상지점의 자료가 부족하거나 없는 경우에는 뚜렷한 기준없이 인근 지점의 빈도해석 결과를 이용하고 있는 실정이다. 이를 위하여 본 연구에서는 표본자료의 크기가 20년 이상인 22개 지점, 7개 지속기간(30분, 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간)의 매년 최대치 강우자료를 대상으로 빈도해석과 지역적인 해석을 하였다. 수문 자료에 적합하다고 알려진 13가지 확률분포형(γ -2, γ -3, General extreme value, Gumbel, lognormal-2, lognormal-3, log-Gumbel-2, log-Gumbel-3, log-Pearson type III, Weibull-2, Weibull-3, Wakeby-4, Wakeby-5)을 적용하였으며, 모수의 추정은 모멘트법, 확률가중 모멘트법(Greenwood 등, 1979), 최우도법 등을 사용하였다. χ^2 -검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정 등으로 적합도 검정을 실시하였으며, 이와 함께 분리효과(Matalas 등, 1975; Rossi 등, 1984)를 조사하여 우리 나라 연최대치 강우자료의 적정 확률분포형을 선정하였다. 선정된 확률분포형을 통하여 확률강우량을 산정하였으며, 지속기간별 강우강도비와 강우비를 재현 기간, 지점별로 다각적으로 검토하여 지역적인 고찰을 하였다.

2. 본 론

자료관측 보유기간이 20년 이상인 전국 22개 지점의 7개 지속기간(30분, 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간) 연최대치 강우자료를 대상자료로 사용하였으며, 이를 표 1에 나타내었다. 표 1의 자료는 기상청 자료이며, 1991년까지의 연속자료를 대상으로 해석하였다.

표 1. 대상 강우지점 및 관측 기록년수

지점명	지점번호	기록년수	지점명	지점번호	기록년수	지점명	지점번호	기록년수	지점명	지점번호	기록년수
속 초	90	24	수 원	119	28	군 산	140	24	충 무	162	24
춘 천	101	26	서 산	129	24	대 구	143	76	목 포	165	69
강 릉	105	34	청 주	131	25	전 주	146	51	여 수	168	49
서 울	108	63	대 전	133	24	울 산	152	45	완 도	170	21
인 천	112	40	추 풍령	135	37	광 주	156	53			
원 주	114	24	포 향	138	38	부 산	159	50			

* 연세대학교 공과대학 토목공학과 조교수
 ** 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정
 *** 연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

2.1 도시적인 해석 및 분리효과

각 확률분포형의 모수 추정에는 모멘트법, 확률가중 모멘트법, 최우도법을 사용하였으며, 추정된 모수가 각 확률분포형의 확률변수 범위 및 모수 적합성 조건을 만족하는지 조사하였다. 표 2는 지속기간 24시간 강우자료에 대하여 모수 추정방법에 따른 GEV 분포의 모수 추정값을 나타내고 있다.

표 2. GEV 분포의 모수 추정값과 적합성 결과 (지속기간 24시간)

지점번호	지점명	자료크기	X_{min}	X_{max}	모멘트법 (MOM)			확률가중 모멘트법 (PWM)			최우도법 (ML)		
					Location parameter	Scale parameter	Shape parameter	Location parameter	Scale parameter	Shape parameter	Location parameter	Scale parameter	Shape parameter
90	속초	24	78.0	427.0	132.454	49.587	-1.04	130.667	43.138	-2.10	132.524	44.668	-1.63
101	속천	22	68.0	289.0	121.439	46.460	.002	118.291	40.536	-.141	119.840	40.490	-.113
105	속강	34	48.0	328.0	130.624	61.011	.062	127.346	54.354	-.063	128.637	54.575	-.033
108	속시	63	61.0	447.0	117.200	49.206	-.075	116.167	46.606	-.124	116.210	45.388	-.142
112	속인	40	57.0	372.0	108.627	52.510	-.080	106.129	39.374	-.275	106.916	40.040	-.265
114	속원	20	55.0	395.0	124.174	66.662	-.018	119.857	56.660	-.169	121.486	56.159	-.161
119	속주	28	86.0	460.0	127.827	62.697	-.108	124.312	44.957	-.327	119.343	35.705	-.643
129	속서	24	58.0	253.0	113.242	52.324	.148	111.106	51.780	.091	112.108	48.197	.088
131	속청	25	75.0	240.0	107.646	34.211	.009	105.231	29.970	-.134	104.661	27.478	-.228
133	속대	23	69.0	334.0	111.190	43.517	-.064	109.248	39.882	-.151	108.332	35.785	-.255
135	속추	37	66.0	216.0	103.365	32.629	.083	102.710	32.630	.056	102.580	30.620	.022
138	속풍	38	60.0	316.0	96.442	37.355	-.070	95.165	33.561	-.159	94.933	32.319	-.198
140	속군	24	61.0	265.0	99.211	36.597	-.055	97.390	31.908	-.175	96.063	31.114	-.181
143	속대	76	42.0	248.0	89.215	38.269	.072	88.422	37.816	.042	88.178	35.931	.011
146	속전	51	46.0	364.0	102.218	44.609	-.080	100.618	39.373	-.180	100.831	38.401	-.197
152	속성	45	53.0	458.0	115.938	50.457	-.125	116.574	47.638	-.147	117.031	47.755	-.137
156	속광	49	56.0	261.0	107.564	38.633	.034	106.509	37.073	-.019	106.662	35.889	-.031
159	속부	50	37.0	439.0	118.505	57.228	-.028	116.471	53.355	-.101	116.637	51.732	-.118
162	속송	24	71.0	325.0	123.792	56.353	.019	119.701	47.853	-.145	119.316	44.859	-.206
165	속목	69	43.0	404.0	100.419	33.951	-.133	101.175	35.313	-.093	101.770	36.332	-.064
168	속수	49	53.0	331.0	119.728	50.260	.008	117.343	45.427	-.097	117.956	44.749	-.095
170	속도	21	68.0	460.0	143.937	78.579	-.014	136.843	57.957	-.263	137.307	56.636	-.299

GEV 분포의 경우, 3가지 모수 추정방법 모두에 대하여 추정된 모수가 적합성을 만족하고 있으며, gamma-3, lognormal-3, Weibull-3 분포의 경우에 모멘트법이나 확률가중 모멘트법으로 모수의 추정은 가능하나 모수 적합성 조건을 만족하지 않는 경우가 일부 지점에서 발생하였다. 그 밖에 2변수 분포형의 모수 추정은 3가지 모수 추정방법 모두 문제가 없었으며, log-Pearson type III, log-Gumbel-3 분포의 경우 최우도법으로 모수를 추정할 경우에 대부분의 지점에서 수렴하지 않았다. GEV 분포와 log-Pearson type III 분포에 대하여 실제자료의 경험적인 확률밀도함수와 적합된 확률밀도함수를 도시적으로 비교하였다.

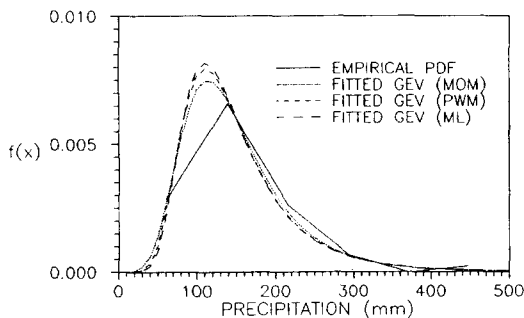


그림 1. GEV 분포
경험 및 적합 확률밀도함수(서울지점, 지속기간 24시간)

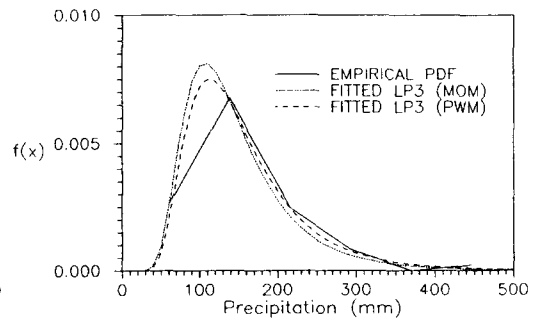


그림 2. log-Pearson type III 분포

그림 1과 2는 서울지점, 지속기간 24시간 자료에 대하여 도시한 것으로, 이 자료는 매우 양으로 왜곡되어 있으며, 447 mm 라는 큰 값이 포함되어 있다. 그림 1에서 살펴보면 GEV 분포의 경우

실제자료에 대하여 각 모수 추정방법별로 비슷하게 적합하고 있는데, 모멘트법, 확률가중 모멘트법, 최우도법 순으로 실제자료에 잘 적합되고 있다. 그림 2에서 log-Pearson type III 분포의 경우 확률가중 모멘트법이 보다 잘 적합되고 있는 것으로 나타났다. 여기서 최우도법은 모수 추정시 수렴이 되지 않아 제외하였다. 강우자료의 분리효과를 검토하여 선정할 분포형이 실제자료의 성질을 과연 잘 나타내는지 살펴보았다(김양수 등, 1993, 1995; 김경덕 등, 1995a, 1995b, 1996). 모멘트법에서는 log-Pearson type III 분포, 확률가중 모멘트법에서는 log-Pearson type III 분포와 GEV 분포, 최우도법에서는 GEV 분포가 가장 분리효과를 작게 나타내고 있으며, 확률가중 모멘트법에 의해 나타난 분리효과가 전체적으로 작게 나타나 실제자료에 근접하게 나타났다. 2변수 확률분포형의 경우 모멘트법, 확률가중 모멘트법, 최우도법 모두 분리효과가 매우 크게 나타났다.

2.2 확률분포형 선정

확률밀도함수에 대해서는 χ^2 -검정, 누가분포함수에 대해서는 Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정방법으로 적합도 검정을 실시하였다. 대상지점 전체에 대해서 모수 추정 방법 및 지속기간별 채택분포형의 결과를 표 3에 모수 추정방법별 채택분포형 및 채택지점수를 나타내었다.

표 3. 모수 추정별 채택분포형 및 채택지점수

추정 방법	지속 기간	순위별 채택분포형 및 채택지점수													
		GEV (22)	GUM (21)	GAM2 (20)	LN2 (19)	WBU2 (19)	GAM3 (15)	WBU3 (15)	LN3 (13)	LP3 (13)	LGU2 (2)				
M	30분	GEV (22)	GUM (21)	GAM2 (20)	LN2 (19)	WBU2 (19)	GAM3 (15)	WBU3 (15)	LN3 (13)	LP3 (13)	LGU2 (2)				
	60분	GEV (22)	GUM (22)	GAM2 (20)	LN2 (22)	LN3 (21)	LP3 (20)	WBU3 (20)	WBU2 (19)	GAM3 (17)	LGU2 (2)				
	2시간	GEV (22)	GAM2 (21)	GUM (21)	LN2 (19)	LP3 (19)	LN3 (17)	WBU2 (15)	GAM3 (13)	WBU3 (11)	LGU2 (7)				
	3시간	GEV (22)	GUM (21)	LN2 (20)	GAM2 (19)	WBU2 (19)	LP3 (19)	LN3 (18)	WBU3 (11)	GAM3 (10)	LGU2 (7)				
	6시간	GEV (22)	GUM (22)	GAM2 (21)	LN2 (20)	LP3 (18)	LN3 (17)	WBU2 (17)	GAM3 (12)	LGU2 (11)	WBU3 (11)				
	12시간	GEV (22)	GUM (22)	GAM2 (21)	LN2 (20)	LN3 (20)	WBU2 (18)	LP3 (16)	LGU2 (11)	WBU3 (11)	GAM3 (10)				
O	24시간	GEV (21)	GAM2 (21)	GUM (20)	LN2 (20)	LN3 (18)	LP3 (17)	WBU2 (11)	GAM3 (9)	LGU2 (8)	WBU3 (8)				
	P	30분	GEV (22)	GUM (22)	GAM2 (20)	WBU2 (20)	LN2 (19)	LP3 (19)	GAM3 (16)	WBU3 (15)	LN3 (15)	LGU2 (14)			
		60분	GEV (22)	GUM (22)	GAM2 (22)	LN2 (21)	LN3 (19)	LGU2 (19)	WBU2 (19)	LP3 (18)	WBU3 (18)	GAM3 (17)			
		2시간	GEV (22)	GAM2 (21)	GUM (20)	LN2 (20)	LN3 (20)	LP3 (18)	WBU2 (16)	GAM3 (16)	LGU2 (15)	WBU3 (15)			
		3시간	GEV (22)	GUM (21)	LN2 (21)	GAM2 (19)	LN3 (19)	WBU2 (19)	LGU2 (18)	LP3 (18)	GAM3 (14)	WBU3 (13)			
		6시간	GEV (22)	GUM (22)	GAM2 (22)	LN2 (20)	LP3 (19)	LGU2 (18)	WBU2 (18)	LN3 (17)	GAM3 (15)	WBU3 (8)			
12시간		GEV (22)	GAM2 (22)	LN2 (22)	GUM (21)	LGU2 (20)	LN3 (19)	LP3 (18)	WBU2 (18)	GAM3 (12)	WBU3 (9)				
W	24시간	GEV (22)	GAM2 (22)	GUM (21)	LN2 (19)	LGU2 (18)	LP3 (18)	LN3 (17)	WBU2 (15)	GAM3 (8)	WBU3 (5)				
	M	30분	GUM (22)	GEV (21)	GAM2 (20)	LN2 (20)	WBU2 (20)	LGU2 (15)	GAM3 (13)	LN3 (12)	WBU3 (6)	LP3 (1)			
		60분	GUM (22)	GAM2 (22)	LN2 (22)	LN3 (21)	GEV (20)	WBU2 (19)	LGU2 (19)	GAM3 (17)	WBU3 (6)	LP3 (3)			
		2시간	GAM2 (22)	LN3 (22)	GEV (21)	GUM (21)	LN2 (19)	LGU2 (19)	WBU2 (14)	GAM3 (13)	WBU3 (4)	LP3 (1)			
		3시간	GEV (22)	GUM (21)	LN2 (21)	GAM2 (20)	LN3 (17)	WBU2 (17)	LGU2 (16)	GAM3 (11)	WBU3 (4)	LP3 (1)			
		6시간	GEV (22)	GUM (22)	GAM2 (22)	LN2 (20)	LGU2 (20)	WBU2 (17)	LN3 (17)	GAM3 (15)	WBU3 (3)	LP3 (0)			
12시간		GEV (22)	GUM (22)	GAM2 (22)	LGU2 (22)	LN2 (21)	LN3 (21)	WBU2 (16)	GAM3 (13)	WBU3 (4)	LP3 (0)				
L	24시간	GEV (22)	GUM (21)	GAM2 (21)	LGU2 (19)	LN2 (19)	LN3 (18)	WBU2 (11)	GAM3 (11)	WBU3 (2)	LP3 (0)				

표 3에서 살펴보면 GEV 분포가 확률가중 모멘트법에 대하여 전지점, 전 지속기간에서 채택되었으며, 모멘트법에서는 완도(지속기간 24시간)지점에서만 기각되었으며, 최우도법에서는 강릉(30분), 포항, 군산(60분), 서울(2시간)지점에서 기각되고 모두 채택되었다. 그리고 log-Gumbel-2 분

포형은 확률가중 모멘트법과 최우도법에서 비교적 많은 지점에서 채택된 반면, 모멘트법을 사용하였을 때는 대부분 기각되었다. Weibull-3 분포의 경우 지속기간이 단시간(30분, 1시간) 일 때 많은 지점에서 채택된 반면(15 ~ 20개 지점), 지속기간이 장시간 일 때 대부분의 지점에서 기각되었다(5 ~ 9개 지점 채택). 그림 3은 각 지점에 대해 모수 추정법, 각 지속기간별로 검정통계량이 가장 작은 분포형을 최적 분포형으로 선정하여 그 지점수를 나타낸 것이다.

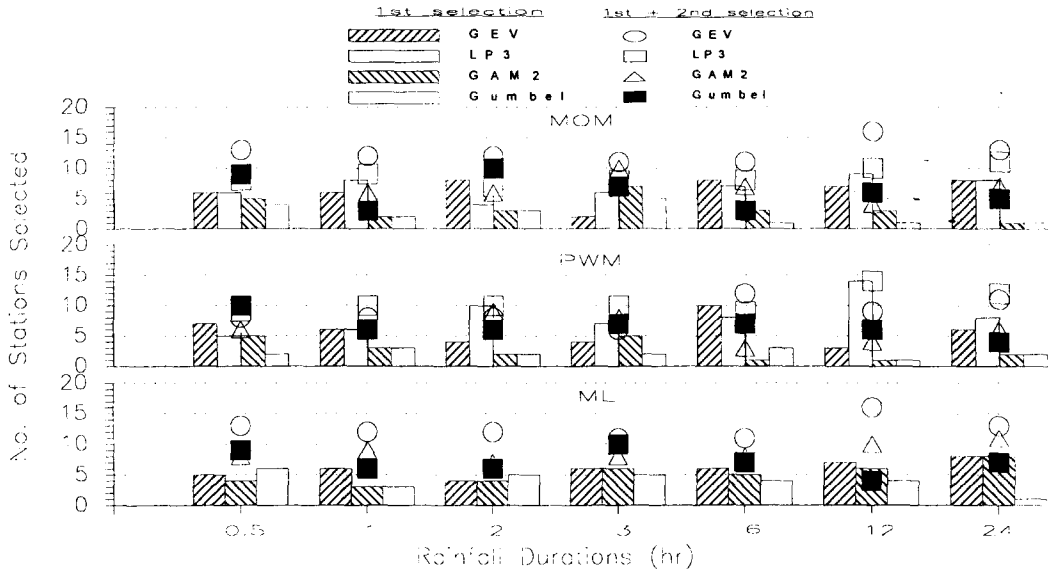


그림 3. 모수 추정법, 지속기간별 최적분포형

모멘트법에서 GEV 분포와 log-Pearson type III 분포가 지속기간 3시간을 제외하고 1순위 분포형으로 선정되었으며, 전 지속기간에 대하여 GEV 분포가 1, 2순위중 가장 많이 채택되었다. 확률가중 모멘트법에서는 log-Pearson type III 분포가 지속기간별로 1순위로 단연 많이 선정되었으며, GEV 분포와 함께 가장 많이 선정되었다. log-Pearson type III 분포형의 경우 특히 장기간 지속기간(12, 24시간)에 우세하게 채택되었다. 반면에 최우도법에서는 log-Pearson type III 분포가 최적분포형으로 거의 선정되지 않았으며, GEV 분포가 전 지속기간에 대하여 최적분포형으로 선정되었다.

이상의 모수 적합성조건, 분리효과, 도시적 해석, 적합도 검정 등을 종합적으로 고려할 때, 각 지점별 강우특성에도 불구하고 GEV 분포가 우리나라 강우자료에 가장 적합한 확률분포형으로 선정되었다.

2.3 지역적 해석

우리나라 연최대 강우량에 대하여 적정 분포형으로 선정된 GEV 분포에 대하여 확률강우량을 산정하여 지역적인 해석을 실시하였다. 그림 4는 지속기간 2시간과 24시간의 강우강도비와 강우비를 무차원으로하여 전지점에 대하여 도시한 것이다. 그림 4에서 살펴보면 속초와 강릉은 뚜렷하게 다른 양상을 보이고 있으며, 대략 8가지 형태로 구분되어 나타났다.

그룹 I	속초, 강릉	그룹 II	서산, 추풍, 충무, 원주, 포항	그룹 III	완도, 울산, 여수
그룹 IV	수원, 목포	그룹 V	부산, 대전, 광주	그룹 VI	대구, 군산, 청주
그룹 VII	서울, 인천	기 타	전주, 춘천		

그룹의 번호가 작을수록 단기간 지속기간(2시간)의 강우가 우세하게 나타났는데 이는 강우가 단기간에 집중함을 의미하고, 번호가 커지면 장기간 지속기간(24시간) 강우가 우세하게 나타나고 있으며, 이는 장시간에 걸쳐 고르게 내리고 있음을 알 수 있다.

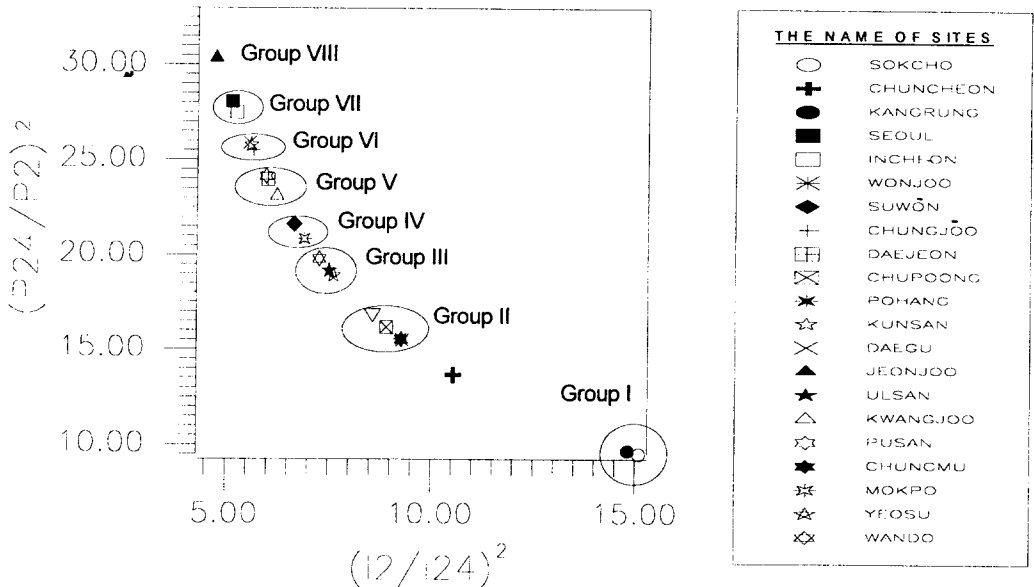


그림 4. 지속기간 2시간과 24시간의 강우강도비와 강우비

그림 5는 완도지점의 재현기간별 강우강도비와 강우비를 나타내고 있다.

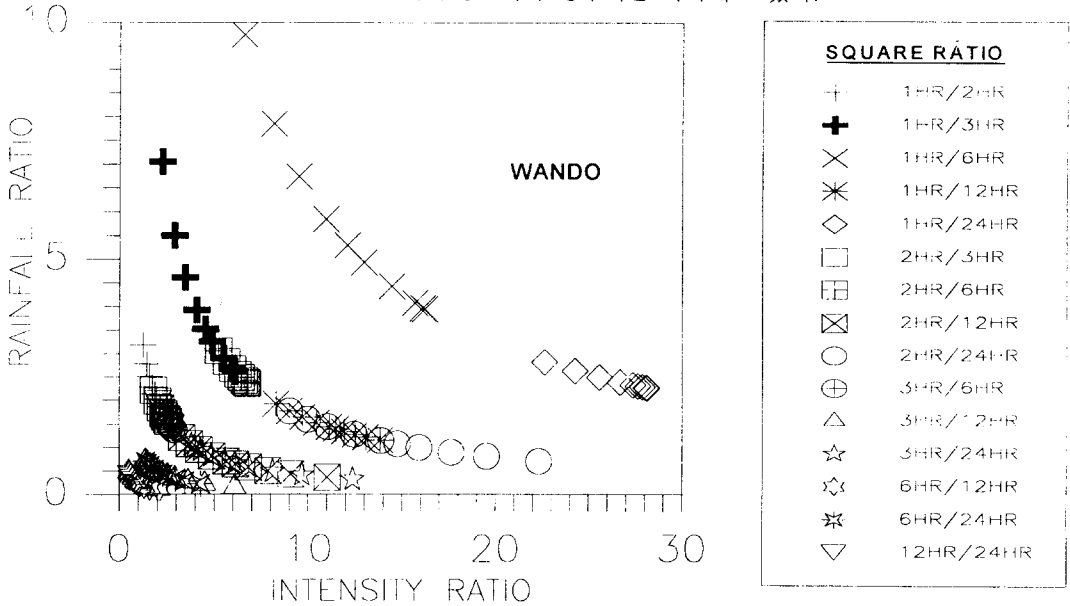


그림 5. 완도지점의 재현기간별 강우강도비와 강우비

전지점에 대하여 지속기간 1시간과 24시간 강우강도비-강우비값(R-P)이 가장 크게 나타났고, 2시간과 3시간 R-P가 가장 작게 나타났다. 또한 1시간과 3시간 R-P와 2시간과 6시간 R-P가 매우 비슷하게 나타났다. 울산, 완도의 경우 특이한 형태를 나타내고 있는데, 그림 5에서 보면 알 수 있듯이 6시간과 12시간 R-P와 6시간 24시간 R-P가 가장 작게 나타났다. 또한 1시간 3시간 R-P와 1시간 6시간 R-P가 매우 크게 나타났다. 이는 완도지점이 단기간 지속기간(1시간, 2시간)에 집중해서 강우가 내리며, 6시간 이상의 장기간 지속기간에는 매우 적게 강우가 내림을 알 수 있다.

3. 결 론

우리나라 연최대 강우량자료에 대하여 빈도해석을 실시하여 지역적인 해석을 한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 모수 적합성조건, 분리효과, 도시적 해석 및 적합도 검정결과 등을 종합적으로 고려하였을 때 GEV 분포가 우리나라 강우자료에 가장 적합한 확률분포형으로 선정되었다.
- 2) 강우강도비와 강우비를 무차원화하여 지역적인 해석을 실시하였을 때, 22개 지점을 8가지 그룹으로 구분할 수 있었다.
- 3) 각 지점별로 재현기간별 강우강도비와 강우비를 무차원화하여 해석하였을 때, 완도와 원주지점이 2시간이하 단기간 지속기간 강우가 매우 우세하였으며, 6시간 이상 장기간 지속기간에는 강우가 매우 적게 내리는 것으로 나타났다.

4. 참고문헌

- 김경덕, 허준행, 조원철 (1995a). "Wakeby 분포를 이용한 강우자료의 분리효과.", '95 수자원학회 학술발표회논문집, pp. 303~308.
- 김경덕, 허준행, 조원철 (1995b). "지속기간별 강우자료의 분포형에 관한 연구.", '95 대한토목학회 학술발표회논문집, pp. 25~28.
- 김경덕, 배덕효, 허준행, 조원철 (1996). "매개변수 추정방법에 따른 강우자료의 분리효과 비교.", 수자원학회논문집, 제 29권, 제 1호, pp. 129~139.
- 김양수, 허준행 (1993). "강우자료의 분리효과.", 한국수문학회지, 제26권, 제4호, pp. 73~83.
- 김양수, 허준행, 류희정 (1995). "강우빈도해석에 확률가중모멘트의 적용에 관한 연구.", 대한토목학회 논문집, 제15권, 제6호, pp. 1647~1658.
- Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., Matalas, N. C., and Wallis, J.R. (1979). "Probability weighted moments : Definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form." Water Resources Research, Vol. 15, No. 5, pp. 1049~1054.
- Matalas, N. C., Slack, J. R., and Wallis, J. R. (1975). "Regional skew in search of a parent." Water Resources Research, Vol. 11, No. 6, pp. 815-826.
- Rossi, F., Fiorentino, M., and Versace, P. (1984). "Two-component extreme value distribution for flood frequency analysis." Water Resources Research, Vol. 20, No. 7, pp. 847-856.