

빈도별 확률강우량을 초과하는 시간강우사상의 특성 분석

Characteristics Analyses of Timely Rainfall Events Above Probability Precipitation on Each Frequency

오태석* · 김은철** · 문영일*** · 안재현****

Oh, Tae Suk · Kim, Eun Cheol · Moon, Young-Il · Ahn, Jae Hyun

Abstract

The flood control countermeasure establish for reducing of the flood damages. Design frequency usually reflects the current situation of the station, the importance and the design rainfall. Therefore, this study calculated frequency for duration maximum rainfall with the area which happened the flood damages by main heavy rainfall events recently. Also, to analyze for the temporal characteristics of rainfall event exceed by design rainfall, excess rainfall and excess frequency and excess rainfall per event calculated. To grasp the temporal variation, About excess rainfall and excess frequency and excess rainfall per event have analyzed by change and trend test. Also, rainfall observatory did grouping by cluster analysis using position of rainfall observatory and characteristic timely rainfall. For the grouping rainfall observatory by the cluster analysis calculated average of excess rainfall and excess frequency and excess rainfall per event. To compare for the temporal characteristics, the change and trend test had analyzed about excess rainfall, excess frequency by regional groups.

Keywords : *excess rainfall, excess frequency, excess rainfall per event, change, trend, cluster analysis*

요 지

홍수피해를 줄이기 위해 적절한 설계빈도에 맞는 치수대책을 수립한다. 일반적으로 설계빈도는 지역의 현황, 중요도뿐만 아니라 확률강우량 등을 반영한다. 따라서 본 연구에서는 최근 10년간 주요 호우사상에 의해 홍수피해가 발생한 지역을 대상으로 지속시간별로 최대강우량의 빈도를 산정하였다. 그리고 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상의 시간적 특성을 분석하기 위해 초과강우량과 초과횟수 및 단위초과강우량을 산정하여 변동성과 경향성 분석을 수행하였다. 또한 강우관측소의 위치와 시간강우량 특성을 이용해 군집분석을 실시하고 강우관측소를 군집화 하였다. 군집된 지역을 대상으로 평균초과강우량과 평균초과횟수 및 평균단위초과강우량을 산정하였고, 군집지역별 초과강우량과 초과횟수에 대해 변동성 및 경향성을 분석을 실시하여 시간적 변화를 비교하였다.

핵심용어 : 초과강우량, 초과횟수, 단위초과강우량, 변동성, 경향성, 군집분석

1. 서 론

1990년대 후반부터 한반도에 발생하는 호우의 강우강도와 강우량이 증가하고 있는 추세이다(차은정과 최영진, 2000). 그리고 지구온난화로 인해 우기인 6~10월 동안 집중호우와 태풍이 빈번히 발생하고 있다. 특히, 2002년 8월 31일부터 9월 1일에 걸쳐 우리나라를 관통한 태풍 루사(RUSA)에 의한 호우는 강원도 강릉지역에 연평균강수량의 약 62%에 해당하는 강수량인 870.5 mm가 이를 동안에 내렸다. 이로 인해 강원도 지역뿐만 아니라, 전국적으로 많은 인명피해와 51,479억 원의 재산피해가 발생하여 치수대책의 한계를 드러냈다.

지구온난화에 따른 기후변화가 강우량에 미치는 영향 관한 선행연구를 살펴보면 오태석과 문영일(2008)은 태풍으로 인한 극한 강수량의 특성 분석을 위해 지속시간 1시간과 24시간 연최대시간강수량 및 태풍에 의해 발생한 각 연강수량을 대상으로 변동성 및 경향성 분석 결과, 전라도와 강원도 지역에서 극한강수량의 평균과 표준편차가 과거에 비해 증가한 것으로 분석되었다. 오제승 등(2007)은 국내 61개 지점의 강우량을 활용하여 집중호우가 빈번하게 발생하기 시작한 1998년을 기준으로 강우의 변동 특성을 분석한 결과, 대규모 강우의 발생 횟수 및 단기간 강우량이 1998년을 시점에서 변동성이 나타났다. 정성인 등(2004)은 지구온난화가 확률강우량에 미치는 영향을 파악하고, 강우사상의 변동성을

*서울시립대학교 토목공학과 박사 (E-mail : taesuk79@gmail.com)

**정희원 · 서울시립대학교 대학원 토목공학과 석사과정 (E-mail : w-water@uos.ac.kr)

***정희원 · 교신저자 · 서울시립대학교 토목공학과 교수 (E-mail : ymoon@uos.ac.kr)

****정희원 · 서경대학교 이공대학 토목공학과 조교수 (E-mail : wrr@skuniv.ac.kr)

과악하고자 서울 강우관측소의 1908~2002년 강우자료를 이용하여 21개 자료부터 한 개씩 추가해 가는 방법으로 빈도 해석을 수행하였다. 그리고 우리나라의 강수량이 여름철에 대부분 지역에서 연강수량의 50%이상 집중되는 것을 감안하여 차은정 등(2000)은 한반도 여름철 강수량의 시·공간적 변동 특성에 대해 회귀분석법을 이용하여 검토한 결과 대부분 장기간 관측지점에서 여름철 강수량이 증가하고 있으며, 강우관측소 남해지점에서 일강수량 80 mm이상인 집중호우가 가장 많이 발생하였다.

이동률 등(2001)은 1950년 전·후의 확률강우량의 변동과 엘니뇨(El Niño)나 라니냐(La Niña)의 연관성을 분석하였다. 안재현 등(2000, 1999)은 강우자료기간에 따른 집중호우의 시·공간적 양상과 확률강우량 산정에 미치는 영향은 대부분 강우관측소에서 확률강우량이 최근의 자료기간으로 올수록 집중호우로 인한 영향이 과거에 비해 증가하는 것으로 나타났다.

집중호우의 증가를 규명하고자 Karl and Knight(1998)는 장기간에 걸친 월별 최대일강우량 자료의 합을 활용하였다. 집중호우의 강우량과 빈도가 1910년부터 1995년에 걸쳐 증가하는 것으로 나타났고, 또한 집중호우와 극한값의 발생빈도가 증가하는 경향이 보였다(Iwashima and Yamamoto, 1993). 그리고 Yue and Hashino(2003)는 일본의 월 및 연 강수량의 장기적 경향을 파악하고자 비모수적인 방법인 Mann-Kendall(MK) 검정을 수행하였다. 이와 같은 선행연구 사례는 대상 지점의 연최대 또는 계절별 최대강우량과 같은 극치사상에 대하여 분석하거나, 월 및 계절 강수량 등에 대한 분석이 주를 이루고 있다.

그러나 수공구조물의 설계 기준에 따르면, 시설물의 중요도에 따라 50~200년, 또는 200년 이상의 설계빈도를 따르고 있으며(한국수자원학회, 2005), 소하천의 치수계획인 경우 도시·공업지역은 50~100년, 평야지역은 30~80년, 산지지역은 30~50년 설계빈도를 기준으로 하고 있다(행정자치부 국립방재연구소, 1999). 또한, 내수침수방지의 일환으로 우수배제계획은 관거의 직경에 따라 지선(φ600 mm미만)은 5년, 간선(φ600 mm이상) 10년, 주간선(φ300 mm이상)은 20년, 우수지 및 배수펌프장은 30년 설계빈도를 따른다(한국수자원공사, 2002). 이와 같이 수공구조물의 설계는 대상지점에서 관측된 강우자료를 빈도분석하여 시설물의 중요도에 따라 설계를 수행하고 있다. 따라서 대상지점별로 강우강도와 특성이 상이하므로 분석지점별로 확률강우량을 초과확인 경우사상에 대한 분석이 필요하다. 이는 지점별로 확률강우량의 산정을 대부분 연최대치를 분석하여 산정하므로 지역에 따라 극치강우사상이 빈번한 지역은 설계강우량의 조정 등과 같은 대책이 필요하기 때문이다.

또한, 대도시와 중·소도시 및 농촌 지역에서 발생하는 피해규모도 차이를 보이고 있다. 즉, 재해연보(소방방재청 중앙재난안전대책본부, 2006)에 따르면 최근 10년(1997~2006년) 간 시·도별 재해로 인한 피해액 약 19,150,861,868천원 중에서 서울·경기도·6대 광역시는 약 2,559,696,441천원으로 13.4%, 강원도·충청남·북도·전라남·북도·경상남·북도·제주도는 약 16,591,165,427천원으로 86.6%이며 무려 약 6.5배의 차이를 보였다. 따라서 대도시에 비하여 중소

도시 및 농촌 지역이 상대적인 치수구조물 등의 부족으로 인한 홍수피해가 보다 빈번하게 발생하고 있음을 알 수 있다. 또한, 소하천과 하수관거는 낮은 설계빈도로 인하여 홍수피해 가능성이 보다 크다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 최근 우리나라에 집중호우나 태풍으로 매년 많은 홍수피해를 발생시키는 주요 호우 관련 자료를 바탕으로 피해지역의 지속시간별 최대강우량을 이용하여 확률강우량을 산정하였고, 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상의 특성을 분석하였다. 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상의 시간적 변화를 분석하고자 초과강우량 및 초과횟수, 단위초과강우량에 대해 연도별 변동성 및 경향성 분석을 수행하였고, 군집 분석을 실시하여 지역별로 비교분석하였다.

2. 분석대상자료의 선정 및 호우피해조사

분석대상자료는 우리나라의 기상청에서 관측하는 강우관측소를 선정하여 분석에 적용하였다. 또한 호우로 인한 피해가 발생한 시기에 대한 조사를 위하여 최근 10여년간의 홍수피해사례를 조사하였다.

2.1 분석 대상 자료 선정

그림 1에 도시한 총 76개 지점의 기상청 관할 강우관측소의 시간강우량 자료 중에서 관측연수가 개시일로부터 2007년까지 30년 이내인 15개 지점을 제외하였다. 분석에서 제외된 15개 지점은 동두천, 문산, 영월, 철원, 백령도, 동해, 봉화, 안동, 영덕, 울진, 울릉도, 포항, 영천, 구미, 의성, 영천, 포항, 울산, 대우, 마산, 부산, 거제, 통영, 남해, 여수, 고령, 장흥, 목포, 진도, 원도, 제주, 제주고지, 서귀포, 성산포

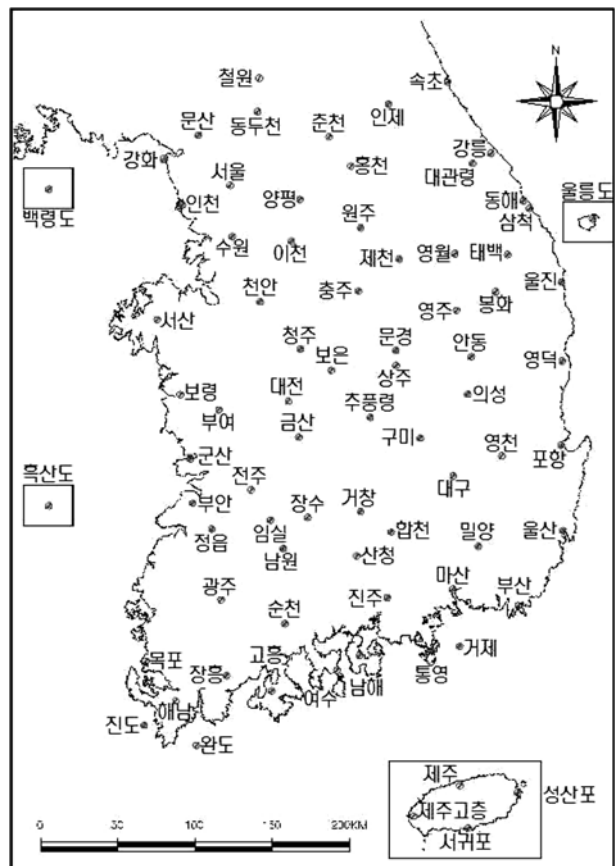


그림 1 기상관측소

주고산이다. 30년 이상 관측된 61 지점의 1973년부터 2007년까지 총 35년 동안 관측된 시간강우량 자료를 이용하였다.

분석대상지점에서 활용한 강우관측소들의 관측연수는 35년이다. 따라서 확률강우량을 산정한 결과를 바탕으로 초과 횟수, 초과강우량 및 단위초과강우량을 추출하였다. 확률강우량의 산정은 1973년부터 2002년까지 30년 간의 자료를 이용하였다. 확률강우량에서 나타내는 빈도는 통계적으로 재현기간 중에 평균적으로 1번 정도 발생하는 강우사상을 의미한다. 따라서 일반적인 수공구조물 등에 활용되는 설계빈도인 50년 이상은 관측된 강우량 자료의 관측연수의 제한으로 인하여 분석하기가 어려운 것으로 판단되었다. 그러므로 소하천 또는 하수관거의 구조물의 설계빈도에 해당하는 50년 이내의 사상에 대한 분석을 주로 수행하였다.

2.2 호우피해 사례 조사

호우사상에 의한 피해기간 구분은 최근 10년간 재해연보(소방방재청 중앙재난안전대책본부, 1997~2006)에서 기간별 피해상황을 이용하였다. 피해 강우기간 선정은 호우사상에 따른 지속시간별 최대강우량 추출과 빈도 산정에 있어서 중요한 과정이다. 표 1에 나타난 것과 같이 주요한 호우피해가 발생한 시기를 재해연보를 통하여 조사하였다.

본 연구에서 호우사상으로 인한 피해지역은 피해기간 구분과 같이 재해연보(소방방재청 중앙재난안전대책본부, 1997~2006) 중에서 우심 시·군·구 현황을 기준으로 선정하였다. 우심지역은 재해가 발생한 지역의 피해액에 대해 지자체 재정으로 해결하지 못하여 국고를 지원받은 지역이다. 자세한 우심지역의 선정기준은 매년 발행되는 자연재난 조사 및 복구계획수립지침(소방방재청 중앙재난안전대책본

표 1. 주요호우사상별 피해 강우기간 및 원인(소방방재청 중앙재난안전대책본부, 1997~2006)

연도	구분	피해 강우기간	피해원인	연도	구분	피해 강우기간	피해원인
2006	1	7.9~7.29	호우 및 태풍	2002	1	7.5~7.6	태풍
	2	9.16~9.18	태풍		2	8.4~8.11	호우
	3	10.22~10.25	호우		3	8.30~9.1	태풍
2005	1	6.3~7.2	호우		4	10.18~10.20	호우
	2	8.2~8.3, 8.8~8.11	호우, 호우	2001	1	7.5~7.6, 7.11~7.12, 7.14~7.15	호우, 호우, 호우
	3	9.6~9.8, 9.17~9.18	태풍, 호우	2000	1	7.14~7.1	호우
2004	1	6.19~6.21	호우		2	7.22~7.24	호우
	2	7.2~7.4, 7.12~7.17	호우, 호우		3	8.23~9.1	호우 및 태풍
	3	8.17~8.19	태풍		4	9.12~9.16	태풍
	4	9.11~9.12	호우	1999	1	7.23~8.4	호우 및 태풍
2003	1	6.18~6.19	태풍		2	9.10	호우
	2	7.9~7.13	호우		3	9.17~9.24	태풍
	3	7.22~7.25	호우	1998	1	7.31~8.18	호우
	4	8.6~8.7	호우		2	9.29~10.1	태풍
	5	8.23~8.27	호우	1997	1	8.3~8.5	호우
	6	9.12~9.13	태풍				

표 2. 시·군·구 재정규모별 국고지원 기준(소방방재청 중앙재난안전대책본부, 2008)

시·군·구 재정규모별	국고 지원기준	해당 시·군·구	
		경북	영덕군
100억원 미만 (25개 시군구)	피해액이 14억원 이상	강원	평창군
		충남	금산군
		전북	남원시
100억원 이상~350억원 미만 (69개 시군구)	피해액이 20억원 이상	전남	완도군
		경남	거창군
		충북	제천시
350억원 이상~600억원 미만 (51개 시군구)	피해액이 26억원 이상	전남	목포시
		경남	밀양시
		강원	강릉시
600억원 이상~850억원 미만 (26개 시군구)	피해액이 32억원 이상	충남	서산시
		경남	거제시
		강원	춘천시
850억원 이상 (60개 시군구)	피해액이 38억원 이상	경북	구미시
		제주	제주시

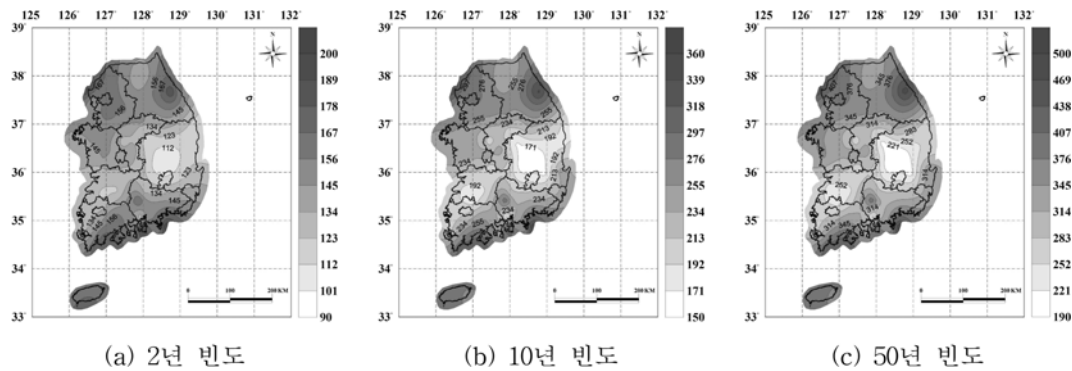


그림 2. 지속시간 24시간 확률강우량

부, 2008)에 따라 최근 3년간(당해연도를 기준으로 회계연도의 결산이 완료된 지난 3년)의 보통세·조정교부금 및 재정정보전금을 합산한 연평균액을 기준으로 구분된 시·군·구에 동일한 재난기간 동안 발생한 피해액(농작물·동산 및 공장의 피해액을 제외)이 표 2의 기준금액 이상에 해당하는 경우 국고를 지원받은 지역이다. 여기서, 동일한 재난기간은 기상특보(주의보·경보)가 발령된 후 해제시까지의 기간 또는 동일한 기상특보의 여파로 인하여 피해가 발생한 기간이며, 표 2 기준에 따라 피해액이 미달되는 시·군·구는 비우심 지역이다.

대표적으로 2006년 7월 9일부터 7월 29일까지 하나의 호우사상으로 인해 재해연보(소방방재청 중앙재난안전대책본부, 2006)의 피해내용에서 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산, 경기 등 전국 16개 시·도의 인명피해 뿐만 아니라 주택·공공시설·사유시설의 손실로 인한 피해액이 집계되어 있다. 하지만 우심피해 현황을 살펴보면 서울, 대전, 광주, 대구, 경기도 일부 등 재정 자립도가 높은 대도시는 비교적 잘 갖추어진 치수시설로 인해 피해액이 표 2의 기준에 미달로 국고의 부담 및 지원 없이 자체적으로 복구비를 해결하였다. 또한 표 2의 시·군·구 재정규모별 국고지원 기준을 보면 대도시가 중·소도시에 비해 피해액의 기준이 보다 더 상향선에 있음을 알 수 있다. 그래서 주요 호우사상에 의한 홍수피해 발생시 지속시간별 최대강우량의 빈도 추정은 서울, 부산, 대전, 대구, 광주, 울산, 경기 등 대도시를 제외하고 강우관측소와 우심 시·군·구가 일치하는 총 15개 분석 대상 지역 선정하였다. 선정된 지역은 대관령(평창), 춘천, 강릉, 서산, 목포, 완도, 제주, 제천, 금산, 남원, 영덕, 구미, 거창, 밀양, 거제이다.

따라서 선정된 지역에서 호우피해가 발생한 기간 동안의 강우자료를 분석하였다. 분석 방법은 호우기간동안에 발생한 지속시간별 최대강우량을 산정하여 해당되는 빈도를 계산하였다.

3. 분석대상지점의 확률강우량 산정 및 호우사상별 빈도 추정

빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상에 대한 분석을 위해서는 대상지점별 확률강우량을 산정하여야 한다. 또한 호우피해가 발생한 지점의 강우자료를 분석하여 시간최대강우량의 빈도를 추정하였다.

3.1 확률강우량

총 61개 지점의 확률강우량은 강우관측소의 1973년부터 2002년까지 30년 간의 연최대시간강우량을 이용하여 산정하였다. 전자료를 활용하지 않고 2002년까지의 자료만을 이용하여 확률강우량을 산정한 이유는 일반적으로 수공구조물의 설계시에 산정한 확률강우량은 시간의 흐름에 따라 변화할 수 있기 때문이다. 또한 안정적인 확률강우량을 산정할 수 있는 최소자료연수인 30년을 만족할 수 있도록 하였다.

확률강우량 산정은 FARD2006을 활용하여 다양한 분포형에 적용하고, 적합도 검정결과를 바탕으로 Gumbel 분포형을 선정하였다. 매개변수 추정은 최근의 추세에 따라 확률기중모멘트법을 이용하였다. Gumbel 분포는 연최대홍수량 혹은 강수량 자료의 빈도분석에 많이 이용된다. Gumbel 분포의 확률밀도함수는 Eq. (1)과 같다. Eq. (1)을 적분한 아래의 누적확률밀도함수는 Eq. (2)와 같다.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-x_0}{\alpha} - \exp\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)\right], \quad -\infty < x < \infty \quad (1)$$

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)\right] = e^{-e^{-y}} \quad (2)$$

여기서, $\alpha > 0$ 인 축척매개변수이며, x 는 변량이고, x_0 는 최대 확률(mode)이 발생하는 위치매개변수, $y = (x-x_0)/\alpha$ 이다. 그림 2는 1973년부터 2002년까지 61개 지점 강우관측소의 연최대강우량을 이용하여 산정한 지속시간 24시간 재현기간 2, 10, 50년 빈도의 확률강우량도이다.

3.2 홍수피해를 유발한 강우사상의 빈도 분석

주요 호우사상에 따른 피해 강우기간을 표 1에 정리하였다. 주요 호우사상의 빈도를 추정하기 위해 선정된 15개 지점은 다음과 같다. 대관령(평창), 춘천, 강릉, 서산, 목포, 완도, 제주, 제천, 금산, 남원, 영덕, 구미, 거창, 밀양 및 거제이며 각 지점의 피해 강우기간의 시간강우량을 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24시간 지속시간별 최대강우량을 산정하였다.

대표적으로 2006년 7월 9일부터 7월 29일, 2003년 9월 12일부터 9월 13일까지 두 개의 피해 강우기간을 선정하여 호우사상의 빈도를 비교 분석하였다. 빈도를 추정하기 위해 선정된 15개 지역 중 첫 번째 호우사상으로 발생한 피해액이 표 2의 기준에 따라 대관령(평창), 춘천, 강릉, 완도, 제천, 영덕, 거창, 밀양, 거제 9개 지역에 우심 피해가 나타났다. 또한 두 번째 호우사상인 경우도 대관령(평창), 강릉, 완

표 3. 2006. 7. 9.~7. 29. 호우사상의 지속시간별 최대강우량 및 빈도

지속시간 (hr)	대관령(100)		강릉(105)		완도(170)		거창(284)		밀양(288)	
	강우량 (mm)	빈도 (년)	강우량 (mm)	빈도 (년)	강우량 (mm)	빈도 (년)	강우량 (mm)	빈도 (년)	강우량 (mm)	빈도 (년)
1	35.5	3.6	37.5	2.6	41.0	1.8	52.5	12.9	37.5	1.9
2	62.0	6.7	61.0	3.6	72.5	2.9	77.5	21.6	55.0	2.1
3	88.5	10.1	98.5	7.4	94.0	3.2	100.5	68.6	64.5	2.1
4	105.5	8.0	117.0	7.0	111.0	3.5	115.5	73.4	73.5	2.1
5	115.0	6.3	127.5	5.9	115.5	3.0	124.0	50.1	81.5	2.1
6	120.0	4.4	131.0	4.8	119.5	2.6	139.0	59.8	86.0	2.0
8	126.5	2.8	134.5	3.6	123.0	2.1	160.0	55.6	101.0	2.1
9	128.5	2.5	135.0	3.2	123.0	1.9	165.0	41.6	104.0	2.0
10	128.5	2.2	135.5	2.9	123.0	1.8	166.0	29.8	106.5	2.0
12	148.0	2.3	138.0	2.5	123.0	1.6	167.0	18.6	108.5	1.8
15	157.5	2.1	143.5	2.2	123.0	1.5	167.0	12.1	109.5	1.6
18	168.5	2.0	159.0	2.2	123.4	1.4	167.5	8.6	109.5	1.5
24	230.5	2.9	209.0	3.0	123.5	1.3	167.5	5.9	110.0	1.4
피해액 (천원)	508,397,485		22,456,918		10,588,173		10,695,579		12,845,385	

표 4. 2003. 9. 12.~9. 13. 호우사상의 지속시간별 최대강우량 및 빈도

지속 시간 (hr)	대관령(100)		강릉(105)		완도(170)		거창(284)		밀양(288)	
	강우량 (mm)	빈도 (년)	강우량 (mm)	빈도 (년)	강우량 (mm)	빈도 (년)	강우량 (mm)	빈도 (년)	강우량 (mm)	빈도 (년)
1	53.0	32.3	44.5	4.2	17.5	1.0	20.0	1.0	41.0	2.2
2	101.0	151.6	88.0	12.6	25.0	1.0	39.0	1.4	58.0	2.4
3	144.5	263.7	120.5	16.6	35.0	1.1	50.0	1.7	69.0	2.4
4	178.0	187.0	150.5	18.8	41.5	1.1	60.0	2.0	76.5	2.3
5	225.0	347.5	174.5	19.2	47.0	1.1	66.5	1.9	86.0	2.4
6	266.0	340.5	193.0	18.9	52.0	1.1	71.0	1.8	91.0	2.2
8	304.0	148.0	223.5	18.8	65.5	1.1	84.0	2.0	96.5	1.9
9	313.0	104.0	243.0	21.4	78.5	1.2	86.5	1.8	98.5	1.8
10	319.5	78.1	248.0	19.1	83.5	1.2	88.5	1.7	99.5	1.7
12	331.0	47.9	251.5	13.2	88.5	1.2	92.0	1.6	104.5	1.6
15	341.5	28.3	258.0	9.0	91.0	1.2	101.5	1.7	133.0	2.3
18	360.0	20.8	276.0	8.1	109.5	1.3	141.0	3.8	143.0	2.5
24	390.0	16.6	300.5	7.8	120.5	1.3	159.0	4.6	177.0	3.7
피해액 (천원)	11,725,502		233,709,731		19,203,747		65,074,083		77,632,609	

도, 제주, 남원, 영덕, 구미, 거창, 밀양, 거제 10개 지역에 우심 피해가 나타났다. 2006년 7월 9일부터 7월 29일까지 장기간의 호우사상은 제3호 태풍 에위니아(EWINIAR) 및 장마전선과 제4호 태풍 빌리스(BILIS), 2003년 9월 12일부터 9월 13일까지 단기간의 호우사상은 제14호 태풍 매미(MAEMI)로 인해 발생한 호우사상이다.

표 3은 2006년 7월 9일부터 7월 29일까지 피해 강우기간에 발생한 우심피해 9개 지역 중 대관령(평창), 강릉, 완도, 거창, 밀양지역의 시간강우량을 지속시간별 최대강우량과 빈도를 산정한 결과이다. 표 4는 2003년 9월 12일부터 9월 13일까지 피해 강우기간에 발생한 우심피해 10개 지역 중 대관령(평창), 강릉, 완도, 거창, 밀양지역의 시간강우량을

지속시간별 최대강우량과 빈도를 산정한 결과이다. 표 3, 4의 빈도 산정은 지점별 확률강우량을 산정할 때의 축척매개변수 a와 위치매개변수 r를 활용하였다.

주요 호우사상에 따른 빈도를 추정한 결과 표 3 and 4에 나타난 지역뿐만 아니라, 다른 호우사상에 대해서 대부분 15개 지역에서 2년 빈도이하 저빈도의 강우에서도 홍수피해가 발생하였다. 그리고 표 3 and 4를 비교하면 대관령(평창), 완도, 거창, 밀양 지역의 경우 오히려 낮은 빈도의 호우사상에서 피해액이 크게 나타나는 경우도 발생하였다. 이와 같이 치수대책에 대한 투자가 미흡한 중소도시에서는 수백년 빈도를 상회하는 강우사상 뿐만 아니라, 저빈도의 강우사상에 의해서 홍수피해가 발생하는 경우도 있었다. 따라서 이와 같

은 낮은 빈도의 호우의 발생특성에 대한 분석이 필요하다.

4. 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상의 변동성 및 경향성 분석

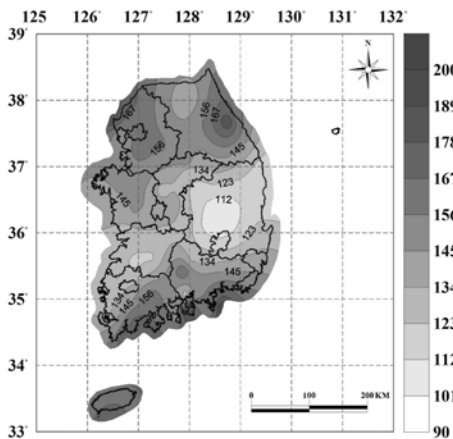
빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상의 시간적 변화 추이를 분석하고자, 우선 1973년부터 2002년까지의 강우관측소 61개 지점에 대해 시간강우량자료를 이용하여 대표적으로 지속시간 24시간 확률강우량을 산정한 후, 1973년부터 2007년까지의 시간강우량 자료를 이용하여 다음의 방법으로 지속시간 24시간 빈도별 초과강우량, 초과횟수 및 단위초과강우량을 추출하였다.

예를 들어, 대관령 지점에서 지속시간 24시간 2년 빈도 확률강우량 189.1 mm를 초과하는 강우사상은 1982년 8월 25일부터 8월 26일까지로 지속시간 24시간 최대강우량 306.6 mm를 추출하였다. 따라서 지속시간 24시간 2년 빈도에서의 확률강우량 초과하는 강우량은 추출된 306.6 mm에서 확률강우량 189.1 mm를 제외한 117.5 mm이며, 이 때 초과한 횟수 1회가 된다. 즉, 본 연구에서 초과강우량은 61개 지점 각 강우관측소의 확률강우량을 초과하는 강우량을 연도별로 누적한 강우량이며, 초과횟수는 초과하는 강우량이 발생할 때의 횟수를 누적한 값이며, 단위초과강우량은 단위 횟수당 초과하는 강우량의 크기를 알기위해 초과강우량을 초과횟수로 나눈 값이다. 그림 3은 강우관측소 61개 지

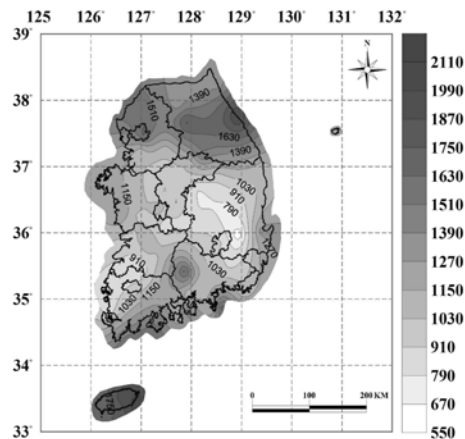
점의 지속시간 24시간 2년 빈도 확률강우량, 초과강우량, 초과횟수 및 단위초과강우량도이다. 그림 3은 1973년부터 2007년까지 35년 동안 발생한 값들을 누적하여 합산한 결과를 나타낸 것이다.

지속시간 24시간을 초과하는 강우횟수는 19~25회 정도로 지역별로 큰 차이를 보이지는 않는 것으로 나타났다. 그러나 초과강우량은 강원도, 경기북부 및 남해안 지역에서 크게 발생하는 것으로 나타났다. 또한 상대적으로 경북 지역은 초과강우량이 다른 지역보다 적게 발생하는 것으로 분석되었다. 특히, 초과강우량이 크게 나타난 지역인 강원도, 경기북부 및 남해안 지역은 상대적으로 확률강우량이 보다 큰 값을 갖음에도 불구하고, 이를 초과하는 강우사상이 보다 많이 발생하고 있음을 알 수 있다. 따라서 이들 지역은 다른 지역에 비하여 보다 강우에 의한 홍수피해의 유발가능성이 큰 것으로 판단할 수 있다.

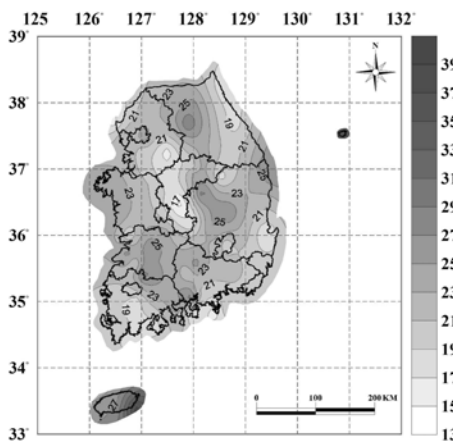
지속시간 24시간 2년, 10년, 50년, 100년 빈도별 초과강우량 및 초과횟수, 단위초과강우량 시계열 자료의 변동성과 경향성을 분석하였다. 변동성과 경향성 분석은 초과강우량, 초과횟수 및 단위초과강우량을 61개 모든 지점에서 발생연도에 대하여 합산하여 시계열 분석을 수행하였다. 이는 분석 대상 지점의 관측연수가 35년으로 길지 않기 때문에 상대적으로 저빈도에 대한 분석을 수행하였다. 평균에 대한 변동성을 분석하는 기법으로 Mann-Whitney U 검정(Mann and Whitney, 1947), Sign 검정(Hollander and Wolfe, 1973),



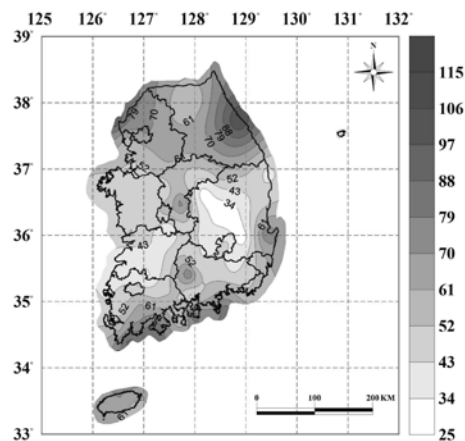
(a) 확률강우량



(b) 초과강우량



(c) 초과횟수



(d) 단위초과강우량

그림 3. 지속시간 24시간 2년 빈도에 대한 확률강우량, 초과강우량, 초과횟수, 단위초과강우량

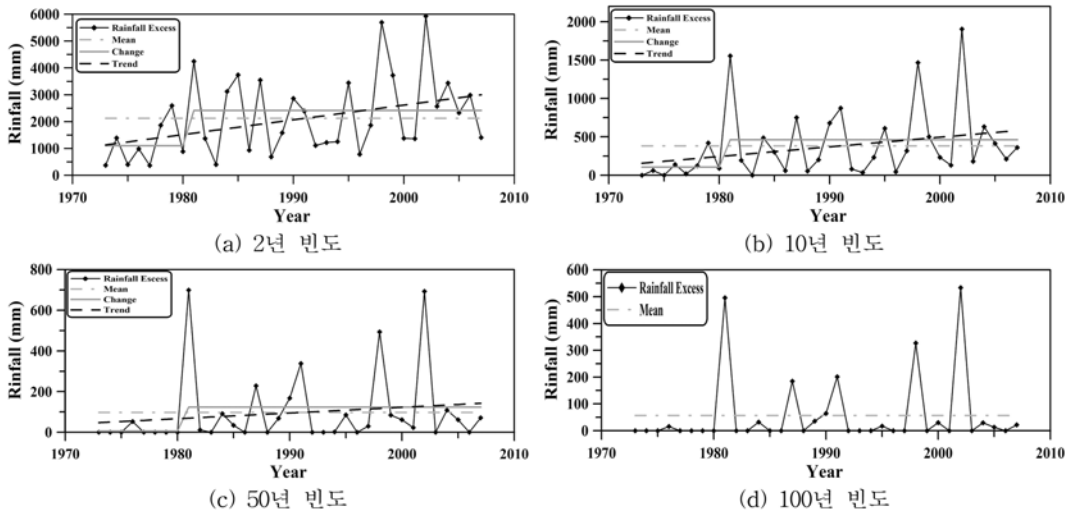


그림 4. 연도별 지속시간 24시간 빈도에 따른 초과강우량과 변동성 및 경향성

T 검정, Modified T 검정(Kite, 1977)을 이용하였다. 분산의 변동성 분석을 위해 F 검정과 Modified F 검정(Haan, 2002)을 이용하였고, 자료의 경향성 분석을 위해서 T 검정, Hotelling-Pabst 검정(Conover, 1971), Mann-Kendall 검정(Haan, 2002), Sen 검정(Haan, 2002)을 하였다. 분석결과가 통계적 기법에 따라 다를 수 있으므로 객관성을 확보하기 위해 동일한 5%의 유의수준에서 변동성 및 경향성이 있다고 나타난 자료에 대하여 통과한 검정 방법의 연도를 기준으로 하였다. 만약 동일한 5%의 유의수준에서 다른 변동연도의 값이 나타났을 경우에는 계산된 유의수준 중에서 가장 높은 값의 연도를 선정하였다.

4.1 연도별 초과강우량에 대한 분석

강우관측소 61개 지점의 지속시간 24시간 2년, 10년, 50년, 100년 빈도별 초과강우량 시계열 자료의 평균 및 표준편차에 대한 변동성과 경향성 분석한 결과를 그림 4에 도시하였다. 변동점이 존재하는 경우 평균이 모두 변동점 전후 모두 양(+)의 증가를 하는 것으로 나타났으며, 2년 빈도의 경우 초과강우량은 변동 전에는 1103.9 mm 변동 후에는 2418.7 mm로 약 119.1%의 증가율이 보였다. 10년 빈도에서는 106.5 mm에서

463.6 mm로 약 335.6%의 증가율을 보였고, 50년 빈도는 6.6 mm에서 124.3 mm로 약 1794.0%의 큰 증가율을 보였다. 그리고 변동연도는 모두 1981년으로 나타났다. 하지만 100년 빈도는 많은 연도에서 0 mm인 경우 때문에 변동점이 나타나지 않았다. 표준편차의 변동성은 2년 빈도를 제외하고 모두 나타났으며, 50년 빈도의 경우 변동 전에는 18.6 mm 변동 후에는 200.5 mm로 약 980.2%로 증가하였다. 경향성 분석 결과 통계적으로 유의한 수준에서 경향성이 100년 빈도를 제외하고 모두 증가하는 것으로 나타났다. 이는 100년 빈도의 경우를 분석하기에는 현재까지 관측된 강우관측연수가 부족하므로 충분한 분석이 되지 않은 것으로 판단할 수 있다. 그러나 50년 이내의 빈도에서는 초과강우량이 시간의 흐름에 따라 증가하고 있음을 확인할 수 있다.

4.2 연도별 초과횟수에 대한 분석

강우관측소 61개 지점의 지속시간 24시간 2, 10, 50, 100년 빈도별 초과횟수 시계열 자료의 평균 및 표준편차에 대한 변동성과 경향성 분석한 결과를 그림 5에 도시하였다. 변동점이 존재하는 경우 평균이 모두 변동점 전후 모두 양(+)의 증가를 하는 것으로 나타났으며, 2년 빈도의 경우

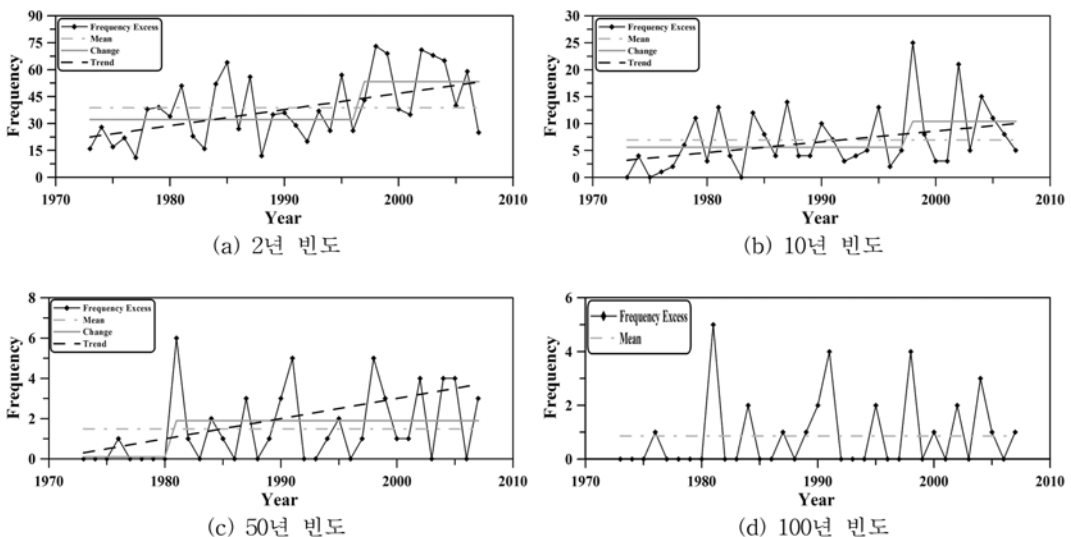
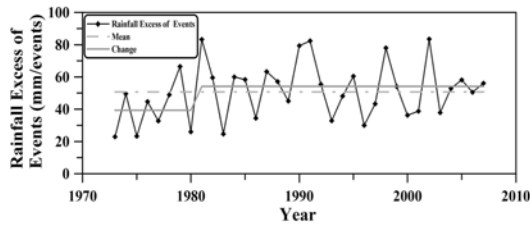
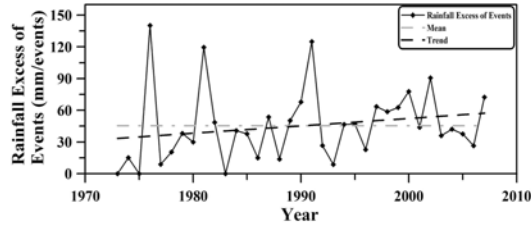


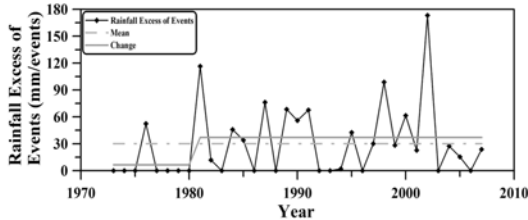
그림 5. 연도별 지속시간 24시간 빈도에 따른 초과횟수와 변동성 및 경향성



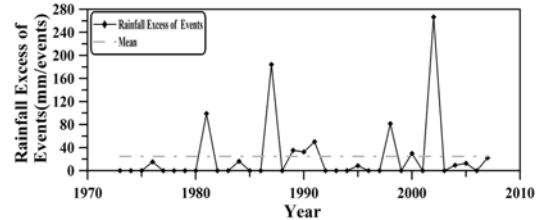
(a) 2년 빈도



(b) 10년 빈도



(c) 50년 빈도



(d) 100년 빈도

그림 6. 연도별 지속시간 24시간 빈도에 따른 단위초과강우량과 변동성 및 경향성

초과횟수는 변동 전에는 32.2회 변동 후에는 53.3회로 약 65.5%의 증가율이 보였다. 10년 빈도는 5.6회에서 10.4회로 약 85.7%의 증가율을 보였고, 50년 빈도는 0.1회에서 1.9회로 약 1800.0%의 큰 증가율을 보였다. 그리고 변동연도는 2·10년 빈도에서는 1997년, 50년 빈도에서는 초과강우량과 같은 1981년으로 나타났다. 하지만 100년 빈도는 많은 연도에서 0회인 경우 때문에 변동점이 나타나지 않았다. 표준편차의 변동성은 2년 빈도를 제외하고 모두 나타났으며, 50년 빈도의 경우 변동 전에는 0.4회 변동 후에는 1.8회로 약 421.8%로 증가하였다. 경향성 분석 결과 통계적으로 유의한 수준에서 경향성이 초과강우량과 같이 100년 빈도를 제외하고 모두 증가하는 것으로 나타났다.

4.3 연도별 단위초과강우량에 대한 분석

강우관측소 61개 지점의 지속시간 24시간 2년, 10년, 50년, 100년 빈도별 단위초과강우량 시계열 자료의 평균 및 표준편차에 대한 변동성과 경향성 분석한 결과를 그림 6에 도시하였다.

10·100년 빈도는 변동점이 없었으며, 변동점이 존재하는 경우 평균이 모두 양(+)의 증가를 하는 것으로 나타났으며, 2년 빈도의 경우 변동 전에는 39.3 mm/events 변동 후에는 54.2 mm/events로 약 37.9%의 증가율을 보였고, 50년 빈도는 6.6 mm/events에서 37.1 mm/events로 462.1%의 큰 증가율을 보였다. 그리고 변동 연도는 모두 1981년으로 나타났다. 표준편차의 변동성은 2년 빈도를 제외하고 모두 나타났으나, 50년 빈도의 경우 변동 전에는 18.6 mm/events 변동 후에는 42.6 mm/events로 약 129.3% 증가하였다. 경향성 분석 결과는 통계적으로 유의한 수준에서 경향성이 10년 빈도에서만 나타났다. 2, 50년 빈도의 경우는 초과횟수의 증가로 인한 초과강우량이 커짐으로 인해 유의성이 없었다.

5. 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상의 군집 분석

61개 강우관측소의 위도와 경도 및 지속시간별 연최대강우

량을 활용하여 군집분석을 하였다. 유사한 통계특성을 지닌 강우관측소들끼리 군집을 형성하였다. 군집화 된 지역을 대상으로 지속시간 24시간 빈도별 평균초과강우량, 평균초과횟수, 평균단위초과강우량을 비교하였고, 군집 지역별 초과강우량과 초과횟수의 표준화변량에 대해 변동성 및 경향성을 분석하였다.

5.1 군집 방법

군집 분석은 유사한 특성을 지닌 집단을 산정하기 위해 시도하는 통계적 분석기법으로 모집단에 소속된 개체들의 특성인자를 통한 분류를 수행하기 위해 사용되는 다변량 분석 기법이다. 임의의 개체들을 군집 분석 통해 구분하기 위해서 Euclidean 거리를 계산하고 거리가 가까운 개체들끼리 묶으면 된다. 여기서, Euclidean 거리란 두 개체사이의 유사 정도를 거리로 표현하며, 거리가 멀면 유사성(similarity)이 떨어짐을 의미한다. 군집과 군집의 유사성을 측정하여 개체를 분류하는 대표적인 5가지 방법으로는 Nearest neighbor, Furthest neighbor, Centroid neighbor, Average neighbor, Ward's minimum variance 등의 기법이 있다. 그리고 군집의 개수를 정하는 방법에는 Tree Diagram, Hotelling's T^2 , Cubic Clustering Criterion 방법이 있다.

본 연구에서는 여러 가지 군집기법 중에서 Ward's minimum variance 기법은 특히 기후와 관련된 변수로 군집을 할 경우에 가장 많이 적용되므로(문영수, 1988; Kalkstein 1986) 강우관측소의 경도, 위도 및 지속시간별 연최대강우량을 입력 자료로 구성하여, Ward's minimum variance 기법을 대상 자료에 적용하여 군집의 평균간 거리를 각 군집의 개체 개수의 역의 합으로 나눈 제곱근을 산정한 거리로 군집화를 수행하였다. 그림 7에 도시한 Tree Diagram의 선 길이는 군집간 유사성을 의미하고, 가로방향에 주어진 번호는 강우관측소의 고유 관리번호이다.

그림 7 Tree Diagram을 바탕으로 적절한 군집개수를 결정하기 위해 5% 유의수준에서 Pseudo Hotelling's T^2 통계량 값을 산정하여 그림 8에 도시하였다. Pseudo Hotelling's T^2 검정 통계량은(권세혁, 2004)는 두 집단 다변량 평균의

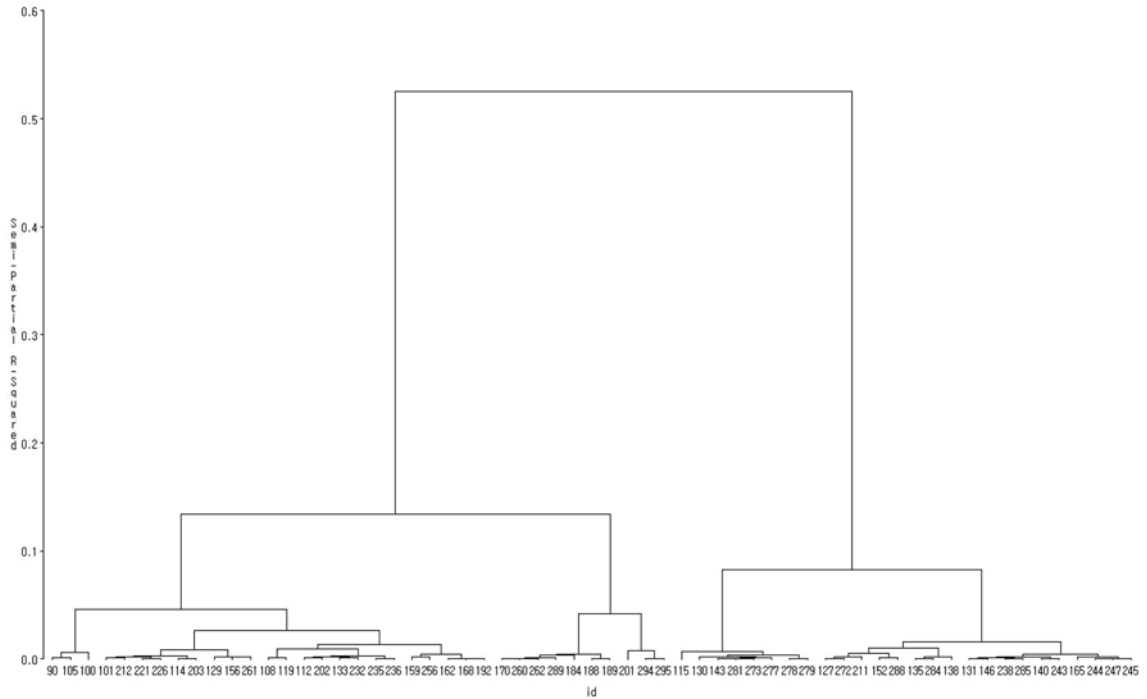


그림 7. 군집분석을 통한 강우관측소의 계층적 Tree Diagram

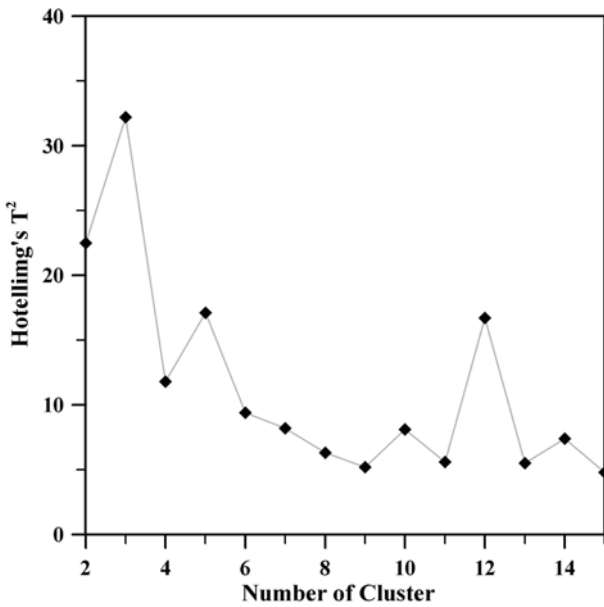


그림 8. Pseudo Hotelling's T^2 통계량

차이를 비교하여 개체의 군집간 평균 차이가 유의하면 군집을 유지하고, 유의하지 않으면 두 군집을 합치는 방법이다. T^2 통계량이 값이 크다는 것은 군집간 거리가 멀다는 것을 의미하므로 군집을 나누는 것이 좋고, 값이 적다는 것은 군집간 거리가 가깝다는 것으로 군집으로 합치는 것이 좋다. 그리고 Pseudo Hotelling's T^2 통계량은 t-분포를 이용하여 다변량 변수의 평균에 대한 가설검정 및 신뢰구간을 산정한다.

그림 8에 도시된 Pseudo Hotelling's T^2 통계량 중 가장 큰 값 32.2를 갖는 경우는 통계량이 3인 것으로 나타났다. 따라서 최적의 군집개수는 가장 큰 통계량보다 하나 더 많은 4개 군집으로 구분하는 것이 가장 타당한 것으로 판단되므로 본 연구에서는 군집개수를 4개로 결정하였다(권세혁, 2004). 그림 9는 Ward's minimum variance 기법으로 군집분석을 한 후, Pseudo Hotelling's T^2 검정을 통해 결정되

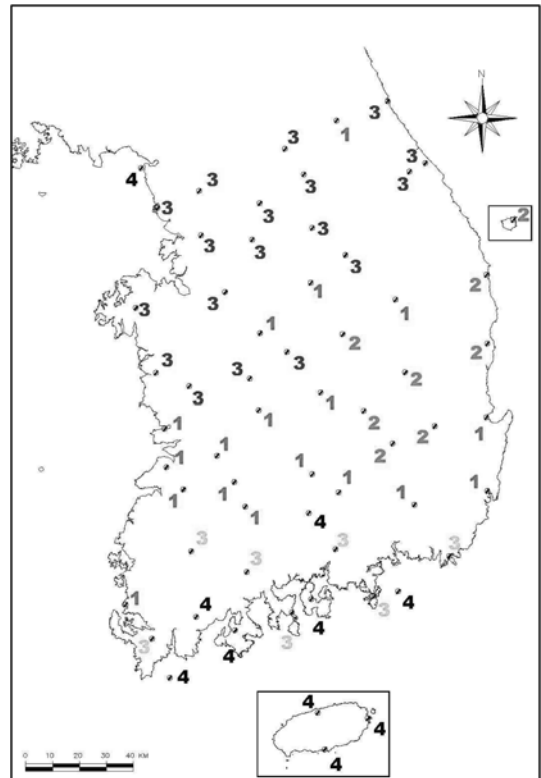


그림 9. 군집분석에 의한 지역구분 결과

어진 지역구분 결과이다.

5.2 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상의 군집 비교

그림 9에는 4개 지역으로 구분되었다. 그러나 R3 군집의 경우 다른 군집으로 인해 중부지역은 R3-1, 남부지역은 R3-2로 다시 나누어, 총 5개 R1, R2, R3-1, R3-2, R4 군집으로 구분하였다. 5개 지역의 평균초과강우량, 평균초과횟수 및 평균단위초과강우량 특성을 파악하고자 각 군집의 지속시간 24시간 $2 \cdot 10 \cdot 50 \cdot 100$ 년 빈도별 초과강우량, 초과횟수, 단

그림 5 군집분석에 의한 지역구분별 강우관측소

지역번호	강우관측소(관리번호)	합계(개)
R1	충주(127), 청주(131), 추풍령(135), 포항(138), 군산(140), 전주(146), 울산(152), 목포(165), 인제(211), 금산(238), 부안(243), 임실(244), 정읍(245), 남원(247), 영주(272), 거창(284), 합천(285), 밀양(288)	18
R2	울릉도(115), 울진(130), 대구(143), 문경(273), 영덕(277), 의성(278), 구미(279), 영천(281)	8
R3-1	속초(90), 대관령(100), 춘천(101), 강릉(105), 서울(108), 인천(112), 원주(114), 수원(119), 서산(129), 대전(133), 양평(202), 이천(203), 홍천(212), 제천(221), 보은(226), 천안(232), 보령(235), 부여(236)	18
R3-2	광주(156), 부산(159), 통영(162), 여수(168), 진주(192), 순천(256), 해남(261)	7
R4	완도(170), 제주(184), 성산포(188), 서귀포(189), 강화(201), 장흥(260), 고흥(262), 산청(289), 거제(294), 남해(295)	10

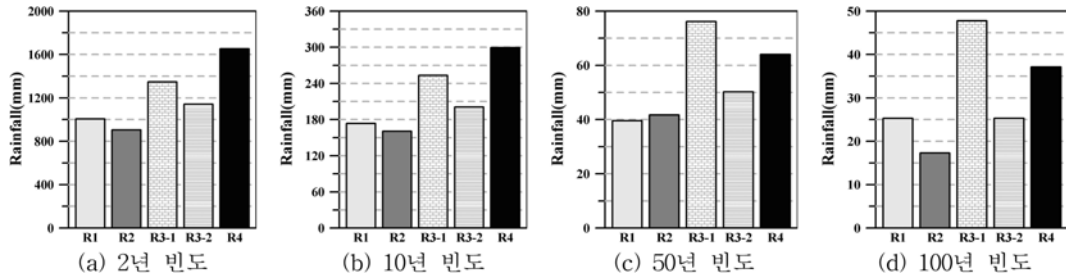


그림 10. 군집 지역별 지속시간 24시간 평균초과강우량 비교

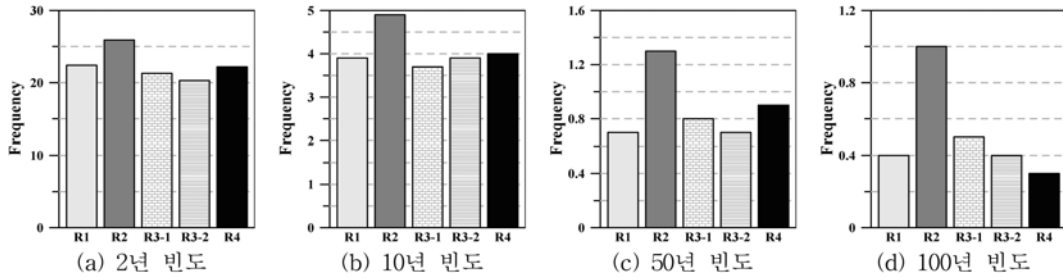


그림 11. 군집 지역별 지속시간 24시간 평균초과횟수 비교

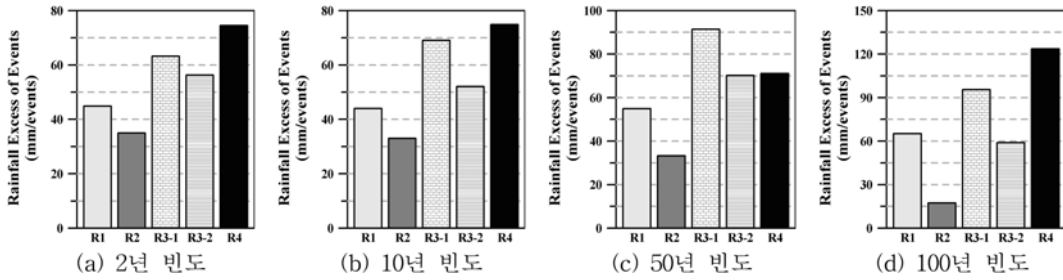


그림 12. 군집 지역별 지속시간 24시간 평균단위초과강우량 비교

위초과강우량에 대해 산술평균하여 그림 10~12에 도시하였다. 각 지역은 18, 8, 18, 7, 10개 지점의 강우관측소를 포함하고 있으며, 군집별 강우관측소는 표 5와 같다. 여기서, 'R1'은 그림 9의 지역 '1'을 의미한다.

첫 번째, 군집 지역별 평균초과강우량을 도시한 그림 10을 보면, 2·10년 빈도에서는 R4, 50·100년 빈도에서는 R3-1에서 가장 큰 값이 나타났고, 50년 빈도에서만 제외하고 R2에서 가장 작은 값이 나타났다. R3-1, R4는 제주도, 남해안 일부와 강원도를 포함한 중부지방에 분포하고 있는 강우관측소의 군집 지역이다. 두 번째, 군집 지역별 평균초과횟수를 도시한 그림 11을 보면, 오히려 평균초과강우량이 가장 적었던 R2에서 반대로 가장 많은 횟수가 2·10·50·100년 빈도 모두에서 나타났다. R2는 주로 경상북도에 분포하

는 강우관측소의 군집 지역이다. 세 번째, 평균단위초과강우량을 도시한 그림 12를 보면, 평균초과강우량과 동일한 R3-1, R4에서 최대값이 나타났으며, R3-1은 50년 빈도, R4는 2·10·100년 빈도에서 최대값을 보였다. 평균초과강우량에서 가장 적은 값과 평균초과횟수에서 가장 큰 값이 나타난 R2로 모든 빈도에서 최소값이 나타나는 것으로 파악되었다.

빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상이 발생할 때마다 다른 군집 지역보다 초과하는 강우량이 크게 나타난 R3-1, R4로 군집된 지역은 공통적으로 우리나라의 대표적 다우지역인 제주도, 남해안, 강원도를 포함하고 있으며 최근 집중호우와 태풍으로 인해 많은 홍수피해가 발생한 지역이기도 하다. 소우지역인, 경상북도 강우관측소를 중심으로 군집된 R2는 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상이 다른 지역

에 비해 빈번히 발생하나 그 강우량은 적은 것으로 나타났다. 이는 경북지역은 다른지역에 비하여 확률강우량의 크기가 작으므로 이에 상회하는 강우사상의 발생횟수가 많은 것으로 판단된다. 그러나 큰 강우는 상대적으로 적게 발생하므로 초과강우량은 크지 않은 것을 확인할 수 있다.

군집된 지역 R1, R2, R3-1, R3-2, R4에 대해 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상의 시간적 변화 추이를 비교하기 위해, 총 5개 지역별로 지속시간 24시간 2년, 10년 빈도 초과강우량 및 초과횟수 시계열 자료에 대해 변동성과 경향성을 분석하였다. 통계적 분석 기법은 앞에서 이용한 것과 동일하게 하였다. 군집된 5개 지역의 강우관측소 지점의 개수가 18, 8, 18, 7, 10개로 각각 다르기 때문에, 우선 군집 지역별 2, 10년 빈도 초과강우량과 초과횟수의 시계열 자료에 대해 Eq. (3)을 이용하여 표준화를 한 후, 표준화변량에 대해 변동성·경향성 분석을 하였다. 2년과 10년 빈도에 대해서만 분석을 수행한 이유는 전술한 바와 같이 강우관측소에서 관측한 연수가 고빈도에 대한 분석을 수행할 만

큼 충분하지 않기 때문이다. 그러나 10년 빈도에 대한 설계도 하수관거 등에 활용되고 있으며 저빈도에서도 내수침수와 같은 홍수피해가 발생할 수 있기 때문이다. 또한, 주요 호우사상에 대한 빈도분석에서도 홍수피해가 10년 이내의 빈도에 해당하는 강우사상에서도 많이 발생하고 있다.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (3)$$

여기서, z 는 표준화변량, x 는 시계열 자료값, μ 는 평균, σ 는 표준편차이다.

그림 13은 군집 지역별 2, 10년 빈도 초과강우량에 대한 표준화변량과 변동성 및 경향성 분석한 결과이다. 2년 빈도에서 평균에 대한 변동성 분석결과, R1은 변동 전에는 -0.528 변동 후에는 0.242로 약 145.8%, R2는 -0.617에서 0.183로 약 129.7%, R3-1은 -0.605에서 0.277로 약 145.8%로 모두 양의 증가율을 보였으며, 분산의 변동성 또한 모두 양의 증가율이 나타났다. 하지만, R3-2와 R4에서는 변동성 분석 결과가 통계적으로 유의하지 아니하였다. 변동

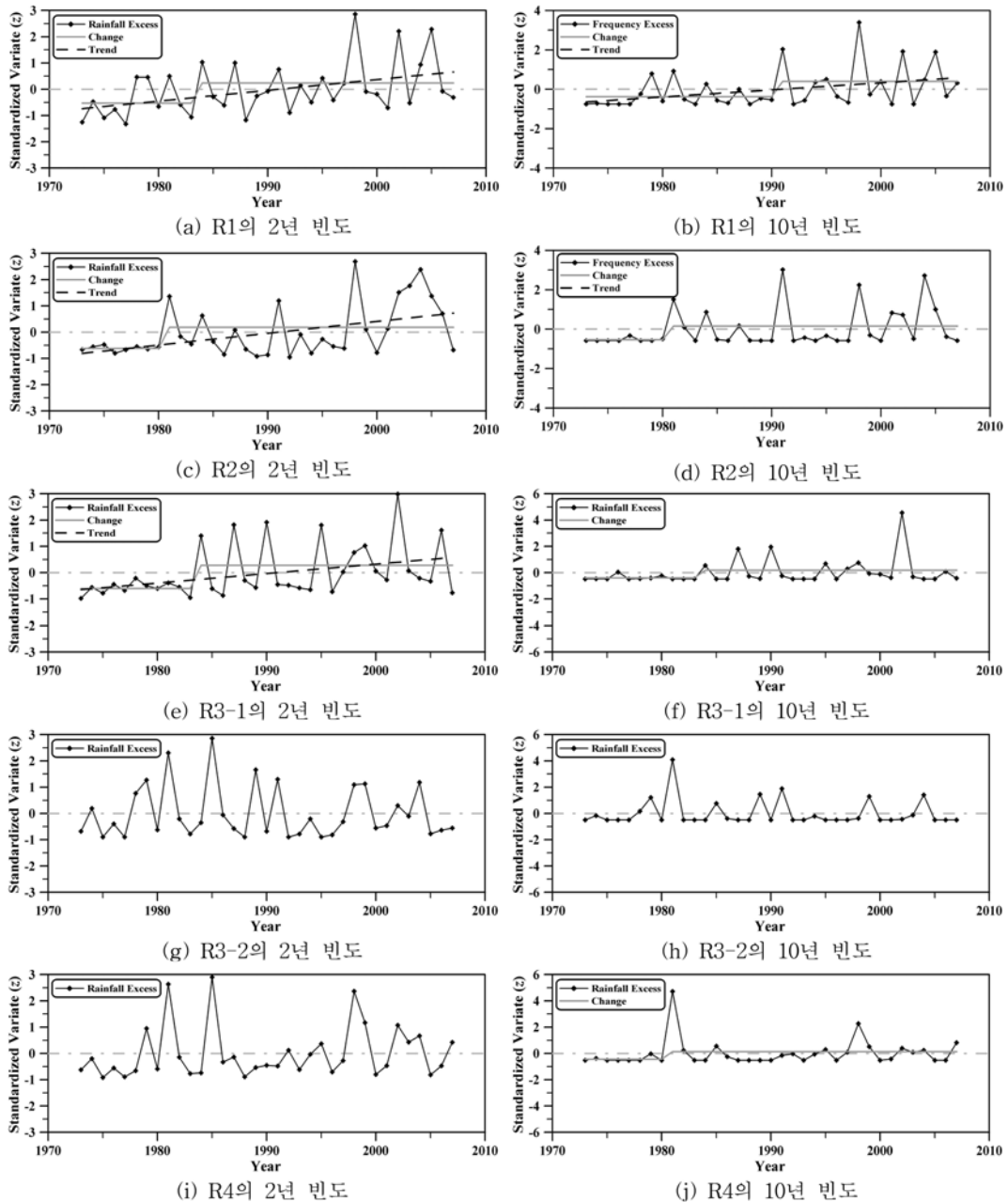


그림 13. 군집 지역의 빈도별 지속시간 24시간 초과강우량에 대한 표준화변량과 변동성 및 경향성

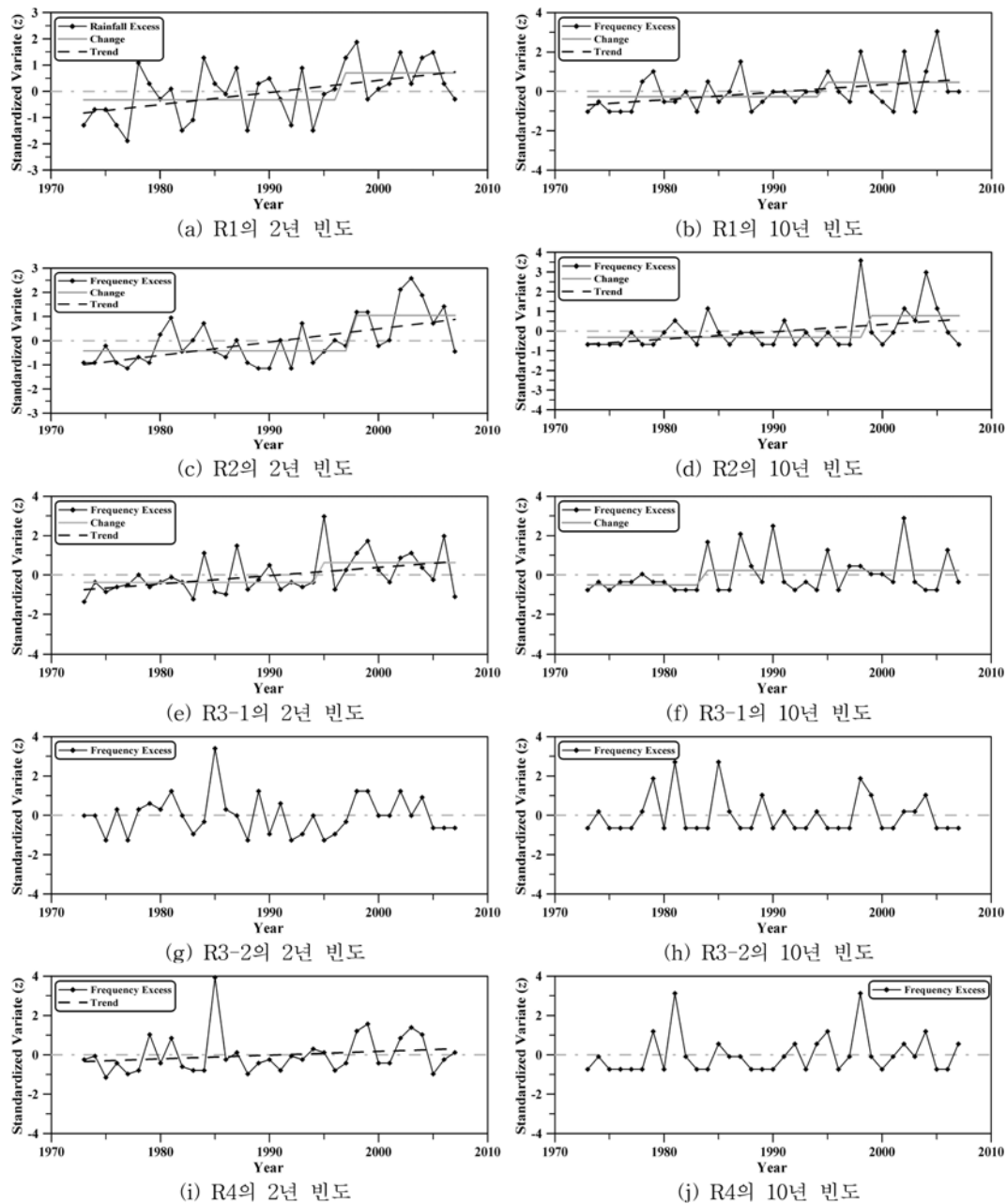


그림 14. 군집 지역의 빈도별 지속시간 24시간 초과횟수에 대한 표준변화량과 변동성 및 경향성

점이 나타난 군집 지역의 변동연도는 각각 1983, 1980, 1983년이다. 그리고 경향성 분석결과, 변동점이 나타난 군집 지역과 동일한 R1, R2, R3-1은 통계적으로 유의한 수준에서 모두 증가하는 경향이 나타났다.

10년 빈도에서 평균에 대한 변동성 분석결과, R3-2를 제외한 군집 지역에서 변동점이 나타났다. R1은 변동 전에는 -0.380 변동 후에는 0.402로 약 205.8%, R2는 -0.540에서 0.160로 약 129.6%, R3-1은 -0.406에서 0.186로 약 145.8%, R4는 -0.442에서 0.131로 약 129.6%로 모두 양의 증가율을 보였으며, 분산의 변동성 또한 모두 양의 증가율이 나타났다. 변동점이 나타난 군집 지역의 변동연도는 각각 1990, 1980, 1983, 1980년이다. 그리고 경향성 분석결과, R1에서만 통계적으로 유의한 수준에서 증가하는 경향이 나타났다.

그림 14는 군집 지역별 2, 10년 빈도 초과횟수에 대한 표준변화량과 변동성 및 경향성 분석한 결과이다. 2년 빈도에서 평균에 대한 변동성 분석결과, R1은 변동 전에는 -0.324 변동 후에는 0.707로 약 318.2%, R2는 -0.417에서

1.043로 약 350.1%, R3-1은 -0.373에서 0.631로 약 269.2%로 모두 양의 증가율을 보였으며, 분산의 변동성 또한 모두 양의 증가율이 나타났다. 하지만, R3-2와 R4에서는 변동점이 나타나지 않았다. 변동점이 나타난 군집 지역의 변동연도는 각각 1996, 1997, 1994년이다. 그리고 경향성 분석결과, 변동점이 나타난 군집 지역과 동일한 R1, R2, R3-1은 통계적으로 유의한 수준에서 모두 증가하는 경향이 나타났다.

10년 빈도에서 평균에 대한 변동성 분석결과, R3-2, R4를 제외한 군집 지역에서 변동점이 나타났다. R1은 변동 전에는 -0.269 변동 후에는 0.456로 약 269.5%, R2는 -0.313에서 0.784로 약 350.5%, R3-1은 -0.508에서 0.233로 약 145.9%로 모두 양의 증가율을 보였으며, 분산의 변동성 또한 모두 양의 증가율이 나타났다. 변동점이 나타난 군집 지역의 변동연도는 각각 1994, 1997, 1983년이다. 그리고 경향성 분석결과, R1, R2에서만 통계적으로 유의한 수준에서 증가하는 경향이 나타났다.

군집 지역별 초과강우량 2년 빈도와 초과횟수 2, 10년 빈

도에서 평균 및 분산에 대한 변동성은 공통적으로 남부지방 R3-2, R4를 제외한 지역에서 변동점이 나타났고, 그 점을 기준으로 전보다 후의 평균이 양의 증가를 보였다. 또한, 초과강우량 10년 빈도에서는 남해안 일부인 R3-2를 제외하고 전국 대부분에서 나타났다. 그리고 경향성은 초과강우량 및 초과횟수 모두 2년 빈도에서는 5개 군집 지역 중 R1, R2, R3-1, 초과강우량 10년 빈도에서는 R1, 초과횟수 10년 빈도에서는 R1, R2에서 증가하는 것으로 분석되었다. 50, 100년 빈도에서 군집 지역별 초과강우량과 초과횟수 시계열 자료가 0인 경우가 많고, 자료년수가 부족하여 변동 및 경향 특성이 분석되지 않았다.

6. 결 론

본 연구에서는 대표적으로 지속시간 24시간 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상의 특성을 비교·분석하였다. 분석방법으로는 우선 1997년부터 2006년까지의 최근 주요 호우사상으로 인해 홍수피해를 유발하는 시간강우량을 추출하여 지속시간별 최대강우량의 빈도를 산정하여 분석하였다. 그리고 1973년부터 2007년까지 전국 61개 지점 강우관측소의 시간강우량을 활용하여 지속시간 24시간 2·10·50·100년 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상의 초과강우량과 초과횟수 및 단위초과강우량에 대해 시간적 변화를 분석하기 위해 변동성과 경향성 분석을 하였다. 또한, Ward's minimum variance 군집기법을 이용하여 구분된 지역의 변동성 및 경향성 분석을 통해 지역별 시간적 변화를 비교하였다.

1. 주요 호우사상에 의한 지속시간별 최대강우량의 빈도를 분석한 결과 대표적인 중·소도시 15개 지역은 2년 빈도이하 낮은 빈도의 강우량에도 홍수피해가 발생하였다. 또한, 대관령(평창)인 경우 2006년 7월 9일부터 7월 29일까지 호우사상과 2003년 9월 12일부터 9월 13일까지 호우사상에 의한 각 지속시간별 최대강우량의 평균 빈도는 4.3년, 135.9년이다. 반면 피해액은 508,397,485천원, 11,725,502천원으로 오히려 낮은 빈도에서 오히려 더 큰 피해가 발생한 경우도 있는 것으로 나타났다. 이는 중·소도시들의 홍수피해 크기는 호우사상의 빈도와는 관계없이 발생하는 경우가 있는 것으로 분석되었다.
2. 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상의 시간적 변화를 분석하고자 초과강우량 및 초과횟수, 단위초과강우량 각각 평균의 변동성 분석을 하였다. 변동점이 발생한 초과강우량의 경우 2·10·50년 빈도별로 약 119.1%, 335.6%, 1794.0%, 초과횟수는 약 65.6%, 약 85.7%, 약 1800.0%, 단위초과강우량은 2·50년 빈도에서 약 37.9%, 약 462.1%의 증가를 보였다. 이는 확률강우량을 초과하는 강우사상이 강우량뿐만 아니라 발생횟수 또한 과거에 비해 평균의 증가율이 증가하고 있음을 보여준다. 또한 1981년 부근에서 주로 변동점이 발생하여 전·후로 통계적으로 서로 다른 강우의 영향을 받는 것으로 분석되었다. 그리고 100년 빈도에서는 연도별로 초과강우량과 초과횟수가 0 mm 또는 0회인 값이 증가하여 변동성이 분석되지 않았다. 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상에 대한 초과강우량 및 초과횟수, 단위초과강우량 각각 경향성 분석 결과

통계적으로 유의한 수준 0.05에서 증가하는 경향을 보였고, 빈도가 100년 이상이거나 단위초과강우량 2·50년 빈도에서는 초과횟수가 증가하여 초과강우량이 커짐으로 인해 유의성이 없었다.

4. Ward's minimum variance 기법을 활용한 군집분석 결과 61개 강우관측소를 4개 지역으로 구분하였다. 그러나 R3이 다른 군집으로 인해 남쪽과 북쪽으로 나누어지는 것을 감안하여 R1, R2, R3-1, R3-2, R4로 구분한 결과, 최근 집중호우와 태풍으로 인해 많은 홍수피해가 발생한 제주도, 남해안 일부, 강원도를 포함한 중부지방의 강우관측소를 중심으로 군집된 R3-1, R4에서는 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상이 발생하는 경우가 다른 지역에 비해 적으나 초과하는 강우량은 제일 많은 것으로 나타났다. 그리고 우리나라의 대표적인 소우지역인 R2에서는 경상북도 강우관측소를 중심으로 군집된 지역으로 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상이 다른 지역에 비해 많이 발생하지만 그 강우량은 제일 적은 것으로 나타났다.
5. 군집된 지역의 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상의 시간적 변화추이를 분석하기 위해, 각각 5개 지역의 2, 10년 빈도 초과강우량과 초과횟수 시계열 자료에 대해 변동성 및 경향성 분석을 하였다. 평균에 대한 변동성 분석 결과 대체로 남해안 일대를 중심으로 군집된 R3-2, R4를 제외한 군집 지역에서 변동점을 기준으로 양의 증가율이 나타났고, 경향성 분석결과 초과강우량 및 초과횟수 모두 2년 빈도에서는 R1, R2, R3-1, 초과강우량 10년 빈도에서는 R1, 초과횟수 10년 빈도에서는 R1, R2에서 증가하는 것으로 분석되었다.

중·소도시는 주요 호우사상에 의한 지속시간별 최대강우량의 빈도에 상관없이 홍수피해가 발생하고 있는 것으로 나타났다. 또한 빈도별 확률강우량을 초과하는 강우사상에 의한 초과강우량 및 초과횟수가 증가할 뿐만 아니라, 연강우량이 비교적 많이 내리는 남해안 지역은 초과하는 강우량이 발생할 때 그 강우량이 많은 것으로 나타나 치수시설의 설계빈도를 넘는 경우 큰 홍수피해가 빈번히 발생할 가능성이 높다. 따라서 집중호우뿐만 아니라 태풍에 대해 취약한 중·소도시의 홍수발생빈도 선정과 추후 지역의 홍수방어대책 수립에 있어서 고려할 사항 중 하나로 사료된다.

감사의 글

본 연구의 일부는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

- 권세혁(2004) **다변량분석**. 지유아카데미.
 문영수(1988) **한국의 강수지역 구분**. 박사학위논문, 경북대학교.
 소방방재청 중앙재난안전대책본부(2008) **자연재난조사 및 복구계획 수립 지침**, 소방방재청 중앙재난안전대책본부.
 소방방재청 중앙재난안전대책본부(1997-2006) **재해연보**. 소방방재청 중앙재난안전대책본부.

- 안재현, 김태웅, 박무중, 윤용남(1999) 자료기간에 따른 우리나라 확률강우량의 변화 분석, **한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 16-21.
- 안재현, 김태웅, 유철상, 윤용남(2000) 자료기간 증가에 따른 확률강우량의 거동특성 분석, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제33권, 제5호, pp.569-580.
- 오제승, 김치영, 김 원(2007) 강우 자료의 변동 특성 분석, **한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 1602-1607.
- 오태석, 문영일(2008) 태풍으로 인한 극한강수 특성 분석, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제28권, 제5B호. pp. 459-473.
- 윤용남(2007) **수문학 : 기초와 응용**, 청문각.
- 이동률, 김응태, 이상복, 허준행(2001) 기후변동과 확률강우량의 변화, **한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 4403-408.
- 정성인, 유철상, 윤용남(2004) 확률강우량의 변동성 분석, **한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 256-261.
- 차은정, 최영진(2000) 한반도 여름철 집중호우의 시간·공간 변동특성, **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제33권, 제4호, pp. 47-56.
- 한국수자원공사(2002) **하수도시설 설계지침**.
- 한국수자원학회(2005) **하천설계기준**.
- 행정자치부 국립방재연구소(1999) **소하천 시설기준**, 행정자치부.
- Conover, W.J. (1971) *Practical nonparametric statistics*. John Wiley and Sons, New York., pp. 462.
- Hann, C.T. (2002) *Statistical Methods in HYDROLOGY*. Iowa State Press, Iowa.
- Hollander, Myles, and Douglas, Wolfe (1973) *Nonparametric Statistical Methods*. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Iwashima, T. and Yamamoto R. (1993) A statistical analysis of the extreme events : Long-term trend of heavy daily precipitation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Meteorological Society of Japan, Vol. 71, No. 5, pp. 637-640.
- Karl, T.R. and Knight, R.W. (1998) Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the USA. *Bulletin of the American Meteorological Society*, AMS, Vol. 79, No. 2, pp. 231-241.
- Kalkstein, L.S. (1986) An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification. *American Meteorological Society*, Vol. 26, pp. 717-730.
- Kite, G.W. (1977) Frequency and risk analysis in hydrology. *Water Resources Publication*, Fort Collins, Colorado, USA.
- Mann, H.B. and Whitney, D.R. (1947) On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Ann. Math. Statist.*, Vol. 18, pp. 50-60.
- Yue, S. and Hashino, M. (2003) Long term trends of annual and monthly precipitation in japan. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 39, pp. 587-596.

(접수일: 2009.6.2/심사일: 2009.7.20/심사완료일: 2009.10.7)