

## 도시화가 강수사상에 미치는 영향 분석

### Effect Analysis of Precipitation Events According to an Urbanization

오태석\* · 문영일\*\*

Oh, Tae Suk · Moon, Young-il

#### Abstract

Urbanization means the sudden increment of a population and the industrialization. The hydrologic water cycle causes many changes due to urbanization. Therefore, the affects that urbanization influences on the precipitation events were analyzed. But the precipitation events are very much influenced many meteorological and climatologically indices besides the effect of an urbanization. So, an analysis was performed by using precipitation data observed in many spots of the Korean peninsula. The analysis data are annual precipitation, the duration 1 daily maximum amount of precipitation, the rainy days, and 10 mm over the rainy days, and 80 mm. seasonal precipitation and seasonal rainy days. The analytical method classified 4 clusters in which the precipitation characteristic is similar through the cluster analysis. It compared and analyzed precipitation events of the urban and rural stations. Moreover, the representative rainfall stations were selected and the urban stations and rural stations were compared. In the analyzed result, the increment of the rainy days was conspicuous over 80mm in which it can cause the heavy rainfall. By using time precipitation data, the design precipitation was calculated. Rainfall events over probability precipitation on duration and return period were analyzed. The times in which it exceeds the probability precipitation in which the urban area is used for the hydrologic structure design in comparison with the rural area more was very much exposed to increase.

**Keywords** : urbanization, precipitation events, cluster analysis

#### 요 지

도시화란 급격한 인구의 증가와 산업화를 의미하며, 도시화로 인해서 수문학적 물순환과정은 많은 변화를 일으키게 된다. 본 연구에서는 도시화가 강수사상에 끼치는 영향을 분석하였다. 강수사상은 도시화의 효과 이외에도 여러 기후학적인 인자와 기상학적인 요인에 의한 영향을 많이 받게 된다. 따라서 한반도의 여러 지점에서 관측된 강수 자료를 이용하여 분석에 적용하였다. 분석대상자료는 연강수량, 지속시간 1일최대강수량, 강수일수, 10 mm 이상 강수일수, 80 mm 이상 강수일수, 계절별 강수량 및 계절별 강수일수이다. 분석방법은 군집분석을 통해 강수특성이 비슷한 4개의 군집을 구분하여, 군집별로 도시지역과 비도시지역에서 발생한 강수사상을 비교분석하였다. 또한, 대표지점을 선정하여 도시화 지점과 비도시화 지점을 비교 분석하였다. 분석 결과에서 호우 피해를 야기할 수 있는 80 mm 이상 강수일수의 증가가 두드러졌다. 시간강수량 자료를 이용하여 확률강수량을 산정하고, 지속시간별 재현기간별 확률강수량을 초과하는 강수사상을 분석하였다. 도시지역이 비도시지역에 비해서 수공구조물 설계에 이용되는 확률강수량을 초과하는 횟수가 더 많이 증가한 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 도시화, 강수사상, 군집분석

#### 1. 서 론

1950년대 이후에 한반도는 급속한 경제개발계획에 의해서 인구의 급속한 도시집중과 산업화로 인하여 도시화가 매우 빠른 속도로 단기간에 발생되었다. 도시화에 대한 사전적인 정의는 도시의 문화형태가 도시 이외의 지역으로 발전되고 확대됨으로써 구체적으로 서비스업이나 유통 기능의 증대, 공공시설의 증가 및 토지의 집약적 이용 현상을 의미한다고 할 수 있다. 도시화로 인한 인구의 도시집중과 산업의 발전

은 수문학적 물순환과정에도 많은 영향을 끼치게 된다. 즉, 도시하천의 홍수량이 증대되며, 유출의 변화, 자연 배수, 지하수, 수질, 물 수요의 증가와 공급폐기물의 처리 등의 환경 변화 등이 발생하게 된다.

도시화가 강수의 형성과 발달 및 발생과정에 끼칠 수 있는 가능성은 다음과 같다. 첫 번째로 도시화로 인해 발생하는 열섬(Urban Heat Island, UHI) 현상으로 인하여 대기의 불안정을 유발시키고 이로 인해 대기의 상승작용이 활발하게 발달된다. 두 번째로 도시 지역은 포장면적이 증가하게

\*서울시립대학교 공과대학 토목공학과 수자원연구실 박사후과정 (E-mail : taesuk79@gmail.com)

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

되며, 이는 침투량의 감소로 인해 증발현상이 도시화 이전상태와는 다른 변이를 유발시켜 도시지역의 대기가 내포하는 수분보유수량의 변화를 야기한다. 세 번째로 산업발달로 인한 공장 및 인구 집중에 의한 화석연료의 사용과 배기가스의 증가는 강수의 생성과 발달을 돕는 응결핵의 배출을 증대시켜 강수의 발생빈도를 높일 수 있다. 마지막으로 도시 내에 발달된 고층빌딩은 기류의 장애 역할을 하며 정체전신을 지체시킨다. 따라서 도시화가 강수의 빈도와 크기에 영향을 끼칠 수 있는 가능성은 매우 농후하다고 할 수 있다. 그러나 현재까지 강수의 발생과 형성과정은 여러 기상·기후학적 요인들과 복잡한 인과관계를 갖으며 발생하며, 그 과정에 대해 현재까지 명확하게 파악하지 못하였으므로 도시화가 강수사상에 미치는 영향을 직접적으로 평가할 수는 없다.

도시화가 강수에 미치는 영향에 대한 연구는 여러 선행연구사례에서 찾을 수 있다. 그러나 분석 결과에 따라서 여러 가지 가능성을 제시하고 있는 것으로 나타났다. 일단 도시화는 도시의 기온을 상승시키는 열섬효과(UHI)를 유발시킨다는 점은 이견이 없다(Yague *et al.*, 1991; Chow, 1992). 한반도의 도시지역도 도시화로 인해 기온이 상승하였음을 여러 연구 결과에서 밝히고 있다(Souch and Grimmond, 2006; Kim and Baik, 2005; Chung *et al.*, 2004). 따라서 기온 이외의 기상학적 인자들에 대해서도 Bornstein and Johnson(1977)과 Chow(1992)는 도시화가 안개일수와 일조시간을 감소시킨다고 하였다. Landsberg(1956)은 인간의 활동에 의한 도시화가 강수에 미치는 영향은 바람과 온도의 변화보다는 증거가 미약하다고 밝히고 있다. 그러나 도시화와 산업화로 인한 수증기의 증가와 도시화에 따른 열섬효과와 공기동역학적 조도가 강수를 증가시킬 수 있는 가능성은 매우 큰 것으로 밝혀졌다(Cotton, 1995; Goldreich, 1995; Ohashi and Kida, 2002; Dixon and Mote, 2003). Ernesto and Ernesto(1996)은 강수의 형태가 도시화와 밀접한 관련이 있음을 밝히고 있다.

도시화에 따른 강수변화를 분석한 연구에서 도시화 지역의 여름철 강수량의 증가가 두드러지는 것으로 나타났다(Changnon, 1979; Landsberg, 1970; Atkinson, 1971; Huff and Changnon, 1972, 1973; Stulov, 1993; Jauregui and Romales, 1996; Burian and Shepherd, 2004). Shepherd(2006)은 도시지역의 평균강수량이 보다 더 많이 증가하였음을 밝혔다. 또한 강수일수도 도시화 지역이 더 많이 증가하는 것으로 분석되었다(Changnon, 1969). Huff(1975), Changnon and Westcott(2002)는 도시화 지역에서의 중호우 사상의 발생이 보다 빈번해지고 있다고 하였다. Goldreich and Manes(1979), Braham *et al.*(1981)은 도시화 지역의 강수량이 대조지역에 비해서 더 많이 증가한 것으로 분석하였다.

Balling and Brazel(1987)은 시간강수량의 분석을 통해 도시지역의 강수량이 더 많이 증가하였음을 밝혔으며, Huff and Vogel(1978), Burian and Shepherd(2005)는 낮시간에 발생하는 강수량이 도시지역에서 더 많이 증가하였다고 하였다. Inoue and Kimura(2004)와 Molders and Olson(2004)은 도시화에 따른 강수증가의 증거를 수치모형을 통해 밝히고 있다. Shepherd(2005, 2006)은 TRMM 자료를 이용하여 도

시화 지점이 강수증가량이 더 많은 것으로 분석하였다.

이와 같이, 도시화가 강수량 특히, 여름(우기)강수량에 많은 영향을 주는 것으로 밝히고 있다. 그러나 Changnon(1992)은 도시화로 인한 강수변화에 불확실성이 크며, 기온변화나 도시화로 인한 강수분석은 한정된 자료에 의해 불확실성이 크다고 밝혔다. Dabberdt *et al.*(2000)은 도시화로 인한 관측 자료나 모형을 통해서 분석한 결과에 대해서 보다 신중하게 판단을 해야 한다고 하였다. 이는 도시화에 의한 강수변화에 대한 분석이 매우 적은 대상 자료와 통계적 분석에 기반을 두었기 때문이라고 밝히고 있다. 또한, Rosenfeld(2000)은 도시화와 공업화로 인한 대기오염이 구름으로부터의 강수를 감소시킨다고 하였다.

한반도를 대상으로 분석한 경우에는 임창수(2008)와 류성수 등(2008)은 도시화가 강수에 미치는 확실한 증거는 없는 것으로 밝히고 있다. 그러나 이와는 반대로 김광식(1988)은 8월과 연강수량이 증가하였음을 밝혔다. Chung *et al.*(2004)은 서울지점의 온도와 강수량이 증가하였음을 밝혔다. 오태석 등(2005)은 7개의 대도시와 7개의 비도시화 지점을 대상으로 연강수량과 여름강수량 및 지속시간 1, 24시간 연최대 강수량에 대하여 분석하여, 여름강수량의 증가가 두드러짐을 밝혔다. 김광섭과 임태경(2005)은 월별, 연별로 자료기간을 구분하여 평균값을 비교하고 경향성 분석을 수행하여 강수량과 기온은 도시지역이 보다 많이 증가하고 있는 것으로 분석하였다. 안재현(2006)은 도시화에 따라서 기온, 습도 및 강수량은 증가하며 일조시간과 잠재증발산량은 감소하는 것으로 분석하였다. 유철상 등(2006)은 도시화로 인해 강수특성은 지속적으로 변화할 수 있는 가능성이 매우 큰 것으로 밝혔다. 오세정과 유철상(2007)은 기후변화와 도시화에 의해 연강수량은 지속적으로 증가할 것이라고 하였다. 유철상 등(2007)은 서울과 이천 및 전주지점에 대해서 간접분석을 수행하여 도시화로 인해 강수 증가가 있음을 밝혔다.

이와 같이, 여러 선행연구사례에서 도시화로 인해 강수량이 증가된다고 말하고 있으며, 반대로 도시화가 강수사상에 미치는 영향은 불확실성이 크므로 명확하게 나타나지 않는다고 밝히고 있다. 따라서 본 연구에서는 선행연구에서 주로 다루고 있는 연강수량, 계절별 강수량 또는 기준강수량을 초과하는 강수일수 이외에도 계절별 강수일수와 우리나라의 호우주의보의 기준이 되는 80 mm 이상의 강수일수에 대한 도시화의 영향을 분석하였다. 또한, 시간강수량 자료를 활용하여 도시화지역과 비도시화 지역에서의 홍수피해를 야기할 수 있는 확률강수량을 초과해서 발생하는 강수사상을 추출하여 분석하였다.

따라서 본 연구에서는 관측된 강수자료를 이용한 통계학적 방법을 통해 도시지역과 비도시지역에서 발생한 강수사상을 비교·분석한 Case study를 통해 도시화가 강수사상에 미치는 영향을 평가하였다. 분석 방법은 우리나라의 기상청에서 관할하는 강우관측소 중에서 30년 이상 관측된 지점을 중심으로 군집분석을 통해 도시화 지점들과 비도시화 지점으로 구분하여 비교 분석을 수행하였다. 또한, 도시화가 많이 진행된 지점을 중심으로 대표 도시화 지점을 선정하여 도시화가 진행되지 않은 지점에서 발생한 강우자료와의 비교 분석을 수행하였다.

## 2. 분석 대상 자료의 선정

도시화가 강수사상에 미치는 영향을 분석하기 위해서 한국의 기상청에서 관할하는 78개 지점 중에서 관측 자료가 30년 이상이고, 인구 및 시가화면적의 변화를 기록하고 있는 57개 지점을 선정하였다. 우리나라는 강수사상의 변동성을 분석하는데 매우 좋은 자료를 제공해 주고 있는 것으로 알려져 있다(Fu et al., 1998; Oh et al., 2004; Cai et al., 2004). 또한, 한반도는 이러한 기후적인 변화를 잘 받으며, 한국전쟁 이후에 도시화가 급격히 진행되었으므로 강수사상의 변동에 대한 분석을 수행하는데 있어 매우 좋은 자료를 제공해 준다고 할 수 있다.

### 2.1 도시화 지표 자료

도시화란 산림·논·밭 등의 지역이 대단위 공장부지, 택지, 도로 등으로 바뀌며, 거주 인구의 급격한 증가를 의미한다. 따라서 도시화의 지표로는 시군별 인구자료와 시가화면적 자료를 이용하였다. 분석대상자료는 국가수자원관리 종합정보 홈페이지(www.wamis.go.kr)에서 확보하였다. 도시화 지표로 거주인구를 설정한 이유는 도시화로 인해 산업이 고도화 될수록 인구가 집중하기 때문이다. 또한, 인구집중은 대규모의 개발로 인해 자연유역 상태가 도로의 포장과 구조물의 건설로 인해 시가화 되기 때문이다. 따라서 도시화의 대표적인 지표로 설정한 인구와 시가화면적을 이용하여 도시지역과 비도시지역을 구분하였다. 조사된 자료를 바탕으로 인구는 1975년을 기준으로 2000년도에 증가된 인구를 계산하였으며, 시가화면적비는 퍼센트(%) 단위로 계산하였다. 이를 통해 구분한 결과에서 인구변화량과 시가화비 변화량의 합

의 증가량이 10 이상의 값을 갖는 경우에 도시지역으로 선정하였다. 그림 3은 57개 지점에서 관측된 인구 및 시가화면적비의 변화를 군집별로 도시한 결과이다. 그림 3의 ○는 도시화지점을 ×는 비도시화 지점을 의미한다.

### 2.2 강수자료

강수 자료의 확보가 용이하고 과거로부터의 관측 자료의 신뢰성이 확보 되어 있는 기상청에서 관측한 자료를 이용하여 분석을 수행하였다. 기상청에서 관측하고 있는 강수자료는 우리나라에 총 78개의 지상관측지점이 존재하고 있다. 이 중에서 관측연수가 30년 이내인 17개 지점을 분석 대상에서 제외하고, 30년 이상의 관측 자료가 존재하는 61개 지점에서 시군별 인구자료와 시가화비 자료가 존재하는 57개 지점의 일강수량과 시간강수량을 분석대상 자료로 선정하였다. 선정된 지점의 강수관측기간은 각 관측소별 1973년 1월 1일부터 2008년 2월 28일까지 관측된 자료를 이용하였다.

도시화가 강수사상에 영향을 끼칠 수 있는 이유는 다음과

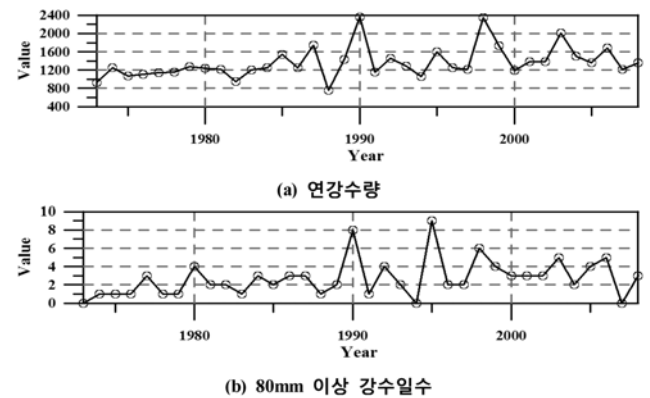


그림 1. 서울지점의 연강수량과 80 mm 이상 강수일수

표 1. 연강수사상간의 상관성 분석 결과

구분	강수량(mm)							강수일수(days)								
	연	1일	2일	3일	4일	5일	7일	>0	>5	>10	>20	>30	>50	>80	>100	>120
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)	(p)
(a)	1.00	0.68	0.70	0.75	0.71	0.76	0.74	0.52	0.76	0.82	0.80	0.83	0.81	0.75	0.74	0.66
(b)		1.00	0.91	0.87	0.83	0.84	0.80	0.04	0.24	0.34	0.37	0.45	0.49	0.57	0.58	0.70
(c)			1.00	0.97	0.94	0.90	0.87	0.06	0.32	0.36	0.38	0.42	0.56	0.63	0.69	0.76
(d)				1.00	0.98	0.94	0.91	0.12	0.39	0.43	0.43	0.46	0.58	0.69	0.72	0.72
(e)					1.00	0.95	0.92	0.12	0.33	0.38	0.41	0.43	0.54	0.70	0.74	0.74
(f)						1.00	0.98	0.15	0.33	0.43	0.43	0.49	0.54	0.70	0.75	0.79
(g)							1.00	0.11	0.30	0.41	0.41	0.51	0.56	0.69	0.72	0.76
(h)								1.00	0.72	0.59	0.56	0.42	0.28	0.28	0.25	0.23
(i)									1.00	0.82	0.76	0.68	0.56	0.42	0.46	0.39
(j)										1.00	0.84	0.82	0.59	0.43	0.40	0.26
(k)											1.00	0.86	0.56	0.34	0.36	0.31
(l)												1.00	0.66	0.42	0.41	0.33
(m)													1.00	0.70	0.60	0.48
(n)														1.00	0.90	0.68
(o)															1.00	0.80
(p)																1.00

표 2. 계절별 강수량상의 상관성 분석 결과

구분	연강수량	강수일수	강수량				강수일수			
			봄	여름	가을	겨울	봄	여름	가을	겨울
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
①	1.00	0.52	0.25	0.87	0.44	-0.25	0.30	0.60	0.03	-0.34
②		1.00	0.30	0.33	0.39	-0.09	0.56	0.65	0.47	-0.19
③			1.00	-0.07	0.16	-0.15	0.55	-0.01	0.24	-0.08
④				1.00	0.03	-0.32	0.08	0.68	-0.20	-0.40
⑤					1.00	0.14	0.24	0.03	0.43	0.08
⑥						1.00	-0.12	-0.24	0.00	0.68
⑦							1.00	0.25	0.15	-0.05
⑧								1.00	-0.17	-0.32
⑨									1.00	-0.19
⑩										1.00

같다. 대도시에서 공기 중의 부유물은 농촌지역보다 평균 10 배 정도 많으므로 일사량을 차단한다. 일반적으로 도시의 일사량은 비도시보다 5~15%가량 작으며, 특히 겨울의 자외선 방시는 오염물질에 의해 약 30%정도가 감소되어 지표면의 열 방출을 감소시킨다. 따라서 도시화로 인한 잠재열에 의해 도시지역의 온도가 상승하면서 수분증발을 촉진시켜 비도시 지역에 비해 운무 또는 안개현상이 증가된다. 이와 같은 도시지역의 수문환경변화가 강수량에 변화를 촉발시킬 것이라는 점은 예측 가능하지만 증가 및 감소성향을 단정적으로 언급하기는 쉽지 않다.

따라서 선정된 지점의 일강수량 자료를 이용하여 다음과 같은 자료를 구성하였다. 연강수량, 계절별(봄, 여름, 가을 및 겨울) 강수량, 연강수일수, 계절별(봄, 여름, 가을 및 겨울) 강수일수, 지속시간 1, 2, 3, 4, 5 및 7일 연최대강수량, 일강수량 기준 5, 10, 20, 30, 50, 80, 100 및 120 mm 이상 초과 강수일수를 일강수량 자료를 이용하여 추출하였다. 계절별로 봄, 여름, 가을 및 겨울의 관측기간은 3~5월, 6~8월, 9~11월 및 12~익년 2월까지이다. 그림 1은 서울지점을 대상으로 연강수량과 80 mm 이상 강수일수를 도시한 결과이다.

57개 분석대상지점별로 총 24개의 시계열 자료를 구성하였다. 구성된 시계열 자료의 개수가 다소 많은 것으로 판단되어 시계열 간의 상관성 분석을 수행하였다. 상관성 분석은 연도를 기준으로 추출한 자료들끼리 수행하였으며, 연강수량과 연강수일수를 계절별 자료와 분석하였다. 상관성 분석 결과에서 지속기간별 연최대강수량 사이에서 강한 상관관계를 보였으며, 강수일수와 5 mm 이상 강수일수도 상관관계가 큰 것으로 나타났으며, 50 mm를 기준으로 그 전후의 기준 초과강수일수의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 그러나 계절별 자료는 상관성이 그리 크지 않은 것으로 분석되었다. 다음의 표는 각각의 시계열을 대상으로 상관성 분석을 수행한 결과이다. 따라서 상관성 분석 결과를 바탕으로 연강수량, 1일 연최대강수량, 강수일수, 10 mm 및 80 mm 이상 강수일수와 계절별 강수량 및 강수일수를 최종분석대상자료로 선정하였다.

또한, 대표도시화 지점을 선정하여 시간강수량 자료를 이

용하여 각 지점의 확률강수량을 초과해서 발생하는 강수사상의 발생횟수에 대해서도 도시지점과 비도시지점을 비교분석하였다.

### 3. 군집분석을 이용한 도시화 지역과 비도시화 지역의 비교 분석

우리나라 57개 지점에서 관측된 강수자료를 이용하여 군집분석(cluster analysis)을 수행하여 4개 지역으로 구분하고 각 군집별로 도시지역과 비도시 지역에서 발생한 강수사상을 전반부와 후반부로 구분하여 비교분석하였다.

#### 3.1 군집분석을 이용한 동질 강수 지역의 구분

강수사상의 발생특성이 비슷한 지역을 묶기 위해서 모집단에 소속된 많은 개체들의 특성인자를 통한 분류를 수행하기 위해서 사용되는 다변량 분석 기법인 군집분석을 이용하였다(권세혁, 2004). 군집분석의 절차는 다음과 같다. 첫 번째로 처음에는 개체의 수만큼에 해당하는 군집이 존재하게 된다. 두 번째로 유사성이 가장 가까운 개체를 군집으로 묶게 된다. 세 번째로 개체가 군집으로 묶이게 되면 개체와 새로 만들어진 군집과의 유사성을 계산하여 새로운 군집을 형성하게 된다. 따라서 Ward's minimum variance를 이용하여 군집을 구분하였다. Ward's minimum variance 기법은 군집의 평균간 거리를 각 군집의 개체 개수의 역의 합으로 나는 제곱근을 구한 거리를 통해 구분하게 된다. Ward's minimum variance를 이용한 방법은 우리나라의 지역빈도해석을 수행하기 위해서 군집분석을 적용할 때에 많이 이용된 방법으로 우리나라의 강수자료를 통한 지역구분에 많이 활용되고 있는 기법이다.

각 지점별로 위도, 경도, 평균연강수량, 평균1일최대강수량, 평균강수일수, 평균 10 mm 초과 강수일수 및 평균 80 mm 초과강수일수를 이용하여 군집분석을 수행하였다. 표 3은 57개 지점의 강수관측소 자료로부터 산정한 표본상관행렬을 이용하여 산정한 주성분 분석 결과이다. 주성분 분석 결과에서 7개 주성분을 이용하여 우리나라 강수 관측소가 갖는 모든 분산을 설명할 수 있는 것으로 나타났으며, 주성

표 3. Eigenvalues of the Correlation Matrix

Principal Faction	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	3.8543	2.3692	0.5506	0.5506
2	1.4851	0.5532	0.2122	0.7628
3	0.9320	0.4079	0.1331	0.8959
4	0.5240	0.3707	0.0749	0.9708
5	0.1533	0.1085	0.0219	0.9927
6	0.0449	0.0386	0.0064	0.9991
7	0.0063		0.0009	1.0000

분 5개로 99%이상의 분산을 설명할 수 있는 것으로 분석되었다.

군집의 개수를 결정하기 위해서는 도시적 방법으로 계층적 나무 다이어그램(tree diagram)을 이용하였다. 그림 2는 각 강수관측소의 자료를 이용하여 각 개체간의 거리를 계층적 나무 다이어그램으로 나타낸 결과이다. 그림 2에서 나타낸 것과 같이, 크게 4개의 군집으로 구분할 수 있는 것으로 나타났다. 그림 2에서 나타낸 [id]는 각 강수관측소의 기상청

관리번호이다.

군집 1에 포함되는 지역은 대부분 한반도의 남해안 지역에서 관측되는 강수관측소가 포함되는 것으로 나타났으며, 군집 2는 영남 지역, 군집 3은 서부 지역, 군집 4는 북부 지역의 관측소가 포함되는 것으로 분석되었다.

3.2 군집별 강수사상의 비교 분석

군집분석을 통해 4개 지역으로 구분된 각각의 지점별로 도시지역과 비도시지역으로 구분하였다. 구분 방법은 앞에서 도시화 지표를 통해 설정한 결과를 바탕으로 각 군집별로 적용하여 분석하였다. 따라서 각 군집에 해당하는 지점을 도시지점과 비도시지점으로 구분하여 표 4로 정리하였다. 아래의 표에서 도시화 지표가 매우 큰 지역에 해당하는 지점의 글씨를 굵게 나타내었다.

그림 3은 각 군집별로 도시화 지표인 인구와 시가화면적비의 변화율을 scatter plot으로 도시한 결과를 나타낸 것이다. 분석 결과에서 대부분 도시지점과 비도시 지점의 구분이 잘 이루어진 것으로 판단된다. 그러나 군집 4번에서 춘천(Chuncheon) 지점은 도시화가 그리 많이 진행된 것은 아닌

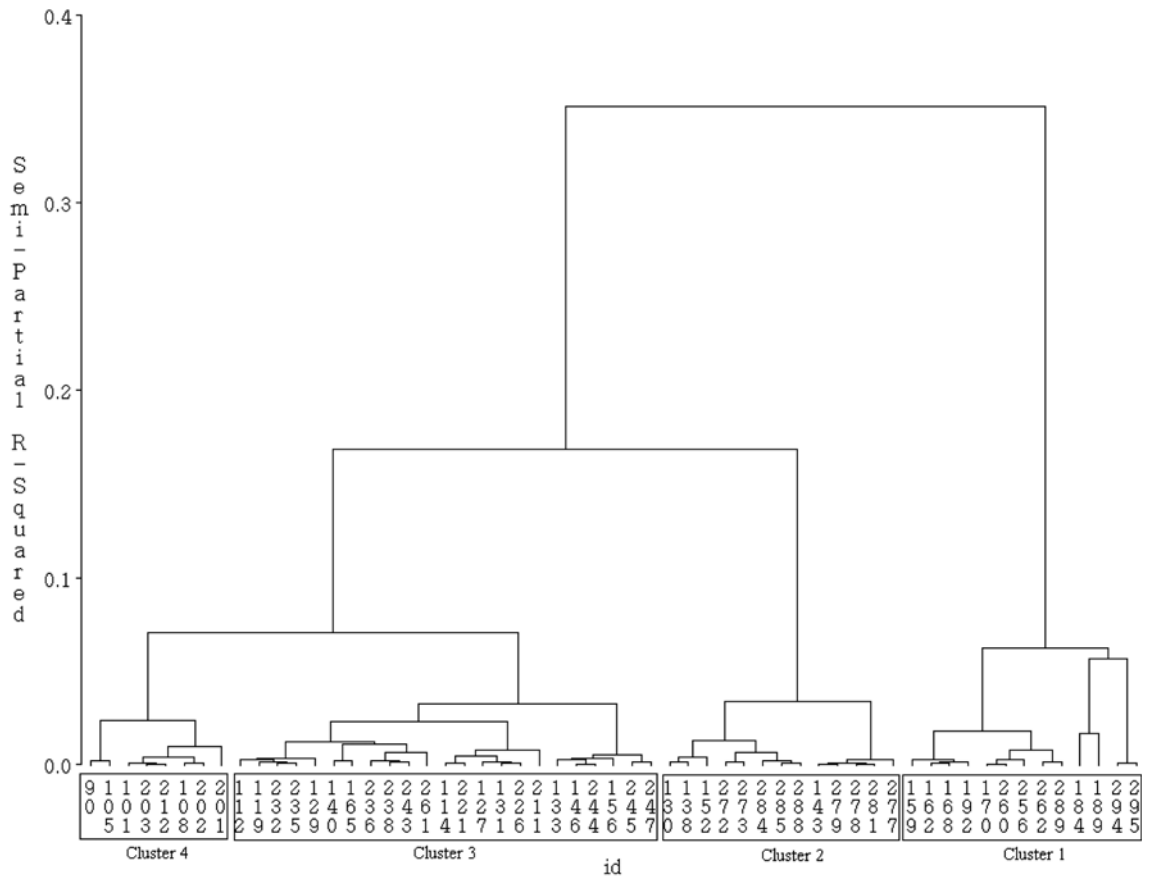
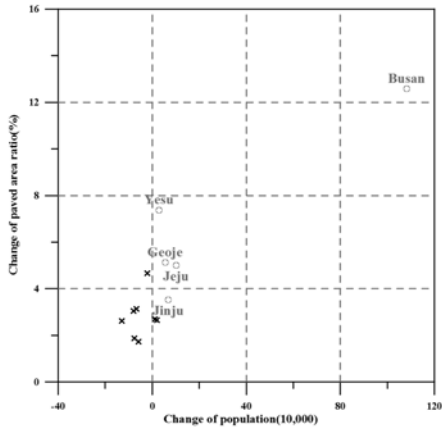


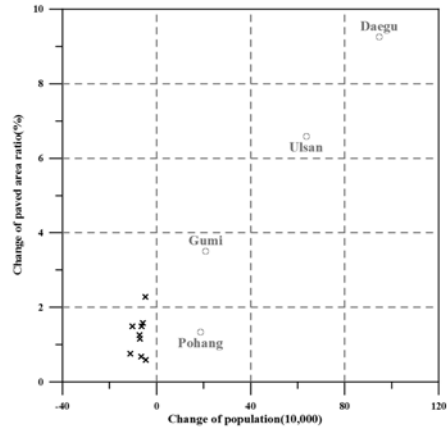
그림 2. 군집개수 결정을 위한 tree diagram의 도시

표 4. 군집분석과 도시화 지표를 이용한 강수관측소의 구분

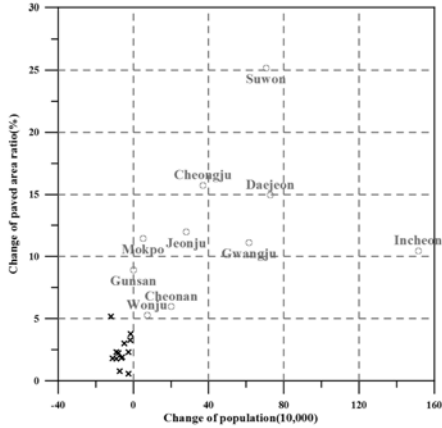
군집번호	강수관측소	
	도시 지점	비도시 지점
1(13개 지점)	부산, 제주, 거제, 진주, 여수 (5지점)	완도, 장흥, 통영, 남해, 고흥, 산청, 순천, 서귀포(8지점)
2(13개 지점)	대구, 울산, 구미, 포항(4지점)	의성, 영천, 함천, 밀양, 영주, 문경, 울진, 거창, 영덕(9지점)
3(23개 지점)	인천, 광주, 수원, 대전, 청주, 전주, 천안, 목포, 원주, 군산(10지점)	정읍, 임실, 제천, 보은, 보령, 남원, 금산, 부안, 충주, 부여, 서산, 해남, 인제(13지점)
4(8개 지점)	서울, 이천, 속초, 춘천(4지점)	홍천, 양평, 강릉, 강화(4지점)



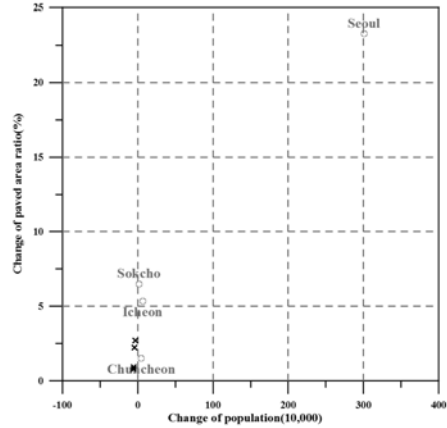
(a) 군집 1의 지점별 도시화 지표 비교



(b) 군집 2의 지점별 도시화 지표 비교



(c) 군집 3의 지점별 도시화 지표 비교



(d) 군집 4의 지점별 도시화 지표 비교

그림 3. 군집별 대상지점의 도시화 지표 비교

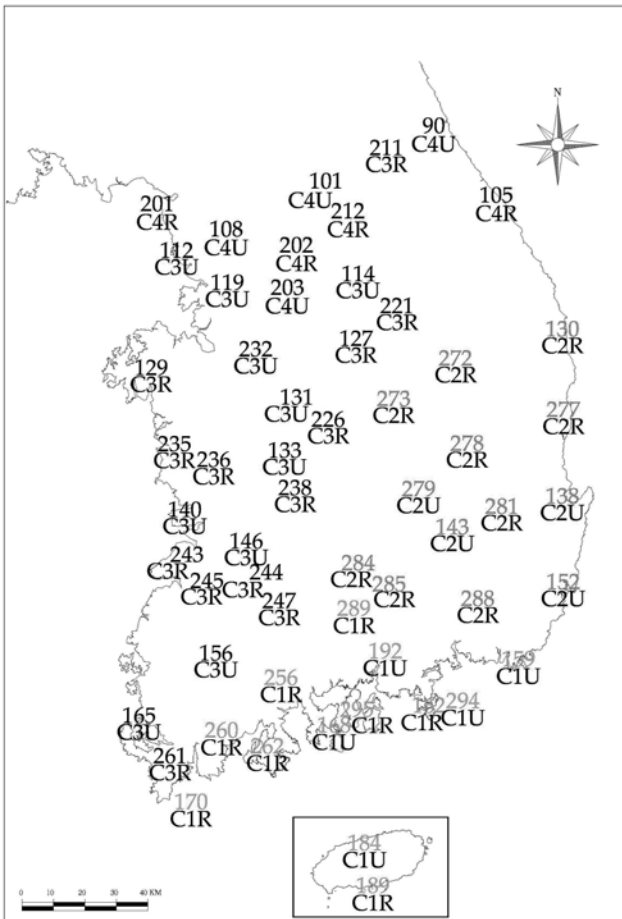


그림 4. 강수관측소의 군집 구분 및 도시 및 비도시 지점 구분

것으로 판단된다. 그림 상에서는 인구의 분산이 시가화비의 분산보다 훨씬 크기 때문에 다소 비도시지역으로 보일 수 있으나, 춘천 지점의 인구가 많이 증가하여 어느 정도 도시화가 진행된 것으로 판단되므로 도시화 지역에 춘천을 포함시켰다. 그림 4는 도상에 군집구분결과와 도시화 및 비도시화 지역의 구분결과를 나타낸 것이다. 그림 4에서 분석대상 지점을 4개의 군집으로 표시하였다. 구분된 각각의 군집은 지점번호 아래에 [C1], [C2], [C3], [C4]로 표시하였으며, 기호 [U]는 도시지점을 기호[R]은 비도시지점을 나타낸 결과이다.

도시화에 따른 강수사상의 변화를 살펴보기 위해서 강수관측소의 관측기간이 1973년부터 2008년까지 36년간이므로 절반씩 구분하여 1973년부터 1990년까지의 평균값과 1991년부터 2008년까지의 평균값을 비교하였다. 표 5는 각 군집의 지점별로 자료의 전·후반부를 구분하여 평균을 계산하고 후반부 평균에서 전반부의 평균값을 빼준 값을 정리한 결과이다. 정리 방법은 상대오차를 이용하여 다음과 같이  $RE = (Mean_{91-08} - Mean_{73-90}) / Mean_{73-90}$ 를 통해 계산하였다.

분석결과에서 연강수량은 대부분 증가하는 것으로 나타났으며, 도시지점들의 증가율이 비도시 지점의 증가율보다 1.0%정도 큰 것으로 나타났다. 지속기간 1일연최대강수량은 모든 지점에서 증가하였으며, 도시지역의 증가율이 비도시지역의 증가율보다 1.8%가량 작은 것으로 나타났다. 강수일수는 감소경향을 보였으며 도시지역이 3.2% 정도 덜 감소하였다. 10 mm 이상의 강수일수는 증가경향을 보이며, 도시지

표 5. 군집별 비교대상자료의 기간별 평균변화에 대한 상대오차의 비교

사상	지점	군집 1			군집 2			군집 3			군집 4		
		도시	비도시	전체	도시	비도시	전체	도시	비도시	전체	도시	비도시	전체
연강수량		3.8%	2.6%	<u>3.1%</u>	9.7%	9.0%	<u>9.2%</u>	4.7%	3.2%	<u>3.8%</u>	7.8%	7.1%	<u>7.4%</u>
1일최대		0.4%	6.4%	<u>4.1%</u>	28.2%	17.2%	<u>20.6%</u>	9.6%	12.3%	<u>11.1%</u>	14.5%	24.0%	<u>19.2%</u>
강수일수		-2.8%	-4.5%	-3.8%	1.5%	-3.5%	-2.0%	-0.9%	-4.8%	-3.1%	0.2%	-1.9%	-0.9%
10 mm		0.8%	-0.3%	<u>0.1%</u>	1.2%	3.4%	<u>2.7%</u>	1.2%	0.9%	<u>1.0%</u>	1.4%	0.7%	<u>1.1%</u>
80 mm		26.2%	15.7%	<u>19.8%</u>	78.8%	63.8%	<u>68.4%</u>	32.4%	24.8%	<u>28.1%</u>	41.1%	19.9%	<u>30.5%</u>
봄		2.4%	-3.7%	-1.4%	5.6%	1.2%	<u>2.5%</u>	-7.2%	-6.9%	-7.0%	-4.2%	-0.7%	-2.5%
여름		12.4%	7.3%	9.3%	20.9%	19.1%	<u>19.6%</u>	11.7%	9.7%	<u>10.6%</u>	17.1%	16.1%	<u>16.6%</u>
가을		-10.9%	1.4%	-3.3%	-3.5%	0.8%	-0.5%	2.7%	1.0%	<u>1.7%</u>	-0.8%	-3.5%	-2.1%
겨울		-0.5%	-2.6%	-1.8%	-9.0%	-10.2%	-9.8%	-12.3%	-11.6%	-11.9%	-10.2%	-6.6%	-8.4%
봄일수		-1.3%	-3.1%	-2.4%	4.2%	-3.6%	-1.2%	0.1%	-2.8%	-1.5%	2.1%	2.9%	<u>2.5%</u>
여름일수		3.4%	3.4%	<u>3.4%</u>	9.8%	4.7%	<u>6.3%</u>	4.0%	1.6%	<u>2.6%</u>	2.3%	-0.8%	<u>0.7%</u>
가을일수		-8.1%	-11.8%	-10.4%	-6.4%	-9.6%	-8.6%	-1.4%	-7.6%	-4.9%	1.6%	-6.4%	-2.4%
겨울일수		-10.5%	-13.4%	-12.3%	-9.0%	-15.2%	-13.3%	-11.2%	-14.9%	-13.3%	-9.6%	-6.5%	-8.1%

역이 약간 더 증가하는 것으로 판단된다. 80 mm 이상의 강수일수는 모두 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 도시 지역의 증가가 13.6% 가량 두드러지게 나타났다. 봄강수량은 전반적으로는 감소하였으며, 도시지역이 비도시 지역에 비해 1.7%정도 덜 감소하였다. 여름강수량은 증가경향을 보이며 도시 지역의 2.5% 정도 더 증가하였다. 가을 강수량은 감소경향을 보이며, 도시지역이 3.0% 정도 더 감소하였다. 겨울강수량은 모두 감소경향을 보이는 것으로 나타났다. 도시지역과 비도시지역의 우열을 가리기 어려운 것으로 판단된다. 봄강수일수는 지역에 따라서 증가한 지역과 감소한 지역이 있는 것으로 나타났으며, 도시지역은 약간 증가를 보이고, 비도시지역은 약간 감소를 보였다. 여름강수일수는 증가경향을 보이며, 도시지역의 2.7% 정도 더 증가하였다. 가을강수일수는 전체적으로 감소하였으며, 도시지역의 감소폭이 5.3%정도 작았다. 겨울강수일수는 큰 폭의 감소경향을 보였으며, 도시지역이 비도시지역에 비해서 2.4% 정도 덜 감소하였다.

분석 결과는 선행연구사례에서 주로 나타나고 있는 여름강우량의 증가(Changnon, 1979; Burian and Shepherd, 2004)가 두드러지는 것과 어느 정도 일치하는 것으로 나타났다. 또한, 강수일수의 증가(Changnon, 1969; Changnon and Westcott, 2002)도 선행연구와 비슷한 결과를 보여주었다. 강수사상의 증가경향을 보이며, 도시화지점들의 증가가 더 큰 것으로 판단되는 자료는 연강수량, 10 mm 이상 강수일수, 80 mm 이상 강수일수, 여름강수량, 여름강수일수이며, 비도시화 지점의 증가가 더 큰 자료는 지속시간 1일연최대강수량이다. 반면에 강수사상의 감소경향을 보이며, 도시화 지점의 감소가 더 큰 자료는 가을강수량이며, 비도시화 지점의 감소가 더 큰 자료는 강수일수, 봄강수량, 가을강수일수, 겨울강수일수이다.

군집분석을 통해 우리나라의 도시화 지역의 강수사상의 변화가 비도시지역보다 큰 것으로 나타났다. 따라서 통계적인 변동성과 경향성 분석을 통해 강수사상의 변화에 대한 통계적인 특성을 살펴보았다.

### 3.3 변동성 경향성 분석을 이용한 도시화 및 비도시화 지점의 비교 분석

도시화에 의한 강수사상의 영향평가를 위해서 시계열 자료의 평균에 대한 변동성을 검정하는 기법으로 Mann-Whitney U 검정, T 검정, Modified-T 검정, Sign 검정을 이용하였다. 강수사상시계열자료의 경향성 검정을 위하여 T 검정, Hotelling-Pabst 검정, Mann-Kendall 검정, Sen 검정을 수행하였다. 유의수준은 5%로 설정하였다. 분석 방법이 총 4 가지이므로 2가지 이상의 기법에서 통계적으로 유의한 결과를 보인 지점만 정리하였다. 군집을 나타낸 군집번호 옆의 숫자는(도시화지점수: 비도시화지점수=군집에 포함된 전체지점수)이다. 그 밑은 통계적으로 변동성이나 경향성이 있다고 나타난 지점의 개수이다. 변동성이 나타난 지점의 상대오차는 앞에서와 같이 계산하였다. 경향성 분석의 기술기는 유의한 결과를 보인 통계적 기법이 2가지 이상일 때 1차 선형 회귀식의 기술기를 산정하여 제시하였다.

표 6과 표 7은 80 mm 이상 강수일수를 대상으로 변동성과 경향성 분석결과에서 유의한 결과를 보이는 지점을 정리한 결과이다.

통계적인 변동성 및 경향성 분석 기법을 이용하여 구성된 강수사상시계열 자료를 대상으로 분석을 수행하였다. 여러 변동성과 경향성 검정 결과에서 우리나라에서 발생하는 강수사상은 백색잡음 성분이 많은 것으로 판단된다. 즉, 통계적인 변동성이나 경향성은 그리 많이 나타나지 않았다. 이는 본 연구에서 이용한 분석 자료의 기간이 총 36년으로 비교적 짧으므로 통계적인 기법에 적용하기에는 자료의 수가 다소 부족한데서 기인한 것으로 보인다. 그럼에도 불구하고 통계적으로 유의성을 갖는 강수사상의 시계열 자료가 몇몇 나타났다. 전체 대상 자료에 비해서 그 수가 많지는 아니하였다.

변동성 및 경향성 분석 결과는 다음과 같다. 연강수량은 도시지역이 비도시지역보다 증가량이 큰 것으로 나타났다. 지속시간 1일 연최대강수량은 비도시지역이 도시지역보다 큰 것으로 나타났다. 강수일수는 도시지역과 비도시지역 모두

표 6. 80 mm 이상 강수일수의 변동성 분석 결과

군집	구분	도시화			비도시화		
		유의	관측지점	상대오차	유의	관측지점	상대오차
1 (5:8=13)		2	제주	18.2%	3	산청 장흥	19.2%
	(1:2=3)				2		1.8%
2 (4:9=13)		3	대구 울산 구미 포항	61.1% 60% 100% 94.1%	4	영주 울진 거창 문경 영천 의성	140.9%
	(4:6=10)				4		105.9%
					2		18.4%
					4		120%
					2		26.3%
	4	80.0%					
	(4:6=10)			78.8%			81.9%
3 (10:13=23)		4	인천 수원 대전 광주 전주 천안 군산	66.7% 45.5% 58.1% 5.1% 20.7% 21.6% 38.5%	4	서산 제천 보령 보은 정읍	45.7%
	(7:5=12)	3			28.9%		
		3			25.0%		
		2			28.6%		
		2			28.0%		
		2					
	(7:5=12)			36.6%			31.2%
4 (4:4=8)		2	서울 이천 속초 춘천	48.7% 16.3% 56.3% 43.2%	3	양평 강화 강릉	29.5%
	(4:3=7)	3			-10.7%		
		4			6.8%		
		3					
	(4:3=7)			41.1%			8.5%

표 7. 80 mm 이상 강수일수의 경향성 분석 결과

군집	구분	도시화			비도시화				
		유의	관측지점	기울기	유의	관측지점	기울기		
1 (5:8=13)									
	(0:0=0)			0			0		
2 (4:9=13)		3	구미	0.05	3	영주 문경	0.08		
	(1:2=3)				3		0.07		
	(1:2=3)			0.05			0.075		
3 (10:13=23)		3	인천 수원	0.07 0.05	2	제천 인제	0.04		
	(2:2=4)				2		0.05		
	(2:2=4)			0.06			0.045		
4 (4:4=8)		3	서울 속초 춘천	0.07 0.07 0.06	2	홍천	0.06		
	(3:1=4)								
	(3:1=4)			0.067			0.06		

감소하였으나, 도시지역의 감소폭이 작은 것으로 분석되었으며, 10 mm 이상 강수일수도 비슷한 결과를 보여주었다. 80 mm 이상의 강수일수는 비도시화 지역에서 큰 폭의 증가와 감소를 보이는 지점이 혼재되어 있었다. 도시지역은 변동성을 별로 통과하지 못하였다. 봄강수량은 전반적으로 감소하며, 도시화 지역이 비도시 지역보다 덜 감소하였다. 여름강수량은 증가하는 경향이 강하며, 도시지역의 증가량이 비도시지역보다 많은 것으로 나타났다. 가을 강수량은 도시지역은 감소경향이 강하나, 비도시지역은 증가와 감소가 혼재되어 있다. 겨울 강수량은 모두 감소하였다. 봄강수일수는 도시지역은 증가가 많으며, 비도시지역은 감소하였다. 여름강수일수는 모두 증가하였으며, 통계적 검정을 통과한 경우에 증가폭은 비슷하였다. 가을 강수일수는 감소경향

을 보이며, 비도시화 지역이 더 많이 감소하였다. 겨울 강수일수는 전반적인 감소를 보이며, 도시지역이 상대적으로 작은 폭이 감소하였다.

그러나 변동성과 경향성 분석 결과를 바탕으로 도시지점들과 비도시지점을 비교하기에는 자료의 관측연수가 짧고 검정을 통과한 지점이 적은 것으로 판단된다. 또한, 우리나라 전체를 대상으로 도시지역과 비도시지역을 구분하였으므로 비교대상이 되는 지점수가 서로 다르다. 또한, 영주 지점 같은 경우에는 비도시화 지점으로 구분되었으나, 강수사상의 증가폭이 크고 도시화 지표가 비도시지점 중에서는 큰 편이다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 도시화 지표가 큰 대표지점을 선정하여 도시화지표가 작은 비도시화 지점을 비교대상으로 선정하여 비교를 수행할 필요가 있다.



#### 4. 대표 도시화 지점의 비교 분석

우리나라의 대표적 도시 지점이라고 할 수 있는 8개 지점을 선정하고 이에 대조군으로 도시지점과 거리가 멀지 않고, 도시화가 진행되지 않은 지점 8개를 선정해 각각에 대한 비교 분석을 수행하였다. 이는 군집분석을 통해 나뉜 지역을 비교하기에는 도시지점과 비도시지점의 개수가 다르고 거리가 너무 먼 지점들도 강수특성이 동질한 것으로 파악되어 같은 군집에 포함됨으로써 분석결과를 보다 직접적으로 비교하기 위함이다. 그러므로 우리나라의 도시화가 많이 진행된 지점을 대상으로 주변의 비도시화 지점과의 비교분석을 수행하였다. 분석방법은 대표지점을 선정하고 강우사상의 기초적인 통계량 변화를 살펴보았다. 또한, 확률강우량을 초과해서 발생하는 강수사상의 변화에 대해서도 분석을 수행하였다.

##### 4.1 대표 도시화 지점의 선정

그림 5는 선정된 8개 지점의 도시화 지역과 8개 지점의 비도시화 지역을 선정한 결과이다. 비교 대상으로 선정한 두 지점간의 거리는 인천과 강화가 28.2 km로 가장 가까우며, 영천과 울산이 56.9 km로 상대적으로 더 먼 지점이 선정되었다. 그러나 여러 선행 연구사례에서 대부분 50 km 이상 떨어진 지점들 간의 비교 분석을 통해 도시화의 효과를 검출하고 있으므로 본 연구에서도 큰 무리는 따르지 않은 것으로 판단된다. 또한, 도시지점과 비도시지점을 선정하기 위해서 가급적 동일한 군집에 포함된 지점들을 선정하였으나,

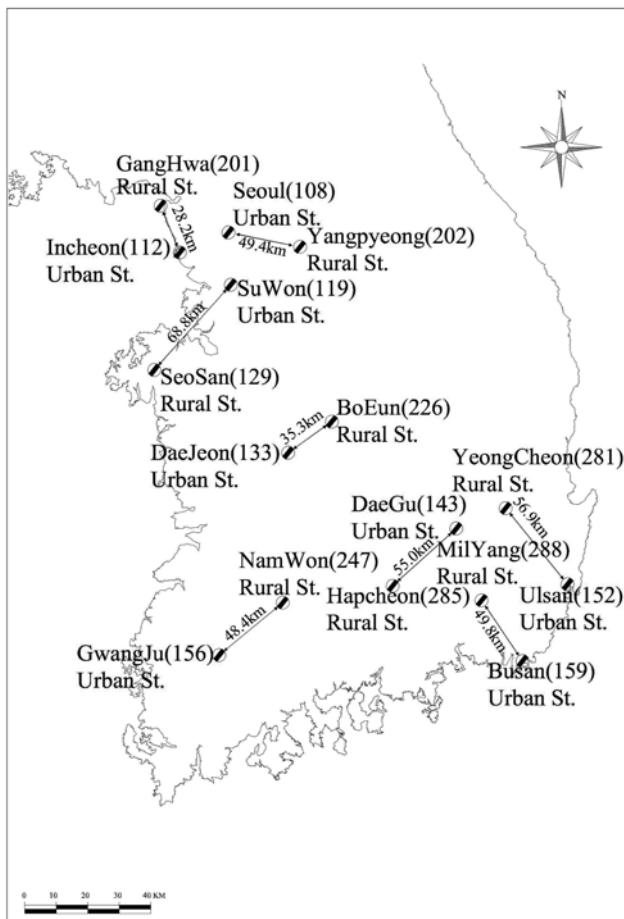


그림 5. 대표 도시 및 비도시 지점 선정 결과

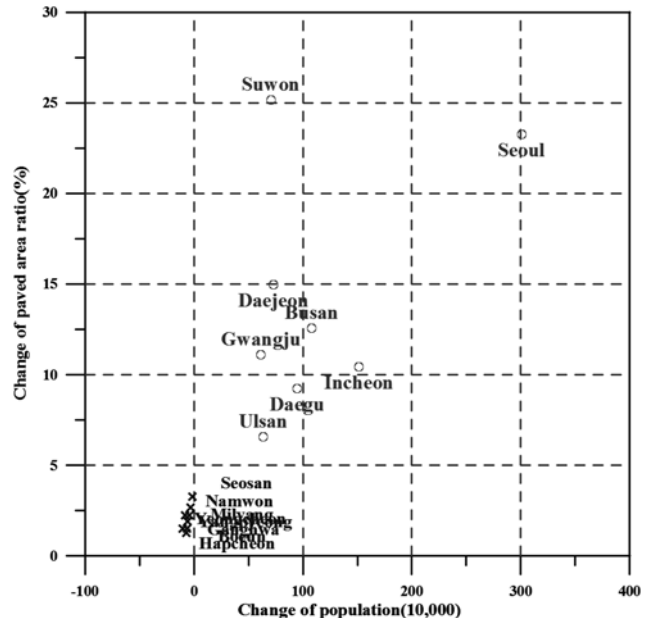


그림 6. 대표 도시 및 비도시 지점의 도시화 지표 비교

몇몇 지점은 같은 군집이 아닌 경우도 발생하였다. 이는 우리나라의 기상청 관할 강수관측소가 그리 많지 않으며, 지리적으로 가까운 경우를 비교하는 것이 보다 합리적이라고 판단되었기 때문이다. 같은 군집이 아닌 경우는 부산과 밀양 및 인천과 강화 지점이다. 부산과 통영지점을 비교분석하지 않은 이유는 통영 인근에 거제 지점이 상대적으로 도시화가 진행되었으며, 두 지점간의 거리가 매우 가깝기 때문에 밀양을 선정하였다. 인천과 강화 지점은 각각 군집 3과 4에 해당하는 지점으로 군집분석 결과의 tree diagram을 살펴보면 두 군집간의 거리가 매우 가까움을 확인할 수 있으며, 인천 인근에 비교가 가능한 비도시지점이 강화지점만 존재하고 있다.

그림 6과 같이, 대표 도시 지점들의 도시화 정도를 비교한 결과에서 시기화비의 변화는 수원 지점이 가장 큰 것으로 나타났으며, 인구는 서울지점의 증가가 가장 많은 것으로 나타났다. 이 두 지점을 제외하고 나머지 도시 지점은 어느 정도 도시화 진행률이 비슷하게 모여 있는 것으로 판단된다. 비도시화 지점들은 모두 인구는 감소하였으며, 시기화비는 4% 미만으로 확대되었음을 확인할 수 있다.

##### 4.2 기초통계량 비교 분석

도시화가 비교적 많이 진행된 8개 지점을 선정하고 대조군으로 도시화가 거의 진행되지 않은 8개 지점을 선정하였다. 각각 선정된 지점을 대상으로 강수사상을 비교분석하였다. 분석대상지점별로 강수사상에 따라서 비교한 결과를 다음과 같이 정리하였다. 정리 방법은 도시화 8개 지점과 비도시화 8개 지점의 강수사상에 대한 기간별 평균을 계산하여 상대오차를 산정하였으며, 상대오차의 산정 방법은 위에서 이용한 방법과 동일한 방법을 이용하였다. 표 8은 16개 대상 지점의 자료별로 상대오차를 계산하여 나타낸 결과이다.

연강수량을 분석한 결과에서 광주-남원 및 울산-영천 지점을 제외하고 도시화 지역이 비도시화 지역보다 많이 증가한 것으로 나타났다. 연강수량의 증가량은 도시화지역이 비도시화지역보다 더 크게 나타났다. 지속시간 1일 최대강수량은 인천-강화, 대전-보은, 울산-영천 및 부산-밀양 지점은 도시지

표 8. 대표지점의 대상자료별 상대오차의 비교

지점(도시)		서울	인천	수원	대전	광주	대구	울산	부산	평균
상대오차	연강수량	18%	15%	12%	6%	1%	5%	7%	7%	9%
	1일최대	15%	9%	31%	10%	-6%	9%	12%	-2%	10%
	강수일수	1%	2%	1%	-4%	-1%	4%	3%	2%	1%
	10mm	8%	7%	-1%	3%	2%	-1%	4%	1%	3%
	80mm	60%	74%	46%	50%	9%	53%	55%	46%	49%
	봄	1%	0%	-6%	-3%	-10%	0%	3%	3%	-1%
	여름	28%	24%	22%	11%	6%	12%	21%	27%	19%
	가을	10%	12%	5%	6%	-2%	-3%	-15%	-26%	-2%
	겨울	-10%	-14%	-11%	-17%	-4%	-13%	-1%	2%	-8%
	봄일수	4%	4%	4%	-2%	-1%	8%	7%	3%	3%
	여름일수	3%	7%	6%	2%	6%	10%	8%	6%	6%
	가을일수	2%	3%	-2%	-8%	-5%	-3%	-6%	-2%	-3%
겨울일수	-8%	-12%	-8%	-12%	-8%	-8%	-2%	-6%	-8%	
지점(비도시)		양평	강화	서산	보은	남원	합천	영천	밀양	평균
상대오차	연강수량	13%	2%	8%	6%	2%	-3%	12%	0%	5%
	1일최대	39%	4%	34%	10%	1%	10%	-6%	-7%	11%
	강수일수	-2%	-3%	-6%	-5%	-4%	-7%	-4%	-7%	-5%
	10 mm	-1%	1%	-1%	4%	3%	-7%	5%	3%	1%
	80 mm	42%	0%	46%	25%	-5%	7%	20%	8%	18%
	봄	-6%	0%	-2%	-2%	-6%	-14%	5%	-3%	-3%
	여름	21%	5%	17%	11%	10%	3%	25%	4%	12%
	가을	5%	-4%	2%	0%	-11%	-9%	-7%	-9%	-4%
	겨울	-6%	1%	-17%	-12%	-12%	-14%	-8%	-2%	-9%
	봄일수	5%	5%	-5%	-6%	-2%	-4%	-2%	-5%	-2%
	여름일수	2%	-5%	3%	1%	5%	2%	8%	0%	2%
	가을일수	-12%	-8%	-11%	-10%	-12%	-14%	-14%	-17%	-12%
겨울일수	-7%	-7%	-15%	-9%	-13%	-23%	-21%	-13%	-14%	

역이 더 많이 증가하였으며, 서울-양평, 수원-서산, 광주-남원 및 대구-합천 지점은 비도시 지역이 더 많이 증가하였다. 강수일수는 도시화지역은 지점에 따라서 감소 또는 증가한 것으로 나타났으나 비도시화 지역은 크게 감소하였다. 따라서 도시화지역이 비도시화 지역보다 강수일수가 더 많은 것으로 판단할 수 있다. 10 mm 이상 강수일수는 지점에 따라서 증가 또는 감소하였는데, 서울-양평, 인천-강화, 및 대구-합천 지점은 도시화지역이 더 많이 증가하였으며, 이외는 비도시지역이 더 많이 증가하였다. 80 mm 이상 강수일수는 전체 지점에서 모두 큰 폭의 증가를 보여주고 있다. 또한, 도시지역이 비도시지역에 비해서 보다 많은 증가를 보이고 있음을 확인할 수 있다. 봄강수량은 서울-양평, 인천-강화 및 대구-합천 지점은 도시화 지역이 더 많이 증가하였으며, 이외의 지점은 비도시화 지역이 보다 많이 증가하였다. 여름강수량은 광주-남원 및 울산-영천 지점은 비도시화 지역이 더 많이 증가하였으며, 이외에는 도시화 지역의 증가율이 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 어느 정도는 도시화 지역이 더 많이 증가하는 것으로 판단된다. 가을강수량은 울산-영천 및 부산-밀양 지점을 제외하고 도시지역이 더 많이 증가하였다. 겨울강수량은 전체적으로 감소하였는데, 도시화 지역 및 비도시화 지역의 우세는 판단하기 어렵다. 봄강수일수는 서울-양

평 및 인천-강화 지역에서 미세하게 비도시화 지역이 더 많이 증가하였으며, 이외에는 도시화 지역의 증가율이 훨씬 큰 것으로 나타났다. 여름강수일수는 울산-영천 지점을 제외하고 도시지점들이 비도시지점들에 비해서 보다 많이 증가하는 것으로 나타났다. 가을강수일수는 전체적으로 감소경향을 보이나 도시화 지점들이 비도시화 지점들에 비해서 보다 덜 감소하는 것으로 분석되었다. 겨울강수일수는 전체적으로 감소하였으며, 비도시화 지점들이 도시화 지점들에 비해서 감소량이 더 많은 것으로 나타났다.

따라서 연강수량, 강수일수, 80 mm 이상 강수일수, 여름강수량, 가을강수량, 봄강수일수, 여름강수일수, 가을강수일수 및 겨울강수일수는 도시화지역이 비도시화 지역보다 증가량이 더 큰 것으로 판단할 수 있으며, 지속기간 1일최대 연강수량, 10 mm 이상강수일수, 봄강수량, 겨울강수량, 는 도시화와 비도시화 지역의 우세를 판단하기 어려운 것으로 사료 된다. 특히, 강수일수, 80 mm 이상 강수일수, 가을강수일수는 도시화에 의한 증가가 비도시지역보다 훨씬 더 큰 것으로 판단된다. 그림 7과 그림 8은 80 mm 이상 강수일수와 가을강수일수의 상대오차를 도시해서 나타낸 결과이다. 이는 오태석 등(2005)의 분석 결과에서 여름강수량이 증가하고 있는 것과 유사한 결과를 나타내었다.

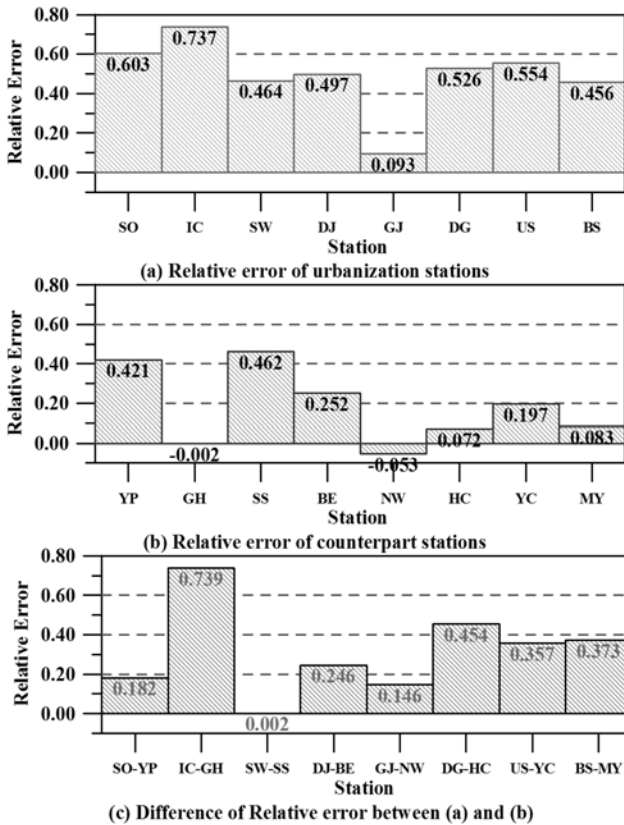


그림 7. 80 mm 이상 강수일수에 대한 변화의 상대오차 비교

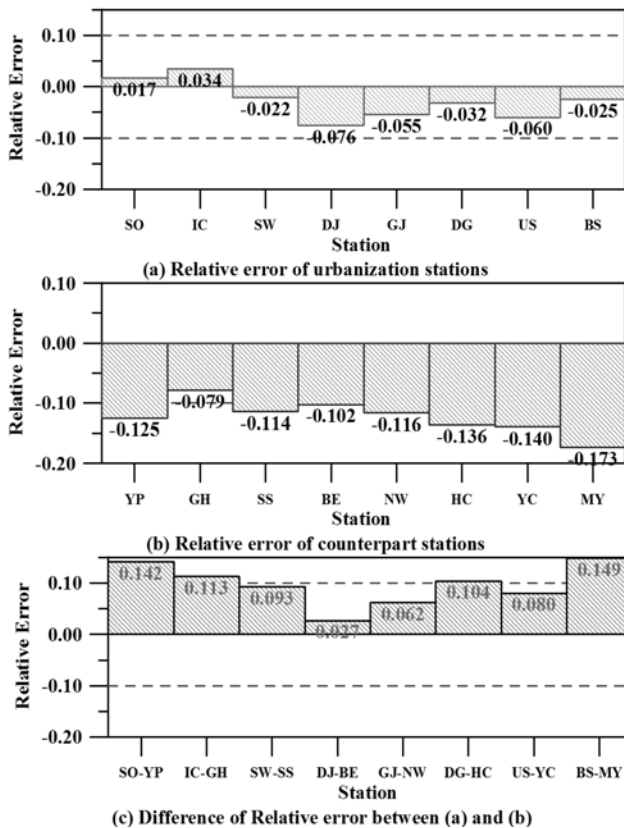


그림 8. 가을강수일수에 대한 변화의 상대오차 비교

### 4.3 시간강수량 자료를 이용한 확률강수량 초과 횟수 분석

대표지점을 대상으로 기초통계량의 비교분석에서 일강수량이 80 mm 이상인 경우에 큰 증가가 있었으며, 도시화 지역이 비도시화 지역보다 많은 증가를 보이고 있다. 일강수량을 기준으로 80 mm는 우리나라의 기상청에서 호우주의보를

발효하는 기준이다. 따라서 도시지역이 비도시지역보다 강수가 보다 자주 발생하며 홍수피해를 유발시킬 수 있는 중호우 사상의 발생빈도가 과거에 비해서 많이 증가하였으며, 도시지역이 비도시지역보다 많은 증가한 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 도시지역과 비도시지역을 대상으로 빈도해석을 수행하고 각각의 확률강수량을 초과하는 지속시간별 분석하였다. 대상 자료는 일강수량자료가 아닌 시간강수량 자료를 이용하였다. 이는 지속시간과 재현기간별로 도시화의 영향을 보다 상세히 살펴보기 위함이다. 왜냐 하면 중호우 사상의 도시지역에 보다 많이 발생한다면 이는 도시지역의 수재해 예방을 위해서 보다 세심한 주의가 필요하기 때문이다. 따라서 16개 대상지점의 연최대자료를 추출하여 빈도해석을 수행하여 확률강수량을 산정하고, 이를 초과하는 강수 사상의 발생횟수를 추출하여 분석에 이용하였다.

대표지점으로 선정한 16개 지점의 시간강수량 자료를 이용하여 빈도해석을 수행하였다. 본 연구의 분석대상자료기간은 1973년부터 2008년이다. 따라서 빈도해석은 1973년부터 2002년까지 30년간의 자료를 이용하여 빈도해석을 수행하였다. 관측기간보다 빈도해석에 이용한 자료기간을 짧게 설정한 이유는 빈도해석의 조건인 30년을 만족하면서 강수사상의 변동을 보다 잘 추출하기 위해서이다. 본 연구에서는 지속시간별 재현기간별로 초과횟수를 계산하는 것이므로 임의 시간환산계수는 적용하지 아니하였다. 매개변수적 지점빈도해석을 통해서 수행한 결과에서 대상지점들은 Gumbel 분포형이 최적분포형으로 선정되었다.

따라서 본 연구에서는 지속시간 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24, 36, 48 및 72시간에 대해서 재현기간 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 70, 80, 100, 150, 200, 300, 500년의 확률강수량을 산정하여 이를 초과하는 강수발생횟수와 초과강수량을 대상 자료로부터 추출하여 비교분석하였다. 표 9는 분석대상 지점 16개 지점에서 각각의 지속시간별로 재현기간을 초과하는 시간강수량이 발생한 횟수를 나타낸 결과이다.

본 연구의 분석 자료들의 관측기간은 1973년부터 2008년까지 36년 동안이다. 따라서 다음의 16개 지점에서 발생한 초과횟수를 모두 더한 결과도 재현기간이 30년을 초과하는 경우에는 발생 횟수가 그리 많지 못하다. 따라서 본 연구에서는 모든 지속시간에 대해서 재현기간이 30년까지만을 대상으로 분석하였다. 이는 추후에 관측 자료가 증가한다면 더 높은 빈도에 대해서도 충분히 분석이 가능할 것으로 판단된다. 하지만, 현재까지의 자료를 이용해서는 50년 이상의 빈도를 초과하는 사상에 대해서 분석한 결과는 크게 의미를 가지지 못한다고 판단된다. 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 관저의 직경에 따라 지선(φ600 mm미만)은 5년, 간선(φ600 mm이상) 10년, 주간선(φ1,300 mm이상)은 20년, 우수지 및 배수펌프장은 30년 설계빈도를 따른다(한국수자원공사, 2002). 또한, 표 10에서

표 9. 지속시간별 재현기간별 확률강수량 초과횟수(1973-2008년)

구분	지속시간																
	1	2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	18	24	36	48	72	
재현 기간	2	499	412	404	394	387	377	381	382	372	371	367	358	351	354	353	358
	3	278	238	217	212	207	206	199	203	192	197	198	190	203	209	205	207
	5	154	124	121	120	123	120	119	115	110	107	106	108	115	125	121	111
	10	72	63	60	59	58	57	61	60	58	59	61	57	57	59	61	58
	20	31	26	27	25	26	28	30	29	30	27	30	29	28	30	35	28
	30	20	11	18	20	20	21	22	18	19	21	21	21	22	21	19	19
	50	13	8	10	11	12	13	15	16	16	16	17	15	11	7	9	11
	70	10	7	8	8	9	9	13	14	14	15	14	11	8	7	8	9
	80	8	5	6	6	6	8	12	13	14	14	12	8	8	7	6	7
	100	8	4	6	5	6	8	9	10	10	12	7	7	6	7	5	6
	150	3	3	4	5	4	5	4	3	6	5	6	7	6	5	3	2
	200	0	3	3	4	4	4	3	3	3	4	4	5	5	3	2	2
	300	0	2	3	3	3	3	3	3	3	2	1	2	2	2	1	1
	500	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

표 10. 16개 지점의 지속시간별 재현기간별 확률강수량의 평균

구분	재현기간						
	2	3	5	10	20	30	
지속 시간	1	36.2	42.2	49.0	57.5	65.6	70.3
	2	54.3	63.9	74.6	88.1	101.0	108.5
	3	66.0	77.9	91.2	107.9	124.0	133.2
	4	75.2	89.1	104.7	124.2	142.9	153.6
	5	82.6	97.9	115.0	136.4	157.0	168.8
	6	89.2	105.8	124.2	147.4	169.7	182.5
	8	100.5	119.4	140.4	166.8	192.2	206.7
	9	105.2	125.0	147.0	174.8	201.4	216.6
	10	109.5	130.2	153.2	182.1	209.9	225.9
	12	116.6	138.7	163.3	194.1	223.8	240.8
	15	125.5	149.4	176.0	209.5	241.5	260.0
	18	132.5	157.7	185.7	221.0	254.8	274.3
	24	144.3	172.3	203.5	242.6	280.2	301.9
	36	159.5	191.4	227.0	271.8	314.7	339.4
	48	169.3	203.6	241.8	289.8	335.9	362.4
	72	185.5	223.6	266.1	319.4	370.5	400.0

나타냈듯이, 16개 지점의 확률강수량의 평균값을 보면, 재현기간이 30년 이내이더라도 지속시간별로 quantile은 그리 작지 않은 값을 확인할 수 있다.

추출된 자료를 대상으로 전반기(1973-1990년)와 후반기(1991-2008년)로 구분하여 초과횟수의 변화율을 살펴보았다. 표 11은 도시 지역의 초과횟수에 대한 증가율을 나타낸 결과이다. 증가율의 산정 방법은 전반기의 발생횟수를 전체기간 동안의 발생횟수로 나누어 주고, 후반기도 마찬가지로 계산하였다. 그 다음에 후반기에서 전반기의 비율을 빼주어서 도시지역과 비도시지역의 증가율을 계산하였다. 증감률이 양(+)의 값을 갖는 경우에는 도시지역에서 확률강수량을 초과하는 강수발생횟수가 더 큰 것으로 판단 할 수 있다. 재현

기간 2년에서는 도시지역의 증가가 비도시지역에 비해서 더 큼을 확인할 수 있으며, 대체적으로 도시지역의 증가율이 약간 더 큰 것으로 판단된다.

다음으로 연도별로 발생한 초과횟수와 초과강수량에 대해서 1차 선형식  $y=ax+b$ 으로 추세선을 구하여 기울기인 값을 비교하였다. 추세선의 기울기는 다음과 같은 방법으로 계산하였다. 다음의 그림 9는 24시간의 2년빈도에 해당하는 초과횟수와 초과강수량에 해당하는 시계열 자료를 연도별로 도시한 결과이다. 초과강수량은 지속시간별로 재현기간에 해당하는 확률강수량보다 큰 경우에 지속시간별 강수량에 확률 강수량을 빼 준 값을 의미한다.

초과강수량은 지속시간별로 발생한 관측강수량에서 기준이

표 11. 도시지역의 지속시간별 재현기간별 확률강수량 초과횟수의 증감율(%)

구분		도시화 지역①															
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	18	24	36	48	72
재현 기간	2	18	21	19	18	14	16	16	16	13	14	14	17	17	28	27	26
	3	16	22	13	16	12	9	8	5	4	5	15	5	13	20	23	24
	5	16	12	11	16	18	11	16	12	11	-2	8	5	4	15	13	19
	10	26	11	11	0	-6	-10	-3	-3	-3	-7	-9	-6	10	10	-3	4
	20	20	47	-29	-8	-7	0	0	-7	0	7	7	20	14	14	29	29
	30	-11	20	11	0	0	8	-8	20	27	17	27	27	27	27	33	56
구분		비도시화 지역②															
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	18	24	36	48	72
재현 기간	2	6	18	14	14	13	5	3	7	6	12	10	10	10	13	13	11
	3	17	14	13	12	8	14	7	10	13	8	11	3	10	6	8	0
	5	21	14	18	14	16	9	9	7	11	0	4	2	-2	-5	4	2
	10	14	20	17	-4	-8	0	13	10	3	-3	8	12	-7	21	13	16
	20	0	-9	-20	-17	-45	-17	0	0	14	33	20	29	29	38	14	0
	30	-27	0	-11	-25	-25	-25	11	0	0	11	40	20	64	40	20	0
구분		도시화 지역과 비도시화 지역의 차이①-②)															
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	18	24	36	48	72
재현 기간	2	11.8	3.1	5.3	4.5	0.7	11.2	13.0	9.2	7.2	2.2	3.5	6.6	7.0	14.7	14.5	14.3
	3	-0.2	7.9	-0.2	4.0	4.1	-4.6	0.3	-5.7	-8.3	-2.6	4.6	2.5	2.7	13.6	14.6	24.3
	5	-4.3	-2.5	-6.2	2.2	2.4	2.3	7.4	4.7	0.4	-1.8	4.0	3.6	5.3	20.0	9.7	17.3
	10	12.2	-9.5	-5.6	4.0	1.4	-10.3	-15.9	-13.1	-6.9	-3.2	-16.3	-18.3	17.5	-11.8	-16.6	-12.4
	20	20.0	55.8	-9.4	9.0	38.8	16.7	0.0	-6.7	-14.3	-26.7	-13.3	-8.6	-14.3	-23.2	14.3	28.6
	30	16.2	20.0	22.2	25.0	25.0	32.7	-18.8	20.0	27.3	5.6	-12.7	7.3	-36.4	-12.7	13.3	55.6
평균		9.3	12.5	1.0	8.1	12.1	8.0	-2.3	1.4	0.9	-4.4	-5.0	-1.2	-3.0	0.1	8.3	21.3

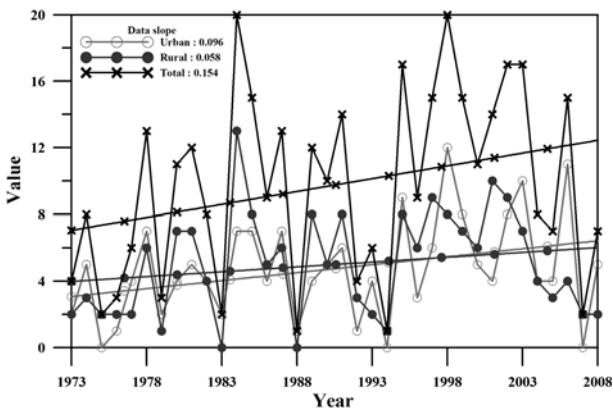


그림 9. 24시간 2년빈도의 확률강수량을 넘는 초과횟수에 대한 기율기 분석

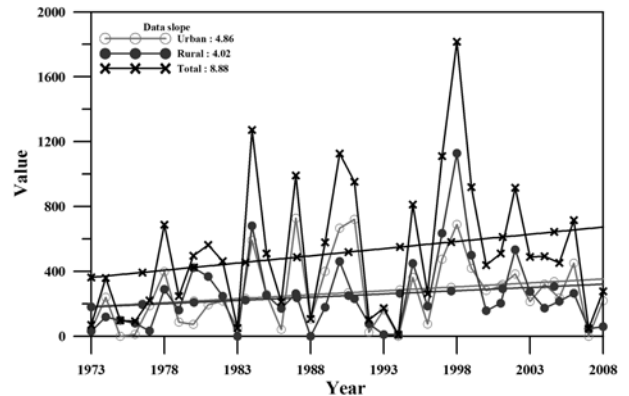


그림 10. 24시간 2년빈도의 확률강수량을 넘는 초과강수량에 대한 기율기 분석

되는 확률강수량보다 큰 사상의 값을 추출하여 관측강수량에서 확률강수량을 빼준 값을 의미한다. 따라서 표 12는 초과횟수와 초과강수량의 기율기를 계산하고 도시지역에서 비도시지역의 기율기를 빼준 값을 나타낸 결과이다. 분석 결과에서 초과횟수와 초과강수량 모두 도시지역이 비도시지역에 비해서 증가되는 양이 더 많은 것으로 분석되었다. 이는 도시지역에서 확률강수량을 초과하는 강수사상의 발생횟수와 강수량이 더 많이 증가하였음을 의미한다. 그러나 지속시간이 12시간보다 긴 경우에는 비도시지역의 초과강수량이 더 많이 증가하였다.

### 5. 결 론

도시화가 강수사상에 미칠 수 있는 영향에 대한 분석을 수행하였다. 이를 위해 도시화 지점과 비도시화 지점의 강수사상에 대한 비교 분석을 수행하였다.

1. 군집분석을 통해 우리나라의 57개 강수관측소를 4개의 군집으로 구분하였다. 각각의 군집별로 강수사상시계열 자료를 전반부와 후반부로 구분하여 각각 평균을 산정해 비교하였다. 분석 결과에서 강수사상의 증가경향을 보이며, 도시화지점들의 증가가 더 큰 것으로 판단되는 자료는 연강

표 12. 도시지역과 비도시지역의 초과횟수 및 초과강수량의 기율기 차이

구분		초과 횟수															
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	18	24	36	48	72
재현 기간	2	0.089	0.004	0.008	-0.022	-0.016	0.031	0.044	0.028	0.021	0.016	0.011	0.025	0.038	0.034	0.035	0.055
	3	0.050	0.037	-0.006	-0.011	0.014	-0.006	0.006	-0.005	-0.009	0.004	0.022	0.003	0.010	0.030	0.054	0.069
	5	0.037	0.021	0.001	0.022	0.014	0.013	0.019	0.013	0.003	-0.007	0.004	0.007	0.017	0.046	0.028	0.030
	10	0.022	0.014	0.012	0.006	-0.001	-0.008	-0.006	-0.006	-0.003	0.007	0.001	0.001	0.021	0.000	-0.003	-0.009
	20	0.018	0.032	0.002	0.013	0.016	0.010	0.009	0.010	0.005	0.000	-0.002	-0.001	0.003	-0.002	0.009	0.016
	30	0.018	0.005	0.010	0.013	0.014	0.015	0.003	0.006	0.010	0.007	0.003	0.007	-0.002	0.002	0.007	0.012
구분		초과강수량															
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	18	24	36	48	72
재현 기간	2	1.198	0.904	0.586	0.976	0.787	0.372	0.313	0.506	0.311	0.448	0.391	0.195	0.842	2.640	3.849	5.553
	3	0.879	0.640	0.506	0.719	0.660	0.288	0.210	0.046	-0.061	-0.223	-0.283	-0.205	0.336	1.071	1.297	2.442
	5	0.635	0.527	0.653	0.646	0.386	0.079	0.116	0.041	0.025	-0.159	-0.394	-0.297	-0.290	-0.367	-0.364	0.376
	10	0.453	0.498	0.497	0.400	0.268	0.186	0.124	-0.014	-0.011	-0.136	-0.473	-0.419	-0.616	-0.844	-0.673	-0.129
	20	0.328	0.272	0.267	0.239	0.168	0.167	0.103	0.058	0.093	-0.011	-0.332	-0.321	-0.464	-0.640	-0.575	-0.111
	30	0.250	0.155	0.201	0.120	0.021	0.039	0.061	0.008	0.049	-0.059	-0.297	-0.331	-0.438	-0.577	-0.579	-0.342

수량, 10 mm 이상 강수일수, 80 mm 이상 강수일수, 여름강수량, 여름강수일수이며, 비도시화 지점의 증가가 더 큰 자료는 지속기간 1일연최대강수량이다. 반면에 강수 사상의 감소경향을 보이며, 도시화 지점의 감소가 더 큰 자료는 가을강수량이며, 비도시화 지점의 감소가 더 큰 자료는 강수일수, 봄강수량, 가을강수일수, 겨울강수일수이다.

- 통계적인 기법을 이용한 변동성과 경향성 분석 결과는 위의 분석결과와 비슷하게 나타났다. 그러나 통계적인 검정을 통과하는 지점과 강수사상은 그리 많지 않은 것으로 나타났다. 따라서 통계적 검정을 통과한 자료만을 비교하는 것은 상대적으로 무리가 따르는 것으로 판단되었다. 따라서 대표도시화 지점을 선정하여 비교분석을 수행하였다.
- 대표지점을 선정하여 비교분석한 결과에서 연강수량, 강수일수, 80 mm 이상 강수일수, 여름강수량, 가을강수량, 봄강수일수, 여름강수일수, 가을강수일수 및 겨울강수일수는 도시화지역이 비도시화 지역보다 증가량이 더 큰 것으로 판단할 수 있으며, 지속기간 1일최대연강수량, 10 mm 이상강수일수, 봄강수량, 겨울강수량은 도시화와 비도시화 지역의 우세를 판단하기 어려운 것으로 사료 된다. 특히, 강수일수, 80 mm 이상 강수일수, 가을강수일수는 도시화에 의한 증가가 비도시화지역보다 훨씬 더 큰 것으로 판단된다.
- 도시지역과 비도시지역을 대상으로 확률강수량보다 더 크게 발생한 지속시간별 강수사상의 발생횟수와 확률강수량을 넘는 초과강수량을 추출하여 비교분석을 수행하였다. 일반적으로 도시지역의 초과횟수의 증가율이 비도시지역보다 더 큰 것으로 나타났다. 또한, 초과강수량은 짧은 지속시간에 있어서는 도시지역이 더 많이 증가하였지만, 12 시간 이상의 긴 지속시간에 대해서는 비도시지역이 더 많이 증가한 것으로 나타났다. 이는 도시화에 의해서 강수사상이 더 자주 발생하며 짧은 기간 동안에 강수를 발생시키는 대류성 호우를 주로 발생시키기 때문인 것으로 판단된다.

이와 같이, 산업화와 인구집중으로 인한 도시화는 강수의

발달과 형성과정에 영향을 주어 여러 강수사상의 변화를 야기시킬 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 도시지역의 침수 피해예방과 안전한 인프라 구축을 위해 도시지역의 강수특성에 대한 보다 세밀한 분석과 연구가 필요하다.

### 참고문헌

김광섭, 임태경(2005) 도시화 등 환경변화에 따른 지역기후변화 특성 분석, 한국수자원학회 2005년도 학술발표회논문집, 한국수자원학회, pp. 1-4.

김광식(1988) 도시화가 강수현상에 미치는 영향, 대한토목학회, 대한토목학회, 제36권, 제2호, pp. 3-7.

권세혁(2004) **다변량분석**, 자유아카데미.

류성수, 전환돈, 류관형, 오진아, 김중훈(2008) 기후변화와 도시화에 의한 강수특성 변화 연구, 한국수자원학회 2008년도 학술대회논문집, 한국수자원학회, pp. 774-778.

안재현(2006) 도시토지이용변화에 따른 수문기상 변화 분석, 한국수자원학회 2006년도 학술발표회논문집, 한국수자원학회, pp. 627-631.

오세정, 유철상(2007) 기후변화 및 도시화의 영향을 고려한 강수특성의 변화 추정: 1. 평균적 변화, 대한토목학회 2007년도 정기 학술대회논문집, 대한토목학회, pp. 1978-1981.

오테석, 안재현, 문영일, 김종석(2005) 도시화가 도시지역 강수변화에 미치는 영향 연구, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제38권, 제10호, pp. 885-894.

유철상, 김대하, 박상형, 김병수, 박창열(2007) 서울지점 강수자료에 나타난 도시화의 간섭분석, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제40권, 제8호, pp. 629-641.

유철상, 박상형, 김병수, 박창열(2006) 서울지점 강수자료에 나타난 도시화의 간섭 분석, 대한토목학회 2006년도 정기학술대회논문집, 대한토목학회, pp. 1161-1164.

임창수(2008) 도시화에 따른 기후요소 장기 추세 분석, 대한토목학회 2008년도 정기학술대회논문집, 대한토목학회, pp. 2789-2792.

한국수자원공사(2002) **하수도시설 설계지침**, 한국수자원학회.

한국수자원학회(2005) **하천설계기준**, 한국수자원학회.

행정자치부 국립방재연구소(1999) **소하천 시설기준**, 행정자치부.

Atkinson, B.W. (1971) The effect of an urban area on the precipitation form a moving thunderstorm, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 10, pp. 47-55.

- Balling, R.C. and Brazel, S.W. (1987) Recent change in Phoenix, Arizona summertime diurnal precipitation patterns, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 38, pp. 50-54.
- Bornstein, R. and Johnson, D.S. (1977) Urban-rural wind velocity differences, *Atmospheric Environment*, Vol. 11, pp. 597-604.
- Braham, R.R., Semonin, R.G., Auer, A.H., Changnon Jr., S.A., and Hales, J.M. (1981) Summary of urban effects on clouds and rain. METROMEX: A Review and Summary, *Meteor. Monogr., Amer. Meteor. Soc.*, No. 40, pp. 141-152.
- Burian, S.J. and Shepherd, J.M. (2004) *Urbanization impacts on Houston rainstorms. In Innovative Modeling of Urban Water Systems*, James W.(ed.), CHI: Geulph, Canada, pp. 1-22.
- Cai, M., Li, H., and Kalnay, E. (2004) Impact of land-use change and urbanization on climate, *The proceedings of 84th annual meeting of American Meteorological Society*, J5, pp. 2.
- Changnon, S.A. (1969) Recent studies of urban effects on precipitation in the United States, *Bulletin of American Meteorological Society*, Vol. 50, pp. 411-421.
- Changnon, S.A. (1979) Rainfall changes in summer caused by St. Louis, *Science*, Vol. 205, pp. 402-404.
- Changnon, S.A. and Westcott, N.E. (2002) Heavy rainstorms in Chicago: Increasing frequency, altered impacts, and future implications, *J. Amer. Water Res. Assoc.*, Vol. 38, pp. 1467-1475.
- Chow, S.D. (1992) The urban climate of Shanghai", *Atmospheric Environment*, Vol. 26B, No. 1, pp. 9-15.
- Chung, U., Choi, J., and Yun, J.I. (2004) Urbanization effect on the observed change in mean monthly temperatures between 1951-1980 and 1971-2000 in Korea, *Climatic Change* Vol. 66, pp. 127-136.
- Chung, Y.S., Yoon, M.B., and Kim, H.S. (2004) On climate variations and changes observed in south Korea, *Climate Change*, Vol. 66, pp. 151-161.
- Cotton, W.R. (1995) *Human Impacts on weather and Climate*, Cambridge University Press.
- Dabberdt, W.F., Hales J., Zubrick, S., Crook, A., Krajewski, W., Doran J.C., Mueller, C., King, C., Keener R.N., Bornstein, R., Rodenhuis, D., Kocin, P., Rossetti, M.A., Sharrocks, F., and Stanley, E.M. (2000) forecast issues in the urban zone: Report of the 10th prospectus development team of the U.S., Weather research Program, *Bull. Am. Meteorol. soc.*, Vol. 81, pp. 2047-2064.
- Dixon, P.G., and Mote, T.L., (2003) Patterns and causes of Atlanta's urban heat island-initiated precipitation, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 41, pp. 1273-1284.
- Ernesto, J. and Ernesto, R. (1996) Urban effects on convective precipitation in Mexico City, *Atmospheric Environment*, Vol. 30, No. 20, pp. 3383-3389.
- Fu, C.B., Kim, J.-W., and Zaho, Z.C., (1998) Preliminary assessment of impacts of global change on Asia. Asia change in the context of global climate change, *International Geosphere-Biosphere Publication Series 3*, pp. 308-342.
- Goldreich, Y. (1995) Urban climate studies in Israel, *Atmospheric Environment*, Vol. 29, pp. 467-478.
- Goldreich, Y. and Manes, A. (1979) Urban effects on precipitation patterns in the greater Tel-Aviv area, *Theoretical and applied climatology*, Vol. 27, pp. 213-224.
- Huff, F. (1975) Urban effects on the distribution of heavy convective rainfall, *War. Resour. Res.*, Vol. 11, pp. 889-896.
- Huff, F.A. and Changnon, S.A. (1972) Climatological assessment of urban effects on precipitation at St. Louis, *J. Appl. Meteorol.*, vol. 11, pp. 823-842.
- Huff, F.A. and Changnon, S.A. (1973) Precipitation modification by major urban areas, *Bulletin of American Meteorological Society*, Vol. 54, pp. 1220-1232.
- Huff, F.A. and Vogel, J.L. (1978) Urban, topographic and diurnal effects on rainfall in the St. Louis region, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 17, pp. 565-577.
- Inoue, T. and Kimura, F. (2004) Urban effects on low-level clouds around the Tokyo metropolitan area on clear summer days, *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, L05103.
- Jauregui, E. and Romales, E. (1996) Urban effects on convective precipitation in Mexico city, *Atmospheric Environment*, Vol. 30, pp. 3383-3389.
- Kim, Y.H. and Baik, J.J. (2005) Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul, *Journal of Applied Meteorology* Vol. 44, pp. 591-605.
- Landsberg, H.E. (1956) *The climate of towns. Man's Role in Changing the Face of the Earth*, W. L. Thomas, Ed., University of Chicago Press, pp. 584-603.
- Landsberg, H.E. (1970) Man-made climate changes, *Science*, Vol. 170, pp. 1265-1274.
- Molders, N. and Olson, M.A. (2004) Impact of urban effects on precipitation in high latitudes, *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 5, pp. 409-429.
- Oh, S., Kim, Y., and Hyun, M. (2004) Impact of urbanization on climate change in Korea 1973-2002, *Journal of the Korean Meteorological Society*, Vol. 4, No. 6, pp. 725-740.
- Ohashi, Y. and Kida, H. (2002) Local circulations developed in the vicinity of both coastal and inland urban areas: numerical study with a mesoscale atmospheric model, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 41, pp. 30-45.
- Rosenfeld, D. (2000) suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution, *Science*, Vol. 287, No. 5459, pp. 1793-1796.
- Shepherd, J.M. (2005) A review of current investigations of urban-induced rainfall and recommendations for the future, *Earth Interactions*, Vol. 9, pp. 1-12.
- Shepherd, J.M. (2006) Evidence of urban-induced precipitation variability in arid climate regimes, *Journal of Arid Environments*, Vol. 67, pp. 607-628.
- Souch, C. and Grimmond, S. (2006) Applied climatology : urban climate, *Progress in Physical Geography*, Vol. 30, No. 2, pp. 270-279.
- Stulov, E.A. (1993) Urban effects on summer precipitation in Moscow, *Russian Meteorology and Hydrology*, Vol. 11, pp. 34-41.
- Yague, C., Zurita, E., and Martinez, A. (1991) Statistical analysis of the Madrid urban heat island, *Atmospheric Environment*, Vol. 25B, No. 3, pp. 327-332.

(접수일: 2010.4.5/심사일: 2010.5.24/심사완료일: 2010.6.8)