

# 도시화에 따른 강우특성 변화 분석

## Analysis of Rainfall Pattern Change According to Urbanization

오 태 석\*, 문 영 일\*\*, 손 찬 영\*\*\*, 전 시 영\*\*\*\*

Tae-Suk Oh, Young-Il Moon, Chan-Young Son, Si-Young Chun

### 요 지

최근 50년간 한반도는 산업화와 근대화로 인하여 급격한 도시화가 진행되었다. 도시화는 자연적으로 조성된 생태환경을 변화시키고, 열섬현상과 고층빌딩 등으로 인해 대기의 이동과 특성의 변화를 야기시키게 된다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 과거부터 인구자료와 시가화면적비 자료를 이용하여 도시화가 많이 진행된 지역과 비도시화 지역으로 구분하여 발생한 강우특성자료에 대한 비교분석을 수행하였다. 따라서 우리나라의 관측자료가 존재하는 57개 지점을 대상으로 위도, 경도, 연강우량, 연최대일강우량, 강우일수, 10mm 이상의 강우일수 및 80mm 이상의 강우일수를 이용하여 군집분석을 수행하였다. 군집분석을 통해 우리나라를 크게 4개 권역으로 구분하고, 강우자료의 관측기간을 이등분하여 전후를 비교하였다. 분석 결과에서 도시화가 진행된 지역이 비도시화 지역에 비하여 강우사상의 변화가 연강우량과 강우일수, 80mm 이상 강우일수에서 나타나고 있는 것으로 나타났다. 따라서 도시화가 강우특성 변화에 끼치는 영향에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

**핵심용어 : 도시화, 연강우량, 강우일수, 군집분석**

### 1. 서 론

한국전쟁 이후에 우리나라는 급속한 경제발전과 산업화로 인하여 인구의 도시집중과 경제개발 계획에 따른 산업의 고도화로 인하여 거점지역의 도시화가 심화되고 있는 추세이다. 도시화로 인한 인구의 집중은 홍수피해의 특성과 규모를 변화시키며, 이로 인한 인명과 재산피해가 급증하고 있는 실정이다. 물순환과 관련되어 도시화로 인해 발생할 수 있는 문제로는 유출 특성의 변화, 배수 특성 변화, 지하수, 수질, 물수요의 증가 및 폐수 처리 등의 환경변화가 야기된다.

또한, 도시화에 따른 수문기상학적 변화로 인하여 강우특성이 변화할 수 있는 가능성이 매우 농후하다. 이에 대한 원인으로는 첫째, 산업 발달에 따른 응결핵의 배출 증가는 강수의 발생 가능성을 높이고 있다. 둘째, 도시 내의 높은 빌딩군은 기류의 장애 역할을 하며 정체전선을 지체시킨다. 셋째, 도시화로 인한 열섬 현상은 도시 대기의 불안정을 가져오고 이로 인해 대기의 상승 작용을 촉진시킨다. 넷째, 도시 내의 불투수 면적의 확대에 의한 증발현상의 변화는 도시대기 수분 보유량의 변화를 가져온다. 도시화에 따른 강우량 변화에 대한 연구로 최영은(1998)은 미국 남부 지방의 강수량 자료를 이용하여 강수일수 등에 대해 통계적으로 분석하였다. 또한, 이정식(1980)은 도시화 지역과 비도시화 지역을 선정하여 월별 강수량을 시대별로 조사·분석하였다.

\* 정회원 · 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사후과정 · E-mail : taesuk79@gmail.com

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

\*\*\* 정회원 · 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 · E-mail : thscksdud@hanmail.net

\*\*\*\* 정회원 · 원광대학교 도시건축토목공학부 교수 · E-mail : chunsy@wonkwang.ac.kr

본 연구에서는 우리나라의 여러 지자체 중에서 인구, 시가화면적 및 강우자료가 동시에 존재하는 57개 지점을 대상으로 도시화에 따른 강우특성 변화를 분석하였다. 강우사상의 특성변화는 지구온난화와 기상이변에 많은 영향을 받는 것으로 밝혀져 있으므로 57개 지점을 대상으로 강우발생특성이 비슷한 지역을 군집분석을 통해 선별하고, 각각의 군집별로 도시화가 진행된 지역과 도시화로 인한 변화가 미약한 지역으로 구분하여 각각의 강우특성을 비교 분석하였다.

## 2. 분석 대상 자료의 선정

본 연구에서는 도시화로 인한 강우특성을 분석하기 위해서 우리나라의 57개 지점을 대상으로 관측된 일강우량 자료, 인구자료 및 시가화 면적비 자료를 구축하였다. 일강우량 자료는 기상청 자료를 이용하였으며, 인구 자료 및 시가화면적비는 wamis에서 제공하는 자료를 이용하였다.

일강우자료의 분석을 통해 연강우량, 지속시간 1, 2, 3, 4, 5, 7일 최대강우량, 강우일수 및 5, 10, 20, 30, 50, 80, 100, 120mm 이상 일강우량이 발생한 강우일수 자료를 구축하였다. 각각의 구축된 강우자료의 상관성 분석을 통해 분석 대상 자료를 연강우량, 1일최대강우량, 강우일수, 10mm 이상 강우일수 및 80mm 이상 강우일수 자료를 이용하여 분석을 수행하였다. 다음 표는 서울지점을 대상으로 추출된 강우자료들의 상관성 분석 결과이다.

표 1. 강우특성자료들의 상관성 분석 결과(서울지점)

구분	강우량							강우일수	초과강우일수							
	연	1일	2일	3일	4일	5일	7일		5	10	20	30	50	80	100	120
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)		(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)
(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

또한, wamis를 통해 지점별 인구자료와 시가화 면적자료를 구축하였다. wamis에서는 5년 단위로 인구 및 시가화면적비 자료를 제공하고 있다. 따라서 조사된 인구자료와 시가화면적비 자료를 이용하여 도시지역과 비도시지역을 구분하였다.

## 3. 군집 분석을 통한 지역 구분

우리나라의 57개 지점의 위도, 경도, 연평균강우량, 연평균일최대강우량, 연평균강우일수, 연평균 10mm 이상 강우일수 및 연평균 80mm 이상 강우일수 자료를 이용하여 군집분석을 수행하였다. 군집분석 방법은 ward's minimum 기법을 이용하였다. 분석 결과에서 우리나라의 강우특성은 4

개 지역으로 구분되었다. 다음 표는 군집분석 결과를 나타낸 것이다.

표 2. 군집 분석 결과

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

군집분석 결과에서 우리나라의 강우사상의 발생 특성이 유사한 지역은 크게 4개 권역으로 구분할 수 있다. 남해안지역, 영남지역, 중서부지역 및 북부지역으로 구분되었다. 각각의 군집에 포함된 지점의 인구자료와 시가화면적비를 이용하여 도시화가 많이 진행된 지역과 비도시화 지역을 구분하였다. 분석 방법은 1975년을 대비하여 2000년의 인구변화 및 시가화 면적비의 면화를 합산하여 양(+)의 값이 큰 지점들은 도시화 지역으로 선정하였다. 각각의 지점을 분석한 결과에서 지수화한 점수가 5점 이상인 경우에 도시화가 진행된 것으로 판단하였다. 따라서 다음 표는 군집 1에 포함된 지점들의 도시 및 비도시 지점을 구분한 결과를 나타낸 것이다.

표 3. 도시 지점과 비도시 지점의 구분 결과

연번	지점번호	지점명	인구변화(만명)	시가화비변화(%)	도시화지수	비고
①	②	③	④	⑤	④+⑤	
1	159	부산	108.28	12.57	120.85	도시화
2	184	제주	10.16	5.00	15.16	도시화
3	294	거제	5.51	5.12	10.63	도시화
4	192	진주	6.88	3.53	10.40	도시화
5	168	여수	2.91	7.36	10.27	도시화
6	256	순천	1.94	2.66	4.60	비도시화
7	189	서귀포	1.07	2.70	3.77	비도시화
8	162	통영	-2.02	4.67	2.65	비도시화
9	295	남해	-6.77	3.14	-3.63	비도시화
10	289	산청	-5.78	1.73	-4.05	비도시화
11	170	완도	-7.95	3.04	-4.91	비도시화
12	260	장흥	-7.56	1.87	-5.69	비도시화
13	262	고흥	-12.97	2.63	-10.34	비도시화

따라서 위와 같은 방법으로 도시지점과 비도시 지점을 구분하였다. 따라서 표 2에서 나타낸 것과 같이 밑줄과 붉은 글자로 표기한 지점들이 도시화 지수가 높은 도시화가 비교적 진행된 지점들인 것으로 나타났다.

#### 4. 군집별 도시화 및 비도시화 지역의 강우특성 비교

우리나라를 4개 지역으로 구분하여 각 군집별로 포함된 강우관측소 지점에서 관측된 강우자료를

이용하여 전반부와 후반부의 강우량 및 강우일수를 비교분석하였다. 전반부는 1973년부터 1990년까지이며, 후반부는 1991년부터 2008년까지로 각각 18년 동안 관측된 자료의 평균 및 표준편차의 변화를 비교하였다. 다음 표는 군집 1에 포함된 강우관측소들의 연강우량 및 80mm 이상 강우일수를 대상으로 평균과 표준편차를 비교한 결과이다.

표 4. 군집 1의 연강우량에 대한 기간별 비교

구분	부산	제주	거제	진주	여수	순천	서귀포	통영	남해	산청	완도	장흥	고흥	
평균	73-08	1494.2	1476.1	1808.5	1491.1	1416.2	1505.0	1860.2	1423.0	1800.3	1503.5	1494.2	1487.5	1462.0
S.D.	73-08	402.0	389.7	543.9	386.3	349.2	346.9	421.3	359.5	457.8	415.7	419.4	379.2	372.4
평균1	73-90	1435.8	1453.9	1727.9	1500.7	1416.4	1490.7	1809.7	1374.8	1724.1	1484.4	1467.7	1496.0	1517.2
평균2	91-08	1552.6	1498.3	1889.0	1481.4	1416.1	1519.3	1910.7	1471.2	1876.5	1522.5	1520.6	1478.9	1406.7
2-1		116.8	44.5	161.1	-19.3	-0.3	28.6	101.0	96.4	152.4	38.1	52.9	-17.1	-110.5
(2-1)/1		8.1%	3.1%	9.3%	-1.3%	0.0%	1.9%	5.6%	7.0%	8.8%	2.6%	3.6%	-1.1%	-7.3%
S.D.1	73-90	345.4	356.8	453.7	369.1	366.8	356.3	460.3	310.4	400.7	429.1	374.4	382.0	369.2
S.D.2	91-08	454.1	429.4	624.1	413.4	341.2	347.0	384.9	406.0	508.6	413.4	469.6	387.2	377.9
2-1		108.7	72.6	170.5	44.3	-25.6	-9.4	-75.4	95.5	107.9	-15.8	95.2	5.2	8.8
(2-1)/1		31.5%	20.4%	37.6%	12.0%	-7.0%	-2.6%	-16.4%	30.8%	26.9%	-3.7%	25.4%	1.4%	2.4%

표 5. 군집 1의 80mm 이상 강우일수에 대한 기간별 비교

구분	부산	제주	거제	진주	여수	순천	서귀포	통영	남해	산청	완도	장흥	고흥
평균	73-08	2.9	2.7	4.4	2.7	2.5	2.7	3.9	2.5	4.6	3.2	3.1	3.0
S.D.	73-08	2.1	2.2	2.8	1.4	1.9	1.7	2.7	1.7	2.6	2.1	2.4	1.7
평균1	73-90	2.3	2.4	3.8	2.6	2.3	2.6	3.6	2.2	3.8	2.9	2.7	3.1
평균2	91-08	3.5	2.9	4.9	2.8	2.8	2.8	4.3	2.8	5.4	3.4	3.4	2.5
2-1		1.2	0.4	1.2	0.2	0.5	0.2	0.8	0.7	1.6	0.6	0.8	0.1
(2-1)/1		53.7%	18.2%	30.9%	6.4%	22.0%	8.5%	21.9%	30.8%	42.0%	19.2%	29.2%	1.8%
S.D.1	73-90	1.8	2.0	2.4	1.4	2.2	1.8	3.1	1.7	2.4	2.1	2.2	1.8
S.D.2	91-08	2.3	2.4	3.1	1.5	1.6	1.6	2.2	1.6	2.7	2.1	2.5	1.6
2-1		0.4	0.4	0.6	0.1	-0.6	-0.2	-0.9	-0.1	0.3	-0.1	0.3	-0.2
(2-1)/1		23.9%	17.8%	25.4%	10.1%	-28.1%	-11.5%	-28.1%	-6.1%	10.6%	-3.5%	11.3%	-10.7%

위와 같은 방법으로 군집 1부터 군집 4까지에 포함되는 지점들을 대상으로 연강우량, 1일최대 강우량, 강우일수, 10mm 이상 강우일수 및 80mm 이상 강우일수 자료에 대하여 도시지역과 비도시지역의 평균을 계산하여 각 자료들의 변화율을 다음 표와 같이 나타내었다. 변화율은 위의 표 4 및 표 5에서 계산한 것과 동일한 방법으로 계산된 평균값의 변화율만을 제시하였다.

표 6. 군집별 도시화 및 비도시화 지역의 분석 대상 자료별 변화율 분석 결과

군집 번호	1		2		3		4	
	도시화	비도시화	도시화	비도시화	도시화	비도시화	도시화	비도시화
연강우량	3.8%	2.6%	9.7%	9.0%	4.7%	3.2%	7.8%	7.1%
1일최대강우량	0.4%	6.4%	28.2%	17.2%	9.6%	12.3%	14.5%	24.0%
강우일수	-2.8%	-4.5%	1.5%	-3.5%	-0.9%	-4.8%	0.2%	-1.9%
10mm 이상 강우일수	0.8%	-0.3%	1.2%	3.4%	1.2%	0.9%	1.4%	0.7%
80mm 이상 강우일수	26.2%	15.7%	78.8%	63.8%	32.4%	24.8%	41.1%	19.9%

## 5. 결론

본 연구에서는 우리나라의 57개 지점에서 관측된 강우자료, 인구 및 시가화면적 자료를 이용하여 도시화로 인한 강우특성 변화에 대한 분석을 수행하였다. 분석 방법은 군집분석을 통해 강우발생특성이 비슷한 지역을 구분하고, 군집별로 발생한 강우특성자료를 도시화 지역과 비도시화 지역을 비교하였다.

분석 결과에서 각 군집별로 약간씩 상이한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 연강우량은 도시화 지역이 비도시화 지역에 비해서 1% 정도 더 증가하였음을 확인하였으며, 1일 최대강우량은 비도시화 지역이 도시화 지역에 비해서 보다 많이 증가하였음이 확인되었다. 강우일수는 도시화 및 비도시화 지역 모두 감소하는 경향이 나타났으나, 도시화 지역이 보다 덜 감소하는 것으로 나타났다. 10mm 이상의 강우일수는 도시화 지역이 보다 우세하게 많이 나타나는 것으로 판단되며, 80mm 이상의 강우일수는 도시화 지역이 비도시화 지역보다 크게 증가하였음이 확인되었다. 따라서 도시화로 인한 강우특성의 변화는 명확하게 나타나지는 아니하였으나, 도시 지역이 비도시 지역에 비해 강우의 발생이 보다 많이 발생하는 것으로 판단할 수 있으며, 호우 피해를 야기할 수 있는 80mm 이상의 강우의 발생빈도가 보다 많이 나타났다. 그러나 반대로 일최대강우량은 비도시 지역의 증가가 더 두드러지는 것으로 나타났다.

도시화에 의해서 강우특성이 변화할 수 있는 가능성이 있는 것으로 판단된다. 그러나 정량적인 변화의 양이 비교분석에서 80mm 이상 강우일수를 제외하고 그리 크게 발생하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 이에 대한 지속적인 연구를 통해 도시화에 의해 변화할 수 있는 강우사상의 발생 특성에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

### 감 사 의 글

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

### 참 고 문 헌

1. 이정식 (1980). “도시화에 의한 강우량변화에 대한 통계학적 해석”, 한국수자원학회 학술대회지, 31-37 쪽.
2. 최영은 (1998). “미국 남부지방의 도시강수 특성에 관한 연구”, 대한지리학회 학술대회지, 51-55.