

도시화가 도시지역 강수변화에 미치는 영향 연구

A Study of the Urbanization Effect on the Precipitation Pattern in Urban Areas

오 태 석* / 안 재 현** / 문 영 일*** / 김 종 석****

Oh, Tae Suk / Ahn, Jae Hyun / Moon, Young-Il / Kim, Jong Suk

Abstract

Since the 1970s, rapid industrialization has brought urbanization nationwide. In this paper, thirty one years data(1973-2003) are used to evaluate variability of major cities. Before assessing the context between urbanization and variability of rainfall, the rural areas are selected to compare with urban ones. Thus, average, trends, variations, and nonparametric frequency analysis methods were employed for evaluating variation of annual precipitation, seasonal precipitation, 1 hour annual maximum design rainfall and 24 hour annual maximum design rainfall for both urban and rural areas. The result have shown that summer precipitation relatively increased in urban areas compared to that in rural areas.

keywords : urbanization, precipitation, trend, variation, nonparametric frequency analysis

요 지

1970년대 이후, 우리나라는 산업화에 따른 급격한 도시화가 이루어졌다. 본 논문에서는 우리나라의 대표적인 도시인 서울특별시 및 6대 광역시의 1973년부터 2003년까지의 31개년의 강수량 자료를 이용하여 강수량의 변화에 대하여 분석하였다. 이와 함께 도시화에 따른 강수량의 변동성을 평가하기 위해서 비도시 지역을 선정하였으며 도시 지역의 강수량 변화와 비교하였다. 도시 지역과 비도시 지역의 연강수량, 계절별 강수량, 지속 시간 1시간 및 24시간 연최대 강수량에 대해 임의기간에 따른 평균 분석, 경향성 분석, 변동성 분석, 비매개변수적 빈도 해석을 수행한 결과, 도시화 지역에서 비도시화 지역보다 강우 증가율이 더 컸으며, 특히 여름 강수량의 증가율이 두드러졌다.

핵심용어 : 도시화, 강수량, 경향성, 변동성, 비매개변수적 빈도 해석

1. 서 론

1970년대 이후 우리나라에서는 인구의 도시집중과 경제개발 계획에 따른 산업의 고도화로 도시화가 심화되었다. 도시화란 산림·논·밭 등의 지역이 대단위 공장부지, 택지, 도로 등으로 바뀌며, 거주 인구의 급격한

증가를 의미한다. 도시화로 인한 인구의 도시집중과 산업의 발전은 도시하천의 홍수피해를 격증 시키며, 도시화 현상의 부산물로 인해 인명 또는 재산 피해가 급증하고 있다. 도시화로 인하여 야기되는 수문학적 문제로는 유출의 변화, 자연 배수, 지하수, 수질, 물 수요의 증가와 공급폐기물의 처리 등의 환경 변화 등이 있다.

* 서울시립대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (e-mail: waterboy@uos.ac.kr)

** 서경대학교 이공대학 토목공학과 조교수

*** Corresponding Author, 서울시립대학교 토목공학과 부교수 (e-mail: ymoon@uos.ac.kr)

**** 서울시립대학교 대학원 토목공학과 박사과정

도시화에 따른 도시지역 강수 특성 변화의 원인은 다음의 4가지를 들 수 있다. 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. 그러나 도시화가 도시 대기와 강수변화에 어떻게 영향을 미칠 수 있는지에 관한 많은 가설들이 발표되고, 논쟁이 있어 왔지만 그 인과관계를 밝히는 것은 쉽지 않다.

도시화에 따른 강수량 변화에 대한 연구는 도시화에 따른 유출 변화에 대한 연구에 비해 상대적으로 미진하다. 이는 도시화로 인해 유출의 변화는 불투수면적 등의 증가로 인해 확연하게 변화하지만, 강수량은 도시화의 영향만으로 변화된다고 보기 어려울 뿐만 아니라, 강수는 기상이변 및 태풍 등의 영향을 강하게 받기 때문이다. 도시화에 따른 강수량 변화의 기존 연구를 살펴보면 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.

본 연구에서는 우리나라의 대표적인 도시지역인 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산의 1973년부터 2003년까지의 시강수량 자료를 이용하여 도시화에 따른 강수량의 변화를 분석하였다. 또한 강수량의 변화는 지구 온난화 및 기상 이변에 큰 영향을 받으므로 가급적 선별된 도시 근교에 위치하며 인구의 유입이 크지 않고, 비교적 도시화가 진행되지 않은 도시 근교에 위치한 양평, 통영, 의성, 이천, 정읍, 금산, 울진의 강수량 변화와 통계적으로 비교·고찰하였다.

2. 연구 방법

2.1 임의 기간에 따른 강수 변화량

도시화에 따른 강수량의 변화는 시간과 밀접한 관계가 있다. 따라서 추출한 강수량 자료를 전반부와 후반부로 구분하여, 각 임의 기간에 따른 강수량을 산술평균하여 변화량을 분석하였다. 또한, 강수량은 지역에 따라 평균 및 편차가 다르므로 Z-score를 이용해 강수량을 표준화하여 도시지역과 비도시지역의 강수 증가율을 비교하였다.

$$Z = \frac{X_i - \bar{x}}{s} \quad (1)$$

여기서, Z 는 각 강수량의 표준화 지수, X_i 는 각 강수량, \bar{x} 는 강수량 계열의 평균, s 는 강수량 계열의 표준편차이다.

2.2 강수 자료의 경향성 분석

강수량 시계열 자료는 시간이 지남에 따라 변화한다는 가설을 세우고, 자료의 경향성을 분석하였다. 시계열 자료의 경향성을 검정하는 방법으로 회귀분석, Hotelling-Pabst Test, Mann-Kendall test, Sen test를 이용하였다.

2.3 추출한 강수 자료의 변동성 분석

강수량 시계열 자료는 시간이 지남에 따라 변화하지 않는다는 가설을 세우고, 자료의 변동성을 분석하였다. 시계열 자료의 변동성을 검정하는 Mann-Whitney U 검정, T 검정, Modified T 검정, Sign 검정을 이용하여 자료의 변동점을 판단하여 변동점 전·후의 강수량을 비교하였다.

2.4 비매개변수적 빈도 해석을 이용한 확률강수량 비교

비매개변수적 핵밀도 함수에서 적정한 광역폭(bandwidth) h 의 선택은 핵함수와 함께 가장 중요한 요소의 하나이다. 본 연구에서는 광역폭의 결정을 위해 Solve the Equation Plug In(SJPI) 방법을 이용하였다. SJPI 방법은 Woodroffe(1970) 이후로 Plug In의 개념으로 행해진 많은 연구 중 하나로, 미지의 $R(\hat{f}_h)$ 을 추정치를 채워 넣는 것으로 실질적인 어려움은 기준이 되는 추정 광역폭을 잡는 것이다. 이 방법에 가까운 "Solve the Equation"은 Sheather(1986)가 제안하였고, Sheather 와 Jones(1991)에 의해 일련의 논문으로 정리되어 왔으며, 이때 일반식은 Eq. (2)와 같다.

$$h = \left[\frac{R(K)}{nR(\hat{f}_{g(h)}) \left(\int x^2 K(x) dx \right)^2} \right] \quad (2)$$

수문분석에서 보편적으로 많이 쓰이는 핵함수는 Gaussian, Epanechnikov, Cauchy 핵함수 등이 있다. 이 핵함수들을 이용하여 수문분석을 실시할 경우 재현기간 100~200년 내의 내삽(interpolation)의 경우 대체적으로 핵함수에 의한 값의 차이는 미미하다. 그러나 재현기간 200년 이상의 외삽(extrapolation)의 경우는 내삽의 경우와는 다르게 많은 편차를 나타낸다. Gaussian 핵함수는 외삽의 경우 너무 빨리 수렴을 하여 극치값의

Quantile이 너무 작게 추정되고, 꼬리가 두꺼운 Cauchy 핵함수의 경우에도 외삽의 경우 수렴을 하지 못하고 계속 증가하는 단점이 발생하게 된다. 이러한 단점을 보완하고자 차영일(2004)은 극치사상에 적합한 핵함수를 Student-t 분포로부터 Modified Cauchy 핵함수를 유도하였다. Eqs. (3) and (4)는 각각 Modified Cauchy 핵함수의 확률밀도함수와 누가확률밀도함수이다(차영일, 2004).

$$f(x) = \frac{8}{3\sqrt{5}\pi(1+x^2/5)^3} \quad (3)$$

$$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{5x + \frac{3x^2}{5}}{3\sqrt{5}\pi\left(1 + \frac{x^2}{5}\right)^2} + \frac{1}{\pi} \tan^{-1}\left(\frac{x}{\sqrt{5}}\right) \quad (4)$$

본 논문에서는 강수량 시계열 자료의 전 기간 및 변동점이 발생하기 전과 후의 강수량을 이용하여 비매개변수적 방법을 통해 확률 강수량을 산정하여 도시지역과 비도시지역의 강수 변화량을 비교해 보고자 한다.

3. 분석 결과

선정된 도시 및 비도시 지역의 1973년 1월 1일부터 2004년 2월 29일까지 매시간 강수량 자료를 기상청으로부터 확보하여 각 지점별로 연강수량과 계절강수량, 지속시간 1시간 및 24시간 최대 강수량을 추출하였다. 계절 강수량은 강수량이 발생한 시기에 따라 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~이듬해 2월)의 사계절로 구분하여 분석하였다.

Table 1. Comparison of average precipitation according to the selected period in urban area

Station	Average and variability of rainfall at the selected period							
	Year	Spring	Summer	Fall	Winter	Annual	1hour max	24hour max
	Amount of fluctuation							
Seoul	73-87	229.91	709.53	214.56	65.59	1223.11	38.95	159.31
	88-03	216.54	936.87	253.89	71.79	1474.93	49.24	189.87
	(mm)	-13.38	227.34	39.33	6.20	251.82	10.28	30.56
	(%)	-6.00	27.49	16.75	9.01	18.61	23.24	17.46
Busan	73-87	399.64	642.84	324.80	87.46	1461.43	47.91	170.29
	88-03	372.01	837.84	239.06	124.11	1569.85	41.51	175.29
	(mm)	-27.63	195.00	-85.74	36.65	108.42	-6.41	4.99
	(%)	-7.17	26.23	-30.56	34.46	7.15	-14.36	2.89
Daegu	73-87	199.58	551.79	215.09	52.75	1023.67	31.10	126.10
	88-03	208.30	594.46	214.35	75.61	1091.56	29.36	121.06
	(mm)	8.72	42.68	-0.74	22.85	67.88	-1.74	-5.04
	(%)	4.27	7.44	-0.34	35.40	6.41	-5.75	-4.08
Incheon	73-87	209.37	590.15	198.37	59.39	1059.41	38.35	146.29
	88-03	194.21	744.99	238.33	67.66	1241.79	42.17	165.48
	(mm)	-15.16	154.85	39.96	8.28	182.38	3.82	19.18
	(%)	-7.52	23.11	18.25	13.00	15.81	9.46	12.28
Gwangju	73-87	280.71	713.15	261.21	106.73	1365.81	34.93	147.98
	88-03	231.61	793.17	230.83	121.96	1375.47	41.09	157.22
	(mm)	-49.09	80.02	-30.38	15.22	9.66	6.15	9.24
	(%)	-19.22	10.61	-12.37	13.28	0.70	16.15	6.05
Daejeon	73-87	250.71	735.89	240.17	89.24	1322.11	39.03	139.27
	88-03	233.99	791.78	245.25	101.27	1370.65	45.06	173.14
	(mm)	-16.72	55.88	5.08	12.03	48.54	6.03	33.86
	(%)	-6.91	7.31	2.09	12.60	3.60	14.31	21.60
Ulsan	73-87	281.40	554.01	308.12	81.57	1229.86	33.39	151.05
	88-03	280.91	699.03	234.83	118.75	1332.18	32.06	148.53
	(mm)	-0.49	145.01	-73.30	37.18	102.32	-1.34	-2.52
	(%)	-0.18	23.06	-27.12	36.90	7.98	-4.09	-1.68
Mean	73-87	264.48	642.48	251.76	77.53	1240.77	37.67	148.61
	88-03	248.23	771.16	236.65	97.31	1350.92	40.07	161.51
	(mm)	-16.25	128.68	-15.11	19.77	110.15	2.40	12.90
	(%)	-6.34	18.21	-6.19	22.62	8.50	6.18	8.32

Table 2. Comparison of average precipitation according to the selected period in rural area

Station	Average and variability of rainfall at the selected period							
	Year	Spring	Summer	Fall	Winter	Annual	1hour max	24hour max
	Amount of fluctuation							
Yangpyeong	73-87	232.12	728.79	214.05	60.45	1238.89	41.28	159.53
	88-03	199.97	859.44	247.36	74.39	1376.40	41.00	182.98
	(mm)	-32.15	130.66	33.30	13.94	137.51	-0.28	23.45
	(%)	-14.92	16.41	14.40	20.61	10.50	-0.68	13.67
Tongyoung	73-87	404.50	647.27	261.09	82.45	1401.65	35.90	166.50
	88-03	348.17	775.69	233.36	115.56	1469.28	41.16	160.65
	(mm)	-56.33	128.43	-27.72	33.12	67.62	5.26	-5.85
	(%)	-15.00	18.00	-11.23	33.27	4.71	13.63	-3.58
Uiseong	73-87	193.94	520.99	202.58	52.49	974.57	30.22	118.01
	88-03	199.63	579.57	181.09	65.51	1024.71	30.14	101.34
	(mm)	5.69	58.58	-21.49	13.01	50.15	-0.08	-16.67
	(%)	2.89	10.63	-11.22	21.98	5.01	-0.25	-15.24
Icheon	73-87	253.71	715.73	218.73	68.23	1260.74	35.75	146.38
	88-03	214.75	822.96	279.06	79.08	1393.40	42.89	187.23
	(mm)	-38.96	107.24	60.33	10.85	132.66	7.14	40.85
	(%)	-16.68	13.91	24.14	14.69	9.98	18.11	24.39
Jeongeup	73-87	247.66	672.06	263.17	121.05	1309.38	41.47	124.94
	88-03	229.95	683.66	253.36	124.53	1289.48	36.94	127.06
	(mm)	-17.71	11.60	-9.80	3.48	-19.90	-4.53	2.12
	(%)	-7.42	1.71	-3.80	2.83	-1.53	-11.57	1.68
Kumsan	73-87	237.71	696.93	240.39	86.36	1266.09	39.40	143.12
	88-03	221.43	714.59	227.36	104.32	1266.83	34.55	135.37
	(mm)	-16.29	17.65	-13.03	17.96	0.74	-4.85	-7.75
	(%)	-7.10	2.50	-5.58	18.78	0.06	-13.14	-5.57
Uljin	73-87	205.99	418.28	299.41	113.59	1041.49	22.07	109.40
	88-03	202.22	510.87	342.49	145.82	1201.92	26.53	141.24
	(mm)	-3.77	92.59	43.09	32.23	160.43	4.46	31.84
	(%)	-1.85	19.87	13.40	24.75	14.27	18.29	25.31
Average	73-87	253.66	628.58	242.77	83.52	1213.26	35.16	138.27
	88-03	230.87	706.68	252.01	101.32	1288.86	35.17	147.98
	(mm)	-22.79	78.11	9.24	17.80	75.60	1.02	9.71
	(%)	-9.41	11.70	3.73	19.26	6.04	2.85	6.79

3.1 기간에 따른 강수량 변화 분석

다음의 Tables 1 and 2에서와 같이, 계절별 강수량, 연강수량, 지속시간 1시간 및 24시간 강수량 자료를 전반부(1973~1987년)과 후반부(1988~2003년)로 구분하여 도시지역과 비도시지역에서 지점별로 평균 강수량을 계산하여 증감량을 산정하였다. Table 1 and 2에서 배경이 회색으로 처리된 곳은 강수량이 감소한 경우이다.

Table 1에서 도시 지역의 계절별 강수량 중에서 여름과 겨울 강수량과 연강수량은 모든 지점에서 증가하였다. 그러나 봄 강수량은 대구를 제외한 모든 지점에

서 감소하였으며, 가을 강수량과 지속시간 1시간 및 24시간 연최대 강수량은 증가한 지점과 감소한 지점이 혼재되어 있다.

Table 2에서 비도시 지역의 여름과 겨울 강수량은 모든 지점에서 증가하였으며, 연강수량은 정읍을 빼고 모두 증가하였다. 봄강수량은 의성을 제외하고 모두 감소하였으며, 가을과 지속시간 1시간 및 24시간 연최대 강수량은 증가한 지점과 감소한 지점이 혼재되어 있다.

Tables 1 and 2를 비교해 볼 때, 계절별 강수량과 연강수량은 비교 대상인 서울과 양평, 부산과 통영, 대구와 의성, 인천과 이천, 광주와 정읍은 강수량의 증감 경향이 비슷한 것으로 보이며, 대전과 금산, 울산과 울진

은 증감 경향이 약간 차이를 보였다.

봄과 가을 강수량을 제외한 여름 및 겨울 강수량과 연강수량, 지속시간 1시간 및 24시간 연최대 강수량의 평균을 비교 해 볼 때, 도시 지역에서의 강수량 증가량이 비도시 지역을 상회하였다. 또한 봄 강수량은 도시와 비도시 지역 모두 감소하였는데, 도시 지역에서의 감소량이 비도시 지역보다 작은 것으로 분석되었다.

또한, 지점별로 강수량 자료의 통계적 특성이 다르므로, 도시지역과 비도시지역의 강수량을 구분된 기간에 따라 비교하기 위해서는 강수량 자료를 표준화하여, 기간별로 표준화 지수를 합산해 도시 지점과 비도시 지점을 비교하였다. 비교 대상별로는 서울과 양평, 부산과 통영, 대구와 의성, 인천과 이천, 광주와 정읍, 대전과 금산, 울산과 울진 및 도시지역과 비도시지역을 비교하였다.

Fig. 1에서 봄 강수량은 대구와 의성 지점을 제외하고 시간에 따라 모두 감소하였으며, 도시지역의 감소율이 비도시지역보다 작은 것으로 분석되었다. Fig. 2의 여름 강수량은 모두 증가하였으며, 대구와 의성 지점을 제외하고 도시지역의 증가율이 비도시지역보다 큰 것으로 분석되었다. Fig. 3에서 가을 강수량은 서울과 양평, 대구, 인천과 이천, 대전, 울산이 증가하였으며 그 외 지점은 모두 감소하였다. Fig. 4에서 겨울 강수량은 전 지점이 증가하였으며 서울과 양평, 인천과 이천, 대전과 금산 지점에서 비도시 지역의 증가율이 더 컸으며, 이외 지점에서는 도시 지역의 증가율이 더 컸다. Fig. 5에서 연 강수량은 모든 지역에서 증가하고 있으며 울산과 울진 지점을 제외하고 도시 지역의 증가율이 더 큰 것으로 분석되었다. Fig. 6에서 1시간 연최대 강수량은 도시 지역인 서울, 인천, 광주, 대전과 비도시 지역인 통영

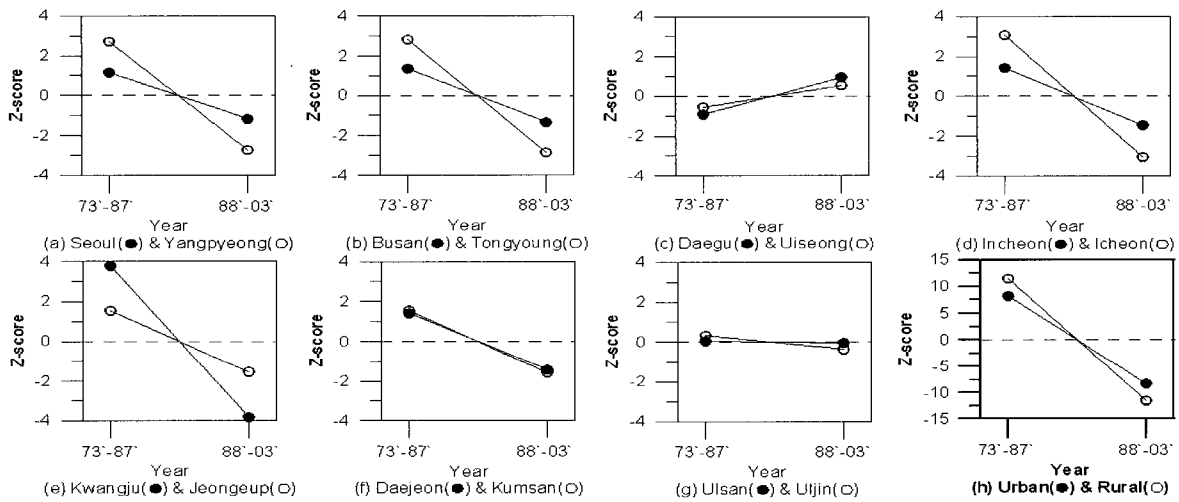


Fig. 1. Z-score comparison of the spring rainfall

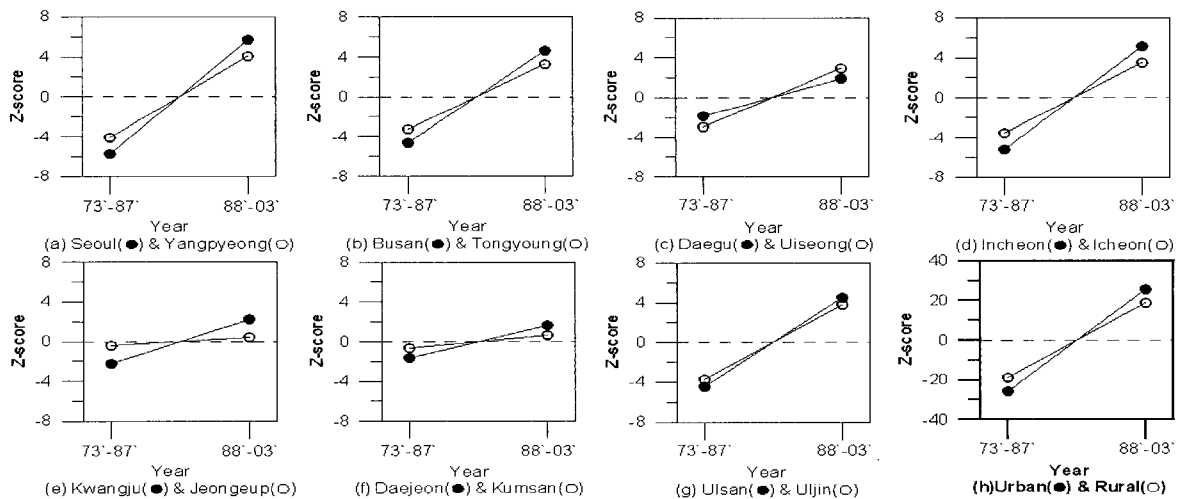


Fig. 2. Z-score comparison of the summer rainfall

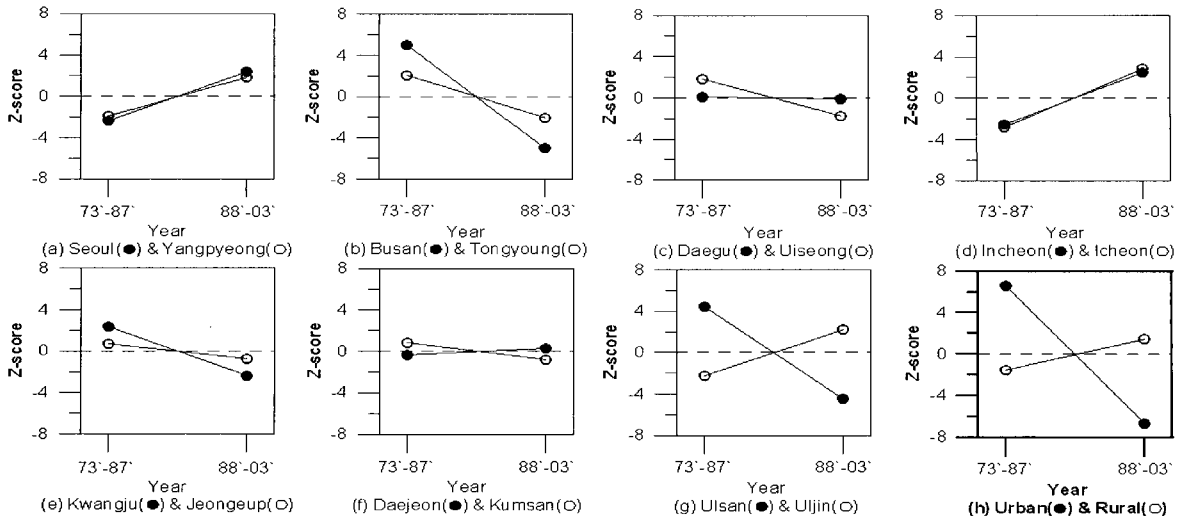


Fig. 3. Z-score comparison of the fall rainfall

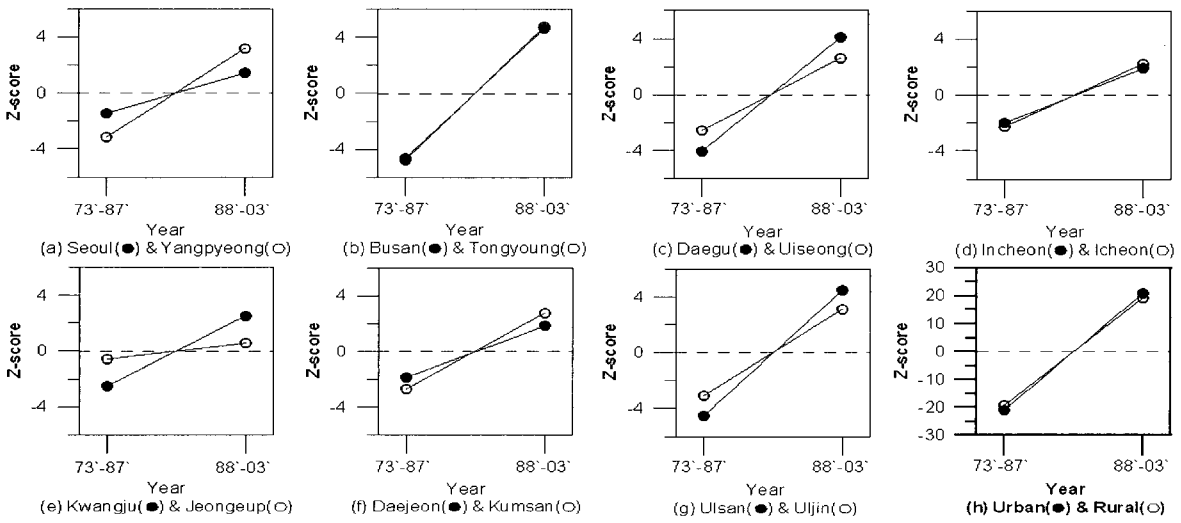


Fig. 4. Z-score comparison of the winter rainfall

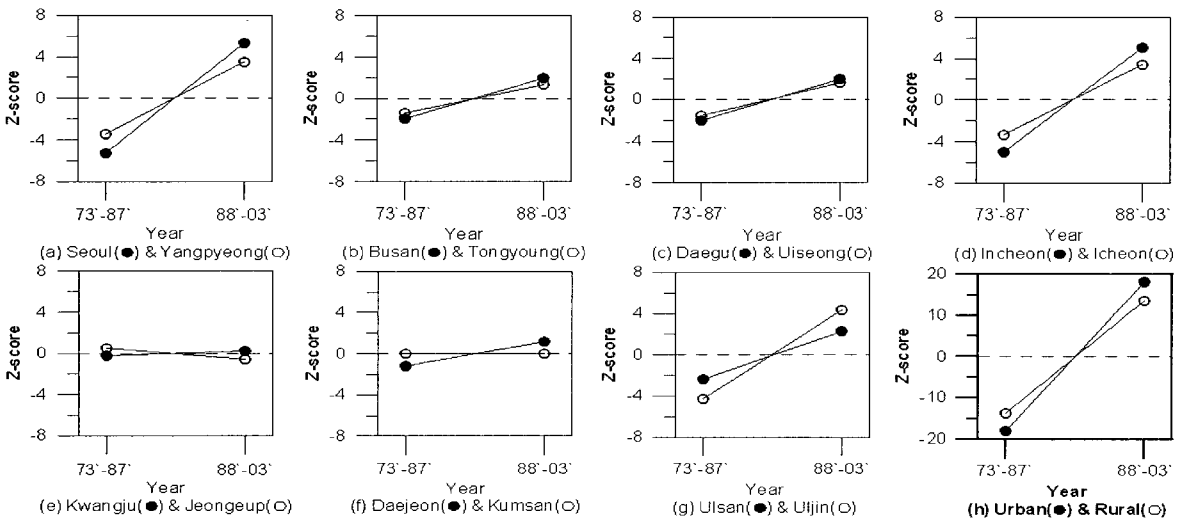


Fig. 5. Z-score comparison of the annual rainfall

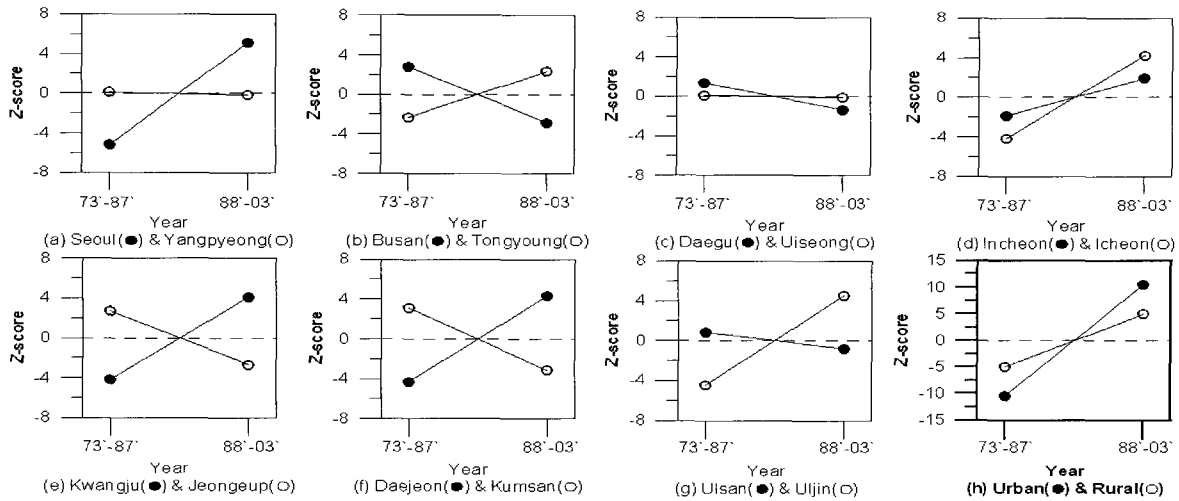


Fig. 6. Z-score comparison of the 1 hr maximum rainfall

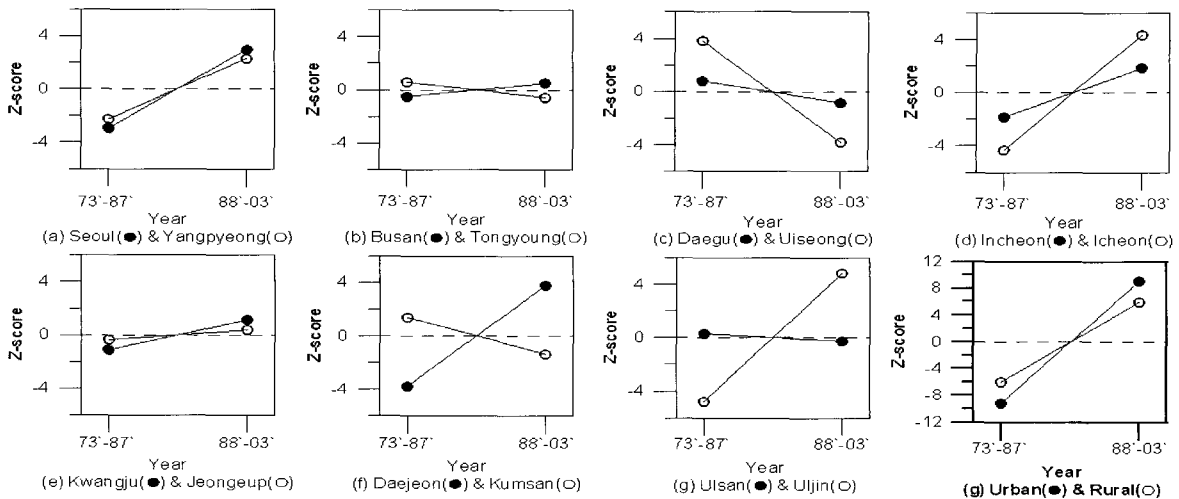


Fig. 7. Z-score comparison of the 24 hr maximum rainfall

이천, 울진의 강수량이 증가하였다. Fig. 7에서 24시간 연최대 강수량은 도시 지역인 서울, 부산, 인천, 광주, 대전과 비도시 지역인 양평, 이천, 정읍, 울진에서 증가하였다.

Fig. 1~7에서 여름, 겨울 및 연강수량은 도시화 지역에서 더 많이 증가된 것으로 판단되며, 봄, 1시간 및 24시간 연최대 강수량의 경우에는 도시화 지역의 강수량 증가가 우세한 것으로 보이나, 정확한 판단이 어려우며, 가을 강수량은 비도시 지역의 증가량이 더 많은 것으로 분석되었다.

3.2 강수 자료의 경향성 및 변동성 분석 결과

대상 지역에서 추출한 강수량 자료의 경향성을 분석하였다. 경향성 분석은 회귀분석, Hotelling-Pabst Test, Mann-Kendall test, Sen test를 수행하였다. 이중 회귀 분석은 Eq. (5)와 같은 1차식으로 하여, 유의 수준 0.1

에서 T-test로 검정하였다.

$$y = a_0 + a_1 x \quad (5)$$

여기서, y 는 강수량이며, $x = 1, 2, 3, \dots, 31$ 이고, a_0 와 a_1 은 회귀 계수이다.

경향성 분석 결과에서 봄, 가을 및 겨울 강수량은 유의 수준 0.1에서 모든 지점의 경향성이 없는 것으로 분석되었다. 1시간 및 24시간 최대 강수량과 연강수량에서는 도시 지역의 몇몇 지점에서만 경향성이 있는 것으로 분석되었다. Table 3은 경향성이 있는 것으로 분석된 지점이다.

연강수량과 1시간 및 24시간 연최대 강수량은 Table 3의 지점을 제외하고 모두 경향성이 없는 것으로 분석되었다. 서울 지점의 경우, 연강수량과 시간 최대 강수량 모두에서 경향성이 있는 것으로 분석되었으나, 비교

Table 3. Result of trend analysis

Rainfall Data	Station	Regression Coefficient	
		a_0	a_1
Annual Rainfall	Seoul	1056.669	18.526
	Incheon	933.910	13.727
1 hr annual maximum rainfall	Seoul	28.469	31.435
	Incheon	0.987	0.555
24 hr annual maximum rainfall	Seoul	119.282	3.487
	Daejeon	112.685	2.754

대상이 없으므로 판단을 내리기 어렵다.

여름 강수량은 광주와 정읍, 대전과 금산 지점을 제외하고 모두 경향성이 있다고 분석되었다.

대상 지점의 강수 자료들 중에서 여름 강수량만이 4개 지점을 제외한 10개 지점에서 경향성이 있는 것으로 분석되었고, 경향성을 나타내는 기울기가 도시 지역의 비도시 지역보다 크음을 알 수 있다. 따라서 경향성이 있다고 판단된 지점에 대해 변동성 분석을 수행하였다.

Table 5의 변동성 분석 결과에서도, 경향성 분석과 마찬가지로 도시 지역의 여름 강수량이 더 크게 증가한 것으로 분석되었다.

3.3 비매개변수적 빈도 해석을 이용한 강수량 자료 분석

강수량 자료의 빈도해석을 통해 확률 강수량을 산정

하는 방법은 크게 매개변수적 빈도해석과 비매개변수적 빈도해석으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 지점별로 적절한 확률 강수량을 산정하여 도시화에 따른 강수 증가량을 분석하고자 한다. 그러나 매개변수적 빈도 해석은 다음과 같은 문제점을 내포하고 있어 지점별로 확률 강수량을 적절히 산정하여 비교하는데 어려움이 있다.

매개변수적 빈도 해석은 첫째, 통계적 처리과정에서 적합성이 인정되는 다수의 분포형이 선정될 때, 최종적으로 어떠한 확률분포형이 선택되느냐에 따라 확률강수량은 차이를 나타낸다. 둘째, 최근에 발표된 건설교통부의 한국확률강우량도(2000)에 이르기까지 전국의 지속시간별 확률분포형은 전국에 걸쳐 단일화된 확률분포형을 적용하여 확률강수량을 산정하고 있는데, 이는 지속기간별로 다른 확률분포형을 적용할 경우에 역전 현상이 발생 가능하기 때문이다. 셋째, 근래처럼 수문사상의

Table 4. Tendency analysis result of rainfall the summer

Station		Seoul	Busan	Daegu	Incheon	Ulsan
Regression Coefficient	a_0	545.803	479.369	470.674	472.476	467.028
	a_1	17.566	16.507	6.446	12.350	10.114
Station		Yangpyeong	Tongyoung	Uiseong	Icheon	Uljin
Regression Coefficient	a_0	646.361	504.612	467.474	643.730	362.768
	a_1	9.366	13.059	5.234	7.959	6.456

Table 5. Result of change analysis for summer seasonal rainfall

Station		Seoul	Busan	Daegu	Incheon	Ulsan
Average rainfall (mm)	Before change	653.877	669.637	537.779	536.369	534.857
	after change	951.800	996.673	697.357	766.628	706.271
Variation(mm)		297.923	327.036	159.578	230.259	171.414
Changing point		13	24	24	13	14
Station		Yangpyeong	Tongyoung	Uiseong	Icheon	Uljin
Average rainfall (mm)	Before change	694.562	644.533	525.279	664.993	406.886
	after change	869.644	950.186	640.171	858.435	514.806
Variation(mm)		175.082	305.653	114.892	193.442	107.920
Changing point		13	24	24	14	14

변화가 극심하고, 또한 강수관측기간에 따른 보유자료의 길이가 증대되며, 전국 각 유역별 호우특성이 다른 경우에 있어서는 각 유역별 적정 확률분포형이 달라질 수 있다는 문제점을 내포하며, 넷째, 매개변수적 빈도해석 방법은 최근의 확률가중모멘트법이나 L-모멘트법에서 여러 가지 매개변수 추정법의 단점을 보완하여 짧은 기록의 자료나 왜곡된 자료에 대한 신뢰도가 많이 보강되었음에도 불구하고 아직까지 bimodal 등의 복합분포를 갖는 확률밀도함수의 처리 등에 있어서 문제점을 내포하고 있다.

그러므로 이러한 어려움을 가지게 되는 매개변수적 방법에 비하여 어떤 분포형의 가정이 필요 없이 관측자료가 나타내는 분포형을 자료의 확률 밀도 함수로 간주하여 분포형 선택이나 다중 첨두의 문제점을 보완할 수 있는 비매개변수적 방법을 이용하여 확률 강수량을 산정하는 것이 실측 강수의 사상을 잘 반영하므로, 분포형에 따라 확률 강수량이 변하는 매개변수적 방법보다 본 연구의 목적에 적합 할 것으로 판단된다.

따라서 경향성과 변동성 분석 결과를 이용하여, 서울,

양평, 부산, 통영, 대구, 의성, 인천, 이천, 울산, 울진 지점의 여름강수량에 대해 비매개변수적 빈도해석을 수행하였다. 각각의 지점에서 변동점 전과 후 그리고 전 기간에 걸쳐 비매개변수적 빈도해석을 수행하여 재현기간 2년의 확률 강수량을 산정하여 Table 6과 같이 정리하였다.

Table 6과 같이, 재현 기간 2년의 확률 강수량을 산정하였다. 변동점 전과 후를 비교하였을 때, 모든 지점에서 강수량이 증가하였다. 다음 Fig. 8은 지점별로 변동점 전과 후의 확률 강수량을 전 기간의 확률 강수량으로 나누어, 강수량의 변화율을 분석하였다.

Fig. 8에서 도시화 지역인 서울, 부산, 대구, 인천, 울산의 여름 강수량 증가율이 비도시화 지역인 양평, 통영, 의성, 이천, 울진보다 큼을 알 수 있다. 또한, 평균적으로 도시화 지역에서의 여름 강수량은 30.82% 증가하였으며, 비도시화 지역에서는 21.7% 증가하였다. 따라서 도시화 지역이 비도시화 지역에 비해 약 9%의 여름 강수량이 더 증가하였다.

Table 6. Estimation of 2 year design rainfall by using summer seasonal rainfall

Station		Seoul	Busan	Daegu	Incheon	Ulsan
Design Rainfall (mm)	Before change	656.05	651.31	545.64	555.13	545.69
	after change	920.48	975.65	696.04	719.84	681.27
	Total period	768.70	721.41	580.21	628.71	599.12
Station		Yangpyeong	Tongyoung	Uiseong	Icheon	Uljin
Design Rainfall (mm)	Before change	672.10	631.29	533.89	664.79	400.75
	after change	806.96	887.78	643.74	786.59	473.30
	Total period	750.89	691.06	542.99	744.60	430.78

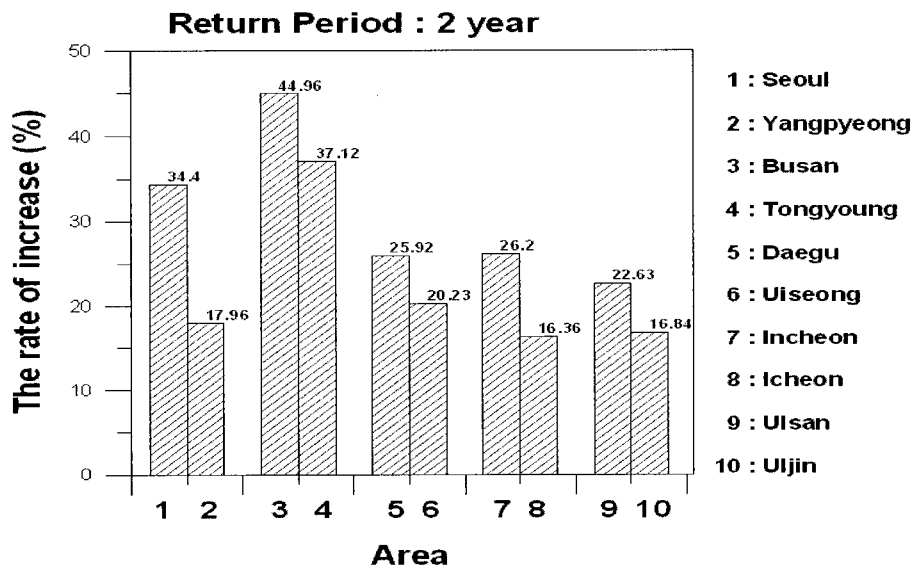


Fig. 8. Variation of 2 year design rainfall according to the changing point(%)

4. 결 론

1970년대 이후 우리나라에서는 인구의 도시집중과 경제개발 계획에 따른 산업의 고도화로 도시화가 심화되었다. 도시화에 따른 도시 지역에서 강수량의 특성은 여러 가지 원인에 의해 변화가 발생할 가능성이 있으나, 그 인과관계를 밝히는 일은 매우 어렵다.

따라서 본 연구에서는 도시 지역인 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산의 강수량을 비도시지역인 양평, 통영, 의성, 이천, 정읍, 금산, 울진의 강수량과 통계학적으로 비교·분석하였다. 비교 대상은 대상 지점의 1973년부터 2003년까지의 연강수량, 계절별(봄:3~5월, 여름:6~8월, 가을:9~11월, 겨울:12~이듬 해 2월) 강수량과 지속시간 1시간 및 24시간 연최대 강수량 자료를 추출하여 분석하였다. 추출한 강수량 자료를 분석한 방법은 기간에 따른 평균 비교, 경향성 분석, 변동성 분석 및 비매개변수적 빈도 해석을 수행하였다.

기간에 따른 평균 분석 결과, 연강수량과 계절별 강수량은 비교 대상 지점별로 변화 경향이 비슷하며, 특히 여름과 겨울 강수량 및 연 강수량은 도시지역의 증가율이 비도시 지역의 증가율을 상회하였다. 또한, 봄 강수량은 도시 및 비도시 지역에서 모두 감소하였으나, 비도시 지역의 감소율이 더 컸다. 그러나 가을 강수량은 도시 지역이 비도시 지역에 비해 많이 감소한 것으로 분석되었다. 지속시간 1시간 및 24시간 최대 강수량의 경우에는 도시 지역의 증가율이 비도시지역보다 큰 것으로 분석되었으나, 비교 대상별로 경향이 일치하지 않아 특별한 결론을 내리기 어렵다.

경향성 분석에서, 여름 강수량만이 14개 지점 중, 10개 지역이 경향성이 있는 것으로 분석되었다. 이는 최근의 기상 이변과 엘니뇨 등에 따른 강수량 증가와 무관하지 않을 것이다. 그러나 대상 지역이 전국적으로 분포해 있고, 도시 지역과 비도시 지역 모두 기후의 영향을 받으므로, 기상 이변 등에 의해 도시 지역만 영향을 받지는 않는다. 또한, 경향성 분석 결과에서 여름 강수량의 도시 지역 강수량 증가 경향이 비도시 지역 강수량의 증가 경향을 상회하였다.

변동성 분석 및 비매개변수적 빈도해석의 결과에서도 도시화 지역의 증가율이 비도시화 지역보다 큼을 알 수 있다. 특히, 확률 강수량을 산정하여 비교한 결과에서 도시화 지역에서의 여름 강수량은 30.82% 증가하였으며, 비도시화 지역에서는 21.7% 증가한 것으로 분석되어 도시화 지역이 비도시화 지역보다 약 9%의 여름 강수량이 더 증가하였다.

따라서 도시 지역의 강수량은 도시화의 영향을 받으며 특히 여름 강수량의 증가 경향이 뚜렷하다.

참 고 문 헌

- 통계청 (2002). 시도별 장래 인구 추계
- 이정식 (1980). "도시화에 의한 강수량변화에 대한 통계학적 해석", **한국수자원학회 학술대회지**, pp. 31-37.
- 조정호 (2001). "최근 기상변화와 서울시 관내 수공구조물의 설계기준에 관한 연구", 서울시립대학교 석사학위논문.
- 차영일 (2004). "다변량 핵밀도함수를 이용한 일강수량 모의발생에 관한 연구", 서울시립대학교 박사학위논문.
- 최영은 (1998). "미국 남부지방의 도시강수 특성에 관한 연구", **대한지리학회 학술대회지**, pp. 51-55.
- Hollander, M. and Wolfe, D. A. (1973). *Nonparametric Statistical Methods*, Wiley, New York.
- Kite, G.W. (1977). *Frequency and Risk Analysis in Hydrology*. Water Res. Publications, Fort Collins, CO.
- Lall, U., Moon, Y. I., and Bosworth, K. (1993). "Kernel flood frequency estimators: bandwidth selection and kernel choice", *Water Resources Research*, Vol. 29, No. 4, pp.1003-1015.
- Moon, Y. I., and Lall, U. (1994). "Kernel Quantile Function Estimator for Flood Frequency Analysis", *Water Resources Research*, Vol. 30, No. 11, pp. 3095-3103.
- Moon, Y. I., and Lall, U., and Bosworth, K. (1993). "A comparison of tail probability estimators", *Journal of Hydrology*, Vol. 151, pp. 343-363.
- Moon, Y. I., and Lall, U. (1994). "Kernel Quantile Function Estimator for Flood Frequency Analysis", *Water Resources Research*, Vol. 30, No. 11, pp. 3095-3103.
- Sheather, S. J. (1986). "An Improved Data-Based Algorithm for Choosing the Window Width when Estimating the Density at a Point", *Computational Statistics and Data Analysis*, Vol. 4, 61-65.
- Sheather, S. F., and Jones, M. C. (1991). "A reliable data-based band-width selection method for kernel density estimation", *J. Roy. Statistical Soc., B*, Vol. 53, pp. 683-690.
- Stuart G. Walesh (1989). *Urban surface water management*, John Wiley & Sons, Inc.
- Woodroffe, M. (1970). "On choosing a delta-sequence", *Ann. Math. Statist.*, Vol.41, pp. 1665-1671.

(논문번호:05-47/접수:2005.03.10/심사완료:2005.09.01)