

지리지형적 조건에 따른 강수량 추세 분포

Spatial Distribution of Precipitation Trends According to Geographical and Topographical Conditions

임 창 수*

Rim, Chang-Soo

Abstract

The spatial distribution of precipitation trends according to urbanization, geographical and topographical conditions have been studied. In this study, precipitation data from 1973 to 2006 were analyzed for 56 climatological stations including the Seoul metropolis in South Korea. In addition to annual average daily precipitation, monthly average daily precipitation in April, July, October and January were analyzed, considering seasonal effect. The geographical and topographical characteristics of these sites were examined using GIS analysis. Land use status of the study area was also examined to estimate the extent of urbanization. The study results indicate that annual average precipitation increased, and monthly average precipitation in April and October decreased, while those in January and July increased. Considering urbanization effect, annual average precipitation and monthly average precipitation in July increased; however, monthly average precipitation in January, April and October decreased. Furthermore, compared with urbanization rate and proximity to coast, average elevation of study area appeared to be the most close correlation with annual and monthly averages of precipitation trends.

keywords : Precipitation trend, Urbanization, Geographical and topographical effects

요 지

본 연구에서는 도시화나 지리지형적 특성에 따른 강수량의 분포와 추세를 분석하였다. 이를 위하여 서울을 포함하여 전국 56개 기후관측지점에서 1973년부터 2006년까지의 강수량 자료를 수집하여 분석을 실시하였다. 분석을 위하여 계절적 영향을 고려하여 1월, 4월, 7월 그리고 10월의 월평균 일별과 연평균 일별 강수량 추세를 분석하였다. 그리고 이들 연구지역에 대해서 GIS 분석을 이용하여 지리지형적 특성을 파악하였고, 도시화 정도를 파악하기 위하여 토지피복자료를 분석하였다. 연구결과 연평균 일별 강수량 추세는 대부분의 연구지역에서 증가하고 있으며, 4월과 10월의 강수량은 감소추세에 있고, 1월과 7월의 경우 증가추세에 있는 것으로 나타났다. 도시화 영향을 고려할 때, 강수량 변화는 연별이나 7월의 경우 증가추세를 보이나 1, 4, 10월 강수량의 경우 감소추세를 보였다. 또한 도시화율이나 해안 근접성과 비교하여 연구지역의 평균고도는 연평균 및 월평균 강수량 추세에 가장 중요한 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

핵심용어 : 강수추세, 도시화, 지리지형적 영향

* 청운대학교 철도행정토목학과 부교수

Associate Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Chungwoon University, Chungnam 350-701, Korea
(e-mail: csrim@chungwoon.ac.kr)

1. 서론

지구온난화 현상이 강수량 변화에 영향을 미칠 수 있으나, 최근 연구에 의하면 도시화와 같은 지리·지형적 특성변화 역시 강수현상에 심각한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다 (Hidalgo, 2004). 이러한 도시화에 따른 지리·지형적 특성변화는 특히 여름철 대류성 강수현상에 밀접한 영향을 미치고, 여름철 대류성 강수의 발생은 지표면의 토양수분이나 식생조건, 지형상태 등의 공간적 분포와 밀접한 상호관계를 가지고 있다. 지형이나, 지표 수분정도, 알베도 그리고 식생조건 등은 현열유동이나 잠열유동의 수직분포에 영향을 미치고, 또한 증발산 작용에 영향을 미쳐서 대기중의 수분량을 변화시키고 결국 대기권에서의 구름 형성에 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 이러한 도시화나 지리·지형적 특성이 강수량의 분포 및 추세에 미치는 상관성을 분석하고자 한다.

많은 연구자들은 도시화지역에서 현열유동과 잠열유동의 변화가 대류성 강수를 야기하는 구름형성에 영향을 미치고 있으며, 높은 빌딩에 기인한 도시지역의 상승기류 및 난류의 발생은 대류성 강수를 발생시키는 주요 원인이라고 보고한 바 있다 (Huff and Vogel, 1978; Vukovich and Dunn, 1978). 특히 잠열유동보다는 현열유동의 영향이 도시지역의 구름 형성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 보고하였다 (Ochs, 1975; Orville *et al.*, 1981). 도시화지역의 수분부족에 의한 현열유동의 증가는 열섬 현상을 초래하고 이러한 열섬현상은 중간규모 (mesoscale)의 대기순환과정에 영향을 미치고, 대류성 강수를 발생시키는 것으로 보고된 바 있다 (Dixon and Mote, 2003). Stulov(1993)에 의하면 여름철 도시화지역에서 열섬현상에 의한 대기불안정이 대류성 강수발생에 가장 중요한 역할을 하고, 반면에 전선성 강수의 경우 계속되는 구름발생으로 인하여 열섬현상이 저해되어 오히려 고층건물 등에 의하여 발생하는 상승기류 및 난류현상과 같은 동력학적 요인이 매우 중요하다고 발표한 바 있다. 이정택 등(1995)이 우리나라에서 수행한 연구 결과에 의하면 현열유동은 4월과 10월이 가장 크게 증가되었고, 7월이 가장 적었다. 이는 봄, 가을에 대기가 건조할 때는 현열유동의 증가율이 높고, 7월은 장마기로 대기가 습하여 보엔비가 낮으며, 복사된 에너지의 상당한 양이 잠열유동으로 쓰인다고 발표하였다.

지리·지형적 변화에 따른 현열유동과 잠열유동 그리고 공기동력학적 변화뿐만 아니라 도시지역에서 생성되는 에어로졸 역시 강수발생에 중요한 역할을 하는 것으로 보고된 바 있다 (Baik *et al.*, 2001; Shepherd, 2005;

Heever and Cotton, 2007). Khain *et al.* (2005)에 의하면 구름생성 과정에 에어로졸은 매우 중요한 역할을 하며, 에어로졸은 단일 구름 형성과정에서 강수발생 효과를 저감시키나, 뇌우를 동반한 집중호우를 야기하는 대류성 구름생성에 기여하는 것으로 보고하였다. 최근에는 도시화가 강수현상에 영향을 미친다는 연구결과가 발표된 바 있다 (Bornstein and Lin, 2000; Orville *et al.*, 2001; Dixon and Mote, 2003; Shepherd and Burian, 2003; Inoue and Kimura, 2004; Molders and Olson, 2004; Burian and Shepherd, 2005; Shepherd, 2005; 김광섭, 임태경, 2005). 또한 바다나 고도와 같은 지리 및 지형조건이 강수량에 미치는 연구도 수행된 바 있다 (Watanabe and Ogura, 1987; Weisse and Bois, 2000; Mosaedi *et al.*, 2007; 홍기욱 등, 2006; 천재호, 이승호, 2007).

과거 수행된 연구들에 대해서 검토한 결과 대부분의 경우 일부 한정된 지역의 관측자료를 이용하여 도시화에 따른 국지적인 강수량변화를 분석하거나, 혹은 구체적인 도시화나 지역특성 자료를 고려하지 않고 여러 지역에서의 기후변화에 따른 강수량 변화에 대하여 연구를 수행하였다. 하지만 도시화에 따른 강수량 변화는 지리 및 지형적 특성과도 밀접한 연관성을 가지고 있으며, 도시화가 강수량에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 다양하고 구체적인 지리 및 지형적 특성자료를 동시에 고려하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 다양한 지리 및 지형적 특성이 도시화과정과 함께 강수량 변화에 미치는 영향을 분석하기 위하여 지리 및 지형적 특성을 고려하여 한반도에 위치한 56개 연구지역을 선정하였으며, 이들 지역에 대해서 GIS분석을 실시하여 강수량 추세분포와 지리 및 지형적 특성과의 상관성을 분석하였다.

2. 연구지역 및 자료

연구 지역을 선정하기 위하여 강수량 자료의 가용성을 검증하고, 검증된 결과를 바탕으로 기후관측지점을 중심으로 반경 10 km 범위에서 56곳의 연구 지역을 선정하였다. 선정된 56개의 연구지역은 우리나라 한반도 전역에 걸쳐서 해안지역 및 내륙지역에 고르게 위치하고 있으며, 또한 연구지역의 지형특성이 평야, 산악, 호소 등에 고르게 분포하여 도시화에 따른 강수량 변화를 분석하는데 적절하리라 판단된다 (Fig. 1). 강수량자료의 경우 서울을 포함하여 전국 56개 기후관측지점에서 1973년부터 2006년까지의 강수량 자료를 수집하여 분석을 실시하였다. 또한 도시화 영향을 분석하기 위하여 6개 도시지역(서울, 대구, 광주, 부산, 목포, 제주)을 선정

하여 1940년부터 2006년까지의 강수량 자료를 이용하여 분석하였다.

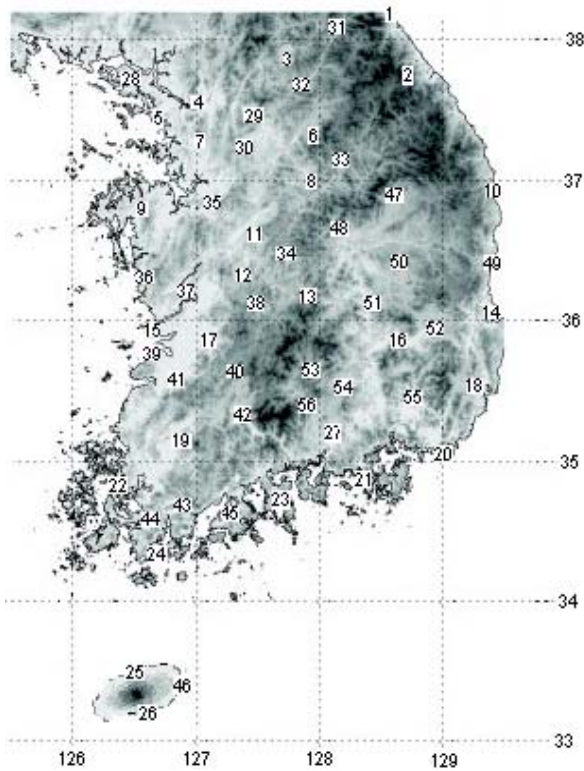


Fig. 1. The climatological stations for this study. Shadings represent topography on the Korean peninsula. Station numbers indicated in map refer to Table 1.

연구지역의 선정 및 분류를 위하여 국가수자원관리 종합정보시스템 (<http://www.wamis.go.kr>)에서 제공되고 있는 자료를 활용하여 2004년 수치표고자료에 대한 분석을 실시하였고, 1975년도부터 2000년도까지 6개 년도(1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000년)에 대한 토지피복도를 분석하였다. 1975년도 및 1980년도의 경우 Landsat MSS를 이용한 자료이며, 1985년도, 1990년도 및 1995년도의 경우 Landsat TM, 그리고 2000년도의 경우에는 Landsat ETM을 이용하여 분석된 자료이다. 연구 지역의 도시화정도를 판단하기 위하여 토지이용현황을 분석하였고, 56개 지역에 대해서 GIS분석을 이용하여 토지이용조건과 지역 평균고도자료 등을 분석한 결과를 바탕으로 연구지역을 분류하였다(Table 1).

3. 연구 방법

3.1 Mann-Kendall 추세분석

만일 x_j 와 x_k 를 관측점에서 측정된 j번째와 k번째 시기의 관측값이라 하고, $x_j - x_k$ 가 양(+)의 값을 갖는지

혹은 음(-)의 값을 갖는지에 따라서 $sgn(x_j - x_k)$ 을 1, 0, -1을 취하는 함수라고 한다면 다음 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다. 그리고 Mann-Kendall 통계치는 Eq. (2)로 구할 수 있으며, Eq. (2)는 양의 값을 갖는 수와 음의 값을 갖는 수의 차이를 나타낸다.

$$\begin{aligned} sgn(x_j - x_k) &= 1 & \text{if } x_j - x_k > 0 \\ &= 0 & \text{if } x_j - x_k = 0 \\ &= -1 & \text{if } x_j - x_k < 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j - x_k) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} VAR(S) & \quad (3) \\ &= \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \end{aligned}$$

여기서 q 는 동일한 값을 가지는 자료 수이고, t_p 는 p 번째 계열의 자료 수이다. 따라서 S 와 $VAR(S)$ 를 이용하여 다음 통계값 Z 를 산정할 수 있다.

$$\begin{aligned} Z &= \frac{S-1}{[VAR(S)]^{1/2}} & \text{if } S > 0 \\ &= 0 & \text{if } S = 0 \\ &= \frac{S+1}{[VAR(S)]^{1/2}} & \text{if } S < 0 \end{aligned} \quad (4)$$

따라서 만일 Z 값이 큰 양의 값을 갖는다면 이는 자료계열의 후반에 관측된 자료가 초반에 관측된 자료보다 더 크다는 것을 의미한다. 반대로 Z 값이 큰 음의 값을 갖는다면 이는 자료계열의 후반에 관측된 자료가 전반에 관측된 자료보다 작은 것을 의미한다. 따라서 만일 분석하고자 하는 자료가 상승추세라는 대립가설을 H_A 라 하고, 상승추세가 없다는 귀무가설 H_0 를 검증하고자 한다면 Z 값이 양의 값을 갖고 그리고 Z 값이 검증하고자 하는 유의수준에서의 Z 값보다 크다면 귀무가설 H_0 는 기각된다.

3.2 Sen 분석

만일 자료에 선형적인 추세가 존재한다면 단위시간당 변화(true slope)는 최소자승법을 적용하여 산정될 수 있다. 하지만, 자료의 오류로 인하여 이상적으로 크거나 혹은 작은 값이 포함되어 있다면 단위시간당 변화는 크게 다른 값을 산정할 것이다. 따라서 이러한 경우 Sen (1968)에 의해서 제안된 방법을 적용함으로써 단위시간당 변화를 산정할 수 있다. Sen (1968)에 의해서

Table 1. Geographical and Topographical Characteristics of 56 Study Stations

| Station (No.) | Lat. (N) | Long. (E) | Avg. elev. (m) | Geographical and topographical classification | | |
|-------------------|----------|-----------|----------------|---|---|------------------------------------|
| | | | | Geographical location | | Urbanization rate of year 2000 (%) |
| | | | | Coast or Inland | Inland area of study station (km ²) | |
| Sokcho (1) | 38°15' | 128°34' | 115.0 | ○ | 164.99 | 6.67 |
| Daegwallyeong (2) | 37°41' | 128°46' | 654.8 | ● | 314 | 0.34 |
| Chuncheon (3) | 37°54' | 127°44' | 212.5 | ● | 314 | 8.43 |
| Seoul (4) | 37°34' | 126°58' | 69.6 | ● | 314 | 59.40 |
| Incheon (5) | 37°28' | 126°38' | 26.3 | ○ | 193.09 | 52.70 |
| Wonju (6) | 37°20' | 127°57' | 295.3 | ● | 314 | 6.23 |
| Suwon (7) | 37°16' | 126°59' | 72.6 | ● | 314 | 23.70 |
| Chungju (8) | 36°58' | 127°57' | 182.3 | ● | 314 | 5.37 |
| Seosan (9) | 36°46' | 126°30' | 52.7 | ● | 314 | 7.51 |
| Ulsan (10) | 36°59' | 129°25' | 105.0 | ○ | 161.54 | 3.1 |
| Cheongju (11) | 36°38' | 127°27' | 83.2 | ● | 314 | 13.30 |
| Daejeon (12) | 36°22' | 127°22' | 112.8 | ● | 314 | 20.0 |
| Chupungnyeong(13) | 36°13' | 128°00' | 317.6 | ● | 314 | 0.52 |
| Pohang (14) | 36°02' | 129°23' | 51.2 | ○ | 233.80 | 14.20 |
| Gunsan (15) | 36°00' | 126°45' | 15.7 | ○ | 249.83 | 16.40 |
| Daegu (16) | 35°53' | 128°37' | 110.9 | ● | 314 | 25.60 |
| Jeonju (17) | 35°49' | 127°09' | 107.4 | ● | 314 | 10.50 |
| Ulsan (18) | 35°33' | 129°19' | 77.9 | ● | 314 | 12.20 |
| Gwangju (19) | 35°10' | 126°54' | 84.9 | ● | 314 | 22.20 |
| Busan (20) | 35°06' | 129°02' | 85.8 | ○ | 196.94 | 41.0 |
| Tongyeong (21) | 34°51' | 128°26' | 80.7 | ○ | 177.15 | 3.36 |
| Mokpo (22) | 34°49' | 126°23' | 23.9 | ○ | 174.44 | 17.10 |
| Yeosu (23) | 34°44' | 127°45' | 106.3 | ○ | 130.16 | 16.50 |
| Wando (24) | 34°24' | 126°43' | 91.7 | ○ | 185.85 | 5.14 |
| JeJu (25) | 33°31' | 126°32' | 177.2 | ○ | 166.38 | 21.0 |
| Seogwipo (26) | 33°15' | 126°34' | 270.1 | ○ | 162.79 | 11.80 |
| Jinju (27) | 35°12' | 128°07' | 72.4 | ● | 314 | 5.25 |
| Ganghwa (28) | 37°42' | 126°27' | 58.1 | ○ | 270.23 | 5.06 |
| Yangpyeong (29) | 37°29' | 127°30' | 204.0 | ● | 314 | 1.29 |
| Icheon (30) | 37°16' | 127°29' | 79.9 | ● | 314 | 5 |
| Inje (31) | 38°03' | 128°10' | 488.1 | ● | 314 | 1.69 |
| Hongcheon (32) | 37°41' | 127°53' | 284.5 | ● | 314 | 3.14 |
| Jecheon (33) | 37°09' | 128°12' | 365.3 | ● | 314 | 3.91 |
| Boeun (34) | 36°29' | 127°44' | 269.7 | ● | 314 | 2.88 |
| Cheonan (35) | 36°47' | 127°07' | 87.3 | ● | 314 | 6.94 |
| Boryeong (36) | 36°19' | 126°34' | 81.8 | ○ | 216.29 | 7.5 |
| Buyeo (37) | 36°16' | 126°55' | 43.8 | ● | 314 | 8 |
| Geumsan (38) | 36°06' | 127°29' | 253.8 | ● | 314 | 4.11 |
| Buan (39) | 35°44' | 126°43' | 20.6 | ○ | 284.16 | 7.4 |
| Imsil (40) | 35°37' | 127°17' | 271.4 | ● | 314 | 5.18 |
| Jeongeup (41) | 35°34' | 126°52' | 123.2 | ● | 314 | 4.22 |
| Namwon (42) | 35°24' | 127°20' | 166.2 | ● | 314 | 8.2 |
| Jangheung (43) | 34°41' | 126°55' | 153.7 | ● | 314 | 4.2 |
| Haenam (44) | 34°33' | 126°34' | 69.0 | ● | 314 | 2.93 |
| Goheung (45) | 34°37' | 127°17' | 81.3 | ○ | 239.92 | 5.93 |
| Seongsanpo (46) | 33°23' | 126°53' | 94.0 | ○ | 169.38 | 11.8 |
| Yeongju (47) | 36°52' | 128°31' | 458.1 | ● | 314 | 0.82 |
| Mungyeong (48) | 36°37' | 128°09' | 215.0 | ● | 314 | 1.31 |
| Yeongdeok (49) | 36°32' | 129°25' | 119.0 | ○ | 196.95 | 0.42 |
| Uiseong (50) | 36°21' | 128°41' | 178.2 | ● | 314 | 0.79 |
| Gumi (51) | 36°08' | 128°19' | 132.2 | ● | 314 | 5.32 |
| Yeongcheon (52) | 35°58' | 128°57' | 124.6 | ● | 314 | 1.28 |
| Geochang (53) | 35°40' | 127°55' | 363.8 | ● | 314 | 0.36 |
| Hapcheon (54) | 35°34' | 128°10' | 150.7 | ● | 314 | 0.44 |
| Miryang (55) | 35°29' | 128°45' | 137.2 | ● | 314 | 1.81 |
| Sancheong (56) | 35°25' | 127°53' | 368.9 | ● | 314 | 0.22 |

○: study station located near coast; ●: study station located at inland; Inland area of study station indicates the area located at inland as a proportion of the study area of 314km².

제한된 방법은 자료의 오류로 인하여 이상적으로 크거나 혹은 작은 값들에 영향을 받지 않고, 또한 자료가 부족한 경우에도 적용할 수 있다.

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{X_j - X_i}{j - i}\right) \quad i < j \quad (5)$$

여기서 X_j 와 X_i 는 관측점에서 측정된 j 번째와 i 번째 시기의 관측값이고, β 는 산정된 경사이다. 만일 강수량의 추세가 선형관계가 있다고 가정하면, 관측지점 k 에서 자료기간 T 동안의 총 강수량의 평균 증가나 감소량은 다음 Eq. (6)로부터 구할 수 있다.

$$B_k = T\beta \quad (6)$$

4. 분석결과

4.1 지역특성별 강수량 추세분석

Table 2는 56개 연구지역에서 1973년부터 2006년까지 Mann-Kendall 검측방법을 이용한 연 및 월별 강수량 변화추세를 보여주고 있으며, Sen 방법을 이용하여 1973년부터 2006년까지 34년간의 강수량 변화량을 보여주고 있다. 또한 Fig. 2는 56개 연구지역의 연별 강수량 변화추세 분포와 강수량 변화량 분포를 보여주고 있다. Mann-Kendall 추세분석 결과 연별 강수량은 대부분의 연구지역에서 증가추세를 보이고 있으며, 서울과 경기 지역 그리고 강원도지역을 중심으로 큰 증가추세를 보이고 있다. 반면에 전북지역을 중심으로 가장 미미한 증가추세를 보이고 있다. Sen 경사를 이용한 34년간의 강수량 증가량도 강원도 지역을 중심으로 가장 큰 증가를 보이고 있으며, 대관령지역의 경우 34년간의 강수량 증가량이 2.396 mm로 가장 큰 값을 보이고 있다. 대도시인 서울, 인천, 대전, 대구, 광주, 부산 등과 같은 대도시의 경우 각각 1.263, 0.917, 0.821, 0.580, 0.438, 0.719 mm의 강수량 증가량을 보이고 있다.

1월 강수량추세를 보면 대부분 지역에서 증가추세를 보이고 있다. 특히 강원도 북부지역을 중심으로 큰 증가추세를 보이고 있다. 가장 큰 강수량 증가량을 보인 울진지역의 경우 34년간의 1월 강수량 증가량은 1.043 mm를 보이고 있으며, 대도시인 서울, 인천, 대전, 대구, 광주, 부산 등과 같은 대도시의 경우 각각 0.078, 0.167, -0.077, 0.219, 0.152, 0.031 mm의 강수량 증가량을 보이고 있다.

4월 강수량추세를 보면 거의 대부분 지역에서 감소추세를 보이고 있다. 특히 진주, 거창, 함천, 밀양, 산청 등

과 경남지역, 인천, 강화 등 경기 서해안지역 그리고 장흥, 해남, 고흥 등 전남 남해안 지역 등에서 감소추세가 큰 것으로 나타났다. 가장 큰 강수량 감소량을 보인 진주 지역의 경우 34년간 -3.371 mm의 강수량 감소량을 보였다. 대도시인 서울, 인천, 대전, 대구, 광주, 부산 등과 같은 대도시의 경우 각각 -0.782, -1.312, -0.936, -1.440, -2.543, -1.587 mm의 강수량 감소를 보였다.

7월 강수량추세의 경우 대부분 지역에서 증가추세를 보이고 있다. 특히 강원도와 서울 경기지역에서 큰 증가추세를 보이고 있다. 가장 큰 강수량 증가량을 보인 제천의 경우 34년 동안 5.944 mm의 강수량 증가량을 보였다. 대도시인 서울, 인천, 대전, 대구, 광주, 부산 등과 같은 대도시의 경우 각각 5.060, 4.303, 2.974, 1.637, 3.119, 5.887 mm의 강수량 증가를 보였다.

10월 강수량추세의 경우 대부분 지역에서 감소추세를 보이고 있다. 특히 경상남북도 지역과 전남 해안지역에서 큰 감소추세를 보이고 있다. 가장 큰 강수량 감소량을 보인 광주지역의 경우 34년 동안 -1.596 mm의 강수량 감소를 보였다. 대도시인 서울, 인천, 대전, 대구, 광주, 부산 등과 같은 대도시의 경우 각각 0.326, 0.089, -0.804, -1.421, -1.596, -1.167 mm의 강수량 감소를 보였다.

Table 3은 권역별로 56개 연구지역에서 1973년부터 2006년까지 34년간의 평균 강수량 변화량을 Sen 방법을 이용하여 산정한 결과를 보여주고 있다. 표에서 보는 바와 같이 연별 강수량과 1월, 7월 강수량의 경우 대부분의 권역에서 증가한 반면에 4월과 10월에는 감소한 것을 알 수 있다. 연별 강수량의 경우 한강권역이 가장 큰 증가량(1.176mm)을 보이고 있으며, 1월의 경우 낙동강 동부권역이 가장 큰 증가량(0.629mm)을 보였다. 4월의 경우 영산강 남부권역이 가장 큰 강수량 감소량(-2.827mm)을 보였고, 7월의 경우 한강권역이 가장 큰 강수량 증가량(4.541mm)을 보였으며, 10월의 경우 태화강 권역이 가장 큰 강수량 감소량(-1.275mm)을 보였다.

Table 4는 도시화지역 중에서 장기간의 기후자료를 보유하고 있는 지역(서울, 대구, 광주, 부산, 목포, 제주)을 선정하여 1973년을 중심으로 1940년부터 1973년까지 그리고 1973년부터 2006년까지 각각 34년간 도시화에 따른 강수량 변화추세를 분석하였다. 연별 강수량 변화추세를 분석한 결과에 의하면 도시화가 진행됨에 따라서 제주를 제외한 모든 지역에서 강수량 증가추세를 보였고, 광주를 제외한 서울, 대구, 부산, 목포, 제주지역에서 1973년 이후 기간이 이전 기간보다 더 큰 강수량 증가추세를 보였다. 특히 서울과 대구지역의 경우 1973년부터 2006년까지 유의수준 $\alpha = 0.1$ 에서 유의한 증가

Table 2. Annual and Monthly Precipitation Trends (Mann-Kendall Z-score and magnitude of trend)

| Station (No.) | Mann-Kendall (Z-score) | | | | | Magnitude of trend (mm/34years) | | | | |
|-------------------|------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | Year | Jan. | Apr. | Jul. | Oct. | Year | Jan. | Apr. | Jul. | Oct. |
| Sokcho (1) | 1.749 | 0.088 | -0.415 | 0.978 | -0.163 | 0.901 | 0.112 | -0.357 | 2.358 | -0.128 |
| Daegwallyeong (2) | 3.528 | 1.008 | -0.088 | 1.749 | 0.252 | 2.396 | 0.829 | -0.207 | 4.774 | 0.607 |
| Chuncheon (3) | 2.105 | 0.875 | -0.489 | 1.601 | 0.385 | 0.856 | 0.132 | -0.476 | 5.726 | -0.707 |
| Seoul (4) | 3.261 | 0.207 | -0.681 | 1.867 | 0.622 | 1.263 | 0.078 | -0.782 | 5.060 | 0.326 |
| Incheon (5) | 2.816 | 0.889 | -1.408 | 1.452 | 0.059 | 0.917 | 0.167 | -1.312 | 4.303 | 0.089 |
| Wonju (6) | 2.209 | 1.393 | -1.023 | 0.77 | -0.296 | 0.904 | 0.821 | -0.945 | 2.788 | -0.126 |
| Suwon (7) | 2.253 | 0.548 | -1.215 | 1.689 | -0.074 | 0.726 | 0.122 | -1.428 | 4.057 | -0.029 |
| Chungju (8) | 2.194 | 0.341 | -0.296 | 1.571 | -0.014 | 0.910 | 0.075 | -0.514 | 4.171 | -0.029 |
| Seosan (9) | 1.719 | 0.622 | -1.334 | 0.919 | -1.734 | 0.690 | 0.168 | -1.641 | 2.849 | -0.932 |
| Uljin (10) | 1.719 | 1.185 | -1.171 | 1.452 | -1.037 | 0.878 | 1.043 | -1.160 | 3.112 | -1.093 |
| Cheongju (11) | 1.601 | -0.281 | -0.592 | 0.8 | -0.667 | 0.684 | -0.088 | -0.762 | 2.116 | -0.404 |
| Daejeon (12) | 1.393 | -0.252 | -0.77 | 0.859 | -0.859 | 0.821 | -0.077 | -0.936 | 2.974 | -0.804 |
| Chupungnyeong(13) | 1.423 | 0.074 | -1.126 | 1.126 | -1.097 | 0.572 | 0.032 | -1.266 | 2.952 | -0.728 |
| Pohang (14) | 1.274 | 0.444 | -1.067 | 1.245 | -2.179 | 0.667 | 0.227 | -1.235 | 2.601 | -1.578 |
| Gunsan (15) | 0.993 | 1.215 | -1.185 | 0.415 | -0.504 | 0.515 | 0.275 | -1.602 | 1.644 | -0.439 |
| Daegu (16) | 1.334 | 0.622 | -1.719 | 0.8 | -2.06 | 0.580 | 0.219 | -1.440 | 1.637 | -1.421 |
| Jeonju (17) | 1.171 | 0.459 | -1.304 | 1.274 | -1.245 | 0.551 | 0.196 | -0.092 | 3.556 | -1.081 |
| Ulsan (18) | 0.711 | 0.103 | -2.253 | 1.274 | -1.512 | 0.362 | 0.048 | -2.182 | 3.285 | -1.275 |
| Gwangju (19) | 0.859 | 0.281 | -1.719 | 0.83 | -1.749 | 0.438 | 0.152 | -2.543 | 3.119 | -1.596 |
| Busan (20) | 1.185 | 0.133 | -1.067 | 2.016 | -1.423 | 0.719 | 0.031 | -1.587 | 5.887 | -1.167 |
| Tongyeong (21) | 1.097 | 0.622 | -1.156 | 0.948 | -0.845 | 0.629 | 0.347 | -2.391 | 3.279 | -0.525 |
| Mokpo (22) | 1.26 | 1.334 | -1.778 | 1.63 | -1.616 | 0.600 | 0.476 | -1.673 | 3.453 | -1.392 |
| Yeosu (23) | 1.185 | 1.185 | -0.83 | 1.097 | -1.349 | 0.549 | 0.412 | -1.190 | 2.700 | -0.791 |
| Wando (24) | 0.948 | 1.26 | -0.504 | 0.889 | -0.77 | 0.725 | 0.523 | -0.708 | 2.815 | -0.874 |
| JeJu (25) | 0.237 | 0 | -1.512 | 0.029 | -1.067 | 0.162 | 0.027 | -1.360 | 0.028 | -1.145 |
| Seogwipo (26) | 1.215 | 1.185 | -1.778 | 0.592 | 0 | 0.544 | 0.903 | -1.673 | 2.475 | 0.000 |
| Jinju (27) | 0.652 | 0.83 | -2.045 | 1.185 | -1.808 | 0.436 | 0.309 | -3.371 | 3.823 | -1.530 |
| Ganghwa (28) | 0.741 | 0.771 | -1.438 | 1.364 | -0.296 | 0.288 | 0.205 | -2.053 | 2.909 | -0.146 |
| Yangpyeong (29) | 2.342 | 0.37 | -0.681 | 1.452 | 0.014 | 1.088 | 0.098 | -0.958 | 4.666 | 0.045 |
| Icheon (30) | 1.423 | 0.074 | -0.889 | 1.008 | -0.474 | 0.460 | 0.014 | -1.428 | 2.961 | -0.213 |
| Inje (31) | 2.282 | 1.587 | -0.029 | 1.66 | 0.696 | 1.155 | 0.282 | -0.018 | 4.095 | 0.278 |
| Hongcheon (32) | 2.609 | 0.192 | -0.207 | 1.867 | 0.548 | 1.421 | 0.037 | -0.347 | 5.224 | 0.332 |
| Jecheon (33) | 2.698 | -0.207 | -0.296 | 1.927 | 0.014 | 1.310 | -0.054 | -0.269 | 5.944 | 0.026 |
| Boeun (34) | 1.66 | 0.652 | -0.355 | 1.185 | -0.711 | 0.910 | 0.204 | -0.559 | 3.655 | -0.380 |
| Cheonan (35) | 1.215 | -0.163 | -1.274 | 0.429 | -1.126 | 0.496 | -0.017 | -1.603 | 0.921 | -0.719 |
| Boryeong (36) | 0.548 | 0.237 | -1.126 | 0.355 | -0.607 | 0.274 | 0.073 | -1.214 | 0.690 | -0.364 |
| Buyeo (37) | 1.423 | 0.474 | -1.008 | 0.919 | -0.756 | 0.646 | 0.155 | -1.347 | 3.278 | -0.476 |
| Geumsan (38) | 1.512 | 0.785 | -0.741 | 1.156 | -0.652 | 0.640 | 0.211 | -0.666 | 3.080 | -0.442 |
| Buan (39) | -0.118 | 0.563 | -1.423 | 0.800 | -0.652 | -0.122 | 0.102 | -1.821 | 1.957 | -0.671 |
| Imsil (40) | 0.800 | -0.118 | -1.689 | 1.215 | -1.882 | 0.420 | -0.018 | -2.312 | 2.716 | -1.425 |
| Jeongeup (41) | 0.385 | -0.385 | -1.393 | 0.8 | -0.741 | 0.288 | -0.126 | -1.608 | 2.058 | -0.867 |
| Namwon (42) | 1.097 | 0.563 | -1.482 | 0.8 | -2.075 | 0.597 | 0.217 | -1.998 | 3.111 | -1.559 |
| Jangheung (43) | 0.741 | 0.237 | -1.571 | 1.126 | -1.571 | 0.598 | 0.082 | -2.324 | 2.788 | -1.274 |
| Haenam (44) | 0.059 | 1.082 | -2.134 | 1.467 | -1.571 | 0.099 | 0.363 | -2.827 | 2.676 | -0.837 |
| Goheung (45) | -0.059 | 0 | -1.66 | -0.148 | -1.438 | -0.068 | 0.000 | -2.434 | -0.530 | -1.032 |
| Seongsanpo (46) | 1.63 | 0.296 | -0.163 | 0.504 | -0.148 | 1.114 | 0.251 | -0.272 | 1.974 | -0.179 |
| Yeongju (47) | 2.609 | 1.082 | 0 | 1.719 | -0.474 | 1.291 | 0.296 | 0.013 | 4.573 | -0.273 |
| Mungyeong (48) | 2.194 | 0.667 | -0.607 | 1.245 | -2.52 | 0.998 | 0.187 | -0.732 | 4.359 | -0.165 |
| Yeongdeok (49) | 1.719 | 0.948 | -0.756 | 1.793 | -0.83 | 0.642 | 0.617 | -0.704 | 3.394 | -0.741 |
| Uiseong (50) | 1.482 | 0.845 | -0.756 | 0.83 | -1.764 | 0.732 | 0.201 | -0.703 | 2.221 | -0.987 |
| Gumi (51) | 1.927 | 1.304 | -0.593 | 0.919 | -1.319 | 0.816 | 0.316 | -0.680 | 2.170 | -0.878 |
| Yeongcheon (52) | 1.571 | 0 | -1.082 | 1.037 | -1.912 | 0.623 | 0.000 | -1.056 | 2.523 | -1.224 |
| Geochang (53) | 1.482 | 1.23 | -1.408 | 1.334 | -1.749 | 1.090 | 0.348 | -1.297 | 4.097 | -1.421 |
| Hapcheon (54) | 0.919 | 0.919 | -2.579 | 0.726 | -1.971 | 0.536 | 0.190 | -2.620 | 2.794 | -1.360 |
| Miryang (55) | 0.652 | 0.845 | -2.194 | 1.156 | -1.66 | 0.424 | 0.219 | -2.663 | 2.810 | -1.076 |
| Sancheong (56) | 1.512 | 1.304 | -1.853 | 1.111 | -1.764 | 1.183 | 0.400 | -2.563 | 4.232 | -1.369 |

* Numbers in bold indicate significant upward trend (+) or downward trend (-) at the 0.1 level of significance.

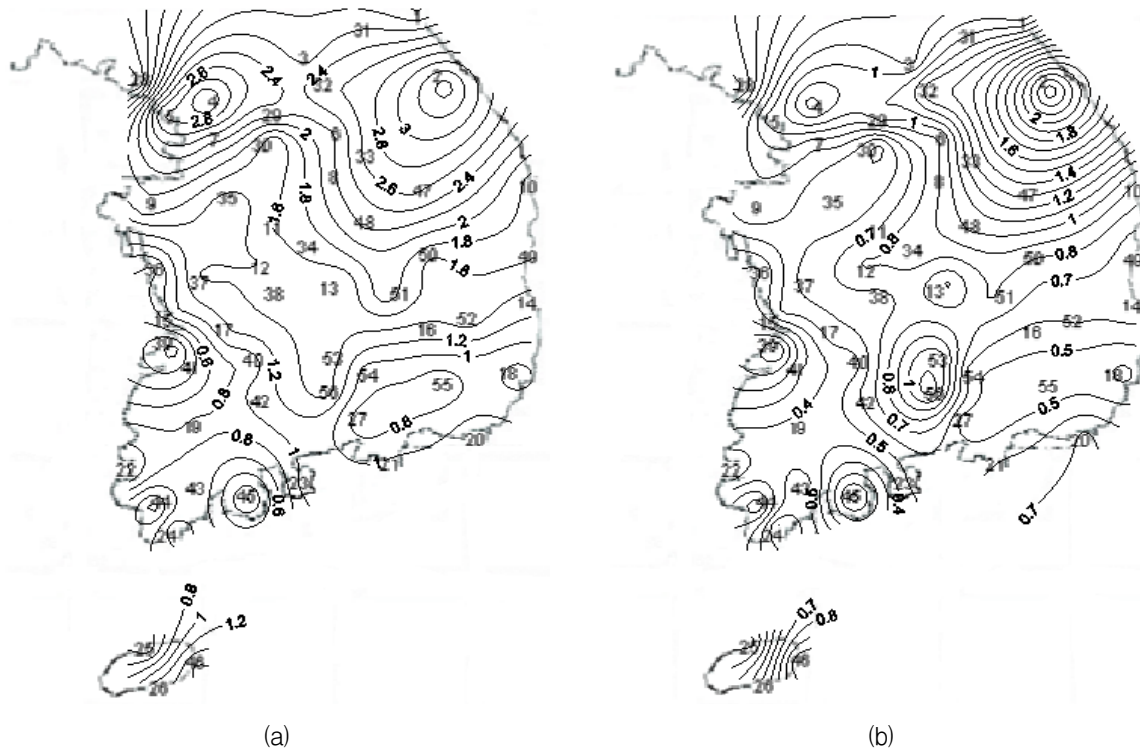


Fig. 2. Spatial Distribution of Long-term Trend of Annual Precipitation
 (a) Mann-Kendall Z-score; (b) Magnitude of Trend (mm)

Table 3. Annual and Monthly Precipitation Trends According to Region (Average magnitude of trend)

| Region | Station No. | Average Magnitude of trend (mm/34years) | | | | |
|------------------------------|--|---|--------|--------|-------|--------|
| | | Year | Jan. | Apr. | Jul. | Oct. |
| Han River | 2, 3, 4, 6, 8, 29, 30, 31, 32, 33 | 1.176 | 0.231 | -0.594 | 4.541 | 0.054 |
| Ansung Stream | 7 | 0.726 | 0.122 | -1.428 | 4.057 | -0.029 |
| The west of Han River | 5, 28 | 0.603 | 0.186 | -1.683 | 3.606 | -0.029 |
| The east of Han River | 1 | 0.901 | 0.112 | -0.357 | 2.358 | -0.128 |
| Nakdong River | 16, 27, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56 | 0.792 | 0.244 | -1.556 | 3.204 | -1.064 |
| Taewha River | 18 | 0.362 | 0.048 | -2.182 | 3.285 | -1.275 |
| Hoeya and Suyong Streams | 20 | 0.719 | 0.031 | -1.587 | 5.887 | -1.167 |
| The east of Nakdong River | 10, 14, 49 | 0.729 | 0.629 | -1.033 | 3.036 | -1.137 |
| The south of Nakdong River | 21 | 0.629 | 0.347 | -2.391 | 3.279 | -0.525 |
| Geum River | 11, 12, 13, 34, 37, 38, | 0.712 | 0.073 | -0.923 | 3.009 | -0.539 |
| Sapgyo Stream | 35 | 0.496 | -0.017 | -1.603 | 0.921 | -0.719 |
| The west of Geum River | 9, 36 | 0.482 | 0.121 | -1.428 | 1.770 | -0.648 |
| Mangyeong and Dongjin Rivers | 15, 17, 39, 41 | 0.308 | 0.112 | -1.281 | 2.304 | -0.765 |
| Sumjin River | 40, 42 | 0.509 | 0.100 | -2.155 | 2.914 | -1.492 |
| The south of Sumjin River | 23, 24, 45 | 0.402 | 0.312 | -1.444 | 1.662 | -0.899 |
| Youngsan River | 19 | 0.438 | 0.152 | -2.543 | 3.119 | -1.596 |
| Tamjin River | 43 | 0.598 | 0.082 | -2.324 | 2.788 | -1.274 |
| The south of Youngsan River | 44 | 0.099 | 0.363 | -2.827 | 2.676 | -0.837 |
| The west of Youngsan River | 22 | 0.600 | 0.476 | -1.673 | 3.453 | -1.392 |
| Jeju | 25, 26, 46 | 0.607 | 0.394 | -1.102 | 1.492 | -0.441 |

Table 4. Annual and Monthly Precipitation Trends (Mann-Kendall Z-score)

| Station (No.) | 1940-1973 | | | | | 1973-2006 | | | | | 1940-2006 | | | | |
|------------------|-----------|--------------|--------------|--------|--------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| | Year | Jan. | Apr. | Jul. | Oct. | Year | Jan. | Apr. | Jul. | Oct. | Year | Jan. | Apr. | Jul. | Oct. |
| Seoul (4) | 0.963 | 1.320 | 0.642 | 0.731 | 0.053 | 3.261 | 0.207 | -0.681 | 1.867 | 0.622 | 1.067 | 0.836 | 0.450 | 0.338 | -0.551 |
| Daegu (16) | 0.756 | 1.438 | 1.363 | 1.126 | 0.118 | 1.334 | 0.622 | -1.719 | 0.8 | -2.06 | 1.834 | 1.082 | 0.497 | 0.487 | -0.768 |
| Gwangju (19) | 1.008 | 1.260 | 2.298 | 0.978 | -0.415 | 0.859 | 0.281 | -1.719 | 0.83 | -1.749 | 1.948 | 0.687 | 0.303 | 1.618 | -0.757 |
| Busan (20) | 0.592 | 2.268 | 2.075 | 0.355 | -0.444 | 1.185 | 0.133 | -1.067 | 2.016 | -1.423 | 1.515 | 2.716 | 1.320 | 1.645 | -1.103 |
| Mokpo (22) | 0.000 | 0.815 | 2.401 | 0.681 | -0.948 | 1.26 | 1.334 | -1.778 | 1.63 | -1.616 | 0.811 | 0.481 | -0.849 | 1.747 | -0.925 |
| Jeju (25) | -0.222 | 2.075 | 2.298 | -0.533 | -0.948 | 0.237 | 0 | -1.512 | 0.029 | -1.067 | -0.048 | 0.367 | -0.254 | -0.248 | -0.919 |

* Numbers in bold indicate significant upward trend (+) or downward trend (-) at the 0.1 level of significance.

추세를 보인 반면, 1940년부터 2006년까지는 대구, 광주, 부산지역에서 유의수준 $\alpha = 0.1$ 에서 유의한 증가추세를 보이고 있다.

1월 강수량추세 분석결과에 의하면 모든 지역에서 도시화가 진행됨에 따라서 강수량은 증가추세를 보이고, 목포를 제외하고 1940년부터 1973년까지의 강수량 증가추세가 더 큰 것으로 나타났다. 1940년부터 2006년까지 강수량 증가추세는 부산지역만이 유의수준 $\alpha = 0.1$ 에서 유의한 것으로 나타났다. 4월 강수량 변화추세 분석결과에 의하면 1973년 이전 강수량 변화는 증가추세를 보였고, 서울을 제외하고 유의한 증가추세를 보이고 있다. 반면에 1973년 이후부터는 강수량 감소추세를 보였고, 서울과 부산을 제외하고 유의한 감소추세를 보이고 있다. 1940년부터 2006년까지 강수량 변화는 서울, 대구, 광주, 부산이 증가추세 그리고 목포와 제주가 감소추세를 보이고 있다. 7월 강수량 변화추세 분석결과에 의하면 1973년 이전 강수량 변화는 제주를 제외하고 증가추세에 보였지만 유의성은 보이지 않았고, 1973년 이후에는 서울, 부산, 목포에서 유의한 증가추세를 보였다. 1940년부터 2006년까지는 제주를 제외하고 증가추세를 보였고, 특히 광주, 부산, 목포의 경우 유의한 수준에서 증가추세를 보였다. 10월의 강수량 변화추세 분석결과에 의하면 서울을 제외하고 1973년 이전보다 1973년 이후 강수량 감소추세가 더 크게 나타났으며, 1940년부터 2006년까지 강수량 변화는 감소추세를 보였다.

Table 5는 1973년을 중심으로 1940년부터 1973년까지 그리고 1973년부터 2006년까지 각각 34년간의 강수량 변화를 분석하였다. 6개 도시지역의 34년간 연 강수량 변화의 평균을 분석한 결과 1973년 이전의 경우

0.289mm의 강수량 증가를 보인 반면 1973년 이후에는 0.627mm의 강수량 증가를 보여서 1973년을 전후로 하여 강수량이 증가한 것으로 나타났다. 1월의 경우 1973년 이전이 0.663mm이나 1973년 이후 0.164mm로 나타나서 강수량이 크게 감소한 것으로 나타났다. 4월의 경우 1973년 이전은 1.607mm, 73년 이후는 -1.564mm를 보여서 강수량이 크게 감소한 것으로 나타났다. 7월의 경우 73년 이전이 1.526mm이나 1973년 이후 3.197mm를 보여서 강수량이 크게 증가한 것으로 나타났다. 10월의 경우 1973년 이전이 -0.310mm이나 1973년 이후 -1.066mm로 나타나서 강수량이 크게 감소한 것으로 나타났다. 따라서 도시화에 따른 강수량 변화는 연별이나 7월의 경우 증가추세를 보이나 1, 4, 10월의 경우 감소추세를 보였다. 지역별로는 광주를 제외하고 1973년을 전후로 연별 강수량 증가를 보이고, 1월의 경우 목포를 제외하고 강수량 감소를 보였다. 4월의 경우 모든 지역에서 강수량 감소를 보였다. 7월의 경우 대구를 제외하면 다른 모든 지역들에서 강수량 증가를 보였고, 10월의 경우 서울을 제외한 다른 모든 지역들에서 강수량 감소를 보였다.

4.2 강수량과 지역특성 상관성 분석

Table 6은 연 및 월별 강수량의 변화추세와 연구지역의 지리 지형적 특성(평균고도, 도시화 정도, 해안근접성)과의 상관성을 분석하였고, 또한 1973년부터 2006년까지 34년간의 강수량 변화와 이들 지리 지형적 특성과의 상관성을 분석하였다. 이를 위하여 연 및 월별 강수량 변화추세를 종속변수로 하고 연구지역의 평균고도, 도시화율 그리고 해안근접성을 독립변수로 하여 회귀분석을 실시하였다.

Table 5. Annual and Monthly Precipitation Trends (magnitude of trend)

| Station (No.) | 1940-1973 (mm/34years) | | | | | 1973-2006 (mm/34years) | | | | | 1940-2006 (mm/67years) | | | | |
|---------------|------------------------|-------|-------|--------|--------|------------------------|-------|--------|-------|--------|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | Year | Jan. | Apr. | Jul. | Oct. | Year | Jan. | Apr. | Jul. | Oct. | Year | Jan | Apr. | Jul. | Oct. |
| Seoul (4) | 0.823 | 0.476 | 0.984 | 2.664 | 0.068 | 1.263 | 0.078 | -0.782 | 5.060 | 0.326 | 0.431 | 0.156 | 0.327 | 1.037 | -0.216 |
| Daegu (16) | 0.274 | 0.493 | 0.827 | 1.755 | 0.081 | 0.580 | 0.219 | -1.440 | 1.637 | -1.421 | 0.559 | 0.204 | 0.273 | 0.721 | -0.306 |
| Gwangju (19) | 0.544 | 0.587 | 1.836 | 3.038 | -0.249 | 0.438 | 0.152 | -2.543 | 3.119 | -1.596 | 0.809 | 0.191 | 0.210 | 3.330 | -0.312 |
| Busan (20) | 0.285 | 0.667 | 2.530 | 1.070 | -0.527 | 0.719 | 0.031 | -1.587 | 5.887 | -1.167 | 0.609 | 0.811 | 1.157 | 3.190 | -0.665 |
| Mokpo (22) | 0.022 | 0.377 | 1.539 | 1.719 | -0.638 | 0.600 | 0.476 | -1.673 | 3.453 | -1.392 | 0.277 | -0.111 | -0.506 | 2.871 | -0.434 |
| Jeju (25) | -0.212 | 1.378 | 1.924 | -1.088 | -0.593 | 0.162 | 0.027 | -1.360 | 0.028 | -1.145 | -0.034 | 0.176 | -0.153 | -0.649 | -0.518 |
| Average | 0.289 | 0.663 | 1.607 | 1.526 | -0.310 | 0.627 | 0.164 | -1.564 | 3.197 | -1.066 | 0.442 | 0.238 | 0.218 | 1.750 | -0.409 |

분석결과에 의하면 연별 강수량의 경우 평균고도가 표준화 계수 $\beta=0.656$ 을 보여서 도시화율($\beta=0.462$)이나, 해안근접성($\beta=0.086$)과 비교하여 강수량 추세에 더 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 1월의 경우 평균고도($\beta=0.288$)가 강수량 추세에 가장 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났고, 해안근접성의 경우 $\beta=-0.284$, 도시화율의 경우 $\beta=-0.113$ 을 보였다. 4월의 경우 평균고도, 도시화율, 해안근접성은 각각 0.476, 0.077, -0.145를 보여서 평균고도가 가장 중요한 변수인 것으로 나타났다. 7월의 경우 평균고도, 도시화율, 해안근접성은 각각 0.389, 0.154, 0.075를 보여서 평균고도가 가장 중요한 변수임을 알 수 있다. 10월의 경우 평균고도, 도시화율, 해안근접성은 각각 0.429, 0.306, -0.142를 보여서 평균고도가 가장 중요한 변수임을 알 수 있다. 따라서 평균고도가 도시화율이나 해안 근접성과 비교하여 연 및 월별 강수량 추세에 가장 중요한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

연별 강수량추세와 평균고도와 상관분석 결과 0.499의 상관계수를 보이나, 도시화율이나 해안근접성 영향을 통제하는 경우 0.611의 상관계수를 보여서 상관성이 더 커지는 것으로 나타났으며, 월별 강수량추세와 평균고도의 경우도 다른 변수의 영향을 통제하는 경우 상관성이 더 커지는 것으로 나타났다. 분석결과 연별 강수량추세에 대한 회귀식과 4월과 10월의 월별 강수량추세에 대한 회귀식의 경우 유의수준 $\alpha=0.05$ (양측검증)에서 유의한 것으로 나타났다.

Sen 경사를 이용하여 34년간의 강수량 변화를 종속

변수로 하고 연구지역의 평균고도, 도시화율 그리고 해안근접성을 독립변수로 하여 회귀분석을 실시하였다. 분석결과에 의하면 34년간의 연별 강수량 변화는 평균고도가 표준화 계수 $\beta=0.810$ 을 보여서 도시화율($\beta=0.305$)이나, 해안근접성($\beta=-0.025$)과 비교하여 강수량 추세에 더 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 1월의 경우 평균고도, 도시화율, 해안근접성의 표준화 계수(β)는 각각 0.363, -0.158, -0.524를 보여서 해안근접성이 평균고도나 도시화율보다 중요한 변수인 것으로 나타났다. 4월의 경우 평균고도, 도시화율, 해안근접성의 표준화 계수(β)는 각각 0.498, 0.152, -0.143을 보여서 평균고도가 가장 중요한 변수인 것으로 나타났다. 7월의 경우 평균고도, 도시화율, 해안근접성의 표준화 계수(β)는 각각 0.474, 0.224, 0.143을 보여서 평균고도가 가장 중요한 변수인 것으로 나타났다. 10월의 경우 평균고도, 도시화율, 해안근접성의 표준화 계수(β)는 각각 0.448, 0.238, -0.083을 보여서 평균고도가 가장 중요한 변수인 것으로 나타났다.

34년간의 연별 강수량 변화와 평균고도 사이의 상관성을 분석한 결과 0.681의 상관계수를 보이나, 도시화율이나 해안근접성의 영향을 통제하는 경우 0.731의 상관계수를 보여서 상관성이 더 커지는 것으로 나타났으며, 월별 강수량 변화와 평균고도의 경우도 다른 변수의 영향을 통제하는 경우 상관성이 더 커지는 것으로 나타났다. 분석결과 34년간의 연별 및 월별 강수량 변화에 대한 회귀식 모두 유의수준 $\alpha=0.05$ (양측검증)에서 유의한 것으로 나타났다.

Table 6. Relationship Between Precipitation, and Urbanization, Geographical and Topographical Conditions

| Regression equation | R | F (Sig) | Avg. elevation (X1) | | | | Urbanization rate (X2) | | | | Proximity to coast (X3) | | | |
|--|-------|----------------------------|---------------------|--------------|-------|-------|------------------------|--------------|--------|--------|-------------------------|--------------|--------|--------|
| | | | β | Sig | R | | β | Sig | R | | β | Sig | R | |
| | | | | | Z | PT | | | Z | PT | | | Z | PT |
| Y1=0.200 +0.003968X1 +0.03019X2 +0.001129X3 | 0.653 | 12.859 (0.000) | 0.656 | 0.000 | 0.499 | 0.611 | 0.462 | 0.000 | 0.181 | 0.485 | 0.086 | 0.445 | 0.173 | 0.106 |
| Y2= 1.116 +0.001102X1 -0.00474X2 -0.00242X3 | 0.364 | 2.645 (0.059) | 0.281 | 0.058 | 0.239 | 0.260 | -0.112 | 0.435 | -0.154 | -0.109 | -0.283 | 0.044 | -0.170 | -0.276 |
| Y3=-1.098 +0.002250X1 +0.003926X2 -0.00149X3 | 0.433 | 4.002 (0.012) | 0.476 | 0.001 | 0.401 | 0.426 | 0.077 | 0.578 | -0.076 | 0.077 | -0.145 | 0.281 | -0.018 | -0.149 |
| Y4=0.668 +0.001373X1 +0.005884X2 +0.0005734X3 | 0.381 | 2.944 (0.041) | 0.389 | 0.009 | 0.351 | 0.351 | 0.154 | 0.279 | -0.018 | 0.150 | 0.075 | 0.585 | 0.156 | 0.076 |
| Y5=-1.032 +0.002666X1 +0.02057X2 -0.00192X3 | 0.422 | 3.747 (0.016) | 0.429 | 0.004 | 0.264 | 0.389 | 0.306 | 0.031 | 0.171 | 0.294 | -0.142 | 0.292 | -0.086 | -0.146 |
| Y6=0.252 +0.002517X1 +0.01024X2 -0.000169X3 | 0.738 | 20.782 (0.000) | 0.810 | 0.000 | 0.681 | 0.731 | 0.305 | 0.005 | -0.010 | 0.381 | -0.025 | 0.802 | 0.148 | -0.035 |
| Y7=0.739 +0.0006820X1 -0.00322X2 -0.00216X3 | 0.564 | 8.090 (0.000) | 0.360 | 0.007 | 0.262 | 0.363 | -0.157 | 0.217 | -0.172 | -0.171 | -0.524 | 0.000 | -0.375 | -0.513 |
| Y8=-1.388 +0.003103X1 +0.001026X2 -0.00193X3 | 0.445 | 4.288 (0.009) | 0.498 | 0.001 | 0.394 | 0.444 | 0.152 | 0.270 | -0.010 | 0.153 | -0.143 | 0.284 | -0.028 | -0.148 |
| Y9=1.233 +0.004705X1 +0.02401X2 +0.003084X3 | 0.487 | 5.378 (0.003) | 0.474 | 0.001 | 0.429 | 0.436 | 0.224 | 0.099 | 0.001 | 0.227 | 0.143 | 0.272 | 0.233 | 0.152 |
| Y10=-0.894 +0.002005X1 +0.01151X2 -0.000811X3 | 0.409 | 3.474 (0.022) | 0.448 | 0.003 | 0.328 | 0.402 | 0.238 | 0.093 | 0.081 | 0.231 | -0.083 | 0.537 | -0.005 | -0.086 |

* Numbers in bold indicate significant trend at the 0.05 level of significance (two-tailed test); R: correlation coefficient; Y1: annual precipitation trend; Y2: January precipitation trend; Y3: April precipitation trend; Y4: July precipitation trend; Y5: October precipitation trend; Y6: magnitude of annual precipitation trend; Y7: magnitude of January precipitation trend; Y8: magnitude of April precipitation trend; Y9: magnitude of July precipitation trend; Y10: magnitude of October precipitation trend; Sig. level of significance; β: standardized coefficient; Z: zero-order correlation; PT: partial correlation

5. 결론

본 연구에서는 지리형태적 특성에 따른 강수의 분포와 추세를 분석하였다. 이를 위하여 전국 56개 기후 관측지점에서 1973년부터 2006년까지의 강수자료를 수집하여 분석을 실시하였고, GIS 분석을 통한 지리형태적 특성을 파악하였다. 분석을 위하여 계절적 영향을 고려하여 1, 4, 7 그리고 10월과 연별 강수추세를 분석하였다.

연구결과 연평균 일별 강수량 추세는 대부분의 연구 지역에서 증가하고 있으며, 4월과 10월의 강수량은 감소추세에 있고, 1월과 7월의 경우 증가추세에 있는 것으로 나타났다. 연별 강수량은 서울과 경기지역 그리고 강원도지역을 중심으로 큰 증가추세를 보이고 있다. 반면에 전북지역을 중심으로 가장 미미한 증가추세를 보이고 있다. 34년간의 강수 증가량도 강원도 지역을 중심으로 가장 큰 증가를 보이고 있으며, 대관령지역의 경우 34년간의 강수 증가량이 2.396 mm로 가장 큰 값

을 보이고 있다. 1월은 강원도 북부지역을 중심으로 큰 증가추세를 보이고 있다. 4월은 진주, 거창, 함천, 밀양, 산청 등과 경남지역, 인천, 강화 등 경기 서해안지역 그리고 장흥, 해남, 고흥 등 전남 남해안 지역 등에서 감소추세가 큰 것으로 나타났다. 7월 강수추세의 경우 대부분 지역에서 증가추세를 보이고 있으며, 특히 강원도와 서울 경기지역에서 큰 증가추세를 보이고 있다. 10월은 경상남북도 지역과 전남 해안지역에서 큰 감소추세를 보이고 있다.

1973년을 중심으로 1940년부터 1973년까지 그리고 1973년부터 2006년까지 두 다른 34년간의 강수 변화량을 분석한 결과, 도시화에 따른 강수량 변화는 연별이나 7월의 경우 증가추세를 보이나 1, 4, 10월의 경우 감소추세를 보였다. 강수량 변화추세를 종속변수로 하고 연구지역의 평균고도, 도시화율 그리고 해안근접성을 독립변수로 하여 회귀분석을 실시한 결과 평균고도가 도시화율이나 해안 근접성과 비교하여 연 및 월별 강수량 추세에 가장 중요한 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

김광섭, 임태경 (2005). "한반도 강수량과 유량의 장기 추세분석." **한국수자원학회 학술 발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 916-919.

이정택, 윤성호, 박무언 (1995). "우리나라 계절별 일조 시간과 기온의 상관관계 및 분포에 관한 연구." **한국환경농학회지**, 제14권, 제2호, pp. 155-162.

천재호, 이승호 (2007). "여름철 호남 서해안 지역의 강수에 미치는 바다의 영향." **기후연구**, 제2권, 제1호, pp. 14-23.

홍기욱, 서명석, 나득균 (2006). "최근 30년간(1976-2005) 우리나라 강수의 시·공간변동과 지리환경." *Jour. Korean Earth Science Society*, Vol. 27, No. 4, pp. 433-449.

Baik, J.J. Kim, Y.H., and Vhun, H.-Y. (2001). "Dry and moist convection forced by an urban heat island." *J. of Applied Meteorol.*, Vol. 40, pp. 1642-1475.

Bornstein, R. and Lin, Q. (2000). "Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three cases studies." *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 507-516.

Burian, S.J. and Shepherd, J.M. (2005). "Effects of urbanization on the diurnal rainfall patterns in Houston." *Hydrological Processes*, Vol. 19, pp.

1089-1103.

Dixon, P.G. and Mote, T.L. (2003). "Patterns and causes of Atlanta's urban heat island-initiated precipitation." *J. Appl. Meteorol.*, Vol. 42, pp. 1273-1284.

Heever, V.D. and Cotton, W.R. (2007). "Urban aerosol impacts on downwind convective storms." *J. Appl. Meteorol.*, Vol. 46, pp. 828-850.

Hidalgo, H.G. (2004). "Climate precursors of multidecadal drought variability in the western United States." *Water Resources Research*, Vol. 40, W12504.

Huff, F.A. and Vogel, J.L. (1978). "Urban, topographical and diurnal effects on rainfall in the St. Louis region." *J. Appl. Meteorol.*, 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.

Khain, A., Rosenfeld, D., and Pokrovsky, A. (2005). "Aerosol impact on the dynamics and microphysics of deep convective clouds." *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. 131, pp. 2639-2663.

Molders, N. and Olson, M.A. (2004). "Impact of urban effects on precipitation in high latitudes." *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 5, pp. 409-429.

Moos, V. and Duhamel, A. (1996). *Climate and urban development*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, pp. 6-12.

Mosaedi, A., Sharifan, H., and Shahabi, M. (2007). "Effects of topography on maximum daily precipitation in Golestan province (Iran)." *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9, 02396.

Ochs, III, H.T. (1975). "Modeling of cumulus initiation in METROMEX." *J. Appl. Meteorol.*, Vol. 14, pp. 873-882.

Orville, H.D., Eckhoff, P.A., Peak, J.E., Hirsch, J.H., and Kopp, F.J. (1981). "Numerical simulation of the effects of cooling tower complexes on clouds and severe storms." *Atmos. Environ.*, Vol. 15, pp. 823-835.

Sen, P.K. (1968). 'Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau.' *Journal of the*

- American Statistical Association*, Vol. 63, pp. 1379-1389.
- Shepherd, J.M. and Burian, S.J. (2003). "Detection of urban-induced rainfall anomalies in a major coastal city." *Earth Interactions*, Vol. 7, pp. 1-17.
- Shepherd, J.M. (2005). "A review of current investigations of urban-induced rainfall and recommendations for the future." *Earth Interactions*, Vol. 9, No. 12, pp. 1-27.
- Stulov, E.A. (1993). "Urban effects on summer precipitation in Moscow." *Russian Meteorology and Hydrology*." Vol. 11, pp. 34-41.
- Vukovich, F.M. and Dunn, J.W. (1978). "A theoretical study of the St. Louis heat island: some parameter variations." *J. Appl. Meteorol.*, Vol. 17, pp. 1585-1594.
- Watanabe, H. and Ogura, Y. (1987). "Effects of orographically forced upstream lifting on mesoscale heavy precipitation: A case study." *J. of the Atmospheric Sciences*, Vol. 44, No. 4, pp. 661-675.
- Weisse, A.K. and Bois, P. (2001). "Topographic effects on statistical characteristics of heavy rainfall and mapping in the french Alps." *J. Appl. Meteorol.*, Vol. 40, pp. 720-740.
- (논문번호:09-31/접수:2009.03.18/심사완료:2009.04.03)