

최근 30년간(1976-2005) 우리나라 강수의 시·공간변동과 지리환경

홍기옥 · 서명석* · 나득균

공주대학교 대기과학과, 314-701, 충남 공주시 신관동 182

Temporal and Spatial Variations of Precipitation in South Korea for Recent 30 Years (1976-2005) and Geographic Environments

Ki-Ok Hong, Myoung-Seok Suh* and Deuk-Kyun Rha

Department of Atmospheric Science, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

Abstract: Temporal and spatial variations of precipitation in South Korea are investigated using 60 observation data of the recent 30-years from 1976 to 2005. The area averaged annual precipitation amount is about 1310 mm and shows a strong spatial variation, maximum at the southern and Kyoungki province (>1300 mm) and minimum at the Kyungpook province (<1100 mm). The precipitation days show a strong spatial variation with maximum at the Sobaik mountain region (>100 days) and minimum at the Kyungpook province (<90 days). The interannual variations (IAV) of precipitation amount and days are more significant at the southern and eastern part of Sobaik and Taebaik mountain, and along the Sobaik mountain, respectively. So, the difference of annual precipitation amount reaches to about 800 mm between wet and dry years at the southern part of Korean peninsula. Whereas, the IAV of precipitation intensity is strong at the southern and middle part of South Korea with a minimum between two maxima. Also, seasonal variations are closely linked with the geographic environments (elevation, distance from ocean, location relative to the Taebaik mountain). Therefore, maximum and minimum of seasonal variations of precipitation are occurred at the northern inland region (ratio of summer to the annual precipitation (RSAP) is greater than 60%), eastern and southern coastal regions (RSAP is less than 53%), respectively. And the RSAP is slightly increased from 50% to 55% comparing the Ho and Kang (1988). The consistent and strong positive relation between the heavy rainfalls, the ratio of heavy rainfalls to annual precipitation and the annual precipitation indicates that heavy rainfall is more frequent and strong at the maximum annual precipitation region.

Keywords: interannual variation, seasonal variation, geographic environment, heavy rainfalls

요약: 최근 30년(1976~2005년)간 기상청 60개 관측 지점의 자료를 이용하여 강수 현상의 시·공간 변동 특성에 대해 분석하였다. 남한 전체 연 평균 강수량은 약 1310 mm이고 남부지역과 경기/강원 지역에서 많고(약 1300 mm 이상) 경북 북내륙지역에서는 적으며(1100 mm 이하), 강수 일수는 주로 소백산맥 주변지역에서 약 100일 이상인 반면 경북 내륙 지역에서는 90일 이하로 공간차가 크다. 강수현상의 경년 변동은 주로 강수량 및 강수일수가 많고 강수강도가 강한 남부지방과 영동지역, 소백산맥과 그 서쪽 지역 그리고 남부와 중부지역에서 각각 크다. 강수량의 경우 남해안 지역에서는 과우해와 다우해의 연 강수량 차이가 최대 800 mm에 이를 정도로 경년 변동이 크다. 강수 현상의 계절 변동(여름 집중도)은 경년 변동에 비해 지리적 환경(해발고도, 해안내륙, 태백산맥의 동쪽/서쪽)에 더 밀접하게 연관되어 발생하고 있다. 남해안(동해안) 지역에서는 봄, 여름과 가을의 강수비율이 각각 20(16)%, 53(53)% 및 20(24)%로 강수의 여름 집중도가 약한 반면, 경기 내륙 지역에서는 봄, 여름과 가을의 강수비율이 각각 18%, 60%, 18%로 여름 집중도가 강하다. 또한 남한 전체 평균 여름 강수량 비율이 약 55%로 허창희와 강인식(1988)의 연구 결과 보다 약 5% 정도 높게 나타나 최근 강수의 여름 집중도가 심화되고 있음을 제시한다. 집중 호우 및 연강수량에 대한 집중 호우의 비율과 연강수량과의 상관계수가 각각 0.92와 0.75로 나타나 집중 호우의 발생 빈도가 연강수량에 비례해서 높아짐을 제시한다. 강수량은 해발 고도와 밀접하게 관련되어 있으며 강수량에 대한 지형의 영향은 강수량에 비례하게 증가된다.

주요어: 경년 변동, 계절 변동, 지리적 환경, 집중 호우

*Corresponding author: sms416@kongju.ac.kr

Tel: 82-41-850-8533

Fax: 82-41-856-8527

서 론

강수는 다른 기상요소들에 비해 인간생활과 밀접하게 관련되어 있고 시·공간적으로 변동성이 크기 때문에 다양한 연구의 주제가 되어 왔으며, 관측 자료의 분석에서부터 수치모델이나 위성/레이다 자료를 이용한 정량적 예보에 이르기까지 많은 연구가 이루어져 왔다(서애숙과 정창희, 1982; 서경환과 이동균, 1996; 고정웅 외, 2005; 정지현과 서명석, 2005; Grell et al., 1995; Fritsch et al., 1998; Hong, 2004). 특히 우리나라는 동아시아 몬순기후의 영향을 받기 때문에 강수량의 계절변동이 클 뿐만 아니라 복잡한 지형과 해양의 영향으로 강수현상의 공간적 변동도 크게 나타난다. 이러한 강수의 과다(寡多)에 의해 매년 많은 인명과 재산 피해를 입고 있다(허창희와 강인식, 1988; 변희룡과 한영호, 1994). 기상재해에 대한 대처방안 수립뿐만 아니라 우리나라가 유엔이 선정한 미래의 물 부족국가임을 고려할 때 효율적인 수자원 관리를 위해서도 강수현상의 시·공간적 변동 특성과 그 원인에 대한 연구는 필요하다. 이러한 연구는 고해상도 격자상의 기후자료 생산에 필요한 공간내삽법 개발에도 배경지식을 제공할 수 있을 것이다(Daly et al., 1994).

강수현상에 대한 연구는 우리나라에서도 매우 광범위하게 이루어져 왔다. 1990년대 초기에는 주로 장마의 특성과 종관배경에 대해 이루어졌고(이광호와 김문일, 1982; 이병설과 김성삼, 1983) 그 후, 장마전선상에서 발달하는 집중호우의 종관배경(박순웅 외, 1989), 우기(또는 여름철) 강우의 과다를 유발하는 종관배경(이동균, 1989; 변희룡과 한영호, 1994; 하경자 외, 2003) 등에 대한 연구들이 심도 있게 이루어졌다. 또한 태백산맥과 같은 지형이 주풍과 상호작용하여 풍상지역에서는 강수를 증가시키고 풍하지역에서는 강수를 감소시키는 등 지형이 강수에 미치는 효과 등에 대해서도 연구되어 왔다(서경환과 이동균, 1996).

강수현상의 시·공간적 변동 형태에 대한 객관적 규명은 서애숙과 정창희(1982)의 경험적 직교함수를 이용한 연구로부터 시작되었다. 강수현상의 시·공간적 변동 특성을 이해하고 그로부터 통계적으로 유사한 변동 특성을 갖는 지역을 구분하려는 많은 노력들이 있었다(허창희와 강인식, 1988; 문영수, 1990; 이동균과 박정균, 1999; 고정웅 외, 2005; 나득균 외, 2005a, 윤희정 외, 2006). 이들은 주로 연강수량 또는 우기강수량의 주성분 분석이나 군집분석과 같은 통계

적 기법을 적용하여 비슷한 변동 특성을 갖는 지역을 6-8개로 대별하였다. 또한 Lim and Kwon(1998), Jung et al.(2001) 그리고 정지현과 서명석(2005) 등은 시간강수량을 이용하여 강수의 일 변동에 대해 조사하였다. 이들은 우리나라에서는 평균적으로 강수 최대치가 새벽과 늦은 오후에 각각 발생하나 지리적 위치에 따라 최대치가 새벽에만 1회 발생하는 경우(주로 해안지역)와 오후의 최대치가 새벽보다 강한 경우(주로 내륙지역) 등 다양하게 나타남을 보여주었다.

최근에는 관측, 통신 및 계산능력의 향상으로 정교한 고해상도 수치 모델을 이용하여 집중호우와 같은 악기상을 모의하고 예측하기 위한 연구들이 이루어지고 있다(홍성유, 1992; 이동균과 박정균, 2002). 또한 강수현상의 정량적 예측 수준을 향상시키기 위하여 경계조건 및 물리과정 등을 개선하고 자료동화와 앙상블 기법 등을 사용하는 연구들이 진행 중이다(나득균 외, 2005b).

강수의 시·공간적 변동 특성에 대한 과거의 연구들은 활용 가능한 관측 지점의 수와 자료기간의 제약을 받았다. 그 결과 허창희와 강인식(1988)의 경우 26개 지점에 대해 23년간의 자료를 사용하였으며, 박정균과 이승만(1993)은 58개 지점에 대해 20년간의 자료를 이용하였다. 이동균과 박정균(1999), 고정웅 외(2005)는 주로 여름(우기)의 자료를 이용하여 강수의 변동특성에 대해서만 조사를 하였으며 김은희 외(2005)도 단지 2개 지점의 자료를 사용하였다. 또한 아직까지 원인은 규명이 되지 않았지만 최근 우리나라에서 강수일수는 줄고 강수량과 강수강도는 증대되는 등 강수 특성에서 변동의 징후가 있는 것으로 보고되고 있다(최영은 외, 2002). 따라서 과거 다양한 연구에서 조사된 강수현상의 시·공간적 변동 특성에 대해 최근의 관측 자료를 이용하여 재조사 하는 것도 의미가 있는 것으로 판단된다. 이를 위하여 본 연구에서는 최근 30년간(1976~2005) 연속적으로 관측이 이루어진 기상청 60개 기상관서의 일 강수량 자료를 이용하여 강수현상의 시·공간적 변동 특성을 조사하였다. 또한 강수현상의 시·공간적 변동 특성과 강수와 지리적 환경과의 관계에 대해서도 조사하였다.

자료 및 연구방법

본 연구에서 사용한 자료는 1976년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지 최근 30년 동안 기상청 산하

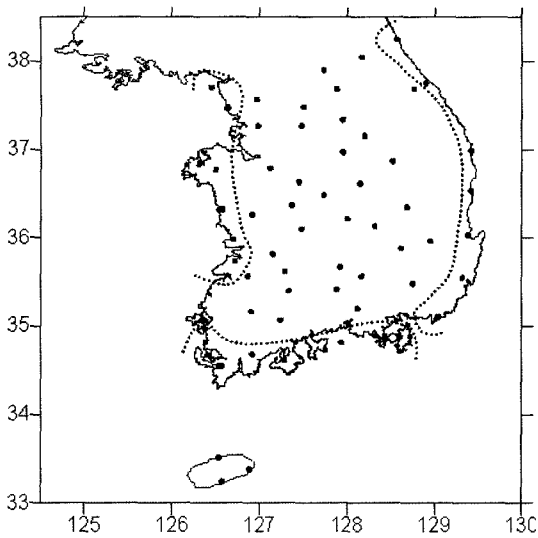


Fig. 1. Spatial distribution of surface stations used in this study. The dashed lines are borderlines between coastal area and inland area.

60개 기상관서의 일 강수량 자료와 고도자료이다 (Fig. 1). 또한 지형이 연강수량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 제주도에 설치된 자동기상관측시스템 (Automatic Weather System: AWS)으로 관측한 최근 3년간(2003~2005) 강수량자료와 고도자료를 이용하였다. 강수발생일수(이하 강수일수)는 일강수량이 0.1 mm 이상 기록된 날로, 강수강도는 강수량을 강수일수로 나눈 값으로 하였으며, 월, 계절, 우기(6~9월) 및 연강수량은 일 강수량을 해당 기간별로 단순 합산하여 산정하였다. 강수현상의 경년 변동을 단순 표준편차로 분석할 경우 대부분 강수현상의 과다에 비례하게 경년 변동을 하는 것으로 나타나 여기서는 경년 변동의 크기를 객관화하기 위하여 표준편차를 연평균으로 나누어 연평균에 대한 비율로 분석하였다.

최근 기상청은 호우 주의보 기준을 12시간에 80 mm 이상의 강수가 발생할 때로 변경하였으나 이 기준을 적용할 경우 사례 수가 적어서 여기서는 통계적으로 유의한 결과를 도출하기 위하여 일강수량이 80 mm 이상인 날을 집중호우가 발생한 날로 정의하였다. 강수량의 계절변동은 계절별 강수량을 직접 이용하는 방법과 연강수량에서 각 계절강수량이 차지하는 비율을 이용하는 방법이 있다. 여기서는 강수 특성(양, 일수, 강도)과 함께 강수의 계절별 집중도를 분석하기 위하여 각 계절별 강수 특성을 연 강수 특성으로 나눈 값을 각 계절별 강수비율로 정의하였다.

이미 기존의 연구들에서 밝혀진 바와 같이 우리나라에서 강수 현상의 시·공간적 변동성은 지리적 환경에 따라 매우 상이하게 나타난다. 본 연구에서 사용된 기상관서의 해발고도를 분석한 결과 대관령을 제외한 전 관서가 300 m 이하에 위치하고 있다. Daly et al.(1994)이 밝힌 바와 같이 강수는 지형에 민감하기 때문에 해발고도가 871 m인 대관령은 강수 변동의 공간분포 분석에서는 사용하지 않았다. 이는 강수현상의 공간 분포 분석 시 대관령을 포함할 경우에 태백산맥을 경계로 한 강수현상의 동서구분이 모호해지기 때문이다. 강수특성의 시·공간적 변동과 지리적 환경과의 관계를 분석하기 위하여 각 기상관서가 위치한 지역을 시각적으로 5개 영역(남부해안지역, 서해안 지역, 동해안 지역, 중부 내륙지역, 제주도 등 기타)으로 구분하여 분석하였다(Fig. 1). 또한 집중호우 및 기상 관서의 해발 고도와 연강수량과의 관계에 대해서도 분석하였다.

결과 및 토의

평균 기후 및 경년 변동

Fig. 2는 최근 30년간의 연평균 강수특성(강수량, 강수발생일수, 강수강도)과 이들 특성에 대한 각각의 표준편차 비율을 나타낸 것이다. 연평균 강수량을 보면 경북 의성을 중심으로 한 과우지역에서는 약 1000 mm 이하의 강수량을 기록한 반면 남해, 제주 서귀포 등 다우지역에서는 약 1500 mm 이상의 강수량을 기록하여 두 지역사이의 강수량 차이가 500 mm 이상에 달하고 있다. 강수일수를 보면 전남-충청-강원 영서로 이어지는 소백산맥 지역에서 지형의 영향으로 연평균 100일 이상 강수가 발생한 반면에 경상도 일부 지역에서는 연평균 85일 이하 강수가 발생하였다. 그림에는 나타내지 않았지만 이 강수다발 지역은 4 계절 모두에서 강수가 빈번하게 발생하는 지역들이다. 강수가 가장 빈번히 발생한 지역은 주로 울릉도(130일)와 제주 지역(120~124일) 등 섬 지역이었고 가장 적게 발생한 지역은 영천, 영덕 등 경북내륙지역으로 두 지역 간의 강수일수 차이는 약 40일 정도이다. 경북내륙지역에서의 강수일수는 섬 지역이 아닌 육상의 호남 서부 지역(110일)과 비교해도 약 30일 정도 차이가 있다. 강수가 빈번히 발생한 지역들은 특히 겨울철에 강수 현상이 자주 발생하는 지역들이다. 해발 고도가 870 m인 대관령을 포함할 경우 지형의 영향

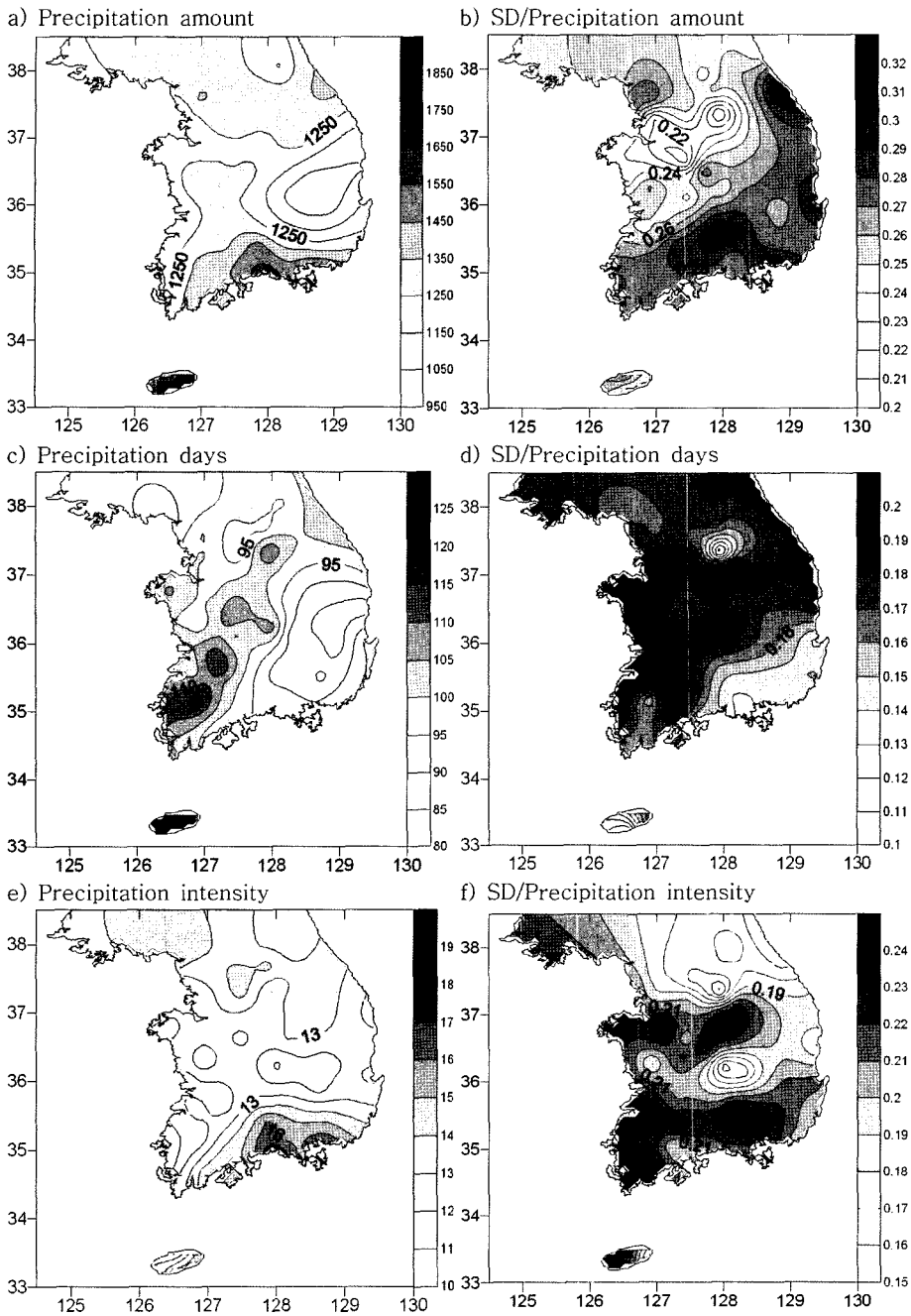


Fig. 2. Spatial distribution of 30-year averaged annual precipitation amount (a), day (c), intensity (e), and their ratio of standard deviation to annual precipitation characteristics.

으로 강수량 및 강수 일수가 많은 대관령 때문에 강원도 지역에서 강수량 및 강수 일수가 중부지역에서 가장 많은 것처럼 보일 뿐만 아니라 강수 현상이 영서와 영동지역이 연결된 것처럼 나타난다(Fig. 3). 하지만 대관령을 제외하면 강원도에서의 강수 현상이

정상적으로 도시될 뿐만 아니라 강수 현상이 태백산맥을 경계로 다르게 나타나 태백산맥을 경계로 영서와 영동 지역사이의 기후학적 차이를 볼 수 있게 된다.

한편 강수 강도는 남해안 지역(14 mm/day 이상) 및 강원·경기 지역(13 mm/day 이상)에서 비교적 강

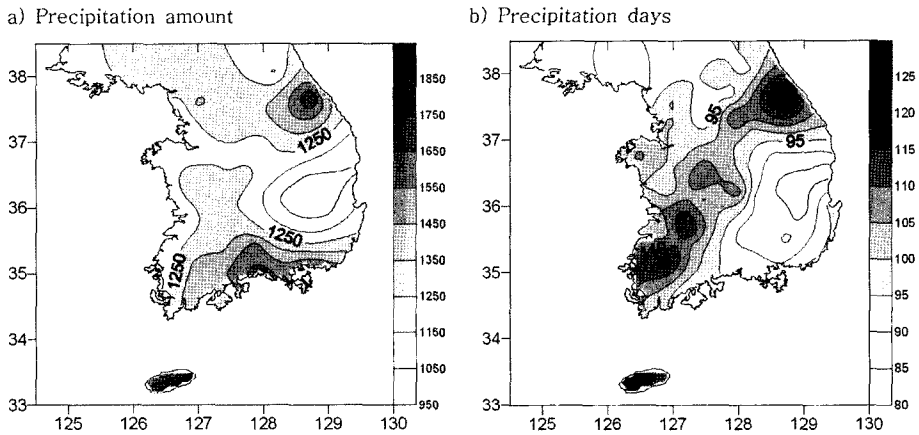


Fig. 3. Spatial distribution of 30-year averaged annual precipitation amount (a) and days (b) including the Daegwallyeong.

하게 나타난 반면 전남 서해안과 경북 지역에서는 10 mm/day 정도로 약하게 나타났다. 연강수량이 가장 많았던 남해안에서는 강수 강도가 전국에서 가장 강한 반면에 강수 일수는 전국 평균을 기록하였고, 강수 일수가 비교적 많았던 호남-충청-강원 지역에서는 대부분의 지역에서 상대적으로 약한 강수 강도를 보여주었다. 즉, 호남 서해안과 충청 내륙 등에서는 약한 강도의 비가 자주 발생하는 반면, 과우지역인 경상도 지역에서는 약한 강도의 비가 드물게 발생하였다. 전남 서해안지역에서 강수 강도가 약한 것은 겨울철 빈번한 강설현상 때문에 강수 일수가 증가한 것에 의한 것으로 분석되었다.

연평균 강수 특성들에 대한 표준편차의 비율(이하 표준편차 비율)을 보면(Fig. 2b, d, f), 표준편차 비율의 공간분포는 강수량의 분포와 유사하나 강수 특성에 따라 지역적인 차이가 크게 나타나고 있다. 강수량의 경우 다우 지역인 남해안과 영동 지역에서 경년 변동성이 비교적 크게(표준편차 비율이 28% 정도로 높음) 나타난 반면에 원주와 수원 등 충청-경기 경계지역에서는 경년 변동성이 약하게(표준편차 비율이 24% 이하) 나타났다. 한편 과우지역인 영남지역에서 표준편차 비율이 약 26%로 비교적 높게 나타나 이 지역에서도 강수량의 경년 변동이 작지 않음을 알 수 있다. 강수 일수의 경년 변동 역시 강수가 빈번히 발생하는 지역에서 크게 나타났고, 강수 발생이 상대적으로 적었던 경상도와 경기 일부 지역에서 약하게 나타나고 있다. 강수 강도 면에서는 남해안과 중부 지역에서 강하고 그 사이 지역에서는 약하게 나타나 마치 남북방향으로 전파되는 파동처럼 변동의

강약이 나타났다. 강수 강도의 경년 변동이 가장 작았던 지역은 추풍령과 원주이며 가장 많았던 지역은 합천, 정읍 등이다. 흥미로운 것은 상호 인접해 있는 원주와 충주에서 강수 일수의 경년 변동에 큰 차이가 있다는 것이다. 특히 30년 연평균강수량이 1320 mm에 근접한 강수량을 기록한 원주에서 강수량, 일수 및 강도의 경년 변동이 다른 지역에 비해 현저하게 나타난 점에 대해서는 상세한 조사가 필요하다고 본다.

강수 현상의 계절 및 공간 변동

Fig. 4는 각 계절별 강수량과 연강수량에 대한 계절별 강수량 비율의 공간분포를 나타낸 것이다. 봄(3, 4, 5월)에는 강수가 주로 남해안지역에 집중되어 있는 반면에 남해안을 제외한 대부분 지역에서는 200 mm 내외로 지역적인 편차가 작게 나타났다. 연강수량에 대한 강수량 비율을 보면 중부 내륙은 15~18%를, 남해안 지역은 20%를 차지하여 남해안 쪽으로 갈수록 강수량 비율이 증가하는 형태이다. 여름(6, 7, 8월) 강수량은 연강수량과 유사한 공간분포이나 지역에 따라 550 mm에서 850 mm에 이르기까지 공간편차가 큰 특징을 보여주고 있다. 남해안과 경기북부 지역에서는 강수가 많았고 호남 서해안, 영남 및 동해안 지역은 강수가 상대적으로 적었다. 이러한 특징은 연강수량에 대한 강수의 비율에서 보다 뚜렷하게 볼 수 있다. 연강수량에 대한 강수 비율은 경기북부 내륙지역에서는 60% 이상으로 높게, 그리고 해안지역에서는 54% 이하로 낮게 나타났다. 특히, 남해안에서는 여름강수량의 공간분포와는 달리 낮은 비율을

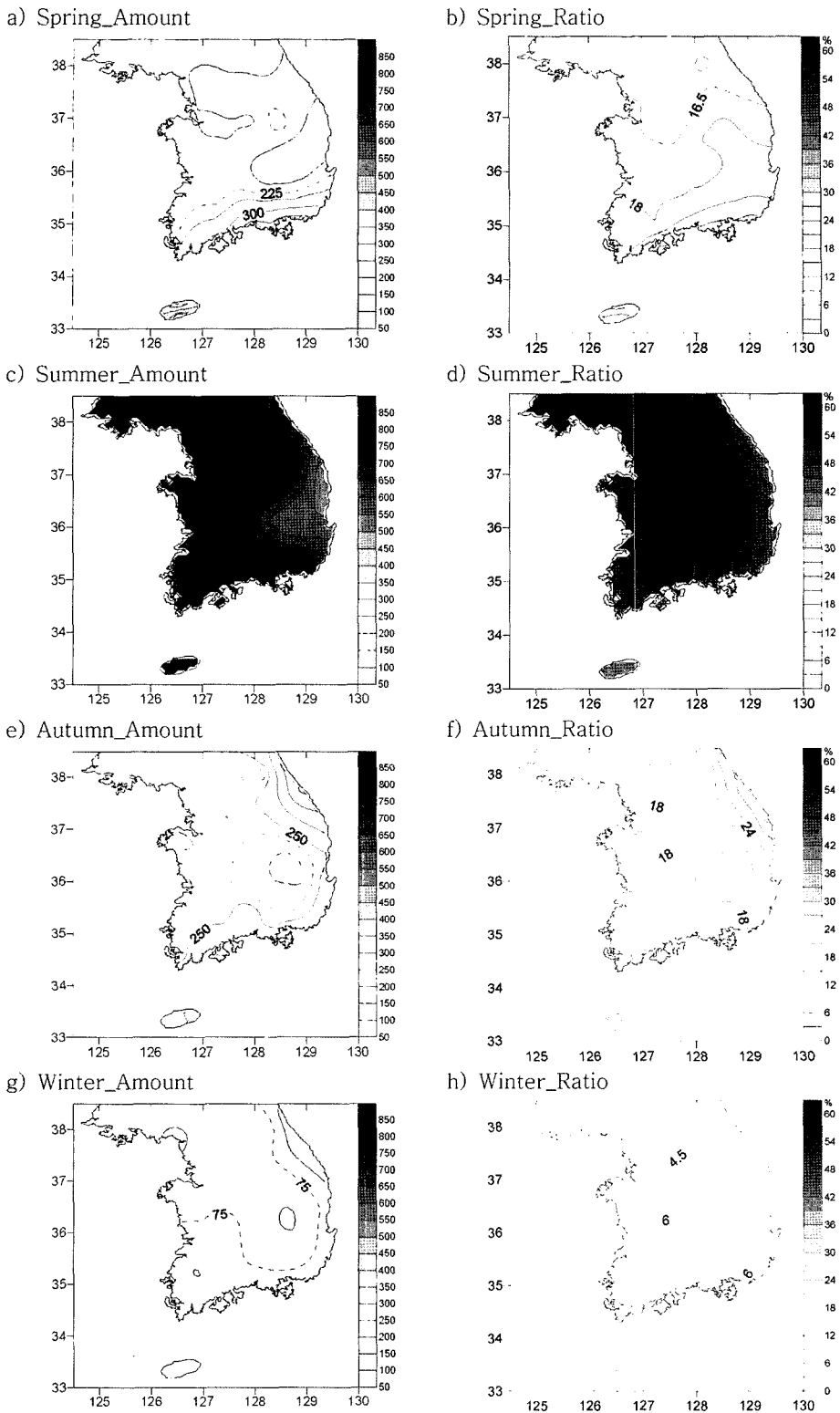


Fig. 4. Seasonal precipitation amount and their ratio to the annual precipitation.

Table 1. Summary of the seasonal precipitation characteristic and the ratio of seasonal precipitation to annual precipitation in South Korea

		Annual	Spring	Summer	Autumn	Winter	Rainy S.	Heavy R.
Amount	(mm)	1310.21	241.24	729.2	256.3	83.47	883.68	282.5
	Ratio (%)	100	18.41	55.66	19.56	6.37	67.45	21.56
Days	days	99.97	23.38	37.39	21.23	17.97	46.09	2.34
	Ratio (%)	100	23.39	37.41	21.23	17.97	46.11	2.34
Intensity	(mm/d)	13.11	10.32	19.5	12.07	4.65	19.17	120.9
	Ratio (%)	100.	79.0	14.9	92.0	35.0	14.6	922.0

보여 전체적으로 강수 비율의 분포가 U-형을 이루고 있다. 가을(9, 10, 11월)에는 영동과 남해안 지역에서 250 mm 이상의 강수가 있었으나 중부 및 영서 지역에서는 약 200~250 mm 정도의 비교적 균일하게 강수가 있었다. 연강수량에 대한 강수량의 비율도 강수량의 공간분포와 유사하게 태백산맥을 경계로 서쪽 지역에서는 20% 이하로 낮고 동쪽 지역에서는 20% 이상으로 높은 동고서저의 형태를 보이고 있다. 가을에 동해안 지역에서 타 지역에 비해 상대적으로 많은 비가 내리는 것은 동해안을 지나는 태풍과 오호츠크 해 기단의 확장시 나타나는 동풍류에 의한 지형성 강수에 의한 것으로 보인다. 겨울(12, 1, 2월) 강수량은 영동과 호남 지역에서 많고 그 외의 지역에서는 상대적으로 적은 분포를 보이고 있으며 연강수량에 대한 겨울강수량 비율도 이와 유사하게 분포하고 있다. 호남 지역에서 겨울 강수량이 많은 것은 대륙으로부터 확장하는 기단이 황해상에서 변질되어 이 지역에 강설을 자주 유발하기 때문이다.

최근 30년간 60개 기상관서의 자료로 분석한 강수 현상의 계절 평균 강수 특성을 Table 1에 제시하였다. 동아시아 몬순의 영향으로 연강수량의 약 56%가 여름에 집중되어 있으며, 봄과 가을에는 각각 18%와 19%, 그리고 겨울에 가장 적은 6%가 내리고 있다. 분석에 사용된 자료기간과 지점 수에서 차이가 있지만 허창희와 강인식(1988), 문영수(1990) 등의 값과 비교할 때 여름 강수 비율은 약 50%에서 56%로 증가하였으나 겨울에는 10% 정도에서 6.4%로, 봄에는 20%에서 18.4%로 감소하였다. 반면에 가을에는 별 차이가 없었다. 이러한 계절별 비율의 변동은 최근 봄의 강수량 감소와 여름의 강수량 증가와 관련된 것으로 보이며 결과적으로 강수의 여름 집중도가 증가되고 있음을 나타내고 있다. 고정웅 외(2005)와 같이 우기를 6월부터 9월까지로 정의하면 연강수량의

대부분(약 67%)은 우기에 집중되어 있으며, 연강수량의 약 22%는 기상재해를 유발할 수 있는 집중호우에 의한 것이었다. 연평균 강수 일수는 약 100일이며 계절변동 패턴은 강수량과 유사하나 크기는 상대적으로 작게 나타나고 있다. 또한 우기의 연평균 강수 일수와 집중호우의 발생일수는 각각 46일과 2.34일이었다. 연평균 강수 강도는 여름에 가장 강하고, 가을과, 봄, 겨울 순으로 나타났으며, 집중호우시 강수 강도는 연평균 강수 강도의 약 9배에 달하고 있다.

대부분의 계절에서 강수 일수는 강수량에 비해 계절 및 공간편차가 상대적으로 작았다. 특히 겨울철 강수 일수는 서해안 지역에서 가장 높았고(약 20% 이상), 충청-경기-강원영서로 이어지는 지역에서는 약 16~20%로 나타난 반면 영남 지역에서는 약 14% 이하로 낮게 나타났다. 강수 일수의 공간편차는 다른 계절과 달리 겨울철에 크게 나타나는 특징을 보여주었다. 강수 강도의 경우에도 대부분 계절에서 강수량이 많은 지역에서 강하게 나타났으나, 겨울에는 강수량과 강수 일수가 적은 경남 동해안 지역에서 가장 강한 강수 강도가 나타났다.

Fig. 5는 우기(6~9월)에 내린 강수량과 연강수량에 대한 강수량 비율을 나타낸 것이다. 우기강수량은 주로 다우지역에서 약 1000 mm 이상, 과우지역에서는 약 700 mm 이하의 분포를 보여주었다. 이 두 지역 간에 강수량의 공간편차는 약 300 mm 정도였다. 연강수량에 대한 우기강수량의 비율은 중부 내륙지역에서 약 70% 이상으로 비교적 큰 반면에 해안 지역에서는 65% 이하로 작게 나타나는 U자 형태의 분포를 보여주었다. 이러한 U자형 분포는 여름철 강수 비율 분포와 유사하다. 30년 평균에서 ± 1 표준편차(SD, standard deviation)를 기준으로 과우해와 다우해를 정의하였을 때 다우해의 강수량이 전체적으로 증가하여 공간분포 형태가 전체평균과 유사한 반면 과우해의

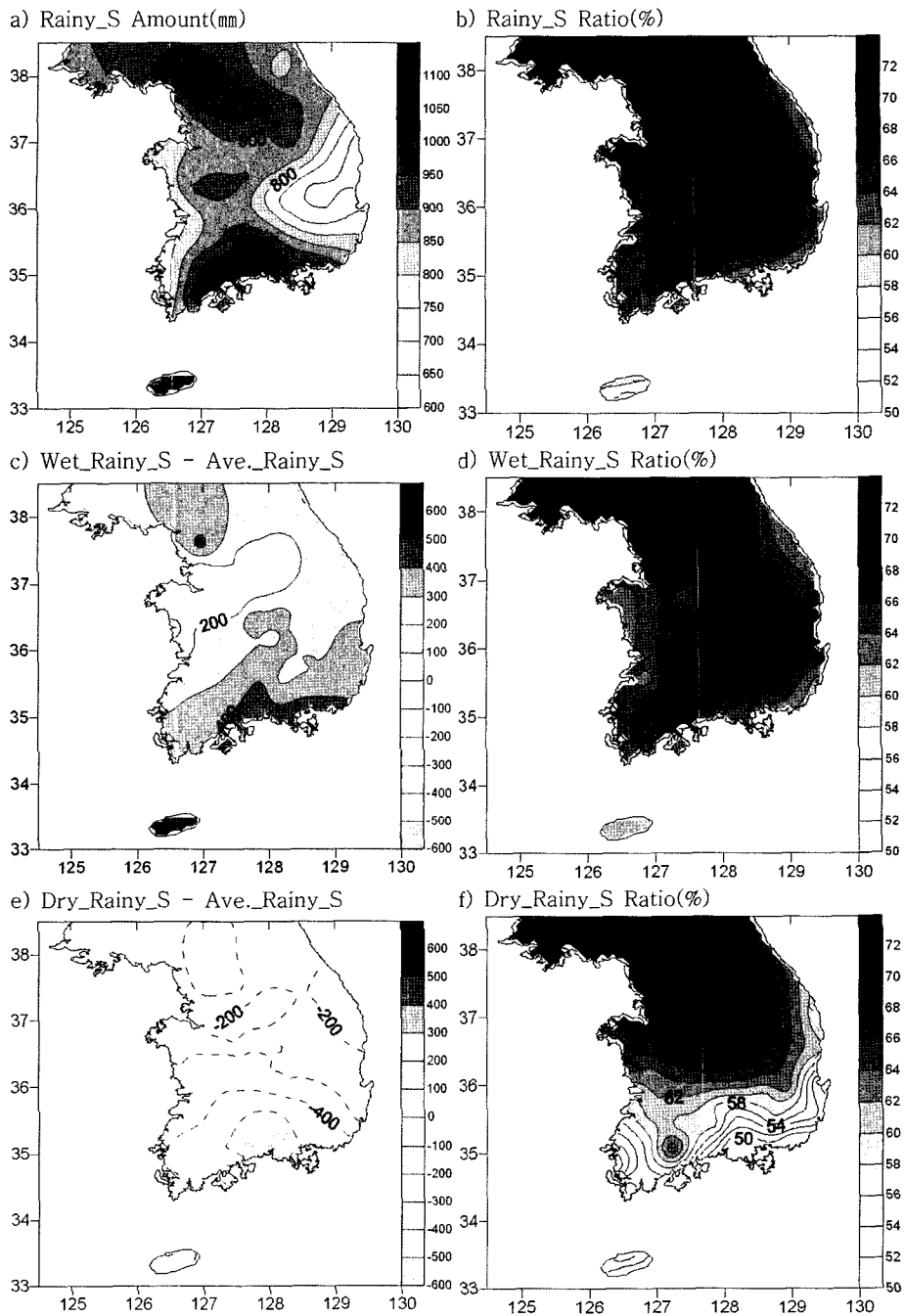


Fig. 5. Spatial distribution of amount (mm: right) and ratio (%: left) of rainy season to the annual precipitation. (a) and (b) for 30-year average. (c) and (e) for the anomalies of wet and dry years, (d) and (f) for the ratio of wet and dry rainy season to the 30-rainy season average.

강수량은 감소할 뿐만 아니라 분포형태도 전혀 다른 양상을 보였다. 다우해에는 평년 강수량이 많았던 남부와 경기북서부 지역에서 평년보다 약 300~500 mm 이상의 비가 더 내리는 반면에 과우해에는 주로 중

부이남 지역을 중심으로 평년보다 약 400~600 mm 이상 적게 내리고 있다. 즉, 남부지역에서는 해에 따라 우기강수량의 차가 크기는 1000 mm까지 날 수 있음을 암시하고 있다. 연강수량의 경년 변동이 가장

작았던 충청도와 경기도 경계지역에서는 우기강수량의 편차가 가장 작게 나타났다. 우기강수량 비율의 공간분포도 다우해에는 평년과 유사하나 과우해에는 중부이남 지역에서 현저히 낮아지고 있어 과우해에는 주로 중부이남지역에서 극심한 가뭄이 발생할 수 있음을 제시한다.

Fig. 6은 6월에서 9월까지 월강수량과 우기강수량에 대한 각 월 강수량의 비율을 나타낸 것이다. 주로 6월 하순부터 남부지역에서 시작되는 장마의 영향으로 남해안 지역은 6월에 약 200 mm 이상의 강수량을, 중북부와 경상북도 지역은 160 mm 이하의 강수량을 기록하였다. 한반도가 본격적인 장마의 영향을 받는 7월에는 경기북부, 충청 및 전남해안 지역 등 주로 태백산맥 서쪽 경기-영서지역에서 280 mm 이상의 강수량을 보인 반면 영동과 영남 일부 지역에서 240 mm 이하의 강수량을 기록하였다. 장마가 종료된 후인 8월의 강수량은 7월과 유사한 공간분포를 보여주고 있으나 7월에 비하여 동서간의 강수 편차가 감소하였고 또한 강수 분포의 국지성이 강해지고 있다. 특히 강원지역에서 강수량이 현저하게 증가하였음을 볼 수 있다. 9월에는 강원지역과 남해안 지역을 제외하고는 대부분 지역에서 약 140 mm 이하의 비가 내리고 있으며 공간편차도 크지 않았다. 우기 강수량에 대한 6월 강수량의 비율은 남해안지역에서 약 24%로 최대를 보이고 북부지역에서 약 14% 정도로 최소가 나타나는 남고북저 형태를 보이고 있다. 이는 동아시아 여름 몬순의 발달과 관련된 장마전선의 북상위치와 관련된 것으로 보인다. 7월 강수량의 비율은 강수량의 공간분포와 유사하나 특히 경기, 강원영서 지역에서 약 34% 이상으로 높고 동해안 지역에서는 24% 이하로 나타나, 동서간에 10% 정도의 공간편차를 갖는 서고동저 형태의 분포를 보였다. 반면에 8월 강수 비율은 강수량의 공간분포와 달리 대부분 지역에서 약 30~34%로 지리적 편차가 크지 않았다. 이것은 8월 강수량이 우기 강수량의 공간분포와 유사하기 때문인 것으로 보인다. 9월 강수량의 비율은 동해안 지역에서 18% 이상으로 높고 공간편차가 크게 나타났으나 태백산맥 서쪽 지역에서는 공간편차가 비교적 약하게 나타났다.

Fig. 7은 Fig. 5에서와 같이 집중호우에 의한 강수량과 우기 강수량에 대한 집중호우의 비율을 나타낸 것이다. 집중호우에 의한 강수량은 주로 다우지역에 속하는 남해안과 경기북부 지역에서 300 mm 이상을

기록하였고 과우지역에 속하는 경북내륙에서 약 200 mm 이하로 상대적으로 적게 내렸다. 우기 강수량에 대한 집중호우 비율은 우기 강수량이 많았던 경기북부 지역과 남해안 지역에서 20% 이상, 우기 강수량이 상대적으로 적었던 경북내륙에서 16% 이하로 각각 나타났다. 다우해에는 경기북부, 강원 및 남해안 지역 등에서 평년보다 약 200 mm 이상 강수가 더 내린 반면에 천안-군산 등 중서부 지역에서는 집중호우의 변동이 거의 나타나지 않고 있다. 과우해에는 경기북부와 남해안 지역에서 집중호우에 의한 강수량이 현저히 감소하였다. 우기 강수량에 대한 집중호우 비율의 공간분포는 다우해에는 평년과 유사한 형태이나 전체적으로 비율이 높아졌고, 과우해에는 지역적인 편차가 커서 평년과는 다른 형태인 남북방향으로 전파되는 파동과 같은 형태를 보였다. 강수 현상의 경년 변동이 남해안 및 경기북부 지역 등 특히 다우 지역에서 크게 나타나는 것은 이들 지역에서 가뭄이나 홍수와 같은 기상재해 발생 가능성이 높음을 제시하므로 치수대책 수립시 고려할 필요가 있을 것이다.

Fig. 8은 각 월별 집중호우시 강수량과 우기 강수량에 대한 월별 집중호우시 강수량의 비율을 나타낸 것으로 강수량 및 강수 비율이 월에 따라 상이한 공간분포를 보이고 있다. 6월에는 경북일부 지역을 제외하고는 남부지역에서부터 북으로 갈수록 강수량이 줄어드는 반면 7월에는 경기북부지역을 최대로 경기-강원영서 지역에서 많은 강수량이 나타났다. 8월에는 주로 다우지역과 충청남도에서 100 mm 이상의 강수량을 보였으나 강수량의 공간편차가 크게 나타났다. 반면에 9월에는 강원, 경기북부와 남해안지역에서만 50 mm 이상의 강수를 기록하였다. 6월에 발생한 집중호우의 비율은 남해안지역과 중부내륙지역에서 약 20% 수준으로 나타나고 있다. 집중호우는 동해안 지역을 제외하고는 대부분 7월과 8월에 발생하고 있으며 집중호우의 비율은 강수량에 비해 공간편차가 크지 않았다. 또한 9월에는 동해안 지역에서 집중호우 비율이 7월과는 대조적으로 높게 나타났다.

전체적으로 보면 집중호우에 의한 강수량은 8월에 가장 많았고 7월, 9월, 6월 순으로 많았다. 그러나 강수량은 지역 및 월별로 편차가 나타났다. 지역별로 충청지역은 8월, 7월, 6월, 9월 순으로 집중호우에 의한 강수량이 많았고, 영동지역은 8월, 9월, 7월, 6월 순으로 많았다. 집중호우 강수 비율은 강수량의 공간분포와 유사하게 6월에는 남에서 북쪽으로 남북 방

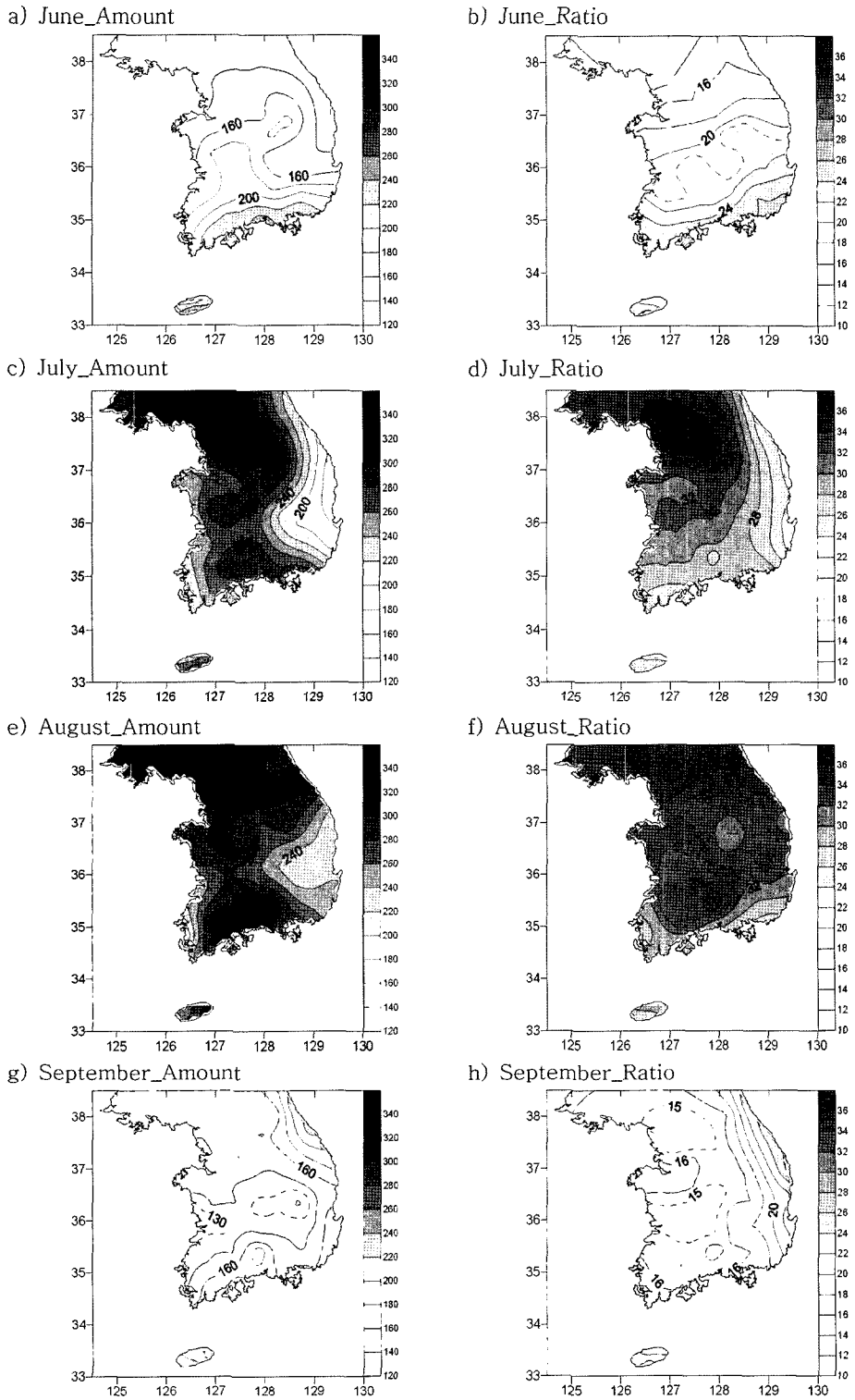


Fig. 6. Spatial distribution of ratio (%) of monthly rainfall to the rainy season precipitation.

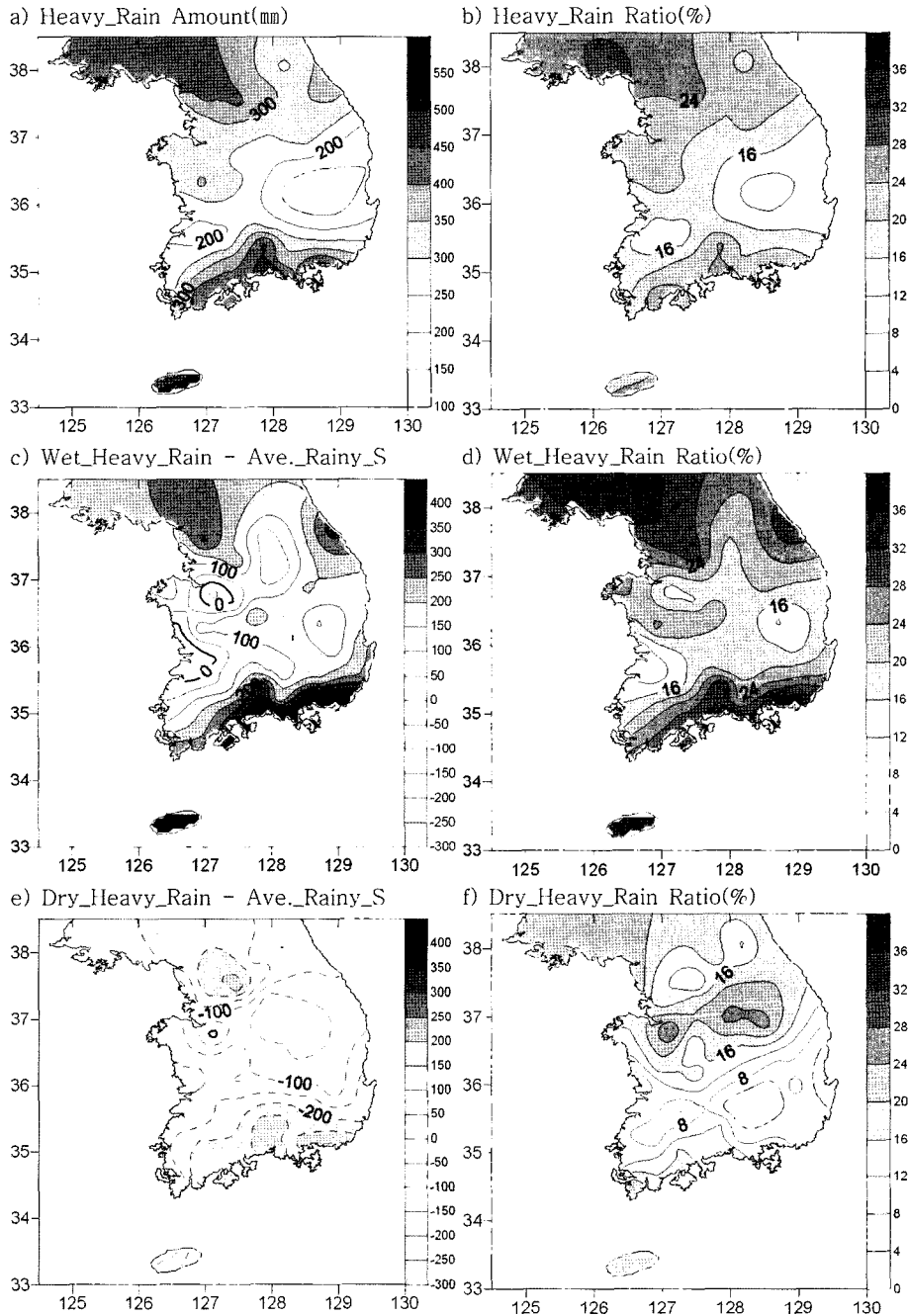


Fig. 7. Same as in Fig. 5 except for heavy rainfalls.

향의 양적 경도가 나타나는 반면에 7월, 8월, 9월에는 동서 방향의 수평경도가 나타났다. 그러나 양적인 경도 방향은 6월에는 북서에서 남동쪽으로, 7월에는 서해안과 동해안에서 내륙쪽으로, 9월에는 동해안에서 서쪽으로 각각 나타났다.

강수 현상의 계절 변동과 연강수량 및 고도와의 관계

계절 강수량 및 연강수량에 대한 계절 강수량의 비율은 지리적 위치에 따라 다양하게 나타난다. 강수의 계절변동은 주로 그 지역을 지배하는 기단이 지

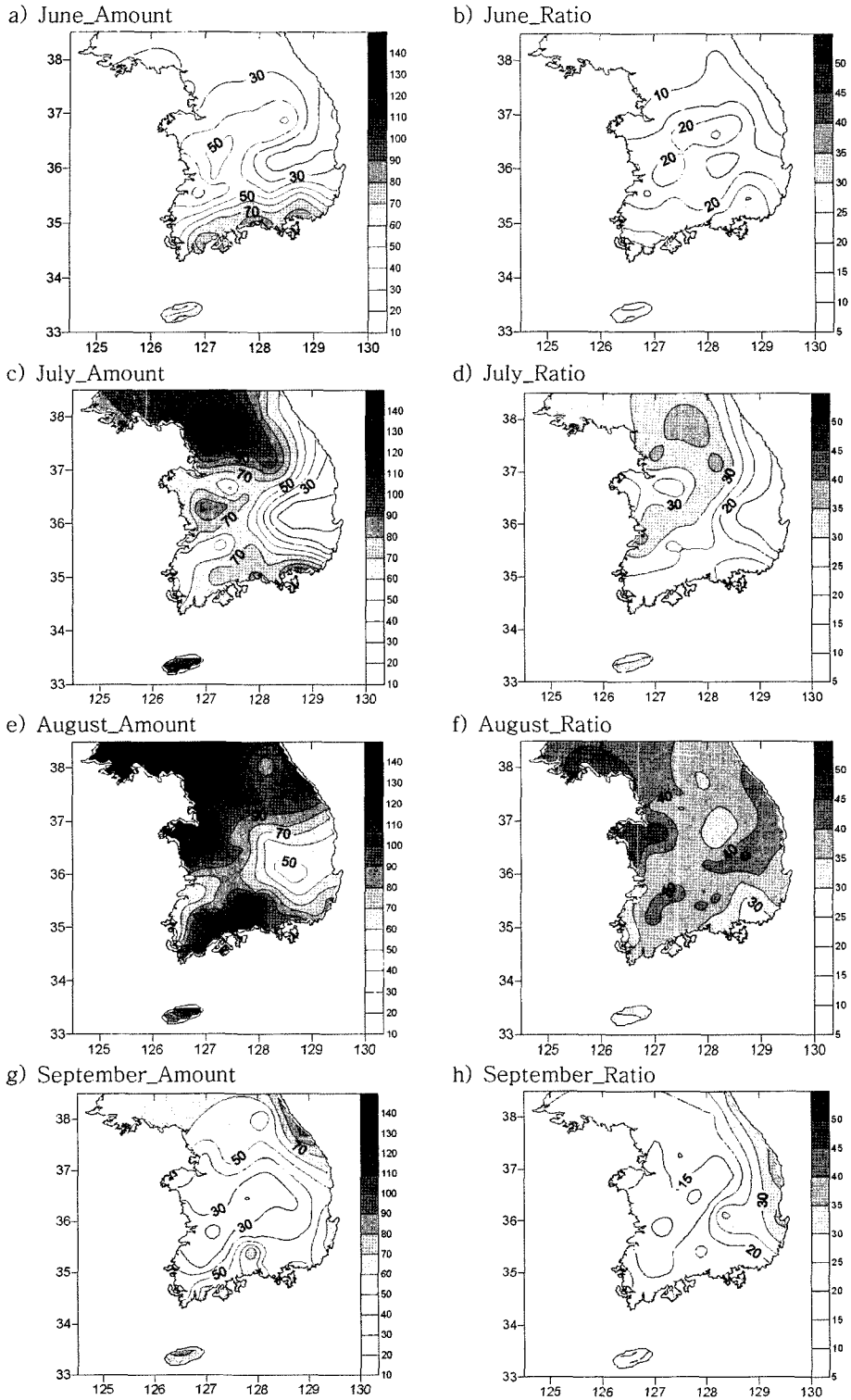


Fig. 8. Spatial distribution of ratio (%) of heavy rainfalls to the rainy season precipitation.

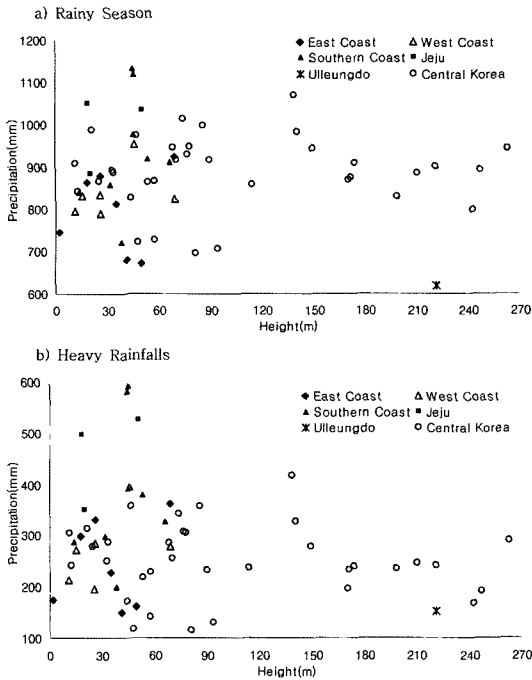


Fig. 9. Distribution of rainfalls with the station height for (a) the rainy season and (b) heavy rainfalls.

리적 환경과 상호작용하여 나타난다고 볼 수 있다. 여기서는 계절별 강수량과 관측소 고도와의 관계를 조사하였다(Fig. 9). 전체적으로 각 계절의 강수량은 지리적 위치, 즉 관측소 고도와 거의 관계가 없는 것으로 나타나고 있다. 그림에는 나타내지 않았지만 연 강수량에 대한 우기 및 집중호우 비율도 관측소 고도와 뚜렷한 관계를 보이지 않고 있다. 본 연구에서 강수량은 고도에 따라 증가된다는 일반적 개념과 상이한 결과가 나타난 것은 여기서 사용된 관측소의 고도들이 대부분 300 m 이하에 위치한 것과 관련된 것으로 보인다.

한반도에서 연강수량과 관측소 고도와의 관계를 보다 객관적으로 확인하기 위하여 최근 3년(2003~2005)간 연속적으로 관측한 17대의 제주도 AWS 자료를 이용하여 조사하였다(Fig. 10). 연도에 따라 차이는 있지만 연강수량이 관측소 고도에 비례해서 거의 선형적으로 증가되고 있으며 고도에 따른 강수량의 증가비율이 연강수량의 과다에 비례함을 볼 수 있다. 즉, 연강수량이 많은 해일수록 지형의 영향도 그에 비례해서 커짐을 알 수 있다. 이러한 결과는 우리나라에서도 지형이 강수의 증대에 중요한 영향을 미치고 있음을 제시한다.

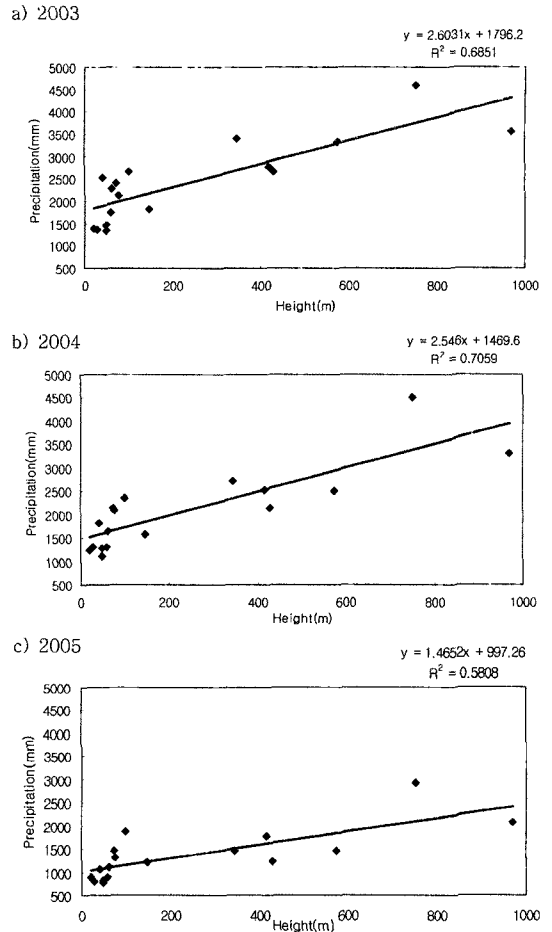


Fig. 10. Distribution of annual precipitation with the station height over Jeju in (a) 2003, (b) 2004, and (c) 2005.

Fig. 11은 각 계절별 강수량과 연강수량과의 관계를 나타낸 것으로 지리적 위치와 계절 강수량과의 관계를 분석하기 위하여 Fig. 1에서 도시한 바와 같이 지리적 위치를 간단하게 동해안지역, 서해안지역, 남해안지역 그리고 내륙지역으로 구분하여 나타내었다. 또한 각 계절, 우기 및 집중호우와 연강수량과의 상관계수 및 결정계수를 Table 2에 나타내었다. 계절 강수량은 사계절 모두 연강수량에 비례하게 증가하는 경향을 보이고 있으나 계절 및 지리적 위치에 따라 상관성이 다르게 나타나고 있다. 봄에는 상관계수(0.86) 및 결정계수(0.73)가 높게 나타나고 있으나 연강수량이 약 1400 mm를 경계로 봄 강수량과 연강수량과의 관계에 큰 차이가 나고 있다. 여름과 가을 강수량은 전체적으로 연강수량에 비례하게 증가되고 있으나(상관계수가 각각 0.81, 0.68), 동해안(울릉도 포

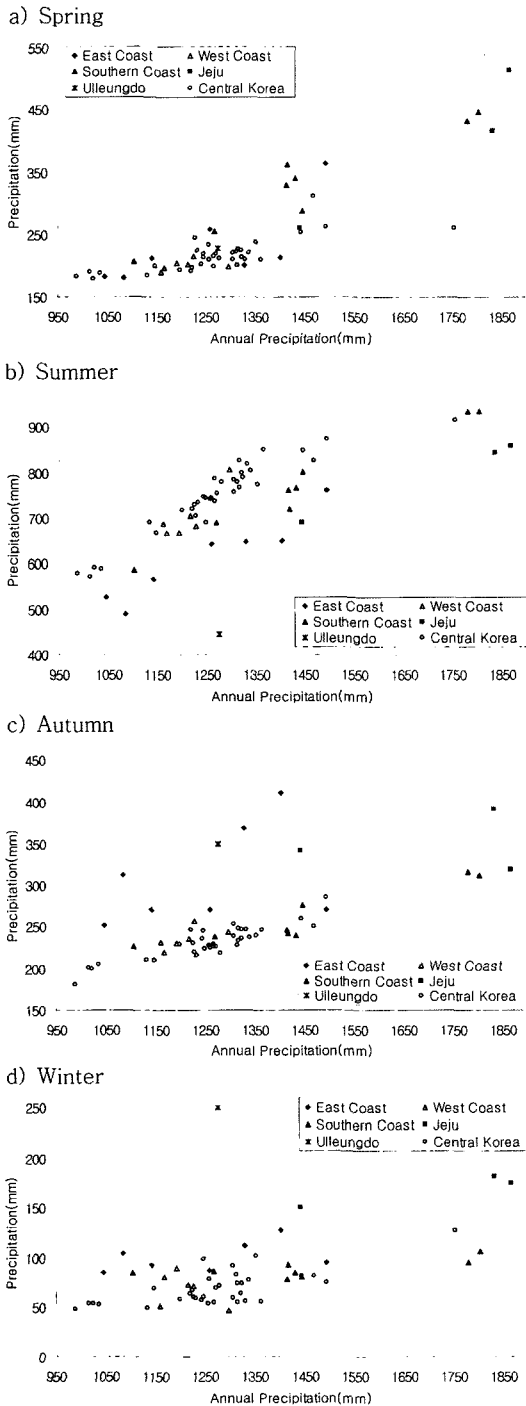


Fig. 11. Scatter plot of seasonal precipitation to annual precipitation according to the geographic location: (a) Spring, (b) Summer, (c) Autumn, and (d) Winter.

함)과 제주지역의 강수량은 다른 지역에 비해 여름에는 현저히 적으나 가을에는 다른 지역보다 현저히

많은 특성을 보이고 있다. 겨울 강수량은 대부분 지역에서 약 150 mm 이하로 전체적으로 양도 적을 뿐만 아니라 연강수량과의 관계도 가장 약하다. 허창희와 강인식(1988)이 지적한 바와 같이 울릉도는 지리적 위치의 영향으로 강수의 계절변동이 다른 지역과 전혀 다르기 때문에 상관성 계산에서 제외하였다.

Fig. 12는 우기 강수량 및 연강수량에 대한 우기 강수량의 비율과 연강수량과의 관계를 나타낸 것이다. 우기 강수량은 지리적 위치에 따라 차이는 있으나 전체적으로 연강수량에 비례하여 증가하는 경향(상관계수가 0.88)을 보이고 있으나 연강수량에 대한 우기 강수량의 비율은 연 강수량에 반비례하는 경향(상관계수가 -0.49)과 함께 지리적 위치의 영향도 받는 것으로 나타나고 있다. 즉, 연강수량이 많을수록 우기 강수량도 많지만 연강수량이 많은 지역들 대부분에서 우기뿐만이 아니라 다른 계절에서도 적지 않은 비가 내림을 제시한다.

Fig. 13은 집중호우시의 강수량 및 연강수량에 대한 집중호우의 비율과 연강수량과의 관계를 나타낸 것이다. 집중호우에 의한 강수량 및 집중호우 비율은 지리적 위치에 관계없이 연강수량에 비례하여 증가하는 경향을 보이고 있으며 집중호우 비율(상관계수가 0.75)보다는 집중호우 강수량에서 더 높은 상관성(상관계수가 0.92)을 보이고 있다. 이러한 관계는 연강수량이 많은 지역일수록 집중호우에 의한 강수량도 증가함을 제시한다. 집중호우 비율이 높은 지역들은 강화, 남해, 거제 등 남해안과 서해안 지역으로 약 30%에 이르고 있으며 낮은 지역은 구미, 의성 및 대구 등 주로 경상도 지역으로 약 11%로 지리적 위치에 따라 큰 차이를 보이고 있다 또한 연강수량이 1150~1350 mm인 지역들에서 지리적 위치에 따라 집중호우 양 및 집중호우 비율의 공간편차가 크게 나타나고 있다.

요약 및 결론

본 연구에서는 최근 30년(1976~2005)간 기상청의 지상관측 강수 자료를 이용하여 우리나라 강수 현상의 시간 및 공간분포와 그 변동성, 우기 및 집중호우시의 강수 특성을 중심으로 분석하였다. 또한 계절 및 집중호우와 관측소의 고도 및 연강수량과의 관계에 대해서도 분석하였다.

남한의 최근 30년 연평균 강수량은 약 1310 mm이

Table 2. Summary of statistical relation between rainy season, heavy rainfalls, seasonal precipitation, and the annual precipitation

Season	Cor_Coef.	R ²	Rain_Variables	Cor_Coef.	R ²
Spring Amount (mm)	0.86	0.73	Rainy Season	Ratio(%)	-0.49
Summer Amount (mm)	0.81	0.56		Amount(mm)	0.88
Autumn Amount (mm)	0.68	0.46	Heavy Rainfalls	Ratio(%)	0.75
Winter Amount (mm)	0.67	0.65		Amount(mm)	0.92

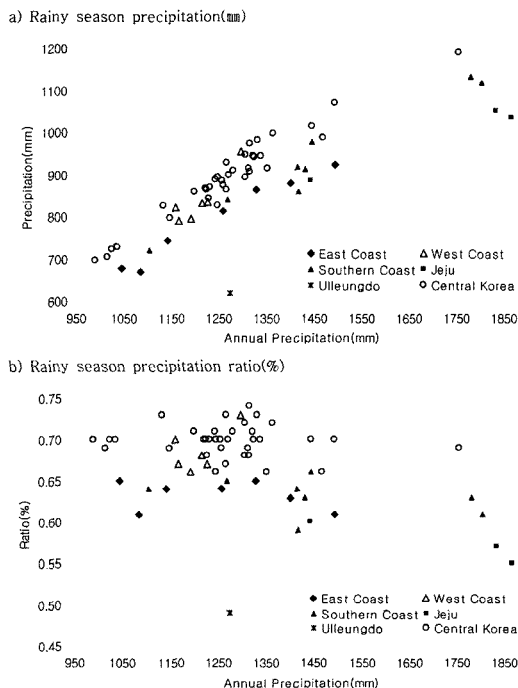


Fig. 12. Scatter plot of rainy season precipitation (a) and ratio of rainy season precipitation to the annual precipitation (b) according to station height and geographic location.

며 경북 의성을 중심으로 한 과우지역(약 1000 mm)과 남해, 제주 서귀포 및 경기북부의 다우지역(약 1500 mm 이상)을 보이고 있으며 과우지역과 다우지역 사이에는 약 500 mm 이상의 큰 차이를 보이고 있다. 강수 일수는 전남-충청-강원도를 포함하는 남서에서 북동방향의 소백산맥 지역에서 많은 반면(120일 이상) 그 외 지역에서는 상대적으로 적게(90일 이내) 나타나고 있다. 강수 강도도 주로 남해안 지역 등 다우 지역에서 강하고 과우지역에서 약한 공간분포이다. 남해안, 강원 등 다우지역들에서는 대체적으로 강수 일수와 강수 강도가 각각 많고 강한 반면 의성 등의 과우 지역들은 강수 일수와 강수 강도가 각각 적고 약한 특징을 보인다.

연평균 강수 현상(양, 일수, 강도)의 경년 변동은

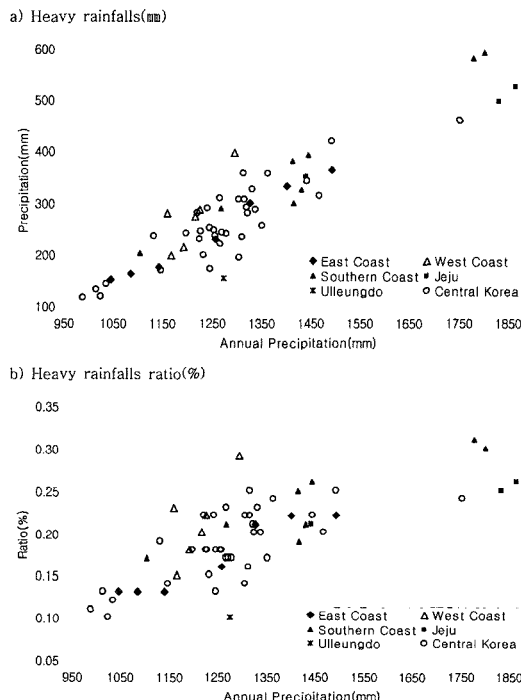


Fig. 13. Same as in Fig. 12 except for heavy rainfalls.

주로 강수량 및 강수 일수가 많고 강수 강도가 강한 지역들에서 크게 나타나고 있다. 강수량의 경우 남해안 및 강원, 경기지역들에서 경년 변동이 크며 강수 일수는 주로 전남-충청-강원을 잇는 소백산맥 지역들에서 강하다. 강수 강도는 남해안과 중부지역에서 강하고 그 사이 지역에서 약하게 나타나 남북방향으로 경년 변동의 강약이 파동처럼 나타나고 있다. 하지만 연평균강수 현상에 대한 표준편차의 비율로 보면 연강수량과 강수 일수가 적고 강도가 약한 의성, 대구 등 경상도 지역에서도 표준편차 비율이 약 26%로 강수량의 경년 변동이 강하게 나타나고 있다. 강수 강도의 경년 변동이 가장 작게 나타나는 지역은 추풍령과 원주이고 가장 강한 지역은 함천, 정읍 등이며 30년 평균 연강수량이 약 1320 mm로 남한 전체 평균과 유사한 원주에서 강수 특성의 경년 변동이

다른 지역에 비해 현저하게 작게 나타난 점에 대해서는 상세한 조사가 필요하다고 본다.

연 강수량 중 약 56%가 여름에 내리고, 봄과 가을에는 각각 18%와 19%로 비슷한 양이 내리며 겨울에 가장 적은 6%가 내려 강한 계절변동을 보이고 있다. 자료의 사용기간 및 관측지점 수에서 차이는 있지만 허창희와 강인식(1988), 문영수(1990) 등의 값과 비교할 때 여름 강수 비율은 약 5% 정도 증가된 반면 겨울과 봄에는 각각 약 4%와 2% 정도 감소되었으며 가을에는 큰 차이가 없다. 윤희정 외(2006)의 연구결과와 유사한 계절별 강수 비율의 변동은 최근 봄과 여름의 강수량 감소 및 증가와 관련된 것으로 보이며 결과적으로 강수의 여름 집중도가 증가되고 있음을 제시한다.

강수 현상의 계절 변동은 연강수량보다는 지리적 환경의 영향을 더 받는 것으로 나타나고 있다. 다우 지역인 남해안 지역에서는 봄과 가을 강수 비율이 각각 약 20% 정도이고 여름 강수 비율이 약 54%로 강수의 계절변동이 약한 반면, 경기내륙지역에서는 봄과 가을 강수 비율이 각각 18% 정도인 반면 여름 강수 비율은 60% 이상으로 계절변동이 강하다. 또한 동해안 지역에서는 봄, 여름, 가을 및 겨울의 강수 비율이 각각 16, 53, 24 및 7%로 다른 지역에 비해 여름 강수 비율은 낮고 가을 강수 비율이 높은 계절 변동 패턴을 보이고 있다.

30년 평균에서 $\pm 1SD$ 를 기준으로 과우해와 다우해를 정의하였을 때 다우해에는 전체적으로 우기강수량이 많아져 공간분포 형태가 평년과 유사한 반면 과우해에는 우기강수량의 감소가 지역에 따라 다르게 나타나 분포형태가 평년과 전혀 다르게 나타나고 있다. 이러한 경년 변동형태는 집중호우에서도 매우 유사하게 일어난다. 다우해에는 평년 강수량이 많은 남부지역과 경기북서부 지역에서 평년보다 약 300~500 mm 이상의 많은 비가 내리는 반면, 과우해에는 주로 중부이남지역을 중심으로 평년보다 약 400~600 mm 이상 감소되고 있다. 즉, 중부 이남지역에서는 연도에 따라 우기강수량의 차가 많게는 1000 mm까지 발생하고 있어 이 지역에서는 홍수나 가뭄과 같은 기상재해의 발생확률이 높음을 제시한다. 연강수량의 경년 변동이 가장 작은 충청도와 경기남부 지역에서는 우기강수량의 편차가 가장 작게 나타나고 있다.

관측소의 고도가 약 300 m 이하인 기상관측소의 자료에서는 연, 계절 및 집중호우 현상이 관측소의

고도에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났으나 제주도에 설치 운영중인 AWS 자료에서는 강수 현상이 해발고도에 큰 영향을 받고 있음이 확인되었다. 또한 강수 현상에 대한 지형의 영향이 강수량의 과다에 비례하여 연강수량이 많은 해일수록 지형의 영향도 그에 비례해서 커짐이 확인되었다. 연강수량에 대한 여름 강수의 비율도 연강수량보다는 지리적 위치의 영향을 더 받는 것으로 나타나고 있다. 이는 지리적 위치에 따라 연강수량 뿐만 아니라 강수 현상의 계절변동이 상이함을 제시한다. 한편, 집중호우 및 연강수량에 대한 집중호우의 비율은 지리적 위치에 따라 차이는 있지만 연강수량에 비례해서 증가되고 있다. 이러한 결과는 연강수량이 많은 지역일수록 집중호우의 발생빈도가 높아짐을 제시한다.

강수 현상의 경년 및 계절 변동에 공간 차가 크게 나타나는 것은 동아시아 몬순시스템의 경년 및 계절 변동과 함께 각 지역의 지리적 환경(해발고도, 해양도 등)과 강수 시스템과의 상호작용에 의한 것으로 보인다. 따라서 국지적인 강수 특성을 이해하고 예측하기 위해서는 동아시아 여름 몬순 등 강수 시스템의 발달과정에 대한 연구와 함께 지형 및 해양도와 같은 지리적 환경과 강수 시스템과의 상호작용이 강수의 증감에 미치는 영향에 대한 연구도 병행하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 “한국과학재단의 지원으로 수행하는 ABRL 연구사업(강수 예측 실험 연구실)”에서 수행된 것입니다. 또한 세세하게 심사를 해주신 심사위원님께 감사드립니다.

참고문헌

- 고정웅, 백희정, 권원태, 2005, 한반도 우기의 강수특성과 지역구분. 한국기상학회지, 41(1), 101-114.
- 김은희, 김맹기, 이우섭, 2005, 최근 30년간 한반도 일 강수량도의 지역적 특성. 한국지구과학회지, 26(5), 404-416.
- 나득균, 박종흠, 서명석, 홍윤, 2005a, 종관적 특징에 따른 남한 강수 특성 분석: 30년(1973-2002) 기후 통계. 한국 지구과학회지, 26(7), 732-743.
- 나득균, 서명석, 박종흠, 2005b, 지면피복변화가 남한의 집중호우 모의에 미치는 영향. 한국기상학회지, 41(5), 809-824.

- 문영수, 1990, 클러스터 분석에 의한 한구의 강수지역 구분. 한국기상학회지, 26(4), 203-215.
- 박순웅, 안현주, 전영신, 1989, 한반도 중부지방 장마전선상에 발달한 호우와 관련된 중관기상장의 변화. 한국기상학회지, 25(3), 168-191.
- 박정규, 이승만, 1993, 연강수량에 의한 남한의 강수지역구분. 한국기상학회지, 29(2), 117-126.
- 변희룡, 한영호, 1994, 한반도에서 계절별로 발생하는 가뭄에 관한 연구. 한국기상학회지, 30(3), 457-467.
- 서경환, 이동규, 1996, 한반도 중부지방의 지형성 강수분석과 수치 시뮬레이션 연구. 한국기상학회지, 32(4), 511-533.
- 서애숙, 정창희, 1982, 경험적 직교함수를 이용한 남한의 강수량, 온도, 해면기압의 기후학적 요인 분석. 한국기상학회지, 18(2), 40-50.
- 윤희정, 김희중, 윤일희, 2006, 남한의 강수 계절성에 관한 연구. 한국지구과학회지, 27(2), 149-158.
- 이광호, 김문일, 1982, 집중호우의 중관기후학적 연구. 한국기상학회지, 18(2), 40-50.
- 이동규, 1989, 한반도의 다우 및 과우 여름과 관련된 북반구 여름철 순환의 연구. 한국기상학회지, 25(4), 205-220.
- 이동규, 박정균, 1999, 군집분석을 이용한 남한의 여름철 강수지역 구분. 한국기상학회지, 35(4), 511-518.
- 이동규, 박정균, 2002, 동아시아 집중호우의 수치모의에 있어서 수분 물리 과정의 비교 연구. 한국기상학회지, 38(6), 581-592.
- 이병설, 김성삼, 1983, 장마계의 종관적 특성. 한국기상학회지, 19(1), 1-11.
- 정지현, 서명석, 2005, 우리나라 우기(6-9월) 시간강수의 일 변화 특성과 그 유형. 한국기상학회지, 41(4), 533-546.
- 최영은, 민승기, 남경엽, 권원태, 2002, 남부지방 일강수량과 호우의 경향 분석. 대기(한국기상학회보), 12(1), 192-195.
- 하경자, 박성규, 김기영, 2003, 한반도 주변의 하계 강수량의 경년 변동과 이에 연관된 동아시아 순환의 특성. 한국기상학회지, 39(5), 575-586.
- 허창희, 강인식, 1988, 한국지역 강수의 변동성에 관한 연구. 한국기상학회지, 24(1), 38-48.
- 홍성유, 1992, 한반도에서 발생한 집중호우의 수치모의 실험. 박사학위논문, 서울대학교, 246 p.
- Daly, C., Neilson, R.P., and Phillips, D.L., 1994, A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. Journal of Applied Meteorology, 33, 140-158.
- Fritsch, J.M., Houze Jr., R.A., Adler, R., Bluestein, H., Bosart, L., Brown, J., Carr, F., Davis, C., Johnson, R.H., Junker, N., Kuo, Y.-H., Rutledge, S., Smith, J., Toth, Z., Wilson, J.W., Zipser, E., and Zrníc, D. 1998, Quantitative precipitation forecasting: Report of the eighth prospectus development team, U.S. Weather Research Program. Bulletin of the American Meteorological Society, 79, 285-299.
- Grell, G.A., Dudhia, J., and Stauffer, D.R. 1995, A description of the fifth-generation PSU/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR/TN-398+STR, 122 p.
- Hong, S.Y., 2004, Comparison of heavy rainfall mechanisms in Korea and the central United States. Journal of the Meteorological Society of Japan, 82, 1469-1479.
- Jung, H.S. Lim, G.H., and Oh, J.H., 2001, Interpretation of the transient variations in the time series of precipitation amounts in Seoul, Korea. Part I: diurnal variation. Journal of Climate, 14, 2989-3004.
- Lim, G.-H. and Kwon, H.-J., 1998, Diurnal variation of precipitation over south Korea and its implication. Journal of the Korean Meteorological Society, 34, 222-237.

2006년 6월 13일 접수
 2006년 7월 25일 수정원고 접수
 2006년 7월 25일 채택