

한반도 여름철 집중호우의 시간·공간 변동 특성

차은정 (기상연구소 예보연구실 기상연구사)

최영진 (기상연구소 예보연구실 기상연구관)

1. 서론

한반도(남한을 의미함) 평균 강수량은 지역별로 차이는 있으나 400~800mm로 연 평균 강수량의 50% 정도를 차지하고 6~8월 사이에 항상 존재하는 장마기간 강수량에 의하여 크게 좌우된다. 또한 장마기간의 집중호우 강도와 빈도는 기상재해와 직접적으로 관련이 있다. 집중호우는 빈번하게 발생하는 돌발적인 기상재해로서 인간의 생존 뿐 만이 아니라 사회발전에 심각한 피해를 준다. 그래서 장마 시작, 종료, 강수량, 장마 기간 동안 집중호우 특성 등은 주요 연구 주제였고 현재도 활발히 진행중이다.

우리 나라에서 강수에 관련된 연구는 장마의 종관적 특성에 관한 연구(Lee, 1976, 김성삼 등, 1982), 우리 나라 강수의 계절변화와 관련된 공간형태의 객관적 규명 연구(허창희와 강인식, 1988), 호우발생의 원인별 분류(홍성길과 전중갑, 1978)와 호우의 공간적 분포와 연강수량에 대한 기여도(이광호와 김문일, 1982) 등이다.

최근에 지구온난화 시그널이 점차 뚜렷해짐에 따라 이와 관련된 강수량 연구가 증가하였다. 현재보다 두 배로 증가한 CO₂ 기후에 대한 몇몇 대기대순환모의 결과는 온실효과의 증가와 함께 일반적으로 강수 강도의 증가 및 강수 빈도의 감소를 예측하였다(Mearns et al., 1990, Gordon et al., 1992). 그리고 이러한 변화는 지구온난화와 연관된 강한 대류성 강우의 증가와 대규모 비대류성 강수의 감소에 기인한다고 해석하고 있다.

엘니뇨/라니냐 현상과 남한의 강수량과 관련된 연구도 있다(강인식, 1998; 차은정 등, 1999, 2000). 이들의 결과에 의하면, 통계적 유의성은 높지 않으나, 엘니뇨 해 여름철에는 강수량은 많고, 집중호우가 많이 발생하는 경향을 보인다. 1998년 여름철 중국-한국-일본에서 발생한 대규모 강수의 원인은 1997/98년에 발생한 금세기 최고의 엘니뇨와 1998년 7월부터 발생한 라니냐의 공동 영향으로 분석되었다(차은정 등, 2000; 중국 기상출판사, 1999).

권태영 등(1998)은 전국 28개 주요 관측 지점에서 1975~1994년(20년)의 여름철 강수를 제 1차 우기(6월 2일~8월 2일)와 제 2차 우기(8월 3일~9월 20일)로 나누었는데, 제 1차 우기에는 뚜렷한 변화 경향이 없었으나, 제 2차 우기에서는 강수 강도와 강수량이 뚜렷하게 증가함을 보였다.

일본에서는 일강수량 극한값의 발생빈도가 증가하고 있고(Iwashima and Yamamoto, 1993), 오스트레일리아 동부지역은 감소 경향을 나타내었다(Nicholls and Karico, 1993)

본 연구에서는 한반도 남한의 여름철 강수량의 시간, 공간적 특성을 분석하였다. 2절은 자료와 분석기간을, 3절에서는 한반도 여름철 강수량 장기 변동을, 4절에는 한반도 여름철 강수량 공간 변동, 특히 집중호우 특징을 서술하였다 그리고 5절에는 결론에 대하여 정리하였다.

2. 자료와 분석기간

본 연구에 사용한 강수량 자료는 기상청에서 관측한 일별, 월별, 그리고 여름철 강수량이다(중양기시대, 1985, 1986. 기상청, 1997, 기상연보: 1997, 1998, 1999) 여기서 여름철은 6~8월까지를 의미한다. 기간은 장기간 시계열 분석에는 표 1.중에서 14번 관측지점까지만 사용하였는데, 그 중 제주, 추풍령 그리고 울릉도는 제외하였는데 왜냐하면 섬과 산악에 위치하고 있기 때문에 지형효과가 커서 장기간 분석에는 부적당하기(차은정 등, 1999) 때문이다. 11개 지점의 위치를 그림 1.에 나타내었다 한국 전쟁과 기타 다른 이유에 의한 각 지점의 결측 기간은 표 2.에 나타내었다.

남한에서 현대적 관측 기기를 이용한 강수량 관측은 1904년 4월 1일 목포에서 최초로 시작되었고, 그

후 서서히 증가하다가 1971년에 급격히 증가하여 60여 개 지점에 이르렀으나(표 1.) 실질적인 관측은 1973년 이후에 이루어졌다. 여름철 강수의 공간분포

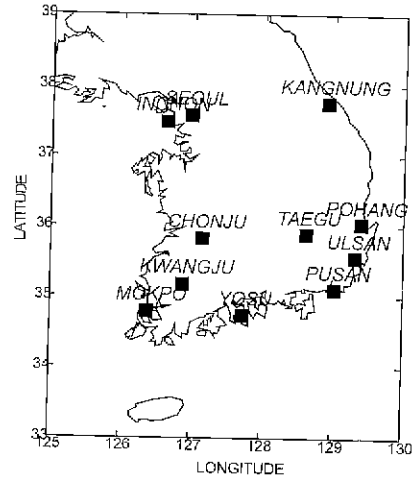


그림 1. 장기간 11개 관측지점

표 1. 전국 관측지점별 관측 개시일

번호	지점명	월	일	번호	지점명	월	일	번호	지점명	월	일
1*	목포	1904.	4 1	26*	임실	1969.	5 11	51*	남해	1971.	1 1
2*	부산	1904.	4 9	27*	정읍	1969	5.11	52*	양평	1971.	2. 1
3*	인천	1904.	4.10	28*	을진	1971.	1 1	53*	해남	1971	2 1
4*	대구	1907	1 7	29*	강화	1971	1 1	54*	원도	1971	5. 1
5*	서울	1907	10. 1	30*	이천	1971.	1 1	55*	순천	1971	6 1
6*	강릉	1911.	10 1	31*	제천	1971	1 1	56*	보은	1971	6.16
7*	전주	1918	5.15	32*	충주	1971.	1. 1	57*	홍천	1971	7. 1
8*	제주	1923.	5 1	33*	천안	1971	1 1	58*	대관령	1971.	7 11
9*	울산	1931.	7 10	34*	부여	1971.	1 1	59*	원주	1971.	9 1
10*	추풍령	1935.	9. 1	35*	금산	1971.	1. 1	60*	인제	1971.	9 1
11*	울릉도	1938.	8 10	36*	남원	1971	1 1	61*	보령	1971.	12 10
12*	광주	1938.	10 1	37*	장흥	1971	1 1	62	인동	1982.	4 6
13*	여수	1942	4. 1	38*	고흥	1971	1 1	63	마산	1985	7. 1
14*	포항	1943	1 1	39*	성산포	1971.	1. 1	64	태백	1985	9 1
15*	서귀포	1961.	1. 1	40*	영주	1971	1 1	65	철원	1988	1. 1
16*	수원	1964.	1 1	41*	문경	1971.	1. 1	66	장수	1988.	1 1
17*	춘천	1966	1. 1	42*	영덕	1971.	1. 1	67	춘양	1988	1. 1
18*	청주	1967.	1. 1	43*	의성	1971	1 1	68	제주고층	1988.	5. 1
19*	통영	1967	1 1	44*	구미	1971.	1. 1	69	동해	1992	5. 1
20*	속초	1968	1. 1	45*	영천	1971.	1 1	70	무안	1993	1. 1
21*	서산	1968.	1 1	46*	거창	1971	1 1	71	영월	1995	1 1
22*	군산	1968	1. 1	47*	합천	1971	1 1	72	흑산도	1997	1 1
23*	대전	1969.	1 1	48*	밀양	1971	1. 1	73	돌두천	1998	2. 1
24*	진주	1969	3 1	49*	산청	1971	1. 1				
25*	부안	1969	5 11	50*	거제	1971	1 1	총계	73개 관측지점		

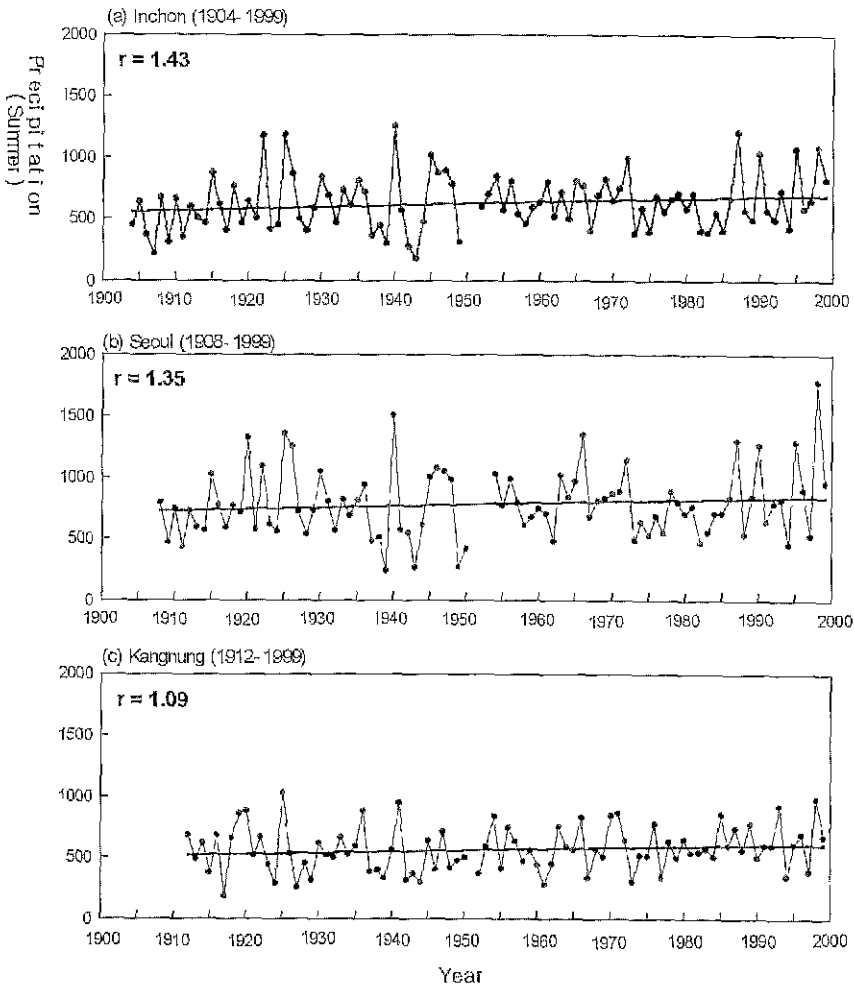
표 2. 각 관측지점의 결측 기간

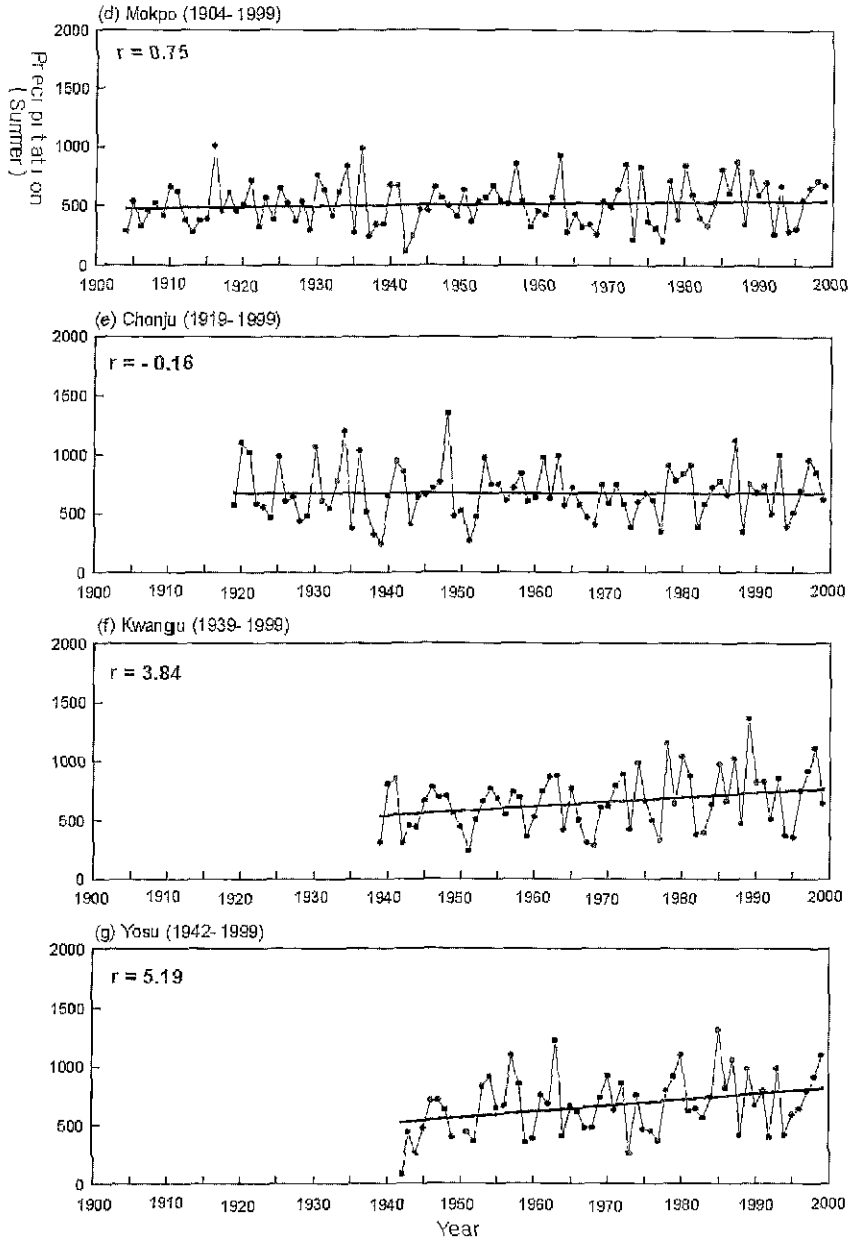
지점명	결측기간
목포	-
부산	-
인천	1950, 1951
대구	-
서울	1951, 1952, 1953
강릉	1951
전주	-
울산	1945
광주	-
여수	1950
포함	1948, 1950

특성분석에는 전국에 관측지점은 73개 중에서 61개 지점(표 1.에서 *표시)의 여름철(6월~8월) 일별 강수량으로 기간은 1973~1999년(27년간)이다. 관측지점간의 평균 거리는 약 60~80km 정도로 중부 내륙 지역을 제외하고는 비교적 균등한 공간 분포를 하고 있다(임규호, 1992)

3. 한반도 여름철 강수량의 시간 변동 특성

우리 나라의 강수량은 여름철에 대부분 지역에서 연강수량의 50%이상이 내려서 여름철 집중형태를





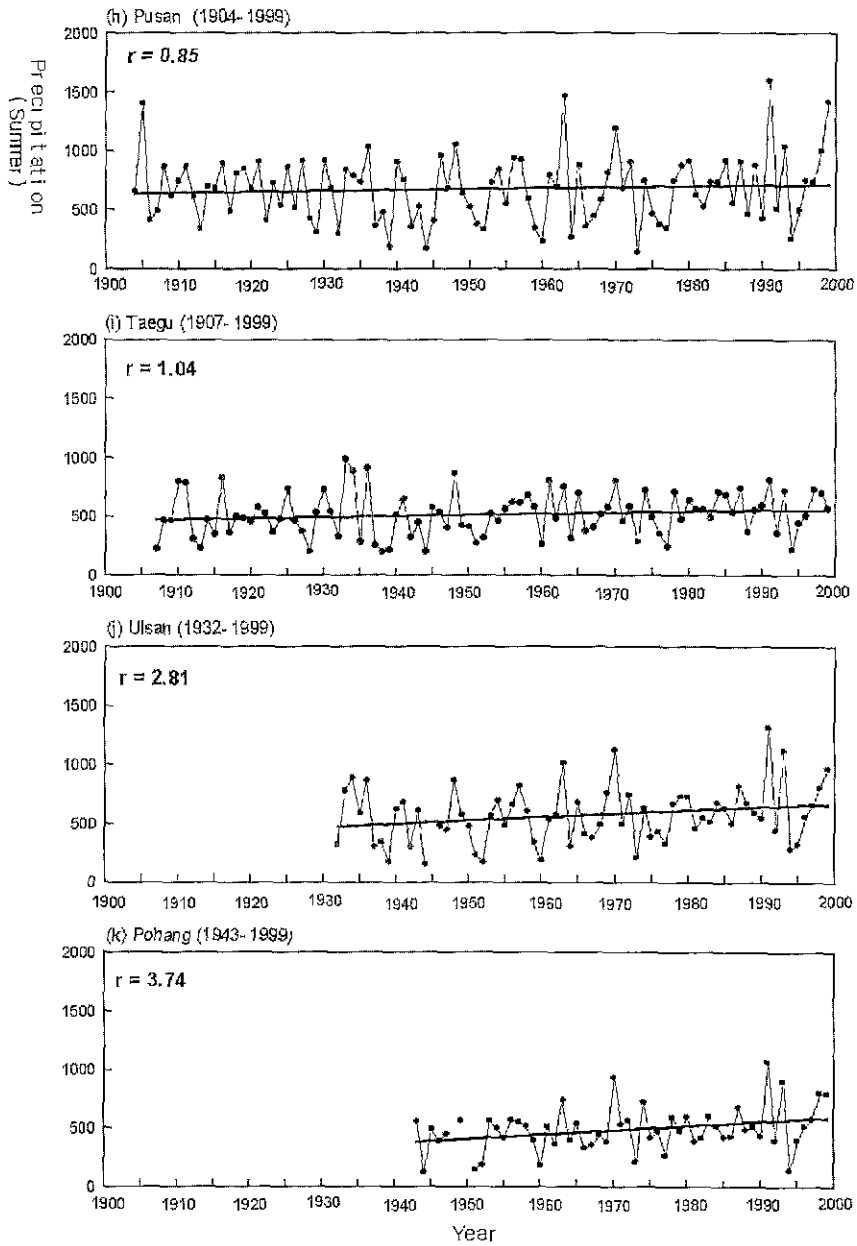


그림 2. 여름철 강수량의 시계열(관측 개시년도~1999년)
 (a)인천, (b)서울, (c)강릉, (d)목포, (e)전주, (f)광주, (g)여수,
 (h)부산, (i)대구, (j)울산, (k)포항(r 1차 선형회귀식의 기울기).

표 3 집중호우 발생 빈도의 공간분포 특징

특 징		연 도
전국적으로 발생한 해		1987, 1989, 1995, 1993, 1997, 1998, 1999
거의 발생하지 않은 해		1973, 1977, 1982, 1983, 1988, 1992
주로 서울 경기지방에 발생한 해		1980, 1981, 1986, 1987, 1990, 1995, 1996, 1998, 1999
주로 중부지방에 발생한 해		1987, 1994, 1995, 1997, 1998
주로 남부 해안에 발생한 해	남부해안	1974, 1978, 1979, 1980, 1985, 1987, 1989, 1993, 1997, 1998, 1999
	전라도 해안	1981, 1982, 1986,
	강상도 해안	1984, 1991, 1995
주로 제주도에 발생한 해		1974, 1979, 1985, 1986, 1987, 1994, 1995, 1999

보이고, 해마다 지역별로 변동성이 대단히 크다

그림 1.에서 나타난 지역별 11개 관측지점의 여름철 강수량 시계열을 분석하였다. 시계열 내에 관측 기간동안 상승이나 하강 경향성이 나타나는지 알아보기 위하여 95%의 유의수준 내에서 제 1차 선형회귀식의 기울기를 구하고, t 검정을 이용하여 기울기(r)의 유의성을 검정하였다.

회귀분석 결과(그림 2.)에 의하면, 변동성은 대단히 크지만, 전주를 제외한 10개 지점에서 전반적으로 여름철 강수량이 증가하고 있는데 이는 권태영 등(1998)의 결과와도 일치한다 특히 광주, 여수, 울산, 포항에서 큰 값을 보였는데 이는 다른 지점에 비하여 관측기간이 짧은 데에도 원인이 있다고 본다.

전주는 약하기는 하나 유일하게 감소경향을 보였다. 강수량 변동폭이 큰 지점은 서울과 부산이고, 비교적 적은 곳은 강릉이다 11개 지점 공통으로 1960년대와 1970년대는 변동폭이 작은 반면 1990년대에는 크다. 이상 건조기는 1968~1969년, 1976~1977년, 1982~1983년, 1988년, 1992년, 1994년에 나타났다 이상 습윤기는 1970년, 1986~1987년, 1997~1999년으로 기상연구소(1999)의 결과와 대략적으로 일치한다

4. 한반도 여름철 집중호우의 공간특성 변동

본 장에서는 표 1.의 전국 73개 관측지점 중 *표

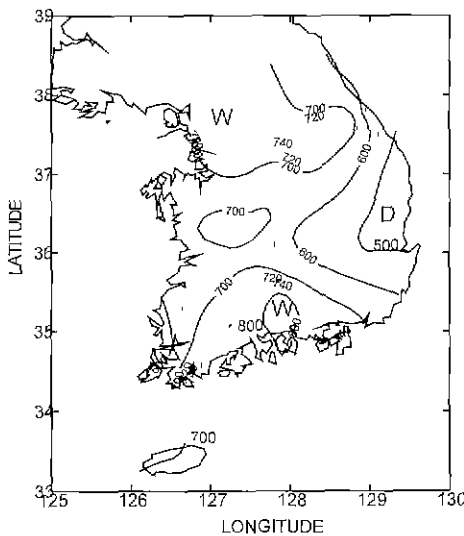


그림 3(a). 한반도 여름철 강수량 분포도 (W : 다우지역, D : 소유지역)

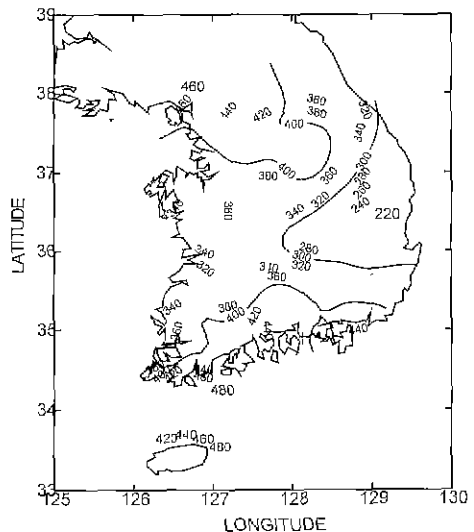


그림 3(b). 한반도 여름철 강수량 표준편차 분포도

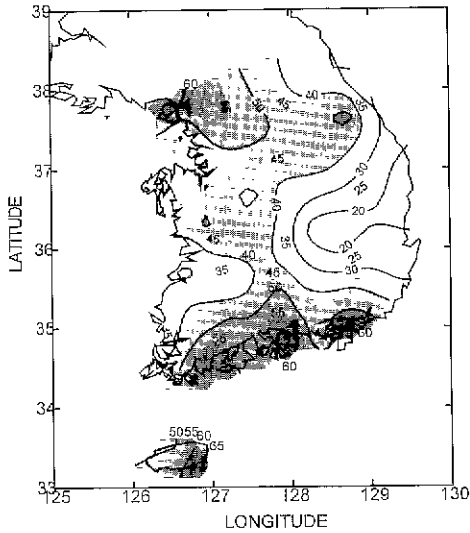


그림 4 여름철 일강수량이 80mm 이상인 날 빈도수(1973~1999)

표시한 61개 관측지점에서 일강수량이 80mm 이상인 날의 빈도수를 추출하여 회귀분석과 공간분포 특성을 분석을 하였다.

우리 나라 강수의 계절변화에 의하여 가장 뚜렷하게 나타나는 형태는 남-북의 쌍극자 형태, 2번째 형태는 동-서의 쌍극자 형태, 3번째 형태는 남-북의 파동형태이다(허창희와 강인식, 1988).

표 1.에 나타난 전국 61개 관측지점의 일강수량으로 계산한 여름철 강수량 분포도(그림 3(a))와 표준편차 분포도이다(그림 3(b)). 우리나라의 대표적인 다우지역은 서울·경기 지방, 남해안 지방, 제주도이고 소우지역은 남부 서해안 일부지방과 영동지방, 경북 내륙지방이다. 그림 3(a)와 (b)는 유사한 형태를 보여주고 있고, 허창희와 강인식(1988)의 3가지 공간형태를 모두 포함하고 있다. 다우지역에서 표준편차의 빈도폭이 큰 반면, 소우지역에서는 적어서 다우지역에서 비가 많이 올 수도 있고 적게 올 수도 있음을 의미한다

그림 4.는 여름철 일강수량이 80mm 이상인 날의 빈도수로 여름철 강수량 분포도와 유사하다 일강수량 80mm 이상은 기상청에서 사용하는 호우주의보 발표기준으로서 보통 집중호우의 기준으로 사용되기

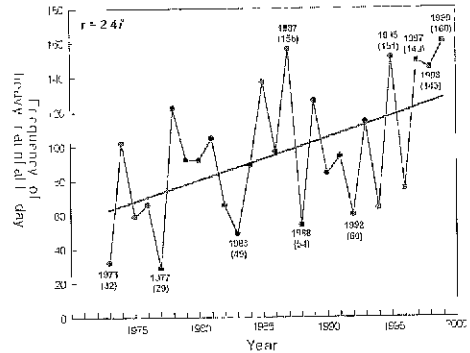


그림 5. 61개 지점 1973년~1999년 일강수량 80mm 이상인 날 빈도수의 시계열 (r : 1차 선형회귀식의 기울기)

도 한다(차은정 등, 1999). 집중호우 빈도수 역시 여름철 강수량 분포도와 유사하여 다우지역에서 집중호우가 많이 발생하고 소우지역에서 적게 발생한다. 1973년부터 1999년 27년 동안 61개 지점에서 총 2569회의 집중호우가 발생하였으며, 남해에서 71번으로 가장 많이 발생하였고, 구미에서 14번으로 가장 적게 발생하였다.

그림 5.는 61개 지점 1973~1999년 일강수량 80mm 이상인 날 시계열로, 1차 선형회귀식을 사용하여 상승 또는 하강 경향을 분석하였다. 기울기는 2.47로 증가경향이 나타나서, 여름철 강수량 증가와 함께 집중호우 빈도수 역시 증가함을 알 수 있다. 연도별로 집중호우가 적게 발생한 해는 1977년(29회), 1973년(32회), 1983년(49회), 1988년(54회) 그리고 1992년(60회)이다. 반면에 많이 발생한 해는 1999년(160회), 1987년(156회), 1995년(151회), 1997년(149회) 그리고 1998년(145회)이다. 특히 1990년대 후반에 집중호우가 더욱 증가함을 알 수 있다

그림 6.은 1973년부터 1999년까지 27년 동안 일강수량이 80mm 이상인 날의 빈도수로 해마다 집중호우가 많이 발생한 지역을 쉽게 구분할 수 있다. 발생횟수가 2회 이상인 지역을 음영 표시하였다. 공간분포상으로 볼 때, 1973년부터 1999년까지 집중호우 빈도수가 증가하였다. 표 3.에 집중호우 발생 특징별로 구분하였다

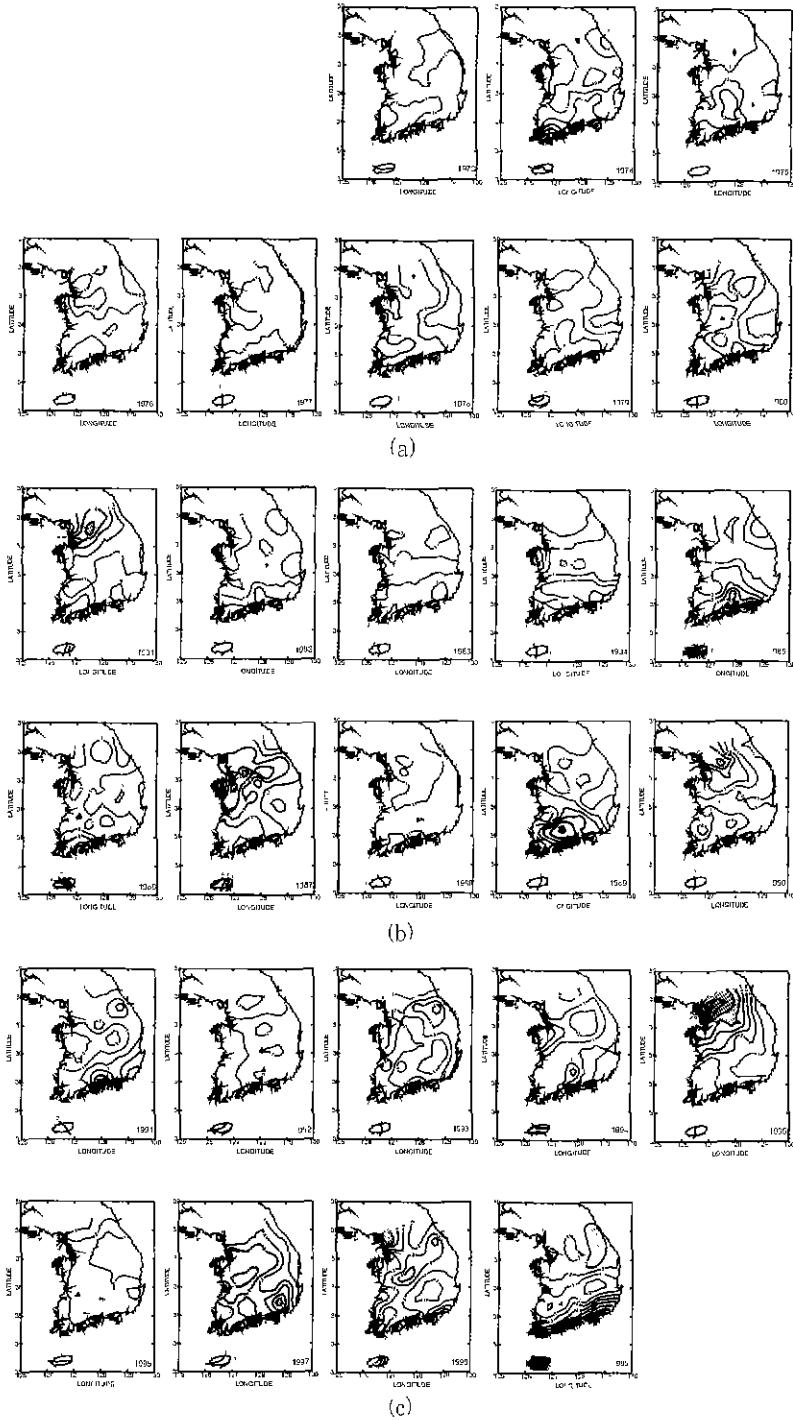


그림 6. 61개소 지점 1973년~1999년 일강수량 80mm 이상인 날 빈도수의 공간분포도
 (a) 1973년~1980년, (b) 1981년~1990년, (c) 1991년~1999년.
 빈도수가 2회 이상부터 음영표시함.

5. 결론 및 맺음말

한반도 여름철 강수량의 시간·공간 변동 특성에 대하여 회귀분석법을 이용하여 연구하였다.

회귀분석 결과에 의하면, 해마다 그리고 지역별로 변동성은 크지만, 대부분 장기간 관측지점에서 여름철 강수량이 증가하고 있다. 단, 전주는 기온기가 작기는 하나 유일하게 감소경향을 보였다. 11개 지점에서 1960년대와 1970년대는 변동폭이 작은 반면 1990년대에는 컸고, 이상 건조기는 1968~1969년, 1976~1977년, 1982~1983년, 1988년, 1992년, 1994년이며, 이상 습윤기는 1970년, 1986~1987년, 1997~1999년이다.

집중호우의 시간·공간 변동을 알아보기 위하여 61개 관측지점에서 일강수량이 80mm 이상인 날의 빈도수를 추출하여 회귀분석과 공간분포 특성을 분석하였다. 일강수량 80mm 이상은 기상청의 호우주의보 발표기준으로서 보통 집중호우의 기준으로 사용되기도 한다(차은정 등, 1999). 1973년부터 1999년 27년 동안 61개 지점에서 총 2569번의 집중호우가 발생하였으며, 남해에서 71번으로 가장 많이 발생하였고, 구미에서 14번으로 가장 적게 발생하였다. 회귀분석 결과에 의하면, 여름철 강수량 증가와 함께 집중호우 빈도수 역시 증가함을 알 수 있다. 연도별로 집중호우가 적게 발생한 해는 1977년(29회), 1973년(32회), 1983년(49회), 1988년(54회) 그리고 1992년(60회)이다. 반면에 많이 발생한 해는 1999년(160회), 1987년(156회), 1995년(151회), 1997년(149회) 그리고 1998년(145회)이다. 특히 1990년대 후반에 집중호우가 더욱 증가함을 알

수 있다.

해마다 집중호우가 내리고 피해도 계속된다. 특히, 무분별한 개발과 자연파괴로 인하여 과거와 같은 양의 비가 내려도 피해가 커졌다. 예를 들면 강수량과 집중호우 발생 빈도수가 훨씬 많은 곳은 남부해안 지역인데 오히려 피해가 많이 발생하는 곳은 경기북부 지방이다. 이러한 원인은 기상에 의한 원인보다는 이 지역의 무분별한 택지개발과 이에 의한 자연 파괴 때문으로 이미 자연의 복원 능력이 상실되었기 때문이다. 그러므로 대규모 개발을 하면서 하천 유출량을 계산하고 이를 감당할 저류시설을 마련해야 하면, 예상되는 재해에 대해서는 <막을 수 있다>는 안이한 발상에서 <재해, 위기는 반드시 온다>는 쪽으로 발상의 전환 또한 필요하다. 앞으로 과거에 미처 생각하거나 경험하지 못했던 일이 자주 발생할 것이고, 기상재해는 근본적인 해결책을 찾기가 불가능하며 예측과 사전대비를 통하여 피해를 최소화하는데 주력해야 한다. 자연재해에 대해 피해를 <없애는> 것이 아닌 피해를 <최소화>하는 위기관리 체계가 필요하고 범정부적인 종합대책 수립이 필수적이다. 앞으로의 날씨를 100% 예측할 수 없지만, 꾸준한 연구와 투자는 예보 정확도 향상의 지름길이 될 것이다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부 지원으로 수행하는 중점국가연구개발사업(온실가스저감기술연구)의 일환으로 수행되었습니다. 자료를 제공해주신 기상청 기후자료과 신언성씨에게 감사드립니다.

<참고문헌>

강인식(1998), 엘니뇨와 한반도 기후변동의 관련성. 한국기상학회지, Vol. 34, PP.390-396.
권태영, 오성남, 박상욱(1998), 한반도 여름 강우의 장기변동과 지역적 특성. 한국기상학회지, Vol. 34, PP.20-30.
기상연구소(1999), 기후시스템 물리과정 상호작용

연구(I) 기상연구소, MR991F13, P.164.
기상청(1997), 한국강수량자료(제4권), P.348.
기상청(1997), 기상연보, P.247
기상청(1998), 기상연보, P.241.
기상청(1999), 기상연보, P.241
김성삼, 정창희, 박순용, 이병설(1982), 장마계의 종관적

- 특성, 서울대학교 자연과학종합연구소
- 민승규(1999), 반복되는 기상재해와 대응시스템. 삼성경제연구소, P 11.
- 이광호, 김문일(1982), 집중호우의 종관기후학적 연구. 한국기상학회지, Vol. 18, PP.11-17.
- 임규호(1992), 한반도 강수량과 북반구 여름철 대기순환의 계절 변화. 한국기상학회지, 28, 269-282.
- 중국 기상출판사(1999), '98 중국대홍수와 이상기후, P.112.
- 중앙기상대(1985), 한국강수자료(제1권), P.278
- 중앙기상대(1985), 한국강수자료(제2권), P.266.
- 중앙기상대(1986), 한국강수자료(제3권), P.343
- 차은정, 전종갑, 정효상(1999), 엘니뇨/라니냐 해의 우리나라 기후 특성에 관한 연구. 한국기상학회지, Vol. 35, PP 98-117.
- 차은정, 최영진, 오재호(2000), 1998년 여름철 이상기상 분석과 1997/98년 엘니뇨, 한국기상학회지(인쇄중)
- 허창희, 강인식, 1988 : 한국 지역 강수의 변동성에 관한 연구. 한국기상학회지, Vol. 24, PP.38-48.
- 홍성길, 전종갑(1978), 집중호우 상습지역에 대한 조사연구, 기상연구소, PP 1-30.
- Gordon, H. B., Whetton, P. H , Pittok, A. B., Fowler, A. N. and Haylok, M. R.(1992). Simulated changes in daily rainfall intensity due to the enhanced greenhouse effect. implications for extreme rainfall events. *Climate Dyn*, 4, PP.83-102
- Iwashima, T. and Yamamoto, R.,(1993), A statistical Analysis of the Extreme Events: Long-term Trend of Heavy Daily Precipitation. *J. Meteorol Soc. Japan*, Vol. 67 PP.637-640.
- Lee, B. S.,(1976), Weather-Climatological study of Changma and Kaul Changma in Korea in relation to two rainy seasons of East Asia. *Sadae Nonchong*, Vol 14, PP.185-218.
- Mearns, L. O., S. H. Schneider, S. L. Thompson, and L. R. McDaniel(1990), Analysis of climate variability in general circulation models: Comparison with observation and changes in variability in 2×CO₂ experiments. *J. Climate.*, Vol. 4, PP.425-435.
- Nicholls, N , and Kariko, A ,(1993), East Australian Rainfall Events: Interannual Variations, Trend, and Relationship with the Southern Oscillation. *J. Climate.*, Vol. 6, PP 1141-1152.