

한반도 집중호우의 기후학

차은정 (기상연구소)

1. 서론

올 여름 장마기간 동안 서울과 경기 북부, 강원 영서 지방은 강수량이 700~800 mm에 달해 평년 같은 기간보다 2배 가량 많았고, 특히 서울은 2.3배 많았다. 호남지방도 평년에 비하여 많았지만, 충청과 경북 지역은 상대적으로 적었다. 올해도 집중호우가 기습적으로 발생하여 막대한 인적·경제적 피해를 초래하였다.

한반도의 집중호우 경향에 대하여 알아보면, 1973년부터 1999년까지 기상청에서 관측한 강수량을 분석한 결과 1990년대 후반부터 한반도 집중호우 빈도가 증가한 것으로 나타났다(차은정과 최영진, 2000). 이런 집중호우의 증가는 단지 우리 나라뿐만이 아니라 세계 각지역에서 발생하였다. 일본에서는 일강수량 극한값의 발생빈도가 증가하고 있으며 미국에서도 유사한 경향을 보였다(Iwashima and Yamamoto, 1993). 한편, 오스트레일리아 동부지역은 감소 경향을 나타내었다(Nicholls and Karico, 1993). Song (2000)에 의한 중국의 100개 관측지점 강수량 분석 결과, 가뭄과 홍수 발생빈도가 증가함이 나타났고, 이탈리아에서도 강수강도가 증가함이 나타났다 Brunetti et al, 2000). 즉, 세계 각지에서 강수의 극단현상(extreme case)이 점차로 빈번해진다는 것이다.

그러면 왜 강수의 극단현상이 빈번해지는 것인가?

이 질문에 대한 (가설) 답변 중 첫 번째로 거론되는 것은 온실기체 증가에 따른 지구온난화이다. 지구온난화 때문에 국지적 대류성 강수는 증가하는 반면, 대규모 비대류성 강수는 감소한다는 것이다. 이 가설은 몇몇 대기대순환 모델 실험 결과로서 지지되고 있다. 현재 대기중 농도보다 두 배로 증가한 CO₂ 기후에 대한 실험 결과 몬순이 강해지고, 집중호우의 강도의 증가 및 강수 빈도의 감소를 예측하였다(Noda and Tokioka, 1989; Gordon et al, 1992). 그러나 아직까지 이에 대한 열역학적-역학적 이론에 바탕을 둔 과정은 밝혀지지 않고 있다.

그 밖의 원인으로는 엘니뇨현상이 제기되고 있다. 열대 태평양에서 비정상적으로 해수온도가 상승하게 되면 그 영향이 전지구 대기대순환에 나타난다. 통계적 유의성은 높지 않으나, 엘니뇨 해 여름철에는 강수량은 많고, 집중호우가 많이 발생하는 경향을 보인다(차은정 등, 1999). 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).

2. 한반도 집중호우의 기후학

본 절에서는 한반도 여름철 집중호우의 시간·공간 변동 특성 연구(차은정과 최영진, 2000)의 일련으로

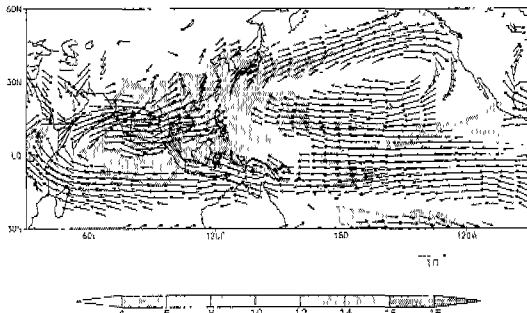


그림 1. 여름철 (6월~8월) 강수량 (음영표시)과 하층 (850 hPa) 바람분포 (화살표)

월별·지점별 특징을 알아본다.

본 연구에 사용한 자료는 기상청에서 관측한 1953년부터 2000년(48년간) 까지 5월~9월의 일별 강수량이다. 11개 관측지점(강릉, 서울, 인천, 포항, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 목포, 여수)에서 일 강수량이 80 mm 이상인 날의 빈도수를 추출하여 회귀분석을 하였고, 1979년부터 2000년부터 전지구 격자 강수량 자료(Xie and Arkin, 1996)를 사용하여 한반도 관측 자료와 비교하였다. 이 자료는 지상과 선박 관측자료, 위성 관측자료, 그리고 NCEP-NCAR (National Center National Centers for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research)의 모델 결과를 이용하여 1979년부터 생산되었다.

그림 1은 Xie and Arkin(1996)의 전지구 강수량 자료와 NCEP-NCAR의 재분석 자료를 사용한 여름철 강수량(색갈부분)과 하층 바람의 분포(화살표)이다. 인도-인도차이나반도-필리핀 帶狀의 형태로 세계 최대 다우지역을 형성한다. 중국-한국-일본 역시 여름철 몬순이 뚜렷한 지역이다. 여름철 바람의 분포를 보면, 아프리카 대륙 동쪽에 뚜렷하게 보이는 적도를 가로지르는(남반구에서 북반구로 향하는) 탁월풍이 인도-동남아시아를 거쳐 동아시아 지역까지 도달한다. 인도에서는 5월경에 탁월풍이 불기 시작하면 몬순 시작으로 보고 있다. 적도태평양에서는 적도를 중심으로 북반구·남반구에서 동풍이 부는 대칭구조가 나타나지만, 인도양은 적도를 중심으로 북반구·남반구에

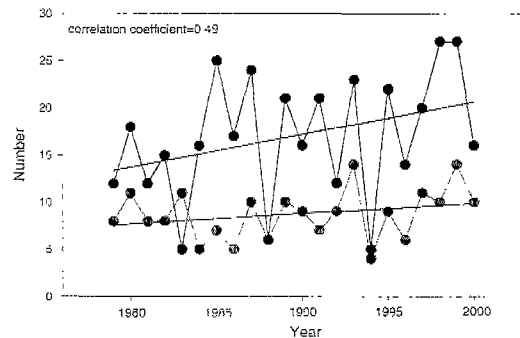


그림 2. 기상청 (KMA) 관측 강수량과 전국 강수량 (Xie and Arkin, 1996) 자료 시계열

서 풍향이 서로 반대이다. 한편, 중위도 북태평양에는 여름철 내내 북태평양 고기압이 뚜렷하다. 북태평양 고기압의 운동에 의하여 장마의 시작-종료 시기가 달라진다.

그림 2는 Xie and Arkin (1996)의 전지구 강수량 중에서 동아시아 지역(115E~140E, 25N~40N) 강수량과 우리 나라에서 관측한 자료의 경향을 비교한 그림이다. Xie and Arkin(1996)의 강수량자료(빨간색)는 일별 6 mm를 이상인 날을 추출하였고, 기상청 관측자료(파란색)는 일강수량 80 mm 이상인 날이다. 두 자료의 상관계수는 95 % 신뢰도 구간에서 0.49로 상관성이 비교적 높은 것으로 나타났다. 검은 실선은 각각의 시계열에 대한 1차 선형회귀식의 기울기이다. 두 시계열 모두 증가하지만, 기상청 관측자료가 증가 경향이 뚜렷하다.

그러나 우리 나라의 강수량은 여름철에 대부분 지역에서 연강수량의 50 % 이상이 내려서 여름철 집중 형태를 보이고, 해마다 그리고 지역별로 변동성이 대단히 크기 때문에 강수량 예측에 있어서 어려운 점이 많다. 지역별 차이점은 그림 3에서도 쉽게 알 수 있다. 그림 3은 기상청에서 관측한 1953년부터 2000년까지 11개 지점의 5월~9월 강수량 중 일강수량이 80 mm 이상인 날의 빈도수이다. 기상청에서는 일강수량이 80 mm 이상 예상될 때, 호우주의보로 정의한다. 보통 집중호우의 기준으로서 일강수량 80 mm로 정의한다. 11개 지점 중 집중호우 최대 발생 지점은 서울로서 121회, 이어서 부산, 여수는 각각 112회이

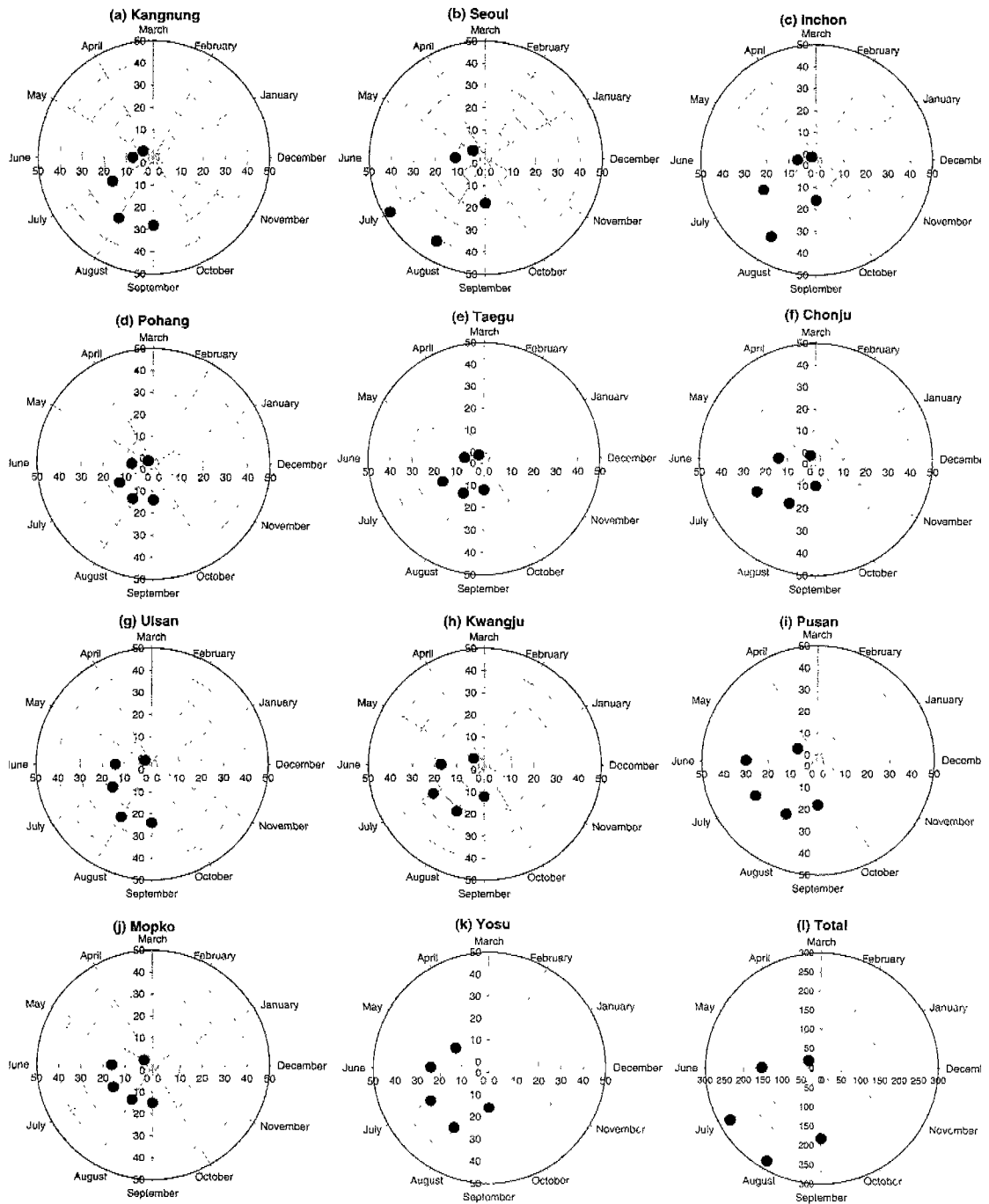


그림 3. 지점별 일강수량 80 mm 이상인 날의 빈도수

(a) 강릉, (b) 서울, (c) 인천, (d) 포항, (e) 대구, (f) 전주, (g) 울산, (h) 광주, (i) 부산, (j) 목포, (k) 여수, (l) 11개 지점 합계, 눈금 간격이 다름

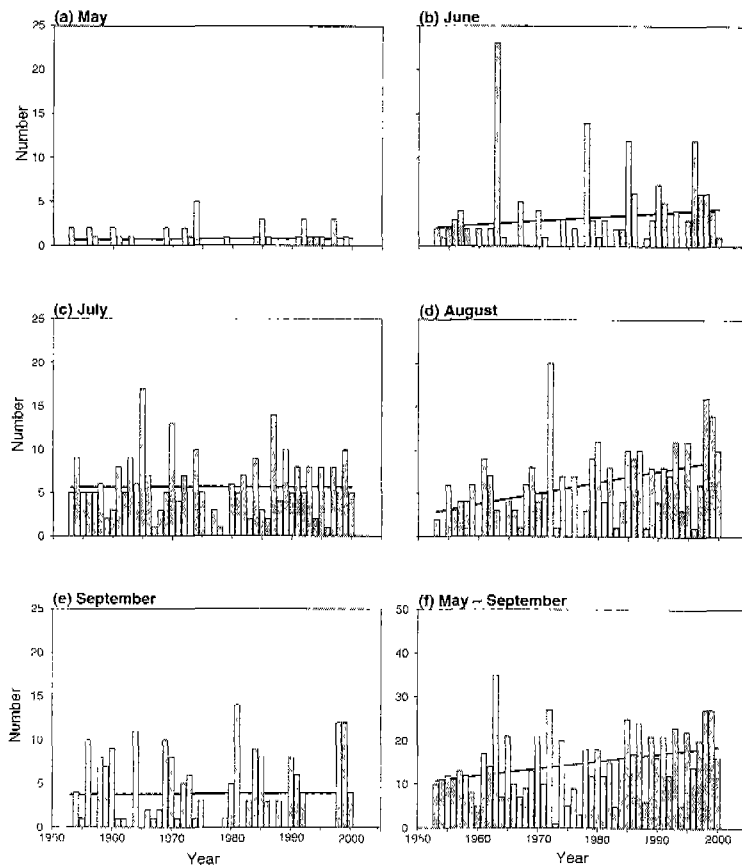


그림 4. 일강수량 80 mm 이상인 날의 빈도수(1953~2000)

(a) 5월, (b) 6월, (c) 7월, (d) 8월, (e) 9월, (f) 합계, 눈금 간격이 다름
 실선(빨간색)은 1차 선형회귀식의 기울기를 의미(95% 신뢰도)

다. 최소 발생 지역은 포함은 52회, 대구는 53회로 서울의 50% 정도에 머물고 있다.

그림 4-1은 지점별로 5월~9월 각 월의 일강수량이 80 mm 이상인 날의 분포도(scatter diagram)이다. 각 지점별로 특징은 다음과 같다. 최대빈도수가 7월에 나타나는 지점은 서울, 대구, 전주, 광주, 목포이고 8월은 강릉, 인천, 포항, 울산, 여수이다. 전체 평균은 8월이 7월보다 집중호우 발생빈도가 큰 것으로 나타났다(그림 4-1). 또한 6월보다 9월에 더 빈도수가 많아서, 8월-7월-9월-6월의 순서이다. 강릉과 인천은 8월이 월등히 많다. 포항, 대구, 부산 그리고 목포는 6월-7월-8월 빈도가 거의 균일하였다.

그림 4-2는 11개 지점 월별 일강수량 80 mm 이상

인 날의 빈도수를 연도별로 나타내고 1차 선형회귀식을 사용하여 증가 또는 감소 경향을 분석하였다. 5월, 7월, 그리고 9월은 증·감의 경향이 뚜렷하지 않으나 6월과 8월에 증가하는 경향이고 특히 8월은 뚜렷한 증가 경향을 보여준다. 전체적으로(그림 4-2의 (f)) 집중호우 빈도수 역시 증가하고 있으며, 특히 1990년대 후반에 집중호우가 더욱 증가함을 알 수 있다. 이 결과는 권태영 등(1998)의 제 2차 우기(8월 3일~9월 20일)에 강수 강도와 강수량이 뚜렷하게 증가한다는 결과와 일치하며, 그 증가 경향이 1990년대 후반에 뚜렷함을 알 수 있다.

그렇다면, 왜 강수빈도가 증가하고 1990년대 후반에 그 경향이 강인가에 대한 의문이 생긴다. 최근의 연구 결과(N. Sato, 2001)에 의하면, 바이우(Baiu) 전선(장마전선에 대한

일본의 명칭)의 북상이 늦어졌다. 장마전선의 북상은 장마전선의 종료를 의미한다. 이들은 최근 10년(1986~1995)과 과거 10년(1959~1968)의 8월 1일~10일 일조시간과 운량 비교한 결과, 최근 10년에 운량은 증가하고 일조시간은 현저히 감소하였다. 그리고 최근 10년이 과거에 비하여 장마전선이 늦게 북상하는 경향이 나타났다. 이들은 운량의 증가와 일조시간의 감소 원인은 장마전선의 늦은 북상과 관련이 있다고 하였다. 늦은 북상은 일본-한국에 장마종료가 늦어지고 강수의 확률이 높다는 것이다. 이런 설명은 위에서 언급한 8월 강수량과 집중호우 빈도가 증가하는 것과 일치한다. 동시에 오호츠크 고기압이 강화되는 경향을 보였는데 이런 강화 현상이 장마전선의 북

Number of Heavy rainfall day
(1953-2000), May-September.

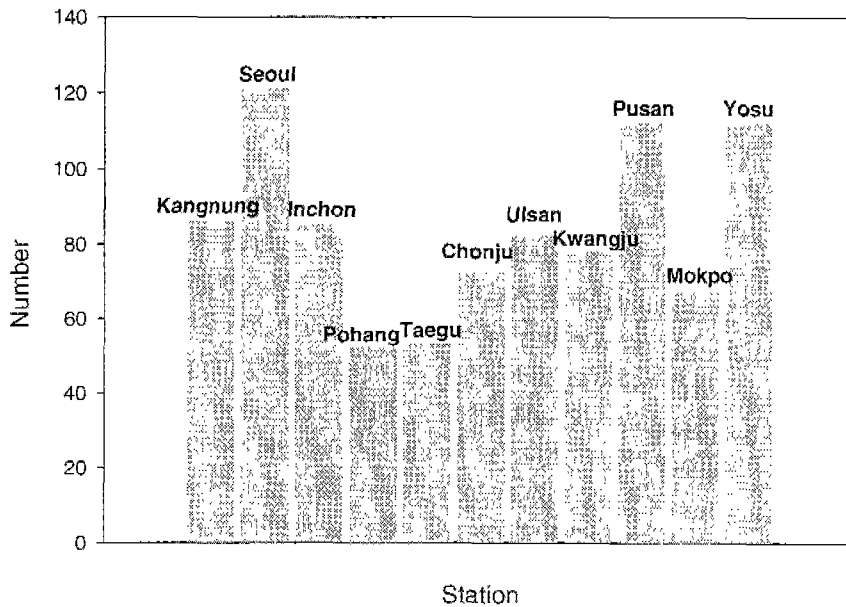


그림 5. 11개 관측지점의 일강수량이 80 mm 이상인 날 빈도수
왼쪽부터 강릉, 서울, 인천, 포항, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 목포, 여수

상을 막고 있을 수 있다. 그러나 이런 일련의 현상이 “지구온난화에 의한 기후변화의 신호”인지 아직 설명하지 못하고 있다. 논리적인 설명을 위해서는 통계적 방법에 의한 보다 장기간 전구 관측자료의 분석과 더불어 반드시 기후모델에 의한 수치실험이 병행되어야 한다(차은정 등, 2000). ●

감사의 글

This work was supported in part by a scholarship award to the author from the College Women's Association of Japan.

〈참 고 문 헌〉

- 권태영, 오성남, 박상욱, 1998 : 한반도 여름 강우의 장기변동과 지역적 특성, 한국기상학회지, 34, 20-30.
- 차은정, 진종갑, 정효상, 1999 : 엘니뇨/라니냐 해의 우리나라 기후 특성에 관한 연구, 한국기상학회지, 35, 98-117.
- 차은정, 최영진, 오재호, 2000 : 1998년 여름철 이상기상 분석과 1997/98년 엘니뇨, 한국기상학회지, 36, 269-284.
- 차은정, 류정희, 오재호, 2000 : 자연과 대화수단-슈퍼컴퓨터, 한국수자원학회지, 33(No.2), 84-88.
- 차은정, 최영진, 2000 : 한반도 여름철 집중호우의 시간·공간 변동 특성, 한국수자원학회지, 33(No.4), 47-56.
- 차은정, 2000 : 우리 나라 수자원의 근원-문순, 한국수자원학회지, 33(No.4), 67-72.
- Brunetti M. Buffoni L, Maugeri M, and Nanni T, 2000 : Precipitation intensity trend in northern Italy. *Int. J. Climatol.* 20. 1017-1031.
- 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, 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.* 67. 637-640.
- 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.*, 4, 425-435.
- Nicholls, N., and Kariko, A., 1993 : East Australian Rainfall Events: Interannual Variations, Trend, and Relationship with the Southern Oscillation. *J. Climate.*, 6, 1141-1152.
- Noda, A. and T. Tokioka, 1989 : The effect of doubling the CO₂ concentration on convective and non-convective precipitation in a general circulation model coupled with a simple mixed layer ocean model. *J. Meteorol. Soc. Japan.* 67. 1057-1069.
- Sato, N. and Takahashi, M., 2001 : Long-term variations of the Baiu frontal zone and midsummer weather in Japan. *J. Meteorol. Soc. Japan.* 79. 759-770.
- Song J, 2000 : Changes in dryness/wetness in China during the last 529 years. *Int. J. Climatol.* 20. 1003-1015.
- Xie, P., and P.A. Arkin, 1996 : Global Precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78. 2539-2588.