

하계 몬순 기간중의 장마의 시작, 종료 및 세기의 정의

하경자¹ · 윤경숙¹ · 전종갑² · 박정규³

¹부산대학교 대기과학과

²서울대학교 지구환경과학부

³기상청 기후 예측과

(2005년 7월 5일 접수; 2005년 12월 7일 승인)

Definition of Onset/Retreat and Intensity of Changma during the Boreal Summer Monsoon Season

Kyung-Ja Ha¹, Kyung-Sook Yun¹, Jong-Ghap Jhun² and Chung-Kyu Park³

¹Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University

²School of Earth and Environmental Science, Seoul National Univ.,

³Climate prediction division, KMA

(Manuscript received 5 July 2005; in final form 7 December 2005)

Abstract

To ameliorate understanding on the Korean rainy season (Changma) during the boreal summer, its onset and retreat dates are investigated with the use of ground based station data. Firstly the representative stations have been chosen by e-folding threshold method of temporal correlation coefficient from the long-term data records. Onset and retreat dates of Changma have been defined by annual variations of temperature, precipitation, relative humidity, cloudiness and insolation, averaged for the 25-year period from 1980 to 2004 at 6 representative stations such as Seoul, Daejeon, Busan, Namwon, Haenam, and Sungsanpo. For days relative to onset date at 6 representative stations, the daily rainfall composite from 1973 to 2004 shows sharply an increased rainfall on onset time. Onset date at representative stations is taken to be 21 June for 6-station mean; and Retreat date is taken to be 26 July. The interannual variability of onset date is significantly larger than that of retreat date. Interannual variabilities of Changma intensities defined by normality of precipitation (I) and accumulated precipitation (II) for 6 stations are compared to the CRI (Changma Rain Index) by Ha et al. (2005). The Changma intensity II tends to be positively lag-correlated with snow cover (leading about 3 months) over Eurasia continent. Interannual variations of Changma onset date have been significantly linked with NINO 4 SST anomalies during April. The limited discussion on linkage mechanism between leading predictors and onset date or intensity of Changma is discussed in some extends.

Key words: Changma, onset and retreat dates, boreal summer monsoon, Changma intensity

1. 서론

동아시아의 몬순 강수는 그 경년 변동이 커서 여름철 장마에 대한 예보 문제는 중요한 예측 과제 중의 하나이다. 이런 몬순 순환을 이해하기 위해 많은

선행 연구 (박순용 등, 1989; Ha *et al.*, 2005)가 수행되어 왔다.

Oh *et al.* (2000)은 장마 시작 전과 장마 기간, 장마 종료 후로 나누어 500 hPa 지위 고도를 알아보고 장마 시작과 종료 모두에서 한반도와 일본 남부에 500 hPa 지위 고도가 급증하고 중 고위도에서의 지위 고도가 장마 시작 며칠 전에 증가함을 밝혔다. 또한 여름 몬순의 시작과 종료와 관련하여 티벳 고원의 역할과 강수, 몬순 기후의 특징 등도 연구되었다 (Huang *et al.*, 1997; Tao and Chen, 1987). 윤

Corresponding Author: Kyung-Ja Ha, Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea.

Phone : +82-51-510-2177, Fax : +82-51-515-1689

E-mail : kjha@pusan.ac.kr

원태 등 (2001)은 1998년 우리나라 주변 여름 강수의 강약이 북태평양 고기압의 영향을 크게 받는다고 하였고, 대기 대순환의 변동과 몬순의 세기와 관련하여 강한 편서풍과 강한 동아시아 여름 몬순은 많은 상관성을 가질 것이라 하였다 (Webster and Yang, 1992; Meehl, 1987).

동아시아 여름 몬순은 일본에서는 바이유 (Baiu), 중국에서는 메이유 (Meiyu), 한국에서는 장마 (Changma)로 알려져 있다. 그러나 서로 다른 시작일과 종료일에 대한 정의를 내리고 있다. 일본 (기상청 기후예측과)에서는 5일 평균된 일기도, 일조시간, 강수량을 종합하여 바이유를 정의한다. Ninomiya and Murakami (1987)는 약 6월 1일부터 7월 15일까지 강수량의 최대값과 일사량의 최소값이 나타나는 기간에 포함되는 일정 기간을 바이유로 결정하였다. 중국 (국가기후센터)에서는 양쯔강 중, 하류 지역의 다섯 지점을 설정하고 그 중 두 지점 이상에서 하루에 10mm 이상 비가 내리는 기간을 메이유로 정의하였다. 바이유와 메이유의 공통적인 특징은 몬순 수렴대가 형성되고, 정체전선으로 특징 지워지며 온도 경도에 비해 수증기 경도가 더 강한 특징을 가지고 있다 (Tao and Chen, 1987).

장마는 지역적으로 바이유와 메이유 사이에 놓여 있으며 두 지역에 비해 지배하는 강제 인자가 더 복잡함으로 시작 시기나 종료를 알아보기 매우 어렵다 (임정선 · 박순웅, 1991). 그러나 한반도 연강수량의 50%이상을 차지하는 장마의 영향을 생각해 볼 때 우리나라에서도 장마의 시종과 세기에 대한 정의가 좀 더 구체적으로 내려져야 할 것으로 보인다.

장마는 기상학적으로 “장마전선의 영향을 받아 비가 오는 것”을 말한다. 그러나 일반적 개념으로서의 장마는 “여름철에 여러 날 계속해서 비가 내리는 현상이나 날씨 또는 그 비”로 정의할 수 있다 (류상범, 2001). 이 연구에서는 종관 관측 자료를 이용하여 장마의 일반적 정의에 더 가깝게 장마를 정의하고자 한다. 장마의 영향 인자로 습기와 기온, 바람을 모두 고려하고자 장마요소로서 기온, 전운량, 일사량, 상대습도, 바람의 동서 및 남북 성분을 사용하여 장마를 정의하고자 한다. 강수는 기압이나 기온 등의 기상 요소와는 다르게 시간과 공간의 편차가 상당히 크며, 산악, 해양 등의 지형적인 영향을 많이 받

는다 (허창희 · 강인식, 1988). 이런 지역적 편차를 줄이기 위해 우리나라의 관측 요소 특징을 대체적으로 잘 표현하는 대표 지점을 선택하였고, 그 대표 지점을 통해 장마의 시종과 장마의 세기에 대해서 정의하고자 한다. 장마의 세기는 장마 기간동안의 정규성 정도와 누적 강수량으로 정의 내렸다. 더 나아가 장마에 영향을 주는 예측 인자들에 대해 찾아보고 상관성 및 특징을 논의하고자 한다.

2. 장마 요소의 정의 및 통계

본 연구에서는 현재의 종관 관측 지점 수가 거의 일정하게 유지되기 시작하는 1973년부터 2004년까지의 종관 관측 지점의 일 자료를 사용하였다. 장마의 종관 예측 인자로는 장마의 일반적 정의와 관련하여 강수량을 사용하고, 강수의 증가와 함께 변화하는 성분인 일사량, 전운량, 상대습도 등을 장마 요소로 결정했다. 또한 몬순지수로 흔히 사용되는 바람의 동서 및 남북 성분 그리고 장마가 끝난 후 무더위가 시작된다는 점에 착안하여 기온도 중요한 요소로 결정하였다.

장마의 시종과 세기의 예측 인자를 찾기 위해 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)/CPC (Climate Prediction Center)에서 제공하는 적설면적과 SST 시계열 자료를 사용하였다.

기본적으로 태풍과 국지 호우 특성을 감소시키고 저주파 진동을 얻기 위하여 3일 이동 평균하였으며 25년 기후 (1980년부터 2004년)의 15일 이동 평균된 장마 성분들의 시계열로부터, 해마다의 장마 시작일과 종료일을 결정하고 경년 변동과 세기에 대해서 알아보았다.

많은 선행 연구들에서 장마는 서로 다르게 정의되었다. 크게 보아 일기도 등을 이용한 장마기의 기압배치와 장마전선의 유무, 강수의 발생에 근거하여 결정되었다. 이병설 · 김성삼 (1983)은 한반도 부근의 기압 배치를 통해 장마기를 정의하였고, 김성삼 등 (1983)은 일기도와 강수 자료를 이용해 6월과 7월에 장마전선이 우리나라 또는 우리나라 부근을 통과하고 있고, 강수가 2-3일 연속하여 내리기 시작한 날을 장마 시작일로 정하고, 3-4일 연속하여 비가 그친 날을 장마가 끝난 날로 정의하였다. 이 경우 강수

가 지역적으로 편차가 커서 광역의 장마 시작이나 종료를 정의하는데 어려움이 많다. 전영신 · 박순웅 (1990)은 지상일기도와 남한의 일 강수량 자료를 참고하여 장마 전선의 영향으로 남부 지방에 비가 내리기 시작한 날부터 중부 지방이 장마 전선의 영향에서 벗어나 강수가 끝나게 되는 날까지를 장마 기간으로 정하였다. 임정선 · 박순웅 (1991)은 김성삼 등 (1983)의 정의를 그대로 사용하였다. 차은정 등 (1999)은 일본의 일조 시간 기준을 참고하여 일조시간이 평년 이하로 감소 또는 평년 이상으로 증가할 때를 장마의 시작 또는 종료라고 정의하였고, 그 외 일조시간과 운량 등을 참고하였다. 기상청에서는 한반도에 정체 전선이 위치하고 강수량이 민감하게 변하는 5개를 참고 지점들 중에서 2개 지점 이상이 3일 연속 5mm이상의 강수가 기록 될 때를 장마의 시작으로 정의하고 있다. Table 1은 장마 정의에 사용된 변수와 장마 시작과 종료에 사용된 문턱값 특성이다.

3. 장마의 종관 관측적 정의

3.1 장마 대표 지점의 선정

한반도 장마 특성은 지역마다 매우 다르게 나타

난다. 장마의 시종을 정의하기에 앞서 한반도의 공간적 특성을 잘 표현하는 대표 지점을 찾기 위하여 주위 여러 종관 지점과의 상관성이 e-folding 값 이상에서 넓은 지역에 걸쳐있는 지점을 대표 지점으로 정하고자 하였다. 이를 위하여 모든 종관 관측 지점에서 정의된 장마 성분 (기온, 강수량, 일사량, 상대습도, 전운량, 바람)에 대해 다른 지점들과의 시간 상관성을 구한 후, 그 상관성이 e-folding 값보다 큰 지점의 수가 많으면 그 영향 반경이 크다고 보고 그것을 장마의 대표 지점으로 선정하였다. e-folding 문턱값은 아래와 같다.

$$C = C_0 e^{-1}$$

여기서 C_0 는 관측 지점과 자기 자신의 상관계수를 말하며 (즉 $C_0 = 1$), e-folding 되어진 C 값 이상의 상관계수를 가지는 지점들은 그 관측 지점 값의 영향권 하에 있다고 보았다.

위에서 설명한 방법에 의해 대표 지점을 선정하였다. 한반도 전체의 모든 지점에 대하여 그 영향 지역으로 상관계수 문턱값 이상인 지점을 많이 포함하는 지점 15개를 선정하고, 그 뒤로 20개, 30개, 40개의 지점을 선정하였다. Fig. 1은 각 단계별 문턱값이

Table 1. Comparisons of threshold characteristics for Changma onset and retreat definitions used in the previous studies.

Changma Factor		Monsoon trough (stationary front)	Precipitation	Hours of sunlight	Cloudiness
KMA	onset	Locate over South Korea	Continuous rainfall over 5mm for 3 days		
	retreat	Leave Korea northward	Stop rainfall for 3 days		
Cha. et al (1999)	onset		Continuous rainfall	Decrease above climatology	Above 8.5 and 8.5
	retreat		Continuous sunshine	Increase below climatology	Below 8.4
Chun and Park (1990)	onset	Under influence	Rainfall in the southern part		
	retreat	Out of influence	Stop rainfall in the middle part		
Kim et al. (1983)	onset	Pass through South Korea	Continuous rainfall for 2 ~ 3 days		
	retreat		Stop rainfall for 3 ~ 4days		

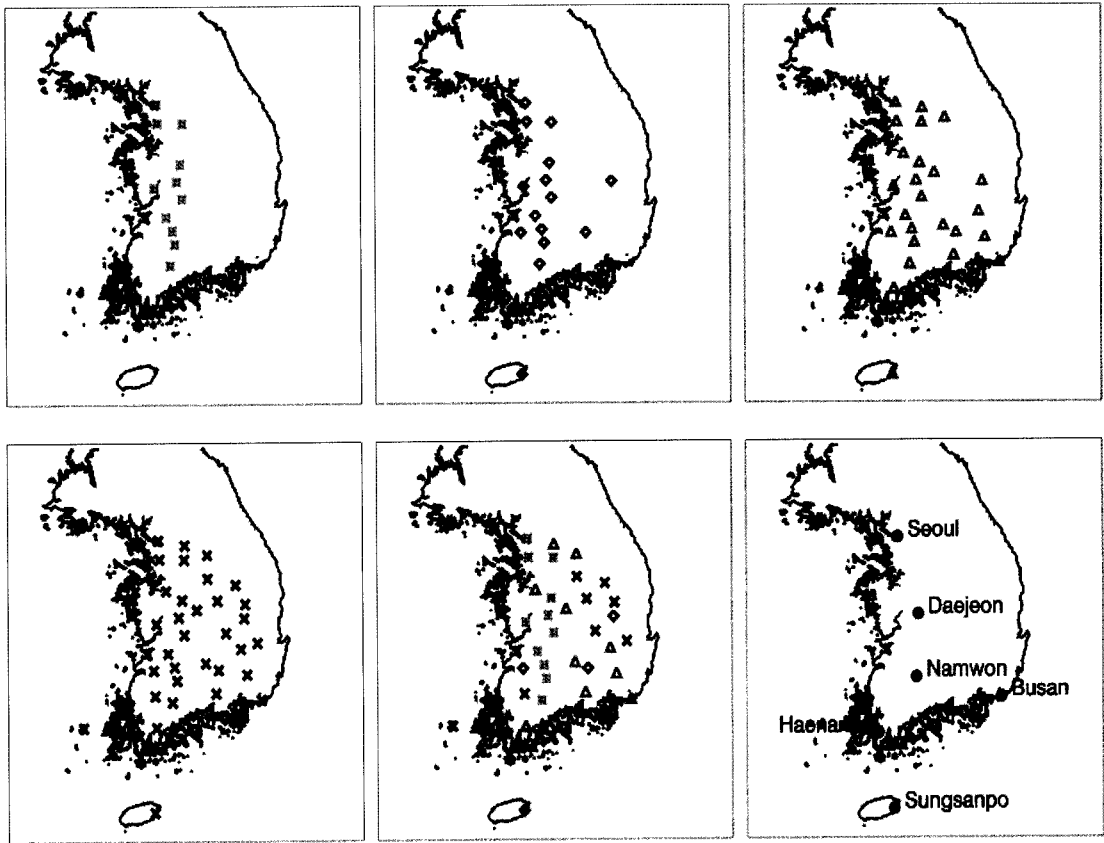


Fig. 1. Selection process of representative stations by e-folding threshold method of temporal correlation coefficient of precipitation at synoptic stations during 1973-2004. Each representative station indicates more station numbers above e-folding correlation coefficient over all changma factors. Each panel indicates stations of 15, 20, 30, 40, composite of sequential step and final representative station from upper left to lower right.

상의 지점들을 표현한 것이다. 1차 선정 과정에서 선정된 지점들이 대부분 서쪽에 치우쳐 있는 것을 쉽게 알아 볼 수 있었고 이는 지형이 완만한 지역에서 서로 영향을 주고받기 쉽기 때문이다. 1차 과정에서 선정된 지점들은 태백산맥과 소백산맥의 경계선 왼쪽, 즉 서해안과 남해안 쪽에만 위치해 있었고 2차, 3차 과정을 거치면서 점차 오른쪽으로 퍼져 나가는 것을 찾아 볼 수 있다. 여전히 동북부 해안에는 지형적 특성이 강하여 한반도 장마의 특성을 대표하는 지점으로 선택된 지점이 없었다. 4차 과정동안에는 동해안 지역의 지점이 상관성이 떨어지는 것을 제외하고는 한반도에 거의 균일한 분포를 보여 지역을 대표하는 지점을 정하였고 이로부터 장마의 성분들에 산맥과 지형이 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있었

다. 본 연구에서 정의한 대표 지점은 공간적이고 지형적인 대표 지점만이 아니라 기상학적 대표 지점으로 장마 성분들에서 높은 상관성을 가짐으로 우리나라의 장마 특성을 대표할 수 있다고 본다. 4차 과정까지 선정된 지점들 중 비교적 균일하게 배분을 하여 최종 선택된 지점들은 북쪽에서부터 서울, 대전, 남원, 부산, 해남, 그리고 성산포이다.

3.2 장마 시작의 정의

장마의 시작은 기상 재해의 예방이나 수자원의 확보에 있어 중요하여 유관 기관이나 일반인에게 중요한 예보 요소이다. 장마의 시작을 정의하기 위해 우선 장마 요소들의 1980년부터 2004년까지의 기

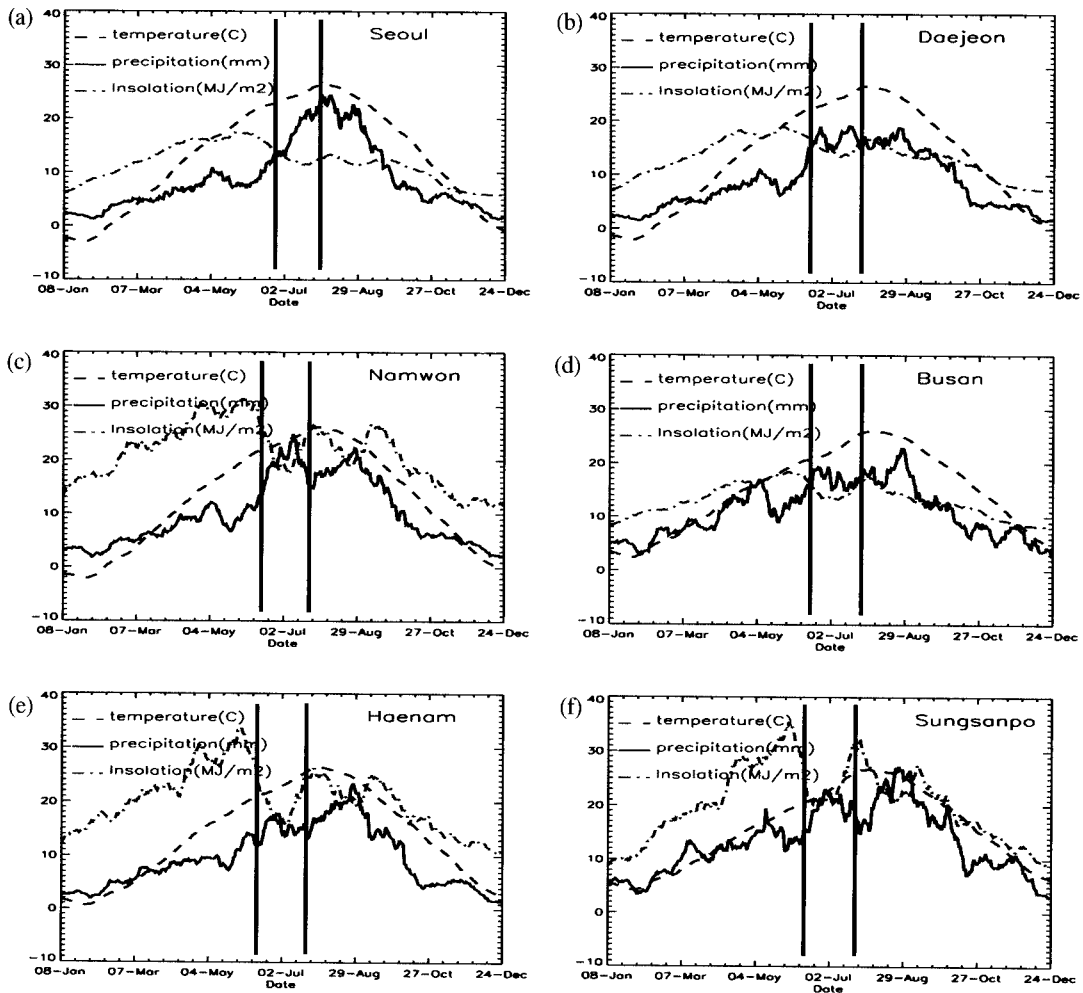


Fig. 2. Annual variations of daily mean temperature, precipitation, and insolation, averaged over the 25-year period from 1980 to 2004. at (a) Seoul, (b) Daejeon, (c) Namwon, (d) Busan, (e) Haenam, and (f) Sungsanpo. Here, the left (right) perpendicular solid lines indicate the Onset (Retreat) dates respectively.

후값을 이용하였다. 25년 기후값의 연 변화를 Fig. 2, 3, 4에 나타내었다. 선택된 장마 요소는 지표 기온, 강수량, 일사량 (Fig. 2), 습도와 전운량 (Fig. 3), 그리고 지상 바람의 동서 및 남북 성분이다 (Fig. 4). Figs. 2, 3 및 4를 통해 알 수 있듯이 장마의 시작기에는 뚜렷한 특징을 찾아 볼 수 있었다. 5월 이후 기온은 계속적으로 증가하고 있고, 6월 이후 강수량이 급격하게 증가하면서 일사량은 감소하는 시기를 종관적 장마 시작일로 정의하였다. Fig. 2에 나타난 수직의 왼쪽 실선이 각 지역에서의 시작일이다. 종료일은 오른쪽 실선의 수직선으로 표현하였다. 전운량

은 6월에서 7월에 걸쳐 높은 값을 보였으며 상대습도는 지역적으로 차이는 있으나 봄철에 건조하다 6월 이후로 증가 추세가 강하게 나타났다 (Fig. 3). 바람의 경우 주로 남북 성분이 장마 요소로 고려되었으나 지형 및 지표의 영향으로 인해 서울과 대전, 남원과 같은 내륙 지방에서는 연중 그 변화가 크지 않았다. 그러나 부산과 성산포와 같은 연안지역의 경우 장마 시작일에 남풍이 증가하기 시작했으며 장마 시작 이후 최대값이 나타났다. Fig. 4에 연안 지역인 부산, 해남, 성산포의 장마 시작일을 점선의 수직선으로 표현하였으며 이는 장마를 정의할 때 직접적으

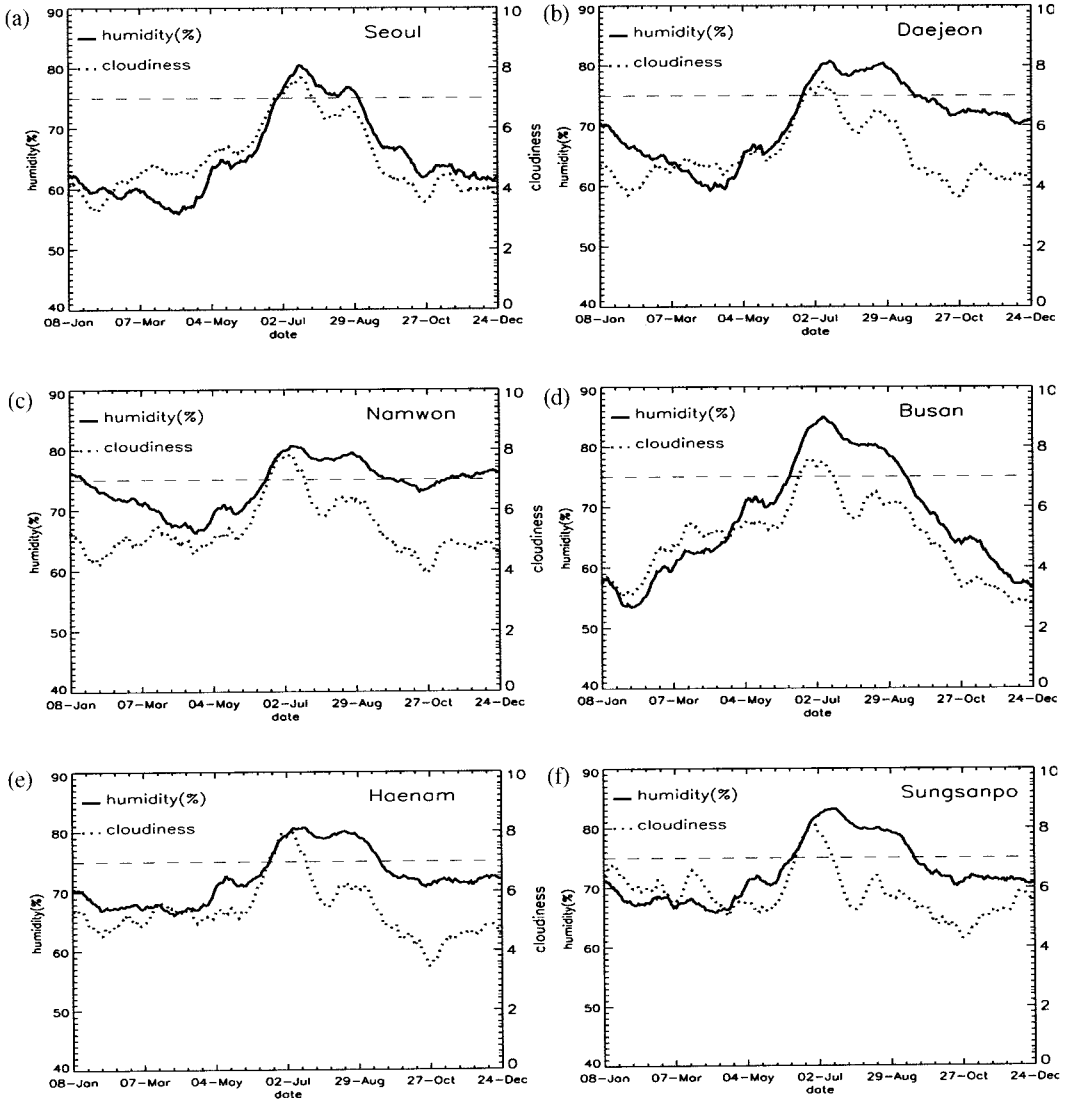


Fig. 3. Annual variations of daily mean relative humidity and cloudiness, averaged over the 25-year period from 1980 to 2004, at (a) Seoul (b) Daejeon (c) Namwon (d) Busan (e) Haenam and (f) Sungsanpo

로 사용되기 보다는 참고적으로 사용되어졌다. 위의 결과를 바탕으로 장마의 시작에 대해서 다음과 같이 정의하였다.

구체적으로 장마 시작일과 종료일에 대한 종관적 특징은 다음과 같다. 각 지점 별로 기후값의 봄철 우기 최대 강수량보다 많은 비가 3일 이상 지속적으로 내리기 시작하는 날을 기점으로 일사량이 감소 상태에 있고 상대습도가 75%이상이거나 전운량이 7 이

상인 날로 정의하였다. 여기에서 봄철 우기란 한반도 부근에서 4월 4일부터 5월 16일 사이에 강수량이 증가하는 시기를 나타내며 (한상은 · 변희룡, 2001) 겨울철 전기와 장마 전 전기사이의 강수량이 증가하는 시기이다. 만약 위의 조건만으로 장마 시작일을 정의하기 어려운 경우 연안 지역에 한해 남풍의 최대 풍속자료를 참고하였다.

장마의 종료기는 장마의 시작기처럼 뚜렷한 특징

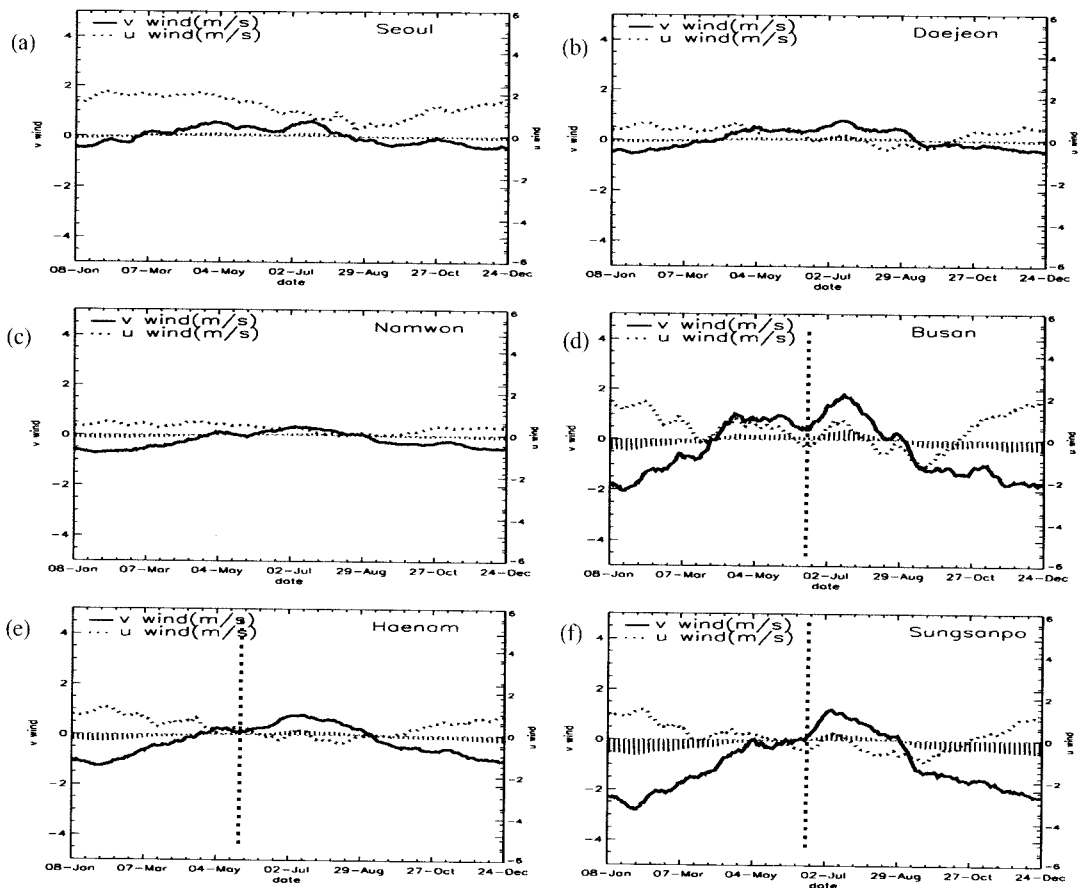


Fig. 4. Annual variations of daily mean U wind and V wind, averaged over the 25-year period from 1980 to 2004 at (a) Seoul, (b) Daejeon, (c) Namwon, (d) Busan, (e) Haenam, and (f) Sungsanpo. Here, perpendicular dashed lines indicate the Onset dates.

은 찾기 어려웠다. 강수량이 감소하면서 전운량, 상대습도 등이 감소하기는 하였으나 상대습도의 경우 8월까지 높은 값을 계속 유지하였다. 이는 장마 종료 후에 고온 다습한 기단의 영향을 받기 때문이다. 남북 성분 바람의 경우 장마의 시작기부터 증가하기 시작해 장마 기간 내에 최대값이 나타났다. 이는 북태평양 기단과 태풍의 영향이 크게 반영된 것으로 보이며 이러한 장마기간의 강한 남풍은 내륙 지역으로 수증기를 수송하는 역할을 해 8, 9월에도 높은 상대습도를 나타내는 한 원인으로 작용한 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 장마가 끝난 후 고온 다습한 북태평양 기단이 한반도에 영향을 끼치며 무더위가 시작된다는 점에 초점을 맞추어 온도의 최고 값이 나타나고 강수량이 5 mm 이하로 3일 이상 지속

된 날을 장마의 종료일로 결정하였다. 단 해마다의 온도 패턴의 차이로 인해 온도의 최고 값으로만 결정하기 어려울 때에는 최고 값이 나타나는 날의 전이나 후의 극치 온도가 나타나는 날로 정의하였다. 그러나 장마의 종료에 대해서는 온도와 강수량을 제외한 면에서 뚜렷한 특징을 찾아 볼 수 없고 이로 인해 뚜렷한 종료일을 정의하기가 어려운 문제점을 가지고 있었다. 이에 앞으로의 연구에서 장마의 종료를 결정하는 장마 성분을 더 찾아야 할 것으로 보이며 장마 후 나타나는 태풍과 집중 호우 등으로 인해 증가하는 강수와 전운량 및 일사량 감소, 기온의 감소 등이 있을 수 있으며 이들의 포함 여부에 대해서도 광범위한 협의 과정이 필요할 것으로 사료된다. Table 2에 이 연구에서 정한 장마의 시작과 종료에

대한 문턱값 특성을 표현하였다.

3.3 장마 기간의 정의

장마의 정상적 구조를 찾기 위하여 모든 지점에서 모든 해의 장마를 장마 시작일로 정의하여 장마 기간 전후의 강수 변화를 살펴보았다. 제 3.2절에서 정의한 장마 시작일에 따라 1973년부터 2004년 기간동안 대표 지점들의 장마 시작일을 0으로 잡고 장마 시작 전 70일로부터 후 90까지의 강수량을 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 장마 시작일에 대한 상대적인 강수 분포를 보면 장마의 시작 시기에는 뚜렷한 강수의 증가를 볼 수 있다. 장마 시작과 함께 급증한 강수는 약 3~4일 정도 지속되다 약화되고 이와 같은 패턴이 약 5일 정도의 주기를 가지고 진동하는 것으로 보인다. 장마의 후반부는 다소 약하나 강수량이 감소하면서 장마가 종료되었고 그 기간은 약 35일로 나타났다. 여기에서 장마의 시작일 전후는 뚜렷한 차이를 찾아 볼 수 있었으나 장마의 종료일 전과 후에는 뚜렷한 차이를 찾아 볼 수 없었다. 이는 태풍과 같은 비전선성 강수에 의한 강수의 증가와 관련된 것으로 보인다. 태풍백서 (1996)에 의하면 1968년부터 1995년까지 우리나라에 영향을 미친 태풍의 횡수는 7월 초부터 증가하기 시작하나 7월 말부터 9월 초 사이에 상대적으로 많은 횡수를 기록했다. 이는 장마가 끝난 후에도 많은 강수가 나타나는 것에 태풍의 통과가 영향을 미친 것으로 보이며 이

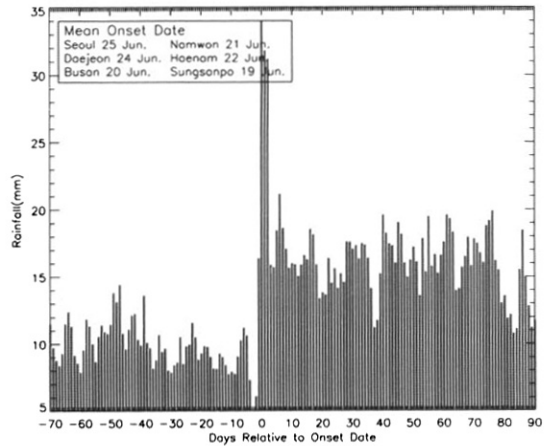


Fig. 5. Composite of mean daily rainfall with respect to the date of Changma onset from 1973 to 2004 for 6 representative synoptic stations.

런 사실은 송혜진 · 허창희 (2003)와 강만석 (2000)의 결과에서도 확인할 수 있다. 태풍 외의 요인으로는 두번째 우기인 가을 장마를 들 수 있을 것이다 (서동일 · 변희룡, 2002; 허창희 · 강인식, 1988). 이는 8월 말과 9월 초에 정체 전선에 의하여 계속 되는 비이며 우리나라 기후의 중요한 특징이다. 이렇게 한반도 우기에는 두개의 peak가 뚜렷하게 나타나며 (권태영 등, 1998), 이는 장마 종료 전후의 차이를 없애는 역할을 하는 것으로 보인다. 이에 본 연구에서는 일차 peak가 끝나는 시점을 장마의 종료라 보았다.

대표 지점들의 연별 장마 시작에 대해 알아보면

Table 2. Threshold characteristics for onset, retreat and duration definitions used in the present studies.

Changma Factor	Onset	Retreat
Temperature		Maximum value
Precipitation	Continuous rainfall exceeding climatologic spring maximum for 3 days	Stop continuous rainfall below 5 mm/day for 3 days
Insolation	Continuous Decrease	
Relative humidity	Above 75%	
Cloudiness	Above 7	
v-wind	Maximum southerlies	

장마의 시작은 지역마다 차이를 보였으며 경년 변동도 컸다. 이는 Fig. 6에 나타내었고 대표 지점별로 32년 평균된 (1973-2004) MOD (Mean Onset Date)를 구하였다. 기후학적 정의를 매 해에 적용해서 장마 시작일을 결정하는 과정에서 지점과 년 수를 각각의 표본으로 보았을 때 총 6 지점, 32년 (192개) 중 약 16개만이 기후학적 정의를 적용하기 힘들었으며 약 92%가 기후학적 정의에 맞게 나타났다. 기후학적 정의를 적용하기 어려운 경우의 특징으로는 그 해 그 지점의 강수량이 다른 해에 비해 상대적으로 적었거나 장마 전후에 걸쳐 국지적 호우가 강했던 점을 들 수 있고 이런 경우는 제외시키고 장마의 시종을 결정하였다. 장마 종료일은 총 176개 (장마 시작 정의를 적용하기 힘든 16개는 제외되었다) 중 약 128개만이 이번 연구에서 정의한 종료 정의에 맞게 나타났다. 이는 전체의 약 73%로 장마 종료 후 나타나는 태풍과 집중 호우 등으로 뚜렷한 특징이 나타나지 않기 때문으로 보인다. 장마 종료 정의를 적용하기 어려운 경우는 강수량을 기준으로 해서 종료일을 결정하였다. Table 3은 본 연구에서 정의한 6개 지점에서의 장마 시종과 기존 연구 결과로 얻은 장마 시종을 비교하여 나타낸 것이다. 기상청 (장마백서, 1995)을 제외하고는 각 연구에서 분석한 해에 한정하여 장마의 시종을 정의하였고 각각의 장마 시종일은 차이를 보임을 알 수 있었다. 이는 장마의 시종

일을 결정하는 것이 그만큼 어렵다는 것을 뜻하며 이에 관한 많은 연구가 더 필요할 것으로 보인다.

성산포의 평균 장마 시작일은 6월 19일이고, 서울은 6월 25일로 나타났다. 그 외 4개 지점들의 MOD는 그 사이에 존재했으며 이는 장마의 시작이 남쪽에서 시작하여 북상한다는 기존 연구의 결과들과 일치한다. 그러나 지역적으로 또는 해마다 차이가 존재하며 최근에는 6 대표 지점들의 장마 시작일의 편차가 작아지는 것으로 나타났다. 이는 장마가 북상하는 속도가 빨라지는 경향이 있는 것으로 사료된다.

장마 기간의 지역적 편차는 다소 존재한다. 특히 남동 연안 지역이 내륙 지역보다 대체적으로 길게 나타났다. 해남의 경우를 제외한 부산, 성산포에서 긴 장마 기간을 볼 수 있었고, 남원, 서울과 대전은 짧은 장마 기간을 나타내었다. Fig. 7에서 볼 수 있듯이 장마의 평균 종료일은 서울 7월 27일, 대전, 남원, 부산 그리고 해남에서 7월 24일, 성산포에서 7월 22일로 나타났다. 장마의 시작에 비해 장마의 종료 날짜는 대체적으로 비슷하게 나타났으나 장마의 시작이 남쪽에서 앞섰듯이 장마의 종료도 남쪽이 북쪽보다 더 빠른 것으로 나타났다. 장마 기간 (장마 종료 - 장마 시작)의 평균은 약 35일로 나타났으며 이는 Fig. 5에 나타난 장마 기간과 일치함을 알 수 있다. 장마 기간의 편차는 부산에서 가장 작은 값을 가졌고, 서울에서 가장 큰 값을 가졌다.

3.4 장마 세기 I과 II의 정의

본 연구에서는 장마 세기를 정의하기 위해 모든 종관 자료로부터 얻은 대표 지점값, 격자 평균값으로 나누어 장마의 세기를 정의하였다.

우선 종관적 지표로 종관 관측 자료 강수량의 정규성 (normality)을 정의하였다. 이는 우리나라 전 지점의 관측 시작년부터 현재까지 장마 기간 (여기에서 사용된 장마 기간은 기후학적 평년 장마기간으로 6월 20일부터 7월 30일까지이다) 동안 관측된 평균 강수량을 구한 후 지점별로 기후 값과 비교하여 해마다 다우 (above normal) 지점인지 과우 (below normal) 지점인지 결정하였다. 다우 지점 수가 많으면 그 해를 다우해로, 과우 지점 수가 많으면 그 해를 과우해로 결정하였다. 이 연구에서의 장마세기 I을

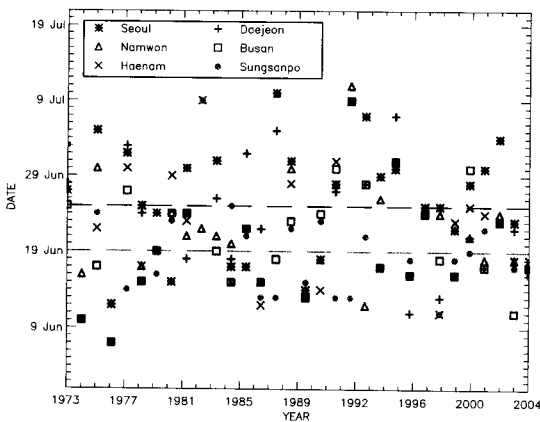


Fig. 6. Interannual variations of the Changma onset Date at 6 representative stations. The light and heavy dashed lines indicate mean onset dates for the analysis period at Sungsanpo and Seoul, respectively.

Table 3. The dates of Changma onset and retreat obtained from the previous studies and the present study.

	KMA	Present Study	Cha <i>et al.</i> (99)	Lim and Park (91)	Chun and Park (90)
1973	6/25~7/1	6/25~7/17	6/25~7/22		
1974	6/16~7/31	6/10~7/20			
1975	6/17~7/29	6/22~7/23	6/17~7/29		
1976	6/17~7/17	6/7~7/23	6/17~7/28		
1977	6/15~7/19	6/27~7/29			
1978	6/15~7/21	6/15~7/27			
1979	6/15~7/23	6/19~8/1			
1980	6/16~7/31	6/21~7/21			6/17~7/30
1981	6/19~7/14	6/21~7/19			6/19~7/13
1982	7/5~7/29	7/9~8/7	7/5~7/30		7/12~7/29
1983	6/19~7/25	6/19~8/3			6/19~8/10
1984	6/14~7/13	6/15~7/14			6/22~7/16
1985	6/21~7/18	6/21~7/29	6/21~7/28	6/21~7/19	6/22~7/19
1986	6/20~7/26	6/12~7/27		6/22~7/26	
1987	6/23~8/10	7/5~8/1	7/1~8/10	7/1~8/5	
1988	6/22~7/28	6/23~8/3	6/22~7/28	7/2~7/27	
1989	6/23~7/30	6/13~7/20		6/24~7/29	
1990	6/18~7/27	6/18~7/30			
1991	6/15~8/2	6/27~7/23	6/15~8/2		
1992	6/22~7/31	7/9~7/23			
1993	6/18~7/30	6/21~7/31	6/18~7/30		
1994	6/17~7/16	6/26~7/14			
1995	6/21~7/27	6/30~7/27			
1996	6/19~7/22	6/16~7/25			
1997	6/20~7/22	6/24~7/27			
1998	6/12~7/28	6/11~7/27			
1999	6/17~7/20	6/16~7/25			
2000	6/16~7/19	6/21~7/29			
2001	6/21~8/1	6/17~7/24			
2002	6/19~7/24	6/23~7/31			
2003	6/22~7/25	6/17~8/2			
2004		6/16~7/22			

정의하는 강수 정규성은 다음과 같이 결정된다:

Normality in precipitation =

(above N- below N)/ station N_0

여기에서 N_0 은 우리나라 전체 지점의 수이고, N은
다우, 과우 지점 수를 나타낸다.

강수 정규성은 우리나라 종관 관측 지점들의 상
대적인 강수량을 비교한 것이기 때문에 관측적 장마
의 세기보다는 일반인들이 예년에 비하여 각 해에
피부로 느끼는 세기를 더 고려하여 정의되었다.

또 다른 종관적 지표로 이 연구에서 정의한 장마
기간 동안의 6개 대표 지점에서의 누적 강수량을 장

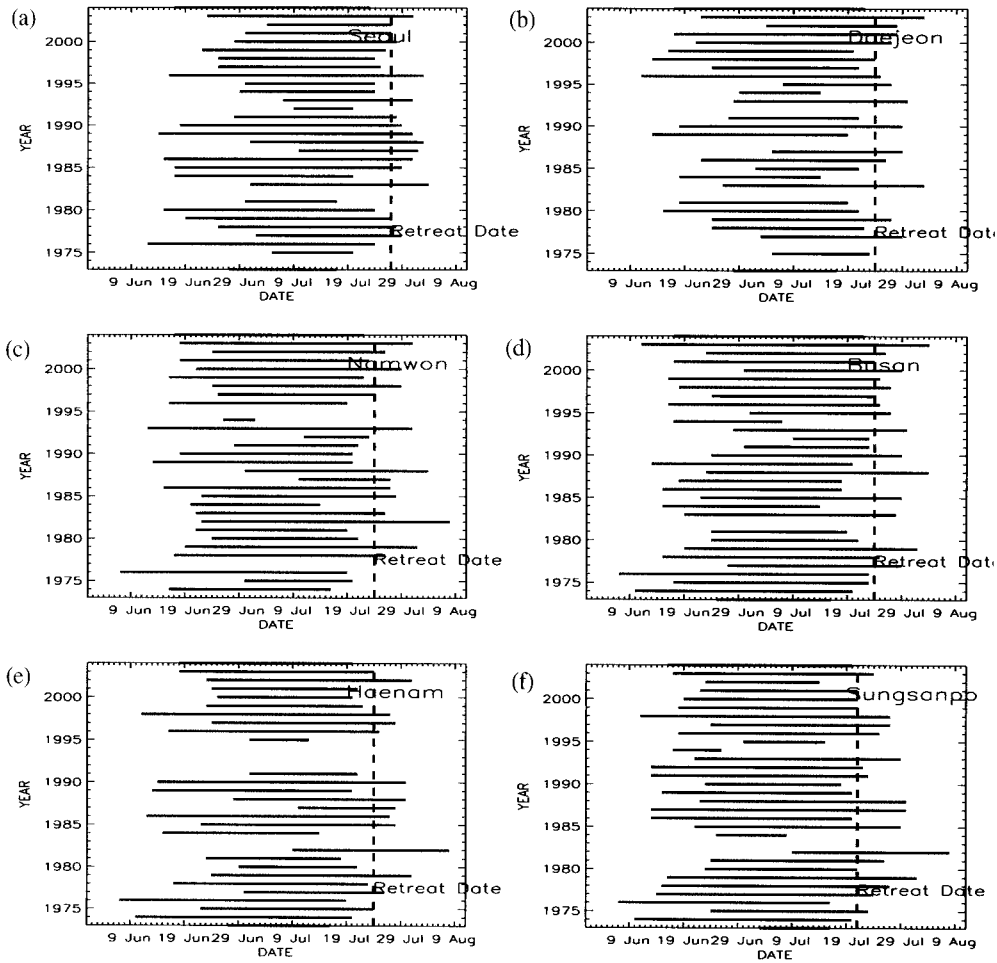


Fig. 7. Interannual variabilities of onset and retreat dates at 6 representative stations of (a) Seoul, (b) Daejeon, (c) Namwon, (d) Busan, (e) Haenam, and (f) Sungsanpo. The thick dashed line indicates the mean date of Changma retreat at each station.

마의 세기 II로 정의하였다. 이것은 선행 연구 (하경자 등, 2003)에서 정의한 장마의 기후학적 지표인 CRI (Changma Rain Index)와 비교하기 위하여 장마 기간 중의 관측적 강수량의 크기를 대표 지점에 대하여 나타낸 것이다. 여기에서 CRI는 6월 20일부터 7월 30일동안 한반도 주변 지역 (31.25-41.25°N, 123.75-131.25°E)의 지역 평균 강수량을 나타낸다. CRI 자료에 대한 설명은 Xie and Arkin (1997)에 의해 다루어 졌다.

위의 세 지표 장마 세기 I, II, CRI를 Fig. 8에 나타내었다. 세 지표끼리의 상관성에 대해서 알아보면

장마 세기 I과 II의 상관성은 약 0.67로 나타났다. 같은 종관 관측 자료임에도 불구하고 이런 차이가 나타나는 이유는 장마 세기 I이 갖는 상대적 기준 때문인 것으로 보이며 CMAP 강수 자료를 사용한 CRI와의 상관성은 더 낮은 0.45 정도로 나타났다. 이는 우리가 피부로 느끼는 장마의 세기와 관측적 장마의 세기가 다를 수도 있다는 것을 시사한다. 이 연구에서 정의한 장마 세기 II와 CRI의 상관성은 0.68 정도로 나타났다. 장마 세기 II에 의한 다우해와 과우해는 각각 +0.5σ (반표준편차) 이상과 -0.5σ 이하의 강수를 가지는 해로 정의하였고, 다우해 (1985, 1986,

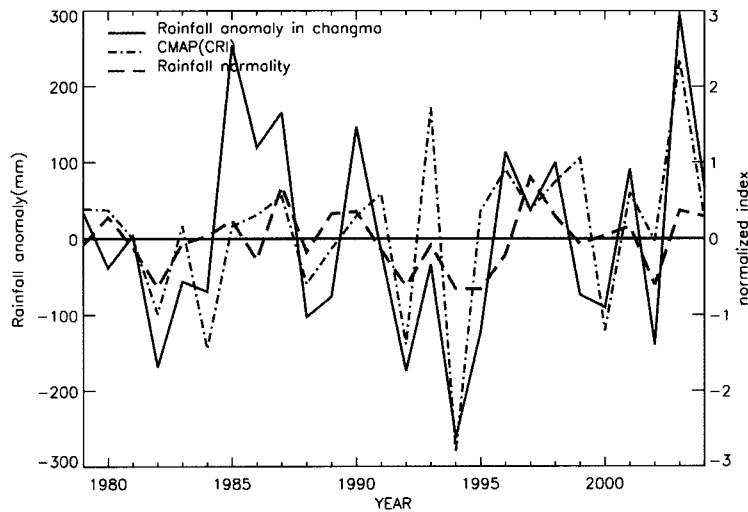


Fig. 8. Interannual variations of Changma intensity I (dashed line), Changma intensity II (solid line), and CRI (dotted-dashed line). Y axis on left (right) side indicate Rainfall anomaly in Changma (both CMAP (CRI) and Rainfall normality).

1987, 1990, 1996, 1998, 2001, 2003)와 과우해 (1982, 1988, 1989, 1992, 1994, 1995, 2000, 2002)는 CRI와 비교하여 똑같거나 평년인 것으로 나타났다. 이것으로 보아 종관 관측 지점의 강수와 CMAP 강수가 다소 차이가 있고, 지점 강수가 국지적인 영향과 지형의 효과를 받기 때문인 것으로 사료된다. 가장 많은 차이를 보이는 해는 1993년으로 CRI로 볼 때는 다우해이지만 장마 세기II로 볼 때는 평년이었다. 이는 허소정 등 (1997)의 결과와 일치한다.

4. 장마의 경년 변동

4.1 장마 시작의 경년 변동과 예측인자

해에 따라 장마는 빨리 오기도 하고 늦게 오기도 한다. 이는 장마 요소의 경년 변동에 의한 것이며 이 장에서는 그에 대한 예측 인자를 찾아보고자 한다.

많은 선행 연구 (예를 들어, Zhang *et al.*, 1996)에서 엘니뇨의 동아시아 몬순과의 연관성과 영향에 대해 다루었다. 본 논문에서는 태평양 해수면 온도의 3월부터 5월까지의 월 변화를 알아보고, 장마의 시작 일과의 상관성에 대해 조사해 보았다. 그 결과 3월, 4월의 상관성이 가장 높게 나타남을 알 수 있었다. 3월과 4월의 SST는 한반도 장마의 시작 시기에 영향

을 미쳤으며 NINO3.4와 NINO4 지역에서 높은 상관성을 보였다. 본 연구에서는 각 해의 장마 시작일의 오차범위를 줄이기 위해 6 대표 지점들 장마 시작일의 표준편차 범위 안에서 가장 빠른 날을 그 해의 장마 시작일로 정의하였다. 특히 4월의 NINO3.4와 NINO4 SST 아노말리 상관성은 각각 0.52, 0.56을 나타내었다. Fig. 9에 나타나 있듯이 엘니뇨가 강한 해에는 뚜렷하게 장마가 늦어지는 것을 볼 수 있다. 반대로 라니냐가 강한 해에는 장마가 빨리 시작하는 것으로 나타났다. 그 외의 해에서는 장마의 시작 시기와와의 관계가 약간은 떨어지는 것으로 나타났으나 ENSO 시그널이 강한 여섯 해 (1982, 1985, 1987, 1989, 1992, 1999)를 제외한 26년간의 상관계수가 여전히 0.41정도를 유지해 95% 유의 수준 안에 있음을 알 수 있었다. 차은정 등 (1999)은 엘니뇨 해에 평년에 비해 적도 동태평양의 SST가 높고 열대 서태평양의 SST가 상대적으로 낮아 대류 활동은 동부 적도 태평양 부근에서 강하게 된다. 이 때 아열대 고기압의 에너지를 대류 활동이 강한 쪽으로 많이 공급하게 되어 아열대 고기압의 발달을 저지시킴으로써 북태평양 고기압의 발달이 활발해지지 못하기 때문에 장마 전선의 북상이 느려지는 것으로 분석하고 있다. 본 연구에서는 장마의 시작 시기와 그에 따른 예측 인자를 찾는데 중점을 두었으므로 이에 대한 자

세한 규명은 후속 연구에서 다루기로 한다.

4.2 장마 세기의 경년 변동과 예측인자

아시아 여름 몬순의 경년 변동성이 유라시아 대륙의 지면 과정의 영향을 받음은 여러 논문에서 제시되었다 (Kripalani *et al.*, 2003; Liu and Yanai, 2002; 하경자 등, 2001). 그러나 대부분의 연구가 남아시아

몬순 강수와 유라시아 적설 면적과의 관계에 대해서 연구되었다. 본 연구에서는 우리나라의 장마 세기와 유라시아 적설 면적과의 관계에 대해 알아보았다.

최근 유라시아 적설 면적과 장마 세기 II와의 상관성이 높아진 것을 Fig. 10을 통해 알 수 있다. 이는 지구 온난화로 인해 적설 면적이 감소하면서 1970년대 이후 장마의 세기와 적설 면적의 변화가 민감하게 반응하기 때문으로 해석된다 (Liu and Yanai, 2002).

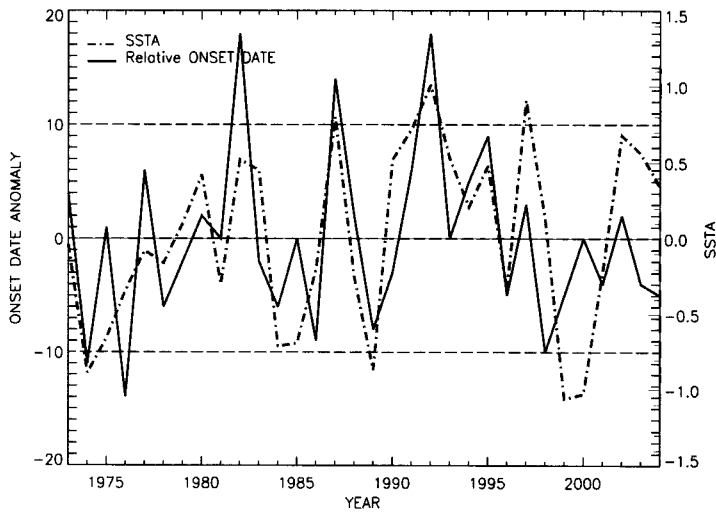


Fig. 9. Interannual variations of sea surface temperature anomaly (dotted-dashed line) in NINO4 region during April and relative Onset date anomaly (solid line).

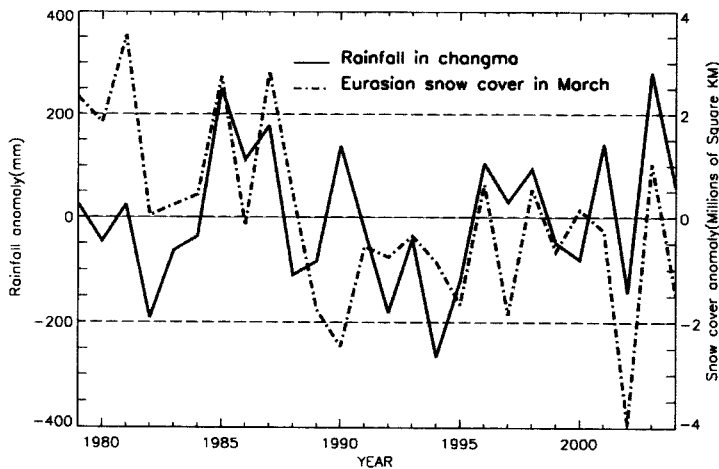


Fig. 10. Interannual variations of rainfall (solid line) defined by Changma intensity II and anomaly (dotted-dashed line) of snow cover area over Eurasia continent during March.

유라시아 적설 면적과 이 연구에서 정의한 장마의 세기와의 상관성은 0.4 정도를 보였다. 특히 2월과 3월 적설 면적과의 상관성이 높게 나타났으며 남아시아 몬순 강수와 적설 면적이 음의 상관성을 갖는 것 (Bamzai and Shukla, 1999)과 반대이다. 일반적으로 유라시아 적설 면적이 넓어지면 알베도가 높아지며 복사 냉각을 일으켜 대기 하층의 기온을 차갑게 하므로 아시아 여름 몬순의 발달을 지연시킨다 (Liu and Yanai, 2002). 이에 대한 것은 후속 연구에서 더 자세히 규명해야 할 문제이다.

5. 요약 및 결론

장마의 시작과 종료의 정의는 매우 모호한 문제이다. 그러나 동아시아 몬순 시스템의 이해를 위해서는 무엇보다 먼저 선행되어야 할 연구로 생각된다. 이를 위해 이 연구에서는 우리나라의 기상학적인 대표성을 갖는 대표 지점 6개를 선택하였다. 이는 서울, 대전, 남원, 부산, 해남, 성산포이고 장마 요소로 강수량, 기온, 일사량, 상대습도, 전운량, 바람의 동서 및 남북 성분 등을 사용하여 장마의 시작과 종료를 정의해 보고자 하였다.

장마 시작일의 기준은 봄철 우기의 평균 최대 강수량보다 많은 양의 비가 3일 이상 지속적으로 내리기 시작하면서 일사량이 감소하고 상대습도가 75% 이상이거나 전운량이 7 이상인 날로 정의하였다. 위의 조건만으로 장마 시작일을 결정하기 어려울 경우 남풍의 최대값이 나타나기 전 남풍 증가 시점을 장마의 시작일로 정의하였다. 장마의 종료일은 장마가 끝난 후 무더위가 시작된다는 점에 초점을 맞추어 지표 기온의 최고 값이 나타나고 강수량이 5 mm 이하로 3일 이상 지속된 날을 장마의 종료일로 결정하였다. 단 해마다의 온도 패턴의 차이로 인해 온도의 최고 값으로만 결정하기 어려울 때에는 최고 값이 나타나는 날의 전이나 후의 극치 온도가 나타나는 날로 정의하였다. 그러나 장마 종료의 경우는 온도와 강수량을 제외한 면에서 뚜렷한 특징을 찾아볼 수 없고 장마 후 나타나는 태풍과 집중 호우 등으로 인해 장마 종료에 대한 광범위한 협의 과정이 필요할 것으로 사료된다. 장마의 시작과 함께 급격하게 강수는 증가하였으며, 태풍과 같은 비전선성 강수를

제외하고 장마 기간을 산출해 본 결과 약 35일로 나타났다. 장마의 시작 전과 후는 뚜렷한 차이가 있었으나 장마의 종료 전과 후는 다소 작은 차이만 보였다. 장마의 시작일부터 종료일까지를 장마 기간으로 잡고 대표 지점들의 장마 기간 특징을 찾아 보았다. 대표 지점들의 연별 장마 시작에 대해 알아보면 장마의 시작은 지역마다 차이가 있었으며, 경년 변동도 컸다. MOD를 보면 성산포의 평균 장마 시작일은 6월 19일이고, 서울은 6월 25일로 나타났으며 이는 장마의 시작이 남쪽에서 시작하여 북상한다는 기존 연구의 결과들과 일치한다. 최근에는 6 대표 지점들의 장마 시작일의 편차가 작아지고 있고 이는 장마의 북상 속도가 빨라지는 것과 연관되는 것으로 사료된다.

장마 기간에 대해 좀 더 알아보면 습윤한 공기의 유입이 더 쉬운 연안 지역이 내륙 지역보다 대체적으로 길게 나타났고 장마의 평균 종료일은 7월 26일로 나타났다. 장마 기간의 편차는 부산에서 가장 작은 값을 가졌고, 서울에서 가장 큰 값을 가졌다. 장마의 세기를 정의하기 위해 본 연구에서는 종관 관측 자료를 이용하였다. 상대적 장마의 세기로 강수 정규성을 정의하였고, 관측적 장마의 세기로 장마 기간 동안의 누적 강수량을 정의하였다. 그리고 이를 각각 장마 세기 I, 장마 세기 II로 정하였다. 상대적 지표와 관측적 지표는 다소 차이를 보였으며 특히 CRI와의 차이가 크게 나타났다. 또한 종관 관측 자료로 정의한 다우해와 과우해는 CRI의 결과와도 다소 차이를 보였다. 이것으로 보아 종관 관측 지점의 강수와 CMAP 강수가 다소 차이가 있고, 지점 강수가 국지적인 영향과 지형의 효과를 받기 때문인 것으로 사료된다.

장마의 경년 변동과 그의 예측 인자에 대해 조사하였으며, 크게 태평양 해수면 온도와 유라시아 적설 면적이 주요 예측인자로 선택되었다. 본 연구에서는 장마의 시작 시기와 SST와의 관계, 장마의 세기와 유라시아 적설 면적과의 관계에 대해 규명해 보았다. 우선 장마의 시작 시기와 3월, 4월의 SST는 NINO3.4와 NINO4 지역에서 높은 상관성을 보였다. 이는 동태평양의 해수면 온도가 높으면 동아시아의 장마 시작 시기가 늦어 진다는 것이며 특히 엘니뇨가 강한 해에는 뚜렷하게 장마가 늦추어 지는

것을 볼 수 있었다. 유라시아 적설 면적과 이 연구에서 정의한 장마의 세기 II는 최근 들어 높은 상관성을 보였다. 이는 동아시아의 장마가 유라시아 지면 과정의 영향을 받는다는 것을 뜻하며 그 해 겨울과 봄에 적설량이 많으면 장마의 세기가 강할 가능성이 높다고 해석할 수 있다. 두 예측 인자들에 대한 역학적 규명은 앞으로 더 연구되어야 할 과제이다.

이상에서, 우리는 장마의 시종과 세기에 대해 정의해 보았다. 또한 장마의 시작 시기와 SST와의 관계, 장마의 세기와 유라시아 적설 면적과의 관계에 대해 알아봄으로써 여름철 장마의 예측성을 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 보인다. 더 나아가 장마의 시작 시기와 세기의 예측 인자에 대한 더 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 보이며 역학적 규명도 함께 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 기상청에서 시행하는 기상지진기술개발사업의 하나인 “동아시아 몬순-장마 순환계 예측 기술개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 강만석, 2000: 한국의 여름 강수량 변동의 지역성. *한국지역 지리학회지*, **6**, 139-152.
- 권태영, 오성남, 박상욱, 1998: 한반도 여름 강우의 장기변동과 지역적 특성. *한국기상학회지*, **34**, 20-30.
- 기상청, 1995: 장마백서. 233.
- , 1996: 태풍백서. 202-219.
- 김성삼, 정창희, 박순용, 1983: 다우장마와 과우장마시의 장마전선의 구조적 특징. *한국기상학회지*, **19**, 12-32.
- 류상범, 2001: 장마의 어원과 정의에 대하여. *한국기상학회지*, **11**, 6-12.
- 박순용, 안현주, 전영신, 1989: 한반도 중부지방 장마전선상에 발생한 호우와 관련된 중관기상장의 변화. *한국기상학회지*, **25**, 168-191.
- 서동일, 변희룡, 2002: 한반도 여름 · 가을우기의 기간성과 발생요인. *한국기상학회지*, **12**, 402-405.
- 송혜진, 허창희, 2003: 태풍이 한반도 여름철 2차우기 발생에 끼치는 영향에 관한 연구. *한국기상학회지*, **13**, 362-365.
- 윤원태, 박정규, 이재원, 이현수, 민승기, 2001: 1998년 여름철 한반도 집중호우 특성 분석. *한국기상학회지*, **37**, 181-194.
- 이병설, 김성삼, 1983: 장마계의 종관적 특성. *한국기상학회지*, **19**, 1-11.

- 임정선, 박순용, 1991: 1988년 장마기간에 한반도를 중심으로 한 수증기 수송과 수지. *한국기상학회지*, **27**, 221-40.
- 전영신, 박순용, 1990: 1982년 과우장마때 아시아 지역의 대기순환의 특징. *한국기상학회지*, **26**, 12-24.
- 차은정, 전종갑, 정효상, 1999: 엘니뇨/라니냐 해의 우리나라 기후 특성에 관한 연구. *한국기상학회지*, **35**, 98-117.
- 하경자, 박정규, 김기영, 2003: 한반도 주변의 하계 강수량의 경년 변동과 이에 연관된 동아시아 순환의 특징. *한국기상학회지*, **39**, 575-586.
- , 서영경, 서애숙, 정효상, 손병주, 2001: 동아시아 몬순 강수의 경년 변동과 관련된 El-Nino와 지표의 상호작용. *한국기상학회지*, **37**, 381-398.
- 한상은, 변희룡, 2001: 한반도 봄우기의 존재와 형성원인. *한국기상학회지*, **11**, 255-258.
- 허소정, 하경자, 문승의, 1997: 1993년과 1994년의 동아시아 여름 몬순의 특징. *한국기상학회지*, **33**, 737-751.
- 허창희, 강인식, 1988: 한국지역 강수의 변동성에 관한 연구. *한국기상학회지*, **24**, 38-48.
- Bamzai, A. S., and J. Shukla, 1999: Relation between Eurasian snow cover, snow depth, and the Indian Summer Monsoon: An observational study. *J. Climate*, **12**, 3117-3131.
- Ha, K. J., S. K. Park, and K. Y. Kim, 2005: On Inter-annual characteristics of climate prediction center merged analysis precipitation over the Korean peninsula during the summer monsoon season. *Int. J. Climatol.*, **25**, 99-116.
- Huang, R. H., S. E. Moon, B. J. Kim, and C. S. Yoo, 1997: Recent progresses and problems in the study of the East Asian summer monsoon. *J. Korean Meteor. Soc.*, **33**, 627-639.
- Kripalani, R. H., A. Kulkarni, and S. S. Sabade, 2003: Western Himalayan snow cover and Indian monsoon rainfall: A re-examination with INSAT and NCEP/NCAR data. *Theor. Appl. Climatol.*, **74**, 1-18.
- Liu, X., and M. Yanai, 2002: Influence of Eurasian spring snow cover on Asian summer rainfall. *Int. J. Climatol.*, **22**, 1075-1089.
- Meehl, G. A. 1987: The annual cycle and interannual variability in the tropical pacific and Indian ocean regions. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 27-50.
- Ninomiya, K., and T. Murakami, 1987: The early summer rainy season (Baiu) over Japan. *Monsoon Meteorology*. Oxford Univ. Press, New York., **Ch4**, 93-121.
- Oh, J. H., R. Y. Lu, W. T. Kwon, and S. B. Ryoo, 2000: The 500hPa geopotential fields in the mid-high latitudes associated with Changma. *Kor. J. Atmos. Sci.*, **3**, 83-95.
- Tao, S. T., and L. Chen, 1987: A review of recent research on the east Asian summer monsoon in China. *Monsoon Meteorology*. Oxford Univ. Press, New York, **Ch3**, 61-92.

Webster, P. J., and S. Yang, 1992: Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **118**, 877-926.

Xie, P., and P. A. Arkin, 1997: Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observation, satellite estimates and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2539-2558.

Zhang, R. H., A. Sumi, and M. Kimoto, 1996: Impact of El Nino on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the 86/87 and 91/92 events. *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 49-62.

최종 원고채택 : 2005년 12월 12일