

장마 시작일 예측 모델

이 현 영* · 이 승 호**

장마는 일반적으로 6월 21~26일에 시작되는데 1961년부터 1990년까지의 일강수량자료와 동부아시아의 일기도를 분석하여 장마와 늦장마 시작일의 본포를 보면 El Niño해에는 늦어지고 La Nina현상이 나타나는 해에는 일찍 시작되는 경향이 있어서, 장마 및 늦장마 시작일과 태평양의 해수면온도(SST) 및 북반구 500mb 고도값과의 관계를 분석하여 장마와 늦장마의 시작시기를 예측할 수 있는 모델을 구축하고자 하였다.

장마 시작일은 중태평양의 5월 평균 SST, 북부 허드슨만의 3월 평균 500mb 고도값과 유의한 상관관계를 보인다. 8월 18일경에 중서부 지방에서부터 시작되는 늦장마의 시작일은 호주 서안에 위치한 인도양의 5월 평균 SST, 그리고 적도 남부 중태평양의 5월 평균 SST, 시베리아 북서부의 7월 평균 500mb 고도값과 유의한 상관관계를 나타내므로 polynomial regression을 사용하여 장마와 늦장마 시작일의 최적 예측모델을 구축하였다. 이 모델은 장마 시작일의 경우 비교적 정확하게 예측할 수 있으나(residual=±5.0) 늦장마의 경우에는 평균오차가 3.3일이고 최대오차가 10일에 달하므로 보다 정확한 예측모델을 구축하기 위한 지속적인 연구가 필요하다.

主要語 : 장마 시작일, 늦장마 시작일, 해수면온도(SST), 500mb 고도값, 예측모델

1. 서 론

장마는 6월 하순경부터 7월 하순경까지 지속되는데 장마철 이전 즉, 5월 11일부터 6월 14일까지의 한달 정도는 봄철보다도 강우량이 적어서 대단히 건조하기 때문에(변희룡, 1991; 변희룡 외 1992) 장마의 시작이 늦어지면 전국적으로 가뭄 피해가 커진다. 특히 이 기간은 모내기를 끝내고 모가 뿌리를 내리는 기간이므로 장마가 늦어지면 논농사에 큰 타격을 준다. 또한 장마기에 집중호우가 발생하면, 논농사 지역에 수해는 물론 인구가 밀집된 대도시지역 또는 공업지역에서는 그 피해가 더욱 커진다. 이와 같이 장마철의 강수량은 각종 경제활동에 커다란 영향을 미치고 있으므로 장마가 시작되기 이전에 발표되는 기상청의 장마 시작시기와 강수량에 관한 예보는 전국민의 관심 사항이 되고 있다.

따라서 장마의 발생시기, 지속기간 및 그 강도를 정확하게 예측하는 것은 사회, 경제적으로 매우 중요한 과제이므로 저자들은 장마에 관한 연구의 일환으로 장마의 시작일과 태평양의 해수면온도(SST) 및 북반구 500mb 고도값과의 관계를 분석하여 장마와 늦장마의 시작일을 예측할 수 있는 모델을 구축하고자 한다. Kung과 Sharif(1980)는 인도의 남서몬순 시작시기를 예측하기 위하여 인도 주변의 100, 700mb 고도의 4월 평균값을 이용하여 예측모델을 구하였으며, Kung과 Sharif(1982)는 인도양의 SST의 1, 2, 3, 4월 월평균값을 추가하여 예측모델의 정확도를 높였다. 한편 강인식 등(1992)은 월평균 500mb 고도값과 SST자료를 이용하여 한반도의 여름철 강수량 예측모델을 구한 바 있다.

대부분의 연구에서 여름철에 비가 계속하여 내리는 시기를 장마로 정의하고 있으나 장마의 시작일에 대한 견해는 학자에 따라 다소 다르다.

* 건국대학교 이과대학 교수

** 건국대학교 대학원 박사과정

김성삼 등(1983)과 기상연구소(1985)는 장마전선이 한반도 부근을 통과할 때부터 장마는 시작되는데 전자는 비가 2~3일 연속하여 내리기 시작한 날을, 후자는 강우량이 0.1mm 이상인 날이 4일 이상 계속될 때 그 첫째날을 장마의 시작일로 정의하고 있으며, 한편, 박순웅 등(1988)은 Geopotential 고도가 갑자기 증가하고 아시아 지역 저위도 하층의 강한 서풍대와 관련된 습윤지역이 한반도로 확장하는 시기를 장마의 시점으로 보았다. 본 연구에서는 각 관측지점별 장마와 늦장마의 시작일을 한반도 주변 기압배치의 유형과 강우의 유무를 고려하여, 장마의 시작일은 여름철에 한반도가 정체전선의 영향하에 있으면서 비가 내리기 시작한 날을, 늦장마의 시작일은 북태평양 고기압이 한반도에서 완전히 후퇴하고 2일 이상 강수가 지속되는 첫째날로 정하였다.

2. 연구방법

장마와 늦장마의 시작은 북태평양 고기압의 발달상태와 관련되므로, 이에 영향을 미치는 태평양의 해수면온도 및 대류권의 평균적인 상태를 나타내는 고도인 500mb 고도값과의 관계를 분석하여 장마와 늦장마 시작일의 예측 모델을 구하고자 하였다.

본 연구에서는 우리나라 기상청에서 발간된 30년(1961~1990년)간의 기상연보, 기상월보, 기상요소별 통계표, 고층기상자료와 일본 기상청에서 발행된 6~9월간의 인쇄일기도(1961~1990년), 그리고 태평양의 해수면온도와 북반구 500mb 고도값을 분석에 사용하였다.

해수면온도 자료는 정지위성인 태평양 상공의 GMS(Geostationary Meteorological Satellite)와 인도양 상공의 METEOSAT, 그리고 극궤도 위성인 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 온도자료와 기상관측소에서 관측한 자료를 이용하여 미국기상센터(NMC, National Meteorological Center)에서 분석한 21년간(1970/01~1990/12월)의 월평균값이다. 해수면온도는 남위 20°에서부터 북위 20°까지 그리

고 서경 100°에서부터 동경 100°사이 구역에서 위도·경도 4°간격의 861개의 격자점 값으로 구성되어 있다. 북반구 500mb 고도값의 분석기간은 20년간(1970/01~1989/12월)인데, 1984년 12월까지의 NMC에서 분석한 월평균값을, 1985년 1월 이후는 유럽 中期豫報所(ECMWF, European Center for Medium Range Weather Forecasts)의 월평균값을 사용하였다. 분석대상구역은 북위 20°에서부터 90°까지이며, 이는 위도·경도 5°간격의 1,080개 격자점 값으로 구성되어 있다.

여름철의 일별 강우자료는 기상청에서 선정한 53개 극지예보구역 가운데 관측소가 없는 6개의 예보구역(영동북부 산간, 영서북서, 영서남동, 경기북서내륙, 경기북동내륙, 경북남서내륙 지역)을 제외한 47개의 구역에서 각각 1개의 관측소를 선정하여 분석하였다. 하나의 예보구역 내에 관측소가 두개 이상 분포하는 경우는 장기간의 관측자료를 이용하기 위하여 관측기간이 긴 관측소를 선택하였다(그림 1).

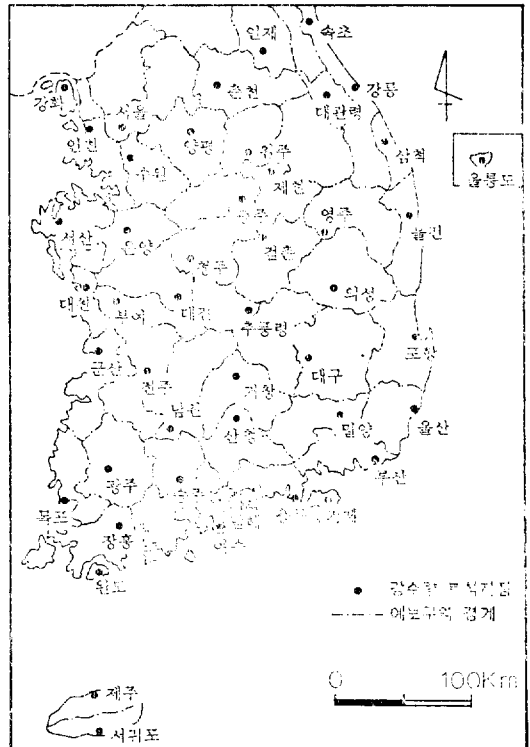


그림 1. 극지예보 구역 및 강수분석에 이용된 관측소

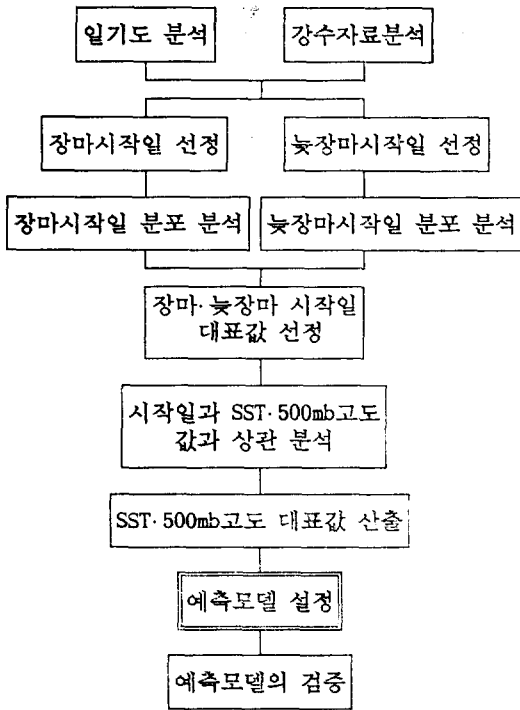


그림 2. 연구의 절차

장마는 제주에서부터 점진적으로 북상하므로 제주의 장마 시작일을 대표값으로 선정하였다. 그러나 늦장마기의 강수는 동진하는 이동성 온대저기압, 온난전선, 한랭전선과 밀접한 관련을 가지고 발생하기 때문에 늦장마의 시작은 여러 지점에서 동시에 시작되는 경우가 많다. 또한 늦장마 시작일들간에 상관이 가장 높은 지점의 예측모델을 구하면 그밖의 지점에 적용하기가 용이하므로, 47개 분석지점의 늦장마 시작일들간의 상관관계를 구하여, 모든 지점과 상관 관계가 가장 높은 전주를 늦장마 시작일의 대표지역으로 선정하였다. 전주와 다른 모든 지방의 늦장마 시작일간의 관계는 $r=0.8$ 이상의 상관을 보인다. 장마와 늦장마의 시작일은 매년 1월 1일을 1, 12월 31일을 365로 각각 부여하여 서열변수화하였다.

장마 및 늦장마 시작일과 861개 격자점의 월평균 해수면온도 그리고 1,080개 격자점의 월평균 500mb 고도값의 상관관계를 구하여 통계적으로 유의한 (유의도 $\alpha=0.01$) 격자점 구역을 장

마 또는 늦장마에 영향을 미치는 상관지역으로 정하였다. 그리고 발체된 구역의 평균값을 해수면온도 및 500mb 고도값의 대표값으로 정하고 이들을 독립변수로 하여 polynomial regression으로 장마 및 늦장마 시작일의 예측모델을 구축하였다.

3. 장마 시작일의 분포 특성

1) 장마 시작일

한반도의 장마기간인 6월 20~24일부터 7월 23일까지의 기상은 대체로 정체전선의 지배를 받는다. 일반적으로 이 정체전선과 관련된 초여름의 강우를 장마라 정의하고 비가 연속적으로 내리기 시작하는 그 첫째날을 장마의 시작일로 정의하고 있는 경향이 있는데 연속적으로 비가 내리는 경우를 장마의 시작일로 정의한다면 지역에 따라서 장마기가 없는 해도 나타난다. 그러나 장마는 한대기단이 한반도의 기상을 지배하는 겨울철에서 아열대기단이 우세해지는 여름철로 전환되는 시기에 나타나는 현상이므로 그 강도와 지속기간은 다를지라도 장마는 필연적으로 나타나기 때문에 장마의 시작일을 연속적 강우의 시작일로 정의하는 것보다는 여름철에 정체전선의 영향을 받으면서 강우가 있는 첫째날로 정의하는 것이 타당하다.

장마의 시작은 아열대기단이 강화되면서 정체전선이 남북방향으로 이동함에 따라 나타나는데 일반적으로 제주도에서부터 시작되어 중부지역으로 북상한다(그림 3). 30년간의 평균에 의하면 장마는 서귀포와 제주에서 6월 21일경에 시작되는데 이는 정체전선이 한반도에 영향을 미치기 시작하는 시점과 일치한다. 6월 22일 경에 남해안에 상륙하는 장마는 차령산맥 이남에서는 6월 23일에, 영동지역에는 6월 24일에 도달한다. 차령산맥 이북인 중부지역에서는 6월 25일에 대부분 장마가 시작되는데 가장 북쪽에 위치하는 인제와 강화에서는 6월 26일에 장마가 시작된다. 즉, 장마가 제주도에서 시작되면 6일 이내에 전국이 장마의 영향을 받게 된다. 그러나 장마가 제주도에 상륙하면서 전국이 그 영

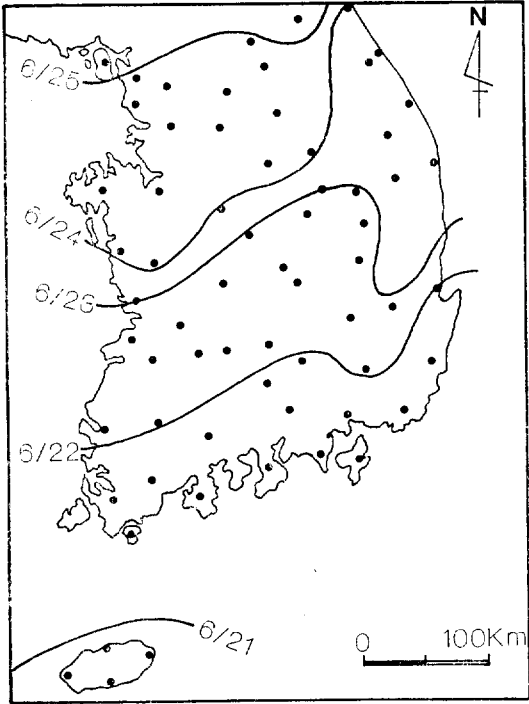


그림 3. 장마 시작일(1961~1990년간의 평균)

항권에 들어가는 기간은 해에 따라 변동의 폭이 커서 가장 빠르게 확장되는 해에는 1일, 가장 천천히 확장되는 해에는 19일이 소요되기도 한다.

장마 시작일 또한 해에 따라 변동폭이 커서 지역에 따라 다르지만 최대 27~36일의 차이를 나타낸다. 장마가 가장 일찍 시작된 해는 1971년인데 제주에서는 6월 8일에, 그밖의 대부분 지역에서는 6월 10일에 장마가 시작되어 평균에 비해 약 2주 정도 이르게 나타났다. 장마가 가장 늦어진 1982년에는 제주에서 7월 5일, 동해안지역에서 7월 15일에 시작되어 역시 2주 이상의 차이를 보인다. 그런데, 장마의 도래시기와 태평양의 해수온도의 변화를 비교하여 보면 밀접한 관련이 있음을 암시하고 있다. 즉, 가장 일찍 장마가 시작된 1971년에는 La Nina가, 그리고 가장 늦었던 1982년에는 El Niño현상이 강하게 출현하였던 해는 물론 다른 해에도 유사한 관계를 보이고 있다.

2) 늦장마 시작일

늦장마는 북태평양 고기압이 후퇴하고, 대륙성 고기압이 한반도로 확장하면서 양 고기압 사이에 형성된 한대전선대가 남하할 때 이 전선대의 영향으로 나타나는 계절현상이므로 늦장마의 시작은 북태평양 고기압의 후퇴가 전제되어야 한다. 이시기에 한반도의 기상을 지배하는 우세한 기압배치형은 나타나지 않으며, 강수는 장마기의 강수와는 달리 온대성 저기압, 온난전선, 한냉전선, 정체전선, 태풍 등과 관련되어 형성된다. 따라서 본 연구에서는 북태평양 고기압이 완전히 한반도에서 후퇴하고 강수형 기압배치하에서 2일 이상 강우가 지속되는 그 첫째날을 늦장마의 시작일로 정의하였다.

늦장마는 8월 18일경에 중서부 지역에서부터 시작되는데, 이 시기는 한반도에서 북태평양 고기압이 후퇴하는 시기와 일치한다. 한반도 주변에서 북태평양 고기압의 출현빈도는 7월 말부터 8월 초까지 극대를 이룬 후 점차 낮아져 8월 18

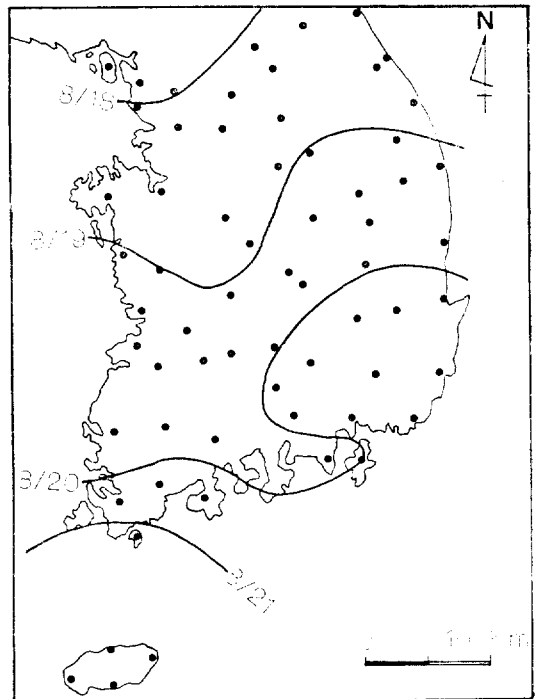


그림 4. 늦장마 시작일(1961~1990년간의 평균)

일경부터는 거의 출현하지 않는다. 반면에 저기압형, 온난전선형, 한냉전선형, 태풍형 등 강수와 관련된 기압배치형의 출현빈도는 이 시기 이후 뚜렷하게 증가한다. 8월 18일경에 시작되는 늦장마는 중부의 북부지역에서부터 시작되어 점차 남부지역으로 이행한다(그림 4). 8월 19일에는 중부지역의 전역에서 시작된 늦장마가 8월 20~21일에는 차령산맥이남에, 그리고 완도와 제주도에는 8월 22일경에 도달한다. 남북간의 평균 차이는 5일정도이나 가장 이르게 시작되는 지점과 가장 늦게 시작되는 지점간의 차이는 5~15일이다. 늦장마가 가장 일찍 시작된 해와 가장 늦어지는 해의 차이는 지역에 따라 21~27일로 장마보다는 변동폭이 작은 편이다. 늦장마가 가장 일찍 시작된 해는 1986년인데 중서부 지역에서는 8월 11일경에 시작되어 평균보다 1주일 정도 빠르다. 가장 늦은 해는 1977년으로 중서부 지역에서는 평균보다 2주일 정도 늦은 9월 1일경에 시작되었다.

4. 장마 시작일과 해수면온도

장마 전해의 9월부터 장마해 5월까지의 월별 태평양의 해수면온도와 장마 시작일의 상관관계를 보면 장마 시작일은 남위 8°~12°, 서경 136°~148° 사이에 위치하는 적도 중태평양구역의 5월 해수면온도와와의 관계에서 가장 높은 값을 보

인다. 이구역의 5월 평균 해수면온도와 제주의 장마 시작일간에는 $r=0.55\sim 0.77$ 의 정의 상관을 갖는다(그림 5). 그림 6은 전국의 장마 시작일과 적도 중태평양의 5월 평균 해수면온도와와의 상관관계를 나타낸 것으로 내륙인 원주와 의성을 제외하면 대부분 0.6 이상의 정적인 상관이 나타나며, 통계적으로 유의하다(유의도 $\alpha=0.01$). 특히 북부 서해안지역을 제외한 해안지역에서는 $r=0.7$ 정도의 높은 정적인 상관을 보이는데, 제주에서 가장 높은 상관관계($r=0.813$)를 보인다.

적도 중태평양구역의 5월 평균 해수면온도와 제주의 장마 시작일의 연변화를 보면, 일반적으로 El Niño현상이 나타나는 해에는 장마가 늦게 시작되며, La Nina 현상이 나타나는 해에는 장마가 일찍 시작되는 경향이 있다(그림 7). 즉, 적도 중태평양구역의 해수면온도가 상승하면, 아열대 고기압의 발달이 약화되어 상대적으로 한대 고기압이 강한 상태이므로 장마전선이 늦게 북상하여 장마가 늦어진다. 반면에 해수면온도가 낮은 해는 아열대 고기압의 발달이 강화되므로 장마전선이 일찍 북상하여 장마의 시작시기가 빨라진다고 설명할 수 있다.

늦장마 전해의 10월부터 늦장마해 7월까지의 태평양의 월평균 해수면온도와 늦장마 시작일(전주의 늦장마 시작일)의 상관관계를 분석한 결과 늦장마 시작일과 적도 남부에 위치하는 중태평

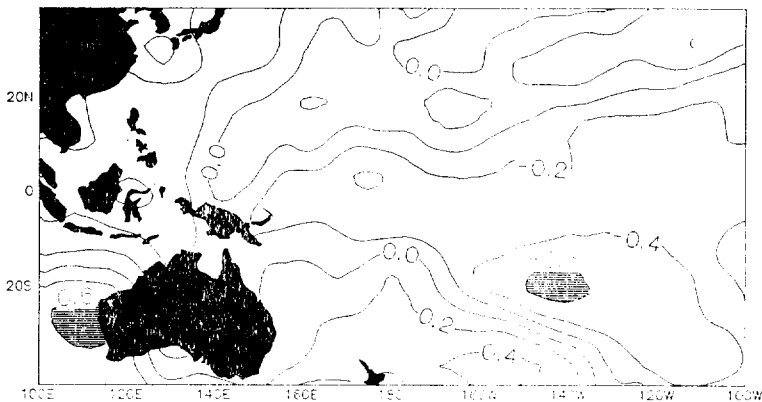


그림 5. 제주의 장마 시작일과 태평양 5월 평균 해수면온도의 상관관계
(회선으로 표시한 부분은 유의도 $\alpha=0.01$ 에서 유의한 상관을 보이는 구역이며 등치선은 상관계수 r 값을 나타냄, 1970~1990년간)

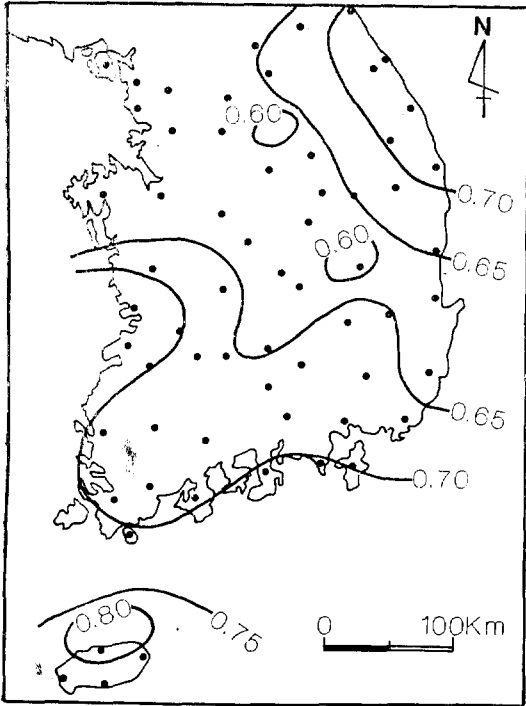


그림 6. 장마 시작일과 적도 중태평양 5월 평균 해수면온도의 상관관계
(등치선은 상관계수 r 값을 나타냄, 1970~1990년간)

양구역(위도 $12^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{S}$, 경도 $136^{\circ}\sim 148^{\circ}\text{W}$)의 5월 평균 해수면온도 값간에는 負의 상관관계를, 그리고 호주 서안에 면한 인도양구역(위도 $24^{\circ}\sim$

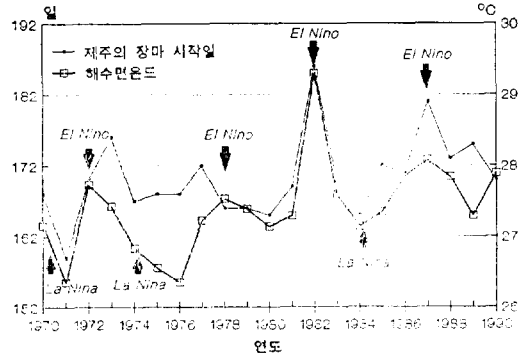


그림 7. 제주의 장마 시작일과 적도 중태평양 5월 평균 해수면온도의 연변화
(El Niño, La Niña는 Caviedes(1988), Tomita(1991), 西森 外(1990) 등에서 인용)

32°S , 경도 $104^{\circ}\sim 112^{\circ}\text{E}$)의 5월 평균 SST와는 정적인 상관관계를 보이는데 유의수준 $\alpha=0.01$ 에서 유의하다(그림 8).

우리나라 늦장마 시작일과 호주 서안에 면한 인도양구역의 5월의 평균 해수면온도와의 관계는 동해안과 차령산맥 이남에서는 $r=0.65$ 이상으로 비교적 높은 상관관계를 보이는데 중서부지역에서는 $r=0.55\sim 0.60$ 이다(그림 9). 적도 남부 중태평양구역의 5월 평균 해수면온도와 우리나라 늦장마 시작일과의 관계는 전지점에서 $r=-0.64$ 이상의 높은 상관관계를 보인다.

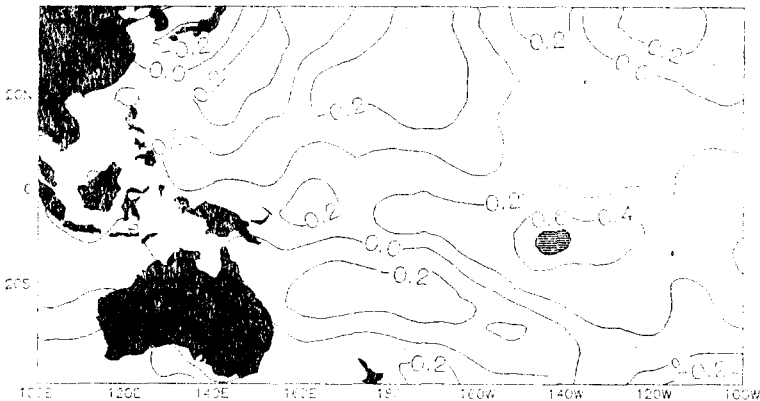


그림 8. 전주의 늦장마 시작일과 태평양 5월 평균 해수면온도의 상관관계
(황선으로 표시한 부분은 유의도 $\alpha=0.01$ 에서 유의한 상관관계를 보이는 구역이며 등치선은 상관계수 r 값을 나타냄, 1970~1990년간)

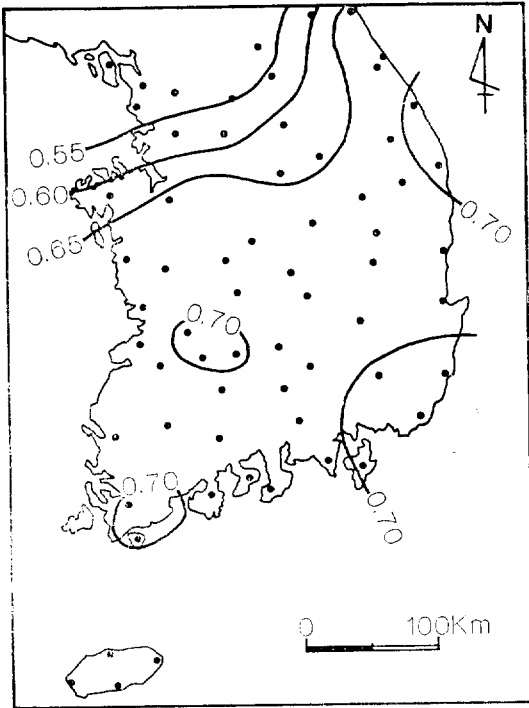


그림 9. 늦장마 시작일과 호주 서안 인도양 5월 평균 해수면온도의 상관관계
(등치선은 상관계수 r 값을 나타냄, 1970~1990년)

5. 장마 시작일과 500mb 고도값

장마 전해의 9월부터 장마해의 5월까지 월평균 북반구 500mb 고도값과 장마 시작일과의 상관관계를 해수면온도와 같은 방법으로 구하였다. 3월의 500mb 고도값 중 허드슨만 북부지역의 값과 제주의 장마 시작일간에 유의한 상관관계(유의도 $\alpha=0.01$)가 나타난다(그림 10). 그림 11은 우리나라의 장마 시작일과 3월의 허드슨만 북부지역의 500mb 고도값의 상관관계를 나타내는 것으로, 제주도지역에서 0.6 이상의 상관관계를 보인다.

북반구 500mb 고도값에서 우리나라의 늦장마 시작일과 관계가 있는 격자점을 찾아내기 위하여 전주의 늦장마 시작일과의 상관관계를 구한 결과 7월의 시베리아 북서부지역의 500mb 고도값이 유의한 관계(유의도 $\alpha=0.01$)를 보인다(그

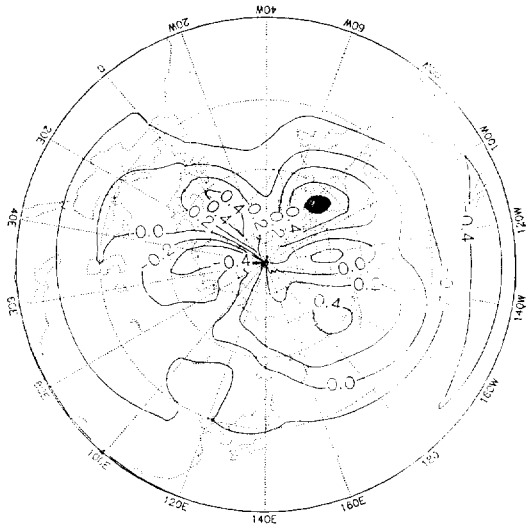


그림 10. 제주의 장마 시작일과 북반구 3월 500mb 고도값의 상관관계
(검게 표시한 부분은 유의도 $\alpha=0.01$ 에서 유의한 상관관계를 보이는 구역이며 등치선은 상관계수 r 값을 나타냄, 1970~1989년간)

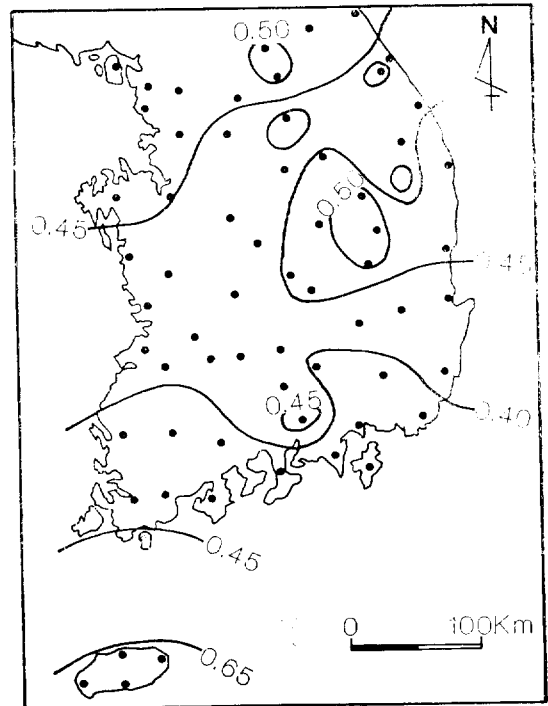


그림 11. 장마 시작일과 북부 허드슨만 지역의 3월 평균 500mb 고도값의 상관관계
(등치선은 상관계수 r 값을 나타냄, 1970~1989년)

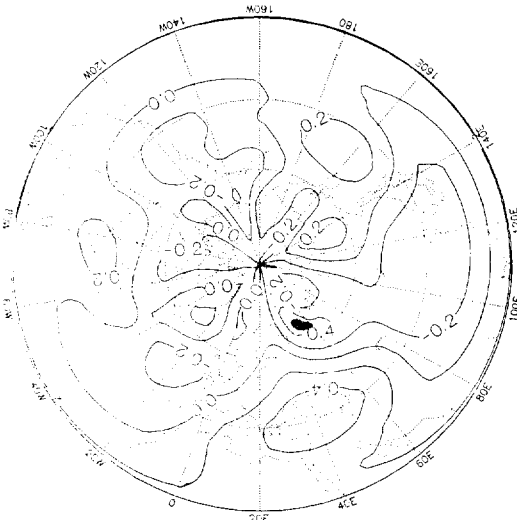


그림 12. 전주의 늦장마 시작일과 북반구 7월 평균 500mb 고도값의 상관관계

(검게 표시한 부분은 유의도 $\alpha=0.01$ 에서 유의한 상관관계를 보이는 구역이며 등치선은 상관계수 r 값을 나타냄, 1970~1989년간)

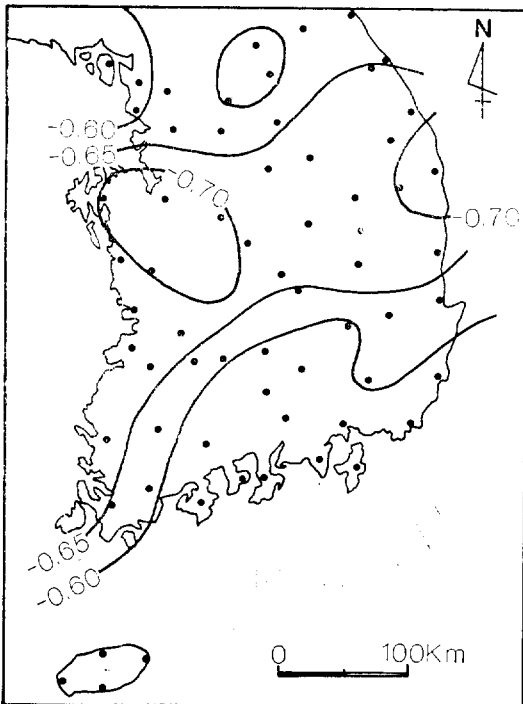


그림 13. 늦장마 시작일과 북서부 시베리아지역 7월 평균 500mb 고도값의 상관관계

(등치선은 상관계수 r 값을 나타냄, 1970~1989년간)

림 12). 이구역의 500mb 고도 평균값과 우리나라 전지점의 늦장마 시작일과의 상관관계 $r=-0.50$ 이상이며, 중부 서해안과 동해안지역에서 $r=-0.7$ 정도의 비교적 높은 상관관을 보인다(그림 13).

6. 해수면온도와 500mb 고도값을 이용한 장마 시작일의 예측

1) 장마 시작일의 예측

앞에서 살펴본 바와 같이 적도 중태평양구역의 5월 해수면온도와 3월 북부 허드슨만 지역의 500mb 고도값은 장마가 가장 일찍 시작되는 제주의 장마 시작일과 높은 상관관계를 나타내고 있다. 그러므로 두개의 요소와 제주의 장마 시작일간의 관계식을 구하면 그 식에 의하여 제주의 장마 시작일을 예측할 수 있다. 또한 우리나라 대부분 관측소의 장마 시작일은 제주와 0.8 이상의 정도의 상관관을 나타내고 있으므로 제주와 다른 관측점의 장마 시작일과의 관계식을 구하면 그식을 이용하여 각 지점 장마 시작일의 예측이 가능하다. 제주의 장마 시작일(Onset)과 해수면온도, 500mb 고도값과의 관계는 식 1로 나타낼 수 있다.¹⁾

$$Onset = 5.888 SST_{(5)} + 0.047 MB_{(3)} - 251.241 (r^2 = 0.77) \quad (1)$$

[0.640] [0.368]

여기서 $SST_{(5)}$ 는 적도 중태평양구역의 5월 평균 해수면온도($^{\circ}C$)이며, $MB_{(3)}$ 은 3월 북부 허드슨만 지역의 평균 500mb 고도값(m)이다. 표준

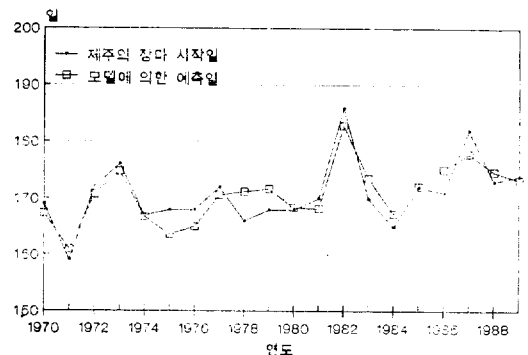


그림 14. 제주의 장마 시작일과 예측값

편회귀계수는 각각 0.640, 0.368이므로 장마 시작일의 결정에는 해수면온도가 500mb 고도값보다 더 많은 영향을 미치고 있다. 식 1을 F검정한 결과 유의도 0.01에서 유의하다. 위의 식에 의하여 두개의 요소로서 제주 장마 시작일의 약 77%를 설명할 수 있다. 식 1의 잔차는 ± 5 이내로서 이 식에 의한 예측의 최대오차는 5일, 오차의 평균은 2.2일이다. 그림 14는 식 1에 의하여 예측되는 장마 시작일 값과 실제 제주의 장마 시작일의 연변화를 비교한 것이다.

2) 늦장마 시작일의 예측

전주의 늦장마 시작일은 호주 서안에 면한 인도양구역의 5월 해수면온도, 적도남부중태평양구역의 5월 해수면온도, 시베리아 북서부구역의 7월 500mb 고도값과 유의한 상관관계를 나타낸다. 그러므로 전주의 늦장마 시작일은 이 3개 요소와의 관계를 분석하므로써 예측이 가능하다. 대표 지점인 전주와 그외 지역의 늦장마 시작일 간에는 $r=0.8$ 이상의 높은 상관관계를 나타내므로 전주의 관계식을 이용하여 전국의 늦장마 시작일 예측이 가능하다.

전주의 늦장마 시작일(Onset)과 해수면 온도, 500mb 고도값의 관계는 식 2로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Onset} = & 706.314 - 0.080MB - 3.972SST_{(P5)} \\ & [0.278] \quad [0.358] \\ & + 3.896SST_{(15)} \quad (r^2=0.64) \quad (2) \\ & [0.311] \end{aligned}$$

여기서 MB는 시베리아 북서부구역의 7월 평균 500mb 고도값(m), $SST_{(P5)}$ 는 적도 남부중태평양구역의 5월 평균 해수면온도($^{\circ}C$), 그리고

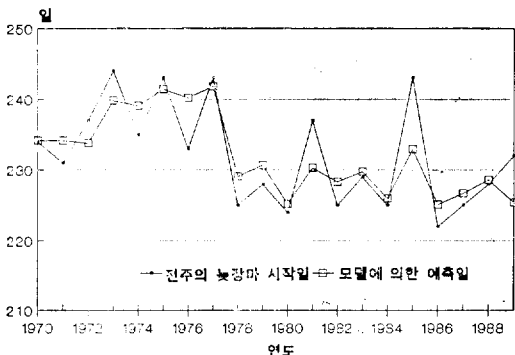


그림 15. 전주의 늦장마 시작일과 예측값

$SST_{(15)}$ 는 5월의 호주 서안에 면한 인도양구역의 5월 평균 해수면온도($^{\circ}C$)를 각각 나타낸다. 표준편회귀계수는 각각 0.278, 0.358, 0.311로 인도양구역의 해수면온도가 늦장마 시작일의 결정에 가장 많은 영향을 미치고 있다. 식 2를 F검정한 결과 유의도 $\alpha=0.01$ 에서 유의하며 잔차는 ± 10 이내이다. 이 식에 의한 오차의 평균은 3.3일이고 최대오차는 10일이다. 그림 15는 전주지방의 늦장마 시작일과 식 2에 의한 예측값을 비교한 것이다.

7. 결 론

본 연구에서는 여름철 기압배치형과 강우의 일별 분포를 분석하여 장마와 늦장마일을 결정하고, 여름철 강우에 영향을 미치는 태평양의 해수면온도와 북반구 500mb 고도값의 관계를 분석하여 장마와 늦장마의 시작일을 예측할 수 있는 관계식을 설정하고자 하였다.

장마는 6월 21~26일에 시작되는데, El Niño 현상이 나타나는 해에는 늦게 시작되고, La Nina 현상이 나타나는 해에는 일찍 시작되는 경향이 있다. 특히 El Niño현상이 가장 강하게 나타났던 1982년에는 전국적으로 7월 9일을 전후한 시기에 장마가 시작되어 평년보다 15일 정도 늦어졌다. 우리나라 대부분 지역의 장마 시작일은 적도 중태평양구역의 5월 평균 해수면온도와 높은 상관($r \geq 0.6$)을 보이는데 제주에서 그 값이 가장 높다($r=0.813$). 또한 장마 시작일은 북부 허드슨만 지역의 3월 평균 500mb 고도값과도 유의한 상관관계가 나타난다.

늦장마는 북태평양 고기압의 후퇴와 관련되어 시작되며, 8월 18일경에 중부 북부지역에서부터 시작된다. 늦장마 시작일은 적도 남부중태평양구역의 5월 평균 해수면온도와는 부적의 관계를 보이는데 반하여 호주 서안에 면한 인도양구역의 5월의 해수면온도와는 정적인 상관을 보이는데 모두 유의수준 $\alpha=0.01$ 에서 유의하다. 500mb 고도값과는 시베리아 북서부지역의 7월 값과 부적의 관계를 보이는데 통계적으로 유의하다.

해수면온도와 500mb 고도값을 이용하여 장마

와 늦장마 시작일을 예측할 수 있는 경험식을 구하였는데, 장마 시작일은 최대오차가 5일, 늦장마 시작일의 최대오차는 10일이다. 그러므로 이 식을 이용할 경우 장마 시작일은 비교적 정확한 예측이 가능하다. 그러나 늦장마 시작일의 예측의 정확도를 더 높이기 위하여는 지속적인 연구가 필요하다. 또한 장마와 늦장마기에 연강수량의 50~60%가 집중되어 내리므로 이 기간의 강수량을 정확하게 예측할 수 있는 모델 개발이 절실하다.

(投稿 1993년 6월 25일)

註

- 1) 장마 시작일 예측 모델의 오차를 줄이기 위하여 다항 회귀식을 구하였으나, $r^2=0.84$ 로 식 1에 비하여 0.07이 상승한 것에 불과하고, F값은 식 1에서 ($F=28.3$) 보다 $F=14.5$ 로 더 낮아져 최적성을 높이는 데 기여하지 못하기 때문에 예측모델로서 식 1을 채용하였으며, 다항회귀식은 다음과 같다.

$$\text{Onset} = 19.859SST_{(5)} + 2.324MB_{(3)} + 2.667SST_{(5)}^2 + 0.0003MB_{(3)}^2 - 0.029SST_{(5)}MB_{(3)} + 6052.347$$

文 獻

강인식 · 허창희 · 민경덕, 1992, "한반도 여름철 강수량의 장기 예측," 한국기상학회지, 28(3), 283-292.
기상연구소, 1985, "장마에 대한 연구—장마의 특성 분석 및 예측방법—," 기상연구소 연구 보고서, MR 85-3.

김성삼 · 정창희 · 박순웅 · 이병설, 1983, "다우장마와 과우장마시의 장마전선의 구조적 특징," 한국기상학회지, 19(1), 12-31.
박순웅 · 안현주 · 전영신, 1988, "1985년 장마기간에 동부아시아 지역의 대기순환 연구," 한국기상학회지, 24(3), 22-43.
변희룡, 1991, 장마전 전기의 존재와 대기순환에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문.
변희룡 · 이동규 · 정창희, 1992, "장마전 전기의 대기순환에 관한 연구, 제 1부: 존재와 특징," 한국기상학회지, 28(2), 71-88.
西森基貴 · 吉野正敏, 1990, "ENSO現象と颱風の發生・發達・經路との關係," 地理學評論, 63A(8), 530-540.
Caviedes, C.N., 1988, The effects of ENSO events in some key regions of the south American continent, in Gregory(ed.), *Recent Climatic Change*, 252-266, Belhaven Press.
Kung, E.C. and Sharif, T.A., 1980, Regression forecasting of the onset of the India summer monsoon with antecedent upper air conditions, *J. Appl. Met.*, 19, 370-380.
Kung, E.C. and Sharif, T.A., 1982, Long range forecasting of the Indian summer monsoon onset and rainfall with upper air parameters and sea surface temperatures, *J. Met. Soc. Japan*, 60, 672-681.
Tomita, T., 1991, The two successive-year El Niño and the single-year El Niño, *Climatological Notes*, 40, 43-54.

A Prediction Model for Forecast of the Onset Date of *Changmas*

Hyoun-Young Lee* and Seungho Lee**

Summary

Since more than 50% of annual precipitation in Korea falls during *Changma*, the rainy season of early summer, and *Late Changma*, the rainy season of late summer, forecasting the onset days *Changmas*, and the amount related rainfalls would be necessary not only for agriculture but also for flood-control. In this study the authors attempted to build a prediction model for the forecast of the onset date of *Changmas*.

The onset data of each *Changma* was derived out of daily rainfall data of 47 stations for 30 years(1961~1990) and weather maps over East Asia. Each station represent any of the 47 districts of local forecast under the Korea Meteorological Administration. The average onset dates of *Changma* during the period was from 21 through 26 June. The dates show a tendency to be delayed in El Niño years while they come earlier than the average in La Nina years. In 1982, the year of El Niño, the date was 9 July, two weeks late compared with the average.

The relation of sea surface temperature(SST) over Pacific and Northern hemispheric 500mb height to the *Changma* onset dates was analyzed for the prediction model by polynomial regression.

The onset date of *Changma* over Korea was correlated with SST in May ($SST_{(5)}^{\circ}\text{C}$) of the district ($8^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{S}$, $136^{\circ}\sim 148^{\circ}\text{W}$) of equatorial middle Pacific and the 500mb height in March ($MB_{(3)}\text{ m}$) over the district of the northern Hudson Bay. The relation between this two elements can be expressed by the regression: $Onset = 5.888 SST_{(5)} + 0.047 MB_{(3)} - 251.241$. This equation explains 77% of variances at the 0.01% significance level.

The onset dates of *Late Changma* come in accordance with the degeneration of the Subtropical High over northern Pacific. They were 18 August in average for the period showing positive correlation($r=0.71$) with SST in May($SST_{(15)}^{\circ}\text{C}$) over district of Indian Ocean near west coast of Australia ($24^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{S}$, $104^{\circ}\sim 112^{\circ}\text{E}$), but negative with SST in May ($SST_{(p5)}^{\circ}\text{C}$) over district ($12^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{S}$, $136^{\circ}\sim 148^{\circ}\text{W}$) of equatorial mid Pacific ($r=-0.70$) and with the 500mb height over district of northwestern Siberia ($r=-0.62$). The prediction model for *Late Changma* can be expressed by the regression: $Onset = 706.314 - 0.080 MB - 3.972 SST_{(p5)} + 3.896 SST_{(15)}$, which explains 64% of variances at the 0.01% significance level.

Key Words: *Changma*, *Late Changma*, onset date, sea surface temperature, 500mb height, prediction model

* Professor, College of Science, Konkuk University

** Graduate student, Konkuk University