

북반구 기후지수를 이용한 우리나라 6월과 12월 강수량의 장기 예측



김 지 영 |

기상청 기후과학국 기후예측과 기상연구관
aceasia@korea.kr



박 혜 진 |

기상청 기후과학국 기후예측과 연구원
chaos35i@korea.kr

1. 서론

최근 들어 지구촌 곳곳에서 가뭄과 호우 등에 의한 피해가 잇따르고 있다. 특히, 러시아에서는 지난 6월부터 시작된 이상고온 현상이 8월 중순 현재까지도 계속되면서 폭염과 산불로 극심한 피해를 보고 있는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 이상고온 현상의 원인은 대기 상층의 제트기류가 사행(蛇行)하면서 기압 능(ridge)이 지속적으로 강하게 발달하는 것이 원인이 되는 경우가 많다. 고기압 발달에 따라 구름과 강수가 없는 맑은 날씨가 지속되면서 상층의 공기가 하강하면서 단열적으로 가열되는 효과, 강한 일사에 의해 지표가 가열되는 효과, 무강수에 의해서 지표가 증발 잠열을 방출할 수 없는 조건 등이 복합적으로 작용하면서 기온이 급격하게 상승하게

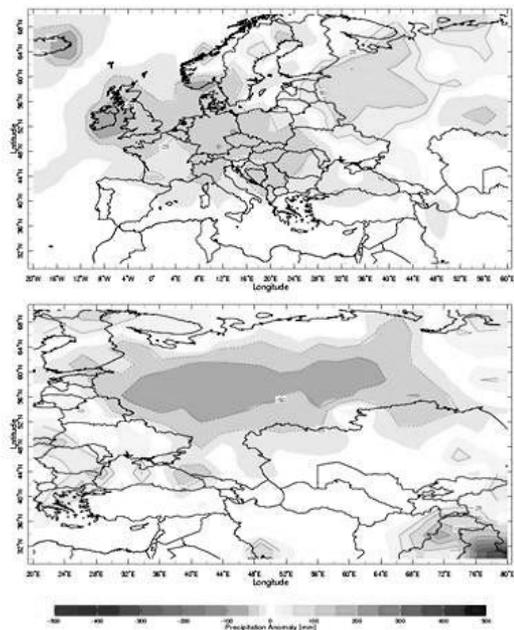


그림 1. 2003년 8월 유럽과 2010년 7월 러시아 지역의 월 강수량 아노말리 분포. 심한 가뭄 현상이 공통적으로 나타나 있다. 이는 심한 폭염과 산불의 직접적인 원인으로 작용한 것으로 보인다.

된다. 이와 같은 이상고온에 의한 폭염과 산불로 인해 많은 인명 피해와 엄청난 경제적 손실이 발생한다. 기상학적으로 볼 때 이상고온 현상은 보통 장기간 지속되는 가뭄 현상과 밀접하게 연관되어 있다. 실제로 2003년 7~8월에 유럽지역에서 발생하였던 기록적인 폭염이나 1994년 7~8월에 우리나라를 포함한 동아시아 지역에 나타났던 기록적인 폭염 사례

에서도 장기간 지속된 가뭄이 주된 원인으로 작용한 것으로 보고된 바 있다(그림 1, <http://iridl.ldeo.columbia.edu/>). 따라서, 가뭄과 호우 등 물과 관련된 이상기후 현상에 따른 피해를 줄이고, 수자원의 효율적 사용과 관리를 위한 최선의 의사결정을 하기위해 강수량의 장기예측은 매우 중요하다. 그러나, 기후시스템을 구성하고 있는 대기, 해양, 눈/얼음, 생물, 육지 등 사이의 매우 복잡한 비선형적 물리/화학/생물학적 상호작용으로 인해 수주 또는 수개월 이후의 강수량을 역학 또는 통계적 방법으로 정확하게 예측하는데 한계가 있다.

그러나, 김지영과 박혜진(2010)은 『북반구 원격상관 패턴이 우리나라 강수량에 미치는 영향』에 관한 연구를 통하여 몇 개월의 시간지연 속에서 우리나라 강수량과 북반구 기후지수 사이에 높은 상관성이 있음을 밝힌 바 있다. 본 연구는 그에 대한 후속 연구로서 우리나라의 6월과 12월 강수량에 대해서 각각 6개월과 1개월 전의 북반구 기후지수를 사용하여 월 강수량을 예측할 수 있는 통계적 모형을 개발하고 그 예측 결과를 장기예보 현업에 활용 가능한가의 여부에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 자료 및 분석방법

2.1 자료

본 연구에서 사용한 자료는 우리나라 60개 기상관측소의 월 강수량으로 1973년부터 2009년까지 37년간의 자료를 사용하였다(그림 2). 월별 원격상관 지수는 미국 해양대기청(NOAA) 산하의 기후예측센터(Climatic Prediction Center, CPC)에서 생산된 원격상관 기후지수 중 6월 강수량 예측을 위해서는 그 전해 12월의 NAO(North Atlantic Oscillation) 지수와 EA(East Atlantic) 지수를 그리고 12월 강수량 예측을 위해서는 11월의 EP/NP(East Pacific/ North Pacific) 지수와 Nino3.4

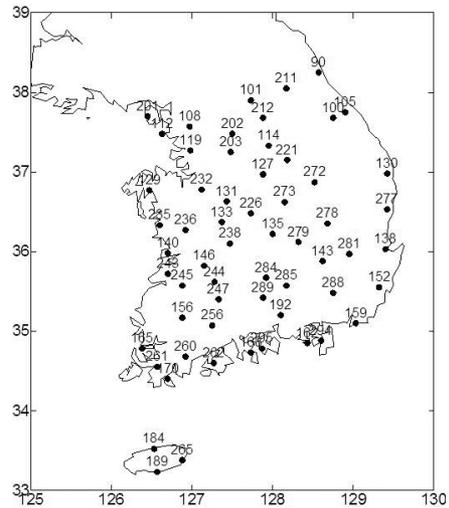


그림 2. 본 연구에 사용된 우리나라 60개 기상관측소의 위치. 숫자는 관측소 번호를 의미한다.

지수를 사용하였다.

2.2 기후지수의 의미와 통계모형

북반구 지역에 대한 NAO, EA, EP/NP, Nino 3.4 지수는 Barnston and Livezey(1987)에 의해서 산출되는데 본 연구에서는 NOAA/CPC에서 제공한 월 평균 자료를 사용하였다.

각각의 기후지수를 간단하게 요약하여 설명하면 다음과 같다. NAO 패턴은 가장 뚜렷한 원격상관 패턴 중의 하나로서, 그린란드와 북대서양에 중심을 둔 기압 아노말리의 남-북간 진동의 형태로 나타나는 데 지수가 양일 때 북대서양의 고위도 지역에 평상시 보다 낮은 기압상태를 나타낸다. NAO는 북대서양 제트의 위치와 강도, 저기압 이동경로, 남북 및 동서 방향의 열과 수증기 수송의 대규모 변화에 깊은 관련성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다(Hurrell, 1995). 음의 NAO가 장기간 지속될 때 러시아의 중부와 시베리아의 북부지역의 이상기후에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다. EA(East Atlantic) 패턴은 북대서양의 저주파 변동성 중에서 두 번째로 뚜렷한 모드로서, NAO와 구조적으로는 유사하나 북대서양의 동-서로 아노말리의 중심

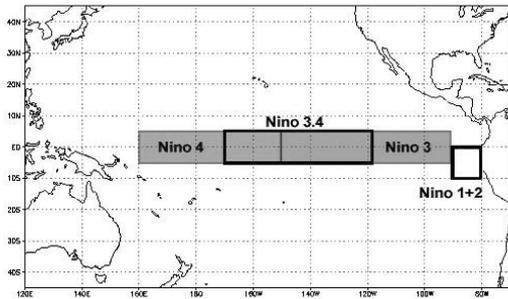


그림 3. 열대 적도 태평양 상의 엘니뇨/라니냐 감시 구역

이 지나는 것에서 차이가 있다. EA 지수가 양일 때 북유럽과 스칸디나비아에서는 평년보다 많은 강수량을 나타내고, 유럽 남부에서는 평년에 비해 강수량이 적은 것으로 보고되고 있다.

EP/NP 패턴은 3가지의 주요 아노말리 중심을 가진 봄-여름-가을 패턴이다. 지수가 양일 때 알래스카/서부 캐나다에, 그리고 음일 때는 북태평양 중앙과 북동 아메리카에 양의 고도 아노말리가 나타난다. 강한 양의 상태일 때는 동아시아로부터 북태평양의 동쪽에 이르기까지 태평양 제트 기류의 남하와 강화와 연관되는 것으로 알려져 있다. Niño3.4 지수는 그림 3에 나타난 바와 같이 엘니뇨와 라니냐 현상을 감시하기 위한 열대 적도 태평양 해역의 해수면 온도(Sea Surface Temperature, 이하 SST) 감시 구역으로서 5S~5N, 120W~170W 사이에 SST 아노말리를 지수화하여 사용하였다.

김지영과 박혜진(2010)에서 제시된 바와 같이 우리나라 6월 강수량과 그 6개월 전의 NAO 지수와

는 -0.51 , EA 지수와는 0.37 의 상관관계가 있고, 우리나라 12월 강수량과 그 1개월 전의 EP/NP 지수와는 0.42 , Niño3.4 지수와도 0.45 의 통계적으로 유의한 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 따라서, 본 연구에서는 각각 2개의 선행하는 기후지수를 사용하여 6월과 12월 강수량 아노말리를 예측하였다. 통계적 방법으로 월 강수량을 예측하기 위하여 Statistica Ver 7.0(2006)을 사용하여 다중회귀 모형(multiple linear regression model)을 만들었으며, 예측 결과의 활용도를 평가하기 위하여 관측 및 예측 강수량을 해당 월에 대한 평년 강수량 값의 3분위(즉, 많음, 비스, 적음)로 구분하여 예측 적중률(hit rate)을 계산하였다.

3. 결과

3.1 6월, 12월 강수량 아노말리와 기후지수의 통계적 분포

우리나라 6월과 12월 강수량 및 이와 관련성이 깊은 기후지수의 통계적 분포를 간단하게 살펴보고자 한다. 그림 4에는 6월과 12월 강수량 아노말리의 빈도분포를 나타낸 것이다. 우리나라 6월과 12월 강수량의 평년 값은 각각 171.3 mm(편차 범위: $-136.8 \sim 193.7$ mm)와 27.4 mm(편차 범위: $-22.5 \sim 35.2$ mm)이다.

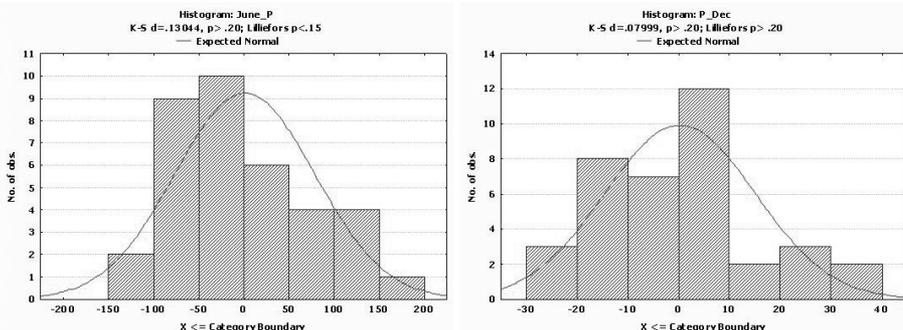


그림 4. 1973년부터 2009년까지 우리나라 60개 지점 평균 강수량 평년 편차의 빈도 분포. 좌측은 6월, 우측은 12월의 월 강수량이다. 양측 모두 정규분포(적색실선)에 비해 음의 편차에 더 많은 빈도가 나타났다.

학술/기술기사

또한 12월의 NAO와 EA 지수는 평균, 최소, 최대값이 각각 0.17, -1.67, 2.02와 0.31, -1.86, 1.68로 나타났으며, 11월의 EP/NP와 Nino3.4 지수의 평균, 최소, 최대값은 각각 0.15, -1.97, 2.36과 0.09, -2.30, 2.80으로 나타났다.

3.2 6월, 12월 강수량 아노말리와 기후지수의 시계열 분포

우리나라의 6월과 12월의 강수량 아노말리와 북반구 원격상관 패턴을 나타내는 기후지수와의 시계열 분포를 그림 5에 제시하였다. 그림에서 6월 강수량 아노말리에 대해서는 6개월 전의 NAO 지수 및 EA 지수의 값을 나타내었다. 그리고 12월 강수량 아노말리에 대해서는 1개월 전의 EP/NP 지수와 Nino3.4 지수의 값을 나타내었다. 각 월의 강수량 아노말리와 기후지수 사이에는 최소 0.37 이상의 높은 상관관계를 나타내었는데 이는 우리나라의 강수량 아노말리와 북반구 원격상관 패턴 사이에 시간 차를 두고 관련성이 상당히 깊다는 것을 의미한

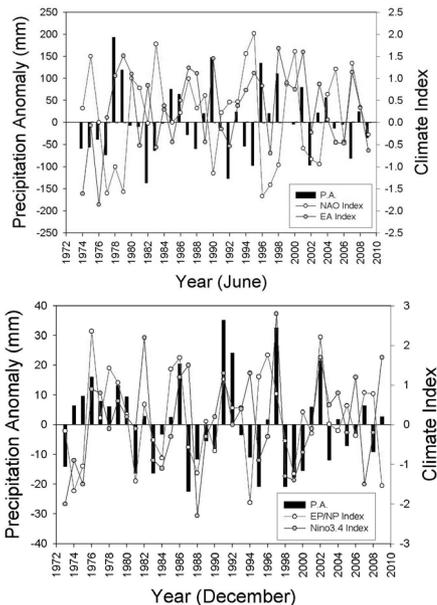


그림 5. 6월과 12월의 강수량 아노말리와 기후지수와의 시계열 분포

다. 특히, 6월 강수량 아노말리와 NAO 지수와는 -0.51의 높은 음의 상관성을 보였는데, 그림 5의 상단에는 이와 같은 음의 상관성 특징이 적절하게 나타난 것으로 보인다. 또한 12월 강수량 아노말리와 1개월 전의 EP/NP 지수 및 Nino3.4 지수 사이에는 0.45와 0.42 정도의 유의한 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다.

3.3 다중회귀모형을 이용한 강수량 예측결과 및 검증

우리나라의 6월과 12월 강수량 아노말리와 상관성이 높은 북반구 원격상관 지수를 이용하여 6개월 및 1개월의 예측 선행시간을 각각 두고 월 강수량을 예측하는 통계모형을 개발하였으며, 그 예측식은 다음과 같다.

$$P_{6\text{월}} = -1.32 - 36.28 \cdot \text{NAO}_{\text{전년12월}} + 27.94 \cdot \text{EA}_{\text{전년12월}} \quad (\text{식 1})$$

$$P_{12\text{월}} = -0.97 + 5.18 \cdot \text{EP/NP}_{\text{전월}} + 4.71 \cdot \text{Nino3.4}_{\text{전월}} \quad (\text{식 2})$$

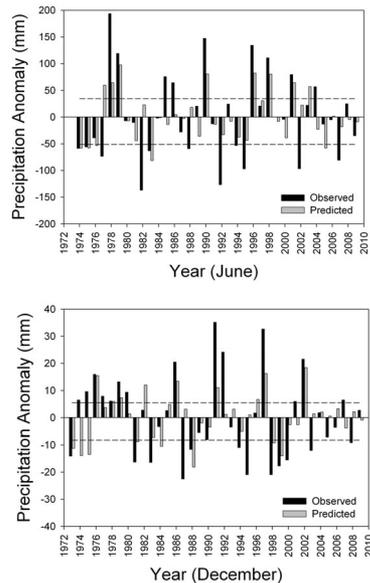


그림 6. 6월과 12월 강수량 아노말리의 예측성 검증 결과. 위와 아래의 실선은 평년 보다 강수량의 많음(120%)과 적음(70%) 경계선 이다.

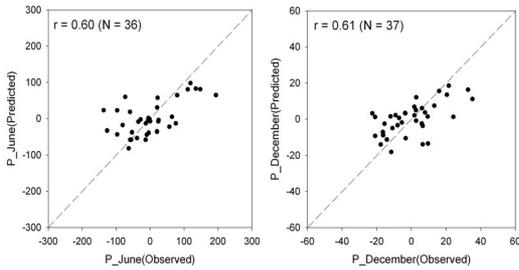


그림 7. 6월과 12월 강수량 아노말리의 1:1 검증 결과

여기서, P는 각 월의 강수량 아노말리(mm)를 나타낸다.

위의 식 (1)과 (2)를 이용하여 예측한 6월과 12월의 강수량 아노말리를 실제 관측값과 비교 검증한 결과 상관계수가 각각 0.60과 0.61로 높게 나타났다(그림 6과 7).

예측모형이 월 강수량을 실제 관측치 보다 약간 과다 모의하는 경향을 띠었으나, 1~6개월의 예측 선행시간을 고려하였을 때 충분히 유용한 예측 결과를 보인 것으로 평가된다.

기상청에서는 1개월 강수량에 대한 평년의 비수범위는 평년 강수량의 70~120%를 사용한다. 따라서 6월(171.3mm)과 12월(27.4mm) 강수량의 평년과 비슷한 범위의 강수량 아노말리 값은 각각 -51.4~34.3mm와 -8.2~5.5mm이다. 이를 기준으로 6월과 12월의 강수량 아노말리 예측 정확도를 계산한 결과 각각 61.1%(36 사례 중 22회 적중)와 54.1%(37 사례 중 20사례 적중)의 높은 예측 적중율을 보였다.

4. 결론 및 토의

참고문헌

1. 김지영, 박혜진, 2010: 북반구 원격상관 패턴이 우리나라 강수량에 미치는 영향. 물과 미래, 43(6), 39-43.
2. Barnston, A.G., and R.E. Livezey, 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. Mon. Wea. Rev., 115, 1083-1126.
3. <http://www.cpc.noaa.gov/>

강수량의 장기예측은 수자원의 효율적 사용과 관리를 위하여 매우 중요하다. 그러나, 기후시스템의 비선형적 특성으로 인해 장기 예측성의 한계가 존재한다. 본 연구에서는 북반구 원격상관 패턴 지수를 이용하여 시험적으로 우리나라의 6월과 12월 강수량에 대하여 각각 6개월 및 1개월의 선행시간을 두고 예측할 수 있는 통계적 모형을 개발하였다. 6월과 12월의 강수량 아노말리 예측 정확도를 계산한 결과 각각 61.1%(36 사례 중 22회 적중)와 54.1%(37 사례 중 20 사례 적중)의 높은 예측 적중율을 보였다. 이와 같은 결과는 기존의 통계적 또는 역학적 방법에 비해 예측의 적중률(hit rate)이 상당히 향상된 것으로서 현업적 활용 가능성을 시사한 결과로 평가된다.

통계적 모형을 이용한 수개월 정도 이후의 기후 상태에 대한 장기예측은 역학모델(예로, CGCM의 다운 스케일링 등)에 비해 상대적으로 정확도가 높고, 비용이 적게 들며, 많은 전산자원을 필요로 하지 않고 계산 시간이 짧다는 등 여러 가지 장점이 있는데 반해 이상기후 현상 등에 대한 역학적 원인의 설명이 어렵고, 기후변화 등 장기간의 변화 경향에 대한 반영이 어려우며, 기후 시스템 간의 복잡한 상호작용을 반영하기 어려운 단점을 지니고 있다.

앞으로 우리나라의 기온과 강수량에 대한 장기예측 능력을 향상시키기 위해서 통계적 모형을 이용한 기술과 역학적 모형을 이용한 기술의 균형적인 발전이 필요할 것으로 생각된다. 또한 각 격자 및 시간 규모별로 디지털화된 장기 기후예측 자료의 생산을 통하여 수자원, 농업, 에너지, 보험 분야 등에서 장기예측 정보가 보다 실질적으로 활용될 필요가 있다. ☺