

# 북반구 원격상관 패턴이 우리나라 강수량에 미치는 영향



김 지 영 |

기상청 기후과학국 기후예측과 기상연구관  
aceasia@korea.kr



박 혜 진 |

기상청 기후과학국 기후예측과 연구원  
chaos35@korea.kr

## 1. 서론

장기간 지속되는 가뭄이나 일정 기간 동안 집중되는 호우의 발생 가능성 등 물과 관련된 이상기후 현상의 장기예측은 그 예측 가능성의 한계에도 불구하고 수자원의 효율적 사용과 관리, 각종 용수의 안정적 확보 등 다양한 측면에서 매우 중요하다. 2007년에 발간된 IPCC 4차보고서에 따르면 기후변화로 인하여 가뭄, 호우, 태풍 등 극단적인 기상의 변화와 더불어 강수량에 있어서도 광범위한 변화가 관측되고 있고, 21세기 후반에는 호우(heavy precipitation events)의 발생빈도가 증가할 가능성이 더 높은 것으로 전망되고 있다. 따라서, 통계적 또는 역학적 모델을 이용하는 등 다양한 기술의 개발을 통하여 강수량의 장기전망에 대한 예측 기

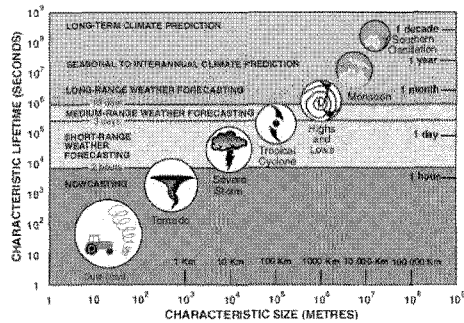


그림 1. 대기현상의 수명(출처 : WMO 회보 제48권, 1999)

술의 향상이 필요하다. 그림 1은 대기현상의 시공간적 규모의 상호 관련성을 보여주는 것으로서 장기예보(long-range weather forecasting)나 계절기후예보(seasonal climate prediction)는 시간적으로 10일~수개월 정도, 공간적으로는 수천~수만 km의 규모에 해당하는 것으로 나타나 있다.

원격상관 패턴이란 광범위한 지역에 걸쳐 지속적이고 대규모적으로 나타나는 기압계 패턴과 그로 인한 대기순환 아노말리를 의미한다. 대부분의 원격상관 패턴은 자연발생적으로 나타나며 장기간 동안의 저주파 변동(low frequency variability) 모드와 관련된다. 원격상관 패턴의 변화에 따라 제트기류의 강도와 위치, 저기압 이동 경로, 대규모 순환장 등이 달라지기 때문에 북반구 중위도 지역의 기온과 강수량 분포가 달라질 수 있다. 이는 또한 이상기후나 극단적인 기상현상의 발생과도 밀접한 관련성을 가지게 된다. 일례로 1995/1996 겨울철에

북아메리카와 유럽 지역에 나타났던 이상기후 현상은 북대서양진동(North Atlantic Oscillation, NAO)과 밀접한 관련성을 가지는 것으로 보고된 바 있다(http://www.cpc.noaa.gov/).

본 연구에서는 북반구 원격상관 패턴과 우리나라 월 강수량과의 상관성을 분석함으로써 우리나라 강수량의 장기예측 가능성에 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 지수와 Nino3.4 지역의 SST를 지수화하여 사용하였다.

### 2.2 분석방법

북반구 지역에 대한 원격상관 패턴과 지수 산정을 위하여 RPCA(Rotated Principal Component Analysis) 방법이 사용되었다(Barnston and

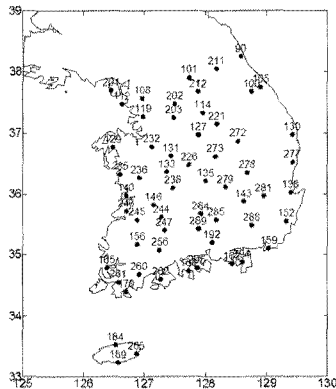


그림 2. 본 연구에 사용된 우리나라 60개 기상관측소의 위치. 숫자는 관측소 번호를 의미함.

Livezey, 1987). 이러한 방법을 이용하면 모든 월에 대한 탁월한 원격상관 패턴과 각 패턴 별 시계열 자료를 얻을 수 있는 장점이 있다. 북위 20~90도 지역에 대해 1950년 1월부터 2000년 12월까지의 월평균 500 hPa 고도 아노말리에 RPCA 기법이 적용되었으며, 본 연구에서는 1973년부터 2009년까지의 월 별 원격상관 지수값을 사용하였다. 이러한 분석을 통하여 북반구 중고위도 지역에 대한 대기순환의 연 변화와 관련된 원격상관 패턴의 구조와 강도의 변동성을 설명할 수 있다. 따라서, RPCA를 이용한 방법은 기존의 특징지점에 대하여 상관성을 분석하는 방법보다 광범위한 지역을 대상으로 하기 때문에 공간적 상관성을 효과적으로 파악할 수 있다는 것이 장점이다.

본 연구에서는 우리나라의 월 강수량과 원격상관 지수간의 상관계수를 분석하였으며, 상관계수의 유의성은 t-검정을 이용하여 유의수준 95%와 99%로 구분하여 테스트하였다.

## 3. 결과

1973년부터 2009년까지 37년 동안의 월 별 북반구 원격상관 지수와 우리나라 월 강수량과의 상관관계를 분석한 결과, 동시상관성과 지연상관성에 있어서 다양한 결과가 나타났다. 1월부터 12월까지의 각 월 별로 원격상관 지수와의 상관성이 서로 다르게 나타났으며, 특히 동시상관성에서는 다수의 유의한 상관성이 나타났다.

### 3.1 주요 원격상관 지수의 정의 및 북반구 수문 기후와의 관계

각 월 별로 상관성을 분석하기에 앞서 본 연구에 사용된 원격상관 지수 중 중요한 몇 가지 지수의 특징에 대하여 간략하게 설명하고자 한다. NAO(North Atlantic Oscillation)는 모든 계절에 걸쳐

가장 뚜렷한 원격상관 패턴 중의 하나이다. NAO는 그린란드에 중심을 둔 것과 북위 35~45도 사이의 북대서양에 중심을 둔 기압 아노말리의 남-북간 진동으로서 양의 상태(positive phase)일 때는 북대서양의 고위도 지역에 평상시 보다 낮은 기압상태를 나타낸다. 또한 북대서양 중부와 미국 동부, 서부 유럽지역에서는 평상시 보다 높은 기압 상태를 나타내게 된다. 음의 상태일 때는 이와 반대의 기압계 패턴을 나타내게 된다. 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). 이와 같은 관련성은 북동 아메리카와 유럽의 중서부 지역의 기후와 밀접한 관련성을 지닌다. 특히, 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 중심이 지나는 것에서 차이가 있다. EA 패턴이 양일 때 북유럽과 스칸디나비아에서는 평년보다 많은 강수량을 나타내고, 유럽 남부에서는 평년에 비해 강수량이 적은 것으로 보고되고 있다. EA/WR(East Atlantic/ West Russia) 패턴은 연중 유라시아 지역에 영향을 주는 3가지 뚜렷한 원격상관 패턴 중 하나이다. 양의 EA/WR 상태일 때 유럽과 중국 북부에 양의 고도 아노말리가 나타나고, 반대로 음의 고도 아노말리는 북중 대서양과 카스피해에 나타난다. EA/WR이 양의 상태일 때 중국 동부와 유럽 중부에는 평년 보다 많은 강수가 있는 것으로 분석되고 있다.

POL(Polar/ Eurasia) 패턴은 모든 계절에 나타나며, 양의 상태일 때 북극지역에서 음의 고도 아노말리, 중국 북부와 몽고에서 양의 아노말리가 나타난다. 이 패턴은 극을 둘러싼 소용돌이의 강도 변화와 밀접하게 관련이 있으며 양의 상태일 때 극 주변

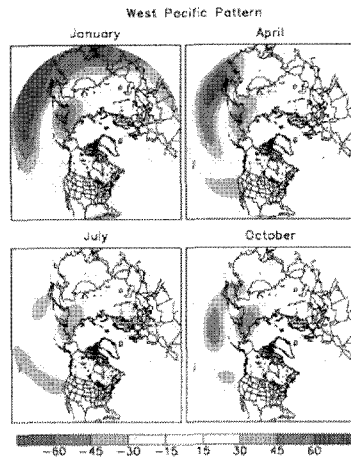


그림 3. 1월, 4월, 7월, 10월의 WP 패턴 지수와 월 별 고도 아노말리와의 상관성.

소용돌이의 세기가 강해지는 것으로 나타난다. POL 패턴은 시베리아 동부와 중국 동부 지역의 기온에 영향을 주며, 스칸디나비아 북부의 극 지역의 강수량과 깊은 연관성이 있는 것으로 알려져 있다.

WP(West Pacific) 패턴은 북반구지역에 항상 나타나는 저주파 변동성의 주된 모드이다. 겨울과 봄철 동안 이 패턴은 캄차카 반도에 중심을 둔 것과 남동아시아 및 북서 태평양 지역에 중심을 둔 쌍극(dipole)의 남북간 진동 모드로 구성된다(그림 3). 따라서, 강한 양이나 음의 상태일 때 동아시아 제트의 위치와 강도에 영향을 주게 된다. WP 패턴이 양일 때 겨울과 봄철에 북서태평양의 저위도 지역에 기온은 평년에 비해 높게 되고, 시베리아 동부 지역의 기온은 전 계절에 걸쳐 낮게 나타나는 것으로 분석되고 있다. 또한 강수량 측면에서는 북태평양의 고위도 지역에 강수량은 평년에 비해 대체로 많고 태평양의 중북부 지역의 겨울과 봄 강수량은 적은 것으로 분석되고 있다.

### 3.2 북반구 원격상관 패턴과 우리나라 월 강수량과의 동시 상관성

북반구 지역의 원격상관 지수와 우리나라 월 강수량과의 상관계수를 분석한 결과를 표 1에 제시하

표 1. 우리나라 월 강수량과 원격상관 지수와의 상관관계. 1973년부터 2009년까지 37년간의 자료를 사용하여 상관계수를 분석하였다. 유의수준 95% 이상인 값들만 표에 제시하였으며, 굵은 글씨체로 표시된 부분은 유의수준이 99% 이상을 의미한다. 표의 첫줄에 0에서부터 -6으로 표시된 부분은 지연된 개월 수를 의미한다. 본 연구에 사용된 지수의 약어는 다음과 같다. NAO(North Atlantic Oscillation), EA(East Atlantic), WP(West Pacific), EP/NP(EastPacific/North Pacific), PNA(Pacific/ North American ), EA/WR(East Atlantic/ West Russia), SCA(Scandinavia), POL(Polar/ Eurasian), AO(Arctic Oscillation), Nino3.4(Nino3.4 SST)

	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
1월	WP(0.38) EA(0.34) EA/WR(0.34) EP/NP(-0.34) PNA(-0.33)					EA(0.37)	EA(0.36)
2월	PNA(-0.60)				EA/WR(0.37)	AO(0.50) NAO(0.36)	
3월	EA/WR(0.33)						
4월	WP(0.50)	WP(0.33)	Nino3.4(0.36) EP/NP(-0.33)	POL(-0.39) WP(-0.35)			WP(-0.35)
5월	WP(0.34)					WP(0.33)	
6월	PNA(-0.49) WP(0.35)					SCA(0.35)	NAO(-0.51) EA(0.37)
7월	WP(-0.43)		PNA(-0.36)		EA/WR(0.38) AO(-0.35)	WP(0.42)	
8월			EA(0.33)			EP/NP(0.33)	EA/WP(0.35) SCA(-0.35)
9월	Nino3.4(-0.45) EP/NP(-0.38)	Nino3.4(-0.46)	Nino3.4(-0.46)	Nino3.4(-0.35)			
10월					EA(0.39)		
11월	SCA(0.46) Nino3.4(0.43)	Nino3.4(0.43)	Nino3.4(0.43)	Nino3.4(0.41)	Nino3.4(0.42)	Nino3.4(0.34)	
12월	Nino3.4(0.5)	Nino3.4(0.45) EP/NP(0.42)	Nino3.4(0.40) EP/NP(0.37)	Nino3.4(0.34)	Nino3.4(0.38)	Nino3.4(0.40)	Nino3.4(0.39)

였다. 시간지연이 없는 동시상관성을 볼 때 1월 강수량에 대해 EA, WP, EA/WR는 양의 상관성이, 그리고 EP/NP, PNA는 음의 상관성을 유의한 수준에서 보였다. 2월의 강수량과는 PNA 패턴이 상관계수 -0.60으로 높은 음의 상관을 보였다. 4월과 5월의 강수량과는 WP 패턴이 각각 상관계수 0.50과 0.34로 양의 상관을 보였다. 6월과 7월의 강수량은 우리나라의 연 강수량이 집중된 기간이기 때문에 수자원 측면에서 중요한 시기에 해당한다. 6월 강수량에 대해 WP와는 0.35, PNA와는 -0.49의 상관성을 보였으며, 7월의 강수량에 대해서는 WP와 -0.43의 상관성을 보였다. 이는 이미 알려진 바와 같이 West Pacific 패턴이 우리나라 장마전선의 발달 및 그에 따른 강수현상과 밀접한 관

련성이 있음을 의미하며, 6월과 7월의 상관성이 각각 양과 음으로 반대의 경향을 띠는 것은 WP 패턴의 확장 여부에 따른 장마전선의 발달과 강수 메커니즘이 다르기 때문인 것으로 해석된다. 9월의 강수량과는 EP/NP가 -0.38, Nino3.4가 -0.45로 각각 음의 상관성을 보였으며, 11월의 강수량과는 SCA가 0.46, Nino3.4가 0.43의 상관계수를 나타냈으며, 12월의 강수량과는 Nino3.4가 0.5의 상관계수를 가지는 것으로 나타났다. 이상에서 살펴본 바와 같이 우리나라 월 강수량과 북반구의 원격상관 패턴과는 각 월 별로 다양한 형태의 상관성이 나타났으며, 특히 1, 2월에는 공통적으로 PNA가 4~6월 동안에는 WP가 9, 11, 12월에는 Nino3.4가 연속적으로 유의한 상관성을 나타내었다. 이는

우리나라의 월 강수량이 북반구의 다른 지역에서 나타나는 장주기(또는 저주파)적 현상과 깊은 관련성이 있음을 보여주는 결과이다.

그러나 이와 같은 높은 상관성에도 불구하고 강수량의 장기예보 측면에서 볼 때, 동시상관성은 그 활용에 한계가 있다. 왜냐하면, 강수량에 대한 장기예보 정보를 생산하기 위해서는 수 개월 전에 선행되어 나타나는 예측인자를 사용할 수 있어야 하기 때문이다. 따라서, 다음 절에서는 북반구 원격상관 패턴과 우리나라 월 강수량과의 시간지연 상관성에 대한 결과를 제시하고자 한다.

### 3.3 북반구 원격상관 패턴과 우리나라 월 강수량과의 시간지연 상관성

시간지연 상관성에 대하여 1~6개월의 시간지연에 대한 각 월 별 상관계수를 표 1에 제시하였다. 1개월 시간지연 시에 4월에는 WP가 0.33의 상관계수를 나타내었고, 9월에는 Nino3.4와 -0.46, 11월에는 Nino3.4와 0.43, 12월에는 EP/NP와 0.42, Nino3.4와 0.45의 상관계수를 나타내었다. 9, 11, 12월의 Nino3.4와의 상관성은 동시상관과 거의 비슷한 수준으로 적도 태평양(특히, Nino3.4 지역인 5°S~5°N, 170°W~120°W 해역)의 해수면 온도가 우리나라의 가을/겨울철 강수량과 깊은 관련성이 있음을 보여주고 있다. 3개월 시간지연 시에는 3월의 강수량이 EA/WR과 0.33, 4월은 WP와 -0.35, POL과 -0.39의 상관계수를 나타내었다. 9, 11, 12월의 강수량은 Nino3.4와 각각 -0.35, 0.41, 0.34의 상관계수를 나타내었다. 6개월 시간지연 시에도

다수의 북반구 원격상관 패턴과 높은 상관성을 보였다. 특히, 6월의 강수량은 NAO 패턴과 -0.51의 높은 음의 상관성을 보였다. 이는 NAO가 12월에 강한 음의 지수일 때 우리나라의 6월 강수량이 많아질 가능성이 높다는 것을 의미하는 결과이다.

## 4. 결론 및 토의

수자원의 효율적 사용과 관리를 위한 정책수립을 위하여 수문기후 현상에 대한 장기예측은 매우 중요하다. 우리나라의 월 강수량에 대한 장기예측 기술 개발의 일환으로 북반구 원격상관 패턴과의 상관성을 조사하였다. 동시 상관성으로는 EA, WP, EP/NP, PNA, EA/WR, SCA, Nino3.4가 유의한 상관성을 보였다. 특히 WP는 여름철 강수와 높은 상관성을 보였다. 시간지연 상관성에 있어서는 시간지연의 월에 따라 다소의 차이가 있으나 Nino3.4, EP/NP, AO, WP, NAO가 높은 상관성을 보였다.

본 연구에서 도출된 결과를 『북반구 원격상관 패턴을 이용한 월 강수량 예측 모델』의 형태로 더욱 발전시키기 위해서는 북반구에서 나타나는 원격상관 패턴에 따른 대규모 순환장의 변화 및 에너지 전파가 우리나라를 포함한 동아시아 지역의 기후에 어떠한 프로세스(특히 저기압 이동경로, 제트의 위치 및 강도 변화 등)로 영향을 주는지에 대한 충분한 이해가 필요하다. 또한 본 연구에서 제시된 각 지수와의 상관성을 바탕으로 다중회귀모델 형태로 월 강수량 예측 모델을 개발하고, 그 예측 결과를 검증하는 후속연구가 수행될 필요가 있다. ☺

## 참고문헌

1. Barnston, A.G., and R.E. Livezey, 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1083-1126.
2. Hurrell, J.W., 1995: Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676-679.
3. <http://www.cpc.noaa.gov/>