

# 한반도 겨울철 기온 변동과 관계된 대규모 대기 순환에 관한 연구

김해정 · 안중배

부산대학교 지구환경시스템학부

(2010년 5월 18일 접수, 2010년 6월 14일 수정, 2010년 6월 17일 수락)

## The Large-Scale Atmospheric Circulation Related to Korea Winter Temperature Variability

Hae-Jeong Kim · Joong-Bae Ahn

Division of Earth Environmental System, Pusan National University

(Received 18 May 2010, Revised 14 June 2010, Accepted 17 June 2010)

**요약** : 본 연구에서는 겨울철에 나타나는 전지구 규모 패턴과 한반도 겨울철 기온과의 관계를 알아보았다. 500hPa 지위고도에 대한 EOF 분석을 통해 겨울철 평균(DJF) 주요 모드는 AO이고 12월, 1월, 2월 각각에 WP, PNA, EA, NAO, EU 패턴이 잘 나타나는 것을 알았다. EOF 분석에서 나타난 전지구 규모 패턴들은 한반도 겨울철 평균 기온과 높은 상관관계를 가지고 있었다. 한반도 겨울철 기온은 DJF 평균으로 보면 AO 패턴, 월 별로 따져보면 12월에는 WP, 1월에는 AO 뿐만 아니라 PNA 그리고 WP, 그리고 2월에는 AO와 EU의 영향을 받는 것으로 나타났다.

**주요어** : 대규모 대기 순환, 한반도 겨울 기온, 변동성

**Abstract** : We investigated the major global scale pattern in winter time and its relationship to the variability of winter temperature in Korea. In the EOF analysis of 500hPa geopotential height, AO pattern is the leading mode of atmospheric circulation during winter(DJF). For the each month of winter, WP, PNA, EA, NAO and EU patterns are dominant. The major modes from the EOF results are highly correlated with the variability of winter temperature in Korea. Korea winter temperature is influenced by AO pattern during DJF. But for the monthly temperature, the variability of winter temperature is impacted by WP in December, AO, PNA and WP in January and AO and EU in February.

**Key Words** : large scale atmospheric circulation, Korea winter temperature, variability

## 1. 서론

최근 많은 연구들이 원격 상관 패턴, 진동, 모드 등으로 불리어지는 패턴과 변동성에 관한 기후 역학적 문제를 다루고 있다(Quadrelli and Wallace, 2004). 기후 변동은 다양한 시간 규모를 가지고 나타나고 지역적으로 서로 다른 양상을 보이지만 궁극적으로는 전 지구적인 순환 특성에 영향을 받고 있다. 그

러므로 전 지구적인 요인과 지역적인 요인의 정확한 관계에 대한 이해가 충분할수록 지역적 규모의 기후 변동도 더 잘 이해할 수 있게 된다(IPCC, 2007).

최근에 전 지구적인 대기 순환과 지역 기후들과의 관계에 대한 연구들이 많이 이루어져왔다. Chen(2000)과 Qian *et al.*(2000)은 대기 순환의 공간 모드와 유럽의 지점 기온과 강수와의 관계를 연구하였다. Higgins *et al.*(2000)은 상당한 크기의 미국 겨울철 기온과 강수 경년 시그널이 ENSO(El Niño/Southern Oscillation), NAO(North Atlantic Oscillation)와 같은 지수들과 관계가 되어 있다고 발표하였다. 또한 아열대 지역에서 가장 우세한 변동 모드인 AO(Arctic Oscillation)의 영향이 가장 크게 나타나는 것은 cold season 동안이고 특히 미국 동부, 북대서양 지역, 유라시아 그리고 극지방의 지표 기온과 강수와 관계가 있다고 하였다. PNA(Pacific/North American pattern)는 겨울철 미국 서부 지역의 한파와 북미 서부지역의 강수와 관계가 있는 것으로 나타났다(Compo and Sardeshmukh, 2004).

Thompson and Wallace(1998, 2000)와 Kerr *et al.*(1999)에 의해 유라시아 대륙의 지표 기온의 변동이 AO와 상당히 밀접한 관련이 있다는 연구가 활발히 이루어져 왔다. Gong and Ho(2002)는 겨울철 유라시아 대륙의 기온 변화를 지배하는 시베리아 고기압의 세기 변동이 AO의 변동성에 영향을 받고 있다고 제안한 바 있으며 Gong *et al.*(2001)은 AO와 동아시아 겨울 몬순의 변동성 사이에 의미 있는 out-of-phase의 관계가 있다고 제시하였다.

한반도 겨울철 기온 변동과 관계된 북반구 순환에 대한 연구도 활발히 이루어져 왔다. 김맹기·강인식(1997)에 의하면 SLP의 EOF와 SVD 분석을 통해 겨울철에 한반도의 기온 증가 경향에 가장 크게 영향을 미치는 북반구 기압 패턴의 시그널이 고위도 지방에서의 기압 감소와, 중위도 지방에서의 기압 증가로 나타난다고 하였다. 신성철 외(2006)는 AO의 위상에 따라 한반도의 겨울철 한파가 어떠한 특성이 나타나는지 살펴보았고 그에 따른 대기 순환의 시, 공간적 특성 및 차이를 분석하였다. 임은순·안중배(2004)는 한반도 겨울철 기온의 변동성과 남방진동 및 북극진동과의 상관성을 파악하고 동아시아 몬순 시스템과의 종합적인 이해를 하고자 하였다. 그 결과 겨울철 최저, 최고, 평균 기온편차는 SOI(Southern Oscillation Index)보다 AO와 더 높은 상관 관계가 있음을 알았고 동시에 AO가 한반도 겨울철 기온 변동을 설명하는 좋은 지수로 활용될 수 있다고 제안하였다. 안중배·김해정(2005)은 부산지방의 자료를 근거로 한반도 겨울철 기온이 기본적으로 동아시아 몬순의 영향을 절대적으로 받고 있고 이 몬순 시스템은 AO와 시베리아 고기압 패턴에 영향을 받는다고 설명하였다. 그러나 이 연구는 자료 길이 측면에서 100년이라는 큰 장점을 가지고 있지만 부산지방의 자료만으로 한반도 전체 기후를 대표하기에는 무리가 있었다.

따라서 본 연구에서는 한반도 61개 기상대에서 33년간 관측된 겨울철 월평균 기온 자료를 사용하여 한반도 기후에 영향을 미칠 수 있는 북반구 순환 패턴들과 기온의 상관을 더욱 분명히 확인하고자 하였다. 또한 AO 외에 한반도 겨울철 기온에 영향을 미치는 또 다른 전 지구적인 대기 순환이 있는지 살펴보려고 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 먼저 겨울철 월평균 500hPa 지위 고도를 사용하여 EOF 분석을 수행하여 겨울철에 북반구 대기 변동을 지배하는 주요 순환 패턴들이 무엇인지 찾아보았다.

## 2. 자료 및 연구방법

한반도 지상관측자료를 근거로 우리나라의 겨울철(12, 1, 2월) 기온과 대규모 순환 지수들과의 관계를 살펴보았다. 본 연구에서 사용된 지상 관측 자료는 한반도 61개 기상대(그림 1)에서 1973년부터 2005년까지 33년간 관측된 겨울철 월평균 기온이다. 본 연구에서 사용한 한반도 기온 자료는 33년 동안 양의 선형 기울기(0.04)를 가지고 있으나 그 결정계수가 0.18로 매우 작아 의미 없는 추세라 생각하여 선형 경향을 제거하지 않았다.

대규모 순환 지수로는 CPC(Climatic Prediction Center)와 CDC(Climatic Diagnostics Center)로부터 39개의 지수들을 사용하였고 사용된 자료의 길이는 1972년 12월부터 2005년 11월까지 33년이다.

대규모 순환장과 관련된 분석을 위해서 NCEP/NCAR(The National Centers for Environment Prediction/National Center for Atmospheric Research) 재분석 자료를 이용하였고, 위, 경도 2.5°의 해상도를 가진 월평균 500hPa 지위고도를 이용하였다.

북반구에서 나타나는 주요 대기 순환 패턴들을 찾아내기 위해 경험적 직교함수(Empirical Orthogonal Function, EOF) 분석을 사용하였다. EOF분석 수행 시 북위 20도 이상의 500hPa 지위고도에 대해서 적용하였으며 공분산 행렬을 이용하였다.

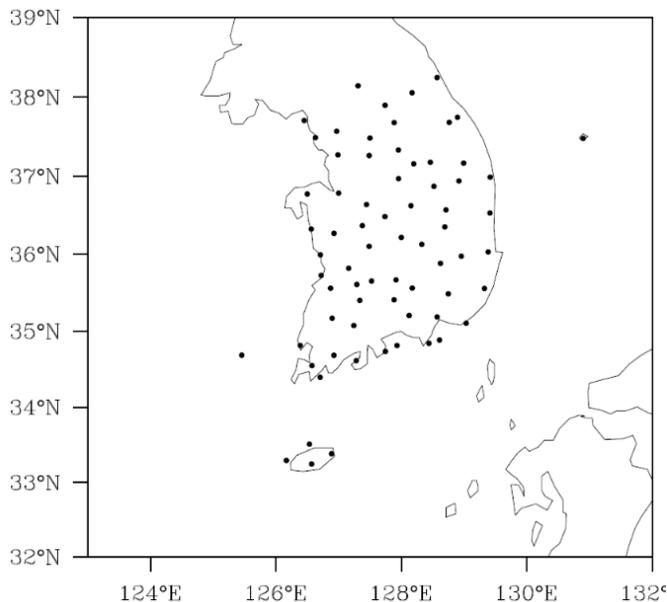


그림 1. 한반도 지점 자료의 위치

### 3. 북반구 겨울철 순환의 주요 모드

그림 2는 겨울철(DJF) 평균 500hPa 지위고도의 EOF 고유모드로서 첫 번째 모드부터 네 번째 모드까지 나타내었다. 첫 번째 모드는 총 변동의 26%를 설명하고, 북극의 시그널과 태평양과 대서양의 시그널이 서로 반대 위상을 가진다. 이 패턴은 극 지역의 대기 압력이 중위도에서의 대기 압력과 반대로 변하는 대기 순환 패턴인 극진동 패턴(Arctic Oscillation, AO)과 유사하다. 본 연구에서는 첫 번째 모드는 AO와 유사하나 나머지 모드들은 특정 전지구 규모 패턴이라고 단정 짓기 어렵다고 판단되었다. 결과에 의하면 한반도는 첫 번째 모드에 가장 크게 영향을 받는 것으로 보이고 겨울철 AO가 북반구 중, 고위도 기후에 상당한 영향을 준다는 많은 연구 결과들이 있다(Thompson and Wallace, 1998; 2000).

그러나 겨울철 평균이 아닌 12월(그림 3), 1월(그림 4), 2월(그림 5) 각각에 대한 500hPa 지위고도의 EOF 분석 결과는 뚜렷한 전지구 규모의 패턴을 보였다. 결과에서 보듯이 총 변동의 20%를 설명하고 있는 12월의 첫 번째 모드(그림 3(a))는 북극 주변에 양의 시그널과 태평양과 대서양에 음의 시그널을 가지고 있고 이는 AO와 유사하다. 두 번째 모드(그림 3(b))는 캄차카 반도에 음의 시그널의 중심이 위치하고 반대 위상의 시그널이 북태평양에 중심을 두고 서쪽으로 확장되어 있다. 이 패턴은 겨울철과 봄철에 북태평양에서 남과 북으로 쌍극자 아노말리 형태로 나타나는 서태평양 패턴(West Pacific, WP)과 비슷하

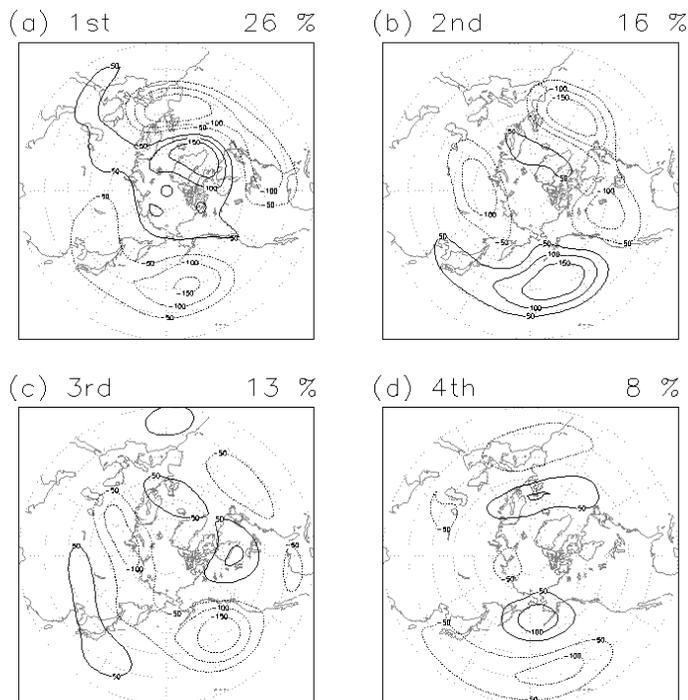


그림 2. 겨울철(DJF) 북반구 500hPa 지위고도의 4가지 주요 모드

다. 세 번째 모드(그림 3(c))는 북미 지역과 하와이 근처에서 양의 시그널을 가지고 미국 남동쪽과 알류산 열도의 남쪽에 음의 시그널을 가진다. 이것은 음의 태평양/북미 패턴(Pacific/North American pattern, PNA)과 유사하다. 네 번째 모드(그림 3(d))는 아노말리가 북대서양 지역에서 남-북 쌍극자 형태를 가지며 동쪽에서 서쪽으로 뻗어있고 이는 동대서양 패턴(East Atlantic, EA)과 비슷하다. DJF 평균의 경우와는 달리 AO보다는 두 번째 모드가 한반도에 가장 큰 영향을 주는 것으로 보인다.

1월에 대한 결과(그림 4)를 살펴보면 첫 번째 모드(그림 4(a))는 북극 지역과 중위도 지역의 기압이 서로 대비되는 변동인 AO, 두 번째 모드(그림 4(b))는 태평양과 북미에서 대규모 대기 변동의 주된 패턴이 나타나는 PNA와 유사하다. 세 번째 모드(그림 4(c))는 그린란드에 음의 시그널과 북대서양에 양의 시그널이 나타나는 대서양에서의 남북 쌍극자 패턴인 북대서양진동(North Atlantic Oscillation, NAO)의 모습을 닮았고, 네 번째 모드(그림 4(d))는 북태평양에서 나타나는 주된 저주파 변동인 WP로 보여진다.

2월(그림 5) 역시 첫 번째 모드(Fig. 5(a))는 AO로 생각된다. 세 번째 모드(그림 5(c))는 유럽과 동중국에 양의 시그널, 북대서양과 카스피해 북쪽에 음의 시그널을 가지는 EU(Eurasia Pattern)와 유사하다. 그러나 두 번째와 네 번째 모드는 특정 패턴과 연결시키기 어렵다.

12, 1, 2월 매 달에 대한 EOF 분석 결과에서도 여전히 AO가 가장 큰 모드이기는 하지만 계절 평균으로 살펴본 결과와는 달리 다른 모드에서도 전 지구적인 패턴들이 뚜렷이 나타남을 알 수 있다.

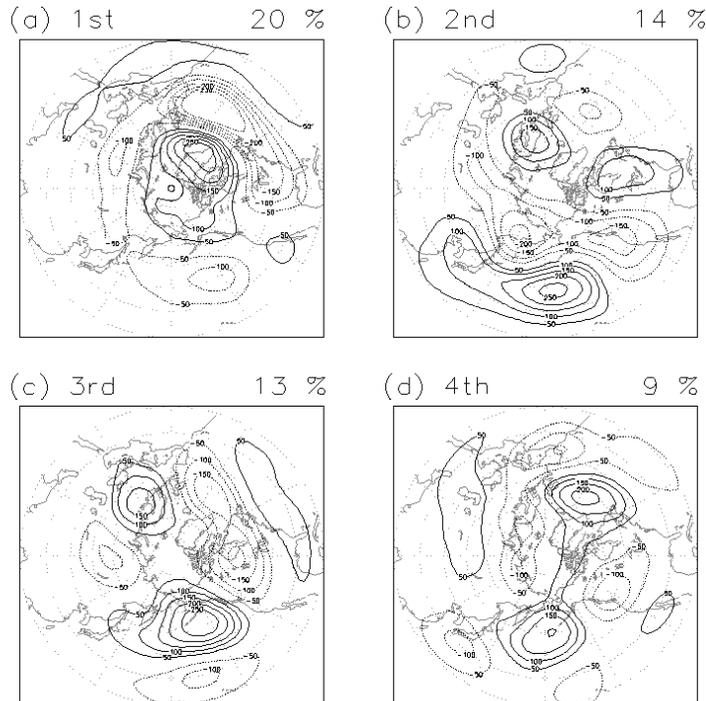


그림 3. 12월 북반구 500hPa 지위고도의 4가지 주요 모드

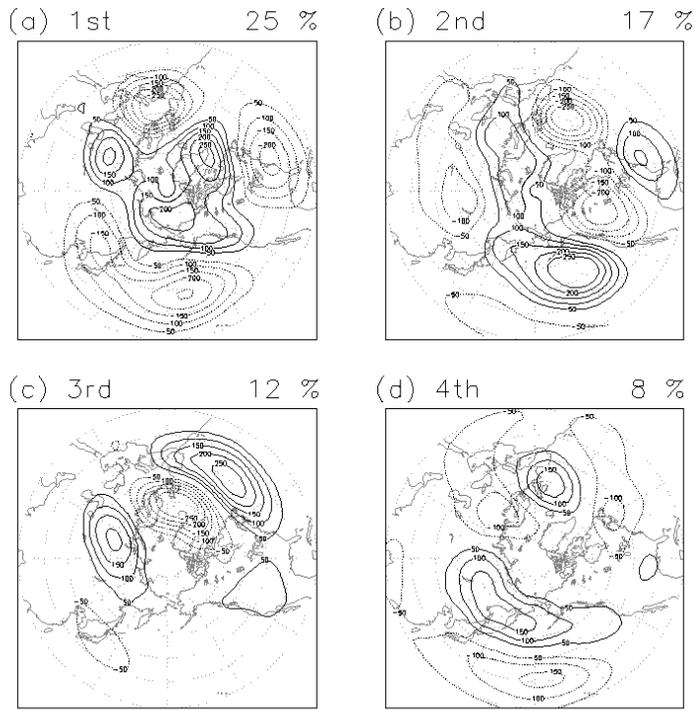


그림 4. 1월 북반구 500hPa 지위고도의 4가지 주요 모드

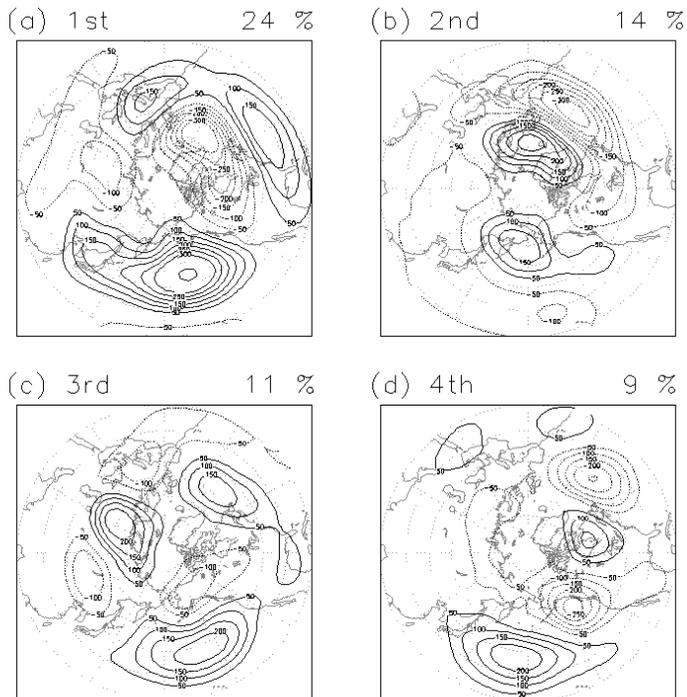


그림 5. 2월 북반구 500hPa 지위고도의 4가지 주요 모드

## 4. 시간 상관과 공간 상관

3절에서 보여준 EOF 각 모드들과 그에 해당되는 전 지구규모 패턴들과의 연결에 있어서 좀 더 정확한 근거를 제시하기 위하여 시간 상관관계와 공간 상관관계를 구하였다. 이 때 상관관계는 보편적으로 이용되는 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)를 계산하여 살펴보았다. 예로 1월의 경우를 그림 6과 그림 7에 제시하였다.

그림 6에는 각 모드들의 PC와 대규모 순환 지수들의 시계열, 그리고 둘 사이의 상관 값을 나타내었다. AO 패턴이라 생각되는 첫 번째 모드는 AO 지수와 매우 높은 상관관계를 보였고( $r=-0.93$ 의 관계), PNA 패턴이라 생각되는 두 번째 모드 또한 PNA 지수와  $r=-0.56$ 의 관계를 가져 99%이상 유의수준을 넘어섰다. 세 번째 모드는 NAO 지수와  $r=0.82$ 의 매우 높은 상관 관계를 가지고 네 번째 모드는 WP 지수와

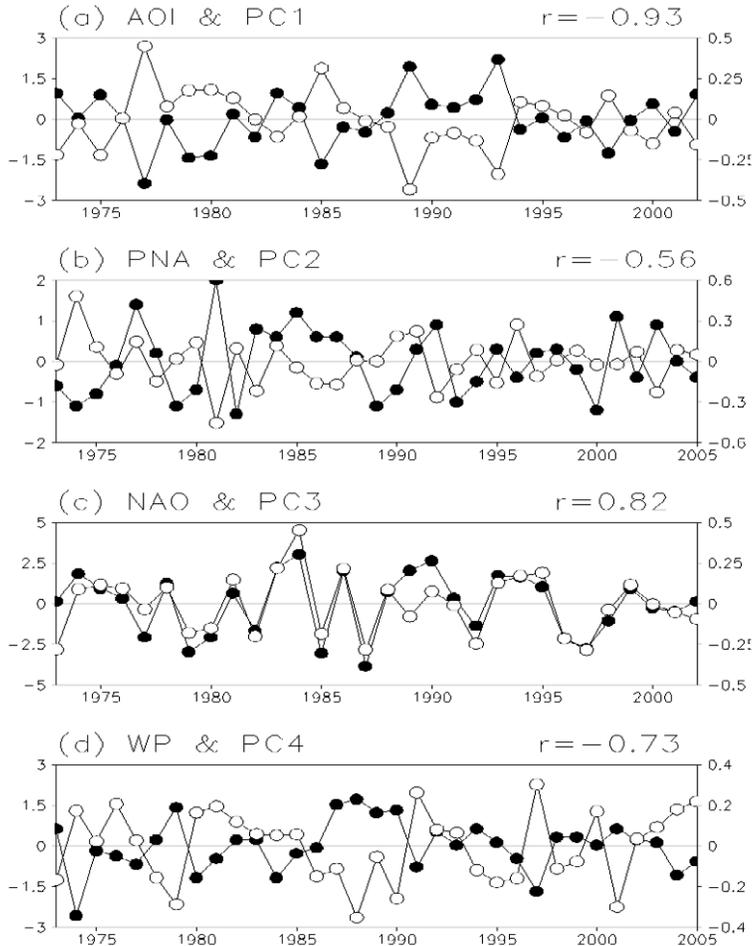


그림 6. 1월 전지구 순환 지수와 EOF 주요 모드의 시간계수에 대한 시계열. 왼쪽(오른쪽) 축은 전지구 순환 지수 (EOF 주요 모드 시간계수)

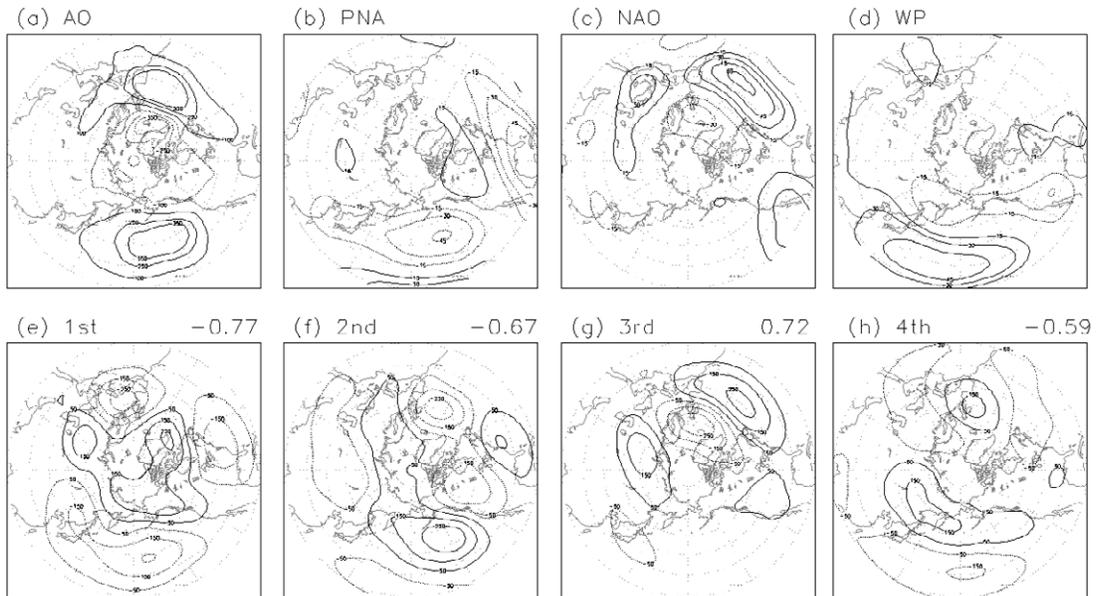


그림 7. 전형적인 전지구 순환 패턴(a~d)과 1월의 500hPa 지위고도에 대한 4가지 EOF 주요 모드(e~h)

$r=-0.73$ 의 관계를 가졌다. 따라서 세 번째 모드는 NAO, 네 번째 모드는 WP와 연관되어 나타나는 모드임을 알 수 있다.

또한 AO, PNA, NAO, WP의 전형적인 패턴(그림 7(a)~(d))과 1월의 각 모드들의 고유 벡터(그림 7(e)~(h))와의 공간상관을 구하였다(그림 7). 대규모 순환의 전형적인 패턴은 RPCA(Rotated Principal Component Analysis)기법에 기반 한 CPC(Climate Prediction Center)에서 사용한 방법을 따랐다(<http://www.cpc.noaa.gov/data/teledoc/teleindcalc.shtml>). 그림에서 보듯이 각 모드들은 전형적인 전 지구 규모 패턴들과 유사하다고 보여 진다. 자세히 살펴보면 AO와 첫 번째 모드와의 공간상관 값은  $r=-0.77$ , PNA와 두 번째 모드는  $r=-0.67$ , NAO와 세 번째 모드는  $r=0.72$ , WP와 네 번째 모드는  $r=-0.59$ 로 모두 높은 값을 가졌다. 높은 시간 상관 값과 공간 상관 값을 통해 1월 500hPa 지위고도의 EOF 첫 번째 모드는 AO, 두 번째 모드는 PNA, 세 번째 모드는 NAO, 네 번째 모드는 WP로 확인되었다.

## 5. 한반도 겨울철 기온과 북반구 상층 대기 순환장과의 관계

지역적 규모의 계절 변동은 지역 규모 변동과 대규모 운동 사이의 역학적이고 통계적인 관계를 통해 좀 더 잘 설명될 수 있다(Quadrelli *et al.*, 2001). 이러한 관계를 찾기 위해 기존의 연구들에서는 SVD(Singular value decomposition)나 CCA(Canonical correlation analysis)와 같은 통계적인 방법들이 많

이 사용되어왔고, 다른 방도로 한 지역의 기상장에 PCA(Principal Component Analysis)를 적용한 뒤 다른 대기 순환장과의 합성장이나 상관관계도를 알아보는 방법이 있다(Quadrelli *et al.*, 2001).

## 1) 한반도 겨울철 기온과 전지구 규모 지수들과의 상관관계

북반구에서 나타나는 주요 패턴들과 한반도 겨울철 기온과의 관계를 정량적으로 알아보기 위해 상관관계 분석을 하였다(표 1). 모든 상관계수 값은 동시 상관관계로 계산되었다.

EOF 분석에서도 보았듯이 겨울철 평균(DJF) AO는 겨울철 한반도 기온에 크게 영향을 주고 있다. 그리고 12월과 1월에서도 뚜렷이 나타났던 WP의 영향도 겨울철 평균(DJF) 기온과 큰 관계가 있었다. 몇 개의 이전 연구들이 AO와 한반도 겨울철 기온이 양의 관계를 가지는 메커니즘을 설명하였다. Gong *et al.*(2001)에 의하면 겨울철에 음의 AO는 깊은 동아시아 기압골과 우랄 지역에서의 강한 고기압을 만들고 이 패턴은 또한 시베리아 고기압과도 관계가 있다. 이렇게 강해진 기압골과 기압능 그리고 시베리아 고기압은 한파 발생을 유리하게 하여 동아시아의 기온을 감소시킨다고 연구하였다. Jeong and Ho (2005)에 의하면 겨울철에 음의 AO가 시베리아 고기압과 제트류에 영향을 주어서 동아시아 지역에 한파를 야기시킨다. AO의 위상에 따른 대기 순환의 시, 공간적 특성 및 차이를 고찰한 신성철 외(2006)의 연구에서는 한반도는 겨울철에 기후적으로 서고동저형 기압배치의 중심에 놓이게 되는데 음의 AO에는

표 1. 한반도 겨울철 기온과 겨울철 전지구 순환 패턴 사이의 상관 계수

	DJF	DEC	JAN	FEB
AO (Arctic Oscillation)	0.41*	0.28	0.40*	0.59**
PNA (Pacific North American)	-0.26	-0.15	-0.57**	-0.49**
NAO (North Atlantic Oscillation)	-0.01	0.00	-0.03	0.38*
WP (Western Pacific)	0.73**	0.47**	0.49**	0.39*
PDO (Pacific Decadal Oscillation)	-0.23	0.01	-0.39*	-0.35*
EP (Eastern Pacific)	0.61**	0.41*	0.34*	0.54**
SCAND (Scandinavian Pattern)	-0.37*	0.16	0.05	-0.47**
EU (Eurasia Pattern)	0.61**	0.40*	0.35*	0.55**
EA (East Atlantic Pattern)	0.77**	0.46**	0.37*	0.25
TNH (Tropical/Northern Hemisphere Pattern)	-0.18	0.01	-0.09	0.09

\*와 \*\*는 각각 95%와 99% 신뢰 구간에서 유의함을 의미함.

기압골의 강화, 기압능의 발달로 서고동저형의 기압배치가 더 강화된다고 하였다. 이는 시베리아 고기압을 크게 확장 시켜서 한반도로 강한 한랭이류를 야기 시켜 한반도 기온을 낮아지게 만든다고 제시하였다.

AO의 영향은 12월 기온에서는 크게 나타나지 않았다( $r=0.28$ 의 상관관계). 그러나 12월 한반도 기온은 EOF 분석에서 두 번째 모드로 나타난 WP에 의한 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다( $r=0.47$ 의 관계). 이는 그림 3에서도 보듯이 첫 번째 모드인 AO에서는 한반도에 두드러진 기압 편차가 나타나지 않았으나 두 번째 모드인 WP 패턴에서는 북서태평양에 위치하는 양의 기압편차가 한반도까지 뻗어 있어 그 영향을 예상할 수 있다. 한반도 겨울철 기온에 대한 WP 패턴의 영향은 Liu *et al.*(2007)의 연구에서 설명한 바 있다. 그들은 북서태평양에 저기압이 위치할 때 동아시아의 차고 건조한 상태는 동시베리아로부터 아열대 북서태평양까지 뻗어져 있는 하층 북풍 아노말리와 관계가 있다고 하였다. 이러한 현상은 북풍 편차가 겨울철 동아시아 하층의 기후장인 북서풍을 좀 더 강화시키고 이에 따라 동아시아 겨울 몬순이 더 강화되면서 고위도로부터 동아시아로 건조하고 차가운 공기를 가져오게 된다고 해석하였다. 또한 서태평양의 시소 패턴의 강약에 따라 동아시아 연안을 따르는 평균 기압골이 위치하는 곳에서 제트류의 세기가 조절된다는 Horel(1981)의 연구가 있다.

1월과 2월의 기온은 AO 지수와 0.40, 0.59의 상관계수를 가지며 매우 유의한 관계를 보였지만 1월에는 PNA와 WP, 2월에는 EU와 같이 EOF 주요 모드에서 나타났던 패턴들과의 상관관계도 높았다. 1월 기온은 PNA와  $r=-0.57$ , WP와  $r=0.49$ 의 상관관계를 나타내고 이 값들은 각각 99%와 95% 유의수준을 넘는 값이다. EU는 2월 기온과  $r=0.55$ 로 99% 이상 유의한 값을 보였다. Ohhashi and Yamazaki(1999)에 의하면 양의 EU일 때 북유럽에서 동아시아로 로스비파가 전파되는 모습을 보이고 이 로스비파는 동서류와 양의 피드백으로 연결되어 있음을 알아냈다.

## 2) 한반도 겨울철 기온과 관계된 500hPa 지위고도 패턴

지역적 규모의 지표 자료와 대규모 상층 대기 순환장 사이의 관계를 알아보기 위하여 한반도 1월 기온의 첫 번째 PC와 500hPa 지위고도와 공분산 패턴을 나타내었다(그림 8). 이를 위해 1월의 한반도 기온에 대해 EOF 분석을 수행한 뒤 한반도 기온의 대부분을 설명하는(95.22%) 첫 번째 모드 추출하였다. 그림 8(a)는 공분산 패턴, 그림 8(b)에는 상관관계를 나타내었는데 둘 다 대규모 공간 구조를 갖는 특징이 나타났다. 이 구조는 극 지방에 양의 시그널이 그리고 중위도 지방에 음의 시그널을 가지며 진동하는 AO와 닮았다. 또한 이 패턴은 앞서 그림 4에서 보여 준 1월 500hPa 지위고도장의 첫 번째 EOF 모드와 매우 유사할 뿐만 아니라 5.1에서 제시한 한반도 1월 기온과 상관관계가 높았던 두 번째, 네 번째 모드와도 비슷한 패턴을 보인다. 게다가 한반도 1월 기온 첫 번째 모드는 500hPa 지위고도장의 주요 모드로 나타났던 AO, PNA, WP 지수와도 높은 상관관계를 나타낸다(표 2). 즉, 1월의 북반구 대규모 순환장의 주된 모드로 나타나는 AO, PNA, WP 패턴들은 한반도 기온의 첫 번째 모드와 관계가 있으며 이는 한반도

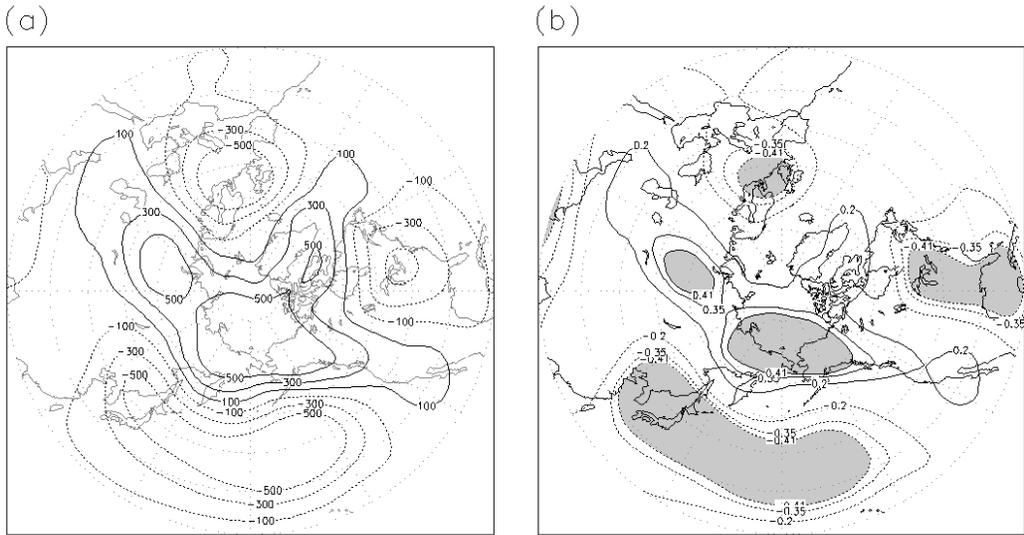


그림 8. The area exceeding 99% confidence level are shaded. 월평균 500hPa 지위 고도 아노말리와 한반도 기온의 EOF 첫 번째 모드의 공분산(a)과 상관관계(b) 패턴. 통계적으로 99% 이상 유의한 영역은 음영 표시

표 2. 한반도 기온의 첫 번째 모드와 1월 전지구 순환 지수와의 상관계수

Corr.	AO	PNA	NAO	WP
1st PC	0.39*	-0.58**	0.02	0.51**

\*와 \*\*는 각각 95%와 99% 신뢰 구간에서 유의함을 의미함.

1월 기온이 북반구 500hPa 지위고도의 주요 패턴들과 관계가 있다는 5.1의 결과를 뒷받침 하고 있다.

## 6. 요약 및 결론

본 연구에서는 겨울철에 나타나는 전지구 규모 패턴과 한반도 겨울철 기온과의 관계를 알아보았다. 먼저 겨울철 북반구를 지배하는 패턴을 알아보기 위하여 500hPa 지위고도에 대해 EOF 분석을 수행한 결과 겨울철 평균(DJF) 기압장에 대해서는 첫 번째 모드만이 AO 패턴과 연결될 수 있었고 나머지 모드 들은 주목할 만한 패턴을 나타내지 않았다. 그러나 겨울철 평균이 아닌 12월, 1월, 2월 각각에 대한 EOF 분석 결과에서는 여전히 AO가 가장 큰 모드이기는 하지만 다른 모드들에도 뚜렷한 전지구 규모의 패턴 들을 나타냈다. 12월에는 WP, PNA, EA가 우세했고, 1월에는 PNA, NAO, WP 그리고 2월에는 EU가 잘 나타났다. EOF 각 모드들과 그에 해당되는 전 지구규모 패턴들과의 연결에 있어서 좀 더 정확한 근거를

제시하기 위하여 CPC 방법을 이용하여 계산한 전형적인 전지구 패턴과의 시간 상관관계와 공간 상관관계를 구하였다. 예로써 1월의 경우를 살펴보고 높은 시간 상관 값과 공간 상관 값을 통해서 1월 500hPa 지위고도의 EOF 첫 번째 모드는 AO, 두 번째 모드는 PNA, 세 번째 모드는 NAO, 네 번째 모드는 WP로 확인할 수 있었다.

EOF 분석에서 나타난 전지구 규모 패턴들이 한반도에 미치는 영향을 알아보기 위해 각 패턴들이 가진 지수들과 한반도 기온과의 상관관계를 구한 결과 겨울철 평균(DJF) 500hPa 지위고도의 주된 모드로 나타났던 AO는 겨울철 평균 기온과 상관관계가 크게 나타났다. 그러나 월 별로 따져보면 12월에는 WP의 영향을, 1월에는 AO 뿐만 아니라 PNA, WP의 영향을, 그리고 2월에도 AO의 영향을 받는 것으로 나타났다. 더불어 EU의 영향도 받는 것으로 보인다.

본 연구를 통해 살펴본 바에 따르면 겨울철의 주된 전지구 규모 대기 순환의 패턴은 겨울철 평균과 12, 1, 2월에 나타나는 양상이 서로 다르다. 이러한 전지구 규모 패턴들 중 한반도 겨울철 기온은 주로 AO의 영향을 많이 받지만 AO 외에 한반도 겨울철 기온에 크게 영향을 주는 패턴은 매 달마다 다르게 나타남을 알 수 있었다. 이는 김연희 외(2006)의 결과에서도 겨울철 한반도 기온과 연관된 대기 순환 지수가 월에 따라 상이한 것을 언급한 바 있다.

본 연구에서는 전체적인 분석이 통계적인 방법에 의존하여 관련성을 찾고 있지만 물리적 메커니즘에 대한 타당성은 여러 선행 연구들의 결과를 제시함으로써 충분히 설명하였다. 그러나 향후 역학 모델을 이용한 추가적인 연구가 수행된다면 본 연구의 결과를 좀 더 뒷받침 할 수 있겠다. 또한 본 연구에서 제시한 각 지수들과 한반도 겨울 기온과의 상관관은 향후 겨울철 장기예보에 있어서 기초 정보로 활용되어 질 수 있을 것이다.

## 사사

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

- 김맹기 · 강인식, 1997, 광역 기후 변수와 지역 기후 변수 사이의 통계적 연관성, 한국기상학회지, 33, 261-271.
- 김연희 · 김맹기 · 이우섭, 2008, 한반도 기온 및 강수량 변동에 영향을 미치는 광역규모 기후지수들에 대한 고찰, *Atmosphere*, 18, 83-95.
- 신성철 · 김맹기 · 이우섭, 2006, 극 진동에 연관된 한반도 한파와 열원의 역할, *Journal of Korean Earth Science Society*, 27, 302-312.
- 안중배 · 김해정, 2005, 대규모 순환 패턴과 부산지방 기온 및 강수의 상관성 분석, 한국기상학회지, 41, 1101-1110.
- 임은순 · 안중배, 2004, 한반도 겨울철 기온 변동과 대규모 순환지수와의 상관성 분석, 한국기상학회지, 40, 441-

452.

- Chen, D., 2000, A monthly circulation climatology for Sweden and its application to a winter temperature and precipitation in the Netherlands, *International Journal of Climatology*, 20, 1067-1076.
- Compo, G. P. and Sardeshmukh, P. D., 2004, Storm Track predictability on seasonal and decadal scales. *Journal of Climate*, 17, 3701-3720.
- Gong, D. Y., Wang, S. W., and Zhu, J. H., 2001, East Asian Winter Monsoon and Arctic Oscillation, *Geophysics Research Letters*, 28, 2073-2076.
- Gong, D. Y. and Ho, C. H., 2002, The Siberian High and Climate change over middle to high latitude Asia, *Theoretical Applied Climatology*, 72, 1-9.
- Higgins, R. W., Leetmaa, A., Xue, Y., and Barnston, A., 2000, Dominant Factors Influencing the Seasonal Predictability of US Precipitation and Surface Air Temperature, *Journal of Climate*, 13, 3994-4107.
- Horel, J. D., 1981, A Rotated Principal Component Analysis of the Interannual Variability of the Northern Hemisphere 500 mb Height Field, *Monthly Weather Review*, 109, 2080-2092.
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge.
- Jeong, J. H. and Ho, C. H., 2005, Change in occurrence of cold surge over east Asia in association with Arctic Oscillation, *Geophysics Research Letters*, 32, doi:10.1029/2005GL023024.
- Kerr, R. A., 1999, A new force in high-latitude climate, *Science*, 284, 241-242.
- Liu, J. P., Zhang, Z., Horton, R. M., Wang, C., and Ren, X., 2007, Variability of North Pacific Sea Ice and East Asia-North Pacific Winter Climate, *Journal of Climate*, 20, 1991-2001.
- Ohhashi, Y. and Yamazaki, K., 1999, Variability of the Eurasian Pattern and Its Interpretation by Wave Activity Flux, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 77, 495-511.
- Qian, B., Corte-Real, J., and Xu, H., 2000, Is the North Atlantic Oscillation the most important atmospheric pattern for precipitation in Europe?, *Journal of Geophysical Research*, 105, 901-910.
- Quadrelli, R., Lazzeri, M., Cacciamani, C., and Tibaldi, S., 2001, Observed winter Alpine precipitation variability and links with large-scale circulation patterns, *Climate Research*, 17, 275-284.
- Quadrelli, R., Pavan, V., and Molteni, F., 2001, Wintertime variability of Mediterranean precipitation and its links with large-scale circulation anomalies, *Climate Dynamics*, 17, 457-466.
- Quadrelli, R. and Wallace, J. M., 2004, A simplified linear framework for interpreting patterns of northern hemisphere wintertime climate variability, *Journal of Climate*, 17, 3728-3744.
- Thompson, D. W. J. and Wallace, J. M., 1998, The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophysics Research Letters*, 25, 1297-1300.
- Thompson, D. W. J. and Wallace, J. M., 2000, Annular modes in the extratropical circulation, part I: Month-to-month variability, *Journal of Climate*, 13, 1000-1016.
- Thompson, D. W. J., Wallace, J. M., and Hegerl, G. C., 2000, Annular modes in the extratropical circulation, part II: Trends, *Journal of Climate*, 13, 1018-1036.
- <http://www.cpc.noaa.gov/data/teledoc/teleindcalc.shtml>