

한국 동해에서의 해면기압, 해수면온도와 해상풍의 경험적 직교함수 분석

나정열 · 한상규 · 서장원 · 노의근* · 강인식**
한양대학교 지구해양과학과 · *연세대학교 천문대기과학과 · **서울대학교 대기과학과

Empirical Orthogonal Function Analysis of Surface Pressure, Sea Surface Temperature and Winds over the East Sea of the Korea (Japan Sea)

Jung-Yul NA Snag-Kyu HAN, Jang-Won SEO, Yi-Gn NOH* and In-Sik KANG**

Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University, Ansan 425-791, Korea.

*Department of Astronomy and Atmospheric Sciences, Yonsei University, Seoul 120-149, Korea.

**Department of Astronomy and Atmospheric Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea.

The seasonal variability of the sea surface winds over the East Sea of Korea (Japan Sea) is investigated by means of empirical orthogonal function (EOF) analysis. The combined representation of fields of three climatic variables by empirical orthogonal functions is discussed. The eigenvectors are derived from daily sea level pressure, wind speed and 10-day mean sea surface temperature (SST) during 15 years (1978~1992). The spatial patterns of the mean pressure are characterized by the high pressure in the western part and the low pressure in the eastern part. The spatial distribution of the standard deviation (SD) of pressure are characterized by max SD of 6.6 mb near the Vladivostok, and minima along the coast of the Japan. In Vladivostok, the maxima of SD of SST and south-north wind (WV) were also occurred. The representation of fields of individual meteorological variables by EOF shows that the first mode of the west-east wind (WU) explain over 47.3% of the variance and the second mode of WU represents 30%. Especially, the first mode of the WV explain 70.9% of the variance and their time series coefficients show 1-cpy, 0.5-cpy frequency spectrum. The spatial distribution of the first mode eigenvectors of SST are characterized by maximum near Vladivostok. The combined representation of fields of several variables (pressure, wind, SST) reveals that the first mode magnitudes of the variance of the combined eigenvectors (WU-PR) are increased. By means of this result, the 1-year peak and the 6-months peak are remarkable. In the three combined patterns (wind, pressure, SST), the second mode of the eigenvector (wind) is affected by the SST. Their time coefficients of the first mode show noticeable 1-year peak. The spectral analysis of the second mode shows broad seasonal signal with the period of 4-months and a significant peak of variability at 3-month period.

Key words : EOF, eigenvector, mode, SST, sea surface wind, pressure

서 론

동해 해수순환은 대한해협을 통한 대마난류수의 북상과 북한난류수의 남하로 구성되어 있으나 여러 가지 요인에 의하여 대마난류의 분지 혹은 사행, 한류수 확장, 계절적인 변화, 심층수의 형성 및 이동, 극전선의 형성 등 복잡한 현상을 동반하며 시공간적인 변동특성을 포함하기도 한다. 이와 같이 복잡다양한 동해 해수순환의 역학적인 요인을 파악하기 위하여 우선 동해 해수순환에 영향을 미치는 외적요소중의 하나인 해상풍에 대한 정량적인 검토분석이 요구되어진다.

지금까지 한국 주변해역에서의 해상풍과 관련된 연구로는 Lie et al. (1983)이 연안측후소 자료를 이용하여 스펙트럼분석을 하였고, Na et al. (1992)이 한국 주변해역 및 동중국해 북부해역에서 10년간의 일기도와 해표면 수온자료로부터 해상풍 자료베이스를 구축하여 주변해역에서의 해상풍에 대한 기본적인 자료분석을 한 바 있고, Kang et al. (1994)은 3년간의 해상풍을 계산하여 응력과 응력계의 공간분포를 제시하였다. Lie et al. (1994)과 Han et al. (1995)은 Na et al. (1992)의 해상풍 자료를 보강하여 동중국해 전역을 포함하는 한반도 주변해역의 바람장의 기본적인 특성을 분석하였다. 이와같은 분석을

시작으로 기존에는 자료부족으로 해상공의 시공간변화 특성파악이 불가능 하였으나, 15년간 (1978~1992)의 해상공, 해면기압 및 해수면온도의 자료확보로 인하여 동해해역에서의 해상공 특성파악이 가능하게 되었다.

Lie et al. (1994) and Han et al. (1995)의 연구에 의하면 시공간적인 분포는 계절과 해역에 따라 그 분포형태가 다르며 겨울철 동해의 바람장은 강한 북서풍과 함께 반시계 방향의 회전성이 우세하며, 여름철에는 남풍에 의한 시계방향의 회전성이 강하다. 스펙트럼분석 결과, 1년과 6개월 주기대에 스펙트럼 에너지가 집중되어 있어 해상공의 연변화와 계절변화가 뚜렷하게 나타났다. 이와 같은 결과는 해상공의 월별 평균 및 표준편차, 스펙트럼 분석 등을 통하여 파악한 것으로, 관심해역 해상공의 시간적인 변동은 잘 나타나지만 전체적인 공간변동에 대해서 정량적인 특성을 제시하지는 않았다. 즉 해수면기압의 공간적인 변화, 해상공의 동서성분 및 남북성분의 공간적 변화양상에 대한 내용이 포함되어 있지 않았다.

해상공의 공간적인 변동특성을 파악하기 위해서는 시공간 변동성을 동시에 효과적으로 제시할 수 있는 대표적인 방법중 EOF 분석방법에 의한 정량적인 분석이 요구된다. 해상공에 대한 EOF 분석은 거의 전무한 실정이나 해양의 수온변동에 대한 시공간적 특성을 파악하기 위하여 수온, 해면기압 등의 변동에 대한 EOF 분석은 다양한 해역에서 시도되었다 (Kundu et al., 1975; Kutzbach, 1967; Lie and Endoh, 1991; Weare et al., 1976). 한국 주변해역의 수온분포와 해면기압에 대한 연구는 Kang (1985) 과 Lie et al. (1986) 등이 동해, 황해 동남해역에서 수온변동 특성과 해면기압의 변동 및 그들간의 상관관계 등을 비교하였다. 동해해역의 해수면 온도의 특성은 본 연구의 해수면 온도의 평균 및 표준편차 분포와 비슷한 결과를 보이며 동해 북서부 해역에서는 아시아 계절풍과 한류의 영향으로 연교차가 크게 나타나고 동해 남부해역은 표면수온의 연평균은 높으나 해류의 열수송으로 인하여 연교차 폭이 작게 나타난다 (Kang, 1985). 황해 동남해역에서의 해수면 온도특성은 조사 해역의 북부에서 남으로 증가하는 연평균 분포를 나타내고 분산은 반대로 남에서 북으로 증가하며 EOF의 첫째모드와 둘째모드가 계절변화를 나타내고 있다 (Lie et al., 1986).

지금까지의 EOF 분석은 변수 한가지 만을 가지고 다루었으나 각 기상변수들의 2개 내지 여러변수들의 결합된 직교함수의 EOF 분석은 기상현상을 이해하는데 더욱 효과적이라 할 수 있겠다 (Kutzbach, 1967). 본 연구에서는 한국 동해에서의 바람장의 공간적인 분포특성을 정량

적으로 파악하기 위하여 해면기압과 해상공 자료에 경험적 직교함수 (Empirical Orthogonal Function, EOF) 분석방법을 적용하여 모드별로 고유함수의 공간적인 분포특성과 시간계수 (time coefficient)를 계산하였고 시간계수의 스펙트럼을 구하여 바람장의 공간 및 시간변동성 및 주기적인 특성을 파악하였다. 특히 해상공은 해면기압의 변동성에 직접적으로 영향 받는 것으로서 해면기압의 공간 및 시간 변동성은 해상공의 특성을 이해하는 첫 단계라 할 수 있다. 해수면온도는 대기의 불안정도를 유발하는 기상변수로서 해상공에 간접적인 영향을 준다고 할 수 있으므로 이들 기상요인에 의해 결정된 해상공을 정확히 이해하기 위하여 해상공과 해면기압 및 해수면온도의 결합 직교함수의 EOF 분석을 하고자 한다.

자료 및 분석방법

경험적 직교함수 (Empirical Orthogonal Function, EOF) 분석방법은 시공간 변동성을 동시에 효과적으로 제시할 수 있는 대표적인 방법중 하나이다. EOF의 각 고유벡터가 갖는 물리적 의미를 정확히 규명할 수는 없어도 단지 몇 개의 고유함수만으로 관측치를 재현할 수 있다는 것은 EOF 분석의 큰 장점이다. 본 연구에서는 해면기압과 해상공의 각 성분별 자료를 격자점 순서에 따라 재배열하고 15년 평균값과 표준편차를 계산하여 각 모드별 고유함수 및 고유벡터 시간계수를 계산하고자 한다. 이러한 결과를 근거로 동해의 해상공 및 해면기압의 시공간적인 특성을 제시하고자 한다. 이를 위해 1978년부터 1992년까지 15년간 한국 주변해역에서의 해상공의 시공간변동을 분석하였다. 본 연구에서는 Na et al. (1992, 1995)이 15년간 (1978~1992)의 해면기압과 해표면 수온 자료를 이용하여 계산한 한반도 주변해역에서의 12시간 간격의 해상공을 기본자료로 이용하여 동해 전해역에서의 자료를 127 km 등간격의 격자점에서 시간간격이 12시간인 해면기압과 해상공 시계열자료를 보완하였다. 대기압 및 수온 자료의 격자점간격에 의한 지역적인 변동을 줄이기 위하여 위도 경도방향으로 인접한 8개 격자점에서의 자료를 이용하여 공간적으로 평활화하고, 2일 이하의 단주기 변동을 제거하기 위하여 저주파 필터를 적용하여 1일 간격의 시계열 자료로 전환하였다. 자료의 기본적인 처리방법은 Lie et al. (1994)과 Han et al. (1995)의 방법에 근거하였다. 본 연구에서는 변동의 대부분을 설명할 수 있는 3개 모드만을 다루었고 모드별 시간계수의 변화특성을 분석하여 변동특성을 검토하였다. 분석방법은 각 격자점에서의 해면기압과 해상공의 동서성

분, 남북성분을 격자점 순서에 따라 재배열 하고 각 격자점에서의 15년 평균치를 계산한다. 해면기압과 해상풍의 잔차(residual)에 대한 격자점간의 교차 공분산행렬(covariance matrix)은 실수 값을 가지는 정방행렬이 된

다. 본연구에서는 동해해역의 해면기압은 169×169, 해상풍은 73×73의 공분산행렬이 되고 이의 해를 구하며, 이해를 경험적 직교함수 또는 모드함수라 한다. 해상풍은 대기의 여러 기상변수들에 의해서 결정된다. 특히 해상

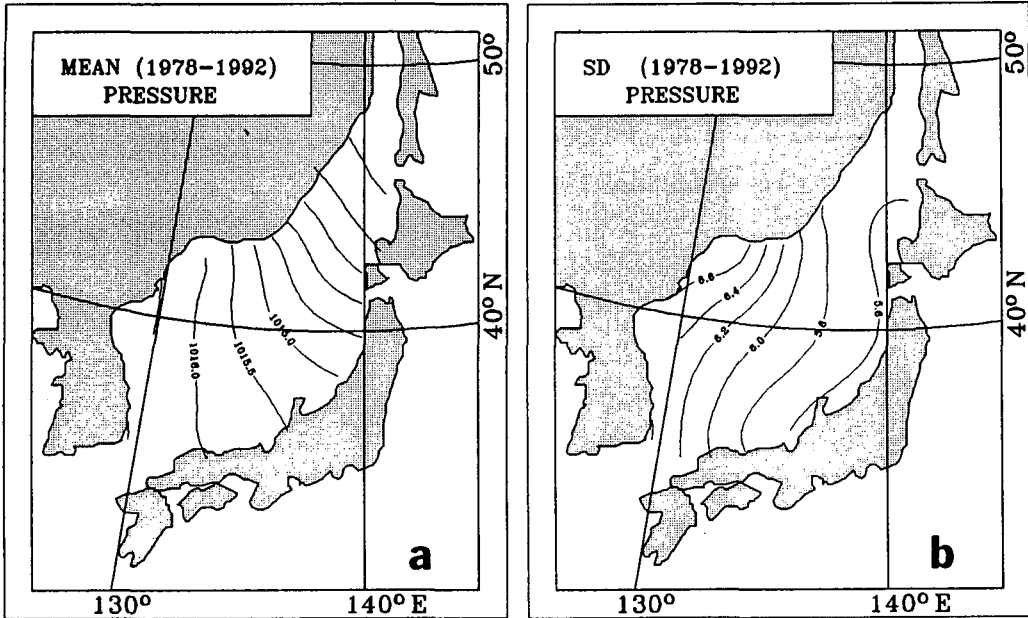


Fig. 1. Long-term mean (a) and standard deviations (b) of atmospheric pressure at the surface, 1978~1992. The unit is hPa.

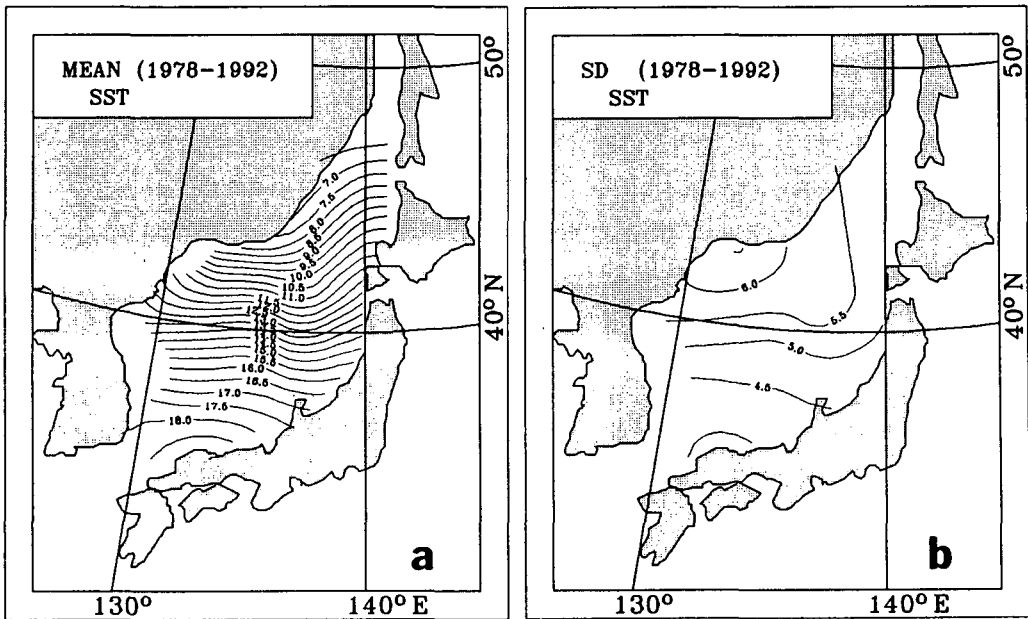


Fig. 2. Long-term mean (a) and standard deviations (b) of sea surface temperature, 1978~1992. The unit is °C.

풍에 직접적인 영향을 끼치는 해면기압과 해수면 온도의 기상변수들과의 상호 연관성이 어떻게 나타나는지를 알아보기 위해서 각 변수들의 공분산 행렬을 결합하여 경험적 직교함수를 적용하여 모드별 특성을 살펴보았다. 이러한 방법은 Kutzbach (1967)가 북미지역에 기압, 기온, 강우를 가지고 기상변수 상호간에 결합된 경험적직교함수의 모드별 특성을 관찰 한 결과 각각 개별적인 모드함수의 공간벡터 보다 더 상호 연관된 현상으로 재현 할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 15년 간의 해상풍과 해면기압과의 146×146의 공분산행렬의 고유벡터를 구하였으며, 해상풍에 직접적인 영향을 주는 기상요인이 해면기압이라면 해수면 온도는 간접적인 영향을 주는 기상요인이라 할 수 있겠다. 해수면 온도의 변화는 대기의 불안정을 유발하며 해상풍의 속도와 방향에 영향을 주는 기상요인이다. 따라서 해상풍이 해면기압과 해수면 온도와 상호작용으로 나타나는 영향을 파악하기 위해서 이 세가지 변수들로 219×219의 공분산 행렬을 결합하여 경험적 직교함수를 적용시켜 보았다.

해면기압, 해수면온도 및 해상풍의 시공간적 분포특성

경험적 직교함수 분석으로 해면기압의 시공간분포 특성을 조사하였다. 앞장에서 언급한 바와 같이 격자점간

격에 의한 지역적인 변동을 최소화하기 위한 공간평활화 과정과 2일 이하의 단주기 변동을 제거하기 위한 시간평활화를 한 후에 (Han et al., 1995) 장기평균과 표준편차를 계산하였다.

Fig. 1(a)는 각 격자점에서 15년(1978~1992) 기간의 해면기압자료를 평균한 공간분포이다. 평균기압의 분포는 1016.5 hPa 이하의 서고동저형의 등압선 배치를 나타내며, 동북에 1012.5 hPa 이하의 저기압이 분포한다. 해면기압의 최대표준편차는 6.6 hPa로 블라디보스톡 부근에 위치하고 일본연안으로 갈수록 5.6 hPa의 최저 표준편차를 갖는다 (Fig. 1(b)). 평균해수면 온도의 분포는 동북해역에 7°C 이하이며 저위도를 따라 증가하여 18°C까지 증가한다 (Fig. 2(a)). 해수면 온도의 표준편차는 해면기압 표준편차와 마찬가지로 블라디보스톡 지역에서 6.5°C 최대 표준편차를 갖는다 (Fig. 2(b)). 한편 해상풍의 평균바람장은 벡터인 해상풍을 동서성분과 남북성분으로 분리하여 분석하였다. 동서 해상풍은 동해해역에서 양의 부호 서풍을 갖고 동해 동북부 해역에서는 1m/s 이상의 서풍이 분다 (Fig. 3(a)).

동해남부해역에서 편차는 2.8 m/s, 홋카이도 부근에서 3.0 m/s의 최대 편차를 보인다 (Fig. 3(b)). 남북 해상풍의 연평균 분포는 동해전역에서 북풍계열의 바람이 탁월하다 (Fig. 4(a)). 특히 블라디보스톡 부근에서 최대 2.2 m/s 이상의 북풍이 나타나고 홋카이도 부근에서 최저 0.6 m/s의 북풍이 존재한다. 남북 해상풍의 표준편차는 해면기

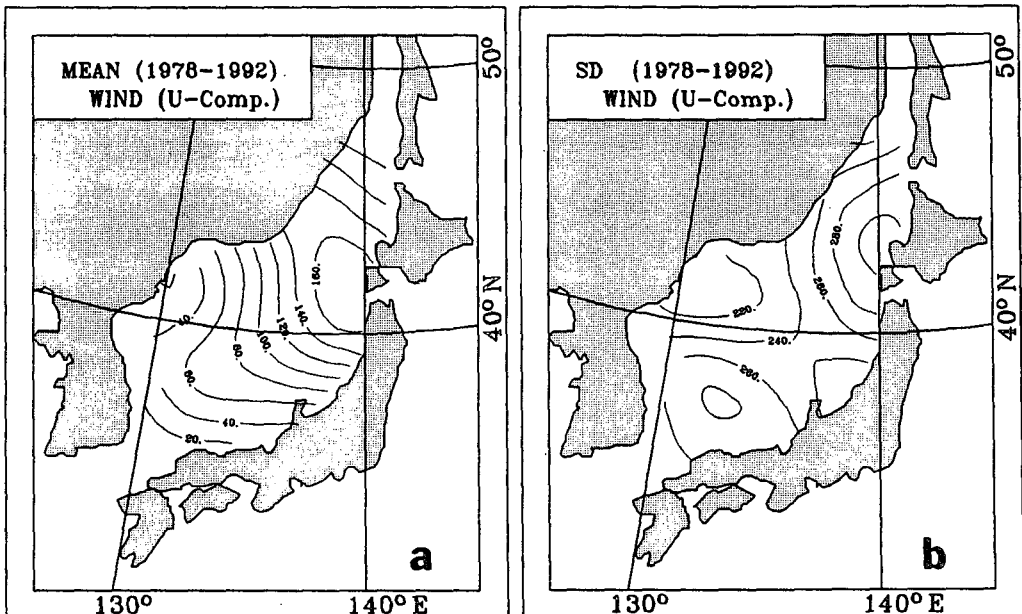


Fig. 3. Long-term mean (a) and standard deviations (b) of west-east surface wind, 1978~1992. The unit is cm/s.

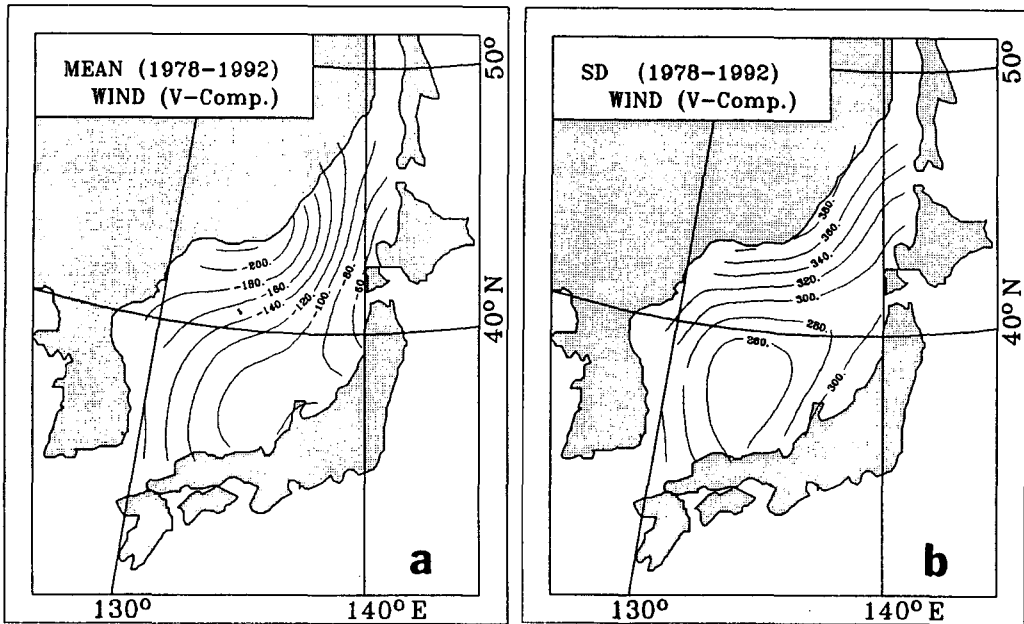


Fig. 4. Long-term mean (a) and standard deviations (b) of south-north surface wind, 1978~1992. The unit is cm/s.

Table 1. Percentage and cumulative percentage of the total variance explained by the lowest three modes of empirical orthogonal functions for the surface pressure

Mode	Contribution (%)	Cumulative Sum (%)
1	84.1	84.1
2	10.5	94.6
3	3.0	97.6

압, 해수면 온도의 표준편차와 마찬가지로 블라디보스톡 지역에서 최대 3.8 m/s가 나타나며 시간변동이 심하다 (Fig. 4(b)).

경험적 직교함수의 모드별 특성

1. 개별 직교함수의 모드별 특성

해면기압, 해상풍의 계절특성을 분석하기 위하여 경험적 직교함수를 적용하여 모드별 특성을 살펴보았다. 즉,

모드별 분산의 기여도 (Table. 1, 2)와 고유벡터의 공간 분포 (Fig. 5~8) 및 시간계수를 분석하여 주기성 (Fig. 9~12)을 파악하였다.

Table 1은 해면기압의 분산 (variance)에 대한 모드별 기여도로 제1모드가 전체분산의 84.1%를, 그리고 제2와 제3모드가 각기 10.5%와 3.0%를 설명한다. 따라서 3개의 모드가 분산의 97.6%를 설명할 수 있으며 대부분의 분산은 제1모드에 의해 표현된다. 해면기압에 대한 제1고유벡터의 공간분포는 Fig. 5와 같다. 해면기압의 표준편차분포에서 최대편차가 나타나는 블라디보스톡 부근에서 제1 EOF 모드의 최대치가 분포하면서 동심원의 형태로 동쪽으로 갈수록 점진적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 모드별 시간계수의 주기성과 주파수에 따른 분산을 보다 정량적으로 파악하기 위하여 스펙트럼을 계산하였다. 제1, 2, 3모드는 뚜렷한 1년 주기성을 갖고 있으며, 6개월의 주기는 제1모드와 제3모드에서 나타나고, 3개월의 주기는 제2 모드에서만 뚜렷이 나타난다 (Fig. 9).

Table 2. Percentage and cumulative percentage of the total variance explained by the lowest three modes of empirical orthogonal functions for the east-west and north-south components of surface wind

Mode	Contribution (%)		Cumulative Sum (%)	
	E-W wind	N-S wind	E-W wind	N-S wind
1	47.3	70.9	47.3	70.9
2	29.7	13.3	77.0	84.2
3	8.8	6.5	85.8	90.7

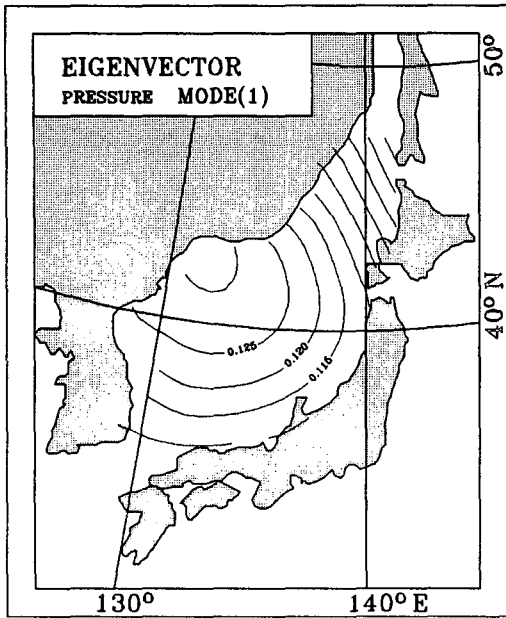


Fig. 5. The first mode of empirical orthogonal function of surface atmospheric pressure, 1978~1992.

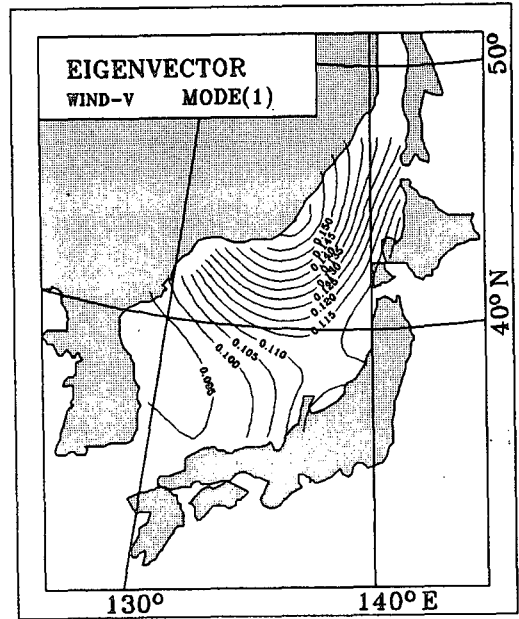


Fig. 7. The first mode of empirical orthogonal function of the south-north components of surface wind, 1978~1992.

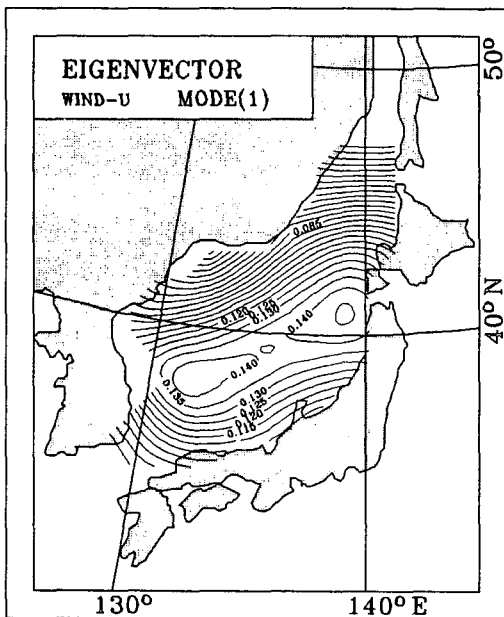


Fig. 6. The first mode of empirical orthogonal function of the west-east components of surface wind, 1978~1992.

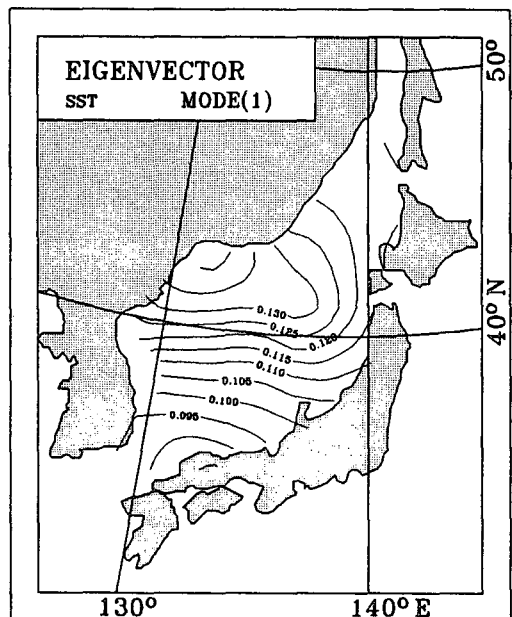


Fig. 8. The first mode of empirical orthogonal function of sea surface temperature, 1978~1992.

해면기압과 마찬가지로 해상풍의 계절분포 특성을 분석하기 위하여 모드별 분산의 기여도, 고유벡터의 공간

분포와 주기성을 파악하였다. Table. 2는 동서 해상풍과 남북 해상풍의 분산에 대한 모드별 기여도이다. 동서 해

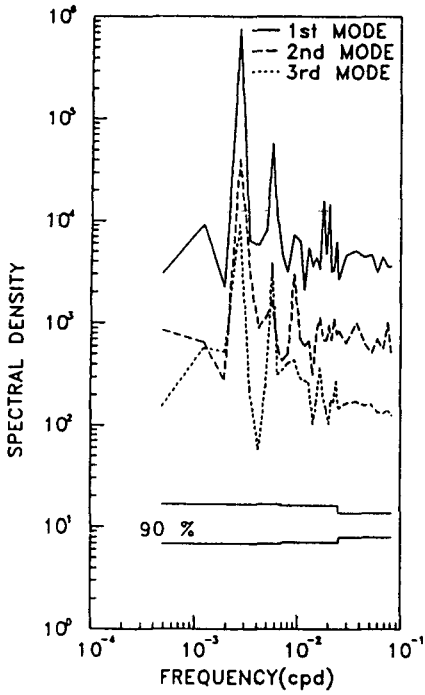


Fig. 9. Spectra of time coefficients of surface atmospheric pressure, 1978~1992.

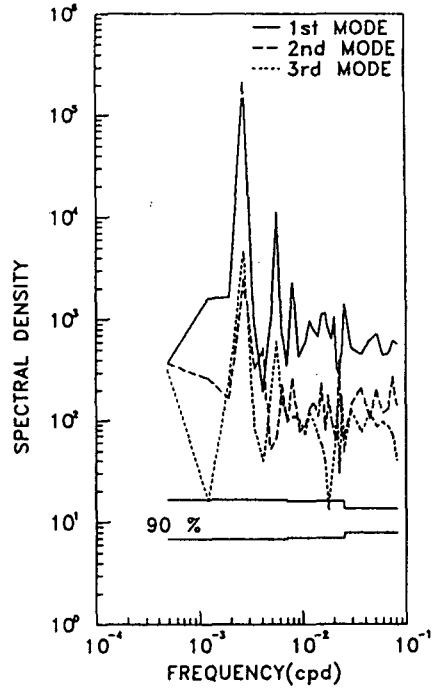


Fig. 11. Spectra of time coefficients of the south-north components of surface wind, 1978~1992.

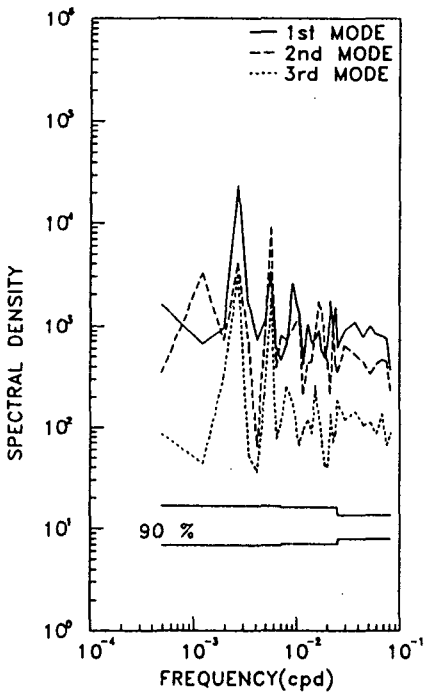


Fig. 10. Spectra of time coefficients of the west-east components of surface wind, 1978~1992.

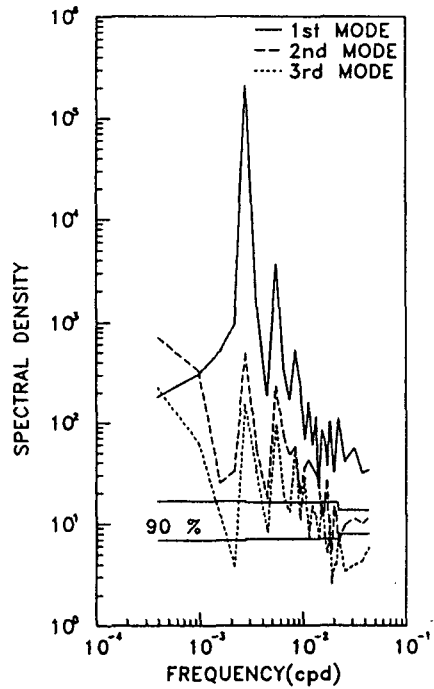


Fig. 12. Spectra of time coefficients of sea surface temperature, 1978~1992.

Table 3. Percentage and cumulative percentage of the total variance explained by the lowest three modes of empirical orthogonal functions for the sea surface temperature

Mode	Contribution (%)	Cumulative Sum (%)
1	95.3	95.3
2	2.4	97.7
3	0.6	98.3

상풍의 경우 제1모드가 전체분산의 47.3 %를, 그리고 제2와 제3모드가 각기 29.7%와 8.8%를 설명한다. 따라서 3개의 모드가 분산의 85.8%를 설명한다. 한편, 해면기압과 남북 해상풍과는 달리 제1모드의 기여도는 47.3%에 불과하지만 제2모드의 기여도는 29.7%에 달한다. 남북 해상풍의 경우 제1모드의 기여도가 70.9%로 분산의 대부분을 결정하며 제2와 제3모드는 각기 13.3%와 6.5%에 불과하다.

동서 해상풍은 제1과 제2모드가 시공간 변동을 결정하고 제3모드는 보완적 역할을 하는 반면, 남북 해상풍의 시공간 변동은 제1모드에 의해 지배된다. 동서 해상풍에 대한 제1 EOF 모드 고유벡터의 공간분포는 분산의 약 반정도를 설명하며 제1모드의 최대변화는 울릉도에서 흑카이도부근에 걸쳐서 나타난다 (Fig. 6). 동서 해상풍의 공간분포는 동해 서부해역의 북위 38°선에서 동부해역 40°에 이르는 극전선의 분포와 일치함을 보여주고 있다. 이러한 공간분포는 제2모드의 공간분포에도 볼 수 있다. 남북 해상풍에서 분산의 70.9%를 설명하는 제1 EOF 모드 고유벡터의 공간분포는 평균바람장과 비슷한 분포를 나타내고 표준편차분포와 같이 블라디보스톡 부근에서 최대치를 가지며 변화가 심하다 (Fig. 7). Fig. 10은 동서 해상풍의 스펙트럼을 나타내는 것으로 제1, 2, 3모드에서 0.5와 1 cpy에서 피크를 갖고 있으나 제1모드의 경우 0.5 cpy에서 에너지 수준이 1 cpy에 비해 작으나 제2모드의 경우 0.5 cpy에서 최대의 스펙트럼 피크가 나타난다. 제3모드의 경우는 0.5와 1 cpy에서 스펙트럼 에너지가 비슷한 크기를 갖고있다. 남북해상풍의 스펙트럼은 제1, 2, 3모드의 경우 1 cpy의 피크가 아주 우세하고 제3모드의

경우는 해면기압의 경우와 비슷하게 0.5에서 피크를 보인다 (Fig. 11). 해수면 온도의 제1모드의 기여도는 95.3%로 대부분을 제1모드로 설명할수 있으며, 제2, 3모드는 각각 2.4%, 0.6%로 미약하다 (Table 3). 해수면 수온의 고유벡터의 공간분포는 표준편차의 공간분포 (Fig. 2(b))와 거의 일치하며 블라디보스톡 부근이 변화가 심하다. 이는 겨울철 해수면 수온과 여름철 해수면 수온의 큰 차이 (약 20°C)로 인함일 것이다 (Fig. 8). 한편 제2모드의 기여도가 2.4%로 미약하여 본 논문에는 제시하지 않았지만 제2모드의 공간분포에는 동해북부해역은 양의 최대치가 존재하고 극전선을 경계로 동해 남부해역에는 음의 최대치가 나타난다. 스펙트럼 분석에서는 제1모드에서 1년 주기와 6개월 주기가 나타난다 (Fig. 12).

2. 결합 직교함수의 모드별 특성

동서성분의 해상풍과 해면기압과 (WU-PR)의 모드별 기여도를 살펴보면 제1모드가 69.8%로 앞서 언급한 47.3% (Table 2)보다 증가 하였다 (Table 4). 제2모드와 제3모드의 기여도는 각각 11.6%, 5.6%이다. 한편 남북성분과 해면기압 (WV-PR)의 제1모드는 69.2% 제2모드와 제3모드 각각 14.0%, 7.1%로 Table. 2의 결과와 비슷하다. 이와같은 결과는 고유벡터의 공간분포에 반영되어 나타나고 있다. 즉 그림. 13 (a)는 WU-PR의 제1모드 고유벡터의 공간분포이다. 실선은 동서성분의 해상풍을 나타내며, 점선은 해면기압의 공간분포이다. 흑카이도 부근에서 양의 최대치가 존재하고 경도 134°이하 및 동해남부 해역에서는 위상이 바뀐다. 즉 남서쪽에서 동풍이 강화되면 북동해역에서는 서풍이 강화되는 것을 뜻한다. 이러한 이유는 해면기압 분포의 영향으로 동부해역에는 북서풍의 바람을 형성하는 반면 동해 서부 및 남부해역은 남동풍의 바람이 형성되고 있기 때문이다. WU-PR의 제2모드 고유벡터의 공간분포에서는 쓰가루 해협부근에서 음의 최대치가 존재하며 동해 전해역에서 음의 부호이다 (Fig. 13(b)). 제3모드에서는 동북부해역에서 양의 부호를 가지며 43° 이하의 위도에서 음의 부호로 바람방향이 변한다 (Fig. 13(c)). WU-PR의 세 모드에 대한 시

Table 4. Percentage and cumulative percentage of the total variance explained by the lowest three modes of empirical orthogonal functions for the east-west and north-south components of surface wind and pressure

Mode	Contribution (%)		Cumulative Sum (%)	
	WU-PR	WV-PR	WU-PR	WV-PR
1	69.8	69.2	69.8	69.2
2	11.6	14.0	81.4	83.2
3	5.6	7.1	87.0	90.3

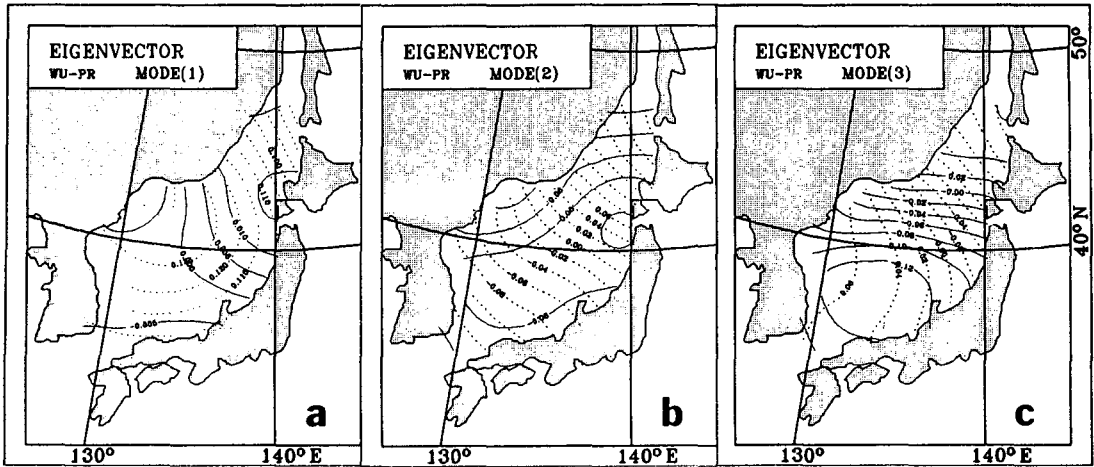


Fig. 13. (a) The first mode of empirical orthogonal function of the west-east components of surface wind and surface pressure, (b) The second mode of empirical orthogonal function of the west-east components of surface wind and surface pressure, (c) The third mode of empirical orthogonal function of the west-east components of surface wind and surface pressure, 1978~1992, the isolines of wind and pressure are indicated by solid lines and dashed lines, respectively.

Table 5. Percentage and cumulative percentage of the total variance explained by the lowest three modes of empirical orthogonal functions for the east-west and north-south components of surface wind and pressure and sea surface temperature

Mode	Contribution (%)		Cumulative Sum (%)	
	WU-PR-SST	WV-PR-SST	WU-PR-SST	WV-PR-SST
1	77.0	77.1	77.0	77.1
2	13.2	13.3	90.2	90.4
3	3.8	3.9	94.0	94.3

간계수는 Fig. 14에 나타내었다. 주기성을 파악하기 위해서 각 모드별 스펙트럼을 구하였다. 제1모드는 1년 주기가 우세하며 6개월의 주기도 나타난다. 제2모드는 1년 주기와 3개월의 주기가 나타나며, 제3모드는 6개월 주기가 나타난다. 이 결과는 해면기압의 스펙트럼 결과와 거의 일치한다 (Fig. 15).

Fig. 16(a)는 WV-PR의 제1모드 고유벡터의 공간분포이다. 실선은 남북성분의 해상풍을 나타낸다. 해면기압의 분포는 앞서 언급한 WU-PR (Fig. 13)의 분포와 위상이 반대이며, 동심원 형태의 등치선이 북서쪽으로 이동된 공간분포를 나타낸다. 남북성분의 해상풍 공간분포는 해면기압 분포의 영향으로 북동해역에 존재하는 조밀한 해면기압의 등치선에 의해 좌우되어 이 지역에 최대치의 양의 부호가 나타난다. 이는 북동해역에 북풍이 형성되어 남서해역으로 전파하는 양상이 나타나는 것을 뜻한다. 제2모드와 제3모드의 해면기압분포는 WU-PR의 해면기압분포와 비교해 보면 위상은 같으나 등치선의 기울기가 약간씩 변형되어 분포한다 (Fig. 16). 제2모드 남

북 성분의 해상풍은 북부해역에 양의 최대치를 가지고 남으로 전파하는 양상을 띤다 (Fig. 16(b)). 그림 16(c)는 제3모드의 공간분포이며 해면기압분포가 조밀한 쓰가루 해협 부근에서 양의 최대치가 존재하며, 동에서 서쪽으로 전파하는 분포를 나타낸다. 그림 17은 WV-PR의 시간계수를 나타낸 것으로 WU-PR (Fig. 14)의 시계열 자료와 비교해보면 제2모드의 1년 및 6개월 주기가 잘 나타남을 볼 수 있다. 스펙트럼 분석에서는 제1모드에서 1년 및 6개월 주기가 나타나며, 제2모드에서는 앞서 언급한 그림 13, 15에서 나타나지 않았던 6개월 주기가 탁월하다. 제3모드에서는 6개월 주기가 탁월하며 3개월 주기도 나타난다. 또한 해상풍이 해면기압과 해수면 온도와의 상호작용으로 나타나는 영향을 파악하기 위해서 이 세가지 변수들의 공분산 행렬을 결합하여 경험적 직교함수를 적용시켜보았다. 동서성분의 해상풍과 해면기압과 해수면온도 (WU-PR-SST)의 기여도는 제1모드에서는 77.0%이며, 제2모드와 제3모드는 각각 13.2%, 3.8%이다 (Table 5). 또한 남북성분의 해상풍과 해면기압과 해

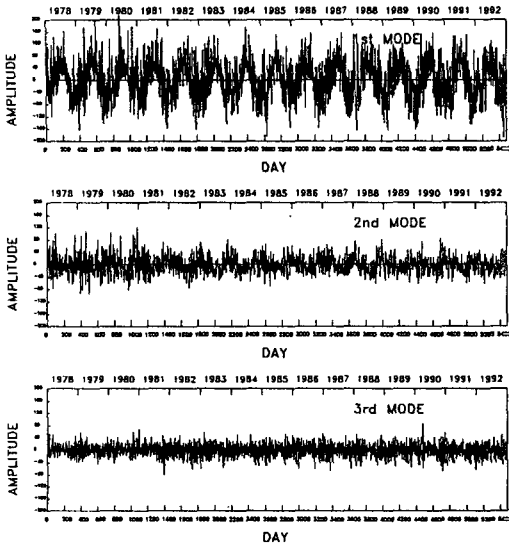


Fig. 14. Time coefficients of the west-east components of surface wind and surface atmospheric pressure, 1978~1992.

수면온도(WV-PR-SST)의 제1, 2, 3모드 역시 동일한 기여도를 나타내고 있다. 분산의 대부분을 차지하는 제1모드의 공간벡터의 분포를 살펴보면 해면기압의 분포가 해면기압의 표준편차분포(Fig. 1(b))와 거의 비슷하면서 서부해역에 최대치가 동부에 최저치가 나타난다.(Fig. 19(a)). 해수면 온도의 분포 역시 해수면 온도의 표준편차분포(Fig. 2(b))와 거의 동일한 분포로 블라디보스톡

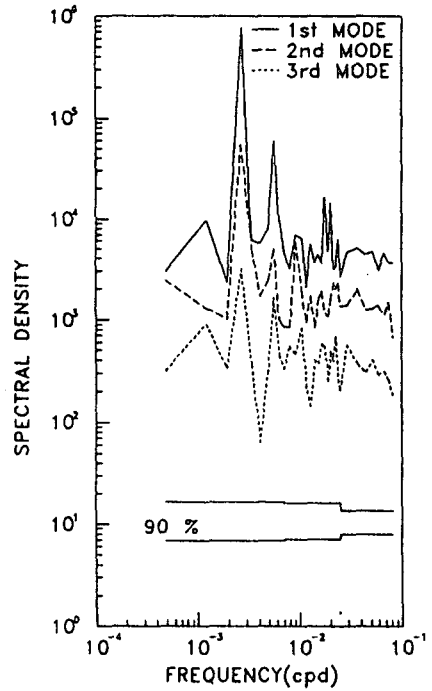


Fig. 15. Spectra of time coefficients of the west-east components of surface wind and surface pressure, 1978~1992.

부근에 음의 최대치를 나타내고 있다. 이들 기상요인의 영향을 받는 해상풍의 분포 또한 표준편차분포(Fig. 3, 4)와 비슷하며 WU-PR-SST(Fig. 19)에서는 블라디보

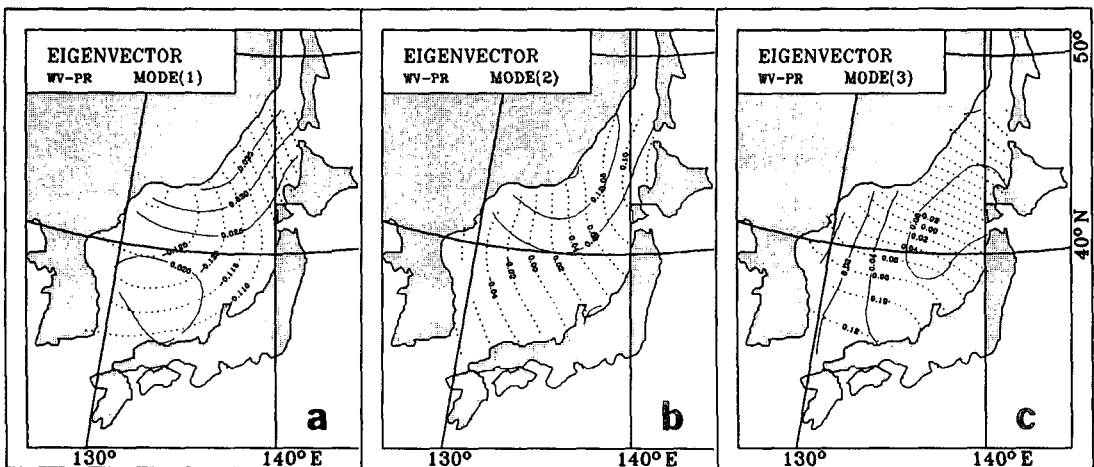


Fig. 16. (a) The first mode of empirical orthogonal function of the south-north components of surface wind and surface pressure, (b) The second mode of empirical orthogonal function of the south-north components of surface wind and surface pressure, (c) The third mode of empirical orthogonal function of the south-north components of surface wind and surface pressure, 1978~1992, the isolines of wind and pressure are indicated by solid lines and dashed lines, respectively.

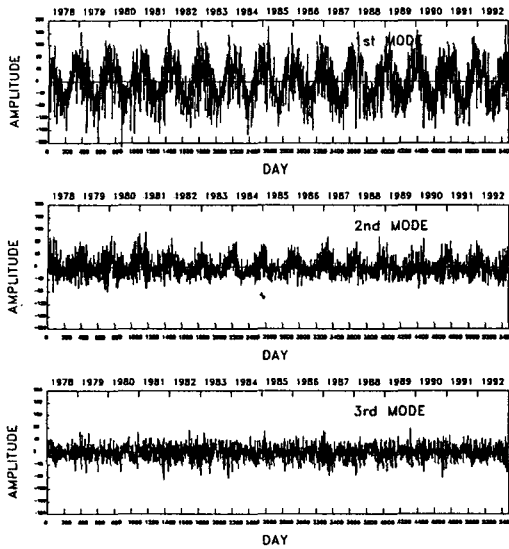


Fig. 17. Time coefficients of the south-north components of surface wind and surface atmospheric pressure, 1978~1992.

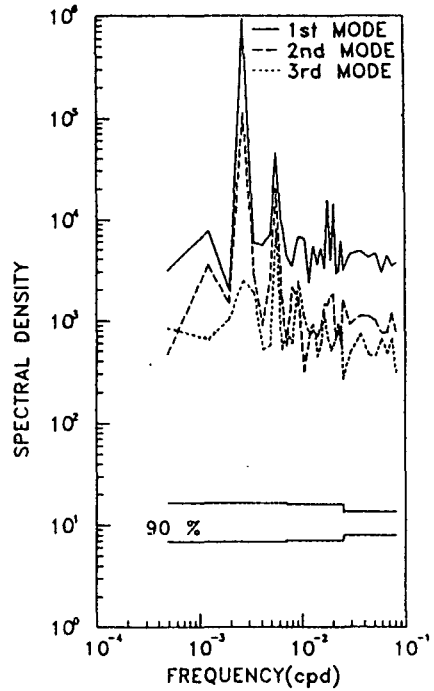


Fig. 18. Spectra of time coefficients of the south-north components of surface wind and surface pressure, 1978~1992.

스톡 부근이 음의 최대치가 존재하며 쓰가루 해역부근에는 양의 최대치가 나타난다. 즉 블라디보스톡 해역에서 동풍이 강화되면 쓰가루 해역에서는 서풍이 강화되는 것을 뜻한다. 이러한 이유는 해면기압 분포의 영향으로 서북부 해역에는 북동풍의 바람을 형성하는 반면 동해

동부해역은 북서풍의 바람이 형성되고 있기 때문이다.

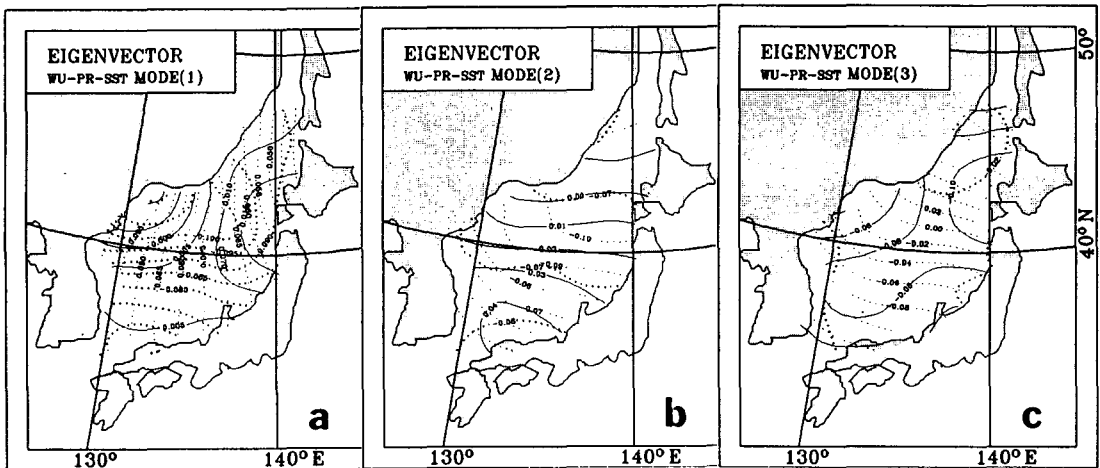


Fig. 19. (a) The first mode of empirical orthogonal function of the west-east components of surface wind, surface pressure and sea surface temperature, (b) The second mode of empirical orthogonal function of the west-east components of surface wind, surface pressure and sea surface temperature, (c) The third mode of empirical orthogonal function of the west-east components of surface wind, surface pressure and sea surface temperature, 1978~1992, the isolines of wind, pressure and sea surface temperature are indicated by solid lines, dashed lines and dotted line, respectively.

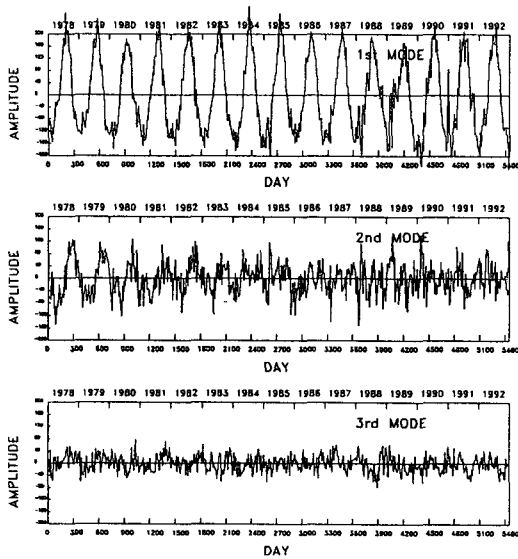


Fig. 20. Time coefficients of the west-east components of surface wind, surface atmospheric pressure and sea surface temperature, 1978~1992.

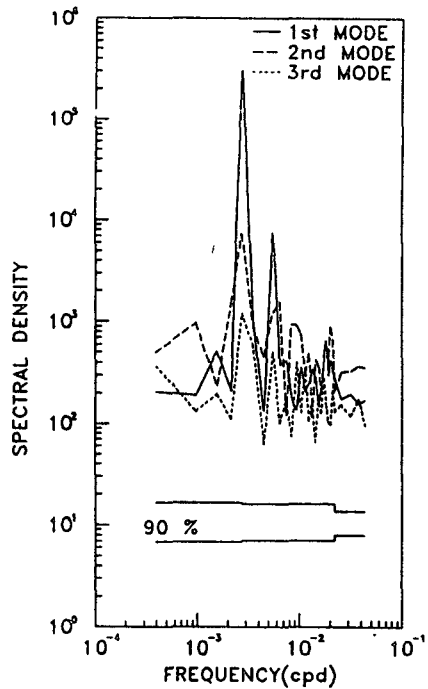


Fig. 21. Spectra of time coefficients of the west-east components of surface wind, surface pressure and sea surface temperature, 1978~1992.

WV-PR-SST (Fig. 22)의 분포는 앞서 언급한 WV-PR의 경우와 마찬가지로 북동해역에 존재하는 조밀한 해면기압의 등치선에 의해 좌우되어 이 지역에 최대치의 양의 부호가 존재한다. 제2모드의 공간벡터 분포는 WU-PR-SST (Fig. 19 (b))와 WV-PR-SST (Fig. 22 (b))에서 해면기압의 등치선이 비슷하게 배치되어 있으나

해상풍의 공간분포형태는 다르게 나타나며, 제3모드에서는 WV-PR-SST (Fig. 22 (c))해면기압의 등치선의 분

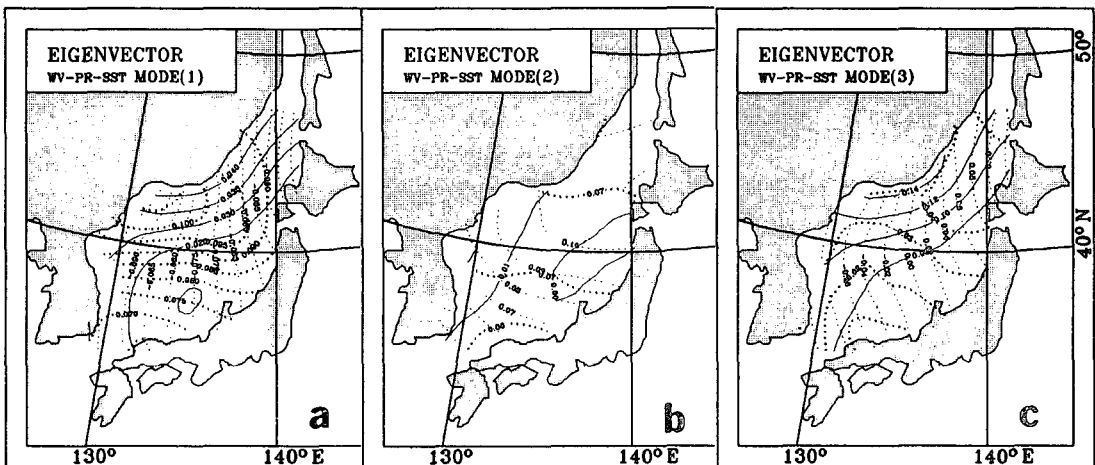


Fig. 22. (a) The first mode of empirical orthogonal function of the south-north components of surface wind, surface pressure and sea surface temperature, (b) The second mode of empirical orthogonal function of the south-north components of surface wind, surface pressure and sea surface temperature, (c) The third mode of empirical orthogonal function of the south-north components of surface wind, surface pressure and sea surface temperature, 1978~1992, the isolines of wind, pressure and sea surface temperature are indicated by solid lines, dashed lines and dotted line, respectively.

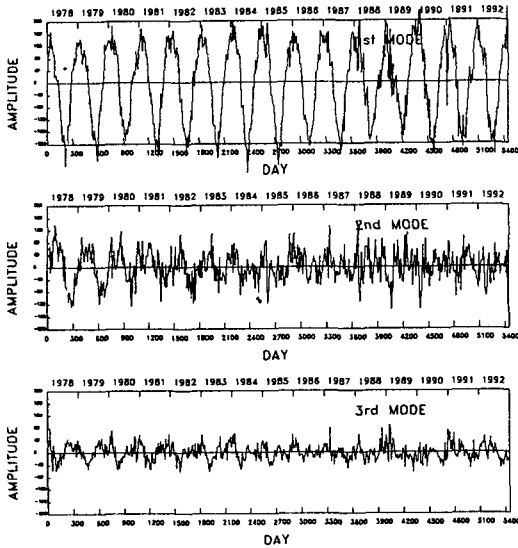


Fig. 23. Time coefficients of the south-north components of surface wind, surface atmospheric pressure and sea surface temperature, 1978~1992.

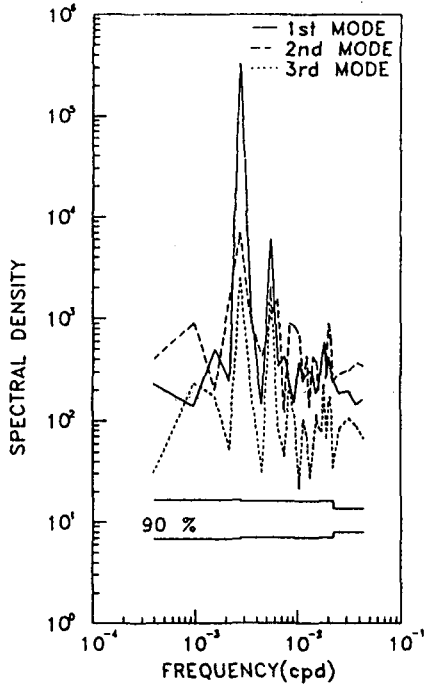


Fig. 24. Spectra of time coefficients of the south-north components of surface wind, surface pressure and sea surface temperature, 1978~1992.

포가 제1모드의 공간분포와 비슷하며 해상풍의 공간분포 역시 제1모드의 공간분포와 비슷하다. 따라서 제2모드의

해상풍의 공간분포는 해면기압의 영향보다는 해수면 온도에 좌우된다고 볼 수 있겠다. WU-PR-SST의 시간계수의 주기는 제1모드에서만 주기성이 보이며 1978년, 1979년, 1984년, 1985년이 다른 해에 비해 시간계수가 크게 나타난다 (Fig. 20). 이 시계열자료의 스펙트럼 분석결과는 제1모드에서 1년, 6개월의 주기가 탁월하며, 제2모드에서 1년과 4개월이 제3모드에서는 6개월의 주기가 나타난다 (Fig. 21). WV-PR-SST의 주기는 1년 주기가 제1, 2 그리고 3모드에서 뚜렷하며 6개월의 주기는 제1모드와 제3모드에서, 제2모드는 4개월의 주기가 나타난다 (Figs. 23, 24).

결 론

본 연구에서는 동해해역에서의 해면기압과 해수면 온도 및 해상풍의 시공간 변동특성을 파악하기 위하여 경험적 직교함수 분석으로 시공간분포 특성을 조사하였다. 평균기압의 분포는 1016.5 hPa 이하의 서고동저형의 등압선 배치를 나타내며, 기압의 최대표준편차는 6.6 hPa로 블라디보스톡 부근에 위치하고 일본열안으로 갈수록 5.6 hPa의 최저 표준편차를 갖는다. 이 지역은 6.5°C의 해수면 온도의 최대 표준편차를 갖는 지역이기도 하다. 동서 해상풍은 동해 동북부 해역에서 1m/s 이상의 서풍이 존재하며, 홋카이도 부근에서 3.0 m/s의 최대 편차를 보인다. 이러한 변동은 동서 해상풍의 EOF 모드로 설명되며, 제1모드는 분산의 47.3% 제2모드는 30%를 반영하며 제1모드는 이 지역에서 최대 변화를 보이며 1년 및 6개월의 주기를 갖는다. 특히 제2모드에서 6개월의 주기가 탁월하다. 남북 해상풍의 연평균 분포는 동해전역에서 북풍 계열의 바람이 탁월하며, 특히 블라디보스톡 부근에서 최대 2.2 m/s 이상의 북풍이 존재 하고 3.8 m/s의 표준편차 최대치가 존재하며 시간변동이 심하다. 이러한 변동은 제1모드의 분산이 70.9%로 분산의 대부분을 결정하며 이 지역에서 최대 변화를 갖는다. 주기성은 1년과 6개월의 주기가 해면기압의 주기와 비슷하게 나타난다. 해수면 수온의 고유벡터의 공간분포는 표준편차의 공간분포와 거의 일치하며 블라디보스톡 부근이 변화가 심하다. 제2모드의 공간분포에는 양과 음의 경계선이 극전선의 위치에 나타난다. 스펙트럼 분석에서는 제1모드에서 1년 주기와 6개월 주기가 나타난다 (Fig. 12). 한편 해상풍에 영향을 끼치는 해면기압과 해수면 온도의 기상변수들과의 상호 연관성이 어떻게 나타나는지를 알아보기위해서 각 변수들의 공분산 행렬을 결합하여 경험적 직교함수를 적용하여 결합 직교함수의 모드별 특성을 살펴보았다.

해상풍과 해면기압의 결합 직교함수의 모드별 특성은 개별 직교함수에 비해 동서성분 해상풍의 제1모드의 기여도가 증가 하였으며, 제2모드의 기여도가 감소하는 양상을 띤다. 이로 인해 WU-PR의 주기성은 해면 기압의 영향으로 제1모드에서는 1년 및 6개월의 주기가 탁월하고, 제2모드에서는 3개월의 계절변화로 해상풍의 개별 직교함수의 주기와 다르게 나타난다. 해수면 온도의 직교함수까지 포함한 3개의 결합 직교함수의 EOF 분석에서는 제2모드에서 해상풍의 공간 분포는 해수면 온도에 좌우되는 양상을 보이며, 개별 직교함수의 시간계수에서는 보이지 않았던 1978년, 1979년, 1984년, 1985년도에서 다른 해에 비해 시간계수가 해수면 온도의 영향으로 크게 나타난다. 스펙트럼 분석결과는 제1모드에서 1년 주기가 탁월하며 제2모드는 뚜렷하게 나타나지 않는 3개월 및 4개월의 계절변화가 주목 할 만하다.

요 약

본 연구에서는 한국 동해에서의 바람장의 공간적인 분포특성을 정량적으로 파악하기 위하여 해면기압과 해상풍 자료에 EOF 분석방법을 적용하여 모드별로 고유함수의 공간적인 분포특성과 시간계수를 계산하였고 시간계수의 스펙트럼을 구하여 바람장의 공간 및 시간변동성 및 주기적인 특성을 파악하였다. 평균기압의 분포는 서고동저형의 등압선 배치를 나타내며, 기압의 최대 표준편차는 블라디보스톡 부근에 위치하고 일본연안으로 갈수록 최저 표준편차를 갖는다. 블라디보스톡 부근은 6.5°C의 해수면 온도의 최대 표준편차를 갖는 지역이기도 하다. 동서성분 해상풍의 제1모드는 분산의 47.3% 제2모드는 30%를 반영하며 제1모드는 블라디보스톡 해역에서 최대 변화를 보이며 1년 및 6개월의 주기를 갖는다. 특히 제2모드에서 6개월의 주기가 탁월하다. 해상풍의 남북성분의 연평균 분포는 동해전역에서 북풍계열의 바람이 탁월하며, 특히 블라디보스톡 부근에서 최대 2.2 m/s 이상의 북풍이 존재 하고 3.8 m/s의 표준편차 최대치가 존재 하며 시간변동이 크다. 해수면 수온의 공간분포 역시 블라디보스톡 해역에서 최대치가 나타난다. 해상풍과 해면기압의 결합 직교함수의 모드별 특성은 개별 직교함수에 비해 동서성분 해상풍의 제1모드의 기여도가 증가 하였으며, 제2모드의 기여도는 감소하는 양상을 띤다. 이로 인해 동서성분 해상풍과 해면기압의 결합 직교함수(WU-PR)의 주기성은 해면 기압의 영향으로 제1모드에서는 1년 및 6개월의 주기가 탁월하며, 제2모드에서는 3개월의 계절변화로 해상풍의 개별 직교함수의 주기와 다르게 나

타난다. 해수면 온도의 직교함수까지 포함한 3개의 결합 직교함수의 EOF 분석에서는 제2모드에서 해상풍의 공간 분포는 해수면 온도에 좌우되는 양상을 보인다. 스펙트럼 분석결과는 제1모드에서 1년 주기가 탁월하며 제2모드는 3개월 및 4개월의 계절변화가 나타난다.

참 고 문 헌

- Han, S.-K., H.-J. Lie and J.-Y. Na, 1995. Temporal and spatial characteristics of surface wind over the adjacent seas of the Korean Peninsula. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 30 (6), 550~564.
- Kang, I.-S., M.-K. Kim and T. Shim, 1994. Seasonal variation of surface heat budget and wind stress over the seas around the Korean Peninsula. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 29 (4), 325~337.
- Kang, Y. Q., 1985. Influences of the Asian monsoon and the Kuroshio on the sea surface temperatures in the Yellow, the Japan and the East China Seas. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 20, 1~9.
- Kundu, P. K., J. S. Allen and R. L. Smith, 1975. Modal decomposition of the velocity field near the Oregon coast. *J. Phys. Oceanogr.*, 5, 683~704.
- Kutzbach, J. E., 1967. Empirical eigenvectors of sea-level pressure, surface temperature and precipitation complexes over North America. *J. Appl. Meteor.*, 6, 791~802.
- Lie, H.-J., I. K. Bang, S. S. Yook and C. W. Lee, 1983. Analysis of meteorological data at coastal weather station around Korea. KORDI. BSPE 00053-74-1, 108 pp.
- Lie, H.-J., I. K. Bang and Y. Q. Kang, 1986. Empirical orthogonal function analysis of seawater temperature in the Southeastern Hwanghae. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21 (4), 193~202.
- Lie, H.-J., J. Y. Na, S. K. Han and J. W. Seo, 1994. Monthly mean sea surface winds over the East China Sea. KORDI Rep. BSPE 00367-683-1, 91 pp, (in Korean).
- Lie, H.-J., J. Y. Na, and S. K. Han, 1995. Variabilities in time and space of sea surface winds around Korea. KORDI Rep. BSPE 00444-788-1, 53 pp, (in Korean).
- Lie, H.-J. and M. Endoh, 1991. Seasonal and interannual variability in temperature of the upper layer of the Northwest Pacific. *J. Phys. Oceanogr.*, 21 (3), 385~397.
- Na, J. Y., J. W. Seo and S. K. Han, 1992. Monthly-mean sea surface winds over the adjacent seas of the Korea Peninsula. *J. of the Oceanol. Soc. Korea*, 27, 1~10.
- Weare, B. C., A. R. Navato and R. E. Newell, 1976.

Empirical orthogonal analysis of Pacific sea surface temperatures. *J. Phys. Oceanogr.*, 6, 671~678.

1996년 10월 12일 접수

1997년 2월 28일 수리