

BSPE 00444-788-1

# 한국 주변해역의 해상풍의 시·공간 변동

Variabilities in time and space of sea surface  
winds around Korea

1995. 4.

한국해양연구소

# 提 出 文

韓國海洋研究所長 貴下

本 報告書를 “한국 주변해역의 해상풍의 시·공간 변동” 사업의 研究報告書로 提出합니다.

1995년 4월 일

주관연구기관명 : 한국 해양 연구 소

연구 책임자 : 이 홍 재 (해양물리연구부)

연구 원 : 나 정 열 (한양대 지구해양학과)

한 상 규 ( “ ” )

# 요 약 문

1978년부터 1987까지 10년간 한국 주변해역에서의 해면기압과 해상풍의 시공간변동을 분석하였다.

각 격자점에서 12시간 간격으로 계산된 해상풍자료는 지역적인 변동을 줄이기 위하여 인접 8개 격자점에서의 자료를 사용하여 공간적으로 평활화하였다. 본 연구에서는 월 변화이상의 장주기 변동을 주 연구대상으로 하였기에 29일 이동평균(moving average)을 한후 10일 간격으로 자료를 재정리 하였고 경험적 직교함수 분석과 스펙트럼 분석을 하였다.

평균해면기압은 뚜렷한 지역적 분포 특성을 갖고 있으며 발해만에서 최대 기압이 나타나고 동해와 동중국해로 갈수록 기압이 낮아지는 분포 특성을 보였다. 시간변동을 나타내는 표준편차는 평균기압이 큰 발해만에서 남동쪽으로 감소하는 것으로 나타났다. 해면기압 변동의 대부분은 계절변동이 우세한 제 1 EOF 모드에 의해 설명된다.

해상풍의 동서성분도 강한 해역특성을 갖는다. 동서성분의 공간적 평균분포는 동해와 황해의 위상이 동중국해와 반대며, 황해에서의 평균해상풍이 가장 약하다. 전해역의 표준편차가 2.4 m/s 이상으로 평균치보다 크며 동해남부와 북동부, 대만해역에서 최대치를 보인다. 동서성분 해상풍 변동의 대부분은 제 1과 2 모드에 의해 설명된다. 제 1 모드의 시간계수는 연변화를, 제 2 모드는 연변화와 반년변화를 보인다. 제 2 모드의 반년 주기성은 봄과 가을에 한반도를 동서방향으로 통과하는 이동성 기압골에 기인된 것으로 판단된다.

해상풍의 남북성분은 대부분 해역에서 북풍계열이 우세하나 육지에서 멀리 떨어진 외해역에서는 남풍이 우세하다. 표준편차는 2 m/s 이상으로 시간변동이 대단히 크며 동해북부역과 동중국해 북부역에서 최대변동을 보인다. 시간계수의 변화는 연변동이 우세한 것으로 나타났다.

결론적으로 한국 주변해역에서의 해상풍과 해면기압은 해역적 특성이 강하며 계절변동이 대단히 우세하다. 한편 동서성분 해상풍의 변동은 1년과 6개월 주기성을 갖는다.

# ABSTRACT

Spatio-temporal variabilities of sea surface pressure and surface wind in the seas adjacent to Korea are studied based on ten years long time series, 1978-1987.

The surface pressure and wind sampled at 12 hours interval were spatially smoothed using values of eight neighbouring grid points, which reduced small scale fluctuations. The time series data were then low-passed by a 29 days moving average to investigate their temporal variabilities whose period was longer than a month. The empirical orthogonal function (EOF) analysis of the low-passed time series were performed to identify the spatio-temporal characteristics of the surface pressure and wind.

Mean surface pressure, maximum in the Bohai Bay, decreases gradually toward the East Sea and East China Sea. The spatial pattern of standard deviation has a distribution similar to that of the mean surface pressure such that it diminishes from the northwest part of the study area to the southeast. Most variance of the surface pressure is mainly due to the seasonal variability and the first EOF mode explains about 90 % of the variance.

East-west (EW) wind is also spatially variable. Phase of the mean EW wind in the East Sea and Yellow Sea is opposite to that of the East China Sea, and the wind is the most weak in the Yellow Sea. The standard deviation, larger than 3.0 m/s everywhere in the study area, exceeds the mean speed. The variance is explained mainly by the lowest two EOF modes. The prominent periodicity appears at 1 cpy for the first mode, and 0.5 and 1.0 cpy for the second mode. The half year periodicity may reflect frequent passages of moving atmospheric pressure system from west to east.

The north-south (NS) wind is spatially variable as the pressure and

EW wind. Northerly wind is prevailing in seas adjacent to Korea, but southerly wind in the open sea very far from the Japanese islands. The standard deviation is important with a value larger than 2 m/s, exceeding the mean speed. High variability is located in the northern East Sea and northern East China Sea. The time function of the first EOF mode suggests the important contribution of one year periodicity to the variance.

Our general conclusion is that the surface pressure and wind system in the seas adjacent to Korea is spatially very variable, with prominent seasonal variability.

# 목 차

요 약 문 .....	3
표 목 차 .....	11
그림목차 .....	13
제 1 장 서 론 .....	15
제 2 장 자료 및 분석방법 .....	17
제 3 장 해면기압의 시공간적 분포특성 .....	20
제 1 절 평균기압과 표준편차 .....	20
제 2 절 경험적 직교함수의 모드별 특성 .....	23
가. 고유치 .....	23
나. 고유함수 .....	23
다. 시간변동 .....	27
제 4 장 해상풍의 시공간적 분포특성 .....	31
제 1 절 평균바람장과 표준편차 .....	31
가. 동서 해상풍 .....	31
나. 남북 해상풍 .....	31
제 2 절 경험적 직교함수의 모드별 특성 .....	36
가. 고유치 .....	36
나. 고유함수 .....	37
다. 시간변동 .....	41
제 5 장 결 론 .....	50
참 고 문 헌 .....	53

# CONTENTS

Abstract .....	5
List of Tables .....	11
List of Figures .....	13
Chapter 1. Introduction .....	15
Chapter 2. Data and processing method .....	17
Chapter 3. Spatio-temporal distribution of atmospheric pressure at sea surface .....	20
1. Mean and standard deviation .....	20
2. Characteristics of empirical orthogonal functions .....	23
a. Eigenvalues .....	23
b. Eigenfunctions .....	23
c. Time variation .....	27
Chapter 4. Spatio-temporal distribution of sea surface wind .....	31
1. Mean and standard deviation .....	31
a. East-west wind .....	31
b. North-south wind .....	31
2. Characteristics of empirical orthogonal functions .....	36
a. Eigenvalues .....	36
b. Eigenfunctions .....	37
c. Time variation .....	41
Chapter 5. Conclusion .....	50
References .....	53

## List of Tables (표목차)

- Table 1. Percentage and cumulative percentage of the total variance explained by the lowest three modes of empirical orthogonal functions for surface pressure. .... 23
- 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. ....37



# List of Figures (그림목차)

Fig. 1. Long-term mean atmospheric pressure at the surface, 1978-1987. The unit is mb. ....	21
Fig. 2. Standard deviations of surface atmospheric pressure, 1978-1987. The unit is mb. ....	22
Fig. 3. The first mode of empirical orthogonal function of surface atmospheric pressure, 1978-1987. ....	24
Fig. 4. The second mode of empirical orthogonal function of surface atmospheric pressure, 1978-1987. ....	25
Fig. 5. The third mode of empirical orthogonal function of surface atmospheric pressure, 1978-1987. ....	26
Fig. 6. Time coefficient of empirical orthogonal functions for the surface atmospheric pressure, 1978-1987. (a) first mode, (b) second mode, and (c) third mode. ....	28
Fig. 7. Spectra of time coefficients of surface atmospheric pressure, 1978-1987. ....	30
Fig. 8. Long-term mean east-west surface wind, 1978-1987. The unit is cm/s. ....	32
Fig. 9. Standard deviations of east-west surface wind, 1978-1987. The unit is cm/s. ....	33
Fig. 10. Long-term mean north-south surface wind, 1978-1987. The unit is cm/s. ....	34
Fig. 11. Standard deviations of north-south surface wind, 1978-1987. The unit is cm/s. ....	35
Fig. 12. The first mode of empirical orthogonal function of east-west surface wind, 1978-1987. ....	38
Fig. 13. The second mode of empirical orthogonal function of east-west surface wind, 1978-1987. ....	39
Fig. 14. The third mode of empirical orthogonal function of east-west surface wind, 1978-1987. ....	40

Fig. 15. The first mode of empirical orthogonal function of north-south surface wind, 1978-1987. ....	42
Fig. 16. The second mode of empirical orthogonal function of north-south surface wind, 1978-1987. ....	43
Fig. 17. The third mode of empirical orthogonal function of north-south surface wind, 1978-1987. ....	44
Fig. 18. Time coefficient of empirical orthogonal functions for the east-west surface wind, 1978-1987. (a) first mode, (b) second mode, and (c) third mode. ....	45
Fig. 19. Spectra of time coefficients of east-west surface wind, 1978-1987. ...	46
Fig. 20. Time coefficient of empirical orthogonal functions for the north-south surface wind, 1978-1987. (a) first mode, (b) second mode, and (c) third mode. ....	47
Fig. 21. Spectra of time coefficients of north-south surface wind, 1978-1987. ....	48

# 제 1 장 서 론

해수순환의 역학적 구조를 이해하기 위하여 해수의 물리적 특성 및 해류의 구조 파악이 필요하지만 해류의 형성 및 이동, 표층해수의 순환 및 열구조에 커다란 영향을 미치는 해상풍의 시공간적인 특성 파악이 필수적이다. 그러나 해상풍의 연속관측은 부이 시스템에 의해 가능하나 경제적, 기술적인 면에서 충분한 수의 부이 운영이 용이하지 않기 때문에 연안관측이나 국지적인 선상관측에 주로 의존하고 있는 실정이다. 최근 인공위성 영상자료로부터 광역해역에서 해상풍을 추정하기 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있긴 하지만 아직은 천기도와 해표면수온으로부터 계산한 해상풍이 매우 유용하게 이용되고 있다.

한국 주변해역에서의 해상풍과 관련된 연구는 다음과 같다. 이 등 (1983)이 연안측후소 자료를 이용하여 스펙트럼분석을 하였고, 나 등 (1992)이 한국 주변해역 및 동중국해 북부해역에서 10년간의 천기도와 해표면 수온자료로 부터 해상풍 자료베이스를 구축하여 주변해역에서의 해상풍에 대한 기본적인 자료분석을 한 바 있고, 강 등 (1994)은 3년간의 해상풍을 계산하여 응력과 응력궤의 공간분포를 제시하였다. 이 등 (1994)은 나 등의 해상풍 자료를 보강하여 동중국해 전역을 포함하는 한반도 주변해역의 바람장의 기본적인 특성을 분석하였다.

이 등 (1994)의 연구에 의하면 시공간적인 분포는 계절과 해역에 따라 그 분포형태가 다르며 일반적으로 겨울철의 해상풍이 여름철보다 강하다. 겨울철 동해의 바람장은 반시계 방향의 회전성이 우세하며 북서풍이 강한 특성을 보이나 여름철에는 시계방향의 회전성과 남풍이 강하다. 황해의 경우 겨울철에는 북풍, 여름에는 남풍이 우세하나 연중 시계방향의 회전성이 우세하다. 한편, 동중국해에서 겨울철 해상풍은 동풍 혹은 북동풍이 우세하나 여름철에는 태풍의 영향으로 시공간적인 변화가 매우 심하며 회전성도 공간적으로 복잡한 양상을 띠운다. 또한 스펙트럼분석 결과, 1년과 6개월 주기대에 스펙트럼 에너지가 집중되어 있어 해상풍의 연변화와 계절변화가 뚜렷하게 나타났고, 해역별 상관관계는 공간적인 변동도 매우 중요하다. 이러한 결과는 해상풍의 월별 평균 및 표준편차,

스펙트럼 분석 등을 통하여 파악한 것으로 해상풍의 시간적인 변동을 잘 나타내지만 전체적인 공간변동에 대해서 정량적인 특성을 제시하지는 않았다.

본 연구에서는 한반도 주변해역에서 바람장의 공간적인 분포특성을 정량적으로 파악하기 위하여 해면기압과 해상풍 자료에 경험적 직교함수 (Empirical Orthogonal Function, EOF) 분석방법을 적용하여 모드별로 고유함수의 공간적인 분포특성과 시간계수 (time coefficient)를 계산하였고 시간계수의 스펙트럼을 구하여 바람장의 공간 및 시간변동성을 분석하였다.

## 제 2 장 자료 및 분석방법

본 연구에서는 나 등 (1992)이 10년간 (1978 - 1987)의 해면기압과 해표면 수온자료를 이용하여 계산한 한반도 주변해역에서의 12시간 간격의 해상풍을 기본자료로 이용하였다. 그러나 나 등의 연구에서 포함되지 않았던 동중국해 남부해역에서의 자료를 추가하여 127 km 등간격의 격자점에서 시간간격이 12시간인 해면기압과 해상풍 시계열자료를 준비하였다.

대기압 및 수온 자료의 격자점간격에 의한 지역적인 변동을 줄이기 위하여 인접한 8개 격자점에서의 자료를 이용하여 공간적으로 평활화하고, 2일 이하의 단주기 변동을 제거하기 위하여 저주파 필터를 적용하여 1일 간격의 시계열 자료로 전환하였다. 자료의 기본적인 처리방법은 이 등 (1994)이 상세히 기술한 바 있다. 한편, 본 연구에서는 수일 주기의 변동보다는 월별이상의 변동을 주요 연구대상으로 하였기에 29일 이동평균 (moving average)을 적용하여 시간간격이 10일인 자료로 재정리하였으며 EOF 및 스펙트럼 분석을 하였다.

경험적 직교함수 분석방법은 시·공간변동성을 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 경험적 직교함수의 큰 장점이다. 본 연구에서는 변동의 대부분을 설명할 수 있는 3개 모드만을 다루었고 모드별 시간계수의 변화특성을 분석하여 변동특성을 검토하였다.

분석과정은 다음과 같다. 각 격자점 (n,m)에서의 해면기압과 해상풍의 동서성분, 남북성분을 격자점 순서에 따라 재배열 ( $i=1, \dots, N$ )하고 각 격자점에서의 10년 평균치를 계산한다.

$$P_{ave}(i) = \frac{1}{k} \sum_{t=1}^k P_t(i) \quad (1)$$

여기서  $P_{ave}(i)$ 는 격자점  $i$ 에서의 평균값이며  $P_t(i)$ 는 격자점  $i$ , 시간  $t$ 에서의 값이다.

해면기압과 해상풍의 잔차 (residual)는

$$P'_t(i) = P_t(i) - P_{ave}(i) \quad (2)$$

으로 정의된다. 이러한 잔차에 대한 격자점간의 교차 공분산행렬 (covariance matrix)을 구하면

$$C(i, j) = \frac{1}{(k-1)} \sum_{t=1}^k P'_t(i) P'_t(j) \quad (3)$$

으로 표현되며, 이는 실수값을 가지는 정방행렬이 된다. 본 연구의 해면기압은  $288 \times 288$ , 해상풍은  $185 \times 185$ 의 공분산행렬이 되고 이의 해를 구하는 과정은

$$\sum_{i=1}^N C(i, j) \Phi_n(i) = \lambda_n \Phi_n(i), \quad n=1, \dots, N \quad (4)$$

와 같은 고유값 ( $\lambda_n$ ) 문제이며, 이때 구해지는 고유벡터  $\Phi_n(i)$ 를 경험적 직교함수 또는 모드함수라 한다. 이러한 고유벡터(eigenvector)는 아래와 같은 직교조건을 만족한다.

$$\sum_{i=1}^N \Phi_n(i) \Phi_m(i) = \delta_{nm} \quad (5)$$

여기서  $\delta_{nm}$ 은 크로네커 델타 (Kronecker delta)이고 각 고유벡터의 평균제곱값의 합은 1이 된다. 경험적 직교함수의 집합  $\{\Phi_n\}$ 은 수학적으로 닫힌계이므로 시계열 확장이 가능하여

$$P_t(i) = \sum_{i=1}^N E_{tn} \Phi_n(i) \quad (6)$$

으로 주어진다. 식 (6)에서  $E_{tn}$ 은 시간계수로서

$$E_{tn} = \sum_{i=1}^N P_t'(i) \Phi_n(i) \quad (7)$$

이다. 즉 원래의 기압과 해상풍의 잔차에 대한 고유벡터를 곱하여 구해지는 값을 시간계수 (time coefficient)라 하며 시간계수와 고유벡터를 함께 사용하면 원래의 해면기압과 해상풍의 동서(U), 남북성분(V)의 잔차를 재현할 수 있다. 또한 공분산 행렬로부터 구해지는 고유값 (eigenvalue)은

$$\frac{1}{K} \sum_{t=1}^k E_{tn}^2 = \lambda_n \quad (8)$$

이며, EOF의 분산을 나타낸다. 고유값과 입력변수와의 관계는

$$\frac{1}{K} \sum_{t=1}^k \sum_{i=1}^N P_t'^2(i) = \frac{1}{K} \sum_{t=1}^k \sum_{i=1}^N E_{tn}^2 = \sum_{i=1}^N \lambda_n \quad (9)$$

으로 주어지므로 공분산 행렬로부터 구해지는 고유값의 합은 원래 자료의 분산의 합과 같게 된다.

## 제 3 장 해면기압의 시공간적 분포특성

### 제 1 절 평균기압과 표준편차

경험적 직교함수 분석으로 해면기압의 시·공간분포 특성을 조사하였다. 앞장에서 언급한 바와 같이 격자점간격에 의한 지역적인 변동을 최소화하기 위한 공간평활화 과정과 2일 이하의 단주기 변동을 제거하기 위한 시간평활화를 한 후에 장기평균과 표준편차를 계산하였다.

그림 1은 각 격자점에서 10년 (1978 - 1987) 기간의 해면기압자료를 평균한 공간분포이다. 평균기압의 분포는 대체로 3가지 지역적 특성을 갖는다. 첫째, 황해, 동해서부와 동중국해 북부역에서는 1016 mb 이상의 기압을 갖는다. 둘째, 동해동부와 일본 동부해역에서는 1016 mb 이하의 등압선이 조밀하게 배치되어 있다. 셋째, 동중국해 남부와 일본 남부해역에서는 성긴 등압선의 분포를 갖는다. 따라서 등압선의 방향과 간격이 달라 바람의 방향과 세기가 해역별로 다르다. 등압선이 조밀한 동중국해와 동해, 그리고 일본 동부역에서 강한 바람이 존재하며 동중국해에서는 동풍 내지 북동풍이 우세하고 동해에서는 북풍 내지 북서풍이 우세하다는 것을 보인다.

그림 2는 해면기압의 표준편차를 나타낸다. 기압의 최대표준편차는 13 mb로 시베리아 중부지역에 위치하고 대륙에서 충분히 멀리 떨어진 연구해역의 남동해역에서 최저인 4.5 mb 이하의 크기를 갖는다. 따라서 기압의 시간변동이 해양에서는 비교적 작고 대륙의 내륙으로 갈수록 커지는 양상을 갖고 있다. 한편 한반도 주변해역은 6-10 mb 편차지역에 속하며 황해에서는 8-9.5 mb, 동해와 동중국해에서는 6-8 mb의 편차가 있다.



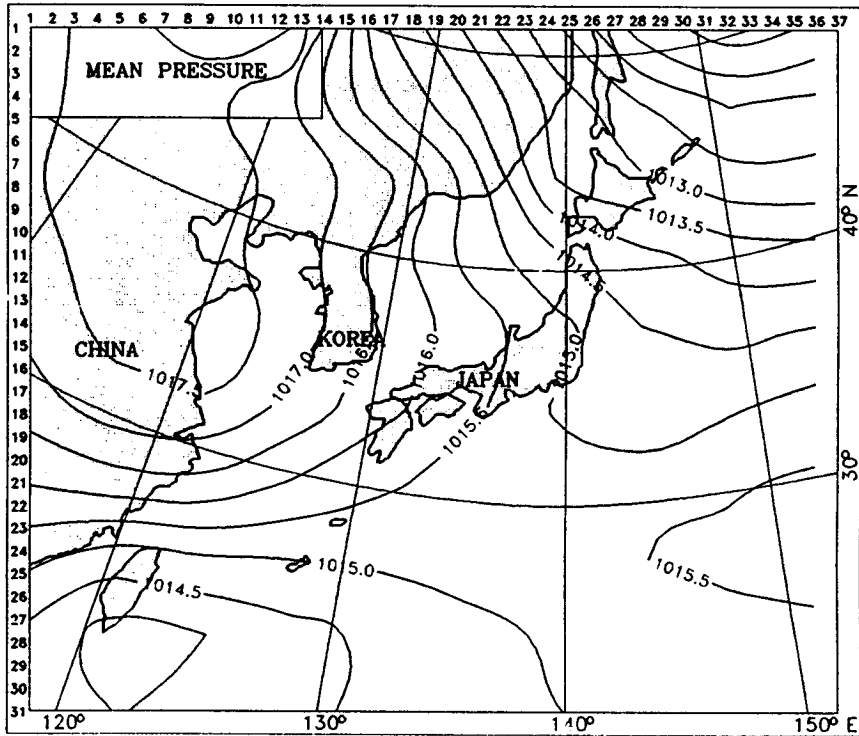


Fig. 1. Long-term mean atmospheric pressure at the surface, 1978-1987. The unit is mb.



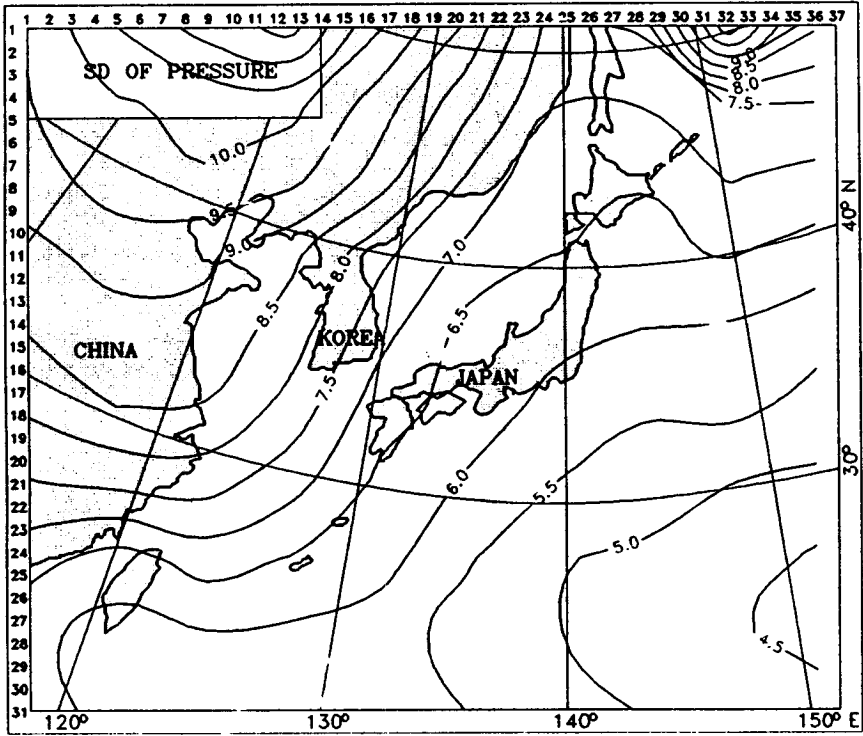


Fig. 2. Standard deviations of surface atmospheric pressure, 1978-1987.  
The unit is mb.

## 제 2 절 경험적 직교함수의 모드별 특성

### 가. 고유치 (Eigenvalue)

해면기압의 계절특성을 분석하기 위하여 시·공간적으로 평활화과정을 거친 자료에 29일 이동평균 (29 day moving averaging)을 적용한 후 10일 간격의 자료로 재정리하였다. 재정리된 자료에 경험적 직교함수를 적용하여 모드별 특성을 살펴보았다.

표 1은 해면기압의 분산 (variance)에 대한 모드별 기여도로 제 1 모드가 전체분산의 90 %를, 그리고 제 2와 제 3 모드가 각기 3.7 %와 2.8 %를 설명한다. 따라서 3개의 모드가 분산의 96.5 %를 설명할 수 있으며 대부분의 분산은 제 1 모드에 의해 표현된다.

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	90.0	90.0
2	3.7	93.7
3	2.8	96.5

### 나. 고유함수 (Eigenfunction)

해면기압에 대한 제 1 EOF 모드 고유벡터의 공간분포는 그림 3과 같다. 등치선이 동경 140° 부근에서는 남북방향으로 분포하나 140° 서쪽으로 갈수록 북동-남서 방향으로 분포하며 동쪽으로 갈수록

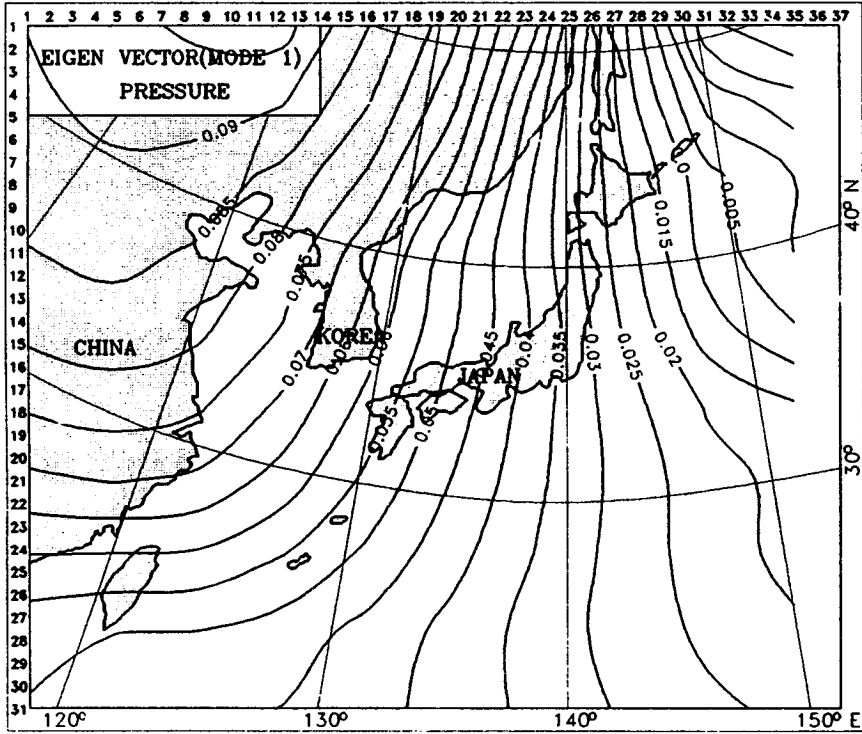


Fig. 3. The first mode of empirical orthogonal function of surface atmospheric pressure, 1978-1987.

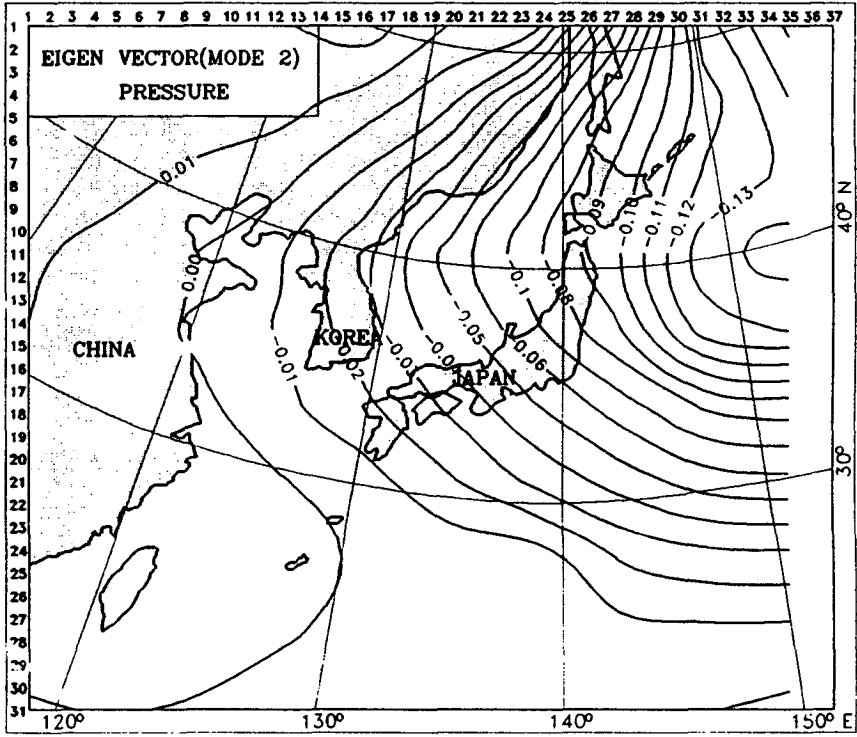


Fig. 4. The second mode of empirical orthogonal function of surface atmospheric pressure, 1978-1987.

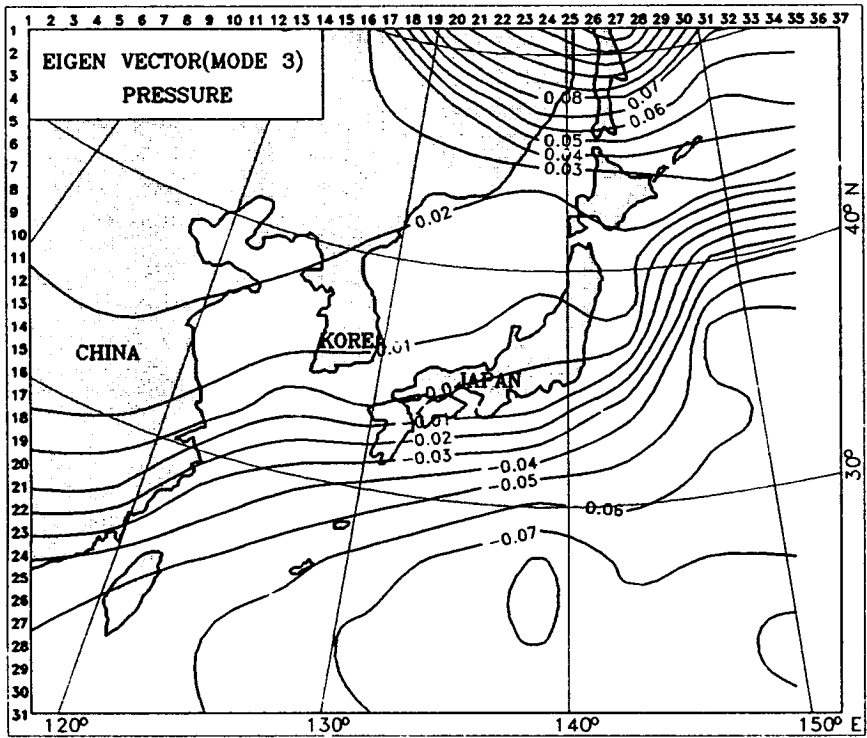


Fig. 5. The third mode of empirical orthogonal function of surface atmospheric pressure, 1978-1987.

북서-남동 방향으로 바뀌는 경향이 있다. 동경  $135^{\circ}$  이서에서 등치선의 분포는 표준편차의 공간분포와 매우 비슷하다. 고유벡터의 크기는 표준편차 분포에서와 같이 조사해역의 북서지역인 중국대륙에서 가장 크며 동쪽으로 갈수록 점진적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다.

제 2 모드의 고유벡터 (그림 4)는 동경  $150^{\circ}$ , 북위  $40^{\circ}$  부근에서 최대치를 가지며 등치선의 모습이 동심원의 형태로 서쪽으로 확장된 모습이다. 음과 양의 부호가 바뀌는, 즉 0의 등치선은 대체로 대륙과 해양의 경계면 가까이에 위치하고 있으며 대륙에서 고유벡터의 크기는 일본 동부해역에 비해 대단히 작아 제 2모드가 동해 동부를 포함한 일본 동부해역에서 크게 기여한다.

제 3 모드 (그림 5)는 제 1과 2 모드와는 다른 분포를 보인다. 등치선이 동-서 방향으로 분포하고 있으며 양자강하구와 일본열도를 잇는 선을 중심으로 남북지역의 위상이 반대가 된다. 따라서 제 3 모드는 북위  $30^{\circ}$  이남해역과 흑가이도 이북해역에서 큰 기여를 하며 우리나라의 인근해역인 동해, 황해, 동중국해에서는 대단히 작은 기여를 할뿐이다.

#### 다. 시간변동

시간변동에 대한 정보는 식 (7)에 의해 정의된 시간계수 (time coefficient)에 포함되어 있다. 따라서 각 모드의 시간계수를 분석함으로써 시간변동의 크기와 주기성을 파악할 수 있다.

그림 6은 해면기압에 대한 제 1, 2, 3 EOF 모드의 시간계수의 시간변화곡선이다. 분산에 가장 큰 기여를 하는 제 1 모드의 시간계수는 뚜렷한 1년 주기성을 갖고 있으며 조사기간 10년에 걸쳐 진폭도 비교적 일정하다. 따라서 이 모드는 계절변동을 대표한다고 볼 수 있다. 제 2 모드는 진폭이 일정하지는 않지만 6개월 주기성을 보이고 있다. 제 3 모드는 눈에 띌 정도의 주기성은 찾아 보기 어렵다.

모드별 시간계수의 주기성과 주파수에 따른 분산을 보다 정량적으로 파악하기 위하여 스펙트럼을 계산하였다. piece-average 스펙트럼 방법 (Gonella, 1972 ; 이 등, 1983)을 사용하였다. piece의 길이는 3년으로 선택하였고 자유도를 증가시키기 위해 중첩 (overlapping) 방법을 이용하였다. FFT로 스펙트럼을 계산하였고 90 % 신뢰구간을 스펙트럼에

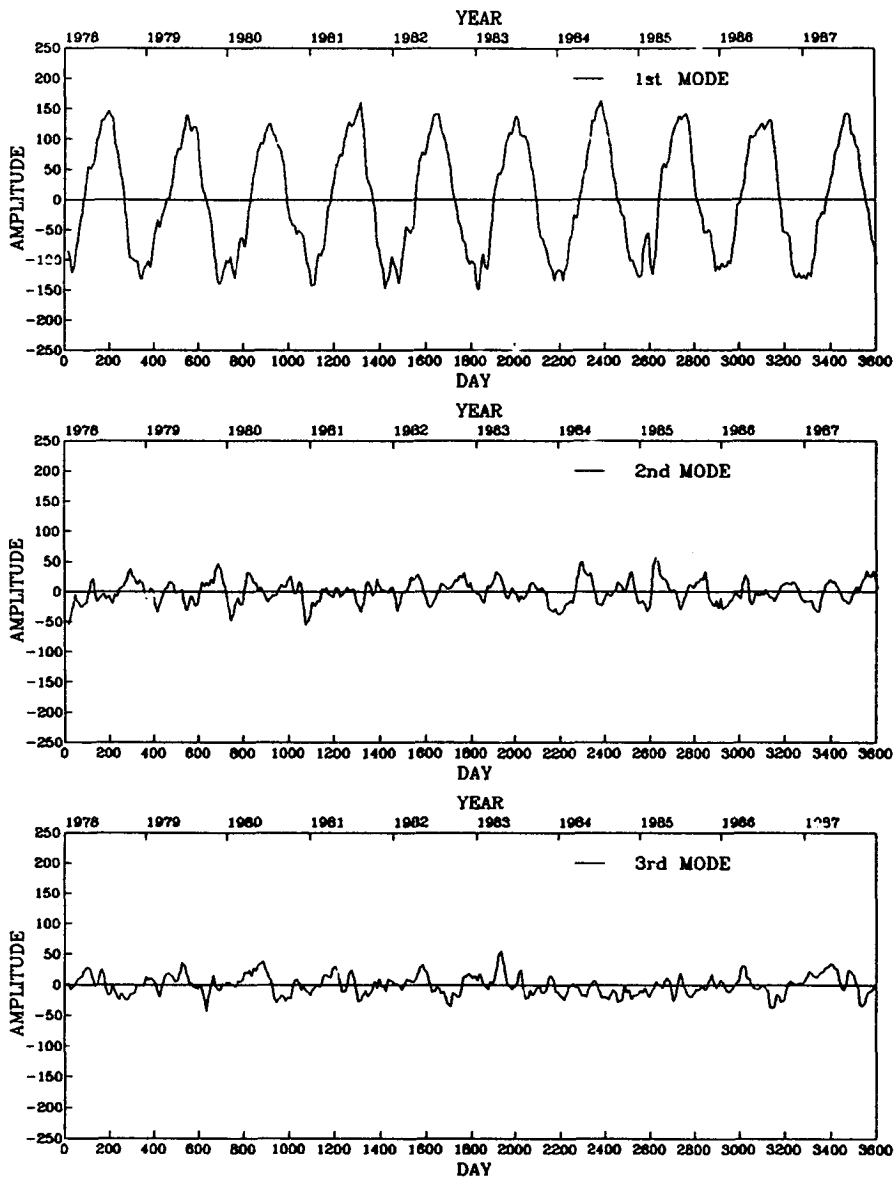


Fig. 6. Time coefficient of empirical orthogonal functions for the surface atmospheric pressure, 1978-1987. (a) first mode, (b) second mode, and (c) third mode.



표시하였다.

그림 7은 해면기압에 대한 EOF 모드별 시간계수의 스펙트럼이다. 제 1 모드는 시간변화곡선에서 보았듯이 1 cpy (cycles per year)에서 에너지가 집중된 스펙트럼 피크를 보인다. 0.5 cpy 에서도 작은 피크가 나타나고 있지만 1 cpy에서 피크에 비하면 에너지 수준이 1 % 미만이다. 제 2 모드는 1년 주기성을 갖고 있지 않고 6개월 주기성을 보인다. 시간변화곡선을 보면 봄과 가을에 변화가 큼을 알 수 있다. 제 3 모드에서는 0.5와 1 cpy 에서 모두 피크를 갖고 있지만 제 1 모드의 1 cpy 피크에 비하면 에너지 수준이 대단히 작다. 따라서 시간계수의 시간변화곡선과 스펙트럼은 해면기압의 시공간변화는 모드 1의 분포를 따르고 6개월 주기를 갖는 제 2 모드가 지역적으로 봄과 가을에 변동에 큰 기여를 한다.

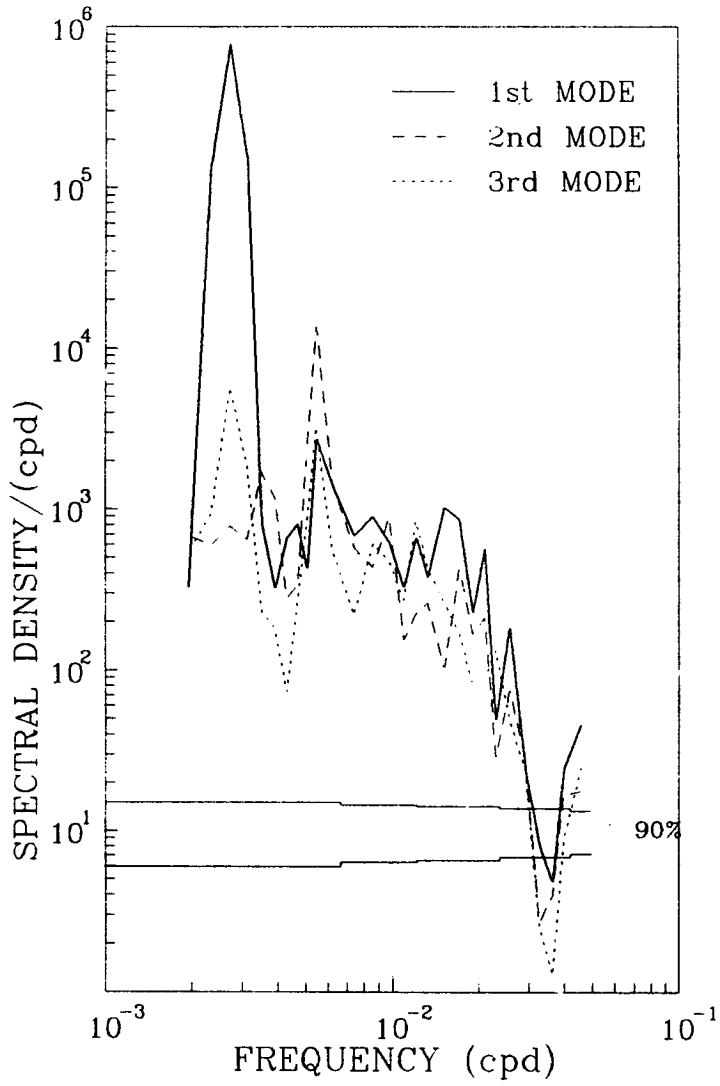


Fig. 7. Spectra of time coefficients of surface atmospheric pressure, 1978-1987.

# 제 4 장 해상풍의 시공간적 분포특성

## 제 1 절 평균바람장과 표준편차

벡터양인 해상풍을 동서성분과 남북성분으로 분리하여 분석하였다. 이 등이 작성한 1994년도 보고서 '동중국해의 월평균 해상풍 계산'의 그림 2에서 제시한 해상풍 응력의 장기평균분포는 그림 1의 평균해면기압의 공간분포와 잘 일치한다.

### 가. 동서 해상풍

동서 해상풍 (그림 8)은 황해, 동해, 일본 동부 및 남부해역에서 양의 부호 서풍)를 갖고, 동중국해와 대만 부근해역에서 음의 부호 동풍)를 갖는다. 동중국해의 남부 및 대만 부근해역에서는 1 m/s 이상의 강한 동풍이 불고 있는 반면에 동해 북부 및 일본 동부해역에서는 1 m/s 이상의 서풍이 분다. 한편 황해 전해역은 연평균 0.3 m/s 이하의 약한 서풍이 존재하나 동중국해의 북부에서는 0.4 m/s 이하의 동풍이 존재하여 좋은 대조를 보인다.

동서 해상풍의 표준편차 (그림 9)는 전해역에서 2.4 m/s 이상으로 평균 해상풍보다 훨씬 커서 시간변동이 심하다. 특히 흑가이도 부근해역, 일본 혼슈 동부역, 대한해협 북부역, 그리고 대만 인근해역에서 편차는 3.0 m/s 이상의 큰 시간변화를 보인다.

### 나. 남북 해상풍

남북 해상풍의 연평균 분포 (그림 10)는 대륙에서 멀리 떨어진 해상에서는 남풍계열이 우세한 반면에 황해, 동해, 동중국해 전역은 물론 쿠로시오 유역에서 북풍계열의 바람이 탁월하다. 남풍은 0.4 m/s이하로

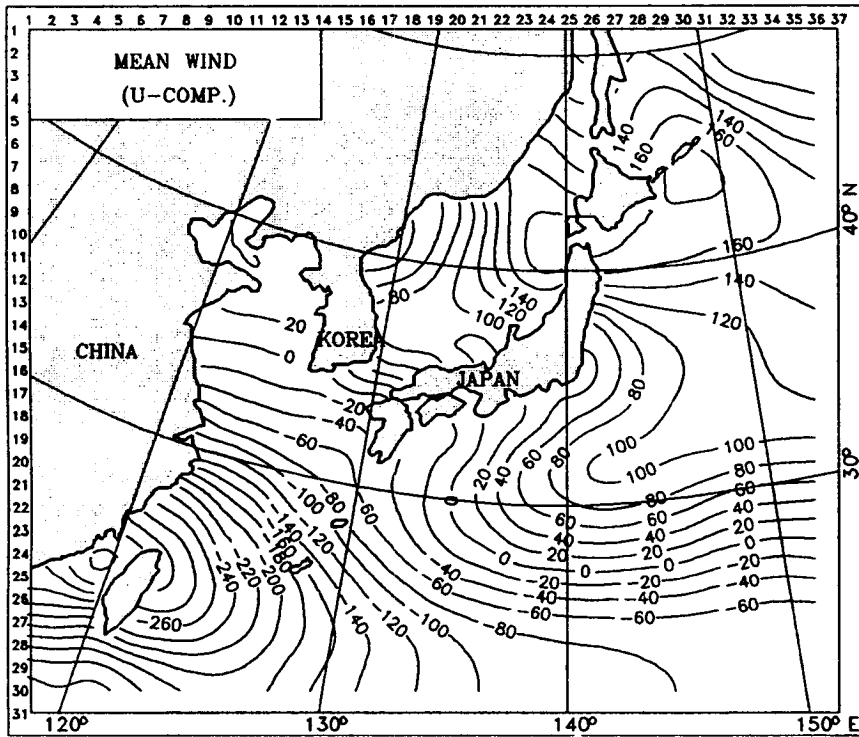


Fig. 8. Long-term mean east-west surface wind, 1978-1987.  
The unit is cm/s.

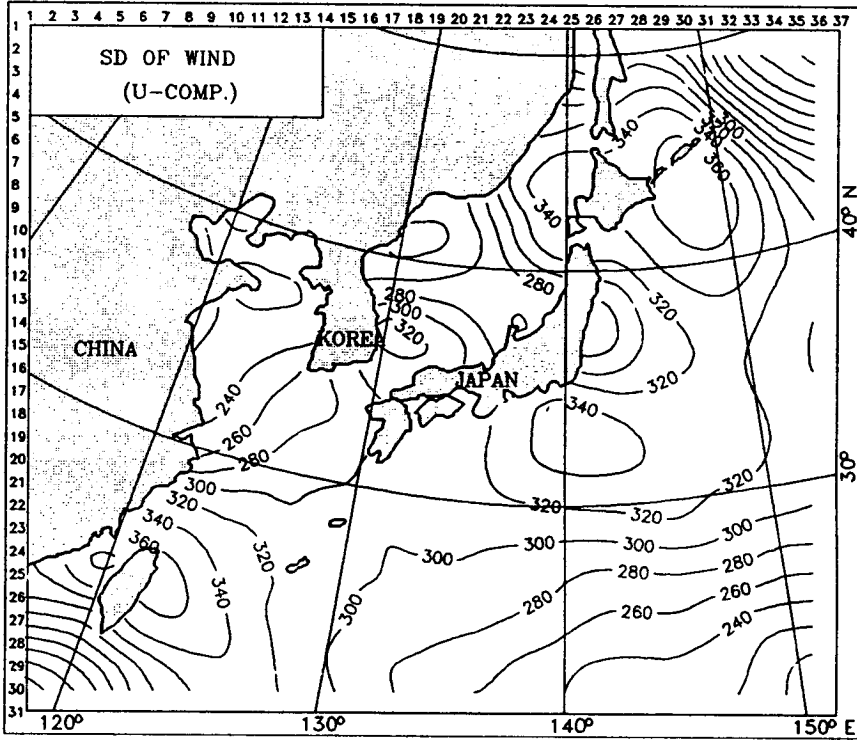


Fig. 9. Standard deviations of east-west surface wind, 1978-1987.  
The unit is cm/s.

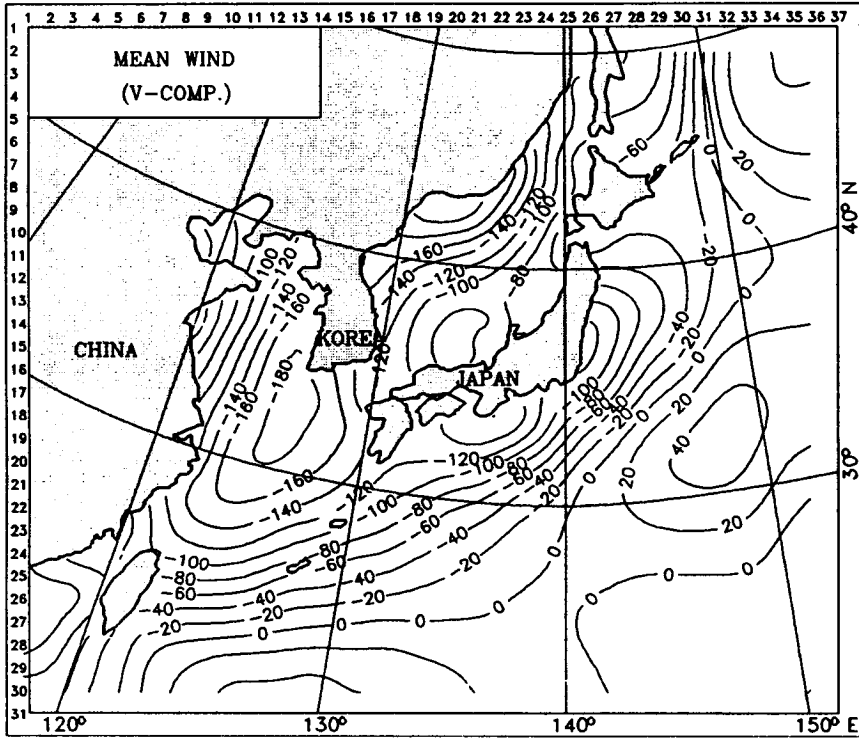


Fig. 10. Long-term mean north-south surface wind, 1978-1987.  
The unit is cm/s.

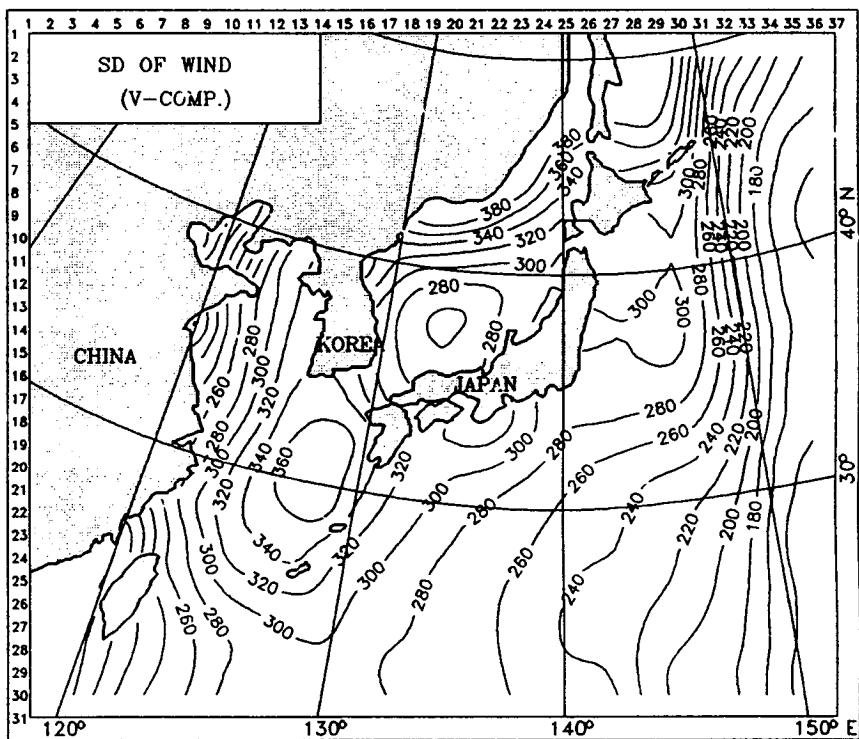


Fig. 11. Standard deviations of north-south surface wind, 1978-1987.  
The unit is cm/s.

매우 약하나 북풍은 대부분 해역에서 1 m/s 이상으로 강하다. 1.5 m/s 이상의 강한 북풍이 황해동부, 동중국해 북부, 그리고 동해 북부해역에서 나타나 한반도 인근해역에서 북풍계열의 바람이 매우 탁월함을 알 수 있다.

남북 해상풍의 표준편차 (그림 11)는 동경 150° 이동해역을 제외한 전해역에서 2.0 m/s 이상으로 평균풍속보다 커서 동서 해상풍과 마찬가지로 시간변동이 심하다. 표준편차는 동해와 동중국해를 제외한 전해역에서 남북방향의 분포를 보인다. 특히 평균치가 최대인 황해 남동해역 및 동중국해 북부해역, 그리고 동해 북부해역에서는 편차도 최대로 3.2 m/s 이상을 보인다. 한편 남풍계열의 평균바람이 우세한 대륙에서 멀리 떨어진 해양에서 편차가 2.0 m/s 이하로 시간변동이 상대적으로 작다.

## 제 2 절 경험적 직교함수의 모드별 특성

해상풍의 계절분포 특성을 분석하기 위하여 시·공간적으로 평활화과정을 거친 자료에 29일 이동평균 (29 day moving averaging)을 적용하여 10일 간격의 자료로 재정리하였다. 재정리된 자료로부터 경험적 직교함수의 모드별 특성을 살펴보았다.

### 가. 고유치 (Eigenvalue)

표 2는 동서 해상풍과 남북 해상풍의 분산 (variance)에 대한 모드별 기여도이다. 동서 해상풍의 경우 제 1 모드가 전체분산의 46.1 %를, 그리고 제 2와 제 3 모드가 각기 30.3 %와 6.3 %를 설명한다. 따라서 3개의 모드가 분산의 82.7 %를 설명한다. 한편, 해면기압과 남북 해상풍과는 달리 제 1 모드의 기여도는 46 %에 불과하지만 제 2 모드의 기여도는 30 %에 달한다. 따라서 분산의 대부분은 제 1과 제 2 모드에 의해 76.4 %가 설명된다. 한편 남북 해상풍의 경우 제 1 모드의 기여도가 77.1 %로 분산의 대부분을 결정하며 제 2와 제 3 모드가 각기 6.6 %와



3.9 %에 불과하다. 결론적으로 동서 해상풍은 제 1과 제 2 모드가 시공간 변동을 결정하며 제 3모드는 보완적 역할을 하는 반면, 남북 해상풍의 시공간 변동은 제 1 모드에 의해 지배된다.

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	46.1	77.1	46.1	77.1
2	30.3	6.6	76.4	83.7
3	6.3	3.9	82.7	87.6

#### 나. 고유함수 (Eigenvector)

동서 해상풍에 대한 제 1 EOF 모드 (그림 12)는 분산의 약 반정도를 설명하지만 위상은 남서지역과 북동지역에서 서로 반대 부호를 갖는다. 즉 남서쪽에서 동풍이 강화되면 북동해역에서는 서풍이 강화되는 것을 뜻한다. 제 1 모드의 최대변화는 남서지역에서는 대만해역, 북동지역에서는 흑가이도에서 나타난다. 분산의 30 %를 설명하는 제 2 모드 (그림 13)의 등치선은 대체로 동-서 방향으로 분포하고 있으며 북위 40°를 기준으로 부호가 바뀐다. 최대치는 북위 30°, 동경 140° - 150°에 위치하고 있으며 남과 북으로 갈수록 감소한다. 제 3 모드 (그림 14)의 부호가 남동해역과 나머지 해역이 서로 다르며 등치선은 마치 남서모서리에서 북서방향으로

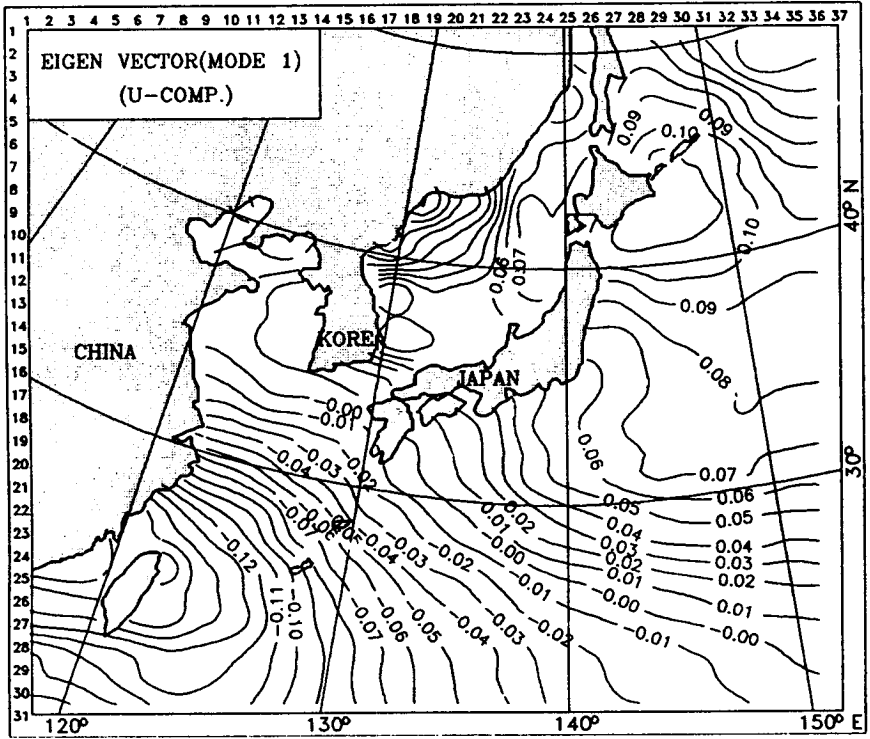


Fig. 12. The first mode of empirical orthogonal function of east-west surface wind, 1978-1987.

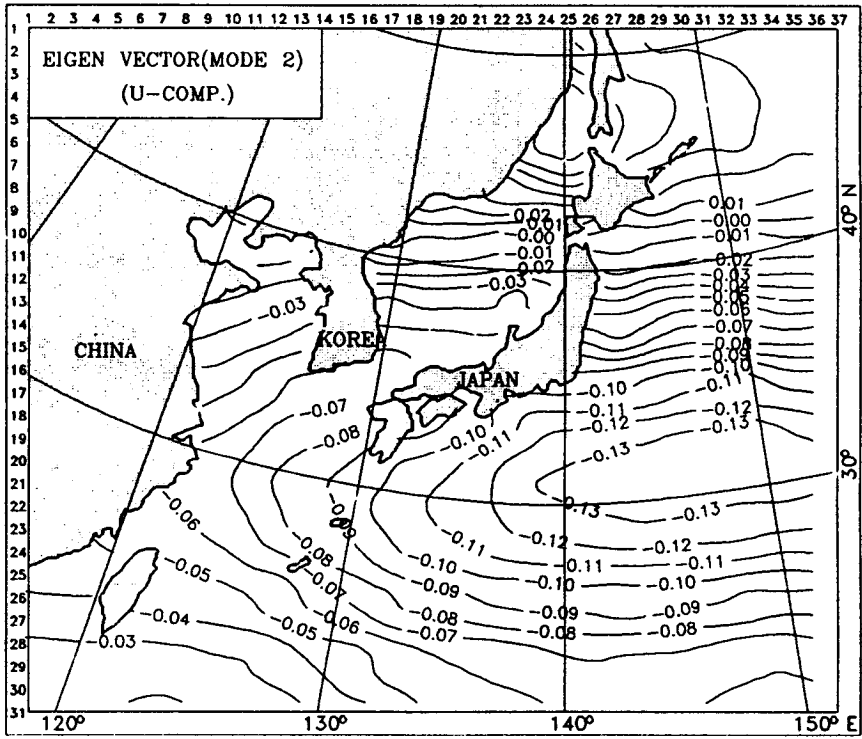


Fig. 13. The second mode of empirical orthogonal function of east-west surface wind, 1978-1987.

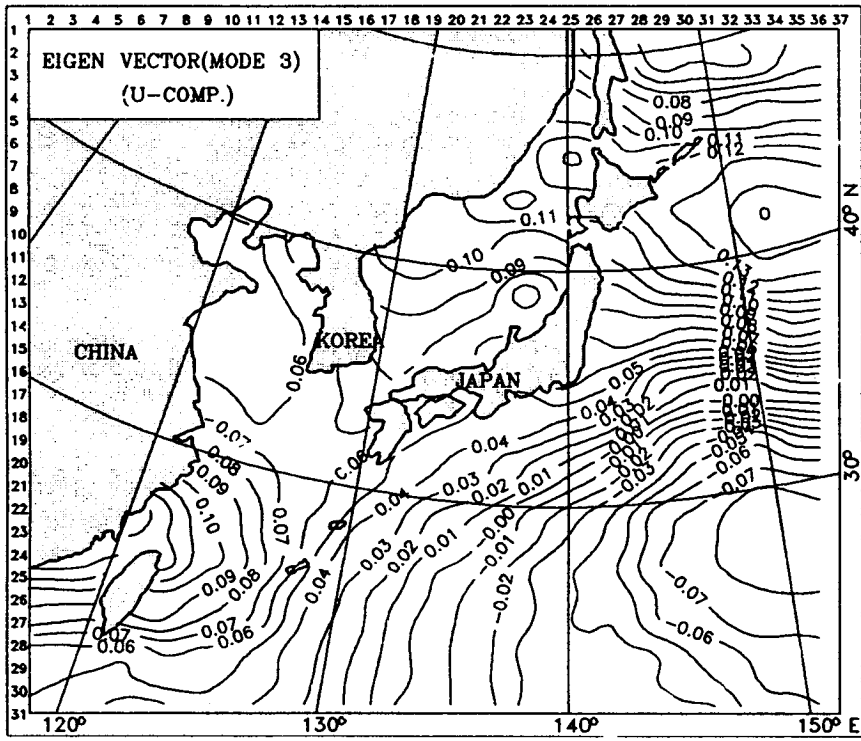


Fig. 14. The third mode of empirical orthogonal function of east-west surface wind, 1978-1987.

전파되는 형태를 보인다. 최대치는 대만과 흑가이도 부근, 그리고 남동해역에서 나타난다.

남북 해상풍의 분산의 77 %를 설명하는 제 1 모드의 공간분포 (그림 15)는 그림 11의 표준편차의 공간분포와 비슷하다. 동중국해의 북부와 동해 북부에서 최대치를 보인다. 황해와 일본 동부해역에서는 등치선이 남-북 방향으로 발달해 있다. 제 2 모드 (그림 16)는 북동해역과 남서해역의 위상이 서로 반대로 대만 남서해역에 위치한 음의 최대치가 북쪽으로 전파되고 흑가이도 북부에 위치한 양의 최대치가 일본열도를 따라 남서쪽으로 전파하는 듯한 분포양상을 띄우고 있다. 제 3 모드 (그림 17)의 위상은 조사해역의 북동과 남서 모서리를 잇는 선을 중심으로 서로 반대다. 즉 동해, 황해, 동중국해의 위상이 일본열도의 동부와 남부해역에서와는 서로 다른 방향으로 바람이 변한다.

#### 다. 시간변동

동서 해상풍의 세 모드에 대한 시간계수는 그림 18에 제시되었다. 분산의 46 %를 설명하는 제 1 모드는 해면기압의 경우와 같이 일년 주기성이 대단히 우세하다. 그러나 1978-1979년에는 진폭이 20 미만이었으나 1983-1994년도에 30 이상으로 진폭의 경년변동이 심하다. 제 2 모드는 분산의 30 % 정도를 설명할 정도로 변동에 큰 기여를 하는 모드로 1년 및 반년 주기성이 공존하고 있다. 제 3모드의 시간변화곡선은 제 1과 2 모드에 비해 단주기성 변화가 심하나 진폭은 상당히 감소하였다.

스펙트럼 (그림 19)은 제 1 과 2의 모드는 0.5와 1 cpy에서 피크를 갖고 있으나 제 1 모드의 경우 0.5 cpy에서 에너지 수준이 1 cpy에 비해 1/40 정도에 지나지 않으나 제 2 모드의 경우 0.5와 1 cpy에서 스펙트럼 에너지가 비슷한 크기를 갖고 있다. 제 3 모드의 경우 1 cpy에서는 스펙트럼 피크가 없고 0.5 cpy에서 최대의 스펙트럼 피크가 나타난다.

남북 해상풍의 시간계수는 그림 20과 같다. 제 1 모드는 해면기압, 동서 해상풍과 같이 1년 주기성이 대단히 뚜렷하고 진폭의 경년변화도 비교적 크다. 제 2 모드는 동-서 해상풍과 같이 0.5와 1 cpy의 주기성을 보이지만 분산에 대한 기여도가 6 % 정도 밖에 되지 않아 진폭이 크지는

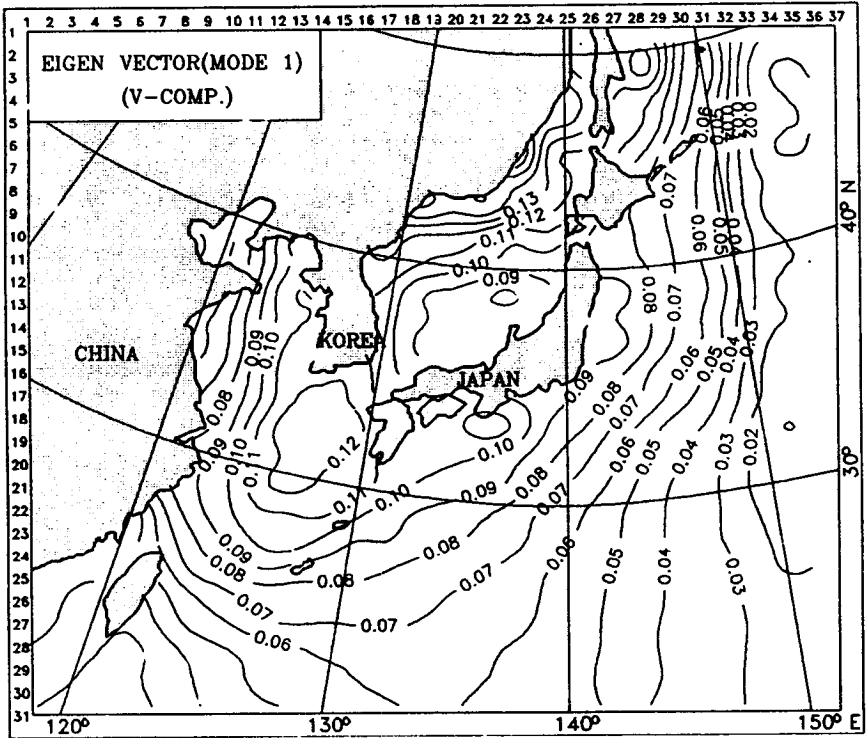


Fig. 15. The first mode of empirical orthogonal function of north-south surface wind, 1978-1987.

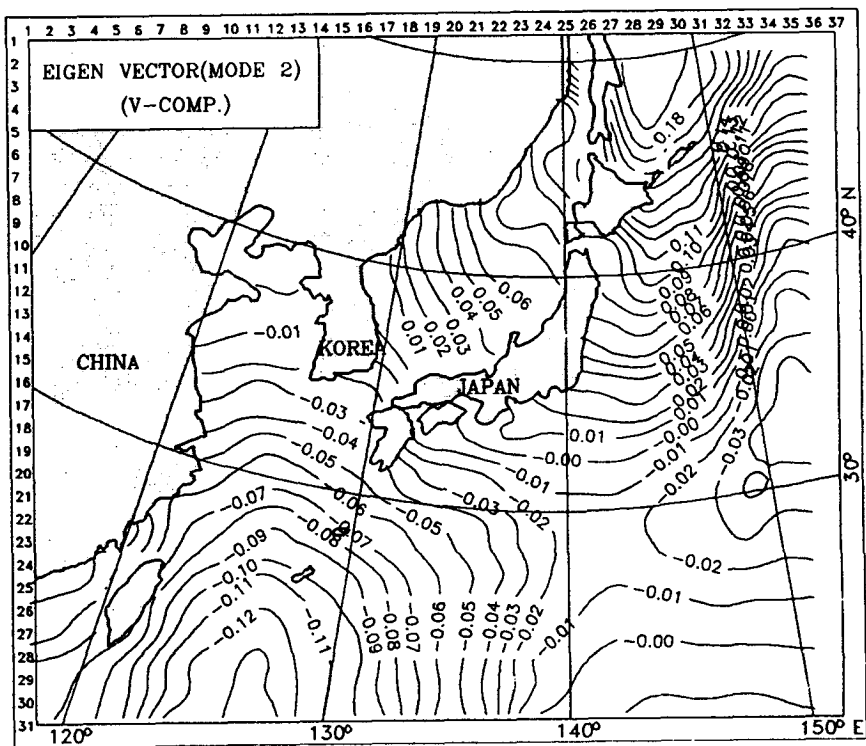


Fig. 16. The second mode of empirical orthogonal function of north-south surface wind, 1978-1987.

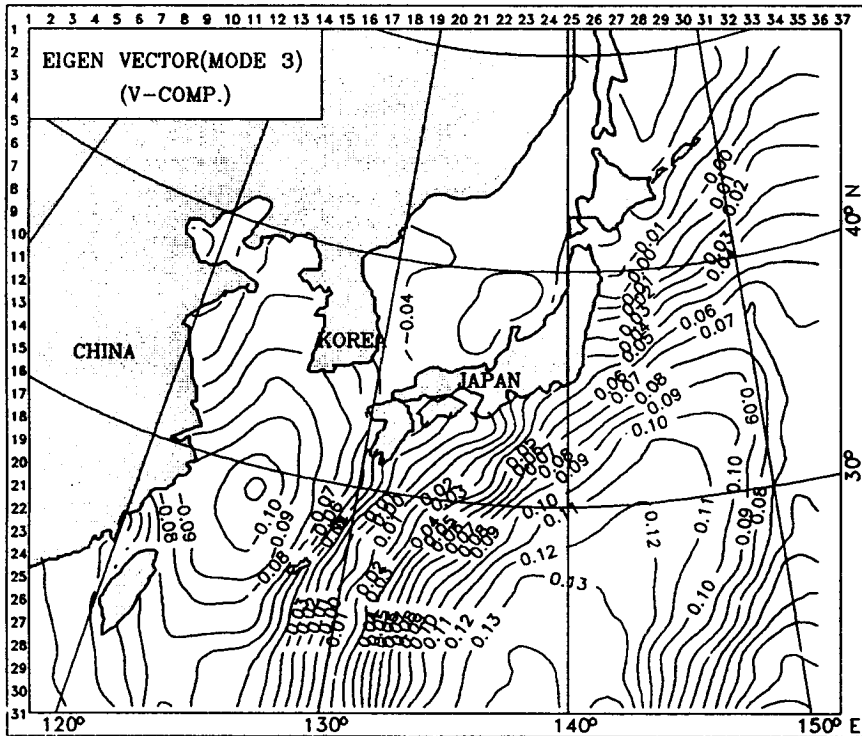


Fig. 17. The third mode of empirical orthogonal function of north-south surface wind, 1978-1987.



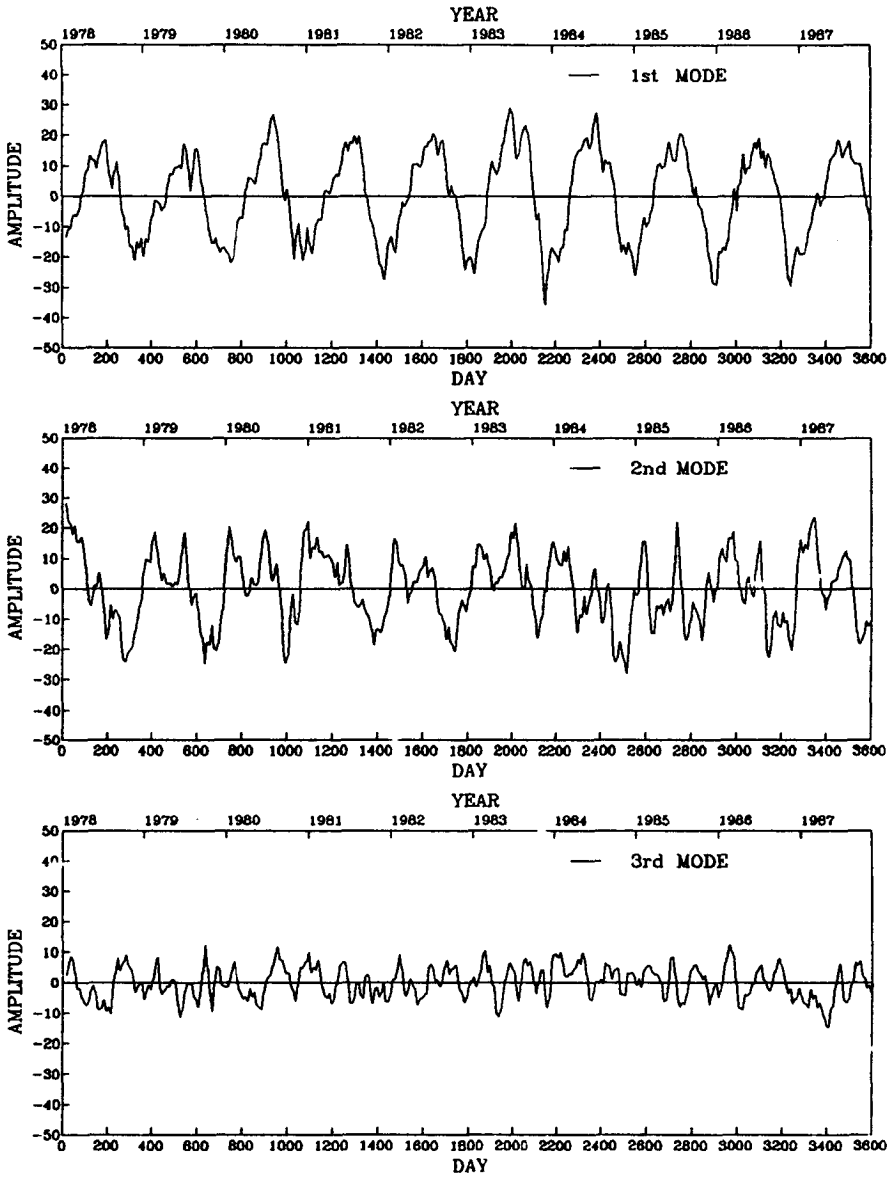


Fig. 18. Time coefficient of empirical orthogonal functions for the east-west surface wind, 1978-1987. (a) first mode, (b) second mode, and (c) third mode.

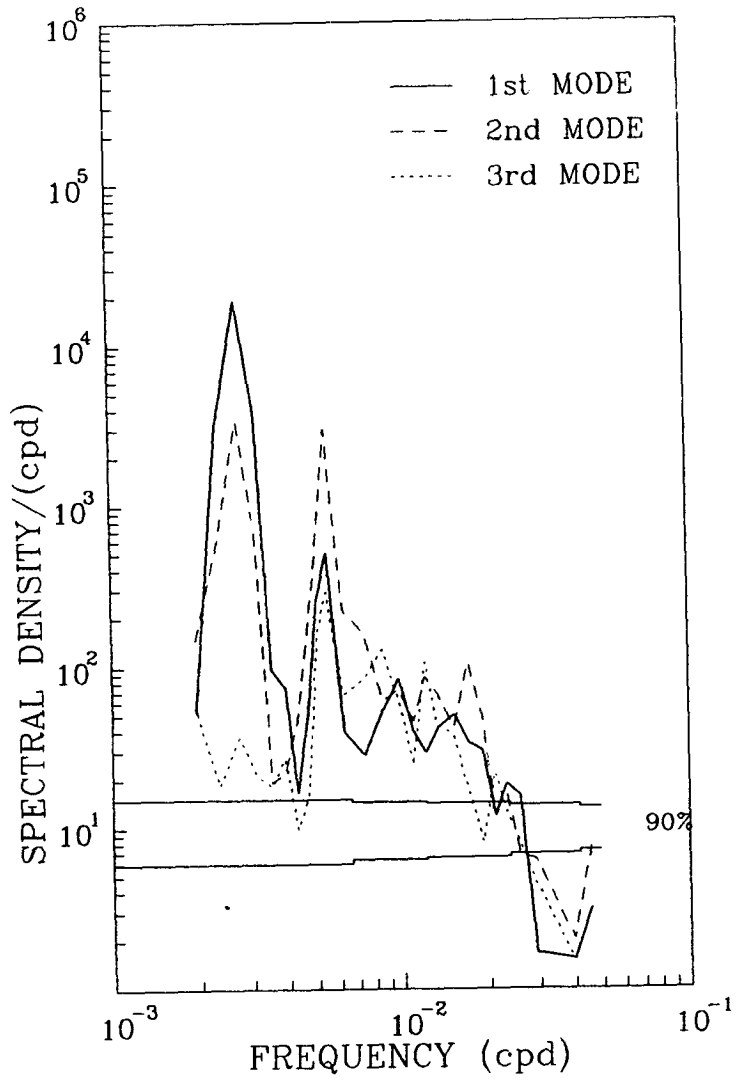


Fig. 19. Spectra of time coefficients of east-west surface wind, 1978-1987.

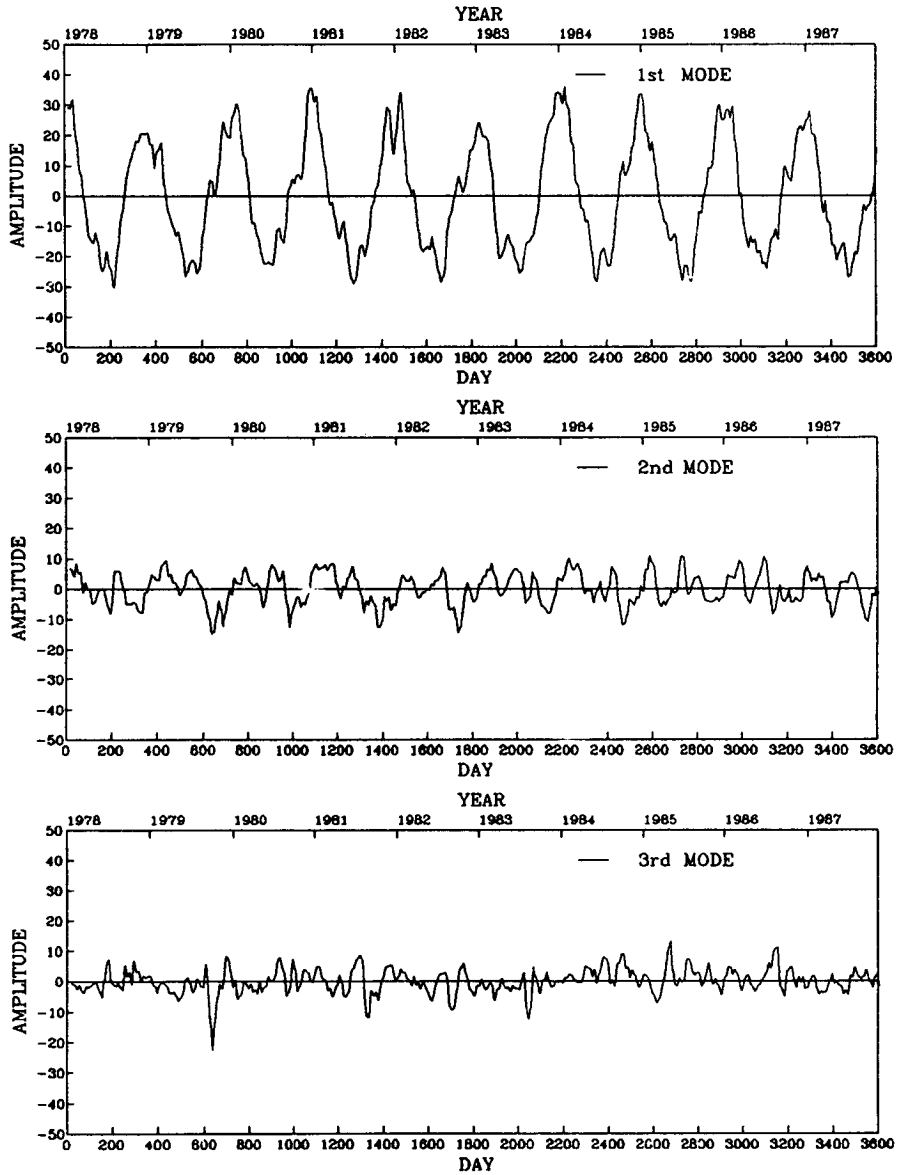


Fig. 20. Time coefficient of empirical orthogonal functions for the north-south surface wind, 1978-1987. (a) first mode, (b) second mode, and (c) third mode.

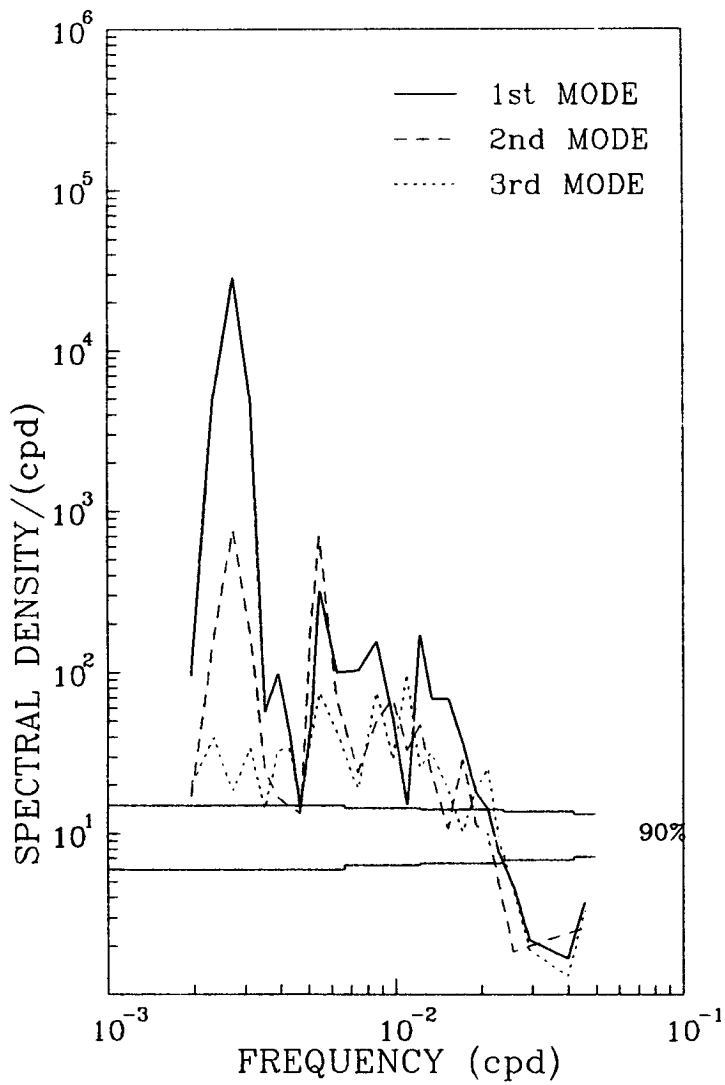


Fig. 21. Spectra of time coefficients of north-south surface wind, 1978-1987.

않다. 제 3 모드는 단주기 변화를 갖고 있으며 진폭도 대단히 불규칙적이다.

스펙트럼 (그림 21)은 시간변화곡선에서 추정된 바와 같이 제 1모드의 경우 1 cpy의 피크가 아주 우세하고 제 2 모드의 경우는 0.5와 1 cpy에서 스펙트럼 에너지 수준이 비슷한 피크를 보인다. 반면에 제 3 모드는 에너지가 큰 스펙트럼 피크는 없다.

## 제 5 장 결 론

본 보고서에서는 한국 주변해역 및 동중국해에서의 해면기압과 해상풍의 시공간 변동특성을 다루었다.

12시간 간격의 해면기압과 해상풍 자료를 공간적으로 평활화하고 29일 이동평균 (moving average)하여 10일 간격의 시계열자료로 재정리한 후에 경험적 직교함수와 스펙트럼 방법으로 시공간변동의 분포특성을 분석하였다.

평균해면기압의 최대치는 황해 북서부에서 나타나며 동해와 동중국해 쪽으로 갈수록 감소한다. 표준편차도 평균기압이 높은 지역에서 커서 발해만에서 최고치를 보이며 북서에서 남동으로 전파되는 듯한 모습을 띄운다. 해면기압의 표준편차는 황해에서 8-9.5 mb, 동해와 동중국해에서는 6-8 mb 정도이다. 분산의 90 %가 제 1 EOF 모드에 의해 설명되며 이 모드의 공간적 분포는 황해와 동중국해에서는 남서쪽으로 감소하나 동해와 일본 동부해역에서는 동쪽으로 갈수록 감소한다. 제 1 모드는 기압의 계절변동이 대단히 우세함을 보였다. 한편 제 2 모드는 1년 보다는 6개월 주기성이 우세한 분포특성을 갖지만 스펙트럼 에너지가 제 1 모드의 1년 주기에서 스펙트럼에너지에 비하면 수 %에 불과하다.

평균 동서 해상풍은 지역적 특성이 뚜렷하다. 동해와 황해의 위상이 동중국해의 위상과 반대이며 황해에서 바람이 가장 약한 것으로 나타난다. 시간변동의 크기는 전해역에서 2.4 m/s 이상으로 평균치보다 훨씬 크며 동해 남부와 북동부, 대만부근에서 최대변동을 보인다. 이러한 변동을 대표하는 분산은 세계 EOF 모드로 설명될 수 있는데 제 1 모드는 분산의 46.1 %, 제 2 모드는 30 % 정도를 반영한다. 제 1 모드는 대만해역과 흑가이도 해역에서 최대 변화가 발생하는 것을 보이고 있으며 주로 계절변화에 기인된 것이며 밝혀졌다. 한편, 계절변화의 진폭이 일정하지 않고 심하게 바뀐다는 사실은 경년변화 역시 중요하다는 것을 반영한다. 제 2 모드는 1년 주기성과 해면기압에서는 뚜렷이 드러나지 않은 반년 주기성이 공존한다. 반년 주기성은 봄과 가을에 한반도 주변을 통과하는

이동성 기압골에 의한 영향인 것으로 판단된다.

평균 남북해상풍은 한국 주변해역에서는 북풍계열이 우세하나 육지에서 멀리 떨어진 외해역에서는 남풍이 우세하다. 표준편차는 우리나라 주변 해역에서 2.0 m/s 이상으로 동서해상풍의 경우와 같이 시간변동이 매우 심하다. 특히 동중국해 동부와 동해 북부해역에서 3.0 m/s 이상으로 최고치를 보인다. 분산의 77 %를 설명하는 제 1 EOF 모드는 동중국해 북부와 동해북부에서 최대변동이 있고 변동은 계절변화를 하고 있음을 밝히고 있다. 제 2 모드는 0.5와 1.0 cpy에서 스펙트럼 피크를 보이나 제 1 모드의 1.0 cpy에 비해 대단히 작다.

한반도 주변해역에서 해면기압의 평균과 변동은 황해북서부에서 최대를 보이고 큰 계절변화를 보인다. 그러나 해상풍은 해면기압과 달리 해역별 분포특성을 갖는다. 또한 해상풍은 1년 주기의 탁월한 계절변동을 갖지만 반년 주기성도 뚜렷하게 보인다. 특히 동서해상풍의 경우 반년주기를 갖는 변동이 분산에 큰 기여를 하고 있음은 주목할 만하다.

## 참 고 문 헌

- 강인식, 김맹기, 심태보, 1994. 한반도주위 해양에서의 해면 열수지와 응력의 계절변화. 한국해양학회지, 29, 325-337.
- 나정열, 서장원, 한상규, 1992. 한국근해의 월평균 해상풍. 한국해양학회지, 27(1), 1-10.
- 이홍재, 나정열, 한상규, 서장원, 1994. 동중국해의 월평균 해상풍 계산. 한국해양연구소 연구보고서 BSPE 00367-683-1, 91pp.
- 이홍재, 방인권, 육상섭, 이천우, 1983. 한국 연안해역에서 기상자료 처리 및 분석. 한국해양연구소 연구보고서 BSPE 00053-74-1, 108pp.
- Gonella, J., 1972. A rotary-component method for analysing meteorological and oceanographic vector time series. Deep-Sea Res., 19, 833-846.