

이화여자대학교 교육대학원

1988학년도

석사학위 청구논문

제주도 지방의 해륙풍 특성에 관한 연구

과학교육전공(지학교육분야)

장 명 숙

1989

제주도 지방의 해륙풍 특성에 관한연구

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

1988년 11월

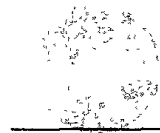
이화여자대학교 교육대학원
과학교육전공(지학교육분야)

장 명 숙

장 명숙의 석사학위 논문을 인준함.

지도교수

李 來 英



심사위원

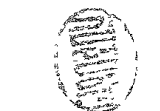
이 종 복



유 계 화



김 성 원



이화여자대학교 교육대학원

목 차

논문개요	vi
I. 서 론	1
II. 이론적 배경	3
A. 해륙풍	3
B. Defant 의 해륙풍 모델	5
C. 평균 벡터풍	7
III. 분석 및 고찰	8
A. 자료	8
B. 대상지역의 지형	8
C. 분석 방법.....	10
D. 해륙풍의 일변화 및 연변화	11
E. 해륙풍의 hodograph	29
F. 해풍출현시 기상요소의 변화	36
IV. 논 의	40
V. 결 론	42
참고문헌	44
영문초록	46

Table List

1.	Diurnal and monthly mean wind direction for all days at Cheju area	12
2.	Diurnal and monthly mean wind direction for all days at Sŏgwipo area	13
3.	Diurnal and monthly mean wind velocity ($\times 10^{-1}$ m/sec) for all days at Cheju area	14
4.	Diurnal and monthly mean wind velocity ($\times 10^{-1}$ m/sec) for all days at Sŏgwipo area	15
5.	Diurnal and monthly mean wind direction for days with the cloud amount less than 7.5 at Cheju area	16
6.	Diurnal and monthly mean wind direction for days with the cloud amount less than 7.5 at Sŏgwipo area	17
7.	Diurnal and monthly mean wind velocity ($\times 10^{-1}$ m/sec) for days with the cloud amount less than 7.5 at Cheju area	18
8.	Diurnal and monthly mean wind velocity ($\times 10^{-1}$ m/sec) for days with the cloud amount less than 7.5 at Sŏgwipo area	19
9.	Same as Table 5, but for mean vector wind direction	20
10.	Same as Table 6, but for mean vector wind direction	21
11.	Same as Table 7, but for mean vector wind velocity	22
12.	Same as Table 8, but for mean vector wind velocity	23

Figure List

1.	Theoretically calculated flow ellipse of the land and sea breezes (after Defant)	6
2.	Topographic map of Cheju-Do area	9
3.	Diurnal and montly change of sea breeze (SWW-N-NEE) and land breeze (NEE-S-SWW) hours at Cheju area	24
4.	Diurnal and monthly change of wind velocity (m/sec) for land and sea breeze at Cheju area, solid line; for sea breeze, dashed line; for land breeze	25
5.	Same as Fig. 3, but for Sŏgwipo area	26
6.	Same as Fig. 4, but for Sŏgwipo area	27
7.	Hodographs of resultant surface wind at January and March for Cheju. Time is KST, north is at the top, east is on the right	30
8.	Same as Fig. 7, but for May and July	31
9.	Same as Fig. 7, but for September and November	32
10.	Hodographs of resultant surface wind at January and March for Sŏgwipo. Time is KST, north is at the top, east is on the right	33
11.	Same as Fig. 10, but for May and July	34
12.	Same as Fig. 10, but for September and November	35
13.	Diurnal change of Meteorological elements, W.D.; denotes wind direction, R.H.; denotes relative humidity, T.; denotes air temperature p.; denotes air pressure, W.S.; denotes wind velocity, 8 May 1987 in Cheju area	37
14.	Same as Fig. 13, but for 1 September 1987 in Sŏgwipo area	38

논 문 개 요

1973-1977 년 동안 윤량이 7.5 미만의 날의 시각별 풍향, 풍속 자료로부터 평균 벡터풍을 계산하여 제주도(제주, 서귀포)지방의 해륙풍의 1차원적 특성을 조사하였다.

1) 섬의 북단에 위치한 제주에서는 SWW-N-NEE 계열의 바람이 해풍, NEE-S-SWW 계열의 바람이 육풍이며 섬의 남단에 위치한 서귀포에서는 E-S-W 계열의 바람이 해풍, W-N-E 계열의 바람이 육풍이다.

2) 이 지역에서 해풍은 오전 8 시에서 오전 10 시 사이에 시작되며 풍속은 2.5 m/sec 이하이며 육풍은 오후 6 시에서 오후 8 시 사이에 시작되며 풍속은 1.9 m/sec 이하로 해풍이 육풍보다 강하게 나타났다.

3) 해풍의 지속시간은 8 시간내지 11 시간이며 여름철이 겨울철에 비하여 길게 나타났다.

4) 풍향의 변화는 해풍이 육풍보다 규칙적이며 해륙풍의 특성은 한랭한 계절보다 온난한 계절에 보다 더 잘 나타났다.

I . 서 론

해안지방이나 큰 호수의 연안지방에서는 일반적으로 소규모의 수평 및 연직방향의 순환풍계가 형성되는데, 이러한 풍계는 지면과 수면위의 기온 차이로 생긴다. 지면과 수면의 온도 차이가 생기는 중요한 이유는 육지의 비열이 해수의 비열보다 작으며, 또한 육지에서는 태양 복사 에너지가 지표표를 가열한 후 그리 깊지않은 깊이까지 전도되나, 바람에 의해 교란된 해수는 난류 와동으로 꽤 깊은 층까지 열 에너지를 전달하기 때문에, 같은 양의 태양 복사 에너지를 받아도 육지가 해양보다 먼저 가열된다. 따라서 낮에는 육지의 기온이 해양보다 높아져 상승 기류가 생기며 바다로부터 해풍이 불게된다. 밤에는 육지의 복사 냉각이 빠른 속도로 진행되어 해양의 기온이 상대적으로 높아져 상승 기류가 발생하며 육지로 부터 육풍이 불게된다. 이와 같이 1일을 주기로 풍향이 전환되는 소규모의 순환 풍계를 해륙풍이라 한다. 이렇게 해륙풍은 태양 복사 에너지가 대기의 운동 에너지로 변환되는 원리의 한 현상으로 많은 학자들이 관심을 가지고 연구하여왔다.

시초의 해풍 관측은 Van Bemmelen (1922)이 Batavia에서 수행한 관측으로, 육상 관측소 한 두 곳에서 지상과 상층의 풍향 변화를 관측한 것이었다. Koschmider (1941)는 Danzig에서의 해륙풍을 기온, 상대습도, 바람 자료를 이용하여 조사하였다. Defant (1952)는 해륙풍의 일변화를 온위 (potential temperature)와 풍속을 이용한 국지풍 모델로 제시한 바 있다. Wexler (1946)는 해풍에 영향을 주는 경도풍, 지형, 대기 안정도등을 고려하여 해풍의 발달을 설명하였다. Marshall (1950)은 풍향의 변화, 풍속 습도의 변화, 기온의 변화등의 지상 기상 자료만을 이용하여 London에서의 해풍의 특성을 밝혔다. Staley (1957)는 Washington 근교에서의 매 시

각별 평균 벡터풍을 계산하고 hodograph를 작성하여 해풍의 특징을 밝혔다. 그 이외에 해륙풍에 관련된 연구는 Wallington(1959)의 해풍 전선의 구조 규명, Fisher(1960)의 해풍 연직 구조 규명, Simpson(1964)의 해풍 전선의 진행 속도 계산등이 있으며, Fosberg Schroeder(1966)등의 해풍의 구조 및 규모에 대한 3차원적 분석을 통한 연구와 관측적 연구가 진행되어 왔다.

일본에서의 해륙풍에 관하여서는 福田(1970)의 新潟에 대한 해륙풍의 특성 및 구조 규명, 吉野(1971)의 大阪灣에서의 연구, 佐橋(1978)의 綱山에서의 해풍 분류 연구, 根山(1979)의 愛媛縣 연안에서의 연구등 많은 연구들이 행해졌다.

우리나라에서의 해륙풍 연구는 이승만과 전종갑(1979, 1980)의 군산 지역에서 pibal 관측을 통한 연구를 시작으로, 이내영(1981, 1982, 1983)의 포항, 부산 및 강릉 연변에서의 해륙풍에 대한 수평적 특징을 조사한 연구, 최길수(1981)의 부산 지방에서의 해륙풍의 특성에 관한 연구, 권문선(1984)의 남서 연안 지역의 해륙풍의 특성에 관한 연구, 박신(1988)의 중서 연안 지역의 해륙풍의 특성에 관한 연구가 있어 한반도 연안 지역에서의 연구가 상당한 진전을 보이고 있다.

본 연구에서는 한반도 여러 지역에서의 연구처럼 Staley(1957)가 사용한 평균 벡터풍(mean vector wind)계산에 따라 제주, 서귀포 연안지방에서의 지상 기상 자료를 통한 해륙풍의 1차원적 특성을 알아보고자 한다.

본 논문의 결과는 장차 있어야 할 우리나라 전 연안에 대한 해륙풍 연구에 기초적 정보를 제공할 것으로 기대된다.

Ⅱ . 이론적 배경

A . 해륙풍

공기의 흐름을 바람이라 하는데 바람은 뉴우톤의 운동 방정식에 따른다. 이 운동 방정식을 직교 좌표계로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{du}{dt} = 2 \Omega (v \sin \phi - w \cos \phi) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{m} F_x \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{dv}{dt} = -2 \Omega u \sin \phi - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{m} F_y \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{dw}{dt} = 2 \Omega u \cos \phi - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{m} F_z - g \dots\dots\dots (3)$$

여기서 위식들의 왼쪽 항은 가속도의 x, y, z 성분이고 오른쪽 항의 첫째 항은 전향력, 둘째 항은 기압 경도력, 셋째 항은 마찰력의 x, y, z 성분이며 (3)식의 g 는 중력 가속도이다.

해륙풍도 기압 경도력, 전향력, 마찰력의 영향을 고려해야되나 비교적 규모가 작은 영역에서는 전향력이 무시된다.

해륙풍은 순환 (circulation) 풍계를 형성하고 있기 때문에 유체의 회전 경향의 척도인 순환,

$$C = \oint (u dx + v dy + w dz) \dots\dots\dots (4)$$

으로 나타낼 수 있다. 시간에 대한 순환의 변화율은

$$\frac{dC}{dt} = \oint \left[\frac{du}{dt} dx + \frac{dv}{dt} dy + \frac{dw}{dt} dz \right] \dots\dots\dots (5)$$

이므로 이식에 운동 방정식 (1),(2),(3)을 대입하여 정리하면 다음과 같다

$$\begin{aligned} \frac{dC}{dt} = & - \oint \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right] + \oint 2 \Omega [(v \sin \phi - w \cos \phi) dx - \\ & u \sin \phi dy + u \cos \phi dz] \\ & - \oint g dz + \oint \left[\frac{F_x}{m} dx + \frac{F_y}{m} dy + \frac{F_z}{m} dz \right] \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

이 식중 제 1 항은 $-\oint \frac{dp}{m}$ 이고 제 2 항은 전향력 항으로 적도면에 투영하여 표현하면 $\oint 2\Omega(v'dx' - u'dy')$ 로 쓸수 있는데, 수렴 또는 발산은 closed circuit 내의 면적 변화율과 같으므로 $\oint 2\Omega(v'dx' - u'dy') = -2\Omega \frac{dF}{dt}$ 로 쓸 수 있다. 여기서 F는 순환 유체의 면적이다. 제 3 항은 $-\oint g dz = -\oint d(gz) = 0$ 이 되어 결국 (6)식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{dc}{dt} = -\oint \frac{dp}{\rho} - 2\Omega \frac{dF}{dt} + \oint \left[\frac{Fx}{m} dx + \frac{Fy}{m} dy + \frac{Fz}{m} dz \right] \dots\dots\dots (7)$$

이를 V.Bjerknes의 순환 정리(circulation theorem)라 한다. 이 식의 제 1 항은 경압 효과(barolinic effect), 제 2 항은 발산효과(divergence effect), tipping effect를 포함하는 코리올리 효과를 의미하고 제 3 항은 마찰구실을 하는 기타 힘들의 효과를 나타낸다.

특히 해륙풍 순환을 일으키는 주요인은 경압효과로 Solenoid로 표시되는 질량 분포이다. 따라서 해륙풍을 정의하는데 제 1 항 이외의 항은 무시하는 경우가 많아 여기에서도 이항은 무시한다.

해안 지방에서 낮 동안에는 해양 대기의 평균 밀도($\bar{\rho}_s$)가 육지대기의 평균 밀도($\bar{\rho}_L$)보다 크게되어,

$$\frac{dc}{dt} = \oint \frac{dp}{\rho} = -dp \left(\frac{1}{\bar{\rho}_L} - \frac{1}{\bar{\rho}_s} \right) < 0 \dots\dots\dots (8)$$

이므로 고기압성 순환이 발달하고 이에 따라 찬 공기가 해양으로 부터 육지로 들어오게 되는데 이것이 해풍이다.

밤에는 모든 것이 반전되어 육지로 부터 해상으로 육풍이 불게되며 이 두 바람이 1일을 주기로하여 부는 해륙풍이다.

지표에 의한 마찰의 영향과 고도 상승에 따른 기온 감률을 고려하면 운동 방정식 (1)~(3)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = fv - \sigma u - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \dots\dots\dots (9)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -fu - \sigma v \dots\dots\dots (10)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\sigma w - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \gamma \theta \dots\dots\dots (11)$$

여기서 f 는 전향력, σ 는 마찰계수, γ 는 기온감률, θ 는 온위이다.

이 식들에 연속 방정식과 열전도 방정식

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (12)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \beta w = K \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) \dots\dots\dots (13)$$

을 고려하여 일반 해를 구할 수 있다. 여기서 β 는 온위의 수직 구배, K 는 난류에 의한 열 전도 계수이다.

이 방정식의 해를 다음의 형태로 가정한다.

$$\left. \begin{aligned} u &= u(z) e^{i\Omega t} \cos \ell x \\ v &= v(z) e^{i\Omega t} \cos \ell x \\ w &= w(z) e^{i\Omega t} \sin \ell x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

여기서 $\ell = \frac{2\pi}{L}$ 이며 L 은 유체순환 세포의 길이이다. 이식은 (9)~(11) 식에 대입하여

$$\left. \begin{aligned} u &= Ae^{+az} + Be^{-bz} \\ v &= Ce^{+az} + De^{-bz} \\ w &= Ee^{+az} + Fe^{-bz} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

를 구하고 이로 부터 다음과 같은 해를 구할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{\gamma M}{(a^2 - b^2) \ell} [ae^{+az} + be^{-bz}] e^{i\Omega t} \cos \ell x \\ v &= \frac{f}{i\Omega + \sigma} u \\ w &= -\frac{\gamma M}{b^2 - a^2} [e^{+az} - e^{-bz}] e^{i\Omega t} \sin \ell x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (16)$$

여기서 M 은 온도 변화의 폭이다. (16)식중 해륙풍의 수평 분포만을 고려할 경우 u, v 의 값만을 계산하면 되는데, 이를 시각에 따라 계산하여 그린 것이 Fig. 1이다. 이 해륙풍 모델은 Defant (1952)가 위도 $45^\circ N$ 에서 $f = 1.03 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$, $\rho = 2.5 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ 를 대입하여 도식한 이론적 모델로 낮 동안의 해풍과 밤 동안의 육풍이 뚜렷하고, 풍향, 풍속의 분포가 거의 타원형을 보이고 있다.

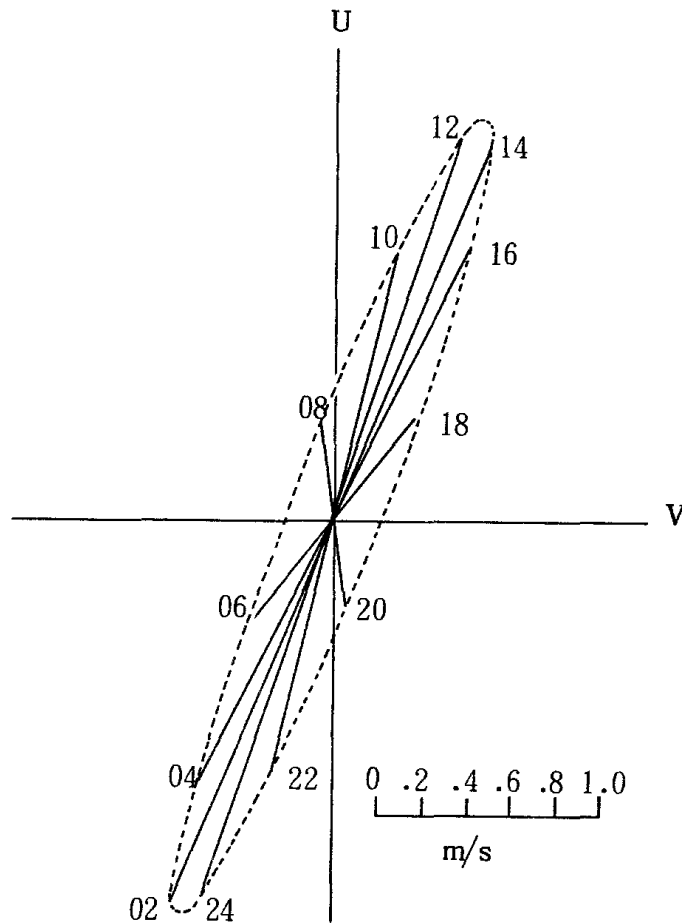


Fig.1. Theoretically calculated flow ellipse of the land and sea breeze (after Defant)

C. 평균 벡터풍

해륙풍은 작은 규모의 바람인 국지풍에 속하므로 일반 경도풍의 변화 또는 난류(turbulence)에 의해 변형되기 때문에 풍향, 풍속의 관측 값을 국지풍의 이론에 적용시키기는 어렵다. 그러므로 Staley(1957)는 운량이 적은 날을 택하여 평균 벡터풍을 계산하여 해륙풍의 특성을 연구하였다.

평균 벡터풍(\bar{V})은 $\bar{V} = i\bar{u} + j\bar{v}$ 로 계산되는데 여기서 i 는 동쪽 방향의 단위 벡터이고 j 는 북쪽 방향의 단위 벡터이며 \bar{u} , \bar{v} 는 각각 한달 동안의 평균 서풍과 평균 남풍을 의미한다.

이 연구에서는 한달 동안의 매 시각의 평균 서풍과 평균 남풍을 구하고 이것을 다시 5년 평균하여 평균 벡터풍을 계산하였다.

Ⅲ. 분석 및 고찰

A. 자 료

1973년부터 1977년까지 5년동안 국립 기상대 산하의 제주 측후소($33^{\circ}31'N$, $126^{\circ}32'E$, $22.0\ m$)와 서귀포 측후소($33^{\circ}14'N$, $126^{\circ}34'E$, $51.9\ m$)에서 관측한 매 시각별 풍향, 풍속 자동 기록 자료가 주로 사용되었다. 보조 자료에는 상술한 기간 동안의 일운량, 강수일, 일출, 일몰 시각등이 사용되었고, 특정일에 대한 해풍의 분석을 위하여 매 시별 풍향과 풍속, 지상의 기온, 기압, 상대습도등이 사용되었다. 이들 전 자료중 운량이 7.5 이상인 날과 일교차가 작았던 날, 그리고 강수 현상이 있었던 날의 풍향, 풍속 자료는 평균 벡터풍을 계산할 때 제외하였다.

B. 대상지역의 지형

제주 연안 지방과 서귀포 연안 지방의 풍계(wind system)에 영향을 줄 수 있는 지형요소는 Fig.2에 나타나 있다.

제주 측후소는 제주시 건입동 1123-13번지에 위치하고 있으며 위도 $33^{\circ}31'N$, 경도 $126^{\circ}32'E$, 해발고도 $22\ m$ 이고 풍향, 풍속기는 이 고도로 부터 $11.5\ m$ 지상에 설치되어 있다. 제주 측후소는 바로 해안지방에 인접하여 있으며 남쪽으로 약 $20\ km$ 떨어진 곳에 한라산($1950\ m$)이 위치하고 있어 제주 측후소의 남쪽으로는 경사가 급한 지형이 펼쳐져 있다고 볼 수 있다. 관측소를 중심으로 북쪽을 0° 로 했을 때 대체로 255° 방향에서 시계침 방향으로 75° 까지 즉 SWW-N-NEE 방향에 바다가 있고 육지는 75° 에서 시계침 방향으로 255° 까지, 즉 NEE-S-SWW 방향에 자리잡고 있다.

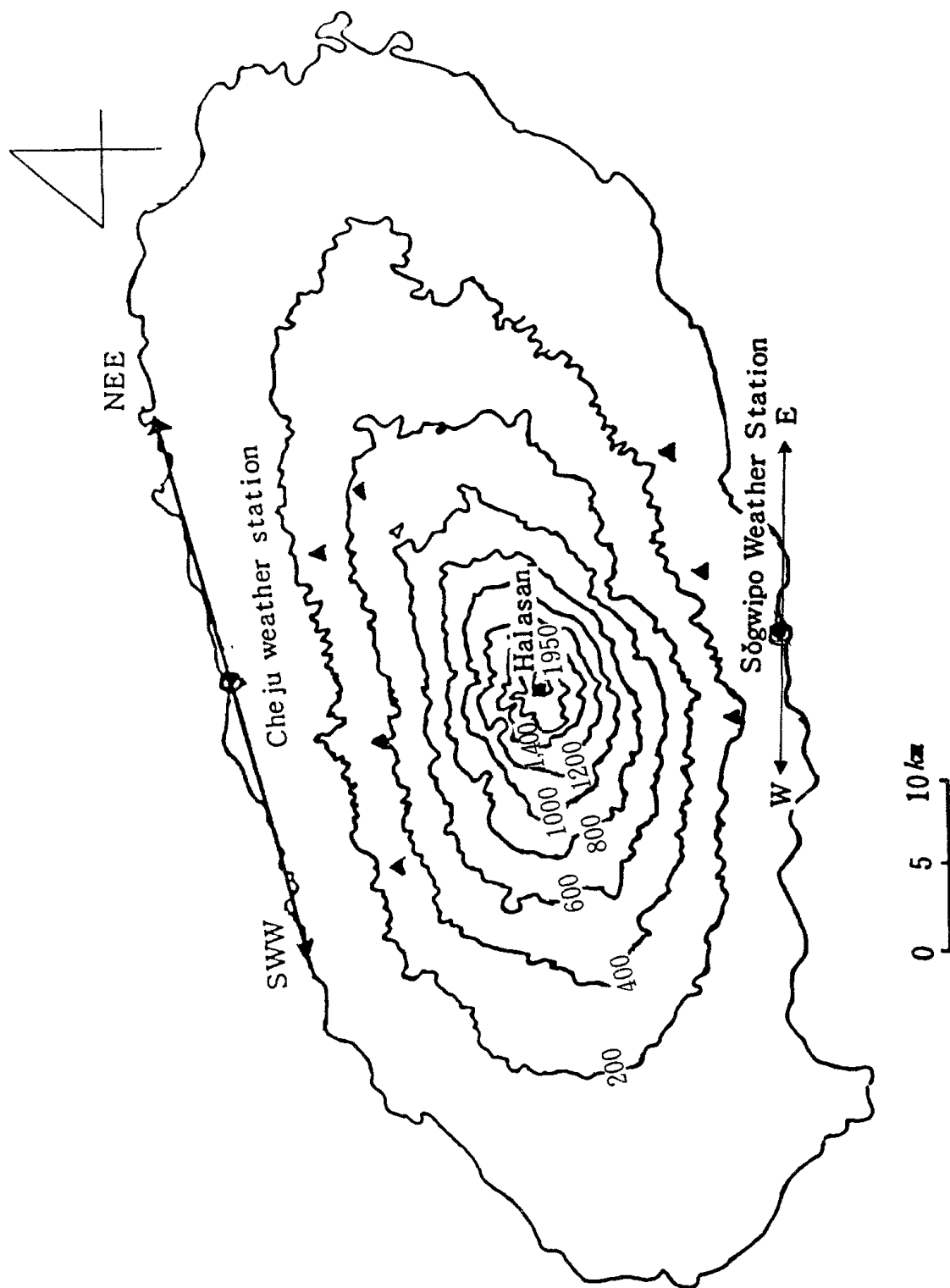


Fig. 2. Topographic map of Cheju-Do area.

서귀포 측후소는 서귀포시 정방동 538번지에 위치하고 있으며 위도 $33^{\circ}14'N$, 경도 $126^{\circ}34'E$ 해발고도 51.9 m 이고 풍향 풍속기는 이 고도로 부터 10.0 m 지상에 설치되어 있다. 서귀포 측후소도 해안에 인접하여 있으며 북쪽으로 약 15 km 떨어진 곳에 한라산 정상(1950 m)이 위치하고 있어 서귀포 측후소의 북쪽으로도 경사가 급한 지형이 있다. 관측소를 중심으로 대체로 90° 방향에서 시계침 방향으로 270° 까지, 즉 E-S-W 방향에 바다가 위치하며 육지는 270° 에서 시계침 방향으로 90° 까지 즉 W-N-E 방향에 자리 잡고 있다.

이로서 제주도 중심에 위치한 한라산은 지형적 여건상 제주와 서귀포 지역의 해륙풍 변화에 영향을 미칠 수 있는 한 요인으로 보인다.

C. 분석 방법

우선 조사대상 지역에서의 매 시각의 풍향, 풍속을 자동기록지로 부터 읽어 5년간의 평균값을 구하였다. 이 5년간의 평균 풍속에는 최대, 최소값이 나타나지 않았고 일반풍, 즉 해륙풍을 제외한 바람이 포함되어 있을 것으로 생각된다.

2 차적 작업으로 국지풍, 특히 해륙풍 생성 이론에 부합하도록 하기 위하여 상술한 전 자료중 운량이 7.5 이하인 날과 강수 현상이 없는 날에 대한 자료만을 추출하여 같은 계산을 하였다. 그러나 이 계산 결과로는 해륙풍의 특성을 설명하기 곤란하다고 판단되어 Staley (1957)가 시행한 방법에 따라 평균 벡터풍을 월별, 시각별로 계산하였고, 평균 벡터풍을 이용하여 제주, 서귀포 지방에서의 hodograph를 월별로 작성하여 각 지역에서 해륙풍의 특징과 계절에 따른 변화를 알아 보았으며 특정일의 기상자료를 이용하여 해풍이 출현할 때의 기온, 기압, 상대습도, 풍향, 풍속의 값이 어떻게 변화 하는가를 분석하였다.

D. 해륙풍의 일변화 및 연변화

Table 1 과 Table 2 는 제주 및 서귀포 지방에서의 5 년간 매 시각별 및 월별 평균 풍향을 각도로 표시한 것이고 Table 3 과 Table 4 는 같은 기간 동안 같은 지방에서의 풍속을 0.1 m/sec 의 단위로 계산한 결과이다. 매 시각의 풍향과 풍속은 풍향, 풍속 자동 기록지에서 읽어 5 년간 평균을 하였으나 이 계산 결과는 해륙풍 이외의 모든 일반풍이 포함되어 있어 각 지역에서의 평균 바람을 의미하는 것이외에는 다른 의미를 찾을 수 없으며 더욱이 해륙풍의 특징을 설명하기에는 부적합하였다. 그리하여 비교적 일조 시간이 길고 일교차가 컸던 날의 자료만을 택하면 해륙풍 생성 이론에 부합되리라 생각되어 운량 7.5 이하이고 강수가 없었던 날의 자료만을 취하여 계산한 결과가 Table 5 ~ Table 8 까지이다.

Table 5 ~ Table 8 에 의하면 여름철에는 비교적 육풍과 해풍의 구분이 가능했으나 겨울철에는 육풍과 해풍의 한계가 불분명하게 나타났는데 그 이유는 해륙풍과 같이 국지성이 강한 바람은 일반류의 영향을 받아 심하게 변형되었기 때문이라는 점을 들 수 있다. 따라서 분석방법에서 서술한 바 대로 Staley (1957)의 방법에 따라 Table 5 ~ Table 8 의 자료를 평균 벡터풍으로 계산하였는데 그 결과가 Table 9 ~ Table 12 까지이다.

이 계산 결과에 의거하여 해풍과 육풍의 일 변화 및 연 변화를 알아본 것이 Fig. 3 ~ Fig. 6 이다. 이에 의하면 제주에서는 전년을 통해 NEE - S - SWW 방향의 바람이 SWW - N - NEE 방향의 바람으로 바뀌고 다시 NEE - S - SWW 의 바람으로 전환되고 있음이 뚜렷하였으며, 서귀포에서는 W - N - E 방향의 바람이 E - S - W 방향의 바람으로 바뀌고 다시 W - N - E 방향의 바람으로 전환되고 있음이 뚜렷한데 이는 Fig. 2 를 참조할 때 제

Table. 1. Diurnal and monthly mean wind direction for all days at cheju area

Hr. M.		(unit : degree)																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
J		323	324	331	327	327	327	327	330	333	336	336	337	332	330	330	329	331	330	328	328	327	329	328	327	
F		331	331	334	337	333	342	339	334	340	341	343	341	341	339	337	337	340	340	336	335	337	334	328	331	
M		309	310	315	314	324	328	334	324	340	347	349	346	336	338	333	331	332	328	323	314	314	312	309	312	
A		195	182	191	202	192	190	175	208	350	8	6	360	360	356	352	350	346	339	294	244	219	201	204	193	
M		170	165	176	166	159	155	146	123	61	43	38	28	20	2	1	5	352	327	258	210	193	174	178	169	
J		157	152	160	153	135	129	115	60	46	44	41	34	30	25	25	22	18	24	34	60	106	133	134	149	
J		149	143	142	143	147	144	151	112	82	64	47	53	45	38	37	34	38	48	75	94	115	134	146	153	
A		143	149	151	151	149	148	147	115	69	50	44	43	38	41	42	49	55	67	78	106	131	138	141	142	
S		131	135	138	135	130	127	125	104	69	52	47	44	39	37	36	39	40	38	73	104	122	129	128	126	
O		107	125	119	134	118	111	104	86	58	45	35	33	32	31	27	28	28	33	58	95	87	90	107	89	
N		351	351	356	349	356	360	359	349	357	1	360	356	354	352	348	347	346	342	348	352	354	347	344	345	
D		334	331	331	323	324	324	331	328	326	328	333	336	333	333	329	327	327	329	378	334	332	329	330	333	

Table 2. Diurnal and monthly mean wind direction for all days at Sôgwipo area

		(unit : degree)																							
Hr. M.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
J	329	326	329	332	329	332	334	336	335	324	286	213	222	215	226	236	254	307	331	333	336	336	336	337	
F	335	334	334	337	343	345	343	345	341	294	202	209	202	181	215	219	132	14	12	360	349	346	354	348	
M	346	352	352	347	351	357	360	354	27	116	170	178	180	183	185	186	190	260	321	341	349	353	350	346	
A	340	338	342	335	346	356	7	16	39	152	164	157	145	161	159	162	152	66	3	6	2	358	355	349	
M	10	10	10	5	12	14	33	52	86	107	115	129	128	133	128	127	111	78	56	26	15	12	12	17	
J	12	11	15	12	10	21	43	48	80	95	112	114	122	128	129	118	108	96	59	41	33	31	18	17	
J	358	351	354	358	4	1	37	72	121	143	143	143	153	152	150	152	142	134	87	51	25	19	11	5	
A	12	7	10	7	10	11	19	41	82	106	109	116	119	113	108	108	95	78	59	41	29	26	27	21	
S	12	11	15	12	9	13	15	25	47	65	78	84	88	90	86	79	63	46	27	19	17	14	15	15	
O	3	2	6	5	7	7	12	22	40	55	66	73	79	79	84	71	60	41	19	13	12	6	6	6	
N	351	349	346	351	354	357	355	1	11	37	38	75	191	125	261	262	332	347	348	354	351	347	346	345	
D	337	335	336	331	331	329	335	331	329	319	301	272	277	286	289	301	304	327	327	338	342	338	338	338	

Table 3. Diurnal and monthly mean wind velocity ($\times 10^{-1} m/sec$) for all days at Cheju area

Hr. M.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
J	29	29	31	31	32	32	30	32	33	32	36	38	37	38	38	40	40	37	33	32	31	31	29	29
F	22	23	20	22	22	22	19	17	19	24	25	29	32	32	35	34	34	33	26	24	24	25	24	22
M	11	11	11	11	12	10	8	7	12	18	21	23	24	23	23	25	23	20	16	14	11	11	12	12
A	11	10	11	10	10	10	10	3	2	4	7	11	12	13	14	15	11	9	3	1	5	7	8	8
M	11	11	10	11	11	12	10	7	7	10	13	15	14	14	12	10	8	6	2	4	6	9	10	10
J	7	7	7	8	8	9	7	8	14	16	20	19	19	17	16	16	15	11	4	3	4	7	8	7
J	10	12	12	13	12	11	10	8	11	11	13	14	14	13	12	12	11	8	7	5	6	9	8	9
A	17	16	16	18	16	16	14	8	9	16	18	18	19	19	19	19	18	16	12	10	12	14	16	15
S	12	13	12	13	14	13	14	12	15	20	23	23	25	25	23	22	19	15	8	8	10	12	12	12
O	5	6	5	6	7	8	8	8	14	22	24	26	26	25	24	23	20	13	5	4	4	6	6	6
N	17	16	14	17	18	17	15	16	20	26	28	31	28	29	28	28	26	22	18	19	18	19	18	18
D	26	25	26	25	28	25	26	26	28	30	34	38	39	39	40	39	39	37	33	28	27	29	26	27

Table 4. Diurnal and monthly mean wind velocity ($\times 10^{-1}$ m/sec) for all days at Sögwipo area

Hr. M.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
J	19	20	19	20	19	18	19	19	14	7	3	4	7	7	6	5	4	5	12	15	18	19	21	20
F	15	14	15	16	16	16	15	14	10	2	6	8	10	6	4	4	3	5	12	13	13	15	15	16
M	16	16	16	16	15	16	17	13	5	6	10	11	12	13	10	10	6	2	4	11	12	13	15	15
A	15	16	15	15	15	14	12	8	4	5	7	8	7	6	7	5	5	2	6	7	9	11	13	11
M	15	15	16	17	16	15	12	10	11	11	13	13	15	15	13	12	10	7	6	8	11	11	15	14
J	12	12	12	12	12	13	11	13	12	12	12	13	13	14	13	11	10	10	10	12	13	11	13	13
J	6	6	5	5	5	5	4	4	6	9	9	11	12	12	11	9	8	5	4	4	6	5	5	5
A	13	13	11	13	13	14	13	11	10	13	15	14	14	13	13	12	12	12	12	12	15	16	15	15
S	23	24	26	24	25	26	24	24	20	19	19	20	19	17	17	15	15	16	18	21	23	23	24	23
O	25	24	24	25	25	26	25	24	22	20	19	19	13	14	13	14	17	15	19	21	22	23	23	24
N	25	25	24	25	22	24	22	22	14	9	4	2	1	2	3	2	7	15	19	21	20	22	23	22
D	20	20	20	22	21	22	22	22	16	9	9	8	9	7	10	10	11	16	17	17	18	18	20	21

Table 5. Diurnal and monthly mean wind direction for days with the cloud amount less than 7.5 at Cheju area

		(unit : degree)																							
Hr. M.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
J	304	304	308	311	299	308	283	268	280	310	333	328	323	323	329	322	322	317	283	262	258	241	252	250	
F	290	301	302	306	304	297	260	245	272	314	332	329	336	332	327	333	336	332	302	278	257	260	237	233	
M	294	293	293	297	299	298	301	296	321	331	335	332	325	330	324	322	321	313	300	278	263	252	244	252	
A	227	219	224	230	232	231	220	269	308	321	325	340	337	333	339	339	336	319	273	251	228	215	207	209	
M	180	173	167	169	164	157	153	111	30	19	23	22	14	6	11	10	356	329	300	259	216	178	177	161	
J	177	169	169	167	151	146	133	60	37	28	29	28	28	27	27	30	29	33	30	47	107	125	122	144	
J	157	153	153	156	168	164	167	100	45	31	26	20	16	8	7	7	5	1	18	356	162	165	179	179	
A	157	165	162	160	164	159	159	123	54	38	35	35	35	34	32	37	40	53	66	114	149	156	154	156	
S	149	160	155	151	154	156	156	131	54	41	34	32	33	33	32	32	36	31	64	133	142	142	143	143	
O	10	151	146	165	148	133	124	99	47	43	33	28	31	30	29	31	36	40	113	153	147	147	153	148	
N	36	46	62	50	45	57	56	48	47	30	21	14	11	7	10	4	1	356	57	73	111	120	158	148	
D	297	290	289	269	278	263	244	232	258	301	345	343	345	345	341	332	324	311	253	215	202	205	194	202	

Table 6. Diurnal and monthly mean wind direction for days with the cloud amount less than 7.5 at Sögwipo area

Hr. M.	(unit : degree)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
J	328	322	327	331	328	334	333	339	328	296	215	193	198	191	188	180	170	205	337	339	342	340	342	341
F	314	321	316	330	341	346	339	343	332	200	196	192	185	166	183	188	163	140	353	348	338	340	340	350
M	325	336	331	327	334	340	344	320	223	178	193	187	183	186	191	190	193	205	276	341	349	1	3	344
A	313	323	323	312	323	331	333	304	220	202	198	191	187	194	193	188	193	176	300	328	342	344	340	333
M	357	360	4	350	357	359	22	65	112	133	135	148	143	147	146	155	148	127	27	360	355	357	359	4
J	352	354	360	358	357	12	42	53	116	131	149	131	140	142	140	133	130	125	78	37	22	20	17	15
J	343	342	341	337	334	338	353	66	135	154	162	161	168	173	171	177	174	176	167	6	359	346	337	355
A	358	356	360	358	360	4	13	35	78	109	114	123	121	118	111	113	105	85	60	38	24	23	22	20
S	356	357	2	359	353	359	1	16	61	84	104	107	107	109	111	110	91	60	23	13	10	6	7	6
O	2	360	7	2	3	4	6	19	45	67	79	92	103	98	105	89	67	47	17	12	11	7	7	4
N	350	347	343	349	350	354	353	2	21	50	108	142	181	165	213	192	334	357	353	357	356	350	351	349
D	341	344	341	339	340	338	339	340	339	5	273	196	197	193	230	263	289	336	334	349	353	350	350	345

Table 7. Diurnal and monthly mean wind velocity ($\times 10^{-1}$ m/sec) for days with the cloud amount less than 7.5 at Cheju area

Hr. M.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
J	15	13	12	11	10	9	6	7	7	12	21	25	26	27	27	26	21	18	9	10	10	11	8	10
F	16	16	13	13	12	8	7	7	3	12	18	21	27	30	33	28	26	23	14	11	8	8	7	8
M	21	20	19	18	18	15	12	13	18	23	26	26	27	25	24	24	21	20	15	12	9	8	8	8
A	17	15	17	18	16	13	13	12	12	16	18	20	22	22	23	24	18	15	7	8	9	9	11	11
M	13	12	11	12	13	13	9	6	12	16	22	22	24	24	22	20	15	11	5	5	6	9	10	10
J	12	12	13	12	11	12	6	10	18	20	26	27	27	25	25	26	23	18	8	6	4	7	9	10
J	11	12	12	16	16	13	10	4	11	15	21	20	21	17	17	16	13	10	7	4	1	7	8	10
A	16	15	16	19	18	18	15	6	11	18	21	22	21	19	20	20	18	15	8	8	10	14	17	17
S	11	12	13	15	14	16	15	9	13	21	27	30	32	31	30	28	22	16	8	8	14	15	15	17
O	2	1	1	6	6	6	8	6	15	26	30	31	32	31	28	25	20	14	5	10	10	13	14	15
N	7	6	8	9	10	10	7	7	11	19	24	27	24	22	20	19	15	8	3	5	4	4	5	5
D	7	5	7	7	8	7	7	7	6	9	11	18	22	24	24	24	20	19	13	8	10	8	7	5

Table 8. Diurnal and monthly mean wind velocity ($\times 10^{-1}$ m/sec) for days with the cloud amount less than 7.5 at Sógwipo area

Hr. M.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
J	19	19	19	20	20	19	20	20	12	4	5	11	14	15	13	10	6	2	8	12	15	17	17	20
F	15	16	16	17	19	18	17	16	7	8	17	19	22	18	18	16	14	2	10	14	17	17	16	17
M	15	16	14	15	14	14	14	10	5	13	21	21	22	22	20	20	15	7	3	12	14	15	16	14
A	17	18	18	17	19	16	11	6	8	16	19	21	19	19	19	15	14	3	4	7	10	13	14	14
M	16	17	17	17	17	15	10	5	10	12	17	17	18	19	16	14	12	5	2	8	13	13	15	14
J	14	14	14	14	15	13	9	8	10	11	16	17	19	19	18	17	15	13	8	11	16	14	17	17
J	12	11	11	10	10	12	5	3	9	15	16	19	21	19	19	19	16	11	6	1	6	7	7	9
A	17	17	16	19	19	20	17	14	12	16	18	19	18	19	18	15	15	14	13	15	21	23	23	23
S	24	23	26	24	25	27	25	21	17	17	20	23	23	23	20	18	14	11	12	19	21	23	24	24
O	27	27	27	26	26	28	26	23	20	20	20	20	15	17	17	16	17	14	21	23	25	26	26	27
N	26	24	23	26	23	25	23	22	13	7	2	5	5	5	4	5	5	15	21	21	23	24	24	24
D	23	23	21	23	24	24	25	22	14	5	2	6	9	6	2	4	6	14	18	19	19	21	21	21

Table 9. Same as table 5. but for mean vector wind direction

Hr. M.		(unit : degree)																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
J	100	36	308	292	335	308	327	339	334	285	184	167	157	156	166	155	163	159	346	358	357	357	346	356	356
F	50	69	16	8	354	332	343	343	323	307	196	176	177	167	157	171	179	177	37	5	348	348	342	345	345
M	70	61	53	48	52	1	327	343	210	192	190	185	169	184	174	169	180	154	356	352	340	337	337	337	337
A	15	3	12	20	18	8	358	54	172	173	173	186	180	176	181	180	186	173	316	346	346	339	343	343	344
M	9	4	360	1	356	350	352	330	206	193	200	198	189	180	185	183	163	128	85	61	37	10	9	357	357
J	21	16	15	15	7	2	17	282	201	190	197	196	196	193	193	193	198	195	194	117	68	28	9	358	6
J	356	351	351	350	360	359	6	349	217	202	199	192	187	176	175	174	168	158	165	117	46	10	18	18	15
A	7	17	12	5	10	5	11	50	187	192	193	194	193	189	188	194	194	202	171	15	20	11	2	2	4
S	18	22	16	9	13	10	12	19	190	197	195	195	198	197	195	194	192	173	110	25	4	2	2	358	358
O	65	50	50	31	26	22	9	20	210	215	202	196	201	199	196	196	198	188	26	14	11	4	6	6	1
N	10	5	335	324	306	313	347	353	292	212	196	186	180	171	174	162	144	81	17	359	5	6	12	12	9
D	355	331	5	7	22	6	359	349	20	106	188	180	181	181	175	167	156	137	10	351	349	346	338	338	334

Table 10. Same as table 6, but for mean vector wind direction

Hr. M.		(unit : degree)																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
J		155	144	153	160	154	166	163	173	170	337	345	349	356	352	349	341	332	330	260	199	189	180	183	177
F		136	146	139	158	171	178	170	176	191	354	2	360	356	338	352	355	334	312	201	185	169	171	172	184
M		159	170	167	161	170	176	181	162	352	341	2	356	353	356	359	359	358	351	268	180	186	196	197	181
A		151	161	161	150	160	173	186	197	352	360	360	355	349	356	355	345	348	297	233	201	197	191	185	178
M		160	164	169	153	161	160	178	329	322	337	332	344	339	341	343	353	350	360	68	141	153	155	160	165
J		143	145	150	149	150	159	173	176	340	350	354	335	342	344	343	337	338	338	303	181	177	171	174	171
J		164	164	163	160	158	160	172	208	300	330	340	339	348	354	351	358	355	358	344	174	176	167	161	174
A		133	132	132	139	141	147	149	163	334	335	334	340	340	335	332	341	335	324	300	181	177	179	178	175
S		139	138	151	143	137	149	148	161	303	321	327	325	325	326	332	335	336	351	69	146	150	150	154	153
O		146	143	155	143	145	152	150	171	287	309	317	325	342	335	339	334	322	344	151	151	157	152	152	149
N		165	157	147	163	164	174	171	195	286	324	347	346	356	352	2	359	4	213	171	183	180	164	167	162
D		165	172	166	160	162	158	160	163	172	323	346	350	354	349	346	356	5	132	144	191	201	193	188	176

Table 11. Same as table 7. but for mean vector wind velocity

Hr. M.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
J	2	1	1	2	3	4	8	9	8	1	11	14	14	15	16	14	9	6	6	9	10	13	11	11
F	6	4	3	2	3	7	11	13	12	2	7	8	15	17	20	16	14	11	3	8	12	11	14	15
M	6	6	5	4	3	4	5	5	4	10	13	12	12	11	9	8	6	3	3	9	13	14	15	14
A	14	14	15	15	13	10	12	4	5	10	13	17	18	17	19	20	14	9	3	5	8	10	13	12
M	16	15	14	15	16	15	11	6	8	12	18	18	20	21	19	17	12	10	7	8	10	12	13	13
J	19	18	19	18	15	15	10	1	10	13	18	19	19	17	17	18	15	10	4	3	7	9	10	13
J	12	13	13	17	18	15	12	3	7	12	18	17	18	15	15	14	11	9	5	4	4	9	11	12
A	14	14	15	17	17	16	13	4	7	15	18	19	18	17	18	17	15	11	4	3	8	12	14	15
S	13	15	15	16	16	17	17	9	5	14	21	24	25	25	24	22	16	11	3	9	14	14	15	16
O	9	10	10	13	12	10	10	7	5	16	21	23	23	22	20	16	11	5	8	15	14	17	18	18
N	3	5	6	4	3	5	5	4	4	9	14	17	15	13	11	11	8	5	8	7	10	11	14	13
D	2	4	3	5	4	6	8	9	7	3	13	16	18	18	18	13	12	5	7	12	14	12	13	10

Table 12. Same as table 8. but for mean vector wind velocity

Hr. M.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
J	10	10	10	11	11	10	12	13	3	6	11	18	20	22	20	18	15	10	3	5	7	9	9	12
F	10	11	11	12	15	14	13	12	3	11	20	22	25	22	21	19	18	7	7	11	13	13	12	14
M	13	15	12	13	12	13	13	8	4	14	21	21	22	22	20	20	15	7	1	11	14	15	16	13
A	13	15	15	13	16	14	10	3	6	15	18	21	19	19	19	15	14	7	3	6	10	13	13	12
M	14	15	14	15	15	13	6	1	9	12	17	18	19	20	17	16	13	6	3	6	11	11	13	11
J	14	14	13	13	14	11	4	2	7	10	16	15	18	18	17	15	13	11	2	6	12	11	14	14
J	15	14	14	13	13	15	8	5	7	12	13	16	18	16	16	16	13	8	3	4	9	10	10	12
A	13	14	12	15	15	15	10	4	6	14	17	19	18	18	16	14	13	8	2	4	11	13	14	14
S	15	14	15	15	17	17	15	8	8	14	20	24	24	24	22	20	14	7	4	7	10	12	13	13
O	13	14	12	13	12	14	11	6	6	13	16	20	20	20	22	17	12	7	5	8	9	11	11	13
N	12	10	10	12	9	11	9	8	6	12	15	18	19	19	17	19	19	1	7	7	7	9	10	10
D	10	10	8	10	11	11	12	9	1	9	12	18	21	18	14	13	10	1	5	7	7	7	9	8

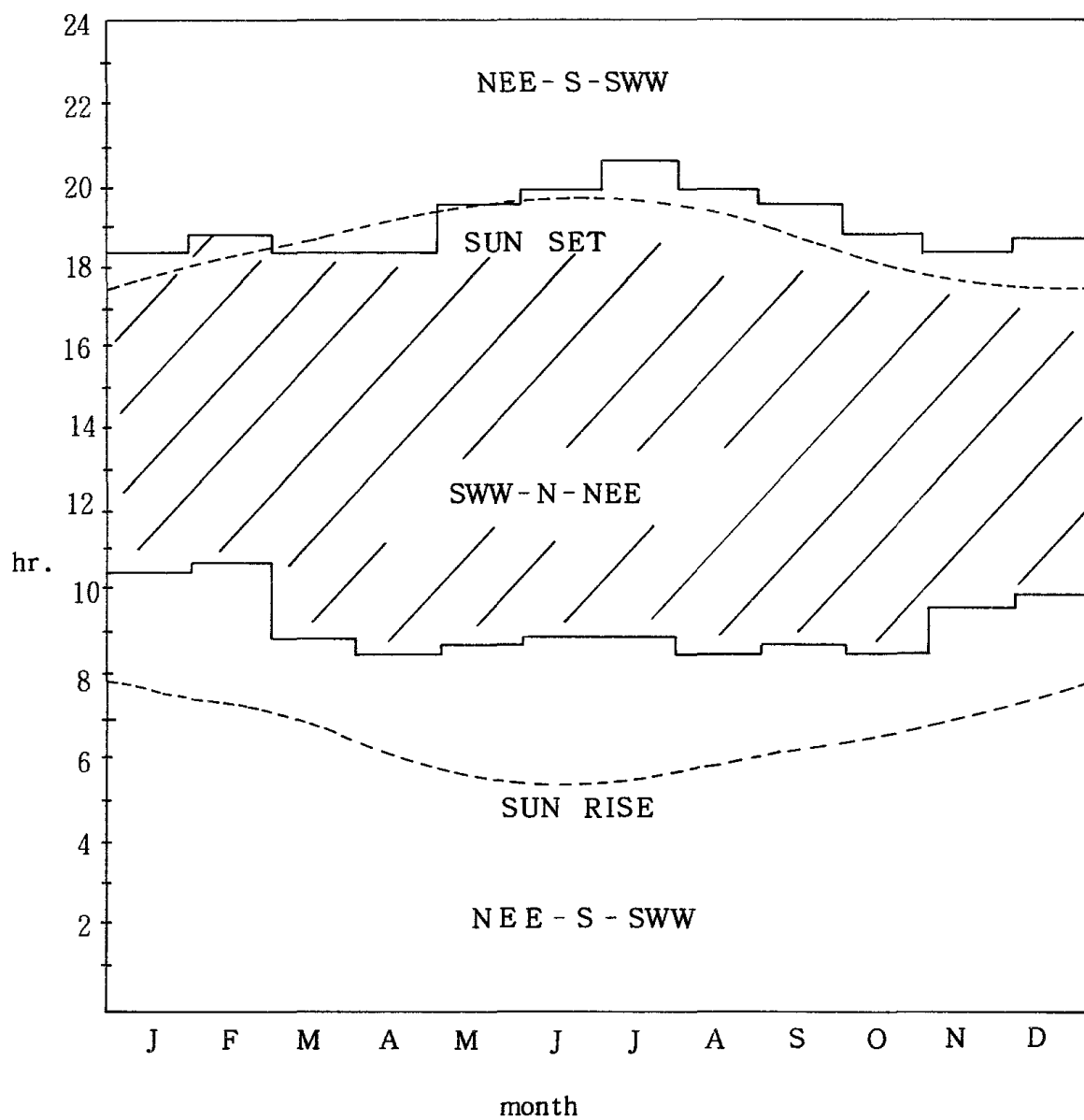


Fig.3 Diurnal and monthly Change of Sea breeze (SWW-N-NEE) and land breeze (NEE-S-SWW) hours at Cheju area.

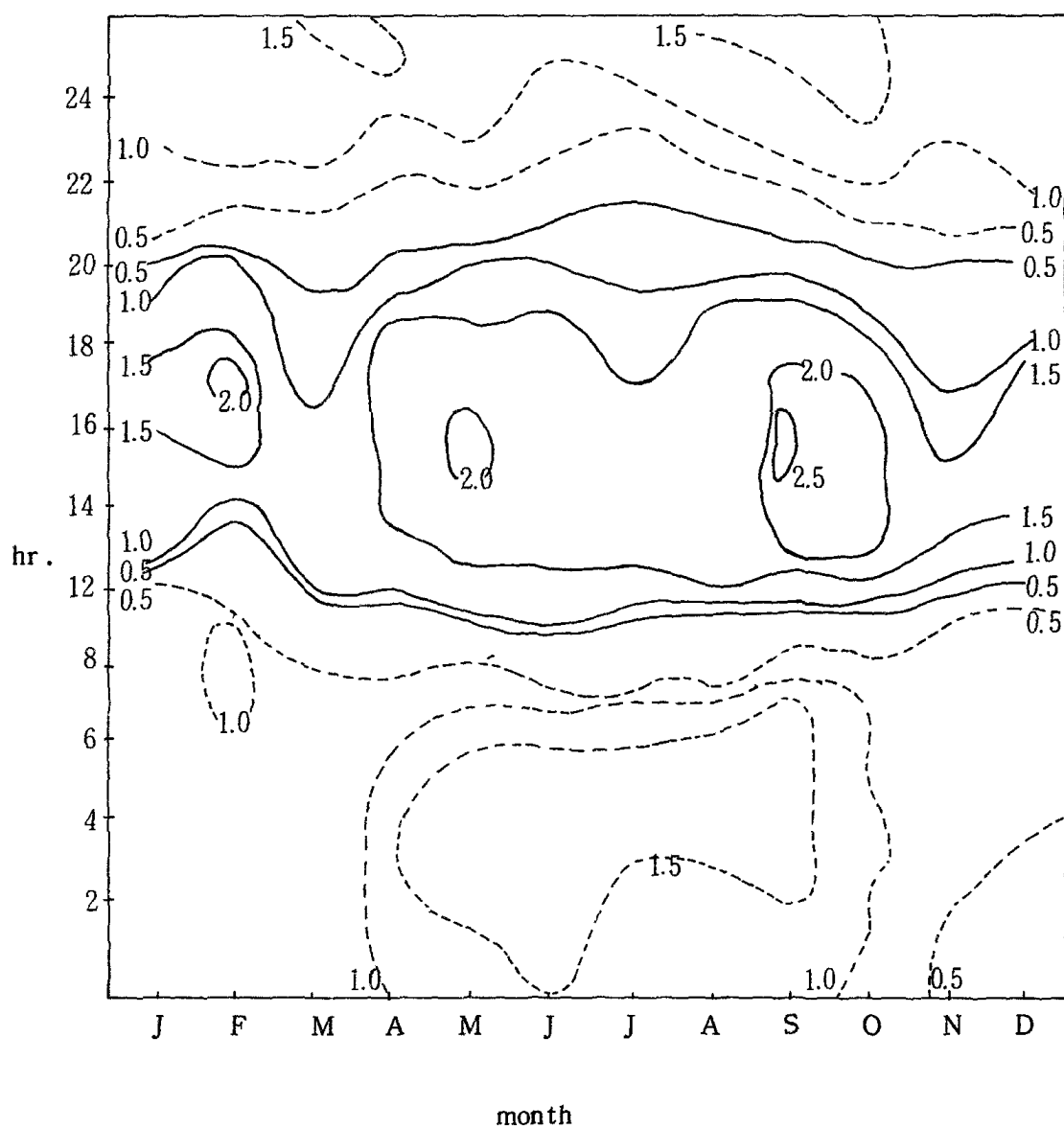


Fig.4 Diurnal and monthly change of wind velocity (m/sec) for land and sea breezes at Cheju area, solid line ; for sea breeze, dashed line : for land breeze.

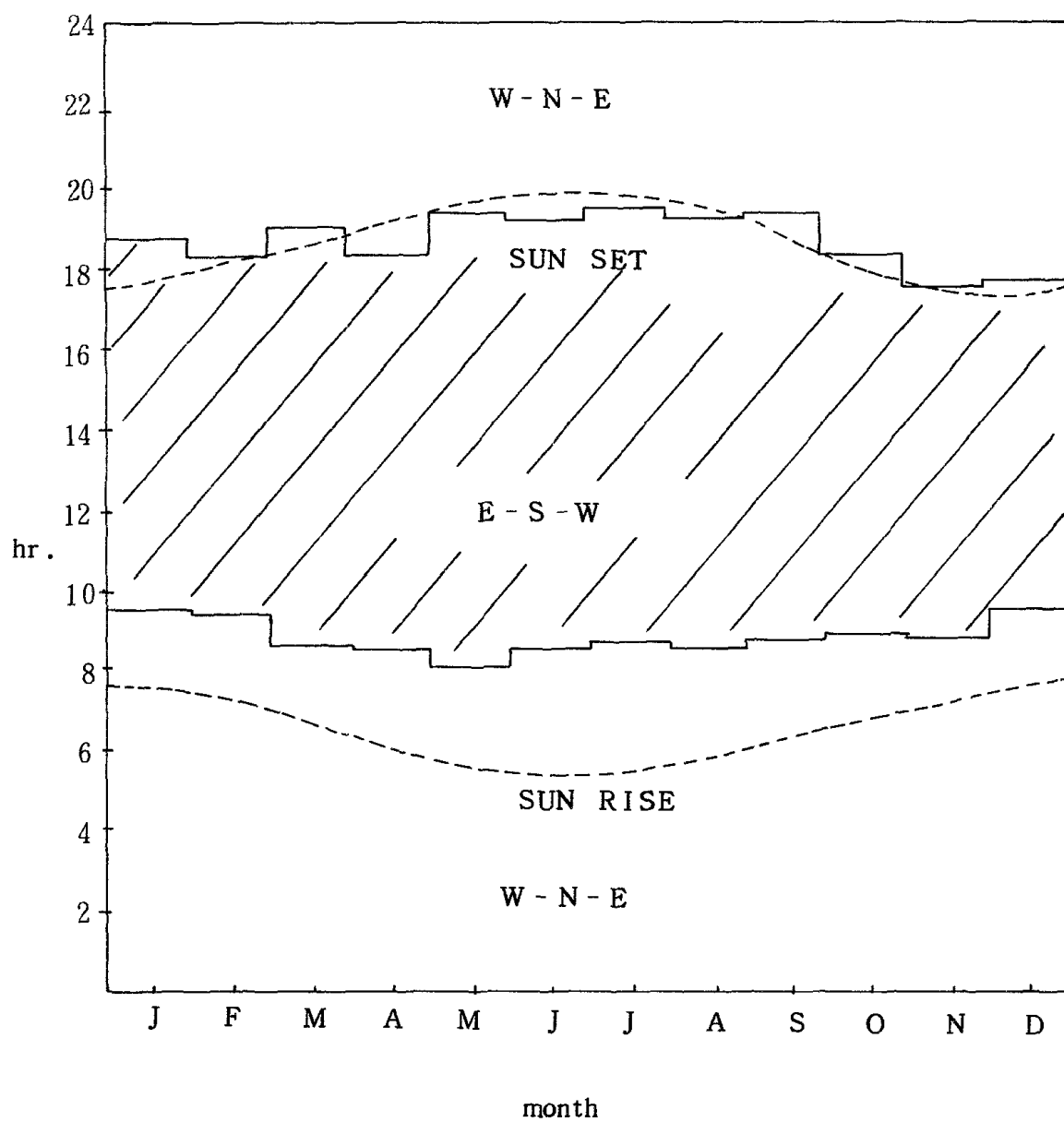


Fig.5 Diurnal and monthly change of sea breeze (E-S-W) and land breeze (W-N-E) hours at Sŏgwipo area.

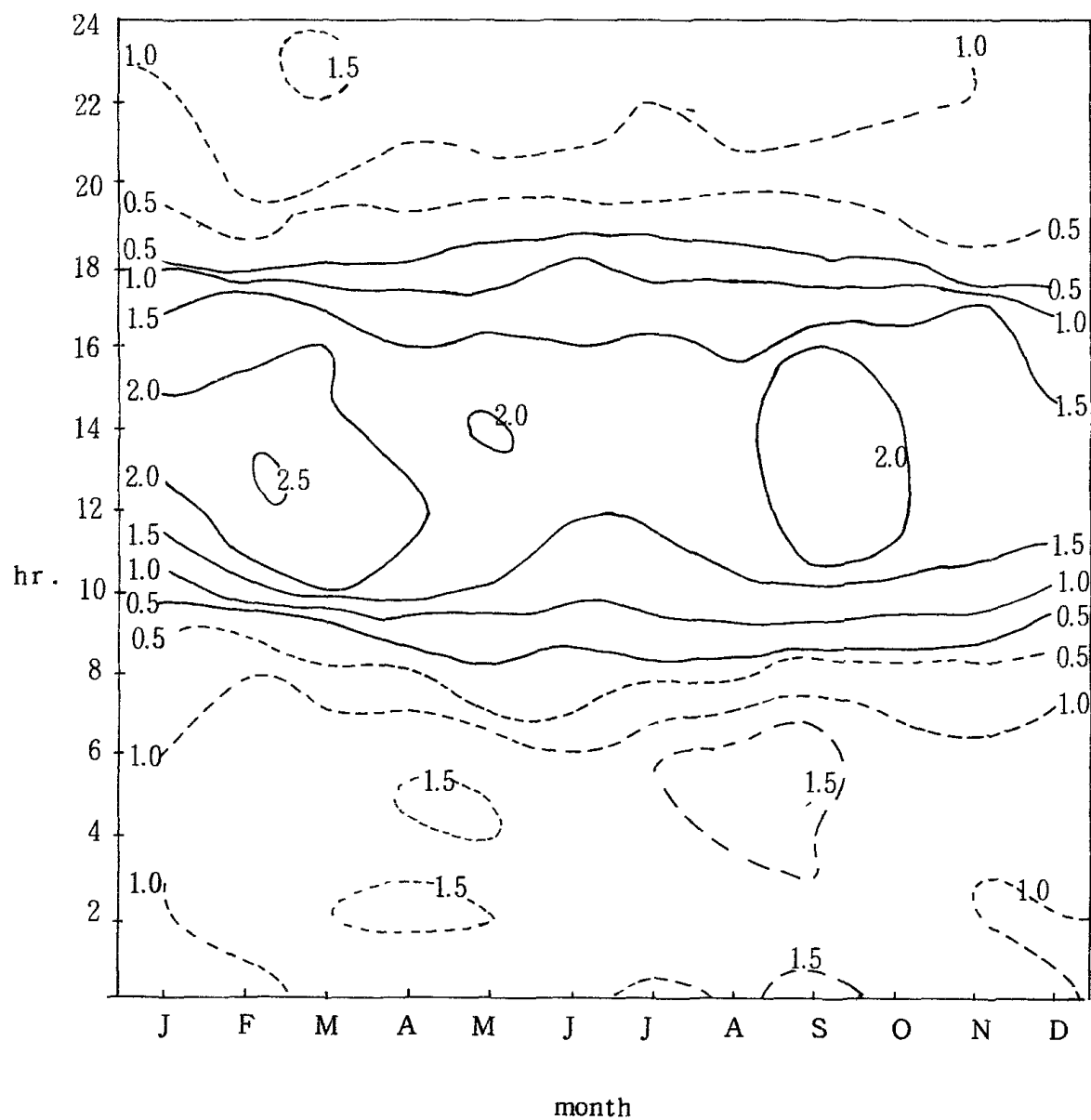


Fig.6 Diurnal and monthly change of wind velocity (m/sec) for land and sea breezes at Sogwipo area, solid line ; for sea breeze, dashed line : for land breeze.

주에서는 NEE-S-SWW 계의 바람을 육풍, SWW-N-NEE 계의 바람을 해풍으로 간주하고, 서귀포에서는 W-N-E 계의 바람을 육풍 E-S-W 계의 바람을 해풍으로 간주하여도 무방함을 뒷받침 해주고 있다.

Fig.3에 의하면 제주에서의 해풍은 여름철에는 오전 8시~9시 사이에 시작되어 오후 7시~8시 사이에 육풍으로 전환되며, 겨울철에는 오전 9시~10시 사이에 시작되어 오후 6시~7시 사이에 육풍으로 전환된다. 또한 Fig.5에 의하면 서귀포에서의 해풍은 여름철에 오전 8시~9시 사이에 시작되어 오후 7시경 육풍으로 전환되며 겨울철에는 오전 9시~10시 사이에 시작되어 오후 6시경에 육풍으로 전환된다. 이로서 해풍은 여름철에 일찍 시작되어 늦게까지 지속되며 겨울철에 늦게 시작되어 일찍 육풍으로 전환되므로 해풍의 지속시간은 여름철에 길고 겨울철에 짧은 것으로 나타난다. 해풍의 최대 지속시간은 11시간 정도로 제주에서 6, 7, 8월에, 서귀포에서 5, 6, 7, 8, 9월에 나타나고 있으며, 최소 지속시간은 8시간 정도로 제주에서 1, 2월에, 서귀포에서 12월에 나타나고 있다.

또한 해풍, 육풍의 전환시각을 일출, 일몰시각과 관련하여 볼 때 제주 서귀포 모두 일출 2~3시간 후에 해풍이 시작되며 일몰과 거의 같은 시각에 육풍으로 전환되는 것을 볼 수 있다.

Fig.4와 Fig.6은 각각 제주와 서귀포에서의 해풍 및 육풍의 풍속을 월별, 시각별로 알아 본 것이다. 이들 그림을 Fig.3과 Fig.5와 비교하여 보면 제주와 서귀포 두 경우 모두 isotach pattern이 풍향 분포역과 거의 일치함을 볼 수 있는데 이런 사실은 해풍과 육풍의 한계 구분이 합리적으로 되었음을 뒷받침하는 것으로 볼 수 있다. 즉 해풍이 시작되

면서 풍속은 점점 증가하여 오후 1시~2시경에 최대치를 보이다 점점 감소하여 육풍으로 전환된 후 육풍의 풍속이 다시 점차적으로 증가하여 자정~오전 5시 사이에 최대치를 보이다 감소하는 pattern으로 해풍과 육풍의 순환체계를 잘 보여주고 있다. 해풍의 평균 최대풍속은 2.5 m/sec 이나 대체로 $0.5\sim 2.0\text{ m/sec}$ 의 분포를 보이고, 육풍의 평균 최대풍속은 1.7 m/sec 이상이나 대체로 $0.5\sim 1.5\text{ m/sec}$ 의 분포를 보여 전반적으로 육풍보다는 해풍이 우세함을 보이고 있다.

E. 해륙풍의 hodograph

앞에서 기술한 바 있는 해륙풍의 이론적 모델과 비교하기 위하여 제주 및 서귀포의 해륙풍의 hodograph를 작성한 것이 Fig.7 ~ Fig.12이다. 본 논문에서는 편의상 1, 3, 5, 7, 9, 11월의 것만 게재하기로 하겠다.

이에 의하면 제주지방에서 해륙풍은 낮 동안은 반 시계침 방향의 해풍이 관측되며 밤 동안은 방향전환이 불규칙한 육풍이 불고 있다. 밤 동안의 육풍의 방향전환이 불규칙한 것은 제주 남쪽으로 해발고도 $1,950\text{ m}$ 인 한라산이 위치하는 지형 효과에 의한 것으로 해석된다. 그러나 풍향 전환이 낮 동안에 반시계침 방향으로 역전하는 pattern은 이론적 모델로부터 벗어난 것이다.

서귀포의 경우 5, 7, 9, 11월은 해륙풍이 시계침 방향으로 오전 6시 이후 계속되는데 오후 9시 이후부터 불규칙해지는 것을 제외하고는 지형의 효과를 감안하면 대체로 Defant의 모델에 따른다고 볼 수 있다. 그러나 1월과 3월은 비교적 불규칙한 풍향의 전환이 나타나고 있어 이론적 모델에 이탈된 Pattern을 보인다.

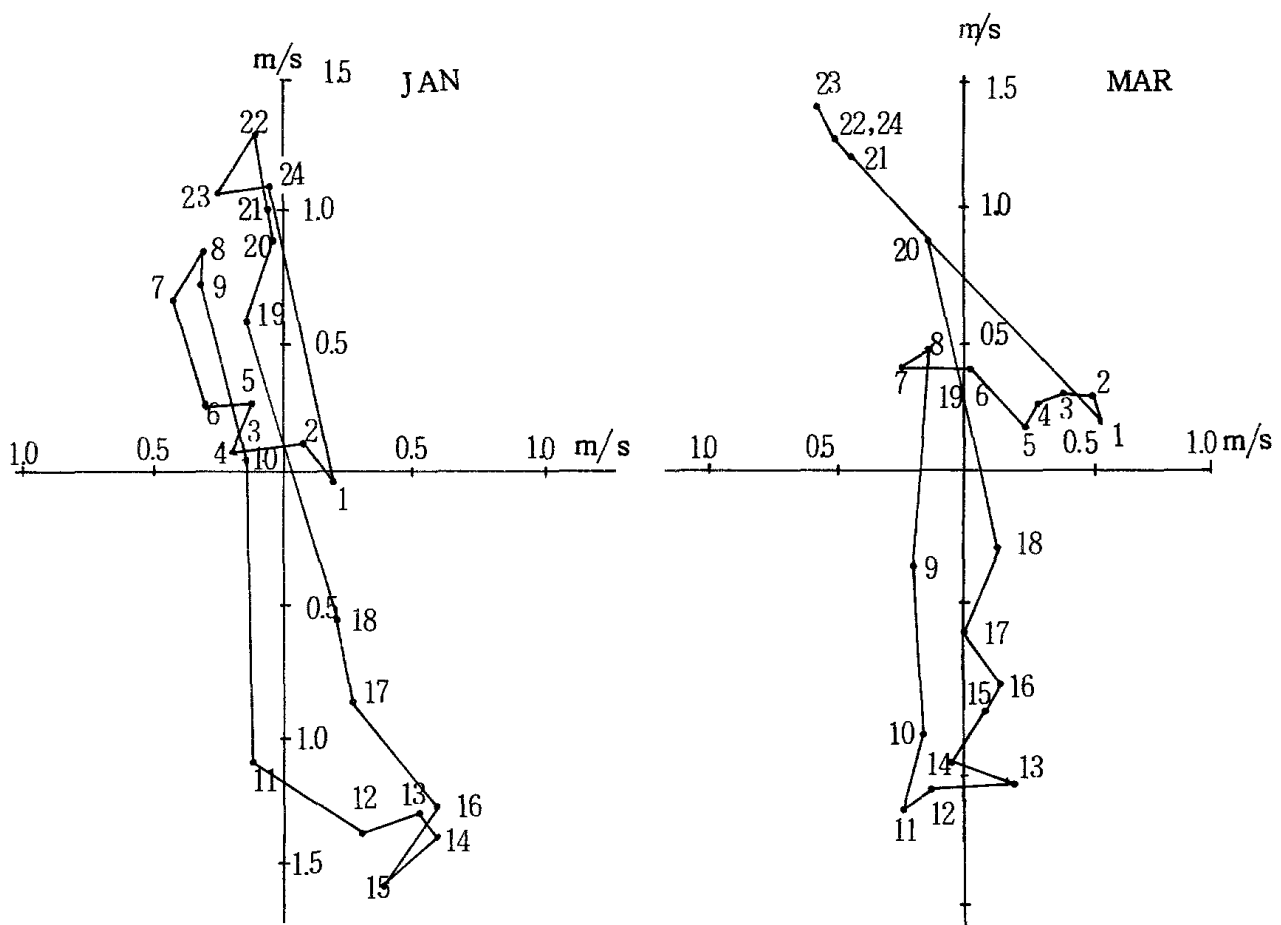


Fig.7 Hodographs of resultant surface winds at January and March for Cheju, Time is KST, north is at the top, east is on the right.

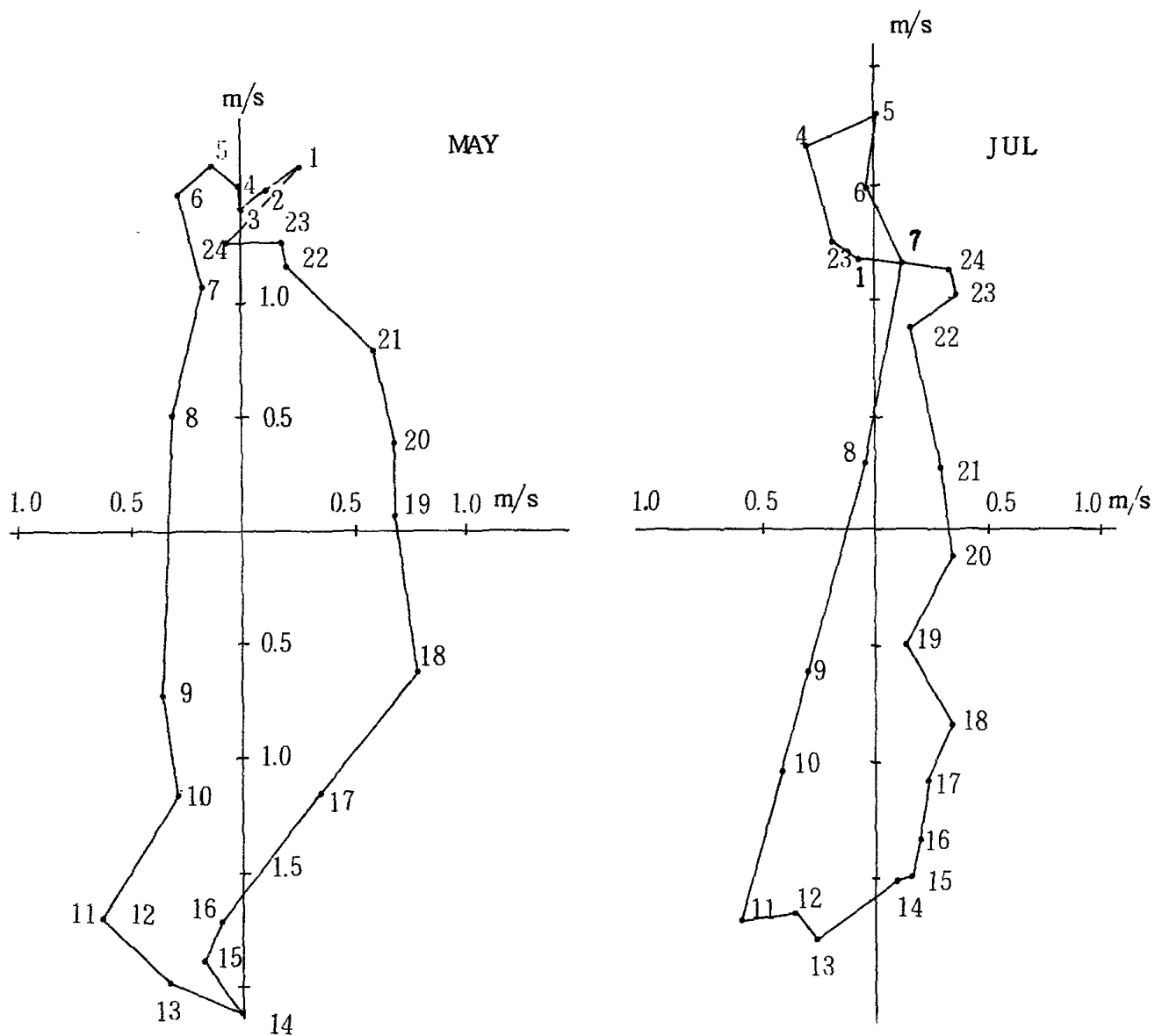


Fig.8 Same as Fig.7, but for May and July.

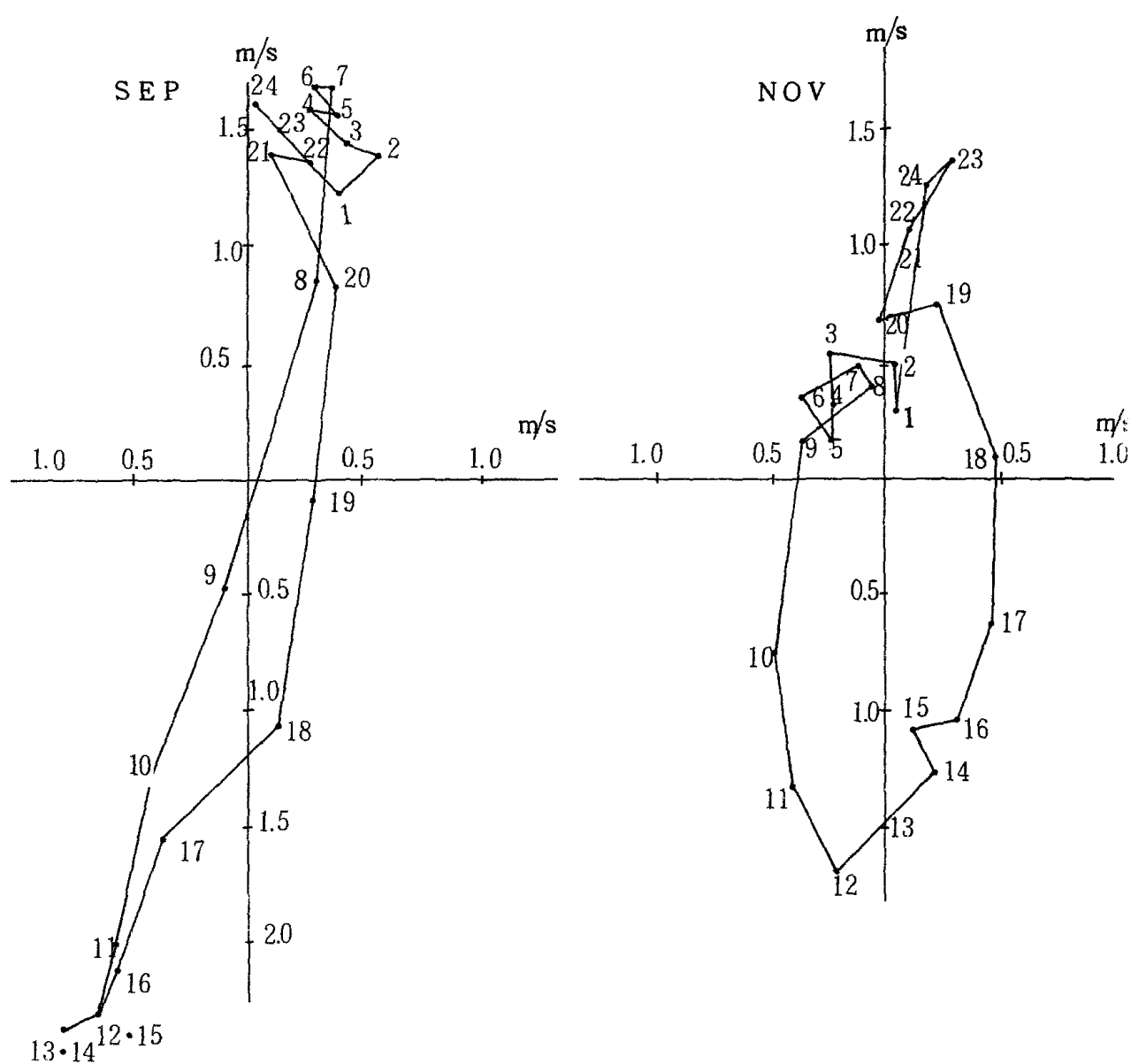


Fig.9 Same as Fig.7, but for September and November.

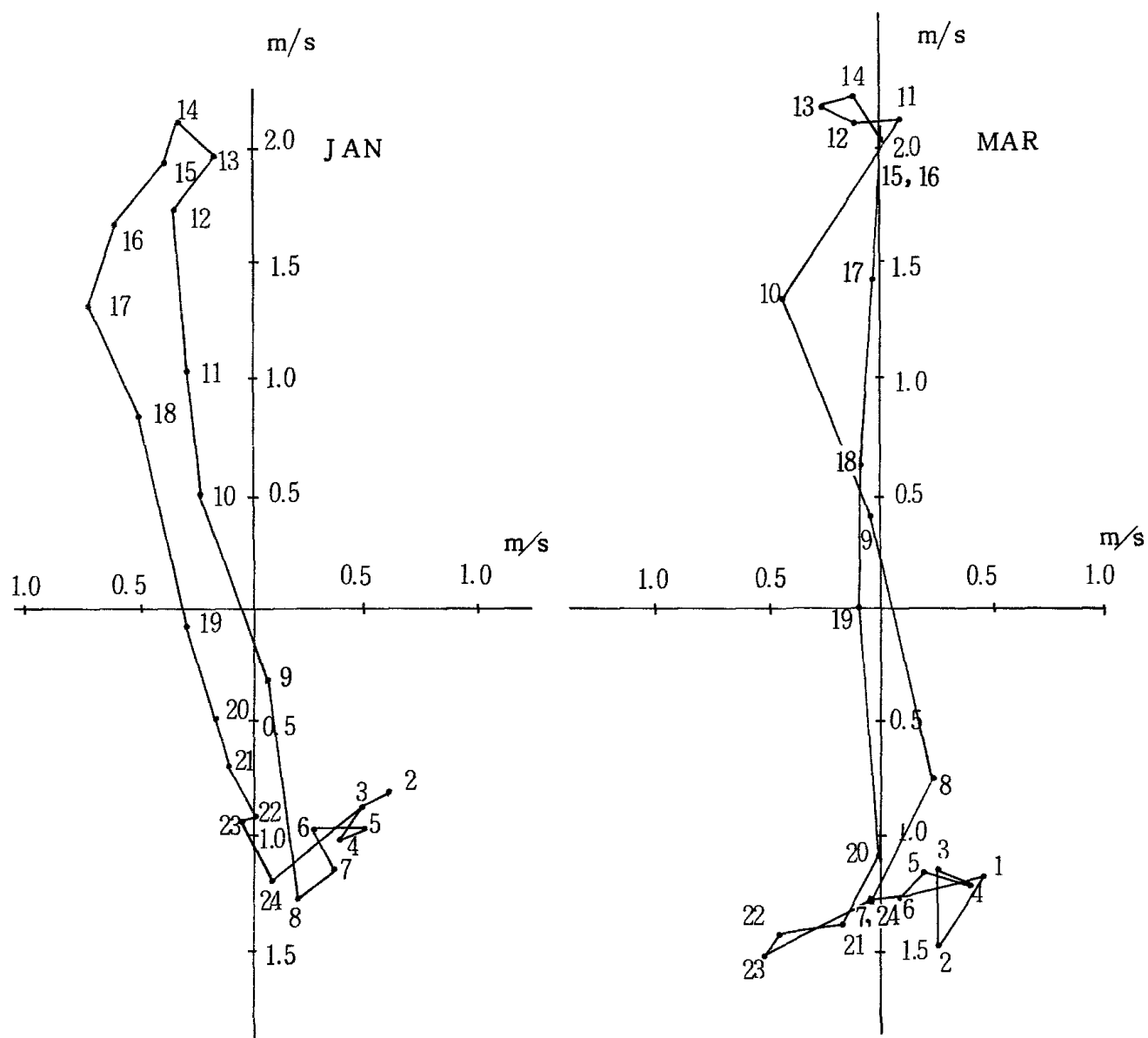


Fig.10 Hodographs of resultant surface wind at January and March for Sŏgwipo. Time is KST, north is at the top, east is on the right.

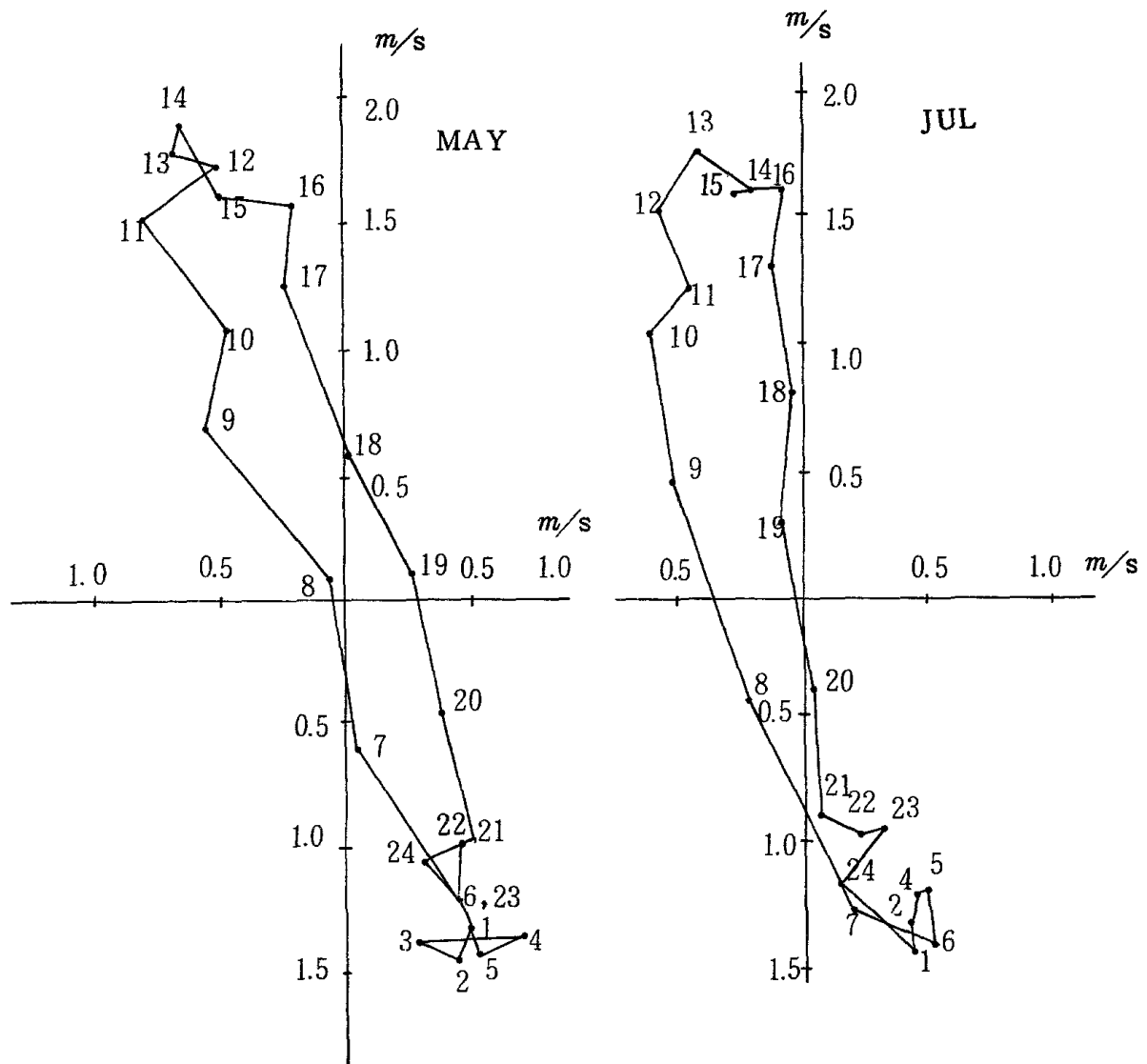


Fig.11 Same as Fig.10, but for May and July.

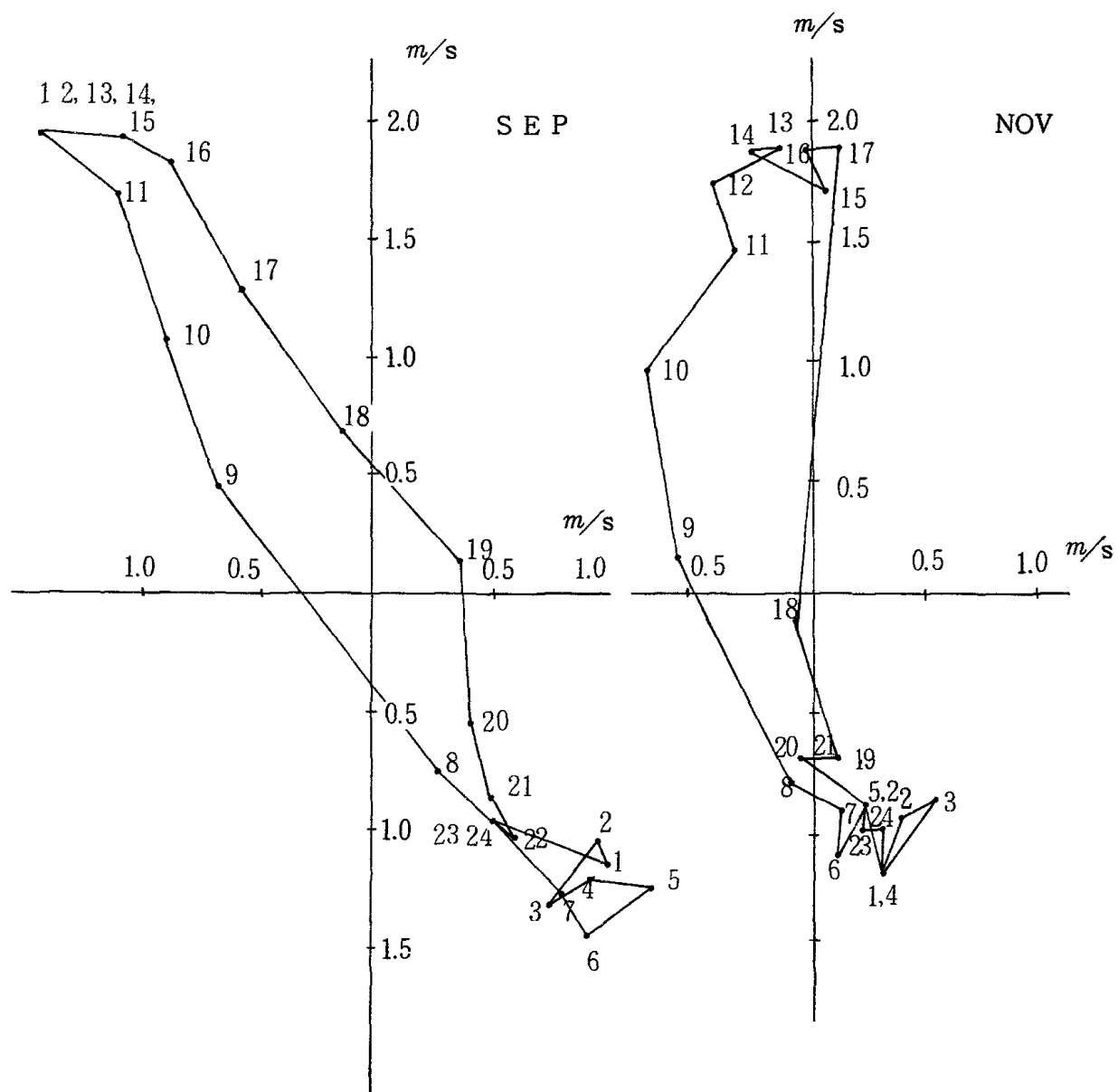


Fig.12 Same as Fig.10, but for September and November.

Fig.7 ~ Fig.12 의 제주와 서귀포에서의 hodograph는 Defant 의 모델처럼 완전한 타원형을 갖추지는 못하나 이심율이 큰 타원의 형태를 갖추고 장축의 방향이 N-S계로 나타나서 해안선의 방향이 E-W계 방향인 것을 감안할때 해풍과 육풍의 한계가 뚜렷함을 알 수 있다.

제주와 서귀포 두 지역 모두 여름철 (5, 7, 9월)의 타원의 형태가 겨울철 (11, 1, 3)의 그것보다 Defant 의 모델에 접근한다고 볼 수 있으며, 해풍의 방향 전환은 일관성이 있는데 반해 육풍의 방향전환이 불규칙적으로 나타남은 제주도 중앙에 위치한 해발 1,950 m의 한라산의 영향인 것으로 본다.

F. 해풍 출현시 기상요소의 변화

해풍이 생성된 후 육지쪽으로 유입되어 올 때 육상 측후소에서의 기압, 기온, 상대습도, 풍향, 풍속등이 어떻게 달라지는가를 알아보기 위하여 운량이 7.5 미만이고 비교적 일교차가 큰 날의 자료를 분석하였다.

상술한 바와 같이 제주지방에서는 5월에 해풍이 현저하게 나타났으므로 여러날의 자료중 1987년 5월 8일의 자료를 제시하였는데 Fig.13과 같다. 5월 8일은 전국이 고기압권내에 들어있어 대체로 맑은 날씨를 보였으며 제주에서는 이날 운량이 0.0이고 일조시간이 11.6시간, 최고기온이 17.9°C 최저기온이 11.2°C로 일교차가 6.7°C였다.

제주에서 북풍계열의 바람을 해풍으로 간주하면 오전 8시부터 오후 8시까지 해풍이, 그 외의 시간에는 육풍이 불었다고 볼 수 있으며 해풍의 최대풍속은 오후 2시에, 육풍의 최대풍속은 자정에 나타났다. 또 이날 기온의 일변화를 보면 일출 이후 계속 증가하다가 오후 3시 이후 점

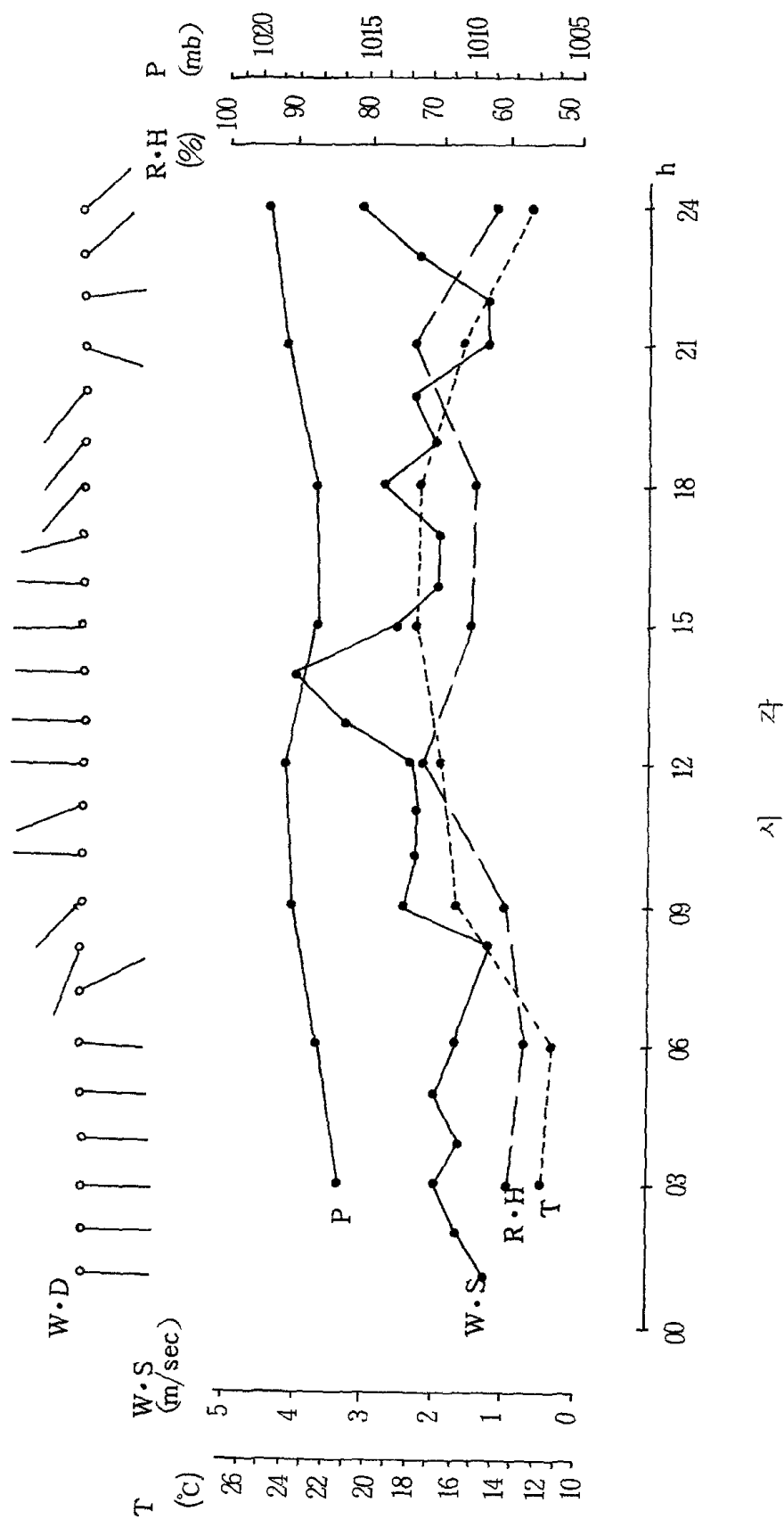


Fig.13 Diurnal change of meteorological elements, W.D ; denotes wind direction, R.H ; denotes relative humidity, T ; denotes air temperature, P ; denotes air pressure W.S ; denotes wind velocity, at 8 may 1987 in Cheju area.

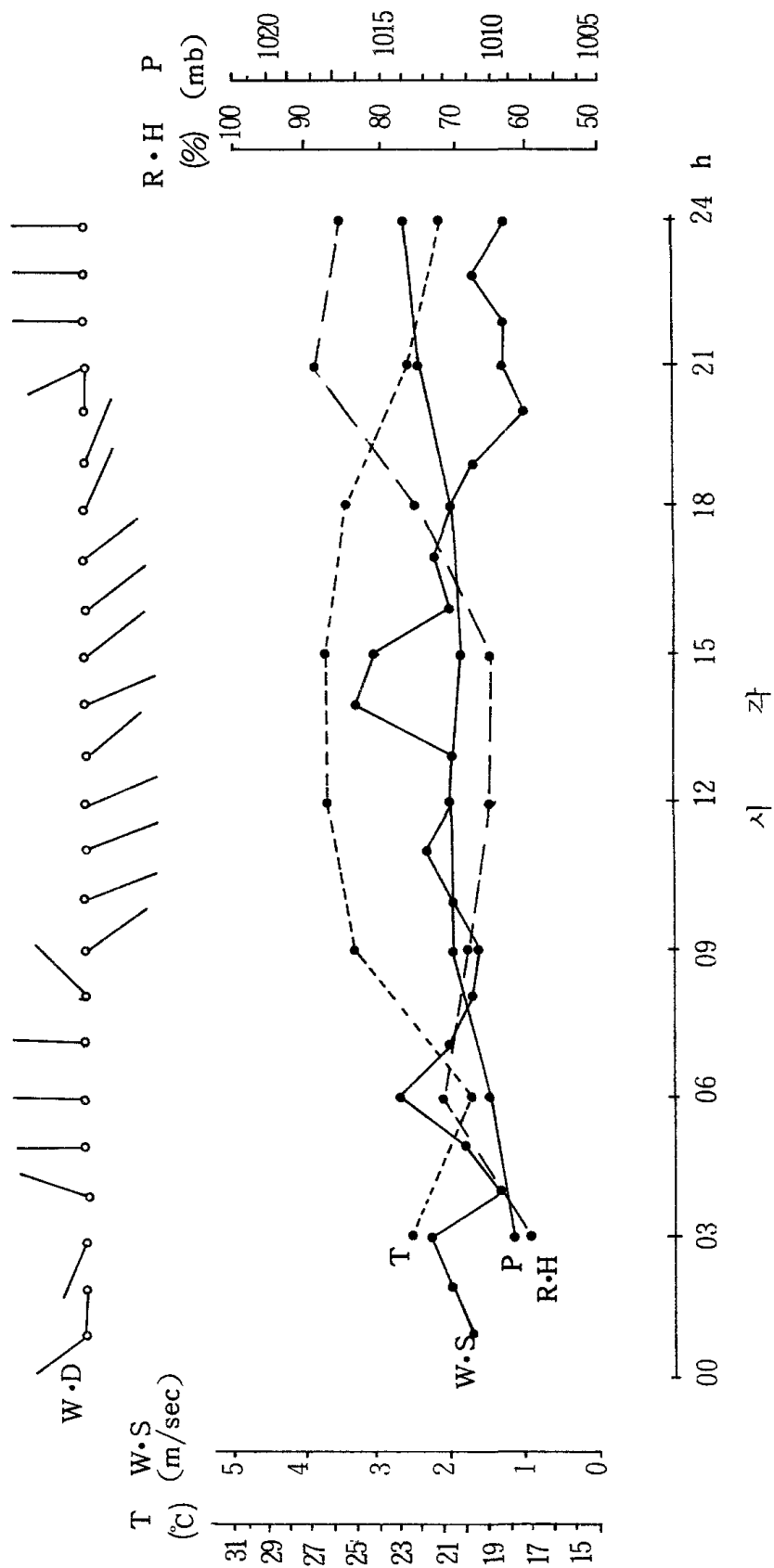


Fig.14 Same as Fig.13, but for 1 September 1987 in Sogwipo area.

점 감소하는 경향을 보이고 있으며, 상대습도는 오후 3시 이후 점점 증가하여 오후 9시경 최대값을 나타낸다. 기압 또한 3시 이후에 증가추세를 보이는데 이는 해풍이 불어와서 나타나는 기상요소의 변화라 볼 수 있다.

서귀포 지방에서는 9월에 해풍이 가장 잘 나타났으므로 여러 날의 자료 중 일조시간이 길고 일교차가 큰 1987년 9월 1일의 자료를 제시하였는데 Fig.14와 같다. 9월 1일 서귀포 지방의 운량은 0.3이고 일조시간이 11.7시간, 최고기온이 27.5°C , 최저기온이 21.0°C 로 일교차가 6.5°C 였다. 서귀포에서 남풍계열의 바람을 해풍으로 간주하면 해풍은 오전 9시부터 오후 8시까지 지속되었고 그 외의 시간에는 육풍이 불었다고 볼 수 있으며 해풍의 최대치는 오후 2시에, 육풍의 최대치는 오전 6시에 나타났다. 일출 후 증가추세에 있던 기온은 12시 이후로 증가를 멈추더니 오후 3시 이후에 감소하는 경향을 보이며 상대습도는 일출 후 감소하다가 12시 이후로 더이상 감소하지 않았으며 3시 이후에는 오히려 증가하는 경향을 보이고 기압도 오후 3시 이후에 증가 경향을 보인다. 12시 이후로 기온의 증가와 상대습도의 감소가 멈추고 3시 이후로는 기온의 감소, 상대습도의 현저한 증가는 오전 9시 이후부터 해상에서 육상으로 불어온 비교적 온도가 낮고 습윤한 해풍의 영향으로 간주되어진다.

IV. 논 의

5년간의 풍향을 월별 및 시각별로 평균하여서 조사 대상 지역의 해륙풍의 특징을 알아 보려 하였으나 적합한 설명을 할 수 없었다.

2차적 작업으로 해륙풍이 잘 나타나리라 기대되는 강수현상이 없으며 운량이 7.5 미만인 날만의 자료를 골라 계산한 결과에서도 타당한 설명을 할 수 없었다. 이것은 해륙풍이 일반풍의 영향을 받아 변형되었기 때문인 것으로 판단되어 일반풍을 제거하기 위하여 일조시간이 길고 일교차가 큰 날들에 대한 바람 자료로부터 평균 벡터풍을 계산한 결과, 해풍과 육풍의 한계를 구분할 수 있었다.

제주와 서귀포에서의 바람 자료로부터 평균 벡터풍을 계산하여 그린 hodograph는 서귀포에서는 대체적으로 Haurwitz (1947)와 Defant (1952)의 이론적 해륙풍 model를 따른다고 할 수 있으나 제주에서는 풍향의 순환이 반시계 침으로 나타났으며 겨울철에는 잘 부합되지 않는 예외도 있었다.

hodograph의 Pattern은 완전한 타원형을 이루지 못하며 해풍의 방향 전환은 대체로 순조로우나 육풍의 방향 전환은 불규칙적으로 나타났는데 이는 제주도가 중심에 해발 1950 m의 높은 한라산이 위치해 있는 섬지방으로 산의 정상은 제주로부터 남쪽으로 약 20 km, 서귀포로부터 북쪽으로 약 15 km 떨어져 있어 지형이 육풍에 영향을 미쳐 육풍의 방향전환이 불규칙하게 나타난 것으로 보이나 현재로서는 확실히 밝힐 수 없고 앞으로 더 연구되어야 할 과제로 남긴다.

Wexler (1946)에 의하면 해풍의 시작 시각은 기압경도, 운량, 기온 변화의 영향으로 일출후 약 3시간부터 시작된다고 하였는데 본 조사에서는 일출후 약 2~3시간후인, 여름에는 오전 8시~9시, 겨울에는 오전 9시~10시 사이에 시작되고, 일몰시각과 거의 같은 시각에 육풍으로 전환되는 Pattern

을 보이고 있다.

한편 이내영 (1982, 1983)의 부산, 강릉, 권문선 (1984)의 여수, 목포 그리고 박신 (1988)의 인천, 서산에서의 해륙풍 연구에서 나타난 해풍시작 시각과 비교할 때 제주, 서귀포에서의 해풍은 일찍 시작되어 일찍 육풍으로 전환되는 양상을 보여주고 있는데 이는 제주도가 이들 여타지역보다 저위도에 위치하며 또 섬지방이라는 특이한 지형의 영향이 작용한 것으로 보인다.

등풍속선의 Pattern이 풍향 분포역과 거의 일치하는 것으로 보아 해양과 육지의 경계는 합리적으로 설정되었다고 볼 수 있다.

또 marshall (1958), Wallington(1959) 등은 해풍 통과시 기온, 상대습도, 풍향, 풍속등의 변화는 거의 같은 시각에 나타나고 있다고 주장하고 있는데 특정일에 대한 본 조사에서는 해풍이 통과한 3~4시간 후부터 기온, 상대습도 등의 변화가 관측되었다.

지금까지 본 논문에서는 5년간의 바람 자료로 제주·서귀포 지방의 해륙풍의 일반적인 특징을 알아보려고 1차원적인 분석을 하였다. 이에서 진일보하여 2차원, 3차원적 분석이 이루어지고 수치 실험에 의한 이론적 연구와 관측에 의한 연구등이 누적되어야만 해풍과 육풍의 입체적 구조와 규모가 명확히 밝혀질 것으로 생각된다.

V. 결 론

이 연구에서는 1973 ~ 1977 년까지의 제주, 서귀포 지방의 풍향, 풍속 관측치로부터 월별, 시각별 평균 바람과 평균 벡터풍을 계산하여 제주도 연안지방의 해륙풍의 특성을 연구하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 평균 벡터풍을 계산하여 분석한 결과 해풍과 육풍의 한계를 구분할 수 있었다.

2) 제주에서는 SWW-N-NEE 계열의 바람을 해풍, NEE-S-SWW 계열의 바람을 육풍으로, 서귀포에서는 E-S-W 계열의 바람을 해풍, W-N-E 계열의 바람을 육풍으로 볼 수 있었다.

3) 이 지역에서 해풍은 오전 8시부터 10시 사이에 시작되고 육풍은 오후 6시부터 8시 사이에 시작되며 해풍의 지속시간은 여름철이 겨울철에 비해 2 ~ 3시간 정도 길게 나타났다.

4) 이 지역에서의 해풍의 시작은 일출후 2 ~ 3시간 후이며 육풍의 시작은 거의 일몰시각과 일치해서 나타났다.

5) 해륙풍의 풍속은 최대·최소치를 제외시키면 대체로 해풍이 $0.5 \sim 2.0 \text{ m/sec}$, 육풍이 $0.5 \sim 1.5 \text{ m/sec}$ 로 해풍이 육풍보다 강하게 나타나고 있었다.

6) 해풍은 오후 1시 ~ 오후 2시 사이에 가장 강하고 육풍은 자정에서 오전 5시 사이에 가장 강하게 나타난다. 또한 해풍보다는 육풍의 시간에 따른 풍향 변화가 불규칙적으로 나타났다.

7) 이 지방에서, 해륙풍의 이론적 모델에 잘 부합되는 때는 겨울철 보다 여름철이다.

이상과 같은 논의와 결론을 종합하여 볼 때 기온 및 상대습도, 바람

자료만의 변화 특징만으로도 해륙풍의 특성을 설명할 수 있었으나 지형적인 여건, 위도등 해륙풍에 영향을 줄 수 있는 요소에 대한 연구가 좀 더 진행되어야 할 것으로 생각된다.

본 논문은 제주, 서귀포 지방의 바람 자료로부터 제주도 지방의 해륙풍의 일반적인 특징을 알아 본 것으로 다른 지역의 해륙풍 연구에 기초 정보가 되었으면 좋겠다.

참 고 문 헌

- 李承萬, 全鍾甲 (1979), “남서 해안지역에서의 해풍에 관한 연구(I)” 중앙기상대 기상연구소 연구보고서, MR-79-2, 1-98.
- _____ (1980), “남서 해안지역 (군산일원)에서의 해륙풍에 관한 연구(III)”, 중앙기상대 기상연구소 연구보고서 MR-80-2, 1-39.
- 李來英 (1981), “포항지역의 해륙풍이 대기오염에 미치는 영향에 관하여”, 「논총」, 제 27 집 (이화여자대학교 한국생활과학 연구원), 123-131.
- _____ (1982), “부산 연안지방 해륙풍의 특성에 관하여”, 「논총」, 제 29 집 (이화여자대학교 한국생활과학 연구원), 71-79.
- _____ (1983), “강릉 연변지방에서의 해풍의 일변화 특성에 관하여”, 「논총」 제 32 집 (이화여자대학교 한국생활과학 연구원), 65-75.
- 권문선 (1984), “우리나라 남서 연안지방의 해륙풍 특성에 관한 연구”, 이화여자대학교 교육대학원 석사학위논문 (미간행).
- 박 신 (1988), “우리나라 중서 연안지방의 해륙풍 특성에 관한 연구”, 이화여자대학교 교육대학원 석사학위논문 (미간행).
- 根山芳晴 (1979), “愛媛縣沿岸の海陸風特性”, 「天氣」, Vol.26, No.3, 155-159
- Defant, F. (1952), *Compendium of Meteorology*, (N.P); A.M.S.
- Fisher, E.L. (1959), "An observational and theoretical study of the sea breeze," Unpublished Doctoral Dissertation, Dept. of Meteor. and Ocean, New York, Univ.
- Fosberg, M.A. and M.J., Schroeder (1966), "Marine air Penetration in central California," *J. App. Met.*, 5: 573-589.
- Hess, S.L. (1959), *Introduction to theoretical Meteorology*, N.Y.; Holt. Rinehart and Winstion.

- Marshall, W.A.L. (1950), "See breeze across London," *Meteorological Magazine*, 78: 165-168.
- Simpson, J.E. (1964), "See-breeze fronts in Hampshire," *Weather*, 19: 203-220.
- Staley, D.O. (1957), "The low-level see breeze of north-west Washington," *J. of Meteor.*, 14: 458-470.
- Wallace, J.M. and P.V., Hobbs (1977), *Atmospheric Science; An introductory survey*, N.Y.; Academic press.
- Wallington, C.E. (1959), "The structure of the see-breeze front as revealed by gliding flights," *Weather*, 14: 263-270.
- Wexler, Raymond (1946), "Theory and observation of land and sea breezes," *Bull, Amer, Meteor. Soc.*, 27: 272-287.
- Yoshino, M.M. (1975), *Climate in a small area; An introduction to local meteorology*, Tokyo; Univ. of Tokyo Press.

ABSTRACT

A STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF LAND AND SEA BREEZE IN CHEJU-ISLAND, KOREA

JANG Myung-sook
Earth Science Education Major
The Graduate School of Education
Ewha Womans University

The one dimensional characteristics of Cheju-Island (Cheju and Sŏgwipo cities) were studied with the mean vector wind calculated from the data of hourly direction and velocity of wind for those days having the cloud amount less than 7.5 from 1973 to 1977.

The outcomes of the studies are as follows.

1. In Cheju located in the northern area of Cheju-Island, the sea breeze had the direction of SWW-N-NEE range, but the land breeze had the direction of NEE-S-SWW range.

In Sŏgwipo located in the southern area of Cheju-Island, the sea breeze had the direction of E-S-W range, but the land breeze had the direction of W-N-E range.

2. In this region, the sea breeze began to occur from 8 a.m. to 10 a.m. and had the velocity of less than 2.5 m/sec. The land breeze began to occur from 6 p.m. to 8 p.m. with the velocity of less than 1.9 m/sec. The sea breeze occurred more strongly

than the land breeze.

3. The duration of the sea breeze was about 8-11 hours. The sea breeze in summer season was longer than that in winter season.
4. The changes in the direction of the sea breeze occurred more regularly than that of the land breeze. The characteristics of sea and land breeze in the warm season occurred to be more conspicuously than those in chilly season.