

제주도 남부지방의 바람장에 관한 연구

고희중 · 송문호 · 김경보

서귀포기상대

Study of wind fields at Cheju Island southern

Hee-Jong Ko, Moon-Ho Song and Kyoung-Bo Kim

Seogwipo Weather Station, Jeju Special Self-Governing Province 697-010, Korea (khj@kma.go.kr,
moonho@kma.go.kr, kbkim@kma.go.kr)

Cheju Island southern part area that there are a lot of changes of weather element by Mt. Halla's influence. One of cause of these change is wind. According to result that analyze special quality of wind that sees automatic weather system data that is placed in Cheju Island southern part area and observes in Seogwipo five places, branch office that land and sea breeze appears clearly is Seogwipo meteorological observatory. Area is dominate local winds except the others. Points that display strong wind velocity vector, and place that frequency by class is high is Hawon, Gasi, Seogwang, Seogwipo, Jungmun, Namwon. Change of wind, the cycle of the seasons reflected most but southwest seasonal wind of Namwon, Gasi, Seogwipo dominated in summer and in winter, a gale from the NW dominates, and southeaster of Jungmun, Seogwang, Hawon dominated in summer, also north wind order dominated in winter.

Key words : AWS, wind filelds, Weibull Parameter

서 론

바람은 공기의 흐름이라서 풍향과 풍속에 의한 벡터로 표현하고 있다. 풍향이나 풍속은 끊임 없이 변동하는 거의 수평의 대기의 흐름에 대해 관측시간 10분간의 평균값으로 나타낸다. 또 변동되는 풍속에 대해서는 순간풍속으로써 나타낸다. 평균풍속은 대기가 흘러간 거리 즉 풍정(바람의 이동거리)을 시간으로 나눈 값이다. 바람은 벡터로 나타내면서 정확히 벡터로 취급하고 있

는 것은 순간 풍속뿐으로, 평균 풍속에 대한 벡터 평균은 아니고, 각 순간의 풍속 크기의 스칼라 평균을 이용하고, 또 평균 풍향에는 풍속을 생각하지 않고 각도만의 평균을 취하게 되어있다. 풍속계로써는 풍향에는 작동하지 않는 풍배식(컵형 풍속계)의 것을 이용하고, 풍향계로써는 단지 방향만을 나타내는 외날개를 이용한다. 바람은 다른 기상요소에 비교하여 그 변동이 심하고, 풍속의 경우 그 변동이 평균값과 거의 같은 정도의 크기를 나타내는 것도 드물지 않다.

본 연구의 목적은 제주도 남부지방에 설치된 AWS지점으로 중문골프장, 하원(탐라대학교), 남원(읍사무소), 가시(리사무소), 서귀포기상대의 최근 자료를 이용하여 풍향 및 풍속에 관한 국지적 바람장을 분석하고자 하였다.

분석자료 및 방법

1. 바람특성의 분석자료

바람특성은 서귀포기상대에서 관할하는 AWS 지점에 대하여 분석되었고, 자료 조사기간은 중문과 하원지역이 AWS설치 후인 2002년도부터 2005년도까지 지난 4년간의 자료와 남원, 가시리, 서광, 서귀포기상대자료는 2001년도부터 2005년도까지 지난 5년간의 자료를 이용하였다. 또한 바람에 관한 지속성 및 해륙풍 등을 조사하기 위하여 통계분석으로 Weibull 분포의 함수를 이용하였다.

2. 바람특성의 분석방법

바람의 변화도를 알기 위하여 계측지점의 풍향 관측데이터로부터 다음과 같이 풍향의 지속성(Constancy of wind direction)을 구하였다. 바람의 지속성을 알기 위하여 구하는 풍향의 지속성은

$$C_v = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots(1)$$

로 나타나며, 여기서 V_v 는 벡터 평균풍속으로

$$V_v = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

로 표시되며 V 는 스칼라 평균풍속이다. 또한,

$$V_x = -\frac{1}{n} \sum (V_i \cdot \sin Di)$$

$$V_y = -\frac{1}{n} \sum (V_i \cdot \cos Di)$$

이며, 여기서 V_i 는 풍속, Di 는 풍향이다. 따라서 V_x 는 동서성분, V_y 는 남북성분의 바람이며, 풍향이 항상 일정하다면 풍향의 지속성의 값은 $C_v=1$ 을 나타낸다.

한편 Mori(1987)는

$$Cr = \sqrt{(S_a^2 + C_a^2)} \dots\dots\dots(2)$$

를 구하여 풍향의 변화도를 구하였는데, 여기서

$$S_a = \frac{1}{n} \sum \sin Di, \quad C_a = \frac{1}{n} \sum \cos Di$$

이다.

만약 풍속의 변동이 풍향의 변동과 상관이 없고 n 이 충분히 크다면 C_v 와 Cr 은 일치하는데, 본 연구에서는 Mori가 제안한 방법에 의하여 지역별로 바람의 지속성을 조사하였다.

지역별로 년도별 풍속계급빈도를 비교하였고, 풍향별 누적시간 분포도를 분석함으로써 그 지점의 주풍계를 나타내었다. 또한, 계절별로 바람장미를 분석하였으며 풍향지속도를 이용하여 지점별 해륙풍조사를 하였다.

제주도 남부지역의 바람특성

1. 년도별 평균풍속분포도

실제 측정된 많은 풍속데이터는 계급별 빈도수로 표현되며 실제풍속의 계급별 발생빈도는 Weibull 분포와 가장 일치하는 것으로 연구되었다. 즉 풍속이 어느 특정풍속 V 일 확률을 표시하는 확률밀도함수(probability function) $P(V)$ 는

$$P(V) = (K/C)(V/C)^{K-1} \exp(-(V/C)^K) \dots\dots\dots(3)$$

또, 풍속 V 가 V_a 이상이 될 확률은

$$P(V \geq V_a) = \int_{V_a}^{\infty} P(V) dV = \exp(-(V_a/C)^K) \dots\dots(4)$$

으로 표시되며 C는 분포된 풍속의 평균값에 관계하는 척도계수(scale parameter), K는 분포된 풍속의 편차의 크기를 나타내는 형상계수(shape parameter)이다.

위 분포함수의 계수 C, K를 구하면 임의속도에 대한 P(V)가 산출되므로 이 C, K 값으로 측정지역의 풍속특성을 나타낼 수 있다.

실제 측정된 풍속자료로부터 C, K를 구하기 위해서 식(3)을 누적시키면

$$F(V) = \int_0^V P(V) dV(5)$$

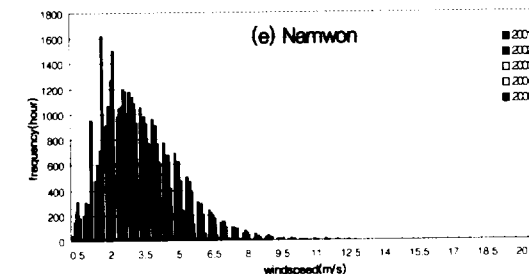
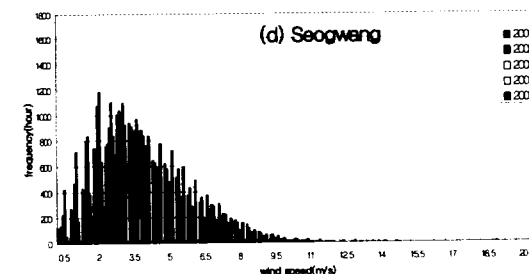
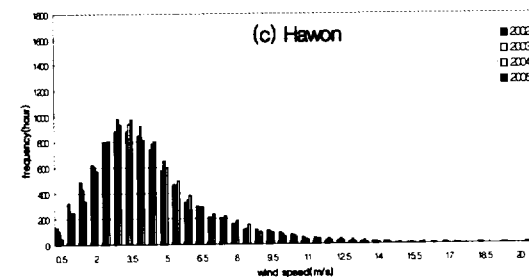
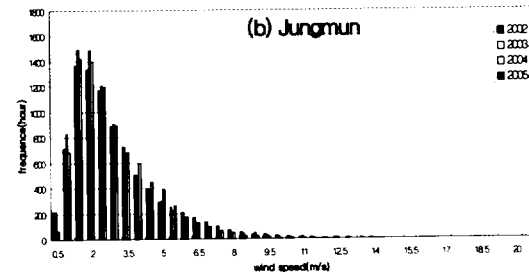
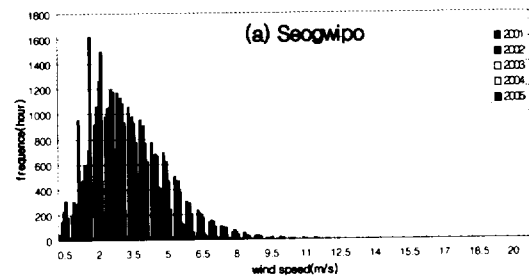
$$= 1 - \text{EXP}\left(-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right)$$

가 되며 이 식을 이용하여 최소자승법(least square method)으로 C, K를 구할 수 있다.

C는 척도계수로서 측정하거나 평가하고자 하는 기준에 관하여 측정되는 정도를 나타내는 확률분포함수의 모수로 정규분포의 표준편차, 평균을 의미한다.

K는 형상계수로서 자료의 분포모양이 평균을 중심으로 한쪽으로 치우쳐 있는 경향을 나타내는 척도로 표현되며, 자료의 분포모양이 정규분포보다 더 중앙에 집중하는 가를 나타내는 척도로도 사용된다.

Fig. 1에서 분석한 결과로 3-1의 식(5)에 대입하여 각각의 척도계수와 형상계수의 값을 구하면 Table 1과 같이 나타난다. 즉, 서귀포 남부지방의 평균풍속의 세기는 4.6m/s로 하원지역이 가장 높고 자료분포모양(Fig. 1(c))은 타 지역보다 평균을 중심으로 한쪽으로 치우쳐 있다. 그러나 서광지역인 경우에는 평균풍속의 세기가 4.0m/s이며 형상계수도 1.6이며 자료의 분포모양(Fig. 1(d))은 평균에서 중앙분포형으로 지형적인 바람보다는 지상풍의 영향이 지배적이라고 해석된다.



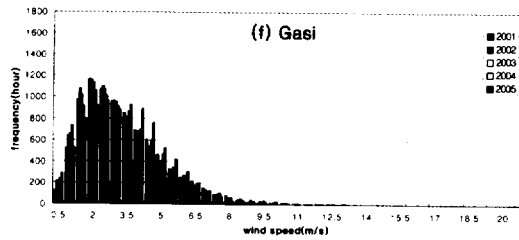


Fig. 1. Comparison of wind speed frequency.

Table 1. Scale parameter at the six stations.

| station | Scale parameter, C | Shape parameter, K |
|----------|--------------------|--------------------|
| Seogwipo | 3.8 | 1.6 |
| Jungmun | 3.0 | 1.3 |
| Hawon | 4.6 | 1.3 |
| Seogwang | 4.0 | 1.6 |
| Namwon | 3.5 | 1.6 |
| Gasi | 3.3 | 1.3 |

그리고 Weibull Parameter를 고려하여 풍속이 10% 이상이 되는 확률을 지역별로 구하기 위하여 3-1의 (4)식을 이용하면 Table 2의 값이 산출된다.

Table 2. Forecast strong wind(more than 10m/s) at the six stations.

| station | $P(V \geq 10) = \exp(-(V_a/C)^K)$ | forecast strong wind (more than 10m/s) times during year (hour) |
|----------|-----------------------------------|---|
| Seogwipo | 0.0091 | 80 hour (=0.0091×8760 hour) |
| Jungmun | 0.0084 | 74 hour (=0.0084×8760 hour) |
| Hawon | 0.0643 | 563 hour (=0.0643×8760 hour) |
| Seogwang | 0.0131 | 115 hour (=0.0131×8760 hour) |
| Namwon | 0.0047 | 41 hour (=0.0047×8760 hour) |
| Gasi | 0.0146 | 128 hour (=0.0146×8760 hour) |

그러므로 Table 2의 분석결과로 제주도 남부 지역의 6개 정점 중에 연간 10m/s 이상의 강한 바람이 나타날 가능성이 가장 많은 지역은 하원, 가시, 서광, 서귀포기상대, 중문, 남원 순으로 분석된다.

2. 시간별 풍향지속도

수시로 변화하는 바람 방향의 변화정도를 알 수 있도록 시간별로 풍향의 지속도를 그래프로 표시하여 년 평균 하루 중 풍향의 지속도를 나타냈다. Fig. 2에서 지역별로 바람의 변화도를 살펴보면, 서귀포기상대에 위치한 바람자료는 일출후부터 일몰때까지 바람의 변화 시점이 잘 나타났고 낮에는 주로 해풍의 영향과 밤에는 육풍의 영향을 받고 있다. 또한 뚜렷하게 해륙풍의 영향을 받는 것으로 나타난다. 중문골프장에 위치한 중문(AWS)인 경우에는 하루 일계 중 낮시간에 풍향의 변화도가 조금 있을 뿐, 풍향의 지속성은 일정하다고 볼 수 있다.

탐라대학교에 위치한 하원(AWS)인 경우에는 남부지역에서 가장 고도가 높은 중산간 지역으로서 풍향의 변화도가 하루 일계 중 오전과 오후가 뚜렷하게 나타났고 오후부터는 바람 지속성이 변화하였고 주로 육풍이 영향을 받으면서 해륙풍 교차시점이 짧게 나타났다.

서광리사무소에 위치한 서광(AWS)은 제주도 남부지역에서는 내륙에 위치하였고 하루일계 풍향의 지속성은 해륙풍의 영향보다는 국지풍으로서 풍향의 변화도가 적은 것으로 조사 되었다. 남원읍사무소에 위치한 남원(AWS)은 남동지역에 위치하였고 하루 중에 낮시간대를 제외하고 풍향의 지속성은 일정한 것으로 나타났고 해륙풍의 영향이 다른 지역보다는 적은 것으로 분석된다. 제주도 남동부지역 가시리사무소에 위치한 가시(AWS)는 오름이 많은 지역으로 남원과 비슷한 경향을 보였고 해륙풍이 교체되는 시점이 다른 지역에 비해 늦어 주로 육풍계열이 우

세한 것으로 분석된다.

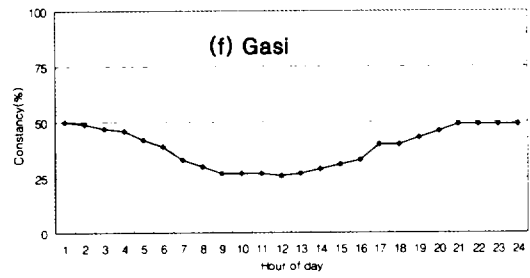
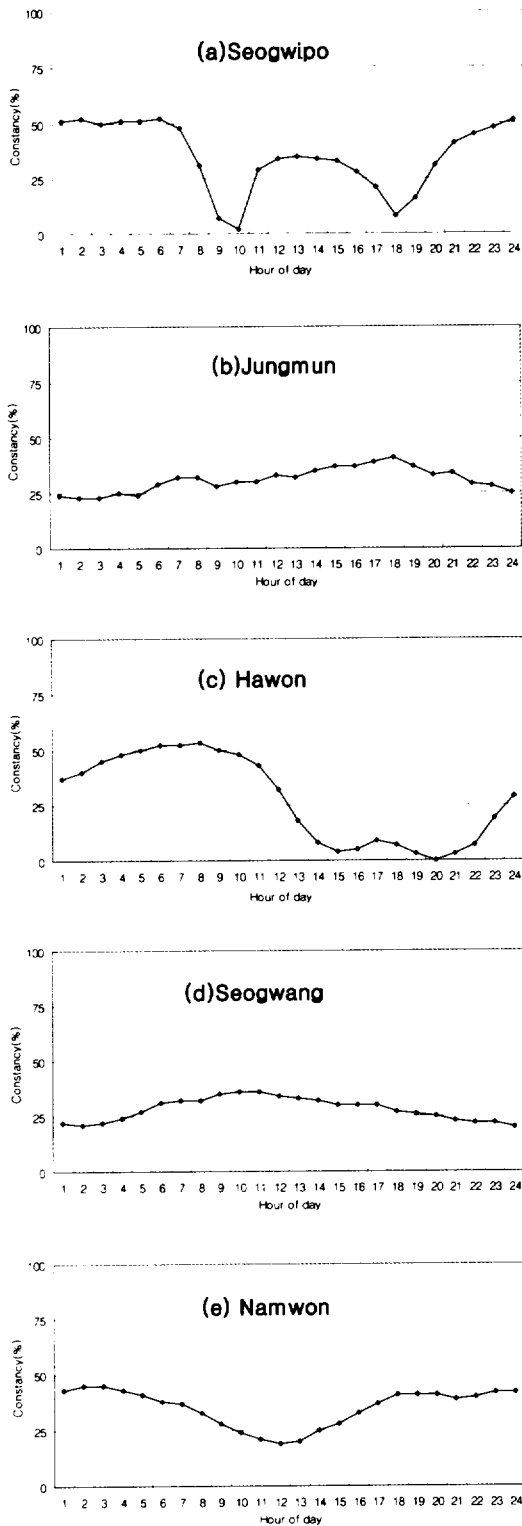


Fig. 2. Constancy of wind direction (yearly mean 2001~2005).

3. 풍향별 누적시간 분포도

제주도 남부지역별 풍향을 16방위로 나타내고 누적시간 분포를 조사하여 Fig. 3과 같이 바람장의 흐름을 나타내었다.

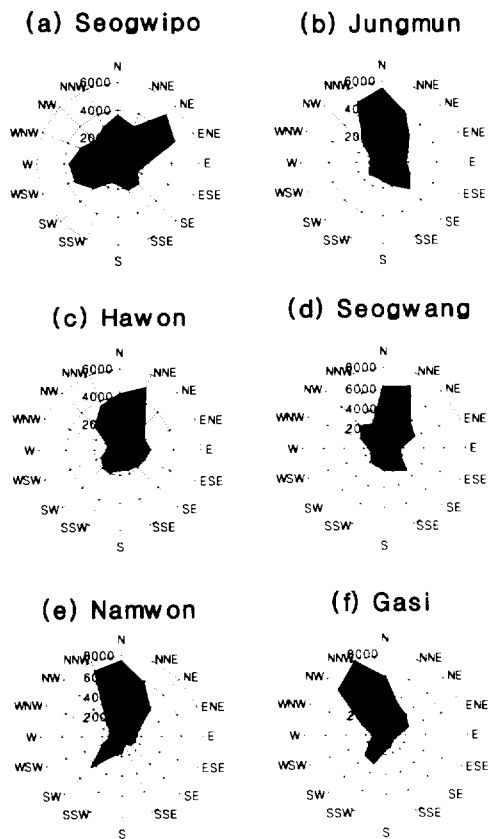


Fig. 3. wind rose of cumulative time (wind direction).

서귀포기상대의 자료는 주풍계가 북동풍과 서남서풍계열이 우세하게 나타났으나, 중문지역과 남원지역은 연안에서 가장 가까운 지역으로 풍향별 분포도가 비슷하면서 북풍계열이 뚜렷하게 나타났고, 하원지역과 서광지역은 남부지역 중 내륙지역에 위치하여 북북동계열의 바람으로 비슷하게 나타났다.

가시리지역은 제주도 남동부 내륙지역에 위치하면서 북북서계열의 바람이 우세하게 나타났다.

4. 계절별 바람 분포도

바람이 불어오는 풍향의 발생빈도를 풍속이 해륙풍 4%이하인 경우와 국지풍 4%이상인 경우로 구분하여 바람장미를 계절별로 발생빈도를 조사하였다(Fig. 4). 서귀포기상대의 바람자료는 봄과 여름에 국지풍으로 주로 북동풍과 남서풍이 우세하였고 가을철에는 북동풍, 겨울철에는 서북서계열이 뚜렷하게 나타났다. 해륙풍으로 여름철에 남서풍을 제외하고 나머지 계절은 북풍계열이 우세한 것으로 조사되었다.

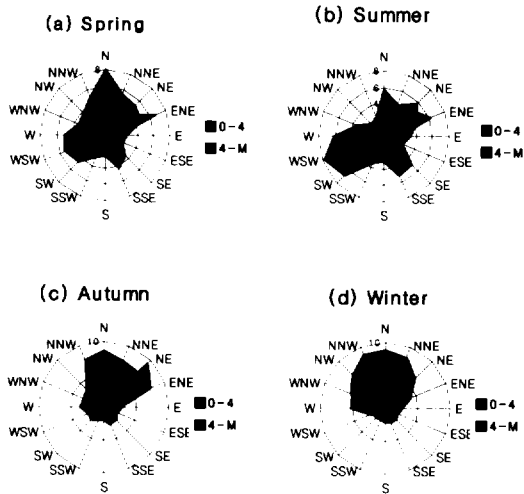


Fig. 4. wind rose at Seogwipo.

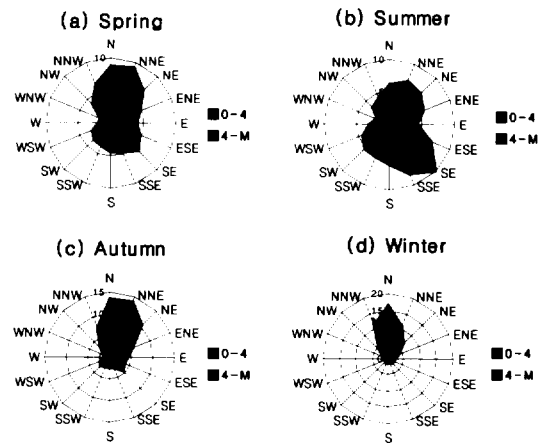


Fig. 5. wind rose at Jungmun.

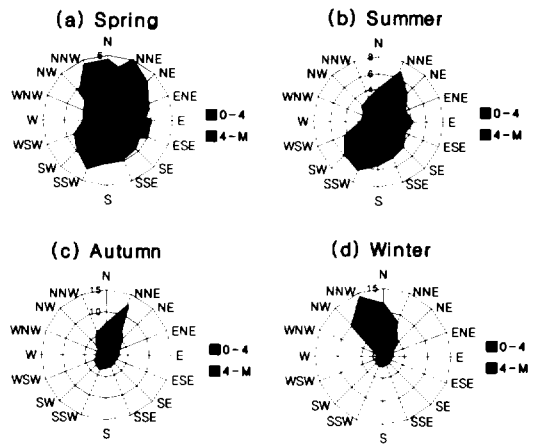


Fig. 6. wind rose at Hawon

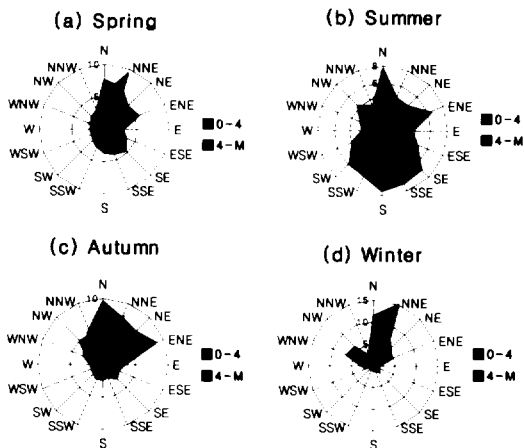


Fig. 7. wind rose at Seogwang.

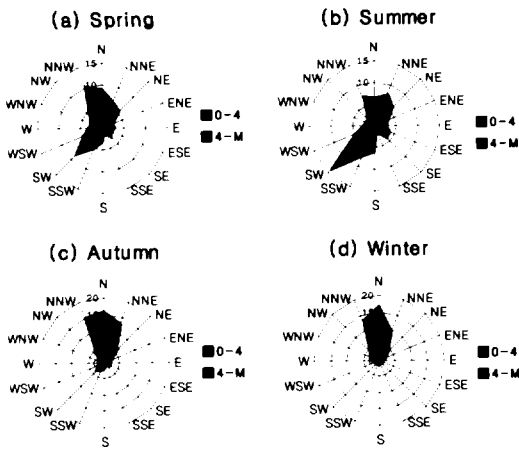


Fig. 8. wind rose at Namwon.

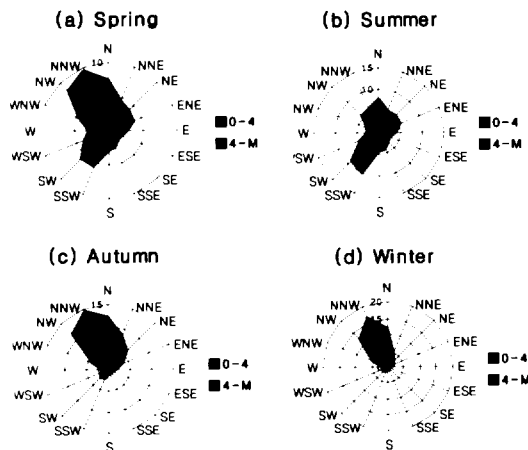


Fig. 9. wind rose at Gasi.

Fig. 5에서 중문지역은 국지풍과 해륙풍이 비슷하게 여름철은 남동계열 나머지지역은 북풍계열이 우세하였다. 그러나 하원(Fig. 6)은 봄철에는 북풍과 동풍계열이 우세하였고 여름철은 남동풍, 가을철은 북북동, 겨울철은 북북서계열이 지상풍이 강하게 나타났으나 해륙풍은 봄과 여름이 비슷한 경향으로 나타났고 가을과 겨울철은 해륙풍이 아주 약하게 비슷하다. Fig. 7의 서광지역은 여름철에는 국지풍이 약하였고 나머지계절은 비슷한 경향으로 주풍계는 북북동 계열이 우세한 것으로 나타났다. Fig. 8과 9에서 제

주도 남동지역에 위치한 남원지역과 가시리지역은 여름철은 남서계열, 나머지계절은 북풍계열 지상풍이 우세하게 나타났고 해륙풍과 국지풍은 비슷한 경향을 보였다.

결론

제주도 남부지방에 설치된 AWS(Automatic Weather System, 중문골포장, 하원(탐라대학교), 남원(읍사무소), 가시(리사무소), 서귀포기상대)의 관측자료를 분석하여 풍향 및 풍속에 관한 국지적 바람장을 분석하여 제주도 남부지방의 바람 특성을 분석하였다. 자료 조사기간은 중문과 하원지역이 AWS설치 후인 2002년도부터 2005년도까지 4년간의 자료와 남원, 가시리, 서광, 서귀포기상대자료는 2001년도부터 2005년도까지 5년간의 자료를 이용하였다.

바람에 관한 지속성 및 해륙풍 등을 조사하기 위하여 사용한 방법은 통계분석으로 Weibull분포의 함수를 이용하였다. 그 결과 제주도 남부지역의 풍속계급별 빈도수는 하원이 가장 높아 풍속이 가장 강하게 나타났다. 돌풍(10%)이 나타날 확률을 분석한 결과, 돌풍가능성이 많은 지역은 하원, 가시, 서광, 서귀포기상대, 중문, 남원순이다. 지역별로 바람의 변화도를 살펴보면, 서귀포기상대에 위치한 바람자료는 뚜렷하게 해륙풍의 영향을 받는 것으로 나타난 반면에 그 이외의 지역은 해륙풍 보다는 국지풍이 영향이 큰 것으로 조사되었다.

풍향별 누적분포는 서귀포기상대의 주풍계가 북동풍과 서남서풍이 우세하게 나타났으나, 중문과 남원은 연안에서 가장 가까운 지역으로 풍향별 분포도가 비슷하면서 북풍계열이 뚜렷하게 나타났고, 제주 남부에서 상대적으로 내륙에 위치한 하원과 서광은 북북동의 바람으로 비슷하다. 가시는 제주도 남동부 내륙지역에 위치하면

서 북북서의 바람이 우세하게 나타났다. 계절별 국지풍과 해륙풍은 하원을 제외한 대부분이 겨울철 국지풍이 강하다. 이 연구에서는 계절적 바람특성이 제주도 남부의 남동지역(남원, 가시리)과 남쪽지역(서귀포기상대), 남서지역(중문, 서광), 중산간지역(하원)이 비슷하게 나타났고 풍향의 지속성은 연안지역과 중산간지역이 많은 차이를 보였다. 앞으로 이러한 바람특성과 연계하여 국지적 기온과 강수량과의 연관성을 찾아 국지 예보정확도에 향상을 찾아야 할 것이다.

서 관측한 바람의 특성을 분석한 결과 해륙풍이 뚜렷하게 나타난 지점은 서귀포기상대이며 그 이외의 지역은 국지풍 지배적이다. 강한 풍속을 나타내는 지점은 풍속 계급별 빈도수가 높은 하원, 가시, 서광, 서귀포, 중문, 남원 순이다. 풍향의 변화는 계절순환이 가장 많이 반영되는데 남원, 가시, 서귀포는 여름철에 남서풍계열이 우세하고 겨울철에 북서풍이 우세하며, 중문, 서광, 하원은 여름철 남동풍, 겨울철 북풍계열이 우세하다.

요 약

제주도 남부지역은 한라산의 영향으로 기상요소의 변화가 많은 지역이다. 이러한 변화의 원인 중의 하나는 바람이다. 제주도 남부지역에 설치된 자동기상관측자료 서귀포 외 5개 지점에

참고문헌

1. 풍력자원 조사 및 분석(한국에너지기술연구소)
2. 풍력공학입문(문운당)
3. 기상청 : www.kma.go.kr
4. 기상학사전