

강릉 연안지역 해풍의 선정기준과 단 시간 해풍의 기후학적 특성

이화운^{1,*} · 박재홍² · 정우식¹ · 임현호¹

¹부산대학교 대기과학과, 609-735 부산시 금정구 장전동 산 30번지

²공군 73기상전대

Sea Breeze Criterion and the Climatological Characteristics of the Short-time Sea Breeze in Gangneung Coastal Area

Hwa Woon Lee^{1,*} · Jae Hong, Park² · Woo-Sik Jung¹ · Leem Heon Ho¹

¹Department of Atmospheric Sciences Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

²The 73th Weather Squadron of Korea Air Force

Abstract : This study is concerned with the sea breeze criterion and climatological characteristics of the short-time sea breeze in the Gangneung coastal area. The sea breeze criteria in this area are listed here. First, the fact of the sea breeze blowing was considered to be a change of wind direction from land to sea and vice versa without terrain effect like easterly wind. Second, the sea breeze of which continuous time 1-hour or 2-hour was selected. Then the climatological characteristics of the short-time sea breeze were analyzed using the meteorological data from a 10-year(1988~1997) period. The climatological characteristics which were analyzed for the short-time sea breeze consist of the frequency, onset time, wind direction speed and temperature. Finally, this study will be helpful in meteorological application through the climatological characteristics of sea breeze along the east coast as well as Gangneung Airport.

Keywords : sea breeze criterion, Gangneung coastal area, climatological characteristics, short-time

요약 : 본 연구는 강릉 연안지역의 해풍 선정기준과 단 시간 해풍의 기후학적 특성에 관한 것이다. 강릉 연안지역에서의 해풍 선정기준은 다음과 같다. 즉, 육풍에서 해풍으로, 그리고 그 반대로의 분명한 풍향 변화가 있는 가운데 북동 기류와 같이 지형적 원인에 의한 풍향 변화는 해풍 선정에서 제외시켰다. 그리고 해풍이 1시간 또는 2시간만 지속된 경우도 포함시켰다. 이렇게 선정된 해풍 가운데 강릉 연안 지역에서의 가장 큰 특징인 단 시간 해풍에 대한 기후학적 특성을 10년 동안(1988년~1997년)의 자료를 통해 분석하였고 계절별 발생빈도, 발생시간, 풍향, 풍속, 기온으로 구성되었다. 마지막으로 본 연구는 강릉 연안지역 뿐만 아니라 동해안 지역 해풍의 기후학적 특성활용에 대해 간략히 논하였다.

주요어 : 해풍선정, 강릉 연안 지역, 기후학적 특성, 단시간

서론

해륙풍은 일일 주기를 갖고 부는 바람으로써 경도풍, 대기 안정도와 같은 기상 요소와 지형, 위도, 육지와 바다의 온도차, 해안선의 형태 등에 의해서 크게 영향을 받는 국지성이 강한 기상현상이다. 이러한 해륙풍은 해안 지역의 국지 순환을 지배하는 중요한 기상 현상일 뿐만 아니라 그 지역의 대기 순환에도

큰 영향을 주는 중규모 대기 순환이다. 따라서 중규모 대기 순환에 관한 연구의 일환으로써 해륙풍에 대해 큰 관심을 갖고 연구가 진행되어 왔다(Anthes, 1978; Dalu and Pielke, 1989).

그러나 항공 기상에 있어서의 해륙풍의 비중은 강수, 구름, 안개, 강풍과 같은 기상 현상에 비해 상대적으로 소홀하게 인식되어 왔고 이로 인해 활주로 상에 있는 항공기의 안전한 운행을 위한 기상 지원에 있어 관심이 부족했던 것이 사실이다. 또한 종관장의 영향이 거의 배제되어 해륙풍이 매우 뚜렷이

*Corresponding author: hwlee@hywon.pusan.ac.kr

표현된 다소 이상적인 사례들을 선정하여 해륙풍을 분석한 이전의 연구 결과(김유근, 1988; 김유근·안창섭, 1985; 전병일 등, 1994; 임현호, 2000)를 종관장의 풍계와 해륙풍이 함께 나타나는 사례일까지를 필요로 하는 항공 기상 관련 실무자가 활용하기에는 많은 문제점이 있다. 즉, 이러한 해륙풍에 대한 분석은 있었지만 이를 예보하고 지원하는 실제적인 기상 예보 지원 측면에 있어서는 분석 및 연구가 전무한 실정이다.

따라서 본 논문은 항공기 운항에 관련된 기상 실무자들이 이용할 수 있는 종관적 특성을 함께 고려한 더 포괄적이고 상세한 해풍 선정 기준을 만들었다. 또한 이러한 기준을 바탕으로 남해안이나 서해안과 같이 해상에 크고 작은 섬들이 없고 해안선이 매우 뚜렷한 경계를 이루는 강릉 연안에서 독특하게 나타나는 단 시간 해풍의 기후학적 특성을 10년 동안(1988년~1997년)의 전산 처리된 기상 자료를 이용하여 분석하고 이를 항공 기상 관련 실무자가 활용함에 도움이 되고자 한다.

해풍 선정기준

대상 지역의 지형 지세

본 연구에서 대상 지역으로 선정한 강릉 지역(강릉 공군 기상대)의 지형적 특징은 Fig. 1과 같다. 강릉 공항은 북위 37°45', 동경 128°58'에 위치하고 있으며, 바다와 접해 있다. 강릉 지역을 중심으로 북서에서 남동쪽으로 백두대간이 위치하고 산맥에서 15~20km

떨어져 동해안이 산맥과 나란히 뻗어있다(해안선 330°~150° 방향). 이 지역 20km 내의 지형적 특징을 살펴보면 고지대(1500m)가 남쪽 및 서쪽으로 집중 분포되어 있고, 산맥의 능선에서 동쪽으로는 기울기는 동해쪽의 경사가 약 4배 가량 급경사를 이루고 있다. 세부적인 지형 지세로는 5km 내외에는 낮은 야산과 전답이 주로 분포하며, 산과 전답의 비례는 산이 훨씬 많다. 15km 내외에는 200° 방향의 매봉산을 중심으로 700m 이상의 높은 산들이 분포하고 있다.

해풍 선정기준

본 연구에서 제시한 해풍 선정기준에 의한 해풍 발생일은 Fig. 2와 같은 단계로써 첫째, 하루 동안의 풍향이 육지와 바다가 위치한 방향으로 변화가 있는 날을 바람으로 선정하였다. 즉, 하루동안의 풍향이 주간(0700LST~1800LST)에는 육풍(남서~북서 방향)에서 해풍(남동~북동 방향), 야간(1900LST~0600LST)에는 해풍에서 육풍으로의 변화하는 날을 해풍 발생일로 선정하였다.

둘째, 영동지역의 지형적인 특성에 의해 나타나는 현상인 북동기류에 의한 저고도 구름 및 강수가 있

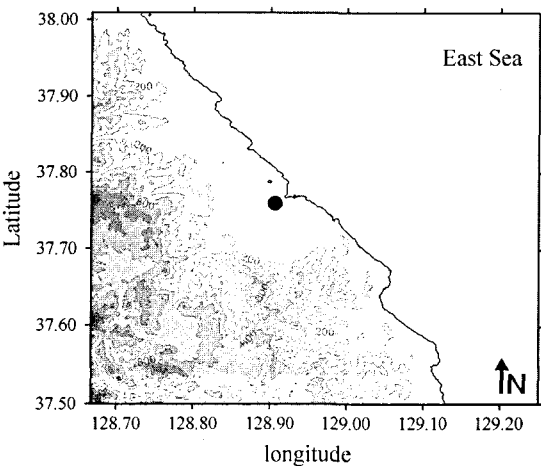


Fig. 1. The Gangneung coastal area (●: Gangneung).

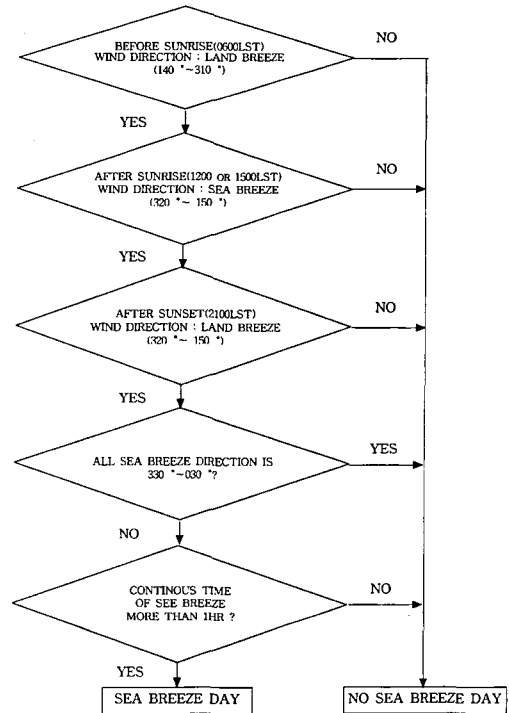


Fig. 2. The flowchart used this study.

었던 날은 해풍 발생일에서 제외시켰다. 이는 영동지역에 나타나는 현상으로 종관 기압계(백두산 지역에 고기압이 위치하거나, 동해상에 저기압이 위치할 때, 그리고 오호츠크 고기압이 설상으로 위치한 기압계)의 영향을 받는 경우 풍향이 330°~030° 방향으로의 풍계가 형성되므로 이는 해풍 선정에서 제외하였다.

마지막으로 서풍이 강할 때($\geq 10ms^{-1}$) 1시간에서 2시간의 지속시간을 갖는 해풍은 포함시켰다. 서풍이 강하게 불 때 강릉 지역은 백두대간에 의한 지형적인 뒀(Föhn) 현상을 초래하여 육지와 바다와의 온도차를 더욱 크게 하기 때문에 비록 종관계가 육풍이 강하게 부는 기압배치일지라도 온도 경도력에 의해 단 시간 해풍이 발생하게 된다. 이는 육지와 바다와의 비열 차이를 단 시간에 크게 하여 더욱 뚜렷한 해풍을 유발하기 때문에 선정하였다.

단 시간 해풍의 기후학적 특성 분석

강릉 지역의 경우 서풍이 일 중 불 경우 이는 강풍인 경우가 많으며, 지형적인 영향으로 뒀(Föhn) 현상이 발생하여 다른 날에 비해 기온이 많이 상승하는 경우가 있다. 이럴 경우 육지와 해양간의 기온차이가 단 시간에 크게 발생하기 때문에 온도 경도가 커져 해풍 발생의 원인이 된다. 따라서 종관장이 서풍이 부는 유형에서 1시간 내지 2시간의 단 시간 동안 해풍이 발생하게 된다. 이러한 현상은 다른 지역(남해안 및 서해안)에서는 발생하지 않는 현상으로써 강릉을 포함한 영동 해안의 지형적인 요인 때문이다. 그러므로 강릉 지역에서의 이런 단 시간 해풍에 대해 그 기후학적 특성을 분석하였다.

발생 메커니즘

Fig. 3. (a)는 단 시간 해풍 발생일에 대해 발생 전 육풍이 부는 경우의 풍계를 나타낸 것이다. 단 시간 해풍 발생일의 경우 그 주 풍은 북서풍이 되는 가운데 강릉 서쪽으로 형성된 산악의 영향으로 뒀(Föhn) 현상이 발생하여 단 시간 동안 온도 경도력이 증가하여 Fig. 3. (b)에서와 같이 해풍으로의 풍향 변환이 일어난다. 그러나 해풍으로의 풍향 변환이 있는 후 온도 경도력이 작아지고 이 힘이 기압 경도력 보다 작아지게 되면, 다시 서풍이 불게 된다. 결국 단 시간 해풍 발생일에 대해 그 풍계 변화를 보면 (a) → (b) → (a)로 되며, 그 힘은 기압 경도력과 온도 경도

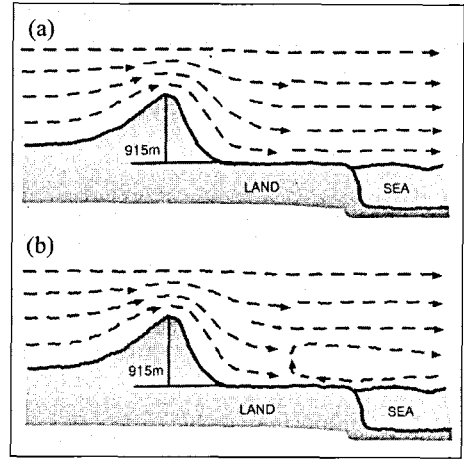


Fig. 3. The generating mechanism of sea breeze day for short time.

력의 상호 평형 관계에 의해 이루어진다. 다시 말해 기압 경도력이 클 경우 서풍이 나타나고, 뒀(Föhn) 현상에 의해 단 시간에 온도 경도력이 커지면 이 힘에 의해 해풍이 발생하고, 해풍으로 인해 온도 경도력이 감소되어 기압 경도력보다 작게 되면 다시 육풍인 서풍으로의 풍향 전환이 일어난다. 즉, 서풍이 강하게 부는 기압 배치하에서 단 시간의 해풍이 발생하는 것이다.

발생빈도

강릉 지역에서의 10년간 단 시간 해풍 발생 일의 계절별 발생빈도는 다음과 같다. 겨울철이 37일(44.6%)로 가장 많았으며, 다음으로 가을(27일, 32.5%), 봄(14일, 16.9%), 여름(5일, 6.0%)의 순으로 나타났다. 겨울철이 다른 계절에 비해 많이 발생한 원인은 계절풍인 북서풍이 우세한 가운데 뒀(Föhn) 현상에 의한 단 시간적 기온 상승률이 다른 계절에 비해 크므로 해륙풍 변환의 원동력이 되었기 때문이며, 이로 인해 서풍 유형에서 단 시간 해풍이 발생하게 된 것이다. 여름철이 다른 계절에 비해 현저하게 적게 발생한 것은 온도 변화율이 다른 계절에 비해 작아 온도 경도력이 작기 때문이다.

발생 시작 시간

Fig. 4는 계절별 단 시간 해풍 발생일에 대한 발생 시간 빈도수를 나타낸 것이다. 봄철의 경우 1200LST와 1400LST가 4일(28.6%)로 가장 많은 빈도수를 나

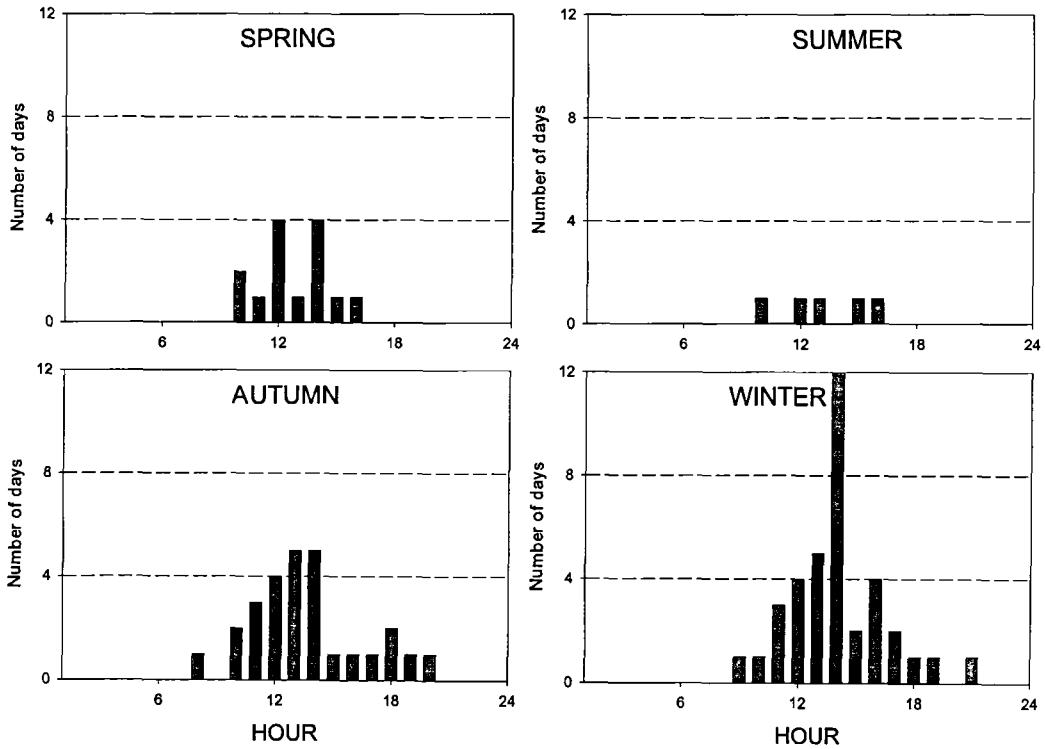


Fig. 4. The seasonal frequency of the onsettime of the sea breeze for short time during 10 years in Gangneung.

타냈으며, 평균 발생 시간은 1247LST이다. 여름철의 경우 1000LST에서 1600LST 사이에 1일의 고른 분포를 나타내며 평균 발생 시간은 1312LST이다. 가을철의 경우 1300LST와 1400LST가 5일(18.5%)로 가장 많이 발생했으며, 평균 발생 시간은 1336LST로 나타났다. 겨울철에는 1400LST(12일, 32.4%)가 월등히 많았으며, 1200LST에서 1600LST 사이에 고른 분포를 나타낸다. 겨울철 평균 발생 시간은 1402LST로 사계절 중 가장 늦으며 가장 빠른 봄철에 비해 1시간 15분 늦게 발생한다. 이렇듯 단시간 해풍이 일반적인 해풍 발생시간보다 늦게 나타나는 것은 그 발생 메커니즘에서 보듯이 뒤편(Föhn) 현상으로 인해 풍하측에서의 온도 상승이 유도되어야 하기 때문에, 그리고 겨울철의 경우 지면 가열이 다른 계절에 비해 상대적으로 작기 때문에 14시 이후에 주로 발생한다.

풍향 및 풍속

Fig. 5는 일반적인 해풍 발생일과 짧은 시간 발생한 날에 대한 풍향별 빈도수의 비교이다. 단 시간 해풍의 풍향에 있어 전반적으로 비슷한 가운데 30° 방향

이 가장 많은 빈도를 나타냈다. 이는 일반적인 해풍의 경우 90° 방향의 풍향이 가장 많은 빈도수를 나타낸 것과 차이가 있다. 이는 서풍이 우세한 경우 완전히 정풍으로의 풍향 전환이 힘들다는 것을 보여준다.

Fig. 6은 일반 해풍 발생일과 단 시간 해풍 발생일에 대한 풍속 빈도를 나타낸 것이다. 단 시간 해풍 풍속의 경우 가장 많은 빈도수는 4ms^{-1} (219시간, 11%)로 나타났으며, 다음으로 5ms^{-1} (207시간, 10.0%), 2ms^{-1} (195시간, 9.8%), 3ms^{-1} (188시간, 9.4%)의 순으로 나타나 일반적인 해풍 풍속 1ms^{-1} (14.5%), 0.5ms^{-1} (14.0%), 2ms^{-1} (10.8%)에 비해 풍속이 강함을 볼 수 있다. 2.5ms^{-1} 이상을 기준으로 일반적인 해풍의 풍속은 전체의 29.8%를 차지했으나, 단 시간 해풍의 풍속은 55.9%를 차지하는 것을 볼 수 있다. 이렇듯 단 시간 해풍은 일반적인 해풍보다 풍속이 강함을 볼 수 있으며, 그 크기는 $4\sim 5\text{ms}^{-1}$ 이며, 10ms^{-1} 이상이 나타나는 경우도 종종(1.8%) 발생한다.

기온

Fig. 7은 일반 해풍 발생일과 단 시간 해풍 발생일

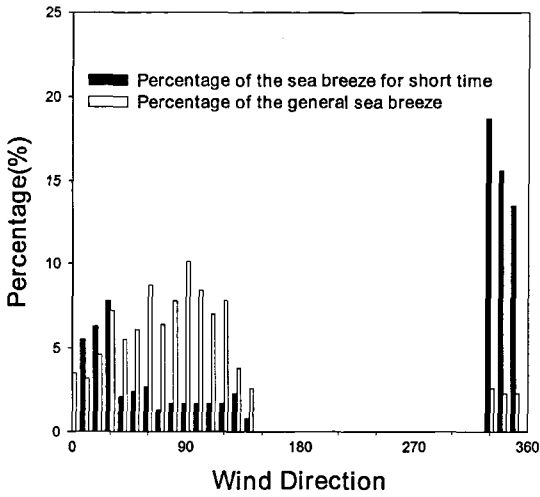


Fig. 5. The comparison of the wind direction between the sea breeze for short time and the general sea breeze.

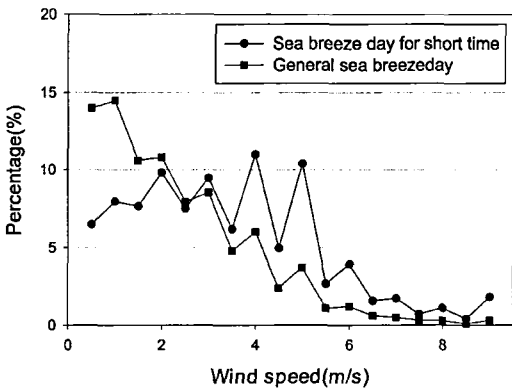


Fig. 6. The comparison of the wind speed between the sea breeze for short time and the general sea breeze.

에 대해 해풍이 발생하기 전 최고와 최저 온도차이 빈도를 나타낸 것이다. 7°C 이하까지의 일교차 빈도는 일반적인 해풍 발생일에 많으며, 8°C 이상부터의 일교차는 단 시간 해풍 발생일에 대해 더 많은 빈도를 나타내고 있다. 이는 단 시간 해풍 발생 시 지속적인 서풍으로 인한 Föhn 현상으로 기온이 상승하며, 이 기온 상승이 해풍으로의 에너지로 작용해 단 시간의 해풍이 발생하는 것이다.

Fig. 8은 단 시간 해풍 발생일에 대한 월별 해풍이 발생하기 전의 최고 온도와 최저 온도와의 차이를 나타낸 것이다. 10월이 11.0°C로 가장 일교차가 컸으며, 다음으로 11월(10.0°C), 4월(9.5°C), 7월(9.0°C) 순이며 5월이 7.5°C로 일교차가 가장 작다. 그러나 겨

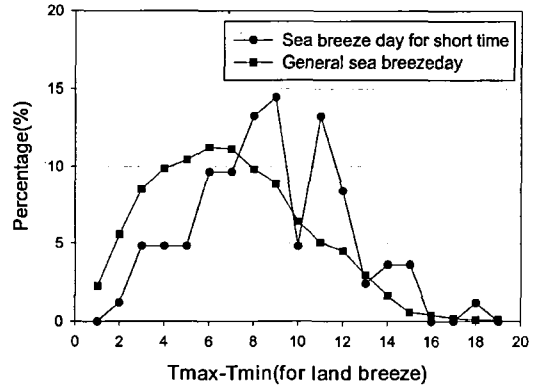


Fig. 7. The comparison of the mean difference between maximum and minimum temperature for the sea breeze occurrence day during 10 years in Gangneung.

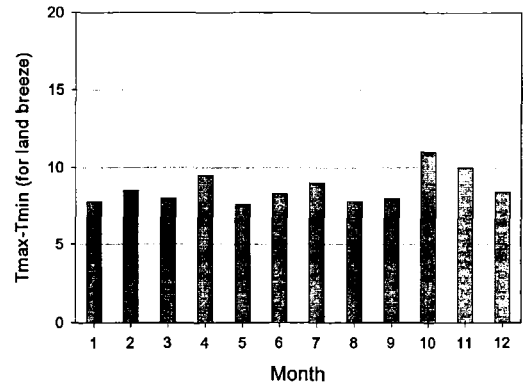


Fig. 8. The monthly mean difference between maximum and minimum temperature before sea breeze 10 years in Gangneung.

울의 경우 평년 일교차(7.8°C)보다 단 시간 해풍이 발생하였을 경우의 일교차(8.4°C)가 다른 계절에 비해 현저히 큼을 알 수 있다.

강릉지방 해풍의 기후학적 특성 활용

해륙풍을 적극적으로 활용한다면 항공운항 분야 및 생활에 보다 효율적이고 경제적이다. 다음은 해륙풍에 대한 활용법이다.

첫째, 강릉 공항의 항공 기상 관계자들에게 있어 본 연구에서 행한 해륙풍 사례일의 종관 유형과 함께 해풍의 기후학적 특성을 활용하면 6시간 및 12시간의 단기 예보에 큰 도움 될 수 있다. 즉, 당일 종관 일기도 분석을 통한 당일의 종관 유형, 오전 중의

실시간 관측 자료와 기온, 습도 등의 다른 기상 요소의 예측들을 통해 당일 오후의 해륙풍 발생 여부를 예측하고, 이를 통해 해풍이 발생할 것으로 예측되면 이후 강릉 공항에서 통계적으로 분석된 해풍 특성을 활용하여 6시간 및 12시간 동안의 하늘 상태, 시정, 기온, 습도 그리고 바람 등의 예보 및 관련 기관에 이미 해풍이 발생했을 때, 해풍인지의 여부를 검토하는데 이용할 수 있을 뿐만 아니라 해풍일 경우 역시 이후의 기상 예보 및 지원에 큰 도움이 된다.

둘째, 활주로를 이용하는 항공기에게 있어 어느 방향의 활주로를 사용하고 어떻게 운용할 것인지에 대한 예보 지원이 가능하므로 효율적인 활주로 사용을 할 수가 있다.

셋째, 고기잡이배의 경우 해륙풍이 불 때 해풍과 육풍을 이용하면 많은 경제적 이득을 취할 수 있을 것이다.

넷째, 냉방 사업체의 경우 아무리 무더운 경우라 할지라도 영동지방에 일일 주기로 시원한 해풍에 의한 청정 효과가 있으므로 냉방 기기와 빙과류에 대한 공급에 보다 효율적으로 대처한다면 상당한 이득을 볼 수 있을 것이다.

마지막으로 생활 양식에 해륙풍을 활용한다면 가정의 경제에도 상당한 이득을 취할 수 있다. 예를 들면 여름에 시원한 해풍을 실내로 유입할 수 있도록 가옥 구조를 설계한다면 시원한 여름을 보낼 수 있을 것이다.

결 론

본 연구는 강릉 공항(강릉 공군 기상대)에서 관측한 10년(1988~1997년)자료를 이용하여 해풍 발생일 선정과 함께 단 시간 해풍의 기후학적인 특성을 분석하여 기상 실무자로 하여금 해륙풍에 대한 예보를 할 수 있게 해륙풍에 대한 예보 방법을 제공하고자 한다.

우선 해풍 발생일에 대한 선정은 하루 동안의 풍향 변화를 주간에는 육풍(북서~남서 방향)에서 해풍(북동~남동), 야간에는 해풍에서 육풍으로의 풍향 변화가 있는 날을 우선 선정하였다. 둘째, 영동지역의

지형적인 현상인 북동기류가 있던 날은 제외시켰으며 마지막으로 낮 시간대에 해풍으로 부는 시간이 1시간이라도 있으면 해륙풍 변화로 간주하였다.

이상의 선정 기준을 이용하여 강릉 지역에서만 독특하게 나타나는 단 시간 해풍에 대한 기후학적 특성을 분석한 결과이다. 단 시간 해풍 발생을 계절별로 살펴보면, 겨울(44%), 가을(32.5%), 봄(16.9%), 여름(6.0%)순으로 나타났으며 단 시간 해풍의 발생시간은 1337LST로 일반적인 해풍보다는 2시간 42분 늦게 나타났다. 풍향에 있어서 일반적인 해풍이 90°인데 반해 30° 방향으로 나타나 기압계에 의한 서풍이 우세한 경우 완전히 정풍(해안선에 수직으로 부는 바람)으로의 풍향 전환이 이루어지지 않는다. 풍속은 4~5m⁻¹로 풍속이 강하게 나타났다. 온도 차이에 있어서 일반적인 해풍보다는 일교차가 높게 나타난다.

이상을 토대로 강릉 지역에서의 해풍 발생 여부를 더욱 객관화시켰고 이를 이용하여 해풍의 기후학적 특성 분석을 가능케 하였다. 또한 강릉 지역에서 나타나는 단 시간 해풍의 기후학적 특성 분석으로 겨울 및 가을철 단 시간적으로 풍향이 해풍으로 변화함을 이해할 수 있고 나아가 항공운항 등에 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김유근, 1988, 제주도 지방의 해륙풍의 기후학적 특성과 Simulation에 관한 연구, 부산대학교 대학원 박사 학위 논문, 89 p.
- 김유근 · 안창섭, 1985, 남해안 지방의 해풍의 특성, 한국어업기술학회지, 21(2), 115-122.
- 전병일 · 이화운 · 김유근, 1994, 부산 연안역의 바람특성에 관한 고찰, 한국 환경 과학회지, 3(1), 1-9.
- 임현호, 2000, 부산 연안지역에서 해륙풍의 선정과 기후학적인 특성에 관한 연구, 부산대학교 대학원 석사학위 논문, 6-24.
- Anthes, R.A., 1978, The Height of the Planetary Boundary Layer and the Production of Circulation in a Sea Breeze Model, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 35(7), 1231-1239.
- Dalu, G.A. and Pielke, R.A. 1989, An Analytical Study of the Sea Breeze, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46(12), 1815-1825.