

해풍시작에 영향을 미치는 지형성 강풍현상에 대한 고찰 - 관측자료 분석 -

정우식·이화운

부산대학교 대기과학과

(2001년 12월 12일 접수; 2002년 4월 19일 채택)

Investigation for the Terrain Following Strong Wind Phenomenon Effecting to the Onset of Sea Breeze - Analysis of Observation Data -

Woo-Sik Jung and Hwa Woon Lee

Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 617-736, Korea

(Manuscript received 12 December, 2001; accepted 19 April, 2002)

We would like to investigate the strong wind phenomenon effecting to the onset of a sea breeze. It is general the fact that the onset time of a sea breeze is mainly affected according to the distance from the coastline but we find the reversal fact. The onset time at Suyoung is faster than that at Haeundae in spite of the observation site of Suyoung is 5 m and that of Haeundae is 1 km away from the coastline. This is the reason that the nighttime air is converged the lower area by surface cooling and then it is strongly drained onto the lowest area, Suyoung river until the sunrise. it is proved by observation data at Suyoung and Haeundae.

Key words : strong wind phenomenon, onset time, sea breeze

1. 서론

일반적으로 지역적 국지순환계의 형성과 특징 및 기류의 이동에 영향을 미치는 요소는 여러 가지가 있다고 알려져 있다. 하지만 그 중에서도 중요하고 큰 영향을 주는 것이 '지형적 효과'라고 할 수 있다. 이것에 대해서는 여러 가지 측면에서 그 중요성에 대한 연구가 이루어져 왔다. Müller와 Whiteman¹⁾은 야간 기온역전의 소멸에 대한 연구에서 협곡(canyon)의 형태가 매우 큰 영향으로 작용한다는 것을 밝혔는데, 특히 3가지 가상 지형에 대해 바닥 지형의 폭을 또 다른 변수로 하여 이들 각각에서 역전층의 하강에 따른 소멸과 대기경계층의 성장에 의한 역전층의 소멸과정이 다르게 작용한다는 것을

연구하였으며 Sakiyame²⁾는 지형적 특징이 상이한 두 협곡(평탄하게 열려 있는 분지형 협곡과 좁고 깊은 협곡)에서 배사류(drainage flow)의 특징과 기온역전의 소멸과정에 대해 지형적 특징이 미치는 영향을 분석한 바가 있다. 또한 많은 연구자들이 지형적 특징에 따른 기류의 이동이나 대기오염물질의 수송을 살펴보기 위해 수치모형을 이용한 수치실험을 많이 하였는데, 이들은 실제지형에서의 관측결과와 가상지형에서의 수치결과를 통해 국지순환계의 특징 및 대기오염물질의 거동을 예측하였다^{3,5)}. 이외에도 Kimura⁶⁾는 일본 관동평야지역에서 형성되는 야간 중규모 소용돌이(vortex)가 이 지역을 둘러싼 고지대의 풍하층에 있기 때문에 나타나는 현상이라는 것을 밝혀 지리적, 지형적 중요성을 다시 한번 강조하였다. 이와 같이 여러 연구들을 통해서 국지순환계에 미치는 지형적 특성의 중요성이 강조되어 왔다.

과거부터 지금까지 국내외에 걸쳐 국지순환계의

Corresponding Author : Hwa Woon Lee, Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 617-736, Korea

Phone : +82-51-510-2291

E-mail : hwlee@pusan.ac.kr

특징에 대해서는 해륙풍을 대상으로 많은 연구들이 이루어져 왔다^{7),8)}. 이것은 해륙풍순환계가 일찍부터 알려져 왔던 대표적인 중규모 국지순환계이고 이에 따라 해륙풍의 생성원리와 특징이 잘 알려지고 분석이 용이하였기 때문으로 볼 수 있다. 또한 인간 생활에 영향을 미치는 대기오염에 대한 관심이 증가되면서 대기오염물질의 이동과 확산 그리고 수송에 중요한 영향을 미치는 국지순환계의 이해가 필수적으로 요구되었고 이에 가장 효과적이며 직접적으로 다룰 수 있던 것이 해륙풍순환계였기 때문으로 볼 수 있다. 이와 같은 이유에서 지금까지 해륙풍과 관련된 많은 연구들이 계속적으로 수행되고 있다.

국지순환계에 대한 특성 분석 및 예측을 위해서는 무엇보다도 중요하고 우선적으로 살펴야 할 것이 지역적으로 형성 가능한 각각의 국지순환계에 대한 상세한 분석이라고 할 수 있다. 그러나 이전의 연구들에 있어서 지역적으로 형성 가능한 각각의 국지순환계에 대한 상세한 특성 분석 및 지형적 특성이 국지순환계에 미치는 영향에 대해서 상세하고 집중적인 분석을 수행한 연구는 많지 않았다. 특히, 해풍순환계에 대한 지형의 영향에 대해서 여러 연구에서 그 중요성은 지적하고 언급하였으나 이에 대한 집중적인 연구는 거의 전무한 편이다.

따라서 본 연구에서는 바다를 포함하고 있는 연

안지역에서 나타나는 대표적 중규모 국지순환계인 해륙풍순환계를 대상으로 이에 큰 영향을 미치는 지형적 효과와 관련된 야간의 강풍현상을 살펴보기 위하여 부산지역을 대상으로 분석을 수행하였다.

2. 부산연안지역의 지형지세 및 자료의 선정

본 연구에서 살펴보고자 하는 것은 ‘야간시간대에 나타나는 지형성 강풍현상이 해풍시작에 어떠한 작용을 하며 어떻게 영향을 미치는가?’이다. 따라서 우선, 부산의 각 지점별로 측정되는 기상자료를 분석하여 각 지점별 해풍시작시간을 파악하는 것이 중요하다. 이에 본 연구에서는 부산대학교 대기과학과에서 수영과 해운대에 설치한 자동기상관측장비(Automatic Weather System, 이하 AWS)의 자료를 이용하여 해풍시작시간을 분석하였다. Fig. 1은 수영과 해운대에 설치된 AWS의 위치와 부산지역의 지형지세를 나타낸 것이다. 그림을 보면 부산지역은 도시의 전면부가 전반적으로 남서-북동방향으로 바다에 접해 있으며 도시내륙으로는 높이 500~800m의 비교적 높은 고지대가 남서-북동방향으로 길게 형성되어 있고 내륙의 오른쪽으로도 비교적 고지대의 지형적 특징을 하고 있다. 이러한 고지대를 배경으로 부산의 도심부가 저지대의 분지형태로 형성되어 있는데 특히, 도심부의 해발고도가 약 3m(Fig. 1)에서 가장 바깥쪽 등치선의 해발

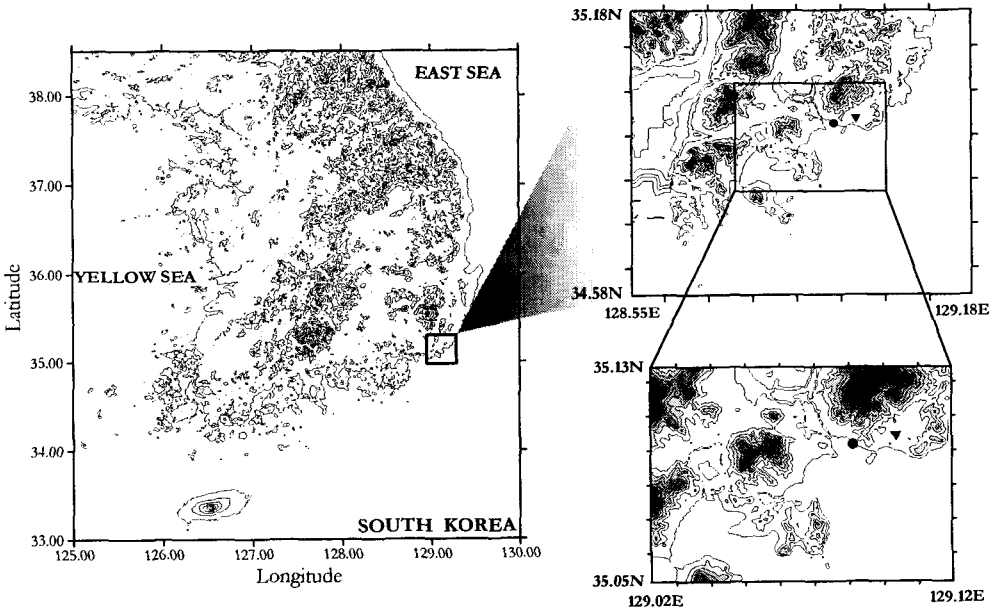


Fig. 1. Study area and observation points of AWS within the Busan coastal area.

(● : Suyoung , ▼ : Haeundae)

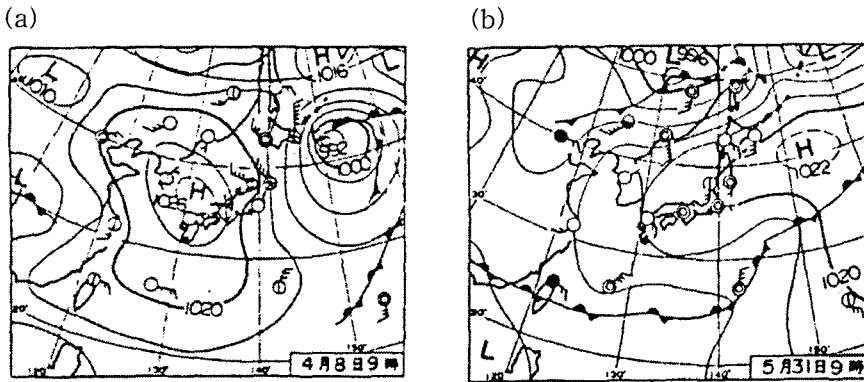


Fig. 2. Surface weather charts at 0900LST on (a) 8 April and (b) 31 May, 1999.

고도는 3m임.)보다 더 낮은 상당히 저지대를 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 즉, 부산 도심부 주변으로 높은 산들이 둘러싸고 있는 지형적 형태를 하고 있다. 그림을 살펴보면 수영과 해운대의 관측지점 위치가 모두 연안부근에 설치되어 있는데 좀 더 상세한 지형지세는 그림 아래쪽의 확대된 부분을 보면 잘 알 수 있다. 수영의 관측지점은 해안으로부터 약 5m 떨어진 지점에 위치하고 있으며 해운대의 관측지점은 해안으로부터 약 1km 정도 떨어진 지점에 위치하고 있다.

각 지점별 해풍의 시작시간을 분석하기 위하여 1999년 3월에서 6월까지 종관기상장의 영향이 비교적 약하고 해풍의 발생이 뚜렷이 보였던 20일을 연구 대상으로 선정하였다. 선정한 20일 중 오전에 육풍에서 해풍으로의 전환이 매우 뚜렷하고 전형적으로 나타난 1999년 4월 8일과 5월 31일의 지상일기도를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 우리나라가 이동성 고기압의 영향권에 들어 있어 대체로 날씨가 맑고 전반적으로 우리나라 부근으로 종관장의 영향이 강하지 않다는 것을 알 수 있다.

2.1. 자료의 분석 방법

연구대상으로 선정한 수영과 해운대에서 해풍의 시작시간을 찾아내기 위하여 선정된 20일 각 날의 10분 간격 기상자료를 분석하였다. 여러 연구에서 분석한 바와 같이 해풍이 시작할 때(해풍이 도달하였을 때) 나타나는 기상요소의 변화로는 풍향의 급변, 풍속의 증가, 기온의 하강 또는 상승폭의 둔화 그리고 습도의 증가 등을 들 수가 있다^{9,10}). 따라서 본 연구에서도 위에서 설명한 조건들을 기준으로 해풍 시작시간을 분석하였다.

3. 결과 분석

3.1. 기상요소의 변화

Fig. 3은 연구대상 20일 중 1999년 4월 8일에 수영과 해운대에서의 풍향, 풍속, 그리고 기온의 일변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 수영에서 해풍의 시작은 약 7시 40분 경에 나타나고 있으며 해운대에서는 약 9시 10분에 나타나서 두 지점에서 약 90분 가량 해풍 시작시간에 차이가 나타나고 있음을 볼 수 있다. 그리고 5월 31일(Fig. 4)의 경우에도 수영에서는 약 8시 40분 경에 해풍의 시작이 나타나고 있으며 해운대의 경우는 약 7시 30분으로 나타나서 이날의 경우에도 해운대에서 약 70분 정도 빨리 해풍이 시작되는 것을 알 수 있다. 이들 결과를 통해 수영보다 해운대에서 해풍이 빨리 시작하고 있다는 것을 알 수 있다.

여기서 주의 깊게 관심을 가져야 할 것은, 수영의 관측지점이 해안으로부터 약 5m 정도 떨어져 있고 해운대의 관측지점이 해안으로부터 약 1km 정도 떨어져 있음에도 불구하고 해운대에서 해풍이 빨리 시작하고 있다는 점이다. 이는 일반적으로 알려져 있는 사실인 해안으로부터 가까운 거리에 있을수록 해풍의 시작이 빨리 나타난다는 것과 전혀 다른 현상인 것이다. 즉, 그림에서와 같이 야간 육풍에서 해풍으로의 전환이 있는 시간대 부근의 풍속이 약 $1\sim 2\text{ms}^{-1}$ 라는 점을 고려하면 해운대에서 수영보다 약 10~15분 정도 늦게 해풍이 시작되어야 하지만 반대로 해운대에서 훨씬 빨리 시작하고 있는 것이다. 이러한 특이한 결과는 이 날들에만 나타나는 것이 아니라 나머지 분석일에서도 잘 볼 수 있다. Fig. 5는 연구 대상으로 선정한 해풍발생일 20일에 대해서 각 날의 해풍시작시간과 두 지점(수영과 해운대)간 해풍 시작시간의 차이를 나타낸 것이다. 그림을 보면 분석 대상일 20일 모두 해운대

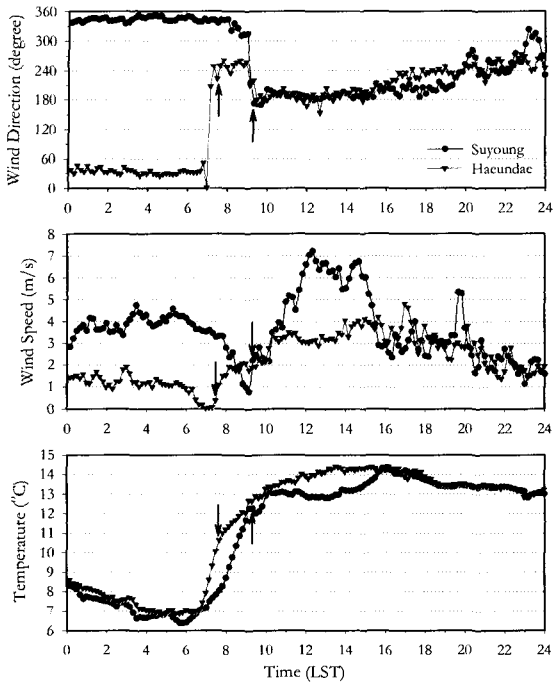


Fig. 3. Diurnal variations of the observed wind direction, wind speed, and temperature at Suyoung and Haeundae on 8 April, 1999. Arrows indicate the onset time of a sea breeze.

의 해풍시작시간이 수영보다 빠르다는 것을 알 수 있으며 두 지점간 해풍시작시간의 차이는 어떠한 일정한 경향을 보이고 있지는 않으나 평균 약 1시간 정도로 나타나고 있다. 그리고 두 지점 모두 하계로 갈수록 해풍의 시작시간이 빨라지는 것을 분명히 알 수 있는데 이는 하계로 갈수록 일출시간이 빨라지는 것과 연관되어 있다고 볼 수 있다.

이상의 결과에서 우리가 일반적으로 알고 있는 사실과 달리 해안에서 멀리 떨어져 있는 해운대에서 수영보다 해풍의 시작이 빨리 나타나는 것을 볼 수 있었다. 그렇다면 이러한 특징적인 현상이 어떻게 해서 나타나는 것인가에 대해서 상세히 알아볼 필요가 있다.

3.2. 지형지세의 영향

종관기상장의 영향이 약해서 국지순환계에 의한 풍계가 지배적으로 나타나는 날에 부산지역은 바다를 포함하고 있는 지리적 특성과 복잡한 지형 굴곡을 포함한 지형적 특성에 의해 해륙풍과 산곡풍(사면류)이 잘 형성될 수 있는 조건을 가지고 있다. 즉, 주간에는 육지면 가열에 의해 바다로부터 해풍의 유입과 지형의 경사면을 따르는 곡풍이 나타나

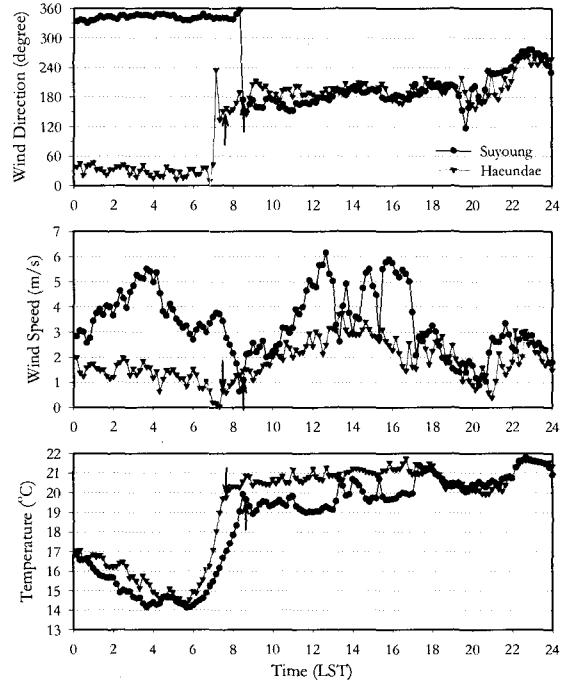


Fig. 4. Same as Fig. 3, except on 31 May 1999.

게 되며 야간의 경우에는 육풍과 산풍을 잘 볼 수 있는 지역적 특징이 있다. 일반적으로 야간에는 주간에 비해 약한 풍속의 분포를 나타내며(Fig. 3, Fig. 4 참조) 기본적으로 지면냉각효과가 상층으로 전달되어 이로 인해 냉각된 공기괴가 지형의 경사면을 따라서 흘러가기 때문에 주간에 비해 지형의 영향이 더욱 중요하게 부각된다. 따라서 각 지점에서의 야간 풍계는 주변 지형의 분포와 형태에 크게 영향을 받으며 주변에 형성되어 있는 해안선의 방향에도 큰 영향을 받게 된다.

Fig. 6은 부산지역의 지형 분포를 좀 더 뚜렷하

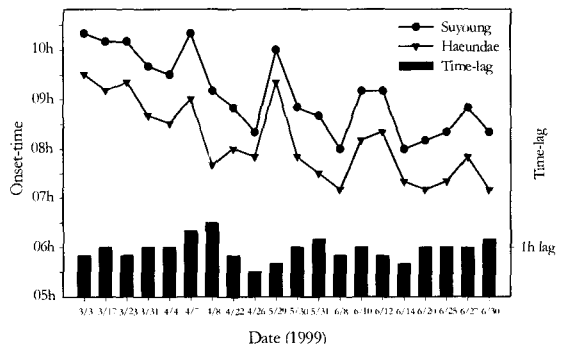


Fig. 5. Onset time of a Sea breeze and the time-lag between Suyoung and Haeundae.

게 살펴보기 위해 입체적으로 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 부산광역시 지역은 서쪽으로 낙동강 하구의 넓은 저지대를 볼 수 있으며 이곳과 부산도심지 사이로 남서에서 북동으로 높은 산들이 연이어 형성되어 있는 것을 자세히 볼 수 있다. 또한 도시중심부(Fig. 6의 타원지역)는 주위에 높은 산들의 고지대로 둘러싸인 저지대 분지형태를 하고 있다.

이와 같은 지형적 원인에 의해 야간의 공기괴가 지면의 냉각효과에 의해 냉각되며 냉각된 공기가 고지대의 지형 경사면을 따라서 가장 저지대로 수렴하게 된다는 점을 생각할 수 있다. 따라서 도시중심부 주위로 높은 산들이 전체적으로 둘러싸고 있는 부산의 경우에는 야간의 지표냉각에 의해 주위 고지대의 지형 경사면을 따라서 분지 지역인 도시중심부로 공기의 수렴이 나타나게 되는 것이다. 이러한 과정을 통해 수렴된 공기는 또 다시 더욱 저지대로 흘러가게 되는데, 결국 수렴된 이들 공기가 흘러 나갈 수 있는 통로는 가장 저지대인 수영천이 형성되어 있는 곳이 된다(Fig. 6의 화살표).

따라서 다음날 일출과 더불어 육지에서 지면가열에 의한 온도 상승으로 해풍 발생 조건이 형성되어 새로운 풍계를 형성하게 된다 하더라도 수영천 주변은 여전히 야간에 저지대에 수렴된 잔여공기가 강하게 불어 나가기 때문에 해풍의 시작과 발달이 억제가 된다. 하지만 인접해 있는 해운대 지역은 이미 해풍이 시작되어 내륙으로 진행을 하게 되며 시간이 지나서 수영천을 통한 야간

육지공기의 유출이 없어지고 일사에 의한 지면가열이 지속적으로 진행되면서 수영에서도 해풍이 형성되어 내륙으로 진행하게 된다.

하지만 여기서 '해풍의 시작시간에 영향을 미치는 야간 강풍현상'과 관련해 앞서 분석한 내용들이 어느 정도 타당성이 있는 것인지를 살펴볼 필요가 있다.

3.3. 타당성 논의

우선 앞서 언급한 바와 같이 야간에 지표냉각에 의해 냉각되어 도심지에 수렴된 공기가 수영지역을 통해서 유출된다고 하는 것은 야간시간대의 풍속과 풍향의 비교를 통해 확인 할 수 있다.

도시중심부를 둘러싸고 있는 고지대 경사면에서 공기가 흘러 내려와 수렴을 한 후, 좁은 수영천이 있는 저지대를 통해서 유출이 된다면 유출구에 위치한 지점에서의 풍속은 당연히 다른 곳보다 강하게 나타나게 된다. 즉, 다량의 공기가 좁은 통로를 통해 불어 나갈 때 발생하는 '강풍현상'이 나타나게 되는 것이다. 이것은 앞서 보았던 Fig. 3과 Fig. 4의 풍속분포를 통해서 일부 알 수 있는데, 1999년 4월 8일과 5월 31일, 양일의 야간 풍속을 보면 수영에서의 야간 풍속이 해운대에 비해 3~4배정도 강하게 나타나고 있다. 이러한 특징을 좀 더 평균적인 측면에서 살펴보기 위해 Fig. 7과 같이 연구대상 20일 중 인접한 7일(1999년 4월 4일, 7일, 8일, 22일, 26일, 5월 30일, 31일(7일간))의 시간별 평균 풍속을 분석해 보았는데 수영의 야간평균풍속이 해운대의 풍속보다 2배에서 3배정도 강하게 나타나고 있음을 잘 알 수 있다.

Fig. 3과 Fig. 4를 보면, 주간에도 수영에서 풍속이 강하게 나타나고 있음을 볼 수 있는데 이러한 현상은 다음으로 설명할 수 있다. 해운대의 앞쪽(남동쪽)에는 나지막한 고지대가 가로막고 있고 수영은 저지대로서 지형적 장애가 없는 지역이다. 따라서 해풍이 불어올 때 해운대의 앞쪽 고지대는 진행을 방해하는 역할을 하게 되며 수영은 그러한 지형적 차단이 없을 뿐만 아니라 해운대로 진행하던 해풍이 지형에 의해 돌아가는 경로가 된다. 따라서 수영에서 시작된 해풍과 해운대에서 지형을 돌아 수영으로 불어 들어오는 해풍이 수렴하게 되어 수영에서 풍속의 강화가 나타나게 되는 것이다. 이와 같은 수렴에 의한 풍속의 강화 현상에 대해서는 Simpson¹¹⁾의 연구에서도 살펴본 바가 있다. 이와 같은 이유로 수영에서 주간에도 해운대에 비해 풍속이 강하게 나타나게 된다.

수영이 야간공기의 유출구라는 사실은 야간시간대의 풍향비교를 통해서도 알 수 있다. 수영과 해

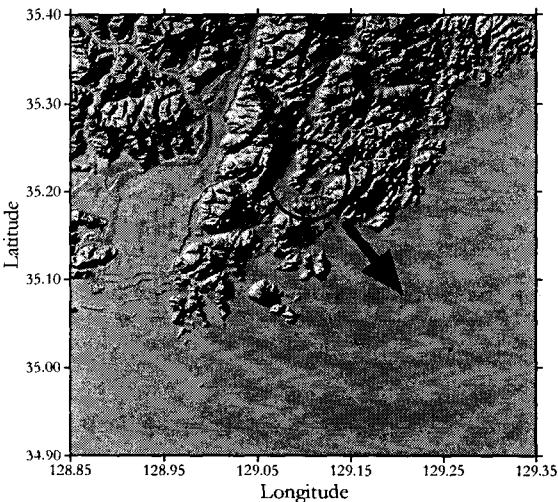


Fig. 6. Schematic representation of the Busan coastal area. The circle and arrow indicates the urban area and the channel of wind flow, respectively.

운대의 관측지점은 위치상 북쪽에 고지대인 장산이 위치하고 있어서 야간에 이곳에서 불어 내려오는 산풍의 영향을 직접적으로 받을 수 있다. 이때 불어오는 산풍의 방향과 인근 해안선 방향을 고려해보면 이 두 지점에서 야간 육풍의 풍향은 '북풍 또는 북동풍' 계열의 바람으로 나타나는 것이 일반적이라 할 수 있다. 그러나 앞서 보았던 Fig. 3과 Fig. 4에 제시한 수영과 해운대에서의 야간 풍향을 보면, 수영은 야간의 주 풍향이 약 330~360° (북서풍 계열)로 나타나 있고 해운대에서는 약 30° (북동풍 계열)부근에서 집중적으로 나타나고 있다. 즉, 해운대의 경우에는 앞서 설명한 지형적, 지리적 특징을 잘 나타내고 있는 반면에 수영의 경우에는 상당히 다른 결과를 나타내고 있다. 더욱이 두 지점간의 수평거리가 약 3km정도밖에 되지 않는다는 점을 생각해 보면, 이러한 결과는 상당히 큰 차이를 보이고 있는 것이다. 따라서 수영에서의 관측 결과는 앞서 설명한 바와 같은 지형적, 지리적 특징 이외에 또 다른 요소에 큰 영향을 받고 있다는 것을 나타내고 있는 것이다. 수영의 경우에도 위에서 설명한 바와 같이 해운대와 마찬가지로 장산과 해안선의 영향을 받는다. 그러나 이 지역은 그보다 더욱 큰 영향을 미치는 것이 있는데 그것이 바로 야간에 도심지에서 수렴된 공기가 불어나오는 현상인 것이다. 이에 대해서는 관측결과에 나타난 바와 같이 수영의 야간 풍향이 증명해 주고 있는데, 야간에 도심지에서 불어나오는 방향인 저지대의 수렴권이 '북서'에서 '남동'방향으로 형성되어 있어서 이 지역을 따라 야간시간대에 지속적으로 불어나오는 강풍의 풍향은 주로 '북서풍'계열을 나타내게 되는 것이다.

이상의 타당성 논의를 통해 수영은 야간에 저지대에 수렴된 많은 공기가 강하게 불어 나가는 유출구라는 것을 분명히 알 수 있으며 지속적인 강풍현상에 의해 수영에서 해풍시작시간이 해운대보다 늦

게 나타나게 된다는 것을 이해할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 야간 강풍현상이 해풍시작시간에 어떠한 영향을 주는지를 살펴보기 위하여 부산지역에 위치하고 있으며 인접한 두 연안 지점인 수영과 해운대를 대상으로 분석하였다.

먼저, 수영과 해운대의 해풍시작시간을 살펴본 결과, 일반적인 사실과 달리 해안에 인접한 수영보다 내륙 약 1km 정도에 위치한 해운대에서 해풍이 빨리 시작하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 야간의 지표냉각에 의해 저지대인 도시중심부에 수렴된 공기가 수렴권을 통해 강하게 불어 나가기 때문이었다. 또한 이러한 현상은 일출이 시작될 때까지 지속될 뿐 아니라, 일출 후에도 잔여 공기가 지속적으로 불어 나가기 때문에 수영에서 해풍의 시작이 늦게 나타나는 것이었다. 이는 수영과 해운대에 설치된 AWS 풍속자료를 통해 살펴본 결과, 수영에서의 야간 평균풍속이 해운대보다 2배~3배 정도 크게 나타나는 점과 야간 풍향이 북서계열의 바람으로 나타난다는 점들을 통해 알 수 있었다.

이상의 논의를 통해 해풍에 영향을 미치는 지형적, 지리적 특징을 자세히 살펴볼 수 있었다. 더불어 지형적, 지리적 영향을 크게 받는 국지순환계는 지역별로 배출된 대기오염물질의 중거리 수송에도 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로 상세한 특징 파악이 매우 중요하다. 차후에는 현재의 넓은 관측망으로는 해결할 수 없는 상세한 기상요소의 분석과 예측을 위해서 국지순환모형을 이용한 국지순환계 수치모의가 필수적으로 수행되어야 할 것이며 이를 통해 대기오염물질의 이류 및 수송에 대한 예측의 정확도를 높일 수 있을 것이라 생각된다.

참고 문헌

- 1) Müller, H., and C. D. Whiteman, 1988, Breakup of a Nocturnal Temperature Inversion on the Dischma Valley during DISKUS. *J. Appl. Meteor.*, 27, 188-194.
- 2) Sakiyama, S. K., 1990, Drainage Flow Characteristics and Inversion Breakup in Two Alberta Mountain Valleys, *J. Appl. Meteor.*, 29, 1015-1030.
- 3) Kimura, F., and T. Kuwagata, 1993, Thermally Induced Wind Passing from Plain to Basin over a Mountain Range, *J. Appl. Meteor.*, 32, 1538-1547.
- 4) Bossert, J. E., 1997, An Investigation of Flow

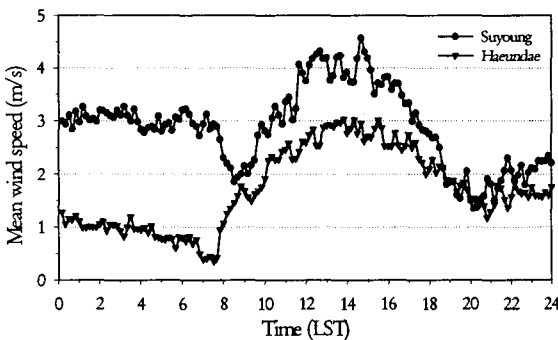


Fig. 7. Mean wind speed at Suyoung and Haeundae.

- Regimes Affecting the Mexico City Region, *J. Appl. Meteor.*, 36, 119-140.
- 5) Stephan, F., J. De Wekker, Z. Shiyuan, D. F. Jerome, and W. David, 1998, A Numerical Study of the Thermally Plain-to-Basin Wind over Idealized Basin Topographies, *J. Appl. Meteor.*, 37, 606-622.
- 6) Kimura, F., 1986, Formation Mechanism of the Nocturnal Mesoscale Vortex in Kanto Plain, *J. Meteor. Soc. Japan*, 64, 857-869.
- 7) 현종훈, 이동규, 1990, 3차원 중규모 모델을 이용한 제주도에서의 해륙풍 모의, *한국기상학회지*, 26(2), 121-136.
- 8) Helmis, C. G., D. N. Asimakopoulos and D. G. Deligiorgi, 1987, Observations of Sea-Breeze Fronts Near the Shoreline, *Bound.-Layer Meteor.*, 38, 395-410.
- 9) Winston, J., R. Radhika, K. Narayanannair, K. Sen and K. Kunhikrishnan, 1992, On the Structure of Sea-Breeze Fronts Observed Near the Coastline of Thumba, India., *Bound.-Layer Meteor.*, 59, 111-124.
- 10) Chiba, O., 1993, The turbulent characteristics in the lowest part of the sea breeze front in the Atmospheric surface layer, *Bound.-Layer Meteor.*, 65, 181-195.
- 11) Simpson, J. E., 1994, *Sea breeze and Local Circulation*, Cambridge University Press, 37-44pp.