

OA10 속초연안에서의 해상풍예측

최 효

강릉대학교 대기환경과학과

1. 서 론

동해 연안에서의 해풍순환에 대한 연구는 몇몇의 학자들에 의해 수행되었으나 지금까지 속초부근에서의 해풍순환과 해상풍 예측에 대한 국내의 연구가 거의 이루어지지 않았다^(1~6). 속초는 안개가 매우 자주 발생하는 곳이며, 바람이 강하게 부는 날이 많은 지역으로 해수의 순환에 바람이 미치는 영향도 크다. 따라서 본 연구에서는 해풍순환과 해상풍의 예측에 대한 결과를 설명하고, 이의 응용방안도 검토하고자 한다.

2. 모델 및 입력자료

안개 생성을 위해 지형순형좌표계(complex terrain-following coordinate system (x, y, z*))로 구성된 3차원적 정역학 및 비 정역학 모델인 LASV-5모델을 사용하였으며, 입력자료로 일본기상청에서 만든 1995년 8월 13일부터 15일까지 48시간의 3차원 G-Anal자료를 사용하여 본 모델의 수평 및 연직 6km의 16층(0, 45, --, and 5400m)에 맞춰 내삽과 외삽을 거쳐 50 x 50 격자점에서 입력자료와 사용하였다. 거친영역에서의 격자간격은 20km로 하여 정역학모델을 사용하였고, 미세격자간격은 5km로 하여 비정역학모델을 사용하였다⁽⁷⁾. 초기수온자료는 GMS 영상자료를 사용하였으며, 모델의 결과는 강릉기상청 속초기상대의 자료와 비교하였다. 계산시간을 30초, 미세영역에서는 10초 단위로 계산하였다.

3. 연구결과

미세격자영역은 왼쪽에 미시령 (Mt. Mishrung; 826m)가 있고 매우 좁은 평지인 속초시가 중앙에, 오른쪽에는 동해로 구성되어 있다. 1995년 8월 13일 09시부터 8월 15일 09시까지 48시간의 계산결과를 속초기상대의 관측치와 비교하였으며, 8월 14일 12시에서 8월 15일 09시까지의 매 6시간 간격의 계산 결과를 나타내었다.

속초지역의 중심으로 내륙 산악지역에서는 남서풍, 속초지내와 동쪽 연안에서는 남동풍이 불고 있다. Fig. 1, Fig. 2에서 보면, 속초지역의 대기순환이 미시령의 서쪽에서 넘어오는 서풍의 종관풍과 동풍의 해풍 (Sea breeze)과 곡풍 (Valley wind)이 만나형성된 경사풍 (Upslope wind)이 미시령의 동쪽 사면에서 만나 약 1100m 내지 1300m까지 재차 동반 상승하여 동쪽으로 회전하는 서풍의 return flow(회귀풍)로 변하여 동해로 이동해 가는 해풍순환을 나타낸다. 이것은 강릉연안에서와 매우 유사한 대기순환을 보이고 있으며, 단지 경사풍의 상승 고도가 약간 낮다. 그리고 강릉연안에서와 같이 해풍전선 내에 두 개의 순환이 존재하며, 연안으로 지표로 다시 환원하는 작은 순환과 연안에서 100km 이상의 먼

바다까지 간 후에 다시 연안으로 지표로 이동해 오는 큰 순환이 나타나고 있어 이 순환들에 따라 연안 해양에서의 바람의 방향과 강도가 정해진다.

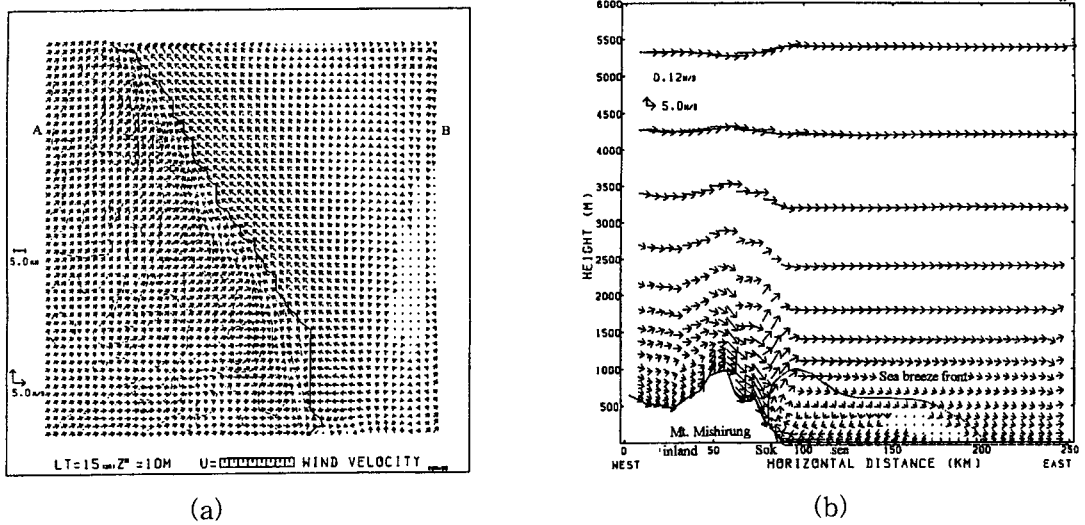


Fig. 1-1. (a) Wind (m/s) in a fine-mesh domain near Sokcho city at 1200LST, August 14, 1995. Thin dash line and circle denote topography and Sokcho city. (b) Vertical profiles of wind (m/s) on a straight cutting line A-B (Mt. Mishrung-Sokcho city-East Sea).

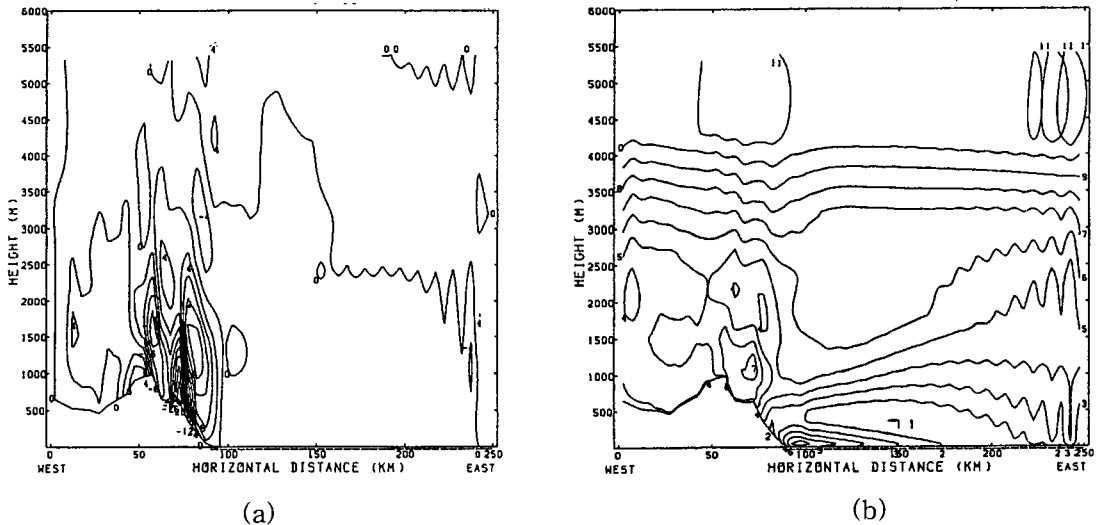


Fig. 1-2. (a) As shown in Fig. 1b, except for vertical wind speed (m/s) and (b) wind speed (m/s).

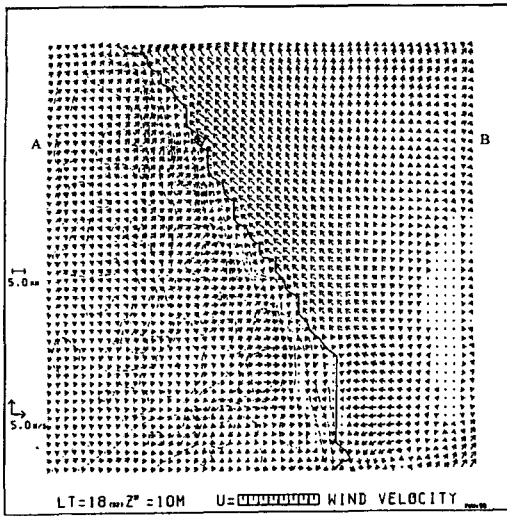
속초연안에서 해풍순환이 이루어지는 범위는 연안에서 약 170km이므로 170km 외해에서 속초연안으로 동풍계열의 바람이 불고, 170km 넘어 외해 쪽에서는 서풍이 분다. Fig. 2에서는 계산된 바람이 관측치와 비교하면 낮시간에 해풍이 불어올 때 속초기상대에서 관측된 풍향과 풍속이 거의 일치한다. 이것은 강릉에 경우와 달리 건물에 의한 바람의 회절이 없기 때문에 모델에 의한 계산치가 관측치와 잘 부합되어 모델의 결과가 매우 정확함을 알 수 있다.

18시에 12시와 매우 유사한 바람장을 나타내고 있으나 모델에 의한 풍속치가 약간 크다. 그러나 해풍순환의 높이가 1000m 이하로 낮아지고 미시령사면을 따라 강한 서풍의 하강풍이 불어내리고 있으므로, 일몰 후에는 곧 해풍이 약해짐에 따라 하강풍이 강해질 수 있으며, 또한 산풍과 육풍의 영향에 의해 강한 하강 폭풍이 발달할 가능성이 보인다. 연안해에서 작전시에 해상풍을 파악할 때는 해풍순환과 사면을 따라 흐르는 하강풍의 강도를 잘 계산 할 필요가 있다.

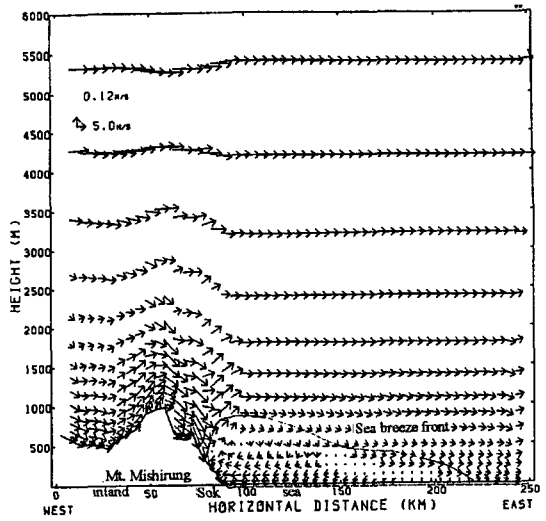
Fig. 3-1에서 보는 바와같이 8월 15일 00LST인 야간에는 미시령의 서쪽에서 동쪽사면을 따라 강한 하강풍이 불어내리면서 속초 시내를 관통한 후 연안해로 나가간다. Fig. 3-3에서 처럼 이 강력한 하강풍이 생기는 이유는 지표냉각에 의해 산에서 평지로 부는 산풍(Mountain wind)과 육풍(Land breeze)이 결합된 강한 하강풍이 급한 경사면을 따라 흐르면서 중력풍(Katabatic wind)을 만들고, 속초 연안에서 내부중력과(Internal gravity waves)의 발달을 초래한다. 이 중력파는 수리점퍼를 하여 상부로 튀어 오르는데, 수리점프 이전에는 매우 강한 바람이 불고, 수리점프지역의 오른쪽에서는 오히려 약풍이 분다. 연안에서 20km 밖의 해양에서는 연안으로 부는 내륙풍(Onshore wind)가 있음에 유의 할 필요가 있다. 이것은 내부중력파의 점프에 의한 와동(Vortex) 효과 인지 아니면, 기압배치 상황에 의한 동풍의 종관풍의 영향인지는 명확하지는 않으나, 앞으로 보다 상세한 연구가 필요하다.

Fig. 3-2에서 경사면을 따라 하강폭풍의 풍속이 최대10m/s로 강하나, 연안 해역으로 부는 바람은 2m/s 또는 3m/s 정도로 보통의 풍속을 나타낸다. 이때 속초시내의 관측자료는 풍향이 230도, 풍속은 1.3m/s이고, 모델에 의한 계산치는 풍향 230도이고, 풍속이 2.5m로, 풍향은 같으나 풍속치가 약간 크지만 대체로 잘 부합된다. 그러나 03시의 관측된 풍계가 90°로 이해하기 어려운 갑작스런 풍계의 변화가 있어 모델에 의한 계산풍계 230°와 매우 다르고, 풍속도 계산치가 3.0m/s에 비해 0.7m/s로 약해, 관측 오차에 의한 것이거나 순간적인 돌풍에 의한 것으로 생각된다. 이와같이 짧은 시간동안의 돌풍은 모델로서 계산의 한계가 있다.

Fig. 4-1, Fig. 4-2과 Fig. 5-1, Fig. 5-2에서도 풍향과 풍속이 상당한 차이를 보이는데, 이것은 모델의 계산시간이 40시간 이후이므로 정확도가 떨어지기 때문인 것 같다. 그러나 모델에 의하면 해풍이 속초시내로 들어는 것은 10시 이후인데, 이것을 이용하면, 풍향과 풍속이 매우 잘 부합되지만 48시간 무렵의 모델의 반응상태가 신뢰도가 많이 떨어짐을 알 수 있다.

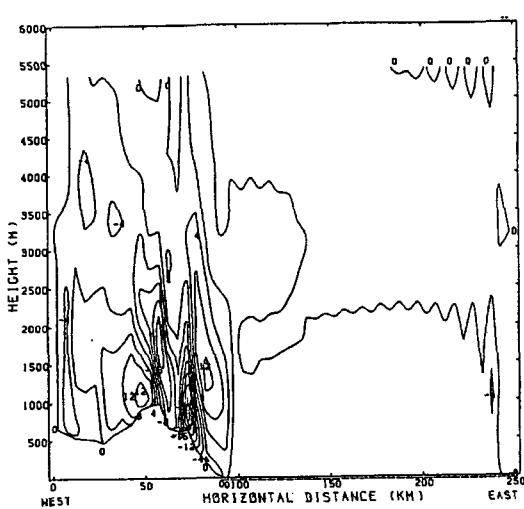


(a)

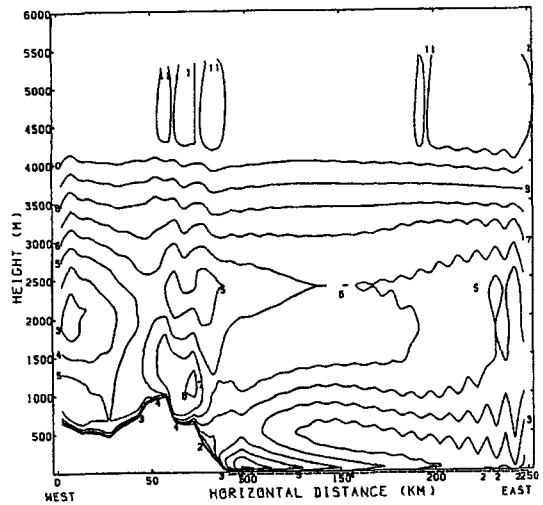


(b)

Fig. 2-1. (a) Wind (m/s) in a fine-mesh domain near Sokcho city at 1800LST, August 14, 1995. Thin dash line and circle denote topography and Sokcho city. (b) Vertical profiles of wind (m/s) on a straight cutting line A-B (Mt. Mishirung-Sokcho city-East Sea).

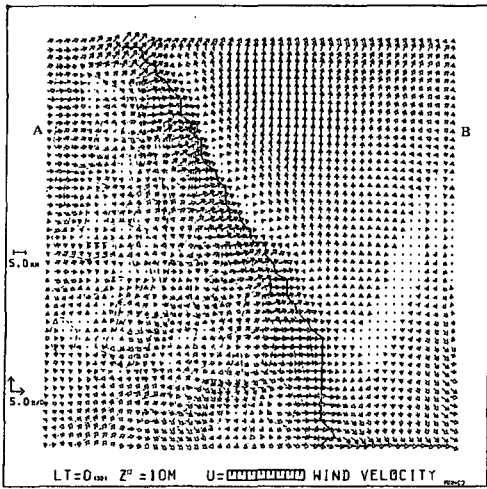


(a)

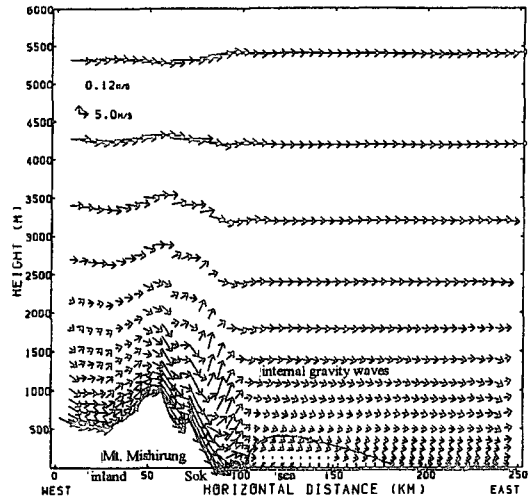


(b)

Fig. 2-2. (a) As shown in Fig. 2-1b, except for vertical wind speed (m/s). (b) wind speed (m/s)

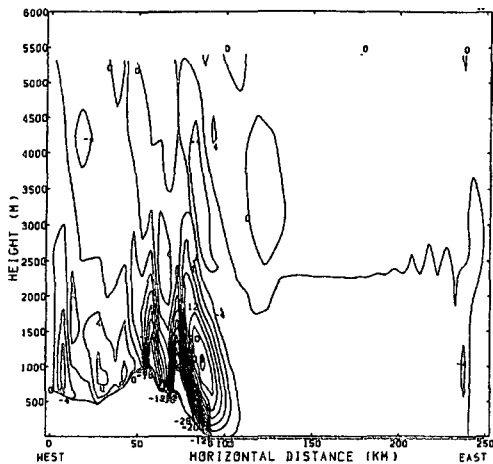


(a)

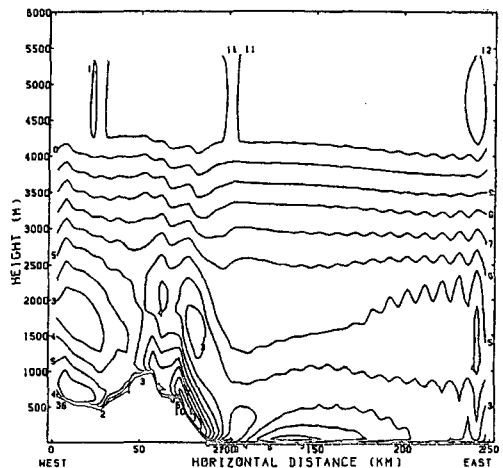


(b)

Fig. 3-1. (a) Wind (m/s) in a fine-mesh domain near Sokcho city at 0000LST, August 15, 1995. Thin dash line and circle denote topography and Sokcho city. (b) Vertical profiles of wind (m/s) on a straight cutting line A-B (Mt. Mishrung-Sokcho city-East Sea).



(a)

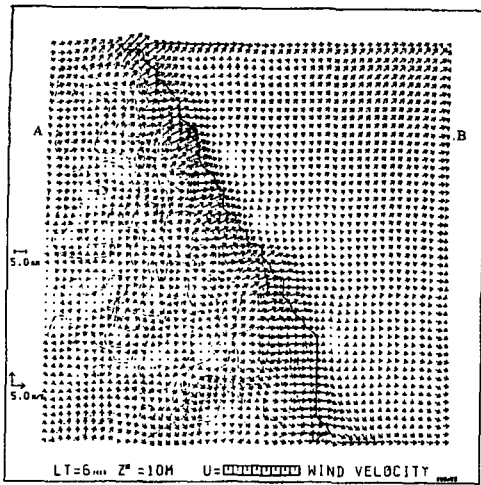


(b)

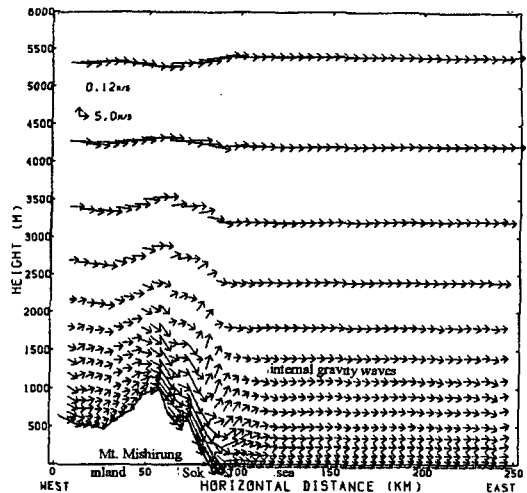
Fig. 3-2. (a) As shown in Fig. 3-1b, except for vertical wind speed (m/s). (b) wind speed (m/s)

본 연구에서 사용된 모델의 계산치와 관측치가 근접하지만 계산치가 속초기상대의 관측에 비해 약간 높게 나타났다. 순간풍속과 10분간의 평균치인 매 시각 바람의 관측치와의 차이가 있으며, 모델에 의해 계산된 값은 매 시각에서의 값을 나타내므로, 순간풍속에 가

까운 값을 나타낸다. 또 본 모델의 계산결과는 초기 입력시각인 13일 09시 이후 39시간까

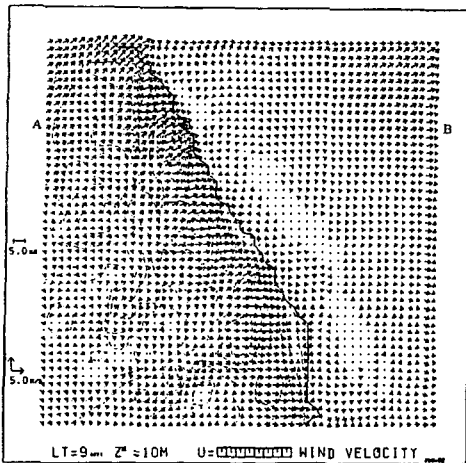


(a)

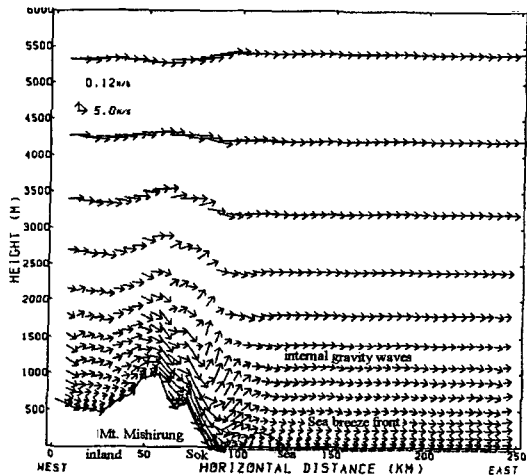


(b)

Fig. 4-1. (a) Wind (m/s) in a fine-mesh domain near Sokcho city at 0060LST, August 15, 1995. Thin dash line and circle denote topography and Sokcho city. (b) Vertical profiles of wind (m/s) on a straight cutting line A-B (Mt. Mishirung-Sokcho city-East Sea).



(a)



(b)

Fig. 5-1. (a) Wind (m/s) in a fine-mesh domain near Sokcho city at 0090LST, August 15, 1995. Thin dash line and circle denote topography and Sokcho city. (b) Vertical profiles of wind (m/s) on a straight cutting line A-B (Mt. Mishirung-Sokcho city-East Sea).

지는 정확도가 있으나 그 이후 시간부터는 계산치와 관측치의 상당한 차이가 난다. 따라서 본 모델의 운용시에는 36시간 이내로 계산된 값만을 사용하는 것이 합리적이며, 이보다 더 긴 시간에서의 예측에는 정확도가 떨어지므로 주의를 요한다.

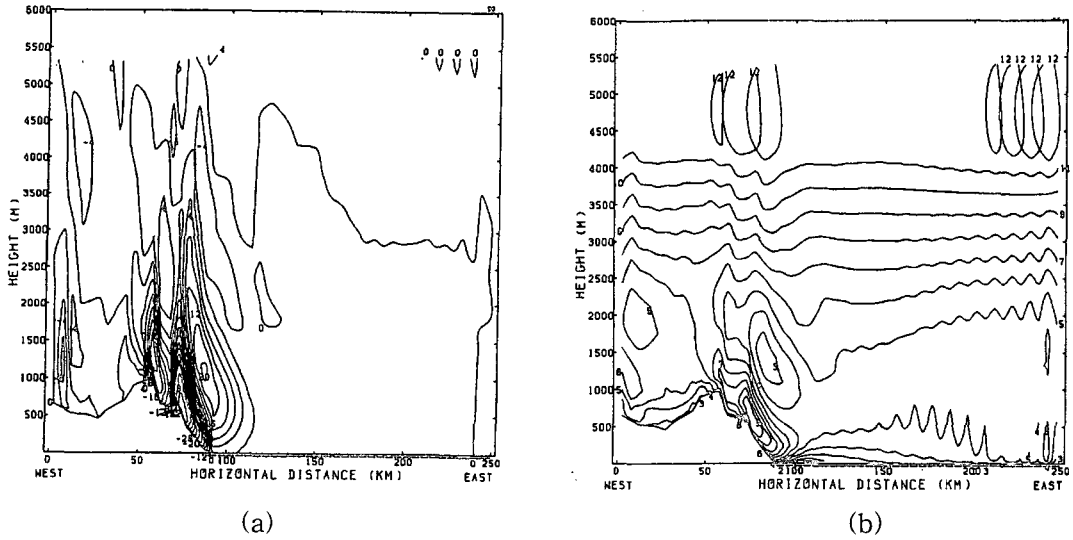


Fig. 5-2. (a) As shown in Fig. 5-1b, except for vertical wind speed (m/s). (b) wind speed (m/s)

Table 1. Comparison of calculated wind(m/s) to observed wind(m/s) at Sokcho city from August 14 through 15, 1995.

| Date | | 00 | 03 | 06 | 09 | 12 | 15 | 18 | 21 |
|------|-----|--------------|------------------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 8/14 | OBS | 200 (2.3) | 160 (1.7) | 000 (0.0) | 90 (0.7) | 140 (2.3) | 140 (4.2) | 180 (1.8) | 180 (1.3) |
| | CAL | 220 (2.5) | 220 (1.5) | 240 (1.0) | 100 (2.0) (24시간) | 130 (3.0) | 130 (4.5) | 150 (2.5) | 190 (2.5) |
| 8/15 | OBS | 230 (1.3) | 90 (0.7) | 160 (1.0) | 140 (1.3) | | | | |
| | CAL | 230 (2.0) | 240 (2.3) (42시간) | 245 (3.0) | 230 (2.0) (48시간) | | | | |

(OBS, CAL mean observed and calculated values)

속초 연안역에서 연안육지의 바람과 연안해역의 해상풍이 매우 상이하여 연안풍의 재현 시켜, 생성역학을 파악할 수 있었고, 연안해역에서나 육지에서의 대기순환과 해양순환에서 가장 중요한 요소가 되는 대기의 순환의 계산에 여기서 제시된 모델을 활용한다면 매우 정확한 해상풍 예측에 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 앞으로 본 연구를 바탕으로

하여 연안해역에서의 풍성해류의 생성역학과 이로 인한 연안류의 변화에 따른 연안안개의 생성과정을 파악하거나 예측하는데 도움이 될 것으로 생각한다.

감사의 글

이 연구는 1999-2002 과학기술부지원하의 "해양관측을 통한 해상풍 검증 및 예측연구-체계운용을 위한 기상해양환경분석기술: 해양기상환경의 분석 및 예측기술"에 의해 이 연구가 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Choi, H. 1996, Numerical modelling for air flows in the eastern mountainous coastal seas of Korea, *La Mer*, 34, 133-148.
- Holton, J. R., 1992, *Introduction to dynamic meteorology*, Academic Press., 1-510p.
- Palmer, T. N., G. J. Smith and R. Swinbank 1986, Alleviation of a systematic westerly bias in general circulation and NWP models through and orographic gravity wave drag parameterization, *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 112, 1001-1039.
- Pielke, R. A. 1984, *Mesoscale meteorological modeling*, Academic Press, 612pp, 1984.
- Raynor, G. S., S. SethuRaman and R. M. Brown 1979, Formation and characteristics of coastal internal boundary layer during onshore flows, *Boundary Layer Meteor.*, 16, 4587-514.
- Whiteman, C. D. 1990, Observations of thermally developed wind system in mountainous terrain, *Atmospheric Processes over complex terrain*, *Meteor. Monogr.*, No. 40, *Amer. Meteor. Soc.*, 5-42.
- Takahashi, S., 1997, *Manual of LAS model* revised by Dr. J. Sato, 50pp.