

속초연안에서 대기순환의 특성

최 호

강릉대학교 대기환경과학과

(2004년 11월 1일 접수; 2005년 1월 3일 채택)

Characteristics of Atmospheric Circulation in Sokcho Coast

Hyo Choi

Dept. of Atmospheric Environmental Sciences, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

(Manuscript received 1 November, 2004; accepted 3 January, 2005)

Using three-dimensional non-hydrostatic numerical model with one way double nesting technique, atmospheric circulation in the mountainous coastal region in summer was investigated from August 13 through 15, 1995. During the day, synoptic westerly wind blows over Mt. Mishrung in the west of a coastal city, Sokcho toward the East Sea, while simultaneously, easterly upslope wind combined with both valley wind from plain (coast) toward mountain and sea-breeze from sea toward inland coast blows toward the top of the mountain. Two different directional wind systems confront each other in the mid of eastern slope of the mountain and the upslope wind goes up to the height over 2 km, becoming an easterly return flow in the upper level over the sea and making sea-breeze front with two kinds of sea-breeze circulations of a small one in the coast and a large one in the open sea. Convective boundary layer is developed with a thickness of about 1km over the ground in the upwind side of the mountain in the west and a thickness of thermal internal boundary layer from the coast along the eastern slope of the mountain is only confined to less than 200 m. On the other hand, after sunset, no prohibition of upslope wind generated during the day and downward wind combined with mountain wind from mountain toward plain and land-breeze from land toward under nocturnal radiative cooling of the ground surfaces should intensify westerly downslope wind, resulting in the formation of wind storm. As the wind storm moving down along the eastern slope causes the development of internal gravity waves with hydraulic jump motion in the coast, bounding up toward the upper level of the coastal sea, atmospheric circulation with both onshore and offshore winds like sea-breeze circulation forms in the coastal sea within 70 km until midnight and after that, westerly wind prevails in the coast and open seas.

Key Words : Sea-breeze circulation, Valley wind, Convective boundary layer, Thermal internal boundary layer, Land-breeze, Mountain wind, Wind storm, Internal gravity waves, Hydraulic jump motion, Offshore wind

1. 서 론

동해 연안에서의 해풍순환에 대한 연구는 몇몇의 학자들에 의해 수행되었으나 지금까지 속초부근에서의 해풍순환에 대한 국내의 연구가 매우 미진하였으며, 강릉에 국한한 연구가 일부 수행되었다^{1~3)}.

Raynor et al.⁴⁾는 해륙풍 기간 중 바람과 기온변화에 대한 열수송 과정을 간단하게 설명하였고, Pielke⁵⁾는 정역학 및 비정역학적인 모델에 의해 산악에서 대기순환과 해륙풍 순환에 대한 이론적이고, 체계적으로 설명하였다.

Zangl⁶⁾은 선형이론의 수치실험을 통해 산악에서의 층류에 대해 설명하였으며, Palmer et al.⁷⁾는 복합지형에서 대규모 모델에서 중규모 산악이 미치는 효과를 설명하였다. Holton⁸⁾은 지형변화에 따른 산악과의 진동의 생성과정을 간략하게 설명하였고,

Corresponding Author : Hyo Choi, Dept. of Atmospheric Environmental Sciences, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea
Phone : +82-33-640-2321
E-mail : du8392@hanmail.net

Bluestein⁹⁾은 중위도 지역에서 종관풍의 발달에 대한 역학적 중요성을 강조하였다. Arya¹⁰⁾는 산의 풍하측에서 발달하는 강한 하강류가 있을 때 생성되는 수리잠프운동을 2차원적 구조로 설명하였다. Segal et al.¹¹⁾은 계곡과 산악에서 열적대기순환을 2차원적 수치모델로 설명하였고, Whiteman¹²⁾는 열의 중요성을 관측자료를 사용하여 증명하였다.

속초는 기온과 수온차에 의해 안개가 매우 자주 발생하는 곳이며 Choi¹³⁾, 강풍이 발생하는 날이 많은 지역으로 바람이 연안해수의 순환에 미치는 영향이 크다. 따라서 본 연구에서는 해풍순환에 대한 결과의 소개 뿐만아니라 높은 산이 있는 강원도 연안에서의 대기순환의 변화과정과 바람폭풍 및 풍하측의 내부중력파의 생성 및 소멸과정을 수치모델에 의해 재현하고, 해상풍의 변화에 대한 대기경계층의 발달과 소멸의 영향을 설명하고자 한다.

2. 조사지역 및 모델의 입력자료

한국 전체와 황해, 동해의 일부를 포함한 거친격자영역(Coarse-mesh domain)에서 한반도 남서쪽에 농지가 넓게 퍼져있고, 최고높이 해발 1,700 m의 태백산맥은 오른쪽에 좁은 평야지대와 동해를 두고 한반도의 동쪽연안을 따라 남북으로 놓여있다. 속초 중심의 미세격자영역에서 왼쪽에 경사가 심한 복합 산악지형과 오른쪽에 동해를 포함하고 있고, 서쪽에 미시령(Mt. Mishirung; 826 m), 중앙에 속초시(Sokcho), 동쪽에 동해(The East Sea)로 구성되어 있다. 복잡지형순환좌표계(Complex terrain-following coordinate system: x, y, z^*)의 3차원적 정역학 모델(Hydrostatic model) 및 비정역학 모델(Non-hydrostatic model)인 LAS-5 모델이 해륙풍 순환의 재현을 위해 사용되었다¹⁴⁾.

일본기상청에서 만든 1995년 8월 13일 0900시부터 15일 0900시까지 48시간의 기압, 바람, 비습, 온위의 관측자료와 일본기상청에서 개발한 종관규모 모델에 의해 계산된 기상요소를 지면(1000 mb)에서 100 mb 고도까지 5개 고도와 수평거리 1.25⁰(약 130 km) 간격으로 조정된 12시간 간격의 G-ANAL 자료를 본 연구에 사용된 모델의 초기 기상장의 입력자료로 사용하였다. LAS모델의 연직좌표계의 16개의 고도에 맞게 G-ANAL 자료를 내삽과 외삽을 하였고, 거친격자영역에서 격자간격을 20 km로 하여 정역학모델을 사용하여 기상요소를 계산하였다. 계산된 값들을 미세격자영역(Fine-mesh domain)에서 격자간격을 5 km로 한 비정역학모델의 초기치로 하여 사용하였으며, 큰 격자영역과 미세격자영역간의 모델에 의한 기상요소의 계산시에 일방중지기술(One way double nesting technique)을 사용하였

다. 초기수온자료는 GMS 영상자료를 각 모델의 격자점에 맞게 내삽과 외삽과정을 거쳐 초기자료로 활용하였다¹⁵⁾. 모델수치실험에 있어서 Klemp and Durran¹⁶⁾에 의한 내부중력파복사의 상부조건을 사용하고, 열린상곡선 흐름에 대한 측면경계조건은 Orlanski¹⁷⁾가 제안한 방법을 사용하였다.

지표경계층에서 난류확산강도를 계산하기 위해 Yamada¹⁸⁾와 Yamada and Mellor¹⁹⁾가 제안한 turbulent closure level-2 모델을 사용하였으며, 지표에서 대기 상부까지 순장파복사를 계산하기 위해 지면에서 경계영역까지 H₂O와 CO₂의 투과함수, 유효수증기량, 비습, 기압을 고려하였다. 지면에서의 순태양복사량의 계산은 천정각, 위도, 적위, 시간각을 고려한 Katayama scheme²⁰⁾을 사용하였으며, 지표면 부근에서의 공기와 토양의 온도에 대한 장파복사에 의한 Newtonian 냉각과 가열도 고려되었다. 지표경계층에서는 현열과 잠열을 계산하기 위해 일정한 플럭스층으로 간주한 하였으며, Businger²¹⁾와 Monin²²⁾의 상사이론을 사용하였다. 지표에서 토양 온도와 비습의 시간변화를 계산하기 위해 Dardorff²³⁾의 강제복원법을 사용하였다. 모델의 결과는 강원기상청 속초기상대의 자료와 비교하였으며, 계산시간은 거친격자영역에서는 30초, 미세영역에서는 10초 단위로 하여 계산을 수행하였다.

3. 연구결과

3.1. 낮의 대기순환

그림에서 보는 바와 같이 미세격자영역은 왼쪽에 미시령이 있고 매우 좁은 평지인 속초시가 중앙에, 오른쪽에는 동해로 구성되어 있으며, 이런 양상은 동해 연안의 대부분의 도시가 유사한 지형적인 특징을 갖고 있다. 1995년 8월 13일 0900시부터 8월 15일 0900시까지 미세영역에서 5 km간격으로 비정역학모델에 의해 계산된 기상요소의 값들을 속초기상대의 관측치와 비교하였다.

모델에 의해 기상현상의 생성시켜서 관측치와 비교할 때 일반적으로 초기치로부터 12시간 정도의 계산치는 정확도가 많이 떨어지므로 사용하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 8월 13일 2100시까지의 계산치는 사용하지 않았으며, 계산치와 관측치의 비교를 위해 8월 14일 0000시에서 8월 15일 0900시까지의 매 3시간 간격의 계산 결과를 표로 나타내었고, 그림은 8월 14일 1500시부터 매 3시간 또는 6시간 간격으로 연안에서 기상현상의 특징을 잘 나타내는 시간대를 중심으로 설명하였다.

속초지역을 중심으로 내륙 산악지역에서는 남서풍, 속초지내와 동쪽 연안에서는 남동풍이 불고 있다. Fig. 1-1과 Fig. 1-2에서 보면, 속초지역의 대기