

서해중부해상에서 혼합층 성장과 바람의 연직구조 변화

김백조^{*}, 문승의, 이동규¹, 윤용훈², 남효원², 김태희²

부산대학교 대기과학과, ¹부산대학교 해양과학과,

²기상연구소 해양기상연구실

1. 서 론

해수면을 통한 대기와의 열과 수증기 교환이 활발히 일어나는 황해는 겨울철 시베리아 고기압의 장출시 이에 동반된 한랭 건조한 기류의 기단변질과정과 난후기동안 여름몬순과 관련된 남서기류의 수증기속 강화에 크게 기여한다(민경덕, 1974, Moon, 1981). 이러한 황해상의 대기와 해양간의 상호작용은 겨울철 서해 연안지역의 폭설, 장마기간동안 한반도 집중호우 발생 등과 밀접하게 관련되어 있다. 또한 저기압을 동반한 종관기압계의 황해상의 통과시 해상의 대기연직구조에 대한 폭넓은 지식은 우리나라의 중·단기 기상예보에 중요한 역할을 한다. 이처럼 황해상의 열속변화와 해상의 대기연직구조 특성을 알아보기 위해서는 황해상의 고층 및 저상기상관측이 반드시 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서는 1999년 4월 10일부터 4월 14일까지 서해중부해상(외연도)에서 실시된 집중기상관측을 통해 황해상의 해상기상특성을 알아보고 봄철 기압골 통과시 해상의 대기 혼합층 성장과 이와 관련된 바람의 연직구조 특성을 분석하고자 한다.

2. 자 료

본 연구에 사용된 자료는 서해중부해상에 위치한 외연도(대천에서 서쪽으로 약 40km 떨어진 섬)에서 1999년 4월 10일부터 4월 14일까지 매 6시간별로 관측된 고층기상자료(기압, 기온, 상대습도, 풍향, 풍속)와 매 10분간격의 저상기상관측자료(기온, 상대습도, 기압, 풍향, 풍속, 일사량)이다. 또한 해상기상특성을 알아보기 위하여 육상의 보령과 서산 관측소의 일기상통계표와 오산지점의 고층기상자료를 사용하였다. 집중대기관측이 실시된 외연도의 위치와 지형을 Fig. 1에 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 저상기상요소의 변화

Fig. 2는 관측기간동안의 외연도에서 저상기상요소(기온, 상대습도, 풍속, 풍향 및 기압)의 변화를 나타낸 것이다. 먼저 기온의 변화에서 전날 화북지방에 위치한 고기압이 우리나라쪽으로 남하하면서 이 고기압의 영향으로 날씨가 맑고 약한 남서기류의 유입으로 4월 11일 1700LST경에 15.4℃의 최고기온을 기록하였고 고기압 후면의 강한 기압골에 동반된 강풍(7m/s이상)과 강우, 야간 복사냉각의 영향으로 4월 13일 0400LST경에 6.7℃의 최저기온이 나타났다. 육상관측소에서 최고기온은 보령의 경우 4월 11일 1200LST에 19.4℃로, 서산의 경우 같은 날 1500LST에 19.8℃로 나타났으며 4월 13일

0600LST에 보령에서 6.4℃, 서산에서 6.0℃의 최저기온을 기록하였다. 관측기간동안 평균 기온은 해상의 외연도에서 9.34℃였으며 육상관측소인 보령과 서산지점은 각각 10.9℃와 10.5℃로 나타났다. 이러한 결과들은 해상의 외연도와 육상관측소간의 평균 기온과 최저 기온의 차이는 크지 않지만 최고기온의 경우 5℃정도의 차이가 있는데, 이는 육상관측소에서 낮동안의 지표면 복사가열에 의한 기온의 상승 때문으로 사료된다. 상대습도의 경우를 살펴보면 서해중부해상을 통과하는 기압골의 영향으로 관측시작시점에서 4월 10일 1430LST경까지와 4월 12일 0620LST경부터 4월 13일 0510LST경까지 90%이상의 상대습도가 나타났다. 서해중부해상이 고기압의 영향권에 놓인 4월 11일의 경우에도 외연도의 상대습도는 대체로 70%이상을 보였다. 상대습도의 일변화 양상은 관측소가 해안선에 가까이 위치한 보령지점과 다소 유사하게 나타났다. 관측기간동안의 평균 상대습도는 81%로 육상관측소의 70%정도에 비하여 10%정도 높게 나타나는데 이는 주변 해수의 증발에 기인한 것으로 판단된다. 풍속의 변화는 우리나라 남해안을 거쳐 일본 규슈남쪽을 빠져 나가는 기압골의 영향으로 4월 10일에 4.7m/s와 우리나라 중부지방을 통과한 강한 기압골 후면의 북서풍의 영향으로 4월 13일에 6.7m/s의 평균 풍속을 기록하였다. 외연도의 평균 풍속은 4.6m/s로 보령의 2.9m/s보다는 서산의 4.9m/s에 비슷하였고 그 변화 양상도 서산지점과 유사하게 나타났다. 풍향의 경우 외연도에서는 전 관측기간에 걸쳐 북풍계열(북동 내지 북서풍)이 탁월하였으며 특히 강한 기압골이 통과한 시점인 4월 12일 1500LST경부터는 북서풍이 지속적으로 나타났다. 풍향의 출현빈도에서 북서풍이 전체의 35%정도로 가장 높았으며 그 다음으로 동풍이 10%정도를 보였다. 육상관측소에서 풍향의 최대 발생빈도는 보령의 경우 북북동과 북동이 전체의 31.4%로, 서산의 경우 북서풍이 26.6%로 각각 나타났다. 이같은 결과는 서산지점의 바람자료가 외연도의 그것과 유사함을 보인다. 또한 육상관측소에서는 기압골의 영향하에 놓일 경우 남풍계열이 출현하지만 외연도에서는 고기압의 영향권인 4월 11일에도 남풍계열이 나타나는데 이는 해풍과 관련된 국지순환의 영향으로 해석된다. 강한 기압골의 통과시점으로 판단되는 최저기압이 외연도에서는 4월 12일 1450LST에 기록되었으며 육상관측소인 보령지점에서는 4월 12일 1500LST에, 서산지점에서는 4월 12일 1800LST에 각각 나타났다. 이같은 출현시각의 차이는 남서해안에 위치한 기압골의 북동진과 관련된 것으로 생각된다.

3.2 혼합층 성장

Fig. 3은 혼합층의 발전 모습을 알아보기 위하여 외연도에서 관측된 6시간별 온위의 연직분포를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 혼합층을 온위가 고도에 따라 일정한 층으로 정의하였다. 먼저 4월 10일 0900LST에는 기압골의 영향으로 혼합층이 뚜렷히 나타나지 않으나 기압골 통과후 고기압 영향하에서 지표면 복사가열의 영향으로 1500LST에는 2,200m까지 도달하였다. 4월 10일 2100LST의 경우 혼합층이 200~400m사이와 800~1,700m사이에 나타났으며 시간이 지남에 따라 혼합층의 고도가 낮아져 4월 11일 0300LST에서는 뚜렷한 혼합층이 500~1,000m사이에 존재하였다. 0900LST의 경우 혼합층이 1,000m고도 이하에서 크게 세부분(200~300m, 400~600m, 800~900m)으로 나타났다. 1500LST에서 혼합층은 지상에서 500m부근까지 나타났다가 2100LST에는 300~700m

사이에 존재하였다. 해상에 위치한 외연도에서 야간의 복사냉각에 따른 지표 역전층의 존재가 혼합층이 지상에서 다소 떨어진 고도에 나타나게 하는 것으로 판단된다. 4월 12일의 경우 이동성 고기압 후면의 강한 기압골의 영향으로 혼합층이 0300LST에 300m부근까지 나타나지만 1500LST와 2100LST에서는 뚜렷한 혼합층이 형성되지 않았다. 4월 13일 0300LST에 지상에서 900m에 걸쳐 존재하던 혼합층이 0900LST에는 1,500m까지 성장하다가 1500LST에는 1,000m까지 다시 그 고도가 낮아졌다. 이후 혼합층이 다시 성장하여 2100LST에는 지상에서 1,700m까지 도달하였으며 점차 그 고도가 낮아져 4월 14일 0300LST에는 1,400m, 0900LST에는 600m에 이르렀다.

Table 1은 앞에서 구한 외연도의 혼합층의 고도와 Holzworth(1972)의 방법을 이용하여 얻은 오산의 혼합층의 고도를 나타낸 것이다. 여기서 사용한 Holzworth(1972)의 방법을 간단히 소개하면 다음과 같다. 아침의 혼합층 고도는 지면의 성질을 고려하여 일 최저기온에 2°C를 더한 지상 온도를 가진 공기괴를 연직으로 건조 단열감율로 상승시켜 아침의 탐측(sounding)의 온도 단면도와 만나는 고도로 결정하였으며, 오후의 최대 혼합고는 같은 방법으로 일 최고기온을 연직으로 건조 단열감율로 상승시켜 오후의 온도 탐측선과 만나는 고도로 선택하였다. 오산의 경우의 아침의 혼합층 고도의 계산시 0300LST의 탐측자료를, 오후의 최대 혼합고의 계산시 1500LST의 탐측자료를 사용하였다. 먼저 외연도에서 구한 혼합층 고도는 고기압의 영향을 받는 4월 10, 11일에 1,000m와 2,200m 사이의 범위에서 나타나다가 기압골의 영향을 받는 4월 12, 13일에는 200~900m의 범위에 존재하였다. 그후 이동성 고기압의 영향으로 혼합층 고도가 다시 높아져 1,000m이상의 고도에 이르렀다. 그리고 지표면 복사가열에 의해 낮동안의 혼합층 고도가 밤동안보다 높게 나타났다. 외연도에서 평균 혼합층 고도는 900m정도였다. 반면에 오산의 경우 혼합층 고도가 300~2,500m의 범위에 나타났으며 고기압의 영향하에서 높게 나타나지만 기압골의 영향을 크게 받는 4월 12일의 경우 1,800m로 외연도와 비교해 볼때 매우 높게 나타났다. 이는 해상에서 육지로 부는 탁월풍의 영향으로 기질기 길이의 증가에 따른 역학적 난류혼합에 기인된다고 사료된다. 이에 관해 Venkatram (1971)은 내부 혼합층의 성장은 거칠기 길이의 증가, 지표면간의 온도차이의 증가 그리고 탁월풍의 풍속의 감소에 의존한다고 지적하였다.

4. 요약

해상기상특성을 파악하고 기압골 통과시 해상에서 혼합층 성장과 바람의 연직구조를 이해하기 위하여 1999년 4월 10일부터 4월 14일까지 서해중부해상에 위치한 외연도에서 집중대기관측(지상, 고층관측)을 실시하였다. 여기서 얻은 관측자료를 분석하여 다음과 같이 결과를 요약할 수 있다.

1. 관측기간동안 외연도의 평균기온과 최저기온은 육상관측소(보령, 서산)와 비슷하게 나타났지만 최고기온은 5°C정도 차이가 났다. 이는 해상에 위치한 외연도는 지표면의 복사가열이 육상관측소만큼 뚜렷하지 않기 때문으로 사료된다. 외연도에서 상대습도는 육상관측소보다 10%정도 높게 나타났으며, 평균 풍속은 4.6m/s, 풍향의 최대 발생빈도는 북서풍으로 전체의 35%를 차지하였다. 풍속의 변화 양상과 풍향의 발생빈도는 보령지점

보다는 해안에 인접한 서산지점의 그것들과 유사하게 나타났다. 기압의 변화에서는 종관 기압계의 이동방향과 관련하여 최저기압의 출현시각이 외연도에서는 4월 12일 1450LST, 보령지점과 서산지점은 각각 4월 12일 1500LST와 1800LST로 나타났다.

2. 온위의 연직분포로부터 구한 외연도의 평균 혼합층 고도는 900m였으며 이동성 고기압의 영향을 받는 4월 10, 13, 14일의 혼합고가 기압골의 영향하인 4월 11, 12일보다 높았다. Holzworth (1971)의 방법으로 구한 오산의 혼합층 고도는 기압골이 통과한 날인 4월 12일의 경우 외연도보다 혼합층 고도가 높았는데 이는 해상에서 육지로 부는 탁월풍의 영향으로 거칠기 길이의 증가에 기인된 내부 혼합층의 증가로 해석된다. 풍속이 약한 관측기간의 전반부가 후반부에 비하여 혼합층이 높게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 시행하는 “황해종합조사연구”사업의 하나인 “해양-대기 조사연구”사업으로 수행된 것입니다.

참고문헌

민경덕, 1974 : 동계 황해상의 열 및 수증기 수지 해석과 이들이 시베리아 기단의 변질에 미치는 영향, 한국기상학회지, 27(2), 67-77.

Moon, 1981 : A synoptic climatological study of the rainy season in East Asia during summer, Doctoral thesis of Tsukuba Univ., 107pp.

Park, S. U., Y. U. Lee and J. H. Bong, 1989 : Special observations for the growth of the mixed layer, J. Korean Meteorol. Soc., 25(3), 138-147.

Venkatram, A., 1977 : A model of internal boundary-layer development, Bound. Layer Meteorol., 11, 419-437.

Table 1. Mixing heights at Osan and Oeyondo (Unit : km).

| Time | Osan | Oeyon -Do | Time | Osan | Oeyon -Do |
|---------------------|------|--------------|---------------------|------|--------------|
| 1999. 4. 10. 03 LST | 0.6 | | 1999. 4. 12. 03 LST | 1.8 | 0.3 |
| 09 LST | | 0.3 | 09 LST | | × |
| 15 LST | 2.5 | 2.2 | 15 LST | 0.4 | 0.2 |
| 21 LST | | 1.7 | 21 LST | | 0.3 |
| 1999. 4. 11. 03 LST | SFC | 1.0 | 1999. 4. 13. 03 LST | 0.3 | 0.9 |
| 09 LST | | 0.9 | 09 LST | | 1.5 |
| 15 LST | 1.3 | 0.5 | 15 LST | 1.1 | 1.0 |
| 21 LST | | 0.7 | 21 LST | | 1.7 |
| | | | 1999. 4. 14. 03 LST | SFC | 1.4 |
| | | | 09 LST | | 0.6 |

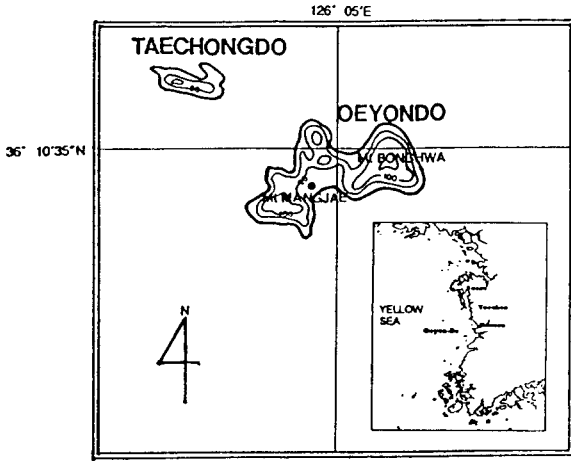


Fig. 1. Geographical map around Oeyon-Do. Symbol ● indicates the radiotheodolite observation site.

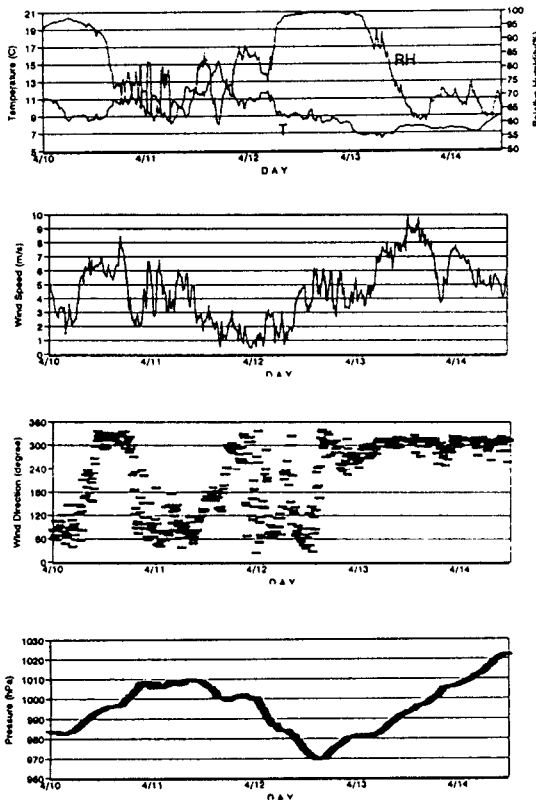


Fig. 2. Time variations of 10-minute averaged temperature and relative humidity(a), wind speed(b), wind direction(c) and pressure(d) at Oeyon-Do for the period of 10~14 April, 1999.

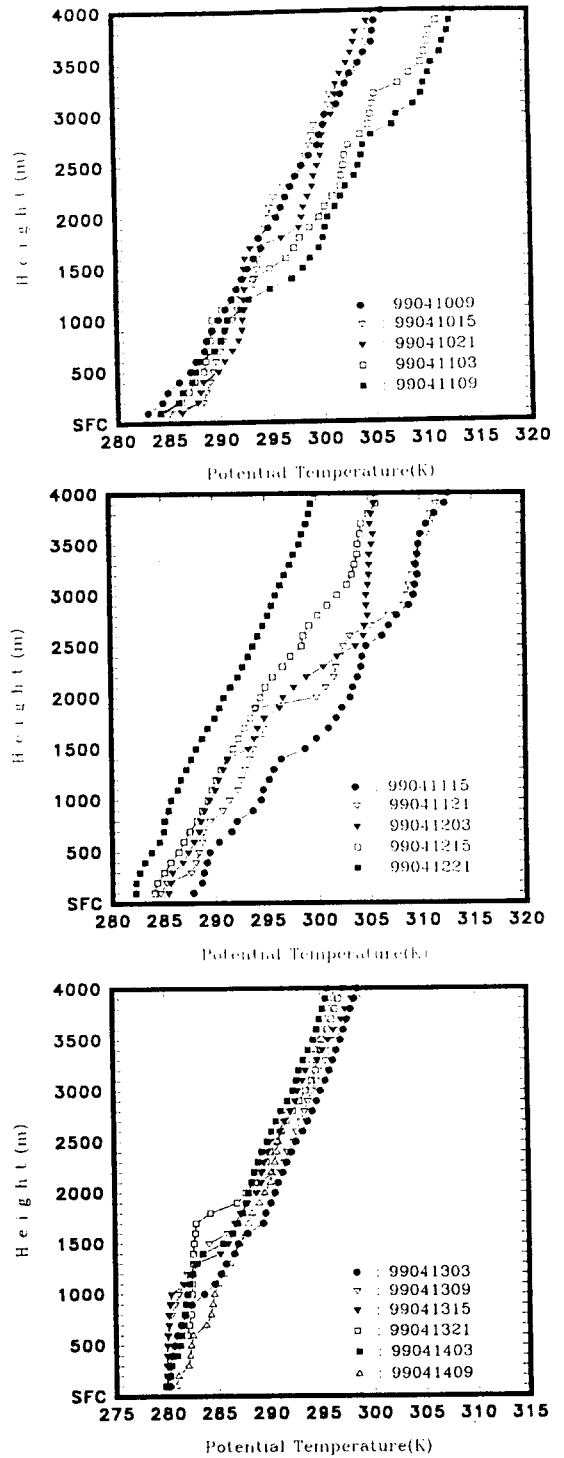


Fig. 3. Time variations of the vertical profile of the potential temperature observed by the radiotheodolite system at Oeyon-Do for the period of 10~14 April, 1999. Numbers indicate the YY/MM/DD/TT.