한국환경과학회 봄 학술발표회지 제14권(제1호), 230~232, 2005
*Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference, May, 20~21, 2005*

PA12)

# Tethersonde와 기상탑 관측 자료를 이용한 울산지역 야간 역전층 특성에 따른 대기오염도 변화와의 관계

임윤규*, 김유근, 오인보, 송상근, 황미경
부산대학교 대기과학과

## 1. 서 론

역전층에 관한 연구는 저층 대기의 상태를 파악하여 대기 오염물질의 분산 및 확산과정을 알아보기 위한 것이다. 역전층에 관한 최초의 연구로는 Hosler[1]가 미국 내에서 접지역전층의 발생빈도를 각 계절별로 조사하여 기상학적 특징에 따라 7개의 권으로 분류하였고, Lie[2] 등은 연안지역의 경우 해륙풍순환에 의한 국지적 효과는 오전의 대기정체와 함께 고농도 발생에 깊은 관련이 있다고 하였다. 일반적으로 역전층은 여름에 가장 낮고 가을과 겨울에 높은 계절변화를 보이지만 각 지역마다 지형 및 기후 등의 조건이 다르므로 계절별 전형적인 역전층 발생일과 높이 등은 다르게 나타난다. 이러한 역전층의 발생과 높이에 따라 대기오염 특성도 다르게 나타나기 때문에 각 계절별 전형적인 역전층 발생일을 정의하고 그때의 대기오염 농도 특성을 파악함으로써, 역전층에 따른 고농도 대기오염 발생정도를 예측 할 수 있다. 특히, 울산지역과 같은 대도시 연안공업지역의 경우, 날로 심각해지는 도시 대기오염 현상을 개선하기 위한 정책적인 연구의 일환으로 역전층의 발달 정도에 따른 대기오염도에 관한 사전연구가 반드시 필요하다고 할 수 있다. 하지만, 역전층의 발생 및 발달정도를 파악하기 위해서는 매시간 저층대기관측이 꾸준히 이루어져야 하나, 현시점에서 매번 상층관측을 통한 역전층 파악은 힘든 실정이다.

따라서 본 연구에서는 tethersonde 자료를 통하여 역전현상과 지표 대기오염물질과의 관계를 파악하고 단기관측결과로 설명하기 힘든 역전강도에 따른 대기오염물질 농도와의 보편적인 경향을 2층 기상탑 기온 분석을 통하여 간접적으로 추정하고자 한다. 향후 장기적인 역전발달 정도와 대기오염물질 농도와의 상호관계는 대기오염예보 시스템 구축에 있어 지역 대기안정도를 대변하는 대기오염 포텐셜의 중요한 인자로 적용 가능할 것이다.

## 2. 자료 및 연구방법

본 연구에서는 울산지역의 연안지역이면서 공단들이 밀집된 여천동지점에 2002년 6월부터 2층 기상탑을 설치하여 각 2층(2m, 10m)의 기상요소를 측정하고 있다. 또한 tethersonde를 이용하여 2002년 7월부터 2003년 5월까지 각 계절별 2회씩 야간(1800 LST ~ 0800 LST) 8회 관측을 실시하여 계절별 16개의 역전층고도 자료를 확보하였다. 또한 역전층 발달정도에 따른 대기오염물질(오존, TSP, $SO_2$, $NO_2$, CO)의 농도변화 특성을 파악하기 위해 같은 기간동안 기상탑 인근지역에 위치한 여천동 대기질 자료(환경부)를 사용하였다. 무인

자동관측시스템을 이용한 역전층 발달 정도를 어느 정도 산출하기 위한 방법으로 본 연구에서는 2층 구조를 지닌 기상탑 기온자료와 tethersonde 관측 결과인 최대역전고도와 상관분석을 실시하여, 2층 무인자동관측시스템을 통한 역전층 발달정도를 추정하였다. 또한 이러한 방법으로 산정된 역전강도별 각 대기오염물질과의 관계분석 수행을 통해 단기관측으로 분석이 불가능한 역전강도별 대기오염농도 특성에 관한 전반적인 경향을 파악하였다.

### 3. 야간역전층 변화와 대기오염물질과의 관계

앞서 제시한 2층 기상탑 자료(2003. 1~2003. 12)를 이용하여 전형적인 역전층 발생일을 산정하고 이를 대상으로 대기오염물질농도와의 관계 분석을 통해 역전현상이 대기오염물질에 미치는 영향에 대해서 고찰하였다. 우선 강수에 의한 세정효과를 제거하기 위해 비강수일을 대상으로 역전일과 비역전일을 분류하고자 역전강도를 정의하였다. 역전강도는 야간온도기울기의 합에 따라 0 미만인 비역전일과 0 이상인 역전일로 선정하였다. 역전일중 강도에 따라 3개로 분리하여 table 1에 나타내었다. 비역전일은 야간온도기울기의 총합이 0이하인 날로 춘계 8회, 하계 11회, 추계 8회, 동계 6회로 하계가 가장 많았고, 역전일은 야간온도기울기의 총합이 0초과인 날로 춘계가 51회, 하계 34회, 추계 57회, 동계가 64회로 역시 추계가 가장 많은 발생빈도를 보였다. 비강수일을 대상으로 하였기 때문에 하계의 경우 사례가 많지 않아, 통계분석에 다소 오차가 발생할 수 있지만, 본 연구의 목적에는 크게 벗어나지 않을 것으로 판단된다. 대체적으로 강한 역전층 발생빈도는 봄철이 가장 높으며, 가을과 겨울철에는 group 2에 해당되는 역전빈도 발생이 가장 높아 꾸준한 역전 발생 확률을 보인다고 할 수 있다. 특히, 여름철의 경우 비역전  발생일이 타 계절에 비해 가장 높아 계절적인 특징인 지표가열로 인한 대기혼합의 영향이 야간에도 효과가 유지된다고 할 수 있다.

Fig. 1은 관측기간 동안 역전일과 비역전일 및 역전강도별 대기오염물질 농도 변화를 시간별로 나타낸 것이다. 오존의 경우 야간에는 비역전일이 역전일보다 높게 나타나고 있는데, 이러한 결과는 tethersonde 관측결과와 잘 일치하는 것으로, 오인보[7]의 연구에서도 밝혔듯이 비역전일의 경우 상·하층 대기가 잘 섞여있는 상태로 상층의 비교적 높은 농도의 오존이 하층에 영향을 줄 수 있으나, 역전일의 경우는 상·하층 공기교환이 거의 일어나지 않는 절대 안정층이기 때문에 상대적으로 높은 오존이 발생할 수 있다. 또한 주간의 오존농도의 차이에서 나타나듯이 역전일의 경우가 비역전일보다 높은 농도를 보이는 것은 역전일의 경우 하층에서 축적될 수 있는 오존전구물질의 양이 비역전일보다 훨씬 많기 때문이다. 이러한 결과는 역전강도별 대기오염농도와의 관계분석에서 더욱 뚜렷이 살펴볼 수 있다. 역전강도가 셀수록 야간 오존농도는 낮고, 다음날 일 최고 오존농도는 높은 값을 나타내고 있다. 또한 야간 역전층이 약한 날인 경우 야간 혼합에 의한 농도가 상대적으로 강한 역전층이 형성된 날보다 높으며, 다음날 주간의 오존농도 역시 높은 값을 유지하지 못하는 것을 알 수 있다.

$SO_2$의 경우, 역전이 일어난 야간에는 비역전일보다 낮은 농도 경향을 보이고 있으며, 주간에 다소 높은 농도경향을 띈다. 역전 강도별 변화를 살펴본 경우 역시 역전현상이 야간에는 역전강도에 비례하여 낮은 농도에 기인하는 것으로 나타났다. 하지만, 주간의 경우 야간 역전이 일어난 날이 주간에 보다 높은 농도를 나타내는 것을 알 수 있다.

Table 1. Frequency related to inversion intensity in each season (2003. 1~2003. 12)

| | Non-inversion | Inversion | | |
|---|---|---|---|---|
| | Group 0 (Tsum ≤ 0) | Group 1 (0 < Tsum ≤ 1) | Group 2 (1 < Tsum ≤ 3) | Group 3 (3 ≤ Tsum) |
| Spring (59) | 8 | 11 | 28 | 12 |
| Summer (45) | 11 | 12 | 15 | 7 |
| Fall (65) | 8 | 18 | 32 | 7 |
| Winter (70) | 6 | 18 | 36 | 10 |
| Total (239) | 33 | 59 | 111 | 36 |

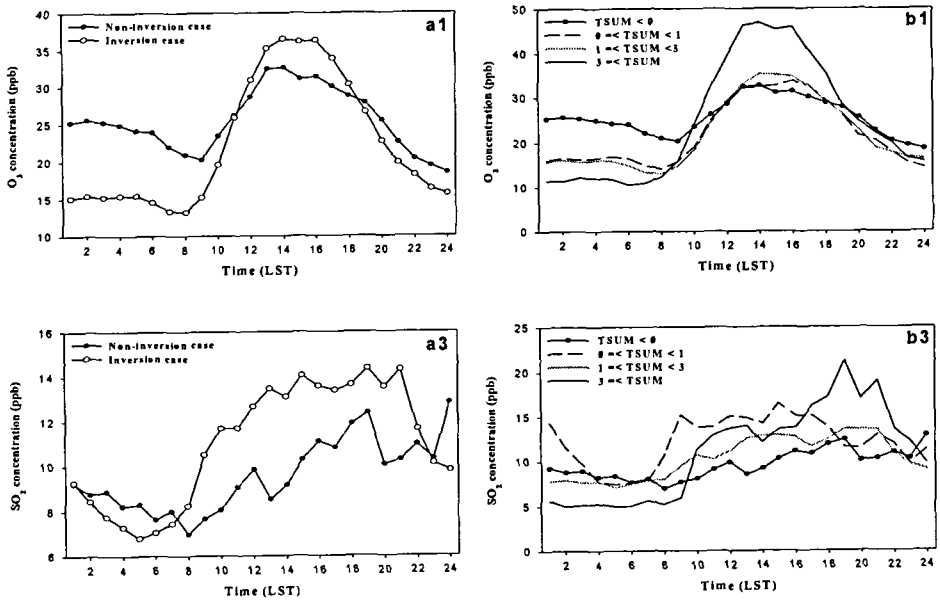


Fig. 1. Diurnal variation of (a) each air pollutant concentration at inversion and non-inversion case and (b) each inversion intensity (a1: $O_3$, a3: $SO_2$).


## 감사의 글

본 연구는 환경부 지정 울산지역 환경기술개발센터의 연구비로 수행되었으며 이에 감사드립니다.


## 참 고 문 헌


Hosler, C.R., 1961, Low level inversion frequency in the contiguous United States, Mon. Wea Rev. 89: 319-339.

Liu, C.M., S. C. Liu, and S.H. Shen, 1990, A study of Taipei ozone problem, Atmos. pEnviron., 24(6), 1641-1472.