

해풍 효과에 의한 저층대기구조 변화의 측정

전병일 · 김유근 · 이화운 · 황수진*
부산대학교 대기과학과, *부산대학교 지구과학교육과
(1996년 7월 31일 접수)

Observation on Structural Change of Low Level Atmosphere due to Effect of Sea Breeze

Byung-II JEON, Yoo-Keun KIM,
Hwa-Woon LEE and Soo-jin HWANG*

Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Pusan, Korea
**Dept. of Earth Science Education, Pusan National University, Pusan, Korea*
(Manuscript received 31 July 1996)

The surface meteorological and upper layer meteorological observation carried out to investigate influences of sea breeze effect on lower layer atmosphere at Gori nuclear power plant for 29~30 July, 1996.

According to surface meteorological data, the inflow of sea breeze was occurred 11:30 on 29 July, 10:30 on 30 July, respectively at observation site. And the meteorological tower data showed that wind direction of sea breeze was identified as south-westerly, and wind speed of 58 m was 2 times stronger than that of 10 m.

It is noteworthy that surface inversion layer which built from the night time to daybreak of next day was not broken off by seabreeze's inflow for daytime, and strong inversion layer observed at 47~243 m with moderately stable class (F) by URC. It was found that strong stable layer of potential temperature appeared at that layer, maximum relative humidity observed at the bottom of inversion layer and maximum mixing ratio observed in the low of inversion layer.

Key words : sea breeze, inversion layer, lower layer atmosphere

1. 서 론

연안 공업도시에서는 오염물질의 주요발생원인 도심지와 공업지역의 대다수가 해안에 위치하기 때문에 도시의 오염농도 분포가 해풍과 같은 국지풍의 영향으로 복잡한 양상을 나타낸다(河村, 1979; Kawamura, 1985). 일반적으로 해풍이 발생할 때는 기압경도가 완만하여 대기가 안정하고 역전

층 고도가 낮으며, 약한 풍속과 낮은 혼합고로 인해 대기의 확산 능력이 저하된다(Mantis et al., 1992).

또한 이러한 조건에서 해풍전선이 존재한다면, 바람의 수렴과 연직혼합이 자주 발생하기 때문에 대기오염농도가 급격히 상승하는 현상이 나타나기도 한다(若松伸司, 1975; Young and Winchester, 1980; Lalas et al., 1983). 菊地(1983)는 지역오염 형태와 관련한 해륙풍의 역할로서, 육풍역내의 오염물의

체류와 이류, 해풍에 의한 오염물의 이류, 해풍역내에서의 오염물의 이류, 해풍역내에서의 trapping, 해풍역내에서의 하강류에 의한 오염물의 수송 그리고 해풍전선부근의 오염공기의 체류와 연직혼합 등이 있다고 하였다. 연안 지역에 위치한 대부분의 대도시는 주요한 인공오염원과 인구밀집지역이 집중되어 있는 양상을 가지고 있고, 특히 이런 지역에 해륙과 산악 분포에 의한 해륙풍과 산곡풍 같은 중규모 국지순환이 일어난다면, 해안지역에서 발생한 오염물질이 수렴가정체되면서 연안도시의 특정 지역에 대기오염농도를 급속히 상승시키는 현상이 발생될 수 있다 (Robinson et al., 1992; Papageorgiou, 1988; 近藤, 1995). 또 해안부근에 높은 공장 굴뚝이 있을 경우에는 해풍의 영향으로 fumigation 현상이 발생하여, 고농도의 오염물질이 지상부근까지 하강하여 단시간 내에 인체나 동식물에 심각한 고농도 피해를 나타낼 수도 있다.

특히, 지표부근의 역전층은 지형의 영향을 많이 받게 되는데, 일반적으로 분지나 내륙은 역전강도가 강하나, 반대로 해상은 역전층이 생성되기 어려운 경향이 있다. 역전층의 고도나 강도는 풍속, 야간복사량 등의 기상조건, 해양으로부터의 거리, 지형 등의 여러 조건에 의해 의존한다. 우리나라에서는 부산 지역의 해안이 한반도의 남해와 동해에 접하여 있고, 공업 지대가 연안에 인접해 있기 때문에 대기오염물질이 해풍에 의해 영향을 받을 수 있는 최적의 상태에 있다고 할 수 있다. 이미 여러 연구자(최길수 등, 1982; 전병일 등, 1994)들에 의해 부산 도심지는 해풍의 발생 빈도가 높고 해풍의 영향이 큰 지역이라고 조사된 바 있다.

그리고 우리나라의 저층대기에 관한 측정은 기상연구소(1980, 1981)에 의해 임해공업단지로서 지정된 아산만 지역을 대상으로 오염물질의 확산과정을 예측하기 위해 접지기상측정을 실시한 바가 있고, 한라산 남사면상에서 야간 경계층의 기온 및 냉기 이동 특성을 분석한 연구(기상연구소, 1987) 등이 있으며, 부산 연안역 인근에서의 조사자연구로는 문승의 등(1984)에 의해 고리 원자력발전소의 입지타당성을 조사를 위해 역전층의 발생빈도,

시작, 소멸, 지속시간에 관한 조사가 있다. 또한 황수진(1989)은 산곡내 역전층의 생성과 소멸, 그리고 냉기류에 관해서 연구하였고, 박종길과 원경미(1994)는 김해지방의 기온역전층의 구조와 특성을 조사한 바 있으나, 연안역에서의 해풍의 유입과 관련하여 저층대기구조의 변화를 체계적으로 측정하거나 규명한 연구는 거의 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 실제 측정을 통하여 해풍이 자주 발생하는 연안역에서의 저층대기구조의 특성을 분석하고 해풍이 저층대기구조에 어떠한 영향을 미치는지를 상세히 고찰하고자 하였다.

2. 측정방법과 측정요소

상층기상측정은 대상으로 하는 해석의 목적에 따라 사전에 충분히 측정항목을 검토할 필요가 있으며, 상층측정이 필요한 경우에는 필요한 전 항목을 매번 실시하는 것은 측정기술이나 경비 등의 면에서 곤란한 점이 많다. 따라서 상층측정은 대상 지역에서 중요한 국지기상의 입체구조를 파악하는 것이 목적이기 때문에 측정기간을 특별히 정해서 행하는 것이 더욱 효율적이라고 할 수 있다.

연안역에서 해풍에 의한 저층대기구조의 변화를 분석하기 위해서 경상남도 양산군 고리 원자력발전소 연수원의 잔디밭(35° 19' 50"N, 129° 17' 55"E)에서 100g의 헬륨가스가 주입된 풍선을 이용한 상층대기측정을 실시하였다. 지상측정은 고리원자력 발전소내의 백엽상과 기상탑(10m, 58m)을 이용하여 1996년 7월 29일부터 30일까지 15분 간격으로 48시간동안 측정된 기온과 상대습도 그리고 풍향, 풍속 자료를 사용하였다.

상층대기에 대한 측정장소의 해발고도는 약 10m 정도로 해안으로부터 약 200m 떨어져 있으며, 주변에 높은 건물이 없고 측정지점의 남동쪽에서 해발 100m 정도의 구릉이 존재하고 있으나, 수평거리가 매우 크기 때문에 상층측정에 대한 영향은 아주 미약할 것으로 생각되며, 측정장소로는 최적이라고 생각된다 (Fig. 1참조). 측정기간은 1996년

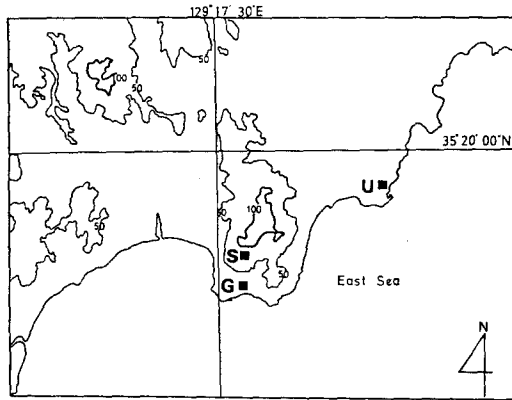


Fig. 1. Geographical map around the observation site. Station G is Gori nuclear power plant, Station S and U are surface meteorological observation site and upper layer meteorological observation site, respectively.

7월 29일 15시부터 7월 30일 12시까지 3시간간격으로 8회에 걸쳐 측정하였으며, 측정고도가 약 400 hPa (7000 m)로 비양시간이 40~50분 정도 소요되었다. 본 연구의 취지에 맞게 저층대기의 특성을 알아보기 위하여 500 m까지만의 자료를 이용하여 주요 특징을 고찰하였다. 일몰 후부터 익일의 일출까지 지표냉각이 계속되지만 상층일수록 냉각정도가 작아 보통 500 m 고도의 기온 일변화가 2~3가 밖에 안되기 때문에 저층대기의 특성을 고찰하는데는 이 고도가 적당한 고도라고 판단되었다.

측정기기는 미국 Atmospheric Instrument Research Co. 에서 개발한 ADAS-3B (Atmospheric Data Analysis System-3B)형과 Airsonde를 100 g의 헬륨 가스가 들어간 기구에 매달아 대기 중을 상승시켜 그로부터 무선 발신호를 지상에서 수신하여 상층 대기환경과 저층대기환경을 측정하고 ADAS출력값을 IBM-PC에 연결하여 각 기상요소의 연직분포를 분석하였다. 측정요소는 기압 (P), 건구온도 (T) 그리고 상대습도 (RH)이며, 이들을 이용하여 온위와 혼합비를 아래와 같은 식을 이용하여 산출하였다.

온위 θ 는

$$\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^{0.286} \quad (1)$$

으로 계산하였으며, 여기서 P_0 는 측정장소의 지면에서의 기압이며, P는 고도에 따른 기압이다. 혼합비 W는

$$W = \frac{0.622e}{P - e} \quad (2)$$

로 계산되며, 여기서 P는 고도에 따른 기압이며, e는 수증기압으로 식 (3)과 같이 상대습도 (RH)와 포화수증기압 (e_s)으로 구해진다.

$$e = \frac{RH \times e_s}{100} \quad (3)$$

포화수증기압 (e_s)은

$$e_s = 6.1078 \times \exp\left(\frac{2.302 \times 7.5 \times T}{237.3 + T}\right) \quad (4)$$

으로 구해진다. 여기서 T는 각 고도에서의 건구온도이다.

3. 측정결과 및 토의

3.1 측정일의 기상상태

측정일의 기상상태는 저층대기구조를 고찰하는데 매우 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다. 따라서 지상일기도와 고리원자력발전소내의 기상측정소에서 측정된 기상자료를 분석하여 그 특성을 알아보았다. Fig. 2는 1996년 7월 30일 0000UTC의 지상일기도를 나타낸 것으로서, 측정일의 일기상태는 기온과 습도가 매우 높은 북태평양고기압의 영향으로 우리나라의 중부지방과 남부지방은 전형적인 여름날씨를 나타내고 있었으며, 북부지방과 연해주지방은 장마전선이 남서에서 북동방향으로 길게 뻗어 있었다. 그리고 남태평양에는 태풍이 발생하여 북태평양고기압의 남서쪽 주변으로 북상하려는 모습을 나타내고 있었다.

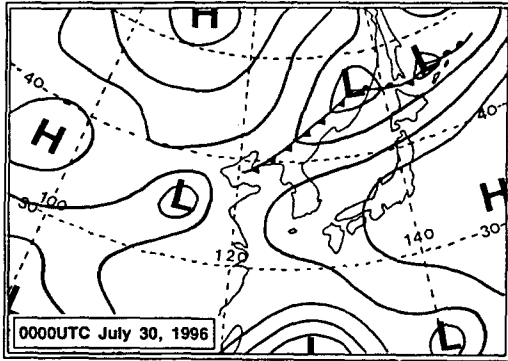


Fig. 2. Surface weather chart at 0000UTC July 30, 1996.

본 측정지점은 북태평양고기압의 가장자리에 위치하고 있어 측정기간동안 이 고기압의 영향권에 있었으며, 부산지방기상청 측정자료(부산지방기상청, 1996)에 의하면 7월 30일은 일사량 23.40MJ, 일조시간 12.7시간, 운량 0 등으로 매우 쾌청한 날씨를 나타내었다.

3.2 지상기상요소의 분석

Fig. 3은 고리원자력발전소내에서 1996년 7월 29일부터 30일까지 15분 간격으로 48시간동안 1.5m의 백엽상에서 측정한 기온과 상대습도, 그리고 10m와 58m의 기상탑에서 측정한 풍향과 풍속을 나타낸 것이다.

먼저 지상측정소의 기온을 살펴 보면, 29일 13시 30분에 29.45°C로 최고기온을 나타내었으며, 30일에는 10시 30분에 29.87°C로 전날보다 3시간정도 빨리 최고기온이 발생하였고, 29°C내외의 기온이 3시간정도 지속되다가 14시 이후 기온이 빠른 속도로 하강하는 추세를 나타내었는데, 이는 바다로부터 육지로 부는 해풍의 유입과 관련이 있는 것으로 보인다. 그리고 최저기온은 29일이 25.61°C(05시 15분), 30일이 24.78°C(05시 30분)로 일출직전에 나타났으며, 7월의 평균해수온보다 2~3°C 높은 기온을 나타내었다. 일교차는 29일이 3.84°C, 30일이 5.09°C로 구름이 없는 맑은 날의 일교차로는 매우 낮은 값을 나타내었으며, 측정부지와 가까운 부산지

방의 일교차는 29일이 7.1°C, 30일이 6.4°C로 측정부지보다 큰 값을 나타내었다. 상대습도는 기온의 분포와 역상관을 매우 잘 나타내고 새벽과 야간에는 85~95%의 높은 값을 나타내며, 주간에는 75%내외의 값을 나타내었다. 29일 12시부터 4%정도 급격한 상승을 나타내었고, 30일에도 10시 30분에 6%정도의 상승을 나타내고 있는데, 이는 최고기온이 나타나는 시각과 깊은 관련이 있다. 그리고 부산지방의 상대습도 일교차는 29일이 29%, 30일이 30%인데 비하여, 고리에서는 29일이 18.5%, 30일이 22.7%로 10.5% (29일), 11.5% (30일) 낮게 나타났는데, 이는 기온의 일교차와 관련이 있다고 판단된다. 풍향은 대체로 북태평양고기압의 영향으로 종관 기압장에 따른 남서풍이 불고 있으나, 주간에는 바다와 육지의 온도차에 의한 남남동풍계열의 해풍이 발생하고 있다. 10m와 58m 다같이 비슷한 풍향분포를 하고 있으며, 다만 야간의 경우, 10m는 남서풍이 58m에서는 남풍이 불어 backing현상이 나타나고 있다. 풍속은 10m와 58m에서 뚜렷한 차이를 나타내고 있는데, 10m에서는 야간에 2m/s 정도의 약풍이 불고 주간에는 3~4m/s이며, 58m에서는 야간에 4m/s로 10m보다 2배정도 강하며, 주간에는 최고 10.89m/s (29일), 11.53m/s (30일)로 강한 바람이 불었다. 해상으로 부터 해풍이 유입될 때는 기온의 하강, 상대습도의 증가, 풍향의 급변 그리고 풍속의 증가가 나타나는 것이 일반적인 상황이다. 따라서 측정부지의 지상기상요소의 변화를 볼 때, 7월 29일의 해풍유입시각은 뚜렷하지는 않지만 11시 30분 경이라고 할 수 있고, 7월 30일은 10시 30분이라고 할 수 있다. 측정당일의 고리원자력발전소에서 측정한 기상자료를 통해 측정부지는 해풍의 영향권 하에 있었다는 것이 명확하게 확인되었고, 이에 따라 저층대기가 해풍의 영향을 받을 수 있는 최적의 조건이라고 할 수 있다.

3.3 저층대기의 특성

Fig. 4에 Airsonde를 이용한 측정된 기온, 온도, 상대습도, 혼합비를 3시간간격으로 좌측에는 7월

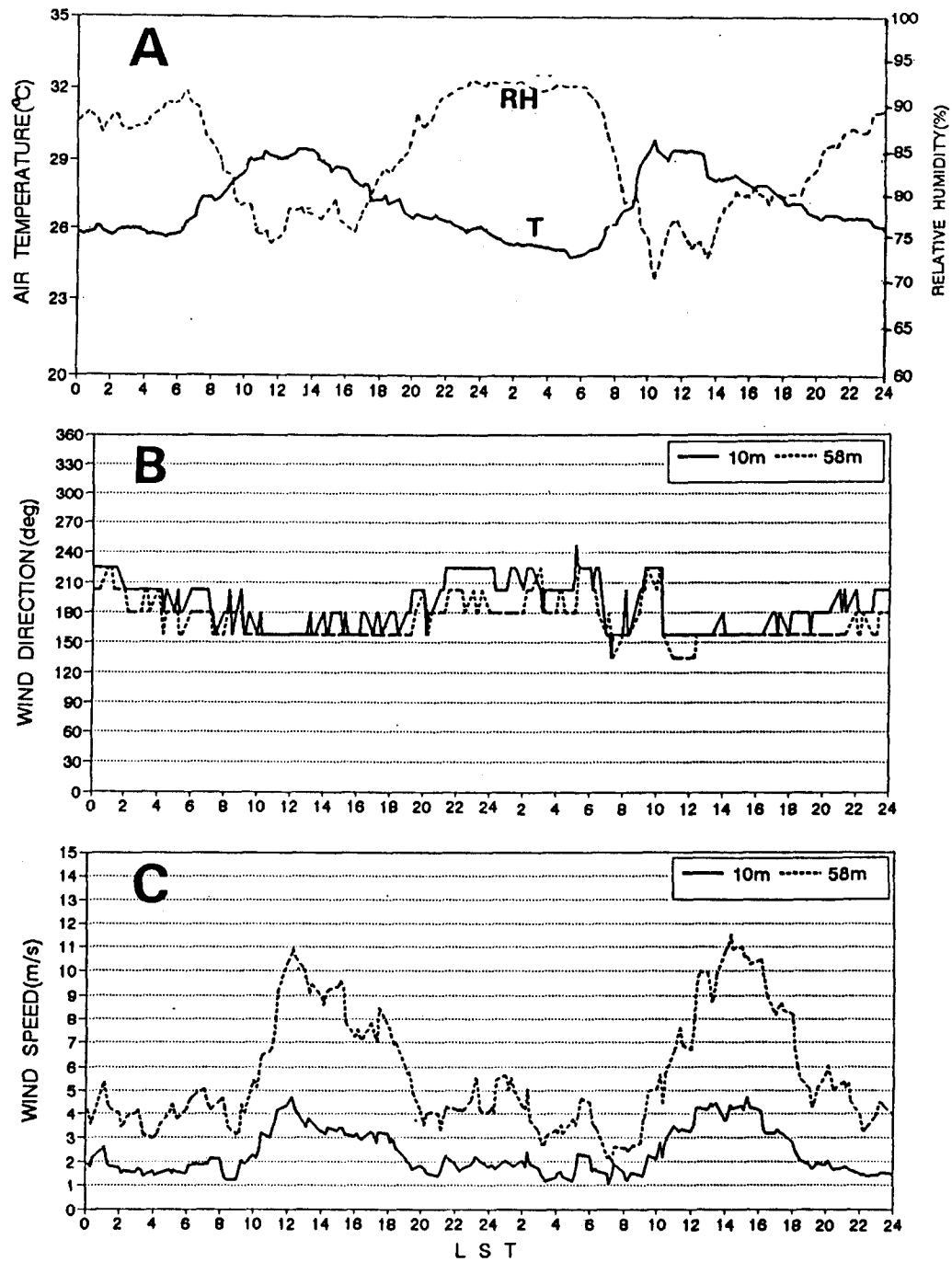


Fig. 3. Variation of surface meteorological parameter on Gori nuclear power plant at July 29~30, 1996. A are air temperature (T) and relative humidity (RH), B and C are wind direction and wind speed at 10 m and 58 m, respectively.

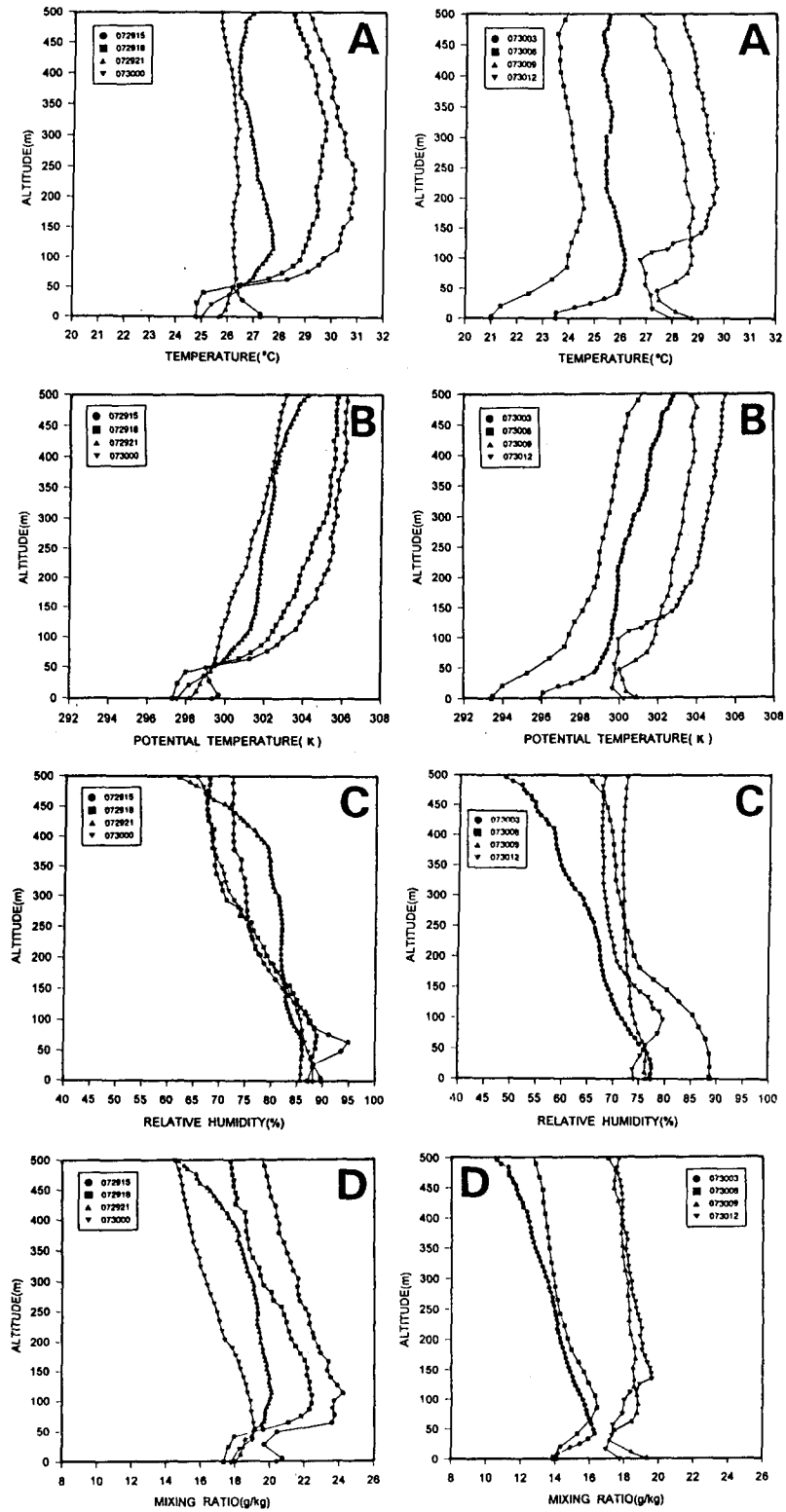


Fig. 4. Vertical profiles of air temperature (A), potential temperature (B), relative humidity (C), mixing ratio (D) at each run.

29일 1500LST부터 30일 0000LST까지를, 우측에는 30일 0300LST부터 1200LST까지 4회씩 나누어서 나타내었다.

3.3.1 기온

기온의 연직분포를 보면 (Fig. 4-A), 먼저 7월 29일 1500LST의 경우 49m까지 불안정층이 형성되어 있고 49m부터 250m까지 1.47°C/100m의 증가율을 가진 강한 역전층이 존재하고 있다. 일반적으로 내륙지역에서 오후 시간대의 연직기온분포를 고려할 때, 이러한 지상기온과 역전층의 존재는 생각할 수 없는 것이라고 할 수 있다. 지상의 기온이 상대적으로 내륙보다 한랭습윤한 해풍의 유입으로 27.3°C라는 낮은 기온을 나타내었다. 또한 지표로부터 49m까지 해풍유입에 따른 기계적 난류와 태양복사 에너지에 의한 열적난류로 강한 불안정층이 생성된 것으로 보인다. Table 1의 NRC (1972)의 안정도 분류에 의하면 이 시간의 안정도는 A등급이라고 할 수 있으며, 상층역전층의 높이 243m는 해풍의 고도라고 추정할 수 있다. 1800LST의 경우 지표에서의 열적난류와 기계적 난류에 의한 불안정층은 소멸되고 역전층이 309m까지 상승하였으며, 지표 부근의 50m는 중립에 가까운 역전층이라 할 수 있다. 태양복사에너지가 약화로 인하여 100~300m의 기온이 1500LST에 비해 2~3°C하강하면서 역전층고도가 상승하였다고 할 수 있다. 2100LST의 경

우 1800LST에 높은 고도 (309m)까지 존재하였던 역전층이 113m로 196m나 하강하였으며, 7월 30일 0000LST의 경우 지표부근 50m까지 지표역전층이 나타났으나, 전반적으로 500m까지 등온층이 형성되어 있어 전 시간대의 양상과 전혀 다른 형태를 취하고 있다. 0300LST의 경우 야간의 복사냉각에 의해 기온이 하강하면서 지표역전층이 98m까지 상승하였으며, 그 상층은 등온에 가까운 분포를 나타내고 있다. 0600LST의 경우 0300LST와 거의 비슷한 연직구조를 하고 있으나, 단지 기온의 연직분포가 2~3°C 하강한 상태로 평행이동한 모습을 나타내며, 지표역전층은 182m까지 상승하였다. 0900LST의 경우 일출과 함께 태양복사에너지의 증가로 인해 지표기온이 7.8°C라는 급격한 상승을 하였고, 따라서 새벽에 생성되었던 지표역전층이 해소되는 과정에서 47~105m의 상층에 강한 역전층 (F등급)이 형성되어 있다. 하계의 이 시간대에는 역전층이 해소되고 전 층이 강한 불안정층이 형성되어 있어야 하지만, 바다에서 육지로 해풍이 유입되면서 역전층이 해소되지 않고 저층에 잔존해 있었다. 1200LST의 경우 지표불안정층이 98m까지 상승하였고 상층역전층이 217m로 전날의 1500LST와 비슷한 분포를 나타내고 있다.

연안에서 해풍이 불기 시작하면 지표로부터 공급된 열이 접지층 상부로 전달되어 열적 flume이 생성되며, 이 flume은 위쪽의 안정층에 다다르게 되고 이 대류혼합의 성층이 하나의 경계층을 만들

Table 1. Pasquill stability classes in terms of range of vertical temperature gradient by NRC (1972)

Pasquill stability classes	Pasquill stability classification	Range of vertical temperature gradient (°C/100 m)
A	Very unstable	< -1.9
B	Moderately unstable	-1.9 ~ -1.7
C	Slightly unstable	-1.7 ~ -1.5
D	Neutral	-1.5 ~ -0.5
E	Slightly stable	-0.5 ~ 1.5
F	Moderately stable	1.5 ~ 4.0
G	Very stable	> 4.0

Table 2. Diagram on range of each layer and Pasquill stability classes by NRC (1972) at each run.

TIME	Class	α	β	γ
1500			SFC~49 m (A)	49~243 m (F)
1800		SFC~309 m (F)		
2100		SFC~113 m (F)		
0000		SFC~50 m (F)		
0300		SFC~98 m (F)		
0600		SFC~182 m (F)		
0900			SFC~47 m (A)	47~105 m (F)
1200			SFC~98 m (D)	98~217 m (F)

게 되는데 이를 대류경계층이라고 하기도 한다. 이와 같이 지상부근의 낮은 고도에 역전층이 존재한다면 오염원에서 배출된 대기오염물질이 이 역전층내에서 정체되고 fumigation현상이 발생하여 고농도의 오염물질이 지상부근까지 하강하게됨으로써 대기오염농도가 급격히 상승하게 된다.

Table 2는 기온의 측정결과를 통하여 얻은 저층대기를 α 층, β 층, γ 층의 세개의 층으로 나누어 그 층의 높이와 두께 그리고 그 층의 안정도를 Table 1과 같은 NRC (1972)에 의한 분류법을 사용하여 나타낸 결과이다. α 층은 야간의 복사냉각에 의해 생성되는 접지역전층을 의미하고, β 층은 앞에서 서술한 대로 주간 연안에서 해풍의 영향과 강한 일사량으로 지표에서 발생하는 강한 불안정층이며, γ 층은 β 층이 존재하고 그 층위에 발생하는 강한 안정층으로 본 연구에서 중점적으로 다루는 층이라고 할 수 있다. 이를 요약하여 Table 2에 각층의 두께와 그 층에서의 안정도를 보면, 가층은 1800 LST부터 0600LST까지 형성되며 두께는 50가309 m 까지 그 폭이 넓게 분포하고 있으며, 안정도 등급은 전 시간대에서 강한 안정인 F등급을 나타내었다. β 층은 0900LST부터 1500LST에 나타났고, 47~98 m까지 주로 100 m이하에서 발생하였으며, 안정도 등급은 1200LST가 D등급인 중립이고 그 외는 A등급인 매우 강한 불안정을 나타내었다. γ 층은 β 층과 동일한 시간대에 47~243 m에 나타났으며, 해풍이 매우 발달하는 오후에 그 두께가 크게 나타나는 경향이 있었고, 안정도 등급은 전부 강한 안정인

F등급을 나타내었다.

3.3.2 온위

Fig. 4-B는 온위의 연직분포를 나타낸 것이다. 온위는 연직구배를 이용해 기층의 안정도를 산출할 수 있는 특성을 가지고 있으며, 측정일의 온위의 연직분포를 주간과 야간으로 나누어서 살펴보았다. 29일 1500LST의 경우 49 m까지 0.68K/100 m의 감률로 불안정층을 나타낸 반면, 49 m부터 243 m까지는 3.37K/100 m의 증가율로 매우 강한 안정층을 나타내었다. 또한 30일 0900LST경우에서도 47 m까지 2.62K/100 m의 감률로 매우 불안정층을 나타내었고 47 m부터 105 m까지는 3.86K/100 m 증가율로 전날의 1500LST보다 강한 안정층을 나타내었다. 1200 LST는 지표에서 16 m까지 강한 불안정층을 나타내었고, 16 m부터 98 m까지 0.40K/100 m의 감률로 중립에 가까운 불안정층을 나타내었으며, 98 m부터 217 m까지는 3.43K/100 m 증가율로 강한 안정층을 나타내었다. 이와 같이 주간에는 지표근처에 불안정이 발생하고 그 위층은 강한 안정층을 나타내는 반면, 야간에는 각 시간대마다 약간의 차이는 있지만 안정층을 나타내었다.

3.3.3 상대습도

Fig. 4-C 상대습도의 연직분포를 나타낸 것이다. 상대습도는 29일 1500LST부터 30일 0000LST까지

지표부터 100 m까지 85~90%의 높은 값을 나타내고 있으며, 1500LST 경우만이 63 m에서 94.9%의 높은 습도를 나타내었다. 그리고 0600LST에는 야간의 복사냉각이 강해지면서 지표에 88.7%라는 높은 값을 나타내었으며, 0900LST와 1200LST는 지표부근의 습도가 15% 가량 하강하였고 1200LST 경우 98 m에서 최대습도 (79.6%)를 나타내었다. 이 고도는 상층역전층이 시작되는 고도로 습윤한 성질의 해풍 유입과 관련이 있는 것으로 생각된다.

3.3.4 혼합비

혼합비의 연직구조 (Fig. 4-D)는 주간과 야간에 뚜렷한 차이를 나타내고 있는데, 야간의 경우 모두 지표부근에서 낮은 혼합비를 나타내었고, 1800LST는 109 m, 2100LST는 113 m, 0000LST는 50 m, 0300LST는 42 m 그리고 0600LST는 84 m까지 증가하다가 그 층부터 서서히 감소하는 양상을 나타내고 있다. 주간의 경우, 29일 1500LST는 지표부터 28 m까지 혼합비가 하강하고 28~63 m에서 급격히 증가하였다. 그리고 112 m에서 최대값인 24.23 g/kg을 나타내었으며, 30일 0900LST와 1200LST의 경우도 각각 46 m, 16 m까지 혼합비가 하강하고 89 m (18.79 g/kg), 134 m (19.60 g/kg)에서 최대값을 나타내었다. 최대의 혼합비를 나타낸 고도는 상층역전층의 내부로서 습윤한 해풍의 영향이라는 것을 알 수 있다.

Fig. 5은 해풍의 유입에 따른 저층대기의 연직구조를 상세히 해석하기 위해 대표적 사례로서 1996년 7월 30일 1200LST의 기온, 온위, 상대습도 그리고 혼합비의 연직분포에 대한 측정 결과이다. 지표로부터 98 m까지 강한 불안정층이 존재하고 98~217 m까지 상층역전층이 존재한다. 지표기온은 28°C이지만 해풍이 유입되지 않는다고 가정하면, 217 m에서 지표까지 기온을 연장하여 내려오면 약 31°C의 높은 기온을 나타낼 수 있는데, 이는 해풍의 유입으로 3°C 가량 기온이 낮아졌다고 해석할 수 있다. 온위의 연직구배로 보아 98 m부터 217 m까지 강한 안정 (F등급)을 나타내었으며, 상대습도는 지

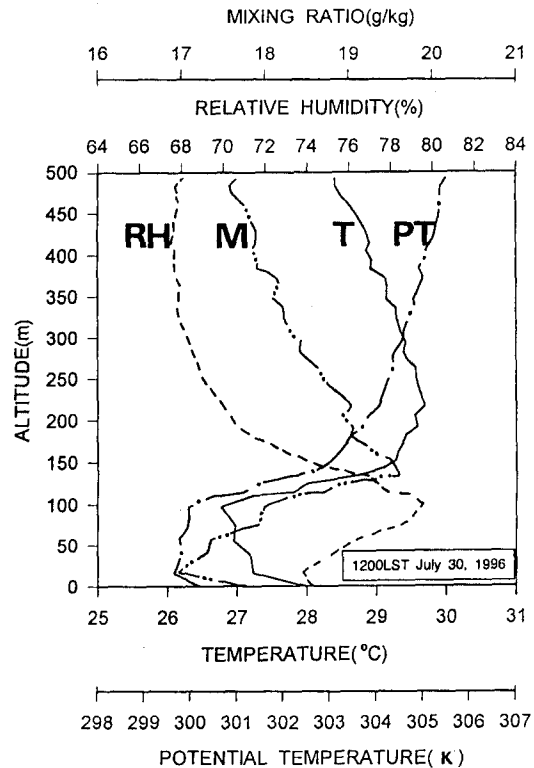


Fig. 5. Vertical profiles of air temperature (T), potential temperature (PT), relative humidity (RH), mixing ratio (M) at 1200 LST July 30, 1996.

표부근에는 74%이지만 98 m까지 급격히 상승해 79.6%였고, 그 층부터 급격히 하강해 300 m부근에서는 68%로 거의 10% 정도 낮은 값을 나타내었다. 즉 해풍의 영향으로 98 m에서는 8% 정도가 상승하였다고 할 수 있다. 혼합비는 16 m까지는 하강하지만 134 m까지 급격히 증가하는 것으로 보아 해풍과 같은 습한 공기가 유입됨을 알 수 있으며, 기온과 혼합비는 비슷한 연직분포를 나타내고 있다.

결과적으로 해풍의 유입으로 98 m부터 217 m까지 119 m의 두께를 가진 상층역전층이 생성되었으며, 같은 층에서 온위의 강안정층이 존재하고 역전층의 저면에서 상대습도의 최대값이 나타나고 역전층의 내부에서 혼합비의 최대값이 나타났다.

4. 결 론

해풍이 자주 발생하는 연안역에서 지상기상요소의 측정과 Air sonde를 이용한 저층대기를 측정하고, 해풍이 저층대기구조에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다.

측정부지의 지상기상요소의 분석 결과, 해풍의 유입은 7월 29일은 11시 30분, 7월 30일은 10시 30분에 발생하였으며, 기상탑(10 m, 58 m)의 풍향으로 해풍은 남동풍인 것이 확인되었으며, 58 m의 풍속은 10 m의 풍속에 비해 2배 정도의 강한 값을 나타내었다. 주간에 해양으로부터 해풍이 유입되면서 야간늦게부터 새벽까지 형성되어 있던 접지역전층이 전부 해소되지 않고, 47 m부터 243 m까지 F등급에 해당하는 강한 상층역전층이 생성되었으며, 같은 층에서 온위의 강안정층이 나타났다. 그리고 역전층의 저면에서 상대습도의 최대값이 나타나고 역전층의 내부에서 혼합비의 최대값이 나타났다. 이와 같이 지상부근의 낮은 고도에 역전층이 존재한다면 오염원에서 배출된 대기오염물질이 역전층에서 정체되어 체류될 가능성이 크기 때문에 대기오염농도가 급격히 상승할 것이다.

앞으로 저층대기의 측정과 관련하여 대기오염농도를 병행하여 측정한다면 풍하층에서의 구조를 더욱더 상세히 규명하는데 도움이 될 것이라고 보며, 아울러 Tethered sonde를 이용하여 고도별 풍향, 풍속을 상세히 측정하여 해풍전선구조와 열적 내부경계층의 측정이 이루어진다면, 연안역 저층대기구조를 보다 명확히 밝혀 낼 수 있으리라 생각된다.

감사의 글

이 연구는 1995년도 한국전력기술주식회사의 위탁 과제 “효암·비학 신규 원전 혼합고 조사”의 일부분으로 재정지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 기상연구소, 1980, 아산만의 미기상조사, 149pp.
- 기상연구소, 1981, 해안지방의 접지기후 연구, 84 pp.
- 기상연구소, 1987, 제주도 접지층 기상특성 조사 (I), 83pp.
- 문승의, 유혜주, 김유근, 1984, 고리지역의 접지역전에 관한 기후환경학적 연구, 부산대학교 환경문제연구소 환경연구보, 2, 69~77.
- 박종길, 원경미, 1994, 김해에서 관측한 접지역전층의 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 3 (4), 305~315.
- 부산지방기상청, 1996, 일기상통계표.
- 전병일, 김유근, 이화운, 1994, 부산 연안역의 바람 특성에 관한 고찰, 한국환경과학회지, 3 (1), 1~9.
- 최길수, 문승의, 양인기, 문영수, 1982, 부산 지방의 해륙풍의 특성에 관한 연구, 부산대학교 자연과학논문집, 34집, 411~422.
- 황수진, 1989, 산곡내의 야간접지역전층의 생성가소멸에 관한 연구, 부산대학교 자연과학논문집, 48, 161~179.
- Kawamura, T., 1985, Recent change of atmosphere environment in Tokyo and its surrounding area, Geographical review of Japan, Vol. 58 (Ser. B), No. 1, 83~94.
- Lalas, D. P., Asimakopoulos, D. N., Deligiorgi, D. G. and C. G. Helmis, 1983, Sea-breeze circulation and photochemical pollution in Athens, Greece, Atmos. Environ., 17 (9), 1621~1632.
- Mantis, H. T., Pepapis, C. C., Zerefos, C. S. and J. C. Ziomas, 1992, Assessment of the potential for photochemical air pollution in Athens: A comparison of emissions and air-pollutant levels in Athens with those in Los Angeles, J. Appl. Meteor., 31, 1467~1476.
- NRC, 1972, Atmospheric dispersion models for potential accident consequence assessments at nuclear power plants, Reg. Guide 1.23.

해풍 효과에 의한 저층대기구조 변화의 측정

- Papageorgiou, J. G., 1988, A 3-D sea breeze model of the PBL including pollutant dispersion, *Boundary-Layer Meteor.*, 45, 9~29.
- Robinson, J., Mahrer, Y. and E. Wakshal, 1992, The effects of mesoscale circulation on the dispersion of pollutants (SO₂) in the eastern Mediterranean, southern coastal plain of Israel, *Atmos. Environ.*, 26B (3), 271~277.
- Young, G. S. and J. W. Winchester, 1980, Association of non-marine sulfate aerosol with sea-breeze circulation in Tampa Bay, *J. Appl. Meteor.*, 19, 419~425.
- 菊地 立, 1983, 關東地方の局地風系と高濃度大氣汚染關係についての研究, 國立公害研究所研究報告, 44, 31~55.
- 近藤裕昭, 1995, 局地循環の大氣汚染II, 日本大氣汚染學會誌, 30 (6), A87~A96.
- 若松伸司, 1975, 神祭川縣の海風と大氣汚染 (1), 天氣, 22~2 79~83.
- 河村 武, 1979, 都市の大氣環境, 東京大學出版會, 185pp.