

## 부산연안역에서의 대기오염기상 예보시스템 개발에 관한 연구 -고농도 오존일의 예측을 중심으로-

김유근 · 이화운 · 전병일 · 홍정혜 · 문윤섭  
부산대학교 대기과학과  
(1996년 1월 21일 접수)

### A Study on Development of Air Pollution Weather Forecast System over Pusan Coastal Area -Centering around Forecast of Ozone Episode Day-

Yoo-Keun KIM, Hwa-Woon LEE, Byung-Il JEON, Jung-Hye HONG and Yun-Seob MOON  
*Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Pusan, Korea*  
(Manuscript received 21 January 1996)

Pusan is the largest coastal city with a population of about four million in Korea. Because of increased and confused traffic, photochemical air pollution become a major urban environmental problem recently. The photo-chemical air pollution weather forecasting method preciser than existing air pollution forecast method has been developed to forecast ozone episode days with meteorological conditions using the data measured at 7 air quality continuous monitoring stations from June to September using 2 years (1994, 1995).

The method developed in present study showed higher percentage correct and skill score than existing air pollution forecasting in KMA (Korea Meteorological Administration).

**Key words :** photo-chemical air pollution, air pollution weather forecasting method

#### 1. 서 론

산업사회가 심화됨에 따라 인구 및 교통량의 증가는 필연적으로 발생하고, 그에 따라 대기 중으로 각종 오염물질의 배출이 가속화 되었으며, 그로 인해 경제개발의 중요성보다는 인간 및 동식물의 생존에 심각한 위협을 느끼게 된 선진국에서는 대기 오염에 대해 오래전부터 관측과 이론적 연구를 병행해 왔다. 근래에는 대기오염에 대한 단기예보를 할 수 있는 수준까지 도달하게 되었으며 (Berlyand, 1991), 이를 이용하여 대기오염확산이 잘 이루어지지 않는 기간 동안 배출량을 일시 규제함으로써

경제적으로 큰 손실 없이도 대기질 보존에 기여할 수 있게 되었다. 그러나 현재 우리 나라에서는 이러한 분야에 대한 체계적인 연구가 진행된 적이 없을 뿐만 아니라, 특히 오염원이 연안지역에 위치하고 있고, 해륙풍과 같은 국지풍과 관련하여 복잡한 대기 흐름이 나타나고 있는 부산지역에서는 이러한 연구결과에 의한 대책 수립이 시급히 요구되고 있는 실정이라고 할 수 있다.

연안역에 위치한 대도시에서는 공단 지역의 대부분이 연안 부근에 집중되어 있기 때문에, 이들 오염원으로부터 배출된 오염 공기는 야간의 육풍에 의해 해상으로 수송된 후, 다시 주간 해풍에 의

해 육상으로 이루어지는 경향이 있다 (Lalas et al., 1987; Robinsohn et al., 1992). 이런 경우에 일반풍이 약하면, 오염 대기는 해안선 부근에 체류되는 이른바 체류 오염의 효과가 현저해지는 관계로 연안역에서의 대기오염농도는 내륙보다도 높은 상태가 된다 (Abe and Kusuda, 1982; Heidorn and Yap, 1986). 이러한 대기오염의 분포 양상은 대기오염 배출량과 난류 확산 및 바람 수송에 의해 결정되므로, 이들을 지배하는 기상 인자들인 기온, 바람, 일기 상태, 일사량 그리고 하층 대기의 안정도 등은 대기오염을 이해하는데 필수 요소라고 할 수 있다 (Lalas et al., 1982; Liou et al., 1985; McKendry, 1993; Liu et al., 1994).

따라서 대기오염예보에는 주로 바람, 기온 그리고 일기에 관한 국지기상자료가 필요하며 (Holzworth, 1962; WMO, 1972; 市川清見, 1972; Sonobe, 1975; Kawamura, 1985), 지역적 특성이 강한 소규모 내지 중규모의 기상, 예를 들면 해륙풍, 산곡풍, heat-island 등과 같은 국지환경기상의 특성까지도 깊은 관계가 있다는 것이 밝혀졌다 (Lynn, 1978; Wannner, 1984; Liu and Liu, 1990). 그러므로 어떤 지역의 오염 물질의 배출량을 줄이는 노력과 함께 기상 조건이 대기오염에 미치는 영향을 분석하여 앞으로의 대기오염농도를 예측하는 시스템을 개발하고, 특정 지역의 고농도 대기오염을 사전에 예측하거나, 적절한 예방 조치를 취한다면 대기오염으로 인한 피해를 최대한 줄일 수 있을 것이다.

대기오염기상예보에 관한 외국의 사례를 보면, 먼저 미국의 국립해양대기청 (NOAA)의 경우에는 고농도 대기오염이 대규모의 정체성 고기압권내에서 일어난다는 판단하에, 종관 규모의 기상 특성을 나타내는 parameter를 기초로 하여 대기오염 potential을 계산하여 통보하고 있다. 대기오염 potential의 판단 기준에 사용되고 있는 인자로는 혼합층 고도, 수송 풍속, 환기 용량, 체류 지역 그리고 체류 지수이다 (WMO, 1972). 일본의 경우는 일본 기상청에서 시행하고 있는 대기오염기상예보의 작업 순서를 모델화하여, 전일 예보와 당일 예보로 나누어 발표하고 있다. 전일 예보에서는 해륙풍의 시간

적 변화와 일층의 일기를 상세하게 예상하는데 어려움이 있기 때문에, 일반적으로 고농도 대기오염이 일어나는 정도의 예상을 종관 규모의 일반적인 일기예보에 사용된 예보 자료와 950hPa로부터의 상공의 바람, 기온의 연직 분포의 수치예보 자료를 종합해서 예보한다 (佐佐木良一, 1974; Sasaki, 1976; 일본기상협회, 1976; 佐藤과 中野, 1978). 그래서 지방자치체의 공해담당자에게 통보할 때에는 일기도형, 일기, 풍향, 풍속 등의 개별 기상 조건 예상 외에 이들을 종합하여 기상 조건으로부터 본 대기오염 위험도 범위 예상치를 합쳐서 작성한다. 그리고 전일 예보에서는 주의보가 발령될 수 있는 가능성의 유무를 판단하는 것에 중점을 두는 것에 비해, 당일 예보는 지방자치체의 오염원 배출규제 대책과 직결되기 때문에 전일 예보보다 정확도가 높고 상세하게 예보를 생산하고 있다.

우리 나라의 대기오염기상에 대한 연구를 보면, 기상연구소에서 대기오염기상에 대한 기초자료가 되는 접지역전층의 미기상 조사와 연구를 서해안에서 실행한 예가 있으며 (기상연구소, 1980, 1981), 또한 도시 지역에서의 대기 유동과 확산에 대한 연구를 서울시를 중심으로 관측한 바 있고 (기상연구소, 1982), 경인지역의 지상풍계에 따른 대기오염 상태 변화를 2차원 Box모형과 K-모형을 사용해서 연구한 바 있다 (기상연구소, 1990, 1991). 우리나라의 대기오염기상예보는 1991년 7월 1일부터 기상청 예보국 예보관실에서 서울을 포함한 수도권 지역에 대해서 1일 2회 대기오염모형을 통해 계산한 자료를 이용하여 대기오염기상 상태 판정 조건으로 대기오염기상통보를 실시하고 있다 (기상연구소, 1993). 그러나 여기에 사용된 대기오염모델은 오산의 상층기상자료와 경인지방의 AWS자료를 근거로 하여 미래의 대기를 예측하는 방법으로 수작업에 의해 이루어지게 됨으로서 분석자의 경험적 요소가 일부 포함되고, 인원과 시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

따라서, 보다 용이하게 광화학 대기오염 예보를 실시하기 위해서는 객관적인 양적예보시스템의 개발이 필요하다. 많이 사용되는 통계적예측모형으로

서는 중회귀식이 많이 검토되고 있지만 (Ryan, 1995), 우선 농도예측치보다는 발령기준초과 여부를 판단하는 것이 중요하다는 것을 고려한다면 판별 함수법이 적당하다고 생각이 되나 (Lin, 1982; Sanchez and Sanz, 1994; Ziomas et al., 1995), 현재로서는 위에서 기록한 문제점에 의해 간편한 check-list 방식과 flowsheet 방식이 많이 사용되고 있다. 이들의 기법은 고농도 대기오염을 가져오는 기상 조건으로 일사량, 최고기온, 풍향, 풍속, 대기안정도 등의 기상요소의 실황치 및 예상치를 이용하고 이를 종합적으로 판단하여 예보를 행하고 있으며, 이들 방식의 운용에는 숙련된 예보자가 필요불가결하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 현재 기상청에서 사용하고 있는 대기오염기상예보 판정방법을 2차오염물질인 오존에 한정하여 보다 새로운 판정방법을 부산지역에 알맞게 수정, 개발하여 실제 현업에서 광화학 대기오염예보에 실용화될 수 있도록 하는 데 목적이 있다. 우리 나라에서는 수도권을 중심으로한 특정 지역에만 대기오염기상예보가 편중되는 현상을 보이고 있으며, 다양한 국지기상학적인 특성이 발생하는 연안역에 알맞는 기상예보를 대기오염농도에 결합시킴으로써 보다 향상된 대기오염기상예보 시스템을 개발하여 실용화한다면 대기오염문제를 해결하는데 상당히 기여할 것으로 기대된다.

## 2. 현업에 사용되는 대기오염기상예보의 분석

우리 나라에서는 대기오염 potential 예보를 대기오염기상예보라는 형태로 발표하고 있다. 대기오염기상예보는 급격한 공업화와 자동차 등의 이동오염원의 증가로 대기오염이 심각하고 이로 인해 인간의 건강과 생활환경을 파괴하기 때문에 필요하며, 아울러 기상상황 및 정보는 대기오염의 사전·사후 조치 및 규제에 중요한 요소이기 때문에 필요하다.

일반적으로 대기오염기상예보의 목적은 대기오

염에 영향을 주는 기상실황 및 정보를 발표하여 대기오염 관리업무를 담당하는 행정기관 등에 대기오염에 관련된 정보를 제공함으로써 대기오염과 관련된 효과적인 대책 수립과 행정조치의 기초자료를 제공하고, 오염물질 배출원의 자율적인 조정을 촉구함으로써 대기오염을 극소화하거나 방지하여 국민의 건강생활과 생활환경을 보호함에 있다 (일본기상협회, 1976). 대기오염기상예보란 중관규모의 기상특성을 나타내는 parameter값에 근거하여 대기 중에 배출된 오염물질의 농도를 희석시키거나 또는 기준 이상이 되는 것을 나타내는 척도로서, 기상요소 또는 기상상태가 대기오염의 조장, 희석 및 발생에 기여하는 정도를 예측하는 것을 말한다. 따라서 이는 대기오염의 정도를 표시하는 것이 아니라 대기 중에서 오염물질이 이동, 확산, 세정이 원활히 이루어지거나, 적체시킬 수 있는 기상상태를 분석통보하는 것을 말한다.

대기오염기상예보 통보문에 포함된 사항을 보면 정시발표와 수시발표로 나눌 수 있다. 정시발표는 기상요소 및 기압배치, 최고·최저기온, 최대풍향·풍속, 평균풍향·풍속 등이 포함되며, 통보기관은 광역지자체 (부산의 경우는 부산광역시청)와 각 보도기관 등이다. Fig. 1은 현재 부산에서 발표하는 대기오염기상예보의 내용을 나타낸 것이다.

대기오염기상 예보서비스는 1991년 7월부터 서울과 수도권지역에 대해서 시행되었으며, 1993년 10월 1일부터 부산, 대구, 광주, 대전 등 4대 도시로 확대되었고, 1994년 7월 1일부터는 원주지방에 대해서도 같은 서비스를 제공하고 있다. 기상연구소 (1993)는 기존의 기상상태 판정작업표의 요소들 이외에 500 hPa 상대와도 효과를 고려하여, 오전과 오후의 판정기준을 구분한 새로운 판정작업표를 재구성한 바 있으나, 실제 현업에는 사용되고 있지 않다.

기존에 우리 나라에서 사용되는 대기오염기상상태 판정표는 Table 1에서와 같이 850 hPa 풍속, 지상일평균풍속, 최대혼합깊이, 환기지수, 강수현상, 역전층, 안개발생 (시정 1km이하), 일기도 유형 등 8개의 요소로 되어 있다. 그러나 이와 같은 대



**Table 1. Check-list for evaluation in air pollution meteorological forecast at Pusan area.**

요소별 구분	조 건	판		정	
		오	전	오	후
850 hPa 풍속	10 m/s 미만				
지상일평균풍속	2 m/s 미만				
최대혼합깊이	1200 m 미만				
환기지수	6000 m <sup>2</sup> /s 미만				
강수현상	유 무				
역전층	유 무				
안개발생(시정 1km이하)	유 무				
일기도 유형	고농도 유형				
요 소 별 판 정 갯 수		○ :	개	○ :	개
		× :	개	× :	개
대 기 오 염 기 상 상 태 판 정		오 전 :		오 후 :	

1) 850 hPa 풍속 : 최근 수집된 포항 상층대기선도 자료를 근거로 하여 일중 예상되는 850 hPa 풍속이 10 m/s 미만이면 ×, 10 m/s 이상이면 가이다.

2) 지상일평균풍속 : 일기도나 별도의 경험식으로부터 예상되는 일중 평균풍속이 2 m/s 미만이면 ○, 2 m/s 이상이면 ×이다.

3) 최대혼합깊이 : 혼합층고도는 지표부근 대기 중에 배출된 오염물질이 난류확산 및 대류활동에 의해 연직방향으로 운반되어 주위대기와 혼합, 희석되는 고도로 기온의 연직분포에 의해 결정되며 태양복사의 강도, 풍관조건, 지형의 효과, 인공열원, 토지용도 그리고 지면조도 등에 의해 큰 영향을 받는다 (Coulter, 1979; Hjelmfelt, 1982; Crespi et al., 1995). 최대 혼합층고도는 다른 조건이 일정하다고 하면 오염물질이 하루 중에 최저농도를 나타내는 상태를 말하며, 반대로 하루 중 가장 농도가 짙은 상태를 나타내는 지수는 아침의 혼합층고도이다 (Aron, 1983). 최대혼합깊이를 구하기 위해서는 포항 고층기상자료를 이용하여 예상최고기온을 지나는 건조단열선을 따라 상승하여 기온상태곡선과 만나는 점의 고도를 말하며 (Holzworth, 1967), 1200 m 미만이면 ○, 1200 m 이상이면 ×이다.

4) 환기 지수 : Box model의 확산에 기초가 되는 지수으로써 어느 영역내에서의 대기오염물질 확산정도를 나타내는 지수이며, 미국의 NOAA에서

대기오염기상 Potential예보를 위한 유력한 기초자료로써 사용되고 있다. 최대혼합층고도와 최대혼합층고도내에서의 평균풍속을 곱한 값을 환기지수라고 하고 (Gross, 1970), 풍향에 대한 직각방향의 단위 시간당 혼합층내에서의 공기수송면적을 의미하며, 6000 m<sup>2</sup>/s 미만이면 ○, 6000 m<sup>2</sup>/s 이상이면 ×이다.

5) 강수 현상 : 예보대상 기간에 0.5 mm를 초과하는 강수가 예상되지 않으면 ○, 예상되면 ×이다. 단, 예보기간의 첫 수시간 또는 끝 수시간내에만 약한 강수가 예상될 때는 ○이다.

6) 역전층 : 최근의 대기선도 또는 예보대상 기간에 예상되는 상층의 대기상태에서 역전층 형성이 예상되면 ○, 예상되지 않으면 ×이다. 단, 역전층이 3 km 이상이면 역전층이 없음으로 간주한다.

7) 안개발생 (시정 1km이하) : 예보대상기간에 안개발생이 예상되면 ○, 예상되지 않으면 ×이다.

8) 일기도 유형 : 대기오염 농도 판단을 위한 일기도 유형에서 고농도 유형이면 ○, 고농도 유형이 아니면 ×이다 (Fig. 2 참조). 일기도 유형은 12개로 나누어서 보면, H<sub>1</sub> : 서고동저형, H<sub>2</sub> : 이동성고기압형, H<sub>3</sub> : 북고형, H<sub>4</sub> : 남고북저형, H<sub>5</sub> : 동고서저형, L<sub>1</sub> : 발해만 저기압형, L<sub>2</sub> : 황해부근의 저기압형, L<sub>3</sub> : 한반도 남부의 저기압형, F<sub>1</sub> : 한반도로 남하하는 전선, F<sub>2</sub> : 한반도를 통과하는 전선, F<sub>3</sub> :

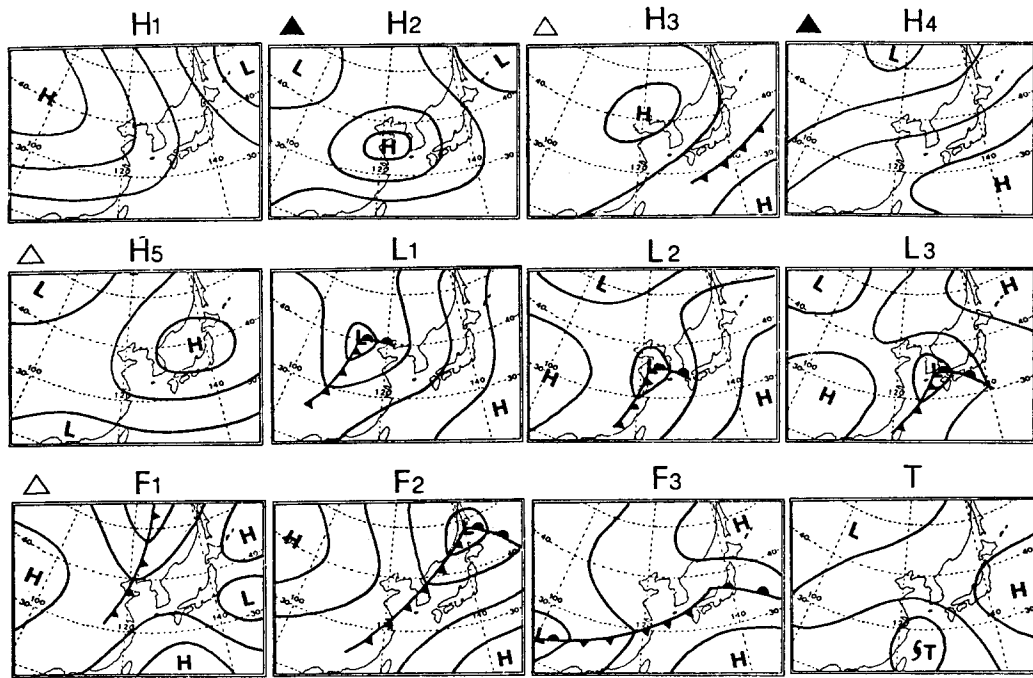


Fig. 2. Representative weather map for criteria of high concentration ozone used at KMA.

한반도남부를 통과하는 전선, T: 한반도 남부의 태풍 등으로 크게 고기압형, 저기압형, 전선형, 태풍형으로 분류할 수 있고, 이 중에서 일기도의 왼쪽 상단에 “▲” 표시를 한 H<sub>2</sub>형과 H<sub>4</sub>형은 고농도 유형이고, “△”를 표시한 H<sub>3</sub>, H<sub>5</sub> 그리고 F<sub>1</sub>형은 다소의 고농도형으로 분류된다.

위와 같이 8개의 항목을 이용하여, 대기오염기상 상태를 아래와 같이 판정하게 된다. “○”가 7~8개 일 때는 “나쁨”이라 하고 대기의 수송 및 확산능력이 매우 작아서 대기오염물질이 지역내에 장기간 체류할 가능성이 큰 경우이다.

“○”가 4~6개일 때는 “보통”이라 하고 대기가 정체할 가능성이 다소 있으므로 대기오염물질이 지역내에 체류할 가능성이 다소 있는 경우이다.

“○”가 3개 이하일 때는 “좋음”이라 하고 대기의 수송 및 확산능력이 매우 커서 대기오염물질이 지역내에 체류할 가능성이 희박한 경우이다.

### 3. 기상인자를 이용한 기상 Potential 선정

위에서 설명한 대기오염기상예보는 특정대기오염물질이 아닌 대기상태가 대기오염에 어떠한 영향을 미칠 것인가만 나타내는 척도이다. 이와 같은 척도로서 오존과 같은 광화학 대기오염을 예측하는 것은 상당한 무리가 있을 수 있다. 따라서 오존에 관한 새로운 기상인자를 가미하여 광화학 대기오염예보법을 개발하는 것이 보다 실용적이고 타당할 것이다.

현재 부산지역에 설치, 운영되고 있는 대기오염 자동측정망에서 측정된 최근 2년간(1994~1995년) 6~9월의 시간별 오존농도자료와 부산 지방기상청의 기상자료(일최고기온, 일사량, 풍향, 풍속, 강수량)를 이용하여 고농도 오존일을 예측하는 광화학 대기오염예보법을 작성하였다. 이 예보법은 본 연구에서 산출된 고농도 오존일의 기상조건의 특성을 이용하여 개발한 것으로, 현재 기상청에서 단순히 지역대기의 대기오염의 잠재가능성을 판단하기 위해 설정, 운용하고 있는 대기오염 기상상태 판정과는 그 성격이 다르다고 할 수 있다.

먼저, 기상인자와 오존농도의 관계를 해석하고 고농도 오존 발생조건을 밝혀내기 위해 1994년과

**Table 2. The sight table of meteorological parameter and ozone concentration**  
(1995년 6월)

	최고기온 (°C)	일사량 (MJ)	풍속 (m/s)	풍향교체	일 기	potential	오존농도(ppb)
	부 산 지 방 기 상 청						부산지방환경청
1	26.5	○	2.3	○	○	○	76
2	25.4	○	1.8		○		60
3	20.9				2.7		47
4	20.3	○	3.5		○		43
5	25.7	○	3.6	○	○	○	60
6	24.1	○	2.7	○	○		45
7	22.6	○	4.4	○			33
8	23.3	○	5.8		○		37
9	21.9	○	5.8		○		34
10	24.1	○	4.6		○		47
11	22.1	○		6.3	○		57
12	19.7		5.4				35
13	22.8	○	4.4		○		36
14	21.8	○	3.2		○		33
15	23.7	○	5.6	○	○		65
16	25.7	○	2.8	○	○	○	67
17	22.3	○	2.8		○		42
18	20.0		4.0				30
19	25.9	○	4.4		○		54
20	28.6	○	4.0	○	○	○	60
21	23.5	○	6.3		○		37
22	22.9	○	4.9		○		26
23	23.5	○	3.8		○		35
24	27.8	○	2.4	○	○	○	63
25	26.0	○	5.0		○		40
26	27.1	○	4.5		○		50
27	24.6	○	2.3		○		60
28	26.3	○	5.1		○		57
29	27.7	○	4.4	○	○	○	50
30	25.1		4.8				45

1995년의 2년간 난후기(6~9월)의 부산지방기상청 기상자료와 오존농도의 자료를 수집하여 Table 2 (1995년 6월의 경우)과 같이 정리하였다. 각 항목에 대한 내용은 부산지방기상청의 최고기온, 일사량, 평균풍속, 풍향교체유무, 일기상태, 기상 poten-

tial 그리고 부산지방환경청의 오존농도로 총 7개 항목이다. 그리고 일사량, 풍향교체 그리고 일기의 유무는 Table 3의 기준에 의거하였다. 풍향의 교체는 해륙풍이 발생한 날을 의미하는데, 이는 연안지역의 고농도 오존발생에 있어 중요한 인자로 작용

**Table 3. The condition for meteorological potential.**

일 최고 기온	: 25℃ 이상
일 사 량	: 10~15시 사이에 1.68 MJ (40 cal/cm <sup>2</sup> /h)이 단속 3시간 이상 또는 1.26 MJ (30cal/cm <sup>2</sup> /h)이 연속 3시간 이상
풍 속	: 9 h, 12 h, 15 h의 평균 풍속이 5 m/s 이하
풍 향 교 체	: 오전 중에 육풍 (북동풍가서풍)이 불고 그 후 해풍 (동풍~서남서풍)이 부는 경우 (최길수 등, 1982; 전병일 등, 1994)
일 기	: 6시~18시에 비 또는 비를 동반한 날이 아닌 맑은 날

**Table 4. Distribution of O<sub>3</sub> concentration (ppb) for meteorological potential for 1994.**

P days (%)	NON-P days (%)	Potential days (P)						Non potential days (NON-P)					
		~60		60~80		80~		~60		60~80		80~	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
36 (30)	86 (70)	11	31	16	44	9	25	80	93	6	7		

하였다 (일본기상협회, 1976; Papageorgiou, 1988; Robinsohn et al., 1992). 또한 해륙풍이 발생한 날은 혼합고에 낮아 확산능력이 저하된다는 연구보고 (Mantis et al., 1992)가 있어 해륙풍과 고농도 오존의 깊은 상관관계를 나타내어 준다.

그리고 기상 potential은 Table 3의 조건을 만족하는 날을 의미하는데, 기상 potential이 있는 날은 Table 3과 같은 조건을 모두 만족하는 날로 규정하고 그 외의 날은 Non-potential일로 정의하였다. 끝으로 오존 농도는 吉門 등 (1982)의 방법과 같이 부산지방의 7개 지점의 자동측정망에서 관측된 오존농도 중에서 해당일의 최고농도 (오존 최고치)을 대표치로 하여 기입하였다.

일반적으로 일사량이 증가할수록 오존농도가 상승하는 관계를 나타내고 있으며, 일사량이 어느 정도 이상이 되면 기층이 불안정해져 강한 대류 및 난류가 발생하고 연직확산이 촉진되어 혼합고도가 상승하기 때문에 고농도 오존이 희석됨으로서 농도가 낮은 빈도가 증가하는 경향이 나타난다. 河村 (1972)는 일본 동경의 기온이 32℃ 이상이 되면 내륙에서 열적저기압이 발달하고 해풍이 현저하게 강하고 대류성의 적운이 활발하여 오염물질의 상방확산이 급격히 증가하여 광화학스모그를 일반적

으로 발생시키기 어렵다고 지적한 바 있다. 그리고 오존농도의 상승에는 기온보다도 일사량강도가 강하게 관련되어 있다는 것이 이미 알려져 있으나, 일사강도가 강한 시기라도 일기가 나쁘고 일조시간이 작으면 고농도 오존일이 많이 발생하지 않으므로 매일매일의 기상조건을 좀더 상세히 조사할 필요가 있다.

#### 4. 기상 potential과 오존농도

기상 Potential과 오존 농도와의 관계를 알아보기 위해서 Table 3을 만족하는 기상 Potential 인 날 (P)과 기상 Potential이 아닌 날 (NON-P)의 오존 농도의 계급별 발생일수와 발생율을 조사한 결과, 1994년은 Table 4와 같이 P는 36일로 전체의 30%를 나타내었으며, NON-P는 86일로 전체의 70%를 나타내었다. P 중에서 60 ppb이하인 날은 11일 (31%)이 있었고, 60 ppb에서 80 ppb사이인 것은 16일 (44%), 80 ppb이상인 날은 9일 (25%)이었으며, NON-P는 60 ppb이하가 80일 (93%), 60 ppb이상인 날은 단지 6일 (7%)에 불과하였다. 요약하면, 잠재 고농도 오존일 즉, Potential인 날에는 60 ppb이상



**Table 5. Distribution of O<sub>3</sub> concentration (ppb) for meteorological potential for 1995.**

P days (%)	NON-P days (%)	Potential days (P)						Non potential days (NON-P)					
		~60		60~80		80~		~60		60~80		80~	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
21 (17)	101 (83)	6	28	14	67	1	5	98	97	3	3		

**Table 6. The contingency table of the ozone prediction results by this study for 1994, 1995.**

Measured ozone	1994			1995		
	Predicted ozone		Total	Predicted ozone		Total
	<60 ppb	≥60 ppb		<60 ppb	≥60 ppb	
<60 ppb	80	11	91	97	6	103
≥60 ppb	6	25	31	4	15	19
Total	86	36	122	101	21	122
Percentage correct 86% Skill score 0.65			Percentage correct 92% Skill score 0.89			

**Table 7. The contingency table of the ozone prediction results by KMA for 1994, 1995.**

Measured ozone	1994			1995		
	Predicted ozone		Total	Predicted ozone		Total
	<60 ppb	≥60 ppb		<60 ppb	≥60 ppb	
<60 ppb	62	30	92	89	14	103
≥60 ppb	17	13	30	11	8	19
Total	79	43	122	100	22	122
Percentage correct 61% Skill score 0.09			Percentage correct 80% Skill score 0.27			

나타나는 일수가 69%를 기록하였고, 비잠재 고농도 오존일 즉, Potential이 아닌 날은 7%를 기록하였다. 1995년에도 Table 5와 같이 P는 21일로 전체의 17%를 나타내었으며, NON-P는 101일로 전체의 83%를 나타내었는데, P 중에서 60 ppb이하인 날은 6일 (28%), 60 ppb에서 80 ppb사이인 것은 14일 (67%), 80 ppb이상인 날은 1일 (5%)이었고, Non-P는 60 ppb이하가 98일 (97%), 60 ppb이상인 날은 단지 3일 (3%)에 불과하였다. 즉 Potential인 날에는 60 ppb이상의 고농도가 나타나는 일수가 72%를 기록하였고, Potential이 아닌 날에는 3%를 나타냄으로써 1995년 역시 1994년의 결과와 비슷한 것을 알 수 있으며, 따라서, 본 연구에서 설정한 기준은 아직 완벽하지는 않지만, 지역대기의 고농도 오존일을 예측할 수 있는 새로운 기준은 될 수 있다고 판단되어진다.

또한 Potential인 날이 고농도 오존 (60 ppb)이 발

생하는 기준이라 생각하고 예보 적중률과 skill score를 계산하였다. 그 결과 Table 6과 같이 1994년의 경우에는 적중률은 86%, skill score가 0.65를 기록하였으며, 1995년은 적중률이 92%, skill score가 0.70을 기록하여, 평균 적중률이 89%를 나타내었다. 현재 기상청에서 사용하는 대기오염 기상상태 판정표에서 오후의 대기오염 기상상태가 “보통”과 “나쁨”으로 판정되었을 때를 고농도 오존의 발생이 예측된다고 보았을 때, Table 7과 같이 1994년의 적중률은 61%, skill score는 0.09로 나타났으며, 1994년의 경우에는 적중률은 80%, skill score는 0.27로서 평균 적중률이 약 70%로 나타나, 본 연구에서 산출한 고농도 오존일 예측법이 기상청에서 사용하고 있는 대기오염기상예보보다 고농도 오존일의 예측에 관한 높은 정확도를 가지고 있다고 할 수 있다.

## 5. 결 론

부산 지역의 7개 대기 오염 자동 측정망의 1994년과 1995년의 시간별 오존농도 자료와 부산 지방 기상청의 기상자료(일최고기온, 일사량, 풍향, 풍속, 강수량)를 이용하여 기존 기상청에서 사용하는 대기오염 기상예보법보다 향상된 고농도 오존일을 예보하는 광화학 대기오염예보법을 개발하였다.

부산 지역에서의 고농도 오존일을 예측하기 위하여 부산지역의 고농도 오존일의 기상조건 특성 분석에서 산출된 결과를 이용하여 광화학 대기오염 기상예보를 작성한 결과, 고농도 오존의 예측에 관한 한 현재 기상청에서 사용하고 있는 대기오염 기상상태 판정보다 훨씬 높은 적중률(1994년: 86%, 1995년: 92%)과 skill score(1994년: 0.65, 1995년: 0.70)를 나타내었다. 부산과 같은 연안지역에서의 오존농도예보를 더욱 향상시키기 위해서는 해륙풍의 시작과 끝, 내륙의 산악이 오존의 수송에 미치는 영향, 일반풍이 존재할 때의 오존의 수송, 해풍전선의 유가무와 존재시의 고농도 오존기과의 이동 등이 고려되어야 한다.

## 감사의 글

이 연구는 1995년도 한국과학재단 핵심전문연구(과제번호: 951-0401-014-2) 과제 연구비 지원에 의해 수행된 것입니다.

## 참 고 문 헌

기상연구소, 1990, 경인지역의 지상풍계에 따른 대기오염 상태의 변화 (I), 51 pp.  
 기상연구소, 1991, 경인지역의 지상풍계에 따른 대기오염 상태의 변화 (II), 52 pp.  
 기상연구소, 1982, 도시대기유동과 확산도연구, 192 pp.

기상연구소, 1993, 산업기상정보의 개관적 산출 시스템 개발 연구 (I), 204 pp.  
 기상연구소, 1980, 아산만의 미기상조사, 149 pp.  
 기상연구소, 1981, 해안지방의 접지기후 연구, 84 pp.  
 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.  
 Abe, N. and M. Kusuda, 1982, The relation between land-sea breezes and SO<sub>2</sub> concentration distributions in Oita city in summer, Tenki, 29(1), 87~90.  
 Aron, R., 1983, Mixing height-An inconsistent indicator of potential air pollution concentrations, Atmos. Environ., 17(11), 2193~2197.  
 Berlyand, M. E., 1991, Prediction and regulation of air pollution, Kluwer Academic Pub., 312 pp.  
 Coulter, R. L., 1979, A comparison of three methods for measuring mixing-layer height, J. Appl. Meteor., 18, 1495~1499.  
 Crespi, S. N., Artinano, B. and H. Cabal, 1995, Synoptic classification of the mixed-layer height evolution, J. Appl. Meteor., 34, 1666~1677.  
 Gross, E., 1970, The national air pollution potential forecast programme, Environ. Sci. Serv. Admin., Tech. Memo., No. WBTM-NMC-47.  
 Heidorn, K. C. and D. Yap, 1986, A synoptic climatology for surface ozone concentration in southern ontario, 1976~1981, Atmos. Environ., 20(4), 695~703.  
 Hjelmfelt, M. R., 1982, Numerical simulation of the effects of St. Louis on mesoscale boundary layer airflow and vertical air motion: Simulations of urban vs non-urban effects, J.

- Appl. Meteor., 21, 1239~1257.
- Holzworth, G. C., 1962, A study of air pollution potential for the Western United States, J. Appl. Meteor., 1, 366~382.
- Holzworth, G. C., 1967, Mixing depths, wind speeds and air potential for selected locations in the United States, J. Appl. Meteor., 6, 1039~1044.
- 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., Veirs, V. R., Karras, G. and G. Kallos, 1982, An analysis of the SO<sub>2</sub> concentration levels in Athens, Greece, Atmos. Environ., 16 (3), 531~544.
- Lalas, D. P., Tsella, M. T., Petrakis, M., Asimakopoulos, D. N. and C. Helmis, 1987, An experimental study of the horizontal and vertical distribution of ozone over Athens, Atmos. Environ., 21 (12), 2681~2693.
- Lin, G., 1982, Oxidant prediction by discriminant analysis in the South Coast Sasin of California, Atmos. Environ., 16, 135.
- Lioy, P. J., Daisey, J. M., Greenberg, 1985, A. and R. Harkov, A major wintertime pollution episode in northern New Jersey, Atmos. Environ., 19 (3), 429~436.
- Liu, C. M. and S. C. Liu, 1990, A study of Taipei ozone problem, Atmos. Environ., 24A (6), 1461~1472.
- Liu, C. M., Huang, C. Y., Shieh, S. L. and C. C. Wu, 1994, Important meteorological parameter for ozone episodes experienced in the Taipei basin, Atmos. Environ., 28 (1), 159~173.
- Lynn, D. A., 1978, Air pollution treat and response, Addison Wesley, Reading, MA, 58.
- 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.
- McKendry, I. G., 1993, Ground-level ozone in Montreal, Canada, Atmos. Environ., 27B (1), 93~103.
- 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 (SO<sub>2</sub>) in the eastern Mediterranean, southern coastal plain of Israel, Atmos. Environ., 26B (3), 271~277.
- Ryan, W. F., 1995, Forecasting severe ozone episodes in the Baltimore metropolitan area, Atmos. Environ., 29 (17), 2387~2398.
- Sanchez, M. L., and J. Sanz, 1994, Application of discriminant analysis to interpret the behaviour of photochemical oxidants in an urban area, Atmos. Environ., 28 (6), 1147~1157.
- Sasaki, R., 1976, Current status of air pollution meteorological forecasting, Tenki, 23 (3), 125~132.
- Sonobe, Y., 1975, Survey of air pollution forecasts on photochemical smog in Yokaichi City, Geophys Notes Tokyo Dist. Meteor. Obs., 8, 78~80.
- Wanner, H., 1984, Studies of urban climates and air pollution in Switzerland, J. Climate Appl. Meteor., 23, 1624~1625.
- WMO, 1972, Dispersion and forecasting of air pollution, WMO technical note, No. 121, 115 pp.
- Ziomas, I. C., Melas, D., Zerefos, C. S., Bais, A., F. and A. G. Paliatso, 1995, Forecasting peak pollutant levels from meteorological varian-

- ces, Atmos. Environ., 29 (24), 3703~3711.
- 吉門 洋, 水野建樹, 近藤裕昭, 1982, 오존 高濃度  
と海陸風の關係について, 公害, 17 (2), 39~  
45.
- 市川清見, 1972, 大氣汚染豫報の基礎調査, 天氣, 19  
(11), 33~37.
- 日本氣象協會, 1976, 大氣汚染氣象豫報指針, 265  
pp.
- 佐藤 功, 中野 道雄, 1978, 大阪について光化學オ  
キシタソト濃度と氣象條件, 大氣汚染學會誌,  
13~9, 376~381.
- 佐佐木良一, 1974, 大氣汚染氣象豫報業務について,  
測候時報, 41, 277~284.
- 河村 武, 1972, 大氣汚染氣象豫報資料 (1), 氣象廳  
豫報部, 1~13.