

碩士學位論文

大氣環境指數를 이용한 濟州市 大氣質 評價

指導教授 李 起 浩



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

金 式 裕

1 9 9 9

大氣環境指數를 이용한 濟州市 大氣質 評價

指導教授 李 起 浩

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

1 9 9 9 년 8 월 일

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科(環境工學專攻)

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

金 式 裕

金式裕의 工學碩士學位 論文을 認准함

1999 년 8 월 일

審査委員長 許 喆 九 印

委 員 趙 恩 一 印

委 員 李 起 浩 印

# Air Quality Assessment of Cheju City by Air Quality Index

Sik-Yu Kim

*Department of Construction and Environmental Engineering*

*Graduate School of Industrial*

*Cheju National University*

*Supervised by Professor Ki-Ho Lee*

## Summary

This study is carried out to assess the air quality of Cheju city by the Pollutant Standard Index (PSI), which is revised on 1998, on the basis of the measurement data from the air quality monitoring network from 1996 to 1998. From this analysis of the results, the following conclusions are obtained.

1. The annual average of air quality concentration in Cheju city is 36.04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for PM10, 6.69 ppb for SO<sub>2</sub>, 13.75 ppb for NO<sub>2</sub>, 29.79 ppb for O<sub>3</sub>, and 0.62 ppm for CO. The concentrations of PM10 and O<sub>3</sub> tend to increase in spring season.

2. By the daily PSI reporting in Cheju city, the air quality of this city is mostly classified as "Good" and "Moderate" categorie. As a critical pollutant, the occurrence frequency is 58.2% for PM10, 36.85 for O<sub>3</sub>, 3.59% for SO<sub>2</sub> and the reminder for CO. NO<sub>2</sub> is never reported as a critical pollutant in this study.

3. When the air quality in Cheju city is, sometimes, classified as "Very unhealthy" and "Hazardous" categories, only PM10 is reported as a critical pollutant. The air quality in this city is mostly classified as "Good" category, although ozone is frequently reported as a critical pollutant,

especially in spring season.

4. The peak of PSI value is appeared at 11:00 AM during the daytime and on May during the one year.

5. Compared with the other air quality index such as AI and AEI, this PSI method seems useful to assess the air quality of Cheju city with the background air quality concentration, although the primary target of the PSI is to report the daily air quality status of a metropolitan area with a population over 350,000.



# 목 차

I. 서론 .....	1
II. 이론적 고찰 .....	3
II.1. 대기질 평가 기준 .....	3
II.2. 대기오염 지수 .....	5
III. 연구방법 .....	23
III.1. 대기질 측정 .....	23
III.2. 지수산정방법 .....	23
IV. 결과 및 고찰 .....	26
IV.1. 대기질 현황 .....	26
IV.2. PSI 지수에 의한 대기질 평가 .....	29
IV.3. 지수 산정 방식에 따른 비교 .....	34
V. 결론 .....	37
VI. 참고문헌 .....	38
감사의 글	

## List of Figures

- Fig. 1. The location of monitoring network for measuring the air quality of Cheju city.
- Fig. 2. Monthly variation of air quality in Cheju city.
- Fig. 3. Daily variation of air quality in Cheju city.
- Fig. 4. Occurrence frequency of the critical pollutants according to the PSI value.
- Fig. 5. Daily variations of various index values and air quality in Cheju city during 1996. 4~1997. 3, (a) index value, (b) air quality.
- Fig. 6. Monthly variations of various index values and air quality in Cheju city during 1996. 4~1997. 3, (a) index value, (b) air quality.

## List of Tables

- Table 2.1. Comparison of pollutant concentration level
- Table 2.2. Significant harm levels
- Table 2.3. Regulations for prevention of air pollution emergency episodes
- Table 2.4. Proposed Category Index values, Descriptors, and Colors
- Table 2.5. Breakpoints for O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO, and SO<sub>2</sub> sub-indices
- Table 2.6. Breakpoints for the PSI
- Table 2.7. Pollution-specific health Effects statements for the PSI
- Table 2.8. Pollutant-specific cautionary statements proposed revisions to the  
PSI
- Table 2.9. Breakpoints for AEI estimation
- Table 2.10. Comparison of PSI and AEI.
- Table 2.11. Comparison of QRAQI and AI
- Table 2.12. Other air quality indices
- Table 4.1. The ambient concentrations of five major air pollutants based on  
1-hour average concentration data
- Table 4.2. Frequency of PSI value in Cheju city
- Table 4.3 Frequency of critical pollutant

## I. 서 론

대기오염물질은 일단 대기 중으로 방출되고 나면 인위적으로 제거가 거의 불가능할 뿐 아니라 인체, 자연생태계 및 건축구조물 등 다방면에 걸쳐 피해를 주게 된다( Warneck, 1988). 그리고 대기질을 좌우하는 요인 또한 워낙 복잡하기 때문에 대기오염물질을 측정, 분석하여 단편적이고 고전적인 방식으로는 종합적으로 평가하는 데는 한계가 있다. 그렇다고 모든 대기오염물질을 측정하여 대기질을 평가한다는 것도 사실상 불가능하다.

우리 나라를 포함한 대부분의 국가에서는 기술적, 경제적으로 관리와 측정이 가능한 주요 대기오염물질을 대기환경기준 설정항목으로 규정하여 이들 항목에 대한 대기 중 농도를 측정하여 일반인에게 알리고 있다. 그렇지만 이런 대기오염 측정자료는 특정한 오염물질의 대기 중 농도를 나타내는 수치로만 표현되기 때문에 전문가가 아닌 일반인이나 정책입안자들은 오염정도가 어느 정도인지를 알기가 어렵다. 따라서 대부분의 시민들은 대기오염이 나쁘다는 사실만 느낄 뿐 실제로 개개인에게 구체적으로 얼마나 해로운 것인가 하는 문제는 제대로 인식하지 못하고 있다. 게다가 대기오염의 원인 물질은 그 종류가 워낙 많기 때문에 개별 오염물질의 대기 중 농도만으로는 대기질을 종합적으로 평가하기 아주 곤란하다. 따라서 일반인들도 현재의 대기오염 상태를 보다 쉽게 인식할 수 있을 뿐 아니라 대기질을 종합적으로 평가할 수 있는 대기환경과 관련된 지표 또는 지수를 산정할 필요성이 대두되었다(日本化學會, 1974). 학자들 사이에서는 지표(indicator)와 지수(index) 라는 이 두 용어를 분명하게 구분하여 사용하는 경향도 있지만 환경상태를 단순화시킨 수치로 표현한다는 공통성을 갖고 있을 뿐 아니라 이들 수치가 서로 보완관계에 있으므로 양자의 의미를 뚜렷이 구분하지 않고 혼용하여 사용하기도 한다(이도철,1995).

환경기준이나 환경지수는 환경목표를 수립하여 시행하고 그 효과를 평가하는 환경 정책적인 면에서 매우 유용한 도구로 활용되고 있다. 그렇지만 환경기준은 새로운 환경인자에 대한 추가 기준설정이 어려울 뿐 아니라 환경기준에 대한 객관적 판단과 환경상황이 개선될 경우에 그 역할을 정립하기 쉽지 않다는 점등의 한계를 지닌다. 따라서 이런 한계점을 보완 또는 극복해야만 하는 당위성이 제기됨에 따라 캐나다, 미국 등을 중심으로 환경분야는 물론이고 사



회, 경제분야 등 전 분야에 걸친 평가방법에 관한 다양한 연구가 진행된 바 있다(EPA, 1978; Inhaber, 1974). 특히 대기환경 부문에서 실용성이 있는 대기지수를 개발하여 대기환경의 상태를 파악하는데 활용하고 이를 통해 환경정책의 기본방향과 정책목표를 수립하고 있는 실정이다. 특히 미국에서는 1976년부터 전국적으로 통일된 대기질 지수를 개발하여 널리 사용하고 있을 뿐 아니라 지속적으로 수정 보완하고 있다.

이런 관점에서 보면, 대기환경기준의 달성여부를 대기질 평가의 유일한 척도로서 활용하고 있는 우리 나라의 경우에는 대기질에 관한 종합적인 평가를 제대로 못하고 있다고 생각할 수 있다. 따라서 우리 나라에서도 환경지수의 필요성이 인식되어 미국 환경처에서 개발된 대기환경지수(PSI)를 수정한 대기환경지수(AEI) 산정법을 개발한 바 있으나, 단지 미국에서 적용되는 지수값을 우리가 인식하기 편리하도록 조정한 정도이며, 지역적인 환경 특성이 전혀 고려되지 않은 획일적인 평가기준을 적용함으로 인해 지역의 실제 대기질을 정량적으로 평가하는 데는 아직도 많은 문제점을 내포하고 있는 실정일 뿐 아니라 실제로는 거의 활용되지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 미국에서 최근에 수정 발표된 미국의 PSI 지수를 이용하여 인위적인 대기오염물질의 배출량이 아주 적어 청정지역으로 알려진 제주지역의 대기질을 평가하고자 했다. 이를 위해서 PSI 지수의 출현 빈도 및 변동 특성을 시간대별로 파악함과 동시에 기존의 대기환경지수방식과 비교 평가하므로써 수정 PSI 지수의 청정지역에 대한 적용 타당성을 검토하고자 한다.

## II. 이론적 고찰

### II.1. 대기질 평가 기준

#### 가. 환경기준

환경기준은 현재 환경목표를 수립하여 시행하고 그 결과를 평가하는 환경 정책에서 가장 널리 이용되고 있는데 이는 어떤 물질이 다른 오염물질보다도 중요하다라는 단순한 이유가 있음에도 불구하고 국가의 오염문제를 전반적으로 평가하는 데는 여러 가지 이유로 인해 아주 불만족스럽다.

첫째, 대기오염이 같은 농도일지라도 어떤 종의 오염물질은 다른 오염물질보다도 유독하거나 불쾌감을 더욱 줄 수가 있기 때문이다. 게다가 오염물질의 종류에 따라 서로 다른 영향을 나타내기 때문에 환경오염 문제를 복잡하게 만든다. 예를 들어 입자상 물질의 경우에도 가시도 및 미관상의 악영향을 미치지 만, 황산화물은 불쾌한 냄새를 지닐 뿐 아니라 금속 등 각종 재질을 부식시키며, 사람의 호흡계에도 악영향을 미친다. 그리고 옥시단트는 눈을 자극하고, 어떤 종의 식물을 고사시키기도 한다. 따라서 이런 영향을 제대로 평가하기 위해서는 적어도 건강, 미관, 및 경제에 대한 영향을 표현하는 척도가 필요하게 된다.

둘째, 여러 가지 오염물질에 대한 개개인의 반응이 한결 같지가 않다는 것이다. 건강의 측면만 보더라도, 유약한 사람이나 고령자가 대기오염에 특히 민감하다.

셋째, 현재의 환경기준은 개개 오염물질별 농도나 양적 기준을 설정하고 있으므로, 복합적으로 존재하는 경우에 나타나는 복합적인 효과 또는 다른 영향에 대해서는 평가할 방법이 없다는 문제점이 내재되어 있다.

마지막으로 환경기준은 의학적 정보나 식물 등의 장해 발생 등에 근거를 둔 판정치(air quality criteria)를 기초로 하여 최종적으로는 건강에의 위해와 적용할 수 있는 방지기술의 비용과의 절충에 의해서 설정된다. 따라서 환경기준은 새로운 환경인자에 대한 추가 기준설정이 쉽지 않다는 점 그리고 환경기준의 객관적 판단과 환경 상황의 개선에 따른 그 역할 정립이 쉽지 않다는 점 등의 한계점을 지니고 있다(이도철, 1995; 국립환경연구원, 1990; 日本化學會,

1974).

## 나. 환경지수

환경오염 문제를 평가함에 있어서 환경기준이 갖는 여러 가지 불합리한 점을 보완하기 위해서는 전체로서의 환경오염을 평가할 필요가 있다. 이처럼 종합적인 평가를 위해서 도입된 개념이 환경지표 또는 환경지수의 개발이다. 환경지표(indicator)나 지수(index)를 연구하는 일부 학자들 간에는 환경지표와 환경지수를 구분하여 사용하는 경향이 있다. 일반적으로 지표(indicator)는 관련된 현상에 대한 potential의 변화라는 데에 주목하여 사용되는 말로서, 한가지 기본적인 변수의 상태와 존재를 반영하는 측정치를 말하고, 지수는 현상을 설명하는데 있어서 유익한 한가지 이상의 변수를 수학적으로 조합시켜서 환경상태를 나타내는 합성치(composite value)를 말하는 것이다. 그러나 환경상태를 단순화된 수치로 표현시킨다는 점에서는 환경지표나 환경지수는 공통성을 갖고 있으며, 양자간에 서로 보완관계에 있다고 볼 수 있으므로 혼용해서 사용할 수가 있다. 일반적으로 환경지수가 갖는 유용성을 보면 다음과 같다(이도철, 1995; 국립환경연구원, 1990; 日本化學會, 1974).

첫째, 환경지수는 환경의 질에 대한 실용적인 개념을 제시하여 준다. 즉 이용하는 단체나 사람마다 환경의 질에 대한 개념이 서로 다르게 나타나지만 환경지수는 구체적으로 통일성 있게 개념을 정립해 줄 수가 있다.

둘째, 환경지수는 의사 전달을 위한 단순한 양식을 제시해 준다. 따라서 환경지수는 일반시민이나 여러 전문가들에게 환경의 상태를 전달해주는 수단으로 이용될 수가 있을 뿐 아니라 일반인들에게 일관성 있고 쉽게 이해할 수 있는 환경정보를 제공할 수가 있다.

셋째, 환경지수는 운영상의 목적과 목표를 설정하기 위한 양식을 제시한다. 그러므로 환경지수를 이용하여 목표를 설정하면 목표를 명확하게 알 수 있게 된다.

넷째, 환경지수는 타당성과 효율성을 평가하는데 이용될 수 있다. 환경지수는 정책분석이나 집행에 관해 체계적이고 종합적인 접근을 하는데 적극적인 역할을 해준다. 예를 들어 전체적인 대기오염의 척도가 사용됨으로서 오염방지 비용을 보다 효율적으로 집행할 수 있게 된다.

다섯째, 환경지수를 활용하면 지역간의 환경상태를 비교할 수가 있다. 따라서 통해 전국적인 관점에서 문제지역은 어디이며, 그리고 심각하게 개선이 요구되는 지역이 어느 곳인지를 쉽게 발견하여 환경개선을 위한 재정지원이나 정책의 중점을 어느 곳에 두어야 하는가를 파악할 수 있다.

여섯째, 환경지수가 발표됨으로서 환경질의 변화추세를 쉽게 파악할 수 있다. 이를 통해 일반인들의 환경에 대한 관심이 고조됨에 따라 환경문제에 관한 정책 배려의 우선 순위를 결정할 수가 있다. 또한 환경지수는 도시 혹은 지역 계획 과정에서 기초 자료로 이용될 수가 있는데 특히 계획된 사업이 환경에 미치는 영향을 평가하는데 긴요하게 이용될 수 있다.

측정된 대기질에 대하여 환경기준은 대기질이 기준을 상회하는 수준일 때 그 기준은 명확한 목표치로서 정책의 추진력이 될 수 있지만 일단 기준이 달성되고 나면 다소 대기질이 악화되어도 문제로써 대두되지 않으며, 개별항목만을 평가함으로 인해 경제성 등의 종합적인 판단이 어려워 적정한 종합 대책 수립이 힘들어진다. 하지만 환경지수는 단순한 양식을 통해서 통일성이 있는 개념으로 제시함으로 지역간 및 시간적 변화 추세를 쉽게 파악할 수 있으며, 또한 환경상태의 경향에 대한 예측성도 가능함으로 대책 수립이 용이하다. 즉, 환경기준은 단순 기준치에 대한 만족 여부만을 나타내지만, 환경지수는 전체 대기질을 파악하여 목표설정을 가능하게 해준다.

## II.2. 대기오염 지수

대기환경지표 또는 지수는 개별지수로서 지수 설정에 필요한 자료는 각 대상지역에 대한 현지조사와 통계연보를 통하여 수집하고 수집된 자료는 계량화, 척도화 등을 거쳐서 지수화를 하는데, 여기서는 미국 등에서 개발된 대기환경지수(ORAQI, PSD)와 우리 나라에서의 적용을 목적으로 개발한 대기환경지수(AI, AED)에 대해 선정목적, 산정방식 및 평가 방법 등에 대해 중점적으로 보면 다음과 같다.

### 가. ORAQI (Oak Ridge Air Quality Index)

미국의 Oak Ridge National Laboratory National Science Foundation

(ORNL- NSF)의 환경프로그램에서 대중에 정보를 전달하기 위한 새로운 도구를 창출한다는 목표아래, 이해가 쉽고, 의미도 지니면서 계산이 쉬운 대기질 지수로서, 대중매체와 일반 대중 사이의 커뮤니케이션에 적합하도록 개발된 것이다. 각종 제한요인 중에서 새로운 도구의 창출 목적을 달성하기 위해서 지수의 정확도와 세련미는 다소 떨어짐을 감수하고 개발된 것이다(日本化學會, 1974).

이 지수의 개발 원리는 대기오염의 정도를 환경기준치와 비교하여 0~1,000 사이로 점수화한 것인데, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, TSP, 옥시단트를 이용하여 이들의 기여 정도를 적용하여 합한 것이다. 탄화수소가 ORAQI 중에 직접 포함되지 않은 것은 탄화수소가 실제 오염물질이기 보다는 오히려 전구물질(precursor)이라고 생각하기 때문이다. 즉 탄화수소의 기여는 옥시단트의 측정 속에 포함돼 있다고 판단한 것이다. ORAQI 체계는 새로운 기준이 만들어지거나 개정되면 이를 반영하여 쉽게 개정할 수 있게 되어 있다. ORAQI는 다음과 같이 수학적으로 표현된다.

$$\text{ORAQI} = \left( 5.7 \times \sum_{i=1}^{i=5} (C_i/S_i) \right)^{1.37}$$

여기서,  $C_i$  : 오염물질  $i$  의 농도

$S_i$  : 오염물질  $i$  의 환경기준

이 식에서 계수와 지수는 Table 2.1에서 보는 바와 같이 ORAQI의 수치가 오염이 없는 배경농도 수준에서는 10, 오염의 한계수준(기준치)에서 100이 되도록 한 것이다.

ORAQI에 대한 환경기준(Table 2.1)을 근거로 구한 지수값을 6등급, 즉 0~20, 20~40, 40~60, 60~80, 80~100, 100이상으로 구분하여 우수(excellent), 좋음(good), 보통(fair), 나쁨(poor), 아주 나쁨(bad), 위험(dangerous) 등으로 나타난다.

그러나 ORAQI는 적용된 대기오염 개별 인자에 대하여 가중치를 두지 않았으며, 예측이 어렵다는 등의 단점이 있기 때문에 현재는 그다지 널리 이용하고 있지 않다.

Table 2.1. Comparison of pollutant concentration level

Pollutant	Standard(24hr)		Concentration*	
	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[ppm]	Background <sup>1)</sup>	Urban <sup>2)</sup>
O <sub>x</sub>	59	0.03	0.02	0.03
PM	150	-	37	120
SO <sub>x</sub>	266	0.1	0.0002	0.05
NO <sub>2</sub>	400	0.2	0.001	0.04
CO	7800	7.0	0.1	7

\* unit: PM;  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , others; ppm.

1) Reference: American Chemical Society(1969).

2) CAMP (Continuous Air Monitoring Program) Annual average concentration of 1966 at Chicago, Cincinnati, Denver, Philadelphia, St. Louis, Washington.

## 나. 개정 PSI(Pollutant Standard Index)

### (1) 개요

1976년 미국 EPA에서 PSI (Pollutant Standard Index) 라고 불리는 전국적으로 통일된 대기질 지수 (uniform air quality index ; AQI) 를 설정하여 주정부와 지방관청에서 사용토록 했다. 미국 EPA와 CEQ (President's Council on Environmental Quality) 에서 조사한 바에 의하면, 그 당시까지 미국과 캐나다에서 대기질에 관한 지수를 사용하고 있는 55개 도시지역에서 각기 다른 주의사항 (cautionary message) 과 함께 14개의 각기 다른 지수들을 사용하고 있는 것으로 나타났다. 이처럼 각기 다른 지수를 사용함으로써 일반 대중에게 전달되는 대기질에 관한 정보가 혼란스러워 통일된 대기오염 지수를 개발할 필요가 있다고 판단하여 EPA와 CEQ는 주정부와 지방관청의 요구에도 부응할 수 있고 다음과 같은 장점을 지닌 지수를 개발하게 되었다.

첫째, 대기질에 관한 전국적으로 통일된 정보를 제공함으로써 일반대중에게 분명하면서도 일관된 안내를 할 수 있으며,

둘째, 대기질과 공중보건에 관련된 과학적 근거를 지닌 미국국가대기환경기준( NAAQS) 및 심각한 유해농도(SHL; Table 2.2)와도 조화를 이루며,

셋째, 일반 대중이 쉬우면서도 분명하게 이해할 수 있고,  
넷째, NAAQS의 변화에 적절히 대처할 수 있는 기초를 제공하며,  
다섯째, 대기질에 관한 진보된 정보를 제공하기 위해 예측이 가능하다.

미국의 EPA에서는 인구 350,000명 이상인 대도시 지역에서는 전국적으로 통일된 PSI 지수를 산정하여 매일 보도하고 있다. 일부에서는 AQI라고도 불리는 PSI는 O<sub>3</sub>, 부유분진 (PM), CO, SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>에 대한 부지수 (sub-index)를 갖고 있으며, 대기 중 오염물질의 농도를 0에서 500까지 점수 척도로 나타낸 지수값과 관련시키고 있다. 이 지수는 청정공기에서부터 대중에게 긴박하고 실제적인 위험을 줄 수 있는 오염된 수준에 이르기까지 아주 폭넓은 대기질의 범위를 표현하고 있다. 이 지수는 각 오염물질에 대한 1차 NAAQS의 수치적인 수준에 대해서 100이란 지수값을 정의하고, SHL에 대해서는 500의 지수값을 정의함으로써 오염물질들을 표준화하고 있다. 그리고 200, 300 및 400으로 설정된 중간 지수값은 Table 2.3에 나타낸 연방 에피소드 기준의 alert, warning 그리고 emergency level에 기초하고 있다. 100이하의 지수값으로서 50이란 중간값은 연평균기준(annual standards)이 설정되어 있는 경우 (PM10과 SO<sub>2</sub>에 대해서)에는 연평균 기준의 수준으로 정의하거나 또는 100의 지수값을 정의하는데 사용된 단기기준(short-term standard)의 1/2 값과 같은 농도(CO와 O<sub>3</sub>에 대해서)로서 정의하고 있다.

1997년 7월에 기존 NAAQS에서 허용된 대기오염물질의 수준에서 건강에의 악영향에 대한 O<sub>3</sub>과 부유분진에의 노출과 연계된 과학적인 증거들에 대한 적절한 검토를 기초로하여 O<sub>3</sub>과 부유분진에 관한 1차 NAAQS의 개정이 이루어졌다. 특히 오존의 경우 그 동안 적용해온 1-시간 평균 농도를 8-시간 평균농도로 대체하였고, PM2.5로 측정되는 미세먼지에 대한 24-시간 및 연간 평균기준을 산정하여 새롭게 NAAQS를 추가했다. 이러한 NAAQS의 개정에 의해서 NAAQS는 수준과 지수값 사이의 관계를 유지하기 위해서 기존 PSI 체계에 대한 변화를 줄 수밖에 없었던 것으로 판단된다(EPA, 1998).

Table 2.2. Significant harm levels

Pollutant	Levels
SO <sub>2</sub>	1.0 ppm : 24-hour average
PM10	600 $\mu$ g/m <sup>3</sup> : 24-hour average
CO	50ppm : 8-hour average 75ppm : 4-hour average 125ppm : 1-hour average
O <sub>3</sub>	0.6ppm : 2-hour average
NO <sub>2</sub>	2.0ppm : 1-hour average 0.5ppm : 24-hour average

Table 2.3. Regulations for prevention of air pollution emergency episodes

	Alert	Warming	Emergency
SO <sub>2</sub> (ppm)	0.3 (24-hour)	0.6 (24-hour)	0.3 (24-hour)
PM10 ( $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	350 (24-hour)	420 (24-hour)	500 (24-hour)
CO (ppm)	15 (8-hour)	30 (8-hour)	40 (8-hour)
O <sub>3</sub> (ppm)	0.2 (1-hour)	0.4 (1-hour)	0.5 (1-hour)
NO <sub>2</sub> (ppm)	0.6 (1-hour)	1.2 (1-hour)	1.6 (1-hour)
	0.15 (24-hour)	0.3 (24-hour)	0.4 (24-hour)

(2) 개정 PSI의 구성

1998년에 개정된 PSI(개정 PSI)는 O<sub>3</sub>, 부유분진, CO, SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub>로써 구성하고 지수값은 기존의 체계와 마찬가지로 0~500의 범위인데 이 지수값은 매일의 대기질과 공중 보건사이의 관련성을 설명하는데 쓰이는 평가문(descriptor)으로서 설명된 5개의 등급으로서 구분된다. 이들 대기오염물질에의 노출 및 그와 관련된 건강에의 영향에 대한 현재의 지식을 보다 잘 반영



하기 위해서 Table 2.4에 나타낸 바와 같이 PSI 지수값(index value), 평가문(descriptor) 그리고 관련된 색깔(color)들을 개정하여 제시하였다.

개정 PSI의 구성에 있어서 변화는 새롭게 NAAQS에 도입된 8-시간 평균 오존농도(8-hour O<sub>3</sub>)를 PSI 체제에 반영하기 위한 목적 이외에도 PSI의 구조에 대한 전반적인 수정을 시도했다. 특히 PSI 구조에 대한 기본적인 변화는 “건강에 해로운(unhealthful)” 등급 (PSI 값 : 101~200)을 “민감한 집단의 건강에 나쁜(unhealthy for sensitive group)” 등급 및 “건강에 나쁜(generally unhealthy)” 등급으로 구분하였다. “민감한 집단의 건강에 나쁜”

Table 2.4. Proposed Category Index Values, Descriptors, and Colors

Index Values	Descriptor	Color	Purpose
0~50	Good	Green	Convey positive message about air quality.
51~100	Moderate	Yellow	Convey message that daily air quality is acceptable from public health perspective, but every day in this range could result in potential for chronic health effects; and for O <sub>3</sub> convey a limited health notice for extremely sensitive individuals.
101~150	Unhealthy for Sensitive Groups	Orange	Health message for members of sensitive groups.
151~200	Unhealthy	Red	Health advisory of more serious effects for sensitive groups and notice of possible effects for general population when appropriate.
201~300	Very Unhealthy	Purple	Health alert of more serious effects for sensitive group and the general population.
301~500	Hazardous	Maroon	Health warning of emergency conditions.

등급에 대한 PSI 계급값은 101~150인데, 이 등급을 일반 대중에게는 과격한 주의보를 보내지 않으면서도 대기오염에 민감한 사람들에게 대해서는 적절한 주의를 환기시키려는 목적으로 설정되었다.

PSI에 있어서 또 다른 변화는 PSI 계급값으로 201~300인 등급의 설명문을 “건강에 아주 해로운(very unhealthy)” 에서 “건강에 아주 나쁜(very unhealthy)” 으로 수정하였으며, 나머지 등급은 변화 없이 그대로 유지했다.

이상에서 언급한 개정 PSI에 대해서 제안된 O<sub>3</sub>, PM, CO 및 SO<sub>2</sub>의 부지수 값에 대한 기준값 (breakpoints) 을 Table 2.5에 요약했으며 각 오염물질별 부지수의 값 산정을 위해 제안된 기준값을 잘 반영하기 위해서 적용된 수치적 규칙을 Table 2.6에 자세하게 정리했다. 그리고 PSI 값에 따른 건강에 대한 영향 및 주의사항을 Table 2.7과 Table 2.8에 정리하였다. 개정 PSI의 특징은 다음과 같다.

○ O<sub>3</sub>에 대한 1차 NAAQS가 개정되면서 1시간 평균농도기준은 8시간 평균농도기준인 0.08ppm으로 개정되었다. 이 기준은 설정하면서 건강에의 영향은 없을 것이라고 명확하게 구별되는 역치(threshold)는 존재하지 않음을 알았다. 따라서 기준값 수준이하 즉 PSI 50이하에 해당되는 기준값으로 8시간 평균 농도값으로서 0.07 ppm을 적용토록 했다.

Table 2.5. Breakpoints for O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO, and SO<sub>2</sub> sub-indices

PSI value	O <sub>3</sub>		PM		CO	SO <sub>2</sub>
	8-hr (ppm)	1-hr (ppm)	PM <sub>2.5</sub> , 24-hr (μg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> , 24-hr (μg/m <sup>3</sup> )	8-hr (ppm)	24-hr (ppm)
50	0.07	-	15	50	4	0.03
100	0.08	0.12	65	150	9	0.14
150	0.10	0.16	100*	250	12	0.22
200	0.12	0.20	150*	350	15	0.30
300	0.40(1-hr)	0.40	250*	420	30	0.60
400	0.50(1-hr)	0.50	350*	500	40	0.80
500	0.60(1-hr)	0.60	500*	600	50	1.00

\* If a different SHL for PM<sub>2.5</sub> is promulgated, these number will change accordingly.

○ 매일의 O<sub>3</sub> 농도가 아주 높은 1시간의 피크를 나타내는 대기질을 지닌 지역인 경우에는 1-hour sub-index를 적용하는 것이 새로이 제시된 8-hour sub-index를 사용하는 것보다 건강보호에 더욱 유익할 수 있다는 점을 인정하고 있다. 따라서 건강보호가 보다 더 가능한 부지수값을 보도(reporting)할 수 있도록 하기 위해서 PSI 100과 그 이상에서 1-hour 부지수값을 존속시켜 개정했으며, 8-hour와 1-hour에 대한 2가지 O<sub>3</sub> 부지수값에서는 더 높은 값을 보인 PSI값을 채택하여 보도하도록 하였다. 1-hour 평균인 0.16ppm의 기준점을 PSI값 150에 대응토록 1-hour 부지수를 추가했다. 이 값은 PSI값 100과 200에서의 기준값의 중간값을 사용할 것이다.

○ PSI의 기본적 구조를 유지하기 위해서 지수값 100에 대응하는 24-hour PM<sub>2.5</sub> NAAQS는 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 PSI 지수값 50에는 연간평균 NAAQS인 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 대응시켰다. 그리고 500에는 SHL을 대응시켰다. 그러나 이 SHL은 1999년 중반기에 수정될 것이므로 PSI체제도 역시 개정될 것으로 예상된다. PSI 100과 500사이에서의 중간 기준값에 대해서는 PM<sub>2.5</sub>농도는 지수값의 증가와 PM<sub>2.5</sub>의 농도 증가 사이에 직선적인 상관관계로서 반영했다.

### (3) PSI와 관련된 프로그램

주정부와 지방단체에서는 대기질 및 그와 관련된 공중보건에 관한 일반적인 정보를 대중에게 제공하기 위해서 PSI(또는 AQI)를 사용해 왔다. 최근에는 EPA 뿐 아니라 많은 주정부와 지방단체에서는 일반 대중에게 보다 적절한 방법으로 보다 많은 정보를 제공하기 위해서 새롭고 창의적인 프로그램들을 개발하고 있다. 이런 프로그램에는 Ozone Mapping Project를 통한 실시간 자료보도 (real-time data reporting) 및 지역사회 행동 프로그램 (community action program) 들이 포함되어 있는데, 대기오염 및 그에 관련된 영향들에 관해서 일반대중에게 유용하고, 최신의 자료를 적기에 제공하는 역할을 할 수 있다. 이런 정보를 제공함으로써 개개인의 위해를 줄이거나 회피할 수 있는 행동을 취하는 데 도움을 줄 수 있다. 따라서 이런 프로그램은 주 정부와 지방 단체에서 전국적으로 통일된 AQI의 보도와 관련된 필요조건

에 부응할 수 있는 방향으로 상당히 확대되고 있으며, 지역사회 건강보호 그리고 NAAQS를 유지·달성하기 위한 주정부와 지방 단체의 노력에 크게 기여하고 있다.

이들 프로그램들은 AQI 보도와 관련이 있고, 적절한 시점에 NAAQS의 개정 등 주기적인 검토를 통해서 파악되는 공중보건에 대한 대기오염의 영향들에 관한 정보와 관련되어 있다는 사실을 주정부, 지방단체 및 EPA는 인식하고 있다고 판단된다. 이상의 개정 PSI에 관련된 자세한 내용은 미국 EPA의 홈페이지상에서 확인할 수가 있다. 참고적으로 대표적인 웹 사이트를 참고 문헌에 수록하였다.

#### 다. AEI (Air Environment Index)

미국에서 초기에 개발된 PSI 지수산정 방법을 준용하여 이를 국내에 적용하기 위해서 국립환경연구원에서 연구·개발한 것이 AEI이다. AEI는 PSI에 적용되었던 SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, TSP, O<sub>3</sub>, TSP×SO<sub>2</sub> 환경 인자를 사용하고, 0~500 범위를 우리의 정서에 가까운 0~100으로 수정하였던 것이다. 환경기준치는 우리 나라에서 사용중인 장·단기 기준치 및 미국 EPA 기준치를 이용하여 5개 범주로 구분하고 PSI와 같은 방법으로 계산된 각 오염지수에서 가장 높은 지수를 AEI로 선택한다. 이때에 적용된 각 오염물질별 부지수값에 대한 기준값은 Table 2.9와 같다. 또한 AEI값은 각 한계치는 20을 장기기준, 40을 단기기준으로 하여 60, 80, 90, 100은 EPA의 인체 건강과 관련한 주의, 경고, 위급, 심각한 위해 농도 기준으로 했다. 따라서 0~20은 “양호”, 20~40은 “보통”, 40~60은 “나쁨”, 60~80은 “매우 나쁨” 그리고 80~100은 “위해”로 나타내고 있다. 초기 PSI와 AEI의 기준, 계산방법 및 지수에 관한 설명 등을 Table 2.10에 비교하였다.

#### 라. AI(Air Index)

AI는 ORAQI를 변형한 것으로 SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, TSP(PM<sub>10</sub>), O<sub>3</sub> 의 5개 인자를 사용하여 환경기준치의 0.5배 되는 것이 5개중 2개, 기준치의 1배가 되는 것이 3개일 때를 60으로 하고, 5개 인자가 기준치의 1배가 될 때를 80으로 한다. ORAQI와 AI의 오염물질, 기준, 계산방법, 지수 등을 비교하여 Table 2.11

에 정리하였다.

AI의 기준치는 우리 나라 단기기준치를 적용하는데, SO<sub>2</sub> : 0.14 ppm(24시간), NO<sub>2</sub> : 0.15 ppm(1시간), TSP : 300 μg/m<sup>3</sup>(24시간), PM10 : 150μg/m<sup>3</sup>(24시간), CO : 9 ppm(8시간), O<sub>3</sub> : 0.1 ppm(1시간)으로 하며 지수값 산출공식은 아래와 같다.

$$AI = (5.97 \times \sum_{i=1}^{i=5} (C_i / S_i))^{1.29}$$

여기서, C<sub>i</sub> : 오염물질 i의 농도

S<sub>i</sub> : 오염물질 i의 환경기준

이 지수값을 5등급, 즉 0~15(I 등급), 15~30(II 등급), 30~60(III등급), 60~80(IV등급), 80 이상(V 등급)으로 구분하여 좋음, 보통, 나쁨, 매우 나쁨, 위해로 나타낸다. 그러나 AI 또한 ORAQI와 같이 대기오염 개별 인자에 대하여 가중치를 두지 않고, 예측이 어렵다는 단점 때문에 그 활용도가 적다.

#### 마. 기타 지수



그 외 발표된 바 있는 각종 대기질 지수를 Table 2.12에 소개했다 (국립환경연구원, 1990).

Table 2.9. Breakpoints for AEI estimation

Item	AEI	TSP (μg/m <sup>3</sup> ) 1hr	PM-10 (μg/m <sup>3</sup> ) 24hr	SO <sub>2</sub> (ppm) 24hr	TSP×SO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> × ppm)	CO (ppm) 8hr	O <sub>3</sub> (ppm) 1hr	NO <sub>2</sub> (ppm) 1hr
Good	20	150	80	0.03	-	4.5	0.02	0.05
Moderate	40	300	150	0.14	-	9.0	0.10	0.15
Unhealthful	60	375	350	0.30	22.727	15	0.20	0.60
Very Unhealthful	80	625	420	0.60	91.259	30	0.40	1.20
Hazardous	100	1000	600	1.00	171.329	30	0.60	1.60

Table 2.10. Comparison of PSI and AEI.

내용	PSI	AEI	비 고
오염물질	CO, SO <sub>2</sub> , TSP, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , TSP×SO <sub>2</sub> (6개 인자)	CO, SO <sub>2</sub> , TSP, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , TSP×SO <sub>2</sub> (6개 인자)	· HC는 제외. · TSP×SO <sub>2</sub> 기준을 추가하였는데, SO <sub>2</sub> 에 대한 건강영향은 분진 출현 시 더욱 심하기 때문.
기준치	미국 NAAQS, 미국 EPA의 연방에피소드기준, 심각한 유해농도.	한국의 장·단기기준, 미국 EPA의 연방에피소드기준, 심각한 유해농도.	· 기준치 자체가 인체의 정확한 영향을 반영하지 못함.
지수	0~500	0~100	· AEI는 100을 최대로 정함. 국민들이 백분율에 익숙해 있음.
지수 설명	0-50; "good" 50-100; "moderate" 100-200; "unhealthful" 200-300; "very unhealthful" 300-500; "hazardous"	0-20; "good" 20-40; "moderate" 40-60; "unhealthful" 60-80; "very unhealthful" 80-100; "hazardous"	· PSI에서는 영향과 주의사항을 서술. · AEI에서도 유사한 내용을 서술할 수 있음.
보고	TV, 신문, 라디오에 보고하면서 반시계 모양의 그림으로 표현.	TV, 전광판을 이용하여 반시계 모양이나, 막대로 나타낼 수 있음.	· 24시간 이하(24시간, 12시간, 8시간)의 평균치로 유동적으로 할 수 있음.
예측	국립 기상청 대기오염 예측 프로그램을 이용하여 예측.	기상자료만으로 예측 가능 ※AI와 ORAQI보다 예측이 용이함.	기상대의 기상 예보 시에 변화상태를 예측할 수 있음.

Table 2.11. Comparison of QRAQI and AI

내용	ORAQI	AI	비 고
오염 물질	CO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , TSP(PM 10)	CO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , TSP(PM 10)	HC는 제외
기준	CAMP 도시, Chicago, Cincinnati, Philadelphia, Washington, Denver, Saint Louis 지역의 농도 를 근거로 24시간 농도에 대한 기준치 설정	한국 단기 평균화 농도	기준치 적용은 유동적 임
지수	0 - 1,000	0 - 200	-
계산 방법	$(5.7 \sum_{i=1}^{i=5} (C_i/S_i)^{1.37})$	$(5.97 \sum_{i=1}^{i=5} (C_i/S_i)^{1.29})$	· ORAQI는 배경농도 일 때 10, 기준치일 때 100 · AI는 기준치의 0.5 배 되는 것이 2개, 기준치인 경우가 3 개 일 때를 60, 5개 인자가 기준치일 때 를 80으로 함.
지수 설명	0-20: "excellent" 20-40: "good" 40-60: "fair" 60-80: "poor" 80-100: "bad" 100이상: "dangerous"	0-15: "좋음" 15-30: "나쁨" 30-60: "보통" 60-80: "매우 나쁨" 80이상: "위해"	AI에서 15는 기준치의 0.25 배, 30은 기준치의 0.5배 수준임
보고	TV, 신문, 라디오에 알림	TV나 전광판을 이용하여 지수를 알림	발표는 시간대 평균치 별로 유동적으로 할 수 있음
예측	예측이 어려움	예측이 어려움	에너지 소비량과 재원이 입력되어 있고, 기 상자료 지원이 있어야 예측할 수 있음
토론 사항	EPA에서는 활용 빈도가 적음	특정의 오염인자보다 다른 여러 인자의 오염이 같이 고려됨	환경정책에 이용

Table 2.12. Other Air Quality Indices

지표(지수)명	산출방법
- MITRE Air Quality index(MAQI)	$MAQI = \sqrt{I_c^2 + I_s^2 + I_p^2 + I_n^2 + I_o^2}$ I <sub>c</sub> : 일산화 탄소 I <sub>s</sub> : 아황산 가스 I <sub>p</sub> : 부유분진 I <sub>n</sub> : 이산화 탄소 I <sub>o</sub> : 광화학 산화제
- San Diego Integrated Regional Environmental Management Program(IREM) Environmental indicator	ORAQI를 산출하고 이와 아울러 환경오염도가 환경 기준을 초과한 일수를 계산하는 등의 세 가지 지표를 같이 고려해서 대기의 질을 파악하는 방법
- Green Index	$I = 1/2 ( I_{SO_2} + I_{SP} )$ $I_{SO_2} = 84.0 S^{0.431} \quad S = SO_2 \text{ 농도(ppm)}$ $I_{SP} = 26.6 C^{0.576} \quad C = SP \text{ 농도(COHS)}$
- Ferris Index	$SO_2(\mu g/m^3) \times SP(\mu g/m^3) / 1,000$
- 安達, 外山の 指標	$I = 1/2 ( I_{SO_2} + I_{SPN} )$ 여기서, $I_{SO_2} = 9.0561 X_1^{0.63093} \quad X_1 = SO_2 \text{ 농도(ppm)}$ $I_{SPN} = 5 X_2^{0.5} \quad X_2 = SP \text{ 농도 (100} \times \mu g/m^3)$
- 一彬, 鈴木의 指標	$I = SO_2(\mu g/m^3) \times PM (\mu g/m^3) / 20$
- PINDEX	SO <sub>x</sub> , SP, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , CO, He를 이용하여 산출되는 것으로서 아울러 SO <sub>x</sub> 와 SP의 상승효과와 영향까지 고려
- INHAVER	대기질에 관한 지표를 세 가지로 구분하여 산출 ① 도시지역 특정오염지수(Index of Specific pollutants) ② 도시간 대기질 지수(Index of Interurban Air Quality) ③ 공장오염 배출물 지수(Index of Industrial Emissions)
- QOL	아황산가스와 분진 이용 산출



### Ⅲ. 연구방법

#### Ⅲ.1. 대기질 측정

대기환경지수를 산정하기 위해서는 대기질의 연속측정이 가능한 지점에서의 측정자료를 이용해야 신뢰도가 높은 평가자료를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 제주시의 대기환경지수를 산정하기 위해 환경부에서 운영하고 있는 제주시 이도동의 자동연속측정망의 측정자료를 이용하였다. 제주시 자동측정망 설치지점은 Fig. 1에 나타냈으며, 지리적으로 제주도 북쪽의 해발 70m 지점에 위치하며 주변에 차량왕래가 아주 빈번한 주거·상업지역에 위치하고 있다. 이 대기질 자동연속측정망에서는 PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>에 관한 매시간 평균 농도를 생산하고 있다. 본 연구에서는 1996년부터 1998년까지 3년간의 자료를 수집하여 NO를 제외한 나머지 항목들의 자료를 처리하였다. 총 5개의 고려 대상 항목 중 4개 이상의 항목에 대해 결측이 없이 동시 측정이 이루어진 경우에만 유효자료수로 선정하였다. 연도별로 유효자료수를 보면, 96년에는 8037회, 97년에는 7072회 그리고 98년에는 7905회로서 매년 총 시수의 92%, 80% 및 90% 이상의 유효한 자료를 선정할 수 있었다.

그리고 본 연구에서 O<sub>3</sub>에 대한 대기질 측정자료를 이용하여 8시간 평균오존 농도를 산정하였는데, 이때 8시간 평균 O<sub>3</sub> 농도는 미국 EPA에서 적용하는 산출 방식을 따라서 매일 24회의 8시간 평균농도를 산출했다.

#### Ⅲ.2. 지수산정 방법

##### 가. PSI 산정 방법

PSI 산정 방법은 다음의 식을 이용했다.

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (1)$$

여기서,  $I_p$  : 오염물질  $P$ 에 대한 지수값

$C_p$  : 오염물질  $P$ 의 농도

$BP_{Hi}$  :  $C_p$  이상의 기준값

$BP_{Lo}$  :  $C_p$  이하의 기준값

$I_{Hi}$  :  $BP_{Hi}$ 에 대응하는 PSI 값

$I_{Lo}$  :  $BP_{Lo}$ 에 대응하는 PSI 값

PSI 값 =  $\max [ I_p ]$

즉 PSI 산정방법은 매 시간별 오염인자 및 농도에 따라서 식(1)을 이용하여 앞에서 언급한 부유분진(PM<sub>10</sub>), O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>의 5개 항목에 대한 지수값을 각각 계산한 후, 그 계산된 부지수값 중에서 가장 높은 값을 'PSI'로 선정하게 되고 PSI로 선정된 지수값을 나타낸 오염물질을 주요오염물질(critical pollutant)로 채택하게 된다.

그리고 각 오염물질별로 적용된 부지수값에 대한 기준값은 Table 2.6과 같이 미국 EPA에서 적용한 그대로 사용하였다.

#### 나. AEI 산정 방법

AEI를 산출하기 위해 적용된 각 오염물질 항목별 부지수값에 대한 기준값은 Table 2.9와 같으며, 부지수값의 산정은 식(1)과 같다. PSI 산정과 마찬가지로 식(1)을 이용하여 각 오염물질별 부지수값을 계산한 후, 그 계산된 부지수값 중에서 가장 높은 값을 'AEI'로 선정하고, 이에 해당하는 주요오염물질로 채택하였다.

#### 다. AI 산정 방법

AI 산정 방법은 2장의 이론적 고찰에 언급한 방식대로 적용하였다.

## IV. 결과 및 고찰

### IV.1. 대기질 현황

환경 대기중의 오염물질농도는 대기오염 배출원에서의 배출량 뿐 만 아니라 기상조건 등에 따라 많은 차이를 나타내는데, 대기질의 경시변화 특성을 파악하기 위해 연속측정이 이루어지고 있는 환경부 대기오염자동측정망 중 제주도 이도동에서의 측정자료를 이용하여 월별 변화경향과 시간에 따른 변화특성을 비교·분석하였다.

Table 4.1. The ambient concentrations of five major air pollutants based on 1-hour average concentration data

Season	Year	PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3</sub> (ppb)	CO (ppm)
	96	38.9±30.82	8.4±5.97	16.6±10.40	30.9±15.96	0.5±0.42
	97	33.2±23.32	5.0±3.27	10.9± 7.57	28.7±12.51	0.7±1.18
	98	35.6±30.10	5.5±3.91	15.4±11.61	33.0±15.37	0.8±0.43
	Mean	36.6±27.07	6.7±4.62	13.8± 8.99	29.8±14.24	0.6±0.80
Spring	96	49.1±39.74	7.0±4.72	19.5±11.37	40.5±22.54	0.4±0.31
	97	39.4±26.67	5.3±4.29	7.8± 5.88	30.1±13.04	0.5±0.45
	98	39.6±41.97	5.2±3.36	17.1±11.30	39.8±15.89	0.6±0.34
	Mean	42.7±25.91	5.8±4.12	15.0± 9.52	36.6±17.16	0.5±0.37
Summer	96	36.5±25.91	11.8±6.96	12.1±8.65	24.2±15.38	0.7±0.46
	97	36.0±26.99	6.0±2.64	11.1±6.67	24.9±13.93	0.7±0.41
	98	28.6±23.12	5.4±5.18	12.0±7.62	29.7±15.50	6.8±3.66
	Mean	33.7±25.34	7.7±4.93	11.7±7.65	26.3±14.94	0.7±0.41
Fall	96	33.1±22.46	7.5±5.6	18.3±11.18	29.9±13.94	0.2±0.15
	97	26.1±16.71	3.4±2.11	14.8±9.88	31.6±13.24	1.0±3.35
	98	40.9±29.94	4.5±2.88	15.4±16.06	30.6±16.78	0.8±0.39
	Mean	33.5±23.03	5.2±3.53	16.2±12.37	30.7±14.66	0.7±1.30
Winter	96	37.0±35.16	7.4±6.60	16.7±10.42	28.8±11.97	0.8±0.76
	97	31.2±22.92	5.2±4.01	9.9± 7.87	28.2± 9.84	0.6±0.53
	98	33.1±25.36	6.8±4.21	16.6±11.46	31.8±13.30	1.1±0.64
	Mean	33.8±27.81	6.5±4.94	14.4± 9.91	29.6±11.70	0.8±0.64

본 연구에서 사용한 1996년부터 1998년까지 제주시에서 관측된 대기오염도 자료를 정리하여 Table 4.1에 나타냈다. 관측지점이 상가지역 중심에 위치하고 있음에도 불구하고 전반적으로 양호한 대기질을 보이고 있음을 알 수 있다. 계절별로 보면, 전반적으로 계절별 변동이 크지 않으나, 부유분진과 오존은 봄철에 비교적 높게 나타나고, 표준편차도 또한 크게 나타남을 볼 수 있다.

제주시 이도동 측정소의 자료를 이용하여 대기질의 월별 변화경향을 Fig. 2에 나타냈다. 전체적으로 인위적인 오염원의 영향을 직접적으로 받고 있는 제주시 지역의 대기오염물질의 농도는 월별 변동폭이 다소 높게 나타났다. 그러나 국내의 다른 대도시 지역이나 공업지역(정 등, 1994; 신 등, 1992) 등과 비교하면 농도가 낮을 뿐만 아니라 월별 변동폭도 훨씬 적은 편이다. 그리고 오존과 부유분진 농도가 뚜렷이 증가되는 현상을 볼 수 있다. 부유분진 농도가 증가하는 것은 매년 봄철에 주로 발생하는 황사현상의 영향으로 생각되며, 오존농도의 증가는 아직 명백한 결론이 내려지진 않았지만 여러 학자들에 의해 제기되고 있는 봄철의 성층권 하강기류에 의한 오존의 유입에 기인한 것으로 추정되지만(Angle과 Sandhu, 1989; Sunwoo 등, 1994; Wakamatsu 등, 1989) 이에 대해서는 앞으로 3차원적으로 대규모 순환관계를 심도 있게 분석할 필요가 있다고 생각된다.

Fig. 3에는 대기오염물질 농도의 일 중 시간별 변화경향을 나타냈다. 제주시 지역의 대기오염물질 농도는 출퇴근 시간 등 인간의 활동 시간대에 직접적인 반응을 보이는 시간적 변동특성을 나타냈다. 이런 변동 특성을 화력발전소와 난방연료 등에서 많이 배출되는 황산화물( $SO_2$ )의 농도에 비해 자동차에서 주로 배출되는 일산화탄소(CO)와 질소산화물( $NO_x$ ) 등의 농도변화에서 이러한 현상이 돋보이는 것으로 보아 제주시 지역의 대기오염 배출특성을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다. 특히  $NO_2$ 는 출근시간대에 증가한 후 감소하는 추세를 보이고,  $O_3$ 은 출근시간대부터 점차 증가하는 추세를 보임을 볼 때 제주시 지역에서는 광화학 반응에 의한 오존의 생성과 소멸현상의 영향이 어느 정도 존재하는 것으로 생각된다(허 등, 1997).

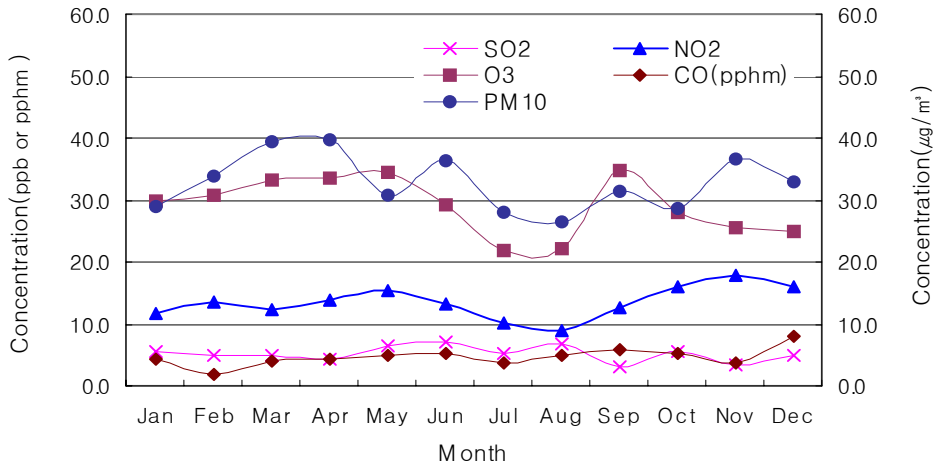


Fig. 2. Monthly variation of air quality in Cheju city.

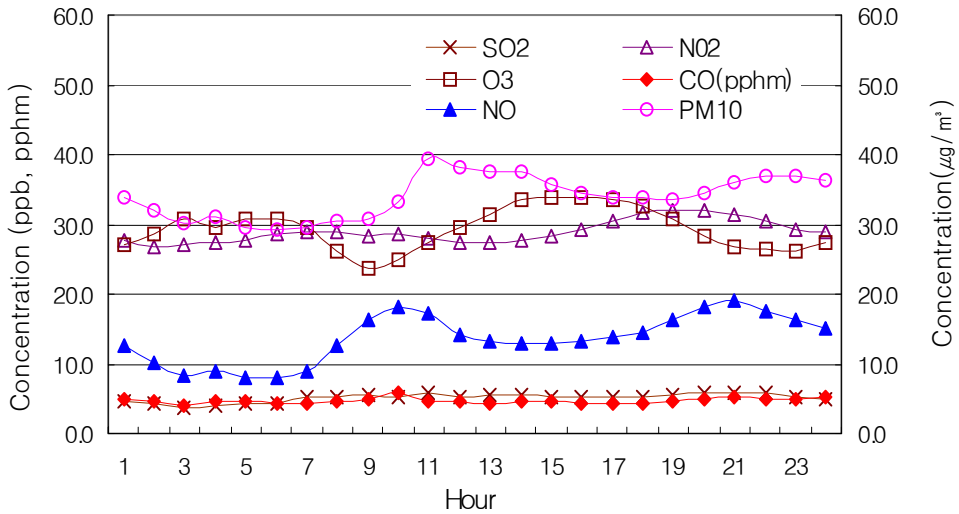


Fig. 3. Daily variation of air quality in Cheju city.

## IV.2. PSI 지수에 의한 대기질 평가

### 가. PSI 지수값의 분포

1998년에 개정된 PSI를 이용하여 제주시 대기질에 관한 매 시간별 PSI 값을 산출한 결과를 연도별, 계절별로 정리하여 Table 4.2에 나타내었다.

96년부터 98년 동안의 PSI 분포의 변화를 보면 대기질이 “양호(good)”한 수준인 PSI 0~50 계급에서의 출현 빈도가 높아지면서 전반적으로 “양호(good)”와 “보통(moderate)”인 대기 상태를 보임을 알 수 있다. 그러나 “민감한 집단에 나쁜(unhealthy for sensitive group)” 상태의 출현 빈도도 96년에 74회, 97년에 26회, 98년에 41회 나타났으며 98년에는 “위험(hazardous)”한 상태가 8회 나타나기도 했다.

Table 4.2. Frequency of PSI value in Cheju city

Year or Season	Class of PSI value						Total
	0~50 I	51~100 II	101~150 III	151~200 IV	201~300 V	301~500 VI	
96	78.5 (6336)	20.3 (1637)	0.90 (74)	-	0.3 (26)	-	100 (8073)
97	82.2 (5812)	17.4 (1233)	0.40 (26)	-	-	-	100 (7072)
98	83.5 (6602)	15.8 (1248)	0.52 (41)	-	0.08 (6)	0.10 (8)	100 (7905)
Mean	81.3 (18750)	17.9 (4119)	0.61 (141)	-	0.14 (32)	0.03 (8)	100 (23050)
Spring	75.86 (4689)	22.81 (1410)	0.70 (43)	-	0.50 (31)	0.13 (8)	100 (6181)
Summer	84.77 (5121)	14.57 (880)	0.66 (40)	-	-	-	100 (6041)
Fall	84.37 (4684)	15.06 (835)	0.58 (32)	-	-	-	100 (5552)
Winter	80.67 (4256)	18.82 (993)	0.49 (26)	-	0.02 (1)	-	100 (5276)

( ) : Number of data

제주시의 대기질 자료가 교통량이 많은 상가지역 중심에서 관측되었음에도 불구하고 연도별로 계산된 PSI 값의 출현빈도를 볼 때, 제주시의 대기질은 대부분이 "양호(good)"한 상태임을 알 수 있다. 그리고 PSI 값이 100이상인 대기질은 3년간 총유효시수 23,050회중 0.8%인 181회 출현하는 정도였다. 그리고 "건강에 매우 나쁜(very unhealthy)" 상태인 대기질의 출현도 총 32회 나타났으며 이중 31회는 봄철에 나타났음을 볼 수 있다. 또한 지난 3년간 PSI값 300 이상인 "위험"한 상태인 대기질도 총 8회 출현하였는데, 이는 모두 봄철에 나타났다.

계절별로 보면 봄철에 악화된 대기질 출현빈도가 타 계절에 비해 높음을 알 수 있다.

이런 결과는 제주시 지역의 대기질이 전반적으로 깨끗한 상태를 보이면서도 봄철의 황사가 유입되어 부유먼지의 농도가 증가하면서 일시적으로 대기질이 악화되는 상태 그리고 봄철 오존의 농도가 증가하는 상황을 비교적 잘 반영한 결과라고 생각된다.

#### 나. 주요오염물질(critical pollutant)의 출현 분포

Table 4.3은 매 시간별로 추정된 주요오염물질(critical pollutant)의 월별, 계절별, 연도별 출현분포를 나타낸 것이다. 3년 동안에 추정된 주요오염물질로서는 PM10이 58.16%로 가장 많고, 다음으로 O<sub>3</sub>이 36.85%이었으며, SO<sub>2</sub>는 3.59% 그리고 나머지는 모두 CO로 출현함을 볼 수 있다. 본 연구대상기간중 주요오염물질로서 NO<sub>2</sub>가 선정된 경우는 없었다.

연도별로 보면, 주요오염물질로서 PM10이 선정된 경우가 가장 많았으며, 연차적으로 오존의 주요오염물질 출현빈도가 증가한 반면에 SO<sub>2</sub>는 낮아지는 경향임을 볼 수 있었다.

계절별로 보면, 주요오염물질의 출현빈도는 계절별로 볼 때 뚜렷한 차이점은 없으나 CO의 경우 겨울철에 출현빈도가 타 계절에 비해서 높게 나타남을 볼 수 있었다. 여름철의 경우 주요오염물질로서 O<sub>3</sub>의 출현빈도는 다소 둔화되면서 SO<sub>2</sub>가 주요오염물질로 출현하는 빈도가 크게 증가되고 있음을 알 수가 있다. 이는 앞의 Fig. 1에서 여름철에는 오존농도가 타 계절에 비해 상대적으로 다소 떨어지고 SO<sub>2</sub>는 증가하는 경향이 반영된 것으로 생각된다.

주요오염물질로서 PM10과 O<sub>3</sub>의 출현 빈도를 합하여 보면 봄철에 98.36%, 여름

철 91.32%, 가을철 96.67%, 겨울철 93.53%로서 봄철에 가장 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 Fig. 2에서처럼 PM10과 O<sub>3</sub>의 농도가 증가하는 경향과 일치된 결과라고 생각된다.

#### 다. 주요염물질 PSI 지수값 분포

Table 4.4는 PSI 지수계급별 주요염물질의 출현빈도를 나타낸 것이다. 모든 PSI 지수계급에서 PM10이 가장 큰 비중을 보이고, 특히 봄철을 제외한 타 계절에서는 “매우 나쁜(very unhealthy)” 및 ”위험(hazardous)”한 상태일 때는 모두 PM10이 주요염물질로 나타남을 알 수 있다. 특히 “위험”한 대기 상태를 보인 것은 지난 3년 동안에 98년 봄에 8회가 나타난 이외에는 출현되지 않았다.

Table 4.3 Frequency of critical pollutants

Year	Critical pollutant			
	PM10	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	CO
'96	4771(59.10)	580(7.18)	2550(31.59)	172(2.13)
'97	4421(62.51)	121(1.71)	2497(35.31)	33(0.47)
'98	4214(53.31)	127(1.61)	3446(43.59)	118(1.49)
Mean	13406(58.16)	828(3.59)	8493(36.85)	323(1.4)
Jan.	871(50.09)	69(3.97)	792(45.54)	7(0.40)
Feb.	942(51.99)	38(2.10)	832(45.54)	-
Mar.	1217(58.01)	23(1.10)	854(40.71)	4(0.19)
Apr.	1207(58.01)	24(1.22)	728(37.14)	1(0.05)
May.	1045(49.22)	46(2.17)	1029(48.47)	3(0.14)
Jun.	1333(65.06)	96(4.69)	580(28.31)	40(1.95)
Jul.	1269(62.24)	145(7.11)	618(30.31)	7(0.34)
Aug.	1256(64.31)	227(11.62)	461(23.60)	9(0.46)
Sep.	1042(50.75)	29(1.41)	960(46.76)	22(1.07)
Oct.	1190(56.94)	80(3.83)	805(38.52)	15(0.72)
Nov.	992(70.40)	20(1.42)	378(26.83)	19(1.35)
Dec.	1042(60.41)	31(1.80)	456(26.43)	196(11.36)
Spring	3469(56.12)	93(1.50)	2611(42.24)	8(0.13)
Summer	3858(63.86)	468(7.75)	1659(27.46)	56(0.93)
Fall	3224(58.07)	129(2.32)	2143(38.60)	56(1.01)
Winter	2855(54.11)	138(2.62)	2080(39.42)	203(3.85)

( ) : %



SO<sub>2</sub>가 주요오염물질로 나타날 경우에는 대부분 “양호(good)” 또는 “보통(moderate)”인 대기질 상태였다. 오존은 “양호”한 상태일 때 46.03%, “보통(moderate)”인 상태일 때 0.85%를 차지하였으며, “나쁜” 상태일 때 4%정도, 그리고 “매우 나쁜” 상태일 때도 24.24%정도를 차지함으로써 PM10 다음으로 큰 비중을 차지하는 오염물질임을 알 수 있다. 계절별로 보아도 이런 경향은 대체로 유지됨을 알 수 있다. 특히 봄철에 전체 PSI 지수 계급별로 O<sub>3</sub>의 비중이 증가됨을 볼 수 있다.

Fig. 4는 이상의 결과를 종합해서, 각 PSI 지수계급별 출현빈도와 각 계급별 주요오염물질의 점유비율을 표현한 것이다. 지난 3년간 제주시 이도동에서 대기오염물질의 농도를 매시간 연속 관측한 자료를 토대로 제주시 대기질을 PSI 지수로서 평가할 때 제주시 대기질은 지난 3년간 대부분은 “양호(good)’한 상태를 유지해 왔으며, 주요오염물질로는 대부분 PM10인 것을 알 수 있다. 그리고 주요오염물질로서 비록 오존이 나타나더라도 제주시 대기질은 대부분이 양호한 상태였던 것을 알 수 있다.

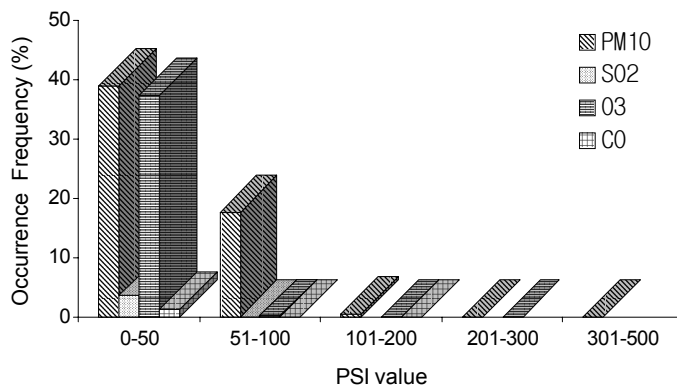


Fig. 4. Occurrence frequency of the critical pollutant according to the PSI value.

Table 4.4. Distribution of critical pollutant by description words  
(unit: %)

	Descriptor	PM10	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	CO
Total	Good	47.87	4.38	46.03	1.73
	Moderate	98.40	0.64	0.85	0.10
	Unhealthy	94.40	-	4.00	1.60
	Very Unhealthy	75.76	-	24.24	-
	Hazardous	100.00	-	-	-
Spring	Good	42.99	1.96	54.89	0.15
	Moderate	97.67	0.07	1.77	0.49
	Unhealthy	88.64	-	9.09	2.27
	Very Unhealthy	74.19	-	25.81	-
	Hazardous	100.00	-	-	-
Summer	Good	54.16	9.65	35.06	1.12
	Moderate	97.51	1.87	0.47	0.16
	Unhealthy	91.67	-	-	8.33
	Very Unhealthy	-	-	-	-
	Hazardous	-	-	-	-
Fall	Good	50.56	2.58	45.71	1.15
	Moderate	98.56	0.96	0.24	0.24
	Unhealthy	100.00	-	-	-
	Very Unhealthy	100.00	-	-	-
	Hazardous	-	-	-	-
Winter	Good	43.30	3.15	48.78	4.77
	Moderate	99.30	0.40	0.30	-
	Unhealthy	96.15	-	3.85	-
	Very Unhealthy	100.00	-	-	-
	Hazardous	-	-	-	-

### IV.3. 지수 산정방식에 따른 비교

본 연구에서는 개정된 PSI 지수 산정방식과 우리 나라 실정을 고려해서 재구성한 AEI와 AI 지수 산정 방식을 비교해 보고자 동일한 기간동안 동안의 대기질 측정자료로서 각 지수별로 지수값을 산정하여 Fig.5와 Fig. 6에 나타냈다. 여기에 동일 기간동안의 대기질 측정값도 참고로 제시하였다. Fig. 5와 Fig. 6은 시간대별 및 월별 PSI, AEI, AI 지수값의 변동 양상을 동일 기간의 대기오염물질의 농도 변동 양상과 함께 나타냈다.

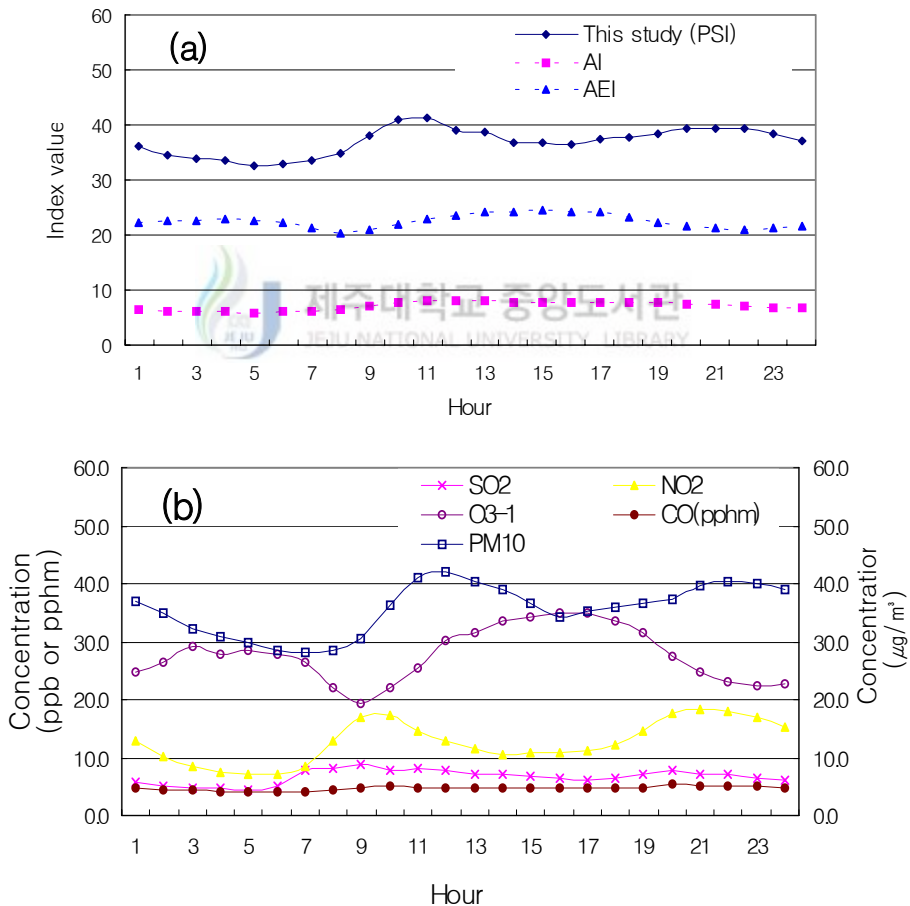


Fig. 5. Daily variation of various index values and air quality in Cheju city during 1996. 4~1997. 3, (a) index value, (b) air quality

Fig. 5에서 시간대별 변동 특성을 보면, AI 지수값의 시간대별 변화는 거의 없이 I 등급을 보이는데 비해서, AEI 지수값의 변동은 오존의 시간대별 변동 양상과 일치하면서 II등급 상태를 보이고, PSI의 경우 PM10의 시간대별 변동과 같은 양상을 보임을 알 수 있다. 그리고 PSI의 경우 10시에서 11시대에 최대값을 보이는 반면에 AI와 AEI는 오후 3~4 시경에 최대값을 보임을 알 수 있다.

Fig. 6에서 월별 변동 특성을 보면, 모든 지수값의 월별 추세는 전반적으로 모두 비슷한 형태를 보임을 알 수 있다. AEI의 월별 변동은 역시 오존의 월별 변동과 닮은 경향이고, PSI의 변동 경향은 PM10의 경우와 아주 유사하다. AEI 지수로 볼 때 대부분 II등급, AI 지수로 는 모두 I 등급인 대기질로 평가되었다. 그리고 PSI 지수인 경우, 봄철에 PSI 지수가 크게 증가하는 경향을 보이는데, 이는 황사 등의 현상에 의해 PM10의 농도가 증가하면서 봄철에 대기질이 일시적으로 악화되는 경향이 비교적 빈번함을 감안할 때 실제 대기 상태를 다른 지수 산정방식에 비해 비교적 잘 표현하고 있다고 생각된다.

그렇지만 이 PSI 지수 산정방식을 제주지역 대기질 평가에 보다 적극적으로 활용하기 위해서는 환경기준 및 대기질 측정항목에 TSP와 PM10에 근거한 환경기준의 수정이 따라야 할 것이고 그에 따라 현재 제주지역 2개의 대기질 측정소에서 각기 TSP와 PM10으로 측정항목이 불일치된 점이 시급히 개선되어야 할 것으로 생각된다. 그리고 우리 나라의 경우에도 환경기준에 PM2.5항목을 추가하는 사항을 깊이 있게 연구할 필요가 있을 것이라고 생각된다. 그와 아울러 각 측정항목의 결측 일수를 줄이는 노력을 기울여야 할 것이다.

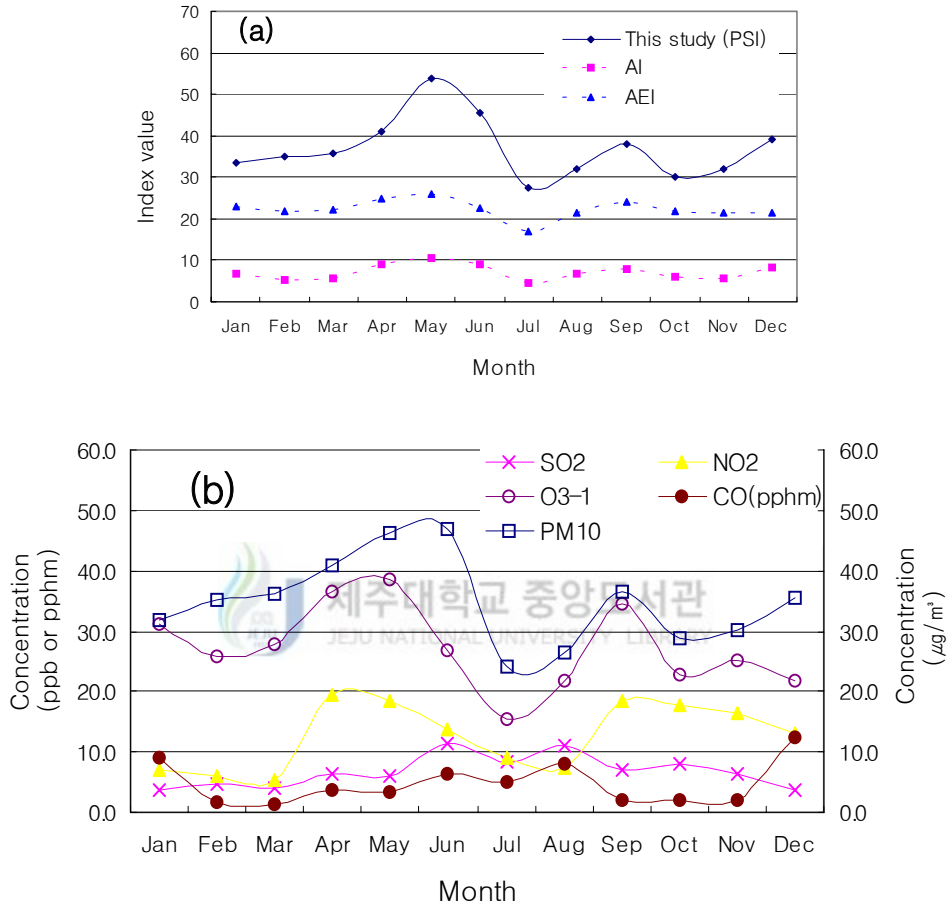


Fig. 6. Monthly variations of various index values and air quality in Cheju city during 1996. 4~1997. 3, (a) index value, (b) air quality.

## V. 결 론

제주시 지역의 대기질을 평가하기 위해 1996년부터 1998년까지의 대기오염 물질 측정자료를 토대로 하여 1998년에 새롭게 개정된 PSI 지수산정방식을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제주시 이도동 지역의 평균 부유분진의 농도는  $36.04\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10),  $\text{SO}_2$ 는 6.69 ppb,  $\text{NO}_2$ 는 13.75 ppb,  $\text{O}_3$ 은 29.79 ppb, CO는 0.62 ppm이었으며, 봄철에 PM10과  $\text{O}_3$ 의 농도가 높은 경향을 보였다.
2. 제주시 대기질은 PSI 지수값으로 볼 때 “양호”한 상태 또는 “보통”인 상태를 보였고, 조사기간 중 주요오염물질로서는 PM10이 58.2%로 가장 많고, 다음으로  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ , 그리고 나머지는 CO가 출현하였으며  $\text{NO}_2$ 는 주요오염물질로 선정된 적이 없었다.
3. PSI 지수 계급별 주요오염물질 분포는 모든 PSI 지수 계급에서 PM10이 가장 큰 비중을 차지할 뿐 아니라 간혹 출현하는 “매우 나쁜” 및 “위험”한 대기 상태일 때는 모두 PM10이 주요오염물질이었다. 그리고 오존이 주요오염물질로 비교적 빈번하게 출현하기는 하지만, 특히 봄철에, 그렇더라도 제주시 대기질은 거의 대부분이 양호한 상태인 것으로 평가되었다.
4. PSI 지수값에 대해서 시간별 평균 최고치는 11시에 나타났으며, 월별 평균치로는 5월에 최고치를 보였다.
5. 청정한 대기질을 보이는 제주시 지역에서 수정된 PSI 지수를 적용함에 있어 AI와 AEI와 같은 다른 대기질 지수의 적용시와는 달리 황사시와 같이 일시적으로 대기질이 악화되는 상태 또는 오존 농도가 증가하는 상황을 비교적 잘 반영하는 것으로 평가할 수 있었다.

#### IV. 참 고 문 헌

- Angle, R. P. and H. S. Sanshu, 1989, Urban and rural ozone concentrations in Alberta, Canada. *Atmospheric Environment*, No. 23, pp.215~221.
- Eder, B. K., J. M. Davis and P. Bloomfield, 1993, A Characterization of the spatiotemporal, variability of non-urban ozone concentrations over the eastern united states, *Atmospheric Environment*, No. 27, pp.2645~2668.
- EPA, 1978, Rapid Techniques for Calculating the Pollutants standards index, pp.1~8.
- EPA, 1976, Guideline for public reporting of daily air quality pollutant standards index, 450/2-76-103.
- EPA, 1998, Federal Register, Vol.63, No. 236, 67818-67834.
- 허철구,이기호,박용이, 1997, 대기환경지수를 이용한 제주지역 대기질 평가에 관한 기초적 연구, 환경연구논문집, 제주대학교 환경연구소, pp.87~101.
- Inhaber, H., 1974, Environmental Quality ; Outline for a National Index for Canarda, *Scence*, Vol. 186, pp.801~803.
- 정병일,김유근,이화운, 1994, 부산지역의 SO<sub>2</sub> 농도변화 특성에 관한 고찰, 한국 대기보전학회지, 제 10권 4호, pp.245~251.
- 정용승, 윤마병, 1994, 황사의 사례분석과 한반도 유입량, 한국대기보전학회지, 제10권, 4호, pp.233~244.
- 국립환경연구원, 1990, 환경지표의 종합체계와 기법개발 및 활성방안에 관한 연구( I ), 과학기술처 보고서.
- 이도철, 1995, 대기질 지수 산정방식에 의한 대기질 평가, 석사학위논문, 경성대학교 산업대학교, pp.4~34, pp.41~46.
- Sunwoo, Y., G. R. Carmichael and H. Ueda, 1994, Characteristics of background surface ozone in Japan, *Atmospheric Environment*, No. 28, pp.25~37.
- 신찬기, 한진석, 김윤신, 1992, 대기오염 농도와 기상인자의 관련성 연구, 한국대기보전학회지, 제 8권 4호, pp.213~220.
- Wakamatsu, S., I. Uno, H. Ueda and K. Uehara, 1989, Observational study of

- stratospheric ozone intrusions into lower troposphere, Atmospheric Environment, No. 23, pp.1815~1826.
- Warneck, P., 1988, Chemistry of the natural atmosphere, Academic Press, 757p.
- 양병이, 1981, 환경지표를 활용한 도시환경 실태 분석에 관한 연구, 환경농촌, Vol. 8, pp.54~65.
- 日本化學會, 1974, 환경질이 지표, 환성주식회사, pp.1~15, pp.197~210.
- <http://www.EPA.gov/airprogram/oar/oaqps/airnow/sdrftpsi.html>
- <http://www.EPA.gov/airprogram/oar/oaqps/psi.html>
- <http://www.EPA.gov/ttn/oarpg/t1/memoranda/rprtguid.pdf>





## 감사의 글

저의 논문이 완성되기까지 모든 분야에서 일일이 따뜻한 조언과 아낌 없는 충고로 저희 부족한 점을 다듬어 주시고 물심양면으로 적극 지도해 주신 이기호 교수님께 먼저 감사를 드립니다.

또한 양질의 논문이 완성 될 수 있도록 항상 곁에서 조언을 아끼지 않으신 허철구, 조은일 교수님께도 더불어 감사의 말씀을 드리며 오윤근, 허 목, 감상규, 이용두 교수님께도 큰 감사를 드립니다. 항상 바쁘신 가운데도 밤 세워가며 자료를 정리해 주신 박용이 선생과 처음부터 끝까지 조그마한 일에도 도움을 아끼지 않은 김정미 동문에게도 깊은 감사를 드리며, 또한 참고 논문 자료 수집에 도움을 주신 제주대학교 도서관 강일호 선생님께도 감사를 드립니다.

한편 본 논문이 완성 될 수 있도록 여러 가지 자료를 제공해 주신 환경부 영산강지청 제주출장소 소장님과 윤남호 계장, 김수진 선생께도 아울러 감사의 말씀을 전하는 바입니다.

그리고 만학의 길을 들어설 수 있도록 옆에서 항상 격려해 주시고 끝까지 학문을 마칠 수 있도록 도와주신 보건환경연구원 고용구 원장님께도 마음속 깊이 감사를 드리며 항시 같은 업무와 연구활동에 활발한 토론을 통해 연구 논문이 완성 될 수 있도록 도와준 대기보전과 동료직원인 김영주, 김형철, 양경하 연구사와 수질보전과 송영철 연구사에게도 더불어 감사의 마음을 전합니다.

특히 만학의 길에서 몇 밤을 세워가며 곁에서 사랑으로 정성을 기우려 주며 용기를 북돋아주어 끝까지 힘이 되어준 아내와 사랑하는 아들 기범과 딸 연숙, 연주에게도 감사하며 끝으로 항상 따뜻한 감정으로 도와주신 형제, 친지 및 친구 여러분께 감사한 마음을 이 작은 보람에 담아 드립니다.

1999년 6월

김 식 유

Table 2.6. Breakpoints for the PSI

These breakpoints				equal These PSIs			Category	
O <sub>3</sub> (ppm) 8-hr	O <sub>3</sub> (ppm) 1-hr <sup>1)</sup>	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	CO (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	PSI	
0.000-0.069	-	0-54	0.0-15.4	0.0-4.4	0.000-0.034	(2)	0-50	Good.
0.070-0.084	-	55-154	15.5-65.4	4.5-9.4	0.035-0.144	(2)	51-100	Moderate.
0.085-0.104	0.125-0.164	155-254	65.5-100.4 <sup>5)</sup>	9.5-12.4	0.145-0.224	(2)	101-150	Unhealthy for sensitive groups.
0.105-0.124	0.165-0.204	255-354	100.5 -150.4 <sup>5)</sup>	12.5-15.4	0.225-0.304	(2)	151-200	Unhealthy.
0.125-0.374 (0.155-0.404) <sup>4)</sup>	0.205-0.404	355-424	150.5 -250.4 <sup>5)</sup>	15.5-30.4	0.305-0.604	0.65-1.24	201-300	Very unhealthy.
(3)	0.405-0.504	425-504	250.5 -350.4 <sup>5)</sup>	30.5-40.4	0.605-0.804	1.25-1.64	301-400	
(3)	0.505-0.604	505-604	350.5 -500.4 <sup>5)</sup>	40.5-50.4	0.805-1.004	1.65-2.04	401-500	Hazardous.

1): Areas are required to report the PSI based 8-hour ozone values, there are areas where a PSI based 1-hour ozone values would be more protective. In these cases, the index for both the 8-hour and the 1-hour ozone values may be calculated and the maximum PSI reported.

2): NO<sub>2</sub> has no short-term NAAQS and can generate a PSI only above a PSI value of 200.

3): 8-hour O<sub>3</sub> values do not define higher PSI values( $\geq 301$ ). PSI values of 301 or higher are calculated with 1-hour O<sub>3</sub> concentrations.

4): The numbers in parentheses are associated 1-hour values to be used in this overlapping category only.

5): If different SHL for PM<sub>2.5</sub> promulgated, these numbers will change accordingly only.

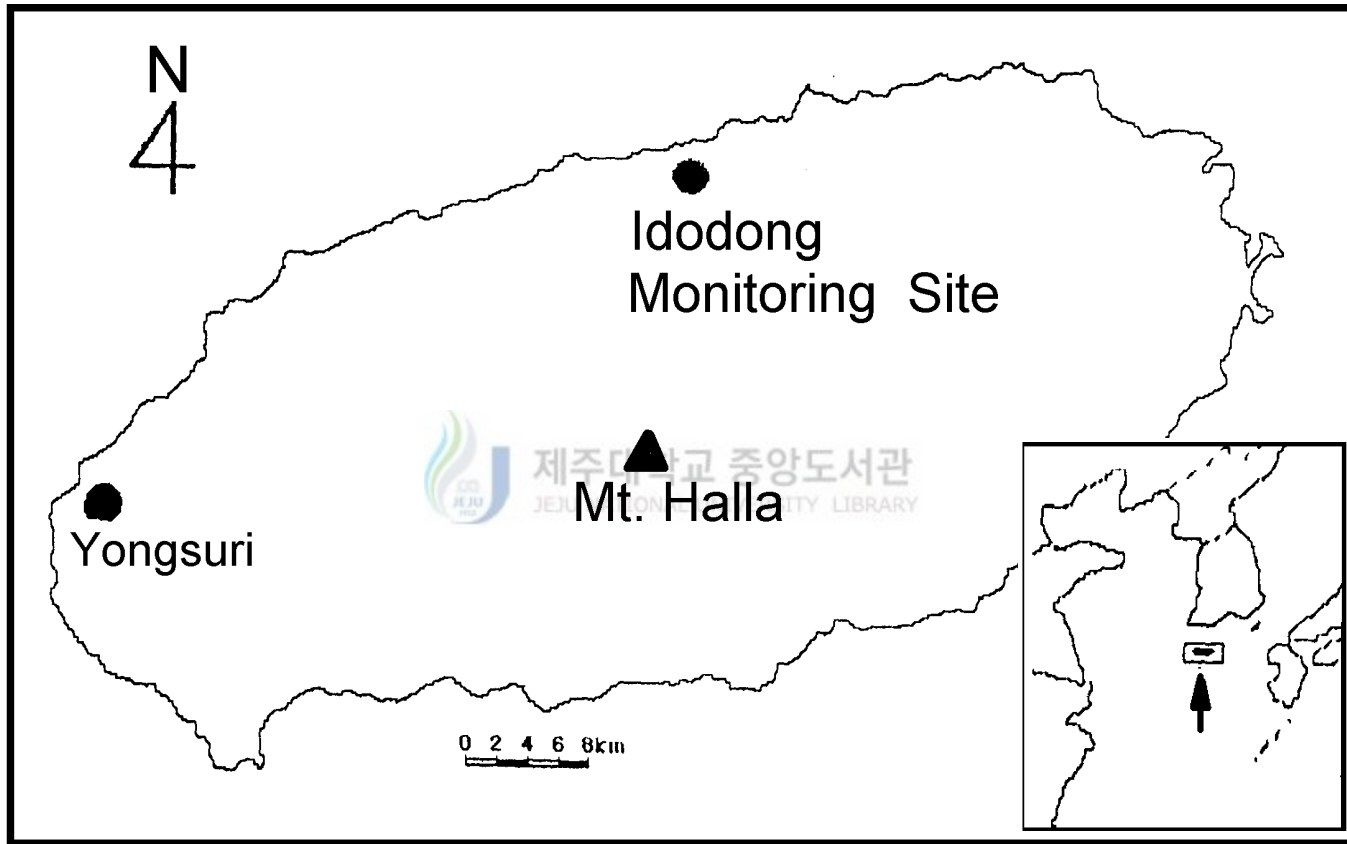


Fig. 1. The location of monitoring network for measuring the air quality of Cheju city.

Table 2.7. Pollution-specific health effects statements for the PSI

Proposed Category	Ozone (ppm)		Particulate Matter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Carbon Monoxide(ppm)	Sulfur Dioxide (ppm)
	[8-hour]	[1-hour]	PM <sub>2.5</sub> [24-hour]	PM <sub>10</sub> [24-hour]	[8-hour]	[24-hour]
Good	None		None	None	None	None
Moderate	Unusually sensitive individuals may experience respiratory symptoms.		Possibility of aggravation of heart or lung disease among persons with cardiopulmonary disease and the elderly.	None	None	None
Unhealthy for sensitive Groups	Increasing likelihood of respiratory symptoms and breathing discomfort in sensitive groups.	Increasing likelihood of respiratory symptoms and breathing discomfort in sensitive groups.	Increasing likelihood of respiratory symptoms in children and adults, aggravation of heart or lung disease and premature mortality in persons with cardiopulmonary disease and the elderly.	Increasing likelihood of respiratory symptoms and aggravation of lung disease.	Increasing likelihood of reduced exercise tolerance due to increased cardiovascular symptoms, such as chest pain, in people with cardiovascular disease.	Increasing likelihood of respiratory symptoms, such as chest tightness and wheezing, in people with asthma.
Unhealthy	Greater likelihood of respiratory symptoms and breathing difficulty in sensitive groups; possible respiratory effects in general population.	Greater likelihood of respiratory symptoms and breathing difficulty in sensitive groups; possible respiratory effects in general population	Increased respiratory symptoms in children and adults, aggravation of heart or lung disease and premature mortality in persons with cardiopulmonary disease and the elderly.	Increased respiratory symptoms and aggravation of lung disease.	Reduced exercise tolerance due to increased cardiovascular symptoms, such as chest pain, in people with cardiovascular disease.	Increased respiratory symptoms, such as chest tightness and wheezing, in people with asthma; possible aggravation of heart or lung disease.

Table 2.7. Continued

Proposed Category	Ozone (ppm)		Particulate Matter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Carbon Monoxide(ppm)	Sulfur Dioxide (ppm)
	[8-hour]	[1-hour]	PM <sub>2.5</sub> [24-hour]	PM <sub>10</sub> [24-hour]	[8-hour]	[24-hour]
Very Unhealthy	Increasingly severe symptoms and impaired breathing likely in sensitive groups; increasing likelihood of respiratory effects in general population.	Increasingly severe symptoms and impaired breathing likely in sensitive groups; increasing likelihood of respiratory effects in general population.	Significant increase in respiratory symptoms in children and adults, aggravation of heart or lung disease and premature mortality in persons with cardiopulmonary disease and the elderly.	Significant increase in respiratory symptoms and aggravation of lung disease.	Significant aggravation of cardiovascular symptoms, such as chest pain, in people with cardiovascular disease.	Significant increase in respiratory symptoms, such as wheezing and shortness of breath, in people with asthma; aggravation of heart or lung disease.
Hazardous	Severe respiratory effects and impaired breathing likely in sensitive groups; increasingly severe respiratory effects likely in general population.	severe respiratory effects and impaired breathing likely in sensitive groups; increasingly severe respiratory effects likely in general population.	Serious risk of respiratory symptoms in children and adults, aggravation of heart or lung disease and premature mortality in persons with cardiopulmonary disease and the elderly.	Serious risk of respiratory symptoms and aggravation of lung disease.	Serious aggravation of cardiovascular symptoms, such as chest pain, in people with cardiovascular disease.	Severe respiratory symptoms, such as shortness of breath, in people with asthma; serious risk of aggravation of heart or lung disease.

Table 2.8. Pollutant-specific cautionary statements proposed revisions to the PSI

Proposed Categories	Ozone(ppm)		Particulate Matter( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Carbon Monoxide(ppm)	Sulfur Dioxide (ppm)
	[8-hour]	[1-hour]	PM <sub>2.5</sub> [24-hour]	PM <sub>10</sub> [24-hour]	[8-hour]	[24-hour]
Good	None		None	None	None	None
Moderate	Unusually sensitive people should consider limiting prolonged outdoor exertion.		None	None	None	None
Unhealthy for Sensitive Groups	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should limit prolonged outdoor exertion.	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should limit heavy outdoor exertion.	People with respiratory heart disease and the elderly should limit prolonged exertion.	People with respiratory disease, such as asthma, should limit moderate or heavy exertion.	People with cardiovascular disease, such as angina, should limit heavy exertion and avoid sources of CO, such as heavy traffic.	Asthmatic children and adults should consider limiting outdoor exertion
Unhealthy	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should avoid prolonged outdoor exertion ; everyone else, especially children, should limit prolonged outdoor exertion.	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should avoid heavy outdoor exertion ; everyone else, especially children, should limit heavy outdoor exertion.	People with respiratory and heart disease and the elderly should avoid prolonged exertion; everyone else, especially children, should limit prolonged exertion.	People with respiratory disease, such as asthma, should avoid moderate or heavy exertion; everyone else, especially children and the elderly, should limit prolonged exertion.	People with cardiovascular disease, such as angina, should limit heavy exertion and avoid sources of CO, such as heavy traffic.	People with asthma, bronchitis, and heart disease, and children should limit outdoor exertion

Table 2.8. Continued

Proposed Categories	Ozone(ppm)		Particulate Matter( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Carbon Monoxide(ppm)	Sulfur Dioxide (ppm)
	[8-hour]	[1-hour]	PM <sub>2.5</sub> [24-hour]	PM <sub>10</sub> [24-hour]	[8-hour]	[24-hour]
Very Unhealthy	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should avoid all outdoor exertion; everyone else, especially children, should limit outdoor exertion.	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should avoid all outdoor exertion; everyone else, especially children, should limit outdoor exertion.	People with respiratory and heart disease the elderly should avoid any outdoor activity; everyone else, especially children, should avoid prolonged exertion.	People with respiratory disease should avoid any outdoor activity; everyone else, especially children and the elderly, should avoid moderate or heavy exertion.	People with cardiovascular disease, such as angina, should limit heavy exertion and avoid sources of CO, such as heavy traffic.	People with asthma, bronchitis, and heart disease, and children should avoid outdoor exertion
Hazardous	Everyone should avoid all outdoor exertion.	Everyone should avoid all outdoor exertion.	Everyone should avoid any outdoor exertion ; people with respiratory and heart disease, the elderly, and children should remain indoors.	Everyone should avoid any outdoor exertion ; people with respiratory disease, such as asthma, the elderly and children should remain indoors.	People with cardiovascular disease, such as angina, should avoid exertion and sources of CO, such as heavy traffic; everyone else should limit heavy exertion	Everyone should avoid any outdoor exertion