

경험적 예측모형을 통한 우리나라 주요 도시의 대기청명도 평가

조덕기* · 최인수*

Atmospheric Clearness Estimation of Major Cities in Korea Using Empirical Forecasting Models

Dok-Ki Jo* · In-Soo Choi*

■ Abstract ■

Since the atmospheric clearness index is one of the main factors for evaluating atmospheric circumstances, it is necessary to estimate its characteristics all over the cities in Korea. This study was focused on the evaluation of atmospheric condition for each 15 cities in terms of respectively or mutually analyzed clearness factor that was predicted on the assumed clear day with the model using factors such as average global insolation, cloud amount, and duration of sunshine measured for two years between 1996 and 1997. The new clearness index data will be extensively used by atmospheric circumstances analysts as well as by solar application designers or users.

1. 서 론

1960년대 후반 이후의 급속한 산업발전과 도시화에 따라 도시기후가 큰 영향을 받고 있다. 우선, 도시에 인구가 집중됨에 따라 도시에서의 에너지

사용량, 특히 전력소비량이 급속히 증가하며, 이에 따른 에너지 소모량에 대처하기 위해서는 석탄이나 석유를 열원으로 하는 화력발전소나 도시가스 공장 등 관련 대소공장들이 건설되어야 한다. 또한 여기서의 에너지 공급량과 사용량이 늘어남에 비

래하여 발생하는 매연은 도시 전지역으로 확산되며, 이로 인한 일사량의 감소는 도시기후에 큰 변화를 일으키게 한다. 동시에 도시화할 수록 도시를 중심으로한 수송량이 증가하며, 그 주요부분을 차지 하고 있는 자동차는 공장에서 배출되는 연기와 비슷한 배기가스를 배출함으로써 역시 도시기후에 큰 변화를 몰고 오게 된다.

따라서, 도시에 입사되는 일사는 그 도시를 중심으로 한 특수기후가 형성되는 과정과 도시기후를 변화시키는 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다. 즉, 도시내에는 매연이나 부유분진, 배기가스 등 대기 오염물을 많이 포함하고 있는데, 이것들이 도시내에 입사하는 태양복사선의 투과를 방해하기 때문에, 대기오염이 심화되고 있는 대도시나 공업도시에 입사하는 일사량을 도시외곽 내지 전원지역, 소도시에 입사되는 일사량과 비교하여 볼 때 현저하게 나타나고 있다. 이와 같은 오염물질의 대기권 축적에 따른 일사의 감쇄현상은 주민건강 생활의 유지와 환경보존에 있어서도 매우 중요한 문제가 아닐 수 없다.

본 연구에서 주요 15개 도시에서 '96 ~ '97년 사이에 측정된 최근 2년간의 평균 일사량, 운량, 일조시간 자료를 1일별로 정리·분석하여 예측모형에 의해 구름의 영향을 전혀 받지 않은 청명한 날에 있어서 도시별 혹은 도시간의 대기의 청명도를 분석해 봄으로써 해당도시의 대기환경을 평가하고자 하는데에 그 목적을 두고 있다.

2. 대기청명도와 관련된 이론적 배경

2.1 일사예측 해석

1922년 초기에 분광학자인 Angstrom에 의해 최초로 월평균 1일 청명일사량(淸明日射量)에 대한 수평면 전일사량(全日射量)의 비를 그 지방의 월평균 1일 일조율 즉, 월평균 1일 가조시간에 대한 일조시간의 비와의 관계식으로 식 (1)과 같이 제시되면서 부터 일사량을 이론적으로 예측하기 위한 연

구가 시작되었다.

$$\frac{H}{H_c} = a' + b' \frac{n}{N} \quad (1)$$

여기서, H : 월평균 1일 수평면 전일사량

H_c : 월평균 1일 청명일사량

n : 월평균 1일 일조시간

N : 월평균 1일 가조시간(可照時間)

n/N : 일조율(日照率)

a, b' : 경험적 상수(常數)

이다.

그러나, 위 식은 청명일(淸明日)이라는 개념이 명확하지 않아 최근에 와서는 이와같은 문제점을 보완하기 위하여 Page(1964) 및 Garg(1967)와 같은 학자들은 청명일일사량 대신에 대기권밖 일사량을 근거로 한 관계식으로 식 (2)와 같이 유도하였다.

$$\frac{H}{H_0} = a + b \frac{n}{N} \quad (2)$$

여기서, H_0 : 월평균 1일 대기권밖 일사량

H/H_0 : 일사율(日射率)

a, b : 개정된 경험적 상수

이다. 그런데, 월평균 1일 대기권밖 일사량은 식 (3)에 의해 산출할 수 있다.

$$H_0 = 24 \times 3600 / \pi \cdot G_{sc} [1 + 0.033 \cos(360d/365)] \times [\cos \phi \cos \delta \sin \delta] + 2\pi \omega_s / 360 \cdot \sin \phi \sin \delta \quad (3)$$

여기서, G_{sc} : 태양상수 ($1,353 \text{ W/m}^2$)

d : 통산일(通算日)

ϕ : 해당지방의 위도

δ : 일적위

$$= 23.45 \sin(360 \cdot 284d/365)$$

ω_s : 일몰시간각

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta$$

이다.

이때, 해당일의 1일 최대 가조시간 N' 는 해당지방의 위도와 일적위를 통하여 산출할 수 있으며,

그 산출식은 식 (4)와 같다.

$$N' = \frac{5}{12} \cos^{-1} (-\tan \Phi \tan \delta) \quad (4)$$

또한, 전천을 하나로 하여 육안으로 본 구름의 면적과의 비로 표시되는 운량치를 이용한 일사량 예측방법 역시 많은 학자들에 의해 연구되어 월평균 1일 대기권밖 일사량에 대한 수평면 전일사량의 비와 월평균 1일 운량과의 경험적인 상관관계를 식 (5)와 같이 제시하였다.

$$\frac{H}{H_0} = a'' + b'' C \quad (5)$$

여기서, C : 월평균 1일 운량치

a'', b'' : 운량을 기초로 한 상수

이다.

그러나, 위 식은 일사와 운량의 상호관계를 더욱 발전시키기 위한 노력으로 Norries(1968)에 의해 여러번 재검토가 시도되었고, 또한 Bennet(1965)는 일사율, H/H₀와 운량, C 그리고 일조율, n/N과의 상관관계를 서로 비교하여 일조율이 운량치보다도 일사율과 더 이상적인 상호관계를 갖는다는 점을 발견하였다.

한편, Masson(1966)은 월평균 1일 일조시간에 대한 수평면 전일사량과의 관계를 곡선함수로 제시하였는데, 이 곡선의 경향은 월평균 1일 일조시간이 7시간보다 크거나 같을 경우에는 직선함수의 성향을 갖게 되는 것으로 나타나고 있다. 이 결과를 수식으로 나타내면 식 (6), 식 (7)과 같다.

$$(n + 2.64)^2 / (2.64)^2 - (H-60)^2 / (99)^2 = 1 \quad (6)$$

$$H = 60 + (1406.2 n^2 + 7426.6 n)^{1/2} \quad (7)$$

여기서, H : 월평균 1일 수평면 전일사량 (ly/day)

n : 월평균 1일 일조시간 (hrs)

이다.

또한, Sabbagh등(1973)은 두개의 임의의 상수와 월평균 1일 일조시간, 그리고 월평균 1일 가조시간과의 상관관계를 식 (8)과 식 (9)와 같은 대수식으로

로 제시하였다.

$$H = (A + B \ln k) n \quad (8)$$

$$H = (A' + B' \ln k) N \quad (9)$$

여기서, A = 42, B = 12, A' = 35, B' = 11 이며, k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 6, 5, 4, 3, 2, 1 로서 1월부터 12월까지의 순차적인 값이다.

Bennett(1967)는 Angstrom 관계식에 매개변수를 사용하여 두개의 상관식을 유도하였다. 첫번째의 식은 캐나다 전지역에서 각각 6월과 12월에 적용할 수 있는 상관식으로 식 (10)과 식 (11)과 같이 제시하였다.

$$H = H_0 (311.6 + 4.94 S_r) \quad (10)$$

$$H = H_0 (194.8 + 7.85 S_r) \quad (11)$$

여기서, H₀은 월평균 1일 대기권밖 일사량이며, S_r은 월평균 1일 일조율이다. 다른 두번째의 식은 북미지역에서 각각 6월과 12월에 적용할 수 있는 상관식을 식 (12)와 식 (13)과 같이 산출하였다.

$$H = H_0 (314.0 + 4.22 S_r + 0.0144 e) \quad (12)$$

$$H = H_0 (128.1 + 7.20 S_r + 0.0144 e) \quad (13)$$

여기서, e는 해당지방의 고도로 단위는 피어트(ft)이다.

또한, Swatman과 Ogunlade(1966)은 월평균 1일 습도값을 이용한 상관식들을 다음과 같이 제시하였다.

$$H = 490 D'^{0.357} h^{0.202} \quad (14)$$

$$H = 460 e^{0.6079(D' \cdot R)} \quad (15)$$

$$H = 464 + 265 D' - 284 h \quad (16)$$

여기서, h : 월평균 1일 습도

D' : 12시간에 대한 월평균 1일 일조시간의 비

이다.

또한, Goldberg와 Klien(1978)은 측정된 데이터를 토대로 지표면의 1일 수평면전일사량을 예측하

기 위한 모델을 식 (17)과 같이 제시하였다.

$$H = \frac{H_0'}{2} [1 + e^{-m' \cdot R} e^{-m'(r+a_{oz} \cdot x)} + 0.1] F_c \cos Z \quad (17)$$

- 여기서, H_0' : 1일 대기권밖 일사량
- R : 가중(加重) Rayleigh 산란계수 (0.014)
- a_{oz} : 가중 오존층의 흡수계수 (0.045)
- x : 오존층의 두께 (0.3 cm)
- m' : 해당일의 유효공기질량(有效空氣質量)
 $= 0.346 + 1.011 m + 0.0786 m^2$
- m : 공기질량
- Z : 태양의 천정각
- τ : 반사효과가 고려된 불투명도
- F_c : 평균 운량의 보정치

이다.

이외, 지표면에 입사되는 월평균 1일 수평면 전일사량을 예측하기 위한 새로운 수식도 Reddy (1971)에 의해 개발되어 식 (18)과 같은 관계식으로 발전되었다.

$$H = K [(1+0.8S)(1-0.2t)/\sqrt{h}] \text{ (cal/cm}^2\text{/day)} \quad (18)$$

- 여기서, K : $(\lambda N + \Psi_{ij} \cos L)10^2$
- L : 해당지역의 위도
- λ : $0.2/(1+0.1L)$ 인 위도계수
- N : 월평균 1일 가조시간
- Ψ_{ij} : 계절적 변화계수 (i는 1과 2의 값으로 내륙지방은 1, 해안지방은 2로 나타내며, j값은 1~12 사이로 월별의 값은 <표 1>과 같음.)
- S : 월평균 1일 일조율 (n/N)
- n : 월평균 1일 가조시간
- t : r/m (r = 해당월의 우천일수, m = 해

당월의 일수)

h : 월평균 1일 습도값

이다.

이 밖에도 수평면 전일사량을 예측하기 위한 매우 단순한 경험식이 Barbaro(1978)등에 의해 다음과 같은 식으로 발표된 바 있다. 이 식은 이탈리아 전지역에서 10여년간 측정된 데이터를 사용하여 작성한 식이다.

$$H = K(S_m)^{1.24}(a_n)^{-0.19} + 10,550(\sin a_n)^{2.1} + 300(\sin a_n)^3 \quad (19)$$

여기서, H : 월평균 1일 수평면 전일사량 (cal/m²/day)

S_n : 월평균 1일 일조시간

a_n : 해당월 15일경의 태양정오시의 태양 고도

K : 대역계수 (대역 1=8, 대역 2=9.5, 대역 3=11)

이다.

본 논문에서는 일반적으로 대부분의 대기현상을 설명하는 데 있어서 어떤 종속변수의 변화는 두 개 이상의 독립변수에 의하여 영향을 받으므로, 설명력 있는 독립변수를 여러 개 잘 선택하여 이들의 함수로서 종속변수의 변화하는 특성을 설명하여 단순회귀에 비하여 좀 더 정확한 예측을 할 수 있도록 하였다. 여기서는 해당 측정지의 지표면에 입사하는 수평면 전일사량을 종속변수로 잡고 여기에 영향을 주는 여러 독립변수, 즉 하늘을 덮고 있는 구름의 양(운량)이나, 태양이 구름이나 안개 등에 차단되지 않고 지표면에 비치는 시간인 일조시간 등을 선택하는 중회귀모형의 도출을 시도하였

<표 1> 북반구에서의 계절적 변화계수

계수 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ψ_1	1.28	1.38	1.54	1.77	2.05	2.30	2.48	2.41	2.36	1.73	1.38	1.17
Ψ_2	1.46	1.77	2.05	2.05	2.05	2.05	2.10	2.17	2.14	1.96	1.60	1.43

다. 이 모형은 n 개의 데이터에 대하여

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i$$

[$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ 이고, 서로 독립]
 $i=1, 2, \dots, n$ (20)

으로 표현된다.

먼저 중회귀모형의 두 개 독립변수에 대한 회귀 분석을 고려해 보면, 종속변수 y 와 두 개의 독립변수 x_1 과 x_2 사이에 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon \quad (21)$$

여기서, y : 해당 관측지의 일별 수평면 전일사량 ($Wh/m^2 \cdot day$)

x_1 : 해당 관측지의 일별 운량

x_2 : 해당 관측지의 일별 일조시간 (Hrs)

으로 표현된다. 또한 $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 는 미지의 모수이며, ε 는 측정오차로서 $N(0, \sigma^2)$ 의 분포에 따르고 오차항 간에는 상호 독립이라고 가정한다.

2.2 태양에너지 감쇄현상 해석

2.2.1 일사량과 대기상태와의 상관관계

태양광선은 대기권밖으로부터 지구의 대기층을 통과할 때 일부는 흡수되거나 산란되고, 일부는 다시 대기권밖으로 재반사된다. 따라서, 지표면에 도달되는 유효일사량은 대기 자체의 특성에 의해 밀접한 영향을 받게되며, 대기를 구성하는 분자는 각각 특유한 파장영역에서 일사를 흡수한다.

대기밖의 태양방사는 X선(파장 $<10\text{\AA}$)을 비롯해서 극단자외선(파장 $10\text{\AA} \sim 2000\text{\AA}$)으로부터 중간자외선(파장 $2000\text{\AA} \sim 3150\text{\AA}$)까지 짧은 파장의 빛도 포함하고 있으나 이것들은 초고층의 대기 중의 분자로 완전히 흡수되어 지구표면에 도달하지 않으며, 지상에 도달하는 최단의 파장은 약 3000\AA 이내 이다. 또한 일사의 최장의 파장은 대략 $5\mu m(1\mu m=10^4\text{\AA})$ 이며, 물론 이것보다도 긴 방사가 포함되어 있지만 그 에너지는 극히 적어 문제가 되

지 않는다. 이와같이 일사의 파장영역에서는 일사에 뚜렷한 흡수의 효과를 나타내는 것으로 수증기에 의한 흡수, 오존의 흡수, Mie산란, Rayleigh 산란 등이 있다.

1) 수증기 등의 분자에 의한 흡수

수증기의 흡수는 일사의 장파장측, 즉 근적외역(近赤外域)에 집중되어 있고, 비교적 좁은 파장영역에서 강한 흡수를 나타내는 6개의 흡수대로 나뉘어져 있다. 각각의 흡수의 강도는 다르지만 실제의 흡수량은 대기중에 포함되는 수증기량에 따라 결정된다.

오존의 흡수는 수증기와 반대로 자외역(紫外域)에 대단히 강한 흡수대를 가지며, 가시역에 약한 흡수대를 가지고 있다. 또한 오존은 고도 약 20 km 부근의 대기중에서 극대농도를 가진 오존층을 형성하여 3000\AA 부근의 자외선을 강하게 흡수하고, 지표면에 도달하는 자외선에 크게 영향을 주고 있다.

$15^\circ C$, 1기압으로 $1(cm)$ 의 두께를 가지는 오존층만의 기체를 생각하고, 여기에 $I_0(\lambda)$ 의 강도를 가지는 파장 λ 의 일사가 입사할 때, 이 층을 통과한 투사일사강도 $I(\lambda)$ 의 흡수계수 k 는 다음 식으로 정의할 수 있다.

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp(-k\lambda t) \quad (22)$$

2) 부유입자(浮游立子)에 의한 산란

지구대기에 입사한 일사는 수증기와 오존에 의한 흡수현상외에 공기분자와 부유입자인 에어로졸에 의한 산란의 효과를 받는다. 흡수의 현상이 특정의 파장영역에 한 정되어 있는데 대하여 산란은 전파장에 걸쳐서 나타난다.

대기내에 생기는 일사의 산란현상은 공기분자에 의한 것과 에어로졸(aerosol)입자에 의한 것과는 상당히 다르다. 이것은 입사하는 파장에 대하여 공기분자는 극히 작은데에 반하여 에어로졸입자는 대단히 크고, 그 반경은 파장과 거의 같은 특성을

가지고 있다.

공기분자에 의한 산란은 레이리(Rayleigh)산란이라 불리우며, 에어로졸입자에 의한 산란은 미(Mie)산란이라 한다. 레이리산란의 특징은 분자에 의해서 산란되는 빛이 입사광이 나아가는 방향과 반대의 방향으로 대칭적으로 분포된다. 이때,

$$I_{\lambda}(\theta) = \pi^2 V^2 (n_{\lambda}^2 - 1)^2 (1 + \cos^2 \theta) 2R^2 \lambda^4 \quad (23)$$

로 표시된다. 여기서, V 는 산란하는 공기분자의 체적, R 은 V 의 중심과 관측점의 거리이며, n_{λ} 는 공기분자의 굴절율, θ 는 입사광의 방향에서 켄 산란각이다. 또한 식 (23)은 입사광의 강도를 1로 본 경우이며, $\theta < 90^\circ$ 의 범위를 전방산란역(前方散亂域), $\theta > 90^\circ$ 의 범위를 후방산란역(後方散亂域)이라고 한다. 그러나 이 식에서 전방산란과 후방산란은 같으며, 산란각에 대해서 전역에 걸쳐 적분하면, 산란광의 총량을 얻을 수 있다. 이것을 식으로 나타내면,

$$\sigma_{\lambda} = 32\pi^3 (n_{\lambda} - 1)^2 / 3N\lambda^4 \quad (24)$$

로 표시된다. 여기서, N 은 단위체적중의 공기분자의 수이다. 식 (24)를 보면 산란 광의 세기는 파장 λ 의 4승에 역비례하고 있음을 알 수 있다. 이것은 단파장의 빛은 대기층을 통과할 때에 상당히 산란되어지는 반면에, 장파장의 빛은 거의 산란되지 않음을 의미하며, 이것은 하늘이 파랗게 보이는 원인이 된다.

미산란의 특징은 전방산란과 후방산란의 강도가 비대칭이고, 전방산란측이 매우 강하다. 또한 1개의 입자에 의해서 산란된 빛의 세기의 각도분포를 나타내는 식은 앞의 레이리산란과 같이 간단하게 표시할 수 없으며, 이것이 에어로졸입자를 포함하는 대기를 투과하는 일사량을 구하는 경우에 문제를 어렵게 하고 있다.

대기중에는 여러가지 반경을 가진 에어로졸입자가 존재하고 있고, 그 양과 입경(粒徑)분포는 항상 변동하고 있다. 공기분자만이라고 가정한 대기의 경우 즉, 레이리대기에는 지표면에 입사하는 일사

량은 계산에 의해서 완전한 이해를 얻는데 반하여 에어로졸을 포함한 대기의 경우에는 이해를 얻는 것이 대단히 어렵다. 이것은 앞에서 언급한 것처럼 입자에 의한 산란의 현상이 복잡하고, 동시에 실정을 아는 것이 어려우며, 그 변동 역시 매우 심하기 때문이다.

에어로졸의 산란에 의해서 생기는 하나의 현상으로서 태양주변광(aureole)이 있다. 이것은 산란 입자에 의한 산란광의 강도가 산란각의 작은 영역에서 대단히 강하기 때문에 생기는 것으로, 특히 태양으로부터의 각도가 약 10° 보다 적은 영역의 하늘의 밝기는 매우 크게 나타나고 있다. 또한 이것은 육안으로 볼 때 태양의 주변이 희게 빛나고 있는 현상으로 그 밝기는 에어로졸 상태에 따라 다르게 나타나고 있다.

이와 같이 에어로졸의 효과는 실제 대기중의 현상을 복잡하게 하고 있으나, 아직도 그 실정은 완전히 파악되지 않고 있다. 에어로졸의 입경(立徑)분포의 평균상태는 $n(r) = Cr^{-v}$ 의 형태로 표시되며, 응계분포 혹은 지수법칙분포라고 불리운다. 여기서, v 의 값으로서는 2.5 ~ 4.0 범위의 수치가 사용되고 있으며, 입자의 반경 r 은 일사에 효과를 미치는 영역으로 그 범위는 $0.05 \sim 10 \mu\text{m}$ 이다.

2.2.2 대기의 청명도

일사량은 앞 절에서 언급한 바와 같이 대기권내의 여러 가지 작용을 거쳐 지표면에 도달하게 되므로 대기권밖 일사량의 값은 지표면에 입사하는 수평면 전일사량에 비해 현저한 차이를 보이게 된다. 그러므로 청명한 날이나 대기상태가 오염되지 않은 조건하에서의 일사량은 보다 증가할 것이며, 흐린 날이나 오염된 대기에서는 대기권내에서 흡수되는 일사량이 증가하여 상대적으로 지표면에 도달하는 일사량은 감소된다.

따라서, 일사량은 태양에너지 이용시스템의 설계자료로서의 이용뿐만 아니라 대기상태의 분석에도 필연적인 것으로서 이에 대한 정확한 정보를 얻기 위해서는 대기권밖 일사량의 산출 역시 필수 불

가결한 것이다.

청명도(clearness index) K_T 는 청명한 날에 측정된 수평면 전일사량 H 를 대기권밖 일사량 H_0 로 나눈 값이다.

$$K_T = H / H_0 \quad (25)$$

청명도 값이 1에 가까울수록 천공(天穹)상태가 맑다고 할 수 있으며, 구름의 영향을 전혀 받지않는 청명한 날에 측정지역들간의 청명도를 서로 비교하여 봄으로써 이들 지역의 매연, 부유분진, 배기개스 등에 의한 대기오염 상태를 예측할 수 있다.

여기서, 청명한 상태의 정의는 하늘에 구름이 완전히 덮은 상태를 운량 1로 보고,운량(雲量)이 0인 경우로서 기상청이 발표한 지역별 기상자료를 사용하고자 한다.

한편, 대기권밖 일사량의 해석에 있어 Liu와 Jordan의 해석방법은 Klein Duffie와 Beckman에 의해 발전되어 시간별 및 일별에 따른 대기권밖 일사량을 식 (26)과 식 (27)과 같이 제시하였다.

$$I_0 = 12 \times 3600 / \pi \cdot G_{sc} [1 + 0.033 \cos(360n/365)] \times [\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + 2\pi(\omega_2 - \omega_1) / 360 \cdot \sin \phi \sin \delta] \quad (26)$$

$$H_0 = 24 \times 3600 / \pi \cdot G_{sc} [1 + 0.033 \cos(360n/365)] \times [\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + 2\pi\omega_s / 360 \cdot \sin \phi \sin \delta] \quad (27)$$

여기서, G_{sc} : 태양상수 (1,353 W/m²)
 n : 통산일
 ϕ : 해당지방의 위도
 δ : 일적위
 $= 23.45 \sin(360 \cdot 284n/365)$
 ω_s : 일몰시간각
 $\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta$
 $\omega_{1,2}$: 시간각 ($\omega_2 > \omega_1$, 15° = 1hr : A.M-, P.M+)이다.

또한, 월별 대기권밖 일사량은 일별 대기권밖 산출식인 식 (27)을 이용하며, 이때 n 과 δ 의 값은 <표 2>에 제시한 각 달마다 선정된 평균일의 대표 값을 적용한다.

<표 2> 월별 평균일에 따른 통산일 및 일적위 값

월	평균일	통산일 (n)	일적위 (δ)
1	17	17	20.9
2	16	47	-13.0
3	16	75	-2.4
4	15	105	9.4
5	15	135	18.8
6	11	162	23.1
7	17	198	21.2
8	16	228	13.5
9	15	258	2.2
10	15	288	-9.6
11	14	318	-18.9
12	10	344	-23.0

* Klein (1976)

3. 측정도시의 선정과 장치구성

우리나라 주요 도시의 도시간 청명도 분포특성을 알기 위해서는 반드시 각 측정지점은 서로 이상적인 거리간격을 유지하여야 한다. 본 연구는 이와 같은 점을 고려하여 측정지 상호간의 거리를 가능한 균등하게 유지하기 위하여 전국을 위도와 경도로 등분하여 측정지 분포를 고르게 하였다.

또한, 실질적으로 평가하고자 하는 도시의 지리적 혹은 환경적인 요소들을 감안할 수 있도록 소도시와 대도시 혹은 내륙과 해안, 그리고 산악지형의 차이 등 주위환경에 따라 적절하게 측정지를 분포하여 전체적인 공간시스템에 대한 이해를 도출하고, 특수성에 따른 해당도시의 청명도 변동형태를 분석할 수 있도록 측정지 선정에 반영하였다. 이에 따른 각 측정도시의 명세는 <표 3>과 같다.

또한, 청명도 측정을 위한 일사량 측정장치로는

미국 Eppley사가 제작한 PSP (Precision Spectral Pyranometer) 수평면일사계와 미국 Handar사에서 제작한 DCP(Data Collection Platform) 데이터수집장치를 사용하였으며, 운량과 일조시간은 기상청에서 목측과 조르단 일조계에 의해 측정하였다.

〈표 3〉 대기청명도 측정도시의 명세

도시명	지역번호	위 도	경 도	고 도
춘 천	101	37° 54'	127° 44'	74.0m
강 룡	105	37 45	128 54	26.0
서 울	108	37 34	126 58	85.5
원 주	114	37 20	127 57	149.8
서 산	129	36 46	126 28	19.7
청 주	131	36 38	127 26	59.0
대 전	133	36 22	127 22	67.2
포 향	138	36 02	129 24	2.5
대 구	143	35 53	128 37	57.8
전 주	146	35 49	127 09	51.2
광 주	156	35 10	126 53	70.3
부 산	159	35 06	129 02	69.2
목 포	165	34 49	126 22	36.5
제 주	184	33 31	126 32	22.0
진 주	192	35 12	128 06	21.5

4. 우리나라 주요 도시의 대기청명도 분석

4.1 주요 도시별 청명도 분석

우리나라 주요 15개 도시에서 최근에 걸쳐 측정된 일사량과 기상매개변수인 운량, 일조시간과의 상관관계를 중회귀식으로 분석하였으며, 구름의 영향을 전혀 받지 않는 청명한 날에 도시별 대기청명도를 분석하여 해당도시의 대기환경 평가를 할 수 있도록 하였다.

예측기법에 적용되는 인자로서는 대기권밖 일사량, 수평면 전일사량, 운량, 일조시간이 있는데, 이들 각 인자의 예측에는 <표 3>에서 보는 바와 같

이 전국 주요 15개 도시를 선정하여 이들 도시에서 '96.1~'97.12 기간동안 측정된 2년간의 일별 평균 자료를 사용하였다. 이들 인자중 수평면 전일사량에 대해서는 미국 Eppley사에서 제작한 수평면일사계와 Handar사의 데이터수집장치에 의해 관측된 자료를, 운량과 일조시간 인자는 동 기간동안에 기상청에서 발행한 “기상년·월보”로부터, 대기권밖 일사량 산출은 식 (27)에 제시된 경험식으로부터 계산된 값을 이용하여 예측하였다.

따라서, 앞 절의 식 (21)를 토대로 해당 도시의 지표면에 입사하는 수평면 전일사량을 종속변수로 잡고 여기에 영향을 주는 독립변수로 운량과 일조시간을 선택하여 독립변수와 종속변수간의 관련성을 함수의 형태로서 각 도시별로 <표 4>와 같이 중회귀모형식으로 제시하였으며, 각 주요 도시에 대하여 월별로 운량(X_1) 0값과 1일평균 최대 일조시간(X_2)을 산출하고, 이들 모형식에 입력하여 청명한 날 각 도시의 지표면에 입사하는 월별 연평균 1일 수평면 전일사량을 <표 5>와 같이 도출하였다. 여기서, 청명한 날의 상태 정의는 하늘에 구름이 완전히 덮은 상태를 운량 1이라고 할 때, 구름이 전혀 없는 운량(雲量)이 0인 경우와 태양이 일출시각부터 일몰시각까지 구름이나 안개 등에 전혀 차단되지 않고 지표면에 비치는 최대 시간 즉, 최대 일조시간 값으로 하였다.

또한, 각 도시별로 식 (27)을 사용하여 월별 일평균 대기권밖 일사량을 <표 6>과 같이 산출하고, 이에 대하여 <표 5>에 제시된 청명한 날의 각 도시의 지표면에 입사하는 월별 연평균 1일 수평면 전일사량과의 비율인 월별 연평균 1일 대기청명도 값을 식 (25)에 의해서 각 도시별로 <표 7>과 같이 제시하였다.

주요 도시별에 따른 평균 대기청명도를 살펴보면, <표 7>과 [그림 1]에서 보는 바와 같이 부산, 대구, 서울, 광주와 같은 대도시와 공업단지가 위치한 전주, 청주, 그리고 제주시에서는 타도시에 비해 청명도가 상당히 감소되어 이들 지역이 대기오염에 의한 태양복사선의 투과방지가 타도시

<표 4> 우리나라 주요 도시별 지역상수 값

월	도시	춘천	강릉	서울	원주	서산	청주	대전	포항	대구	전주	광주	부산	목포	제주	진주
	β_0	β_1	β_2	R^2	β_0	β_1	β_2	R^2	β_0	β_1	β_2	R^2	β_0	β_1	β_2	R^2
1	β_0	5.543	2.714	3.823	5.356	3.878	3.852	3.309	3.582	1.953	4.255	2.608	2.487	5.524	2.500	3.530
	β_1	-0.316	0.012	-0.183	-0.290	-0.065	0.133	-0.099	0.105	0.036	-0.229	0.049	0.042	0.169	0.019	0.055
	β_2	0.657	0.912	0.708	0.661	0.839	0.818	1.014	0.955	0.866	0.720	0.983	0.861	0.891	0.980	1.003
	R^2	0.932	0.913	0.903	0.923	0.848	0.897	0.920	0.904	0.785	0.884	0.820	0.855	0.841	0.892	0.867
2	β_0	6.056	2.490	2.544	5.331	5.213	6.797	7.039	4.371	6.203	5.373	2.365	3.274	6.067	1.641	4.812
	β_1	0.188	0.081	-0.001	-0.093	-0.120	-0.342	0.392	0.037	-0.285	0.242	0.030	0.060	-0.217	0.133	0.164
	β_2	0.865	1.176	1.134	0.915	0.994	0.766	0.905	1.170	0.658	0.813	1.241	1.041	1.054	1.295	1.130
	R^2	0.840	0.845	0.896	0.852	0.833	0.869	0.820	0.912	0.681	0.853	0.854	0.877	0.828	0.884	0.899
3	β_0	4.017	2.702	4.933	3.897	3.849	5.921	7.127	4.541	5.418	5.924	3.084	2.451	5.679	6.353	4.320
	β_1	0.129	0.263	0.244	-0.004	-0.093	-0.199	0.331	0.048	-0.149	0.287	0.089	0.150	0.140	0.272	0.010
	β_2	1.394	1.499	1.211	1.468	1.460	1.219	1.305	1.497	1.129	1.121	1.473	1.410	1.466	1.265	1.506
	R^2	0.861	0.901	0.934	0.917	0.910	0.909	0.901	0.890	0.796	0.876	0.899	0.917	0.881	0.921	0.917
4	β_0	8.505	5.944	3.086	7.321	6.155	5.546	8.149	7.934	5.196	9.545	7.955	5.290	6.822	5.500	7.300
	β_1	0.216	-0.045	0.107	-0.157	0.123	0.120	0.269	-0.373	0.133	0.509	0.320	-0.118	-0.111	0.172	0.248
	β_2	1.295	1.527	1.628	1.447	1.456	1.458	1.479	1.555	1.410	1.083	1.343	1.472	1.601	1.511	1.491
	R^2	0.937	0.920	0.952	0.938	0.942	0.962	0.935	0.941	0.921	0.885	0.922	0.953	0.916	0.953	0.930
5	β_0	7.156	1.984	3.796	5.061	5.831	6.914	6.191	9.282	6.156	6.930	5.995	3.293	9.012	7.390	5.977
	β_1	-0.038	0.497	0.100	0.111	-0.085	0.131	0.134	0.255	-0.036	0.133	0.087	0.176	0.202	0.080	0.023
	β_2	1.534	1.797	1.631	1.763	1.566	1.434	1.167	1.446	1.406	1.424	1.589	1.593	1.500	1.458	1.670
	R^2	0.882	0.904	0.928	0.894	0.940	0.903	0.884	0.888	0.828	0.903	0.945	0.926	0.913	0.921	0.911
6	β_0	5.975	2.699	2.782	5.106	2.861	5.227	8.699	7.067	6.988	7.744	9.002	5.040	8.124	10.248	4.890
	β_1	0.142	0.332	0.167	0.148	0.345	0.121	0.216	0.120	0.134	0.257	-0.317	0.002	0.155	0.307	0.116
	β_2	1.611	1.761	1.718	1.804	1.781	1.553	1.501	1.698	1.535	1.401	1.475	1.516	1.761	1.251	1.756
	R^2	0.864	0.934	0.937	0.926	0.902	0.902	0.900	0.919	0.837	0.916	0.915	0.911	0.919	0.887	0.908
7	β_0	6.886	3.940	3.438	6.607	7.563	5.565	8.406	9.858	3.646	6.310	6.241	6.464	6.108	11.476	6.318
	β_1	-0.116	0.322	0.087	0.049	-0.097	0.039	0.102	0.278	0.915	0.104	0.007	-0.033	0.185	0.511	0.039
	β_2	1.625	1.650	1.632	1.655	1.504	1.535	1.513	1.395	1.701	1.520	1.600	1.361	1.785	1.135	1.606
	R^2	0.897	0.910	0.918	0.915	0.857	0.912	0.773	0.902	0.887	0.898	0.922	0.896	0.786	0.875	0.899
8	β_0	5.868	4.967	4.631	10.886	5.055	5.836	10.518	7.861	8.313	6.027	7.116	1.952	3.744	7.712	8.368
	β_1	0.076	0.119	0.053	-0.458	0.064	0.003	0.354	0.066	-0.174	-0.028	-0.152	0.273	0.344	0.310	0.131
	β_2	1.587	1.553	1.459	1.241	1.577	1.437	1.420	1.462	1.278	1.407	1.373	1.607	1.743	1.324	1.404
	R^2	0.899	0.925	0.887	0.902	0.907	0.903	0.725	0.901	0.902	0.905	0.912	0.946	0.827	0.952	0.911

〈표 4〉 우리나라 주요 도시별 지역상수 값(계속)

월	도시	춘천	강릉	서울	원주	서산	청주	대전	포항	대구	전주	광주	부산	목포	제주	진주
	9	β_0	4.977	1.605	3.455	5.377	8.836	7.011	6.901	5.709	4.718	10.115	5.809	5.497	6.741	6.957
	β_1	0.065	0.274	0.166	-0.018	-0.267	-0.139	-0.149	0.064	0.164	-0.385	0.007	-0.013	-0.047	-0.208	-0.006
	β_2	1.348	1.633	1.309	1.326	0.979	1.090	1.253	1.413	1.279	0.811	1.253	1.138	1.299	1.208	1.268
	R^2	0.884	0.931	0.887	0.929	0.839	0.891	0.837	0.880	0.807	0.884	0.904	0.883	0.868	0.904	0.873
10	β_0	5.689	3.503	3.229	6.907	3.433	2.200	4.845	5.000	5.629	1.423	1.737	2.903	5.321	4.988	2.859
	β_1	-0.070	0.053	-0.022	-0.211	0.002	0.211	-0.142	0.011	-0.063	0.232	1.197	0.135	-0.103	-0.097	0.151
	β_2	0.917	1.174	1.139	0.837	1.215	1.211	1.106	1.084	0.903	1.442	1.336	0.162	1.171	1.061	1.334
	R^2	0.776	0.866	0.876	0.833	0.902	0.893	0.820	0.773	0.738	0.887	0.878	0.803	0.882	0.817	0.816
11	β_0	4.692	3.649	3.051	3.976	3.431	5.257	4.632	2.355	3.611	3.200	3.993	2.697	4.840	5.389	4.928
	β_1	-0.200	-0.110	-0.102	-0.140	-0.082	-0.267	-0.213	0.032	-0.058	-0.128	-0.130	0.000	-0.194	-0.287	-0.169
	β_2	0.739	0.863	0.808	0.913	0.903	0.692	0.843	1.090	0.873	0.925	0.906	0.901	0.933	0.845	0.905
	R^2	0.882	0.930	0.923	0.919	0.876	0.919	0.884	0.911	0.885	0.895	0.923	0.895	0.932	0.850	0.894
12	β_0	4.639	2.772	4.989	4.292	4.009	3.675	5.146	3.753	2.974	4.242	2.778	3.691	4.470	3.011	5.074
	β_1	-0.286	-0.109	-0.310	-0.173	-0.137	-0.130	-0.324	-0.119	-0.028	-0.221	-0.041	-0.220	0.174	0.094	0.212
	β_2	0.565	0.765	0.411	0.664	0.717	0.645	0.677	0.785	0.690	0.664	0.780	0.501	0.776	0.786	0.739
	R^2	0.885	0.954	0.856	0.899	0.867	0.888	0.846	0.921	0.828	0.828	0.826	0.570	0.836	0.876	0.899

* $y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2$

〈표 5〉 우리나라 주요 도시의 월별 연평균 1일 청명일 수평면 전일사량

(MJ/m².day)

도시	월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
	춘천		12.00	15.42	20.70	25.65	28.97	29.51	30.37	27.27	21.69	16.05	12.17	10.06
강릉		11.73	14.53	20.59	26.10	27.48	28.82	27.57	26.15	21.97	17.16	12.22	10.11	20.37
서울		10.88	14.69	19.45	24.55	27.07	28.11	26.76	24.56	19.74	15.99	11.22	8.93	19.33
원주		11.91	15.25	21.40	26.35	30.09	31.36	30.23	27.81	21.91	16.34	13.24	10.75	21.39
서산		12.26	15.91	21.31	25.29	28.08	28.67	29.14	26.23	20.95	17.13	12.69	10.99	20.72
청주		12.00	15.09	20.55	24.72	27.20	27.99	27.61	25.25	20.54	15.80	12.40	9.92	19.92
대전		13.49	16.83	22.71	27.56	28.99	30.65	30.10	29.66	22.44	17.09	13.32	11.68	22.04
포항		13.10	17.05	22.61	28.30	29.77	31.90	29.68	27.56	23.22	17.16	13.54	11.37	22.11
대구		10.64	13.37	18.99	23.74	25.87	29.26	28.11	25.43	20.61	15.79	12.64	9.70	19.51
전주		11.49	14.21	19.27	23.76	26.82	28.26	27.96	24.97	20.09	17.70	12.68	10.75	19.83
광주		12.48	15.90	20.74	20.51	28.43	30.26	29.19	25.61	21.35	16.88	13.32	10.44	20.43
부산		11.17	14.62	19.27	24.68	25.77	26.89	25.88	23.68	19.61	15.97	12.00	8.62	19.01
목포		14.50	17.55	23.29	27.75	29.97	33.56	31.41	27.03	22.83	18.52	14.51	11.95	22.74
제주		12.45	15.91	21.51	25.26	27.68	28.10	27.45	25.47	21.95	17.02	14.13	10.88	20.65
진주		13.65	17.11	22.44	26.72	29.39	30.35	29.47	27.22	22.76	17.96	14.25	12.31	21.97
평균		12.25	15.56	20.99	25.40	28.11	29.58	28.73	26.26	21.44	16.84	12.96	10.56	20.72

〈표 6〉 우리나라 주요 도시의 월별 연평균 1일 대기권밖 일사량

(MJ/m².day)

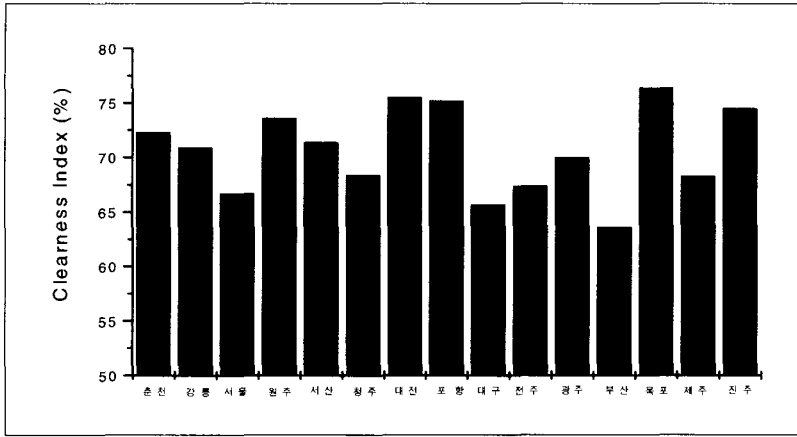
월 도시	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
춘천	16.37	21.25	28.06	34.80	39.40	41.23	40.22	36.41	30.30	23.22	17.43	14.87	28.63
강릉	16.46	21.33	28.13	34.83	39.41	41.22	40.23	36.43	30.35	23.30	17.52	14.97	28.68
서울	16.57	21.43	28.21	34.88	39.42	41.21	40.23	36.46	30.42	23.39	17.62	15.08	28.74
원주	16.71	21.56	28.31	34.93	39.43	41.21	40.23	36.50	30.50	23.51	17.76	15.20	28.82
서산	17.06	21.88	28.55	35.07	39.46	41.18	40.23	36.60	30.71	23.81	18.11	15.58	29.02
청주	17.13	21.95	28.60	35.10	39.47	41.17	40.23	36.61	30.75	23.87	18.18	15.65	29.06
대전	17.29	22.09	28.71	35.16	39.48	41.16	40.23	36.66	30.84	24.00	18.33	15.81	29.15
포항	17.49	22.28	28.85	35.23	39.49	41.14	40.22	36.71	30.96	24.17	18.53	16.02	29.26
대구	17.59	22.37	28.92	35.27	39.50	41.14	40.22	36.73	31.02	24.26	18.63	16.12	29.31
전주	17.62	22.39	28.94	35.28	39.50	41.13	40.22	36.74	31.03	24.28	18.66	16.15	29.33
광주	18.02	22.76	29.22	35.43	39.52	41.09	40.21	36.84	31.26	24.62	19.04	16.56	29.55
부산	18.05	22.78	29.24	35.44	39.52	41.09	40.21	36.84	31.28	24.64	19.08	16.59	29.56
목포	18.24	22.95	29.37	35.51	39.53	41.07	40.21	36.89	31.39	24.80	19.26	16.78	29.67
제주	19.00	23.63	29.87	35.76	39.56	40.98	40.17	37.05	31.81	25.42	20.00	17.55	30.07
진주	18.01	22.74	29.20	35.42	39.52	41.10	40.21	36.83	31.25	24.60	19.03	16.54	29.20
평균	17.44	22.23	28.81	35.21	39.48	41.14	40.22	36.69	30.92	24.13	18.48	16.43	29.23

〈표 7〉 우리나라 주요 도시의 월별 연평균 1일 대기청명도

(%)

월 도시	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	HP평균	전년
춘천	73.3	72.6	73.8	73.7	73.5	71.6	75.5	74.9	71.6	69.1	69.8	67.7	71.1	72.3
강릉	71.3	68.1	73.2	74.9	69.7	69.9	68.5	71.8	72.4	73.6	69.7	67.5	70.6	70.9
서울	65.6	68.5	68.9	70.4	68.7	68.2	66.5	67.4	64.9	68.4	63.7	59.2	65.7	66.7
원주	71.3	70.7	75.6	75.4	76.3	76.1	75.1	76.2	71.8	69.5	74.5	70.7	72.1	73.6
서산	71.9	72.7	74.6	72.1	71.2	69.7	72.4	71.7	68.2	71.9	70.1	70.5	72.0	71.4
청주	70.1	68.7	71.9	70.4	68.9	68.0	68.6	69.0	66.8	66.2	68.2	63.4	68.1	68.4
대전	78.0	76.2	79.1	78.4	73.4	74.5	74.8	80.9	72.8	71.2	72.7	73.9	75.2	75.5
포항	74.9	76.5	78.4	80.3	75.4	77.5	73.8	75.1	75.0	71.0	73.1	71.0	74.2	75.2
대구	60.5	59.8	65.7	67.3	65.5	71.1	69.9	69.2	66.4	65.1	67.8	60.2	63.2	65.7
전주	65.2	63.5	66.6	67.3	67.9	68.7	69.5	68.0	64.7	72.9	68.0	66.6	67.1	67.4
광주	69.3	69.9	71.0	57.9	71.9	73.6	72.6	69.5	68.3	68.6	70.0	63.0	68.8	68.8
부산	61.9	64.2	65.9	69.6	65.2	65.4	64.4	64.3	62.7	64.8	62.9	52.0	62.0	63.6
목포	79.5	76.5	79.3	78.1	75.8	81.7	78.1	73.3	72.7	74.7	75.3	71.2	76.1	76.4
제주	65.5	67.3	72.0	70.6	70.0	68.6	68.3	68.7	69.0	67.0	70.7	62.0	67.4	68.3
진주	75.8	75.2	76.8	75.4	74.4	73.8	73.3	73.9	72.8	73.0	74.9	74.4	75.0	74.5
평균	70.3	70.0	72.9	72.1	71.2	71.9	71.4	71.6	69.3	69.8	70.1	66.2	69.9	70.6

* HP : Heating Period (10월 ~ 3월)



[그림 1] 우리나라 주요 도시의 연평균 1일 대기청명도 비교

비해 상대적으로 큰 것으로 나타났다.

특히, 제주시는 남해안 지역인 목포와 진주시에 비해 상당히 낮게 나타나는 현상을 보이고 있다. 이와 같은 원인은 최근에 타도시에 비해 급속한 차량증가로 인한 배기가스와 난방기간 동안 도심에서 배출되는 오염물질 등이 대기에 상당한 영향을 미친 것으로 분석된다. 반면에 목포, 대전, 포항, 진주 등 대부분 해안지역에 위치한 도시가 전국에서 가장 대기상태가 좋은 곳으로 나타났으며, 다음으로 산간지방인 원주, 춘천 등으로 나타났다. 또

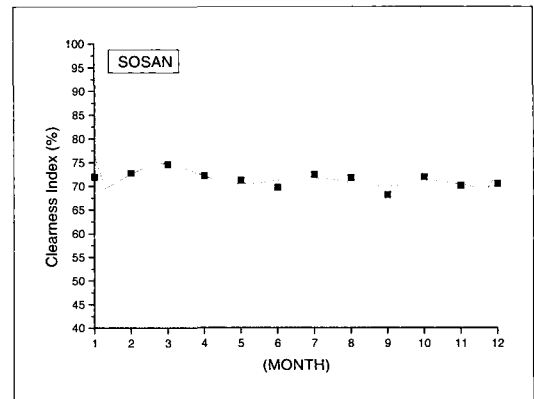
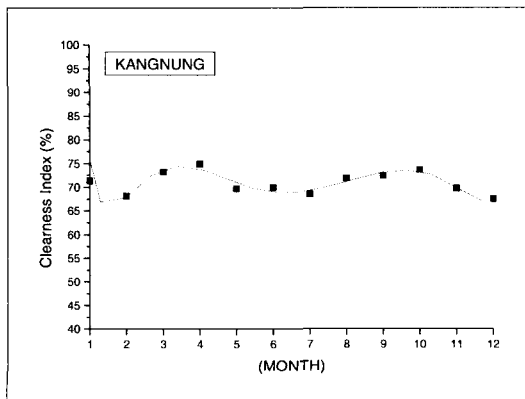
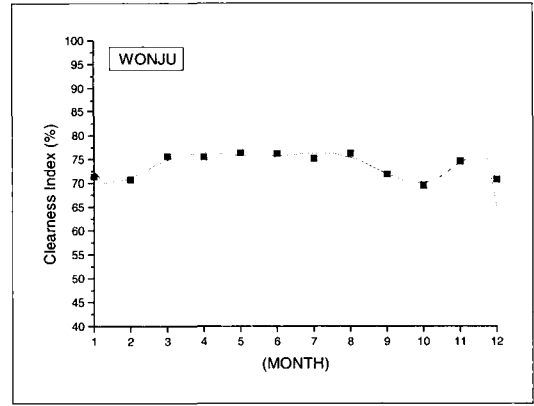
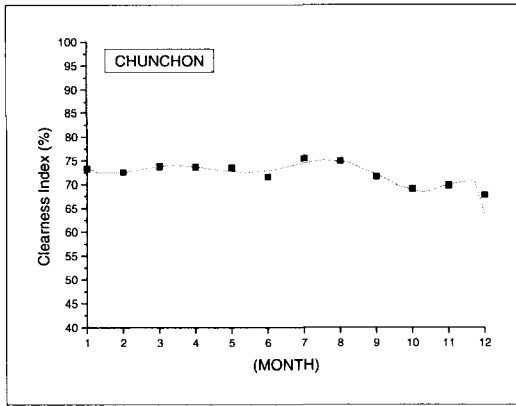
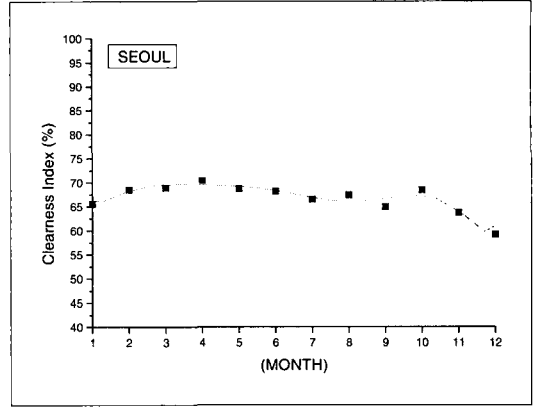
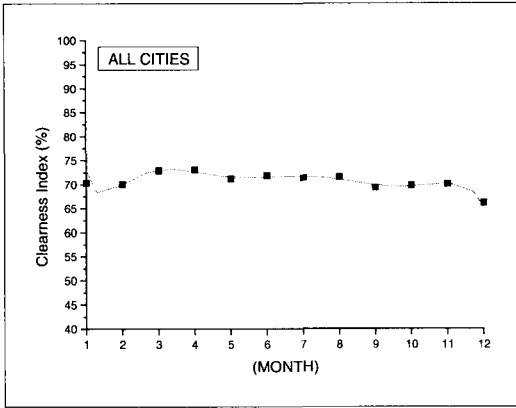
한 우리나라 15개 전 도시에서의 월별 대기청명도는 <표 7>에서 보는 바와 같이 대략 12월을 제외하고는 전년을 통하여 69%~72% 정도로 나타났으나, 특히 9월부터 12월 사이에서는 다른 달에 비해 비교적 낮게 나타나는 경향을 보였다.

한편, <표 7>에 제시된 우리나라 주요 도시의 월별 연평균 1일 대기청명도 값을 토대로 각 도시의 대기청명도 월별 모형을 다항회귀식으로 나타내면, <표 8>과 같으며, 이에 대한 회귀곡선은 [그림 2]와 같다.

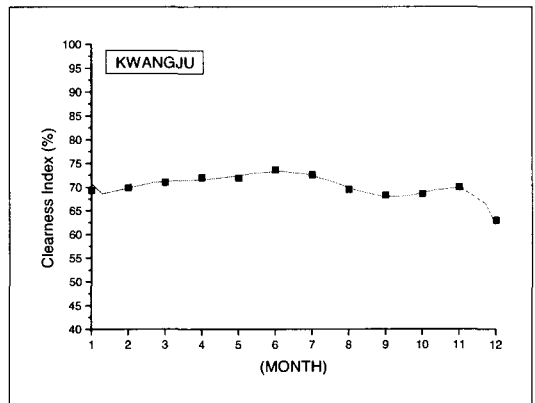
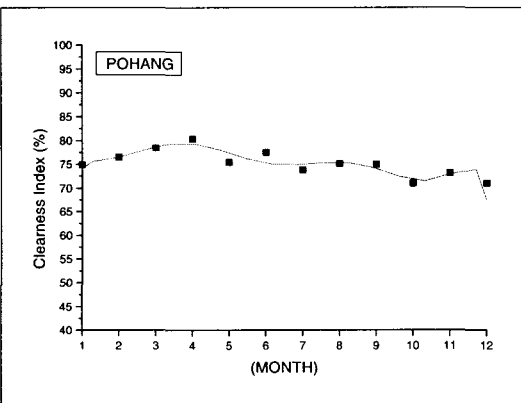
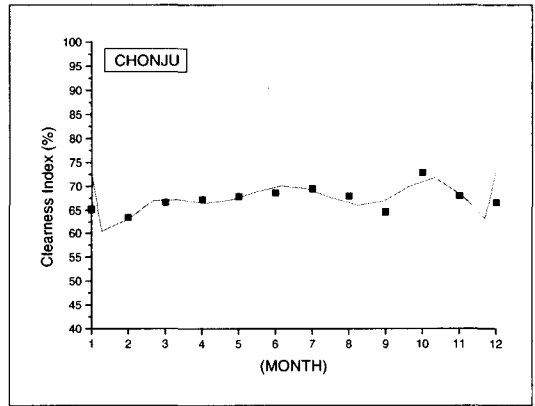
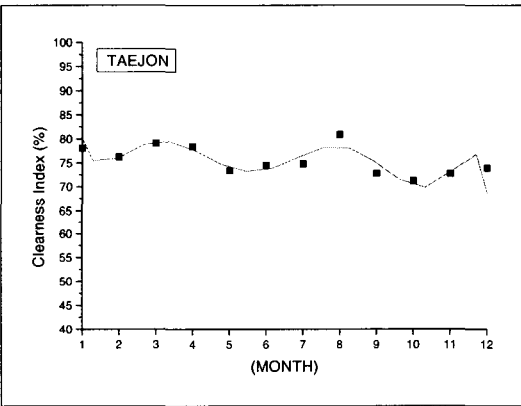
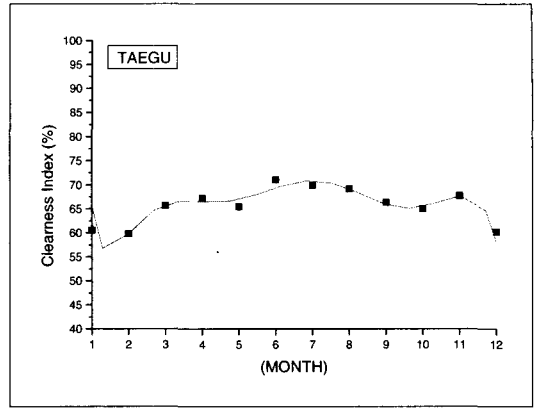
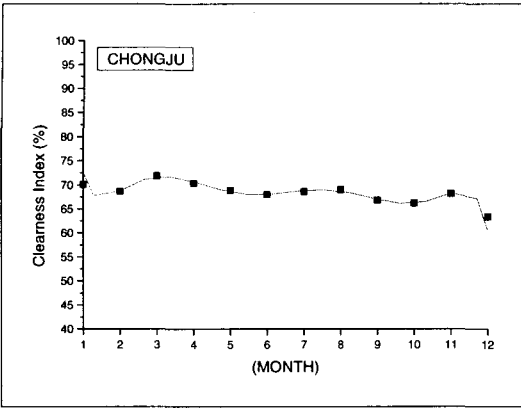
<표 8> 우리나라 주요 도시별 지역상수 값

도시	A	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	R ²
춘천	79.25031	-5.39606	-5.31068	7.28008	-3.08032	0.63479	-0.06921	0.00383	-8.4651E-5	0.93753
강릉	155.95626	-177.13254	132.63829	-49.34301	10.42924	-1.32325	0.10049	-0.00423	7.59372E-5	0.91005
서울	76.7633	-32.8447	34.8493	-17.10818	4.64825	-0.73966	0.06827	-0.00337	6.86604E-5	0.92132
원주	87.85713	-26.58059	8.51581	3.56948	-2.65444	0.63376	-0.0739	0.00426	-9.70191E-5	0.94399
서산	156.50797	-197.88809	172.02333	-74.37813	18.02056	-2.56305	0.21244	-0.0095	1.76872E-4	0.70219
청주	116.79754	-97.76785	72.2821	-25.57651	4.8299	-0.49672	0.02582	-4.87446E-4	-2.97012E-6	0.99149
대전	117.61617	-74.10636	43.44659	-8.42196	-0.58051	0.46026	-0.06886	0.00439	-1.04917E-4	0.82398
포항	53.90515	53.36442	-53.34801	27.77502	-7.99899	1.31813	-0.12363	0.00613	-1.24855E-4	0.84901
대구	155.48551	-210.35469	169.97603	-68.04284	15.30517	-2.01599	0.15368	-0.00625	1.04752E-4	0.9546
전주	203.42074	-319.00625	275.85519	-121.2302	30.31983	-4.48343	0.38707	-0.018	3.47935E-4	0.78212
광주	96.49278	-64.60253	57.25499	-25.27598	6.27284	-0.90767	0.07552	-0.00333	6.02734E-5	0.98827
부산	73.7591	-25.85715	18.86444	-5.47879	0.67838	-0.013	-0.0052	4.97766E-4	-1.4163E-5	0.95302
목포	230.34109	-347.1953	299.22466	-131.00538	32.50185	-4.74908	0.40394	-0.01847	3.50644E-4	0.91574
제주	76.30251	-20.27748	9.46769	1.35028	-1.7877	0.46551	-0.05595	0.00327	-7.48284E-5	0.9564
진주	100.1067	-51.77218	39.26586	-14.34103	2.82552	-0.31134	0.01854	-5.14637E-4	3.94838E-6	0.96766
평균	120.08823	-109.39474	87.22604	-34.22313	7.50866	-0.96479	0.0719	-0.00287	4.71547E-5	0.96744

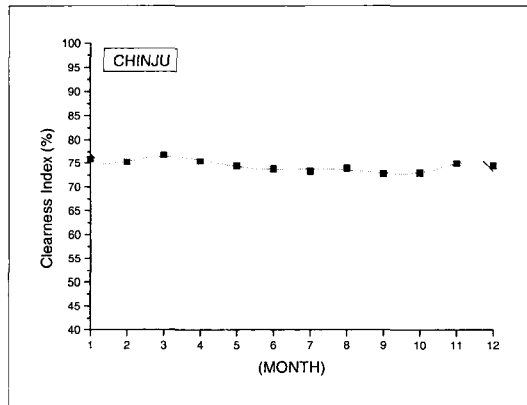
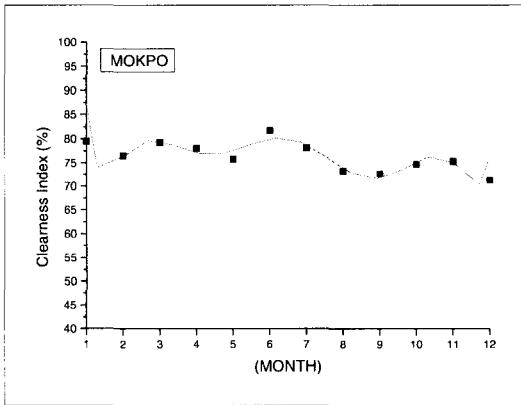
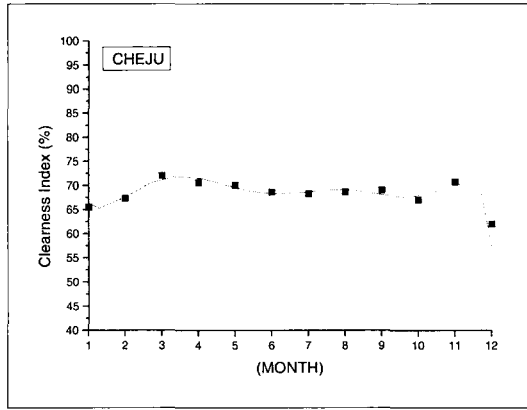
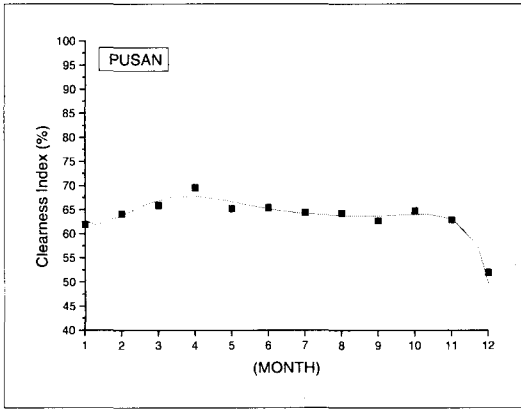
* Y = A + B1 X + B2 X² + B3 X³ + B4 X⁴ + B5 X⁵ + B6 X⁶ + B7 X⁷ + B8 X⁸



[그림 2] 우리나라 주요 도시의 월별 연평균 1일 대기청명도



[그림 2] 우리나라 주요 도시의 월별 연평균 1일 대기청명도 (계속)



[그림 2] 우리나라 주요 도시의 월별 연평균 1일 대기청명도 (계속)

4.2 주요 도시간 분포형태

[그림 3]은 지난 '96.1~'97.12 기간동안 청명한 날 예측된 자료의 평균치를 가지고 전산시물레이션 기법으로 도해한 전국적인 대기청명도 분포현황도로, 이 기간동안 연평균치로 계산하였을 때 전국이 대략 71% 정도의 대기청명도를 나타내고 있다.

이 중에서도 수도권지역과 부산, 대구, 광주와 같은 대도시와 전주, 청주와 같은 밀집된 공단지역에서 전국에서 가장 낮은 대기청명도 분포를 나타내고 있다. 이와 같은 분석은 <표 9>에서도 나타난바와 같이 서울을 비롯한 인천, 부산, 대구

<표 9> 도시별 오염물질별 오염도 (1996년 기준)

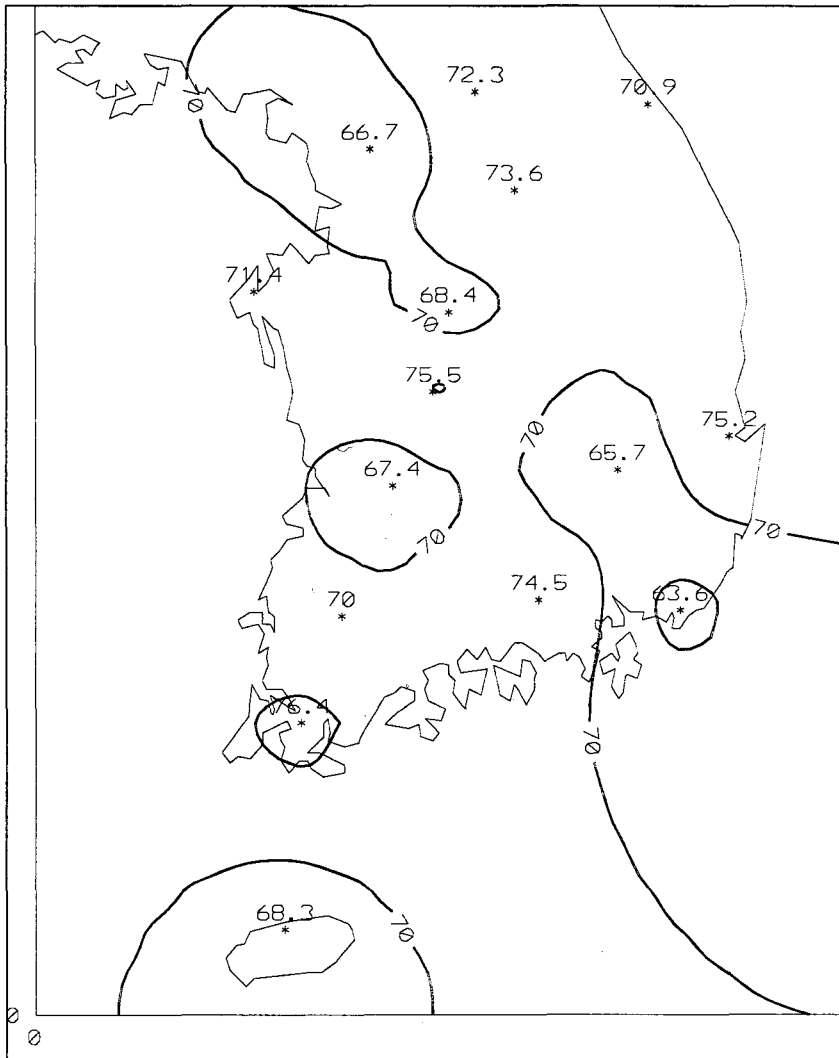
구분 \ 도시	서울	부산	대구	인천	광주	대전
아황산가스 (ppm)	0.013	0.022	0.023	0.012	0.008	0.015
먼지 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	85	89	75	86	74	63
O ₃ (ppm)	0.015	0.020	0.015	0.011	0.017	0.017
NO ₂ (ppm)	0.033	0.031	0.027	0.028	0.021	0.023
CO (ppm)	1.2	1.2	1.0	1.3	1.1	1.4

* 자료 : 환경부, "환경백서", pp. 49-56, 1997.1

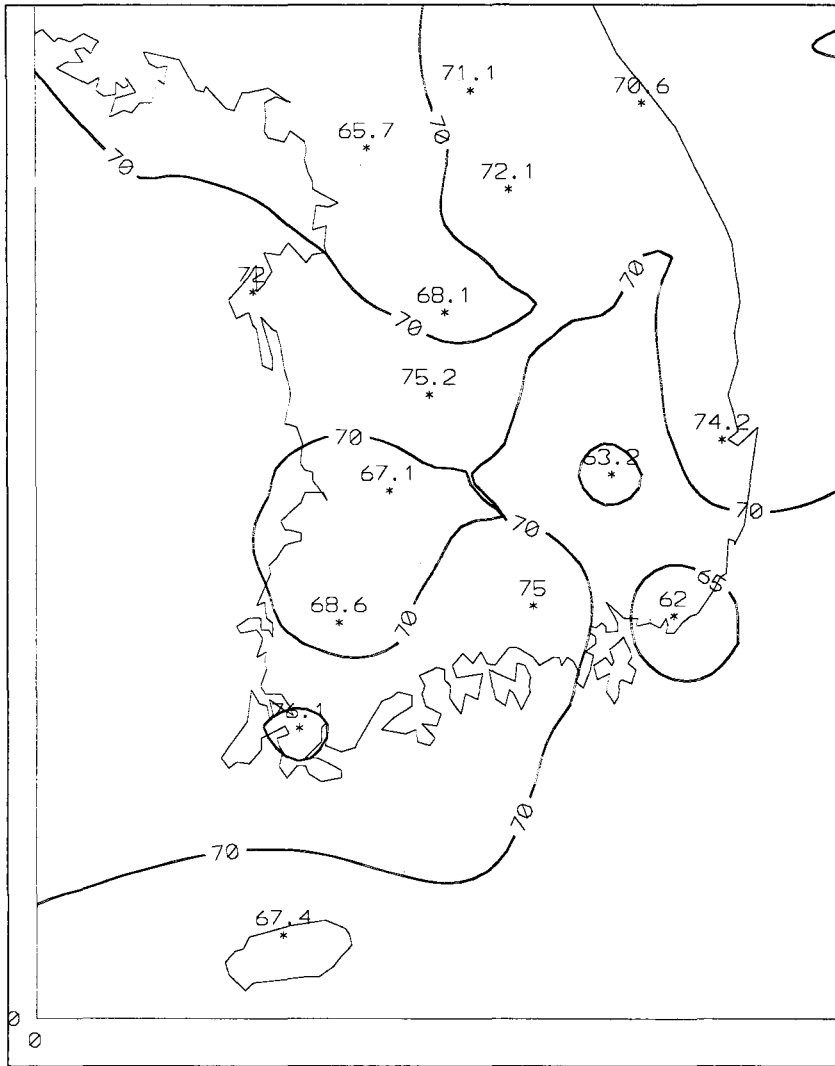
등 수도권 및 대도시지역에서 높은 대기오염도를 보이고 있어, 이들 지역이 [그림 3]에서 분포되는 대기청명도의 유사성과 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

한편, 남해중서부지방과 동해남부지방, 그리고 중부내륙지방에 위치한 도시는 75% 이상으로 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 이 중에서도 목포는 전국에서 가장 높은 대기청명도를 기록하였다. 또한 태안반도일대와 중북부산간지

방에 위치한 도시에서는 대략 70% ~ 72% 내외로 비교적 대도시나 공단지역이 위치한 도시에 비해 대기가 청명한 것으로 나타났다. 반면에 같은 기간 난방기간(10월~3월)동안에 산출된 대기청명도의 전국적인 분포특징을 살펴보면 [그림 4]에서 보는 바와 같이 [그림 3]과 거의 유사한 분포를 나타내어 이 기간동안의 대기상태가 전년에 걸쳐 영향을 미치고 있음을 짐작할 수 있다.



[그림 3] 전국 연평균 1일 대기청명도 (%)



[그림 4] 전국 평균 난방기간 1일 대기청명도 (%)

5. 결 론

본 연구에서는 대기오염 상태가 도시에서 일사 에너지를 얼마나 차단하는지를 알아 보고자, 전국 주요 15개 도시에서 '96~'97년 사이에 측정된 최근 2년간의 평균 일사량, 운량, 일조시간 자료를 1일별로 정리·분석하여 예측모형에 의해 구름의 영향을 전혀 받지 않은 청명한 날에 도시별 혹은 도시간의 대기의 청명도를 분석하여 해당도시의

대기환경 평가를 수행하였다.

본 연구에서 수행된 결과를 살펴보면,

1) 우리나라 주요 15개 도시에서 최근에 걸쳐 측정된 일사량과 기상매개변수인 운량, 일조시간과의 상관관계를 중회귀식으로 모형식을 도출하여 청명한 날에 도시별 대기청명도를 분석하여 해당도시의 대기환경 평가를 할 수 있도록 하였다.

2) 이들 모형식에 입력하여 청명한 날 각 도시의 지표면에 입사하는 월별 연평균 1일 수평면 일사

량을 도출하였으며, 또한, 각 도시별로 경험식을 사용하여 월별 일평균 대기권밖 일사량을 산출하고, 이에 대하여 청명한 날의 각 도시의 지표면에 입사하는 월별 연평균 1일 수평면 일사량과의 비율인 월별 연평균 1일 대기청명도 값을 산출하였다.

3) 위의 결과를 가지고 전국 주요 도시의 대기청명도에 대한 평가를 종합해 볼 때, 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 주요 도시별에 따른 평균 대기청명도를 살펴보면, 부산, 대구, 서울, 광주와 같은 대도시와 공업단지가 위치한 전주, 청주, 그리고 제주시에서는 타도시에 비해 청명도가 상당히 감소되어 이들 지역이 대기오염에 의한 태양복사선의 투과방지가 타도시에 비해 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 반면에 목포, 대전, 포항, 진주 등 대부분 해안지역에 위치한 도시가 전국에서 가장 대기상태가 좋은 곳으로 나타났으며, 다음으로는 산간지방인 원주, 춘천 등으로 나타났다.

둘째, 같은 기간동안 청명한 날 예측된 자료의 평균치를 가지고 전산시뮬레이션 기법으로 도해한 전국적인 대기청명도 분포현황도를 작성하여 분석한 결과, 연평균치로 계산하였을 때 전국이 대략 71% 정도의 대기청명도를 나타내었으며, 이 중에서도 수도권지역과 부산, 대구, 광주와 같은 대도시와 전주, 청주와 같은 밀집된 공단지역에서 전국에서 가장 낮은 대기청명도 분포를 나타내었다. 또한 남해중서부지방과 동해남부지방, 그리고 중부내륙지방에 위치한 도시는 75% 이상으로 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 태안반도일대와 중북부산간지방에 위치한 도시에서는 대략 70%~72% 내외로 비교적 대기가 청명한 것으로 나타났다.

그러나, 우리나라 전 도시중 15개 도시만을 대상으로 측정하였기 때문에 현재까지만의 결과를 가지고 우리나라 도시의 전반적인 대기환경의 특징을 정확하게 평가한다는 것은 불가능한 실정이다. 또한 국내에서는 이 분야에 대한 실험적 관측을 통한 연구사례가 전혀 없기 때문에 분석과정의 오류를 검증하는 데에도 많은 제약이 따를 수 밖에 없

었다. 따라서 이와 같은 작업은 앞으로 측정도시의 확대와 이에 따른 지속적인 측정과 분석사업이 계속되어야 하며, 더불어 도시지역 대기오염에 의한 일사량의 변동형태 등 각종 관련 기후조건과의 연관성도 규명해 나아가야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Montgomery Douglas C., Design and Analysis of Experiments (Third Edition), John Wiley & Sons, Inc., 1981.
- [2] Duffie John A., and Beckman, William A., Solar Engineering of Thermal Process (Second Edition), John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- [3] Garg H.P., Treatise on Solar Energy, John Wiley & Sons, 1982.
- [4] Anderson Edward E., Fundamentals of Solar Energy Conversion, Addison-Wesley Publishing Company, 1983.
- [5] Kerith Frank, and Kreider Jan F., Principles of Solar Engineering, McGRAW-HILL Book Company, 1978.
- [6] Molineaux B. and Ineichen P., On the Broad Band Transmittance of Direct Irradiance in a Cloudless Sky and Its Application to the Parameterization of Atmospheric Turbidity, Solar Energy, Vol.56, No.6, pp.553-563, 1996.
- [7] Jurado M., Caridad J.M. and Ruiz V., Statistical Distribution of the Clearness Index with Radiation Data Integrated over Five Minute Intervals, Solar Energy, Vol.55, No.6 (1995), pp.469-473.
- [8] Beyer, H.G., Czeplak G., Terzenbach U, and Wald L., Assessment of the Method Used to Construct Clearness Index Maps for the New European Solar Radiation Atlas, Solar Energy, Vol. 61, No.6(1997), pp.389-397.

- [9] Barr A.G., A Comparison of Methods to Estimate Daily Global Solar Irradiance from Other Climatic Variables on the Canadian Prairies. *Solar Energy*, Vol.56, No.3(1996), pp.213-224.
- [10] Garrison J., and Sahami K., Analysis of Clear Hour Solar Irradiation for Seven Canadian Stations. *Solar Energy*, Vol.55, No.6 (1994), pp.505-512,
- [11] 기상청, 「기상년·월보」, (1996-1997).