

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

*Journal of the Korean Solar Energy Society*

Vol. 22, No. 1, 2002

# 의사결정지원 모형을 통한 우리나라 주요 도시의 대기청명도 평가

조덕기\* · 전일수\* · 강용혁\* · 전명석\* · 오정무\*

\* 한국에너지기술연구원

## Atmospheric Clearness Estimation of Major Cities in Korea Using Decision Support Models

D.K.Jo\*, I.S.Chun\*, Y.H.Kang\*, M.S.Jeon\*, C.M.Auh\*

\* *Korea Institute of Energy Research*

### 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 1999 and 2000. The new clearness index data will be extensively used by atmospheric circumstances analysts as well as by solar application designers or users.

### 1. 서론

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 도시가스공장 등 관련 대소공장들이 건설되어야 한다. 또한 여기서의 에너지 공급량과 사

용량이 늘어남에 비례하여 발생하는 매연은 도시 전지역으로 확산되며, 이로 인한 일사량의 감소는 도시기후에 큰 변화를 일으키게 한다. 동시에 도시화할 수록 도시를 중심으로한 수송량이 증가하며, 그 주요부분을 차지하고 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 대기오염물을 많이 포함하고 있는데, 이것들이 도시내에 입사하는 태양복사선의 투과를 방해하기 때문에, 대기오염이 심화되고 있는 대도시나 공업 도시에 입사하는 일사량을 도시외곽 내지 전원지역, 소도시에 입사되는 일사량과 비교하여 볼 때 현저히 적게 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 1999 ~ 2000년 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 하는 데에 그 목적을 두고 있다.

## 2. 대기청명도와 관련된 이론적 배경

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 시도하였다. 이 모형은 n개의 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)  
 $i=1, 2, \dots, n$  (1)

으로 표현된다.

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

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon$$
 (2)

- 여기서, y : 해당 관측지의 일별 수평면 전일사량 (Wh/m<sup>2</sup>.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,  $\varepsilon$ 는 측정오차로서  $N(0, \sigma^2)$ 의 분포에 따르고 오차항간에는 상호 독립이라고 가정한다.

또한, 일사량은 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 조건 하에서의 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 불가결한 것

이다.

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

$$K_T = H/H_0 \quad (3)$$

청명도 값이 1에 가까울수록 천공(天空)상태가 맑다고 할 수 있으며, 구름의 영향을 전혀 받지 않는 청명한 날에 측정지역들간의 청명도를 서로 비교하여 봄으로써 이들 지역의 매연, 부유분진, 배기가스 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 (4)와 식 (5)와 같이 제시하였다.

$$I_0 = 12 \times 3600/\pi \cdot G_{sc} [1 + 0.033 \cos(360n/365)] \times [\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + 2\pi(\omega_2 - \omega_1)/360 \cdot \sin \phi \sin \delta] \quad (4)$$

$$H_0 = 24 \times 3600/\pi \cdot G_{sc} [1 + 0.033 \cos(360n/365)] \times [\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + 2\pi\omega_s/360 \cdot \sin \phi \sin \delta] \quad (5)$$

여기서,  $G_{sc}$  : 태양상수 ( $1,353 \text{ W/m}^2$ )  
 $n$  : 통산일  
 $\phi$  : 해당지방의 위도  
 $\delta$  : 일적위

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

$\omega_s$  : 일몰시간각

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

$\omega_{1,2}$  : 시간각 ( $\omega_2 > \omega_1$ ,  $15^\circ = 1\text{hr}$  : A.M -, P.M +)

이다.

### 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.

Table 1. Selected station for simulation

도시명	지역번호	위도	경도	고도
춘천	101	37° 54'	127° 44'	74.0m
강릉	105	37 45	128 54	26.0
서울	108	37 34	126 58	85.5
원주	114	37 20	127 57	149.8
서산	129	36 46	126 28	19.7
청주	131	36 38	127 26	59.0
대전	133	36 22	127 22	67.2
포항	138	36 02	129 24	2.5
대구	143	35 53	128 37	57.8
전주	146	35 49	127 09	51.2
광주	156	35 10	126 53	70.3
부산	159	35 06	129 02	69.2
목포	165	34 49	126 22	36.5
제주	184	33 31	126 32	22.0
진주	192	35 12	128 06	21.5

또한, 실질적으로 평가하고자 하는 도시의 지리

적 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 3과 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.

#### 4. 우리나라 주요 도시의 대기청명도 분석

##### 4.1 주요 도시별 청명도 분석

우리나라 주요 15개 도시에서 최근에 걸쳐 측정된 일사량과 기상패개변수인 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 1에서 보는바와 같이 전국 주요 15개 도시를 선정하여 이들 도시에서 1999.1 ~ 2000.12 기간동안 측정된 2년

간의 일별 평균자료를 사용하였다. 이들 인자중 수평면 전일사량에 대해서는 미국 Eppley사에서 제작한 수평면일사계와 Handar사의 데이터수집장치에 의해 관측된 자료를, 운량과 일조시간 인자는 동 기간동안에 기상청에서 발행한 “기상년월보”로부터, 대기권밖 일사량 산출은 식 (5)에 제시된 경험식으로부터 계산된 값을 이용하여 예측하였다.

따라서, 앞 절의 식 (2)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 2와 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 5와 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 (5)를 사용하여 월별 일평균 대기권밖 일사량을 표 4와 같이 산출하고, 이에 대하여 표 3에 제시된 청명한 날의 각 도시의 지표면에 입사하는 월별 연평균 1일 수평면 전일사량과의 비율인 월별 연평균 1일 대기청명도 값을 식 (3)에 의해서 각 도시별로 표 5와 같이 제시하였다.

Table 2. Region constants for selected station

지역	도시	춘천	강릉	서울	원주	서산	청주	대전	포항	대구	전주	광주	부산	목포	제주	진주
		$\beta_0$	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
1	$\beta_1$	-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
	$\beta_2$	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
		$\beta_0$	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
2	$\beta_1$	-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
	$\beta_2$	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
		$\beta_0$	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
3	$\beta_1$	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
	$\beta_2$	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
		$\beta_0$	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
4	$\beta_1$	-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
	$\beta_2$	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
		$\beta_0$	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	$\beta_1$	-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
	$\beta_2$	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
		$\beta_0$	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
6	$\beta_1$	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
	$\beta_2$	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
		$\beta_0$	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
7	$\beta_1$	-0.116	0.322	0.087	0.049	-0.097	0.059	-0.102	-0.278	0.915	-0.104	0.007	-0.033	0.185	-0.511	0.039
	$\beta_2$	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
		$\beta_0$	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	$\beta_1$	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
	$\beta_2$	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
		$\beta_0$	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
9	$\beta_1$	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
	$\beta_2$	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
		$\beta_0$	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
10	$\beta_1$	-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
	$\beta_2$	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
		$\beta_0$	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
11	$\beta_1$	-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
	$\beta_2$	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
		$\beta_0$	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
12	$\beta_1$	-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
	$\beta_2$	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

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

**Table 3.** Yearly average daily horizontal global radiation for selected station

(MJ/m<sup>2</sup>.day)

월 도시	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	20.82
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

**Table 4.** Monthly average daily extraterrestrial radiation for selected station

(MJ/m<sup>2</sup>.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	29.14
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	29.25
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	29.32
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	29.54
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	29.66
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	30.06
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	29.19
평균	17.44	22.22	28.81	35.20	39.48	41.14	40.21	36.68	30.92	24.12	18.47	16.54	29.23

Table 5. Yearly average daily clearness index for selected station

(%)

도시 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	HP 평균	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	68.6	70.0
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)

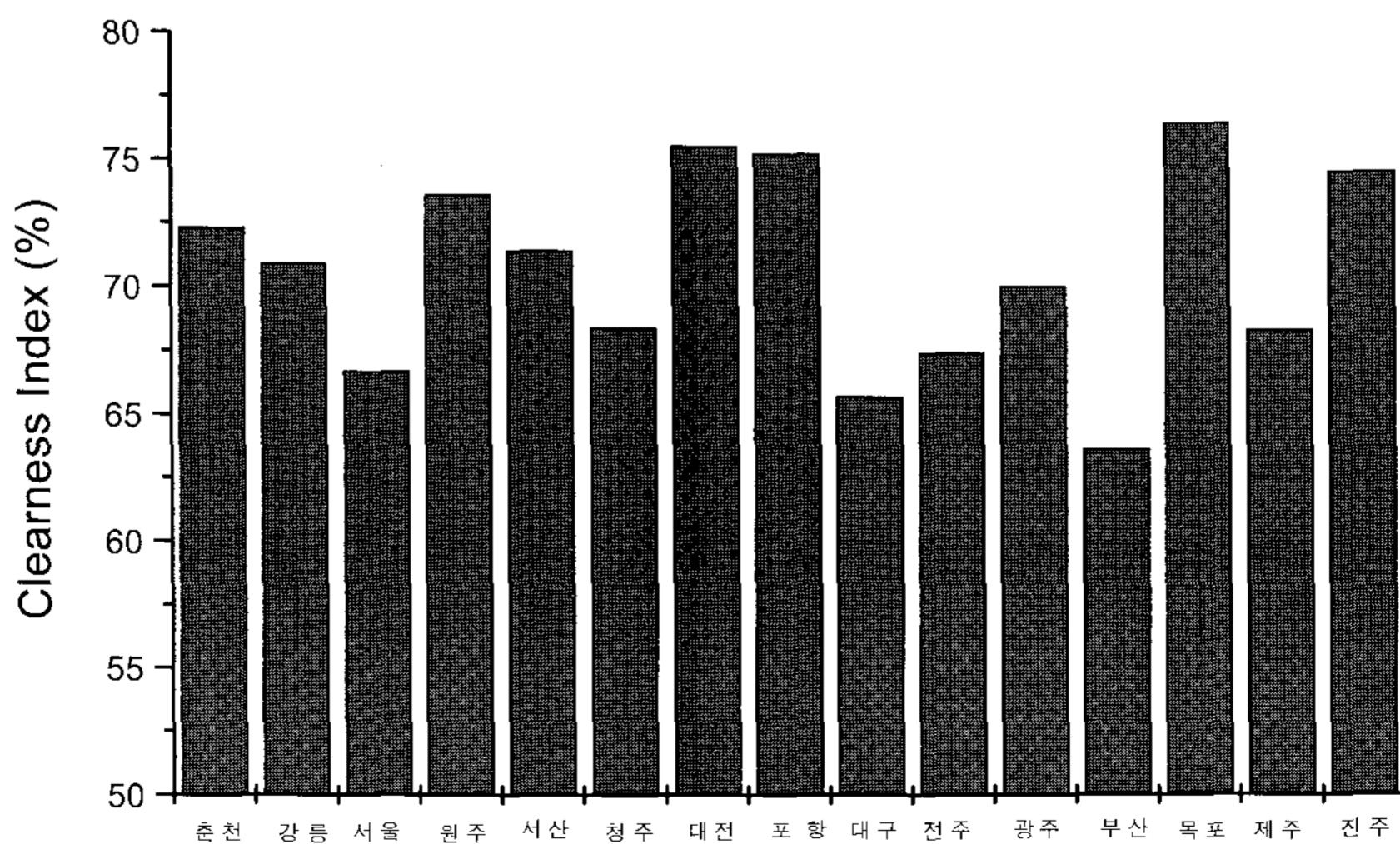


Fig. 1 Table 7. Yearly average daily clearness index for selected station

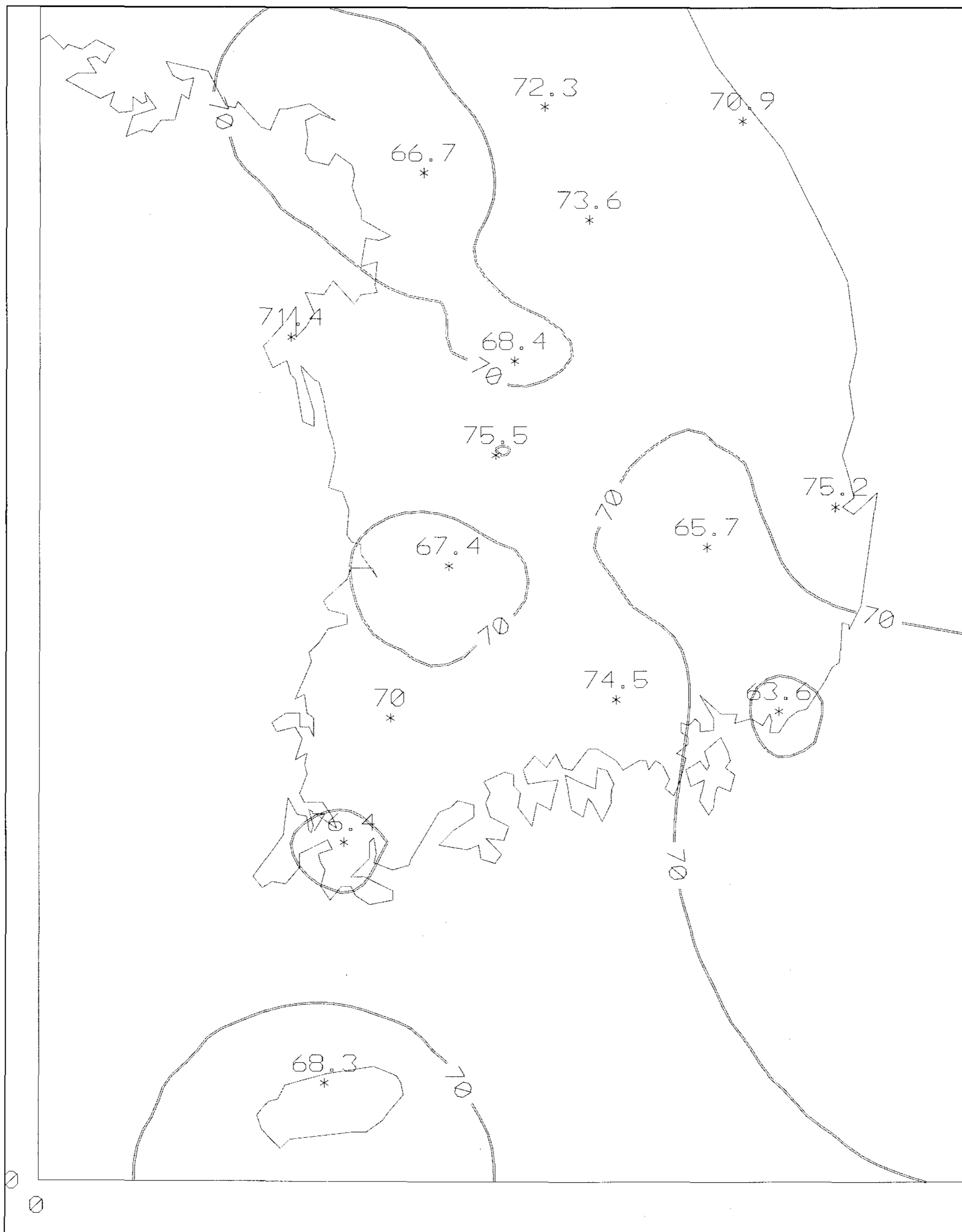


Fig. 2 Yearly mean daily clearness index (%)





Fig. 3 Daily mean clearness index for heating period (%)

주요 도시별에 따른 평균 대기청명도를 살펴보면, 표 5와 그림 1에서 보는바와 같이 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.

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, 다음으로는 산간지방인 원주, 춘천 등으로 나타났다. 또한 우리나라 15개 전도시에서의 월별 대기청명도는 표 5에서 보는바와 같이 대략 12월을 제외하고는 전년을 통하여 69%~72% 정도로 나타났으나, 특히 9월부터 12월 사이에서는 다른 달에 비해 비교적 낮게 나타나는 경향을 보였다.

#### 4.2 주요 도시간 분포형태

그림 2는 지난 1999.1 ~ 2000.12 기간동안 청명한 날 예측된 자료의 평균치를 가지고 전산시뮬레이션 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.

한편, 남해중서부지방과 동해남부지방, 그리고 중부내륙지방에 위치한 도시는 75% 이상으로 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 이 중에서도 목포는 전국에서 가장 높은 대기청명도를 기

록하였다. 또한 태안반도일대와 중북부산간지방에 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 3에서 보는바와 같이 그림 2와 거의 유사한 분포를 나타내어 이 기간동안의 대기상태가 전년에 걸쳐 영향을 미치고 있음을 짐작할 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 중북부산간지방에 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 4에서 보는바와 같이 그림 3과 거의 유사한 분포를 나타내어 이 기간동안의 대기상태가 전년에 걸쳐 영향을 미치고 있음을 짐작할 수 있다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 대기오염 상태가 도시에서 일사 에너지를 얼마나 차단하는지를 알아 보고자, 전국 주요 15개 도시에서 1999~2000년 사이에 측정된 최근 2년간의 평균 일사량, 운량, 일조시간 자료를 일별로 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, 일

조시간과의 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 일사량을 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 도시에서

는 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 수밖에 없었다. 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. 기상청, 기상년·월보, (1982~1999).
2. Montgomery Douglas C., Design and Analysis of Experiments(Third Edition), John Wiley & Sons, Inc., 1981
3. J.A. Duffie and W.A Beckman, Solar engineering of thermal process, Wiley New York, pp. 3~145, 1991.
4. 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, pp. 469~473, 1995.
5. 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, pp. 389-397, 1997.