[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol.14. No.2, 1994

우리나라 주요 도시의 대기청명도 평가

조덕기 · 김은일 · 이태규 · 박경호 · 전일수 · 전홍석 · 오정무
한국에너지기술연구소

A Study on the Atmospheric Clearness of Major Cities in Korea

Jo, Dok-Ki · Kim, Eun-Ill · Lee, Tae-Kyu · Park, Kyung-Ho · Chun, Il-Soo · Jeon, Hong-Seok · Auh, Chung-Moo
Korea Institute of Energy Resources

요 약

1982년부터 전국 주요 16개 도시에 측정장비를 설치하고, 대기청명도 자료를 수집하였다. 특정된 자료를 토대로 도시별 표준치를 설정하여, 이들 자료를 해당지역의 대기청명 상태의 평가자료로 이용될 수 있도록 하였다. 현지 측정사업의 내용을 중심으로 지금까지의 결과를 살펴보면,

1) 우리나라 주요 도시에서의 대기청명 조건은 연평균 청명한 날을 기준으로 대략 62% 정도이다.
2) 계절별 대기청명 조건은 연평균치에 비하여 봄과 여름철이 각각 63%, 64%로 다소 높았으며, 가을과 겨울철은 각각 61%, 59%로 낮게 나타났다.
3) '82~'87년과 '88~'93년 사이에 측정된 평균자료로 나누어 경년변화를 분석하여 보면, 매년 전 도시에서 공히 청명도가 감소하고 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

Since the atmospheric clearness index is main factor for evaluating atmosphere

circumstance, it is necessary to estimate its characteristics all over the cities in Korea.

We have began collecting clearness index data since 1982 at 16 different cities and considerable effort has been made for constructing a standard value from measured data at each city.

The new clearness index data will be extensively used by evaluating atmospheric circumstance analysies as well as by solar application system designer or users.

From the results, we can conclude that

1) Yearly mean 63 % of the atmospheric clearness index was evaluated for clear day all voer 16 cities in Korea.
2) Atmospheric clearness index of spring and summer were 63 % and 64 % and for fall and winter their values wre 61 % and 59 % respectively. So, spring and summer were higher, and fall and winter were lower then the yearly value.
3) A significant difference of atomospheric clearness index is observed between 1982 ~1987 and 1988~1993 through 16 different cities in Korea.

Ⅰ. 서 론

1965년 이후의 급속한 산업의 발전과 도시화에 따른 도시의 인간생활이 증대함에 따라 인구가 늘고, 이에따른 에너지 소모도 생산, 건물의 냉난방, 그리고 수송에 관계있는 것 등 여러가지로 증가하여 이로 인한 공해와 관련한 도시기후 변화의 중요성이 가일층 높아가고 있다.

우선, 도시에 인구가 집중됨에 따라 도시에서의 에너지 사용량, 특히 전력소비량이 급속히 증가하며, 이에따른 에너지 소모량에 대처하기 위해서는 석탄이나 석유를 열원으로 하는 화력발전소나 도시가스공장 등 관련 대소광장들이 건설되어야 한다. 또한 여기서의 에너지 공급량과 사용량이 늘어남에 비례하여 발생되는 매연은 도시 전지역으로 확산되며, 이로 인한 일사량의 감소는 도시기후에 큰 변화를 발생하게 한다. 동시에 도시화 할수록 도시를 중심으로한 수송량이 증가하며, 그 주요부분을 차지하고 있는 자동차는 공장에서 배출되는 연기와 비슷한 배기가스를 배출함으로서 역시 도시기후에 큰 변화를 가져온다.

따라서, 도시에 입사하는 일사는 그 도시를 중심으로 한 특수기후가 형성되는 과정과 도시기후를 변화시키는 중요한 역할을 한다. 즉, 도시내에는 매연이나 부유분진, 배기가스 등 대기오염물을 많이 포함하고 있어 이것들이 되시내에 입사하는 일사량을 도시외곽내지 전원지역, 소도시에 입사되는 일사량과 비교하여 볼 때, 현저히 적게 나타나고 있다. 이와같은 오염물질의 대기권 축적에 따른 일사의 감쇄현상은 주민건강 생활의 유지와 환경보존에 있어서도 매우 중요한 문제가 아닐 수 없다.

본 연구는 이와같은 대기오염 상태가 도시에서 일사에너지를 얼마나 차단하는지를 알아 보고자, 전국 주요 16개 도시에서 '82~'93년 사이에 구름의 영향을 전혀 받지 않은 청명한 날에 측정된 12년간 평균 일사량자료를 1일별로 정리·분석하고, 그 결과를 통하여 도시별 혹은 도시간의 청명도를 분석하여 해당도시의 대기환경 평가에 그 목적을 두었다.

II. 일사량과 대기상태와의 상관관계

태양광선은 대기권밖으로 부터 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 파장역에서 일사를 흡수한다.

대기밖의 태양방사는 X선(파장 10 Å)을 비롯해서 극단자외선(파장 10 Å～2000 Å)으로부터 중간자외선(파장 2000 Å～3150 Å)까지 짧은 파장의 빛도 포함하고 있으나 이것들은 초고층의 대기중의 분자로 완전히 흡수되어 지구표면에 도달하지 않으며, 지상에 도달하는 최단의 파장은 약 3000 Å 이내 이다. 또한 일사의 최장의 파장은 대략 5 μm(1 μm=10^4 Å)이며, 물론 이것보다도 긴 방사가 포함되어 있지만 그 에너지는 극히 적어 문제가 되지 않는다. 이와같이 일사의 파장역내에서는 일사에 뚜렷한 흡수의 효과를 나타내는 것으로 수증기에 의한 흡수, 오존의 흡수, Mie 산란, Rayleigh 산란 등이 있다.

1. 수증기 등의 분자에 의한 흡수

수증기의 흡수는 일사의 장파장측, 즉 근적외역(近迹外域)에 집중되어 있고, 비교적 좁은 파장역에서 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 Å 부근의 자외선을 강하게 흡수하고, 지표면에 도달하는 자외선에 크게 영향을 주고 있다.

15℃, 1기압으로 ι(cm)의 두께를 가지는 오존층만의 기체를 생각하고, 여기에 $I_0(\lambda)$의 강도를 가지는 파장 λ의 일사가 입사할 때, 이 층을 통과한 투사일사강도 $I(\lambda)$의 흡수계수 k는 다음 식으로 정의할 수 있다.

$$I(\lambda)=I_0(\lambda)\exp(-k_{\lambda\iota}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

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 한정되어 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,

$$I\lambda(\theta)=V^2(n_\lambda{}^2-1)^2(1+\cos^2\theta)2R^2\lambda^4\cdots(2)$$

로 표시된다. 여기서 V는 산란하는 공기분자의 체적, R은 V의 중심과 관측점의 거리이며, n_λ는 공기분자의 굴절율, θ는 입사광의

방향에서 잰 산란각이다. 또한 식 (2)는 입사광의 강도를 1로 본 경우이며, $\theta<90°$의 범위를 전방산란역(前方散亂域), $\theta>90°$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,

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

로 표시된다. 여기서, N은 단의체적중의 공기분자의 수이다. 식 (3)을 보면 산란광의 세기는 파장 λ의 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 강동가 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 에어로졸 입자가 존재하고 있고, 그 양과 입경(粒徑)분포는 항상 변동하고 있다. 공기분자만이라고 가정한 대기의 경우 즉, 레이리대기에는 지표면에 입사하는 일사량은 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, 융게분포 혹은 지수법칙분포라고 불리운다. 여기서, v의 값으로서는 2.5~4.0 범위의 수치가 사용되고 있으며, 입자의 반경 r은 일사에 효과를 미치는 영역으로 그 범위는 0.05~10 μm이다.

III. 일사측정에 의한 대기의 청명도 분석

일사량은 앞절에서 언급한 바와 같이 대기권내의 여러가지 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 불가결한 것이다.

청명도(clearness index)는 청명한 날에 측정된 수평면 전일사량, H_0을 대기권밖 일사량, E_x으로 나뉘어 그 값을 구하며, 다음 식에 의하여 산출할 수 있다.

$$K_t = H_0 / E_x \quad \cdots\cdots (4)$$

청명도 값이 1에 가까울수록 천공(天空)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 0~0.1 사이인 경우로서 기상청이 발표한 지역별 기상자료에 의한다.

한편, 대기권밖 일사량의 해석에 있어 Liu와 Jordan의 해석방법은 Klein Duffie와 Beckman에 의해 발전되어 시간별 및 일별에 따른 대기권밖 일사량을 식 (5)와 식 (6)과 같이 제시하였다.

$$I_0 = 12 \times 3600/\pi \cdot G_{sc}[1+0.033\cos(360n/365)] \times [\cos\phi\cos\delta(\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + 2\pi(\omega_2-\omega_1)/360 \cdot \sin\phi\sin\delta] \cdots (5)$$

$$H_0 = 24 \times 3600/\pi \cdot G_{sc}[1+0.033\cos(360n/365)] \times [\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + 2\pi\omega_s/360 \cdot \sin\phi\sin\delta] \cdots\cdots (6)$$

여기서, G_{sc} : 태양상수(1,353 W/m^2)
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°=1 hr : A.M−, P.M+)

또한, 월별 대기권밖 일사량은 일별 대기권밖 산출식인 식 (6)을 이용하며, 이때, n과 δ의 값은 Table 1에 제시된 각 달마다 선정된 평균일의 대표값을 적용한다.

Table 1. Recommended average day for each month and values of n by months

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	258	−9.6
11	14	318	−18.9
12	10	344	−23.0

* Klein(1976)

IV. 측정도시의 선정과 장치구성

1. 측정도시의 선정

우리나라 주요 도시의 도시간 청명도 분포특성을 알기 위해서는 반드시 각 측정지점은 서로 이상적인 거리간격을 유지하여야 한다. 본 연구사업은 이와같은 점을 고려하여 측정지 상호간의 거리를 가능한 균등하게 유지하기 위하

여 전국을 위도와 경도로 등분하여 특정지 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 해당 도시의 청명도 변동형태를 분석할 수 있도록 측정지 선정에 반영하였다. 이에따른 각 측정 도시의 명세는 Table 2와 같다.

Table 2. List of atmospheric clearness indes measurement cities in Korea

지 역 명	지역번호	위 도	경 도	고 도
춘 천	101	37° 54′	127° 44′	74.0m
강 릉	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 18	127 24	77.1
포 항	138	36 02	129 23	5.6
대 구	143	35 33	128 37	57.80
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 47	126 23	53.4
제 주	184	33 31	126 32	22.0
진 주	192	35 12	128 06	21.5
영 주	272	36 52	128 31	208.0

2. 측정장치의 구성

청명도 측정을 위한 측정장치는 미국 Eppley사가 제작한 PSP(Precision Spectral Pyranometer) 수평면일사계와 동사의 적분기록장치, 그리고 미국 Handar사에서 제작한 DCP(Data Collection Platform) 데이타수집장치를 사용하였다.

PSP 수평면일사계는 1957년도에 Eppley Lab.의 전신인 Eppley Instrument에서 개발한 것으로, 현재까지 범용으로 공급된 단파대역(短波帶域)의 전일사량(global radiation) 측정기기중에서 가장 정밀도가 높은 기기로 평가되고 있으며, 단파대역의 일사에너지 측정뿐만 아니라, 단파장 반사에너지(albedo)의 측정은 물론 태양차폐장치(shadow band)를 부착하여 산란일사량(diffuse radiation)만을 측정할 수 있는 등 용도가 다양하게 사용된다.

한편, 일사계로부터 들어오는 입력신호를 처리하는 부속장치는 대표적으로 그 기능에 따라 누적계산과 기록을 연계적으로 수행하는 장치와 입력신호를 기억장치에 내장하고, 마이크로프로세서에서 기억장치에 저장된 데이타를 단말장치나 전화선으로 데이타를 전송할 수 있는 장치로 나눌 수 있다.

전자의 경우는, 디지탈 표시기능을 갖추고 독립된 프린터와 연결되어 사용하는 적분기록장치가 이에 속하며, 이 장치는 적분기(integrator)와 프린터(printer)가 한조가 된 데이타판독장치로서, 적분기가 프린터의 크리스탈 발진에 의한 시간경과 개념과 연동하여 일사계로부터 들어온 감지신호를 시간의 함수로써 자동적으로 누적 계산해 주며, 누적치를 일정시간 간격을 두고 기록하도록 자동제어하는 기능을 가지고 있다.

또한, 후자의 경우는 마이크로프로세서에 의

해 제어되는 저전력소모형 장치인 데이타수집장치(Data Acquisition System)로, 이 장치는 서로 다른 13 종류의 아날로그 및 디지탈 입력신호를 수용할 수 있으며, 8비트용 마이크로프로세서와 반도체 기억장치인 등속호출기억장치(RAM) 및 읽기전용기억장치(ROM)을 내장하고, 이 기억장치를 통하여 약 68,000개 데이타와 운영프로그램을 기억할 수 있는 능력을 갖추고 있다. 또한 마이크로프로세서는 기억장치에 저장된 데이타를 정보통로인 제어모선(control bus)이나 변복조장치(modem)를 통하여 데이타를 전송할 수 있다.

V. 우리나라 주요 도시의 도시간 청명도 분포특성

1. 주요 도시별 청명도 분석

우리나라 주요 16개 도시지역에서 '82~'93년 사이에 측정된 청명도 즉, 청명한 날의 대기권밖 일사량에 대한 수평면 전일사량의 비를 '82~'87년과 '88~'93년 사이에 측정된 평균자료로 나누어 경년변화를 분석하여 보면, Fig. 1에서 나타난바와 같이 전도시에서 공히 청명도가 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 이

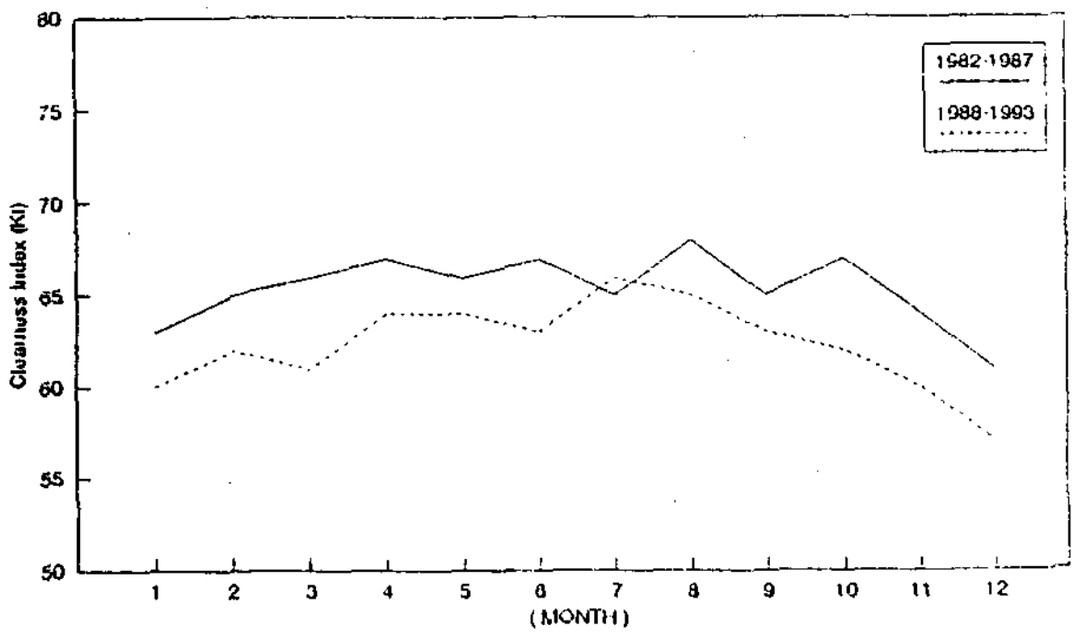


Fig. 1. The elapse variation of a year on atmospheric clearness index in major 16 cities, Korea

와같은 원인은 앞에서도 언급한바와 같이 도시내의 가스와 대기오염물에 의하여 태양복사에너지가 흡수 됨으로서 일사와 대기오염물 등이 상호작용하여 도시지역에 나타난 국지적인 현상으로 보인다.

또한, Table 5는 우리나라 주요 16개 도시지역에서 관측한 계절별에 따른 청명도의 경년변화를 보여주는 것으로 사계절중에서 가을과 겨울철이 타계절보다도 다소 높게 감소되었음을 알 수 있다. 특히, 이들 철에 도심지의 난방으로 인한 대기오염물, 즉 이산화탄소의 발생이 타계절보다도 많았기 때문인 것으로 쉽게 짐작할 수 있다.

Table 5. Table mean clearness index in major 16 cities, Korea

(단위 : %)

계정 / 연도	봄	여름	가을	겨울	연평균
'82~'87(A)	66	67	65	63	65
'88~'93(B)	63	64	61	59	62
B−A	−3	−3	−4	−4	−3

한편, 주요 도시별에 따른 평균 청명도의 경년변화를 살펴보면, Table 6과 Fig. 2에서 보는바와 같이 서울, 대구, 부산과 같은 대도시지역과 대규모 공업단지가 위치한 포항, 그리고 제주시에서는 타도시에 비해 청명도가 상당히 감소되어 이들 지역이 대기오염에 의한 태양복사선의 투과방지가 타도시에 비해 상대적으로 큰 것으로 나타났다.

특히, 그 중에서도 해안지역인 제주시는 '82~'87년 사이에 남해안 지역인 진주, 목포시와 더불어 전국 주요 도시에서 대기청명도 상태가 제일 좋았던 것으로 나타났으나, '88~'93년(A)에는 '82~'87년(B)과 비교하여 볼 때,

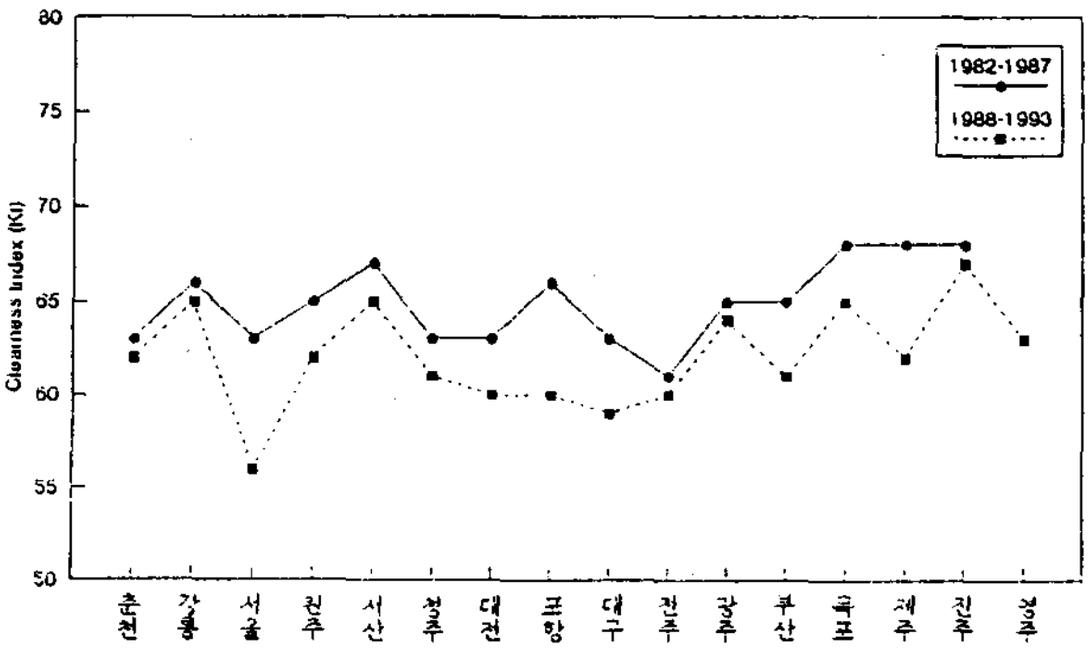


Fig. 2. The elapse variation of a year on atmospheric clearness index in each city, Korea

타도시에 비해 상당한 감소현상을 보였다. 이와같은 원인은 이 기간동안에 타도시에 비해 급속한 차량증가로 인한 배기가스의 배출 등이 대기에 상당한 영향을 미친 것으로 분석된다.

반면에, 춘천, 강릉, 전주, 광주시는 청명도의 경년변화를 거의 보이지 않은 것으로 나타났다.

계절별에 따른 주요 도시의 청명도 경년변화를 살펴보면, Table 6에서 보는 바와 같이 봄과 여름철에는 타도시에 비하여 포항, 부산, 제주시에서 상당히 감소하는 현상을 보였다. 또한 난방철인 가을과 겨울철에는 서울, 대구, 포항시는 역시 타도시에 비하여 상당히 감소하고 있어, 이 기간동안에 이들 도시에서 난방으로 인하여 배출되는 오염물질들이 대부분 지상 수미터 내외에서 배출되기 때문에 확산범위가 좁아 대기오염이 심화되고 있음을 예측할 수 있다.

2. 주요 도시간 분포형태

Fig. 3a는 지난 '88~'93년 사이 청명한 날에 실측된 자료의 평균치를 가지고 전산시뮬레이션 기법으로 도해한 전국적인 대기청명도 분포현황도로 이 기간동안 연평균치로 계산하였

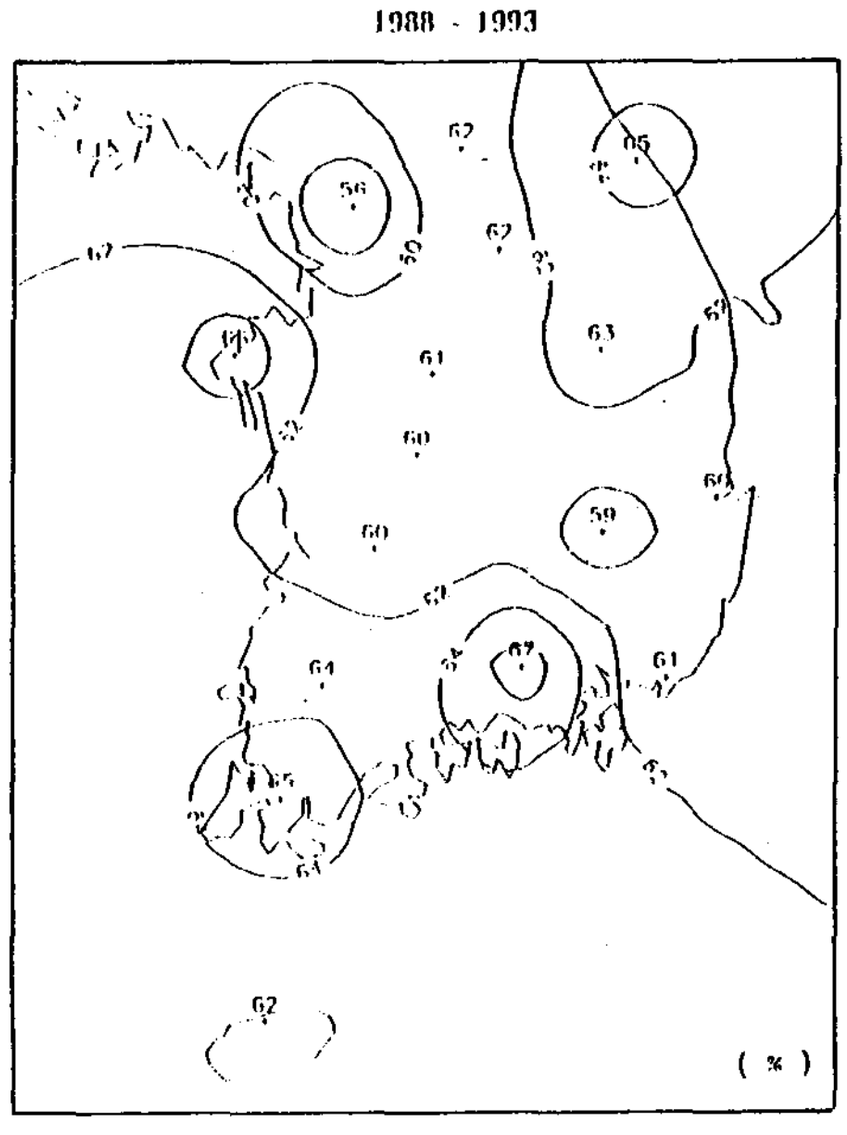


Fig. 3. Yearly mean atmospheric clearness index distribution

Table 6. The elapse variation of a year on atmospheric clearness index in major cities, Korea

(단위 : %)

지 역	구분 \ 계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
춘 천	A	64	65	62	60	63
	B	63	66	60	59	62
	B−A	−1	−1	−2	−1	−1
강 릉	A	67	69	64	64	66
	B	65	70	63	62	65
	B−A	−2	+1	−1	−2	−1
서 울	A	62	65	64	60	63
	B	58	61	54	51	56
	B−A	−4	−4	−10	−9	−7
원 주	A	64	68	66	65	65
	B	61	64	64	60	62
	B−A	−3	−4	−2	−5	−3
서 산	A	68	69	66	67	67
	B	65	67	65	62	65
	B−A	−3	−2	−1	−5	−2
청 주	A	65	66	64	59	63
	B	61	65	61	58	61
	B−A	−4	−1	−3	−1	−2
대 전	A	65	66	65	62	63
	B	62	62	59	58	60
	B−A	−3	+1	−2	−4	−3
포 항	A	67	66	66	65	66
	B	62	61	59	57	60
	B−A	−5	−5	−7	−8	−6
대 구	A	64	65	62	63	63
	B	62	63	57	55	59
	B−A	−2	−2	−5	−8	−4
전 주	A	63	62	59	60	61
	B	62	62	59	59	60
	B−A	−1	0	0	−1	−1
광 주	A	66	68	66	63	65
	B	65	65	62	62	64
	B−A	−1	−3	−4	−1	−1
부 산	A	68	68	65	64	65
	B	61	61	62	59	61
	B−A	−7	−7	−3	−5	−4
목 포	A	70	70	68	64	68
	B	68	68	65	59	65
	B−A	−2	−2	−3	−5	−3
제 주	A	69	70	71	63	68
	B	63	64	66	57	62
	B−A	−6	−6	−5	−6	−6
진 주	A	69	67	66	68	68
	B	68	66	67	69	67
	B−A	−1	−1	+1	−1	−1
영 주	A					
	B	64	66	60	61	63
	B−A					

을 때, 전국이 대략 62% 정도의 대기청명 상태를 나타내고 있다.

이 중에서도 수도권지역과 대전, 대구, 부산과 같은 대도시와 공단지역은 전국에서 가장 낮은 청명도를 기록하였다. 이와같은 분석은 Table 7에서도 나타난바와 같이 서울을 비롯한 인천, 부산, 대구 등 수도권 및 대도시지역에서 대기 배출시설의 64.3%가 집중되어 있고, 전체오엄물질의 54.5%가 배출되는 것으로 나타나, 이들 지역이 Fig. 3a에서 분포되는 청명도의 유사성과 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

한편, 남해중서부지방과 태안반도일대, 동해북부지방에 위치한 도시는 65% 이상으로 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 이 중에서도 진주는 전국에서 가장 높은 청명도를 기록하였다.

또한, Fig. 3b는 '88년 이전에 측정된 6년간의 평균자료를 나타낸 것으로, 즉 이 기간동안에 측정된 청명도의 전국적인 분포특징을 살펴보면, 타지역 도시에 비해 대부분 해안지역에 위치한 도시에서 높게 나타나는 경향을 보였으며, 반면에 서울을 포함한 중부이북 및 중부이남지방에 위치한 도시는 해안지방에 위치한 도시보다 다소 낮게 나타나는 경향을 보였으나, 전반적으로 전국 도시에서 고른 분포의 형태를 갖고 있다. 따라서, 이와같은 현상을 미루어 보아 '88년 이후에 측정된 자료는 '88

Table 7. List of air pollution exhaust business & exhaust quantities in major areas, Korea

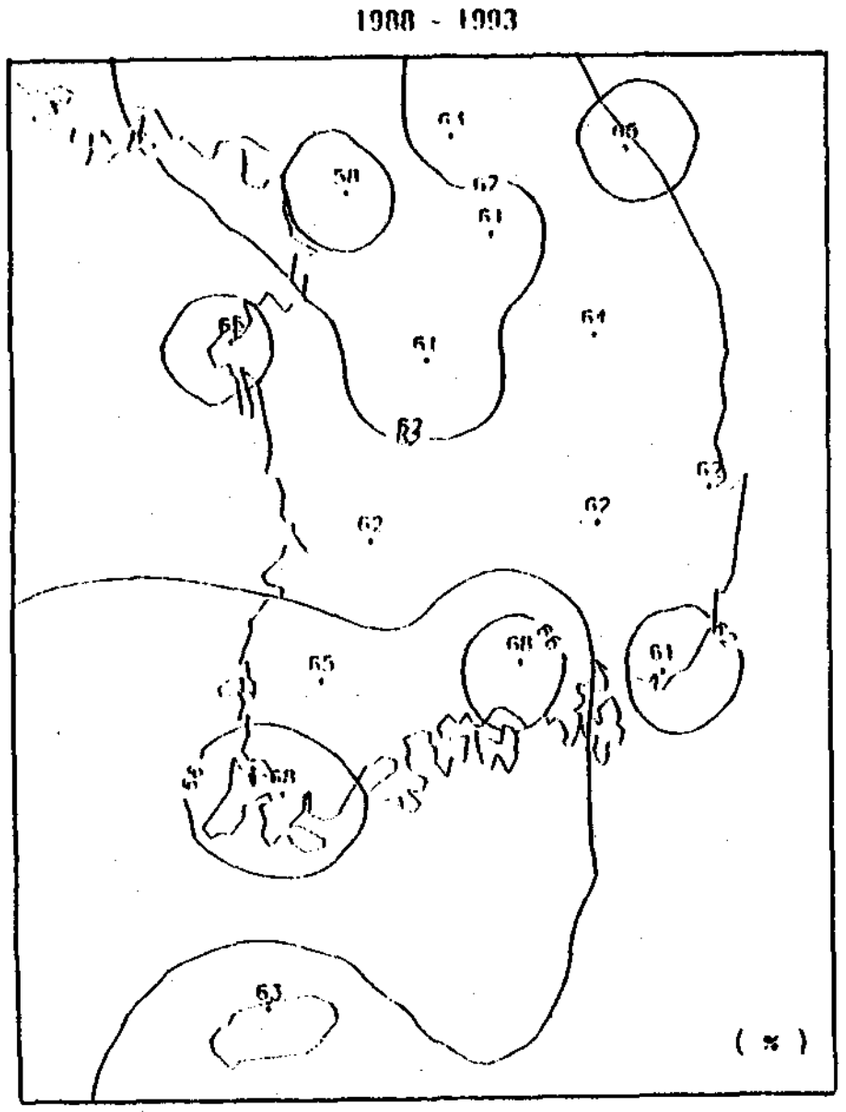
(단위 : 톤/년)

구분 / 지역	배출업소	TSP	SO_2	NO_x	HC	CO
서 울	5,258	51,828	162,948	157,905	32,207	449,767
부 산	2,406	21,376	69,611	65,703	8,930	119,504
대 구	1,234	9,029	31,381	30,733	5,204	120,555
인 천	1,048	16,030	58,598	36,416	6,319	51,937
경 기	2,737	24,024	216,455	101,514	11,150	111,806
강 원	488	43,309	81,329	37,286	6,884	57,794
충 북	583	5,325	19,576	21,377	3,294	46,795
충 남	1,038	19,527	44,850	37,277	5,182	74,659
전 북	743	25,047	80,723	28,984	8,298	54,699
전 남	982	12,260	67,627	55,463	7,160	86,356
경 북	1,127	73,326	249,652	44,567	25,848	8,1489
경 남	1,818	40,042	235,838	98,929	15,699	97,805
제 주	252	1,073	6,039	7,220	897	8,198
총 계	19,714	342,196	1,361,627	722,773	137,072	1,361,364

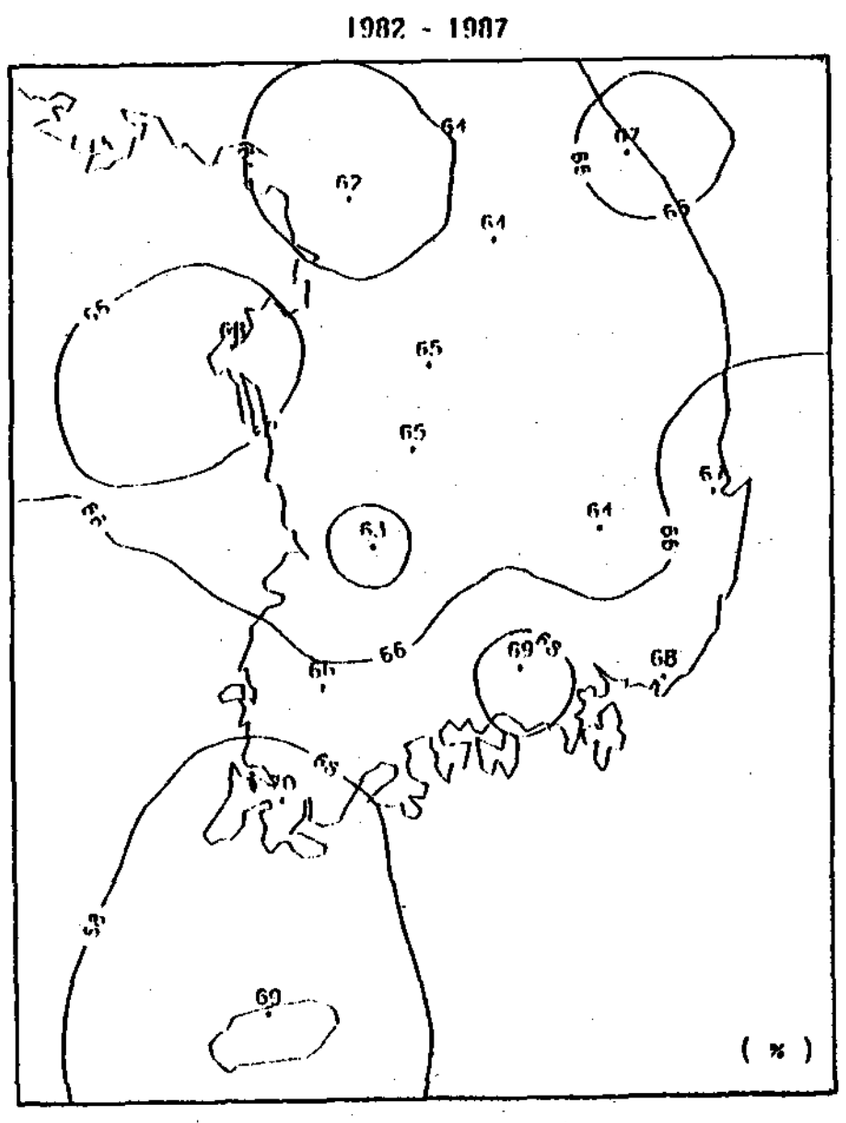
* 자료 : 사단법인 보사동지회, "환경 · 복지총람", pp. 122~131, 1988.

년 이전에 측정된 자료와 비교하여 볼 때, '88년 이전보다 거의 모든 도시에서 청명도가 상당히 감소하고 있음을 명백히 짐작할 수 있다.

Fig. 4a는 '88~'93년 사이에 계절별 청명도의 분포특성을 나타낸 것이다. 즉, 우리나라의 청명도는 겨울을 제외한 모든 계절에서 유사한 지역적 특성을 나타내 주고 있다. 분포특징을 좀 더 세분하면, 봄, 여름, 가을철의 대기청명 조건은 내륙지방 도시보다 포항, 부산을 제외한 해안지방 도시가 더 좋은 반면에, 겨울철은 강릉과 서산을 제외한 전 해안지방과 내륙지방 도시에서 낮은 형태를 갖고 있으나, 그 중에서도 특히 남해중부지방인 진주는 상대적으로 높은 형태를 갖고 있다. 이는 계절풍이 이 도시 지역의 대기청명 상태에 상당한 영향을 미치고 있기 때문인 것으로 믿어진다.



a. 봄(3 - 5월)



b. 봄(3 - 5월)

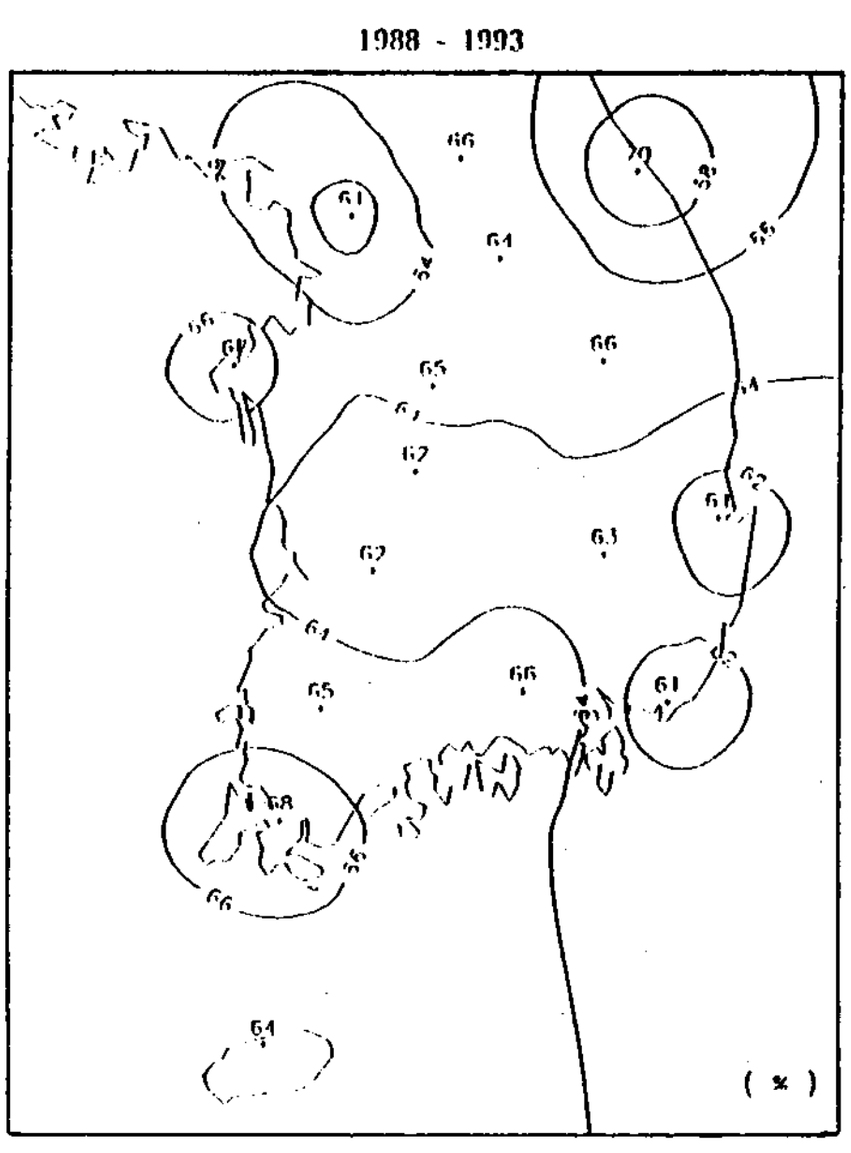
Fig. 4. Continuity

VI. 결 론

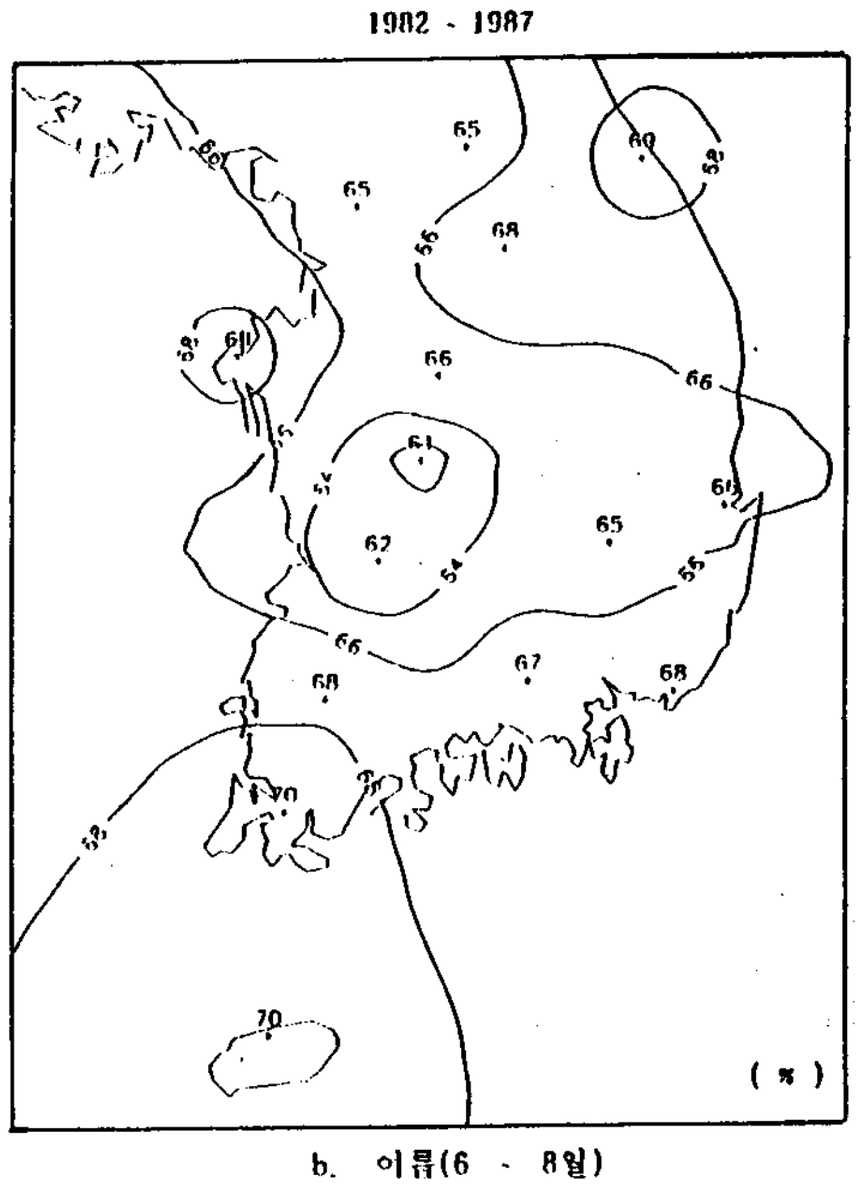
1982년부터 1993년까지 이 기간동안 수행해 온 전국 주요도시의 대기청명도에 대한 실측평가사업을 종합해 볼 때, 다음과 같은 결론을 얻게 된다.

첫째, 서울, 대구, 부산과 같은 수도권 및 대도시지역과 대규모 공업단지가 위치한 포항, 그리고 최근에 급속한 차량증가를 보인 제주시는 청명도의 경년변화가 타도시에 비해 상대적으로 심한 것으로 나타났으나, 춘천, 강릉, 전주, 광주시는 같은 기간동안의 타도시에 비해 청명도의 경년변화는 거의 보이지 않았다.

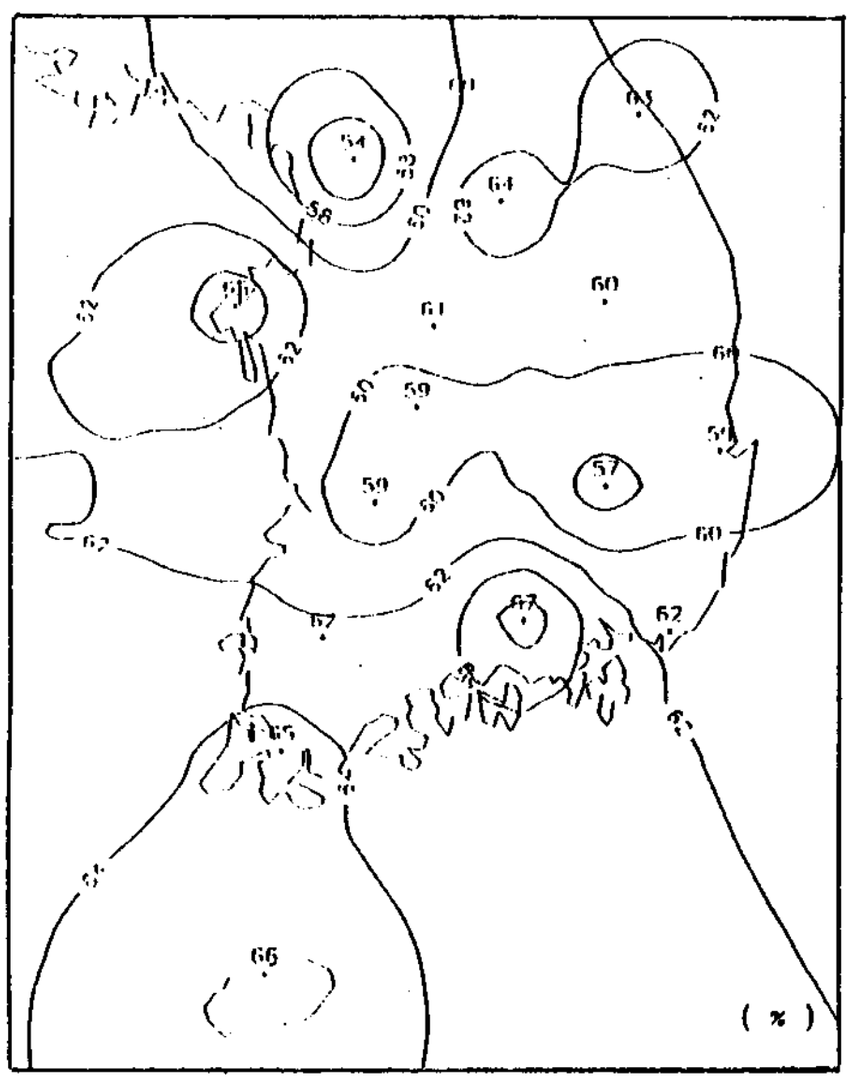
둘째, 1988년 이후 지난 6년간의 우리나라 주요도시에서의 대기청명 조건은 대략 62% 정도로 나타났으며, 전국적으로 청명도의 분포형태는 수도권지역과 대전, 대구, 부산과 같은 대소시와 공단지역인 포항, 청주, 전주가 타도시에 비해 낮게 나타났으며, 대기오염이 심각



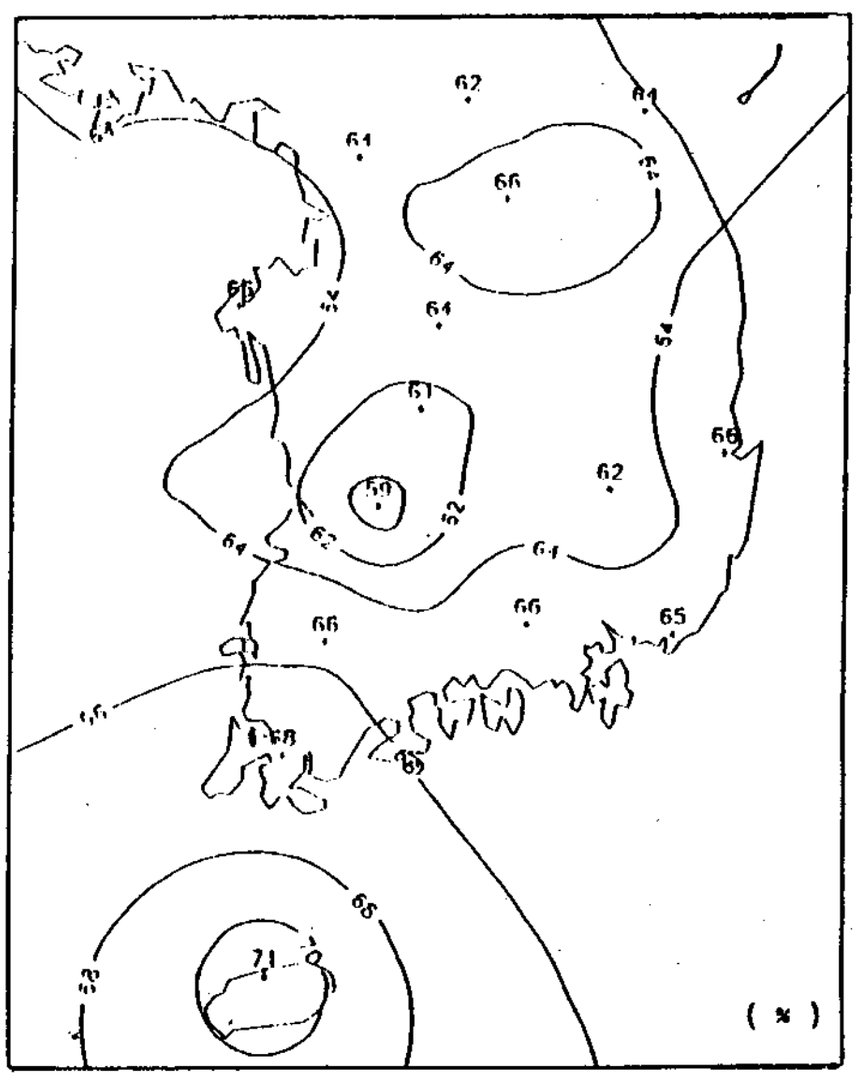
a. 여름(6 - 8월)



b. 여름(6 - 8월)

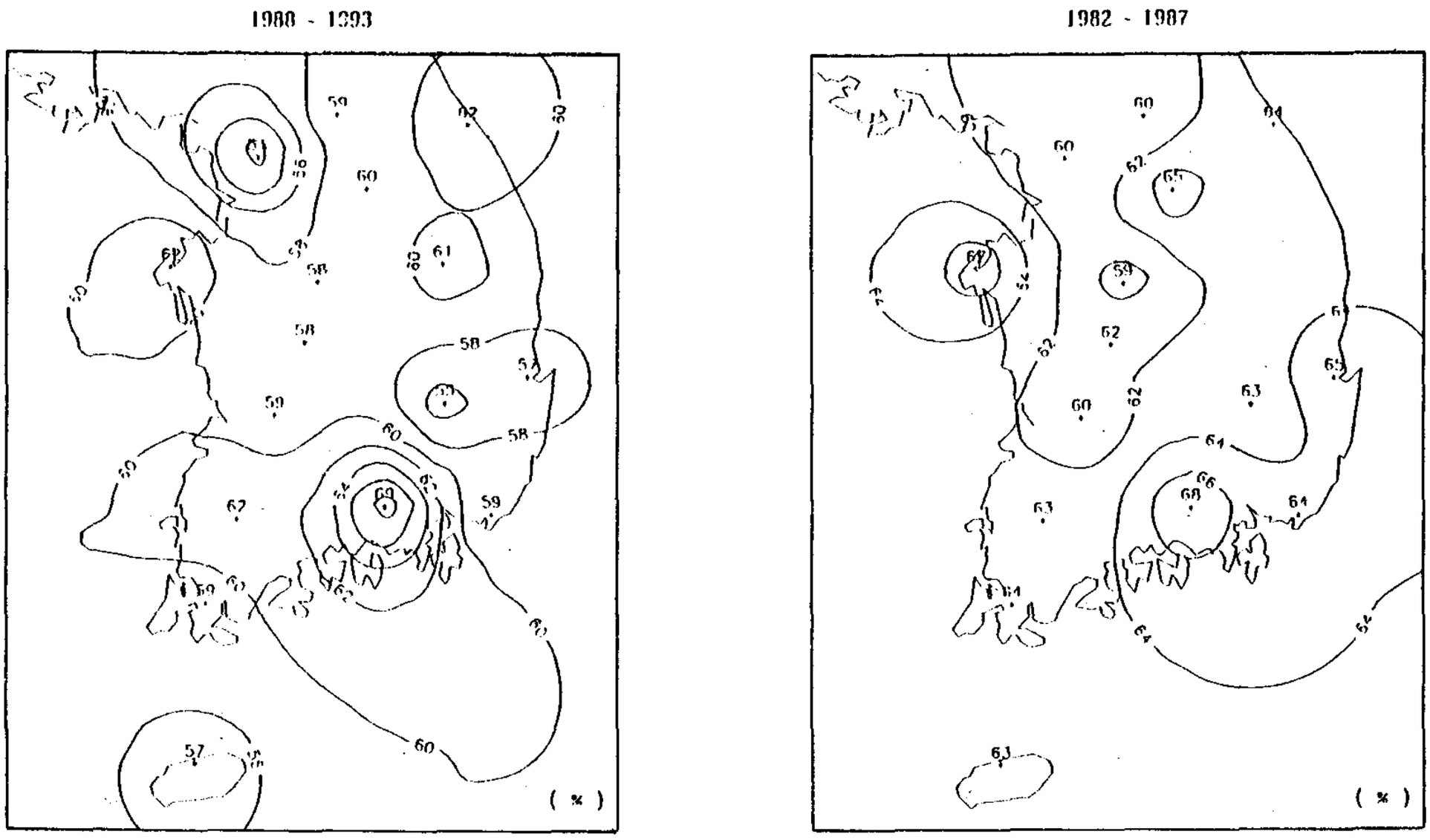


a. 가을(9 - 11월)



b. 가을(9 - 11월)

Fig. 4. Continuity



a. 기울(12 - 2월)　　b. 기울(12 - 2월)

Fig. 4. Seasonal variation of atmospheric clearness index distribution

한 서울은 전국에서 제일 낮은 청명도를 기록하였다. 반면에, 남해중서부지방과 태안반도일대, 동해북부지방에 위치한 도시는 65% 이상으로 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 이 중에서도 진주는 전국에서 가장 높은 청명도를 기록하여 우리나라 전 도시에서 대기청명상태가 제일 좋은 곳으로 나타났다.

셋째, 1988년 이후에 우리나라 주요도시에서의 계절별 대기청명 조건은 연평균치에 비하여 봄과 여름철이 각각 63%, 64%로 다소 높았으며, 가을과 겨울철은 각각 61%, 59%로 낮게 나타나, 난방철인 가을과 겨울철에는 도시에서의 지역난방으로 인하여 대기에 배출되는 오염물질이 봄과 여름철에 비해 상대적으로 대기에 상당한 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

그러나, 우리나라 전 도시중 16개 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 이와같은 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.

References

1. 기상청, "기상년·월보", 1982~1993.
2. 기상청, "한국기후표(1951~1980)", 제 1 권 (1982), 제 2 권(1983).
3. 이남호외, 태양에너지 자원조사 및 신제품

성능 비교연구 I, II, III, IV, 한국에너지 기술연구소, 1982~1985.
4. 최영희외, 국내일사량의 성분 및 가용량 평가 I, II, III, 한국동력자원연구소, 1989~1991.
5. 노재식, 국내 지역별 통계적 기상자료 II, 공업진흥청, 1979.
6. 노재식, 일사량, 태양에너지연구소, 1980.
7. 소선섭, 이천우, 기상관측법, 교문사, 1986.
8. Duffie J.A. and Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley New York, 1980.
9. Lunde P.J., Solar Thermal Engineering, John Wiley & Sons New York, 1980.
10. Dickinson, W.C. and Cheremisinoff P.N, Solar Energy Technolog Handbook, Marcel Dekker Inc., 1981.
11. Gorden J.M. & Hochman M., On Correlation between Beam and Glogal Radiation, Solar Energy Vol. 32, pp. 319~326, 1983.
12. Iqbal M., An Introduction to solar Radiation Academic Press Toronto, 1983.
13. Ledanois J.M. and A. Prieto, A New Solar Map of Venezuela, Solar Energy Vol. 41, No. 2, pp. 115~126, 1988.
14. Davies J.A. and Mckay D.C., Estimating Solar Radiation from Incomplete Cloud Data, Solar Energy Vol. 41, No. 1, pp. 15~18, 1988.
15. Hays J.E., An Assessment of Mesoscale Variability of Solar Radiation at the Earth's Surface, Solar Energy Vol. 32, pp. 425~434, 1984.

Do=1.58 than p/Do=4.75.

3) Mean Nusselt number can be expressed by the following equation,

$Nu_{mean}=C\ Re^{m}\ Pr_{g}^{0.4}(p/dp)^{n}$.

A Study on the Atmospheric Clearness of Major Cities in Korea

Jo, Dok-Ki · Kim, Eun-Ill · Lee, Tae-Kyu · Park, Kyung-Ho · Chun, Il-Soo · Jeon, Hong-Seok · Auh, Chung-Moo

Korea Institute of Energy Resources

Since the atmospheric clearness index is main factor for evaluating atmosphere circumstance, it is necessary to estimate its characteristics all over the cities in Korea.

We have began collecting clearness index data since 1982 at 16 different cities and considerable effort has been made for constructing a standard value from measured data at each city.

The new clearness index data will be extensively used by evaluating atmospheric circumstance analysies as well as by solar application system designer or users.

From the results, we can conclude that

1) Yearly mean 63 % of the atmospheric clearness index was evaluated for clear day all voer 16 cities in Korea.
2) Atmospheric clearness index of spring and summer were 63 % and 64 % and for fall and winter their values wre 61 % and 59 % respectively. So, spring and summer were higher, and fall and winter were lower then the yearly value.
3) A significant difference of atomospheric clearness index is observed between 1982~1987 and 1988~1993 through 16 different cities in Korea.

Convective Heat Transfer in a Channel with an Isothermal Rectangular Beam

Kwon, Sun-Sok* · Ree, Jae-Shin