

# 국내 대기청명도의 경년변화

조덕기\*, 윤창열\*, 김광득\*, 강용혁\*

\*한국에너지기술연구원(dokkijo@kier.re.kr / yuncy@kier.re.kr / kdkim@kier.re.kr / yhkang@kier.re.kr)

## A Change of Yearly Atmospheric Clearness Index in Korea

Jo, Dok-Ki\* Yun, Chang-Yeol\* Kim, Kwang-Deuk\* Kang, Young-Heack\*

\*Korea Institute of Energy Research(dokkijo@kier.re.kr / yuncy@kier.re.kr / kdkim@kier.re.kr / yhkang@kier.re.kr)

### Abstract

Since the atmospheric clearness index is main factor for evaluating atmosphere environment, it is necessary to estimate its characteristics all over the major cities in Korea. We have begun 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 data will be extensively used by evaluating atmospheric environment as well as by solar application system designer or users.

Yearly mean 64% of the atmospheric clearness index was evaluated for clear day all over, and significant difference of horizontal global insolation is observed between 1982 ~ 1986 and 1987 ~ 1991, 1992 ~ 1996, 1997 ~ 2001, 2002 ~ 2009 through 16 different cities in Korea.

Keywords : 대기환경(Atmospheric Environment), 청명도(Cleanness Index), 수평면 전일사량(Horizontal Global Insolation)

### 1. 서 론

도시에 입사되는 일사는 그 도시를 중심으로 한 특수기후가 형성되는 과정과 함께 도시 기후를 변화시키는 중요한 역할을 한다.

즉, 도시 내에는 매연이나 부유분진, 배기가스 등 대기오염물을 많이 포함하고 있어 이것들이 도시 내에 입사하는 태양복사선의 투과를 방해하므로 대도시나 공업도시에 입사

하는 일사량을 도시외곽 내지 전원지역, 도시에 입사되는 일사량과 비교하여 볼 때, 현저한 차이를 보이고 있다. 이와 같이 오염물질의 대기권 축적에 따른 일사의 감쇄현상은 주민건강 생활의 유지와 환경보존의 척도로 매우 중요하게 관찰되어질 문제인 것이다. 본 논문에서는 그동안 연구된 청명일사량 예측기법과 대기권밖 일사량에 대한 수평면일사량의 비와 운량과의 경험적 상관관계를 이용한

투고일자 : 2010년 12월 18일, 심사일자 : 2011년 1월 5일, 게재확정일자 : 2011년 2월 11일  
교신저자 : 조덕기(dokkijo@kier.re.kr)

대기청명도 분석에 이어 측정도시의 비교대상 자료를 전국 주요 16개 도시에서 1982년부터 2009년 사이에 구름의 영향을 거의 받지 않은 청명한 날에 측정된 28년간 평균 자료를 1일별로 정리 분석하고, 그 결과를 통하여 도시별 혹은 도시간의 청명도를 분석하여 해당도시의 대기환경 평가에 그 목적을 두었다.

## 2. 연구방법

전국의 대기청명도 광역분포 상태를 분석하기 위하여 서울을 비롯한 춘천, 강릉, 원주, 서산, 청주, 대전, 포항, 대구, 전주, 광주, 부산, 목포, 제주, 진주, 영주지역(전국 16개 지역)을 대상으로 경년변화분석과 분포현황분석으로 구분하여 국내 대기청명도의 전반적인 평가가 가능하도록 총량적 분석내용으로 다루었다.

여기서, 청명도는 청명한 날에 측정된 수평면 전일사량을 대기권밖 일사량으로 나누어 그 값을 구한다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 경년변화 분석

우리나라 주요 16개 도시지역에서 1982년부터 2009년 사이에 측정된 청명도 즉, 청명한 날의 대기권밖 일사량에 대한 수평면 전일사량의 비를 '82 ~ '86년(A)과 '87 ~ '91년(B), '92 ~ '96년(C), '97 ~ 2001년(D), 그리고 2002 ~ 2009년(E) 기간사이에 측정된 평균자료로 나누어 경년변화를 분석하여 보면, 그림 1에서 나타난 바와 같이 '82 ~ '96년 기간사이에는 매년 대부분의 도시지역에서 공히 대기청명도가 감소하고 있음을 알 수 있다. 그러나 '97년부터는 매년 대부분의 도시지역에서 대기청명도가 다시 좋아지고 있음을 확인할 수 있다.

표 1에서 보는바와 같이 '82 ~ '86년(A)에 비해 '87 ~ '91년(B)은 -3.4%, 그리고 '92 ~ '96년(C)은 -3.9%, '97 ~ 2001년(D)은 -1.8% 정도의 상당한 감소율을 보였다.

표 1. 전국 주요 16개 전 도시지역에서의 대기청명도 연 평균치

(단위 : %)

연도	계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
'82-'86 (A)		66.5	66.6	65.5	63.5	65.5
'87-'91 (B)		63.0	64.6	61.2	59.6	62.1
'92-'96 (C)		62.2	62.4	61.8	59.9	61.6
'97-'01 (D)		64.2	64.2	63.5	62.9	63.7
'02-'09 (E)		67.4	66.5	66.5	66.8	66.8
B-A		-3.5	-2.0	-4.3	-3.9	-3.4
C-A		-4.3	-4.2	-3.7	-3.6	-3.9
D-A		-2.3	-2.4	-2.0	-0.6	-1.8
E-A		+0.9	-0.1	0	+3.3	+1.3

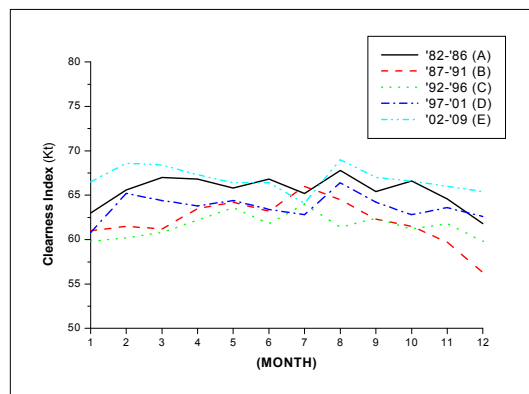


그림 1. 전국 16개 도시에서의 대기청명도 경년변화

이와 같은 원인은 도시 내의 가스 및 대기오염물에 의하여 태양복사에너지가 흡수됨으로써 일사와 대기오염물 등이 상호 작용하여 도시지역에 나타난 국지적인 현상으로 보인다. 그러나 2002 ~ 2009년(E)은 +1.3% 높게 나타나 최근에 들어와 대기 중에 오염물질이 다소 감소되고 있음을 알 수 있다.

또한, 우리나라 주요 16개 도시지역에서

관측한 계절별에 따른 대기청명도는 각 기간(A, B, C, D, E) 공히, 사계절 중에서 가을과 겨울철이 타 계절보다도 다소 낮게 나타나고 있다. 따라서 특히 이들 철에 도심지의 난방으로 인한 대기오염물, 즉 이산화탄소의 발생이 타 계절보다도 많았기 때문인 것으로 쉽게 짐작할 수 있다.

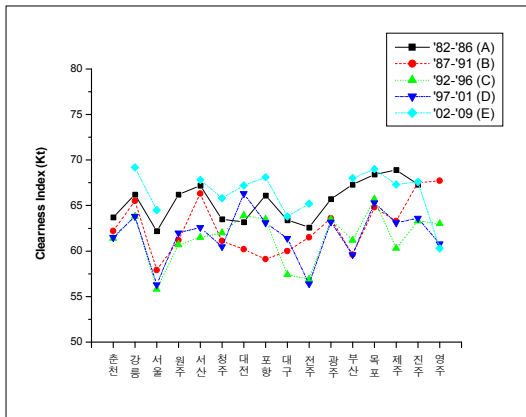


그림 2. 전국 주요 도시별에 따른 대기청명도 경년변화

한편, 주요 도시별로 평균 대기청명도의 경년변화를 살펴보면, 그림 2에서 보는 바와 같이 우선 '82 ~ 2001년(A, B, C, D) 기간 사이에서 서울, 부산과 같은 대도시지역과 공업 단지가 위치한 청주, 전주, 그리고 분지일원인 영주에서는 타 도시에 비해 청명도가 매년 상당히 감소되어 이들 지역이 대기오염에 의한 태양복사선의 투과방지가 타 도시에 비해 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 그러나 최근 2002 ~ 2009년(E)에 들어서 부산, 제주, 진주시를 제외한 전 도시에서 '82 ~ '86년(A)에 비해 상당히 청명도가 높게 나타나고 있어 전반적으로 우리나라 도시지역에서 대기상태가 점차적으로 좋아지고 있음을 알 수 있다.

또한, 특히 해안지역인 제주시는 '82 ~ '86년(A) 사이에 남해안 지역인 진주, 목포시와 더불어 전국 주요 도시에서 대기청명도 상태가 제일 좋았던 것으로 나타났으나, 87 ~ '96

년(B) 사이에 매년 타 도시에 비해 상당한 감소현상을 보여 타 도시에 비해 차량증가로 인한 배기가스의 배출 등이 대기에 상당한 영향을 미친 것으로 분석되었으나, '97년부터는 점차적으로 청명도가 좋아지고 있다. 반면에 춘천, 강릉시는 청명도의 경년변화를 거의 보이지 않아 이들 도시에 입사되는 일사량은 대기오염과는 직접적인 관계를 갖고 있지 않은 것으로 나타났다.

또한, 우리나라의 계절별 대기청명도 조건을 일년을 기준으로 분석하여 보면, 표 2에서 보는바와 같이 대기청명 조건이 가장 좋은 계절은 봄철과 여름철로 나타났으며, 연중 가중치는 공히 25.3%로 나타났다. 반면에 가을철과 겨울철의 연중 가중치는 각각 24.9%, 24.5% 정도로 상대적으로 낮게 나타나 봄철의 황사에 의한 대기청명 조건에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 겨울철은 도심 난방으로 인하여 타 계절보다 다소 낮게 나타나는 현상을 보였다.

표 2. 계절별 대기청명도의 변동추이 (단위 : %)

구분 \ 계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
대기청명도	64.6	64.6	63.6	62.4	63.8
가중치 (%)	25.3	25.3	24.9	24.5	

### 3.2 주요 도시지역 간 분포형태

그림 3은 지난 1982년 1월부터 2009년 12월 기간 동안 구름이 전혀 없는 매우 청명한 날에 예측된 자료의 평균치를 가지고 전산시뮬레이션 기법으로 도해한 전국적인 연평균 대기청명도 분포현황도로, 이 기간 동안 연평균치로 계산하였을 때 전국이 대략 64% 정도의 대기청명도를 나타내고 있다. 이 중에서도 수도권지역, 그리고 대구와 같은 대도

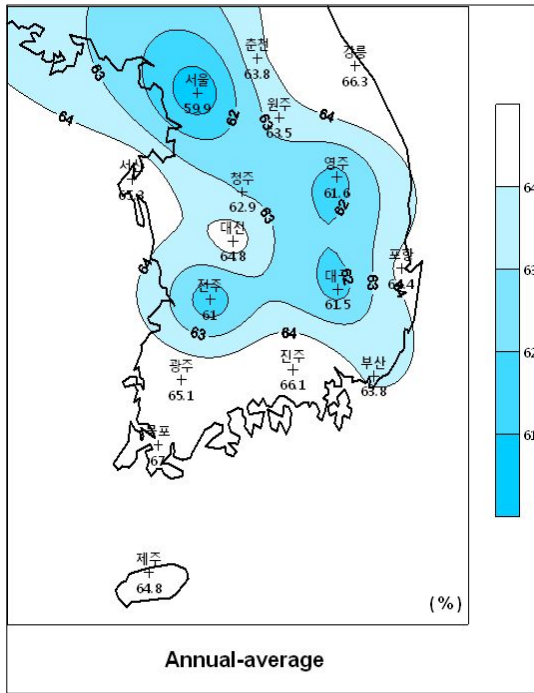


그림 3. 전국 연평균 1일 대기청명도 분포도

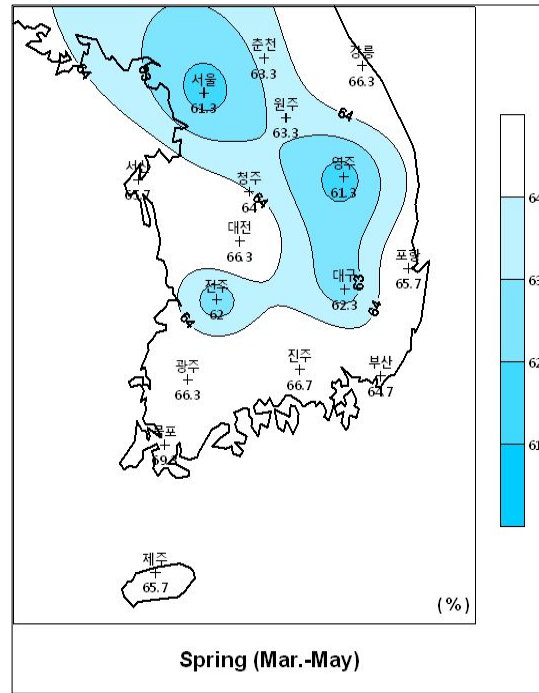


그림 5. 전국 봄철 일평균 대기청명도 분포도

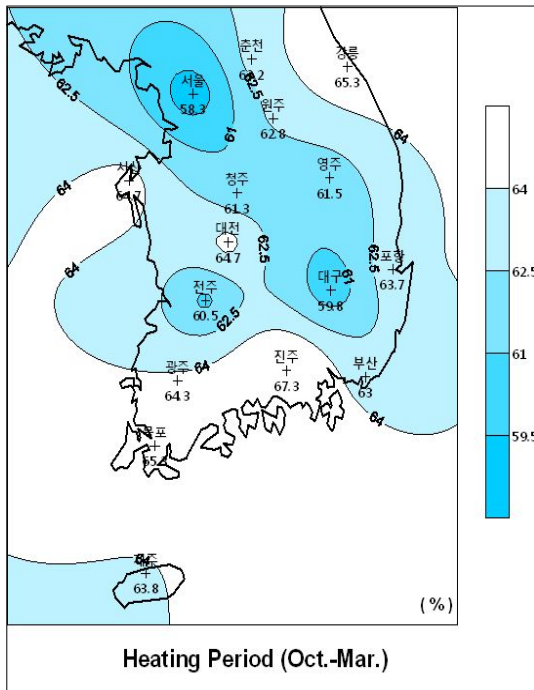


그림 4. 전국 연평균 1일 난방기간 대기청명도 분포도

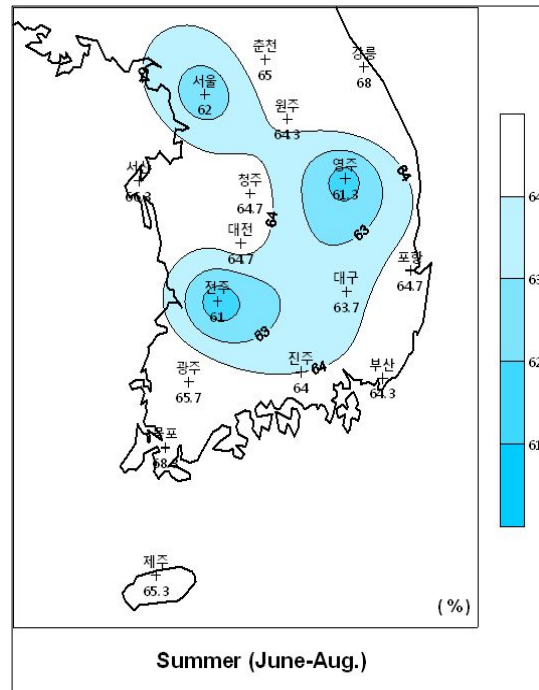


그림 6. 전국 여름철 일평균 대기청명도 분포도

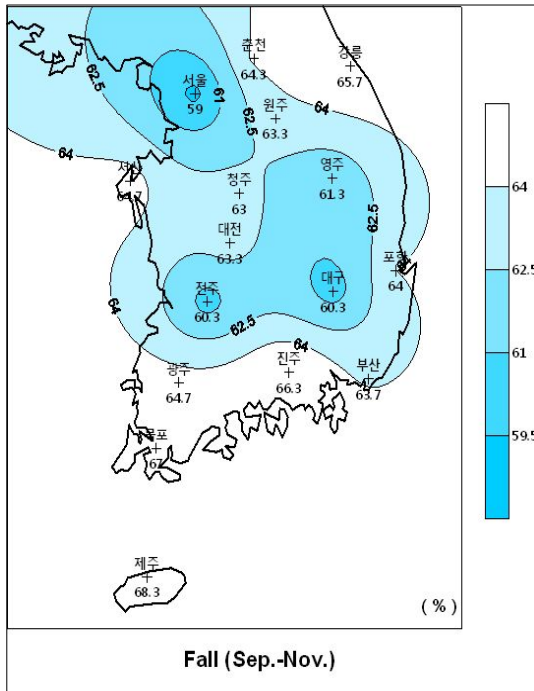


그림 7. 전국 가을철 일평균 대기청명도 분포도

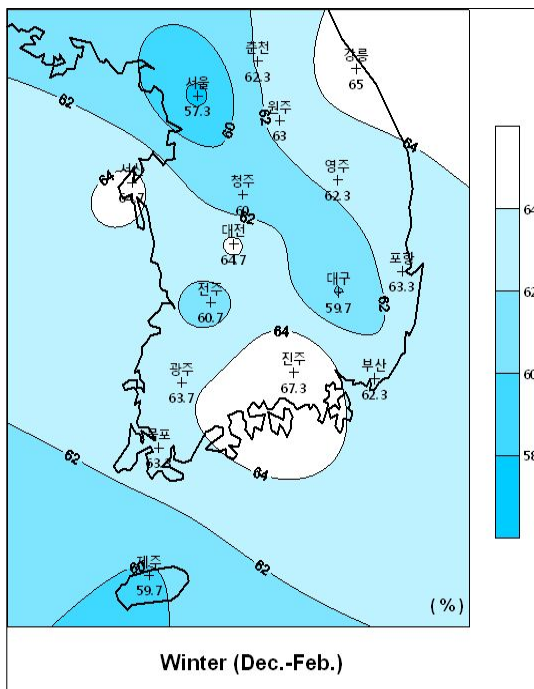


그림 8. 전국 겨울철 일평균 대기청명도 분포도

시지역과 전주와 같은 밀집된 공단지역에서는 전국에서 가장 낮은 대기청명도 분포를 나타내고 있으며, 대기오염이 심각한 서울지역이 전국에서 가장 낮은 대기청명도를 기록하였다. 또한 영주지역 역시 상대적으로 낮은 형태를 보이고 있어 이는 특히 봄과 여름철에 걸쳐 인접 소백산(죽령)에 머물고 있는 수증기, 즉 이슬과 안개 등의 영향으로 인하여 이들 분지의 대기조건에 상당한 영향을 미치고 있기 때문으로 믿어진다.

반면에 태안반도 일대와 남해중서부지방, 그리고 동해북부지방에 위치한 도시지역은 65% 이상으로 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 목포는 전국에서 가장 높은 대기청명도를 기록하였다. 또한 중북부 산간지방에 위치한 도시지역에서는 대략 63% 내외로 비교적 대도시 지역이나 도시지역 내에 공단지역이 위치한 도시에 비해 대기가 청명한 것으로 나타났다.

한편, 같은 기간 난방기간(10 ~ 3월)동안에 산출된 대기청명도의 전국적인 분포특징을 살펴보면, 그림 4에서 보는바와 같이 그림 3과 거의 유사한 분포를 나타내어 이 기간 동안의 대기상태가 전년에 걸쳐 영향을 미치고 있음을 짐작할 수 있다. 그림 5 ~ 그림 8은 같은 기간 동안 계절별 대기청명도의 분포특징을 나타낸 것이다. 즉, 우리나라의 대기청명도는 겨울을 제외한 모든 계절에서 유사한 지역적 특성을 나타내 주고 있다.

분포특징을 좀 더 세분화하면, 봄철은 내륙지방보다는 해안지역 지방이 좋으며, 여름철은 서울과 전주, 영주지역을 제외한 전국이 고른 분포를 나타낸 반면에 강릉과 목포지역은 타 지역보다 높게 나타났으며, 가을철은 서울, 대구와 같은 대도시지역과 공단지역인 전주에서 타 지역보다는 낮게 나타나 전국적으로 연평균 분포와 유사한 경향을 보였다.

겨울철은 수도권지역을 비롯한 그 인접지역과 대도시지역인 대구, 부산지역, 그리고 공단지역인 청주, 전주, 그리고 해안지방인

제주지역이 타 지역보다도 낮은 형태를 갖고 있는 반면에, 남해중부지방인 진주는 상대적으로 타 지역보다 높은 형태를 갖고 있다. 이는 계절풍이 이들 도시지역의 대기청명 상태에 상당한 영향을 미치고 있기 때문인 것으로 믿어진다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 대기오염 상태가 도시지역 내에서 일사에너지가 얼마나 차단하는지를 알아보기 위해서는 도시지역 내에서 일사량 측정을 통한 대기청명도를 측정, 분석함으로써 해당 도시의 대기환경 평가는 물론 태양에너지 이용시스템 및 건물설계를 위한 도시지역의 설계변수를 도출함으로써 시스템의 최적화를 기하고자 하였다.

우리나라 주요 16개 도시지역에서 1982년부터 2009년 사이에 측정된 청명도 즉, 청명한 날의 대기권밖 일사량에 대한 수평면 전일사량의 비를 '82 ~ '86년(A)과 '87 ~ '91년(B), '92 ~ '96년(C), '97 ~ 2001년(D), 그리고 2002 ~ 2009년(E) 기간사이에 측정된 평균자료로 나누어 경년변화를 분석하여 보면, '82 ~ '96년 기간사이에 매년 대부분의 도시지역에서 공히 대기청명도가 감소하고 있었으나 '97년부터는 매년 대부분의 도시지역에서 대기청명도가 다시 좋아지고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 '82 ~ '86년(A)에 비해 '87 ~ '91년(B)은 -3.4%, 그리고 '92 ~ '96년(C)은 -3.9%, '97 ~ 2001년(D)은 -1.8% 정도의 상당한 감소율을 보였다.

이와 같은 원인은 도시 내의 가스와 대기오염물에 의하여 태양복사에너지가 흡수됨으로써 일사와 대기오염물 등이 상호 작용하여 도시지역에 나타난 국지적인 현상으로 보인다. 그러나 2002 ~ 2007년(E)은 +1.3% 높게 나타나 최근에 들어와 대기 중에 오염물질이 다소 감소되고 있음을 알 수 있었다.

그러나, 우리나라 전 도시 중 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 수 밖에 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

#### 후 기

본 연구는 국가 출연사업인 주요사업의 지원을 받아 수행되었음 (과제번호 : GP 2009-0051).

#### 참 고 문 헌

1. Duffie John A. and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991, pp. 3-145.
2. The Kenneth E. Johnson Environmental and Energy Center, Solar Radiation Data Sources -Applications and Network Design, DOE, U.S.A., 1978.
3. 기상청, "기상년·월보", 1982 ~ 2009.
4. 환경부, "환경백서", 2005.
5. 조덕기 외, 경험적 예측모형을 통한 한반도 주요 도시의 대기청명도 평가, 한국태양에너지학회지, 제28권 제4호, 25-34, 2008.
6. 조덕기 외, 의사결정지원 모형을 통한 우리나라 주요 도시의 대기청명도 평가, 한국태양에너지학회지, 제22권 제1호, 55-65, 2002.