한국신·재생에너지학회 2009년도 춘계학술대회논문집 pp.239~242

국내 주요 도시의 대기청명도 재평가

*,**조 덕기[1], 윤 창열[2], 김 광득[3], 강 용혁[4]

A Revaluation of Atmospheric Clearness Index in Korean Major Cities

Dok-ki Jo, Chang-Yeol Yun, Kwang-Deuk Kim, Young-Heak Kang

Key words : Clearness Index (대기청명도), 수평면 전일사량(Horizontal Global Radiation)

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 analysts as well as by solar application designers or users. From the results, yearly mean 63.6% of the atmospheric clearness index was evaluated for clear day all over in Korea

1. 서 론

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 사용량이 늘어남에 비례하여 발생되는 매연은 도시 전 지역으로 확산되며, 이로 인한 일사량의 감소는 도시기후에 큰 변화를 발생하게 한다. 동시에 도시화 할수록 도시를 중심으로 한 수송량이 증가하며, 그 주요 부분을 차지하고 있는 자동차는 공장에서 배출되는 연기와 비슷한 배기가스를 배출함으로서 역시 도시기후에 큰 변화를 가져온다.

따라서, 도시 내에는 매연이나 부유분진, 배기가스 등 대기오염물을 많이 포함하고 있어 이것들이 도시 내에 입사하는 태양복사선의 투과를 방해하여 대기오염이 심화되고 있는 대도시나 공업도시에 입사하는 일사량을 도시외곽내지 전원지역, 소도시에 입사되는 일사량과 비교하여 볼 때, 현저히 적게 나타나고 있다. 이와 같이 오염물질의 대기권 축적에 따른 일사의 감쇄현상은 주민건강 생활의 유지와 환경보존에 있어서도 매우 중요한 문제가 아닐 수 없다.

본 연구는 이와 같은 대기오염 상태가 도시에서 일사에너지를 얼마나 차단하는지를 알아보고자, 전국 주요 16개 도시에서 '82~2007년 사이에 구름의 영향을 전혀 받지 않은 청명한 날에 측정된 26년간 평균 일사량 자료를 1일별로 정리 분석하고, 그 결과를 통하여 우리나라 주요 도시의 도시지역별 혹은 도시지역간의 대기의 청명도, 즉 청명한 날에 측정된 수평면 전일사량에 대한 대기권밖 일사량 비율을 산출 분석하여 전반적인 우리나라 주요 도시의 대기환경을 재평가하고자 하였다.

2. 연구방법

태양광에너지인 일사량은 대기권내의 여러 가지 작용을 거쳐 지표면에 도달하게 되므로 대기[1]권 밖 일사량의 값은 지표면에 입사하는 수평면 전일사량에 비해 현저한 차이를 보이게 된다. 그러므로 청명한 날이나 대기상태가 오염되지 않은

1) 저자의 소속
E-mail : dokkijo@kier.re.kr
Tel : (042)860-3561 Fax : (042)860-3739
2) 저자2의 소속
E-mail : yuncy@kier.re.kr
Tel : (042)860-3746 Fax : (042)860-3739
3) 저자3의 소속
E-mail : kdkim@kier.re.kr
Tel : (042)860-3731 Fax : (042)860-3739
4) 저자4의 소속
E-mail : yhkang@kier.re.kr
Tel : (042)860-3518 Fax : (042)860-3739

조건 하에서의 일사량은 보다 증가할 것이며, 흐린 날이나 오염된 대기에서는 대기권내에서 흡수되는 일사량이 증가하여 상대적으로 지표면에 도달하는 일사량은 감소된다. 따라서 일사량은 태양광발전시스템의 설계자로서의 이용뿐만 아니라 대기상태의 분석에도 필연적인 것으로서 이에 대한 정확한 정보를 얻기 위해서는 대기권 밖 일사량의 산출 역시 필수 불가결한 것이다.

청명도 청명한 날에 측정된 수평면 전일사량을 대기권밖 일사량으로 나뉘어 그 값을 산출할 수 있다. 청명도는 값이 1에 가까울수록 천공상태가 맑다고 할 수 있으며, 구름의 영향을 전혀 받지 않는 청명한 날에 측정지역들 간의 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, 운량이 0~0.1 사이인 경우로서 기상청이 발표한 지역별 기상자료를 이용하였으며, 대기권밖 일사량 산출은 Klein Duffie와 Beckman에 의해 발전되어 시간별 및 일별, 월별에 따른 대기권 밖 일사량 식에 의했다.

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 반영하였으며, 이에 따른 각 측정도시는 서울을 비롯한 15개소로 하였다.

청명도 측정을 위한 일사량 측정장치로는 미국 Eppley사가 제작한 PSP (Precision Spectral Pyr-anometer) 수평면일사계와 미국 Vaisala사에서 제작한 DCP(Data Collection Platform) 데이터수집장치를 사용하였으며, 운량 값은 기상청에서 목측에 의해 측정하였다.

3. 연구결과와 고찰

전국 주요 16개 도시지역에서 '82~2007년 사이에 측정된 청명도 즉, 청명한 날의 대기권밖 일사량에 대한 수평면 전일사량의 비를 산출하여 분석하여 보면, Table 1에서 나타난바와 같이 우리나라 전 지역에서의 대기청명도는 연 평균치로 계산하였을 때, 하루에 63.6% 정도로 나타났으며, 계절별로는 연중 여름철의 대기청명 조건이 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연 평균치에도

Table 1. Seasonal averaged daily atmospheric clearness index in Korea

(단위 : %)

계절 / 연도	봄	여름	가을	겨울	연평균
G('82-2007)	64.4	64.3	63.4	61.9	63.6
/A	1.01	1.01	1.00	0.97	1.00

Table 2. Annual average daily atmospheric clearness index in Korea

(단위 : %)

월 / 도시	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
춘천	62.5	62.9	64.6	61.8	62.5	63.9	63.9	66.3	65.5	61.6	63.9	59.8	63.3
강릉	64.9	64.6	65.4	66.9	66.0	67.4	66.9	68.6	65.4	64.7	65.4	63.1	65.8
서울	57.5	59.4	60.5	60.8	61.1	61.6	60.5	62.9	59.2	58.5	57.0	52.9	59.3
원주	62.5	64.0	63.3	63.5	62.2	61.9	64.0	66.1	65.3	62.2	62.1	60.0	63.1
서산	65.4	65.5	65.3	66.4	66.0	66.8	64.6	66.8	64.8	65.3	64.2	62.2	65.3
청주	56.8	63.3	63.0	64.2	65.5	65.5	64.9	63.7	64.0	63.5	61.9	59.4	63.0
대전	63.4	66.8	66.7	66.1	64.2	63.5	62.8	66.2	62.8	62.5	64.0	61.3	64.2
포항	63.4	63.6	64.8	65.4	65.3	65.5	63.5	63.6	64.5	62.7	63.4	61.6	63.9
대구	60.2	60.6	60.9	62.4	63.0	63.2	64.1	62.8	61.6	58.7	59.0	57.0	61.1
전주	59.0	63.2	60.5	61.8	62.4	60.8	59.9	61.2	60.6	60.8	58.6	57.1	60.5
광주	64.0	66.1	65.4	66.8	66.1	65.4	65.3	67.1	64.7	64.9	63.4	61.4	65.1
부산	61.7	62.3	63.8	63.9	65.5	64.8	63.3	65.0	63.8	62.9	63.3	60.5	63.4
목포	62.1	65.8	68.7	68.8	69.5	68.9	67.7	67.9	67.6	67.6	65.2	60.3	66.7
제주	56.9	60.3	63.2	65.4	67.2	65.0	64.8	65.9	65.1	77.0	62.8	60.4	64.5
진주	68.7	67.2	68.0	67.7	65.7	62.7	63.7	64.6	65.2	66.8	67.2	66.5	66.2
영주	60.6	61.7	61.0	59.8	59.9	60.7	58.9	60.6	62.7	57.3	60.7	59.8	60.3
평균	62.0	64.0	64.0	64.0	65.0	64.0	64.0	65.0	64.0	64.0	63.0	60.0	63.6

훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다.

그러나, 대부분 대도시지역이 타 도시지역들에 비해 상대적으로 낮게 나타나고 있어, 태양복사선의 투과방지가 이들 도심지역에서의 대기오염과 가장 밀접한 관계를 갖고 있음을 알 수가 있다.

한편, 우리나라의 월별 대기청명도를 일 년을 기준으로 볼 때, Table 2에서 보는바와 같이 대기청명 조건이 가장 좋은 달은 5월로 하루에 65.0%인 것으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 60.03%로 나타났다.

참고로 우리나라 주요 도시지역에 대한 1982~2007년 기간 동안의 우리나라 주요 도시지역의 월별 연평균 1일 대기청명도 값을 표 2에 제시하였다.

Fig. 1은 지난 '82.1~2007.12 기간 동안 구름이 전혀 없는 매우 청명한 날에 예측된 자료의 평균치를 가지고 근접지역간의 대기청명도를 거리에 따라 균등하게 배분하여 임의 지점의 대기청명도를 산출하는 전산 시뮬레이션 기법으로 그린 전국적인 대기청명도 분포현황도로, 이 기간동안 연 평균치로 계산하였을 때 전국이 대략 63.6%

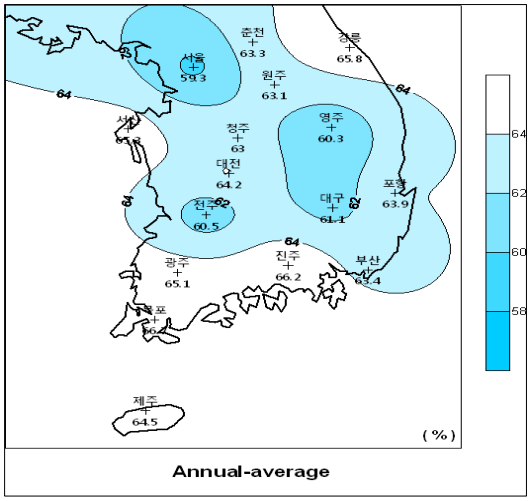

Fig. 1. Annual-average daily Atmospheric clearness index

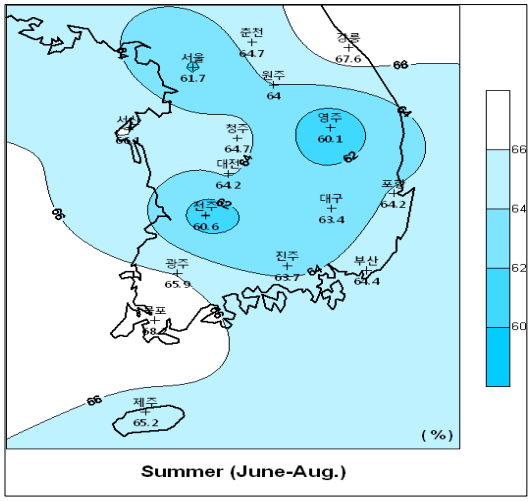

Fig. 4. Averaged daily Atmospheric clearness index of Summer

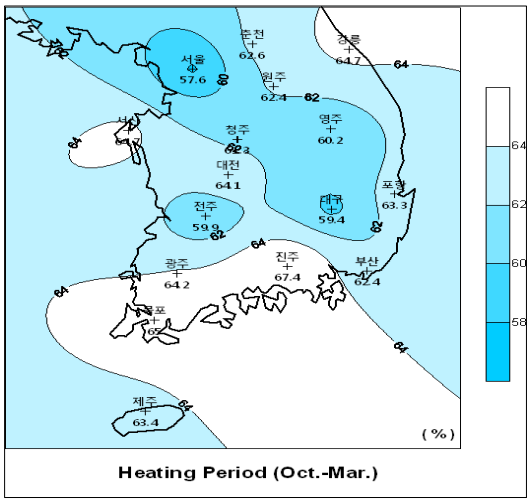

Fig. 2. Averaged daily Atmospheric clearness index of Heating Period

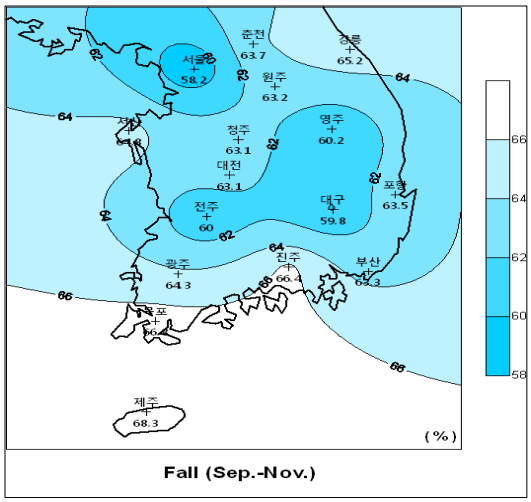

Fig. 5. Averaged daily Atmospheric clearness index of Fall

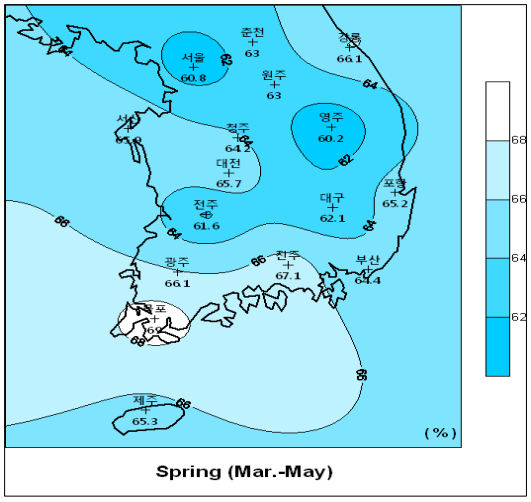

Fig. 3. Averaged daily Atmospheric clearness index of Spring

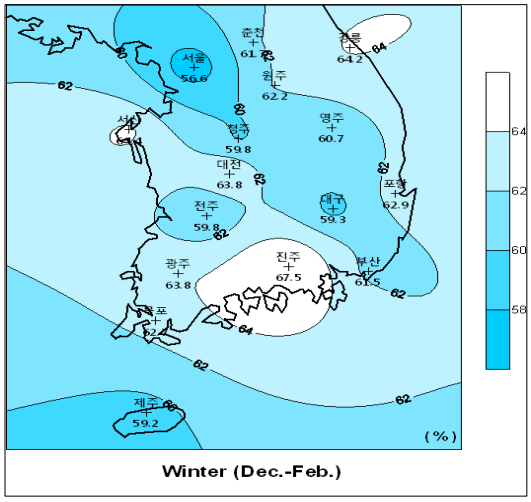

Fig 6. Averaged daily Atmospheric clearness index of Winter

정도 대기의 청명도를 나타내고 있다.

이 중에서도 수도권지역, 그리고 영주와 대도시지역 대구를 잇는 일대, 그리고 전주와 같은 밀집된 공단지역에서는 전국에서 가장 낮은 대기청명도 분포를 나타내었다. 반면에 태안반도 일대, 나주평야와 남해중서부지방, 그리고 동해북부지방에 위치한 도시지역, 그리고 제주도는 64% 이상으로 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 목포는 전국에서 가장 높은 대기의 청명도를 기록하였다. 또한 중북부 산간지방에 위치한 도시지역에서는 대략 63% 내외로 비교적 대도시지역이나 공단지역이 위치한 도시에 비해 대기가 청명한 것으로 나타났다.

한편, 같은 기간 난방기간(10~3월) 동안에 산출된 대기청명도의 전국적인 분포특징을 살펴보면, Fig. 2에서 보는바와 같이 Fig. 1과 거의 유사한 분포를 나타내어 이 난방기간 동안의 대기상태가 전년에 걸쳐 영향을 미치고 있음을 짐작할 수 있다.

Fig. 3~Fig. 6은 같은 기간동안 계절별 대기청명도의 분포특성을 나타낸 것이다. 즉, 우리나라 대기의 청명도는 겨울을 제외한 모든 계절에서 유사한 지역적 특성을 나타내 주고 있다. 분포특징을 좀 더 세분하면, 봄철은 내륙지방보다는 해안지역 지방이 좋으며, 여름철은 서울과 전주, 영주지역을 제외한 전국이 고른 분포를 나타낸 반면에 해안지역인 강릉과 목포지역은 타 지역보다 높게 나타났으며, 가을철은 수도권인 서울지역과 영주와 대도시지역인 대구, 그리고 공단지역인 전주를 잇는 일대에서 타 지역보다는 낮게 나타나 전국적으로 연평균과 유사한 분포를 보였다.

겨울철은 수도권지역을 비롯한 그 인접지역과 대도시지역인 대구, 공단지역인 전주, 그리고 해안지방인 제주지역이 타 지역보다도 낮은 형태를 갖고 있으나, 반면에 남해중부지방에 위치한 진주는 상대적으로 타 지역보다 높은 형태를 갖고 있다. 이는 계절풍이 이 도시지역의 대기청명 상태에 상당한 영향을 미치고 있기 때문인 것으로 믿어진다.

4. 결 론

본 연구는 대기오염 상태가 도시지역에서 태양광에너지를 얼마나 차단하는지를 알아보기 위하여 도시지역 내에서 태양광에너지 측정과 예측을 통해 대기청명도를 분석하고, 그 결과를 통하여 도시지역별 혹은 도시지역간의 대기의 청명도를 분석하여 해당도시뿐만 아니라 우리나라 전 지역에 대한 전반적인 대기환경을 평가하고자 하였다.

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 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.

후 기

본 연구는 산업자원부의 연구비지원으로 수행되었음 (과제번호 : 2007-N-NC04-P-02).

참고문헌

1. Duffie John A. and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991, pp. 3-145.
2. 기상청, “기상년·월보”, 1982 ~ 2007.
3. 환경부, “환경백서”, 2005.