

## 한반도 대기청명도의 재평가

조덕기\*, 윤창열\*, 김광득\*, 강용혁\*

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

### Revaluation of Atmospheric Clearness Index in Korea Peninsula

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 Peninsula. We have begun collecting clearness index data since 1982 at 16 different cities in South Korea and estimated using empirical forecasting models at 21 different stations over the North Korea from 1982 to 2008. This considerable effort has been made for constructing a standard value from measured data at each city. The new clearness data for global-dimming analysis will be extensively used by evaluating atmospheric environment as well as by solar PV application system designer or users.

From the results, we can conclude that

- 1) Yearly mean 63.5% of the atmospheric clearness index was evaluated for clear day all over the 37 cities in Korea Peninsula,
- 2) Clear day's atmospheric clearness index of spring and summer were 64.6% and 64.8%, and for fall and winter their values were 63.3% and 61.3% respectively in Korea Peninsula.

Keywords : 대기청명도(Atmospheric Clearness Index), 수평면 전일사량 (Horizontal Global Insolation)

---

#### 1. 서론

대기권도시에 입사되는 일사는 그 도시지역을 중심으로 한 특수기후가 형성되는 과정

과 도시기후를 변화시키는 중요한 역할을 한다. 즉, 도시지역 내에는 매연이나 부유분진, 배기가스 등 대기오염물을 많이 포함하고 있어 이것들에 의해 도시지역 내에 입사하는

태양복사선의 투과를 방해하기 때문에, 대기 오염이 심화되고 있는 대도시나 공업도시에 입사하는 일사량을 도시외곽 내지 전원지역, 소도시에 입사되는 일사량과 비교하여 볼 때 현저히 적게 나타나고 있다. 이와 같은 오염 물질의 대기권 축적에 따른 일사의 감쇄현상은 주민건강 생활의 유지와 환경보존에 있어서도 매우 중요한 문제가 아닐 수 없다.

그러나 일사량 측정을 위한 측정네트워크가 일부 남한지역에만 국한됨에 따라 북한지역을 포함한 한반도 전 지역에 대기환경 평가는 현실적으로 불가능 실정이다.

본 연구는 한반도 내에서 대기오염 상태가 도시지역에서 일사량을 얼마나 차단하는지를 알아보고자, 한반도 북한지역과 일부 특정지역에 대하여 선진국에서 이미 임의의 지점의 청명일사량 예측을 위한 경험적 분석기법을 적용하였으며, 남한지역은 전국 주요 도시지역에서 1982년부터 2008 사이에 구름의 영향을 거의 받지 않는 청명한 날에 한국에너지기술연구원에서 측정된 평균 일사량 자료를 정리하여 분석하고, 그 결과를 통하여 한반도 주요 도시의 도시지역별 혹은 도시지역간의 대기의 청명도, 즉 청명한 날에 측정된 수평면 전일사량에 대한 대기권밖 일사량 비율을 산출 분석하여 전반적인 한반도 해당도시의 대기환경을 평가하고자 하였다.

## 2. 예측치와 측정치와의 비교분석

임의의 지역의 청명일 수평면 전일사량을 예측하기 위하여 일부 특정지역에 대하여 Hottel<sup>1)</sup>의 청명일사량 산출 예측기법을 적용한 예측치와 '82.1 ~ 2008.12 기간 사이에 실제로 청명한 날에 측정된 평균일사량과 비교하였으며, 그 비교결과 Hottel에 예측모형에 의한 예측치와 실측치를 비교하여 보면,

1) Duffie John A. and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991.

연평균 오차가 대부분 지역에서 실측치에 대한 예측치의 오차범위가 년 평균 -4.7 ~ +7.0 % 내에서 나타나 예측치는 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다. 그러나 대도시 지역인 서울, 대구를 비롯한 해안지역인 강릉, 목포, 그리고 전주, 영주지역은 타 지역에 비해 예측치는 실측치와의 편차가 다소 높게 나타나는 경향을 보였다.

## 3. 한반도 태양에너지 자원분석

본 연구에서는 본 연구에서는 본 연구에서는 한반도의 일사량 광역분포 상태를 분석하기 위하여 관측지간의 평균거리를 약 100 km로 설정하고 전반적인 데이터의 정확도 평가를 위해 한반도 내에서 37개 지역, 즉 북한에서는 평양을 비롯한 21개 지점과 남한에서는 한국에너지기술연구원 관측지 16개소를 대상으로 한반도 대기청명도 분석 지역으로 선정하였다. 한반도 태양에너지 자원분석을 위한 분석지역 선정작업에 고려된 사항은 우선, 분석지역 상호간의 거리는 가능한 균등하게 유지하고, 내륙, 해안 등 지역적 특수성에 따른 청명일사량 변동 형태를 연구할 수 있도록 분석지역 선정에 반영한 것이다.

1982년 1월부터 2008년 12월까지 기간 동안 한반도 남한지방 16개소에서 한국에너지기술연구원이 청명한 날에 측정해 온 수평면 전일사량 실측자료와 Hottel의 청명일사량 산출 예측기법을 적용한 북한지방 21개소에서의 예측치를 가지고 한반도 주요 도시지역별로 대기청명도를 산출하여 서로 비교한 것이다.

표 1에서 보는바와 같이 분석결과에서 우리나라(남북한) 주요 37개 전 지역에서 대기청명도는 연 평균치로 계산하였을 때, 한반도 전국이 하루에 63.5% 정도로 나타났으며, 남북한지방 공히 하루에 63.5% 정도로 나타나 남한지방과 북한지방이 서로 같게 나타나는 현상을 보였다. 그러나 남한지방의 대도시지역이 북한의 도시지역들에 비해 상

표 1. 우리나라 주요 도시지역의 월별 연평균 1일 대기청명도

(단위: %)

도시 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	HP 평균	전년
나 진	57.1	61.0	61.9	63.2	63.4	63.4	63.3	63.9	62.3	61.5	58.7	55.1	59.2	61.2
청 진	57.9	61.6	62.4	63.6	63.8	63.7	63.6	64.3	62.7	62.1	59.4	55.8	59.9	61.7
성 진	58.5	61.9	62.6	63.7	63.8	63.7	63.6	64.3	62.8	62.3	59.9	56.6	60.3	62.0
강 진	59.5	62.8	63.4	64.4	64.4	64.3	64.3	65.0	63.6	63.2	60.9	57.7	61.3	62.8
신 포	58.9	62.1	62.8	63.7	63.8	63.7	63.7	64.3	62.9	62.5	60.2	57.0	60.6	62.1
함 흥	59.1	62.3	62.9	63.9	64.0	63.9	63.8	64.5	63.1	62.7	60.4	57.3	60.8	62.3
혜 산	64.4	67.6	67.6	68.4	68.3	68.1	68.0	68.9	67.7	67.7	65.7	62.4	65.9	67.1
풍 산	68.4	71.2	70.7	71.2	70.9	70.6	70.6	71.6	70.7	71.1	69.6	66.6	69.6	70.3
강 계	61.0	64.4	64.8	65.7	65.7	65.6	65.6	66.3	65.0	64.7	62.4	59.1	62.7	64.2
희 천	60.1	63.3	63.8	64.7	64.8	64.7	64.6	65.3	64.0	63.7	61.4	58.3	61.8	63.2
신의주	58.7	61.9	62.6	63.6	63.7	63.6	63.6	64.2	62.8	62.4	60.0	56.8	60.4	62.0
구성	59.7	62.9	63.4	64.3	64.4	64.3	64.3	65.0	63.6	63.2	61.0	57.9	61.4	62.8
양덕	62.0	64.8	65.1	65.8	65.8	65.6	65.6	66.4	65.1	65.0	63.1	60.2	63.4	64.5
평양	59.7	62.7	63.2	64.0	64.1	64.0	63.9	64.6	63.3	63.0	60.9	57.9	61.2	62.6
남포	60.0	62.9	63.4	64.1	64.2	64.1	64.0	64.7	63.4	63.2	61.2	58.3	61.5	62.8
사리원	60.2	63.0	63.4	64.2	64.2	64.1	64.1	64.8	63.5	63.3	61.3	58.4	61.6	62.9
해주	60.7	63.4	63.8	64.5	64.5	64.4	64.3	65.1	63.8	63.7	61.8	59.1	62.1	63.3
개성	66.4	66.7	67.8	69.5	70.7	70.5	70.5	69.9	69.0	66.0	62.9	61.7	65.3	67.6
원산	59.6	62.6	63.1	64.0	64.0	64.0	63.9	64.6	63.3	62.9	60.8	57.8	61.1	62.6
평강	63.3	65.9	66.0	66.6	66.5	66.3	66.3	67.1	66.0	66.0	64.3	61.6	64.5	65.5
장진	59.9	62.7	63.3	64.1	64.1	64.0	63.9	64.6	63.3	63.1	61.0	58.1	61.4	62.7
북한 평균	60.7	63.7	64.2	65.1	65.2	65.1	65	65.7	64.4	64	61.8	58.7	62.2	63.6
춘천	62.7	63.1	64.7	62.0	62.6	63.9	63.9	66.6	65.5	62.2	64.2	60.1	62.8	63.5
강릉	65.1	65.0	65.5	67.0	66.0	67.4	66.8	68.9	65.6	64.9	65.7	63.4	64.9	65.9
서울	57.7	59.7	60.4	61.0	61.3	61.6	60.5	62.9	59.4	58.7	57.3	53.3	57.9	59.5
원주	62.8	64.3	63.5	63.7	62.3	61.9	64.0	66.5	65.4	62.2	62.4	60.4	62.6	63.3
서산	65.6	65.8	65.3	66.5	66.0	66.8	65.1	66.6	65.0	65.3	64.2	62.1	64.7	65.4
청주	57.3	63.4	62.9	64.3	65.5	65.6	64.9	64.1	64.0	63.2	62.1	59.7	61.4	63.1
대전	63.9	67.0	66.7	66.4	64.4	63.9	62.8	66.6	63.2	62.5	64.3	61.6	64.3	64.4
포항	63.7	64.1	65.0	65.7	65.5	66.0	63.5	63.6	64.5	63.0	63.9	61.9	63.6	64.2
대구	60.1	61.1	61.0	62.6	63.1	63.5	64.1	62.8	61.5	59.0	59.3	57.2	59.6	61.3
전주	59.3	63.5	60.5	62.1	62.6	60.9	59.9	61.6	61.0	60.9	58.9	57.4	60.1	60.7
광주	63.8	66.4	65.3	67.0	66.2	65.4	65.3	66.8	64.7	65.0	63.6	61.2	64.2	65.1
부산	62.1	62.9	64.0	64.3	65.7	65.2	63.3	65.0	64.1	62.9	63.7	61.0	62.8	63.7
목포	62.1	66.0	68.7	68.9	69.6	68.9	67.7	67.8	67.7	67.7	65.4	60.2	65.0	66.7
제주	56.7	61.3	63.3	65.8	67.3	65.0	65.3	65.9	65.1	76.7	62.8	60.6	63.6	64.7
진주	68.2	67.0	67.6	67.3	65.4	62.5	63.7	64.6	65.0	66.8	67.3	66.6	67.3	66.0
영주	61.3	62.4	61.1	60.5	60.5	61.6	58.9	62.7	63.4	58.0	61.5	60.3	60.8	61.0
남한 평균	62.0	63.9	64.1	64.7	64.6	64.4	63.7	65.2	64.1	63.7	62.9	60.4	62.8	63.6
한반도 평균	61.3	63.8	64.1	64.9	64.9	64.8	64.5	65.5	64.2	63.8	62.3	59.5	62.3	63.5

대적으로 낮게 나타나고 있어, 태양복사선의 투과방지가 이들 도심지역에서의 대기오염과 가장 밀접한 관계를 갖고 있음을 알 수가 있다.

한편, 우리나라(남북한)의 월별 대기청명도를 일년을 기준으로 볼 때, <표 4-16>에서 보는바와 같이 대기청명 조건이 가장 좋은 달은 8월로 하루에 65.5%인 것으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 59.5%로 나타났다. 계절별로는 연중 여름철 대기청명 조건이 가장 좋으며, 겨울철은 연 평균치에도 훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다.

그림 1은 한국에너지기술연구원에서 운영하는 태양광 측정네트워크(남한지방 16개소)에서 27여년간(1982.1 ~ 2008.12)에 걸쳐 청명한 날에 측정된 수평면 전일사량<sup>2)</sup> 자료의 평균치와 Hottel의 청명일사량 산출 예측기법을 적용한 북한지방 21개소에서의 예측치를 가지고 한반도 주요 도시지역별로 대기청명도를 산출하여 미국 Golden Software사에서 개발한 Surfer 8.0 프로그램을 사용하여 근접지역간의 대기청명도를 거리에 따라 균등하게 배분하여 임의 지점의 대기청명도를 산출하는 전산 시뮬레이션 기법으로 그린 전국적인 한반도 대기청명도이다.

연평균 분포상의 특징을 대기청명도 조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 그림에서 보는바와 같이 북한지방의 함경남도 개마고원과 그 인접지역인 백두산 일대, 강원도 평강과 개성을 잇는 일원, 평양남도 연진산 일대, 남한지방의 광주-목포-진주를 잇는 남해중서부 및 제주도, 그리고 태안반도와 설악산 일대의 대기청명 조건이 한반도에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 그 다음은 호남 및 김해평야 일대, 중부이남, 그리고 북부 동해안 및 서해안 지방, 중부이북지방, 북부내륙 지방 순으로 나타났고, 그리고 대구와 같은 대도시지역과 전주와 같은 밀집된 공단지역,

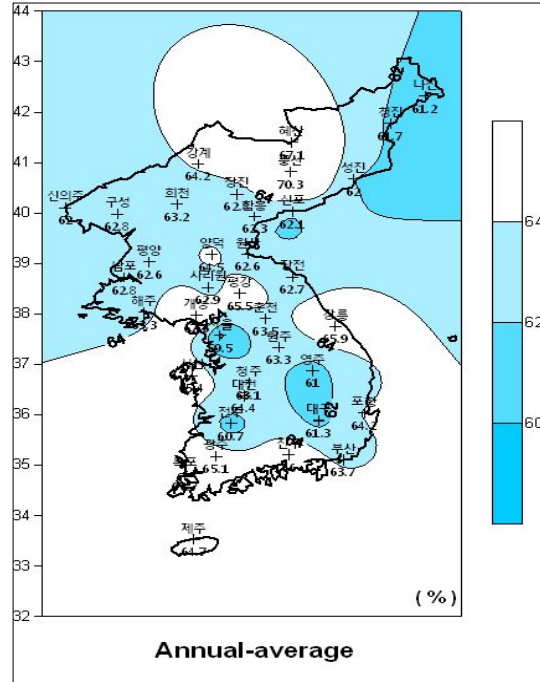


그림 1. 한반도 연평균 1일 대기청명도 분포도

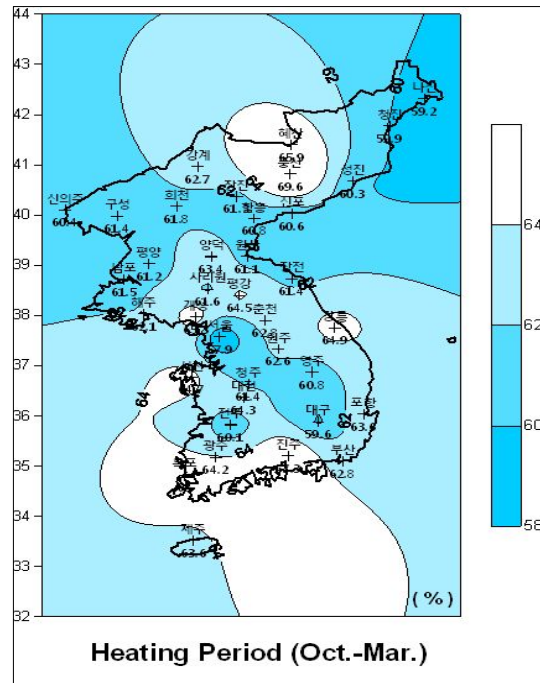


그림 2. 한반도 연평균 1일 난방기간 대기청명도 분포도

2) 기상청, "기상년·월보", 1982 ~ 2008.

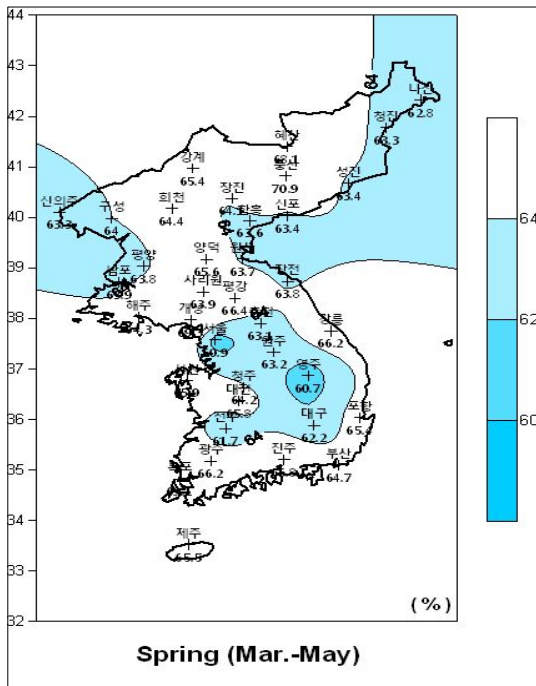


그림 3. 한반도 봄철 대기청명도 분포도

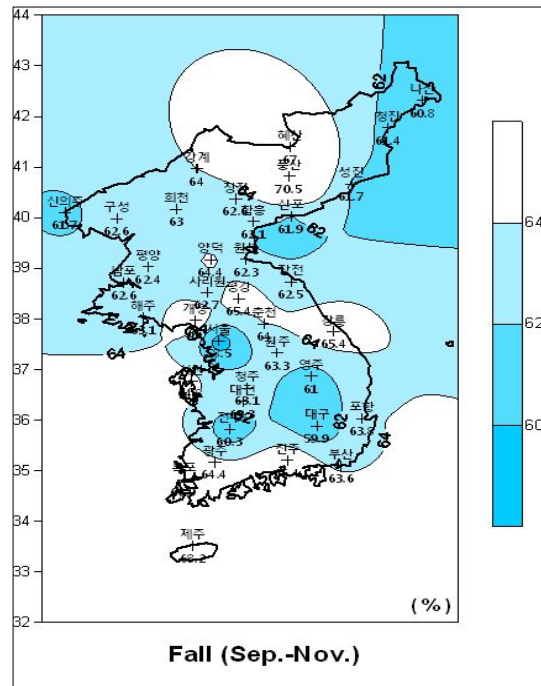


그림 5. 한반도 가을철 대기청명도 분포도

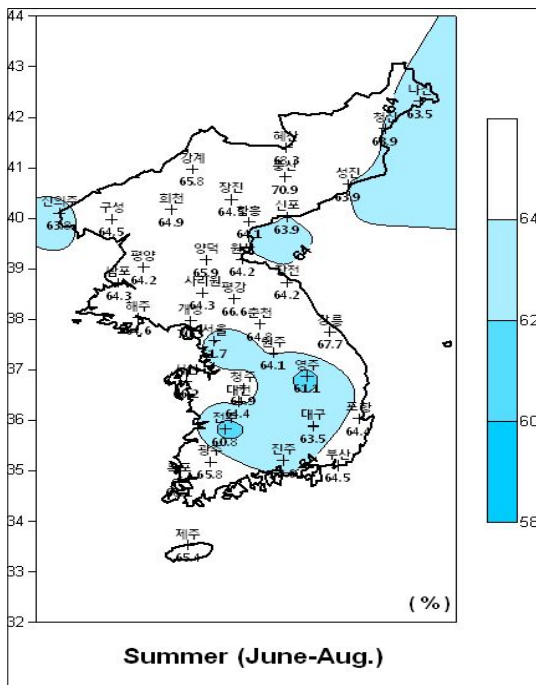


그림 4. 한반도 여름철 대기청명도 분포도

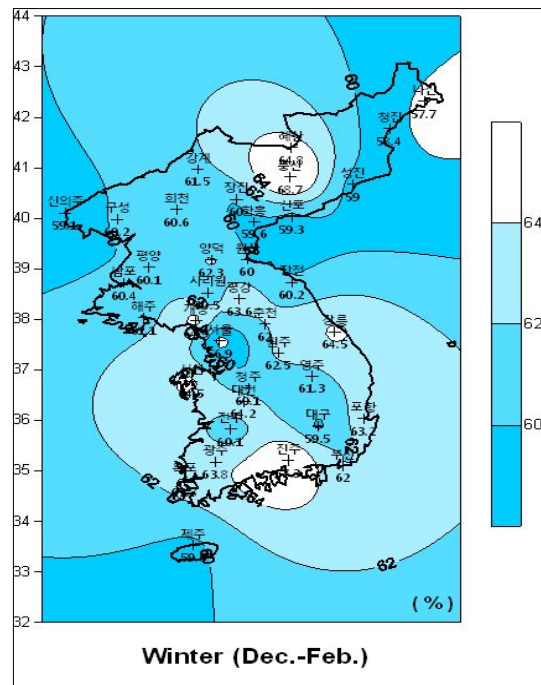


그림 6. 한반도 겨울철 대기청명도 분포도

나진-청진-성진을 잇는 최북단 동해안지역은 한반도에서 낮은 대기청명도 분포를 나타내고 있으며, 대기오염이 심각한 서울지방은 한반도 내에서 가장 낮은 대기청명도를 기록하였다.

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

그림 3 ~ 그림 6은 같은 기간동안 계절별 한반도 대기청명도의 분포특성을 나타낸 것이다. 즉, 우리나라 대기의 청명도는 겨울을 제외한 모든 계절에서 유사한 지역적 특성을 나타내 주고 있다. 분포특징을 좀 더 세분화하면, 그림에서와 같이 봄철은 북한은 해안지방 지역보다는 내륙지방 지역이 좋으며, 반면에 남한지방은 대체로 내륙지방의 지역보다는 해안지방의 지역이 높은 것으로 나타났다.

또한, 여름철은 남한 중부 내륙지역을 제외하고는 한반도 전국이 고른 분포를 나타내었으며, 가을철은 전국 연평균 분포와 거의 유사한 분포를 보였고, 겨울철은 남해 중부지역과 북한지방의 함경남도 개마고원과 그 인접지역인 백두산 일대를 제외하고는 대부분 지역이 낮게 나타나는 현상을 보였다.

#### 4. 결론

본 연구는 한반도 내에서 대기오염 상태가 도시지역에서 일사량을 얼마나 차단하는지를 알아보고자, 한반도 북한지역과 일부 특징지역에 대하여 선진국에서 이미 임의의 지점의 청명일사량 예측을 위한 경험적 분석기법을 적용하였으며, 남한지역은 전국 주요 도시지역에서 1982년부터 2008년 사이에 구름의 영향을 거의 받지 않는 청명한 날에 한국에너지기술연구원에서 측정된 평균 일사량 자료를 정리하여 분석하고, 그 결과를 통하여 한

반도 주요 도시의 도시지역별 혹은 도시지역간의 대기의 청명도, 즉 청명한 날에 측정된 수평면 전일사량에 대한 대기권밖 일사량 비율을 산출 분석하여 전반적인 한반도 해당 도시의 대기환경을 평가하고자 하였다.

1) 우리나라(남북한) 주요 37개 전 지역에서 대기청명도는 연 평균치로 계산하였을 때, 한반도 전국이 하루에 63.5% 정도로 나타났으며, 남북한지방 공히 하루에 63.5% 정도로 나타나 남한지방과 북한지방이 서로 같게 나타나는 현상을 보였다.

2) 연평균 분포상의 특징을 대기청명도 조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 북한지방의 함경남도 개마고원과 그 인접지역인 백두산 일대, 강원도 평강과 개성을 잇는 일원, 평양남도 언진산 일대, 남한지방의 광주-목포-진주를 잇는 남해중서부 및 제주도, 그리고 태안반도와 설악산 일대의 대기청명 조건이 한반도에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 그 다음은 호남 및 김해평야 일대, 중부이남, 그리고 북부 동해안 및 서해안 지방, 중부이북지방, 북부내륙지방 순으로 나타났고, 그리고 대구와 같은 대도시지역과 전주와 같은 밀집된 공단지역, 나진-청진-성진을 잇는 최북단 동해안지역은 한반도에서 낮은 대기청명도 분포를 나타내고 있으며, 대기오염이 심각한 서울지방은 한반도 내에서 가장 낮은 대기청명도를 기록하였다.

#### 후 기

본 연구는 지식경제부 연구비지원으로 수행되었음 (과제번호 : KIER-A92424).

#### 참고문헌

1. Duffie John A. and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
2. 기상청, "기상년·월보", 1982 ~ 2008.