KIEAE Journal, Vol. 19, No. 1, Feb. 2019, pp.69-74.

KIEAE Journal

Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

95

대기오염도를 포함한 대기요소와 일사량의 상관관계 분석

The Correlation of Solar Radiation and Atmospheric Elements including Air Pollution

정민희*
Chung, Min Hee*

* *School of Architecture & Building Science, Chung-Ang Univ., South Korea (mhloveu@cau.ac.kr)*

ABSTRACT

Purpose: In order to forecast the energy production of photovoltaic systems, precise solar radiation prediction is required with the expansion of solar power generation systems and the application of distributed power. In this study, the current status of air pollution in urban areas is analyzed, and the correlation between air pollution and solar radiation is analyzed. **Method:** The air pollution level is analyzed by year and season, and the correlation between atmospheric elements such as atmospheric pollution and meteorological factors is analyzed. The correlation is analyzed by using SPSS 25 statistical program by season. Principal component analysis is used to analyze the main factors affecting extraterrestrial ratio. **Result:** The air quality of urban areas is generally improving; however, the concentrations of some air pollutants such as O_3, NO_2, and PM2.5 are increasing or remain steady. Because seasonal factors affecting solar radiation are different, a seasonal solar radiation prediction model is required. As a result of factorial analysis of winter variables, all variables were classified into three factors, namely gaseous pollutants, particulate pollutants, and atmospheric water vapor.

© 2019 KIEAE Journal

KEYWORD

일사량
일사율
대기오염물질
상관관계분석

Solar Radiation
Extraterrestrial Ratio
Air Pollutant
Correlation Analysis

ACCEPTANCE INFO

Received Jan 25, 2019
Final revision received Jan 31, 2019
Accepted Feb 7, 2019

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 신재생에너지 발전 비중은 8.08%로 [1], OECD 주요국에 비해 낮은 상황이다. 이에 정부는 2030년까지 재생에너지의 발전량 비중을 20%로 늘리기 위한 「재생에너지 3020 이행계획」을 발표하였다[2]. 발표안에 따르면 신규설비의 63%를 태양광발전시스템으로 공급할 예정이며 태양광발전시스템을 통한 분산전원을 확대하고자 한다. 생산된 전기의 안정적인 운영을 위해서는 태양광발전시스템을 통한 에너지 생산량을 예측하여 이에 관한 운영계획을 사전에 수립해야한다. 태양광발전시스템을 통한 에너지 생산량은 태양전지에 도달한 일사량에 의해 직접적으로 영향받으며, 일사량은 대기의 기상조건 및 대기오염도에 의해 영향받는다. 특히 도심지의 일사량은 도시 외곽지역과는 달리 대기 중의 부유물질에 의해 영향받는 것으로 나타났다[3].

일사량 예측모델은 태양의 고도, 일적위, 위도 등 지리정보를 활용하는 방법 [4]과 운량, 온도, 습도, 풍속 등 기상요소를 이용하여 예측하는 방법이 있다[5-7]. 그러나 지표면에 도달하는 일사량은 기상요소 뿐만 아니라 대기 중에 부유하고 있는 에어로졸에 의해서도 영향받는다. Turnock et al.(2015)는 1960년대부터 2009년까지 유럽의 대기오염도와 지표면도달일사량(Surface Solar Radiation)의 변화를 분석한 결과, PM10, CO, SO_2, NO_x, 부유물질(SPM, total suspended particle matter) 등 대기오염물질의 농도와 지표면 일사량이 음의 상관관계를 가짐을 제시하였다[8]. Hu et al. (2017)은 중국의 베이징을 대상으로 2004년부터 2012년까지 눈, 비 등의 강수일을 제외한 날을 대상으로 PM10과 PM2.5에 의한 일사량의 상관관계를 분석하고, 이를 활용하여 일사량 예측 모델을 제시하였다[9]. 그 결과 도심지의 일사 예측모델에 PM2.5를 반영하는 것이 필요하다고 제시하였다. Kosmopoulos et al.(2017)은 위성관측자료와 지상관측자료를 활용하여 수평면일사량에 대한 고농도 먼지 발생의 영향력을 분석한 결과, 대기 중 먼지의 농도가 높아질 경우 수평면일사량과 직달일사량의 감소가 발생하며 특히 직달일사의 감소 비율이 더 높은 것으로 나타나므로 태양광발전소 계획 시 이를 고려해야한다고 언급하였다[10]. 대기 중에 부유하는 오염물질은 기상요소와 더불어 대기의 상태를 결정하는 요소이며, 이에 의해 지표면 도달 일사량이 결정된다.

이에 본 연구는 대기오염도의 현황을 파악하고, 대기오염도 및 기상요소에 의한 지표면 도달 일사량의 상관관계를 분석하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 서울시 대기환경정보 [11]에서 제공하는 대기오염물질과 기상청 [12]에서 제공하는 기상관측자료를 수집하였다. 대기오염도는 년도별, 계절별 오염도 현황을 조사하고, 이를 토대로 대기오염도 및 기상요소 등 대기 변수와 일사율과의 상관관계를 분석

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2019.19.1.069

하였다. 상관관계는 통계프로그램인 SPSS 25를 이용하여 계절별로 나누어 분석하였으며, 이 중 일사율에 미치는 주요 요인을 분석하기 위하여 주성분 분석을 실시하였다.

2. 대기오염도 및 일사량 현황 분석

2.1. 연간 대기오염도 현황

대기환경정보에서 제시하고 있는 대기오염물질은 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5), 오존(O_3), 이산화질소(NO_2), 일산화탄소(CO), 아황산가스(SO_2)를 제시하고 있다.

PM10과 PM2.5는 공기 중에 부유하는 입자상 물질로 크기에 따라 PM10과 PM2.5로 분류하고 있으며 그 농도에 따라 대기오염경보를 발령하고 있다. PM10은 1995년부터 관측하기 시작하였으며, PM2.5는 2013년 10월부터 관측하기 시작하였다. 연평균 PM10과 PM2.5의 농도는 Fig. 1.과 같다. PM10의 농도는 2000년 전후로 일부 증가 추세를 보였으나, 2017년까지 감소하는 추세를 나타내었다. 그 원인에 대하여 김용표(2010)은 도로재비산 먼지의 감소때문인 것으로, 나대지에서의 비산먼지 발생 저감, 도로청소에 의한 도로 비산 먼지 저감, 경유차의 저공해화에 의한 저감은 원인으로 제시하였다[13]. 한상희(2015)는 PM10의 저감 원인으로 국내 배출량 저감, 기상조건의 변화, 외부로부터의 영향감소 등을 가능성으로 제시하였다 [14]. PM2.5는 대기환경정보에서 제공하는 데이터가 2013년 9월부터의 데이터로 장기적인 변화 추세를 확인하기는 어렵다. 다만, 기존 연구에 따르면, PM10과 마찬가지로 시간에 질량농도가 감소하는 것으로 보고되었다[14, 15]. 2013~2017년까지 PM2.5의 질량농도는 23~26㎍/m^{3}로 국내 기준인 연간 평균 15㎍/m^{3}을 초과하는 것으로 나타났다.

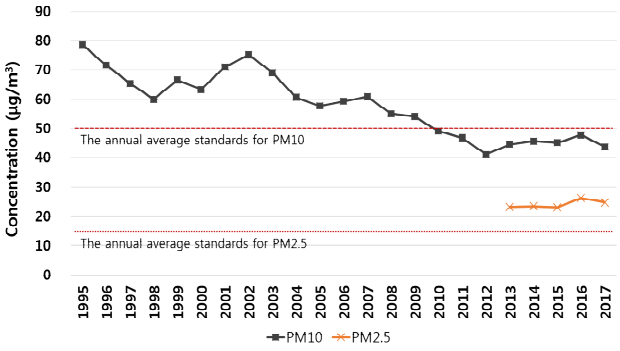

Fig. 1. The PM10 and PM2.5 yearly concentration

가스상 오염물질은 CO, SO_2, NO_2, O_3의 연간 농도 변화는 Fig. 2.와 같다. 1차 오염물질에 속하는 CO와 SO_2는 1978년 대기환경기준이 설정된 이래, 배출허용기준이 강화됨에 따라 꾸준히 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 이동오염원에서의 배출이 주원인인 NO_2는 증가와 감소를 반복하고 있는 것으로 나타났다. O_3의 경우 지속적인 증가 추세를 나타내었는데 이는 국지적인 영향과 배경농도 증가에 의해 영향받는 것으로 보인다[16].

PM10과 PM2.5는 그 성분 및 구성비가 물리화학적으로 차이 있어 배출원의 특성이 다소 다르나, 물질 생성에 있어 SO_2와 O_3에 의해 영향받으며 O_3의 생성은 NO_2에 의해 유의한 영향을 받는다

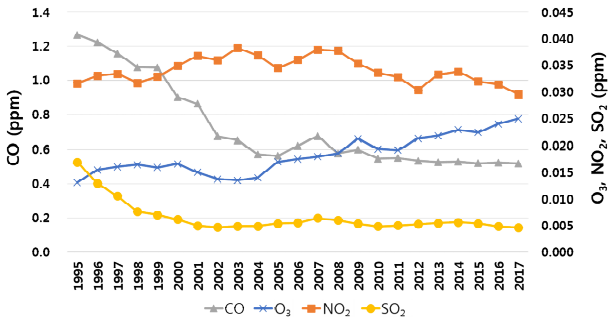

Fig. 2. The gaseous pollutants yearly concentration

[17, 18]. 대기오염물질은 정부의 정책에 따라 오염도가 개선되고 있으나, 오염물질의 생성에 상호 작용하므로 개별 물질 제어가 아닌 복합적인 관리가 필요하다.

2.2. 계절별 대기오염도 현황

Table 1.은 계절별 오염물질의 농도를 분석한 것이다. PM10과 PM2.5는 겨울철과 봄철의 평균농도가 높았으며, 특히 PM10과 PM2.5 최대 농도가 각각 569㎍/m^3, 86㎍/m^{3}으로 겨울철에 발생하는 것으로 나타났다. 특히 겨울철에는 다른 계절에 비해 일별 편차가 높은 것으로 나타났다. 겨울철과 봄철 PM10과 PM2.5의 농도가 높은 것은 대기정체와 외부에 의한 영향으로 인한 것으로 다른 계절과의 편차가 뚜렷한 것으로 보인다. O_3는 자동차에서 배출되는 NO_x와 휘발성유기화합물(VOC)이 강한 일사량에 의해 반응하여 O_3을 생성하게 되므로 일사량과 온도가 높은 여름철에 농도가 높은 것으로 나타났다. 반면 겨울철 O_3의 평균 농도는 0.013ppm으로 여름철의 평균농도가 0.035ppm인 것과는 대조적으로 온도에 기인한 것으로 보인다. NO_2와 CO는 계절별 농도 변화가 유사한 패턴을 보이는 것으로 나타났다. 특히 NO_2는 가시광선을 흡수하는 성질이 있으므로 [19] 겨울철과 봄철에 지표면 도달 일사량에 영향을 미칠 것으로 예상된다. SO_2는 계절에 상관없이 일정한 농도를 나타내었다.

Table 1. Seasonal air pollutants in Seoul

Season	Descriptive statistics	PM10 (㎍/m^3)	PM2.5 (㎍/m^3)	O_3 (ppm)	NO_2 (ppm)	CO (ppm)	SO_2 (ppm)
Winter	Minimum	17	7	0.002	0.010	0.3	0.004
	Maximum	569	86	0.033	0.070	1.3	0.014
	Average	53	28	0.013	0.037	0.7	0.006
	Standard deviation	39	15	0.007	0.013	0.2	0.002
Spring	Minimum	14	8	0.006	0.013	0.3	0.004
	Maximum	198	71	0.071	0.080	1.1	0.013
	Average	63	29	0.031	0.036	0.5	0.006
	Standard deviation	29	13	0.011	0.011	0.1	0.001
Summer	Minimum	9	5	0.012	0.011	0.2	0.003
	Maximum	86	50	0.064	0.042	0.6	0.008
	Average	36	22	0.035	0.024	0.4	0.005
	Standard deviation	14	10	0.010	0.006	0.1	0.001
Fall	Minimum	9	5	0.003	0.011	0.3	0.003
	Maximum	117	70	0.041	0.077	1.0	0.008
	Average	38	21	0.020	0.032	0.5	0.005
	Standard deviation	18	11	0.008	0.012	0.2	0.001

대기 중에서 일사의 흡수, 확산, 산란 등에 영향을 미치는 입자상 물질의 계절별 특성을 분석하였다. 정부는 PM10과 PM 2.5의 공기 중 질량 농도에 따라 좋음에서 매우 나쁨의 등급으로 나누어 대기질 정보를 제시하고 있다. 이에 본 연구에서는 PM10과 PM2.5의 계절별 특성을 분석하기 위하여 나쁨 등급이상의 날수를 조사하였다. Fig. 3.은 PM10의 연도별, 계절별 나쁨 등급 이상 발생일수를 나타낸 것이다. 2000년대 초반까지 발생빈도의 차이는 있지만 모든 계절에 나쁨 등급 이상 나타났으나, 2007년 이후에는 여름철에 나쁨 등급 이상의 발생일수가 현저히 줄어들었다. 최근에는 봄철과 겨울철에 고농도 PM10이 발생하는 것으로 조사되었다.

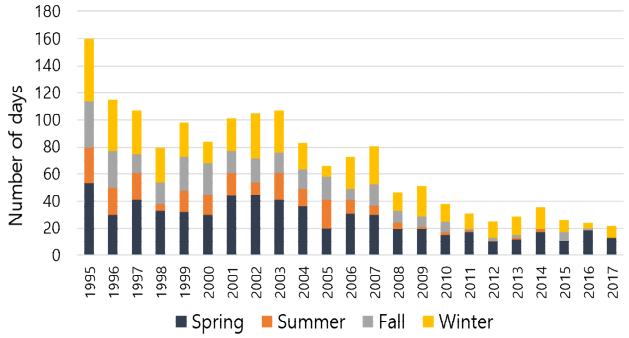

Fig. 3. The number of days above the bad grade of PM10

PM2.5의 나쁨 등급 이상의 발생일 수는 Fig. 4.와 같다. 기존연구에 따르면 PM10과 PM2.5는 서로 상관관계가 있는 것으로 나타났지만[20, 21], 고농도의 발생일수 패턴은 다소 상이한 것으로 나타났다. PM10과는 대조적으로 모든 계절에 고농도 발생일수가 나타났다. 특히 겨울철에 고농도 발생빈도가 훨씬 높은 것으로 나타났다. PM10의 경우 최근 4년 봄철에 고농도 발생빈도가 높았다.

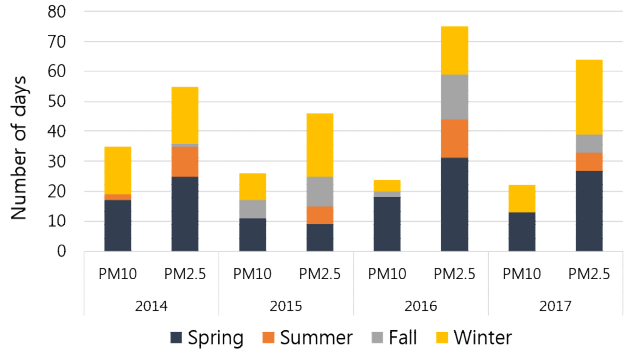

Fig. 4. The number of days above the bad grade of PM2.5 and PM10 for 2014 to 2017

2.3. 연평균 일사량 변화

1995년부터 2017년까지 연평균 일사량 분석결과 Fig. 5.와 같이 연평균 일사량이 증가하는 것으로 나타났다. 지표면에 도달하는 일사량은 대기의 상태에 따라 결정되는데, PM10, CO, SO_2의 연평균 농도가 꾸준히 감소한 것과 상관관계가 있을 것으로 예상된다. 유호천(2013)은 역시 30년간 서울, 울산, 제주의 기후 변화를 분석한 결과 1990년을 기점으로 일사량의 증가추세를 확인하였다[20]. 지표면의 일사량은 태양복사에너지의 변화, 가조시간, 대기투과율 등에 의해 결정된다. 그러나 최근 일사량의 증가는 대기 중 에어로졸의 감소로 인하여 대기 중에 산란 및 흡수되는 일사량이 감소한 것으로 보인다[21]. 최미희(2009)는 대기투과율의 증가를 에어로졸 중 득히 SO_2의 농도 감소에 의해 발생한 것으로 제시하였다[22].

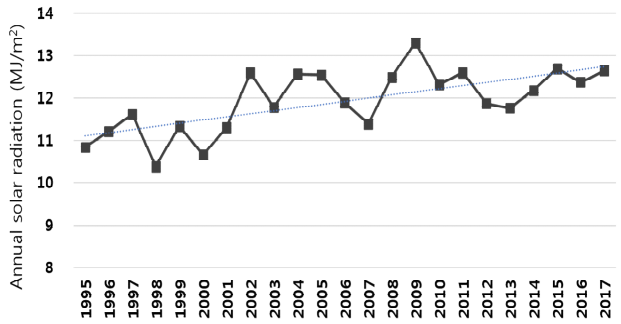

Fig. 5. The annual solar radiation trends

3. 대기오염도 및 기상인자에 따른 일사 분석

3.1. 일사율

본 연구에서는 대기오염도와 기상요소에 따른 일사량 변화를 분석하기 위해 기상청에서 제공하는 일간 일사량을 사용하였다. 일사량은 일별 태양과 지구의 위치 이동에 따라 변화하므로 본 연구에서는 태양의 위치변화에 의한 일사량을 정규화하기 위하여 일사율(Extraterrestrial Ratio : ETR)을 사용하였다. 일사율은 대기혼탁도, 운량 및 운형, 대기질량지수에 의해 결정되고 [23], 대기혼탁도는 기상조건, 주풍향 및 풍속, 에어로졸 농도 등에 의해 결정된다[24, 25]. 1일 수평면 일사량은 관측데이터를 활용하고, 대기권밖 일사량은 Duffie와 Beckman [26]에 의해 제안된 (식2)에 의해 산출된 값을 이용하여 (식1)에 의해 일사율을 구한다.

$$ETR = \frac{H}{H_o} \quad \text{(식1)}$$

$$H_o = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi}\left(1 + 0.033\cos\frac{360n}{365}\right) \times \left(\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180}\sin\phi\sin\delta\right) \quad \text{(식2)}$$

$$\delta = 23.45\sin\left(360\frac{284+n}{365}\right) \quad \text{(식3)}$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \quad \text{(식4)}$$

여기서, H : 1일 수평면 전일사량
H_o : 1일 대기권 밖 일사량
G_{sc} : 태양상수(1,367W/m^2)
n : 통산일
ϕ : 해당지방의 위도
δ : 일적위
ω_{sc} : 일몰시간각

©Copyright Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

Table 2. Seasonal global radiation and extraterrestrial ratio

Season	Descriptive statistics	Horizontal global radiation ($MJ/m^2 \cdot day$)	Extraterrestrial ratio
Winter	Minimum	1.66	0.11
	Maximum	15.89	0.67
	Average	8.86	0.49
	Standard deviation	2.95	0.14
Spring	Minimum	4.36	0.13
	Maximum	27.71	0.70
	Average	18.21	0.53
	Standard deviation	4.93	0.11
Summer	Minimum	6.14	0.16
	Maximum	28.64	0.70
	Average	18.31	0.46
	Standard deviation	4.57	0.11
Fall	Minimum	1.24	0.07
	Maximum	22.70	0.69
	Average	11.99	0.48
	Standard deviation	4.27	0.12

일사량은 태양의 위치와 가조시간에 따른 계절별 차이가 뚜렷하게 나타났다. 반면, 일사율은 0.46 ~ 0.53으로 대기밖 일사량 대비 지표면 도달 일사량으로 정규화된 것을 볼 수 있다.

3.2. 계절별 대기오염도 및 기상인자에 따른 상관관계

일사율과의 상관관계 분석을 위한 변수는 PM10, PM2.5, O_3, NO_2, CO, SO_2 등 대기오염물질 6개와 평균운량, 최고온도, 평균풍속, 최소상대습도 등 기상인자 4개를 설정하였다. 기상인자는 선행연구 결과 [27]을 참고하여 선정하였다. 대상기간은 PM2.5에 의한 영향력을 포함하기 위하여 PM2.5의 관측값이 시작된 2014년도부터 2017년도를 대상으로 하였다. 눈이나 비가 내린 날은 비나 눈으로 인해 대기오염도가 일정 부분 개선되어, 등급별 분포가 그렇지 않은 날과는 차이가 있었고, 강수일 일사량은 그렇지 않은 날과 차이가 크므로 본 연구에 제외하였다.

Table 3.은 계절별 일사율에 미치는 대기 변수에 따른 상관관계 분석 결과를 나타낸 것이다. 기존에 수행된 연구에서 나타낸 바와 같이 일사율과 운량은 −0.687 ~ −0.800으로 모든 계절 높은 상관성을 나타내었다. 최소 상대습도는 가을을 제외한 계절에서 높은 상관관계를 갖는 것으로 나왔다. 이는 상대습도가 낮을 경우 대기 중의 수증기의 입자가 적게 되므로 일사율을 증가시키기 때문이다. 상대습도에 의한 일사율은 특히 여름철에 상관관계가 높은데, 이는 동일한 상대습도라 하더라도 여름철 절대습도가 높아 대기 중에 수증기 입자가 많기 때문에 상대습도가 일사율과 높은 상관관계를 나타내는 것으로 판단된다. 여름철에는 다른 계절에 비해 대기오염도와 일사율과의 상관관계가 낮은 것으로 나왔는데, 이는 미세한 입자인 대기오염물질보다 수증기 분자의 크기가 더 크고 수증기의 양도 많기 때문인 것으로 보인다.

Table 3. Correlation between atmospheric variables(air pollutants and climatic condition) and extraterrestrial ratio by season

Season	Winter	Spring	Summer	Fall
Total number of days	273	282	208	266
PM10	-.207**	-.292**	-.079	-.162**
PM2.5	-.469**	-.392**	-.170*	-.209**
O_3	.512**	.220**	.280**	.176**
NO_2	-.505**	-.276**	-.127	-.108
CO	-.538**	-.361**	-.126	-.218**
SO_2	-.273**	-.158**	-0.06	-.098
Average cloud cover	-.800**	-.790**	-.747**	-.687**
Maximum temperature	-.226**	.086	.168*	.152*
Average wind speed	.355**	.193**	0.108	.229**
Minimum relative humidity	-.624**	-.592**	-.727**	-.465**

*Correlation is significant at the 0.05 level(two-tailed)
**Correlation is significant at the 0.01 level(two-tailed)

계절별로 일사율과 상관관계가 높은 대기오염물질 및 기상변수는 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 겨울철은 다른 계절과는 달리 대기오염도와 일사율의 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 대기 오염물질 중 CO, NO_2, O_3, PM2.5이 일사율과 높은 상관관계를 나타냈다. PM2.5는 PM10보다 일사율에 미치는 영향이 높은 것으로 나타났다. 이는 PM10과 PM2.5는 대기 중 질량으로 그 농도를 표시하지만 실제 입자의 개수는 PM2.5가 훨씬 많기 때문에 대기를 통과하는 태양광의 산란 및 흡수에 더 많은 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 평균풍속은 겨울철에 일사율과 상관관계가 가장 높았다. 다른 계절과 달리 겨울철에는 도시의 대기정체가로 인한 PM2.5, O_3, NO_2, CO 등 대기오염도의 증가를 야기하여 이는 지표면에 도달하는 일사를 감쇄시키기 때문이다. 평균 풍속이 증가함에 따라 대기의 순환이 활발해져 대기오염도 저감이 발생하기 때문에 다른 계절에 비해 겨울철 풍속과 일사율의 상관성이 높은 것이다.

3.3. 겨울철 대기오염도 및 기상인자의 요인분석

상관관계 분석 결과 변수들과 일사율의 상관관계가 높은 계절인 겨울철을 대상으로 일사율에 미치는 변수의 관계를 분석하기 위하여 요인분석을 실시하였다. 요인추출 방식은 주성분 분석으로 하였으며 최소고유값(Eigenvalue)의 기준을 1로 설정하였다. 요인회전 방식은 베리맥스(Varimax) 방법을 적용하였다.

KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)와 Bartlett의 검정에서 KMO는 0.764로 0.5보다 크므로 요인분석에 사용된 변수들이 적절하다고 판단하였다. 역-이미지 행렬에 따르면 표본화 적합성 척도인 MSA(Measure of Sampling Adequacy)값이 0.5보다 컸으나, 공통성(Communality) 검사에서 최대온도의 공통성 값이 0.409로 0.5보다 작아 최고온도를 변수에서 삭제하고 요인분석을 재실시하였다. 2차 요인분석 결과 KMO, MSA,공통성 모두 만족하였으며 Table 4.와 같이 3개의 요인이 추출되었다. 추출된 3개의 요인은 전체 분산의 79.942%의 설명력을 나타내고 있다.

Table 4. Factorial analysis: total variance explained

Component	Initial eigenvalues		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.689	52.097	52.097
2	1.413	15.696	67.793
3	1.093	12.149	79.942
4	0.665	7.393	87.335
5	0.464	5.153	92.488
6	0.309	3.429	95.917
7	0.221	2.451	98.368
8	0.093	1.028	99.396
9	0.054	0.604	100.000

* Principal component analysis(PCA) extraction method based on eigenvalue(>1)

최고 온도를 제외한 9개의 변수는 요인행렬 회전을 통해 3개의 성분으로 축소될 수 있다. 이 때, 추출된 성분은 회전된 성분행렬표는 Table 5.에 나타났으며, 성분 1에는 평균풍속, O_3, NO_2, CO, 성분 2에는 PM10, PM2.5, SO_2, 성분 3에는 최저습도, 평균운량이 속하였다. 성분1은 대기중 가스상 오염물질이 속하였으며, 성분 2에는 입자상오염물질이 속하였다. SO_2는 가스상 오염물질이나 PM2.5의 생성에 영향을 미치므로 성분 2로 분류된 것으로 판단된다. 성분 3은 공기 중 수증기의 양과 관련이 있는 운량과 습도로 분류되었다. 성분 1에서 성분 3은 대기 중에 부유하는 물질에 특성에 따라 분류되었으며, 향후 변수의 성질을 유지하고, 데이터의 차원을 축소할 수 있다.

Table 5. Factorial analysis: component extration

Component	Rotated component matrix		
	1	2	3
Average wind speed	**-0.875**	-0.049	-0.055
O_3	**-0.873**	-0.056	-0.278
NO_2	**0.822**	0.439	0.224
CO	**0.707**	0.565	0.305
PM10	0.314	**0.817**	0.307
PM2.5	-0.094	**0.813**	0.139
SO_2	0.302	**0.742**	-0.046
Minimum relative humidity	0.094	0.238	**0.857**
Average cloud cover	0.300	0.032	**0.815**

* Rotation method: Varimax with Kaiser normalization
**Rotation converged in 5 iterations

4. 결론

태양광발전시스템의 공급확대 및 분산전원 적용에 따라 태양광발전시스템의 에너지 생산량 예측을 위해 정확한 일사량 예측이 요구되고 있다. 이를 위해 본 연구에서는 기상인자 외에 도심의 대기오염도 현황을 분석하고, 대기오염도 및 기상인자에 의한 일사량의 상관성를 분석하였다.

도심의 대기질은 대체로 개선되고 있는 편이나, O_3, NO_2, PM2.5와 같은 일부 대기오염물질의 농도는 증가하거나 혹은 지속되는 것으로 나타났다. 대기오염물질의 계절별 농도 분석 결과 오염물질마다 발생 추이가 다르게 나타났는데 이는 발생원 및 기상인자에 의한 것으로 판단된다. 일사량은 일사율로 정규화하여 대기오염도 및 기상인자에 의한 상관성을 분석한 결과 계절마다 상관성이 높은 변수들이 다르게 나타났다. 겨울철에는 대기오염물질에 의해 영향을 받는 것으로 나타났으며, 여름철에는 대기 중 수증기의 절대적인 양이 많아 대기오염물질에 의한 영향력이 상대적으로 적은 것으로 나타났다. PM2.5는 PM10보다 일사율에 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났는데, 이는 공기 중 부유하는 입자의 질량은 낮으나, 공기 중 부유하고 있는 입자의 수가 많아 일사의 산란 및 확산에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 미세먼지를 포함한 일사량 예측 모델을 제시할 경우 PM10보다 PM2.5의 농도를 반영하는 것이 효과적일 것이다.

겨울철 변수를 대상으로 주요 성분의 요인분석을 실시한 결과, 전체 변수는 가스상 오염물질, 입자상 오염물질, 대기 중 수증기로 3가지 요인으로 분류하였다.

계절별 일사량에 미치는 변수가 다르므로 계절별 일사 예측 모델을 제시하는 것이 필요할 것으로 판단되며, 이때 요인분석을 통해 추출된 성분을 활용할 경우 효과적으로 예측할 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구는 향후 일사량 예측 모델 개발 시 변수 및 모델 설정에 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2017R1C1B2011791).

Reference

[1] e-나라지표 //e-National Indicator, Available at http://www.index.go.kr/
[2] 산업통상자원부, 재생에너지 3020 이행계획, 2017.12 // Ministry of Trade, Industry and Energy, Renewable Energy 3020 Implementation Plan, 2017.12
[3] M. M. Préndez, M. Egido, C. Tomás, J. Seco, A. Calvo, and H. Romero, Correlation between solar radiation and total suspended particulate matter in Santiago, Chile-Preliminary results, Atmospheric Environment, Vol.29, No.13 1995, pp.1543-1551
[4] T. M. Klucher, Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces, Solar Energy, Vol. 23, No. 2, 1979, pp.111-114
[5] D. Elizondo, G. Hoogenboom, and R. W. McClendon, Development of a neural network model to predict daily solar radiation, Agricultural and Forest Meteorology, Vol.71 No.1-2, 1994, pp.115-132
[6] C. Voyant, M. Muselli, C. Paoli, & M. L. Nivet, Numerical weather prediction (NWP) and hybrid ARMA/ANN model to predict global radiation, Energy, Vol. 39 No.1, 2012, pp.341-355
[7] A. Aybar-Ruiz, S. Jiménez-Fernández, L. Cornejo-Bueno, C. Casanova-Mateo, J. Sanz-Justo, P. Salvador-González, S. Salcedo-Sanz, A novel Grouping Genetic Algorithm–Extreme Learning Machine approach for global solar radiation prediction from numerical weather models inputs, Solar Energy, Vol.132, 2016, pp.129-142
[8] S. T. Turnock, D. V. Spracklen, K. S. Carslaw, G. W. Mann, M. T. Woodhouse, P. M. Forster, J. Haywood, C. E. Johnson, M. Dalvi, N. Bellouin, and A. Sanchez-Lorenzo, Modelled and observed changes in aerosols and surface solar radiation over Europe between 1960 and 2009, Atmospheric Chemistry and Physics, Vol.15 No.16, 2015, pp.9477-9500

ⓒCopyright Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

[9] B. Hu, X. Zhao, H. Liu, Z. Liu, T. Song, Y. Wang, L. Tang, X. Xia, G. Tang, D. Ji, T. Wen, L. Wang, Y. Sun & J. Xin, Quantification of the impact of aerosol on broadband solar radiation in North China, Scientific Reports, 7, 2017, 44851
[10] P. G. Kosmopoulos, S. Kazadzis, M. Taylor, E. Athanasopoulou, O. Speyer, P. I. Raptis, E. Marinou, E. Proestakis, Dust impact on surface solar irradiance assessed with model simulations, satellite observations and ground-based measurements, Atmospheric Measurement Techniques, Vol.10, No.7 2017, pp.2435-2453
[11] 서울특별시 대기환경정보시스템 // Seoul Metropolitan Government Air Quality Information, Available at http://cleanair.seoul.go.kr/
[12] 기상자료개방포털 // National Climate Data Service System, Available at https://data.kma.go.kr/
[13] 김용표, 수도권 대기 미세먼지 1999-2008년 추이 분석, 환경영향평가, 제19권 제1호, 2010, pp.59-74 // (Kim, Yong Pyo, Analysis of the trend of atmospheric PM10 concentration over the Seoul metropolitan area between 1999 and 2008, Journal of Environmental Impact Assessment, Vol.19, No. 1, 2010, pp.59-74)
[14] 한상희, 김용표, 서울시 대기 중 초미세먼지 (PM2.5) 질량과 화학성분 농도의 장기 변동 추이, 한국대기환경학회지, 제31권 제2호, 2015, pp.143-156 //(Han, Sang Hee and Kim, Yong Pyo, Long-term trends of the concentrations of mass and chemical composition in PM2.5 over Seoul, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 31, No. 2, 2015, pp.143~156)
[15] 김용표, 서울의 미세먼지에 의한 대기오염, 한국대기환경학회지, 제22권 제5호, 2006, pp.535-553 //(Kim, Yong Pyo, Air pollution in Seoul caused by aerosols, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 22, No.5 , 2006, pp.535-553)
[16] 김용표, 여민주, 서울의 대기환경기준물질 농도 추이, 한국대기환경학회지, 제29권, 제29호, 2013, pp.369-377 // (Kim, Yong Pyo and Yeo, Min Ju, The trend of the concentrations of the criteria pollutants over Seoul, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 29, No. 29, 2013, pp.369-377)
[17] 이훈자, 경기도 수원시 미세먼지 농도의 시계열모형 연구. 한국데이터정보과학회지, 제21권 제6호, 2010, pp.1117-1124// (Lee, Hoon Ja, Analysis of time series models for PM10 concentrations at the Suwon city in Korea, Journal of the Korean Data And Information Science Society, Vol.21 No.6, 2010.12, 1117-1124)
[18] 이순봉, 정덕상, 조은경, 김현아, 황은영, 강창희, PM10, PM2.5 미세먼지의 조성 및 오염 특성: 2008년 제주도 고산지역 측정 결과, 분석과학, 제24권 제4호, 2011, pp.310-318 //(Lee, Soon-Bong Lee, Jung, Duk-Sang, Cho, Eun-Kyung, Kim, Hyeon-A, Hwang Eun-Yeong and Kang, Chang-Hee, Composition and pollution characteristics of PM10 and PM2.5 particles at Gosan site of Jeju Island in 2008, Analytical Science & Technology, Vol. 24, No. 4, 2011, pp.310-318)
[19] 김용완, 김준연, 이채언, 전진호, 문덕환, 신해림, 이종태, 이명철, 김성천, 배기택, 부산의 대기오염도 조사, 예방의학회지, 제19권 제2호, 1986, 1986, pp.252-262 // (Kim, Y.W., Kim. J.Y., Lee, C.U., Jun, J. H., Moon, D. H., SHin, H. R., Lee, J. T., Lee, M.C., Kim, S. C., Pae, K. T.,Survey on ambient air quality in Pusan area, Journal of Preventive Medicine and Public Health, Vol. 19, No. 2, 1986, pp.252-262)
[20] 유호천, 황현석, 지역적 특성에 따른 기후변화와 건물 냉난방부하변화, 대한건축학회논문집-계획계, 제29권 제3호, 2013, pp.345-352 // (Yoo, Ho-Chun, Hwang, Hyun-Suk, Climate change and building load variation by regional characteristics, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 29 No. 3, 2013, pp.345-352)
[21] H. C. Power, Trends in solar radiation over Germany and an assessment of the role of aerosols and sunshine duration, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 76 No. 1-2, 2003, pp.47-63
[22] 최미희, 윤진일, 여름철 일 최고기온과 일사량의 최근 변동에 관하여, 한국농림기상학회지, 제11권 제4호, 2009, pp.185~191 // (Choi, Mi-Hee, Yun, Jin Il, On recent variations in solar radiation and daily maximum temperature in summer, Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 11, No. 4, 2009, pp.185-191)
[23] A. Soler, Dependence on cloudiness of the relation between the ratio of diffuse to global radiation and the ratio of global to extraterrestrial radiation for average daily values, Solar Energy, Vol. 44 No. 3, 1990, pp.179-181
[24] M. Chaâbane, M. Masmoudi, K. Medhioub, Determination of linke turbidity factor from solar radiation measurement in northern Tunisia, Renewable Energy, Vol. 29 No. 13, 2004, pp.2065-2076
[25] F. Ellouz, M. Masmoudi, K. Medhioub, Study of the atmospheric turbidity over Northern Tunisia, Renewable Energy, Vol. 51, 2013, pp.513-517
[26] J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth edition, The United States of America:John Wiley & Sons, Inc., 2013, p.37
[27] 정민희, 기상관측데이터를 활용한 일사예측모델 개발, KIEAE Journal, 제17권 제6호, 2017, pp.273-278 // (Chung, Min Hee, Modelling of solar irradiance forecasting using local meteorological data, KIEAE Journal, Vol. 17, No. 6, 2017, pp.273-278)