

일기예보를 이용한 일사량 예측기법개발

원종민* · † 도근영 · 허나리**

*한국해양대학교 대학원, † 한국해양대학교 해양공간건축학과 교수, ** 한국해양대학교 대학원

Predict Solar Radiation According to Weather Report

Jong-Min Won* · † Geun-Young Doe · Na-Ri Heo**

* Graduate school of National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

† Department of Architecture and Ocena Space, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

** Graduate school of National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 태양광발전은 독립전원으로써의 가치는 미미하나 도시전체의 탄소발생량 저감 및 화석연료 사용 저감을 위한 분산전원으로써 가치가 매우 높은 전력원이다. 하지만 태양광발전의 경우 기상조건에 따른 발전량 변동이 심하기에 분산전원으로써 효율적으로 사용하기 위해서는 큰 변동폭을 효과적으로 제어하기 위한 실시간 모니터링이 이루어져야 한다. 하지만 태양광발전량을 좌우하는 일사량은 예측치가 존재하지 않기에 이를 예측해야 하고 본 연구에서는 과거의 일사량을 직산분리 하여 구름의 짙은 정도나 두께 등을 유추할 수 있는 대기투과율을 일기예보에서 발표하는 날씨별로 대푯값을 산정하고 이를 일사량 예측식에 대입하여 일사량을 예측하였다. 그리고 실측 일사량 및 CRM(Cloud Cover Radiation Model)기법인 Kasten and Czeplak의 식을 통해 계산된 예측일사량과의 비교를 통해 검증하였다.

핵심용어 : 일사량, 대기투과율, 운량, 직산분리, 태양광발전

Abstract : The value of Photovoltaic as an independent power supply is small, but the city's carbon emissions reduction and for the reduction of fossil fuel use distributed power is the power source to a very high value. However, according to the weather conditions for solar power generation by power fluctuations because of the size distribution to be effective, the big swing for effectively controlling real-time monitoring should be made. But that depends on solar power generation solar radiation forecasts from the National Weather Service does not need to predict it, and this study, the diffuse sky radiation in the history of the solar radiation in the darkness of the clouds, thick and weather forecasts can be inferred from the atmospheric transmittance to announce this value is calculated to represent each weather forecast solar radiation and solar radiation predicted by substituting the expression And the measured solar radiation and CRM (Cloud Cover Radiation Model) technique with an expression of Kasten and Czeplak irradiation when compared to the calculated predictions were verified.

Key words : Amount of Solar Radiation, Atmospheric Transmittance, Amount of Cloud, Photovoltaic: Diffuse sky Radiation

1. 서 론

정부는 교토의정서의 발효에 따라 국가차원에서의 탄소 배출량을 줄이기 위해 “저탄소 녹색성장”이라는 새로운 비전을 제시함에 따라 이를 실현하기 위한 탄소중립의 친환경 도시개발이라는 패러다임이 대두되었다. 탄소중립의 친환경 도시를 개발하기 위해서는 건축전반에서의 화석연료사용을 줄이며 신재생에너지의 사용 확대가 필수적이다. 이러한 노력의 일환으로 고효율 기기의 활용이나 신재생에너지 이용시설의 의무화 등을 통해 건축물의 에너지 절약과 탄소배출량을 저감시키고 있다. 그러나 건축물만을 대상으로 한 탄소 배출량 대책은 도시 전체의 탄소배출량을 저감시키기에는 한계가 있기 때문에 도시차원에서 탄소 배출량을 저감시키기 위한 대책 즉 저탄소형 도시 구조를 만들어갈 필요가 있다.

저탄소형 도시 구조를 만들기 위해서는 도시의 탄소 배출량의 큰 부분을 차지하는 교통 부분에서의 배출량 저감 대책, 도시의 열섬현상 완화를 통한 냉난방 부하 저감 등의 대책이 있으며 도시의 성장과 함께 증가하는 전력사용량에 대응하기 위한 분산전원 즉 신재생에너지를 활용하는 발전플랜트의 건설도 또 하나의 대책으로 Micro grid나 Smart grid에 대한 연구와 적용이 활발히 진행되고 있는 실정이다. 이러한 상황에 의해 신재생에너지를 활용하는 발전플랜트의 건설이 큰 폭으로 증가할 것으로 생각되며 실제 신재생에너지 중, 태양광과 풍력을 이용하는 발전플랜트의 건설이 증가추세에 있다.

그러나 태양광과 풍력은 기상조건에 따라 발전량이 변동되며 특히 풍환경 조건에 의해 발전 가능지역이 결정되는 풍력 발전에 비해 지역적 조건이 적은 태양광 발전의 비율은 큰 폭

† 교신저자 : 종신회원, gydoe@hhu.ac.kr 051)410-4583

* 연회원, whaaojjang@naver.com 051)410-4949

** 연회원, ri2010@naver.com 051)410-4949

으로 증가할 것으로 예상되기 때문에 기상조건에 따른 태양광 발전량의 변동은 도시 또는 국가 전체의 전력공급에 영향을 미치게 되므로 태양광 발전량 변동에 대응하기 위한 대책이 필요하게 된다. 태양광 발전량 변동에 대응하기 위해서는 발전량의 실시간 모니터링은 물론 하루 뒤 또는 수 시간 뒤의 발전량을 예측하고 다른 발전플랜트의 발전량을 증감시킬 준비를 해야 하지만 기상조건을 미리 알려주는 일기예보에는 일사량 정보가 없기 때문에 하루 뒤 또는 수 시간 뒤의 일사량을 예측할 수 있는 기법을 개발할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 일기예보를 바탕으로 일사량을 예측할 수 있는 기법을 개발하는 것을 목적으로 한다.

2. 일사량과 일기예보

일사량의 다소에 영향을 미치는 요인은 태양고도와 대기의 상황이며 태양고도는 태양과 지구의 운동, 위도, 경도 등으로 계산을 통해 예측이 가능한 반면 구름의 양이나 두께, 대기 중에 있는 일사투과 방해물질의 양 등 대기의 상황은 계산을 통해 예측하기는 어렵다.

기상청에서는 일기예보로 기상정보를 제공하고 있지만 관측 항목인 일사량에 대한 예측은 하지 않고 있고, 구름의 양과 관련된 정보인 날씨, 강수확률, 강수량, 최저/최고 온도, 기온, 풍향/풍속, 습도를 제공한다. 날씨는 맑음, 구름조금, 구름 많음, 흐림의 네 단계로 구분하며 구름이 하늘을 덮고 있는 상태를 나타내는 운량과 날씨는 Table 1에 나타내는 것과 같은 관계에 있지만 운량은 하늘을 덮고 있는 구름의 양을 나타내는 지표로 구름의 특성 즉 구름의 두께나 구름의 색 등에 대한 정보가 없기 때문에 운량만으로 정확한 일사량 정보를 얻을 수 없다.

한편 일사량이 대기를 투과하는 정도를 나타내는 지표로 대기투과율이 있으며 일사의 강도는 대기투과율이 높을수록 세지며, 반대로 대기투과율이 낮을수록 작아진다. 따라서 대기투과율은 일사투과율의 정도를 나타내는 지표이므로 운량과 대기투과율의 관계를 밝힌다면 일기예보를 이용하여 일사량을 예측할 수 있을 것이다.

Table 1 Cloudiness in the weather

weather	clear	partly cloudy	mostly cloudy	cloudy
Cloudiness	0~2	3~5	6~8	9~10

3. 연구방법

수 시간 뒤의 구름의 상태(두께 또는 색)를 예측하기는 어렵기 때문에 본 연구에서는 현재의 구름의 상태가 수 시간 뒤에도 비슷하다고 가정하여 연구를 진행하였다. 또 구름의 상태를 상세하게 분류할수록 일사량 예측의 정확도가 높아지리라 생각되지만 현재 구름의 상태를 눈으로 판단해야 한다는 것을

고려하면 세 단계(짙은 구름-보통 구름-얇은 구름)로 분류하는 것이 편의성을 높일 수 있다고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 현재 구름 상태의 판단과 일기예보의 날씨정보를 통해 수 시간 뒤의 대기투과율을 결정함으로써 일사량을 예측할 수 있도록 하였다.

날씨(운량)와 대기투과율의 관계를 분석하기 위해 서울의 27년간(1983년~2009년) 시각별 일사량 데이터와 운량을 이용하였으며 날씨에 따른 대기투과율 결정 방법은 아래와 같다.

- 1) 과거의 관측 일사량 데이터의 직산분리를 통해 시각별 대기투과율을 계산한다.
- 2) 계절, 날씨, 시간에 따라 대기투과율에 차이가 있으므로 월별(계절별)·시간별·날씨별(맑음, 구름 조금, 구름 많음, 흐림)로 대기투과율을 분류 정리한다.
- 3) 월·시간·날씨별로 분류한 대기투과율의 분포를 분석하고 구름의 상태를 고려하여 빈도분포에서 산을 이루는 대기투과율 범위를 3개 선정한다.
- 4) 선정한 대기투과율 범위를 대상으로 상세한 대기투과율 분포를 검토하여 대표 대기투과율을 결정한다.
- 5) 선정된 대기투과율을 이용하여 일사량을 계산하고 관측된 실제 일사량과 비교하여 기법의 타당성을 검토한다.

4. 날씨에 따른 대기투과율 선정

4.1 대기투과율 계산 방법

대기투과율은 기상청에서 관측한 일사량 데이터를 직산분리 즉 법선면 직달일사와 수평면 전천공일사로 분리하는 과정에서 구할 수 있다. 본 연구에서는 서울의 1983년~2009년 일사 데이터를 이용하였고 직산분리 식으로는 직산분리의 오차검증 결과(은 외, 1999)가 가장 우수했던 Utagawa의 직산분리식을 이용하여 대기투과율을 계산하였다. Utagawa의 직산분리식은 Table 2와 같다.

Table 2 Atmospheric transmittance range in January 9AM

	thick clouds	medium clouds	thin clouds
clear	0.10~0.15	0.25~0.30	0.40~0.45
partly cloudy	0.05~0.10	0.25~0.30	0.50~0.55
mostly cloudy	0.00~0.05	0.20~0.25	0.45~0.50
cloudy	0.00~0.05	0.10~0.15	0.35~0.40

4.2 날씨에 따른 대기투과율 범위 선정

기상청에서는 일사량을 매시간 단위로 관측하고 있지만 운량은 3시간 단위로 관측하고 있으며 현재 기상예보의 날씨 정보도 3시간 단위로 발표되고 있기 때문에 일사량이 안정적으로 관측되는 시간인 9시부터 3시간 간격인 9시, 12시, 15시, 18시, 4개의 시간대로 분류하였다.

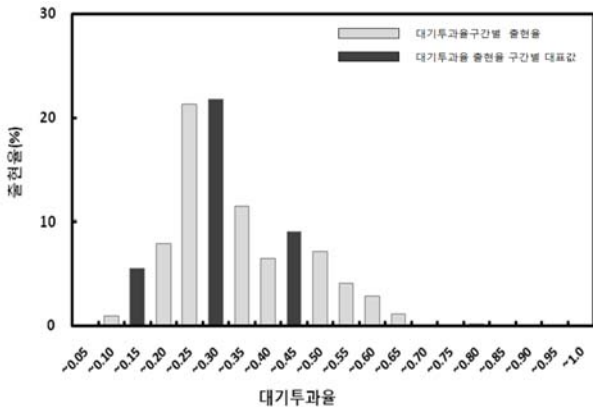


Fig. 1 "Clear" in weather report. January 9AM

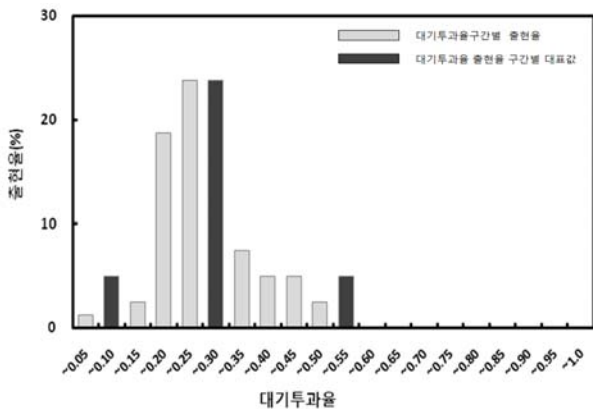


Fig. 2 "Partly Cloudy" in weather report. January 9AM

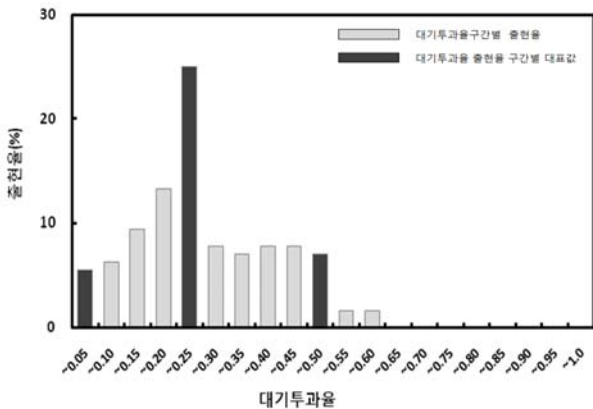


Fig. 3 "Mostly Cloudy" in weather report. January 9AM

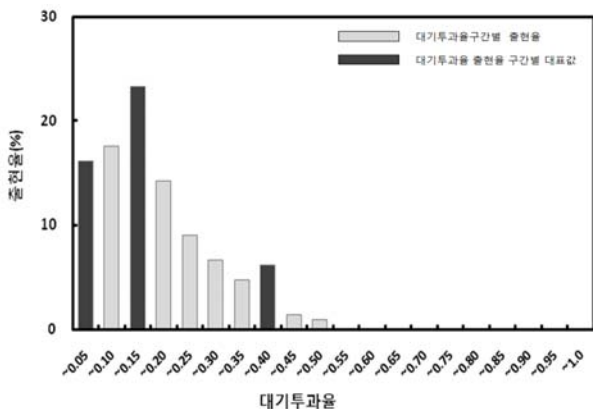


Fig. 4 "Cloudy" in weather report. January 9AM

Fig. 1~Fig. 4는 조사결과 대기투과율의 분포가 명확했던 1월 9시의 대기투과율 분포를 날씨별로 검토한 것이다. 날씨가 '맑음'일 때의 대기투과율의 빈도는 0.25~0에서 가장 높으며 0.40~0.45에서도 작은 산의 형태를 나타내고 있다. 따라서 0.25~0.30은 날씨 '맑음'일 때 구름의 짙은 정도가 보통인 경우로 선정하고 대기투과율이 상대적으로 높은 0.40~0.45는 옅은 구름인 경우라 판단하였다. 한편 대기투과율이 낮은 경우, 즉 구름이 짙은 경우는 산의 형태가 없지만 대기투과율 0.10~0.15에서 완전한 산의 형태는 아니지만 상대적으로 출현 빈도가 높아 이를 구름이 짙은 때의 대기투과율로 선정하였다.

이상과 같이 '구름 조금', '구름 많음', '흐림'에 대해서도 동일한 방법으로 '짙은 구름', '보통 구름', '옅은 구름'일 때의 대기투과율을 선정하여 정리한 것이 Table 3이다.

Table 3 Utagawa's formula

$$I_{ND} = I_0 K_D$$

$$K_D = (2.277 - 1.258 \sinh + 0.2396 \sin^2 h) K_T^3 \quad (K_T < K_{TC})$$

$$= -0.43 + 1.43 K_T \quad (K_T \geq K_{TC})$$

$$K_T = I_{HT} / I_0 \sinh$$

$$K_{TC} = 0.5136 + 0.333 \sinh + 0.00803 \sin^2 h$$

I_0 : 대기권의 일사량(태양상수; $4.932 MJ/m^2 h$)

I_{ND} : 법선면직달일사량($MJ/m^2 h$)

h : 태양고도(°)

$$I_{HT} = I_{ND} \sinh + I_{HS}$$

$$= I_0 P^{\cosh} + I_{HS}$$

$$P = \left(\frac{I_{HT} - I_{HS}}{I_0} \right)^{1/\cosh}$$

I_{HT} : 수평면전천일사량($MJ/m^2 h$)

I_{HS} : 수평면천공일사량($MJ/m^2 h$)

P : 대기투과율

4.3 대기투과율의 최종 결정

0.05 단위로 선정한 대기투과율을 대상으로 0.01 단위로 대기투과율을 재분류한 후 분포를 다시 검토하였다. Fig. 5는 1월 15시 날씨 '맑음', '보통 구름'인 경우에 선정된 대기투과율 0.36~0.40에서 0.01 단위로 대기투과율을 재분류하여 분포를 나타낸 것으로 대기투과율 0.37과 0.39에서 비슷한 출현빈도를 나타내고 있다.

이와 같이 대칭형이거나 대기투과율의 출현빈도에 큰 차이가 없는 경우는 산술평균값을 대기투과율로 최종 결정하였다. 한편, Fig 6은 7월 18시 날씨 '흐림'의 경우에 선정된 대기투과율 0.01~0.05에서 0.01 단위로 대기투과율을 재분류하여 분포를 나타낸 것으로 출현 빈도가 한 값에 집중되어 있는 경우는 출현 빈도가 가장 높은 값을 대기투과율로 결정하였으며 그 예를 Table 4에 나타낸다.

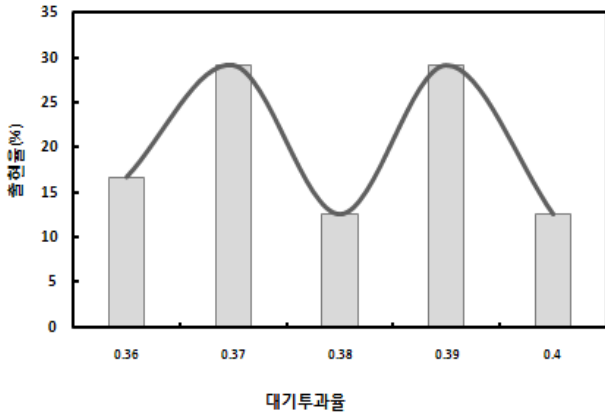


Fig. 5 Closed distribution of Atmospheric transmittance in January 3PM "Clear"

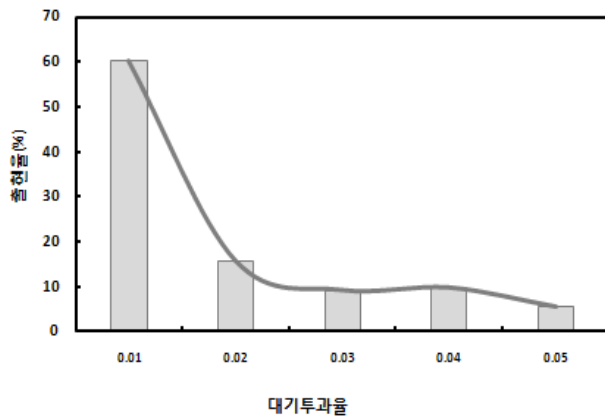


Fig. 6 Closed distribution of Atmospheric transmittance in July 6PM "Mostly cloudy"

Table 4 Distribution of weather at 12PM

		(MJ/m ²)		
weather	month	thick clouds	medium clouds	thin clouds
clear	Jan.	0.131	0.280	0.480
	Apr.	0.177	0.322	0.565
	Jul.	0.135	0.320	0.420
	Oct.	0.231	0.377	0.578
partly cloudy	Jan.	0.229	0.374	0.467
	Apr.	0.182	0.323	0.520
	Jul.	0.125	0.279	0.420
	Oct.	0.090	0.422	0.579
mostly cloudy	Jan.	0.076	0.225	0.475
	Apr.	0.073	0.224	0.480
	Jul.	0.070	0.175	0.268
	Oct.	0.122	0.225	0.518
cloudy	Jan.	0.019	0.124	0.224
	Apr.	0.010	0.119	0.280
	Jul.	0.009	0.123	0.270
	Oct.	0.018	0.124	0.330

Table 5 Solar radiation calculation using atmospheric transmittance

$$I_{ND} = I_0 P^{1/\sinh h}$$

$$I_{HS} = \frac{1}{2} I_0 \sinh \frac{1 - P^{1/\sinh h}}{1 - 1.4 \log_e P}$$

$$= \sinh(I_0 - I_{ND}) \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(1 - 1.4 \log_e P)}$$

I_{ND} : 법선면직달일사량(MJ/m²h)
 I_{HS} : 수평면천공일사량(MJ/m²h)
 I_0 : 대기권의 일사량(태양상수; 4.932MJ/m²h)
 P : 대기투과율
 h : 태양고도(°)

이와 같이 대칭형이거나 대기투과율의 출현빈도에 큰 차이가 없는 경우는 산술평균값을 대기투과율로 최종 결정하였다. 한편, Fig 6은 7월 18시 날씨 '흐림'의 경우에 선정된 대기투과율 0.01~0.05에서 0.01 단위로 대기투과율을 재분류하여 분포를 나타낸 것으로 출현 빈도가 한 값에 집중되어 있는 경우는 출현 빈도가 가장 높은 값을 대기투과율로 결정하였으며 그 예를 Table 4에 나타낸다.

5. 일사량 예측 기법의 검증

5.1 실측일사량과의 비교

본 연구에서 개발한 대기투과율을 이용한 일사량 예측 방법의 신뢰도를 검증하기 위하여 실측 일사량과 비교하였다. 실측 일사량은 서울 기상청에서 관측한 1983년의 1월, 4월, 7월, 10월의 일사량을 이용하였으며 예측 일사량은 서울을 대상으로 결정한 대기투과율과 비교하는 시간의 운량을 이용하였으며 일사량 계산에 이용한 식은 Table 5와 같다.

Table 6은 1983년의 1월, 4월, 7월, 10월 실측일사량과 예측한 일사량을 비교한 것으로 실측일사량과 예측일사량 사이의 최대 오차는 취득일사량이 많은 12시에 나타났다.

Fig. 7은 1983년 7월의 실측 일사량과 오차(실측일사량 - 예측일사량)의 관계를 나타낸 것으로 일사량이 작을 경우 실측일사량보다 예측일사량이 커지는 경향이 있지만 일사량이 클수록 오차도 커지지만 실측일사량보다는 작게 계산되는 경향을 나타내고 있다.

오차가 가장 클 때 실측일사량에 비해 100MJ/m²까지 작게 일사량이 예측되고 있어 오차를 줄일 방안을 검토할 필요가 있다.

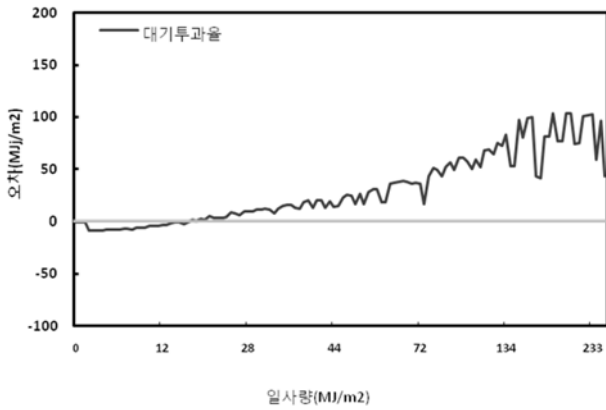


Fig. 7 Errors of the observed solar radiation and predicted solar radiation (using atmospheric transmittance) in July, 1983

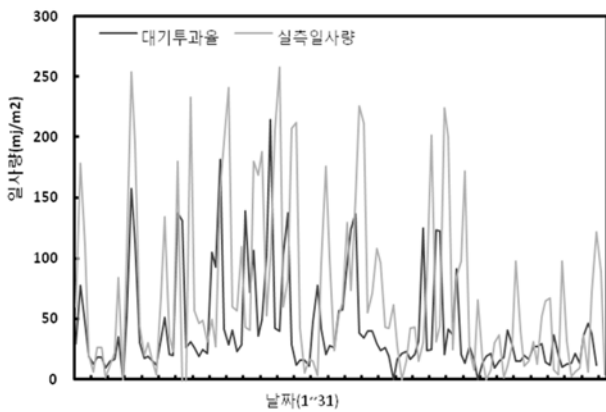


Fig. 8 Comparison of the observed solar radiatino and predicted solar radiation (using atmospheric transmittance) in July, 1983

Table 6 Measure observed solar radiation against predicted solar radiation in July, 1983

(단위: MJ/m²)

month	clock	observed solar radiation	predicted solar radiation	error
Jan	9AM	27.2	24.0	3.2
	12PM	124.5	108.6	15.9
	3PM	78.0	69.0	9.1
	6PM	-	-	-
Apr	9AM	103.0	70.5	32.6
	12PM	194.8	130.3	64.5
	3PM	145.5	115.2	30.3
	6PM	19.1	20.6	-1.5
Jul	9AM	59.5	36.8	22.6
	12PM	107.4	57.1	50.2
	3PM	100.5	59.7	40.8
	6PM	25.5	24.9	0.6
Oct	9AM	59.3	16.6	42.7
	12PM	155.6	90.7	64.8
	3PM	108.0	76.2	31.7
	6PM	-	-	-

한편 Fig. 8은 1983년 일사량이 9시부터 18시까지 안정적으로 관측되는 7월 한 달간의 실측일사량과 대기투과율을 바탕으로 예측한 일사량의 변화를 비교한 것으로 일사량에는 차이가 있으나 예측한 일사량의 변동이 실측일사량의 변동과 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다.

5.2 CRM(Cloud cover Radiation Model)기법의 비교

기존의 방법인 CRM을 이용한 일사량 예측기법과 대기투과율을 이용한 일사예측기법을 정확도를 비교하였다.

CRM(Cloud Cover Radiation Model)기법은 대상면의 위치(태양고도)와 대상면이 위치한 곳의 구름의 양(운량)을 가지고 일사량을 계산하는 방법으로 본 연구에서는 CRM기법 중 구름의 양을 8분율로 나누어 구름이 전혀 없는 청명한 상태를 0, 구름이 완전히 하늘을 덮은 상태를 8로 하여 구름에 대한 정보를 기초로 일사량을 산출하는 방정식인 Kasten and Czeplak의 식을 통해 일사량을 계산하였다.

Table 7 Kasten and Czeplak's formula

$$I_{GC} = 910 \sin a - 30$$

$$I_G = I_{GC} (1 - 0.75(N/8)^{3.4})$$

I_G : 수평면전일사량
 I_{GC} : 맑은날수평면전일사량
 N : 운량(8분율)
 a : 태양고도(degree)

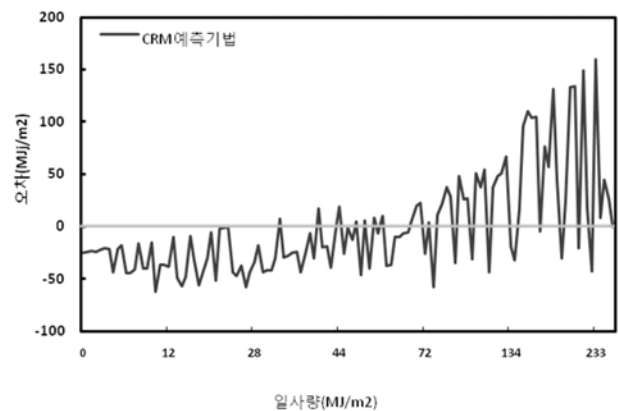


Fig. 9 Errors of the observed solar radiation and predicted solar radiation (using CRM) in July, 1983

Fig. 9는 1983년 7월 한 달간의 실측일사량과 CRM기법으로 예측한 일사량을 비교한 것으로 구름의 밝기 정도가 고려되지 않고 운량만을 이용하기 때문에 실측 일사량의 변동과는 상당한 차이를 나타내고 있다. 또 Fig. 10은 CRM을 이용해 계산한 일사량과 실측일사량의 차이(실측일사량 - 계산 일사량)를 검토한 것으로 대기투과율을 이용한 방법에 비해 실측 일사량이 클수록 오차가 커져 최대 150MJ/m²까지 일사량이 작게 계산되고 있다. 또한 CRM 기법에 의해 계산되는 일사량은 일사량이 작은 경우에는 대기투과율을 이용하는 방법과 같이 실측일사

량보다 일사량이 크게 계산되지만 대기투과율을 이용한 일사량 예측은 일사량이 커지면 예측되는 일사량이 항상 실측일사량에 비해 작게 계산되는 것에 비해 CRM 기법은 일사량이 커지더라도 계산되는 일사량은 실측일사량보다 크게 계산되는 경우와 작게 계산되는 경우가 불규칙하게 나타나고 있다.

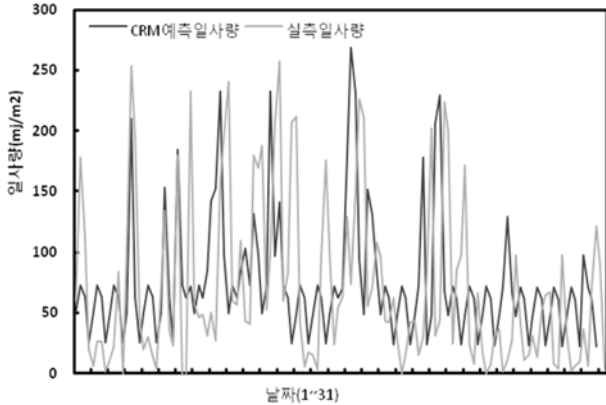


Fig. 10 Comparison of the observed solar radiation and predicted solar radiation (using CRM) in July, 1983

국가 전체의 전력공급에 미치는 영향을 줄이기 위해 일사량의 변동에 따른 태양광 발전플랜트의 발전량 변동을 예측할 수 있는 기법을 개발하는 것이 본 연구의 목적이므로 일사량 변동을 충실히 재현할 수 있어야 하며 또한 예측한 일사량이 실제 일사량보다 크거나 작은 경우가 불규칙하게 발생하는 것보다 항상 작게 예측되는 것이 발전량 변동에 의한 영향에 대응하기 쉬운 것으로 사료된다.

6. 결 론

본 연구에서는 기상조건에 따른 태양광 발전량의 변동이 도시 또는 국가 전체의 전력공급에 미치는 영향을 최소화하기 위한 한 방법으로 일기예보를 근거로 일사량을 예측할 수 있는 기법을 개발하였다.

1) 운량과 관련된 날씨정보가 일기예보에서 제공됨에 따라 날씨와 구름의 짙은 정도로 대기투과율을 결정하고 대기투과율을 이용하여 일사량을 예측하는 기법을 제시하였다.

2) 제시한 기법을 통해 예측한 일사량과 실측 일사량의 비교 및 기존 예측기법인 CRM기법 중 Kasten and Czeplak의 예측기법과 비교를 통해 신뢰도를 검증하였다.

3) 제시한 대기투과율 기법은 실제 일사량이 커질수록 일사량이 작게 계산되며 오차가 커지는 경향을 나타내지만 실제 일사량의 시간 변동과 유사한 변동을 나타내고 있다.

4) 제시한 대기투과율 방법은 CRM 기법에 비해 실제 일사량과의 오차가 작고 일사량의 시간변동을 잘 표현하고 있다.

5) 일사량이 클 경우 CRM 기법은 계산된 일사량이 실제 일사량보다 큰 경우와 작은 경우가 불규칙적으로 나타나지만 대기투과율 기법은 항상 일사량이 작게 계산된다.

이상과 같이 대기투과율 기법은 일사량의 시간 변동을 잘 표현하고 있다는 점과 일사량이 클 경우 일사량을 작게 예측한다는 점에서 대기투과율 기법을 적용할 경우 태양광 발전량의 변화의 영향에 대한 대응을 용이하게 할 것이라 판단된다. 그러나 아직 실측 일사량과의 오차가 크기 때문에 오차를 줄일 수 있는 방안을 검토할 필요가 있다.

후 기

이 논문은 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(07첨단도시 A01)을 받아 수행된 연구임

참고문헌

- [1] 유호천, 이관호, 강현구(2009), “표준기상데이터의 운량과 일사량 데이터 비교분석”, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집 vol.2009 No.11월, pp. 330~335
- [2] 은정호, 김창범, 조덕기(1999), “서울지역 실측일사량을 이용한 일사량 직산분리 모델의 정밀성 검증 연구”, 한국태양에너지학회 논문집 20권 1호, pp. 45~54
- [3] 二宮 秀興(1994), 建築熱環境 シミュレーション への AMeDAS 氣象データの適用に関する研究
- [4] 國土交通省二大臣官房官廳營繕部秀設備・環境課監修 (2009), 建築設備設計基準

원고접수일 : 2011년 5월 6일

심사완료일 : 2011년 6월 28일

원고채택일 : 2011년 6월 28일