체육관 커튼월에 설치된 건물일체형 태양광발전시스템의 발전량과 기후 요소 간의 상관성 분석

박강현*, 이정훈*, 김수민**, 박경원***

*송실대학교 대학원 건축학과, **송실대학교 건축학부(skim@ssu.ac.kr)
***송실대학교 화학공학과

Analysis of the Correlation between Climatic Elements and Electricity Generation of Building Integrated Photo Voltaic on Gymnasium Building's Curtain Wall

Park, Kang-Hyun* Lee, Jeong-hun* Kim, Su-min** Park, Kyung-Won***

*Department of Architecture, Graduate School, Soongsil University
**School of Architecture, Soongsil University(skim@ssu.ac.kr)
***Department of Chemical Engineering, Soongsil University

Abstract

Concerning about global warming due to emission of greenhouse effect gas like CO₂ and depletion of fossil fuels have been spreading. So the need for solar energy utilization is increased. It is essentially important to make efforts to reduce usage of fossil energy resources. In this study, we analyzed the correlation between climatic elements and the photovoltaic power generation. Cloud cover of the correlation coefficient was 0.93. The order of the correlation coefficient was average temperatures, hours of sunshine duration of sunshine and the humidity. To accurately analyze of the degree of correlation for the photovoltaic power generation, additional research about climatic elements that show a high correlation is needed.

Keywords : 기후요소(Climatic element), 건물일체형 태양광발전(Building integrated photo voltaic), 체육관(Gymnasium building), 상관계수(Coefficient of correlation), 운량(Cloud cover)

1. 서 론

전 세계적인 경제성장과 중국과 같은 신흥

경제대국의 화석 연료 수요 증가로 인하여 자
원 고갈이 가속화되고 있다. 우리나라의 경우
화석 연료에 대한 의존도가 높으며, 대부분의

투고일자 : 2011년 10월 25일, 심사일자 : 2011년 11월 2일, 게재확정일자 : 2012년 2월 13일
교신저자 : 김수민(skim@ssu.ac.kr)

에너지를 수입에 의존하고 있어 에너지 수급과 가격변동에 민감하다. 또한 화석 연료의 사용 증가는 온실 가스 발생량 증가를 동반하여 지구 온난화로 인한 환경위기를 심화시키고 있다.

2007년 기준 우리나라 전체 온실가스 배출량은 6억 1000만톤이며, 이 중 건물의 온실가스 배출량은 1억 3800만톤으로 22.6%에 해당한다. 정부는 2020년까지 배출전망치(BAU) 대비 감축목표를 설정하였는데 이 중 건물 부문의 감축목표는 26.9%이다.¹⁾ 이는 2020년까지 건물 부문에서 배출할 수 있는 온실가스의 양이 2007년 수준보다도 더 낮은 양이어야 함을 의미한다. 파나마시티에서 개최된 2011년 제3차 유엔기후변화 협상회의에서는 교토의정서 연장, 온실가스 감축 등 기후변화와 관련된 주요 이슈를 논의하였고, 우리나라는 2020년까지 BAU 대비 30% 감축 목표 이행 등 기후변화에 적극 대응하고 저탄소발전을 위한 공감대 형성에 노력하고 있음을 피력하였다.

한편 건물에너지 사용량과 온실가스 발생량을 줄이고자 하는 노력이 대학에서도 활발히 이루어지고 있다. 대학의 경우 연면적이 크고, 다수의 이용자들이 사용하는 시설물로 구성되어 있어 에너지 소비량이 점차적으로 증가하고 있어 온실가스 발생량도 함께 늘고 있다. 이에 따라 대학에서는 화석 연료를 주로 사용하였던 냉난방 방식을 지열과 태양열을 이용하는 방식으로 전환하거나 태양광발전 시설을 구축하여 전기를 생산하는 등 그린 캠퍼스 구축을 위해 다양한 노력을 경주하고 있다. 태양광과 같은 신재생에너지를 효율적으로 활용하기 위해서는 해당 지역의 기후 특성과 이에 따른 발전량 변동 등의 정보 파악이 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 서울시 도봉구에 소재한 체육시설에 설치된 건물일체형 태양광발전 시스템(Building Integrated Photo Voltaic, BIPV)의

발전량과 각 기후 요소별 연간 데이터를 비교 분석하여 상호 연관성을 파악하고자 한다. 이를 통해 태양광발전을 적용하여 온실가스 발생량이 적은 건축물을 설계함에 있어 활용 가능한 정보를 획득하고, 태양광발전 설비의 적용 등과 관련된 의사결정을 위한 기초 데이터를 구축하고자 한다.

2. 연구 대상 및 방법

2.1 연구 대상

본 연구에서는 서울시 도봉구에 소재한 체육관(이하 “A 체육관”)에 설치되어 있는 건물일체형 태양광발전 시스템을 대상으로 하였다. 표 1은 연구 대상 건물의 개요와 BIPV가 설치되어 있는 커튼월의 내외부를 보여주고 있다. 건축 입면 파사드의 그리드 모듈에 적합하게 설치되어 있고, 설치면을 남서향에 면하게 하여 오후 시간 일사로 인한 체육관 실내 온도 상승을 부분적으로 차단하는 역할을 하도록 계획되었다. 그림 1은 체육관 건물의 배치와 BIPV 설치면의 향을 보여주고 있다.

표 1. A 체육관 건축개요

구 분	내 용
위 치	서울시 도봉구
주 용 도	체육시설
건축면적	3,691 m ²
연면적	7,660 m ²
층 수	지하1층 ~ 지상2층
구 조	철근콘크리트조
외부 마감	커튼월, 노출콘크리트
태양광 설비 용량	28.36 kW
태양광 발전 개시일	2010년 4월 1일

1) BAU(Business As Usual)는 기존 온실가스 감축정책을 계속 유지할 경우 미래 온실가스 배출량 추이다.

표 2. 월간 기후 요소별 계측치

구 분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월
일조시간 합계(hr)	166.3	178.5	203	89.8	96.5	146.4	194.6	180.3	157.8	218.5	166.6	240.2
평균 운량(%)	52	54	50	74	76	59	37	34	41	27	40	33
평균기온(℃)	9.5	17.2	23.4	25.8	26.5	21.8	14.5	6.5	-1.3	-7.2	1.2	3.6
강수량 합계(mm)	62.8	124	127.6	239.2	598.7	671.5	25.6	10.9	16.1	8.9	29.1	14.6
평균 상대습도(%)	54.1	62.2	61.7	73.5	77.7	72.3	60.9	55	55.9	53.8	55.2	51.1
적설량 합계(cm)								1.3	22.2	12	0.2	2.5

그림 1. 건물 배치 및 BIPV 설치 위치

2.2 기후 정보

표 2는 연구 대상이 위치한 지역인 서울 기상청의 기후 요소별 계측치를 나타내고 있다.²⁾ 계절의 변화가 뚜렷하고 도시 특유의 기후 특성을 가지고 있는 서울은 습한 아열대 기후에 해당한다.³⁾ 2010년 기준 8월의 평균 기온은 26.5℃, 2011년 1월의 평균 기온은 -4.5℃를 나타내고 있다. 7,8,9월의 상대습도는 평균 70%를 상회하고 있으며, 강수 또한 집중되고 있다.

2.3 연구 방법

상관 관계 분석 대상 기간은 2010년 4월부터 2011년 3월이며, 계측 대상 기후 요소는 일조시간, 운량⁴⁾, 기온, 강수량, 상대습도, 적

설량으로 하였다. 체육관 남서측 커튼월에 설치된 BIPV의 발전량 데이터를 기후 정보와 비교함으로써 상관 관계를 분석하였다. 상관 관계의 시각적 표현은 산포도(Scatter diagram)를 이용하였다. 산포도는 상관 관계의 유무를 시각적으로 확인하기 위한 그래프이다. 2개의 변수 중 한쪽을 가로축으로 하고 다른 한쪽을 세로축으로 하여 대응하는 데이터를 1점씩 타점함으로써 작성한다. 작성된 그래프상 타점들의 형태에 따라 양의 상관 관계, 음의 상관 관계 또는 상관 관계가 없음을 알 수 있다.

기후 요소와 발전량과의 상관 관계를 분석하기 위해 상관 계수 r 를 이용하였다. 기후 요소와 발전량으로 된 2개의 변수 사이에 상관 관계의 유무를 확인하기 위해 상관 계수라는 지표를 이용한다. 상관 계수는 통상 r 이라는 기호로 표기되고 -1에서 1까지의 값으로 나타난다. 상관 계수의 부호가 양(+)일 때에는 양의 상관관계를, 음(-)일 때에는 음의 상관 관계가 있음을 나타낸다. 상관 관계의 강도는 상관 계수의 절대값 $|r|$ 또는 자승값 r^2 으로 평가한다. 값이 1에 가까울수록 상관이 강하다는 것을 의미하며, 0에 가까울수록 상관 관계가 존재하지 않음을 나타낸다.

3. 연구 결과

기후 요소와 발전량 간의 상관 관계를 분석한 결과는 다음과 같다.

2) http://www.kma.go.kr/weather/observation/past_table.jsp

3) 국립기상연구소, 기후변화 이해하기Ⅲ-서울의 기후변화, 국립기상연구소, 2009.4, p.2.

4) 운량은 0.0 ~ 10.0(단위: 할)으로 표현되며 강수현상과 관계가 없는 구름의 양이다. 본 논문에서는 단위를 백분율(%)로 적용하였다.

3.1 BIPV 발전량

그림 2. 월간 태양광 발전량

체육관에 설치된 BIPV의 월간 발전량을 그림 2에, 하루 중 시간대별 발전량을 그림 3에 나타내었다. 발전량은 동절기인 1월과 3월에 가장 크게 나타났는데 이는 외기온도에 의한 영향보다는 운량이 적은 동절기 계절적 특성 때문인 것으로 판단된다. 또한 2011년 1월 15일 기준 일중 최고 태양고도각은 31° 이며, 2010년 7월 15일 기준 일중 최고 태양고도각은 73° 로 나타나⁵⁾ 하절기에 비하여 태양고도각이 낮은 동절기에는 일당 발전시간은 짧지만 태양과 집전판 간의 발전을 위한 최적의 각에 근접한 발전시간을 상대적으로 많이 확보할 수 있기 때문에 발전량이 많은 것으로 보인다.

하루 중 가장 많은 발전량을 보이는 시간대는 14시에서 15시 전후의 오후 시간대로 나타났는데 이는 연구 대상 건물의 BIPV 설치면이 그림 1에서 보는 바와 같이 남서측을 향하고 있기 때문으로 판단된다.

3.2 기후 요소와 발전량과의 상관 관계

(1) 일조 시간

표 2에서 보는 바와 같이 7월과 8월은 우기철로 운량이 집중됨에 따라 일조 시간이 가장 적게 나타난 것으로 판단된다. 그림 4는 일조 시간과 발전량과의 상관 관계를 산포도로 나

그림 3. 시간대별 태양광 발전량

타낸 것으로 양의 상관 관계가 있음을 알 수 있다. 일조 시간과 발전량과의 상관 계수 r 은 0.85로 산출되어 강한 상관 관계를 나타냈다.

(2) 운량

7, 8, 9월은 우기철로 운량이 집중되고 있어 저조한 발전량을 나타내는 것으로 판단된다. 반면 1월과 3월은 운량이 적어 발전량이 타 계절에 비하여 많은 것을 알 수 있다. 그림 5는 운량과 발전량과의 상관 관계를 나타낸 것으로 음의 상관 관계가 있음을 알 수 있다. 운량과 발전량과의 상관 계수 r 은 0.93으로 산출되어 기후 요소 중 가장 강한 상관 관계를 나타냈다. 운량이 발전량에 강한 상관 관계를 보임에 따라 운량의 분포와 변화에 대한 조사 분석을 통해 BIPV의 경제성 확보 유무를 판단하는 중요한 기준이 될 수 있을 것으로 보인다.

(3) 기온

8월의 평균 기온은 26.5°C 로 연중 가장 높은 월평균 기온을 나타냈고, 1월의 평균 기온은 -7.2°C 로 가장 낮은 월평균 기온을 보여 가장 높은 평균 기온과 가장 낮은 평균 기온의 차이는 33.7°C 로 나타났다. 그림 6은 평균 기온과 발전량과의 상관 관계를 나타낸 것으로 음의 상관 관계를 보이고 있다. 기온과 발전량과의 상관 계수 r 은 0.87이며, 운량 다음으로 강한 상관 관계가 있음을 알 수 있다.

5) 한국천문연구원(<http://astro.kasi.re.kr>)

그림 4. 일조 시간과 발전량의 상관 관계

그림 7. 강수량과 발전량의 상관 관계

그림 5. 운량과 발전량의 상관 관계

그림 8. 상대습도와 발전량의 상관 관계

그림 6. 평균기온과 발전량의 상관 관계

그림 9. 적설량과 발전량의 상관 관계

(4) 강수량

강수량은 7, 8, 9월에 집중되는 경향이 있어 우윤의 형성이 운량의 증가를 초래하여 발전량에도 영향을 미치는 것으로 보인다. 커튼월의 수직면에 설치된 BIPV는 수평면 또는 경사면으로 설치된 발전 시스템보다 강수로 인한 영향은 적을 것으로 예상된다. 그림 7에서와 같이 강수량과 발전량은 음의 상관 관계를 보였으며, 상관 계수 r 은 0.64로 나타나 상관

관계의 정도가 약한 것으로 판단된다.

(5) 습도

월 평균 상대습도는 7, 8, 9월에 70% 이상을 상회하고 있어 습한 외기 환경을 보이고 있으며, 1, 2, 3, 4, 11, 12월은 55% 내외로 건조하게 나타났다. 그림 8과 같이 습도와 발전량 간에는 음의 상관 관계가 있는 것을 알 수 있다. 상관 계수 r 은 0.85로 나타나 발전량의

그림 10. 신적설일 익일 발전량

변화와 상관성이 있는 것으로 보인다.

(6) 적설

동절기에 집중되는 적설은 수평면 또는 경사면으로 시설된 태양광 발전시스템의 발전을 일정부분 간섭할 것으로 예상된다. 반면 본 연구에서는 상관 계수 r 이 0.40으로 나타나 커튼월의 수직면에 설치된 BIPV는 적설로 인한 발전량 변화에 대한 상관성이 가장 적은 것으로 나타났다. 그림 10은 신적설 다음 날의 발전량에 대한 것으로 연간 평균 발전량을 상회하고 있어 적설이 있는 후 적설로 인한 태양광 발전에 영향을 미치는 정도가 작은 것으로 보인다. 이는 집전판이 수직으로 설치되어 있어 적설이 되지 않아 적지 않는 것으로 나타남에 따라 설일 다음 날부터는 적설로 인한 간섭을 거의 받지 않아 적설량이 많은 기후 지대에는 태양광 집전판을 수직으로 설치하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

3.3 1월의 운량 및 기온과 발전량

기후 요소 중 월간 발전량과의 상관 계수가 가장 높은 것으로 나타난 운량과 기온에 대하여 보다 심층적인 상관 관계를 확인하여 결과를 검증하기 위하여 그림 2에서 보는 바와 같이 연중 발전량이 가장 많은 달인 1월의 일간 기후데이터 및 발전량에 대하여 상관 관계를 분석하였다.

그림 11. 1월의 운량과 발전량 간 상관 관계

그림 12. 1월의 평균기온과 발전량 간 상관 관계

월간 발전량과의 상관 계수 r 이 0.93으로 가장 높은 상관 관계를 보인 기후 요소인 운량의 1월과 8월 중 일간 발전량과의 상관 계수 r 은 각각 0.87와 0.84로 나타나 그림 11에서 보는 바와 같이 높은 음의 상관 관계를 나타내고 있음을 알 수 있다. 표 2에서 보는 바와 같이 연중 기온의 변화는 운량의 변화 경향과 정반대의 움직임을 나타내었으며, 이로 인하여 발전량에 미치는 영향도 강한 음의 상관 관계를 보였다. 그런데 월간 발전량과의 상관 계수 r 이 0.87로 운량 다음으로 높은 상관 관계를 보였던 기온의 경우 1월과 8월 중 일간 발전량과의 상관 계수 r 이 각각 0.55의 음의 상관 관계와 0.62의 양의 상관 관계로 나타났으며, 상관 관계의 경향성도 1월과 8월에 각각 음과 양의 상관 관계를 보이고 있어 기온과 발전량 간의 상관성은 적은 것으로 나타났다.

4. 결 론

체육관 커튼월의 수직면에 설치된 BIPV의 발전량과 기후 요소 간의 동일 기간 동안의 데이터 변화를 조사하여 상관 관계를 분석한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 연구 대상 BIPV의 발전량에 대한 조사 결과, 1월에 가장 많은 양의 발전을 하였으며, 7, 8월에 가장 적은 발전량을 보이고 있어 시기별 발전량의 차이가 있음을 알 수 있었다. 하루 중 가장 많은 발전을 하는 시간대는 14시와 15시 전후로 나타났는데 이는 BIPV의 설치면이 남서측을 향하고 있기 때문으로 오후 시간대에 많은 양의 발전을 한 것으로 판단된다.
 - (2) 기후 요소별 월간 발전량과의 상관 계수 r 은 운량이 0.93으로 가장 높은 상관 관계를 보였다. 평균 기온이 0.87, 일조시간과 상대습도가 0.85, 강수량이 0.64, 적설량이 0.40의 상관 계수를 나타냈다. 운량과 기온, 강수량, 상대습도는 음의 상관 관계를 나타냈으며, 일조시간은 양의 상관 관계를 보였다.
 - (3) 가장 높은 상관 관계를 보인 운량과 기온에 대하여 1월과 8월을 대상으로 하여 일간 발전량과의 상관 계수를 재확인한 결과 운량은 0.87과 0.84로 나타나 높은 상관성을 보였다. 하지만 기온과 발전량 간의 의 경우 상관 계수가 각각 0.55와 0.62로 나타나 상관성이 낮은 것으로 확인되어 온도의 높고 낮음이 태양광 발전에 미치는 영향이 작은 것으로 나타났다.
 - (4) 기후 요소 중 신적설에 따른 발전량의 변화를 분석한 결과, 신적설 당일에는 발전량이 적지만 익일에는 정상적인 발전량을 보임에 따라 집전판이 수직으로 설치되는 BIPV가 적설량이 많은 지역에서 적응성이 있을 것으로 판단된다.
- 향후 각 기후 요소별 발전량 변화에 있어

기여 정도와 상관 관계에 대하여 시기별, 지역별 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 또한 태양광 발전 시스템별 각각의 발전량 변화 추이에 대한 조사와 발전량에 영향을 주는 요소에 대한 연구가 동시에 진행되어야 할 것이다.

사 사

본 논문은 지식경제부/한국산업기술평가관리원[사업명: 컨버전스 기반의 신재생에너지원 개발을 위한 원천융합기술 인력양성]에 의해 지원되었습니다.

참 고 문 헌

1. 이관호, 건물 및 재생에너지에 관한 미래의 기후변화 예측, 한국태양에너지학회, 28권 1호, 2008.02.
2. 윤종호, 건물일체형 태양광(BIPV) 및 태양열(BIST) 시스템의 최신 기술동향, 건설기술 쌍용, 여름호(v.59), 2011.06.
3. 김병우, 강인중, 한기봉, 기후요소와 지형 공간요소를 이용한 일사량 모델링, 한국지형정보학회지, 18권 4호, 2010.12.
4. 강인준, 한기봉, 광재하, 최현, 최치영, 도심지 기후요소 분석에 따른 태양광 발전 시설 위치 결정, 제35회 대한토목학회정기학술대회, 2009.10, pp.1789~1791.
5. 노형진, 엑셀에 의한 조사방법 및 통계분석, 법문사, 1998.
6. 국립기상연구소, 기후변화 이해하기Ⅲ-서울의 기후변화, 국립기상연구소, 2009.4, p.2.
7. <http://www.gihoo.or.kr>
8. <http://www.greengrowth.go.kr>
9. <http://www.kma.or.kr>
10. <http://astro.kasi.re.kr>