

태양광 발전의 분포 변화: 시군구 단위에서의 분석

이정섭* · 이강원** · 지상현***

Change in Spatial Distribution of Photovoltaic Power Generation

Chung Sup Lee* · Kang-Won Lee** · Sang-Hyun Chi***

요약: 이 연구의 목적은 전국 229개 시군구를 공간 단위로 설정하여 태양광 발전의 입지, 분포 그리고 변화를 분석하는 것이다. 이를 위해서 첫째, 2020년 시군구별 발전량과 발전설비 용량을 통해서 태양광 발전의 분포를 분석했고, 둘째 2017년부터 2021년까지 시군구별 발전설비 증가량을 확인하여 시계열적 변화를 추적했다. 분석 결과, 발전량, 발전설비 용량 및 증가량 모두 몇몇 시군구에 집중되었는데, 그 정도는 상위 5개 시군구가 차지하는 비중이 12% 이상, 상위 10개 및 20개 시군구로는 각각 20%와 33% 이상이었으며, 태양광 발전에 대한 지니 계수는 약 0.6이었다. 따라서 시군구 단위에서 태양광 발전의 불균등한 분포가 확인되었다.

주요어: 재생에너지, 태양광 발전, 발전설비, 시군구, 편재성

Abstract: The purpose of this study is to analyze the location, distribution and its change of photovoltaic power generation in the scale of municipality(Si-Gun-Gu). First the distribution of photovoltaic power generation was analyzed in 2020, and second, from 2017 to 2021, we tracked the increase in capacity of power generation facilities in each Si-Gun-Gu. As a result, the distribution and increase of photovoltaic power generation were concentrated in some regions and the unequal distribution of photovoltaic power generation has been identified through Gini coefficient.

Key Words : Renewable Energy, Photovoltaic Power Generation, Electric Power Facility, Si-gun-gu, Ubiquity

1. 서론

태양의 빛 에너지를 열 또는 전기로 변환시키는 기술은 19세기에 등장하여, 상당히 오래전부터 실용화 되어 보급, 사용되었다. 우리나라도 1987년 제정된 「대체에너지개발촉진법」(현재 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」)에 ‘태양에너지’가 대체

에너지를 정의한 조문의 첫 번째 순서에 나열되었고, 우리 일상에 태양광 집열판·집전판 등의 설비가 설치된 풍경이 이미 낯설지 않다.

특히 화석 연료에 대한 대의의존도가 매우 높은 우리나라는 태양에너지 활용의 확대가 절실했고, 전 세계적으로도 급격한 기후 변화에 대응하기 위해서 화석 에너지를 대체하고 재생가능한 에너지원으로서 태양광의 중요성은 날로 증대되고 있다. 아울러 태양에

* 경상국립대학교 지리교육과 부교수 (Associate Professor, Department of Geography Education, Gyeongsang National University, yisup@gnu.ac.kr)

** 서울대학교 지리학과 부교수 (Associate Professor, Department of Geography, Seoul National University, haekong1@snu.ac.kr)

*** 경희대학교 지리학과 부교수 (Associate Professor, Department of Geography, Kyung Hee University, hyungeo@khu.ac.kr)

너지 활용 기술의 개발과 보급, 사용 확대는 여러 정부가 제시한 ‘친환경’, ‘녹색 성장’, ‘탄소 중립’, ‘에너지 전환’ 등의 정책적 목표를 달성하기 위해서 꼭 필요한 것이었고, 세계적으로도 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향, 파리협정(Paris Agreement) 준수를 위해서 그리고 많은 기업들의 RE100 선언, ESG 투자 등이 확대되고 있기에 앞으로도 태양광 에너지의 활용 확대는 불가피하다.

이러한 배경과 이유로 우리나라의 태양광 에너지, 그중에서도 태양광 발전을 중심으로 그 보급과 활용이 빠르게 확대되어 오고 있다. 국가통계포털에서 태양광 발전에 관한 통계 자료가 확인되는 1995년부터 추세를 살펴보면, 1995년의 연간 태양광 발전량은 고작 2,228MWh에 불과했지만, 2005년 14,399MWh, 2015년 4,229,726MWh 그리고 2020년에는 19,297,854MWh 까지 급격히 증가하였다. 태양광 발전이 차지하는 비중도 같은 기간 0.001%에서 2020년에는 3.33%로 늘어났는데, 이 수치는 신·재생에너지 전체 발전량의 51.93% 수준이다. 한편 2021년 심의의결된 ‘2030 국가 온실가스 감축목표 상향안’에는 2030년까지 신·재생에너지 발전 비중을 30% 이상으로 확대하겠다고 제시했기에 앞으로도 태양광 발전량은 빠르게 증가할 것이고, 당연히 그 발전설비도 확대되고 공간적으로 확산될 것이다.

이처럼 빠른 태양광 발전의 확대 추세에 발맞춰 다양한 측면에서 논의들이 활발하게 진행되고 있다. 거창군을 사례로 태양광 발전시설의 입지를 분석하고 유형화한 배주은·김충호(2021)의 연구를 인용하면 1990년대 후반부터 기술적, 경제적, 환경적·사회적 측면에서 태양광 발전과 관련된 선행 연구들이 진행되었다. 하지만 분포 및 입지에 관한 논의는 다소 부족한데, 태양광 발전시설의 입지 요소 도출, 의사결정 지원, 타당성 평가 및 최적지 선정(이지영·강인준, 2010; 박유민·김영호, 2012; 이기림·이원희, 2015; 이기현 외, 2018) 등과 같이 모형 개발 및 기술적, 방법론적 연구가 많고, 태양광 발전 설치에 따른 갈등이나

지역 주민의 수용성에 관련된 입지에 대한 주민들의 수용성과 관련된 연구(장창석·김선경, 2017; 박신아·윤순진, 2018)는 특정 지역을 사례로 미시적 입지에 대한 논의가 주를 이룬다. 지역 혹은 공간적 측면에서 입지 및 분포에 관한 연구는 농촌(김연중 외, 2018)과 도시 지역(이동성·임재욱, 2019)으로 구분한 것이거나, 광역 자치단체 단위별 분포로 분석한 연구(진상현·황인창, 2011)들이다. 최근의 급격한 태양광 발전 설비용량 및 발전량 확대를 가능하기 위해서, 아울러 태양광 발전을 비롯한 신·재생에너지 발전은 기존 화력, 수력, 원자력 등과 비교할 때 소규모 설비를 이용해서 생산지와 소비지 간 공간적 범위를 축소할 수 있는 분산형 전원(dispersed generation)으로서 주목받고 있음을 고려한다면 기존 연구들이 설정한 시도보다는 시군구를 단위로 전국적 추세를 탐색할 필요가 있다. 고재경·김성욱(2016)의 연구는 처음으로 시군구를 단위로 진행되었는데, 연구자들이 직접 태양광 발전량 자료를 구축하면서 관련 통계와 기초 자료가 부족함을 지적했고 실제로 이후에도 해당 스케일에서의 분석은 거의 이루어지지 않았다.

이러한 맥락에서 이 연구는 전국의 시군구별 태양광 발전 입지와 분포, 편재성 및 시계열적 변화를 분석함이 이 연구의 목표이다. 물론 국가통계포털 ‘신·재생에너지보급실적’ 자료에서 17개 시도 단위의 발전 설비 및 발전량에 대한 분석은 가능하다. 하지만 다수의 그리고 소규모 설비 입지에 대한 분석은 보다 상세한 공간 단위에서 살펴보는 것이 타당하기에 이 연구에서는 시군구를 대상으로 진행하고자 한다.

2. 연구 자료 및 연구 방법

시군구 단위에서 태양광 발전 입지를 분석하기 위해서는 발전설비의 수와 용량, 그리고 발전량에 대한 자료가 필요하다. 그런데 해당 조건을 만족하는 자료가 아쉽게도 상당히 부족한 것이 현실이다.

일례로 2021년 여름에 산업통상자원부는 ‘태양광 발전의 여름철 전력수급 기여 현황’이라는 보도 자료를 배포했는데, 이것은 여름철 혹은 겨울철 중 전력 소비량이 많은 특정 시간대에 전력거래소 전력수급 중에서 태양광 발전 비중이 매우 낮다는 비판에 대한 해명이다.

해명 내용은 우리나라 태양광 발전 설비용량은 i) 전력거래소가 중개하는 전력시장을 통해 전기를 판매하는 약 5.1GW, ii) 한국전력이 바로 전력구매계약을 맺은 약 11.5GW, iii) 주택 지붕 등에 설치된 자가용 약 3.7GW 등으로 나눌 수 있는데, i)의 용량에 따라 전력거래소에서 거래되는 태양광 발전량이 적지만, ii)와 iii)의 용량 값을 합치면 전력 수요가 최대치를 기록하는 여름철 오후 2~4시 무렵 태양광 발전이 총 전력 수요의 약 11.1%를 감당하고 있다는 것이다.

실제로 우리나라 태양광 발전에 대한 통계는 이용 목적에 따른 사업용과 자가용의 구분, 계약/판매 방식에 따라서는 RPS(Renewable Portfolio Standard), PPA(Purchase Price Allocation), 상계형 및 한국형 FIT(소형태양광 고정가격계약 매입) 등으로 구분하고, 통계 작성의 주체도 분리되어 있어서 통합적인 집계, 관리가 부족하다. 보도 자료 내용처럼 태양광 발전의 기여도가 상당하다는 산업통상자원부의 해명은 바른 내용이지만, 그간 관련 통계 집계와 작성 체계가 미비하기에 연구 목적 및 분석에 적합한 데이터를 선택하는 과정이 우선 필요하다.

1) 연구 자료

(1) 한국에너지공단 ‘신·재생에너지 보급통계’

국가통계포털(KOSIS)에서 확인할 수 있는 ‘산·재생에너지보급실적조사’는 국가승인통계(승인번호 337001)인데, 한국에너지공단이 2001년부터 매년 작성한 것이다. 이 자료는 태양광 설비 보급용량과 발전량에 대하여 전국 단위로는 1995년부터, 시도 단위로는 2005년부터, 그리고 시군구 단위에서는 2019년부터 공단의 산·재생

에너지센터(<https://www.knrec.or.kr>)를 통해 그 자료를 획득할 수 있다.

이 자료는 RPS, PPA, 상계형 등을 대신해서 사업용과 자가용으로만 구분하여 태양광 발전설비 누적 보급용량과 발전량을 확인할 수 있는데, 승인된 국가통계이므로 전국 및 시도 단위에서는 장기 시계열적 분석 활용과 일관성, 안정성이 여타 자료들과 비교하면 장점이 있다. 하지만 시군구별 태양광 발전을 분석하기 위한 자료는 2019년과 2020년으로 한정되기에 시간적 범위가 짧다는 한계가 존재한다.

(2) 한국에너지공단 ‘재생에너지클라우드플랫폼’ 자료

시도 이하 행정구역인 시군구별 태양광 발전 설비용량, 발전량에 대한 자료는 한국에너지공단 ‘재생에너지클라우드플랫폼’(<https://recloud.energy.or.kr>) 누리집에서도 얻을 수 있다.

해당 누리집은 태양광 발전사업절차와 인허가 정보를 제공함이 목적인데, 부가적으로 발전소 현황 매뉴에서 2017년부터 2021년까지 5개년 간 시도와 시군구별 발전소 설치현황, 설비용량 현황, 발전량 현황 등을 추출할 수 있다.

(3) 한국전력거래소 ‘전력통계정보시스템(EPSS)’ 자료

한국전력거래소가 운영하는 ‘전력통계정보시스템(EPSS: <https://epss.kpx.or.kr>)’에서도 태양광 발전 설비의 개수와 설비용량, 입지에 관한 자료를 추출할 수 있다.

특히 이 자료에서는 발전사업자가 설치한 태양광 발전기가 위치한 세부 지역에 대해 일부 연도별로는 읍면동 단위까지 수록하고 있다. 그러나 이 자료도 발전사업자만을 대상으로 하여 자가용 전기설비는 산정에서 제외하고 아울러 구역전기사업설비도 포함시키지 않고 있다. 게다가 위에 언급한 한국에너지공단이 작성한 자료와 비교하면 그 내용이 일부 불일치하

고, 자료에 접근한 시점에 따라서도 집계치가 달라지는 등 안정성과 일관성 측면에서 단점을 가지고 있다.

(4) 한국전력공사 ‘전력데이터 개방 포털시스템’ 자료

한국전력공사는 「전기사업법」과 동법 시행령에 근거해서 설비용량 1,000KW 이상 산재생사업자와 전력구입계약을 체결하고 있다. 이것은 발전사업자는 전력시장거래에 참여함이 원칙이지만 산재생에너지 활성화를 위해 소규모 사업자에게 예외를 인정한 제도이다.

따라서 소규모 발전사업자는 전력거래소를 통하여 생산한 전력을 판매하는 것도 가능하지만, 상당수는 한전과의 거래를 통해 판매 수입을 얻고 있다. 이러한 거래를 흔히 한전 PPA라고 부르는데, 그 유형은 발전량 전량을 한국전력에 판매하는 사업용 PPA, 생산한 전력을 자가 소비하고 남은 잉여전력을 한전에 판매하는 자가용 PPA로 구분할 수 있다. 또한 한국전력은 요금 상계거래 방식도 태양광 발전자와 계약을 맺고 있는데, 이것은 자가소비 후 잉여전력을 한전에 공급한다는 점에서 자가용 PPA와 동일하지만, 그 잉여전력량을 고객이 한국전력으로부터 공급받은 전력량에서 상계하여 정산, 거래하는 방식이라는 점이 다르다.

이러한 거래방식에 따른 태양광 발전 설비용량에 관한 자료는 한국전력공사의 전력데이터 개방 포털시

스템(<https://bigdata.kepco.co.kr>)을 통해서 시군구 단위에서 획득할 수 있다.

2) 연구 질문과 연구 방법

이 연구에서는 분석 공간 단위로 시군구를 설정할 때 자치단체 여부를 기준으로 했다. 따라서 서울과 부산 등의 자치구는 구분했지만, 수원시, 창원시 등 특례시의 구 그리고 천안시, 전주시 등의 일부구는 별도로 분리하지 않았다. 다만 제주특별자치도의 제주시와 서귀포시는 자치단체가 아니지만, 역사적 배경과 그 규모를 고려해 구분하였다. 이런 기준으로 전국의 229개 시군구를 분석을 위한 공간 단위로 설정했다.

이상의 공간 단위에서 다음과 같은 두 가지 연구 질문(research question)을 설정하였다(그림 1).

첫째 태양광 발전설비 용량 및 발전량의 229개 시군구별 분포, 둘째 229개 시군구별 태양광 발전설비 용량 및 발전량의 시계열적 변화를 탐색하는 것이다.

그런데 각 연구 질문에 대한 해답을 찾을 때 사용되는 연구 자료가 상이함을 우선 밝혀 둔다. 즉 태양광 발전설비 용량과 발전량 분포를 분석할 때는 국가승인통계인 (1) 한국에너지공단 ‘신·재생에너지 보급통계’ 중 가장 최근 공포된 2020년 시군구별 자료에 기초한다. 다만 이 자료는 2019년, 2020년에만 시군구

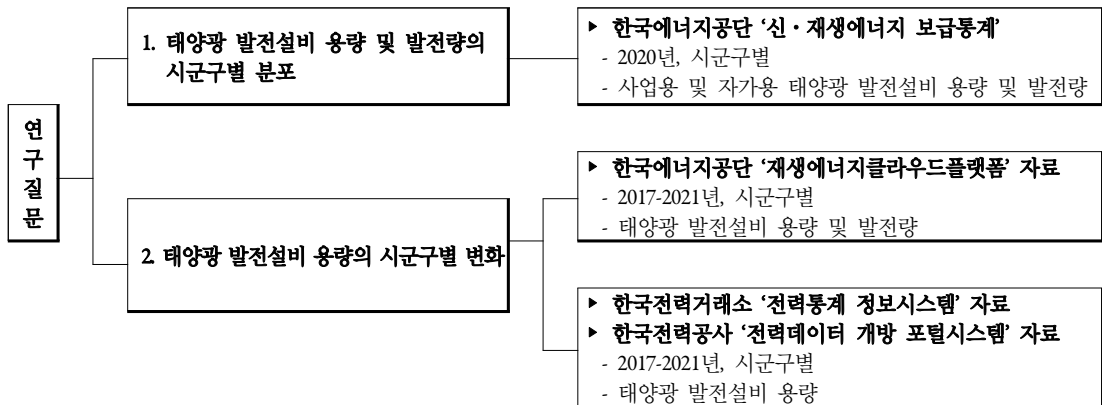


그림 1. 연구 질문 및 연구 자료

별 자료를 수록하고 있기에 시계열적 변화를 추적하기가 어렵다.

따라서 두 번째 연구 질문에 대해서는 (2) 한국에너지공단 ‘재생에너지클라우드플랫폼’ 자료를 활용하여 2017년과 2021년 두 시점을 비교하여 분석하고자 한다. 또한 각각 (3) 한국전력거래소와 (4) 한국전력공사의 일부 자료들을 병합하여 시군구별 자료를 구축하고 동일 시점에 대한 비교를 함께 진행하고자 한다. 두 번째 연구 질문에 각기 다른 자료를 사용하는 이유는 통계 자료의 신뢰성 때문이다. (2)~(4) 자료는 한국에너지공단 ‘신·재생에너지보급실적조사’에 비교하면 상대적으로 긴 시간적 범위에서 시군구별 태양광 발전설비 용량을 추적할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 개별 기관들이 수집, 가공, 공포하고 있을 따

름이기에, 2017년부터 2021년까지 229개 시군구별 태양광 발전설비 용량 변화에 대한 추적과 분석은 복수의 자료를 이용하여 경향성을 파악하고 아울러 신뢰도 문제의 보완을 도모하고자 한다.

3. 2020년 시군구별 태양광 발전설비량 및 발전량

우선 최근 태양광 발전이 확대되는 추세를 전국 및 시도별로 확인하면 표 1과 같다.

‘신·재생에너지 보급통계’ 기준으로, 2015년부터 2020년까지 전국적인 태양광 발전설비 용량과 발전

표 1. 2015-2020년 시도별 태양광 발전설비 용량 및 발전량 변화

	발전설비 용량(KW)			발전량(MWh)		
	2015년	2020년	2015-2020년 증가율(%)	2015년	2020년	2015-2020년 증가율(%)
전국	3,615,198	17,322,703	379.2	3,979,158	19,297,854	385.0
서울	65,027	187,110	187.7	74,994	227,866	203.8
부산	77,322	186,930	141.8	91,376	227,442	148.9
대구	42,897	144,471	236.8	49,819	169,862	241.0
인천	44,504	163,890	268.3	51,238	188,044	267.0
광주	75,818	242,983	220.5	85,668	290,921	239.6
대전	26,618	77,167	189.9	28,604	90,593	216.7
울산	19,818	103,982	424.7	21,932	123,674	463.9
세종	19,637	72,828	270.9	22,453	85,366	280.2
경기	209,791	1,288,753	514.3	233,215	1,424,397	510.8
강원	156,751	1,311,678	736.8	189,132	1,408,163	644.5
충북	157,013	1,012,650	544.9	168,596	1,109,875	558.3
충남	362,023	2,201,374	508.1	367,688	2,478,947	574.2
전북	662,738	2,903,800	338.2	724,840	3,240,493	347.1
전남	920,216	3,637,727	295.3	1,017,949	3,969,762	290.0
경북	377,952	2,035,301	438.5	424,086	2,316,120	446.1
경남	291,395	1,281,609	339.8	334,106	1,456,699	336.0
제주	105,677	470,450	345.2	93,462	489,629	423.9

자료: 한국에너지공단, 신·재생에너지 보급통계

량은 약 380% 안팎, 즉 연평균으로는 약 37%씩 급격히 증가했다. 시도별 증가율은 최소 140%대에서 최대 700% 이상 늘어난 곳까지 다양한 편차가 있지만, 전남과 전북, 충남, 경북 등이 발전설비 용량과 발전량에서 큰 비중을 차지하고 있다.

1) 2020년 시군구별 태양광 발전설비

2020년까지 시군구별 발전설비량의 분포, 즉 229개 시군구에 설치된 태양광 발전설비의 누적 보급용량은 모두 17,277,123KW이고, 이중 사업용이 14,907,972KW, 자가용이 2,369,148KW으로 사업용이 약 86%를 차지한다.

이중 해남군이 태양광 발전의 누적 보급용량이 가장 많고, 그 뒤를 이어 김제시, 익산시, 영암군 등이다. 전국적으로는 상위 10개 시군구 중에서 상주시를 제외하고는 전남, 전북 지역의 시군구에 집중되어 있고, 반면 보급용량이 적은 곳은 부산 중구를 비롯하여 대부분 자치구와 과천시, 울릉군 등이었다.

2) 2020년 시군구별 태양광 발전량

다음으로 발전량을 살펴보면, 2020년 한 해 동안 태양광 발전량은 19,238,876GWh이고, 이중 사업용이 16,448,377GWh로 약 85.5%를 차지했다. 표 2처럼 시

군구별 발전량은 앞서 살펴본 누적 보급용량의 추세와 매우 유사했다. 태양광 발전설비가 많이 설치된 곳에서 발전량도 많은 것이 당연하기에, 발전량이 큰 시군구 순위도 앞서 살펴본 누적 보급용량의 그것과 대동소이했다.

이상과 같이 태양광 발전설비 누적 보급용량과 발전량을 시군구 단위에서 그 분포를 살펴보면 대체로 비수도권 군 혹은 도농복합형태의 시에서는 높게, 서울과 광역시의 자치구 등에서는 낮게 나타났다. 한편 사업용과 자가용을 구분하여 살펴보면 다소 상반된 경향이 나타났다. 표 3과 같이 자가용 발전량 비중이 높은 그리고 낮은 10개 시군구를 살펴보면, 발전 설비용량과 발전량이 많았던 지역들은 사업용이 중심이고, 낮았던 지역들은 자가용 위주였다. 이것은 대도시권에서는 자가용 발전 위주로 발전 설비용량 및 발전량이 적고, 대체로 농촌을 중심으로 대규모 사업용 태양광 발전이 분포, 진행되고 있다는 것이다.

이상의 내용을 그림 2와 같이 시군구별 분포 지도로 표현하면, 제주도와 충남·전북·전남 해안 지역인 당진시, 서산시, 태안군, 군산시, 김제시, 부안군, 영암군, 신안군, 무안군, 해남군, 고흥군 등을 중심으로 태양광 발전량과 발전설비 용량이 집중적으로 분포함을 확인할 수 있고, 내륙지역에서도 익산시, 남원시, 상주시, 청주시, 논산시, 정읍시 등이 포함된다. 반면

표 2. 2020년 태양광 발전설비 누적 보급용량 상위/하위 10개 시군구

순위	시군구	누적 보급용량(KW)	순위	시군구	누적 보급용량(KW)
1	해남군	532,742	220	연제구	3,237
2	김제시	430,638	221	서구(부산)	2,921
3	익산시	409,722	222	수영구	2,876
4	영암군	386,905	223	중구(서울)	2,445
5	정읍시	362,583	224	울릉군	2,069
6	남원시	323,715	225	용산구	1,892
7	고흥군	289,556	226	동구(인천)	1,414
8	상주시	274,844	227	과천시	1,381
9	신안군	273,266	228	중구(대구)	1,116
10	무안군	270,591	229	중구(부산)	977

서울과 이에 연접한 시 지역 및 대부분 광역시 자치구 등의 비중은 상당히 낮게 나타났다.

이처럼 태양광 발전의 입지와 분포에 있어 시군구 단위에서 편재성이 존재하고, 그리고 후술하겠지만 태양광 발전지역과 전력 소비지역 간에는 대체로 음(-)의 상관관계가 나타나고 있다는 점을 주목할 필요가 있다.

4. 2017-2021년 시군구별 태양광 발전설비 용량의 변화

첫 번째 연구 질문인 태양광 발전설비 용량 및 발전량이 시군구별로 얼마씩 분포하고 있는지를 찾는 과정은 2020년 한해의 ‘신·재생에너지 보급통계’ 자료

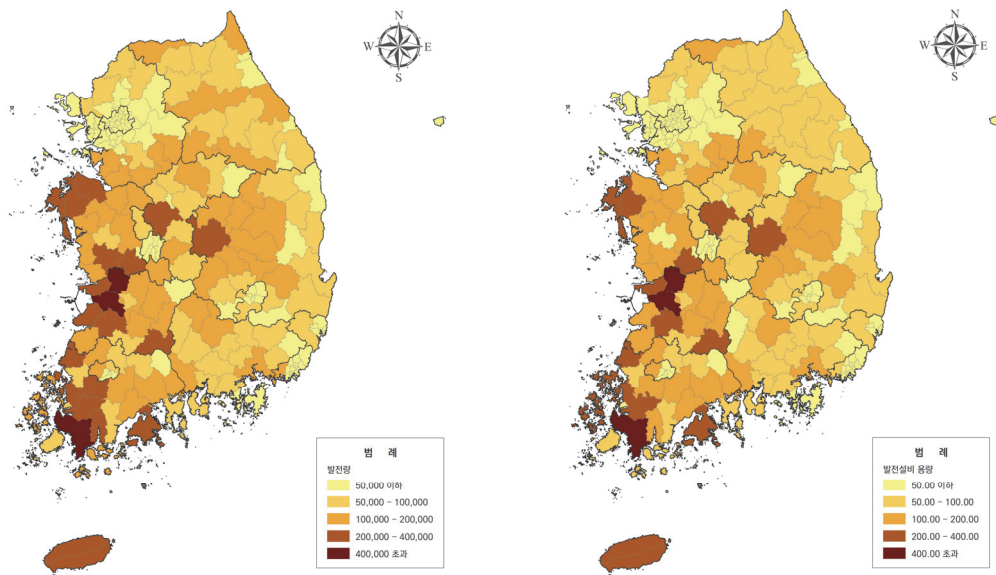


그림 2. 2020년 시군구별 태양광 발전량(좌, MWh)과 발전설비 용량(우, MW) 분포

표 3. 2020년 자가용 태양광 발전량 비중 상위/하위 10개 시군구

(단위: MWh, %)

순위	시군구	사업용 발전량	자가용 발전량	자가용 발전량 비중	순위	시군구	사업용 발전량	자가용 발전량	자가용 발전량 비중
1	울릉군	0	2,522	100.0	220	고흥군	348,550	16,139	4.4
2	중구(대구)	3	1,275	99.8	221	남원시	319,477	14,538	4.4
3	중구(울산)	78	7,432	99.0	222	김제시	504,732	22,588	4.3
4	종로구	88	4,984	98.3	223	군위군	109,238	4,607	4.0
5	서구(부산)	124	3,522	96.6	224	강진군	205,059	8,563	4.0
6	수영구	136	3,331	96.1	225	영광군	282,987	9,962	3.4
7	연제구	177	3,570	95.3	226	장수군	171,508	5,353	3.0
8	용산구	127	2,255	94.7	227	상주시	326,708	9,949	3.0
9	마포구	479	7,929	94.3	228	영암군	364,322	9,764	2.6
10	영도구	333	4,832	93.6	229	해남군	653,724	14,362	1.5

에 의존했다. 두 번째 연구 질문의 답을 구하기 위해서, 즉 시계열적인 변화를 추적하기 위해서는 연구자가 직접 자료를 구축해야 하는데 다음과 같이 복수 출처의 자료를 기반으로 각각의 분석을 진행하였다.

1) 한국에너지공단 ‘재생에너지클라우드플랫폼’

자료 기준의 분석

한국에너지공단은 국가통계인 ‘신·재생에너지 보급통계’ 이외에도 ‘재생에너지클라우드플랫폼(<https://recloud.energy.or.kr>)’ 누리집을 통해서 태양광 발전에 대한 시군구 단위의 자료를 제공하고 있다. 보다 구체적으로 살펴보면, 2017년부터 매년 각 시도 및 시군구에 설치, 운영되고 있는 태양광 발전소 개수, 설비용량 및 발전량을 제공하고 있다.

이 자료를 살펴보면, 2017년부터 2021년까지 5개년 동안에 전국적으로 태양광 발전 설비는 25,876개에서 104,143개로 그리고 용량은 5,906.3MW에서 19,352.7MW로 크게 늘어났다. 아울러 같은 기간 태양광 발전량도 5,489,498MW에서 20,734,201MW로 4배 가량 증가했다.

우선 시도별 발전설비 변화를 살펴보면, 앞서 한국에너지공단의 ‘신·재생에너지 보급통계’와 비슷하게 전남, 전북, 경북, 충남 등이 발전설비 개수와 용량

그리고 그것의 증가량 등에서 상대적으로 높은 비중을 차지하고 있다(표 4).

다음으로 229개 시군구별로 살펴보고자 하는데, 전반적 그리고 직관적으로 5개년 동안 태양광 발전설비 용량 변화를 탐색하고자 그래프를 그렸다. y 축에는 태양광 발전설비 용량 값을 그리고 x 축에는 오름차순 순위, 즉 설비용량이 가장 적은 시군구를 1위로, 가장 많은 시군구를 229위에 배치하여 작성한 것이 그림 3의 그래프이다.

2017년과 2021년을 비교하면, 모든 시군구가 골고루 태양광 발전 설비용량이 증가한 것이 아니라 대략 100위 이상 시군구를 중심으로 증가세가 나타났고 특히 발전설비 용량 상위 20~30개 지역에서의 증가가

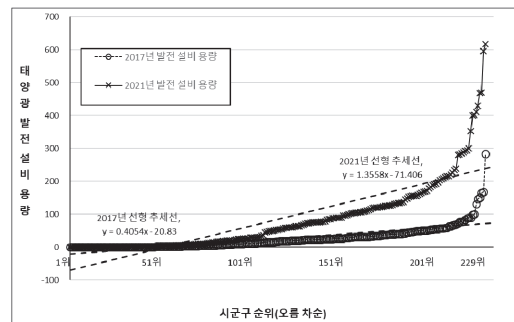


그림 3. 2017~2021년 재생에너지클라우드플랫폼 기준 태양광 발전설비 용량의 시군구 순위

표 4. 재생에너지클라우드플랫폼 기준 시도별 태양광 발전설비 변화

(단위: 개, MW)

시도	발전설비 개수		발전설비 용량		시도	발전설비 개수		발전설비 용량	
	2017년	2021년	2017년	2021년		2017년	2021년	2017년	2021년
전국	25,876	104,143	5,906.3	19,352.7	경기	1,821	8,226	343.3	1,194.2
서울	247	505	26.9	46.8	강원	1,491	6,963	399.9	1,502.9
부산	180	527	76.9	152.5	충북	1,665	7,702	325.7	1,097.6
대구	150	748	47.3	116.0	충남	2,893	14,146	693.0	2,459.8
인천	213	642	43.7	98.4	전북	6,990	24,150	1,219.4	3,697.3
광주	519	1,335	89.5	231.8	전남	4,967	15,771	1,185.0	4,131.0
대전	136	433	19.6	41.0	경북	2,492	13,820	797.9	2,596.2
울산	80	368	28.7	78.0	경남	1,515	6,929	449.8	1,334.6
세종	105	344	23.1	58.6	제주	412	1,534	136.7	516.0

상당히 두드러지는 것이 확인된다. 두 시점에 1차 함수 추세선의 기울기 값도 약 0.41에서 1.36으로 변동되어 특정 시군구에서 집중적으로 태양광 발전 설비가 건설되었음을 추정할 수 있다.

그리고 두 시점에서 개별 시군구의 순위도 변화되므로 추가적으로 상위 순위를 중심으로 살펴보고자 한다. 표 5와 같이 2017년과 2021년 태양광 발전 설비용량이 큰 15개 시군구 그리고 해당 기간 증가량이 큰 시군구를 정리했다. 연도별로 다소 순위 변동이 있지만, 2017년에 태양광 발전설비량이 큰 시군구에서 추가 설치량도 집중되었다. 특히 증가량 상위 15개

시군구의 설비용량 및 증가량을 합치면, 전국 229개 시군구 합계의 약 30% 이상씩을 차지했다.

2) 한국전력거래소 ‘전력통계정보시스템’, 한국전력공사 ‘전력데이터개방포털시스템’ 자료 기준 분석

현재 우리나라의 태양광 전력 거래는 한국전력거래소에서 이루어지는 RPS 그리고 한국전력공사의 PPA 및 상계 거래방식 등으로 구성되었다. 따라서 이와 같은 세 가지 거래방식의 태양광 발전설비를 종합하면 전국, 시도 그리고 시군구별 변화 추세를 확인할 수 있다.

표 5. 재생에너지클라우드플랫폼 기준 태양광 발전설비 용량 및 증가량 상위 15개 시군구

순위	2017년 설비 용량(MW)		2021년 설비 용량(MW)		2017-2021년 증가량(MW)	
1	군산시	283.5	군산시	617.7	해남군	448.4
2	익산시	168.8	해남군	595.6	신안군	350.1
3	나주시	164.7	익산시	469.2	김제시	336.8
4	정읍시	151.1	김제시	467.9	군산시	334.2
5	해남군	147.2	정읍시	429.5	영암군	321.8
6	김제시	131.1	영암군	411.8	남원시	302.2
7	상주시	99.8	신안군	401.4	익산시	300.5
8	남원시	98.9	남원시	401.1	정읍시	278.4
9	영암군	90.0	상주시	352.7	무안군	254.4
10	서귀포시	89.7	서산시	300.1	상주시	253.0
11	고흥군	88.5	나주시	295.0	서산시	227.7
12	의성군	83.8	무안군	293.0	영광군	219.8
13	논산시	79.1	서귀포시	288.8	논산시	200.7
14	태안군	77.4	영광군	285.7	서귀포시	199.2
15	완주군	76.7	고흥군	282.2	고흥군	193.7

표 6. 태양광 발전 거래방식 기준 전국 태양광 발전설비

태양광 발전 현황		거래 방식	RPS	PPA	상계
발전소 수(개)	2017년		1,743	26,898	266,703
	2021년		6,266	107,607	571,028
발전설비 용량(MW)	2017년		1,940.8	03,175.7	889.7
	2021년		5,817.5	13,045.6	2,068.4
자료 출처			한국전력거래소 ‘전력통계정보시스템’	한국전력공사 ‘전력데이터개방포털시스템’	

구체적인 자료 출처를 제시하면, RPS 거래의 태양광 발전설비는 한국전력거래소 ‘전력통계정보시스템(<https://epsis.kpx.or.kr>)’에서 ‘발전설비→발전기별→발전원 태양에너지→회원구분 정회원’을 검색하여 2017년과 2021년의 12월 31일을 기준으로 각각 1,743개와 6,266개 태양광 발전소의 설비용량을 추출하였다. PPA 거래방식에 대해서는 한국전력공사의 ‘전력데이터 개방포털시스템(<https://bigdata.kepco.co.kr>)’에서 ‘데이터 공개→주요전력통계→신재생에너지 계약현황→태양광’을 앞서와 동일 시점에 검색하여 2017년 26,898개, 2021년 107,607개의 자료를 추출했다. 마지막으로 상계 거래방식은 한국전력공사에 데이터 제공을 요청하여 2017년 약 266,703개, 2021년 571,028개의 설비용량 자료를 획득했다(표 6).

거래방식 기준에서 2021년의 태양광 발전소는 약 68만 개, 발전설비 용량은 약 20,986MW로 앞서의 재

생에너지클라우드플랫폼 자료와 비교하면 상당한 차이가 있다. 특히 발전설비 용량은 대략 10% 정도 차이지만 발전소 개수는 무려 57만 개 이상의 차이가 나타나는데, 이것은 상계 거래방식은 대부분 주택용이고 자가소비 후 남은 전력을 상계처리하여 전기 요금을 절감하는 것이 주된 목적인 소규모 발전설비 위주로 구성되었기 때문이다.

표 7과 같이 태양광 발전 거래방식 기준에서 시도별 태양광 발전설비 용량 변화를 정리하면, 앞서의 자료들과 유사한 패턴이 확인된다. 즉 전남, 전북, 경북, 충남 등이 발전설비 용량과 증가량이 높고, 이들 4개 도의 증가량이 전체 증가량의 약 65%를 차지한다. 또한 229개 시군구별 발전설비 용량 및 증가량의 순위를 정리하여 표 5와 비교하면, 몇몇 시군에서 한두 단계 순위 변동이 존재하지만 2017년 설비용량이 많았던 시군에서 2021년까지의 증가량도 집중되어 해남군, 군산시,

표 7. 태양광 발전 거래방식 기준 시도별 태양광 발전설비 용량 변화

(단위: MW)

거래 방식 시도	RPS (A)		PPA (B)		상계 (C)		합계 (A+B+C)		
	2017년	2021년	2017년	2021년	2017년	2021년	2017년	2021년	증가량
전국	1,941	5,872	3,176	13,046	890	2,068	6,007	20,987	14,980
서울	15	15	14	28	35	70	64	113	49
부산	44	77	21	69	24	56	89	202	113
대구	20	47	15	65	17	39	52	151	99
인천	24	44	20	56	19	51	63	151	88
광주	31	59	62	162	18	45	111	266	155
대전	13	14	8	27	13	31	34	72	38
울산	12	34	13	44	16	35	41	113	72
세종	11	25	14	32	5	15	30	72	42
경기	89	303	162	867	159	355	410	1,525	1,115
강원	128	522	192	938	53	136	373	1,596	1,223
충북	77	268	168	724	73	155	318	1,147	829
충남	264	717	381	1,743	70	181	715	2,641	1,926
전북	121	629	796	2,892	79	184	996	3,705	2,709
전남	583	1,840	657	2,316	93	219	1,333	4,375	3,042
경북	229	588	420	1,957	77	187	726	2,732	2,006
경남	157	374	227	916	118	248	502	1,538	1,036
제주	123	317	5	209	21	60	149	586	437

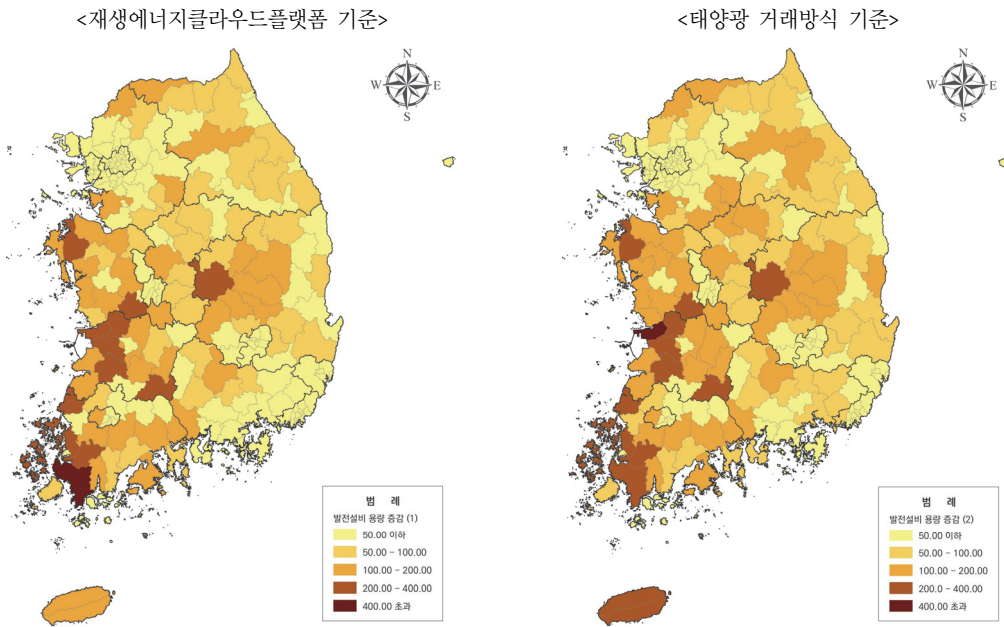


그림 4. 2017-2021년 시군구별 태양광 발전설비 용량 변화(MW)

김제시, 익산시, 신안군 등 발전설비 증가량 상위 15개 시군의 합계값이 전국 증가량의 약 40% 차지했다.

또한 앞서와 같은 방식으로 그래프를 그리고 1차 함수의 선형 추세선을 작성하여 기울기 값을 구해보면, 2017년 0.39에서 2021년 1.39로 가팔라졌다.

각기 다른 출처의 자료를 이용했지만, 2017년에서 2021년까지 태양광 발전설비 용량의 변화를 그림 4처럼 지도화시키면 두 자료의 시군구별 증가량 패턴이 대체로 일치했다. 또한 앞의 그림 3과 비교하면, 즉 2020년 시군구별 태양광 발전량과 설비용량이 많은 시군구에서 증가량도 높게 나타났다.

5. 태양광 발전의 분포의 편재성

지금까지 태양광 발전량, 발전설비 용량 및 발전설비 증가량을 살펴보면, 특정 시군에 집중되고 있음이 확인된다. 이러한 시군이 어디인지, 그리고 해당 지역에 집중된 정도는 얼마나 되는지를 살펴보고자 한다.

1) 시군구별 태양광 발전의 사분위 분류

우선 229개 시군구별 2020년의 태양광 발전량과 발전설비 용량에 대해서 기술통계치를 포함한 사분위(quartiles) 그래프를 작성했다.

그림 5와 같이 2020년 229개 시군구의 평균 태양광 발전량은 약 84,013MWh, 평균 발전설비 용량은 75,466KW이고, 중위값은 각각 58,950MWh, 52,711KW이다. 그런데 사분위 그래프에서는 발전량과 발전설비 용량 모두 상당수의 이상치(outlier)가 관측된다. 발전량에서는 해남군, 김제시, 익산시, 정읍시, 영암군, 고흥군, 상주시, 남원시, 서산시, 영광군 등 11개 시군, 발전설비 용량에서는 해남군, 김제시, 익산시, 영암군, 정읍시, 남원시, 고흥군, 상주시, 신안군, 무안군, 영광군, 군산시, 서산시 등 13개 시군의 값이 이렇게 분류되는데, 해당 시군들은 발전량과 발전설비 용량이 많은 상위 지역들이다. 이는 이상치로 구분될 정도로 특정 시군에 태양광 발전량과 발전설비 용량이 집중되어 분포하고 있다는 의미이다.

태양광 발전량 이상치로 구분된 11개 시군의 값을 합치면 전체의 22.83%, 발전설비 용량 13개 시군의 값을 합치면 전체의 25.04%를 차지했다. 상위 20개 시군구로 확대하면, 발전량에서는 33.98%, 발전설비 용량에서는 33.86%를 차지했다.

반대로 하위 지역을 살펴보면, 즉 제4 사분위에 해당하는 시군구는 발전량을 기준으로 58곳이고 이들 지역의 합계값이 차지하는 비중은 1.93%, 발전설비 용량 기준에서는 57곳이 1.75%를 차지했다. 그리고 하위 지역들은 그림 2의 지도에서 확인되는 서울 및 광역시의 자치구 및 수도권 시군들이다.

한편, 2017~2021년 발전설비 용량이 크게 증가한 지역들도 이상치로 구분되었는데, 재생에너지클라우드 플랫폼 자료에서는 12개, 거래방식 기준의 자료에서는 10개 시군구이다. 증가량이 큰 10~12개 시군구는 앞서 발전량과 발전설비 용량 상위 지역과 거의 일치했으며, 해당 기간 태양광 발전설비 증가량이 큰 상위 10개 시군구가 차지하는 비중은 22.13~23.65%, 상위 20개 시군구로 확대하면 그 비중은 35.38~37.68%를 차지했다.

2) 시군구별 단위에서 지니 계수 측정

특정한 시군에 태양광 발전이 집중되었다는 것은 불균등한 분포 그리고 편재성(ubiquity)이 존재함을 의미한다. 이에 전국적인 태양광 발전의 불균등한 분포의 정도를 확인하고자 229개 시군구를 단위로 지니 계수(Gini coefficient)를 산출하였다.

먼저 2020년 한국에너지공단 ‘신·재생에너지 보급 통계’를 기초로 태양광 발전설비 용량과 발전량에 대한 지니 계수를 구하면 각각 0.561과 0.557이다. 해당 값만으로 불균등을 판단할 수 없어 비교의 준거로서 229개 시군구의 연간 전력 사용량에 대해서 지니 계수를 구해 비교하였다. 다만 개별 시군구의 인구 규모 차이를 감안하여 전력 사용량 및 태양광 발전량, 발전설비 용량을 1인당으로 표준화시켰다. 229개 시군구의 1인당 태양광 발전설비 용량에 대한 지니 계수는 0.663, 발전량에서는 0.668이지만, 1인당 전력 사용량에 대한 지니 계수는 0.392이었다(표 8). 따라서 전력 사용량과 비교하면, 태양광 발전이 불균등하게 분포하고 있음을 가늠할 수 있다.

다음으로 2017~2021년 태양광 발전설비 증가량에

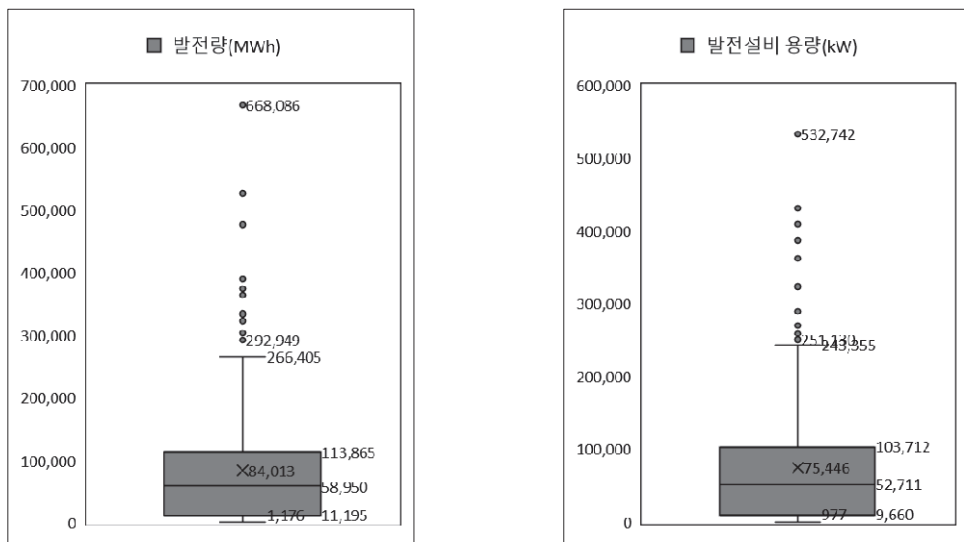


그림 5. 2020년 시군구별 태양광 발전량 및 발전설비 용량의 사분위 그래프

표 8. 2020년 태양광 발전설비 용량, 발전량 및 전력 사용량의 지니 계수

	태양광 발전설비 용량	태양광 발전량	전력 사용량
시군구 단위의 지니 계수	0.561	0.557	0.552
시군구별 1인당 지니 계수	0.663	0.668	0.392

표 9. 2017-2021년 태양광 발전설비 용량 및 증가량의 지니 계수

	재생에너지클라우드플랫폼	거래방식 기준 (RPS+PPA+상계)
2017-2021년 발전설비 증가량 지니 계수	0.632	0.601
2017년 발전설비 용량 지니 계수	0.600	0.563
2021년 발전설비 용량 지니 계수	0.612	0.579

대해서도 지니 계수를 구했는데, 두 가지 방식으로 진행했다. 첫째 해당 기간의 증가량에 대한 지니 계수를 구했는데, 이는 시군구별 발전설비 증가의 불균등 정도를 평가하고자 함이다. 둘째 2017년과 2021년 각각의 발전설비 용량에 대한 지니 계수는 산출하여 두 시점을 비교함으로써 불균등의 정도가 완화 혹은 심화되었는지 살펴보기 위해서이다.

2017-2021년 태양광 발전설비 증가량의 지니 계수는 ‘재생에너지클라우드플랫폼’ 자료를 기초로 산출하면 0.632, 거래방식 기준 자료에서는 0.601로 나타났다. 그리고 229개 시군구별 태양광 발전설비 용량에 대한 지니 계수를 산출하면, ‘재생에너지클라우드플랫폼’ 자료 에서는 2017년 0.600에서 2021년 0.612, 거래방식 기준 자료로는 같은 기간 0.563에서 0.579로 두 자료 모두 미세하지만 증가했다(표 9).

6. 요약 및 결론

지구적 기후 변화에 대응하기 위해서 화석에너지 의존에서 탈피하고 신·재생에너지로의 전환하는 것은 시대적 과제이다. 이러한 흐름에서 태양광 발전은 확대되고 있고 앞으로도 더욱 확대되어야만 할 것이다.

실제로 한국전력거래소 발전설비 통계에 따르면

2012년 태양광 발전설비 용량은 약 690MW였고, 전체 발전설비에서 차지하는 비중은 0.84% 정도였다. 하지만 2022년 12월까지 약 30배 이상 발전설비 용량이 증가하여 약 20,734MW, 비중은 15.22%이다. 이처럼 급격한 양적인 측면에서의 증가 추세에 대한 분석과 함께 공간 또는 지역적으로 어디에서 얼마만큼 늘어나고 있는지에 대한 분석이 필요하다.

그러나 태양광 발전과 관련된 통계들이 안정적이고 신뢰할 만큼 체계를 갖추지 못하고 있고, 또한 공간과 지역적 분포에 대한 자료가 전국과 시도 단위의 범위에 머물러 있는 것이 현실이다. 이러한 배경에서 본 연구는 첫째 태양광 발전설비 용량 및 발전량의 시군구별 분포, 둘째 태양광 발전설비 용량의 시군구별 변화를 연구 질문으로 설정하고 229개 시군구를 단위로 분석을 진행했다.

분석 결과, 태양광 발전설비 용량과 발전량이 특정 시군구에 집중되어 있음을 확인할 수 있었다. 구체적으로는 해남군, 김제시, 익산시, 정읍시, 영암군, 고흥군, 상주시, 남원시, 서산시, 영광군, 군산시 등이었으며, 발전설비 용량 및 발전량이 많은 상위 5개 시군이 전국의 약 12% 이상의 비중을 차지했고, 상위 10개 및 20개 시군으로 확대하면 그 비중이 각각 약 20% 이상 및 33% 이상이었다. 다음으로 2017년과 2021년 두 시점의 태양광 발전설비 용량을 비교하여 증가량을 탐색하면, 마찬가지로 특정 시군에서 집중

적으로 태양광 발전설비가 늘어났음을 확인할 수 있다. 그리고 이들 지역은 대체로 발전량 및 발전설비량에서 확인된 시군들에 해당한다.

특정 시군에서 태양광 발전설비 용량, 발전량 및 증가 추세 등이 집중되고 있다는 것은 태양광 발전이 불균등하게 분포됨을 의미한다. 이를 확인하고자 229개 시군구 및 각 시군구의 인구로 표준화시켜 태양광 발전에 대한 지니 계수로 산출했는데, 약 0.557~0.632로 나타났다. 이를 2020년의 1인당 전력 사용량에 대한 지니 계수 0.392와 비교하면 불균등의 정도를 어느 정도 가늠할 수 있다. 불균등한 분포를 지도화시켜 확인하면 태양광 발전이 집중된 지역은 비수도권 그리고 촌락적 특성의 지역이고, 이와 상반되는 시군구는 서울 및 광역시의 자치구, 수도권 그리고 도시 지역들이다.

비록 분석의 시간적 범위가 최근 5개년으로 짧기에 변화의 방향성을 충분히 확인하기에 부족하고 또한 앞으로의 방향성을 가늠하기가 어렵다는 점은 본 연구의 한계이다. 그러나 다음과 같은 향후 후속 연구의 방향과 시사점을 제시한다. 우선 태양광 발전은 탄소 중립과 에너지 전환에 있어 핵심적인 발전 수단이고, 동시에 기존 원자력, 수력, 기력 등 대규모 발전 방식에 비해서 입지가 자유로워 분산형 발전을 위한 여러 대안 중 하나이다. 우리나라의 3차 에너지기본계획(2019) 및 지자체별 지역에너지계획 등에서도 재생에너지와 분산 전원의 확대를 주요 목표로 설정하고 있고, 재생에너지 중 가장 큰 발전량 및 증가세를 보이는 에너지원이 태양광임을 감안한다면 전력 소비량이 많은 도시 지역으로 태양광 발전이 확대되어야 할 것이다. 물론 태양광 발전은 전력 생산량에 비해 상대적으로 넓은 면적이 필요하고 일조량 등 또 다른 자연적 조건을 고려해야 하기에 지금의 불균등 분포 혹은 편재성이 당연할 수도 있다.

하지만 도시보다는 촌락, 수도권보다는 지방을 중심으로 태양광 발전이 이루어지는 것이 당연해서는 안될 것이다. 탄소 배출이 많은 기존 발전 방식을 대체하기

위해 탄소 흡수량이 많은 우량 식생 피복 지역을 훼손하면서 태양광 발전설비를 확대한다는 것은 심각한 모순일 수 있다. 지금까지 우리의 화석에너지 위주의 전력 생산 과정에서 생산지와 소비지 간 지역적 분리는 여러 측면에서 문제점을 발생했다. 에너지원을 신·재생에너지로 대체하는 것만으로 현재의 공간 및 지역과 관련된 문제들을 모두 해결할 수 있는 것은 아닐 것이다. 태양광 발전을 사례로 재생에너지가 어디에서 생산되고 있는지를 살펴본 이 연구가 향후 탄소중립에 소요되는 공간적, 지역적 그리고 사회적 비용과 갈등을 완화하는데 미력하나마 도움이 되길 바란다.

참고문헌

- 고재경·김성욱, 2016, “태양광 발전시설 분포에 영향을 미치는 요인 연구,” 한국지역개발학회지 28(5), pp.109-128.
- 김연중·김수석·채광석·서대석·박지연·송성환·추성민, 2018, 농촌 태양광 보급의 문제점과 개선 방안 연구, 한국농촌경제연구원 정책연구보고서.
- 박기일·조윤직, 2015, “한국 지방정부의 재생에너지 보급요인 분석: 신·재생에너지 지방보급사업을 중심으로,” 한국행정학보 49(1), pp.165-191.
- 박선아·윤순진, 2018, “장소애착 맥락으로 본 태양광 발전시설 입지 갈등과 수용성,” 환경사회학연구 ECO 22(2), pp.267-317.
- 박유민·김영호, 2012, “환경적·사회적 영향을 고려한 태양광발전소의 기존 입지 타당성 평가 및 지속가능한 입지 제안,” 한국경제지리학회지 15(3), pp.437-455.
- 배주은·김충호, 2021, “태양광 발전시설의 입지현황 및 유형특성에 관한 연구: 경상남도 거창군 태양광 발전시설 입지의 군집분석을 중심으로,” 한국도시계획학회지 22(4), pp.101-119.
- 이기림·이원희, 2015, “GIS와 계층분석법을 이용한 태양광 발전소 입지 분석,” 한국지리정보학회지 18(4), pp.1-13.
- 이기현·이건주·강성우, 2018, “태양광 에너지의 효율적인

생산을 위한 발전소 입지분석과 선정,” 에너지경제연구 17(2), pp.58-57.

이동성·임재욱, 2019, “태양광 발전시설 입지에 영향을 미치는 요인 연구: 서울시를 중심으로,” 서울시연구 20(4), pp.107-117.

이지영·강인준, 2010, “GIS 기술을 활용한 태양광시설 입지선정에 관한 연구,” 대한공간정보학회지 18(2), pp.99-105.

장창석·김선경, 2017, “태양광 발전시설 입지에 대한 이해관계자들의 인식유형 연구: 서천군 사례를 중심으로,” 한국지방자치학회보 29(3), pp.113-133.

진상현·황인창, 2011, “신·재생에너지 보급정책의 지역별·에너지별 성과분석,” 한국지역개발학회지 23(1), pp.15-32.

산업통상자원부, 2019, 제3차 에너지기본계획.

교신: 지상현, 02447, 서울특별시 동대문구 경희대로 26, 경희대학교 이과대학 지리학과, 전화: 02-961-0459, 이메일: hyungeo@khu.ac.kr

Correspondence: Sang Hyun Chi, 02447, Department of Geography, Kyung Hee University, 26 KyungHee-Daero, Dongdaemun-gu, Seoul, Tel: 82-2-961-0459, E-mail: hyungeo@khu.ac.kr

최초투고일 2022년 12월 09일

수정일 2022년 12월 23일

최종접수일 2022년 12월 27일