연구논문 「환경정책」 제31권 제3호 2023. 9: 1-28
DOI http://dx.doi.org/10.15301/jepa.2023.31.3.1
pISSN 1598-835X eISSN 2714-0601

# RE100의 탄소중립 기여도 분석:
## 전력 프로파일 분석을 중심으로*

## Analyzing Contribution of RE100 to the Net-Zero Focusing on Electricity Profile Analysis

진태영** · 김종우*** · 김도원****
Taeyoung Jin · Jongwoo Kim · Dowon Kim

**요약**: 글로벌 RE100 이니셔티브가 확대됨에 따라 선언기업들의 재생에너지 전력 조달 수요가 확대되고 있다. 본 연구에서는 재생에너지 발전량과 에너지 수요 전망을 통해 미래 우리나라 기업들의 RE100 이행 환경을 살펴보며 RE100과 탄소중립 간의 격차를 도출하였다. 제10차 전력수급 기본계획을 바탕으로 분석한 결과 2036년 약 45.6TWh의 재생에너지 초과공급이 발생하며, 이 초과분은 시간대별 분석 시 잉여물량 5.8TWh와 부족물량 20.2TWh로 분해된다. 이는 총량 관점에서 RE100 이행에 문제는 없으나 실시간 전력망의 탄소중립과는 격차가 있음을 나타낸다. 또한, 시나리오 분석을 통해 RE100과 탄소중립 간의 격차는 재생에너지가 확대될수록 비용효과성이 떨어진다는 점을 보였다. 본 연구 결과는 RE100과 탄소중립 간의 격차를 줄이기 위한 청정에너지 인증제 도입의 필요성을 시사한다.
**핵심주제어**: RE100, 재생에너지, 전력수요, 온실가스 배출량

**Abstract**: RE100 is a global renewable energy initiative in which influential companies voluntarily commit to securing 100 percent of their electricity from renewable energy sources. In order to reach this goal of RE100, firms must procure sufficient renewable energy. This study examines the future environment of RE100 implementation by Korean firms and reveals a gap between RE100 and the objective of electricity grids with net zero carbon. In projecting RE100 implementation in 2036, we find that about 45.6 terawatt-hours (TWh) of surplus energy is generated in the renewable energy supply for the year. We can further break down the resulting amount into 65.8 TWh of surplus and 20.2 TWh of deficiency. Looking at it in the aggregate, Korean firms can achieve RE100 even while maintaining a significant distance in real time from net zero electricity grids. In addition, the scenario analysis shows that the gap between RE100 and net zero becomes less cost effective as use of renewable energy expands. The results of this study suggest the need for a clean energy certification system to help reduce the gap between RE100 and net zero.
**Key Words**: RE100, Renewable energy, Electricity demand, GHG emissions

* 본 논문은 2022년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원(NRF-2022S1A3A2A01088457)과 2022학년도 부산대학교 교내학술연구비(신임교수연구정착금)에 의해 연구되었음을 밝힙니다.
** 공동주저자, 에너지경제연구원 부연구위원
*** 공동주저자, 에너지경제연구원 연구위원
**** 교신저자, 부산대학교 산업공학과 조교수

# I. 서론

전 세계적으로 폭염, 한파 등 기후변화로부터 발생하는 이상기후 현상이 점차 가시화되면서, 탄소중립의 시급성과 중요성이 더욱 강조되고 있다. 탄소중립은 온실가스 감축을 통해 배출량과 흡수량을 일치시켜 순 배출량을 '0'으로 만드는 것으로, 이를 달성하기 위해 부문별 다양한 노력이 요구된다. 특히 타 부문보다도 온실가스 다배출 부문의 배출량을 줄이는 것이 가장 효과적이라고 알려져 해당 부문의 배출량 감축이 우선시 되고 있다. 따라서, 전체 온실가스 배출량의 약 3/4을 담당하는 에너지 부문에서의 탈탄소화가 시급한 과제로 떠오르게 되었다.

에너지 부문의 탈탄소화를 위해서는 먼저 에너지 효율화와 수요관리를 통해 에너지를 절약하는 것이 하나의 수단이 될 수 있으며, 에너지를 사용하는 과정에서 온실가스 배출량을 줄이는 것이 또 하나의 방법이 될 수 있다. 후자의 경우를 에너지전환이라고 부르며 효과적인 온실가스 감축을 이룰 수 있어 대부분 국가에서 채택하는 정책이다(이수민·김창훈, 2021).

에너지전환을 통한 탄소중립의 필요성이 주목받으면서 정부 정책뿐 아니라 민간 부문에서도 다양한 노력이 이루어지고 있다. 재생에너지 사용 제고를 위한 민간 부문에서의 자발적 캠페인인 RE100 이니셔티브가 대표적인 사례이다. RE100은 글로벌 비영리 단체인 The Climate Group이 주관하고 있으며, 탄소정보공개프로젝트(Climate Disclosure Project(CDP))와의 협업하에 이루어지고 있다. 2023년 4월 기준 구글, 애플, BMW 등 400개 이상 기업이 참여하는 것으로 나타나 화제가 되었다.[1] RE100에 참여한 글로벌 기업은 늦어도 2050년까지 기업의 전체 전력수요를 100% 재생에너지로부터 조달해야하며, 우리나라에서도 삼성전자, SK 그룹 등이 글로벌 RE100 목표를 선언한 바 있다.

재생에너지의 확대를 통해 빠른 탈탄소화 효과를 거둘 수 있음은 많은 문헌에서 증명된 바 있다(Sovacool, Schmid, Stirling, Walter and MacKerron,

1) RE100 홈페이지 참고(https://www.there100.org/)

2020). 에너지 부문에서 활용되고 있는 탄소 집약적 연료를 재생에너지로 전환할 경우, 해당 에너지 소비 분만큼 탈탄소화를 달성할 수 있기 때문이다. 이러한 측면에서 민간 부문의 자발적 협약인 RE100은 탄소중립 이행을 위한 긍정적인 신호임은 분명하다. 또한 RE100의 필수 원칙인 재생에너지 추가성(additionality)에 따르면, 기업의 RE100 이행을 위한 재생에너지 구매가 추가적인 재생에너지 설비 투자로 이어질 수 있어 지속적으로 재생에너지 확대에 기여할 수 있다는 논리이다(이예지·김재창·이수출, 2019).

상기 기술하였듯 재생에너지 확대가 온실가스 배출량 감축에 미치는 효과는 명확하지만, 이에 따라 발생하는 부작용도 제기되고 있다. 우리나라는 아직 재생에너지 발전 비중이 낮아 전력망에서 발생하는 문제점이 크게 가시화되고 있지는 않지만, 제10차 전력수급기본계획(이하 전기본) 등 정부 정책에 따르면 향후 10년간 전력망에 급격한 변화를 겪게 될 것으로 예상된다. 산업통상자원부(2023)에 따르면 2030년 발전량 대비 신재생에너지의 비중은 21.6%로, 재생에너지가 차지하는 비중 20% 이상부터는 전력 계통에서 유연성이 필요하기 때문이다(IEA, 2018). 전력 계통의 유연성을 제공하기 위해서는 유연성 설비를 대기시키는 등 추가적인 비용이 발생하게 되는데, 재생에너지 발전 비중이 높아질수록 이러한 비용의 증가폭은 더욱 커질 수밖에 없다.

최근 기업의 RE100 이행을 위해 재생에너지 조달에 따른 온실가스 감축 효과를 추정한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. RE100 제도 하에 기업은 크게 네 가지 재생에너지 조달 수단을 활용한다: 녹색프리미엄, 직접전력거래계약(Power Purchasing Agreement(PPA)), 인증서 구매, 자가조달(자체건설, 지분투자)(유승보, 2021). 여기서 수단별 포트폴리오 구성에는 따로 제약이 없다. 다만, 녹색프리미엄과 인증서 구매 수단을 사용할 경우, 기업은 RE100 이행을 위해 별도 재생에너지 설비투자를 진행하지 않으면서 전력시장에서 전력을 공급받고 인증을 위한 추가적인 비용만을 지불한다. 물론 인증서와 녹색프리미엄 모두 재원을 형성하여 추가 재생에너지 투자에 대한 선순환 체계를 형성할 수는 있지만(박경민, 2022), 실시간 계통의 탄소중립에는 도움이 되지 않는다는 의견이 제시되고 있다(IEA, 2022). 이러한 이유로

글로벌 RE100 기업들은 직접 PPA를 활용한 재생에너지 조달을 가장 많이 요구하고 있다(이훈, 2023).

본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 산업용, 일반용 전력수요와 재생에너지 공급 프로파일 매칭 분석을 통해 국내 RE100 기업 이행 시나리오에 대한 시간대별 계통의 재생에너지 잉여분, 부족분을 모델링하고 RE100 달성 시 에너지 부문의 탄소중립 기여도를 분석하고자 한다. 이를 통해 RE100과 탄소중립 간의 간극을 정량화하고, 향후 탄소중립 목표 달성을 위해 국내에서 필요한 고려사항을 식별한다. 이 과정에서 해외 사례 분석을 통해 정책적 시사점을 제시하였다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 RE100과 관련된 선행연구를 검토하면서, 연구 질문을 도출하게 된 과정을 설명한다. 3장에서는 전력 프로파일 매칭을 위해 사용된 분석 방법론을 제시한다. 4장에서는 분석결과를 제시하고, 5장에서는 결론과 함께 정책적 시사점을 도출한다.

## Ⅱ. 선행연구

글로벌 RE100은 2014년 13개 기업의 참여로 시작되면서 10년 가까이 지속된 이니셔티브라 할 수 있지만, 국내 기업들이 필요성을 인지하고 참여하게 된 지는 오래되지 않았다. 국내에서는 2020년 SK그룹 6개사가 가장 먼저 글로벌 RE100을 선언하였으며, 현재 삼성전자, 현대자동차 등 30개 국내 기업이 참여 중이다. 이에 따라 국내에서는 RE100 관련 제도 소개 연구들이 대부분이며, RE100의 수단별 경제성 분석과 기업의 입장에서 재생에너지 조달 방안 연구를 제외하고는 RE100 이행을 위한 정책적 대안을 제시하거나 RE100 관련 국내 에너지 부문에 대한 정책연구 및 실증분석이 이루어진 사례는 매우 적다.

이예지 외(2019a), 이예지·조민선·채호진·김재창·이수출(2019b)는 발빠르게 글로벌 RE100 사례 분석을 통해 한국형 RE100 제도의 정착과 국내 기

업 참여가 필요할 것으로 예측하였다. 정구형(2019)도 국내 산업 경쟁력을 유지하기 위해 RE100에 선제적으로 대응할 필요가 있음을 제안했다. 서지원(2022)은 연도별, 국가별, 업종별 글로벌 RE100 이행 동향을 조사하고, 국내 RE100 활성화 방안으로 신재생에너지 생산 및 소비기업에 대한 인센티브 지급, 신재생에너지 보급을 위한 금융지원 및 금융 인증제도 도입의 필요성을 논하였다. 신훈형·박종배(2021)의 연구에서도 글로벌 RE100의 현황분석을 수행하였으며, 한국형 RE100 활성화를 위해 궁극적으로 PPA 확대를 위한 제도적 지원방안이 필요함을 명시하였다. 이우남·조기선(2021)은 주요 국가의 RE100 제약사항이 경제성임을 도출하고 국내 RE100 도입 실효성을 높이기 위해서 경제성을 집중적으로 지원할 필요가 있음을 제안하였다.

양원창·이재승(2022)의 경우 한국형 RE100 제도를 설명하면서 녹색프리미엄 제도를 심층적으로 분석하였다. 국내 신재생에너지의무화제도(RPS)와 연관지어 녹색프리미엄의 잠재량을 평가하였으며, 온실가스 감축량과의 무관함, 그린워싱 및 ESG 문제를 지적하면서 녹색프리미엄 이행 수단의 한계를 제시하였다. 양원창·성창모·이재승(2022)는 녹색프리미엄이 RPS와 한국형 RE100 제도에 미친 영향에 대한 정성적 분석을 통해 녹색프리미엄 국내 도입 이유를 국내 전력산업의 구조적인 문제로 진단하였으며, 녹색프리미엄의 한계와 더불어 PPA 및 REC 구매 활성화의 필요성을 제언했다.

산업단지와 특정 지역에 대한 RE100 사례 분석도 다수의 선행연구에서 다루어졌다. 김영찬·양재영·송유훈·이윤영·국경수(2022)는 전북지역에서 RE100으로 전력을 공급하기 위한 전력조류를 분석하여, 새만금지역을 중심으로 재생에너지 확충 시 전력망 구성에 따라 전북지역 내 RE100 이행이 가능할 것으로 결론지었다. 마찬가지로, 이동언·구경완(2021)은 당진시 RE100 산단 조성을 위한 전력망 설계 방안을 제시하였다. 양시은·김동룡·최홍열·고지훈·김동영·김승완(2022)는 기존 RE100 관련 연구가 태양광과 풍력에만 집중하는 것과 달리 수력발전을 활용한 RE100 산업단지 조성 방안을 제시하면서 수력과 수상 태양광을 통해 RE100 산단 조성이 가능할 것으로 분석했다.

김성훈(2022)은 한국형 RE100 제도가 시행된 지 1년이 지난 시점에서 이행성과를 평가하고 향후 개선점을 제시하였다. 향후 개선점으로는 PPA 시장의 활성화, 이행모델 다양화, 금융지원과 인증제도의 정책적 노력이 제시되었다. 안상효·우종률(2022)의 연구는 RE100에 대한 경제성 분석을 시도한 연구인데, 국내 RE100 이행방안을 비교·분석하여 이행 수단별 경제성을 살펴보았다. 그 결과 녹색프리미엄, 재생에너지인증서(Renewable Energy Certificate(REC))가 단기적으로는 비용 효과적인 수단이 될 수는 있지만 중장기적으로는 PPA와 자가발전으로부터의 조달이 경제적임을 도출하였다. 이지우·김승완(2020)의 연구에서도 우선적으로 PPA를 통해 전력을 조달한 후, 부족분에 대해서는 녹색프리미엄과 인증서 구매 수단을 활용하는 것이 가장 경제적인 전략임을 제시하였다. 오지훈(2021)의 연구에서도 같은 결과를 도출한 바 있다. 대부분의 RE100 수단 경제성 분석 문헌에서는 단기적으로 녹색프리미엄과 인증서를 활용하며, 중장기적으로 PPA를 확대할 것을 제시하고 있는데, 여기에 ESS를 활용한다면 기업들의 RE100 이행 사업성을 극대화할 수 있는 것으로 보인다. 이와 관련하여 김상진·유재혁·유동기·장병훈(2021)는 플랜트 단위의 RE100 달성에 있어서 태양광 발전 예측과 ESS 운영 최적화를 통해 재생에너지 조달비용을 낮출 수 있음을 보였다.

해외 선행연구들 가운데 다가장 대표적인 RE100 관련 실증분석은 Gabrielli, Aboutalebi and Sansavini(2022)의 연구를 들 수 있는데, 이 연구에서는 확률론적 경제성 평가 기법과 포트폴리오 분석을 응용하여 재생에너지 조달을 위한 최적의 포트폴리오를 도출하였다. 분석 과정에서 RE100을 확산시키기 위한 정책적 시사점을 도출하기보다는 기업의 전력 소비를 완전히 탈탄소화하기 위한 재무적 분석에 가깝다. 또한 IEA(2022)와 McKinsey(2022)는 RE100을 활용한 청정에너지 조달의 한계점을 분석하였는데, 실제로 RE100을 달성한 기업의 에너지 공급과 수요 프로파일을 매칭한 결과 전력망으로부터 간접배출량이 지속적으로 목격되었기 때문에 RE100 이행과 에너지 부문 실질적 탄소중립 간의 격차를 줄이기 위한 연구가 필요하다는 시사점을 제시하고 있다.

Lott and Phillips(2022)의 연구에서도 미국 RE100 기업을 대상으로 탄소

중립 여부를 살피기 위한 사례연구를 시도하였는데, RE100 기업의 여러 재생에너지 전력 조달 수단을 분석한 결과 연간 시점별로 발생할 수 있는 재생에너지 공급량과 수요 간의 격차를 밝혀냈다. 그리고 장주기에너지저장장치(Long-duration energy Storage(LDES))를 활용할 경우, 공급-수요간 격차를 좁힐 수 있어 탄소중립에는 기여할 수 있겠으나 RE100의 이행 비용 상승이 불가피함을 언급하였다. Google(2022) 및 WRI(2022) 등에서는 이러한 RE100의 한계를 극복하기 위해 청정에너지 전력 조달 모니터링 시스템 개발의 필요성을 제기하고 있다. 청정에너지 전력 조달 모니터링 시스템은 재생에너지 혹은 청정에너지 전력 조달 시 시간적/공간적 일치성이 필요함을 첫 번째 원칙으로 한다. 즉, 재생에너지의 공급과 수요가 동일 전력망, 동일 시간대에 이루어지지 않으면 기업의 청정에너지 조달에는 기여할 수 있지만 전력망 전체의 탈탄소화 목표 달성에는 한계가 있다는 논리이다. 물론 재생에너지의 추가성을 통해 전력망의 탈탄소화에 일정 부문 기여를 하겠으나 전력망에 재생에너지 비중이 늘어날수록 그 기여도는 감소하게 된다. 이 때문에 RE100 제도를 고도화하기 위해서 시간대별 추적이 가능한 인증서의 개발(Xu and Jenkins, 2022), 녹색프리미엄을 폐지하고 PPA와 자가조달 수단만을 활용하거나 기저전력수요를 충당하기 위해 청정에너지 믹스를 추가 에너지원으로서 활용하는 방안을 제시하였다.

종합해보면, 국내에서 수행된 RE100 연구들은 현황을 제시하고 RE100 이행환경을 개선하기 위한 방식을 정성적으로 분석하거나, RE100 이행 수단별 경제성 분석을 통해 기업들의 RE100 이행 수단 포트폴리오를 도출하는 것을 목적으로 한다. 반면 해외 문헌을 살펴보면 기업의 재무적인 비용과 리스크에 관련된 연구를 수행하거나, RE100의 탄소중립 기여도를 살펴본 후 한계점과 함께 향후 필요한 정책적 수단들을 제시하고 있다. 재생에너지 조달과 탄소중립 간의 간극에 대한 실증분석이 부재하다는 점은 국내와 해외 간의 연구 격차인 것으로 보인다.

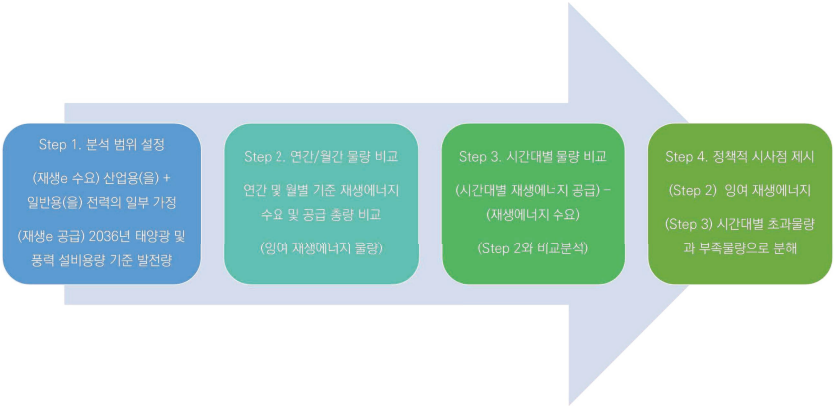
본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 해외 실증분석 사례를 참고하여 RE100의 재생에너지 조달과 탄소중립 간의 간극에 대해 살피고자 한다. 다

만 해외 사례가 특정 기업 또는 특정 부문의 전력수요에 국한되어 분석했다는 점과는 달리 본 연구는 국가 전체 중 기업에서 사용하는 전력수요와 프로파일, 국가 에너지 계획을 고려한 재생에너지 발전패턴을 활용해 분석하였다. 따라서 국가 전체의 재생에너지 조달과 전력시장의 탄소중립 실현이라는 관점에 초점이 맞추어져 있으며, 연구 결과를 바탕으로 정책적 시사점을 도출하였다는 점에서 기존 문헌과 차별화된다.

## Ⅲ. 분석 방법론

본 연구는 재생에너지 발전 프로파일과 기업의 전력수요 프로파일을 활용하여 미래 시점(2036년)에서 기업이 RE100 이행을 위한 재생에너지 조달 시 발생할 수 있는 재생에너지 초과 및 부족분을 산정하는 데 초점을 맞추고 있다. 따라서 분석 방법론은 전력시장에서 관찰되는 재생에너지 원별 전력 거래량에서 에너지저장장치(Energy Storage System(ESS)) 충·방전량의 영향을 제거한 발전 프로파일 생성 방법론과 시간대별 전력수요-공급 매칭으로 이루어져 있다. 〈그림 1〉은 본 연구의 실증분석을 위한 단계별 연구체계를 보여주는데, 이를 요약하자면 2036년 재생에너지 발전량에서 RE100 기업의 재생에너지 수요를 차감한 잉여 재생에너지 발전량을 시간대별 분석을 통해 초과 물량과 부족 물량으로 분해하는 것이다. 이러한 분석이 필요한 이유는 다음과 같다.

〈그림 1〉 실증분석을 위한 단계별 연구체계




현재 RE100 제도는 연간 총량 개념의 회계 기준을 적용하기 때문에 재생에너지 조달에 따른 사회적 비용이 반영되지 않고 있다. 여기서 말하는 사회적 비용에는 RE100 이행 기업의 재생에너지 수요가 증가할수록 전력망 내 경직성이 증가하게 되고 이에 따라 전력시장에서 유연성 자원을 구비하는 비용을 포함한다. 따라서 재생에너지 한 단위당 조달 비용은 유연성 자원 비용, 망 백업 비용 등을 고려한 시스템 균등화발전원가(Levelized Cost of Electricity(LCOE))를 활용해 현실적으로 평가해야 하지만 현재 RE100 제도에서 나타나는 재생에너지 조달 비용은 이러한 고려가 부재하다.

## 1. 분석자료 및 전력 수요 가정사항

본 연구는 RE100과 탄소중립 간의 격차를 살펴보기 위해 RE100 기업의 전력수요와 재생에너지 공급에 대한 가정 하에 수요-공급 프로파일 매칭을 시도하였다. 국내 전기요금체계는 산업용, 일반용, 교육용, 주택용, 농사용, 가로등, 심야전력 등 일곱 가지 계약종별로 나뉘는데, 산업용의 경우 산업용(갑) I, II와 산업용(을)로 나뉜다. 산업용(갑)과 산업용(을)을 나누는 기준은 계약전력 용량에 따라 다르다. 산업용(갑)은 계약전력 4kW 이상 300kW 미만이며, 산업용(을)은 계약전력 300kW 이상의 고객에게 적용한다. 산업용(을)

을 사용하는 기업의 규모가 산업용(갑)을 이용하는 기업 대비 크다고 볼 수 있다. 따라서, 일정 규모 이상의 기업이 RE100 이행을 선언하고 있는 현실을 반영하여 국내 RE100 기업의 전력수요 패턴은 산업용(을)을 따른다고 가정하였다.

산업용(을)의 연간 전력수요에 대한 일별/시간대별 수요패턴은 한국전력공사의 전력데이터 개방 포털시스템으로부터 제공받았다. 재생에너지 발전량은 제10차 전기본의 설비용량과 발전량을 기준으로 본 장 2절에서 서술하고 있는 방법론에 따라 추정하였다. 재생에너지 발전패턴은 2020년의 발전패턴을 활용하였으며(한국전력거래소, 2022), 추가적으로 ESS 설비 운영을 고려하여 순수 재생에너지 발전패턴을 도출하였다. 재생에너지 설비용량과 이용률을 기반으로 재생에너지 발전량을 산정하는 경우 ESS 충·방전량을 보정할 필요가 있는데, 태양광과 풍력 설비가 ESS와 연계하여 충·방전을 통해 수요에 대응하고 있기 때문이다(김도원·정연제, 2021).

RE100의 탄소중립 기여도 분석 대상 연도는 2036년으로 설정하였다. 글로벌 RE100 및 K-RE100의 목표 연도는 2050년이나, 해당 연도에 대한 합리적인 발전 설비용량을 가정할 문헌을 찾기 어렵기 때문이다. 관계부처합동(2021)의 2050 탄소중립 시나리오를 활용할 수도 있겠지만, 지난 1월에 발표된 제10차 전기본이 새 정부의 정책 기조를 반영한 최신 계획이라는 점과 동 계획의 마지막 계획 연도가 2036년이라는 점을 반영하였다. 또한, RE100과 탄소중립 기여도를 분석하는 것은 기본적으로 실시간 부하 매칭으로부터 발생하는 전력의 과부족량을 산정하는 것이다. 따라서 2036년과 2050년 기간 동안 재생에너지 설비용량이 늘어남에 따라 과부족량의 수준은 달라질 수 있겠지만 본 연구에서 추정하고자 하는 주요 분석 내용과 시사점은 크게 달라지지 않는다고 판단했다. 2050년에 대한 RE100의 탄소중립 기여도 분석은 2050년의 합리적인 설비용량이 제시되면 후속 연구로 진행하고자 한다. 마지막으로, 실시간 재생에너지 전력의 과부족량으로부터 온실가스 배출량을 추정하기 위해 전력 계통의 간접배출량을 사용한다. 현재 소비단(배전단) 간접배출량은 0.4747tCO2eq/kWh이며, 2036년에는 발전설비 믹스에 따라 간

접배출량이 감소하여 0.1555tCO2eq/kWh까지 감소할 것으로 보인다.[2)]

〈표 1〉은 본 연구에서 사용된 산업용(을) 및 일반용(을) 전력수요와 재생에너지 공급량에 대한 2020년과 2036년의 자료를 보여준다. 전력수요의 경우, 2020년 기준의 산업용(을) 전력수요 합계와 제10차 전기본의 2036년 목표 수요 합계를 비교하여 그 증가율만큼 시간대별 전력수요를 증가시켰다. 2020년 실적치 대비 2036년 목표 수요의 비중은 약 1.125배이므로, 시간대별 전력수요 패턴에 있어서 2036년은 2020년 패턴이 약 12.5% 증가한 형태이다.

**〈표 1〉 시간대별 전력수요 및 재생에너지 공급량 자료**

| 구분 | 연도 | 평균 | 표준편차 | 최댓값 | 최솟값 | 연간 합계(GWh) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 전력수요 (산업용(을), MWh) | 2020 | 20,363 | 3,236 | 31,670 | 8,915 | 178,872 |
| | 2036 | 22,904 | 3,639 | 35,622 | 10,027 | 201,193 |
| 전력수요 (일반용(을), MWh) | 2020 | 5,079 | 1,603 | 9,979 | 1,570 | 44,610 |
| | 2036 | 5,712 | 1,803 | 11,224 | 1,766 | 50,177 |
| 재생에너지 발전량 (MWh) | 2020 | 935 | 684 | 3,486 | 3 | 8,214 |
| | 2036 | 16,349 | 13,888 | 64,835 | 0 | 143,609 |

주: 2020년의 재생에너지 발전량은 시장거래만을 포함

2020년 기준 산업용(을)의 연간 전력수요는 178,872 GWh인 것으로 나타난다. 2020년 기준 산업용 전체 전력수요는 278,660 GWh이므로, 계약종별 산업용(을)이 산업용 전체 중 약 64%를 차지하는 것을 알 수 있다. 일반용(을)의 경우 산업용(을) 대비 상대적으로 낮은 44,610 GWh이며 일반용 합계 113,639 GWh 대비 약 39%를 차지한다. 2036년의 경우, 산업용(을)과 일반용(을)이 각각 약 201 TWh와 50 TWh인 것으로 가정하고 있는데 산업용(을)의 전력수요만 가정해도 제10차 전기본 설비계획의 연간 재생에너지 발전량을 초과하는 것으로 나타난다.

재생에너지 발전량은 제10차 전기본의 2036년 사업용 태양광 및 풍력 발전설비 전망치와 2020년 재생에너지 이용률 자료를 기반으로 추정하였다. 산업통상자원부(2023)에 따르면 2036년 기준, 사업용 태양광 및 풍력의 설

2) 제10차 전기본 연간 발전원별 발전량을 바탕으로 추정, 석탄 및 LNG 외 발전원의 배출계수는 0으로 취급(석탄은 0.8362tCO2eq/MWh, LNG는 0.3779tCO2eq/MWh)

비용량은 각각 65.7GW, 34.1GW이며, 자가용 재생에너지 설비는 약 9.1GW 수준이다. RE100 기업이 자가발전을 통해 조달하는 경우는 전량 상계된다고 가정하고 산업용(을) 및 일반용(을)의 전력수요를 감소시키는 방향으로 분석을 진행하였다. 따라서 〈표 1〉에서 포함한 재생에너지 발전량은 모두 사업용을 나타낸다.

## 2. 재생에너지 발전패턴 추정 방법론

전력 계량기(meter)를 기준으로 앞단을 공급자 측인 FTM(front the meter), 뒷단을 소비자 측인 BTM(behind the meter)이라고 일컫는다. 통상적으로 발전기들은 FTM 측에 위치하고 송전망을 통해서 수요지로 송전하는 반면 BTM 측 발전기들은 송전망을 통하지 않고 수요지에 직접 전력을 제공한다. 이러한 BTM 측 발전기를 기반으로 생산된 전력은 대부분 직거래 격인 PPA나 자가용 상계거래를 통해 거래되기 때문에 소비 전력량이 계측되지 않고 이에 따라 시간대별 발전량을 정확히 파악할 수 없다(김도원·정연제, 2021). 이러한 미계측 값의 추정을 위해 시장에서 거래된 재생에너지 발전량의 프로파일을 바탕으로 PPA 및 자가용 설비만큼 비례 계산하는 방식을 활용하였다(김도원·정연제, 2021). 또한 현재 한국에너지공단의 신재생에너지 보급 실적 조사에 따르면, 전체 자가 설비 중 약 95%가 태양광인 것에 착안하여, 향후 보급될 자가용 설비를 모두 태양광으로 가정하여 전망하였다. 〈표 2〉에는 2020년의 태양광 및 풍력 발전설비 용량과 제10차 전기본에 나와 있는 2036년 발전원별 설비용량이 나와 있다.

〈표 2〉 2020년 및 2036년의 재생에너지 발전설비 용량(MW)

| 연도 | 거래유형 | | 태양광 | 풍력 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2020 | 사업용 | 시장거래 | 4,596 | 1,636 | 6,232 |
| | | 상계거래(자가발전) | 1,923 | 0.3 | 1,923.3 |
| | PPA | | 9,979 | 0.2 | 9.979.2 |
| | 합계 | | 16,498 | 1,636.5 | 18,134.5 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2036 | 사업용 | 65,700 | 34,089 | 99,789 |
| | 자가발전 | 9,050 | | |
| | 합계 | 108,839 | | |

자료: 김도원·정연제(2021)

재생에너지 발전패턴을 보다 정확히 산정하기 위해서는 일부 재생에너지에 설치된 ESS 설비에 대한 왜곡을 보정할 필요가 있다. 전력시장 재생에너지 거래 실적은 ESS를 통해 충·방전이 이루어지고 난 이후의 값으로 실제 전력 발전패턴과는 다르기 때문이다. 예를 들어, 재생에너지 발전이 충분한 경우 ESS 충전으로 인해 재생에너지 발전량이 과소 평가될 수 있고, 반대로 재생에너지 발전량이 부족할 경우 ESS 방전으로 재생에너지 발전량이 과대 평가되어있을 수 있다. 본 연구에서는 〈표 3〉에서 보여지는 형태의 데이터와 아래와 같은 수식을 활용하여 ESS 충·방전으로 인한 재생에너지 발전량의 왜곡을 보정한 프로파일을 계산한다.

$$(\text{시장참여 설비 발전량})_t = (\text{시장거래 실적})_t - (ESS\text{방전량})_t + (ESS\text{충전량})_t$$

**〈표 3〉 ESS 충·방전 데이터 예시**

| 거래일 | 시간 | 구분 | 방전량(MWh) | 충전량(MWh) |
|---|---|---|---|---|
| 2020-01-01 | 1 | 태양광 ESS | 4.33 | 0 |
| 2020-01-01 | 2 | 태양광 ESS | 3.53 | 0 |
| … | … | … | … | … |
| 2020-01-01 | 13 | 태양광 ESS | 0.01 | 334.43 |
| 2020-01-01 | 14 | 태양광 ESS | 0.01 | 225.76 |
| … | … | … | … | … |
| 2020-01-01 | 18 | 태양광 ESS | 206.80 | 1.73 |
| 2020-01-01 | 19 | 태양광 ESS | 302.32 | 1.38 |
| … | … | … | … | … |
| 2020-01-01 | 24 | 태양광 ESS | 3.84 | 0 |

주: PPA, 상계거래 대상 설비 등 전력거래 시장에 등록되지 않은 재생에너지 설비에 설치된 ESS는 제외
자료: 전력거래소 제공

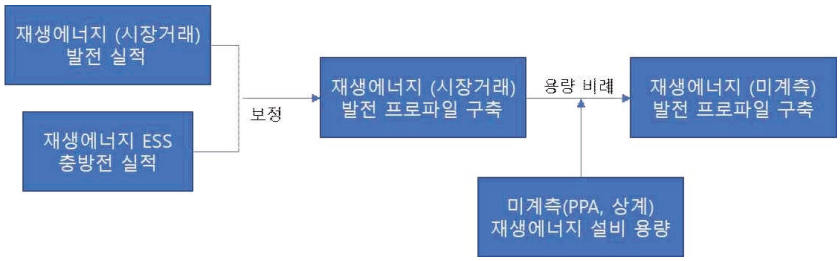
다음 식과 같이 보정된 설비발전 프로파일을 미계측 재생에너지 설비용량

에 비례 적용하여 2020년 기준 미계측설비의 발전 프로파일을 추산한다([그림 2] 참조). 이 과정을 통해 재생에너지 시장거래 프로파일로부터 실제 재생에너지 발전 프로파일을 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서 RE100의 탄소중립 기여도를 측정하기 위해 사용된 2036년의 재생에너지 발전 프로파일은 ESS의 영향이 배제된 시간대별 발전량으로 간주할 수 있다.

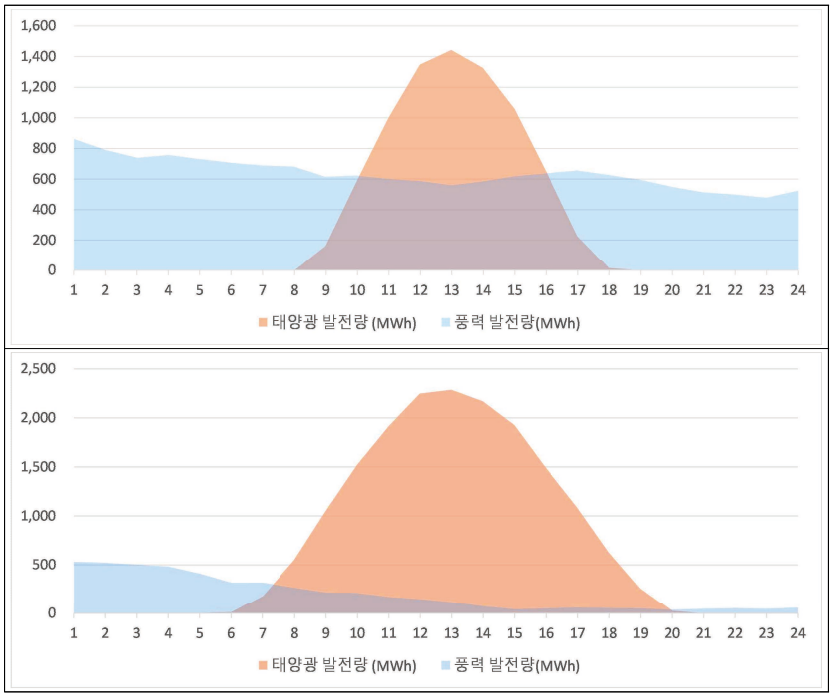
$$(\text{미계측설비발전량})_t = (\text{시장참여설비발전량})_t \times \frac{(\text{상계거래용량} + PPA\text{용량})}{(\text{총용량})}$$

〈그림 3〉은 재생에너지 시장거래실적 및 ESS 충·방전량을 고려하여 생성한 태양광 및 풍력 설비에 대한 발전패턴 예시를 보여준다. 해당 자료는 2020년 기준 시장에서 거래된 사업용 재생에너지의 설비용량 기준이므로 태양광 약 4.6GW 및 풍력 1.6 GW 설비용량 기준이다. 이처럼 24시간에 대한 발전패턴이라도 발전 시점에 따라 변동성 재생에너지의 발전량은 달라질 수 있으며, 본 연구에서는 8,760개 시간대별 발전패턴을 모두 생성하여 사용했다.

**〈그림 2〉 재생에너지 발전패턴 추정 과정 도식화**



〈그림 3〉 2020 시간대별 발전패턴 예시 (1월 1일(위), 7월 1일(아래))




이렇게 추정한 2020년 기준 전체 재생에너지 설비의 발전 프로파일을 〈표 3〉에 있는 설비 보급 전망치에 비례 적용하여 2036년 재생에너지 총발전 프로파일(계측+미계측 설비)을 계산하였다. 본 연구의 가정에 따르면 기업의 RE100 이행을 위한 주요 재생에너지 조달은 변동성 재생에너지 중에서도 태양광과 풍력으로 한정한다는 것이다. 특히 자가발전은 100% 태양광으로 가정하고 있다. RE100을 이행하기 위해 기업이 조달 가능한 재생에너지원은 총 여섯 가지로 태양광과 풍력을 제외하여도 바이오, 지열, 해양, 수력이 있지만 이들은 기업이 조달하기 어려운 자원이라고 판단하였다. 물론 2036년의 발전패턴에는 해상풍력이 일부 포함될 예정으로 풍력의 발전 프로파일은 2020년과 달라질 수 있으나 자료 가용성의 문제로 육상풍력과 해상풍력의 발전 프로파일이 동일한 것으로 가정하였다.

RE100의 주요 이행 수단 중 하나는 기업이 직접 재생에너지 발전설비를

설치하여 전력을 조달하는 방식이다. 실제로 지붕이나 유휴부지 내 자가 설비를 통해 재생에너지를 조달하면 추가적인 토지 임대 비용이 발생하지 않기 때문에 가장 비용 효과적인 수단으로 여겨지기도 한다. 그러나, 자가발전을 위한 유휴부지가 제한적일 수 있다는 점을 고려하면 모든 RE100 기업이 자가발전을 통해 재생에너지 전력을 조달하기는 어려울 것이다. 따라서 본 연구는 RE100 이행 수단으로써 자가용 설비로 조달할 수 있는 재생에너지 양은 기업별 전력수요의 일정 비율 이내라고 가정하고, 해당 비중만큼을 전력수요에서 제하는 형태로 자료에 반영하였다.

마지막으로, RE100과 탄소중립의 간극을 분석하는데 있어서 RE100 기업이 사용 전력의 어느 정도를 재생에너지로 조달할지에 대한 가정이 필요하다. K-RE100은 RE100 선언 기업에게 2050년까지 재생에너지 100% 달성을 권고사항으로 두고 있으나, 중간 경로에 대해서는 따로 제약사항이 없다. 반면에, 글로벌 RE100의 경우 2030년 기준 60%, 2040년 기준 90% 이행경로를 명시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 글로벌 RE100의 중간 이행 목표를 기준으로 2030년과 2040년 사이는 선형으로 증가한다는 가정 하에 2036년의 RE100 조달 비중을 78%로 설정하여 분석하였다. 요약하면, 본 연구에서 가정한 RE100 기업의 전력수요는 산업용(을)과 일반용(을)로 이루어져 있으며, 여기에 RE100 선언 기업의 비중 가정, RE100 선언 기업의 전력수요 조달 비중 78% 가정, 자가발전을 통한 수요감축분이 포함된다.

## Ⅳ. 분석 결과

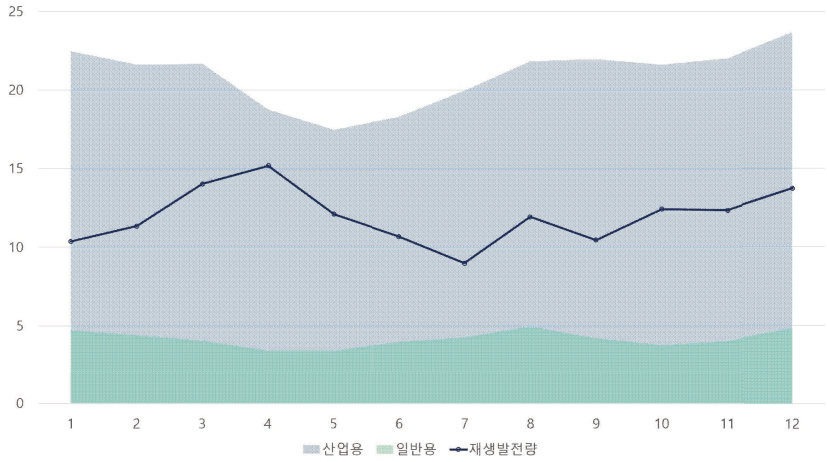
### 1. RE100의 탄소중립 기여도 분석

RE100을 선언한 기업은 자가 조달, PPA, 녹색프리미엄, 인증서 등 크게 네 가지 이행 수단을 통해 재생에너지를 조달하는데, 각 수단의 탄소중립 기여도는 다르게 나타난다. 이를 가장 분명하게 보여주는 것이 재생에너지 발전량과 전력수요의 샘플링 주기에 따른 분석이다. 재생에너지 발전량과 전력

수요의 경우, 발전과 수요 프로파일이 다르기 때문에 샘플링 주기가 짧아질수록 불일치가 명확하게 드러난다. 〈그림 4〉는 2036년 기준 산업용(을) 및 일반용(을)의 월별 전력수요와 재생에너지 발전량을 보여준다. 분석에 따르면, 재생에너지 발전량은 4월에 최대치를 기록하는 것으로 나타나고, 산업용(을)과 일반용(을) 전력수요는 비교적 평탄하며 최저치는 5월에 나타난다.

〈그림 4〉에서 볼 수 있듯이, 2036년에 산업용(을) 전력수요만으로도 재생에너지 발전량을 전부 흡수할 수 있는 것으로 나타난다. 재생에너지 발전량이 에너지 수요 대비 낮다는 것은 생산된 재생에너지가 낭비 없이 RE100 이행을 위해 사용될 수 있다는 뜻이므로 탄소중립 기여도가 극대화된다고 할 수 있다. 2036년에는 비록 산업용(을)의 전력수요에도 남는 영역이 발생하기 때문에 산업용(을)을 사용하는 모든 기업이 사업용 재생에너지 전력을 활용해 RE100을 달성하기는 어려울 수 있다. 〈표 4〉에 이를 살펴보기 위한 월간 재생에너지 부족량이 나와 있다. 연간 총합계 107.76TWh가 부족한 것으로 나타나며, 자가발전을 통해 일부를 충당할 수 있으나 여전히 부족할 것으로 생각된다. 단, 해당 수치는 산업용(을) 및 일반용(을) 전력을 사용하는 기업 전체가 글로벌 RE100을 이행할 경우를 가정한 것으로 현실성이 다소 떨어진다.

〈그림 4〉 2036년 월별 전력수요 및 사업용 재생에너지 발전량 전망 (TWh)



〈표 4〉 2036년도 월간 재생에너지 전력 부족량 (TWh)

| 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 |
|---|---|---|---|---|---|
| 12.10 | 10.27 | 7.65 | 3.57 | 5.37 | 7.61 |
| 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 |
| 10.99 | 9.89 | 11.51 | 9.20 | 9.64 | 9.95 |

주: 산업용(을)과 일반용(을)의 전력수요를 모두 재생에너지로 충당하기 위해 부족한 양을 산정한 것으로 RE100(이행비중 및 이행기업수)의 세부가정은 포함되지 않음.

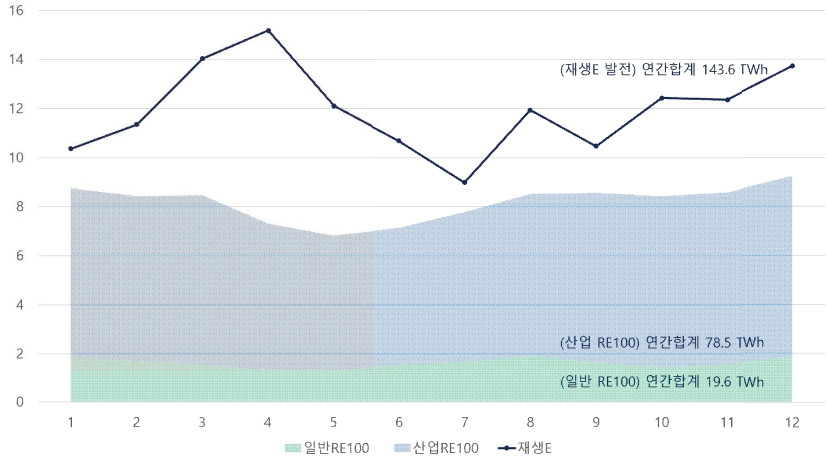
글로벌 RE100과 K-RE100을 이행하고자 하는 기업은 향후 지속적으로 늘어날 것으로 예상된다. 그러나 아직 특정 기준을 활용하여 미래 RE100 참여기업의 전력수요를 위한 시나리오를 설정하기에는 적절한 선행연구가 존재하지 않는다. 그러므로 본 연구는 국내 전력 판매실적을 기준으로 상위 30개사의 연간 산업용 전력 사용량이 지난 5년간 100 TWh를 상회했다는 점과,[3] K-RE100에서 공공부문의 참여를 독려하여 공기업의 RE100 이행 참여가 증가했다는 점을 고려하여 2036년도 산업용(을)과 일반용(을) 전체 전력수요의 약 50%가 RE100 이행 대상 물량이라고 가정하였다. 여기에 2036년의 글로벌 RE100 이행물량은 전력수요 중 78%이므로, 총 산업용(을) 및 일반용(을) 전력수요의 39%를 재생에너지로 조달한다고 가정하는 셈이다. 여기에 자가 조달 비중은 시나리오를 설정하여 전체 전력수요로부터 제거할 필요가 있다.

〈그림 5〉는 전술한 RE100 이행물량에 대한 2036년 월별 전력수요와 사업용 재생에너지 발전량 전망을 보여준다. 분석 결과는 연간 사업용 재생에너지 총량이 RE100 이행물량을 충족시킬 수 있는 것으로 나타나며, 연간 잉여 재생에너지 전력량은 약 45.6 TWh가 발생하는 것으로 계산된다. 이 분석대로라면 2036년에 사업용 재생에너지 발전량이 충분하기 때문에 산업용(을)과 일반용(을)의 RE100 이행에는 아무 문제도 발생하지 않을 것이다. 전력시장 내에 재생에너지 물량이 부족하여 기업에서 자가발전을 활용해 재생에너지를 조달하지 않더라도 사업용 재생에너지 물량인 PPA와 REC, 녹색프리미엄을 활용해 RE100을 이행할 수 있다는 뜻이다.

3) 정진규(2022). https://www.consumerpost.co.kr/news/articleView.html?idxno=304513 (검색일: 2023.02.27.).

반면, 재생에너지 발전과 전력수요 샘플링 주기를 짧게 설정할 경우, 앞서 설명한 〈그림 5〉와는 상당히 다른 분석 결과를 보여준다. 〈그림 6〉은 동일한 조건 하에 2036년 재생에너지 발전량과 RE100 전력수요의 일별 패턴을 나타낸다. 월 기준으로는 잉여 재생에너지 전력만 나타났지만 이를 일별로 전환하면 재생에너지 부족분이 발생하는 시점이 다수 존재하는 것을 확인할 수 있으며 이를 합산하면 연간 약 3.8 TWh의 부족분이 발생한다.

〈그림 5〉 2036년 월별 RE100 전력수요 및 사업용 재생에너지 발전량 전망 (TWh)

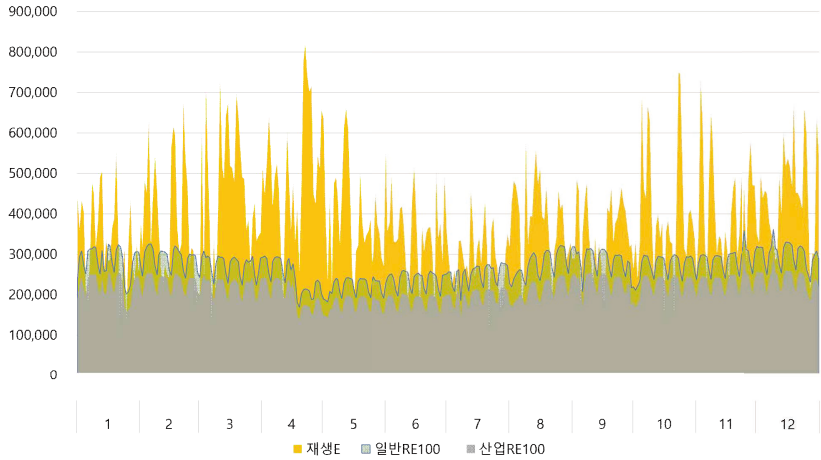



샘플링 주기를 시간대별로 살펴볼 경우, 재생에너지 발전량과 RE100 전력수요 간의 격차는 더욱 커진다. 〈그림 7〉은 재생에너지 발전과 RE100 전력수요 간의 프로파일 매칭을 통해 시간대별 재생에너지 전력 과부족량 산정 결과를 보여준다. 〈그림 5〉와 마찬가지로 총량 기준으로 살펴볼 때 잉여 재생에너지 전력량이 발생하는 것과 마찬가지로, 시간대별 프로파일 매칭 결과에서도 잉여 전력량이 상당히 발생하는 것으로 나타난다. 시간대별 산정 결과 연간 RE100을 이행하고 남는 잉여 재생에너지 전력량은 65.8 TWh이며, 부족량은 20.2 TWh인 것으로 나타난다. 둘 간의 합계는 〈그림 5〉의 연간 합계인 45.6 TWh와 동일하다.

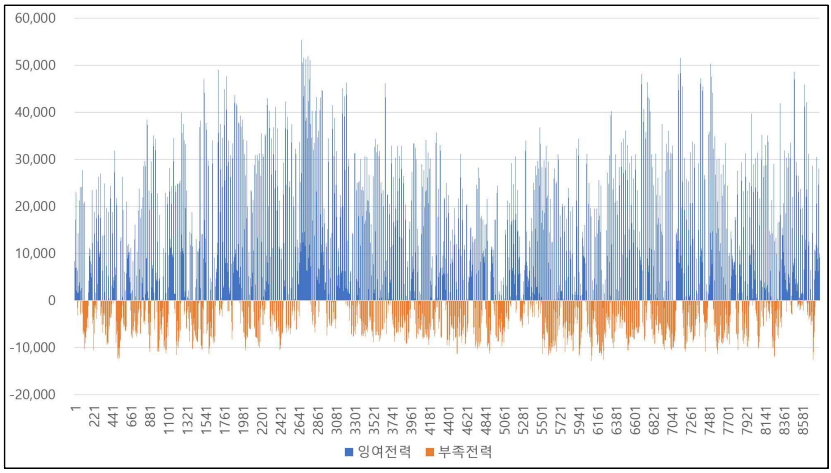
본 연구에서 도출한 잉여 재생에너지 전력은 65.8 TWh이지만 해당 에너

지가 버려지는 것은 아니며, 전력시장에서 RE100 수요 이외 다양한 수요가 존재하기 때문에 초과발전량 흡수에는 문제가 없을 것이다. 그러나 궁극적으로 전력시장 탄소중립이 목적이라면 시간대별로 기업의 RE100 이행에 있어 부족량이 발생하는 시점에 대해서는 고려가 필요하다. 기업에서는 재생에너지 조달 부족분인 20.2 TWh에 대해 REC 혹은 녹색프리미엄 수단으로 충당할 수 있겠으나, 그렇다 할지라도 해당 시점의 전력 계통에는 재생에너지가 부족하기 때문에 기업의 전력수요만큼 간접배출량은 지속적으로 발생하게 된다. 2036년 기준 소비단 간접배출계수는 약 0.1555tCO2eq/MWh이기 때문에, 기업에서 자가발전 혹은 ESS 설비를 활용한 부하 이전을 시도하지 않고 인증서와 녹색프리미엄만 구매할 경우, 연간 온실가스 배출량은 약 3,147,041톤이 발생한다는 결과가 나온다.

〈그림 6〉 2036년 일별 RE100 전력수요 및 사업용 재생에너지 발전량 전망 (MWh)



〈그림 7〉 시간대별 재생에너지 전력 과부족량 (MWh)




## 2. 시나리오별 분석

RE100 기업의 전력 소비량 중 일부를 재생에너지 자가발전으로부터 조달하고자 할 경우, 해당 소비량은 BTM으로 집계되어 전력 거래량에 포함되지 않는다. 따라서 RE100의 이행물량 중 일부를 자가발전으로 조달함에 따라 발생할 수 있는 시간대별 부족 재생에너지 전력량을 민감도 분석을 통해 추정하였다. 연간 산업용(을) 및 일반용(을) RE100 전력수요로 가정되어 있는 물량의 1%부터 30%까지 변화시키면서 시간대별 과부족전력량의 변화를 살펴보았다. BTM으로 간주되는 자가발전 패턴은 본 연구에서 산정한 재생에너지 발전패턴과 동일하게 가정한다. 즉, 가정한 연간 자가발전 총량 수치를 연간 시간대별 재생에너지 발전량 비중에 맞추어 분배한 결과이다.

〈표 5〉는 자가 조달 비중 시나리오를 바탕으로 시간대별 매칭에 대한 과부족전력량 분석 결과를 보여준다. 상기 기술한 대로 자가발전은 전부 상계된다고 가정하기 때문에 기업의 재생에너지 수요 중 1%를 자가발전으로 조달할 경우, 연간 약 0.98 TWh의 사업용 RE100 재생에너지 수요가 감소하게 된다. 재생에너지 발전패턴과 기업의 전력수요 패턴이 다르기 때문에 연간 재생에너지 부족분과 잉여분의 비율이 다르게 나타난다. 본 연구에서 가정한

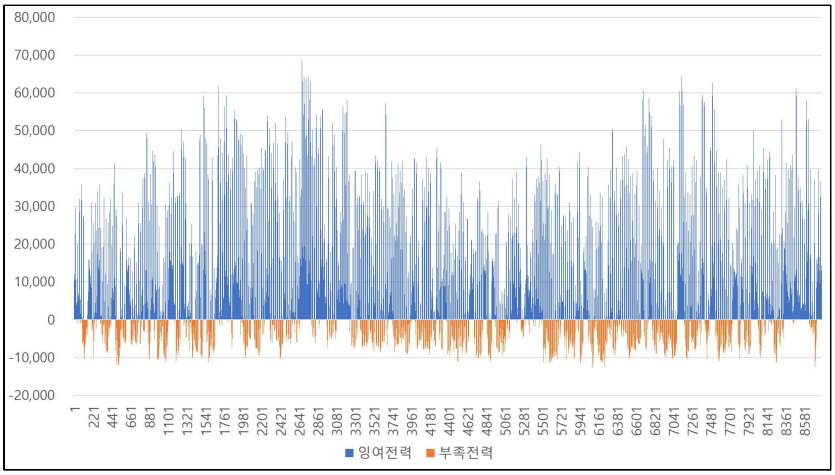
2036년 기업의 RE100 이행물량 중 30%를 자가발전으로 조달한다면, 잉여 재생에너지 물량은 연간 91.4 TWh, 부족분은 16.4 TWh가 발생한다. 기업이 자가발전을 통해 RE100 물량을 조달할수록 연간 부족분과 잉여분의 격차는 더욱 커지는 셈이고, 이러한 격차는 덕 커브(duck curve)의 심화와 유연성 설비의 추가적 필요성, 계통 보강 비용의 증가를 더욱 야기할 것으로 보인다.

〈그림 8〉은 30% 자가 조달 가정하에 시간대별 재생에너지 전력 과부족량을 보여준다. 〈그림 7〉 대비 부족 전력량이 줄어든 것으로 보이지만 줄어든 양 대비 잉여 재생에너지 전력량 증가분이 상대적으로 높다. 30% 기준으로 자가 조달 시 RE100 기업의 온실가스 간접배출량은 약 2,549,296톤으로 산정된다. 자가 조달 비중이 높을수록 온실가스 간접배출량이 낮아지는 것은 사실이지만, 이를 위해 부가적으로 발생하는 비용이 상대적으로 높다. 먼저 잉여전력이 다량 발생하기에 이를 계통에서 흡수하기 위한 계통 보강 비용이 발생하며, 자가발전을 위해 기업에서도 부지확보 등 추가적인 노력이 요구된다. 이러한 점을 고려할 때 기업에서 자가발전을 통해 재생에너지를 조달하는 것은 일정 비중부터는 사회적인 손실로 이어질 우려가 있다. 탄소중립을 RE100 수단으로만 이행하고자 할 경우 부가적인 비용이 요구되는 셈이다. 따라서 기업의 청정에너지 조달과 탄소중립 간의 간극을 좁히기 위해서는 RE100을 보조하기 위한 추가적인 수단이 필요할 것으로 생각된다.

**〈표 5〉 자가조달 비중에 따른 연간 재생에너지 잉여 및 부족분 (TWh)**

| 구분 | 0% | 1% | 5% | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부족분 | -20.2 | -20.1 | -19.5 | -18.8 | -18.2 | -17.5 | -17.0 | -16.4 |
| 잉여분 | 65.8 | -67.5 | 70.0 | 74.2 | 78.4 | 82.7 | 87.0 | 91.4 |
| 합계 | 45.6 | 47.5 | 50.5 | 55.4 | 60.3 | 65.2 | 70.1 | 75.0 |

〈그림 8〉 30% 자가 조달 가정 시간대별 재생에너지 전력 과부족량 (MWh)




# V. 결론

본 연구에서는 산업용 및 일반용 전력수요와 재생에너지 프로파일 자료를 활용해 연간 재생에너지 공급-전력수요 간의 매칭을 시도하였다. 분석 결과 제10차 전기본의 설비용량 기준 재생에너지 물량은 RE100 이행을 위한 재생에너지 전력수요를 연간 기준에서는 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 연간 총량 관점에서 정산하고 있는 RE100 이행 자체에는 무리가 없을 것으로 판단된다. 그러나, 시간대별 전력수요와 재생에너지 공급 패턴을 매칭한 결과 자가발전과 PPA를 통해 전력을 조달하면 많은 시점에서 부족분이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 특정 시간대에 기업은 재생에너지 구매 잉여분이 발생할 수 있고, 또한 불가피하게 재생에너지 전력 부족분이 관찰되는 시간대가 다수 발생한다.

2036년의 RE100 재생에너지 잉여분은 총량 관점에서 45.6 TWh이지만 이를 시간대별로 살펴보면 잉여량 65.8 TWh, 부족량은 20.2 TWh인 것으로 분석되었다. 2036년의 전력 배전단 간접 배출계수가 약 0.1555tCO2eq/MWh인 것을 고려할 때, 기업에서 전력을 실제 사용한 시간에는 전력망의 간

접배출량으로서 연간 약 3.1백만 톤이 온실가스가 발생하는 셈이다. 그러나 연간 회계 관점에서 기업이 RE100을 위한 전력을 조달했기 때문에 조달량에 대한 간접배출량은 발생되지 않는 것으로 관찰될 것이다. 이러한 경우, 해당 배출량으로 인해 발생하는 사회적 비용은 타 수용가로 전가될 가능성이 높다. RE100 이행 기업이 모든 재생에너지 전력수요를 실시간으로 매칭할 경우 이러한 문제점이 발생하지 않는다. 그러나 주요 이행방안인 녹색프리미엄과 인증서가 시간적 제약이 없기 때문에 전력망 내 전력을 시간대별로 모두 탈탄소화하는 전력시장의 탄소중립 달성과는 괴리가 있다.

재생에너지 공급량은 시간대별로 한정된 자원이기 때문에 RE100 기업이 재생에너지를 해당 시점에 구매하면 누군가는 전력 계통으로부터 덜 깨끗한(less clean) 전력을 사용해야만 한다. 게다가 재생에너지를 아무리 확대하여도 전력수요와 재생에너지 발전패턴 간 불일치가 줄어들지 않기 때문에 진정한 의미의 전력망 탄소중립에 있어서는 부하를 이전할 수 있는 추가적인 설비가 필요한 셈이다. 요약하면, RE100은 재생에너지 확대를 통한 전력망의 탈탄소화에는 일부 기여할 수 있지만 전력망 전체 시스템의 탄소중립을 달성하기에는 보조적인 수단이 반드시 요구된다.

최근에는 24/7 Carbon Free Energy(CFE)라는 UN의 국제 이니셔티브가 이슈가 되고 있다. 24/7 CFE는 하루 24시간, 일주일(7일) 내내 탄소를 배출하지 않는 무탄소 에너지를 조달하고 전체 전력 시스템의 탈탄소화를 목표로, 구글과 마이크로소프트를 중심으로 확대가 되고 있다. 24/7 CFE는 본 연구에서 도출한 재생에너지 공급과 전력수요 간의 시간적/공간적 불일치 때문에 RE100보다는 더욱 엄격한 모니터링 체계가 필요하다는 점에서 출발했다. 이 때문에 24/7 CFE는 PPA와 자가발전을 첫 번째 청정에너지 조달 옵션으로 활용하며, 인증서 구매의 경우 재생에너지 발전 시점 및 위치 정보가 라벨링된 인증서로 조달해야 한다. 청정에너지 인증서의 가치가 시간과 위치에 따라 희소성이 달라지므로, 인증서 가격이 세분화되는 셈이다. 이를 활용하면 청정에너지가 희소한 시간대에서 청정에너지 인증서 가격은 올라가고 기업 입장에서는 이러한 재무적 리스크를 헷징하기 위해 PPA 확대전략이나 ESS,

장주기에너지저장장치(LDES) 등을 고려하게 될 것이며, 이는 전력망 탄소중립에 확실하게 기여할 수 있을 것으로 보인다.

우리나라는 현실적으로 24/7 CFE를 도입하기에는 어려운 여건이다. 24/7 CFE에서는 청정에너지 범주로 연료전지, 원전 등을 모두 포함하는 기술 중립적 접근방식을 취하는데, 해외와 달리 우리나라는 원전의 발전단가가 저렴한 가격 역전 현상이 발생하고 있기 때문이다. 또한 원전을 활용하여 청정에너지 사용을 인증받고자 할 경우 수용성 문제도 큰 이슈가 될 수 있다. 따라서 RE100 이행을 추구하는 것은 유지하도록 하되, 청정에너지 기술혁신이나 재생에너지 투자를 확대하기 위한 방안으로서 무탄소 에너지 인증제를 개설하여 재원을 추가적으로 조달 할 수 있도록 하는 것이 한 방안이다. 마지막으로, 기업이 탄소중립을 이행함에 있어서 무탄소 에너지를 활용할 수 있도록 장기적인 관점에서 추진하는 것도 탄소중립 이행 비용 관리에 제 역할을 할 것으로 보인다.

본 연구에서는 재생에너지 설비용량 전망에 따른 발전량과 향후 RE100 이행을 위한 재생에너지 수요 프로파일 매칭을 통해 RE100과 탄소중립 기여도 간의 격차를 파악하고자 했으나 다음과 같은 한계점이 존재한다. 첫째, 본 연구에서 사용한 전력수요 자료는 2020년 자료로, COVID-19로부터 전력 소비패턴이 영향받았을 가능성이 높다. 둘째, ESS를 활용한 전력수요의 유연화나 수요 반응자원, 수요관리 수단을 통한 수요감축 등은 반영되어 있지 않다. 기업들이 전력 수요관리를 위한 다양한 수단을 발굴한다면 RE100과 탄소중립 간의 간극은 좁혀질 가능성이 높다. 향후 분석에서는 전력수요 패턴을 최신화하고 타 수단의 전력수요 반영을 통해 연구 결과를 더욱 정교히 할 필요가 있을 것이다.

## ▮참고문헌▮

관계부처합동, 2021, 『대한민국 2050 탄소중립 시나리오』.
김도원·정연제, 2021, “E-mobility 성장에 따른 석유·전력·신재생에너지 산업 대응 전

략 연구(전력)," 울산: 에너지경제연구원.

김상진·유재혁·유동기·장병훈, 2021, "공장 전력부하와 태양광 발전량 실시간 데이터의 연계를 통한 RE100 달성방안에 관한 연구,"『2021년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집』, pp.575-576, https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10609826.

김영찬·양재영·송유훈·이윤영·국경수, 2022, "전북지역의 RE100 전력망 운영조건에 대한 조류계산 사례연구,"『2022년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집』, pp.225-226. https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE11145132.

산업통상자원부, 2023,『제10차 전력수급기본계획』.

신훈영·박종배, 2021, "국내외 RE100 운영현황 분석 및 국내 RE100 활성화를 위한 방안,"『대한전기학회논문지』, 70(11), pp.1645-1654, DOI: 10.5370/KIEE.2021.70.11.1645.

안상효·우종률, 2022, "국내 RE100 이행방안의 경제성 비교분석 연구,"『Current Photovoltaic Research』, 10(2), pp.62-71, DOI: 10.21218/CPR.2022.10.2.0 62.

양시은·김동룡·최홍열·고지훈·김동영·김승완, 2022, "댐 주변지역의 RE100 산업단지 조성방안에 대한 연구,"『2022년도 제53회 대한전기학회 하계학술대회 논문집』, pp.2406-2407. https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE11146270.

양원창·이재승, 2022, "한국 RE100 제도에서 녹색프리미엄의 특성 및 한계,"『신재생에너지』, 18(3), pp.43-59. DOI: 10.7849/ksnre.2022.0028.

양원창·성창모·이재승, 2022, "신재생에너지공급의무화(RPS)제도가 한국 RE100 시스템에 끼친 영향에 관한 연구,"『기술혁신학회지』, 25(5) pp.955-974. DOI: 10.35978/JKTIS.2022.10.25.5.955.

오지훈, 2021, "국내 RE100 확산을 위한 재생에너지 가격비교와 정책방향 제안," 석사학위논문, 서울: 서울과학기술대학교.

이동언·구경완, 2021, "당진시 RE100 산업단지에 대한 직류 전력망 적용에 대한 고찰,"『2021년도 대한전기학회 춘계학술대회 논문집』, pp.266-267. https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10675598.

이수민·김창훈, 2021,『주요국 상대비교를 통한 우리나라 에너지전환정책 시사점 연구』, 울산: 에너지경제연구원.

이우남·조기선, 2021, "국내외 RE100 시행현황 및 국내 도입 실효성 제고를 위한 제도 개선방안,"『2021년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집』, pp.708-709. https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10609891.

이예지·김재창·이수출, 2019a, "재생에너지 이용의 변화와 RE100 현황."『에너지기후변화학회지』, 14(2) pp.65-73, DOI: 10.22728/jecc.2019.14.2.065.

이예지·조민선·채호진·김재창·이수출, 2019b, “RE100의 현황과 우리나라에서의 시사점.”『에너지기후변화학회지』, 14(1), pp.43-52. DOI: 10.22728/jecc.2019.14.1.043.

이지우·김승완, 2020, “RE100 달성을 위한 기업의 다양한 전력 조달 시나리오 별 비용분석.”『2020년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집』, pp.163-164. https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10440112.

정구형, 2019, “자발적 재생에너지 소비 활성화를 위한 RE100 이행방안 설계.”『한국신·재생에너지학회 2019년도 춘계학술대회』, p.106. https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08756208.

Gabrielli, P., R. Aboutalebi, and G. Sansavini, 2022, Mitigating financial risk of corporate power purchase agreements via portfolio optimization, *Energy Economics,* 109, 105980. doi: 10.1016/j.eneco.2022.105980.

Google, 2022, 24/7 Carbon-Free Energy: Methodologies and Metrics.

IEA, 2018, World Energy Outlook 2018, Paris.

IEA, 2022, Advancing Decarbonisation through Clean Electricity Procurement, Paris.

Lott, M. and B. Phillips, 2022, ADVANCING CORPORATE PROCUREMENT OF ZERO-CARBON ELECTRICITY IN THE UNITED STATES: MOVING FROM RE100 TO ZC100, Columbia University.

McKinsey, 2022, A path towards full grid decarbonization with 24x7 clean Power Purchase Agreements.

Sovacool, B. K., P. Schmid, A. Stirling, G. Walter, and G. MacKerron, 2020, Differences in carbon emissions reduction between countries pursuing renewable electricity versus nuclear power. *Nature Energy* 5(11) pp.928-935.

WRI, 2022, Data for 24/7 Carbon-Free Energy Measurement and Tracking, World Resources Institute.

Xu, Q. and J. D. Jenkins, 2022, Electricity System and Market Impacts of Time-based Attribute Trading and 24/7 Carbon-free Electricity Procurement, Princeton University.

김성훈, 2022, “한국형 RE100 도입 1년에 대한 평가,” 전기저널, http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=4481, [2023.02.24.].

서지원, 2022, “글로벌 RE100 동향과 한국형 RE100 활성화 방안,” 전기저널, http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=4482, [2023.02.24.].

박경민, 2022, “산업단지. RE100 활성화 열쇠될까,” 전기저널, http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=4487, [2023.02.24.].

유승보, 2021, “RE100 운영현황 검토,” 전기저널, http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=4005, [2023.02.24.].

이훈, 2023, “RE100, 어떤 방식으로 참여할까?” 전기저널, http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=4866, [2023.02.24.].
한국전력공사, 2023, “전력데이터 개방 포털시스템,” https://bigdata.kepco.co.kr/ cmsmain.do?scode=S01&pcode=main&pstate=L&redirect=Y, [2023.02. 26.].
한국전력거래소, 2022, “한국전력거래소_발전원별 발전량.” https://www.data.go.kr/data/15106744/openapi.do?recommendDataYn=Y, [2023.02.26.].

**진태영**: 한양대학교 자원환경공학 박사학위를 취득하고 현재 에너지경제연구원 집단에너지연구팀에 재직 중이다. 기후변화와 에너지 정책 관련 전반적인 연구를 계량, 통계분석 및 에너지모형 등 다양한 방법론을 사용해 수행 중이다(tyjin@keei.re.kr).

**김종우**: 미시건주립대(Michigan State University) 농식품자원경제학과에서 박사학위를 취득하고 현재 에너지경제연구원 에너지수요관리연구팀 연구위원으로 재직 중이다. 주요 연구분야로는 에너지수요관리, RE100, 무탄소에너지(CFE), 지역에너지계획 등에 대한 정책연구가 있다(jwkim@keei.re.kr).

**김도원**: KAIST 산업및시스템공학 박사학위를 취득하고 현재 부산대학교 산업공학과에 재직 중이다. 추계적 모델, 시뮬레이션, 최적화 등 다양한 방법론을 사용하여 기후변화 및 에너지 정책과 관련된 정량적 분석을 수행하고 있다(dowon.kim@pusan.ac.kr).

투 고 일: 2023년 05월 15일
심 사 일: 2023년 05월 19일
게재확정일: 2023년 06월 26일