이슈페이퍼 24-17

전력시장 탄소중립에 요구되는 유연성 자원의 확보를 위한 공급지장비용(VoLL) 연구(2/3)

진태영·이태의

QR 코드를 스캔하여
보고서 전문을
확인하실 수 있습니다.

KEEi
에너지경제연구원

이슈페이퍼 24-17

전력시장 탄소중립에 요구되는 유연성 자원의 확보를 위한 공급지장비용(VoLL) 연구(2/3)

진태영·이태의

1 연구의 필요성 및 목적

□ 연구의 배경 및 필요성

○ 탄소중립 달성을 위해 전기화(electrification)와 변동성 재생에너지(variable renewable energy, VRE) 확대가 추진

- 최종에너지 소비형태를 전기화함과 동시에 전력을 재생에너지로 공급하여 에너지 부문의 탈탄소화를 목표

○ 전기화는 탄소중립의 주요 수단으로서 주목받고 있으나 최종에너지 소비를 전기화한다고 탄소중립을 달성할 수 있는 것은 아님.

- 전력망에 공급되는 전력의 탈탄소화가 선행될 필요가 있음. 장기적인 관점에서는 전력시장 탄소중립이 필요

- 전력시장 탄소중립은 간단히 말하면 전력을 생산하는 발전원들을 탄소중립 발전원으로 대체하는 과정을 통해 달성가능

- 기존의 화석연료 중심 발전원으로부터 VRE 및 무탄소 발전 등으로 전환

○ 변동성 재생에너지 확대에 따른 전력망의 영향 문제점이 대두됨.

- 전력이 실시간 수요-공급 균형이 필요함에 따라 수요에 따른 유연한 공급이 필요해지나 VRE의 경직성으로 인해 전력망의 유연성이 하락

- 전력망 내 공급이 초과될 경우 재생에너지를 출력제한하거나, 공급이 부족한 경우 비상 급전가능 발전원을 활용해야 하나 VRE가 확대되면서 해당 자원 구비가 부족해지는 상황

- 실시간 계통 대응력을 키우기 위해 실시간 및 보조서비스 시장 확대 필요

○ 전력계통운영 기관은 실시간으로 수급균형과 함께 전력 품질 안정성을 유지해야 할 책임이 있음.

- 그러나, 현재 전력시장의 가격 결정이 1시간 단위, 급전계획은 5분 단위로 이루어지기 때문에 해당 시간 간격 사이의 수급균형을 유지하기 위한 별도의 서비스 체계가 필요
- 이러한 별도의 서비스를 보조서비스라 부르며, 안정적 보조서비스 확보를 위해서는 적절한 보상체계를 구축하는 방안이 필요

○ 전력계통에 유연성을 부여할 수 있는 보조서비스를 통칭하는 유연성 자원(flexible resources)의 확대가 필수적임.

- 유연성 자원은 타 전력 공급원 대비 고비용인 서비스 자원이므로, 자원에 대한 가치를 전력시장의 실시간 전력 희소가치 기준에 맞게 판단해야 함.
- 유연성 자원의 가치를 판단하는 데 사용가능한 방법론이 공급지장비용(Value of Lost Load, VoLL)임.
- VoLL의 활용은 전력시장의 서비스 가치판단에 기여할 뿐 아니라, 공급지장비용을 활용해 송배전망 등 전력 인프라 투자기준 수립과 같은 장기적인 자원 적정성(resource adequacy) 확보에도 기여할 수 있음.

□ 연구 목적 및 방법

○ 본 연구의 목적은 국내 유연성 자원 가치 판단을 위한 기반마련의 일환으로, 가정 부문에 대한 공급지장비용(Value of Lost Load, VoLL)을 추정함.

- 가정부문의 VoLL 분석 기법으로는 설문을 활용한 효용이론 기반 추정법인 진술선호법과, 노동시장의 기회비용을 바탕으로 추정하는 여가비용 접근법이 사용됨.

- (진술선호법) 조건부가치측정법(Contingent Valuation Method, CVM)과 선택실험법(Choice Experiment, CE)이 VoLL의 추정 및 시나리오 다변화를 위한 방법론으로 선택됨.
- VoLL은 전력공급 지장에 대한 전력소비자의 예상 피해비용이 가장 직관적이며, 이는 전력계통의 공급신뢰도에 대한 가치라고도 해석됨.
- 이 VoLL은 정전발생 시간대, 정전발생 계절, 정전 지속시간, 정전 사전고지 여부 등에 따라 달라질 수 있으므로 여러 시나리오를 수립할 필요가 있음.
- CVM을 활용해 기준 시나리오에 대한 VoLL을 추정, CE를 활용해 VoLL에 영향을 미치는 요인들의 다변화 시나리오에 따른 VoLL을 추정

○ 선행연구 분석 결과 진술선호법과 여가비용 접근법은 가정부문의 VoLL 추정에 적합한 것으로 나타났으며, 각 방법론별로 관점이 다름.

- 진술선호법은 전력소비자가 전력을 소비재로서 인식할 때 전력공급 지장에 따른 예상 효용감소를 가치화해 표현함.
- 반면, 여가비용 접근법은 노동시장의 시간당 임금을 기준으로 판별하며 전력공급 지장으로 인해 발생하는 여가가치 손실을 추정함.
- 여가비용 접근법은 1차년도 제조업 부문의 생산측면 추정법과 동치되며, 이러한 지표 기반 방법론들은 VoLL의 벤치마크 지표로 활용가능함.

○ VoLL 추정치 제시 및 진술선호법과 여가비용접근법의 결과비교를 통해 시사점을 도출함.

2 연구내용 및 주요 분석 결과

□ CVM 분석 결과

○ 가정부문에 대한 CVM 및 CE 설문 결과 총 1,000개의 가정부문 응답 수집

- CVM 설문의 경우 지불의사액(Willingness to pay, WTP)과 수용의사액(Willingness to accept, WTA) 설문을 각각 500개씩 수령
- 모집단의 분포를 최대한 모사하기 위해 주택유형별, 지자체별 표본을 수집하기 위해 노력함.

○ CVM 및 CE 설문 외에도 기초통계량 자료를 함께 수집

- 수집한 주요 변수로는 응답자의 사회경제적 지표인 성별, 연령, 월 가구소득 외에도 월평균 전기사용량, 전기요금 구간, 주거형태, 정전 경험, 전기 다소비 계절, 필수전력 설비 보유 및 태양광 설치여부 등이 있음.
- 약 17.2%의 가구에서 정전을 1회 이상 경험했다고 보고함.
- 가정부문의 경우 제조업과는 달리 뚜렷한 계절성을 보임. 71.4%의 가구에서 여름에 전력소비가 편중되어 있다고 응답함.
- 비상발전 설비를 보유한 가구는 13.3%, 생명유지장치를 보유해 필수전력이 필요한 가구는 3.6%로 조사됨.

○ CV 설문에 앞서 정전 피해에 대한 응답자의 인식을 환기시키기 위해 정전 피해를 일곱 가지로 구분하고 중요도 평가를 실시함.

- 전자장비 손상, 단수, 조명 사용 불가 등의 문항으로 구성되어 있으며, 대부분 1~5점의 점수 척도에서 4점 이상의 중요도를 가지는 것으로 나타남.
- 가장 중요도가 떨어지는 불편함은 조명 사용 불가 및 휴대폰 충전 불가이며,

가장 중요하다고 보고된 사항은 취사도구 사용 불가임.

- 이러한 중요도 평가는 가정부문의 전력소비자들의 주요 전기사용기기에 대한 인식을 나타냄.

○ CVM 분석 방법론으로는 초기 WTP와 WTA를 제시하고 '예-아니오' 선택에 다음 응답을 질문하는 이중경계 양분선택형(Double- bounded dichotomous choice, DBDC)과 직접질문법을 혼합하여 사용

- DBDC 모형을 활용한 통계분석 시 WTP와 WTA 모두 500개 이상의 관측치가 있어 통계분석에 무리가 없으나 세부 항목별(e.g. 소득구간별) VoLL 추정에 있어서는 관측치가 부족하기 때문에 직접질문법을 결합함.
- 통상 WTP 설문과 마찬가지로 화폐단위로 질문할 경우 응답자가 VoLL에 대한 이해도가 떨어질 우려가 있어 본 연구에서는 가장 익숙한 형태인 월 전기요금의 추가 지불의사비율(%)을 질문함.

○ 설문 결과 WTP와 WTA 모두 적정 비중의 응답률을 가진 CV 표본을 도출했으며, WTP의 경우 33.6%의, WTA의 경우 3.4%의 지불저항자 및 보상수용 거부 응답률을 보임.

- 통계분석은 일관성을 가지고 추정되었으며, 가정부문의 평균 WTP 및 WTA는 각각 8.16%, 18.08%로 도출됨.
- 즉, 가정부문에서는 최악의 시간에 발생하는 1시간의 정전 방지를 위해 월평균 8.16% 및 18.08%의 추가 지불 혹은 수용의사가 있음을 알 수 있음.
- 변수에 따른 추정 결과를 살피기 위해 공변량(covariate)을 모형에 포함한 결과 세 가지 변수가 WTP 채택률에 영향을 미치는 것으로 나타남.
- 첫째로, 필수전력 설비가 있는 가구일수록 WTP와 WTA가 높은 경향성을 보임. 이 가구는 비상발전기를 보유한 가구이거나 생명유지장치 등 필수전력

구비가 필요한 가구를 의미함.

- 둘째로, 주택용 태양광을 보유한 가구일수록 WTP가 높아지는 경향을 보임.
- 마지막으로, 전기요금체계를 인지하고 있거나, 대기전력에 대한 지식 혹은 전기장비 구매 시 전압확인 등 전반적 소비자의 전력 인지수준이 높을수록 WTP가 높은 것으로 나타남.
- 예상 외로 정전 경험, 전력 주사용 계절, 교육수준, 월 소득수준 및 전기요금 수준은 통계적으로 유의한 영향이 없는 것으로 나타남.

○ 지불저항자와 보상수용 거부자의 이유를 살펴본 결과 아래와 같은 경향성이 나타남.

- (지불저항자) 지불저항자는 이미 충분한 전기요금을 내고 있다고 판단하거나, 추가 지불의사액이 전력 공급 신뢰도를 개선하기 위해 사용될 것이라는 점에 불신을 가지고 있음.
- (보상수용 거부) 보상수용 거부의 경우 피해보상에 따라 오를 수 있는 전기요금 상승이 우려되는 경우가 많음.

□ CE 분석 결과

○ VoLL의 시나리오 작성에 있어 주요 요인으로 선정된 정전 지속시간, 정전발생 계절, 정전발생 시간대, 정전 예고여부를 가정하고 혼합로짓 모형으로 한계지불의사액(MWTP)을 추정함.

- 분석 결과 정전 지속시간 1시간 증가를 막기 위해 2.53%, 여름 정전발생을 막기 위해 4.29%, 일과외 시간 중 정전발생을 막기 위해 6.01%, 갑작스런 정전을 피하기 위해 2.58% 추가 지불용의가 있는 것으로 나타남.
- 제조업 대비 전반적으로 시나리오별 WTP 규모가 상향되었으며, 제조업 부문에서는 정전 예고여부가 VoLL에 있어 가장 큰 영향요인으로 지목된 반면

가정부문에서는 정전발생의 시간대와 정전발생 계절 등 발생 시점에 대한 효용격차가 큰 것으로 나타남.

○ VoLL의 네 가지 영향요인(정전 지속시간, 정전발생 계절, 정전발생 시간대, 정전 예고여부)에 따라 기준 시나리오(CVM 결과)를 제외하고 총 여덟 가지 시나리오에 대한 WTP 변화를 추정

- (최댓값) 예고없는 정전, 일과 외 시간 중 여름 8시간 정전이 발생할 경우를 방지하기 위한 WTP는 약 26.6%로 추정
- (최솟값) 정전이 예고된 경우, 일과중일 경우 정전 지속시간 1시간, 그리고 계절과는 관계없이 WTP는 0인 것으로 나타남.

○ 정전방지를 위한 WTP(%)와 전기요금 단가(원/kWh), 월 전기사용시간을 활용해 WTP(%)를 VoLL(원/kWh)로 환산할 수 있음.

- 가정부문 전반의 WTP는 약 3,564원/kWh으로 도출
- WTA의 경우 약 2.2배인 7,896원/kWh으로 도출됨.
- 직접질문법 분석 결과 WTP는 월 전기요금 지불수준보다는 가구 소득수준에 따라 차등화되는 것으로 도출

□ 여가비용 접근법 결과

○ 여가비용 접근법을 활용한 VoLL 추정을 위해 우리나라 근로자와 비근로자에 대한 시간사용 패턴을 확인하였음.

- 본 연구에서는 제17차 노동패널조사 자료를 활용해 우리나라 노동자 표본에 대한 24시간 동안의 시간활용 분포를 확보
- 시간활용 분포 확인 결과 근로자의 경우 하루에 약 3.50시간, 비근로자의 경우 하루에 약 6.49시간의 여가시간이 도출됨.

○ 근로자와 비근로자의 일간 여가시간을 가정하고 시간당 임금 자료를 활용하면 연간 전력소비량 대비 손실 여가가치로 판별되는 여가비용 기반 VoLL이 도출됨.

- 여가비용 기반 VoLL 추정 결과 7,473원/kWh이 도출되었으며, 여가시간을 잠재 여가시간까지 확장할 경우 연간 손실여가시간이 증가해 약 8,857원/kWh까지 VoLL이 증가함.

○ 여가비용 접근법을 활용한 VoLL은 가정부문 시간대별 전력부하 자료를 활용해 시간가변(time-varying) VoLL 자료를 작성할 수 있음.

- 시간대별 VoLL을 산정한 결과 VoLL은 계절 간 차이보다 하루 중 시간대별 편차가 더욱 뚜렷한 것으로 나타남.

3 결론 및 정책제언

□ 결론

○ 전력시장 탄소중립을 위해서는 재생에너지 증가에 따라 발생하는 전력망의 경직성을 해소하기 위해 유연성 자원(flexible resource)의 구비가 필요

- (전력 도매시장) 유연성 자원의 보상체계 구축 기반으로 VoLL이 사용됨.
- (자원 적정성) VoLL은 장기적으로는 자원 적정성을 확보하기 위해 유틸리티의 전력 인프라 설비투자 유인으로서 작용하기도 함.

○ 가정부문을 대상으로 높은 수준의 VoLL이 도출됨.

- (진술선호) 시나리오에 따라 0 ~ 11,617원/kWh 범위
- (여가비용) 여가의 전력 의존도 비율에 따라 1,495 ~ 14,946원/kWh 범위
- (제조업) 진술선호법의 경우 132.3 ~ 544.4원/kWh, 생산측면 추정법의 경우 1,673 ~ 4,512원/kWh 범위

- 가정부문의 여가비용 기반 VoLL 최댓값이 근로자의 시간당 임금을 반영하여 과대추정되어 있을 가능성이 높음.
- 가정부문의 기준 VoLL 수치는 3,564 ~ 7,473원/kWh의 범위를 가지나 하한에 가까울 것임.

○ 1차년도 연구에서 제조업을 대상으로 수행한 CVM으로부터의 시사점을 연구에 적용한 결과 신뢰할 만한 수준의 VoLL이 도출

- 제조업을 대상으로 한 VoLL 설문은 무조건 대면설문을 원칙으로 할 필요가 있음. 제조업체별 재무담당자와 설비담당자의 지식이 함께 필요하기 때문
- 제조업 대상 VoLL에서는 지불저항자의 지불저항 이유를 묻고 지불거부 의사를 재확인하는 절차가 이루어지지 않았으나 본 연구에서는 시도되었음.
- 그 결과 지불저항자 비중이 제조업 대비 상당히 낮아졌으며, 정전 예상피해를 응답자에게 인식시킨 점도 중요한 역할을 수행한 것으로 판단됨.

□ 정책제언

○ VoLL을 추정하기 위한 설문 방법론적 측면이 보완되었으므로, 이를 기반으로 재추정하고 추정 가이드라인을 확립할 필요

- 특히, 제조업의 VoLL 재추정은 필수적으로 추진될 필요
- 향후에는 기준 VoLL 수치를 도출하기 위해 우리나라 상황에 맞는 레퍼런스 수치를 작성하고, 진술선호법 기반 VoLL 추정에서 이를 도달하기 위한 정책적 수단을 발굴할 필요
- VoLL을 활용한 전력시장 유연성 자원의 도입은 필연적으로 전력공급 단위비용 증가 및 전기요금 상승을 수반하는데, 이에 대한 사회적 수용성을 CVM을 통해 주기적으로 모니터링할 수 있음.

○ 레퍼런스 수치에 있어서는 국가별 메타분석 혹은 국가별 일정 기준에 따른 VoLL 비교를 통한 일종의 현시선호 접근법을 활용가능

- 국가별 전력공급 신뢰도와 VoLL 수준에 따른 추세분석, 혹은 전력공급 신뢰도 및 국가 경제지표를 활용한 VoLL 종합지표를 생성하는 것도 한 방안임.

○ 현재 수준의 VoLL로는 장기적 자원적정성 확보가 어려운 것으로 나타남.

- VoLL은 유연성 자원 보상체계 뿐 아니라 자원적정성 확보를 위한 기준으로도 작용하기 때문임. 향후 전력시장 발달에 따라 중요성이 더욱 확대될 전망

□ 향후 계획

○ 상업 및 공공부문에 대한 VoLL을 추정하여 국가 전체의 VoLL을 종합할 필요가 있음.

- 3차년도에서는 상업 및 공공부문에 대한 VoLL을 추정하여 종합할 계획임.
- 또한, CVM의 추정체계가 보완된 측면이 있으므로 이를 반영하여 제조업을 대상으로 재추정할 필요가 있음.
- 3차년도의 상업 및 공공부문은 생산측면 추정법을 적용할 수 있으나, 대표적 고부가가치 부문이라는 특성상 VoLL이 과대평가될 수 있으므로 생산측면 추정법을 고도화시켜 접근할 계획임.