

소규모 에너지 프로슈머를 위한 Pool 거래 기반 전력소매시장에 관한 연구

A Study on the Retail Electricity Market Based on the Local Pool for Small Energy Prosumers

손은태* · 곽형근** · 김성열*** · 김동민†
(Eun-Tae Son · Hyung-Geun Kwag · Sung-Yul Kim · Dong-Min Kim)

Abstract - This paper presents a structure of the retail electricity market based on the local pool with LDERP(Local Distributed Energy Resource Provider) for small energy prosumers. LDERP is an operator for the proposed market, which conducts performance measurement and settlement by the distribution plan determined through contract with participants. The trading process is designed similarly to the negawatt market. In the case study, the many-sided conditions of the proposed market are comparatively analyzed with the existing prosumer programs. The results demonstrate the effectiveness of the proposed framework in determining the purpose of market operating for the benefit of participants according to the various situations.

Key Words : Energy prosumer, LDERP(Local Distributed Energy Resource Provider), REC(Renewable Energy Certification), DR(Demand Response), Microgrid

1. 서 론

최근 정보통신 기술의 발달과 신 기후체제 대응을 위한 신재생 발전의 확대정책으로 에너지산업의 패러다임이 변화하고 있다.[1] 이에 따라 전력의 생산과 소비를 모두 수행하는 에너지 프로슈머(energy prosumer)의 개념이 포함된 다양한 형태의 전력거래시장이 출현하고 있으며, 이는 분산자원 및 지능형 전력망 등을 통해 전력을 자체 생산하고 효율적으로 소비하는 마이크로그리드(microgrid)의 확산과도 깊이 연관되어 있다.[2,3] 이러한 취지로 아파트단지, 빌딩 등에서 태양광설비와 같은 소규모 신재생 분산전원을 통해 생산된 프로슈머의 잉여전력을 거래하기 위해, 한국전력공사에서는 PPA(Power Purchase Agreement), 상계거래 및 P2P(peer to peer) 방식의 프로그램들을 개설하였으며, 전력거래소는 소규모전력중개시장의 시범사업을 추진하고 있다.[4,5] 이러한 국내 에너지 프로슈머 관련 사업들은 목적에 따라 상이한 형태의 세부 프로그램들이 실증을 통해 단계적으로 추

진되고 있지만 아직 그 효과가 미진하여 확산을 위한 개선 방안이 필요한 시점이다.

이와 관련하여 선행연구에서는 프로슈머 간 에너지 공유 모델을 설계하여 수요자원시장에 참여하는 방법을 제안하였고,[6] NYISO(New York Independent System Operator)는 기존 수요반응(DR, Demand Response) 프로그램에 분산전원이 가변출력 제어를 통해 활용될 것으로 전망하여, 이를 기반으로 관련 시장을 개설하기 위해 수요 및 분산자원의 통합운영 메커니즘을 개발하고 있다.[7] 하지만 이들은 잉여전력을 DR프로그램 참여를 위한 자원으로만 제한하고 있으며, 특히 [7]의 경우 태양광설비와 같은 간헐적 특성을 갖는 분산전원을 보유한 프로슈머의 참여가 어렵다.

프로슈머의 잉여전력은 사용처가 불분명하고, 동일 배전망 내에서 소비되는 것이 효율적이다. 따라서 프로슈머 전력거래 모델은 이러한 특성을 고려하면서 판매자와 구매자 간 합리적인 거래과정을 설계하는 것이 매우 중요하다. 이러한 취지에서 상호거래의 협상력 제고를 위해 프로슈머의 그룹화 방법 및 영향력 있는 프로슈머를 평가하는 방법이 연구되었다.[8] 하지만 이는 소규모 잉여전력을 생산하는 프로슈머의 시장참여를 적극 유도하기에는 취약한 구조이다. 소규모 프로슈머는 상대적으로 거래협상력이 제한적이며, 별도의 관리자를 통한 시장 모델이 필요하다. 이는 부하관리사업자 또는 LA(Load Aggregator)를 통해 거래되는 수요자원시장과 CAISO(California Independent System Operator)가 운영하는 DERP(Distributed Energy Resource Provider) 중심의 분산자원 중개시장[9]을 통해 그 효용성을 확

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Dongshin University, Korea.
E-mail: dmkim@dsu.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Dongshin University, Korea.

** Power Economics Research Office, Korea Power Exchange, Korea.

***Dept. of Electrical Energy Engineering, Keimyung University, Korea.

Received: November 17, 2017; Accepted: January 11, 2018

인할 수 있다.

본 논문에서는 소규모 프로슈머의 시장참여 확대를 위해 현존하는 국내 프로슈머 전력거래 프로그램들의 특징을 고찰하고, Pool 거래 기반의 프로슈머 전력소매시장 모델을 설계한다. 제안하는 모델은 배전망 단위의 소규모 Pool을 통해 소매시장 운영이 가능하도록 LDERP(Local DERP) 중심의 거래절차를 구성하였다. 사례연구에서는 다양한 조건에서 LDERP를 비롯한 참여자들의 편의 변화를 분석하고, 이를 기반으로 현행 프로그램과 비교를 수행하여 제안한 모델의 효용성을 확인한다.

2. 국내 프로슈머 전력거래 프로그램 고찰

본 절에서는 합리적인 구조 및 절차에 따라 잉여전력 거래가 가능한 시장을 설계하기 위해, 현행 프로슈머 전력거래 프로그램 [4,5]의 특징을 표 1과 같이 요약하고, 각 프로그램의 의의와 취약점을 분석한다.

표 1 국내 프로슈머 전력거래 프로그램 요약

Table 1 Summary of prosumer programs in Korea

운영자	한국전력공사 (Utility)			전력거래소 (ISO)
	①	②	③	④
거래형태	PPA거래 (자가용)	상계거래	P2P거래	중개거래
대상	프로슈머 (전력판매)	프로슈머 (전력판매)	프로슈머 (전력판매) 인근수용가 (전력구매)	프로슈머 (전력판매) 중개업자 (전력매집)
등록조건 [kW]	1,000 이하	10이하(단, 태양광은 1,000이하)	태양광 1000이하(단, 발전사업자 제외)	미정 (소규모전력)
정산금	월 가중 SMP	전기요금과 상계	미정	미정 (REC활용 예정)
지급방법	현금지급	전기요금 정산	전기요금 정산	미정
비고	운영중	운영중	실증단계	시범운영

현행 국내 프로슈머 전력거래 프로그램은 한국전력공사와 전력거래소에서 다양한 거래 형태를 도입함으로써 프로슈머의 개념을 구체화하고 있다.

① 자가용 PPA 거래의 경우 프로슈머는 Utility와 구매계약을 통해 월 가중 계통한계가격(SMP, System Marginal Price)으로 정산 받는다. 이는 가중 정산에도 불구하고 다른 프로그램보다 정산단가가 낮고, 소규모 잉여전력의 경우 REC(Renewable Energy Certification) 참여용량 제한으로 인해 프로슈머의 REC 거래가 용이하지 않다. ② 상계거래의 경우 프로슈머의 당월 전

기요금을 잉여전력량만큼 상계하며, 이월이 가능하다. 이는 누진 제도를 적용받는 수용가의 요금 절감에 효과적이다. 그러나 전력 소비량 대비 과다용량의 분산자원이 설치된 경우, 현금정산이 불가하여 계속된 잉여전력량 누적의 우려가 있다.[10] ③ P2P거래의 경우 프로슈머는 Utility의 매칭을 통해 누진제도를 기반으로 인근 수용가와 직접 잉여전력을 거래한다. 잉여전력량이 높은 프로슈머는 여러 번의 매칭과정을 통해 적정소비 규모의 수용가를 찾는 과정이 필요하여, 전력소비 요금이 판매 정산금보다 낮은 프로슈머는 P2P거래 참여가 제한적이다. ④ 중개거래의 경우 프로슈머의 잉여전력을 매집하는 중개업자를 통해 ‘도매시장’에 참여하는 구조이며, 프로슈머 자원의 관리가 용이하다. 하지만 이는 CAISO의 분산자원 중개시장과 유사하게 프로슈머의 ‘전력생산’ 측면 기능에만 의미를 부여한 구조로, 이웃 간 거래를 통해 프로슈머와 전력소비자 모두에게 도움이 되는 ‘국민 참여 형 모델’로 확산하기에는 제한적이다.

3. 소규모 Pool 거래 기반 프로슈머 전력소매 시장 모델

본 절에서는 앞서 고찰한 각 프로그램의 취약점을 개선하기 위해 소규모 Pool 거래 기반 프로슈머 전력소매 시장의 모델을 그림 1과 같이 제안한다.

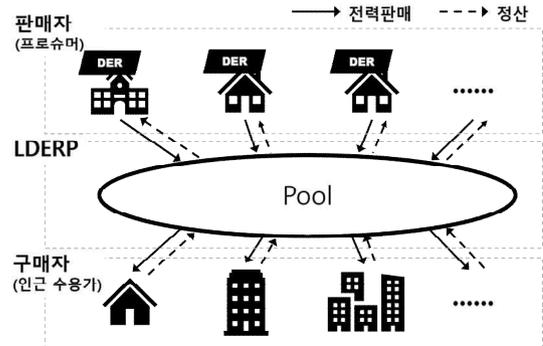


그림 1 Pool 거래 기반 전력소매시장 모델

Fig. 1 Model of retail electricity market based on the local pool

제안한 모델은 소규모 Pool을 이용해 공동주택단지, 주상복합 건물과 같은 동일배전망 내에서 상호 거래가 가능하도록 설계하였고, 이를 관리하기 위한 LDERP를 통해 소규모 전력거래의 용이성을 확보하였다. 또한 시장에 참여하는 프로슈머를 ‘판매자’로 설정하고, 인근에서 전력을 소비하는 수용가를 ‘구매자’로 설정하여 제안하는 모델의 운영 구조 및 절차를 설계하였다.

3.1 운영 구조 및 거래 절차

제안한 전력소매시장의 소규모 Pool은 그림 2의 운영 구조를 갖는다.

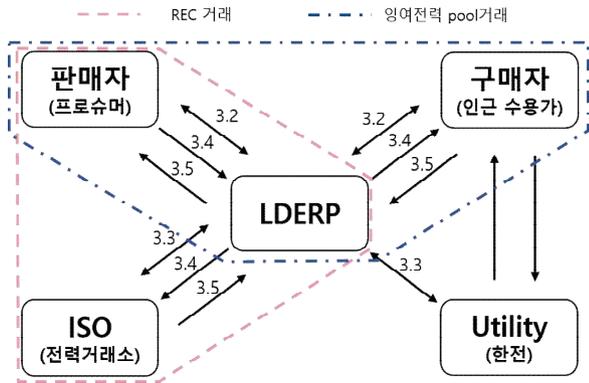


그림 2 제안하는 모델의 운영 구조
 Fig. 2 Operating structure of the proposed model

그림 2는 LDERP가 자원 매집과정을 통해 프로슈머의 '잉여전력'뿐만 아니라 'REC'의 거래를 대행하는 것이 가능함을 보여준다. 제안하는 LDERP 중심의 시장구조는 프로슈머의 REC거래 시장 참여절차를 간소화할 수 있으며, 이를 통해 ISO의 단위 REC 거래 제한(1REC는 1MWh 기준)에 대응할 수 있다.

이러한 과정은 LDERP가 참여자의 매집 및 자원의 중개 역할을 수행하는 점에서 부하관리사업자를 활용한 국내 수요자원 시장과 유사한 구조를 갖는다. 또한 향후 통합 운영을 고려하면 제안시장의 거래절차는 현행 수요자원시장의 구조를 활용하여 설계하는 것이 가능하다.[11] 따라서 제안시장은 소규모 Pool을 운영하는 LDERP를 중심으로 표 2와 같이 거래 절차를 구성할 수 있다.

표 2 LDERP 소매시장의 거래 절차
 Table 2 Trading process in the retail market with LDERP

거래절차	참여자	거래자원
3.2 계약	LDERP↔판매자	전력
	LDERP↔구매자	REC
3.3 승인요청 및 결정	LDERP↔Utility	전력
	LDERP↔ISO	REC
3.4 성과측정	판매자→LDERP→구매자	전력
	판매자→LDERP→ISO	REC
3.5 정산	구매자→LDERP→판매자	전력
	ISO→LDERP→판매자	REC

표 2에서 LDERP는 참여자원을 매집하여 계약을 체결하고 이에 대한 운영 승인을 Utility와 ISO에게 요청한다. LDERP는 Pool로 유입되고 인근에서 소비된 잉여전력과 매집된 REC 성과를 측정하여 참여자들과 정산을 수행한다.

제안시장은 이월을 통한 잉여전력의 지속적인 누적을 방지하기 위해 매집된 잉여전력을 매월 정산하도록 설정하며, 복잡한 판매자와 구매자 간 매집과정을 Pool 특성을 반영한 분배방안으로

로 적용하여 운영을 간소화하였다. 또한 모든 프로슈머가 Pool을 통해 거래를 수행하므로 P2P 거래에서 취약점으로 대두되는 협상력 문제 해결이 가능하다.

3.2 계약

일반적으로 Pool거래 시장은 입찰을 기반으로 운영되고 있다. 그러나 소규모 자원의 입찰 기반 시장 참여가 노력대비 참여자의 편익이 미비할 것으로 판단하여, 본 논문에서는 요금제 계약 기반의 Pool 거래 시장 운영 방안을 논의한다. 또한 분산전원의 발전량이 상대적으로 작은 소규모 수용가의 적극적인 시장 참여를 유도하기 위해 참여자를 아파트 단지를 비롯한 주택용 요금제를 적용받는 수용가로 한정하여 검토한다. 제안하는 전력소매시장에 참여하고자 하는 프로슈머(판매자)와 인근 수용가(구매자)는 LDERP와 다음의 사항들을 검토하고 합의하여 계약을 체결한다.

3.2.1 사전 검토 사항

LDERP는 제안시장에 참여하고자 하는 자원을 대상으로 사전에 판매자의 계량기 설치 위치 및 참여자의 동일 배전망 여부 등에 대한 물리적인 검토를 수행해야한다.

현행 수요자원시장은 고객기준부하(CBL, Customer Baseline Load)를 기준으로 부하자원 감축량을 계측하기 위해 계량기 설치 위치를 사전 검토한다. 이와 유사하게 LDERP는 판매자의 잉여전력 측정을 위해 그림 3의 (a),(b)와 같이 계량기를 설치하는 것을 판매자에게 필요조건으로 명기한다. 반면 구매자는 Pool으로부터 잉여전력을 분배받으므로 별도의 계량기 설치 없이 계약진행이 가능하다.

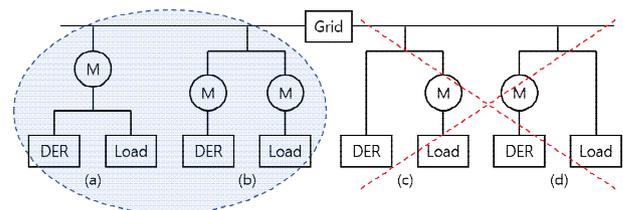


그림 3 프로슈머(판매자)의 계량기 설치 위치 검토
 Fig. 3 Location of meters for prosumers

3.2.2 LDERP와 판매자간 계약

LDERP는 매집된 판매자의 잉여전력 분배방안 및 REC 거래방법에 관해 판매자와 사전에 협의하고, 구매자 및 ISO로부터 정산된 요금을 판매자와 정산하는 방법에 대한 계약을 체결한다. 여기서 잉여전력 분배방안은 해당 Pool의 상황에 따라 표 3과 같이 다양하게 설정할 수 있다.

표 3에서 설정한 첫 번째 방법은 시장 도입 초기에 판매자 수익확보를 우선하여 설정한 분배방안이고, 두 번째는 제안시장의 잉여전력이 과다할 경우 구매자의 유인을 위해 구매자의 편익을 확보하기 위한 분배방안이며, 세 번째 방법은 구매자가 전체 입주

표 3 잉여전력 분배 예시

Table 3 Example of prosumer's power distribution

구분	분배방안 예시
①	판매자 수익 발생이 높은 구매자 순 분배방안
②	구매자 편익 발생이 높은 구매자 순 분배방안
③	잉여전력의 균등분배방안

민의 동의에 의해 계약된 공동주택 형 수용가일 경우를 상정한 분배방안이다. 이는 향후 시장이 활성화되어 참여자가 다양해지는 시점에는 가중치를 활용하거나 우선순위를 적용하는 등 다양한 방법을 개발하여 개별 LDERP의 사업 전략으로 활용될 수 있다.

한편 REC 정산 단가(REC, REC Tariff)는 LDERP가 판매자 매집을 통해 시장 참여를 대행하므로 현행 ISO의 기준을 활용할 수 있다.

3.2.3 LDERP와 구매자간 계약

제안시장에서 LDERP의 전력량요금제(LDT, LDERP Tariff)는 인근 수용가의 참여유도를 위해 구매자의 편익이 가능한 구조로 설계되어야 한다. LDT를 단일요금제로 설정할 경우 높은 누진요금을 Utility에게 지불해야하는 수용가에게는 편익 제공이 가능하나, 낮은 누진요금에 해당하는 수용가에게는 편익 제공이 불가하다. 따라서 LDT의 구조는 현행 Utility의 주택용 요금제[12]와 동일한 구조로 식(1)과 같이 설정한다.

$$LDT = \begin{cases} LDT_1 & P_i^{LD} \leq 200 \\ LDT_2 & 201 \leq P_i^{LD} \leq 400 \\ LDT_3 & 400 < P_i^{LD} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 P_i^{LD} 는 i 번째 구매자의 LDERP로부터 분배된 월간 구매전력량이고, LDT_1 , LDT_2 , LDT_3 는 각 누진구간의 적용 요금을 나타낸다. LDERP는 해당 Pool에 적절한 LDT를 산정하여 인근 수용가에게 제시하고 구매자를 매집한다.

3.3 승인요청 및 결정

LDERP가 매집한 자원은 Utility의 배전망을 이용하여 잉여전력이 거래되고, ISO의 REC거래 시장에 판매된다. 따라서 제안시장의 LDERP는 참여자와 기 계약된 정보를 기반으로 Utility와 ISO에게 시장 운영 승인을 요청한다. 제공된 정보를 검토한 Utility는 참여자 간 잉여전력 거래를 승인하고, ISO는 REC거래 시장의 참여 여부를 결정한다.

3.4 성과측정

본 절에서는 그림 2의 운영구조와 표 2의 거래절차를 기준으로 전력거래량 및 REC 거래량 측정과정을 기술한다.

3.4.1 전력거래량 측정

제안시장의 구매자는 Pool에 매집된 판매자의 잉여전력을 분배받으므로 식 (2)의 제약조건을 갖는다.

$$\sum_i P_i^{LD} = \sum_k P_k^{Pro} \quad (2)$$

여기서 P_k^{Pro} 는 k 번째 프로슈머의 판매 전력량이며, 이는 앞서 기술한바와 같이 시장참여를 위해 사전에 설치된 계량기를 통해 실측한다. 인근 수용가의 구매 전력량은 LDERP로부터 분배된 전력량(P_i^{LD})과 Utility로부터 구매한 전력량(P_i^{Util})으로 구분하여 산정하며 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_i = P_i^{LD} + P_i^{Util} \quad (3)$$

여기서, P_i 는 일반 계량기에서 실측되는 i 번째 수용가의 월간 총 전력소비량, P_i^{Util} 는 P_i 와 분배된 P_i^{LD} 에 의해 산정된 Utility로부터 구매한 전력량을 나타낸다.

3.4.2 REC 거래량 측정

현행 REC 거래 시장은 신재생에너지원 발전량을 기준으로 분산자원의 종류에 따라 가중치를 적용한 REC를 계산한다.[13] 본 논문에서는 매월 시장에 참여하는 참여자의 변동을 고려하여 월 단위 거래성과를 측정하며, REC거래성과는 실제 잉여전력 판매가 이루어진 전력량에 비례하여 식(4)와 같이 적용한다.

$$REC_k^{Pro} = P_k^{Pro} \times \omega_j \quad (4)$$

여기서 REC_k^{Pro} 는 k 번째 판매자가 REC 매집에 참여한 거래량이며, ω_j 는 분산자원 j 의 REC 거래 가중치를 의미한다. 이때 제안시장의 REC거래는 현행 REC거래 시장의 분산자원 종류에 따른 가중치와 동일 ω_j 를 적용한다.

3.5 정산

LDERP는 Pool을 통해 각 구매자에게 분배한 전력량에 대한 요금을 청구하고 이를 판매자에게 분배하며, 매집된 REC에 대한 요금을 ISO에게 정산 받아 프로슈머에게 분배한다.

3.5.1 LDERP의 구매자 정산

LDERP가 개별 구매자에게 청구하는 요금은 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

$$C_i^{LD}(P) = P_i^{LD} \times LDT \quad (5)$$

여기서 $C_i^{LD}(P)$ 는 LDERP가 i 번째 구매자에게 청구하는 요금이며, LDERP로부터 분배된 전력량(P_i^{LD})에 LDERP의 요금제

(LDT)를 적용하여 청구한다.

3.5.2 LDERP의 판매자 정산

LDERP는 구매자로부터 징수된 전력량 요금($\sum_i C_i^{LD}(P)$)을 식(6)과 같이 해당 판매자의 잉여전력량에 비례하여 $C_k^{Pro}(P)$ 으로 정산한다.

$$C_k^{Pro}(P) = \sum_i C_i^{LD}(P) \times \frac{P_k^{Pro}}{\sum_k P_k^{Pro}} \times (1 - FR) \quad (6)$$

여기서 FR 은 LDERP의 중개수수료이다.

또한 LDERP는 식(7)과 같이 ISO로부터 REC거래량 정산을 수행한 후, 식(8)을 통해 해당 판매자에게 $C_k^{Pro}(R)$ 으로 정산한다.

$$C^{LD}(R) = \sum_k REC_k^{Pro} \times RECT \quad (7)$$

$$C_k^{Pro}(R) = C^{LD}(R) \times \frac{REC_k^{Pro}}{\sum_k REC_k^{Pro}} \times (1 - FR) \quad (8)$$

여기서 $C^{LD}(R)$ 은 LDERP가 매집한 총 REC를 $RECT$ 로 정산 받은 금액을 의미하고, 식(6)과 동일한 원리로 해당 판매자의 REC거래량에 비례하여 $C_k^{Pro}(R)$ 로 정산한다.

4. 사례연구

사례연구에서는 본 논문에서 제시한 모델의 효용성을 확인하기 위해, 다양한 판매자 잉여전력량(P_k^{Pro})과 구매자 전력소비량(P_i)에 대해 LDERP 소매시장의 모의 정산결과를 고찰하고, 동일한 조건에서 현행 프로그램과의 비교분석을 수행한다.

4.1 모의조건

제안하는 모델의 계약 시 LDERP가 고려할 사항들과, 앞서 고찰한 현행 프로그램들의 모의조건은 다음과 같이 설정한다.

- Utility요금제(UT) : 한국전력공사 요금제 활용[12]
- LDERP 소매시장
 - 대상 : 동일 배전망의 주택용 수용가 150세대
 - 판매자 : 태양광 설비(3kW, 6kW) 보유 프로슈머
 - 구매자 : 프로슈머 인근 수용가
 - 참여자 규모
 - 판매자 : 30~70 가구, 구매자 : 100 가구
 - 전력량 요금제(LDT) : UT의 전력량요금 활용
 - 잉여전력 분배방안 : 표 3 활용
 - REC정산단가(RECT) : 현행 국내 기준 활용 [14]
 - LDERP 수수료(FR) : 10%
- ① PPA거래: 2016년 월 가중 SMP 활용[14]

- ② 상계거래: 현행 프로그램의 운영메커니즘 활용
- ③ P2P거래: LDERP 시장의 프로슈머 정산단가 활용
- ④ 중계거래: LDERP 시장의 프로슈머 정산단가 활용

표 4 계절별 특성을 고려한 모의조건

Table 4 Simulation conditions considering the seasonal characteristic

구분 코드	전체 판매자의 잉여전력량 [kWh]	잉여전력 분배방안 (표 3)	전체 구매자의 전력소비량 [kWh]	계절별 특성	시장 규모
A-1	5,901	①	23,828	겨울 (1월)	0.25
A-2		②			
A-3		③			
B-1	6,846	①	20,220	봄 (5월)	0.34
B-2		②			
B-3		③			
C-1	7,180	①	28,564	여름 (8월)	0.25
C-2		②			
C-3		③			
D-1	6,225	①	20,157	가을 (10월)	0.31
D-2		②			
D-3		③			

표 5 프로슈머(판매량) 증가를 고려한 모의조건

Table 5 Simulation conditions considering the expansion of prosumers

구분 코드	판매자 수	전체 판매자의 잉여전력량 [kWh]	잉여전력 분배방안 (표 3)	전체 구매자의 전력소비량 [kWh]	시장 규모
E-1	45	10,110	①	20,220 (5월 기준)	0.5
E-2			②		
E-3			③		
F-1	53	12,132	①	20,220 (5월 기준)	0.6
F-2			②		
F-3			③		
G-1	62	14,154	①	20,220 (5월 기준)	0.7
G-2			②		
G-3			③		
H-1	70	16,176	①	20,220 (5월 기준)	0.8
H-2			②		
H-3			③		

표 4에서는 계절별 비교를 위해 1, 5, 8, 10월을 대표 값으로 가정하고, 프로슈머(판매자)의 생산 전력량 및 인근 수용가(구매자)의 전력소비량을 설정하였다.[14,15] 여기서 시장규모는 구매자의 총 전력소비량 중 판매자의 잉여전력량이 차지하는 비율이며 LDERP를 통한 전력거래의 규모를 의미한다. 또한 표 5와 같이 향후 프로슈머 증가로 인한 판매자의 잉여전력량 확대에 관한 분석을 위해 시장규모에 따른 모의조건을 추가 구성하였다.

4.2 모의 결과

4.2.1 제안시장의 참여자 편익 분석

모의조건을 통해 산정한 판매자의 총 수익과 구매자의 총 편익은 그림 4와 같다.

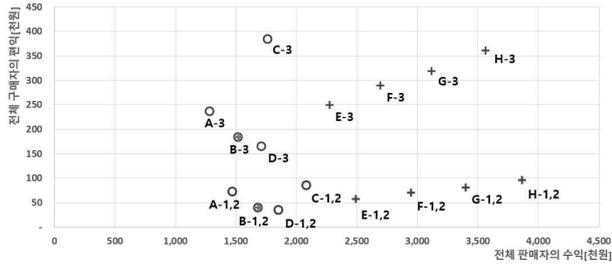


그림 4 LDERP 시장의 참여자 편익 분석

Fig. 4 Benefit analysis of participants based on LDERP market

그림 4는 주택용 요금제 기반 계약(LDT)의 거래 결과이므로 누진구간이 높은 구매자에게 잉여전력을 분배되는 것이 판매자 수익, 구매자 편익 모두 높은 결과를 보이며, 결국 모든 경우에서 ①, ② 분배방안은 동일한 값을 갖는다. 반면 ③ 분배방안은 모든 경우에서 ①, ② 분배방안보다 구매자에게 높은 편익을 제공하지만 판매자의 수익은 감소하는 결과를 초래한다. 이는 ③의 경우 잉여전력이 모든 구매자에게 균등하게 분배되기 때문에 LDT의 낮은 누진구간에 해당하는 구매자에 대한 비율이 상대적으로 커지고 징수되는 요금 줄어들어, 판매자의 총 수익을 감소하는 원인이 되기 때문이다.

표 4의 모의 결과는 모든 분배방안에서 판매자의 총 수익의 크기가 C>D>B>A 순으로 나타난다. 이는 판매자의 잉여전력량은 C>B>D>A 순이지만 현행 REC거래의 정산단가가 C(8월)과 D(10

월)에 상대적으로 높기 때문이다. 한편 구매자 편익은 C>A>B>D 순으로 총 구매자의 전력소비량 순과 동일하게 나타나며, 이는 구매자 전력소비량이 클수록 높은 누진구간에 해당하는 구매자 수가 증가하기 때문이다.

표 5의 모의 결과는 시장의 규모가 증가할수록 판매자의 수익과 구매자의 편익이 모두 비례하여 증가하는 것을 확인할 수 있고, 이는 제안 모델의 판매자 참여 확대는 구매자와 판매자에게 모두 더 많은 혜택이 발생됨을 보여준다.

4.2.2 제안시장과 현행 프로그램의 비교 분석

그림 5는 그림 4에서 계절별 상이한 결과를 보이는 B, C, D와 시장 규모가 가장 큰 H에 대해, 제안모델과 현행프로그램의 비교를 각각 동일한 조건에서 수행한 결과이다.

① PPA거래 프로그램의 경우 구매자(인근 수용가)의 편익은 발생하지 않으며, 판매자 수익은 잉여전력량 크기와 동일한 순서(D<B<C<H)로 제안 시장의 결과에 비해 모두 낮은 값을 보인다. 이는 정산단가로 활용되는 가중 SMP(평균 77.06[원/kWh])가 제안시장의 정산단가(LDT)에 비해 현저히 낮으며, B, C, D, H의 SMP 차이는 최대 4.7[원/kWh]에 불과하기 때문이다. 따라서 도매시장에서 발전원의 단가로 사용되는 SMP를 활용하는 ① PPA 거래는 요금제 기반의 소매시장으로 구성하고 REC편익을 제공하는 제안시장에 비해 낮은 편익을 참여자들에게 제공하며, 상황별 편익 또한 편차가 크지 않은 SMP에 비해 잉여전력량 크기에 주로 의존됨을 알 수 있다.

② 상계거래 프로그램도 마찬가지로 구매자의 편익이 발생하지 않으며, 판매자 수익도 상계가 가능한 잉여전력량 크기와 동일한 순서(D<B<C<H)이다. 판매자 수익의 크기는 SMP로 정산하는 ① PPA 거래 보다는 다소 크지만 제안 시장에 비해 낮은 결과를 보인다. 이는 잉여전력에 상응하는 REC가 정산되지 않을 뿐만 아니라 모든 상황에서 상계 후 이월전력량이 발생하기 때문이며, 특히 규모가 확대된 H의 경우 5,867[kWh]의 전력량이 누적되는 결과를 얻고, 매월 누적이 발생하면 프로슈머에게 생산량

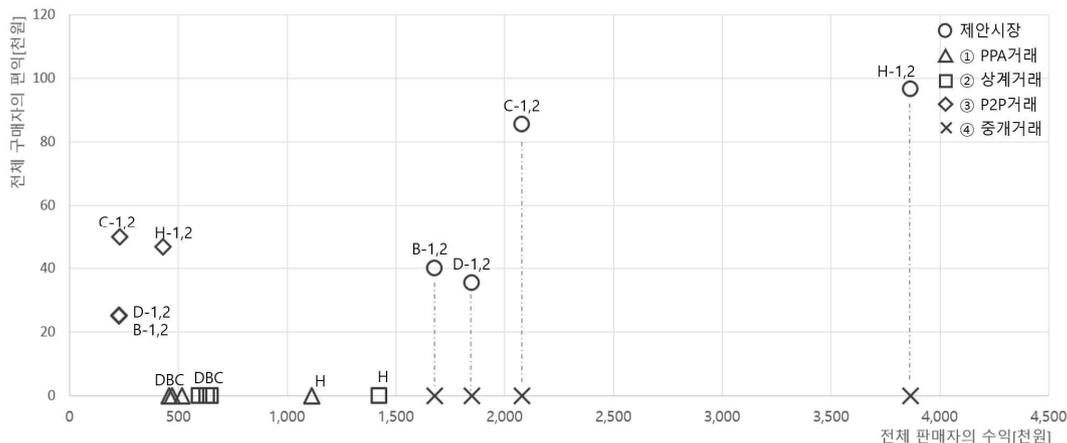


그림 5 LDERP 소매시장과 현행 프로슈머 프로그램의 모의 결과 비교

Fig. 5 Comparison of simulation results of the proposed market and prosumer programs in Korea

에 대한 적절한 보상이 불가할 수 있다.

③ P2P거래 프로그램은 판매자와 매칭된 인근 수용가(구매자)에게 잉여전력량 거래량에 비례하여 요금절감 편익을 제공한다. 그러나 이 프로그램 또한 REC가 정산되지 않을 뿐만 아니라, 프로슈머의 잉여전력판매량이 프로슈머가 소비전력 요금을 초과하는 경우, 요금 상계를 통해 판매자 편익을 제공하는 현행 구조로 인해 판매자 편익이 더욱 감소하는 결과를 초래한다. 이러한 이유로 이 프로그램에 제안시장의 정산단가(LDT)를 동일하게 적용하여 검토한 결과 잉여전력량 생산에 비해 소비 전력량이 작은 프로슈머의 참여가 제한되어 제안시장에 비해 낮은 편익을 참여자들에게 제공하는 결과를 확인할 수 있다.

④ 중개거래 프로그램은 앞서 분석한 경우와 달리 판매자의 REC 정산이 가능하다. 따라서 동일 모의조건에서 REC거래를 대행하는 LDERP의 제안시장과 같은 수익을 판매자에게 제공할 수 있다. 그러나 매칭된 자원이 도매시장에 참여하는 구조인 이 프로그램은 소매시장으로 구성된 제안시장과 달리 구매자에게 편익 제공이 불가능하다.

5. 결 론

본 논문은 판매자와 구매자 간 상호거래가 가능한 Pool 기반 프로슈머 전력소매 시장 모델의 구조를 설계하였다. 제안하는 모델은 LDERP가 참여자간 요금제 및 잉여전력분배방안 등을 협의하여 운영이 가능하도록 유사한 구조를 갖는 현행 수요자원시장을 기반으로 거래절차를 구성하였다. 사례연구에서는 제안시장의 참여자 편익을 다양한 조건에서 분석하였고, 이를 기반으로 현행 프로그램들과 비교하였다. 그 결과 제안하는 LDERP 중심의 요금제 기반 소매시장은 Pool을 통해 복잡한 매칭 과정 없이 참여자의 편익 확보가 가능하여 소규모 수용가들의 참여확대가 용이함을 확인하였다. 향후 LDERP의 다양한 Pool 형태에 따른 사업전략을 고찰하기 위해 최적 잉여전력 분배방안에 관한 연구가 필요하며, 다양한 발전원에 따라 상이한 출력특성 및 초기비용을 고려하여 시간대별 또는 에너지원별 요금정산방안에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017 R1C1B5018082).

References

[1] Ministry of Trade, Industry and Energy, "Press Releases", December 2015.

- [2] KEPCO Economy & Management Research Institute, "KEMRI Electric Power Economy Review", No.7, 2016.2
- [3] Rikiya Abe, Hisao Taoka, and David McQuilkin, "Digital Grid: Communicative Electrical Grids of the Future," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 2, no. 2, pp. 399-410, June 2011
- [4] Korea Electric Power Corporation, "Prosumer Q&A", [on-line available : <http://home.kepco.co.kr>] retrieved on 2017.9
- [5] Korea Power Exchange, "Market for trading renewable energy", [on-line available : <http://www.kpx.or.kr>] retrieved on 2017.9
- [6] Nian Liu, Xinghuo Yu, Cheng Wang, Chaojie Li, Li Ma, and Jinyong Lei "Energy-Sharing Model With Price-Based Demand Response for Microgrids of Peer-to-Peer Prosumers", IEEE Transction on Power System, vol. 32, No. 5, pp. 3569-3583, Sept 2017
- [7] New York Independent System Operator, "Distributed Energy Resources Roadmap for New York's Wholesale Electricity Markets", 2017.1
- [8] A. J. Dinusha Rathnayaka, Vidyasagar M. Potdar, Tharam S. Dillon, OmarK.Hussain, and Elizabeth Chang, "A Methodology to Find Influential Prosumers in Prosumer Community Groups", IEEE Transction on Industrial Informatics, vol. 10, No. 1, pp. 706-713, Apr 2013
- [9] California Independent System Operator, "Distributed Energy Resource Provider Participation Guide with Checklist", 2016.8
- [10] Chan-Guk Park, Yang-Soo Kim, "A Feasibility Study for Peer-to-Peer Electricity Trading in Korea", KEEL Research Paper, 1-85, 2016.4
- [11] Korea Power Exchange, "Trading process for Demand Response Program", [on-line available : http://dr.kmos.kr/main/market_01.htm] retrieved on 2017.9
- [12] Korea Electric Power Corporation, "Residential Service", [on-line available : <http://home.kepco.co.kr>] retrieved on 2017.9
- [13] Korea Power Exchange, Korea Electric Power Corporation, Korea Energy Agency, "REC Trading Process", [on-line available : <http://onerec.kmos.kr/portal/index.do>] retrieved on 2017.9
- [14] Korea Power Exchange, "REC Tariff and SMP", 2016 Electricity Market Statistics 2017.5
- [15] KEPCO Big-Data Center, "Statistics of Electricity Consumption", [on-line available : <https://home.kepco.co.kr/kepco/BD/bigData/main/bigDataMain.do>] retrieved on 2017.9

저 자 소 개



손 은 태 (Eun-Tae Son)

2016년 동신대학교 전기공학과 졸업.
현재 동 대학원 전기전자공학부 석사과정



곽 형 근 (Hyung-Geun Kwag)

2006년 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업. 2013년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2014년~현재 전력거래소 전력경제연구실 차장.



김 성 열 (Sung-Yul Kim)

2007년 한양대학교 전자전기공학부 졸업. 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2012년~2013년 미국 Georgia Institute of Technology, PSCAL 연구원. 현재 계명대학교 전기에너지공학과 조교수.



김 동 민 (Dong-Min Kim)

2004년 한양대학교 전자전기공학부 졸업. 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2011년~2012년 한양대학교 BK21 사업단 박사 후 연구원. 2012년~현재 동신대학교 에너지융합대학 전기공학전공 조교수.