New & Renewable Energy 2021. 6 Vol. 17, No. 2
ISSN 1738-3935 (Print)
ISSN 2713-9999 (Online)
https://doi.org/10.7849/ksnre.2021.2033

Check for updates

[2021-6-RP-001]

계시별 전기요금에서의 프로슈머와 소비자간 전력거래 가격추정

이영준[1)] · 박수진[2)] · 윤용범[2)*]

Estimation of Electric Power Trading Price between Prosumer and Consumer Under Time-of-Use (TOU)

Yungjoon Lee[1)] · Soojin Park[2)] · Yongbeum Yoon[2)*]

Received 29 December 2020 **Revised** 17 March 2021 **Accepted** 22 March 2021 **Published online** 11 May 2021

ABSTRACT We estimated the price range of electricity transactions under the prosumer system, considering the spread of renewable energy and the prospect of introducing a surplus power trading system between power consumers in Korea. The range (min/max) of power transaction prices was estimated by prosumers and consumers who could purchase electricity from utilities if needed. It is assumed that utilities purchased electricity from prosumers and consumers under a Time-of-Use (TOU) rate, trading at a monthly price. The range of available transaction prices according to the amount of power purchased from utilities and the amount of transaction power was also estimated. The price range that can be traded is expected to vary depending on variables such as the TOU rate, purchased and surplus power, levelized cost of electricity, etc.

Key words Prosumer(프로슈머), Consumer(소비자), TOU(계시별요금제), SMP(계통한계가격), P2P(소비자간 전력거래), LCOE (균등화비용)

Subscript

PV : photo voltaic
WT : wind turbine
P2P : peer-to-peer
BESS : battery energy storage system
TOU : time-of-use
SMP : system marginal price (won/kWh)
LCOE : levelized cost of electricity (won/kWh)

1) Master Course, Energy Policy and Engineering, KEPCO International Nuclear Graduate School (KINGS)
2) Professor, Energy Policy and Engineering, KEPCO International Nuclear Graduate School (KINGS)
***Corresponding author:** yb.yoon@kings.ac.kr
Tel: +82-52-712-7337 Fax: +82-52-712-7281

1. 서 론

온실가스 감축 및 이상기후에 대응한 신재생에너지의 보급 확대와 함께 전력거래 메카니즘 변화에 따라 전력산업을 둘러싼 환경은 지속적으로 변하고 있다. 특히 태양광은 비교적 소규모의 용량으로 간편하게 전력수요지에 설치가 편리하다는 이점으로 인하여 우리나라를 비롯한 많은 국가들에서 자가발전용으로 보급이 증가하고 있는 추세이다. 우리나라의 제9차 전력수급 기본계획에 의하면 2034년 신재생 보급량은 82,185 MW으로 전체발전설비 용량의 40% 이상 차지할 것으로 전망되고 있다. 특히 자가용 태양광보급을 통하여 3,249 GWh(2034년 기준)의 기존전원에 의한 발전량을 절감할 계획이다. Table 1은 2019년 기준 우리나라 재생에너지 설치현황을 나타내고 있으며 태양광용량이

Table 1. Status of renewable energy installation in Korea in 2019 (MW)[1]

Division	Installed capacity	Division	Installed capacity
PV	11,768 (50.8%)	Waste	3,888 (16.8%)
WT	1,494 (6.4%)	Hydro & Ocean	2,065 (8.9%)
Bio mass	3,141 (13.6%)	Total	22,356 (100%)

11,768 MW로서 약 51%를 차지하고 있다. 이어서 폐기물 및 바이오가 각각 16.8%, 13.6%의 비중을 차지하고 있다.

Figure 1은 정부의 9차 전력수급 기본계획에 반영된 사업용 태양광 및 자가용 신재생 보급전망을 나타내고 있다.[2] 2034년을 기준으로 할 때 사업용 태양광용량은 45,594 MW로서 2020년도에 비하여 약 3배 증가할 것으로 전망하고 있다.

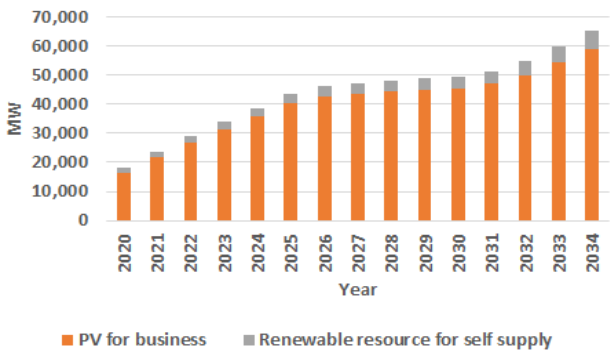

Fig. 1. Deployment outlook of PV for business and renewable for self supply (Cumulative)[2]

한편, 발전사업용 태양광을 제외한 2019년 기준 태양광 설비용량은 1,045,869 kW로서 분야별 보급현황은 Table 2와 같다. 가정용 및 공공시설에 설치된 태양광 설비용량이 각각 53.8%, 25.4%를 차지하고 있다.

특히, Table 2에서 가정용 태양광은 주로 소비자 자신의 전력을 충당하거나 잉여발전량은 전력회사 또는 타 소비자에게 판매함으로써 수요관리 역할도 하게 된다. 즉, 태양광의 경우 주간시간대 발전량이 증가하여 태양광 발전설비 용량에 따라 자체 전력수요이상이 되기도 한다.

Table 2. Deployment status of PV except PV for business (kW)[3]

Residential facilities	562,709	Social welfare facilities	45,059
Public facilities	265,939	Industrial facilities	19,827
Education facilities	141,303	Commercial facilities	11,302

이와 같이 잉여발전량이 발생하는 경우 인근의 전력소비자와 이를 공유 또는 판매하는 것이 가능하게 된다. Figure 1에 나타낸 바와 같이 특히 자가용 신재생 설비용량이 지속적으로 증가한다는 점을 고려할 때 이와 같은 형태의 전력거래 필요성은 더욱 증가할 것으로 전망된다.

이에 본 논문에서는 잉여발전량을 전력소비자에게 판매하는 경우 기존의 최대 및 최소 거래가격 추정모델[4]을 이용하여 계시별 요금제에서의 잉여발전량에 대한 거래가능 전력가격 범위를 도출하였다.

본 논문의 2장에서는 P2P를 포함한 전력거래에 대한 국내외 주요연구를 분석하였으며 3장에서는 기존의 전력거래 최대 및 최소 가격도출모델을 기술하였다. 4장에서는 주택용 계시별요금제 실증사업 시 시험적으로 사용한 계시별요금제를 대상으로 전력거래주체별 전력사로 부터의 구입전력량 및 잉여발전량에 따른 거래 가능한 최대 또는 최소 전력가격 범위를 도출하였다.

2. 기존연구

2.1 전력거래 플랫폼 사례

Piclo[5]는 영국에서 개발되어 운용되고 있는 전력소비자간 (P2P) 전력거래 플랫폼으로 신재생 에너지확대를 위하여 에너지 다소비 상업용 전력소비자를 대상으로 하고 있다. 30분 단위로 계량기데이타 및 발전비용, 소비자선호도 정보를 기반으로 공급과 수요를 매칭한다. 네델란드의 Vandebron[6]에서는 전력소비자가 풍력발전과 같은 신재생전원을 가진 독립발전사업자로부터 전력을 직접 구매할 수 있도록 한다. 2013년에 개설되었으며 소비자는 구매기간과 물량을 입력하고 판매자를 선택할 수 있다. 독일의 Sonnen Community[7]는 배터리를 중심으로 개발된 전력거래 플랫폼으로 신재생전원과 배터리의 연계에 의한 사업모델을 운용하고 있다. 이와 같은 전력거래 플랫폼에서는 전력이 온라인으로 거래되고 있으며 다양한 각자의 차별화된 사업모델을 내장하고 있다. 국내에서도 2016년 3월부터 이웃간 전력거래사업을 추진하고 있다.

2.2 전력거래 메카니즘

이유수[4]는 우리나라에서의 에너지 프로슈머 활성화를 위한 정책에서 프로슈머와 소비자 측면에서의 전력거래 가격추정모델을 제시하고 5단계 및 3단계 주택용 누진제를 대상으로 전력거래 최대 및 최소가격을 도출하였다. 이효석 등[8]은 에너지 프로슈머의 최적의 경제성 방안 도출을 위하여 3개의 시나리오, 즉, 태양광 상계거래 제도와 같이 생산된 에너지를 자가 소비하고 잉여 전력은 한전에 송출하는 방식, 태양광 시스템으로부터 생산된 전량을 P2P 방식으로 판매하고 자체소비량은 전력사로 부터 구매하는 방식, 생산된 에너지를 우선 자가소비 후 잉여 전력에 대하여 일정 단가로 전력사에 판매하는 방식에 대하여 내부수익률을 비교하였다. 이때 전력거래가격은 외부변수로 가정하였다. Hui Huang[9]는 PV 및 BESS 설치여부에 따라 다수의 프로슈머 및 소비자가 일정규모의 그룹으로 연합하여 P2P 전력거래를 하는 경우의 전력수급 등과 같은 제약조건하에서의 시간대별 전력가격 결정모델을 제시하고 있다. Gao Zhang[10]에서는 신재생전원을 가진 가상발전기 사업자들이 전력시장에 참여하는 경우의 전력가격 결정 모델을 제안하였다. 가상발전기의 등가발전비용 곡선 및 신재생전원의 출력변동성과 함께 입찰전략에 따라 전력가격의 수렴성을 분석하였다. 이외에도 국가별 전력시장구조 및 정책, 가용한 신재생자원 구성에 따라 다양한 형태의 P2P 전력거래모델들이 제안되고 있다.[11] 본 논문에서는 이유수가 제시한 모델[4]을 기반으로 전력회사의 계시별 전기요금 및 태양광 발전패턴을 반영한 프로슈머와 소비자 간의 적정 전력거래 가격을 분석하였다.

3. 프로슈머와 소비자간 거래가격 추정

3.1 전력거래 개념

Figure 2는 이와 같은 개념을 바탕으로 한 전력거래 개념도로써 태양광 등 신재생전원을 자가 설치하여 이에 의한 발전량을 자체소비하거나 전력회사 또는 소비자에게 판매하는 주체를 프로슈머(Prosumer)로, 그리고 단순히 전력을 전력사 또는 프로슈머로 부터 구매하여 사용하는 주체를 소비자로 나타내었다. 프로슈머는 소비전력을 전력사로부터 사전에 정해진 요금제(예, TOU: Time-of-Use, 계시별 요금)에 의하여 구입하고 잉여발전량이 발생하는 경우 전력회사에 정해진 요금(예, SMP: System Marginal Price, 계통한계가격)으로 판매하거나 소비자에게 적정가격으로 판매하게 된다. 그리고 소비자측면에서는 필요한 전력을 전력회사로부터 TOU와 같이 사전에 정해진 요금으로 구입하거나 혹은 프로슈머로 부터 사전에 계약된 가격으로 구입하게 된다.

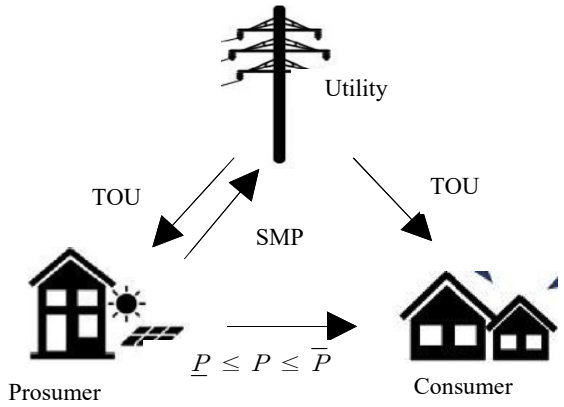

Fig. 2. Power transactions between prosumer and consumer[11]

3.2 전력수요 및 태양광 발전패턴

Figure 3은 정규화된 6월중의 전국평균 저압주택용 전력수요 및 태양광 발전패턴을 나타내고 있다. 전력수요는 심야시간대에서 오프피크가, 22~23시에서 피크수요가 발생하고 있으며 태양광은 6시 이후에 발전량이 증가하여

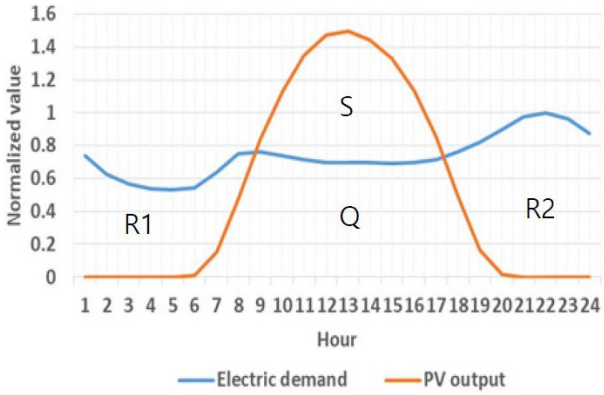

Fig. 3. Purchased and surplus power, self-consumption power of prosumer

10~16시 사이에 최대값을 나타내고 있으며 이후 20시까지 감소하는 패턴을 보이고 있다. 이로부터 태양광에 의한 발전량이 전력부하보다 큰 구간에서는 자가소비(Q영역)외에도 잉여발전량이 발생하게 되어 전력사 또는 소비자에 판매가 가능(S영역)하게 되며 타 구간에서는 전력사로부터 전력을 구입($R=R_1+R_2$영역)하여 사용하게 된다. 본 논문에서는 프로슈머는 배터리와 같은 에너지저장장치를 보유하고 있지 않은 것으로 가정하였고 프로슈머와 소비자간 직거래 가격은 월단위로 정해지는 것으로 가정하였으며 TOU는 적용되지 않는 것으로 하였다.

3.3 프로슈머와 소비자간 거래가격 모델[4]

3.3.1 프로슈머의 전력 직거래 조건

프로슈머가 전력소비자와의 거래를 통한 이익($E_{prosumer}$)은 잉여발전량을 전력소비자에게 판매함으로써 얻어지는 이익($P_{prosumer} \times S$)에서 전력사로부터의 구입전력비를 차감한 양이 되며 이를 식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$E_{prosumer} = P_{prosumer} \times S - C(R) \tag{1}$$

단, $P_{prosumer}$: 거래가격, S: 잉여발전량, R: 전력사로 부터의 구입전력량, $C(R)$: 전력사로 부터의 R에 상응하는 전력을 구입할 경우의 전력구입비용

그리고 프로슈머가 전력소비자가 아닌 전력회사와 거래하되 상계처리방식(Net metering 거래)을 채택하는 경우 이익($E_{metering}$)은 식 (2)와 같다.

$$E_{metering} = C(S-R) \tag{2}$$

식 (2)에서 S는 잉여발전량으로 프로슈머가 전력사 또는 전력소비자에게 판매가 가능한 전력량이며 R은 반대로 프로슈머가 전력사로부터 구입한 전력량을 의미한다. 이로부터 $S > R$이면 $C(S-R)$는 프로슈머 수익을 나타내고 $S < R$이면 손실을 나타낸다. 따라서 프로슈머가 잉여발전량이 발생하는 경우(즉, $S > R$인 경우) 프로슈머는 전력사 또는 전력소비자에게 그 전력을 판매할 수 있는데 후자와의 전력거래를 선호할 조건은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{prosumer} \geq E_{metering} \tag{3}$$

식 (3)에 식 (1), (2)를 대입하여 정리하면 프로슈머가 전력소비자와 전력거래를 선호하기 위한 거래 가격범위는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{prosumer} \geq \frac{C(R) + C(S-R)}{S} \tag{4}$$

3.3.2 전력소비자의 전력 직거래 조건

전력소비자가 필요로 하는 월단위 총 전력D에서 프로슈머로 부터 S만큼 구입한다고 하면 소비자의 전력요금($E_{consumer}$)은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다. 식 (5)의 우측 첫째항은 전력소비자가 프로슈머로 부터 $P_{consumer}$의 단가로 S만큼의 전력량을 구입하는 비용이며 두 번째 항은 전력소비자가 전력사로 부터 구입하는 비용을 의미한다.

$$E_{consumer} = P_{consumer} \times S + C(D-S) \tag{5}$$

이 경우 전력소비자도 모든 소비전력(D)를 전력사로부터 구입하는 비용보다 일부전력(S)이라도 프로슈머로부터 전력을 구입하는 경우의 비용이 낮다면, 즉 $E_{consumer} \leq C(D)$ 조건이 성립한다면 전력소비자는 프로슈머로부터 일부전력을 구입할려고 할 것이다. 상기조건에 식 (5)를 대입하면 $P_{consumer} \times S + C(D-S) \leq C(D)$와 같이 되며 이를 정리하면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{consumer} \leq \frac{C(D) - C(D-S)}{S} \tag{6}$$

식 (4)와 식 (6)으로 부터 알 수 있는 바와 같이 프로슈머와 전력소비자와의 전력거래가 이루어지는 경우 프로슈머는 식 (4)에 나타낸 최소가격이상으로 거래하기를 원할 것이다. 반면에 전력소비자는 식 (6)에 나타낸 가격이하로 거래하기 원할 것이다.

4. 사례연구

4.1 기본전제

4.1.1 전력사와의 전력거래 가격

대부분의 자가용 태양광 설비들이 소규모 전력소비자들을 중심으로 보급된다는 점을 고려하여 본 논문에서는 월 200~400 kWh의 전력을 사용하는 프로슈머 및 소비자를 대상으로 계시별요금제 하에서의 상호 거래가능가격을 모의하였다. 계시별 요금은 한전 주택용 계시별 실증사업에 사용한 요금구조[12]중 Table 3에 나타낸 바와 같이 일반형 여름철(6~8월) 부하요금을 적용하였으며 시간대별 가중평균 전력요금은 130원/kWh이다. 또한 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 프로슈머가 전력사에 잉여발전량을 판매하는 경우 적용가격은 2020년 7월 육지기준 SMP인 71원/kWh을 사용(전력통계정보시스템[13])하였다.

Table 3. Time-of-use electric tariff[12]

Load	Peak load	Middle load	Off-peak load
Time	1 pm ~ 5 pm	9 am ~ 1 pm, 5 pm ~ 11 pm	11 pm ~ 9 am
Price	188 won/kWh	155 won/kWh	82 won/kWh

4.1.2 프로슈머 및 소비자의 전력소비

프로슈머의 경우 최대부하시간대에는 태양광 설비에 의한 발전량이 전력소비량보다 많아 잉여발전량이 발생하는 것으로 하였다. 그리고 최대부하시간외의 소비전력은 전력사로부터 구입하되 중간부하시간에 56%, 경부하시간대 44% 구입하는 것으로 가정하였다. 소비자의 경우 전력사로 부터는 최대부하시간대에 16%, 중간부하시간대에 47%, 경부하시간대에 37% 사용하는 것으로 가정하였다.[14]

4.2 모의시나리오 및 분석

4.2.1 모의시나리오

우리나라 주택용 소비자의 전력소비량 규모를 고려하여 프로슈머의 구입전력량(R) 및 잉여발전량(S), 소비자의 전력소비량(D)를 각각 200 kWh, 250 kWh, 300 kWh, 350 kWh, 400 kWh인 5개 시나리오를 설정하였다. 이와 같이 설정된 시나리오들에 대하여 식 (4)에 나타낸 프로슈머 전력거래 최소가격과 식 (6)에 나타낸 소비자 전력거래 최대가격을 산정하였다.

4.2.2 모의결과

○ 프로슈머의 전력거래 최소가격: Table 4는 전력사로 부터의 구입전력량 및 태양광에 의한 잉여발전량에 따른 프로슈머 측면에서의 거래가능한 최소가격 모의결과를 나타내고 있다.

프로슈머는 4.1.2에 가정한 시간대별 전력 소비비중에 따라 전력사로 부터의 전력구입단가는 $0.56*155원/kWh + 0.44*82원/kWh = 122.9원/kWh$와 같이 된다. Table 4에 따르면 월 전력소비량을 기준으로 프로슈머가 전력사로 부터의 구입전력량이 잉여발전량보다 많을 때에는 구입단가 이상으로 소비자에게 판매하려 할 것이라는 것을 알 수 있다. 그러나 잉여발전량이 전력사로부터의 구입전력량보다 클 때에는 프로슈머는 전력사로부터의 구매단가보다 낮은 가격으로 판매할려고 할 것이다. 예를들어 전력사로부터의 구입전력량이 200 kWh이고 잉여발전량이 300 kWh인 경우 프로슈머가 전력사로부터 구입한 전력량 요금은 200 kWh*122.9원/kWh = 24,580원이고, 상계거래 시 프로슈머가 전력사에 공급한 잉여 전력량 100 kWh에 대해 전력사는 프로슈머에게 가중평균 SMP인 71원/kWh을 적용하여 7,100원을 보상하게 된다.[15] 따라서 3.3.1항의 식 (4)에 따라 프로슈머의 전력거래 최소가격은 (24,576원+7,100원))/300 kWh = 105.6원/ kWh가 된다. 이는 프로슈머가 잉여발전량을 전력사에 판매할 때 적용하는 SMP(71원/kWh)가 전력사로 부터의 전력구매단가인 122.9원보다 낮기 때문이며 SMP 변동에 따라 이러한 프로슈머 측면에서의 전력거래 최소

Table 4. Minimum price of prosumer's electricity transaction (won/kWh)

Division (kWh)		Excess generation (kWh)				
		200	250	300	350	400
Purchased Energy from utility	200	122.9	112.5	105.6	100.6	96.9
	250	122.9	122.9	114.2	108.1	103.4
	300	122.9	122.9	122.9	115.5	109.9
	350	122.9	122.9	122.9	122.9	116.4
	400	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9

가격은 변하게 될 것이다. 즉, SMP가 낮아질수록 최소 가격은 비례하여 낮아지게 된다.

○ 전력소비자의 전력거래 최대가격: 전력소비자가 프로슈머와의 전력거래시 고려가능 한 최대가격은 전력사로 부터의 구입전력단가와 동일하여야 하므로 이를 4.1.2에서 가정한 소비전력 비율에 의하여 계산하면 $0.16*188원/kWh+0.47*155원/kWh+0.37*82원/kWh=133.3원/kWh$가 된다. 전력소비자의 월 부하패턴은 계절별 및 업종별로 상이하므로 이와 같은 시간대별 전력소비 비율은 상이할 것으로 판단된다. 이와 같은 점을 고려하여 최대부하 및 중부하, 경부하시의 전력소비 비중에 따른 소비패턴별 최대거래가격을 추정하면 Table 5와 같다. 최대부하 비율이 증가함에 따라 최대거래가격은 증가하는 경향을 보이고 있다. 따라서, 전력소비자는 자신이 전력소비패턴을 고려하여 Table 5에 명시한 거래가격 이하로 프로슈머와 거래하려고 할 것이다.

Table 5. Maximum price of power transactions based on power consumption ratio patterns

Consumption pattern	Peak	Mid. load	Off peak	Trading price (won/kWh)
C_1	16%	47%	37%	133.3
C_2	20%	45%	35%	136.1
C_3	25%	42.5%	32.5%	139.5
C_4	30%	40%	30%	143.0

○ 태양광 LCOE를 고려한 프로슈머와 소비자와의 전력거래: 태양광 설비를 설치한 프로슈머는 전력소비자와의 전력 거래 시 이에 대한 투자비 및 운용비(LCOE) 회수를 고려하게 될 것이다. 이와 관련하여 태양광 설비의 LCOE를 134원/kWh로 가정[16] 하였다. Figure 4는 잉여발전량이 300 kWh인 프로슈머가 Table 5에서의 C_3 소비패턴을 가진 전력소비자와 거래 시 전력사로 부터의 월 구입전력량에 따른 전력거래가격 변동을 나타내고 있다. 태양광 LCOE를 고려하지 않는 경우 거래가격 범위는 예를 들어 구입전력량이 200 kWh이면 105.6~139.5원/kWh, 400 kWh이면 122.9~139.5원/kWh 임을 나타내고 있다. 그러나 태양광 LCOE를 고려한 경우 거래가능 한 가

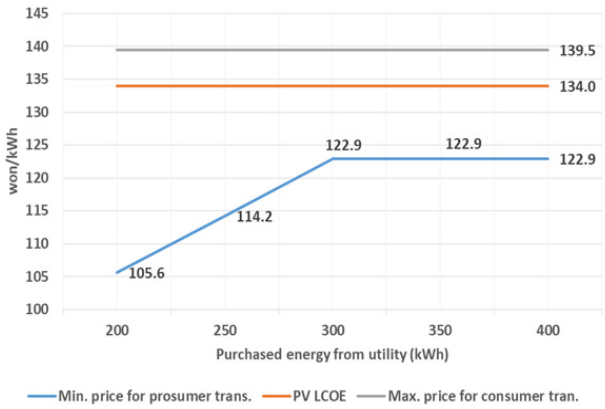

Fig. 4. Minimum price for prosumer electricity transactions and maximum price for electricity transactions for electricity consumers (C_3), PV LCOE

격범위는 구입전력량에 관계없이 134~139.5원/kWh로 줄어들게 된다. 즉, 태양광 LCOE가 프로슈머와 전력소비자간의 전력거래 가격범위를 축소하는 요소로 작용하고 있다. 향후 태양광 LCOE 감소는 프로슈머와 전력소비자 간의 전력거래폭을 넓히는 요소가 될 것으로 전망된다.

5. 결 론

본 논문에서는 우리나라에서의 신재생에너지 확산 및 전력소비자간 잉여발전량 거래제도 도입전망[17]을 고려하여 프로슈머제도 시행시의 전력거래 가격범위를 제시하였다. 즉, 프로슈머 및 소비자는 전력사로 부터 계시별 요금에 의하여 전력구입이 가능하다는 조건에서 프로슈머와 전력 소비자간 잉여발전량 거래에 따른 최대 및 최소 거래가격을 도출하였다. 이와 같이 도출한 거래가격 범위중 일부는 태양광 LCOE보다 낮게 도출되어 투자비 회수측면에서의 거래동기가 없을 것으로 나타났다. 따라서 계시별 요금제 또는 보조금제도 설계시 투자비회수와 연동한 정책도입이 필요할 것이다. 한편, 본 논문은 프로슈머제도 도입시의 프로슈머와 전력소비자의 참여동기 유발을 위한 적정 거래가격범위를 도출했다는데 의미가 있다. 이러한 거래가격범위는 계시별 요금구조나 전력사와의 상계거래가격에 따라 달라지며 향후 프로슈머 제도가 성숙함에 따라 입찰방식이나 계약제도, 시장참여자의 전략 등도 상계거래가격에 영향을

줄 것으로 예상된다. 본 논문은 프로슈머 도입시 필수적인 시장참여자간 거래가능가격 추정 및 태양광 LCOE 와의 상관성 도출에 국한된 연구로서 프로슈머 및 소비자의 전력 생산 및 소비, 태양광발전 등에 대한 충분한 실계통 특성을 반영하지 못한 한계를 가지고 있다. 태양광을 포함한 신재생 전원이 지속적으로 증가하고 이에 대한 운용 데이타가 확장됨에 따라 이를 반영한 확장연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2019년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지신사업글로벌 인재양성사업으로 지원받아 수행한 연구성과입니다(과제번호: 20194010000090). 또한 이 논문은 2021년 KINGS의 연구비 지원을 받아 연구되었습니다.

References

[1] Korea Energy Agency, 2021, “Summary of 2019 Renewable Energy Supply Statistics”, https://www.energy.or.kr.

[2] MOTIE, 2020, “The 9th Electric Power Demand and Supply Basic Plan (2020~2034)”, p.79, http://www.motie.go.kr/motie/ne/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=163670&bbs_cd_n=81.

[3] Korea Statistical Information Service, 2021, “Deployment status of PV”, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=337&tblId=DT_337001N_A002&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=337_33701_4_10&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE.

[4] Lee, Y.-S., 2016,“A Study on the improvement of the system for energy prosumer activation”, KEEI Research Report 16-11, https://www.keei.re.kr/web_keei/d_results.nsf/0/596BCDE3E67A6D2649258100000A6AE9?opendocument&menucode=SS18&category=수시연구보고서&rescategory=%EC%A0%84%EC%B2%B4&viewname=main_report_2.

[5] Open Utility, 2016, “A glimpse into the future of Britain’s energy economy”, https://piclo.energy/publications/piclo-trial-report.pdf.

[6] Vandebron, 2016, “Green energy, good price,no hassle”, https://vandebron.nl/.

[7] Martin, R., 2015, “Renewable energy trading launched in Germany”, MIT Technology Review, https://www.technolog yreview.com/2015/12/29/164103/renewable-energy-trading-launched-in-germany/.

[8] Lee, H.-S., Lee, T.-G., Jung, S.-W., and Kim, J.-W., 2019, “A study on the comparison of profitability by type of power transaction in solar house considering the energy prosumer system”, New. Renew. Energy, **15**(4), 55-65.

[9] Huang, H., Nie, S., Lin, J., Wang, Y., and Dong, J., 2020,“Optimization of peer-to-peer power trading in a microgrid with distributed PV and battery energy storage systems”, Sustainability, **12**(3), 923.

[10] Zhang, G., Jiang, C., Wang, X., Li, B., and Zhu, H., 2017,“Bidding strategy analysis of virtual power plant considering demand response and uncertainty of renewable energy”, IET Gener. Transm Distrib., **11**(13), 3268-3277.

[11] Liu, Y., Wu, L., and Li, J., 2019, “Peer-to-peer (P2P) electricity trading in distribution systems of the future”, Electr. J., **32**(4), 2-6.

[12] MOTIE, 2019, “Promotion of TOU tariff system plans for housing”, https://www.motie.go.kr/motie/gov3.0/gov_openinfo/sajun/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=162094&bbs_cd_n=81.

[13] Electric Power Statistics Information System (EPSIS), 2021, “Electric Market/SMP/Weighted average SMP”, http://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/selectEkmaSmpSmpGrid.do?menuId=040201&locale=eng.

[14] KEPCO, 2020, “Analysis of electric power consumption pattern – electric power consumption coefficients form 1 to 24hours per month for residential consumer”, https://home.kepco.co.kr/kepco/KR/ntcob/ntcobView.do?pageIndex=1&boardSeq=21050787&boardCd=BRD_000456&menuCd=FN311802&parnScrpSeq=0&searchCondition=total&searchKeyword=.

[15] Notification of the Ministry of Industry, 2020, “Guidelines on the transaction of small-scale renewable energy generation Power”, No. 2018-56, Article 18 (Electric

Transactions by Counter), https://www.motie.go.kr/motie/ms/nt/gosi/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=63171&bbs_cd_n=5&currentPage=1&search_key_n=notice_no_v&cate_n=&dept_v =&search_val_v=2018-056.

[16] Lee, C.-Y., 2017, "International comparative analysis of equalization costs through solar energy cost analysis", KEEI Research Report 17-27, https://www.keei.re.kr/web_keei/d_results.nsf/0/A75978CEA62C075549258264002CD050?opendocument&menucode=S3&category=연구보고서&rescategory=%EC%A0%84%EC%B2%B4&viewname=main_report_all.

[17] Park, C.-K., 2016, "The possibility of P2P power transaction in Korea", KEEI Research Report 15-10, https://www.keei.re.kr/web_keei/d_results.nsf/0/84E4A8753703B02849258033002A4A3A?opendocument&menucode=S3&category=연구보고서&rescategory=%EC%A0%84%EC%B2%B4&viewname=main_report_all.