

소규모 전력 소비자 대상 수요자원 거래시장의 필요성 및 시범운영 결과 분석

이 은 정*, 이 경 은*, 이 혜 수**, 이 효 섭**, 김 은 철***, 이 원 중°

Role of Demand Response in Small Power Consumer Market and a Pilot Study

Eun-jung Lee*, Kyung-eun Lee*, Hye-su Lee**, Hyo-seop Lee**, Eun-cheol Kim***, Wonjong Rhee°

요 약

최근 지속적인 전력 수요 증가와 이에 따른 사회적 비용 및 갈등 해결을 위한 방안으로 수요자원 거래시장(Demand Response Market)의 활성화가 크게 대두되고 있다. 국내의 경우 2014년부터 수요자원 거래시장을 운영 중이나 대규모 수요자원 거래에 집중하고 있다. 하지만, 전력 소비 비중의 증가, 큰 감축 유동성, 항상 활용 가능, 사회 인식 개선 등의 면에서 소규모 전력 소비자의 시장 참여는 성공적인 수요자원 거래시장 운영의 핵심적 요소로 볼 수 있다. 이 논문은 2016년 여름 스마트폰 어플리케이션을 활용하여 5,000명 이상의 소규모 전력 소비자들을 대상으로 한 인센티브 기반(incentive-based) 수요반응(Demand Response) 프로그램의 실제 시범운영 결과를 분석하고 그 효과를 검증하며, 이를 통하여 소규모 전력 소비자 대상 수요자원 거래시장의 가능성을 제시한다.

Key Words : demand response, electricity market, peak reduction, pilot study, small power consumer

ABSTRACT

Demand Response Market (DR Market) has risen as one of the key solutions to address the growth and fluctuation of electricity consumptions. In Korea, DR market has been in operation since 2014, where the focus has been mainly on large-scale loads. Small-scale DR market, however, is becoming increasingly important because small power consumers' contribution to the national power consumption has been increasing and because small loads tend to show large fluctuations. Furthermore, small-scale DR can improve social awareness on energy issues which can bring additional impacts. In this paper, we provide the findings from a small-scale consumer DR pilot. The pilot was conducted in the summer of 2016 on over 5,000 small-scale users in Korea, and smartphone applications were used in the pilot. The effectiveness of small-scale DR Market is analyzed and addressed, and the results indicate a promising future of small-scale DR Market.

I. 서 론

향후 지속적인 전력수요의 증가와 이에 발맞춘 전

력공급설비 확충에 요구되는 사회적 비용과 갈등이 증가함에 따라 정부는 공급(발전기) 위주에서 수요관리 중심으로 전력정책을 전환하였다. 수요관리 방법의

※ 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20151210200080)

♦ First Author : Seoul National University, ej-lee@snu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Seoul National University, wrhee@snu.ac.kr, 정회원

* Seoul National University, ruddms0415@snu.ac.kr

** Encored Technologies, hyesu@encoredtech.com, hslee@encoredtech.com

*** Korea Power Exchange (전력거래소), romance486@kpx.or.kr

논문번호 : KICS2017-01-032, Received January 31, 2014; Revised April 7, 2017; Accepted April 7, 2017

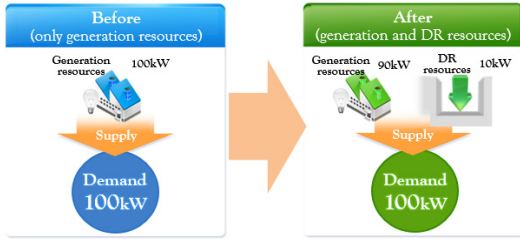


그림 1. 수요자원 거래시장 개설 전후 전력시장 변화
Fig. 1. Changes in the electricity market before and after opening the Demand Response Market

일환으로 전기소비자가 아낀 전력사용량을 모아 수요자원을 구성하고, 전력시장에서 공급자원(발전기)과 동등하게 거래할 수 있는 수요자원 거래시장(Demand Response Market, DR Market)이 2014년 11월 아시아 최초로 국내에 개설되었고 시장 규모가 가파른 성장을 하면서 에너지산업의 선도 사업으로 국내외에서 주목받고 있다(그림 1).^[1]

수요반응(Demand Response, DR)이란 전기소비자가 인센티브, 전기요금 등 금전적 유인에 반응하여 유동적인 수요를 줄임으로써 전기소비패턴을 특정 시간대에 변하는 것을 말한다(그림 2).^[2] 수요관리사업자는 이처럼 수요반응이 가능한 전기소비자(참여고객)를 모아 일정규모 이상의 전기수요를 감축할 수 있는 수요자원을 만들고, 전력시장 요구사항의 검증과정을 거쳐 최종적으로 전력시장에 수요자원을 등록하여 거래에 참여할 수 있다.

국내 수요자원 거래시장을 운영하고 있는 전력거래소는 현재 피크감축DR과 요금절감DR의 2가지 프로그램을 운영하고 있다. 피크감축DR은 전력계통 운영 중 대규모 발전기 고장, 수요예측 오차 및 수급위기 등의 상황에서 전력거래소의 급전지시에 따라 의무적으로 수요 감축 의무를 이행해야 하는 프로그램을 말한다. 요금절감DR은 하루 전 전력시장 입찰에 자발적으로 참여하여 발전기와 가격경쟁을 통해 수요자원이

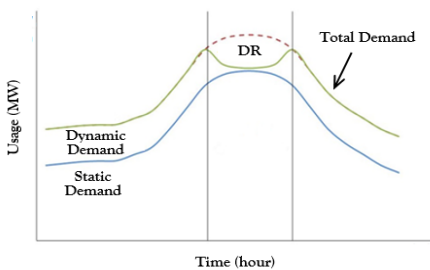


그림 2. 수요반응 개념
Fig. 2. Demand Response concept



그림 3. 수요자원 용량과 참여고객 수 변화
Fig. 3. Changes in Demand Response resource's capacity and number of participating customers

보다 저렴할 경우 낙찰되어, 해당 시간에 수요 감축을 이행하는 프로그램이다.

시장 개설 당시 861개소의 참여고객을 모아서 약 1.5GW의 수요자원 용량을 확보하였고, 2년 만에 참여고객과 수요자원 용량이 모두 약 160% 증가하여 현재(2016년 12월 기준) 2,223개소의 전기소비자를 통해 약 3.9GW 수요를 감축하는 성과를 보였다(그림 3). 지난 2년간(2014.11~2016.11) 수요자원 거래시장을 통해 감축한 전력량은 601GWh로 이는 제주도 인구(약 66만 명)가 약 11개월간 사용할 수 있는 전력량에 해당된다.^[2]

수요자원은 전력시장에서 전력공급 비용 절감, 전력계통 효율성의 향상뿐 아니라, 나아가 국가 경제에도 긍정적인 효과를 발휘하고 있다. 발전자원과 가격경쟁을 통하여 『수요자원 활용 → 전력시장가격(계통한계가격, System Marginal Price, SMP) 하락 및 발전기 용량정산금 인하 → 전력공급비용 절감 → 전기요금 상승 억제 → 고비용 저효율 발전기 퇴출 및 신규 발전기 건설 억제』의 선순환 구조를 형성하여 전력시장에 긍정적 신호로 작용하고 있으며 수요곡선 평탄화를 통해 전력공급설비의 가동률을 향상하고 계통안정성 확보를 위한 도구로 활용할 수 있어 계통효율성 향상에도 이바지하고 있다. 또한, 에너지를 활용한 새로운 비즈니스 창출 기회를 제공하여 이기중 산업과 융복합을 촉진함으로써 약 1,500억 원 규모의 신시장을 창출하였다(2016년 기준).

시장 개설 후 수요관리사업자는 더욱 많은 수요자원의 용량 확보를 위하여 공장, 빌딩 등 대규모 전력 소비자를 중심으로 수요자원을 구성하였으며 가정, 상가 등 소규모 전력 소비자는 낮은 경제성과 높은 영업난이도로 인하여 시장참여가 미비하였다. 대규모 전력 소비자의 감축 용량이 소규모 전력 소비자의 감축 용량을 압도하기 때문에 전체 참여고객 중 산업용 고객은 지속적으로 증가하는 반면 산업용 이외의 고객인 소규모 전력 소비자의 증가세는 주춤하고 있다(그림 4).

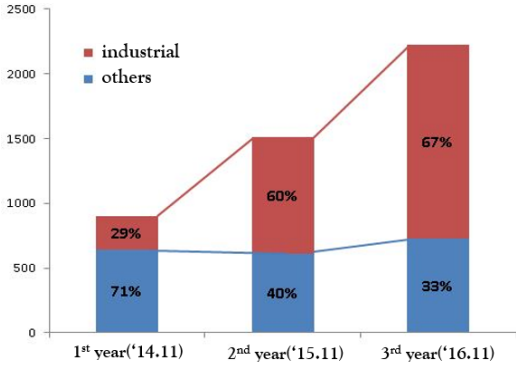


그림 4. 분류 별 참여 고객 비율 변화
Fig. 4. Changes in percentage of participating customers by category

이에 따라 정부는 중장기 수요자원 거래시장 발전 방안으로 소규모 전력 소비자 맞춤형 수요자원 프로그램 설계를 통해 다양한 전력 사용자가 참여하는 시장을 2015년 10월 제시하였다.

II. 소규모 수요자원 거래시장의 필요성

2.1 해외 수요자원 거래시장 운영 현황

2.1.1 미국

1970년대부터 수요자원 프로그램을 운영한 미국은 세계 최대 규모의 수요자원 거래시장을 운영하고 있으며, 용량시장, 에너지 시장, 보조서비스 시장에서 발전기와 마찬가지로 다양하게 활용되고 있다. 2005년 에너지 정책 법(Energy Policy Act, EAct)의 제정을 통해 연방에너지규제위원회(Federal Energy Regulatory Commission, FERC)의 역할을 구체적으로 명시하였으며, FERC Order 745를 통해 도매전력시장에서 수요자원의 거래 근거를 명확하게 제시하였다.

미국의 DR 시장은 크게 DR 1.0, DR 1.5, DR 2.0으로 구분할 수 있다. DR 1.0은 2008년 정립된 초기 모델로 서비스 공급자인 수요관리사업자가 등장하기 이전의 상태를 말한다. DR 1.5는 수요관리사업자의 등장을 통해 수요자원 거래시장이 더욱 확대된 상태를 말한다. 하지만 여전히 중소형 C&I(Commercial and Industrial) 및 일부 주거용에 제한하여 서비스를 제공하며, 현재 운영되고 있는 시장의 형태를 의미한다. DR 2.0은 모든 주거용 고객까지 확대된 시장 형태로, 새로운 프로그램 및 보조서비스가 소개되는 상태를 의미한다.^[3] 미국 정부에서 발표한 로드맵에 따르면, DR 2.0은 2010년 시작되었으며 2019년까지 시

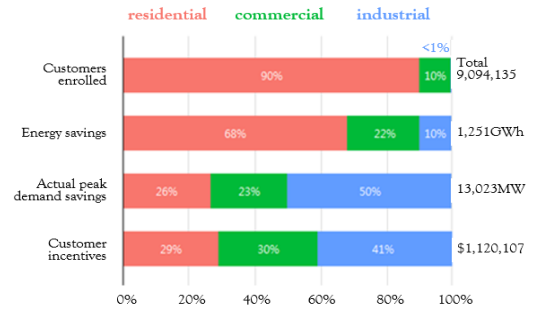


그림 5. 미국 수요자원 거래시장 운영 결과(2015)
Fig. 5. US Demand Response Market operating results(2015)

범운영을 마치고 2020년 이후 시스템으로 정착하는 것을 목표로 하고 있다.^[4]

현재 미국의 수요자원 거래 시장이 주거용과 같은 소규모 전력 소비자를 포함하는 방향으로 확대되어 가고 있다는 점은 매우 분명하다. 2015년 실제 시장 운영 결과를 통해 그 이유를 보다 명확하게 파악가능하다. 그림 5를 보면 현재 DR 1.5 운영 단계로 전체 주거용 소비자를 대상으로 하지 않음에도 불구하고, 에너지 감축량과 피크 감축량 모두에 있어 큰 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다(주택용과 상업용이 모두 소규모 전력 소비자로 분류된다).^[5]

현재 북미에서 확보된 수요자원 용량 약 28GW 중 21GW는 중소형 C&I DR, 7GW는 가정용 DR 을 통해 확보된 것으로 보고되었다. 2025년에는 중소형 C&I DR로부터 26GW, 가정용 DR로부터 23GW를 확보할 것으로 예상된다.^[6]

BYOD/T(Bring Your Own Device/Thermostat) 프로그램과 관련 기기는 소규모 전력 소비자의 DR 참여를 촉진하는 데 중요한 역할을 하고 있으며, AMI(Advanced Metering Infrastructure), 스마트 미터(Smart meter) 및 IoT(Internet of Things) 기기의 확산 관련 IT 인프라(IT Infrastructure)의 진화로 행동 기반 수요관리(Behavior Demand Side Management)와 분석기반 수요관리(Analytical Demand Side Management) 기술이 최근 DR을 이끌어가는 주요 요인(Key Driver)으로 작용하고 있다.

2.1.2 유럽

유럽의 경우, 2000년대 초반부터 DR 프로그램을 본격적으로 도입하기 시작하였다. 이후, 2011년 1월 주요 기업들의 자발적인 참여를 통해 SEDC(Smart Energy Demand Coalition)를 창립하여 참여국들의

수요자원 거래시장 운영상황을 공유하고 있다. 유럽 국가 중 프랑스와 영국이 주도적으로 용량시장에서 수요자원의 참여를 준비하여, 프랑스에서는 2015년, 영국에서는 2014년에 용량시장에서 수요자원을 활용한 첫 번째 경매가 시작되었다.^[7] 또한, 소규모 전력 소비자 대상 수요자원 거래시장의 경우, 현재 영국, 프랑스, 핀란드의 3개국에 한하여 운영을 시작하는 단계에 있다.^[8] 수요자원 거래시장의 전반적인 운영 측면에서는 아직 시작 단계로 볼 수 있으나, SEDC의 연간 보고서 발행 등 체계적인 관리 및 내부 규칙 정립에 있어 보다 발전된 형태의 시장 구조를 갖추고 있다고 평가할 수 있다.

2.1.3 아시아

아시아는 유럽과 달리, 국가별로 수요자원 거래 시장을 운영 및 관리하고 있다. 현재 일본, 대만, 한국 등이 가장 활발하게 수요자원 거래 시장을 운영 중에 있다(그림 6).^[9]

먼저 일본의 경우, 2011년 후쿠시마 원전사고로 인해 원전 운영이 제한됨에 따라 수요자원을 발전자원 대안으로 주목하고 있다. 2014년부터 정부 주도 실증 사업을 시행하고 있으며, 이후 동경전력, 간사이전력 등과 같은 유틸리티 주도 형태의 DR 운영이 추가로 진행될 것으로 예상된다. 2024년까지 주거용 고객 약 8,000만 호에 스마트 미터를 보급할 것으로 발표한 바 있다.

대만의 경우, 대만전력의 주도로 2017년부터 약 5,000만 대의 스마트 미터를 보급할 것으로 발표한 바 있다. 시장 불확실성의 존재 및 산업 표준화 관련 재원 부족 문제로 시장 도입이 미뤄진 상황이다.

싱가폴의 경우, 2004년 보상금을 지급하는 형태의 IL(Interruptible Load Scheme, 차단 가능 부하 제도) 프로그램 운영을 시작하였다. 2012년 도매시장에서 수요자원 입찰을 허용하여 시장에 참여하는 DRM(Demand Response Mechanism)을 제안하였고, 2015년 본격적인 DR 프로그램 운영이 시작되었다.

태국의 경우, 정부 및 민간 기업이 함께 실증사업을

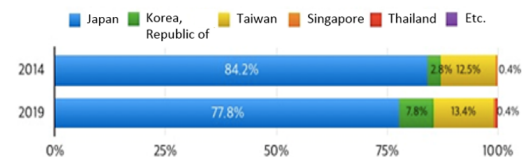


그림 6. 아시아 국가별 수요자원 거래시장 점유율[9]
Fig. 6. Market share of demand response by Asian countries

진행하고 있다. 2016년까지 스마트미터를 통한 DR 운영 최적화를 위하여 파타야 지역 실증사업을 진행한다고 발표한 바 있다.

베트남의 경우, 배전 효율 실증사업(2013~2018)을 통한 DR 실증 수행을 진행 중이다.

2.2 소규모 전력 소비자 대상 수요자원 거래시장 운영의 필요성과 문제점

가정, 상가 등과 같은 소규모 자원은 대규모 자원 대비 경제적, 산업적으로 더욱 큰 파급 효과를 불러올 수 있다. 현재 소규모 자원은 전체 전력소비의 20% 정도를 차지하고 있으며, 이는 작은 비중으로 취급할 수 없는 규모임이 분명하다.^[10] 또한, 전체 에너지에서 주거용 전력이 차지하는 비중은 지속적으로 증가하는 추세에 있다. 미국의 경우, 2040년에는 전체의 41%까지 증가할 것으로 예측되고 있다. 또한, 2.1의 2015년 미국의 사례에서도 볼 수 있는 것처럼, 피크 시간대에는 전체 전력의 50%까지도 차지할 수 있다. 최근과 같이 급격히 변하는 기후 변화에 대응하여 전력망에 최대한 부담을 줄일 수 있는 방안 모색이 절실한 시점에, 소규모 자원 대상 수요자원 거래시장 운영은 당연한 흐름으로 해석할 수 있다. 그뿐만 아니라 소규모 전력 소비자의 경우, 필수 소비 전력량이 존재하는 대규모 전력 소비자에 비해 전력 부하 시간대와 수요량의 변동이 크기 때문에 감축 유동성이 높고 자동화기기를 통한 제어를 통하여 필요시 언제든지 활용이 가능한 수요자원으로 사용이 가능하다.^[11] 더불어 소비 전력량과는 반대로, 소규모 전력 소비자의 인구는 과반수를 차지하고 있어 사회적 인식 개선과 전체적인 행동 변화를 위해서는 소규모 전력 소비자를 대상으로 한 수요자원 거래시장의 운영이 반드시 수반되어야만 한다.

그러나 소규모 전력 소비자 대상 수요자원 거래시장 도입에는 다양한 장애물이 존재한다. 먼저 현실적인 문제를 고려할 수 있다. 수요자원 거래시장고객 점유율 면에서 산업용 48%, 농사용 12%, 일반용 40%를 차지하는 반면, 실제 감축량 비중은 산업용 94%(2,297MW), 일반용 4%(95MW), 농사용 2%(51MW)로, 농사용 및 일반용과 같은 소규모 전력 소비자 대비 산업용과 같은 대규모 전력 소비자로의 쏠림이 매우 심하게 나타난다.^[12] 즉, 수요자원 거래시장 참여 조건 및 의무 요건이 산업체 조업 일정 조정에 기반하여 설계되어 소규모 수요자원의 참여가 현실적으로 불가능하다는 한계점이 있다. 소규모 전력 소비자의 원활한 시장진입을 위해, 대규모 전력 소비

자와는 다른 참여자원 자격 기준의 정립이 필요하다. 자원구성 규모, 발령빈도, 참여고객 중별 요건, 지속시간, 발령조건, 감축시험 및 소비패턴 검증 횟수 등에 대한 조정이 이루어질 때, 소규모 수요자원의 현실적 참여 장벽이 완화될 수 있을 것으로 예상된다. 다른 어려움으로는, 소비자 개개인의 전력 소비 패턴이나 감축량, 이벤트 참여 및 이탈 여부를 쉽게 예측하기 힘들다는 점 등과 더불어, 수요자원 거래에 효과적으로 사용할 수 있는 기능을 갖춘 Home AMI 및 스마트미터의 보급이 충분히 되지 않았다는 점을 들 수 있다. 다만, 보다 쉽게 소비자들의 특성을 파악하기 위하여, 기계학습 기법을 활용하여 소비자 행동에 대한 예측 모델을 설계하거나 클러스터링 등의 기법을 통하여 고객을 군집화 하는 등의 방법이 가능하다. 또한, 국가적 시장 운영 지원에 있어 다양한 방식들이 고려될 수 있고, Home AMI 및 스마트미터의 보급가를 낮추는 노력 및 홍보를 통한 자발적 구입 증가 방식도 가능하다. 또한 앞서 언급한 효과들을 검증하기 위하여 충분한 시범운영과 결과 분석을 실시하여 위와 같은 문제점에 대한 최적의 해결방안을 찾아가는 것이 중요하다. 국내 학계에서도 어려움을 해결하기 위해 다양한 연구들이 진행되고 있지만 설계에만 그치거나 시범운영의 규모가 작다는 한계가 있다.^[10,13,14]

III. 시범운영 실험 및 분석

3.1 실험 방법

본 논문에서는 2016년 7-8월, 약 5,000가구 이상을 대상으로 진행한 수요반응 시범운영 실험 결과를 분석하였다. 실험은 각 가정에 전력 사용량 수집을 위한 스마트미터가 설치된 소규모 전력 사용자를 대상으로 진행되었다. 소규모 전력 사용자의 DR에 대한 이해를 돕기 위하여 수요감축요청을 ‘에너지미션(Energy Mission)’이라는 서비스로 구성하여 본 실험을 진행하였다. 이하 본 논문에서 ‘미션(Mission)’은 수요감축요청을 의미한다. 미션일 하루 전, 스마트폰

어플리케이션을 통하여 특정시간대의 사용량을 줄이는 미션을 발령하고, 미션에 성공한 경우, 1kWh당 1,500원의 인센티브를 제공하는 방법으로 실험이 이루어졌다. 각 실험 대상 전력 사용자들은 미션 참여 공지 화면을 통하여 참여 여부를 자발적으로 결정하였고, 미션을 수락한 경우 각 사용자에게 절감량이 제시되고 절감 제시량 이상을 줄였을 경우 미션에 성공한 것으로 간주했다. 절감제시량은 최대절감가능량에 따라 세 가지 방법으로 계산되었다(표 1). 수요절감량 측정의 기준이 되는 CBL(Customer Baseline Load)은 현재 국내에서 운영되고 있는 수요반응 거래시장 내의 계산방법을 따른다.^[11] 모든 미션에서 참고일 10일(비정상근무일 옵션 포함) 중 미션시간대에 사용량이 가장 많은 2일과 가장 적은 2일을 제외한 6일의 평균 사용량을 기준 사용량으로 보는 Mid(6/10) 방식을 적용하였다. 또한, 소비자 별 최대참고일 20일 내 시간당 사용량의 하위 5%를 최소사용량(minBase)으로 정의하고, CBL과의 차이를 최대절감가능량으로 정의하였다.

위 내용에 따르면 전체 사용자는 그림 7에 보는 바와 같이 구분할 수 있다. All group은 데이터 수집기간이 2주 이상으로, CBL 계산이 가능한 사용자를 모두 포함한다. Target group은 최대절감가능량이

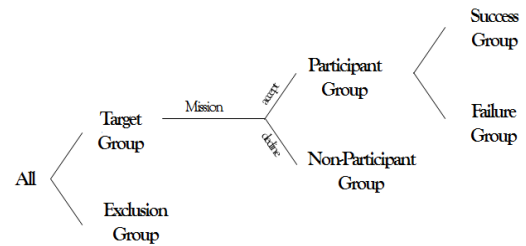


그림 7. 전체 사용자 분류
Fig. 7. User classification

표 2. 미션 날짜와 user group별 인원수
Table 2. Number of users by mission date and group

Mission	Date	All	Target	Participant
1	2016.07.20	5,436	3,469	261
2	2016.07.26	5,468	3,550	291
3	2016.08.04	5,629	4,038	380
4	2016.08.10	5,756	4,165	413
5	2016.08.17	5,889	4,298	543
6	2016.08.25	5,792	4,364	576

표 1. 절감제시량 계산 방법
Table 1. Calculation of the suggested reduction

Max reducible capacity	Suggested reduction
100Wh <, ≤ 500Wh	30% of max reducible capacity
500Wh <, ≤ 1500Wh	75Wh + 15% of max reducible capacity
< 1500Wh	300Wh

100Wh 이상인 사용자로, Target group에 한하여 미션이 진행되었다. 최대절감가능량이 100Wh 미만인 사용자는 Exclusion group으로 분류되어, 미션이 진행되지 않았다. 미션은 opt-in 방식으로, 사용자가 자발적으로 참여 여부를 결정하였다.

실험 기간 동안 미션은 총 여섯 번 진행되었고 표 2는 각 미션의 날짜, group별 인원을 보여주고 있다. 미션 4는 15:00부터 16:00까지 진행되었고 그 외의 미션은 14:00부터 15:00까지 진행되었다.

3.2 결과 분석 방법

미션을 발령한 날의 수요는 측정이 되지만 얼마나 수요 감축이 되었는지는 측정되지 않는다. 따라서 CBL을 산정하여 수요반응 미션이 발령되지 않았을 경우 예상되는 전력 사용량(Usage_{CBL})와 미션 시간대 실제 전력 사용량(Usage_{Mission})의 변화량을 감축률(Reduction rate)로 보았다. 감축률은 아래 식(식 1)과 같이 표현되며 그 값이 높을수록 절감효과가 좋은 것으로 볼 수 있다. 본 논문에서는 감축률 계산을 위한 CBL을 절감목표량 계산에 사용한 Mid(6/10)을 택하였다.

$$(Reduction\ rate) = 1 - \frac{Usage_{Mission}}{Usage_{CBL}} \quad (1)$$

group별 전반적인 수요 감축률(Overall reduction rate)은 각 group과 Control group의 Reduction rate의 차이(Difference in rate)를 통해 확인하였다.

이 방법은 통계적 실험 설계 방식에 따라 Treatment group과 Control group의 감축률 차이를 보는 Difference in differences(DID) 방법과 유사한 방법으로 CBL에 근거한 감축률의 효과를 더욱 엄격하게 검증하기 위해 사용했다. 본 실험의 Control group은 평상시 Participant group과 통계적 특성의 차이를 보이지 않은 Non-participant group을 사용하였다.^[15,16]

3.3 결과

표 3은 앞에서 설명한 분석 방법에 따라 group별 수요 감축률을 계산한 결과이다.

전체 미션에 대한 수요 감축률을 보면 All group 전체의 수요 감축률은 평균 0.64%, Target group 전체의 수요 감축률은 평균 3.59%, Participant group의 수요 감축률은 평균 13.47%, Non-participant group의 수요 감축률은 평균 2.45%였다. 그 결과 3.2에서 제시한 방

표 3. Group별 수요 감축률(단위: %) Table 3. Reduction rate by group(Unit: %)

Mission	All	Target	Participant	Non-Participant
1	-2.81	0.13	1.67	0.01
2	-21.43	-18.15	-8.23	-19.00
3	-13.12	-10.98	1.34	-12.22
4	0.11	3.40	16.00	2.06
5	11.69	15.24	31.01	13.01
6	29.41	31.87	39.03	30.82

법에 따라 Target group 전체의 전반적인 수요 감축률(Difference between Target and Non-participant reduction rate)은 최소 0.12%, 최대 2.23%, Participant group의 전반적인 수요 감축률(Difference between Participant and Non-participant reduction rate)은 최소 1.66%, 최대 18%를 보였다. 각 미션별 Target, Participant group의 전반적인 수요 감축률은 표 4에 나와 있다. 미션을 통한 수요 감축 효과를 보기 위해 Exclusion group을 제외한 Target group에 대해서만 전반적인 감축률을 확인하였다.

미션 1, 2, 3의 경우 지속적으로 더워지는 날씨 때문에 All group의 수요 감축률만 본다면 미션을 수행했음에도 전력 수요가 증가하는 모습을 보인다. 하지만 Non-participant group의 수요 감축률과 비교해본다면 미션 2, 3의 경우 더 늘어날 것이라 예상된 수요가 상대적으로 덜 늘어난 것을 확인할 수 있다. 전반적인 수요 감축률이 비교적 작았던 미션 6의 경우 Participant group과 Non-participant group 모두에서 높은 수요 감축률을 보였다. 이는 해당 미션날짜에 강우로 인해 근래 10일 중 가장 낮은 평균 기온을 기록하여 날씨로 인한 사용량 변동 때문에 미션으로 인한 사용량 변동을 감지하기 어려웠던 것으로 보인다.

표 4. All, Target, Participant group의 전반적인 수요 감축률(단위: %) Table 4. Difference between All, Target, Participant group and Non-participant group reduction rate(Unit: %)

Mission	Target	Participant
1	0.12	1.66
2	0.85	10.77
3	1.24	13.56
4	1.34	13.94
5	2.23	18
6	1.05	8.21

IV. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 국내외 수요자원 거래시장에 대한 동향조사와 소규모 전력 소비자 대상 수요자원 거래시장의 시범 운영 결과를 분석하여 그 효과를 확인하고 가능성을 제시하였다. 현재 미국, 프랑스, 일본 등 소수의 국가에서만 소규모 전력 소비자 대상 수요자원 거래시장 운영을 시작한 상태이다. 하지만 전체 전력 소비 비중, 감축 유동성, 언제 어디서나 활용 가능한 수요자원, 사회 인식 개선의 필요요소라는 점 등에서 소규모 전력 소비자 대상 수요자원 거래시장의 운영은 수요자원 거래시장의 선진화를 위한 핵심 요소라고 볼 수 있다. 실제 소규모 전력 소비자 대상 시범 운영 내용을 살펴본 결과, 5,000가구 이상을 대상으로 한 국내 최초 시도였고 참여율과 감축율을 높이기 위한 노력이 아직 미미했음에도 불구하고, 여름 피크시간대에 평균 1.14%의 유효한 전체 수요 감축 효과를 확인할 수 있었다. 그러나 이 논문의 결과 분석은 모든 참여자를 참여, 비참여로만 구분지어 진행되었다. 따라서 미션 참여자의 유형과 수요 감축 효과와의 상관관계를 살펴보기 위해 향후 참여자의 미션 참여 패턴, 미션 참여율 등을 함께 분석한다면 수요 감축 효과를 예상하고 미션을 발령하는데 도움이 될 수 있다.

본 논문은 2016년 여름의 시범운영 결과에 대해서만 다루고 있다. 해당 시범 운영은 2018년까지 다양한 변수들에 대하여 진행될 예정이므로 추가되는 실험 데이터를 통하여 수요 감축 효과를 지속적으로 검증할 계획이다. 또한, 미션의 효과를 높이기 위해 참여자에 대한 분석도 진행할 예정이다.

References

[1] KPX, *Demand Response Market Class Material(advanced)*, 2016.

[2] KPX, "Operational Performance and Future Plan of Demand Response Market," *National DR Conf. Global Leap of Demand Response Market*, pp. 1-11, 2016.

[3] Y. K. Lee, "Domestic and foreign demand response market trends and implications," *ENERGY FOCUS 2016 Summer Issue*, pp. 34-59, 2016.

[4] Paul De Martini, *DR 2.0: A Future of Customer Response*, 2013.

[5] U.S. Energy Information Administration,

Electric power annual 2010, EIA Press, 2015.

[6] Utility DIVE, *C&I demand response growth is slowing, but more opportunities could emerge from the utility sector*, Retrieved Jun. 29, 2016, from <http://www.utilitydive.com/news/ci-demand-response-growth-is-slowing-but-more-opportunities-could-emerge/421532/>

[7] Navigant research, *Navigant Research Report, Market Data : Demand Response*, 2Q 2016.

[8] Coalition, *Smart Energy Demand, Mapping Demand Response in Europe Today*, Tracking Compliance with Article 15, 2014.

[9] KEMRI, "Demand response by country and operation case analysis," *KEMRI Power Economy Rev.*, 2015.

[10] H. S. Jung and D. K. No, "A study on demand management method for home through a power profile analysis," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 459-460, 2017.

[11] Smart Grid News, *5 reasons why residential demand response matters*, Retrieved Aug. 28, 2015, from <http://www.smartgridnews.com/story/5-reasons-why-residential-demand-response-matters/2013-08-27>

[12] Ministry of Trade, Industry and Energy, Republic of Korea, *Representative of new energy industry, small but strong power of 'Demand Response Market'*, 2015.

[13] I. S. Jang, J. M. Yun, and M. J. Jeong, "Design research of VEN client system for controlling building demand response," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 1385-1386, 2015.

[14] S. C. Kang and J. S. Choi, "Design and implementation of realtime demand and response gateway in smart home based on MQTT," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 60-61, 2016.

[15] AEIC Load Research Committee, *Demand Response Measurement & Verification(2009)*, Retrieved Dec., 30, 2016, from https://www.smartgrid.gov/files/demand_response.pdf

[16] L. G. Miriam and G. K. Agnew, *Measurement and verification for demand response*, US Department of Energy, 2013.

이 은 정 (Eun-jung Lee)



2015년 2월 : 서울여자대학교 멀티미디어학과 졸업
2015년 3월~현재 : 서울대학교 융합과학부 디지털정보융합전공 석박통합과정
<관심분야> Data Science, Unsupervised Learning

김 은 철 (Eun-cheol Kim)



2006년 8월 : 전남대학교 전자정보통신공학과 졸업
2012년 8월 : 뉴욕주립대 기술경영 석사
2006년 4월~현재 : 전력거래소 수요시장팀 차장
<관심분야> Data Science, Smart Grid, IoT

이 경 은 (Kyung-eun Lee)



2014년 2월 : 서울대학교 건설환경공학부 졸업
2016년 9월~현재 : 서울대학교 융합과학부 디지털정보융합전공 석박통합과정
<관심분야> Data Science, Demand Response Data Analysis

이 원 종 (Wonjong Rhee)



1996년 2월 : B.S., Electrical Engineering, Seoul National University
2002년 6월 : Ph.D., Electrical Engineering, Stanford University
2014년 2월~현재 : 서울대학교 융합과학기술대학원 융합과학부 부교수

<관심분야> Algorithms, Optimization, Information Theory

이 혜 수 (Hye-su Lee)



2016년 8월 : 광운대학교 수학과 졸업
2016년 7월~현재 : 인코어드 테크놀로지스 매니저
<관심분야> Data Science

이 효 섭 (Hyo-seop Lee)



2005년 2월 : 서울대학교 수학과 졸업
2007년 8월 : 서울대학교 계산과학협동과정 석사
2010년 2월 : 서울대학교 계산과학협동과정 박사
2014년 2월~현재 : 인코어드 테크놀로지스 연구소장

<관심분야> Data Science, Machine Learning, Smart Grid