

스마트 그리드(스마트 에너지)의 스마트 시티에의 통합에 대한 문헌 연구

Review on Integration of Smart Grid into Smart City

심민규(Min Kyu Sim)*

초 록

효율적인 에너지 운영을 목표로 하는 스마트 그리드는 인간의 삶의 질의 향상을 목표로 하는 스마트 시티의 일부로 자리 잡을 것이다. 이 논문에서는 성숙된 스마트 그리드의 모습이 스마트 시티에 자연스럽게 통합되는 모습을 논증한다. 또한, 스마트 시티의 핵심 구성요소로서 스마트 그리드의 모습을 그리고, 이에 필요한 제도, 인프라, 기술 요소에 대한 문헌을 조사한다.

ABSTRACT

Smart grid aims to achieve efficient energy-related operations. Smart grid will become a central component of Smart city that aims to improve citizens' quality of life. This paper validates that smart grid at matured state is the state where smart grid is naturally integrated into smart grid. Also, this paper describes smart grid as an essential element of smart city. This paper discusses necessary social infrastructure and investigates necessary technological features.

키워드 : 스마트 그리드, 스마트 시티, 센서, 블록체인, P2P 거래, 스마트 그리드, 스마트 시티, 센서, 블록체인, P2P 거래
Smart Grid, Smart City, Sensor, Block-Chain, P2P Trading

* Assistant Professor, Department of Industrial and Systems Engineering, Seoul National University of Science and Technology(mksim@seoultech.ac.kr)

Received: 2019-10-29, Review completed: 2019-11-30, Accepted: 2019-12-17

1. 서 론

스마트 그리드는 생산, 분배, 소비와 같은 에너지에 관련된 운영이 이루어지는 전기와 관련된 격자 시스템으로 정의된다[6]. 세계적으로 화석연료와 원자력에너지를 이용한 발전에 대한 의존성을 낮추기 위해 신재생 에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 신재생 에너지는 화석 연료를 사용하지 않고 자연발생적인 에너지(태양광, 풍력, 조력, 지열)등을 이용하기 때문에 생산량을 인간의 힘으로 조절하기가 매우 어렵다. 신재생 에너지의 생산량의 조절과 예측이 어려운 것은 스마트 그리드 내의 분배와 소비 기능에 있어서도 어려움을 야기한다. 이를 해결하기 위해서 각종 에너지 저장장치 기술들이 개발되고 있다.

스마트 시티의 정의를 다룬 2014년의 연구 [16]에서는 스마트 시티에 대한 100개 이상의 정의가 존재한다는 것을 보고하였다. 대표적으로 유럽연합(EU)에서는 시티의 “smartness”에 대해서 정부, 경제, 이동성, 환경, 사람, 생활의 6가지 차원으로 정의하였다[10]. 다양한 정의에서 공통적으로 찾을 수 있는 부분은, 스마트 시티는 융합된 정보통신기술(ICT, Information and Communication Technology)을 이용하여 시민(citizen)들의 삶의 질(quality of life)을 향상 시키는 것을 목표로 한다는 것이다. 스마트 시티는 이를 위해 다양한 인프라들과 시스템들을 수직적, 수평적으로 통합한 시스템(system of systems)이다[4].

스마트 시티는 많은 전기를 소모하기에, 효율적인 관리를 위해서 스마트 그리드가 필수적인 구성요소이다. 스마트 그리드는 스마트 시

티의 중추이며[2], 에너지와 연관된 서비스를 제공하는 것이 필수적이다[11].

반면, 스마트 그리드의 발전 단계로 보아서도, 스마트 그리드의 미래의 모습은 스마트 시티의 핵심 기능에 해당한다. 에너지의 분배가 효율적으로 이루어지려면 각 에너지 생산/소비 주체 간에 에너지 이동이 낮은 비용으로 빠르게 가능해야 하는데, 낮은 비용의 에너지 이동은 물리적 거리가 가까운 도심지역에서 더 경제성이 높다. 또한, 스마트 그리드의 에너지 사용 수요를 고려한 최적 운영이 요구된다.

스마트 그리드와 스마트 시티의 각각의 영역에 대해서는 많은 연구가 계속적으로 이루어지고 있다. 또한 스마트 그리드가 스마트 시티에 어떻게 포함되어서 작동할 것인지에 대한 연구 [1-4, 8, 11, 16]도 많이 이루어지고 있으며, 통합에 필요한 기술 요소, 정책, 인프라에 대한 연구도 많이 이루어지고 있다[2-3, 7-9, 12, 14-15, 18-19]. 본 연구에서는 스마트 시티 내에 통합된 스마트 그리드의 모습을 종합하고, 통합에 필요한 제도, 인프라, 기술 요소 등이 각각 서로 어떻게 연관이 되어 있는지에 대한 선행 관계와 인과관계에 초점을 맞추어 기존 문헌들을 조사하는 것을 목적으로 한다.

논문의 이후 구성은 다음과 같다. 우선 제2장에서는 스마트 시티에 통합된 스마트 그리드의 모습에 대한 연구를 종합하여 스마트 시티 내에서 에너지는 어떻게 생산, 저장, 분배, 소비하게 될 것인지를 그렸다. 제3장에서는 스마트 그리드의 스마트 시티에의 통합을 위한 제도, 인프라, 기술, 그리고 통합된 결과의 산출물인 스마트 시티의 모습을 그린다. 제4장에서 논의를 마무리 한다.

2. 스마트 시티에 통합된 스마트 그리드의 모습

통합의 방향에 대해서 2017년의 한 연구[4]는 5가지 요소(친환경 에너지원, 스마트 계량, 효율적인 조명, 전기 자동차(EV)의 통합, 소비자들의 적극적인 참여)를 제시하였다.

친환경 에너지원은 통합 이전의 스마트 그리드에서도 강조되는 영역이다. 특히, 통합되는 경우에는 친환경 에너지원의 중요성이 더욱 높아진다. 화석/원자력 연료를 이용한 발전은 공해를 유발하기 때문에 일반적으로 도시로부터 멀리 떨어진 곳에서 생산을 하게 된다. 반면 태양광, 풍력, 지열을 에너지원으로 사용하는 경우에는 공해를 덜 유발하기 때문에 도시에 근접한 곳에서 생산이 가능하다. 태양광과 지열의 경우에는 일반적으로 여름철에 가용성이 높는데, 에어컨의 사용으로 전기 수요가 많은 도시지역의 특성으로 인해 수요량-공급량은 양의 상관관계를 이루게 된다. 수요와 생산의 강한 양의 상관관계는 에너지의 저장 기술과 더불어 집과 빌딩이 자가 충족(self-sustained)에 가까워지는 데에 중요한 요소이다.

일반적으로 에너지 계량기는 단방향의 에너지 흐름의 총량을 측정하는 센서 기술에 기반하고 있다. 그러나 스마트 시티 내에서는 에너지의 교환이 양방향으로 일어나므로, 에너지 계량기는 이를 실시간으로 모니터링하며 사용자와 통신할 수 있어야 한다. 또한, 에너지의 교환량을 분석, 예측하고 때로는 무인 의사결정(autonomous decision)을 내릴 수 있어야 한다. 이에 따라 사용자들은 에너지 계량기와 정보를 교환하면서, 효율적인 생산, 소비, 거래의 활동을 할 수 있다.

도시의 공공 조명은 도시 미관, 교통 안전, 치안 등의 여러 영역에 영향을 주는 공공 서비스 영역이다. 스마트 시티에 통합된 스마트 그리드는 유동 인구, 차량 흐름, 기상 상황(일출, 일몰, 시계거리) 등을 분석하여 공공 조명을 관리하게 될 것이다.

전기 자동차(EV)는 스마트 그리드와 스마트 시티를 잇는 매우 중요한 기술이다. 전기 자동차는 스마트 그리드 내에서 에너지의 공급이 충분한 시공간에서 충전이 되고 이동 수요가 많은 시공간에서 방전될 것이다. 전기 자동차는 에너지를 소비하는 도구에 지나지 않는다. 충전된 에너지를 다시 스마트 그리드로 돌리는 기술(Vehicle to Grid, V2G)의 발전으로 전기 자동차는 사람과 물류 뿐 아니라 에너지를 정류전력망 외에서 이동시키는 도구가 될 것이다. 특히, 자율주행 기술이 발전된다면, 매우 낮은 비용으로 사람, 물류, 에너지의 이동이 일어나게 될 것이다.

신재생 에너지 이용의 확대는 프로슈머(prosumer)라는 새로운 개념을 만들어 냈다. 이들은 에너지의 소비자임과 동시에 에너지를 스마트 그리드에 판매할 수 있는 판매자이기도 하다[1]. 현재의 프로슈머는 흔히 태양광 장치를 보유하고 있는 개인으로 그려진다. 하지만, 신재생 에너지 외의 다른 에너지원으로 부터도 에너지를 획득하고도 에너지를 효율적으로 저장해서 분배하는 방식으로 프로슈머의 역할을 할 수 있다. 이를 위해서는 에너지 저장 장치(ESS, Energy Storage System)나 V2G 기술이 장착된 EV를 보유하기만 하면 된다. 그들은 에너지의 가격이 낮은 시공간에서 에너지를 구매하여 보유하다가 에너지의 가격이 높은 시공간에서 판매함으로써, 거래의 유동성을 높이고 시공간별로 서로 다른 가격을 평탄화 시키는 역할을 한다.

프로슈머의 거래 상대방은 다른 프로슈머일 수도 있다. 프로슈머들이 만나는 P2P(peer-to-peer)기반의 거래 시장에서 개개인의 프로슈머는 에너지를 주고 받으며 효율적인 시장을 구성할 것이다.

스마트 그리드가 통합된 스마트 시티에서는 다양한 에너지에 관련된 서비스가 등장하고 활성화 된다[11]. 이들 서비스에는 전술한 바와 같이 전기 저장 공간을 제공하는 서비스, 에너지 거래를 위한 P2P 플랫폼 서비스, 대형 에너지 소비자의 수요를 조절하는 수요반응(Demand Response, DR)업자 등이 포함된다.

3. 통합을 위한 제도, 인프라, 기술

스마트 그리드의 스마트 시티에의 통합은 큰 사회적 변혁을 가져올 것이며, 이러한 변혁을 위해서는 사회적인 제도와 합의, 인프라의 구축, 핵심 기술의 발전 등이 전제되며 같이 발전해야 한다.

제도적인 측면에서는 공급 한계비용과 시장 가격의 괴리를 줄이게 하는 TOU전기 요금제와 DR프로그램이 도입되어야 하며, 인프라의 측면에서는 EV의 보급이 확산되고, 전기거래 시장이 활성화되어야 한다. 통합을 위해서는 여러 가지 기술 요소가 필요하다. 센서 기술, 데이터 분석과 관리 기술, 거래의 편의를 돕는 블록체인 기술 등의 발전과 완성이 필요하다.

3.1 통합을 위한 제도

3.1.1 TOU(Time-Of-Use) 전기 요금제

전기를 생산하여 공급하는 주체의 입장에서

전기 공급에 대한 한계 비용은 시간에 따라 상이하다. 특정 시간에 전기 공급량이 적고 수요량이 많을수록, 전기 공급 비용이 높아진다. 그러나 대부분의 국가와 사회에서는 전기의 사용 시간에 따라서 다른 요금을 부과하지는 않는다. 이런 수요자-공급자 간의 서로 다른 가격 구조는 효율적인 시장 구성을 저해한다. 이를 해결하는 한 가지의 방법은 전기 사용 시간대(TOU, time-of-use)에 따라 차등적으로 단위 전기 요금을 부과하는 것이다. TOU에 따른 전기요금 차등은 피크 시간대(peak-hour)의 전기 사용을 절감하고 생산 및 공급의 부담을 낮추는 데에 효과적임이 실증되어 있다[15].

TOU 기반 전기 요금 제도를 도입하는 데에는 몇 가지 걸림돌이 있는데, 우선 각 사용 주체의 계량기가 이에 적합한 기능을 지원해야 하며, 항시적으로 고정되어 있는 전기요금제의 관성을 벗어나기 위해서 사회적인 합의가 이루어져야 한다.

3.1.2 DR(Demand-Response) 프로그램

TOU는 DR의 대표적인 예로서 통용되는 경우가 많다. 본 연구에서는 TOU는 전기요금의 부과에 있어서 시간대별 요금을 차등화 하는 제도로서, 반면 DR프로그램은 TOU제도의 일환으로서 peak-hour의 전기 소비를 절제하는 정책으로서 구분하여 기술한다.

이상적인 TOU 기반 전기 요금 체계는 생산/공급의 비용이 계절별/요일별/시간대 별로 조밀하게 세분화되어 반영되는 것이다. 그러나 전술한 현실적인 이유로 현재로서는 수요 반응(DR, Demand-Response) 프로그램이 도입되고 있는 단계이다. DR 프로그램은 전기 수요의 피크 시간대의 수요를 조절하는 것을 목적으로

해당 피크 시간대에 전기 사용을 줄이는 사용자에게 인센티브를 제공하는 프로그램이다. 주로 전기 사용량이 많은 단일 주체인 제조 시설과 대학교 등에 대하여 DR 프로그램이 도입되고 있으며, 일반 개인 사용자들을 대상으로 DR 프로그램이 적용된 사례들도 존재한다[3, 12].

미국 캘리포니아 지역에서 도입된 DR 프로그램에서는 대표적으로 3가지의 인센티브 정책(모드)을 실행하였다[12]. 오프라인 모드에서는 수영장이 있는 집에서 오프-피크(off-peak) 시간대에 가동하면 보상을 지급하였고, 온라인 매뉴얼 모드에서는 공지된 시간 혹은 7월~9월 사이에 전기 사용량을 줄이면 보상을 지급하였다. 그리고 온라인-자동(online-automated) 모드에서는 계절별/시간대 별로 전기 요금을 미리 공지하여, 여름/겨울/봄, 가을과 피크 시간대 여부에 따라서 다른 요금을 적용하여 전기 공급 부담을 낮추고, 전기 사용자들의 인식을 전환하는 계기를 제공했다.

2012년 호주에서는 PowerSmart solution이라는 DR 프로그램을 시행했다. 이 프로그램에는 FlowSmart(미리 지정된 시간에 1시간당 15분간 에어컨을 끄면 보상), PriceSmart(Peak인 이벤트 기간에 전기 사용을 줄이면 reward), 그리고 SeasonSmart(Spring과 Autumn에 더 낮은 전기가격을 제공)와 같은 프로그램을 실행하여 peak-hour의 전기 사용을 절감하는 효과를 가져왔다.

효과적인 DR 프로그램을 설계하기 위해서는 1) 현재 수요 2) 예측된 미래의 수요 3) 현재 생산량 4) 예측된 미래의 생산량의 요소가 함께 고려되어야 한다[2].

3.2 통합을 위한 인프라

3.2.1 전기자동차(EV)의 보급

전기자동차는 스마트 그리드를 스마트 시티의 일부로서 통합시키는데 가장 중요한 인프라 요소이다. 전기자동차는 대부분의 시간에 소유자와 가까이 위치하기에 접근성이 높고, 공해를 배출하지 않을 뿐만 아니라, 많은 양의 전기를 저장하여 운반하는 도구로 활용될 수 있다. 스마트 시티의 구성과 함께 전기 자동차가 제공하는 효용이 증가하면서 전기 자동차의 보급과 대중화는 더욱 확산될 것이다[19].

스마트 그리드와 스마트 시티에 관한 문헌들에서 많이 언급되고 있지는 않지만, 현재 자동차 산업의 화두인 자율주행기술은 단계적으로 전기자동차에 적용되고 있다. 스탠포드 대학에서 출판한 인공지능과 미래의 삶에 대한 2030 보고서[17]에 따르면 자율 주행 자동차의 보급이 완료된 상태에서는 개별 자동차들이 상호간에 실시간으로 통신하면서 도로를 주행하게 된다. 이는 미래의 자율주행 전기자동차는 서로 의사소통을 하면서 사고를 예방하고 교통체증을 줄일 수 있을 뿐 아니라, 심지어 충전을 위해서 차량을 정지할 필요 없이 운행 중에 차량을 연결하여 전지를 충전하는 것이 가능할 수 있다는 뜻이다.

3.2.2 전기 거래 시장

프로슈머의 등장과 양방향으로 전기에너지를 송출/수신할 수 있는 장치의 보급은 개별 사용자들이 적극적으로 참여하는 전기 거래 시장을 활성화 시킬 것이다[14]. 전기 거래 시장에서는 전기를 생산하지도 소비하지도 않고, 단지 ESS를

이용해서 전기를 저장하여 판매하는 트레이더들도 등장할 것이다. 이들은 전기 가격이 싼 시점의 전기를 전기 가격이 비싼 시점으로 옮기는 역할을 하여 시장의 유동성을 공급하고 거래를 활성화 시킬 것이다. 이들의 역할로 사용자층이 두터워지고, 거래를 통한 사회적인 경제적 잉여 (economic surplus)를 창출해 낼 것이다[15].

전기 거래 시장으로의 참여는 관련된 거래 플랫폼 서비스에 이루어 질 것이다. 거래 플랫폼 서비스 하에서 공급자와 구매자가 서로 매칭되고, 결제가 일어나게 된다. 공급하기로 약속한 에너지를 공급하지 못한 경우의 페널티 금액의 지급 또한 플랫폼 서비스에 의해서 일어날 것이다.

3.3 통합을 위한 기술 요소

3.3.1 센서 기술

전통적인 전기 계량기는 단방향의 전기 흐름을 측정하는 센서일 뿐이지만, 스마트 시티내의 센서는 여러 가지 기능들이 융합되어 탑재되어야 한다. 즉, 양방향으로 교환되는 전기의 입출입을 실시간으로 측정하고 상태를 진단해야 하며, 다른 센서들과 의사소통 할 수 있어야 한다. 또한, 수집된 데이터를 분석하고 예측하여, 전기 사용에 대한 가이드를 제공할 수 있어야 한다[18]. 센서는 사용자의 대리인으로서 전력거래 시장에도 참여하여 비딩과 거래의 의사결정도 대행할 수 있어야 한다. 즉, 전력거래시장의 현재 모습을 분석하고 미리 정해진 규칙에 따라 전력거래 플랫폼 서비스를 통해 비딩을 하여 거래를 수행한다. 요약하자면 센서는

통신기와 프로세서의 기능을 포함하게 된다 [13].

3.3.2 데이터 분석과 관리 기술

데이터 분석과 관리 기술은 센서에 탑재되어 모니터, 제어, 의사결정의 토대가 될 것이다 [13, 18]. V2G(Vehicle-to-Grid) 운영에 있어서 빠르고 신뢰할 수 있는 데이터 분석 기술이 요구된다[9]. 이를 위한 주요 이슈에는 1) 미리 정해진 규칙에 따라 실시간으로 데이터 관리, 2) 최적화된 충전 전략의 고안과 실행, 3) 배터리 소비에 대한 예측, 4) 미터기 관리 등이 포함된다[9].

3.3.3 블록체인

블록체인은 참여 주체들 상호간에 견적서를 발급하고, 결제를 가능하게 함으로써, 집단 속의 한 파트너가 다른 파트너와 P2P(peer-to-peer) 거래를 할 수 있는 장치를 의미한다. 전통적인 생산자-소비자의 시장이었던 전기 거래 시장에서 프로슈머가 등장하여 (순수)생산자-프로슈머-(순수)소비자로 이어진 시장이 구성된 이후에는 프로슈머들이 차지하는 활동의 범위와 빈도가 높아질 것이고, 프로슈머들 간에 서로 전기를 서로 사고파는 시장이 확립될 것이다. 이에 보안성 사용성이 높은 블록 체인 기술이 도입될 것이다[14].

3.4 통합 결과의 산출물

3.4.1 전기 기기, 스마트 하우스, 스마트 빌딩

전기자동차와 ESS 뿐만 아니라 에어컨, 엘리베이터, 냉장고 등의 대부분의 전기 기기의 모습

도 양방향 전기 장치로 바뀔 것이다. 양방향 통신이 가능해야만 피크 시간대의 전기 사용량을 자동으로 절감할 수 있기 때문이다[8]. 이러한 전자기기들은 스마트 하우스, 스마트 빌딩의 가장 중요한 구성요소로 자리잡을 것이다[5, 7].

4. 논의 및 결론

에너지의 효율적인 운영이라는 동기로 시작된 스마트 그리드는 이제 인간의 삶의 질의 향상이라는 스마트 시티의 동기에 접근하는 시대로 접어들고 있다. 이에 스마트 그리드의 스마트 시티에의 통합된 모습을 그리고 이를 위한 제도, 인프라, 기술 요소에 대해 논의하였다.

제도적인 측면에서, 전기요금제는 순차적으로 시간별로 차등되어 궁극적으로는 한계 공급 비용이 소비비용에 강하게 연동되어야 한다. 이 과정에서 DR프로그램이 확산되어야 한다. 통합의 과정에서 EV의 확산, 거래 플랫폼 서비스가 활성화된 시장의 성숙도 일어나야 한다. 발전 과정에서 센서 기술, 데이터 분석 및 관리 기술, 블록체인 기술 등이 함께 발전하고 통합을 촉진할 것이다.

References

- [1] Atasoy, T., Akınç, H. E., and Erçin, Ö., "An analysis on smart grid applications and grid integration of renewable energy systems in smart cities," In 2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) (pp. 547-550). IEEE, 2015,
- [2] Bonetto, R. and Rossi, M., "Smart grid for the smart city," In Designing, Developing, and Facilitating Smart Cities (pp. 241-263). Springer, Cham, 2017.
- [3] Bulkeley, H., McGuirk, P. M., and Dowling, R., "Making a smart city for the smart grid? The urban material politics of actualising smart electricity networks," *Environment and Planning A: Economy and Space*, Vol. 48, No. 9, pp. 1709-1726, 2016.
- [4] Eremia, M., Toma, L., and Sanduleac, M., "The smart city concept in the 21st century," *Procedia Engineering*, Vol. 181, pp. 12-19, 2017.
- [5] Kim, H., Kim, H., and Ji, Y., "User requirement Elicitation for U-City residential environment: Concentrated on smart home service," *The Journal of Society for e-Business Studies*, Vol. 20, No. 1, pp. 167-182, 2015.
- [6] Kim, S. G., Jung, J. Y., and Sim, M. K., "A two-step approach to solar power generation prediction based on weather data using machine learning," *Sustainability*, Vol. 11, No. 5, p. 1501, 2019.
- [7] Kumar, N., Vasilakos, A. V., and Rodrigues, J. J., "A multi-tenant cloud-based DC nano grid for self-sustained smart buildings in smart cities," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 55, No. 3, pp. 14-21, 2017.
- [8] Lazaroïu, G. C. and Roscia, M., "Model

- for smart appliances toward smart grid into smart city,” In 2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) (pp. 622-627), IEEE, 2016.
- [9] Li, B., Kisacikoglu, M. C., Liu, C., Singh, N., and Erol-Kantarci, M., “Big data analytics for electric vehicle integration in green smart cities,” *IEEE Communications Magazine*, Vol. 55, No. 11, pp. 19-25, 2016.
- [10] Manville, C., Cochrane, G., Cave, J., Millard, J., Pederson, J. K., Thaarup, R. K., and Kotterink, B., *Mapping smart cities in the EU*, 2014.
- [11] Masera, M., Bompard, E. F., Profumo, F., and Hadjsaid, N., “Smart (electricity) grids for smart cities: Assessing roles and societal impacts,” *Proceedings of the IEEE*, Vol. 106, No. 4, pp. 613-625, 2018.
- [12] Mohsenian-Rad, H. and Cortez, E., “Smart grid for smart city activities in the california city of riverside,” In *Smart City 360°* (pp. 314-325), Springer, Cham, 2016.
- [13] Morello, R., Mukhopadhyay, S. C., Liu, Z., Slomovitz, D., and Samantaray, S. R., “Advances on sensing technologies for smart cities and power grids: A review,” *IEEE Sensors Journal*, Vol. 17, No. 23, pp. 7596-7610, 2017.
- [14] Pieroni, A., Scarpato, N., Di Nunzio, L., Fallucchi, F., and Raso, M., “Smarter city: smart energy grid based on blockchain technology,” *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol*, Vol. 8, No. 1, pp. 298-306, 2018.
- [15] Shuai, W., Maillé, P., and Pelov, A., “Charging electric vehicles in the smart city: A survey of economy-driven approaches,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 17, No. 8, pp. 2089-2106, 2016.
- [16] *Smart sustainable cities: An analysis of definitions*, ITU-T focus group on smart sustainable cities, 2014, Available: http://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ssc/Documents/website/web-fg-ssc-0100-r9-definitions_technical_report.docx.
- [17] Stone, P., Brooks, R., Brynjolfsson, E., Calo, R., Etzioni, O., Hager, G., and Leyton-Brown, K., “Artificial intelligence and life in 2030,” *One Hundred Year Study on Artificial Intelligence: Report of the 2015-2016 Study Panel*, Vol. 52, 2016.
- [18] Suryadevara, N. K. and Biswal, G. R., “Smart plugs: Paradigms and applications in the smart city-and-smart grid,” *Energies*, Vol. 12, No. 10, p. 1957, 2019.
- [19] Wei, W., Mei, S., Wu, L., Shahidehpour, M., and Fang, Y., “Optimal traffic-power flow in urban electrified transportation networks,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 8, No. 1, pp. 84-95, 2016.

저 자 소 개



심민규

(E-mail: mksim@seoultech.ac.kr)

2007년

서울대학교 산업공학과 (학사)

2008년

University of Chicago 수학과 금융수학전공 (석사)

2014년

Georgia Institute of Technology 산업공학과 (박사)

2015년~2017년

삼성자산운용, KB자산운용 계량연구 및 펀드운용

2018년~2019년

경희대학교 스마트에너지사업단 연구교수

2019년~현재

서울과학기술대학교 산업공학과 조교수