

# 마이크로그리드와 소수력 에너지의 융합을 통한 에너지 효율화 기법

강보선, 이근호\*  
백석대학교 정보통신학부

## A Scheme on Energy Efficiency Through the Convergence of Micro-grid and Small Hydro Energy

Bo-Seon Kang, Keun-Ho Lee\*  
Division of Information and Communication, Baek-Seok University

**요약** 점차 스마트그리드 기술이 발전됨에 따라서 에너지의 효율성에 이목이 집중되고 있다. 그래서 스마트그리드를 구성하고 있는 마이크로그리드 내의 에너지를 독립적으로 관리하기 위해서는 신재생에너지에 대한 연구를 필요로 한다. 그중에서도 소수력 에너지는 마이크로그리드내의 사용자가 사용하는 물의 양에 따라서 그 어디에도 설치할 수 있는 장점을 가지고 있다. 사용자들이 주거하는 아파트, 공동주택에서 사용하고 있는 하수량을 기반으로 전기 발전량과 발전기의 가동률을 측정하여 측정값이 소수력 발전에 적합한지 알아본다. 적합한 아파트, 공동주택에서는 위치에너지를 활용하여 발생한 하수를 소수력 발전기로 전기를 생산 한다. 마이크로그리드의 에너지 관리 시스템과 전기 저장 장치를 도입하여 보다 효율적인 관리를 제안하고자 한다.

• **Key Words** : 마이크로 그리드, 융합, 소수력 발전, 신재생 에너지, 에너지 효율화

**Abstract** As smart grid techniques developed, public attention is concentrating on energy efficiency. So it is necessary to study on new renewable energy in order to manage the energy within micro grid consisting smart grid. Among them, small hydro energy has the advantage of being installable anywhere depending the amount of water used by the users within micro grid. This study examines if the measured value is appropriate for small hydro power generation by measuring generation quantity and operation rate of generator based on the sewage flow used by apartments and multi-unit dwellings where those users live. Some appropriate apartments and multi-unit dwellings generate electricity with small hydro generator using sewage as potential energy. This study intends to suggest more effective management by introducing energy management system and electricity storage device of micro grid.

• **Key Words** : Micro-Grid, Convergence, Small hydro power, New renewable energy, Energy efficiency

### 1. 서론

현재 전력 자급률이 높지 않음에도 불구하고 지속적

으로 전력의 수요는 늘어나고 있다. 우리는 이 시점에 점차 도입되고 있는 스마트그리드를 구축하여 부족한 전력 에너지원을 효율적으로 처리하여야 한다. 스마트그리드

본 논문은 2014년도 백석대학교 대학 연구비에 의하여 수행된 것임.

\*교신저자 : 이근호(root1004@bu.ac.kr)

접수일 2014년 10월 2일

수정일 2014년 11월 19일

게재확정일 2015년 2월 20일

의 주 역할은 실시간으로 전기 에너지의 흐름을 파악하여 에너지를 조금 더 효율적으로 사용할 수 있도록 한다. 늘어나는 전력수요에 대해서는 조금 다른 시스템을 구축할 필요가 있다. 그래서 더욱 관리가 쉬운 소규모의 스마트그리드를 구축한 세부적 기술이 마이크로그리드다. 마이크로그리드는 자체적으로 신재생에너지원을 통해서 소규모 발전을 한다. 이에 따라 외부에서 들어오는 에너지가 끊어져도 독립적인 에너지원 운용이 가능하다. 또한 생성된 전기를 전기저장장치(ESS)에 저장하여 그리드를 운영한다[1]. 전기저장장치와 에너지 관리 시스템을 사용하면 늘어나는 전력 수요에 대해서 즉각 대응할 수 있다.

마이크로그리드 내에서는 다양한 신재생 에너지원들이 존재하고 있다. 최근 신재생에너지에 대한 관심이 급증하면서 풍력과 태양광 에너지원 등 전력계통에 안정적인 연계를 위한 기술들도 발전하고 있다[2]. 그중에서도 거주지에서 반드시 발생하는 하수를 이용한 소수력발전의 효율성과 장·단점에 대해 알아보고, 아파트와 주택단지에서 사용할 수 있는 방안에 대해 제안한다. 환경부는 ‘하수처리 시설 에너지 자립화 기본계획’ 같이 하수를 처리하는 방식에 대한 정부의 정책도 생겨나고 있다[3]. 첨단 과학 기술을 토목, 공학, 건설에 접목한 인텔리전트 빌딩과 스마트 하이웨이 등 이미 ICT와 다양한 기술들은 융합을 현실화 했다[4]. 이처럼 마이크로그리드의 기술과 소수력 발전 기술을 융합하여 신재생 에너지를 통한 에너지 효율화를 구축한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 마이크로그리드

마이크로그리드는 에너지 관리 차원에서의 전기와 열을 동시에 공급하는 에너지공급기술이다. 마이크로그리드 내에 신재생에너지원이 존재하고 기존의 발전 및 저장 시스템을 이용하여 송배전시 에너지 손실절감과 에너지 효율화 향상을 추구 한다. 또한 스마트미터를 통해 다양화된 배전선의 제어를 통해 상시전원과 수시전원을 구분하여 부하의 중요도에 따라 배선을 나눈다면 에너지 효율을 극대화하도록 도와준다[5]. 현재의 송배전 시스템은 발전소와 수요지가 멀리 떨어져 있어서 발전 시 발생하는 다양한 에너지원들을 이용하기 어렵지만, 마이크로그리드에서는 발전소와 수요지가 가까워 발생하는 폐열,

하수 등 다양한 신재생 에너지를 효율적으로 이용할 수 있다[6]. 즉 마이크로그리드는 “다수의 소규모 분산전원과 부하의 집합체로서 복수의 전원 및 열원을 ICT 기술을 이용하여 일괄 제어 관리하며 기존의 전력회사의 사용계통과 연계 또는 독립하여 운전 가능한 온 사이트형 전력공급 시스템”으로 정의할 수 있다[7].

원자력 발전에 대한 안전성 문제가 대두 되면서 더욱 안전하면서 효율적인 신재생에너지 관리 시스템으로 마이크로그리드가 각광 받고 있다. 신재생에너지를 현재의 전력시스템에 보급하게 되면 전력의 품질 저하와 부하, 발전과의 불균형 등 다양한 문제를 야기한다. 현재의 전력시스템은 발전소에서 생성된 전기 에너지를 소비자에게 단방향으로 전송하는 시스템이다. 하지만 마이크로그리드는 신재생 에너지라 불리는 태양광 발전, 소수력 발전 등 소비자들이 직접 전기 에너지를 만들어 되 팔수 있는 시스템을 가지고 있다[8].

현재 마이크로그리드는 국내와 해외에서 모두 개발에 힘을 더하고 있다. 국내에서는 한국전기연구원, 기초전력연구원, 한국전기산업기술연구조합 등 다양한 프로젝트가 진행 되고 있다. 하지만 현재 진행하고 있는 프로젝트들을 보면 실제로 적용하려는 것이 목표가 아니라 우선연구가 목표임을 알 수 있다. 연구단계에 있는 마이크로그리드가 서서히 국내에서도 적용단계로 넘어가는 과정에 다가온 것이다.

[Table 1] Overseas Microgrid technology trends

Nation	Project Name	Size	Since
U. S. A	Microgrid Power Pavilion (NextEnergy)	1,064kW	2006
U. S. A	Demonstration at a Campus	1,050kW	2006
EU	Kythnos Island Microgrid	22kW	2003
Japan	EXPO-2005 Project	2,400kW	2005

해외에서는 미국, 유럽연합, 일본 등이 프로젝트를 진행하고 있는데 미국은 대정전 사태에 대비하기 위하여 전력 공급에 대한 신뢰성과 안전도를 우선시하는 마이크로그리드 프로젝트를 진행 중이다. 유럽연합에서는 EU-Cluster “Integration of RES + DG”를 구성하여 유럽 8국가에 실증단지를 구축하고 운영 중이다. 주로 경제성과 상업화에 우선순위를 두고 프로젝트를 진행 중이다. 일

본에서도 마이크로그리드 프로젝트를 진행 중인데 다른 국가와 다른 특징으로는 기존의 전력망의 영향을 최소화하기 위해서 수요-공급 제어가 가능하며 NAS-battery를 도입하여 에너지 효율에도 중점을 두고 있다[7].

마이크로그리드 기술은 특정한 형태로 정의하기도 힘들고 한 가지 형태로 존재하기도 힘들다. 사용자의 다양한 목적으로 다양하게 활용해 나가는 것이 마이크로그리드의 목표라고 할 수 있다.

### 2.2 에너지 저장 장치

마이크로그리드에서 또 하나의 중요한 시스템은 에너지저장장치(ESS: Energy Storage System)이다. ESS의 주요 기능은 신재생에너지의 전력품질보상(Power Quality Compensator)을 제공하여 태양광과 풍력 등 환경에 영향을 많이 받는 에너지원의 안정화를 돕는다. 또한 주파수 조정, 무효전력수급, 자체 기동발전 등 전력계통의 신뢰성과 안전성을 높이는 일을 하고 있다[9].

ESS의 구성에는 기본적인 전지 부분과 배터리의 열화 예측, 수명계산, 충·방전 상태 관리 및 제어를 위한 배터리관리시스템으로 구성되어 있다. 이외에도 신재생에너지의 종류에 따라 전력변환장치를 활용하여 사용하기도 한다[10]. 소수력을 통한 발전에 있어서는 소수력 발전기의 가동률이 낮을 경우 ESS의 역할이 크다.

### 2.3 소수력발전

인간의 생활에는 항상 물이 함께 존재하기 때문에 소수력발전의 여건이 항상 같이 잡혀져 있다. 소수력 발전은 타 발전에 비교하여 환경오염에 거의 관련 문제가 없다. 환경에 거의 영향을 끼치지 않는 청정에너지인 소수력 발전은 지속적인 발전으로 신재생에너지로 앞으로 다양하게 쓰여야 한다.

소수력에 대한 정의는 정확하게 내리지 못하지만 국내의 경우 수력발전의 설비용량이 10,000kW 이하 1,000kW 이상 일 때 소수력 발전이라고 부른다[11].

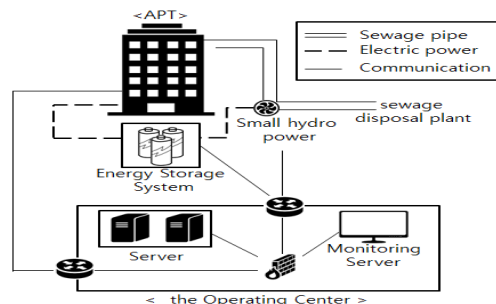
소수력 발전에서는 수차 발전기가 차지하는 비율이 높고, 지속적인 유지·보수해야 하는 중요 핵심 기기이다. 수차의 종류에는 중력수차, 충격수차, 반동수차가 있다. 중력수차는 물의 무게로 발전을 하는 방법인데 물레방아를 돌리는 방식이지만 실제로 전기 에너지를 생산하는 방법으로는 거의 사용하지 않는다. 주로 수력발전에서 사용하는 수차는 충격수차와 반동수차이다. 충격수차는

낙차에 의한 물의 위치에너지를 전기 에너지로 바꾸어준다. 수차가 물에 완전히 잠기지 않는다는 특징이 있고, 수차의 일부방향에서 물이 공급된다. 종류에는 펠톤 수차와 횡류 수차 등이 있다. 반동수차는 물이 수차를 지나갈 때 생기는 압력과 속도를 이용하는 방법으로 전기에너지를 생산한다. 반동수차에서는 수차가 완전히 물에 잠기는 형태를 띠고 있고, 수차의 축 방향에서 물이 공급된다. 수차의 종류에는 프란시스 수차, 카프란 수차 등이 있다[12]. 그중에서도 입축 프로펠러 수차가 있는데 입축 프로펠러 수차는 낙차의 경우 다른 종류의 수차보다 효율, 설치 및 운영면에서 많은 장점을 가지고 있다[13].

소수력발전의 장점은 처음 설치하는 비용이 크지만 가동되고 있는 중에 발생하는 비용은 다른 발전에 비하여 비용이 거의 들지 않는다. 또한 발전기를 사용하여 전기를 생산한다면 생산지와 소비자의 거리가 짧기 때문에 전력을 송·배전 하면서 생기는 비용부담도 줄어들게 된다. 기존의 수력발전과는 달리 적은 규모의 물의 에너지로도 발전을 할 수 있는데 이를 이용하여 아파트 및 공동주택에서 발생하는 하수로 발전을 할 수 있다. 아파트 및 공동주택의 모양에 따라서 소수력 발전기를 맞춤형 설계할 수 있어서 맞춤형 소수력 발전의 장점을 얻을 수 있을 것이다.

## 3. 융합 서비스 모델

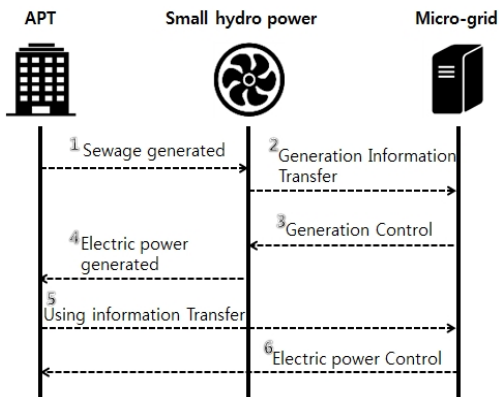
에너지를 효율적으로 관리해주는 마이크로그리드 시스템과 작은 규모에서도 운용할 수 있는 소수력 발전을 서로 융합하여 서로의 장점을 극대화 시킨다면 다양한 이점을 얻을 수 있을 것이다.



[Fig. 1] Convergence of Micro-grid and Small Hydro

[Fig. 1]처럼 마이크로그리드내의 사용자가 거주하는

아파트에 소수력 발전기를 설치하여 전기에너지를 생산한다. 이때 아파트에서 발생하는 하수를 이용하여 발전기를 가동하는데 아파트의 높이를 활용하여 적은 하수량을 낙수차로 극복하여 전력에너지를 생산할 수 있다. 이때 하수의 특성상 발전하는 장소에 노출 된다면 장비의 오염 또한 고려해야할 사항이다. 그러므로 소수력 발전에 사용하는 수차의 종류는 물에 모두 잠기면서 외부로 하수가 노출될 가능성이 거의 없는 방식으로 사용해야한다. 또한 일상생활에서 발생하는 하수를 즉시 발전기로 보낸다면 발전기의 가동률은 현저히 떨어질 것이다. 그래서 아파트의 공간을 마련하여 하수를 1차적으로 보관하였다가 마이크로그리드의 출입자 인증 시스템과 같은 기술을 통하여 필요할 시간, 필요한 장소에서 하수를 이용하여 전기 에너지를 발생 시켜야 한다. 소수력 발전기에서 발생한 전력에너지는 에너지 저장 장치로 보내진다. 일반적으로 발전기에서 발생하는 전기는 바로 사라지는 소모성이지만 에너지 저장 장치를 사용하여 전기 에너지를 저장하고 해당 아파트로 송·배전하도록 한다. 이때 ESS의 기능 중 일정하지 않은 발전기의 전력을 관리 해 주고 안전하게 공급 되도록 전기 에너지를 관리한다. 전기 에너지를 관리하는 에너지 저장 장치를 마이크로그리드의 중심부인 운영센터에서 관리해준다. 운영센터에서는 소수력 발전기 또한 모니터링 하여 부하 관리, 설비감시 제어, 수요 예측 등 발생한 에너지를 최대한 효율적으로 관리 하도록 도와준다. 전기 에너지가 발생한 값들을 서버에 저장하여 앞으로 수요 및 공급에 대한 대처를 보다 능률적으로 할 수 있다.



[Fig. 2] Generation Scheme

- ① 아파트 및 공동주택에서 발생한 하수를 발전기에 전달한다. 이때 발전에 필요한 유량을 맞추기 위해서 적당한 시간 하수를 저장 한다.
- ② 발전기는 발전 가능 정보와 발전기 정보를 마이크로그리드 운영센터에 전송한다.
- ③ 운영센터는 과부하 및 비효율적 생산을 막기 위해 발전을 제어한다.
- ④ 발전기는 전기에너지를 생산하여 아파트와 에너지 저장 장치에 보낸다.
- ⑤ 아파트 및 공동주택은 사용 정보를 마이크로그리드 운영센터에 전송한다.
- ⑥ 운영센터는 사용량을 확인하여 전기에너지를 제어하여 에너지를 효율적으로 사용하도록 한다.

#### 4. 서비스 분석

마이크로그리드와 소수력에너지를 융합한다면 다양한 이점을 기대할 수 있다. 신재생에너지로 사용하지 않았다면 그냥 버려질 하수를 이용하여 새로운 에너지를 생산한 점과 마이크로그리드와 융합을 했기 때문에 발전 시스템을 더욱 견고히 하여 에너지를 보다 효율적으로 사용할 수 있다.

아파트에서 생성되는 하수의 특성상 고층에서 발생하는 하수는 위치에너지를 가지고 있다. 수직축 수차를 이용하면 하수의 위치 에너지를 적절하게 활용 할 수 있다. 이때 발전기의 효율이 낙차 13 ~ 15m 일 때부터 90%를 상회 한다[14]. 즉 아파트 6층 높이 마다 발전기를 설치하여 더욱 효율적인 에너지를 생산 할 수 있다.

발전기의 성능을 예측하려면 설계유량과 가동률을 통해 전기 생산량을 계산해야한다. 이때 설계유량은 하수의 특성상 상수의 량은 측정하지만 하수량은 따로 측정하지 않는 아파트가 많다. 또한 아파트의 형태에 따라서 하수관의 흐름도 매우 다를 수 있다. 아파트에서는 한 층에 주거하는 인원이 많을수록 하수의 량이 많아지는데 복도식 아파트의 유형이 하수를 이용한 소수력발전에 대해 조금도 유리하다. 하지만 현재에는 복도식 아파트가 많이 사라지는 추세이다. 그래서 하수의 량을 따로 측정하여 마이크로그리드 운영센터에 저장한 다음 저장된 정보의 통계치를 이용하여 하수의 흐름을 제어한다. 발전기의 가동률은 하루에 6시간 이상 하수를 모아야하기 때문에 최대 75%를 넘길 수 없다. 낙차와 유량, 가동률은

발전기의 발전량에 큰 영향을 준다. 최적의 유량과 가동률을 산정하여 발전기를 가동하게 된다면, 만들어진 전기에너지를 아파트의 외벽 장식 및 복도 전등 같이 모두가 같이 사용하는 부분에서 사용한다면 관리비 절약과 함께 남은 전기 에너지를 한국전력공사에 역송전하여 전기 에너지를 되파는 이익을 얻을 수 있다.

소수력발전에서는 전기에너지의 효율화뿐만 아니라 다른 발전과 달리 별다른 오염물질을 생성하지 않는다. 또한 마이크로그리드 내에서 독립적인 에너지를 공급하기 때문에 전기의 수요를 줄이고 전기를 과생산하지 않도록 하여 화력발전 및 원자력 발전에서의 환경오염을 보다 낮출 수 있다. 소수력 에너지는 순수 부존자원이면서 잠재량의 약 4.0% 정도 개발 되지 않았다[15]. 소수력 에너지 하나를 개발하는 것이 아니라 다른 기술들과의 융합도 하나의 새로운 개발의 방향이 될 것이다.

## 5. 결론

소수력에너지를 통한 전기에너지를 마이크로그리드 내에서 완벽한 독립운영이 가능하도록 생산하지는 못하지만 아파트 내에서 공동으로 사용하는 장소에 들어가는 전기에너지를 공급할 정도 생산이 가능하다는 결론을 얻었다. 앞으로 스마트그리드가 국내에 정착하고 마이크로그리드 기술이 발전하여 상용화가 된다면 더욱 효율적으로 소수력에너지를 관리 할 수 있을 것이다. ESS의 기술을 효율적으로 사용한다면 소수력에너지로 발생한 전력을 놓치지 않고 관리할 수 있다.

아파트 및 공동주택에서 발생한 하수로는 댐이나 강과 비교해서 엄청난 출력을 내지는 못하지만 거주자가 존재한다면 항상 유량이 일정하다는 장점을 가지고 있다. 또한 아파트의 특성상 물의 위치에너지를 효율적으로 살려서 수차에 들어가는 하수를 용이하게 사용 한다. 보통 소수력 발전에서는 낙차와 저유량 모두 고려해야 하지만 하수를 이용한 소수력발전은 낙차의 문제를 해결할 여지가 많기 때문에 유량에 대한 문제점만 해결한다면 신재생에너지의 장점을 모두 가져갈 수 있다. <Table 2>에서 나타난 측정값은 한 개의 층에서 발생하는 전기의 양이다. 이때 하나의 아파트를 모두 참여시킨다면 더욱 큰 전기 에너지를 얻을 수 있을 것이다. 이를 바탕으로 유량과 마이크로그리드기술을 도입하여 연간 전력 생산량을 증대시키면 마이크로그리드의 독립운영에 도움을

극대화할 수 있을 것이다.

## ACKNOWLEDGMENTS

본 논문은 2014년도 백석대학교 대학 연구비에 의하여 수행된 것임

## REFERENCES

- [1] Lee Huitae, "Micro-grid environment under the distribution system storage (EES) implementation and operational practices", Journal of the Electric World Monthly / Magazine, Vol. 6, No. 438, pp. 35-36, 2013.
- [2] Jae-Ju Song, Yoon-Su Jeong, Sang-Ho Lee, "Design of short-term forecasting model of distributed generation power for wind power", Journal of Digital Convergence, Vol. 12, No. 3, pp. 211-218, 2014.
- [3] Ministry of Environment, "Sewage treatment facility energy independence master plan", 2010.
- [4] Seong-Hoon Lee, "A Case Study on Foreign Smart City", Journal of Digital Convergence, Vol. 12, No. 4, pp. 305-310, 2014.
- [5] Hwang-Hyun Bae, Jung-Byeong Soo, "Electric Power Energy Saving and Efficient Measures in Buildings using the Smart-Meter", Journal of Digital Convergence, Vol. 12, No. 11, pp. 365-372, 2014
- [6] An Jong-Bo, "Microgrid technology trends", KIEE, Vol. 23, No. 6, pp. 3-10, 2009.
- [7] Choi Jongho, "domestic and foreign Micro Grid technology Trend", Journal of the Electric World Monthly / Magazine, pp. 26-34, 2009.
- [8] Woo, Sang-Min, Lee, Sung-Hun, Kwag, Hyung-gun, Kim, Sung-Yul, Son, Hyun-Il, Kim, Jin-O, "A Study on Optimal Hybrid-Renewable Energy Configuration of Islanded Microgrids", Proceeding of Spring Annual Conference of The Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 1, pp. 511-515, 2012.

- [9] Ministry of Knowledge Economy, “Energy storage technology development and industrialization strategy(K-ESS 2020)”, pp. 1-2, 2011.
- [10] Lee Jeong-In, Lee Il-U, “Energy Storage System(ESS) Technologies and Standardization for Smart Grid”, Journal of KIISE, Vol. 31, No. 3, pp. 33-42, 2013.
- [11] Kang Sang-Jun, “Strategy for the Implementation of Mini Hydropower in Gyeonggi-Do”, KYDI study, 2009.
- [12] Lee Cheol-Hyeong, “Domestic development for small hydro power status of aberration”, Proceeding of Spring Annual Conference of The Korean Solar Energy Society, Vol. 3, No. 4, pp. 18-28, 2004.
- [13] Lee Cheol-Hyeong, Y.C. Ju, W.S. Park, “Performance Characteristics of Propeller Type Hydro Turbine with Vertical Axis”, Proceedings of the KSES 2001 Autumn Annual Conference , pp. 128-133, 2001.
- [14] Ryu Yeon-Soo, Kim Jin-Wook, Park mi-lan, Joo Hye-Jin, Kim Sang-Young, “Comparison on the Characteristics of Generation Output in the level of CheongCheon Hydroelectric”, Proceeding of Fall Annual Conference of The Korean Solar Energy Society, Vol.33, No. 2, pp. 116-149, 2013.
- [15] Park Wan Soon, Lee Chul Hyung, “Performance Analysis for Small Hydropower at Existing Water Treatment Facilities”, KSCE Conference, pp. 3294-3298, 2004.

이 근 호(Keun-Ho Lee)

[종신회원]



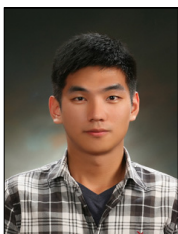
- 2006년 8월 : 고려대학교 컴퓨터학과 (이학박사)
- 2006년 9월 ~ 2010년 2월 : 삼성전자 DMC연구소 책임연구원
- 2010년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 조교수

<관심분야> : M2M 보안, 이동통신 보안, 융합 보안, 개인정보보호

저자소개

강 보 선(Bo-Seon Kang)

[학생회원]



- 2010년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 학생

<관심분야> : 스마트그리드, 정보통신, 개인정보보호