

**에너지 저장시스템의 도시철도 전력계통 충·방전 특성 연구**  
**Study on Charging and Discharging Characteristics of Energy Storage System in**  
**Electric Railway Power System**

김진영\*, 강봉완\*, 박승희\*, 송동호\*, 김희정\*, 정연포\*

Kim-Jin Young\*, Kang-Bong Wan\*, Park-Seung Hee\*, Song-Dong Ho\*, Kim-Hee Jung\*,  
 Jung-Yeon Po\*

**Abstract** The electric power system of the urban railway is to receive electricity from KEPCO and is supplied to the load through transforming and denaturing in substation. Also, it has a unidirectional characteristic in which power is supplied from the power source to the load side. When the energy storage system is linked to the power system, The battery may act as a load at that time of charging and may generate an electric current as it acts as a power source at that time of discharging. As a result, it will affect the power system. In this paper, we focus on the case of additional energy storage system without modification of the urban railway substation in operation and propose charging and discharging constricts condition. Furthermore, we study the operation method of energy storage system which based the stability of current power system.

**Keywords :** Urban Railway, Energy Storage System, Charging and Discharging Characteristics

**초 록** 도시철도의 전력계통은 한전 전력을 수전하고, 변압/변성을 통하여 부하에 공급하는 방식으로 이루어지며, 전원에서 부하측으로 전력이 공급되는 단방향의 성질을 가지고 있다. 에너지저장시스템이 전력계통에 연계될 경우, 충전시에는 부하로 작용하고, 방전시 전원으로 작용함에 따라 전력 조류가 발생될 수 있으며, 전력계통에 영향을 주게 된다. 본 논문에서는 운영중인 도시철도 변전시설의 변경 없이 에너지 저장시스템을 추가 구축하는 사례를 바탕으로 충·방전시의 제약조건을 제시하고 기존 전력계통의 안정성을 저해하지 않는 에너지 저장시스템의 동작방식을 검토하고자 한다.

**주요어 :** 도시철도, 에너지저장시스템, 충전 및 방전 특성, 전력계통 안정성

## 1. 서 론

도시철도 전력계통은 한전에서 수전 받은 전력을 변압/변성하여 전동차와 각 역사에 공급하는데, 에너지의 효율적 이용을 위하여 서울도시철도 7호선 수락산역에 전력 저장시스템을 구축하고 있다. 축전장치를 이용하여 열차운행 중에는 회생전력을, 운행종료 후에는 심야전력을 저장하고 피크시간에 방전하도록 운영할 계획이다.

에너지 저장시스템은 충전시에 부하로 작용하고, 방전시에 전원으로 작용함에 따라 전력계통에 다양한 영향을 줄 수 있는데, 본 논문에서는 기존 전력계통의 안정성을 저해하지 않는 에너지 저장시스템의 충·방전 조건을 도출하였다.

\* 서울특별시 도시철도공사

## 2. 본 론

### 2.1 수락산역 에너지 저장시스템

#### 2.1.1 주요구성 및 동작

수락산역에 설치된 에너지저장시스템은 400[kVA]의 축전장치를 기반으로 입출력을 담당하는 PCS(Power Conditioning System)를 이용하여 전력을 충·방전한다. 열차운행 중에는 회생전력을 수집할 수 있도록 회생컨버터가 추가되어 전동차 회생전력을 수집하여 축전장치에 충전전력을 공급할 수 있도록 구성되어 있다.

열차 운행 중에는 회생전력 발생시마다 전동차 회생전력을 축전장치에 공급하고, 축전장치의 충전상태를 확인하여, 심야시간대에 여분의 용량을 추가로 충전하게 된다. 충전된 전력은 주로 피크 시간대에 방전하도록 동작한다.

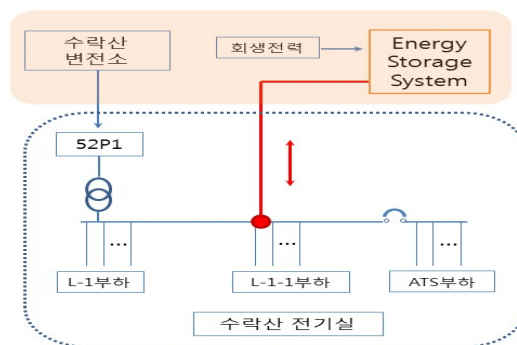


Fig. 1 The summary of Energy Storage System In Suraksan Station

#### 2.1.2 특징 및 장점

수락산역의 에너지 저장시스템은 대용량 축전장치를 활용하기 때문에 저장된 전력을 효과적인 시간대에 방전할 수 있게 된다. 저렴한 경부하 시간대에 심야전력을 저장하여 최대부하 시간대 및 피크시간대에 방전하게 되면 전력요금 절감부분에서 유리한 장점이 있다.

저장된 전력은 380V 전압으로 수락산전기실 저압 간선에 공급하여 역사조명, 승강기 및 열차운영시스템 등에 전력을 공급하게 된다.

### 2.2 수락산역 전력 소비 패턴

수락산 역사에 설치된 에너지 저장시스템은 수락산 전기실 1호계측 저압 간선을 통하여 충·방전을 수행하게 되며 관련된 전력계통은 다음과 같다.

#### 2.2.1 수락산 변전소 및 전기실 전력계통

수락산 변전소는 도봉산, 수락산, 마들 역사 및 전차선에 전력을 공급한다. 변전소에서 전기실로는 6.6kV 전압으로 전력을 공급하는데, 각 역사에 있는 전기실에서는 이를 변압하고 1,2,3,4호계의 독립된 선로를 이용하여 각종 기기에 전력을 공급하게 된다.

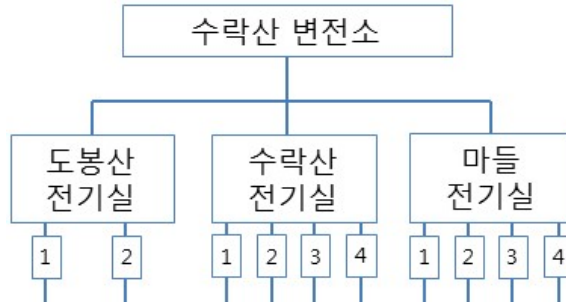


Fig. 2 The Power System In Suraksan Substation

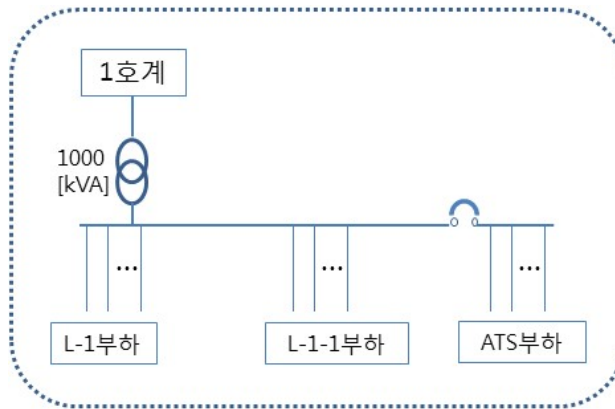


Fig. 3 The Power System In Suraksan Substation Line 1

### 2.2.2 수락산 변전소 및 전기실 1호계 전력 소비 패턴

수락산변전소에 수전된 전력은 전차선과 3개 역사로 분배되어 전력을 공급하는데, '16년 4월4일~4월10일(7일)간의 수락산변전소 수전전력과 수락산전기실 1호계의 소비전력은 Fig.4와 같으며, 변전소 수전 전력을 기준으로 수락산전기실의 1호계 소비전력은 수전전력의 약 11.7%를 차지하고 있다.

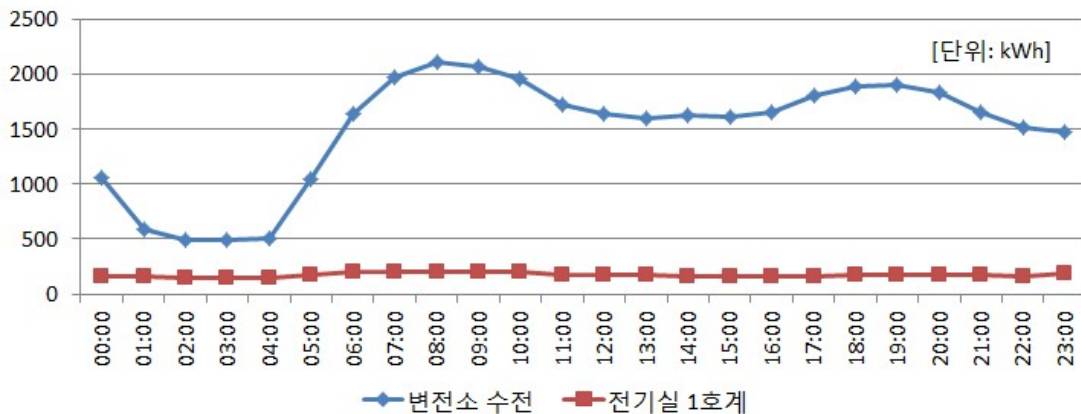


Fig. 4 Power Consumption Pattern In Suraksan Substation&Electrical room

따라서 수락산역에 설치된 에너지 저장시스템은 수락산전기실의 1호계 선로를 통하여 충·방전이 이루어 지므로 방전을 통하여 절감할 수 있는 전력은 수락산 변전소 수전전력의 11.7% 이내라고 볼 수 있다.

### 2.3 에너지 저장시스템의 도시철도 전력계통 구성을 위한 주요 고려사항

에너지 절감시스템은 충전과 방전을 수행하여야 하는데, 충전시에는 기존 도시철도 전력시설에서 전력을 공급할 수 있는 여유 용량이 있어야 하고, 방전시에는 방전량을 수용할 수 있는 충분한 에너지 사용량이 있어야 한다.

따라서 기존 도시철도 전력기기의 증설 없이 에너지 저장장치를 사용하기 위하여 충·방전량에 대하여 제어할 필요가 있다.

#### 2.3.1 에너지 저장시스템 충전시 고려사항

에너지 저장시스템은 충전시 부하로 작용하기 때문에 전원측의 여유용량을 확인하여야 한다. 변압기를 기준으로 볼 때, 이미 많은 부하에 전력을 공급하고 있기 때문에 각 부하의 사용량을 판단하여 충전전력량을 제한하는 것은 기존 시스템의 안정성을 저해하지 않기 위해서 필요한 사항이 된다.

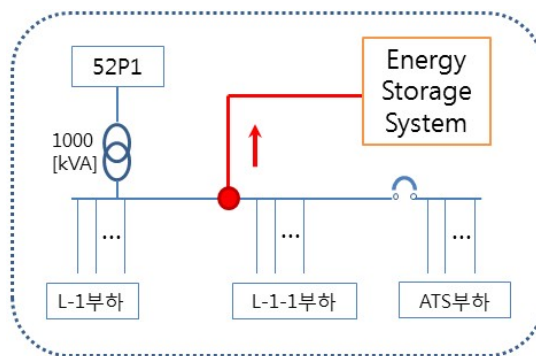


Fig. 5 Charging To Energy Storage System

에너지 저장장치 충전시 변압기 용량을 상회하지 않도록 충전전력을 제한하기 위하여 변압기 1차측의 유입전력을 실시간 모니터링하여 전력 제어 데이터로 활용하였다.

수락산 에너지 저장시스템의 경우는 안정성을 고려, 전기실 1호계 변압기로 유입되는 전력을 모니터링하여 1호계 Tr 용량의 80% 이내로 충전이 이루어 지도록 구성 하였다.

#### 2.3.2 에너지 저장시스템 방전시 고려사항

일반적인 신재생에너지 발전사업의 경우는 한전 배전계통에 전력을 공급하기 때문에 발전 또는 방전 전력에 비해 계통의 전력이 매우 크므로 방전량에 대한 제한 조건이 필요 없는 경우가 대부분이다.

수락산 에너지 저장시스템의 경우 공간적 여건 및 효율성을 고려하여 방전전압을 380V로 결정하였기 때문에 수락산 역사의 저압간선을 통하여 전력을 방전하게 된다. 수락산 역사의 간선 중에 최대 사용 선로를 선정하였지만 PCS(Power Conditioning System)의 최대 출력을 사용하기에는 어려움이 있기 때문에 방전전력을 제한 하여야 하는 실정이다.

아래 그림은 봄철 수락산역사 1호계의 1주일간 평균 전력 사용 그래프로 일일 변동폭은 크지 않으나 도시철도 오전 러시 시간대에 전력이 상승하는 형태를 가지고 있다.

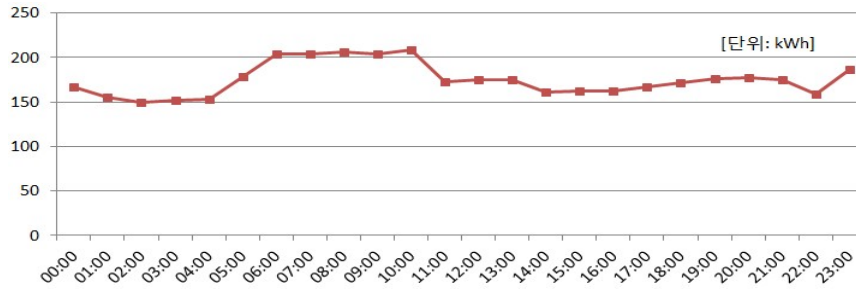


Fig. 6 Power Consumption Pattern In Suraksan Electrical room Line1

에너지 저장장치는 주로 피크 발생시 억제를 위해 방전이 이루어 질 예정이므로, 수전단의 전력 상승시기를 모니터링 하고 해당 시간대에 저압 간선의 부하사용량을 체크하여 방전량을 결정하여야 한다. 부하 사용량 이상의 전력을 방전하게 된다면, 해당 간선의 전압이 상승하거나, 변압기를 통하여 전력이 전원측으로 역류하게 되는 일이 발생할 수 있게 되어 도시철도 전력계통의 안정성이 저하될 수 있기 때문이다.

### 3. 결론

도시철도의 경우 각 부하를 구분, 1~4호계 저압선로를 통하여 역사에 전력을 공급하고, 중요설비에 대하여 ATS를 설치하여 1호계 우선동작으로 운용하기 때문에 대체적으로 1호계 간선의 전력사용량이 다른 선로보다 높게 사용되고 있다.

도시철도의 경우, PCS장치의 출력량이 계통에서 사용하는 전력보다 클 수 있기 때문에 출력량을 억제해야 할 필요가 있게된다. 서울도시철도의 경우 1호계 선로를 통하여 충·방전하는 경우를 예시로 에너지 저장시스템의 안정적 충·방전을 위하여 요구되는 사항을 정리하면 다음과 같다

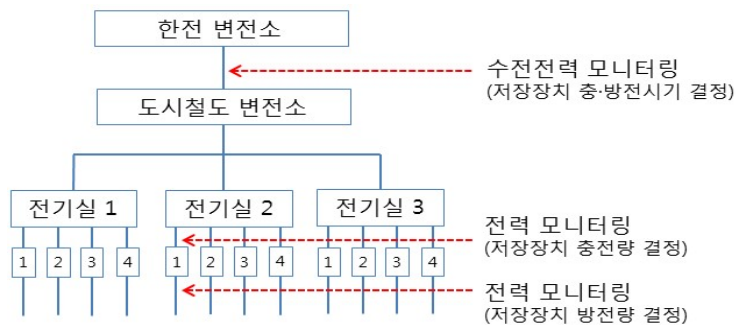


Fig. 7 Charge and Discharge Requirement for Safety

## 감사의 글

이 논문은 국토교통부 차도기술연구사업의 연구비지원(16RTRP-B70766-04)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- (1) 김응상(2014) *에너지 저장시스템*, 인포더북스, 서울
- (2) 김재언(2012) *분산전원 배전계통 모델링 및 해석*, 내하출판사, 서울
- (3) 백영기 외(2013) *전력계통 보호·제어*, 북두출판사, 서울