

## 피크전력 저감장치의 실증단지 구축 적합성 분석

### Suitability Study of Test Site for the Peak Power Reduction Device

편장식\*<sup>†</sup>, 임성수\*, 권경민\*

Jang-Sik Pyun\*<sup>†</sup>, Sung-Soo Lim\*, Kyoung-Min Kwon\*

**Abstract** In order to solve the traffic problems, electric railways are presented as the best alternative such as high-speed railways, urban railways which have a safety, rapidity, convenience and friendly advantages to the environment. These high-speed railways is increased the peak power due to load fluctuation occurrence in accordance with the operating status of the train, and it causes the energy costs increase. In addition, harmonic generated from the traction motor of high-speed railways, and it will have adverse effects such as communication induction failure of power equipment, over-current and malfunction. To evaluate the performance of the prototype was selected for the test site. In this study, we conducted a test site analysis of active harmonic filter and peak power reduction device that has been developed for harmonic management and peak power reduction, and introduce a reliable analysis result of the test site.

**Keywords** : Peak Power Reduction Device, Active Harmonic Filter, Electric Railway Substation, Test Site

**초 록** 고속철도 운영환경 조건의 변화함에 따라 부하변동이 발생하고 전철변전소의 피크 전력이 증가하여 이는 에너지 비용이 증가하는 원인이 되고 있다. 또한 고속열차 운행시 발생하는 고조파는 통신유도장애 등과 같은 영향을 미치게 된다. 이에 고조파 및 피크전력 관리를 위해 능동형 고조파 필터 및 피크전력 저감장치를 개발하였으며, 시제품에 대한 성능평가를 위해 실증장소를 선정하였다. 본 논문에서는 실증장소에 대한 지반조사 및 침하안전성 분석을 통해 실증단지에 대한 안전성 및 적합성을 분석하였다.

**주요어** : 피크전력 저감장치, 능동형 고조파 필터, 전철변전소, 실증단지

## 1. 서 론

고속철도는 빠른 속도와 정시성 등의 편리성, 접근성 제고를 위한 연계교통망 확충 등으로 매년 이용객이 증가함에 따라 매년 열차 운행횟수를 점차적으로 확대해 나가고 있으며, 이러한 운영 환경변화는 전철변전소의 피크전력이 상승하는 원인이 되고 있으며, 이로 인하여 변압기 등의 변전소 설비비용이 증가와 에너지 비용 증가가 발생하게 된다. 또한 고속열차의 견인전동기 등에서 발생하는 고조파는 전력관련 장비의 통신유도장애, 과전류, 오동작 등과 같은 악영향을 미치게 된다. 이에 고속철도 전철변전소의 고조파 관리 및 피크전력 감소를 위하여 능동형 고조파 필터 및 피크전력 저감장치를 개발이 진행되고 있는 상태이다.

† 교신저자: (주)우진산전 중앙연구소(jspyun@wjis.co.kr)

\* (주)우진산전 중앙연구소

본 연구에서는 고조파 및 피크전력 관리를 위해 개발된 능동형 고조파 필터 및 피크전력 저감장치에 대해 신뢰성 확보를 위해 충분한 성능평가를 요구하고 있으며, 성능평가를 위해 실증단지를 선정하였으며, 선정된 실증장소에 대한 지반조사 및 침하안전성 분석을 통해 개발품 설치에 따른 실증단지의 안전성 및 적합성을 분석하였다.

## 2. 개발 시스템

### 2.1 능동형 고조파 필터

고조파 저감 능동형 필터는 전체 2.88MVA용량으로 비선형 부하 특성에 따른 고조파에 대해 역고조파를 주입하여 제어함으로 전원단에서 발생하는 고조파 전류를 상쇄시키는 기능을 수행하게 된다. 제어알고리즘은 Lyapunov 안정도 이론을 적용하여 제어기를 설계되었다. 고조파 저감 능동형 필터의 IGBT반은 단상 인버터 스택, 초퍼스택, 입력측 콘택터, 캐패시터뱅크 등으로 구성되어 있다. Fig. 1은 고조파 관리를 위해 개발된 능동형 고조파 필터 장치 사진이다.

### 2.2 피크전력 저감장치

피크전력 저감장치는 크게 PCS, 제어기반, 배터리로 구성되며, PCS에서 멀티레벨 인버터는 배터리 DC전압과 계통 AC전압을 실시간으로 계산하여 검지하며, 동작레벨 검지시에 멀티레벨 인버터의 동작을 통하여 제한된 DC 입력전압으로부터 출력전압을 크게하여 출력전류를 제한할 수 있으며, 출력전압에 대한 THD 저감에 따라 필터의 용량을 줄일 수 있다는 특징을 갖는다. Fig. 2는 전철변전소의 피크전력 관리를 위해 개발된 피크전력 저감장치 사진이다.



Fig. 1 Active Harmonic Filter



Fig. 2 Peak Power Reduction Device

### 3. 실증단지 검토 개요

지반의 침하거동은 상부구조물 하중, 기초의 형상 및 지반특성에 의해 결정하게 된다. 따라서 실증장소인 변전소에 설치될 피크전력 저감장치 및 능동형 고조파 필터의 주요 하중자료와 더불어 지반조사자료를 토대로 지반 특성치를 산정하여 지반의 침하량을 검토함으로써 개발품의 설치에 따른 실증단지의 안정성을 판단할 수 있다. A 전철변전소, B 전철변전소에 피크전력 저감장치 및 능동형 고조파 필터 설치에 따른 지반 침하량을 분석하여 안정성 및 침하경향을 판단하고자 한다. Table 1과 2는 A, B 전철변전소의 지반조사 결과를 나타낸 것으로 변전소의 지층별 구성상태를 확인할 수 있다.

**Table 1. Geotechnical Site Result of A Electric Railway Substation**

지층	층후(m)	구성상태	N값
매립층	5.6	실트질 모래	112/30~19/30
풍화토	3.4	실트질 모래	50/16~50/10
풍화암	6.0	모래	50/10~50/2

**Table 2. Geotechnical Site Result of B Electric Railway Substation**

지층	층후(m)	구성상태	N값
전답토	0.7	유기질 실트 및 점토	-
모래질 전석	4.4	모래	50/9~50/6
풍화토	2.4	점토질 모래	50/26~50/10
풍화암	3.0	자갈섞인 모래	50/10~50/2

### 4. 지반 침하 안전성 분석

#### 4.1 하중조건

각각의 변전소에 설치할 장치는 PCS, GIS 설비, 변압기 등의 장치로 구성된 피크전력 저감장치와 IGBT반, 리액터반, ACB반, PLC반, DP반, 저항기반, 수냉각 실외기반 등으로 구성된 능동형 고조파 필터이며, 개발된 장치에 대한 하중조건은 Table 3, 4와 같다.

**Table 3. Loading Conditions of Peak Power Reduction Device**

Section	Weight (kN)	Area (m <sup>2</sup> )	Design Load (kN/m <sup>2</sup> )
Transformer	190	1.6×1.7	69.4
PCS (container)	180	8.44×6.10	3.5
Battery (container)	1,050	8.44×12.19	10.2

Table 4. Loading Conditions of Active Harmonic Filter

Section	Weight (kN)	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	Design Load (kN/m <sup>2</sup> )
Active Harmonic Filter	140	-	7×10	2.0 (Uniformly Distributed Load)
Concrete Slab	-	24	(7.0+2×Width) × (10+2×Width)	24×0.3(Thickness)×Area

#### 4.2 지반 침하량 산정방법

일반적으로 모든 흙은 압축성 재료라고 할 수 있으며, 흙은 하중을 받으면 그 체적이 감소하여 변형을 일으키게 된다. 이것을 공학적인 측면에서 보면 흙입자와 물은 각각 비압축성이므로 흙의 체적감소는 흙입자 사이의 간극을 차지하고 있는 공기가 압축되거나 간극을 채우고 있는 간극수가 배제되기 때문이라 할 수 있다. 침하량 예측은 특히 기술적인 판단이 필요하며 여러 가지 방법들을 사용하여 추정하는 것이 바람직하며, 이에 침하량 산정은 탄성이론에 의한 침하량 분석, 변형영향 계수를 이용한 침하량 분석, 그리고 수치해석을 통한 침하량 분석을 통해 비교 검토하고자 한다. 탄성이론에 의한 침하량 산정은 식(1)과 같다.

$$S = qB \frac{1-\nu^2}{E_s} I_w F_s \tag{1}$$

변형영향 계수를 이용한 침하량 산정은 식(2)와 같다.

$$S_i = C_1 C_2 (q_b - \sigma_{vo}') \sum \frac{I_{zi}}{E_i} \Delta z_i \tag{1}$$

#### 4.3 수치해석에 의한 침하량 분석

수치해석을 통해 지반침하량 분석을 실시하였으며, 해석프로그램은 Plaxis와 Midas-GTS를 이용하여 해석을 수행하였다. Fig 3는 수치해석 모델을 나타낸 것이며, Fig 4은 해석결과로서 침하량 및 영향범위를 나타낸 것이다. 피크전력 저감장치가 설치되는 장소의 최대 침하량은 해석방법에 따라 0.41~9.27mm의 범위를 나타내는 것을 확인할 수 있었으며, 분석방법 중 수치해석을 통해 나타난 결과가 가장 큰 것으로 나타났다. 그러나 침하량 결과 값은 허용 침하량인 25mm보다 작게 나타나 현재 상태에서도 안전성을 확보한 것으로 판단된다. 또한 능동형 고조파 필터가 설치되는 장소의 최대 침하량은 해석방법에 따라 3.05~5.97mm의 범위를 나타내는 것을 확인할 수 있었으며, 슬래브 여유폭이 300mm 조건에서의 수치해석 결과가 5.97mm로 가장 크게 나타났다. 분석방법 중 수치해석을 통해 나타난 결과가 가장 큰 것으로 나타났으나, 침하량 결과 값은 허용 침하량인 25mm 보다 작게 나타나 현재 상태에서도 안전성을 확보한 것으로 판단된다.



Fig. 3 Analysis Modeling (2D,3D)

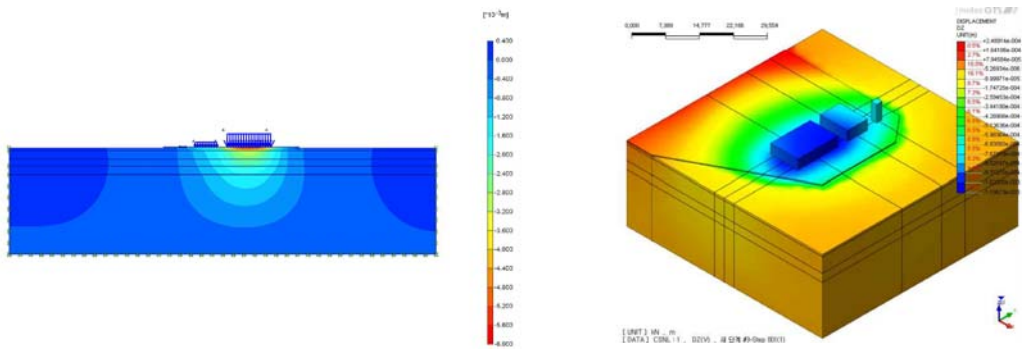


Fig. 4 Numerical Results

## 5. 결론

지층의 상태, 기초의 특성에 따라 지반의 침하량을 계산하는 방법은 다양하며, 본 연구에서는 탄성이론에 의한 침하량, 변형계수를 이용한 침하량 및 수치해석적인 방법을 이용하여 침하량을 산정하여 안정성 검토를 수행하였다. 침하량 검토결과, 능동형 고조파 필터 및 피크전력 저감장치가 설치되는 장소의 경우 침하량 산정방법에 따라 약간의 차이가 발생되지만 모두 허용침하량 기준인 25mm 이내로 발생되어 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 향후 실증단지 구축을 통해 개발된 피크전력 저감장치 및 능동형 고조파 필터에 대한 성능평가를 진행할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 2014년도 국토교통부의 지원에 의하여 이루어진 철도기술연구사업(14PRTD-C063745-03) 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

## 참고문헌

- [1] WooJin(2014), Development of peak-power reduction for high-speed railroad.