

# 컨버터 일체형 반도체 변압기 설계를 위한 고려사항 고찰

## Review of Converter Integrated Semiconductor Transformer Design

변재홍<sup>†</sup>, 정재형\*, 유병관\*, 이동수\*, 이석주\*

Jae Hong Byun<sup>†</sup>, Jae hyung Jung\*, Byung Gwan Ryu\*, Dong Su Lee\*, Seok Ju Lee\*

컨버터 일체형 반도체 변압기는 기존 추진시스템의 출력밀도와 에너지효율 향상을 위해 전력반도체 소자를 활용하여 컨버터를 변압기에 일체화 시키고 경량화한 장치이다. 본 연구에서는 장치의 성공적인 개발을 위해서 기존 유입식 변압기 시스템 대비 변경되는 부분을 중점적으로 분석하고 이를 토대로 설계 및 시험단계에서 고려해야 할 사항에 대해서 고찰하였다.

주요어 : 반도체 변압기, 경량화, 에너지효율, 최적설계

### 1. 서론

기존 교류 구간을 운행하는 도시철도차량의 추진시스템은 중량물의 변압기와 추진장치가 별도로 구분되어 있어 중량증가로 인한 출력밀도와 에너지 효율이 떨어지므로, 변압기와 추진장치를 일체형으로 구현하여 경량화를 통한 에너지 효율의 향상과 구조적 복잡성을 해결하여 고장감소를 위해 기술개발이 필요하다.

전력반도체소자를 활용하여 철도차량의 주변압기와 컨버터를 일체화시켜 경량화시키는 기술은 비교적 최근에 연구가 착수된 기술로 제품의 실용화를 위해서는 시스템의 설계 및 시험 단계에서 신뢰성을 확보해야 한다.

본 연구를 통해 개발하려는 변압기의 신뢰성 확보를 위해 설계 및 시험단계에서 고려해야 할 사항에 대해 기술하고, 신규 철도차량에 적용하기 위한 제품의 신뢰성 기반을 마련하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 시스템 구성

컨버터일체형 반도체변압기는 가선전압고조파저감용 필터리액터와 컨버터, 필터캐패시터, 인버터, 고주파변압기, 컨버터, 캐패시터뱅크로 구성되어 DC 1500V를 안정적으로 출력하도록 시스템이 구성되어 있다.

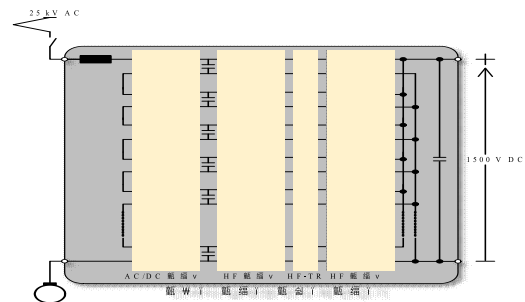


Fig.1 컨버터일체형 반도체변압기 구성

이 시스템은 중량물의 유입식 변압기 대신 전력반도체 소자를 활용하여 가선전압이 변동되는 상황에서도 일정전압을 생성하여 하위 전장품(추진장치, 보조전원장치 등)에 전원을 공급하는 시스템으로 기존 변압기 시스템 대비 전력반도체 소자를 다수 사용하였으며, 고주파 변압기를 채용하였다.

† 교신저자: 한국철도공사 연구원  
(202189@korail.com)

\* 한국철도공사 연구원

## 2.2 설계 고려사항

제품 설계를 위해 설계 및 시험단계에서 고려해야 할 사항으로 가선의 대전력을 직접 전력변환하는 전력 수전부 설계 및 고조파 영향분석, 열적 영향 분석으로 구분하여 기술한다.

Table 1 설계 고려사항

구분	내용
입력 컨버터	대전력 수전에 따른 전력변환장치 설계
고조파	고조파 영향분석 및 대책 수립
열적 영향	냉각방식 결정 및 스택설계 반영

## 2.3 입력단 전력 수전부 설계

이 시스템은 기존에 가선전압 변동 및 서지성 전류에 대한 일종의 버퍼 역할을 수행하던 주변압기를 제외하였기 때문에 입력 컨버터단의 전력반도체 소자와 관련 구성품이 충분한 완충역할을 수행되는지와 주회로 구성품이 원활하게 동작하는지에 대한 확인이 필요하며 이는 전력 시뮬레이션 프로그램을 통해 가선 전압변동 범위내에서 시행하여 검증이 필요하다.

또한 가선의 고압을 직접 수전함에 따라 절연확보 및 적절한 가선전압 분배를 위한 설계가 필요하며, 이에 따라 절연물 최소 설계를 통해 중량증가 요인을 최소화 해야 한다.

## 2.4 고조파(Harmonic) 설계

고조파(Harmonic)란 원천주파수(Fundamental Frequency)의 배수 주파수 성분으로 파형의 일그러짐에 영향을 미쳐 전장품의 정상동작에 지장을 줄 수 있다.

실제 KTX-산천 모터블록 33고조파(1980Hz)와 AF 궤도회로 C형 주파수 중첩으로 인한 간섭, 전동차 추진장치 동작에 따른 계기용 변압기 파손, 8200호대 전기기관차 태백선 운행시 8000호대 전기기관차 고조파 영향으로 인한 피뢰기 파손 등의 장애가 발생하였다.

고조파는 비선형소자(IGBT, Transistor,

Diode, Sic 등)의 전력변환과정에서 발생하며, 전력공급계통에서 유입되어 인접 운행 차량에 영향을 미칠 수 있으므로, 주회로상에 설치된 계기용 변압기(PT)와 변류기(CT)를 활용하여 시스템 동작 시 주변장치 및 가선으로의 영향성을 확인하여야 하며 설계단계에서 전력시뮬레이션을 통한 차상과 지상간, 차상과 차상간의 영향성을 사전 분석하여 설계 반영해야 한다.

## 2.5 열적영향 분석을 통한 설계

또한 크기와 중량을 줄이기 위해 채용한 고주파 변압기의 동작을 위해 기존 시스템 대비 높은 스위칭 주파수 이용이 예상되며 다수의 전력반도체 소자를 사용하므로 전력변환 과정에서 발생하는 손실에 대한 계산 및 시뮬레이션을 통해 냉각성능 확보 및 스택 설계를 해야 하며, 변압기와 리액터 등 코일류의 열 발산이 용이한 구조의 박스 설계 및 배치가 필요하다.

## 3. 결 론

컨버터 일체형 반도체 변압기는 차세대 시스템으로써 향후 도시철도 차량의 주요 시스템으로 자리잡게 될 것이다.

컨버터 일체형 반도체 변압기는 기존 추진시스템의 효율성 및 출력밀도를 증대하기 위해 개발하는 시스템으로써 가선전압 분배 및 절연성능 확보, 고조파 회피, 열적 영향 분석 등 설계적으로 고려해야 할 사항에 대해 기술하였다.

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(과제번호 19RTRP-146050-02)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] 홍용기,(2011) 철도차량 시스템 기술
- [2] 백남욱 외(2010), 철도차량 총서
- [3] 강인권(2014) 전기철도개론 1판
- [4] 김양수 외(2005), 전기철도공학 2판