

# 도시철도차량용 반도체 변압기의 시스템 구성 방안 및 제어기 개발

## System Configuration and Controller Development of the Solid-state Transformer System for an Urban Railway Vehicle

최동호\*, 이준석\*<sup>†</sup>, 이은수\*\*, 김명룡\*\*

Dongho Choi\*, June-Seok Lee\*<sup>†</sup>, Eun-Soo Lee\*\*, Myung Yong Kim\*\*

**초 록** 기존 국내 철도차량의 추진시스템에는 고압의 전차선 전압을 감압하기 위한 주변압기가 존재하며 권선형의 유입식 타입이 사용되고 있다. 유입식 변압기는 동작 주파수가 낮기 때문에 부피와 무게가 큰 단점이 있다. 반도체 변압기는 이러한 유입식 변압기의 문제를 해결하기 위해 등장한 차세대 기술로서 운전 주파수가 높기 때문에 경량화가 가능하고 높은 전력 밀도를 갖는다. 또한 전력전자 기술 기반의 알고리즘을 적용할 수 있기 때문에 전력품질 면에서도 이점을 갖는다. 본 논문에서는 도시철도차량용 반도체 변압기 시스템을 구성하기 위한 토폴로지와 제어기를 개발하고 시뮬레이션을 통해 시스템의 타당성을 검증한다.

**주요어** : 반도체 변압기 시스템, 도시철도차량, 추진 시스템, 멀티레벨 인버터, DAB 컨버터

### 1. 서 론

국내 철도차량의 추진 시스템에는 고압 25kV<sub>rms</sub>의 전차선 전압을 감압하는 주변압기와, 변압기의 AC 출력전압을 DC 전압으로 변환하는 전력변환장치가 사용된다. 주변압기로 사용되는 유입식 변압기는 절연유를 사용하므로 정기적인 유지보수 비용이 발생한다. 또한 60Hz의 저주파 동작 주파수로 인해 부피와 무게가 크고 전력 밀도 역시 낮다.

최근 환경 이슈가 대두되면서 고효율, 높은 전력밀도를 갖는 차세대 열차에 대한 연구가 진행됨에 따라 유입식 변압기의 단점을 극복할 수 있는 반도체 변압기에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다[1]. 반도체 변압기는 고주파의 동작 주파수를 갖기 때문에 경량화가 가능하여 전력밀도가 높으며 고조파 보상, 무효전력 보상 등과 같은 다양한 알고리즘을 적용하여 전력 품질을 높일 수도 있다.

<sup>†</sup> 교신저자: 단국대학교 공과대학 전자전기공학과의 (ljs@dankook.ac.kr)

\* 단국대학교 공과대학 전자전기공학과

\*\* 한국철도기술연구원 스마트전기신호본부

본 논문에서는 도시철도차량용 반도체 변압기에 사용할 수 있는 토폴로지와 제어 기법을 제시하고 시뮬레이션을 통해 제안한 시스템의 타당성을 검증한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 반도체 변압기의 토폴로지

제시하는 3MW급 도시철도차량용 반도체 변압기 시스템은 Fig. 1과 같이 10개의 셀로 구성된다. 여기서 AC-DC 전력변환장치는 AC 25kV<sub>rms</sub>의 전차선 전압을 DC-link 전압으로 변환하는 역할을 하며, 낮은 정격 내압의 전력반도체를 적용할 수 있는 cascaded H-bridge multilevel inverter (CHMI)를 사용한다. DC-DC 변환에는 구조적으로 고주파 변압기를 포함하여 입력과 출력을 전기적으로 절연할 수 있는 dual-active bridge (DAB) 컨버터를 사용한다. DAB는 DC-link 전압을 1500V까지 감압하여 추진 인버터의 입력전압을 만들어 주며, 이때 각 셀의 DAB 컨버터의 출력은 병렬연결로 구성된다.

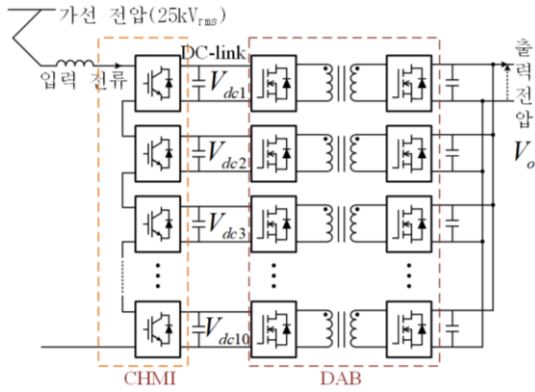


Fig. 1 반도체 변압기의 토폴로지

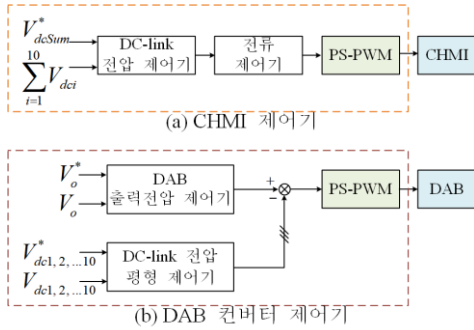


Fig. 2 반도체 변압기의 제어 블록도

## 2.2 반도체 변압기의 제어 기법

도시철도차량용 반도체 변압기의 제어 블록도는 Fig. 2와 같이 구성된다. 여기서 Fig. 2(a), (b)는 각각 CHMI, DAB 컨버터의 제어 블록도를 나타낸다. CHMI의 경우 전압 제어기를 통해 전체 DC-link 전압을 제어하고 하위 제어기인 전류 제어기로 입력전류를 제어한다. DAB의 경우 출력전압 제어기를 통해 병렬로 연결된 출력을 DC 1500V로 제어한다. 이때 발생할 수 있는 각 셀의 DC-link 전압의 불평형은 DC-link 전압 평형 제어기를 통해 DAB 컨버터 측에서 보상한다.

## 2.3 시뮬레이션 검증

Plecs 툴을 이용하여 Table 1의 사양과 같은 3MW급 도시철도차량용 반도체 변압기 시스템을 시뮬레이션 하였다.

Fig. 3은 반도체 변압기의 출력전력이 3MW, 0, -3MW로 변화할 때의 입력전류, 출력 DC 전압의 시뮬레이션 결과이며, 이를 통해 제시한 시스템의 안정적인 동작을 검증하였다.

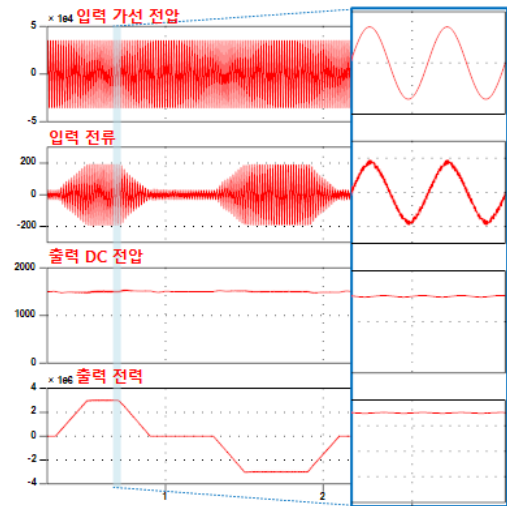


Fig. 3 시뮬레이션 검증

Table 1 반도체 변압기 시스템의 파라미터.

항목	값
정격 입력전압/주파수	25kV <sub>rms</sub> /60Hz
정격 입력전류	120[A <sub>rms</sub> ]
정격 출력전압	1500[V <sub>dc</sub> ]
정격 출력전력	3[MW]
CHMI 출력 전압 주파수	10[kHz]
DAB 스위칭 주파수	

## 3. 결론

본 논문에서는 도시철도차량용 반도체 변압기 시스템을 소개하고 이를 위한 토폴로지와 제어 기법을 제시하였으며 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

## 후기

본 연구는 국토교통부의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 21RSCD-C163337-01).

## 참고문헌

- [1] J. H. Park, M. Y. Kim, and J. S. Lee (2020) Configuration analysis of solid-state transformer system for railway vehicle, *Journal of the Korean Society for Railway*, vol. 23, no. 4, pp. 359-373.