

도시철도차량 추진시스템용 반도체변압기 개발

임종빈*, 변병주*, 김재혁*, 박진혁**, 이은수**, 김명룡**
 (주)효성*, 한국철도기술연구원**

Development of the solid state transformer for urban railway vehicles

Jong Bin IM*, Byeng-Joo Byen*, Jae-Hyuck Kim*, Jin-Hyuk Park**, Eun-Soo Lee**,
 Myung Yong Kim**

Hyosung Corporation*, Korea Railroad Research Institute (KRR) **

ABSTRACT

기존 국내 도시철도차량 추진시스템의 주변압기의 경우 권선형의 유입식 변압기가 사용되고 있다. 이러한 입력용 주변압기는 일반적으로 무게가 많이 나가며 전력밀도가 낮다. 또한 기존의 변압기의 경우 오일을 이용하여 절연을 하기 때문에, 정기적인 유지 보수에 따른 비용 발생 및 절연유의 오염에 따라 변압기 수명 단축 및 전력 품질 저하, 전력 손실 증가, 전압 강하, 누유에 의한 환경 문제 등 여러 문제를 가지고 있다. 본 논문에서는 권선형 유입식 변압기를 대체하는 반도체 변압기 시스템 모델을 제안하였다.

1. 서론

철도차량 추진시스템은 전차선으로부터 공급되는 전원을 철도차량의 가/감속 구동 및 보조기기들의 작동에 필요한 전원공급, 동력발생 및 차륜에 동력을 전달하는 시스템이다. 기존의 국내 도시철도차량 추진시스템의 주 변압기의 경우 저주파 권선형 유입식 변압기가 사용되고 있다. 이러한 주 변압기는 일반적으로 크기가 크고 무게가 많이 나가며 효율 및 전력밀도가 낮다. 또한 기존의 변압기의 경우 오일을 이용하여 절연을 하기 때문에, 정기적인 유지 보수에 따른 비용 발생 및 절연유의 오염에 따라 변압기 수명 단축 및 전력 품질 저하, 전력 손실 증가, 전압 강하, 누유에 의한 환경 문제 등 여러 문제를 가지고 있다.

본 논문에서는 상기의 문제를 해결하기 위해 권선형 유입식 변압기를 대체하는 도시철도차량 추진시스템용 반도체 변압기 시스템 모델을 제안하고자 한다. 이를 통해 기존 유입식 변압기 대비 경량화가 가능하며, 구조적으로 redundancy 확보가 가능하여 고장 시에도 비상운전이 가능하며, 운전효율이 높아지는 장점을 기대할 수 있다.

2. 철도차량 추진시스템용 반도체 변압기

2.1 저주파 권선형 유입식 변압기

그림 1은 저주파 권선형 유입식 변압기를 사용한 기존의 추진 시스템을 나타낸다. 기존 추진시스템은 고전압 교류전압을 저전압 교류전압으로 변환시켜주는 저주파 변압기와 교류전압을 직류전압으로 만들어주는 컨버터, 직류전압을 전동기를 구동시키기 위한 전력으로 변환시켜주는 추진인버터, 동력을 생산하는 전동기로 구성되어 있다.

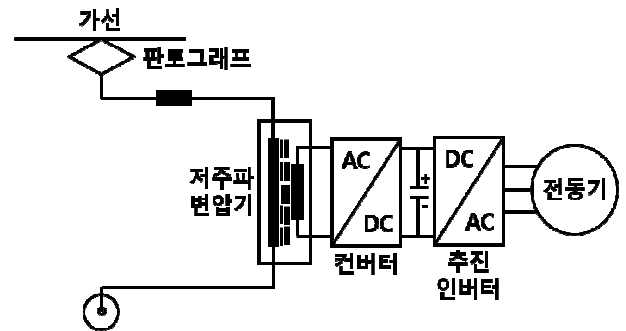


그림 1. 기존 철도차량 추진 시스템

Fig.1 Conventional Propulsion System for Railway Vehicles

국내 도시철도차량의 추진시스템의 주변압기의 경우 전통적으로 권선형의 유입식 변압기가 사용되고 있다.

표 1은 주요 철도차량별 주변압기의 특성을 나타내었다.

표 1. 주요 철도차량별 주변압기의 특성

Table 1. Characteristics of Transformers by Major Railway Vehicles

종류	전기기관차 (무궁화호)	고속열차 (KTX-산천)	도시철도 (지하철)
용량	6,316 kVA	6,200 kVA	1,860 kVA
형식	유입형 강제송유 풍냉식		
탑재수량	1대	2대(10량)	3대(10량)
중량	8,300 kg	7,900 kg	3,400 kg
컨버터	1.5톤 X 2대	2톤 X 2대	1.2톤 X 2대
주변압기 외형			

이러한 25kV, 60Hz 주저파 입력용 주 변압기는 운전 주파수가 낮아 임피던스 매칭을 위해 필요한 인덕턴스 값이 커 변압기의 권선을 많이 감거나 철심 코어를 많이 사용하여 크기가 크며 무게가 많이 나가고 전력 밀도가 낮다(약 0.2~0.4 MVA/ton). 또한 오일을 사용하여 25kV 절연을 하기 때문에 정기적인 유지 보수에 따른 비용 발생 및 절연유의 오염에 따른 변압기의 수명 단축, 전력 품질 저하, 전력 손실 증가, 전압 강하, 누유에 의한 환경 문제 등의 단점을 가지고 있다.

2.2 반도체 변압기

위에서 말한 기존 저주파 권선형 유입식 변압기의 단점을 해결하기 위해 각광을 받고 있는 것이 반도체변압기이다. 그림 2는 반도체변압기를 이용한 새로운 추진 시스템을 보여준다. 새로운 추진시스템은 기존의 저주파 변압기와 컨버터를 대체하는 반도체 변압기와 직류전압을 전동기를 구동시키기 위한 전력으로 변환시켜주는 추진인버터, 동력을 생산하는 전동기로 구성되어 있다. 반도체 변압기는 교류전압을 직류전압으로 변환시켜주는 AC/DC 컨버터와 시스템을 절연하고 원하는 직류전압으로 변환시켜주는 DC/DC 컨버터로 구성되어 있다.

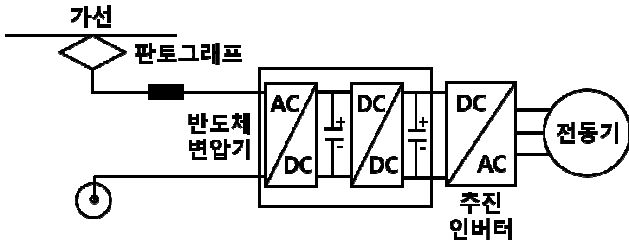


그림 2. 반도체변압기를 이용한 철도차량 추진 시스템
Fig.2 Propulsion System for Railway Vehicles using Solid State Transformer

2.2.1 반도체 변압기 토폴로지

표 1의 도시철도(지하철) 차량의 주변압기를 개발 목표로 잡고 반도체 변압기의 사양은 표2와 같이 선정하였다.

표 2. 반도체변압기 사양

Table 2. Specification of Solid State Transformer

항목	값
정격입력전압	25 [kVac]
입력전압 범위	19~29 [kVac]
정격입력전류	120 [Arms]
정격출력전압	1500 [Vdc]
정격출력전력	3 [MW]

철도차량의 입력전압은 19~29kVac의 고전압이므로 일반적인 AC/DC 토폴로지는 현재 상용화된 반도체소자의 정격 중 최대 정격전압이 6500V이므로 구현하기가 어렵다. 현재 고전압을 사용하고 있는 분야는 HVDC와 STATCOM으로 Cascade H-bridge Multilevel(CHM) 토폴로지를 AC/DC 컨버터에 적용하고 있다. CHM 토폴로지의 경우 H-bridge를 직렬로 연결하는 구조로 H-bridge의 수만큼 입력전압이 증가하게 된다. 이러한 연유로 철도차량 추진시스템용 반도체 변압기의 AC/DC 컨버터는

CHM 토폴로지를 제안한다.

DC/DC 컨버터의 경우 가선의 AC 입력측과 추진 인버터 간의 절연과 양방향으로의 전력 전달이 요구된다. Dual Active Bridge(DAB)는 DC/DC 1차측과 2차측 사이에 고주파변압기가 있어 위에서 요구하는 절연 및 변압기 전압의 위상차에 의해 전력을 양방향으로 전달할 수 있는 장점이 있으므로 철도차량 추진시스템용 반도체 변압기의 DC/DC 컨버터는 DAB 컨버터 토폴로지를 제안한다.

그림 3은 제안한 AC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터를 조합한 철도차량 추진용 반도체 변압기의 구성도를 나타낸다.

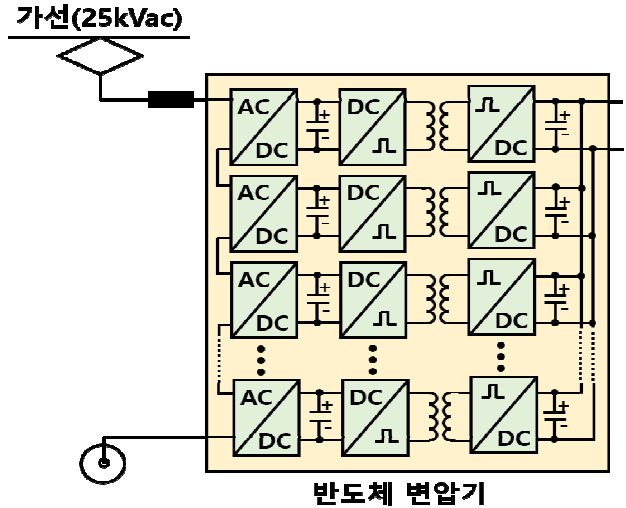


그림 3. 반도체변압기 구성도
Fig.3 configuration of Solid State Transformer

3. 결 론

본 논문에서는 기존 철도차량 추진 시스템에서 저주파 유입식 주변압기에 대한 단점에 대해 논하였고, 이에 대한 대안으로 반도체 변압기를 이용한 철도차량 추진시스템을 제안하였다. 현재 단일 스택 제작이 완료되어 시험 중에 있다. 향후 반도체 변압기 시스템 시험 및 철도차량 추진 시스템 시험을 할 예정이며, 현차시험을 통해 실증을 할 예정이다.

이 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.(과제번호 20RTRP-B146050-03)

참 고 문 헌

- [1] M. Leibl, G. Ortiz, J. Johann, W. Kolar (2017) Design and Experimental Analysis of a Medium-Frequency Transformer for Solid-State Transformer Applications, Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 5(1), pp. 110-123.
- [2] J.W. Kolar, J.E. Huber (2014) Solid-State-Transformers in future Traction and smart grid systems, in Proc. PCIM 2014 Seminar, Nuremberg, Germany.