

수소연료전지 차량용 100kW, 27.2kW/L FDC 개발

김진영¹, 기에우 호우 폭¹, 응웬 딩 바오 흥¹, 최세완¹, 이동한², 시단트 판데²
서울과학기술대학교¹, (주)솔루션엑스²

Development of 100kW, 27.2kW/L Efficiency FDC for FCEV

Jinyoung Kim¹, Kieu Huu Phuc¹, Nguyen Dinh Bao Hung¹ and Sewan Choi¹,
Donghan Lee², Siddhant Bikram Pandey²
Seoul National University of Science and Technology¹, SoultionX Ltd, Co.²

ABSTRACT

본 논문에서는 수소연료전지 자동차(Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV)용 100kW급 FDC 개발에 대해서 다룬다. 제안하는 컨버터는 2상 인터리브드 부스트 컨버터에 ZVT(Zero Voltage Transition) 셀을 적용하여 메인 스위치와 스너버 스위치가 모두 전 부하에서 소프트 스위칭이 가능하다. 100kW급 시작품을 제작하여 해당 컨버터의 타당성을 검증하였고, 최대 효율 99.09% 및 전력밀도 27.2kW/L를 달성하였다.

1. 서 론

수소연료전지는 저전압 출력 특성을 가지고 있기 때문에 상용전원으로 변환하기 위해서는 승압형 DC-DC 컨버터를 필요로 한다. FCEV 내의 수소연료전지용 DC-DC 컨버터(Fuel Cell DC-DC Converter, FDC)는 연료전지의 느린 반응 속도와 부하 변동에 따라 가변되는 연료전지의 출력 전압을 안정적이고 효율적으로 제어하여 전력을 전달하는 역할을 한다.^[1] 차량의 제한된 공간 활용 및 에너지 효율을 높이기 위해선 FDC의 고효율 및 고전력밀도가 요구된다. 본 논문에서는 이를 위한 FCEV용 100kW급 부스트 컨버터를 제안한다. 해당 컨버터는 2상 인터리브드 부스트 컨버터에 ZVT 셀을 적용하여, 전 부하에서 모든 스위칭 소자의 소프트 스위칭을 성취한다. 제안하는 FDC의 타당성 검증을 위하여 100kW급 시작품을 제작하였으며, 최대효율 99.09% 및 27.2kW/L의 전력밀도를 달성하였다.

2. 100kW급 수소연료전지 차량용 DC-DC 컨버터

제안하는 컨버터는 유지관리 및 확장성을 위하여 그림 1과 같이 모듈형 구조로 구성하였으며, 총 2개의 모듈이 100kW를 출력하게 된다. 각 모듈은 2상 인터리브드 부스트 컨버터에 소프트 스위칭을 위한 ZVT 셀이 적용되었다. 제안하는 ZVT 셀 적용 시 스위칭 특성을 표 1에 정리하였다. 제안하는 ZVT 셀의 경우 부하에 상관없이 메인 스위치를 ZVS 턴 온 시킬 수 있기 때문에 온 오프 제어가 필요 없다는 장점을 가지고 있다. 또한 메인 스위치 대비 15% 전류 정격의 소자를 ZVT 셀 스위치로 활용 할 수 있다. 제안하는 ZVT 셀의 장점을 정리하면 다음과 같다. 1) 메인 스위치가 ZVS 턴 온 및 ZVS 턴 오프를 성취한다. 2) 메인 다이오드가 ZCS 턴 프 한다. 3) 스너버 스

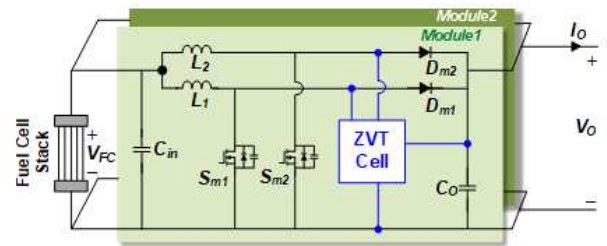


그림 1. 제안하는 FDC 구조
Fig 1. Proposed FDC Structure

표 1 제안하는 ZVT 셀의 스위칭 특성
Table 1 Switching Characteristics of Proposed ZVT Cell

제안하는 ZVT 셀	스위칭 특성	
	메인 스위치	ZVS 턴 온 near ZVS 턴 오프
	메인 다이오드	ZCS 턴 오프
	스너버 스위치	ZCS 턴 온 ZVS 턴 오프
	스너버 다이오드	ZCS 턴 오프

위치가 ZCS 턴 온 및 ZVS 턴 오프를 성취한다. 4) 부하 변동에도 메인 스위치가 ZVS를 달성하기 위한 별도의 제어를 필요로 하지 않는다. 5) 모든 반도체 소자에 인가되는 추가적인 전압 및 전류 스트레스가 증가하지 않는다. 제안하는 FDC는 수냉을 위하여 단층의 PCB 구조로 제작하였으며, 차량 내부의 Ambient 온도 65°C 기준 $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ 를 만족할 수 있도록 스위칭 주파수를 선정하였다.

3. 실험 결과

제안하는 FDC의 동작 및 타당성을 검증하기 위해 아래 설계사양에 따라 실험을 진행 하였다.

- $P_{O(max)} = 100\text{kW}$ • $V_{FC} = 300\text{V} \sim 400\text{V}$ • $V_O = 700\text{V} \sim 800\text{V}$
- $f_{sw} = 100\text{kHz}$

그림 2는 제안하는 FDC를 적용한 100kW급 시작품이다. 그림 3은 제안하는 FDC의 스위칭 파형이다. 그림 4는 부하 변동작파형을 나타낸다. 그림 5는 100kW에서 30분 동작 시 메인

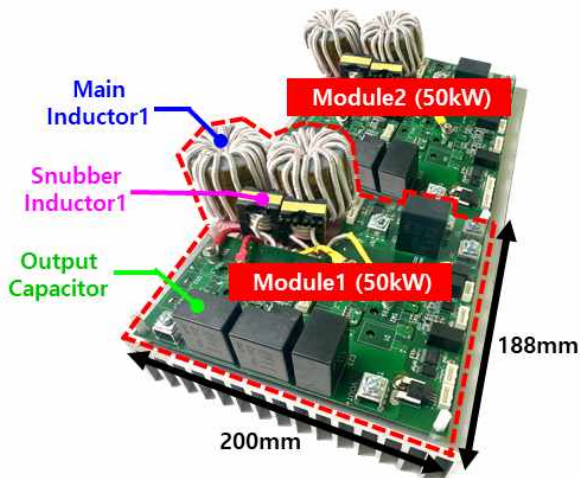


그림 2. 제안하는 FDC의 100kW 시작품
Fig 2. 100kW Prototype of Proposed FDC

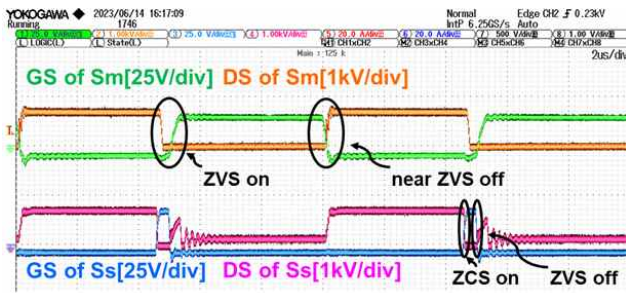


그림 3. 제안하는 FDC의 스위칭 파형(@Po=85kW)
Fig 3. Switching Waveform of Proposed FDC(@Po=85kW)

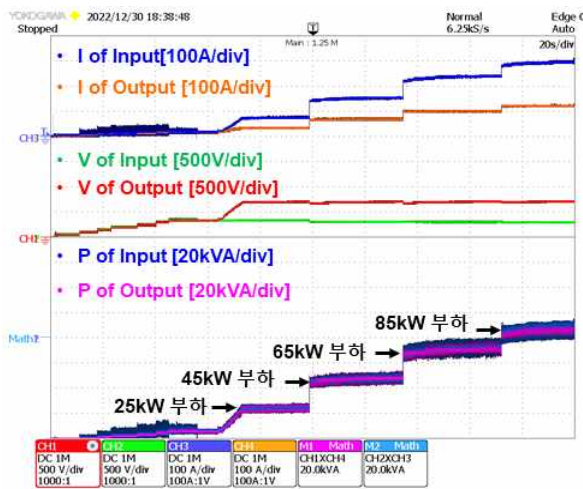


그림 4. 제안하는 FDC의 부하 별 동작파형
Fig 4. Waveform depends on the load of Proposed FDC

스위치의 온도이다. 측정 당시 Ambient온도는 23.2°C 이며, 메인스위치가 83.5°C($\Delta T = 60.3^\circ\text{C}$)로 측정되었다. 그림 6은 제안하는 FDC의 측정 효율이며, 최고 효율 99.09%를 달성하였다.

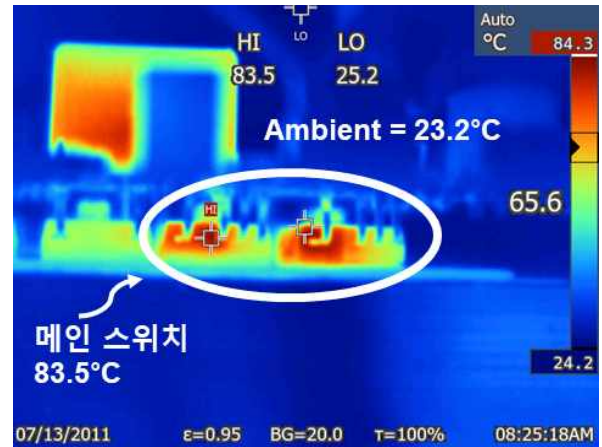


그림 5. 100kW에서 30분 동작 시 스위치 온도
Fig 5. Temperature of Switch at 100kW for 30 minutes operation

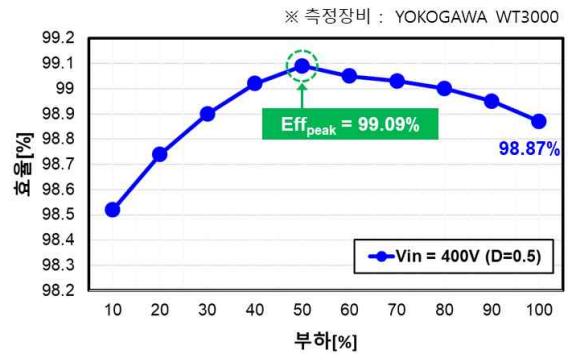


그림 6. 제안하는 FDC의 측정 효율
Fig 6. Measured Efficiency of proposed FDC

4. 결 론

본 논문에서는 수소연료전지 차량용 100kW급 FDC 개발에 대해서 다룬다. 제안하는 FDC는 모듈형 구조로 이루어져 있으며, 부스트 컨버터의 소프트 스위칭을 위해 ZVT 셀을 적용하였다. 100kW급 시작품을 제작하여 제안하는 FDC의 타당성을 검증하였으며, 최고 효율 99.09% 및 전력밀도 27.2kW/L를 달성하였다.

이 논문은 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단 LINC 3.0 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] H. N. Tran, T. -T. LE, H. Jeong, S. Kim and S. Choi, "A 300 kHz, 63 kW/L ZVT DC-DC Converter for 800-V Fuel Cell Electric Vehicles," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 37, no. 3, pp. 2993-3006, March 2022, doi: 10.1109/TPEL.2021.3108815.