

# Fault Insertion을 통한 전력변환장치의 동작 시퀀스 검증

김태훈\*, 송현식\*, 신동현\*, 이백행\* 이찬송\*\*, 최원규\*\*

\*자동차부품연구원, \*\*피앤이솔루션

## Operation sequence verification of the power converter by fault insertion

Tae Hoon Kim\*, Hyun Sik Song\*, Dong Hyun Shin\*,  
Back Haeng Lee\*, Chan Song Lee\*\*, Won Kyu Choi\*\*

\*Korea Automotive Technology Institute, \*\*PNE Solution

### ABSTRACT

친환경 차량의 필수장치로 사용되는 OBC(On Board Charger) 및 LDC(Low DC DC Converter)는 시스템 성능은 물론 하드웨어적인 신뢰성과 더불어 차량에서 발생할 수 있는 다양한 Fault로부터 차량과 운전자를 보호할 수 있는 안정성과 신뢰성을 확보하는 것이 요구된다. OBC/LDC 개발에 있어 시제품을 제작하여 성능 검증과 하드웨어 신뢰성을 확보하는 것은 현재의 개발 프로세서로 충분하지만 차량에서 발생하는 다양한 Fault 상황에 대한 강건성 확보는 실차에 탑재하여 검증하지 않고서는 뚜렷한 검증 방법이 없는 실정이다. 이에 따라 본 논문에서는 차량에서 발생할 수 있는 다양한 Fault 상황을 시뮬레이터로 모사하여, 이러한 Fault를 전력변환장치에 인위적으로 주입시킨 뒤 전력변환장치가 정상적으로 동작하는지 분석한다. 이를 통해 실차에 탑재하지 않고 전력변환시스템의 신뢰성을 검증하기 위한 방안을 제시한다.

### 1. 서론

그린카에는 대용량 배터리팩 탑재가 필수적으로 요구되며, 이러한 배터리팩은 일반적으로 200V 이상의 고전압을 이루며 구동용 시스템에 필요한 전원을 공급하는 역할을 담당한다. 따라서 계통으로부터 전기에너지를 공급받아 고전압 배터리를 충전해 줄 수 있는 OBC가 필요하다. 또한 차량에 탑재되어 있는 조명장치 등 대부분의 전장부품이 고전압이 아닌 12V로 동작하기 때문에 고전압을 저전압으로 변환하는 LDC 장치도 필요하다.<sup>[1,2]</sup> OBC/LDC 개발에 있어 시제품을 제작하여 성능 검증과 하드웨어 신뢰성을 확보하는 것은 현재 개발 프로세서로 충분하지만 차량에서 발생하는 다양한 Fault에 대한 강건성 확보는 실차에 탑재하여 검증하지 않고서는 뚜렷한 검증법이 없는 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 실차에 탑재하지 않고 전력변환시스템의 신뢰성을 검증할 수 있는 방법을 제안하였다. 이를 위해 차량에서 발생할 수 있는 다양한 Fault를 시뮬레이터로 모사하였으며, 그림 1과 같이 Controller, Power, HILS(Hardware In the Loop Simulation) Level로 구분지어 전력변환장치에 인위적으로 Fault조건을 주입시킨 뒤 전력변환장치가 Fault 시퀀스에 따라 정상 동작하는지를 검증하였다. 이 중 본 논문에서는 Controller Level 및 Power Level에서의 검증 방법에 대해 기술하였다.

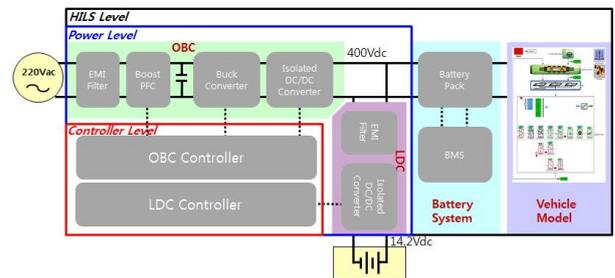


그림 1 Fault insertion을 통한 전력변환장치의 동작 시퀀스 검증 방안

Fig. 1 Operation sequence verification plan of the power converter by fault insertion

## 2. 시험 환경 구성 및 시험 결과

### 2.1 OBC 및 LDC

신뢰성 검증을 위해 사용된 전력변환장치는 피앤이솔루션에서 개발된 OBC 및 LDC를 사용하였다. OBC의 정격 출력은 3kW로 입력은 1 $\phi$  AC220V(110V), 출력은 DC240 400V, 7.5A이며 정전류 정전압(CC CV) 제어를 통해 고전압 배터리팩을 완속 충전한다. LDC의 정격 출력은 1.2kW로 입력은 OBC의 출력과 공통으로 연결되어 있는 구조이고 출력은 DC14.2V, 85A이며, 정전압제어를 통해 보조 배터리를 충전한다. 각 전력변환장치의 제어기에서는 동작에 필요한 스위칭 제어를 수행하는 동시에 BMS(Battery Monitoring System) 및 VCU(Vehicle Control Unit) 등과 같은 차량 내부의 상위제어기와 CAN(Controller Area Network)을 통해 차량 및 배터리 상태에 대한 정보를 공유한다. 또한, 전력변환장치 구동 중 발생하는 Warning 및 Fault 상황들도 CAN을 통해 전달된다. OBC의 Fault 보호기능으로는 입력 전압 OVP(Over Voltage Protection)/UVP(Under Voltage Protection), 입력 전류 OCP(Over Current Protection), DC link 전압 OVP/UVP, 출력 전압 OVP, 출력 전류 OCP, 온도 OTP(Over Temperature Protection)가 있으며, LDC의 Fault 보호기능으로는 입력 전압 OVP/UVP, 입력전류 OCP, 출력 전압 OVP, 출력 전류 OCP, 온도 OTP가 있다.

### 2.2 Controller Level 시험

Fault insertion을 통한 전력변환장치의 동작 시퀀스를 검증하는 첫 번째 방안인 Controller Level 시험의 구성도를 그림 2

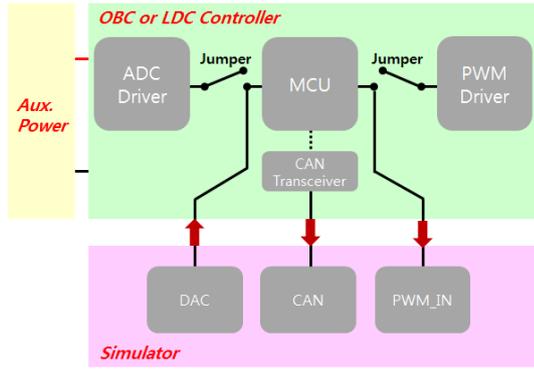


그림 2 Controller Level 시험 구성도  
Fig. 2 Block diagram of the controller level test



그림 3 OBC 제어보드의 DC-link OVP\_warning 파형  
Fig. 3 DC-link OVP\_warning waveform of the OBC controller

에 나타내었다. 그림과 같이 전력변환장치의 Controller Board 만 별도 보조전원을 통해 구동시키며, 제어기의 입력으로 들어 오는 ADC Driver단의 출력을 끊고 시뮬레이터의 DAC를 연결 하였다. 이때 DAC의 출력을 가변시켜 임의로 Fault를 주입시키는 동시에 CAN 및 PWM 신호를 피드백 받아 Fault 시퀀스가 정상적으로 동작하는지 확인하였다. 그림 3은 Controller Level 시험의 한 예로 OBC 제어보드의 DC Link OVP\_Warning 시험 파형이다. 피드백 받는 다른 값들은 정상 범위 안에서 DAC를 출력시켜주며, DC Link의 피드백 값만 381V에서 415V까지 서서히 상승시켜 Warning 및 Fault 동작이 제대로 이루어지는지 검증하였다. 결과 파형에서 알 수 있듯이 410.4V에서 Warning이 발생하였고, Warning 발생 0.5s 후 Fault가 발생하여 모든 스위치의 Gate Signal이 꺼져 정상적으로 Shut Down됨을 확인하였다. 이처럼 Controller Level에서의 시험은 실제 검증하기 어려운 Fault를 사용자가 원하는 형태로 손쉽게 만들어 검증할 수 있는 이점이 있다.

### 2.3 Power Level 시험

그림 4는 Power Level 시험을 통한 Fault insertion 시험 환경 구성도이다. Power Level 시험에서는 OBC/LDC 완품에 대한 신뢰성을 검증하는 단계로, 입력 측에는 계통(OBC) 혹은 고전압 배터리(LDC)를 모사할 수 있는 프로그래머블 파워 소스를, 출력 측에는 부하 저항을 사용하였다. 시뮬레이터에서는 특정 Fault 상황을 모사하여 입력 전원 및 출력 부하를 제어하

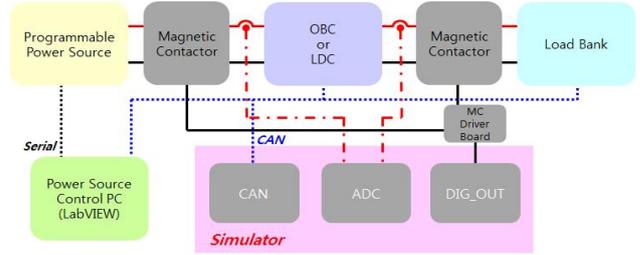


그림 4 Power Level 시험 구성도  
Fig. 4 Block diagram of the power level test

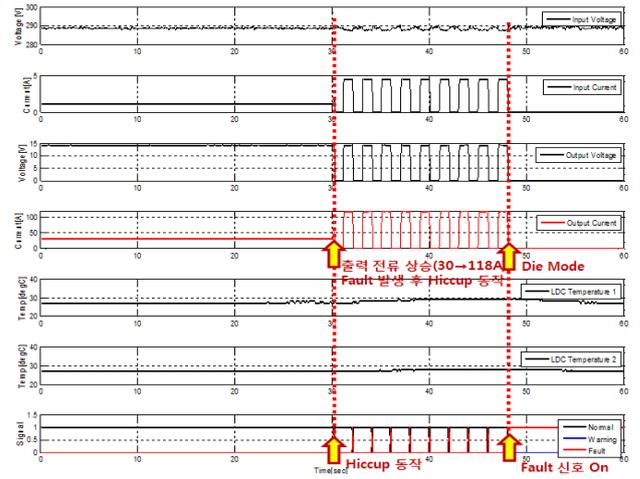


그림 5 LDC의 출력 OCP\_fault(hiccup) 파형  
Fig. 5 Output OCP\_fault(hiccup) waveform of the LDC

며, CAN 통신을 피드백 받아 전력변환장치의 신뢰성을 검증하였다. Power Level 시험의 한 예로 LDC 출력 OCP\_Fault (Hiccup) 시험 파형을 그림 5에 나타내었다. 출력 과전류가 발생하는 동시에 Fault 신호가 Enable되고 출력이 차단되는 것을 알 수 있으며, 이후 10번의 Hiccup 동작 후 Die Mode로 전환되는 것을 확인하였다.

## 3. 결론

본 논문에서는 다양한 Fault 상황들을 시뮬레이터로 모사하였으며, 이러한 Fault들을 Controller 및 Power Level로 구분지어 전력변환장치에 인위적으로 주입시켜 전력변환장치가 정상적인 시퀀스에 따라 동작하는지를 검증하였다.

본 논문은 중소기업청의 연구장비활용 기술개발사업 지원을 받아 수행된 연구임

## 참고 문헌

- [1] 김영민, 김태훈, 장민석, "완속 충전기 검증 방안", 한국자동차공학회 학술대회 논문집, pp. 2873-2875, 2011, 11.
- [2] 강래청, 정기운, 김세현, 양인범, "FPGA Board를 적용한 ZVS DC DC Converter의 HIL Simulation 구현", 한국자동차공학회 학술대회 논문집, pp. 1506-1512, 2012, 11.