

# VVVF 전동차 추진제어장치 전력변환 소자 변경적용에 관한 연구

## A study on the change of power conversion element for propulsion control system of VVVF Type EMU

이상오\*<sup>†</sup>, 김태도\*, 박시영\*, 전진형\*, 김현철\*, 김택주\*, 고윤권\*, 임동원\*\*  
 Sang Oh Lee\*<sup>†</sup>, Tae Do Kim\*, See Young Park\*, Jin Hyeong Jeon\*, Hyun Cheol Kim\*  
 Taeg Ju Kim\*, Yun Gwon Go\*, Dong Won Lim\*\*

**Abstract** Propulsion control apparatus of GTO Type in VVVF train that is operating in Seoul Metro has experienced many difficulties in maintenance to a decrease in performance and elements discontinued due to the long-term use of more than 20 years. Propulsion control system, large, is divided into the controller unit and the semiconductor STACK, especially semiconductor STACK trend in the exchange of propulsion control device system in the current enormous cost to increase failure to degradation of the cooling performance of the GTO element failure and refrigerant leakage It has been carried out. Existing controller unit in terms of the efficiency of the replacement cost of the power semiconductor STACK failure is increasing use by changing the GTO Type the IGBT Type. research is underway to improve the train propulsion control system It is. In this study, an attempt is made to ensure the two compatibility issues are resolved to train stability and operational efficiency during operation of the existing controller unit due to such characteristics and Switching speed difference of the power semiconductor element of.

**Keywords** : Propulsion control system, Semiconductor devices, GTO, IGBT

**초 록** 서울메트로에서 운용 중인 VVVF 전동차 중 GTO Type 의 추진제어장치는 20 년 이상의 장기사용에 따른 성능저하 및 소자 단종으로 유지보수에 많은 어려움을 겪고 있다. 추진제어장치는 크게 제어기유니트와 반도체 STACK 으로 구분되며, 특히 반도체 STACK 은 GTO 소자불량 및 냉매누설에 의한 냉각성능 저하로 고장이 증가하는 추세로 현재 막대한 비용으로 추진제어장치 시스템 교체가 이루어지고 있다. 교체 비용의 효율성 측면에서 기존 제어기유니트는 사용하고 고장이 증가하고 있는 전력반도체 STACK 을 GTO Type 에서 IGBT Type 으로 변경하여 전동차 추진제어장치를 개량하는 연구가 진행 중에 있다. 본 연구는 2 종류의 전력반도체 소자의 특성 및 Switching 속도 차이 등으로 인해 발생하는 기존 제어기유니트와의 호환성 문제를 해결하여 전동차 운행 시 안정성과 운용 효율성을 확보하고자 하였다.

**주요어** : 추진제어장치, 전력반도체소자, GTO, IGBT

## 1. 서 론

현재 서울메트로에서 운용 중인 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 전동차 중 GTO(Gate Turn-off Thyristor) Type 의 추진제어장치는 20년 이상의 장기사용으로 인한 노후화로 시스템 성능 저하 및 전력반도체 소자 단종에 따른 자재 수급 곤란으로 유지보수에 많은 어려움을 겪고 있다. 이에 안정적인 차량 운용과 원활한 유지보수를 위하여 도시철도 운영기관

에서는 GTO Type의 전력반도체에 주변회로를 단순화 시키고, 운영 효율성이 뛰어난 최신의 전력반도체인 IGBT(Insulated gate bipolar mode transistor)가 적용된 추진제어장치로의 개량사업을 진행 중에 있다. 하지만 추진제어장치 전체 시스템의 교체에는 막대한 비용이 발생되고 있어 예산투입이 어려운 실정이다. 이러한 교체 비용 및 유지보수성 등 전동차 운용 상의 문제점을 해결하고자, 서울메트로 4호선 현대 VVVF 전동차 추진제어장치에 대하여, 국내 최초로 기존의 제어 유닛은 사용하고 GTO STACK을 IGBT STACK으로 개량하는 연구를 진행 중에 있다. 본 논문에서는 추진제어장치의 전력반도체를 GTO에서 IGBT로 변경 시 전력반도체 구동판넬인 Gate Drive Panel과 주변회로의 변경 및 2종류의 전력반도체 소자 동작 특성에 의해 기존 제어유닛과의 호환성에서 발생된 문제점을 해결하고, 현차시험을 통해 산출된 시험결과에 대해 고찰하고자 한다.

† 교신저자: 서울메트로(joeun5@seoulmetro.co.kr)

\* 서울메트로

\*\* (주)이건산전 기술연구소

## 2. 본 론

### 2.1 개발품의 시스템 구성

Fig. 1은 기존 전동차 추진제어장치에서 사용 중인 GTO Stack의 VVVF 인버터와 본 연구로 개발된 IGBT Stack의 VVVF 인버터의 주회로를 나타낸다.

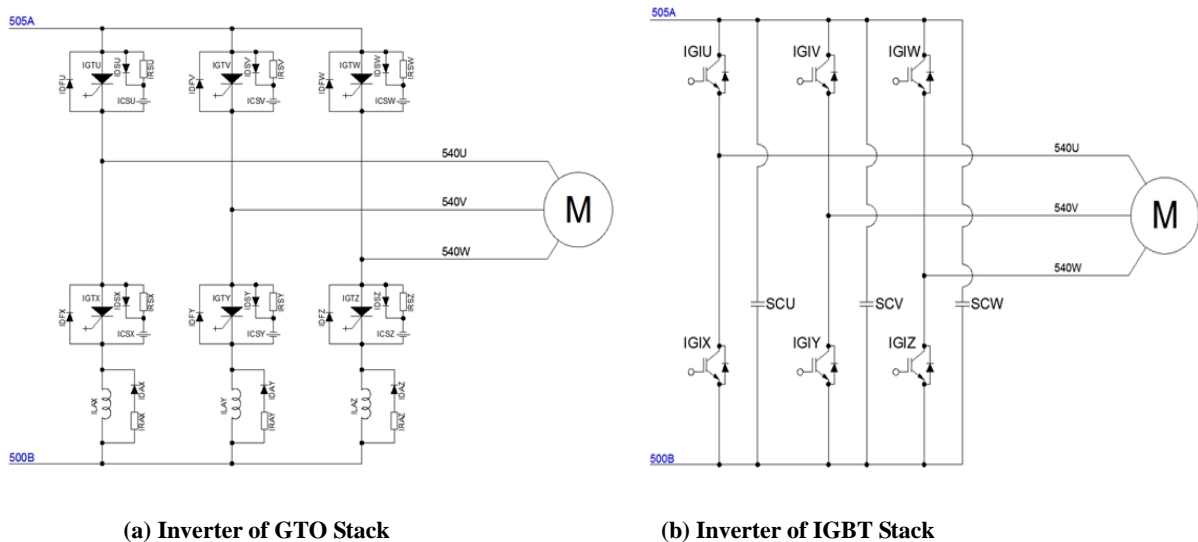


Fig. 1 The Circuit Diagram of Propulsion Control Systems




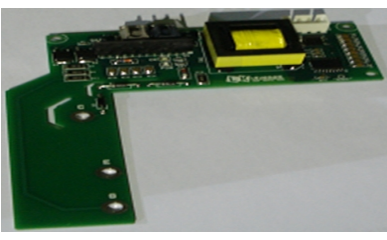
IGBT Stack은 스너버 회로가 불필요하므로, STACK 구성품 및 주회로가 GTO Stack에 비해 단순화 되었으며, Stack 제작품은 GTO Stack Type의 추진제어장치가 사용되는 전동차와

호환성 유지를 위하여 동일한 구조의 Heat Pipe 방식의 냉각구조를 적용하여 제작하였다. 또한 IGBT를 구동하는 GDU(Gate Drive Unit)는 Stack 내 IGBT Module에 장착하여 구조적으로 단순화시켰으며, GDU와 IGBT간 케이블을 없애 노이즈 발생요소를 줄였다.

주요 구성요소인 STACK과 Gate Drive Panel에 대한 변경은 Table.1과 같다.

이외에도 IGBT Type에서는 Power Supply의 소형화 및 Anode Reactor, Snubber and Reset Resistor, Reset Diode등 주변 제어장치가 불필요하게 되어 시스템 운용적 측면에서 효율성이 향상되었다.

**Table. 1 The change of Major equipments**

	GTO Type	IGBT Type
STACK		
PCB Panel of Gate Drive Unit		

## 2.2 개발품의 현차시험

### 2.2.1 인버터 동작

개발품인 IGBT Stack이 적용된 인버터를 서울메트로 4호선 현대 VVVF 전동차의 추진제어장치에 취부하여 기존 제어 유니트와 함께 현차시험을 시행하였으나, 역행 초기 시 IGBT STACK 취부차량에서 차체떨림과 충격현상이 발생하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 인버터의 동작에 따른 GTO와 IGBT 전력반도체 소자 간의 차이점과 전동차 시스템에서 확인하여야 할 부분 등에 대해 고찰하였다.

VVVF 인버터는 Fig.2와 같이 PWM(Pulse Width Modulation) 제어에 의해 동작하며, 상간 전압의 펄스폭에 의해 유도 전동기(Induction Motor)가 동작한다. Fig.2에서 보는 것과 같이 상간전압은 미세한 스위칭(Switching) 펄스(Pulse) 폭에 민감하게 반응하므로, 제어유니트에서 보내주는 신호와 실제 두 전력반도체 소자의 특성차이로 인한 Switching On/Off Time의 특성차이가 유도 전동기 동작에도 크게 영향을 미친다.

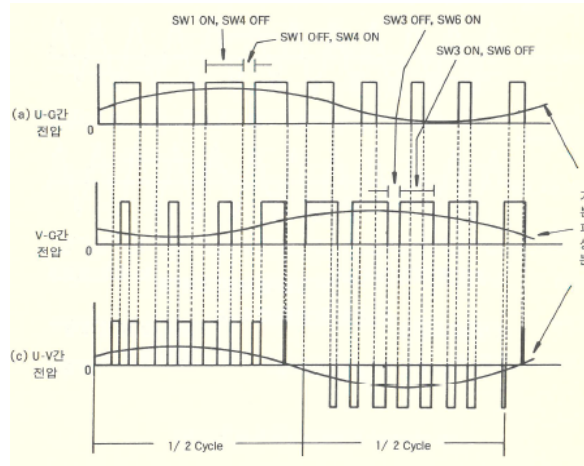
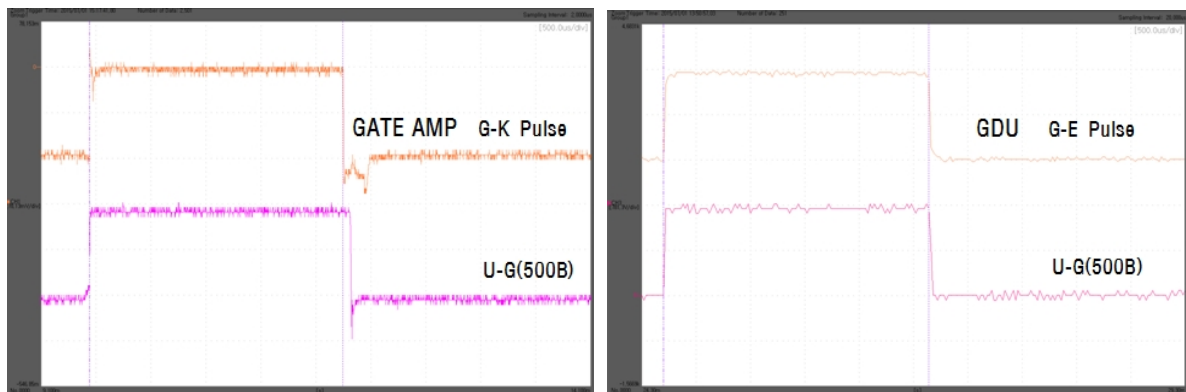


Fig. 2 Out-put waveform of Inverter by PWM Modulation

실제 GTO Stack 인버터와 IGBT Stack 인버터의 스위칭 파형 대비 U상-GND간의 전압을 측정하여 비교한 결과는 Fig.3의 파형과 같다.



(a) Inverter of GTO Stack

(b) Inverter of IGBT Stack

Fig. 3 Operation waveforms of the switching signal ratio power element for GTO / IGBT stack Inverter

GTO Stack 인버터는 스위칭 Off 후 지연시간을 가지고 U-G 전압이 Off 되지만, IGBT Stack 인버터는 스위칭 신호와 동일하게 Off됨을 알 수 있다.

따라서 GTO Stack 인버터와 IGBT Stack 인버터의 스위칭 동작특성의 차이를 없애기 위한 방안을 모색하여 현차시험을 진행하였다.

### 2.2.2 GDU의 게이트 저항 사용에 의한 IGBT Stack 인터페이스

GDU의 Gate 단자에 직렬로 제한저항을 사용하여 IGBT 소자의 Switching On Time시 기울기를 주어 U-G 전압이 GTO Type 의 Switching 펄스폭과 유사하게 나타날 수 있도록 하여 시험을 진행하였다.

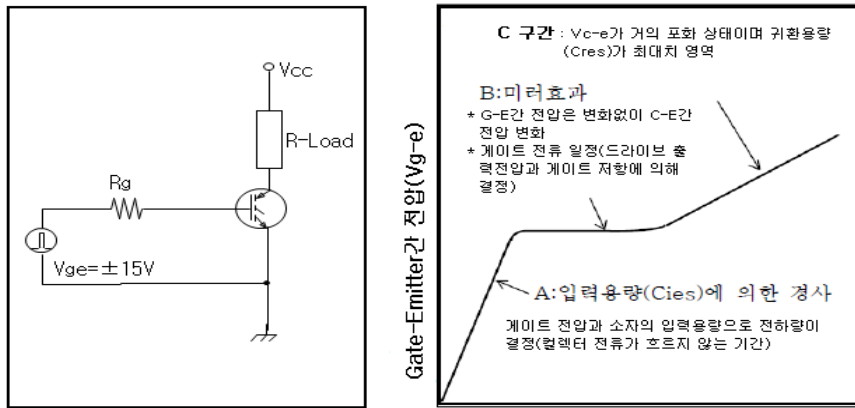


Fig 5 Operation in accordance with the resistance of GDU gate terminal

Gate 단자에 저항을 사용하여 시험 진행 시 출력 전류치가 급변하는 헌팅(Hunting) 현상은 확연히 줄었으나, 전동차의 초기 역행 시 전류제한 효과만 있을 뿐 시험차량에서 발생하는 떨림이나 충격현상이 해소되지는 않았다.

### 2.2.3 인터페이스 보드에 의한 IGBT Switching On/Off Time 보상

이러한 GTO Stack 인버터와 IGBT Stack 인버터 간의 동작 호환성을 위해 제어 유니트와 GDU 사이에 인터페이스 보드를 제작하여 설치하였다.

Fig.6은 인터페이스보드를 설치한 블록도 이다.

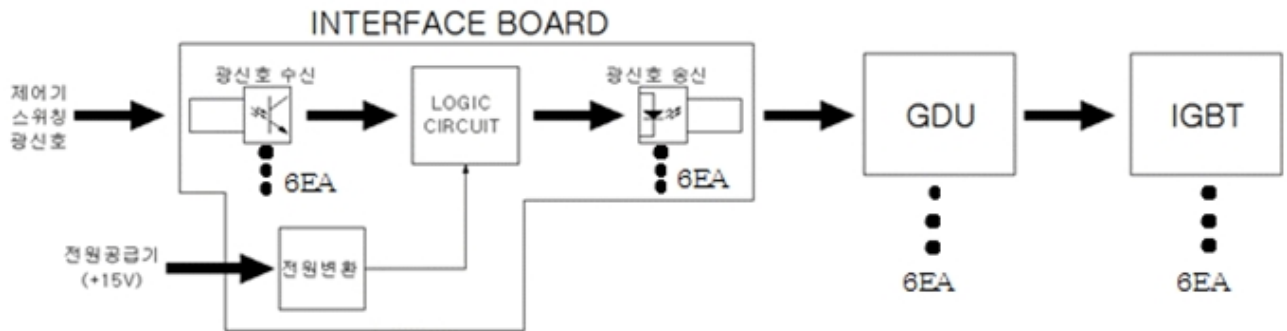


Fig. 6 Block Diagram of Interface Board

인터페이스보드는 IGBT 소자의 Switching On/Off Time을 프로그램에 의해 GTO 소자와 유사하거나 동일하게 동작시키기 위해 일련의 프로세스로 처리하도록 되어 있다. 인터페이스 보드를 적용하여 DV(Direct Current) 전동차의 차량기지 구내시운전 및 본선시운전을 시행한 결과, 전동차의 떨림 및 충격현상이 사라지는 것을 확인할 수 있었다.

DV구간 본선시운전을 시행한 시험 전동차(1편성 10량)의 동력차량 구성은 Fig.7와 같다.

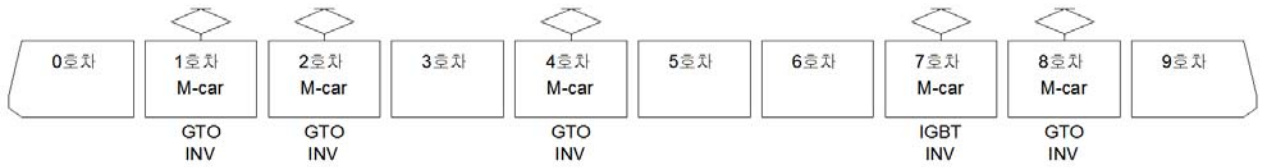


Fig. 7 Arrangement of propulsion control system

인터페이스 보드 사용으로 인해 GTO 소자의 Switching 동작특성을 IGBT 소자가 적용된 Stack에 프로그램을 입력하여 GTO 소자와 유사하거나 동일하게 동작할 수 있도록 하였다.

### 3. 결론(Conclusion)

기존 추진제어장치의 제어 유니트를 사용하면서 발생된 GTO Stack과 IGBT Stack 간의 Switching 특성 차이에 의한 차량떨림 및 충격현상은 IGBT Inverter Stack 에 인터페이스 보드를 적용하여 본선시운전을 시행한 결과 양호한 성능을 확인하였으며, 향후 ADV(Alternating Direct Current) 전동차에서 시행예정인 IGBT C/I (Converter/Inverter) Stack 개발품의 성능검증시 가선전압 변동에 의한 Converter STACK의 출력전압(FC) 및 부하변동에 따른 Inverter Stack의 모터출력 전류 등을 GTO Type 과 IGBT Type을 비교 측정하며 안정적인 시스템을 구성하기 위한 추가적인 성능 검증연구가 필요하다.

### 참고문헌

- [1] 4호선 현대VVVF 전동차 정비지침서(1993), 서울메트로