

고속 철도(TGV-Korea) 조명용 DC-DC 컨버터의 개발

김성일*, 김희준**, 김희일***

한양대학교 기전공학과*, 한양대학교 전기공학과**, 헥스 파워시스템(주)***

A Development of DC-DC Converter for the Reading Lamp of TGV-Korea

S. I. Kim*, H. J. Kim**, H. I. Kim***

Dept. of Mechatronics Eng. Hanyang Univ.*

Dept. of Electrical Eng. Hanyang Univ.**

Hex Power System co. Ltd.***

Abstract

Manufacturing TGV-Korea, international standards and TGV-standards should be strictly applied in order to insure the normal operation and the safety of passengers in a train service.

This paper presents a development of 800W DC-DC converter for the reading lamp of TGV-Korea. The converter is designed for satisfying the regulations of international standards and TGV-standards regarding the burning-in test, the vibration test, the electro-magnetic emissions test, etc. As an experimental result, the maximum efficiency is obtained as 92.3[%] at normal input voltage and output power.

1. 서론

현재 도입, 시험 운행중인 경부 고속철도(TGV-Korea) 차량의 장비 부품 일부가 G7 과제의 일환으로 국산화 개발이 진행되고 있다. 이러한 국산화 품목은 운행의 신뢰성과 승객의 안전을 보장하기 위하여 GEC ALSTHOM사가 요구하는 국제 표준규격 및 프랑스 철도 규격을 만족하도록 개발되어야 하고, 개발 완료 후 승인 시험을 통해 인증을 받아야 한다.[1]

본 논문에서는 국산화 품목 중 하나인 조명용 DC-DC 컨버터(Reading Lamp DC-DC Converter)의 개발에 있어서 요구되는 주요 적용 규격, 환경 및 운

용 조건, 설계 조건, 다양한 전기적 기능 조건과 부하인 할로겐 램프의 특성을 제시하고, 개발된 컨버터의 주요 설계 사양 및 구성, 시험 결과 등을 보였다. 개발된 컨버터는 입력전압 50~90[V], 정격 출력 전압 27[V], 스위칭 주파수 45[kHz]로 설계하였고, 효율은 정격 입력, 정격 출력시 최대 92.3[%]이다

2. 적용 규격 및 설계 조건

컨버터는 고속철도의 동작 환경을 고려하여 운용 조건 및 안전한 동작을 위한 전기적 기능조건을 만족하도록 설계되어야 한다.

2.1. 주요 적용 규격

고속철도의 동작 환경에서 안전한 동작을 위하여 설계시 컨버터에 적용되어야 할 주요 규격은 표 1과 같다.

표 1. 주요 표준 규격

규격	내용
NFF 16101	재료 선정 기준
NFF 16102	재료 선정 기준
NFF 60001	과전압 시험 기준
NFF 60002	진동 내력시험 기준
NFF 63826	내부 권선 기준
NFC 93713	PCB 설계 기준
NFC 93718	PCB 코팅 품질 기준

2.2. 운행 환경 조건

컨버터는 표 2와 같은 차량의 운행 환경을 고려한 환경 조건 및 운용 조건을 만족하도록 설계되어야 한다.

표 2. 환경/운용 조건

구 분		내 용
환경 조건	동작 온도 범위	-25~+70[°C]
	상대 습도	5~100[%]
	가청 잡음	45[dB] 이하
	전자기 장애	CISPR Class A
운용 조건	연평균 운용시간	7,300시간
	기동 횟수/일	10회
	MTBF	250,000시간

2.3. 전기적 기능 조건

컨버터는 원활한 동작과 승객의 안전을 위하여 표 3과 같은 전기적 기능 조건 및 보호 회로를 구비하여야 한다.

표 3. 주요 전기적 기능 조건

구 분	내 용
표시 회로	입력 전압 정상
	출력 전압 정상
보호 회로	입력 저전압 보호 회로
	입력 역극성 보호 회로
	출력 과전류 보호
	출력 과전압 보호
고장시 동작	입력 결선 이상시 보호
	입·출력 단락시 보호
인터페이스	출력 저전압시 신호 송출
절연	기계적인 접지와 절연

3. 할로겐 램프의 특성

유리관에 텅스텐 필라멘트와 할로겐 가스 및 아르곤 가스를 봉입한 할로겐 램프는 낮은 온도에서 텅스텐과 결합하고 높은 온도에서는 분해되는 할로겐의 화학적 성질을 이용한 전구이다. 램프 점등시 증발한 텅스텐이 유리관벽 부근에서 할로겐과 결합하여 생성한 할로겐화 텅스텐이 관내 대류에 의해 약 2500°C의 고온인 필라멘트 부근으로 이동하면 분해되어 텅스텐

이 필라멘트로 되돌아가는 할로겐 재생 사이클이 형성된다.[3] 이 사이클에 의해 필라멘트의 텅스텐이 유리관벽에 붙어 발생하는 흑화 현상이 줄어들어 광속과 색온도의 저하가 작고, 램프의 수명이 연장된다.

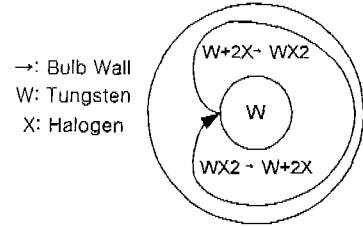


그림 1. 할로겐 재생 사이클

하지만 초기 점등시 압력이 봉입압의 1.3~10배에 달해 기동전류가 정상 상태 전류의 약 3~20배가 되는 램프효과(Lamp Effect)가 발생하므로 컨버터 설계시 고려되어야 한다.[3][4]

4. 컨버터의 설계 및 시험

4.1 컨버터의 설계 사양

배터리로부터 전력을 공급받아 객차 1량에 설치되는 60개의 27[V_{DC}], 11.5[W] 할로겐 램프에 전력을 공급하는 조명용 DC-DC 컨버터의 주요 설계 사양은 표 4와 같다.

표 4. 주요 설계 사양

구 분		내 용	
입력	정격 입력 전압	72[V _{DC}]	
	입력 전압 범위	50~90[V _{DC}]	
출력	정격 출력 전압	27[V _{DC}]	
	정격 출력 전력	690[W]	
	최대 출력 전력	800[W]	
	출력 전압 변동 범위		±2[%]
			+2[%], -7[%]
출력 전압 리플	2[%]		
스위칭 주파수		45[kHz]	
외형	크 기	200×256×300[mm]	
	무 게	7.6[kg]	

스위칭 주파수는 소형 경량화를 위하여 가능한 한 높이도록 권장하지만, 효율 및 전자기 장애(EMI)를 고려하여 45[kHz]로 선정하였다.

4.2 컨버터의 구성

제작된 컨버터의 내부 구성도는 그림 2와 같다.

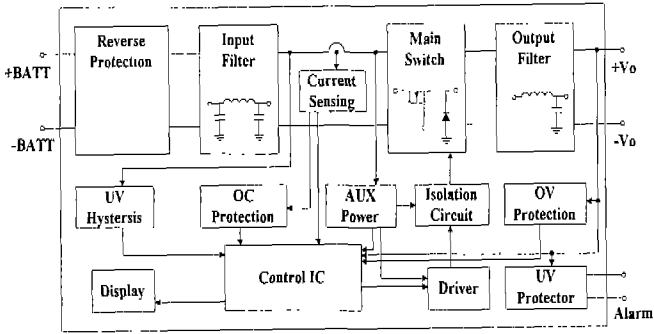


그림 2. 컨버터의 내부 구성도

컨버터는 스위칭 소자로 MOSFET(IXFN70N30)와 UFRD(DES12x61-04C)를 사용한 Buck 컨버터와 이를 제어하기 위한 전류모드 제어 회로부, EMI를 최소화하기 위한 입력 필터부 그리고 표시 회로, 출력 저전압 감시 회로와 입력 저전압 보호, 입력 역극성 보호, 출력 과전류 보호, 출력 과전압 보호 등의 전기적 기능 조건을 만족하기 위한 보호 회로, 보조 전원 등으로 구성된다.

배터리의 과방전을 방지하기 위하여 구성된 입력 저전압 보호 회로는 채터링을 방지하기 위하여 46~50[V]로 Hysteresis 동작을 하도록 하였으며, 과전류 보호 회로는 최대 출력 이상의 전류가 흐르는 것을 방지함과 동시에 점등시 발생하는 큰 기동 전류를 제한한다.

출력 저전압 보호 회로는 과전류 보호 회로의 동작 등의 원인으로 출력 전압이 5초이상 20[V]이하로 유지되면, 외부에 신호를 송출하고 컨버터의 동작을 정지시킨다.

4.3 시험 결과 및 주요 시험 파형

컨버터의 주요 시험 파형은 다음과 같다. 그림 3은 정격 입력, 정격 출력시의 주 스위치의 전압과 출력 인덕터의 전류 파형이고, 그림 4는 60개의 램프를 동시 점등시 출력단의 전압과 전류 파형을 나타낸 것으로 램프 효과에 의해 출력 전류가 정격전류의 약 5배인 139[A]가 되며, 과전류 보호 회로에 의해 출력 전압이 8.6[V]까지 떨어지지만 약 100[ms]후에 정상 상태로 회복됨을 알 수 있다.

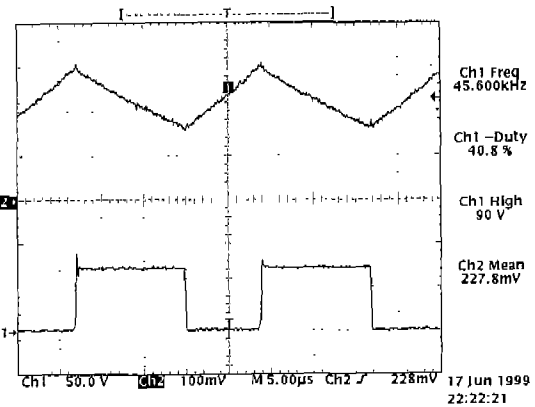


그림 3. 주 스위치의 전압 및 출력 인덕터의 전류
(a) Ch1: 주스위치의 전압
(b) Ch2: 출력 인덕터의 전류(10A/div)

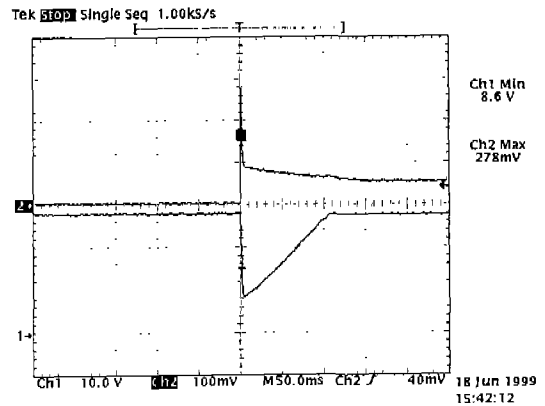


그림4. 점등시의 출력 전압 및 전류 파형
(a) Ch1: 출력 전압
(b) Ch2: 출력 전류(50A/div)

정격입력 최대 출력시의 출력단의 리플/스파이크 전압 및 전도 잡음 파형을 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 리플/스파이크 전압은 약 100[mV]로 출력전압의 0.4[%]이고, 전도잡음의 최대치는 300[kHz]에서 63.83[dB μ V]이다.

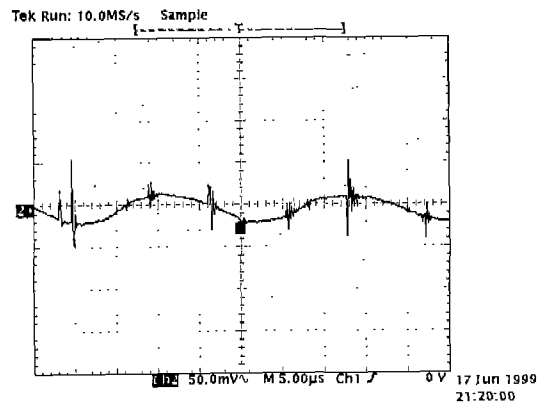


그림 5. 출력단 리플/노이즈

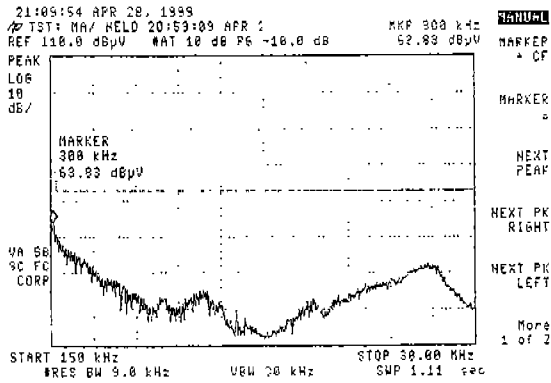


그림 6. 전도 잡음

또한 $-25[^\circ\text{C}] \sim 70[^\circ\text{C}]$ 로 24시간을 1-사이클로 5-사이클을 행하는 온도 내성 시험(Burning-in test)와 NFF 60002를 기준으로 행해지는 진동 내력시험은 시험후 컨버터의 동작에 이상이 없음을 확인하였다.

그림 7은 정격 입력시 컨버터의 효율곡선으로 효율은 최고 92.3[%]이고, 최대 출력시 91[%]이다. 그림 8은 개발된 컨버터의 실물사진이다.

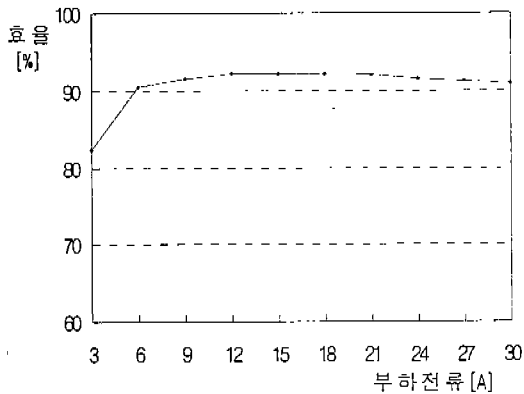


그림 7. 효율 특성 곡선

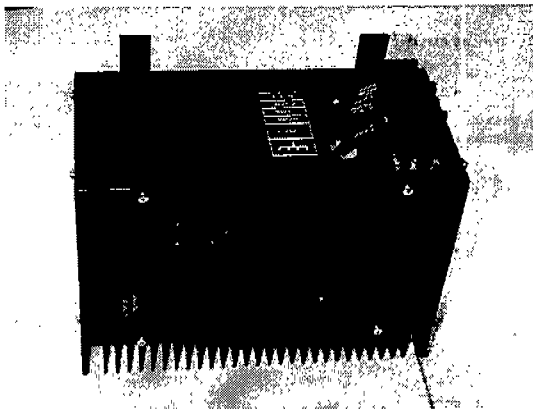


그림 8. 컨버터의 실물 사진

5. 결론

경부 고속철도의 국산화 품목중 하나인 조명용 DC-DC 컨버터(Reading Lamp DC-DC Converter)을 요구되는 다양한 기능 조건, 설계 조건, 운용 조건 등을 만족하도록 개발하였다. 개발된 컨버터는 입력전압 50~90[V], 정격 출력 전압 27[V], 최대 출력 800[W], 효율은 정격 입력시 최고 92.3[%]이다.

참고문헌

- [1] Korea High speed Train Consortium., "Technical Specification of Reading Lamp Supply Converter"
- [2] Korea High speed Train Consortium, "Technical Specification of Reading Lamp"
- [3] J. R. Coaton and A. M. Marsden "Lamps and Lighting", pp.177~193, John Wiley & sons.inc. 1997
- [4] "Technical Data Sheet", Welch Ally,inc. 1999

기타 적용 규격

- (1) NFC 20700: 환경시험 일반 지침(=IEC68.1)
- (2) NFC 20701: 환경시험 절차 A: Cold(=IEC68.2.1)
- (3) NFC 20702: 환경시험 절차 B: heat(=IEC68.2.2)
- (4) NFC 20727: 환경시험 절차 E: Shock(=IEC68.2.27)
- (5) NFC 20730: 환경시험 절차 D: cyclic(=IEC68.2.30)
- (6) NFC 93750, 751: PCB 원재료 기준
- (7) NFEN 29003: 품질/최종 검사(=ISO 9003)
- (8) NFEN 60924: 극성의 역전환시험
- (9) NFF 01510: 환경 조건
- (10) NFF 01802: 철도차량 시험항목 분류 및 정의.
- (11) NFF 03005: 비금속 재료 규정
- (12) NFF 16000: 철도차량 부품 및 장비 일반 규정
- (13) NFF 25137: 나사 규정
- (14) NFF 25401: 너트 규정
- (15) NFF 90550: 합금 재료 규정
- (16) NFF 93700: PCB 품질 보증 절차
- (17) UTEC 90511: 전자부품 일반 원칙 및 속성 검사
- (18) MILHDBK 217E: MTBF 계산.