

UPS 기능을 갖는 A/C Blower용 인버터 시스템 개발

林承範*, 李輪夏**, 睦亨洙***, 池俊根†

Development of the Inverter System with UPS Function for the Air-Conditioning Blower

Seung-Beom Lim, Yun-Ha Lee, Hyung-Soo Mok, and Jun-Keun Ji

요 약

현재 철도 차량용 공조 시스템은 3상 AC 380V를 입력으로 받아 온/오프 제어만 하고 있어 효율 저감 및 소음 등의 문제점을 가지고 있으며 AC 전원 공급이 차단될 경우 blower 동작이 멈추는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 UPS 기능을 갖는 A/C blower용 인버터 시스템을 제안한다. 제안한 인버터 시스템은 입력으로 AC 전원과 DC 전원을 받아서 blower 구동용 유도전동기의 V/F 제어를 하며, CAN통신을 이용하여 속도, 모드 및 Soft-Start 시간 등을 제어한다. 또한 CAN 통신 고장시에는 정비용으로 RS-232통신을 이용해서도 제어할 수 있고 조작자가 직접 하드웨어적으로 제어할 수도 있어 기존의 문제점을 보완할 수 있다. 시뮬레이션과 실험을 통해 제안한 인버터 시스템의 유용성을 입증한다.

ABSTRACT

The HVAC(Heating Ventilation and Air Conditioning) system is only controlled by turn on/turn off operations with AC 380V input. Therefore, the efficiency of the system is reduced and acoustic noise problem occurs. Also, the blower is shut down at the AC power failure. In this paper, the inverter system with UPS function for the A/C(Air Conditioning) blower is proposed. Proposed inverter system which is powered from the AC and DC voltage can control speed, operation mode, and soft-start time using CAN communication. In case of the CAN communication failure, RS-232 communication could be used to control the hardware directly by the engineer that can solve existing problems. To verify the validity of proposed inverter system, simulations and experiments are carried out.

Key Words : HVAC, UPS Function, Inverter System, V/F Control, Air-Conditioning Blower

1. 서 론

빌딩의 지능화와 고도화 산업 성장의 영향으로 분진 제거 및 환기를 위해서 공조 시스템인 blower가 필수

적으로 사용되고 있다.^[1-2] 철도 차량용 공조 시스템은 현재 SIV(Static Inverter)의 출력전압인 3상 AC 380V를 입력으로 받아 온/오프 제어만 하고 있어서 효율 저감 및 소음 등의 문제점을 갖고 있으며, 또한 AC 전원 공급이 차단될 경우에는 blower 동작이 멈추는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 UPS(Uninterruptible Power Supply) 기능을 갖는 A/C(Air Conditioning) blower용 인버터 시스템을 제안한다. 제안하는 인버터 시스템은 입력으로 AC 전원과 DC 전원을 모두 받아 blower 구동용 유도전동기의 V/F(Voltage/Frequency) 제어를 통하여

본 논문은 편집위원회에서 우수기술논문으로 추천됨

†교신저자 : 정회원, 순천향대 전기통신공학과 교수

E-mail : jkji@sch.ac.kr

*정회원, (주)이온 연구소 연구1팀장

**정회원, (주)이온 연구소 연구소장

***정회원, 건국대 전기공학과 교수

접수일자 : 2011. 1. 17

1차 심사 : 2011. 3. 16

2차 심사 : 2011. 4. 16

심사완료 : 2011. 4. 19

표 1 인버터 시스템 사양

Tabel 1 Specification of Inverter System

항목	사양	
입력 전원	AC 380V (340V ~ 415V) DC 100V (70V ~ 120V)	
정격 출력 전압	3상 380V(-3~+2%)	
출력 주파수	0~60Hz(±1Hz)	
용량	1.5kVA	
동작 모드	AC, DC, Bypass, STOP 모드	
절체 시간	2초	
하드웨어 제어	DC 100V(DC 모드) DC 24V(Bypass 모드)	
통신 방법	CAN 2.0A, RS-232	
냉각 방식	자연 공냉식	
과부하 내량	정격전류의 150% 30초, 150% 초과시 즉시	
변환 효율	AC-AC	85% 이상
	DC-AC	80% 이상
기동 방법	최저주파수 기동	
기동 지연 시간	3~15초	
동작 온도	-25~70℃	

blower 속도를 제어하며, CAN 통신을 이용하여 철도 차량의 주 제어기인 HVAC(Heating Ventilation and Air Conditioning)의 지령을 받아 속도, 동작 모드 및 soft-start 시간 등을 제어할 수 있다. CAN 통신 고장 시에는 정비용으로 RS-232통신을 이용해서 조작자가 직접 하드웨어적으로 제어할 수 있다. 또한 인버터의 고장시에는 기존 방식과 마찬가지로 온/오프 제어를 함으로써 기존의 문제점을 보완할 수 있다. 표 1은 제안한 철도차량용 인버터 시스템 사양이며, 시뮬레이션 및 실험을 통해 제안한 A/C Blower용 인버터 시스템의 유용성을 입증하였다.

2. 제안한 A/C Blower용 공조 시스템

2.1 기존 공조 시스템

기존 공조 시스템은 그림 1과 같이 AC 전원, HVAC, switch, blower로 구성되어 있어, 철도 차량의 내부 온도를 검출하여 HVAC에서 switch를 On/Off 제어함으로써 blower를 동작시키는 방식이다.

이러한 제어 방식은 간단하게 On/Off 방식을 통해 blower를 제어할 수는 있지만 blower의 속도를 제어하지 못하므로 효율 저감 및 소음 등의 문제점이 있다. 또한 초기 구동시 정격의 3배 이상의 기동 전류가 흘러서 철도 차량의 공조쪽 전원 공급 장치인

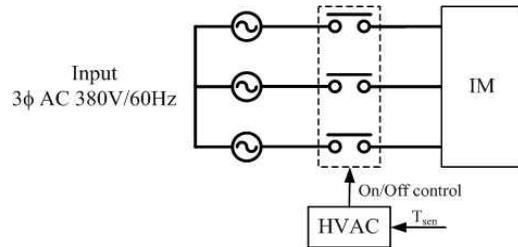


그림 1 기존 방식의 공조 시스템
Fig. 1 Conventional HVAC System

SIV(Static Inverter)의 용량이 커지고, AC 전원이 차단될 경우 blower의 동작이 멈추는 문제점이 있다.

2.2 제안한 공조 시스템

제안한 공조 시스템은 그림 2와 같이 AC 전원, DC 전원, 정류기, DC-DC 컨버터와 인버터 및 blower로 구성되어 있다. DC-DC 컨버터는 입력전압 V_{in} 을 일정한 출력전압 V_{conv} 로 승압시키기 위해 위상천이플 브릿지 컨버터(Phase Shifted Full Bridge Converter)로 구성하였고,^[3-4] 인버터는 3상 IGBT 인버터로 구성하여 옴셋전압을 이용한 공간전압벡터 변조방식으로 제어한다.^[5-8]

제안한 공조 시스템은 철도 차량에 사용되는 시스템으로 철도 차량에서 공조용 전원으로 사용되는 SIV와 배터리 두 가지의 입력을 이용하여 그림 3과 같이 AC 모드, DC 모드, Bypass 모드의 3가지 운전모드로 동작하여 어떤 상황에서도 시스템이 동작을 한다.

AC 모드는 그림 3(a)와 같으며, AC 전원에서부터 입력을 받아서 정류기를 통해서 DC 전압으로 정류한다음 인버터에서 원하는 전압/주파수로 blower의 속도 제어를 한다.

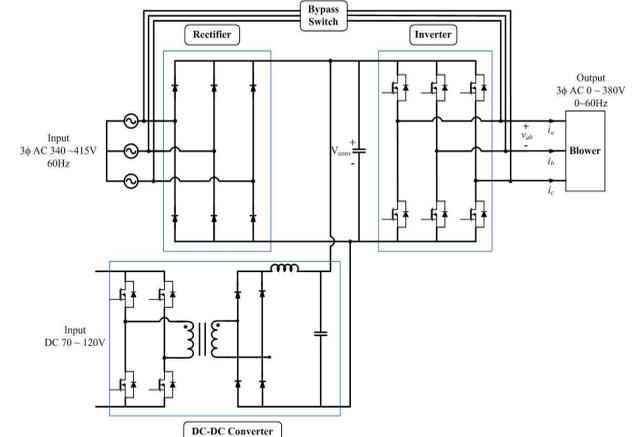
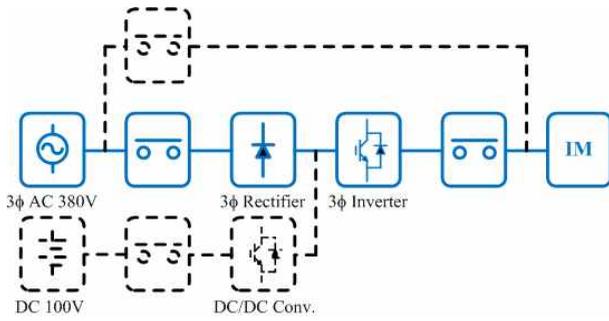
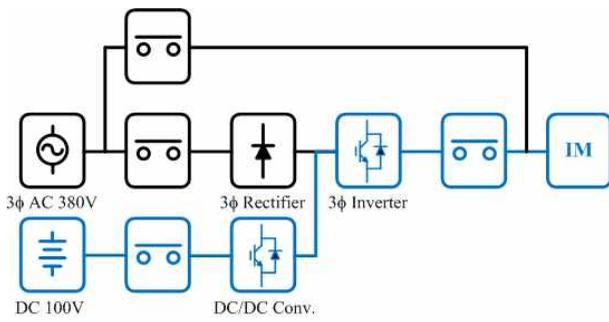


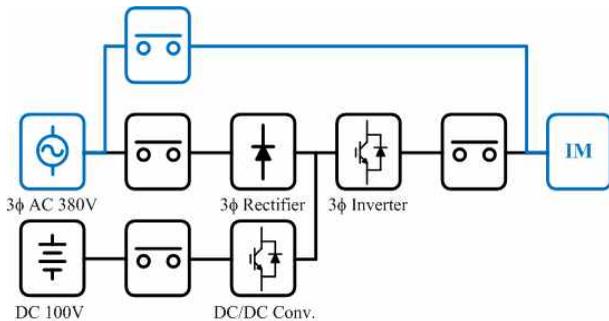
그림 2 제안한 A/C blower용 인버터 시스템
Fig. 2 Proposed Inverter System



(a) AC 모드



(b) DC 모드



(c) Bypass 모드

그림 3 제안한 공조 시스템의 각 모드별 동작
Fig. 3 Each mode of proposed HVAC system

DC 모드는 그림 3(b)와 같으며, AC 전원의 이상이 발생했을 경우 동작하며 주어진 DC 전원으로부터 DC-DC 컨버터를 통해서 원하는 직류 전압으로 승압을 한 뒤 인버터에서 380V_{ac}/60Hz로 일정하게 동작을 하여 UPS 기능을 한다. 또한 Bypass 모드는 그림 3(c)와 같으며, 인버터의 고장시 또는 운전자에 의해서 직접 동작할 수 있으며 AC 전원을 직접 부하인 blower에 인가해서 동작한다.

모드 변환시 발생할 수 있는 문제점을 방지하기 위해서 각 모드 전환시에는 인버터가 멈춘 뒤에 재기동을 하는 방식을 사용한다.



그림 4 UI 프로그램
Fig. 4 Program of User Interface

제한한 인버터 시스템의 제어는 CAN 통신, RS-232 통신 및 하드웨어로 제어 가능하며, CAN 통신 제어의 경우는 상위 제어기인 HVAC(Heating Ventilation and Air Conditioning)의 지령값에 따라서 동작하며, 제어 변수는 인버터 온/오프, 운전 모드, 제어 속도, soft-start 시간 등이 있다. 또한 RS-232 통신은 테스트 및 정비용 제어 방법으로, 그림 4와 같은 UI 프로그램을 이용하여 운전 모드, 제어 속도, soft-start 시간을 제어할 수 있으며 에러 로그 다운로드 및 인버터의 상태를 확인할 수 있다. 하드웨어 방식은 운전자가 직접 스위치를 On/Off 하여 제어하며 DC 모드와 Bypass 모드로 동작할 수 있다.

3. A/C Blower용 인버터 시스템 제어기

제한한 철도 차량용 인버터 시스템의 제어는 크게 인버터 제어와 DC/DC 컨버터 제어부분이 있다.

그림 5는 인버터의 제어기 블록도로써 주파수 지령값인 f^* 와 Soft-Start 시간 지령값인 t_{set}^* 를 입력받아 지정된 시간동안 주파수를 일정하게 증가시켜서 최종 지령값에 도달하게 된다. VVVF Cal.은 지령값인 f^* 와 t_{set}^* 을 입력으로 받아 인버터의 상전압 지령값인 v_{as}^* , v_{bs}^* , v_{cs}^* 을 생성한다. 생성된 상전압 지령값은 육상 전압 방식을 이용하여 PWM을 발생시켜 인버터를 동작시킨다. 상전압 지령값인 v_{as}^* , v_{bs}^* , v_{cs}^* 의 식은 다음과 같다.

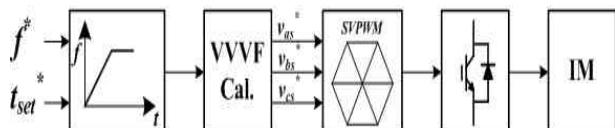


그림 5 인버터 제어 블록도
Fig. 5 The control block diagram of the inverter

$$v_{as}^* = V_{mag}^* \times \sin(\theta^*) \quad (1)$$

$$v_{bs}^* = V_{mag}^* \times \sin\left(\theta^* - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2)$$

$$v_{cs}^* = V_{mag}^* \times \sin\left(\theta^* + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (3)$$

where, $V_{mag}^* = V_{conv} \times f^*/60$, $\theta^* = 2\pi \times f^*/60$

그림 6은 DC/DC 컨버터의 제어기 블록도로써 지령값인 V_{conv}^* 를 입력받아 실제 전압 V_{conv} 와 비교하여 비례적분기 제어기를 이용해서 제어한다. 이때 제어기 출력에 제한기가 있어 제어기 출력값이 제한에 걸린 경우 발생된 오차의 처리가 지연되는 문제가 발생하므로 Anti-Windup 제어를 통해서 이런 문제를 방지한다.

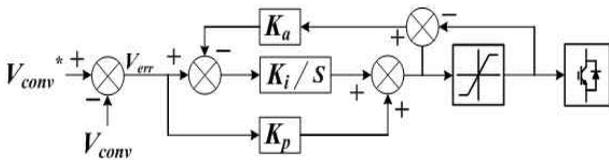


그림 6 DC/DC 컨버터 제어 블록도
Fig. 6 The control block diagram of the DC/DC converter

4. 시뮬레이션 및 실험

제안한 인버터 시스템의 동작들을 검증하기 위하여 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다.

4.1 시뮬레이션

그림 7은 시뮬레이션 회로도로 PSIM 소프트웨어를 사용하여 실제 실험에 사용할 디지털 C-code를 적용하였고, 최소 입력 전압인 70V_{dc}와 최대 입력 전압인 120V_{dc}로 시뮬레이션을 하였다.

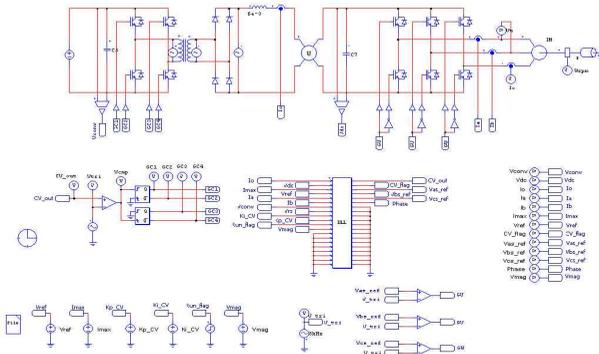
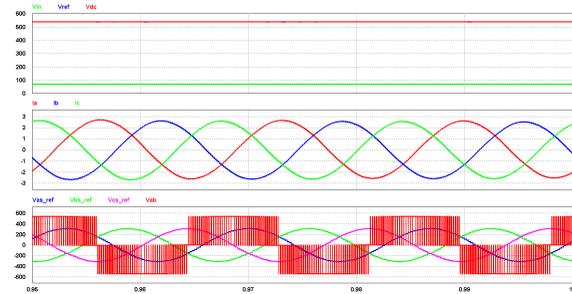
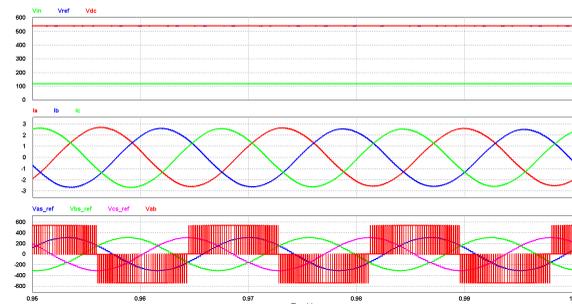


그림 7 시뮬레이션 회로도
Fig. 7 Circuit Diagram for Simulation

그림 8은 결과로서, 첫 번째 파형은 컨버터의 입력 전압과 지령값 및 출력전압 파형이고, 두 번째 파형은 3상 인버터의 출력 상전류 파형이며, 세 번째 파형은 인버터의 출력 선간전압과 3상 상전압 지령 파형이다. 그림 8(a)는 최소 입력전압인 70V_{dc}에서의 파형으로 DC-DC 컨버터에서 입력전압인 70V_{dc}를 540V_{dc}로 승압을 한 뒤 인버터에서 380V_{ac}/60Hz로 정상적으로 제어한다. 그림 8(b)는 최대 입력전압인 120V_{dc}에서의 파형으로 최소 입력전압일 때와 마찬가지로 DC-DC 컨버터에서 먼저 540V_{dc}로 승압을 한 뒤 인버터에서 380V_{ac}/60Hz로 제어한다.



(a) 최소 입력 전압 시뮬레이션



(b) 최대 입력 전압 시뮬레이션

그림 8 시뮬레이션 결과
Fig. 8 Results of Simulation

4.2 실험

제안한 인버터 시스템을 검증하기 위하여 그림 9와 같이 인버터, CAN 통신 지그, UI 프로그램으로 구성된 인버터 시스템을 이용하여 실험하였다. CAN 통신 지그는 제안한 인버터 시스템을 철도 차량에 연결해서 테스트를 할 수 없어 임시적으로 HVAC 역할을 하는 장치이다. UI 프로그램은 RS-232 통신을 이용해서 인버터와 연결되어 CAN 통신 고장시나 정비시에 사용된다. 그림 10은 실제 부하인 A/C Blower용 유도전동기 사진이다. 그림 11은 제안한 인버터의 실제 제작한

실험 장치로 인버터, DC/DC 컨버터, 디지털 제어부로 구성되어 있다. 스위칭소자는 내부에 고전압용 게이트 드라이버를 내장한 MITSUBISHI사의 IPM을 사용하였다. 선정된 IPM들은 인버터에는 1200V/15A 용량의 PS22054, 컨버터에는 600V/75A 용량의 PS21A7A이다.

실험은 AC 입력모드와 DC 입력모드로 진행하였다. AC 입력모드는 정격 속도의 50%, 80% 및 100%에서 실험하였다. 그림 12는 soft-start 시간을 측정한 파형으로, 각각 3초와 15초의 지령값일 경우의 파형으로 지령값과 동일하게 제어가 된다.

그림 13는 50% 부하에서 실험한 결과파형으로 v_{in}

은 입력 전압, v_{out} 는 인버터 출력 선간전압, i_a 와 i_b 는 출력 상전류 파형이다. 입력 전압 AC 380V가 정류되어 인버터의 PWM 출력 선간전압의 최대값과 최소값이 DC 540V이고, 출력 전류가 30Hz로 제어가 잘 되고 있다. 그림 14와 15는 각각 80%와 100% 부하에서의 결과 파형으로 역시 입력 전압 AC 380V가 정류되어 인버터의 PWM 출력 선간전압의 최대값과 최소값이 DC 540V이고 48Hz와 60Hz로 제어가 잘 되고 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 16은 DC 입력모드에서의 실험 결과파형으로 V_{in} 은 입력 DC 전압, v_{out} 은 출력 선간전압, i_a 는 출력 상전류 파형이다. DC 100V가 입력되어 DC-DC 컨버터에서 540V로 승압되는 것을 인버터의 PWM 출력 파형으로 알 수 있다. DC 입력모드에서는 380V/60Hz 정격 운전을 하므로 60Hz로 제어가 된다.

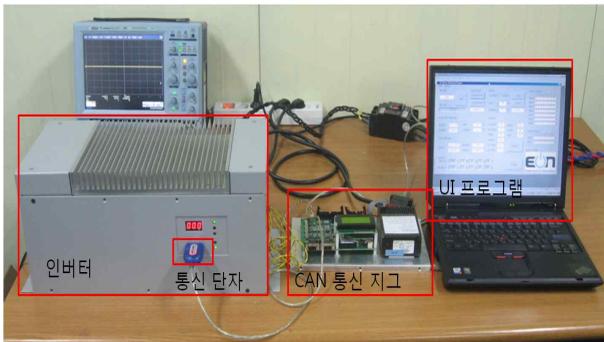


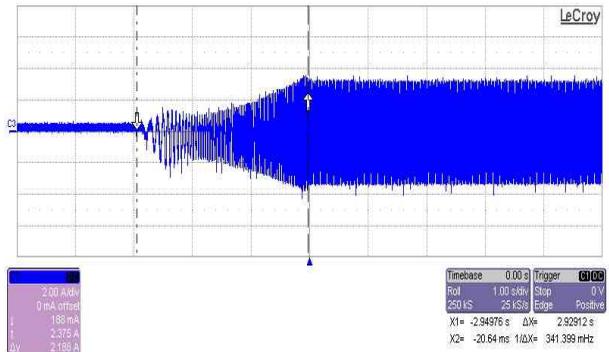
그림 9 인버터 시스템
Fig. 9 Inverter System



그림 10 A/C Blower용 유도전동기
Fig. 10 Induction Motor for A/C Blower

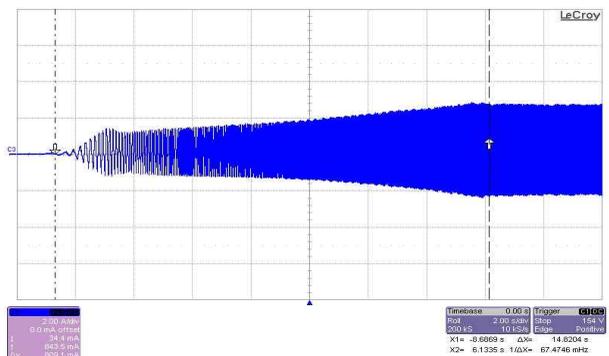


그림 11 인버터 실험 장치
Fig. 11 Experimental Equipment of Inverter



Horizontal : 1[s]/div., Vertical : 2[A]/div.

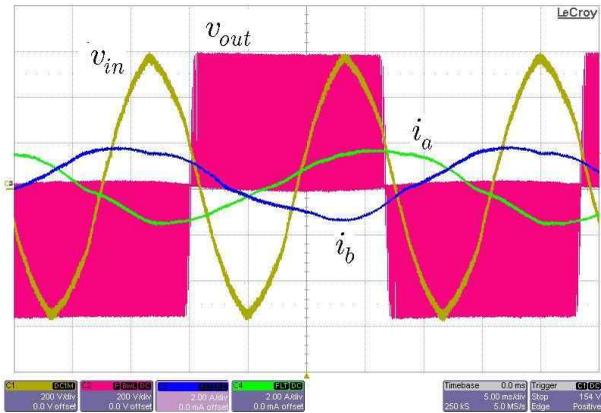
(a) 지령값 3초



Horizontal : 2[s]/div., Vertical : 2[A]/div.

(b) 지령값 15초

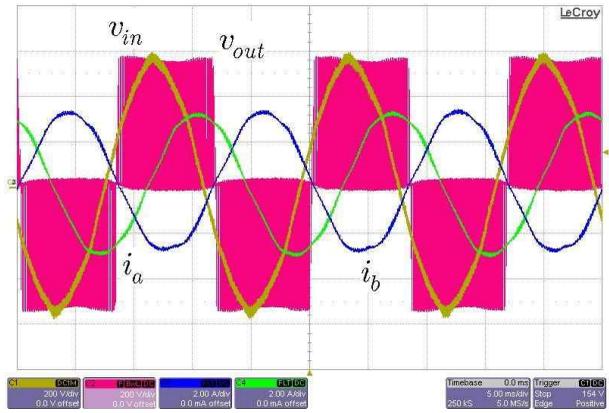
그림 12 Soft-Start 시간 결과 파형
Fig. 12 Experimental Results of Soft-Start Time



Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 200[V]/div.(v_{in})
 Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 200[V]/div.(v_{out})
 Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 2[A]/div.(i_b)
 Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 2[A]/div.(i_a)

그림 13 50% 부하 실험 결과

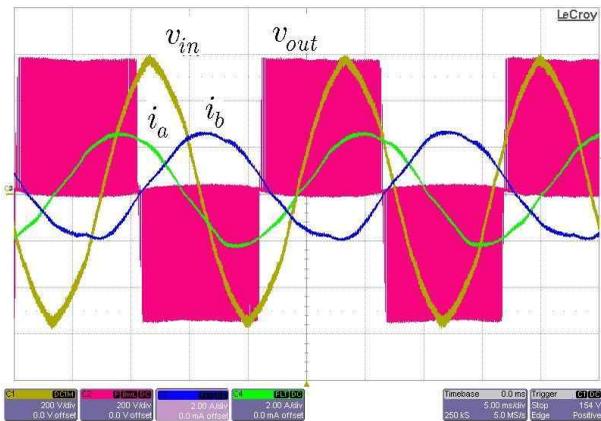
Fig. 13 Experimental Result at 50% Load



Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 200[V]/div.(v_{in})
 Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 200[V]/div.(v_{out})
 Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 2[A]/div.(i_b)
 Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 2[A]/div.(i_a)

그림 15 100% 부하 실험 결과

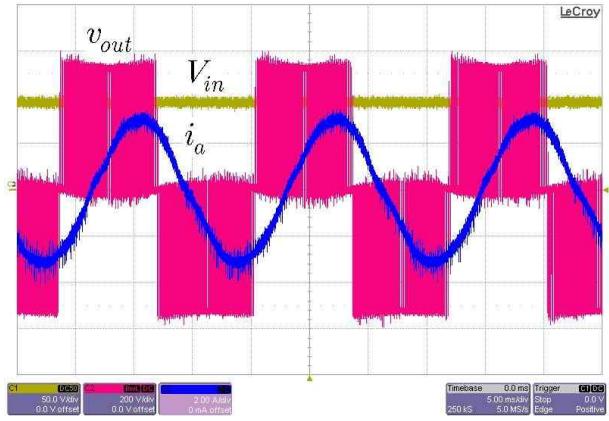
Fig. 15 Experimental Result at 100% Load



Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 200[V]/div.(v_{in})
 Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 200[V]/div.(v_{out})
 Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 2[A]/div.(i_b)
 Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 2[A]/div.(i_a)

그림 14 80% 부하 실험 결과

Fig. 14 Experimental Result at 80% Load



Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 50[V]/div.(V_{in})
 Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 200[V]/div.(v_{out})
 Horizontal : 5[ms]/div., Vertical : 2[A]/div.(i_a)

그림 16 DC 모드 실험 결과

Fig. 16 Experimental Result at DC Mode

5. 결 론

본 논문에서는 UPS 기능을 가지는 A/C blower용 인버터 시스템을 제안하였다. 제안한 인버터 시스템은 평상시에는 철도차량의 SIV에서 입력전원을 공급받아 blower의 속도 제어를 수행하며, 입력전원이 차단되면

배터리에 저장된 에너지를 이용하여 blower가 정격 속도로 동작한다. 인버터 시스템의 제어는 CAN통신을 이용해서 철도차량의 주 제어기인 HVAC의 지령값에 의해서 제어되며, HVAC 고장시 운전자에 의해 DC 입력모드와 Bypass 모드로 동작할 수 있어 blower가 항상 동작할 수 있는 장점을 가지고 있다. 여러 조건에서의 시뮬레이션과 실험을 통해서 제안한 시스템의 유용성을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 라병훈, 김성준, 강태경, 고강훈, 이현우, 김광태, "PWM 제어기를 이용한 브로워용 인버터", *대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템 춘계학술대회 논문집*, pp. 181~183, 2004. 4.
- [2] 라병훈, 권순걸, 이현우, 전중함, 김광태, "브로워용 전동기 인버터의 순시추종 PWM 제어", *전력전자 추계학술대회 논문집*, pp. 275~278, 2003. 11.
- [3] J. A. Sabate, V. Vlatkovic, R. B. Ridley, F. C. Lee, and B. H. Cho, "Design considerations for high-voltage high-power full-bridge zero-voltage-switched PWM converter", *IEEE APEC'90 Proc.* pp. 275-284, 1990.
- [4] J. A. Sabate, V. Vlatkovic, R. B. Ridley, F. C. Lee, and B. H. Cho, "Small-signal analysis of zero-voltage switched full-bridge PWM converter", *High Frequency Power Conversion Conf'90 Rec.*, pp. 262-272, 1990.
- [5] 설승기, "전기기기제어론", 홍릉과학출판사, 2005.
- [6] 김상훈, "DC 및 AC 모터 제어", 복두출판사, 2007.
- [7] 김준석, 설승기, "공간 전압 벡터 PWM의 새로운 기법", *전기학회 논문지*, 제44권, 제7호, pp. 865-874, 1995.
- [8] 정대웅, "웁셋 전압에 의한 3상 전압형 인버터 PWM 방법의 일반적 해석", 서울대학교 대학원 박사논문, 2000.

저 자 소 개



임승범(林承範)

1979년 2월 11일생. 2004년 단국대 공대 전기공학과 졸업. 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 2007년~현재 (주)이온 연구소 연구1팀장.



이윤하(李輪夏)

1963년 8월 25일생. 1986년 경북대 전자공학과 졸업. 2011년 건국대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년~2003년 (주)태일자동제어공업 연구소 연구1팀장. 2003년~현재 (주)이온 연구소 연구소장.



목형수(睦亨洙)

1963년 10월 31일생. 1986년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1992년~1996년 서울산업대 제어계측공학과 조교수. 1997년~현재 건국대 전기공학과 교수. 2010년~현재 건국대 정보통신처장.



지준근(池俊根)

1964년 8월 13일생. 1986년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1994년~현재 순천향대 전기통신공학과 교수. 당 학회 평의원 및 JPE 편집위원.