

엘리베이터 시스템을 위한 SiC 권상기 드라이브

권진수¹, 문석환¹, 김주찬¹, 이준민[†]

SiC Motor Drive for Elevator System

Jin-Su Gwon¹, Seok-Hwan Moon¹, Ju-Chan Kim¹, and Joon-Min Lee[†]

Abstract

With the recent emphasis on the importance of energy conservation, studies on high-efficiency elevator systems are being continuously conducted. Therefore, pulse width modulation converters are commonly used in traction drives on elevator systems. Wide bandgap devices have been increasingly commercialized, and their application to power conversion systems, such as renewable and energy storage system, has been gradually increasing. In this study, a SiC inverter for an elevator traction drive is investigated. In particular, an inverter is designed to minimize stray and parasitic inductance. Input and output filters are designed by considering switching frequency. The designed SiC inverter reduces volume by approximately 32% compared with that of a Si inverter, and power converter efficiency is over 98.8%.

Key words: SiC power semiconductor, SiC-MOSFET, SiC inverter, Elevator, Motor drive

1. 서 론

지구 온난화, 에너지 효율화, 환경오염이 없는 녹색 에너지 시스템에 대한 이유로 전 세계적으로 고효율, 친환경 전력변환 시스템의 대한 필요성이 증가하고 있으며, 고효율, 고성능 전력 반도체 시스템에 대한 연구 역시 활발히 이뤄지고 있다^{[1],[2]}. 특히, GaN 기반의 전력 반도체는 무선 통신 시스템의 진화에 따라 수요가 증가하고 있으며, SiC 기반의 전력 반도체 역시 Si 전력 반도체 대비 낮은 도통 손실과 스위칭 손실이 낮아 고효율 시스템을 달성할 수 있어 태양광과 같은 신재생 시스템, Energy Storage System(ESS), 인버터와 같은 전력변환 시스템에 대한 수요가 증가하고 있다^{[3]-[7]}.

현대 사회는 경제, 교육 및 산업의 발달로 인구의 도시 집중화와 함께 고층 빌딩과 아파트들의 수요가 증가하였으며, 고층 건축물 내의 교통기관인 엘리베이터는 도시 생활의 필수 불가결한 존재가 되었다. 엘리베이터 시스템은 전기(통신) 그리고 기계 두 부분으로 분리할 수 있으

며, 전기 시스템에 속하는 권상기 구동 드라이브는 가변 주파수(Varying Voltage Varying Frequency: VVVF)의 전동기 구동용 인버터를 사용한다. 구동 드라이브는 시스템은 비회생형 정류기 타입 드라이브와 회생형 PWM 컨버터 타입 드라이브로 구분할 수 있다^{[8],[9]}.

이 시스템의 효율은 개인에게는 전기요금, 국가에게는 전체 에너지 시스템의 효율 개선의 의미가 있다. 이와 함께 회생형 타입의 필요성이 증가하고 있고, 전체 시스템의 전력 효율을 개선하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있으며, SiC 전력 반도체를 적용한 권상기 구동 드라이브에 대한 연구의 중요성이 점점 강조되고 있다. 권상기 구동 드라이브에 SiC 전력반도체를 적용하게 되면 기존 시스템에 비해 손실을 줄일 수 있을 뿐 아니라, 스위칭 주파수를 가청 주파수 이상으로 하여 소음을 저감할 수 있다. 또한, 입/출력 필터의 부피를 줄여 전체 시스템의 부피가 줄어드는 장점이 있다^[10].

본 논문의 회생형 PWM 컨버터와 인버터는 모두 SiC-MOSFET를 적용하였다. 권상기 구동드라이브는 3D 설계 툴을 이용하여 SiC 전력 반도체의 특성을 최적화하도록 설계하였으며, 게이트 드라이브 회로, 입/출력 필터 역시 SiC 전력반도체의 빠른 스위칭 특성과 노이즈를 고려하여 제작하였다.

제안하는 시스템의 성능 평가를 위해 Si-IGBT와 SiC-MOSFET의 특성을 비교 분석한다. 모의 실험 모델은 PLECS를 이용하여 구현되며, 8인승 90m/m (11kW급)

Paper number: TKPE-2019-24-3-2

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: joonmin.lee@hdel.co.kr, Advanced Controls Research Team, Hyundai Elevator
Tel: +82-31-8092-3324 Fax: +82-31-8092-3300

¹ Advanced Controls Research Team, Hyundai Elevator
Manuscript received Jan. 25, 2019; revised Feb. 27, 2019;
accepted Apr. 2, 2019

TABLE I
INPUT AND OUTPUT FILTER DESIGN SPECIFICATIONS
PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SI AND THE MAJOR
WBG SEMICONDUCTORS

	Si	GaAs	4H-SiC	GaN
Band Gap [eV]	1.12	1.43	3.26	3.45
Electric Breakdown Field [MV/cm]	0.3	0.4	3.0	3.3
Thermal Conductivity [W/cmK]	1.5	0.46	4.9	1.3
Saturated Electron Drift Velocity [cm/s]	1.0	2.0	2.7	2.7

SiC Inverter 엘리베이터 타워 실험 테스트를 통해 성능을 검증한다.

2. SiC 전력 반도체의 특성 및 인버터 설계 고려 사항

와이드밴드갭(Wide Band Gap; WBG) 반도체 반도체 소재는 일반적으로 반도체 제작에 사용되는 실리콘(Si)보다 더 높은 전압, 온도, 주파수에서 동작 가능하다. 와이드밴드갭(Wide Band Gap; WBG)은 물질이 가진 전자의 에너지준위의 차이가 큰 것을 의미하는데, 이러한 와이드밴드갭의 대표적인 물질은 표 1과 같다. 표 1은 일반적으로 반도체 소재로 많이 사용하는 실리콘(Si)과 갈륨아세나이드(GaAs)를 와이드밴드갭 물질인 실리콘카바이드(4H-SiC)와 갈륨니트라이드(GaN) 소재와 비교한 표이다^[4].

표 1과 같이 밴드갭은 반도체의 동작온도와 관계 있으며, 절연 파괴전계는 단위두께당 반도체가 견딜 수 있는 전압을 의미한다. 또한 포화전자속도는 전자의 이동속도를 의미하며, 열전도율은 반도체의 열 전달 능력을 의미하므로 SiC와 같은 와이드밴드갭 소자를 사용하면 기존 Si소자 대비 고전압, 고효율, 고온동작이 가능하며, 이는 같은 전압 수준의 전력소자 제작 시, 더 얇게 제작이 가능하여 도통 시 도통 손실을 줄일 수 있다는 것을 의미한다.

이와 같이 SiC 전력 반도체는 높은 진성화 온도, 높은 절연파괴 전계강도(Si의 약 10배), 3eV의 넓은 밴드갭(Si의 약 3배) 등의 물성치가 우수하여 Si 전력 반도체를 대체할 우수한 반도체 재료로 잘 알려져 있다^{[11],[12]}. 2000년 초반에는 SiC 쇼트키 다이오드 중심의 제품 개발이 주를 이뤘지만, 최근에는 Wolfspeed, Infineon, Rohm, Microsemi 등의 업체에서 SiC 쇼트키 다이오드 뿐만 아니라 900V, 1200V, 1700V의 SiC MOSFET 제품들이 출시되고 있다. 또한, SiC 전력 모듈을 위한 기생 인덕턴스를 최소화하는 패키지 기술이 지속적으로 연구되고 있으며, 이를 적용한 제품군이 출시되고 있다.



Fig. 1. The structure of DC-link busbar.

SiC 전력 반도체는 Si 전력 반도체 대비 빠른(약 20kHz이상) 스위칭 주파수로 구동이 가능하며, 턴-온, 턴-오프 지연시간이 수십 nsec로 매우 빨라 고속 스위칭을 적용하여도 매우 높은 효율을 달성할 수가 있다. 그러나, 20kHz이상의 고속 스위칭 동작 시 전압 및 전류에 높은 고주파수 성분을 포함하고 있다. 이는 방사성(radiative), 전도성(conductive) EMI문제를 유발시키고, 주변 전기장치 및 시스템에 원하지 않는 간섭(interference)으로 작용하여 장비의 신뢰성을 하락시킨다^[13]. 높은 di/dt는 전자기장을 방사시켜 방사 EMI 문제를 일으키고, 높은 dV/dt는 전도성 common mode EMI 문제를 일으키고, 전동기의 절연을 파괴시켜 수명을 단축시킨다. 또한 높은 di/dt가 회로의 기생(stray) 인덕턴스에 인가될 경우 voltage spike가 매우 커져 DC-link 캐패시터 및 SiC 모듈의 절연 전압을 파괴시킬 위험이 있다. 따라서, 인버터의 구조를 설계할 때 모듈과 DC-Link 콘덴서의 구조를 결정하는 버스바의 기생인덕턴스를 낮게 설계해야 한다^{[14],[15]}. 양극 버스바와 음극 버스바가 그림 1과 같이 구성된다면 직류링크 버스바가 가지는 단위 mm 당 기생인덕턴스는 식 (1)과 같이 계산할 수 있다^[16].

$$L/mm \approx \mu_0 \frac{h}{w} \quad (1)$$

여기서, μ_0 는 진공투자율로 $1.256 \times 10^{-6} [H/m]$

만약 직류링크 버스바 양극 사이의 절연을 위한 물질을 항복전압이 높고, 유전률이 높고 얇은 물질을 적용하면(ex. 폴리이미드 등) 버스바의 기생 커패시턴스를 증가시켜 버스바 자체가 스너버 커패시터 역할을 할 수 있게 할 수 있다. 또한, 게이트 드라이버 설계 시 시스템의 노이즈에 의한 오동작을 방지하고 게이트 드라이버의 게이트 저항을 이용하여 턴-온, 턴-오프 지연 시간을 조절하여 식 (2)의 스파이크 전압의 크기가 모듈의 항복 전압 이내로 들어오도록 설계한다^[17].

$$V_{spike} = \frac{nH \times \Delta i}{\Delta ns} \quad (2)$$

이때 SiC 스위칭 소자의 고주파 성분이 포함된 스위칭 특성과 공진 리플을 정확히 측정하기 위해서는 수십 MHz이상의 측정 대역폭을 가지는 측정 장비를 사용해야

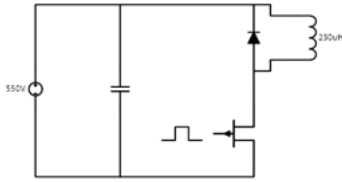


Fig. 2. The double pulse test circuit.

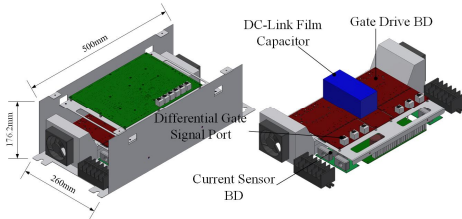


Fig. 3. The structure of 11kW SiC inverter drive.

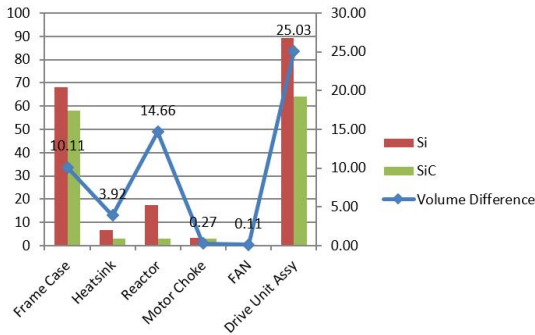


Fig. 4. The volume difference between the proposed Si and SiC inverter system.

한다. 또한 전압, 전류의 측정을 통해 손실을 정확히 계산하기 위해서는 전압과 전류 파형의 측정 지연을 일치시켜주는 ‘deskew’ 과정이 필수적이다.

마지막으로, 방사 EMI 소스원을 적당한 두께의 도체로 차폐하여 EMI에 강한 시스템을 만들어야 한다. 또 전동기 측에 적절한 LC 필터를 사용하여 전동기에 높은 $\frac{dv}{dt}$ 가 전달되는 것을 방지할 수 있도록 하여야 한다.

3. 엘리베이터 시스템을 위한 SiC 인버터

그림 3 은 SiC-MOSFET를 적용한 엘리베이터용 권상기 드라이브 시스템의 구조이다. 본 시스템은 Full-SiC 모듈을 사용하여 제어를 수행하며, 10kHz의 스위칭 주파수로 제어를 수행하는 기존 Si 인버터 대비 높은 스위칭 주파수인 30kHz로 스위칭을 수행한다. 이에 따라 Frame Case, Heatsink 등 전체적인 시스템의 설계 사양이 바뀔으로써 그림 4 와 같이 제안하는 Si와 SiC 인버터 시스템의 부피 차이와 같이 약 28%의 전체적인 시스템의 크기가 감소하였으며 그림에도 불구하고 동급 이상의 성능을 보였다. 최적화를 통하면 50% 이상의 시스템의 부피가 감소할 것으로 예상된다^[18].

TABLE II
INPUT AND OUTPUT FILTER DESIGN SPECIFICATIONS

Parameter Names	Value	Unit
Rated Power	11	kW
Rated Overload	200	%
L-L Voltage	380	V
Rated Current	16.7	A
Grid Current	60	Hz
Grid Transformer inductance	55	µH
Switching Frequency	30	kHz

상기와 같은 설계를 수행하기 위한 엘리베이터 SiC 인버터 시스템의 주요 고려 항목은 다음과 같다.

- SiC 모듈 표류 인덕턴스(Stray Inductance)
- 직류링크 콘덴서 등가 직렬 인덕턴스(ESL)
- 모듈과 콘덴서 간의 기생 인덕턴스 (Parasitic Inductance)
- 스너버 회로 기생 인덕턴스
- 게이트 드라이브 출력측 기생 인덕턴스, 커패시턴스 (Parasitic Inductance & Capacitance)

이와 같이 SiC 기반의 인버터는 Si 기반의 인버터에 비하여 스위칭 상태 천이 속도가 매우 빠르기 때문에 인버터가 가지는 총 기생 인덕턴스의 크기를 줄이고, 방사 EMI 소스원을 차폐하기 위한 많은 노력이 필요하다.

4. SiC 인버터를 위한 입/출력 필터

SiC 인버터의 스위칭 주파수를 결정할 때는 계통 측 EMI 노이즈와 권상기 측 공통모드 노이즈를 고려하여야 한다. 높은 스위칭 주파수는 필터의 크기를 줄일 수는 있지만 매우 높은 EMI 노이즈와 공통모드 노이즈를 발생시켜 권상기의 베어링을 파손시키는 등의 치명적인 문제를 야기시킨다. 표 2는 입/출력 필터의 설계 사양이다. 계통 변압기 인덕턴스는 식 (3)~(5)을 이용하여 추정할 수 있다.

$$I_{TR} = \frac{OL \times P_{TR}}{\sqrt{3} \times V_{TR}} \quad (3)$$

$$Z_{TR} = \frac{V_{TR} \times K}{I_{TR}} \quad (4)$$

$$L_{TR} = \frac{Z_{TR}}{2 \times \pi \times f_n} \quad (5)$$

여기서 P_{TR} 압기의 용량, OL 는 과부하율, V_{TR} 은 변압기 선간 전압, I_{TR} 은 변압기 정격 실효치 전류, Z_{TR} ~은 변압기 임피던스, L_{TR} 은 변압기 인덕턴스, f_n 은 계통 주파수이다.

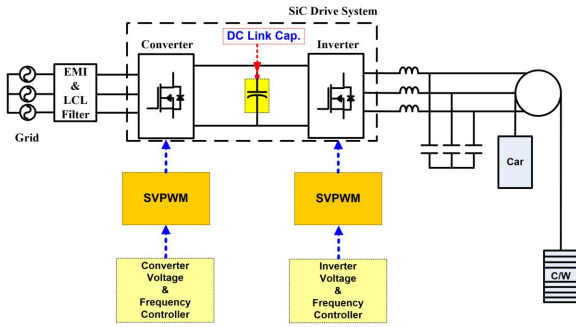


Fig. 5. The block diagram of 11kW SiC inverter elevator drive system.

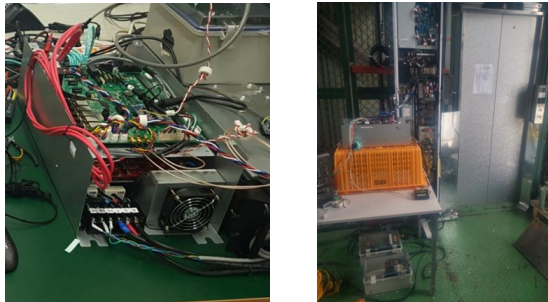


Fig. 6. The elevator tower test experiment system.

입력측 필터는 LCL 필터 구조이며 설계 순서는 다음과 같다.

- 베이스 임피던스, 베이스 커패시턴스 계산
- 변조지수를 고려한 컨버터측 인덕턴스 계산
- 필터 커패시터 최대값 계산 및 필터 커패시턴스 선정
- 계통측 인덕턴스 선정
- 필터 커패시터 측 무효 전류 계산
- 댐핑 저항 선정

출력측 필터는 LC 필터 구조이며 설계 순서는 다음과 같다.

- 권상기 용량 및 역률을 고려하여 베이스 임피던스, 커패시턴스 계산
- 인버터 측 인덕턴스 계산
- 필터 커패시터 최대 값 계산 및 필터 커패시터 선정
- 필터 커패시터 측 무효 전류 계산
- 댐핑 저항 선정

입/출력 필터의 차단 주파수에 해당하는 공진 주파수는 식 (6)을 만족시켜야 한다.

$$10 \times f_n < f_{ref} < \frac{f_{sw}}{2} \quad (6)$$

SiC 인버터와 같이 20kHz를 초과하는 고속 스위칭을 하는 인버터의 필터 리액터를 설계할 때는 코어의 재질

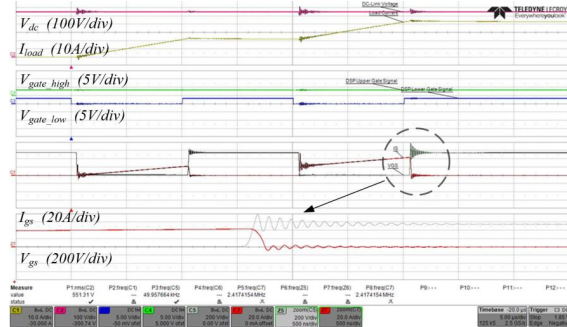


Fig. 7. The experiment result of double pulse test.

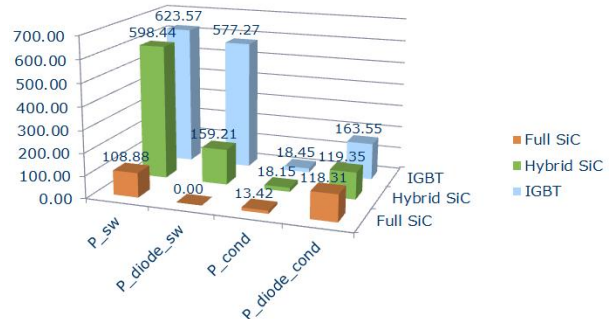


Fig. 8. The simulation results of IGBT, hybrid SiC, full SiC.

또한 매우 중요하다. 일반적으로 사용되는 규소 강판 코어를 사용하게 되면 코어가 매우 빠르게 포화되어 코어의 온도가 허용 온도 이상으로 상승하여 리액터의 특성이 변하게 된다. 따라서, 슈퍼 코어 또는 아몰포스 코어와 같이 투자율이 높고 손실이 적은 코어를 선택해야 한다. 본 논문에서는 컨버터, 인버터 스위칭 주파수를 30kHz로 설정하였으며, 필터 리액터의 코어는 소음에 우수한 슈퍼코어를 선정하였다.

5. 시뮬레이션 및 실험 결과

8인승 90m/m (11kW급) SiC Inverter 엘리베이터 시스템의 적합성을 검증하기 위한 모의 실험 및 시험 시스템이 그림 5와 그림 6에 보인다.

시스템에서 사용하는 소자의 특성을 파악하기 위해 2절에서 설명하는 Double Pulse Test를 그림 7과 같이 수행하였다. DC 전압은 550V이며, 부하는 230uH의 공심(air-core) 인덕터를 사용하였다. Si-IGBT와 SiC-MOSFET 인버터 시스템의 전력 효율 비교를 위한 전류 측정에는 고전류-고대역폭의 400MHz, 300A pulse 스펙을 가지는 T&M Research Products社 CVR(Current Viewing Resistor) 제품(SSDN-005)을 사용하였으며, CVR 양단 전압을 오실로스코프에 전달하는 케이블은 파워용량 및 전자기적 특성이 좋은 RG400 BNC cable을 사용하였다. 또한, 수십 MHz 대역의 고전압을 이상적으로 측정하기 위해 대역폭 400MHz, 최대 6kV인 Lecroy사의 PPE6KV 고전압 수동(passive) 프루브를 선정하였다.

TABLE III
ELEVATOR SYSTEM SPECIFICATIONS

Parameter Names	Value	Unit
Speed	105	m/m
Seater	8	Person
Motor power	11	kW
Number of poles	8	
Sheave Diameter	80	mm
Rated Speed	836	rpm
Roping	2	
Switching Frequency	30	kHz
Grid L-L Voltage	380	V

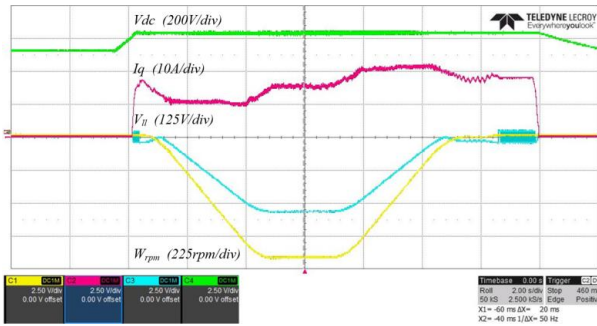


Fig. 9. The experiment result of elevator test tower in SiC inverter.

그림 8은 제안하는 시스템의 성능을 비교분석하기 위한 PLECS 시뮬레이션 결과를 보인다. 각 전력반도체는 IGBT(7MBP50VDA120-50), Hybrid-SiC(FUJI:7MSR50 VM120-50)와 FULL SiC(Wolfspeed: CCS050M12CM2)이며, 30kHz 스위칭 주파수에서 각 부분별 전력 손실(스위칭 손실, 다이오드 손실, 전도 손실, 다이오드 전도 손실)을 분석하였다. 시뮬레이션에 사용한 전력반도체 모델은 제조사에서 제공하는 모델을 사용하였으며, 제공하지 않는 모델은 데이터시트를 기반으로 모델을 제작하여 적용하였다. 전력반도체의 정선온도를 150°C로 설정하여 최악의 조건으로 시뮬레이션하였다.

그림 9는 엘리베이터 타워 테스트에 대한 시험 과정이며, 타워 테스트에 대한 기준 출력 당 개별 인버터의 효율은 그림 10과 같다. SiC-MOSFET 기반의 인버터 시스템은 Si-IGBT 기반의 인버터 시스템에 비하여 스위칭 손실 및 도통손실이 적어 스위칭 주파수를 30kHz 이상 적용하여도 총 손실량이 적어 그림 10과 같은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문은 8인승 90m/m(11kW급) 엘리베이터 시스템을 위한 SiC 권상기 드라이브 시스템을 제안한다. SiC 전력 반도체를 사용하는 엘리베이터 권상기 드라이브 시스템은 Si 시스템 대비 고효율, 고성능의 특성을 보이나



Fig. 10. The comparison of experiment results of Si and SiC inverter of elevator tower system.

시스템을 설계함에 있어 핵심적으로 고려해야 하는 여러 요소들이 존재한다. 이 논문은 상기의 요소들을 분석하기 위하여 소자의 물성과 특성에 대해 설명하고 그에 따른 인버터 드라이브 시스템을 설계하는 방법을 제시하며, 시뮬레이션과 시험을 통해 제어시스템을 비교 분석하고 성능 평가를 수행한다. 제안하는 방법은 시장과 기술개발에 따라 점점 고효율, 고성능화가 요구되는 향후 미래 기술개발을 위한 기본 설계 자료로써 중요한 지표를 제공할 수 있으리라 사료된다.

References

- [1] S. Park, J. Park, and H. Jeon, "Influence of the parasitic inductor resistance on controller design of boost converter for renewable energy system including an energy storage," *The Trans. of the Korean Inst. of Power Electron.*, Vol. 16, No. 5, pp. 511-520, Oct. 2011.
- [2] H. J. Ahn, et al., "A study on the grid-connected three-phase PWM inverter using MATLAB/simulink," *KIPE Power Electron Annu Conf.*, pp. 558-559, Jul. 2010.
- [3] A. Barkley, M. Schupbach, B. Agrawal, and S. Allen, "New 1000V SiC MOSFETs enable improved efficiency, density, and cost tradeoff space for PFCs," *Conf. Proc. -IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo.-APEC*, pp. 2165-2172, May. 2017.
- [4] B. Ozpineci, L. M. Tolbert, S. K. Islam, and M. Chinthavali, "Comparison of wide bandgap semiconductors for power applications," *EPE Conf. Proc.*, pp. 1-7, 2003.
- [5] N. J. Ku, H. J. Jung, R. Y. Kim, and D. S. Hyun, "A novel switching loss minimized PWM method for a high switching frequency three-level inverter with a SiC clamp diode," *Proc. IEEE Energy Convers. Congr. Expo. Energy Convers. Innov. a Clean Energy Futur. ECCE 2011*, pp. 3702-3707, Sep. 2011.
- [6] V. Nguyen, Q. Tu, H. Choi, Y. Kim, C. Lee, and H. Yoo, "Single-phase resonant inverter using SiC power modules for a compact high-voltage capacitive coupled

- plasma power supply," *KIPE Power Electron. Annu. Conf.*, pp. 85-86, Nov. 2014.
- [7] J. Lee, S. Oh, K. Koh, H. Kwon, K. Park, and K. Han, "High-efficiency PV inverter using SiC," *KIPE Power Electron. Annu. Conf.*, pp. 5-6, Jul. 2011.
- [8] J. S. Yu, et al., "A study on the speed control of PMSM for elevator drive," *KIPE Power Electron. Annu. Conf.*, pp. 461-466, Jul. 2003.
- [9] H. Ryu, et al., "Development of high-speed elevator drive system using permanent-magnet synchronous motor," *KIPE Power Electron. Annu. Conf.*, pp. 385-388, Jul. 2001.
- [10] R. Rupp and D. Gerald, "SiC power semiconductor technology and product trend," *The Trans. of the Korean Inst. of Power Electron.*, Vol. 14, No. 1, pp. 34-39, Feb. 2009.
- [11] I. H. Kang, et al., "SiC power semiconductor device technology trend," *The Trans. of the Korean Ceramic Soci. of Ceramist*, Vol. 16, No. 4, pp. 7-16, Dec. 2013.
- [12] N. K. Kim, et al., "[Special Issue: Power Semiconductor Devices and Applications] Silicon Carbide (SiC) Power Semiconductor Status," *The Trans. of the Korean Inst. of Power Electron.*, Vol. 9, No. 6, pp. 27-31, Dec. 2004.
- [13] F. Wang and Z. Zhang, "Overview of silicon carbide technology: Device, converter, system, and application," *CPSS Trans. Power Electron. Appl.*, Vol. 1, No. 1, pp. 13-32, Dec. 2016.
- [14] S. Tiwari, O. M. Midtgard, and T. M. Undeland, "Design of low inductive busbar for fast switching SiC modules verified by 3D FEM calculations and laboratory measurements," *2016 IEEE 17th Work. Control Model. Power Electron.*, pp. 1-8, Sep. 2016.
- [15] C. Inc., "Design considerations for designing with cree SiC modules part 1. Understanding the effects of parasitic inductance," *Appl. notes by Cree Inc.*, pp. 1-17, Sep. 2015.
- [16] C. Inc., "Design considerations for designing with cree SiC modules part 2. Techniques for minimizing parasitic inductance," *Appl. notes by Cree Inc.*, pp. 1-17, Sep. 2015.

- [17] H. Zaman, X. Wu, X. Zheng, S. Khan, and H. Ali, "Suppression of switching crosstalk and voltage oscillations in a SiC MOSFET based half-bridge converter," *Energies*, Vol. 11, No. 11, pp. 3111, Oct. 2018.

- [18] T. P. Chow and M. Ghezzi, "SiC power devices," *MRS Online Proceedings Library Archive*, Sep. 2011.



권진수(權晉秀)

1983년 2월 23일생. 2008년 경남대 정보통신공학부 졸업. 2009년~2011년 동 대학원 정보통신공학과 졸업(석사). 2011년~2016년 부산대 제어및시스템공학과 졸업(공학). 2009년~2015년 한국전기연구원 전력변환센터 위촉연구원. 2015년~현재 현대엘리베이터 미래제어연구팀 책임연구원.



문석환(文晳煥)

1984년 6월 18일생. 2011년 동아대 전기공학과 졸업. 2014년 부산대 로봇관련협동과정 졸업(석사). 2014년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 2011년~2017년 한국전기연구원 전동력연구센터 위촉연구원. 2017년~현재 현대엘리베이터 미래제어연구팀 주임연구원.



김주찬(金柱鑽)

1970년 8월 26일생. 1997년 건국대 전기공학과 졸업. 2006년 동 대학원 컴퓨터·정보통신공학과 졸업(석사). 1997년~현재 현대엘리베이터 미래제어연구팀 수석연구원 (팀장).



이준민(李俊旻)

1982년 6월 16일생. 2009년 인하대 전기공학과 졸업. 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년~2012년 LS산전 자동화 제품연구소. 2013년~2016년 인하대 전기공학과 졸업(공학). 2016~현재 현대엘리베이터 미래제어연구팀 주임연구원.