

영상기기의 EMC Debugging 기술

송민종¹, 김진사² 

¹ 광주보건대학교 방사선과

² 조선이공대학교 자동화시스템과

EMC Debugging Technique for Image Equipments

Min-jong Song¹ and Jin-Sa Kim²

¹ Department of Radiological Technology, Gwangju Health University, Gwangju 62287, Korea

² Department of Automatic System, Chosun College of Science & Technology, Gwangju 61453, Korea

(Received October 14, 2021; Revised October 21, 2021; Accepted October 22, 2021)

Abstract: For the purpose of treating health checkups and recovery of patients in a super-aged society, hospitals use devices designed with a reduction circuit of electromagnetic waves associated with the specific absorption rate of electromagnetic waves absorbed by the human body. In this paper, we proposed a filter improvement design method capable of reducing electromagnetic waves. As a result of confirming the validity of the proposed technique through simulation and experimental results, the following result values were obtained. Applying the common-mode (CM) inductor 4 mH to a calibration circuit, noise decreased in a multiband spectrum. Using the differential mode(DM) inductor 40 μ H element in the primary calibration circuit, the noise decreased by 15 dB or more in the 3 MHz band spectrum. Also, applying the Admittance Capacitance (Y-Cap) 10 nF element in the secondary calibration circuit resulted in the decrease by more than 30 dB in the band spectrum before 2 MHz. After using a common-mode inductor 4 mH element in the tertiary calibration circuit, it decreased by more than 15 dB in the band spectrum after 2 MHz.

Keywords: Electro-magnetic compatibility, Artifact, Driving system, Specific absorption rate, Medical image equipment, calibration circuit

1. 서론

4차 산업혁명으로 빅데이터를 이용하고, IoT를 사람과 사물, 사람과 공간을 초 연결하고, 초 지능화하는 산업구조 사회로의 시스템이 혁신적으로 변화하는 과정에서 데이터의 발생, 저장, 수집, 분석, 추출된 가치를 서비스 등에

적용하는 단계이다. 이 서비스를 전달하는 단계에서 딥 러닝을 통한 데이터 분석을 의료기기에 적용하면 기대수명을 연장할 수 있는 사회구조로 변모하고 있다. 이 데이터를 이용하여 체계적인 건강관리, 유전자 연구를 통한 난치병 치료, 노화 억제에 위한 신약개발 등에 이용되고 있는 실정이다. 인체에 치명적인 영향을 주는 전자파 발생, 고전압, 고주파 등은 의료용 기기, 산업용 기기, 가정용 기기 등의 제조공정과 그 기기의 응용에서 발생하는 전자소자 특성으로 인한 부산물로 인체에 흡수되었을 때 유해한 주파수 부분을 회로설계 전에 수정, 보완함으로써 인체 유해한 주파수를 저감할 수 있다.

✉ Jin-Sa Kim; kimjs@est.ac.kr

Copyright ©2022 KIEEME. All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

최근 의료기기, 자동차, 전동기구 분야에 전자파 적합성 (electro-magnetic compatibility, EMC)를 설계하는데 있어서 noise나 artifact의 원인은 크게 구동시스템, OBC(On-Board Charger), 고전압 부품 등에서 주로 발생한다. OBC는 전력망 개념으로 IEC61000-6-1~4의 시험항목이다. OBC는 제한치가 B급인 가정용 기기의 분류에 속한다 [1-4]. 전자파 인체흡수율(specific absorption rate, SAR)은 EMC가 인체에 흡수되는 양을 나타내는 수치이다. SAR의 변화에 따라 인체에 영향을 미치기 때문에 글로벌화 된 각 나라에서는 인체, 그중에서도 특히 머리(skull) 부분에 대한 전자파 인체흡수율이 기준치를 넘지 않도록 해야 한다. 한국은 2002년부터 1.6 W/kg을 전자파 인체흡수율 허용기준으로 규정하였다. 고기능성 및 고출력이 필요한 의료기기 제품은 고출력 회로와 좁은 공간에 많은 부품 실장으로 설계되어야 하므로 전자파 간섭 (electro-magnetic Interference, EMI), 고방열이 문제를 일으키고 있다. 또한, 고가 방사선 기기의 정밀회로 부분이 다른 의료기기를 오·부동작 뿐만 아니라 환자들에게도 전자파 피해를 줄 수 있다.

따라서 본 논문에서는 초 고령화 사회에서 건강검진 및 환자의 건강회복을 치료할 목적으로 병원을 방문할 때 인체에 흡수되는 전자파 인체흡수율과 관련 있는 전자파의 상쇄회로를 설계하여, 전자파 저감이 가능하도록 필터를 개선한 설계 방법을 제안하였으며, 실험 결과와 시뮬레이션을 통하여 제안된 방법의 실효성을 확인하고자 한다 [1,2].

2. 본론

2.1 관련 이론

전자파가 점유하는 주파수 범위를 전자파 스펙트럼이라 칭하고 그에 관한 내용은 그림 1에 나타내었다. EMI는 전자기기에서 전자파를 방사시켜 다른 기기에 장애를 주는 것으로 나타내고, 전자파 내성(electro-magnetic susceptibility, EMS)은 다른 전자기기의 전자파의 영향을 받더라도 기존 전자기기가 정상적으로 오동작 없이 동작할 수 있는 능력을 말한다. 전자기기는 EMI 시험 중 공간으로 전도되는 방사시험과 유선을 통해 전도되는 전도 시험을 통과해야 한다. EMI는 방사 또는 전도되는 전자파가 주위 다른 의료기기의 기능에 장애를 주는 불필요한 신호이다 [3-7].

전자기기에서 발생하는 전자파의 주요 원인은 여러 가지가 있지만 회로 내부 소자들 사이에 간섭과 스위칭 주파수 등에 의해 발생되기 때문에 전자파 저감을 위해서는 소자들 간의 특성을 알아야 한다. 전자파 발생과 관련된 소자는 L(inductance)과 C(capacitance)가 영향을 준다. L과 C의 임피던스 특성[Z]은 식 (1), (2), (3), (4) 등으로 표현된다.

$$1/Z = R + jX = |Z| \angle \theta = Y = G + jB = |Y| \angle \theta \quad (1)$$

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (2)$$

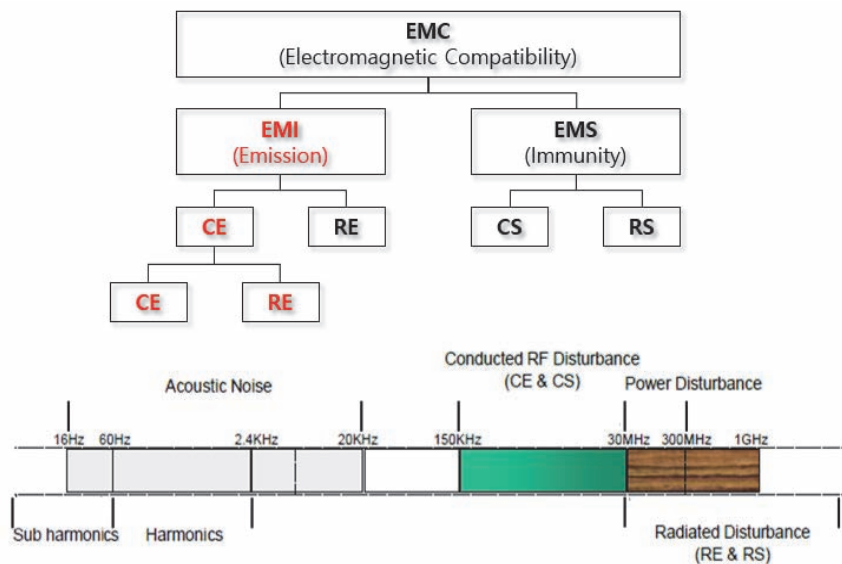


Fig. 1. Electromagnetic compatibility.

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \tag{3}$$

$$Z = \frac{jRX}{R+jX} = \frac{RX^2}{R^2+X^2} + j\frac{R^2X}{R^2+X^2} \tag{4}$$

이러한 임피던스 공식이 복잡하기 때문에 식 (1)과 같이 어드미턴스(Y)를 사용한다.

임피던스는 유도성분과 용량성분을 이용하여 X_L 과 X_C 가 값을 조정하여 전자파 저감장치로 사용한다. 이는 전자기기 입력단에 X_L 과 X_C 를 공진이 되도록 값을 보정하여 전자파를 저감하여야 한다. 병렬 연결된 L과 C의 주파수특성은 그림 2와 같다.

2.2 영상기기 전자파 발생원

영상기기는 고주파 방사선 기기로 전자파로 인한 장애가 많이 발생하는 장비가 대부분이고, 구동 시스템에 관한 EMC측정 구성도는 IEC (international electrotechnical commission)의 분야이고 전기전자 장치의 전자기 간섭을 제어하기 위한 표준인 CISPR 22(CISPR 22: international

special committee on radio interference)에서 제시한 대로 구성하여 실험을 행하였다. 그 구성도는 그림 3과 같이 설정하였다. 노이즈는 부하별 영향도에 따라 변화를 일으키기 때문에 일반적으로 EMC 측정에는 이런 방법이 규정에 적용된다. EMC 저감대책 측면에서는 기술적으로 어려움이 발생할 수밖에 없다. 기기운영자가 자주 사용하는 영상기기의 전자파 방출을 차단하기 위해서는 전자파 보호회로를 채택하여 방사성 방출 제한 하한치 도달하여야 하며, 전도성 전자파 방출의 경우, 좀 더 완화된 제한치의 경계를 제안하고 있다. 완화된 제한치를 사용하려면 고전압이 저전압으로 커플링되는 양이 적을 경우와 케이블 차폐 완화된 제한치를 적용하도록 규정하고 있다.

CISPR 22의 요구조건을 충족시키기 위한 조건으로 IEC62153-4-6에 전압케이블의 차폐효과 평가방법과 같이 전달 임피던스를 사용하여 Line-Injection 방법을 이용하여 측정하였다. 실험방법은 EMI test receiver로 측정대상이 되는 전체 주파수 대역을 빠르게 pre-scan하고 limit line대비 6 dB margin이내의 스펙트럼 관련 성분을 다시 scan하여 전계 강도를 최종 평가하였다 [6,7].

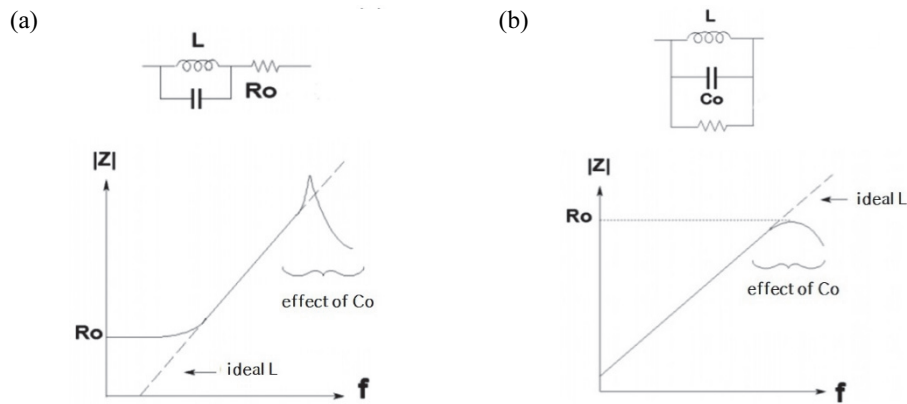


Fig. 2. Frequency characteristics of Inductor. (a) General Inductor and (b) core loss with Inductor.

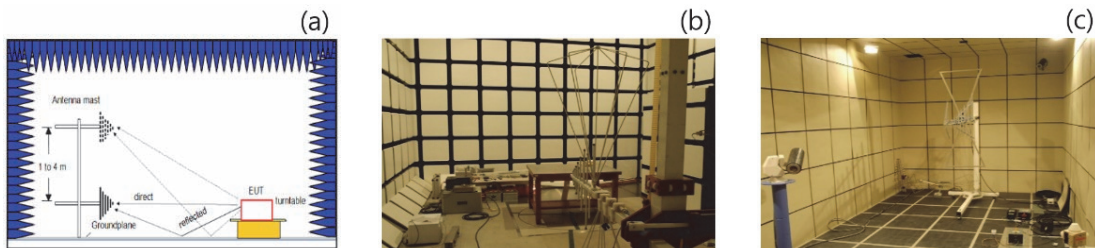


Fig. 3. Composition photo of the experimental device. (a) Anechoic chamber, (b) EMI TEST for anechoic chamber, and (c) EMS test for anechoic chamber.

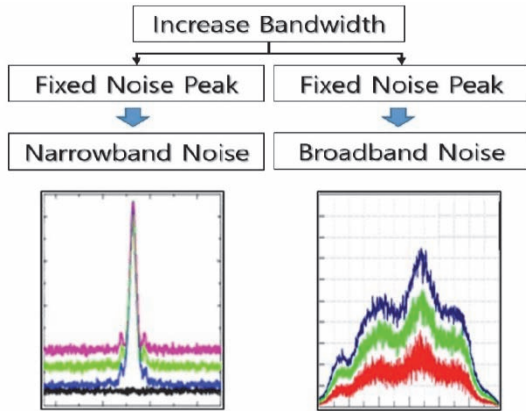


Fig. 4. Band width classification.

스펙트럼의 변화는 협대역(narrowband) 및 광대역(broadband)의 노이즈(noise)로 구분되며, 이 구분은 측정 데이터에 의해서 확인하여 보정회로를 적용하여 대역별 스펙트럼을 규정에 맞게 보정하였다. 스펙트럼의 구분 방법은 그림 4와 같다.

2.3 실험 방법

영상기구의 전자파 측정방법은 전계강도 측정기기(EMI test receiver, EBIS 26)와 방사잡음 측정 안테나(biconical antennas), 전원안정화 장치인 LISN (line impedance stability network)를 가지고 실험하였다. 실험용 Demo 기구는 국내에서 개발된 컨버터 내장형 의료 영상 기구를 이용하여 실험을 하였다.

Demo 기구에 대한 전자파 측정은 주파수 범위 150 kHz ~ 30 MHz 대역폭에서 측정하였다. 전자파 감수성 레벨은 100 kHz 대역에서부터 스위칭 노이즈 및 고조파 성분이 측정 주파수 전대역에서 발생하였고, 50 dB 이상의 규격에서는 불만족을 나타내었다. 그림 5는 준비된 Demo 기구의 EMC 특성 스펙트럼이다. Quasi peak와 average의 noise level이 동일하였으며, 광대역 노이즈와 협대역 노이즈가 함께 발생한 다대역(multiband) 스펙트럼임을 알 수 있다.

이 노이즈를 개선하기 위하여 노이즈 필터를 개선한 보정회로를 추가로 재구성하여 실험을 이행함으로써 측정된 결과 값을 얻을 수 있었다. 공통모드(common mode, CM)는 접지불안정 및 유기체에 유기되는 노이즈로 볼수 있고, 차동모드(differential mode, DM)는 실제 장비에서 사용하는 신호일 가능성이 높은 노이즈이다. 따라서 실험방법은 수동소자를 영역대별로 4차례로 나누어서 실험을 행하였다. 이와 관련된 회로도에는 그림 6과 같다.

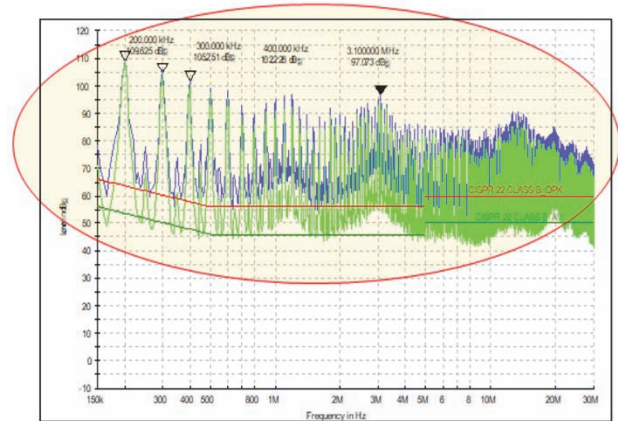


Fig. 5. Preliminary electromagnetic test value.

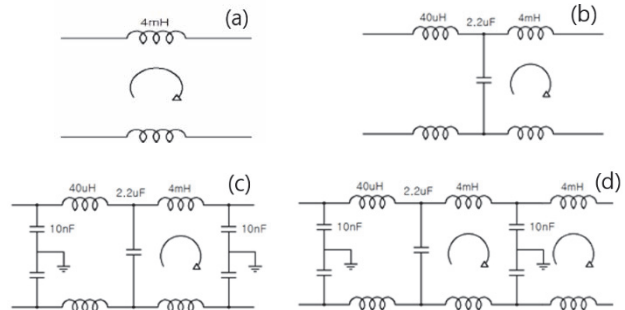


Fig. 6. Correction circuit. (a) Initial circuit, (b) first correction circuit, (c) second correction circuit, and (d) third correction circuit.

그림 6(a) 회로에서 CM Inductor 4 mH 선택하여 소자를 적용한 것은 전대역 노이즈 감소, 그림 6(b)의 1차 실험은 DM Inductor 40 µH는 스펙트럼 3 MHz 대역의 dB 감소, 그림 6(c)의 2차 실험은 Y-Cap 10 nF는 3 MHz 대역의 dB 감소, 그림 6(d)의 3차 실험은 CM Inductor 4 mH 적용은 2 MHz 이후 대역에서 dB 감소를 유도한 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전도방사(CE) 실험 결과

전자파 감수성 레벨은 저주파 스펙트럼 대역에서 광대역 노이즈, 고주파 스펙트럼 대역에서 협대역 노이즈가 나타난 것은 스위칭 노이즈 및 고조파 성분이 측정 주파수 전대역에서 발생함을 알 수 있었다. 그림 7은 그림 6에 나타난 보정회로를 이용하여 전도방사 영역(CE)을 측정하여 단계별 노이즈 변화를 확인할 수 있었다. 보정회로 실험에서

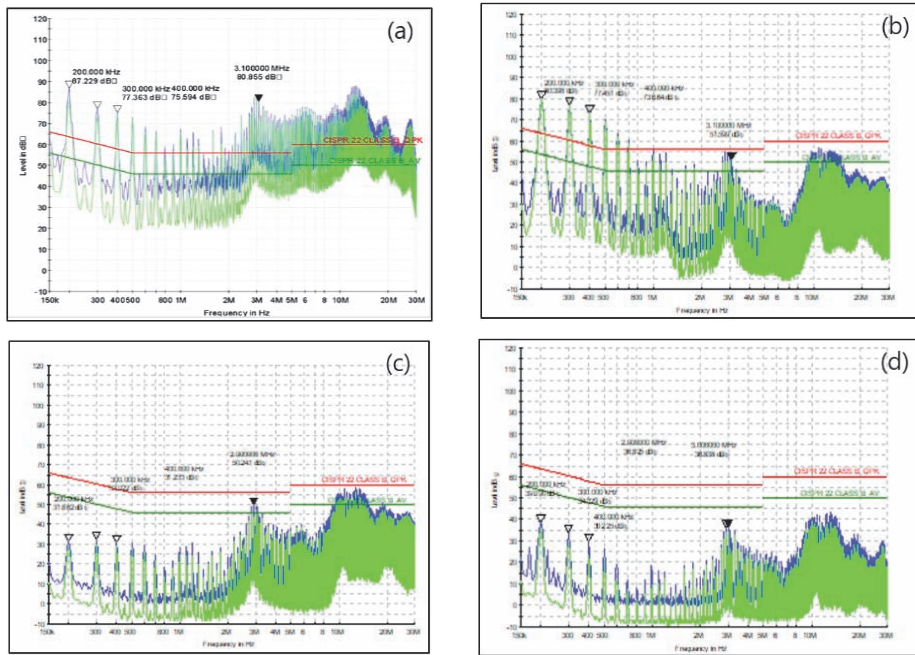


Fig. 7. Spectrum of correction circuit for the filter applied. (a) Initial spectrum, (b) first corrected spectrum, (c) second corrected spectrum, and (d) third corrected spectrum.

CE를 시험한 결과로 특정 주파수 대역에서 스위칭 주파수 및 고조파 성분의 노이즈가 발생하였으나 노이즈 발생을 개선하기 위하여 보정회로를 추가로 구성하고 재 측정된 결과 노이즈가 차단되고 Normal 판정을 받을 수 있었다.

3.2 잡음방사(RE) 실험 결과

시료에 대한 잡음방사 측정은 KSC0262-4를 이용하여 주파수 대역에서 측정하였다. 실험용 demo 기구에 대한

방사잡음 레벨은 전주파수 대역에 걸쳐 높게 나타났으며, 이는 기준 값에 비해 약 20 dB 정도 초과되어 높게 나타났다. 노이즈 저감 필터를 개선한 보정회로를 추가 구성한 후 재측정 결과 normal 판정을 받을 수 있었다. 표 1에서 나타난 것처럼 보정회로 전과 후를 비교한 결과값이다. 보정회로를 단계별로 채택함으로써 단계적으로 상대값에 대한 데시벨(dB)의 감소변화 폭이 줄어들어 노이즈가 차단됨을 알 수 있었다.

Table 1. Measurement results before and after testing the CE filter.

Frequency	Before CE filter			After CE filter			Width of dB decrease
	Standard CISPR 22, Class B	Measured value	Initial filter value	1 st filter value	2 nd filter value	3 rd filter value	
200 kHz	52.000	109.625	87.229	80.398	66.383	39.090	
300 kHz	50.000	105.251	77.363	77.451	57.363	34.329	
400 kHz	48.000	102.228	75.594	73.664	50.162	30.225	
1 MHz	45.000	95.000	64.000	65.000	60.000	30.000	30(2 nd)
2 MHz	45.000	90.000	56.000	37.000	32.000	12.759	20(1 st) 15(3 rd)
3 MHz	45.000	97.073	80.855	51.599	44.919	36.838	15(1 st)

4. 결론

실험용 demo 기구의 구동 시스템에 관한 EMC 측정 구성도는 CISPR 22에서 제시한 대로 구성하였으며, 시료에 대한 CE의 측정범위는 150 kHz ~ 30 MHz 대역에서 초기부터 3차 보정값까지 4차례 보정회로를 수정하고 추가 보정회로를 연결하여 반복실험을 이행하였다.

실험용 demo 기구의 전도방사 특성은 100 kHz switching noise 발생하였으며, quasi peak와 average의 noise level이 동일하고 협대역 및 광대역의 noise가 발생하여 규격에 불충분하였다. 따라서 보정회로를 채택하여 측정된 결과 다음과 같은 결과 값을 얻었다.

- (1) 초기 보정회로에서 CM Inductor 4 mH 적용한 결과 전대역 noise 감소하였다.
- (2) 1차 보정회로에서 DM Inductor 40 μ H 소자를 적용한 결과 3 MHz 대역에서 15 dB 이상 감소하였다.
- (3) 2차 보정회로에서 Y-Cap 10 nF 소자를 적용한 결과 2 MHz 이전 대역 30 dB 이상 감소하였다.
- (4) 3차 보정회로에서 CM Inductor 4 mH 소자를 적용한 결과 2 MHz 이후 대역 15 dB 이상 감소하였다.

이러한 실험 결과를 통하여 향후 의료용 전자기기의 전자파 저감을 위한 기술에 적용될 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2019년도 광주보건대학교 교내연구비의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019016).

REFERENCES

- [1] J. S. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **33**, 151 (2020). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2020.33.2.151>]
- [2] H. W. Ott, *Electromagnetic Compatibility Engineering* (John Wiley & Sons, New York, 2009).
- [3] D. A. Paice, *Power Electronics Converter Harmonics, Multipulse Methods for Clean Power* (Wiley-IEEE Press, 1991).
- [4] T. C. Neugebauer and D. J. Perreault, *IEEE Trans. Power Electron.*, **21**, 282 (2006). [DOI: <https://doi.org/10.1109/TPEL.2005.861103>]
- [5] N. Narendran, N. Maliyagoda, L. Deng, and R. M. Pysar, *Proc. SPIE 4445, Solid State Lighting and Displays* (SPIE, San Diego, USA, 2001). [DOI: <https://doi.org/10.1117/12.450037>]
- [6] J. N. Seo, *Ph. D. Thesis*, Chonnam National University, Gwangju (2009).
- [7] S. Ye, W. Eberle, and Y. F. Liu, *IEEE Trans. Power Electron.*, **19**, 1668 (2004). [DOI: <https://doi.org/10.1109/TPEL.2004.836629>]

ORCID

Jin-Sa Kim

<https://orcid.org/0000-0001-9316-3092>