

철도차량의 9 kHz ~ 150 kHz 대역에서의 RFI 노이즈 저감연구

RFI Noise Reduction of the Electric Train in the Frequency Range of 9 kHz to 150 kHz

강 용 삼* · 이 중 우†
 (Yong-Sam Kang · Jongwoo Lee)

Abstract - An electric railway is unique system that electric trains consumed huge electric power are travelled and is much interested with EMC. There were several problems exceeding the standard in the frequency range of 9 kHz to 150 kHz because the radiation noises were moved the higher frequency range according to developing the power electronic technology. It is studied the analytic simulation for reducing noise level in terms of cables of the electric train and is experimentally approved the reduction effectiveness.

Key Words : EMC, RFI noise

1. 서 론

전기철도 시스템은 대전력 급전시스템으로, 철도 차량에 전력을 공급하기 위한 긴 전차선로와 컨버터와 인버터에 의한 스위칭을 이용하고 있기 때문에 전기철도내 전자설비와 전기철도 외의 무선 및 유선통신 등의 기기에 간섭을 발생시키고 있다.

차량의 견인 구동 시스템에서 사용되는 컨버터와 인버터의 스위칭 주파수가 수 kHz로 이에 고조파 성분들이 수백 kHz까지 발생한다. 그러므로 철도내외에서 사용되는 전기전자장비를 국제표준으로 차량에서 나오는 RFI를 그림 1과 같이 규제하고 있다. 그림에서 A는 교류25kV, B는 교류15kV, 직류 3kV 및 1.5kV, C는 직류 750V에 따라 규정치가 다를 수 있다[1].

특히, 9 kHz ~ 150 kHz 주파수대역에서 발생하는 철도시스템의 노이즈는 날씨, 부하 및 변전소와 차량 간의 거리 등의 조건에 따라 규정치보다 높게 방사되어 9 kHz ~ 150 kHz 주파수대역에 할당된 무선 시스템에 대한 장애의 원인이 된다[2].

국내에서는 고속철도의 도입과 함께 EMC에 대한 인증이 활발히 이루어졌고 2003년 광주도시철도를 시작으로 대략 8 종류의 직류 1,500V 전동차와 직류 750V 김해경전철 및 4 종류의 교류 25kV 전동차 그리고 KTX 및 KTX-산천 등, 2011년 상반기까지 약 14번의 EMC인증이 수행되었다. 그 중에서 특히 최근 들어 KTX-산천차량으로부터 9 ~ 150kHz 주파수대역에서 상대적으로 높은 방사성 노이즈가 확인되었다.

철도 시스템에서 방사하는 9 kHz ~ 150 kHz 대역의 노이즈가 규정치를 초과하는 시험 결과에 대한 예시를 그림 2

에 나타내었다.

앞서 수행된 연구에서는 노이즈원 분석을 통하여 AC-DC 컨버터, 인버터의 고속 스위칭이 급전선과 선로 사이의 루프를 통하여 방사하는 것을 확인하였다. 또한 철도 시스템을 구성하는 변전소와 구분소, RC Bank의 기생 성분을 추출, 회로 구성을 단순화 하여 회로 특성 임피던스 변화를 확인한 결과 RC Bank의 파라미터 값의 변화에 따라 임피던스의 변화가 감지되며, 변화되는 주파수 대역이 1 kHz - 10 kHz, 100 kHz 대역 이상이였다. 실제 등가 회로의 모델링 위치인 국수 구분소에서 측정을 수행한 결과 특성 임피던스의 변화와 유사한 결과가 측정되어 RC Bank가 노이즈 저감시킴을 확인하였다[3][4].

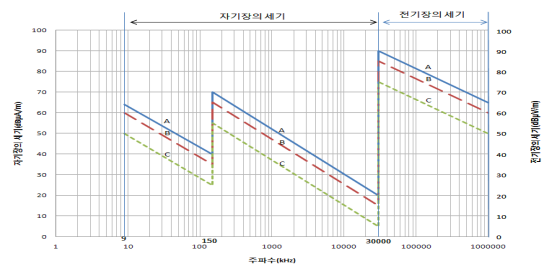


그림 1 IEC 62236의 차량의 방사 제한치
 Fig. 1 Limits from the trains in IEC 62236

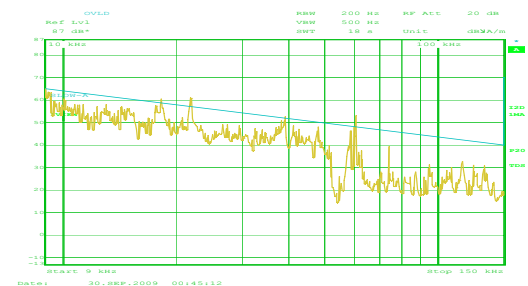


그림 2 IEC 62236 기준치를 초과하는 측정결과
 Fig. 2 Test results that exceed the limits of the IEC 62236

* Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea
 † Corresponding Author : Dept of Railway Electric and Signaling Engineering, Graduate School of Railway, Seoul National University of Science and Technology, Korea

E-mail : saganlee@seoultech.ac.kr

Received : December 13, 2013; Accepted : December 19, 2013

본 논문에서는 전기차량에서의 주 노이즈원인 견인시스템의 인버터 출력케이블의 차폐, 트위스트 및 차폐/트위스트에 대한 노이즈 저감대책의 적용성을 제시하고자 한다.

2. 본 론

그림 3과 같이 전기차량의 견인시스템중 컨버터/인버터 일체형 전력변환장치를 사용하여 인버터 출력(U, V 및 W)에 대한 케이블 차폐, 트위스트 및 차폐/트위스트를 할 경우, 9 kHz ~ 150 kHz 대역에서 노이즈가 감소되는 경향을 확인하기 위해 케이블에 로고스키 코일(LRF 0006X)과 EMI Receiver(ESCI3)를 사용하여 측정 및 시뮬레이션 결과와 비교하였다.



그림 3 견인시스템의 구성
Fig. 3 Configuration of traction system

케이블 차폐의 경우, 차폐재를 EXPAN의 SH2-50 모델을 사용하고 노이즈 저감결과를 확인 하였으며 재질의 표피효과를 이용하여 적절한 재질의 두께를 산정하였다. 케이블 트위스트의 경우, U V W 케이블을 80cm 간격으로 꼬아서 측정을 하였으며 CST 사의 Microwave Studio 프로그램을 이용하여 케이블 재질과 트위스트를 시뮬레이션 하여 측정결과와 비교하였다. 마지막으로 차폐와 함께 트위스트를 한 결과를 측정하였다.

2.1 케이블 트위스트

2.1.1 측정결과

다음 그림 4와 같이 컨버터 입력 전원 케이블 (+)전원과 (-)전원을 서로 트위스트 하고 측정한 결과는 그림 5와 같다. 검정색 그래프는 트위스트를 적용하기 전 초기 측정 결과이고, 붉은색 그래프는 트위스트를 적용한 후의 시험 결과이다. 컨버터 입력케이블은 트위스트 전후의 차이가 없었다.



그림 4 컨버터 입력의 케이블 트위스트
Fig. 4 Cable twist of converter inputs

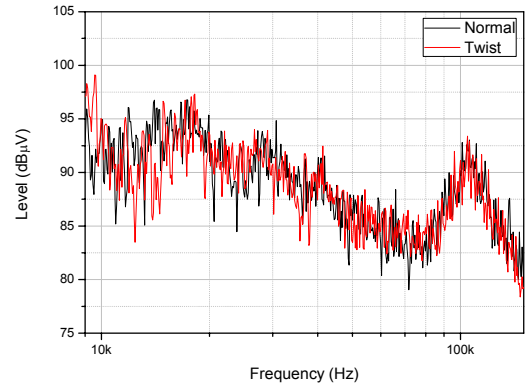


그림 5 컨버터 입력의 케이블을 트위스트한 측정결과
Fig. 5 Test results in cable twist of converter inputs

다음 그림 6은 인버터 입·출력 케이블 U, V 및 W상을 트위스트한 결과이다. 검정색 그래프는 트위스트를 적용하기 전 초기 측정 결과이고, 붉은색 그래프는 트위스트를 적용한 후의 시험 결과이다. 인버터 출력 케이블을 트위스트한 경우 100 kHz 대역의 공진이 감쇠를 보이며, 110 kHz 대역으로 공진 주파수가 이동 함을 확인 하였다.

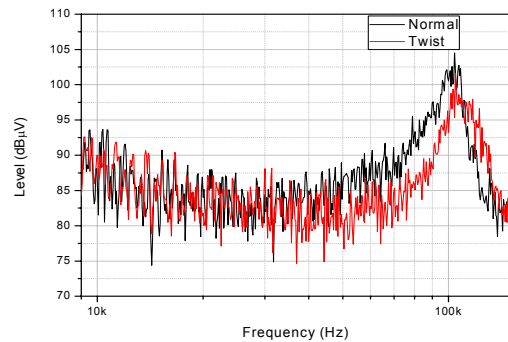


그림 6 인버터 출력의 케이블 트위스트한 측정결과
Fig. 6 Test results in cable twist of inverter outputs

2.1.2 컨버터 입력 트위스트 시뮬레이션

컨버터 입력 케이블의 트위스트에 대한 결과를 CST 사의 microwave studio 프로그램을 이용하여 전자기장 3D 시뮬레이션을 측정에서 사용한 케이블의 재질 및 길이를 적용하여 차동모드 노이즈 소스를 인가하여 전기장 및 자기장 분포에 대한 트위스트 전후의 결과를 비교하였으며 그 결과는 각각 그림 7과 8과 같다.

그림에서 X와 Y축은 케이블의 단면적을 보이고 있으며 (a), (b) 및 (c)는 각각 9, 30 및 150kHz에서의 전기와 자기의 분포를 나타내고 노란색에서 빨간색으로 변환에 따라 그 크기가 커짐을 표시한다.

그림 7에서 보는 바와 같이 9kHz 대역에서는 전기장 분포가 큰 차이를 보이지 않으며, 30kHz와 150kHz 대역에서는 트위스트가 더 좋지 않은 결과를 보인다.

전기장과 같이 자기장에서도 트위스트 한 케이블이 30 kHz 대역 이상에서는 더 많은 방사를 하는 것으로 시뮬레이션 되었다. 마찬가지로 전기장과 같이 자기장에서도 트위

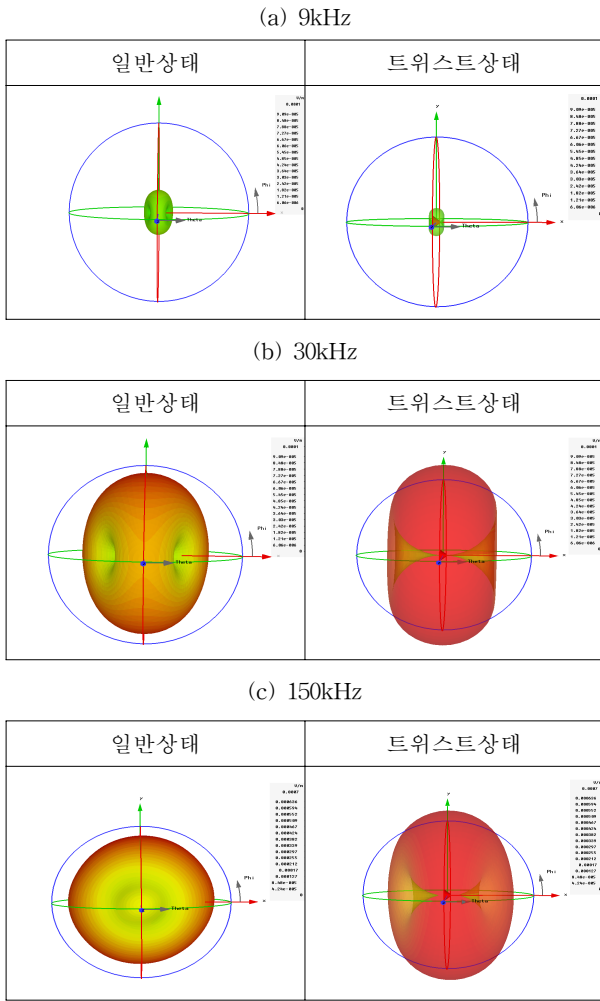


그림 7 컨버터입력의 케이블 트위스트한 전기장
 Fig. 7 Electric field in cable twist of converter inputs

스트한 케이블이 30kHz대역 이상에서는 더 많은 방사를 하는 것으로 시뮬레이션 되었다. 케이블 트위스트는 일반적으로 공통모드 노이즈를 저감시키기 위하여 사용되는 방법이다. 컨버터 입력과 같은 차동모드 노이즈에 트위스트를 적용할 경우 거의 차이를 보이지 않거나, 오히려 방사 레벨이 증가하는 경향을 보였다.

2.2 케이블 차폐

차량에서 발생하는 9 kHz ~ 150 kHz 대역의 자기장은 주변압기와 연결된 케이블과 컨버터, 인버터에 연결된 케이블에서 방사하는 잡음레벨이 높은 것으로 확인되었다. 따라서 케이블에서 방사하는 잡음저감을 위하여 케이블의 차폐가 필수적으로 고려되어야 한다. 앞에서 케이블 트위스트의 경우 컨버터 입력의 경우는 노이즈 저감에 무관하였으므로 이후 차폐 및 차폐와 트위스트의 병합 대책은 인버터 출력에만 국한하였다. 케이블 차폐시험에서 사용한 재질은 EXPAN의 SH2-50 모델을 적용하였다. 차폐 재질은 구리 와이어 Mesh로서 와이어의 지름이 0.12mm이고 피복 재질은 PVC 0.35mm를 사용하였다. Mesh는 두겹이며 본 시험

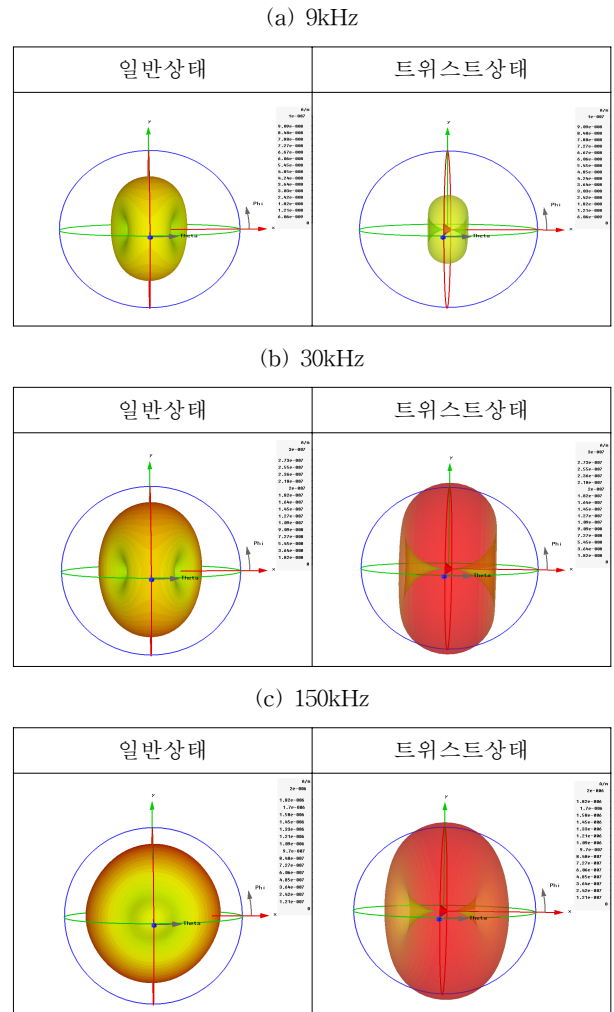


그림 8 컨버터 출력의 케이블 트위스트한 자기장
 Fig. 8 Magnetic field in cable twist of converter outputs



그림 9 인버터 출력의 케이블 차폐
 Fig. 9 Cable shield of inverter outputs

에서 사용한 차폐 두께는 약 0.24mm이다. 그림 9는 인버터 출력의 케이블 차폐의 측정사진이고, 인버터 출력 U, V 및 W상의 차폐 전후의 비교 측정결과는 각각 그림 10, 11 및 12와 같다. 케이블 차폐효과는 50kHz ~ 150kHz까지 대역에서 최대 13dB의 감쇠를 보였다.

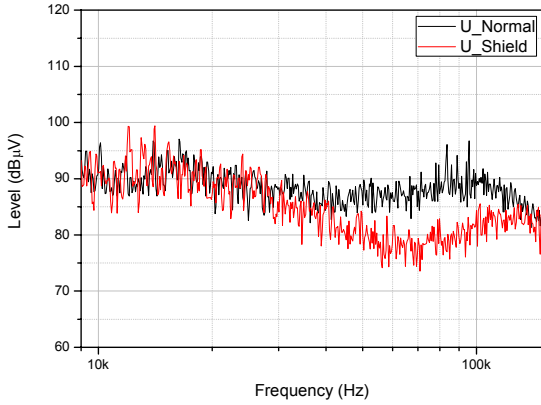


그림 10 인버터 출력케이블의 U 차폐 측정결과
Fig. 10 Test results in cable U shield of inverter outputs

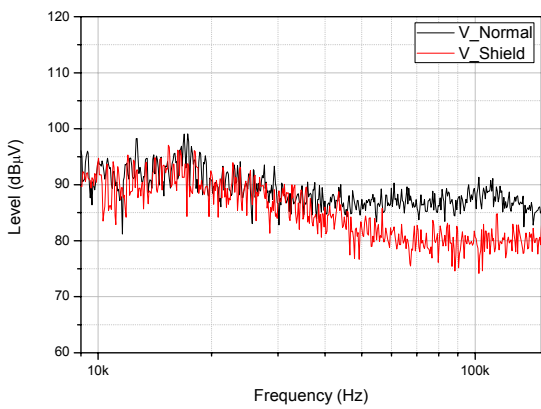


그림 11 인버터 출력의 케이블 V 차폐 측정결과
Fig. 11 Test results in cable V shield of inverter outputs

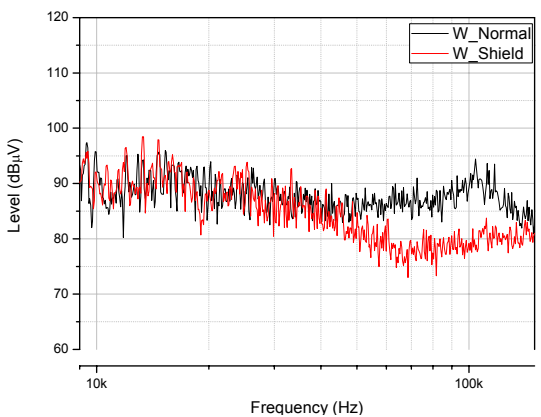


그림 12 인버터 출력의 케이블 W 차폐 측정결과
Fig. 12 Test results in cable W shield of inverter outputs

2.3 케이블 차폐와 트위스트

앞에서 노이즈 저감 대책으로 차폐와 트위스트에 대해 측정하였는데 이번에는 차폐와 트위스트를 같이 적용하여 노이즈 저감을 측정하였다.

그림 13은 인버터 출력 케이블을 트위스트 한 상태에서 차폐를 추가적으로 적용한 측정사진이고 그림 14는 케이블

트위스트/차폐 전후의 측정결과이다. 트위스트 상태에서 추가적으로 차폐를 할 경우 100kHz 대역의 공진이 거의 사라지며 25dB의 감쇠를 보이지만 140kHz대역의 노이즈가 증가됨을 확인하였다.



그림 13 인버터 출력의 케이블 차폐와 트위스트
Fig. 13 Cable shield and twist of inverter outputs

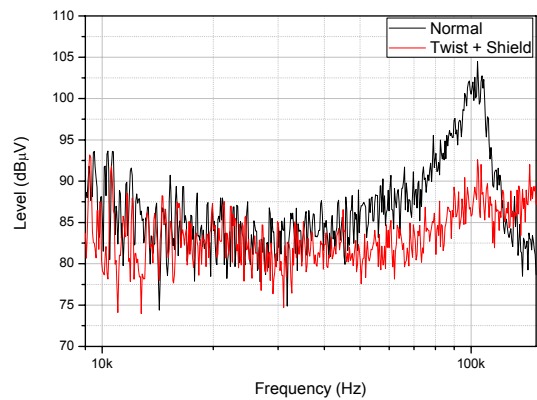


그림 14 인버터 출력의 케이블 차폐 트위스트한 측정결과
Fig. 14 Test results in cable shield and twist of inverter outputs

2.4 결과

철도차량에서 주된 노이즈는 견인시스템에서 발생하며 컨버터와 인버터 시스템은 박스로 차폐가 되어 있어 컨버터 입력과 인버터 출력 케이블에서 주로 노이즈가 발생한다. 이에 대한 대책으로 케이블 트위스트와 차폐에 대해 측정분석을 실시하였다.

케이블 트위스트에 대한 컨버터 입력과 인버터 출력에 대해 측정을 수행한 결과 컨버터 입력은 트위스트 전후 변화가 없었으나 인버터 출력에서는 100 kHz 대역의 110 kHz 대역으로 공진 주파수가 이동하면서 공진의 크기도 13dB 감쇠됨을 확인하였다. 컨버터 입력케이블에 대한 측정결과를 수치해석으로 확인한 결과 전자기장이 30kHz 대역이상에서는 오히려 증가하여 컨버터 입력케이블은 트위스트 대책으로는 부적합함을 확인하였다.

이후 인버터 출력케이블의 차폐와 트위스트 차폐를 측정하였으며 케이블 차폐효과는 50kHz ~ 150kHz까지 대역에서

최대 13dB의 감쇠를 보였고 트위스트를 병행하였을 때 100kHz 대역의 공진이 거의 사라지며 25dB의 감쇠를 보이지만 140kHz대역의 노이즈가 증가됨을 확인하였다. 결과적으로 전기차량의 견인시스템의 9 kHz ~ 150 kHz의 노이즈 저감을 위한 최선의 대책은 인버터 케이블의 트위스트와 병행하여 차폐를 하는 것이 입증되었다.

3. 결 론

전기철도의 EMC에는 국제규격인 IEC62236에 따라 EMC 관리가 수행되며 최근 전력전자 기술의 발달에 따라 전력변환장치의 스위칭 속도가 빨라져 EMC 기준치를 상회하는 경우가 발생하였다. 이에 대한 노이즈 저감을 위해 변전설비와 함께 전기차량에서의 방안을 제시하고자 하였다.

본 논문에서는 전기차량의 노이즈 저감을 위해 주된 노이즈원인 견인시스템의 입출력 케이블의 케이블 트위스트와 차폐에 대한 측정분석을 수행하였다. 결과 컨버터 입력케이블의 트위스트는 노이즈를 보다 증가시키는 경향을 보였으며 인버터 출력케이블의 트위스트는 공진주파수 이동 및 공진크기 감소시키는 저감효과를 보였다. 더불어 인버터 출력케이블의 차폐는 50kHz이상의 주파수 대역에서의 전반적인 노이즈 저감효과가 나타났으며, 트위스트와 병행하였을 때는 오히려 140kHz이상의 대역에서 노이즈가 증가하는 경향이 나타났다.

전기차량에 대한 최적의 노이즈 저감을 위해 서는 인버터 출력케이블의 트위스트와 차폐외의 다른 방안에 대한 추가적인 연구가 필요하겠다.

앞선 연구에서는 차량과 급전시스템 상호간에 발생하는 노이즈에 대한 측정방법 및 저감방안을 제시하였고, 이번 논문은 차량내부에 대한 노이즈 측정방법 및 저감방안을 제시하였으며, 향후에는 신호/통신 등의 전기/전자설비 EMC 관리에 대한 연구가 활발하게 진행되어 차량을 포함한 각 시스템간 종합적인 노이즈 저감기술을 개발하는 심층적인 노력이 필요하겠다.

References

- [1] IEC62236-2 Ed.2 9/976/CDV, "Railway applications - Electromagnetic compatibility Part 2 : emission of the whole railway system to the outside world", 2006. 6. 29.
- [2] 川崎邦弘, "鐵道向けEMC國際規格の概要", 鐵道と環境, 2003. 9. vol.14 No.9
- [3] Yong-Sam Kang and Jongwoo Lee, "Study on the RFI Noise Reduction of the Electric Railway in the Frequency Range of 9 kHz to 150 kHz", The trans. of KIEE, Vol. 62, no. 9, 2013.
- [4] Kwun, Suk-Tai and Chung, Yeon-Choon, "Analysis on the RFI Noise Path of Electrical Railway System in the Frequency Range of 9 kHz to 150 kHz", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, v.23, no.12, 1373-1379, December 2012

저 자 소 개



강 용 삼 (姜 龍 三)

1961년 3월 17일생.

1990년 부경대학교 전기공학과 졸업.

2002년 고려대학교 졸업(석사)

2012년 한국과학기술대학교 수료(박사)

2004년~현재 국토교통부 근무

Tel : 044-201-3539

Fax : 044-201-5547

E-mail : btlkang@hanmail.net



이 종 우 (李 鍾 宇)

1959년 3월 20일생.

1983년 한양대학교 기계설계과 졸업.

1986년 Ecole Centrale de Nantes 졸업.

1993년 Paris VI 졸업(공학박사).

2005년~현재 서울과학기술대학교 철도

전기신호공학과 교수

Tel : 02-970-6874

Fax : 02-970-6874

E-mail : saganlee@seoultech.ac.kr