

CISPR 25 규격에서 근지점 접지길이 변화에 의한 복사방출 영향

Effects of Varying the Length of Locally Grounded Cable on Radiated Emission as Per CISPR 25

홍 현 귀 · 김 은 하 · 이 재 현*

Hyun-Gwi Hong · Eun-Ha Kim · Jae-Hyun Lee*

요 약

본 논문은 자동차 EMI 규격인 CISPR 25에서 정의된 근지점 접지길이의 모호성을 실험적으로 규명하였다. 차량 내 케이블 접지조건은 배터리 (-) 단자선 길이에 따라 원지점 접지와 근지점 접지로 구분된다. 근지점 접지는 배터리 (-) 단자선 길이를 200 mm 이하로만 정의하고 있어서, 시험자가 규정된 근지점 접지조건에 따라 측정을 하는 경우에도 서로 다른 접지길이 구성될 수 있다. 따라서, 본 논문은 근지점 접지길이를 변화시키면서 복사방출량을 시뮬레이션하고 측정하였고, 그 결과 특정 주파수 대역에서 EMI 규격을 만족하지 못하는 현상을 발견하게 되었다. 즉, 접지길이가 제품의 양부판정에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this study, the ambiguity of the locally grounded wire length defined in the automotive EMI standard CISPR 25 is experimentally investigated. In-vehicle wire grounding conditions are divided into remotely grounded and locally grounded conditions based on the wire length of the battery negative terminal. In the locally grounded condition, the wire length of the battery negative terminal is specified as less than 200 mm; hence, different grounded wire lengths can be used when a tester performs measurements according to the specified locally grounded condition. Therefore, in this study, we simulated and measured the radiated emissions by changing the locally grounded wire length. We found that the radiated emission does not satisfy the EMI specification in a specific frequency band. In other words, it was confirmed that the locally grounded wire length could affect the pass/fail results of the tested products.

Key words: Locally Grounded, CISPR 25, Radiated Emission, EMI(Electromagnetic Interference), Ground Connection

I. 서 론

최근 자동차는 운송수단으로써 안전성과 편의성이 중요하게 고려되고 있어서, 이를 위한 자동차 전자화가 가속화 되고 있다. 따라서, 첨단 전기·전자부품의 실장이

증가될 수 밖에 없어서 차량 내 전자파환경은 복잡해지고 있다^[1]. 자동차 내 전장부품은 2020년에 차량가격의 50%를 차지할 정도로 비중이 커질 수 있을 것으로 예상된다(그림 1). 자동차 전장부품 탑재가 가속화됨에 따라, 전자파 간섭 현상에 의한 오동작 대처를 위한 각국의 전자

「이 연구는 2016년도 충남대학교 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임.」

한국자동차연구원(KATECH, Korea Automotive Technology Institute)

*충남대학교 전파정보통신공학과(Department of Radio and Information Communications Engineering, Chungnam University)

· Manuscript received December 13, 2019 ; Revised January 3, 2020 ; Accepted January 21, 2020. (ID No. 20191213-134)

· Corresponding Author: Jae-Hyun Lee (e-mail: jaehyun@cnu.ac.kr)

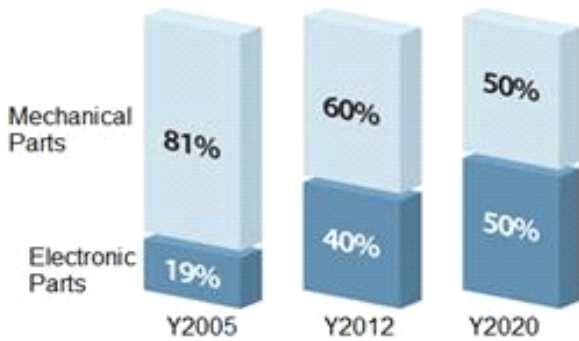


그림 1. 자동차의 전장 부품 비중 [스트래티지 애널리틱스]
Fig. 1. Trend on the proportion of electrical components in vehicles [Strategy Analytics].

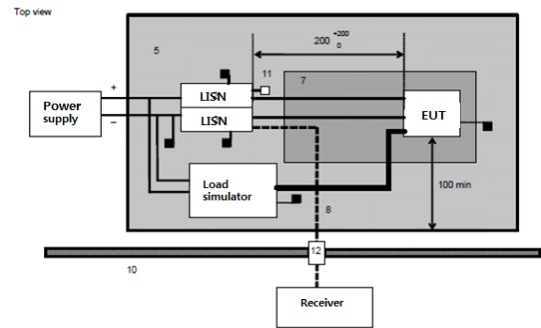
과 규제 강화로 전자파 대책 설계와 자동차 EMI/EMC (ElectroMagnetic Interference / ElectroMagnetic Compatibility) 평가 필요성이 급증하고 있다. 자동차 전장부품 개수 증가로 차량내 배선이 차지하는 비중이 확대되어 전자기파 방출 가능성이 높아지고 있다. 따라서, 전장부품의 EMC 평가에서 배선 구성을 무시 할수 없게 되었다. 이와 같은 환경적인 요소가 EMI 평가결과에 영향을 미친다면 이는 시험기관의 EMI 평가결과와 신뢰성을 저하시킬 것이다. 본 논문에서는 전장품의 접지길이가 규격 범위 내에서 변화될 때 전자파 복사방출량을 시뮬레이션과 측정을 통해 비교 분석하였다.

II. CISPR 25 측정에서의 접지 환경

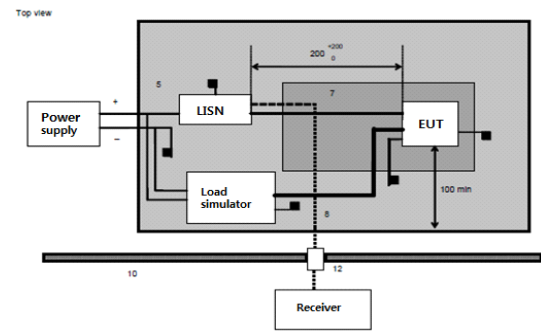
CISPR 25^[2]의 EMI에 대한 한도치 및 측정법 권고에 의하면 전자기파 방출을 기기 외함(enclosure), 전원배선, 신호배선 등을 통해 자유공간으로 방출되는 복사방출과 전원배선과 신호배선을 통해 다른 기기로 방출되는 전도방출로 분류하고 있다.

부품을 차량 차체를 모사한 접지타자 위에 설치하고 시험을 진행하게 되는데, 차량배선의 접지조건을 그림 2와 같이 2가지로 분류한다[CISPR 25, 6.1.2항]. 차량 내 배터리 (-)선 길이가 200 mm를 기준으로 그 이상일 때는 원지점 접지, 그 이하일 때는 근지점 접지로 분류한다. 그림 2(a)는 전도방출 원지점 접지 시험환경이며, 그림 2(b)는 근지점 접지 시험환경이다^[2].

일반적으로 원지점 접지를 차량에서는 사용하고 있으



(a) 원지점 접지된 피시험기기
(a) Remotely grounded EUT



(b) 근지점 접지된 피시험기기
(b) Locally grounded EUT

그림 2. CISPR 25 전도방출 측정 시험환경
Fig. 2. Test set-up of CISPR 25 conducted emissions.

며, 그 외에 차량용 발전기, 시동 모터, 차량용 안테나, ECU(Engine Control Unit), ACU(Airbag Control Unit) 등이 근지점 접지를 사용하는데, 이는 불필요한 와이어 하니스 설치를 줄여 차량의 무게와 전자기적 노이즈 이동경로를 줄이기 위함이다.

실제 차량에서 차량 형태 또는 부품 배치에 따라 근지점 접지길이가 일정하지 않은데, EMC 시험소에서는 실제의 정확한 근지점 접지길이를 파악할 수 없기 때문에 EMC 시험자 또는 EMC 시험소 별로 근지점 접지길이에 차이가 발생할 수 있다.

III. 시뮬레이션 및 측정

그림 3은 복사방출 시험환경으로, 배선길이는 복사방

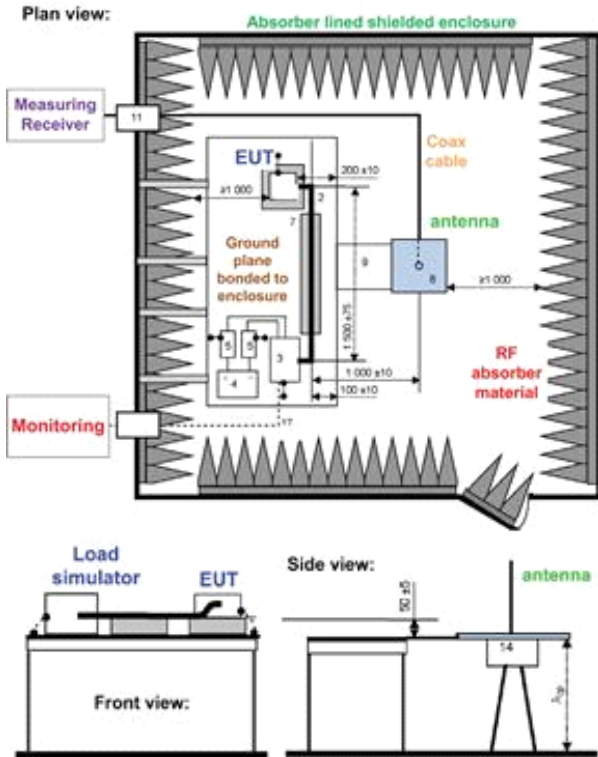


그림 3. CISPR 25 복사방출 시험환경: 원지점 접지 / 근지점 접지

Fig. 3. Test set-up of CISPR 25 radiated emission: remotely/locally grounded.

출 시험환경 기준을 따라 구성되며, 접지 배선은 전도방출 시험환경 기준^[2]을 따라 구성하였다.

근지점 접지에 따른 복사방출량을 CST사의 MWS (MicroWave Studio)를 이용하여 시뮬레이션하였다. 복사방출량 측정 챔버에서 사용하는 접지타자도 시뮬레이션에 포함시켰다. 접지타자 위에 전원선과 접지선(근지점 접지선)을 복사방출량 측정 형태로 배치하였으며, 전원선은 2,100 mm으로 고정하고, 근지점 접지길이를 50, 100, 150, 200 mm로 변경시켰다. 전원선의 중심으로부터 1,000 mm 떨어진 곳에서의 복사방출량을 시뮬레이션하였다.

그림 4는 복사방출량 시뮬레이션(프로그램: CST사 MWS)에 사용된 주요 측정 구성이다. 접지타자 크기는 2,500 mm × 1,000 mm × 900 mm (가로 × 세로 × 높이)이며, 그라운드 스트랩도 챔버 벽면에 연결되는 형태로 구성하였다. 잡음 측정을 위한 전기장 프로브 위치는 테

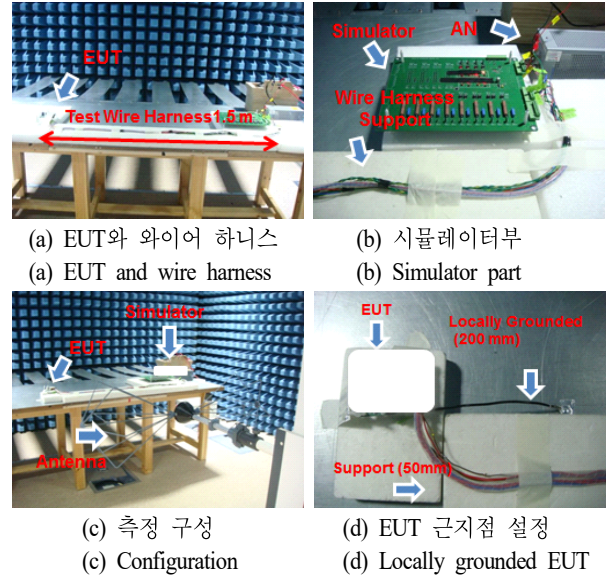


그림 4. 측정 셀업

Fig. 4. Measurement set-up.

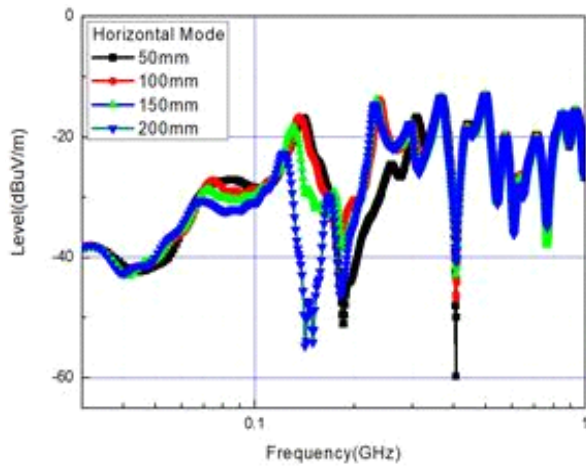
이블 가장자리에서 900 mm, 챔버 바닥으로부터 높이 1,000 mm인 곳에 위치하도록 하였다. 접지타자 위에 부품을 추가하여 전원선과 피시험 기기의 근지점 접지를 배치한 것이다. 접지타자 및 전기장 프로브를 포함하여 경계를 설정하여, 경계조건은 모든 면을 오픈(open, add space)으로 설정하여 시뮬레이션하였다.

피시험기기(equipment under test: EUT)에서 발생하는 전자파 잡음을 전원선에 인가하기 위하여 전원선과 피시험기기 사이에 discrete edge port를 설정하고, 포트 전압을 1 V로 하여 잡음을 인가하였다. 그리고 근지점 접지를 접지타자에 연결하였다. 그리고, 중단 저항부로 50 Ω을 통하여 접지타자와 연결하였다.

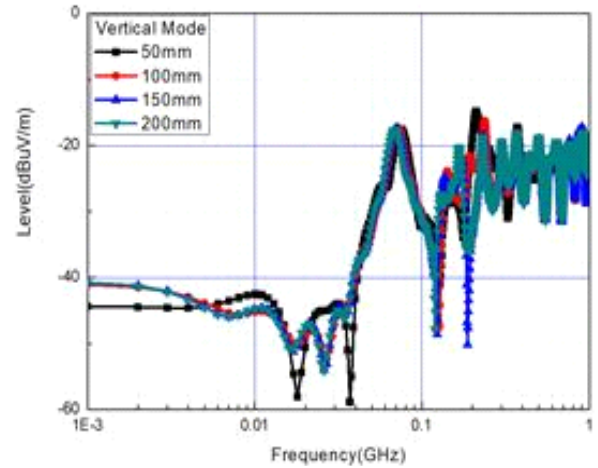
그림 5와 그림 6은 근지점 접지길이 변화(50~200 mm)에 따른 안테나 수평/수직 모드 복사방출량을 시뮬레이션한 결과이다.

시뮬레이션 주파수 범위는 수평모드의 경우 30 MHz~1 GHz까지, 수직모드의 경우 150 kHz~1 GHz이다. 근지점 접지길이 변화에 따른 복사방출량 변화는 100~200 MHz 범위에서 크게 나타난다. 근지점 접지길이가 짧아질수록 공진주파수가 높아짐을 볼 수 있다.

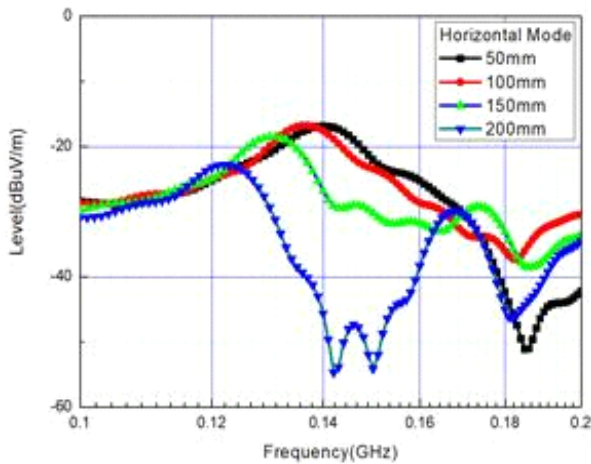
표 1은 근지점 접지길이 변화에 의한 수평모드와 수직



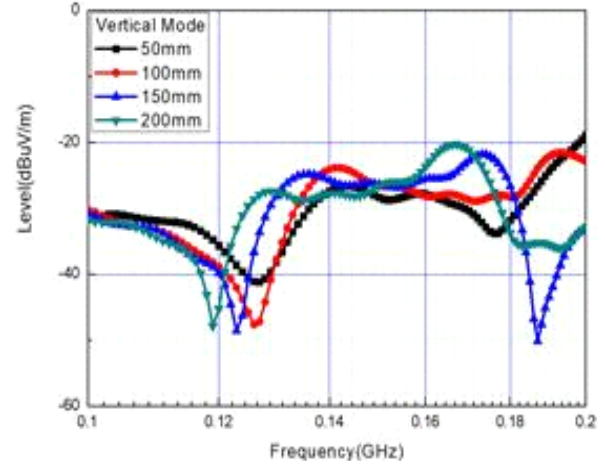
(a) 30~1,000 MHz



(a) 0.15~1,000 MHz



(b) 120~170 MHz



(b) 120~170 MHz

그림 5. 수평모드 시뮬레이션 결과

Fig. 5. Simulated result for horizontal mode.

그림 6. 수직모드 시뮬레이션 결과

Fig. 6. Simulated result for vertical mode.

표 1. 수평모드와 수직모드의 공진주파수 시뮬레이션 결과

Table 1. Simulated resonance frequencies for horizontal mode and vertical mode.

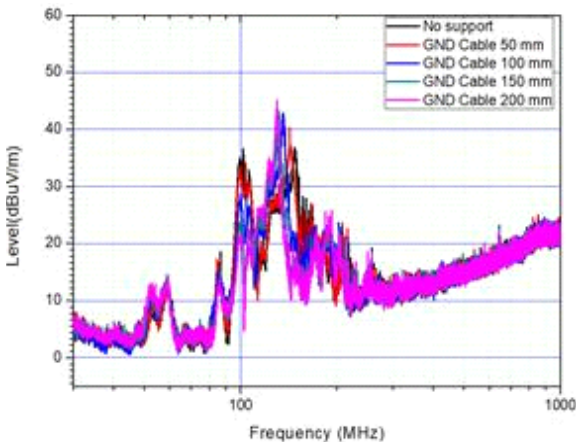
Locally grounded length (mm)	Horizontal mode			Vertical mode		
	Resonant frequency (MHz)	Variation of resonant frequency (MHz)	Radiated electric field ($\text{dB}\mu\text{V/m}$)	Resonant frequency (MHz)	Variation of resonant frequency (MHz)	Radiated electric field ($\text{dB}\mu\text{V/m}$)
200	122.31	—	-22.79	129.03	—	-27.38
150	130.66	+ 8.35	-18.45	135.95	+ 6.92	-24.78
100	136.64	+ 5.98	-16.73	141.54	+ 5.54	-23.83
50	140.05	+ 3.41	-16.87	143.55	+ 2.01	-26.68

모드의 공진주파수와 방사방출량을 시뮬레이션한 결과이다. 복사방출의 주 구조인 케이블이 수평방향으로 배치되어 있어서, 수평모드 방사량이 수직모드 방사량에 비하여 큼을 확인할 수 있다. 공진주파수 변화량이란 이전 접지길이에서의 공진주파수와 현 접지길이에서의 공진주파수 차이를 나타낸 것이다.

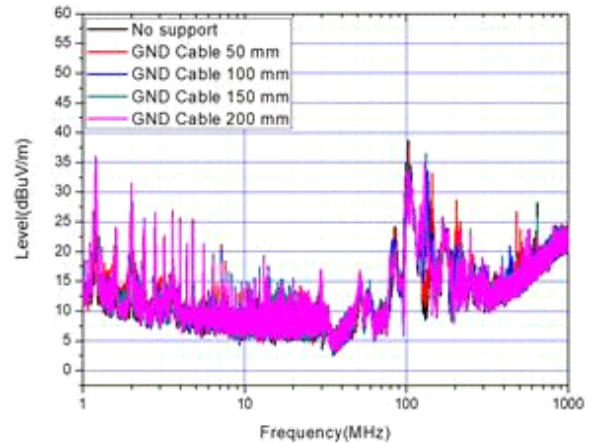
다음으로 근지점 접지를 사용하는 자동차 부품을 CISPR 25 규격을 적용하여 평가하였다. Airbag Control Unit(ACU)을 사용하여 근지점 접지길이 변화에 따른 복사방출량을 CISPR 25 시험규격을 적용하여 측정하였다. 측정조건은 시뮬레이션 방법과 동일하게 근지점 접지길

이를 50~200 mm로 설정하였고, 접지탁자에 피시험품을 배치하였다.

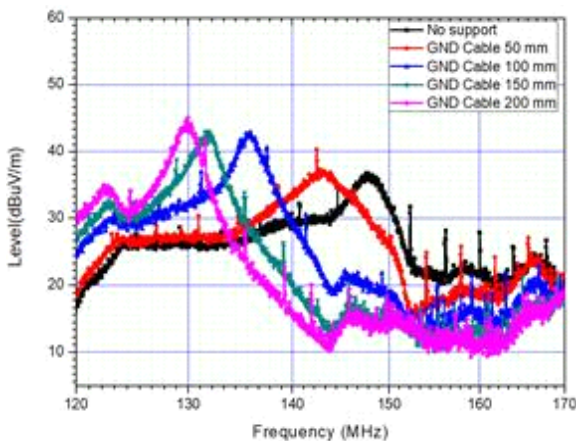
그림 7과 그림 8은 근지점 접지길이 변화에 따른 수평모드와 수직모드 복사방출량을 측정된 결과로, 근지점 접지길이 변화에 따라 ACU의 전자파 잡음 측정결과가 상이한 것을 확인하였다. 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 측정결과도 근지점 접지길이가 짧아질수록 공진주파수가 높아지는 것을 확인하였다. 그림 7과 그림 8의 결과를 정리하면 표 2와 같다. 복사방출의 주 경로인 와이어 하니스의 방향이 접지탁자에 수평방향으로 배치되어 있어서, 수평모드 복사방출량이 더 큰 것을 확인할 수 있다. 근지



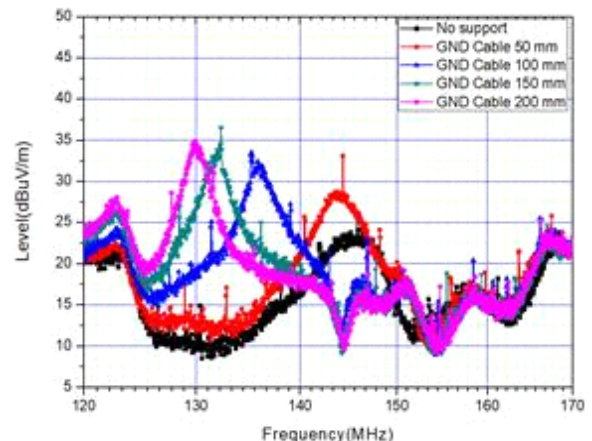
(a) 30~1,000 MHz



(a) 1~1,000 MHz



(b) 120~170 MHz



(b) 120~170 MHz

그림 7. 수평모드 복사방출량 측정 결과

Fig. 7. Measured radiated emission for horizontal mode.

그림 8. 수직모드 복사방출량 측정 결과

Fig. 8. Measured radiated emission for vertical mode.

표 2. 수평모드와 수직모드의 복사방출 측정 결과

Table 2. Measured radiated emission for horizontal mode and vertical mode.

Locally grounded length (mm)	Horizontal mode			Vertical mode		
	Resonant frequency (MHz)	Variation of res. freq. (MHz)	Radiated electric field (dB μ V/m)	Resonant frequency (MHz)	Variation of res. freq. (MHz)	Radiated electric field (dB μ V/m)
200	129.75	—	45.10	129.90	—	34.80
150	131.95	+ 2.20	43.00	132.35	+ 2.45	36.50
100	135.60	+ 3.65	42.60	135.85	+ 3.50	32.40
50	142.45	+ 6.85	40.30	143.75	+ 7.90	28.60
0	147.70	+ 5.25	36.80	145.95	+ 2.20	25.60

점 접지길이 0 mm는 지지대를 제거하고, 접지탁자에 바로 접지한 경우이다.

이와 같은 근지점 접지길이 변화에 따른 MWS 시뮬레이션과 측정에 의한 공진주파수를 접지길이를 포함한 와이어 하니스 전체 길이(l)의 공진주파수 f_0 (단순 계산 공진주파수로 칭했으며, 길이가 한 파장에 해당하는 주파수^[3], $f_0 = c/l$, c = 빛의 속도)와 비교하였다. 그림 3을 참고하면, 근지점 접지길이는 200 mm이고, 배터리 (+)선 길이는 측정용 지그에 연결되는 길이까지 포함한다면 2,100 mm이다. 이에 전체적 길이를 고려하면 2,300 mm가 시험 배선의 전체 길이이다. 근지점 접지길이를 50 mm 단위로 변경하면 배선 길이는 2,300, 2,250, 2,200, 2,150, 2,100 mm가 된다. 이 세 가지 방법으로 구해진 공진주파수의 비교를 표 3과 표 4에 정리하였다. 측정된 공진주파

수와 와이어 하니스 길이로 시뮬레이션된 공진주파수의 차이는 3.5% 이하이고, MWS로 시뮬레이션된 공진주파수의 차이는 6% 이하이다. 일반적으로 MWS와 같은 EM(ElectroMagnetic) 시뮬레이터의 결과가 측정값과 더 유사함을 보이므로, 본 논문에서 구성한 시뮬레이터 모델들에 대한 검토가 필요하다고 판단된다. 물론, 와이어 하니스 모델로는 복사방출량은 예측할 수 없으며, 수평모드와 수직모드도 구분할 수 없다.

복사방출 측정결과에 CISPR 25 규격을 적용하여 수평모드를 그림 9에, 수직모드를 그림 10에 나타내었다. 근지점 접지길이가 200, 150, 100 mm인 경우 공진주파수가 규제 대역에 있지 않으므로 문제가 없으나, 근지점 접지길이 50, 0 mm인 경우 140~150 MHz 범위에서 규격 상한을 초과한다.

표 3. 수평모드의 공진주파수

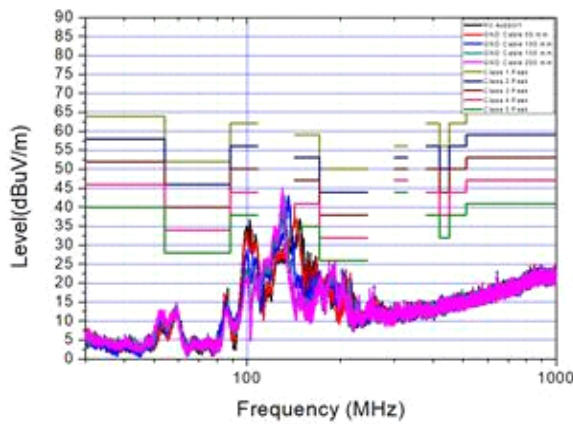
Table 3. Resonance frequencies for horizontal mode.

Locally grounded length (mm)	Wire harness length l (cm)	Measured resonant frequency (MHz)	Simple calculation			Simulation		
			Res. freq. (f_0) (MHz)	Difference with measured value		Res. freq. (MHz)	Difference with measured value	
				MHz	%		MHz	%
200	230.0	129.75	130.43	0.68	0.52	122.31	7.44	5.7
150	225.0	131.95	133.33	1.38	1.03	130.66	1.29	0.9
100	220.0	135.60	136.36	0.76	0.56	136.64	1.04	0.8
50	215.0	142.45	139.53	2.92	2.09	140.05	2.4	1.7
0	210.0	147.70	142.86	4.84	3.39	—	—	—

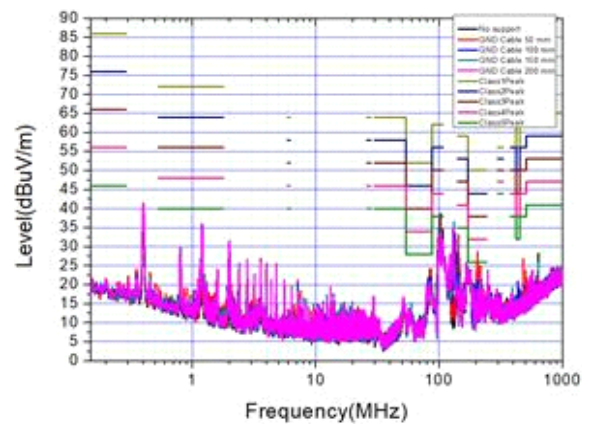
표 4. 수직모드의 공진주파수

Table 4. Resonance frequencies for vertical mode.

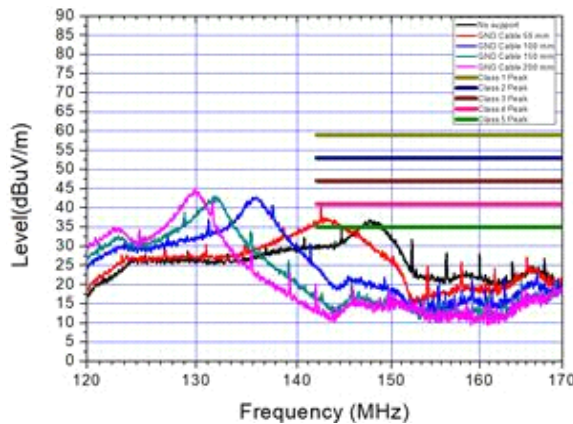
Locally grounded length (mm)	Wire harness length l (cm)	Measured resonant frequency (MHz)	Simple calculation			Simulation		
			Res. freq. (f_0) (MHz)	Difference with measured value		Res. freq. (MHz)	Difference with measured value	
				MHz	%		MHz	%
200	230.0	129.90	130.43	0.53	0.40	129.03	0.87	0.7
150	225.0	132.35	133.33	0.98	0.73	135.95	3.60	2.65
100	220.0	135.85	136.36	0.51	0.37	141.54	5.69	4.02
50	215.0	143.75	139.53	4.22	3.02	143.55	0.20	0.14
0	210.0	145.95	142.86	3.09	2.16	—	—	—



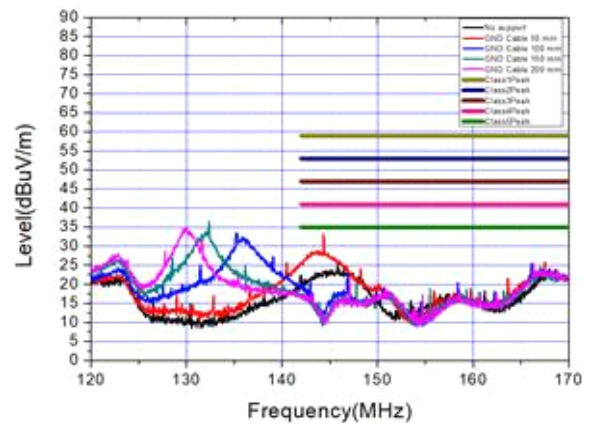
(a) 30 ~ 1,000 MHz



(a) 0.15 ~ 1,000 MHz



(b) 120 ~ 170 MHz



(b) 120 ~ 170 MHz

그림 9. 수평모드 측정 결과와 CISPR 25 규격의 비교

Fig. 9. Measured radiated emission compared with CISPR 25 specification for horizontal mode.

그림 10. 수직모드 측정 결과와 CISPR 25 규격의 비교

Fig. 10. Measured radiated emission compared with CISPR 25 specification for vertical mode.

이처럼 근지점 접지길이를 규격 범위 내에서 조절한 경우에도 특정 길이 조건에서 시험결과에 영향을 미칠 수 있는 것을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문은 복사방출량을 측정하는 피시험기기의 접지 길이를 CISPR 25의 근지점 접지 규격 범위 내에서 조절하였음에도 불구하고, 측정되는 복사방출량이 특정 주파수 대역에서 접지길이 변화의 영향을 크게 받음을 확인할 수 있었다.

시뮬레이션을 통하여 근지점 접지길이에 따른 복사방출의 공진주파수를 분석하였고, CISPR 25 적합성 평가 무반향실에서 복사방출 결과를 측정하였다. 그 결과, 복사방출량을 측정할 때 전장품의 근지점 접지를 신중하게 고려하지 않으면 특정 주파수 대역에서 시험을 진행할 때마다 측정 결과가 달라질 수 있어서 제품의 양부판정(pass/fail)에 중요한 변수가 될 수 있으므로, 근지점 접지길이를 무시할 수 없다.

이 같은 문제점을 보완하기 위해 일부 자동차 제조사에서 근지점 접지를 고려하여 부품 EMI 시험 환경을 구성하는데, 특히 자동차 제조사인 볼보 규격에서는 근지점 접지를 사용하는 부품이 실차에 직접적으로 차량 샤시에 연결될 경우 동일하게 부품시험에서도 그라운드 면에 절연 지지대 없이 바로 설치하는 것을 제안하고 있다^[4]. 이처럼 자동차 전장품의 복사방출량 시험 중 결과에 큰 변수가 될 수 있는 근지점 접지길이를 자동차에 장착되는 환경과 동일하게 접지길이 조건을 맞추어 전장품의 복사방출량 시험 시에도 동일한 환경으로 설치하여야 한다는 것이다. 이렇게 하여 근지점 접지를 사용하는 부품을 측정할 때

시험소 및 시험자에 따른 측정 오차를 감소시킬 수 있을 것이다.

본 논문의 결과를 활용하여 자동차 부품 EMI 시험 규격인 CISPR 25에서의 근지점 접지길이 변화에 따른 복사방출 측정결과, 오차에 대한 영향력을 인지하고, 향후 규격 수정 작업 등을 통하여 근지점 접지에 대한 기준을 현실에 맞게 재개정한다면 자동차 부품 복사방출량 측정의 정확성 및 신뢰성 제고에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] T. S. Song, "EMC standardization trend of high voltage components for electric vehicles," in *the Proceedings of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Jan. 2013, vol. 24, no. 1, pp. 6-11.
- [2] Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers, CISPR 25, *International Electrotechnical Commission(IEC)* 2008.
- [3] E. K. Koh, M. K. Shim, E. J. Hong, J. Y. Lee, S. H. Park, and I. G. Kwak, et al., "EMI reduction analysis by a conductor between frames," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 19, no. 2, pp. 263-270, Feb. 2008.
- [4] *VCG EMC: Component requirements electromagnetic compatibility specification components*, REQ-043878, *Volvo Car Corporation*, 2014.

홍 현 귀 [한국자동차연구원/연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-9452-0987>



2010년 2월: 한밭대학교 제어계측공학과 (공학사)
2017년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학 석사)
2006년 2월~현재: 한국자동차연구원 연구원
[주 관심분야] EMI/EMC

이 재 현 [충남대학교 교수]

<https://orcid.org/0000-0001-7697-3982>



1978년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
1985년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자과 (공학석사)
1993년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자과 (공학박사)
1991년 2월~2001년 2월: 한국전자통신연구원 책임연구원

2001년 2월~현재: 충남대학교 전파공학과 교수

[주 관심분야] PCB에서의 EMC/EMI, 위성통신 시스템 및 RF 부품, Magnetostatic Wave Device

김 은 하 [한국자동차연구원/센터장]

<https://orcid.org/0000-0002-7068-0422>



1993년 2월: 서울과학기술대학교 전자공학과 (공학사)
2004년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학 석사)
2018년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학 박사)
1990년 2월~1993년 2월: 국립공업기술원

연구원

1993년 3월~1996년 2월: (주)마마 연구원

1996년 3월~현재: 한국자동차연구원 전자기파연구센터 센터장

1997년 2월~현재: CISPR D 자동차 분과, ISO TC22 WG3 전문위원

[주 관심분야] 초고주파 회로 설계, EMI/EMC