

## 전계의 균일성을 고려한 자동차의 전자파 내성시험 방법에 관한 연구

배민관<sup>\*1)</sup> · 신재곤<sup>1)</sup> · 용기종<sup>1)</sup> · 우현구<sup>2)</sup>

교통안전공단 자동차성능연구소<sup>1)</sup> · 경일대학교 기계공학과<sup>2)</sup>

### The Electro-Magnetic Susceptibility Test Method of a Road Vehicle Considering the Field Uniformity

Mingwan Bae<sup>\*1)</sup> · Jaekon Shin<sup>1)</sup> · Geejoong Yong<sup>1)</sup> · Hyun-Gu Woo<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>EMC Team, Korea Automobile Testing & Research Institute, Gyeonggi 445-871, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kyungil University, Gyeongbuk 712-701, Korea

(Received 9 September 2009 / Accepted 21 January 2010)

**Abstract** : Owing to revolutionary developments in automobile technologies, a variety of advanced vehicles - hybrid vehicle, hydrogen fuel-cell vehicle, electric vehicle, etc. - emerges recently. The safety is getting more important for developing automobiles. The electro-magnetic compatibility has to be assured, since those advanced vehicles are equipped with various new electronic systems. Electro-magnetic compatibility tests, in general, consist of an EMI (electro-magnetic interference) test and an EMS (electro-magnetic susceptibility) test. We investigated the susceptibility test method suggested in KMVSS (Korean Motor Vehicle Safety Standard) as the EMS test method. A series of experiments results that the above test method should be partially revised to comply with a Korean governmental standard method. In this paper, the some directions of modifications are presented to enhance the quality of the above EMS test method.

**Key words** : Field probe(전계강도측정장치), Reference point(기준점), Susceptibility(내성), Calibration(교정), Substitution method(대용법), Field strength(전계강도), KMVSS(한국자동차안전기준)

### 1. 서론

최근에는 자동차의 사용 목적이 운송수단뿐만 아니라 안전성 및 편의성도 중요하게 고려되고 있다. 이러한 추세에 따라 자동차부품에 적용되는 전기, 전자 및 정보통신의 기술이 급속하게 발전되고 있으며 첨단 시스템을 적용한 하이브리드 및 전기자동차가 출시되고 있다. 또한 GM, 포드, 님러, 현대 등 전 세계 대부분 자동차 제작사는 수소연료전지 자동차를 개발하고 있는 등, 자동차의 첨단 전기, 전자부품들이 지속적으로 연구, 개발되고 있다. 이에

따라 자동차 전자 부품들의 안전성을 확보하기 위한 평가 방법 중 전자파 적합성(Electro-Magnetic Compatibility) 시험방법도 꾸준히 기준이 강화되어 가는 추세이다. 자동차의 전자파 적합성 시험 방법은 크게 자동차의 부품에서 발생하는 전자파가 다른 시스템에 영향을 주는지를 평가하는 전자파 방사(Electro -Magnetic Interference) 시험과 외부 전자파로 인한 자동차의 안전성을 평가하는 전자파 내성(Electro-Magnetic Susceptibility) 시험으로 구성된다. 본 연구에서는 두 종류 시험 중 자동차 전자파 내성시험 방법에 관한 국내·외의 규격 및 기준을 살펴보고 문제점 및 개선 방향을 제시하고자 한다.

\*Corresponding author, E-mail: bmg4540@nate.com

전자파 내성시험의 전계강도 인가방법<sup>1,2)</sup>에는 Substitution Method와 Closed-Loop Leveling Method가 있다. 본 연구에서는 현재 국내·외적으로 많이 사용되며 재현성이 뛰어난 Substitution Method<sup>3,4)</sup>를 사용하였으며, 교정방법으로는 현재 국내에서 법규로 시행중인 One Field Probe 방법을 사용하였다. 현재 양산되고 있거나 개발 중인 자동차 전장품의 종류 및 위치를 고려하여 시험을 실시하였으며, 위치별 전계강도 측정값과 측정위치의 분포정도를 확인하여 내성시험 방법의 타당성을 조사하였다.

이렇게 확인된 결과를 통하여 현재 시행되고 있는 시험 방법의 문제점을 분석하고 개선점에 대해 고찰하여 향후 국내안전기준 및 전자파 국제규격의 제·개정 시 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 전장품 분포 및 규격 조사

### 2.1 자동차 종류별 전장품 분포

내연기관 자동차는 현재 양산 중인 자동차 중 9대, 전기자동차는 국내업체에서 생산중인 저속 전기자동차 중 2대, 그리고 수소연료전지자동차는 현재 개발 단계에 있는 국내·외 차종 3대를 선정하여 전장품의 분포를 조사하였다.

내연기관자동차는 근래에 이르러 고도의 기술력이 집약된 전장품이 많이 탑재되어 있다. Fig. 1은 일반적으로 자동차 내부에 들어가는 Wiring harness의 분포를 나타낸 그림으로, 자동차를 크게 엔진룸 부분(Fig. 1의 Front), 승객 탑승부분(Fig. 1의 Middle), 수화물 공간(Fig. 1의 Rear)으로 구분하였을 때 대부분의 전장품은 엔진룸 부분과 승객 탑승부분 전면, 즉 계기판 쪽으로 모여 있음을 알 수 있으며 자동차 내부에 들어가는 엔진룸 부분과 양쪽 가장자리 부분에 Wiring harness가 밀집되어 배치된 것을 알 수 있다.

전기자동차는 전면에 각종 컨트롤러와 배터리 충전기 등이 배치되어 있으며 후면에는 배터리 BMS(Battery Management System), 모터 등이 배치되어 진, 후면으로 전장품이 집중 분포되어 있다.

한편, 수소연료전지자동차의 전면에는 수소의 화학 반응을 통해 전기를 발생시키는 스택(Stack), 중앙 부분은 스택을 컨트롤 해주는 BOP(Balance of

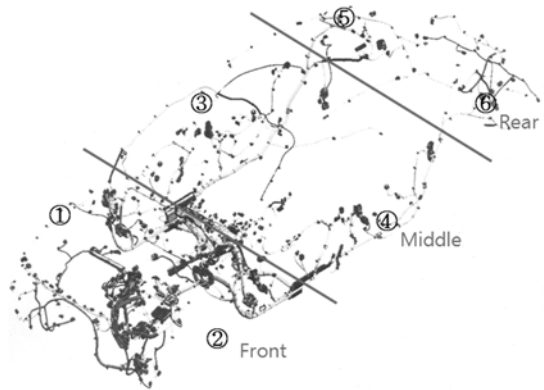


Fig. 1 Wiring harness in a vehicle

Plant) System과 Capacitor, 후면에는 수소저장탱크와 수소누출센서 등이 위치하고 있으며, 전장품들이 자동차 전체에 고른 분포를 보이고 있다.

### 2.2 전장품별 장착위치

국내 내연기관 자동차 중 전장품이 많은 승용자동차에 대하여 위치별 장착된 전장품 종류를 조사하였다. 대부분의 전장품을 제어하는 모듈은 엔진과 차체사이 좌우측 여백, 즉 Fig. 1의 ①, ②에 장착되어 있고 그 모듈에서 나온 Wiring Harness는 ③, ④, ⑤, ⑥에 장착된 각종 전장품으로 연결되어 있다. 전자파는 특성상 각 단품별 모듈에 직접적 영향을 미치기도 하나 Wiring Harness를 통해 전도되어 영향을 미치기도 한다.

위치별 전장품 종류를 보면 ①, ②, ⑤, ⑥번에는 ABS, TCS, TPMS, VDC, EBD 등과 같은 브레이크 및 타이어 관련 안전시스템 등이 위치되어 있고 ③, ④에는 Airbag, 전동시트, 전동 Side mirror, Auto Door Lock, Auto Window 등이 있다. 또한 전면에는 차간거리 제어시스템, Active 헤드램프, 지능형전조등 시스템 등이 있고 후면에는 주차보조시스템, 후방모니터링 시스템 등이 있다. 조사한 결과, 전장품들 대부분이 자동차 좌우측 가장자리에 위치하고 있다.

### 2.3 시험 관련규격

자동차 전자파 내성시험 방법에 관한 규격과 법규 중에서 현재 Wiring Harness 및 전장품에 관련된

어 언급되어 있는 부분을 조사, 검토하였다. 국내 자동차 안전기준<sup>5)</sup>에 의하면, 대부분의 Wiring Harness와 전장품의 장착 위치가 후면에 있을 경우에는 자동차를 수평으로 180° 회전하여 전면에 위치한 경우와 동일한 방법으로 시험한다. 그리고 길이가 긴 자동차(승용 및 밴형 자동차는 제외)와 같이 전장품들이 자동차의 중앙 부분에 많을 경우는 좌, 우측방향에서도 시험할 수 있다고 명시되어 있다.

2004년에 개정되어 현재까지 적용중인 유럽 법규 EEC 2004/104<sup>6)</sup>에는 Wiring Harness와 전장품의 장착 위치가 후면일 경우 후면도 시험할 수 있도록 되어 있으며 이러한 것들이 중앙에 위치하는 긴 자동차(이륜, 승용 및 밴형 자동차는 제외)는 좌, 우측방향도 시험을 할 수 있다고 명시되어 있다.

또한 유럽 법규 ECE Regulation 10.3<sup>7)</sup>의 경우, EEC 2004/104와 동일하게 명시되어 있다. 기타 일부 자동차 제작사 규격<sup>8)</sup>에는 자동차의 특성(Wiring Harness와 전장품의 장착위치)에 따라 EMC 전문가와 상의 후 Fig. 2와 같이 자동차의 한가운데를 중심으로 45° 간격의 총 8 포인트에서 내성시험이 가능하다고 명시되어 있다.



Fig. 3 Absorber-lined chamber for test

폐효과는 100dB 이상이며 Hybrid Type의 흡수체가 사용되었다.

전자파 내성시험<sup>3,4)</sup>은 일정한 신호를 생성하는 신호발생기(Signal Generator), 그 신호를 일정한 크기의 전계강도만큼 증폭시켜주는 전력증폭기(Amplifier), 전력 값을 측정하는 전력 측정기(Power Meter) 및 안테나(Antenna)등을 이용하여 전자파를 인가하며, 인가된 전자파는 프로브(Probe)를 이용하여 측정하였다. 이때 프로브를 일정한 위치에 고정하기 위해 전자파 시험에 영향을 주지 않는 재질을 이용하여 지그(Jig)를 제작하여 사용하였다.

본 시험에서는 저주파용 FSLPDA(Fore Shortened Log Periodic Array) 안테나, 고주파용 DALPDA(Dual Array of Log Periodic Array) 안테나와 전계강도 측정 장치인 FP3000A 프로브를 사용하였으며 세부 사양은 Table 1과 같다.

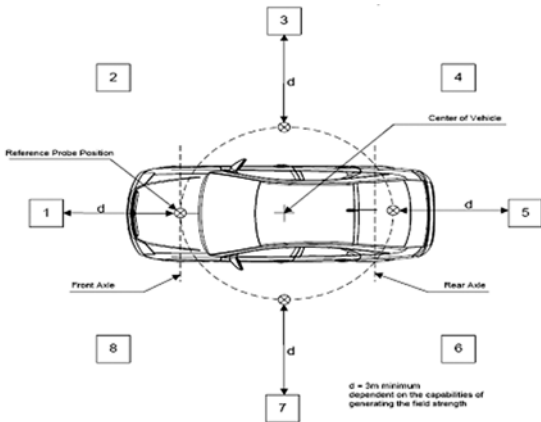


Fig. 2 Measurement positions around a vehicle

### 3. 시험조건

#### 3.1 시험 장소 및 측정 장비

본 연구를 위해 실시한 시험은 Fig. 3의 전자파 무반사실에서 실시하였으며 유효 면적이 20.4m(L) × 13.2m(W) × 7.0m(H), 사이트 감쇄량 ±4dB 이내, 차

Table 1 Specifications of antenna and probe

Equipment	Model	Frequency range	Manu-facture
Antenna	FSLPDA	20 MHz ~ 220 MHz	ETS
	DALPDA	200 MHz ~ 1 GHz	ETS
Probe	FP3000A	10 kHz ~ 1 GHz	AR

#### 3.2 시험 방법 및 위치

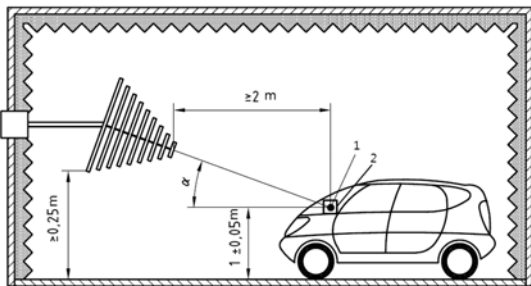
##### 3.2.1 시험방법

본 시험은 국내 자동차안전기준<sup>5)</sup>에 준한 자동차 전자파 내성시험방법에 따라 실시하였다. 이 기준의 측정주파수 범위는 20MHz에서 1GHz까지이며 Substitution Method 중에서 교정방법으로는 One

Field Probe 방법<sup>3)</sup>을 사용하였다. 이 시험방법은 자동차 높이 3m 이상과 이하로 구분되어 실시하도록 되어 있으며 본 시험은 3m 이하의 방법으로 실시하였다. 아래 Fig. 4는 One Field Probe법의 구성도이다. 여기서 프로브는 안테나 송신부의 끝부분과 최소 2m 이상의 거리를 두고, 높이는 바닥에서 1미터인 위치에 3차원 측정이 가능한 등방성 프로브를 설치 (Fig. 4의 2)하여 교정을 실시한다. Fig. 4의 2에서 프로브 위치가 기준점(Reference Point)이며 자동차 보닛과 윈드 스크린이 만나는 위치에서 실내방향으로 0.2m인 지점이다. 여기서는 기준점에서 전 측정 주파수 대역의 전계강도가 30V/m가 측정되도록 출력을 교정한다. 교정의 전계 균일성<sup>3)</sup>을 확인하기 위해서는 기준점 프로브 양옆에 0.5m 간격으로 프로브를 설치하여 전체 측정 주파수 대역의 80% 이상에서 전계강도 값이 기준점에서 측정되는 전계강도 값의 절반 이상이 측정되어야 한다. 즉 측정주파수 범위가 20MHz에서 200MHz까지이고 측정 주파수 간격이 5MHz 이면 범위 내에서 37개의 주파수에서 측정이 이루어지고 이 측정되어지는 37개 주파수의 80%인 약 30개 주파수 이상에서 15V/m이상의 값이 측정되어야 함을 의미한다.

Fig. 4의  $\alpha$ 는 교정시 맞추어진 각으로 시험을 실시할 때는 이와 동일한 각으로 한다.

위의 시험방법으로 연구에 필요한 전계강도 값을 얻고 자동차의 위치에 전자파를 인가하였을 때의 수치를 측정하였다. 본 시험을 하기에 앞서 위에서 제시한 시험방법들을 바탕으로 3가지를 가정하였다.



1. reference point    2. position of field probe  
 $\alpha$ . tilt angle of antenna

Fig. 4 A set-up for one field probe methods<sup>3)</sup>

- 1) 자동차 표면의 굴곡 면과 전자파의 특성을 고려 하였을 때 본 시험은 빈 공간(empty hall)에서 실시하므로 시험을 통해 측정되는 값은 각 위치별 최대값으로 가정한다.
- 2) 앞서 설명된 교정의 유효성 여부를 확인하는 방법(One Field Probe 방법에서 측정주파수 대역의 80% 이상에서 15V/m 측정 여부를 확인하는 방법)을 바탕으로 아래 Fig. 5에서 보이는 Test Point 전체에 적용하여 전계강도를 측정한다.
- 3) 2.1절에서 조사한 자동차에 장착된 전자파의 대략적인 높이를 고려하여 측정 프로브의 높이는 1m로 가정한다.

### 3.2.2 시험위치<sup>10)</sup>

시험을 실시하기 위해 전고, 전폭 및 전장이 길면서 다수의 전자파가 탑재된 S사의 C승용자동차를 기준으로 전자파 측정위치를 정하였다. 이 자동차를 기준으로 Fig. 5와 같이 일정 간격으로 포인트를 지정하고 동일한 위치에 프로브를 설치하여 시험을 실시하였다(Fig. 6).

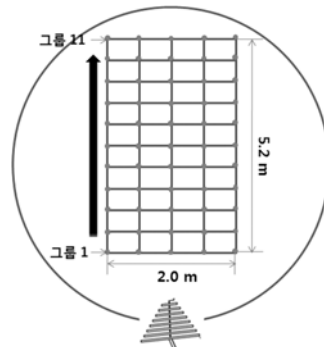


Fig. 5 Test points

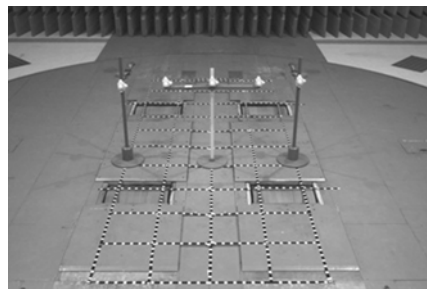


Fig. 6 Probe positions

#### 4. 시험 결과 및 분석

본질적으로 안테나<sup>9)</sup>는 하나의 공간 증폭기(spatial amplifier)이다. 이득(gain)은 안테나의 성능을 평가하는 지수(parameter)로 특정 방향으로 전자파가 어느 정도로 유효하게 방사되는가를 나타내는 척도이며 일반적으로 등방성 안테나(isotropic antenna)를 기준으로 표시하는 상대적인 값이다.

동일한 에너지 량을 높은 이득과 낮은 이득을 갖는 안테나에 인가했을 때 빔 폭(Beam Width)은 아래의 Fig. 7, 8을 통해 볼 수 있다.

빔 폭은 넓고 좁음의 기준으로 반전력 빔 폭(Half Power Beam Width)이라는 지표를 사용한다. 이것은 빔의 최대 방향을 포함하는 평면에서 방사 각도가 최대치의 반이 되는 두 방향 사이의 각으로 정의된다(Fig. 7, 8의 표시부분).

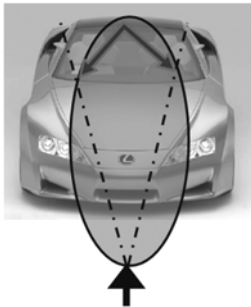


Fig. 7 High gain and narrow beam width

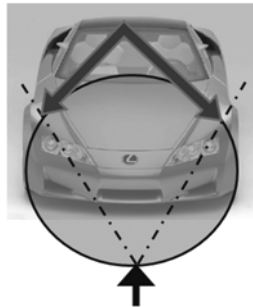


Fig. 8 Low gain and wide beam width

#### 4.1 시험 결과

3.2.2에서 언급된 자동차의 전폭과 전장을 기준으로 가로, 세로 각각 2.0, 5.2m의 존(zone)을 만들어 기준점(Reference Point)을 중심으로 위에서 제시한 3.2.1의 가정 (2)에 준하여 존 내부에 총 55개의 측정 센서 위치를 앞, 뒤, 좌우방향으로 0.5m의 간격을 주어 지정하였다.

전체 시험주파수의 범위 중에서 20MHz에서 200MHz까지는 Fig. 9의 FSLPDA 안테나, 200 MHz에서 1GHz까지는 Fig. 10의 DALPDA 안테나를 사용하여 수직 극성으로 실시하였다.

측정결과에 따른 분석을 하기위해 안테나에서 가장 가까운 쪽 그룹 1에서 부터 가장 먼 쪽 그룹 11까

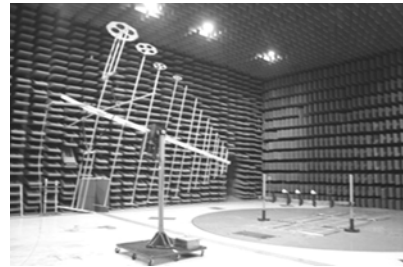


Fig. 9 Set-up using a FSLPDA Antenna

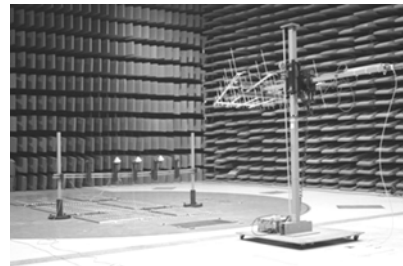


Fig. 10 Set-up using a DALPDA Antenna

지 분류를 하고 안테나별로 비교하였다.

#### 4.1.1 FSLPDA 안테나

측정 주파수 대역에서 주파수 간격(Step Size)을 5MHz로 설정하고 기준점에서 30V/m의 전계강도가 되도록 전자파를 인가하였다. 먼저 현재 국내의 적으로 시험을 실시할 때 사용하는 기준점이 위치한 그룹 3의 프로브 5개의 측정값을 아래의 Fig. 11과 같이 그래프로 나타내었다.

본 시험에서는 시험 시간 등을 고려하여 허용 오차를 30V/m ± 10%로 주었다. 따라서 기준점 프로브 P2는 27V/m에서 33V/m이내에서 형성되는 것을 볼 수 있다.

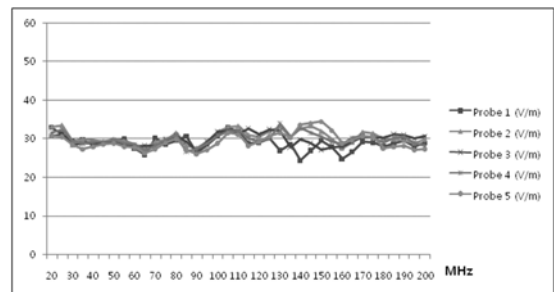


Fig. 11 Measured Values of electric field strength at Line No. 3 (FSLPDA)

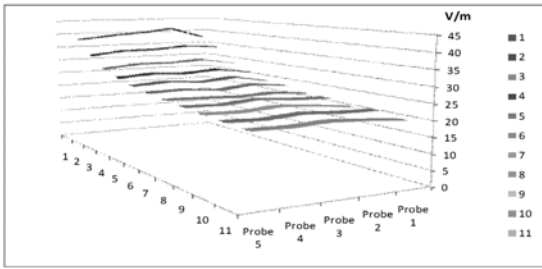


Fig. 12 The 3-dimensional graph of measured values of electric field strength using a FSLPDA antenna

각 프로브 별로 측정된 값의 평균값은 Fig. 12와 같다.

기준점이 포함된 그룹 3을 기준으로 종 방향으로 는 안테나에 가까운 그룹 1, 2에서 인가된 전계강도 값 이상이 측정되고 멀어질수록 전계강도 값이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 횡 방향으로는 각 군의 Probe 1번부터 5번까지 인가된 값의 변화폭이 크지 않으며 이는 FSLPDA 안테나의 빔 폭이 자동차의 전폭보다 작지 않음을 알 수 있다.

아래의 Table 2는 3.2.1 절의 가정 (2)에서 제시한 방법을 적용하여 전체 측정 주파수 대역에서 기준점의 전계강도 30V/m의 절반인 15V/m 이상인 주파수 대역이 전체의 몇 퍼센트인지를 백분율로 나타내었다. 전체 그룹에서 측정주파수 대역의 모든 영역이 15V/m 이상이 측정되어 기준인 80% 이상을 만족하였다.

Table 2 The percent values of the frequency bands, in which the field strength is measured over 15V/m, among the whole frequency ranges by using the FSLPDA antenna (단위: %)

Group \ Probe	1	2	3	4	5
1	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100
6	94.6	100	100	100	100
7	86.5	91.9	89.2	97.3	97.3
8	97.3	91.9	97.3	94.6	100
9	89.2	89.2	91.9	89.2	91.9
10	91.9	89.2	94.6	89.2	94.6
11	89.2	94.6	91.9	100	94.6

#### 4.1.2 DALPDA 안테나

측정 주파수 대역에서 주파수 간격을 10MHz로 설정하고 DALPDA 안테나를 이용하여 기준점에서 30V/m의 전계강도가 되도록 전자파를 인가하였다. 아래의 비교방법들은 4.2.1 절의 비교방법과 동일하다.

아래의 Fig. 13은 그룹 3의 프로브들에서 측정된 값들을 나타내었다.

이 또한 전체적인 경향을 보기 위하여 허용 오차는  $30V/m \pm 10\%$ 로 주었으며 기준점 프로브 P2는 27V/m에서 33V/m 이내에서 측정되는 것을 볼 수 있다. 하지만 Probe 3의 양옆으로 0.5미터씩 떨어진 프로브 Probe 2, 4에서 가장 바깥쪽에 있는 Probe 1, 5로 갈수록 측정값이 현저히 변동하고 있어 기준점의 측정값과는 현저한 차이가 보이는 것을 알 수 있다.

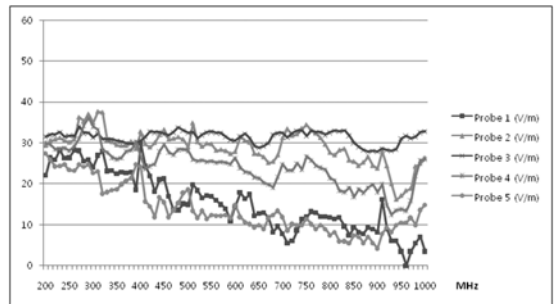


Fig. 13 Measured values of electric field strength at line No. 3 (DALPDA)

각 프로브별로 측정된 값의 평균값을 Fig. 14와 같이 나타내어 전체적인 경향을 3차원으로 보았다. 그룹 1에서 그룹 5까지의 프로브 2, 3은 인가 전계강도에 근사한 값이 측정되었으나 그 뒤로 갈수록 측정값이 현저히 감소되는 것을 볼 수 있었다. 양쪽 가장자리의 프로브 1, 5의 대부분 측정값이 약함을 알 수 있었고, 여기서 DALPDA 안테나의 빔 폭이 자동차의 전폭보다 작음을 알 수 있다. 안테나 방향에서 멀어질수록 그래프의 곡선이 완만해지고 그룹 11에 이르러서는 측정값이 적음을 확인할 수 있다.

전계강도가 기준 미만인 지점을 분류하기 위하여 Table 3에 전체 측정 주파수 대역에서 기준점의 전계강도 30V/m의 절반인 15V/m 미만인 주파수 대역

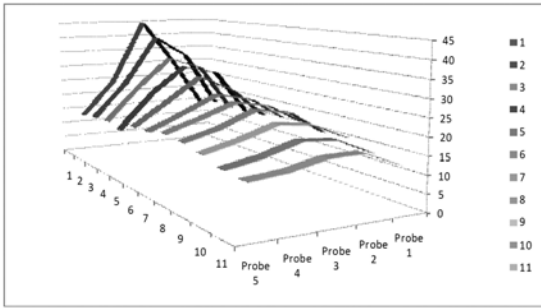


Fig. 14 The 3-dimensional graph of measured Values of electric field strength using a DALPDA antenna

이 전체의 몇 퍼센트인지를 백분율로 나타내었다. 그룹 5까지 프로브 2, 3, 4에서 전체 측정주파수 대역의 80% 이상이 15V/m을 넘는 것으로 측정되었으나 그룹 6부터는 기준 값에 미치지 못하는 부분이 발생하기 시작하였고 양쪽 가장자리에 위치한 프로브 1, 5는 전 그룹에서 기준 값에 미치지 못하였다. 기준값에 미치지 못하는 부분은 음영으로 표시하였다.

Table 3 The percent values of the frequency bands, in which the field strength is measured over 15V/m, among the whole frequency ranges by using the FSLPDA antenna (단위 : %)

Probe Group	1	2	3	4	5
1	32.1	100	100	81.5	28.4
2	48.1	100	100	90.1	40.7
3	46.9	100	100	93.8	34.6
4	53.1	100	100	91.4	43.2
5	55.6	90.1	96.3	81.5	53.1
6	60.1	87.7	95.1	79	58
7	63	85.2	86.4	79	67.9
8	48.1	84	76.5	66.7	56.8
9	56.8	71.6	71.6	61.7	54.3
10	44.4	65.4	64.2	59.3	44.4
11	44.4	60.5	55.6	53.1	48.1

#### 4.2 시험분석

FSLPDA 안테나는 전 지역에서 전계균일성 기준을 만족한다. 이에 비해 빔 폭이 작은 DALPDA 안테나는 프로브 1, 5가 위치한 양쪽 가장자리 측정값이 현저히 낮고 뒷부분으로 갈수록 전계 균일성 기준을 만족하지 못하는 것을 볼 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 자동차 종류 및 위치에 따른 전장품 분포를 조사하고 자동차 전자파 내성시험과 관련된 규격 및 법규를 조사, 분석하였다. 그리고 자동차 전자파 내성시험 방법을 평가하기 위하여 Substitution Method를 사용하였으며 One Field Probe 방법으로 교정하고 기준점에서 정해진 전계 강도가 측정되도록 전자파를 인가하였다. 실제 자동차 전장품의 장착위치에서의 전계강도 값을 측정하였고 그에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 현재 양산되는 자동차의 전장품 장착 위치 분포 조사 결과 그 분포 추세는 기존의 보닛내부에 엔진을 중심으로 좌우와 가장자리 부분에 집약되어 있는 구조이며 전기, 하이브리드 및 수소연료 전지자동차는 전장품이 전체에 골고루 분포되어 있다.
- 2) FSLPDA 안테나는 전 지역에서 전계균일성 기준을 만족한다. 이에 비해 빔 폭이 작은 DALPDA 안테나는 양쪽 가장자리 측정값이 현저히 낮고 뒷부분으로 갈수록 전계 균일성 기준을 만족하지 못한다.
- 3) DALPDA 안테나와 같이 빔 폭이 충분히 넓지 못하여 자동차 전장품이 분포하는 영역이 모두 포함되지 않는 경우에는 현재 사용하고 있는 전자파 내성시험방법의 보완이 필요하다고 판단된다.

### 후 기

본 연구는 국토해양부와 한국건설교통기술평가원 교통체계효율화사업의 연구비지원(07교통체계-미래02)에 의해 수행되었습니다.

### References

- 1) Road Vehicles - Vehicle Test Methods for Electrical Disturbance from Narrowband Radiated Electromagnetic Energy - Part 1: General Principles and Terminology, ISO 11451-1, 2005.
- 2) Performance Levels and Methods of Measurement of Electro-magnetic Compatibility of Ve-

- hicles and Devices(60 Hz to 18GHz), SAE J551/1, pp.1-7, 1994.
- 3) Road Vehicles - Vehicle Test Methods for Electrical Disturbance from Narrowband Radiated Electromagnetic Energy - Part 2: Off - Vehicle Radiation Sources, ISO 11451-2, 2005.
  - 4) Vehicle Electromagnetic Immunity: Off - Vehicle Source, SAE J551/11, 2000.
  - 5) 자동차관련 고시집 : 자동차안전기준시행세칙, 국토해양부, 2009.
  - 6) Official Journal of the European Union, Commission Directive 2004/104/EC, p.44, 2004.
  - 7) United Nations Economic Commission for Europe, UN/ECE Regulation No.10 Revision 3, 2008.
  - 8) General Specification for Vehicle, Electromagnetic Compatibility, GMW3091, 2006.
  - 9) W. L. Stutzman and G. A. Thiele, Antenna Theory and Design, Wiley, New York, 2007.
  - 10) M. G. Bae, J. K. Shin, G. J. Yong and H. G. Woo, "The Calibration for Vehicle Electro-Magnetic Immunity Tests along with Changing Position of Components," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.889-894, 2009.