

L-Probe 원형 패치 안테나를 이용한 ISO 11452-2 근거리 내성 시험 모사에 대한 연구

Near Field Immunity Test Using L-Probe Fed Circular Patch Antenna to Simulate ISO 11452-2 Test Environment

이 두 진 · 한 준 희 · 나 완 수

Doo-Jin Lee · Jun-hee Han · Wan-Soo Nah

요 약

본 논문에서는 근거리 내성 시험을 모사하기 위해 필요한 L-probe 원형 패치 안테나의 설계, 제작 및 성능시험 결과에 대해 기술하였다. 전장품 복사 내성 시험 규격인 ISO 11452-2를 수행하기 위해서는 대형 안테나와 고출력 증폭기 등이 필요하다. 또한, 강한 전계가 인가되는 상태에서 발생된 문제를 분석하고, 대책을 검증하는 것은 시험 규격이 요구하는 환경 이외에도 추가 장비를 구축해야 하며, 이는 많은 비용과 시간을 요구한다. 본 논문에서 제안된 안테나를 근거리 내성 시험에 사용할 경우, 낮은 출력 증폭기를 이용하여 800 V/m 이상의 전계를 발생시킬 수 있다. 이를 활용하면, 복사 내성 시험 시 발생된 문제를 저비용 환경에서 효율적으로 분석하고, 상대적으로 간편하게 재현할 수 있으며, 해결 방법의 유효성을 사전에 검증할 수 있음을 보였다.

Abstract

ISO 11452-2 is a well-known standard that tests the electromagnetic immunity of a device under test(DUT) in an anechoic chamber. ISO 11452-2 needs a large antenna and high-power amplifier to provide a high electric field in the chamber. In this test setup, finding the root cause and debugging issues is not easy because of varied limitation conditions. In this paper, we suggest two L-probe-fed circular patch antennas that emit a high electric field(over 800 V/m in the radar pulse ranges) on DUTs in the near field. Because the DUT is located 50 mm away from the antenna, the power amplifier consumes a small amount of power for the same electric field in ISO 11452-2. The proposed procedure has the advantage of industry usefulness with fast, handy, and cost-effective radiated immunity debugging of the DUT without considering the environment required by ISO 11452-2 and certain types of monitoring equipment with high immunity.

Key words: ISO11452-2, Radar Pulse, Radiated Immunity, L-Probe Fed Circular Patch Antenna, Near Field Immunity

I. 서 론

반도체 기술 발달과 화석연료 고갈 및 환경 규제 강화

로 인해 자동차 분야에서 전장품의 사용 비율은 증가 추세에 있다. 특히 전기차와 자율 주행과 같은 첨단 기술을 적용하기 위해서는 차량부품의 전장화는 필연적이다. 이

성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University)

· Manuscript received August 4, 2020 ; Revised August 24, 2020 ; Accepted September 11, 2020. (ID No. 20200804-069)

· Corresponding Author: Wan-Soo Nah (e-mail: wsnah@skku.edu)

는 제어 방식이 기계식에서 전자제어식으로 변경되는 것을 의미한다^[1]. 따라서 전자파방해(electromagnetic interference)로 인해 발생하는 전장품의 오동작은 운전자의 안전에 직접 영향을 줄 수 있다.

전장품의 오동작을 발생시키는 전자기파(electromagnetic wave: EM)는 전장품 내에서도 발생하지만, 차량 외부에서도 유입된다. 군사용이나 민간 공항에서 사용하는 pulse-modulated radar pulses가 대표적인 예이다. 이 radar pulse의 경우, 고출력 사양(600 V/m)으로 사용 주파수 대역은 1.2~1.4 GHz와 2.7~3.1 GHz 대역이다. 이런 고출력 신호가 전장품에 유입될 수 있기 때문에, 전장품은 이에 대한 내성을 유지해야 한다.

GM과 Ford와 같은 차량 제조사는 이런 상황을 고려하여 제조사에서 관리하는 전장품에 대한 전자기 적합성(electromagnetic compatibility :EMC)에 radar pulse 시험 항목을 포함하고 있다^{[2]~[4]}. 이런 상황을 반영하여 국제 표준 규격(international organization for standardization: ISO 11452-1) 4차 개정 본에서는 PM type 2 signal이라고 하여 radar pulse을 추가하였다^[5]. ISO 11452-2는 ALSE (absorber-lined shield enclosure)에서 진행되는 방사 내성 시험에 대한 규격을 제시한다. 그림 1에 표시된 것 같이 시험 대상(device under test: DUT)과 안테나 사이의 거리가 1 m를 유지하는 상태에서 radar pulse 시험에서 요구하는 600 V/m의 전계 강도를 생성하기 위해서는 고출력 앰프가 필요하다. 또한, 전계 인가 중 DUT에서 발생한 오동작 원인 분석을 위해서는 DUT 상태를 시험 중에 모니터링을 해야 하지만, 그림 1의 시험 환경과 같이 고전자장의 환경 조건에서 오실로스코프와 같은 측정 장비를 DUT에 연결할 경우 다음과 같은 제약사항이 있다. 첫째, 주변의 고전자장에 기인한 측정 장비 자체의 오동작이 발생할 수 있다. 대부분의 측정 장비는 고전자기장 환경이 아닌, 실험실 환경에서 동작을 보증하기 때문에 전장품 방사 내성 시험에서 정상 동작을 보증할 수 없다. 둘째, 전장품 방사 내성 시험에서 정상 동작하는 장비의 경우, 가격이 고가이며, 측정 가능한 주파수 범위가 제한적이다.

본 논문에서는 앞서 언급한 제약 사항을 해결하기 위한 방법으로 근거리 내성 시험 환경을 제안하고, 근거리 내성 시험에서 사용할 안테나를 설계, 제작하고 검증한

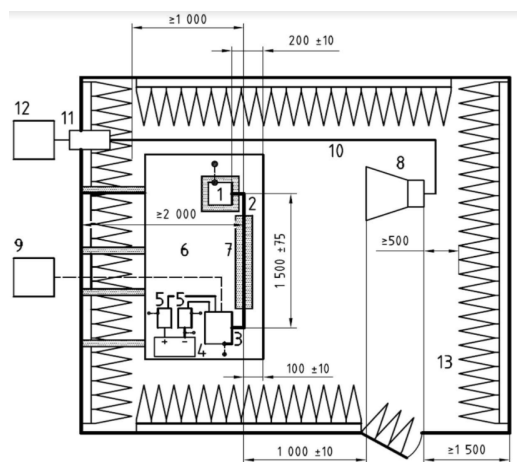


그림 1. ISO 11452-2 1 GHz 이상 시험 환경
Fig. 1. ISO 11452-2 test setup for above 1 GHz.

다. 이것은 ISO 11452-2의 시험 방법을 대체하는 것이 목적이 아니고, 초기 설계 단계에서 간편하게 내성을 추출해서 테스트 대상을 EMC 측면에서 수정/보완 (de-embedding)하기 위해서이다. 2장에서는 L-Probe 원형 패치 안테나의 설계 사양을 확정하기 위해서 근거리 내성 시험 환경에 대해서 기술하였고, 3장은 안테나를 제작하고 성능을 검증하였다. 안테나 성능 검증 시 실제 제품에서 발생한 문제를 본 논문에서 제안한 안테나를 이용한 근거리 내성 시험 환경을 이용하여 재현하였으며, 개선 시료에 대한 개선 여부도 근거리 내성 시험과 ISO 11452-2 시험 결과와 비교하여 본 논문에서 제시한 방법이 타당함을 보였다.

II. 안테나 요구사항 및 설계 변수

2-1 개발 배경 및 안테나 요구 사항

방사 내성 시험 시 DUT에 인가되는 전계 강도는 DUT와 DUT를 구성한 주변 환경에 따라 교정 값 대비 전계 강도가 다르게 인가될 수 있다. 근거리 내성 시험을 위한 안테나 설계를 위해서는 전계강도의 범위를 정의할 필요가 있다. 전기장을 측정하기 위해 광프로브를 사용하였으며, 그림 2와 표 1에서 보는 것과 같이 600 V/m로 교정된 전계 강도를 인가 시 DUT가 제거된 상태에서는 교정값 대비 작은 전계가 측정되는 것을 알 수 있다. 하지만,

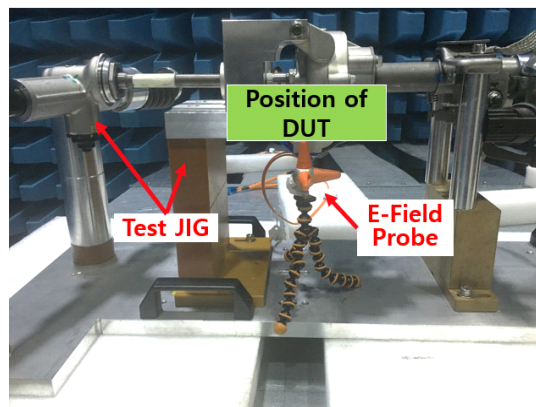


그림 2. Probe 위치 - DUT 유무에 따른 전계 강도 확인을 위한 시험 셋업

Fig. 2. Probe position: E-field strength measurement without/with DUT.

표 1. DUT 유무에 따른 전계 강도

Table 1. E-field strength without/with DUT.

Frequency (MHz)	600 V/m calibration	
	Without DUT	With DUT
	V/m	
1,200	564	820
1,301.3	546	870
1,400	528	805

DUT를 장착한 경우, 전계 강도가 800 V/m 이상 인가되는 것을 알 수 있다. 만일 DUT가 금속 재질(test JIG) 주변에 배치되는 경우, 전계 강도는 두 배 이상 증가될 수 있다⁶⁾.

신호증폭기의 출력은 DUT와 안테나 사이 간격에 비례하므로 근거리 내성 시험 시 필요한 신호증폭기의 출력을 낮출 수 있다. DUT에 실장된 부품의 높이에 의해 근거리 안테나와 DUT 사이 간격이 결정된다. 또한 600 V/m 이상의 전계를 보장하기 위하여 근거리 내성 시험에서 안테나는 800 V/m 이상의 전계를 인가할 수 있고, 800 V/m 이상의 전계를 보장하는 영역(hot spot)이 안테나 중심에 위치해야 한다. 더불어 Scan 방식의 근거리 내성 시험 효율⁷⁾을 증가시키기 위해서는 근거리 안테나의 Hot spot 지름을 적절히 선택해야 한다. 이러한 것들을 모두 고려하여 근거리 내성 시험 환경용 안테나가 만족해야 할 조건들을 다음과 같이 정리하였다.

- ① 전계는 800 V/m 이상 발생
- ② 주파수 대역: 1.2 GHz~1.4 GHz와 2.7 GHz~3.1 GHz
- ③ 안테나 최대 허용 입력 Power: 15 W 이하
- ④ DUT와 안테나 거리: 5 cm
- ⑤ 전계 측정 위치: DUT Top기준 3 cm 상단
- ⑥ Hot spot: 안테나 중심으로 지름 3 cm 이상
- ⑦ Hot spot flatness: 3 dB 이내

Hot spot flatness는 ISO 11452-2 5.1에 언급된 감지기의 허용 오차 조건을 반영하였다. 전계 측정 위치는 그림 2의 측정 위치와 유사한 지점을 선택하였다.

2-2 안테나 설계사항

넓은 공진 주파수 대역을 구현하기 위해 Mono-polar 형태의 안테나를 고려하였다. 특히 안테나 설계 요구 사항인 2번과 7번 항목을 만족하기 위하여 L-probe fed circular patch antenna를 선택하였다. 그림 3은 안테나의 구조와 설계 시 필요한 변수를 나타내고 있다^{8),9)}. 각 변수들의 관계는 표 2와 같다.

첫 번째 안테나의 경우, 동작 주파수 대역이 1.2 GHz에서 1.4 GHz 대역으로, λ_0 가 230.6 mm이다. 이는 안테나 공진 주파수를 1.3 GHz로 설정할 경우에 해당한다. 두 번

표 2. 설계변수

Table 2. Design parameter.

	Definition
λ_0	Free space wavelength
H	$0.092 \lambda_0$
R	$0.179 \lambda_0$
r	$0.164 \lambda_0$
d	$0.001 \lambda_0$
h	$0.079 \lambda_0$
l	$0.131 \lambda_0$
r_1	$0.003 \lambda_0$
t	$0.164 \lambda_0$
GR	$0.357 \lambda_0$
GT	$ 0.006 \lambda_0$

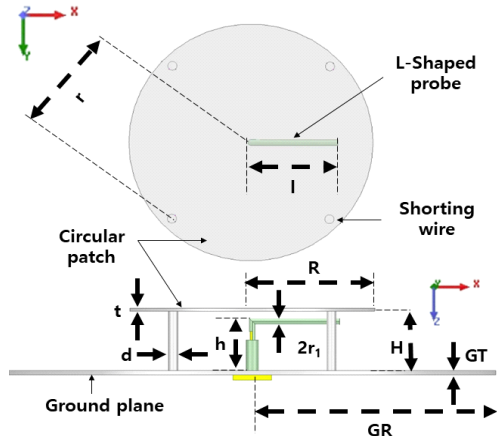


그림 3. 제안된 안테나의 기하학적 모양과 설계 변수
Fig. 3. Geometry of design parameters of the proposed antenna.

표 3. 안테나 설계 변수와 제작 시 적용된 값
Table 3. Antenna parameters: designed and fabricated.
(unit: mm)

Dimension	1.2~1.4 GHz (Antenna 1)		2.7~3.1 GHz (Antenna 2)	
	Designed	Fabricated	Designed	Fabricated
H	21.2	20.5	9.5	11
R	41.3	40	18.5	21.5
r	37.8	36.5	16.9	19.6
d	2.5	3	1.1	1.5
h	18.2	17.9	8.2	10
l	30.2	29.5	13.5	16
r_1	0.69	1	0.3	1
t	0.35	1	0.2	1
GR	82.3	79.5	36.9	43
GT	1.38	1	0.62	1

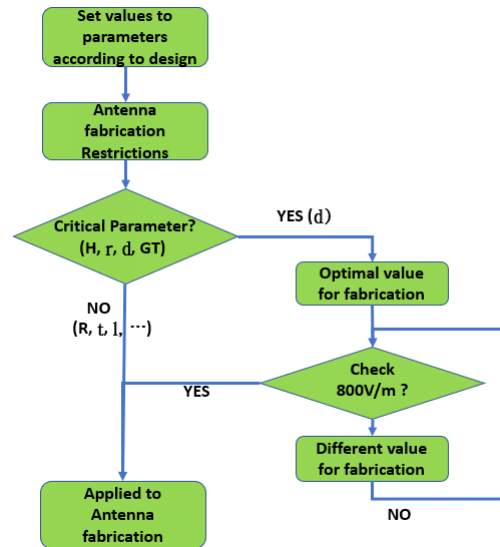
제 안테나의 경우, 동작 주파수는 2.7 GHz에서 3.1 GHz 대역이며, 안테나 공진 주파수를 2.9 GHz로 설정 시 λ_0 가 103.4 mm이다(그림 3). 상기 관계식을 근거로 두 안테나 설계 시 필요한 설계값(designed)을 표 3에 언급하였다.

III. 안테나 제작 및 성능 검증

3-1 안테나 제작

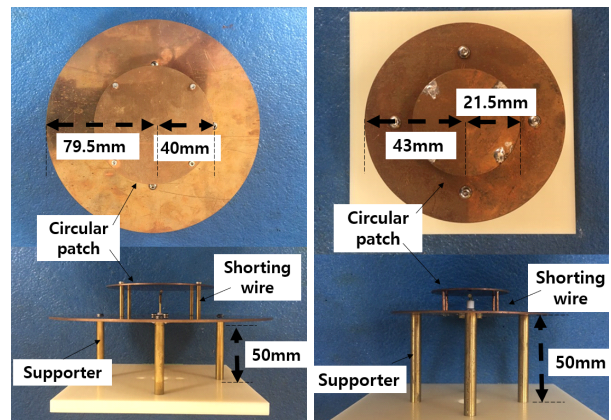
사용 시 내부 부식과 강도를 고려하여 안테나는 인청

동(phosphor bronze)재질을 사용하였으며, 볼트와 너트로 조립 후 그림 4에서 보는 것과 같이 필요한 부분에는 솔더를 진행하여 안테나 특성을 최적화하였다. 안테나 제조 공정의 제약 조건 및 편의성을 고려하여 일부 설계 항목들은 설계 기준과 다른 값을 적용하였다. 하지만, 민감도가 높은 설계 변수인 H, r, d 와 GR 변동 폭을 최소화하였



(a) 설계 변수 설정 절차

(a) Process of selecting the fabrication variable



(b) 첫 번째 안테나

(b) First antenna

(c) 두 번째 안테나

(c) Second antenna

그림 4. 설계 변수 설정 절차와 실 제작 된 두 안테나
Fig. 4. Process of selecting the fabrication variable antenna and fabricated two L-probe antennas.

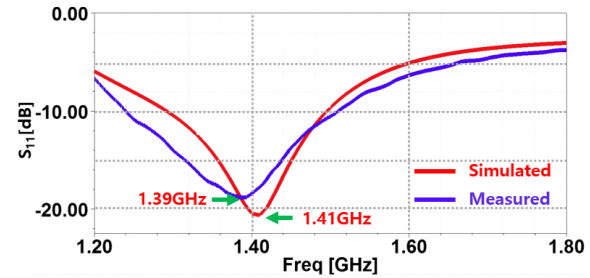
다^{[8],[9]}. 안테나 제조 공정의 제약 조건과 관련된 설계 변수는 4개(d, r_1, t, GT)이며, 이 중 민감도가 높은 설계 변수에 해당하는 것은 1개(d)이다. 설계 변수 d 의 가공 오차 최소 단위(0.5 mm)를 고려하여 설계 목표인 800 V/m 전계를 생성하는 설계 변수값을 산출하였다. 상기 과정을 도식화하면 그림 4(a)와 같으며, 이를 바탕으로 산출된 최종 안테나 제작 사양이 표 3의 “Fabricated” 열에 해당된다. 설계 변수 d 의 값은 “Designed”와 “Fabricated” 성능 차이가 1 dB 이내이기 때문에 추가 가공이 필요 없는 기성품 값을 안테나 제작에 적용하였다. 그림 4(b)는 첫 번째 안테나 1.2 GHz~1.4 GHz용으로 제작된 것이며, 그림 4(c)는 두 번째 안테나로 2.7 GHz~3.1 GHz용으로 제작된 안테나이다.

3-2 안테나 성능 측정

실 제작된 안테나(fabricated)의 특성을 파악하기 위해 다음 두 단계로 성능을 측정하였다. 우선, Fabricated 기준으로 모델링 한 안테나 해석 결과(simulated)와 실제 측정 결과(measured)를 비교하였다. 그림 5(a)는 안테나 1의 반사 특성을 보여준다. 설계 시 고려한 λ_0 값 1.3 GHz보다 큰 1.4 GHz로 공진 주파수가 변경된 것을 알 수 있다. 그림 5(b)는 안테나 2의 반사 특성으로, 안테나 1과 같이 설계 시 고려한 λ_0 보다 공진주파수가 작아진 것을 알 수 있다. 이는 3-1에서 언급한 안테나 제작 제약 조건을 해결하기 위해 설계값 변경에 따라 발생한 것이다.

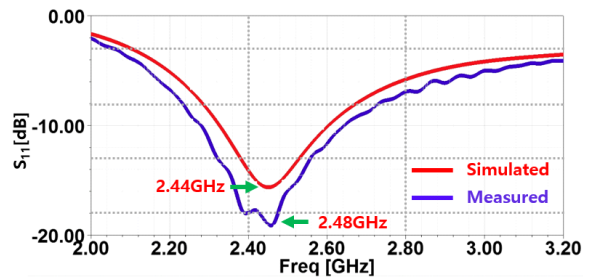
두 번째 단계로 안테나 주변 구조물에 의한 안테나의 전자기장의 크기 변화를 EM 시뮬레이션으로 예측 가능 여부를 확인하였다. 이를 위하여 안테나 1의 경우 공진 주파수가 1.2 GHz인 패치 안테나(patch antenna)를 제작하여 안테나 1에서 패치안테나로 전달되는 전달 특성을 비교하였다. 그림 6(a)는 제작된 패치 안테나의 형상 및 반사 특성을 보이고 있으며, 1.22 GHz에서 공진이 발생함을 보인다. 안테나 1과 패치 안테나 사이 간격은 전계 측정 간격 요구 사항인 30 mm로 하였으며, 나머지 조건들은 그림 6(b)와 같이 설정하여 전달 특성을 측정하였다. 그림 6(c)는 측정치와 EM 시뮬레이션 결과를 보여주었고, 그림과 같이 우수한 정합성을 보여주었다.

안테나 2의 경우에는 안테나 1의 경우와는 다른 조건



(a) 안테나 1의 S-parameter

(a) S-parameter of antenna 1



(b) 안테나 2의 S-parameter

(b) S-parameter of antenna 2

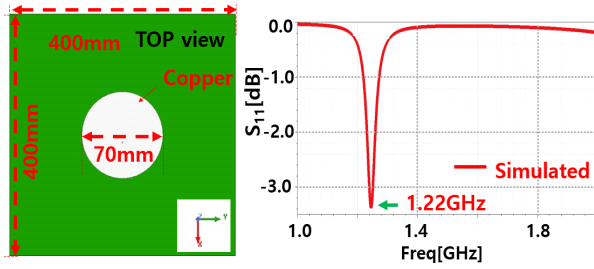
그림 5. 안테나 1 및 안테나 2의 S-parameter 특성

Fig. 5. S-parameter characteristics of antenna 1 and antenna 2.

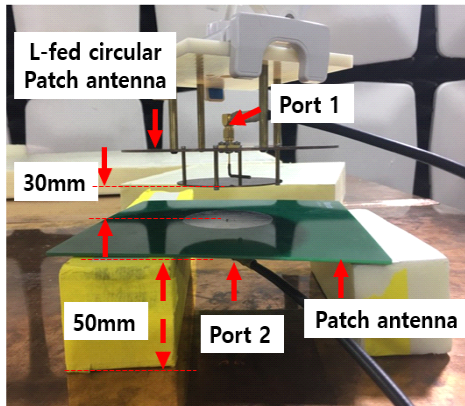
을 사용하였다. 그림 7(a)와 같이 안테나 2를 Chassis plane(도체) 위 30 mm에 배치 후 반사 특성을 측정하였다. 그림 7(b)에서 측정치와 EM 시뮬레이션 값을 비교하였으며, 그림에서 볼 수 있듯이 우수한 정합성을 보여주어서, 제작된 안테나로 인가되는 전계를 EM 시뮬레이션으로 충분히 예측 가능함을 확인하였다.

3-3 EM 모의시험

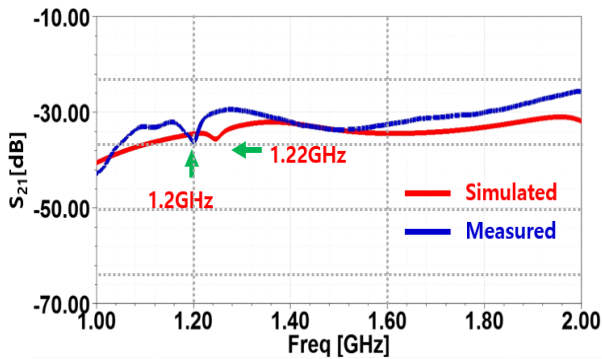
제작된 안테나가 설계 요구 사항을 만족하는지 확인하기 위해 ANSYS社의 HFSS를 사용하여 EM 모의시험을 진행하였으며, 시뮬레이션 해석 조건을 그림 8에 나타냈다. 상판(upper plane)의 경우, DUT에 해당하며, ISO 11452-2 시험 조건과 동일하게 구성하기 위해 Chassis plane에 해당되는 하판(lower plane)을 추가하였고, 상판과 하판의 간격도 ISO 11452-2 조건과 동일하게 5cm로 할당하였다. 상판의 경우, 3-2에서 사용하였던 패치 안테나의 크기(400×400 mm)와 동일하게 구성하였다. DUT의 크기 설정 기준은 3-4 문제 재현에서 사용한 DUT 크기를 근거



(a) 패치 안테나
(a) Patch antenna



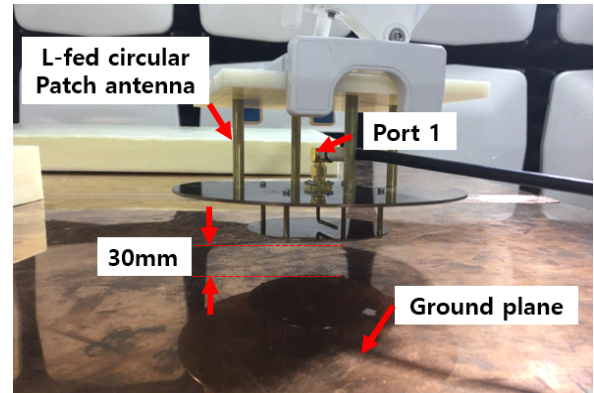
(b) 전달 특성 시험조건
(b) Test setup for transfer impedance



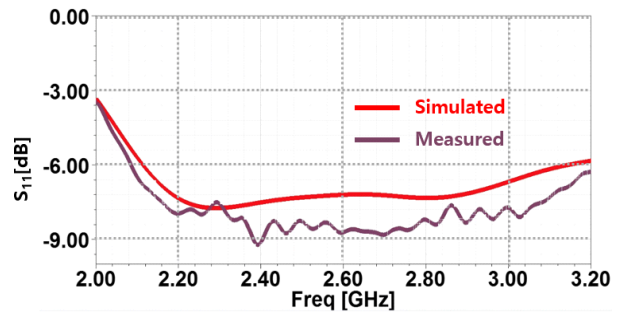
(c) 해석과 측정 결과
(c) Simulated and measured result

그림 6. 안테나 1과 패치안테나 사이의 전달 특성
Fig. 6. Transfer characteristic between antenna 1 and patch antenna.

로 설정하였으며, PCB 동판의 두께는 1oz 사용하였고, 1.6 mm 두께의 Top layer와 Bottom layer의 2층 layer로 구성하였다. Top layer의 경우, 신호 선 혹은 전원 판에 해당



(a) 시험조건
(a) Test setup

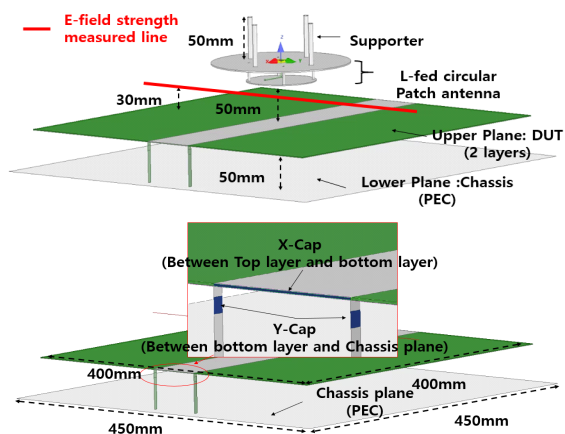


(b) 전달 특성 시험조건
(b) S-parameter of antenna 2 on the ground plane

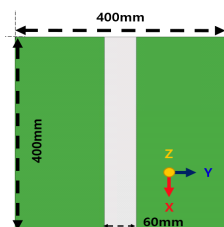
그림 7. Ground plane 위에서 안테나 2 S-parameter
Fig. 7. S-parameter of antenna 2 on the ground plane.

하며, Bottom layer는 PCB Ground에 해당된다. 그림 8(a)에서 보는 것과 같이 Bottom layer는 DUT에 사용하는 Y-cap 소자를 적용하여 Chassis plane과 연결하였다. 또한 Top layer의 구조에 따른 전계 유입 정도와 전계 강도 변화를 분석하기 위해, Top layer의 Trace는 다음 3가지 경우를 고려하여 구성하였다. 그림 8(b)는 DUT의 전원 필터 부분을 묘사한 구성으로 Top layer와 Bottom layer 사이에 X-cap을 배치하였다. 그림 8(c)와 그림 8(b)는 신호 선에 해당하는 것으로, 신호선의 동작 상태를 고려하여 X-cap을 High와 Low impedance로 경우로 대체하여 해석을 진행하였다. 그림 8(c)의 Top layer의 면적은 그림 8(b)와 동일하지만, 모양을 다르게 구성하였고, 그림 8(d)는 중간에 위치한 Trace 폭을 변경하였다.

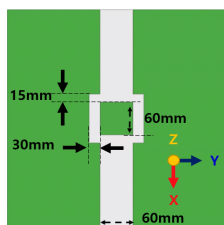
그림 9(a)는 세 가지 형태의 DUT에 안테나 1을 이용하



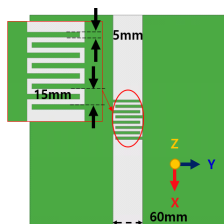
(a) HFSS 구성
(a) HFSS setup



(b) 조건 1
(b) Case 1

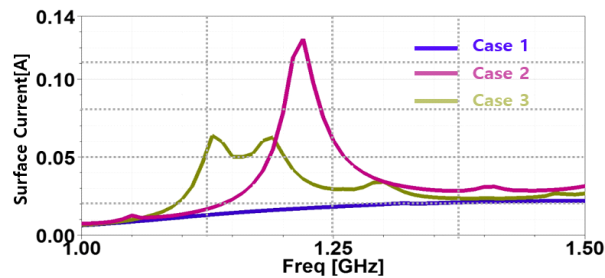


(c) 조건 2
(c) Case 2

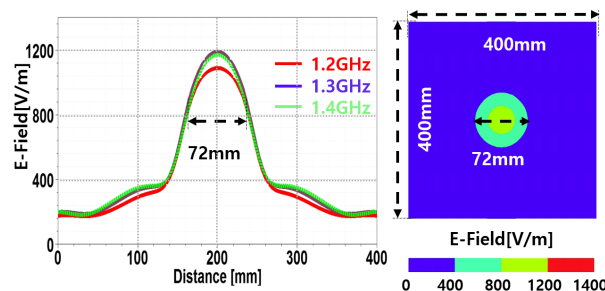


(d) 조건 3
(d) Case 3

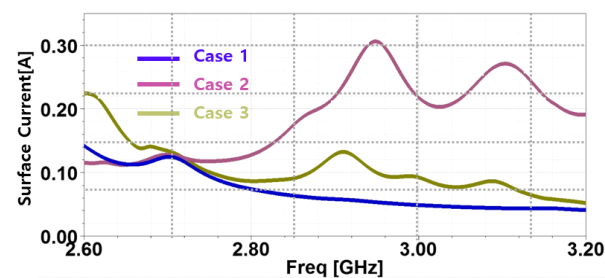
그림 8. 모의시험 조건 및 시험 조건
Fig. 8. Simulation setup and test condition.



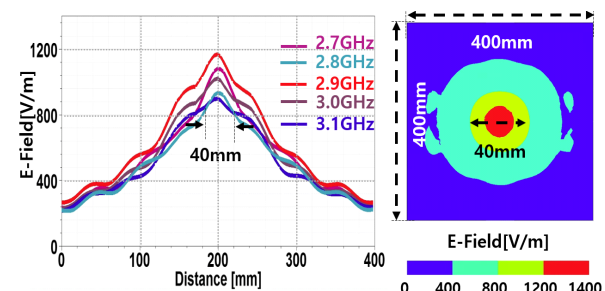
(a) 표면전류-antenna 1
(a) Surface current-antenna 1



(b) 안테나 1의 전계 강도
(b) E-field strength of antenna 1



(c) 표면전류-antenna 2
(c) Surface current-antenna 2



(d) 안테나 2의 전계 강도
(d) E-field strength of antenna 2

그림 9. 표면 전류와 전계
Fig. 9. Surface current and E-field strength.

여 전기장(8 W 안테나 입력)을 인가하였을 때, Top Layer Trace에 흐르는 표면 전류이다. 표면 전류는 선로에 흐르는 전류밀도와 선로 표면적의 곱과 적분으로 산출되었으며, 계산은 HFSS의 Field Calculator를 이용하였다. 그림 9(b)는 그림 9(a)와 동일 조건에서 Top layer 3 cm 위 지점에서의 전계 강도를 보여준다. DUT 상의 표면 전류분포와 다르게 DUT의 세 가지 형태와 상관없이 800 V/m 이상의 전계가 생성되며, Hot Spot 범위도 지름 72 mm 정도로 설계 요구 사항을 만족한다는 것을 확인하였다.

그림 9(c)와 그림 9(d)는 안테나 2를 이용하여 앞선 실험을 재수행한 결과이다. 800 V/m 이상의 전계강도가 유지되는 Hot Spot의 지름이 40 mm로 형성되어 설계조건을 만족하는 것을 확인하였다. 안테나 1에 비하여 고주파에서 공진주파수가 형성되도록 안테나 2를 제작하였으므로, 원형 평판의 물리적 크기가 작아진 만큼 Hot Spot의 크기가 상대적으로 작게 형성되었다. 안테나 입력 Power의 경우 안테나 2는 설계 Hot Spot을 유지하기 위해 주파수 별로 7.8 W에서 15W로 조절이 필요하다. 이는 그림 5의 안테나 전달 특성에서 볼 수 있듯이 관심 주파수 대역의 S-parameter가 안테나 2에서는 -10 dB 이상으로 형성되는 것과 일치한다. 그림 9의 결과를 고려할 때, EM 모의 실험을 통해 해석된 전계 값이 유효하다고 판단할 수 있다.

3-4 문제재현

차량의 조향을 모터로 제어하는 ECU(electronic control unit)는 PCB의 온도를 측정하여 모터 제어 시 발생하는 열에 의한 특성 저하를 보상한다. 온도 측정을 위한 방법으로 PCB에 실장된 온도 센서 IC 출력이 MCU(micro control unit)의 모니터링 Pin 연결되는 구조가 사용된다. 본 논문에서 사용한 DUT의 경우, 그림 10의 ADC_TEMP가 온도센서 IC 출력에 해당되며 MCU의 Analog Input Pin에 연결되어 있다. 만약, MCU에서 측정된 온도센서 IC 출력의 변동 폭이 비정상적으로 과도하게 변동하는 경우 MCU는 이를 감지하고 오동작 알림 신호를 발생하여 ECU가 조향 제어를 하지 못하게 한다. 제품 개발 당시, 방사 내성 시험 주파수(1.2 GHz)에서 600 V/m(교정 값 기준)을 ECU에 인가하였을 때 온도 관련 오동작 알림

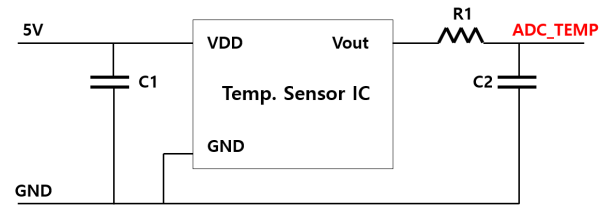
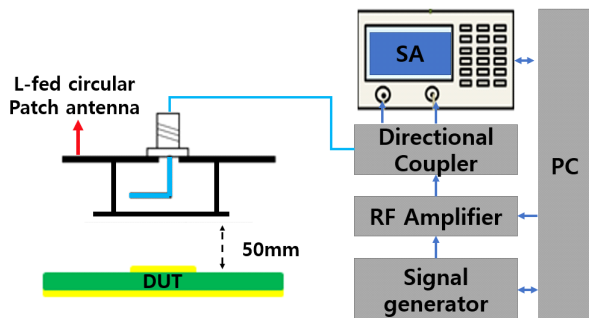


그림 10. 온도센서 IC 및 주변 회로

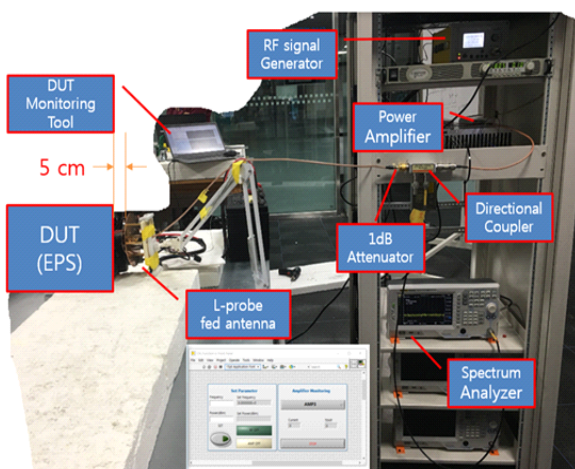
Fig. 10. Circuit about temperature, sensor IC and peripheral components.

신호가 발생하였으며, 논문에서 제시하는 근접 안테나를 이용한 근거리 내성 시험을 통해 과거 발생한 문제를 재현하였다. 그림 11(a)는 근거리내성 시험환경의 개념 구성도이며, 그림 11(b)가 실제 구현한 근거리 내성 시험 환경이다. 방사 내성 시험 시 전계 방향과 동일한 구성을 위해 그림 11(c)와 같이 안테나1을 배치하고 시험을 진행하였다. 보안상 이유로, DUT는 사각형으로 대체하였다. 안테나에 입력되는 Power와 반사되는 Power는 Directional coupler를 통해 S-spectrum Analyzer에 각 유입되고 이를 기록 및 재사용하여 시험 환경의 반복성 및 안정을 유지하였다. ISO 11452-2환경에서 챔버 안에 있는 DUT의 상태를 챔버 밖에서 확인하기 위해서는 광 변환 장비와 같은 절연 장비가 별도로 필요하다. 하지만, 그림 11(b)에서 보는 것 같이 근거리 내성 시험 환경의 경우 추가 장비 없이 바로 DUT를 모니터링 장비에 연결할 수 있다.

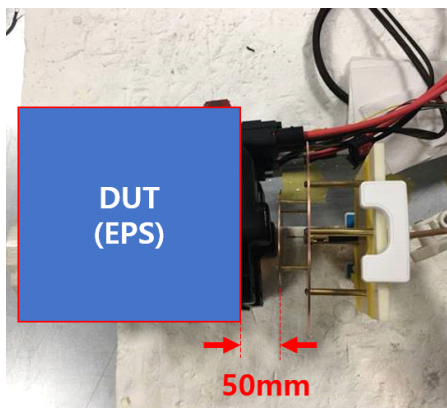
그림 12는 근거리 내성 시험 환경에서 MCU에 입력되는 온도 센서 IC 출력을 크기를 보여준다. X축이 시간이며, Y축이 MCU가 읽은 ADC(analog to digital converter) 값이다. 보안상의 이유로 Y축 크기의 상세 수치를 명기하지 않았다. 하지만, 그림 12의 Y축 범위는 모두 동일하게 설정하였다. 그림 12(a)는 안테나를 MCU와 온도센서 IC 중간에 위치했을 때 모니터링된 결과를 나타낸다. 붉은색 부분이 전계가 입력될 때이고, 노란색 부분이 전계를 인가하지 않았을 때이다. 전계가 인가된 부분의 앞부분 그래프를 보면 전계 강도가 증가함에 따라 ADC 값이 증가되는 것을 알 수 있다. 1분 후 안테나 입력이 8 W(800 V/m 해당)가 되는 경우, ADC 값이 최대가 되는 것을 알 수 있다. ADC 값 변동이 비정상적인 4분 이후에서는 ISO 11452-2 시험 시 발생된 온도 관련 오동작 알림



(a) 근거리 내성 시험 구성 개념
(a) The concept of near field immunity setup

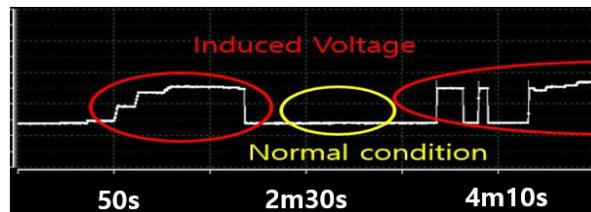


(b) 근거리 내성 시험 환경 구성 1
(b) Near field immunity setup 1

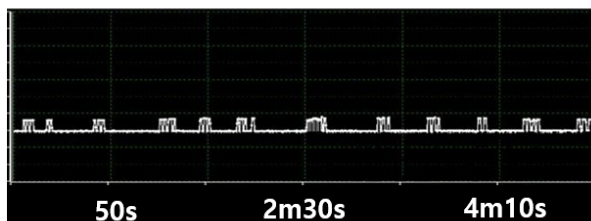


(c) 근거리 내성 시험 환경 구성 2
(c) Near field immunity setup 2

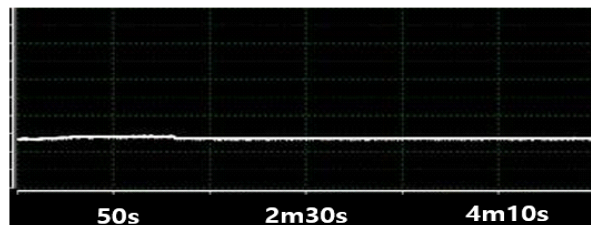
그림 11. 근거리 내성 시험 환경
Fig. 11. Near filed immunity setup.



(a) 개선 전 시료 - MCU와 온도센서 IC 사이
(a) Unimproved ECU - Between MCU and Temp. IC



(b) 개선 전 시료 - MCU와 온도센서 IC 주변
(b) Unimproved ECU - Around MCU and Temp. IC



(c) 개선 시료 - MCU와 온도센서IC 사이
(c) Improved ECU - Between MCU and Temp. IC

그림 12. 문제 재현 - ADC 측정 값
Fig. 12. Reproducing field issue - ADC measured value.

신호가 검출되었다. 이를 통해 본 논문에서 제시한 근거리 내성 시험 장치를 이용하여 ISO 11452-2의 시험 결과가 재현되었음을 확인하였다.

근거리 내성 시험의 Scan 방법 유효성능을 검증하기 위해 그림 12(a)와 동일 조건으로 안테나 1의 Hot Spot이 온도 센서 IC와 MCU 중간 부분이 아닌 주변 부위를 Scan하였다. 그림12(b)가 이때 ADC의 변화 값이다. 이러한 시험은 DUT 전체에 전계를 조사하는 ISO 11452-2에서는 수행할 수 없으며, 본 논문에서 제시하는 근거리 입사에서만 가능하다. ADC 변화 폭이 그림 12(a) 대비 상대적으로 낮은 것을 알 수 있으며, 이 정도의 전압 차는 온도 관련 오동작 알림 신호를 발생시키지 않는다. 이러한 시험 결

과를 가지고 문제의 원인이 PCB 상의 MCU와 온도센서 IC사이 배선임을 파악하고 해당 부분을 수정하였다. 그림 12(c)는 PCB 배선 수정 후 그림 12(a)와 동일 조건에서 측정한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 Y축의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있으며, 온도 관련 오동작 알람 신호도 검출되지 않았다. 개선 확인된 DUT을 ISO 11452-2 환경에서 재시험 진행하였고, 근거리 내성 시험 결과와 동일하게 개선을 확인하였다.

위의 기술에서 알 수 있듯이, 본 논문에서 제시한 근접 L-Probe 원형 안테나를 이용하면, ISO 11452-2의 시험에서는 얻을 수 없는 전자기장 국부 조사를 수행할 수 있으며, DUT의 어느 특정 부위가 내성에 취약한지도 분석할 수 있는 장점이 있음을 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 L-probe patch 안테나를 이용한 근거리 내성 시험 방법을 제시하였다. 제안된 두 개의 안테나를 이용하여 각기 다른 Radar pulse 대역에서 15 W 이하의 안테나 입력 파워 통해 800 V/m 이상의 전계를 생성할 수 있음을 확인하였다. 첫 번째 안테나의 경우, 실제 발생된 문제를 재현하고, 개선 시료에 대한 유효성 평가도 함께 확인하였다. 제안된 안테나를 이용한 근거리 내성 시험 방법의 경우, 전계에 대해서만 고려하였기 때문에 향후 자계에 대한 연구가 필요하다. 하지만, 방사 내성에서 사용되는 안테나의 크기와 RF amplifier 출력 요구 사항을 고려한다면, 제안된 안테나를 이용할 경우, 낮은 출력과 저 비용으로 내성 시험 중 발생된 문제에 대해 빠르게 분석하고 대책을 확인하는데 응용 가능할 것이다.

References

[1] T. Teratani, "Impact of DC 48 V on automotive power supply system: Comparison with DC 42 V and future view under DC 60 V," *Electrical Engineering in Japan*, vol. 197, no. 2, pp. 48-55, 2016.

[2] *General Specification for Electrical/Electronic Components and Subsystems, Electromagnetic Compatibility*, GMW3097, Mar. 2019.

[3] *Electromagnetic Compatibility Specification for Electrical/Electronic Components and Subsystems*, FMC1278, Oct. 2016.

[4] J. Smith, "Automotive 600 V/m radar pulse test solution," in *Proceedings of the 2006 9th International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility(INCEMIC 2006)*, Bangalore, Feb. 2006, pp. 151-154.

[5] *Road Vehicles, Component Test Methods for Electircal Disturbance from Narrowband Radiated Electromagnetic Energy - Part 2: Absorber-Lined Shielded Enclosure*, ISO 11452-2, Nov. 2004.

[6] D. K. Kim, Y. B. Park, "Measurement method based on vehicle competent installation position for radiated immunity test of vehicle components," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 2, pp. 113-126, Feb. 2020.

[7] N. Lacrampe, S. Srpaud, A. Boyer, and S. Than, "Radiated susceptibility investigation of electronic board from near field scan method," in *Proceedings of the 11th International Workshop on the Electromagnetic Compatibility of Integrated Circuit(EMC Compo 2017)*, Saint-Petersburg, Jul. 2017, pp. 125-130.

[8] K. L. Lau, K. M. Luk, "A wide-band monopolar wire-patch antenna for indoor base station applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letter*, vol. 4, pp. 155-157, 2005.

[9] Y. X. Guo, M. Y. W. Chia, Z. N. Chen, and K. M. Luk, "Wide-band L-probe fed circular patch antenna for conical-pattern radiation" *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 4 pp. 1115-1116, Apr. 2004.

이 두 진 [성균관대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0003-1544-1872>



2003년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)

2019년 3월~현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정

[주 관심분야] SI/PI, EMI/EMC

나 완 수 [성균관대학교/전임교수]

<https://orcid.org/0000-0002-0315-3294>



1984년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)

1986년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)

1991년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학박사)

1991년~1993년: SSCL Guest Collaborator

1993년~1995년: 한국전기연구원 선임연구원

1995년~현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 교수

[주 관심분야] SI/PI, EMI/EMC

한 준 희 [성균관대학교/석박사통합과정]

<https://orcid.org/0000-0002-7759-6717>



2018년 2월: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학사)

2018년 3월~현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석박사 통합과정

[주 관심분야] SI/PI, EMI/EMC