

## 국방품질연구논집

Journal of Defense Quality Society

한국연구재단  
등재후보학술지ISSN 2671-4744(Print)  
ISSN 2671-9673(Online)

군용차량 해치 적용을 위한 판 스프링 설계에 대한 연구

김태윤, 박찬영, 조민승

Multi-Layer Ceramic Capacitor의 Layout 변경을 통한 Electromagnetic Compatibility 필터 신뢰성 개선 연구

윤철근, 박종훈, 이상천

회전익 항공기용 레이더 경보수신기 결함 원인분석을 통한 개선방안 연구

정혜수, 권태현, 손원애, 박정호

여군 육군용 군복의 발전 방안 모색 : 심층인터뷰를 중심으로

이옥경, 이예진

개발운용조직 통합관리(DevOps)기반 AI 무기체계 소프트웨어 개발에 대한 연구

고기성, 박인수

단기추진제 유효 안정제 함량 미달 조기선별을 위한 가열시험법 적용 연구

서지영

기능성원단의 장기저장에 따른 액체발유도 변화에 대한 연구

김철수, 조영민

3D 프린팅용 Fe/PLA 복합 필라멘트 구조 분석 및 압출성

박예은, 이선희

K1계열전차에 발생하는 연료변색 및 디젤 버그 현상에 관한 연구

윤용찬, 양하형

함대공 유도탄 방어 유도무기의 점화안전장치 조립체 성능시험 방법 개선 연구

현중훈, 김효진, 최준범, 김상운, 서보길, 박세혁

ISO/IEC 25023을 활용한 무기체계 소프트웨어 성능 효율성 확보 방안

주진천, 김종규, 윤경환, 윤재형

가속수명시험을 통한 수출형 K2전차 전장품 신뢰성 평가

문성목, 최보욱, 최훈기, 김영강

함정 웹브릿지 과소음 현상에 대한 폐기관 연돌 소음의 영향성 연구

김용훈, 한형석, 전수홍, 이가향

105MM 전차용 고폭탄 형상설계 연구

박동준, 양성진, 박정운, 유진호, 이현철

무기체계 창성능개선 사전연구제도의 적용방안 연구

강병수, 이동건, 김병호

고폭탄의 비정상 폭발 시 파편의 위험성에 대한 연구

황경섭, 전인범, 김동희

표면 개질된 나노셀룰로오스를 첨가하여 기계적으로 강화된 폴리부틸렌석시네이트/폴리락타이드 (PBS/PLA) 나노 복합체의 제조 및 분석

장용준, 강희철, 이재우, 정재우

사이버 무기체계 품질보증 동향조사 및 발전방향 연구

성시일, 김도훈

PRAIRIE 시스템의 공기누출이 수중방사소음과 추진기의 캐비테이션 초생속도에 미치는 영향에 관한 연구

서철오, 임태욱, 이필호, 서대수

76미리 함포 탄피방출구 작동 메커니즘 개선 연구

이봉수, 한규진, 유상욱, 최효욱, 이호준

전자파 무반사실 성능평가 방법에 대한 연구

문찬, 진정희, 박원우

단순 베이즈 모형 기반 사용자불만 입력항목 추천 시스템 연구

이동현, 신상식, 최병호, 김홍섭

항공기 보조동력장치 내 입구안내의 구동기어의 마모 결함 개선 연구

김세운, 김지홍, 이동기

자연노화 및 가속노화 시험을 기반으로 한 소구경탄약 추진제의 저장수명에 관한 연구

김다인, 김명현, 이재관, 이지훈

국방규격 개선사업의 만족도에 영향을 미치는 결정요인 분석 : 기술변경 개선항목을 중심으로

이민철, 김영현, 안영준

국방품질연구논집은 연 2회 발행되는 학술논문지입니다.

홈페이지 <https://www.dtaq.re.kr:8084/dqs>

---

---

<b>발행처</b>	경상남도 진주시 동진로 420(충무공동) 국방기술품질원
<b>발행일</b>	2023년 6월 30일
<b>발행인</b>	허건영
<b>편집위원장</b>	김상부
<b>편집위원</b>	이영순, 홍성훈, 임재성, 박장식, 이정순, 박종훈, 김성수, 이선희, 류재철, 이부일, 서상철, 정재우, 설한신, 김병호
<b>감수/편집</b>	서재현 / 김진영, 서민준
<b>연락처</b>	055-751-5274, 5277
<b>국방인트라넷</b>	12426@ddtaq.mil
<b>인트라넷</b>	12426@ddtaq.re.kr

---

## 전자파 무 반사실 성능평가 방법에 대한 연구

ISSN 2671-4744(Print)  
ISSN 2671-9673(Online)

### Study on performance evaluation method of anechoic chamber

문찬, Chan Moon

국립금오공과대학교 전자공학과  
Electronic Engineering, Kumoh National  
Institute of Technology

진정희 Jeonghee Jin

한국전자전파연구소 부대표  
Vice president, Korea Electromagnetic  
Research

박원우<sup>†</sup>, Wonwoo Park

국립금오공과대학교 전기전자공학부 명예교수  
Professor, Department of Electrical and  
Electronic Engineering, Kumoh National  
Institute of Technology

#### Abstract

In this study, a method to measure the reflectance of a radio wave absorber, one of the performance evaluation items of an anechoic chamber, was studied. If the radio wave absorber is attached to the wall of the shield room, it can absorb electromagnetic waves traveling toward the wall and reduce reflection, resulting in a radio wave environment similar to free space inside the shield room. Radio waves that are not absorbed by the installed radio wave absorber become reflected waves, affecting the test results performed inside the room. In this study, a more efficient measurement method is proposed by comparing the reflectance measurement method using the frequency domain and the reflectance method using the time domain.

**keywords :** RF Absorber, Anechoic Chamber, Absorbing Performances, Electromagnetic Compatibility Test, Quiet Zone

<sup>†</sup> Corresponding Author : Wonwoo Park

Tel : +82-54-478-7220, email : [wwpark@kumoh.ac.kr](mailto:wwpark@kumoh.ac.kr)

Kumoh National Institute of Technology, 61 Daehak-ro (yangho-dong), Gumi, Gyeongbuk, Korea

Received April 13th. 2023, Revised May 16th. 2023, Accepted May 23th. 2023, Published June 30th. 2023

## 1. 서론

전자기기 또는 무선기기들은 가정용이거나 산업용 또는 군용을 막론하고 전자파 노이즈를 발생시킨다. 이러한 전자파 노이즈는 다른 기기에 영향을 주어 오동작을 발생시키는 등 여러 가지 문제를 일으킨다. 이러한 문제를 방지하기 위하여 전자파 장애 및 내성시험 방법이 국제 표준 규격 및 국가표준규격으로 마련되어 있다. 전자파 장애 시험은 야외시험장(Open Area Test Site)에서 주로 진행되었다. 야외시험장은 주변 전자파 환경의 영향을 피해 한적한 곳에 주로 건설되었으나 날씨로 인한 영향에서는 자유롭지 못했다. 주변 환경으로부터의 영향, 외부 전파의 간섭, 시험의 편의성 등의 영향이 적은 시험설비인 전자파 무 반사실이 대안으로 제시되었다. 이러한 이유로 전자파 관련 시험은 전자파 무 반사실에서 진행하는 것이 선호되고 있다. 특히, 전자파 내성 시험은 고출력 전자파를 발생시켜 시험대상 기기에 인가하는 시험방법으로 전자파 무 반사실에서 시험을 진행하여야 한다.

전자파 시험에 사용되는 전자파 무 반사실은 차폐실의 벽에 전파흡수체를 부착하는 방식으로 제작된다. 시험 용도와 주파수에 따라 다양한 크기로 만들어지며, 사용되는 전파흡수체의 크기, 모양, 흡수 능력으로 결정된다. 전파흡수체는 스펀지 또는 EPP(Expanded Polypropylene) 소재와 카본 등의 전도성 물질을 적절히 배합하여 성형하는 방법으로 제작된다. 이렇게 제작된 전파흡수체는 전파 에너지를 열 에너지로 바꾸는 형태로 전파를 흡수하게 된다. 바닥 또한 접지면으로 사용하기도 하고 불필요한 반사파 제거용으로 흡수체를 설치하기도 한다. 이러한 전자파 무 반사실은 벽에 부착된 흡수체의 주파수에 따른 흡수 능력에 따라 성능이 크게 좌우된다. 흡수체의 성능이 시험 시설의 성능을 좌우하게 되며, 전파흡수체의 성능은 여러 가지 방법으로 측정할 수 있는데 본 연구에서는 흡수체가 벽에 부착된 상태에서 전자파 무 반사실 내부에서 피 시험체가 놓여있는 지점에서 전파 흡수 능력을 측정하는 방법에 관해 연구하였다.

## 2. 연구목표 및 시험환경 구성

### 2.1. 연구 목표

전자파 무 반사실에 사용되는 폼(Foam) 형태의 전파흡수체에 대한 개별 전파 흡수 성능은 IEEE Std 1128에 의해 검증한다. 단품 전파흡수체의 크기는 일반적으로  $0.6 \text{ m(D)} \times 0.6 \text{ m(W)}$ 의 면적이며 주파수에 따라 높이가 결정된다. 단품 상태에서 전파 흡수 성능 측정은 전파흡수체 한 개의 성능을 측정한다. 전파흡수체를 차폐실 벽에 부착할 때 주파수에 따라 페라이트 타일을 먼저 부착하고 그 위에 피라미드형 전파흡수체를 부착하기도 하고, 피라미드형 전파흡수체만을 부착하기도 한다. 바닥면 또한 요구되는 사양에 따라 전파흡수체를 부착하기도 하고 접지면으로 사용하기도 한다.

전자파 무 반사실의 성능은 국제 표준 규격 ANSI C63.4와 IEC/EN61000-4-3, IEEE Std 149 등에 따라 여러 가지 방법으로 평가할 수 있다. 30 MHz ~ 1 GHz 대역의 전자파 장애(EMI) 시험에 주로 사용되는 반 무 반사실(Semi Anechoic Chamber)은 정규화된 공간 감쇠량(Normalized Site Attenuation)을 측정하여 성능을 평가한다. 1 GHz ~ 18 GHz 대역의 전자파 장애 시험을 위한 전자파 무 반사실은 시험장 정재파비(Site VSWR)를 측정하여 시험장 성능을 검증한다. 또한 전자파 내성시험을 위한 전자파 무 반사실의 경우 전계 균일장(Field Uniformity)을 측정하여 시험장 성능을 검증한다. 이러한 시험장 평가 방법들은 시험장 내부에서 전달되는 직접파와 반사파에 의한 영향을 모두 포함한 상태로 결과를 도출한다. 전자파 무 반사실에 사용된 전파흡수체의 성능을 평가하기 위해 피라미드형 흡수체에서 반사된 에너지를 측정하여 성능을 평가할 필요가 있다.

본 연구에서는 IEEE Std 149에 의한 전자파 무 반사실의 무반사 구역(Q.Z.: Quiet Zone)에 대한 전자파 무 반사실의 반사율을 평가하기 위한 주파수 영역(F.D., Frequency Domain) 측정 방법과 시간 영역(T.D., Time Domain) 측정 방법의 시험기법



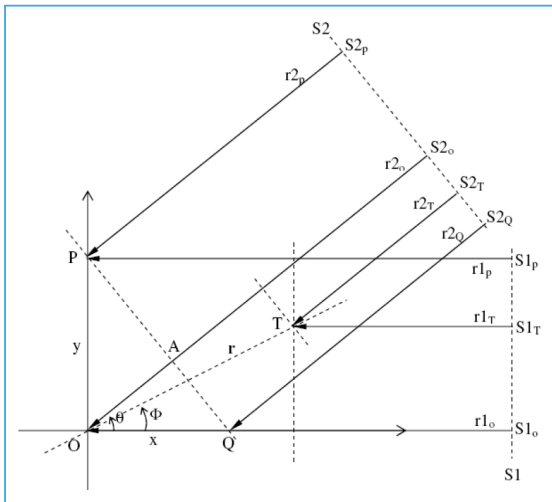
을 설명하고 동일한 전자파 무 반사실에서 각각의 방법으로 반사율을 측정한다. 측정한 시험 결과를 비교 분석하여 좀 더 효율적인 반사율 측정 방법을 도출하고자 한다.

## 2.2. 주파수 영역에서 반사파 측정

### 2.2.1. 주파수 영역 시험방법의 이론적 고찰

주파수 영역(F.D.: Frequency Domain) 측정은 자유공간 정재파비(Free space VSWR) 방법을 사용하여 측정한다. 자유 공간 VSWR 방법은 안테나 분야 전자기 성능평가에서 수십 년 동안 산업 표준이었다[1]. 이 방법은 마이크로파의 전송선로의 반사파에 의한 VSWR의 원리와 같다. 1차원 전송선로에서의 단순한 개념으로 인해 공간에서 형성되는 다중경로의 복잡성을 간과하는 경향이 있다.

Figure 1을 참조하여 아래의 두 개의 방정식을 얻을 수 있다[2].



**Figure 1.** Geometry of two plane-waves S1 and S2 interfering along a line x, y or r in space.  $\theta$  is the angle between the two waves[2].

$$d_y = \frac{\lambda}{\sin(\theta)} \quad (1)$$

그리고

$$d_x = \frac{\lambda}{2\sin^2(\frac{\theta}{2})} \quad (2)$$

여기서,  $\lambda$ 는 두 신호의 파장

$\theta$ 는 두 신호가 이루는 각도

$d_x, d_y$ 는 x축 및 y축에 따른 직접 및 외부 신호 간섭 패턴 주기

x 축을 따라 이동하면서 파의 크기를 측정할 때를 Longitudinal VSWR 패턴이라고 하고, y 축을 따라 측정할 때를 Transverse VSWR 패턴이라고 한다 [2].  $\theta$ 의 각이 작은 경우 신호는 축 방향 신호로 분류되고, 각이 큰 경우는 광각 신호로 분류된다[1]. 식 (1)에 의하면 외부 신호의 도달 방향은 알려진  $\lambda$ 와  $d_x$  또는  $d_y$ 로 쉽게 결정할 수 있다.  $d_x$ 와  $d_y$ 의 값은 비교적 쉽게 측정할 수 있지만, 실제 도달 각의 결정은 식(1), 식(2)에서처럼 간단하지 않다. Figure 1에서 평면파  $S_1$ 과  $S_2$ 가 있고, 두 파의 이동은 자유공간에서 이루어진다고 가정한다. y 축을 따라 O에서 P로 이동하면서 측정할 때  $S_1$ 과  $S_2$ 의 위상 편이는 각각 다음과 같다[2].

$$\varphi_1 = 0 \text{ and } \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda}(r_{2p} - r_{2o}) = \frac{2\pi}{\lambda}y \sin(\theta) \quad (3)$$

$S_1$  및  $S_2$  간섭 패턴의 최소 주기는 다음과 같이 구한다.

$$\varphi = |\varphi_2 - \varphi_1| = 2\pi \quad (4)$$

결과적으로,

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}y \sin(\theta) = 2\pi \text{ or } d_y = \frac{\lambda}{\sin(\theta)} \quad (5)$$

이것으로 식(1)은 증명된다.

x 축을 따라 이동할 때는 O에서 Q로 이동한다.

$$\varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda}x \quad (6)$$

그리고,

$$\varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda}(r_{2Q} - r_{2O}) = \frac{2\pi}{\lambda}x \cos(\theta) \quad (7)$$

마찬가지로, 최소 간섭구간은 다음과 같이 구할 수 있으며,

$$\varphi = |\varphi_2 - \varphi_1| = \frac{2\pi}{\lambda}d_x(1 - \cos(\theta)) = 2\pi \quad (8)$$

$$d_x = \frac{\lambda}{1 - \cos(\theta)} = \frac{\lambda}{2\sin^2(\frac{\theta}{2})} \quad (9)$$

이것은 식(2)를 증명한다[2].

Figure 2에서와 같은 경로를 거치는 경우 위상 편이가 경로의 길이에 의해서만 발생한다고 가정하면 다음과 같이  $\Phi_1$ 과  $\Phi_2$ 를 표현할 수 있다.

$$\Phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda}r_1 \text{ and } \Phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 + r_3) \quad (10)$$

$$\phi = \Phi_2 - \Phi_1 \quad (11)$$

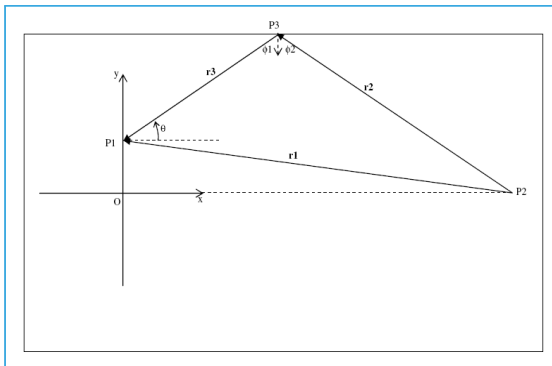


Figure 2. Geometry of Measured Interfering Patterns at P3 With a source at P2, interfering at P1[2]

수신 위치 P1이 x 또는 y를 따라 이동하면 반사점 P3도 수신 위치에 따라 이동해야 한다.

따라서 방정식(10, 11)을 풀려면 연립 방정식을 풀어야 한다. 또한 반사 지점의 위상 변화를 고려하기 위해 식(10)에 180도 위상이 추가되어야 한다[2].

Figure 3과 같은 전자파 무 반사실 구조에서 자유 공간 VSWR 방법은 직접파와 반사파가 수신 안테나가 이동하는 선을 따라 수신 안테나의 현재 지점에서 만난다고 가정한다.

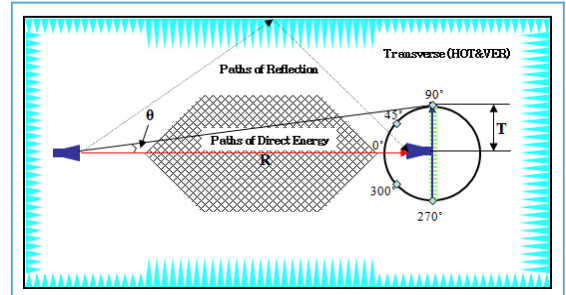


Figure 3. Direct and reflected signals meet along the receiver antenna travel line

이런 형태의 수신은 Figure 1에서 나타난 바와 유사한 형태를 이루게 된다. 일반적으로 실제 전자파 무 반사실에서 측정된 간섭 패턴은 Figure 5의 파란색 그래프와 같이 명확하게 나타난다. 이는 Figure 1에서 묘사한 것보다 훨씬 더 복잡하다. 반사파는 수신 안테나의 궤적에 따라 진폭이 크게 변한다.

측정 결과로 반사율을 계산하는 방법에 관하여 설명한다. Figure 4를 예로 D를 계산할 때 c1과 d1을 별도로 구하여 로컬 기울기를 제거해야 한다. 따라서 D는 c1과 d1의 합이다.

$$D = c_1 + d_1 \quad (12)$$

여기서 구해지는 값은 리플에 의한 값만 구해지므로 반사율은 초록색 선까지의 값을 포함하여 구한다.

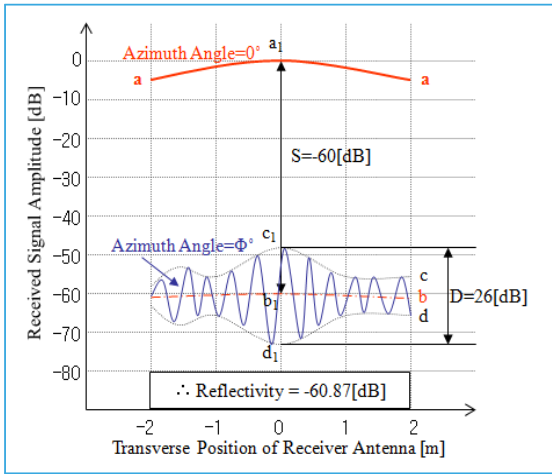


Figure 4. Reference Measurements and Reflectivity of Transverse

반사율은 아래 식에 의해 구해진다.

$$R_{[dB]} = S_{dB} + 20 \log_{10} \left\{ \frac{(10^{0.05 \times D} - 1)}{(10^{0.05 \times D} + 1)} \right\} \quad (12)$$

여기서, S = 간섭 패턴의 중간값

D = 반사파 폭

### 2.2.2. 주파수 영역 시험 결과

측정은 전자파 반 무 반사실을 활용하여 진행하였다. 전자파 반 무 반사실의 바닥에 흡수체를 설치하고, 흡수체 이외의 반사파가 발생할 우려가 있는 설비들은 모두 전파흡수체로 가려 반사파의 영향이 최소화되도록 사전에 조치하였다.

Figure 5는 진행한 시험 일부를 나타낸 것이다. 주파수는 5 GHz, 송·수신 안테나는 수직 편파에서 측정하였다. 초록색 선은 Figure 3의 수신 안테나가 송신 안테나와 마주 본 상태에서 y 축을 따라 이동하는 동안 측정된 기준값이다. Figure 5의 파란 선은 수신 안테나의 방위각이 270°일 때 측정값을 나타낸다. 방위각은 수신 안테나가 송신 안테나를 바라보는 상태를 0°로 하였으며, 각의 증가는 시계 방향으로 하였다. 붉은 화살표는 수신 안테나가 측

정한 값 중 가장 낮은 값을 나타낸다. 초록 화살표는 가장 낮은 값 좌우의 첫 번째 큰 값을 나타낸다. 빨간 라인은 수신된 값의 패턴 트레이스에 의한 구해진다.

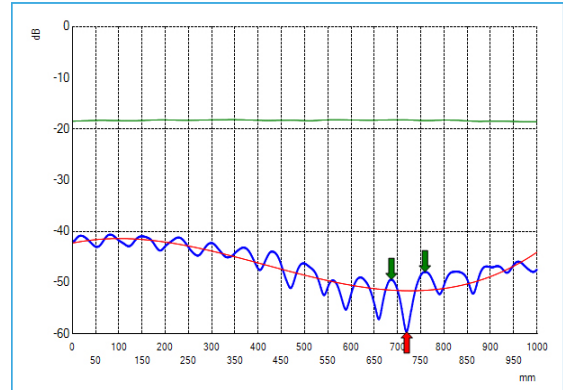


Figure 5. Direct and reflected signals meet along the receiver antenna travel line

측정과 반사율의 계산은 하드웨어와 소프트웨어를 개발하여 자동으로 측정을 진행하였다. Figure 6은 시험용으로 개발된 슬라이드 마스트를 사용하여 시험을 진행하는 모습의 사진이다.



Figure 6. Test with developed slide antenna master

사진은 Transverse 시험을 위한 설치 모습이다. 그림의 앞쪽에 보이는 안테나가 슬라이드 마스트 위에 설치되었으며 그림에서 좌에서 우로 이동하면서

반사파를 측정한다. Transverse VSWR 측정은 270° 방향에서 시작하여 90° 방향까지 15° 간격으로 진행하였으며, Longitudinal VSWR 측정은 90° 방향에서 시작하여 270° 방향까지 15° 간격으로 진행하였다. 각도마다 1개의 그래프를 생성하도록 하였으며 기준값을 측정하는 그래프를 제외한 모든 그래프는 Figure 5의 예와 같은 형태로 결과를 생성한다. 이번 연구에서는 5개 주파수(1 GHz, 5 GHz, 10 GHz, 15 GHz, 18 GHz)를 비교 시험하였다. Quiet Zone의 범위는 지름 1 m의 원으로 하였으며, 측정의 진행은 Transverse 방향은 수신 안테나가 송신 안테나를 바라보는 방향으로 좌에서 우로 1 m 이동하였고, Longitudinal 방향 수신 안테나가 송신 안테나를 바라보는 방향으로 앞에서 뒤로 1 m 이동하였다. 측정 결과는 반사파의 크기를 원형 도표에 기록하여 반사가 많이 발생하는 방향을 확인할 수 있도록 표현하였다. 개발한 소프트웨어와 하드웨어를 사용하여 측정을 자동화하였음에도 주파수 하나당 2시간의 측정 시간이 소요되었다. Figure 7은 시험을 위해 개발한 측정용 소프트웨어 실행화면의 일부를 나타낸 것이다. 그림은 측정이 진행되고 있는 모습이며 측정 종료 후 원형 도표에 결과를 전시하도록 설계되었다.

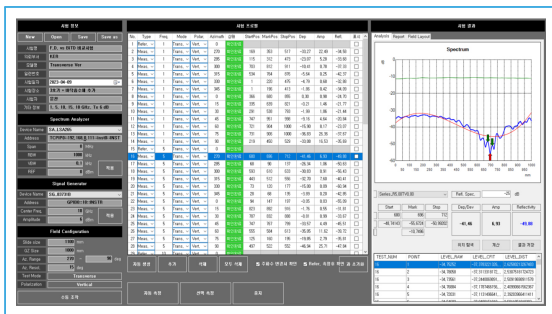


Figure 7. Frequency Domain Test software

측정 결과를 Table 1에 정리하였다. 1 GHz에서는 수직편파 수평편파 모두 30°~60° 방향에서 반사파가 많이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 2 GHz에서는 수평편파는 30°, 330° 방향에서 반사파

가 많으며 수직편파에서는 30°에서 반사가 높게 측정되었다. 10 GHz 수평편파는 330°~360° 방향에서 반사파가 많이 발생하고, 수직편파는 15°~30° 방향에서 반사파가 유입되었다. 15 GHz에서는 수평편파는 30°, 수직 편파는 정면에서 반사파가 많았다. 18 GHz 수평편파는 30°, 345° 방향, 수직편파는 0°~15° 방향에서 반사파가 많이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

Table 1. Frequency Domain Test Result

Frequency [GHz]	Test Result	
	Horizontal	Vertical
1		
5		
10		
15		
18		



## 2.3. 시간 영역에서 반사파 측정

### 2.3.1. 시간 영역 시험방법

주파수 영역 자유공간 VSWR 측정은 신호발생기와 주파수 분석기를 사용하여 측정하므로 한번에 한 개의 주파수만을 측정할 수 있다. 측정에 사용되는 슬라이드(x 또는 y 축으로 일정한 속도로 안테나를 이동시켜주는 장치)의 속도에 따라 다르긴 하겠지만 한 개 주파수 측정에 2시간 정도가 소요되었다. 반면 시간영역 측정기법을 활용한 Bi Static Time Domain 측정 방법은 회로망 분석기를 사용하여 측정하고자 하는 대역의 주파수를 한꺼번에 아주 짧은 시간 동안에 측정하게 된다.

Figure 8은 시간영역 측정을 위해 개발한 측정용 소프트웨어 실행화면의 일부를 나타낸 것이다. 측정 방법은 측정하고자 하는 위치에서 송신 안테나와 수신 안테나를 마주 보게 설치한다. 수신 안테나는 제자리에서 360° 회전할 수 있어야 한다. 측정 위치는 Figure 7과 같이 Quiet zone의 전방, 후방, 좌측, 우측 및 중앙에서 진행한다.

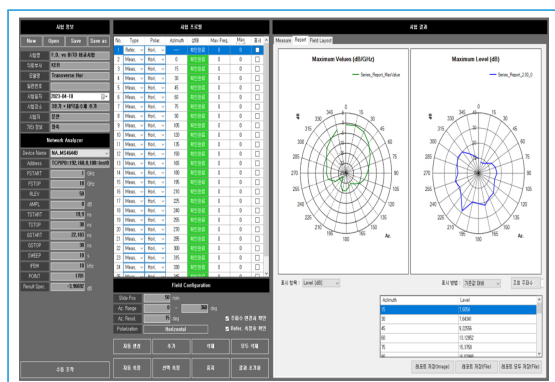


Figure 8. Time Domain Test software

회로망 분석기의 S1 단자에 송신 안테나를 연결하고 S2 단자에 수신 안테나를 연결한다. 수신 안테나는 제자리에서 일정한 속도로 360° 회전할 수 있는 마스트 위에 설치한다. 반사파를 측정하기 위해 직접

파에 의한 영향을 최소화하기 위한 교정을 진행한다. 교정은 송·수신 안테나를 마주 보게 한 상태에서 회로망 분석기를 작동시켜 측정을 시작한다. 회로망 분석기를 Time Domain 상태로 설정하여 송신 안테나로부터 수신되는 직접파를 찾는다. 직접파가 수신 결과에 영향을 주지 않도록 설정하여 직접파 성분을 최소화한다. 회로망 분석기의 설정을 주파수 도메인으로 바꾼다. 설정이 바르게 되었는지 확인하기 위해 수신 안테나를 직접파의 영향이 적은 방위각으로 회전하여 적용된 설정을 확인한다. 확인은 설정이 적용된 상태의 그래프와 적용되지 않은 상태의 그래프를 비교하여 유사성을 확인한다. 회로망 분석기는 빠른 속도로 넓은 대역폭의 주파수를 측정할 수 있다. 주파수 영역 측정 방법이 하나의 주파수에 대한 측정을 진행하는 반면 시간영역의 측정은 대상 전자파 무 반사실의 주파수 특성을 빠른 시간에 측정할 수 있다.

### 2.3.2. 시간 영역 시험 결과

주파수 영역 시험이 Quiet Zone을 가로지르면서 수신 안테나가 이동하는 수신된 결과를 수집하도록 시험이 진행되는 반면, 시간영역의 시험은 Figure 9에서 측정 위치라고 표시한 위치에서 수신 안테나를 15° 간격으로 360° 회전하면서 수신된 결과를 기록하는 방법으로 진행하였다. 측정 결과는 Table 2에 정리하였다.

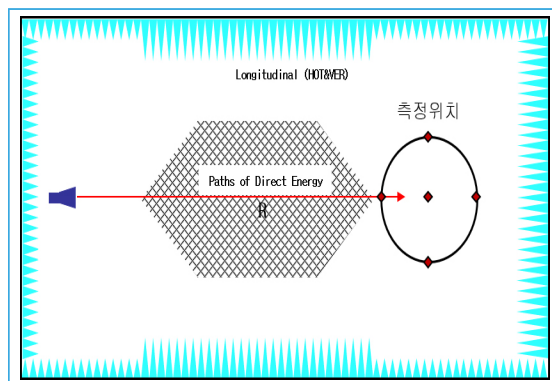
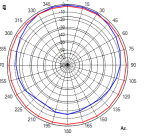
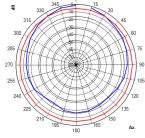
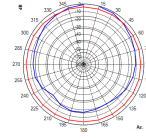
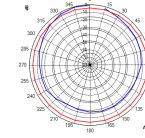
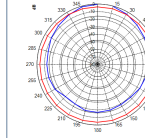
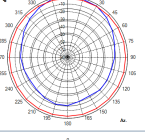
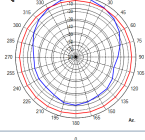
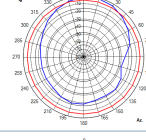
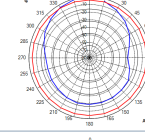
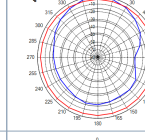
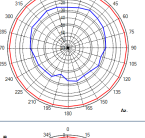
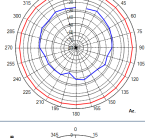
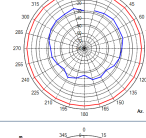
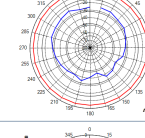
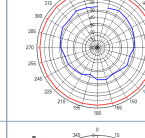
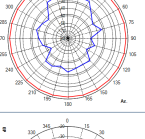
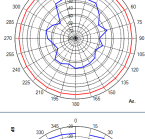
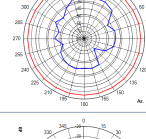
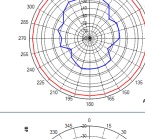
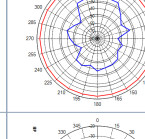
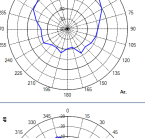
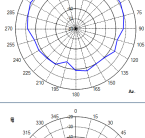
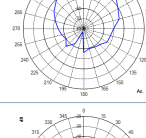
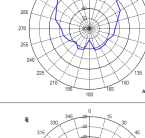
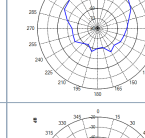
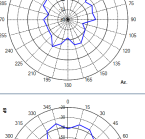
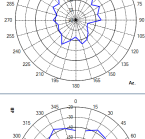
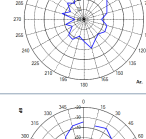
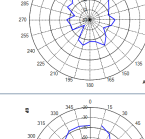
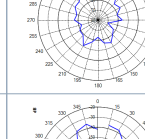
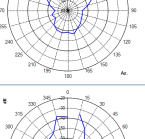
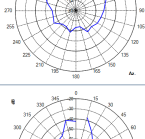
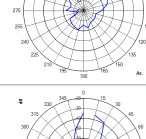
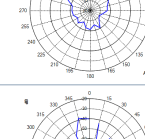
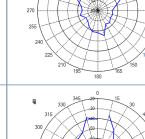
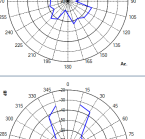
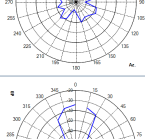
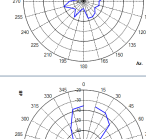
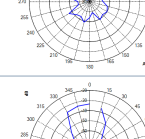
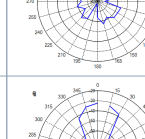
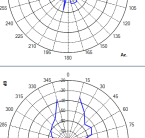
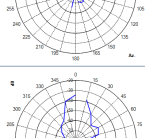
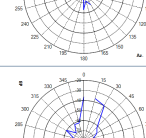
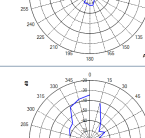
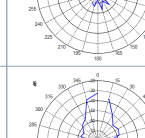
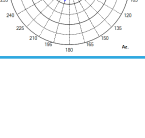
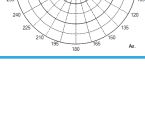
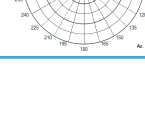
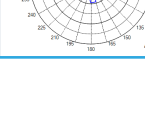
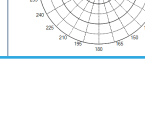


Figure 9. Test Point of Bi Static Time Domain VSWR

**Table 2.** Time Domain(Bi Static) Test Result

Frequency [GHz]	Polarization	Test Result				
		Front	Rear	Left	Right	Center
1	Horizontal					
	Vertical					
5	Horizontal					
	Vertical					
10	Horizontal					
	Vertical					
15	Horizontal					
	Vertical					
18	Horizontal					
	Vertical					

## 2.4. 시험방법의 비교

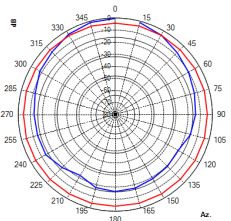
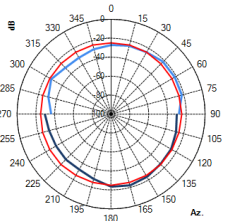
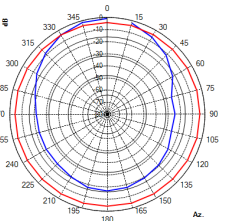
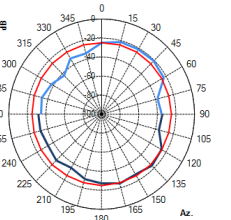
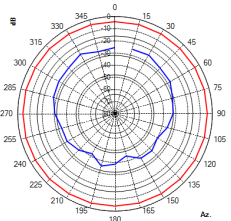
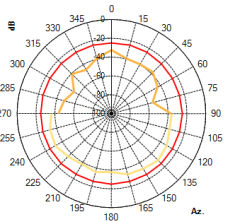
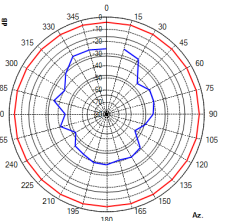
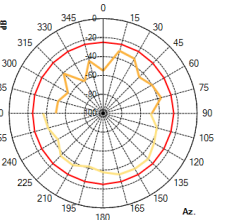
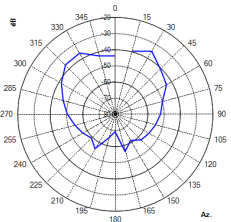
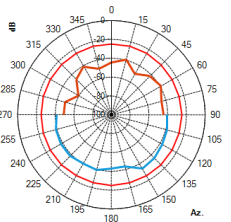
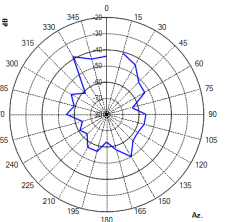
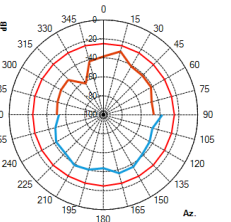
주파수 영역 시험방법과 시간영역 시험방법 결과를 비교하였다. 주파수 영역 시험방법은 주 반사면의 반사가 두드러지게 측정이 되었다. 신호발생기로 시험대상 주파수만을 송신하고 수신 안테나에서 수신하면서 x 축 또는 y 축으로 이동하면서 측정을 진행하여 수신 위치에 따라 변화하는 반사면의 반사효과가 잘 반영되었다고 판단된다.

시간영역 측정은 시험 위치에서 전자파 무 반사실 전체의 반사효과를 효과적으로 확인할 수 있었다. 1 GHz에서는 수직 편파 시험 결과 중앙에서 측정된 그래프에서 주파수 영역에서 측정한 결과와 유사한 반사파 유입 경로가 확인되었다. 5 GHz에서는 좌측과 중앙의 측정 결과가 주파수 영역과 유사한 결과

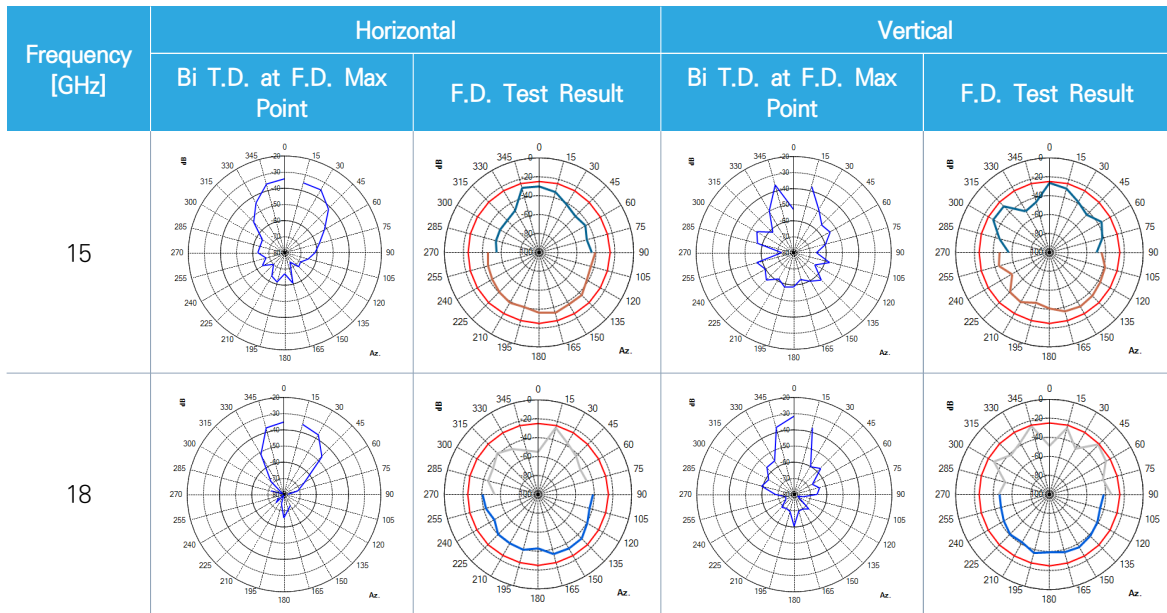
를 보였다. 10 GHz와 15 GHz에서는 전방의 측정 결과가 주파수 영역과 유사한 결과를 보였으며, 18 GHz에서는 좌측의 측정 결과가 비슷한 경향을 나타냈다.

측정 결과 유사성은 확인되었으나 측정 방법의 차이에 의해 최대 반사효과가 나타나는 위치가 달라짐을 확인하였다. 위치에 따른 측정 결과의 차이를 줄이기 위해 주파수 도메인의 측정 결과를 확인하여 반사파가 많이 유입되는 위치를 확인하였다. 확인된 위치에서 시간 영역으로 확인 시험을 진행하여 효과를 비교하였다. 시험은 전자파 무 반사실의 주 반사면 즉 송·수신 안테나가 마주 보는 방향의 벽을 대상으로 하였으며, 결과는 Table 3에 정리하였다. 측정 결과 정해진 지점에서 진행한 시험 결과에 비해 반사파 유입경로의 유사성이 높아졌다.

**Table 3.** Time Domain(Bi Static) Test Result at Frequency Domain Maximum Point

Frequency [GHz]	Horizontal		Vertical	
	Bi T.D. at F.D. Max Point	F.D. Test Result	Bi T.D. at F.D. Max Point	F.D. Test Result
1				
5				
10				





### 3. 결론

자유공간 VSWR 측정을 위한 여러 가지 방법들이 있다. 본 연구에서는 신호발생기와 신호분석기를 사용하여 주파수 도메인에서 측정하는 방법과 회로망 분석기를 사용하여 시간 도메인에서 직접파 성분을 배제하는 방법을 사용하여 측정하는 방법을 비교하였다. 주파수 도메인 측정 방법은 자동화된 소프트웨어를 사용하여도 주파수 한 개를 측정하는 데 2시간이 소요되었다. Quiet Zone 끝에서 다른 쪽 끝까지 이동하는 시간이 필요하고 15° 간격으로 회전하여 측정할 때도 매번 같은 동작을 반복 수행해야 하는 것이 원인 이었다. 또 360° 전 방향을 측정하기 위해서는 슬라이드의 이동 방향을 바꾸어 시험을 진행하여야만 했다. 시간영역 측정도 각도는 동일하게 15° 간격으로 회전하여 측정하였지만, 설정한 측정 지점 한곳에서 전 방향에 대하여 시험을 진행하였다.

두 가지 시험방법 비교 결과 시간영역 시험방법이 주파수 영역 시험방법에 비해 주파수 대역을 한 번에 측정할 수 있고, 측정 포인트별로 반사파가 어떤 방향에서 유입되는지 쉽게 확인할 수 있는 점이 확인되었다. 주파수 도메인 측정 방법에서 반사파가 큰

지점에서 확인 시험한 결과도 비슷한 결과를 보였다. 주파수 도메인에서 반사파가 많이 유입되는 위치를 파악하여 주파수 도메인으로 시험한 결과이긴 하지만 포인터 한 개에 20분의 측정 시간을 사용하여 주파수 필요한 주파수 대역 전체에 대한 측정을 진행할 수 있다는 점이 장점이라고 할 수 있다. 일부 주파수에서 시험 결과가 차이를 보이는 것은 주파수 도메인에서 확인된 반사파가 많이 유입되는 지점 확인에서 오차가 발생한 것으로 파악되었다. 주파수 도메인에서 최대 유입 위치를 파악하지 않은 시험 결과 5개의 측정 포인터만으로도 전자파 무 반사실의 Quiet Zone으로 유입되는 반사파의 방향과 특징들을 효과적으로 파악할 수 있었다.

시간영역 측정 방법은 회전 각을 좀 더 작은 크기로 증가하고, 더 많은 수의 측정 포인트에서 측정하여도 주파수 도메인의 측정 방법과 비교하면 엄청난 시간을 줄이는데 기여할 수 있다. 주파수 도메인에서 최대 유입경로를 확인하지 않고 주파수 도메인 측정 방법만을 위한 측정 위치 설정에 관하여 좀더 연구를 진행한다면 좀 더 정확한 전자파 무 반사실의 반사파 성능을 측정하는 좋은 시험방법이 될 것으로 기대한다.

## 참고문헌

- 1 "IEEE Standard Test Procedures for Antennas", IEEE STD 149-1979.
- 2 Brian B. Tian, "Free Space VSWR Method for Anechoic Chamber Electromagnetic Performance Evaluation", AMTA 2008.
- 3 J. Appel-Hansen, "Reflectivity Level of Radio Anechoic Chambers," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol 21, July 1973, p. 490-498.
- 4 E. F. Buckley, "Outline of Evaluation Procedures for Microwave Anechoic Chambers", Microwave Journal, Vol 6, Aug 1963, p. 69-75.
- 5 J. S. Hollis, T. J. Lyon and L. Clayton Jr., "Microwave Antenna Measurements", Scientific -Atlanta, Atlanta, GA, 1970.
- 6 K. Hatakeyama, H Togawa, T. Kawamura and Y. Sato, "Experimental Study on Direction Dependency of Reflection Coefficients of Microwave Electromagnetic Anechoic Chamber", IEEE Trans. Electrom. Compat. Vol. 34, no 4, Nov. 1992, p. 397-403.