

# EMI 사전 적합성 테스트를 위한 Real Time Solutions : RSA 3000/5000N/6000 활용 가이드

Application Note

## Introduction / 서론

### *RIGOL RSA3000N/5000N 시리즈를 활용한 고성능 실시간 EMI 측정 솔루션*

지난 20여 년간 전자기 적합성(Electromagnetic Compatibility, EMC)은 꾸준히 중요한 화두가 되어왔습니다. 특히 설계 단계에서의 EMC 대책은 제품의 기능을 정상적으로 구현하고 전자파 노이즈로부터 환경을 보호하기 위해 반드시 필요합니다. 모든 신규 개발 제품은 CE 인증 취득을 위해 공인 시험소에서 관련 표준에 따른 테스트를 거쳐야 하며, 이 인증이 있어야만 시장 출시가 가능합니다. 적용 표준은 제품의 종류에 따라 달라지는데, 예를 들어 MP3 플레이어나 모뎀(통신) 같은 "정보 기술 장비(Information Technology Equipment, ITE)"는 CISPR 22(EN55022) 표준을 준수해야 합니다. 각 표준은 전도 및 방사 노이즈에 대한 측정 주파수 범위를 지정하고 있으며, 분석 항목별로 dB $\mu$ V 단위의 최대 허용치를 정의하고 있습니다.

설계 단계에서의 사전 적합성 분석은 매우 중요합니다. 통계적으로 첫 번째 승인 테스트에서 탈락하는 제품이 약 50%에 달하기 때문입니다. 재테스트를 위해 전체 적합성 테스트를 다시 받는 것은 막대한 비용과 시간이 소요될 뿐만 아니라, 재설계에 따른 추가 지출과 일정 지연 역시 비즈니스에 큰 타격을 줍니다.

이러한 상황을 방지하려면 개발 초기 단계부터 EMC 분석과 측정을 시작해야 하며, 개발 전 과정에 걸쳐 지속적인 사전 적합성 점검이 병행되어야 합니다. 조사에 따르면 개발 과정 중 투입되는 EMC 관련 비용은 전체 예산의 약 3~5% 수준입니다. 하지만 이를 소홀히 하여 적합성 테스트에서 실패할 경우, 사후 조치에 드는 비용은 초기 계획 대비 50%에서 최대 100%까지 급증할 수 있습니다.

RIGOL은 오래전부터 EMC 분석과 사전 적합성 검토를 위해 6dB 필터와 준첨두치(QP) 검출기를 탑재한 DSA800 시리즈, PC용 S1210 소프트웨어, 그리고 NFP-3 근거리장 프로브 세트로 구성된 솔루션을 제공해 왔습니다. 이 솔루션은 이제 RSA3000N 및 RSA5000N 시리즈를 통해 한층 더 확장되고 최적화되었습니다. 새로운 시리즈를 활용하면 EMC 분석 과정을 대폭 단순화할 수 있을 뿐만 아니라, 이전보다 훨씬 정교하고 고도화된 분석 기능을 경험할 수 있습니다.

## <EMI의 발생 기전 및 결합 메커니즘>

EMC는 전자기 에너지를 방출하는 송신 측과 영향을 받는 수신 측 사이의 상호 간섭 없는 공존을 위해 정의되었습니다. 여기에는 의도치 않은 전자기파의 송수신 제어도 포함됩니다. 궁극적으로 EMC는 한정된 자원인 '전자기 스펙트럼'을 보호하는 역할을 하며, 이러한 간섭(EMI) 현상을 정의하는 데는 세 가지 주요 요소가 핵심입니다.



그림1. EMI의 요소

간섭원은 예를 들어 증폭기의 기생 역결합 효과나 전기/전자 설비의 전자기 전송에서 발생할 수 있습니다. 다양한 결합 경로를 통해 교란이 피해 기기(EMI 수용기)에 결합됩니다. 이 간섭은 EMI 수용기(피해 기기)의 기능에 다음과 같은 다양한 고장률을 초래할 수 있습니다.

1. 성능 저하
2. 기능 고장
3. 장비 손상 (최악의 경우)

이러한 시나리오를 피하기 위해서는 DUT(Device Under Test, 시험 대상 기기)의 결합 메커니즘을 포함한 근본 원인을 감지하는 것이 중요합니다. EMI 간섭은 다양한 결합 경로를 통해 전송될 수 있습니다. 낮은 주파수 범위의 경우 파장( $\lambda$ )이 기하학적 구조보다 크고 전기장과 자기장이 독립적이기 때문에 간섭은 주로 라인 연결(전원, 데이터 버스, 아날로그 라인, RF 연결 등)을 통해 전송됩니다. 두 필드는 전파되지 않으며 준정적 접근(유도성/용량성 요소 분석)이 필요합니다. DUT 활성화 중/후에 이러한 라인에서 원치 않는 간섭이 발생하는지 확인하기 위해 라인 연결을 테스트해야 합니다. 이러한 종류의 테스트를 전도성 방출(Conducted Emission)이라고 합니다.

DUT의 파장이 프레임과 같거나 작으면 자기장과 전기장은 더 이상 독립적이지 않고 소스에서 결합하여 전파되기 시작합니다. 예를 들어 기하학적 구조가  $6 * \lambda$ 인 경우 EM 필드는 더 이상 소스에만 머무르지 않고 전파가 발생하며 DUT는 EM 파를 내보내기 시작합니다(안테나 역할). EM 파에 의한 원치 않는 간섭을 방사성 방출(Radiated Emission)이라고 합니다. EM 소스의 근거리장에서는 준정적 접근이 필요합니다.

간섭은 발생 원인이 다양하고 결합 효과가 복잡하게 얽혀 있어 예측과 감지가 매우 어렵습니다. 간섭의 영향은 크게 두 가지로 나뉩니다.

첫째는 단일 기기 내부의 설계 결함으로 인해 발생하는 시스템 내(Intra-system) 교란으로, 크로스토크(Crosstalk)가 대표적인 예입니다. 둘째는 기기가 독립된 다른 시스템에 영향을 주는 시스템 간(Inter-system) 교란입니다. (예: 휴대폰 신호가 라디오 스피커의 잡음을 유발하는 현상)

#### <주요 결합 방식>

- 갈바닉 결합 (Galvanic Coupling, G-C): 두 전기 회로가 동일한 임피던스(예: 동일한 접지)를 사용할 때
- 유도 결합 (Inductive Coupling, I-C): 전류 흐름이 있는 두 개(또는 그 이상)의 도체 루프가 자기장을 통해 서로 영향을 줄 때
- 용량 결합 (Capacitive Coupling, C-C): 두 전기 회로가 서로 다른 전압 전위를 가질 때
- 전자기 결합 (Electromagnetic Coupling, EM-C): 파장이 기하학적 구조보다 작고 EM 파가 DUT 주변 및/또는 DUT의 다른 섹션으로 방사될 때

DUT에서 정확한 결합 경로를 찾아내는 것은 여러 방식이 복합적으로 나타날 수 있어 매우 어렵습니다. 하지만 결합 경로만 정확히 파악한다면 해결책은 비교적 간단히 찾을 수 있습니다. 본 문서에서는 강력한 사전 적합성 분석 기능을 갖춘 RSA5000N의 새로운 EMI 모드에 대해 설명드릴 예정입니다.

#### <실시간 스펙트럼 분석기 RSA5000N / RSA3000N의 EMI 모드>

RSA5000N 및 RSA3000N 시리즈는 범용 스펙트럼 분석(GPSA), 실시간 분석(RTSA), 벡터 신호 분석(VSA), 벡터 네트워크 분석(VNA)은 물론, 사전 적합성 테스트를 위한 EMI 전용 모드까지 갖춘 다기능 스펙트럼 분석기입니다. 뛰어난 성능과 유연성을 동시에 제공하여, EMI 사전 적합성 분석을 위한 최적의 테스트 솔루션을 제안합니다.

특히 실시간 분석 모드(RTSA)를 활용하면 EMI 측정 시 간헐적인 노이즈를 포착하는 등 DUT의 전체적인 동작 상태를 훨씬 정밀하게 파악할 수 있습니다. 또한, GPSA 모드로 증폭기 같은 개별 부품의 특성을 측정하거나, VSA 모드를 통해 내성(Susceptibility) 테스트 중 RF 출력의 변조 품질 및 에러율(BER)을 분석하는 등 다각적인 검증이 가능합니다. 새로운 EMI 모드는 사전 적합성 테스트의 효율을 극대화하는 다양한 기능을 제공합니다.

## 1. 스캔테이블(Scan Table)

일반적으로 공인 시험소에서는 전도·방사 노이즈 및 내성 테스트를 위해 테스트 수신기(TR)를 사용합니다. 하지만 TR은 가격이 매우 비싸고 EMC 분야 외에는 활용도가 낮다는 단점이 있습니다. 반면, 스펙트럼 분석기(SA)는 측정 속도가 빠르고 다양한 분야에 범용으로 사용할 수 있으며, 특히 RIGOL 솔루션은 비용 효율성이 매우 뛰어납니다.

물론 EMC 측정 측면에서 TR만의 강점도 있습니다. TR은 프리셀렉션(Pre-selection) 기능을 통해 구간별로 최적화된 동적 범위(Dynamic Range)를 설정할 수 있고, 주파수 분해능(RBW/2 또는 RBW/4) 확보가 용이합니다. 하지만 RIGOL의 SA는 CISPR 16.1 요구 사항을 대부분 충족하며, 실제 테스트 결과와 매우 유사한 근사치를 제공하므로 사전 적합성 테스트용으로 충분한 성능을 발휘합니다. 참고로 100% 규격을 충족하는 TR은 최종 적합성 판정(Full-compliance) 단계에서 주로 사용됩니다.

	Start	Stop	Points	Scan Time	RBW	Att(dB)	Pa
<input type="checkbox"/>	9KHz	150KHz	1490	65.25059s	200Hz (E)	10	ON
<input checked="" type="checkbox"/>	150KHz	30MHz	6634	7.426185s	9KHz (E)	0	ON
<input type="checkbox"/>	30MHz	300MHz	4500	367.279ms	120KHz (E)	10	ON
<input type="checkbox"/>	300MHz	600MHz	5000	408.088ms	120KHz (E)	10	ON
<input type="checkbox"/>	600MHz	1GHz	6667	544.117ms	120KHz (E)	10	ON
<input type="checkbox"/>	1GHz	3.2GHz	4400	43.889ms	1MHz (E)	10	ON
<input type="checkbox"/>	3.2GHz	6.5GHz	6600	65.833ms	1MHz (E)	10	ON
<input type="checkbox"/>	1.0001GHz	1.0002GHz	101	1ms	1MHz (E)	10	ON
<input type="checkbox"/>	1.0002GHz	1.0003GHz	101	1ms	1MHz (E)	10	ON
<input type="checkbox"/>	1.0002GHz	1.0003GHz	101	1ms	1MHz (E)	10	ON

Right Panel Controls:

- Scan Table
- Select Range: Range 2
- Range: Off / On
- Start Freq: 150.000 kHz
- Stop Freq: 30.000000 MHz
- Points: 6634
- Scan Time: 7.42618 s
- Auto Scan Time: Off / On
- 1/2

그림2. 스캔테이블

RIGOL RSA5000N 및 RSA3000N에 탑재된 새로운 EMI 솔루션은 '스캔 테이블' 기능을 통해 기존 SA의 제약 사항을 대부분 극복했습니다. 그림 2와 같이 EMC 테스트에 필수적인 6dB RBW 필터를 포함하여, 가장 빈번하게 사용되는 10개의 주파수 범위를 미리 정의해 두었습니다. 이러한 사전 설정값들은 사용자의 요구에 맞춰 자유롭게 수정하거나 저장할 수 있어 매우 편리합니다.

SA의 이러한 단점을 보완하기 위해 RIGOL의 EMI 솔루션은 필요한 6dB RBW를 포함하여 가장 중요한 주파수 대역의 기본 설정을 스캔 테이블(그림 2 참조)의 개별 영역[Range]에 미리 저장합니다. 모든 파라미터는 자신의 희망에 따라 영역별로 개별적으로 조정할 수 있습니다.

예를 들어, 각 주파수 영역(Range)마다 최대 10,000개의 측정 포인트를 설정할 수 있습니다. 기본 설정 시 주파수 분해능은 RBW/2로 나타납니다. 더 높은 분해능이 필요한 경우, 한 번의 테스트 내에서 서로 다른 영역을 결합하여 사용할 수 있습니다. 일례로 3개의 영역을 조합하면 전체 주파수에 대해 총 30,000개의 측정 포인트를 확보하여 원하는 분해능에 도달할 수 있습니다.

내장 전치 증폭기(Pre-amplifier, 옵션)와 내부 감쇠기(0~50dB) 설정 또한 각 영역별로 개별 변경이 가능합니다. 이처럼 각 단일 영역마다 동적 범위를 독립적으로 최적화하고 조합함으로써, 측정 중단 없이 전체 테스트의 동적 범위를 확대할 수 있습니다. 이를 통해 기존 스펙트럼 분석기(SA)가 가졌던 주파수 분해능 및 동적 범위의 한계를 EMI 모드에서 보완하게 됩니다.

또한, 표준 3dB RBW 필터 외에도 EMI 솔루션 전용 6dB 필터(200Hz, 9kHz, 120kHz, 1MHz)가 탑재되어 있습니다. 특히 RSA5000N 모델의 경우, 일반적인 테스트 수신기(TR)에서는 지원하지 않는 실시간 분석 및 벡터 신호 분석 기능을 추가로 제공합니다.

## 2. 표준에 따른 제한 통합 (Integration of Limits According to Standards)

원하는 주파수 범위를 선택한 후, 원하는 표준(예: EN55022, 클래스 B, AV 또는/및 QP)의 미리 정의되고 저장된 제한선을 로드하여 완전 로그 트레이스 디스플레이에 표시할 수 있습니다. 각 제한에 측정 곡선을 할당할 수 있습니다. 각 합격/불합격 제한에 대해 별도의 검출기 설정으로 측정 곡선을 활성화할 수 있습니다. 서로 다른 측정 곡선을 동시에 측정할 수도 있습니다. 각 제한선에 대해 추가 보안 마진을 활성화할 수 있으며, 이는 합격/불합격 보기에 고려됩니다. 특히 사전 적합성 점검에서는 적합성 점검을 통과할 수 있도록 결과가 정의된 제한선보다 최소 5-6dB 낮아야 합니다.

## 3. 고급 미터/추가 검출기/보정 (Advanced Meter/Additional Detectors/Corrections)

또 다른 고급 측정 모드는 측정 미터입니다. 병렬로 최대 3개의 미터를 활성화할 수 있습니다. 각 미터는 서로 다른 검출기 및 별도의 제한 값과 함께 사용할 수 있습니다. 예를 들어, 첫 번째 미터에는 피크 값 검출기[peak], 두 번째 미터에는 QP 검출기, 세 번째 미터에는 새로운 CISPR 평균[C-AV] 검출기를 설정할 수 있습니다. 각 측정 미터는 미터 마커를 통해 초점 아래의 피크로 설정할 수 있습니다. 미터는 지속적으로 측정합니다. 즉, 예를 들어 피크 값이 높은 경우 DUT를 재작업할 수 있으며 이 값에 대한 영향을 즉시 나타낼 수 있습니다. 설계 개선 사항이 즉시 표시됩니다. 3개의 미터를 병렬로 사용하면 피크 측정(최악의 경우)을 볼 수 있을 뿐만 아니라 일정 시간 동안 해당 신호의 반복 펄스 속도를 QP 검출기로 표시할 수 있습니다. 또한 낮은 반복 속도를 가진 펄스 정현파 신호에 대해 가중 평균 검출기(C-AV)를 사용하여 측정 중 최대 선형 평균값을 표시할 수 있습니다.

미터는 신호 테이블에서 선택된 신호와 결합될 수 있습니다. 미터 주파수의 추가 미세 조정이 필요하지 않습니다. 따라서 신호 테이블의 각 피크를 선택하여 마커로 측정할 수도 있습니다. 대안적으로 미터를 마커에 결합할 수도 있습니다. 전도성 방출 테스트의 경우 추가 구성 요소(예: 라인 임피던스 안정화 네트워크(LISN), 과도 제한기, 외부 감쇠기 등)가 사용됩니다. 각 구성 요소는 주파수 범위에 걸쳐 테스트 결과에 직접적인 영향을 미칩니다. 따라서 RSA3000N / RSA5000N EMI 모드에서 다양한 보정을 활성화할 수 있습니다. 테스트 중에 보정은 결과에 반영됩니다. 보정 값은 기기 내부에 \*.csv 파일로 저장할 수 있습니다. 이는 PC에서 생성하여 나중에 분석기로 로드할 수도 있습니다.

#### 4. 측정 (Measurement)

측정을 위해 다양한 조건을 설정할 수 있습니다. 한편으로는 하나 이상의 검출기로 가변 트레이스를 동시에 기록할 수 있습니다. 또는 최악의 상황(피크 검출기)만 기록할 수도 있습니다. 그 후 신호 테이블의 각 피크는 QP 및 C-AV 검출기로도 측정됩니다. QP 및 C-AV로 전체 트레이스를 수행할 필요가 없습니다(몇 시간이 걸릴 수 있음). 왜냐하면 이러한 검출기는 피크가 보일 때만 흥미롭고 테스트 엔지니어는 몇 분 안에 정보를 얻어 사전 적합성 평가 중 많은 시간을 절약할 수 있기 때문입니다.

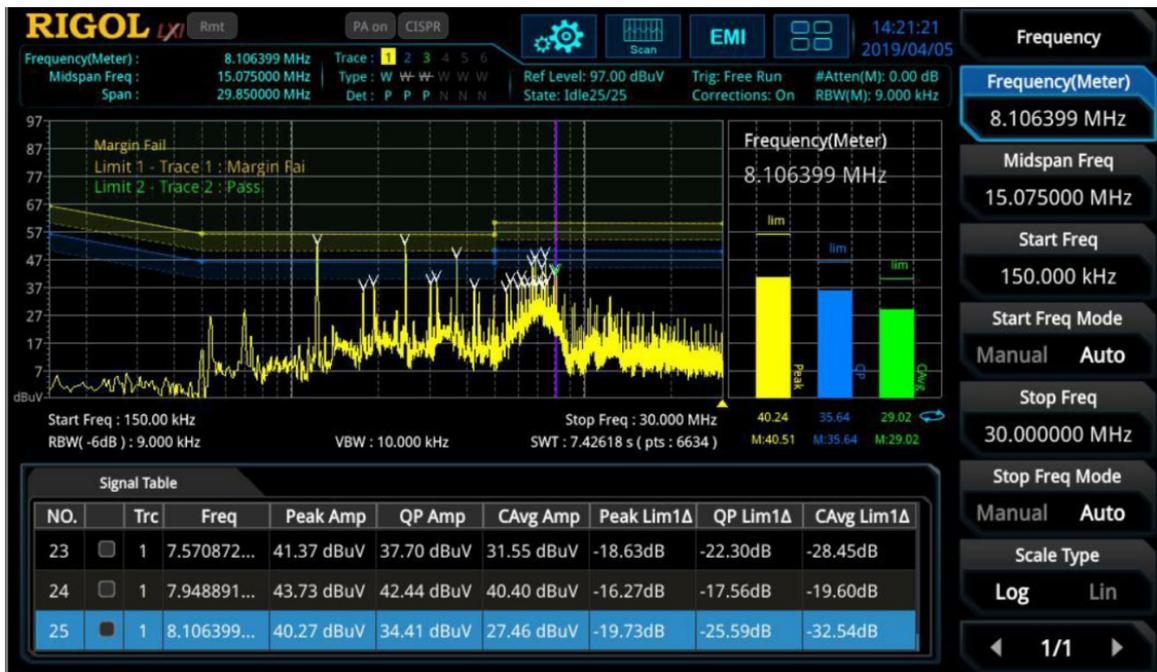


그림 3. 트레이스, 미터(오른쪽) 및 결과가 포함된 신호 테이블(아래)이 있는 EMI 측정 화면

신호 테이블의 판독 횟수는 미리 정의할 수 있습니다. 피크 값의 상세 보기를 얻기 위해 줌 기능을 사용하여 피크의 상세 보기를 확대할 수 있습니다. 분석 후 보기를 축소하여 원래 보기로 돌아갈 수 있습니다. 트레이스의 전체 화면이 필요한 경우 측정 미터와 신호 테이블을 화면에서 끌 수 있습니다.

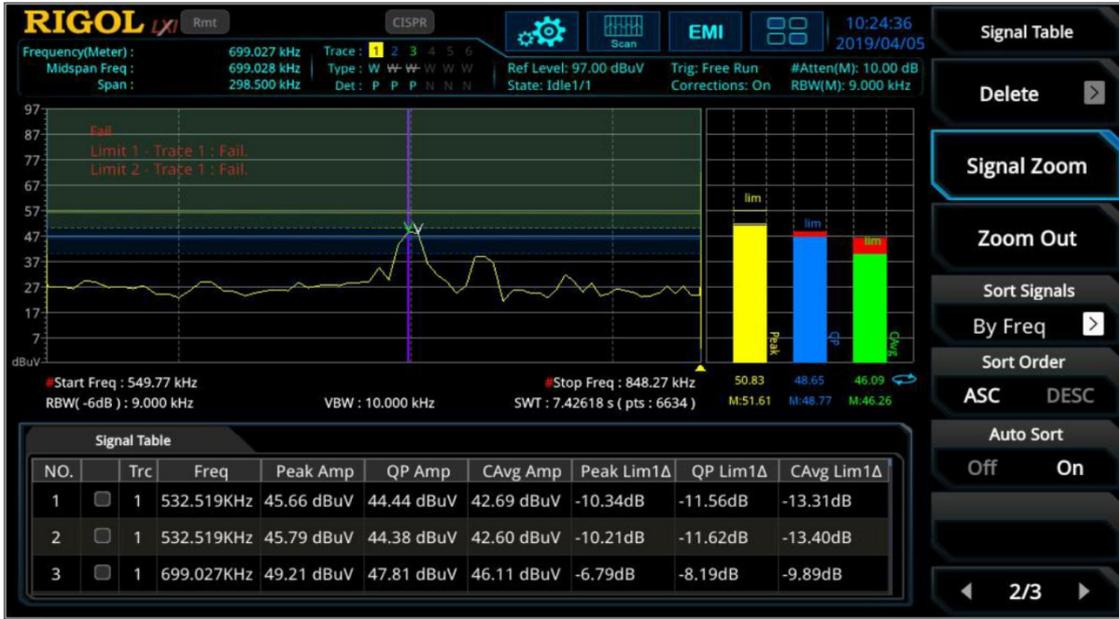


그림 4. 피크 신호의 줌 화면

## 5. 문서화 (Documentation)

RSA5000N / RSA3000N 시리즈의 EMI 모드에서는 측정을 다양한 방식으로 저장할 수 있습니다. 예를 들어 전체 신호 트레이스를 \*.csv 파일로 저장하거나 설정, 제한, 미터 결과를 포함한 그래프 이미지 및 신호 테이블을 포함한 테스트 보고서를 HTML 또는 \*.pdf로 분석기 자체 또는 외부 USB 스틱에 생성할 수 있습니다. 테스트 보고서의 헤더를 온도/습도, 운영자 이름 또는 테스트 위치 등의 정보로 수정할 수 있습니다. 다음 부분에서는 전도성/방사성 방출 및 근거리장 프로빙을 사용한 몇 가지 측정 예를 살펴보겠습니다.

## 6. 전도성 방출 (Conducted Emission)

이미 언급했듯이 전도성 방출은 주로 라인(예: 전원, 아날로그/디지털 신호 등)에서 최대 30MHz까지 측정됩니다. 전력선에서의 전도성 방출 테스트를 위해서는 DUT에 전원을 공급해야 합니다. 동시에 DUT에서 발생하는 교란을 측정해야 합니다. 문제는 전원 공급 장치에서도 교란이 발생할 수 있으며 이는 측정되어서는 안 된다는 것입니다. 또 다른 측면은 임피던스 불일치로 인한 잘못된 결과를 피하기 위한 임피던스 매칭입니다. 이 문제에 대한 해결책은 라인 임피던스 안정화 네트워크[LISN]를 사용하는 것입니다. LISN은 전원 공급 장치에서 SA로의 모든 간섭을 차단(유도성 구성 요소 통해)하지만 DUT에 전원을 공급합니다. 유도성 크기에 따라 LISN은 DC(5  $\mu$ H) 또는 AC(50  $\mu$ H) 전원에 사용할 수 있습니다. 전력은 SA로 가는 길에 차단되지만(용량성 구성 요소 통해) DUT 교란은 차단되지 않고 SA로 전송됩니다. SA 연결부의 임피던스는 50  $\Omega$ 입니다.

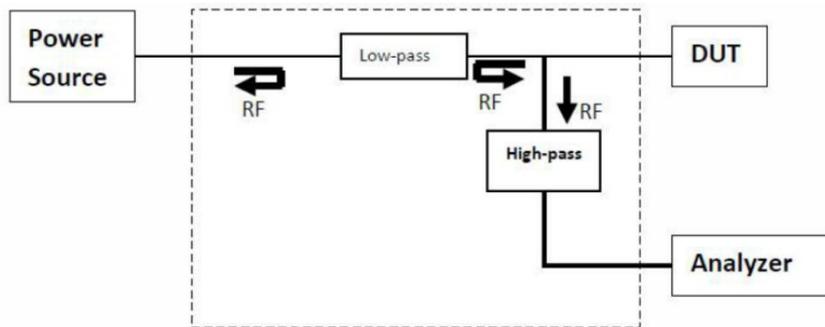
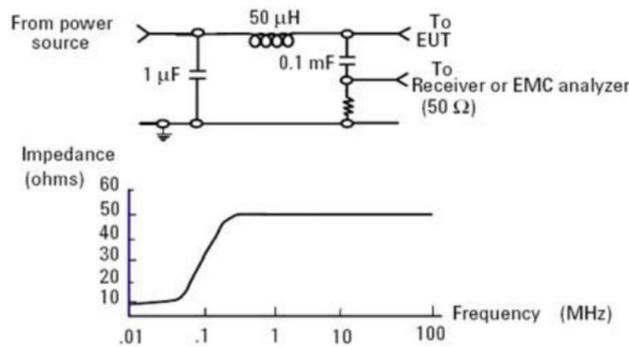


그림 5. AC LISN의 블록 다이어그램

LISN을 사용할 때는 두 가지 보안 메커니즘이 중요합니다. LISN 또는 DUT가 활성화되면 정전 용량의 전하가 변경되고 짧은 시간 동안 전류가 흐릅니다. 이 과도 전류는 스펙트럼 분석기의 첫 번째 믹서 다이오드를 파괴할 수 있습니다. 분석기를 보호하기 위해 LISN과 SA 사이에 과도 제한기를 사용하는 것이 좋습니다. 첫 번째 테스트의 경우 DUT에서 높은 교란이 발생하는지 확인하기 위해 테스트에 외부 감쇠기를 사용하는 것도 좋습니다. 교란 피크가 정상 수준임을 확신한 후 첫 번째 테스트 후에 감쇠기를 제거할 수 있습니다. 각 표준에는 테스트 설정을 수행하는 방법이 정의되어 있습니다. 그림 6에는 테스트 설정의 물리적 연결이 표시되어 있습니다.

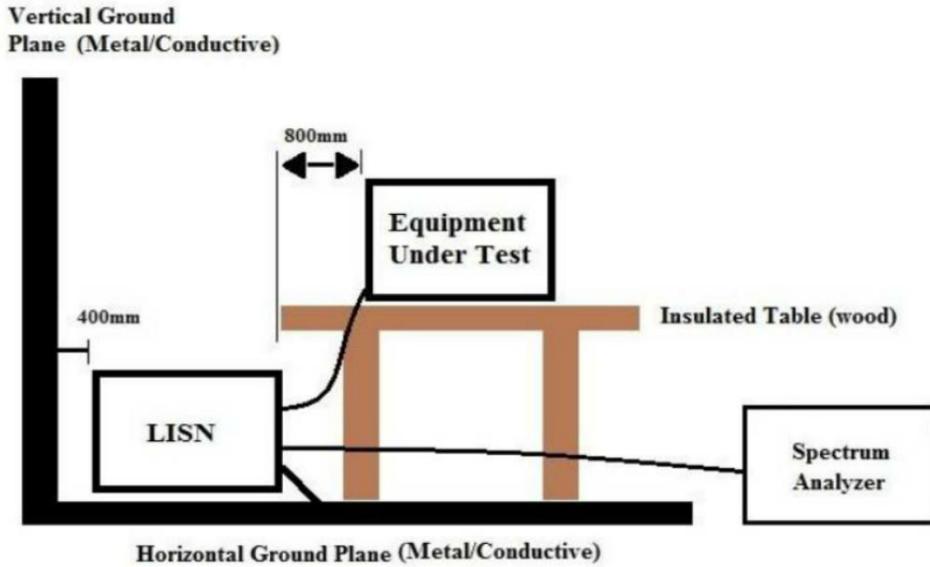


그림 6. 전도성 방출 EMC 테스트를 위한 물리적 연결

아래 예에서는 50 $\mu$ H AC LISN을 사용하여 테스트 장치의 전원 공급 장치(위상)에서 전도성 방출 테스트를 수행했습니다. 첫 번째 테스트는 통합 LISN 제한기를 사용하여 수행되었고 그림 7의 두 번째 테스트는 제한기 없이 수행되었습니다. 제한선과 검출기는 EN55022, 클래스 B 표준에 대해 선택되었습니다. 테스트 결과에는 LISN의 보정 값이 포함됩니다. 이 테스트는 두 개의 제한선을 사용합니다. 첫 번째는 평균 검출기용이고 두 번째(파란색) 제한선은 QP 검출기용입니다. 참고로 피크 검출기는 항상 최악의 경우 값을 표시하므로 최종 측정에도 활성화되었습니다. 이 전원 공급 장치는 제한 마진 바로 아래에 있지만 통과했습니다. 더 높은 피크는 측정 미터를 통해 분석할 수 있습니다.

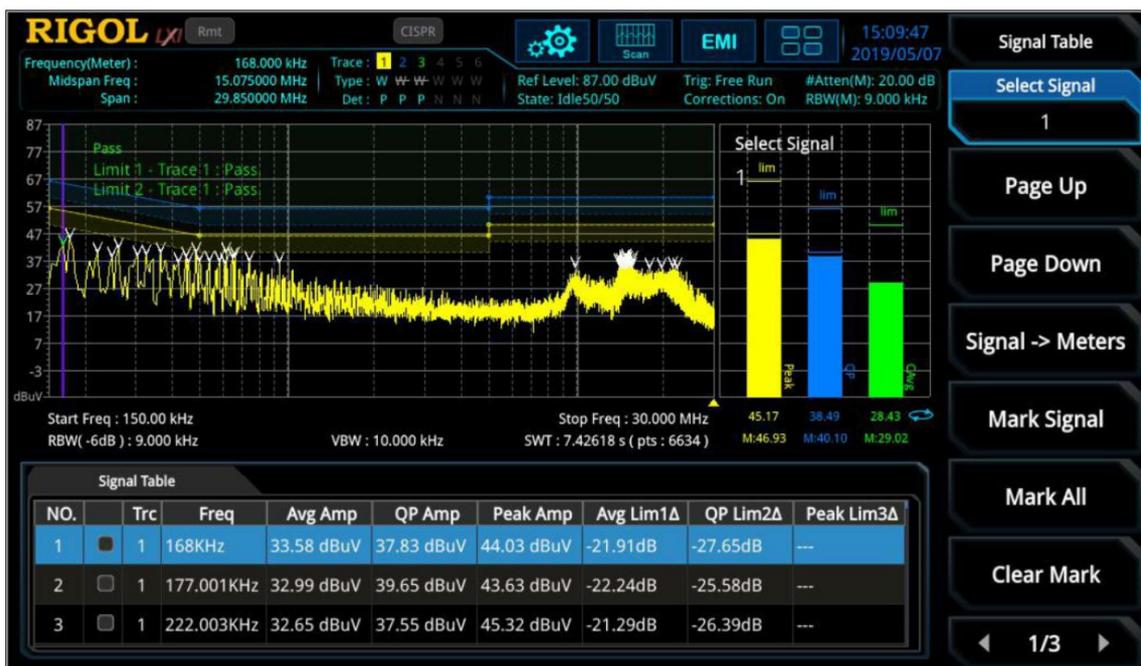


그림 1. ITE 장치의 전원 공급 장치에 대한 전도성 방출 테스트 (EN55022, 클래스 B에 따름)

EMI 분석 외에도 실시간[RT]으로 주파수 대역을 분석할 수도 있습니다. 이 모드는 매우 빠른 FFT 알고리즘을 사용하여 주파수 스펙트럼을 계산합니다. 계산 시간은 하나의 FFT 프레임보다 작습니다. 따라서 시간 신호의 원활한 캡처가 가능하며 신호 정보가 손실되지 않습니다. RT 모드에서는 다양한 디스플레이를 사용할 수 있습니다. 예를 들어 밀도 모드 내에서는 테스트 시간 동안 신호 반복을 다양한 색상 등급으로 볼 수 있으므로 더 자세한 내용을 볼 수 있습니다. 밀도 또는 일반 보기는 다양한 진폭 값이 다양한 색상 등급으로 표시되는 스펙트로그램(주파수 범위에 대한 시간 폭포)과 결합될 수 있습니다(그림 8 참조).

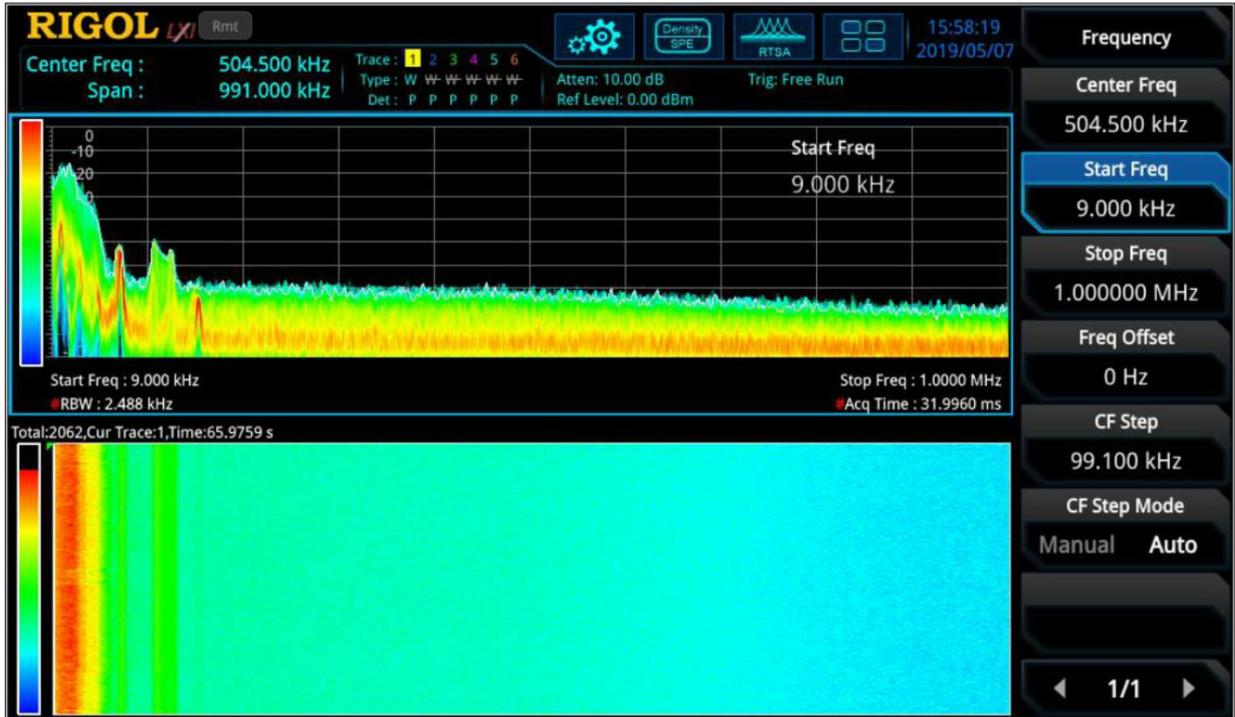


그림 2. 낮은 주파수 범위에서 간섭이 있는 전원 공급 장치의 실시간 보기(밀도 스펙트로그램)

또 다른 강력한 도구는 주파수 보기와 전력 대 시간(최대 40MHz 대역폭)을 병렬로 결합하는 것입니다. SA의 경우 주파수 스펙트럼이나 사용된 RBW의 최대 대역폭으로 제로 스패를 볼 수 있지만 둘 다 병렬로 볼 수는 없습니다. 그림 9에서 동일한 DUT가 더 작은 주파수 범위와 스펙트로그램과 결합된 일반 스펙트럼으로 테스트되었습니다. 이 측정의 경우 테스트 시간을 100  $\mu$ sec로 단축할 수 있습니다. 이제 간섭 펄스가 스펙트로그램에 표시됩니다. Z 마커를 사용하면 간섭 신호의 주파수, 진폭 및 시간 차이를 측정할 수 있습니다.

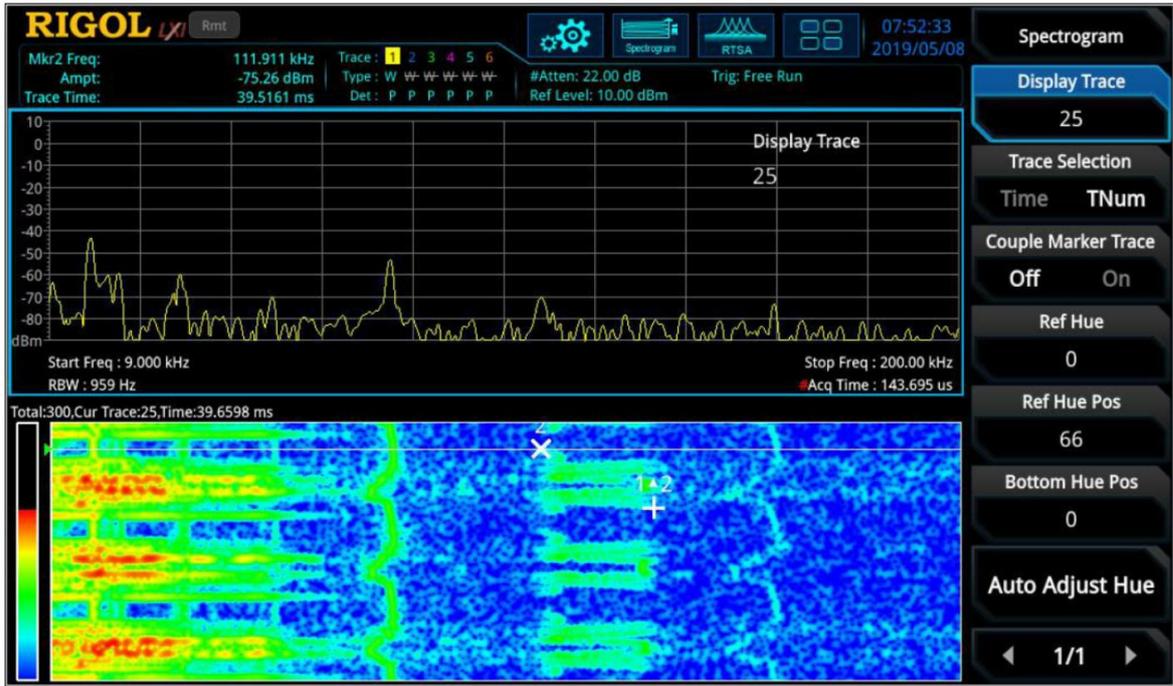


그림 3. 143 μsec의 획득 시간 및 Z 마커 평가를 통한 전원 공급 장치의 간섭 측정

## 7. 근거리장 프로빙 (Near Field Probing)

근거리장 분석은 사전 적합성 분석 및 근본 원인 디버깅에서 매우 중요한 부분입니다. RIGOL은 고장 감지를 위해 4가지 다른 H 프로브가 포함된 근거리장 세트(NFP-3)를 제공합니다(그림 10 참조). 이는 반응성 근거리장 범위(최대  $0.159 * \lambda$ )에서 측정이 이루어지기 때문에 방출 분석의 특별한 형태입니다. 근거리장에서는 자기장 및/또는 전기장을 별도로 측정해야 하는데, 둘 다 최대 90°의 위상 변이가 있고 근거리장은 방사 없이 무효 에너지를 저장하기 때문입니다. 대부분의 방사성 방출 근본 원인은 근거리장 강도의 위치를 파악하여 감지할 수 있습니다.

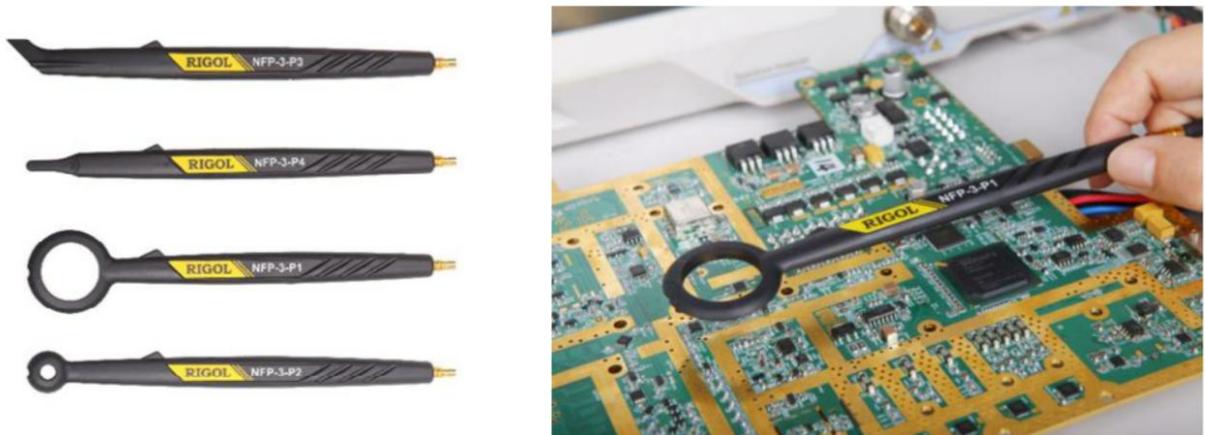


그림 4. EMI 디버깅용 NFP-3 (근거리장 프로브 세트)

하우징 누출 테스트뿐만 아니라 리본 케이블이나 LCD 패널과 같은 강력한 교란 구성 요소도 감지할 수 있습니다. 더 큰 프로브는 간섭 영역을 찾는 데 사용할 수 있습니다. 더 작은 프로브는 정확한 소스를 감지하는 데 사용할 수 있습니다.

근거리장 분석을 위한 한 가지 접근 방식은 선형 주파수 스케일/제한선이 없는 스펙트럼 분석기를 사용하고 100kHz의 RBW로 30MHz에서 500MHz의 주파수 범위를 테스트하고 전치 증폭기(내부 감쇠기: 0dB)를 활성화하여 DUT의 간섭 피크를 처음으로 확인하는 것입니다(그림 11 참조).

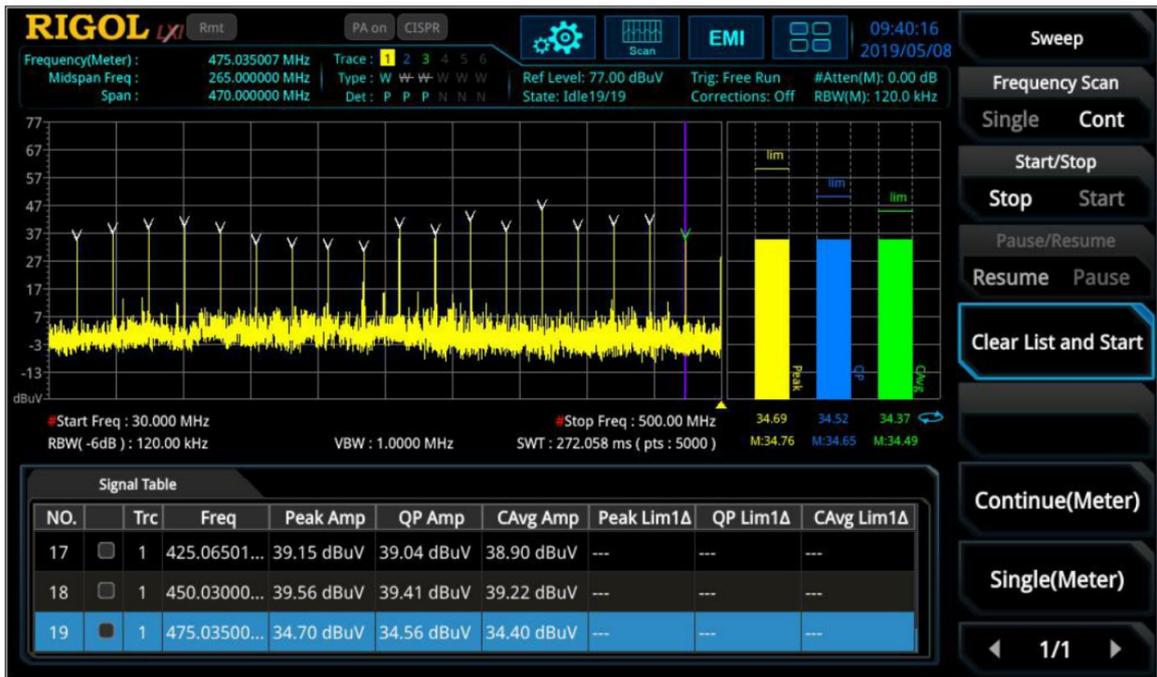


그림 5. 근거리장 프로빙을 통한 DUT 간섭의 첫 번째 개요

## 8. 방사성 방출 (Radiated Emission)

시작 부분의 설명에 따르면 전파는  $\lambda$ 가 기하학적 구조에 비해 작고 E & H가 더 이상 독립적이지 않을 때 시작됩니다. 둘 다 동위상이며 환경으로 전파됩니다. 방사성 방출은 테스트하기 쉽지 않습니다. 시험소에서는 원거리장 조건이 충족되고 다른 영향(휴대폰 등 외부 구성 요소로 인한)이 결과에 나타나지 않는 대형 밀폐 테스트 챔버가 사용됩니다. 원거리장 조건은  $4 * \lambda$  거리에서 시작되며 특성 파동 임피던스는  $120 * \pi \Omega (= 377 \Omega)$ 입니다. 밀폐된 방은 반사를 피하기 위해 EM 파의 임피던스 매칭을 위한 광대역 흡수체를 벽에 가지고 있는 경우가 많습니다. 광대역 안테나의 고도는 테스트 중 DUT에서 가장 높은 피크를 찾기 위해 변경될 수 있습니다.

대부분의 경우 이러한 종류의 테스트 챔버는 사전 적합성 분석에 사용할 수 없습니다. 따라서 대안적인 방법을 평가해야 합니다.

먼저,  $0.159 * \lambda \sim 4 * \lambda$ 로 정의된 방사 근거리장의 거리로 자유 필드 측정을 수행할 수 있습니다(보정 값 사용). 이 영역에서는 원거리장 평가가 가능합니다. 환경으로부터의 테스트 영역 감쇠를 감지하기 위해 DUT 대신 카운터 안테나로 테스트를 수행하고 결과를 이론적 값의 정의된 공식과 비교할 수 있습니다. 그 차이가 테스트 영역 감쇠입니다. 안테나 간의 거리에 따라 다양한 보정 계수가 사용됩니다. 이 테스트에는 매우 우수한 전도성 타원 영역이 필요합니다. 타원 내에는 5cm보다 큰 전도성 장애물이 없어야 합니다(그림 12 참조). DUT와 테스트 안테나는 타원의 초점 내에 위치합니다. 최대값을 감지하려면 테스트 안테나의 고도 변화를 수행해야 합니다.

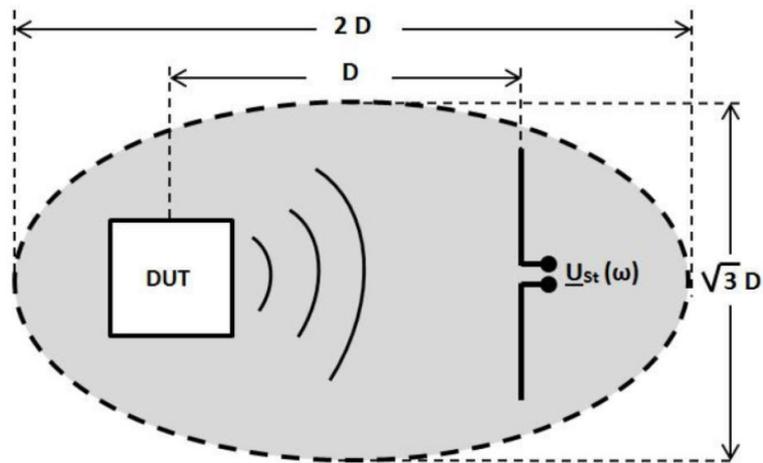


그림 6. 방사성 방출을 위한 자유 필드 측정

이 테스트는 시간 집약적이고 비용이 많이 듭니다. 사전 적합성 테스트를 위한 더 간단한 방사성 방출 분석 방법은 TEM 셀을 사용하는 것입니다.

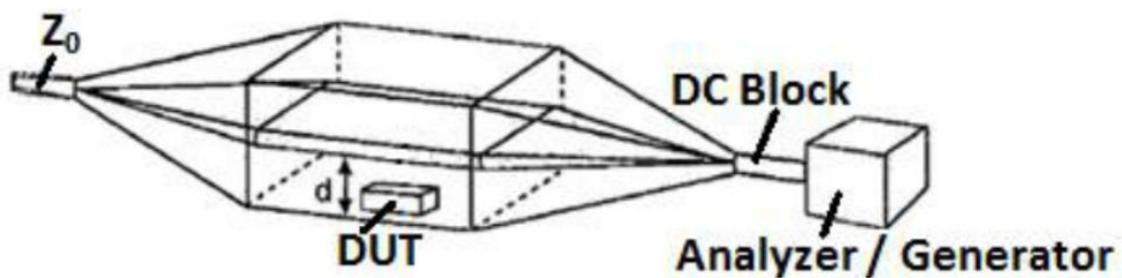


그림 7. 이중 포트 TEM 셀

안테나 방사의 특징은 원거리장입니다. 위의 설명에 따르면 특성 파동 임피던스  $Z_F = E / H$ 이며 원거리장에서는  $377 \Omega$ 입니다. TEM 셀의 아이디어는 TEM 파 전파에 적합한 동축 케이블의 매체입니다. 동축 케이블의 특성 파동 임피던스는 기계적 구조와 독립적이며 항상  $377 \Omega$ 입니다. TEM 셀은 그림 13에 표시되어

있습니다. 사전 적합성 분석을 위한 일반적인 사용은 개방형 TEM 셀을 사용하는 것인데, 환경의 영향을 본다는 단점이 있습니다. 그러나 이는 비활성화된 DUT를 사용한 참조 측정으로 평가될 수 있습니다. 지붕의 두 굽힘은 매칭에 필요하지만 주파수 제한(최대 주파수 범위)을 초래하는 것은 테스트 결과에 영향을 미치는 이러한 굽힘에서 더 높은 도파관 모드가 생성되는 데 따른 차단 주파수입니다. 이 셀은 DUT의 감수성 스트레스에 사용할 수 있지만 사전 적합성 분석에 충분한 반복 가능한 사전 적합성 방사성 방출 근사치에도 사용할 수 있습니다. 스펙트럼 분석기에 연결하려면 DC 차단기가 필요한데, 동축 케이블의 가장 낮은 차단 주파수가 0Hz(= DC)여서 스펙트럼 분석기를 파괴할 수 있기 때문입니다. 격막의 임피던스 매칭을 위해 반사를 피하기 위해 두 번째 포트에 50 Ω 종단을 사용해야 합니다. DUT는 격막과 하단 차폐판 사이에 배치됩니다. 테스트 설정은 그림 14에 표시되어 있습니다. 개방형 TEM 셀의 장점은 근거리장 프로브와 병렬로 고장을 분석하여 DUT의 근본 원인 영역을 감지할 수 있다는 것입니다.



그림 8. 개방형 TEM 셀을 사용한 반복 가능한 방사성 방출 분석

## 9. 감수성 분석 (Susceptibility Analysis)

근거리장 프로브, 전류 프로브 및 TEM 셀은 DUT의 전도성/방사성 감수성 스트레스에도 사용할 수 있습니다. RIGOL의 RF 발생기 시리즈 DSG800 또는 DSG3000B는 이러한 구성 요소와 함께 사용하여 예를 들어 IEC 61000-4-3에 따라 진폭 변조[AM]로 DUT에 스트레스를 주는 최적의 도구입니다. 스트레스 중 기능은 오실로스코프 MSO8000을 통해 제어하여 예를 들어 클럭 신호의 지터에 대한 영향이나 버스 시스템의 잘못된 디코딩 또는 스트립 라인의 크로스토크 효과를 확인할 수 있습니다. 전도성 감수성은 관련 스트레스 케이블을 통해 전류 프로브로 수행할 수 있습니다. 또한 실시간 스펙트럼 분석기를 사용하여 감수성 스트레스로 인한 DUT의 산발적 간섭 반응을 병렬로 측정할 수 있습니다. 실시간 기능은 다양한 트리거 유형을 제공합니다. 하나는 주파수 마스크 트리거[FMT]로, 정의된 필드(다른 색상)이며 RTSA는 필드의 조건이 충족될 때만(예: 신호가 FMT 필드 내부에 있을 때 측정, 그림 15 참조) 측정합니다.

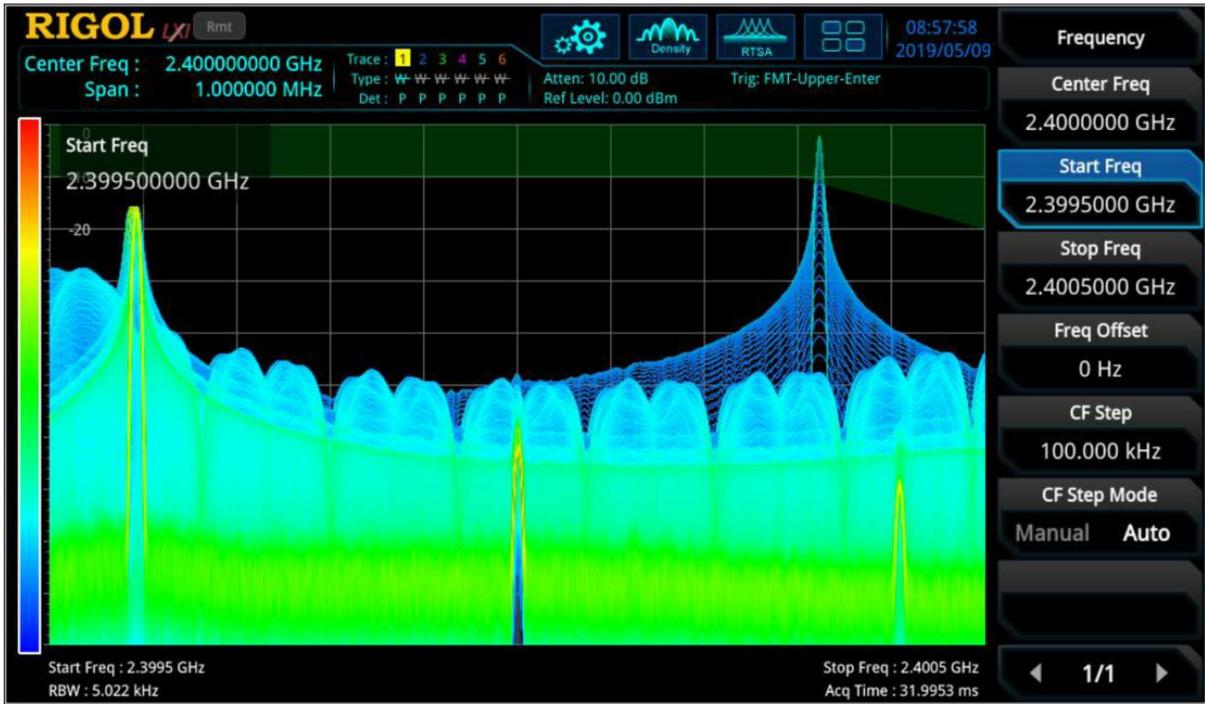


그림 9. 감수성 스트레스로 인한 산발적 간섭 반응 측정

흡수 스트레스 중 RF 인터페이스의 디지털 변조 품질은 RSA5000N VSA를 통해 테스트할 수 있습니다(그림 16 참조). 여기에서는 송신기의 어떤 부분이 간섭의 영향을 받는지 확인하기 위해 I 및 Q 스트림을 별도로 표시할 수도 있습니다. 또한 스트레스 상황 중 BER 테스트를 수행할 수 있습니다.

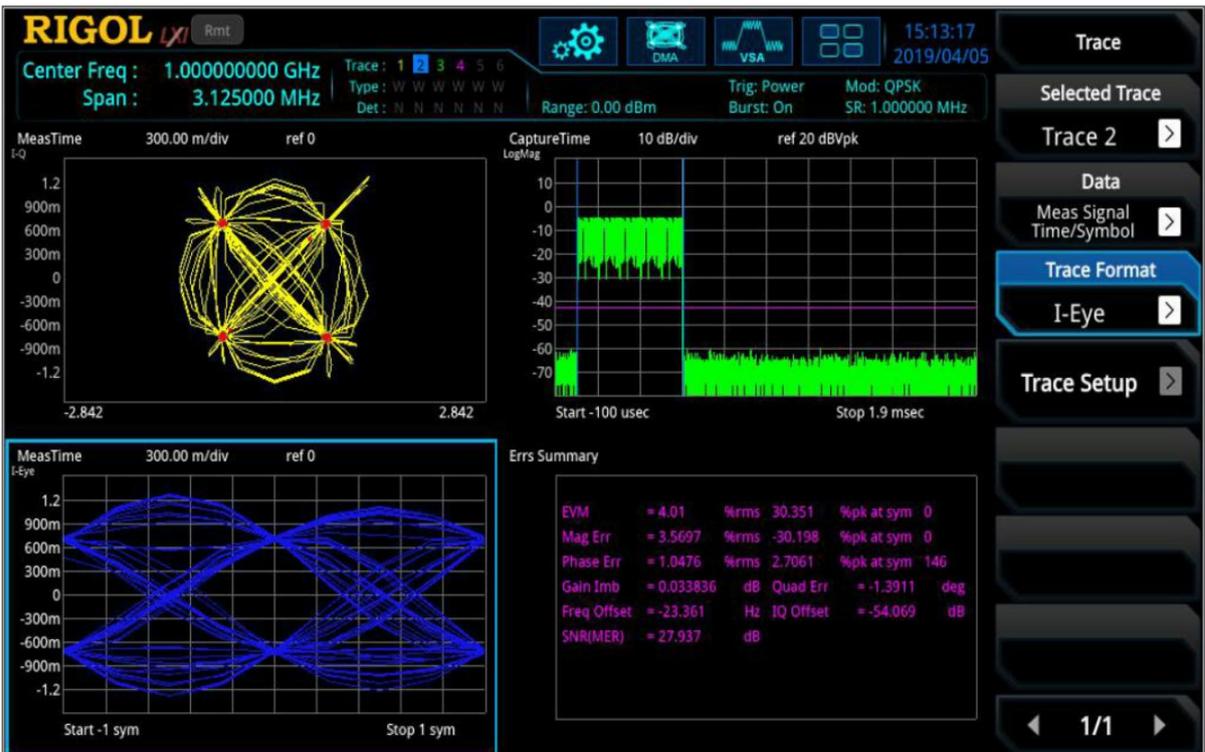


그림 10. 스트레스 상황 중 RF 인터페이스에서의 디지털 변조 분석

또한 벡터 네트워크 분석기 기능[VNA]을 사용하면 관련 안테나 또는 기타 구성 요소를 측정하여 성능 저하 가능성이 보이는지 확인할 수 있습니다(그림 17 참조).



그림 11. 스미스 차트, 극좌표 평면, 로그 크기 및 SWR과 같은 S11 파라미터의 다른 창이 있는 VNA 모드

## 요약

RIGOL은 RSA3000N/RSA5000N 시리즈에 최적화된 새로운 EMC 솔루션을 통해 한층 높은 수준의 사전 적합성 테스트 환경을 제공합니다. 추가된 미터(Meter) 측정 방식을 활용하면 높은 피크 값을 정밀하게 판별할 수 있어, 설계 초기 단계에서 문제를 식별하고 개선하는 데 유리합니다.

이 테스트 솔루션은 장비 자체에서 분석이 완결되므로 별도의 PC용 테스트 소프트웨어가 필요하지 않습니다. 또한, 터치스크린과 전면 패널은 물론 USB 마우스 및 키보드 연결을 지원하여 EMC 분석 과정의 조작 편의성을 대폭 향상했습니다. 여기에 기본 탑재된 실시간 분석 기능(Real-time capacity)을 더해, 기존 방식보다 더욱 심도 있는 EMC 분석 통찰을 제공합니다.

구분	RSA3000 시리즈	RSA5000 시리즈	RSA6000 시리즈
최대 주파수	4.5 GHz	6.5 GHz	12.1 GHz
DANL (평균 노이즈)	-161 dBm	-165 dBm	-168 dBm
위상 노이즈	-102 dBc/Hz (@10kHz)	-108 dBc/Hz (@10kHz)	-112 dBc/Hz (@10kHz)
실시간 대역폭 (RTBW)	10 MHz (옵션 40 MHz)	25 MHz (옵션 40 MHz)	40 MHz (옵션 155 MHz)
100% POI (신호 포착)	최소 7.45 $\mu$ s	최소 7.45 $\mu$ s	최소 3.51 $\mu$ s

<참고문헌>

RIGOL - Real-Time Solutions for EMI Pre-Compliance Testing (09.09.2021)