CUTSFORTH

운영 매뉴얼
EZDP-2060 개정판 D

전자기 간섭(EMI) 모니터링

본 문서에 포함된 정보는 Cutsforth의 기밀 정보이자 독점적으로 소유하는 정보이며, Cutsforth의 서면 승인 없이 설계 또는 제조 목적으로 전체 또는 일부를 복제하거나 공개해서는 안 됩니다.

차례

법적 고지 3
제한적 보증 3
저작권 4
상표 4
미국 정부의 이용 및 권리 4
특허 4
안전 정보 5
1. 개요 7
2. 배경 8
2.1. 전자기파 8
2.2. FCC 및 CISPR 기준 8
2.3. 전자기 신호 특성 9
2.3.1. 아킹 9
2.3.2. 코로나 10
2.3.3. 갭 방전 10
2.3.4. 마이크로 스파크 10
2.3.5. 랜덤 노이즈 10
2.3.6. 조합형 11
3. 관심 영역(Area of Interest) 및 우려 수준(Levels of Concern) 확인 12
3.1. 관심 영역 평가 12
3.2. 복조 파형을 활용한 문제 해결 13
3.2.1. 아킹 복조 파형 14
3.2.2. 코로나 복조 파형 15
3.2.3. 갭 방전 복조 파형 16
3.2.4. 마이크로 스파크 복조 파형 18
3.2.5. 무선 신호 복조 파형 19
3.2.6. 랜덤 노이즈 복조 파형 20
3.2.7. 톤 복조 파형 22
3.2.8. 조합형 복조 파형 23
4. 일반적인 문제 해결 기술 25
4.1. 주파수 대역 초기 스캔 측정값 기준선 설정 25
4.2. 서로 다른 주파수의 유사한 패턴 비교 25
4.3. 우려 수준에 따른 초기 스캔 측정값 25
4.4. 부하 비교 27
4.5. 유지보수 전후 신호 비교 28
4.6. 추세 비교 30
4.7. 자매 설비 비교 31
4.8. EMI 스니퍼(Sniffer)와 음향 이어 스캔(Acoustic Ear Scan) 사용 32
4.9. RTD 리드와 슬롯 커플러(Slot Coupler)를 이용한 PD 모니터링 33
4.10. 중성 접지 변압기(Neutral Ground Transformer, NGT) 모니터링 33
4.11. 문제 해결을 위한 프레임 및 케이스 접지 활용 34
5. HFCT 위치에 따른 영향 35
6. 용어 36

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

법적 고지

제한적 보증

본 문서는 '있는 그대로' 제공되며, 향후 개정판에서 사전 통지 없이 변경될 수 있습니다. Cutsforth는 본 문서의 기술적 정확성을 신중하게 검토하고 있으나, CUTSFORTH는 특정 설치와 관련된 본 매뉴얼 내 정보의 정확성에 대해 명시적 또는 묵시적 보증을 하지 않습니다. 고객은 각 설치 장소 및 제품이 설치되거나 사용되는 각 자산 및 장비 유형에 대한 설치 및 작동 조건을 확인할 책임이 있습니다. Cutsforth는 자사의 하드웨어 제품에 대해, 청구서 발행일로부터 1년 동안 제품이 Cutsforth가 발표한 해당 사양을 실질적으로 준수하지 못하게 하는 재료 및 제작상의 결함이 없음을 보증합니다.

Cutsforth는 청구서 발행일로부터 90일 동안 자사의 소프트웨어 제품이 해당 소프트웨어와 함께 제공된 관련 문서에 실질적으로 부합하는 성능을 발휘할 것을 보증합니다. 구독, 호스팅 또는 SaaS(서비스형 소프트웨어) 방식으로 제공되는 소프트웨어 또는 서비스는 해당 라이선스, 구독 또는 서비스 계약의 적용을 받으며, 해당 서비스에 대해서는 해당 계약의 보증 조건이 우선 적용됩니다. 해당 보증 기간 동안 Cutsforth가 결함 또는 부적합에 대한 통지를 받는 경우, Cutsforth는 재량에 따라 (i) 해당 제품을 수리하거나 교체하거나, (ii) 해당 제품에 대해 지불된 요금을 환불합니다. 수리되거나 교체된 하드웨어에 대해서는 원래 보증 기간의 잔여 기간 또는 90일 중 더 긴 기간 동안 보증이 적용됩니다. Cutsforth가 제품의 수리 또는 교체를 선택한 경우, Cutsforth는 성능 및 신뢰성 면에서 신품과 동등하고 기능적으로 최소한 원래 부품 또는 제품과 동등한 새 부품 또는 리퍼브 부품이나 제품을 사용할 수 있습니다. 제품을 Cutsforth로 반품하기 전에 반드시 Cutsforth로부터 RMA 번호를 받아야 합니다. Cutsforth는 제한 보증의 적용을 받지 않는 하드웨어에 대한 검사 및 테스트 비용을 청구할 권리를 보유합니다.

본 제한적 보증은 제품의 결함이 Cutsforth 이외의 제3자에 의해 수행된 부적절하거나 불충분한 유지보수, 설치, 수리 또는 보정; 무단 개조; 부적절한 환경; 부적절한 하드웨어 또는 소프트웨어 키의 사용; 제품 사양을 벗어난 부적절한 사용 또는 작동; 부적절한 전압; 사고, 오용 또는 방치; 또는 낙뢰, 홍수, 기타 자연재해와 같은 위험 요인으로 인해 발생한 경우에는 적용되지 않습니다.

고객과 Cutsforth가 해당 제품 또는 서비스에 관한 별도의 서명된 서면 계약을 체결한 경우, 해당 계약의 조항이 본 성명서와 상충하는 범위 내에서 우선 적용됩니다.

상기 명시된 구제책은 배타적이며 고객의 유일한 구제책으로, 해당 구제책이 본래의 목적을 달성하지 못하더라도 적용됩니다.

컷스포스(CUTSFORTH) 제품 사용에 관한 경고: 고객은 제품을 자사의 시스템이나 애플리케이션에 통합할 때마다, 해당 시스템이나 애플리케이션의 적절한 설계, 공정 및 안전 수준을 포함하여 제품의 적합성과 신뢰성을 확인하고 검증할 최종적인 책임이 있습니다. 본 제품은 생명 또는 안전에 중대한 영향을 미치는 시스템, 또는 제품이나 서비스의 고장으로 인해 사망, 신체 상해, 심각한 재산 피해 또는 환경 피해(이하 총칭하여 "고위험 용도")로 사용되어서는 안 됩니다. 컷스포스(CUTSFORTH) 제품은 모니터링, 측정 및 진단 도구일 뿐이며, 보호 장치나 안전 시스템이 아니며, 고객의 자체 검사, 유지보수 및 기술적 판단을 대체할 수 없습니다. 커츠포스는 본 제품이 특정 결함, 상태 또는 고장을 감지, 예측 또는 방지할 것이라고 보증하지 않습니다. 또한, 백업 및 셧다운 장치의 제공을 포함하여 고장에 대비한 신중한 조치를 취해야 합니다. CUTSFORTH는 고위험 용도에 대한 제품 또는 서비스의 적합성에 대한 명시적 또는 묵시적 보증을 명시적으로 부인합니다.

관련 법률이 허용하는 최대 범위 내에서, 컷스포스는 제품의 사용 또는 사용 결과에 대해 어떠한 보증, 보장 또는 진술도 하지 않습니다. — 여기에는 제품에서 생성된 모든 데이터, 측정값, 알림, 분석 결과 또는 보고서

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

가 포함됩니다 — 의 정확성, 신뢰성, 완전성 또는 그 밖의 어떠한 측면에 대해서도 보증, 보장 또는 진술을 하지 않습니다. CUTSFORTH는 제품의 작동이 중단되지 않거나 오류가 없을 것임을 보증하지 않습니다. 사용 손실, 데이터 손실 및 이익 손실을 포함한 부수적 및 결과적 손해는 본 보증에서 명시적으로 제외되며, 보증 청구액의 최대 한도는 해당 어셈블리 또는 구성 요소의 원래 가치를 초과할 수 없습니다. 일부 관할권에서는 묵시적 보증 또는 부수적·결과적 손해의 배제나 제한을 허용하지 않습니다. 해당 관할권에서는 상기 배제 및 제한 사항이 법률이 허용하는 최대 범위 내에서 적용됩니다.

저작권

저작권법에 따라, Cutsforth의 사전 서면 동의 없이는 본 간행물을 전체 또는 일부를 불문하고 복사, 녹음, 정보 검색 시스템에 저장, 번역 등을 포함하여 전자적 또는 기계적 방식 등 어떠한 형태로도 복제하거나 전송할 수 없습니다. Cutsforth는 타인의 지적 재산권을 존중하며, 사용자 여러분께도 동일하게 실천해 주실 것을 당부드립니다. Cutsforth 소프트웨어는 저작권 및 기타 지적 재산권 법에 의해 보호됩니다. Cutsforth 소프트웨어는 판매되는 것이 아니라 라이선스가 부여되는 것이며, 라이선스가 부여된 하드웨어 또는 시스템에 대한 제한을 포함하여 해당 라이선스 또는 구독 약관에 따라 설치 및 사용되어야 합니다. 고객이 해당 목적을 위한 명시적인 라이선스를 취득하지 않은 한, 소프트웨어 또는 서면 자료의 복제는 금지됩니다.

상표

Cutsforth 및 Cutsforth 로고는 Cutsforth, Inc.의 상표입니다. 그 외 모든 상표는 해당 소유자의 재산입니다.

미국 정부의 이용 및 권리

Cutsforth 제품은 FAR 2.101에 정의된 바와 같이 상업용 제품이며, Cutsforth 서비스는 상업용 서비스입니다. 수정 없이 제공되고 상업 시장에서 상당한 수량으로 판매되는 Cutsforth 하드웨어 제품은 FAR 2.101에 정의된 바와 같이 상용 기성품(COTS)에 해당합니다. Cutsforth 제품은 전적으로 민간 자금을 통해 개발되었습니다.

Cutsforth 소프트웨어는 상용 컴퓨터 소프트웨어이며, 이에 수반되는 문서는 상용 컴퓨터 소프트웨어 문서입니다. 해당 소프트웨어 또는 문서가 미국 정부, 미국 정부의 주계약자 또는 하도급업체(모든 단계 포함)에 의해 또는 이를 대신하여 취득된 경우, 소프트웨어 및 문서에 대한 정부의 권리는 FAR 12.212 및 DFARS 227.7202-1부터 227.7202-4까지, 또는 이를 대체하는 조항에 따라 제한됩니다. Cutsforth 제품과 함께 제공되는 기술 데이터는 해당되는 경우 DFARS 252.227-7015에 따라 제한된 권리와 함께 제공됩니다.

Cutsforth 제품 및 호스팅 서비스는 기밀 정보의 처리 또는 저장을 위해 승인되지 않았습니다. Cutsforth가 서명된 서면으로 명시적으로 동의하지 않는 한, Cutsforth 제품 및 호스팅 서비스는 통제 대상 비기밀 정보(CUI)의 처리 또는 저장을 목적으로 하거나 이에 대해 승인되지 않았습니다. 고객은 컷스포스 제품 및 서비스에 제공되거나 해당 제품 및 서비스 내에서 생성된 정보가, 해당되는 경우 CUI 및 중요 에너지/전기 인프라 정보(CEII)에 적용되는 요건을 포함하여, 고객에게 적용되는 정보 보안, 수출 통제 및 중요 인프라 정보 요건을 준수하도록 할 책임이 있습니다.

특허

특허 정보 요청은 patents@cutsforth.com으로 보내 주시기 바랍니다.

안전 정보

안전 정보(한국어)

다음은 중요 안전 정보입니다. 이 장비를 안전하게 설치하고 작동하기 위해 모든 주의 사항과 경고를 반드시 읽고 숙지하십시오.

안전 표시 기준

참고:

추가 정보.

전기적 위험

적절한 예방 조치를 취하지 않으면 전기 사고로 인해 신체적 상해 또는 사망에 이를 수 있는 작업이나 특정 장비 구역을 뜻합니다.

주의

주의하지 않으면 가볍거나 중간 정도의 부상 또는 장비 손상이 발생할 수 있는 위험 상황을 나타냅니다.

경고

주의하지 않으면 사망 또는 중상해가 발생할 수 있는 위험 상황을 나타냅니다.

회전 부품 주의

회전 부품에 상처를 입을 수 있음을 나타냅니다.

위험

주의하지 않으면 사망 또는 중상해가 발생하는 위험 상황을 나타냅니다.

일반 안전 지침

전기적 위험

감전 위험을 인지하고, 부상을 방지하기 위한 필수 안전 조치를 숙지하여 자격을 갖춘 인력만 Cutsforth 제품을 다루어야 합니다. 고려해야 할 주요 사항은 다음과 같습니다.

- 전원이 공급되는 회로와 접촉하지 마십시오.
- 회전 부품과 접촉하지 마십시오.
- 정상적으로 작동하지 않는 것으로 보이는 부품은 절대 설치하지 마십시오.

회전 부품 주의

고전압 및 회전 부품으로 인해 심각하거나 치명적인 부상에 이를 수 있습니다. 본 제품의 설치, 작동, 유지보수는 자격을 갖춘 인력만 수행해야 하며, 관련된 모든 안전 규정과 지침을 준수하며 진행해야 합니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

리프팅 장비

무게가 18kg (40파운드) 을 초과하는 구성의 경우 팀 리프팅 기술을 활용하여 다리로 들어 올리는 것을 포함하여 장비를 들어 올리고 옮기고 장비를 이동하는 동안 비틀어지지 않도록 하십시오.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

1. 개요

이 안내서는 30kHz에서 100MHz 사이의 RF 스펙트럼에서 측정되는 일반적인 파형 패턴을 인식하는 자세한 방법과 이러한 파형 신호 특성을 활용하여 기계에서 예상 결과와 결함, 결함 감지 위치와 유형 등을 구별하는 방법에 대한 지침을 제공합니다.

일반적인 파형 패턴으로는 아킹(Arcing), 코로나(Corona), 부분(갭) 방전(Partial (Gap) Discharge), 마이크로 스파크(Micro-Sparking), 랜덤 노이즈(Random Noise)가 있습니다. 일부 파형은 이러한 기본 패턴들을 조합한 형태로 나타납니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

2. 배경

이 장에서는 전자기 신호 특성 분석(Electromagnetic Signature Analysis, EMSA)에 대한 몇 가지 정보를 제공합니다.

2.1. 전자기파

아래 나열된 방식으로 전기 에너지가 흐를 때, 일부 전기 에너지는 공기를 통해 전자기파 형태로 전파되어 전기장과 자기장으로 변환됩니다.

- 전도체 간 완전한 전류 흐름
- 전도체 간 부분적인 전류 흐름
- 공기 중 방전
- 인공 전도체 또는 안테나

60Hz 가정용 전류와 같은 저주파 전자기장은 공기 중에서 매우 빠르게 감쇠되므로, 고전류 전송선과 같은 주변 장비에 영향을 미치려면 매우 높은 전압과 전류가 필요합니다. 반면, 라디오 및 텔레비전 반송 주파수와 같은 고주파 전자기장은 공기 중에서 훨씬 먼 거리까지 전파되며, 적은 에너지로도 주변 장비에 영향을 줄 수 있습니다.

이러한 전자기파는 주변의 전도체에 흡수되며, 경우에 따라 수 마일 떨어진 전도체에도 흡수될 수 있습니다.

에너지 흐름이 제어된 상태라면, 이는 한 지점에서 다른 지점으로 정보를 전송하는 수단(예: 라디오)으로 활용할 수 있습니다. 그러나 전자기파 방출이 비제어 상태로 이루어지면 근처의 제어된 정보 전송을 간섭하거나 주변 전기 장비의 작동에 영향을 줄 수 있습니다.

2.2. FCC 및 CISPR 기준

미국 연방통신위원회(Federal Communications Commission, FCC)와 국제무선장애특별위원회(Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques, CISPR)는 장비 제조업체가 준수해야 할 두 가지 전자파 적합성(Electromagnetic Compliance, EMC) 기준을 다음과 같이 마련했습니다.

- 전자 장비에서 발생하는 고주파 방출을 감지하도록 장비 제조
- 전자 장비에서 허용되는 방출량 준수

참고

발전기 제조업체와 전력 회사는 60Hz 발전기와 같은 저주파 장비에 대해서는 이러한 방출 기준을 준수할 필요가 없습니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

2.3. 전자기 신호 특성

전자기 (간섭) 신호 특성 분석(EMSA)이란 전력 장비(발전기, 모터, 변압기, 개폐기 등)에 흡수된 제어 및 비제어 전자기 방출을 모두 수집하고 분석하여, 해당 전력 장비 내부에 비제어 상태의 방전원이 방출되고 있는지를 파악하는 것입니다.

> **참고**
>
> EMSA라는 용어는 미국 전력연구소(Electric Power Research Institute, EPRI) 사용자 그룹에서 만들었으며, 이에 따라 EMC 과정과 혼동하지 않을 수 있었습니다.

1980년대 초, Westinghouse의 두 엔지니어는 저주파 장비로 고주파 장비의 결함을 감지할 가능성에 대한 논문을 작성했습니다. 이 논문은 아킹 방전, 뇌 방전(Lightning Discharge), 부분 방전(Partial Discharge, PD) 등의 에너지 방전이 광대역 고주파 방출 패턴을 생성한다는 사실을 기초로 하여 작성되었습니다.

Jim Timperley는 American Electric Power(AEP)에서 근무하며 이 논문을 읽었고, CISPR을 준수하는 장비들을 사용하여 10kHz에서 100MHz 주파수 대역에서 발전기, 모터, 개폐기, 변압기 등에서 발생하는 방출을 감지하기 시작했습니다.

1990년대, Jim Timperley는 논문 "The Basics of EMI(electromagnetic interference) Analysis"에서 EMSA를 사용하여 회전형 및 고정형 고전압(2,000V 이상) 전력 장비의 전기적 결함을 감지한 경험을 바탕으로 다섯 가지 기본 전자기 신호 특성 유형(및 이들의 조합)을 소개했습니다.

Jim Timperley 논문에 따른 전자기 신호 특성 유형은 다음과 같습니다.

- 아킹
- 코로나
- 갭 방전
- 마이크로 스파크
- 랜덤 노이즈
- 조합형

2.3.1. 아킹

아킹은 저전압 전기 방전 현상으로, PD에서 발생하는 전류보다 수 배에서 수천 배 이상(10의 거듭제곱 단위) 큰 저주파 전류가 흐릅니다. 아킹은 저고조파(Low-Frequency Harmonic)가 풍부하며, 이는 무선 주파수(Radio Frequency, RF) 스펙트럼의 넓은 범위에 걸쳐 확장됩니다. 아킹은 오실로스코프에서 실시간으로 관찰할 때, 상승과 하강 시간을 측정할 수 있는 방전 현상이 나타나는 것이 특징입니다.

아킹은 전도체의 연속성 상실, 느슨하게 조여진 볼트 또는 크림프 접합부, 고정자 코일(Stator Coil)의 전도체 단선, 회전자 바(Bar)의 파손으로 인해 발생합니다. 아킹은 슬라이딩 접촉부에서 자주 발생하며, 이는 샤프트 접지 브러시, 여자기 정류자 브러시, 슬립 링 브러시 등이 해당합니다.

감지되는 오디오 신호 성분은 방출원 고유의 불안정성으로 인해 대체로 불규칙하게 나타납니다. 방전은 방출원에 따라 전력 주파수와 동기화될 수도, 그렇지 않을 수도 있습니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

2.3.2. 코로나

코로나는 기체나 액체 내에서 전류가 방전되는 현상으로, 교류 전압의 양(+) 및 음(–)의 반주기 모두에서 나타납니다. 공기 중에서는 접지 시 2,000V 이상의 전압으로 작동하는 깨끗한 도체와 10MHz 이하의 주파수에서 코로나 방전을 관찰할 수 있습니다. 매질이 오일이나 고압 수소일 경우, 이러한 전압은 더 높아질 수 있습니다.

저주파 코로나는 아스팔트 운모 플레이크(Mica-Flake) 절연이 적용된 기기에서 흔히 나타나는 신호 특성으로, 내부 절연 공극(Void)에서 PDA 기법으로 감지되는 패턴과 같습니다. 현대식 VPI 합성수지 절연 시스템을 갖춘 기기에서는 주로 2MHz 이상의 주파수에서만 코로나 현상이 발생합니다. 오염되거나 먼지가 쌓인 권선은 2.3kV 기기에서도 코로나를 발생시킬 수 있습니다.

감지되는 오디오 신호 성분은 마치 베이컨을 굽는 소리처럼 들립니다.

2.3.3. 갭 방전

갭 방전(PD)은 서로 간격을 둔 두 표면의 전위차가 충분히 커서 갭을 뛰어넘는 스파크가 발생하고 전류 펄스가 생성될 때 발생합니다. 갭 방전은 전력 주파수 주기의 각 반주기 동안 한 번 또는 여러 번 발생할 수 있는데, 이는 각 방전의 상승 및 하강 시간이 매우 빠르기 때문입니다. 일반적으로 펄스 반복 주파수(Pulse Repetition Frequency, PRF)는 어느 위치에서나 반주기당 1~15회로 고정되며, 기계의 상전압(Phase Voltage)과 동기화됩니다.

갭 방전의 PRF와 진폭은 갭 크기, 인가 전압, 주변 가스의 절연 품질, 인접 도체의 RF 임피던스 등의 영향에 따라 달라집니다. 갭 방전에서 발생하는 EMI는 광대역 고조파가 풍부하며, RF 스펙트럼 전반에 걸쳐 높은 진폭을 나타내는 특징이 있습니다.

감지되는 오디오 신호 성분은 방전원의 PRF에 따라 탁탁 튀거나 긁는 소리로 들립니다.

2.3.4. 마이크로 스파크

마이크로 스파크는 갭 방전과 유사하지만, 갭이 보통 0.4mm 정도로 매우 얇습니다. 갭 방전의 PRF가 반주기당 1~15펄스인 것과 비교하여 마이크로 스파크의 방전 PRF는 전력 주파수 반주기당 15~30펄스입니다. 각 마이크로 스파크의 지속 시간은 매우 짧습니다.

EMI 발생은 보통 20MHz 이상의 주파수에서 관찰됩니다. 전송선 하드웨어의 마이크로 스파크는 주로 발전기 중성점에서 측정됩니다. 마이크로 스파크는 매우 얇은 간극이 먼지, 화학 잔류물, 오일, 녹으로 오염될 수 있기 때문에 종종 간헐적으로 발생합니다.

감지되는 오디오 신호 성분은 PRF에 따라 버징(Buzzing) 소리로 들립니다.

2.3.5. 랜덤 노이즈

랜덤 노이즈는 오디오 회로 테스트에 사용되는 화이트 노이즈나 핑크 노이즈와 유사합니다. 이는 고전압 절연체가 전도성 물질로 오염되면서 발생합니다. 이 화이트 노이즈는 광대역 노이즈일 수도 있고, 1개~3개의 특정 주파수 중심으로 발생하며 신호 송신기와 유사한 스펙트럼 반응을 보이지만 훨씬 더 넓은 대역폭을 갖는 노이즈일 수도 있습니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

절연체 표면이 오염될 경우, 주변 습도 변화가 방전 활동에 영향을 줄 수 있습니다. 절연체 내부 오염(예: 고정자 바 젖음) 역시 랜덤 노이즈를 발생시킬 수 있습니다. 랜덤 노이즈는 PD가 아닙니다. PDA 시스템을 통한 감지 가능 여부는 확인되지 않았습니다.

감지되는 오디오 신호 성분은 AM 라디오 수신기 또는 텔레비전의 채널을 돌릴 때 나는 잡음과 유사합니다.

2.3.6. 조합형

대부분의 EMI 신호 특성은 다섯 가지 기본 유형이 조합된 것으로, 항상 다양한 인공 노이즈 발생원과 함께 나타납니다. 도체 가닥이 끊어지거나 단락되는 등의 뚜렷한 문제는 쉽게 감지할 수 있습니다. 반면, 느슨한 상 링(Phase Ring), 오염, 내부 코로나 등 미세한 문제는 발견하기 까다로우며, 특히 초기 단계의 열화(Deterioration)가 발생한 경우는 명확하게 가려내기 어렵습니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

3. 관심 영역(Area of Interest) 및 우려 수준(Levels of Concern) 확인

특정 장비의 EMI 수준이 증가할 경우, 상황의 심각성을 평가하기 위해 다음 단계를 수행할 수 있습니다.

1. 알람을 발생시킨 스펙트럼을 이전 '기준선'과 비교합니다.
2. 가능한 경우 발전소 현장에 연락하여 발전소에 EMI를 증가시킬 만한 변화(강우, 출력 수준, 전압 수준, 설비 변경 등)가 있었는지 확인합니다.

   발전소 상태를 확인하면 자기장 또는 전기장이 증가하면서 EMI 증가에 영향을 주었는지 판단하는 데 도움이 될 수 있습니다. 자기장이 증가하면 부품의 움직임이 커질 수 있으며, 전기장이 증가하면 절연 구조에 약점이 있다는 의미일 수 있습니다.
3. 기준선 대비 증가한 주파수와 EMI 증가에 영향을 줄 만한 발전소 상태를 확인합니다. 이 주파수들을 관심 영역으로 표시합니다.

   관심 영역을 확인하면 발전기나 모터의 하위 부품이 EMI 증가를 일으켰는지 판단하는 데 도움이 됩니다.
4. EMI 수준이 얼마나 증가했는지, 이것이 여러 주파수 범위에 걸쳐 나타나는지, 또는 특정 주파수 내에서만 나타나는지 판단합니다. 이를 우려 수준으로 표시합니다.

관심 영역과 우려 수준을 확인한 후, 관심 영역의 반송 주파수와 관련된 복조 파형(Demodulated Waveform)을 평가하여 하위 부품의 결함 유형을 집중적으로 분석할 수 있습니다.

복조 파형과 발전소 상태 평가를 통해, 이상을 수리하는 데 필요한 유지보수의 유형과 위치를 특정할 수 있습니다.

3.1. 관심 영역 평가

주파수 영역 데이터를 수집하는 동안, 일반 EMI 노이즈 수준을 배경으로 두드러지게 나타나는 에너지의 험프(Hump)와 스파이크(Spike)를 확인합니다. 이러한 영역의 주파수를 기록하고, 관련된 복조 시간 영역 신호를 수집합니다. 복조 파형의 특성을 분석하고, 해당 복조 파형이 어떤 주파수와 연관되어 있는지 알면 EMI 신호 특성을 유발하는 결함의 위치와 유형에 대해 어느 정도 합리적인 추정이 가능합니다.

발전기의 경우, 관심 영역에서 발생하는 주파수와 특정 발전기 장비의 관계성을 파악하기 위한 네 가지 특징이 개발되었고, 이 특징들은 지난 20~30년에 걸친 사례 연구와 신호 관찰을 근거로 합니다.

주파수	이상 현상 의심 부품	주요 고장 유형
30kHz~500kHz	여자기 또는 여자 부품	▪ 다이오드 펄스 열(Diode Pulse Train)(톤 패턴에서 누락된 다이오드 펄스) ▪ 오염 추적 ▪ 느슨한 연결로 인한 아킹

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

주파수	이상 현상 의심 부품	주요 고장 유형
500kHz~5MHz	고정자 슬롯 부품	▪ 스파크 침식 ▪ 절연 파괴 ▪ 코어 아킹 ▪ PD ▪ 느슨한 웨지
5MHz~30MHz	권선단부 지지 부품. 단, 이 영역은 바로 위와 아래의 주파수 대역 이상에도 영향을 받을 수 있음	▪ 느슨한 단부 바스켓 구조 ▪ 권선단부 간격 문제로 인한 코로나 ▪ 연결 링 간 연결 문제 ▪ 부싱(Bushing)
30MHz~100MHz	발전기 출력 모선 부품: ▪ 상분리 모선 ▪ 분할형 모선 ▪ 비분할형 모선 ▪ 케이블 모선 부품	▪ 느슨한 플렉스 링크 연결 ▪ 절연체 균열 ▪ 절연체 오염 ▪ 버스 내 물 또는 습기 침투

그러나 일부 처리 과정, 특히 랜덤 노이즈나 정적(Static) 노이즈가 있는 경우에는 특정 하위 주파수 대역이 다른 대역보다 더 증가하는 일 없이 전체 스펙트럼 수준이 올라갈 수 있습니다.

이러한 상황은 주로 발전기 내부의 오염 수준이 매우 높을 때 발생합니다. 그 예로, 냉각기 누수가 오랫동안 지속되면 설비의 전체 주파수 대역에 걸쳐 EMI 수준이 상승합니다. 냉각기 누수를 수리하고 발전기 내부를 청소하자 모든 주파수 대역의 활동이 감소했습니다.

대형 모터의 경우, 동기 모터(Synchronous Motor)가 아닌 한 저주파 범위(30kHz~500kHz)와 고주파 범위(30MHz~100MHz)는 관련이 없습니다. 유도 모터는 여자 시스템이 없으므로 관심 신호가 저주파 범위에서 발생하지 않습니다. 또한 모터에는 출력 모선이 없으므로 고주파 범위 역시 관련이 없습니다. 실제로, 수년 동안 모터 신호는 10MHz까지만 모니터링되었으며, 그 이상의 주파수에서는 한 번도 탐지되지 않았습니다.

대형 변압기의 경우, 고주파 영역은 발전기 출력 버스와 관련될 가능성이 높습니다. 발전기와 달리, 변압기에서는 특정 주파수 범위와 변압기 내 물리적 영역의 관계성을 파악하기 위한 충분한 데이터가 확보되지 않아 전체 주파수 대역(30kHz~100kHz)의 전력 스펙트럼만 모니터링하여 변화를 확인합니다.

3.2. 복조 파형을 활용한 문제 해결

관심 영역을 확인한 후에는, 간섭 분석기(Interference Analyzer)를 특정 반송 주파수로 조정하여 복조 파형을 얻습니다. 이 파형을 통해 신호 특성 해석에 도움이 될만한 패턴이 있는지 확인할 수 있습니다. Jim Timperley(논문을 통해)와 다른 EMI 분석가들은 다음과 같은 패턴을 관찰했습니다.

- 아킹
- 코로나
- 갭 방전
- 마이크로 스파크

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

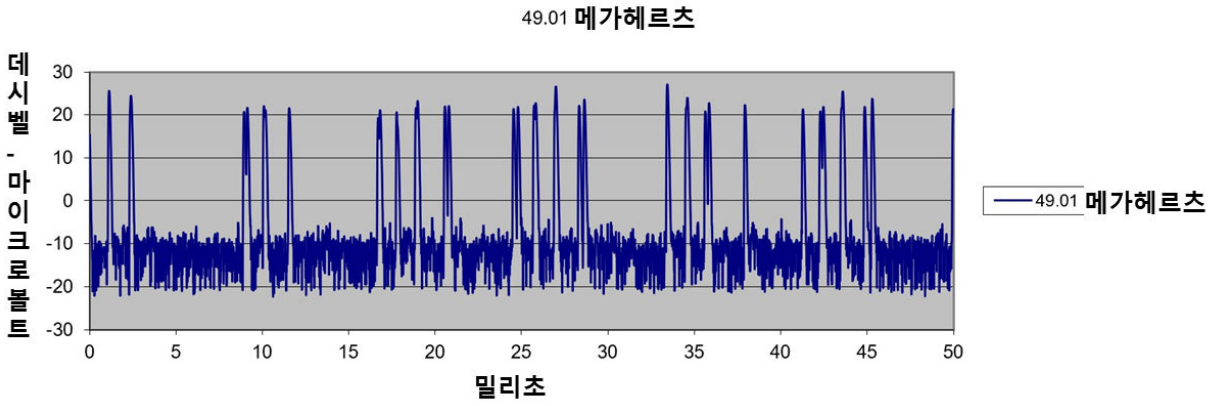
- 무선 신호
- 랜덤 노이즈
- 톤
- 조합형

참고

다른 패턴도 관찰될 수 있으나, 해당 패턴과 관련한 구체적인 고장 유형은 아직 확인되지 않았습니다. 신호 특성 대부분은 인공 신호(무선 신호, 전압 조정기 다이오드 패턴 등)이며, 주로 톤 패턴으로 나타나는 경향이 있습니다. 신호를 청취하는 동시에 육안으로도 확인하여 신호 해석에 '소리'가 추가적인 인사이트를 제공하는지 살펴봅니다.

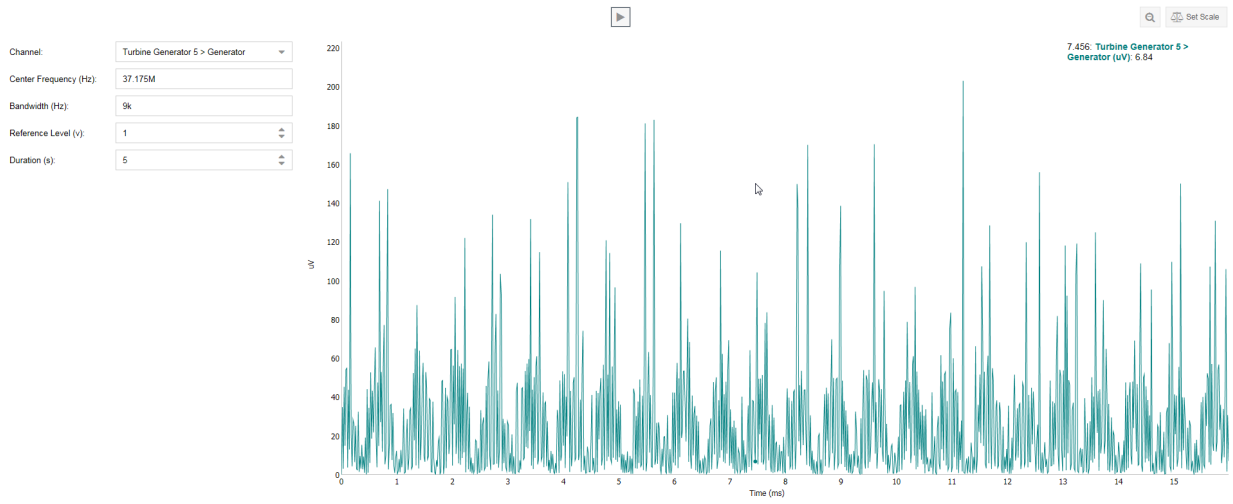
3.2.1. 아킹 복조 파형

아킹은 EMI 분석과 관련된 매우 파괴적인 현상입니다. 이는 비교적 고에너지의 전류 방전이며, 종종 갭 방전이나 코로나와 같은 저에너지 방전 유형과 조합된 형태로 관찰됩니다. 주요 특징은 고에너지 방전으로, 밑부분이 넓게 펴진 형태의 파형이 나타나며 폭이 좁고 날카로운 피크 형태로는 나타나지 않습니다.



아킹은 대부분 도체 간 갭에서 발생하기 때문에, 갭 방전으로 오해받기도 합니다. 그러나 아킹은 순수한 갭 방전 신호 특성보다 더 불규칙하고 에너지 함량이 높습니다. 시스템이 열화됨에 따라, 아킹 패턴은 서로 매우 가까워질 수 있습니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



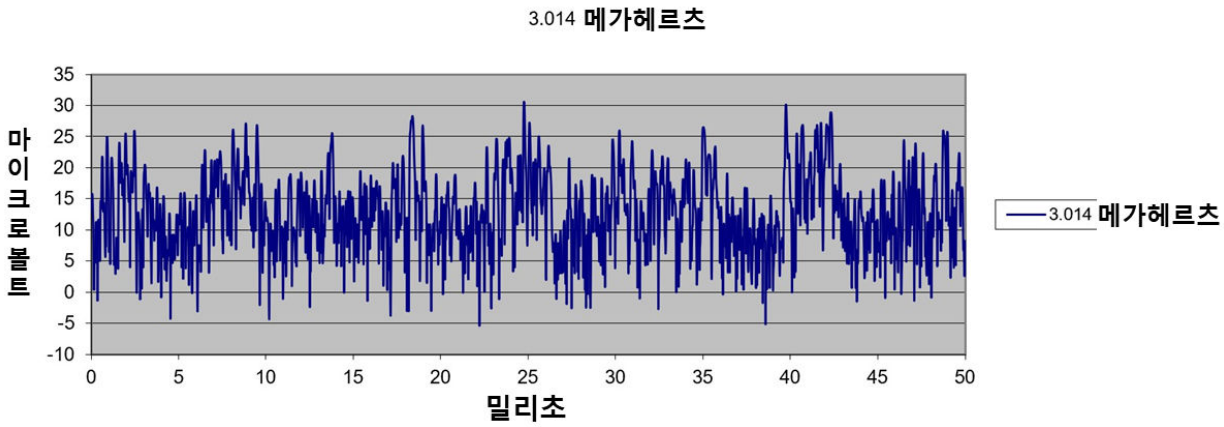
이러한 신호 특성은 고주파 대역에서 자주 관찰되고, 발전기 출력 모선(상분리 모선, 분할형 모선, 비분할형 모선, 케이블 모선) 문제와 연관되며, 모선 전이 영역(플렉스 링크, 볼트 연결)의 연결 불량이 원인일 수 있습니다.

저주파에서 아킹 신호 특성이 관찰되면, 전력 정류 회로 및 여자기 연결부의 느슨한 연결이 원인일 가능성이 있습니다.

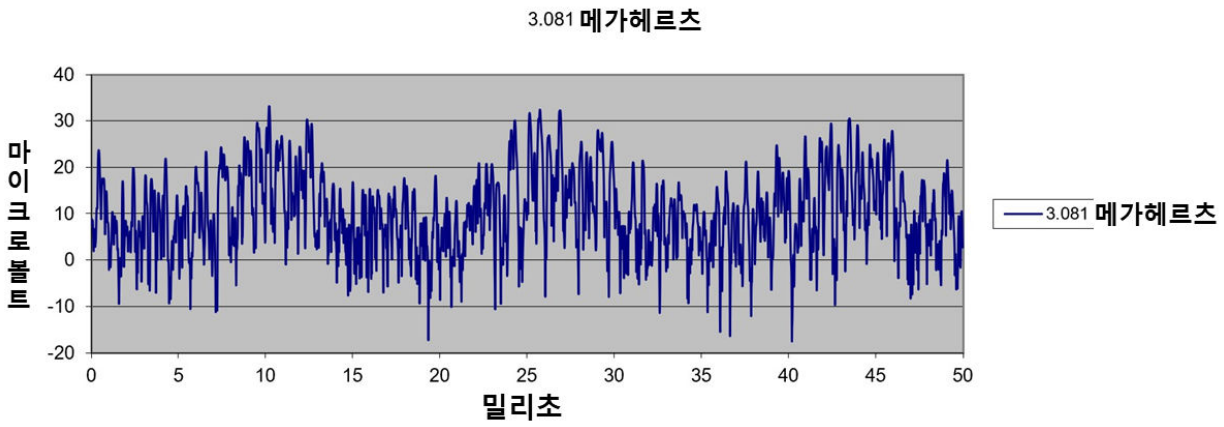
중간 주파수에서 아킹 신호 특성이 관찰되면, 권선 균열, 브레이즈 접합부 불량, 내부 상 연결부 불량이 원인일 수 있습니다. 중간 주파수에서 이러한 신호 특성이 관찰되는 경우는 드물며, 관찰된다면 발전기 내부 상태에 심각한 우려 사항이 발생했을 가능성이 있습니다.

3.2.2. 코로나 복조 파형

코로나는 발전기 권선단부와 관련된 공기 공간 또는 수소 공간 내 방전으로 발생합니다. 수소 발전기에서는 코로나가 드물게 관찰되며, 이는 권선 표면의 오염이나 고전압 권선 간격이 부적절함을 의미합니다. 이 경우 60Hz 사인파 패턴 위에 랜덤 노이즈가 겹쳐진 형태로 나타납니다.



© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



이러한 파형은 중간 주파수 대역에서 관찰되며, 권선단부 구조 또는 코어 끝단 근처에서 나타나는 경향이 있습니다. 권선이 코어 구조를 벗어나는 부분에 그라디언트 페인트(Gradient Paint) 또는 테이프 권취 불량이 있을 경우, 이러한 신호 특성이 나타날 수 있습니다.

이는 사실상 아주 파괴적이지는 않습니다. 육안 검사 시 흰색 분말(오존 침적물, 오일이 있는 경우 검은색)이 발견될 수 있으며, 발견할 경우 이를 청소하고 해당 부위 아래의 절연 구조를 점검하여 코로나로 인해 절연체가 열화되고 있는지, 코로나 방전에서 발생한 오존 침적물로 인해 부식되고 있는지 확인해야 합니다.

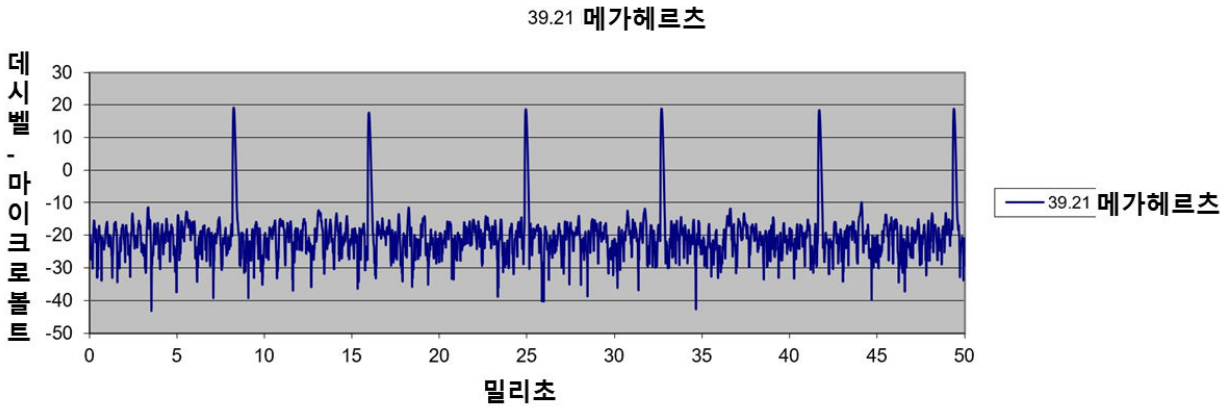
과거에는 코로나 현상을 방지하기 위해 그라디언트 구조를 수리하고, 문제가 되는 에어 갭을 에폭시 수지로 채우는 방식을 사용하기도 했지만, 대부분은 권선에서 코로나 흔적이 발견되더라도 장기간 고장 없이 운전하기도 합니다. 열화된 절연체를 수리하는 것도 필요하지만, 보통 이것으로는 코로나 발생을 방지할 수 없습니다. 하지만 절연 구조의 수명을 연장할 수는 있습니다.

과거에는 코로나 현상을 방지하기 위해 그라디언트 구조를 수리하고, 문제가 되는 에어 갭을 에폭시 수지로 채우는 방식을 사용하기도 했지만, 대부분은 권선에서 코로나 흔적이 발견되더라도 장기간 고장 없이 운전하기도 합니다. 열화된 절연체를 수리하는 것도 필요하지만, 보통 이것으로는 코로나 발생을 방지할 수 없습니다. 하지만 절연 구조의 수명을 연장할 수는 있습니다.

3.2.3. 갭 방전 복조 파형

갭 방전 또는 PD는 절연체 내 공극이나 연결 지점의 에어 갭 사이에서 발생하는 방전 현상입니다. 운모 절연체는 PD에 대해 매우 강하지만, 가교 폴리에틸렌(Cross-Link Polyethylene) 구조(케이블 절연 등)는 매우 예민하여 PD 현상 자체만으로 추가 손상을 입기 쉽습니다. 연결 지점의 부식 영역에 걸쳐 발생하는 방전은, 시간이 지날수록 방전 현상에 따라 연결 지점이 열화되면 아킹 패턴으로 확대될 수 있습니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



해당 신호 특성이 관찰된 주파수 대역이 저주파(여자기) 영역이라면, 이는 정상적인 다이오드 발진 패턴일 수 있습니다(사인파 주기마다 스파이크 개수에 따라 결정). 이러한 다이오드 발진 패턴은 일반적으로 '톤' 패턴으로 분류되며, 스파이크는 전압 조절기 제어 패턴에 따라 변조됩니다.

반면, (위 신호 특성이) 고주파 대역에서 발생한 신호 특성이라면, 세라믹 절연체 구조 내 갭(볼트 갭, 절연체 균열, 도체와 절연체 사이 공간 등)에 의해 발생했을 가능성이 있습니다.

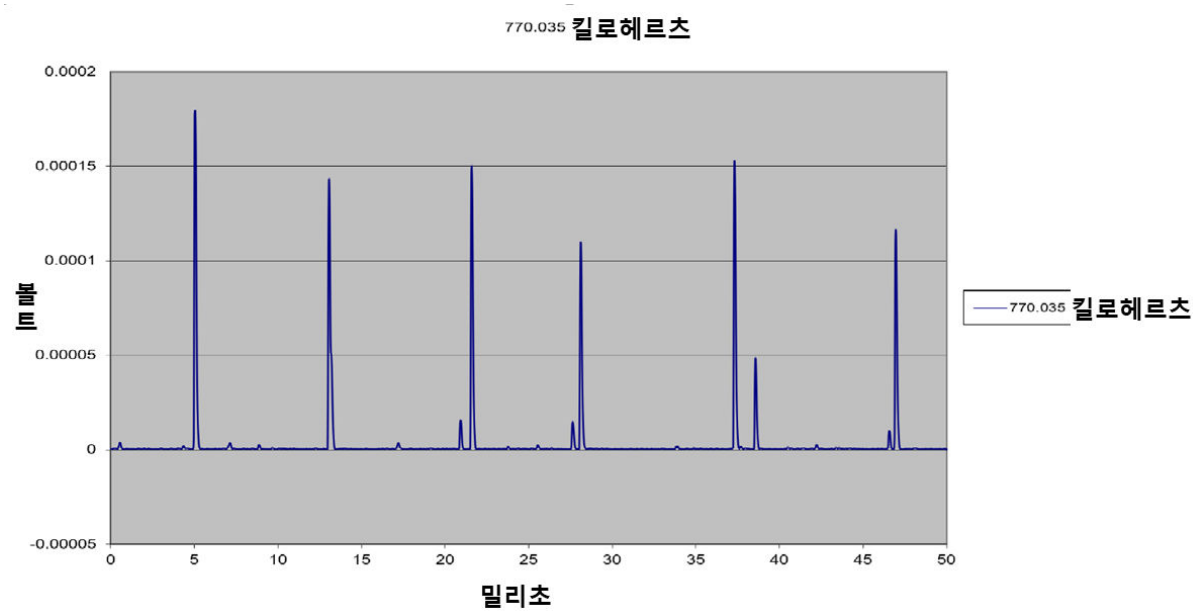
이는 또한 연결 문제의 초기 신호일 수도 있습니다. 이러한 패턴은 시간 경과에 따라 추적하여, 다중 갭 방전 패턴이나 아킹 패턴으로 열화되는지 관찰해야 합니다.

관찰된 방전은 안정적이거나 불규칙적 방전, 단일 또는 다중 방전일 수 있습니다.

안정적인 단일 방전은 가벼운 부식 또는 단일 공극이 발생했음을 나타냅니다. 안정적인 다중 방전은 다중 부식 또는 다중 공극이 발생했지만 여전히 안정적임을 나타냅니다. 이러한 상태를 시간 경과에 따라 모니터링하여, 강력한 다중 방전 패턴이나 불안정한 신호로 열화되는지 관찰해야 합니다.

불안정한 방전은 느슨한 연결, 느슨한 볼트, 절연체 갭 이동 등, 갭 구조 크기를 변형시키는 상태를 나타냅니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



위 사례에서 모터의 연결 갭 방전은 아주 낮은 수준에서 시작하고 있습니다. 관심 주파수 수준이 100uV 미만이므로 별도의 조치는 하지 않았습니다. 그러나 이는 시간 경과에 따른 간섭 에너지 증가 여부를 모니터링해야 하는 유형의 신호였습니다.

3.2.4. 마이크로 스파크 복조 파형

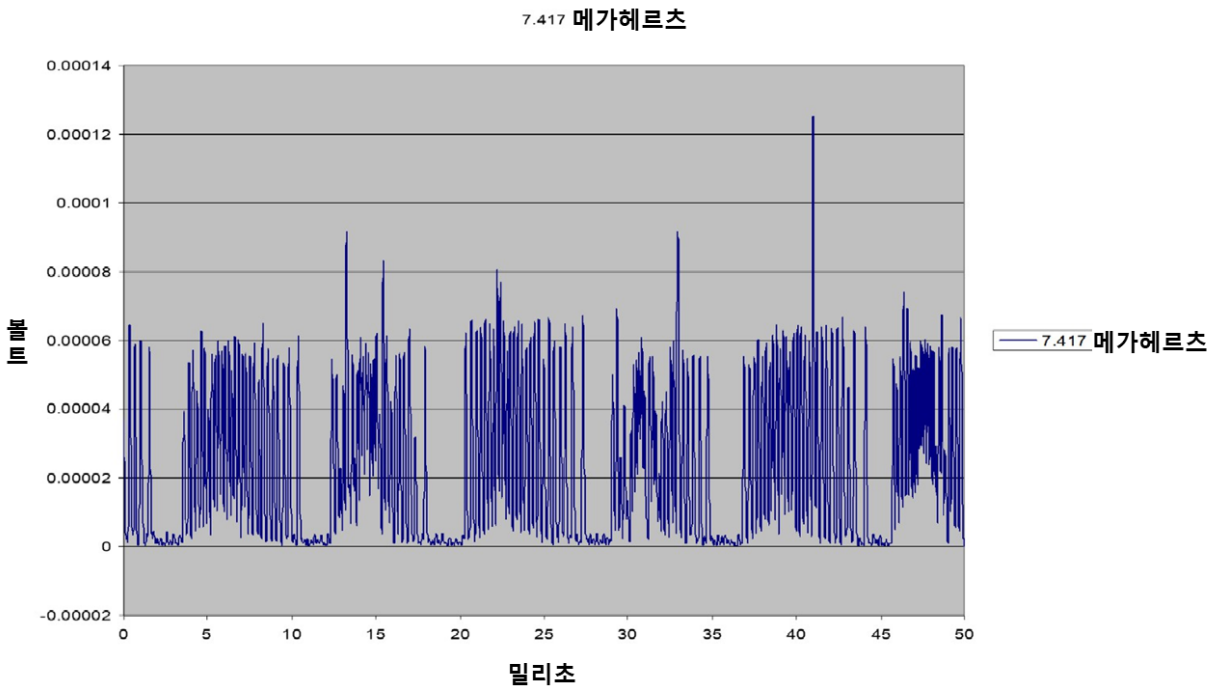
마이크로 스파크는 아래에서 관찰한 톤과 유사한 패턴으로 나타나지만, 이는 전압과 관련됩니다. 파형은 스파이크가 연속적(Burst)으로 발생하며 사이에 갭이 있는 형태로 나타납니다.

이러한 이상 현상은 일반적으로 전도 경로의 미세한 갭, 즉 연결부 부식이나 서리(Frosting) 등으로 인해 발생합니다. 경우에 따라 이 이상 현상은 더욱 심각한 손상을 일으키는 상태(아킹)로 열화될 수 있습니다.

이러한 상태는 자주 관찰되지는 않지만, EMI 값이 높은 경우에는 주의해야 합니다. 따라서 신호를 발생시키는 결함 위치를 가능한 한 신속히 찾아 점검하고 수리해야 합니다.

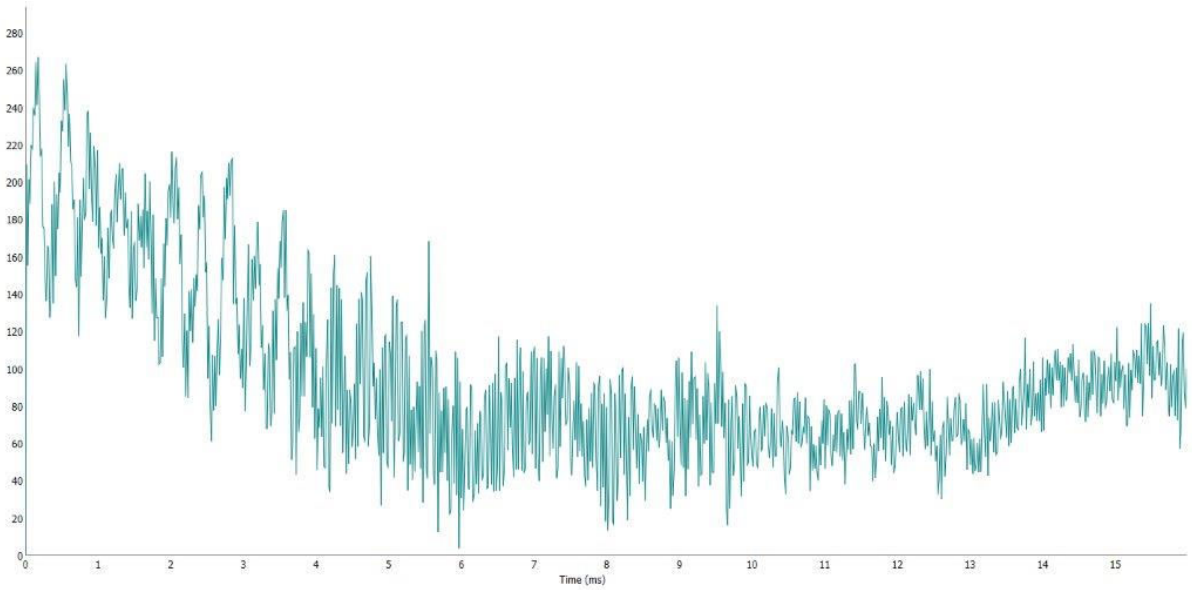
이 신호는 오디오로 들었을 때 으르렁거리는 소리처럼 들리기도 합니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



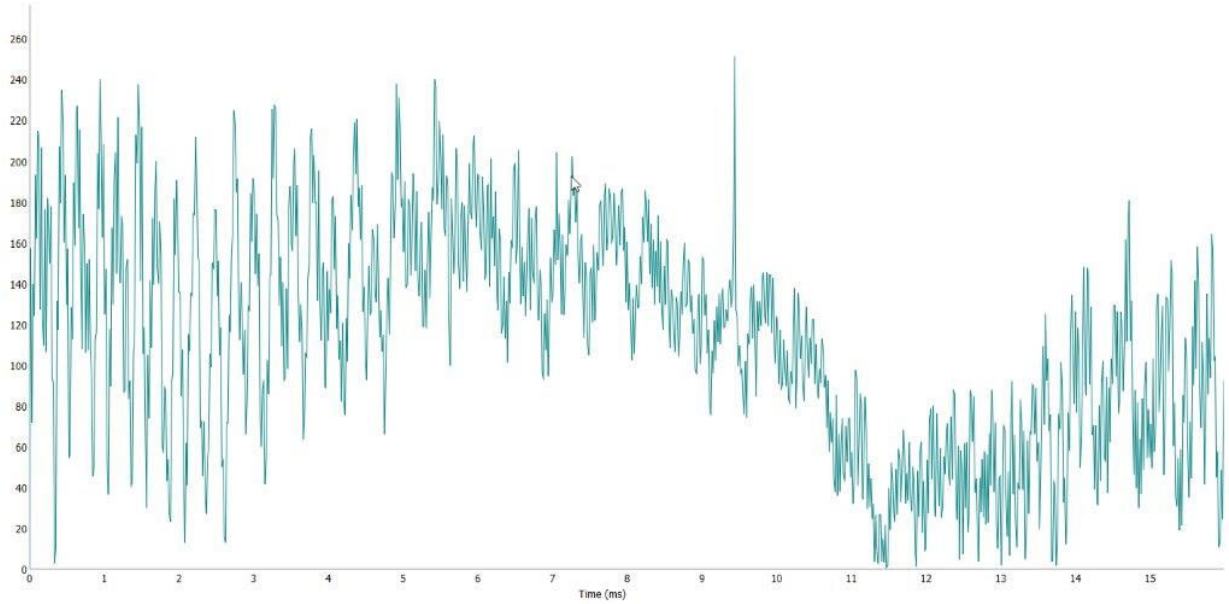
3.2.5. 무선 신호 복조 파형

무선 신호는 대개 매우 독특한 형태로 나타나므로 (전문적으로 설명하면 복잡하지만) 쉽게 알아챌 수 있습니다. 신호는 랜덤 노이즈, 신호 버스트(Burst), 엔벨로프(Envelope)형 신호 순서로 나타납니다.



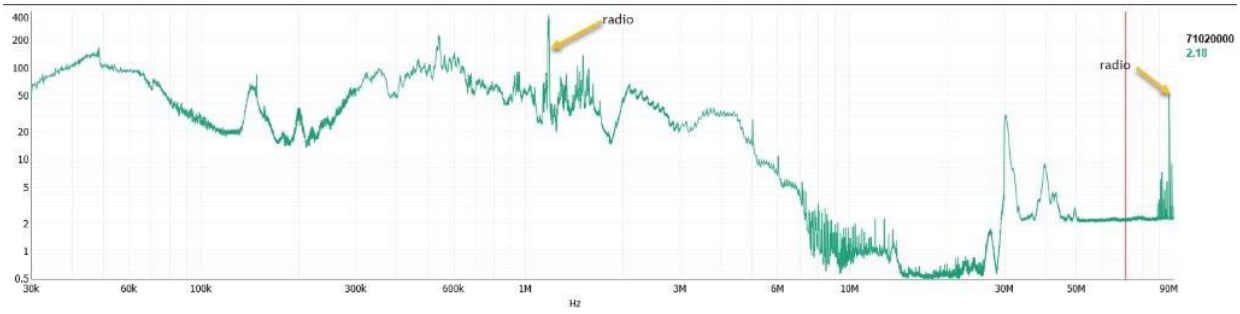
한 번만 보고 들어도 비교적 쉽게 신호를 식별할 수 있게 됩니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



이러한 신호는 무선 내용에 간섭하는 다른 관심 신호를 모니터링하는 데 사용합니다. 만약 무선 신호가 간섭 노이즈 신호에 잠식된다면, 이는 일반적으로 결함이 점점 심해지고 있다는 신호입니다.

무선 신호는 주파수 대역이 매우 좁으며, 일반적으로 AM 및 FM 라디오 주파수 대역에서 스펙트럼 내 스파이크로 확인할 수 있습니다. 다이오드 패턴과 같은 다른 톤은 주파수 대역이 이 정도로 좁지는 않지만, 일부 인공 통신 신호는 매우 좁은 대역폭으로 나타나기도 합니다.



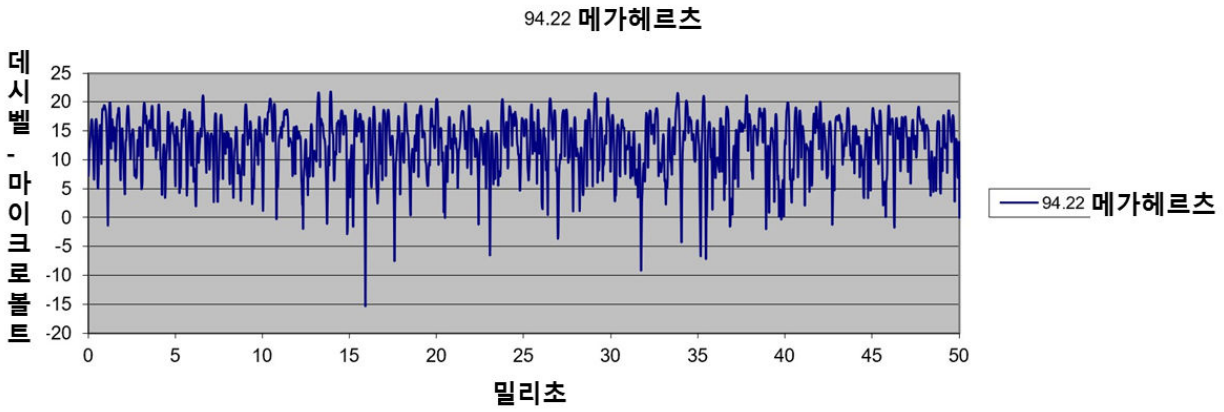
3.2.6. 랜덤 노이즈 복조 파형

일반적으로 랜덤 노이즈는 어떤 형태의 오염으로 인해 발생합니다.

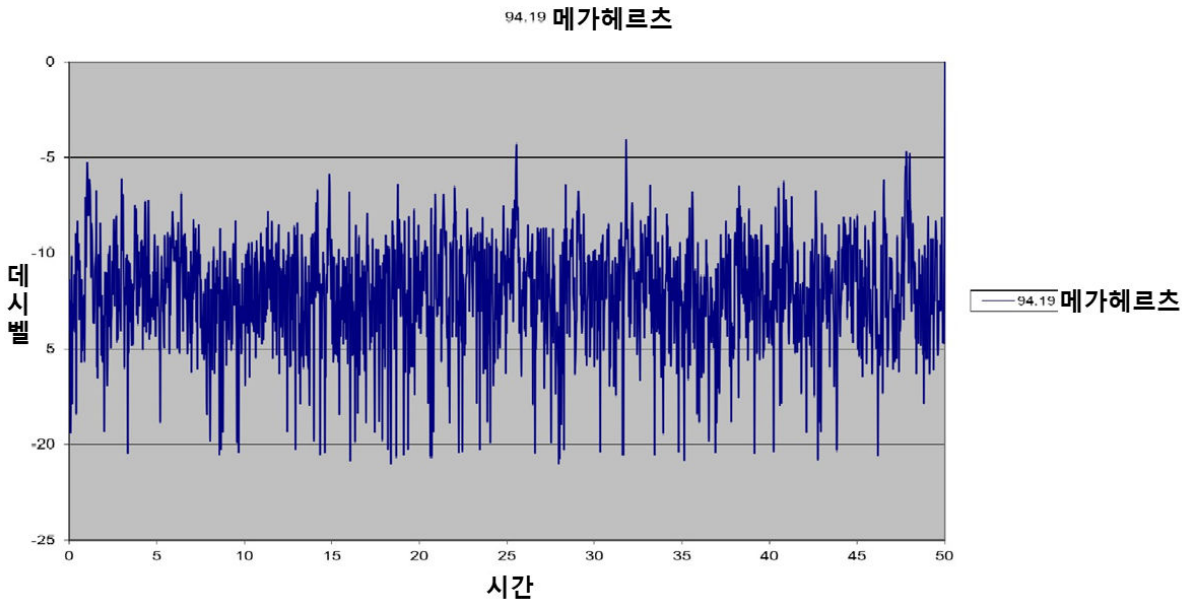
그 예로, 모터에서는 권선이 소금에 오염되어 랜덤 노이즈가 발생했고, 발전기에서는 물 또는 조류에 오염되어 발생했습니다. 해당 모터는 중간의 두 개 주파수 대역만 영향을 받았습니다. 모터의 조사 데이터는 최대 10MHz까지만 수집되었습니다. 해당 발전기는 오염이 심각하여 모든 주파수 대역이 영향을 받았습니다.

랜덤 노이즈 이벤트는 일반적으로 넓은 관심 영역을 차지합니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



이는 일반적으로 전압 의존성이 없습니다(즉, 코로나와 같은 사인파 패턴을 따르지 않음).



경우에 따라 여자 주파수 대역에서는 여자기 SCR/사이리스터(Thyristor) 스파이크 사이에 나타나는 랜덤 노이즈 현상에 주의해야 합니다. 전압 조정기 또는 여자기 다이오드 영역에 먼지와 오염이 축적되면, 다이오드 펄스 사이의 랜덤 노이즈 수준이 증가합니다. 이는 다음 가동 정지 기간에 여자기 영역을 청소해야 함을 나타냅니다.

또한, 액위(Liquid Level) 감지기 사용을 모니터링하여 해당 신호가 부품으로 물이 누수되면서 발생한 것인지 확인해야 합니다.

이 상태는 겉으로는 평온해 보일 수 있으나, 오염은 절연체 열화를 일으킬 수 있으며, 결과적으로 절연체가 완전히 파손될 수 있습니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

3.2.7. 톤 복조 파형

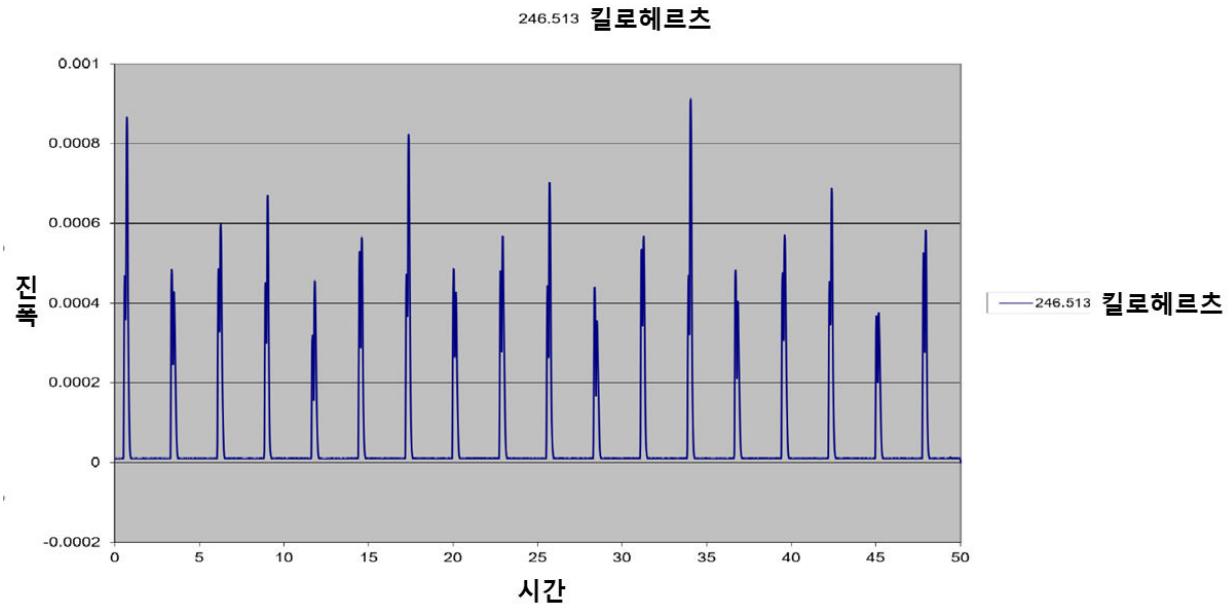
대부분의 경우, 톤은 인공 신호입니다. 여자 시스템을 청취하면 톤 특성을 가진 소리를 들을 수 있습니다. 오염이 축적되면, 때때로 톤을 간섭하는 정적 노이즈가 들릴 수 있습니다.

톤 패턴은 펄스 열로, 전압 의존성이 없으며 전체 수집 시간에 걸쳐 일정하게 유지됩니다.

톤은 신호가 전송선 통신 시스템, 가변 주파수 드라이브(Variable Frequency Drive, VFD) 등에서 발생했음을 나타냅니다. 이는 모니터링 대상 구조물의 안테나 효과를 통해 수집됩니다.

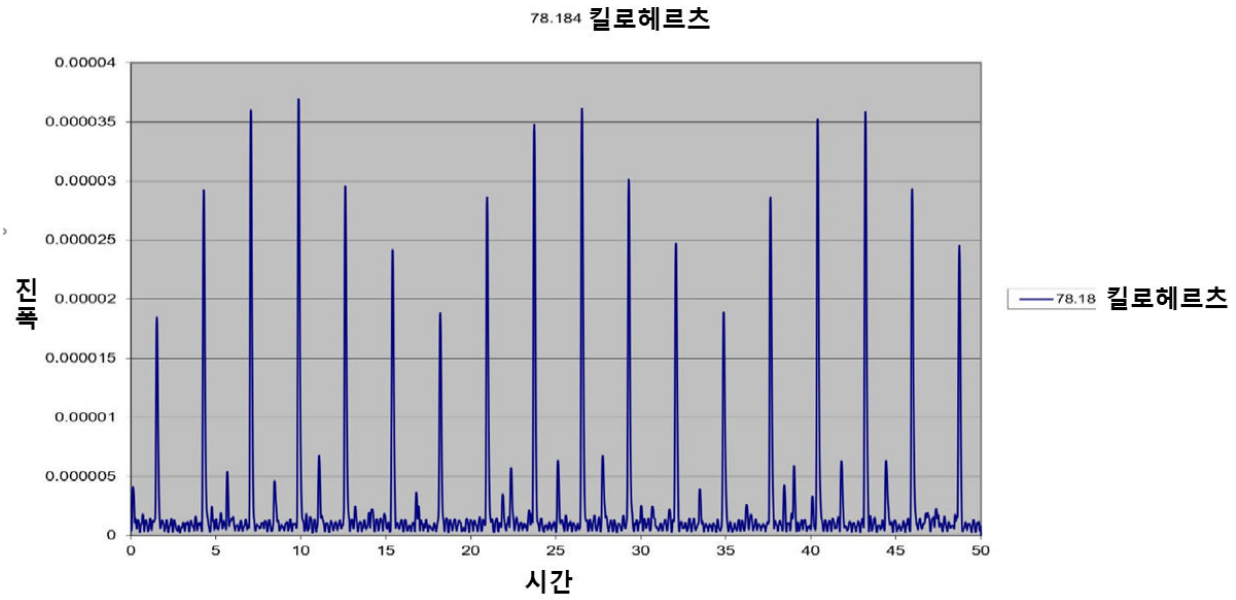
톤은 시간에 따른 추세를 나타내는 지표로서 매우 유용할 수 있습니다. 만약 톤이 랜덤 노이즈나 다른 파형 프로세스에 잠식되기 시작하면, 이는 인공 신호보다 강한 신호를 발생시키는 결함이 발생하였음을 의미합니다.

이 톤 패턴은 정상적인 여자기/전압 조정기 패턴에서도 자주 관찰됩니다. 펄스 높이는 전압 조정기 제어에 따라 변조되며, 사이리스터 펄스 사이에는 노이즈 패턴이 나타나지 않습니다.



다음 예시에서는 깔끔한 다이오드 펄스 열이 나타나지만, 펄스 패턴 사이에 일부 랜덤 노이즈 현상이 시작되는 모습도 함께 나타납니다. 이를 오디오로 들으면 톤 소리와 함께 탁탁 튀는 소리나 정적이 들릴 수 있습니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



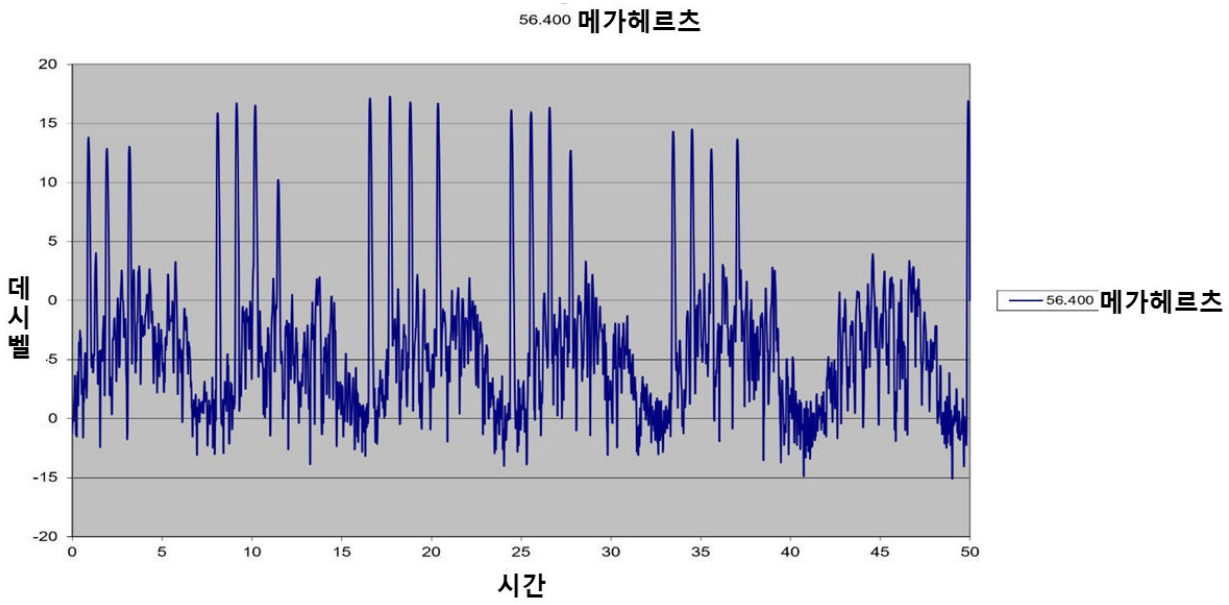
이 경우, 큰 펄스들은 결함이 아니라 인공적으로 필요한 구성 요소입니다. 이러한 패턴과 관련한 문제를 해결할 때는 신호 기준선에서 감지되는 노이즈 수준을 바탕으로 합니다. 깨끗한 기준선은 시스템이 유지보수가 필요 없는 정상 상태임을 나타냅니다. 기준선이 스파이크로 튀거나 노이즈가 심해지면, 이는 다이오드 팩의 오염이나 기타 결함이 발생했음을 나타냅니다.

펄스 열에서 '펄스'가 하나 빠져 있다면, 이는 다이오드/사이리스터의 발진 실패(misfiring)를 나타냅니다.

3.2.8. 조합형 복조 파형

모든 신호는 서로 조합된 상태로 관찰될 수 있기 때문에, 정확히 어떤 결함이나 신호 유형을 다루고 있는지 판단하기 어려울 수 있습니다. 현장에서도 여러 결함이나 이상 현상이 동시에 발생할 수 있습니다. 만약 신호가 매우 강하고 여러 패턴이 조합된 경우(특히 아킹 패턴이 나타나는 경우), 조금 더 주의를 기울여 관찰해야 합니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



이 복조 파형은 고주파수에서 얻은 것으로, 일부 갭 방전과 함께 매우 뚜렷한 코로나 패턴을 보여줍니다. 갭 방전이 일정하지 않게 나타나면, 갭 자체가 일정하지 않을 가능성이 있습니다(예: 느슨한 연결).

앞서 톤에 관해 설명하며 정상적인 다이오드 패턴과 추가 랜덤 노이즈가 포함된 다이오드 패턴을 확인했습니다. 해당 사례에서는 다음 가동 정지 기간에 정적 여자 시스템 전력 정류기를 청소할 것을 권고했습니다. 해당 설비는 석탄 발전기입니다. 다이오드 뱅크는 석탄 분진으로 오염되어 있습니다. 정류기에는 필터가 있지만, 일부 오염물질은 필터를 통과합니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

4. 일반적인 문제 해결 기술

이 섹션에서는 EMI 문제를 해결하는 데 도움이 되는 기타 방법을 설명합니다.

4.1. 주파수 대역 초기 스캔 측정값 기준선 설정

첫 EMSA 스캔 시, 주파수 스캔에서 수치가 높은 주파수의 험프나 스파이크를 관찰합니다. 이러한 높은 측정값을 기록하여 향후 비교에 활용합니다.

영구 설치 장치의 경우, 주파수 대역의 전력 스펙트럼을 InsightCM에 수집하여 추세를 분석합니다. 전체 EMSA 스펙트럼은 회사/IT에서 결정한 주기에 따라 저장되어 향후 비교에 사용합니다.

주기적으로 모니터링하는 경우, 피크값과 주파수를 수집하여 이후 축적되는 데이터를 기반으로 추세 분석에 활용합니다.

현재 두 방법 모두 복조 시간 영역 파형을 자동으로 수집하지 않습니다. 그러나 관심 영역의 복조 시간 영역 파형은 향후 유사 데이터와 비교할 수 있도록 모두 수집해야 합니다.

4.2. 서로 다른 주파수의 유사한 패턴 비교

관심 영역의 복조 데이터에서는 때때로 서로 다른 주파수에서도 같은 패턴으로 관찰됩니다. 단, 패턴에 다음과 같은 변화가 있다면 이는 관심 대상이 될 수 있습니다.

- 랜덤 노이즈, 코로나 패턴 등의 추가
- 신호 강도의 변화

이러한 지표는 결함이 주로 어느 주파수에서 발생하는지 판단하는 데 도움을 줍니다.

4.3. 우려 수준에 따른 초기 스캔 측정값

NI-9770 카드로 수행하는 추세 분석과 주기적 측정은 우려 수준이 서로 다릅니다. NI-9770 카드는 전력 스펙트럼을 사용하며, 이는 문제 발생 초기 단계에 더 민감하여 주변 라디오 신호보다 강하게 발현되지 않은 신호도 더 쉽게 감지할 수 있습니다. 주기적 측정 방식은 피크 스캔 전압을 기준으로 활용합니다.

NI-9770 카드는 관심 영역을 다음과 같은 우려 수준으로 구분합니다.

- **1,000uV 미만**: 일반적으로 우려 사항이 없습니다.
- **1,000uV~10,000uV**: 장기적인 점검 및 정비 계획이 필요합니다.
- **10,000uV 초과**: 단기적인 계획과 적극적인 점검이 필요합니다.

최근 약 5년간 한 발전기에서 10,000uV를 초과하는 값이 관측되었습니다. 해당 설비는 고정자 접지 트립으로 정지되기 약 3개월 전에 13,000uV에서 16,000uV로 단계적으로 상승(전력 스펙트럼: 30MHz~100MHz)

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

하는 모습을 보였습니다. 문제는 상분리 모선에서 발견되었습니다. 일부 절연체는 균열이 있었고 다른 절연체에는 심각한 오염이 확인되었습니다.

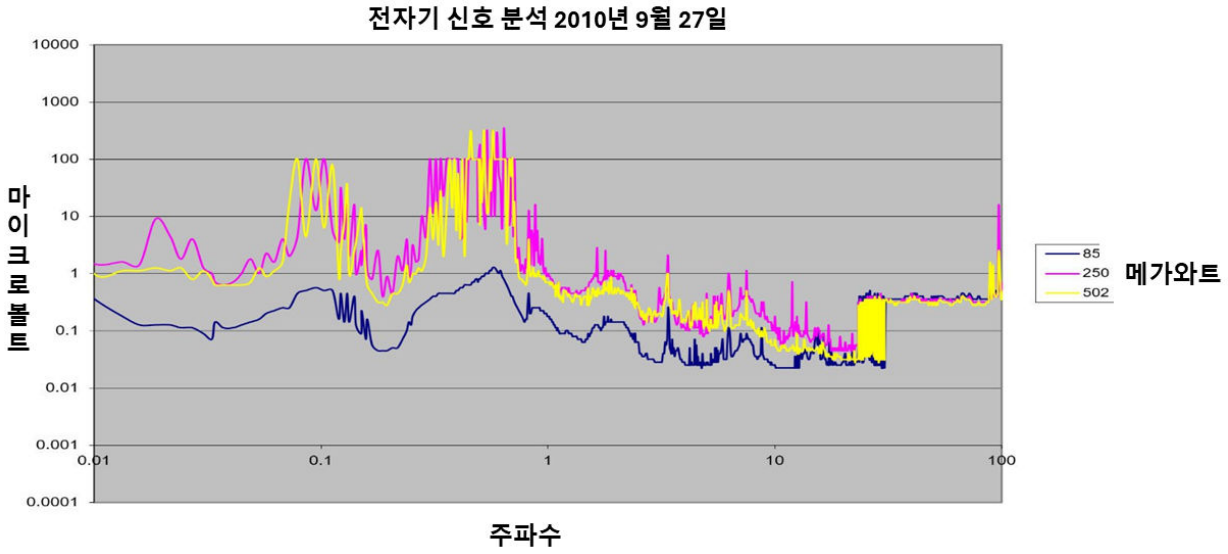
주기적 측정 장비(Agilent E-7402)의 경우 스펙트럼의 피크 값 기준은 다음과 같습니다.

- 100uV **미만**: 해당 영역은 우려 사항이 없습니다.
- 100uV~1,000uV: 해당 영역을 모니터링하고 추세를 파악해야 합니다.
- 1,000uV~10,000uV: 해당 영역은 장기적인 점검 및 정비 계획이 필요합니다.
- 10,000uV **초과**: 해당 영역은 단기적인 계획과 적극적인 점검이 필요합니다.

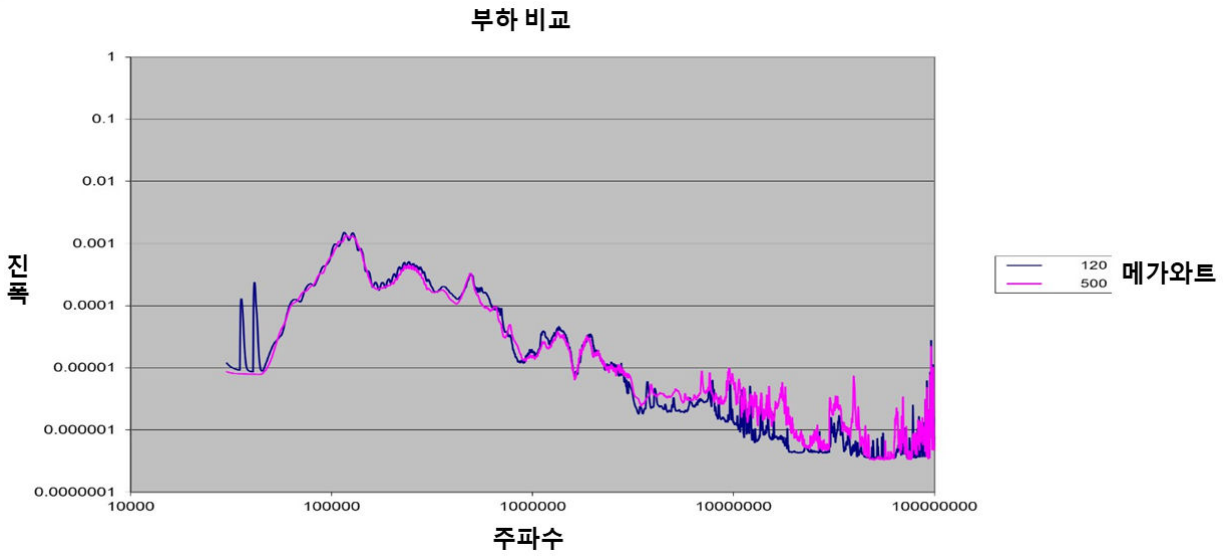
© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

4.4. 부하 비교

설비 부하가 높을 때 매우 높은 값이 나타난다면, 부하가 낮을 때 다시 스캔을 수행해 보는 것이 유용할 수 있습니다. 부하가 낮을 때 신호 세기가 대폭 감소한다면, 모니터링 중인 장비에 느슨하게 연결된 구성품이 있다는 의미입니다. 느슨한 웨지 시스템 또는 권선단부 고정 장치는 부하가 높을 때 더 많이 움직이며, 이는 방전 신호 증가로 이어집니다.



그 외에 설비가 단단하게 고정된 경우에는 부하에 따른 EMI 신호 특성 차이가 나타나지 않습니다.



주파수 영역을 기록하여 느슨하게 연결된 구성품의 위치를 파악합니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

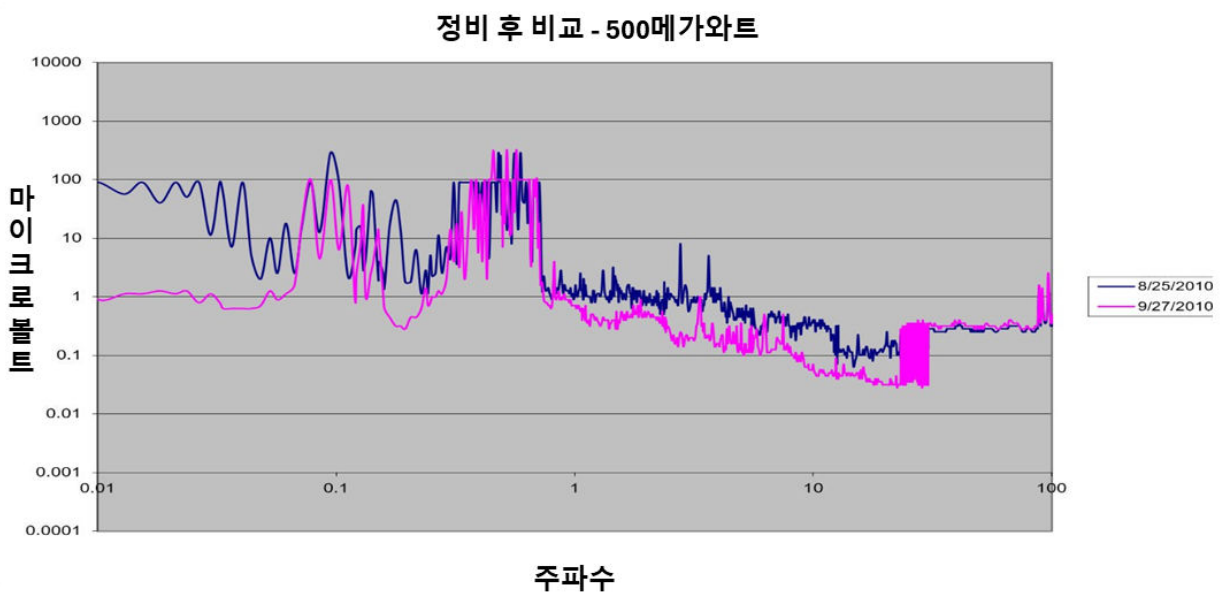
4.5. 유지보수 전후 신호 비교

EMI 모니터링의 강점 중 하나는 데이터 추세를 시간 경과에 따라 분석할 수 있다는 점입니다. 신호 세기는 일반적으로 결함으로 인해 발전소가 정지되기 훨씬 이전부터 증가하기 시작합니다. 다만, 이것이 항상 증가하는 것은 아니며 특히 결함이 발생하여 갑작스럽게 열화되거나 물 또는 빗물 침투와 같은 갑작스러운 현상으로 발생한 경우에는 예외가 될 수 있습니다.

시간에 따른 스펙트럼 변화를 비교하거나 전력 스펙트럼 값의 추세를 분석하면 결함이 발생하기 전 충분한 시간을 두고 점검 및 수리 계획을 수립할 수 있습니다.

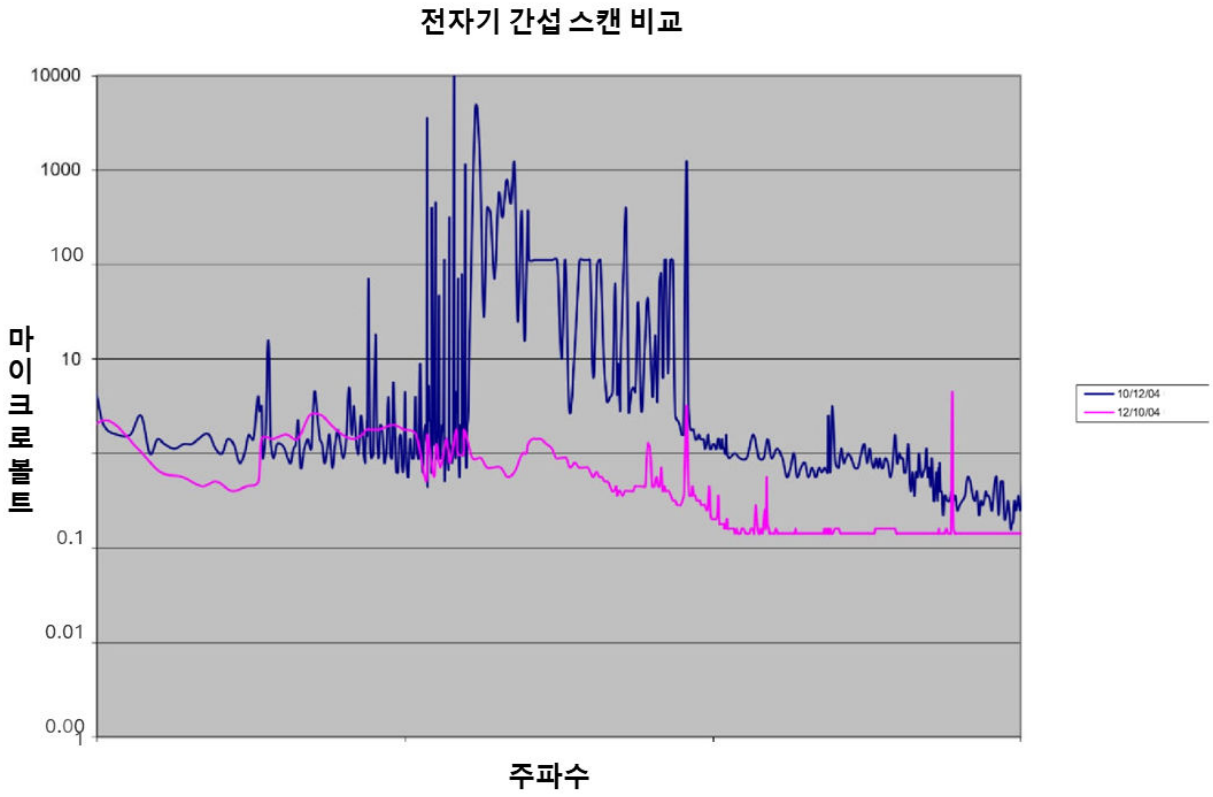
유지보수 전후 신호를 비교하는 것도 좋습니다.

예시 1: 저주파 대역에서 얻은 복조 파형은 여자 시스템에 느슨한 연결 문제가 발생했을 가능성을 나타냈습니다. 이 값들은 여전히 낮은 상태였지만, 설비를 사용하지 않는(Not in Demand) 기간이므로, 새로 설치된 공랭식 전력 정류기를 점검했습니다. 정류기와 관련된 차단 스위치에서 느슨한 하드웨어 연결 문제가 발견되었습니다. 아래 스냅숏은 정비 전후 스캔 결과를 나타냅니다.



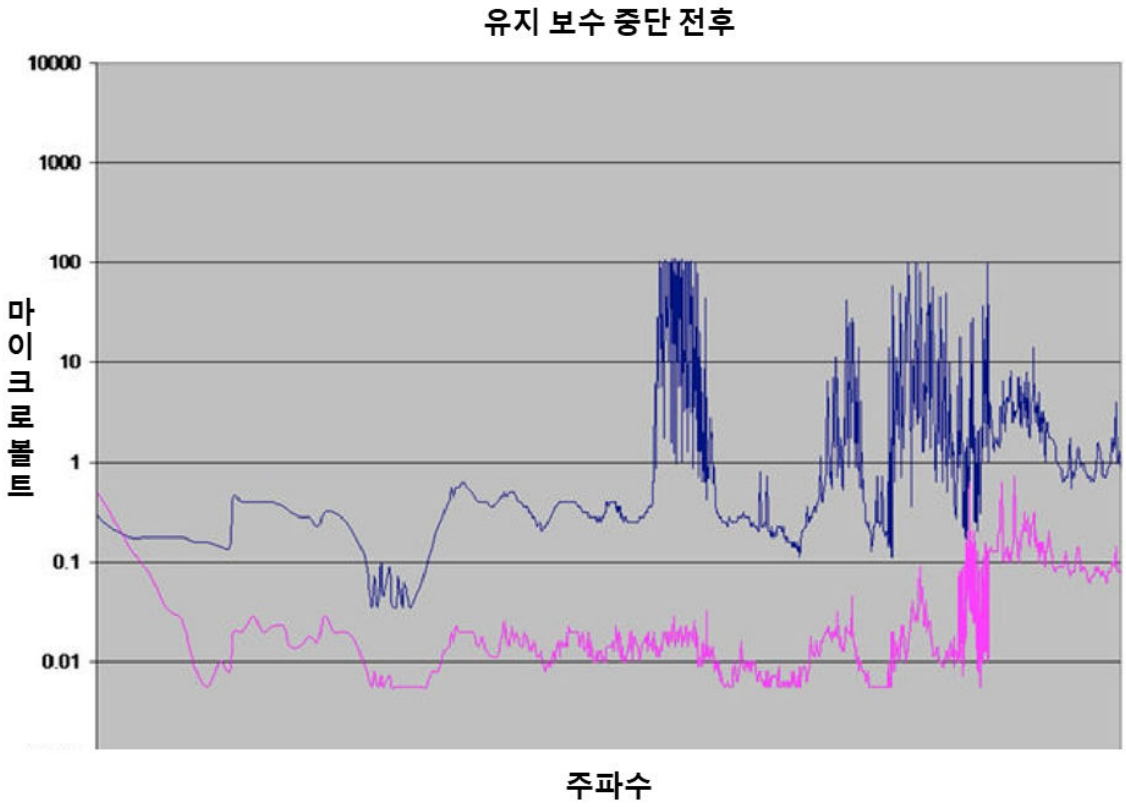
예시 2: 세척을 위해 모터를 외부 시설로 보냈을 때, 소금에 오염되었음이 확인되었습니다. 아래 스냅숏은 정비 전후 스캔 결과를 나타냅니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



예시 3: 네 개의 주요 누수가 발견되어 수리하였습니다. 정비가 완료된 후, 설비의 젖은 바를 건조하였습니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



4.6. 추세 비교

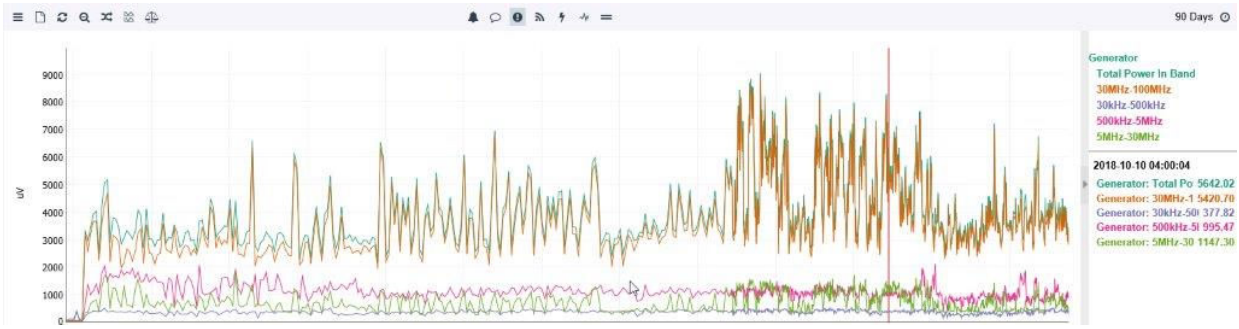
InsightCM은 EMI 전체 스캔 결과에서 추출한 특징의 추세를 분석하도록 지원합니다.

발전기의 경우, 전체 스캔 결과와 4개의 부대역(sub-band)에 대한 전력 스펙트럼 값의 추세를 분석합니다.

- **총 전력**(30kHz~100MHz): 전체 스펙트럼의 총 전력 값으로, 일반적으로 우려 수준을 오르내리는 대역입니다.
- **저주파**(30kHz~500kHz): 이상 현상은 전압 조정기 다이오드, 정적 여자기, 브러시리스 여자기, 전력 정류기 등 주로 발전기 여자기 영역에서 발견됩니다.
- **저, 중주파**(500kHz~5MHz): 이상 현상은 주로 발전기 코어/슬롯 영역에서 발견되지만, 때로는 발전기 내부 결함으로 상위 주파수 대역도 영향을 받을 수 있습니다.
- **고, 중주파**(5MHz~30MHz): 이상 현상은 주로 발전기 권선단부 영역에서 발견되지만, 두 중간 주파수 대역 중 어디에서 문제가 발생했는지 구분하기 어려울 때가 있습니다.
- **고주파**(30MHz~100MHz): 이상 현상은 주로 상분리 모선(발전기 출력 모선) 영역에서 발견됩니다. 다수의 사례 연구가 이 결론을 뒷받침합니다.

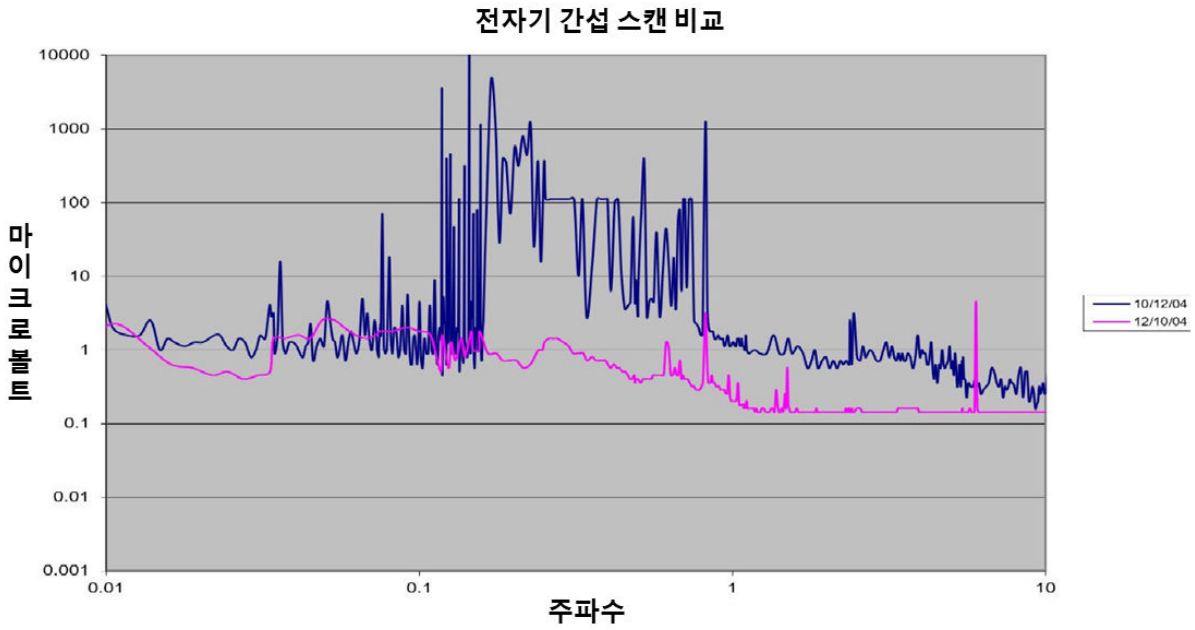
부대역을 전체 전력 대역과 비교하여, 관심 결함 영역을 검증하는 데 활용합니다. 아래 스냅숏에서는 고주파 대역이 전체 전력 값에 가장 크게 기여했으며, 결함은 상분리 모선 영역에서 발견되었습니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



변압기의 경우, 대역별 총 전력값(전체 스캔 결과)에 대한 전력 스펙트럼만 사용합니다. 주파수 범위를 근거로 결함 위치를 판단할 수 있는 데이터나 사례 연구는 아직 없습니다. 다만, 현재 발전기 대역과 유사한 기준을 바탕으로 한 분류 체계를 개발하기 위한 연구가 진행 중입니다.

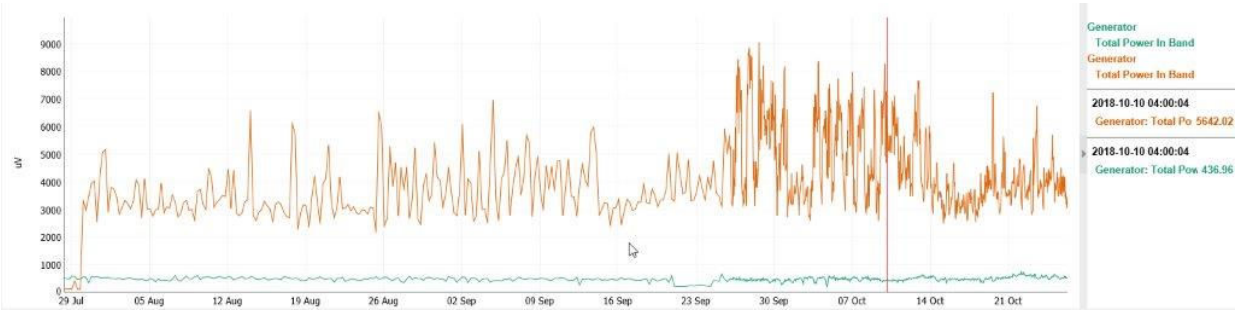
모터의 경우, 30kHz에서 30MHz(경우에 따라 10MHz까지만) 범위의 스캔 결과를 활용합니다. 상위 주파수에서는 모터 문제가 한 번도 감지된 적이 없으며, 이는 모터가 상분리 모선 구조가 아니기 때문에 당연한 결과입니다. 유도 모터의 경우에는 여자 시스템이 없어 하위 주파수 대역도 큰 관련성이 없습니다. 스캔 방식은 동기 모터에는 적합할 수 있습니다. 동기 모터는 발전기와 유사하기 때문에 관련 데이터가 많지 않음에도 해당 구간을 계속해서 모니터링합니다. 아래 스캔은 권선이 심하게 오염된 유도 모터를 나타냅니다.



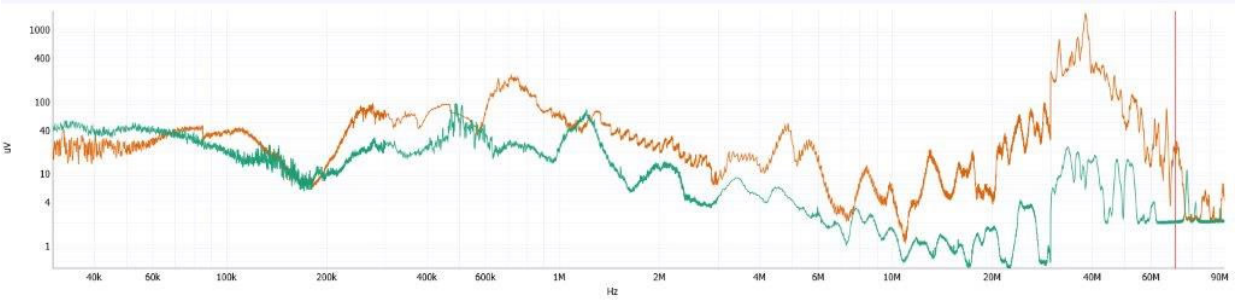
4.7. 자매 설비 비교

자매 설비를 비교하면 문제를 해결하는 데 유용할 수 있으나, 이러한 비교가 유효한지 반드시 확인해야 합니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support



특성 값과 스펙트럼 신호 특성 모두 비교할 수 있습니다.



그러나 유사한 기기를 비교할 때는 다른 여러 요인이 신호 특성에 영향을 미칠 수 있습니다.

- **지역별, 현장별 EMI 환경**

  현장마다 환경이 다르며, 각기 다른 무선국, 반송 신호, 배경 신호 특성에 영향을 주는 EMI 노이즈 방출 장비 등을 갖추고 있습니다. 현재는 서로 다른 현장의 유사 설비를 비교할 때 오프라인 기준선을 빼는 것이 적절한지 여부를 판단하기 위한 연구가 진행되고 있습니다.

- **같은 장비에서 변류기(Current Transformer, CT) 위치가 다른 경우**

  유사한 장치라면 설치자가 EMI 센서(HFCT)를 동일한 위치에 설치하는 것이 일반적이나, 그렇지 않은 경우도 있습니다. 실제로 한 현장에서는 동일 기종 4대 중 일부에서 CT의 설치 위치가 달라져 설비 신호 특성을 비교하는 데 지장을 주기도 하였습니다.

  또한, 두 '접지' 위치는 같지 않습니다. HFCT를 유사한 위치에 설치하려면 접지 연결 패턴을 확인해야 합니다(예: Tee 업스트림 대 Tee 다운스트림 등).

- **장비 제조일자가 다른 경우**

  OEM은 하나의 모델 번호에서 같은 기본 장비를 사용하지만, 해당 모델 번호의 제조 과정이 진행되면서 사소한 변경 사항이 발생할 수 있습니다. 이러한 구조 변경은 EMI 신호 특성 패턴에 영향을 줄 수 있습니다.

4.8. EMI 스니퍼(Sniffer)와 음향 이어 스캔(Acoustic Ear Scan) 사용

EMI 발생원을 찾아내기 위해 EMI 스니퍼나 초음파 음향 모니터를 사용합니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

EMI 스니퍼는 광대역 무선 장치로, 두 개의 안테나와 세 가지 주파수 대역을 갖추고 있습니다. 이 장치는 게인 다이얼(Gain Dial)을 통해 감도를 억압하여 발생원의 위치를 파악하는 데 도움을 줄 수 있으며, 특히 베어링 전기 분해 문제, 브러시 리깅(Rigging) 문제, 샤프트 접지 연결 문제를 진단하기에 유용합니다.

수년간 예지보전(Predictive Maintenance, PdM) 기술자들이 베어링 문제를 해결하는 데 사용해 온 음향 이어는 PD를 감지하고 EMI 신호 특성 발생원의 위치를 확인하는 데에도 사용할 수 있으며, 특히 대형 GSU 변압기의 고압측 부싱 연결 문제를 확인하는 데 유용합니다.

4.9. RTD 리드와 슬롯 커플러(Slot Coupler)를 이용한 PD 모니터링

수년간 PD의 모니터링은 저항 온도 감지기(Resistive Temperature Detector, RTD)와 슬롯 커플러(코어 상·하 권선 사이에 내장된 소형 안테나)를 이용하여 수행해 왔습니다.

참고

RTD 리드와 슬롯 커플러 안테나는 발전기와 일부 모터에 사용할 수 있습니다.

슬롯 커플러 안테나는 EMI 신호 모니터링에도 사용할 수 있습니다. 그러나 이는 권선과 철심이 여러 방사원을 차폐하는 구조이기 때문에 상대적으로 감도가 떨어지는 편입니다. 이 안테나의 모니터링 범위 또한 매우 국소적입니다. 많은 PD 모니터링 담당자는 이러한 이유와 더불어, 설치 시 재권선 작업이 필요하다는 점 때문에 모선 커플러를 선호해 왔습니다. 그러나 마땅한 설치 위치가 없다면 슬롯 커플러 안테나를 사용할 수 있습니다.

4.10. 중성 접지 변압기(Neutral Ground Transformer, NGT) 모니터링

NGT 도체는 두 가지 방식으로 모니터링할 수 있습니다. NGT 큐비클에 들어가기 전에 도체를 둘러싸고 있는 도관 주위를 모니터링하거나, NGT 큐비클 내부에서 도체 자체를 둘러싸 모니터링하는 방식입니다. 발전기 중성측의 WYE 연결 도체가 NGT 큐비클 내부까지 모선 형태로 이어져 있거나, 도관에 보호되지 않고 노출된 바 도체라면, CT가 도체 자체를 둘러싸도록 설치할 수 있습니다. 단, 도체를 발전기 정격에 맞게 적절히 절연 처리해야 합니다.

CT가 도관과 도체를 모두 둘러쌀 경우, 권선의 안테나 효과와 발전기 프레임의 차폐 효과로 발생하는 신호를 감지할 수 있습니다. 이는 감도가 높아 매우 선호되는 설치 위치 중 하나입니다. CT가 도체 자체만 둘러쌀 경우, 권선의 안테나 효과만 감지되므로 감도가 다소 낮습니다. 여러 설비를 모니터링한다면, 이는 유사 설비를 비교하기에 적절한 위치일 수 있습니다.

CT를 도관 주변에 설치한 설비와 도체만 감싼 설비를 비교할 수도 있으나 이 경우 설치 위치에 따른 감도 차이를 고려해야 합니다.

참고

모터는 중성점에 전혀 연결되지 않을 수 있기에 대부분은 모터에 이러한 방법을 사용하지 않습니다.

변압기는 델타-델타, 델타-WYE, WYE-델타, 2권선, 3권선 등의 다양한 권선 구성이 가능합니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

특히, 일반적인 발전소 승압 변압기(Generator Step-up Transformer, GSU)처럼 WYE가 설비의 스위치야드(Switchyard) 측에 있는 경우, 시스템에 더 많은 노이즈가 발생할 수 있습니다. 스위치야드 측 WYE 위치와 발전소 측 WYE 위치를 비교하는 것은 매우 어려우며 권장되지 않습니다.

유사 설비를 비교하려면 CT 위치가 같은지 반드시 확인해야 합니다.

4.11. 문제 해결을 위한 프레임 및 케이스 접지 활용

프레임과 케이스 접지는 연소 터빈 설비, 모터, 변압기 등에서 많이 사용합니다. 이들은 프레임과 케이스 구조의 차폐 효과를 이용해 EMSA 신호를 흡수하고, HFCT가 둘러싸고 있는 접지 도체를 통해 이를 전달합니다.

산업계에서는 설비 접지에 대한 표준이 없으므로 다양한 접지 구성 방식을 사용할 수 있습니다. 같은 시설 내 자매 설비라도 접지 구성이 서로 다를 수 있습니다.

유사 설비를 비교할 때는 HFCT 위치를 가능한 한 유사하게 맞추어야 합니다(여자기 측 또는 터빈 측 등 동일 단부). 일부 경우에는 발전기 출력 모선과 발전기 프레임 같은 여러 부품이 하나의 접지 도체에 연결되기도 합니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

5. HFCT 위치에 따른 영향

'결함'에서 방출된 RF가 EMI 센서 위치로 전달되는 메커니즘은 매우 복잡하여, 설명하거나 모델링하기 어렵습니다. 해당 분야에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았으며, 문서화된 정보도 매우 적습니다. 변압기 관련 신호 특성에 대한 결함 위치와 HFCT 위치가 미치는 감도와 영향에 관해서는 일부 연구가 수행되었습니다. 발전기에 대한 경험 법칙 데이터 대부분은 수년간 현장 데이터 수집을 통해 경험에 따라 얻은 정보입니다.

기본적인 내용은 다음과 같습니다.

1. 전자가 흐를 때마다 전자기 과정이 발생하며, 이는 맥스웰 방정식(Maxwell's Equation)에 근거합니다.
2. 발생 지점에서는 이 과정이 RF 방출 형태로 공기를 통해 전달되거나, 도체를 통해 안테나 효과로 방출될 수 있습니다.
3. 수신 지점(HFCT)에서는 전류 변압기가 안테나 효과나 차폐 효과가 있는 물체에 연결된 도체를 통해 흐르는 전류를 감지합니다. 예시로, 발전기 권선은 안테나 효과가 있고, 발전기 프레임은 차폐 효과가 있습니다.
4. 수년간 EMI 신호 특성 분석과 PD 수집을 위해 HFCT를 설치한 세 곳은 주로 다음과 같습니다:
   - 중성 접지(Neutral ground, NG) 도체
   - RTD 리드 및 슬롯 커플러 안테나
   - 프레임 또는 케이스 접지

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support

6. 용어

AWG	미국 전선 규격(American Wire Gauge)
전류 변압기(Current Transformer, CT)	교류 전류(Alternating Current, AC)를 측정하는 장치입니다.
전자기 간섭 (Electromagnetic Interference, EMI) 분석	전력 장비(발전기, 모터, 변압기, 개폐기 등)에 흡수된 제어 및 비제어 전자기 방출을 모두 수집하고 분석하여, 해당 전력 장비 내부에 비제어 상태의 방전원이 방출되고 있는지를 파악하는 것입니다.
발전기 승압 변압기 (Generator Step-Up Transformer, GSU)	발전기의 전압을 받아 적절한 송전 전압으로 승압하는 변압기입니다.
고주파 전류 변압기(High Frequency Current Transformer, HFCT)	고주파에서 AC를 측정하는 장치입니다.
상분리 모선(Isolated Phase Bus, IPB)	발전기와 승압 변압기를 연결하는 고전류 전달 도체로 이루어져 있습니다.
중성 접지 변압기(Neutral Ground Transformer, NGT)	시스템 접지와 시스템 중성점을 같은 전위로 맞추기 위해 접지 경로를 제공하는 장치입니다.
부분 방전(Partial Discharge, PD)	IEC 60270 표준에 따르면 *PD는 도체 사이의 절연체를 부분적으로만 관통하는 국부적인 전기 방전으로, 도체 근처에서 발생할 수도 있고 발생하지 않을 수도 있습니다.*
전원 공급 장치 인클로저 (Power Supply Enclosure)	Cutsforth 인클로저는 발전소에서 공급되는 AC 전원을 받아 이를 다양한 Cutsforth 모니터링 시스템에서 사용하기 위해 DC로 변환하는 전원 공급 장치를 의미합니다.
저항 온도 감지기(Resistance Temperature Detector, RTD)	내부 온도계 요소의 저항 변화를 감지하여 온도를 측정하는 장치입니다.

© Cutsforth 2026 | Cutsforth.com/Support