

# 통신장비의 내진안전성 시험평가절차 비교

김영중 | 한국기계연구원

## 1. 서론

최근 국내 통신서비스 산업의 급격한 발전과 국산 통신 단말기의 성능이 세계 최고 수준에 도달함에 따라 통신장비의 많은 부분이 국제 경쟁력을 갖추게 되었으며, 기술 선진국의 위치를 확보하게 되었다.

그러나 통신장비의 수출을 위해서는 외국에서 요구되는 다양한 환경에 대한 성능검증을 거쳐야 한다. 그 중에서도 지진 환경은 국내서비스를 위해서는 요구되지 않았기 때문에 국내 사업자들에게는 생소한 분야로서 구조 설계의 개선과 더불어 시험을 통해 구조의 건전성과 함께 작동성능을 확인해야 한다. 특히 휴대전화 등의 개인 통신장비는 지진재해와 같은 위급 시 더욱 활용성이 커지므로 지진에 대한 안전성 확보는 필수적인 기능으로 요구되고 있다.

지금까지 국내의 여러 제작자들이 일본, 미국을 비롯해 중남미 등 지진 다발 지역에 수출하기 위하여 지진 시험을 수행하였으며, 구조 설계의 개선을 통해 요구조건을 만족함으로써 세계적으로 시장의 다변화에 성공한 바 있다. 그 뿐만 아니라 최근에는 국내 통신사업자들도 지진에 대한 안전성을 요구하고 있기 때문에 통신장비의 지진 시험은 이제 필수 조건이 되고 있다. 아직까지는 유럽 지역에 대해서는 본격적인 수출이 이루어지지 않고 있지만 미국, 일본 등에서 요구하는 조건을 만족한다면 이와 유사한 유럽 규격에 대해서도 충분히 만족할 만한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

본 고에서는 미국, 유럽, 일본에서 적용되는 통신장비의 지진성능 시험 규격인 Telcordia GR-63-CORE<sup>[1]</sup>, IEC 60068-2-57<sup>[2]</sup> 및 NTT의 지진시험 방법<sup>[3]</sup>들의 요구 조건을 살펴보고 이를 달성하기 위한 시험 장비의 요구 성능을 분석하였으며, 시험 절차의 특징을 비교하였다.

## 2. 통신장비의 지진시험 절차

### 2.1 개요

지진시험 시 적용되는 지진 기준은 주로 응답스펙트럼으로 주어지며, 이를 바탕으로 시간 이력을 합성하게 된다. 시간 이력의 합성에는 전체적으로 진폭의 변화를 규정하는 포락함수(envelope function)를 설정해야 하는데

이들 규격에서 명시하고 있지 않기 때문에 시험자가 판단하여 정의할 필요가 있다.

한편 시험장비의 성능한계로 인해 응답스펙트럼의 구현이 어려운 경우 시험파형에 필터를 적용할 때는 시험체의 응답에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 조건을 적용한다.

## 2.2 Telcordia GR-63-CORE

### 2.2.1 응답스펙트럼 및 시간이력 합성

Telcordia GR-63-CORE는 표준규격으로 채택되어 ANSI TL329<sup>[4]</sup>로도 적용하고 있으며, 지진의 예상 규모에 따라 지역을 0부터 4까지 5단계로 구분하여 요구응답스펙트럼(Required Response Spectrum, RRS)을 적용하고 있다. 즉 미국의 경우 서부 캘리포니아 주 일대를 Zone 4로 가장 강한 지역으로 구분하여 가장 위험한 지진 지역으로 정의한다. 이는 UBC(Uniform Building Code)<sup>[5]</sup>에서 구분하는 것과 같으며, UBC를 인용하면 미국 이외의 지역에 대한 지역 구분도 가능하므로 이 규격을 전 세계 각 지역에 적용할 수 있다. Telcordia GR-63-CORE에서는 지진위험 구역에 따라 그림 1과 같이 Zone 1&2, Zone 3, Zone 4에 각각 다른 응답스펙트럼을 요구한다.

이 응답스펙트럼을 재현하기 위한 시간이력 합성을 위해 포락함수를 정의해야 하는데 코드에서는 그림 2와 같이 시간이력의 한 예만을 보여주고 있다. 일반적으로 지진과 같은 파형의 강진구간은 최대 진폭의 25%를 최초로 넘는 시간부터 25%이하의 진폭이 유지되기 시작하는 시간까지를 설정한다. 이를 바탕으로 강진구간을 처음 2초부터 22초까지 20초간 지속하는 것으로 정의할 수 있으며, 예로 보인 바와 같이 전체 시간이력의 지속시간은 30초로 설정할 수 있다.

한편, 이와 같이 합성된 시간 이력은 저주파수 부분의 높은 진폭을 요구하게 되며, Zone 4의 경우 영주기가속도(Zero Period Acceleration, ZPA)는 1.6g이고, 속도 1 m/s, 변위 200 mm 이상의 성능을 가지는 진동대가 필요하다. 따라서 현실적인 시험을 위해 High Pass Filter를 0.8 Hz로 적용하면 그림 3과 같이 약 1.2 Hz 이상의 구간에서 시험응답스펙트럼(Test Response Spectrum, TRS)이 RRS를 만족하는 결과를 얻을 수 있으며, 속도 0.7 m/s, 변위 90 mm

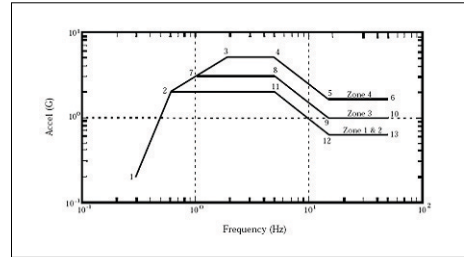


그림 1. 요구응답스펙트럼  
- Telcordia GR-63-CORE (2% damping)

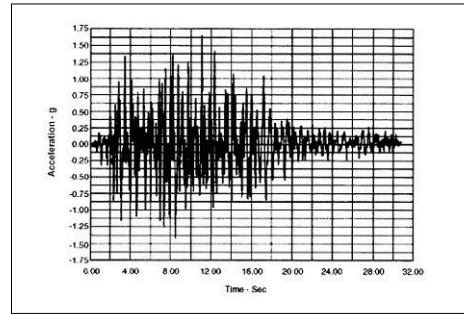


그림 2. 합성시간이력 - Telcordia

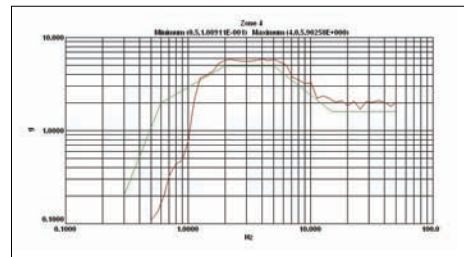


그림 3. RRS와 TRS 비교 - Zone 4 지진시험 (2% damping)

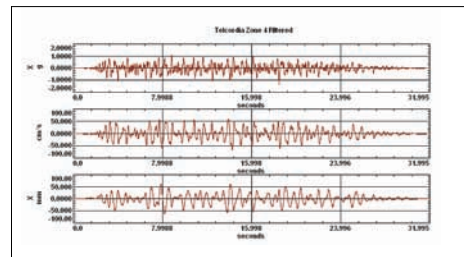


그림 4. 지진시험을 위한 시간이력 - Telcordia GR-63-CORE

정도로 구현이 가능하다.

만일 시험체의 공진주파수가 1-2 Hz 이하로 매우 낮을 경우 이와 같이 필터를 적용한 파형과 적용하지 않은 파형에 의한 지진응답의 차이는 크게 발생한다. 그러나 시험체의 공진주파수가 필터의 차단 주파수보다 매우 높은 경우에는 그 차이가 크지 않다. 원자력 발전소 관련 기기의 일반 내진시험 기준인 IEEE Std 344<sup>[6]</sup>에 의하면 시험체의 공진주파수의 70% 또는 3.5 Hz 이상의 주파수 범위에서 TRS가 RRS보다 크면 만족한다는 조건이 있다. 이를 적용하면 시험파형의 TRS가 1.2Hz이상의 주파수에서 RRS보다 크므로 공진주파수가 최소 약 2 Hz 이상이면 가능하나 Telcordia의 규정에 공진주파수는 최소 2 Hz이어야 하고 6 Hz 이상을 권고하고 있으므로 시험체의 공진주파수가 6 Hz 이상으로 설계된다면 시험파형의 특성은 적절하다고 판단할 수 있다.

## 2.2.2 시험절차

Telcordia GR-63-CORE는 지진시험에 앞서 정하중 시험을 요구한다. 예로써 Zone 4를 적용하는 경우 케이블 무게를 합친 장비 전체 무게에 해당하는 하중을 시험체의 상단에 가할 때 75 mm 이하의 변위를 가져야 하고, 하중을 제거했을 때 6 mm 이하의 잔류 변위를 요구한다.

시험체를 진동대에 설치할 때는 실제로 사용될 앵커볼트를 재현할 필요가 있다. 이를 위해 일반적으로 건물의 내부에 설치하는 방법에 따라 콘크리트로 된 슬라브를 진동대에 고정하고 앵커를 설치한 후 시험체를 고정하도록 권고하고 있으며, 슬라브를 사용하지 않을 경우에는 시험체를 고정하는 앵커 볼트에 작용하는 하중을 측정하도록 규정하고 있다. 이를 위해 볼트의 인장 부분에 스트레인 게이지를 부착한 스트레인 볼트를 사용할 필요가 있다.

지진파형을 가하기 전에 먼저 시험체의 공진주파수를 측정해야 한다. 공진탐색시험을 위해서는 1 Hz에서 50 Hz 범위에서 약 0.2 g 수준의 가속도 정현파를 1 oct/min의 변화율로 주파수 소인시험을 하거나, 최대 가속도 0.2 g 정도의 랜덤파형으로 가진하여 진동대와 시험체 사이의 전달함수를 구하여 고유진동수와 감쇠계수를 판정한다.

지진시험은 시험체의 전기적 성능을 유지하는 상태에서 동일한 파형을 상하 2방향, 수직 1방향 등 3축 방향으로 각각 가진하며 시험체의 진동응답과 앵커볼트의 동하중 및 시험체 상단의 진동변위를 측정한다. 특별한 언급이 없는 한 지진파형은 1회만 적용한다. 지진시험 후에도 동일한 절차로 공진탐색시험을 반복하여 시험체의 특성 변화를 비교한다. 시험 과정은 모두 비디오로 녹화할 필요가 있다.

## 2.3 IEC 60068-2-57

### 2.3.1 응답스펙트럼 및 시간이력 합성

IEC 60028-2-57에서는 일반적인 진동시험 방법을 정의하고 있으며, 지진시험의 경우 그림 5와 같은 응답스펙트럼을 요구하고 있다. 단 그림 4는 ZPA가 1 g인 경우이고, 규정에서는 시험조건에 따라 ZPA를 0.5 g, 1 g, 2 g, 5 g 등의 수준에서 선택하도록 되어있다. ZPA가 1 g인 경우에 그림 6과 같이 속도는 65 cm/s, 변위는 60 mm 수준이 되며, 2 g인 경우는 실제로 진동대가 구현하기에는 어려운 수준이다.

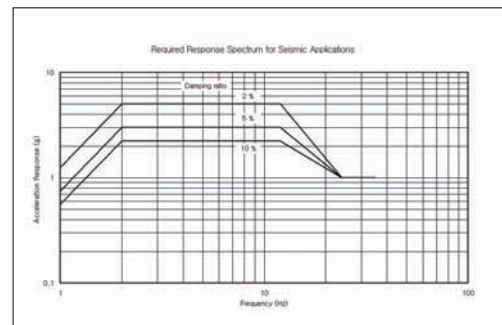


그림 5. 요구응답스펙트럼 - IEC 60028-2-57

IEC 60028-2-57에서도 시간이력의 포락함수는 정의하고 있지 않다. 따라서 이 경우에도 Telcordia GR-63-CORE와 동일한 포락함수를 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

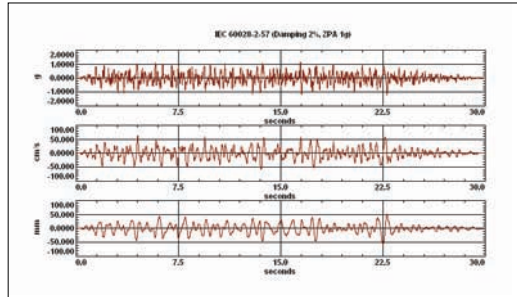


그림 6. 지진시험을 위한 시간이력 - IEC 60028-2-57

### 2.3.2 시험절차

IEC 60028-2-57에서는 지진시험 전후에 주파수 소인법에 의한 공진탐색시험을 요구한다. 다만, 시험 전후의 공진주파수가 달라졌을 경우의 원인(예를 들어 앵커 볼트가 느슨해짐)과 조치 후 공진탐색시험을 다시 수행한 결과를 상세히 기록하도록 하고 있다.

Telcordia GR-63-CORE와 달리 여기서는 지진파형을 최소 2축(수직축 포함) 또는 동시 3축 시험을 권장하고 있다. 다축 시험 시에는 축 별 시간이력의 RRS는 동일하되 형태가 다르게 합성되어야 하며 직교하는 방향의 시간 이력의 통계학적 독립성이 유지되어야 한다. 이는 상관계수 함수 값으로 판정할 수 있는데 IEC 60028-2-57에서는 특별한 규정은 없다. IEEE Std 344에서는 상관계수 값의 최대치가 0.3 이하이면 독립성을 가진다고 정의하고 있으므로 이 경우에 적용이 가능하다고 사료된다.

지진시험 중에 시험체의 가동은 규정하고 있으나 최대 지진응답변위 및 앵커 볼트 등에 관한 제한은 규정하고 있지 않다.

## 2.4 NTT 통신장비 내진시험

### 2.4.1 응답스펙트럼 및 시간이력 합성

NTT는 응답스펙트럼을 그림 7 및 8과 같이 수평, 수직 방향 별 3종으로 제시하고 있으며, 각각의 응답스펙트럼은 일본 기상청에서 규정한 진도계급(JMA Scale)으로 정의하고 있다. JMA 7은 우리나라와 미국 등 국제적으로 적용하는 진도계급인 MMI(Modified Mercalli Intensity Scale)와 비교할 때 MMI XII로서 가장 큰 진도에 해당한다. 수직방향의 RRS는 Telcordia GR-63-CORE 또는 IEC 60028-2-57와 비교하여 작기 때문에 진동대에서 구현하는데 어려움이 없으나 수평방향의 RRS 중 진도 7 수준은 저주파수 영역의 기준이 커서 Telcordia의 경우와 같이 High Pass Filter의 적용이 불가피하다. 한편 시간이력의 포락함수로서 강진의 지속시간을 30초 이상으로 규정하고 있고, 규정의 예에서 시간이력의 총 지속시간을 40초로 제시하고 있으므로 이를 따라 파형을 합성한 결과로서 수평방향의 파형을 그림 9에서 볼 수 있다.

### 2.4.2 시험절차

시험체는 앵커 볼트로 진동대에 고정하되, NTT의 표준건물에 적용하는 경우는 표준가대의 중앙에 설치한다.

NTT는 3축 동시가진 시험을 요구하며, 특별한 경우 수직축을 포함한 2축 시험을 허용하고 있다. 지진시험은 JMA 5강 수준 1회, JMA 6강 수준 2회 및 JMA 7 수준 1회의 순서로 진행한다. 지진파 가진 전후에 공진탐색시험을 실시하며, 방법은 주파수 소인 또는 랜덤파 가진을 선택하여 수행한다.

시험 시 평가 항목으로서는 시험체 최상단의 최대 수평변위, 고유진동수와 감쇠계수의 변화, 기능 및 동작성, 구조변형 및 용접부 균열, 도어의 개방, 이탈 등의 상태 변화 등이 있으며, 앵커 볼트의 응력 측정은 규정하지 않는다. 시험 결과 진도 5강 수준에서는 정상 기능을 유지하고 손상도 매우 경미해야 할 것을 요구하며, 진도 6강에서는 기능장애를 인정하되, 교환, 수리 등이 없이 기능이 복귀되어야 하고, 현저한 영구 변형, 균열, 파단 등이 없으며, 최상부의 지진응답 변위가 50 mm 이하이고 도어의 상태 변화가 없어야 하는 등의 상세한 조건을 확인해야 한다. 진도 7에서는 구조의 치명적 손상 및 도어의 상태 변화가 없으면 되며, 기능 유지는 요구하지 않는다.

### 3. 고찰 및 결론

첨단 기술을 적용한 국산 통신장비의 국제 경쟁력을 제고하기 위해서는 지진시험 조건에 부합할 필요가 있으며, 최근 세계적으로 지진 활동이 강해지는 추세에서는 필요성이 더욱 크다. 또한 각국의 무역 규제 수단으로 엄격한 규격을 제시하고 기술적인 우위를 유지하려고 하는 선진국으로 국산화 장비의 진입을 위해서도 통신장비의 내진성능을 더욱 향상시켜야 한다.

본 논문을 통하여 국제적으로 적용되는 3종의 지진시험 규격을 비교해 보았으며, 모두 국내 시설과 기술로 수행이 가능함을 검토하였다. 그러나 저주파수 대역의 시험 조건이 매우 큰 진동 변위와 속도를 요구하고 있어 완벽한

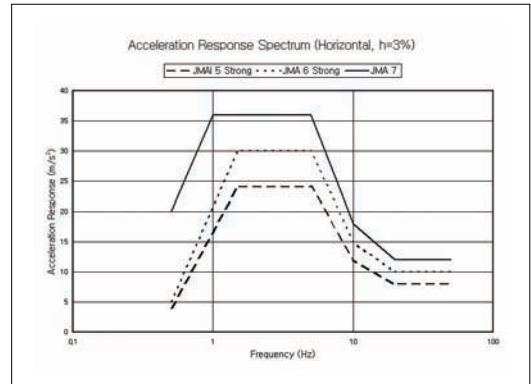


그림 7. 요구응답스펙트럼 - NTT 수평방향 (3% damping)

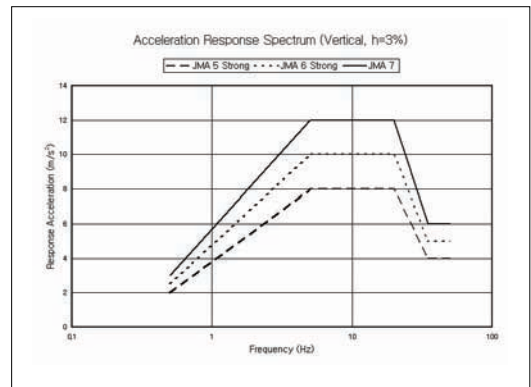


그림 8. 요구응답스펙트럼 - NTT 수직방향 (3% damping)

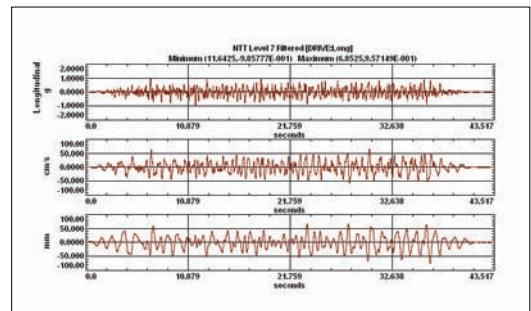


그림 9. 지진시험을 위한 시간이력 - NTT의 JMA 7 시험

규격 충족을 위해서는 변위  $\pm 200$  mm, 속도  $\pm 1.5$  m/s 수준의 진동대가 필요하며, 앞으로 더욱 강화될 가능성이 있는 규격에 대한 대응 방안으로 성능이 우수한 진동대의 확보를 위한 노력이 요구된다.

## 후 기

본 논문은 삼성전자(주) 등에서 제작한 일련의 통신장비에 대한 지진시험 결과와 삼성전자(주) 등의 관련업체에서 수집, 제공한 규격을 바탕으로 작성되었기에 깊은 감사를 드립니다.

## ✻ 참고 문헌

- [1] Telcordia, Network Equipment-Building System (NEBS) Requirements: Physical Protection, GR-63-CORE, Issue 2, 2002.
- [2] IEC 60068-2-57, Environmental Testing - Part 2: Tests-Test Ff: Vibration - Time-History Method, 1999.
- [3] NTT, 통신장비 등의 내진시험방법, 일본전신전화주식회사 (일어판), 1988.
- [4] ANSI TL329, ANSI for Telecommunications - Network Equipment - Earthquake Resistance, 2002.
- [5] Uniform Building Code(UBC), 1997.
- [6] ASNI/IEEE Std 344-2004, IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations, 2004.



김 영 중

- 한국기계연구원 e-엔지니어링연구센터 선임연구원
- 관심분야 : 구조물 진동실험 및 동특성 분석 신호처리  
내진해석 및 시험평가  
진동절연 마운트 특성해석 및 개발
- E-mail : youngkim@kimm.re.kr