

진동대에 의한 배전반의 내진성능시험

김정기¹⁾, 장정범¹⁾, 황경민¹⁾, 윤한봉²⁾, 표민태²⁾
 1) 한국전력공사 전력연구원, 2) 한국수자원공사

Seismic Capacity Test of Distribution Panel by Shaking Table

Kim Jeong-Ki¹⁾, Jang Jung-Bum¹⁾, Hwang Kyeong-Min¹⁾, Yoon Han-Bong²⁾, Pyo Min-Tae²⁾
 1) Korea Electric Power Research Institute of KEPCO, 2) Korea Water Resources Corporation

Abstract - 대표적인 전기설비 중의 하나인 보호배전반을 대상으로 6 자유도 진동시험대를 이용하여 입증시험과 파괴한도시험을 통해 보호배전반의 내진성능을 평가하였다.

1. 서 론

우리나라는 1985년 멕시코 지진에서 나타난 인명 및 재산상의 피해를 계기로 1988년 국내 관계법령에 내진설계 관련 조항이 처음으로 명기되면서 의무적으로 내진설계가 시작되었다. 1990년대 후반에 들어서면서, 한반도 주변 국가인 대만, 일본 및 중국 등에서 발생한 대규모 지진으로 인하여 전기설비에 큰 피해가 발생한 바 있으며, 국내에서도 중소 규모의 지진활동이 증가 추세에 있어 전기설비와 같이 지진피해 발생 시 파급효과가 큰 주요 산업설비에 대한 정부 및 산업계의 체계적인 대책 수립이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 정부의 지진재해 대비정책에 부응하기 위하여 주요 전기설비 중의 하나인 보호배전반을 대상으로 진동대시험을 통하여 내진성능을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 시험대상

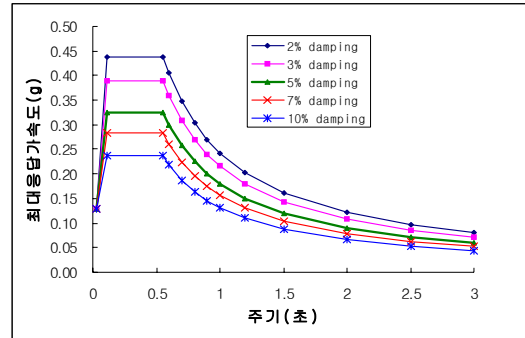
본 연구대상의 배전반은 미국의 원자력발전소와 산업설비의 내진성능 평가에 적용되는 SQUG(Seismic Qualification Utility Group) GIP (Generic Implementation Procedure)와 DOE(Department of Energy)의 SEP(Seismic Evaluation Procedure), 그리고 일본 변전설비의 내진설계 기준인 JEAG5003에서 밝혔듯이 충분한 내진성능을 보유하고 있기 때문에, 본 시험에서는 평가대상 배전반 내의 부품 탈락과 파손 등 부품과 판넬의 구조적 건전성을 주 평가대상으로 하였다.



<그림 1> 진동시험대 상의 보호배전반

2.2 평가기준지진

보호배전반의 내진성능시험을 위하여 적용한 평가기준지진은 한국전력공사가 2001년도에 수립한 송변전설비 내진설계기준의 표준설계응답스펙트럼이다. 송변전설비 내진설계기준의 표준 설계응답스펙트럼은 전기설비의 내진등급에 따라 구분하여 적용되는데 취급전압이 345kV 이상인 설비는 내진 I 등급으로, 345kV 미만인 설비는 내진 II 등급으로 분류된다. 본 평가대상인 보호배전반은 154kV 이하급이기 때문에 내진성능시험 시, 내진 II 등급 붕괴방지수준의 표준 설계응답스펙트럼을 적용하였다. 내진 II 등급 붕괴방지수준의 설계지반운동은 평균 재현주기 500년의 지진 지반운동으로서 일반적으로 내진성능평가 시 국내,외에서 널리 적용되는 평가기준지진이다. 그림 2는 각 감쇠비 별 평가지진 응답스펙트럼을 보여주고 있다.



<그림 2> 평가지진 응답스펙트럼

2.3 진동대 시험방법

본 연구에서는 진동대시험에 의해 보호배전반의 내진성능 및 내진성능 한도를 확인하기 위하여 입증시험과 파괴한도 시험을 수행하였다. 입증시험은 IEEE 344 std.의 규정에 따라 평가기준 지진동 1/2 수준의 지진을 5회 입력하고, 평가기준 지진동을 1회 입력하여 진동대 시험을 총 6회 수행하였으며, 표 1은 입증시험과 관련된 시험조건을 나타내고 있다. 파괴한도시험은 표 2와 같이 최대 수평방향 지진가속도를 1.0g까지 증가시키며 총 5회 수행하였다. 국내외 시험 및 경험자료에 의하면 보호배전반은 실제로 1.0g 이상의 내진성을 보여 그 이상의 지진가속도까지 파괴한도시험을 수행하여야 하나, 국내 전기설비의 내진설계기준 지진가속도의 크기가 0.13g 이고, 1.0g 이상의 지진은 국내에서 발생할 가능성이 거의 없기 때문에 본 시험에서는 1.0g까지만 고려하였다.

<표 1> 입증시험

시험순번	PGA*(g)		점검사항	비고
	수평	수직		
P-1	0.065	0.0325	○ 부품의 파손 및 탈락 ○ 캐비닛 간 공간적 간섭 ○ 지진가속도의 증폭비	○ 매 시험 후 점검사항 평가 ○ 3방향 동시 가진
P-2	0.065	0.0325		
P-3	0.065	0.0325		
P-4	0.065	0.0325		
P-5	0.065	0.0325		
P-6	0.130	0.065		

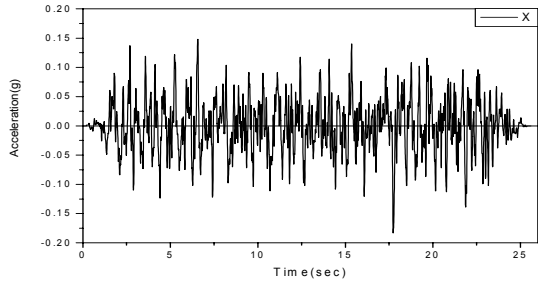
<표 2> 파괴한도시험

시험순번	PGA*(g)		점검사항	비고
	수평	수직		
F-1	0.26	0.13	○ 부품의 파손 및 탈락 ○ 캐비닛 간 공간적 간섭 ○ 지진가속도의 증폭비	○ 매 시험 후 점검사항 평가 ○ 3방향 동시 가진
F-2	0.52	0.26		
F-3	0.78	0.39		
F-4	0.91	0.455		
F-5	1.04	0.52		

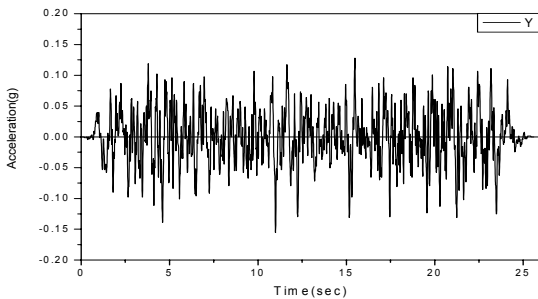
※ PGA*(Peak Ground Acceleration) : 영주기 가속도

2.4 입력 지진파

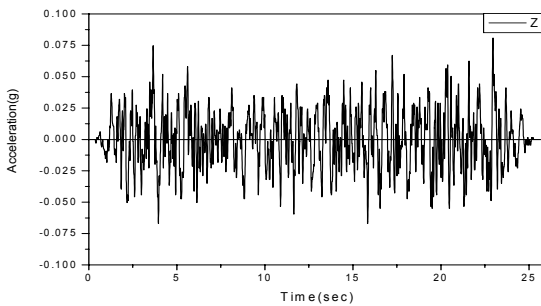
입증시험과 파괴한도시험에 입력될 지진파형은 5% 감쇠의 평가지진 응답스펙트럼을 요구응답스펙트럼(RRS, Required Response Spectrum)으로 설정하고, 이를 포괄하는 시험응답스펙트럼(TRS, Test Response Spectrum)과 시간이력 인공지진을 작성하였다. 진동대시험에 입력될 시간이력 인공지진 작성 시, IEEE 323 Std.의 규정에 따라 요구응답스펙트럼에 10%의 여유도를 추가하였으며, 인공지진의 총 가진 시간은 25.6초이다. 그림 3은 진동대시험에 입력될 시간이력 인공지진을 도시하고 있으며, 그림 4는 시험응답스펙트럼이 요구응답스펙트럼을 포괄함을 보여주고 있다.



(a) 수평 E-W 방향

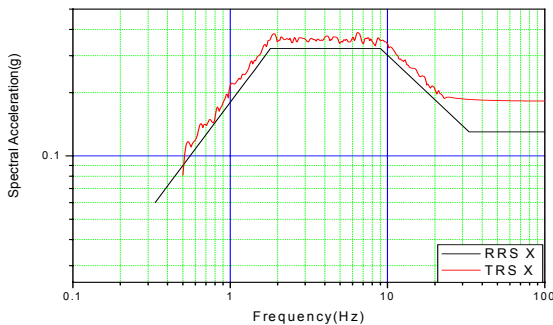


(b) 수평 N-S 방향

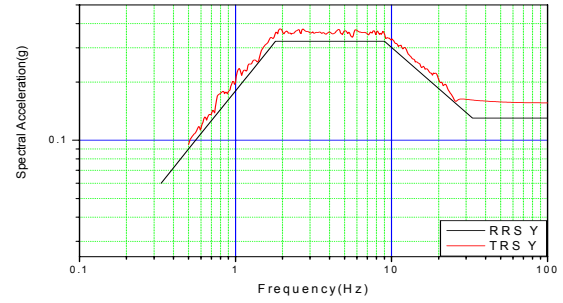


(c) 수직 VT 방향

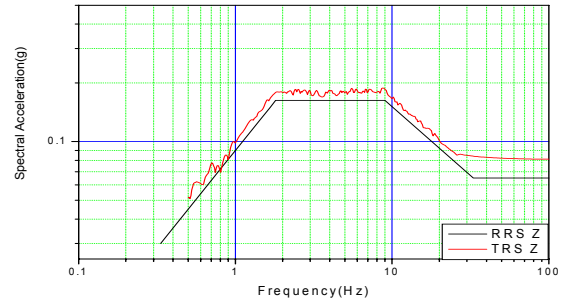
〈그림 3〉 시간이력 인공지진



(a) 수평 E-W 방향



(b) 수평 N-S 방향



(c) 수직 VT 방향

〈그림 4〉 요구 및 시험응답스펙트럼의 비교

2.5 가속도 증폭비

진동대시험시 보호배전반 내 주요 위치의 가속도 증폭비를 평가하기 위하여 가속도계를 각 방향별로 8개소에 설치하였다. 보호배전반의 입증시험과 파괴한도시험을 수행하면서 측정한 보호배전반 내부의 가속도 증폭비는 표 3과 같다. 표 3에서 알 수 있는 것처럼 수평 Y방향이 수평 X방향에 비하여 가속도 증폭이 크게 나타나고 있는데 이는 보호배전반 내 주요 부품이 설치된 중관의 강성이 수평 X방향에 비하여 상대적으로 약한 수평 Y방향으로 주요 진동모드가 나타나기 때문이며, 수직 Z방향에 대한 가속도 증폭은 기존의 연구결과와 동일하게 비교적 작은 것으로 나타났다.

본 시험에서 나타난 가속도 증폭비는 일본 JEAG 5003에서 보여준 배전반류 가속도 증폭비 2.5이하와 거의 유사한 것으로 나타났으며, 시험대상인 보호배전반이 내진 관점에서 잘 제작된 전기설비임을 나타내고 있다.

〈표 3〉 보호배전반의 가속도 증폭비

위치	가속도 증폭비		
	수평 X방향	수평 Y방향	수직 Z방향
하 부	1.0	1.0	1.0
중앙부	1.3	2.0	-
상 부	2.0	2.4	1.4

3. 결 론

본 연구에서는 보호배전반을 대상으로 진동대에 의한 내진성능시험을 수행하고, 내진성능을 평가하였다. 보호배전반의 입증시험 수행 결과, 보호배전반은 평가기준 지진동 하에서 부품의 탈락과 관널 간의 공간적 간섭 없이 내진안전성을 유지하는 것으로 나타났다. 또한, 파괴한도시험 결과에서도 보호배전반은 지표면 가속도 기준으로 1.0g 이상의 지진에서도 내진안전성을 유지하는 것으로 나타나, 미국 SQUG GIP 및 DOE SEP와 일본 JEAG 5003에서 밝힌 것처럼 보호배전반 자체는 상당한 수준의 내진성능을 보유하고 있음이 확인되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "송·변전설비 내진설계기준 설정 연구", 2001
- [2] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations", 2004