

2003 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

포괄기기내진력스펙트럼 개발 및 내진검증

The Development of GERS & Seismic Qualification by Using GERS

송정국, 박희상, 황규호, 강선구
한국전력기술주식회사
경기도 용인시 구성읍 마북리 360-9

요 약

시험 또는 경험자료를 축적하여 만들어진 포괄기기내진력스펙트럼(GERS, Generic Equipment Ruggedness Spectrum)은 노후 원전에 설치된 기기의 내진성 평가의 기준으로 삼을 수 있다. 이 연구에서는 우리나라 원전의 MCC (Motor Control Center, 모터제어반)에 대한 내진검증 시험 보고서로부터 국내 고유의 MCC GERS를 개발하였다. 이 연구에서 개발한 GERS와 미국에서 이미 구축이 완료되어 A-46원전의 기기검증에 사용중인 SQUG GERS와 비교하였으며, 우리나라 표준원전인 울진 56호기 보조건물 182 피트의 층응답스펙트럼을 소요지진력으로 가정하여 GERS를 이용한 내진성능을 평가하였다.

Abstract

Generic Equipment Ruggedness Spectrum (GERS) which is made from cumulative seismic test or experience data can be the standard of seismic qualification to equipment of installed in old NPPs. In this study, we developed the korean specific GERS (MCC) from the seismic qualification test reports of motor control centers (MCCs) in korea NPPs. The GERS developed in this study is compared to the SQUG GERS that is already completed and being applied to the equipment qualification in the A-46 NPPs. And assuming that seismic demand of equipment is the FRS of Aux. 182' of Ulchin NPP 5,6 seismic capacity of tested equipment is evaluated.

1. 서 론

1971년에 발생한 미국 샌페르난도(San Fernando)지진을 계기로 원전의 내진검증분야에 괄목할 만한 기술적 진보가 있었으며, 당시 수행된 연구를 통하여, 기존의 내진검증 절차에 심각한 오류가 있음이 밝혀졌다. 이에 따라 1975년을 기점으로 기존의 내진검증 기술기준이 대폭적으로 수정되었다. 내진검증 요건이 확립된 1975년도 이전에 설계 및 건설된 원전에 대해, 1981년도에 미국 원자력규제위원회가 가동 원전의 내진검증과 관련하여 A등급에 해당하는 46번째 미해결안전항목(USI A-46)을 제기하였고 사업자에게 이 문제의 해결을 공식적으로 요구하였다. 미국에서 가동 중인 원전 가운데 이 미해결안전 항목들의 해결이 요구되는 원전이 약 70여기가 있으며, 이들 원전을 ‘A-46원전’이라 통칭하였다. 국내의 경우, 고리 1호기, 고리 2호기 및 월성 1호기 원전이 이에 해당되며 수명연장을 포함한 재인허가 과정에서 필수적으로 해결되어야 할 과제로 인식되고 있다.

USI A-46의 항목 가운데 기기의 내진성 입증기술은 과거에 축적된 지진경험자료 혹은 시험자료를 이용하는 것에 기반하고 있다. 즉, 노후원전에 설치된 기기의 내진성 평가 문제의 해결을 위하여 현재 채택하고 있는 방법에서는 시험 또는 경험자료를 축적하여 이로부터 작성된 포괄기기내진력스펙트럼(GERS, Generic Equipment Ruggedness Spectrum)을 내진성 평가 기준으로 삼고 있다. 이 GERS의 작성을 위해서는 많은 양의 자료를 수집하고 이를 체계적으로 관리할 수 있는 데이터 베이스(DB)의 구축이 선행과제로 요구된다.

‘A-46 발전소’들은 최소한도의 내진설계요건에서부터 전기기기의 내진검증을 위한 국제적인 표준인 IEEE 344까지 다양한 인허가 요건을 가지고 있다. IEEE 344는 내진범주 1등급 기기의 내진검증을 위한 규정으로서 1971년도 초판 발행 이후 지진에 대한 이해가 증진됨에 따라 1975년도 판에서 획기적인 수정이 가해졌고 이후 일부 규정의 변경을 거쳐 오늘에 이르렀다. 그러나 가동 중인 원전의 기기에 대해서 IEEE 344-75가 제시하는 내진검증 절차에 따라 내진검증을 재시행하는 방안에는 방사능 오염문제 등 현실적으로 많은 어려움이 있었다. 이에 USI A-46의 해결을 위하여 미국 내진검증 사업자 협의회인 SQUG(Seismic Qualification Utility Group)에서는 1992년, 기존의 내진검증절차와는 전혀 다른 방법의 가동원전 기기의 내진적합성평가를 위한 일반수행절차를 (GIP, Generic Implementation Procedure)를 개발하였다. 이 방법은 경험에 근거한 ‘유사 내진검증 방법’으로서 지진경험 데이터베이스와 시험검증 데이터베이스로 구성된다. 특히 시험검증 데이터베이스는 시험검증에 사용된 입력 시간이력이 실제와 동일하게 지진현상

을 모의할 수 있다는 사실에 착안하여 개발되었다.

노후 원전의 내진검증을 위해서 지진경험 데이터베이스 혹은 시험검증 데이터베이스의 구축이 필수적이거나, 우리나라의 경우, 공학적으로 유용한 강진 기록 및 피해사태가 없고 내진검증에 사용된 시험데이터의 체계적인 관리가 이루어지지 않아 아직까지 국내 고유의 포괄기기 내진력스펙트럼을 가지고 있지 못한 실정이다. 이 연구에서는 이미 구축이 완료된 미국의 포괄기기 내진력스펙트럼의 작성방법 및 절차에 대하여 기술하였으며 수집된 우리나라 가동원전의 MCC (Motor Control Center, 모터제어반)에 대한 내진검증 보고서의 시험응답스펙트럼(TRS, Test Response Spectrum)으로부터 국내 고유의 GERS를 작성하였고 미국의 SQUG GERS와 비교하였다. 또한 우리나라 표준원전의 실제 층응답스펙트럼 (FRS, Floor Response Spectrum)에 적용하여 이곳에 위치한 MCC의 내진안전성을 평가하였다.

2. 본론

2.1 SQUG GERS의 작성기준 (Inclusion & Exclusion rules)

SQUG GERS는 해당기기 고유의 시험검증결과를 기초로 작성되었으며 시험대상 기기는 다음과 같은 전제조건하에서 시험이 이루어졌다.

- 시험에 사용된 MCC는 일반적으로 폭과 깊이가 약 20인치, 높이가 약 90인치이어야 하며 600V 이하의 Low Voltage MCC이어야 한다.
- 적용할 MCC는 SQUG의 기기분류에서 정의된 MCC와 유사해야 한다.
- 적용할 MCC는 해당 층 바닥에 고정되어 있어야 한다.
- 각 섹션별 최대무게는 800파운드를 초과할 수 없다.
- 적용할 MCC는 기초 채널을 사용하여 층에 고정되어 있어야 한다.
- 해당 MCC의 하중경로의 적정성을 검토하여야 한다.
- 기능파손대상(Function During) GERS의 경우 모든 계전기는 4.5g이상의 GERS를 만족해야 한다.
- 구조파손대상(Function After) GERS의 경우는 지진발생이후 계전기 등을 재작동(reset)시킬 수 있어야 한다.
- 인접 캐비닛은 서로 볼트로 연결되어 있어야 한다.

2.2 국내고유의 GERS 작성

국내 고유의 MCC에 대한 GERS를 작성하기 위하여 사용한 데이터는 표 1과 같다. 해당 원전에서 USI A-46원전(고리 1,2 호기 및 월성 1호기)의 경우는 데이터구축에서 제외하였으며, 고리 3,4호기 및 월성 2,3,4호기의 경우도 해당자료의 입수가 완료되지 않아 본 작성 대상에서 제외되었다. 국내 MCC GERS 구축을 위한 기본 사항은 다음과 같다.

- 모든 데이터는 2.1에서 제시한 SQUG GERS 작성기준을 만족하는 것으로 가정하였다. 단 울진 5,6호기와 영광 5,6호기는 해당 MCC의 깊이(D)가 SQUG GERS 작성기준의 두 배를 초과하므로 데이터베이스에서 제외하였다.
- SQUG GERS 보다 가속도 값이 적게 표현되는 진동수 영역에서는 SQUG GERS의 해당 가속도 값을 최소값으로 사용하였다. 이것은 GERS 작성을 위한 기기 가속도 값은 기기 파손시점에 근사한 시험결과를 이용하여 작성되어야 하지만 국내 기기의 시험데이터의 경우 해당 기기의 요구스펙트럼 (RRS)만을 이용하여 시험응답스펙트럼(TRS)을 작성함으로써 실제 기기의 내진성능은 이보다 클 것이며, 최소한 SQUG GERS 이상의 내력을 갖고 있다는 사실에 근거한다.
- 각 기기의 시험결과는 구조파손대상(Function After) GERS의 경우로 가정하여 평가하였다.

기기	발전소	문서번호
480V Motor Control Center	울진 5,6호기	E209-ER-A01-01
	영광 5,6호기	E209-ER-A01-01
	울진 3,4호기	E209-ER-B01-01
	영광 3,4호기	E688-QG-125
	영광 1,2호기	13081-E007-A-1-2
125V DC Motor Control Center	울진 5,6호기	E216-ER-A01-01
	영광 5,6호기	E216-ER-A01-01
	영광 3,4호기	E694-QG-140

표 1. 국내 고유의 MCC GERS 구축에 활용된 MCC 자료목록

Unit	Equipment	Size (inch)			비고
		W	D	H	
울진56	125V DC MCC	28	47	93	제외
영광56	125V DC MCC	28	47	93	제외
영광34	125V DC MCC	24	22	90	포함
영광34	125V DC MCC	26	22	90	포함
울진56	480V AC MCC	22	22	104	포함
영광56	480V AC MCC	20	20	108	포함
울진34	480V AC MCC	20	20	90	포함
영광34	480V AC MCC	20	21	90	포함
영광12	480V AC MCC	20	20	103	포함

표 1. 국내 고유의 MCC GERS 구축에 활용된 MCC 자료목록 - 계속

상기 MCC 데이터를 이용하여 Side by Side(S-S) 방향과 Front-Back(FB) 방향에 대하여 GERS를 작성하였다. SQUG GERS에서는 기기 GERS 작성시 모델과 제작사가 동일한 시험데이터의 경우 각 기기 시험결과의 최대값을 플롯한 곡선을 해당기기의 GERS로 사용하도록 하고 있다.(The Club of One) 반면에 제작사, 크기, 배치 및 기기 내부 구성 등이 서로 다른 기기의 시험데이터의 경우는 각 시험 결과의 최소값을 플롯하여 GERS로 사용토록 하고 있는데(Moderate Diversity) 국내 MCC GERS의 경우는 제작사나 크기등이 서로 상이하므로 GERS 구축을 위해서 후자의 방법을 사용하였다. 그림 1과 2는 표 1에서 제시된 MCC의 시험결과(TRS)를 플롯한 모습을 보여주고 있으며, 그림 3에서는 상기 Moderate Diversity방법을 이용하여 구축한 국내 고유의 MCC GERS 플롯을 기존 SQUG GERS와 비교하여 보여주고 있다.

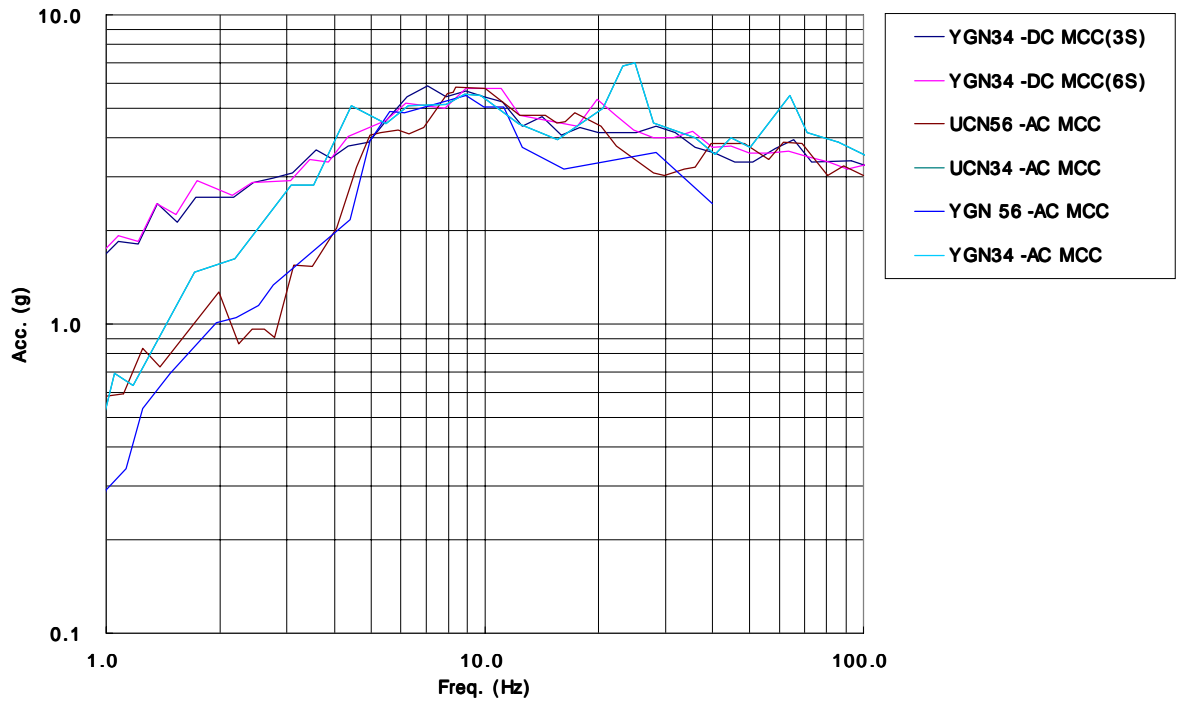


그림 1. 국내 원전별 MCC 시험검증결과 (S-S dir.)

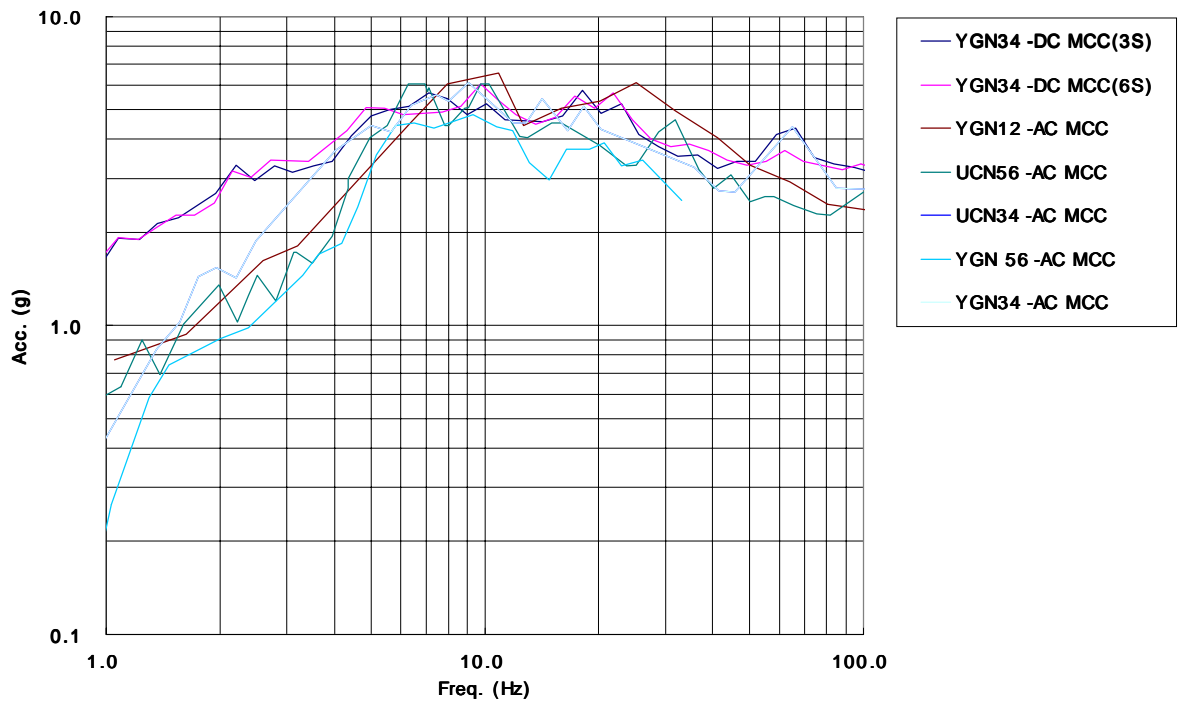


그림 2. 국내 원전별 MCC 시험검증결과 (F-B dir.)

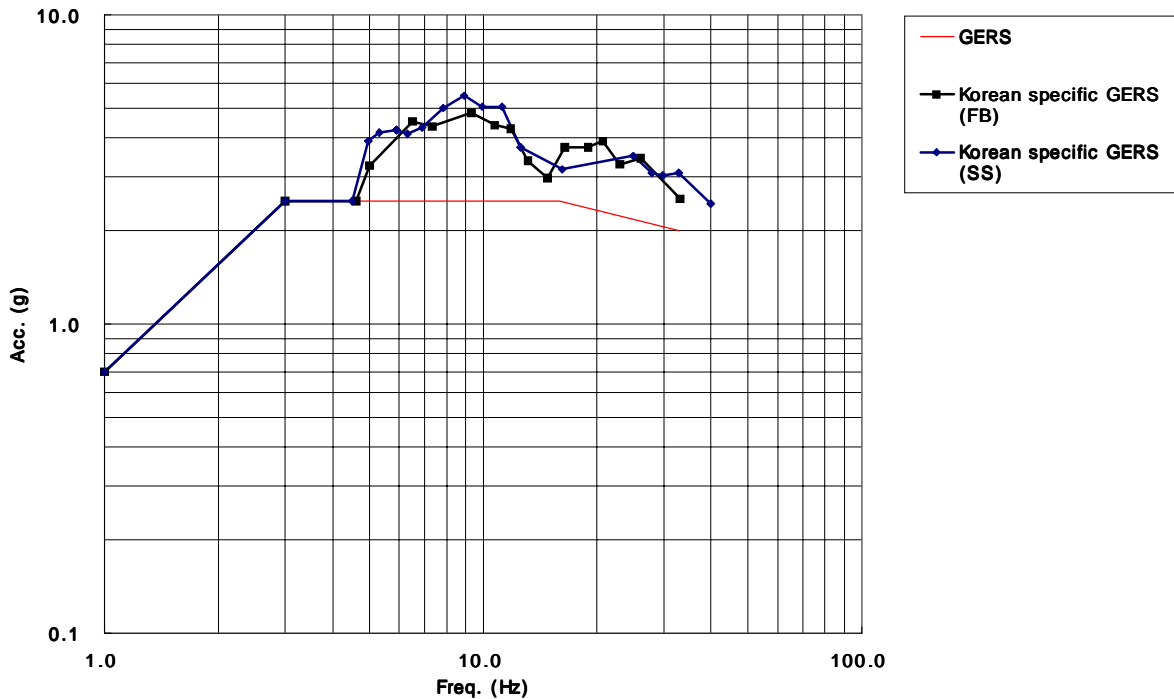


그림 3. 국내 고유의 MCC GERS vs SQUG GERS

2.3 적용

현행 표준원전 보조건물 182 피트 최상부 슬래브에 MCC가 놓여 있다고 가정하 뒤 국내 고유의 MCC GERS와 SQUG GERS를 이용하여 해당기기의 MCC에 대하여 내진 성능을 평가하였다.(그림 4) 여기서 소요지진력(seismic demand)은 해당기기위치에서의 층응답스펙트럼이며, 기기의 GERS가 내진성능(seismic capacity)이 된다. 해당기기는 계진기 등의 기능적 파손영향이 없는 것으로 가정하여 구조적 파손만을 고려하였으며 케비넷 자체의 공진 효과는 고려하지 않았다. 그림 4에서 알 수 있듯이 만일 기기고유의 내진검증자료(TRS)를 입수 할 수 없을 경우 SQUG에서 제시한 GERS 만을 이용하여 해당기기의 내진성능을 만족시킬 수 없으며 따라서 별도의 추가적인 방법을 이용하여 기기의 내진평가를 수행해야 할 것이다. 반면에 국내 고유의 MCC GERS를 이용할 경우 E-W, N-S 두 방향 모두 GERS에 포괄되므로 별도의 내진성능 평가 없이 해당기기의 내진안전성을 입증할 수 있을 것이다. 여기서 한 가지 주지 할 사실은 GERS는 해당기기 자체의 내진성능이며, 기기 정착단(anchorage)이나 상호작용영향(interaction effect) 등에 대해서는 별도의 평가가 이루어져야 한다는 것이다.

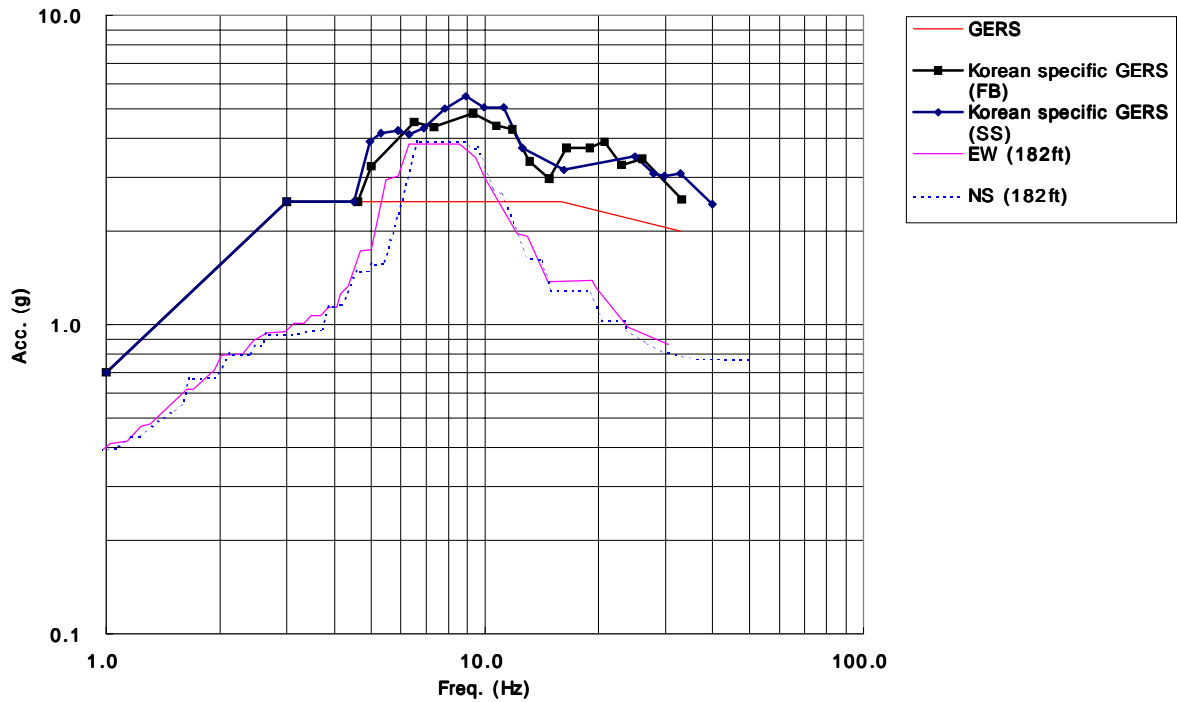


그림 4. 국내 고유의 MCC GERS를 이용한 기기내진검증

3. 결론

지금까지 국내 원전에 사용중인 MCC에 대하여 SQUG GERS 기법을 이용하여 GERS를 구축하였으며, 그 적용성에 대하여 살펴보았다. 국내 고유의 GERS의 신뢰성 여부는 각 작성기준의 충실성 여부와 구축한 데이터베이스의 많고 적음에 좌우되며, 따라서 보다 높은 신뢰성을 확보하기 위하여 엄격한 기준적용 및 상기 7개의 데이터에 더하여 추가적인 데이터베이스 구축이 필수적일 것이다. 또한 MCC 뿐만 아니라 스위치 기어나 인버터 등 국내 원전에 사용되고 있는 다른 시험검증기기로 GERS를 확대함으로써 향후 기기내진성능평가지 기본자료로 활용할 수 있을 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 가동원전 주기적 안전성평가 사업의 지원을 받아 수행되었음.

5. 참고문헌

- [1] Winston & Strawn, EQE Engineering, MPR Associates, Inc, Stevenson & Associates "Generic Implementation procedure for Seismic Verification of Nuclear Plant Equipment" March 1993
- [2] J.W. Reed, R.P. Kennedy, et. al., "A Methodology for Assessment of Nuclear Power Plant Seismic Margin" Revision 1, EPRI NP-6041, August 1991.
- [3] J.W. Reed, R.P. Kennedy, et. al, "Methodology for Developing Seismic fragilities" EPRI TR-103959, June1994
- [4] "Generic Seismic Ruggedness of Power Plant Equipment" EPRI NP-5223-SL August 1991