Review on Seismic Analysis for Seismic Probabilistic Risk Assessment

최훈[a], 유형근[a], 송정국[a]
[A]한국전력기술

Introduction

- 2000년대 이후, 국내에서 규모 5.0 이상인 지진의 발생빈도는 증가하고 있으며, 설계초과 지진발생시 원전구조물의 안정성 확보는 중요한 사회적 이슈임.
- 설계초과 지진에 대해 보다 정밀한 해석기법으로 확률의 개념이 포함된 지진확률론적안전성해석(Seismic PRA, SPRA)이 사용됨.
- 지진해석의 과정상 확률론전안전성해석과 설계는 지반운동생성과정을 제외하고는 상당히 유사함.
- 확률론적안정성해석과 설계의 지반운동생성과정을 서로 비교하였고, 결과 추이를 예제를 통해 비교함.

Seismic Ground Motion

Table 1. Seed Motion Case

Case	Magnitude	Site Condtion
1	6.6	WUS, Rock
2	6.7	WUS, Rock
3	6.7	WUS, Rock
4	7.1	WUS, Rock
5	7.6	WUS, Rock

Table 2. Comparison of Input Seismic Ground Motion [4]

	Design	SPRA
PGA*	0.3g (SSE)	0.5g
Ground Motion	RG 1.60	Actual (5 sets)
Damping	Multi-damping	5%
RLE	-	NUREG/CR-0098
Criteria	SRP 3.7.1	

* Peak Ground Acceleration

- 연구에서 고려한 지진해석의 참조지진(RLE)인 NUREG/CR-009을 참조하여 유사한 실측자료 Case를 선정하여 Seed Motion으로 결정하였음.
- 결정된 Seed Motion은 미국서부지역 암반지반을 대상으로 규모 6.6~7.6인 지진임 (Table 1).
- 설계(Design)과 확률론적지진해석(SPRA)의 비교는 위의 Table 2에 표현되어 있음.

Site Response Analysis

$$V_p = V_s [(2 - 2\mu) / (1 - 2\mu)]^{1/2}$$

V_p : Compression Wave Velocities
V_s : Averaged Strain-compatible Shear Wave Velocities
μ : Poisson's Ratios of Low-strain Shear and Compression Wave Velocities

- Soil/Rock 보링(boring)자료를 기초로하여 부지응답해석을 실시함.
- 입력지진은 노두암반(Outcrop)에 입력되며, 수평지진응답을 얻기위해 shear-strain-compatibility 관계함수의 반복적인 계산이 필요함.

Soil-Structurer Interaction Analysis

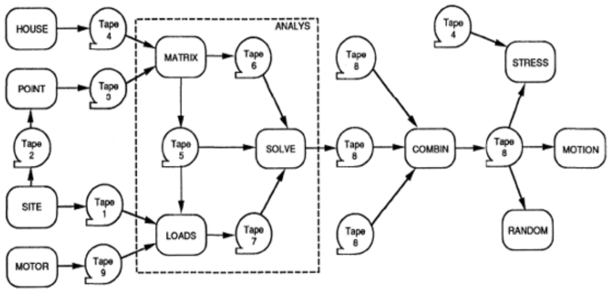
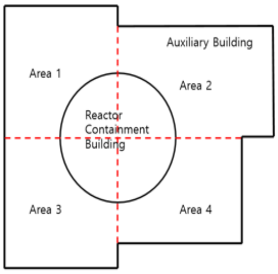


Figure 1. Layout of Computer Program SASSI/ACS SASSI

- 선형유한요소해석 프로그램 ACS SASSI를 이용하여 수행함.
- Site, House, Point, Analysis, Combine, Motion 등 개별 모듈에 의한 Multiple-step, Sub-structuring method 기법을 통해 지진해석을 수행함.

Example Analysis & Conclustion



- APR1400 보조건물을 예제로 하여 해석을 실시하여 결과의 추이를 관찰함.
- 보조건물은 각 구역별 (Area 1,2,3,4)로 Beam-Stick 요소를 이용하여 모델링 하였음.

Table 3. Force and moment comparison (SPRA/Design)

PGA	Force			Moment		
	X(kip)	Y(kip)	Z(kip)	Mxx(kip-ft)	Myy(kip-ft)	Mzz(kip-ft)
0.3g ※ Down Scaling to SSE Level	77.6%	82.8%	88.8%	87.2%	86.8%	90.2%
	74.5%	79.8%	69.3%	76.1%	75.2%	77.4%
	72.5%	79.4%	69.2%	80.2%	74.4%	79.4%
	71.3%	79.0%	71.8%	81.3%	73.6%	81.2%
	71.6%	78.0%	73.2%	82.3%	73.1%	84.3%
	71.0%	77.1%	74.5%	81.8%	72.3%	84.7%
	73.1%	76.7%	75.6%	80.6%	71.6%	84.4%
	77.6%	75.6%	78.3%	79.1%	71.0%	84.2%
	78.4%	78.1%	80.0%	78.3%	71.4%	83.6%
	78.5%	79.0%	81.3%	77.0%	71.7%	82.7%

- 0.5g PGA 지진에 대해서 하중과 모멘트는 SPRA결과가 설계(Design)결과보다 약 130% 큼.
- 0.5g PGA 지진하중에 의한 결과를 SSE와 동일한 0.3g PGA 수준으로 조정(down scale)할 경우 평균적으로 SPRA결과가 설계결과의 약 78%로 설계결과에 포괄됨을 확인함.
- 제한된 자료 및 조건에 의한 예제임에 따라 일반화 하기 위한 다양한 샘플 및 조건에 따른 추가해석이 요구됨.