

## Round Robin Test 기법을 통한 다양한 지반응답해석 접근법 비교 연구 A Comparative Study of Various Approaches of Seismic Ground Response Analyses by Using a Round Robin Test Methodology

김진만<sup>1)</sup>, Jin-Man Kim, 박요환<sup>2)</sup>, Yo-Hwan Park, 김기석<sup>3)</sup>, Ki-Seog Kim, 박두희<sup>4)</sup>, Du-Hee Park, 선창국<sup>5)</sup>, Chang-Guk Sun, 김성렬<sup>6)</sup>, Sung-Ryul Kim

- 1) 부산대학교 토목공학과 조교수, Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Pusan National University
- 2) 부산대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University
- 3) (주) 희송지오테크 대표이사, CEO, Heesong Geotek, Co., Ltd.
- 4) 한양대학교 토목공학과 조교수, Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Hanyang University
- 5) 한국지질자원연구원 지진연구센터 선임연구원, Senior Researcher, Earthquake Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources
- 6) 동아대학교 토목공학과 조교수, Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Dong-A University

**SYNOPSIS** : The technical committee of Soil Dynamics and Geotechnical Earthquake Engineering of Korean Geotechnical Society has conducted Round Robin Test(RRT) on seismic ground response analyses in 2007. Total 14 participating teams were given exact same soil information of three sites and three input ground motions including two recorded ground motions and one synthetic ground motion. Each team selected its own analysis method and approaches to perform ground response analyses. There were equivalent linear, nonlinear total stress, and nonlinear effective stress approaches, which could be selected. The results from RRT were systematically analyzed and dispersion and variation due to analysis methods, input ground motions, shear velocity profiles, shear modulus reduction curves, damping curves, and other input data are reported by the companion papers.

**Keywords** : Round Robin Test, Seismic Ground Response Analysis, Dispersion

### 1. 서론

최근 들어 국내외에서 지진이 잦아지고 있으며 그에 따른 피해의 규모 역시 커지고 있다. 지진에 의한 지반운동은 국지적인 지반조건의 영향을 크게 받으므로, 해당지반의 정확한 동적물성 파악과 신뢰성 있는 지반응답해석이 요구된다. 지반진동의 증폭정도를 결정하는 지반응답해석을 위해서는 여러 가지 자료가 필요하다. 자료로는 해당지반의 토질주상도, 전단파 속도 주상도, 그리고 지반의 비선형 동적물성치를 나타내는 전단계수-전단변형률 관계곡선, 감쇠비-전단변형률 관계곡선 등이 있으며, 일반적으로 3개 이상의 입력지진파가 필요하다. 실제로 지반응답해석 결과는 해석을 수행하는 기술자 또는 사용된 해석기법에 따라서 큰 차이를 보일 수 있다. 이러한 해석자, 장비, 해석방법 등에 의한 영향을 파악하기 위해 반복적으로 서로 독립적인 실험을 수행하여 비교하는 것이 Round Robin Test(이하 RRT)기법이다. 한국지반공학회 지반진동위원회는 동적물성치 획득을 위한 현장 및 실내 RRT를 수행한 바 있으며(한국지반공학회, 2005) 이러한 지반응답해석에 대한 RRT를 수행하여, 지반의 동적물성치 결정과 해석기법 그리고 지진파의 차이에서 발생할 수 있는 해석결과의 분산정도를 비교 검토함으로써 내진설계의

신뢰성을 증진하는데 도움이 되고자 한다. RRT는 일종의 상호검증시험이므로, 여러 기관의 참여가 요구되었다. 한국지반공학회 홈페이지에서 홍보하고 신청을 받은 본 RRT에서는 총 14개 기관이 참여하였다. 그리고 RRT 비교연구의 원활한 진행을 위해 지반진동위원회 운영위원 중에서 위원을 선발하여 RRT 소위원회를 구성하였다.

## 2. 지반응답해석 Round-Robin Test 수행 과정

지반응답해석에 관한 본 RRT에서는 대표 지반 3개가 제시되었고, 각 지반에 따른 토질주상도와 지반조사결과가 동일하게 제공되었다. 그리고 장주기 특성파, 단주기 특성파, 인공지진파 등 총 3개의 지진파에 대한 지반응답해석을 요구하였다. 참여기관의 연구자들은 제공된 자료를 최대한 활용하여 지반의 동적물성을 파악하고 본인들의 판단에 의한 적합한 해석기법을 결정하여 해석을 수행하였다.(그림 1). 각 기관의 지반응답해석결과는 RRT 수행 취지에 따른 보안유지를 위해 결과자료관리 담당자의 개인 이메일로 결과를 제출하였다.

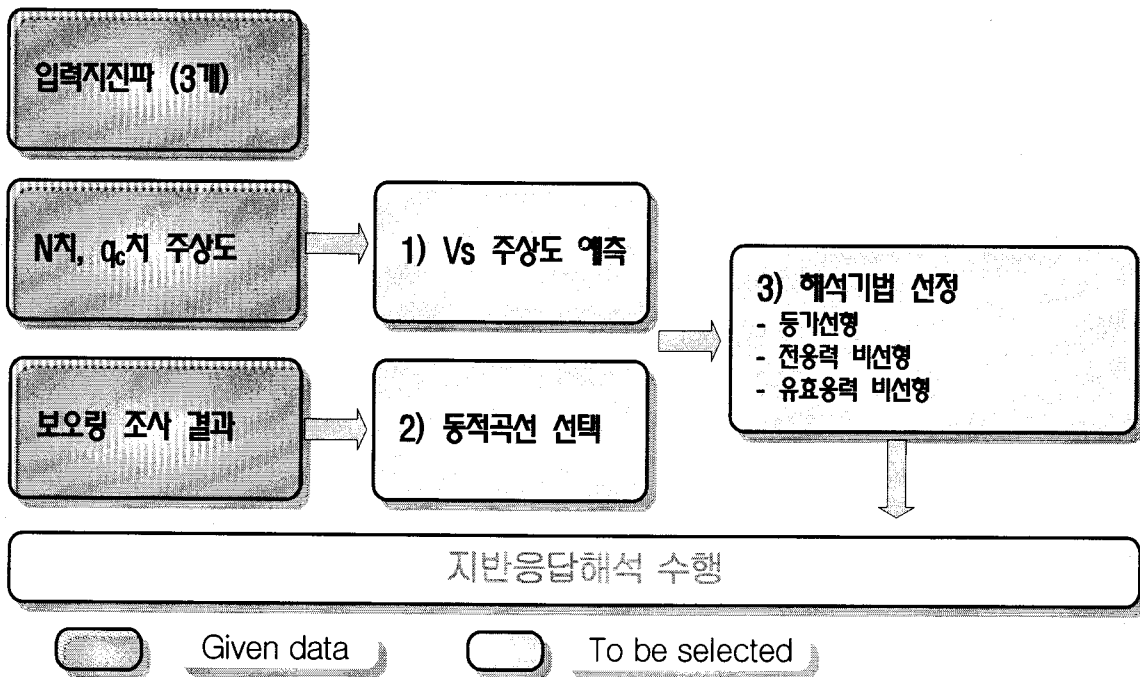
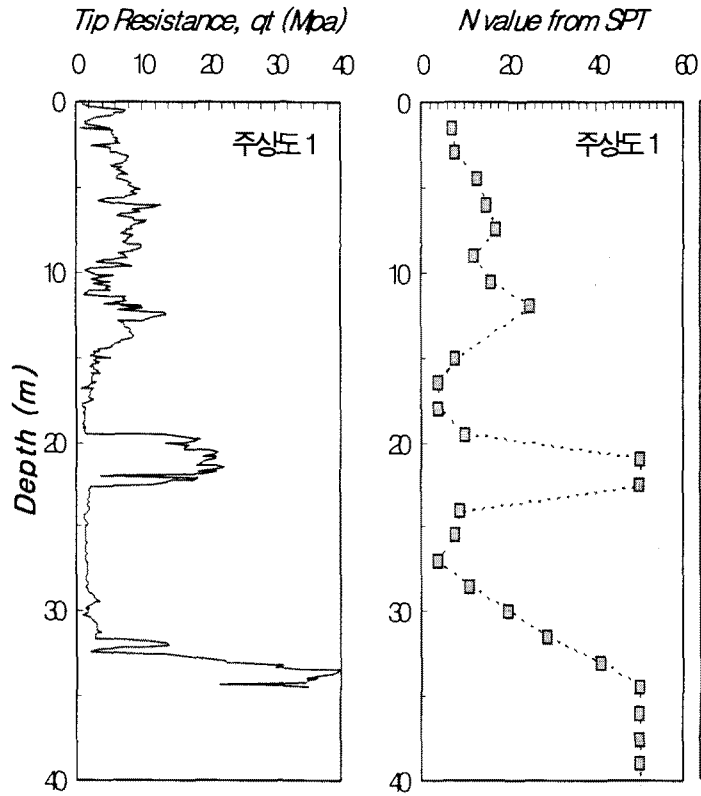


그림 1. 지반응답해석 RRT 수행 개요도

### 2.1 해석 대상 지반

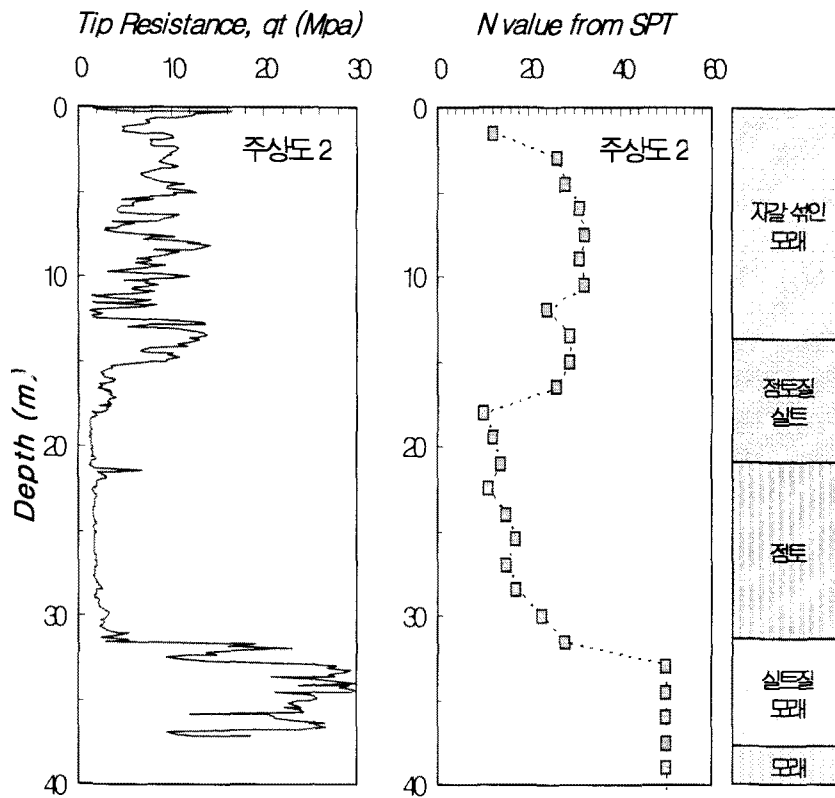
지반응답해석 대상 지반은 총 3개가 주어졌고, 그 중 site 1과 2는 표준관입시험결과와 콘관입시험결과가 주어졌으나, site 3은 표준관입시험결과가 주어졌다(그림 2). 참여자들은 주상도와 표준관입시험결과 및 콘 관입시험결과를 토대로 지층의 전단파 속도를 다양한 경험식을 통해 평가하여 지반응답해석을 수행하였다.

Depth (m)	지층설명
1.50	자갈 섞인 모래
3.00	
4.50	
6.00	
7.50	
9.00	
10.50	
12.00	
15.00	점토질 실트
16.50	
18.00	
19.50	
21.00	점토
22.50	
24.00	
25.50	
27.00	
28.50	
30.00	
31.50	점토질 모래
33.00	
34.50	
36.00	
37.50	
39.00	점토
40.50	
42.00	중회암
43.50	
45.00	
46.50	
48.00	
50.00	



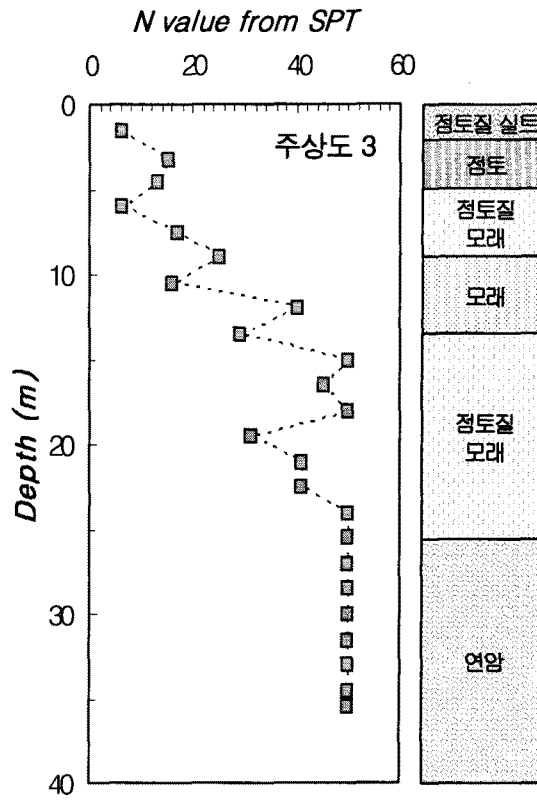
(a) Site 1

Depth (m)	지층설명
1.50	자갈 섞인 모래
3.00	
4.50	
6.00	
7.50	
9.00	
10.50	
12.00	
13.50	
15.00	점토질 실트
16.50	
18.00	
19.50	
21.00	점토
22.50	
24.00	
25.50	
27.00	
28.50	
30.00	
31.50	실트질 모래
33.00	
34.50	
36.00	
37.50	
39.00	모래
40.50	
42.00	중회암
43.50	
45.00	
46.50	
48.00	
49.50	



(b) Site 2

Depth (m)	지층설명
1.50	실트질 점토
3.30	점토
4.50	
6.00	
7.50	점토질 모래
9.00	
10.50	
12.00	모래
13.50	
15.00	
16.50	점토질 모래
18.00	
19.50	
21.00	
22.50	
24.00	
25.50	풍화암
27.00	
28.50	
30.00	
31.50	
33.00	
34.50	
35.50	



(c) Site 3

그림 2. 지반응답해석 RRT를 위해 주어진 지반

## 2.2 입력지진파

국내에서 지반응답해석 수행 시 자주 사용되고 있는 Hachinohe파(장주기특성 지진파)와 Ofunato파(단주기특성 지진파), 그리고 지진구역 I, 재현주기 1000년의 표준설계응답스펙트럼에 상응하는 인공지진파가 주어졌다(그림 3).

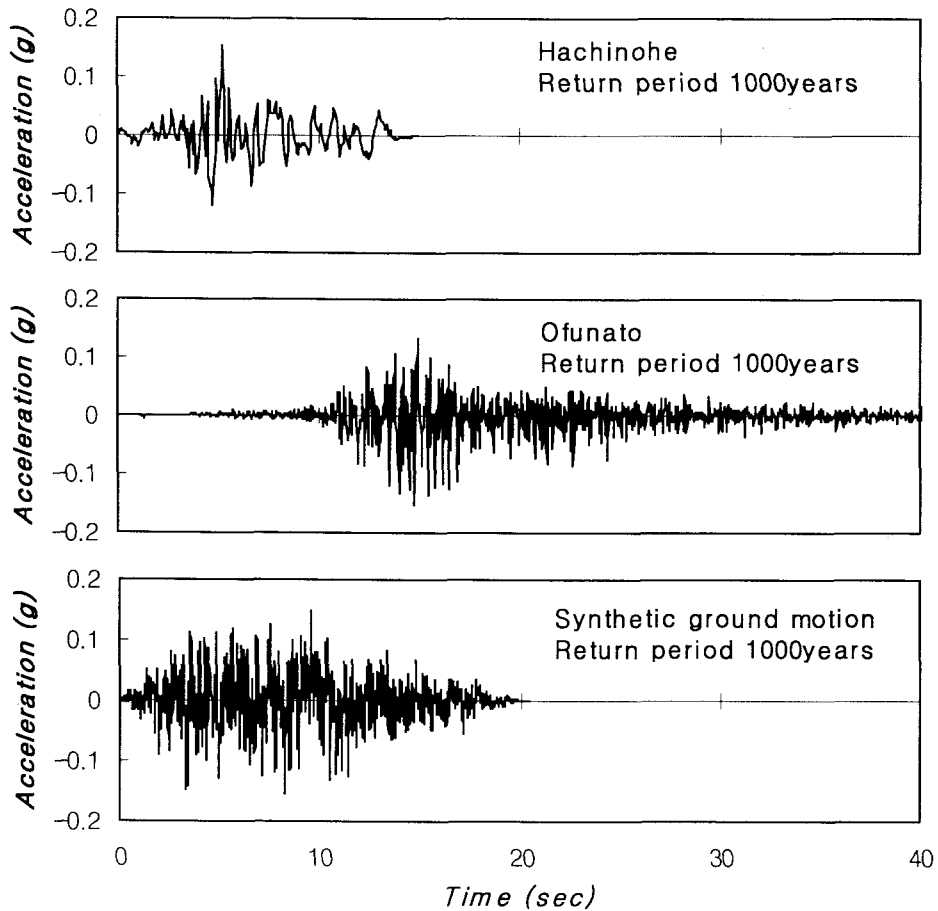


그림 3. 지반응답해석 RRT를 위해 주어진 입력지진파

## 3. 참여기관별 해석기법

지반응답해석 RRT는 총 14개의 기관이 참여하였으나 그 중 두 개 기관이 함께 협력하여 RRT를 수행한 경우가 두 건 있었기 때문에 해석결과를 보고한 수행기관은 표 1과 같이 총 12개였다. 세부적으로는 산업체 4개 기관, 대학교 9개 기관, 연구소 1개 기관이며, 지역적으로 분류하면 서울지역 8개 기관, 부산지역 3개 기관, 대전지역 2개 기관, 전라도지역 1개 기관이 참여하였다(표 1, 2).

참여 기관별 지반응답해석에 사용된 해석기법은 표 1과 같다. 익명성을 유지하기 위해 수행기관을 A부터 L까지 알파벳으로만 구분하였다.

표 1. 수행기관별 해석기법

수행기관 \ 해석기법	등가선형해석	비선형 전응력해석	비선형 유효응력 해석
A	○		
B	○		
C	○	○	
D	○	○	
E	○		
F	○	○	
G	○		
H	○		
I	○		
J		○	○
K	○		○
L	○		

표 2. 참여기관별 책임자 및 실무자 명단(가나다 순)

참여기관 \ 명 단	책 임 자	실 무 자	
대학교	동아대학교	김성렬	박대영
	동의대학교	권기철	
	부산대학교	김진만	류정호, 박요환
	서경대학교	최재순	
	서울대학교	김명모	한진태, 최정인
	연세대학교	김수일	박성용, 김기풍
	원광대학교	박성식	
	한국과학기술원	김동수	추연욱, 이세현
	한양대학교	박두희	김재연
업체	동림건설터트	심재호	
	삼보기술단	김제경	안창윤
	한국유지관리	윤종구	
	현대건설	박영호	김동준
연구소	한국지질자원연구원	선창국	

\* 직함 및 존칭 생략

지반응답해석 RRT 수행 결과를 분석하여 총 6편의 논문을 작성하였다(표 3). 지반응답해석 RRT는 현장지반조사에서 얻어지는 값들을 참가자들에게 제시함으로써 해석 수행자와 해석방법에 따른 분산도를

확인하는데 일차적인 의미가 있다. 금번 RRT의 총 6개의 논문은 각각 입력물성치 및 입력지진파 그리고 해석기법에 의한 분산도 평가를 보여주고 있다. 이 논문들은 지반응답해석 시 입력물성치와 지진파 그리고 해석방법에 따라 발생할 수 있는 결과들의 차이를 보여주고 있으며, 지반응답해석을 위한 다양한 접근방법을 지반공학분야 종사자들이 간접적으로 경험할 수 있게 해줄 것으로 기대한다.

표 3. 2007 RRT 세션에 포함된 논문(발표순서 순)

순서	세 부 주 제 (논 문 제 목)	발표자 (소속)
1	Round Robin Test 기법을 통한 다양한 지반응답해석 접근법 비교 연구	김진만 교수 (부산대학교)
2	지반응답해석 Round Robin Test의 입력 지진파 및 물성에 관한 고찰	선창국 박사 (한국지질자원연구원)
3	입력 지진파 차이로 인한 지반응답 분산도 평가	김진만 교수 (부산대학교)
4	지반응답해석 Round Robin Test의 입력 지반 물성에 따른 지반 응답 특성 영향 고찰	김동수 교수 (한국과학기술원)
5	지반응답해석 기법간의 차이에 의한 지반 응답 분산도 평가 연구	김성렬 교수 (동아대학교)
6	지반응답해석 Round Robin Test 결과 종합적 분석 연구	박두희 교수 (한양대학교)

#### 4. 감사의 글

지반응답해석 Round Robin Test 는 많은 분들의 참여와 협력으로 수행되었습니다. 먼저 Round Robin Test 전 과정에 걸쳐 방향을 설정해 준 지반공학회 지반진동위원회 간사진을 비롯한 운영위원님들과 Round Robin Test 진행 실무를 맡아준 Round Robin Test 소위원회 위원님들께 감사드립니다. 특히 한국지질자원연구원의 선창국 박사와 한양대학교의 박두희 교수가 많이 수고를 해주셨습니다. Round Robin Test 에 직접 참여해주신 동림컨설팅, 동아대학교, 동의대학교, 부산대학교, 삼보기술단, 서경대학교, 서울대학교, 연세대학교, 원광대학교, 한국과학기술연구원, 한국유지관리, 한국지질자원연구원, 한양대학교, 현대건설(이상 가나다 순)등의 책임자들과 실무진들께 진심으로 감사드립니다. 마지막으로 RRT 수행과정에 많은 도움을 주신 위원회 간사이신 희송지오택 김기석 사장께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 한국지반공학회(2005), “동적물성치 획득을 위한 현장 및 실내 Round Robin Test 결과 발표”, 한국지반공학회 봄학술발표회 특별 Session