

현장 및 실내시험에 기초한 홍성지역 지진응답특성 평가

Evaluation of Seismic Response Characteristics of Hong-Seong Area based on In-Situ and Laboratory Tests

박 덕 근 (Dugkeun Park)
김 교 원 (Gyo-Won Kim)

국립방재연구소 연구관
경북대학교 지질학과 교수

요약 / ABSTRACT

충청남도 홍성지역의 부지응답특성 평가를 위한 연구를 수행하기 위하여 다운홀 및 SASW 기법 등의 현장시험과 공진주/비틀전단시험 등 실내시험을 수행하였다. 이를 바탕으로 홍성지역의 부지특성을 평가하고 지반응답해석을 실시하였다. 홍성지역 현장의 지반은, 상부토층 30m의 평균전단파 속도가 209m/s로 SD 지반으로 결정되었고 응답해석결과 국내 기준과 잘 일치되는 부분도 있었으나, 구조물 주기에 따른 응답스펙트럼의 특정 주기에서 국내 기준보다 크게 증폭되는 현상도 발견되었다.

주요어 : 부지응답해석, 다운홀시험, 공진주/비틀전단시험, 증폭, 내진설계

For the ground response analysis, both in-situ and laboratory testing techniques such as downhole, SASW, resonant column and torsional shear tests were performed for Hong-Seong area. The ground upper 30m is classified as SD since it has an average shear wave velocity as 209m/s. The response spectrums obtained by site-specific analyses generally satisfied the seismic code, but near the resonance period the motion was evaluated to be higher than the code.

Key Words : Ground response analysis, downhole test, resonant column and torsional shear test, amplification, seismic design

서 론

1905년 인천에 최초로 지진계가 설치되기 전 한 반도에서 발생한 지진들은 삼국사기, 고려사, 이조

실록 등의 사료에 기록되어 있다. 서기 1세기부터 1982년까지 한반도와 그 주변에는 대략 2,380여회의 지진발생기록이 있다. 여기서 주목할만한 현상은 15-18세기의 매우 높은 지진활동이다. 한반도에

서 방출된 총 지진에너지의 상당부분이 이 기간중에 방출된 듯하다. 20세기에 들어와서 한반도에서는 2회의 파괴적인 지진이 발생했다. 1936년 7월 4일의 지리산 쌍계사 지진과 1978년 10월 7일의 홍성지진이 그것이다. 이 지진들의 규모는 대략 5.2정도이며 홍성지진에 의한 재산피해는 당시 화폐가치로 약 4억원으로 집계되었다. 한반도의 지진은 역사적 자료에 의한 역사지진과 지진계 설치 이후의 계기지진으로 대변할 수 있다. 또 지역적으로 조사해보면 대체로 한반도 남서부의 지진활동이 북동부에 비하여 높다. 남서부에 단층이 널리 분포하고 있기 때문에, 지진발생이 단층을 따라 주로 발생했음을 알 수 있다.

지진시 구조물의 안정성 평가에 필요한 지반물성을 파악하기 위해서는 지반조사를 실시하여야 한다. 지반조사는 지층의 구성, 각 지층의 역학적 특성과 약 및 실내시험용 시료채취 등을 수행하는 현장시험과 채취된 시료를 이용한 실내시험을 포함한다.

동적하중을 받는 구조물의 설계를 위해 지반-구조물 상호작용에 대한 해석이 필요하며, 이를 위해 동적 지반계수의 결정은 매우 중요하다. 일반적으로 내진 설계시 필요한 지반 자료는 시추를 통한 지반의 층상구조 및 지하수위 확인, 탄성파시험을 이용한 지반전단파 속도추상도 결정, 실내시험을 수행하여 결정된 변형률 크기에 따른 전단탄성계수 및 감쇠비의 변화, 액상화 관련계수 등이다. 이들 지반자료를 바탕으로 지진시 자유장(free-field) 지반진동, 액상화 포텐셜, 지반구조물에 작용되는 지진력 등을 평가하여 내진설계를 수행한다.

본 연구에서는 위와 같은 역사적인 자료와 최근에 지진이 발생한 지역적인 특성을 고려하여 충청남도 홍성지역을 선택하여 지반조사를 실시하고 지반응답해석을 수행하였다. 현장시험과 실내시험 결과를 이용하여 부지응답특성 평가를 수행하였고, 현장실험을 바탕으로한 해석결과를 분석하여 국내 지반의 부지응답특성에 대한 이해를 높이는데 연구 목적을 두었다.

현 장 시 험

본 연구에서 대상으로 한 현장은 충청남도 홍성의 홍성남부 우회도로 축조 및 포장공사 현장 일대

이다. 이 지역의 현장지반 특성을 파악하기 위하여 표준관입시험, 다운홀 및 SASW 시험 등 현장시험을 수행하였다.

표준관입시험(SPT, Standard Penetration Test)은 시추공내에 Split Barrel Sampler를 소정의 타격에너지(KS의 경우 64kg의 추를 760mm 높이에서 낙하)를 주어 관입하면서 Sampler가 300mm 관입하는데 필요한 타격횟수(N치)를 측정하여 지반의 강도, 흙의 상대밀도, 내부 마찰각, 비배수 점착력 등의 토질정수를 경험적 상관관계에 의하여 도출하며, 동시에 시료를 채취할 수 있는 원위치 시험방법이다. 본 시험방법은 각종 비파학적 요소들에도 불구하고 시험결과가 간명하고 많은 실무자들에게 익숙한 시험법으로 매우 폭넓게 적용되고 있다.

다운홀 시험은 지반의 동적 물성치(압축파 및 전단파 속도)의 측정에 널리 사용하는 방법이다. 발진자(source)를 지표면 위에 설치하고, 감지기는 검측공 내 계획된 측정 깊이에 설치한 후, 발진자에 충격을 가해 진동을 유발시키는데, 연직방향으로 충격을 가하면 압축파(compressional wave)성분이, 수평방향으로 충격을 가하면 전단파(shear wave)성분이 풍부한 진동이 발생한다. 일반적인 다운홀 시험법의 개요도는 Fig. 1과 같다.

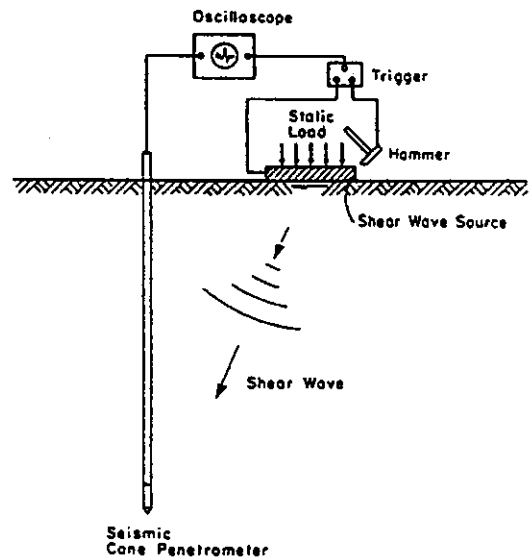


Fig. 1. Schematics of seismic downhole test (after Robertson et al., 1985).

현장 및 실내시험에 기초한 홍성지역 지진응답특성 평가

SASW(Spectral Analysis of Surface Wave) 시험방법은 Steady-State-Rayleigh-Wave 방법(일정한 주기의 표면파를 사용)을 수정·보완한 시험방법으로, 반무한층에서 표면파(surface wave or Rayleigh wave)의 분산 특성에 그 바탕을 두고 있다. SASW시험의 기본장비의 배치는 Fig. 2와 같다. SASW 시험은 공내수평 탄성파시험이나 다운홀 시험에 비하여 시험이 간단하고, 지반관입이 필요없는 비파괴 시험이며, 시험의 수행이 빠르고 경제적인 장점을 가지고 있으나, SASW 시험에서 결정된 지반 물성치는 시험구간의 평균적인 지반특성을 나타내어 정확성이 감소되는 것으로 알려져 있다.

이러한 현장시험을 통하여 획득한 현장 지반 물성치를 이용하여 부지 응답 특성 평가를 수행하였다. 현장시험 부지는 기반암이 지표면 아래 50m 정도에 위치해 있어 국내지반에서는 깊은 지반에 해당한다. 이 지역에서 수행된 현장시험의 결과는 Table 1에 정리하였다. 부지증폭현상의 예측을 위하여 각 층의 전단탄성계수, 감쇠비, 단위중량의 결정이 필요하다. 지반은 변형률 크기에 따라 탄성계

수가 감소하는 비선형 거동을 보이므로 선형한계 변형률 이하의 저변형률 영역($\gamma < 10^{-3}\%$)에서 지반의 선형거동을 측정하기 위하여 현장 탄성파기법이 사용되나, 비선형 거동 및 감쇠비 측정이 현장에서는 거의 불가능하므로 변형률 변화에 따른 탄성계수의 비선형성과 감쇠비 측정을 위해서는 실내시험이 필요하다.

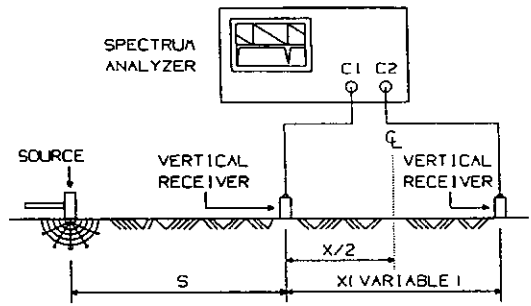


Fig. 2. Schematics of the experimental arrangement for SASW test (after Nazarian, 1984).

Table 1. In situ test results at Hong-Seong area.

Description	Depth (m)	SPT N value	SASW	Down hole	Representative
			Vs (m/s)	Vs (m/s)	Vs (m/s)
Fill (0.00m-2.70m), SM	0.5	2/5	118	139	139
	1		118	139	139
	1.5	4/9	93	139	139
	2		173	139	139
	2.5		136	119	119
Sedimentary Soil (2.70m-4.20m), SM	3	3/3	136	115	115
	3.5		134	117	117
	4		134	150	150
	4.5	3/12	140	188	188
	5		140	132	132
Residual Soil (4.20m-22.50m), SM	5.5		166	146	146
	6	7/22	166	180	180
	6.5		200	168	168
	7		200	172	172
	7.5	10/23	238	154	154
	8		238	215	215
	8.5		290	199	199
	9	12/27	290	215	215
	9.5		290	206	206
	10		290	203	203
	10.5	13/31	326	210	210
	11		326	157	157
	11.5		326	198	198
	12	15/32	326	200	200
	12.5		339	283	283

Table 1. (Continued).

Description	Depth (m)	SPT N value	SASW	Down hole	Representative
			Vs (m/s)	Vs (m/s)	Vs (m/s)
Residual Soil (4.20m-22.50m), SM	13		339	274	274
	13.5	17/46	339	210	210
	14		339	268	268
	14.5		339	240	240
	15	50/30	339	231	231
	15.5		339	201	201
	16.5	50/25	312	361	361
	17		312	256	256
	17.5		312	205	205
	18	50/20	312	313	313
	18.5		312	220	220
	19		312		312
	19.5	50/19	312		312
	20	50/15	312		312
	20.5		429		429
	21		429		429
21.5	50/10	429		429	
22		429		429	
22.5		429		429	
Weathered Rock (22.50-47.00m)	23	50/11	429		429
	24		429		429
	25	50/7	490		490
	26	50/4	490		490
	27	50/1	490		490
	28		490		490
	29	50/3	562		562
	30	50/2	562		562
	31		562		562
	32	50/2	562		562
	33		577		577
	35	50/2	577		577
	37		656		656
	39	50/2	656		656
41		750		750	
43	50/1	750		750	
45		750		750	
Base Rock (47.00m-) Soft Granite	47	50/1	800		800
	49		800		800
	51	50/1	800		800
	53		800		800

실 내 시험

변형률 크기에 따른 전단탄성계수와 감쇠비의 변화를 얻기 위하여 공진주시험 및 비틀전단시험을 수행하였다. 공진주 시험은 탄성과 전달이론에 근거하여 지반의 전단탄성계수와 감쇠비를 구하는 시험이다. 비틀전단시험에서는 공진주 시험기와 동일한 시험기를 사용하고, 작동방법을 달리하여 지반 변형특성을 구하였다. 본 시험에서는 Stokoe식 공진주/비틀전단시험기를 사용하였으며, 이상적인 구성도는 Fig. 3과 같다.

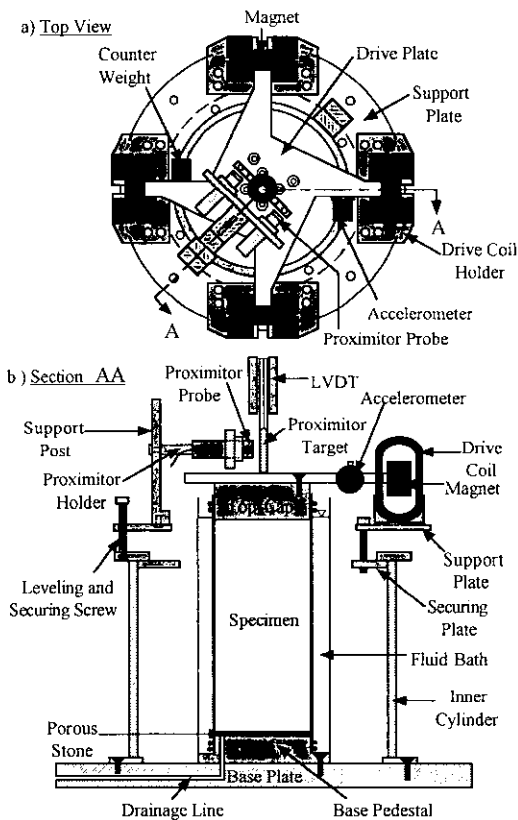


Fig. 3. Schematics diagram of torsional shear /resonant column apparatus.

홍성지역의 지반조사 자료를 살펴보면 지하 4.2m-22.5m까지의 지반이 화강풍화토로 이루어진 지층임을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 화강 풍화토에 대한 실내시험을 정밀하게 수행하여 지반

응답해석의 정확도를 높이도록 노력하였다. 본 연구에서 대상으로 한 시료는 현장시험을 실시한 충청남도 홍성의 홍성남부 우회도로 축조 및 포장공사 현장의 사면에서 채취한 화강풍화토 비교란시료이다. 화강풍화토는 약한 충격에도 구조가 쉽게 흐트러지므로 타입에 의한 시료채취가 어렵다. 화강 풍화토의 비교란시료 채취를 위한 연구가 진행되고 있으며 몇몇의 우수한 방법이 개발되었으나, 지반의 특성상 아직은 삼축시험에 필요한 시료를 쉽게 얻을 수 있는 방법은 거의 없는 상태이다. 본 연구에서는 공진주비틀전단시험을 할 수 있는 비교란시료를 얻기 위한 화강풍화토의 비교란시료채취를 제작·사용하였다. 화강풍화토의 경우 현장에서 채취된 블록샘플을 실내에서 성형하는 것이 사실상 불가능하고, 동결법을 이용할 경우 입자의 파쇄와 시료의 교란이 우려되는 점을 고려하여 현장에서 원통형의 시료를 성형하도록 비교란시료 채취기가 제작되었다. 직경 40mm, 높이 100mm의 시료를 채취할 수 있고 원형 단면의 시료를 성형하는 부분, vacuum line, 고무막(membrane), 지지대 등으로 이루어진 시료채취기는 인장하중과 충격에 약한 화강 풍화토의 특성을 고려, 시료의 성형과정에서 부주의로 인하여 성형된 시료가 부서지는 것을 방지하고 안전한 운반을 위하여 시료의 성형과 동시에 고무막(membrane)이 씌워지도록 하였다. 채취시 시료는 풍화가 상당히 진행된 상태였으며 입도분포와 기본물성은 Fig. 4와 Table 2에 각각 나타내었다.

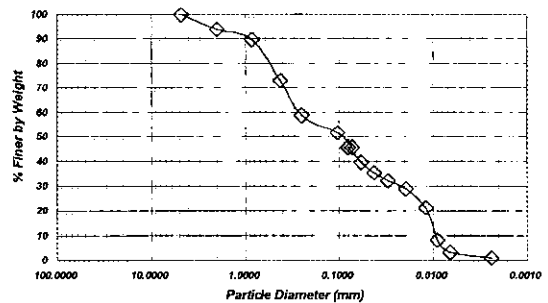


Fig. 4. Grain size distribution of residual soil in Hong-Seong area.

Table 2. Index properties of residual soil in Hong-Seong area.

USCS	Atterberg Limits	Specific Gravity	Void Ratio	Total Unit Weight (t/m ³)	Water Content (%)
SM	NP	2.65	0.91	1.77	18.36

시험 절차

비교란시료 채취기에서 분리한 시료를 공진주/비틀전단 시험기에 거치하고 시험준비가 완료되면 구속응력을 가하여 시험을 수행하였다. 이때 시료의 단부에는 석고를 발라 미끄러짐을 방지하였다. 시료내에 균일한 구속응력분포를 위하여 각 구속압 단계에서 구속을 재하한 후 4시간을 기다린 후 변형률 크기를 증가시키며 배수상태에서 시험을 수행하였다. 50kPa, 100kPa, 200kPa, 400kPa 순으로 구속압을 재하하면서 시험을 수행하였고 비틀전단시험을 먼저 수행한 후 공진주시험을 수행하고 다시 비틀전단 시험을 수행하였다.

비틀전단시험은 먼저 하중주파수의 영향을 검토하기 위하여 저변형을 상태에서 입력하중을 일정하게 하면서 하중주파수를 0.05Hz, 0.1Hz, 0.5Hz, 1Hz, 5Hz, 10Hz로 증가시키면서 시험을 실시하였고, 저주파 통과필터(low-pass filter)의 cut-off 주파수는 하중주파수의 10배 이상으로 하였으며, 간격측정기 신호와 입력하중 신호 모두를 필터를 통과시켜 신호를 획득하였다. 하중주파수의 영향시험이 끝나면 하중주파수를 0.5Hz로 입력하중을 변화시키고 저변형률에서 고변형률까지 변형률을 증가시키면서 시험을 실시하였다.

비틀전단시험을 완료한 후 변형률 크기를 증가시키며 공진주시험을 실시하였다. 공진주파수는 일정한 입력전압에서 하중주파수를 바꾸어가면서 시료의 반응을 측정한 주파수반응곡선으로부터 결정한다. 하중주파수를 큰 폭(약 3.5Hz)으로 증가시키며(rough sweeping) 개략적인 공진주파수를 측정하고, 개략적으로 측정된 공진주파수 근방의 좁은 범위에서 작은 폭(0.2Hz 적용)으로 하중주파수를 변화시키며(fine sweeping) 엄밀한 주파수반응곡선을 획득한다. 이때 높은 하중주파수에서 낮은 하중주파수로, 하중주파수를 감소시키는 방향으로 변화시키는 방법(down sweeping)을 적용하였다.

정규화 전단탄성계수 감소곡선 및 감쇠비

지반의 전단탄성계수-변형률의 관계는 지반의 종류, 함수비, 구속응력, 하중주파수 등 다양한 조건에 따라서 매우 상이하게 나타나게 된다. 그러나 전단탄성계수를 변형률 10~3%이하의 선형거동에 해당하는 최대전단탄성계수로 정규화한 정규화 전단탄성계수(G/Gmax)와 전단변형률 크기의 관계는 시료의 교란, 하중주파수 등에 어느정도 무관하게 나타나며, 시료의 종류(모래, 점토, 자갈 등)에 따라서 일정한 범위에서 결정되는 것으로 알려져 있다. 그러므로 일반적으로 고변형률에서의 전단탄성계수에 대한 연구는 정규화전단탄성계수에 대한 연구로 수행된다. Fig. 5에서 Fig. 8까지 각각의 구속압에 대하여 실험결과를 정리하고 정규화 전단탄성계수를 Fig. 9에 나타내었다.

화강풍화토의 감쇠비 실험결과는 Fig. 10에서 Fig. 14에 나타내었다. 실험결과 구속응력에 따른 분산도는 비교적 작게 나타났고, 변형률 크기가 증가함에 따라 감쇠비가 증가하는 전형적인 결과를 얻을 수 있었다. 구속응력의 증가에 따라 작은 변화량이지만, 감쇠비가 감소함을 확인할 수 있다. 최소감쇠비는 대략 0.8%~2.5% 범위에서 분포하였다.

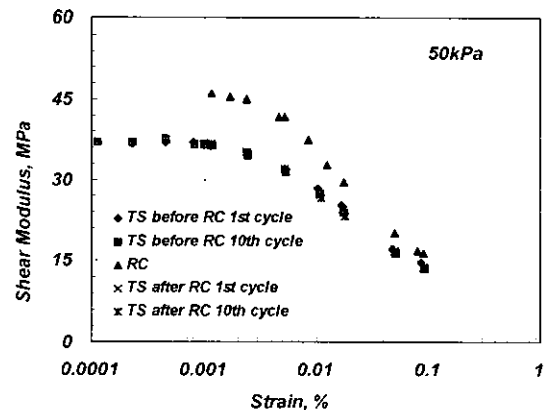


Fig. 5. Shear modulus degradation at confining pressure = 50kPa.

현장 및 실내시험에 기초한 홍성지역 지진응답특성 평가

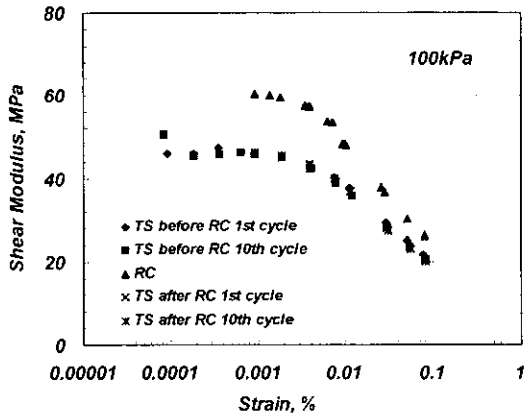


Fig. 6. Shear modulus degradation at confining pressure = 100kPa.

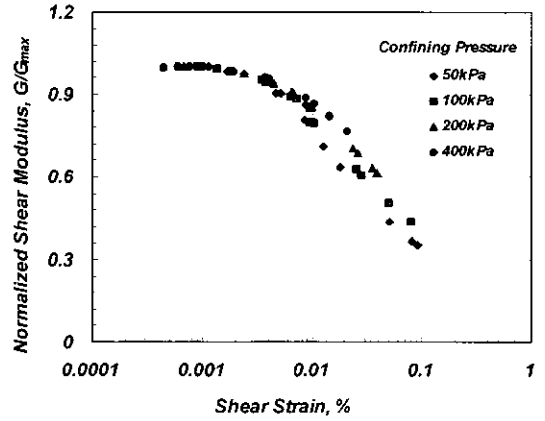


Fig. 9. Normalized shear modulus degradation at various confining pressures.

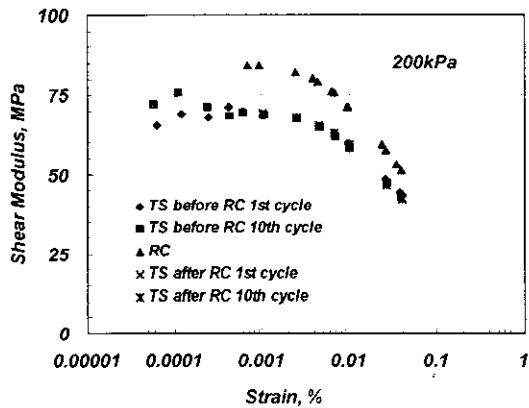


Fig. 7. Shear modulus degradation at confining pressure = 200kPa.

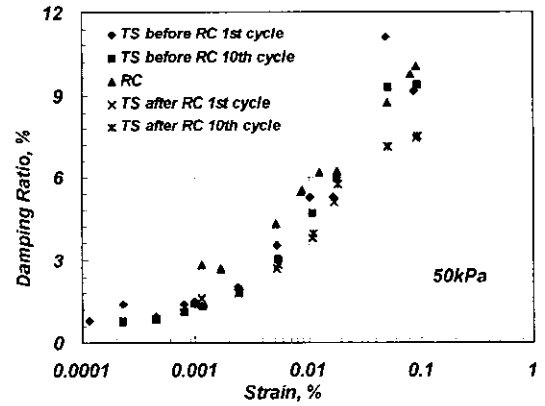


Fig. 10. Damping change at confining pressure = 50kPa.

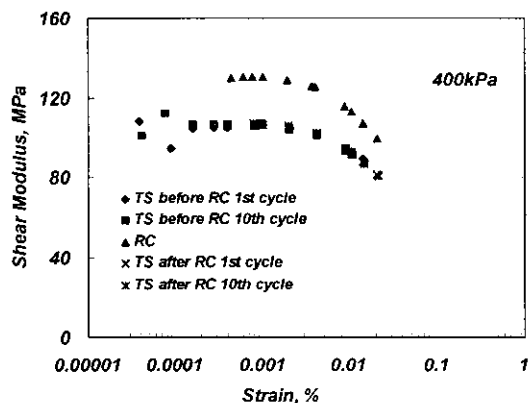


Fig. 8. Shear modulus degradation at confining pressure = 400kPa.

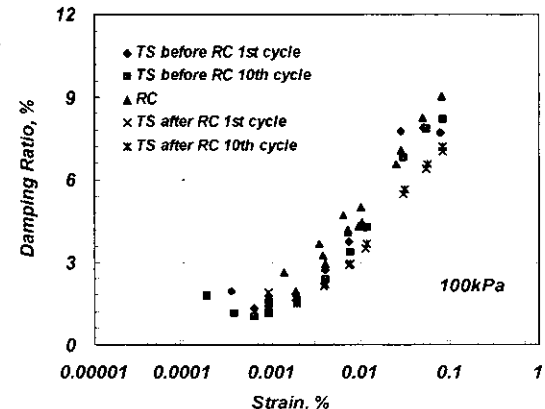


Fig. 11. Damping change at confining pressure = 100kPa.

지 반 분 류

탄성과 시험을 이용한 지반의 전단파 속도분포를 결정하는데 있어서 시험 종류에 따라 결과가 다소 상이할 수 있다. 일반적으로 시험 종류별로 볼 때, 다운홀, SASW 시험의 순서로 신뢰성이 높은 것으로 알려져 있다. 하지만, 홍성지역 지반의 경우 대부분 깊은 심도의 화강풍화토 지반이어서 다운홀 시험결과의 신뢰성이 떨어질 수 있다. 따라서, 깊은 지반에 대한 전단파 속도는 SASW 기법의 결과를 이용하여 지반을 분류하였다. 홍성지역에서 수행된 현장시험 결과를 바탕으로 한 전단파 속도분포는 Fig. 15와 같다.

국내 내진설계기준의 지반분류 기준으로 분류한 홍성지역 현장의 지반은, 상부토층 30m의 평균전단파 속도가 209m/s로 SD(단단한 토사지반; 180m/s

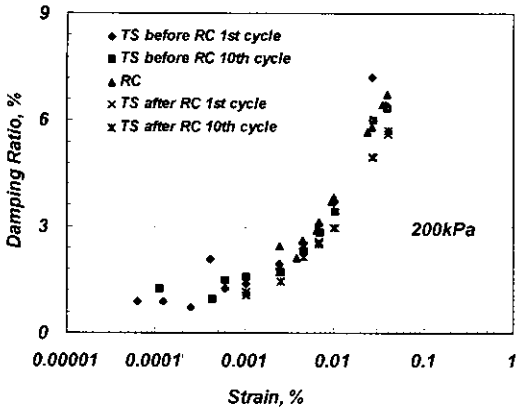


Fig. 12. Damping change at confining pressure = 200kPa.

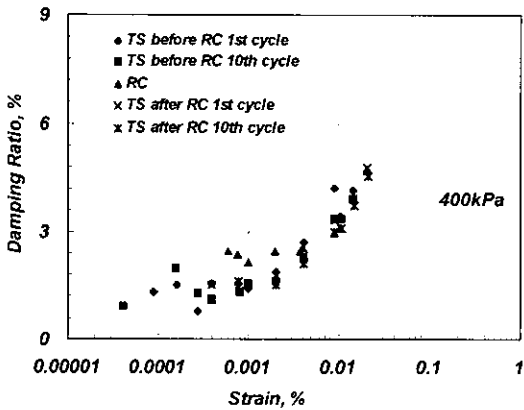


Fig. 13. Damping change at confining pressure = 400kPa.

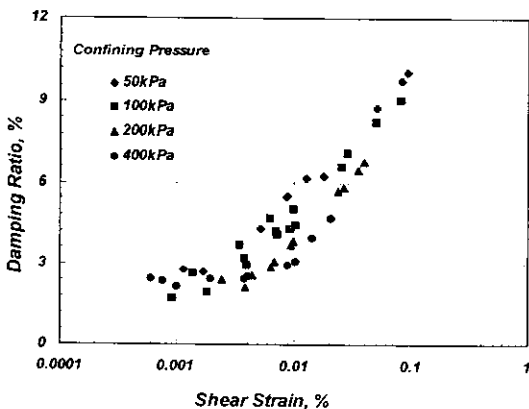


Fig. 14. Damping change at various confining pressures.

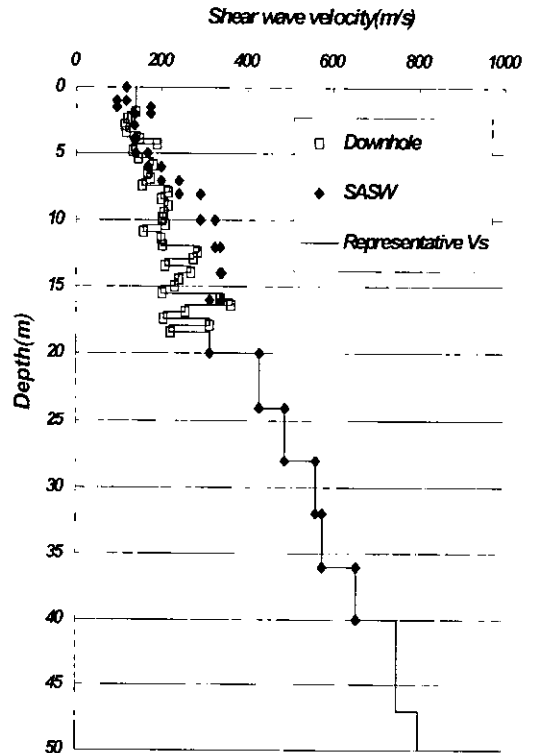


Fig. 15. Shear wave velocity profile for the test site.

현장 및 실내시험에 기초한 홍성지역 지진응답특성 평가

$\overline{v_s} \leq 360\text{m/s}$ 지반으로 결정되었다. Table 3은 국 부, 1997).
내 내진설계기준의 지반분류를 나타낸다(건설교통

Table 3. Ground classification for seismic analysis.

Classification	Ground Properties upper 30m		
	Shear wave velocity	SPT N value	Undrained Shear Strength, $\overline{S_u}$
	(m/s)	(blow/foot)	(tonf/m ²)
S_A	over 1500	-	-
S_B	760 ~ 1500		
S_C	360 ~ 760	> 50	> 10
S_D	180 ~ 360	15 ~ 50	5 ~ 10
S_E	below 180	< 15	< 5
S_F	Site specific evaluation is needed		

입력지진의 산정 및
지반응답해석의 입력변수

본 연구에는 1차원 지반응답특성 평가기법 중 등가선형 해석기법을 적용하는 프로그램인 SHAKE91 (Idriss and Sun, 1992)을 사용하였다. 홍성지역의 지진에 대한 민감도 분석을 위해서는 대상 지역의 설계 지반운동으로부터 기반암 가속도가 결정되어야 한다. 일반적으로 설계 지반운동의 크기는 역사 지진 기록을 근거로 한 지진위험도 분석을 기초로 하여 결정된다. 건설교통부 내진설계 기준연구에서는 행정구역의 구분에 따른 결정방법과, 보다 정확한 설계 지반운동 결정을 위하여 지진 재해도에 의한 방법을 제안하고 있다. 본 연구에서는 지진 재해도로부터 홍성지역 보통암 지반의 설계 지반운동 수준을 산정하였고, 그 값은 1등급 구조물 붕괴방지수준의 경우 0.14g, 기능수행수준의 경우 0.05g에 해당한다.

1차원 부지응답특성 평가에 필요한 해석 부지의 층상구조 및 입력 지반자료는 지반조사 결과를 종합적으로 검토하여 결정하였고, 기반암 깊이의 결정은 보통암(지반 분류 SB)의 전단파 속도(760m/sec 이상)를 가지는 층을 기반암으로 결정하였다. 해석 대상부지의 최대 전단탄성계수는 현장 탄성파 시험으로 결정한 전단파 속도로부터 결정하였고 간류토, 풍화토, 퇴적토층의 전단변형률 크기에 따른 정규화 전단탄성계수 및 감쇠비 곡선은 공진주 시험결과를 이용하였다. 입력 지진으로는 El Centro 지진의 가속도 시간이력을 사용하였다(Fig. 16).

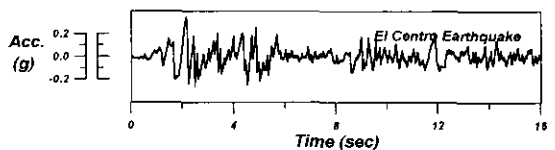


Fig. 16. Acceleration time history of El Centro earthquake.

부지응답특성 평가 결과

홍성지역 현장 부지에 대한 지반응답해석을 수행하여 1등급 구조물 설계시 기반암 가속도 및 지표면 최대가속도를 결정하였다. 붕괴방지수준의 경우 보통암 지반 설계지반 가속도 0.14g에 비해 지표면 최대가속도는 0.196g의 결과를 얻었다. Fig. 17과 Fig. 18은 홍성지역 현장부지 1등급 구조물 붕괴방지수준에 대한 해석결과이다. Fig. 17의 깊이 별 해석 결과를 살펴보면 지하 20m정도의 지표면 근처에서 지반 증폭현상이 크게 발생함을 알 수 있다. Fig. 18에서는 기반암과 지표면 자유장운동의 응답 스펙트럼을 도시하였으며, 주기 0.5초에서 1.0초 사이에서 기반암 가속도에 비하여 지표면 가속도가 크게 증폭된 것을 확인할 수 있다. 그러나, 단주기 영역에서는 구조물에 영향을 주는 응답가속도의 값은 거의 증폭이 일어나지 않음을 발견할 수

있다.

홍성지반 현장 부지의 경우 건설교통부 내진설계 기준을 따라 지반을 분류할 경우, SD 지반에 해당한다. Fig. 18의 현장시험 및 실내시험 결과를 이용한 부지응답특성 해석결과와 건설교통부 기준 구조물 주기에 따른 응답스펙트럼 값을 비교해보면, 주기 0.5초에서 1.0초 사이에는 지표면의 부지응답 해석의 값이 더 크게 증폭됨을 알 수 있다. 따라서, 이 지반에 구조물이 건설될 경우 국내 표준 설계응답스펙트럼으로만 설계할 경우 El Centro 지진과 주파수 영역이 비슷한 지진이 올 경우 구조물의 중대한 피해가 예상된다.

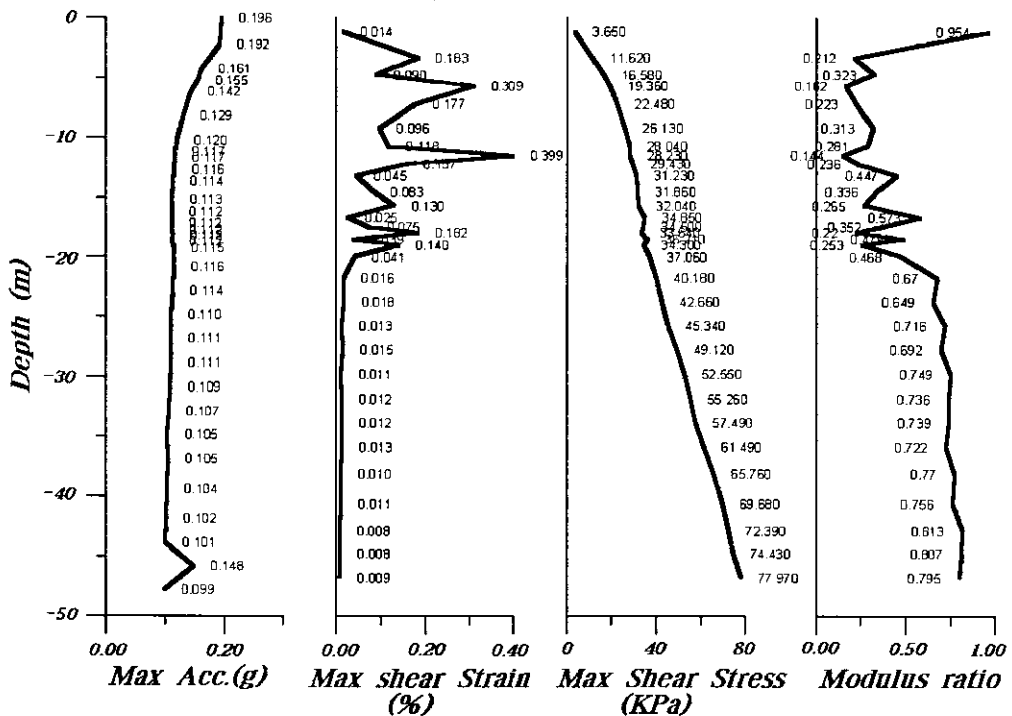


Fig. 17. Profiles of maximum acceleration, shear strain, shear stress, and shear modulus ratio (El Centro earthquake type, 0.14g).

현장 및 실내시험에 기초한 홍성지역 지진응답특성 평가

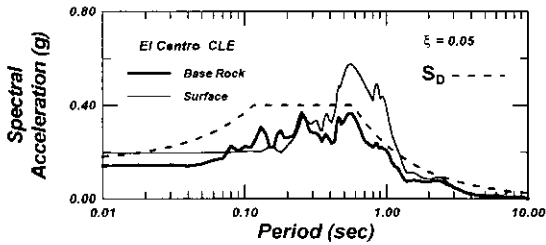


Fig. 18. Response spectrums of base rock and free-field surface compared to the code (damping = 5%).

결 론

본 연구에서는 부지응답특성 평가를 위한 연구를 수행하기 위하여 먼저 다운홀, SASW 기법 등 현장시험과 공진주/비틀전단시험 등 실내시험을 통하여 홍성지역의 해석 대상부지에 대한 지반조사를 실시하였다. 또, 이를 바탕으로한 지반물성을 이용하여 지반응답해석을 수행하였다. 국내 내진설계기준의 지반분류 기준으로 분류한 홍성지역 현장의 지반은, 상부토층 30m의 평균전단파 속도가 209m/s로 SD지반으로 결정되었다. 지반응답 해석 결과 이 지역의 부지특성이 국내 기준과 합리적으로 일치되는 부분도 있었으나, 구조물 주기에 따른 응답스펙트럼의 특정 주기에서 국내 기준보다 크게 증폭되는 현상도 발견되었다. 또한, 건설교통부 기준인 상부토층 30m의 평균 전단파 속도를 기준으로 지반을 분류할 경우 지반구분이 명확하지 않은 경우도 있어, 이 경우에는 부지고유의 지반응답해석이 필요함을 알 수 있었다.

감사의 글

지진재해에 대비한 지반특성 파악에 관한 연구를 수행해준 한국과학기술원 토목공학과 김동수교수님과 지반연구실에 깊은 감사료를 드립니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부, 1997, 내진설계기준연구(II).
 Idriss, I.M. and Sun, J.I., 1992, Users' manual for

SHAKE91, Center for Geotechnical Modeling, Dept. of Civil and Environmental Engineering, U.C. Davis, Sponsored by NIST.

Nazarian, S., 1984, In situ Determination of Elastic Moduli of Soil Deposits and Pavement Systems by Spectral-Analysis-of-Surface-Waves Method, Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, 453.

Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D., and Rice, A., 1985, Seismic CPT to Measure In situ Shear Wave Velocity, Proceedings, Measurement and Use of Shear Wave Velocity for Evaluating Dynamic Soil Properties, Woods, R.D., Editor, Denver, Colorado, ASCE, May 1, 34-48.

박덕근 (Dugkeun Park)
 국립방재연구소 연구관
 행정자치부, 국립방재연구소
 서울특별시 마포구 공덕동 253-42
 Tel : 02-3274-2204~5
 Fax : 02-3274-2209
 e-mail : dr_park@mogaha.go.kr

김교원 (Gyo-Won Kim) *
 경북대학교 지질학과 교수
 경북대학교 지질학과
 대구광역시 북구 산격동 1370
 Tel : 053-950-5357
 Fax : 053-950-5362
 e-mail : gyokim@knu.ac.kr