

대형 지반시험장비의 개발 및 구축

Development and Installation of Large-scale Geotechnical Testing Facilities

서민우¹⁾, Min-Woo Seo, 하익수¹⁾, Ik-Soo Ha, 김용성¹⁾, Yong-Seong Kim, 박동순¹⁾, Dong-Soon Park

¹⁾ 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원, Senior Researcher, Korea Institute of Water and Environment (KIWE), Korea Water Resources Corporation (KOWACO)

개요(SYNOPSIS) : As the geotechnical technologies have grown, the size of civil structures has become bigger than before, thereby requiring large-scale geotechnical testing equipments which can evaluate the mechanical behavior of large size testing materials such as gravel, crushed rock and so on. These kind of large testing equipments are usually used to evaluate the mechanical characteristics of large size material which are applied in the large infra structures like dam, seashore structure, coastal landfill, soil-structure interaction and seismic response of large-scale structure. In this research, state-of-the-art information in the field of geotechnical engineering was collected and summarized for such large-scale experimental equipments as large-scale geo-centrifuge, large-scale triaxial testing machine, large-scale direct shear testing apparatus and large-scale oedometer.

주요어(Key words) : large-scale geotechnical testing equipment, triaxial testing equipment, direct shear testing apparatus, geo-centrifuge, large-scale oedometer

1. 서 론

최근 토목기술이 발전하고 대상 구조물의 크기도 대형화되는 경우가 증가함에 따라, 댐, 해안구조물, 대형 매립 공사, 흙-구조물 상호작용, 지진응답 등 대규모 토목 시설의 안정 해석 및 설계 시 대형 지반시험장비가 널리 사용되고 있다. 그러나, 국내의 경우 일부 대학과 연구소에서 제한적으로 대형시험장비를 운영하고 있는 실정이며, 그 규모나 성능도 지반공학적 상사성을 구현하기 어려운 경우가 대부분이다.

대형 지반 시험장비는 일반적으로 (1) 시공 시 이용되는 입자의 크기가 매우 커 소규모 실내 시험으로는 실제 입자의 역학적 거동을 적절하게 구현하지 못하는 경우와 (2) 현장에서 나타나는 거동 특성이 현장 응력에 크게 지배되는 경우 실험실에서 이러한 응력 의존성 거동 특성을 적절하게 모사하고자 개발되어 왔다. 또한 최근에는 전 세계적으로 지진에 의한 피해 사례가 급증함에 따라, 소규모 진동대를 이용한 간단한 내진 평가 연구와 함께 실제 현장 상태에서의 동적 거동 특성을 비교적 근접하게 파악할 수 있는 대형 진동대를 활용한 연구가 지진 연구 관련 선진국에서는 널리 행해지고 있다. 또한 앞서 언급한 현장 응력상태를 적절하게 구현하면서 동적 거동 분석도 가능한 시험장치도 개발되어 이용되고 있다.

이러한 목적으로 이용되는 대형 지반시험장치로는 (초)대형 삼축시험기, 대형 직접전단시험기, 대형 압밀(압축)시험기, 원심모형시험기, 대형 진동대 시험기, 원심모형시험기에 탑재된 진동대 시험기 등을

들 수 있다. 본 연구에서는 지반 공학분야에서 유용하게 활용되는 대형 지반시험장비의 국내외 사례를 조사하고, 수자원공사에서 운영중이거나 설치 예정인 대형 지반시험장치의 활용과 연구 성과 등을 정리하고자 한다.

2. 대형 지반시험장치의 개발 및 활용 (국내외 사례를 중심으로)

2.1 대형 원심모형시험기

원심모형시험은 일반적인 축소 모형의 한계과 원형 실험의 단점을 보완해 주고, 효과적으로 토류구조물의 거동 및 파괴메카니즘을 연구할 수 있는 방법으로 알려져 있다. 원심모형시험은 원형구조물의 거동을 파악하기 위하여 축소된 모형지반을 고속으로 회전시켜 인위적인 가속도를 부여한 후, 실험상자(Container)에 조성된 지반의 자중을 인위적으로 증가시켜 원형구조물과 같은 응력을 재현시키는 실험 기법이다. 원심모형시험기의 대표적인 장점으로서는 축소된 모형지반의 자중증가에 따른 실응력 재현과 압밀시험에서와 같이 축소된 지반에서의 실험 시간 단축을 들 수 있다. 또한 실험시 부여되는 경계조건, 지반의 응력상태 및 공학적 성질이 비교적 잘 알려져 있기 때문에, 이론적인 해석방법이나 수치해석 기법의 정당성을 조사하는데도 유리하다. 대부분의 경우 이론적인 해석결과는 원심모형시험 결과와 비교했을 때 크게 벗어나지 않는 것으로 알려져 있다. 이외에도 원심모형시험에서는 실제 현장이나 이론적인 접근방법으로는 관찰하기 어려운 극한상태(파괴)에까지 도달할 수 있기 때문에 파괴시의 거동을 자세하게 관찰할 수 있다(지반공학회, 1997). 이러한 특성으로 인해 특히 대형 토목구조물에 대한 거동분석 시 원심모형시험기의 활용성이 아주 높다고 할 수 있는데, 그 대표적인 예로 장대교량의 안정성 검토, 붕괴된 댐의 파괴메카니즘의 검증, 구조물과 지반의 지진시 상호거동 등의 문제를 들 수 있다. 이들 경우에는 원심모형시험기로 실제 상황을 모사하여 이론적인 접근방법으로는 미처 발견하지 못했던 부분도 찾아낼 수 있었다(이철주, 2002).

현재 전 세계적으로 사용되고 있는 지반 원심모형시험 장비는 작게는 회전 반경 1m 내외에서, 크기는 10m까지 그 크기와 규모가 매우 다양하다. 일반적으로 규모가 작을수록 모형 제작과 실험에 소요되는 시간도 짧고 비용도 저렴하나 지반구조물의 모사가 어려우며, 규모가 클수록 시간과 비용이 많이 소요되나 지반구조물 거동의 정확한 모사가 가능하다. 이밖에도 작은 규모의 장비에서 발생하는 다양한 문제점이 존재한다. 대표적인 예로 작은 규모의 장비일수록 구현 가능한 최대 가속도의 크기와 적재 가능한 모형의 중량이 작아 소형 모형을 이용해 실험을 수행하게 되고, 이를 통하여 모사 가능한 지반구조물의 규모(지반 심도)에도 많은 제약을 받는다. 또한 모델 시험 용기(Container)의 경계조건에서 발생하는 국부적 응력 불균형으로 인하여 정확한 해석에 어려움이 따른다. 이러한 문제점들은 대형 모형 실험이 가능한 대형 원심모형시험 장비를 통하여 일정 수준 이상 극복할 수 있다. 또한 가속도장이 상대적으로 균등하므로 모형의 크기 및 하중이 상대적으로 커질 수 있어 많은 양의 시료를 이용해 모형을 제작할 수 있으므로 모델 경계에서의 응력집중 효과를 줄일 수 있고, 같은 회전수로 회전할 경우 모델에 작용되는 가속도의 크기는 반경에 비례하므로 보다 큰 가속도를 발생시킴으로써 100m 이상의 대형 고심도 지반 모델의 실험이 가능하다는 장점도 갖는다.

소규모 원심모형시험기의 이러한 한계로 인해 선진 외국에서는 보다 큰 규모의 원심모형시험시설을 설치하여 운영하고 있다. 그림 1은 세계 주요 원심모형시험기의 용량을 나타낸 그림이며, 표 1은 미국에서 운

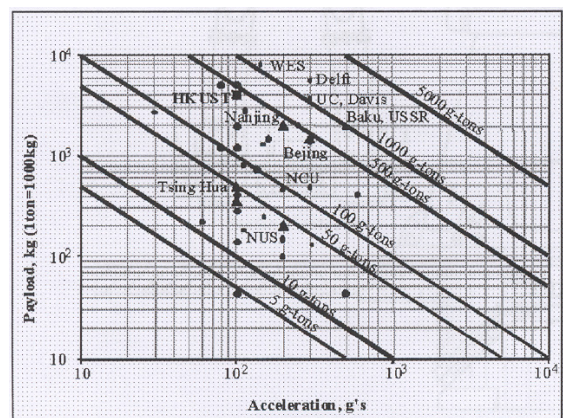


그림 1. 국외에 설치된 원심모형시험기의 용량 (1998년 기준)

영 중인 대형 원심모형시험기를 간단하게 정리해 보여주고 있다.

표 1. 미국 내 주요 대형 원심모형시험기 세부사양

시험기 설치 위치 (제작 연도)	반지름	최대용량	주요 사항 및 연구 분야
University of California at Davis (1987)	총 반경 9.1m 유효반경 7.6m	1) 240g-ton (현재) : 53g × 4,500kg 2) 80g (예정)	- 2000년 NSF로부터 460만달러(\$4.6million)의 지원을 받아 NEES 주관기관으로 선정 - 진동대를 이용한 내진 관련 연구
미공병단 WES (Waterways Experiment Station) (1995)	반경 : 6.5m	1) 8톤 : 143g 2) 2톤 : 350g 3) 용량 : 1,144g-ton	- 폭파 효과 (Blast effect) - 오염물질과 지하수 이동 - 지진시 지반 구조물의 응답 - 동토(cold region, 물 포함) 물리학 - 수리학 혹은 해양 공학 - 흙-구조물 상호 작용
University of Colorado at Boulder (1988)	반경 : 5.6m	1) 2톤 : 200g 2) 용량 : 400g-ton	- 1981년에 소형 15g-ton 시험기 구축 운영 - 1996년에 교육용 원심모형시험기 설치 운영 - 진동대 구비, 옹벽 및 사면의 정적 동적 거동 - 침투 메커니즘 및 오염물의 이동 모사 - 해안 구조물 기초 연구

일본에서 최초의 시험기다운 원심모형시험기는 1965년에 Mikasa에 의해 구축되었다. 공학자들뿐만 아니라 일본 내 학자들은 최초의 원심모형시험기가 소개된 이후 거의 20년 동안 원심모형시험기의 모델링 기술에 대한 특별한 관심이 없었다. 그러나 1980년 중반, 대학, 국립연구기관, 사기업에서 원심모형시험기를 구축하기 시작하였다. 1998년, 일본에서 가용한 원심모형시험기의 전체 대수는 37대가 되었다. 원심모형시험기에 대한 연구협력단체의 일본 내 특징이라면 사기업들이 중요한 역할을 하였다는 것이다. 일본에서는 다양한 규모의 원심모형시험기를 구축하여 지반공학 및 토목/환경분야에 다양하게 활용하고 있으며, 주요 대형 원심모형시험기의 세부사양은 아래 표 2와 같다.

표 2. 일본 내 주요 대형 원심모형시험기 세부사양 및 주요 연구 분야

시험기 설치 위치 (제작 연도)	반지름	최대용량	주요 연구 분야
일본 토목연구소 (1997)	6.6 m	1) 정적 : 150g 2) 동적 : 100g 3) 400 (g-t)	- 지반의 액상화 및 유동화 - 흙구조물의 지진시 거동 - 지중구조물의 지진시 거동 - 보강토 옹벽의 안정성 - 말뚝과 지반의 상호작용 - 지반개량공법, 터널굴착
일본항공공학 기술연구소	4.0 m	1) 270 (g-t)	- Cement 개량 점성토 지반의 지진시 파괴 거동 - SCP개량지반의 변형거동 - 점성토 지반 깊은기초 - 중간모래층을 포함한 연약지반에서의 성토 거동
Takenaka 기술연구소 (1993)	6.5 m	1) 5t (200g) 2) 500 (g-t)	- 말뚝기초의 거동 - 액상화 시험 - 연약지반에 건설되어진 구조물의 지진시 안정성
Obayashi Technical Research Institute (OTRI, 2000)	7.0 m	1) 정적 : 120g 2) 동적 : 50g 3) 700 (g-t)	- 액상화 시험 - 측방유동에 의한 피해 - 굴착시의 지반거동 - 압밀거동 - Pile의 지지력

이외에도 중국, 프랑스, 네덜란드에서도 대형 원심모형시험기를 설치 운영하고 있으며, 이들 기관에서 보유하고 있는 시험기 사양과 주요 연구 내용은 다음과 같다.

표 3. 기타 외국 내 주요 대형 원심모형시험기 세부 사양

시험기 설치 위치 (국가 및 제작 연도)	반지름	최대용량	주요 사항 및 연구 분야
Institute of Water Resources and Hydropower Research (IWHR) (중국, 1991)	회전 반경 : 5.03m	1) 1.5톤 : 300g 2) 용량 : 450g·ton	- 100ton 용량의 대형 정적 동적 삼축 시험기, 암석 시험기, rigid 암석 시험기, 고압 대규모 삼축 시험기, 만능 삼축 시험기, universal 압밀시험기, 대용량 3D electric resistance network 등도 보유
중국 난징 연구소 (NHRI) (중국, 1991)	유효 반경 : 5.0m (platform 반경 : 5.5m)	1) 최대가속도 : 200g 2) 용량 : 400g·ton	- 사용하중 (모델 상자 + 모델) : 2000kg - 스윙바스켓 : 1.2×1.2×1.1m (최대 하중 재하 시 바닥판의 최대 처짐은 1~2mm)
홍콩 과기대 (HKUST) (중국, 2000)	유효 반경 : 3.8m	1) 최대가속도 : 150g 2) 용량 : 400g·ton	- 2축 진동대, 4축 로봇 구축 - Team corporation (USA) 제작
Geodelft (네덜란드)	유효 반경 : 5.5m 최대 반경 : 6.0m	1) 최대가속도 : 300g 2) 최대 하중 : 5.5ton	- Model tests of ship impact in a revetment performed in a geotechnical centrifuge - Unconventional dikes reinforcement using sheet piles - Transport of DNAPL in centrifuge - Bored tunnel : centrifuge tests and negative friction burden
C-CORE (캐나다, 1993)	최대 반경 : 5.5m	1) 최대가속도 : 220g 2) 용량 : 220g·ton	- Cold region과 관련된 연구 - soil/structure 상호작용 연구
Cambridge 대학 (영국, 1980년대)	유효 반경 : 4.1m	1) 최대가속도 : 130g 2) 용량 : 150g·ton	- Liquefaction Remediation, Dynamic Boundary Effects - Embankments - Lateral Spreading - Tunnelling - Pollution Migration
LCPC (프랑스, 1985년)	유효 반경 : 5.5m	1) 최대하중 : 2ton 2) 최대가속도 : 200g	- 지반공학 : 심해 앵커, Suction offshore anchorages, 반복 하중을 받는 해안 기초, 불안정한 사면에 설치된 pipeline, Rion-Antirion 교량 - 기타분야 : Plate tectonics, crystalline growth, stress measurements in sand heaps, electro-osmosis, equipment qualification 등

또한 최근에는 대형 원심모형시험기가 지진관련연구에 많이 활용되고 있는데, 미국의 경우 NEES (Network for Earthquake Engineering Simulation) 프로그램을 통해 원심모형시험기를 활용한 내진 연구에 많은 지원을 하고 있다. 일본 역시 지리적 특성으로 인해 원심모형시험기가 내진연구에 널리 사용되고 있다. 표 4는 현재 일본에서 원심모형시험기 활용되고 있는 진동대 시험기의 제원을 정리하여 보여주는 표이다.

표 4. 일본에 설치된 진동대 용량 비교 (Imamura 등, 1998)

Institution in JAPAN	Effective radius (m)	Dynamic system type	Horizontal acceleration (g) at 50g
NISHIMATSU	3.80	Electrohydraulic	40
Kyoto Univ.	2.50	Electrohydraulic	15
Chuo Univ.	3.05	Electrohydraulic	10
T.I.T.	1.25	Electrohydraulic	20
P.H.R.I.	3.80	Electrohydraulic	10
KAJIMA	3.00	Electrohydraulic	25
SHIMIZU	3.11	Electrohydraulic	10
TAISEI	2.65	Electrohydraulic	20
TAKENAKA	6.50	Electrohydraulic	30

2.2 대형 삼축시험기

댐 혹은 항만 구조물 축조용 조립재료로써 일반적으로 사용되는 석괴(Crushed Rockfill)의 전단특성을 연구하기 위해서는 일반 토사재료와는 달리 대형전단시험이 필수적으로 요구된다. 많은 연구자들의 연구결과에 의하면 조립재료의 Mohr 파괴포락선은 일반적으로 곡선형태를 보이며 마찰각의 응력 의존성이 보고되었는데, 이러한 역학적 특성은 특히 굵은 자갈질(특히 석괴 재료)에서 입자들의 파쇄에 의한 것으로 알려져있다. 즉 자갈질 혹은 석괴 재료의 거친면과 입자 상호간의 맞물림이 파쇄과정에서 등글게 되고 높은 구속응력 하에서 파쇄과정이 증대되어 나타나는 것으로, 이러한 거동 특성을 실험 시 정확하게 모사하기 위해서는 대형삼축시험기의 이용이 필수적이라고 할 수 있다.

일반적으로 대형삼축시험(Large-Scale Triaxial Tests)은 대형 원주형 공시체(직경 300mm, 높이 620mm 정도)를 사용하는 삼축시험을 말한다. 세계 각국의 여러 대학교와 연구소에서는 약 30여년 전부터 대형삼축시험기를 사용하여 큰 입경(20~150cm) 재료의 전단강도와 응력-변형 특성을 조사, 연구

해 오고 있다. 표 5는 세계 각국의 주요 연구소 및 대학의 대형 삼축시험기 보유현황을 나타낸 것이다.

표 5. 국내외 대형 삼축시험기 현황

번호	대학 또는 시험소	국가	시료직경 (cm)	번호	대학 또는 시험소	국가	시료직경 (cm)
1	프린스턴 대학	미국	20	16	아헨 공대	독일	50
2	미공병단 시험소 (Marietta, Georgia)	미국	38	17	베를린 프리시아 수공연구소	독일	30
3	미공병단 시험소 (Sausalito, California)	미국	30	18	슈투트가르트 공대	독일	80
4	미공병단 시험소 (Portland, Oregon)	미국	30	19	런던 왕립 공대	영국	30
5	Geo Testing사 (San Rafael, California)	미국	30	20	Engineering Lab. Equip.사	영국	23
6	Soil Mech. & F. Eng.사 (Palo Alto, California)	미국	30	21	건설연구소	영국	23
7	USBR시험소 (Denver, Colorado)	미국	23	22	ISMES 연구소	이탈리아	35-130
8	캘리포니아 대학 (UCB)	미국	30-90	23	나폴리 대학교	이탈리아	35
9	Wahler Associate (Palo Alto, California)	미국	15	24	쥘리히 공대	스위스	15
10	캐나다 수력국 (British Columbia)	캐나다	15	25	Kansai 공대	일본	30-100
11	멕시코 전력회사(CFE)	멕시코	113	26	Kajima건설 시험연구소	일본	30
12	AIT	태국	30	27	Fujita 시험연구소	일본	120, 100
13	칼스루헤 공대	독일	20-100	28	Tokyu건설 시험연구소	일본	30
14	다름슈타트 공대	독일	25-50	29	건축연구소(BRI)	일본	150
15	뮌헨 공대	독일	30	30	SMEC 시험소	호주	37
				31	국립 도로국	스웨덴	50
				32	NGI시험소	노르웨이	30
				33	뉴델리 중앙토질재료연구소	인도	38
				34	한국수자원공사 수자원연구원	한국	30

2.3 대형 직접전단시험기

대형 직접전단시험은 Rockfill 재료의 실제 값에 근접한 전단강도를 얻을 수 있는 방법으로서 원리가 가장 단순하고 장비의 조작이 간편해 널리 이용되고 있는 장비이다. 조립재료에 대한 최초의 시험법은 1930년대에 독일에서 댐 건설재료에 대한 시험을 위해 개발한 직접전단시험법이 최초이며, 1940~50년대에 들어 미국의 공병단과 개척국 및 독일의 일부대학에서 조립재료에 대한 특성시험을 수행하기 시작하였다. 일본에서는 1960년대에 일본의 Kansai 전력에서 댐 체체의 건설재료에 대한 시험을 실시하였으며 이후로 일본 내 각 건설기관에서는 대형전단시험기 이외에 대형삼축시험기 등 여러 대의 시험장비를 이용하여 조립재료에 대한 시험을 수행하였다. 특히 1980년에 이르러 일본에서는 토질공학회 주관으로 삼축시험과 일면전단시험 결과를 바탕으로 각종 시험요인의 영향과 시험상의 문제점 및 시험결과의 상호관계를 검토하여 조립재료의 공학적 특성을 명확히 규명하고자 노력하였다.

표 6. 국내외 대형전단시험기 제원

구분	전단상자(m)	시료최대입경 (mm)	적용 댐
일본	2.0×2.0×0.3	200	Kuzuryu
	2.5×2.5×0.6	200	Nikappu
	3.3×2.5×0.6	-	-
	2.0×2.5×0.55	200	Misakubo
	1.13×1.48×0.85	150	Terauch
	1.5×1.5×0.63	100	Arakawa
	1.5×1.5×0.3	-	Takase
	1.5×1.5×0.6	-	Shirakawa
미국	2.8×2.8×0.9	300	South-Holston
	1.8×1.8×0.9	180	Lewis Smith
	1.8×1.8×0.9	180	Jocassee
	1.2×1.2×0.8	200	Ramganga
	0.6×0.6×0.3	100	-
인도	2.0×2.0×0.3	50	-
한국	1.0×1.0×0.68	76.2	임하, 남강, 밀양, 탐진, 주암, 부안, 용담, 횡성댐 사용 후, 현재 수자원연구원 보유
	1.0×1.0×0.68	76.2	평림 (적용 예정)

2.4 기타 대형 시험장비

앞서 언급한 대형 지반시험장비 이외에도 현재 지반공학에서 이용되는 대형 시험장비로는 대형 진동대 시험기, 초대형 삼축시험기, 대형 압축시험기 등을 들 수 있다. 이러한 시험기계 역시 각 나라에서 지반공학 관련 연구를 선도하고 있으며 널리 활용되고 있다.

3. 대형 지반시험장치의 구축 및 활용

수자원공사(수자원연구원)에서는 다음과 같은 대형 지반시험기를 구축(혹은 구축 예정)하여, 입자 크기가 큰 지반 재료나 규모가 큰 지반 구조물을 대상으로 여러 가지 실험을 수행하고 있다.

3.1 대형 원심모형시험기 (안)

수자원공사에는 댐과 같은 대형 구조물의 안정성 평가와 응력 의존성 지반 구조물의 거동 평가를 위하여 2006년 설치를 목표로 대형 원심모형시험기 도입을 추진하고 있다. 도입이 이루어지면 (1) 댐 안정성 평가 (2) 지반 및 건축 구조물 내진 특성 평가 (3) 지하수 및 오염물질 거동 특성 평가 (4) 신기술 특수 구조물 거동 평가 (5) 수치 해석 검증 및 구조물 설계 계수 평가 (6) 기계 성능 평가 등의 분야에 본 원심모형시험기(Centrifuge)가 광범위하게 활용될 예정이며, 구축 예정 원심모형시험기의 사양은 다음과 같다.

□ 도입 예정 대형 원심모형시험기 사양

- Radius to the bottom of platform : 8.0m
- Acceleration accuracy : maximum $\pm 0.5\%$
- Maximum payload (up to 80g) : 7,500kg
- Payload at 120g : 5000kg, payload at 200g : 2000kg
- 용 량 : 600,000 g·kg
- Platform dimension : 2.0m (Length) \times 2.0m (Width) \times 2.0m (Height)
- 진동대 : 최대하중 (1.5ton), in-flight 상태에서 진동대 최대 가속도 (40g), shaking force : 350kN

3.2 대형 삼축시험기

대형삼축시험기를 사용할 경우에는 모래, 자갈 및 Rockfill 재료와 같은 조립재료에 대한 강도특성 (Strength Properties)과 변형특성(Deformation Characteristic) 뿐만 아니라, 반복 재하장치를 갖춘 시험기의 경우에는 지진이나 차량하중 등과 같은 동적하중이 작용하는 조립재료의 동적변형특성(Dynamic Deformation Characteristics)까지도 매우 효과적으로 파악할 수 있는 장점이 있다.

한국수자원공사 수자원연구원의 대형 진동삼축시험기는 국내 최초로 개발된 것으로서 직경 300mm, 높이 620mm의 원주형 공시체를 사용하며, 모래, 자갈 및 Rockfill재료 등의 조립재료에 대한 강도정수 산정은 물론 하중 또는 변위의 반복재하를 통한 동적물성치(전단탄성계수와 감쇠정수)의 산정이 가능하다. 본 시험기는 댐 공사는 물론 방파제 등의 항만공사, 철로공사, 도로공사 및 기타 흙막이 공사 등 조립재료를 사용하는 지반구조물의 설계·시공 및 안정성 평가 등에 활용될 수 있다. 표 8은 대형 진동 삼축시험기의 주요 제원을 보여주는 표이다.

표 8. 수자원연구원 대형 진동삼축시험기의 제원

		주요제원
적용시험		<ul style="list-style-type: none"> ■정적시험 ■동적시험 (반복재하시험)
공시체의 크기		■직경 300mm×높이 620mm
동적시험	타입	■전기유압서보방식
	용량	■500 kN
	사용주파수	■0.01~100 Hz
	사용파형	■Sine파 외 3개 파형
	제어방식	<ul style="list-style-type: none"> ■응력제어법 ■변위제어법
정적시험	타입	■전기유압서보 방식
	용량	■600 kN
	변위속도	■0.01~60 mm/min.
구속압	형식	■공압제어 수압변환방식
	용량	■2Mpa (20kgf/cm ²)
공시체 제작법		■충격다짐에 의한 자동다짐



그림 2. 대형진동삼축시험기 전경 (한국수자원공사 수자원연구원)

3.3 대형 직접전단시험기

국내에서는 대형삼축시험기가 개발된 2000년 전까지 대형직접전단시험을 통해 댐 현장에서의 Rockfill 재료의 전단강도를 구하여 댐 설계 및 건설시공 시 반영하였다. 수자원공사에서 보유중인 대형전단시험기는 총 2대로서, 그 중 1대는 임하댐 건설 당시에, 다른 1대는 주암댐 건설 당시에 국내에서 제작되어 사용되기 시작한 것으로서, 주암댐 축조 시 사용된 시험기는 보령댐을 거쳐 용담댐, 대곡댐 건설에 사용되었고, 임하댐 축조 시 사용된 시험기는 남강댐을 거쳐 밀양댐, 탐진댐 건설에 사용되어 평립댐 수도 건설단에서 보유(2004년 12월 31일 현재) 중에 있다. 한편 대곡댐 건설단에서 관리 이전 받아 수자원연구원에서 보유 중인 대형 직접전단시험기(표 6 참조)는 2005년 계측 자동화 시스템 구축 후, 수탁 사업 및 시험 연구에 활용할 계획이다.



그림 3. 대형 직접 전단시험기 (한국수자원공사 수자원연구원)

3.4 대형 압축시험기 (대형 Oedometer)

본 시험기는 댐 축조재료로 사용되는 암석재 및 자갈재료에 대한 압축성 및 과쇄율 시험 등을 실시하기 위해서 도입되었으며, 다음과 같은 특징을 가진다.

- (1) 필댐의 주 축조재료로 사용되는 암석 및 자갈재료의 경우 일반 흙과 비교해 재료의 크기뿐 아니라 압축강도가 현저히 크므로 보다 정확한 압축성 및 과쇄율의 측정을 위해서는 일반 시험대상이 점토나 모래인 통상적인 Oedometer 시험기와는 달리 대형크기의 시료에 대하여 매우 큰 하중(대략 최대 200tf)을 재하할 수 있어야 한다.
- (2) 재하하중의 크기가 크므로 본 기기는 유압을 사용해야 하며 따라서 압밀시험기의 기능이외에 유압시험기의 기능을 갖추어야 한다.

본 대형 압축시험기의 주요 제원은 표 9와 같다.

표 9. 대형 압축 시험기의 주요 제원 (수자원공사)

항 목	제 원
기계 크기	2,750(L)×1,940(W)×3,580(H)mm
시료실 크기	- 대형 : 1,000(D)×600(H)mm - 중형 : 600(D)×600(H)mm
최대 시험공간	1,860mm
최대 하중	200ton
Hydraulic-servo actuator	최대 가압 하중 : ±200ton
	Stroke : 400mm
	사용 압력 : 210bar
사용 프로그램	SACT (ver. 2.0) : actuator 제어용
	SDS : 전단시험 용



그림 4. 대형 압축 시험기 (수자원공사 수자원연구원)

4. 결론

토목기술이 발전하고 대상 구조물의 크기도 대형화되는 경우가 증가함에 따라 대형 지반시험장비는 세계적으로 댐, 해안구조물, 대형 매립 공사, 흙-구조물 상호작용, 지진응답 등 대규모 시설의 안정 해석 및 설계에 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 국내외적으로 규모가 큰 지반 재료 및 지반 구조물의 특성 평가에 널리 사용되고 있는 대형 지반시험장비의 종류와 설치 현황을 조사하고, 수자원공사에 구축되어 있는 대형 지반시험장비 구축 현황 및 활용을 살펴보았다.

일반적으로 사용되고 있는 대형 지반시험장비로는 대형 원심모형시험기, 대형 삼축시험기, 대형 직접전단시험기, 대형 압밀(압축)시험기 등을 들 수 있으며, 현재 수자원공사에는 대형 삼축시험기, 대형 직접전단시험기, 대형 압밀(압축)시험기를 설치하여 운영하고 있으며, 대형 원심모형시험기는 2006년 설치 예정 중에 있다. 대형 지반시험기는 현재까지 자갈 및 석괴와 같이 비교적 크기가 큰 지반 재료의 역학적 거동 특성을 파악하는데 중요한 역할을 담당해 왔으며, 대형 원심모형시험기는 실제 응력 크기에 많이 의존하는 대형 지반 구조물의 거동을 실험실에서 비교적 정확히 평가하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 지반공학회(1997), 사면안정, **지반공학시리즈**, pp.215-243.
2. 이철주(2002), Geotechnical Centrifuge Technology 소개, **지반**, Vol.18, No.8, pp.31-37.
3. Imamura, S., Hagiwara, T., and Nomoto, T.(1998), Nishimatsu dynamic geotechnical centrifuge facility, **Centrifuge 98**, 1998 Balkema, pp.19-24.