

입경이 큰 조립재료의 강도정수 산정을 위한 국내 대형삼축압축시험 수행 사례

하익수*1, 신동훈*2, 정우성*3, 김우구*4

1. 서론

댐, 방파제 및 안벽 축조 등에 이용되는 사석재료, 철도용 발라스트 재료, 도로축조용 사석재료, 인공섬의 호안재료 등으로 사용되는 각종 자갈 및 쇄석 등은 지반공학에서 비점착성 지반재료로 분류된다. 비점착성 지반재료는 다시 모래질 재료(sandy soil)와 자갈질 재료(gravelly soil)로 구분할 수 있다. Terzaghi가 지반공학의 체계를 수립한 이후 점성토나 사질토에 대해서는 그동안 많은 연구자들과 지반공학 기술자들에 의한 실험과 현장관찰 등을 토대로 이론적, 기술적 발전이 있어 왔다. 그러나 입경이 0.075mm 이상이 주를 이루는 조립재료에 대해서는 전단강도 및 변형특성에 대한 연구가 상대적으로 미흡한 실정이다. 이는 점성토와 달리 비점성토는 불교란 시료의 채취가 어려워 실내시험을 수행하기 곤란하고, 댐 축조재료와 같이 입도분포가 4.75-1500mm로서 입경이 큰 조립재료의 경우에는 소형 시험기로는 시험자체가 불가능하기 때문이다 (Converse(1950)와 Hall(1950)의 연구결과에 따

르면, 실내시험시 공시체의 직경은 시료의 최대입경보다 최소 5배 이상은 되어야 한다). 그러나 최근 20여년간 세계 여러 나라에서 대형시험장비가 개발되고, 첨단 계측기술이 도입되며, 다양한 조건하의 지반의 거동특성에 대한 이론적 연구 등이 활발히 이루어지고 있어 입경이 큰 조립재료로 이루어진 지반구조물의 거동을 매우 정도 높게 예측/분석할 수 있게 되었다.

입경이 큰 조립재료에 대한 지반공학적 주요 화두는 크게 1) 조립재료 및 그 재료로 구성된 지반의 거동을 정밀하게 예측할 수 있는 응력-변형 거동에 대한 이론적 틀의 구축, 2) 원위치 시험을 통한 지반의 역학적 특성 조사 및 분석, 3) 불교란 시료의 채취 및 시험, 4) 실내시험 장비 및 기술의 개발 등이다. 이들은 서로 유기적으로 밀접하게 연관을 맺고 있으며, 컴퓨터의 발달과 전자계측기술의 눈부신 발달에 크게 의존하고 있다고 할 수 있다.

한편, 실내시험장비와 관련하여, 1930년대 중반 이후 세계 각처의 대학교와 연구소에서는 시료의 직경이 20~150cm의 대형삼축압축시험기를 개발하여, 석괴(Rockfill), 자갈, 모래 등 조립자 건설재료의 전단강도와 변형특성 연구에 크게 기여하고 있다. 그리고 이로부터 세계 각처에서 조립재료를 이용하는 대형 지반구조물을 설계할 때, 대형삼축압축

*1 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 (geodoc@kowaco.or.kr)

*2 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원

*3 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원

*4 한국수자원공사 수자원연구원 원장

시험을 수행하고 그 결과를 이용하여 안정하고 경제적인 구조물 설계에 적용하고 있다.

대형 삼축압축 시험방법은 소형 삼축압축 시험방법과 원리상으로 동일하다. 다만, 시료의 입경이 크고, 시료의 양이 많아 시료 준비와 운반시 인력이 아니라 크레인이나 지게차와 같은 기계장비를 사용하여야 하고, 전단시 상대적으로 매우 큰 하중재하 능력이 필요하여 별도의 압력발생장치와 제어장치가 필요하다는 등의 차이점이 있다. 특히, 높은 사력덤에 이용되는 사력재료의 전단강도 및 변형특성을 조사할 때, 덤 높이가 200~300m이면 수직압이 5~7MPa, 축압이 3~4MPa이나 되므로, 아주 높은 압력을 가할 수 있는 압력제어시설과 전체시험기를 보호할 수 있는 아주 단단한 강철커버와 같은 특별 장치가 필요하다.

국내에서는 이러한 대형삼축시험기가 소형삼축시험기에 비해 특별히 갖추어야 할 장치 구축비용이 크며 사용자 사용목적에 따라 주문식 제작이 뒤따라야 하나 제작기술의 부족으로 인해 그 구축이 해외에 비해 뒤처졌다. 또한, 입경이 큰 조립재료를 필요로 하는 구조물에 사용되는 설계정수의 경우, 대형삼축 시험을 이용하여 정하는 것이 가장 합리적이거나(덤 설계기준, 2003; 항만 및 어항설계기준, 1999) 그동안 시험기의 부재로 인해 대부분 조립재의 강도정수값을 문헌에 제시된 값을 설계에 이용하고 있다. 실제로 입경이 큰 조립재의 경우, 암석원 뿐만 아니라 현장적용 여건에 따라서는 다양한 강도특성을 보이므로 안전하고 경제적인 설계를 위해서라도 대형삼축압축시험을 반드시 수행하여 강도정수를 산출하는 것이 타당하다. 다행히 국내에서도 늦게나마 2001년에 대형삼축압축시험기가 구축되어 현재까지 여러 분야에 활용 중에 있다.

본 고에서는 대형삼축시험기에 대한 개략적 소개

와 그간 5년 동안의 국내활용 사례에 대해 간략히 기술하고 국내에서 수행된 시험결과로부터 도출된 입경이 큰 조립재료의 강도정수 산정 사례를 소개하고자 한다.

2. 대형삼축압축시험기 개요

2.1 대형삼축압축시험기의 역사

기록상 세계 최초의 대형삼축시험기는 세계 2차 대전 중이던 1936년 독일의 베를린 프러시아 수공 연구소에서 덤재료에 대한 연구를 하기 위하여 개발한 것으로서 직경 30cm, 높이 90cm의 공시체를 사용할 수 있는 시험장치였다. 그 후 세계 2차 대전으로 잠시 연구활동이 중단되기도 하였으나 종전 후에는 전쟁복구 작업과 함께 불량한 건설재료의 활용방안에 대한 연구가 이어져서 그 재료에 대한 전단 및 변형특성 연구가 수행되었다.

다름슈타트 공과대학의 Breth(1953)와 아헨 공과대학의 Schultze(1957)는 공시체의 직경이 50cm인 대형삼축시험기를 개발하였으며, 칼스루헤 공과대학의 Leussink(1969)는 그림 1과 같은 직경 100cm, 높이 200cm의 공시체를 사용할 수 있는 초대형 삼축압축시험기를 개발하였다.

미국에서는 Princeton대학의 Tschebotarioff (1956)가 직경 20cm인 공시체를 사용할 수 있는 대형삼축시험기를 설치한 바 있으며, 1960년대에는 캘리포니아 대학교, 미공병단 및 미개척국의 시험소 등이 직경 23cm~90cm의 공시체를 시험할 수 있는 시험장치를 개발하였다.

이밖에도 이탈리아(그림 2), 일본, 영국, 인도 및 호주 등의 국가에서도 1960년대~1970년대에 걸쳐

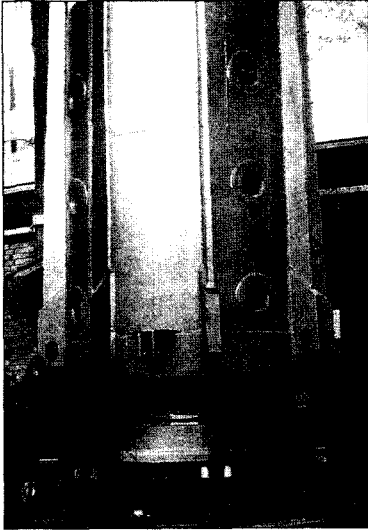


그림 1. 칼스루헤 공대의 대형삼축시험기 (1969년, 공시체 직경 100cm, 높이 200cm)

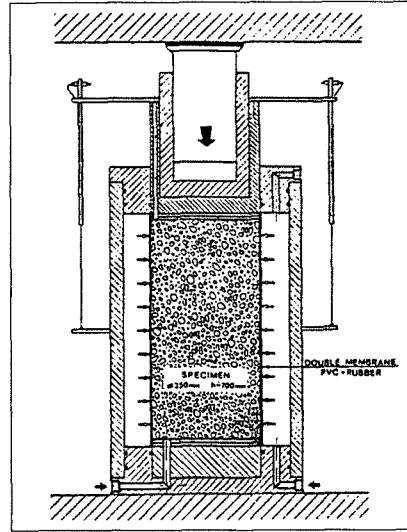


그림 2. 이탈리아 ISMES연구소의 대형삼축시험기 (공시체 직경 35cm, 높이 70cm)

공시체의 직경이 30~150cm, 높이가 240cm에 이르는 대형삼축시험기를 개발하여 사용해오고 있다.

2.2 대형삼축압축시험기 보유 현황

1970년대부터 세계 각국의 대학교와 연구소에서 시료 직경이 20~150cm인 대형삼축시험기를 사용하여 큰 입경의 조립재료의 전단강도와 응력-변형특성에 대한 연구를 본격적으로 시작하였다. 표 1은 세계 각국에서 개발되어 사용 중인 대형삼축시험기 현황을 나타낸 것이다. 국내에서는 주요 연구소 및 대학 중 수자원연구원만이 유일하게 대형삼축압축시험기를 보유하고 있다.

2.3 국내 대형삼축압축시험기

2.3.1 한국수자원공사 수자원연구원의 대형진동삼축시험기

현재 국내 보유하고 있는 대형삼축시험기(수자원연구원 소재)는 직경 300mm, 높이 620mm의 원주형 공시체를 사용하며, 모래, 자갈 및 Rockfill 재료 등의 조립재료에 대한 강도정수 산정은 물론 하중 또는 변위의 반복재하를 통한 전단탄성계수와 감쇠정수와 같은 동적물성치 산정과 액상화평가 등이 가능한 대형진동삼축시험기(Large Cyclic Triaxial Testing Apparatus, 이하 LCTTA)이다.

LCTTA의 주요 제원은 표 2와 같다. 시험기 그림은 그림 3과 같다. 다짐시험 및 공시체 제작은 대형자동다짐장치(그림 4 참조)를 사용한다.

2.3.2 대형삼축시험을 위한 추가적 시험기 구성

소형삼축시험과 달리 대형삼축시험은 공시체의 무게가 훨씬 커 인력만으로는 시료의 이동 및 거치가 불가능하다. 따라서, 시험시료의 이동성과 이동시 시료교란을 방지하기 위한 특수한 이동장치와 시험기에 거치하기 위한 특수한 장치가 필수적이다.

표 1. 각국의 주요 연구소 및 대학의 대형삼축시험기 보유 현황

번호	대학 또는 시험소	국가	시료 직경(cm)	문헌
1	프린스턴대학	미국	20	Tscebotarioff (1956)
2	미공병단 시험소 (Georgia주)	"	38	Leps (1970), Abraham (1970)
3	미공병단 시험소 (California주)	"	30	Leps (1970)
4	미공병단 시험소 (Oregon주)	"	30	Leps (1970)
5	Geo testing사 (California주)	"	30	Leps (1970)
6	Soil Mech. & F. Eng. 사 (California주)	"	30	Leps (1970)
7	USBR시험소 (Colorado주)	"	23	Leps (1970)
8	캘리포니아 대학(UCB)	"	30~90	Marachi et al. (1969), Leps (1970)
9	Wahler Associatee (California주)	"	15	WA (1982)
10	캐나다 수력국 (British Columbia주)	캐나다	15	Insley/Hills (1965)
11	멕시코 전력회사(CFE)	멕시코	113	Marsal (1965, 1967)
12	AIT	태국	30	이명취(1987)
13	칼스루헤 공대	독일	20~100	Leussink & Brauns (1969) Brauns & Kast (1985)
14	다름슈타트 공대	"	25~50	Breth (1963)
15	윈헨 공대	"	30	Jelinek (1964)
16	아헨 공대	"	50	Schultze (1957)
17	베를린 프러시아 수공연구소	"	30	Collorio (1936)
18	슈투트가르트 공대	"	80	Wichter (1989)
19	런던 왕립 공대	영국	30	Tomb (1969), Charles (1973)
20	ELE 사	"	23	Charles & Watt (1980)
21	건설연구소	"	23	Charles & Watt (1980)
22	ISMES 연구소	이탈리아	35~130	Fumaglli (1969), Frassoni et al. (1982)
23	나폴리 대학교	"	35	Flora et al.(1997)
24	쭈리히 공대	스위스	15	Lang & Studer (1979)
25	Kansai 공대	일본	30~100	Nose (1969)
26	Kajima 건설 시험연구소	"	30	
27	Fujita시험연구소	"	120 및 100	Hukujima(2000)
28	Tokyu건설 시험연구소	"	30	Okamoto(2000)
29	건축연구소(BRI)	"	150(높이 300)	
30	SMEC 시험소	호주	57	Thomas (1976)
31	국립 도로국	스웨덴	50	Lekarp(1997)
32	NGI시험소	노르웨이	30	
33	뉴 델리 중앙토질재료연구소	인도	38	Sharma et al.(1994)
34	한국수자원공사 수자원연구원	한국	30	신동훈 외(2000)



표 2. 수자원연구원 대형삼축압축시험기 주요 제원

		주요 제원
적용시험		정적시험(UU, CU, C \bar{U} , CD) 동적시험 (반복재하시험, 액상화평가시험)
공시체의 크기 및 형상		직경 ϕ 300mm×h620mm, ϕ 200mm×h400mm, 원주형
사용시료의 최대입경		63.5mm
사용 멤브레인		Latex제 1.0mm 또는 2.0mm
동적시험	타 입	전기유압서보방식
	용 량	500 kN
	사용주파수	0.01~100 Hz
	사 용 파 형	Sine파, 삼각파, 구형파
	제 어 방 식	응력제어법 변위제어법
	계 측 방 식	전체변위 : LVDT 국부변위 : LVDTs, LDTs, Proximeters 압력 : 간극수압계 체적변화 : 이중관뷰렛, 차압계
정적시험	타 입	전기유압서보 방식
	용 량	700 kN
	변 위 속 도	0.01~60 mm/min.
구속압	형 식	공압제어 수압변환방식
	용 량	2MPa
공시체 제작법		대형자동다짐기 사용

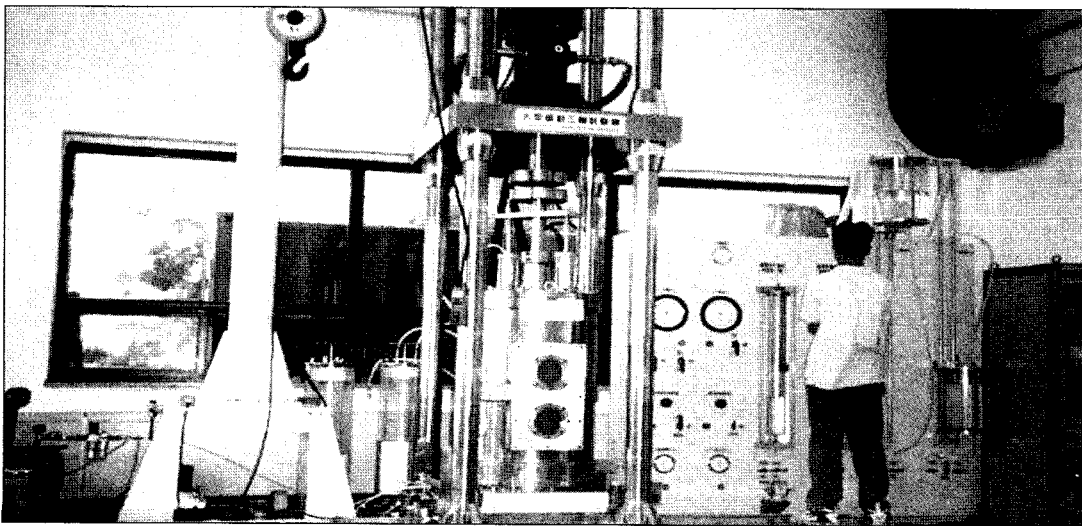


그림 3. 대형진동삼축시험기 전경(한국수자원공사 수자원연구원)

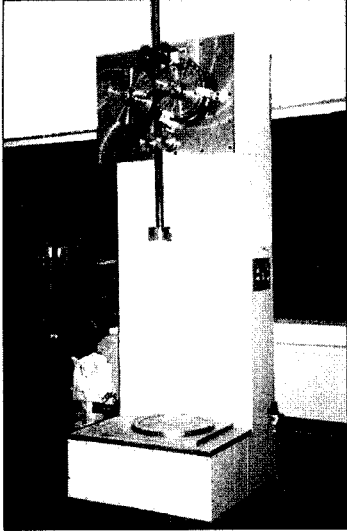


그림 4. 대형 자동다짐장치

어느 정도 옮겨진 공시체를 시험기 근접거리에서 인력에 의해 이동할 수 있도록 이동대차(그림 5와 그림 6 참조)와 같은 구조가 구축되어야 한다. 이동대차는 공시체가 놓여지는 페데스탈의 하부구조로서 바퀴가 달려 있어 밑받침대 위의 레일을 따라서 이동할 수 있다.

시료의 이동성과 교란성 최소화를 위한 또 다른 장치로 턴테이블을 들 수 있다(그림 5와 그림 6 참조). 턴테이블은 이동대차를 시험위치로 이동할 때 방향을 전환하는데 사용된다. 인력에 의한 시료 회전을 용이하게 하기 위해 모터에 의해 구동되어야 한다. 또한, 육중한 압력 챔버를 다루기 위한 크레인 설치(그림 참조)는 시험 진행을 더욱 용이하게 할 수 있다.

압밀 및 전단시 상당한 고압과 하중이 필요하므로 이에 상응하는 시험장치 보완이 필요하다. 예로써, 높은 사력담에 이용되는 사력재료의 전단강도 및 변형특성을 평가할 때, 댐 높이가 200~300m이면 수직압이 5~7MPa이나 되며, 측압이 3~4MPa이나 되므로, 고압을 가할 수 있는 제압시설과 전체시험기를 보호할 수 있는 이주 단단한 강철커버와 같은 특별 장치가 필요하다. 시료가 측압을 받게 되는 내압원통(pressure chamber)은 완전한 밀실 상태로 고강도 스테인레스강 등으로 구축압 및 동적하중 작용시에도 삼축실 자체가 변형되어 시험결과에 악영향을 미치지 않도록 제작되어 있다. 또한, 삼축실 상

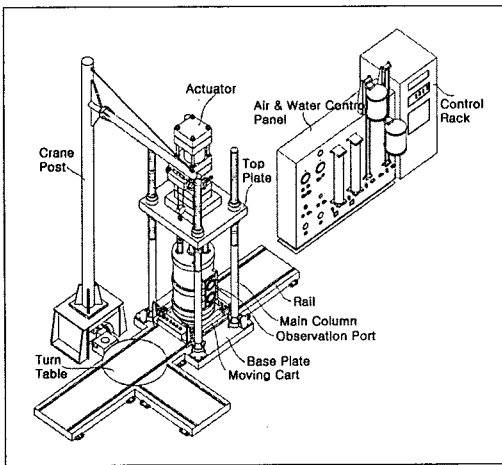


그림 5. 국내 보유 대형삼축압축시험기 조감도

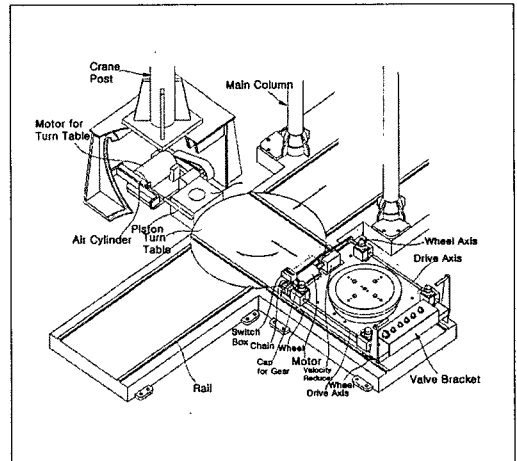


그림 6. 이동대차와 턴테이블

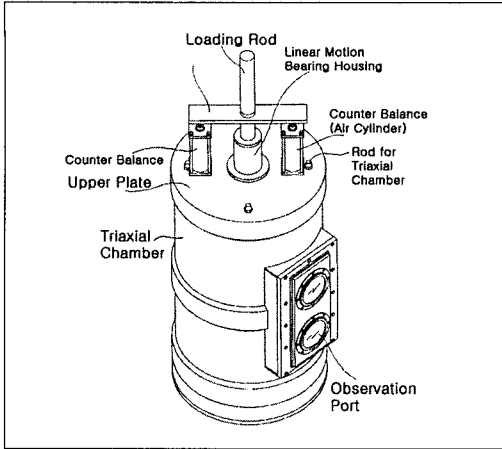


그림 7. 삼축실의 구조

반에는 재하봉과 재하캡의 하중을 보정하기 위한 카운터 밸런스(counter-balance)가 장착되어 있다 (그림 7 참조).

3. 국내 대형삼축압축시험기 활용 사례

3.1 대형삼축압축시험의 국내 적용

국내 대형삼축압축시험기를 이용하여 2001년 이후 현재까지 댐 축조재료와 관련한 6개 현장, 도로

표 3. 국내 대형삼축압축시험기 적용 사례

년도	시험명	모암	공동연구기관
2001	사석재료에 대한 대형삼축시험	-	(주)○○지질
	지하철 911공구 대형삼축압축시험	-	(주)○○엔지니어링
	지하철 912공구 대형삼축압축시험	-	(주)○○엔지니어링
	D댐 본댐 축조재료에 대한 대형삼축시험	화강암, 혈암, 사암 혼재	○○토건(주)
2002	○○3단계 준설토 투기장 토석재 대형삼축압축시험	-	(주)○○엔지니어링
	용두-금가간 국도건설공사 사석재료에 대한 대형삼축시험	-	○○○컨설턴트(주)
	○○항 컨테이너 터미널 축조공사 사석재료에 대한 대형삼축압축시험	-	(주)○○건설
	석산골재에 대한 대형삼축시험	장석반암	(주)○○지오텍
	서울 지하철 ○○○공구 토질재료에 대한 대형삼축시험	-	(주)○○○텍
	충적층 사력재료에 대한 대형삼축시험 (CU시험)	-	HS대학교
2003	사석재료에 대한 대형삼축시험	현무암	(주)○○지질
	붕적층 사력재료의 대형삼축시험	-	(주)○○건설기술공사
	보강토 옹벽 뒷채움재료의 전단강도 특성	-	(주)○○이엔씨
	P댐2단계 본댐 축조 재료에 대한 대형삼축시험	화강편마암	(주)○○산업
	K 본댐 및 코퍼댐 축조재료의 전단강도 및 투수특성	-	(주)○○건설
	S댐 보조여수로 공사 관련 Rockfill재료에 대한 대형삼축시험	석영질 편암	(주)○○건설기술공사
2004	Rock재료의 대형삼축시험	-	(주)○○스캔
	대형삼축시험에 의한 댐 축조재료의 역학적 특성	-	(주)○○이엔씨
	○○신항 남방파제 축조공사(2공구) 사용재료 특성조사	각섬석 화강암	(주)○○○컨설턴트
	○○신항 남방파제 축조공사(1공구) 사용재료 특성조사	안산암	(주)○○건설
2005	K댐 축조재료의 역학적 특성	-	(주)○○건설
	광산폐기물 사석재의 강도특성	-	CA대학교
	구미산업단지 압성토용 사석재의 강도특성	퇴적암(사암, 역암)	○○산업주식회사

및 일반 성토사석재와 관련한 8개 현장, 항만구조물 사석재료와 관련한 4개 현장, 지하철공사 사력재 3개 현장, 광산폐기물관련 조립재료 1개 현장, 총 22개 현장의 29개 조립재료에 대한 대형삼축압축시험이 수행된 바 있다. 한편, 국내에는 아직 대형삼축시험방법에 대한 기준이 없는 실정이어서, 미국의 ASTM기준과 일본 지반공학회(JGS)의 기준을 준용하여 수행되었으며, 이에 대하여 한국지반공학회를 중심으로 조속히 시험방법에 대한 기준이 만들어져야 할 것으로 사료된다. 표 3은 현재까지의 적

용 사례를 정리한 것이다.

3.2 조립재료의 역학적 특성 분석 사례

3.2.1 응력-변형을 관계

소형삼축시험과 마찬가지로 조립재료의 강도정수 뿐만 아니라 각종 구성모델의 Model Parameters 산정에 유용한 조립재의 응력-변형을 관계를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 그림 8과 9는 H댐 축조에 사용된 모래자갈 재료와 쇠석재료에 대한 압밀배수

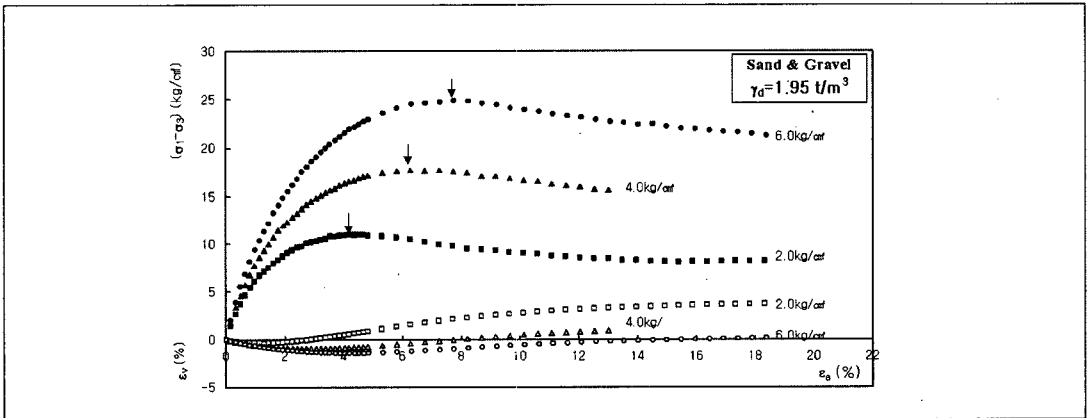


그림 8. Sand & Gravel 재료의 응력-변형을 관계에

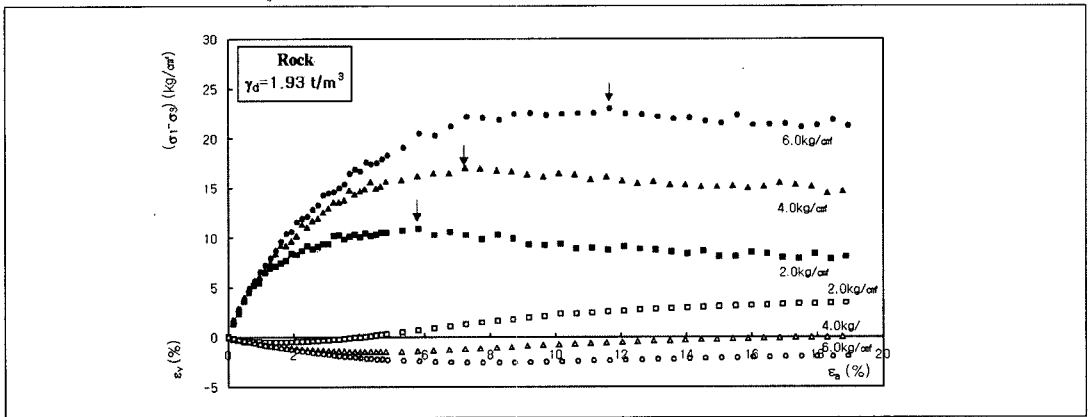


그림 9. Rock 재료의 응력-변형을 관계에



삼축시험 결과를 나타낸 것으로서, 축변형을-축차응력-체적변형을 관계로부터 이들 재료의 체적변화거동 및 응력연화거동, 구속압 의존성 등을 파악할 수 있다. 또한, 이들 응력-변형을 관계도를 통하여 모래 자갈 또는 쇄석재료의 경우 일반 점성토재료나 모래질 재료 보다 침투시 축차응력의 수준이 매우 큰 것을 알 수 있으며, 입자의 형상에 따른 전단거동 특성도 평가해볼 수 있음을 알 수 있다.

파괴포락선, 강도정수(점착력과 내부마찰각) 산정 결과를 나타낸 것으로서, 대부분의 성형된 시료에 대한 삼축압축시험결과와 마찬가지로 조립재료에 대한 대형삼축시험으로부터 구한 Mohr원과 Mohr-Coulomb의 파괴포락선은 거의 분산이 없는 매우 교과서적인 경향을 보이고 있다. 그러나 입도가 균등입도 또는 결손입도 등으로 불량하거나 4.75mm 이하의 세립분이 과다한 경우 등에는 성형시료일지라고 다소의 편차를 나타내는 경향이 있는 것으로 나타났다.

3.2.2 강도정수

그림 10과 11은 H댐 축조재료에 대한 Mohr원과

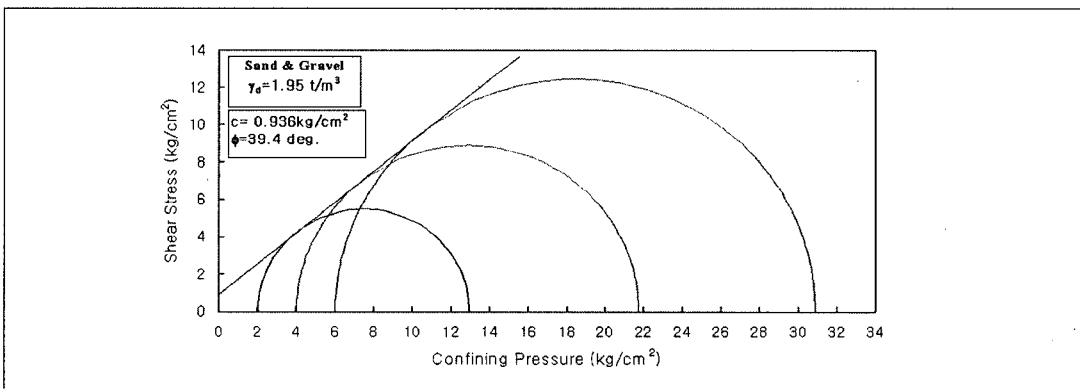


그림 10. H댐 Sand & Gravel 재료의 Mohr원 및 파괴포락선

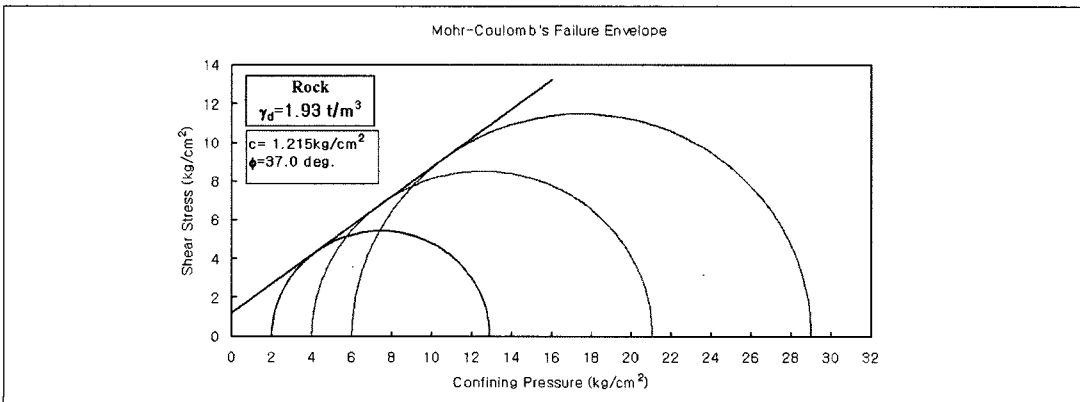
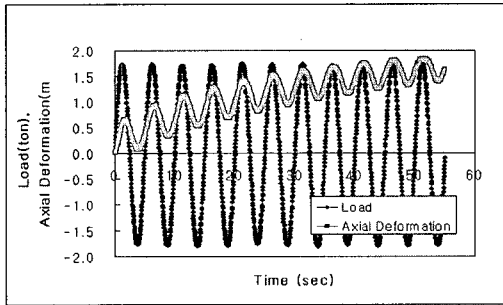


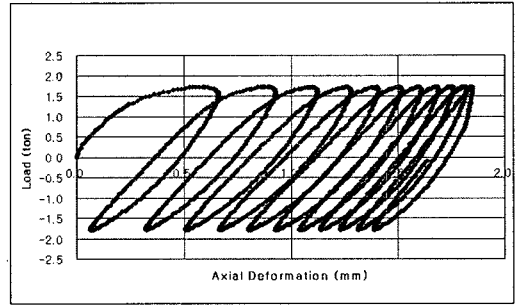
그림 11. H댐 Rock 재료의 Mohr원 및 파괴포락선

표 4. 폐광석 사석재료의 Hyperbolic Model Parameter 산정결과 예

Parameter	ϕ_0	$\Delta\phi$	K	n	R_f	K_b	m	비고
값	36.0	4.5	63.62	0.65	0.66	22.0	0.36	



(a) 시간-하중, 시간-축변형률 이력곡선



(b) 축변형률-하중 이력곡선

그림 12. 대형삼축시험기를 이용한 반복재하시험에 의한 이력곡선 예

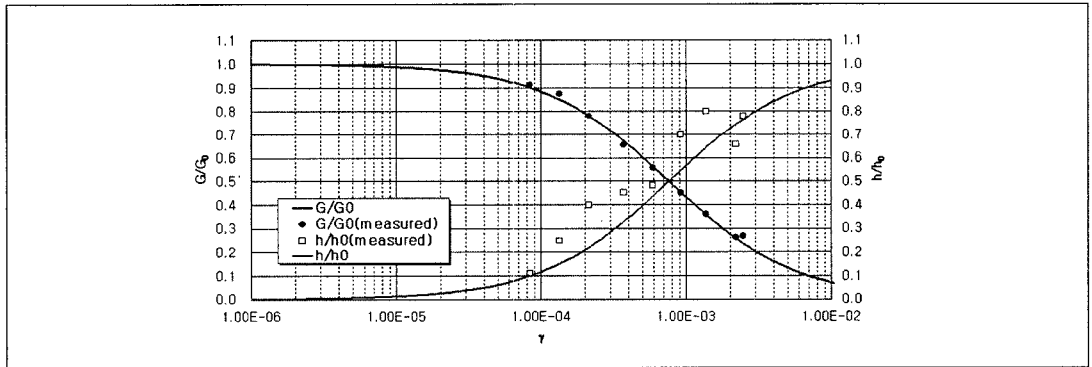


그림 13. H법 Sand & Gravel 재료 정규화 전단변형률-전단탄성계수-감쇠정수 관계 예

3.2.3 Hyperbolic Model Parameter 산정

Hyperbolic Model은 비선형탄성 응력-변형거동 모델로써 규모가 큰 지반구조물에 사용되는 토질 및 사석 재료의 응력-변형거동을 비교적 잘 묘사하는 것으로 알려져 있고, 삼축시험결과를 사용하여 해석에 필요한 파라메타를 비교적 용이하게 구할 수 있어 사석 재료의 거동분석에 널리 활용되고 있다.

앞서 설명한 재료의 응력-변형 특성 곡선 등으로부터 모델 입력변수로 사용되어지는 상수값들을 산

정할 수 있다. 표 4는 폐광석 사석재료의 Hyperbolic Model Parameter를 산정한 결과를 예시하는 것이다.

3.2.4 동적물성치 산정

그림 12는 하중제어에 의한 반복재하시험 결과의 예를 나타낸 것으로서 각 재하 단계별로 전단변형을 편진폭응력 이력곡선의 기울기(전단탄성계수)와 에너지 소산정도에 따른 감쇠정수를 여러 문헌들에



서 제안식들을 이용하여 산정할 수 있다.

그림 13은 반복재하시험에 의해 도출된 전단변형률(γ)과 정규화 전단탄성계수, 전단변형률(γ)과 정규화 감쇠정수(h)의 관계를 예로써 나타낸 것이다. 그림에서 실선은 Hardin-Drnevich 모델로 표현한 것으로서 대체적으로 실측치와 유사한 경향을 나타내고 있다. 이와 같이 실측치에 근사화 될 수 있는 모델을 선택하여 최대전단탄성계수 추정도 가능하다.

3.3 대형삼축압축시험을 통한 국내 조립재료의 전단강도

수자원연구원에서는 2001년 이후 현재까지 댐 축조재료와 관련한 6개 현장, 도로 및 일반 성토사석재와 관련한 8개 현장, 항만구조물 사석재료와 관련한 4개 현장, 지하철공사 사력재 3개 현장, 광산 폐기물관련 조립재료 1개 현장, 총 22개 현장의 29개 조립재료에 대한 대형삼축압축시험을 수행한 바 있다. 본 기사에서는 이러한 다양한 현장에서 다양한 조립재료에 대해 수행된 대형삼축압축시험 결과로 도출된 내부마찰각과 점착력(겉보기점착력)을 정리해보았고 두 정수간의 상관성을 살펴보았다.

조립재료의 마찰각은 모암종류, 구속압조건, 입도 특성 등 여러 현장조건에 대해 다양한 값을 가지는 것으로 나타났다. 산정된 마찰각의 범위는 $34.1^\circ \sim 45.6^\circ$ 로 나타났다. 산정된 마찰각들의 분포특성을 살펴본 결과 90%이상의 신뢰도로 평균 39° , 표준편차는 2.35° 의 정규분포를 이루는 것으로 나타났다(그림 14 참조).

조립재료의 겉보기점착력도 마찰각과 마찬가지로 모암종류 및 여러 현장조건에 대해 다양한 값을 가지는 것으로 나타났다. 산정된 점착력의 범위는

$0.10 \sim 1.62 \text{ kg/cm}^2$ 로 나타났다. 산정된 점착력들의 분포특성을 살펴본 결과 90%이상의 신뢰도로 평균은 0.67 kg/cm^2 , 표준편차는 0.34 kg/cm^2 의 정규분포를 이루는 것으로 나타났다(그림 15 참조). 또한, 산정된 점착력의 편차는 마찰각에 비해 훨씬

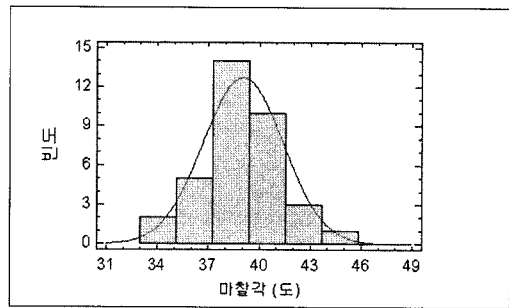


그림 14. 국내 조립재료의 마찰각 분포 특성

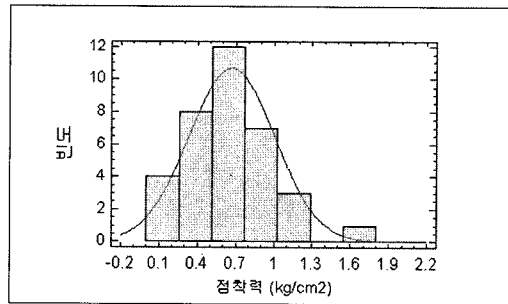


그림 15. 국내 조립재료의 겉보기점착력 분포 특성

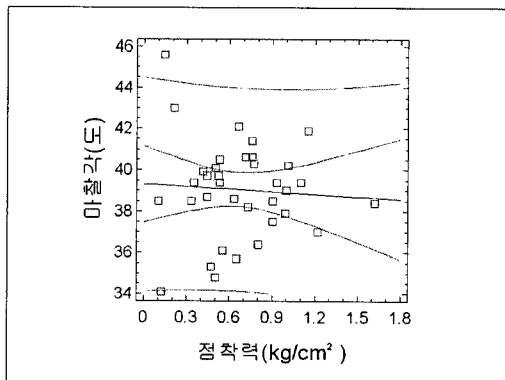


그림 16. 마찰각과 점착력 상관성

켰다.

일반적으로 마찰각과 점착력의 관계는 마찰각이 크면 점착력이 작고, 마찰각이 작으면 점착력은 큰 경향을 보일 것으로 예상된다. 그러나, 본 시험결과로부터 두 강도정수간의 상관성을 평가해 본 결과, 상관계수는 -0.058로써 상관성은 거의 없는 것으로 나타났다(그림 16 참조).

이상의 결과에서처럼 조립재료들은 모암종류와 현장 적용 조건에 따라 다양한 강도정수값을 가지는 것을 볼 수 있다. 따라서, 예로써 현재 사석재료의 강도정수를 모암의 일축압축강도에 따라 일률적인 값을 적용하는 것은 무리가 따르며, 결과적으로 현장여건에 따라 대형삼축시험을 통해 강도정수를 산출하는 것이 합리적인 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 고에서는 입경이 큰 조립재료의 강도 및 변형 특성 파악을 위해 사용되고 있는 대형 삼축압축시험기를 소개하였고 아울러 국내에서 보유하고 있는 삼축압축시험기에 대한 소개를 덧붙였다. 국내에서는 입경이 큰 조립재료를 필요로 하는 구조물에 사용되는 강도정수의 경우, 대부분 모암의 일축압축강도로부터 문헌에 제시된 강도정수값을 일률적으로 설계에 이용하고 있으나 이에 대한 국내의 어떠한 검증

도 이루어지지 않고 있는 실정이다. 최근에야 도입된 국내 대형삼축압축시험 결과로부터 살펴본 조립재료의 강도정수는 모암의 종류와 현장 적용 요건에 따라 다양한 값을 가지는 것으로 나타나 현장여건에 적합토록 시험조건이 구비된 대형삼축압축시험을 통한 조립재료의 강도특성 파악이 보다 합리적인 방법임을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

1. 최형식(1994), "안전한 사력댐의 최근설계경향(2)", 대한토목학회지, 제42권, 제2호, pp.55~69.
2. 최형식(1999), "대형3축압축시험의 최근 동향",土木, 제47권, 제1호, pp.48~58.
3. 한국수자원공사(2001), 대형삼축시험기를 이용한 댐재료의 전단강도특성 연구, 한국수자원공사 연구보고서.
4. 해양수산부(1999), 항만 및 여항 설계기준.
5. Hall, E.B.(1950), "A triaxial apparatus for testing large soil specimens", ASTM STP NO.1, pp.233-236.
6. Converse, F.J.(1950), Discussion on Hall's paper.
7. 일본 토질공학회(1982), 록필재료의 시험과 설계강도.