

# 2000 지반조사기술

김동수<sup>1</sup>, 신희순<sup>2</sup>, 이강운<sup>3</sup>, 장찬수<sup>4</sup>, 정충기<sup>5</sup>, 채영수<sup>6</sup>

## 1. 서론

새천년을 맞이한 지금 사회 모든 분야에서 시간적 변환을 도약의 발판으로 삼으려는 많은 노력들이 기울여지고 있다. 특히 지난 시간에 대하여 회고하고 다가오는 시간에 대하여 전망한다는 것은 시대를 앞서가는 선도자의 역할을 원하는 사람들에게는 매우 중요하다. 우리나라 지반조사기술 분야에서도 이에 발맞추어 지난 시절을 회고, 반추하고, 새천년 기술을 전망, 진단하고자 한다.

지반조사기술은 지반공학의 핵심분야로서 모든 지반구조물의 설계 및 해석에 필요한 지반정보 제공을 담당하고 있다. 따라서 지반공학의 초창기에서부터 지금까지 모든 지반공학자들의 관심 속에 꾸준히 발전을 하여왔지만 아직도 자연상태 지반의 불균질성과 그 구성의 불규칙성으로 인하여 타지반공학 분야에 비하여 개척의 여지가 가장 많이 남아 있는 영역이라고 할 수 있다. 따라서 앞으로 지반공학 분야의 발전은 지반조사 기술의 발전과 이를 바탕으로 한 정확한 지반정보의 제공에 달려있다고 해도 과언이 아니다.

본 고에서는 우선 지난 세기동안 이루어졌던 한국지반조사 기술의 변천사를 시대별로 조명하여 보고, 현재 지반조사 기술의 현황과 문제점을 진단한 후, 향후 지반조사 기술이 어떻게 나아갈 지를 전망하는 순서로 기술하였다. 특히 현재와 미래 기술에

관련해서는 지반조사 일반 및 현장시험, 토질실내시험 그리고 암실내시험으로 구분하였다. 본 고에서 특히 중점을 둔 점은 관련 기술의 국제적 동향이며, 이를 토대로 새천년 기술을 전망하였다.

## 2. 한국지반조사 기술의 발전 및 변천사<sup>1)</sup>

1890년대 일제의 압력으로 시작하여 1945년까지의 우리나라 근대 토목사업의 효시라고 할 수 있는 철도사업을 위주로 당시 작은 규모의 저수지, 댐, 방조제 및 도로 교량의 공사가 수행되었으므로 어떤 형태로든 기초 암반의 확인을 위한 시추업무가 있었다는 것을 충분히 짐작할 수 있다. 해방이전 조선식량 연단(현, 농어촌 진흥공사)에서 시추업무를 수행한 분들의 이름이 구전되어 있으므로 이때에도 시추를 수행하였다는 사실은 분명하나 어떤 방법으로 시추를 하였는지는 구체적으로 알려져 있지 않다. 어쨌든 일제시대 건설되었던 철도, 항만, 건물, 교량, 하천 및 저수지 제방, 도로에 관련한 지반조사 내용에 관해서는 밝혀져 있지 않으나 노선에 따른 지형조사 범위 정도이고, 특별한 기술은 찾아볼 수 없다.

1945년 8월 15일 광복을 맞이하고 3년간 군정을 겪은 후, 1948년에 드디어 대한민국이 수립됨으로써 일제에 의해 주도되었던 토목기술은 비로소 우

<sup>1</sup> 정희원, 한국과학기술원 토목공학과 교수  
<sup>2</sup> 정희원, 한국자원연구소 책임연구원  
<sup>3</sup> 정희원, 동성엔지니어링 지반공학부 상무  
<sup>4</sup> 정희원, 천일지오컨설팅 대표이사  
<sup>5</sup> 정희원, 서울대학교 공과대학 지구환경시스템 공학부 부교수  
<sup>6</sup> 정희원, 수원대학교 공과대학 토목공학과 교수

<sup>1)</sup> 본 고는 1994년도 우리학회 창립 10주년 기념 발간물인 "한국지반공학 발자취" 책자 중 한국지반공학 관련 여러 원로 분들이 집필하신 제 1장의 한국지반기술사와 제 2장 지반 기술의 회고 내용 중 주로 지반조사와 관련한 내용을 발췌하여 연도순으로 정리한 것인데, 지면의 제한과 발췌점의 미숙 등으로 인해 책자 내용중 일부 누락되거나 오류가 있을 가능성에 대해 먼저 양해 말씀을 드리며 회원여러분들의 이해를 부탁드립니다

리 손에 넘어 오게 됨에 따라 내무부에 토목시험소(현, 국립건설시험소)의 기구가 창설되고 그 산하에 토질시험계가 조직되면서 지반조사가 처음으로 실시되었다. 그 당시 지반조사기구로서는 일제말 광산에서 사용하던 도내(利根)식 보오링기를 시험 장비로 활용하였다.

실내토질시험을 위한 시험기구는 1950년대 초 미국의 원조에 의해 처음으로 도입되었다. 그 후, 한일 관계 정상화에 의한 대일 청구권 자금으로 시험기구가 관과 대학에 대량으로 도입되었다. 그 당시의 토질시험은 직접단단시험과 압밀시험이 주가 되었다. 삼축압축시험은 지금과 같은 간극수압을 측정할 수 있을 만큼 정교한 것이 아니었다(김상규).

1950년대에 들어와서 wash boring에 의해 시추조사가 수행되었으며 1953년에 문경시멘트 공장 석회석 매장량 조사시 diamond bit가 처음으로 사용되었다. 1957년에 육군공병학교에서는 기초적인 토질시험실(강도시험기, 체분석, 함수비, 액성한계, 다짐, CBR)을 갖추고 토양공학이라는 과목으로 토질에 관한 이론과 토질시험교육을 시작하였다.

1958년도에는 흙의 통일분류법을 이용한 공학적 성질에 대한 소개가 있었으며, 1959년 3월경 당시 수리조합 연합회 기획부에 시험계를 두고 시험사업에 착수하였고, 이 해에 흙의 삼축압축시험법의 소개와 결과처리에 대해 접하였다.(김주범)

같은 1959년도에 인천항 oil tank line을 위한 기초조사시 당시의 발주처이었던 미국극동 공병단(Far East District Engineering Corps.)의 발주 시방에 따라 3인치 내경의 낫쇠튜브에 의한 불교란 시료채취, 표준관입시험, 배인시험 등이 시행되었으며 채취된 시료에 대한 역학시험이 극동공병단에 마련된 토질시험실에서 수행되었다.(김상규)

1950년대 후반에 건설된 목포항 안벽축조 및 물양장 공사는 토질에 관한 정량화 계산없이 진행되어 쓸모없는 구조물이 되어 버려, 당시 미국에서 토질공학 전공을 한 채용석교수(현 Rutgers 대학)에 의해 내부마찰각  $\phi = 0$ 로 고려하지 않은 설계의 원

인의 의견을 듣기도 하였다.

대학에 독립적인 토질시험실이 설치된 것은 서울 대학교에 정인준 교수가 1956년에 부임하면서부터이다. ICA원조에 의하여 1957년도부터 1년간 다녀온 Minnesota대학에서의 연수 및 연구 경험을 바탕으로 토질시험법의 이론을 국내의 후학들에게 전파시키면서 차관 등을 통하여 기본적인 토질실내 시험시설을 갖추기 시작하였다.

1959년도 UNKRA의 원조가 있어 전남대에 공기압식 일축압축시험기와 액성한계 시험기가 도입되어 당시 임병조 교수의 지도 아래 박병기 교수(당시 조교)가 시험을 수행하였다.

또한 전라도에서 흔히 볼 수 있는 도로용 황토에 대해 관심을 갖고 당시 다짐시험을 주류로 하는 시험기를 제작하였다.(박병기)

1961년 5. 16 혁명 이후 백낙신, 윤동진씨에 의해 토목구조물 축조를 위한 지반조사를 전문으로 하는 극동지질(주) 용역회사를 처음으로 창설되었다. 이 무렵 지질업계는 보오링에 대한 경험이 있는 회사는 강영호씨가 운영하고 있는 영풍공업사, 우신원, 이봉구씨가 운영하고 있던 한국개발뿐이었고, 시추 기술은 일제시대 driller 경험이 있는 단순기능자들 뿐이었고 이들은 어떻게 지반에 구멍을 뚫어서 지층파악에 도움을 주어야 되는지도 모른 상황이었다. 광산개발을 위한 지질조사는 지질학을 전공한 기술자에 의해 오래 전부터 수행되었으나, 토목사업의 폭주로 지반조사에 참여하게 되었다. 초기의 현장시험은 표준관입시험과 이따금 수행된 평판재하시험이 그 전부였다.

극동지질(주)는 미 공병단으로부터 일을 수주하면서 (기계를 조작할 수 있는)새로운 신인을 모집하여 조사목적, 방법 등을 교육시켜 가며 울산의 저유공사를 필두로 한 화학공장의 건설분을 타고 한국에 진출한 미국업체인 Floor, Dames, 英 Ubore 및 Lekoy Crandal 등 미국의 공사 및 용역업체에 크게 환영을 받아 단골업체로 부상하게 되었다.

당시에는 우리나라의 건설 연구소에서 시행한 지

질조사에서 조차 SPT등 지반과악에 필요한 현장 시험이 전혀없이 지층만 임의로 구분했었을 뿐 지층의 consistency, 입도, 색상 등의 표시를 해놓지 않은 상태였다.(백낙신)

전쟁 후 복구사업이 한창인 1959년도 정동에 있던 토목시험소에 첫 취업을 한 전공각 교수(전 성균관대 부총장)는 1958년도에 ICA(International Cooperation Administration)원조자금으로 도입된(주로 콘크리트와 토질관련)토목시험 기자재들이 박스채로 잔뜩 쌓여 있는 것을 해체해서 설명서를 읽어가며 시험기기를 조립해서 당시 ASTM이나 JIS(당시 KS 시험법 없었음)시험법에 따라 거의 2년동안 시험을 직접 하였었는데 당시 직원이 없어서 대졸신입사원만 5~6명 뽑았던 상황이었다. 그때의 시험기구는 삼축압축시험기를 위시하여 일축 압축, 직접전단, 압밀시험기를 비롯하여 Atterberg 시험기, hydrometer, Proctor 다짐시험기, sand-cone에 의한 현장밀도 시험기, 실내 및 현장 CBR 시험기는 물론 휴대용 penetrometer에 이르는 광범위한 것이었다. 그 기기 들은 당시 내무부 김용환 도로과장이 주문했던 것으로 거의 모두가 미국의 Soil-test사 제품이었다. 그 당시 시험기구의 활용을 위해 ASTM과 JIS를 번역한 KSF시험법이나 공사현장에 적용하기 위한 각종 시방서 제정동기가 되었다. 그 후 전공각교수는 선진 외국의 시방서나 설계기준, 표준시험법 등을 번역해서 우리 실정에 맞도록 고쳐서 제정해 나갔고, 현장관리 기법을 정착시킨 공헌을 이루었다.

한편, 1960년 10월에 수리조합 연합회 시험계가 노량진동으로 이전하였고, 1961년 12월에 ICA원조자금으로 재료 및 토질시험실도 갖추게 되었고, 1962년 2월에는 토지개발조합 연합회 교육훈련소에 훈련과와 시험계를 합병하여 농업토목 연구소로 개편하여 시험과 내에 토질시험 사업을 실시하였다. 이 당시 연약지반조사에서 화란식 이중관 원추 관입시험을 영산강 하구에서 시행하였다.

1963년 당시 전남대 재직중이던 임병조 교수는

높이 90cm, 폭 30cm, 길이 120cm의 earth dam 침투장치를 만들었으나 몇 번의 실패 끝에 마침내 유선망 확인시험을 실시하였고, 이 때 모래의 보일링 현상을 흥미있게 관찰하였다. 전남대에는 1965년에도 외국원조가 있어  $\phi 35$ 의 가장 간단한 형태의 삼축압축시험기와 bench type의  $\phi 501$ 련의 압밀시험기가 도입되었다.

1964년 농업토목연구소(현, 농어촌 진흥공사 연구소)는 진도 지산방조제 지반조사를 실시하였고, 삼축압축시험의 간극수압 측정기를 자체 제작하여 측정하기도 하였다. 1967년도 경남 동동양수장 기초지반 조사에 동적관입시험을 시행하기도 하였고, 같은 해 대일 청구권 자금(441천불)으로 많은 지반 조사 시험 기자재를 도입하여 본격적인 시험과 연구에 임하고 있다.

1970년대 건설된 경부고속도로에서도 제대로 토질문제가 이루어지지 않았고 조사 data의 이용에 소홀했는데, 몇 년 후에 IBRD자금으로 건설된 호남고속도로는 불란서의 인계루트사에서 설계하였는데, 철저한 지질조사를 통해 얻은 data를 면밀히 설계에 반영하여 경부고속도로보다 훨씬 우수한 설계 시공이 이루어졌다.(백낙신)

경부고속도로 건설과 관련하여 전공각 교수는 1967년도 늦은 가을 基幹고속도로 건설계획 조사단 고문단인 미국의 용역회사 De Leuw Catter Co.의 기술자들은 내무부 토목시험소와 연구소 안내를 맡은 계기가 되어 당시 서정우 도로국장으로 부터 고속도로 계획실로 출근하라는 한 통의 전화를 받고 10년의 연구소 생활을 마치게 되었다. 그 후 박정희 대통령께서 진두 지휘하다시피 하신 고속도로 사업의 고문단실에서 근무하게 되었고, 그 후 경부고속도로 공사 사무소로 개편됨에 따라 전공각 교수는 본부 시험과 토질계장으로 근무 중 건설부와 군에서 지원인원이 몰려들었는데 특히 우수한 ROTC 출신인 연세대 김수일 교수, 건기원의 홍성완 박사, 아주대의 이승환 박사 등이 엘리트 멤버들이었다. 이 때, 서울-부산간 6개 공구에 투입한

100여명의 시험사를 몇 반으로 나누어 교육을 시켜 현장으로 보내는데 경험이 필요한 여러 시험을 단 몇 주의 교육으로 터득시키는 것은 불가능하였다. 이 시험요원들이 70년대 후반부터 사우디 등 해외 건설공사에 큰 역할을 하였다.

약 3년간에 계획, 설계 시공까지 완공된 경부고속도로 430km는 일본의 명 고속도로 280km 경우인 시공을 뺀 계획설계에만 7년간이 소요되었으니 얼마나 문제가 많았는지 기술자입장에서 부끄러운 일이었다. 그래서 지반기술 고문인 Mr. Yasin은 이 지구상에 한국사람들 같은 천재는 없을 것이라고 찬한사이가 된 후 빈정대기도 하였다.(전몽각)

1969년에 기공 1975년에 완공된 현 국회의사당 건설부지 토질조사시 1970년 겨울이나 1971년 봄 경 기초공사 진행과정 중 설계에 참여했던 국내 건축대가들에 의해 토질조사라고는 건설연구소에서 시행한 시추뿐만인 예비조사에 불과한 계약적인 조사에 불과하여 시추추상도에는 토질을 판단할 수 있는 아무런 test도 없고 다만 부식암층, 연암대로 구분하여 놓은 형편이었다. 그래서 급히 재조사를 하니 부식암층 연암대 구분이 없는 20m 이상까지 부식돼 지내력은  $40 \text{ t/m}^2 \sim 60 \text{ t/m}^2$ 정도가 계속된 상태였다. 당시 고려대에 재직중이었던 임병조 교수가 지지력과 지내력의 차이점, size effect 이론 등에 대해 설명하기도 하였다.(백낙신)

1970년에 건설부에서 착공한 마산항 수출자유지역과 적현공업단지 조성사업시 시행한 연약지반 처리의 샌드 드레인 공법 적용시 서울대 정인준 교수의 지도 아래 스웨덴식 관입시험, 베인시험, 압밀시험, 일축압축시험, 삼축압축시험 등 현장 및 실내시험을 병행하여 시공관리를 수행하였다.(김상규)

전남대는 1979년도에 진동삼축시험기를 도입했고, 1982년도에는 자동압밀시험기를 도입했으며 1990년부터는 기존의 삼축압축시험기를 개조하여 Lade형 입방체 삼축시험기를 제작하였다.

1980년을 전후한 해외건설의 호황에 힘입어 많은 기술자들이 외국에서 수행되고 있는 현대식 조

사방법과 현장시험을 경험하게 되었다. 이를 계기로 여러 가지 현장시험법이 국내에 도입되었다. 현장시험용 시험기구로서 Pressuremeter가 1980년대 초 처음으로 도입되었다. Piezocone은 1994년에 처음으로 사용되었다. 최근에 발전된 이와 같은 현장시험 장비는 현장조사와 시험에 대한 인식과 예산의 부족으로 아직도 이의 사용이 초보단계에 있다고 할 수 있다.

### 3. 지반조사기술의 현황 및 전망

#### 3.1 지반조사 일반 및 현장시험

##### 3.1.1 개요

일반적으로 지반재료는 다른 토목재료와는 달리 불연속체로 되어 있으며 구성물질이 고체와 액체, 기체의 3상으로 구성되어 있다. 그리고 재료의 거동은 탄소성거동을 할 뿐 만아니라 특성면에서도 비균질, 비등방이고 시간과 환경에도 지배를 받으므로 고유의 값을 갖기 어렵다. 즉 지반재료는 현위치(in-site)조건에 따라 재료의 특성치가 달라지므로 가능한한 현위치 대표값을 얻기 위해서는 시험수량과 항목이 충분해야 한다. 그래야만 시료채취 및 운반과 시험시 발생하는 오차발생범위를 최소화할 수 있고, 시험값의 신뢰성을 높일 수 있다.

그러나 현재 국내에서 실시되고있는 조사방법 및 내용은 대체적으로 시추조사와 표준관입시험 위주로 조사되고 있는 바, 정량적인 설계자료로 이용하는데는 한계가 있다. 그리고 조사규격은 BX size 일 경우 현위치 상태의 core 채취가 곤란하기도 하며, 시추조사 수량이 충분치 못해 지층추정이 곤란한 경우가 발생하기도 한다. 따라서 신뢰성있는 설계자료를 얻기 위해서는 실내·외 조사시험 수량 및 항목이 충분해야하며, 이에 따른 조사결과 분석이 이루어져야한다.

이러한 상황에서 국내 지반조사기술은 그 방법과

내용에 있어서 각 연구소와 학교, 정부투자기관과 민간 연구기관에서 신형장비와 신기술을 도입하여 가능한 한 현위치 지반정수를 얻기위해 수많은 노력을 해왔으며, 일부는 주요사업에 적용한 상태이다. 그러나 일반적으로 설계시(타당성조사, 기본설계 및 실시설계 등)에 발주되는 정부 투자기관이나 지방 자치단체의 조사내용은 아직까지도 현위치 지반특성을 정량적으로 얻기에는 부족한 상태이다. 이는 단지 지반조사 방법 및 내용 뿐만 아니라 제도와 발주방법에 따라서도 많이 좌우되고 있기 때문이다. 본 고에서는 이러한 국내 지반조사 현황 및 문제점을 조사의 일반사항과 현장시험을 중심으로 파악하고자 한다.

### 3.1.2 지반조사의 문제점

#### 3.1.2.1 지반조사의 일반사항

국내에서 현재 조사되고있는 조사내용상의 품질은 조사 기술보다는 지반조사를 수행하는 방법이나 제도상의 문제점이 더 많이 지배하고 있는 바 이를 발주처와 설계사를 중심으로 검토하면 다음과 같다.

##### 가. 조사수량 부족 및 누락에 따른 분석 미실시

현위치 지반특성을 정량적으로 얻기 위해서는 지반조사 항목과 수량이 충분해야 시험결과에 대한 분석을 실시할 수 있는데 조사수량은 대체로 시추 조사와 표준관입시험 위주로 실시되고 있는 상황이다. 이에 따라 지반정수 결정은 제한된 시험data로 인해 문헌이나 기존자료를 이용하고 있는 실정이며, 이는 곧 설계변경을 갖게 하는 요인이 된다. 그리고 때에 따라서는 조사항목이 누락됨으로서 목적물에 부합된 시험값을 얻을 수 없는 경우가 발생하기도 한다.

예를 들어 구조물기초중 횡방향 하중을 받는 교대나 옹벽 등의 경우에는 기초설계방향이 수직력보다는 수평력에 의해 좌우될 수도 있으므로 횡방향 지반 반력계수의 산정이 중요하다. 이를 위해서는 지반조사시 필수적으로 공내재하시험 등의 시험이

실시되어야 하지만 실제 실행되는 예는 극히 드물며, 아울러 지반조건에 따른 조사장비의 적합성을 고려하여 시험이 실시되어야 하지만, 이에 대한 고려도 거의 하지 못하고 있는 실정이다.

##### 나. 조사방법문제

일반적으로 도로 성토사면인 경우에 있어서 지반 조사방법은 Hand Auger Boring 으로 선 확인 후 연약지층이 확인될 경우에 한하여 시추조사를 실시하도록 규정하고 있는바 이에 준하여 지반조사를 수행하고 있다. 이에 따라 상부퇴적지반이 모래자갈층 등으로 구성되어 있거나 과압밀되어있는 경우는 Hand Auger Boring 장비의 조사한계로 인하여 지층파악이 곤란한 경우가 종종 발생할 수 있다. Hand Auger Boring 의 제한된 시험 방법으로는 형식적인 조사에 그칠 경우가 많으므로 신뢰성 있는 지층파악을 위해서는 시추조사가 실시되는 것이 타당하다고 판단된다.

##### 다. 과업지시서와 내역서의 불일치

발주기관별로 차이는 있으나 종종 과업지시서에 수록된 조사수량 및 시험항목 등이 내역서의 조사비용과 일치하지 않아 조사상 어려움을 겪게되며, 때에 따라서는 조사부실을 유발하며, 궁극적으로는 설계의 전반적인 문제점으로 파생될 수 있다. 즉, 예산절감을 위해 조사비를 삭감하는 것은 설계의 근본적인 문제점으로 대두될 것으로 판단된다. 조사내용이 부실하면 할수록 그 만큼 안전율(safety factor)을 크게 할 수밖에 없는바 공사비가 과대해 지든지 구조물의 안정성이 우려가 될 소지가 있다는 점을 감안할 때 과업지시서에 부합하도록 조사비를 현실화하는 것이 필요하다.

##### 라. 정산문제

과업발주후 과업 지시서 및 내역서에 따라 실시된 조사 및 시험수량은 설계의 중요성과 민원문제 등으로 인해 당초 계획 도급수량에 대하여 증·감이 발생할 수 있는데 대체로 조사수량의 증·감에

따른 정산이 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 그리고 시험수량 증가나 신규조사항목 그리고 조사장비를 위한 부대시설 설치비 등에 대해서 단가가 책정되어 있지 않다는지 예산증액의 어려움 등으로 인해 정산이 실시되지 않고 있는 상황이다. 한편 지반조사는 공사목적 및 규모에 따라 시추조사비 보다는 시험비가 지반조사에 절대적인 영향을 주는 경우가 발생하게 되는데 시험비에 대해 정산이 이루어지지 않을 경우 정량적인 설계정수를 얻기 곤란하다.

#### 마. 토지보상 및 산림훼손 문제

시추조사는 대체적으로 발주단계별로 차이는 있으나 실시설계 단계까지 토지보상이 완료된 상태로 지반조사를 수행하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 발주시 장비 진입로를 위한 벌목이나 사유지 침범에 따른 조사비에 대해 예산이 책정되어야 할 것으로 판단된다. 지금까지의 조사는 시추조사비 내에서 이러한 행위가 이루어진 바 나날이 민원문제가 크게 대두되고 지역별 개인별로 이기주의가 사회 전반적으로 확산되고 있으므로 이에 대한 비중이 점차 커지므로 충분한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

그리고 장비진입에 따른 산림훼손 문제에 대하여는 발주처로부터 계약된 과업기간내에 각 자치단체 및 부처별로 승인된 상태에서 현장조사에 착수하는 것은 무리가 있는 것으로 판단된다. 따라서 발주전 사전 업무협조가 이루어진 상태에서 지반조사가 착수되어야 설계업무를 무리없이 진행할 것으로 판단된다.

#### 바. 지반설계 검토비 누락

현재 일반적으로 발주되는 지반조사비 내용 중에는 시추조사를 위한 직접경비와 시험비외에는 조사용 계경비와 기술료뿐만 아니라 기술검토에 필요한 직·간접 비용이 누락되어 있다. 예를 들면 지반분야의 안정성을 검토하기 위해서는 지반조사 후 선

정된 지반정수로부터 사면안정검토, 연약지반 설계, 근접시공에 따른 안정검토, 특수지반에 대한 검토, 토공재료의 활용에 대한 검토 및 구조물 기초안정성 검토에 필요한 설계검토비용이 누락되어 있는 상태이다.

#### 사. 풍화대 지반의 시료채취 문제

현재 국내에서 수행되고있는 절토사면의 안정해석은 토사지반인 경우 대체적으로 한계평형법에 의한 안정해석이 실시되고있는데 이때 입력자료로 강도정수가 활용된다. 그러나 신뢰성 있는 해석을 위해서는 무엇보다도 지반정수의 산정이 대단히 중요함에도 불구하고 시료채취 곤란이나 제한된 시험방법에 의하여 설계시 기존 문헌이나 자료에 의지할 수밖에 없는 상황이다. 특히 대부분의 국내 절토사면은 풍화대가 깊게 나타나 이들 층이 절토사면의 안정여부를 판단하는 기준이 되기도 하는데 시험이 실시되지 못하고 있는 상황이다.

#### 아. 지반분류 구분 미비

일반적으로 지반분류는 토질상태에 따라 토사지반과 풍화암 그리고 연·경암 지반으로 분류하며 이를 토공작업 적용방법에 따라 토사, 리팜암, 발파암으로 분류한다. 따라서 암반분류는 토공작업성과 연관될 뿐만 아니라 지층구분에 따라 지반별 기준단가차이가 크므로 지층구분은 대단히 중요한 요소이다. 이에 대한 기준은 발주처별로 다르며, 실제적으로 적용성에 있어서도 아직 그 기준이 명확히 설정되어 있지 못하다.

### 3.1.2.2 현장시험

#### 가. 표준관입시험의 표준화

국내에서 실시하고있는 표준관입시험은 그 사용성이나 적용성에 있어서 기여하는바가 대단히 높으나 시험장비나 시험방법에 대한 기준이 설정되어 있지 않은 상태로 각 조사회사별로 구입한 장비규격 및 방법(예: 인력낙하 등)으로 시험을 실시하고 있

는바 N-value 에 대한 신뢰도가 대단히 낮은 상태이다. 따라서 에너지 효율에 대한 검증이 우선적으로 이루어져야하는 상황이며, 이의 설계적용에 있어서도 보정부분이 검증되어야 할 것으로 판단된다. 이를 위해서 표준화 작업이 진행되어야 할 것이다.

나. 공내재하시험

지반의 변형특성을 파악하기 위해서 실시하는 공내재하시험은 대상지반에 부합된 시험장비의 개발이 이루어져야하는데 현재 국내에서 수행되고 있는 공내재하 시험장비는 암반용과 연약지반용으로 구분되며 이 또한 공벽붕괴가 발생하지 않는 양호한 지반에서 시험이 실시되고 있는 바 절리 및 균열이 발달된 지반이나 풍화대 지반 그리고 초연약 지반에서는 시험장비가 제한되어 있거나 단가가 책정되어 있지 않아 적절한 시험이 실시되지 못하고 있는 상황이다.

다. 평판재하시험

대체로 평판재하시험은 연직방향의 변형특성과 지반의 지지력을 판단하는 기초자료로 제공된다. 그러나 본 시험은 설계시 굴착장비와 재하물 그리고 진입로 개설에 따른 산림훼손이나 민원발생문제 등으로 인해 시공시 확인 시험용으로 널리 이용되고 있으며, 시험장비 규모 및 지층상태에 따른 scale effect 가 가장 큰 해결과제이다.

라. TP 시료채취 및 설계적용문제

일반적으로 시굴조사는 토공재료의 유용성을 판단하기 위해서 실시하는 조사시험으로 토공설계에 대단히 중요한 요소이다. 그러나 시굴조사는 인력 굴착에 의하여 지표근처에서 행해지고 있으므로 그 지반의 대표값으로 보기에는 무리가 있을 것으로 판단된다. 그리고 실내시험을 통해 얻어진 시험 결과치로부터 품질기준을 만족하지 않을 경우에는 사토시키는 등 별도의 품질관리방법을 마련하여야하나 이에 대한 시공관리 방안이 미미한 상태이다.

마. 기타시험

지반조사는 근본적으로 현위치 상태의 지반특성의 최적값을 파악하기 위해서 실시하는 것이 목적인바 현장조사 시험은 무엇보다 중요하다. 이에 따라 최근 대형국책 과업인 단지개발이나 도로건설에 따른 지반특성을 정밀 파악하기 위하여 새로운 장비개발이나 수입이 빈번히 이루어지고 있으나 장비적용에 따른 단가나 도입장비의 제한 등으로 인해 일반화하기까지는 많은 시간이 소요될 것으로 판단된다. 그러나 국내 지반조사 기술의 발전과 선진화를 이루기 위해서는 장비도입에 따른 적용문제로 곤란을 겪는 일이 발생하지 않아야 할 것으로 판단되며, 용역사는 시험결과치의 신뢰성을 높여 시험결과치와 실제 지반정수는 별개로 사용하는 것은 지양하여야 할 것이다. 최근 빈번히 사용하고 있는 조사시험으로는 연약지반 조사로는 피에조콘 관입시험이 사용되고 있으며, 암반조사로는 초기지압시험이 실시되고 있으나 시험결과치에 대한 신뢰문제로 발주자와 용역사간 어려움을 겪고 있는 상황이다. 따라서 현장조사장비는 시험방법과 목적, 내용에 따라 무수히 많은바 이에 대한 적용성에 대한 기준이 조만간 반드시 마련되어야 할 것으로 판단된다.

3.1.3 향후전망

지반조사 및 현장시험과 관련하여 향후를 전망한다면 다양한 새로운 장비의 개발과 이용이다. 이를 각 시험장비 및 종목에 따라 구분하면 다음과 같다.

가. Piezocone

기존의 Piezocone으로 관입시의 선단저항, side friction 및 간극수압을 재는데 반해 이에 부착하는 다양한 부가장비들이 개발되고 있다. 이들 부가장치들로서는 전기비저항, pH, 온도, 감마선, 탄성파 속도 등을 잴 수 있는 것들이 있으며, sampler를 부착하여 토사, 물 및 gas의 시료를 채취할 수 있어서 환경오염방지 분야에도 응용될 수 있다. 또 콘의 바로 뒤에 pressuremeter를 부착하여 콘 관입 도

중에 필요한 곳에서 관입을 멈추고 원위치 재하시험을 실시할 수 있다. Piezocone 본체에 약 5mm 정도의 카메라와 조명장치를 설치하여 관입시 토립자의 외양(Texture)을 직접 찍어서 이를 녹화 및 수치화하는 Vision CPT도 개발되어 토립자의 입경, 점토 중에 있는 sand seam이나 미소한 균열 등을 직접 관찰 할 수 있다.

시추기가 기계화 및 자동화됨에 따라 운전자가 느낄 수 없는 시추시의 관입저항, 관입속도, 로드의 회전수 및 회전 Torque, 천공수의 유속, 유압의 변동 등을 측정하기 위하여 시추기에 각종 계측기를 부착한 Instrumented Drill 장비도 개발되고, 그 결과와 지반의 특성을 관련 짓는 연구가 되고 있다.

#### 나. Vane 시험기

현장 Vane 시험에 있어서 rod와 지반과의 마찰저항을 줄이기 위하여 이중관식 Vane 시험기가 사용되고 있으며, 또 다른 방법으로 Vane 바로 뒤에 sensor를 부착하여 회전 torque를 잴으로써 마찰의 영향을 줄이는 Vane이 개발되고 있다.

#### 다. 공내재하시험

이태리의 Marchetti에 의하여 개발된 Flat dilatometer(DMT)를 사용하여, 현장의 원위치 수평응력, 변형특성, 한계상태강도 등을 구할 수 있는 장비의 사용도 늘고 있다.

보통의 공내재하시험 장비들은 시추에 의하여 공을 형성한 후 팽창 튜브를 삽입하여 재하시험을 실시함으로써 시추로 인한 공벽 주변지반의 swelling이 발생하여, 정확한 원위치 응력의 파악과 변형특성의 파악이 어려운데 반하여, self boring pressuremeter는 튜브 하단에 천공 비트가 부착되어서 불필요한 공벽의 확장을 방지 할 수 있고, 지반의 변형특성뿐 아니라 한계상태의 강도특성도 구할 수 있는 재하시험기이며, 도로공사의 연구소에 도입되어 연구 중에 있으며, 앞으로 보편화되어 많이 사용되어 질 것으로 보인다.

#### 라. 표준관입시험

표준관입시험은 시험자에 따라 또 장비에 따라 타격에너지가 표준화되지 않아 많은 논란이 있어 왔으며, 이를 극복하기 위하여, 타격에너지와 관입량을 자동으로 측정하여 필요시 표준치로 보정하는 방법이 실용화 될 것으로 보인다.

#### 마. 불교란 시료채취

점토 층에서의 불교란 시료 채취를 위하여 75mm 직경의 피스톤식 thin walled tube sampler가 사용되고 있으나, 연약하고 예민한 점토지반에서의 시료교란을 최소화하기 위하여 250mm - 300mm 내외의 대구경 block 시료채취기가 국내 몇몇 연구소에서 개량되어 신기술인정을 받았으며, 더 깊은 심도에서 싼 가격으로 대구경 시료를 채취하는 기술이 개발될 것이다.

이외에도 모래나 자갈지반에서의 불교란 채취기술, 시추공 내에서의 전단시험방법에 대한 연구와 기술도입이 되고 있다.

#### 바. 지구물리탐사

지구물리탐사 분야에서의 각종기술이 토목분야에 응용되고 있으며, GPR(Ground Penetration Radar), SASW(Spectral Analysis of Surface Waves), 전기 비저항탐사, 전기 비저항 tomography, 탄성파 탐사, 탄성파 tomography, 고밀도 탄성파 tomography, BIPS(Bore Hole Image Processing System) 등이 터널주변 암반의 암질 추정, 지하공동의 탐사, 연약대 파악, 육상 및 해저 지반의 성층상태 등을 추정하는 도구가 되고 있다.

#### 3.2 토질실내시험

흙의 역학적 특성을 파악하기 위하여 실시되는 실내시험의 가장 중요한 필요조건은 현장의 상황을 유효, 적절하게 모사, 재현하는데 있다. 흙의 교란 정도를 최소화하면서, 현장구속 조건을 재현하여 실험이 수행되어야 하며, 아울러 구조물의 건설 등



으로 인한 조건 변화를 효율적으로 모사하는 것이 필요하다.

이러한 관점에서 지난 세기 동안 많은 시험들이 개발되어져 왔다. 특히 흙의 강도 및 변형 특성과 압밀 특성을 위한 시험들이 수많은 연구자들에 의하여 개발되었다. 가장 간편한 시험방법인 직접전단시험으로부터 현장조건 특히 현장 응력 상태를 효과적으로 재현할 수 있는 삼축시험 등이 강도 및 변형에 대한 대표적 시험법으로 개발되었고 계속적인 연구를 통하여 구체적인 실험절차 및 기기의 보완이 이루어져 왔다. 한편 주로 연구 목적으로 실제 지반구조물 하에서 발생 가능한 흙의 역학적 거동에 대한 심층적 이해를 위하여 다양한 응력상태를 고려할 수 있는 진삼축시험, Hollow Cylinder 시험, 비틀전단시험, 그리고 대표적 지반구조물의 하중재하 조건을 모사할 수 있는 평면변형률 시험 등이 개발, 활용되었다. 이 밖에도 미소변형률 범위의 변형 특성을 위한 시험으로서 공진주시험, 벤더엘리먼트 시험 등을 들 수 있다. 한편 점성토의 압밀 시험법으로서 1차원 압밀시험기(Oedometer)가 사용되어 왔으며, 그 단점을 보완하여 시료의 포화 및 방사방향 압밀특성 등을 파악할 수 있는 Rowe 압밀시험기가 개발되었고, 급속압밀시험이 가능한 일직변형률 시험방법이 그 해석이론과 함께 제안되었다. 흙의 역학적 시험의 또 다른 중요한 영역인 투수성을 고찰하기 위하여 정수두, 변수두 시험과 삼축셀을 이용한 Flexible wall test가 사용되고 있으며, 최근 지하수 오염 특히 침출수 문제가 중요한 이슈로 등장하면서 흙의 투수계수 측정에 많은 관심이 모아지고 있다.

이러한 각종 시험기가 개발되고 실무와 연구에 활용되면서 토질 시험 분야에 많은 발전이 이루어지고 있다. 최근에는 실험결과의 실용성과 시험방법의 범용성 그리고 시험기기의 자동화 및 고감도 센서를 이용한 결과의 신뢰성 증진이 주된 관심사로 부각되고 있으며 이에 따라 다음에 기술하는 바와 같은 방향으로 실내시험의 개선 및 발전이 이루어질 것으로 전망된다.

### 3.2.1 실험결과의 실용성

배수, 비배수와 완전포화 및 완전건조 등의 조건에 대한 특성 뿐만 아니라 실제 현장에서 존재 가능한 부분배수 및 불포화 조건들을 실험실에서 모사, 시험하고 그 거동 특성을 측정할 수 있는 시험기와 시험방법의 개발이 지속적으로 이루어질 것이다. 또한 2차원 및 3차원 조건에서의 강도, 변형, 압밀, 투수성 등의 다양한 토질 특성들을 결정할 수 있는 방법들이 고안되어 활용될 것으로 판단되며, 흙의 비선형성을 고려하여 실제 하중의 크기나 발생 가능 변형률 크기를 감안한 실험적 방법들이 연구될 필요가 있다. 이러한 실험결과들은 결국 토질 역학 이론 발전에 뒷받침으로 작용할 것이며, 궁극적으로 현실감 있는 토질특성치들을 제공함으로써 지반구조물 거동 예측에 크게 이바지할 것으로 생각된다.

### 3.2.2 시험방법의 범용성

토질특성치들을 결정하는 시험의 종류가 많아지고, 복잡해지면서 일반 지반공학 실무자들이 실험을 수행하기에 많은 어려움을 겪게되는 문제점이 부각될 수 있다. 따라서 향후 연구는 개발 시험기기의 특성과 장단점의 고찰을 통하여 결과의 정확성과 사용의 편의성을 기할 수 있는 범용적 시험기기의 개발에 초점이 맞춰질 것이며, 한편으로는 시험결과에 중요한 실험 인자에 대한 엄정한 분석을 바탕으로 표준시험 방법과 그 절차에 대한 국제적 공인 지침이 제시되게 될 것이다. 이를 통하여 사용기와 사용자에 상관없이 일관된 결과를 얻을 수 있는 방안이 강구될 것이다.

### 3.2.3 실험기기의 자동화 및 결과의 신뢰성 증진

시험기와 관련한 전자 및 기계공학 등의 발전과 더불어 최근 시험기기는 컴퓨터를 이용한 실험치

의 계측과 원하는 실험조건대로 자동제어되는 기능이 가능하게 됨으로써 실험효율을 극대화하고 실험자의 측정오류를 배제할 수 있게 되었다. 이와 함께 고성능 센서의 사용에 따라 실험결과와 신뢰성이 크게 증진되고, 새로운 방식의 측정센서들이 고안됨으로써 흙의 거동 특성 파악에 크게 도움을 줄 것으로 기대된다. 다만 시험기기의 자동화가 실험방법의 몰이해와 지반의 역학적 특성에 대한 공학적 감각을 저해할 수 있기 때문에 이를 보완할 수 있는 개선책이 필요할 것이다.

이러한 토질 실내시험 개선 방향에 따라 현재 추진되고 있는 사례로서 지반의 탄성적 변형특성을 들 수 있으며, 앞으로의 토질실내시험의 개선 방향의 예로 다음에 설명하고자 한다.

**〈지반의 탄성적 변형 특성〉**

일반적으로 실제 구조물에서 지반이 거동하는 변형률은 0.1 ~ 1% 범위 이하임이 밝혀지고 있으며 따라서 구조물 지반의 변형해석을 위해서는 매우 작은 변형률, 즉 미소변형률(10<sup>-4</sup> ~ 1%) 범위에서의 탄성계수 결정이 실용적 측면에서 매우 중요하고, 이와 같은 신뢰성 있는 지반 변형특성의 측정 은 토목구조물의 동적 해석 뿐만 아니라 정적 해석에도 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

지금까지 개발되어 활용되고 있는 미소변형률 영역에서의 지반 변형특성 시험기법으로는 삼축압축 시험, 벤티엘레먼트(bender element)시험, 공진주시험, 비틀전단시험 등이 있는데 이 중에서 토질 역학 실험의 대표적인 장치인 삼축압축시험기로 미소변형률 영역의 탄성계수를 측정할 때에는 ① 계측장비의 정밀도, ② 시험시스템의 운용도, 그리고 ③ 시료단부에서의 에러(bedding error)라는 어려운 문제에 직면하게 된다.

즉, 종전의 삼축압축시험기에 채택되어 있는 외부변형 측정장치(external deformation measurement)를 사용할 경우 측정기 내부의 마찰에서 비롯되는 변형측정의 오차 등 시험시스템 자체

의 정밀도가 떨어질 우려가 있으며, 시료를 삼축압축기 내부에 거치시킨 후 변위를 측정할 때에는 시료와 상부(top cap), 그리고 시료와 좌대(base pedestal) 사이에서 여러 가지 에러(bedding error)가 발생할 가능성이 있다.

따라서 삼축압축시험기의 측정 정밀도를 향상시키고 운용도를 개선하기 위하여 외부변형 측정장치 대신 로드셀(load cell)과 변위측정센서를 삼축실내부로 이동시킨 내부변형 측정장치(internal deformation measurement)를 사용하며, 시료단부에서의 bedding error를 제거하기 위하여 시료 중앙부분에서 국부변형률(local strain)을 측정한다. 그리고 최근에는 피에조세라믹 재료에 전류를 흐르게 하면 이를 가진기와 수진기로 사용할 수 있는 원리를 응용한 벤티엘레먼트를 삼축압축시험기 또는 압밀시험기에 장착하여 시료에 전단파를 발생, 수신하도록 하여 전단파속도를 측정하고 있다.

미소변형률 측정시험 가운데 대표적인 공진주시험(resonant column test)은 원통형의 시료에 진

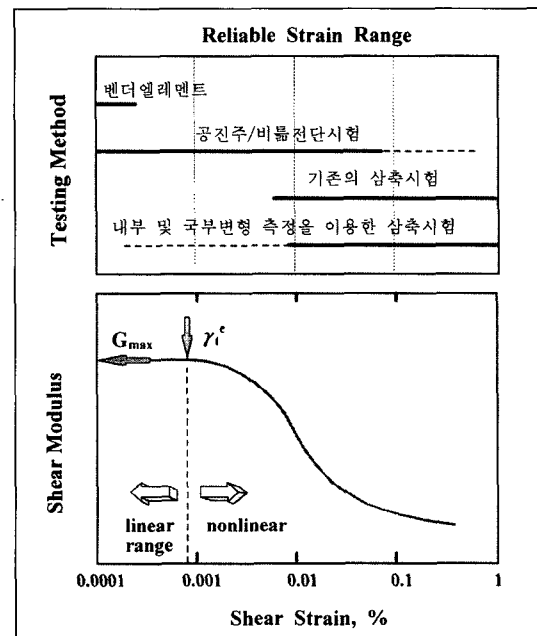


그림. 변형률 크기에 따른 탄성계수 변화 및 각 시험기법의 신뢰성 있는 변형률 범위

동수를 바꾸어 가면서 비틀림 자극(torsional excitation)을 가한 후 얻어진 공진주파수와 진동의 크기를 구하여 전단파속도, 전단탄성계수 및 전단변형률을 구하는 동적 시험방법이다. 그리고 공진주 시험장치와 동일한 시험장치를 사용하는 비틀전단 시험(torsional shear test)은 시료를 바닥에 고정시키고 일정 주파수의 반복 비틀림 힘을 가했을 때 가해진 비틀림 힘과 얻어진 비틀림 각 사이의 관계를 측정하여 응력-변형 이력곡선(hysteresis loop)을 구하고 이 곡선으로부터 전단탄성계수 및 감쇠비(damping ratio)를 결정할 수 있는 시험이다.

미소변형률 영역에서의 지반의 거동은 그림에서와 같이 비선형성을 보인다. 특히, 이 그림에 미소변형률의 각 영역에서 신뢰성 있는 결과를 제공하는 각종 시험기법을 함께 포함하였으므로 이들의 시험기법 결과와 현장시험에서 얻은 전단파속도 측정결과가 효과적으로 결합되면 보다 우수한 변형특성을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

위에서 살펴본 바와 같이 지반의 변형특성에 관한 연구는 실용적 측면에서 미소변형률( $10^{-4}$  ( $<1\%$ ))하에서의 실험을 제안하고, 시험결과에 영향을 미치는 인자에 대한 조사결과로 셀 내부변형 측정 장치의 사용을 권고하고 있으며, 변형률 측정을 위하여 밴더엘리먼트와 같은 다양한 센서의 개발이 이루어지고 있다. 또한 아직은 모든 변형률 영역에 대한 범용적 시험기기가 제시되고 있지 않지만 실험기기의 제어 및 측정 기기의 지속적인 발달로 조만간 가능할 것으로 생각된다.

### 3.3 암실내시험

#### 3.3.1 현황 및 문제점

골재에 대해서는 단위중량시험, 안정성시험, 비중, 흡수율, 마모시험에 대한 한국산업규정이 있으나 국내의 암석에 대한 시험규정은 없다. 다만 석재의 압축강도시험방법(KS F 2519), 석재의 흡수율 및 비중시험방법(KS F 2518), 암석의 인성시험(KS F 2517)규정이 있는 데, 석재(KS F 2530)에

서는 석재의 압축강도에 따른 경석, 준경석, 연석으로의 분류기준과 겉보기비중, 흡수율, 압축강도시험에 대해 간략히 기술되어 있을 뿐이다. 미국, 독일, 일본의 경우 암석시험방법에 대한 규정은 각각 ASTM, DIN, JIS에 규정되어 있으며 규정이 안되어 있는 시험방법은 ISRM(International Society for Rock Mechanics)의 제안시험규정에 따르고 있다. 국내에서도 암석시험에 대한 한국 산업규정을 서둘러야 할 것이다.

콘크리트의 압축강도 시험방법(KS F 2405)에서 시험편의 형태는 원주형이고 수는 3개 이상이어야 한다고 규정되어 있으며 석재의 압축강도시험방법(KS F 2519)에서는 시험편의 형태로 직육면체, 사각기둥형 또는 원주형인 것을 사용하며 각 시험조 건마다 5개 이상이어야 한다고 규정하고 있다. 국내 암석에 대한 시험규정이 없기 때문에 발생하는 혼란은 적지 않다. 예를 들어 건설교통부의 토공용 토질 및 암의 분류에서 시험편의 형태는 시험편을  $5 \times 5 \times 5\text{cm}$ 의 입방체로 제작하여 압축강도시험을 실시하는 것으로 되어 있다. 시험편에 대한 최소한의 숫자도 명시되어 있지 않다. 국내에서는 각주형태의 암석시험편을 대상으로 시험을 실시하는 경우가 많다. 그러나 각주의 경우 시험편 제작이 국제적으로 기준이 되는 정확도유지에 문제점이 있기 때문에 ASTM 또는 ISRM에서는 각주는 인정치 않고 원주형을 권하고 있다. 크기의 경우에도 국내에서는 직경에 대한 높이의 비를 1.0으로 하고 있으나 일본의 규정(JIS M 0302)에서는 약 2.0, ASTM(D2938) 또는 ISRM에서는 2.0~3.0을 규정하고 있어 외국의 시험결과와의 비교시 주의를 하여야 한다.

국내에서의 암석시험에서 최소한의 시료갯수를 지키지 않는 경우가 많다. 대부분 시추공당 1곳에서 채취한 암석시험편 1개를 대상으로 밀도, 공극률, 탄성파속도, 일축압축강도, 인장강도, 영률, 포아송비 등을 구하고 있다. 이는 ISRM이나 ASTM 규정에 비해 크게 시험편수가 부족한 상태이다. IS-

RM규정에는 일축압축시험용 시험편은 5개이상, 인장시험편은 10개이상으로 하여야 한다고 규정되어 있다. 암석의 불균질성 등을 고려하여 앞으로는 시험대상 시험편수는 적어도 3개로 하여 평균값을 사용하여야 할 것이다. 1개 암석시험편을 채취하여 이를 대상으로 일축압축강도를 측정된 값을 이 심도의 대표값으로 하여 RMR, Q 등 암반분류를 하고 이를 토대로 지반정수를 구하고 있는 데 문제점이 적지 않다.

실내 암석의 시험결과에 영향을 미치는 요소에는 암석시험편의 크기와 형태, 시험편 상하 가압면의 성형상태, 압축시험기의 가압판과 시험편의 가압면 사이의 접촉상황, 하중속도나 변형률속도와 같은 가압조건, 함수상태, 시험편 자체의 이방성 등이 있다. 그러나 실제로 이에 대한 인식없이 검증이 안된 시험장치를 사용하여 1개 시험편을 대상으로 암석 시험을 하고 있어 시험결과에 대한 신뢰도가 떨어져 국제적으로 전혀 인정받을 수 없는 실정이다.

### 3.3.2 향후전망

암석시험에 대한 한국 산업규정마련이 시급하다. 규정이 마련되기 전까지 국제적으로 공인된 ISRM의 제안시험규정에 따라야 할 것이다.

현저 암반은 단층이나 절리, 균열 등을 포함한 불연속체이다. 이들 불연속면이 암반자체의 강도보다는 터널, 사면 등과 같은 암반구조물의 안정성에 실제로 결정적인 영향을 끼친다. 따라서 절리를 고려한 시험이 실시되어야 할 것이다. 절리가 없는 암석을 대상으로한 삼축압축시험이나 직접전단시험을 통하여 구한 점착력과 마찰각은 구조물설계에 사용하기에는 너무 값이 크다. Barton은 인공적으로 제작한 거친 인장절리에 대한 직접전단시험결과를 이용하여 경험식을 제시하였는데 절리면이 거칠기와 재료자체의 마찰각, 수직응력 및 절리면의 압축강도 모두를 고려한 것으로 현재 가장 널리 이용되고 있으며 향후 이 식을 토대로 부분적인 개선이 이루어지겠지만 앞으로도 많이 사용될 것이다. 절리면이

평화가 되어 있거나 충전물이 있는 경우에는 기본마찰각 대신에 잔류마찰각을 사용하는데 특히 충전물이 있는 경우에는 마찰각이 충전물의 물성에 지배된다. 절리면전단시험에 있어서도 절리면의 거칠기와 충전물질 특성 및 두께에 따른 시험을 비롯하여 지하수의 흐름과 절리면의 거칠기, 충전물질의 특성 등을 고려한 절리면전단시험을 실시하는 등 실제 암반의 절리면조건을 재현한 시험이 실시되어야 할 것이다. 세일이나 탄층, 이암 등은 함수상태가 되면 체적팽창현상이 두드러져 이로 인한 터널 등 구조물에 과중한 압력을 가하게 되어 안정성에 문제를 야기시킨다. 이와 같은 점토광물을 함유한 암석에 대한 Swelling test 도 많이 실시될 것이다.

기계화굴착 및 굴진능률 평가를 위한 시험으로 Cherchare abrasive test 등 마모시험과 지하구조물의 장기 안정성 평가를 위한 creep 시험의 수요도 증가될 것이다. 함수미고결층의 용수량과 막장 안정성 검토를 위한 투수시험도 필요하게 될 것이다. 시추현장에서 시추코어를 대상으로 심도별로 점하중강도를 실시하여 이를 주상도에 기재하여 주상도상의 절리간격, 절리각도, 절리면거칠기, 지하수 유무에 관한 자료와 함께 RMR, Q값을 산정하는 데 직접 사용되도록 하여야 할 것이다. 지하구조물의 안정성평가, 암반의 지보력 평가, 천공, 발파 등의 설계에는 여러 하중조건하에서의 암석의 역학적 거동의 파악이 필요하다. 이를 위해서는 암석의 역학적 거동에 영향을 미치는 cycle loading 의 효과시험도 필요로 할 것이다.

이와 같은 실내암석시험을 실시하는 데 있어 선행되어야 할 사항들이 있다. 실내암석시험으로부터 얻어지는 암석의 물리적, 역학적 특성은 굴착대상 암반의 평가 및 구조물의 설계, 시공을 위한 가장 기본적인 자료가 되므로 획득한 자료에 객관성과 정확성이 확보되어야 한다. 이를 위해서는 시료의 채취에서부터 시험결과해석에 이르기까지 다음과 같은 규정된 기준 및 절차에 의해 이루어져야 할 것이다.

• 표준시험기준

암석물성시험에 대한 외국의 표준시험규정인 국제암반역학학회 표준시험규정(suggested methods of ISRM)과 미국표준시험법(ASTM) 등이 있으며 원칙적으로 이에 의거하여 시험을 실시하여야 한다.

• 시료채취

시료는 통상 시추코어 또는 현장에서 채취한 암괴를 이용한다. 채취된 시료는 조사대상인 암반을 대표할 수 있는 것이어야 하며, 현장 암반의 풍화정도, 균열상태, 방향성, 함수상태 등을 고려하여 특이한 부분에서 채취한 경우에는 이를 명시하여야 한다. 층서암일 경우는 층서면의 방향이 매우 중요하며, 발파암괴인 경우에는 발파응력파에 의한 미세균열이 포함될 가능성이 크므로 시료채취시 주의하여야 한다. 시료채취 지역 및 심도는 정확히 표시하여야 한다.

• 시험편제작

채취된 시료로부터 제작되는 시험편은 보통 원주형 또는 각주형인데, 시험편의 규격 및 성형정밀도가 시험결과에 큰 영향을 미치므로 결과의 객관성을 갖기 위해서는 표준시험기준에 의거하여 제작하여야 한다.

• 시험결과의 신뢰도

암석은 불균질성을 많이 내포하고 있으므로 같은 지역에서 채취한 시험편들에 대해 동일한 표준시험기준하에서 시험을 하더라도 시험편에 따라 시험결과와 분산도가 금속 등 다른 재료에 비해 큰 편이다. 따라서 시험편 갯수 또한 결과의 신뢰도를 높이는 데 중요한 요소가 된다. 표준시험기준에는 10개 이상을 권장하고 있으며 그 평균값을 최종 결과자료로 이용하고 필요에 따라서는 편차를 명시한다. 실제적으로 한 지역 또는 한 심도에서 이 정도의 시험편을 얻기가 쉽지않고 특히 시추코어인 경우에는 심도에 따라 암반상태가 변화하는 경우가 많아서

더욱 어렵다. 이러한 경우라도 최소한 3개 이상의 시험편에 대한 시험을 실시하여 되도록 결과의 신뢰도를 높이도록 하여야 할 것이다. 암석시험편의 크기도 반드시 NX크기(54mm)의 시험편을 대상으로 시험을 실시하여야 할 것이다. 이제까지 이암은 물속에서 쉽게 용해되며 단단한 점판암은 잠재적인 연약면을 지녀 시험편 제작이 무척 어려웠다. 이러한 이유 때문에 이들 암석을 비롯하여 세일과 같은 암석은 비교적 단단하고 시료성형이 용이한 것만을 채취하여 시험편을 제작하고 이들 대상으로 시험하여 오고 있기 때문에 얻어진 시험결과를 실제 사용하는 데 많은 문제점이 있었다. 이와같은 암석들의 강도를 간접적으로 추정하기위해서 Slake durability test와 Shore hardness test를 이용하는 방안외에 직접 실험이 가능하도록 하는 정밀한 시험기술이 적용되어야 할 것이다. 점판암, 세일, 이암, 편암과 같은 이방성이 강한 암석을 대상으로 한 층리방향에 따른 시험결과를 실제 설계에 반영 되도록 해야할 것이다.

## 4. 결언

서론에서 언급한 바와 같이 한국지반조사 기술의 변천사와 현재 지반조사 기술의 현황과 문제점, 향후 지반조사 기술의 전망, 그리고 국제적 동향 등에 대해 본 고에서 언급하였다.

새천년 밀레니엄 특집으로 우리 학회 11개 기술위원회별로 순차적으로 다루는 본 칼럼의 첫 번째 주제로 지반조사위원회가 실은 본 내용이 시간의 급박성과 여러 바쁜 운영위원들의 집필분담으로 인해 다소 미흡하고 부족한 면이 있으리라 사료되지만 학회 회원 여러분들의 넓은 양해를 부탁드립니다. 차후에 다뤄지는 타 기술위원회 내용은 보다 충실하리라 기대하며 본 원고의 내용이 학회 회원 여러분들의 지반조사와 관련하여 조금이라도 보탬이 되었으면 하는 바램을 갖습니다.