

현장직접전단시험기의 개발 및 현장적용에 관한 연구

김용필¹⁾, 이영균²⁾, 이성국³⁾, 엄정기⁴⁾*

Development of an In Situ Direct Shear Test Apparatus and Its Field Application

Yong-Phil Kim, Young Kyun Lee, Sung Kook Lee, Jeong-Gi Um

Abstract It is very difficult to prepare a lab. test specimen from weak rock masses affected by faults, highly fractured zone or weathered zone. In conventional method of in situ direct shear test a rock block is sheared inside galleries, where reactions for the hydraulic jacks are available. A new in situ direct shear test apparatus has been developed in this study to perform the test inside galleries as well as open pit conditions. The apparatus is composed of normal and shear reaction plates including load transfer plates, hydraulic cylinder systems, load cells, multistage shear boxes with fixing devices, and needle rollers. Maximum size of the test block is 400×400×460 mm, and procedures of the test block preparation has been suggested. To explore the field applicability of in situ direct shear test apparatus, proper test block site was investigated by extensive geological field survey. In situ direct shear test has been successful in producing most of information related to strength and deformability of the weak rock.

Key words In situ direct shear test, Rock, Strength, Deformation

초 록 단층대, 파쇄대 또는 풍화대가 발달한 암반은 실내시험을 위한 시료 성형이 어렵다. 기존에 현장에서 수행된 직접전단시험은 갱도 내벽의 수직반력을 이용하여 수행되었다. 이 연구에서 개발된 현장직접전단시험기는 터널내부 또는 노천의 현장상태 암반에서 시험을 수행할 수 있다. 현장직접전단시험기의 주요 구성은 전단하중 반력판 및 하중전달판, 유압실린더 시스템, 로드셀, 다단계 전단상자, 전단상자 고정장치, 수직하중 반력판 및 하중전달판, 마찰저항 감소용 롤러 등이다. 공시체는 각주형의 블록으로 최대 크기는 400×400×460 mm이며 현장에서 형성하는 방법 및 절차가 제시되었다. 개발된 시험기의 현장적용성 평가를 위하여 연구지역에 대한 지질공학적 조사·분석 연구를 통하여 성능시험을 위한 공시체 형성에 적합한 위치가 선정되었다. 현장적용 결과 개발된 현장용 시험기는 암석의 강도 및 변형과 관련하여 필요한 대부분의 정보를 제공할 수 있는 성능을 확보하였음을 확인하였다.

핵심어 현장직접전단시험, 암석, 강도, 변형

1. 서 론

단층대, 파쇄대 또는 풍화대가 발달한 암반(weak rock mass)은 대형 플랜트, 도로 건설, 택지 조성, 지하공간 및 대절토 사면 등과 같은 대규모 공사 현장에서 주 관심 대상이다. 대부분의 경우 암반의 강도정수(strength

parameters)는 현장에서 코어 시료를 채취하여 실내시험 결과로 추정하는 것이 통례이다. 코어 시료의 채취가 가능한 암반은 비교적 강도가 높으므로 지지력이나 침하량 등의 문제가 부각되지 않을 가능성이 높다. 공학적으로 매우 연약한 암반의 경우 실내시험으로 강도정수를 추정하기 위한 코어 채취 및 공시체(test block) 성형 등은 많은 어려움이 따른다. 이와 같은 암반은 시료 채취, 공시체 성형 및 실내시험 과정에서 시료가 교란될 가능성이 있으며 시험 결과로 산정된 강도정수는 신뢰성이 떨어지는 경우도 존재하므로 현장시험을 병행해야 하는 어려움이 있다. 현장의 실무자들은 이와 같은 암반의 특성을 어느 정도 정성적으로 인지하고 있으나 구체적이고 정량적인 자료와 근거가 모호하여 공사 진행여

¹⁾ (주)한국건설재료시험연구소 기술고문

²⁾ 대림산업주식회사 토목사업부 차장

³⁾ (주)한국건설재료시험연구소 소장

⁴⁾ 부경대학교 에너지자원공학과 교수

* 교신저자 : jum@pknu.ac.kr

접수일 : 2011년 6월 13일

심사 완료일 : 2011년 6월 27일

게재 확정일 : 2011년 6월 27일

부의 판단에 어려움과 공사기간이 계획보다 연장되는 사례가 많음을 개선하고 있다.

현장상태로 공시체를 형성해서 현장에서 시험하는 것이 가능하다면 강도정수 산정의 불확실성을 줄일 수 있고, 또한, 시험결과와 신뢰도가 높아질 수 있으므로 암반구조물의 설계, 시공, 감리 및 유지에 최적의 기본 정보가 제공될 수 있을 것이다. 전단강도와 관련된 현장상태 암석의 강도정수 산정은 갯도에서 공시체를 형성하여 직접전단시험을 수행하는 방식의 표준시험법(ASTM D 4554-02(2006))을 적용할 수 있다. 이와 같은 시험법을 응용한 연구 업적(Ishida et al., 2010)이 발표되기도 하였지만 현장시험이 수행된 사례는 현재까지 매우 드문 실정이다. 또한, 갯도가 아닌 노천의 암반이나 개착식 터파기 현장에 공시체를 형성하고 현장시험을 통하여 강도정수를 산정한 연구나 사례는 더욱 찾기 어렵다. 이에는 현장에서 공시체 형성의 어려움, 시험장치의 고가성, 일회성, 시험자의 숙련도, 시험성과물 축적의 미흡함 및 경제성에 문제가 있기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 현장에서 발생 가능한 여러 가지 제반 문제를 경감시킬 수 있는 현장시험기의 개발 및 시험법의 제시는 큰 의의를 가질 수 있다.

이 연구는 터널내부 또는 노천의 현장상태 암반에서 암반역학시험을 수행할 수 있는 직접전단시험기를 설계·제작하는 데에 중점을 두었으며, 본고는 새로이 설계·제작된 현장직접전단시험기의 제원, 특징 및 현장적용성 파악에 대한 내용을 수록하였다.

2. 기존의 현장직접전단시험

기존의 현장직접전단시험은 Fig. 1에서와 같이 갯도 천단부에 부착된 강화 콘크리트 패드에 의한 반력으로 현장의 공시체에 수직하중을 유지하면서 수평하중을 경사방향으로 재하하는 방식이다. 이러한 시험 방법은 갯도의 내벽이 전단 및 수직하중에 대한 반력 지지대로 사용 가능할 경우로 제한된다. Rocha(1964)는 다양한 수직하중 조건에서 현장직접전단시험을 수행하여 강도정수를 제시한 바 있다(Table 1). 그러나 절리의 발달이 강하거나 불균질한 암반에서는 시험 과정 중 공시체가 교란되지 않은 상태로 유지되기 매우 어려우므로 시험 결과를 설계에 적용하는데 많은 제약이 따른다(Lane, 1964).

Franklin et al.(1974)의 현장직접전단시험법에 바탕을 둔 ASTM D 4554-02 표준시험법은 현장상태 암반에서 성형된 공시체(700×700×350 mm)에 대한 다단계 시험

Table 1. Typical shear strength parameters of rocks tested in situ (after Rocha, 1964)

Rock type	Cohesion (kPa)	Angle of friction	Remarks
Granite	1,275	62°	
Shale I	196-686	55-69°	Normal to lamination
Shale II	98-392	56-63°	Parallel to lamination
Sandstone	196	53-60°	

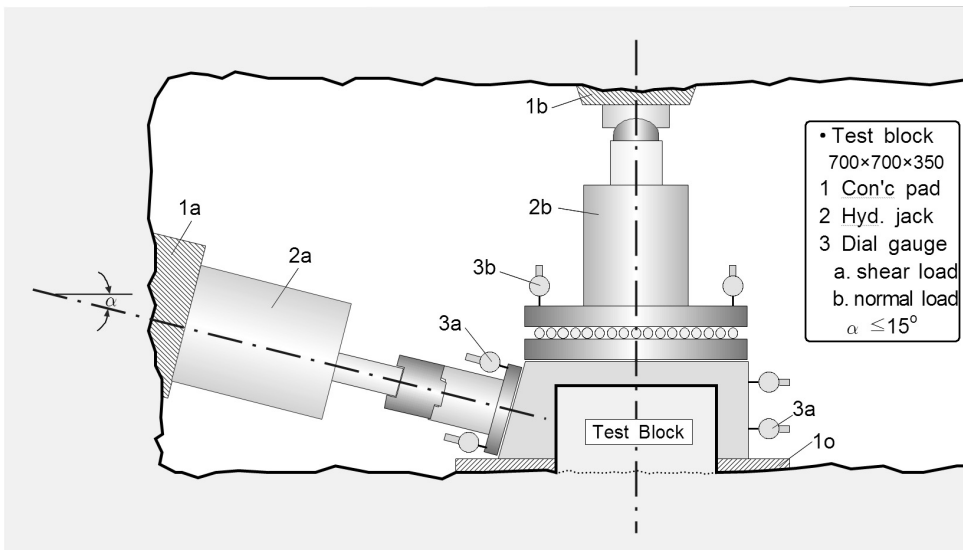


Fig. 1. Typical arrangement of equipment for in situ direct shear test (modified from Franklin, 1974)

방법을 제안하고 있다. Fig. 1에서와 같이 반력하중은 경도의 내벽을 이용한다. 하중축의 기울기는 전단축이 15° 이하, 수직축이 ± 2°를 유지하여야 하며 전단하중은 재하속도 0.1 mm/min 이내로 10분 이상 재하한다. 수직하중은 5단계로 증가시키면서 각 단계별로 일정하중을 유지하는데, Fig. 2에서와 같이 첫 번째 수직응력 단계의 잔류전단강도에서 전단변형량을 유지하면서 두 번째 수직응력을 가하여 전단하고 다시 두 번째 수직응력 단계의 잔류전단강도에서 수직응력을 세 번째로 증가시키는 방식이다. 즉, 전단재하가 단일 공시체의 동일한 파단면에서 수직하중을 증가시키면서 시험 횟수만큼 반복된다. ASTM D 4554-02 시험법은 현장의 같은 압중에서 풍

화·변질 정도 또는 불연속면의 발달 상태에 따라 다양한 방향으로 수행할 수 있는 장점이 있지만 공시체의 동일 파괴면에 수직응력을 증가시키면서 수회 이상 전단하는 단점이 있다. 이에 이미 파괴된 면에 다른 수직응력을 가하므로 두 번째 단계부터는 자연 상태의 불연속면으로 취급될 수 없고 수직응력 단계가 증가할수록 공시체 전단면이 파손되어 본래의 최대강도보다 낮게 평가될 수 있기 때문이다. 이 연구는 한 개의 공시체에 파괴면을 달리 가정된 면에 개별적으로 수직하중을 가하는 방식으로 현장직접전단시험 방법을 개선하였으며 더불어 터널 내부뿐만 아니라 노천·개착 현장에서 시험을 수행할 수 있도록 현장직접전단시험기를 설계하고 원형을 제작하였다.

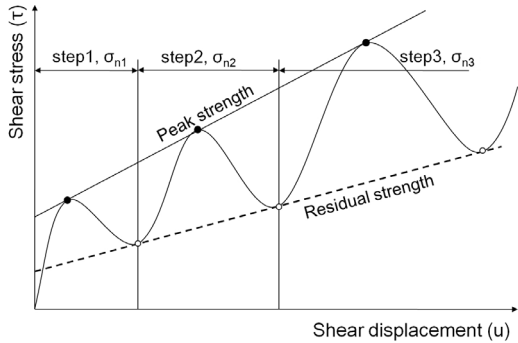


Fig. 2. Estimation of shear strength suggested by ASTM

3. 현장직접전단시험기의 개발

실내시험실에서 사용되는 직접전단시험기는 반 고정 상태이므로 강성을 증대시키기 위한 구성요소의 무게, 부피 및 내구성에 크게 제약을 받지 않는다. 반면에 현장시험용 직접전단시험기는 무게와 내구성에 큰 제한이 따르는데, 이에 이동과 현장에서 조립·해체의 용이성 및 험한 야외 환경에서의 안정적인 운용성이 확보되어야 하기 때문이다. 이 연구에서 개발한 현장직접전단시험기의 구성 및 주요 부품의 제원이 Fig. 3과 4에 나타나 있다. 현장직접전단시험기의 주요 구성은 전단하중 반력판 1 & 2 및 하중

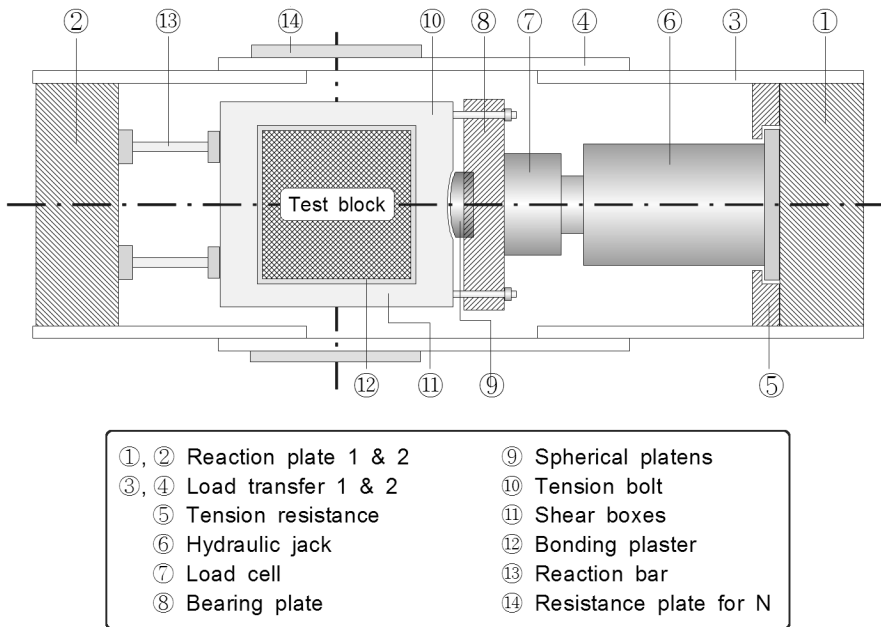
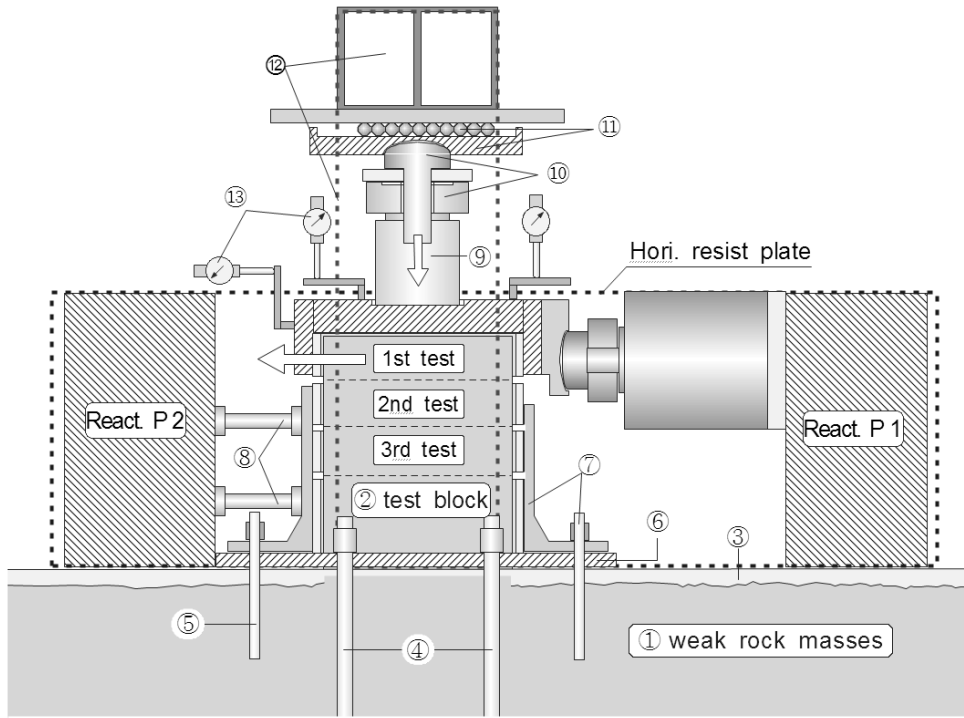


Fig. 3. Plan view of the in situ shear test apparatus



- ① Weak rock masses
($RQD \leq 50$, $\sigma_c < 50$ MPa, $RMR \leq 50$, $Q \leq 4$)
- ② Test block for in situ DSST
- ③ Con'c pad($t \leq 50$ mm, quick hardening mortar)
- ④ Rock bolt(Rod D25, Borehole D52 - L2000 mm, 8@80 kN/ea)
- ⑤ Chemical anchor for protection of test block, L 400 mm)
- ⑥ Steel plate for rock bolt head
- ⑦ Vert. resist plate to prevent deformation of lower shear box
- ⑧ Screwed steel bar to prevent deformation of lower shear box
- ⑨ Center holed hydraulic jack(500 kN, stroke 65mm)
- ⑩ Load cell & spherical platens for axis fitting
- ⑪ Needle roller & box to reduce slide resistance of up. shear box
- ⑫ Resistance plate connected to the rock bolts for normal load
- ⑬ Dial gage for shear displacement and dilatancy

Fig. 4. Side view of the in situ shear test apparatus

전달판, 유압실린더, 로드셀, 단단계 전단상자, 전단상자 고정장치, 수직하중 반력판 및 하중전달판, 마찰저항 감소용 툴러 등이다. 공시체는 각주형의 블록으로 최대 크기는 400×400×460 mm이다. 전단재하용 유압실린더는 복동식, 행정 100 mm, 최대 하중 1.2 MN 제원으로 일정변위 제어장치에 의하여 제어된다. 수직하중은 록볼트의 인발저항력을 이용하며 일정하중 제어장치로 제어된

다. 하중프레임을 이루는 주재료는 SM570으로서 강종은 용접구조용 압연강재(KS D 3515)이다.

하중프레임 시스템에 대해서는 다양한 프레임 구조에 대한 3차원 유한요소 모델을 구성하여 구조해석이 수행되었다(김용필, 2007). 일정변위 제어장치는 DC 모터의 회전운동을 랙기어(rack gear)를 이용하여 왕복운동으로 전환하여 핸드펌프 2대에 연결하는 방식을 취했

다. 성능시험 결과 시간-변형량 관계가 직선임이 확인되었다. 일정하중 제어장치는 에어컴프레서, 레귤레이터 및 ADLP(air driven liquid pump) 등으로 구성되는데, 5 MPa 이하의 설정압에서 70분 동안 정압유지 오차는 -0.83~1.94%로서 정밀한 편이다. 개발된 현장직 접전단시험기, 일정변위 및 일정하중 제어장치의 세부적인 제원, 구동원리 및 성능검사에 관련된 사항은 참고문헌(김용필, 2007)에 상세하게 수록되어 있다.

4. 현장적용

4.1 연구지역의 지질공학적 특성

연구지역은 분산-울산 고속국도(2008. 12 개통) 건설현장의 일부 구간인 부산광역시 기장군 장안읍 명례리 일대이다. 이 현장은 심한 열수변질의 영향으로 주로 백색 내지 담홍색을 띠는 백악기 화산암이 분포하며 일광단층의 영향으로 절리 발달 및 파쇄 정도가 심하고, 부분적으로 열수의 영향으로 산화되어 적색을 띠는 부분도 관찰된다(Fig. 5(a)). 대체로 열수변질의 영향이 적은 노두는 암록색을 띠며, 장석 반정이 잘 관찰되나 열수변질로 산화된 암반은 갈색을 띠는 것이 특징이다. 특히 단층 및 절리의 발달이 심하여 풍화가 급속히 진행되어 있으며, 단층 점토도 잘 관찰된다(Fig. 5(b)).

지질공학적으로 암석의 풍화와 관련하여 단층 및 절리 구간에 협재되어 산출되는 점토광물은 물의 침투에

의한 팽창성으로 인하여 암반의 안정성에 영향을 미치는 주요 요인으로 작용할 수 있다. 특히, 점토광물은 풍화산물로서 암석의 풍화정도를 지시하기도 하므로, 단층 주변암의 조성과 관련하여 점토광물의 함유여부 및 함유량을 정량적으로 분석하고자 X-선 회절분석이 수행되었다. 현장에서 채취된 점토 시료는 상온에서 자연 건조시켜 아게이트 몰탈을 이용하여 분말화하여 분석을 실시하였다. Table 2는 X-선 회절계에 의한 회절기록에 근거하여 점토광물의 종류를 분류한 결과이다. 주구성광물은 석영, 장석 및 운모류로 구성된다. 점토광물은 카올린광물, 녹니석, 일라이트, 스멕타이트가 나타났다. 단층점토의 주요 광물 중 대부분은 석영으로 구성되어 있으며, 장석류>운모류>카올린광물>스멕타이트 순으로 X-선 회절강도비가 나타났다. 이와 같이 열수변질의 정도가 심하고, 변질광물인 녹니석과 사장석의 변질 정도가 심하며, 단층점토에서 팽창성이 높은 스멕타이트의 함량이 높게 나타난 것은 연구지역의 암반 상태가 역학적으로도 매우 취약할 수 있음을 지시한다.

연구지역에서 선형조사선을 설치하고 트래이스 맵핑에 의한 절리자료를 토대로 절리암반의 절리분포 특성이 파악되었다. 이를 위하여 절리분포 특성을 정밀하게 기술하는 데 필요한 절리의 방향성, 간격, 연속성, 간극, 충전물, 거칠기 등과 블록형태, 블록크기분포, 절리면의 상태 등에 대한 심도 있는 평가가 수행되었다. 조사 자료에 대한 방향성 분석 결과 연구지역은 높은 변동성을



(a)



(b)

Fig. 5. Highly weathered volcanic rock masses at the study area

Table 2. Results obtained from XRD analysis

Rock forming minerals(%)				Clay minerals(%)			
plagioclase	orthoclase	quartz	mica	chlorite	kaolinite	illite	smectite
18.6	22.5	31.5	15.3	0.4	6.5	1.0	4.0

갖는 4개의 절리군이 분포하는 것으로 해석되었다. 절리간격 및 절리선 반길이에 대한 확률분포 모델로 음지수, 감마 및 대수정규 분포가 모두 적합한 것으로 분석되었다. 이들 통계분포를 도출하기 위해서 절리간격과 절리선 반길이에 관계된 자료왜곡을 보정하였다. 방향성 분석에 의한 각 절리군의 방향분포와 간격 및 빈도 분석에 의한 간격분포를 사용하여 몬테칼로 시뮬레이션에 의해 암석 블럭을 모사한 후, 생성된 개별 블록의 체적을 계산하면 연구지역에 대한 암석블록의 체적분포가 추정될 수 있다(Wang et al., 2002). 연구지역에서 3000개의 암석 블록이 모사되었으며, 이들의 체적분포가 Table 3에 수록되어 있다. 연구지역에서 모사된 블록의 평균 체적은 0.194 m^3 이며 표준편차는 0.270 m^3 로 산정되었다. 전체 블록 중 70%가 0.216 m^3 이하의 작은 블록에 해당함을 알 수 있으며, 26%가 0.008 m^3 이하의 매우 작은 블록으로 구성된다. 블록의 크기분포에 대한 해석결과는 연구지역의 암반 등급이 매우 낮을 수 있음을 시사한다. Table 4는 연구지역의 지질공학적 특성치를 요약하여 수록한 것이다. 연구지역에 노출된 암반은 지질공학적으로 매우 취약하며 이는 지질학적 관점과도 일치한다. 따라서 연구지역은 개발된 현장직접전단시험기의 현장적용성을 파악하기 위한 장소로 매우 적합하다고 판단된다.

4.2 Test block 형성 및 수직반력용 록볼트 설치

현장에서 직접전단시험을 위한 test block(TB)은 시험 대상인 암반의 표면에 두께 10 cm 정도의 콘크리트 패드를 타설하고 록쏘우(rock saw)와 체인쏘우(chain saw)로 형성하였다(Fig. 6(a), (b); 특허 10-0821812). 직접전단시험기의 주 프레임 외형 크기는 $W700 \times L1700 \times H800 \text{ mm}$ 이며 프레임의 수직반력판을 지지하기 위한 2개의

Table 3. Distribution of block volume

Range of Volume (m^3)	Relative Frequency
0 - 0.000216	5 %
0.000216 - 0.008	21 %
0.008 - 0.216	44 %
0.216 - 8	30 %
> 8	0 %

Table 4. Summary of rock mass characteristics of the study area.

# of fracture set	Mean fracture spacing (m)	Mean fracture size (m)	3D fracture frequency (#/m ³)	Mean block volume (m^3)	Mean JCS (MPa)	Mean JRC	Estimated RMR
4	0.12-0.35	0.41-0.93	10.83-29.29	0.194	24.4	10.61	43

록볼트 프레임의 제원은 $W350 \times L450 \times H25 \text{ mm}$ 이다. 따라서 링커터, 절삭 및 연마 겸용 소형 소우, 햄머, 정, 체인쏘우 등을 사용하여 TB를 중심으로 $W1500 \times L2000 \text{ mm}$ 의 공간이 확보되었다(Fig. 6(c), (d)). 또한, 체인쏘우를 사용하여 TB의 주면이 평탄하게 정리되었다(Fig. 6(e)). TB 형성 과정에서 가장 중요한 절차는 TB 하단부를 정리하는 과정이며, 이는 Fig. 6(f)에서와 같이 소형 햄머드릴, 정, 끌, 햄머 등을 이용해서 매우 조심스럽게 수작업으로 진행해야 한다.

Fig. 7은 TB를 전단상자로 몰당한 상태이다. 전단상자 4개가 공시체 하부로부터 차례로 치과용 석고를 이용하여 몰당되는데, 각각의 예상 전단면에서 상/하부 상자의 이격거리는 8 mm로서 몰당 시에 전용 철제 밴드를 장착하고, 전단 시에 떼어내는 형식이다. 치과용 무수축성 석고는 물/석고의 중량비 25%미만, 양생 4시간이면 압축강도가 40 MPa 이상으로 발휘된다. 독립적으로 전단되는 각각의 전단박스 두께는 두꺼울수록 좋지만, 최상단에서 제 3 단까지 95 + 8 mm, 최하부는 115 mm로 설정하였다.

수직반력용 록볼트의 암석-록볼트 접촉제는 초속결시멘트(QHC, Quick Hardening Cement)-모르타르를 사용할 수 있다. QHC는 10분 이내에 경화되는 데 비해, 배합 후 천공된 홀에 수작업으로 주입하는 데에 시간이 소요되므로 QHC-mortar에 지연제 0.3%를 혼합한 시멘트-밀크가 사용되었다. 지연제는 경화시간을 20분정도 지연시키는 효과가 있으며 1일 양생한 QHC-mortar의 강도는 포틀랜드 시멘트의 28일 양생강도 이상으로 발휘되었다. 록볼트(D25.4) 장착을 위한 천공은 신커드릴(sinker drill)을 사용하였으며 장착공의 제원은 $D52 \times L2500 \text{ mm}$ 이다. 연구지역의 암반에 대한 록볼트의 인발시험 결과 부착응력(bond strength)은 0.24 MPa로 나타났다. 이 연구에서는 8개의 록볼트를 설치하여 총 하중 500 kN 이상을 확보하였다. 여기서, 인발시험 시 록볼트 시스템의 최대 수직 변형량은 1.4 mm로 확인되었는데, 이는 체적팽창(dilatancy) 측정치에 의미 있는 영향을 미칠 수 있다. 따라서 수직변위 측정을 위한 계기들은 고정대(reference beam)에 고정시킴은 물론, 반드시 수직반력판 자체의 수직변형량을 측정해야 한다.

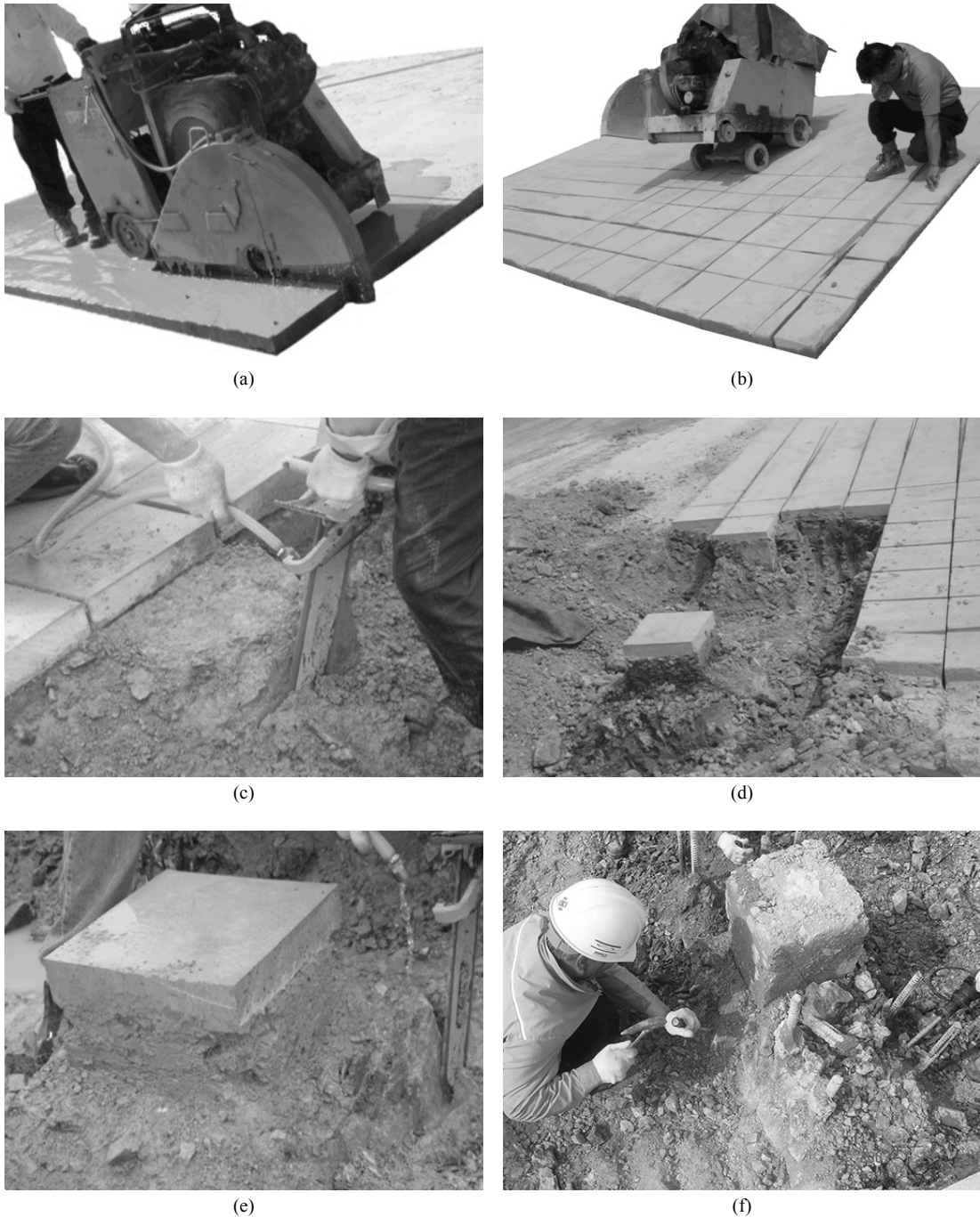


Fig. 6. Preparation of the test block

4.3 현장시험 및 결과

개발된 현장직접전단시험기의 현장적용성을 파악하기 위하여 전술한 방법으로 현장에서 $350 \times 350 \times 430$ mm 규모

의 TB(TB-1, TB-2) 2개가 형성되었다. TB의 단면은 ASTM D 4554-02의 추천치 보다 작지만, 실내직접전단시험에서 주로 사용되는 NX 크기의 코어시료 면적의 53배



Fig. 7. Molding shear box on the test block

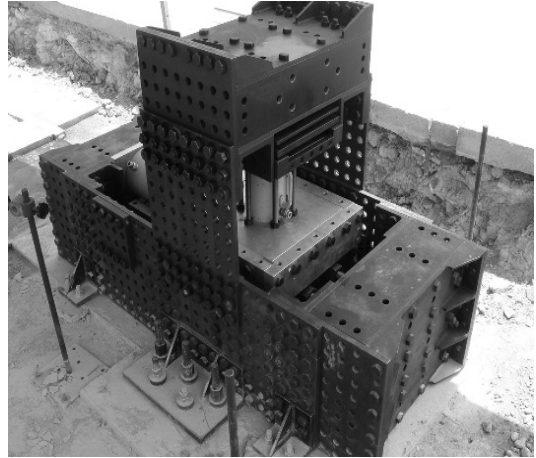


Fig. 8. In situ direct shear test apparatus setting on the test block at the study area



(a)



(b)

Fig. 9. Sheared surfaces after direct shear tests; (a) TB-1 and (b) TB-2

이고, 현장에서 직접 수행되는 시험이므로 실내시험에 비해 현장시험 결과의 신뢰성은 진일보한 것이라 생각된다.

전단 방식은 상부 전단상자 이동형이며, 단계별로 독립된 일정수직하중을 재하하여 전단한다. Fig. 8은 현장에 형성한 TB의 직접전단시험을 위하여 조립 완료된 시험기의 상태이다. 시험 중 수평 및 수직 변위 측정계기는 각각 4개씩, 또한, 하중프레임의 전후좌우 각각 1개씩 총 12개가 설치되었다. 수직하중은 일정하중 제어장치로 일정하게 유지시켰으며 총 4단계의 수직응력 범위는 0.43~1.66 MPa이다. 수평하중은 일정변위 제어장치의 재하속도를 0.2 mm/min로 설정하였다. 데이터로거(특히 10-0836419)를 통하여 노트북에 저장된 시험결과는 실시간으로 모니터에서도 확인할 수 있다.

이 연구에서는 각각의 수직하중 단계별로 전단과정이 종료되면 전단된 상부 상자를 원위치 시킨 후 동일 수직하중으로 재전단하는 방식이 적용되었다. 전단된 상태에서 재전단하는 경우는 당김(pull) 재하를 가정한 시험이다. Fig. 9는 TB-1과 TB-2에서 최상단 전단상자에 몰딩된 TB의 전단 파괴면이다.

TB-1에 대한 현장직접전단시험 결과가 Fig. 10에 나타나 있다. Fig. 10 (a)와 (b)는 일정수직응력에 따른 전단변위와 전단강도의 관계인데, 각각의 수직응력 단계별 최대전단강도는 재전단 시료보다 원상태 시료가 더 높게 나타났다. 최대전단강도에 이르는 전단변형률은 원상태 시료가 3~4%, 재전단 시료가 3.5%~4.5% 로서 재전단 시료가 항상 높게 나타났다. Fig. 10 (c)와 (d)는

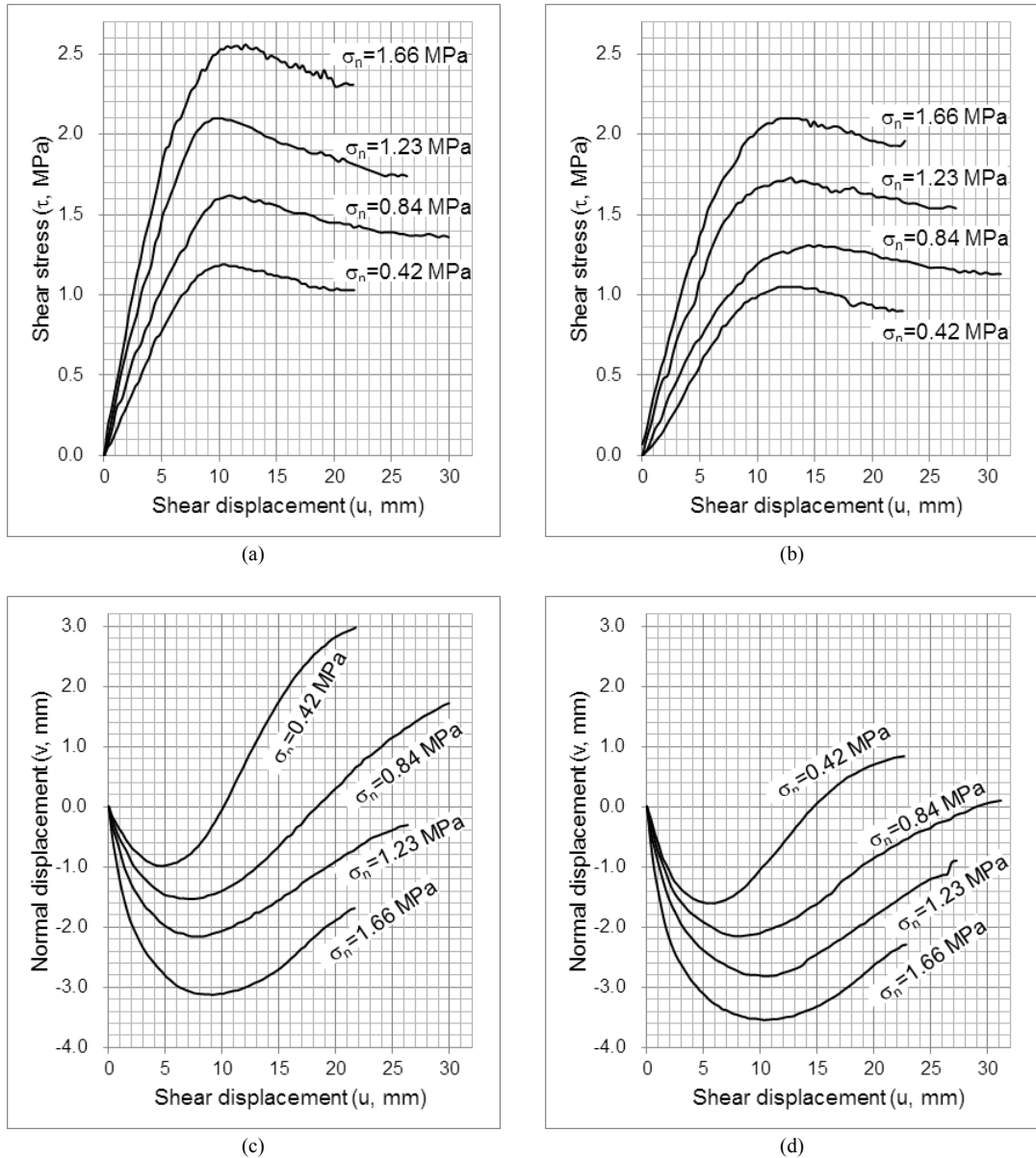


Fig. 10. Relationship between normal stress, shear stress, normal displacement, and shear displacement in constant displacement shear tests on TB-1; (a) & (c) original test block, and (b) & (d) sheared surface

전단변위와 수직변위의 관계를 도식한 것이다. 수직응력이 증가함에 따라 체적팽창 정도가 감소되는 경향으로 나타났는데, 이는 전단 시에 요철부의 손상정도가 점점 심해지기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 11의 수직응력과 최대전단응력의 관계에서 추정된 마찰각과 접착강도 등의 강도정수는 Table 5에 수록되어 있다. 이와 같은 결과는 개발된 현장시험기가 실내시험으로 수행하기

어려운 조건에서 test block의 강도 및 변형과 관련하여 필요한 대부분의 정보를 제공할 수 있음을 시사한다.

5. 결론

이 연구를 통하여 새로이 설계·제작된 현장직접전단시험기는 상당한 기간 동안 수많은 시행착오를 해결하며 수

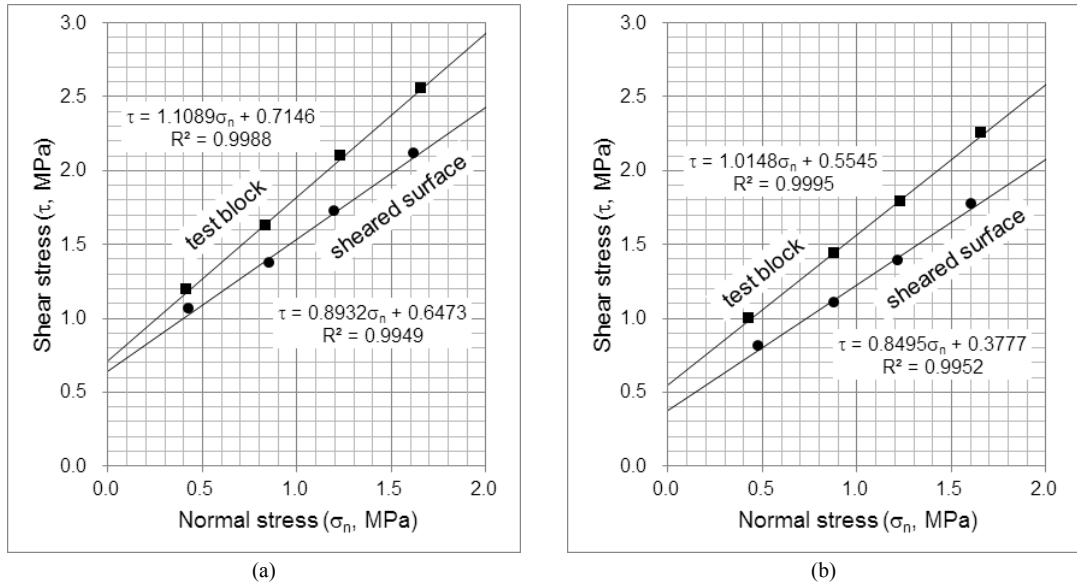


Fig. 11. Relationship between normal stress and shear stress in constant displacement in situ shear tests; (a) TB-1 and (b) TB-2

Table 5. Estimated cohesion(c) and angle of friction(ϕ)

Test block ID	Original block		Sheared surface	
	c (MPa)	ϕ	c (MPa)	ϕ
TB-1	0.71	48°	0.65	42°
TB-2	0.55	45°	0.37	40°

정·보완을 거쳐 완성하였다. 개발된 현장직접전단시험기는 현장상태 암석의 전단강도에 대한 정보를 제공할 수 있는 성능을 확보하였다. Test block의 크기가 ASTM의 추천치보다 작더라도 현장시험으로 강도정수를 구할 수 있다면 설계, 시공, 감리 및 사후관리에 불확실성이 경감된 최적의 자료가 제공될 수 있을 것이다. 개발된 현장직접전단시험기는 경량화, 이동성 및 내구성을 추구하였으며 터널에서는 물론 open-cut 현장에서도 시험이 가능하다. 또한 수직응력을 재하하는데 사용되는 수직반력판, 록볼트 시스템 및 유압실린더 시스템은 풍화 및 파쇄암반에 대한 평판재하시험 또는 일축압축시험에 적용할 수 있다. 향후 다양한 현장에 대한 사례연구가 더욱 많이 축적된다면 기존에 사용되고 있는 강도규준이나 RMR 또는 GSI 등을 이용한 암반의 강도정수 추정과 비교하여 진일보된 상호보완적 연구가 촉진될 수 있다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 건설핵심기술개발사업(04핵심기

술 A01-01)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김용필, 2007, 불량암반의 현장상태 강도정수 측정을 위한 시험기개발 연구보고서, 건설교통부, 한국건설교통기술평가원, pp. 512.
2. ASTM D 4554-02(2006), Standard test method for in situ determination of direct shear strength of rock discontinuities, American Society for Testing and Materials.
3. Franklin, J.A., J. Manioglou and D. Sherwood, 1974, Field determination of direct shear strength, Proc. 3rd Cong. Int. Soc. Rock Mech., Denver, 2, 233-240.
4. Ishida, T., T. Kanagawa and Y. Kanaori, 2010, Source distribution of acoustic emissions during an in-situ direct shear test: Implications for an analog model of seismogenic faulting in an inhomogeneous rock mass, Engineering Geology, 110, 66-76.
5. Lane, R.G.T., 1964, Rock foundations; Diagnosis of mechanical properties and treatment, Proc. 8th Int. Cong. Large Dams, Edinburgh, 1, 141-1.
6. Rocha, M., 1964, Mechanical behaviour of rock foundations in concrete dams, Proc. 8th Int. Cong. Large Dams, Edinburgh, 1, 785-831.
7. Wang, M., P.H.S.W. Kulatilake, J. Um, J. Narvaiz, 2002, Estimation of REV size and three-dimensional hydraulic conductivity tensor for a fractured rock mass through a single well packer test and discrete fracture fluid flow modeling, Int. J. Rock Mech. & Mining Sci., 39, 887-904.



김 용 필

1972년 고려대학교 공과대학 토목공학과 공학사
1982년 고려대학교 대학원 토목공학과 공학석사
1986년 고려대학교 대학원 토목공학과 공학박사

Tel: 010-4584-7456
E-mail: dragon-phil@daum.net
현재 (주)한국건설재료시험연구소 기술고문



이 영 균

2002년 상주대학교 공과대학 토목공학과 공학사
2005년 상주대학교 산업대학원 토목공학과 공학석사

Tel: 010-8401-1280
E-mail: leeyoung1280@yahoo.co.kr
현재 대림산업주식회사 토목사업부 차장



이 성 국

1998년 부경대학교 공과대학 토목공학과 공학사

Tel: 010-3588-1151
E-mail: sklee1234@paran.com
현재 (주)한국건설재료시험연구소 소장



엄 정 기

1988년 연세대학교 이과대학 지질학과 이학사
1990년 연세대학교 대학원 지질학과 이학석사
1997년 University of Arizona 자원지질공학과 공학박사

Tel: 051-629-6559
E-mail: jum@pknu.ac.kr
현재 부경대학교 에너지자원공학과 교수