

서울 무악재 절취사면에서의 암판정 연구

이 수 곤¹⁾

Classification of Rock Mass on Cutting Slopes in Muakjae, Seoul

Su-Gon Lee

ABSTRACT There are substantial difficulties in assessing the volume of soil/rock to be excavated and the cost thereof, which is attributable to the subjective and qualitative methods of rock mass classification prevailing at the moment. This paper intends to introduce more objective and quantitative rock mass classification method easily applicable to the excavation of granites in Muakjae, Seoul. As a result of such study it is proven that Schmidt hammer and point load strength tests are fairly reliable and easily applicable to estimate and quantify uniaxial compressive strength of granitic material in Seoul. In an efforts to confirm the granitic rock mass conditions in 12 meters underground, seismic refraction surveys were made on the top of vertical exposures from where underlying rock mass conditions could be directly inspected. Rock mass boundaries determined by seismic refraction methods were found to agree within a 1m variance with visible differences in rock mass conditions in the vertical exposure beneath the test site. Thus it can be concluded that detailed geotechnical mapping on cutting slopes is a most efficient, dependable and cost-effective technique in assessing likely excavation conditions of shallow granitic mass in Seoul.

Key words : rock classification, granite, rock slope, excavation.

초 록 주관적이고 정성적인 암판정 방법들 때문에 굴착될 토층과 암석의 물량과 이에 따른 굴착비용 산정시에 일반적으로 어려움이 많다. 그러므로 본 논문은 굴착 목적에서 서울 화강암에 대하여 객관적이고 정량적이고 쉽게 적용될 수 있는 암판정 방법들을 제시한다. 슈미트해머와 점하중강도 시험들은 서울 화강암의 암석에 대한 일축압축강도를 정량적으로 추정하기 위한 신뢰도가 높고 손쉽게 수행할 수 있는 방법들로서 입증되었다. 또한 지표면에서 약 12 m 깊이인 천부지역의 화강암 암반상태를 확인하기 위하여, 지반조건을 직접 관찰할 수 있는 수직 절취사면의 최상부에서 현장 탄성파탐사 방법이 사용되었다. 이로써 현장 탄성파탐사로서 암반 상태 및 깊이를 판단하는 신뢰성을 확인할 수 있었는데 매우 정확한 1 m의 오차만 있었다. 그러므로 비교적 천부인 서울 화강암 암반의 굴착난이도 상태를 판단하기 위하여 현장에서 절취사면에 대한 정밀 지반조사 방법은 매우 유용하고 경제적인 방법으로서 고려될 수 있다.

핵심어 : 암판정, 화강암, 암반사면, 굴착난이도, 토공

1. 서 론

주관적이고 정성적인 암판정 방법들 때문에 굴착될 토층과 암석의 물량과 이에 따른 굴착비용 산정시에 일반적으로 어려움이 많으므로(이수곤, 1992; 이수곤과 이승, 1994) 본 논문은 굴착 목적에서 서울 화강암에 대하여 객관적이고 정량적이고 쉽게 적용될 수 있는 암판정 방법들을 제시한다. 본 연구 지역은 서울의 중앙부에 위치하며 서울 북서쪽 지역을 관통하는 교통량이 많은 대표적인 주요 도로인 서울시 서대문구 기존 무악재고개의 65°~80° 가파른 도로사면으로서 항상 낙반사고가 빈번히 발생한다.

그러므로 앞으로도 많은 인명피해가 우려되므로 장기적인 안전대책의 방안으로서 절취사면의 경사를 완만하게 굴착하는 재정비공사와 관련된 절취사면 공사에 따른 암판정(절취난이도 판정) 결과이다. 현장의 노출된 절취사면은 세 군데로서 각각 절취사면의 높이는 약 40 m이고, 폭은 약 100 m 정도인데 암판정 조사를 위하여 현장 접근이 가능한 우측 절취면에서 본 연구가 수행되었다(Fig. 1).

본 지역에는 암석의 풍화상태가 육안으로 뚜렷하게 구

1) 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 교수
원고 접수일 : 1999년 6월 7일
원고 심사 완료일 : 1999년 6월 28일

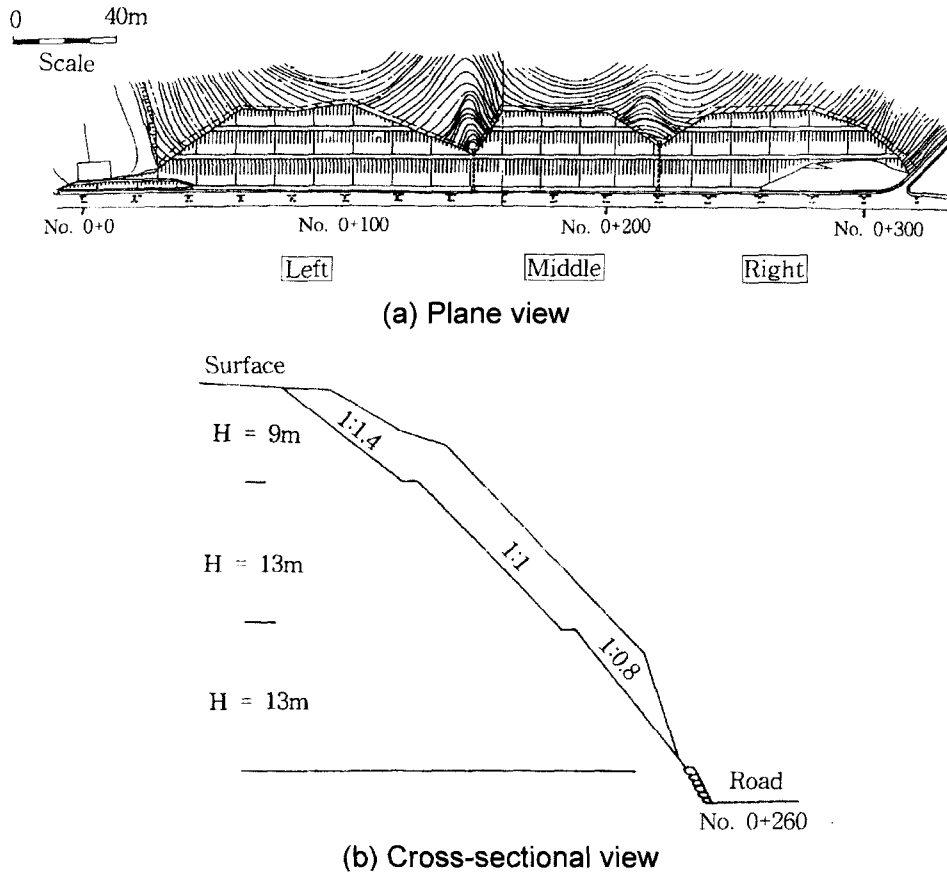


Fig. 1. Design drawings of the cutting slopes in Muakjae, Seoul

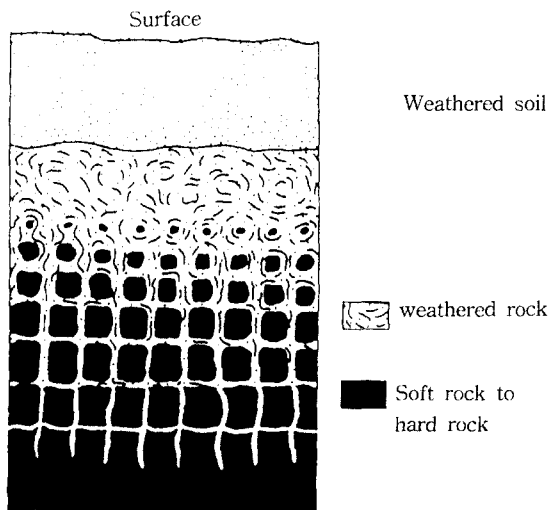


Fig. 2. Typical weathering profile of Muakjae (Ollier, 1984)

별되지 않는 뿐더러 불규칙한 암반 풍화상태(Fig. 2)도 관찰되는 복잡한 지질특성을 지니고 있다(Ollier, 1984). 이 경우에는 일반적으로 국내에서 사용되는 현장에서의 육안이나 지질해머의 타격으로서 주관적으로 암석강도를 판정하거나, 절취사면에서 대표적으로 강한 암석에 대하여서만 일축압축강도 시험을 수행하여서 그 수치로서 전체적인 절취난이도의 판정기준으로서 사용하기에는 불합리하다. 그러므로 굴착공사 비용의 산출 및 정산에 보다 합리적이고 정량적인 암판정 방법을 제시함으로써 감독자와 시공자간에 분쟁의 소지를 줄이려는 목적에서 본 연구가 수행되었다.

2. 지형 및 지질 특성

무악재 지역은 서울 중심부에 광범위하게 분포하고 있는 화강암(granite)으로 이루어졌다(홍승호 외, 1982). 서

울 지역의 화강암은 대체로 우백색으로서 불연속면(절리, 단층)의 발달이 적어서 암반이 양호한 편이다. 그러나 본 무악재 지역에서 관찰되는 화강암은 약간 분홍색을 띠는 암석으로서 이런 화강암은 서울지역의 일반적인 화강암보다도 홍제동 인근에서만 나타나는 특이한 화강암으로 분류되는데, 불연속면(절리나 단층)의 발달이 비교적 많아서 암반 전체의 파쇄정도는 보통인 편이다. 절리는 경사가 거의 수직인 절리가 우세하게 발달하며 또한 완만한 경사로서 지형에 평행하게 발달하는 판상절리(sheeting joint)도 뚜렷하게 발달하며, 국부적으로는 파쇄가 더 발달된 단층파쇄대(shear zone)가 약간 발달하는 특징이 있다(이수근, 1994). 절취사면의 표면에는 나무뿌리가 절리와 단층들의 틈새로 침투하여서 발달하므로 식생상태가 비교적 양호한 편이다. 본 지역의 암반 풍화상태로서 절취사면 상부 표면에는 약 1~2 m 이내의 풍화토-풍화암이 얇게 덮여있고 그 하부에는 거의 연암-경암이 연속적으로 분포한다.

3. 암판정 방법

일반적으로 절취사면을 굴착하는 공사에서 『암판정』이란 주로 굴착난이도를 결정하기 위하여 암반판정을 하는 것이다. Fig. 3에서와 같이 암반의 굴착난이도는 ① 암석강도와 ② 불연속면(절리, 단층)의 발달빈도의 두가지 변수에 의하여 결정되는 것이 실제 굴착시공성에 합리적인 판단이다(Franklin et al, 1971).

이 판단방법은 역시 국내의 『건설 표준품셈』(대한건설협회, 1999)의 토공용 암의 분류(Table 1) 내용과도 일치하는데, 예를 들면 절리간격이 0.1 m 이하로서 파쇄가 매우 많으면 암석은 연암-경암으로 단단하더라도 전체적인

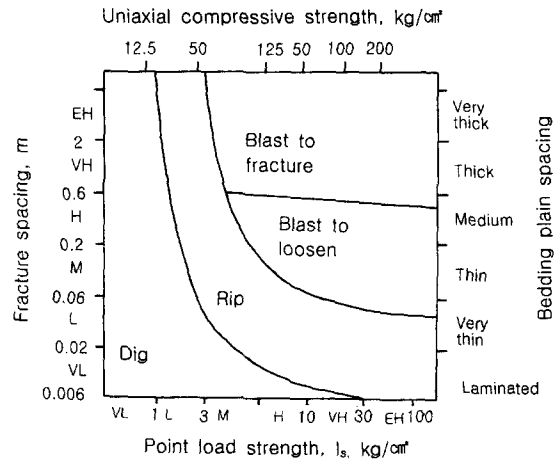


Fig. 3. Rock quality classification in relation to excavation (Franklin et al, 1971)

암반의 특성으로 볼 때 리핑암으로서 간주하고 있다. 또한 외국(Atkinson, 1971)에서는 ① 암석강도와 ② 파쇄정도인 두가지 변수를 모두 고려하여서 현장에서 암반의 굴착난이도를 합리적이고 정량적으로 판단하는 최선의 방법으로서 현장 탄성파속도 시험을 제시하고 있으며(Fig. 4), 국내의 건설 표준품셈(Table 2)에서도 역시 가장 중요한 분류기준으로 현장 탄성파속도를 첫번째 항목에서 제시하고 있다. 그러므로 보다 정확한 암반의 굴착난이도를 판단하고자 본 지역의 대표적인 부분에서 현장 탄성파속도 시험을 수행하였다.

현장 탄성파속도 측정방법이 굴착난이도 판정을 위한 최적의 방법이지만 시험하는데 시간이 많이 소요되며 또 한 소요비용이 많기 때문에 차선책으로서, 현장에서 간단하고 신속히 암판정을 수행할 수 있는 방법을 본 연구에서 제시하고자 한다. 본 연구에서는 암반의 굴착난이도를

Table 1. Rock classification for excavation purpose (Construction Association of Korea, 1999)

Rock Class	Description
Weathered Rock	<ul style="list-style-type: none"> • Heavily weathered rock with 1~10 cm joint spacing. • Pickaxe or a bit of blasting is required for excavation or cutting of the rock.
Soft Rock	<ul style="list-style-type: none"> • Shale, sandstone with 10~30 cm joint spacing. • Gunpowder is needed for excavation or cutting of the rock. • Not strong enough and improper for use as dog-teeth stone.
Medium Rock	<ul style="list-style-type: none"> • Slight sign of weathering is noticed with 30~50 cm joint spacing • Gunpowder is needed for excavation or cutting of the rock.
Hard Rock	<ul style="list-style-type: none"> • Granite, andesite and etc with 50 cm~1 m joint spacing. • Gunpowder is needed for excavation or cutting of the rock. • Strong enough and proper for use as dog-teeth stone.
Very Hard Rock	<ul style="list-style-type: none"> • Very strong rock with wide joint spacing over 1 m.

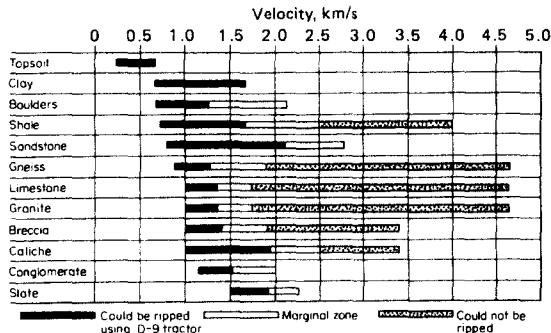


Fig. 4. Ease of excavation as related to field seismic P-wave velocities (Atkinson, 1971)

판단하기 위한 하나의 판단기준인 암석강도를 정량화하기 위하여 현장에서 점하중강도(point load strength) 측정과 아울러서 슈미트해머 반발지수(Schmidt hammer rebound value: SHV) 측정방법을 동시에 사용하였다 (Deere & Miller, 1966; GCO, 1984; Goodman, 1993; Hencher, 1984; Hencher & Martin, 1982; IAEG, 1981; Irfan & Dearman, 1978; ISRM, 1978b; ISRM, 1981; Lee & De Freitas, 1989). 또한 보다 정확한 암석강도의 판정을 위하여 건설 표준품셈의 정량적인 암분류 기준(Table 2)에서 요구하는 실내에서의 압편(rock specimen) 대한 탄성파속도 및 일축압축강도도 측정하였다. 그리고 암반의 굴착난이도를 지배하는 또다른 요소인 불연속면(절리, 단층)의 발달빈도, 즉 암반의 파쇄 정도는 현장에서 출자로 측정하였다. 그러므로서 모든 실내 및 현장 암석 시험자료를 참고로 하고, 또한 현장에서 육안

으로 조사한 자료를 모두 종합하여서 굴착난이도를 판정한 한 결과와 앞서 설명한 현장 탄성파속도 시험결과를 상호 비교하여서 국내의 지질특성에 부합되도록 합리적이고 정량적인 암판정 방법을 제시하고자 한다.

4. 현장 탄성파속도 시험

본 무약재 절취사면의 좌측부와 중앙부분에는 나무들이 많아서 접근이 어려우나 우측부분에는 나무가 적고 절취사면 상부의 지형이 비교적 평탄하여서 현장 탄성파탐사(P-wave velocity)를 수행하기가 용이하므로, 현장에서의 전반적인 암반의 탄성파 속도를 구하여서, 리핑암과 발파암의 경계를 현장에서 육안과 슈미트해머 타격시험으로 판단한 기준에 보완적으로 사용하려는 것이 현장탄성파탐사의 목적이었다. 탐사 실시지역의 지형이 험난한 산악 지형이므로 비교적 간단한 탄성파 굴절탐사장비(일본 OYO, 장비로서 Model-1216A)를 사용하였다. 탄성파를 수신하는 지오폰(geophone)은 12개를 사용하였고 지오폰의 간격은 3m로서 총 수평길이는 35m에 대하여 현장탄성파탐사를 수행하였다. 이 수평 탐사길이는 지표면에서 약 12m 깊이까지 확인할 수 있는데 이로서 본 연구의 대상인 절취사면의 상부와 중앙부까지의 복잡한 지반상태를 충분히 파악할 수 있는 탐사범위였다. 본 절취사면 주변에 가옥이 많고 교통량이 많으므로 탄성파를 발생시키는 음원(source)으로서 발파를 수행하기에는 위험하므로 해머타격을 이용한 탄성파탐사를 수행하였다. 지오폰에 수신된 탄성파는 탄성파 본체 장비에서 컴퓨터로 기록되며

Table 2. Rock classification with respect to seismic wave velocity and uniaxial compressive strength (Construction Association of Korea, 1999)

Factor of classification Rock class	Group of rock	Seismic wave velocity of the ground; V(km/sec)	Seismic wave velocity of rock sample; Vc(km/sec)	Uniaxial Compressive Strength of rock sample; (kgf/cm ²)
Weathered rock	A	0.7~1.2	2.0~2.7	300~700
	B	1.0~1.8	2.5~3.0	100~200
Soft rock	A	1.2~1.9	2.7~3.7	700~1000
	B	1.8~2.8	3.0~4.3	200~500
Medium rock	A	1.9~2.9	3.7~4.7	1000~1300
	B	2.8~4.1	4.3~5.7	500~800
Hard rock	A	2.9~4.2	4.7~5.8	1300~1600
	B	Over 4.1	Over 5.7	Over 800
Very hard rock	A	Over 4.2	Over 5.8	Over 1600

※ A group : gneiss, sandy schist, green schist, hornfels, limestone, sandstone, diabase tuff, conglomerate, granite, diorite, peridotite, serpentine, rhyolite, andesite, basalt

B group : dark schist, green schist, diabase tuff, shale, mudstone, tuff, agglomerate

컴퓨터화면에서는 탄성파의 수신상태를 조절할 수 있고, 여기서 뚜렷한 탄성파 초기 도달시간(first arrival time)을 판단한다. 본 탐사에서 사용된 속도 분석방법은 굴절과 주시곡선을 이용하여 3층 이상의 layer에 대하여 적용되는 critical distance method 해석법(Heiland, 1968)으로서 굴절면의 심도, 경사, 암반내의 1층과 2층 및 3층의 탄성파속도를 측정하였다.

본 무악재 절취사면의 우측부에서의 현장 탄성파 시험 자료는 Fig. 5에서 보여지는데, 본 지역에는 깊이에 따라서 점이적으로 풍화가 변화하므로 완전한 주시곡선의 형태를 나타내고, 또한 본 지역의 암반내에 핵석형태의 풍화가 미약하게 발달하므로 결과수치가 불규칙한 부분도 있다. 그러나 비교적 뚜렷한 3층으로 구별될 수 있는데,

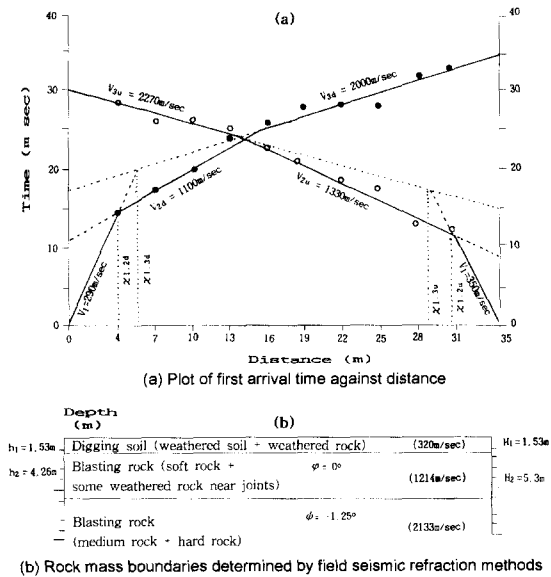


Fig. 5. Results of field seismic refraction survey for Muakjae

지표면에서 약 1.53 m 깊이에는 320 m/sec 속도인 풍화 토층이 있고, 그 하부의 약 4.26~5.3 m 두께로 1214 m/sec 속도인 주로 연암질의 발파암이 존재하고, 그 하부에는 2133 m/sec 속도인 주로 보통암-경암질의 발파암이 존재하는 것을 보여준다.

본 320 m/sec 속도를 토층으로 판정하고 2133 m/sec 속도를 발파암으로 판정하는 기준은 역시 건설 표준품셈 (Table 2)과 외국의 자료(Fig. 4)도 동시에 만족시키므로 합당한 판정이라 사료된다. 다만 중간층인 1214 m/sec는 건설 표준품셈의 현장 탄성파속도를 기준(Table 2)으로 하면 연암질 발파암이나 외국의 자료(Fig. 4)에는 리핑암과 발파암의 경계이다.

5. 실내 암석시험

본 지역에서 절취사면의 지표면 상부에서 중앙부까지가 암반의 풍화상태가 육안으로 판단하기에 불확실하고 절취사면의 하부는 암석들이 신선하여서 육안으로도 암판정이 비교적 명확하므로 암석이 풍화가 많이 진행된 절취사면의 지표면 상부에서부터 절취사면의 중앙부 부근까지에 집중하여서 실내와 현장에서 암석의 일축압축강도를 판단하였다. 우선 암석의 실내시험은 건설 표준품셈 (Table 2)에서 암판정을 정량적으로 수행할 경우에 추천하는 사항으로서 현재 국내 건설현장에서 암판정시에 널리 사용되고 있는 일축압축강도와 암편 탄성파속도를 측정하였다.

5.1 일축압축강도 시험

현장에서 암석의 풍화상태를 육안으로 관찰하여서 판정한 대표적인 연암, 보통암, 경암의 5개 암괴에서 5 cm 직경과 10 cm 길이의 코어시료를 성형하여서 자연건조시킨후에 ISRM 시험방법(1979a)에 따라서 만능시험기를

Table 3. Laboratory and field test results of rock material

Sample No.	Rock class	Point load strength		Schmidt hammer value		Laboratory seismic wave velocity (V _p) : km/sec	Uniaxial compressive strength (UCS) : kg/cm ²
		Is(50) : kg/cm ²	Likely UCS : kg/cm ²	SHV	Likely UCS : kg/cm ²		
1	Soft rock	25	799	38	652	2.8	705
2	Medium rock	44	1031	48~50	949~1022	3.4~3.5	1064
3	Medium rock	48	1079	53	1144	4.0	1126
4	Medium rock	60	1226	55~56	1233~1280	4.2~4.3	1335
5	Hard rock	76	1421	60	1486	4.3~4.4	1577

사용하여서 시험하였다. 시험결과는 Table 3에 정리되어 있는데, 일축압축강도가 연암에서는 705 kg/cm², 보통암에서는 1064~1335 kg/cm², 경암에서는 1577 kg/cm²로서 건설표준품셈(Table 2)의 암분류와 대체적으로 일치한다. 본 일축압축강도 시험방법은 암석강도를 측정하는데 가장 정확한 방법이지만 시험시간과 시험비용이 많이 소요되므로 전체적인 절취사면에서 보다 많은 암석시료로서 강도 시험을 수행하지 못하는 한계가 있다.

5.2 암편 탄성파속도 시험

건설 표준품셈(Table 2)에서 정량적인 암판정의 기준으로 제시되는 또 하나의 방법은 탄성파속도 측정(P-wave velocity)이므로, 현장에서 대표적인 암석을 절취사면에서 채취하여서 일축압축강도 시험용으로 제작된 시료에 대하여 일축 압축강도 시험을 수행하기 전에 자연 건조상태에서 일본 OYO 회사 Model 5217A 장비로서 암편 탄성파속도를 측정하였다(ISRM, 1979b). 측정된 암편 탄성파속도 결과는 Table 3에 요약되어 있다. 암석의 풍화상태를 육안으로 관찰하여서 판정한 연암은 2.8 km/sec, 보통암은 3.4~4.3 km/sec 로서 건설 표준품셈(Table 2)에서의 암판정 결과와 대체적으로 일치하는 것을 보여주지만, 경암은 4.3~4.4 km/sec 로서 건설표준품셈의 기준에서 보면 보통암의 탄성파속도를 지나는 것으로 측정되었다.

또한 본 암석의 실내 탄성파속도(Table 3)는 현장 탄성파속도 보다도 약간 높은 수치를 보이는데 이는 현장 암반이 보통 파쇄된 상태 때문인 것으로 판단된다.

6. 현장 암석시험

현장에서 대표적인 암석시료를 채취하여 정량적인 암판정을 위하여 실내시험을 수행하였는데 설계를 위한 목적이 아니고 비교적 단순한 암판정의 목적에서는 실제적으로 암석의 시추코어를 제작하여서 일축압축강도 및 암편 탄성파속도를 측정하는 것이 시간과 비용이 많이 소요되므로 현장에서 보다 신속한 암판정을 위하여 널리 알려진 점하중강도 시험과 슈미트해머 시험을 수행하였다.

6.1 점하중 강도시험

점하중강도 시험(Point load strength test)은 시료에 점하중을 가하여 시료내에 인장강도가 발생하게 하여서 암석을 깨뜨리는 방법으로서 일반적으로 암석의 인장강도

는 압축강도보다도 1/10~1/15 정도로 매우 작으므로 간접적인 인장강도를 가하므로써 손으로 들고 다닐 수 있을 정도로 적은 유압시험기로서 암석의 일축강도를 추정하고자 하는 목적에서 개발된 방법이다(Broch, 1970; Broch & Franklin, 1972; ISRM, 1985). 그리고 점하중강도 시험은 특히 암석내에 이방성 특성이 있는 암석의 이방성 강도 영향까지도 고려(Dobereiner, 1993; Greminger, 1982)하면서 암판정을 정량적으로 쉽고 빠르게 현장에서 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 일축강도를 비교적 정밀하게 추정할 수 있는 방법으로서 외국의 토목공사 현장에서 많이 통용되고 있고, 국내에서도 최근에는 많은 건설현장 등에서 빈번히 사용되고 있으므로 대표적인 암석시료에 대하여 점하중강도 시험을 수행하였다. 또한 점하중강도 시험은 시추코어 같이 성형된 정형시료 뿐만 아니라, 무정형 시료 등의 여러 형태의 시료를 사용할 수 있는 것이 본 점하중강도 시험의 장점이므로 본 연구에서는 무정형 시료를 사용하여서 영국 ELE 회사의 점하중강도 시험기로서 수행하였다. 한 암석의 점하중강도를 측정하기 위해서는 크기가 각기 다른 12~14개 정도의 시료에 대하여 각각 시료가 파괴될 때의 점하중을 기록하고, 또한 시료 크기의 지수인 최소단면적(직사각형)을 구하기 위하여 시료의 가로와 세로의 길이를 측정한다. 본 지역 시료인 화강암은 암석내에 등방성 구조를 지니고 있으므로 시료와

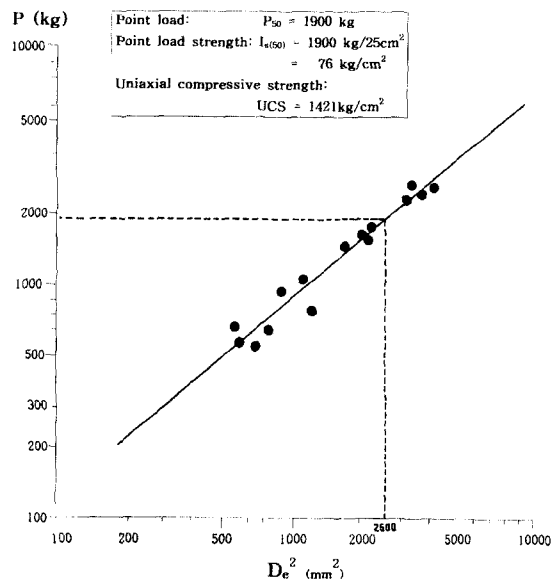


Fig. 6. Point load strength test results on sample 2 showing plots of point load (P) versus equivalent diameter squared (D_e²)

하중방향과의 관계를 고려하지 않고 단순하게 측정하였다. 암석시료는 앞서 일축압축강도 시험용으로 사용된 것과 같은 연암, 보통암, 경암의 5개 암괴에서 채취하였다. 무정형 시료로서 점하중강도를 측정하기 위하여 분석한 결과(Fig. 6)를 보면 시료가 파괴될 때의 점하중 수치와 시료 크기의 지수인 최소단면적(직사각형) 수치간에 거의 직선적인 매우 좋은 상관관계가 있음을 알 수 있다(Broch, 1970; Broch and Franklin, 1972; ISRM, 1985).

또한 점하중강도는 일축압축강도와 좋은 상관관계를 지니고 있는 것으로 널리 알려져 있으므로 측정된 점하중강도수치를 사용하여 일축압축강도를 추정하기 위하여 본 무악재 절취사면의 화강암을 포함하여서 서울 전역에 분포하는 화강암들에 대하여 이수곤과 이송(1995b)이 연구하여 제시한 점하중강도(PLS)와 일축압축강도(UCS)에 대한 실험에서 얻어진 다음과 같은 관계식을 사용하였다: $UCS = 494.0369 + 12.19592 \times PLS$ (r: regression value = 0.931); 여기서 PLS는 점하중 강도(kg/cm^2)이고 UCS는 일축압축강도(kg/cm^2)를 나타낸다. 본 지역의 대표적인 부분에서 채취한 5지역의 비교적 무결점인 연암-경암질 암석시료에 대하여 점하중강도를 측정한 결과 및 추정된 일축압축강도의 수치는 Table 3에 정리되어 있는데 암석의 풍화도를 육안으로 판정한 연암은 점하중강도가 $25 kg/cm^2$, 보통암은 $44\sim 60 kg/cm^2$, 경암은 $76 kg/cm^2$ 으로서 뚜렷하게 구별되는데, 각각 일축압축강도가 연암이 $799 kg/cm^2$, 보통암이 $1031\sim 1226 kg/cm^2$, 경암이 $1421 kg/cm^2$ 로서 건설 표준품셈(Table 2)의 암판정 기준과 대체적으로 일치한다. 그리고 점하중강도로서 추정된 일축압축강도는 실제로 일축압축강도 시험한 수치와 10% 오차 범위내에 있으므로 다른 많은 연구자들이 입증한 바와 같이 점하중강도는 현장에서 일축압축강도를 추정하는데 매우 신뢰성 있는 방법이다(이수곤, 이송, 1995b; Carter & Sneddon, 1977; Irfan & Dearman, 1978).

6.2 슈미트해머 시험

점하중강도 시험은 몇 개의 대표적인 암석으로 시험하였으나 보다 신속하게 전반적인 암석 풍화상태에 따른 일축압축강도의 변화를 판단하기 위하여 슈미트해머 시험도 역시 수행되었다. 무악재 절취사면에서 본 연구를 수행한 높이가 약 40 m 인 우측 절취사면의 상부에는 풍화가 매우 불규칙하나 중간부와 하부에서는 암석이 신선하므로 주로 절취사면 상부(첫번째 소단 상부)에서, 가능한 최대한의 위치까지 접근하여 슈미트해머를 타격하였다. 사용한

슈미트해머(Schmidt hammer)는 L-type으로서 암석강도 측정용이다. 절취사면상에서의 타격방법은 현재의 절취공사중인 절취사면에서 접근이 가능한 암석표면에서 수평간격 약 2~3 m 마다 절취사면중에서 대표되는 암석표면을 소형연마기(grinder)로 편평하게 한 후에 5번 타격하여 평균내에서 암석의 대표적인 슈미트해머 수치로서 판단하였는데(Day & Goudie, 1977; ISRM, 1978a; Schmidt, 1960) 총 78지점에 대하여 총 390회 타격을 수행하였다. 또한 본 절취사면들이 약 45° 경사되어 있으므로 거의 모든 슈미트해머 타격방향이 약 45° 하향으로 향하였으므로 중력때문에 슈미트해머수치가 약간 낮아졌으므로, 슈미트해머수치를 약간 높게 수평방향의 슈미트해머 타격수치로 보정하였다(Deere & Miller, 1966).

측정된 슈미트해머의 대표수치를 사용하여 일축압축강도를 추정하기 위하여 본 무악재 절취사면의 화강암을 포함하여서 서울 전역에 분포하는 화강암들에 대하여 이수곤과 이송(1995a)이 제시한 슈미트해머 반발수치(SHV)와 일축압축강도(UCS)에 대한 실험에서 얻어진 다음과 같은 관계식을 사용하였다: $\log(UCS/10) = 1.19709 + 0.01625 \times SHV$ (r: regression value = 0.966); 여기서 UCS는 일축압축강도(kg/cm^2)이고 SHV는 슈미트해머 수치를 나타낸다. 본 무악재지역의 화강암 암석표면에서 타격한 슈미트해머 대표치는 암석의 풍화도에 따라서 다른데 본 지역의 풍화 특성상 지표면 상부에서 하부로 갈수록 슈미트해머 수치가 점차로 증가하는 경향이 있으나 간혹 불규칙한 풍화 특성 때문에 슈미트해머수치도 수평적으로 볼 때 들쭉날쭉하게 크거나 작은 수치를 보이는 경향이 있다. 그리고 일반적으로 육안으로서 풍화정도를 판정한 풍화암은 SHV=25(암석의 일축압축강도는 약 $500 kg/cm^2$), 연암과 풍화암의 경계는 SHV = 25~30(암석의 일축압축강도는 약 $600 kg/cm^2$), 연암은 SHV = 30~35(암석의 일축압축강도는 약 $700 kg/cm^2$) 이상으로 판별 되었는데(Fig. 7(c)), 슈미트해머 수치로서 추정된 일축압축강도를 건설 표준품셈의 일축압축강도 범위(Table 2)와 비교하여 보면 암석의 극경암, 경암, 연암, 풍화암이 비교적 뚜렷하게 슈미트해머로서 구별 됨을 알 수 있다. 또한 Table 3은 일축 압축강도와 슈미트해머수치간의 비교 결과를 보여주는데, 슈미트해머로서 추정된 일축압축강도는 실제로 일축압축강도 시험한 수치와 10% 오차 범위내에 있으므로 다른 많은 연구자들이 입증한 바와 같이 슈미트해머 시험은 점하중 강도시험과 같이 일축압축강도를 현장에서 신속히 추정할 수 있는 신뢰도 높은 방법이

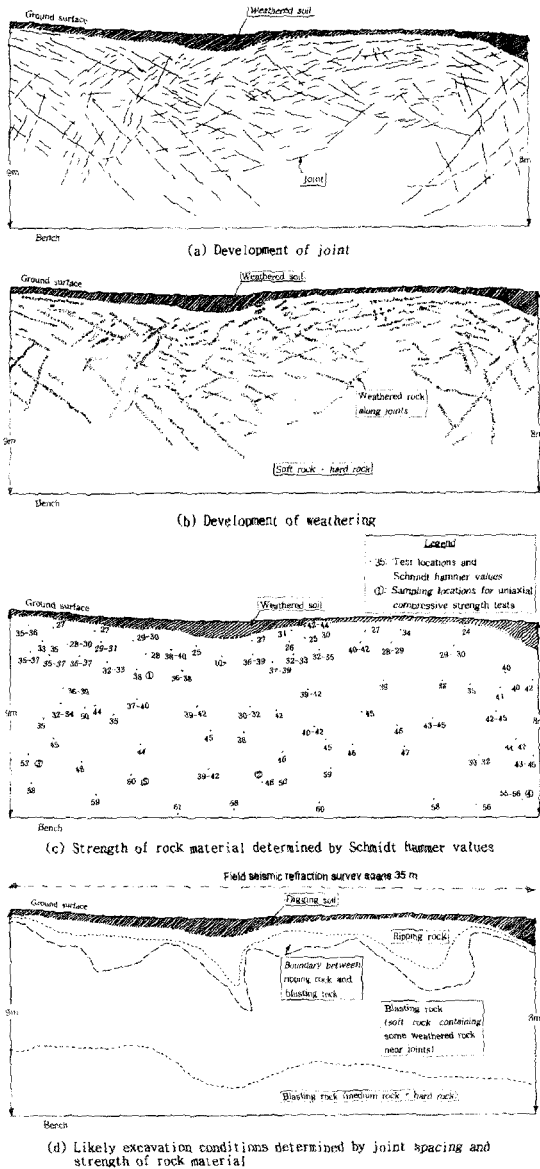


Fig. 7. Geotechnical study of a cutting slope for assessment of excavation conditions

다(이수곤, 이송, 1995a; Carter & Sneddon, 1977; Deere & Miller, 1966; Irfan & Dearman, 1978). 그러나 이수곤과 이송(1995b)이 지적한 바와 같이 슈미트해머 시험으로서 일축압축강도를 추정하는 경우에는 암석의 종류에 따라서 슈미트해머 수치와 일축압축강도간의 상관관계가 다르므로 암석의 종류에 따른 차이를 고려하지 않고 작성된 일반적인 상관관계식들을 사용하면 추정오차가 클 수도 있으므로 각 암석종류에 적합한 상관관계를 연구

하여서 사용하는 것이 슈미트해머 시험의 신뢰도를 높이는 방법이다.

7. 암석시험과 육안관찰에 의한 굴착난이도 판정

현장에서 육안으로 관찰한 절리 발달 결과(Fig. 7(a))와 풍화정도(Fig. 7(b)) 및 실내와 현장에서의 정량적인 암석시험결과(Fig. 7(c))를 종합하여서 분석한 굴착난이도(Fig. 7(d)) 판정 결과는 다음과 같다. 암반의 굴착난이도는 암석강도(풍화정도) 뿐만 아니라 절리 발달빈도(파쇄정도에 따라서 토층, 리핑암, 발파암으로 결정되는데(Fig. 3, Table 1), 본 지역의 절리 발달정도는 현장에서 육안으로 관찰해보면 절리 간격이 0.1 m 이하로 파쇄가 극심하면 리핑으로 가능한 것으로 확인된다. 그러나 절리 간격이 0.1 m 이상이면 리핑이 어렵고 발파로 시공해야 하는 것으로 판단되었고, 역시 급변에 수행한 현장 탄성파속도(Fig. 5)도 이러한 결과를 입증하고 있다. 그런데 현장 정밀조사하여 보면 본 지역은 전반적으로 볼 때 암반내에 균열이 0.3 m×0.5 m×1 m 크기로서 파쇄정도가 보통이므로 굴착난이도는 절리 발달빈도의 영향은 거의 없고 암석강도(풍화정도)에 주로 의존하게 된다(Fig. 7(a)). 여기서 파쇄가 보통인 암반에서 암석강도만으로 굴착난이도를 판단하기 위하여, 현장의 육안조사와 지질해머의 뒤끝으로 읽어보는 정성적인 시험방법과 아울러서 정량적인 슈미트해머 시험도 수행하여서 그 결과를 서로 비교해 보면 풍화암질 리핑암은 SHV = 25 이하, 연암과 풍화암의 경계는 SHV = 25~30, 연암질 발파암은 SHV = 30~35 이상으로 판별되었다.

본 지역의 암석의 풍화정도는 지표면에서 하부로 갈수록 점이적(gradational weathering profile)으로 감소하는 경향이 있다. 또한 지표면에 가까운 절취사면 상부쪽에서는 절리부근에 수 cm 정도만 풍화가 약간 더 심한 핵석 풍화(corestone weathering)의 형태(Fig. 2)가 미약하게 발달한다. 그러므로 슈미트해머로서 측정된 수치가 수평적으로 볼 때 들쭉날쭉하게 크거나 작은 수치를 보이는 경향이 관찰(Fig. 7(c))되므로 암관정을 위하여 전체적인 암석강도의 분포를 정량적으로 파악하는 것이 필요하다. 본 지역의 전반적인 풍화발달에 따른 굴착난이도는 다음과 같다: 전체적으로 암석의 풍화는 매우 미약하여서 0.3~1 m 내의 두께의 토층이 지표면에 분포한다. 그 하부에는 SHV = 25 이하인 풍화암질 리핑암이 0.5 ~ 1 m

있다. 그 하부에는 두께가 0.5~1.5 m로 얇은 SHV = 25~30의 풍화암/연암으로서 리핑암과 발파암의 점이적인 경계층이 존재한다. 그 하부는 4~5 m의 연암질 발파암이 뚜렷하게 존재하는데, 전체적으로 볼 때 90~95%가 주로 SHV=30~35 이상의 연암이고 절리부근에만 5~10% 정도로 약간의 풍화암을 함유하므로 전체적인 발파 시공성을 고려해 볼 때 발파암이다. 그 하부에서부터 첫 번째 소단 깊이까지는 SHV=50~61인 보통암-경암질 발파암층이 노출되기 시작하고 그 하부는 거의가 이와 같이 신선한 암층으로 구성되어 있다.

본 우측부 절취사면의 상부 지표면 부근에서 수행한 현장탄성과 탐사결과(Fig. 5)를 육안관찰과 슈미트해머수치로서 판단한 굴착난이도의 결과(Fig. 7(d))와 비교하여 보면, 육안과 슈미트해머수치 판단결과는 본 지역의 암반 특성인 불규칙한 풍화발달까지 확인하므로 굴착난이도 경계가 굴곡이나 현장 탄성과 탐사는 이와 같이 국부적인 풍화 발달상태까지 정밀하게 판단하지는 못한다. 또한 본 지역의 풍화토층은 0.3~1 m이고 풍화암질 리핑암도 0.5~1 m로서 매우 얇으므로 풍화토층과 리핑암층을 같이 토층으로 고려하고 있는데, 이것은 본 지역의 지오폰 간격이 3 m로서 얇은층의 두께에 비하여 비교적 폭이 넓었기 때문에 판단된다. 이와 같이 작은 차이를 감안하면 서로간의 결과가 1 m 내외의 오차이므로 전체적으로 상당히 비슷한 것으로 판단된다.

8. 결 론

금번 사례연구의 결과로서 볼 때 현장 탄성과 탐사에 의해서 판단한 비교적 뚜렷한 굴착난이도의 경계는 육안 관찰에 의해서 판단한 굴착난이도의 경계와 비교해 보면 1 m 오차로서 매우 비슷한 결과를 보여준다. 그러므로 전반적인 지반의 굴착난이도는 국내 화강암의 지질특성상 현장 탄성과속도로서 비교적 합리적이고 정확하게 판단될 수 있음이 입증되었다.

또한 현장 탄성과속도 측정이 현장 여건상 곤란한 경우는, 대안으로서 암석의 강도 뿐만 아니라 절리의 발달빈도를 동시에 파악하는 정밀 지반조사를 현장에서 수행하면 비교적 정확하고 신속하게 굴착난이도를 위한 암판정을 수행할 수가 있는 것으로 판정되었다. 일반적으로 절리간격이 0.1 m 이상인 암반에서는 굴착난이도는 주로 암석강도에 의존하는데 암석강도만으로 굴착난이도를 판단하기 위하여 현장에서 지질해머의 뒤끝으로 긁어보는 정성

적인 방법과 아울러서 정량적인 슈미트해머 시험방법을 비교 검토해보면 풍화암질 리핑암은 SHV = 25 이하, 연암과 풍화암의 경계는 SHV = 25~30, 연암질 발파암은 SHV = 30~35 이상으로 뚜렷하게 구분되므로 슈미트해머 시험방법은 합리적인 암판정 방법으로서 입증되었다. 그리고 서울 화강암 암석의 일축압축강도는 현장에서 슈미트해머 타격수치와 점하중강도로서 비교적 간단하게 추정할 수 있는데 서울 화강암에 대한 기존의 상관관계식을 이용하면 일축압축강도를 추정하는 정확도는 매우 높은 편이다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구비(95-0402-03-01-3)의 일부 지원으로 수행되었으며 지원에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 이수근, 1992, 암판정에 관한 고찰, 대한토목학회 1992년도 학술발표회 개요집(I), pp. 551-554.
2. 이수근, 이송, 1994, 절취공사시의 암판정 방법 연구, 대한토목학회 1994년도 학술 발표회 논문집 (I), pp. 801-804.
3. Ollier, C., 1984, *Weathering*, 2nd ed., Geomorphology texts, Longman, New York, 270p.
4. 홍승호 외, 1982, 서울의 지질도(1:50,000), 한국동력자원연구소.
5. 이수근, 1994, 암석과 불연속면의 분류 및 공학적 특성, 토목시공 고등기술강좌(Series III), 대한토목학회, pp. 253-338.
6. Franklin, J.A., Brock, E. and Walton, G., 1971, Logging the mechanical character of rock, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Vol. 80, Section A - Mining Industry, pp. A1-9.
7. 대한건설협회, 1999, 건설표준품셈, 건설연구사, pp. 108-109.
8. Atkinson, T., 1971, Selection of open pit excavation and loading equipment, Trans. Inst. Min. Metall., 80, Section A - Mining Industry, pp. 101-129.
9. Deere, D.U. and Miller, R.P., 1966, *Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock*, Air Force Weapons Laboratory Technical Report, AFWL-TR-65-116, Kirtland Base, New Mexico, 300p.
10. GCO(Geotechnical Control Office), 1984, *Geotechnical Manual for Slopes*, 2nd ed., Government Press, Hong Kong, 295p.
11. Goodman, R.E., 1993, *Engineering Geology for Civil Engineering Construction*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 220-225.

12. Hencher, S., 1984, Discussion on rock descriptions, Proceedings of the Engineering Group of the Geological Society 20th Regional Meeting on Site Investigation Practice: Assessing BS 5930, 2, pp. 121-123.
13. Hencher, S.R. and Martin, R.P., 1982, The description and classification of weathered rocks in Hong Kong for engineering purposes, Proceedings of the 7th Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, Vol. 1, pp. 125-142.
14. IAEG(International Association of Engineering Geology), 1981, Rock and soil description and classification for engineering geological mapping, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 24, pp. 235-274.
15. Irfan, T.Y. and Dearman, W.R., 1978, Engineering classification and index properties of a weathered granite, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 17, pp. 79-90.
16. ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 15, No 6, pp. 319-368.
17. ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981, Basic geotechnical description of rock masses, Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 18, pp. 85-110.
18. Lee, S.G. and De Freitas, M.H., 1989, A revision of the description and classification of weathered granite and its application to granites in Korea, Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 22, No. 1, pp. 31-48.
19. Heiland, C.A., 1968, Geophysical Exploration, Hafner Publishing Co., London.
20. ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1979a, Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials, Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 16, No 2, pp. 135-140.
21. ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1979b, Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties, Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 16, No. 2, pp. 141-156.
22. Broch, E., 1970, Point Load Testing of Rocks, PhD thesis, Imperial College, University of London, 88p.
23. Broch, E. and Franklin, J.A., 1972, The point-load strength test, Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 9, pp. 669-697.
24. ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1985, Suggested methods for determining point load strength: Revised version, Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 22, pp. 51-60.
25. Dobereiner, L. *et al*, 1993, Weathering of the Massiac gneiss, France, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 47, pp. 79-96.
26. Greminger, M., 1982, Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point load strength testing, Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 19, pp. 241-246.
27. Carter, P.G. and Sneddon, M., 1977, Comparison of Schmidt hammer, point load and unconfined compression tests in Carboniferous strata, Proceedings of the Conference on Rock Engineering., Newcastle, U.K., pp. 197-210.
28. 이수곤, 이송, 1995b, 점하중 강도를 이용한 한국화강암의 일축 압축강도 추정방법, 대한토목학회논문집, Vol. 15, No. 4, pp. 1015-1028.
29. Day, M.J. and Goudie, A.S., 1977, Field assessment of rock hardness using the Schmidt test hammer, British Geomorphological Research Group Technical Bulletin, Vol. 18, pp. 19-29.
30. ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978, Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks, Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 15, pp. 89-97.
31. Schmidt, E., 1960, Operating Instructions for the L-type Schmidt Hammer, Proceq Co., Basle and Zurich, Switzerland.
32. 이수곤, 이송, 1995a, 슈미트해머 수치를 이용한 한국 화강암의 일축 압축강도 추정방법, 대한토목학회논문집, Vol. 14, No 1, pp. 1-12.

기 고 자 소 개



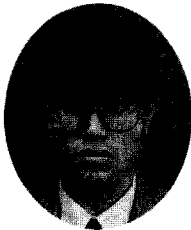
강 철 형

1977년 서울대학교 공과대학
원자핵공학과, 공학사
1984년 미국 Washington
대학교 대학원
원자핵공학과, 공학석사
1989년 미국 Berkeley 대학교
대학원 원자핵공학과,
공학박사
현재 한국원자력연구소
고준위폐기물 처분기술
개발팀, 실장



권 상 기

1987년 서울대학교 공과대학
자원공학과, 공학사
1989년 서울대학교 공과대학
자원공학과, 공학석사
1996년 미국 Missouri-Rolla
대학교 Mining
Engineering, 공학박사
현재 한국원자력연구소
고준위폐기물 처분기술
개발팀, Post-Dr.



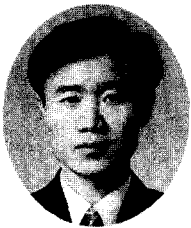
김 용 일

1986년 서울대학교 공과대학
토목공학과, 공학사
1988년 서울대학교 대학원
토목공학과, 공학석사
(지반공학 전공)
1998년 미국 University of
Colorado 토목공학과,
공학박사
(암반공학 전공)
현재 대우건설 기술연구소
토목연구팀 선임연구원



김 영 구

1988년 서울대학교 공과대학
자원공학과, 공학사
1990년 서울대학교 대학원
자원공학과, 공학석사
현재 쌍용건설(주)
기술연구소 주임연구원



박 부 성

1991년 인하대학교 공과대학
자원공학과, 공학사
1993년 인하대학교 대학원
자원공학과, 공학석사
현재 쌍용건설(주)
기술연구소 주임연구원



이 수 곤

1980년 고려대학교 이공대학
지질학과, 이학사
1982년 영국 Leeds 대학교
토목지질공학과, 이학석사
1987년 영국 London 대학교,
Imperial College
토목지질공학, 이학박사
현재 서울시립대학교
토목공학과 조교수



이 성 민

1987년 인하대학교 공과대학
자원공학과, 공학사
1989년 West Virginia
University, 공학석사
1993년 University of Alabama,
공학박사
현재 영동대학교 공과대학
토목공학과 전임강사

김복운 : 本學會誌 第6卷 第1號 參照	장근무 : 本學會誌 第7卷 第1號 參照
김영근 : 本學會誌 第5卷 第3號 參照	정소걸 : 本學會誌 第6卷 第4號 參照
이희근 : 本學會誌 第5卷 第3號 參照	최성웅 : 本學會誌 第5卷 第3號 參照