

## 핵석지반에서의 굴착난이도 평가방법 연구

이수곤<sup>1\*</sup> · 이벽규<sup>2</sup> · 김민성<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울시립대학교 공과대학 토목공학과, <sup>2</sup>(주)새터기술

### A Study to Determine the Degree of Difficulties with the Excavation of Corestone Weathering Profiles

Su-Gon Lee<sup>1\*</sup>, Byok-Kyu Lee<sup>2</sup>, and Min-Sung Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Civil Engineering, The University of Seoul

<sup>2</sup>Sater Tech. co., Ltd.

일반적으로 지반의 굴착난이도를 평가하기 위한 간단한 방법은 지반 내에 분포하는 암석강도와 절리발달빈도를 고려하는데, 이 방법은 핵석 풍화단면에 그대로 적용할 수가 없다. 그러므로 암석강도와 절리발달빈도 뿐만 아니라, 핵석의 분포상태 및 분포비율, 굴착의 공사가능성, 굴착의 효율성들을 모두 종합하여서 판단하여야 비교적 정확하게 굴착난이도 추정이 가능하다. 굴착난이도를 판단하는 가장 좋은 방법으로 알려진 현장에서의 탄성파탐사 측정방법은 실제로 현장에서 육안으로 지질 상태를 확인한 결과와 차이가 심하다.(평균 3~4 m, 최대 6 m 차이) 그러므로 육안관찰과 현장탄성파탐사 방법은 모두 장단점이 있으므로 핵석지질에서 보다 정확하게 굴착난이도를 추정하고자 하면, 현장에서 지질 상태를 육안으로 관찰하고 동시에 현장 탄성파탐사를 모두 사용하여서 그 결과들을 종합하여 굴착난이도를 분석하고 적용하여야 한다.

**주요어 :** 핵석, 암반분류, 탄성파탐사 시험, 암영대, 슈미트해머 반발시험

This paper intends to introduce more objective and qualitative rock mass classification method easily applicable to the excavation of gneissic masses showing corestone weathering profiles. It is proven that corestone weathering profile could be divided with reasonable accuracy into digging, ripping and blasting layers using visual and simple mechanical techniques such as Schmidt hammer rebound test on cut slopes, taking into consideration strength and spacial distribution of corestone, workability and work efficiency of excavation. Also, seismic refraction surveys were employed for shallow investigations (down to 20~30 m depth) in corestone weathering profile and conducted across the top of vertical exposures where the underlying geology could be directly inspected. Some discrepancies (3~4 m in average and 6 m occasionally) between the actual and assumed materials with respect to seismic velocities were observed. Thus it can be concluded that field geotechnical mapping and field seismic test should be used together in order to get a relatively good accuracy in assessing likely excavation conditions of corestone weathering profiles.

**Key words :** corestone, rock mass classification, seismic wave velocity test, blind zone, schmidt hammer rebound test

## 서 론

암반의 풍화는 지표면에서 부터 지하로 갈수록 암석의 풍화정도가 점차로 적어지는데, 전체적인 풍화단면의 특성은 상부 풍화토층과 하부암반층의 경계가 뚜렷한 경

우가 보다 일반적이라고 알려져 있다(Fig. 1a).

그러나 토층 속에 핵석이 존재하는 특이한 풍화단면(Fig. 1b)도 열대지역인 Ghana (Ruddock, 1967)와 Malaysia (Norbury, 1984), 아열대지역인 Hong Kong (Ruxton and Berry, 1957; Gamon and Finn, 1984;

\*Corresponding author: sglee@uos.ac.kr

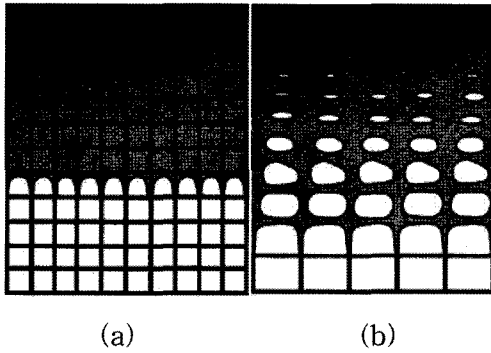


Fig. 1. Typical examples of the (a) gradational and (b) corestone weathering profiles (Lee and deFreitas, 1990).

Hencher and Martin, 1982; Shaw, 1997, Hencher, 2004), 온대지역인 Australia(Moye, 1955), U.S.A. (Durgin, 1977)와 Canada(Ryan, et al., 2005)에서 전 세계적으로 광범위한 지역에서 발달한다고 보고되고 있고, 국내에서도 핵석 풍화단면이 약 20~30% 정도로 암석종류에 관계없이 전국에 걸쳐서 산발적으로 분포한다고 보고되고 있다(백동현, 2003; Lee, 1987).

핵석풍화가 발달하는 원인은 물리적 또는 화학적 풍화작용과 열수광화작용 및 열수변질작용에 의해 절리 부근의 암석이 급속히 변질되어서 직사각형이나 약간 타원형 형태로 형성되는데, 특히 비교적 신선한 핵석과 풍화가 심한 주변부 사이에 풍화정도가 급격하게 변화하는 특징이 있다. 이런 핵석은 특이한 지질특성 때문에 절취사면, 터널, 기초 등의 토목공사과정에서 많은 어려움이 발생한다(이수곤, 1999; 이수곤과 이송, 1994; Goodman, 1993).

또한, 땅을 깎아서 도로나 택지를 만드는 경우에 어떤 장비를 사용하여서 굴착하느냐에 따라서 깎는 공사비가 크게 달라지는데 종종 핵석지질에서는 굴착공사 방법을 선정하는 기준이 불명확하여서 공사발주자와 굴착시공자간에 굴착공사 비용 산정 문제로 분쟁이 많이 발생하므로 보다 합리적이고 객관적인 굴착난이도 평가방법을 제시하고자 한다.

**지형 및 일반지질**

본 연구지역은 하남시 북서쪽에 주택가 주변의 도로에 위치해 있으며 표고 60 m 이내의 낮은 구릉성 잔구를 포함하는 장년기의 지형을 보이고 있으며 수계의 분포는 미약하다(Fig. 2).

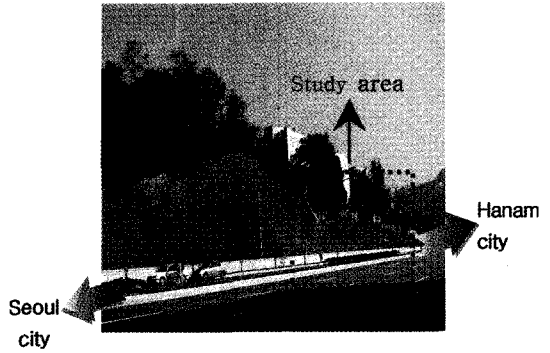


Fig. 2. Study area.

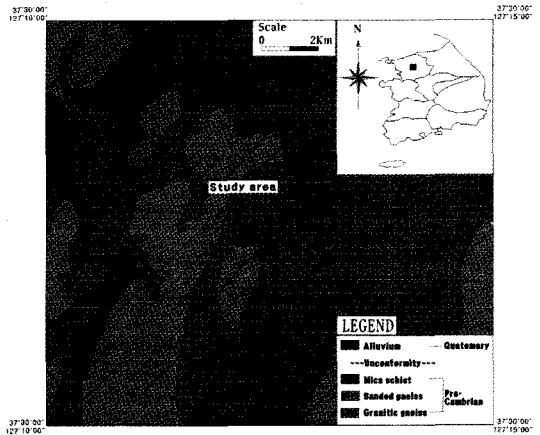


Fig. 3. Geological map of the study area.

본 연구지역의 전반적인 지질은 선-캄브리아기(약 40 억 년 전에 형성) 변성암류가 기반암으로 분포하고 있으며 각 수계 및 저지대를 중심으로 제4기의 층층층이 분포하고 있다. 분포하는 암상은 화강 편마암(Granitic gneiss)인데 인접해서 호상편마암(Banded gneiss)이 분포하고, 또한 주변부에 운모 편암(Mica schist)도 약간 분포하는데 중립질-조립질의 조직을 보이고 주요 광물로는 석영, 장석류, 흑운모로 구성되고, 엽리의 방향성은 N45E/40SE를 보인다(Fig. 3). 본 지역은 화강편마암과 호상편마암의 두 개의 다른 암석종류가 접촉하는 복잡한 지질이므로 파쇄와 풍화정도가 매우 불규칙하다.

**지질공학적 특성**

**풍화 발달상태**

본 연구지역의 절취사면은 멀리서 언뜻 보면 풍화가 심한 지질로 오판하기 쉽다. 그러나 자세히 관찰해 보면



Fig. 4. General view of corestone weathering profile in the study area.

암갈색의 풍화토 또는 풍화암(슈미트해머수치가 10 이하)내에 핵석 형태의 암석(0.4~1.5 m 직경)이 군데군데에 박혀있으며 이 핵석을 해머로 깨보면 비교적 신선한 연암~경암(슈미트해머수치가 30~62 이상)으로서 MW~SW 풍화등급의 암석인 것을 알 수 있다(Figs. 4, 5).

이와 같이 파쇄가 많은 지질에서는 종종 핵석이 관찰되는데, 열수광화작용으로 인하여 형성된 황화철(FeS<sub>2</sub>) 이 암석 절리면을 따라서 농축되는데 이중에서 황(S)은 지하수에 녹아서 쉽게 용해되지만 철분(Fe)은 절리면 표면에 그대로 남아 있기 때문에 절리면 표면이 불과 수 mm만 얇게 철분이 피복되어서 붉은 색깔을 띠게 되기 때문이다. 그러므로 이런 지질에서는 암석의 풍화상태를 육안으로 판단하지 말고 보다 객관적인 강도추정 방법인 슈미트해머 시험이나 점하중강도 시험 등으로 판단하는 것이 바람직하다.

**불연속면의 발달상태**

본 연구지역은 차별풍화로 인해 불규칙한 절리가 발달해 있는 특징을 보인다. 일반적인 절리의 간격은 약 0.2~0.3 m이며 절리의 연장성은 약 1~2 m로 짧은 편이고 틈새 또한 약간 벌어진 편이며 파쇄대 부근에서는 국부적으로 절리의 발달 빈도가 매우 높고 불규칙하며 절리가 절취사면을 어긋나게 끊으면서 수직으로 매우 우세하게 발달하여 절리에 의해 형성된 암괴들은 상호로 길쭉한 판상(턱비공 모양) 형태를 보이고 있다

그러나 핵석이 발달한 부분은 비교적 절리발달이 적어서 핵석크기가 0.4~1.5 m로 비교적 큰 경우도 많다. 일반적으로 핵석표면은 철분이 얇게 피복되어있다.

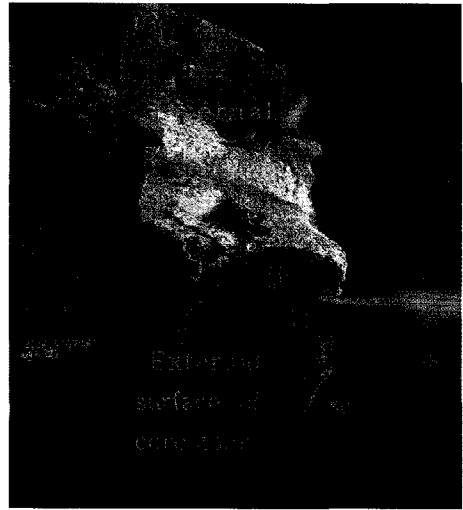


Fig. 5. External & internal surface of collected corestone from study area.

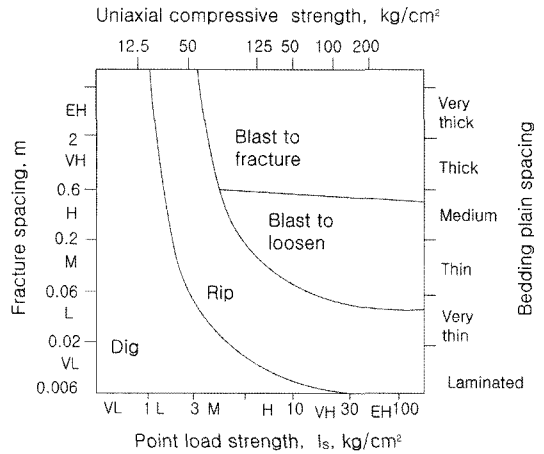


Fig. 6. Rock quality classification in relation to excavation (Franklin et al., 1971).

**암판정 방법**

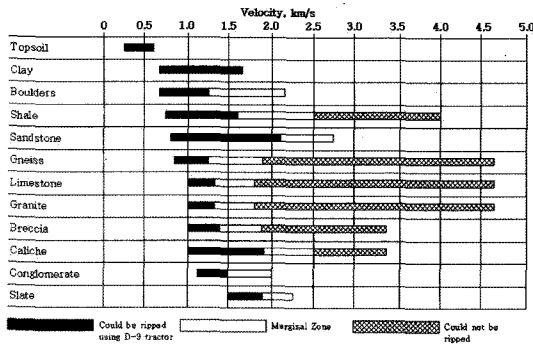
땅을 깎는 방법은 다음과 같이 3종류로 나뉘는데, 삼으로 쉽게 파낼 수 있으면 '토양사(digging soil)', 리퍼 장비사용이 필요하면 '리핑암(ripping rock)', 화약으로 발파할 필요가 있으면 '발파암(blasting rock)'인데 이를 분류하는 기준을 굴착난이도라고 한다.

**암석강도와 절리빈도에 의한 분류방법**

굴착난이도는 암석의 일축압축강도와 불연속면의 발달빈도의 2 요소를 동시에 고려함으로써 결정할 수 있

**Table 1.** Rock classification for excavation purpose (Construction Association of Korea, 2001)

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



**Fig. 7.** Ease of excavation as related to field seismic P-wave velocities (Atkinson, 1971).

는데(Fig. 6) 이 방법은 다소 주관적이지만 사용상의 편리함 때문에 국내에서 널리 사용되고 있는 건설표준품셈(전인식, 2001)의 『암분류 기준』(Table 1)에서도 채용하고 있는 방법이다. 실제 적용해보면 국내에서도 일반적으로 점이적인 풍화단면에서는 잘 적용되는 방법이라고 사례연구에서 보고되고 있다(이수곤, 1999). 그러나 풍화가 심한 토사 속에 핵석이 불규칙하게 박혀있는 복잡한 지질에서는 이 방법을 적용할 수가 없으므로 이런 경우에도 적합한 간단하고 합리적인 굴착난이도 판정방법의 개선책이 필요하다.

**현장 탄성파속도에 의한 분류방법**

현장 탄성파속도는 암석강도와 절리발달빈도를 동시에 고려하기 때문에 현장 탄성파속도로서 지표면하부의 지질을 몇 개의 지층으로 비교적 정확하게 분류할 수 있다(Heiland, 1968).

현장탄성파속도를 활용하여서 여러 종류의 암석에 대

해서도 객관적이고 정량적인 굴착난이도 판정이 가능하다고 여러 연구자들(Atkinson, 1971; Smith, 1986)이 제안하고 있으며(Fig. 7), 또한 국내 건설표준품셈(전인식, 2001)의 『암분류 기준』(Table 2)에서도 이 방법을 가장 우선적으로 추천하고 있다. 그리고 실제로 국내에서 점이적인 풍화단면(Fig. 1a)에서 정확성이 높다고 연구된 사례가 있으므로(이수곤, 1999; 이수곤과 이송, 1994; Lee and defreitas, 1990), 국내 핵석지질에서도 이방법이 얼마나 신뢰성 있게 적용될 수 있는가를 연구하였다.

**실내 암석시험**

국내에서 가장 많이 사용되고 있는 굴착난이도 판정 방법은 암석강도와 절리 발달빈도의 상관관계를 고려하는 방법이 일반적이며 이러한 방법은 일반적인 풍화양상을 보이는 지질조건에서는 사용될 수도 있으나 본 연구지역과 같은 핵석지질에서는 이러한 방법을 적용할 경우 굴착난이도 판정시 지질조건을 충분히 고려하지 못하기 때문에 암반의 강도특성을 충분히 나타내기가 어렵다고 판단된다. 그러므로 이러한 핵석 지질에서는 실내시험과 현장시험을 종합하여 지질조건을 충분히 고려하여 수행하여야 하며 본 연구에서는 실내시험으로는 암석의 기본물성, 일축압축강도, 실내탄성파속도, 현장 시험으로는 슈미트해머타격, 현장탄성파속도 시험을 실시하였다.

**암편 물성시험**

본 연구지역의 실내시험 결과를 종합해 보면 핵석에서 채취한 코아시료 22개의 비중은 약 2.63~2.74이고, 흡수율은 0.62~0.89%가 대부분으로서 암질상태는 양호

**Table 2.** Rock classification with respect to seismic wave and uniaxial compressive strength (Construction Association of Korea, 2001)

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 <sup>2</sup> )
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

**Table 3.** Laboratory test results (Note that 'weathering grade of rock material' follows the 6 weathering-grade system suggested by Lee and deFreitas, 1989)

Sample Number	Weathering grade of rock material	Schmidt Hammer Value (SHV)		Uniaxial Compressive strength (UCS) (kgf/cm <sup>2</sup> )		Seismic Velocity (km/sec)	
		Air-dry condition	Saturated condition	Air-dry condition	Saturated condition	Air-dry condition	Saturated condition
1	SW	58	56	1376	1335	3.23	4.49
2	SW	58	55	1575	1542	4.12	5.16
3	SW	57	55	1618	1368	3.80	5.23
4	SW	55	52	1106	1040	4.29	5.16
5	SW~MW	53	49	1522	1336	4.02	4.52
6	MW	40	38	771	692	2.92	4.27
7	MW	42	41	1289	930	4.70	4.68
8	MW	39	37	1050	842	2.75	4.12
9	MW	38	34	1283	717	4.68	5.05
10	MW	37	34	948	509	2.80	4.00
11	HW~MW	34	31	1081	930	3.51	4.48

한 것으로 판단된다. 그런데 간혹 흡수율이 약간 높은 1.4~1.84%인 경우도 있는데, 이 경우는 암석시료 내에 존재하는 미세균열 때문으로 판단된다.

**암편 탄성파속도 시험**

실내 탄성파속도 측정기(미국 SBEL 회사 장비사용)를 사용하여서 일축압축강도시험을 수행하기 위하여 핵석에서 채취하여 실내에서 준비한 22개 코어시료에 대하여 ISRM(1978a)에서 추천하는 탄성파속도 시험방법대로 수행하였다(Table 3). 자연건조상태와 함수상태의 두 조건으로 나누어서 실시하였는데, 자연건조상태

에서 2.70~4.70 km/sec, 함수상태에서 3.67~5.50 km/sec 이다.

**암편 일축압축강도 시험**

현장의 암석에 대한 일축압축강도를 측정하기 위하여 일축압축강도시험기(영국 ELE 회사 장비사용)를 사용하여서 ISRM 추천방법(1978b)으로 실험을 수행하였다.

현장의 절취시편 표면에서 수행한 슈미트해머 타격시험의 결과 값에 대응하는 일축압축강도값을 추정하기 위하여, 슈미트해머 타격시험을 수행한 대표적인 11개 핵

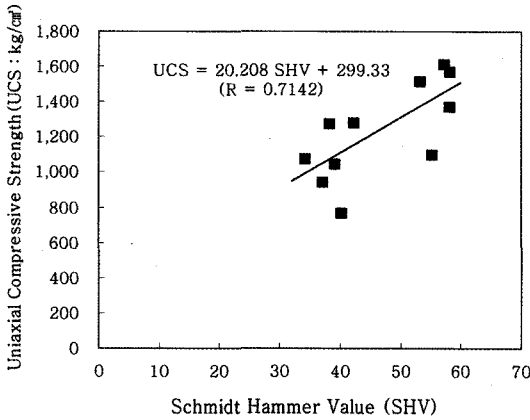


Fig. 8. Relation between uniaxial compressive strength and Schmidt hammer value natural condition.

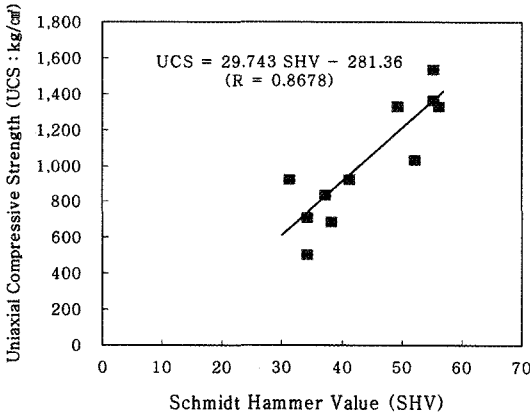


Fig. 9. Relation between uniaxial compressive strength and Schmidt hammer value in saturated condition.

석 암괴를 현장에서 채취하여서 실내에서 각 암괴 당 2 개씩 코어시료를 성형한 후에 11개는 자연건조상태에서, 나머지 11개는 함수상태에서 일축압축강도 시험(총 22 회)을 수행하였다(Table 3). 일축압축강도는 자연건조상태에서는 771~1618 kgf/cm<sup>2</sup>이고, 함수상태에서는 509~1542 kgf/cm<sup>2</sup>로서 연암~경암에 해당된다.

일축압축강도를 수행한 암석시료에 대한 슈미트해머수치는 자연건조상태에서는 약 34~58, 함수상태에서는 31~56의 수치를 보인다. 일반적으로 일축압축강도와 슈미트해머 수치와는 비교적 좋은 상관관계가 있다고 연구되었는데(이수곤과 이송, 1995) 본 연구결과인 Figs. 8, 9에서는 상관관계가 약간 분산되는 경향을 보이는데 이는 편마암의 엽리에 의한 이방성과 암



Fig. 10. General view of Schmidt hammer rebound test conducted on corestone of cut slope.

석 내에 발달한 미세균열의 영향을 받은 것이라고 판단된다.

### 현장 암석시험

일반적인 굴착난이도 판정 기준으로 암석강도와 절리 빈도에 의한 방법이 많이 쓰이고 있으며 건설표준품셈의 굴착난이도 판정 기준에서는 현장탄성파탐사를 추천(Table 2)하고 있으므로 본 연구에서는 암석의 강도측정을 위한 슈미트 해머 강도시험과 현장 탄성과 탐사를 병행하여 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

### 슈미트해머 타격시험

본 연구지역은 복잡한 지질구조를 보이는 핵석지역인데, 특히 암반의 표면이 산화철로 얇게 피복되어 있어서 육안으로 보면 풍화가 심한 것으로 오판하기 쉬운 지질이므로 보다 객관적인 암석강도를 측정하고자 절취사면 전체 표면에서 슈미트해머시험을 수행하였다. 접근 가능 지역에 수평으로 약 0.3~1 m마다 절취사면을 대표할 수 있는 111지점의 암석표면에서 슈미트해머(스위스 Proceq 제품으로서 L-type)로 ISRM(1978c) 추천방법으로 자연 함수상태의 절취사면 암석표면에서 슈미트해머 타격시험을 수행하였다(Figs. 10, 11). 본 지역에서 관찰되는 핵석은 슈미트해머수치가 SHV = 30~62로서 일축압축강도 값이 509~1618 kg/cm<sup>2</sup>로서 연암~경암에 해당하는 양호한 암석이다. 또한 핵석자체의 크기가 0.4~1.5 m로서 보통 크기의 암석이므로 강도와 암석규모를 동시에 고려해볼 때 핵석자체는 발파암으로 분류될 수 있다(Table 1, Fig. 6). 그러므로 절취사면에서 육안으로 판

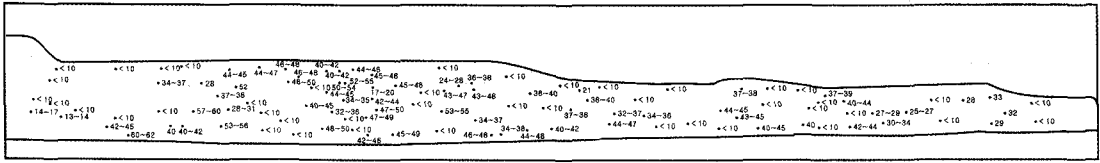


Fig. 11. Locations (red-dots) of Schmidt hammer test and Schmidt hammer values shown in blue-figures.

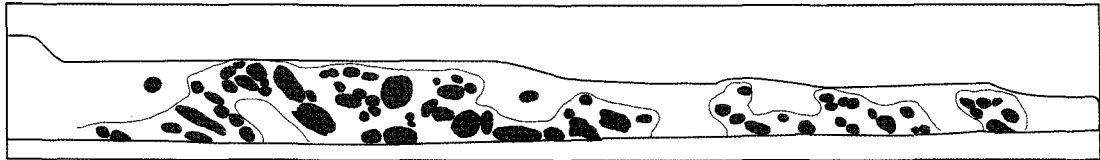


Fig. 12. Spatial distribution (blue colour) of relatively strong corestone and likely boundary (green colour) of ripping rock and blasting rock derived from Schmidt hammer values.

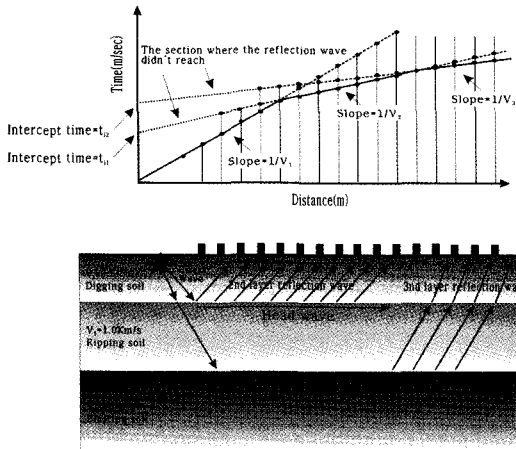


Fig. 13. General concept of field seismic refraction survey.  
 (1) Possible arrangement of geophone spreads.  
 (2) Test results showing various layers of excavatability assumed from the compressional wave velocity.

찰되는 핵석의 분포를 파악하여서 핵석의 분포범위를 Fig. 12에 도식하였다.

앞에서 언급한 일반적인 굴착난이도 판정 방법은 암석의 강도와 불연속면의 발달정도를 고려하지만 이러한 방법은 일반적인 지질조건하에서는 유용하나 본 연구지역 같은 핵석이 불규칙하게 지질에 분포하고 있는 경우에는, 작업가능성(workability)과 작업효율성(work efficiency)도 고려하여야 한다. 작업가능성이란 조그만 암석 강도만을 고려하지 말고 좀 더 큰 규모의 지반을 고려하는 것으로서 실제로 큰 규모의 지반을 리핑작업으로 수행할 수 있는지, 발파작업으로 수행할 수 있는지를 고려하는 판단개념이다. 작업효율성은 리퍼로 굴착이 가능



Fig. 14. Field seismic refraction test conducted along the top of cut slope.

하더라도 시간 효율측면에서 시간이 오래 걸리면 차라리 발파로 공사하는 방법이 바람직한 경우이다.

이와 같이 핵석지질에서 굴착작업성과 굴착효율성까지 고려해 볼 때, 전체 절개지 표면의 40~90% 정도가 양호한 핵석이고 나머지 60~10%는 취약한 풍화토나 풍화암인 경우에는 전체를 발파로 굴착하여야 하기 때문에 발파암으로 판단하고 그 이하인 경우 리핑암으로 판단하는 것이 합리적이며(이수곤과 이송, 1994), 본 연구에서는 이러한 굴착의 작업가능성과 작업효율성을 충분히 고려하여서 육안과 슈미트 해머 암석강도측정시험 결과에 따른 굴착난이도 경계선을 추정하였다(Fig. 12).

**현장 탄성파탐사시험**

현장탄성파속도는 암석강도와 절리의 발달빈도를 모두 종합한적으로 고려한 개념으로서 객관적이고 합리적

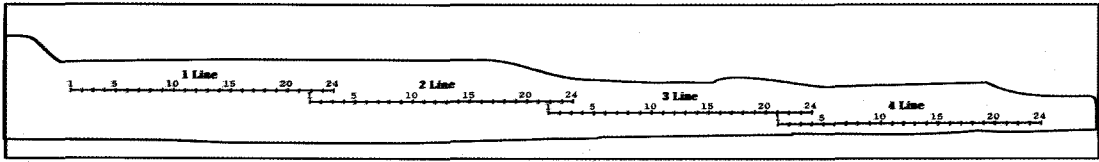


Fig. 15. Seismic survey lines conducted across the cut slope in the study area.

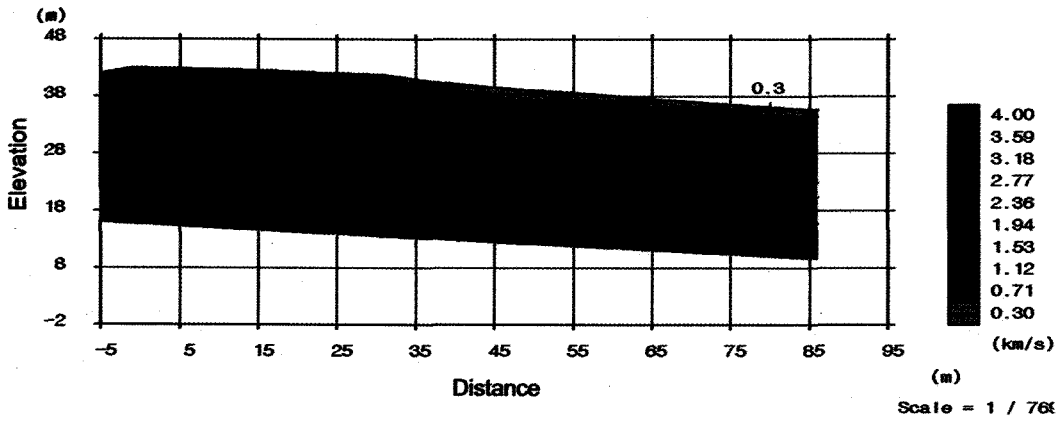
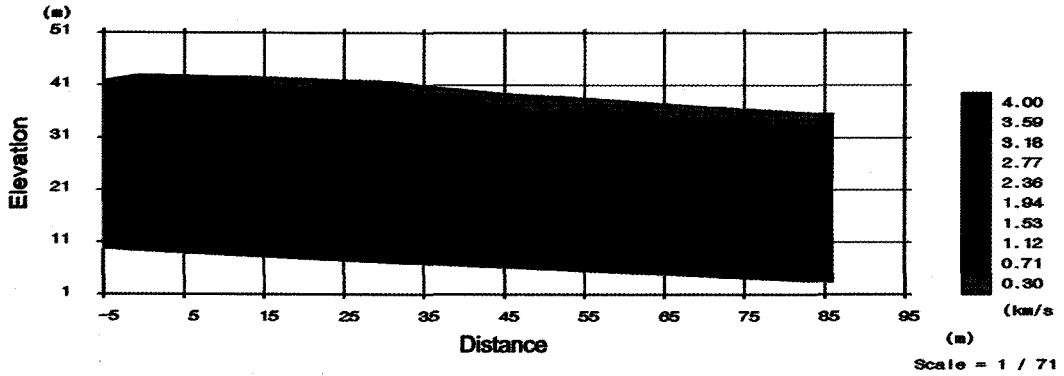


Fig. 16. Assumed layers of digging, ripping and blasting determined from field seismic refraction tests.

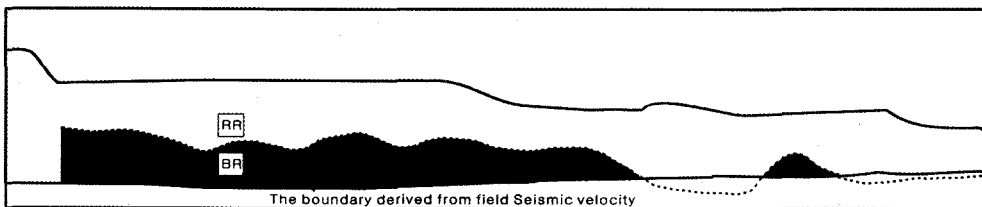


Fig. 17. Assumed boundary of ripping rock and blasting rock determined from field seismic refraction tests.



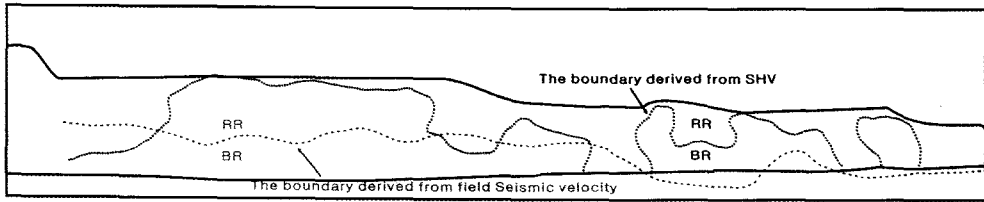


Fig. 18. Comparison of the boundary (blue line) assumed from Schmidt hammer values with that (red line) from field seismic velocities.

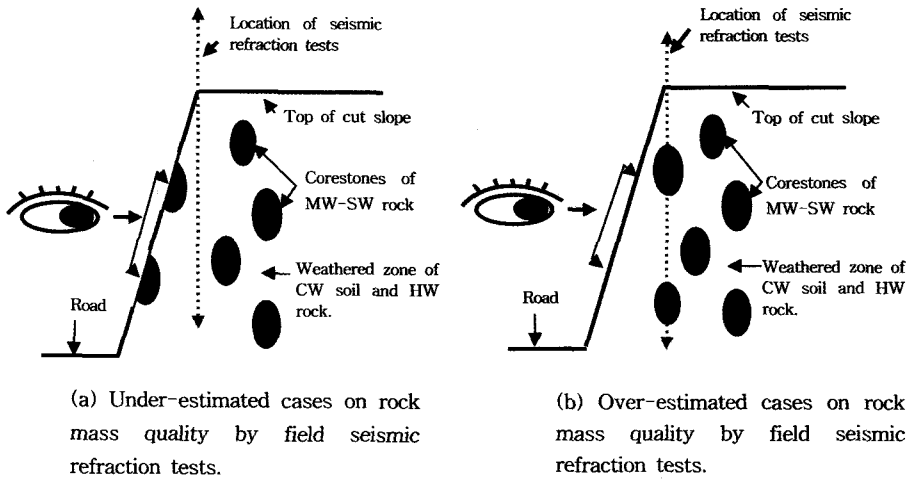


Fig. 19. Great difference in rock mass quality depending on the test locations conducted in corestone weathering profiles.

으로 굴착난이도를 판단하는 기준으로서 현재 국내에서도 널리 사용되고 있으므로(전원식, 2001) 본 연구지역에서도 현장 굴절법 탄성파탐사 시험방법을 활용하였다. 일반적인 현장탄성파탐사 결과를 해석하는 방법은 Fig. 13에서 설명된다.

사용한 현장탄성파탐사 시험장비는 일본 OYO 회사의 Model-McSEIS-170f와 부대장비이며, 본 조사지역은 대도시에 위치하므로 발파를 할 수 없는 조건이므로 진원으로는 5 kg의 슬러지 해머타격방법을 사용하였고, 수신은 24 channel의 지오폰을 사용하였다. 본 연구지역을 전부 조사하기 위하여 총 4개 축선을 설정하여 시험을 수행하였고, 자료를 보정하기 위하여 각 축선 당 3-4개의 지오폰을 중첩하여서 기록을 보정 실험하였다(Fig. 14, 15). 또한 정밀한 조사를 위하여 지오폰 간격을 1.0m로 조밀하게 배열하였으며, 진원도 1축선 당 다소 많은 7-8개소에서 측정하였고, 총 시험구간의 연장은 86m이다.

현장 탄성파탐사 시험결과는 일본 OYO 회사의 소프트웨어인 Seisimage 2D(Pick 95 & Plotrefa)를 사용하여 분석하였다. 탄성파탐사결과로서 얻어진 전체 주시

곡선(time-depth)들을 종합분석해보면 지표면 아래의 지질은 수 개의 층으로 나누어지는데(Fig. 16), 토층은 0.7 km/sec 이하, 리핑암은 0.7~1.2 km/sec, 발파암(연암층)은 1.2~1.9 km/sec, 발파암(보통암층)은 1.9~4.2 km/sec, 발파암(경암층)은 4.2 km/sec 이상으로 분류된다. 본 지역의 풍화심도는 핵석분포의 영향으로 매우 불규칙하다. 전체적으로 볼 때 절취사면의 상부표면으로부터 토사는 0.1~1.3 m 깊이로 얇고, 그 하부는 리핑암이 분포하며, 발파암은 지표면에서부터 약 1.4~6.9 m의 다양한 깊이로 불규칙하게 분포한다.

또한, 슈미트해머 시험을 하면서 본 연구지역의 좌측 하부에서 직접 관찰되는 (Figs. 11, 12) 핵석 하부의 취약한 층(토사와 풍화암)이 현장탄성파탐사결과에서는 전부 발파암으로 해석되는데(Fig. 17), 이는 굴절파 탄성파탐사 방법의 한계 때문이다. 탄성과 굴절법 해석은 지하 하부로 갈수록 매질의 밀도가 커지므로 탄성파속도가 빨라진다는 가정 하에서 이루어지므로, 본 연구지역의 좌측 하부에서 직접 확인되는(Figs. 11, 12) 상부에 탄성파속도가 빠른 연암질 핵석이 분포하고 하부에 탄성파

속도가 낮은 취약한 풍화암이 분포하면 이러한 지역을 암영대(blind zone)라고 한다(Dobrin, 1981).

그리고 현장탄성과 속도와 실내 탄성과 속도를 비교 검토해 보면 연암 수준의 암석에 대한 현장탄성과 속도가(약 1.2~1.9 Km/sec) 실내에서 암편에 대한 탄성과 속도에(약 3.0~4.5 Km/sec) 비하여 약 40% 정도로서 일반적인 암반에서의 속도보다도 상당히 낮는데 이는 핵석과 토사 및 풍화암이 혼재된 지질이기 때문인 것으로 판단된다.

**슈미트해머시험 및 현장 탄성파탐사 시험 결과의 비교검토**

현장 탄성파탐사시험에서 추정된 암반선 결과(Fig. 17)와 현장 슈미트해머시험에서 추정된 암반선 결과(Fig. 12)를 서로 비교해보면, 전체 조사 구간인 86 m 중에서 18 m(약 20% 차지)만 비슷하고, 나머지 68 m(약 80%) 구간은 평균 3~4 m, 최대 6 m까지 차이가 있었다(Fig. 18). 이러한 오차는 일반적으로 점이적인 풍화 양상을 보이는 국내 지반에서 약 2 m 오차를 보이는 연구결과(Lee and deFreitas, 1990)와 비교해 볼 때 비교적 많은 차이라고 판단된다.

이렇게 슈미트해머시험결과와 현장 탄성파속도를 통한 굴착난이도 판정 결과가 많이 다른 이유는 슈미트해머시험은 최종 절취사면에서 시행하였으므로 경사된 절취사면에서 보이는 지질을 조사한데 비하여, 현장 탄성파탐사 시험은 절취사면의 최정상 또는 소단부에서 시행하였기 때문에 굴절파가 수직으로 전파되므로 조사 위치에서 수직적인 지질 특성을 조사한 것이다. 그러므로 서로 다른 위치에서 측정된 굴착난이도 경계선이 일치하지 않은 것으로 보이며 Fig. 19의 모식도와 같은 이유로 슈미트 해머 타격시험에 의한 암질이 현장 탄성파탐사결과에 의한 암질보다 더 불량하거나 양호한 경우가 모두 발생할 수 있다고 판단되며 따라서 핵석이 불규칙하게 발달하는 복잡한 지질의 경우에는 그 결과 해석에 주의하여야 한다.

**결 론**

지표면에서부터 땅속으로 풍화정도가 점이적으로 변화하는 풍화단면에서 일반적인 굴착난이도 판정을 수행하는 경우에 널리 사용되는 암석강도와 절리의 발달빈도를 동시에 고려하는 방법을 핵석지질에는 적용하기 어렵다. 핵석지질에서는 암석강도를 우선적으로 파악한 후

에, 또한 굴착시공성과 굴착효율성을 모두 고려하는 핵석의 체적 %를 감안하여서 굴착난이도를 결정하여야 한다. 이런 점들을 모두 고려하면 핵석이 60~90% 이상으로 분포하면 발파암이고 이보다 적게 분포하면 리핑암으로 고려하는 것이 타당하다.

또한, 핵석 하부에 풍화가 심한 취약층이 존재하는 경우에는 현장탄성파시험이 지나는 원천적인 한계 때문에 그 취약층을 확인하기 어려우므로 탄성파탐사결과의 해석 시에 주의를 요한다.

그리고 탄성파탐사로서 추정한 지질 상태와 절취사면에서 육안이나 슈미트해머로서 확인한 지질상태가 비슷한 부분도 있지만(20%) 대부분(80% 구간) 차이가 심하다(평균 3~4 m 차이, 최대 6 m 차이까지 있음). 이는 탄성파탐사는 절취사면의 상부에서 수행하였으므로 수직단면상에서의 핵석지질을 추정한 것인데, 이에 비하여 절취사면의 표면에서 육안관찰과 슈미트해머로서 확인한 지질은 수행한 결과는 경사된 사면표면에서의 핵석지질을 확인한 것이므로 서로 지질상태가 다른 것으로 판단된다.

그러므로 핵석이 발달한 복잡한 지질에서는 절취사면에서 육안관찰(슈미트해머시험 포함)과 현장 탄성파탐사 결과가 서로 장단점이 있으므로 이를 서로 보완하기 위하여 두 방법을 모두 사용하여서 결과를 서로 비교 검토하여 현장 지질조건을 종합적으로 파악한 후에, 굴착난이도를 결정하는 방법이 보다 합리적이라고 판단된다.

**사 사**

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(사면 붕괴 예측 및 대응 기술 개발) 연구비의 일부지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

**참 고 문 헌**

백동현, 2003, 핵석을 포함하는 암반과 토층의 파괴강도 특성 연구, 서울시립대학교 산업대학원 공학석사학위논문, 60p.

이수곤, 1999, 서울 무악재 절취사면에서의 암반정 연구, 터널과 지하공간, 한국암반공학회, 9, 158-167.

이수곤, 이송, 1994, 1994년도 학술발표회 논문집(I) 구조/토질및기초편, 절취공사시의 암반정 방법 연구, 74-77.

이수곤, 이송, 1995, 슈미트해머 수치를 이용한 한국 화강암의 일축압축강도 추정방법, 대한토목학회논문집, 199-210.

전인식, 2001, 건설표준품셈, 건설연구사, 110p.

- Akinson, T, 1971, Selection of open pit excavation and loading equipment, *Trans. Inst. Min. Metal.*, 80, Section A-Mining Industry, A101-129.
- Dobrin, M. B., 1981, Introduction to Geophysical Prospecting, 301-303.
- Durgin, P. B., 1977, Landslides and the weathering of granitic rocks, *Reviews in engineering geology*, 3, 127-131.
- Franklin, J. A., Brock, E., and Walton, G., 1971, Logging the mechanical character of rock, *Trans. Inst. Min. Metall.*, 80, Section A-Mining Industry, A1-9.
- Gamon, T. I. and Finn, R. P., 1984, Simplified descriptive scheme and classification system for the logging of cut slope faces, In: Hawkins, A.B. (ed), *Site Investigation Practice: Assessing BS 5930*, Geological Society Engineering Geological Special Publication, 2, 238-248.
- Goodman, R. E., 1993, *Engineering Geology*, John Wiley & Sons, Inc., 215-250.
- Heiland, C. A., 1968, *Geophysical Exploration*, Hafner, London
- Hencher, S. R., 2004, Weathering and erosion processes in rocks-implications for geotechnical engineering, *Proceedings of the Symposium on Hong Kong Soils and Rocks*, Hong Kong, 29-79.
- Hencher, S. R. and Martin, R. P., 1982, The description and classification of weathered rocks in Hong Kong for engineering purposes, In: *Proceedings of the 7th Southeast Asian Geotechnical Conference*, Hong Kong, 1, 125-142
- International Society For Rock Mechanics, 1978a, Suggested methods for determining sound velocity, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 15, 53-58.
- International Society For Rock Mechanics, 1978b, Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 16(2), 135-140.
- International Society For Rock Mechanics, 1978c, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 15, 319-368.
- Lee, S. G., 1987, Weathering and geotechnical characterization of Korean granites, PhD thesis, Imperial College, University of London.
- Lee, S. G. and deFreitas, 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*, 22, 31-48.
- Lee, S. G. and deFreitas, M. H., 1990, Seismic refraction surveys for predicting the intensity and depth of weathering and fracturing in granitic massed, In: Bell, F. G., Culshaw, M. G., Cripps, J. C., and Coffey, J. R. (eds.), *Field Testing in Engineering Geology*, Geological Society Engineering Geological Special Publication, 6, 246-256.
- Moye, D. G., 1955, Engineering geology for the Snowy Mountains scheme, *Journal of the Institution of Engineers, Australia*, 27, 281-299.
- Norbury, D. R., Cjild, G. H., and Spink, T. W., 1986, A critical review of Section 8 (BS.5930)- soil and rock description. In: Hawkins, A.B. (ed.), *Site Investigation Practice: Assessing BS 5930*. Geological Society Engineering Geological Special Publication, 2, 353-367.
- Ruddock, E. C., 1967, Residual soils of the Kumasi District in Ghana, *Geotechnique*, 17, 359-377.
- Ruxton, B. P. and Berry, L., 1957, Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong, *Bulletin of the Geological Society of America*, 68, 1263-1292.
- Ryan, R. J., O'Beirne-Ryan, A. M., Zentilli, M., 2005, Rounded cobbles that have not travelled far: incorporation of corestones from saprolites in the South Mountain area of southern Nova Scotia, Canada, *sedimentology*, 52, 1109-1121.
- Shaw, R., 1997, Variation in sub-tropical deep weathering profiles over the Kowloon Granite, Hong Kong, *Journal of the Geological Society, London*, 154, 1077-1085.
- Smith, H. J., 1986, Estimating rippability by rock mass classification, *Proc. 27th U.S. Symp. Rock Mech.*, Tuscallosa, Ala., 443-448.

---

2007년 2월 7일 원고접수, 2007년 3월 13일 게재승인

**이수곤**

서울시립대학교 토목공학과  
 서울특별시 동대문구 전농동 90  
 Tel: 02-2210-2407  
 Fax: 02-2243-2407  
 E-mail: sglee@uos.ac.kr

**이벽규**

(주)새터기술  
 서울특별시 강남구 삼성동 162-25 동영빌딩3층  
 Tel: 02-3452-4568  
 Fax: 02-3452-4252  
 E-mail: saeter20@kornet.net

**김민성**

서울시립대학교 토목공학과  
 서울특별시 동대문구 전농동 90  
 서울시립대학교 건설공학과관 3110호  
 Tel: 02-2210-2822  
 Fax: 02-2210-2188  
 E-mail: kimms@uos.ac.kr