

경기 동부 지역 편마암복합체내의 일축압축강도와 점하중강도의 상관관계에 관한 연구

The Study on the Correlation between Unconfined Compressive Strength and Point Load Strength within the Gneiss Complex in Gyunggi Province

차아름¹⁾ · 송준호²⁾ · 최현석³⁾ · 천병식[†]

Cha, Areum · Song, Joonho · Choi, Hyunseok · Chun, Byungsik

ABSTRACT : The strength evaluation of rocks is a very important factor in designing and constructing tunnels or underground excavation. However, it takes a lot of time and endeavor to perform the unconfined compressive strength test for practice and a number of tests are limited. In order to make up for this method, the point load strength test is suggested. Generally, the strength of a rock differs depending on its type and region. However, as people unite the Point Load Strength Indexes of various regions and types to use in practice in many cases, they find difficulty in analogizing the exact strength. The purpose of this study is suggestion of the value in construction site by analyzing the relation of both unconfined compressive and point load strength in the Gyeonggi gneiss complex.

Keywords : Unconfined Compressive Strength Test (UCST), Point Load Strength Test (PLST), Gyeonggi Gneiss Complex, Banded Biotite Gneiss

요 지 : 터널이나 지하굴착의 설계와 시공에서 암석의 강도평가는 매우 중요한 요소이다. 하지만, 실무에서는 암석의 일축압축강도 시험(UCST)을 실시하기에는 시간과 노력이 많이 소요되며 시험개수에도 제한을 받는다. 이 방법을 보완하기 위한 시험법으로 제시된 것이 점하중강도 시험(PLST)이다. 그러나 실무에서는 지역과 암종에 따른 구분없이 점하중강도 지수를 통합하여 사용하는 경우가 많아 정확한 강도를 유추하는데 문제점이 있다. 이 연구의 목적은 경기 편마암복합체내 일축압축강도와 점하중강도의 상관관계를 분석함으로써 시공현장에서 사용하는 식에 대한 값을 제시하고자 한다.

주요어 : 일축압축강도시험, 점하중강도시험, 경기 편마암복합체, 호상 흑운모 편마암

1. 서 론

터널이나 지하굴착의 설계와 시공에서 필요한 암석의 강도 평가는 매우 중요하다. 한국의 기반을 이루는 암반은 선캄브리아기의 변성암류와 중생대의 화강암류로 전체의 3/4 이상 분포되어 있다. 경기 동부지역은 선캄브리아기의 변성암이 집중적으로 분포된 지질구조를 가지고 있다. 이 지역은 도시의 확장으로 인한 개발이 지속적으로 이어지고 있어, 구조물의 안정성이 매우 중요시 요구되는 지역이다. 따라서 이지역의 암석의 강도 특성에 대한 파악이 이루어진다면 설계와 시공에 많은 도움이 될 것이다.

일축압축강도시험(UCST, Unconfied Compressive Strength Test)은 공시체의 형상이 원주, 정육면체 및 직육면체 등으로 일정하게 가공되어야 하는 어려움이 있다. 한 지역에서 채취된 시료라도 강도 변화가 심하므로, 수십 개의

공시체를 제작하는 번거로움이 있다. 이와 같이, 일축압축 시험은 시료의 채취와 공시체의 가공 과정은 물론, 시간과 노력이 많이 소요되고 공시체의 시험 개수에도 제한을 받아 시험결과를 실무에 활용하는 데는 그 적용 범위가 한정되어 있다.

일축압축시험의 대체 방법으로 시료의 형상과 가공에 대한 단점을 보완하여 짧은 시간에 수백 개로 시험할 수 있는 점하중 시험법(PLST, Point Load Strength Test)이 이용되고 있다. 점하중 시험법은 암석 판정을 정량적으로 쉽고 빠르게 현장에서 수행할 수 있을 뿐만 아니라 일축 압축강도를 비교적 정밀하게 추정할 수 있는 방법으로 알려져 있다. 이 시험은 현장에서 바로 실험을 할 수 있고, 정형된 시편뿐만 아니라 비정형된 시료에도 이용이 가능하다는 장점이 있어 그 이용 빈도가 점차 증가하는 추세이다. 암석의 강도는 지역과 암종별에 따라 많은 값의 차

1) 비회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

2) 비회원, 지성ECS 과장

3) 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

† 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수(E-mail : hengdang@unitel.co.kr)

이를 나타내는 것이 일반적이다. 그러나 현재 실무에서는 지역과 암종에 대한 점하중 강도지수를 통합하여 사용하는 경우가 많아 정확한 강도를 추정하는데 많은 문제점이 있다.

본 연구에서는 경기도 동부 지역에 많이 분포하는 흑운모 편마암을 대상으로 시험한 결과를 종합하여 일축압축강도와 점하중강도의 시험 값에 대한 상관관계를 통하여, 이 지역의 시공현장에서 사용하는 식에 명확한 값을 제시하고자 한다. 우선 각 지역별 상관관계 분석을 통하여 같은 암종에서 강도 값의 차이를 파악한 후, 지층에 따른 값의 변화도 함께 파악하고자 한다. 또한, 편마암은 엽리의 방향에 따라 값의 차이가 많이 나기 때문에 일반적인 종방향 시험법뿐만 아니라, 횡방향에 대한 점하중 시험을 함께 수행하여, 재하방향별 점하중값을 비교함으로써 현장에서 어떤 방법이 더 합리적인지를 알아보하고자 한다. 이러한 결과를 통하여 일축압축강도를 신속하고 정확하게 예측함으로써 보다 편리하게 암반 구조물의 설계 및 시공 자료로 활용하는 것을 목적으로 한다. 환산계수는 나라마다 또는 암석의 종류마다 다르므로, 생성원인이나 연대에 개재된 불확실성을 해소하고자 변성환경이 비슷한 경기 동부지역의 흑운모 편마암에 국한하였다.

2. 연구 동향

Hiramatsu & Oka(1966)는 점하중시험을 처음으로 시행하여 이론적인 근거를 제시하였다. 그 후, Broch & Franklin(1972)에 의하여 시험적으로 일축압축강도(σ_c)-점하중강도지수($I_{s(50)}$) 관계식을 규명하였으나, 시료 크기 효과에 대해서는 명확히 규명하지 못했다. Bieniawski(1975)는 이 두 가지 문제를 보완하는 이론과 시험성과를 제시하였다. 그 후에도, 시료 크기 효과의 실험적 연구가 진행되었다. M. Greminger(1982)는 점하중시험의 시료 크기 효과에 따른 이방성 문제 등을 발표하였다. 이러한 발전을 거듭하여 국제 암반역학회(ISRM, 1985)에서 점하중 강도시험법에 대해 규정을 보완·확정되어 현재까지 이를 사용하고 있다.

국내에서는 이수곤 등(1991)이 점하중강도로 암석의 일축압축강도를 조사한 바 있고, 이송 등(1998)은 화강암으로 σ_c - $I_{s(50)}$ 관계를 규명하였다. 그리고 정형식 등(1997)은 풍화에 따른 강도변화의 연구에서 암종 별로 σ_c - $I_{s(50)}$ 관계를 규명하였으며, 이영희 등(2000)은 대구·경북지방의 퇴적암종류별로 σ_c - $I_{s(50)}$ 관계를 제시하였다. 김영수 등(2001)은 대구지역 세일의 이방성에 대한 연구에서 점하중강도 시험을 실시하였다(문종규, 2001).

위와 같은 국·내외에서 시행한 점하중시험에서 시료의 크기가 강도에 미치는 영향과 σ_c - $I_{s(50)}$ 관계를 실험적 및 이론적 연구로 대별된다. 외국에서는 암석의 종류를 구분하지 않고 범용적으로 이용할 수 있는 시료 크기 영향에 집중되어 있는데 비해서, 국내에서는 암석의 종류를 고려하고 있다. 실무에서는 후자의 경우가 더 필요하기 때문이다. 그 이유는 암석의 지질학적 생성과정과 생성 후의 환경변화가 중요하며, 화학적인 광물조성이 강도-변형 거동에 커다란 인자이기 때문이다. 이러한 불확실성을 해소하고 시험결과에 대한 신뢰도를 높이기 위해서는 위에 제시된 국내의 연구처럼 채취된 지역이나 암석의 종류별로 σ_c 와 $I_{s(50)}$ 의 구명이 더욱 요구된다. 향후 연구 방향은 지역별, 지질학적 특성이 고려된 공학적으로 신뢰성이 높은 연구가 진행되어 실무에 간편하게 범용으로 적용할 수 있는 방법이 제시되기를 기대한다.

3. 지리학적 특성

3.1 경기 편마암복합체

경기 편마암 복합체(Gyeonggi Gneiss Complex)내에 속하는 조사지역은 선캄브리아기의 호상 흑운모 편마암(banded biotite gneiss)과 편암(mica and quartz schist), 규암(quartzite) 등이 주로 분포하고 있다. 이중 변성암체는 소위 경기 변성 복합체의 일부로서 하부로부터 호상흑운모 편마암과 편암 등이 분포하고 있다. 호상 편마암에 발달된 성분엽리는 변위작용에 의해 형성된 것이며, 적어도 두 번 이상의 변형작용을 받아 광물의 재배열에 의해 형성된 암석이다. 기반암은 여러 번의 중복된 연성변형작용과 취성변형작용에 의한 엽리, 습곡, 단층 파쇄대 및 전단대를 형성하고 있다. 지표조사에서 나타나는 엽리구조는 여러 단계의 중첩 습곡운동으로 인하여 전위엽리 형태를 보이고 있다.

3.2 경기 동부지역

경기도 동부지역은 수도권 균형발전의 일환으로 도로망과 철도시설 확충이 빠르게 이루어지고 있다. 또한 주거지역으로 향후 건설이 많이 이루어지는 곳이다. 경기도 동부지역은 지질학적으로 경기 육괴의 경기 편마암복합체내에 분포하는 호상 흑운모 편마암이 많이 분포하는 지역으로 알려져 있다. 본 연구의 대상 지역은 곤지암, 분당, 광주, 덕소, 양평으로 대표적으로 호상 흑운모 편마암이 많이 분포하는 지역이다.

4. 시험방법

4.1 일축압축시험(UCST)

이 시험은 암석 시편의 일축압축강도를 측정하는 데 사용되며 신선암의 강도 분류와 특성을 관찰하는데 사용된다. 만일 파괴가 생기는 면에 압축응력만이 작용되어 파괴가 일어났다고 한다면 그때의 압축응력이 곧 압축강도가 되므로 압축시험에 의하여 압축시험편이 파괴를 일으켰을 때의 응력을 압축강도로 정의한다.

일축압축시험에 의하여 측정된 자료의 취급에는 세심한 주의를 기울일 필요가 있다. 이 시험은 원리적으로 극히 간단하나, 시험 조건이 틀리면 측정값이 변하므로 시험 조건을 일정하게 유지 하여야 한다. 시험 조건으로 고려해야 할 사항으로는 시편의 형상, 시편의 크기, 가압면의 마무리 정도, 가압판과 가압면의 접촉 상황, 시편의 건조 정도 및 하중 재하속도 등이 있다. 시험방법은 국제암반학회(ISRM)가 제시한 일축압축강도 시험방법에 준하였으며, 암석의 분류 방법은 RMR분류법을 이용하여 연·경암을 분류하였다.

시험순서는 다음과 같다.

- ① 시편은 터널 상부와 상부 1~2D구간 위주로 NX코어를 채취한다
- ② 동일 코어내 동일 심도에서 공시체 길이 90mm이하를 제외한 코어를 채취한다.
- ③ 시편의 지름과 높이의 비가 1:2가 되도록 다이아몬드 톱으로 절단한다.
- ④ 절단된 시료의 양단면에 연마분(#80, #200, #400)을 이용하여 8자 형태로 돌려가면서 단계 적으로 연마한 후, 폴리쉬(Polish)머신을 이용하여 편평도가 0.02mm 이내가 되도록 연마 한다.
- ⑤ 성형된 시료의 중앙에 사포를 이용하여 표면의 굴곡을 없앤 후 Strain Gauge를 축방향과 횡방향으로 Gauge 본드를 이용하여 각각 부착한다.(⊥자 형태)
- ⑥ Strain Gauge를 변형률 측정 장비와 연결한다.
- ⑦ 하중재하 속도는 1~10kg/cm²/sec 속도로 유지하며, 하중을 점진적으로 증가시킨다.
- ⑧ 파괴가 일어나면 파괴형상을 체크하고 컴퓨터에서 데이터를 출력하여 정리한다.

본 연구에서 사용한 일축압축시험기는 한국지질자원연구소, 서울대 및 강원대에서 보유하고 있는 장비를 사용하고, 암석 시편은 지반조사에서 채취한 코어로 지름이 54mm인 NX코어를 사용하여 일축압축시험을 실시하였다. 채취된

호상 혹은도 편마암은 시편내부에 절리가 발달된 것과 풍화된 시편이 혼재하고 있으나 육안으로 구분하여 신선암에 속하는 연·경암만을 분류하여 시편을 제작하여 시험하였다.

4.2 점하중강도 시험(PLST)

점하중 시험은 암석 분류를 위한 강도지수 산출에 그 목적이 있으며, 이는 일축인장강도, 일축압축강도와 상관관계가 있어 각각의 강도를 구하는데 이용되기도 한다. 시험의 종류에는 횡방향(diametral) 시험, 종방향(axial) 시험, block 또는 irregular lump 시험 등이 있다. 시험 기구가 운반이 용이하여 현장과 실험실에서 시험이 가능하다. 또한 점하중시험은 현장에서 암석 판정을 정량적으로 쉽고 빠르게 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 일축압축강도를 비교적 정밀하게 추정할 수 있는 방법으로 알려져 있다.

시험 방법은 암석 시편에 점하중을 가하여 시편 내에 인장강도를 유발시켜 암석을 파괴시키는 방법이다. 이 시험기는 E. Broch(1972)와 J. A. Franklin(1972)이 처음 체계화된 실험 방법을 제안하였으며, 암석시편의 형상과 크기에 대한 영향을 조사하여 표준적인 실험 방법을 Brook. N(1980) 등이 제시하였다(이수곤 등, 1991).

- ① 교량, 토공, 터널구간에서 채취한 모든 암(풍화암~경암)에 대하여 실시한다.(단, 외부로 절리가 나타난 암은 제외)
- ② 시험은 코어지름 크기(약 5cm이상)인 모두 구간에서 실시하여야 하나, 현장 여건상 1m에 1~3회 정도 실시한다(길이 50mm이상, 축방향 시료는 25mm이상).
- ③ 시료제작은 bedding면에 수직으로 coring하였고, 직경방향 실험을 위해 그림 1과 같이 실시하여, 종방향(axial test) 측정 시료 L/D=0.3~1인 core와 횡방향(diametral test) 측정시료 L/D=1(L=1/2D) core를 준비한다.
- ④ 횡방향 시험시 가압하는 점은 시료 길이 방향의 중앙 부분과 축 지름이 일치하는 방향에 시험기의 가압점단을 밀착시키고, 하부 포인트를 위로 올리면서 압력을 가한다.
- ⑤ 2인 1조로 시험을 실시하며, 가압속도를 일정하게 유지하여 파괴가 일어날 때 까지 실시, 코어가 파괴되

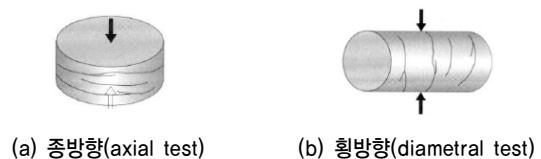


그림 1. 점하중 강도시험(PLST) 모식도

면 파괴형상과 시험값을 적는다.

- ⑥ 연암과 경암에 대한 시험결과 최상위, 최하위를 제외하거나 최대/최소강도 비가 3배 이상을 제외한 평균을 취한다.
- ⑦ 측정된 값을 정리하여, 점하중 지수(I_s)에 보정계수(F)를 고려한 점하중 지수($I_{s(50)}$)를 표준 지수 값으로 환산하여 이용한다.

$$I_s = \frac{P}{D_e} I_{s(50)} = F \times I_s \quad (1)$$

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0.45} \quad (2)$$

여기서,

I_s : 점하중 지수

$I_{s(50)}$ = 보정계수를 고려한 점하중강도

P : 하중

D_e : 환산된 등가면적

F : 보정계수

5. 시험 결과

5.1 일축압축강도

각 지역별 일축압축강도 시험결과는 표 1과 같이 덕소 지역이 가장 크게, 양평지역이 가장 작게 나타났다.

5.2 재하방향에 따른 점하중강도 지수($I_{s(50)}$) 값

본 연구는 일축압축강도 시험을 실시한 심도와 같거나,

표 1. 프로젝트별 일축압축강도

구 분	곤지암	분당	광주	덕소	양평
최소(kgf/cm ²)	280	150	729	150	140
최대(kgf/cm ²)	1850	2040	2204	2240	2130
평균(kgf/cm ²)	778	823	1287	1009	776

표 2. 재하방향에 따른 점하중강도 지수($I_{s(50)}$)

구 분	종방향	횡방향
최소(kgf/cm ²)	4.61	0.98
최대(kgf/cm ²)	201.1	214.1
평균(kgf/cm ²)	66.9	35.9

표 3. 프로젝트별 점하중강도 지수($I_{s(50)}$)

구 분	곤지암	분당	광주	덕소	양평
최소(kgf/cm ²)	16.8	0.98	5.7	0.6	2.0
최대(kgf/cm ²)	113.3	214.1	125.8	127.3	87.0
평균(kgf/cm ²)	58.0	35.9	55.4	47.4	34.7

상·하 4~5m에 해당하는 구간의 점하중강도 값을 일축압축강도와 비교하였으며, 그림 1의 점하중 강도시험 모식도와 같이 종방향(axial test)과 횡방향(diametral test)에 대하여 점하중 시험을 실시한 결과 표 2와 같이 전체적으로 종방향 시험값이 크게 나타났다.

5.3 점하중강도 지수($I_{s(50)}$)

다섯 지역의 점하중강도 지수를 비교한 값은 표 3과 같이 분당지역에서 최대값 및 최소값의 차이가 가장 크게 나타났고, 곤지암지역에서 가장 작게 나타났다.

6. 결과 분석 및 고찰

경기 편마암 복합체내의 경기 동부지역에 분포하는 호상 흑운모 편마암의 일축압축강도와 점하중강도 지수의 시험결과는 아래와 같이 분석 되었다. 외국과 국내 연구 사례를 통하여 알 수 있듯이 점하중 지수는 지역과 암종에 따라 분석결과에 많은 차이를 볼 수 있다. 동일 지질 조건에 형성된 암석의 분포위치에 따른 지역적 관계, 암석의 강도 차에 의한 관계 및 암석 특성에 의한 점하중 재하방향에 따른 관계를 분석하였다. 본 연구에서는 원점 회귀분석과 단순회귀분석만을 가지고 상관관계를 분석하였다.

6.1 지역별 일축압축강도와 점하중강도의 상관관계

지역별 일축압축 강도와 점하중 강도의 상관관계는 표 4와 같다.

표 4. 지역별 상관관계식

구 분	상관관계식	R ²	
곤지암	단순회귀분석	$\sigma_c=16.725 \times I_{s(50)}-164.46$	0.85
	원점회귀분석	$\sigma_c=16.137 \times I_{s(50)}$	0.81
분 당	단순회귀분석	$\sigma_c=18.174 \times I_{s(50)}+3.6328$	0.82
	원점회귀분석	$\sigma_c=18.231 \times I_{s(50)}$	0.82
광 주	단순회귀분석	$\sigma_c=16.16 \times I_{s(50)}+534.09$	0.82
	원점회귀분석	$\sigma_c=21.369 \times I_{s(50)}$	0.69
덕 소	단순회귀분석	$\sigma_c=14.867 \times I_{s(50)}+319.5$	0.78
	원점회귀분석	$\sigma_c=17.877 \times I_{s(50)}$	0.72
양 평	단순회귀분석	$\sigma_c=17.087 \times I_{s(50)}+99.422$	0.87
	원점회귀분석	$\sigma_c=19.642 \times I_{s(50)}$	0.85

6.2 재하방향별 일축압축강도와 점하중강도의 상관 관계

재하방향별 일축압축강도와 점하중 강도의 상관관계는 표 5와 같다.

6.4 호상흑운모 편마암 일축압축강도와 점하중강도의 상관관계

경기 편마암 복합체내의 경기 동부지역에 분포하는 호

상 흑운모 편마암의 일축압축강도와 점하중강도 지수의 상관관계는 표 6과 같이 단순회귀분석의 경우 R²은 0.84, 원점회귀분석의 경우 R²은 0.82로 상관관계식은 국내 연구사례에서 흑운모 편마암에 대하여 정형식 등(1997)이 발표한 $\sigma_c=17 \times I_{s(50)}+50$ 과는 약간의 차이를 나타냈다. 경기 동부지역의 일축압축강도-점하중강도의 상관관계를 분석한 결과, 원점 회귀분석보다 단순 회귀분석 상관관계식을 적용하는 것이 더 적합할 것으로 판단된다.

표 5. 재하방향별 상관관계식

구 분	상관관계식	R ²	
종방향	단순회귀분석	$\sigma_c=16.809 \times I_{s(50)}-70.639$	0.87
	원점회귀분석	$\sigma_c=15.803 \times I_{s(50)}$	0.85
횡방향	단순회귀분석	$\sigma_c=18.174 \times I_{s(50)}+3.6328$	0.82
	원점회귀분석	$\sigma_c=18.231 \times I_{s(50)}$	0.82

표 6. 분석별 상관관계식

구 분	상관관계식	R ²
단순회귀분석	$\sigma_c=16.656 \times I_{s(50)}+216.5$	0.84
원점회귀분석	$\sigma_c=18.897 \times I_{s(50)}$	0.82

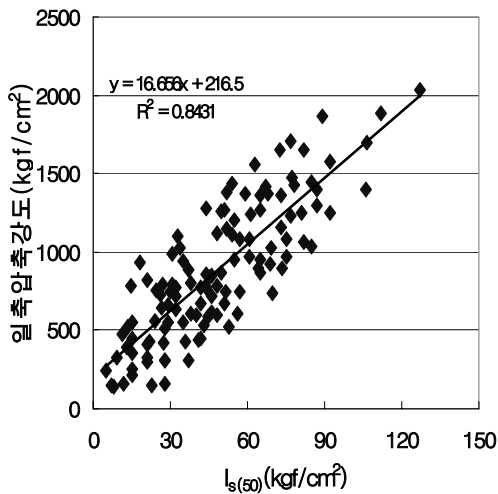


그림 2. 경기 동부지역 단순회귀분석

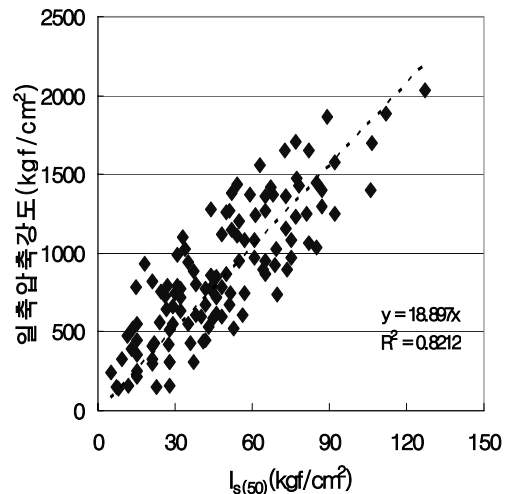


그림 3. 경기 동부지역 원점 회귀분석

7. 결 론

본 연구에서는 한 암종에 대한 강도에 대하여 파악하였다. 경기도 편마암복합체내 경기 동부지역에 많이 분포하고 있는 호상 흑운모 편마암에 대하여 일축압축강도와 점하중강도에 대하여, 현재까지 수행한 5개 프로젝트 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 분석결과 원점 회귀분석보다 단순 회귀분석이 일축압축강도-점하중강도 상관관계가 경기 동부지역에서는 더 효과적인 해석법이다.
- (2) 일축압축강도와 점하중강도의 지역별 상관 관계식은 다음과 같다.
 곤지암 $\sigma_c = 16.725 \times I_{s(50)} - 164.46$ ($R^2 = 0.85$),
 분당 $\sigma_c = 18.174 \times I_{s(50)} + 3.6328$ ($R^2 = 0.82$),
 광주 $\sigma_c = 16.16 \times I_{s(50)} + 534.09$ ($R^2 = 0.82$),
 덕소 $\sigma_c = 14.867 \times I_{s(50)} + 319.5$ ($R^2 = 0.78$),
 양평 $\sigma_c = 17.087 \times I_{s(50)} + 99.422$ ($R^2 = 0.87$).
- (3) 경기 동부지역에 분포하는 호상 흑운모 편마암의 일축압축강도와 점하중강도의 상관 관계식은 $\sigma_c = 16 \times I_{s(50)} + 216$ 이며, 상관관계는 0.84로 높게 나타나 현장에서 적용해도 무리가 없을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김영수, 허노영, 김병탁, 서인식, 이재호(2001), 층리면을 고려한 세일의 공학적 특성, *한국지반공학회 논문집*, Vol. 17, No. 1, pp. 5~13.
2. 문종규(2001), *암석의 일축압축강도와 점하중강도의 상관관*

계에 관한 연구, 석사학위논문, 울산대학교대학원, pp. 3~4, 21~23.

3. 이승, 이수곤(1998), 점하중 강도를 이용한 한국 화강암의 일축압축강도 추정방법, *대한토목학회 논문집*, Vol. 15, No. 4(토질 및 기초공학), pp. 1,015~1,027.
4. 이수곤 등(1991), *경부고속도로(수원~남이간), 영동고속도로(신갈~원주간) 확장공사 실시설계를 위한 토목지질조사 보고서*, 한국 동력자원연구소, p. 676.
5. 이영휘, 김용준, 박준규(2000), 압축강도와 풍화도에 관련된 퇴적암의 공학적 특성, *한국지반공학회 논문집*, Vol. 16, No. 1, pp. 5~17.
6. 정형식, 유병옥(1997), 암석의 풍화에 따른 강도변화 및 강도 추정에 관한 연구, *한국지반공학회 논문집*, vol. 13 no. 6, pp. 71~93.
7. Bieniawski, Z. T.(1975), Point load test in geotechnical practice, *Eng. Geol.*, Vol. 9, pp. 1~11.
8. E. Broch and J. A. Franklin(1972), The point-load strength test, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, Vol. 9, No. 6, November 1972, pp. 669~676.
9. M. Greminger(1982), Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point-load testing, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, Vol. 19, No. 5, October 1982, pp. 241~246.
10. Hiramatsu and Oka(1966), Determination of the tensile strength of rock by a compression test of an irregular test piece, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, Vol. 3, No. 2, May 1966, pp. 89~90.
11. ISRM(1985), Suggested Method for determining point load strength(revised version), *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, vol. 22, pp. 51~60.
12. Brook. N.(1980), Size correction for point load testing, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, Vol. 17, pp. 231~235.

(접수일: 2006. 9. 19 심사일: 2006. 10. 10 심사완료일: 2007. 1. 15)