

편마암의 엽리를 고려한 점하중강도지수 특성에 관한 고찰

김주화(대림산업(주)), 최시영((주)희송지오텍)
김기석((주)희송지오텍), 박연준(수원대학교)

1. 서론

점하중강도는 시험법이 간편하고 일축압축강도와 상관성이 뛰어나 일축압축강도 추정을 위해 국내외에서 널리 사용되고 있다. 현재까지 대부분 연구는 암종별로 점하중강도지수(Is(50))와 일축압축강도간의 비례상수(K)를 파악하는 것이 주된 목적이었으며(Kahraman, 2001; Gunsallus and Kulhawy, 1984) 비례상수(K)는 강도의 함수임이 영국의 chalk를 대상으로 한 연구결과 밝혀지기도 하였다. 또한 편마암, 편암 등의 강도이방성에 관한 연구는 일축압축강도의 실험적 연구가 주로 수행되어 왔다.

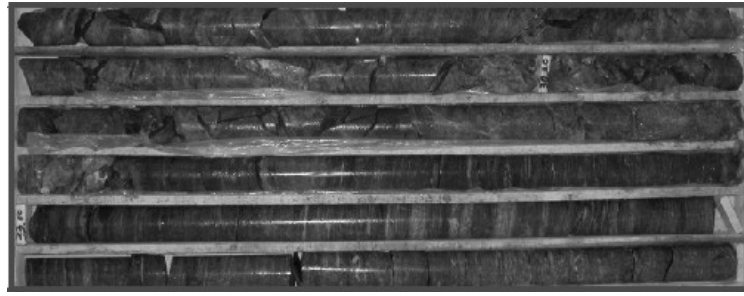
그러나 토목프로젝트 수행시 코아시료는 통상 수직시추공에서 회수되므로 실내시험에 의해 재하방향별로 일축압축강도를 측정하는 것은 현실적으로 불가능하다. 반면, 점하중시험의 경우 시추코아에 대해 종방향 및 횡방향으로 재하하는 것이 가능하므로 적어도 두 방향에서의 점하중강도지수의 차이는 파악할 수 있다. 그러나 이방성이 현저한 암종에 대해 재하방향별 점하중강도지수의 차이에 관한 연구는 지금까지 거의 수행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 편마구조가 수평으로 뚜렷하게 발달한 호상흑운모편마암(banded biotite gneiss) 코아시료를 대상으로 엽리에 대해 재하방향이 현저히 상이한 두 방향(종방향 및 횡방향)으로 점하중시험을 실시하여 그 차이를 파악하고자 하였으며 또한 일축압축강도시험을 수행하여 점하중지수와 일축압축강도를 비교분석하고자 하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 호상흑운모편마암은 터널설계를 위한 지반조사를 목적으로 경기변성암복합체를 대상으로 실시한 시추공에서 회수된 NX 규격의 시추코아로 백색대와 유색대가 뚜렷한 편마구조가 잘 관찰된다. 편마구조는 수평 내지 거의 수평으로 발달하고 있다(Fig. 1). 점하중시험은 ISRM(1985)기준에 따라 종방향(Axial test)과 횡방향(Diametral test)으로 각각 재하하여 점하중강도지수(Is(50))를 산출하였고 실내일축압축시험은 총29회를 실시하였다(Fig. 2)



(a) TB-1(depth : GL.(-)19.5-25.3m)



(b) TB-2(depth : GL.(-)28.5-35.0m)

Fig. 1 Banded biotite gneiss with horizontal or sub-horizontal foliation

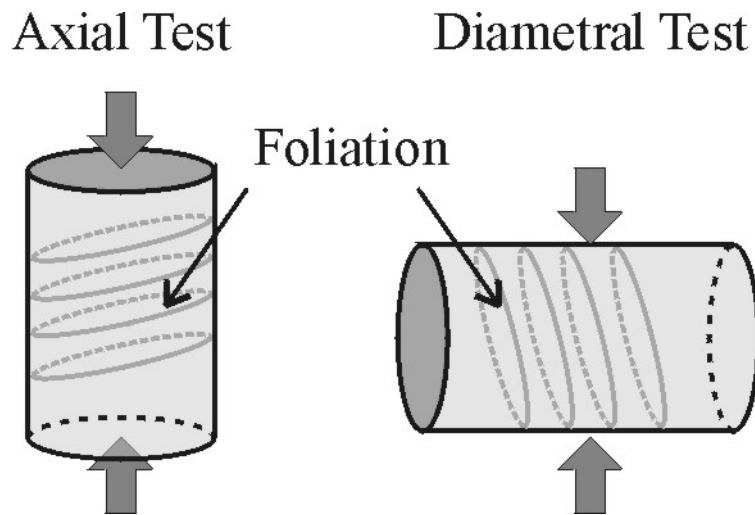


Fig. 2 Two types of point load test classified by loading direction

3. 결과 및 분석

Fig. 3은 지층별 점하중강도지수(Is(50))의 분포를 상자그림(Box plot)으로 도시한 것으로 제 1사분위수, 제3사분위수, 중앙값(Median), IQR(Inter-Quartile Range) 및 이상치(Outlier)를 쉽게 파악할 수 있다. Axial test 및 Diametral test 모두 풍화암, 연암에 비해 보통암, 경암의 자료범위가 크다. Axial test의 경우 지층별로 중앙값의 차이가 뚜렷하게 관찰되는 반면 Diametral test의 경우 중앙값의 차이가 크지 않다.

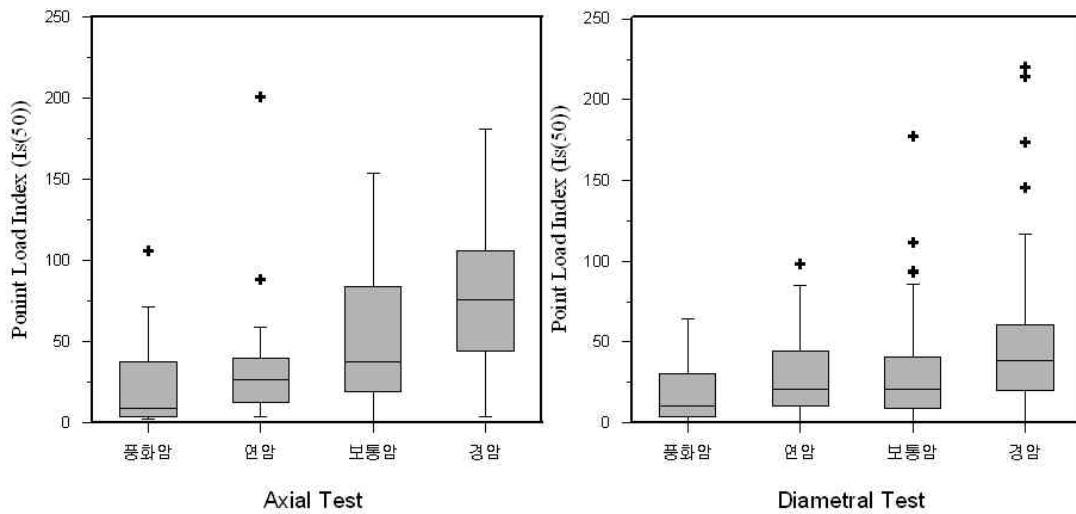


Fig. 3 Box-plot of point load index with rock mass quality

이상치를 제거한 후 동일 시추공, 동일심도에서의 Axial test 및 Diametral test에 의해 산출된 점하중강도지수를 도시한 결과(Fig. 4), 엽리방향에 수직으로 재하된 Axial test의 점하중강도지수가 더욱 크게 나타나고 있다. 그러나 자료의 분산이 커 지층별로 뚜렷하게 구별되지는 않는다.

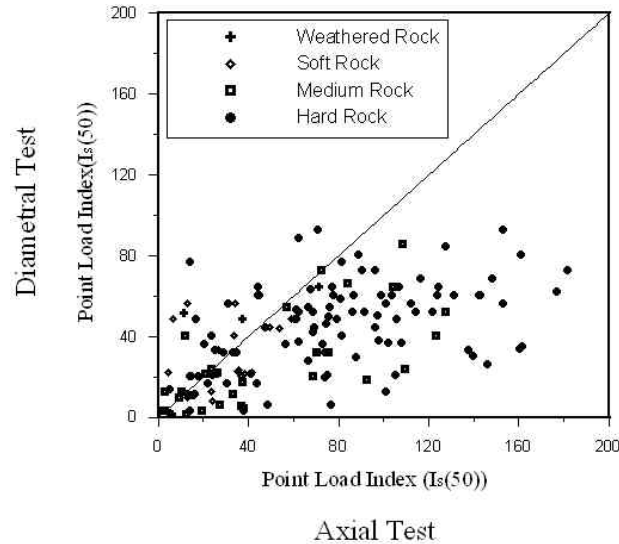


Fig. 4 Scatter diagram of point load index between diametral and axial test

Table 1은 각 자료의 기술통계량(Descriptive statistics)을 정리한 것으로 Axial test의 경우 풍화암에서 경암으로 갈수록 평균값과 최빈값이 급격하게 증가하는 반면 Diametral test의 경우 상대적으로 완만한 증가를 보이고 있다. 이러한 사실은 본 연구에 이용된 거의 수평의 엽리를 갖는 호상혹운모편마암에 대해 Axial test를 적용하였을 경우에는 엽리방향에 대체로 수직하게 재하되므로 엽리의 존재보다는 지층별 강도특성이 점하중강도지수에 더욱 큰 영향을

미쳐 지층별로 확연히 구분되며, Diametral test의 경우 엽리방향과 대체로 평행하게 재하되므로 엽리의 존재가 더욱 큰 영향을 미치기 때문에 지층별로 차이가 크지 않은 것으로 사료된다.

또한 풍화암과 연암에서의 Axial test와 Diametral test에 따른 점하중강도지수(Is(50))의 평균값과 최빈값은 유사하게 나타나나, 보통암과 경암에서는 Axial test의 점하중강도지수가 Diametral test의 점하중강도지수의 2배 정도로 크게 나타난다(Table 1). 이는 풍화암과 연암의 경우 엽리의 존재로 인한 강도이방성이 크게 발현되지 않으나 보통암과 경암에서는 강도이방성이 보다 뚜렷하게 나타남을 시사한다. 따라서 강도이방성이 고려되어야 되는 토목구조물설계시 보통암 이상의 양호한 암반에 대해 더욱 신중할 필요가 있다. 이는 두 표본집단의 평균으로 동일 모집단에서 추출되었는지의 여부를 검증할 수 있는 T-test 결과에서도 통계적 유의성을 지니는 것으로 나타났다(Table 2).

Table 1. Descriptive statistics of point load index according to loading direction(unit : MPa)

Rock type	Weathered Rock		Soft Rock		Medium Rock		Hard Rock	
	Axial	Diametrical	Axial	Diametrical	Axial	Diametrical	Axial	Diametrical
Mean	16.8 (25.7)*	17.4	27.1 (33.1)*	26.9	52.5	24.1 (28.6)*	78.8	39.5 (42.7)*
Median	6.1	10.1	26.7	20.8	37.5	17.5	75.8	37.2

* : Mean value before elimination of outliers

Table 2. Results of F-test and T-test

Tested data set		Test	F-test		T-test	
			Statistics	Critical value	Statistics	Critical value
Axial Test						
Weathered Rock	Soft Rock		2.03	3.09	1.49	2.03
Soft Rock	Medium Rock		6.34	1.85	3.34	2.00
Medium Rock	Hard Rock		1.15	1.65	3.08	1.98
Diametral Test						
Weathered Rock	Soft Rock		1.61	1.64	2.31	1.98
Soft Rock	Medium Rock		1.18	1.45	0.85	1.97
Medium Rock	Hard Rock		1.39	1.35	5.67	1.97
Total data of Axial Test	Total data of Diametral Test		3.56	1.24	8.71	1.96
Axial-Weathered Rock	Diametral-Weathered Rock		1.75	3.05	0.09	2.01
Axial-Soft Rock	Diametral-Soft Rock		1.86	1.75	0.04	1.98
Axial-Medium Rock	Diametral-Medium Rock		4.00	1.66	3.89	1.98
Axial-Hard Rock	Diametral-Hard Rock		3.30	1.33	8.59	1.97

* Shaded rows mean that the hypothesis(the mean values of the two test methods are identical) is rejected

이상치를 제거한 후 히스토그램을 작성한 결과(Fig. 5), Axial test 및 Diametral test 모두 지수분포 특성을 보이고 있다.

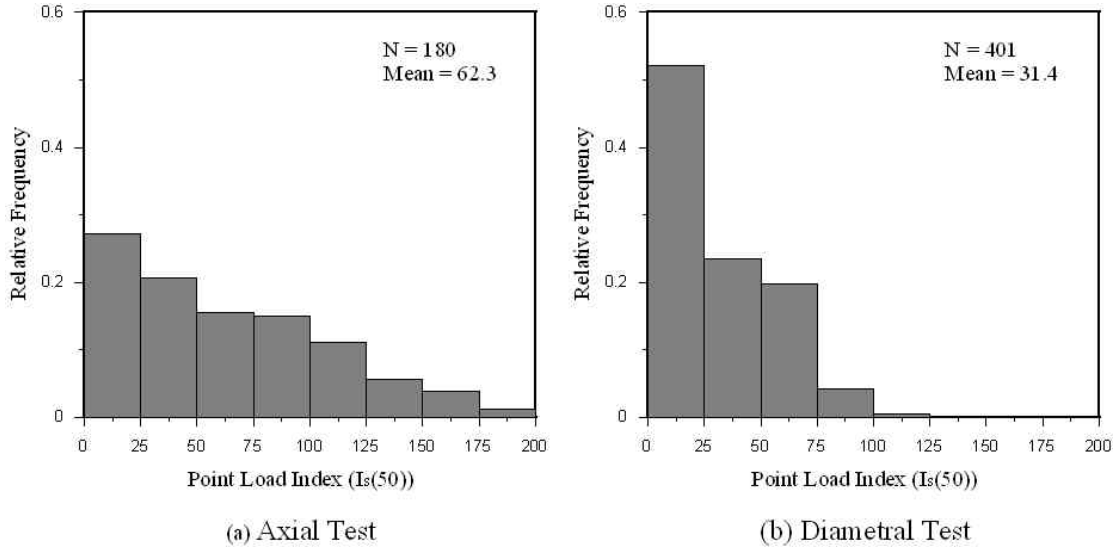


Fig. 5 Distribution of point load index(Is(50))

점하중강도지수를 이용하여 일축압축강도를 추정함에 있어 비례상수(K)는 암반분류법의 하나인 RMR에서는 25를 적용하나 현재 국내에서는 각 프로젝트별로 일축압축강도와 점하중강도지수를 상관분석하여 일축압축강도 추정을 위한 비례상수(K)를 산출하고 있다. 수직 시추코아시료의 29개 일축압축강도값과 일축압축시험이 수행된 동일 시추공의 동일 심도에서의 점하중강도지수를 회귀분석한 결과(Fig. 6), 비례상수(K)는 Axial test와 Diametral test 각각 11.6과 22.2로 나타났다. Diametral test의 경우 기준에 제시된 값들과 대체로 유사하나 Axial test의 경우 상당히 낮은 값을 보이는데, 이는 점하중강도지수가 Diametral tests에 비해 크기 때문에 나타난 결과이다. 그러나, 본 연구에서는 Diametral test의 경우 일축압축강도시험과 재하방향이 상이할 뿐만 아니라 재하방향과 엇리방향의 관계가 상이하므로 Axial test 결과를 활용하는 것이 보다 타당할 것으로 사료된다. 그러나 현재의 연구결과만으로는 두 점하중강도시험법 중 어떤 것이 일축압축강도와 더욱 상관성이 높은지에 대해서는 판단할 수 없다. 다만, 이방성이 현저한 암종의 경우 하나의 점하중시험법보다는 두개의 점하중 시험법을 모두 적용하는 것이 보다 풍부한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

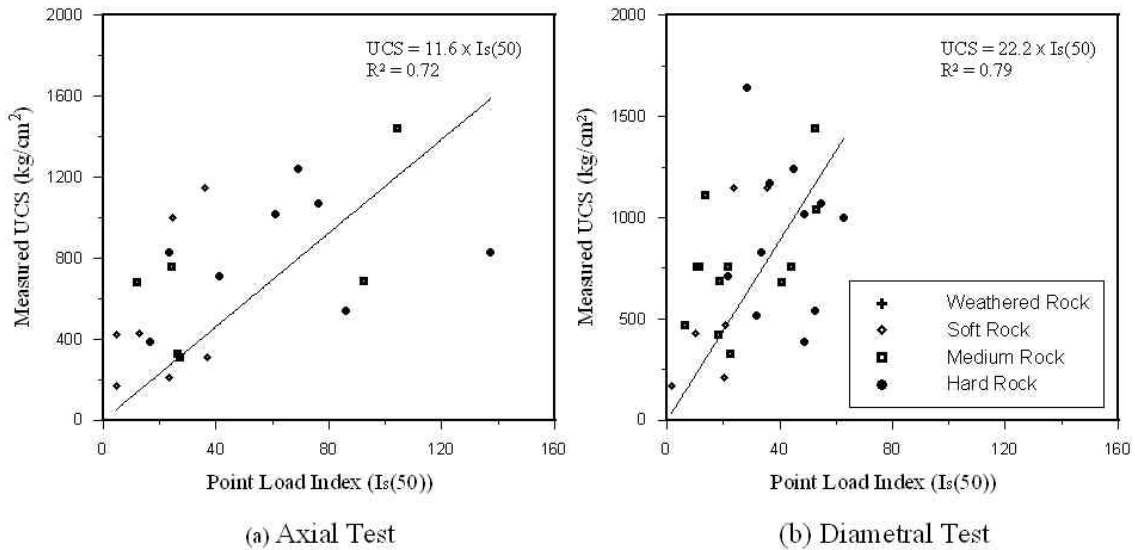


Fig. 6 Scatter diagram between point load index and measured uniaxial compressive strength

4. 결론

수평 내지 거의 수평의 편마구조가 뚜렷이 발달한 호상혹운모편마암에 대해, 종방향 및 횡방향의 두가지 방향으로 각각 재하하여 점하중강도지수를 산출한 후, 통계검증을 수행한 결과, 비록 실험이 정밀하게 제어되진 못하였으나 다음과 같은 유용한 결과를 얻을 수 있었다.

① 지층별 자료의 분산은 크지만 전체적으로 엽리와 수직으로 재하되는 조건인 Axial test가 엽리와 평행하게 재하되는 조건인 Diametral test에 비해 점하중강도지수가 크게 나와 점하중강도도 이방성을 반영할 수 있음이 확인되었다.

② 지층별 재하방향에 따른 점하중강도지수에 대한 검증결과, 풍화암과 연암의 점하중지수는 Axial test와 Diametral test 간 차이가 거의 없으나 보통암과 경암의 점하중지수는 Axial test와 Diametral test 간 2배 이상 뚜렷한 차이를 보인다. 이는 풍화암과 연암의 경우 엽리에 의한 영향보다는 풍화와 같은 암석 자체 강도 영향이 더 우세하게 작용하는 반면 보통암과 경암은 엽리에 의한 영향이 보다 더욱 크기때문으로 해석할 수 있다.

③ 재하방향별 지층에 따른 점하중강도지수에 대한 검증결과, Axial test의 경우 풍화암=연암≠보통암≠경암, Diametral test의 경우 풍화암≠연암≠보통암=경암의 결과를 보였다. 이는 엽리와 평행하게 재하되는 Diametral test의 경우는 풍화암에서 보통암까지, 엽리와 거의 수직으로 재하되는 Axial test는 풍화암에서 연암까지가 암석 강도보다는 엽리의 영향이 더욱 점하중강도에 더욱 크게 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다.

④ 이러한 결과로부터, 편암이나 편마암과 같은 변성암 시추코아의 점하중지수로 일축압축강도를 추정할 때에는 보다 세밀한 고려가 필요하며, 더불어 풍화정도에 따라 암석강도에 미치는 엽리방향의 영향이 다르다는 것을 추론할 수 있다.

참고문헌

1. Kahrman, S., 2001, Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of

rock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol.38, pp.981-994

2. Brook, N., 1980, Size correction for point load testing, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol.17, pp.231-235

3. Gunsallus, K.L. and Kulhawy, F.H., 1984, A comparative evaluation of rock strength measures, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol.21, pp.233-248

4. ISRM Suggested Methods, 1985, Suggested method for determining point-load strength, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol.22, pp.53-60