

## 한반도의 암종별 공학적 특성의 상관성 분석

김교원<sup>1)</sup> · 김수정<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>경북대학교 지질학과 <sup>2)</sup>현대엔지니어링(주)\*

## Correlation between Engineering Properties of Rocks in Korea

Gyo-Won Kim<sup>1)</sup> · Su-Jeong Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Geology, Kyungpook National University

<sup>2)</sup>Hyundai Engineering Co., Ltd.

---

본 연구에서는 한반도 전역에 흔하게 분포하는 퇴적암, 화성암 및 변성암의 대표 암종에 대하여 기 수행된 6,000 여 개의 시험치를 수집하여 다양한 물리적 및 공학적 특성치를 분석하였다. 퇴적암의 세일, 사암 및 석회암, 화성암의 화강암, 변성암의 편마암을 대표 암종으로 선정하여 84% 신뢰도를 만족하는 범위에서의 공학적 특성치의 상관관계식을 유도하였다. 제시된 상관관계식은 다양한 지반구조물 설계시의 참고자료로 활용할 수 있을 것이다.

주요어 : 압축강도, 점착력, 내부마찰각, 인장강도, 탄성계수

About 6,000 rock properties obtained from laboratory tests are collected from various projects conducted in Korea Peninsular and the distribution of the properties such as uniaxial compressive strength, cohesion, friction angle, tangential strength, Young's modulus, P-wave velocity and S-wave velocity are analysed and correlated each other. The empirical equations deduced with 84% of reliability would be useful for preliminary design of geo-structures.

**Key words :** uniaxial compressive strength, cohesion, friction angle, tangential strength, Young's modulus

---

\* Corresponding Author : crystal@hec.co.kr

## 서 론

본 연구에서는 퇴적암의 공학적 특성에 대한 상관분석(여영도 등, 2005)의 후속 연구의 일환으로 화강암의 시험 관련자료 1,000여건과 편마암의 시험 관련자료 1,600 여 건에 대하여 추가적인 상관성 분석을 수행한(김수정, 2002) 결과이다. 퇴적암은 퇴적물이 육지나 수저에 쌓여서 형성된 암석으로 크게 역암, 사암 세일, 석회암등으로 이루어져 있다. 퇴적암의 가장 큰 특징인 층리면에 평행한 방향으로 전단강도가 상대적으로 약하고, 특히 세일은 대기노출 또는 침수와 같은 환경변화에 민감하므로 층리의 발달로 인해 암석의 강도저하가 현저하게 일어나는 경우가 많다. 화성암의 대표적 암석인 화강암은 마그마가 지하심부에서 고결된 조립질 암석으로 석영, 장석, 운모 등을 주 구성광물로 포함하고 있으며 강도가 크다. 편마암은 변성암으로서 변성작용에 의한 편마구조가 잘 발달되어 있는데, 이로 인하여 공학적이방성을 나타내고 있다. 편마구조에 수직으로 작용하는 응력에 대해서는 강한 강도를 유지하고 있으나, 평행한 방향으로로는 약한 강도를 보이고 있다.

이처럼 각기 다른 특성을 가지고 있는 암석의 흡수율, 단위중량, 일축압축강도, 점착력, 내부마찰각, 인장강도, 탄성계수, P파속도 및 S파속도 등의 특성치 분포도를 분석함으로써 해서 최근 증대되고 있는 지하공간, 절취사면 등 대규모 기반시설의 건설 시에 안전하고 경제적인 설계에 필요한 참고자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

국내 암석의 공학적 특성에 대한 상관성 분석은 송무영과 황인선(1993)의 퇴적암의 비중, 공극률, 함수율, 탄성파속도 및 점재하강도지수의 상관성분석연구가 있으며, 김해경 등(2005)이 고흥지역에 분포하는 백악기 응회암의 일축압축강도와 축방향 점하중 강도지수를 비교하여 상관관계식을 유도한 바 있다.

### 암종별 특성치 분포양상

일축압축강도는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 그 분포가 카이제곱( $\chi^2$ )분포에 가까운 양상을 나타내며, 결정질

암인 화강암과 편마암이 퇴적암에 비하여 높은 강도를 보이는데, 일부 결정질암석과 사암은 2,000kg/cm 이상의 강도를 보이기도 하였다. 점착력과 내부마찰각의 분포는 각각 Fig. 2 및 Fig 3에서 보는 바와 같이 대체적으로 정규분포에 가까운 양상을 나타내며, 화강암의 평균 점착력이 다른 암석에 비하여 다소 높게 나타났고 내부마찰각은 평균치가 50-60도 정도로 상당히 높은 값을 보이며 분산도도 다소 큰 편이다. 인장강도는 Fig. 4에서 보듯이 정규분포에 가까우며 퇴적암이나 결정질 암석이나 강도자체의 특징적 구분이 없는 것으로 보이는데, 이는 암석의 인장강도가 암석내부의 미세결함에 의하여 지배되기 때문에 생기는 결과로 추정된다. 또, 암석의 탄성계수는 Fig. 5와 같이 정규분포 혹은 카이제곱분포를 보이고 있다. 세일의 탄성계수가 다른 암석에 비하여 현저하게 낮은 값을 보이고 있으며 일부 화강암에서도 낮은 탄성계수를 보이고 있는데 이는 암석의 풍화도에 관련된 것으로 추정된다. Fig. 6 및 7에서와 같이 세일의 P-파 및 S-파 속도는 카이제곱분포 양상을 보이나 다른 암석은 대체로 정규분포 양상을 보이고 있으며, 석회암과 사암에서 속도가 상대적으로 빠르게 나타났다.

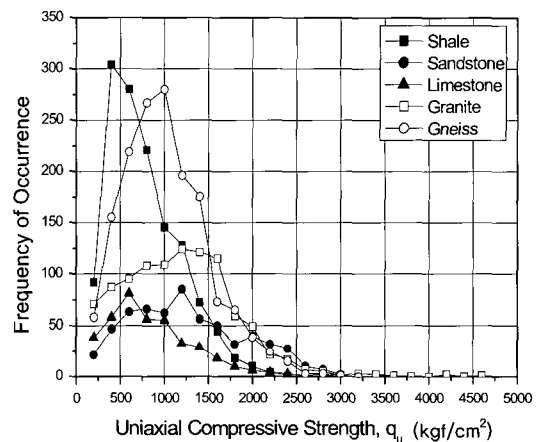


Fig. 1. Distribution of uniaxial compressive strength.

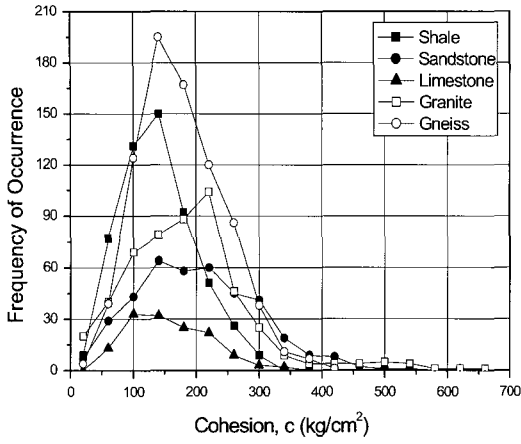


Fig. 2. Distribution of cohesion.

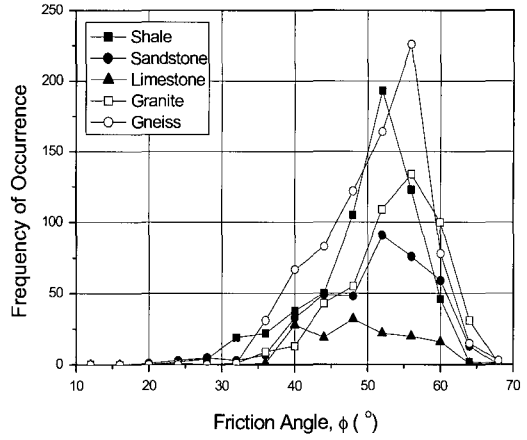


Fig. 3. Distribution of internal friction angle.

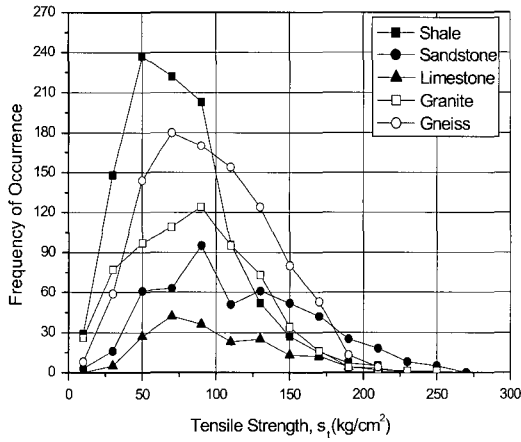


Fig. 4. Distribution of tensile strength.

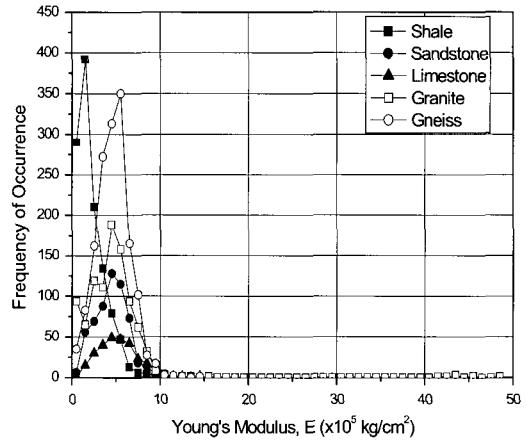


Fig. 5. Distribution of Young's modulus.

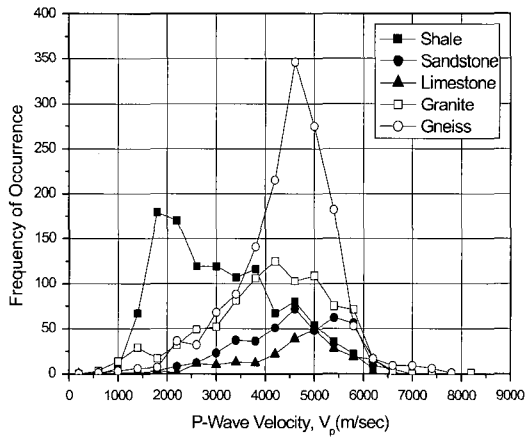


Fig. 6. Distribution of P-wave velocity.

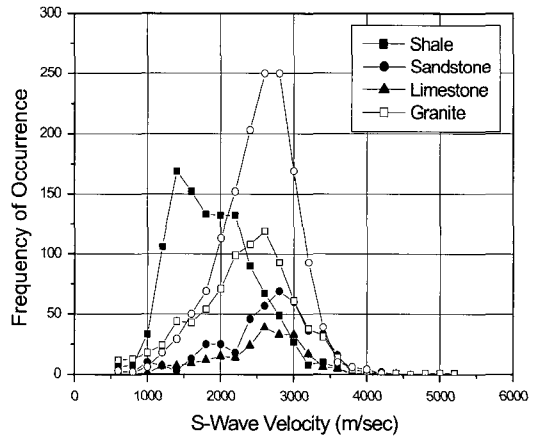
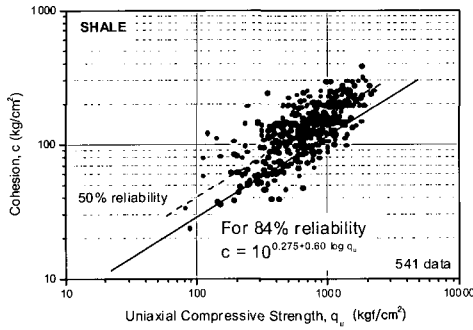


Fig. 7. Distribution of S-wave velocity.

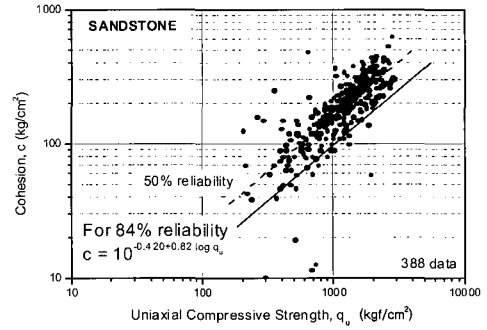
### 특성치의 상관성분석

일축압축강도와 점착력의 상관성: 암종 별로 일축압축강도와 점착력의 상관성을 84% 신뢰도에서의 특성치 상관성 관계식을 도출한 결과는 Fig. 8과 같이 대체로 상

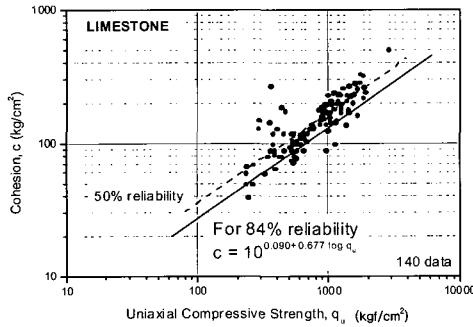
관관계가 양호한 양상을 보인다. 즉, 안전율을 고려하는 경우 84% 신뢰도 관계식을 이용하여 각 암종 별로 일축압축강도로부터 산출된 점착력을 예비설계단계에서 이용하여도 좋을 것으로 사료된다.



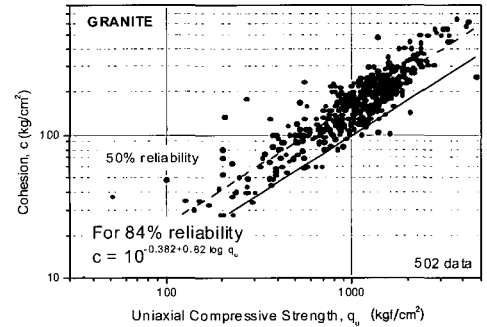
(a) Shale



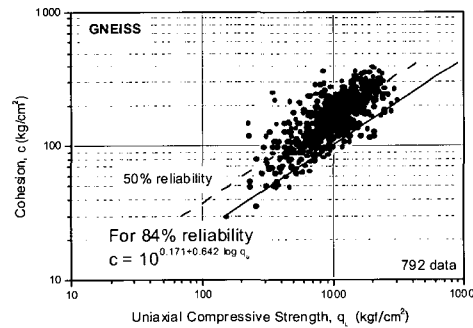
(b) Sandstone



(c) Limestone



(d) Granite



(e) Gneiss

Shale	$c = 10^{0.60 \log q_u + 0.28}$
Sandstone	$c = 10^{0.82 \log q_u - 0.42}$
Limestone	$c = 10^{0.68 \log q_u + 0.09}$
Granite	$c = 10^{0.82 \log q_u - 0.38}$
Gneiss	$c = 10^{0.64 \log q_u + 0.17}$

unit :  $\text{kgf/cm}^2$

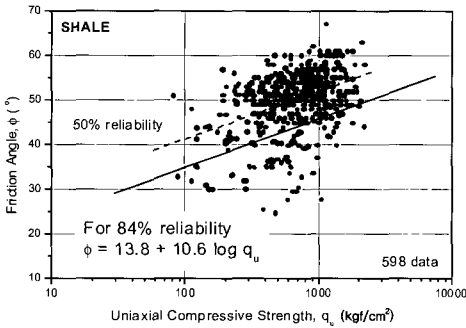
(f) Correlation equations

Fig. 8. Correlation between uniaxial compressive strength and cohesion.

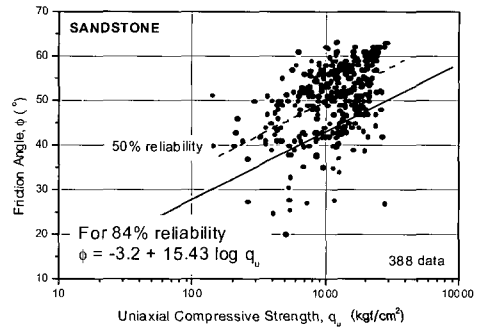
**일축압축강도와 내부마찰각의 상관성**

암종 별로 일축압축강도와 내부마찰각의 상관성을 84% 신뢰도에서의 특성치 상관성 관계식을 도출한 결

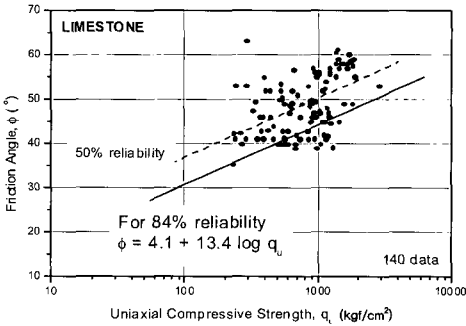
과는 Fig. 9와 같이 상관성이 다소 미흡한 것으로 나타났으나, 안전율을 고려하는 경우 84% 신뢰도 관계식을 이용하여 각 암종 별로 일축압축강도로부터 산출된 내부마찰각을 설계 시에 참고할 수는 있을 것으로 사료된다.



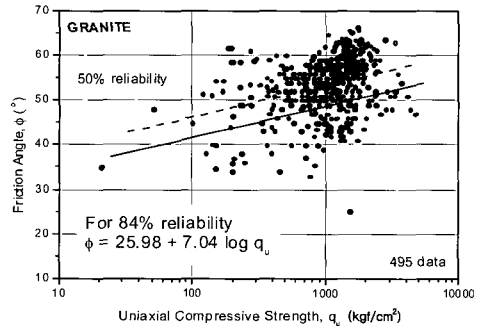
(a) Shale



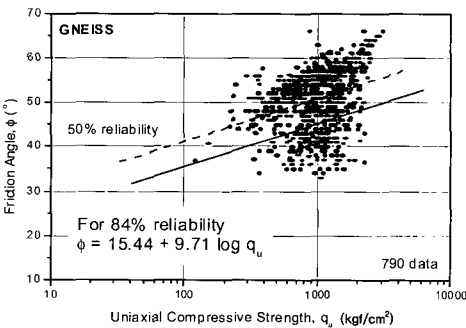
(b) Sandstone



(c) Limestone



(d) Granite



(e) Gneiss

Shale	$\phi = 10.6 \log qu + 13.8$
Sandstone	$\phi = 15.4 \log qu - 3.2$
Limestone	$\phi = 13.4 \log qu + 4.1$
Granite	$\phi = 7.0 \log qu + 26.0$
Gneiss	$\phi = 9.7 \log qu + 15.4$

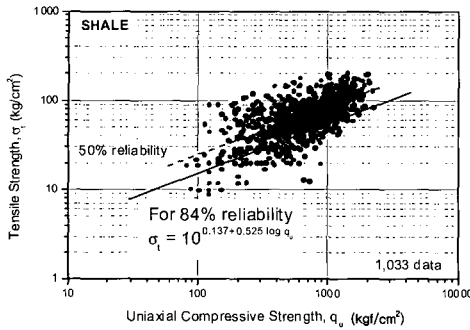
unit : degree & kgf/cm<sup>2</sup>

(f) Correlation equations

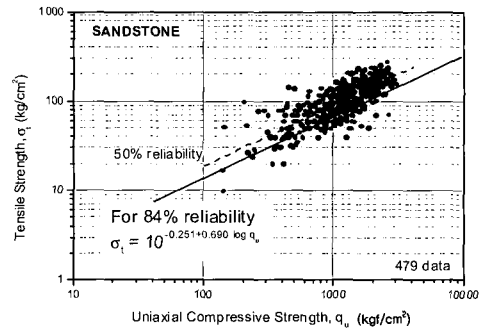
**Fig. 9.** Correlation between uniaxial compressive strength and internal friction angle.

일축압축강도와 인장력의 상관성: 암종 별로 일축압축강도와 인장력의 상관성을 84% 신뢰도에서의 특성치 상관성 관계식을 도출한 결과는 Fig. 10과 같이 상관관계가 매우 양호한 양상을 보인다. 즉, 안전율을 고려하는

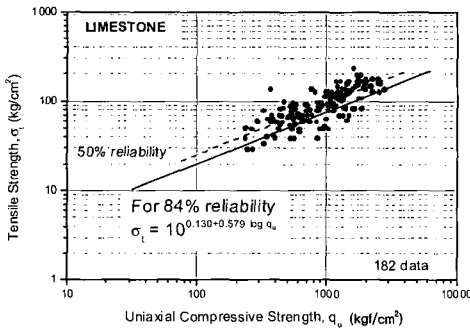
경우 84% 신뢰도 관계식을 이용하여 각 암종 별로 일축압축강도로부터 산출된 인장강도를 예비설계단계에서 이용하여도 좋을 것으로 사료된다.



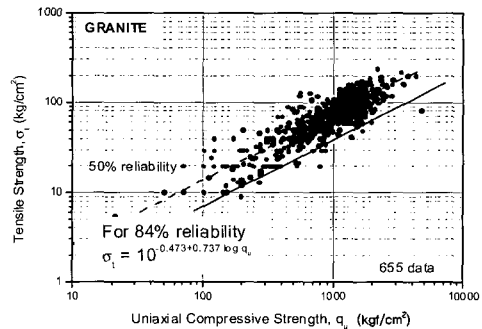
(a) Shale



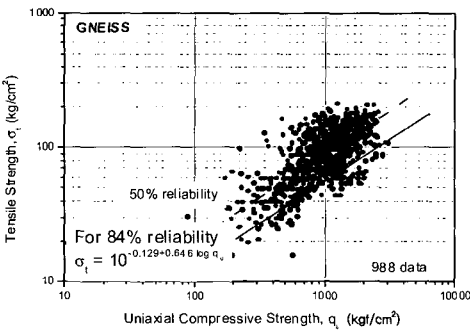
(b) Sandstone



(c) Limestone



(d) Granite



(e) Gneiss

Shale	$\sigma_t = 10^{0.53 \log qu + 0.14}$
Sandstone	$\sigma_t = 10^{0.69 \log qu - 0.25}$
Limestone	$\sigma_t = 10^{0.58 \log qu + 0.13}$
Granite	$\sigma_t = 10^{0.74 \log qu - 0.47}$
Gneiss	$\sigma_t = 10^{0.65 \log qu - 0.13}$

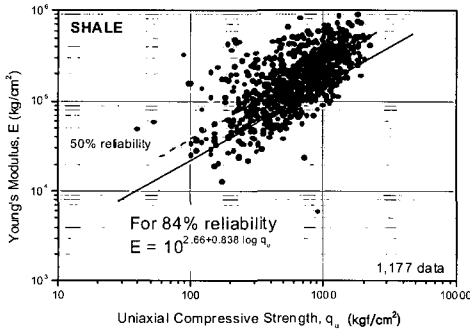
unit :  $\text{kgf/cm}^2$

(f) Correlation equations

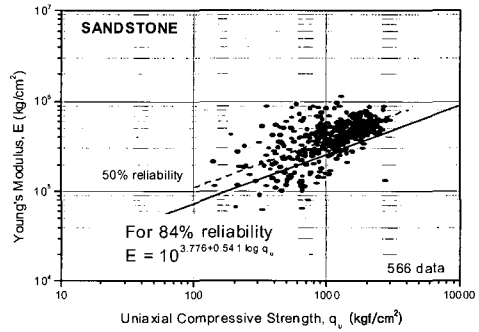
Fig. 10. Correlation between uniaxial compressive strength and tensile strength.

일축압축강도와 탄성계수의 상관성 : 암종 별로 일축 압축강도와 탄성계수의 상관성을 84% 신뢰도에서의 특성치 상관성 관계식을 도출한 결과는 Fig. 11과 같이 상관관계가 양호한 양상을 보인다. 즉, 안전율을 고려하는

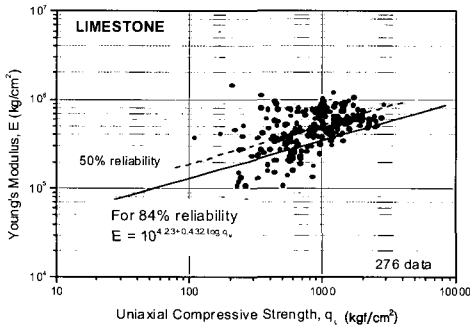
경우 84% 신뢰도 관계식을 이용하여 각 암종 별로 일축 압축강도로부터 산출된 탄성계수를 예비설계단계에서 이용하여도 좋을 것으로 사료된다.



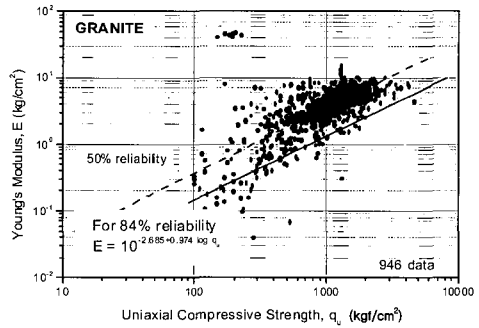
(a) Shale



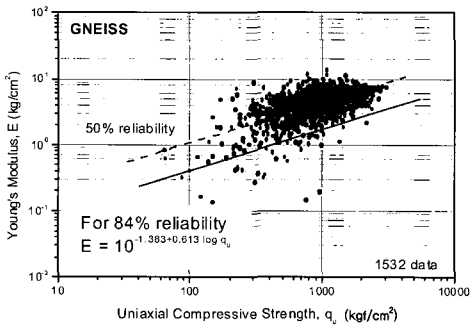
(b) Sandstone



(c) Limestone



(d) Granite



(e) Gneiss

Shale	$E = 10^{0.84 \log q_u + 2.66}$
Sandstone	$E = 10^{0.54 \log q_u + 3.78}$
Limestone	$E = 10^{0.43 \log q_u + 4.23}$
Granite	$E = 10^{0.97 \log q_u - 2.69}$
Gneiss	$E = 10^{0.61 \log q_u - 1.38}$

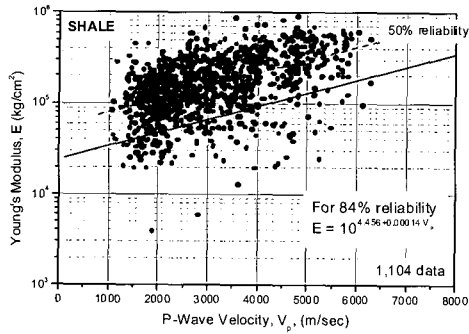
Unit :  $\text{kgf/cm}^2$

(f) Correlation equations

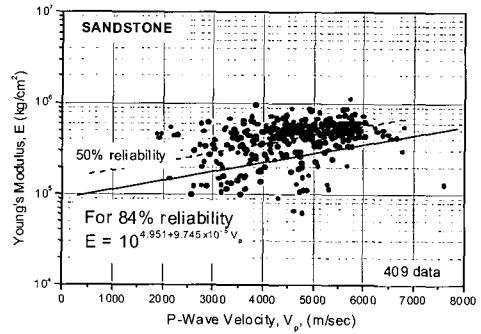
Fig. 11. Correlation between uniaxial compressive strength and Young's modulus.

P파 속도와 탄성계수의 상관성 : 암종 별로 P파 속도와 탄성계수의 상관성을 84% 신뢰도에서의 특성치 상관성 관계식을 도출한 결과는 Fig. 12과 같이 상관관계

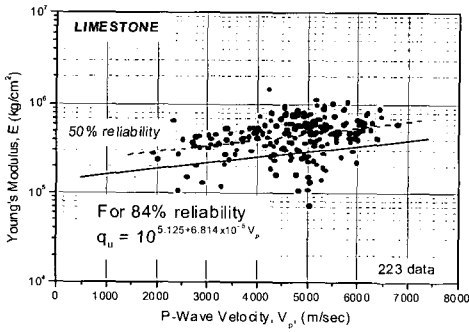
가 다소 분산된 양상을 보이나, 설계 시에 별도의 안전율을 고려하는 경우 84% 신뢰도 관계식에서 산출된 탄성계수를 참고할 수 있을 것으로 사료된다.



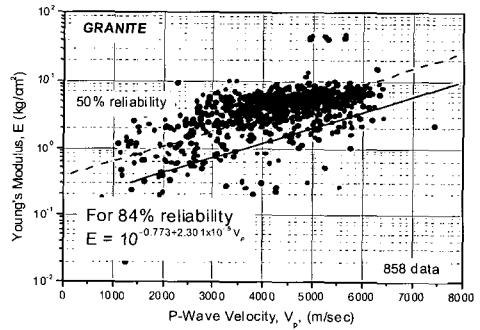
(a) Shale



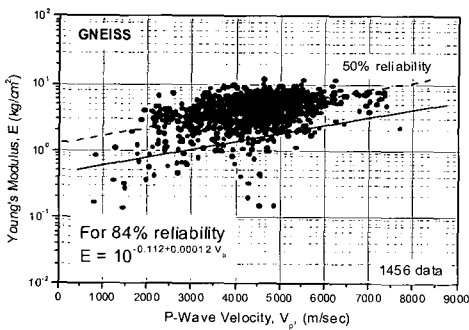
(b) Sandstone



(c) Limestone



(d) Granite



(e) Gneiss

Shale	$E = 10^{0.00014 Vp + 4.46}$
Sandstone	$E = 10^{9.75 \times 10^{-5} Vp + 4.95}$
Limestone	$E = 10^{6.81 \times 10^{-5} Vp + 5.13}$
Granite	$E = 10^{2.30 \times 10^{-5} Vp - 0.77}$
Gneiss	$E = 10^{0.00012 Vp - 0.11}$

unit : m/sec & kgf/cm<sup>2</sup>

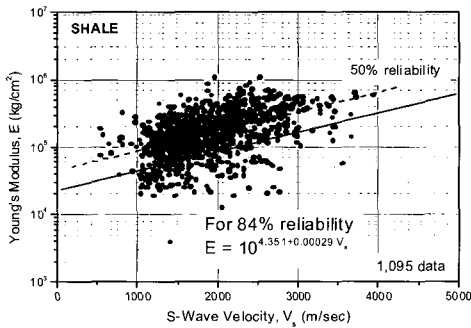
(f) Correlation equations

Fig. 12. Correlation between P-wave velocity and Young's Modulus.

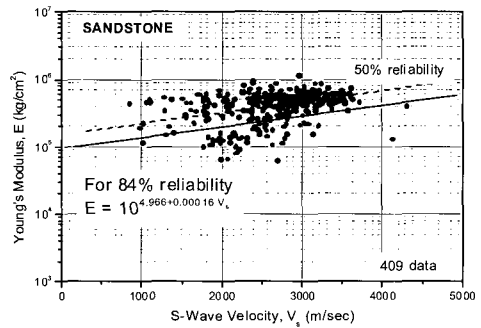


S파 속도와 탄성계수의 상관성 : 암종 별로 S파 속도와 탄성계수의 상관성을 84% 신뢰도에서의 특성치 상관성 관계식을 도출한 결과는 Fig. 13과 같이 상관관계

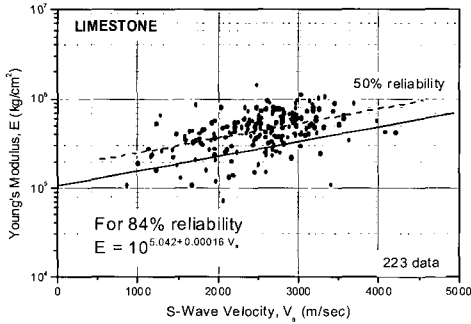
가 다소 분산된 양상을 보이나, 84% 신뢰도 관계식에서 산출된 탄성계수를 예비설계 시 참고할 수 있을 것으로 사료된다.



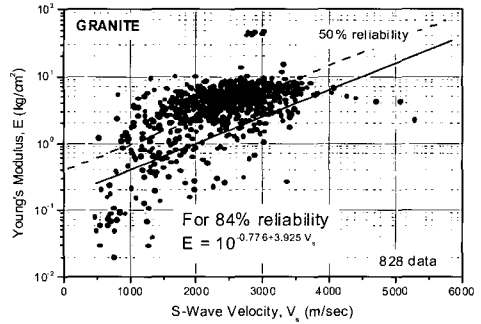
(a) Shale



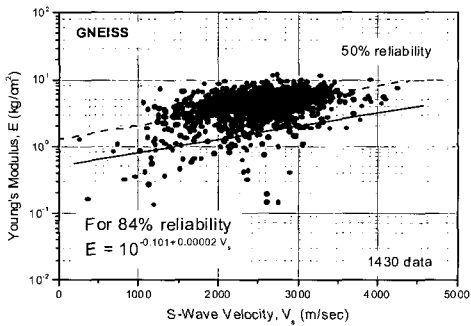
(b) Sandstone



(c) Limestone



(d) Granite



(e) Gneiss

Shale	$E = 10^{0.00029 V_s + 4.35}$
Sandstone	$E = 10^{0.00016 V_s + 4.97}$
Limestone	$E = 10^{0.00016 V_s + 5.04}$
Granite	$E = 10^{3.925 V_s - 0.78}$
Gneiss	$E = 10^{0.00002 V_s - 0.10}$

unit : m/sec & kgf/cm<sup>2</sup>

(f) Correlation equations

Fig. 13. Correlation between S-wave velocity and Young's Modulus.

## 토 의

암종별 공학적 특성치의 분포는 같은 지역의 같은 암석이라도 미세균열, 구성광물, 시험방법 등 다양한 인자에 의하여 상당한 차이를 보일 수 있지만 본 연구에서는 그동안 국내에서 수행된 많은 시험결과 데이터를 이용하여 통계적 오차를 줄이려고 시도하였다.

특성치는 대부분 정규분포 양상을 보이고 있으나 일축압축강도의 분포는 카이제곱분포에 가깝다. 일축압축강도의 경우 세일이 가장 약한 강도를 보이며 사암과 결정질 암석인 화강암과 편마암이 상대적으로 강도가 높게 나타났다. 점착력도 일축압축강도와 유사하게 결정질 암석이 상대적으로 큰 값을 보였으나 내부마찰각의 경우는 암석의 종류와 무관하게 50-60도의 값을 보였다. 또 인장강도는 주로 암종에 관계없이  $150 \text{ kgf/cm}^2$  이하의 값을 보였는데 이는 암석내부의 미세결합의 존재에 큰 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다. 탄성계수는 편마암과 화강암이 평균  $4.6 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  로써 유사한 값을 가지며, 퇴적암의  $2 \sim 4 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  보다 상대적으로 큰 값을 가진다. P-파 속도는 결정질 암석과 석회암 및 사암이 세일보다 훨씬 높게 나타났다. 이를 종합하면 결정질 암석인 화강암과 편마암이 상대적으로 퇴적암보다 강도특성이 우수하며 석회암과 사암도 상대적으로 세일보다 우수한 암종으로 평가된다.

암종 별 공학적 특성의 상관성을 84% 신뢰도에서 도출한 상관성 관계식은 상대적으로 시험이 용이한 일축압축시험의 결과에서 지반구조물 설계에 필요한 다른 강도정수를 추정하는데 유용하게 적용될 것으로 판단된다. 그러나 일축압축강도와 내부마찰각의 관계는 상대적으로 상관성이 약하기 때문에 안전율을 고려하여 적용함이 바람직하다.

## 결 론

6,000여개의 시험자료를 분석하여 암종별 특성치의 분포특성을 분석한 결과 일축압축강도를 제외한 암석특성은 전반적으로 정규분포 양상을 나타내었다. 암종 별 강도특성은 퇴적암의 경우 사암과 석회암이 세일보다 전반적으로 양호하여 터널공사 등 지하공간개발에 유리할 것으로 보이며, 화강암과 편마암의 경우 유사하게 퇴적암 보다 우수한 강도특성을 보인다. 본 연구에서 도출된 84% 이상의 신뢰도 범위에서 유도된 암종별 공학적 특성의 상관관계식은 앞으로의 지하공간개발에 보다 안

전하고 경제적인 설계와 시공에 참고자료로 활용될 것으로 기대된다.

## 사 사

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2005년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호 : C104A1010001-04A0201-00130)의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 김수정, 2002, 한국의 지질에 적합한 설계정수 도출에 관한 연구, 경북대학교 박사학위논문, p. 319  
 김해경, 고영구, 오강호, 2004, 고흥지역에 분포하는 백악기 응회암의 역학적 특성에 관한 연구, 지질공학, 14, 3, 273-285, 대한지질공학회  
 송무영, 황인선, 1993, 한반도 중부권 지각물질의 구조와 물성연구(2): 퇴적암류 코아시료의 탄성파속도와 점재하강도 비교, 지질공학, 3, 1, 21-37, 대한지질공학회  
 여영도, 김교원, 김수정, 2005, 퇴적암의 공학적 특성의 상관성 분석, 대한지질공학회 학술발표회 논문집, 235-242, 대한지질공학회

투 고 일	2006년	2월	10일
심 사 일	2006년	2월	11일
심사완료일	2006년	3월	13일

김교원  
 경북대학교 자연과학대학 지질학과  
 702-701 대구광역시 북구 산적동 1370  
 Tel : 053-950-5357  
 Fax : 053-950-5362  
 E-mail : gyokim@knu.ac.kr

김수정  
 현대엔지니어링(주)  
 158-723 서울특별시 양천구 목1동 917-9  
 Tel : 02-2166-8840  
 Fax : 02-2646-6496  
 E-mail : crystal@hec.co.kr