터널과 지하공간, 한국암반역학회
Vol. 3, 1993, pp. 167~174

ROCK TEST HAMMER 측정결과의 활용에 관하여

이영남[1] · 윤지선[2] · 김두영[3]

A Study on the Application of Measured Results by Rock Test Hammer

Young Nam Lee, Ji Son Yoon, Du Young Kim

ABSTRACT

Index tests are useful because they are rapid and cheap - and if bias is known the fundamental property can be estimated, as when estimating the compressive strength or the tensile sterngth from the rock test hammer value.

Index tests which have proved to be very useful are the rock test hammer, the point load test and sonic velocity test. These can provide index values in their owing right or be used to estimate the compressive strength, the tensile strength and elastic modulus. Because of the heterogeneous and fractured nature of rock, many such index tests have been developed for a variety of purposes, e.g. for use in rock mass classification schemes.

1. 서 론

암반은 인공적인 것이 아니라 자연계에서 형성된 것이기 때문에 암반특성을 측정하는 일은 암반 기술상의 가장 어려운 일의 하나이다. 암반의 거동이나 암반특성은 불균질성 및 불연속면의 존재여부에 큰 영향을 받으므로 많은 차이가 발생한다. 이러한 암반의 특성을 파악하기 위해 소수의 기본적인 시험을 통하여 국부적인 정확한 결과를 얻거나, 간이시험에 의하여 많은 개략적인 결과를 얻거나 또는 이 양자를 조합하여 결과를 얻을 수 있다.[10]

간이시험은 일반적으로 비교적 단순하고 짧은 시간에 이루어지며, 간이시험치와 암석의 기본 물성치와의 상관성이 얻어지고 그 경향이 파악되어 다른 암석의 물성치를 추정할 수 있다면 그 시험은 매우 유효하고 주목할 만한 가치가 있다고 본다.[3] 암석의 성인적 본질에 비추어 개개 시험편의 암석 물성치에 대하여 높은 정밀도를 요구하는 것은 실제 암반시공 문제를 해결하는데 중요한 의미를 갖지 않는다. 그러므로 간이시험법은 신속하고 값이 저렴하기 때문에 현장에서 많이 사용하고 있는데, 그 대표적인 예로는 Schmidt hammer test, Point load test 및 초음파속도시험 등이 있다.[10] 이러한 시험들은 指標値(Index test value)로 사용되는데, 본 연구에서는 현장 휴대가

*1993년 11월 26일 접수
1) 정회원, 청주대학교 자원공학과 박사과정
2) 정회원, 청주대학교 자원공학과 교수
3) 정회원, 인하대학교 자원공학과 교수

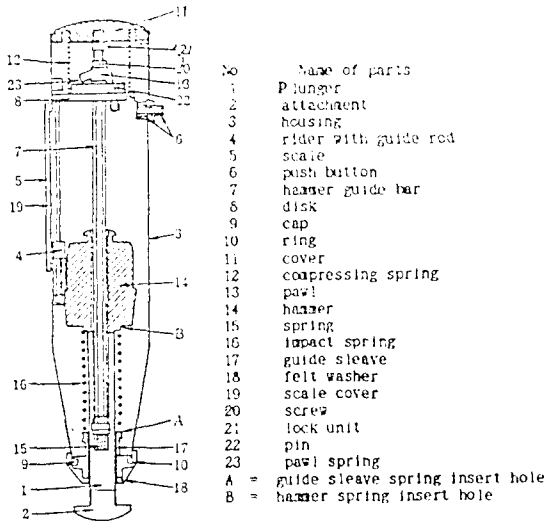

Fig. 1. The Structure of rock test hammer.

가능한 Schmidt hammer test에 의해 일축압축강도[9,13], 압열인장강도 및 초음파속도치를 개략적으로 산출하거나 또는 현장 암반분류에 사용하고자 시험을 실시하였다.

원래 Schmidt hammer는 E.O. Schmidt에 의하여 콘크리트 강도의 비파괴시험기로서 현장에서 직접 콘크리트의 압축강도나 탄성계수를 측정하기 위하여 고안된 시험기였으나, 현재는 암반강도를 측정하기 위해서도 사용되고 있다.[2,3,4,8,11,13,14] 콘크리트 비파괴 시험기로서 유효한 것이라면 암석·암반강도나 탄성계수의 측정에도 이용할 수 있을 것이라는 생각으로 일본의 전력중앙연구소에서 Kikuchi, Saito 등이 1975년쯤 부터 연구를 하였는데, 연암에서 경암까지 양호한 결과를 얻기 위해서는 Attachment 장착이 유효하다는 결론이 나온 바 있어[2] 본 연구에서도 Attachment가 장착된 Schmidt hammer을 사용하였다. Attachment를 장착한 이유는 고결도가 낮은 암반에서는 Schmidt hammer타격에 의하여 암반 측정면이 과도한 변형에 의해 국소파괴가 발생하기 쉽고, 그리하여 암반이 가지고 있는 반발치를 얻기 어렵기 때문이다[1,12].(Fig. 2 참조)

Attachment를 장착하여 암석·암반강도를 측정하기 위해 고안된 Schmidt hammer를 본 논문 이하에서는 Rock test hammer라고 부른다. 본 연구의 현장시험은 충북 청원군에 소재한 청원 도수로터널에서

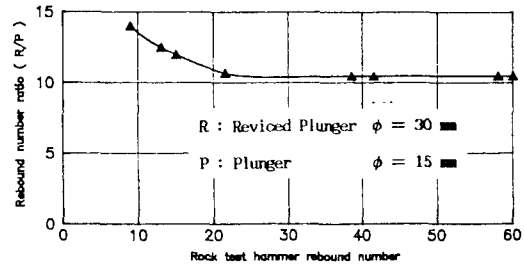

Fig. 2. Comparison between rock test hammer rebound number and schmidt hammer rebound number.

실시하였다.

2. 측정기 및 시험방법

2.1 Rock test hammer의 반발치 및 시험방법

Rock test hammer는 Fig. 1에 도시한 바와 같이 해머(14)를 스프링의 힘, 요컨대 미리 압축한 스프링에 축적된 힘을 해방함으로써 해머가 암반의 표면에 부딪칠 때 그 반발력(탄성적인 튀어오름)을 측정함으로써 반발경도로 암석·암반의 강도나 탄성계수를 추측하고자 하는 것이다. 따라서 신선하고 단단한 암석·암반일수록 해머의 튀어 오르는 높이는 크게 된다. 이 튀어오르는 높이는 해머가 충격을 주기 전에 스프링의 힘에 의하여 움직인 높이에 대한 백분율로 나타내며, 이것을 Rock test hammer의 반발치(Rebound Number) R이라고 표시한다.[2] 측정 방법은 암반측정면에 본체의 Attachment를 대고 암반면에 대하여 직각으로 힘을 가하면 예비 압력스프링이 축소되고 제동쇄기(13)가 빠져 해머는 충격스프링(12)의 힘에 의하여 plunger받침접시(1)를 타격하고 충격작용을 일으킨다. 그때 해머는 전술한 바와 같이 암석·암반의 종류와 성질에 따라 어느 높이만큼 튀어 오르게 된다. 이 튀어 오르는 양을 눈금(4)으로 읽는다.[5,6,7] 또한 Fig. 2는 종래의 Schmidt hammer와 개량형인 Rock test hammer와의 상호 비교치를 대비하였다.

양호한 측정치를 얻기 위해서는 측정위치의 선정 및 다음과 같은 주의를 필요로 한다.

1 측정은 동일 암반등급이라고 간주할 수 있는 범위내에서 실시한다.

2. 암반내에 존재하는 절리, 층리 등의 영향에 의한 계측치의 흩어짐을 고려하며, 측정점이 적어도 3 cm 정도는 거리를 두고 실시한다.[2]

3. 암반 일부분이 부석 상태로 되어 있는 경우에는 그 부분의 측정은 피한다.

4. 측정면이 요철을 가진 경우는 측정을 피하든가 숫돌로 갈아 평편하게 한다. 왜냐하면 측정면에 요철이 있는 부분을 타격하면 국부적인 파괴를 발생시키기 때문에 타격에너지 일부가 흡수되어 경도 측정치가 작게 된다.

본 시험에서는 터널의 벽면에 대하여 직각으로 시험한 20회의 실측치를 산술평균 하여 rebound number의 평균값을 구하였다.

본 연구에서는 위와 같은 방법으로 현장 40곳에서 Rock test hammer 반발치의 측정 데이터를 구하고 바로 그 측정 장소중 24곳에서 Core drilling machine을 이용 시험편을 제작할 수 있는 크기의 암석을 채취하는 데 성공하였다. 채취한 암석 core를 성형하여 시험편을 제작, 다음과 같은 시험을 실시하고 Rock test hammer 반발치와의 관계를 구하였다.

2.2 암반분류와 암석의 물성시험

암반분류, 일축압축시험, 압열인장시험, 그리고 초음파속도시험은 가장 빈번하게 실시되는 시험법이므로 본 연구에서는 구체적인 시험방법은 생략한다.

암석 시험편이나 원위치 암반에 대하여 강도나 변형계수 등을 측정하는 대부분의 경우는 대상으로 하는 암반의 역학적 성질을 파악하여 설계 및 시공계획의 기초자료로 사용하기 위함이다. 그러나, 岩石시험편의 역학적 성질만으로는 岩盤의 역학적 성질을 파악하는 것은 곤란하다. 한편, 비용이나 시간의 제약이 있으므로 원위치에서 실제 암반의 역학적 성질을 측정할 수 있는 것은 극히 일부로 제한된다. 따라서 암반의 몇가지 역학적 성질을 파악할 뿐 아니라 종합적으로 암반의 공학적 성질(Engineering properties)을 평가하는 것도 중요하다.[8]

이와 같은 이유로 복잡한 암반을 공학적 성질에 따라 몇 가지로 구분(Grouping)하고 등급(Ranking)을 매기는 것이 실시되고 있다. 그러나 일반적으로 댐, 터널 및 사면공사 등을 포괄할 수 있는 암반분류 기준이 없으므로 목적에 따라 각각 평가 기준을 설정하고 구분하는 것이 일반적이다. 따라서 공학적 목적을 위한 분류에 적용되는 요소중에서 적용 빈도가 높은 것은 암석의 강도, 풍화의 정도, 절리의 간격 및 상태, 암반의 탄성파속도, 지층의 종류 등이며 각 공학적 목적 및 용도에 따라 암반분류 방식은 달라진다.[3]

초기의 암반분류로 유명한 것은 Terzaghi의 터널에서의 암반분류(터널하중분류)이다. 그 후 Müller는 풍화 정도와 틈 간격을 분류요소로 하는 두 요소의 조합에 의해 분류법을 고안했다(Müller의 암반분류). Deere는 RQD(Rock Quality Designation)을 제안하여 시추코어의 정량적인 분류를 실시하였다.[1] 현재, RQD는 암반분류법으로 자주 사용되고 있는 동시에 각종 암반분류의 분류요소로도 널리 사용되고 있다. Bieniawski의 RMR법(Rock Mass Rating) 및 Barton의 Q system은 정량적인 요소 평가에 의해 얻어지는 평점 방식에 의한 분류법이며, 암반의 정량적인 평가에 널리 사용되고 있다.[1),12),15)] 본 연구에서 사용한 암반분류방식은 농어촌진흥공사의 현장 암반분류법의 개정안(개정안 시험기간 : 1992.10～1993.10)평가 방법이다. 다시 말하면, 현장에서 쉽게 시험할 수 있는 요소, 즉 암괴상태, 불연속면의 간격, 불연속면의 상태, 강도 그리고 지하수 등을 각각의 등급에 따라 종합적으로 채점하여 암반을 분류하는 방법이다. 따라서, 경암, 보통암, 연암 그리고 풍화암으로 암반분류 구분이 이루어진 곳에서 Rock test hammer 반발치를 암반등급별로 정리하고, 그리고 Rock test hammer 측정치가 암반등급의 정량적 구분방법으로서 적용이 유효한가를 알아보고자 한다.

3. 측정결과 및 고찰

3.1 반발치와 암반분류와의 관계

Fig. 3은 Rock test hammer에 의한 많은 암반 측정결과를 농어촌진흥공사의 암반분류에 의거하여 경암, 보통암, 연암, 풍화암 등 암반등급별로 정리하고 도수분포로서 제시하였다. 그리고 Fig. 4는 일본에서 발표된 것으로서[1),2)] Fig. 3의 측정결과 분포형태와 비교하였다. 이 때, 각각의 분류기호인 B, C_H, C_M, C_L Class는 암반의 풍화상태에 따른 분류방법으로 중력댐 기초암반 평가를 중심으로 작성된 것이며[1),5)], Schmidt hammer를 사용한 정량적 방법을 평가하기 위한 분

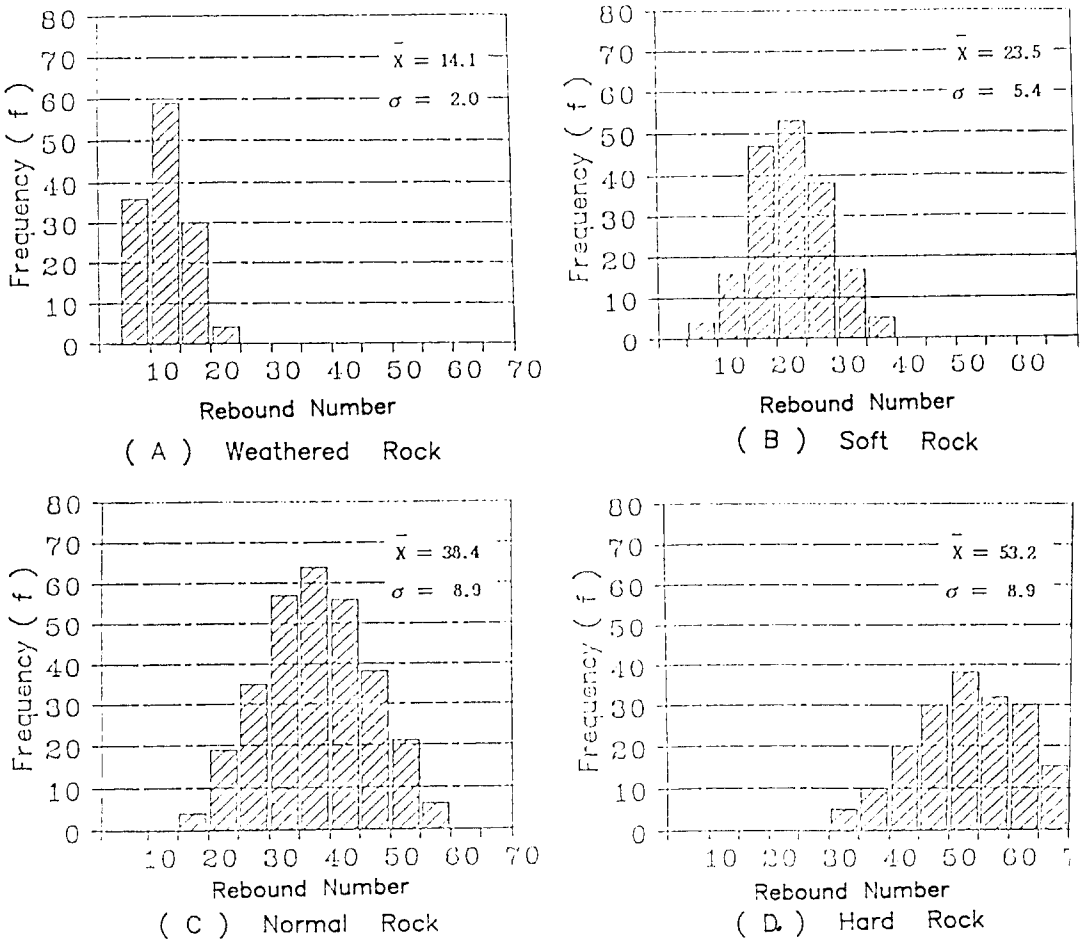

Fig. 3. Relation between rock test hammer rebound number and rock mass classification.

류법이다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 암반등급에 따른 Rock test hammer 반발치 분포는 어느 정도의 분산 또는 중복된 부분을 가지고 있는데, 이것은 육안에 의한 주관적인 판단에 의한 것으로 보인다. 그렇지만 반발치를 비교하면 각 암반등급 사이에 차이가 나타나는데, 특히 극심한 풍화로 인해 점착력이 저하되어 시료채취가 어려운 풍화암의 경우는 비교적 분산이 적게 나타났다. 이상과 같은 Rock test hammer에 의한 암반계측이 암반등급의 정량적 구분방법으로서 유효할 수 있다는 것을 나타내고 있다고 생각된다. 그러나, 암반등급 분류방법의 한가지로서 Rock test hammer 반발치는 사용가능하다고 생각되지만, 암반분류에 사용되는 다른 시험 측정치와 같이 완전한 것은 아니기 때문에 그 점을 인식하고 사용해야 한다고 본다. 따라서 공학적 목적 및 용도에 따라 적합한 암반분류법이 되기 위하여 적용빈도가 높은 분류요소와 조합하여 평가하는 방식을 선정하는 것이 필요하다고 본다.

댐의 기초처리, 터널의 지보공 설계, 암반사면의 안정성 검토 등과 같은 다양하고 구체적인 문제에 대하여 현장기술자가 기술적인 평가와 판단을 쉽게 하기 위하여 현장에서 시험할 수 있는 지수로서 암반을 명확하게 분류하는 것이 중요하다고 본다.

3.2 반발치와 일축압축강도와의 관계

Fig. 5와 같이 콘크리트의 경우에는 반발치 R과 일축압축강도 Sc사이에는 일정한 관계가 있는 것으로

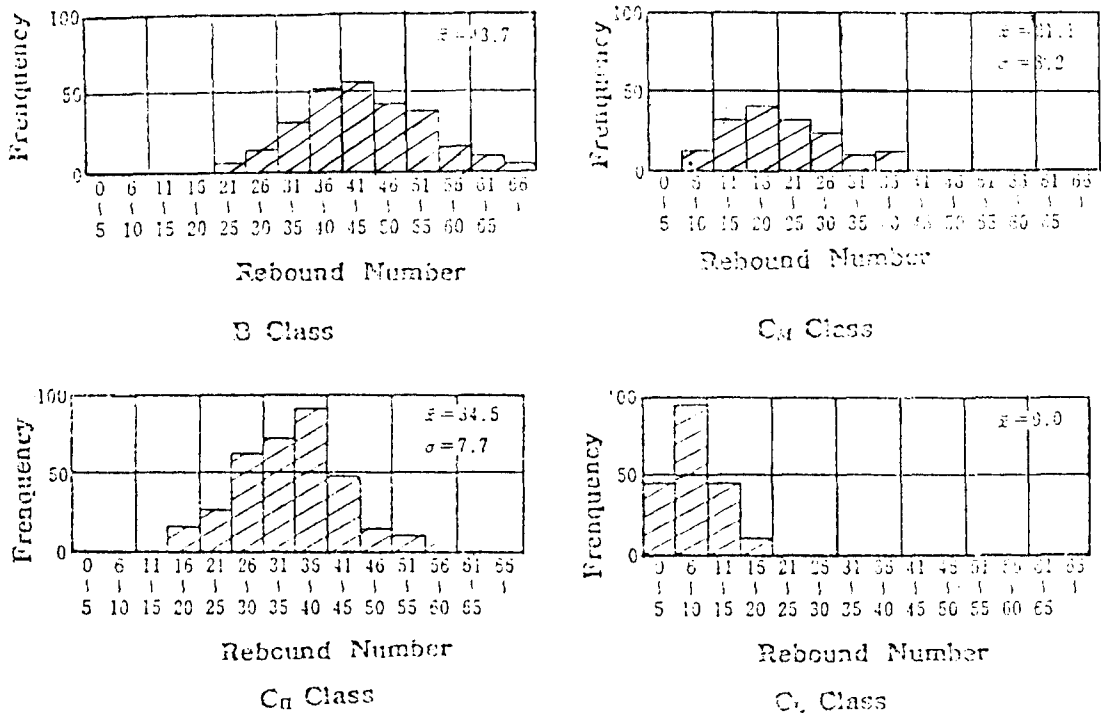

Fig. 4. Relation between rock test hammer rebound number and rock mass classification (From Japan－reference 2.).

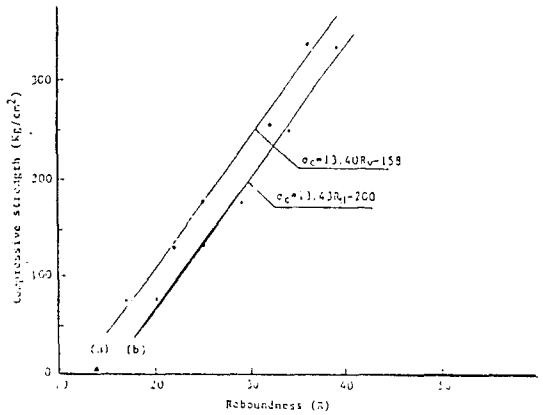

Fig. 5. Relation between reboundness and compressive strength (Concrete).

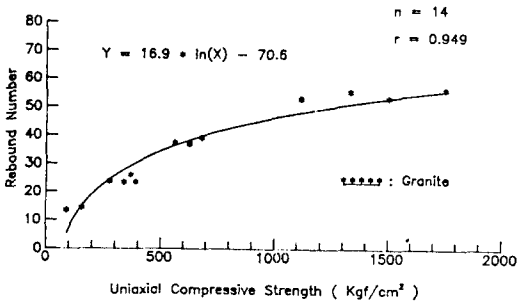

Fig. 6. Relation between rock test hammer rebound number and uniaxial compressive strength.

알려져 있기 때문에 반발치 R로부터 비교적 정확히 일축압축강도를 구할 수 있지만[2),4),8),11),13),14)], 암석·암반의 경우에는 반발치와 압축강도 사이의 관계는 반드시 일정하지 않으며 암석의 종류에 따라 상당한 차이가 있다. 동일 현장에서 채취한 암석 공시체를 주의 깊게 성형하여 일축압축강도를 측정해도 그 결과에 분산이 있는 것은 일반적이며, 실험실에서는 현장과 같이 측정 갯수를 무한히 증가시키는 것이 불가능하다.

본 시험에서는 암종을 크게 두가지로 즉, 화성암을 대표할 수 있는 Granite와 변성암으로 대표되는 Schist로 구분하고 각각 검토하였다. 그 결과 Fig. 6과 같이 Y축을 반발치로, X축을 일축압축강도로 표시할

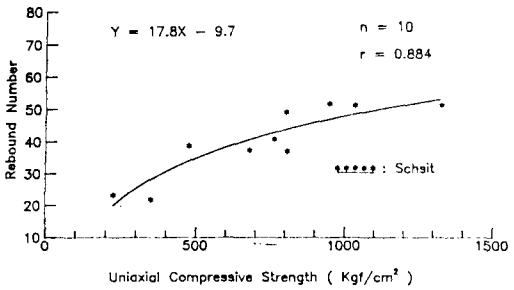

Fig. 7. Relation between rock test hammer rebound number and uniaxial compressive strength.

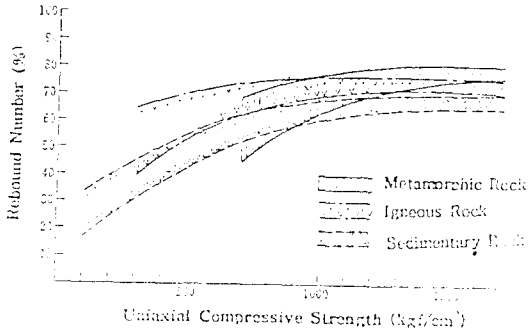

Fig. 8. Relation between rock test hammer rebound number and uniaxial compressive strength (From Japan).

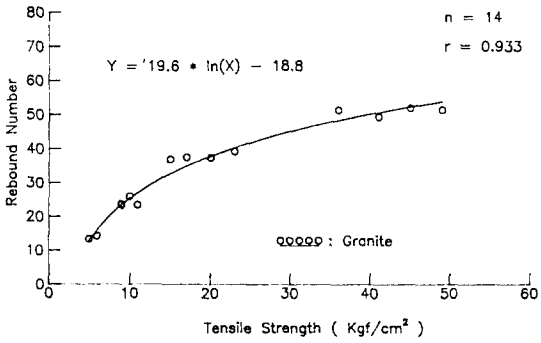

Fig. 9. Relation between rock test hammer rebound and tensile strength.

때 Granite의 실험식은 $Y=16.9\cdot\ln(X)-70.6$이고 상관계수 $r=0.949$로 나타났으며, 특히 일축압축강도가 800kgf/cm² 미만의 것은 비교적 분산이 적게 나타난 반면, Fig. 7와 같이 Schist의 실험식은 $Y=18.5\cdot\ln(X)-80.6$이고 상관계수 $r=0.884$로서 반발치는 Granite보다 더 분산되는 경향을 알 수 있다. 이것은

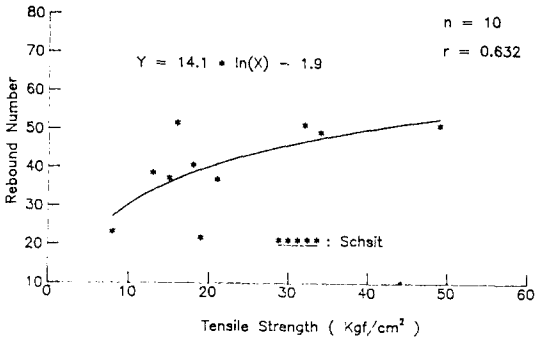

Fig. 10. Relation between rock test hammer rebound and tensile strength.

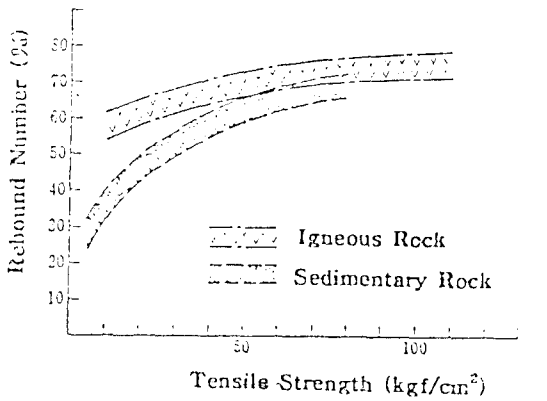

Fig. 11. Relation between rock test hammer rebound number and tensile strength (From Japan).

Schist가 엽리면을 따라 파괴되는 이방성에 기인된 것으로 추정된다. 그리고 Fig. 8은 일본에서 발표된 것으로서 Fig. 6, 7과 상호 비교하였다.[2),4)]

3.3 반발치와 압열인장강도와의 관계

Fig. 9와 10, 그리고 11은 Rock test hammer 반발치를 압열인장강도와 대비한 것이다. Fig. 9와 같이 Y축을 반발치로, X축을 압열인장강도로 표시할 때 Granite의 실험식은 $Y=19.6\cdot\ln(X)-18.8$이고 상관계수 $r=0.933$으로서 압열인장강도와 Rock tesk hammer 반발치와의 관계에서 흩어짐이 적게 나타난 반면, Fig. 10과 같이 Schist의 실험식은 $Y=14.1\cdot\ln(X)-1.9$이고 상관계수 $r=0.632$로서 일축압축시험에서와 같이 분산이 크게 나타났다. 이것도 일축압축시험에서와 마찬가지로 Schist의 이방성에 기인된 것으로 생각된

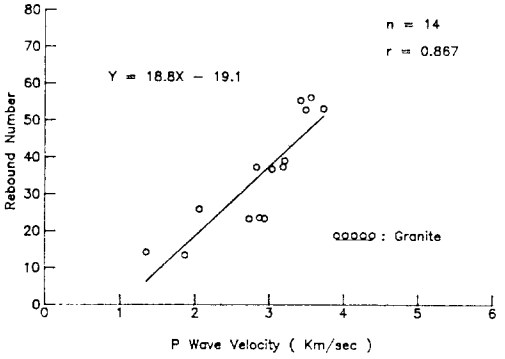

Fig. 12. Relation between rock test hammer rebound number and p-wave velocity.

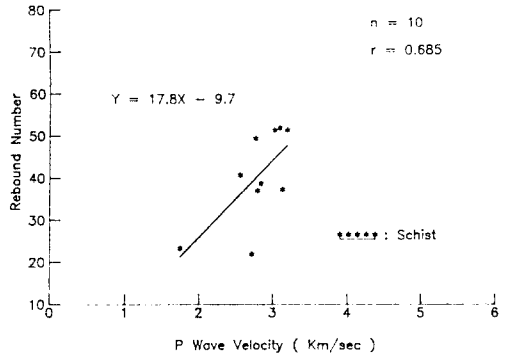

Fig. 13. Relation between rock test hammer rebound number and p-wave velocity.

다. 그리고 Fig. 11은 일본에서 발표된 것으로서 Fig. 9, 10과 상호 비교하였다.[2),4)]

3.4 반발치와 초음파속도와의 관계

Fig. 12와 13, 그리고 14는 초음파속도 측정기에 의한 탄성파속도와 Rock test hammer에 의해 얻어진 반발치와의 관계를 제시한 것이며, Fig. 12와 같이 Y축을 반발치로, X축을 P파속도로 표시할 때 Granite의 실험식은 $Y=18.8X-19.1$로 그리고 상관계수 $r=0.867$로 나타났으며, Fig. 13과 같이 Schist는 $Y=17.8X-9.7$로 상관계수 $r=0.685$로 나타났다. Fig. 12와 13에서 보는 바와 같이 양자 사이에는 일축압축강도나 압열인장강도보다 측정결과가 다소의 상관관계가 떨어지고 있으나, 이 Rock test hammer반발치로 개략적인 P파속도를 예측할 수 있다고 본다. 그리고 Fig.

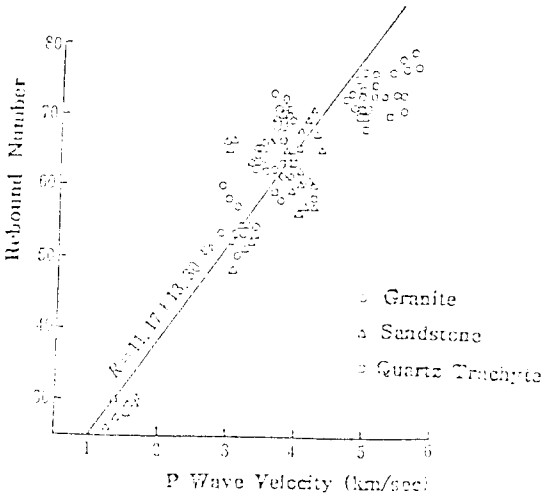

Fig. 14. Relation between rock test hammer rebound number and p-wave velocity. (From Japan

14는 일본에서 발표된 것으로 Fig. 12, 13과 상호 비교하였다.[3)]

4. 결 론

본 연구에서는 현장 휴대가 가능한 Rock test hammer에 의해 일축압축강도, 압열인장강도 및 초음파속도치를 개략적으로 산출하거나 또는 현장 암반분류에 사용하고자 본 시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 암반등급에 따른 Rock test hammer의 반발치 분포는 어느 정도의 분산 또는 중복된 부분을 가지나 각 암반등급 사이에 차이가 나타나는데, 이것은 암반등급의 구분방법으로 유효하다는 것으로 판단된다.

2) 반발치와 일축압축강도와의 관계는 화성암 및 변성암으로 각각 대표되는 Granite와 Schist로 한정시켜 실험한 결과 Granite의 실험식은 $Y=16.9\cdot\ln(X)-70.6$, 상관계수 $r=0.949$이고 비교적 분산이 적게 나타난 반면, Schist에서의 실험식은 $Y=18.5\cdot\ln(X)-80.6$, 상관계수 $r=0.884$로서 분산이 크게 나타났다.

3) 반발치와 압열인장강도와의 관계는 일축압축강도에서와 같이 Granite가 좋은 상관성이 있는 반면, Schist는 강한 이방성에 기인된 것으로 분산이 심한 경향이 나타났으며 실험식은 Granite가 $Y=19.6\cdot\ln(X)$

−19.8, 상관계수 r=0.933이고, Schist가 Y=14.1·ln (X)−1.9, 상관계수 r=0.632로 나타났다.

4) 반발치와 초음파속도와의 관계에서 Granite의 실험식은 Y=18.8X−19.1, 상관계수 r=0.867이고 Schist의 실험식은 Y=17.8X−9.7, 상관계수 r=0.685로 나타났으며, 그리고 다소의 변동폭은 있으나 Rock test hammer에 의해 개략적인 초음파속도치의 추정이 가능하다고 본다.

이상에서 언급한 바와 같이 이들 결과를 고려하면 Rock test hammer 반발치와 암반분류, 일축압축강도, 압열인장강도 및 탄성파속도와 비교적 높은 상관성을 가지고 있어 이들 암반분류 등급구분 및 물리정수의 신속한 파악을 필요로 하는 현장에서 상당히 유용한 자료가 된다고 생각된다.

그리고, 앞으로도 이에 관한 많은 연구가 행해지고 또한 변형계수 및 정탄성계수, 점착력, 그밖의 물리정수와의 상관성에 대해서도 많은 측정 데이터가 구해진다면 암반시공 문제에 크게 기여할 수 있을 것으로 본다.

참고문헌

1) 尹志善, 1992, 土木地質工學, 歐美書館, p. 179-183.
2) 尹志善, 1991, 岩石岩盤의 調査와 試驗, 歐美書館, p. 371-379, p. 483-492.
3) 黃正奎, 1992, 建設技術者를 위한 地盤工學의 基礎理論, 歐美書館, p. 321-324.
4) 허 진, 1985, 岩石力學, 機電研究社, p. 29-213.
5) 權仁奎, 1990, 비파괴 시험법에 의한 콘크리트 압축강도 추정의 신뢰성 요인 분석, 동아대학교 석사학위논문, p. 1-74.
6) 임공대, 1983, Schmidt Hammer에 의한 콘크리트 압축강도의 비교실험, 경북대학교 석사학위논문, p. 1-21.
7) 정상진, 1979, 비파괴시험에 의한 콘크리트 특성에 관한 연구, 단국대학교 석사학위 논문, p. 1-44.
8) 山口梅太郎, 西松裕一, 1991, 岩石力學入門, 東京大學出版會, p. 252-254.
9) Farmer.Ian W, 1983, Engineering Behaviour of Rock, 2nd edition, Chapman and Hall Ltd, p. 15-17.
10) Hudson.J.A, 1989, Rock Mechanics Principles in Engineering Practice, Butterworths Heinemann Publishers Limited, Linacre House, p. 29-30.
11) Brown.E.T, 1981, Rock Characterization Testing & Monitoring, ISRM Suggested Methods, Pergamon Press, p. 101-102.
12) Goodman. Richard E, 1989, Introduction to Rock Mechanics, 2nd edition, John Wiley and Sons, p. 42-49.
13) Hoek.E and Bray.J.W, 1981, Rock Slope Engineering, 3rd edition, Institution of Mining and Metallurgy, p. 97-100.
14) Kazimierz Thiel, 1989, Rock Mechanics in Hydroengineering, Polish Scientific Publishers, p. 91-92.
15) Hoek.E and Brown.E.T, 1980, Underground Excavation in Rock, Institution of Mining and Metallurgy, p. 22-34.