

충주 지역 화강암의 풍화지수 및 일축압축강도 추정에 관한 연구

The Weathering Index and Prediction of Uniaxial Compressive Strength for Chung-Ju Granite

엄태욱¹⁾, Tae-Uk Eom, 김학문²⁾, Hak-Mun Kim, 김찬국³⁾, Chan-Kuk Kim, 장경준⁴⁾, Kyung-Jun Jang
표명렬⁵⁾, Myung-Ryul Pyo

1) 단국대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dankook University

2) 단국대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dankook University

3) 단국대학교 토목공학과 박사수료, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dankook University

4) 단국대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dankook University

5) 삼성물산 건설부분, 부장, Department Manager, Samsung Corporation

SYNOPSIS : We have to judge engineering properties of rock accurately in order to design and construct rock structure safely and economically. Among the rock tests, the test result of UCS(Uniaxial Compressive Strength) is very important factor used in the variety ways for designing and construction of underground structures, rock slope and foundation analysis. But the UCS test has some disadvantages of intact sample preparation such as because the shape of sample has to be regular cylindrical, cube or rectangular. In order to solve those problem, indirect tests are used such as point load test, schmidt hammer test, absorption test, dry density to predict UCS of rock. Those tests are easy to prepare sample and convenient to carry out the tests, so it is simple and costs less. Schmidt hammer test are frequently used in the construction site, because it is handy and easy to use, but there is concern of misuse without classifying the specification of each schmidt hammer. Thus, this study suggested presumptive numerical formula related on each specification of schmidt hammer test, point load test, absorption test and dry density also. We compared presumptive numerical formula and R-square through schmidt rebound assessment method already brought up. Also, through the test we offer the extent of weathering index according to the weathering grade.

Key words : weathering index, uniaxial compressive strength, point load test, schmidt hammer, absorption test

1. 서 론

충주지역에 대절취 암반사면 시공시 파괴가 발생하여 이에 대한 정밀지반조사를 수행하게 되었다. 기존 실시설계에서는 시추조사없이 암사면의 경사가 결정되었고 시공사면의 파괴원인을 규명하기 위해 시추조사, 불연속면 조사, 지하수위 측정 등을 실시하였다. 그 중 암반에 대한 RMR과 SMR평가를 수행하였고, 평가요소중에 일축압축강도에 대한 시험을 수행하던중 기존에 국내외 연구자료가 미흡하고 간접적으로 암석의 일축압축강도를 추정할 수 있는 상관식들이 당 현장의 일축압축강도와 상이하여 연구를 수행하게 되었다. 암반 구조물을 안전하고 경제적으로 설계하고 시공하기 위해서는 대상 암반의 공학적 특성을 정확히 판단하여야 한다. 그 중 암석의 일축압축강도에 대한 평가는 매우 중요한 요소이며, 암반사면, 암반기초 및 지하구조물의 설계와 시공에 있어서 매우 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 일축압축강도시험(UCST, Unconfined Compressive Strength Test)은 공시체의 형상이 원주, 정육면체 및 직육면체 등으로 일정하게 가공되어야 하는 어려움이 있으며 한 지역에서 채취된 시료라도 강도 변화가

심하므로, 수십 개의 공시체를 제작하는 번거로움이 있다. 이와 같이 일축압축시험은 시료의 채취와 공시체의 가공 과정은 물론, 시간과 노력이 많이 소요되고 공시체의 시험 개수에도 제한을 받아 시험결과를 실무에 활용하는 데는 그 적용 범위가 한정되어 있다. 따라서 이러한 불편한 점을 해소하기 위하여 점하중시험, 슈미트해머 시험등의 간접적인 방법을 이용하여 암석의 일축압축강도를 예측하는 방법이 연구되고 있다. 이러한 간접적인 방법은 시료성형이 편리하며, 시험장비의 운영도 편리하다. 또한 현장에서 쉽게 사용할 수 있어 간편하고 경제적이라 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 충주지역 흑운모 화강암의 일축압축강도를 추정하기 위하여 일축압축강도시험, 점하중시험, 슈미트해머시험, 흡수율시험등을 실시하여 충주지역 흑운모 화강암에 대한 일축압축강도 관계식을 구하고 기존 국내외에 제시된 상관식과 비교하였다. 또한, 암반사면에서 암반에 대한 강도추정시 현장에서 가장 많이 사용하는 슈미트해머 시험은 타격에너지에 따른 L-Type과 N-Type 두가지 다른 슈미트 해머가 있으나 실무에서는 타입을 따로 구분하지 않고 같은 추정식을 사용하여 일축압축강도 추정시 높은 슈미트 반발수치에서는 암반의 강도를 과대하게 평가할 수 있다. 따라서 슈미트해머 타입에 따른 일축압축강도 추정식을 제안하고자 하였으며, 기존에 제시된 슈미트해머수치 평가방법에 따른 일축압축강도 추정식을 제안하고자 하였다. 마지막으로 시험된 결과를 이용하여 풍화등급별로 풍화지수의 범위를 제안하고자 하고, 실무자들이 편리하게 사용할 수 있는 풍화등급 판정도표를 제안하고자 한다.

2. 연구지역 지질특성 및 시험방법

2.1 연구지역 지형 및 지질

본 연구지역은 행정구역상 충청북도 충주시 OO지역에 위치하고 있으며, 사면의 방향이 076/45(경사방향/경사)인 1:1 구배를 이루고 있으며 사면의 최대 높이는 50.5m이다. 조사지역의 지질은 시대미상의 변성암류로 구성된 소위 계명산층과 중생대에 이를 관입한 흑운모화강암이 기반암을 이루고 있으며, 흑운모 화강암을 세립질의 규장질 암맥이 관입하고 있다. 그리고 이들을 모두 제4기 충적층이 부정합으로 피복되어 있다. 계명산층은 다양한 종류의 편암~편마암으로 구성된 준편마암으로 각 암종경계는 점이적으로 이들 상호간의 경계를 확정하기는 매우 어렵다. 계명산층 중에는 퇴적기원의 철광상이 부존되어 있으며, 부분적으로 석회암을 포함하기도 한다. 중~조립질의 조직을 보이는 흑운모 화강암은 주로 석영, 사장석, 정장석으로 구성되며, 일부 흑운모를 포함한다. 노두규모에서 고철질 포획암을 포함하기도 하는데 포획암은 신장된 모양으로 나타난다. 규장질 암맥은 입자의 크기가 세립질~극세립질로 다양하게 구성되고 있으며, 일부는 반암(porphyry)의 형태로 산출되며, 연구지역 지질도는 그림 1과 같다.

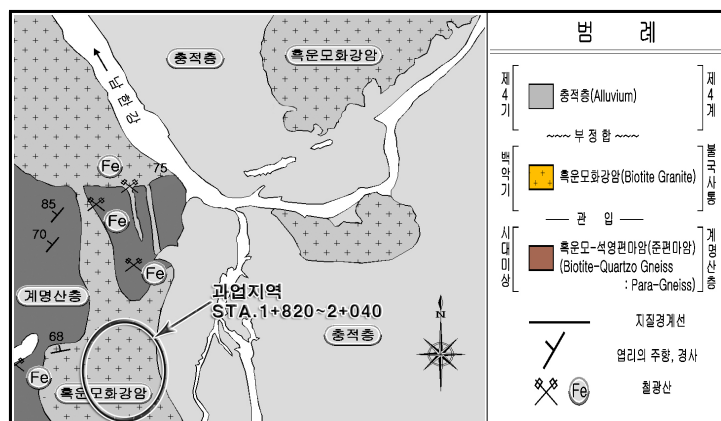


그림 1. 연구지역의 지질도

2.2 시험방법

2.2.1 일축압축강도시험

본 연구에서는 채취된 암석 코아중 무결함 암(Intact Rock)에 대하여 일축압축강도시험을 실시하여 강도특성을 알아보았다. 일축압축 시험기는 동아시험기의 DA-229를 사용하였으며, 최대 축하중 재하시 1000kN이다. 일축압축시험 방법은 ISRM 규정을 준수하였으며, 직경 5cm 길이가 11~12cm 원주형 시추 코아를 대상으로 시험을 실시하였다. 편평도는 0.025mm 이내로 연마하였고, 재하속도는 1MPa/초로 재하하였다. 암석시료는 24시간 수침시킨후 105℃ 건조로에서 24시간 건조후 압축시험을 실시하였다.

2.2.2 점하중시험

본 연구에서는 채취된 암석 코아중 무결함 암(Intact Rock)에 대하여 점하중시험을 실시하여 점하중 지수를 알아보았다. 점하중시험기는 동아시험기의 DA-245를 사용하였으며, 최대 축방향 점하중은 50kN이다. 점하중 시험은 ISRM 규정을 준수하여 시험을 실시하였고, 직경 5cm 길이 2.5cm이상의 원주형 암석시료에 대하여 // 방향으로 점하중을 가하였다.

2.2.3 슈미트해머시험

본 연구에서는 충주지역 화강암 시료를 105℃ 상태의 건조기에 24시간 이상 건조시킨 후 실험을 실시하였으며, 암석 지지대(Rock Cradle)을 이용하여 시료를 고정시킨 후, 일본 SANYO TESTING MACHINES사 N-type Model No. GS와 스위스 PROCEQ SA ZURICH사 L-Type 슈미트를 사용하여 반발치를 측정하였고, 슈미트해머 타입에 따른 차이점을 비교해 보았다. 또한 기존에 제시된 슈미트 반발수치를 측정하는 4가지 방법으로 시험을 실시하여 각 시험방법별로 차이점 또한 비교해 보았다.

Procedure 1: Record 20 rebound values from single impacts separated by at least a plunger diameter, and average the upper 10 values. (ISRM)

Procedure 2 : Record at least 10 single impact readings, discarding those differing from the average by more than 7 unit, and averaging those left. (ASTM)

Procedure 3 : Select the peak rebound value from five continuous impacts at a point. Average the peaks of three sets of tests conducted at three separated points. (Poole & Farmer)

Procedure 4 : Select the peak rebound value from 10 continuous impacts at a point. Average the peaks of the three sets of tests conducted at three separated points. (Hucka)

2.2.4 풍화지수

암석은 풍화정도를 정량적으로 표현하기 위하여 일반적으로 물리적, 화학적 또는 지질학적인 암석 풍화특성을 이용한 풍화지수를 적용하는데, 대부분의 풍화지수는 다양한 풍화 특성을 모두 고려할 수 없으며 암석의 단일 특성 위주로 풍화도를 판정하기 때문에 적용 범위에 한계가 있으므로 판정 결과의 이용 목적에 따라 풍화 지수의 선택을 달리해야 한다. 광물-암석학적 풍화지수와 화학적 풍화지수가 풍화에 따른 암석의 화학적 변화와 조직의 변화, 광물학적인 변화를 설명할 수 있기는 하나 실제 실험적인 분석은 상당히 어렵다. 이러한 이유로 실내 및 현장에서 쉽고 신속하게 결정될 수 있는 공학적인 성질에 근거한 풍화지수의 필요성이 대두되었다. 풍화정도를 평가하고, 강도, 변형률의 공학적인 상태를 신속하고 경제적으로 평가하기 위해 많은 공학적인 지수들이 제안되었으며, 특히 풍화된 화강암에서 풍화지수와 공학적인 성질 간의 높은 상관성에 대한 다양한 연구가 수행되었다. 이러한 공학적 풍화지수는 암석의 공학적인 성질을 직접적으로 반영하는 암석에 대한 물성시험을 통하여 제안되었다.

2.2.5 육안적인 방법에 의한 풍화등급 분류

김(1999)은 국내 화강암에 대하여 풍화를 총 5단계로 구분하였으며, 이러한 구분법은 대부분 풍화 연구시 사용되고 있다. 이 분류법은 풍화의 전 단계에 걸쳐 육안적인 구분에 의한 판별을 가능하게 하며, 신선한 암석에서 잔류토양까지 풍화의 전체 단계를 포함하며 특히 화강암과 같은 심성암에 유용하게 적용된다. 현장에서 암석에 대한 풍화단계의 분류는 김(1999)의 분류에 의거한 다음에 기술된 광물·암석학적인 특징을 기준으로 하였으며, 본 연구는 F~HW 시료에 대해서만 시험을 실시하였다.

- ① Fresh Rock : 조암광물의 풍화에 의한 변질은 없다. 절리가 거의 없고, 있다고 해도 밀착되어 있어서 쉽게 박리가 일어나지 않는다.
- ② Slightly weathered : 조암광물 속에서도 풍화작용을 받기 쉬운 사장석이나 흑운모는 다소 풍화되어 갈색을 띤다. 절리는 가끔 쇠녹색을 나타내지만 대부분 밀착되어 있어 점토광물 등의 2차적 광물을 함유하지는 않는다.
- ③ Moderately weathered : 장석은 백색으로 변화하고 흑운모는 적갈색을 띤다. 풍화는 절리에 따라 진행되고 암갈색의 2차적인 점토광물을 절리면상에서 볼 수 있다.
- ④ Highly weathered : 장석은 손가락으로 간단하게 분쇄되고 전반적으로 갈색을 나타낸다. 해머로 타격하면 용이하게 모래모양으로 분쇄되지만 일부는 상당히 견고한 부분이 존재한다.
- ⑤ Residual soil : 전체가 균일하게 풍화되어 풍화도가 된다. 사장석, 흑운모는 완전히 점토화되어 석영의 세립화가 나타난다. 풍화의 진행에 따라서는 화강암의 조직은 완전히 파괴된다.





풍화도	육안적 관찰
Fresh Rock	
Slightly weathered	
Moderately weathered	
Highly weathered	

그림 2. 육안적인 관찰에 의한 풍화등급 판정

3. 시험결과 및 분석

3.1 시험결과와 풍화등급과의 관계

일축압축강도는 구성광물의 강도와 입자간의 결합력 등에 영향을 받으며 풍화의 지표로 흔히 사용되는 물성치이다. 본 연구지역의 일축압축강도는 3.9~131.8(MPa)로 분포하였으며, 풍화가 진행할수록 일축압축강도는 감소하는 것으로 나타났다. 풍화등급 F에서 풍화등급 HW까지 매우 선형적으로 일축압축강도가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 각 풍화도별로 일축압축강도의 분산은 30~40(MPa)으로 분포하는 것으로 나타났으며, 풍화등급 F와 SW, MW와 HW의 구분이 다른 물리적 풍화지수에 비해서 가장 확연하게 나타난다. 점하중지수($I_{s(50)}$)는 0.5~18.3(MPa)로 폭넓게 분포하며, 일축압축강도와 비슷하게 점하중지수도 풍화가 진행될수록 선형적으로 감소하는 것으로 나타났다. 풍화등급별 분산정도는 풍화등급 MW에서 가장 큰 것으로 나타났다. 풍화등급 MW과 풍화등급 SW의 구분이 확연하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 공학적 시험을 통해서 풍화등급을 구분시에는 다른 시험을 병행하여 풍화등급을 구분해야 할 것으로 판단한다. 슈미트해머수치(N-Type)는 14~72로 분포하며, 풍화가 진행할수록 슈미트해머수치는 감소하는 것으로 나타났다. 풍화등급 MW과 HW에서 가장 큰 분산을 보였으며, 풍화등급 F와

SW는 값의 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 풍화등급 SW에서 MW구간에서 가장 큰 기울기로 감소하는 것으로 나타났으며, 풍화등급 F와 SW는 대체로 슈미트반발수치가 60이상의 값을 보였다. 흡수율은 0.1~4.8(%)로 분포하며, 풍화가 진행될수록 흡수율은 증가하는 것으로 나타났다. 풍화등급 F와 SW에서 흡수율의 분산은 매우 적었으며, 두 풍화등급간의 차이도 크게 나타나지 않았다. 그러나 풍화등급 MW에서 HW구간에서는 흡수율의 큰 증가를 보였으며, 풍화등급 HW에서는 흡수율의 분산이 매우 컸다. 이러한 흡수율의 변화는 풍화가 진행됨에 따라 광물의 용해, 재결정, 이온의 용탈과 치환 등에 의해 공극이 증가하고 새로운 광물의 형성과 광물의 팽창에 의한 미세균열의 증가, 입자경계의 열림등에 기인하는 것으로 보고되고 있다, 결과적으로 풍화단계에 따라 뚜렷한 변화와 경계를 보여주는 흡수율은 풍화지수로서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 건조단위중량은 24.1~28.2(kN/m³)로 분포하며, 풍화등급 F와 SW에서는 큰 차이를 보이지 않았고, 풍화등급별로 다른 시험에 비해 등급별로 중첩되는 구간이 많았다. 이는 풍화가 진행됨에 따라 석영은 풍화에 대해 안정성이 높으나, 그 외의 장석류나 유색광물은 화학적 성질에 따라 쉽게 변질되어 점토화의 과정에 이르게 된다. 이러한 이유로 인해 풍화가 진행될수록 화강암의 단위중량은 감소하게 된다. 본 연구지역 화강암의 단위중량은 대체로 25.5~28.0(kN/m³)에 분포하는 것으로 나타났다.

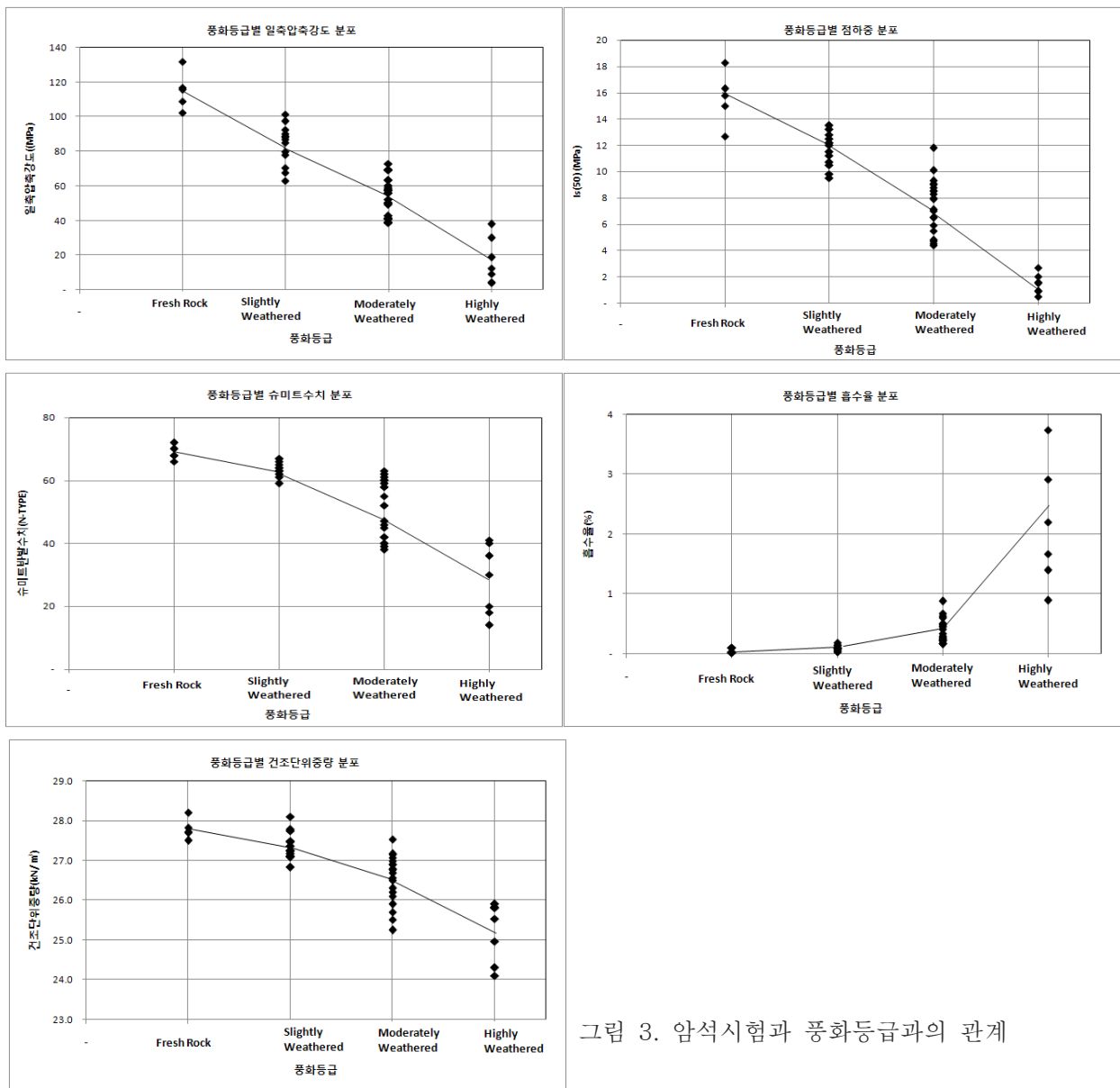


그림 3. 암석시험과 풍화등급과의 관계

본 연구지역의 암석시료에 대한 물리적 시험을 통하여 표 1과 같은 풍화지수를 제안하고자 하며, 풍화등급 분류시에는 한가지 풍화지수를 통하여 풍화등급을 분류하기에는 무리가 있을 것으로 판단하고, 2가지 이상의 물리적 시험을 통하여 풍화등급을 분류해야할 것으로 판단한다.

표 1. 충주지역 화강암의 풍화지수 및 풍화등급

암석의 풍화등급	흡수율 (%)	일축압축강도 (MPa)	슈미트수치 (N-TYPE)	점하중 (MPa)	건조단위중량 (kN/m ³)
F	0.017-0.109	102-132	66-72	13-18	27.5-28.2
SW	0.033-0.186	63-101	59-67	10-14	26.8-28.1
MW	0.166-0.879	39-73	38-63	4-12	25.2-27.5
HW	0.893-4.799	4-38	14-41	5-3	24.1-25.9

-단, 시험결과는 무결함암(Intact rock)에 대한 시험결과임.

또한, 본 연구에서는 그림 4와 같이 일축압축강도를 기준으로 점하중강도와 슈미트수치를 병행하여 암석의 풍화등급을 구분할 수 있는 판정도표를 제시하고자 한다. 이는 실무자들이 판정도표를 사용하면 풍화등급 판정시에 편리하게 사용할 수 있도록 하였으며, 도표상에서 풍화등급별로 중복되는 빗금구간에 대해서는 평균값으로 풍화등급의 경계를 결정하였다.

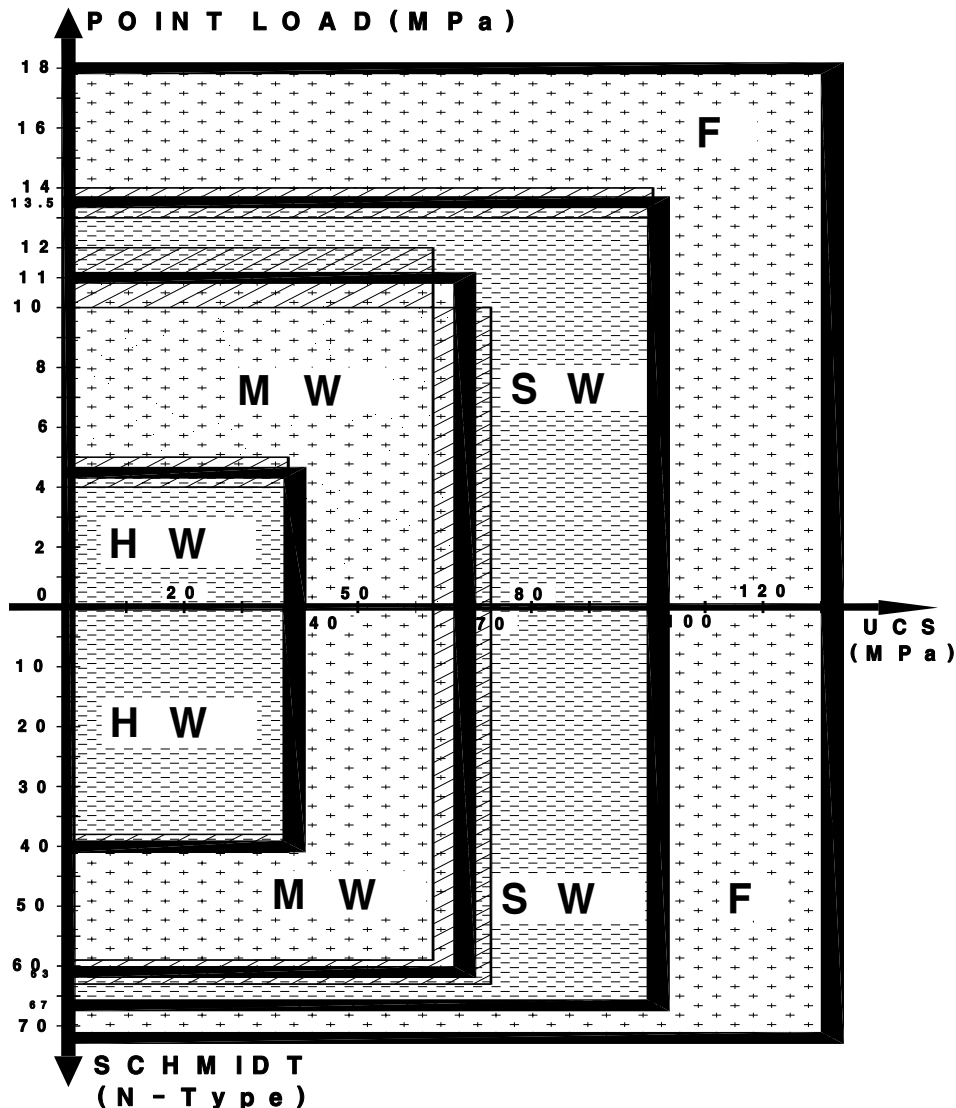


그림 4. 암석시험을 통한 풍화등급 판정 도표

3.2 일축압축강도와 슈미트수치 상관관계

본 연구지역의 화강암에 대하여 L-Type 슈미트 해머를 타격하여 일축압축강도와의 상관성을 비교해 본 결과 기존의 상관식들과 비슷한 경향을 보였으며, 시험결과를 통하여 충주지역 화강암에 대한 슈미트수치를 이용한 상관식을 식 1과 같이 제안하고자 한다.

$$UCS(MPa) = 10.24 \text{Exp}^{0.05RL} \quad (1)$$

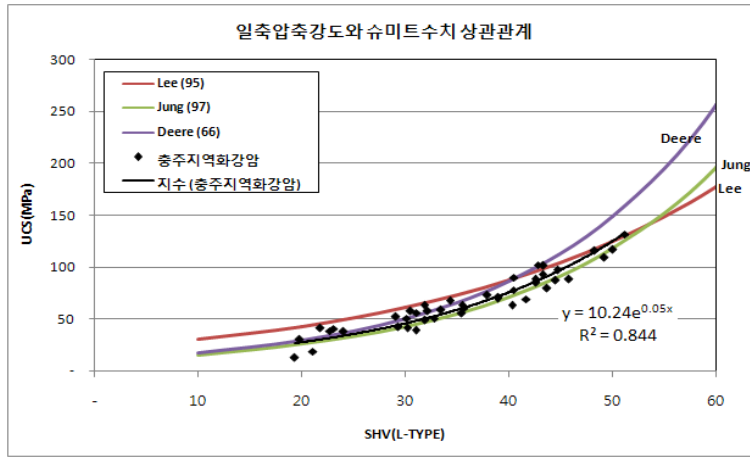


그림 5. 일축압축강도와 슈미트반발수치(L-Type) 관계

슈미트 반발수치(N-Type)를 이용한 일축압축강도 추정식은 식 2와 같이 제안하고자 한다.

$$UCS(MPa) = 7.48 \text{Exp}^{0.038RN} \quad (2)$$

슈미트 반발치와 일축압축강도는 높은 상관성을 보이며, 슈미트 반발치를 이용한 일축압축강도의 추정은 큰 무리가 없을 것으로 판단되며, L-Type 과 N-Type 슈미트 반발치와 비교하였을 때 슈미트 제원에 따른 일축압축강도 추정값은 큰 차이를 보였으며, 슈미트 제원을 구분하지 않고 추정식을 사용시에는 큰 문제가 있을 것으로 사료된다. 또한 Buyuksagis(2007)가 화강암, 대리석, 석회암 시료를 가지고 N-Type 슈미트해머시험을 통해 얻은 상관식과 본 연구는 비슷한 경향을 나타냈다. 따라서 실무에서도 슈미트 해머의 형식을 구별하여 제원에 따라 적용된 상관식을 사용하여 일축압축강도를 과대하게 평가하는 문제를 주의해야 할 것으로 판단한다.

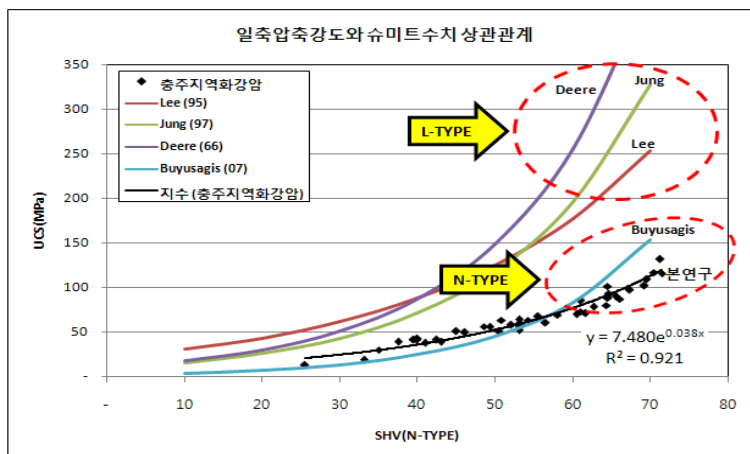


그림 6. 슈미트 제원에 따른 일축압축강도 상관식 비교

암석시료에 대하여 슈미트해머 N-Type과 L-Type에 모두를 타격하여 슈미트해머값을 비교해본 결과 그림 7과 같은 관계를 나타내며, 식 3과 같이 슈미트해머 타입별 보정식을 제안하고자 한다.

$$SHV(L)=0.72 \times SHV(N)-1.910 \quad (3)$$

여기서, SHV(L) : L-Type 슈미트해머수치
 SHV(N) : N-Type 슈미트해머수치

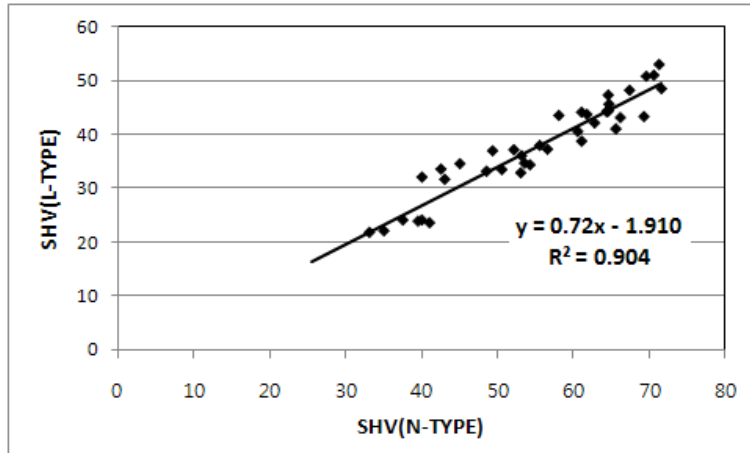
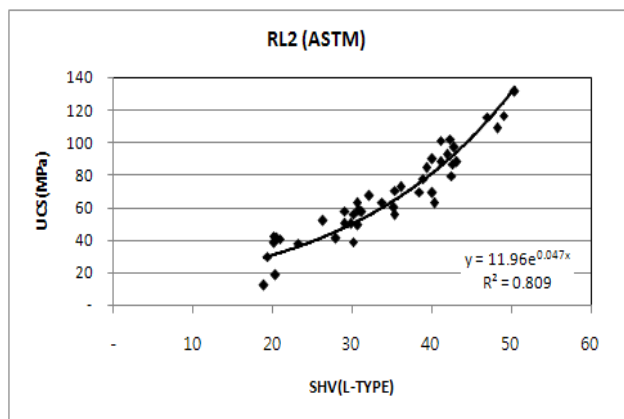
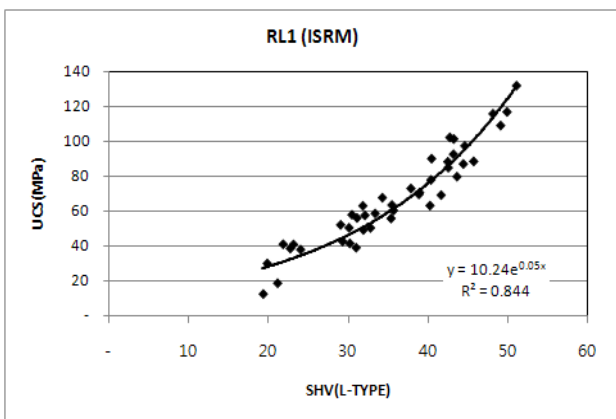


그림 7. N-Type과 L-Type 슈미트해머수치 비교

3.3 슈미트해머 반발수치 평가방법별 비교

슈미트해머는 사용 및 취급이 간편하여 암반사면의 노두면 조사시 많이 활용하고 있다. 또한 현장에서 암반의 강도를 측정할 수 있어 실무자들이 많이 사용하고 있지만, 슈미트 반발수치를 평가하는 방법은 개인별로 상이하여 현재까지 제안된 4가지 평가방법으로 충주지역 화강암에 대하여 일축압축강도 추정식을 비교하여 보았다. 그 결과 N-Type 슈미트 해머를 사용한 경우가 전체적으로 신뢰도가 높게 나왔으며, 각 타입별로 슈미트 반발수치를 평가하는 방법간의 신뢰도는 약간 차이가 있었다.



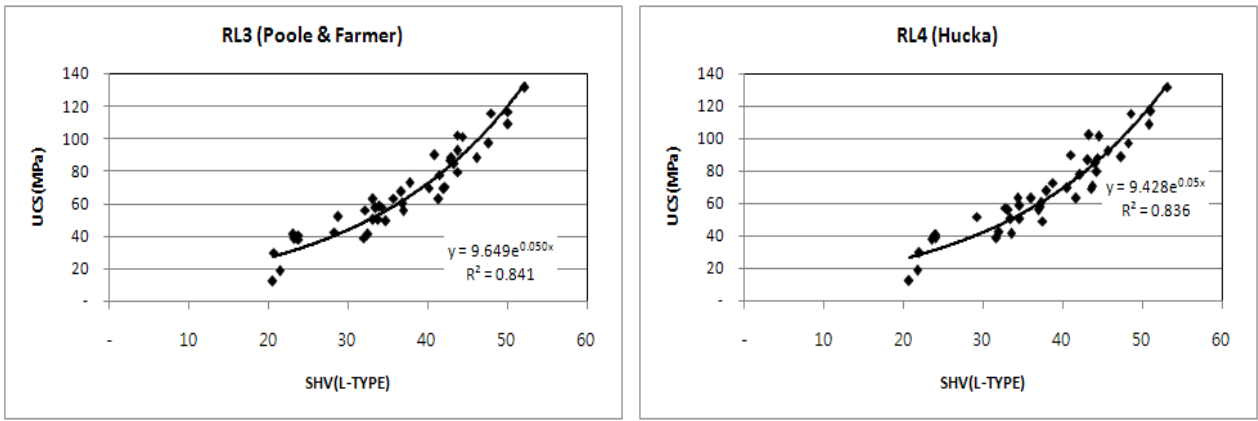


그림 8. 일축압축강도와 슈미트수치(L-Type) 상관관계

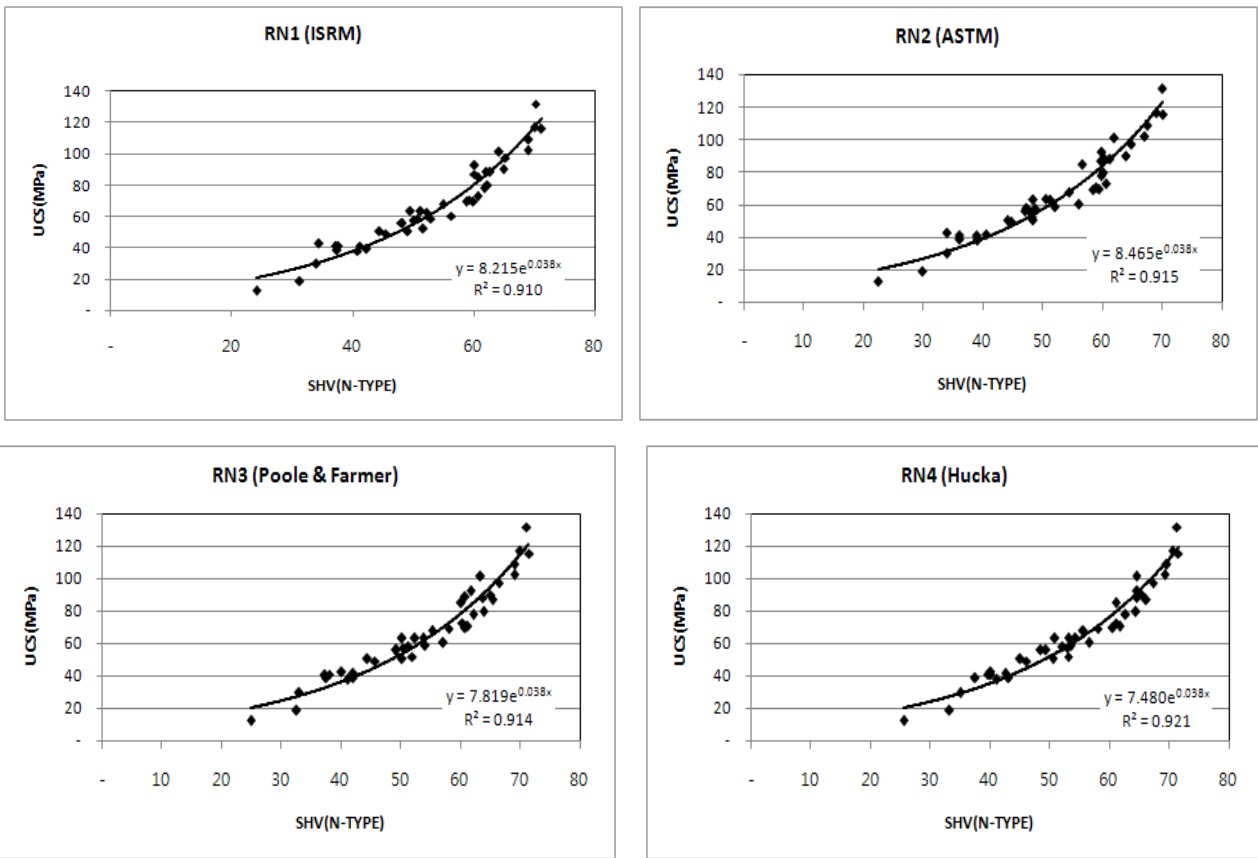


그림 9. 일축압축강도와 슈미트수치(N-Type) 상관관계

3.4 일축압축강도와 점하중지수의 상관관계

본 연구지역의 점하중지수($I_{S(50)}$)를 이용한 일축압축강도 상관식은 식 4와 같다.

$$UCS(MPa) = 6.064 \times I_{S(50)} + 194.8 \quad (4)$$

점하중지수가 고르게 분포하는 것으로 보아 높은 풍화등급(HW~MW)에서도 일축압축강도를 추정하는데 적합한 것으로 판단된다. 본 연구지역의 점하중지수와 일축압축강도는 높은 상관성을 보였으나, 기존의 상관식과 비교하였을때 본 연구지역의 점하중 계수가 작게 평가되었다.

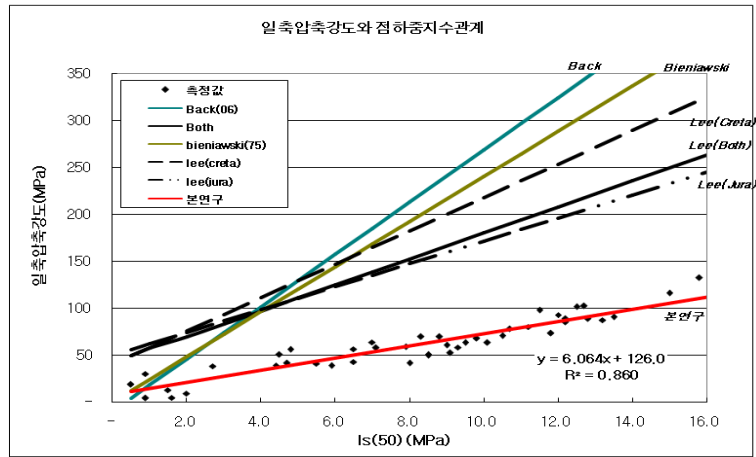


그림 10. 일축압축강도와 점하중지수 상관관계

3.5 일축압축강도와 흡수율의 상관관계

본 연구지역의 흡수율 시험을 통하여 일축압축강도와 상관성을 비교해본 결과 흡수율범위에 따라서 일축압축강도 상관식을 식 5와 식 6과 같이 제안하고자 한다.

$$UCS(MPa) = -20.6 \ln(A_b) + 33.58 \quad (\text{단, 흡수율 } 0.75\% \text{ 이하}) \quad (5)$$

$$UCS(MPa) = -15.2 \ln(A_b) + 28.00 \quad (\text{단, 흡수율 } 0.75\% \text{ 이상}) \quad (6)$$

여기서, A_b : 흡수율(%)

충주지역 화강암의 흡수율과 일축압축강도는 양호한 상관관계를 갖는 것으로 판단되지만 흡수율이 0.25미만에서는 흡수율의 변화량에 비해 일축압축강도의 분산이 커서 본 연구에서는 흡수율 0.75%를 기준으로 각각의 일축압축강도 상관식을 제안하고자 한다.

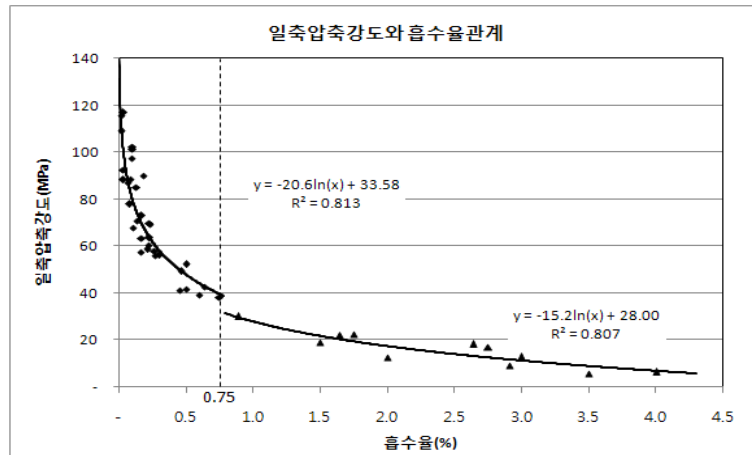


그림 11. 일축압축강도와 흡수율 상관관계

3.6 일축압축강도와 건조단위중량과의 상관관계

일축압축강도와 건조단위중량의 상관성을 확인해 본 결과 어느 정도 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 단위중량이 26(kN/m²) 이상에서는 분산이 커서 일축압축강도를 추정하기에는 무리가 있는 것으로 판

단하며, 이는 암석 시료마다 같은 화강암이라 해도 광물구성성분의 비율의 차이가 나서 단위중량에 따른 하나의 대응값으로 일축압축강도를 산정하기에는 어려움이 있는 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 표 4.8과 같이 건조단위중량에 따른 일축압축강도 범위를 제안하고자 한다.

표 2. 건조단위중량에 따른 일축압축강도 범위

건조단위중량(kN/m ³)	25이하	25~26	26이상
UCS(MPa)	20이하	20~60	40이상

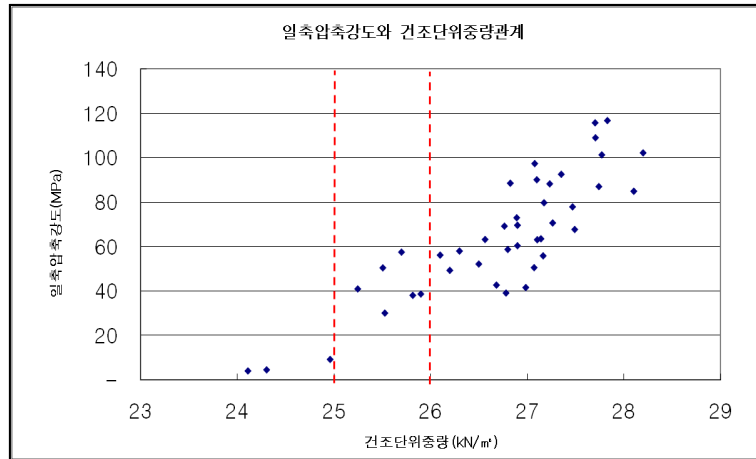


그림 12. 일축압축강도와 단위중량의 상관관계

4. 결론

본 연구에서는 기존 제안된 공학적 풍화지수를 이용한 풍화등급분류와 일축압축강도 추정식을 고찰하고자 일축압축시험, 슈미트해머시험, 점하중 시험, 흡수율 시험등을 수행하였으며, 이를 바탕으로 충주지역 화강암에 대해 공학적인 풍화도 평가를 수행하고 풍화등급을 구분하였으며, 충주 지역화강암의 일축압축강도 추정식을 제안하였다. 또한 슈미트해머 제원과 평가방법에 따른 차이점을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 충주지역 화강암의 일축압축강도, 점하중지수, 슈미트반발수치, 흡수율, 건조단위중량은 풍화등급과 밀접한 상관성이 있으며, 공학적 풍화지수를 통하여 풍화등급을 산정하고 각 풍화등급별 범위를 제안하였고, 실무자들이 풍화등급 판정시에 편리하게 사용할 수 있는 판정도표를 제안하였다.
2. 본 연구지역 화강암의 일축압축강도와 슈미트반발수치의 상관성을 비교해본 결과 높은 상관성을 보이며, 슈미트반발수치를 이용한 일축압축강도 추정식을 제안하였고, 슈미트해머 타입과 슈미트수치 평가방법별로 각각의 일축압축강도 추정식을 비교해 보았다.
3. 점하중 강도는 풍화등급 F에서 HW까지 고르게 분포하였고, 점하중 강도와 일축압축강도의 관계는 밀접한 상관성을 보였으며, 본 연구지역 화강암의 점하중을 이용한 일축압축강도 추정식을 제안하였다.
4. 충주지역 화강암의 흡수율과 일축압축강도는 밀접한 상관관계를 갖는 것으로 판단되지만, 흡수율이 0.25%미만에서는 흡수율의 변화량에 비해 일축압축강도의 분산이 너무 커서 본 연구에서는 흡수율

0.75%를 기준으로 각각의 일축압축강도 추정식을 제안하였다.

5. 단위중량이 26(kN/m³)이상에서는 분산이 커서 일축압축강도를 추정하기에는 무리가 있는 것으로 판단하며, 이는 암석 시료마다 같은 화강암이라 해도 광물구성성분의 비율의 차이가 나서 단위중량에 따른 하나의 대응값으로 일축압축강도를 산정하기에는 어려움이 있는 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 단위중량에 따른 일축압축강도의 범위를 제안하였다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(사면붕괴 예측 및 대응기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김성환, 유병옥, 조성로 (1997), “암석의 풍화에 따른 강도변화 특성에 관한 연구”, 사면안정 학술발표회, pp.115~136.
2. 김찬기, 이강일, 배기목 (1999), “풍화화강암과 풍화토의 공학적 성질과 응용”, 창우출판, pp.19~31.
3. 이수곤, 이송 (1995), “슈미트해머 수치를 이용한 한국 화강암의 일축압축강도 추정방법”, 대한토목학회논문집 제15권 제1호, pp.199~210.
4. 이수곤, 이송 (1995), “점하중강도를 이용한 한국 화강암의 일축압축강도 추정방법”, 대한토목학회논문집 제15권 제4호, pp.1015~1027.
5. 정형식, 유병옥 (1997), “암석의 풍화에 따른 강도변화 특성 및 강도추정에 관한 연구”, 한국지반공학회지, pp.71~93.
6. Bieniawski Z.T (1975), “Point load test in geotechnical practice”, Eng Geol, Vol.9(1), pp. 1~11.
7. Buyuksagis, I. S. & Goktan, R. M. (2007), “The effect of Schmidt hammer type on uniaxial compressive strength prediction of rock”, International Journal of Rock Mechanics & Mining Science , Vol.40 ,pp.299~307.
8. Deere, D.U. & Miller, R.P. (1966), “Engineering classification and index properties for intact rock”, Air Force Weapons Lab. Tech. Report, AFWL-TR, pp. 65~116.
9. Goktan, R. M. & Gunes, N. (2005), “A comparative study of Schmidt hammer testing procedures with reference to rock cutting machine performance prediction”, International Journal of Rock Mechanics & Mining Science , Vol.42, pp. 466~472.
10. ISRM Suggested Method (1985), “Suggested method for determining point-load strength”, International Journal of Rock Mechanics & Mining Science , Vol.22, pp. 53~60.
11. Irfan, T. Y. & Dearman, W. R. (1978), “The engineering petrography on a weathered granite in Cornwall”, Quarterly Journal of Engineering Geology, London, Vol.11 ,pp.233~244.
12. Kahraman, S. & Fener, M. & Gunaydin, O. (2002), “Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values”, International Journal of Rock Mechanics & Mining Science , Vol.39 ,pp.395~399.
13. Kahraman, S. & Gunaydin, O. & Fener, M. (2005), “The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index”, International Journal of Rock Mechanics & Mining Science , Vol.42, pp. 584~589.
14. Lee, S. G. & de Freitas, 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, London, Vol.22 ,pp.31~48.