

침관입시험을 이용한 연약암반의 일축압축강도 추정

강성승^{1)*}, 오바라 유조²⁾, 제동광³⁾, 박영호³⁾

Estimation of Uniaxial Compressive Strength of Weak Rocks Using Needle Penetrometer

Seong-Seong Kang, Yuzo Obara, Dongkwang Je, Young-Ho Park

Abstract This study is to estimate the uniaxial compressive strength (UCS) for the weak rocks using needle penetrometer test. The appropriate ratio of the artificial rocks for this test was cement (C):bentonite (B):water (W) = 1.3:0.7:2.3 or 1.5:0.5:2.0. From the relationship between needle penetration resistance (NPR) measured by needle penetrometer test and an estimated UCS, NPR and UCS tended to increase with increasing the curing period. Also from the relationship between the measured NPR and the measured UCS, NPR-UCS was linearly increased with the curing periods of 3-day to 14-day regardless of the ratio, then in the curing periods of 14-day to 28-day it was nearly constant. In conclusion, the overall relationship between NPR and UCS shows a linear relation for the most part, it means that UCS is possible to be estimated from NPR by needle penetrometer test in the case of weak rocks.

Key words Uniaxial compressive strength (UCS), Needle penetrometer, Needle penetration resistance (NPR), Curing period, Weak rocks

초 록 본 연구는 침관입시험을 이용하여 연약암반에 대한 일축압축강도를 추정하기 위한 연구결과를 나타낸 것이다. 침관입시험을 위한 인공암반의 배합비는 시멘트(C):벤토나이트(B):물(W) = 1.3:0.7:2.3 또는 1.5:0.5:2.0이 적절한 것으로 나타났다. 침관입시험에 의해 측정된 침관입저항력(NPR)과 이로부터 추정된 일축압축강도(UCS) 관계에서 NPR과 UCS는 양생기간이 길어짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 또한 침관입시험에 의해 측정된 NPR과 실제 시험에서 얻어진 UCS 관계에서는 NPR-UCS가 배합비와 상관없이 양생기간이 3일~14일까지는 선형적으로 증가하다가 14일~28일에서는 NPR-UCS가 작은 차이를 보이지만 거의 일정한 관계로 나타났다. 결론적으로 전체적인 NPR-UCS의 관계는 대체적으로 선형적인 관계를 보이며, 이것은 연약암반의 경우 침관입시험에 의한 NPR로부터 일축압축강도를 추정하는 것이 가능성을 의미한다.

핵심어 일축압축강도, 침관입시험, 침관입저항력, 양생기간, 연약암반

1. 서 론

터널, 사면, 댐 등과 같은 구조물을 건설할 경우 구조물이 위치할 곳에 대한 지질상태를 파악하는 것은 구조물의 안정성을 평가하기 위해서 수행되어야 할 중요한 요소 중의 하나이다. 구조물의 안정성 평가는 정성적인

평가와 함께 정량적인 평가도 요구되므로 지질상태 파악에만 의존하는 것은 무리가 있다. 예를 들면 터널과 같은 구조물의 역학적 변형은 터널 굴착에 따른 응력의 변화와 암반 강도와와의 관계에 의해 결정되기 때문에 암반의 강도를 정량적으로 나타내야 할 필요성이 있다. 정량적인 평가 지표로서 암반에 대한 강도는 암반공학(Hudson and Harrison, 1997)이나 암반분류(Bieniawski, 1989)에 적용되는 암석재료의 중요한 물리적 성질 중의 하나이며, 실내시험에 의한 일축압축강도가 그 예이다.

하지만 암석재료에 대한 일축압축강도를 알아내기 위해서는 현장에서 채취한 시료를 ASTM(1994)과 ISRM(1979)에서 규정한 일축압축시험법에 근거하여 시험편

¹⁾ 조선대학교 에너지자원공학과 교수

²⁾ 일본 구마모토대학 대학원자연과학연구과 교수

³⁾ 조선대학교 에너지자원공학과 석사과정

* 교신저자 : kangss@chosun.ac.kr

접수일 : 2011년 1월 5일

심사 완료일 : 2011년 2월 8일

게재 확정일 : 2011년 2월 21일

을 제작해야 하는데 그 과정이 복잡하고 많은 시간이 소요된다. 더군다나 신선한 암반에서 채취한 시료의 경우 시험편을 제작하는데 어려움이 없는 반면, 풍화된 암석, 절리나 층리를 포함한 암석, 또는 점토광물을 포함한 암석과 같은 연약암반 시료의 경우 일축압축시험을 위한 적절한 형태의 시험편 제작이 어렵다. 이러한 일축압축강도시험의 문제점을 해결하기 위하여 슈미트 해머시험(Schmidt hammer test, ISRM, 1978a), 압열인장시험(Brazilian test, ISRM, 1978b), 점하중시험(point load test, ISRM, 1985), block punch index test(Ulusay et al., 2001) 등과 같은 다양한 암석강도 시험법들이 개발되었다. 하지만, 이상에서 언급된 시험법들도 연약암반의 경우 시험편이 제작되는 과정에서 시험편이 깨지거나 비교적 짧은 시간에 쉽게 풍화가 일어나는 등의 문제점이 발생함으로 인하여 실내시험이 불가능할 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 극복하고 연약한 암반에도 적용할 수 있는 또 다른 형태의 시험법이 요구되었으며, 이를 위한 비파괴 간이 시험기인 침관입시험기(Needle penetrometer)가 개발되었다(Okada et al., 1985, Yamaguchi et al., 2005, Maruto Corporation, 2006, Erguler and Ulusay, 2007, 2009).

이 연구에서는 첫째, 연약암반의 일축압축강도 추정 시험법으로서 침관입시험법에 대하여 간단히 소개하고자 한다. 둘째, 연약암반의 일축압축강도를 추정하기 위한 예비연구로서 인공암반 시료에 대해 침관입시험기를 이용하여 일축압축강도를 정량적으로 추정하고자 한다. 마지막으로, 침관입시험으로부터 계산된 일축압축강도 추정값과 실제 일축압축시험에 의한 결과값을 비교하여 연약암반에 대한 일축압축강도 추정 시험법으로서 그 적용 가능성을 평가하고자 한다.

2. 침관입시험

2.1 침관입시험기

침관입시험기는 코일 스프링식의 하중 측정기로서 최대직경 40 mm, 길이 285 mm, 무게 700 g 으로서 8개의 주요 부분으로 구성되어 있다(Fig. 1, Yamaguchi et al., 2005, Maruto Corporation, 2006, Erguler and Ulusay, 2007). 즉, 첫 번째 부분은 관입량 측정과 관입침을 보호하기 위한 압착부(pressure)이다. 두 번째 부분은 관입침을 고정시키는 물림부(chuck)이다. 세 번째 부분은 0~10 mm 범위의 1 mm 간격으로 그려진 관입량 눈금부(penetration scale)이다. 네 번째 부분은 10~100 N 범위의 10 N 간격으로 나타낸 하중 눈금부(load scale)이다. 다섯 번째 부분은 하중 지시부(load indication ring)이다. 여섯 번째 부분은 일축압축강도-침관입저항력 상관관계를 나타내는 보정도표부(UCS-NPR correlation chart)이다. 일곱 번째 부분은 여분의 관입침을 보관하는 보관부(removable cap)이다. 마지막 여덟 번째 부분은 일본 토목학회 지침에 따라 제작된 직경 0.84 mm의 관입침(penetration needle)이다. 관입침이 마모되었거나 파손되어 교체해야 할 경우 압착부를 제거하고 물림부를 풀어서 사용된 관입침을 제거한 후 새 관입침을 정확하게 결합한 후 물림부를 조여 고정시킨다.

2.2 시험방법

침관입시험은 다음과 같은 순으로 실시한다(Okada et al., 1985, Maruto Corporation, 2006, Erguler and Ulusay, 2007). 첫째, 시험하고자 하는 시험편의 표면을 매끄럽게 성형한다. 이것은 침관입시험을 수행할 때 시험편의 표면이 고르지 못 할 경우 정확한 측정값을 얻을 수 없

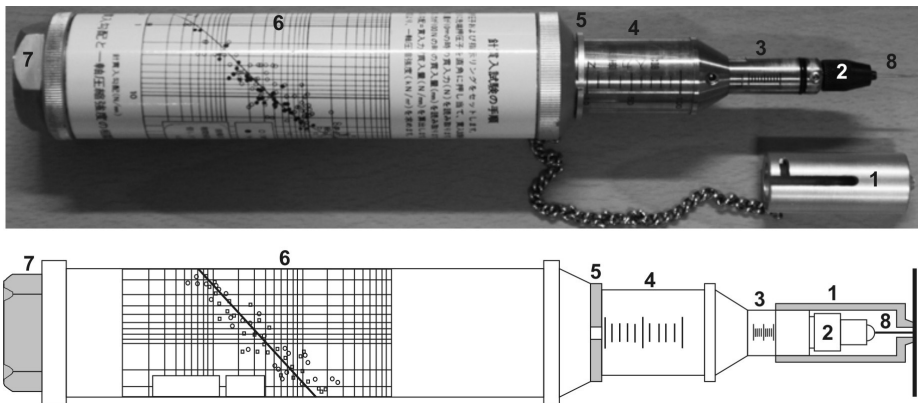


Fig. 1. Needle penetrometer and its parts, 1: pressure, 2: chuck, 3: penetration scale, 4: load scale, 5: load indicating ring, 6: UCS-NPR correlation chart, 7: removable cap, 8: penetration needle (modified from Erguler and Ulusay, 2007).

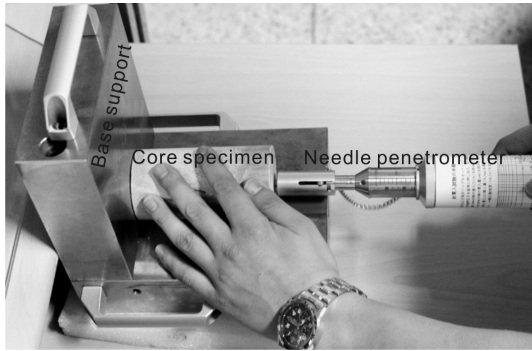


Fig. 2. Needle penetrometer test in laboratory.

기 때문이다. 둘째, 하중 지시링을 관입량 눈금부의 0에 오도록 한 후 침관입시험기를 시험편에 수직으로 일치시켜 서서히 침관입력을 가하여 관입침을 10 mm 관입시킨다(Fig. 2). 침관입시험은 시험편에 대한 본 시험의 신뢰도를 높이기 위하여 측정면을 4개의 분면으로 나누어 진행하였다(Fig. 3). 이때 시험편이 움직이지 않도록 Fig. 2에서와 같이 고정용 받침대를 사용한다. 마지막으로 침관입시험이 완료되면 하중 눈금부로부터 하중과 관입량 눈금부로부터 관입 깊이를 읽고 식 (1)을 이용하여 침관입저항력(Needle Penetration Resistance, NPR)을 계산한다. 여기서, F는 하중(N), D는 관입량(mm)을 나타낸다.

$$NPR = \frac{F}{D} \quad (1)$$

일반적으로 관입력은 침관입 깊이가 10 mm 관입되었을 때 하중 지시링으로부터 읽고 기록하는데, 만약, 매우 연약하거나 물로 포화된 연약암반의 경우 침관입 시험 시 침관입 깊이가 10 mm 이상 관입되지만 침관입 깊이가 10 mm 도달되면 더 이상 관입력을 가하지 말고 그 상태에서의 관입력을 기록한다. 또한 관입력이 100

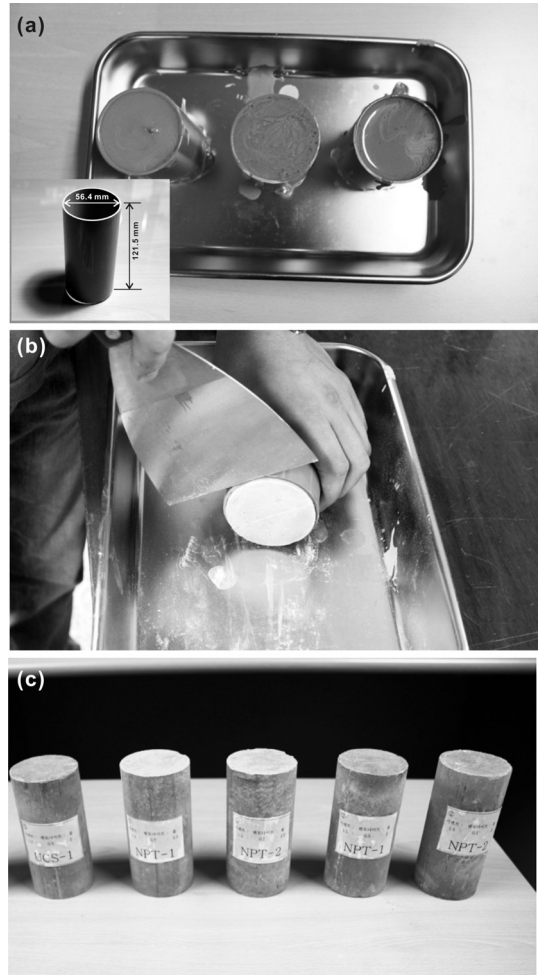


Fig. 4. Preparation of core specimen for needle penetrometer test.

N에 도달할지라도 침관입 깊이가 10 mm 관입되지 않을 경우 100 N일 때의 침관입 깊이를 관입한 상태로

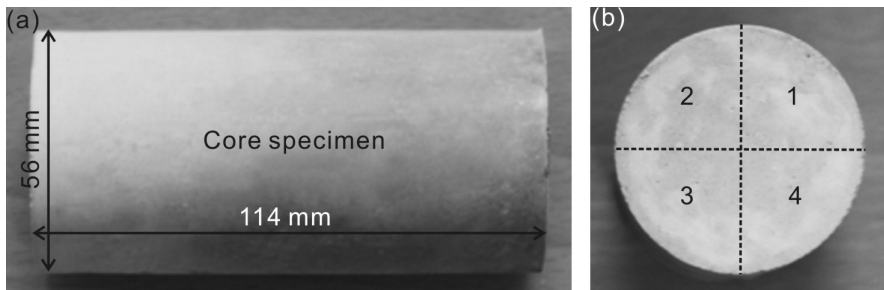


Fig. 3. Core specimen for needle penetrometer test, (a) size of core specimen, (b) test section.

표시한 후 관입저항력을 계산한다. 즉, 최대 침관입 깊이가 10 mm일 때 관입력과 최대 관입력이 100 N일 때 침관입 깊이를 기록하여 침관입저항력을 구한다(Okada et al., 1985, Maruto Corporation, 2006, Erguler and Ulusay, 2007). 또한 일축압축시험은 ISRM(1979)에서 규정한 일축압축시험법에 근거하여 실시하였다(Fig. 4)

3. 시험편

침관입시험을 수행하기 위한 시험편은 비교적 시료제작이 용이한 시멘트와 점토가 혼합된 인공암반이 사용되었다. 시험에 사용할 인공암반의 재료 중 점토는 Samchun pure chemical Co. Ltd.의 B0105 벤토나이트(bentonite)가 사용되었고, 시멘트는 동양시멘트사의 KS L 5201 포틀랜드 시멘트가 사용되었으며, 이들을 일정한 비율로 혼합하여 시험편을 제작하였다. 이 연구에서 사용된 시험편은 인공암반 재료의 배합비에 따른 관입저항력 변화를 비교하기 위하여 세 가지 경우에 대한 재료 배합비를 선정하여 제작되었다(Table 1). 즉, 시멘트 : 벤토나이트 : 물의 배합비를 Specimen-1의 경우 1.0 : 1.0 : 3.0, Specimen-2의 경우 1.3 : 0.7 : 2.5, Specimen-3의 경우 1.5 : 0.5 : 2.0으로 하였다. 시험편의 양생기간에 따른 관입저항력을 살펴보기 위하여 양생기간은 3일, 5일, 7일, 14일, 21일, 28일 등으로 하여 침관입시험

Table 1. The ratio of cement, bentonite, and water for the artificial rocks.

| | Cement | Bentonite | Water |
|------------|--------|-----------|-------|
| Specimen-1 | 1.0 | 1.0 | 3.0 |
| Specimen-2 | 1.3 | 0.7 | 2.5 |
| Specimen-3 | 1.5 | 0.5 | 2.0 |

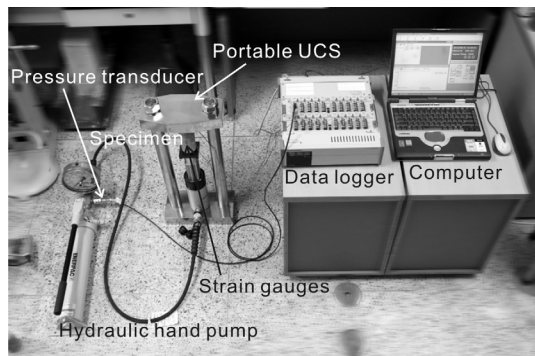


Fig. 5. Uniaxial compressive test for measuring uniaxial compression strength.

을 실시하였다. 시험편은 ASTM(1994)과 ISRM(1979)에서 제안한 크기로서 직경 약 56.0 mm, 높이 114.0 mm인 원형시험편이며, 제작과정은 Fig. 5와 같다. 시험편 제작 시 시험편 내 존재할 수 있는 공극을 최소화하기 위하여 재료를 충분히 혼합하기 위한 재료 혼합기와 기포 발생 억제용 진동기를 사용하였다. 그리고 침관입시험을 실시하기 전에 시험편 양쪽 표면을 연마포를 이용하여 편평하게 연마하였다. 또한 침관입시험의 결과를 일축압축강도와 비교하기 위하여 일축압축시험용 원형시험편을 추가로 제작하였다.

4. 침관입시험 및 일축압축시험 결과

인공암반인 원형시험편에 대해 배합비와 양생기간에 따라 침관입시험을 실시하였다. 침관입시험으로부터 계산된 일축압축강도(UCS)는 Maruto Corporation(2006)에서 제시하고 있는 NPR-UCS 간의 상관관계식 (2)로부터 추정할 수 있다.

$$\log UCS = 0.978 \log NPR + 2.621 \quad (2)$$

침관입시험으로부터 측정된 NPR과 추정된 UCS의 결과를 정리하면 Table 2와 같다. 단, Specimen-1의 경우 다른 두 경우보다 벤토나이트의 양이 많아 양생기간이 14일부터는 시험편이 건조해 짐과 함께 시험편 표면뿐만 아니라 내부에도 균열이 발생함으로 인해 침관입시험이 불가능하였다. 따라서 이러한 배합비를 갖는 인공암반은 침관입시험용 시험편으로 적절하지 않은 것으로 판단된다. 그리고 NPR로부터 추정된 UCS와 비교하기 위하여 실시한 각 배합비 및 양생기간에 따른 일축압축시험 결과를 Table 3에 나타내었다. Fig. 6은 양생기간이 14일인 시료에 대해 실시한 일축압축시험 결과의 한 예이다.

이상의 결과들을 그래프로 나타내면 Fig. 7과 같다. Fig. 7(a)는 측정된 NPR과 이로부터 추정된 UCS의 전체와 그 평균값을 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 양생기간이 길어짐에 따라 NPR과 UCS는 증가하였으며, 배합비의 경우 또한 벤토나이트 성분이 가장 적은 Specimen-3에서 NPR과 UCS가 가장 크게 나타났다. 이는 점토질 성분이 NPR과 UCS에 가장 큰 영향을 미치는 것을 의미한다. Fig. 7(b)는 측정된 NPR과 실제 시험하여 얻은 UCS의 평균값을, Fig. 7(c)는 Figs. 7(a)와 7(b)를 함께 도시한 것이다. 그림에서와 같이 Specimen-3에서는 Specimen-1과 Specimen-2와는 다르게 양생기간에 따라 실제 측정된 UCS가 추정된 UCS보다 작게 나타났다. 이에 대한 원인은 아직 정확하게 밝힐 순 없지만

Table 2. The results of needle penetrometer test on Specimen-1, Specimen-2, and Specimen-3 according to curing period (C: cement, B: bentonite, W: water)

| Curing period : 3-day | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| No. | Specimen-1 (C:B:W = 1.0:1.0:1.3) | | Specimen-2 (C:B:W = 1.3:0.7:2.3) | | Specimen-3 (C:B:W = 1.5:0.5:2.0) | |
| | NPR (N/mm) | UCS (kN/m ²) | NPR (N/mm) | UCS (kN/m ²) | NPR (N/mm) | UCS (kN/m ²) |
| 1 | 1.9 | 787.685 | 3.0 | 1236.802 | 11.1 | 4503.706 |
| 2 | 2.0 | 828.623 | 3.0 | 1236.802 | 11.1 | 4503.706 |
| 3 | 2.0 | 828.623 | 3.0 | 1236.802 | 12.5 | 5064.397 |
| 4 | 2.0 | 828.623 | 3.0 | 1236.802 | 11.1 | 4503.706 |
| 5 | 2.0 | 828.623 | 2.5 | 1032.963 | 11.1 | 4503.706 |
| 6 | 2.0 | 828.623 | 2.8 | 1155.321 | 11.1 | 4503.706 |
| 7 | 2.0 | 828.623 | 3.0 | 1236.802 | 10.0 | 4062.562 |
| 8 | 2.0 | 828.623 | 2.8 | 1155.321 | 10.0 | 4062.562 |
| 9 | 2.0 | 828.623 | 2.5 | 1032.963 | 11.1 | 4503.706 |
| 10 | 2.0 | 828.623 | 2.9 | 1136.070 | 11.1 | 4503.706 |
| Average | 1.9 | 824.530 | 2.8 | 1175.665 | 11.0 | 4471.546 |
| Curing period : 5-day | | | | | | |
| 1 | 3.9 | 1602.705 | 4.5 | 1846.049 | 14.2 | 5778.461 |
| 2 | 3.8 | 1562.105 | 4.5 | 1846.049 | 14.2 | 5778.461 |
| 3 | 3.9 | 1602.705 | 4.7 | 1927.073 | 15.3 | 6217.334 |
| 4 | 4.0 | 1643.292 | 4.5 | 1846.049 | 14.2 | 5778.461 |
| 5 | 4.0 | 1643.292 | 4.5 | 1846.049 | 14.2 | 5778.461 |
| 6 | 3.9 | 1602.705 | 4.5 | 1846.049 | 14.2 | 5778.461 |
| 7 | 4.0 | 1643.292 | 4.5 | 1846.049 | 14.2 | 5778.461 |
| 8 | 3.7 | 1521.491 | 4.6 | 1886.566 | 14.2 | 5778.461 |
| 9 | 3.9 | 1602.705 | 4.5 | 1846.049 | 14.2 | 5778.461 |
| 10 | 3.8 | 1562.105 | 4.5 | 1846.049 | 14.2 | 5778.461 |
| Average | 3.8 | 1598.639 | 4.5 | 1858.2.3 | 14.3 | 5822.348 |
| Curing period : 7-day | | | | | | |
| 1 | 5.0 | 2048.531 | 5.5 | 2250.765 | 20.0 | 8056.704 |
| 2 | 4.9 | 2008.055 | 5.5 | 2250.765 | 20.0 | 8056.704 |
| 3 | 5.0 | 2048.531 | 5.3 | 2169.899 | 18.1 | 7332.798 |
| 4 | 4.9 | 2008.055 | 5.4 | 2210.337 | 18.1 | 7332.798 |
| 5 | 5.0 | 2048.531 | 5.5 | 2250.765 | 20.0 | 8056.704 |
| 6 | 5.0 | 2048.531 | 5.5 | 2250.765 | 18.8 | 7606.070 |
| 7 | 4.9 | 2008.055 | 5.5 | 2250.765 | 18.1 | 7332.798 |
| 8 | 4.9 | 2008.055 | 5.6 | 2291.184 | 20.0 | 8056.704 |
| 9 | 4.9 | 2008.055 | 5.5 | 2250.765 | 20.0 | 8056.704 |
| 10 | 5.0 | 2048.531 | 5.5 | 2250.765 | 20.0 | 8056.704 |
| Average | 4.9 | 2028.293 | 5.4 | 2242.678 | 19.3 | 7794.469 |

Table 2. Continued

| Curing period : 14-day | | | | | | |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| No. | Specimen-1 (C:B:W = 1.0:1.0:1.3) | | Specimen-2 (C:B:W = 1.3:0.7:2.3) | | Specimen-3 (C:B:W = 1.5:0.5:2.0) | |
| | NPR (N/mm) | UCS (kN/m ²) | NPR (N/mm) | UCS (kN/m ²) | NPR (N/mm) | UCS (kN/m ²) |
| 1 | - | - | 9.8 | 3982.292 | 27.7 | 11145.110 |
| 2 | - | - | 9.5 | 3861.849 | 25.0 | 10043.500 |
| 3 | - | - | 10.0 | 4062.561 | 25.0 | 10043.500 |
| 4 | - | - | 9.5 | 3861.849 | 25.0 | 10043.500 |
| 5 | - | - | 8.5 | 3460.031 | 26.3 | 10565.490 |
| 6 | - | - | 9.9 | 4022.429 | 25.0 | 10043.500 |
| 7 | - | - | 9.5 | 3861.849 | 25.0 | 10043.500 |
| 8 | - | - | 10.0 | 4062.561 | 25.6 | 10297.850 |
| 9 | - | - | 10.0 | 4062.561 | 25.0 | 10043.500 |
| 10 | - | - | 9.8 | 3982.292 | 25.0 | 10043.500 |
| Average | - | - | 9.6 | 3922.028 | 25.4 | 10231.300 |
| Curing period : 21-day | | | | | | |
| 1 | - | - | 9.9 | 4022.429 | 27.7 | 11145.110 |
| 2 | - | - | 10.0 | 4062.561 | 28.5 | 11459.600 |
| 3 | - | - | 10.0 | 4062.561 | 25.0 | 10043.500 |
| 4 | - | - | 10.2 | 4144.449 | 26.3 | 10565.490 |
| 5 | - | - | 10.2 | 4144.449 | 25.0 | 10043.500 |
| 6 | - | - | 10.0 | 4062.561 | 27.7 | 11145.110 |
| 7 | - | - | 9.9 | 4022.429 | 25.0 | 10043.500 |
| 8 | - | - | 10.0 | 4062.561 | 25.0 | 10043.500 |
| 9 | - | - | 10.2 | 4144.449 | 26.3 | 10565.490 |
| 10 | - | - | 9.9 | 4022.429 | 25.0 | 10043.500 |
| Average | - | - | 10.0 | 4075.088 | 26.1 | 10509.830 |
| Curing period : 28-day | | | | | | |
| 1 | - | - | 10.0 | 4062.561 | 27.7 | 11145.110 |
| 2 | - | - | 10.2 | 4144.449 | 30.0 | 12145.400 |
| 3 | - | - | 9.9 | 4022.429 | 28.5 | 11459.600 |
| 4 | - | - | 10.5 | 4273.705 | 29.4 | 11792.480 |
| 5 | - | - | 10.0 | 4062.561 | 27.7 | 11145.110 |
| 6 | - | - | 10.2 | 4144.449 | 29.4 | 11792.480 |
| 7 | - | - | 10.2 | 4144.449 | 28.5 | 11459.600 |
| 8 | - | - | 10.0 | 4062.561 | 27.7 | 11145.110 |
| 9 | - | - | 10.5 | 4273.705 | 27.7 | 11145.110 |
| 10 | - | - | 10.0 | 4062.561 | 28.5 | 11459.600 |
| Average | - | - | 10.1 | 4125.343 | 28.5 | 11468.960 |

Table 3. The results of UCS by uniaxial compressive test

| Curing period | Specimen-1 | Specimen-2 | Specimen-3 |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | UCS (kN/m ²) | UCS (kN/m ²) | UCS (kN/m ²) |
| 3-day | 801 | 1012 | 2111 |
| 5-day | 1621 | 2623 | 4434 |
| 7-day | 2378 | 3622 | 6345 |
| 14-day | - | 4598 | 8102 |
| 21-day | - | 4670 | 8198 |
| 28-day | - | 4703 | 8205 |

인공암반 배합비의 차이로 나타나는 현상으로 분석된다. 하지만, Specimen-2과 Specimen-3의 NPR-UCS 관계에서 알 수 있듯이, 배합비와 상관없이 양생기간이 3일~14일까지는 NPR-UCS가 선형적으로 증가하다가 그 이후인 14일~28일까지는 NPR-UCS가 큰 차이를 보이지 않고 일정한 관계로 나타났다. 즉, 이러한 재료를 갖는 배합비에서 시험편은 14일 이내에 건조가 거의 진행되는 것으로 판단된다. 전체적인 NPR-UCS의 관계를 살펴보면 Specimen-3의 양생기간 3일의 경우를 제외하면 대체적으로 선형적인 관계를 나타낸다. 하지만 보다 정확한 결과를 얻기 위해서는 NPR에 대한 UCS의 데이터가 다수 확보되어야 할 것으로 사료된다. 왜냐하면, Yamaguch et al.(2005)이 언급했듯이 인공암반의 조건에 따라 NPR과 UCS가 달라지므로 이에 따른 식 (2)의 관계식도 다르게 표현될 수 있기 때문이다(Kojima et al., 1974).

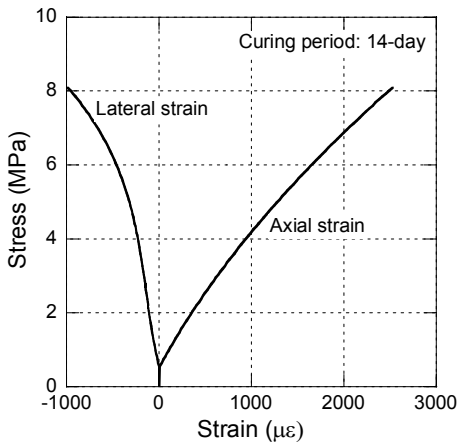


Fig. 6. Stress-strain curve by uniaxial compressive test in the case of specimen with curing period 14-day.

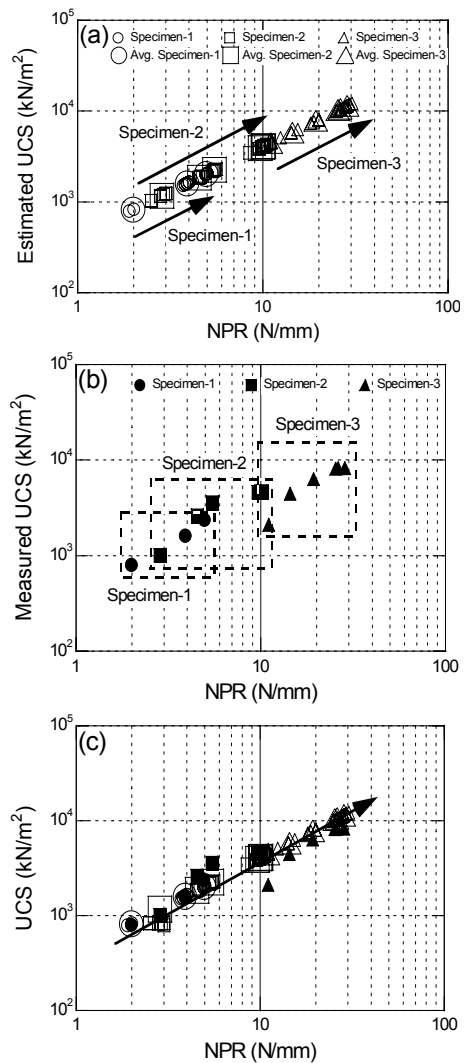


Fig. 7. The results of needle penetrometer test, (a) relationship between an estimated UCS and the measured NPR, (b) relationship between the measured UCS and NPR, and (c) all data.

5. 결 론

연약암반에 대한 일축압축강도 추정 시험법으로서 제안된 침관입시험의 적용 가능성을 살펴보기 위하여 양생기간과 재료 배합비에 따른 인공암반을 제작하여 예비연구를 수행하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 침관입시험을 위한 인공암반 원형시험편의 세 가지 배합비에서 Specimen-1에 해당하는 시멘트(C):벤토나이트(B):물(W) = 1.0:1.0:1.3의 배합비는 침관입시험용 시험편으로 적절하지 않은 것으로 나타났다. 하지만, Specimen-2와 Specimen-3에 해당하는 배합비는 침관입시험을 위해 적절한 것으로 판단된다. 따라서 침관입시험용 시험편을 제작하기 위해서는 C:B:W = 1.3:0.7:2.3 또는 1.5:0.5:2.0의 배합비를 적용해야 할 것으로 사료된다.
2. 측정된 NPR과 추정된 UCS 관계에서 양생기간이 길어짐에 따라 NPR과 UCS는 증가하였으며, 혼합재료 중 벤토나이트 성분이 가장 적은 시험편에서 NPR과 UCS가 가장 크게 나타났다.
3. 측정된 NPR과 측정된 UCS 관계에서 배합비와 상관없이 양생기간이 3일~14일까지는 NPR-UCS가 선형적으로 증가하다가 그 이후 14일~28일까지는 NPR-UCS가 큰 차이를 보이지 않고 일정한 관계로 나타났다.
4. 결론적으로 전체적인 NPR-UCS의 관계는 대체적으로 선형적인 관계를 보이므로 연약암반인 경우 침관입시험에 의한 NPR로부터 일축압축강도를 추정하는 것이 가능하다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2009학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드린다. 그리고 논문에 대해 세심한 조언을 해주신 두 분의 심사자에게 진심으로 감사드린다.

참고문헌

1. ASTM, 1994, Annual book of ASTM Standards-Soil and Rock, Building Stones, Selection 4, Construction, V.04.08. West Conshohocken, PA, ASTM International.
2. Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering rock mass classifications. New York, John Wiley and Sons.
3. Erguler, Z. A. and Ulusay, R., 2007, Estimation of uniaxial compressive strength of clay-bearing weak rocks using needle penetration resistance. Proceedings of 11th Congress on International Society of Rock Mechanics, Lisbon, Vol. 1, pp. 256-258.
4. Erguler, Z. A. and Ulusay, R., 2009, Water-induced variations in mechanical properties of clay-bearing rocks. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 46, pp. 355-370.
5. Hudson, J. A. and Harrison, J. P., 1997, Engineering rock mechanics - An introduction to the principles. Pergamon.
6. ISRM, 1978a, ISRM Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences & Geomechanics Abstract, Vol. 15, pp. 89-97.
7. ISRM, 1978b, ISRM Suggested Methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences & Geomechanics Abstract, Vol. 15, pp. 99-103.
8. ISRM, 1979, ISRM Suggested Methods for Determining The Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences & Geomechanics Abstract, Vol. 16, pp. 135-140.
9. ISRM, 1985, ISRM Suggested Methods for Determining Point Load Strength. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences & Geomechanics Abstract, Vol. 22, pp. 51-60.
10. Kojima, K., Saito, Y. and Ino-o, M., 1974, Factors of softening of pelitic soft rocks in Chiba Prefecture. 9th Japan National Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (JSSMFE), pp. 737-740. (in Japanese)
11. Okada, S., Izumiyo, Y., Iizuka, Y. and Horiuchi, S., 1985, The estimation of soft rock strength around a tunnel by needle penetration test, Tsuchi-to-Kiso, JSSMFE, Vol. 33, pp.35-38. (in Japanese)
12. Maruto Corporation, 2006, Penetrometer for soft rock: Model SH-70 Instruction manual. Tokyo, Japan.
13. Ulusay, R., Gokceoglu, C. and Sulukcu, S., 2001, Draft ISRM suggested method for determining block punch strength index (BPI). International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 38, pp. 1113-1119.
14. Yamaguch, Y., Nakamura, Y., Nakamura, M., Hakoishi, N., Yamaya, M. and Kato, Y., 2005, Verification of design strength of soft rock foundation for dams by needle penetration test. Journal of Japanese Society for Engineering Geology, Vol. 46, pp. 20-27.



강성승

1993년 조선대학교 자원공학과 공학사
1996년 강원대학교 자연대학 지구물리학과 이학석사
2000년 Kumamoto University 토목공학과 Ph.D.

E-mail: kangss@chosun.ac.kr
현재 조선대학교 에너지자원공학과 교수



오바라 유조

1987년 Nagoya University, Eng. Dr.

E-mail: obara@kumamoto-u.ac.jp
현재 熊本大學 土木環境工學科 教授



제동광

2010년 조선대학교 에너지자원공학과 공학사

E-mail: baby1228@cyworld.com
현재 조선대학교 에너지자원공학과 석사과정



박영호

2011년 조선대학교 에너지자원공학과 공학사

E-mail: socottie@naver.com
현재 조선대학교 에너지자원공학과 석사과정