실 험 1. 암석의 비중과 함수비 측정

(1) 목 적

암석의 비중과 함수비를 측정한다.

(2) 실험기구 및 시료

비중담, 천칭, 전기오븐, 비이커, 버어니어캘리퍼스, 암석재료 3 4종

(3) 실험 방법

실험의 정확도를 높이기 위하여 한 암석당 각 실험은 5회를 실시한다.

A. 비중 측정

① 미량(2 3g)의 암석을 분쇄하여 샘플을 준비한다.
② 비중담의 무게(W)를 측정한다.
③ 비중담에서 준비된 암석 샘플을 넣은 무게(W_1)을 측정한다.
④ 비중담에서 샘플을 제거하고 다시 암석 샘플을 넣은 후 물을 채운 무게 (W_3)을 측정한다.
⑤ 비중담에서 샘플을 제거하고 물을 채운 무게(W_2)를 측정한다.
⑥ 다음 공식을 이용하여 비중(G)를 측정한다.

$$G = \frac{W_1 - W}{W_2 + W_1 - W - W_3}$$

⑦ 새로운 샘플을 이용하여 5회에 걸쳐서 반복한다.

B. 암석의 단위중량 측정

① 시추 코아를 일정한 길이로 절단한다.
② 버어니아 캘리퍼스를 이용하여 각각 4군데에서 코아의 직경(D)과 길이(L)를 측정하여 평균 길이와 평균 직경을 가지고 암석 코아의 체적(V)을 구한다.
③ 저울을 이용하여 암석코아의 무게를 측정한다.
④ 암석의 단위중량을 계산한다.

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

C. 함수비 측정

① 준비된 용기를 세척 건조시켜 질량 X_1를 측정한다.

② 적어도 50 g 이상의 샘플을 5개 준비한다.

③ 샘플을 용기에 넣어 질량 X_2를 측정한다.

④ 알루미늄 호일을 제거하여 오븐에서 섭씨 105°로 24시간 건조시킨다.

⑤ 오븐에서 샘플을 꺼내서 30분간 식힌 후 무게 X_3를 측정한다.

⑥ 다음 공식을 이용하여 함수비를 계산한다.

$$\text{함수비} = \frac{X_2 - X_3}{X_3 - X_1} \times 100$$

(4) 결과 분석 및 검토

① 각 샘플에 대한 결과를 가지고 평균과 표준편차를 구한다.

② 비중 측정으로 구한 단위 중량과 암석 코아에서 직접 구한 단위 중량을 비교하여 보고 차이가 있다면 그 이유를 고려해 본다.

③ 단위중량과 함수비의 관계를 고려해 본다.

④ 상태 정수들의 상호 관계에 대하여 알아본다.

표 1. 각종 암석의 건조단위중량 및 공극률

		건조단위중량 (t/m^3)	공극률 (%)
화성암	현무암	2.21 2.77	0.22 22.06
	휘록암	0.17 2.95	0.71 1.00
	반려암	2.72 3.00	0.00 3.57
	화강암	2.53 2.62	1.02 2.87
퇴적암	백운암	2.67 2.72	0.27 4.10
	석회암	2.67 2.72	0.27 4.10
	사 암	1.91 2.58	1.62 26.4
	세 일	2.00 2.40	20.0 50.0
변성암	편마암	2.61 3.12	0.32 1.16
	대리암	2.51 2.86	0.65 4.81
	규 암	2.61 2.67	0.40 0.65
	편 암	2.60 2.85	10.0 30.0
	점판암	2.71 2.78	1.84 3.61

그림 1. 실험에 사용되는 비중담과 저울 및 버어니어캘리퍼스.

(5) 참고 사항

① 연직응력 계산

지하공동을 굴착할 때 굴착전 암반에 작용하고 있는 응력을 초기응력이라 한다. 굴착전 암반에 작용하고 있는 초기응력은 지하공동 굴착 설계시 공동의 형상이나 보강법 등을 예측할 수 있는 중요한 요소가 된다. 지중에 작용하고 있는 초기 연직응력은 일반적으로 피복암의 두께로부터 구할 수 있다. 즉 초기 연직응력은 다음의 식과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma = \gamma \times H$$

여기서 γ는 피복암의 단위중량이고 H는 심도이다.
따라서 우리가 지하 심부에 작용하고 있는 초기응력을 예측하기 위해서는 피복암의 단위중량을 아는 것이 중요하다.

② 암석의 구성

암석은 고체입자를 중심으로 하여 그 사이에 물과 공기의 3상으로 구성되어 있다고 말할 수 있으며 아래 그림 2와 같이 도식적으로 표현할 수 있다.

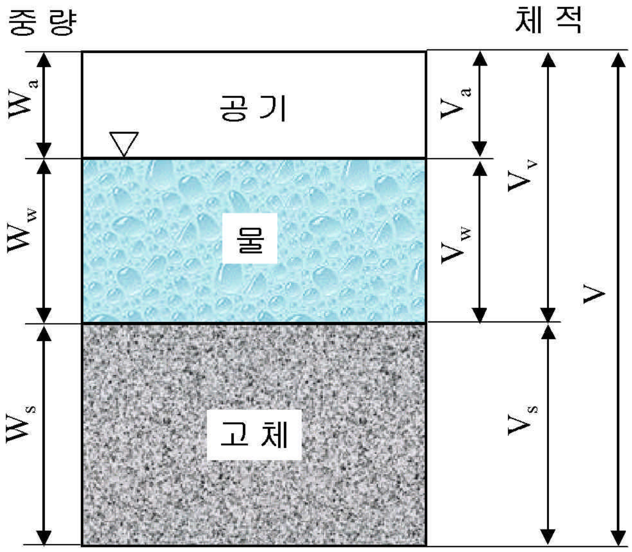

그림 2. 암석의 구성.

③ 우리는 구성요소의 체적과 중량을 가지고 그 암석의 여러 가지 물리적 특성을 파악할 수 있는데 이런 물리적 특성을 나타내기 위해 다음과 같은 상태 정수들이 사용된다.

- 공극비 (void ratio, e) : 고체의 체적에 대한 공극(공기+물)의 체적비

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

- 공극률 (porosity, n) : 암석의 체적에 대한 공극(공기+물)의 체적비의 백분율

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 \ (\%)$$

- 함수비 (water content, w) : 고체의 중량에 대한 물의 중량비의 백분율

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \ (\%)$$

- 습윤단위중량 (total unit weight, γ_t) : 암석의 전체 체적에 대한 중량비

$$\gamma_t = \frac{W}{V}$$

- 건조단위중량 (dry unit weight, γ_d) : 암석의 전체 체적에 대한 고체의 중량비

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

- **포화도** (degree of saturation, S_r) : **공극의 체적에 대한 함수부분 체적의 비로서, 공극에 물이 완전히 차있다면** 100 %, **완전 건조시는** 0 %**로 볼 수 있다.**

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \ (\%)$$

- **비중** (specific gravity) : **암석의 중량을 같은 체적의** $4\,^{\circ}C$ **증류수의 무게로 나눈 값**

㉠ **겉보기 비중 : 암석의 습윤단위중량을 물의 단위중량으로 나눈 값**

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{\gamma_w}$$

㉡ **진비중 : 고체입자의 단위중량을 물의 단위중량으로 나눈 값**

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

④ **상태정수들은 상호 일정한 관계를 가지고 있으며 이런 관계로부터 우리는 한두가지의 실험을 통하여서도 그 시료의 모든 물리적 특성을 파악할 수 있다. 상태정수들의 상호관계는 아래와 같다.**

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\frac{V_v}{V}}{\frac{V_s}{V}} = \frac{\frac{V_v}{V}}{\frac{V - V_v}{V}} = \frac{\frac{V_v}{V}}{1 - \frac{V_v}{V}} = \frac{\frac{n}{100}}{1 - \frac{n}{100}} = \frac{n}{100 - 1}$$

$$n = \frac{e}{1 + e} \times 100 \ (\%)$$

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} = \frac{W_s}{V_s} \times \frac{V_w}{W_w} = \frac{W_s\, V_w}{W_w\, V_v} \times \frac{V_v}{V_s} = \frac{\frac{V_w}{V_v} \times 100}{\frac{W_w}{W_v} \times 100} \times \frac{V_v}{V_s} = \frac{S_r}{w} \times e$$

$$\gamma_t = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} = \frac{\left(1 + \frac{W_w}{W_s}\right) W_s}{\left(1 + \frac{V_v}{V_s}\right) V_s} = \frac{1 + 0.01\,w}{1 + e} \times \gamma_s$$

$$= \frac{1 + 0.01\,w}{1 + e} \times G_s\,\gamma_w = \frac{G_s + 0.01\,w}{1 + e} \times \gamma_w = \frac{G_s + 0.01\,S_r\,e}{1 + e} \times \gamma_w$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{W_s}{V_s + V_v} = \frac{\frac{W_s}{V_s}}{\frac{V_s + V_v}{V_s}} = \frac{\frac{W_s}{V_s}}{1 + \frac{V_v}{V_s}} = \frac{\gamma_s}{1 + e} = \frac{G_s}{1 + e}\gamma_w$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{W_s}{W}\gamma_t = \frac{W_s}{W_w + W_s}\gamma_t = \frac{1}{\frac{W_w + W_s}{W_s}}\gamma_t$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{W_s}{W_s}}\gamma_t = \frac{100}{100 + 100\frac{W_w}{W_s}}\gamma_t = \frac{100\gamma_t}{100 + w}$$

⑤ **단위환산**

우리가 지하암반에 작용하는 초기응력을 나타낼 때는 보통 SI **단위계로 나타낸다**. **따라서 실험에서 구한 단위중량의 단위를 환산하여 사용하는 것이 편리하며 단위중량의 단위는 다음과 같이 환산된다**.

$$1\,g/cm^3 = 1\,ton/m^3 = 9.81\,kN/m^3 = 0.0361\,lbf/in^3$$

또한 실험에서 구한 비중으로 단위중량을 계산하여 앞서 언급한 연직응력 계산식에 대입하여 지표면에서 심도 H(m)**의 암석에 작용하는 연직응력을 계산할 경우 다음과 같이 응력을** SI **단위로 나타내는 것이 편리하다**.

$$\gamma = (\text{specific gravity}) \times \gamma_w = 9.81 \times (\text{specific gravity}), \quad [kN/m^3]$$