

화강풍화토의 creep 변형특성

Creep Deformation Characteristics of Weathered Granite Soil

박 흥 규¹ Park, Heung-Gyu

김 용 하² Kim, Yong-Ha

팽 우 선³ Paeng, Woo-Seon

이 해 수⁴ Lee, Hae-Soo

Abstract

This study analyzes the characteristics of creep deformation behavior of weathered granite soils used in road embankments. The creep strain under the unconfined compressive state demonstrated an excellent agreement with the theoretical analysis of the burgers substance. The elastic deformation showed a termination in its characteristics after a long-term period owing to the increase in applied loads. The primary creep strain was 0.0028 and concluded that the deformation completed within 3~5 days after applying the loads. Also, the completing time of creep deformation in the embankment soils increased in proportion to the height of embankment soils. The secondary creep strain is about 50% of the primary creep strain.

요 지

본 연구는 도로 성토재인 화강 풍화토의 creep 변형 거동특성 분석을 하였다. 일축압축 상태에서의 creep 변형률은 버거스 물체의 이론적 해석치와 비교적 잘 일치하였다. 탄성변형은 작용하중이 클수록 오랜 시간 경과 후 종료되었다. 1차 creep 변형률은 0.0028이며 이는 하중 재하 후 3~5일 이내에 완료되는 것으로 분석되었으며 성토체의 1차 creep 변형 완료 시간은 성토고에 비례하여 증가 되는 것으로 판단되었다. 2차 creep 변형률은 1차 creep 변형률의 약 50%정도로 나타났다.

Keywords : Creep strin, Elastic deformation, Granite soils, Primary creep, Secondary creep

1. 서 론

도로 성토체는 성토재의 자중 및 차량 윤택중 등으로 인해 지중의 응력이 증가하고, 이로인해원지반 및 성토체의 변형이 수반된다. 이러한 지반의 변형 현상은 일반 재료와 같이 응력, 시간의 조건에 따라 크게 변화한다.

응력이 항복 응력에 비해 작은 응력 범위에서 작용되면 응력 변형률 관계가 거의 직선적으로 증가해 가는 탄성변형이 발생되고, 항복응력 이상의 응력을 받으면 응력의 증가없이 변형이 증가되는 항복현상이 발생된다.

도로 성토체와 같이 반영구적인 응력이 작용할 경우 변형률이 시간 경과에 따라 증가하는 creep 현상이 발생된다. Hardy 등(1970)의 연구에 의하면, creep가 발생하게 되는 응력 레벨은 공시체 내부에 미세한 Crack이 발달하게 되는 단계로 알려져 있다. 또 응력이 일정한 조건의 시험에서 얻어진 응력과 변형률의 관계를 시간의 영향도 포함해서 간단하고 기본적인 역학 요소를 조합시키는 것이 어느 정도 가능하다는 것이 Hardy(1970)에 의해 밝혀져 있다.

통상 사용되는 기본적인 역학적 요소로는 spring, dashpot,

1 정회원, 관동대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Kwan Dong Univ., parkhghan@hanmail.net, 교신저자)

2 정회원, (주)용마엔지니어링 부장 (Member, General Manager, Yongma Engrg. Co., Ltd)

3 한국도로공사 강원건설사업소 소장 (Chief of Construction Office, Korea Highway Corporation Kwang Won Construction Office)

4 한국도로공사 강원건설사업소 설계차장 (Construction Team Senior Manager, Korea Highway Corporation Kang Won Construction Office)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 6월 30일까지 그 내용을 확화로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

slider 등이 있으며, 지반의 creep 거동을 예측하기 위한 복합체의 모형은 Maxwell 모형과 Kelvin 모형을 직렬로 연결한 Burgers 모델이 적합하다는 Hardy(1959)와 Overt(1967)의 연구 결과가 있다.

국내 연구 사례로는, 의성 소분지의 백악기 사암에 대하여 creep 특성을 파악하고 이에 대한 모델로서 Maxwell, Kelvin, Bingham 모델의 조합을 제시한 정태중(1996) 등의 연구 결과가 있다. 또한, 포항분지 제3기 이암에 대하여 creep 특성을 파악하고 이로부터 1차 creep 변형률은 시간경과에 대하여 log 함수로 표현하기에 적절하다는 김광식 등(2001)의 연구와 고속도로 건설시의 절토부와 성토부 경계부의 포장슬래브 보강범위 산정을 위한 지반 거동특성에 대한 엄인섭(2001)의 연구가 있다.

본 연구에서는 도로 성토재인 풍화토를 대상으로 공학적 성질시험, 일축압축시험 및 일축 creep 시험을 시행하였고, 이 시험을 통하여 성토재의 creep 변형률의 거동 특성을 Burgers 모델과 비교하여 고찰하였다.

2. 지반의 creep 변형 특성

2.1 기본적인 역학적 요소의 모형

물체의 역학적 거동을 해석하기 위하여 고체 및 액체의 이상적 성질을 모형화하여 물체의 거동을 연구하는 분야인 rheology에서는 완전한 탄성체, 점성체, 소성체를 각각 Hooke의 고체, Newton의 액체, St. Venant의 소성체라 하며, 각 모형별 수직변형, 전단변형, 체적변형 특성은 표 1과 같다.

2.2 복합체의 역학적 모형

2.2.1 맥스웰 물체(Maxwell Substance)

Maxwell의 물체는 그림 1과 같이 Hooke 고체(H)인 spring과 Newton액체(N)인 dashpot가 직렬로 연결된 모형이고, 응력변형 거동은 식(1)~(4)와 같이 표시 된다.

$$\sigma = \sigma_H = \sigma_N \quad (1)$$

$$\epsilon = \epsilon_H + \epsilon_N \quad (2)$$

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{d\epsilon_H}{dt} + \frac{d\epsilon_N}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma_H}{dt} + \frac{\sigma_N}{\eta} \quad (3)$$

$$d\epsilon = \frac{1}{E} d\sigma_H + \frac{\sigma_N}{\eta} dt = \frac{1}{E} d\sigma + \frac{\sigma}{\eta} dt \quad (4)$$

그림 1의 응력-시간 관계도와 같이 일정시간($t_1 \sim t_2$) 동안 일정응력($\sigma = \sigma_0$)이 작용할 경우, 식(4)를 적분하여 그림 1의 변형률-시간 관계도 및 식(5)를 얻을 수 있다. 식(5)에서 1항은 탄성변형, 2항은 영구변형률(점성유동)을 나타내고, 이로부터 creep 현상을 해석할 수 있다.

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{E} + \frac{\sigma_0}{\eta} (t_2 - t_1) \quad (1\text{항} : \text{탄성변형}, 2\text{항} : \text{점성유동}) \quad (5)$$

그림 2의 변형률-시간관계도와 같이 일정 변형률($\epsilon = \epsilon_0$)이 유지될 경우 미분계수 ($\frac{d\epsilon}{dt} = 0$)는 0이므로, 이 조건을 식(3)에 대입하고 σ 에 대해 정리한 후 적분함으로써, 그림 2의 응력-시간 관계도 및 식(6)을 얻을 수 있다.

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{E}{\eta} t} = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{\eta} t\right) \quad (6)$$

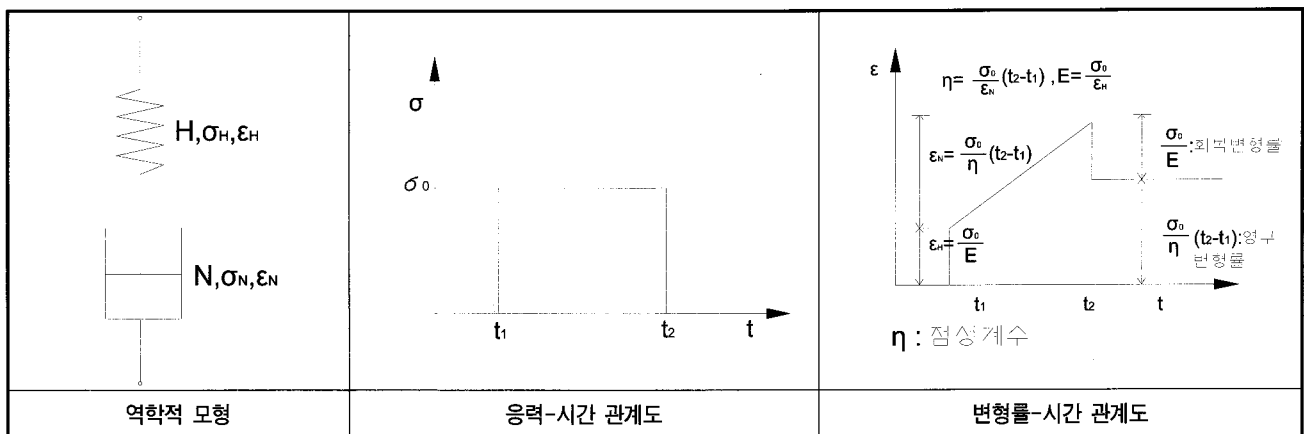

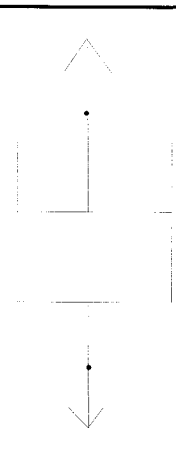
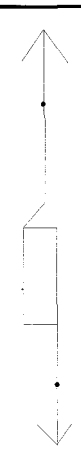


그림 1. Maxwell 물체의 역학적 모형 및 응력-변형률-시간 관계

표 1. 기본적인 역학적 요소의 변형 특성

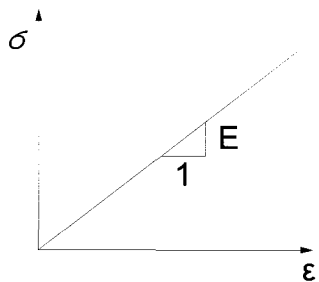
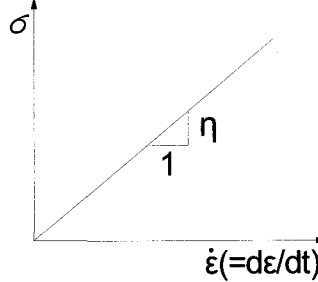
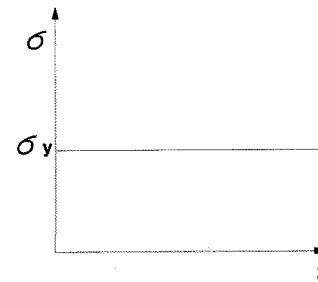
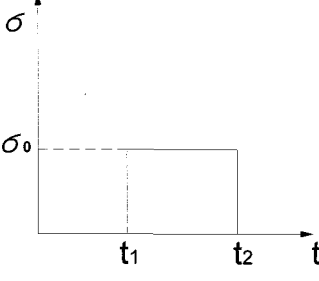
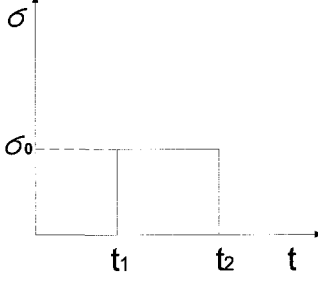
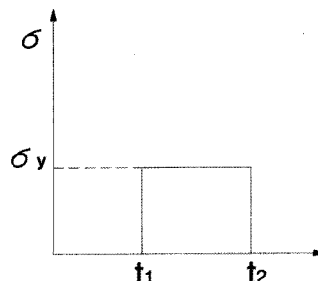
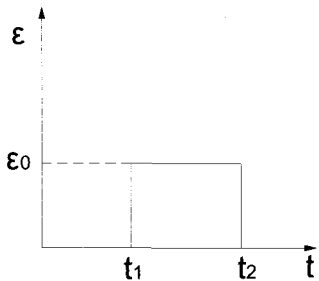
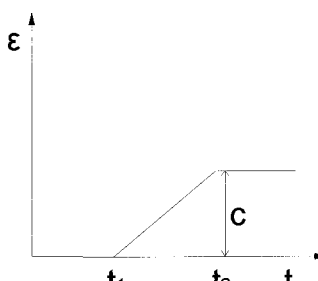
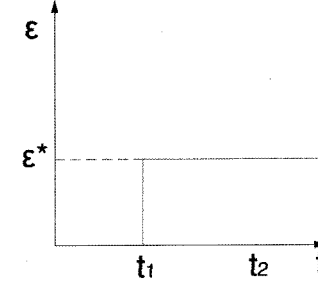
항목	Hooke의 고체	Newton의 액체	St. Venant 소성체
모델			
모델명	스프링(Spring)	대시포트(Dashpot)	마찰판(Slider) 또는 걸림고리(Ratchet)
수직변형	$\sigma = E\epsilon \text{ (양변미분)}$ $\frac{d\sigma}{dt} = E\frac{d\epsilon}{dt} = E\dot{\epsilon}$ <p>E : 탄성계수(N/m²) $\dot{\epsilon}$: 변형률 속도</p>	$\sigma = \eta \frac{d\epsilon}{dt} = \eta \dot{\epsilon}$ $d\epsilon = \frac{\sigma}{\eta} dt \text{ (양변적분)}$ $\epsilon = \frac{\sigma}{\eta} t + C$ <p>η : 점성성율(Ns/m²) $\dot{\epsilon}$: 변형률속도</p>	$\sigma < \sigma_y$ 일때 $\epsilon = 0$ $\sigma = \sigma_y$ 일때 $\epsilon = \epsilon^*$ ϵ^* : 소성변형률
전단변형	$\tau = G\gamma \text{ (양변미분)}$ $\frac{d\tau}{dt} = G\frac{d\gamma}{dt} = G\dot{\gamma}$ <p>G : 전단탄성계수(N/m²) $\dot{\gamma}$: 전단변형률속도</p>	$\tau = \mu \frac{d\gamma}{dt} = \mu \dot{\gamma} = \mu \frac{dv}{dL}$ $d\gamma = \frac{\tau}{\mu} dt \text{ (양변적분)}$ $\gamma = \frac{\tau}{\mu} t + C$ <p>μ : 전단점성율(NS/m²) $\dot{\gamma}$: 전단변형률속도</p>	$\tau < \tau_y$ 일때 $r = 0$ $\tau = \tau_y$ 일때 $r = r^*$ γ^* : 전단소성변형률
체적변형	$p = K\epsilon_v \text{ (양변미분)}$ $\frac{dp}{dt} = K\frac{d\epsilon_v}{dt} = K\dot{\epsilon}_v$ <p>K : 체적탄성계수(N/m²) $\dot{\epsilon}_v$: 체적변형률속도</p>	$p = \eta_v \frac{d\epsilon_v}{dt} = \eta_v \dot{\epsilon}_v$ $d\epsilon_v = \frac{p}{\eta_v} dt \text{ (양변적분)}$ $\epsilon_v = \frac{p}{\eta_v} t + C$ <p>η_v : 체적점성율 $\dot{\epsilon}_v$: 체적변형률속도</p>	$p < p_y$ 일때 $\epsilon_v = 0$ $p = p_y$ 일때 $\epsilon_v = \epsilon_v^*$ ϵ_v^* : 체적소성변형률

식(6)으로부터 응력이완(stress relaxation)을 해석할 수 있다. σ 가 σ_0 의 1/e로 될 때까지의 시간을 t_m 이라 하고 이 조건을 식(6)에 대입하면 식(7)의 t_m 을 얻을 수 있고, 이때의 시간 t_m 을 완화시간(relaxation time)이라 한다.

$$t = t_m = \frac{\eta}{E} \quad (7)$$

상기 내용을 분석하면, 고체일지라도 오랜 시간동안 일정한 응력을 주면 액체와 같은 점성 변형을 하며, 액체일지라도 급격히 가해진 응력에 대해서는 고체와 같은 탄성변형을 한다. 따라서 Maxwell 물체는 creep 현상에서 탄성 변형률 및 2차 creep 현상을 나타내는 것으로 분석된다(이부경, 1999).

표 1. 기본적인 역학적 요소의 변형 특성 계속

항목	Hooke의 고체	Newton의 액체	St. Venant 소성체
변형거동			
			
			
		C:적분상수(영구변형률)	σy:항복응력
변형 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 일정시간(t1~t2) 동안 σ=σ0일때 일정변형률 ε0 유지 · 응력을 제거함과 동시에 변형도 소거되어 원상 회복 	<ul style="list-style-type: none"> · Newton의 점성법칙에 완전히 일치되는 이상물체 · 응력과 변형속도는 직선적 비례관계 성립 	<ul style="list-style-type: none"> · 완전소성체로서 실제의 변형현상으로서 존재하지 않는 가상적 모형 · 항복응력 이하에서는 변형이 전혀 발생하지 않고 항복응력에 도달하면 무한변형이 발생 · 항복응력 이상의 응력에는 견딜 수 없으므로 응력은 그 이상으로 증대되지 않음.

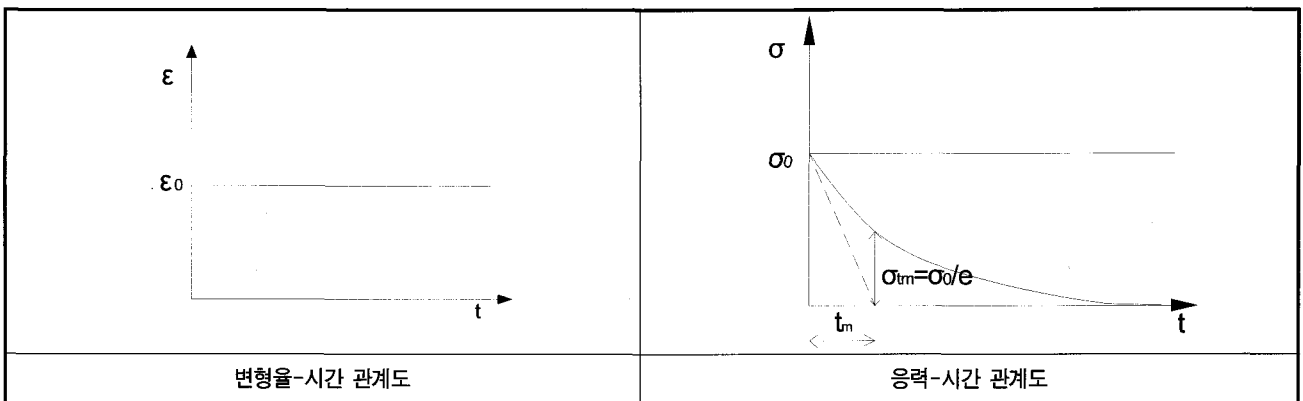


그림 2. 일정 변형률 상태의 응력-변형률-시간 관계(Maxwell 물체)

2.2.2 켈빈 물체(Kelvin Substance)

Kelvin의 물체는 그림 3과 같이 Hooke 고체(H)인 spring과 Newton 액체(N)인 dashpot가 병렬로 연결된 모형이고, 응력 변형 거동은 식(8)~(10)과 같이 표시된다.

$$\sigma = \sigma_H + \sigma_N \quad (8)$$

$$\epsilon = \epsilon_H = \epsilon_N \quad (9)$$

$$\sigma = \epsilon_H E + \eta \frac{d\epsilon_N}{dt} = \epsilon E + \eta \frac{d\epsilon}{dt} \quad (10)$$

그림 3의 응력-시간 관계도와 같이 일정기간($t_1 \sim t_2$) 동안 일정응력($\sigma = \sigma_0$)이 작용할 경우, 식(10)을 적분하여 식(11) 및 그림 3의 변형률-시간 관계도에서 t_2 이전의 곡선을 얻을 수 있다. 일정시간($t=t_2$)이 경과한 시점의 변형률은 식(11)을 이용하여 식(12)를 구할 수 있다. 그리고 응력을 제거한 후인 $t > t_2$ 의 경우에 식(10) 및 식(12)로부터 식(13) 및 변형률-시간 관계도에서 t_2 이후의 곡선을 얻을 수 있으며, 이로부터 creep 현상을 해석할 수 있다.

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{E} \left[1 - \exp\left\{-\frac{E}{\eta}(t-t_1)\right\}\right] \quad (11)$$

$$\epsilon_1 = \frac{\sigma_0}{E} \left[1 - \exp\left\{-\frac{E}{\eta}(t_2-t_1)\right\}\right] \quad (12)$$

$$\epsilon = \epsilon_1 \exp\left[-\frac{E}{\eta}(t-t_2)\right] = \frac{\sigma_0}{E} \left[1 - \exp\left\{-\frac{E}{\eta}(t_2-t_1)\right\}\right] \exp\left[-\frac{E}{\eta}(t-t_2)\right] \quad (13)$$

ϵ 이 ϵ_1 의 $\frac{1}{e}$ 로 될 때까지의 시간을 지연시간(t_k)라고 하고 이 조건을 식(13)에 대입하면 식(14)를 얻을 수 있다.

$$t_k = \frac{\eta}{E} + t_2 \quad (14)$$

2.2.3 버저스 물체 (Burgers Substance)

Burgers 물체는 Maxwell 물체와 Kelvin 물체를 직렬로 연결한 모형이고, 이들 모형의 응력-변형률 관계를 이용하여 Burgers 물체의 응력-변형률 관계인 식 (15) 및 그림 4를 얻을 수 있다(한국지반공학회, 2000). Burgers 물체는 순간 변형률, 1차 creep 및 2차 creep의 거동을 잘 설명해주는 것으로 분석된다.

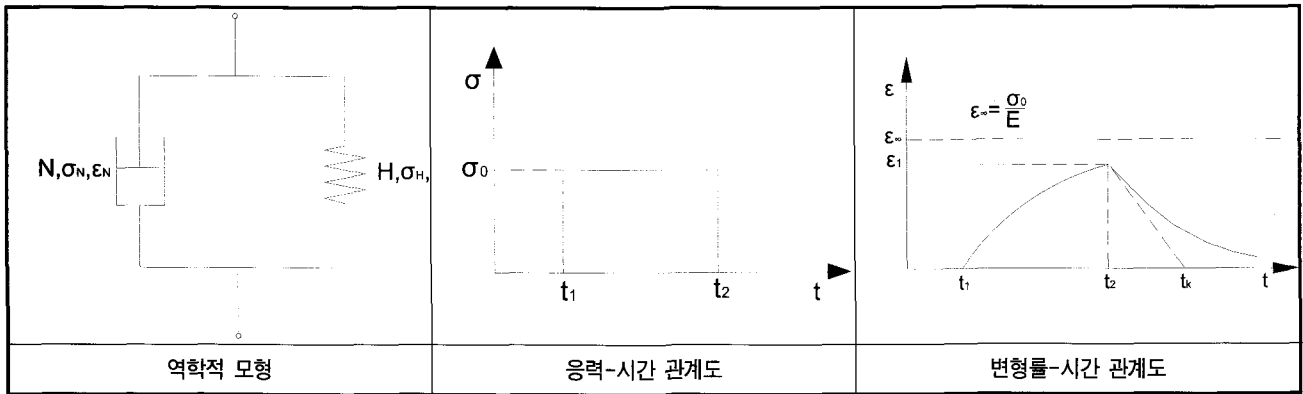


그림 3. Kelvin 물체의 역학적 모형 및 응력-변형률-시간 관계

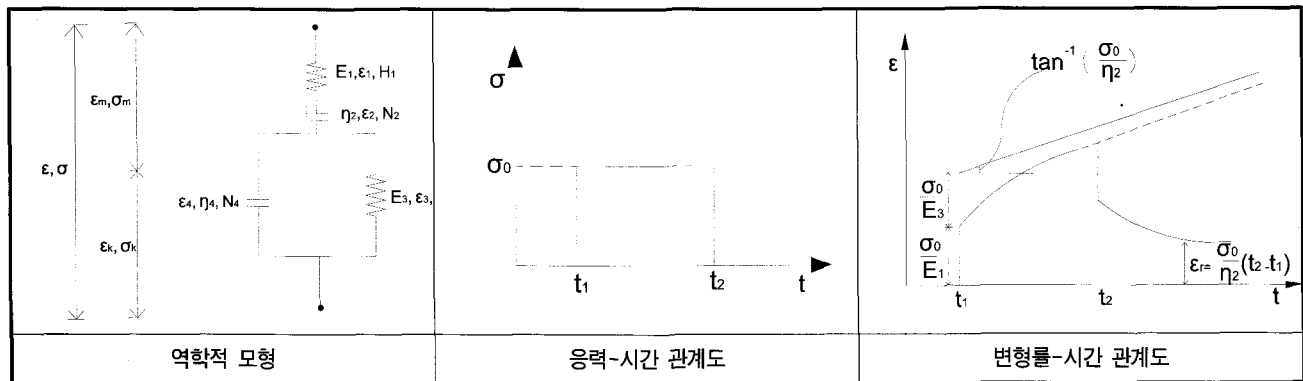


그림 4. Burgers 물체의 역학적 모형 및 응력- 변형률-시간 관계

$$\epsilon = \epsilon_m + \epsilon_k = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{\eta_2}(t-t_1) + \frac{\sigma_0}{E_3}(1 - e^{-\frac{E_3}{\eta_4}(t-t_1)}) \quad (15)$$

$$t = t_1, \epsilon = \frac{\sigma_0}{E_1} \quad (16)$$

$$t_1 < t < t_2, \epsilon = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{\eta_2}(t-t_1) + \frac{\sigma_0}{E_3}(1 - e^{-\frac{E_3}{\eta_4}(t-t_1)}) \quad (17)$$

$$\text{영구 잔류 변형 } \epsilon_r = \frac{\sigma_0}{\eta_2}(t_2 - t_1) \quad (18)$$

2.3 creep 변형 특성 분석

2.3.1 creep 곡선

하중을 작용시킬 때 순간적으로 발생하는 변형률은 탄성 변형률(ϵ_0)이고 응력을 일정하게 유지할 때 변형률이 시간 경과에 따라 증대되는 변형률은 creep 변형률이다. 이 creep 변형률은 시간 의존성 현상이다.

그림 5에 나타낸 바와 같이 creep는 1~3차 creep로 나뉘며, 1차 creep 구간은 변형률 속도가 시간에 따라 감소하는 구간(A~B)이고, 2차 creep 구간은 변형률 속도가 시간에 비례하는 구간(B~C)이며, 3차 creep 구간은 변형률 속도가 시간에 따라 급격히 증대되는 구간(C~D)이다. creep 한도는 creep 파괴가 일어나지 않은 최대강도로 압축강도의 70~80%정도이고 파괴점(failure)은 최종적으로 파괴가 일어나는 점(D)이며 creep 곡선의 방정식은 식 (19)이다.

$$\epsilon_t = \epsilon_0 + at + f(t) \quad (19)$$

여기서, ϵ_0 : 순간 변형률, at : 2차 creep, $f(t)$: 1차 creep (= $\beta \log(1+t)$)

2.3.2 Burgers 모형을 이용한 시험 결과 분석

Burgers 모형의 역학적 거동 특성 분석에 의하여 변형률을 산정하는 식은 식(20)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon = \sigma_0 \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{\eta_2}(t-t_1) + \frac{1}{E_3}(1 - e^{-\frac{E_3}{\eta_4}(t-t_1)}) \right] \quad (20)$$

여기서, $\frac{1}{\eta_2}(t-t_1)$: 영구 변형률,

$\frac{1}{E_3}(1 - e^{-\frac{E_3}{\eta_4}(t-t_1)})$: 회복 가능한 변형률

creep 곡선의 순간 변형률(ϵ_0)과 creep 응력(σ_0)을 이용하여 E_1 을 결정한다.

$$E_1 = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} \quad (21)$$

2차 creep 구간의 기울기인 변형률 속도($\dot{\epsilon}=\alpha$)로부터 η_2 를 결정한다.

$$\eta_2 = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} \quad (22)$$

2차 creep 구간의 직선을 연장하여 종축과의 절편으로부터 E_3 를 결정한다.

$$E_3 = \frac{\sigma_0}{\epsilon'_0 - \epsilon_0} \quad (23)$$

1차 creep 곡선의 중간 부근의 측정값 (ϵ_m, t_m)을 이용하여 η_4 를 결정한다.

$$\eta_4 = \frac{E_3 t_m}{\ln \left[1 - E_3 \left(\frac{\epsilon_m}{\sigma_0} - \frac{1}{E_1} - \frac{t_m}{\eta_2} \right) \right]} \quad (24)$$

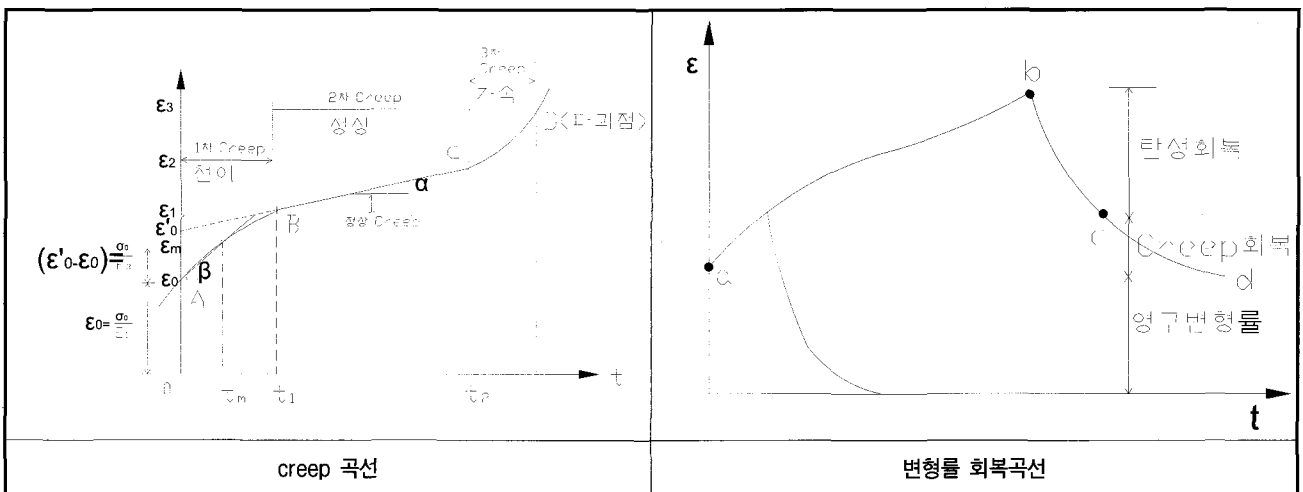


그림 5. creep 변형 특성 곡선

3. 일축압축 상태의 creep시험

3.1 시료토 및 공시체 제작

Creep 시험용 재료인 화강 풍화토를 채취하여 일반적인 물성시험 및 역학적 특성시험을 시행하였고 그 결과는 표 2과 같다.

표 2의 공학적 특성을 갖는 시료토로 일축압축용 공시체를 제작하기 위해 제작용 mold 6조와 유압으로 압력 에너지를 mold에 작용시킬 수 있는 공시체 제조기를 사용하였다. 현장 성토체의 다짐밀도(17.94KN/m³)와 동일한 밀도(r_{dmax}의 95%)에 해당하는 성토체의 시료토

를 직경 5cm, 높이 10cm의 mold에 넣고 상·하 프라그를 유압 재키로 압축하여 밀도가 균일하게 되도록 공시체를 그림 6과 같이 제작하였다.

3.2 일축압축강도시험

3.2.1 시험방법

일축압축강도시험 과정에서 포아슨비 산출을 위해 필요한 가로변형을 그림 7과 같은 방법으로 측정하였다. 설정된 연직방향 변형 속도로 피스톤이 올라오며 작용하중은 일정한 시간 간격으로 load cell을 이용하여 자동 측정하였고 연직방향 및 횡방향 변위를 일정한 시간

표 2. 시료토의 공학적 특성

시험항목	G _s	LL (%)	r _{dmax} (KN/m ³)	현장 r _d (KN/m ³)	q _u (KN/m ²)	Φ (°)	c (KN/m ²)	k (m/sec)	USCS
물성값	2.63	NP	18.80	17.94	80	34	21	1.64x10 ⁻⁵	SM

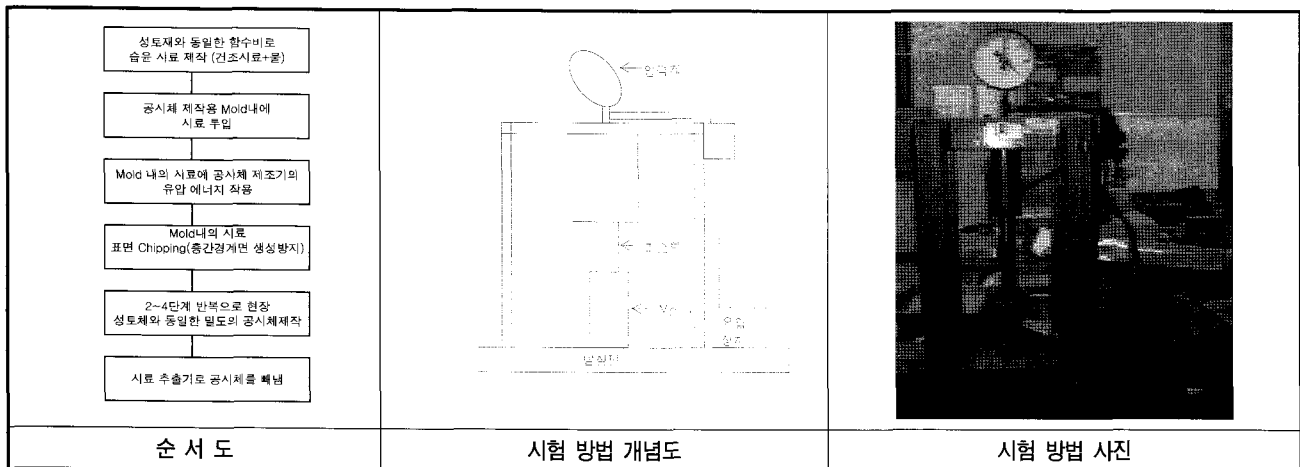


그림 6. 일축압축 시험용 공시체 제작 순서도 및 제작방법

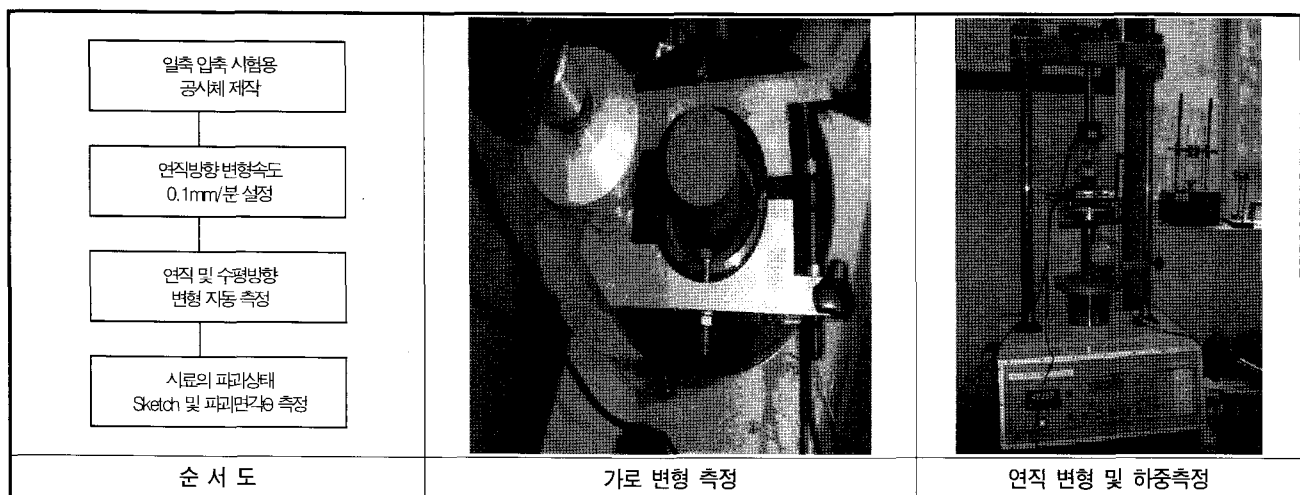


그림 7. 일축압축강도시험 순서도 및 시험방법

간격으로 자동 측정하였다. 응력-변형 관계도에서 일축 압축강도(q_u), 탄성계수(E_{50}), 포아슨비(μ)를 산정하고 파괴상태 분석에 의해 점착력(c), 내부마찰각(ϕ)을 구하였다.

3.2.2 시험결과

현장 성토체 다짐 밀도와 동일한 밀도(r_{dmax} 의 95%)로 제작된 공시체의 일축압축강도를 측정하였고 그 내용은 그림 8과 같다. 시험결과 일축압축강도는 80 kN/m^2 , 탄성계수는 $3,300 \text{ kN/m}^2$, 포아슨비는 0.31로 측정되었고, 파괴각 60° 를 고려하여 내부 마찰각은 34° , 점착력은 21 kN/m^2 으로 산정되었다.

3.3 일축압축 상태의 creep 시험

3.3.1 시험방법

정하중 재하 전후의 변형량 측정이 순조롭지 못하고 오차가 많아 dial gage를 초기에 설치하지 못하여, 목표

하중에 대한 탄성 변형량 및 초기 4분까지의 변형량은 load cell 및 LVDT 형식의 dial gage로 자동 측정하였다. 장기간 시험(16일)이 진행되므로 시료의 건조방지를 위해 투명한 재료로 밀폐용 덮개를 설치하여 그림 9와 같이 시험하였다.

3.3.2 시험결과

현장 성토체 다짐밀도와 동일한 밀도(r_{dmax} 의 95%)로 제작된 공시체에 일축압축강도의 31.9%인 하중 25.5 kN/m^2 (최소하중), 일축압축 강도의 44.6%인 하중 35.7 kN/m^2 (중간하중), 일축압축 강도의 57.3%인 하중 45.8 kN/m^2 (최대하중)을 작용시켜 16일 동안 측정하였다. 일축압축 상태의 creep 변형시험 결과는 그림 10과 같다. 1차 creep 변형률은 하중 재하후 3~5일 이내에 완료되는 것으로 분석되었고 성토체의 1차 creep 변형 완료시간은 성토고에 비례하여 증가 되는 것으로 판단되었다.

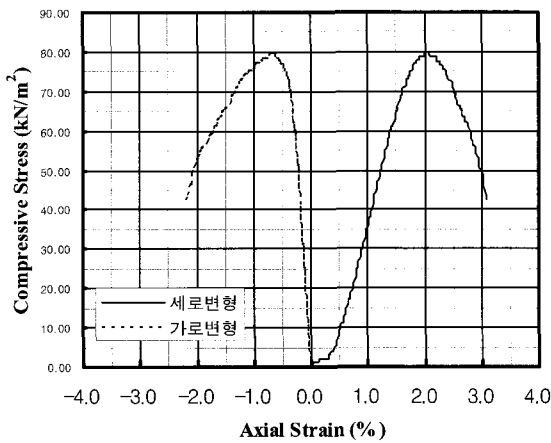


그림 8. 일축압축강도 시험 결과

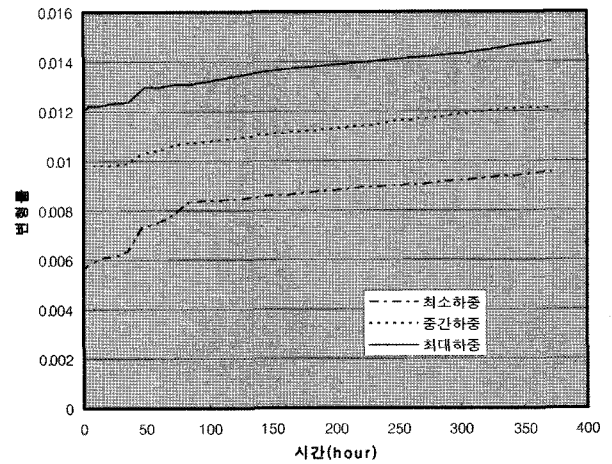


그림 10. 일축압축 상태의 creep 변형시험 결과

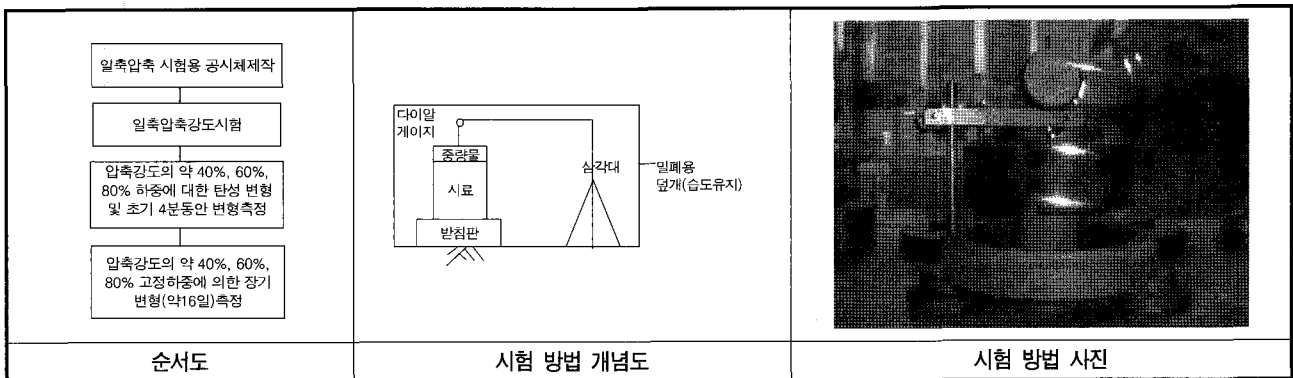


그림 9. 일축압축상태의 creep 변형시험 순서도 및 시험방법

4. creep 변형 거동 분석

4.1 역학적 모형의 creep계수

시험결과와 역학적 모형의 거동 관계를 분석하기 위해 각 하중별로 측정된 내용을 기초로 creep 계수를 산정하였고 그 내용은 표 3, 4와 같다.

4.2 일축 creep 변형시험 분석

일축압축상태에서 작용시킨 정하중에 의한 장기 변형률, 맥스웰 물체에 의한 이론적 변형률, 버저스 물체에 의한 이론적 변형률을 각 하중별로 그림 11에 도시하였다. 그 결과 실측 자료가 버저스 물체의 이론적 해석치와 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

4.3 지반거동 모델 선정 및 creep 변형률 산정

성토체의 장기적인 creep 변형률을 산정하기 위해 실측자료와 역학적 물체와 비교 분석하였고 그 결과 실측자료와 버저스 물체가 비교적 잘 일치하는 것으로 분석되었으며, 재하 후 약 3~5일 이내에 탄성변형 및 1차 creep 변형이 완료되는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 장기적인 creep 변형률을 산정하기 위해 실측자료를 이용하여 탄성 변형률, 1차 creep 변형률 및 2차 creep 변형률로 구분하였고, 1차 creep 변형률은 0.0028이고 2차 creep 변형률이 0.0015로 분석됨에 따라 총 creep 변형률은 0.0043으로 분석되었다. 일반적인 creep 변형특성에 의하면, 1차 creep 변형률이 크고 2차 creep 변형률은 1차 creep에 비해 작게 나타나는데, 본 연구 결과도 이와 동일한 결과를 얻었다. 그 내용을 정리하면 표 5와 같다.

표 3. 역학적 모형의 creep 계수 산정을 위한 구간별 자료(그림 10으로부터 읽음값)

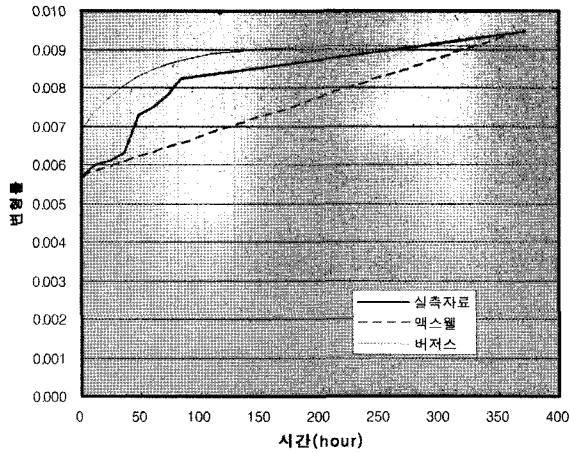
모델명	항목	최소하중		중간하중		최대하중		비고
		시간	변형률	시간	변형률	시간	변형률	
맥스웰	탄성(t_1, e_1)	0.02	0.0057	0.03	0.0087	0.03	0.0090	
	최종변형(t_2, e_2)	372.02	0.0095	372.03	0.0121	372.03	0.0148	
버저스	탄성(t_0, e_0)	0.02	0.0057	0.03	0.0087	0.03	0.090	
	1차 creep(t_1, e_1)	84.02	0.0083	72.03	0.0106	48.03	0.0130	
	2차 creep(t_2, e_2)	372.02	0.0095	372.03	0.0121	372.03	0.0148	
	2차 creep 직선(t_4, e_4)	0	0.0079	0	0.0105	0	0.0147	
	중간변형(t_m, e_m)	48.02	0.0073	48.03	0.0098	36.03	0.0124	

표 4. 역학적 모형의 creep 계수

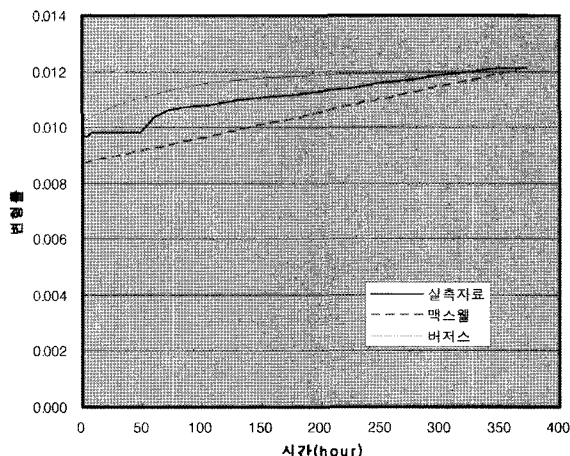
모델명	작용하중 (kN/m^2)	E_1 (kN/m^2)	n_2 ($kN\ hour/m^2$)	E_3 (kN/m^2)	n_3 ($kN\ hour/m^2$)
맥스웰	25.5	4473.684	2496314.789	-	-
	35.7	4103.448	3906000.000	-	-
	45.8	3785.124	6305981.481	-	-
버저스	25.5	4473.684	6120000.000	11590.909	550269.147
	35.7	4103.448	7140000.000	19833.333	1466653.308
	45.8	3785.124	8244000.000	76333.333	15112456.775

표 5. creep 변형률

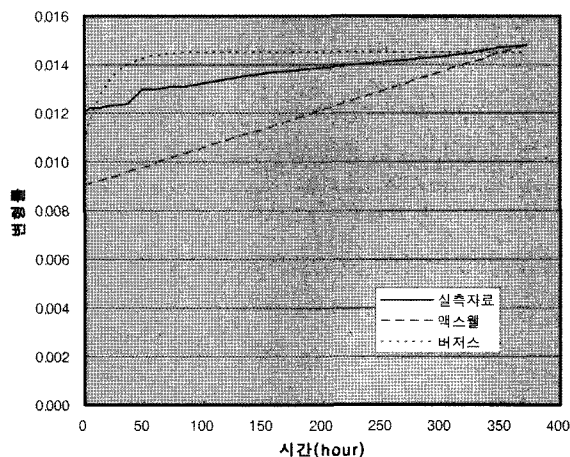
하중(KN/m^3)	탄성변형률	1차 creep변형률	2차 creep변형률	총 creep변형률
25.5(최소)	0.0057	0.0026	0.0012	0.0038
35.7(중간)	0.0087	0.0019	0.0015	0.0034
45.8(최대)	0.0090	0.0040	0.0018	0.0058
평균	0.0078	0.0028	0.0015	0.0043



(a) 하중 25.5 kN/m²



(b) 하중 35.7 kN/m²



(c) 하중 45.8 kN/m²

그림 11. 일축 creep 변형시험 분석

5. 결론

본 연구에서는 성토재인 화강 풍화토의 Creep 특성을 규명하기 위해 공학적 성질시험, 일축압축시험 및 일축 creep 시험을 시행하였고, 이 시험을 통하여 성토재의 탄

성 변형률 및 creep 변형률의 거동 특성을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 일축압축상태에서 작용시킨 정하중에 의한 creep 변형률은 버저스 물체의 이론적 해석치와 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있었다.
- 2) 탄성변형은 작용하중이 클수록 오랜 시간 경과 후 종료되었다.
- 3) 1차 creep 변형률은 일반적으로 작용작용이 클수록 오랜 기간이 소요되므로, 이러한 경향이 나타날 것으로 예상되었으나 이러한 경향은 나타나지 않았다. 이는 시간 경과에 따른 공시체의 함수비 감소에 의한 경화 현상으로 추정된다. 1차 creep 변형률은 0.0028 인데 하중 재하 후 3~5일 이내에 완료되는 것으로 분석되었고, 성토체의 creep 변형 완료시간은 성토고에 비례하여 증가 될 것으로 판단되었다.
- 4) 1차 creep 변형률이 크고 2차 creep 변형률이 작은 일반적인 creep 변형 경향을 보였으며 2차 creep 변형률 (0.0015)은 1차 creep 변형률의 약 50% 정도로 나타났다.

참고 문헌

1. 한국도로공사 (2001), 절·성경계 보강 슬래브 설계기준 개선 검토(안), 한국도로공사 설계처 pp.577-589.
2. 한국도로공사 (2003), 동해고속도로 (주문진~속초간) 건설공사 실시설계 보고서, 한국도로공사 pp.238-241.
3. 엄인섭 (2001), 절·성경계부의 포장슬래브 보강범위 산정을 위한 지반거동 특성 연구, 고려대학교 석사논문.
4. 한국지반공학회 (2000), 토목기술자를 위한 암반공학, 구미서관, pp.125-134.
5. 황정규 (1993), 건설기술자를 위한 지반공학의 기초 이론, 구미서관, pp.293-305.
6. 이부경 (1999), 암석 역학의 원리, 대운, pp.89-100.
7. 정태종 (1996), 의성 소분지에 분포하는 백악기 사암의 크리프 시험, Jour. Korean Earth Science Society, Vol.17, No.2, pp.109-118.
8. 김광식, 김교원, 정자혜 (2001), 포항분지 제3기 이암의 크리프 특성, 대한지질공학회, 2001년 학술발표회논문집, pp.3-13.
9. Hardy, H. R., 1959, Time dependent deformation and failure of geological materials, Proc. 3rd Symp. Rock Mech., Golden, Colo., pp.135-175.
10. Hardy, H. R., Jr., Kim, R Y., Stefanko, R., and Wang, Y. J., 1970, creep and micro-seismic activity in geological materials, Proceedings, 11th Symposium on Rock Mechanics (AIME), pp.377-414.
11. Overt, L., 1967, Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock, John Wiley and Sons Inc., New York, pp.293-301.

(접수일자 2007. 6. 13, 심사완료일 2007. 12. 18)