

## 불포화토의 등방압축 삼축시험시 변형계수에 관한 연구

### Isotropic Compression Triaxial Test of Deformation Modulus of Unsaturated soils

이종필<sup>1)</sup>, Jong-Pil Lee, 오세봉<sup>2)</sup>, Seboong Oh, 김태경<sup>3)</sup>, Tae-Kyung Kim

<sup>1)</sup> 영남대학교 공과대학 건설환경공학부 석사, Research Assistant, Dept. of Civil Engineering, Yeungnam Univ.

<sup>2)</sup> 영남대학교 공과대학 건설환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Yeungnam Univ.

<sup>3)</sup> 영남대학교 공과대학 건설환경공학부 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Yeungnam Univ.

**SYNOPSIS :** In order study, experimental stress-strain relationships were achieved for various suctions by triaxial tests. A failure envelop was occurred on a plane in  $p-q-\psi$  space, since the level of matric suction is in the small range. It was found that the failure criteria could be defined uniquely by the Bishop stress and were also independent of matric suctions. At the level of small strain, deformation moduli were evaluated according to matric suctions by fitting to Ramberg-Osgood model. It was found that deformation moduli increase as matric suctions increase.

**Keywords :** Unsaturated soils, Deformation moduli, Matric suctions, Failure envelop

## 1. 서론

국외의 경우 일찍부터 불포화토에 관한 연구가 진행되었다. 이로 인해 불포화 지반정수를 얻기 위한 실험장치와 불포화토의 거동 특성을 나타내는 모관흡수력을 측정하기 위한 장치들이 개발되고 고안되었으며 수치해석을 통한 불포화 사면안정 해석도 활발하게 진행되고 있다(Fredlund and Rahardjo 1995, 문중호 2008). 하지만 국내뿐만 아니라 국제적으로도 불포화토의 구성관계나 변형계수에 대한 연구는 미흡하다. 이러한 거동은 실험적으로 획득하기도 어렵고 일관된 구성모델을 개발하기도 매우 까다롭다. 따라서 본 연구에서 불포화토의 거동에 대한 삼축시험을 수행하고 이를 분석하여 변형계수에 관한 모델을 개발하고 검증하여 불포화토의 거동을 이해하고 해석하는 토대를 구축하고자 한다.

## 2. 실험

본 연구에서는 모관흡수력에 변화에 따라 등방압축삼축시험 결과를 획득하여 포화토와 불포화토의 응력-변형률 관계, 강도정수, 미소변형률 구간에서의 변형계수에 거동에 관해서 연구하였다. 포화토와 불포화토에서 다양한 구속응력하에서 모관흡수력을 다르게 적용하여 삼축시험을 수행하였다(이종필 2009). 대상시료로 함수특성시험을 수행하였으며 (그림 1) 공기함입치가 20kpa 정도로 나타났다.

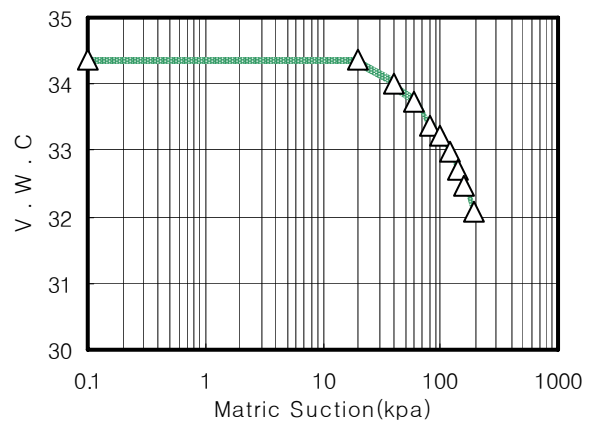


그림 1. 시료의 함수특성곡선

삼축시험시 초기 조건 및 파괴시 응력의 결과를 표 1에서 정리하였다.

표 1. 모관흡수력의 등방압축 삼축시험 초기 조건 및 결과

구분	범례	$\sigma_c$ (kpa)	$\psi$	$u_a$	$p_c$ (kpa)	$p_f$ (kpa)	$q_f$ (kpa)
포화토	I100/0	100	0	0	100	191	278
	I200/0	200	0	0	200	365	504
	I300/0	300	0	0	300	541	733
불포화토 ( $u_a - u_w$ ) 50kpa	I100/50	150	50	50	100	218	364
	I200/50	250	50	50	200	390	570
	I250/50	300	50	50	250	483	693
불포화토 ( $u_a - u_w$ ) 100kpa	I100/100	200	100	100	100	244	437
	I200/100	300	100	100	200	418	650
	I300/100	400	100	100	300	583	854

시험결과 파괴시 응력으로부터 파괴규준을 그림 2의 적절한 응력공간에서 구할 수 있다(김태경과 오세봉 2007). 불포화토의 강도정수를 구한 값들은 표 2에서 나타내었으며, 파괴규준은 응력공간에서 유일한 평면으로 규정되는 것을 알 수 있다.

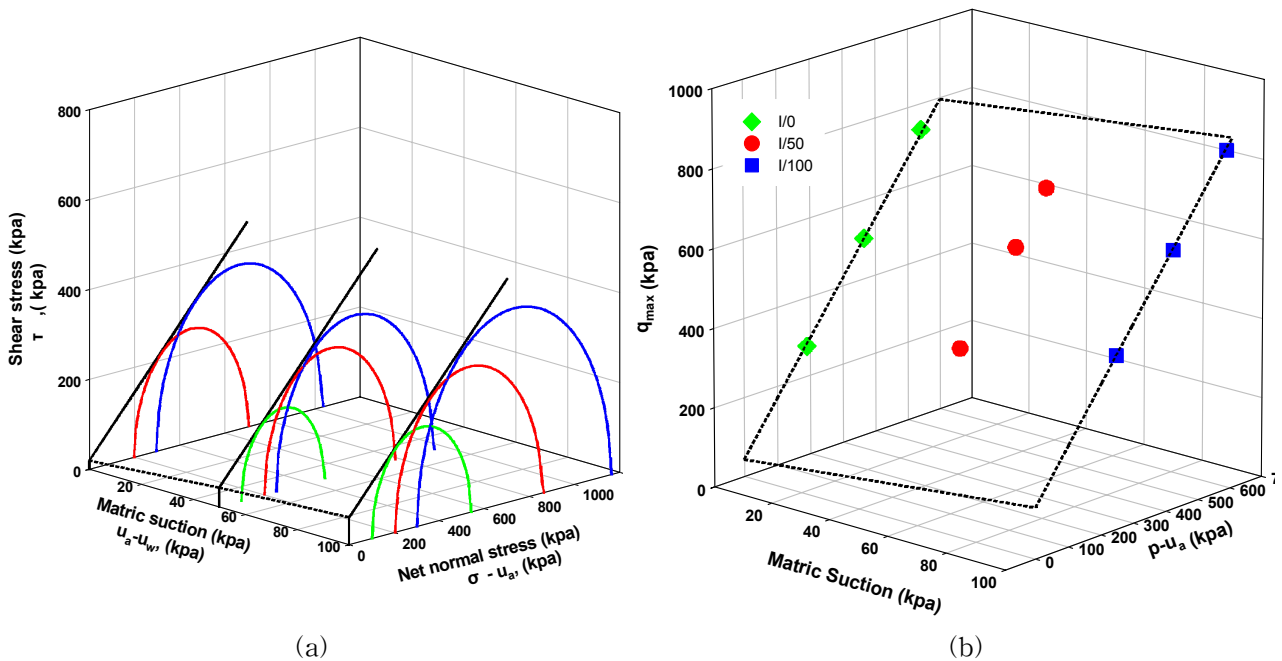


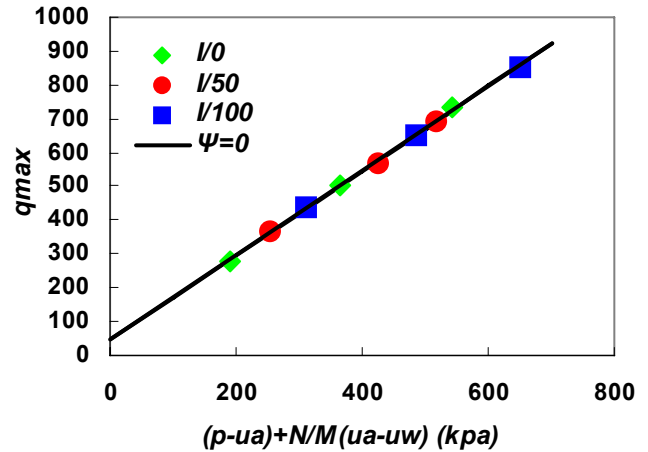
그림 2. 파괴규준

표 2. 불포화토의 강도정수

M	N	d	$c'$ (kpa)	$\phi$ (°)	$\phi^b$ (°)
1.25	0.85	46	20	32	23.3

그림 3에서는 낮은 모관흡수력에서 식 (1)과 같이 정의한 Bishop 응력에 따른 파괴규준을 나타내고 있으며, 시험치는 모관흡수력에 상관없이 전반적으로 유일한 직선상에 나타나며, 파괴포락선과 잘 일치하고 있다(오세봉과 김태경 2008).

$$p^* = (p - u_a) + (u_a - u_w)N/M \quad (1)$$



### 3. 불포화토의 변형계수

미소변형률영역에서 변형계수를 구하기 위해 삼 그림 3. Bishop 체적응력에 따른 파괴시 축차응력 축시험을 수행한 결과 미소변형률영역에서의 데이터를 획득할 수 없었다. 따라서 미소변형률영역에 변형계수를 알아보기 위해 널리 통용되고 있는 Ramberg-Osgood 모델(1943)을 이용하여 피팅을 하기위해 아래에 식(2)를 이용하였다. 이 때 최대변형계수가 실험적으로 명확하지 않아서 그림 4와 같이 가정하였으며 그 결과 나타난 대표적인 사례가 그림 5에 나타난다.

$$E = \frac{E_{\max}}{1 + m(q/E_{\max})^{n-1}} \quad (2)$$

$E_{\max}$ 로 가정한 값을 순체적응력과 변형계수에 관해 나타난 것은 그림 4와 같다.

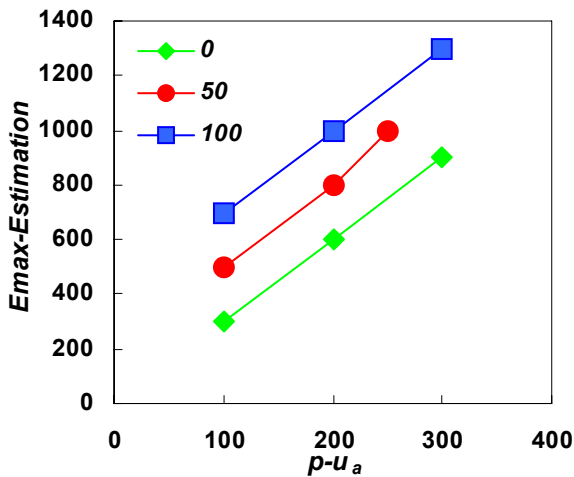


그림 4. 순체적응력- $E_{\max}$ 가정

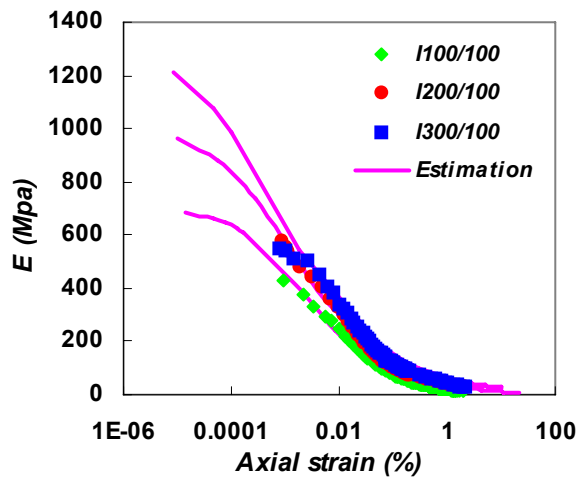


그림 5. 불포화토의 변형계수(모관흡수력 100kpa)

그림 6에서는 순체적응력  $p - u_a$  과 Bishop 체적응력  $p^*$  에 따른 0.001%에서의 변형계수를 보여주고 있다. 그림에서 보여지듯이 Bishop 응력으로 기술하는 경우, 변형계수가 유일한 관계를 나타내고 있음을 알 수 있다.

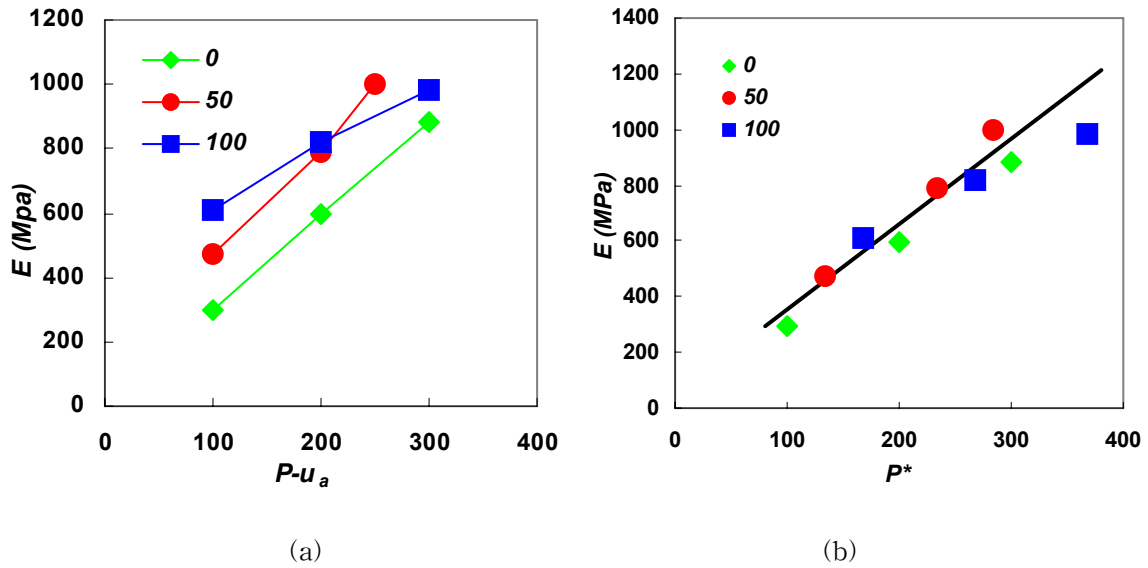


그림 6. 0.001% 변형률영역에 변형계수

#### 4. 결론

본 연구에서는 자동화 진동 삼축시험장비를 이용하여 포화토와 불포화토의 대하여 삼축압축시험을 수행하였다. 삼축압축시험결과를 바탕으로 모관흡수력에 변화에 따라 강도정수와 변형계수에 대하여 비교할 수 있었으며 아래와 같이 결과를 정리할 수 있다. 모관흡수력을 독립변수로 이용하지 않고 Bishop 응력으로 기술하는 경우에 강도 및 변형계수가 유일한 관계를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 김태경, 오세봉(2007), “불포화토의  $K_0$  압밀 삼축실험”, 한국지반공학회 봄 학술발표회, pp. 104-109
2. 문종호(2008), “불포화 사면의 함수특성에 따른 안정성에 관한 연구”, 석사학위논문, 영남대학교.
3. 이종필(2009), “불포화토의 등방압축 삼축시험시 변형계수에 관한 연구”, 석사학위논문, 영남대학교.
4. 오세봉, 김태경(2008), “낮은 모관흡수력 수준에서 불포화토의 Bishop 응력에 관한 연구”, 한국지반공학회논문집, 제 24권 제 7호, pp. 17-24.
5. Fredlund, D. G. and Rahardjo, H.(1995), Soil Mechanics for Unsaturated Soils, John Wiley & Sons Inc.
6. Ramberg, W. and Osgood, W.R.,(1943),“Description of Stress-Strain Curves by Three Parameters,” Technical Note 902, National Advisory Committee for Aeronautics, Washington, D.C.