

함수특성곡선 모델식 평가 및 D/B 구축

Evaluation of Soil Water Characteristic Curve and Establishment of Model in SWCC.

권기철* · 황택진** · 송민***

Kweon, Gi-Chul · Hwang, Tack-Jin · Song, Min

1. 서론

일반적으로 지반은 포화도의 개념과 불포화도의 개념으로 분류된다. 하지만 일반적으로 흙을 포화도의 개념에서 해석하고 있으며 많은 실험과 자료 모두 포화도의 이론으로 해석되고 있다. 포화도에 대한 연구는 고전 토질역학 이후의 시기부터 이론이 정립되어 왔기 때문에 포화도의 측면에서 구조물 설계를 실시하여왔다. 하지만 고전적인 포화도 이론을 이용한 설계는 지하수위나 기타 구조물 기초 흙의 특성을 정확하게 파악하지 못하는 단점이 있다. 또한 최근 들어 포화도의 개념으로 설명할 수 없는 공학적인 오류(사면안정등) 등이 발생하여 불포화도의 새로운 이론이 주목을 받고 있는 추세이다. 이와 같은 공학적인 오류에 대한 정확한 해석에 필요한 요소가 바로 함수특성곡선이다. 흙은 함수비가 저하되거나 지하수위의 저하로 인하여 흙의 표면에서부터 점점 불포화의 상태가 만들어 지는데 이때의 물에 대한 흡수력을 바로 모관흡수력이라 한다. 이 모관흡수력과 흡수의 함수비를 체적함수비로 변환하여 그래프에 나타낸 것이 바로 함수특성곡선이다. 함수특성곡선은 체적함수비 외에도 포화도로 변환이 가능하고 각각의 모델식 역시 포화도의 개념으로 모델링 되어 있어 체적함수비 보다 포화도의 개념으로 이해하는 것이 적당하다.

불포화도 내의 공기와 물의 변형특성을 신뢰성있게 해석하기 위해서는 함수특성곡선의 정확한 실험데이터가 필요하다. 하지만 함수특성곡선 측정실험은 많은 시간과 인적, 물적 자원을 요한다. 따라서 불포화도의 함수특성곡선을 정확하게 해석하고 신뢰성의 확보를 위하여 기존의 논문자료를 수집하고 그 자료를 바탕으로 함수특성곡선을 다시 모델링하여 정확한 데이터를 수집하여야 한다. 본 연구에서는 함수특성곡선의 시험과 국내의 불포화도 자료를 정리함으로써 다양한 국내외 토질에 부합하는 기초물성을 제시하기 위해 연구하였다. 또한 취합한 정보를 이용하여 다양한 모델식에 적용하고 실험 데이터와 구축된 자료와 비교함으로써 더욱 정확한 함수특성곡선 표현에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 함수특성곡선의 기본 이론

2.1 함수특성곡선의 개념

함수특성곡선은 불포화도의 변형특성을 나타내주는 가장 기본적인 요소이다. 지반은 보통 불포화 상태 즉, 체적함수비가 감소하면서 부의 간극수압이 흙 속의 공극으로부터 발생하게 된다. 이때의 간극수압이 겉보기 점착력을 높게 된다. 이 간극 수압을 모관흡수력이라 하고 모관 흡수력과 체적함수비와의 관계 또는 모관 흡수력과 포화도의 관계를 나타낸 그래프가 함수특성곡선이다. 예를 들어 바닷가의 모래성을 생각해보자. 어릴 때 모래성을 쌓기 위해 바닷물로 다짐하며 쌓은 기억이 있을 것이다. 우리가 모래를 가지고 모래성을 만들때 소량의 바닷물을 함유하여 표면을 다지며 쌓아 올린다. 이렇게 다지게 되면 바닷물이 빠지면서 모래사이의 수분에 부의 간극수압이 발생해 겉보기 점착력을 높게 되는 것이다.

* 동의대학교 토목공학과 교수(E-mail : gckweon@deu.ac.kr)

** 동의대학교 토목공학과 교수(E-mail : tajhwang@deu.ac.kr)

*** 동의대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : necrosong@nate.com)

모관 흡수력은 2가지의 작용에 의해 분류된다. 첫 번째 화학적 작용에 의해 보유되는 물의 힘을 삼투 흡수력이라 하고, 물리적 작용에 의해 보유되게 되는 물의 힘을 모관 흡수력이라 한다. 그림 1은 흡입자와 물 사이의 모관흡수력과 삼투흡수력을 나타낸다.

먼저 삼투 흡수력은 흙 입자 자체의 흡착력과 그 외의 화합물로 인한 농도의 차이로 삼투력이 발생하여 물을 끌어들이게 되는 현상이다. 물리적인 특성인 모관흡수력은 간극에 물이 있고 대기압이 0일 경우 간극수압이 공기가 있는 부분을 채우게 되는데 이때 물은 흙 입자 사이 사이로 빨리 들게 되는 현상이다. 하지만 모관흡수력은 외부 환경조건에 의해 변하고 삼투력 역시 영향을 받는다. 하지만 일반적인 공학적인 문제에 있어서는 흙의 전 흡수력은 모관흡수력과 동일하게 취급한다. 하지만 입자가 매우 작은 점토질에서는 삼투의 영향을 고려하여야 하고, 화학적 문제나 오염 등으로 인한 염분량의 변화시에도 역시 삼투흡수력을 고려해야만 한다. 모관 흡수력은 간극의 공기압과 간극수압의 차이 ($u_a - u_w$)로 나타낸다. ($u_a - u_w$)가 0인 경우 즉 물이 100% 차 있는 경우를 포화 상태라고 하며, 0이 아닌 100% 이하의 경우를 불포화 상태라고 한다.

함수특성곡선은 건조 상태의 그래프 특성과 습윤 상태의 그래프 특성이 있다. 그림 2는 전형적인 함수특성곡선을 나타내고 있다.

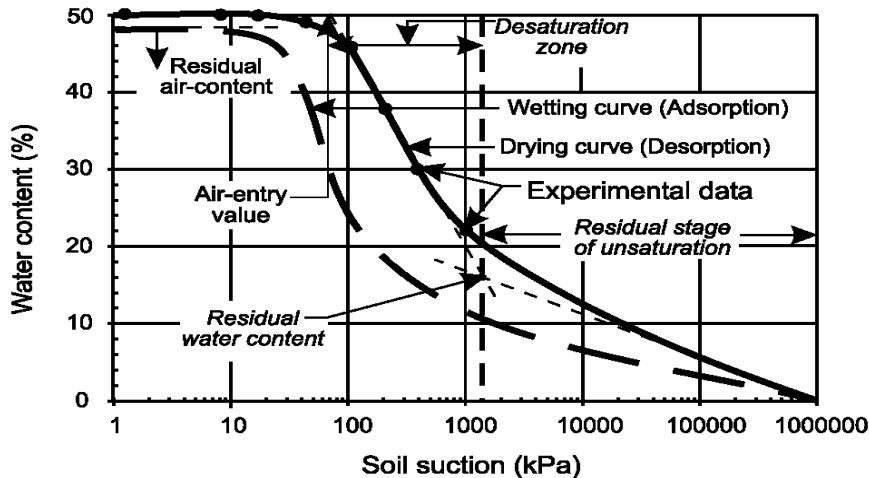


그림 2. 전형적인 함수특성곡선(김윤기, 2007)

3. 함수특성곡선 모델식 평가

최초 모델식 적용 결과, 결과가 실험 자료와 거의 일치하는 모델식을 선별하였다. 그 후 각 모델식과 기본 실험 자료의 일치성을 평가하였다. 평가 대상 시료는 구축자료 중 그래프의 형태가 가장 일반적인 함수특성곡선과 비슷한 흙으로써, 기초 물성치를 통일 분류법으로 분류 하였다. 자료는 총 2개의 데이터를 선택하였고, 모델식과 실험 자료와의 적절성을 평가하기 위하여 오차 수정법을 최소자승법으로 도입하여 평가하였다. 최소 자승법은 어떤 통계에서 오차의 제곱의 합이 최소가 되도록 적정 모델의 변수를 설정하는 방법이다.

실험 자료의 함수특성곡선은 처음부터 초기 공기 함입치 구간인 경계효과영역, 공기함입치 이후 모관흡수력의 증가에 따라 체적함수비가 감소되는 전이영역, 전이영역이후 모관흡수력의 증가에도 체적함수비가 감소되지 않는 잔류영역의 3개의 영역을 구분하여 비교하였다.

(1) NO. 1번 시료

1번 시료는 사질토이지만 점토성분이 포함된 SC계열의 흙이다. 노상토의 재료에 포함될 흙 분류중 SC 계열의 흙을 선택하여 해석을 실시하였다.

표 1. 최소자승법에 따른 오차(NO. 1).

	Gardner	van Genuchten	fredlund & xing
전체오차	0.027	0.007	0.004
경계효과 영역	0.001	0.001	0.001
전이영역	0.005	0.004	0.002
잔류영역	0.015	0.002	0.002

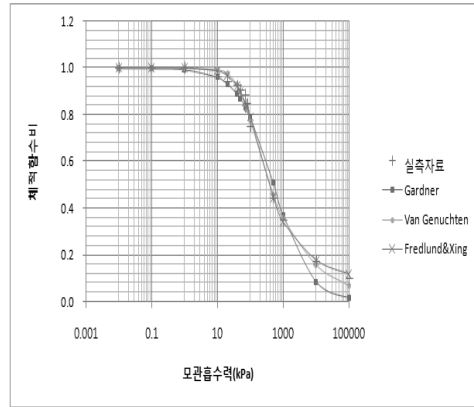


그림 3. NO. 1번 그래프

모관 흡수력 0.001~10까지의 경계효과 영역에서는 오차의 범위가 모두 소수점 4자리 이하였다. 모관 흡수력 10~1000까지의 전이영역에서는 Fredlund&Xing의 모델식이 오차가 가장 적었으며, 모관흡수력 1000~100000까지의 잔류영역에서는 역시 Fredlund&Xing 과 Van Genuchten 의 모델식이 오차가 가장 적었다.

(2) NO. 2번 시료

2번 자료도 SC계열의 자료이다.

표 2. 최소자승법에 따른 오차(NO. 2)

	Gardner	van Genuchten	fredlund & xing
전체오차	0.008	0.007	0.006
경계효과 영역	0.001	0.001	0.001
전이영역	0.004	0.003	0.003
잔류영역	0.003	0.003	0.002

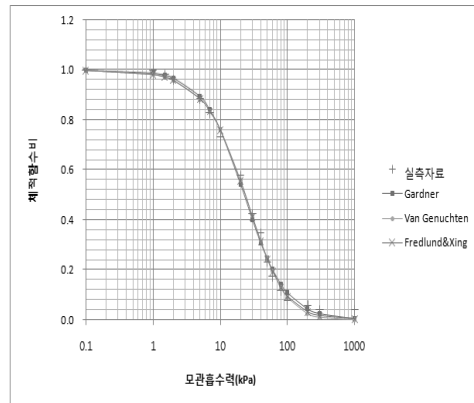


그림 4. NO. 2번 그래프

모관 흡수력 0.1~1까지의 경계효과 영역에서는 모두 소수점 셋째자리 이상이였다.

모관 흡수력 1~100까지의 전이영역에서는 van Genuchten의 모델식과 Fredlund&Xing의 모델식이 오차가 가장 적었으며, 모관흡수력 100~1000까지의 잔류영역에서는 Fredlund&Xing 의 모델식이 오차가 가장 적었다.

4. 함수특성곡선 D/B 구축

함수특성곡선 D/B 자료의 출처와 종류는 다음과 같다.

표 3. D/B 목록

논문명	출처	저자
불포화토의 투수계수 분석 및 투수계수 방정식의 적용성 평가(2008)	한국지반공학학회	임성운, 류태진
불포화토의 함수특성 측정(1996)	한국지반공학회지	김상규, 류지협, 송진규
불포화 풍화토의 투수특성 측정(2000)	한국수자원학술논문지	류지협
화강풍화토의 함수특성곡선 산정에 관한 연구(2005)	대한토목학술논문지	이혜지, 이성진, 이승래
다짐도에 따른 화강풍화토의 불포화 함수 특성(2010)	한국불포화지반연구회	김경석
자동 함수특성곡선 시험장치를 이용한 모래의 불포화특성 평가(2010)	한국불포화지반연구회	송영석, 이남우, 김태형, 황용기
세립분 함량에 따른 함수특성곡선 산정(2010)	한국지반공학회	정상삼, 김재영, 이재환
신설 포장 설계 시스템 개발(2010)	보고서	임유진

데이터 수집 후, 통일 분류법에 따라 분류하여 정리하면 다음과 같다.

표 4. 통일분류법에 의한 분류

분류(통일분류)	개수	비고
CL	1	점성토
GW	3	사질토
GW-GC	2	사질토
SW	5	사질토
SC	4	사질토
SP	6	사질토
SM	6	사질토
ML	1	점성토

이 중에서 사질토 총 60종, 점성토 총 2종이 있고 이중 노상토의 재료 8종, 보조기층 및 입상기층 재료 4종이 있다.



- [7] 류지협, “불포화 풍화토의 투수특성 측정” 한국수자원공학회지, 2000, pp.133-141
- [8] 송창섭, 김명환. “불포화토의 흠-수분 특성곡선에 관한 실험적 고찰” 한국농공학회지, 2003, 45(1). pp.153-151
- [9] 신은철, 이학주, 오명인. “불포화 준설매립 지반의 흠-수분 특성곡선 및 불포화 투수계수 예측”, 한국지반공학회논문집, 2004, 20(1), pp.109-120
- [10] 왕창수, 김태형. “불포화 투수계수함수에 대한 연구”, 한국지반공학회논문집, 2004, 20(3), pp.47-51
- [11] 문준배, “비포화흐름 해석을 위한 부간극수압 측적용 팁 개발과 활용방안에 관한연구”, 석사학위논문, 동국대학교, 1993, pp.10-22
- [12] 강우영, 박재현, 박창근, 선우중호. “다공질 매질에서 이력현상에 대한 실험적 연구”, 한국수자원학회지, 1995, 제28권, 제4호, pp.215-222
- [13] 이성진, “화강풍화토의 불포화 전단강도 및 함수특성곡선 산정에 관한 연구”, 공학박사학위논문, 한국과학기술원, 2004
- [14] 이혜지. “흠의 구조적 특성을 이용한 화강풍화토의 함수특성곡선 유추에 관한 연구”, 공학석사학위논문, 한국과학기술원, 2004
- [15] 한국도로공사, “도로설계실무편람”, 1996