

다짐된 모래-벤토나이트 혼합토의 인장강도와 산성도에 따른 혼합토의 균열패턴에 관한 연구

A Study of Tensile Strength on Compacted Sand-Bentonite Mixtures and Mixture's Crack Pattern with pH Levels

정수정¹⁾, Su-Jung Jung, 김찬기²⁾, Chan-Kee Kim, 김태형³⁾, Tae-Hyung Kim

¹⁾ 국립 한국해양대학교 대학원 토목환경공학과 학생, Graduate Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University (email : wjdtnwjd1981@nate.com)

²⁾ 대진대학교 건설시스템공학과 부교수, Associate Professor, Department of Civil System Engineering, Daejin University

³⁾ 국립 한국해양대학교 건설환경공학부 조교수, Assistant Professor, Division of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University (email : kth67399@hhu.ac.kr)

SYNOPSIS : Tensile strength of soil is one of the important strength parameters in geotechnical engineering. The importance of the tensile strength of soil has been pointed out and given considerable attention in many highway pavements and earthfill dams. Recently, one of tensile strength problems, cracking failure of clay liners which is related to leakage of polluted water has been reported. Thus, the tensile strength of compacted sand-bentonite mixtures, which are used widely in the landfill construction site as clay liners was measured by Improved Unconfined Penetration (IUP)) test. In addition, to find out the effects of contamination levels of water on the tensile strength and desiccation crack pattern, different pH levels of water were used for making specimens prepared with three different mixing contents of bentonite.

Key words : Tensile strength, Crack, Sand-bentonite mixture, pH levels

1. 서론

흙의 인장강도는 토질역학 분야에서 중요한 강도변수 중 하나이다. 그러나 많은 지반공학자는 인장강도가 압축강도와 비교하면 상대적으로 그 값이 작고, 적합한 인장력 측정법의 결여로 인한 신뢰할 수 있는 데이터의 부족으로 흙의 인장강도는 영에 가깝다고 생각하거나 무시하고 있다. 하지만 흙의 인장 특성에 관한 이전의 연구들을 살펴보면 인장강도의 중요성을 충분히 알 수 있다. 특히, 세립토가 포함된 자연 혹은 인공적인 지반구조물 경우 흙의 인장특성은 대단히 중요한 요인이 될 수 있다. 왜냐하면 내부의 습윤변화, 온도변화, 다짐시 에너지의 불균형 배분 등에 의해 지반구조물에는 쉽게 균열이 생성되는데 발생한 균열은 진행성파괴 및 초기파괴를 유발하여 궁극적으로 구조물 전체의 안정을 위협하기 때문이다.

도로포장 및 흙 댐의 경우 재료의 인장강도와 관련된 균열파괴의 중요성은 이미 많은 관심을 불러 일으켰는데, 1963년 Leonards and Narain은 흙 댐에서의 균열거동 문제를 언급하였으며 George(1970)는 안정화된 흙-시멘트 혼합체의 균열 확장 및 균열의 효과에 대해 언급을 하였다. Suklje(1969)은 피압수로 인한 굴착면 저면의 점성토층에서의 위험한 인장균열 가능성과, 점성토 저면의 한계동수경사가 전단강도 뿐만 아니라 인장강도에 영향을 받을 수 있다고 지적했다. Spencer(1968)와 Suklje(1969)은

사면상부에서 나타나는 인장주응력상태를 갖는 크리프나 한계상태의 점성토사면의 경우 인장강도가 사면안정해석과 깊은 관련 있음을 밝혔다. Fang and Fernandez(1981)도 도로, 사면, 흙 댐 및 제방에서의 인장균열 문제의 중요성을 언급하였다. Kim and Sture(2004)도 불포화 흙의 정확한 거동해석에 있어 인장강도의 중요성을 지적하였다. 특히, Allen(2001)은 지반환경구조물의 대표적인 사례인 매립지 차단시스템에서 균열이 발생 그 기능이 상실되어 오염원이 유출된다는 것을 지적하였다. 이와 같은 상황을 고려해 볼 때 재료의 인장강도를 정확히 평가하고 측정하는 연구의 필요성이 요구된다.

그래서 본 논문에서는 다짐된 혼합토의 인장강도 측정을 위하여 일축관입(UP)시험에 대한 이론적 실험적 측면에서의 연구를 실시하여 개량된 일축관입시험기(IUP)를 개발하고 IUP를 이용하여 폐기물매립지 차수재로 많이 사용되는 모래-벤토나이트 혼합토의 인장강도를 측정하였다. 뿐만 아니라, 오염원이 차수재에 미치는 영향에 대해 알아보기 위하여 시료의 벤토나이트비율을 다르게 혼합하여 각각에 대한 pH별 인장강도를 측정, 균열모양을 비교하여 인장특성을 규명하였다. 본 연구결과는 세립토가 포함되어 있는 지반의 균열을 이해하는 자료로서의 활용과 지반구조물의 설계 및 시공에도 이용이 될 수 있을 것이다.

2. 이론연구

2.1 기본이론

일축관입시험은 Chen(1970)의 양면편칭시험법을 개량하여 CBR(California Bearing Ratio)과 다짐시험을 활용하여 흙의 인장강도를 측정할 수 있도록 Fang and Fernandez(1981)에 의해 제시된 방법이다. 일축관입시험법에 사용된 이론은 Chen이 제안한 한계해석(limit analysis)에 근거를 두고 있으며, 이를 이용하여 콘크리트와 암에 대한 지지력을 예측하는 방법을 개발하였다(Chen and Drucker, 1969; Chen, 1970). 이와 같은 이론은 흙에도 적용이 가능한데 이는 콘크리트나 모르타르의 지지력 거동이 흙의 지지력거동과 매우 유사하기 때문이다(Fang & Chen, 1972). 다만 일반적인 한계이론을 흙에 적용하기 위해서는 두 가지 가정을 만족해야 하는데 첫 번째 가정은 흙은 완전소성체로 인장 및 압축 시 충분한 국부변형(local deformability)이 발생하여야 한다는 것이고 두 번째는 그림 1처럼, 압축측면에서는 수정된 Mohr-Coulomb 파괴면이 인장측면에서는 적지만 영이 아닌 인장범위를 갖는 파괴면이 가정되어야 한다는 것이다. 그림 1에서, q_u , σ_t , c 및 ϕ 는 흙의 일축압축강도, 인장강도, 점착력 및 내부마찰각을 각각 나타낸다.

$$\sigma_t = \frac{P}{\pi(KbH - a^2)} \quad (1)$$

여기서, σ_t = 인장강도, P = 작용하중, K = 계수 = $\tan(2\alpha + \phi)$, H = 공시체 높이, a = 원반 반경, b = 공시체 반경이다. Fang and Fernandez(1981)은 Proctor 몰드 공시체를 사용한 경우 $K = 1$ 을 제시하였다(표 1).

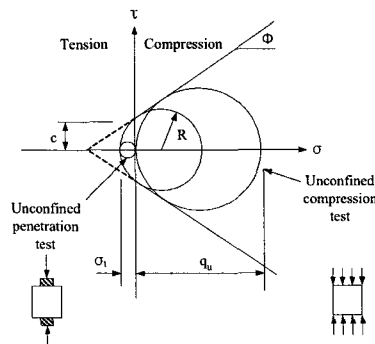


그림 1. 수정된 Mohr-Coulomb 파괴기준

표 1. 제안된 K 값(Fang and Fernandez, 1981)

Size of specimen	K value
Harvard miniature compaction mold(3.3×7.2cm)	1.05 ~ 1.10
Proctor mold (10.2×11.3cm)	1.0
CBR mold (15.2×17.8cm)	0.8
Conditions :	
<ul style="list-style-type: none"> • Specimen-disc ratio : 0.2 ~ 0.3 • Height to diameter of specimen ratio : 0.46 ~ 1.0 • Rate of loading : ASTM recommendation for axial strain at a ration of 0.5 ~ 2 percent of height per minute. 	

3. 인장시험

3.1 인장시험기법

본 연구에서 다짐된 세립토의 정도 높은 변형특성과 인장강도를 측정하기 위해 주 연구 대상인 일축 관입시험기를 개량한 사진 1과 같은 시험기를 사용하여 실험을 실시하였다. 개량된 일축관입시험기(IUP)의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

첫 번째는 일축인장시험장치에서 흔히 발견되는 문제인 편심을 줄인 것으로 새로 개발된 시험기에서는 공시체를 놓는 밀판을 만들고 밀판에는 0.5cm 간격의 눈금을 설치하였다. 하중 축은 하중 프레임(load frame)제작에서 일직선상에 놓여지게 설계 제작하였다. 두 번째는 마찰, 응력집중, 미끄럼 등의 제거로 직접인장시험기의 경우 인장을 시키기 위해 공시체의 일부분을 잡아 인장응력을 작용시킬 때 공시체와 기기의 접촉면에서 마찰과 응력 집중이 발생하게 되는데 개량된 일축관입시험기에서는 이들 접촉부분이 없도록 설계 제작하였다. 또한 밀판에 설치한 홈이 편심방지 역할과 함께 동시에 공시체 미끄럼 방지 역할을 하도록 고안하였다. 마지막으로 변형률, 응력 측정 오류에 대한 것으로 이것들은 대부분이 측정 기기의 정확도에 관련된 것으로 정확도 높은 strain gauge(TCL -10F)와 load cell(DA-172-100kg)을 선택하였다.

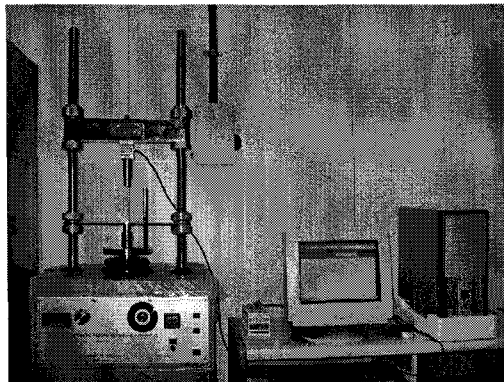


사진 1. 개량된 일축관입시험기 (Improved Unconfined Penetration test, IUP test)

3.2 시료준비

본 연구에 사용된 시료는 폐기물매립지 차수제로 많이 사용되는 모래-벤토나이트 혼합토를 이용하였다. 시료의 모래는 일반 토질시험에서 주로 사용되는 압축강도시험용 주문진표준사(KSL5100)를 이용하였고 벤토나이트는 국내 회사인 동양벤토나이트에서 제조한 벤토나이트로서 몬모릴로나이트(montmorillonite) 함유량이 40cc/500mg이다. 시료는 모래-벤토나이트 혼합토에서 벤토나이트의 중량혼합비율을 5%, 10%,

15%로 하여 균질한 상태로 섞어 준비하였으며, 시료의 특성은 표 2에서 보는 바와 같다. 차수재의 설계에 있어 가장 중요한 것은 침출수의 누출을 억제하기 위하여 투수계수 1×10^{-7} cm/sec를 확보할 수 있는 저투수성의 재료 선정인데 선택된 세 가지의 혼합토에서 10%, 15% 비율의 혼합토는 법에서 규정하고 있는 차수재의 조건을 만족하는 것으로 나타난다. 매립지 차단시스템에 균열이 발생하면 그 기능이 상실되어 오염원의 유출이 생기게 된다(Allen, 2001). 이에 본 연구에서는 오염원이 차수재에 미치는 영향을 알아보기 위하여 모래-벤토나이트 혼합토의 혼합비율을 달리하여 pH별 인장강도 및 균열모양을 측정하여 인장특성을 규명하고자 한다.

표. 2 모래-벤토나이트 혼합토의 특성

Mixing Rate	Compaction		Atterberg Limit		#200(%)	Gs	Coefficient of Permeability(cm/sec)	USCS
	γ_{dmax} (g/cm ³)	O.M.C (%)	Liquid Limit	Plastic Limit				
5%	1.59	17.1	N.P		3.55	2.61	9.78×10^{-7}	SM
10%	1.61	17.6	30.48	16.93	13.55	2.58	1.97×10^{-7}	SC
15%	1.62	18	47.31	22.88	12.01	2.57	2.91×10^{-9}	SC

3.3 공시체 제작

공시체는 표준 Proctor mold를 사용하여 최적함수비 조건에서 3층 25회 다짐으로 제작하였으며 최적함수비는 KS F 2312의 다짐시험방법 중 A 방법을 통해 구한 값을 사용하였다. 오염 정도에 따른 인장강도 특성을 알아보기 위해 서로 다른 pH농도를 가지는 물로 다짐을 실시하여 공시체를 제작하였다.

3.4 인장시험

먼저 시료를 최적함수비 조건에서 A다짐(KS F 2312)으로 공시체를 준비한다. 단위중량 계산을 위해 공시체 무게를 측정한다. 인장시험기에 같은 직경의 두 개의 원반을 아래와 윗부분에 설치한 후, 원반 중심과 공시체의 중심이 모두 일직선상에 정렬되도록 두 원반 사이에 공시체를 놓는다. 공시체가 올려진 밀판을 수평을 유지하며 위로 올려주어 공시체의 윗면과 윗부분의 원반면이 거의 맞닿도록 하며 공시체의 아랫면 역시 아랫부분의 원반면과 거의 맞닿도록 설치한다. 공시체 및 시험기기가 준비되면 분당 연직변형 재하속도로 0.1%/min, 0.5%/min, 1.0%/min를 선택하여 시험기기를 작동시킨다. Fang and Chen(1972)은 ASTM 규정에 따라 0.5 ~ 2%/min의 재하속도를 제시하였는데 본 연구에서는 0.5%/min의 작은 재하속도에서의 인장거동을 알아보기 위해 0.1%/min의 재하속도에 대해서도 실험을 실시하였다. 시험을 통하여 얻어지는 하중값과 변위는 데이터로거를 통해 컴퓨터에 기록된다. 시료 파괴 후 그 형태를 분석, 비교하기 위해 촬영을 하고 파괴된 시료를 노건조시켜 함수비를 측정한다. 각각의 공시체에 대한 인장강도는 식 (5)에 의해 계산된다.

4. 결과 및 고찰

4.1 인장응력-변형을 관계

그림 2는 중성(pH 6)의 물을 사용하여 모래-벤토나이트 혼합토를 다짐하여 만든 공시체에 대해서 재하속도 1.0%/min로 실험을 한 결과이다. 응력-변형을 관계를 살펴보면 원반 직경이 큰 경우는 상대밀도가 큰 모래의 거동과 같이 침투강도 값이 뚜렷히 나타나고, 원반 직경이 작은 경우는 상대밀도가 작은 모래의 거동과 같이 침투강도 값이 비교적 선명하게 나타나지 않는 경향을 보임을 알 수 있다. 또한, 시료의 벤토나이트 혼합비율이 증가할수록 인장강도가 크게 나타났으며 벤토나이트 혼합비율이 증가함에 따라 침투강도가 나타나는 변형률이 증가하나 직경이 작은 12.7mm인 경우는 명확한 침투강도가 나

타나지 않았다. 이러한 결과는 재하속도 0.5%/min와 0.1%/min에서의 실험에서도 확인할 수 있었다.

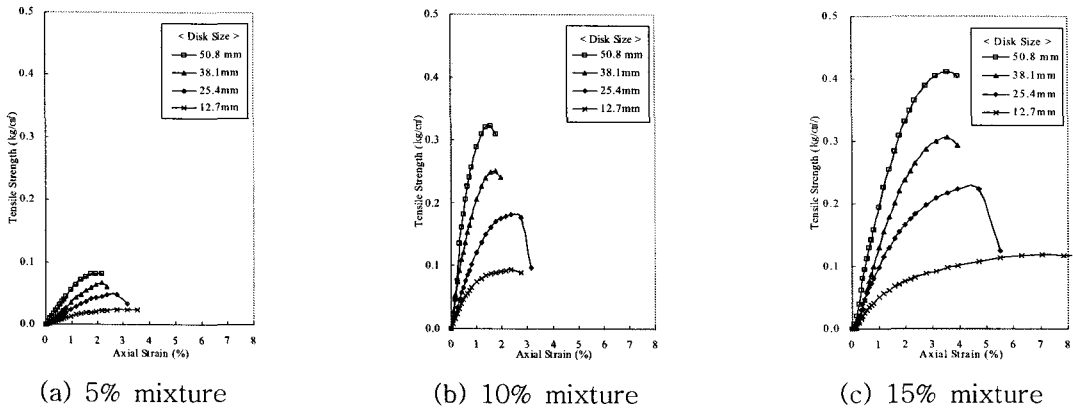


그림 2. 원반 크기에 따른 인장응력-변형을 관계 : 재하속도 1.0%/min.

4.2 원반의 영향

개량된 일축관입시험에서 원반의 크기에 의한 인장강도의 영향은 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 원반의 크기가 증가할수록 인장강도가 증가함을 알 수 있다. 원반 크기 별 인장강도의 변화를 더 자세히 알아보기 위해 0.1%/min, 0.5%/min와 1.0%/min의 재하속도에 대한 원반 크기별 인장강도의 변화를 정리하였다(그림 3). 그림 2에서와 같이 세 가지 혼합토 모두 인장강도가 증가하는 경향을 볼 수 있으며 하중재하속도가 큰 경우가 작은 경우보다 더 큰 인장강도 증가를 보이고 있다.

개량된 일축관입시험에서 정확한 인장강도 값을 측정하기 위해서는 실험에서 적절한 원반 크기를 선택하여야 한다. 인장강도 계산식(1)에 있어 $K = 1$ 을 적용하였는데 이것을 사용할 수 있는 조건은 공시체 대 원반의 직경비가 0.2 ~ 0.3이내이고 공시체 높이 대 직경비가 0.46 ~ 1.0이면 어떤 크기의 공시체나 원반을 사용할 수 있다고 하였다(Fang and Fernandez, 1981). 또한 공시체가 파괴시 2 ~ 3개 정도로 균열이 발생해야 $K = 1$ 를 적용할 수 있다고 하였다. 사진 2는 개량된 일축관입시험에 의한 공시체의 파괴형상으로 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 공시체 양단에 큰 모양의 형성과 함께 2 ~ 3개의 조각으로 균열이 발생함을 알 수 있다. 위의 결과를 정리하면 개량된 일축관입시험에서 표준 proctor 몰드를 사용하여 시료를 제작한 후 직경 25.4mm의 원반을 사용하여 인장강도를 측정 하는 것이 바람직하다고 판단되고 적용된 이론을 시킨다고 볼 수 있다.

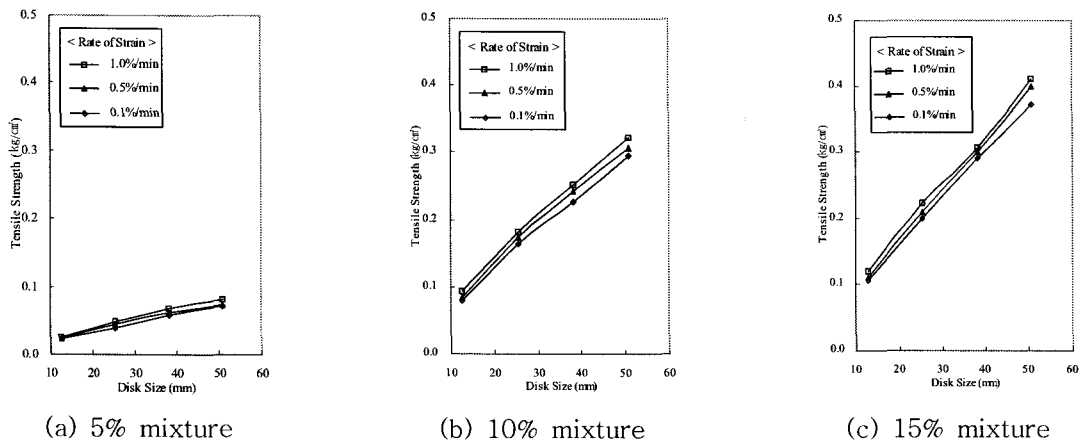


그림 3. 원반의 크기에 의한 인장강도의 영향

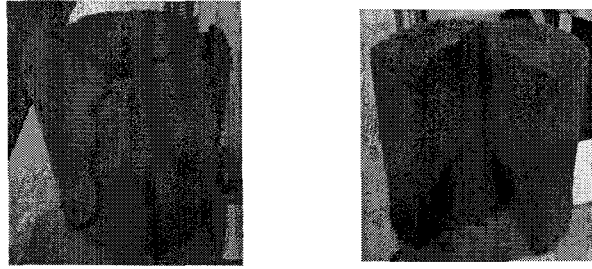


사진 2. 개량된 일축관입시험에 의한 공시체 파괴 형태

4.3 하중재하속도

일반적으로 다짐된 흙의 일축압축강도는 재하속도가 커질수록 증가하는 경향을 보인다. 그림 4는 하중재하속도가 인장강도에 미치는 영향을 검토하고자 0.1%/min, 0.5%/min, 1.0%/min의 하중재하속도에 따른 원반의 크기를 달리하여 인장강도시험을 실시한 결과이다. 원반의 직경이 다른 각각의 경우 모두 하중재하속도가 증가할수록 인장강도가 약간씩 증가하며 이는 원반의 크기가 작은 경우보다 큰 경우가 하중재하속도에 더 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 그러므로 개량된 일축관입시험은 ASTM의 일축압축강도시험에서 규정한 재하속도인 높이에 대한 축변형률이 0.5 ~ 2%를 사용해도 무방하다고 볼 수 있다.

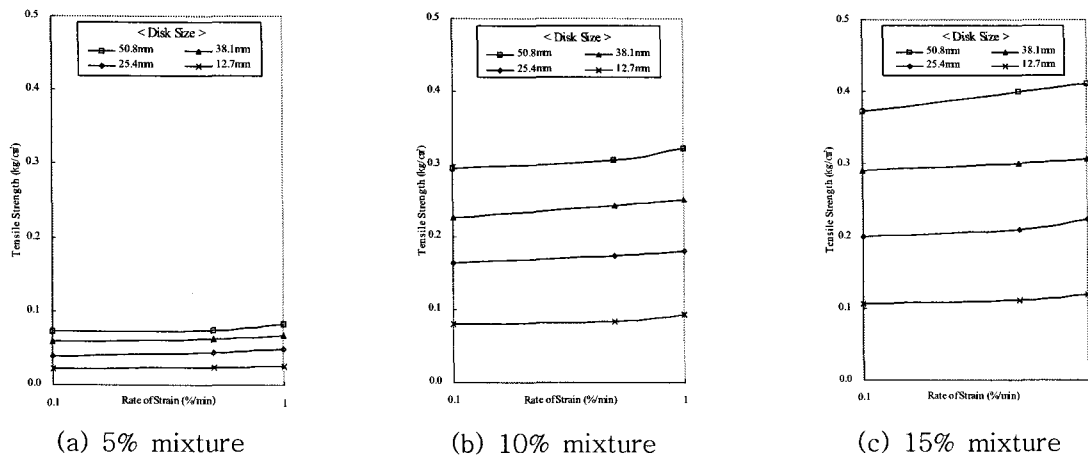


그림 4. 인장강도에 미치는 재하속도와 원반의 크기 영향

4.4 pH의 영향

각각의 시료들의 pH에 대한 영향을 정확히 알기 위하여 개량된 일축관입시험에서 인장강도 값을 측정하기에 가장 바람직한 25.4mm의 원반을 사용하여 1%/min의 하중재하속도로 측정하였다(그림 5). 그림 5에서와 같이 혼합수의 pH가 감소(염기성)함에 따라 인장강도가 약간씩 감소함을 알 수 있었다. 이는 흙의 pH가 감소할수록 전기적 화학적 작용력이 증가해 면포화 현상을 증가시켜 간극비가 커지는 것에 의해 인장강도가 감소되는 것으로 보인다. 이러한 pH에 따른 차이는 벤토나이트 혼합비율이 많아짐에 따라 크게 나타났으며 이를 확인하기 위하여 균열모양을 관찰해 보았다. 사진 3은 각각의 혼합토를 pH를 달리한 혼합수를 사용하여 액성한계의 함수비로 반죽하여 유리판에 일정한 두께로 얇게 발라 20°C이

상의 상온에서 48시간 건조시킨 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 혼합수의 pH가 감소(염기성)할수록 균열이 크게 나타남을 확인할 수 있었으며 이는 혼합토의 벤토나이트 함유량이 많아짐에 따라 더욱 확연히 관찰되었다.

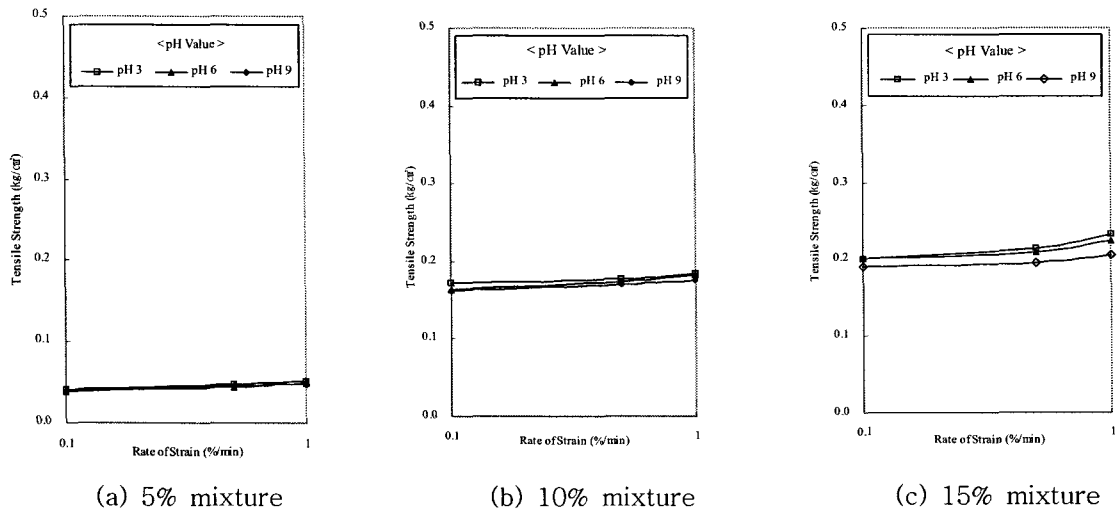


그림 5. 간극수의 pH 변화에 따른 인장강도의 변화

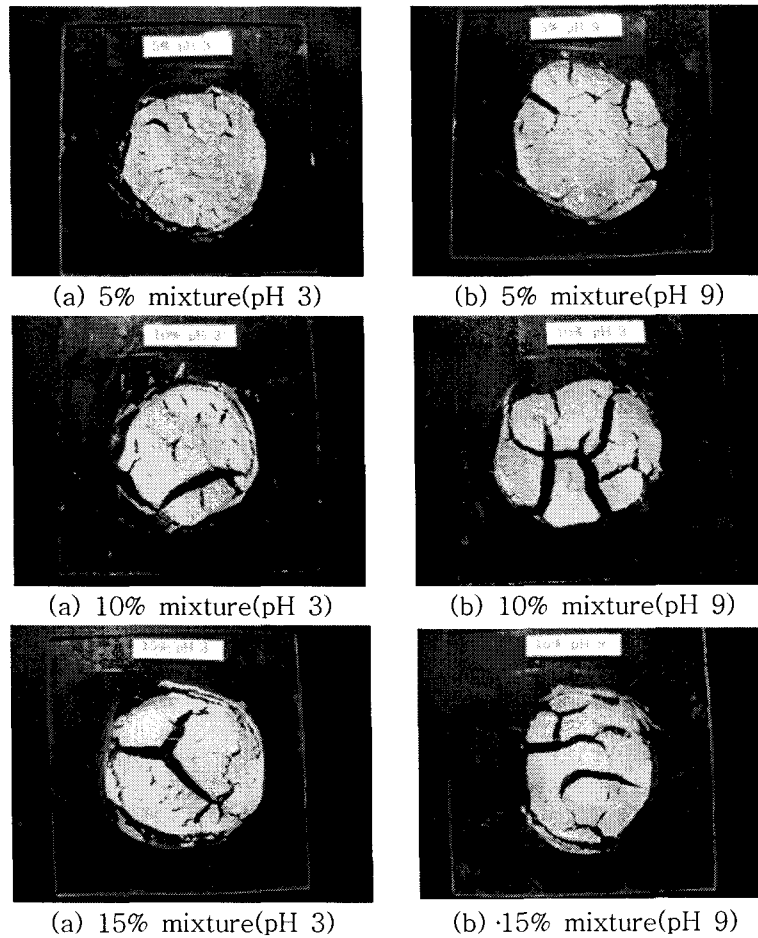


사진 3. 간극수의 pH 변화에 따른 균열모양의 비교

4.5 신뢰성 확인

개발된 일축관입시험(IUP)에 대한 신뢰성을 확인하기 위해 본 연구에서는 모래-벤토나이트 혼합토에 대해 할렬인장시험을 실시하여 Fang and Chen(1972)이 실시한 일축관입시험결과와 할렬인장시험결과와 함께 도시하였다(그림 6). 그림 6에서 결과값들이 대체로 일직선상에 잘 분포하고 있으며 이는 인장강도 측정에 있어 일축관입시험의 신뢰성을 확인하도록 하였다. 추후 본 시험법(IUP)의 유효성에 대한 부분을 뒷받침하기 위해 강도가 크게 예상되는 다른 재료에 대한 실험을 실시하고자 한다.

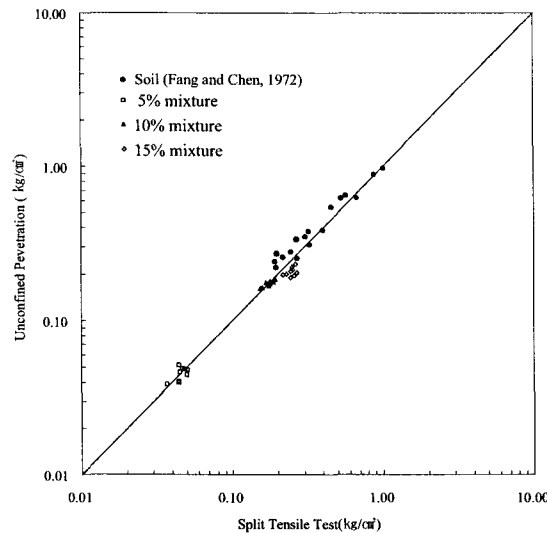


그림 6. 일축관입시험과 할렬인장시험 인장강도 값 비교

5. 결론

현재까지 압축강도에 비해 상대적으로 관심을 받지 못하고 있는 흙의 인장강도는 지반공학에서 중요한 요소로 이전의 연구를 살펴보면 중요성을 충분히 알 수 있다. 그래서 본 연구에서는 기존의 시험방법 중 하나인 일축관입시험(UP)을 고찰하여 흙의 인장강도를 측정하는 새로운 일축관입시험법(IUP)을 개발하여 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 기존의 인장시험과 비교하여 개발된 일축관입시험(IUP)에서는 시험기기 개선에 의한 편심, 마찰, 응력집중 및 미끄럼 제거와 계측기기 향상에 의한 변형률 및 응력 측정 오류 등을 감소시켰다.
- (2) pH 6의 물을 사용하여 다짐된 모래-벤토나이트 혼합토의 응력-변형률 관계를 보면 원반 직경이 큰 경우 상대밀도가 큰 모래의 거동과 같은 유사한 경향을 보이고, 반면 원반 직경이 작은 경우는 상대밀도가 낮은 모래의 거동과 유사한 경향을 보인다.
- (3) 개발된 일축관입시험에서 원반 크기가 증가할수록 인장강도가 증가하는 경향을 보이고 재하속도가 인장강도에 미치는 영향은 원반의 크기가 인장강도에 미치는 영향에 비해 적음을 알 수 있다.
- (4) 다짐에 사용된 물의 pH값이 감소(염기성)함에 따라 모래-벤토나이트 혼합토의 인장강도가 약간씩 감소하며 이는 혼합토의 벤토나이트 함유량이 많을수록 크게 나타난다.
- (5) 모래-벤토나이트 혼합토에 대해 할렬인장시험 결과와 개발된 일축관입시험 결과를 비교시 거의 일치함을 알 수 있었다. 이것은 개발된 일축관입시험에 의한 다짐된 흙의 인장강도방법이 신뢰할 수 있다는 것을 보여주는 것이다.

감사의 글

이 논문은 한국학술진흥재단의 젊은과학자연구활동지원사업(R08-2004-000-10089-0)에 의해 지원 받은 과제이며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Allen, A. (2001), "Contaminant landfills: the myth of sustainability", *Engineering Geology*, Vol. 60, pp.3-19.
2. Breen, J. J. and Stephens, J. E. (1966), "Split Cylinder Test Applied to Bituminous Mixtures at Low Temperatures". *ASTM, Jour. of Materials*, Vol. 1, No. 1, March.
3. Chen, W. F. and Drucker, D. C. (1969), "Bearing Capacity of Concrete Blocks or Rock", *Jour. of Eng. Mech. Div., Proc. ASCE*, Vol. 95, No. EM4, pp.955-978.
4. Chen, W. F. (1970), "Extensibility of Concrete and Theorems of Limit Analysis", *Jour. of Eng. Mech. Div., Proc. ASCE*, Vol. 96, No. EM3, pp.341-352.
5. Chen, W. F. (1970), "Double Punch Test for Tensile Strength of Concrete", *ACI*, Vol.67, pp.993-995.
6. Du, B. L., Mikroudis, G. K. and Fang, H. Y. (1986), "Effect of pore fluid pH on the dynamic shear modulus of clay", *ASTM STP*, 933, pp.226-239
7. Evans, J. C. and Fang, H. Y. (1986), "Triaxial equipment for permeability testing with hazardous and toxic permeates", *ASTM Geotechnical Testing Journal*, 9(3), pp.126-132
8. Fang, H. Y. and Chen, W. F. (1972), "New Method for Determination of Tensile Strength of Soils", *Highway Research Record* 354, pp.62-68.
9. Fang, H. Y. and Fernandez (1981), "Determination of Tensile Strength of Soils by Unconfined-Penetration Test", *ASTM STP 740*, pp.130-144.
10. Fernandez, F. and Quigley, R. M. (1988), "Viscosity and dielectric constant controls on the hydraulic conductivity of clayey soils permeated with water soluble organics", *Canadian Geotechnical Journal*, 25, pp.582-589
11. George, K. P. (1970), "Theory of Brittle Fracture Applied to Soil Cement", *Jour. of Soil Mech. and Found. Div., Proc. ASCE*, Vol. 96, No. SM3, pp.991-1010.
12. Kennedy, T. W. and Hudson, W. R. (1968), "Application of the Indirect Tensile Test to Stabilized Materials", *Highway Research Record* 235, pp.36-48.
13. Kim, T.-H. and Sture, S. (2004), "Effect of Moisture on Attraction Force in Beach Sand", *Marine Georesources and Geotechnology*, Vol. 22, No. 1-2, pp.33-47.
14. Leonards, G. A. and Narain, J. (1963), "Flexibility of Clay and Cracking of Earth Dams", *Jour. of Soil Mech. and Found. Div., Proc. ASCE*, Vol. 89, No. SM2, pp. 47-98.
15. Meegoda, J. N. and Rajapakse, R. A. (1993), "Long-term hydraulic conductivities of contaminated clays", *ASCE Env. Engineering Journal*, 119(4), pp.725-743
16. Meegoda, J. N. and Ratnaweera, P. (1994), "The Compressibility of contaminated clay soils", *ASTM Geotechnical Testing Journal*, 17(1), 101-112
17. Naik, D. (1986), "Effect of temperature and pore fluid on shear characteristics of clay", *Proc. 1st international Symposium Environmental Geotechnology*, 1, pp.382-390
18. Narain, J. and Rawat, P. C., "Tensile Strength of Compacted Soils", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 96. SM6, pp.2185-2190

19. Spencer, E. (1968), "Effect of tension of stability of embankment", *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 94, No. SM5*, pp.1159-1173
20. Suklje, L. (1969), "Rheological Aspects of Soil Mechanics", *Wiley-Interscience*, pp. 456-473
21. Thompson, M. R. (1965), "The Split-Tensile Strength of Lime-Stabilized Soils", *Highway Research Record 92*, pp.11-23.
22. Timoshonko, S. (1934), "Theory of Elasticity", *McGrw-Hill, New York*, pp. 104-108.
23. Tschebotarioff, G. P., Ward, E. and DePhilippe, A. A. (1953), "The Tensile Strength of Disturbed and Recompactd Soils", *Proc, Third Internat. Conf. on Soil Mech. And Found. Eng.*, Vol. 3, pp.207-210.
24. Winterkorn, Hans F. (1955), *The Science of Soil Stabilization, HRB Bull*, pp.1-24