

KGS Spring '95 National Conference
25, March, 1995/Seoul/Korea

원유로 오염된 사질토의 공학적 특성

GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF CRUDE OIL-CONTAMINATION COHESIONLESS SOIL

신은철, Eun Chul Shin

시립 인천대학교 공과대학 토목공학과 전임강사, Professor, Dept. of Civil Engineering University of Incheon.

이재범, Jae Beom Lee

시립 인천대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering University of Incheon.

개요(SYNOPSIS) : 본 연구에서는 원유로 오염된 사질토의 토성에 원유의 영향에 대한 연구 결과를 서술하였다. 사질토의 일축압축강도, 전단강도, 다짐의 특성에 실내시험을 통하여 원유의 포화도에 따라 미치는 영향을 연구하였다. 실험 결과에 의하면 다짐시험에서는 원유가 다짐에 다소 영향을 미쳤음을 알 수 있다. 사질토의 내부마찰각(전응력 기준)은 사질토의 간극사이에 원유가 들어가면서 감소하는 경향을 나타냈다. 압축성은 사질토가 원유에 오염되면서 상당한 영향을 받았다. 세부실험 진행 사항과 결과는 본문에 자세히 서술되어 있다.

The results of investigation conducted to study the effect of crude oil contamination on the geotechnical properties of sand is presented. The effect of the degree of oil contamination on compaction characteristics, shear strength, and one-dimensional compression characteristics has been investigated. The test results indicate that the compaction characteristics are somewhat influenced by oil contamination. The angle of internal friction of sand (based on total stress basis) decreases due to the presence of oil within the pore spaces in sand. The compression characteristics of sand are significantly influenced by oil contamination. The details of the tests conducted and the results are presented in the paper.

1. 서론

해양에 원유가 유출되면 환경 및 생태계에 영향을 줄뿐만 아니라 모래의 역학적 성질에 악영향을 미치며 주원인이 된다. 유출된 기름이 해안선에 도달하면 그것은 모래를 오염시켜 역학적 성질의 변화가 발생한다. 사면파괴외에도 또다른 재난을 유발시키는 결과를 초래한다.

일반적으로 혼화제를 사용하여 화학적으로 흙을 안정화시키는 것을 제외하고는 화학적 오염으로 인한 흙의 역학적 성질의 변화에 대해서는 크게 주목받을 것으로 보이지 않는다. 최근에 흙의 역학적 성질에 대해 몇몇 연구에서는 화학적 오염이 상당한 영향을 준다고 하였다. Sherard et al.(1972)는 침식이 쉬운 흙에서 간극수의 화학적 요소가 흙의 침식 정도에 큰 영향을 미친다고 결론을 내렸다. Anderson(1982)은 위생매립장에 점토층의 투수성은 유기물과 점토사이에 장기간의 상호작용 결과 투수성이 증대되었다고 결론지었다. 그러나 비교적 관심이 적은 것은 흙의 변형 성질과 강도에 화학적 오염의 영향에 있다는 것이다. Lukas et al.(1972)는 지표 밑의 흙과 우연한 화학물질의 유출 사고때문에 화학적 반응으로 공장기초가 파괴되었다고 결론을 내렸다. 그들은 화학적으로 오염되기 전과 오염 후에 보링하여 SPT-N를 측정한 결과 상당한 N치가 감소한 것으로 관찰되었다. Shrintharn et al.(1981)는 여러가지 화학비료를 생산하는 가벼운 건물의 균열이 폭넓게 발생한 것은 화학적으로 오염된 흙의 결과라고 주장하였다. Kumpaley와 Ishola(1985)는 공업용 쓰레기 때문에 화학적으로 오염된 결과로서 점토질 흙의 전단강도가 감소한 것을 관찰하였다.

현재 세계 여러 나라에서는 바다의 오일 유출사고가 큰문제로 대두되었고 인체에 위협한 폐기물 처리 문제가 심각한 사회 문제로 등장하여 이에 대한 자세한 연구와 대책이 요망되고 있는 실정이다.

이 논문에서는 원유에 오염된 모래의 일축압축강도의 특성과 전단강도, 다짐의 특성을 결정하기 위하여 진행중인 연구의 일부분으로서 수행한 여러 가지 실험으로부터 얻어진 결과에 대해 서술했다.

2. 실험

이번실험에서 사용된 모래는 미시시피강에서 채취한 모래를 시료로서 사용했으며 상대밀도(D_r)는 40%, 65%, 85%로 하였다. 이 모래의

체분석 결과는 그림 1에서 보는 바와 같다. 실험에 사용된 모래의 특성은 아래와 같다.

유효입경 : $D_{10} = 0.150\text{mm}$

비중 : $G_s = 2.67$

균등계수 : $C_u = 2.07$

최대간극비 : $e_{max} = 0.786$

최소간극비 : $e_{min} = 0.53$

통일분류법에 의한 흙의 분류 = SP

이 연구에서 사용된 오염원은 원유를 사용했으며 비중은 23 C°에서 0.918이었고, 원유의 점성은 23 C°에서 427Mpa이었다. 이 연구의 일부로서 아래와 같은 실험을 했다.

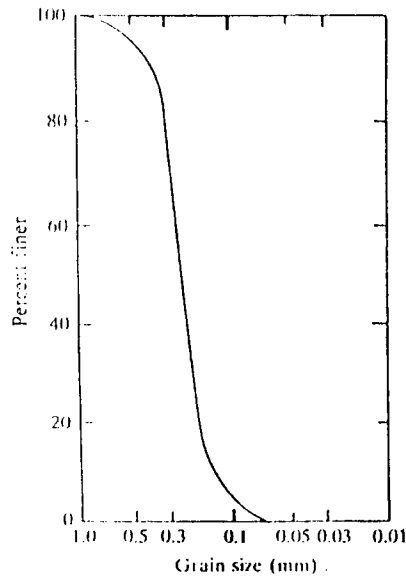


Fig 1. Grain-size distribution of Mississippi River sand

2.1 다짐실험

다짐실험은 모래의 다짐특성에 어떠한 영향을 미치는가를 결정하기 위한 실험으로 ASTM(D698)에 의해서 실시하였다. 이 실험은 다짐특성에 원유의 오염에 따른 영향을 평가하기 위한 기초자료를 얻기 위해 간극수로서 물을 사용하여 반복실험을 수행하였다.

2.2 직접전단실험

직접전단실험의 시료 크기는 62.5×62.5×25mm(height)이며 원유로 오염된 모래를 사용하였다. 내부마찰각과 강도-변형의 거동면에서 간극사이에 원유가 있을 때 역효과에 대해서 실험을 했다. 전단강도실험은 준비된 시료를 건조한 모래와 원유의 포화도를 변화시키면서 실시했다. 포화도 S_0 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$S_0 = (V_0 / V_v) \times 100\% \quad (1)$$

여기서 V_0 = 간극사이에 존재하는 원유의 체적

V_v = 간극의 체적

직접전단실험의 조건은 표 1에 주어져 있다. 모든 실험은 0.25mm/min의 일정한 수평변위와 비배수 조건에서 실시하였다.

Table 1. Test Parameters Used For Direct Shear Tests

초기 상대밀도 D_r (%)	40, 65, 85
원유의 포화도 S_0 (%)	0 ~ 28.5
전응력 (KN/m^2)	34.5 ~ 172.5

2.3 일축압축강도실험

이 실험은 모래의 변형계수, 하중-변형의 특성에 원유의 영향을 결정하기 위하여 실시했다. 이 실험에 사용된 모올드는 저면 아래에 철판으로 이루어져 있으며 내경 135mm, 높이 290mm인 것을 사용했다. 시료는 원유의 포화도와 소요상대밀도하에서 모올드에 들어있는 상태로 준비하였다. 하중판의 직경은 133mm로 모올드 상판에 위치한다. 모올드는 삼축압축기기와 결합되고 0.25mm/min의 축변위로 일정하게 상부에서 하중을 가하도록 되어있다. 모래시료의 축변형과 일치하는 재하하중을 측정한다. 이 실험에 사용된 원유의 포화도와 상대밀도는 직접전단실험(표 1)과 같은 조건하에서 했으며 비배수 조건하에서 수행되었다.

3. 실험결과 및 결론

3.1 다짐특성

다짐실험의 결과는 그림 2에서 원유의 포화도와 건조단위중량의 형태로 그린 그래프이다. 그림 2로부터 최대 건조단위중량 17.4 KN/m^3 일 때 원유의 포화도는 63%라는 것을 알 수 있다. 그때 일치하는 원유의 함수비는 12%이다. 원유의 함수비는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\omega_o = (W_o/W_s) \times 100\% \tag{2}$$

여기서 ω_o = 함수비

W_o = 모래간극사이에 있는 원유의 무게(g)

W_s = 모래의 무게(g)

간극수가 풀릴 때 다짐의 거동 역시 그림 2에 나타나있으며 최대건조단위중량은 16.45 KN/m^3 이며 포화도는 63%였다. 예상대로 같은 다짐조건하에서 얻어진 최대건조단위중량은 물과 비교하면 원유일 때의 경우가 약 6%정도 높았다. 이것은 원유가 모래입자들사이의 마찰각을 더욱 줄이도록 도와 결국에는 모래입자들사이의 거리를 가깝게 만들어 높은 건조단위중량을 유발시켰다.

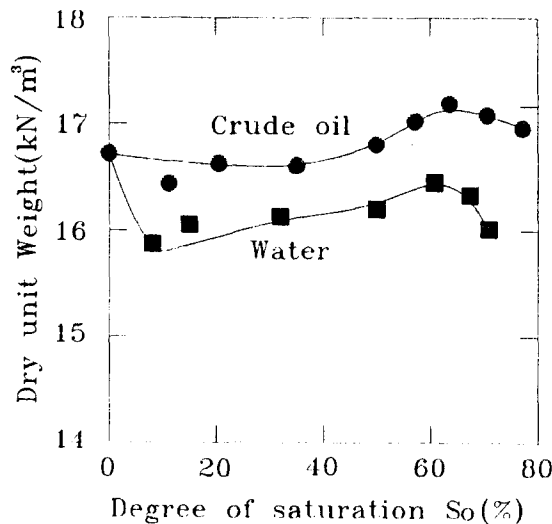


Fig 2. Plot of dry unit weight versus degree of saturation

3.2 전단강도

오염된 모래시료와 건조한 모래시료에 대한 수평변위와 전단용력을 얻는데 직접전단실험의 결과를 이용하였다. 그림 3은 초기상대밀도가 65%와 전응력이 103.5 KN/m²일 때의 수평변위와 전단용력에 대해 그린 도표이다. 이 도표로부터 건조한 모래의 최대 전단용력이 92 KN/m²임을 알 수 있다.

원유의 포화도가 9.5%일 때는 최대전단용력이 74 KN/m²으로 감소하였다. 일반적으로 최대전단용력은 원유의 포화도가 증가함에 따라 감소한다. 단지 최대전단용력은 원유의 포화도가 28.5%증가하였을 때 약 63 KN/m²이다. 그림 3으로부터 흥미있는 또다른 사실은 원유의 포화도가 증가함에 따라 최대전단용력이 급하게 증가하기 위해서는 어느 정도의 수평변위가 있어야 한다는 것이다. 건조모래의 경우에 대한 최대전단용력은 약 1.2mm의 수평변위가 발생하였을 때이다. 그림 3으로부터 포화도가 9.5%일 때 최대전단용력이 발생하기 위한 수평변위의 양은 3mm이고 포화도가 28.5%로 증가하였을 때는 5mm로 증가하였다. 원유에 오염된 모래에서의 최대전단용력을 발생하기 위한 수평변위에 대해서는 건조한 모래에서 얻어진 값보다도 3~5배 크다.

전응력을 기준으로 했을 때 내부마찰각은 간극에 원유가 존재함으로써 감소하였다. 원유의 포화도가 증가함에 따라 마찰각의 변화는 그림 4에서 보는 바와 같다. 건조한 모래의 상대밀도가 85%일 때의 실험에서 마찰각은 약 41° 이고 원유의 포화도가 약 19.5%로 증가하면 약 30° 로 감소함을 알 수 있다. 그리고 상대밀도가 40%에 대한 실험에서는 원유의 포화도가 0%에서 약 19.5%로 증가함에 따라 마찰각이 35° 에서 29° 로 감소하였다. 마찰각의 감소는 원유의 포화도와 초기상대밀도의 함수로서 표현할 수 있다.

본 연구조건 범위 내에서는 상대밀도가 같은 건조상태의 값과 비교할 때 내부마찰각은 약 17.6%~25%가 감소하였다. 주어진 포화도에 대한 마찰각의 감소는 모래의 상대밀도가 클수록 더욱 크다.

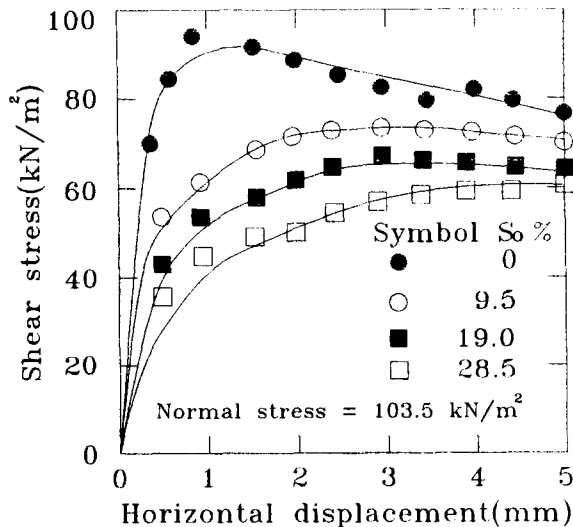


Fig 3. Typical plots of shear stress versus horizontal displacement($D_r = 65\%$)

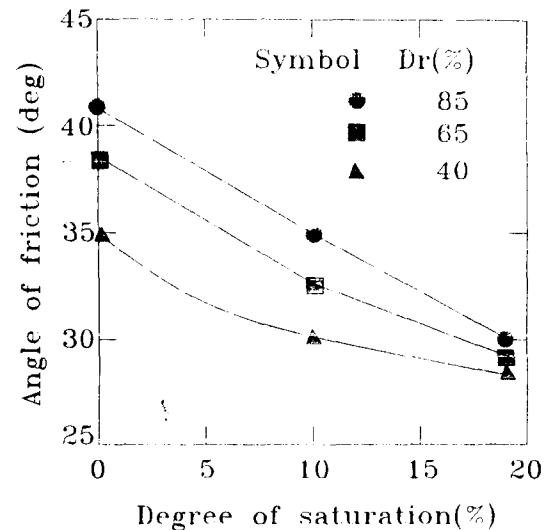


Fig 4. Variation of angle of friction versus degree of saturation

3.3 일축압축실험

원유에 오염된 모래뿐만 아니라 건조한 모래의 상대밀도가 60%인 시료에 대한 일축압축실험 결과가 그림 5에 나타나있다. 모래의 간극에 원유가 존재하면 모래의 일축압축의 특성에 역효과를 가져온다.

이 결과의 경향은 이 연구의 일부분으로서 실시한 모든 실험에 대해 관찰한 것이다. 그림 6은 주어진 변위정도와 포화도에 대한 E_c (constrain modulus)의 변화를 보여주고 있다. E_c 값은 이 실험에 사용된 모든 변위정도와 포화도의 증가에 따라서 감소한다. 작용한 하중이 작을 때 오염된 모래의 거동에 영향을 미치며, 하중 역시 짧은 시간 동안에 작용한다. 분명하게 E_c 의 감소는 구조물에 발생될 침하는 원유에 모래가 오염됨에 따라 증가한다는 것을 알 수 있다.

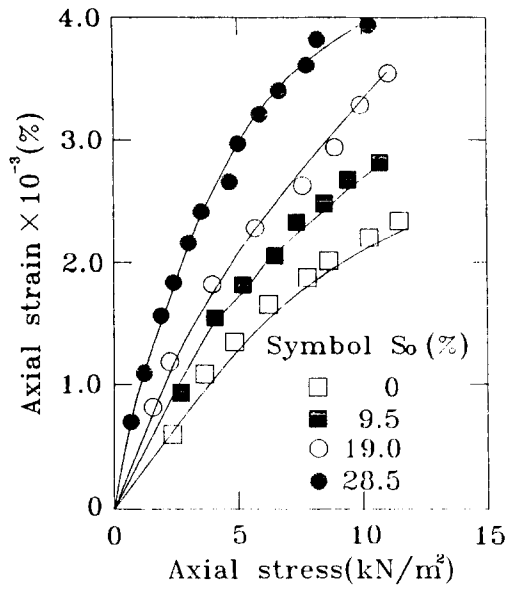


Fig 5. Plot of axial stress versus strain confined compression tests($D_r = 60\%$)

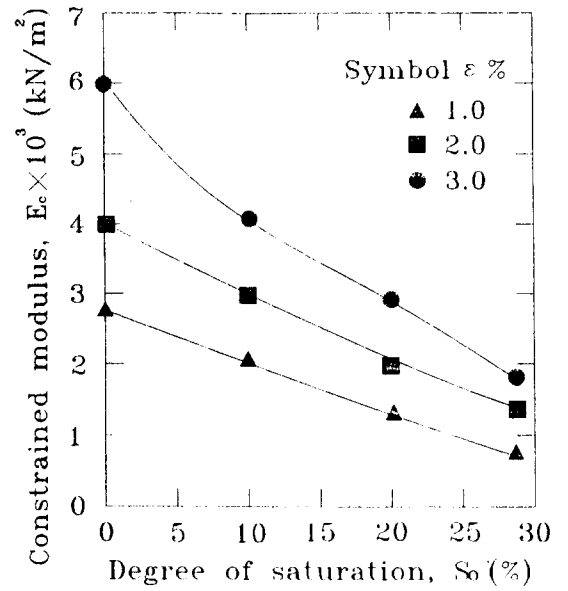


Fig 6. Constrained modulus versus degree of oil saturation

4. 결론

본 연구는 원유로 오염된 사질토의 지반공학적인 특성에 대하여 연구하였다. 현재까지 얻어진 직접전단실험, 일축압축강도실험, 실내다짐 실험 결과를 분석하여 결론을 내리면 다음과 같다.

1. 일반적으로 원유를 간극수로 사용한 모래의 다짐특성은 간극수로서 물을 사용했을 때의 다짐특성과 비슷하다. 동일한 다짐정도에서의 최대건조단위중량은 간극수로서 원유와 물의 경우에서 둘다 거의 같은 포화도에서 나타났다.
2. 사질토의 전단강도는 원유에 오염됨으로써 역효과를 가져왔다. 건조한 상태의 모래와 비교할 때 마찰각의 값은 17.6~25%의 감소량을 보였다.
3. 작은 축하중과 비배수 조건에서 E_c (constrain modulus)는 모래입자사이에 원유가 존재할 때 원유의 포화도에 따라 급격히 감소하였으며 큰변위에서는 E_c 의 감소는 더욱 심하였다.

REFERENCE

- Anderson, D. (1982). Does Landfill Leachate Make Clay Liner More Permeable, Civil Eng, ASCE, September, pp.66-69.
- Das, B. M. (1986). Soil Mechanics Laboratory Manual. Engineering Press, Inc., San Jose, California.
- Dusseault, M. B. and Morgenstern, N. R. (1978). Characteristics of natural slopes in th Athabasco Oil Sands, Canadian Geotech. J., 15 pp.202-215.
- Dusseault, M. B. and Morgenstern, N. R. (1978). Shear strength of Athabasco Oil Sands, Canadian Geotech. J., 15 pp.216-238.
- Kumapley, NK. and Ishola, A.(1985). The Effect of Chemical Contamination on Soil Strength, Proc 12th Int Conf Soil Mech Found Eng, San Francisco, Vol 3, pp.1199-1201.
- Lukas, RG. and Gnaedinger, RJ. Jr. (1972). Settlement Due to Chemical Attack of Soils, Proc, ASCE Specialty Conference on Performance of Earth and Earth Supported Structures, Purdue University, Lafayette, Indiana, pp.1087-1104.

- Sherard, JL, Decker, RS and Ryker, NL. (1972). Piping in Earth Dams of Dispersive Clays, Proc. ASCE Specialty Conference on Performance of Earth and Earth Supported Structures, Purdue University, Lafayette, Indiana, pp.589-626.
- Shridharan, A, Nagraj, TS. and Suvapulliah, PV. (1981). Heaving of Soil Due to Acid Contamination, Proc. 10th Int Conf Soil Mech Found Eng, Stockholm, Vol 2, pp.383-386.