

현장CPT시험에 의한 스미어존의 범위 산정 Determination of Smear Zone by Field CPT Test

진규남¹⁾, Kyu-Nam Jin, 김경호²⁾, Kyung-Ho Kim, 정길수³⁾, Gil-Soo Chung, 정하익⁴⁾, Ha-Ik Chung

¹⁾ 한국토지공사 연구개발처 주임연구원, Associate Researcher, Korea Land Corporation

²⁾ 한국토지공사 연구개발처 책임연구원, Senior Researcher, Korea Land Corporation

³⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Civil Eng. Dept., KICT

⁴⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Eng. Dept., KICT

SYNOPSIS : The installation of vertical drains by means of a mandrel causes significant remoulding of the subsoil, especially in the immediate vicinity of the mandrel. Thus, a zone of smear will be developed with reduced permeability and increased compressibility. This paper is mainly concerned with a field study to investigate the effect of smear due to vertical drain installation. In the present study, a field smear test was conducted to assess the extent of the smear zone around the vertical drain. The extent of the smear zone around a vertical drain was evaluated from the CPT results. CPT test was carried out to some distance around the mandrel installation. The test results revealed that a smear zone was estimated to be 3.6~5.3 times of the mandrel diameter.

Key words: CPT, smear zone, d_s/d_m , corrected cone resistance, mandrel.

1. 서론

최근들어 연약지반에서 공학적 안정성을 확보하기 위하여 개량공법으로서 연직배수(Vertical Drain)공법을 사용하는 사례가 늘고 있다. 연직배수공법은 연직방향 수평방향의 투수성이 좋은 점토지반의 투수이방성을 활용할 수 있는 장점을 활용할 수 있는 유용한 방법이지만, 배수재를 시공하는 과정에서 주변지반의 교란을 발생시킨다. 배수재 시공에 의한 주변지반의 교란은 투수성 저하를 가져오고 결과적으로 예측치보다 압밀이 지연되어 후속공정에 차질을 빚는 문제를 발생시킨다.

일반적으로 스미어존은 지반조건과 맨드렐의 종류와 형상 그리고 타입방법에 의해 그 범위가 달라진다고 알려져 있다. Hansbo(1982)의 경우 Holtz & Holms(1973)와 Akagi(1979)의 연구결과를 근거로 하여 스미어존의 범위를 맨드렐 직경(d_m)의 2배로 제안하였으며, Jamiolkowski(1981)와 Rixner 등(1986)의 연구결과에서는 스미어존의 직경(d_s)을 $[(5\sim6)d_m]/2$ 으로 제안하였다. 박(1994)은 실내실험을 통하여 스미어존의 범위는 재압밀시료의 경우 $d_s = 2\sim 2.5d_m$, 불교란시료의 경우 $d_s = 2.5\sim 3.0d_m$ 의 범위에 있다고 하였으며, 현장시험을 통하여 $d_s = 5\sim 7d_m$ 의 범위에 있다고 하였다.

본 연구에서는 스미어존의 범위를 산정하기 위하여 양산물금지구 시험시공부지를 대상지역으로 하여, 모형 맨드렐을 관입, 인발한 후에 일정 거리별로 피에조콘 관입시험을 실시하여 강도저하율을 분석하여 스미어존 범위를 산정하였다.

2. 현장스미어존 대상지역의 지반개요

본 연구의 조사대상지역은 양산물금지구 시험시공부지내 시험성토구간 주변에 위치한 무처리 영역을 대상지역으로 하고 있으며 20~30m 깊이의 연약지층이 균일하게 분포하고 있다. 시험 실시전에 조사대상 구간에서 피스톤 샘플러를 이용하여 채취한 불교란 시료에 대한 시험결과를 살펴보면 200번체 통과량이 88.9~99.6%로 대부분 세립자로 구성되어 있으며 USCS에 의하여 흙을 분류하면 CL로 분류된다. 또한 그림 1에서 보는바와 같이 액성한계 34.6~44.7%, 소성한계 25.5~33.7%의 분포를 보이고 있으며, 자연함수비의 경우 48.7~64.2%의 분포를 보이고 있어 액성한계보다 11.4~16.5% 가량 함수비가 높게 나타나는 불안정한 상태를 보이고 있다. 또한 그림 2에서 보는 바와 같이 압밀시험 결과 압축지수의 경우 0.37~0.68의 분포를 보이고 있으며, 선행압밀하중의 경우 0.36~1.90 kg/cm²의 분포를 보이고 있다. 대상지역에 존재하고 있는 피압을 고려하여 지반의 유효응력을 산정하여 압밀비(OCR)비 구한 결과 1~1.6의 분포를 보이고 있어, 상부지층에서는 과압밀 상태를 5m이후의 하부지층에서는 정규압밀상태를 보이고 있다.

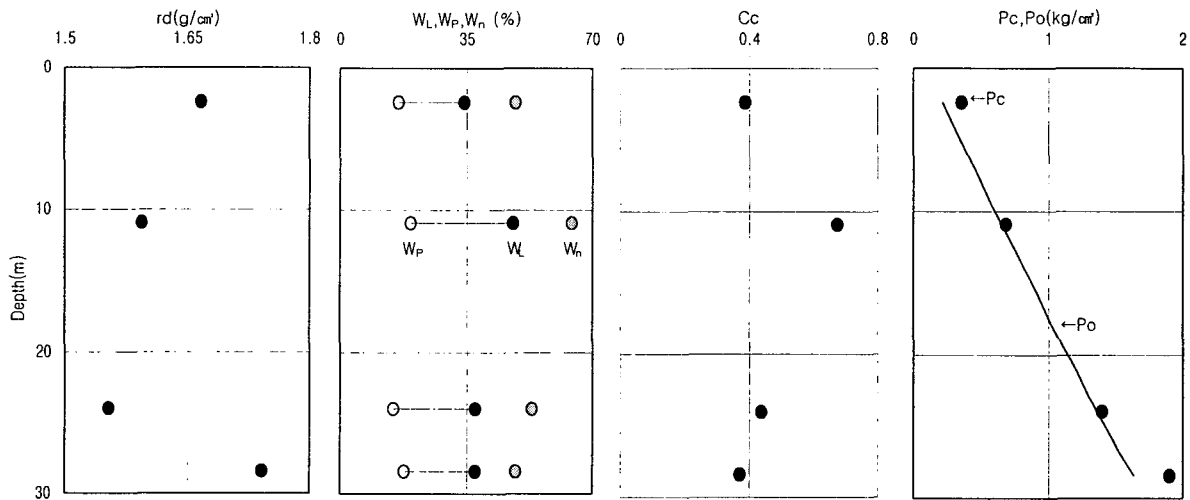


그림 1. 현장스미어존시험 대상지역의 지반특성 개요

3. 현장스미어존 시험방법

배수재 시공시 맨드렐에 의해 발생하는 스미어존의 범위를 산정하기 위하여 현장시험을 실시하였다. 표 2와 그림 3에서와 같이 현장시험에 사용된 직사각형 모형 맨드렐은 19.5×13cm의 단면에 길이 10m의 범위로 맨드렐 선단부 형상은 그림 3과 같다. 시험은 시추장비에 모형맨드렐을 설치하여 0.4m/sec로 관입속도로 관입하였으며, 관입조건은 진동을 가하지 않은 상태의 정적관입과 진동을 가한 진동관입조건으로 시험을 실시하였다. 그리고 피에조콘 관입시험은 맨드렐 타설지점에서 각각 20cm, 30cm, 70cm 떨어진 위치에서 실시하였다.

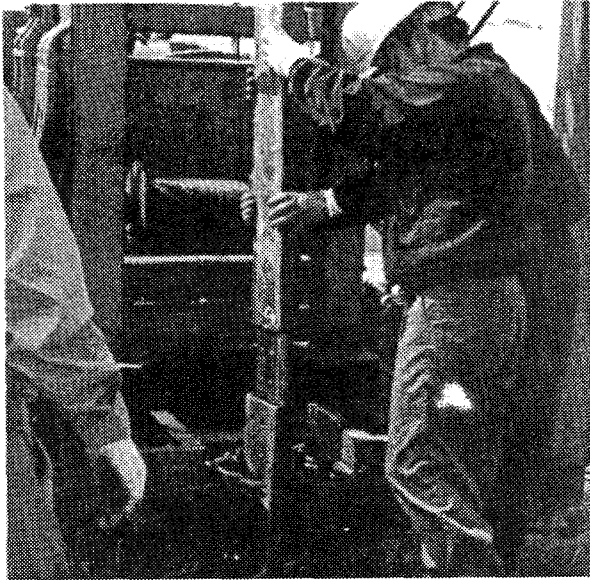


그림 2. 멘드렐 관입 전경

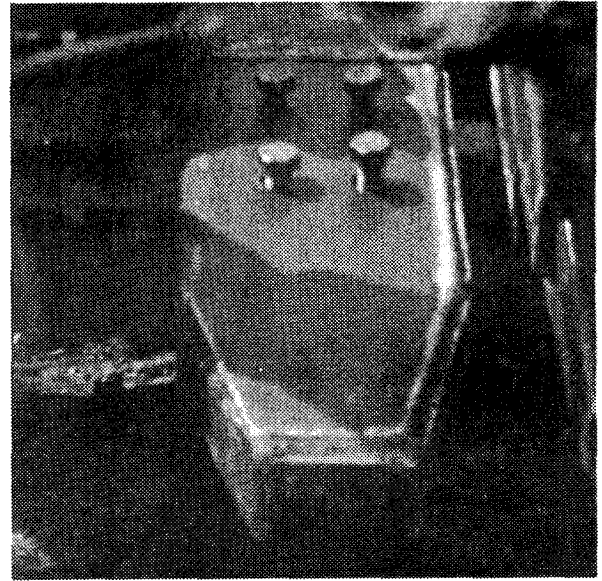


그림 3. 멘드렐 선단부 형상

표 1. 현장스미어존시험시 CPT조사 내역

시험 번호	시험조건			피에조콘 시험위치					
	멘드렐형상	관입속도	진동조건	조사번호	시험위치* (cm)	조사번호	시험위치* (cm)	조사번호	시험위치* (cm)
1	직사각형	0.4m/sec	무진동	Qc11	20	Qc21	30	Qc31	70
2	직사각형	0.4m/sec	진동	Qc21	20	Qc22	30	Qc23	70

* 시험위치는 멘드렐 타설지점에서의 거리임

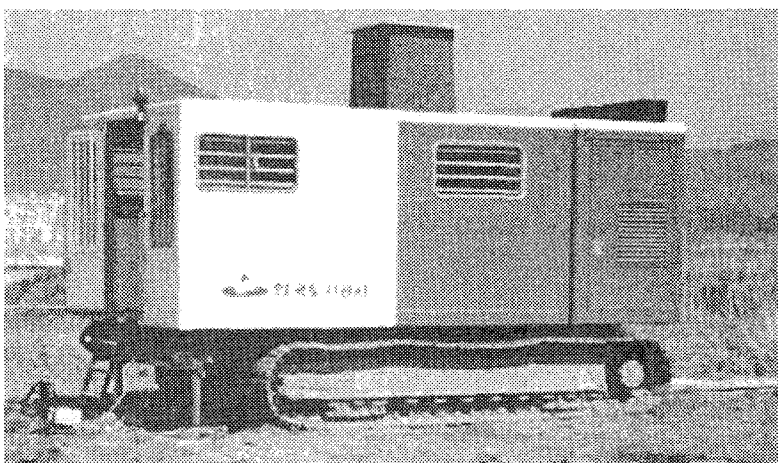


그림 4. CPT 시험 장면

콘관입시험은 연약지반 조사에 적합하고 낮은 하중범위에 맞도록 교정된 그림 4의 자주식 콘시험장비를 사용하였다. 콘관입시험은 사전에 실내에서부터 포화시켜 글리세린을 채운 작은 통에 담아 현장으로 이송해 온 필터를 현장에서 콘자체의 공기를 제거한 다음 조립하고, 콘 관입속도는 ASTM규준에서 제시한 $2\text{cm/sec} \pm 0.5\text{cm/sec}$ 의 속도로 관입하였다. 관입과정에서 측정되는 콘팁(Cone Tip)의 저항치를 저장장치로 전달받아 분석하였다.

또한 콘관입 저항치를 측정할 때 콘 팁 뒤의 표면에 수압이 작용하기 때문에 콘관입에 따른 지반의 반력을 정확하게 산정할 수 없으므로, 이와 같은 영향을 보정해 주기 위해 Baligh 등(1981)이 제안한 방법을 이용하여 콘 팁 뒤에 작용하는 수압의 영향을 보정하였다.

$$q_T = q_c + u(1 - a) \quad (1)$$

여기서, q_T 는 수정된 콘 관입 저항치를 말하며, u 는 콘 팁 뒤에서 측정된 간극수압을 말한다. 또한 a 는 콘의 면적비(A_n/A_c)를 말하며 본 조사에서 사용된 콘의 면적비는 0.75를 적용하였다.

4. 실험결과 및 결과분석

모형 맨드렐을 관입 인발한 후 실시된 피에조콘 관입시험 결과는 그림 5~그림 6과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 콘관입저항치는 시험조건에 관계없이 지표 부근에서 최대치를 보이며 이후 감소하다 2m심도에서 최소치를 보이며 이후 증가하는 경향을 보인다. 또한 지표에서약 4m까지는 맨드렐 안쪽의 값이 바깥쪽의 값보다 크게 나타나는데 이는 스미어존 시험시 굴삭기, 피에조콘 조사장비 등과 같은 중장비 주행에 의한 지반교란이 발생할 수 있는 가능성과 지표층 부근에 존재하고 있는 매립층에서 발생하는 입도분포의 불균질성에 따른 상대적인 차이인 것으로 추정되며, 5m이후의 심도에서는 안쪽에서 바깥으로 갈수록 콘관입저항치가 증가하는 일정한 경향을 보인다.

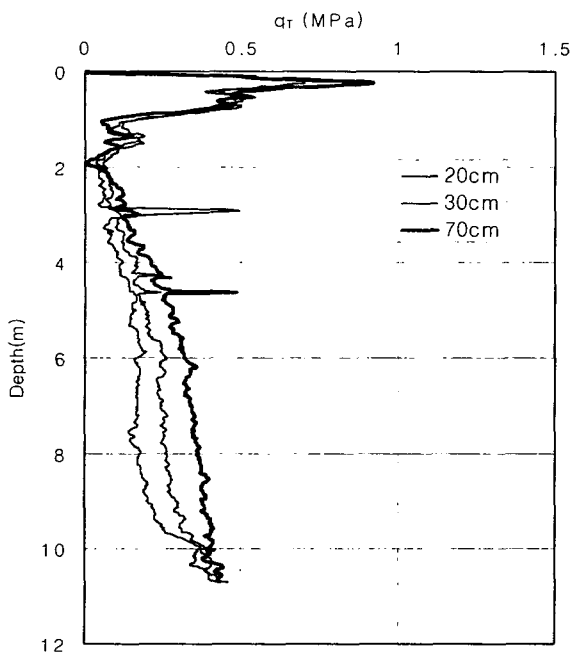


그림 5. 측정결과(조건1)

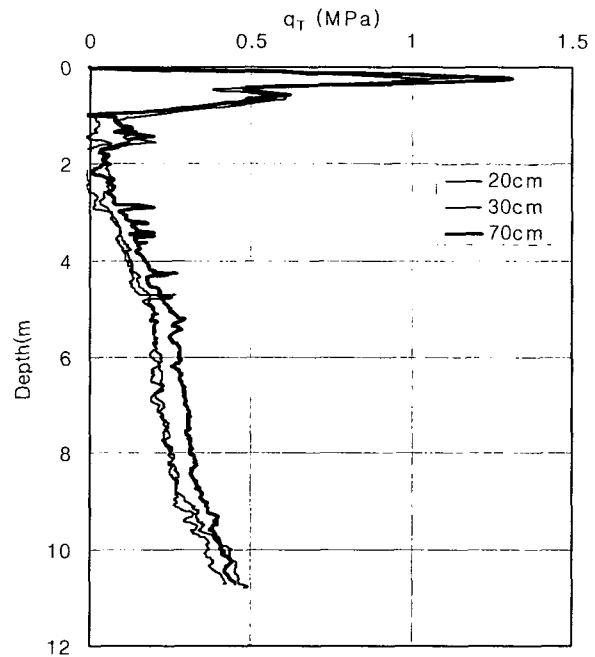


그림 6. 측정결과(조건2)

맨드렐의 관입에 의한 스미어존의 범위를 산정하기 위해 앞서 언급한 바와 같이 5m이후 심도에 대한 시험 결과를 이용하였다. 지반교란에 의한 콘관입저항치(q_c)의 강도저하율(q_{cs}/q_{co})을 산정하기 위하여 식 (2)와 같이 시험위치별로 실시된 콘 관입 시험중 70cm지점의 콘 관입 저항치를 기준으로 정규화를 실시하였다.

$$\text{정규화 시킨 } q_T = q_{ci}/q_{c13} \quad (2)$$

여기서, q_{ci} 는 맨드렐 타설지점으로부터 i 번째 위치한 시험결과($i=1, 2, 3$)이고, q_{c3} 는 가장 외곽에서

실시한 콘관입 저항치를 말하며, 콘관입 저항치는 수정된 콘관입치 q_T 를 사용하였다. 그리고 시험조건 3에서 70cm거리에 대한 시험결과와 다른 조건의 시험 결과에 비해 다소 작게 산정되는 것으로 보아 멘드렐 관입과정에서 임의로 가한 진동의 영향이 있는 것으로 추정되는 바, 시험조건 1의 70cm거리에 대한 시험결과(q_{T13})를 기준으로 정규화를 시켰다. 그림 7~그림 8은 시험조건별로 나타낸 심도별 정규화시킨 콘관입 저항치 관계를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 5m~9m 사이의 심도에서는 멘드렐 관입에 의한 주변지반의 교란으로 인해 발생된 강도저하율이 비교적 일정한 경향을 보이고 있다.

박(1994)은 심도별 스미어존 범위 산정시 불교란시료와 재압밀된 시료에 대한 결과를 이용하여 스미어존의 콘 관입 저항치와 불교란지역의 콘 관입저항치의 비율이 $q_{cs}/q_{co}=0.75$ 이내가 되는 범위까지 스미어존으로 보고 현장에서 멘드렐 타설시 스미어존을 $d_s=5\sim 6d_m$ 의 범위로 추정하였다. 본 연구에서도 이와 같은 연구결과를 근거로 하여 스미어존의 범위(d_s/d_m)를 산정하였으며 그 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 심도에 따라 스미어존의 범위는 비교적 일정하게 나타났다. 시험조건에 따른 스미어존의 범위 d_s 를 비교한 결과 시험조건별로 5~9m심도에서 평균치는 관입속도 0.4m/sec이고 무진동의 경우에는 $3.6d_m$ 으로 나타났으며, 관입속도 0.4m/sec이고 진동인 경우에는 $5.3d_m$ 로 나타났다. 따라서 직사각형 멘드렐의 경우 시험조건에 따라 스미어존의 범위는 평균적으로 멘드렐 직경의 3.6~5.3배의 범위를 갖으며, 멘드렐 관입시 진동조건보다 정적관입을 실시하는 것이 지반교란 영향을 최소화할 수 있는 것으로 나타났다.

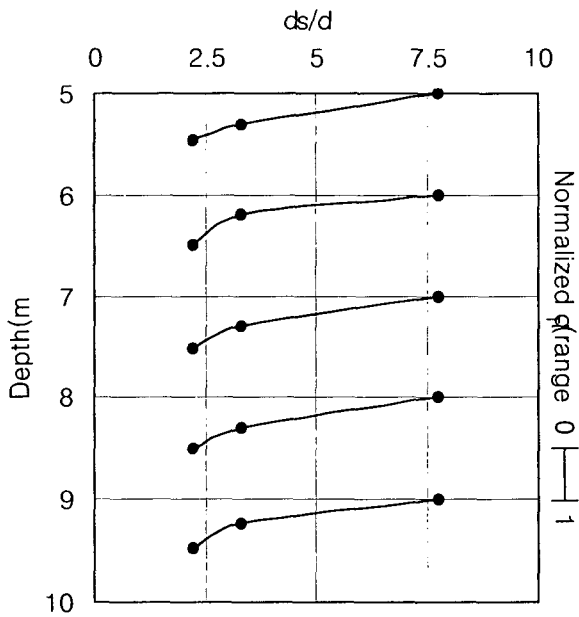


그림 7. 정규화 시킨 q_c (조건1)

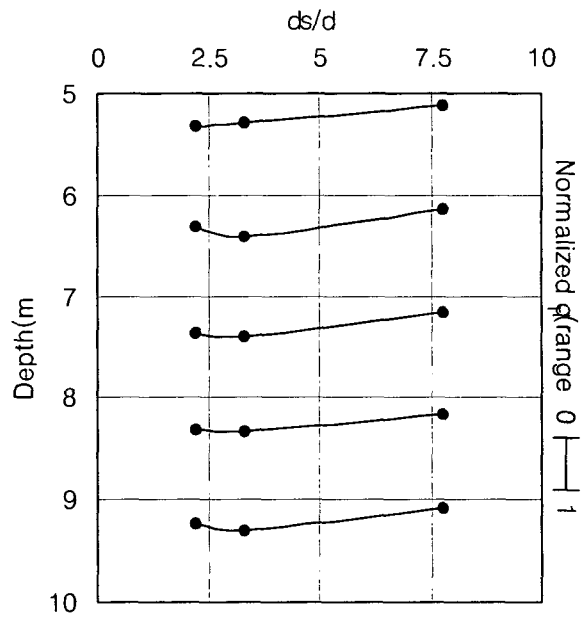


그림 8. 정규화 시킨 q_c (조건2)

5. 결론

배수재 타입시 발생하는 스미어존의 범위를 산정하기 위하여 모형멘드렐을 관입하고 인발한 후에 피에조콘의 관입시험을 실시하여 그 결과를 분석한 결과, 직사각형 멘드렐의 경우 스미어존의 범위(d_s)는 멘드렐 직경(d_m)의 3.6~5.3배의 분포를 보이는 것으로 추정되었다. 그리고 멘드렐 관입시 정적관입을 실시하는 것이 스미어존의 발생을 최소화할 수 있는 것으로 나타났다.

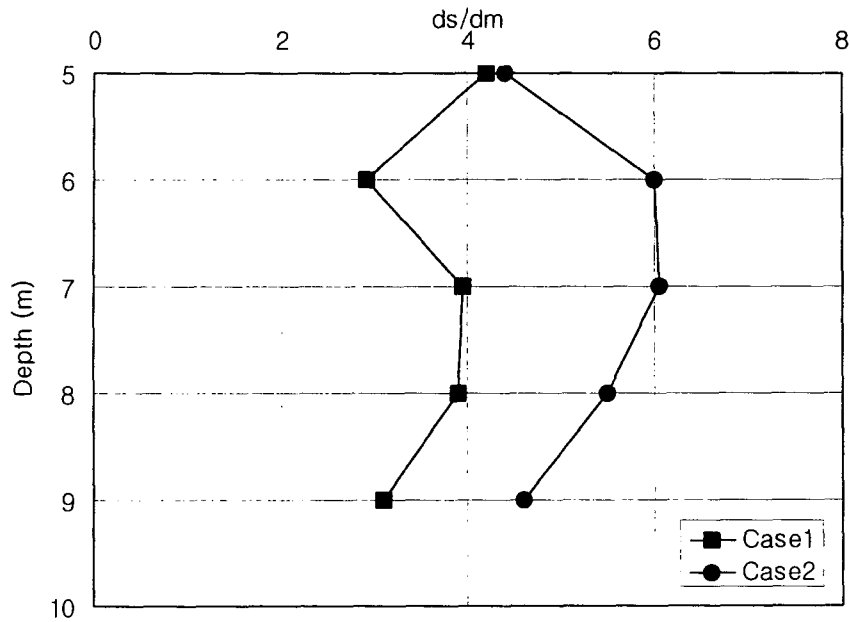


그림 9. 심도별 d_s/d_m 산정결과

참고문헌

1. Hansbo, S., "Fact and Fiction in the Field of Vertical Drainage", Prediction and Performance in Geotechnical Eng., Calgary, pp.61-72, 1987.
2. Jamilkowski, et al., "Precompression and Speeding up Consolidation", Speciality Session 6, Proc. of 8th ECSMEFE, Vol. 3, 1983.
3. Rixner, J. J., Kremer, S. R. and Smith, A. D., "Prefabricated Vertical drains, Vol. II: Summary of Research Effort", FHWA, Research Report No. FHWA/RD-86/169, Washington, 1986.
4. Lunne, T., Robertson, P. K. and Powell, J. M., "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice", Chapman & Hall, pp. 25-26, 1997.
5. 朴永穆, "低平地に堆積する海成粘土の土質特性と鉛直排水工法による地盤改良に関する研究", 日本 佐賀大學院 博士學位論文, 1994.