# 삼척 유기질토의 공학적 특성

Engineering Characteristics of Sam－Cheok Organic Soil

김 상 규*1
Kim, Sang－Kyu
최 인 걸*2
Choi, In－Gul
박 영 목*3
Park, Yeong－Mog

## Abstract

This paper presents the engineering characteristics of the Samcheok organic soil which contains a large portion of organic matter and high natural water content.

A series of lab tests shows that the measured liquid limit is quite different depending on preparing methods of specimens.

The values tested with natural condition are higher up to 4 times than those of the oven dry specimen.

It is shown that the organic soils fail at large strain and do not show peak stress in the stress－strain relationships.

Also strength increase ratios, which are measured 0.43 to 0.65 in this tests, are significantly higher than those of the soft clay without organic matter.

The consolidation tests indicate that the vertical and horizontal permeabilities are almost the same. For the remolded samples is reduced from 1/2 to 1/6 of the vertical permeability An increase of organic matter or water content of the organic soils results in an increase of the coefficient of secondary consolidation. The increase rate is slow below 15 percents of the organic contents while the rate becomes higher above the value.

## 요 지

이 논문은 일련의 실내시험을 통해 얻어진 삼척 유기질토의 공학적 특성을 제시한 것이다. 액성한계는 시료의 조제방법에 따라 그 값이 현저히 달라진다는 사실을 알게 되었는데 자연상태로 시험한 값이 노건조시켜 얻어진 값보다 1.5 내지 4배나 컸다.

*1 정회원, 동국대학교 공과대학 토목공학과 교수

*2 정회원, (주) 유신설계공단 영종도 신공항감리단 부장

*3 정회원, 영남대학교 공과대학 토목공학과 조교수

유기질토의 응력변형특성은 변형의 증가에 따라 응력이 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 즉 변형율 20%의 강도가 한국산업규격에 규정된 변형율 15%의 강도보다 더 크다는 것을 알 수 있었다. 또한 유기질토의 강도증가율(0.43~0.65)은 점토에 비해 현저히 크다는 사실도 알 수 있었다.

압밀시험 결과 연직 및 수평방향의 투수계수는 거의 같으나 교란시에는 연직방향의 1/2~1/6로 감소된다는 사실도 알게 되었다. 또한 2차 압밀계수는 유기물함량과 함수비가 많을수록 커지며 유기물함량 15%를 기점으로 하여 그 이하에서는 변화폭이 완만하나 그 이상에서는 큰 변화폭을 보인다.

Keywords : Organic Soil, Shear Strength, Stress-Strain, Progressive Failure, Coefficient of Secondary Consolidation

## 1. 서 론

유기질토는 일반 점토에 비해 비중이 작고 간극비 및 함수비가 매우 커서 구조물을 시공할 경우 압밀에 따른 간극비 및 투수계수가 많이 감소되고, 압밀과정에서 1차압밀은 비교적 단기간에 끝나지만 장기간에 걸쳐 2차 압밀거동을 나타내는 등의 토질공학적 특성을 가지고 있으며, 이 유기질토는 우리나라를 비롯하여 캐나다, 일본 등 세계 여러나라에 분포되어 있고 木暮(1994)는 그 면적은 약 230만km²에 이른다고 보고하고 있다.

河野(1977)에 의하면 흙의 공학적성질에 문제가 되는 유기물함량은 10% 이상인 경우이나 흙의 성질을 개량 하기 위하여 첨가제를 사용하는 안정처리공법에서는 첨가제의 종류에 따라 유기물함량이 1% 이하라도 문제가 된다고 하였으며, Brady(1990)는 유기질 함량이 50% 이상이면 이탄(Peat Soil)으로 정의 하였다.

유기질토의 비중은 유기물함량의 증가에 따라 감소하며 竹中 등(1977)은 그 감소 경향이 쌍곡선이라고 하였으며 또한 유기물함량이 증가함에 따라 건조밀도가 작아진다고 보고하였다.

Adams(1961)는 유기물함량이 77.5~87.5%인 유기질토에 대해 CU시험과 3개월간에 걸친 CD시험을 한 결과 $\phi'=50°$, $\phi_d=51°$를 얻어 $\phi'$와 $\phi_d$가 일치함을 보였으며 유기질토의 전단강도는 내부마찰각에 의해 좌우 된다고 하였다. 그 후 Ozden과 Wilson(1970)은 응력-변형곡선이 피크를 보이는 유기질토를 사용하여 CU시험을 한 결과 $c'=0.05$ kgf/cm², $\phi'=46°$로 Adams의 결과와 유사하여 Adams의 결과가 타당함을 입증하였고 乃川등(1980), Edil 등(1981)도 전단강도의 대부분이 내부마찰각에 의한 것이라 하였다. 한편 Yamaguchi 등(1985)은 불교란 수평시료와 연직시료의 전단특성을 검토하여 연직시료의 전단강도가 수평시료보다 크게 나타나는 퇴적이방성에 대해 언급하였다.

Adams(1961, 1963), 大平 등(1969)은 유기질토의 압밀시험결과 5분안에 비교적 큰 침하가 발생하였다고 하였으며, Arman(1969)은 유기물함량이 20% 이하인 저유기질토의 경우 Terzaghi(1927) 압밀이론이 잘 적용된다고 하였으며 20% 이상인 경우 압밀거동은 유기질부분의 거동에 의해 크게 지배를 받는다고 하였다.

Mesri(1973)는 점토 및 유기질토의 2차 압밀계수는 초기함수비에 비례하여 증가하는 관계식을 발표하였고 또한 Mesri(1977)는 점성토 및 유기질토의 압축지수에 대한 2차압밀계수($C\alpha$)의 비는 0.025~0.1의 범위에 속한다고 발표하였다.

安川(1982)은 액성한계가 45.7~107.7%에

대한 압밀시험에서 초기함수비가 같을 경우 시료가 교란 되더라도 Cα/Cc의 값은 거의 변하지 않으며, 초기함수비가 낮아짐에 따라 Cα/Cc의 값은 감소 한다고 발표하였으며 松尾등(1986)은 유기물함량 90~95%의 시료에 대한 압밀시험결과 Cα/Cc=0.065로 추정하였으며, 현재까지 보고된 Cα/Cc는 최소 0.025에서 최대 0.075로 보고하였다.

乃川(1994)은 유기질토의 침하속도 추정을 위한 현행의 예측방법에는 많은 문제점이 있다고 보고하고 유기질토의 압밀특성을 정확히 해석하기 위해서는 전반적인 새로운 방법의 개발이 필요하다고 하였다.

국내에서도 유기질토의 특성 등에 관한 연구가 1985년 부터 1989년까지 발표되었으나 그 실적이 매우 미흡하므로 유기질토 지반에 적합한 개량공법을 선정하기 위해서는 공학적특성에 대한 규명 및 검토가 필요하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 삼척유기질토의 시료조제방법에 따른 액성, 소성한계의 변화, 강도특성, 침하량 및 침하속도의 예측을 위한 압밀특성 및 연직배수공법으로 지반개량을 실시할 경우에 효용성검토 및 지반개량공법 적용시 지중의 교란영향을 판단함과 동시에 유기질토 장기침하량 추정에 중요한 2차 압밀특성을 규명하는 등 삼척유기질토에 관한 제반 공학적특성을 고찰하여 유기질토 문제해결을 접근함에 그 목적이 있다.

## 2. 우리나라 유기질토의 분포와 특성

유기질토 분포의 정의는 일반적으로 지표면의 경작에 미치는 심도이상의 두께(약 30~50 cm)를 가진 곳을 대상으로 하며 우리나라는 103.4km² 가 분포되어 있고 유기질토 분포면적을 지역별로 보면 표-1과 같다.(엄, 1992)

표 1. 유기질토 분포면적(嚴, 1992)

| 시, 도명 | 분포 위치 | 분포면적(km²) |
|---|---|---|
| 경기 | 평택, 포승, 현덕 | 1.4 |
| 강원 | 강릉, 삼척, 원주 | 0.5 |
| 전북 | 이리, 김제, 함열 | 98.1 |
| 제주 | 서귀포 | 3.4 |
| 계 | 10개소 | 103.4 |

1985년 부터 현재까지 보고된 우리나라 유기질토(전북 익산 외 8개 지역)의 물리적 특성은 표-2와 같다. 이 표를 보면 유기물 함량은 0.5~72.1%, 함수비(W)는 49~358%, 비중($G_s$)는 1.40~2.59, 액성한계는(LL)는 56.7~460%, 소성한계(PL)는 27.9~264%, 간극비(e)는 1.25~4.91의 범위를 가진다.

표 2. 우리나라 유기질토의 물리적특성

| 위치 | 유기물함량(%) | 액성한계LL(%) | 소성한계PL(%) | 비중$G_s$ | 함수비W(%) | 참고문헌 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 전북 익산 | 15.8~65.0 | 96~380 | 85.0~190.0 | 1.75~2.41 | 85~340 | 노희장 (1985) |
| 전북 예촌 | 15.5~72.1 | 95~410 | 84.8~194.0 | 1.75~2.46 | 87~350 | |
| 전북 이리 | 18.0~69.0 | 110~405 | 93.0~190.0 | 1.76~2.44 | 89~338 | |
| 강원 강동 | 15.4~17.9 | 84.5~114.8 | 41.6~56.2 | 2.36~2.53 | 149.8~192.6 | 류능환등 (1985) |
| 강원 옥계 | 14.2~21.0 | 71.2~99.7 | 33.9~52.3 | 2.46~2.56 | 108.6~185 | |
| 강원 강릉 | 11.1~15.8 | 56.7~75.2 | 27.9~51.6 | 2.38~2.49 | 104.5~148.7 | |
| 강원 사천 | 12.4~20.9 | 67.7~93.7 | 35.7~57.2 | 2.36~2.55 | 95.4~168.2 | |
| 전북 익산 | 10.8~65.0 | 60~190 | 43.0~90.0 | 1.75~2.54 | 50~340 | 강광희 (1986) |
| 전북 예촌 | 0.5~64.0 | 64~460 | 48.0~195.0 | 1.75~2.59 | 49~370 | |
| 전북 이리 | 11.0~67.0 | 70~430 | 56.0~190.0 | 1.76~2.56 | 56~340 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 전북 익산 | 15.3~64.5 | 95~380 | 75.0~190.0 | 1.75~2.42 | 85~340 | 김재영등 (1986) |
| 전북 예촌 | 15.4~68.2 | 95~410 | 74.0~193.0 | 1.73~2.44 | 86~350 | |
| 전북 이리 | 15.7~66.7 | 97~404 | 75.0~190.0 | 1.75~2.42 | 88~338 | |
| 전남 순천 | 17.5 | 63.0 | 44.5 | 2.21 | 55 | 주재우등 (1988) |
| 충남 당진 | 33.9 | 124.6 | 86.4 | 1.87 | 110 | |
| 전북 이리 | 45.1 | 418.0 | 264.0 | 1.40 | 358 | |

## 3. 삼척 유기질토에 대한 시험

본 연구시험에 사용한 시료는 강원도 삼척시 남양동 택지 조성공사 지역에서 불교란시료 6점을 채취하여 한국산업규격(KS F 2301, 2302, 2303, 2304, 2306, 2308, 2103, 2104)에 의하여 실내시험을 실시하였는데 그 결과는 다음과 같다.

### 3.1 물리적 특성

실내에서 실시한 물리적특성 시험결과는 표 3과 같으며 대표적인 입도곡선은 그림 1과 같고, 시료 6점에 대한 0.075mm체 통과량은 92.7~98.5%이다.

표 3. 물리적특성 시험결과표

| 시 료 명 | | B-1 | B-1 | B-3 | B-5 | B-7 | B-8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 심 도(m) | | 4.0~4.7 | 9.0~9.7 | 4.0~4.7 | 7.0~7.7 | 6.0~6.7 | 3.0~3.7 |
| 입도 시험 (mm) | 모 래 (0.075~4.76) | 3.8 | 4.6 | 7.3 | 2.6 | 1.5 | 6.8 |
| | 실 트 (0.005~0.075) | 64.2 | 59.1 | 64.6 | 70.4 | 62.3 | 63.7 |
| | 점 토 (0.005 이하) | 32.0 | 36.3 | 28.1 | 27.0 | 36.2 | 29.5 |
| 조도 시험 (%) | 액 성 한 계 (LL) | 133.5 | 121.5 | 201.8 | 99.8 | 88.5 | 115.8 |
| | 소 성 한 계 (PL) | 53.7 | 49.1 | 73.1 | 47.3 | 40.3 | 52.2 |
| | 소 성 지 수 (PI) | 79.8 | 72.4 | 128.7 | 52.5 | 48.2 | 63.6 |
| 통일 흙분류 | | OH | OH | OH | OH | OH | OH |
| 비 중($G_s$) | | 2.391 | 2.401 | 2.379 | 2.461 | 2.495 | 2.417 |
| 자연 상태 | 함 수 비 $W_n$(%) | 137.9 | 125.4 | 145.1 | 81.8 | 74.1 | 101.5 |
| | 습윤단위중량, $\gamma_t$(gf/cm³) | 1.316 | 1.345 | 1.297 | 1.456 | 1.523 | 1.397 |
| 유기물함량(%) | | 17.5 | 16.8 | 18.6 | 10.1 | 8.5 | 15.0 |
| pH | | 6.5 | 6.9 | 6.0 | 6.0 | 6.6 | 6.4 |

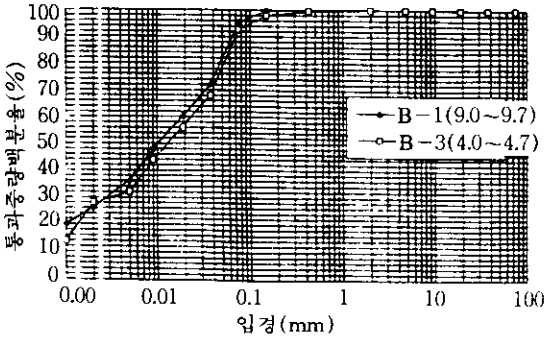


그림 1. 입도곡선

### 3.2 전단시험

유기질토의 전단시험은 삼축압축시험으로서 UU시험 및 CU시험을 실시하였다. 시험에 사용한 공시체의 크기는 직경 3.5cm, 높이 7.0cm 이며, CU시험의 압밀과정에서는 공시체에 각각 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0kgf/cm²의 압밀압력을 24시간 등방압밀시키고 축압축과정에서는 비배수조건으로 축압축을 가하면서 시료내에서 발생하는 간극수압, 축차응력 및 체적변화를 측정하였으며, 전단속도는 0.05%/min로 하고 변형율은 20%까지 측정하였다.

### 3.3 압밀시험

압밀시험시는 직경 6.0cm, 높이 2.0cm 크기의 시료를 압밀링에 넣고 압밀시험기에 정치를 한 후 공시체에 0.05kgf/cm²부터 12.8kgf/cm²까지 하중을 2배씩 증가시켰으며, 한국산업규격에 의한 압밀시험의 표준 재하일수는 24시간으로 되어 있으나 본 시험에서의 재하일수는 단계하중별 2차 압밀의 특성을 규명하기 위하여 하중단계별 재하일수를 4일간(96시간)으로 하였다.

## 4. 시험결과 및 고찰

### 4.1 물리적특성과 상관관계

#### 4.1.1 물리적 특성

실내시험을 실시한 유기질토의 유기물 함량은 8.5~18.6%, 현장함수비($W_n$)는 74.1~145.1%, 비중(G)는 2.379~2.495, 액성한계(LL)는 88.5~201.8%, 소성한계(PL)는 40.3~73.1%이다.

토목 공사에서 pH는 화학적 안정처리공법의 첨가제효과 및 강말뚝 등의 부식 등에 주요한 문제가 되며 삼척유기질토의 pH시험을 실시한 결과 그 값이 6.0~6.9로 나타났다.

#### 4.1.2 자연함수비와 유기물함량과의 관계

유기질토의 자연함수비와 유기물함량 관계는 그림 2와 같으며 이를 보면 유기물함량 15% 이하는 함수비 증가가 완만하나 15% 이상은 함수비 증가가 급격함을 알 수 있다. 그동안 국내에서 실시한 결과와 비교해 보면 유기물 함량증가에 따라 자연함수비가 증가하는 경향을 알 수 있으나, 유기물함량이 10% 내외 까지는 자연함수비가 급격히 증가하고 10~30%에서는 함수비의 증가율이 완만하며 40%를 넘으면 다시 급격히 증가한다고 보고한 竹中 등(1977)의 결과와는 약간의 차이가 있다.

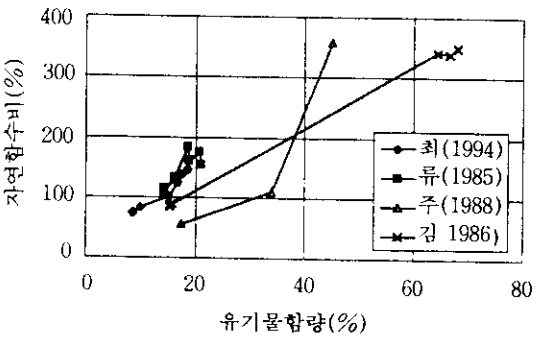


그림 2. 자연함수비와 유기물함량 관계

#### 4.1.3 시험시의 함수비와 액성, 소성한계와의 관계

본 연구결과 액성한계는 시험시료의 시험시 함수비에 비례하며, 노건조상태에서 실시한 액성한계에 비해 자연함수비 상태로 실시한 액성한계는 자연함수비가 높을수록 커지는 경향이 있고, 본 시험에 사용한 시료에 대해서는 1.5~4

배의 차이가 나는 결론을 얻었으며 이는 시료가 건조되면 상대적으로 표면수량이 감소하므로 노건조상태의 액성한계가 낮아지는 것으로 판단된다.

한편 소성한계는 함수비가 많을수록 커지지만 액성한계와 같이 큰 차이는 없었다. 따라서 흙 분류에 기본자료가 되는 정확한 액성, 소성한계를 구하기 위해서는 자연함수비 상태에서 조도시험을 실시함이 타당하다고 판단되며 시험시의 함수비 변화에 따른 액성한계의 변화는 그림 3과 같고, 소성한계의 변화는 그림 4와 같다.

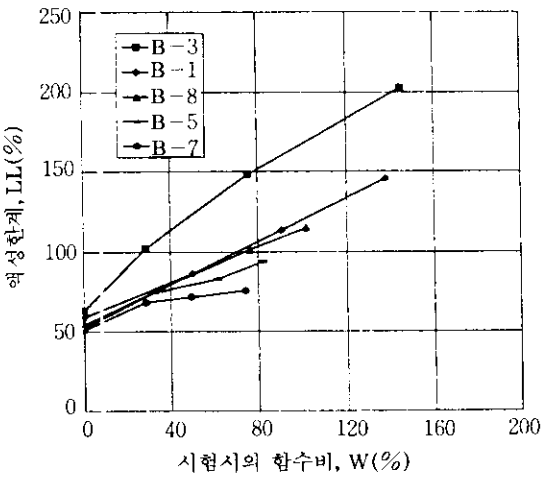


그림 3. 시험시의 함수비변화에 따른 액성한계의 변화

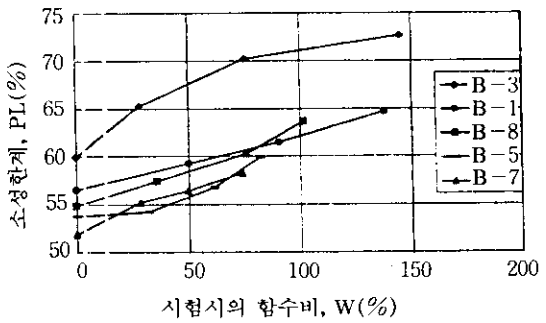


그림 4. 시험시의 함수비변화에 따른 소성한계의 변화

### 4.1.4 비중과 유기물함량과의 관계

유기물함량이 8.5~18.6% 분포를 가진 시험시료 6점에 대한 비중과 유기물함량 시험결과는 그림5와 같으며 이를 보면 유기물함량이 많을수록 비중은 감소하는 것을 알 수 있으며 이는 그동안 국내에서 실시한 실험결과와 거의 같은 경향을 보인다. 그러나 유기물함량이 증가함에 따라 쌍곡선으로 감소한다는 竹中 등(1977)의 결과와는 차이가 있음을 알 수 있다.

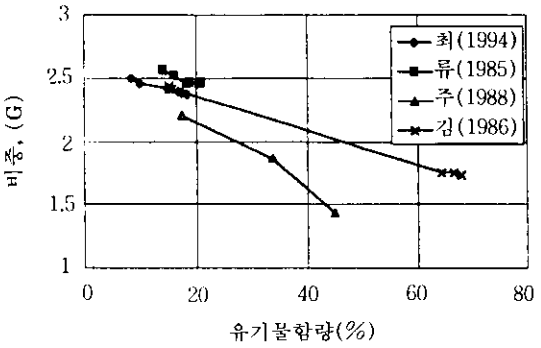


그림 5. 비중과 유기물함량 관계

### 4.1.5 건조밀도와 유기물함량과의 관계

시료 6점에 대한 건조밀도와 유기물함량의 관계는 그림 6과 같으며, 이를 보면 유기물함량이 많을수록 건조밀도는 대부분 감소하는 것을 알 수 있으나, 이는 유기물함량이 많을수록 건조밀도는 낮아진다는 주(1988) 및 竹中 등(1977)의 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.

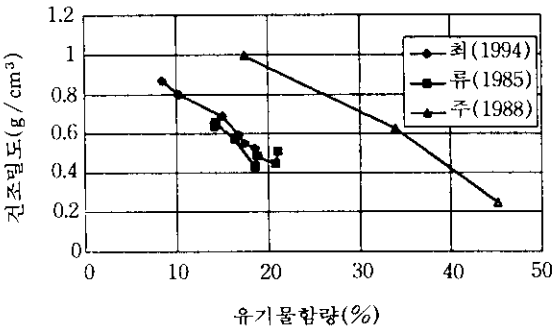


그림 6. 건조밀도와 유기물함량 관계

### 4.2 강도특성

#### 4.2.1 응력-변형률 관계

한국산업규격 KS F 2346에 의하면 삼축압축시험에서의 파괴 응력은 최대 주응력차에 상당하는 응력으로서, 축방향 변형률이 15%일 때의 값을 취하도록 되어있으나, 본 연구에서 실시한 유기물함량이 16.8%인 B-1(9.0~9.7 m) 시료에 대한 CU시험의 응력-변형률 관계는 그림 7과 같이 변형률 20%에 이르기까지 축차 응력이 증가하는 진행성파괴의 양상을 보이는데 이러한 경향은 유기질토의 특징이라고 할 수 있다.

이 경우 설계 및 시공에 사용될 전단강도는 KS F 2346에 의한 변형률 15%를 일률적으로 취하는 것 보다는 변형률 20%일 때의 값을 전단강도로 취하는 것이 더욱 합리적일 것으로 판단된다.

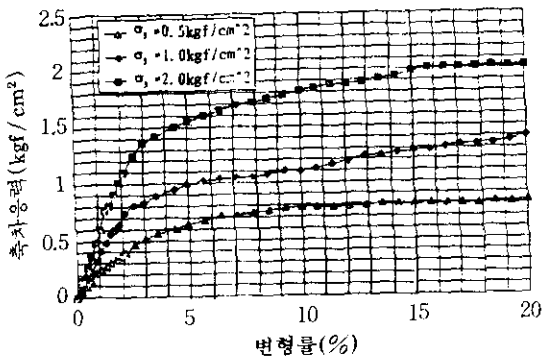


그림 7. 응력-변형률 관계

#### 4.2.2 간극수압계수

시료가 지하수위 이하에 있는 완전포화 된 시료이므로 UU시험에서 채취된 시료중의 공기를 용해시키기 위해 시료속으로 수압을 가하는 백프레셔(back pressure)를 4~5시간 가하여 시료를 포화시키고 간극수압계수 B($B=\Delta u/\Delta\sigma_3$)가 1이 됨을 확인한 후 전단속도는 0.05 %/min로 전단시험을 실시하였다.

삼축압축시험시 시료에 압력이 가해지면 과잉간극 수압이 발생하는데 본 연구에서 시험한 전응력의 증가량에 대한 간극수압 변화량의 간극수압계수 A($A=\Delta u/\Delta\sigma_1$)는 0.43~0.68의 범위를 나타내었다.

#### 4.2.3 응력 경로

Ozen과 Wilson(1970)은 유기질토의 경우 CU시험을 실시하면 정규압밀토에서도 약간의 점착력이 존재한다고 하였으며 乃川 등(1980)은 정규압밀토가 점착력을 갖는지의 여부는 유기물의 형태와 특성에 달려 있다고 보고하였다.

본 연구에서 실시한 B-1시료(9.0~9.7m)에 대한 CU시험 결과의 축차응력과 평균 유효응력관계는 그림 8과 같고 이 그림을 보면 과압밀특성을 보인다는 것을 알 수 있으며 점착력(c′)은 0.18kgf/cm², 내부 마찰각($\phi'$)은 33°로 나타났다.

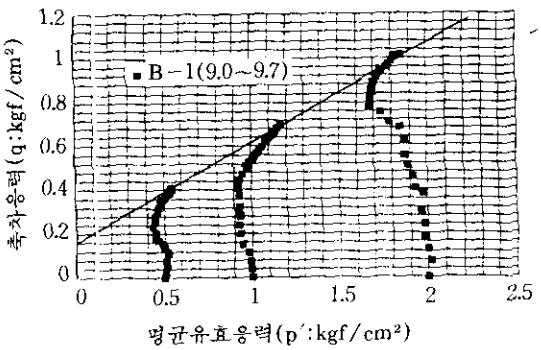


그림 8. 축차응력과 평균유효응력 관계

#### 4.2.4 강도증가율(Cu/ P′)

유기질토 지반에 성토를 할 경우 이에 대한 효용성을 검토하고 시공 및 지반개량공법 적용시 압밀에 따른 지반개량 효과를 판단하기 위하여 다음식으로 강도증가율을 계산하였다. (朴, 1994)

$$(Cu/P')=\frac{2\sqrt{2}}{3}[\sin\phi'/[1+(2A_f-1)\sin\phi'(1-u_0/\sigma_3)]] \quad (1)$$

위 계산식에 의한 강도증가율 값은 0.43~0.65로서 일반 연약점토(≒1/3)에 비해 크게 나타났으므로 유기질토 지반에 성토를 할 경우 선행압밀 또는 단계시공 등에 의한 지반개량효과가 높을 것으로 판단된다.

#### 4.2.5 유기물 함량별 강도 특성

유기물함량이 8.5~17.5(%)인 시료 4점(B-1, B-5, B-7, B-8)에 대한 UU시험 및 유기물함량이 10.1~17.5%인 시료 3점(B-1:2점, B-5)에 대한 CU시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

1) 자연함수비와 점착력 관계

UU시험을 실시한 결과 자연함수비와 점착력과의 관계는 그림 9와 같으며 이를 보면 시료의 함수비가 많을수록 즉 건조밀도가 낮을수록 점착력은 작아짐을 알 수 있는데 이는 무기질토와 거의 같은 현상을 나타낸다.

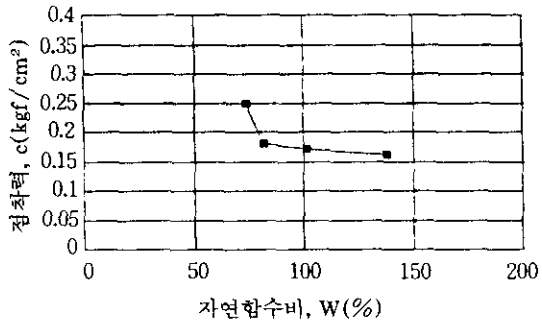


그림 9. 자연함수비와 점착력과의 관계

2) 유기물함량과 내부마찰각($\phi$)과의 관계

그림 10은 유기물함량(10.1, 16.8 및 17.5%)과 내부마찰각(28°, 33° 및 43°)의 결과 및 국내 논문의 결과를 나타낸 것으로서 이로부터 유기물 함량이 많을수록 내부마찰각이 커지는 것을 알 수 있는데 그 이유는 유기질토의 인장특성 때문인 것으로 판단된다.

유기질토의 CU시험에서 현재까지 보고된 내부 마찰각($\phi$)의 최고 값은 유기물함량이 56.1~67.4%인 시료의 시험결과 乃川 등(1980)에 의해 78°로 보고되었으며, 최소 값은 三田地(1985)에 의해 유기물함량이 94~97%인 시료의 경우 37°로 보고 되었다.

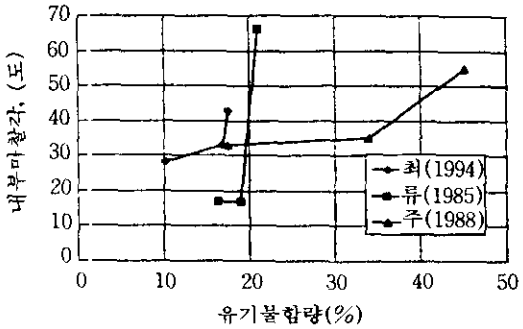


그림 10. 유기물함량과 내부마찰각 관계

### 4.3 압밀특성

연직배수공법으로 지반개량을 실시 할 경우에 효용성을 검토하고 시공 및 지반개량공법 적용시 지중의 교란에 따른 압밀특성을 검토하기 위하여 동일시료에 대해 3가지 조건[연직(V시료 : 퇴적토층에 대해 연직), 수평(H시료 : 퇴적토층에 대해 90°) 및 교란(R시료)]으로 압밀시험을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

#### 4.3.1 간극비-압밀압력 관계

본 연구에서 실시한 압밀시험의 대표적인 e-logP 곡선(B-3, 4.0~4.7m)은 그림 11과 같으며 시험조건은 3가지조건(연직, 수평재하,

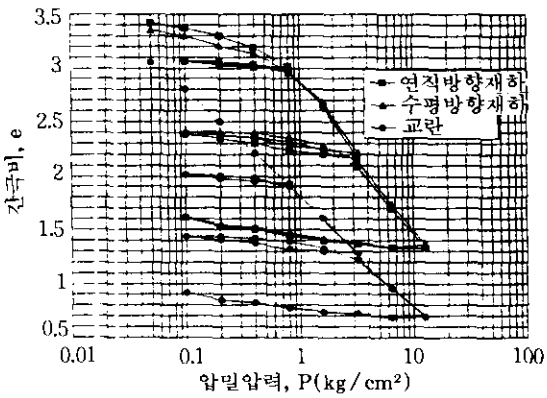


그림 11. 연직 및 수평재하와 교란시료의 압밀곡선 비교

교란)으로 재하-제하를 3 Cycle로 반복하였다. 이를 보면 연직방향과 수평 방향의 간극비는 별 차이가 없으나 교란시료는 연직방향 시료와 많은 차이를 나타내고 압력이 증가함에 따라 간극비는 직선적으로 저하하는 교란시료의 전형적인 곡선을 보이고 있다.

위 그림을 보면 동일 시료에 대한 불교란 및 교란의 압밀시험 결과 초기공극비는 거의 일정함을 알 수 있다.

#### 4.3.2 압밀계수와 하중 관계

압밀시험결과 압밀계수와 하중과의 관계에 대한 대표적인 압밀계수-하중곡선(B-3, 4.0~4.7m)은 그림 12와 같다. 이를 보면 연직, 수평방향 시료는 하중이 증가할 수록 압밀계수가 작아지는 경향을 보이며, 교란시료는 하중이 증가할수록 약간의 기복은 있으나 대체로 하중이 증가함에 따라 압밀계수는 약간 커지는 경향이 있다.

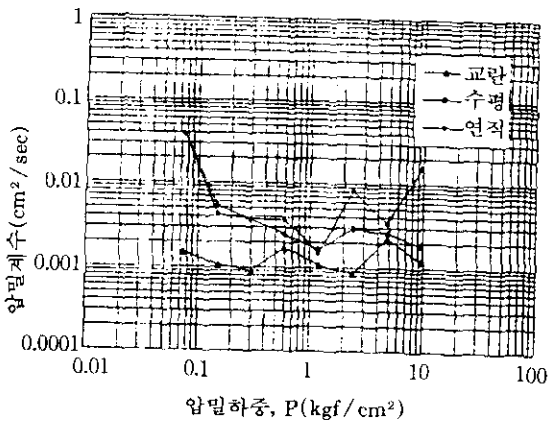


그림 12. 압밀계수와 하중과의 관계

#### 4.3.3 하중에 따른 연직(V), 수평(H), 교란(R)시료의 압밀계수

유기물함량별 하중유형에 따른 연직(V), 수평(H), 교란(R)시료의 압밀계수는 그림 13과 같으며, 이 그림에 의하면 연직방향과 수평방향 압밀계수는 차이가 거의 없으므로 본 연구에 사용된 유기질토는 퇴적이방성 영향이 적은 것으로 추정되며 압밀계수와 투수계수는 비례하므로 이로부터 연직 및 수평방향 투수계수 또한 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

그러나 교란시 투수계수는 연직방향 투수계수의 1/2~1/6로 무기질점토와 거의 같은 결과를 나타냈는데 이는 교란에 의한 압밀지연이 예상됨을 알 수 있다.

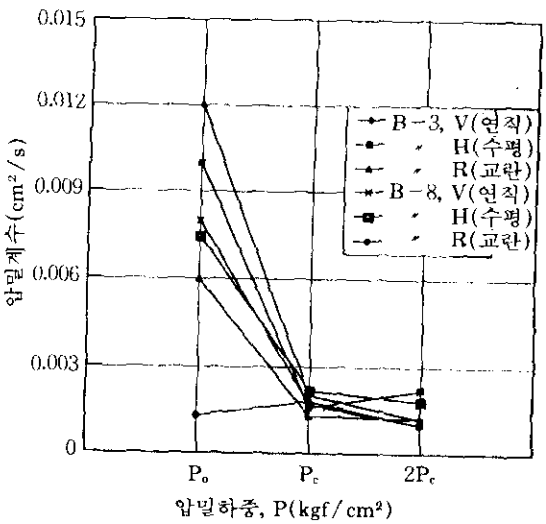


그림 13. 압밀계수와 압밀하중과의 관계

#### 4.3.4 2차압밀 특성

B-7시료(6.0~6.7m)에 대하여 압밀하중(P)을 0.2kgf/cm²부터 2배수로 하여 3.2kgf/cm² 까지의 경과시간(min)에 대한 침하량을 측정하였으며 이중 대표적인 침하량-시간 곡선은 그림 14와 같다.

삼척 유기질토의 압밀시험 결과 유기물함량이 8.5~18.6%인 시료(시료명 B-3, B-7, B

-8)에 대한 압축지수($C_c$)는 0.58~1.20이며 2차 압밀계수($C_\alpha$)는 0.003~0.019이고 $C_\alpha/C_c$는 0.005~0.021의 범위를 나타냈으며 姜(1986)은 유기물함량이 68%인 경우의 압축지수와 2차 압밀계수와의 비($C_\alpha/C_c$)의 값은 0.056으로 보고하였고 朱 등(1988)은 유기물함량이 17.5~45.1%인 시료에 대해 $C_\alpha/C_c$는 0.065로 보고하였다. 이는 삼척유기질토와 같이 유기물함량이 많을수록 2차 압밀계수는 커짐을 알 수 있다.

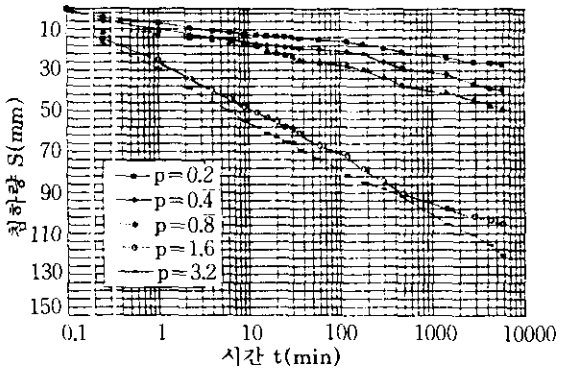


그림 14. 침하량-시간 곡선

1) 유기물함량과 2차압밀계수와의 관계

유기물함량이 8.5~18.6%인 시료 5점(B-1:2점, B-3, B-7, B-8)에 대한 압밀시험결과 유기물함량과 2차압밀 계수와의 관계는 그림 15와 같으며, 이를 보면 유기물 함량이 많을수록 2차압밀 계수는 커짐을 알 수 있고 유기물 함량이 15%까지는 변화폭이 완만하나 15% 이상은 변화폭이 커졌다.

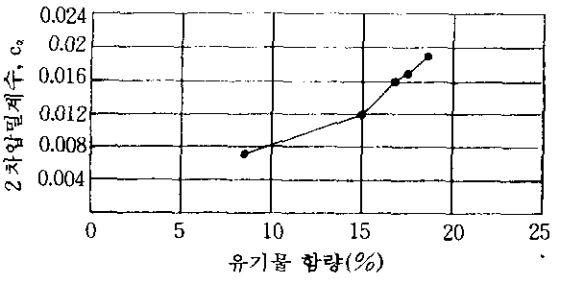


그림 15. 2차 압밀계수와 유기물함량과의 관계

2) 2차 압밀계수와 압밀하중과의 관계

압밀하중을 0.2kgf/cm²부터 2배수로 하여 3.2kgf/cm² 까지 재하하였을 때의 2차압밀계수와 압밀하중의 대표적인 곡선(B-7, 6.0~6.7m)은 그림 16과 같으며, 이를 보면 압밀하중이 증가할수록 2차압밀계수는 증가하나 선행압밀하중(P=0.77kg/cm²) 부근에서는 증가폭이 낮은 것으로 나타났다.

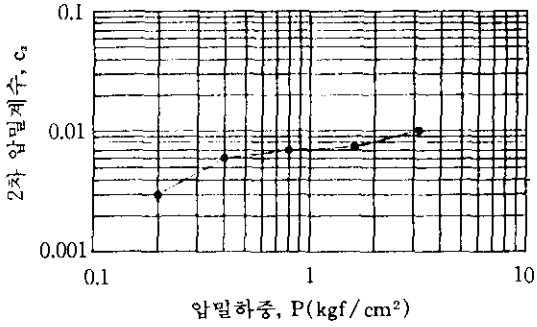


그림 16. 2차 압밀계수와 압밀하중과의 관계

3) 2차 압밀계수와 함수비와의 관계

그림 17은 2차 압밀비와 초기함수비와의 관계를 나타낸 것으로 함수비가 74.1%(시료명 : B-7)인 경우의 2차 압밀계수는 Mesri(1973)의 직선보다는 낮은 곳에 분포하나 함수비가 101.5~145.1%인(시료명 B-1:2점, B-3, B-8)경우 Mesri의 직선보다는 약간 위에 분포하고 있으며 이 그림을 보면 함수비가 증가함에 따라 2차압밀 계수도 직선적으로 상승하는 경향을 알 수 있다.

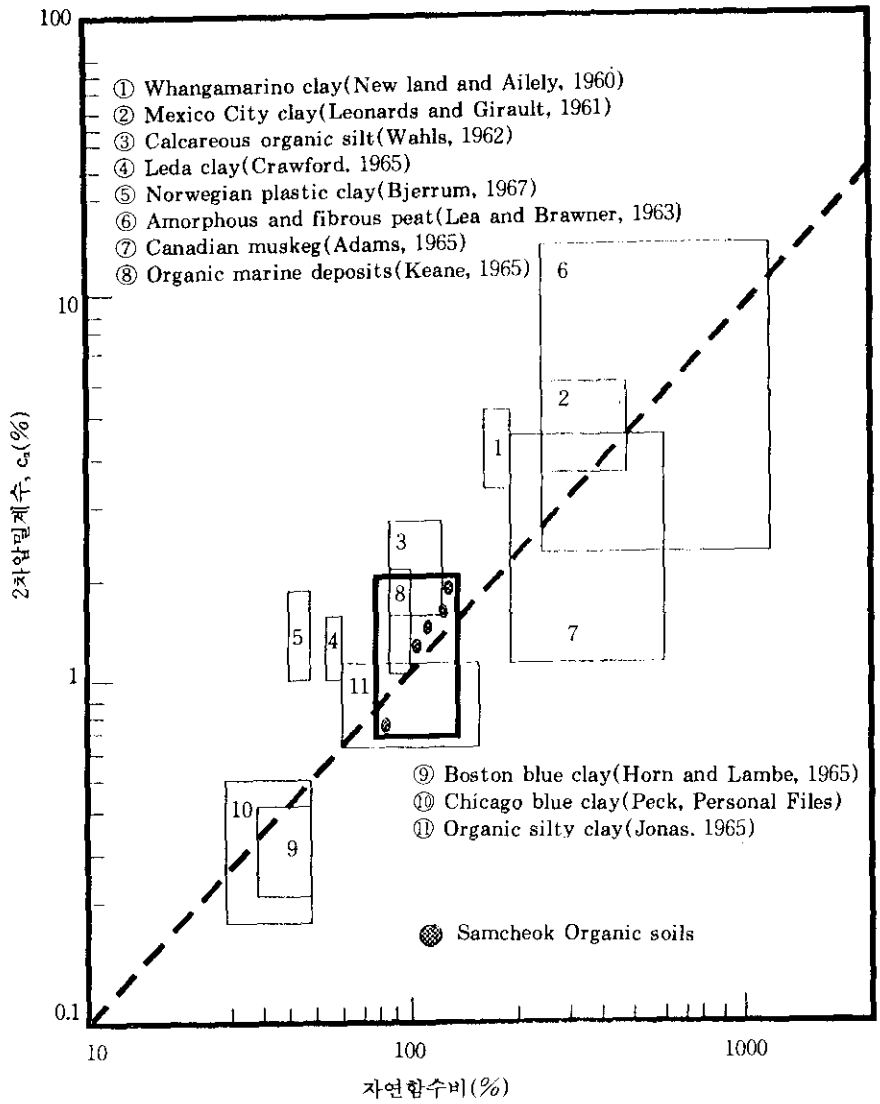


그림 17. 2차 압밀계수와 자연함수비와의 관계(Mesri, 1973)

4) 압축지수와 2차 압밀계수와의 관계

그림 18은 압축지수($C_c$)가 0.58~1.2의 분포를 가진 시료 5점(B : −1:2점, B−3, B−7, B−8)에 대한 압밀시험 결과에서 얻어진 압축지수와 2차 압밀계수와의 관계를 나타낸 것으로 이를 보면 압축지수와 2차압밀계수와는 선형관계가 나타남을 알 수 있다.

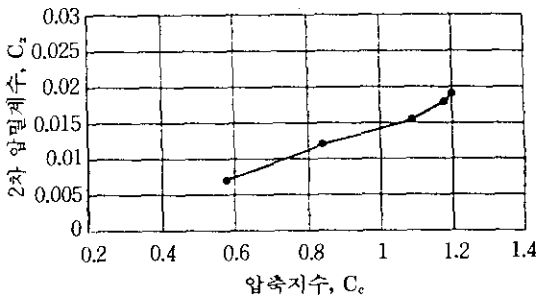


그림 18. 압축지수와 2차압밀계수와의 관계

## 5. 결 론

유기질토의 공학적특성을 규명하기 위하여 강원도 삼척 사직지구에서 대표적인 불교란시료를 채취하여 물리성 및 역학시험을 실시하고 결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 삼척사직지구 유기질토의 물리적성질은 유기물함량 : 8.5~18.6%, 자연함수비($W_n$) : 74.1~145.1%, 비중($G_s$) : 2.38~2.50 액성한계(LL) : 88.5~201.8%, 소성한계(PL)는 40.3~73.1%이다.

2) 액성한계 시험에서 시료의 조제방법에 따라 그 값이 현저히 달라지는 경향을 나타냈으며 자연상태로 시험한 값이 노건조시켜 얻어진 값보다 1.5~4배나 크므로 정확한 액성, 소성한계를 구하기 위해서는 자연함수비 상태에서 실시함이 타당하다고 판단된다.

3) 유기질토의 응력변형특성은 변형의 증가에 따라 응력이 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 즉 변형률 20%에서의 강도가 한국산업규격에서 정하는 15%에서의 강도보다 더 크다는 것을 알수 있었다. 따라서 구조물의 변형이 20%를 허용한다면 이때의 값을 전단강도로 취하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

4) 유기질토의 강도증가율($Cu/P'$)값이 0.43~0.65로서 일반 연약점토의 강도증가율 값(약 1/3)에 비해 크므로 시공시 압밀촉진공법등에 의한 지반개량이 효과적이다.

5) 동일 시료에 대하여 연직, 수평, 교란으로 압밀시험을 실시한 결과 연직방향과 수평방향 투수계수는 차이가 거의 없으므로 퇴적이방성 영향이 적은 것으로 추정되며, 교란시 투수계수는 연직방향 투수계수의 1/2~1/6로 무기질점토와 거의 같은 결과를 나타냈는데 이는 교란에 의한 압밀지연이 예상된다.

6) 2차압밀계수($C_\alpha$)와 압축지수($C_c$)는 직선적인 분포를 나타내고 압밀하중이 0.2~3.2kgf/cm² 에서의 $C_\alpha$는 0.003~0.019, $C_\alpha/C_c$의 값은 0.005~0.017이며, 2차 압밀계수는 유기물함량, 함수비가 많을수록 커지며 유기물함량이 15%까지는 그 변화폭이 완만하나 15% 이상은 변화폭이 큰 경향을 나타냈다.

## 참 고 문 헌


1. 姜廣熙(1986), 有機質土의 壓密特性에 관한 硏究, 碩士學位論文, 全北大學校, pp.1~17.
2. 金在英, 朱宰佑(1986), "有機質土의 壓密特性에 관한 硏究", 大韓土質工學會誌, 第2號, pp.17~27.
3. 盧熙章(1985), 有機質土의 壓密特性에 관한 硏究, 碩士學位論文, 全北大學校, pp.7~23.
4. 朴永穆(1994), 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關する硏究, 博士學位論文, 日本 佐賀大學校, pp.1~235.
5. 嚴基泰, 嚴基哲, 尹瑄熙(1992), 韓國土壤總說, 農村振興廳, pp.188~209.
6. 柳能桓, 柳然澤(1985), "嶺東地域 有機質土의 特性에 관한 硏究", 韓國農工學會誌, pp.77~85.
7. 朱宰佑, 金在英, 李汶樹(1988), "韓國南西地方의 有機質土의 變形 特性", 大韓土木學會, 學術發表會槪要集, pp.347~350.
8. 崔仁榘(1994), 삼척 有機質土의 工學的特性에 관한 硏究, 碩士學位論文, 東國大學校, pp.1~70.
9. 韓國產業規格(1994), K.S.F 2301~2104
10. 乃川洋, 宮川勇(1980), "亂さない泥炭の非排水せん斷特性いついて", 土質工學會 論文報告集, Vol. 20, No.3, pp.91~100.
11. 乃川洋(1994), "高有機質土地盤의 問題點を深る", 土と基礎, Vol. 42, No.6, pp.71~77.
12. 太平小谷(1969), "log-log曲線定規壓密沈下-時間關係整理法", 土と基礎, Vol.17, No.9, pp. 1~70.
13. 木暮敬二(1994), "高有機質土の地盤問題點を深る", 土と基礎, Vol.42, No.5, pp.80~85.
14. 三田地(1985), "土質工學會北海道支部技術報告集", No.25, pp.117~167.
15. 松尾 啓, 山口晴辛, 大平至德(1986), "泥炭の2次壓密係數について", 土質工學會論文報告集, Vol. 26, No.1, pp.139~150.
16. 安川郁夫(1982), "粘土の2次壓密特性について考察(第1報)", 第17回 土質工學硏究發表講演集, pp.237~240.
17. 竹中(1977) "火山灰および非火山灰段丘滯積物由來有機質土物理的性質", 農業土木學會論文集, 71, pp.1~7.

18. 河野文弘, 佐佐木晴美(1977), "泥炭性軟弱地盤における盛土基礎處理工法の效果", 土と基礎, Vol. 25, No.12, pp.27~31.
19. Adams, J. I(1961), "Laboratory Compression Tests on Peat", Proc. Seventh Muskeg Res. Conf. NRC. ACSSM, Tech., Vol.71, pp.36~54.
20. Adams, J. I(1963), "The Consolidation of Peat-Field and Laboratory Measurement", Ontario Hydro Res. Quart. Vol.15, Fourth Quarter, pp.2~4.
21. Arman, A.(1969), "Engineering Classification of Organic Soils", Highway Research, No.310, Highway Research Board, National Research Council, pp.75~89.
22. Brady(1990), The Nature and properties of Soils, pp.579
23. Edil, T.B and Dhowian, A.W.(1981), "At-rest Lateral Pressure of Peat Soils", Proc., ASCE, Vol.107, No.GT2, pp.201~217.
24. Mesri, M.(1973), "A Coefficient of Secondary Compression", Proc.ASCE. SM1, pp.123~137.
25. Mesri, M., and Godlewski.(1977), "Time and Stress Compressibility Interrelationship", Journal of the Geotechnical Engineering Division, pp.417~429.
26. Ozen Z.S. and Willson, N.E.(1970), "Shear Strength Characteristics and Structure of Organic Soils", Proc. 13th Muskeg Res. Conf., pp.8~26.
27. Terzaghi, K.(1927), "Die Erddrucker Scheinungen in Ocstleich Beamsprucken", Schuettungen und die Eutstehung Von Tragkoerpern, pp.194~199.
28. Yamaguchi H., Ohira, Y., Kogure, K. and Mori, S.(1985), "Undrained Shear Characteristics of Normally Consolidated Peat under Triaxial compression and Extension conditions", Soils and Foundations, Vol.25, No.3, pp.1~13, Sept.

(접수일자 1995. 8. 30)