

## Prefabricated Vertical Drain의 현장품질관리 Quality Control of Prefabricated Vertical Drain on site

나 영목<sup>1)</sup>, Yung-Mook Na, 심 동현<sup>2)</sup>, Dong-Hyun Shim, 홍 의<sup>3)</sup>, Eui Hong, 한 정수<sup>4)</sup>, Jeong-Su, Han

<sup>1)</sup>현대건설 창이매립공사 과장, Senior Geotechnical Engineer, Reclamation at Changi East, Hyundai Engineering & Construction Co., Ltd.(HDEC)

<sup>2)</sup>현대건설 토목설계실 차장, Head of Geotechnical Engineering Div. in Civil Design Dep. HDEC

<sup>3)</sup>현대건설 창이매립공사 대리, Geotechnical Engineer, Reclamation at Changi East, HDEC

<sup>4)</sup>현대건설 창이매립공사 사원, Jr. Geotechnical Engineer, Reclamation at Changi East, HDEC

**개요(SYNOPSIS)** : Characteristics of prefabricated vertical drain (PVD) affecting on the its performance are briefly reviewed. Various methods for the discharge capacity tests employed for the quality control tests are introduced. Soil geotextile performance test was conducted to simulate site condition, and the results are reviewed. Observations and suggestions for PVD quality control tests are proposed in this paper based on the experience gained from our site.

**주요어(Key words)** : Prefabricated vertical drain, 필터의 투수성(filter characteristics), 배수능력(discharge capacity), 품질관리(quality control).

### 1. 서문

압축성이 큰 연약한 점토 층이 널리 분포되어 있는 지역을 매립하여 비행장이나 도로제방 등을 건설하고자 할 때, 하중증가로 인한 큰 압밀이 예상되는 경우가 있다. 이때 압밀침하를 단기에 완료시켜 시공후의 잔류침하를 최소화하고 지반의 강도를 증가시키기 위하여 수직배수재를 사용한 선재하공법(Preloading with vertical drain)이 널리 사용되고 있다. 이때 수직배수재는 샌드드레인, 팩 드레인 및 Prefabricated Vertical Drain(이하 '드레인'은 PVD를 칭함)등이 있다.

거의 최근까지도 지반 공학자들에게 있어서 어떤 특정지역에 대한 최적의 드레인 필터와 코어를 선택할 수 있는 기회는 거의 없고 제조업자들로부터 공급되는 드레인의 구조를 그대로 수용하여야만 하였다. 그러나 최근에는 많은 연구와 경험, 그리고 수요의 증가에 따라 많은 종류의 드레인이 대량으로 시장에 공급될 수 있게 되어, 현장에서 요구하는 하중조건과 지반조건 그리고 심도 등에 따라 최적의 드레인을 선택할 수 있게 되었다.

드레인의 가장 중요한 성질은 필터의 투수성(transverse)과 코어의 배수능력(Discharge Capacity) 그리고 이러한 성질의 시간에 따른 지속성(durability)이다. 이러한 성질은 주로 드레인의 구성요소와 관계되는데 주변의 토질조건 또한 대단히 중요한 영향을 미친다. 본고는 드레인의 성능에 영향을 미치는 물리적 특성에 대한 연구사례 및 경험 그리고 필터가 근무하고 있는 현대건설 싱가포르 창이매립공사에서 현재 시행 중인 드레인 재의 품질관리방법과 시험 결과를 요약하였다.

## 2. 문헌고찰

### 2.1 필터의 투수성

문헌고찰에 의하면 어떠한 필터재가 드레인에 최적의 것인지는 분명하지가 않다. 혹자는 필터의 공극은 흙 입자가 필터를 통과 할 수 없도록 미세해야 한다고(Hansbo 1981) 하였으나, 이는 이보다 더 가는 입자들이 Siltation을 유발함으로써 배수재의 송수능력을 감소시킨다고 하였다(Hansbo 1993a, 1993b). 상대적으로 큰 공극을 갖는 필터를 사용하는 경우, 미세한 흙입자들은 필터를 통과하게 되며, 이부근의 물의 속도는 상대적으로 빨라져 필터를 통과한 미세한 흙입자들을 분출시키게 될 것이다. Vreeken등(1983)은 드레인 필터의 투수성은 필터의 clogging이 filter cake의 형성으로 인하여 4-5 배 감소하게 되나, 이러한 감소는 필터의 기능에 중대한 영향을 주는 것 같지는 않다고 하였다. 필터에 대한 개념은 McGown(1978)과 Bell & Hick(1980)에 의하여 제시되었는데 그림 1에 묘사되었다. 그림에서 보는 것과 같이 소량의 흙 입자들이 필터 속으로 또는 필터를 통과하면서 bridge나 arch가 되는 굵은 입자들을 남겨둘 것이다. 이 흙의 교량구조 바로 뒤의 미세한 흙 입자의 구역을 filter cake이라 부른다.

이상적인 필터는 모든 움직이는 흙 입자들을 제거하거나 필터를 통과되지 않도록 저지(retain)하여야 하며 동시에 무한한 투수계수를 가져야 한다. 일반적으로 요구되는 사항은 다음과 같다.

- (1) 흙 입자가 현탁액 속으로 들어가는 것을 막고 필터가 인접한 흙의 파이프를 방지해야만 한다.
- (2) 이미 현탁액 속에 포함된 흙 입자는 필터의 clogging 없이 필터를 통과해야한다.
- (3) 필터는 큰 투수계수를 가져서 필터자체에서는 수두손실이 거의 없어야 한다.
- (4) 필터의 성질이 요구되는 공사기간동안 지속되어야 한다.

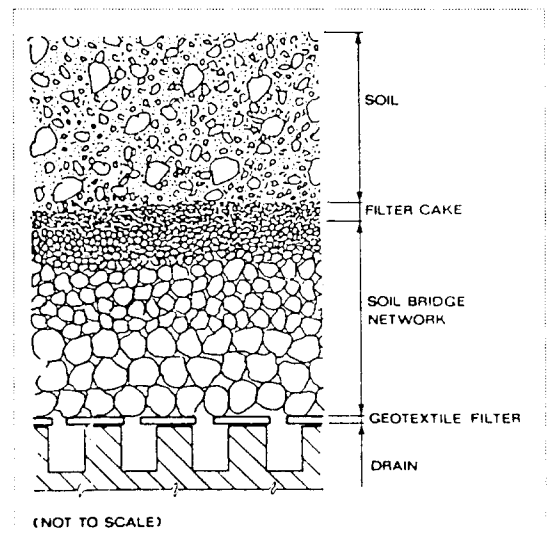


그림 1 필터와 흙의 작용 개념

### 2.2 배수능력 (Discharge Capacity)

#### 2.2.1 수평토압(구속응력)의 영향

배수능력은 수평토압의 크기가 증가할수록 감소한다. 그 이유는 증가된 구속응력이 배수재의 배수면적(drain area, free surface area)를 줄여 송수능력을 저하한다는 것인데, 이는 필터 및 코어의 모양과 강도 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 단기간의 시점에서 보면 구속응력에 대한 필터재의 수축성 정도가 배수재의 효과를 좌우하게 된다.

Queyroi등(1986)은 흙으로 구속된 배수재가 고무막으로 구속된 것보다 배수능력이 크게 저하되며, 이러한 경향은 구속응력이 300kPa 이상일 때는 더욱 두드러졌다고 하였다. Koda등(1986)은 현장타설 250일-500일이 경과된 배수재를 샘플링하여 다시 실내 시험한 결과 구속압력이 증가할수록 배수능력이 크게 감소하기는 하였으나 여전히 매우 만족스러운 배수능력을 보인다고 하였다. Den Hoedt(1981) 과 Kremer(1983) 또한 배수재가 구속응력 하에서 creep으로 인한 배수능력이 저하함을 보였다. 그러므로 배수능력에 대한 시험은 배수재를 시공될 현장의 토질로 둘러싸인 상태에서 설치심도를 고려한 소정의 구속압력하에서 실시되어야 한다. 또한 이러한 효과는 시간의존성 성질을 가지므로 시간에 따른 변화 및 일정기간의 압력 재하 시간을 두어야 한다.

## 2.2.2 변형의 영향

드레인의 배수능력을 감소시키는 피할 수 없는 또 하나의 원인은 큰 침하로 인한 드레인의 변형(buckling, folding)이다. 이는 배수재의 필터의 역학적인 성질과 코어의 모양 등이 얼마나 변형에 대한 저항성을 갖는가에 따라 그 정도가 정해진다.

Kremer등(1982), Kremer(1983) 그리고 Oostven(1984)등도 연약 점토층에서 발생하는 큰 침하에 의한 드레인의 변형으로 배수능력이 감소될 수 있다고 하였고, Kamon과 Ito(1984b)는 초기에 250mm길이의 드레인의 압밀 후 변형된 모양을 보여주었다. 여기서 정량적인 배수능력에 대한 보고는 없었으나, 배수능력은 크게 감소하였으나 흐름이 완전히 차단되지는 않았다고 하였다. Hansbo(1983a)는 이러한 변형에 의한 배수능력에 저하가 침하곡선에 대해서는 전혀 영향이 없다고 언급하면서 이는 이러한 영향이 주로 배수능력이 크게 영향을 미치지 않는 압밀의 완료시점에서 고려되는 사항이기 때문이라고 하였다. ENEL-CRIS에서 드레인을 굴절시킬 수 있는 장비로 수행된 세 가지 다른 드레인에 대한 시험은 필터와 코어의 구조와 강성(stiffness)에 따라 드레인의 굴절에 대한 저항성이 크게 차이를 보여 주었다. 그러므로 드레인 품질검사 시험시 배수시험은 반드시 굴절된 상태의 시험을 함께 수행하여야 할 것이다.

## 2.2.3 Creep과 타설

일반적으로 드레인은 시간이 경과하면서 그 능력이 저하되는 것으로 알려져 있다. 이는 구속응력에 대한 드레인 및 드레인에 접한 재료의 creep효과와 배수가 진행되는 동안의 siltation, clogging 등이 그 원인이 될 수 있다.

드레인의 효과는 드레인 그 자체의 능력과 드레인을 둘러싼 토질의 특성에 따라 좌우된다. 만약 드레인의 타설시 vibrator를 사용한 경우와 그렇지 않은 경우 주변지반의 교란정도에 따라 점토지반의 수평배수능력을 달라질 것이며, 이를 smear효과라 하는데, 설계시 고려되어야 할 사항이나 시험실에서 고려될 수 있는 사항은 아니고 시공관리 및 시방규정이 필요한 사항이다.

## 3. 현장시험

드레인을 이용하는 공사에 있어서 검토되어야 할 드레인의 특성은 1)인장강도, 2)필터의 투수성질, 3) 배수능력, 4)공사기간에 걸친 내구성 등을 들 수 있을 것이다. 이러한 특성들은 발주처에 따라 그 시방이 처리지반에 따라 달라질 수 있는데 표 1은 여러나라의 각 현장별 시방조항을 비교하여 본 것이다.

### 3.1. 인장강도

드레인은 일단 성공적으로 지반에 타설 되어야 한다. 일반적으로 200 - 300 m씩 Roll type으로 포장되어 있는 배수재가 타설기에 장착되어 최대 50m의 맨드릴을 타고 지중에 타설 되기 위해서는 소정의 인장 응력이 요구되는데, 필자의 현장에서는 시험실에 일반 일축압축시험기를 개조한 인장시험기를 설치하여 매 20,000m마다 인장시험을 수행하였다. 이 시험은 특히 깊은 심도의 드레인 타설이 요구되는 경우에는 대단히 중요한 시험 항목으로써, 현장 타설에서 있을 수 있는 타설중 드레인의 절단을 미연에 방지하여 현장지반의 교란을 방지할 수 있으며, 배수재의 품질평가의 기본항목이다.

### 3.2 필터의 투수성

필터의 투수성에 영향을 미치는 요소는 흙 입자를 保持(retention)하는 능력과 필터 슬래브의 투수성, Clogging에 대한 저항성 그리고 내구성 등이 있으나, 필자의 현장에서는 이에 대한 시험으로 AOS (Apparent opening size)의 측정을 외부에 용역을 의뢰하여 수행한 바 있고, 현장에서는 SILT POND

표 1 여러나라 각 현장별 시방조항의 예

재료성질	단위	시험표준	네덜란드	네델란드	싱가폴	태국	홍콩	말레이아	대만	호주	필란드	그리스
<b>드레인</b>			안정된 층 10m이하	불안정 층 10m 이상								
폭	mm	ASTM	100	100	100	W/T비율		95	100	100	100	100
두께	mm	D1777			3-4	50:1		3	3-6	>3		>3
인장강도(건조)	kN	ASTM	>0.5	>0.5	>1 (10%)		>0.5		>2		>1	>1
인장강도(습윤)	kN	D4595	>0.5	>0.5	>1 (10%)				>2		>1	>1
Elongation	%		2-10 (0.5kN)	2-10 (0.5kN)	<30 (1kN)				<20 (yield)		15-30	
배수능력 직선상태	cc/s	ASTM D4716 매국,호주	>10 350kPa 30일 경과 i=1	>50 350kPa 30일 경과 i=1	>25 350kPa 28일 경과	>16 200kPa 7일 i=1	>5 200kPa	>6.3 400kPa i=1	>10 300kPa i=1	>100 300kPa	>10	>10 100kPa
배수능력 굴절상태	cc/s		>7.5 350 kPa 30일 경과	>32.5 350 kPa 30일 경과	>10 25% 굴절			>6.3 400kPa 40m 500				
Crushing St.	kN/m2											
등가지름	mm						50			65		
free surface filter	mm2/m						150,000					
<b>필터</b>												
인장강도(건조)	kN/m	ASTM	배수시험에서 손상이 없을것		>3						>3	
인장강도(습윤)		D4595			>3						>3	
Elongation	%				<30(3kN)				<40		>15	
Tear strength	N	A.D4533				100		>300	>250	>380		
Grap St.	N	A.D4632				>350						
Puncture St.	kN	A.D4833				>200						
Bursting St.	kPa	A.D3785				>900						
Poresize O95	um	A.D4751	<160	<80	<75	<90	<120	<75			<90	
Permeability	mm/s	A.D4491			>0.05		>0.1	>0.01	>0.1	>0.17		>0.5
Permittivity	s-1		>0.005	>0.005							>0.005	

라는 대단히 연약한 슬러리 상태의 지역이 있어서 일반 점토 지역에서 사용되는 드레인의 필터가 이 슬러리 지역에 적합하지 여부를 판단하기 위하여 현장에서 그림 2와 같은 실린더형 시험기를 제작하여 현장 상황을 시뮬레이션 하였다. 압밀하중은 10kPa, 50kPa, 150kPa로 점진적으로 증가시켰으며 전체 약 40일간의 압밀이후 쌍곡선 법에 의한 압밀도 평가로 약 85% (변형률 37%)에서 시험을 종료하였다. 시험종료 후 시험기를 해체하여 압밀된 슬러리에 대한 비중계 입도 분석, 압밀시험, 함수비 측정 및 Fall cone에 의한 전단강도시험 등을 실시하여 드레인으로부터 떨어진 거리에 따른 역학적 성질의 변화를 고찰하였고, 드레인의 필터와 코어 내외면에 대한 육안 관찰을 통하여 드레인이 Silt Pond내의 슬러리에서도 효과를 발휘할 것인지에 대한 소위 Soil Geotextile Performance 시험을 수행하였다.

### 3.3 배수능력(Discharge Capacity)

일단 물이 드레인으로 들어오면, 이 물은 코어를 타고 수직방향으로 원활히 배수되어야 한다. 그러나 여러 가지 영향으로 이 수직방향의 배수는 저항(Well resistance)을 받을 수 있는데, 이에 영향을 주는 요소로

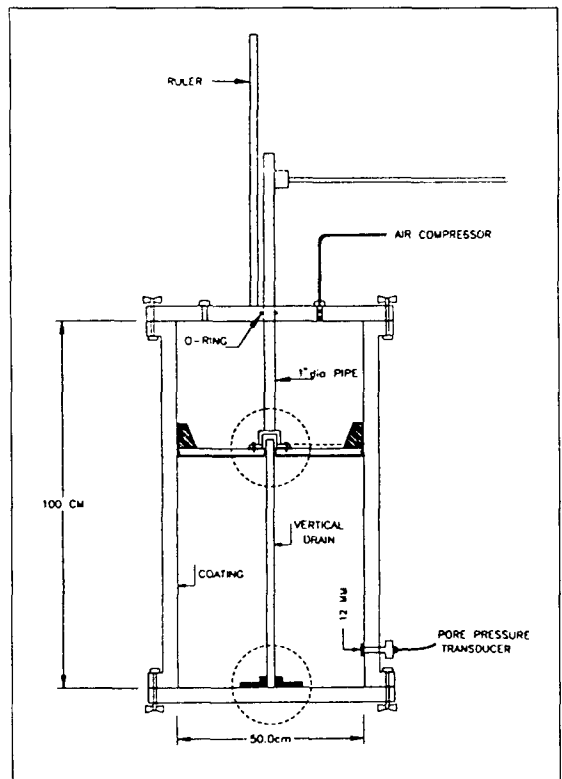


그림 2 Soil-Geotextile Performance Tester

는 배수재에 가해지는 구속응력-수평토압과 지반침하로 인한 배수재의 변형 그리고 시간에 따른 배수능력의 저하 (creep)와 흐름의 종류 및 동수 경사 등이 있다. 일반적으로 이 배수능력(Discharge Capacity,  $q_w$ )은 다음과 같이 정의된다.

$$q_w = \frac{Q}{i} \quad (1)$$

여기서  $Q$ 는 배수속도( $m^3/s$ )이며,  $i$ 는 동수경사 ( $\Delta h/i$ )이다. 시험방법은 드레인을 직선(Straight)상태와 변형된(Buckled)상태에서 점진적으로 응력을 증가시키며, 각응력 단계마다 소정의 동수경사에서 배수량을 측정한다. 필자의 현장에서는 각 구속응력에 대한 배수능력을 평가하기 위하여 그림 3에서 보이는 것과 같은 V. Choa와 Chu Jian(1995)에 의해 소개된 시험기를 이용하여 현장시험실에서 20,000m마다 직선상태의 배수능력시험을 하였으며, 약 1,000,000m마다 제 3의 공인 기관인 싱가포르의 NTU (Nanyang Technological University)와 미국의 Geosyntec consultant에 의뢰하여 직선상태와 굴절상태의 시험을 수행 하였다. 그림 4는 Geosyntec사의 ASTM에 근거한 시험 방법을 보여주고 있다. Creep의 영향을 평가하기 위하여는 약 5개월 동안 현장시험실의 장비를 이용하여 배수능력의 저하를 평가하여 보았다.

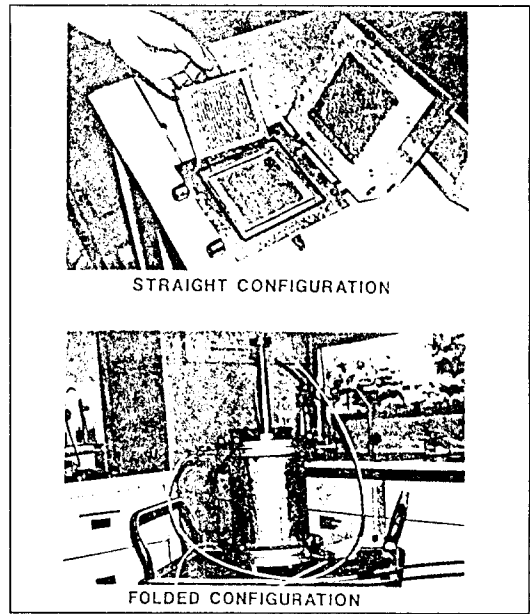


그림 3 NTU 배수능력 시험기

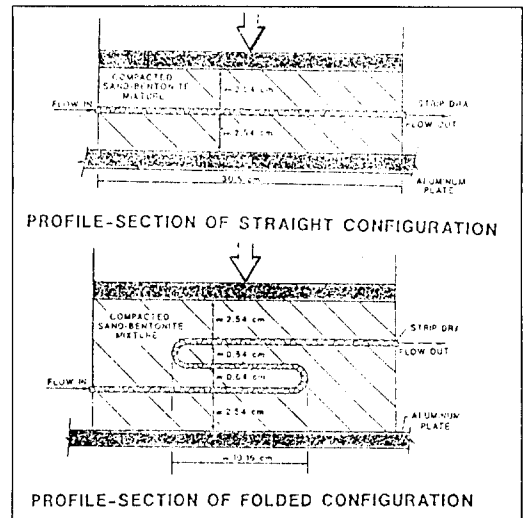


그림 4 Geosyntec 배수능력 시험기

## 4. 현장 시험 결과 및 고찰

### 4.1 인장강도시험

건조상태와 습윤상태 그리고 드레인 전체와 필터만에 대한 인장시험을 20,000m마다 실시 하였으며, 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 시방기준은 건조상태와 습윤상태 모두 변형을 10%에서 100kg/10cm이며, 필터는 30kg/10cm이다. 시험결과는 건조상태가 습윤상태에 비하여 약 10% 크게 나타나 드레인 인장강도시험이 반드시 습윤상태의 시험을 병행하여야 함을 시사 하였고, 전체 강도의 약 90%가 필터에 의존되고 있는 것으로 나타나 드레인을 소정의 심도까지 타설된 후 맨드렐을 회수할 때 생기는 드레인과 맨드렐 사이의 마찰 인장력으로 인한 절단 및 필터 파괴 가능성이 적을 수 있음을 시사 하였다. 그림에서 보는 것과 같이 전기간에 걸쳐 소정의 강도를 확인 하였으며, 현장에서도 인장강도 부족으로 인한 심각한 문제는 발생하지 않았다.

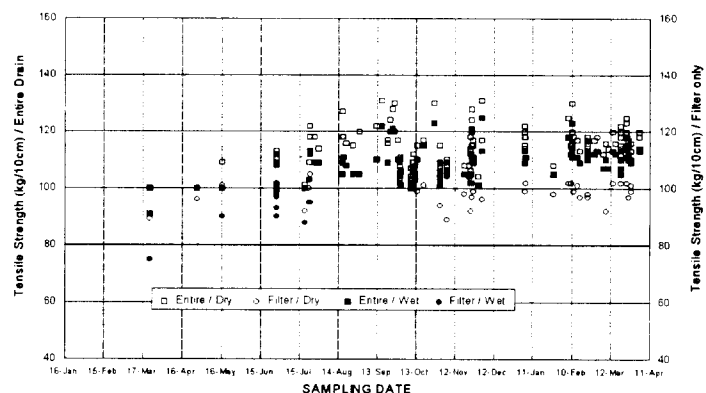


그림 5 드레인에 대한 인장강도 시험결과

## 4.2 필터의 투수성

Silt Pond의 슬러리를 가지고 실시한 Soil-Geotextile Performance Test 결과가 그림 6, 7, 8에 나타나 있다. 그림 6은 실험에 사용되었던 슬러리의 시험후 입도 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 이 슬러리의 D85는 약 20 $\mu$ m, D50은 0.8 $\mu$ m로, 시험전의 일반적인 슬러리의 입도분포와 일치 하였다. 그러나 그림 6의 범례 1-1과 2-1은 드레인의 양면에 인접한 시료로써 D50이 약 2 $\mu$ m로 증가된 것이 측정 되었다. 그리고 시험 초기에 외부로 연결된 배수관에서 슬러리 입자가 섞인 현탁액이 배출 되었으나 시간이 지남에 따라 배수량의 감소와 함께 물이 맑아지는 것이 관찰 되었고, 시험완료후 드레인의 안쪽을 검사한 결과 드레인의 하부 쪽 일부에 슬러리 입자가 침전된 것을 제외하고는 전반적으로 깨끗한 상태를 유지 하였다. 이러한 사실은 다음과 같이 설명될 수 있을 것이다. 작은 입경의 슬러리 입자가 상대적으로 큰 공극을 가진 필터를 통과 하여 초기의 큰 동수경사하에서 코어를 따라 분출되면서, 필터에 인접한 큰 입경의 입자들은 자연적인 흙 필터를 형성하여 주는 것이다. 이는 전술한 여러사람들의 시험결과도 잘 일치 하였으며, 그들의 결론과 같이 투수 계수의 감소는 관찰 되었으나 이는 드레인 자체 보다도 그림 1에서 설명되어 지는 것과 같이 흙입자가 형성하는 필터 케익에 의한 감소로 보였으며 드레인 자체는 심각한 Siltation이나 Clogging이 발생되지 않은 것으로 판단 되었다.

그림 7, 8에서 나타낸 것과 같이 드레인을 사용하여 압밀된 슬러리의 역학적 특성은 일반점토에서 보여주는 거리에 따른 변화 경향과 매우 비슷하게 나타났다. 즉 드레인에서 거리가 가까울수록 선행압밀응력, 전단강도는 증가하고 함수비는 감소하였으며, 그 정량적인 결과가 일반점토의 범위에 해당하여 기존의 드레인이 Silt Pond에서도 무리없이 적용될 수 있다는 결론을 얻었다. 이 시험에서 관찰된 특이할 만한 사항은 그림 8에서 나타나 있는 것과 같이 드레인에서 같은 거리에 있다 하더라도 드레인이 불록하게 굴절된 방향에서의 시료가 반대방향의 시료보다 함수비가 작고 전단강도가 크게 나타났다. 그리고 압밀시험은 드레인 중심에서 시험기 가장자리까지의 거리가 길어 시료 채취가 용이한 부분인 드레인이 오목한 부분에서 얻은 시료로 실시 하였는데, 그 선행압밀응력은 드레인에서 5, 15, 25cm에서 채취한 시료에 대하여 70, 33.6, 23 kPa로 각각 나타나 150 kPa의 압밀응력에 비하여 상대적으로 작았다. 이러한 현상은 하중이 강성판에 의하여 시료에 전달 되면서 equal strain의 조건이 되어 응력이 불균등하게 분포되었기 때문인 것으로 판단 되었으며, 이와 같은 대구경 압밀 배수 시험에서는 Rowe cell 시험에서와 같이 응력 및 변형의 구속방법이 시험결과에 영향을 줄 수 있다는 점을 알 수 있었다.

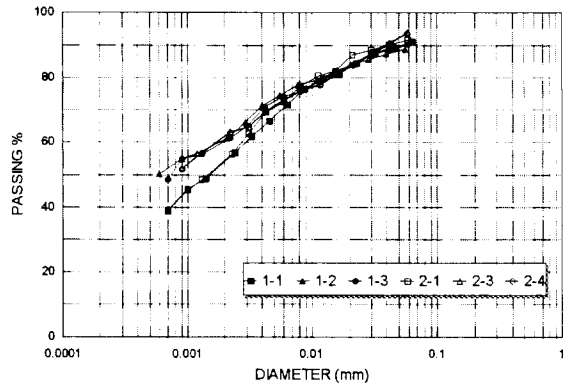


그림 6 시험후 슬러리의 입도분포

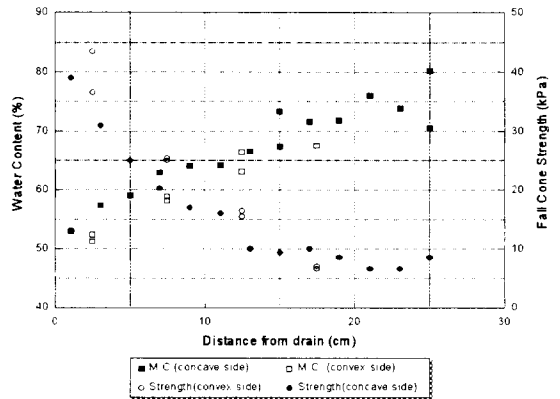


그림 7 거리에 따른 토성의 변화

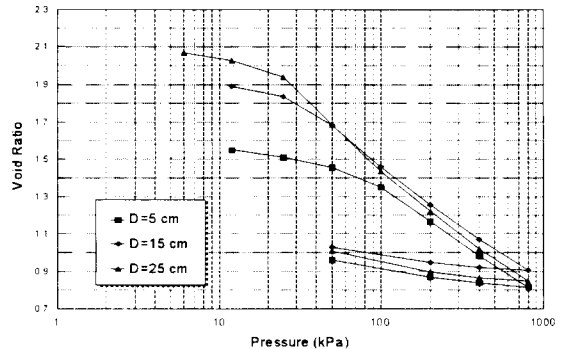


그림 8 거리에 따른 Pc'의 변화

### 4.3 배수능력시험

Chu Jian(1995)에서 소개된 바 있는 그림 4와 같은 시험기를 사용하여 배수재가 직선상태에서의 배수능력 시험을 매 20,000m마다 실시하여 배수재의 품질관리를 수행 하였다. 앞에서 언급하였듯이 이직선 상태의 시험이 현장에서의 배수능력을 나타내지는 않는다. 단지 이를 통하여 일종의 index test를 수행하여 지속적인 품질관리를 피하고자 하였다. 대부분의 시험이 현장에서 채취된 해성 점토를 이용하여 배수재를 구축하였으며, 그 시험결과는 NTU에서 수행한 굴절(buckled)배수시험과 함께 그림 9에 나타내었다.

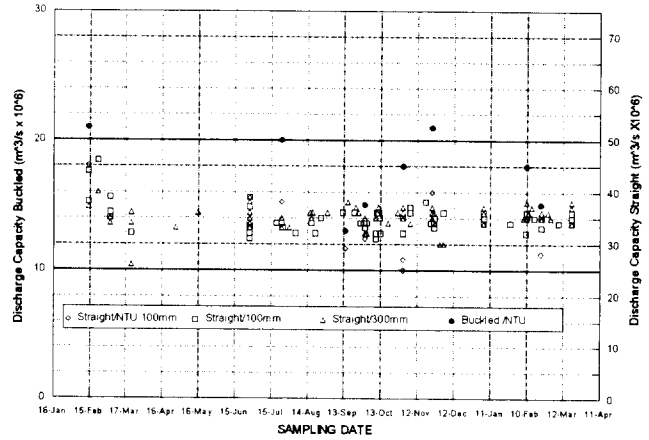


그림 9 배수능력시험 결과

또한 이 시험기로 드레인 접촉재료를 달리 하여 시험한 결과를 그림 10에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 드레인 접촉재료에 따라 배수능력의 차이를 보이고 있으며 점토를 이용한 결과가 모래와 벤토나이트를 이용한 것보다 작게 나타났다. 이것은 점토보다 모래가 섞인 재료가 아칭 효과에 의하여 필터가 코어의 사이로 끼어 들어가는 국부 응력을 분산시켜 배수면적을 크게 유지하기 때문인 것으로 사료되었다. 이는 고무막과 흙을 드레인 접촉재료로 사용한 시험결과를 제시한 Queyroi 등 (1986)의 결론과 잘 일치하며, 같은 동수 경사와 같은 구속응력에서 평가한 현장시험실, NTU, Geosyntec의 결과 또한 대단히 상이한 결과를 보여주는 것은 이에 대한 좋은 예가 될 것이다. 이러한 관점에서 드레인에 고무 막을 씌워 수압으로 구속 응력을 준 방식(TU-Delft 방식)은 드레인을 흙으로 둘러싼 방법(ENEL-CRIS)에 비하여 또다른 배수능력 감소의 원인을 가지고 있으며, ASTM의 D4716(In-plate lateral flow capacity testing)에서 배수재에 접촉하는 재료에 대하여는 현장상황에 맞게 사용할 것을 제안한 것은 매우 적절한 제안이라 하겠다. 그러나 응력증가에 따른 감소경향은 비슷하게 나타났고 장기효과에 대한 검증이 필요한 것으로 사료된다. 이에 대하여 점토에 대한 장기효과를 시험하였으며 그 결과가 그림 11에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 드레인 접촉재료에 따라 배수능력의 차이를 보이고 있으며 점토를 이용한 결과가 모래와 벤토나이트를 이용한 것보다 작게 나타났다.

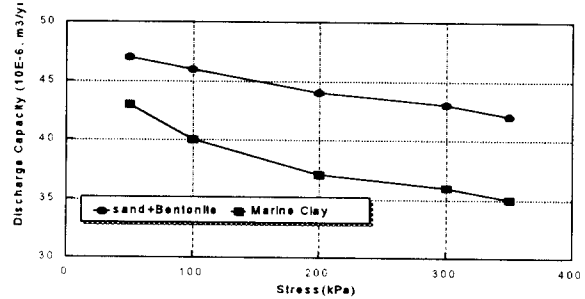


그림 10 구속 재료를 달리한 배수능력시험 결과

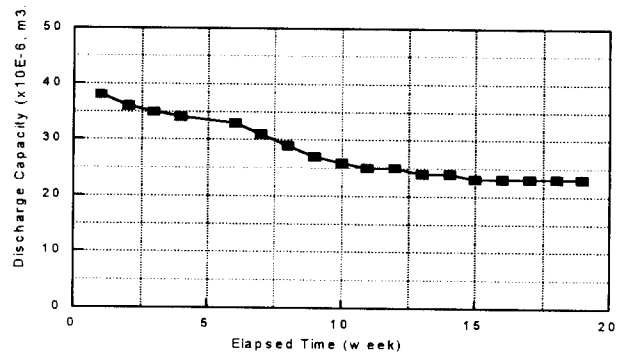


그림 11 장기 배수능력시험 결과

이 결과에 의하면 첫째 주에  $38 \times 10^{-6} (m^3/s)$ 의 배수능력이 약 15주부터  $23 \times 10^{-6} (m^3/s)$ 으로 떨어진 후 평형을 이루는 것이 관찰되어, 약 39%정도의 배수능력의 감소를 나타내었다. 또한 Geosyntec에서 변형시험과 직선시험의 결과를 비교하여 보면, 변형시험의 결과가 직선시험의 결과에 대비하여 평균 85% 정도임을 보이나, NTU에서 실시된 결과는 평균 56%에 불과함을 보여 주었다. 이러한 상이한 차이는 시험방법과 사용되는 흙의 종류에 따라서 대단히 다른 결과를 보여줄 수 있다는 좋은 예가 될 것이며, 지금까지 연구가 미진하였던 구속재료에 의한 영향 또한 대단히 중요하다는 자료가 될 것이다.

또한 현장에 공급되었던 드레인에 대한 각종 시험결과가 현장에서 요구하는 시방규정을 만족하여 위에서 언급한 현장시험들과 품질관리의 구조적 체계가 드레인 공급자에게 품질관리에 대한 경각심을 갖게 한 것으로 생각되며, 현장시험의 기술적인 부분과 아울러 조직체계와 이에 대한 철저한 시행이 무엇보다도 중요한 점이라고 사료 된다.

## 5. 결론 및 제언

- 1) 간단한 인장시험으로 드레인의 타설 안정성을 시험할 수 있었으며, 드레인이 습윤상태일때가 건조상태일 때보다 약 10% 정도 작은 인장강도를 보여, 품질관리기준이 습윤상태의 드레인을 대상으로 하여야 함을 알았다.
- 2) Soil-Geotextile Performance 시험을 통하여 필터케익의 존재를 확인할 수 있었으며, 필터의 투수성, Siltation, Clogging 등이 전체적인 드레인의 성능에 심각한 영향을 주지는 않는 것으로 사료 되었다.
- 3) 대구경 Soil-Geotextile Performance 시험은 고려되는 드레인이 대상지역의 토질에 대한 적용성을 알아보기 위한 적절한 방법임을 확인 하였고, 강성판에 의한 equal strain 하의 응력불균등이 압밀효과에 영향을 미치는 것이 관찰되었다.
- 4) 시간 및 거리에 따른 간극수압의 변화를 측정하여 이론해석과 비교한다면, 설계의 타당성을 검토할 수 있는 좋은 방법이 될 수 있을 것으로 사료 된다.
- 5) 드레인의 배수능력은 구속응력, 변형, 시간이 증가할수록 감소하며, 드레인 접착재료, 굴절형태, 흐름의 성질 등에도 영향을 받고, 특히 드레인의 구속재료가 점토일때가 고무막이나 모래와 벤토나이트를 섞은 경우보다도 작은 배수능력을 보임을 알았다.
- 6) 드레인의 현장품질관리가 현장시험실에서 인장 및 배수능력시험을 지속적으로 실시함과 동시에, 제 3의 공인기관과 대학에서 시험을 수행하여 성공적인 품질관리를 이루었다.
- 7) 드레인에 대한 품질시험은 시험방법에 따라 그 결과가 큰 차이를 보일 수 있으므로 시방에 규정된 방법 이외의 방법으로도 시험하여 품질에 대한 있을 수 있는 영향을 평가하여야 할 것으로 판단된다.

### \* 참고문헌

1. Bell, J. R. and Hicks, R. G.(1980), "Evaluation of Test Methods and Use Criteria for Geotechnical Fabrics in Highway Applications," *Report to Federal Highway Administration FHWA/RD-80/021*, Oregon State University, Corallis
2. Choa, V. Chu, J.(1995), "Quality control tests of vertical drains for a land reclamation project", *International Symposium on Compression and Consolidation of Clayey Soils*, Hiroshima, pp.43-48
3. Den Hoedt, D.(1981), "Laboratory testing of vertical drains", *Proceedings, Tenth ICSMFE*, Volume I, London, pp.627-30
4. Hansbo, S.(1981), "Consolidation of fine-grained soils by prefabricated drains", *Proceeding, Tenth ICSMFE*, Volume 3, Stockholm, pp.677-82
5. Hansbo, S.(1983a), "How to evaluate the properties of prefabricated drains", *Proceedings, Eighth ECSMFE*, Volume 2, Helsinki, pp.621-6
6. Hansbo, S.(1983b), "Discussion to Speciality Session 6". *Proceedings, Eighth ECSMFE*, Volume 3, Helsinki, pp.1238-94.
7. Kamon, M. and Ito, Y.(1984b), "Variations of discharging capacity due to filter clogging and deformation of plastic board drain materials", *Proceedings, Thirty-ninth Annual Conference of the Japanese Society of Civil Engineers*, Volume III, Tokyo
8. Koda, E., Szymanski, A. and Wolski, W.(1986), "Laboratory tests on Gedrains: durability in organic soils", *Proceedings, seminar Laboratory Testing of Prefabricated Band-shaped Drains*, Milan
9. Kremer, R.(1983), "Discussion to Specialty Session 6", *Proceedings, Eighth ECSMFE*, Volume 3, Helsinki, pp.1235-7
10. McGrown(1978), "The properties of non-woven fabrics presently identified as being important in public works applications", *INDEX 78 Conference Paper*, Brussels, pp.1.1-1.31
11. Queyroi, D., Soyez, B. and Schmitt, P.(1986), "Mesure en laboratoire de la capacite de discharge de drains plates prefabriques", *Proceeding, Third International Conference on Geotextiles*, Volume III, Geotextiles, pp.803
12. Vreeken, C., Van den berg, F. and Loxham, M.(1983), "The effect of clay-drain interface erosion on the performance of band-shaped vertical drains", *Proceedings, Eighth ECSMFE*, Volume 2, Helsinki, pp.713-6