

## 표층처리를 위한 현장의 강도적용에 관한 연구

### A Study on Applicability of Soil Strength for Surface Treatment

\*1 양태선 Yang, Tae-Seon

\*2 김병호 Kim, Byeong-Ho

#### Abstract

Most marine structures are constructed on very soft soil, soil improvements are needed for the area of road, buildings. In this paper, some considerations of several case studies on soil placement method after geotextile placement, known as surface treatment, are done. Considerations of strength applicability on the advanced construction method of sand and soil placement are proposed in this paper. Typical tensile strength of geotextile used in the surface soil stabilization method is 15t/m, and thickness of sand and soil placement between 1.6m and 3.1m. Undrained shear strength of soft clay layer ranges 0.2 ~ 1.2t/m<sup>2</sup>. In order to minimize the difficulties which include soil disturbance, soft soil gush and overturn of vertical drain installation rig more studies are needed.

#### 요 지

대부분의 항만구조물은 초연약 지반상에 축조되고 있으며 도로나 건물부지에는 지반개량이 필요하다. 이논문에서는 여러 사례연구를 통하여 표층처리후의 복토사례에 대하여 몇가지 고려사항을 언급하였다. 또한, 모래나 산토를 이용한 복토공법에 대하여 강도적용이 고려되었다. 국내 복토공법 토목섬유 인장강도는 15t/m, 복토두께는 1.6~3.1m, 점토지반의 표층강도는 0.2~1.2t/m<sup>2</sup>이 대표적이다. 표층처리공 시공시 발생하는 지반교란, 점토 유출, 장비전도 등의 사고를 최소화하기 위한 연구가 필요하다.

**Keywords :** 표층처리, 토목섬유, 점토 강도

#### 1. 서론

대규모 항만계획시에는 준설토 처리문제와 항만 시설부지의 확보 문제가 중요하여 최근에는 해안선에 호안을 축조하여 투기장을 조성하고 준설토를 투기 매립하여 해양환경과피를 최소화하고 투기장을 개발하여 항만시설부지로 활용하고 있는 실정이다.

준설투기된 점토지반은 높은 함수비와 작은 일축 압축강도를 가지며, 이러한 토층은 대체적으로 지

반의 연경정도를 나타내는 액성한계값이 100~200%, 소성한계가 50~100%, 토립자의 체적에 대한 공극비가 2~12, 일축압축강도가 대략 1.5kgf/cm<sup>2</sup> 이하이며, N치가 4~5 이하인 지반으로 구조물의 종류나 형식에 따라 압밀침하, 지반의 소성화에 의한 측방 유동 및 융기현상이 발생하게 된다.

이러한 연약지반상에 구조물을 축조하기 위하여 표층처리를 하는 경우 국내 항만건설 사업에서는 토목섬유 매트를 연약지반의 표면에 부설한 후 일정두

\*1 김포대학 환경시스템과 조교수 (Assist. Prof., Dept. of Environ. system, Kimpo college)

\*2 세광종합기술단 부장 (Manager, Sekwang Engineering Consultants Co.)

개의 토사를 덮어 강도를 증가시키는 복토방식이 대부분 적용되고 있는 실정이다.

본 연구는 연약지반개량시 적용되는 표층처리공법의 적용이 아직까지 체계적인 이론 정립이 미흡하고 시공사례도 많지 않은 현실에서 시공 사례분석을 통한 토목섬유의 적용과 점토의 강도적용을 살펴보고 현장적용에 대하여 논하고자 한다.

## 2. 표층처리의 설계,시공

### 2.1 표층처리의 설계

#### 가. 개요

지반개량 대상지역은 저습지 또는 준설점토가 투기 매립되어 조성된 부지이므로 전반적으로 대단히 연약한 상태이다. 지역에 따라 매립층 상부의 표층이 자연 건조되어 구갑무늬의 형상을 나타내거나 지하수위의 영향으로 포화되어 있다. 표층이 부분적으로 건조된 지역도 그 하부의 지층은 고탍수비의 아주 낮은 전단강도를 나타내는 토층으로 별도의 표층처리를 하지 않고서는 연약지반 개량공사가 불가능한 상태였다. 표층처리공은 이러한 초연약 상태의 지반에 지반개량을 위한 작업장비의 주행성과 시공성을 확보하고 성토공사가 가능하도록 지반개량공사 초기에 우선 시공되어야 한다.

표층처리공법은 Sheet나 Net 등의 토목섬유 재료를 포설하고 단계별 성토에 의해 일정두께의 복토층을 시공하여 표층의 지반강도를 증대시키는 복토방식과 석회나 시멘트 등 고화제를 흙 속에 주입하여 교반함으로써 표층을 고결시키는 표층고화방식의 두 가지 공법이 일반적으로 널리 사용되어져 왔다.

표층처리공은 공사용 중장비의 하중을 지지할 수 있는 표층강도만을 요구하고 침하는 과대하지만 않으면 되는 구조로 설계순서는 표층부 지반의 보강 필요성 검토, 복토시공시 안정성 검토, 복토시공 후 장비 진입시 안정성 검토로 진행된다.

#### 나. 표층처리공법의 선정

지반개량공사를 수행하기 위한 표층처리공법은 장비의 작업하중을 안전하게 지지하고 재료구득의 난이, 경제성, 시공성, 공기 등을 고려하여 선정한다. 연직배수공법이 두 종류로 선정되어 시공장비의 접지압을 고려하여 상부 토목섬유의 인장강도를 5tf/m와 10tf/m로 달리하여 설계하였으며, 표층처리공법 선정순서는 그림 1과 같다.

#### 다. 세부 설계

표층처리공법은 가정된 단면을 기초로 작업단계별 상재하중에 대한 안정성을 검토하여야 하며, 그 설계순서는 그림 2와 같다.

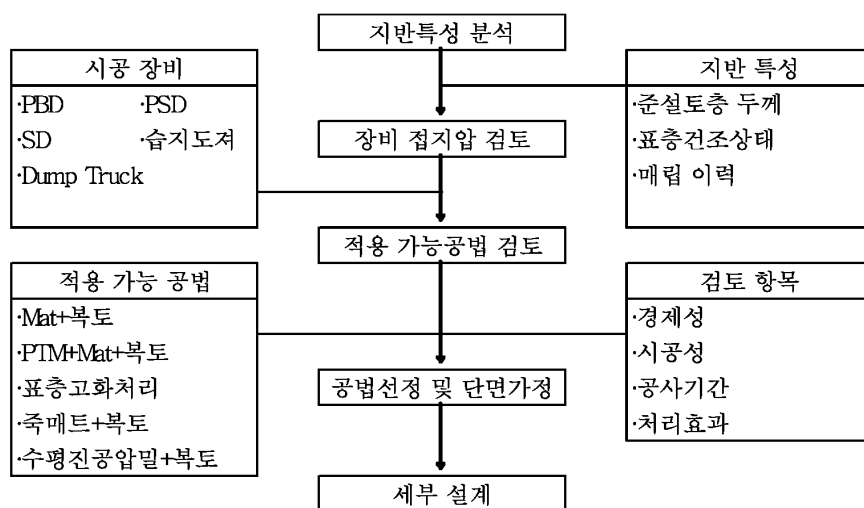


그림 1. 표층처리공법 순서

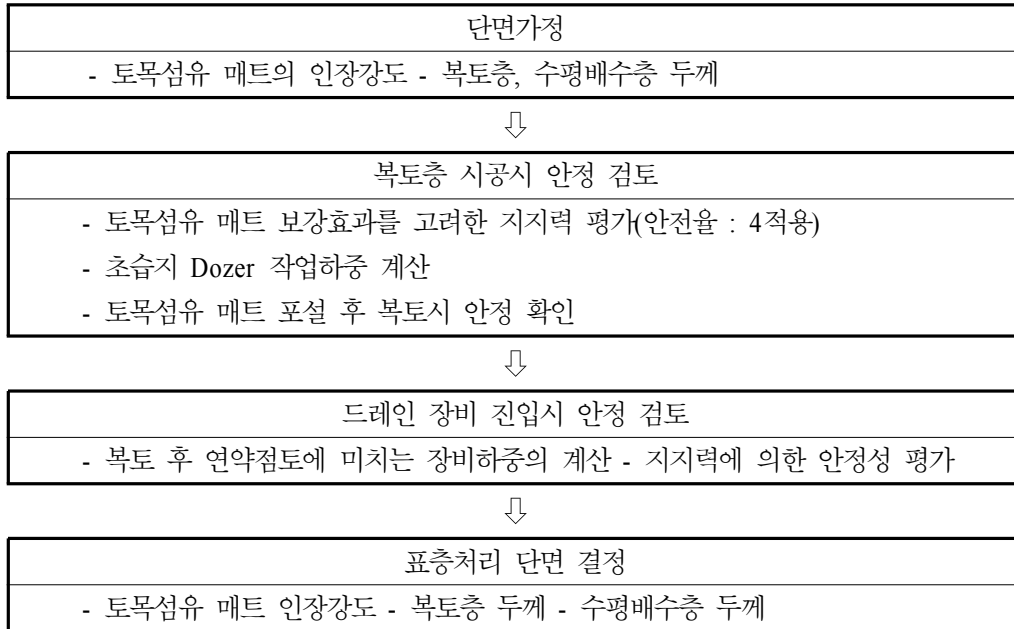


그림 2. 표층처리공법의 단면설계 순서

## 2.2 표층처리의 시공

연약지반개량을 필요로 하는 항만공사에서 작업 장비의 진입을 용이하게 하고 후속공사를 원활하게 추진할 목적으로 시공되는 표층처리공법은 국내 현장에서는 대부분 복토방식이 널리 이용되어 왔다. 복토방식은 연약지반의 표층에 갈대나 대나무, 지오그리드 또는 토목섬유 매트(Geotextile Mat)를 포설한 후 토사, 모래, Slag 등으로 복토를 하여 표층강도를 증가시키는 방식이다. 최근에는 양질의 토목섬유 매트 개발과 품질의 다양화로 많은 현장에서 토목섬유를 이용하고 있으나, 현장 지반여건에 따라서는 대나무나 지오그리드를 이중으로 포설하는 경우도 그 사례는 표 1에 정리하였다.

## 3. 표층처리시 고려 사항

### 3.1 공사사례

#### 3.1.1 표층처리 시기

표층처리공법을 적용하는 시기는 공사의 난이도, 공기와 관련되어 경제성, 시공성을 검토해야 한다. 본 논문에서 검토한 3개 현장에 대한 준설토 투기후

표층처리시까지 경과시간과 표층처리직전 준설토의 전단강도를 살펴 보면 아래 표 2와 같다.

실제로 위의 국내현장은 공정상에 차질이 우려되었고 연약지반 처리 공사시 장비의 진입에 요구되는 강도가 확보될 수 있는 대안시공 방법을 검토할 수밖에 없는 실정이었다. 그러나, 일본의 사례는 공기를 여유있게 확보한 상태에서 공사를 진행하였다. 공기확보를 위해서는 안정성이 확보되는 표층처리공법을 적용해야 하며, 준설토 투기후 3개월이내라도 투기장면적이 크지않은 경우 앞절에서 설명한 표층처리공법을 현장에 맞게 복합적으로 적용하여도 가능하다라고 판단된다.

#### 3.1.2 표층처리공법과 준설토의 전단강도

자연건조 방치 후 준설토의 함수비, 전단강도 등은 기후조건, 표면수 배수조건에 의하여 좌우된다. 방치기간 1년이 경과한 후 준설토의 함수비는 100% 이상이며, 전단강도는 약  $0.1t/m^2$ 로 기대할 수 있으나 배수공법이 병용되어야 한다. 그러나, 사람의 보행이 가능한 지반강도는 약  $3t/m^2$  이상이므로 매트설치가 필요하다.

준설토를 투기한 후 방치기간에 따라 전단강도는 증가하지만 중요한 것은 표층처리를 실시할 시기의

표 1. 표층처리공법 시공사례

구 분	토목섬유	내 용	준공 기한
	복토두께		
광양항 1단계 컨테이너터미널 축조공사	P.E.T 15tf/m	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 착공전 준설점토 지반고 : DL(+) 5.4</li> <li>· 저면 매트 시공 : B/H+인력</li> <li>· 복토재 : 토사 1.5m</li> <li>· 수평배수층재 : 모래 0.8m</li> </ul>	1997.12
	2.3m		
광양항 2단계 1차 컨테이너터미널 축조공사	P.E.T 15tf/m	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 착공전 준설점토 상단지반고 : DL(+)7.4</li> <li>· 저면 매트 시공 : B/H+인력</li> <li>· 복토재 : 토사 2.0m</li> <li>· 수평배수층재 : 모래 0.8m</li> </ul>	2001.12
	2.8m		
광양항 컨테이너부두 배후부지 지반개량 공사	P.E.T 15tf/m	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 착공전 준설점토 지반고가 5개의 대형 Pond별로 DL(+)6.0~10.2로 분포함.</li> <li>· 저면 매트 시공 : B/H+인력</li> <li>· 복토재료로는 토사와 Slag(제강 SS-40 : 40mm 이하)를 사용하여 0.5~2.3m 시공 완료함.</li> <li>· 수평배수층용 복토재료는 제강Slag(SS- 40 : 13~40mm)를 이용하여 80cm 두께 시공</li> </ul>	2002.12
	1.3~3.1m		
광양항 부두내 도로 공사	P.E.T 15tf/m	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 저면 매트 시공 : B/H+인력</li> <li>· 복토재 : 토사 2.0m</li> <li>· 수평배수층재 : 모래 0.5m</li> </ul>	2002.12
	2.5m		
광양항 3단계 1차 컨테이너터미널 축조공사	P.E.T 15tf/m	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 준설점토 지반의 착공전 지반고                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 동측부지 DL(+)6.5</li> <li>- 서측부지 DL(+)8.5</li> </ul> </li> <li>· 저면 매트 대상면적에 균질 포설이 가능한「Slip식 매트 포설공법」으로 시공.</li> <li>· 복토재 : 토사, Slag                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 동측부지 : Slag 0.4m, 토사 0.6m</li> <li>- 서측부지 : 토사 1.0m</li> </ul> </li> <li>· 수평배수재 : 모래                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 동측, 서측부지 : 1.0m</li> </ul> </li> </ul>	2006.12 (시공중)
	2.0m		
광양항 3단계 2차 컨테이너터미널 축조공사	P.E.T 15tf/m	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 준설점토 지반의 착공전 지반고 DL(+)8.5</li> <li>· 대상면적에 균질 포설이 가능한 「Slip식 매트 포설공법」으로 저면매트 시공.</li> <li>· 복토재 : 토사 1.5m</li> <li>· 수평배수재 : 모래 1.0m</li> </ul>	2008.12
	2.8m		
여수국가산단	P.E.T 25tf/m	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 저면 매트 시공 : B/H+인력</li> <li>· 복토재 : 제강Slag(SS-40 : 40mm 이하)</li> </ul>	-
	0.9m		
부산항 4단계 컨테이너터미널 축조공사	P.E.T 5tf/m	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 저면 매트 시공 : B/H+인력</li> <li>· 복토재 : 토사 1.0m</li> <li>· 수평배수층재 : 모래 4.0m 시공(DL(+)5.0 까지 계획 시공)</li> </ul>	2002.
	5.0m		
부산항 신선대 부두 5번선석 축조공사	P.E.T 5tf/m 죽네트 (0.75×0.75)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 죽네트(0.75m×0.75m 격자) 시공 후 저면 매트 포설</li> <li>· 복토재 : 토사 0.7m</li> <li>· 수평배수층재 : 모래 0.5m</li> </ul>	2003.
	1.2m		
부산항 신선대 부두 배면부지 조성공사	P.E.T 5tf/m 죽네트 (0.75×0.75)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 죽네트(0.75m×0.75m 격자) 시공 후 저면 매트 포설</li> <li>· 복토재 : 토사 0.3m</li> <li>· 수평배수층재 : 모래 0.7m</li> </ul>	2003.
	1.0m		

강도와 그에 따른 적절한 표층처리공법을 선택하는 것이다. 아래 그림 3은 일본의 시공사례를 통하여 살펴본 결과로 모래포설시 매트종류의 강도에 따른 준

설토의 전단강도 관계를 그래프로 표시한 것으로 표층처리공법을 선택하는데 참고가 되도록 하였다.

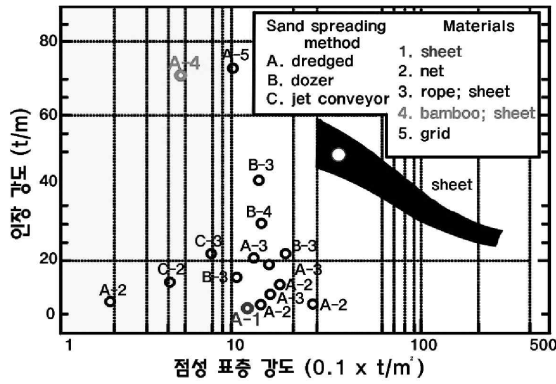


그림 3. 매트종류에 따른 강도와 준설토 표면 전단강도 관계<sup>[14]</sup>

### 3.1.3 지역별 특성

아래 표 2은 우리나라 지역별 토질특성치를 표시한 것이다. 경기권이 경상, 전라권에 비해 실트질 점토를 많이 함유하고 있고 함수비 분포도 큰 편차를 보이지 않고 있다.

최근의 항만공사에 적용한 표층처리공법을 간단히 지역별로 살펴보면 표3과 같으며 그 결과는 지역별 토질특성치와 무관하지 않다.

더구나, 최근 인천지역의 준설토(CL, ML)에 대하여 방치기간 1년 정도 경과한 투기장의 자연건조 지역에 대한 조사결과 건조층이 30cm 정도 발달하였

현장명	표층처리공법	방치기간
경기권	자연건조후 매트 인력, 장비 포설	6~12개월
경상, 전라권	매트 수중 장비 포설 샌드매트포설과 연계	6개월 이하

으며 건조층 하부 일축압축강도는 0.5~0.7t/m<sup>2</sup>으로 나타났고 상부 건조층으로 장비가 주행중인 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2 표층강도와 토목섬유 강도의 상관성 분석

표층처리공법에 대하여 복토방식은 준설점토 지반과 직접 닿는 토목섬유 매트와 그 상부에 시공되는 복토재로 구분할 수 있다. 따라서 연약지반 표층부의 강도는 토목섬유의 인장강도나 복토층의 두께와 서로 밀접한 상관성이 있다. 즉 표층강도가 약하면 토목섬유의 강도가 커지거나 복토층 두께가 커져야 한다.

따라서, 점성토의 표층강도에 따른 토목섬유 매트의 상관성에 대하여 일본사례에서 제시한 그림 3의 내용에 대하여 살펴보고 국내공사 적용사례를 분석하였다.

그림 4는 준설점토 지반의 표층강도에 따라 복토 방식에서 사용한 재료(Sheet, Net, Grid, Bamboo 등)

표 2. 해성점토의 기본 물성값들과 압축지수(1990년~2000년 자료)

권역	지역	비중	함수비	간극비	액성한계	소성지수	압축지수
경상권 (경남해안)	마산	2.42-2.72	31.7-134.4	1.559-3.347	29.8-120.2	13.4-74.2	0.478-1.71
	부산	2.369-2.76	23.5-87.8	1.115-2.454	23-90	2.6-57.5	0.13-1.24
	울산	2.63-2.74	31.8-106.2	0.876-3.221	30.6-115	11-77.3	0.165-1.86
	운산	2.67-2.73	39-77.7	1.008-2.097	35.4-100.3	11.4-64.6	0.17-0.91
전라권 (전남해안)	목포, 해남	2.68-2.72	33.1-70.3	0.891-1.929	35.3-75.7	17.3-52.1	0.199-0.84
	여수	2.72-2.74	71.8-108.8	2.071-3.018	69.4-85.4	45.7-56.7	0.68-1.14
	광양	2.65-2.71	30.7-82.1	0.75-2.18	44.1-79.1	23.8-48.8	0.17-1.53
	군산	2.66-2.75	22.4-66	0.636-1.882	27.3-77.9	5-38.4	0.15-0.71
경기권	인천, 반월	2.66-2.73	24-68.5	0.662-1.877	24.9-58.3	2.9-33.4	0.08-0.45
	아산	2.67-2.71	30.9-47.4	0.878-1.107	32-44.8	12.5-26.1	0.18-0.342

표 3. 표층처리 시공현황

현장명	투기장 면적	준설토 투기후 경과시간	준설토의 전단강도	지지력	비고
진해 현장	750a	3개월	< 0.3t/m <sup>2</sup>	< 1.0t/m <sup>2</sup>	
창이 공항	630,000m <sup>2</sup>	6개월	"	"	
부산 현장	304,300m <sup>2</sup>	5개월	"	"	
일본의 현장	50,000-332,000m <sup>2</sup>	6개월~1년	< 0.2t/m <sup>2</sup>	-	6개소

별 적용사례를 분석한 것이며,<sup>[8,9]</sup> 그 성과를 살펴보면 일본에서의 연약지반개량 대상이 되는 점성토 지반의 표층강도는 0.10~1.2tf/m<sup>2</sup> 정도이며, 토목섬유인 Net, Sheet 등의 인장강도는 5~40tf/m이 적용되었음을 알 수 있다.<sup>[5,6]</sup>

그림 4는 부산항과 광양항의 컨테이너터미널을 조성하기 위해서 시공한 연약 점토지반의 표층강도와 토목섬유의 인장강도를 도표화한 것이다. 지반의 표층강도는 0.15~1.05tf/m<sup>2</sup> 범위로 일본의 사례와 비슷하나, 토목섬유 매트와 인장강도는 5~25tf/m 범위로 15tf/m의 매트가 대부분 사용되었다. 국내에서는 연약지반개량시 토목섬유의 적용에 있어 일본의 경우보다는 저 강도의 토목섬유 매트를 사용함으로써 경제적인 시공이 이루어졌음을 확인하였다. 표

층처리공법이 토목섬유의 인장강도와 복토층 두께가 서로 상관성이 있음을 감안할 때 국내는 저 강도의 토목섬유 매트를 사용한 반면 공사현장 인근의 토취장 개발로 복토 두께를 두껍게 시공한 것임을 알 수 있다.

즉 매트와 토사를 합한 동일한 공사비 조건하에서 일본은 토목섬유 공사비가 크고, 국내는 인근공사 또는 내부유용을 위한 토사의 운용계획을 고려한 설계와 시공을 한 것으로 볼 수 있다. 국내 지반개량공사에 적용한 표층처리공법의 토목섬유 매트 강도와 준설점토지반의 표층강도에 대한 현장별 조사 자료는 표 4와 같다.

그림 5는 표층강도와 자연함수비와의 상관관계를 도시한 것으로 표층강도가 증가할수록 자연함수비

표 4. 준설점토 지반의 표층강도와 토목섬유 매트 강도 값

구 분	표층강도 (t/m <sup>2</sup> )	토목섬유 인장강도 (t/m)	자연함수비(%)	간극비(e)
광양항 1단계	0.18	15	50~102	2.0~2.9
광양항 2단계1차	0.50	15	34~96	1.4~2.6
광양항 2단계2차	0.13	15	50~91	1.9~2.3
광양항 배후부지(1B/L)	1.08	15	58~70	1.5~2.3
광양항 배후부지(2,4B/L)	0.70	15	52~88	1.5~2.3
광양항 배후부지(3B/L)	0.55	15	67~88	1.5~2.3
광양항 배후부지(5~7B/L)	0.48	15	51~104	1.5~2.3
광양항 부두내도로	0.18	15	50~102	2.0~2.9
광양항 3단계1차(동측)	0.30	15	80~110	1.6~2.7
광양항 3단계1차(서측)	0.25	15	90~115	1.6~2.7
광양항 3단계2차	0.23	15	71~90	1.7~2.6
여수 국가 산단	0.20	25	66~120	1.7~5.0
부산항 4단계	0.25	5	31~83	0.9~2.1
부산항 신선대5번선석	0.28	5	41~66	1.1~1.7
부산항 신선대 배면부지	0.22	5	36~95	1.2~1.8

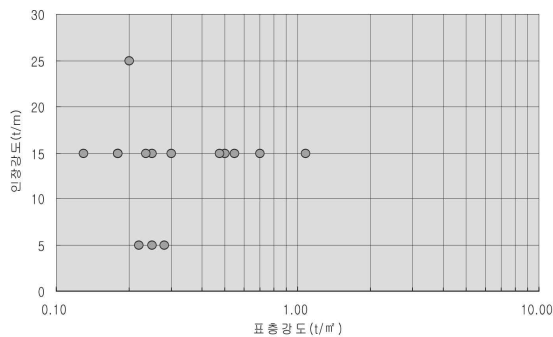


그림 4. 표층강도와 토목섬유 인장강도의 상관관계(국내)

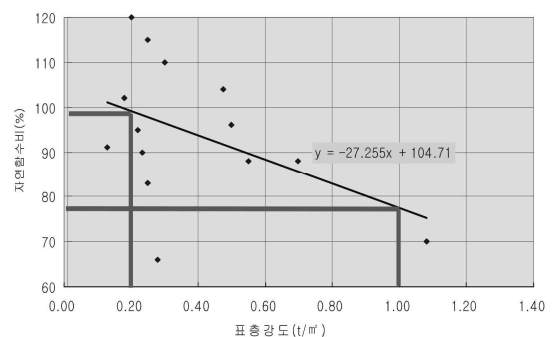


그림 5. 표층강도와 자연함수비와의 상관관계

( $W_n$  : 자연상태의 흙이 포함하고 있는 물의 양을 그 흙의 건조질량과의 비로 나타낸 수치)는 감소하는 일반적인 특성을 보여준다. 광양항 및 부산항의 조사대상 지역에서는 표층강도가  $0.2\text{tf/m}^2$ 인 경우 100% 정도의 함수비를 나타내고,  $1.0\text{tf/m}^2$ 에서는 78% 정도의 함수비를 보이는 것을 알 수 있으며, 표층강도  $0.1\text{tf/m}^2$  증가에 따라 3% 정도의 함수비가 감소하는 특성을 나타내고 있다.

또한 그림 6은 조사대상 구역의 표층강도와 간극비(흙을 역학적으로 취급하는 경우 흙은 무수한 흙입자가 겹쳐 쌓여 있으며, 그 입자와 입자사이는 물과 공기로 채워져 있다. 이 간극의 체적과 흙입자와의 체적의 비)의 관계를 도표화 한 것이다. 표층강도 증가에 따라 간극비가 감소하는 추세로 표층강도  $0.2\text{tf/m}^2$ 일 때 2.13이고,  $1.0\text{tf/m}^2$ 일 때 1.79로 표층강도  $0.1\text{tf/m}^2$ 이 증가할 때 간극비는 0.05 정도 감소하는 특성을 나타낸 것이다.

토목섬유 매트는 부설시 과도한 견인력이 작용하여 재료의 허용인장력을 초과하거나, 봉합부의 시공 불량, 지반 융기 등으로 복토층 시공시 파탄되어 트러블이 발생되고 있다. 따라서 매트의 손상을 방지하기 위해서는 연약층의 표층을 충분히 건조시켜 접

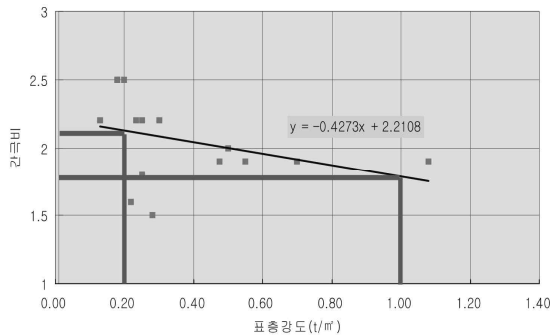


그림 6. 표층강도와 간극비와의 상관관계

표 5. 표층처리공법 시공트러블 사례 유형별 분류

발생구역	발생시기	사고 상황 및 피해사례
투기장 구역	복토 시공중	토목섬유 매트 파탄과 복토층 파괴로 준설토 분출
	수평배수층 시공중	토목섬유 매트 파탄과 복토층, 모래층 파손으로 준설토 분출
	드레인 타입중	복토층의 파괴로 준설토 분출과 함께 드레인 타입 장비, 불도저 전도, 함몰 또는 고립
안벽구역	드레인 타입중	수평배수층 시공 후 드레인타입 장비 전도

지 마찰력을 최소화시켜야 한다. 작업시에도 과도한 견인력 작용을 피해야 하며, 가능한 매트의 진폭에 대하여 균등하게 견인력이 작용할 수 있도록 매트 부설방법의 개선이 요구된다.

복토층은 설계에 규정된 두께로 평탄하게 시공하는 것이 매우 중요하다. 연약지반에서 장비 작업으로 인한 표층의 교란, 작업 진행방향으로의 융기, 요철 발생은 불가피한 현실이나, 이러한 현상이 복토층을 균등하게 시공할 수 없는 상태로 만들고 곧 트러블 발생의 원인을 제공한다. 복토시공법의 개선은 무엇보다 경량장비의 개발과 작업반경을 증대하여 작업 하중의 균등배분으로 융기현상을 최소화하고 평탄성이 유지되도록 하여야 한다.

수평배수층은 비교적 투수계수가 큰 모래( $k=10^{-2}\text{cm/sec}$ ), 쇄석, Slag 등이 많이 이용되며, 국부적으로 두께가 부족하거나 투수층이 절단되는 일이 없도록 시공되어야 한다. 연직드레인 타입장비는 일반적으로 크레인에 장대 가이드를 부착하여 조립하므로 그 자체가 불안정하고 중량이 무겁다. 타입형식은 진동식과 유압식이 있으나, 진동식의 경우 작업진동으로 인하여 복토층과 하부연약층을 더욱더 약화시키므로 가능한 유압식 장비의 사용이 바람직하다.

### 3.3 시공시 사고 사례

표층처리공법의 시공사고 사례는 항만공사 현장에서 발생한 시공기록을 조사한 것으로 사고 발생시기와 그 상황, 대표적 피해내용을 유형별로 분류하여 표 5에 정리하였다.

준설투기장 구역의 트러블은 토목섬유 매트 부설, 복토, 수평배수층 및 연직드레인 시공 과정에서 발생한 것으로

첫째, 토목섬유 매트 포설은 작업장에서 일정면적으로 이음작업을 하여 포설장소로 운반하고 인력과 장비로 당기면서 포설하게 된다. 단위당 포설량(무게)과 표층의 함수상태에 따른 마찰력의 대소에 따라 과도한 견인력이 불균등하게 작용되거나 복토과정에서 불규칙한 지반용기 현상으로 인장력이 집중되어 매트 재질을 손상시킴으로서 사고가 발생된다.

둘째, 복토작업은 지반의 표층이 매우 연약하여 초습지 도우저를 이용 50cm 정도 두께로 3~4 단계로 포설된다. 포설장비와 복토재 운반차량의 반복 운행으로 복토작업이 진척될수록 포설 두께가 점차 두꺼워지는 현상이 발생된다. 따라서 연약층의 소성 변형으로 전방에 과도한 용기현상과 하중의 집중으로 토목섬유 매트가 파탄되면서 준설점토가 분출하게 된다.

셋째, 복토층이 완성되면 그 위에서 연직 드레인 타입이 시작된다. 드레인 타입 장비는 크레인에 20~30m 높이의 가이드(또는 리더)를 부착하여 장비 자체가 매우 불안정하고 접지압도 10~12tf/m<sup>2</sup>(장비전체중량 120t 내외)로 매우 큰 편이다. 복토층에 표면 요철이 있거나 진동에 의한 점토지반의 국부적 교란, 지반 거동에 의한 용기, 돌풍 등으로 장비가 기울어짐과 동시에 복토층이 파괴된다. 이러한 경우는 작업원이 대피할 시간적 여유도 없이 순식간에 점토가 유출되면서 장비가 전도되거나 함몰되므로 매우 위험한 상황이 도래한다.

#### 4. 결론

1. 표층처리공법을 적용하는 시기는 공사의 난이도, 공기와 관련되어 경제성, 시공성을 검토해야 한다. 그러므로, 표층처리공법과 샌드매트 포설공법의 복합적인 방법을 통하여 현장에 알맞는 방법을 선택한다.
2. 국내 항만공사에 적용된 표층처리공법은 토목섬유 매트와 토사, 모래, Slag를 이용한 복토방식이 대표공법이었고, 이때 사용된 토목섬유의 인장강도는 대부분 15tf/m이며, 복토층 두께는 2.0m~2.8m 범위이다.
3. 표층처리공법을 적용한 점토지반의 표층강도와 토목섬유 매트의 인장강도와의 상관관계를 분석

한 결과 일본의 경우 표층강도 0.1~1.2tf/m<sup>2</sup>, 인장강도 5~40tf/m가 대부분이며, 국내의 경우 표층강도 0.15~1.05tf/m<sup>2</sup>, Mat의 인장강도는 5~25tf/m이 사용되었다.

4. 표층처리시 서해안의 경우 특히 인천의 일부현장은 자연건조공법을 이용하여 1년간 방치하면 건조층이 30cm 정도 발생하고 전단강도는 0.5~0.7t/m<sup>2</sup>으로 나타났으며 표층처리없이 장비진입이 가능하였다.
5. 준설점토 지역의 연약점토 지반개량시에는 표층강도의 조기증진, 균등하중의 토목섬유 포설, 경량장비 박층부설과 균등한 두께유지가 중요하므로 이에 대한 연구가 필요하다

#### 참고문헌

1. 광양항 1단계 컨테이너터미널 축조공사 실시설계용역 보고서(1994).
2. 광양항 2단계 1차 컨테이너터미널 축조공사 실시설계용역보고서(1996).
3. 광양항 2단계 2차 컨테이너터미널 축조공사 실시설계용역보고서(1998).
4. 광양항 컨테이너부두 배후부지 지반개량공사 실시설계용역보고서(1999).
5. 광양항 3단계 1차 컨테이너터미널 축조공사 실시설계용역보고서(2002).
6. 윤중만, 송영석, 홍원표(2003), “준설매립된 연약지반에서의 표층개량”, 대한토목학회 2003년 정기 학술대회 초청 및 구두발표논문 초록집.
7. 부산항 4단계 컨테이너터미널 축조공사 실시설계보고서(1996).
8. 부산항 신선대부두 5번선석 축조공사 실시설계보고서(1996).
9. 부산항 신선대부두 배면부지 조성공사 실시설계보고서(1996).
10. 석사학위 청구논문(1999), “준설점토지반개량시 복토의 효율적 관리방안” 전남대학교 대학원 산업공학과 최귀봉.
11. 석사학위 청구논문(1993), “소성점토 지반의 측방유동압에 관한 연구(CL과 CH를 중심으로)” 조선대학교 대학원 토목공학과 김병호.
12. 양태선(2002), “항만공사에 있어서 표층처리 시공사례에 대한 고찰”, 아시아지역기술위원회(ATC-7) 2002년 ISSMGE ATC-7 SYMPOSIUM 대심도 델타퇴적토와 준설매립지반 : 침하특성 및 지반개량 pp.476~489.
13. Jewell, R. S.(1998), “Soil Reinforcement with Geotextiles”, CIRIA, London, pp.1~30.
14. ISGK(2000), International seminar on Geotechnics in Koichi, pp.7~8.