국토교통기술촉진연구사업

14TRPI-C064124-03

준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 최적 설계기법 연구 최종보고서

발간등록번호
11-1613000-001086-01

준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 최적 설계기법 연구
최종보고서

2016. 2.

주관연구기관 / 군산대학교 산학협력단
공동연구기관 / Univ. of Colorado Boulder
참여연구기관 / (주)동성엔지니어링
(주)준건설
대윤지오텍(주)
(주)백두

Infrastructure
R&D Report

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

2016. 2.

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

비매품
33530
9 788998 915759
ISBN 978-89-98915-75-9

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서는 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

제 출 문

국토교통기술진흥원장관 귀하

이 보고서를 “준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 최적 설계기법 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2016. 2.

주관연구기관명 : 군산대학교 산학협력단
주관연구책임자 : 김 형 주 교수
공 동 연 구 원 : 원 명 수 교수
연 구 원 : 이광형, 이장백, 박태웅
연 구 원 : 제이재민, 주정훈, 최민준
연 구 원 : 김용범, 조성경, 문성길
연 구 원 : 유충열, 김형수, 조완호
연 구 원 : 김영신, 고정희, 최정호
공동연구기관명 : Univ. of Colorado Boulder
공동연구책임자 : Dobroslav Znidarcic
공 동 연 구 원 : Nicholas Robert Brink

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>14TRPI-C06
4124-03</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2012.11.29~
2015.11.28</td><td>단 계 구 분</td><td>(3단계)/
(총 3 단 계)</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 최적
설계기법 연구</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">준설토 활용 토목섬유 튜브 구조체의 최적 형상화
기술과 설계프로그램개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>김 형 주</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 31 명
내부 : 29 명
외부 : 2 명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 737,717천원
정부외 : 65,000천원
상대국 : 65,000천원
기업 : 262,000천원
계 : 1,129,717천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">군산대학교 산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">대윤지오텍(주), (주)백두,
(주)동성엔지니어링,
(주)준건설</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 미국 상대국연구기관명 : Univ. of Colorado Boulder</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td>보고서</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td>면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">본 연구는 하천과 해안 및 해상의 호안, 댐 등의 인프라구조물을 축조할 때 활용되는 토목섬유 튜브 구조체의 최적설계기법 개발을 통해 외적환경조건을 고려한 설계/시공/유지관리까지를 시스템적으로 융합하는 기술의 개발을 목표로 하였다. 연구 목표 달성을 위해 준설토를 활용하여 토목섬유 튜브 구조체의 주입 및 퇴적형상이 현장 시공성에 미치는 영향인자를 분석하였으며, 설계 및 시공성에 관한 원천기술을 확보하고자 대형 시험 장치를 제작하여 주입기술에 관련된 토사교반 호퍼와 주입모듈을 개발하여 새만금 육상 현장시험을 통해 실증화 하였다. 최종적으로 토목섬유 튜브 구조체의 이론적 해석기법개발과 대형 시험 장치를 통한 요소기술 도출, 새만금 현장시험을 통한 실증화 연구에 따라 설계/시공/유지관리 매뉴얼을 개발하였다. 현재 미국에서 개발되어 국내에서 사용되고 있는 설계프로그램(GeoCoPS)의 탄성해석의 한계를 획기적으로 개선하고자 시간 의존적인 압밀배수이론을 적용하여 GeoTDS프로그램을 자체적으로 개발함으로서 글로벌 설계기술의 발전을 도모하였으며, 국제공동연구기관을 통해 범용성을 확보하였다.
본 연구는 국내 건설기술의 국제경쟁력 향상에 따른 국익 확보, 석산골재 사용에 의한 환경, 민원 문제 완화(Mitigation) 및 건설 이미지제고 등의 기대 효과를 창출하였다. 아울러 건설-섬유산업의 융합을 통한 신산업의 창출도 가시화하였으며, 참여연구원의 R&D 능력 배양이라는 부수적인 효과도 거두었다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="2">준설토, 토목섬유 튜브 구조체, 토사교반 호퍼, 주입모듈, 설계프로그램, 매뉴얼</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="2">Dredging Soil, Geotextile Tubes, Dredge Hopper, Inlet Port, Geotextile Tube Design Program, Manual</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제목

준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 최적 설계기법 연구

Ⅱ. 연구개발과제 개요

본 연구개발의 목표는 다음과 같다.

첫째, 하천과 해안 및 해상의 호안과 도로, 댐 등의 인프라 구조물을 축조할 때 활용되는 토목섬유 튜브 구조체의 최적설계기법 개발을 통해 외적 환경을 고려한 설계/시공/유지관리 기술을 시스템적으로 융합하는 기술을 개발하는 것이다.

둘째, 준설을 활용한 토목섬유 튜브 구조체를 통해 제방 및 방파제 등의 해안구조물을 축조할 때 토목섬유 튜브 구조체의 봉합과 주입기술이 튜브의 인장력과 형상화에 미치는 여러 요인을 분석하여 시공성을 확보하고, 토목섬유 튜브 내부에서 발생하는 배수 및 비배수 거동을 규명하여 토목섬유 튜브 구조체의 설계/시공/유지관리 매뉴얼을 개발하는 것이다.

셋째, 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체 단면설계를 위해 설계소프트웨어를 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) 환경에서 사용될 수 있도록 프로그램을 개발하는 것이다.

넷째, 본 연구 개발은 토목섬유 튜브 구조체를 이용한 제방 및 해안과 해상의 호안 인프라 구조물 설계/시공지침서(안)를 제안하여 건설기술의 국제경쟁력을 향상시켜 국익을 확보하고, 해안 및 해상지역의 성토체와 하천 제방 축조 시 부족한 골재 재원을 대체하여 인프라 구조물 투자 효율성을 확보하는 것이다.

현재 국외 토목섬유 봉합기술을 소유한 TENCATE(사)가 토목섬유 제품과 함께 국내·외 시장을 점유하고 있는 상황을 고려하여 본 연구에서는 동등 이상의 품질확보가 가능한 튜브 구조체를 개발하고자 하였다. 또한, 새만금과 같이 해안지역 성토사면 조성 시 필요한 사석 공급에서 발생하는 원거리 수송에 의한 경제적 손실과 환경 및 지역민원 등의 문제점을 극복하고자 토목섬유 튜브 구조체의 준설토 주입 및 형상화 활용 기술의 요구 사항을 충족하고자 하였으며, 나아가 글로벌 건설기술을 확보하여 국내 건설 산업의 해외 경쟁력확보가 가능하도록 하고자 하였다.

본 연구의 최종 목표 설정 근거는 다음과 같다.

본 연구가 활용하고자 하는 토목섬유 튜브 공사는 2005년 인천대교 교량 가설도로와 2006년 일산대교 교량물막이 공사 시 외국계 TENCATE(사)의 기술에 의해 처음 도입되었다. 본 연구의 연구 책임자는 위의 사례에 유념하여 2008년 국무총리실 산하 새만금 기획단 자문회의에서 향후 해안지역 도로 및 제방 등의 인프라구조물 축조 시 공사 현장으로부터 상당히 이격된 곳(새만금의 경우 30km이상)으로부터 토사를 운반할 때 운반비가 크게 증가되고, 이에 따라 매립 공사의 어려움이 예상되며, 이 어려움을 극복한 대안이 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 공법임을 발표하였다. 그 후 지속적인 국내·외 문헌 및 연구현황을 분석하고 현장 실무자들과 토론을 통해 준설토를 활용하여 토목섬유 튜브 공법의 기초조사를 수행하였고, 예상되는 문제점의 도출 등을 통해 본 연구

의 목표를 설정하였다.

본 연구 개발과제는 과거 3년 동안 제기된 여러 문제점을 종합하여 토목섬유 튜브 공법에 의해 원거리 골재 수송에 의한 운반비를 고려한 경제성 확보와 제체 사면적용과 연성 토목섬유 튜브 구조체의 안정성 확보를 위한 시공 및 설계기술 수립, 그리고 소프트웨어 개발에 필요한 내용 등을 연구 과제로 설정하였다.

국외 협동연구기관으로는 Univ. of Colorado, Boulder 대학을 선정하였다. 본 과제의 중심 연구기반인 연구자의 재직 대학 내의 지반공학실험실은 세계적으로 연약지반 압밀이론으로 높게 평가받고 있는 Dobroslav 교수와 공동연구를 수행하도록 연구진 구성을 구체화하였다. Dobroslav 교수가 과거 미국토목학회로부터 베스트 어워드상을 수상하게 된 계기가 미국 플로리다의 매립지에서 발생하는 압밀도에 따라 건조수축(Decisiation) 원리를 이론과 실험을 통해 규명하였다는 사실에 주목하여 본 연구 진행에 크게 기여할 것으로 판단된다. 본 연구에서 Dobroslav 교수는 토목섬유 튜브 내의 퇴적토의 건조수축 및 배수압밀에 대한 원천기술 개발과 수치해석기술 개발을 담당하였다.

본 연구의 현장선택과 실험은 한국의 선택된 방향에 의해 기존 연구결과를 고려하여 결정되었으며, 연구의 초기는 문헌 및 국내에서 제조된 토목섬유 튜브 구조체와 그 간의 국내 연구 성과도 제공되어 상호 공동연구가 진행되었다. 본 연구진이 채택한 공법의 장점과 단점, 그리고 현재의 방법과 기존 관행의 단점 등을 자세히 검토하였으며, 더욱 개선된 지침과 이론들이 연구의 결과를 토대로 제안되었다. 실험 및 수치 해석은 현장 및 실험실 데이터를 최적화하고 제안된 목적들을 위해 활용되었다.

국내·외 연구기관과 공동연구를 통해 추진된 설계기술개발과 특허출원에 의해 정립된 설계법, 그리고 매립지의 토목섬유 튜브 구조체의 안전성 확보 및 유지보수를 최소화하기 위한 토목섬유 연구, 친환경적인 설계기술개발 등은 향후 우리 기업의 국제경쟁력 확보에 기여할 것으로 예상되고 있다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구의 대상범위는 해안 및 해상 구조물 축조 시에 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 공법의 설계기법을 정립하고 설계 소프트웨어의 개발 및 설계/시공/유지관리 지침서(안)을 제안하는데 있다.

본 연구는 총 3년(36개월)로 예정하였으며, 연구내용은 차년도별로 나눠진다. 세부연구과제의 연구내용은 다음과 같다.

1차년도

- 토목섬유 튜브와 준설토의 물리·역학적 특성 및 확산 특성 평가
- 토목섬유 튜브 구조체의 거동 특성을 위한 실내 모형 토조 시험에 의한 시뮬레이션
- 준설 토목섬유 튜브 구조체의 배수 및 압밀과정과 퇴적거동에 관한 이론 해석
- 준설 경량 혼합토 성능 최적 배합 설계
- 국외 연구자료, 글로벌 시공사의 시공현황 및 시공기술 분석
- 새만금 현장 데이터 무선 전송 네트워크 토폴로지 개발

2차년도

- 토목섬유 튜브 구조체 개발
- 준설 토목섬유 튜브 구조체의 수리적 특성에 따른 형상화 규명
- 새만금 현장 테스트 베드 시험계획
- 현장 테스트 베드를 통한 준설 토목섬유 튜브 구조체의 실증화 및 장기거동 특성 규명

3차년도

- 준설 토목섬유 튜브 구조체의 설계 프로그램 개발
- 준설 토목섬유 튜브 구조체 설계 프로그램의 검증 및 보완
- 토목섬유 튜브 구조체의 최적 설계/시공/유지관리 매뉴얼 작성 제안

Ⅳ. 연구개발 결과

본 연구를 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

(1) 시험 재료의 공학적 특성 평가 및 토목섬유 튜브 구조체 개발

- 사용된 새만금 하부 준설토는 No.200체 통과율이 26.2%, 비중은 2.705, 소성지수는 N.P로 통일분류법상(USCS) 실트질 모래(SM)로 분류되었고, 일반적인 서해안 준설토의 특성과 유사하다.
- 토목섬유 튜브 봉합기술 개발을 위해 폴리에스터인 직포를 사용하여 6선 봉합의 수(열)에 의해 봉합효율은 나비형은 80.02～83.26%, J형은 84.88～66.54%, 평면형은 37.12～76.29%로 나타났다. 나비형의 봉합형태가 J형이나 평면형 봉합보다 효율이 크게 나타났고, 나비형의 경우는 6선 봉합의 수에 비례하여 봉합효율이 증가하는 것으로 나타났다. J형과 평면형 봉합의 경우는 6선 봉합이 1열에서 2열로 증가할 때 봉합효율이 증가하고 3열로 증가하면 감소하는 것으로 나타났다. 6선 봉합이 2열인 경우 평면형 봉합효율이 나비형 보다 크게 나타났다.
- 재질이 폴리프로필렌인 직포의 경우는 나비형 봉합에 대해서만 봉합강도시험을 수행하였다. 봉합효율은 6선 봉합의 수에 따라 48.07～90.72%이고, 봉합의 수에 비례하여 봉합효율이 증가하는 것으로 나타났다.
- 부직포와 직포가 합성된 복합포의 봉합효율은 6선 봉합의 수에 따라 나비형 70.36～93.64%, J형 69.75～75.81%, 평면형 61.80～74.36%로 나타났다. 나비형과 J형은 6선 봉합수의 수에 비례하여 봉합효율이 증가하고, 평면형의 경우는 6선의 봉합 수가 2열일 때까지는 증가하나 3열인 경우는 감소하는 것으로 나타났다. 6선 봉합의 수가 2열인 평면형 봉합에서 봉합효율이 가장 크게 나타났다.
- 복합포의 경우 유효구멍크기는 PET나 PP에 비해 가장 작은 값을 나타내어 세립분의 유실을 막을 수 있는 저장능력을 가지고 있고, 필터 기능에 있어서 우수한 성능도 가지고 있는 것으로 평가되었다.
- 준설 토목섬유 퇴적 구조체의 지지력을 파악하고자 전기식 피에조콘 관입시험을 실시한 결과 토목섬유 튜브 구조체는 배수에 의해 입자간의 밀도와 유효응력이 증가되므로 콘 저항치도 증가된다.

(2) 준설 토목섬유 튜브 시뮬레이터에 의한 시공기술 개발

- 준설토 주입 방법에 따른 토목섬유 튜브 내부의 퇴적분포가 토목섬유 튜브 구조체의 형상화에 미치는 영향을 분석하기 위해 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 시뮬레이터 장치에 의해 비닐튜브 구조체 모형시험을 통해 실시한 기존 I-type의 주입은 튜브 구조체의 퇴적 및 침식속도가 크게 변화되어 분리퇴적에 의해 크레이터(Crater)가 형성되고 있다.
- 또한, 개발된 역 T-type의 주입은 시간 경과에 따른 튜브의 연직 높이(H)와 수평 폭(W), 직경(D_0)을 기준으로 연직충진비(H/D_0)는 0.54～0.64 정도로 나타났고, 수평변형비(W/D_0)는 1.45～1.54로 균등한 확산·퇴적 튜브 구조체를 형성하고 있는 것으로 확인되었다. 개발된 역 T-type의 모듈에 의한 주입은 단계별 주입 후 침강완료 시점에서 퇴적고는 튜브 구조체의 종방향으로 균등하게 확산·퇴적되었고, 주입구 부분에서 크레이터 현상이 나타나지 않고 있어 전반적으로 균등한 튜브 구조체가 조성되고 있다.
- 또한, 역 T-type의 주입모듈은 수평 확산성이 매우 크므로 모형시험에서는 튜브 구조체의 스케일 규모에 의해 토목섬유 튜브 끝단 봉합지점에서도 백워터의 영향으로 인하여 미세립 부유토사가 봉합선단에서 퇴적되고 있어 수평 확산성이 매우 우수하다.
- 역 T-tpye 주입모듈은 준설토가 실대형 토목섬유 튜브 내부에 수평으로 균등하게 퇴적되므로 기존 I-type 주입구 직하의 퇴적집중에 의한 튜브 구조체 파손을 방지하는데 매우 효과적이다.
- 토목섬유 튜브 모형시험에서 토목섬유 시편 표면의 요철 및 방수처리 후 스트레인게이지 방수성능시험을 24시간 동안 수침한 결과 토목섬유 튜브 구조체의 인장하중에 대해 양호하게 반응하는 것으로 확인되었다.
- 스트레인게이지에 의한 측면에서의 변형은 상단에서의 변형률보다 크게 나타났고, 이러한 현상은 채움 시에 수직변위보다 수평변위를 크게 발생시키고 있다. 따라서, 연성인 토목섬유 튜브 구조체의 채움 시에 수평토압이 큰 비등방 구조체를 형성하고 있다.
- 역 T-type 초기 채움 시 3차원 x(종단), y(횡단) 및 z(연직) 방향에서 전응력은 증가하면서 일정시간이 경과 된 후에는 감소하는 경향을 볼 수 있다. 먼저 채움재가 응집·퇴적되면서 x, y 방향의 전응력 값이 z방향의 전응력 값보다 높게 나타나고 있다. 이는 역 T-type 주입모듈이 1차적으로 수직방향보다 종·횡단방향으로 확산·퇴적되므로 안정적인 튜브 구조체를 조성하고 있다.
- 토목섬유 튜브 구조체의 수평변위를 허용하지 않는 등방상태에서 내부응력을 파악하고자 강성 지오셀(Geo-Cell)모형장치를 제작하여 액상시료의 주입과 배수(Dewatering)의 반복적인 과정을 통해 내부응력을 측정하였다. 주입에 의해 실질토량고가 증가되면서 내부의 전응력은 주입압과 토사가 퇴적되는 상재하중에 비례하여 하부에서는 증가되며, 시료 주입이 증가되면서 주입압력은 상부에서 크게 나타나고 하부에서는 퇴적하중의 영향을 받고 있다. 그리고 점점 수평하중은 감소하므로 무게중심은 중심선 하부에 위치하고 있으므로 배수가 탁월한 연성 튜브 구조체의 무게 중심은 강성 튜브보다 더욱 중심선 하부에 위치하고 있음을 알 수 있다.
- 강성 지오셀 구조체는 주입과 배수 시 실질토량고가 증가하면서 전응력은 튜브 구조체의 종방향(L)과 횡방향 배수거리(D)에 의한 확산배수 거리비(L/D) 및 토목섬유 재질과 토사가 상호 합성되는 투수영향을 받아 변화되고 있다. 강성 지오셀 구조체는 주입 초기에는 주동상태 토압(K_a)을 받고 퇴적이 진행되면서 수동상태(K_p)로 전이되고 최종적으로는 정지응력상태(Geo-static earth pressure, K_o)에 수렴되고 있다.

- 직포와 복합포에 의해 형성된 튜브 구조체에 대한 대형직접전단 시험결과 토사-토목섬유 경계면에서의 전단특성에 의한 효율계수 변화는 미미하므로 사용재질보다 충진 토사의 전단강도에 의해 영향을 받고 있다.
- 중력에 의한 침투 배수능력을 파악하고자 실시한 행잉백(Hanging Bag) 시험은 침투수압이 증가되면서 투수계수는 복합포가 초기에 내부 부직포의 필터에 유효구멍을 폐색시키는 클로깅 현상에 의해 상대적으로 직포에 비해 작게 발생되고, 투입 후 일정시간이 경과하면 직포와 부직포 모두 최종적으로는 유사한 투수성을 나타내고 있다. 간극수압도 초기에는 클로깅 현상으로 부직포가 직포에 비해 증가되나, 최종적으로는 직포와 부직포는 유사한 간극수압을 나타내고 있어 주입재의 투수계수 영향이 배수능력에 영향을 크게 미치고 있다.
- 토목섬유 튜브 구조체의 반단면 인장력시험결과 튜브 구조체의 접선 전단력은 주입과 동시에 튜브 구조체가 상승되면서 증가되나, 하부 바닥면에서는 상대적으로 매우 작게 나타내고 있다.

(3) 토목섬유 튜브 구조체 설계프로그램 개발

- 국내 시판되는 국외 상용프로그램으로 GeoCoPS를 이용하여 수행된 시험결과 및 육상 현장 테스트베드 시험 결과와 상호 비교하여 국외 시판프로그램의 문제점을 보완하고자 이론적으로는 구성방정식을 개발하였고, 압밀상수가 반영되도록 신 개념의 토목섬유 튜브 구조체의 배수 형상화 거동 변화를 예측하면서 GUI환경에서 설계가 가능한 프로그램인 GeoTDS를 개발하였다.
- 개발된 프로그램은 준설토와 토목섬유의 복합재료의 투수특성을 상호 융합하고 토목섬유 튜브 구조체의 형상화를 실질적으로 모사할 수 있는 새로운 수치해석 프로그램이다. 개발된 수치해석 방법의 신뢰성은 실내모형시험 및 현장시험 결과와의 비교를 통해 검증하였으며, 파라메트릭 분석을 이용한 토목섬유 튜브 구조체의 거동을 정확하게 예측 가능하였다.

(4) 새만금 육상 현장 테스트 베드 시험을 통한 개발 기술의 실증화 분석

- 새만금 현장 테스트 베드 육상 시험에서 총 6개의 시험 베드가 구축되었다. TB-1은 직경 3m, 길이 10m이고, 봉합형태는 자체 개발한 6선 2열 띠보강(연구형) 튜브 구조체와 주입방식은 기존 I-type 주입모듈을 사용하였다. 주입 후 최종 퇴적고는 1.42m, 튜브 둘레는 10.99m, 폭은 4.36m의 형상을 나타냈다. TB-1의 경우 띠보강 효과와 주입횟수가 증가되는 현상이 나타났다.
- TB-2는 직경 5m, 길이 25m인 토목섬유 튜브로서 봉합형태는 6선 2열 횡봉합(TENCATE) 방식을 사용하였고, 주입방식은 I-type으로 불규칙적인 토사퇴적으로 인하여 튜브 구조체에 응력집중이 발생하였다. 비균등체 발생 1일 경과 후 최종 높이 1.367m, 둘레 17.21m, 폭 7.5m의 형상을 나타냈다. 또한, 토목섬유 튜브 구조체 내에서 일부 토사집중으로 인하여 비균등 퇴적에 의해 종단방향으로 뒤틀리는 현상이 나타나 선형유지가 어려웠다.
- TB-3은 기존 TB-1 상단에 직경 3m, 길이 10m인 토목섬유 튜브를 적층하는 실험으로 봉합형태는 6선 2열 일반형(국내형) 방식을 사용하였고, 주입모듈은 개발된 역 T-type 주입모듈을 사용하였다. 1일 경과 후 최종 퇴적고가 1.6m로, TB-3의 주입과 함께 TB-1에서도 침하가 발생하였다. TB-3의 경우 주입시간 단축과 균등한 튜브 구조체가 조성되었고, 크레이터 현상 및 인장파괴는 나타나지 않았다.

- TB-4은 직경 5m, 길이 25m인 토목섬유 튜브로서 봉합형태는 6선 2열 일반형(국내형) 방식을 사용하였고 주입방식은 기존 I-type을 사용하였다. 1일 경과 후, 최종 퇴적고는 종단방향으로 1.21m와 1.645m로 비균등하게 퇴적고를 형성하며 횡단 폭은 7.41m의 형상을 나타냈다. 주입과정에서 6선 1열의 봉합이 일부 파괴되었으나, 보조적인 다른 6선 1열은 그대로 유지되어 6선 2열 봉합에 의해 인장보강효과가 증명되었다.
- TB-5은 직경 3m, 길이 10m인 토목섬유 튜브로서 봉합형태는 6선 2열 일반형(국내형) 방식을 사용하여 수중상태에서 포설과 주입이 이루어졌으며, 주입방식은 역 T-type방식이다. 1일 경과 후, 최종 높이 1.63m의 형상이 나타났으며, 토사의 퇴적이 균등하게 퇴적된 튜브 구조체로 수중에서 보다 안정적인 튜브 구조체가 조성되었다.
- TB-6은 직경 5m, 길이 25m인 토목섬유 튜브로서 봉합형태는 현재 자체 개발로 연구된 6선 2열 띠보강(연구형) 방식을 사용하였다. 1일 경과 후, 최종 높이 1.863m, 폭 7.4m의 형상을 나타냈으며, 본 시험의 토목섬유 튜브 중에서 가장 균등하고 안정적인 튜브 구조체가 조성되었다.
- 토압은 채움 단계별로 증가한 후 일정하게 수렴하고 간극수압은 채움 시 증가하고 방치 시 배수로 인해 감소하는 경향을 나타냈다. 튜브 구조체의 변형률은 전 고점으로부터 시계방향으로 25°되는 지점까지 뒤틀리면서 바닥면과 분리되는 지점에서 크게 뒤틀림 현상이 나타나고 있다. 단계별 채움 시 토사가 증가되면서 토압도 증가되며 배수 시에는 간극수압이 감소하여 안정적인 튜브 구조체를 형성하고 있다.

(5) 토목섬유 튜브 설계프로그램 매뉴얼 및 설계/시공/유지관리 지침서(안) 제안

- 기존 설계 패턴과 실내모형시험 및 테스트 베드 현장시험, 수치해석 결과를 토대로 토목섬유 튜브 공법의 합리적인 운영지침(안)을 제안하였다.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

본 연구를 통해 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 최적 설계기법이 정립되어 국내·외 해상 및 해안 지역의 인프라구조물 확충 시 현장에서 재료공급이 용이한 준설토를 활용하여 시공 재료비를 친환경적으로 최소화할 수 있다. 또한, 이 기법은 시공비용과 시공기간을 단축하고 구조물의 안정성과 효율성을 최대한 극대화하는 글로벌 설계 및 시공기술이 될 것이다. 본 연구의 활용 전망 및 기업화 방안은 다음과 같다.

- 토목섬유 튜브에 의한 연약지반 인프라구조물 시공 및 설계기술의 경쟁력 확보
- 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 기술은 해안지역 도로 및 호안구축 단지조성 인프라 구조물에 활용되므로 신산업 기술에 의한 시장창출 가능
- 다양한 외적 조건을 반영한 토목섬유 튜브 구조체의 설계프로그램 개발은 국내전량 수입되어 판매되는 국외 설계프로그램의 기술적인 한계를 극복하였고, 원천기술의 개발로 인한 국내 토목설계 소프트웨어 산업의 글로벌 경쟁력 확보
- 도심 하수도의 하수 준설토 고형화 기술에 크게 활용되어 도심산업 인프라시설 활용변화 가능
- 지속적인 연구에 의해 새만금 한중경협단지 개발 시 토지의 경제성 확보 및 투지유치 활성화에 기여

(1) 기술적 측면

- 본 연구에 의해 개발된 토목섬유 튜브 구조체의 제작 봉합기술은 6선 2열 종방향 봉합과 횡(띠) 보강으로 안정적인 구조체가 형성되므로 국외 TENCATE(사)의 봉합기술을 대체할 수 있어 기술의 자립화와 비교 우위기술 확보
- 본 연구에 의해 개발된 토목섬유 튜브 주입기술로 사용되고 있는 기존 I-type 주입은 토목섬유 튜브 구조체 주입구 하단의 주입 분사압에 의해 퇴적면의 크레이터(Crater) 형성과 응력집중에 의한 파손을 발생시키게 된다. 따라서, 기존 주입 시공기술을 획기적으로 변환시킨 역 T-type 주입모듈은 토목섬유 튜브 구조체의 수평 확산거리를 증가시키고 균등한 토목섬유 튜브 구조체를 조성하는 기술이므로 시공성과 경제성 및 활용성, 안정성 증가
- 본 연구에 의해 개발된 토사교반장치는 토사와 물의 교반 효과를 높이면서 막힘 현상을 획기적으로 방지할 수 있어 작업환경을 유리하게 하고 지형에 관계없이 채움을 위한 설비의 운영이 편리하고 시공비용을 획기적으로 절감할 수 있는 기술
- 본 연구개발은 국외 개발 설계 프로그램으로 사용되고 있는 GeoCoPS를 획기적으로 대체할 수 있는 토목섬유 튜브 구조체 범용 프로그램으로 GeoTDS를 개발하여 설계자가 GUI 환경에서 손쉽게 설계를 할 수 있고 국외 수출용으로 설계 기술 글로벌화
- 토목섬유 튜브를 활용한 인프라구조물 축조에 대한 설계 매뉴얼이 구비되지 않은 가운데 국내 시공이 확산되고 있는 상황을 고려할 때, 본 연구 성과는 중동 및 아시아 지역에서 인프라구조물 축조 기술 우위 확보
- 토목섬유 제조 기술력 향상과 관련한 산업 생산의 증가
- 국내 대형건설업체는 시공을 중소기업에 위탁 시공하는 형태라는 점을 감안할 때, 기술의 확산을 통한 중소기업의 고용 창출 및 수익성 개선
- 토목섬유 튜브 공법의 종합설계 기준(안)이 제시되어 해안지역 인프라 시공기술과 설계기술의 경쟁력 확보가 이루어져 국제적으로 기술경쟁력 확보

(2) 경제·산업적 측면

- 봉합기술특허와 함께 수입되고 있는 해외 토목섬유 튜브 구조를 대체 할 수 있는 국내 봉합기술을 개발함으로서 침체된 토목섬유 튜브 제조 산업 활성화
- 토목섬유 튜브 구조체 토사교반장치 및 주입모듈을 활용한 플랜트 장치산업 활성화
- 기존 국외 수입 설계프로그램을 대체하고 글로벌화 함으로서 소프트 산업 활성화
- 침체된 소형 펌프준설선 확대에 따른 조선 산업 활성화
- 새만금 신재생 에너지 단지 조성을 위한 경제적 토지조성 효과
- 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 공법의 전문인력 양성으로 신규 고용창출 향상
- 중동의 쿠웨이트 및 싱가폴 공사를 포함한 해외공사의 수주 확대 일환으로 싱가폴 Teckong 토목섬유 Test-bed 시험 프로젝트에 국제 기술 제안
- 시공위주에서 신기술 개발에 의한 엔지니어링 원천 기술 확보
- 도심 하수도의 하수 준설토 고형화 기술에 크게 기여하여 도심재해 방지에 활용
- 강, 하천, 바다 공간지역에 대한 워터프런트 개발을 통해 친수공간 창출
- 경제적인 해상 신재생에너지 기반 조성 부지 확보 가능

SUMMARY

Ⅰ. Title

Application and Design Optimization of Geotextile Tubes with Dredged Soil

Ⅱ. Objectives and Necessities of Research

The goals of the research are as follows:

First, outlining the optimal design techniques for embankment, revetment, coastal and marine infrastructure construction where geosynthetic tubes are utilized and developing a design, construction and maintenance management system taking into consideration the environmental aspects and conditions.

Second, a design/construction/maintenance manual will be developed in order to provide guidelines and improve the onsite workability and determine factors that would affect the behavior of dredge-filled geotextile tubes applied as alternatives to coastal and hydraulic structures such as embankments and breakwaters.

Third, a computer program, using a graphical user interface (GUI) environment, will be develop specifically for the design and analysis of dredge-filled geotextile tube sections.

Finally, the outcome of the research and development will provide design and construction guidelines for geotextile tube construction as a viable and cost-effective alternative to the coastal and hydraulic protection structure, which are conventionally constructed using much expensive materials that are sometimes challenging to procure.

TENCATE, a foreign-owned company, is currently conducting studies which covers the domestic and overseas market of geosynthetic products and develops an equal or greater quality assurances to geotextile tube structures. In addition, riprap supplies required in the construction of embankment slope for coastal areas, such as the Saemangeum development project, have excessively used the conventional materials which are increasingly becoming costly and environmentally risky, hence, a need for a more viable solution, such as the geotextile tube technology is need in order to develop and improve the related construction technology and provide a global competitiveness in the Korean construction Industry.

This study intends to utilize geosynthetic tubes. Geosynthetic tube was first introduced on 2005 for the Incheon Bridge Road bridge project and on 2006 for the Ilsan Bridge bridge construction utilizing the foreign company TENCATE's technology. The researchers from the Council of the 2008 Prime Minister's Office under the Saemangeum Planning, bearing in mind the examples above features coastal road and city infrastructure structures to be built, including the construction of a very long dike (in the case of the Saemangeum, 30km or more) carry soil transportation costs are greatly increased when, and thus the difficulty of reclamation is expected bar, a civil utilize dredged fiber tube method has announced that the best alternative. We analyzed the domestic and foreign literature and ongoing studies

into, and then perform the basic research of geosynthetic tubes utilize dredged process through field practitioners and discussions, the aim of this study was set over the lead of the expected problems.

The research projects were set up to develop research skills necessary to design and develop a software for the analysis of slope settlement and stability of the geotextile tube based on the various issues raised during the past three years of study.

The partnership of the University of Colorado at Boulder, a foreign research institute was undertaken. This is based on the grounds that the members of the geotechnical engineering laboratory at the University of Colorado, headed by Prof. Dobroslav Znidarcic, is known worldwide for its expertise in the theory of consolidation particularly on soft clay foundations. Best award from the American Society of Civil Engineers has been awarded to Professor Dobroslav on his publication about the degree of consolidation that occurs in landfills in Florida, America, and how he developed the Drying Shrinkage (desiccation) Theory and experiment methods, of which will be very helpful in the present study. Currently, Professor Dobroslav is conducting a study about a sedimentation/consolidation of geotextile tube technology as well as developing the related numerical analysis techniques.

This study is selected based on the technological trends in Korea, existing research will be reviewed and will be taken into account in the research results, and will be published in the literature, and geotextile tubes manufactured locally will be utilized in the study.

Our method is adopted from the existing methods in the literature, the strengths, weaknesses and shortcomings of existing practices will be determined. As a result, a much improved guidelines and theories will be based presented in the proposal. Experimental and Numerical Analysis on the field and laboratory data will be used in order to optimize the geotextile tube design.

Domestic and foreign research institutions will help ensure the safety of the design technology. Obtain a patent for the design methods established for the reclaimed road embankment structure through the joint research, and through a geotextile research and eco-friendly design technology to minimize maintenance and to significantly contribute worldwide competitiveness.

Ⅲ. Contents and Scope of Research

The scope of this study is to establish a design methodology for geotextile tube filled with dredged soil applied as alternatives to onshore and offshore structures through the development of design / construction / maintenance guidelines (draft) and design software.

The study will be conducted in a total of three years (36months) covering the following scope of study:

1st year

- Evaluation of geotextile tubes and dredged soil physical and mechanical properties, as well as its combined properties.
- Simulation by large scale test to study the behavior and characteristics of geosynthetic tube structure.

- Theoretical Analysis for the deposition, drainage and consolidation process or dredge-filled geotextile tube structures.
- Optimal performance scheme for lightweight mixed dredged soil.
- Review on the overseas research, construction and installation techniques of global contractors.
- Development of wireless network topology in Saemangeum field.

2nd Year
- Development of geotextile tube structure.
- Shape optimization of geotextile tube cross-section using mathematical, analytical and numerical techniques.
- Building and Planning of the test bead at Saemangeum.
- Identify long-term behavior characteristics of dredge-filled geotextile tube structures in the field test bed.

3rd year
- Development of a design program for dredge-filled geotextile tube structures.
- Field testing of dredge-filled geotextile tubes and verification through the developed structural design program.
- Establishing a construction and maintenance manual for the optimal design of geotextile tubes.

Ⅳ Results of the Research

The results derived from this study are as follows:

(1) Development and evaluation for the engineering characteristics of the materials used
- The dredged material used a 26.2% passing percentage at No.200 sieve, having a specific gravity of 2.705, non-plastic material (N.P) and classified as SM by the Unified Soil Classification System (USCS).
- The efficiency of a 6-stitch seam to connect the woven polyester using a butterfly method is 80.02～83.26%, 84.88～66.54% for the j-type method and 37.12～76.29% for the flat type method.
- The butterfly and j-type appears to be the most efficient 6-stich seaming method, with the butterfly method having the highest efficiency.
- For the case of the flat and j-type method, the efficiency increases as the number of stiches are increased and decreases as the number of stiches are decreased.
- A butterfly seaming type using 2 column 6-stitch will have a larger efficiency.
- The efficiency of a 6-stitch seam to connect the non-woven polyester using a butterfly method is 70.36～93.64%, 69.75～75.81% for the j-type method and 61.80～74.36% for the flat type method.
- Still the butterfly and j-type appears to be the most efficient 6-stitch seaming method, with the butterfly method having the highest efficiency.

- Finally, using 2 column 6-stitch will increase the efficiency of the seaming method.
- Two seal strength test were carried out for the woven geotextile using the butterfly suture. The sealing efficiency was found to be at 48.07 to 90.72 percent, depending on the number of sealing lines 6, the increase in the efficiency is proportional to the number of sealing stitches.
- Considering the effective opening sizes of the geotextile material, good permeability is needed to prevent the loss of fines. The minimum value indicated in the PET and PP were assessed to have excellent performance in the filter and drainage.
- A piezocone test on a dredged soil filled geotextile showed that the bearing capacity of tube structure (q_c: cone resistance) is lower when geotextile tube is submerged in water table and after tube filling. However, it is increased as a little dipper the depth of tube the bearing. The bearing capacity of tube structure is increased further as time passes, when pore water is drained. Finally, the deposition structure of geotextile tube was effected by density increasing of attraction force within the particles through the drainage of excess pore water pressure.

(2) Construction technique developments based on laboratory model test

- Large scale simulate model test results have shown that the coarse particles are deposited near the tube inlet, the height of the tube rises as the injection pressure is increased, and during dewatering the tube height decreases and the tube width increases.
- The use of modified inlet system has a significant effect on the distribution of dredged fill in the geotextile tubes, the developed reverse T-type system have shown a uniform sediment distribution and the use of I-type inlet system have shown a crater formation near the tube inlet.
- The reverse T-type injection system was tested in a model test and the results showed that the soil sediments were fairly distributed along the tube body with minimal height differences.
- The tangential strain of the geotextile tube varies around its circumference. The data readings are minimal at the bottom of the geotextile tube. Presumably the stretching of geotextile at these locations are limited due to the confining effect between the soil fill and the foundation.
- The geotextile stains at the sides of the geotextile tube are larger than the geotextile strains at the top. This implies that the increase in the geotextile strains at the sides of the tube corresponds to the increase in the lateral pressure induced by the fill material.
- Due to the variation of the strain distribution on the geotextile skin, the circumferential tensile force of the geotextile may as well be non-constant.
- Test results indicates that the total horizontal pressures of the material in flexible containers are higher than the total vertical pressures. This phenomenon might be due to the confinement effect of the geotextile sheet to the soil sediments inside the geotextile tube. Presumably, due to the increasing geotextile tensile stress, the soil fills are most likely pushed horizontally (inward direction) rather than vertically.
- For rigid containers, significant decrease of the sediment height is apparent during the dewatering process. On the other hand, because the geotextile is permeable, the water is gradually dissipated

during the filling process of the flexible container. Hence, significant loss in the tube height is not apparent during the duration of the test for flexible geotextile tube test.

- Pressure spikes are apparent on rigid containers during the filling process which can be attributed to the confining effect due to hydrostatic pressure. For the flexible containers, the pressure readings gradually increases with time during the filling process and normalize at the end on the filling stage. Therefore, the recorded pressures for rigid container directly corresponds to the hydrostatic pressure while flexible container directly reflects to the height of the material in the tube.
- Based on the results for rigid container, it is speculated that the sequence for the lateral earth pressures (total) at initially began from active state (K_a condition) during filling, passive state (K_p condition) during dewatering and then finally reached steady state (K_0 condition) after the fill materials stabilized.
- Large direct shear test results of the shear characteristics for the geotextile interface are less for the soil to woven geotextile, In addition, the cohesion and internal friction coefficient of efficiency in the dredged soil to woven geotextile interface is 0.917 and 1.175, respectively.
- For dredged soil to non-woven geotextile, the interface efficiency factor of cohesion and internal friction angle are 0.583 and 1.170, respectively and so it was appeared to increase with internal friction of soil.
- Permeable quantity of geotextile tube deduced from hanging bags tested showed significantly that it is affected by the size and function of the effective opening of the filter material. In addition, the permeability of geosynthetic tubes through the seepage pressure in a woven fabric shown to be slightly larger than the composite fabric. When the seepage pressure is increased, the void ratio of the geosynthetic tubes reduces because of differences in the permeability of the woven fabric and composite materials.

(3) Development of geosynthetic tubes design software(S/W)

- A computer software for designing geosynthetic tubes has been developed. It can be easily used in the field. It has been found that the software can be useful in the construction field where trial results are validated by comparing the results with geotextile tube design program development with numerical theory and tests (GeoTDS, C-2015-003340).
- A parametric study was conducted using the commercial program evaluating the geometric characteristics of geosynthetic tubes, permeability properties of the dredged filled tubes using composite materials, filling and dewatering simulation of the cross-section of geotextile tube structures, and also, numerical methods were developed. The reliability of the developed numerical methods were verified through laboratory model test and field test results.

(4) The results of the analysis via field test bed

- TB-1 has a diameter of 3m and 10m long custom-made geotextile tube using the 2 column - six re inforcing strip line (I-type) scheme. A day after the filling, the tube height was measured at 1.42m,

circumference at 10.99m and width of 4.36m.

- TB-2 has a diameter of 5m and 25m long custom-made geotextile tube using the 2 column - six reinforcing strip line (TENCATE method) scheme. A day after the filling, the tube height was measured at 1.367m, circumference at 17.21m and width of 7.5m. Also, due to the crater formation, a distortion in the tube shape is visible after.
- TB-3 has a diameter of 3m and 10m long custom-made geotextile tube using the 2 column - six reinforcing strip line (domestic method) scheme. A day after the filling, the tube height was measured at 1.6m. It was found that the filling method used for TB-3 is much better, as it has a larger filling efficiency, compared to that of TB-1.
- TB-4 has a diameter of 5m and 25m long custom-made geotextile tube using the 2 column - six reinforcing strip line (domestic method) scheme. A day after the filling, the tube height was at S1 measured at 1.21m and 1.645 at S2. It has an average width of 7.41m. Also, the one column six stitch seams at the sides where raptured and the 2-column 6-stiches did not, proving the effectiveness of the latter stitching method.
- TB-5 has a diameter of 3m and 10m long custom-made geotextile tube using the 2 column - six reinforcing strip line (domestic method) scheme. A day after the filling, the tube height was measured at 1.63m.
- TB-6 has a diameter of 5m and 25m long custom-made geotextile tube using the 2 column - six reinforcing strip line (Reverse T-type) scheme. A day after the filling, the tube height was measured at 1.863m and width of 7.4m.
- Earth pressure will converge uniformly during filling and gradually increasing the pore pressure. The geotextile strain of the tube structure is shown larger in the upper right and is estimated to be large due to the high soil pressure in this area.

(5) Geotextile tube design manual and program design/construction/maintenance guidelines (draft) proposals

- Based on the laboratory, field test and numerical analyses results, design and constructions guidelines are proposed.
- Singapore teckon geotube pilot test project proposal : The ultimate objective of this proposal is to carry out pilot tests and study the infilling operations for geotextile tubes to better understand and develop methodologies for the implementation of soft clay as the tube infill material. The research contractor shall design and construct Pilot Trial Site based on the standard guidelines and requirements, including but not limited to engaging specialists or professional engineers, where required. In general, the Pilot Trial includes the construction of the geotextile tube containment bund and its foundation, carrying out infilling works, carrying out significant ground improvement methods, and carrying out the final topping up and compaction to the finish level.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction ····· 1
1. Purpose and necessity of research and development ····· 1
2. Content and scope of research and development ····· 3
3. Domestic and foreign technology developments ····· 7
(1) Domestic technology and industry trends ····· 7
(2) Domestic patents ····· 9
(3) Foreign technology and industry trends ····· 10
(4) Leading domestic and foreign-related patent analysis ····· 13
4. Related contributions on research field and development results ····· 32
(1) The creativity of research and development at domestic and foreign construction technology ··· 32
(2) Contribution of technology on infilling and construction a geotextile tube structure ····· 32
(3) Contribution to Seaming technology of geotextile tube structure ····· 33
(4) Contribution to design technology of geotextile tube structure ····· 34
(5) Comparative analysis on performance level of foreign technology ····· 35
(6) Discrimination review of existing studies and research projects ····· 38

Chapter 2 Details and results of the performed research and development ····· 39
1. Utilized analysis techniques for geotextile tubes ····· 39
(1) Methods for the use of geotextile tube and features ····· 40
(2) Existing civil engineering structures constructed using geotextile tube case analysis ····· 42
2. Test to determine the engineering properties of materials ····· 48
(1) Purpose of the test and types of materials ····· 48
(2) About the test device ····· 49
(3) Engineering properties of the fill material ····· 51
(4) Dredged lightweight mixed soil mechanical properties testing and conformity assessment ····· 54
(5) Methods to evaluate the mechanical properties of the geosynthetic ····· 58
(6) Test results and analysis ····· 64
3. Indoor model test and results analysis ····· 77
(1) Diffusion & Sedimentation separation principle and test of Tubes filling material ····· 77
(2) Geo-Cell test ····· 90
(3) Large geotextile tube model test ····· 98
(4) Shear characteristics of the tube structure by geosynthetic material ····· 109
(5) Gravity permeability test of Hanging-bag by seepage pressure ····· 113
(6) Geotextile semi-sectional tube test ····· 119
(7) Strength analysis of geotextile tubes structure by dredged soil ····· 121
4. Design theory numerical analysis ····· 124

(1) Influence factor analysis using a commercially available numerical analysis program ····· 124
(2) Development of numerical analysis program ····· 138
5. Field trials ····· 151
(1) Planning of the field test ····· 151
(2) Geotextile tube test conditions and methods ····· 160
(3) Long-term behavior of dredge identified geotextile tubes structure through field tests ····· 178
(4) The field test results ····· 181
(5) International technical proposal on Singapore pilot test of geotextile tube ····· 203
6. Geotextile tube structure design software(S/W) development ····· 209
(1) Background and purpose designed software development ····· 209
(2) Features of the design and configuration software ····· 209
7. Design of geotextile tubes structure, construction guidelines (draft) ····· 226
(1) Overview ····· 226
(2) Features of geotextile tubes structure ····· 226
(3) How the design of geotextile tubes structure ····· 229
(4) Construction method ····· 234
(5) Maintenance guidelines ····· 244

Chapter 3 Final results of research and apply measures ····· 250
1. Individual research outputs ····· 250
(1) List of achievements ····· 250
(2) Detailed description of the key performance ····· 251
(3) In view of the domestic and international market development and technology ····· 264

Chapter 4 Research objectives and effects ····· 268
1. Ultimate goal achievement of the research and development ····· 268
2. Technical analysis of the effect of research and development ····· 270
3. Economic and policy effectiveness analysis of research and development results ····· 271

Chapter 5 Future plan research ····· 272
1. Research and future utilization ····· 272
(1) Utilization ····· 272
(2) Expected outcome ····· 272
(3) Connections with the government policy ····· 273
(4) In view of the related follow-up research and development ····· 273
2. Suggestions for future research ····· 274

Chapter 6 References ····· 290

목 차

제1장 서론 ····· 1
제1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1
제2절 연구개발의 내용 및 범위 ····· 3
제3절 국내·외 기술개발 현황 ····· 7
1. 국내 기술 및 산업 동향 ····· 7
2. 국내 특허동향 ····· 9
3. 국외 기술 및 산업 동향 ····· 10
4. 국내·외 관련 선행특허분석 ····· 13
제4절 연구개발결과의 관련분야 기여도 ····· 32
1. 국내·외 시공기술 현황에서 본 연구개발의 창조성 ····· 32
2. 토목섬유 튜브 구조체 주입·시공 기술 기여 ····· 32
3. 토목섬유 튜브 구조체 봉합기술 기여 ····· 33
4. 토목섬유 튜브 구조체 설계기술 기여 ····· 34
5. 외국기술과의 성능 수준 비교분석 ····· 35
6. 기존연구와 연구개발과제의 차별성 검토 ····· 38

제2장 연구개발 수행내용 및 결과 ····· 39
제1절 토목섬유 튜브 공법 활용기법 분석 ····· 39
1. 토목섬유 튜브 공법의 활용 방법 및 특징 ····· 40
2. 기존 토목섬유 튜브 구조체 시공사례 분석 ····· 42
제2절 시험 재료의 공학적 특성 ····· 48
1. 시험 목적 및 재료 ····· 48
2. 시험장치 소개 ····· 49
3. 충진 재료의 공학적 특성 ····· 51
4. 준설 경량 혼합토 역학특성 시험 및 적합성 평가 ····· 54
5. 토목섬유의 역학적 특성 평가 방법 ····· 58
6. 시험결과 및 분석 ····· 64
제3절 실내모형시험 및 결과분석 ····· 77
1. 튜브 구조체 충진재료의 확산·분리퇴적 원리와 시험 ····· 77
2. 지오셀(Geo-Cell) 실험 ····· 90
3. 실대형 토목섬유 튜브 모형시험 ····· 98
4. 토목섬유 재질에 의한 튜브 구조체의 전단특성 ····· 109
5. 침투수압에 의한 중력 행잉백의 투수 시험 ····· 113
6. 토목섬유 반단면 튜브 구조체 인장력 실험 ····· 119
7. 준설 토목섬유 튜브 구조체 강도 분석 ····· 121
제4절 수치해석을 이용한 설계이론 분석 ····· 124

1. 국외 상용 수치해석 프로그램을 이용한 영향인자 분석 ····· 124
2. 국제공동연구기관 FEM 수치해석 연구결과 ····· 138
제5절 새만금 테스트 베드 현장시험 ····· 151
1. 현장 시험계획 ····· 151
2. 토목섬유 튜브 시험조건 및 방법 ····· 160
3. 현장 시험을 통한 준설 토목섬유 튜브 구조체의 장기거동 특성 규명 ····· 178
4. 현장 시험결과 ····· 181
5. 싱가폴 토목섬유 튜브 Pilot Test 국제기술제안서 ····· 203
제6절 토목섬유 튜브 구조체 설계소프트웨어(S/W) 개발 ····· 209
1. 설계소프트웨어 개발 배경 및 목적 ····· 209
2. 설계소프트웨어의 특징 및 구성 ····· 209
제7절 토목섬유 튜브 구조체의 설계, 시공 지침(안) ····· 226
1. 개요 ····· 226
2. 토목섬유 튜브 구조체의 특징 ····· 226
3. 토목섬유 튜브 구조체의 설계 방법 ····· 229
4. 시공방법(육상) ····· 234
5. 유지관리 방법 ····· 244

제3장 최종 연구성과 및 적용방안 ····· 250
제1절 개별 연구성과명 ····· 250
1. 성과리스트 ····· 250
2. 핵심성과별 세부 설명 ····· 251
3. 기술개발 성과의 국내·외 시장 전망 ····· 264

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 268
제1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 268
제2절 연구개발 성과의 기술적 효과 분석 ····· 270
제3절 연구개발 성과의 경제적 • 정책적 효과 분석 ····· 271

제5장 연구 성과의 활용 계획 ····· 272
제1절 연구 성과 향후 활용방안 ····· 272
1. 활용방안 ····· 272
2. 기대효과 ····· 272
3. 정부 정책과의 연계방안 ····· 273
4. 관련 후속연구개발의 전망 ····· 273
제2절 추가 연구 필요성 ····· 274

제6장 참고문헌 ····· 290

표 목 차

표. 1.3.1 국외 토목섬유 튜브 규격 및 봉합기술 비교분석 ····· 35
표. 1.3.2 국외 수치해석 프로그램과 비교분석 ····· 36
표. 1.3.3 국외 주입기술과의 비교분석 ····· 37
표. 1.3.4 기존연구와 연구개발과제의 차별성 ····· 38
표. 2.1.1 토목섬유 튜브 공법의 적용분야 ····· 41
표. 2.1.2 Geotextile tube 품질규격(미국 육군 공병단) ····· 42
표. 2.1.3 토목섬유 튜브 공법 시공사례(2001～2010년) ····· 43
표. 2.2.1 기본물성실험 결과 ····· 52
표. 2.2.2 다짐시험 결과 ····· 52
표. 2.2.3 CBR시험 결과 ····· 53
표. 2.2.4 준설토의 물리적 성질 ····· 55
표. 2.2.5 기포제의 특징 ····· 56
표. 2.2.6 혼합비와 실험조건(1) ····· 56
표. 2.2.7 광폭인장강도시험(ISO 10319)의 개요 ····· 58
표. 2.2.8 봉합사 제원 ····· 59
표. 2.2.9 봉합강도시험-광폭인장시험법(ISO 10321)의 개요 ····· 60
표. 2.2.10 각 유효구멍크기 시험방법 개요 ····· 62
표. 2.2.11 사용된 토목섬유 종류 및 인장강도 ····· 64
표. 2.2.12 봉합강도 및 봉합효율 요약 ····· 66
표. 2.2.13 토목섬유의 유효구멍크기 ····· 71
표. 2.2.14 토목섬유의 수직투수계수 ····· 75
표. 2.2.15 토목섬유의 수평투수계수 ····· 75
표. 2.3.1 준설토의 물리적 특성 ····· 85
표. 2.3.2 각 주입단계의 투명 비닐모형튜브 원주스케일(I-type) ····· 86
표. 2.3.3 각 주입단계의 투명 비닐모형튜브 수직높이(역 T-type) ····· 87
표. 2.3.4 준설토의 토질 특성 ····· 90
표. 2.3.5 토목섬유 특성 ····· 91
표. 2.3.6 토목섬유 튜브 형상 변화에 대한 수치 ····· 105
표. 2.3.7 준설토 물리·역학적 특성 ····· 109
표. 2.3.8 토목섬유의 특성 ····· 109
표. 2.3.9 대형직접전단시험 결과 ····· 111
표. 2.3.10 준설토의 물리적 특성 ····· 113
표. 2.3.11 토목섬유의 특성 ····· 113
표. 2.3.12 침투압에 따른 투수계수 및 배수량 ····· 117
표. 2.3.13 준설토 2차원 확산 퇴적시험 후 튜브 내 각 지점별 기본물성시험 ····· 121
표. 2.4.1 Silvester(1986)와 GeoCoPS 프로그램에서 얻은 결과 비교 ····· 128

표. 2.4.2 Liu(1981)와 GeoCoPS 프로그램에서 도출된 결과 비교 ····· 129
표. 2.4.3 Kazimierowicz(1994)와 GeoCoPS 프로그램에서 얻은 결과 비교 ····· 129
표. 2.4.4 Material characteristic parameters ····· 140
표. 2.4.5 MCC and hydraulic conductivity parameters ····· 141
표. 2.5.1 기본물성시험 결과 ····· 153
표. 2.5.2 경제성 검토 조건 ····· 170
표. 2.5.3 경제성 검토 결과 ····· 170
표. 2.5.4 토목섬유 튜브 공법의 경제성 분석 시 고려사항 ····· 175
표. 2.5.5 해안구조물 축조 시 필요한 사석량 ····· 176
표. 2.5.6 해안구조물 형태로 토목섬유 튜브 공법과 사석식 제방공법비교 ····· 176
표. 2.5.7 새만금 테스트 베드에 사용된 연구형태와 계측기 설치 현황 ····· 184
표. 2.5.8 TB-1, 3 계측기 설치개수 ····· 185
표. 2.5.9 TB-2 계측기 설치개수 ····· 187
표. 2.5.10 TB-4 계측기 설치개수 ····· 190
표. 2.5.11 TB-6 계측기 설치개수 ····· 194
표. 2.5.12 각 Case의 조건 ····· 200
표. 2.5.13 주입 시료 및 토목섬유의 해석 정수 ····· 200
표. 2.5.14 각 Case 지점별 변위량 ····· 202
표. 2.5.15 싱가폴 Teckon 토목섬유 튜브 테스트 베드 국제제안서 ····· 207
표. 2.5.16 Schedule of extracting undistributed samples from geotextile tubes ····· 208
표. 2.7.1 Hydraulic properties and required protection guidelines for geotextile tubes according to the type and period of hydraulic regime (after Lawson 2008) ····· 233
표. 2.7.2 토목섬유 튜브의 공학적 특성 관련기준 ····· 245
표. 2.7.3 온도 20℃에서 측정한 토목섬유의 물리·역학적 특성 ····· 245
표. 2.7.4 토목섬유 기계적 특성 ····· 246
표. 2.7.5 토목섬유 수리학적 특성 ····· 246
표. 2.7.6 토목섬유 물리적 특성 ····· 246
표. 3.1.1 Asia regional sales and technical support (http://www.tencate.com) ····· 264
표. 3.1.2 지역별 친환경 매립 생태 환경시장 규모(2000-2003) ····· 265
표. 4.1.1 연차별 연구개발 목표 달성도 ····· 268

그림 목차

그림 1.3.1 인천대교의 토목섬유 튜브공법 적용 현황 및 시공단면 ····· 7
그림 1.3.2 현장 해상매립지 위치도 및 토목섬유 튜브 적용구간 ····· 8
그림 1.3.3 국내·외 특허동향 ····· 9
그림 1.3.4 제안된 Amwaj 섬 토목섬유 튜브 방파제 배치도 ····· 11
그림 1.3.5 토목섬유 튜브 수중의 전형적인 매립(채움) 및 배치 기술 ····· 11
그림 1.3.6 미국 일리노이 섬 건설에 토목섬유 튜브로 건조 준설매립 ····· 12
그림 1.3.7 (a) 임시 댐, (b) 토목섬유 튜브 횡단면 ····· 13
그림 1.3.8 미국특허에서의 국가별 특허동향 ····· 14
그림 1.3.9 일본특허에서의 국가별 특허동향 ····· 14
그림 1.3.10 유럽특허에서의 국가별 특허동향 ····· 15
그림 1.3.11 특허서지자료 - 지오텍스타일 튜브와 이를 이용한 준설토 처리방법 ····· 18
그림 1.3.12 특허서지자료 - 지오튜브 제조방법 및 지오튜브 ····· 19
그림 1.3.13 특허서지자료 - 토목 시공용 튜브 구조물 ····· 20
그림 1.3.14 특허서지자료 - 간척사업용 튜브 구조체 ····· 21
그림 1.3.15 특허서지자료 - 지오튜브 ····· 22
그림 1.3.16 특허서지자료 - 차수수단이 설치된 지오튜브 ····· 23
그림 1.3.17 특허서지자료 - 유연한 배출부가 구비된 튜브 구조체 충진용 호스연결모듈 ····· 24
그림 1.3.18 특허서지자료 - Geotextile tube with flat ends ····· 25
그림 1.3.19 특허서지자료 - Coastal erosion mitigation solution (CEMS) ····· 26
그림 1.3.20 특허서지 구글자료 - Elongate flexible container ····· 27
그림 1.3.21 특허서지자료 - Method and apparatus for making a continuous tube of flexible sheet material ····· 28
그림 1.3.22 특허서지자료 - Geotextile container and method of producing same ····· 29
그림 1.3.23 특허서지자료 - Geotextile tube ····· 30
그림 1.3.24 특허서지자료 - A mothod of forming a body, e.g. a dike body, a tubular body designed therefor, and a method of manufacturing such a tubular body ····· 31
그림 1.3.25 기존 튜브 구조체 I형 주입시공 기술과 본 연구의 T형 주입시공기술 ····· 33
그림 1.3.26 기존 Tengate(사)와 본 연구개발 결과의 봉합기술 비교 ····· 33
그림 1.3.27 기존 GeoCoPS와 본 연구개발 결과의 프로그램 비교 ····· 34
그림 2.1.1 토목섬유 튜브 ····· 39
그림 2.1.2 토목섬유 튜브 공법의 국내 시공현황 ····· 44
그림 2.1.3 토목섬유 튜브 공법의 국외 시공사례 ····· 46
그림 2.2.1 채움토사 선정 장소 및 시험토사 운반 ····· 48
그림 2.2.2 토목섬유 시편 ····· 48
그림 2.2.3 토목섬유 튜브 시뮬레이터 실험장치 개요 ····· 50
그림 2.2.4 준설토 채취 현장 위치도(동진강 유역) ····· 51

그림 2.2.5 새만금 내부 준설·매립 현장(동진강 유역) ····· 51
그림 2.2.6 준설토의 입도분포곡선 ····· 52
그림 2.2.7 준설토의 다짐곡선 ····· 53
그림 2.2.8 일축압축실험 결과 ····· 57
그림 2.2.9 광폭인장강도시험 모습 ····· 59
그림 2.2.10 봉합 형태에 따른 시험편 ····· 60
그림 2.2.11 나비형 봉합 단면도 ····· 61
그림 2.2.12 J형 봉합 단면도 ····· 61
그림 2.2.13 평면형 봉합 단면도 ····· 61
그림 2.2.14 정수두법 시험장치 ····· 63
그림 2.2.15 사용된 토목섬유의 인장강도 특성 ····· 64
그림 2.2.16 토목섬유의 인장강도 시험 ····· 65
그림 2.2.17 직포(Polyester) 나비형 봉합강도 ····· 67
그림 2.2.18 직포(Polyester) J형 봉합강도 ····· 67
그림 2.2.19 복합포 J형 봉합강도 ····· 68
그림 2.2.20 복합포 평면형 봉합강도 ····· 68
그림 2.2.21 직포(Polypreopylene) 나비형 봉합강도 ····· 69
그림 2.2.22 직포(Polyester) 봉합 형태별 강도 비교 ····· 69
그림 2.2.23 Composite 봉합 형태별 강도 비교 ····· 70
그림 2.2.24 직포(Polypropylene) 나비형 봉합 강도 비교 ····· 70
그림 2.2.25 시험편을 통과한 과립형 PET(폴리에스테르)의 입도 분포 곡선 ····· 72
그림 2.2.26 시험편을 통과한 과립형 PP(폴리프로필렌)의 입도 분포 곡선 ····· 73
그림 2.2.27 시험편을 통과한 과립형 Composite(복합포)의 입도 분포 곡선 ····· 74
그림 2.3.1 준설토 확산 퇴적시험 원리 ····· 77
그림 2.3.2 실대형 시험토조 전체 모식도 ····· 78
그림 2.3.3 실대형 시험토조 전경사진 ····· 78
그림 2.3.4 실대형 시험토조 세부 사진 ····· 79
그림 2.3.5 토목섬유 튜브 거동 시험 수조 조립과정 ····· 80
그림 2.3.6 고압이송펌프 및 토사공급토조의 배관 사진 ····· 80
그림 2.3.7 토목섬유 튜브 충진방법 ····· 81
그림 2.3.8 모형튜브 채움 형상 모식도 ····· 82
그림 2.3.9 비닐모형튜브 제작과정 ····· 83
그림 2.3.10 비닐모형튜브 모식도 ····· 84
그림 2.3.11 준설토 확산 퇴적실험 장치 모식도 ····· 84
그림 2.3.12 준설토 확산 퇴적실험 절차 ····· 85
그림 2.3.13 각 주입단계의 투명 비닐모형튜브 원주스케일(I-type) ····· 86
그림 2.3.14 각 주입단계의 투명 비닐모형튜브 수직높이(역 T-type) ····· 87
그림 2.3.15 각 주입 단계에서 비닐 모형튜브 내 실질토량고의 퇴적 분포 ····· 87

그림 2.3.16 주입 및 배수 단계에서의 비닐 모형튜브 거동형상 ····· 88
그림 2.3.17 모형튜브 내 지점별 베인전단강도 분포 ····· 88
그림 2.3.18 준설토의 입도분포곡선 ····· 90
그림 2.3.19 지오셀(Geo-Cell) 실험에 사용된 복합포 ····· 91
그림 2.3.20 복합포의 무봉합 인장강도 ····· 91
그림 2.3.21 지오셀 실험장치 모식도 ····· 92
그림 2.3.22 토압계 설치 ····· 93
그림 2.3.23 지오셀(Geo-Cell) 실제 사진 ····· 93
그림 2.3.24 모듈에 따른 지오셀(Geo-Cell) 내부 퇴적형상 ····· 95
그림 2.3.25 아크릴 튜브 퇴적고 분포 ····· 95
그림 2.3.26 아크릴 튜브 압력 분포 ····· 95
그림 2.3.27 아크릴 튜브 내 각 위치별 압력 ····· 96
그림 2.3.28 아크릴 튜브 압력원 ····· 96
그림 2.3.29 강성 튜브 구조체의 전응력 분포 ····· 97
그림 2.3.30 실대형 토목섬유 튜브 배치도 ····· 98
그림 2.3.31 실대형 토목섬유 튜브 제작과정 ····· 99
그림 2.3.32 스트레인게이지 방수 성능시험 ····· 100
그림 2.3.33 스트레인게이지 부착과정 ····· 101
그림 2.3.34 실대형 토목섬유 튜브 퇴적시험 절차 ····· 102
그림 2.3.35 실대형 토목섬유 튜브 퇴적시험 장치 모식도 ····· 103
그림 2.3.36 계측기 설치 및 위치도 ····· 103
그림 2.3.37 시험 후 충진재료의 물리적 특성 ····· 104
그림 2.3.38 토목섬유 튜브의 형상 변화 ····· 105
그림 2.3.39 No.2와 No.4 채움 시 튜브형상 변화 ····· 106
그림 2.3.40 스트레인게이지 시간-변형률 분포 ····· 106
그림 2.3.41 토목섬유 튜브의 내부 토압 변화 ····· 107
그림 2.3.42 토목섬유 튜브 내부 토압계수 ····· 108
그림 2.3.43 사용된 복합포 ····· 109
그림 2.3.44 대형직접전단시험기 ····· 110
그림 2.3.45 대형직접전단시험 시험과정 ····· 110
그림 2.3.46 변위-전단응력 ····· 112
그림 2.3.47 대형직접전단시험 결과 ····· 112
그림 2.3.48 사용된 토목섬유의 인장강도 특성 ····· 114
그림 2.3.49 침투압 시험장치 모식도 ····· 115
그림 2.3.50 중력식 행잉백 세부 시험장치 ····· 115
그림 2.3.51 행잉백 모식도 및 사진 ····· 115
그림 2.3.52 침투수량에 따른 농도변화량 ····· 116
그림 2.3.53 주입완료 후 유출수량 ····· 116

그림 2.3.54 시간에 따른 하중변화량 ····· 116
그림 2.3.55 침투압에 따른 배수량 ····· 117
그림 2.3.56 침투압에 따른 투수계수 ····· 117
그림 2.3.57 침투압 시험 시 수압계 및 간극수압계 계측값 ····· 117
그림 2.3.58 시험 종료 후 튜브 구조체 함수비 분포(%) ····· 118
그림 2.3.59 튜브 형상(60%) ····· 119
그림 2.3.60 반단면 토목섬유 튜브 실험 전경 ····· 119
그림 2.3.61 반단면 토목섬유 튜브 실험 모식도 ····· 120
그림 2.3.62 시간에 따른 튜브 상, 하단의 작용응력 ····· 120
그림 2.3.63 전기식 피에조콘 ····· 122
그림 2.3.64 토목섬유 튜브 구조체의 콘관입시험 ····· 122
그림 2.3.65 시간에 따른 콘 저항지수 변화 ····· 123
그림 2.4.1 토목섬유 튜브의 단면도 ····· 125
그림 2.4.2 토목섬유 튜브의 축 방향 인장력 발생현황 ····· 127
그림 2.4.3 GeoCoPS에 의해 기하학적으로 도출된 튜브(Liu 1981) 둘레 측정(1) ····· 130
그림 2.4.4 GeoCoPS에 의해 기하학적으로 도출된 튜브(Liu 1981) 둘레 측정(2) ····· 130
그림 2.4.5 GeoCoPS에 의해 기하학적으로 도출된 튜브(Liu 1981) 둘레 측정(3) ····· 131
그림 2.4.6 튜브의 형상에 미치는 T_{ult}의 영향 ····· 131
그림 2.4.7 튜브의 형상에 미치는 H의 영향 ····· 132
그림 2.4.8 튜브의 형상에 미치는 p_0의 영향 ····· 132
그림 2.4.9 펌핑압에 따른 튜브의 높이변화 ····· 133
그림 2.4.10 펌핑압에 따른 T와 T_{axial}의 변화 ····· 133
그림 2.4.11 튜브 높이의 극한값(튜브 외부에 물이 없는 경우) ····· 134
그림 2.4.12 튜브 높이의 극한값(튜브 외부에 물로 가득 찬 경우) ····· 134
그림 2.4.13 주입토사의 함수비에 의한 단위중량과 튜브 퇴적고 변화관계 ····· 137
그림 2.4.14 Material A - Settlement ····· 142
그림 2.4.15 Material A - Void ratio profiles from CONDES ····· 142
그림 2.4.16 Material A - Void ratio profiles from ABAQUS ····· 143
그림 2.4.17 Material A - Void ratio profiles from PLAXIS ····· 143
그림 2.4.18 Material B - Settlement profiles ····· 144
그림 2.4.19 Material B - Void ratio profiles from CONDES ····· 144
그림 2.4.20 Material B - Void ratio profiles from ABAQUS ····· 145
그림 2.4.21 Material B - Void ratio profiles from PLAXIS ····· 145
그림 2.4.22 Geotextile tube models ····· 146
그림 2.4.23 PLAXIS settlement profile at centreline ····· 147
그림 2.4.24 Void ratio distribution at the centreline ····· 148
그림 2.4.25 Void ratio distributions 1.4 m from centreline ····· 148
그림 2.4.26 Void ratio Distributions 2.1 m from centreline ····· 149

그림 2.4.27 Void ratio results for geotextile tube numerical model ····· 150
그림 2.4.28 Constitutive behavior of geotextile tube mode ····· 150
그림 2.5.1 새만금 1차 테스트 베드 현장시험(군산시 옥서면 선연리 하제) ····· 151
그림 2.5.2 기존 1차 육상 테스트 베드 시험과 연계한 2차 해상 테스트 베드 현황(군산시 옥서면 선연리 하제) ····· 152
그림 2.5.3 테스트 베드 현장전경(시공 전) ····· 153
그림 2.5.4 테스트베드 현장 기반조성 ····· 153
그림 2.5.5 테스트베드 현장 지반조사 ····· 153
그림 2.5.6 하제 현장 지질주상도 ····· 154
그림 2.5.7 채움재의 입도 분포 곡선 ····· 155
그림 2.5.8 채움재의 다짐곡선 ····· 155
그림 2.5.9 토압계 설치 ····· 157
그림 2.5.10 간극 수압계 설치 ····· 157
그림 2.5.11 토목섬유에 매개체를 이용한 스트레인게이지 부착방법 ····· 158
그림 2.5.12 간극 수압계 설치 ····· 159
그림 2.5.13 Data box ····· 159
그림 2.5.14 광파기 계측 ····· 159
그림 2.5.15 원격 모니터링 시스템 ····· 159
그림 2.5.16 주입구 설치 ····· 160
그림 2.5.17 평탄화 작업 및 중앙부 Key 설치와 매트포설 ····· 161
그림 2.5.18 호퍼 및 펌프 ····· 161
그림 2.5.19 Y형 주입 모듈에 의한 토목섬유 튜브 구조체 조성 시스템 ····· 162
그림 2.5.20 Case-1 형상 모델링 ····· 163
그림 2.5.21 Case-1 수치해석 결과 ····· 163
그림 2.5.22 Case-2 형상 모델링 ····· 164
그림 2.5.23 Case-2 수치해석 결과 ····· 164
그림 2.5.24 본 연구에서 개발한 토사 교반장치와 받침부의 분해도 ····· 166
그림 2.5.25 본 연구에서 개발한 토사 교반장치가 받침부에 결합된 모습을 나타낸 측면도 ····· 167
그림 2.5.26 본 연구에서 개발한 발명의 실시 예 ····· 167
그림 2.5.27 본 연구에 개발한 토사 교반장치를 이용하여 튜브체에 토사 및 물을 충진 ····· 168
그림 2.5.28 본 연구에서 개발한 토사 교반장치의 주입부에 물공급호스가 연결된 모습 ····· 168
그림 2.5.29 연구 개발한 토사 교반장치를 이용한 현장 시험 ····· 169
그림 2.5.30 사석운반 거리 증가에 따른 비용증가 ····· 176
그림 2.5.31 사석운반거리 증가에 의한 프로젝트수행비와 단위미터당 제체 축조 비용비교 ····· 177
그림 2.5.32 모니터링 룸(원격서버) 구조도 ····· 178
그림 2.5.33 자동계측 서버 시스템의 상세 구조 ····· 178
그림 2.5.34 상시 모니터링 프로그램 ····· 179
그림 2.5.35 센서 파라메타 변경 ····· 179

그림 2.5.36 데이터 베이스 모니터링 ····· 179
그림 2.5.37 현장 계측 시스템 설치 ····· 180
그림 2.5.38 새만금 테스트 베드 육상부지 전경 ····· 181
그림 2.5.39 새만금 테스트 베드 2차 해상부지 전경 ····· 182
그림 2.5.40 새만금 테스트 베드 2차 해상시험 현재 수행상황 ····· 182
그림 2.5.41 메인튜브 구조체와 보조튜브 구조체의 연결시공방법 ····· 183
그림 2.5.42 TB-3 계측기 설치현황 ····· 184
그림 2.5.43 TB-1 시공단계 ····· 185
그림 2.5.44 TB-1 최종형상 ····· 185
그림 2.5.45 TB-1 주입단계 단면도 ····· 185
그림 2.5.46 TB-1 최종형상 단면도 ····· 185
그림 2.5.47 TB-3 시공단계 ····· 186
그림 2.5.48 TB-3 주입완료시까지 형상변화 ····· 186
그림 2.5.49 TB-3 주입완료 후 형상변화 단면도 ····· 186
그림 2.5.50 TB-3 최종형상 단면도 ····· 187
그림 2.5.51 TB-2 계측기 설치현황 ····· 188
그림 2.5.52 TB-2 시공단계 ····· 188
그림 2.5.53 TB-2 최종형상 ····· 188
그림 2.5.54 TB-2 토압 분포 ····· 189
그림 2.5.55 TB-2 간극수압 분포 ····· 189
그림 2.5.56 TB-2 최종형상 단면도 ····· 189
그림 2.5.57 TB-4 계측기 설치현황 ····· 190
그림 2.5.58 TB-4 시공단계 ····· 191
그림 2.5.59 TB-4 최종형상 ····· 191
그림 2.5.60 TB-4 S1지점 변형률 분포 ····· 191
그림 2.5.61 TB-4 최종형상 단면도 ····· 191
그림 2.5.62 TB-4 S1 형상변화 단면도 ····· 192
그림 2.5.63 TB-4 S2 형상변화 단면도 ····· 192
그림 2.5.64 TB-4 지점의 바닥부 전단 Key 설치 시 토목섬유 튜브 변형 형태 ····· 192
그림 2.5.65 TB-5 시공단계 ····· 193
그림 2.5.66 TB-5 최종형상 ····· 193
그림 2.5.67 TB-5 최종형상 단면도 ····· 193
그림 2.5.68 TB-6 계측기 설치현황 ····· 194
그림 2.5.69 TB-6 시공단계 ····· 194
그림 2.5.70 TB-6 최종형상 ····· 194
그림 2.5.71 TB-6 최종형상 단면도 ····· 195
그림 2.5.72 TB-6 주입 완료시까지 형상변화 ····· 195
그림 2.5.73 TB-6 단계별 주입에 따른 횡단면도 ····· 195

그림 2.5.74 TB-6 주입완료 시까지 횡단면도 형상변화 ····· 195
그림 2.5.75 TB-6 횡단면도 최종형상 ····· 195
그림 2.5.76 수치해석 수행 전 토목섬유 튜브형상 ····· 199
그림 2.5.77 각 Case의 해석 조건 및 단면도 ····· 199
그림 2.5.78 각 Case 지점별 수직변위 비교 ····· 201
그림 2.5.79 각 Case 지점별 수평변위 비교 ····· 201
그림 2.5.80 싱가폴 Tekong area 현황 ····· 203
그림 2.5.81 Conventional anatomy of a geotextile tube ····· 205
그림 2.5.82 Large scale geotextile tube pilot test (Grant Code : 12TRPI-C064124-01) ····· 205
그림 2.5.83 Infilling process ····· 205
그림 2.5.84 Filling port modifications (PCT 2015FP-2015-0105/US) ····· 206
그림 2.5.85 Zones A and B in the trial site ····· 206
그림 2.5.86 Geotextile tube construction phase of containment bund 1, 2 ····· 206
그림 2.6.1 Flowchart for geotextile tube simulation modeling and analysis procedure ····· 211
그림 2.6.2 Structure for "k-parameter generator" code ····· 212
그림 2.6.3 GeoTDS Graphical User Interface (GUI) ····· 213
그림 2.6.4 Input panel for tube dimensions ····· 213
그림 2.6.5 Input panel for material properties ····· 214
그림 2.6.6 Specific weight calculator ····· 214
그림 2.6.7 Input and selection panel for filling parameters ····· 215
그림 2.6.8 Initial graphical display showing the empty tube represented by the blue horizontal line 215
그림 2.6.9 Modeling configuration and control panel ····· 216
그림 2.6.10 Tube filling simulation options ····· 216
그림 2.6.11 Simulation controls ····· 217
그림 2.6.12 Modification window for the maximum slider control limit ····· 217
그림 2.6.13 Modeling and configuration panel display for option 2: Desired tube height ····· 218
그림 2.6.14 Modeling and configuration panel display for option 3: Desired bottom pressure ····· 218
그림 2.6.15 Modeling and configuration panel display for option 4: Optimum tube geometry based on developed tensile stress ····· 218
그림 2.6.16 Modeling and configuration panel display for option 4: Optimum tube geometry based on desired pumping pressure ····· 219
그림 2.6.17 Interactive results display ····· 219
그림 2.6.18 Tensile stress meter. (a) Safe, (b) Critical and (c) Fail ····· 220
그림 2.6.19 Opening output file (Txt files) ····· 220
그림 2.6.20 Txt files for the current tube coordinate ····· 220
그림 2.6.21 Txt files for the current tube properties ····· 221
그림 2.6.22 Default “Graphical Display” ····· 221
그림 2.6.23 Appearance options for the “Graphical Display”: (a) Displaying the major grids, (b)

Displaying the minor grids, (c) Highlighting the tube fill, and (d) Changing the color and line thickness of the geotextile membrane. ····· 222
그림 2.6.24 Densification control panel. ····· 222
그림 2.6.25 Output results for “Densification” analysis ····· 223
그림 2.6.26 Densification control panel ····· 223
그림 2.6.27 Output results for “Densification” analysis ····· 224
그림 2.6.28 Development using another program (C# program) ····· 225
그림 2.7.1 Geotextile tubes as revetment for marine and hydraulic applications ····· 227
그림 2.7.2 Geotextile tubes as offshore breakwater for marine and hydraulic applications ····· 227
그림 2.7.3 Geotextile tubes as protection dikes for marine and hydraulic applications ····· 228
그림 2.7.4 Geotextile tubes as containment dikes for marine and hydraulic applications ····· 228
그림 2.7.5 Geotextile tubes as groins for marine and hydraulic applications ····· 229
그림 2.7.6 Geotextile tube filling via dredging barge ····· 236
그림 2.7.7 Geotextile tube filling via hopper tanks ····· 237
그림 2.7.8 Hopper tank ····· 237
그림 2.7.9 Laying of scour apron on top of tube foundation ····· 240
그림 2.7.10 Tube placement and alignment ····· 240
그림 2.7.11 Discharge nozzle and filling port assembly ····· 241
그림 2.7.12 Filling port opening ····· 241
그림 2.7.13 Tube filling via hopper tank ····· 243
그림 2.7.14 Geotextile tube shape after dewatering ····· 243
그림 2.7.15 시험시공에 따른 시공순서도 ····· 247
그림 3.1.1 “k-parameter generator"의 컴퓨터 코드 ····· 261
그림 3.1.2 준설 기술별 시공 능력 순위 ····· 266

제1장 서론

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구의 개발 목표는 첫째, 하천과 해안 및 해상의 호안과 도로, 댐 등의 인프라구조물을 축조할 때 활용되는 토목섬유 튜브 구조체의 최적설계기법 개발을 통해 외적환경을 고려한 설계/시공/유지관리 기술을 시스템적으로 융합하는 기술을 개발하는 것이다. 아울러 본 연구개발의 목표 중 하나는 준설토를 활용한 토목섬유 튜브를 통해 제방 및 방파제 등의 해안구조물을 축소할 때에 토목섬유 튜브 구조체의 주입 및 퇴적 현상이 시공성에 미치는 영향을 여러 요인으로 분석하여 시공성을 확보하고, 토목섬유 튜브 내부의 탈수(배수, Dewatering) 및 압밀(Consolidation) 시 발생하는 배수 및 비배수 거동을 규명하여 토목섬유 튜브 구조체의 설계/시공/유지관리 매뉴얼을 개발하는 것이다. 아울러 준설토 활용한 도로 성토제체 단면설계를 위해 설계소프트웨어를 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) 환경에서 사용할 수 있도록 해당 프로그램을 개발하여 관련분야 해외 진출 시 국제경쟁력을 확보하게 하는 것도 이 개발의 목표 중 하나이다.

또한, 본 연구의 개발 목표는 해안지역의 토목섬유 튜브 구조체를 이용한 도로 및 해안선 보호를 위한 인프라구조물 설계/시공지침서(안)를 제안하여 건설기술의 국제경쟁력을 향상시켜 국익을 확보하고, 해안 및 해상지역의 연약지반 도로 축조 시 부족한 골재 재원을 대체하여 인프라구조물 투자 효율성을 확보하는 것도 포함한다.

국외 토목섬유 봉합기술을 소유한 TENCATE(사)가 토목섬유 제품과 함께 국내·외 시장을 점유하고 있는 현실을 고려하여 본 연구에서는 동등 이상의 품질확보가 가능한 토목섬유 튜브 구조체를 개발하는 것도 목표를 삼고 있다. 또한, 새만금과 같이 해안지역 성토사면 조성 시에 필요한 사석 공급이 원거리 수송에 따라 경제적 손실과 환경 및 지역민원 등의 문제점이 발생하는 바, 이를 극복하기 위한 방법을 개발하는 것도 본 연구 개발의 목표 중 하나이다. 특히 토목섬유 튜브 구조체의 준설토 주입 및 형상화 활용 기술 개발을 통해 국내 건설 산업의 해외 경쟁력을 확보하고, 글로벌 건설 기술을 확보하는 것이 이 연구 개발의 주목적에 해당한다.

본 연구의 최종 목표 설정 근거는 다음과 같다.

본 연구가 활용하고자 하는 토목섬유 튜브 공사는 2005년 인천대교 교량 가설도로와 2006년 일산대교 교량물막이 공사 시 외국계 기업인 TENCATE(사)의 기술에 의해 처음 도입되었다. 본 연구의 연구책임자는 위의 사례에 유념하여 2008년 국무총리실 산하 새만금 기획단 자문회의에서 향후 해안지역 도로 및 제방 등의 인프라구조물 축조 시 공사 현장으로부터 상당히 이격된 곳(새만금의 경우 30km이상)으로부터 토사를 운반할 때 운반비가 크게 증가되고, 이에 따라 사석식 호안 매립 공사의 어려움이 예상됨을 지적하고, 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 공법이 최적의 대안임을 발표하였다. 그 후 지속적인 국내·외 문헌 및 연구현황을 분석하고 현장 실무자들과 토론을 통해 준설토 활용 토목섬유 튜브 공법의 기초조사를 수행하였으며, 예상되는 문제점의 도출 등을 통해 본 연구의 목표를 설정하였다.

현재 새만금 내부개발 및 국내·외 해안가 도로시설물 축조와 매립호안에 의한 토지조성 및 방파제 등의 제체 구축 시에 성토체의 보호를 위해 사면조성이 필요하다. 기존 개발공법은 사석식

전출형 방법에 의해 성토체를 보호하고 조성하고 있으므로 경제성과 환경측면에서 매우 비효율적이다. 이러한 방법은 지속적인 환경민원과 국외 토목섬유 튜브수입에 의한 국내 중소 토목섬유 제조업체의 활로를 막고 있어 신규 고용창출에도 장애가 되고 있다. 또한, 지속적인 해안지역의 인프라확충과 새만금 개발 시에 주변석산 개발에 의한 골재자원의 공급은 해안지역의 환경을 더욱 악화시키고 있다. 최근에는 새만금 내부개발 시 석산개발이 주민들의 민원에 의해 지연되고 있어 내부개발에 필요한 사석 공급도 원활하지 않다. 이에 따라, 토목섬유 튜브를 활용한 대체공법이 강구되고 있다. 하지만, 이 공법의 시공 경험이 그리 많지 않아 기술개발과 설계 기준 등 기초적인 부분부터 본격적인 연구가 진행되지 않고 있는 실정이다. 따라서, 동고서저 지형을 가진 우리나라는 해안지역의 지반과 지형적인 여건을 고려하고 남해안(목포, 부산) 지역의 신항만 개발과 인천, 서산의 도시 및 산업용지 개발지역 등 경제적인 해안지역 도로건설을 위해 퇴적 준설토를 활용한 기술이 절대적으로 필요하다.

아울러 본 연구와 밀접한 연관이 있는 토목섬유 산업을 더 한층 활성화 할 필요성이 대두되고 있다. 이것은 토목섬유 튜브가 국외 수입에 전적으로 의존하여 시공되고 있는 현실을 고려할 때 더더욱 본 연구의 중요성을 간과할 수 없는 현실적 상황이다. 특히 주목되는 점은 섬유 자체가 아니라 봉합 기술로 드러나고 있다. 현재 우리나라의 토목섬유제조 기술은 세계적으로 우수하지만 봉합기술 개발이 절실함을 고려할 때 본 연구의 시급성이 더욱 드러난다.

국외 협동연구기관으로는 Univ. of Colorado, Boulder 대학을 선정하였다. 본 과제의 중심 연구기반인 연구자의 재직 대학의 지반공학실험실은 세계적으로 연약지반 압밀이론 분야에서 높은 평가를 받고 있는 Dobroslav 교수와 공동연구를 수행하도록 연구진 구성을 구체화하였다. Dobroslav 교수는 미국토목학회로부터 미국 플로리다의 매립지에서 발생하는 압밀도의 건조수축(Decisiation) 원리를 이론과 실험을 통해 규명한 공로를 인정받아 베스트 어워드상을 수상하였다는 사실에 주목하여 본 연구 진행에 크게 기여할 것으로 판단하였다. 현재 본 연구에서 Dobroslav 교수는 토목섬유 튜브 내의 퇴적토의 건조수축 및 압밀에 대한 원천기술 개발과 유한요소 해석기술 개발을 담당하였다.

본 연구의 현장선택과 실험은 한국의 선택된 방향에 의해 기존 연구결과를 고려하여 결정될 것이며, 연구의 초기는 문헌 및 국내에서 제조된 Geotube와 그 동안의 국내 연구 성과도 제공되어 상호 공동연구가 진행될 것이다. 우리가 채택한 공법의 장점과 단점, 그리고 현재의 방법과 기존 관행의 단점 등을 자세히 검토하였으며, 더욱 개선된 지침과 이론들이 연구의 결과를 토대로 제안되었다. 실험 및 수치 해석은 현장 및 실험 데이터를 최적화하고 제안된 목적들을 위해 활용될 것이다.

더 나아가 최근 기후변화 협약에 의해 중동 및 동남아 지역은 해안지역의 모래 등의 골재자원을 보호하여 관광산업으로 연계하고 있어, 향후 인프라 확충 시에 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 공법에 절대적으로 의존할 수밖에 없는 여건이다. 토목섬유 튜브 관련 기술개발에 필요한 현장 실험 조건이 구비된 새만금은 세계적인 글로벌 기술로 도약할 수 있는 모든 조건을 충족하고 있다. 따라서, 새만금 현장시험을 중심으로 국내·외 연구기관과 공동연구를 통해 추진된 설계기술 개발과 특허출원에 의해 정립된 시공법, 그리고 매립지의 토목섬유 튜브 구조체의 안전성 확보 및 유지보수를 최소화하기 위한 토목섬유 연구, 친환경적인 설계기술개발 등은 향후 우리 기업의 국제경쟁력 확보에 기여할 것으로 예상되고 있다.

제2절 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 과거에 준용된 사석식 해안 인프라시설물 건설에서 탈피하여 준설토 확보가 용이한 바닷가 연약지반 지역의 “준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 최적 설계기법”을 개발하는데 목적이 있다. 그리고 토목섬유 튜브 구조체의 설계방법, 실내 및 현장시험결과 분석을 통한 토목섬유 튜브 구조체의 설계방법 정립, 최적 토목섬유 튜브 설계프로그램(GUI, Graph User Interface) 개발 및 설계/시공/유지관리 매뉴얼 작성(안) 제안 등을 각각 단계를 나누어 연차별로 수행하는 것을 연구 범위로 설정하였다. 본 연구개발은 글로벌 국토교통기술촉진을 위하여 국제공동연구로 수행되었으며, 주관연구기관은 군산대학교, 국제공동연구기관은 Univ. of Colorado Boulder, 참여기업은 대윤지오텍(주), (주)백두, (주)준건설, (주)동성엔지니어링이 각각 참여하고 있다. 주관연구기관 및 국제공동연구기관은 연구과정 및 연구결과를 서로 공유하고, 참여기업은 국제적인 우위를 확보할 수 있도록 협력하여 최종목표를 달성할 계획이다. 공동 연구의 참여 기관이 과제와 관련하여 설정한 연구개발 목표 및 내용은 다음과 같다.

본 과업의 연차별 주요 연구내용은 다음과 같다.

1차년에는 국내·외 연구자료 및 글로벌 시공사의 시공 현황과 시공기술을 분석하였다. 국내·외 토목섬유 제품에 대한 조사 및 분석과 제조기술을 파악하고, 실험에 사용되는 토목섬유 재질과 새만금 준설토의 물리·역학적 특성을 파악하였다. 대형 모형 토조를 제작하여 실질적인 주입 현장모사 시험으로 먼저 대형 토목섬유 튜브에 일반적인 I형 주입모듈을 사용하여 기존 주입기술에 의한 튜브 구조체의 퇴적상황을 재현하였다. 기존 주입기술의 문제점과 튜브 구조체의 형상화 특성을 규명하고 토목섬유 튜브 구조체의 외적 거동 특성과 배수 및 압밀과정을 통한 퇴적거동에 관하여 이론 및 실험적 분석을 수행하였다. 새만금 퇴적상황을 파악하고자 현장 데이터 전송기술인 무선 네트워크 토폴로지를 개발하여 새만금 지역에 설치하여 퇴적상황을 원격 모니터링 시스템에 의해 실시간 관찰이 가능하도록 하였다. 이러한 기초적인 연구결과를 토대로 새만금 현장 테스트베드 시험계획 수립에 필요한 원천기술을 개발하였다.

2차년에는 보다 다양한 실내 모형시험을 통해 토목섬유 튜브 구조체를 개발하고자, 토목섬유 재질별 봉합조건에 따른 봉합강도 특성을 평가하여 최적 튜브 구조체를 개발하였고, 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체가 수리적 특성에 따른 형상화도 규명하고자 하였다. 실내 모형시험결과를 토대로 하여 새만금 현장시험을 계획하고, 수행함으로써 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 장기거동 특성을 규명하고자 하였다.

3차년에는 준설 토목섬유 튜브 구조체의 설계프로그램을 개발하여 수치해석을 이용한 현장 시공 계측데이터와 비교 분석하여 준설 토목섬유 튜브 구조체 설계프로그램의 검증 및 보완작업을 수행하였다. 종합적인 분석을 통하여 토목섬유 튜브 구조체의 최적 설계/시공/유지관리 매뉴얼 작성(안)을 제안하고자 하였다.

본 연구는 2013년 11월부터 2015년 11월까지 3년에 걸쳐 수행되었으며, 각 연도별 주요 연구수행 내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

연 차	연구내용	세부추진 계획 및 방법
1차년도 (2012. 11 - 2013. 11)	▷토목섬유 튜브-준설토 물리 역학적 특성 및 확산 특성 평가	▷토목섬유 재료 인장 및 봉합강도 ▷준설토 활용 토목섬유 튜브 거동분석을 위한 대형 실험토조 제작 ▷주입 형상에 따른 모형튜브 내 준설토의 확산 퇴적 및 물리 역학적 특성
	▷토목섬유 튜브 도로 성토체의 거동 특성을 위한 실내 모형 토조 시험에 의한 시뮬레이션	▷실대형 토목섬유 튜브 준설토의 형상화 특성 ▷실대형 토목섬유 튜브의 거동 및 변형 분포 특성
	▷준설 토목섬유 튜브 성토체의 탈수 및 압밀과정과 퇴적거동에 관한 이론 해석	▷준설 재료의 압밀거동 파악을 위한 수치 모델링 파라메타 도출 ▷준설 재료의 압축성과 투수성의 상 관관계 도출 ▷수치 모델링-세립 준설재료의 1차원 압밀 거동 ▷수치 모델링-토목섬유 튜브 형상
	▷준설 경량 혼합토 성능 최적 배합 설계	▷준설토에 고화재인 시멘트와 기포제를 혼합하여 준설 경량혼합토 배합
	▷준설 경량 혼합토의 역학특성 분석	▷배합비에 따른 일축압축강도 ▷배합비에 따른 할선탄성계수 ▷배합비에 따른 포장 공용성
	▷국외 연구자료, 글로벌 시공사의 시공 현황 및 시공기술 분석	▷준설 비균질 토목섬유 튜브 성토체의 압밀 건조수축 연구
	▷무선 네트워크 토폴로지 개발	▷실시간 현장 데이터 전송기술 개발

연 차	연구내용	세부추진 계획 및 방법
2차년도 (2013. 11 - 2014. 11)	▷토목섬유 튜브 구조체 개발	▷토목섬유 재질별 봉합조건에 따른 봉합 강도 특성 평가 ▷토목섬유의 봉합강도 특성을 고려한 튜브 구조체 개발
	▷준설 토목섬유 튜브 구조체의 수리적 특성에 따른 형상화 규명	▷준설토의 물리적·역학적 특성 평가 ▷토목섬유의 수리적 특성 평가 ▷모형실험에 의한 토목섬유의 수리적 특성에 따른 준설 튜브의 형상화 규명 ▷수치해석에 의한 토목섬유의 수리적 특성이 준설 튜브에 미치는 영향 규명과 토목섬유의 수리적 특성과 튜브의 거동 관계 규명
	▷새만금 현장 테스트 베드 시험계획	▷관계기관 협의 및 부지 공간 확보 ▷지반조사 및 테스트 베드 시험계획 ▷토목섬유 튜브 구조체 안정검토 및 설계 (침하, 압밀기간, 수위조건 고려 튜브 구조체 사면안정검토 등) ▷튜브 구조체 개발공법의 시공성 및 경제성 분석
	▷현 테스트 베드 시험을 통한 준설 토목섬유 튜브 구조체의 장기거동 특성 규명	▷원격 모니터링 통합 시스템 유지관리 ▷현장 테스트 베드 시험을 통해 수심과 파력 및 침하 등이 고려된 준설 토목섬유 튜브 구조체의 장기거동 특성 파악 ▷일련의 수치해석을 통해 기초지반의 침하, 수심, 파력 등의 외적환경 요인이 튜브 구조체에 미치는 영향 규명 ▷수치해석을 통해 튜브 구조체의 변형이 제방 성토체에 미치는 영향 규명 ▷수치해석을 통해 기초지반의 침하와 튜브 구조체의 안정성 관계 도출

연 차	연구내용	세부추진 계획 및 방법
3차년도 (2014. 11 - 2015. 11)	▷준설 토목섬유 튜브 구조체의 설계 프로그램 개발	▷기존 국외개발 설계프로그램(GeoCoPS) 파라메타 분석 및 검증 ▷토목섬유 튜브 구조체 배수성을 고려한 형상화 구성방정식 개발 ▷최적 토목섬유 튜브 설계를 위한 GUI(Graph User Interface)프로그램 개발 ▷토목섬유 튜브 구조체의 설계정수를 반영한 시간의존성 형상화 프로그램에 의한 상용성 확보 ▷현장 테스트 베드 시험과 실내 시험 데이터와 개별거동을 융합한 최적 시스템 토목섬유 튜브 설계기법 제시
	▷준설 토목섬유 튜브 구조체 설계 프로그램의 검증 및 보완	▷수치해석을 이용한 거동분석과 현장 시공 계측 데이터의 비교 분석 ▷성능시험을 체계적으로 반영한 단계별 프로세스구축 ▷지속적인 현장 모니터링을 통한 설계기법 검증 및 보안 ▷개발프로그램 Geo-TDS 글로벌 영문 매뉴얼 제작
	▷토목섬유 튜브 구조체의 최적 설계/시공/유지관리 매뉴얼 작성 제안	▷토목섬유 튜브 공법의 국외설계/시공/유지관리 자료분석과 고찰 ▷토목섬유 설계/시공/유지관리 관련 기관과의 협의 ▷현장시험 및 결과 분석에 의한 토목섬유 튜브 구조체의 설계/시공/유지관리 매뉴얼 작성, 공법 설계기법 평가 ▷국내 준설 토목섬유 튜브 구조체 설계/시공/유지관리 지침개발

제3절 국내·외 기술개발 현황

1. 국내 기술 및 산업 동향

1) Incheon bridge project

한정된 공사기간 내에 인천대교 프로젝트에 필요한 상부교량과 하부교량기초 공사를 위해 가물막이 댐을 만들고자 토목 섬유가 이용되어 성공적인 결과를 산출하였다. 이 공사 방식은 영국계 투지회사 Amex가 세계적으로 유명한 TENCATE(사)에 설계 시공을 위탁하여 진행되었으며, 우리나라에서 토목섬유 튜브 공법이 대규모로 본 공사에 적용된 첫 사례에 해당한다.

토목섬유를 이용한 토목섬유 튜브 공법이 적용된 이 프로젝트는 규모 측면에서 한국에서 가장 큰 규모의 공사이다. 이 프로젝트에 사용된 5m의 관 직경도 현재 국내에 설치된 최대 크기로 추정되고 있다.

이 공사는 토목섬유 튜브를 이용하여 짧은 시간에 건설되었다. 토목섬유 튜브의 총 시공길이는 전체 14km이고 직경은 3~5m이다. 한 스판의 토목섬유 튜브 길이는 최대 1.6km 정도 긴 인공섬 형식의 토목섬유 튜브는 해저면에서 약 7~9m 성토고를 유지한 가설도로이다.

이전까지 매립공사에서 물막이 공사 시 유속과 유실을 방지하고자 사석을 이용하는 보편적인 공사방법은 적용 가능성이 현저하게 떨어지게 되었고, 이를 대체하여 이 공법이 적용됨으로써 시공성과 경제성을 확보하게 되었다는 평가를 받고 있다.



그림 1.3.1 인천대교의 토목섬유 튜브 공법 적용 현황 및 시공단면

2) Songdo land reclamation project, bay of incheon

필드 파일럿 테스트는 송도 랜드 복원 프로젝트의 제방 건설 작업에 토목섬유 튜브를 사용하여 실시되었다. 토목섬유 튜브는 8m의 둘레이며, 시공 길이는 25m이다. 토목섬유 튜브를 충진하는데 사용되는 흙은 준설선에서 유압에 의해 토목섬유 튜브로 펌핑되었다. 토목섬유 튜브의 유압공급 동안 펌핑 압력과 속도에 대하여 최적의 값을 결정하기 위한 시험이었다.

3) Applications of geotextile tube to construct temporary dike for dredging at Busan new port south container terminal

토목섬유 튜브는 부산 신항만 남측 컨테이너 터미널에서 일시적인 준설을 위해 가호안 형식으로 적용되었다. 이 프로젝트는 원래 1,042m가 외측 가호안이고, 내부 가호안은 1,617m로 내부 가호안과 외부 호안으로 피복을 구축하는 것으로 구성되었다. 900,000㎥ 마운드의 모래의 양을 줄이고 1,000,000㎥의 준설토 저장용량을 확대하고자 토목섬유 튜브를 이용하였다.

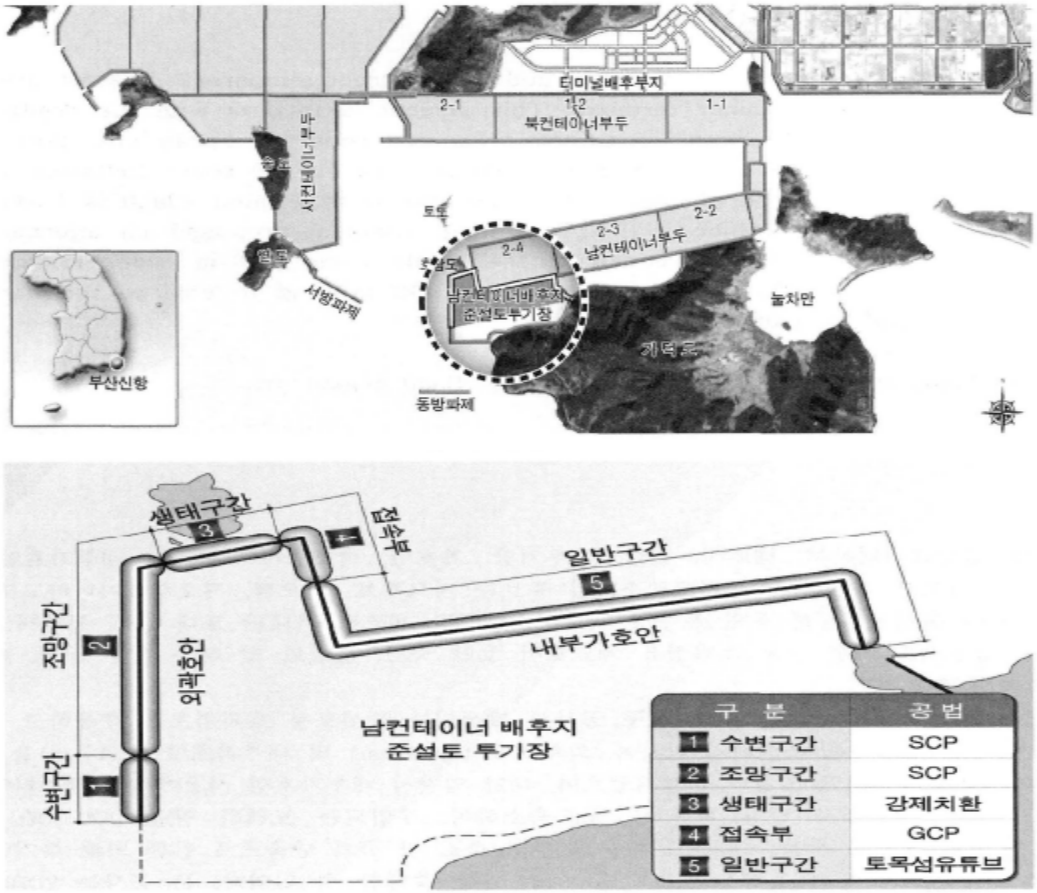


그림 1.3.2 현장 해상매립지 위치도 및 토목섬유 튜브 적용구간

국내 시공실적에 대한 기술분석 결과, 토목섬유 튜브 설치 후 외부하중 작용 시 수평이동과 전도, 지지력, 단계별 토목섬유 튜브 설치 시 안정성, 쇄굴, 침하 등에 대한 한계상태 시의 거동해석 없이 무분별하게 이용되고 있으므로 이에 대한 설계기준 마련이 필요한 것으로 밝혀졌다.

준설토 활용에 대한 국내·외 특허상황([그림 1.3.3])을 보면, 1995년부터 서서히 증가하는 추세이며, 2002년에 출원량이 감소했으나 현재까지 상승하는 추세를 보이고 있다. 특허건수와 출원인수 변화의 상관관계를 통해 기술의 위치를 살펴보는 포트폴리오 기본 모델에서, 한국특허와 유럽특허는 전형적인 성장기 단계에 있는 것으로 나타났으며, 미국특허는 발전기와 성숙기 단계를 거치는 양상을 보일 것으로 예상된다. 미국 특허에서 일반적으로 발전기 단계에서 성숙기 단계로 진입할 때는 지그재그 형태를 보이는 것이 대부분인데, 그러한 상황을 고려한다면 발전기~성숙기 단계를 거치고 있다고 판단된다.

2. 국내 특허동향

국내 특허에서 녹색준설, 매립기술 개발 분야는 1991년에 출현하여 미비한 출원 활동을 보이다가 1998년 이후부터 내국인 특허 출원이 폭발적으로 증가하기 시작한 이후 지속적인 증가 추세를 보이고 있다.

준설, 매립기술 개발 분야에 관한 출원인별 출원 성향을 보면, 선단 최적 운영 기술 분야에서도 특허활동을 하고 있는 것으로 나타났으며, 삼성중공업주식회사, 대우조선해양 및 현대중공업주식회사는 친환경 준설토 운반선(호퍼/바지) 운영기술 분야에 역점을 두고 있다. 한국에서의 저탄소 녹색 준설. 매립기술 개발 분야에서의 주요 출원인들은 전반적으로 유비쿼터스 준설 모니터링 기술 분야, 친환경 고효율 준설선 자동화 운전기술 분야 및 친환경 준설토 운반선(호퍼/바지) 운영기술 분야에서 연구개발을 활발하게 하고 있는 것으로 나타났으며, 연구의 주체로써 개인, 공공연구기관 및 기업체 등에서 고른 연구개발을 하는 것으로 나타났다.

일본과 유럽은 1976년부터 2007년까지 비교적 특허등록이 활발히 이루어진 이후 2008년 이후 잠시 주춤하고 있고 이시기에 한국은 꾸준하게 특허등록이 현재까지도 지속되고 있다. 반면, 유럽과 일본은 저조한 특허출원이 이루어지고 있고 미국은 양적으로 이시기에도 매우 활발하게 특허등록이 이루어지고 있다. 이 분야에서 세계 제일의 기술력을 보유하고 있는 미국은 2002년에 크게 증가되었고, 국내에서도 이를 반영하듯 매년 꾸준하게 증가하면서 유럽과 일본을 앞서고 있다. 1994년도부터 미국은 한국, 일본, 유럽보다 크게 앞서고 있으며 전반적으로 다른 국가에 비해 양적인 면에서 큰 우위를 보이고 있다.

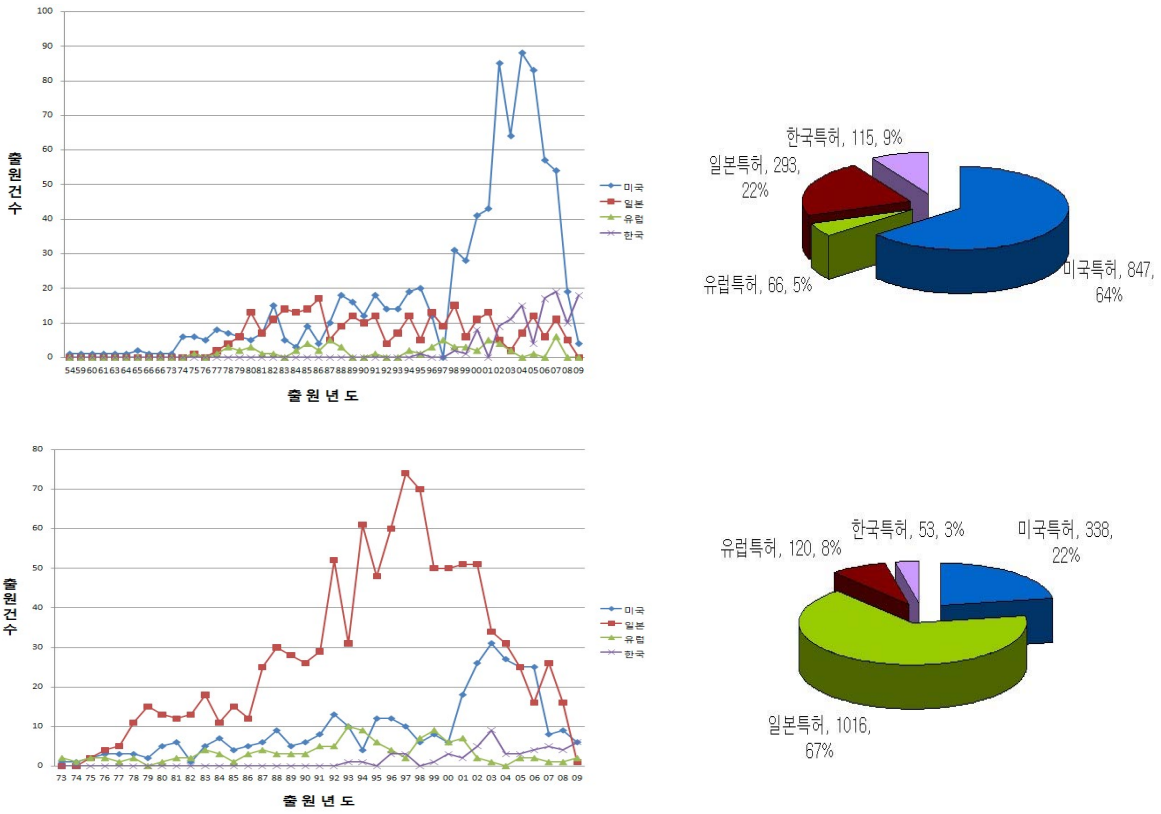


그림 1.3.3 국내·외 특허동향

3. 국외 기술 및 산업 동향

(1) 국내·외 시공기술

국외에서는 토사를 이용한 토목섬유 튜브의 형상화 기술이 해안선 보호, 해변 복구, 준설매립, 그리고 오염수 저장과 여과에 이용되고 있다. 토목섬유 튜브는 강하고, 내구성과 비용 면에서 기존의 준설매립을 포함한 수리학적인 공학(Hydraulic engineering) 측면에서 효과적인 대안으로 활용하고 있다.

토목섬유 튜브 공법은 세계적으로 이미 2,000개 이상의 프로젝트에 적용되었다. 예를 들어 태풍 Katrina 후 Grand Isle 해안선 복구, 스웨덴의 호수 청소, 브라질 Canal do Fundão 강, 오염수 처리 과정에서의 탈수, 뉴욕 브루클린 동쪽 강 발전소 등에 보편적으로 적용되었다.

토목섬유 튜브 공법을 다음과 같이 분류하여 상세연구를 수행하고 있으나, 아직까지 구체적인 세부 내용은 외부에 발표되지 않고 있다.

① 토목섬유 튜브 저장 : 독특하게 설계된 저장 특징을 갖는 고강도 침투성의 토목섬유는 세립자 슬러지, 위험요소로 오염된 토양, 또는 준설된 폐기물 등을 담을 수 있는 토목섬유 튜브로 제조.

② 토목섬유 튜브 배수 : 과잉의 물은 효과적인 탈수와 내용물의 능률적인 체적감소를 위해 토목섬유에 있는 작은 구멍을 통해 토목섬유 튜브로부터 배수된다. 이 체적 감소는 토목섬유 튜브의 반복 채움을 허용한다. 많은 경우에 여과된 물은 자연수로로 돌려보내지거나 재사용 할 수 있는 수질개선.

③ 토목섬유 튜브 압밀 : 반복적으로 채우고 배수하는 과정을 반복한 후 마지막 주기 후에, 남은 미립자는 잔여수가 토목섬유를 통해 발산되기 때문에 건조되면서 압밀이 지속되어 침하발생.

- Amwaj Islands project, Bahrain

Amwaj 섬은 바레인 왕국의 최북단 섬인 Muharraq 섬의 동북까지 준설매립된 곳이다. 상대적으로 얕은 바다를 매립하여 형성됨 이 섬은 140베드 이상 숙소를 가진 240m 직경 원형 정박소 뿐만 아니라 주거와 상업 고층건물과 호텔을 포함하고 있다.

기술적 관점에서 Amwaj 섬은 토목섬유 튜브 공법을 이용한 준설매립과 관련된 다수의 신기술이 적용되었다. 제시된 토목섬유 튜브 방파제 설계는 50년의 반환 기간(수위와 파에 대한 50년 주기 설계) 동안 폭풍우 파도로부터 Amwaj 섬을 보호하기 위한 방위체계도 제시했다. 바다 전경에 방해가 되지 않는 전망 요구조건 때문에 낮은 구조물을 선호하였고, 이 바다 방위는 또한 섬 둘레를 따라 인공적인 모래 바닷가를 보존하기 위한 기능(양빈)도 한다.

또한, 방위 구조물을 통해서 배가 섬으로 접근은 2.7m(CD) 깊이를 갖는 북부 방향에 있는 기존 수로를 따라 제공된다. 극단적인 경우로부터 주변 침식을 감소와 해변 보호 및 연중 방파제와 섬 사이 둘러싸인 지역을 상쾌하게 하기 위해 제시된 방파제 배치 및 전형적인 매립 과정은 [그림 1.3.4～1.3.5]에 나타낸 바와 같다.

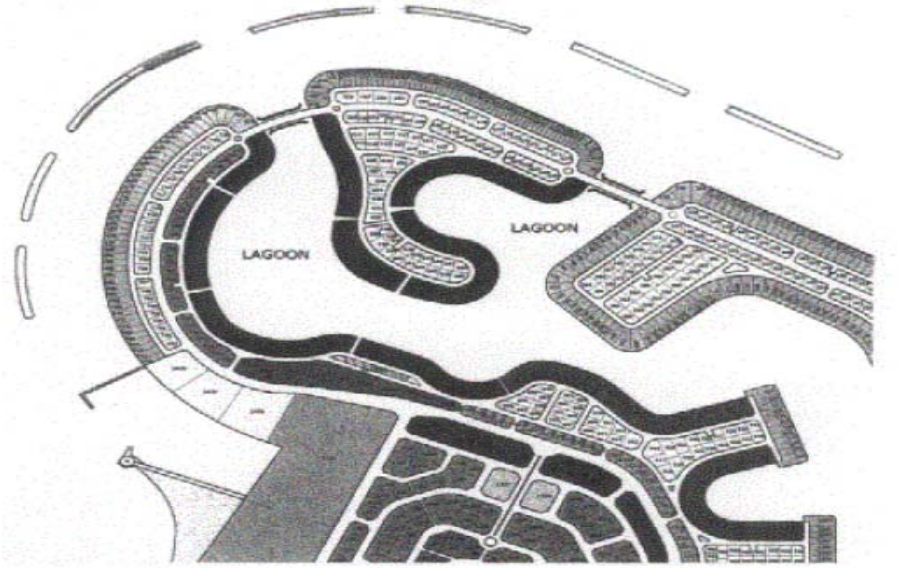


그림 1.3.4. 제안된 Amwaj 섬 토목섬유 튜브 방파제 배치도

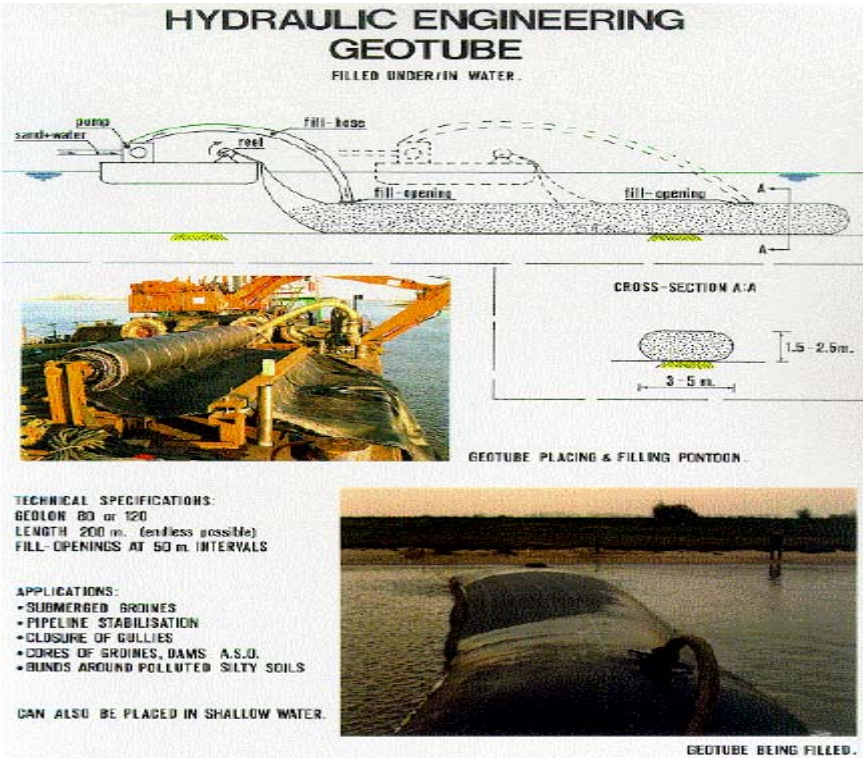


그림 1.3.5 토목섬유 튜브 수중의 전형적인 매립(채움) 및 배치 기술

- Use of dry dredging and geotubes in island construction, Illinois, USA

이 사례는 미국 일리노이 섬 건설에 토목섬유 튜브 사용에 의한 준설 건조기술을 가리킨다. 미국 일리노이 인공섬 건설 현장에서 [그림 1.3.6]와 같이 토목섬유 튜브를 적용하여 준설·매립을 수행하였다. 연장 4.7km의 인공섬 둘레를 형성하기 위해 토목섬유 튜브를 3열로 6.0m 높이까지 채움 작업을 수행하였고, 약 1년 후 채움 높이는 5.0m로 감소하였다.

준설 후 건조 기술이 필요한 이유는 다음과 같다.

① 잠재적으로 위험이 많은 침전물의 탈수를 허용

② 컨테이너에 재료를 직접 전달하거나 현장 함수비 상태에 육박함

③ 최소한의 부유물질의 재 침강을 최소화

④ 소규모적인 응축 처리 시설(CDF)

토목섬유 튜브 공법의 이점은 다음과 같다.

① 토목섬유 튜브를 측방으로 구속하여 낮은 함수비와 매우 낮은 강도로 사용하지 않도록 하여 응축하여 소규모적인 시공에 사용되도록 함

② 충전된 토목섬유 튜브는 매우 작은 응축처리 능력을 증가시킴

③ 집중응력을 감소시키고 균등하게 하중을 분표시킴



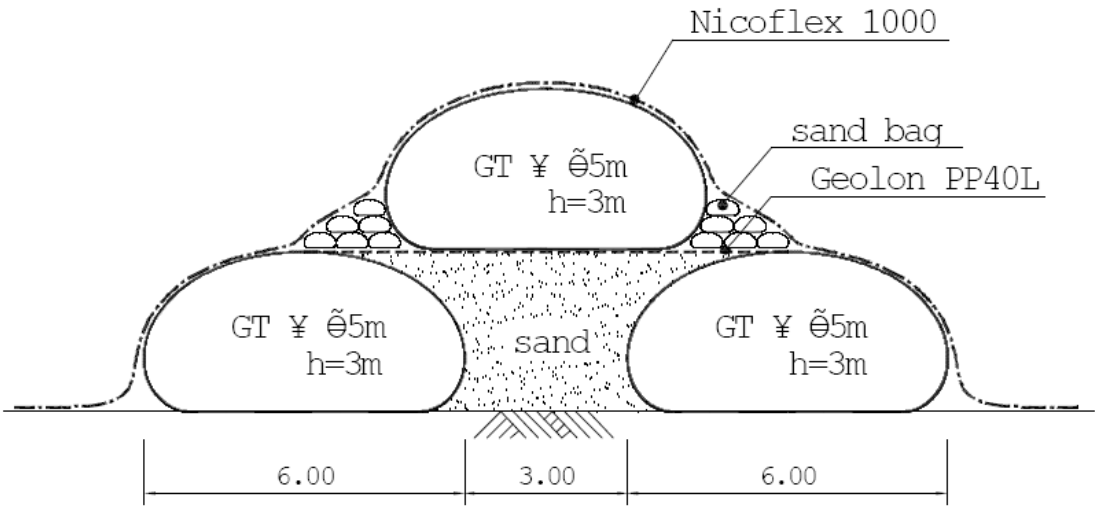
그림 1.3.6 미국 일리노이 섬 건설에 토목섬유 튜브로 건조 준설매립

- 일시적인 댐의 물막이(모르코)

높이 6.0m 댐의 일시적인 물막이 공사를 위해 [그림 1.3.7]에서처럼 직경 5.0m, 채움 높이 3.0m를 갖는 3개의 토목섬유 튜브를 적용하였다. 저부 2개의 토목섬유 튜브는 상부의 토목섬유 튜브 설치를 위해 횡으로 3.0m 이격하여 시공하였으며, 토목섬유 튜브의 최종 시공 후에 불투수성의 Nicoflex liner를 덮었다. 토목섬유 튜브의 시공 길이는 70.0m이고 봉합강도가 160kN/m인 Geolon® PP 200S재료를 사용하였다.



(a)



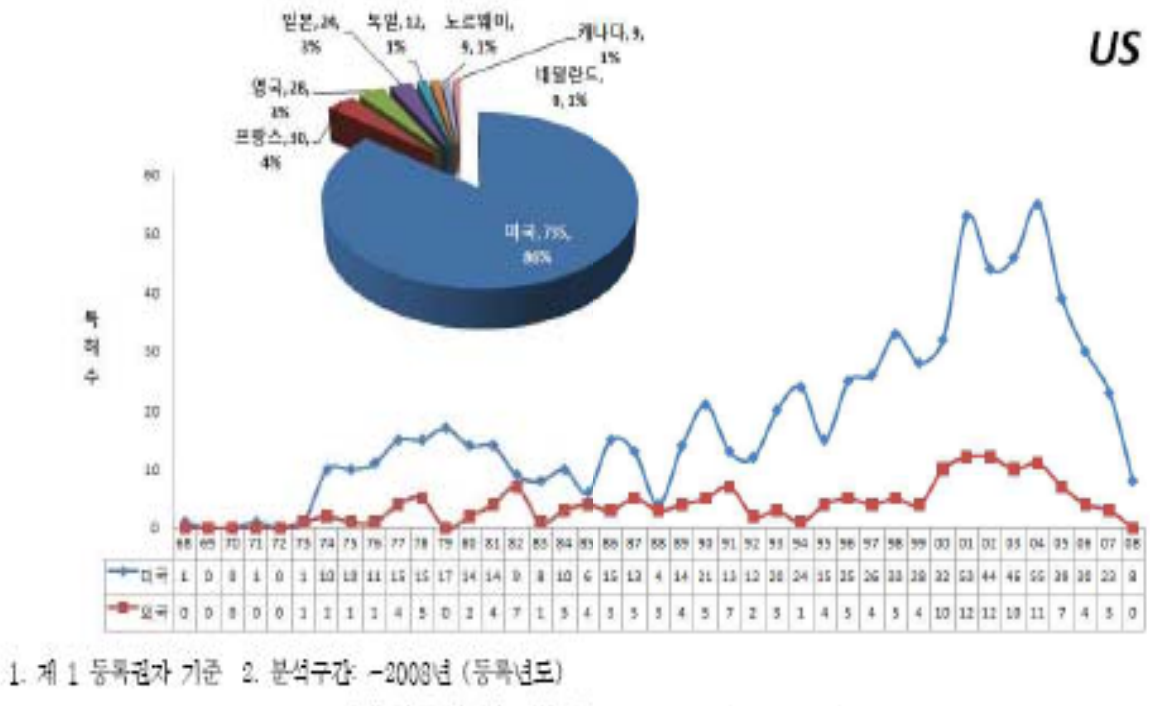
(b)

그림 1.3.7 (a) 임시 댐, (b) 토목섬유 튜브 횡단면

4. 국내·외 관련 선행특허분석

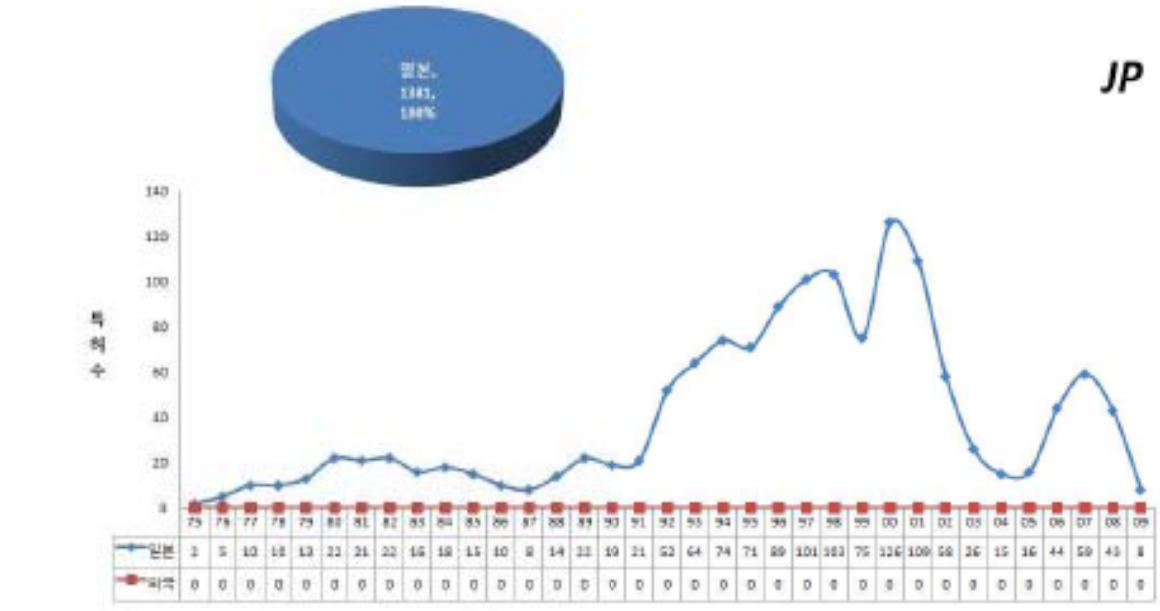
미국특허에서 저탄소 녹색 준설, 매립기술 개발 분야는 외국인의 등록특허가 전체 등록특허의 14% 정도를 차지하는 것으로 나타났으며, 전체적으로는 자국 특허권자의 등록특허 수가 우위를 보이고 있다.

내·외국인 점유율을 살펴보면, 자국 특허권자에 의한 등록점유율이 86%, 외국국적의 출원인에 의한 등록점유율이 14%를 차지하고 있다. 외국인에 의한 특허등록 중에서는 프랑스가 4%로 가장 많고, 뒤를 이어 영국(3%), 일본(3%), 독일(1%) 순이다.



1. 계 1 등록권자 기준 2. 분석구간: ~2008년 (등록년도)

그림 1.3.8 미국특허에서의 국가별 특허동향



1. 계 1 출원인 기준 2. 분석구간: ~2008년 (출원년도)

그림 1.3.9 일본특허에서의 국가별 특허동향

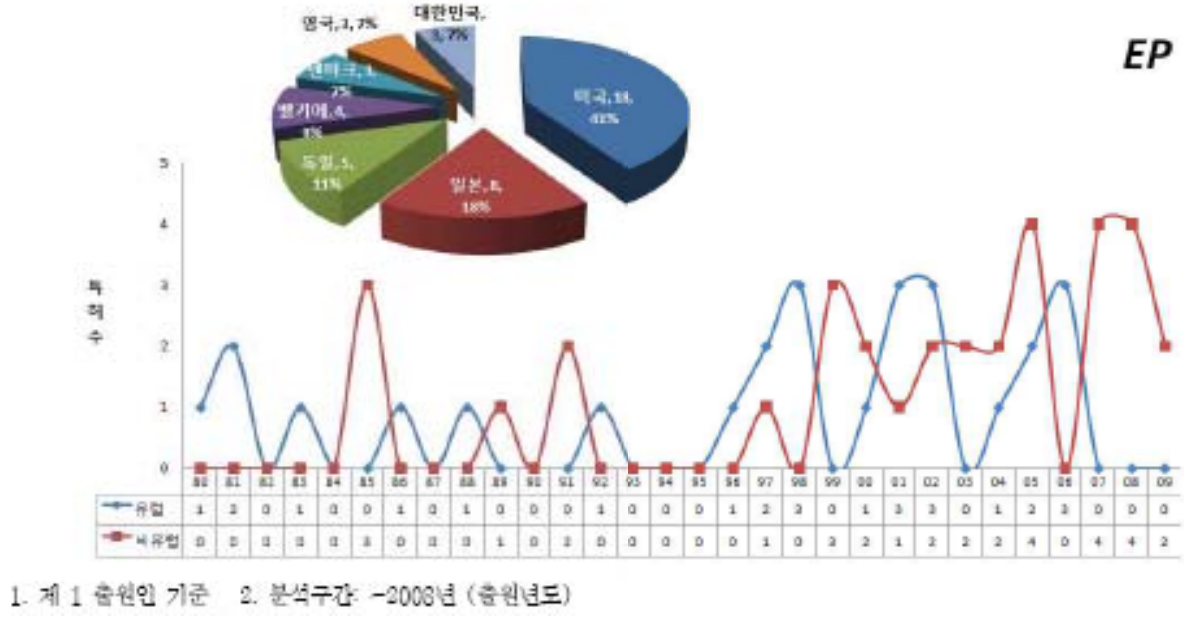


그림 1.3.10 유럽특허에서의 국가별 특허동향

유럽특허에서의 저탄소 녹색 준설·매립기술 개발 분야의 특허동향을 살펴보면, 유럽인과 비유럽인 모두 1980년대 초반에 출현하여 미비한 출원량을 보이고 있으며, 1990년대 중후반부터 상대적으로 활발한 특허활동을 보이는 추세이다. 전반적으로 저조하지만 비유럽 출원인의 출원 활동이 상대적으로 활발한 것으로 보인다.

내·외국인 점유율을 살펴보면, 비유럽인인 미국과 일본이 41%와 18%의 높은 점유율을 보이고 있으며, 한국도 7%의 점유율을 보이고 있다. 유럽인으로는 독일, 벨기에, 덴마크, 영국 등이 있다. 미국등록특허에서 기술수준을 측정하는 3가지 지표인 특허등록건수, 영향력지수(PII), 기술력 지수(TS)를 통해 국가별 분포를 살펴본 결과, 실질적으로 미국이 관련 기술 분야에서 양적 수준 및 질적 수준 모두 상대적으로 높은 것으로 확인된다.

영향력지수(PII)에서는 1구간(1994～1998년 이하 1구간)에서는 미국이 가장 높은 것으로 나타났으며, 그 뒤를 이어 프랑스, 일본, 순이며, 2구간(1999～2003년, 이하 2구간)에서도 역시 미국이 가장 높고, 그 뒤를 네덜란드, 캐나다, 영국 등이 차지하고 있으며, 3구간(2004～2008년, 이하 3구간)에서는 미국, 일본, 영국 순으로 기술영향력이 높은 것으로 나타났다.

기술력지수(TS)에서는 1구간에서는 미국이 월등히 높은 것으로 나타났으며, 그 뒤를 이어 프랑스, 일본 순이며, 2구간에서는 미국, 캐나다, 영국이 1, 2, 3위를 각각 차지하고 있으며, 3구간에서는 미국, 프랑스, 일본 순으로 나타났다. 최근 구간인 3구간에서 미국을 제외한 대부분의 국들이 기술력지수가 다소 상승한 것으로 보인다. 특허 등록건수에서 높은 순위를 차지한 미국이 기술력지수(TS)의 전 구간에서 모두 1위를 차지하였으며, 영향력 지수(PII)도 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

한국은 미국 내에서의 특허활동이 미비한 것으로 나타나는 등 미국 내에서의 특허등록건수가 적어서 실질적인 기술 영향력을 통한 기술력 지수의 증가여부를 판단할 수 없는 것으로 나타났다.

- 출원인 국적별 기술시장 수준

특정국가의 출원인이 출원한 특허의 평균 패밀리 특허수를 이용하여 얼마나 많은 시장에 대하여 특허출원 활동을 하고 있는지를 알아볼 수 있는 지표이다. 시장 확보 지수가 높으면 많은 시장에서 우수한 특허를 출원하고 있다고 할 수 있기 때문에 특허를 통해 국가 간 기술경쟁력 비교가 가능하다.

특허출원 시 인용하는 기술문헌을 통해 과학기술과의 연계성 및 연구 성과의 방향성을 알아볼 수 있다. 미국특허에서 인용된 문헌이 비특허 문헌이 많은 경우에는 기초 기술과의 연계성이 높은 것으로 해석할 수 있으나, 상기 특허인용과 논문인용은 출원인이 미국 명세서에서 본인(출원인)의 판단 하에 작성한 내용임을 고려해야 한다.

미국과 프랑스가 비특허(논문) 문헌과 특허문헌 인용이 평균 이상으로 이루어져 있어 기초 과학과 응용기술을 연계하여 연구 개발하는 가장 이상적인 개발방향을 가지고 기술개발을 통한 특허활동을 하고 있는 것으로 나타나며, 저탄소 녹색 준설 매립기술 분야 개발을 위해 관련 정책과 기술에 대한 벤치마킹은 미국과 프랑스를 모델로 택하기에 적당한 것으로 보인다. 국내의 경우 저탄소 녹색 준설 매립기술 분야에서의 미국 내에서의 특허활동이 미비하여 세계시장(미국시장)에서 선도국과의 기술수준 차이를 비교할 수조차 없는 것으로 나타난다.

- 관련 특허 세부사항

준설매립관련 공법 중 본 연구에 중점적으로 관련이 되는 토목섬유 튜브를 이용한 공법은 비교적 최근인 2006년부터 연구되었고, 국내에서는 특허 8건, 국외 미국에서는 2건 정도가 조사되었다. 대부분의 특허는 토목섬유 튜브 내에 모래를 채우는 방법과 시공 시 외부로 토목섬유 튜브가 유실되지 않도록 하는 방법 외에 토목섬유의 봉합기술 등의 시공기술이 대분이다. 그러나, 토목섬유 튜브 내의 토사의 침강과 퇴적 그리고 압밀, 배수에 관한 원천적인 연구를 고려한 특허기술의 개발이 시급한 상황이다.

이러한 원천기술을 고려한 특허개발은 시공 후에 발생하는 강도-변형-안정문제를 야기할 수 있고 특히 토목섬유 튜브 설치 하부지반의 변형여건에 따라 전체적인 역학특성이 다르므로 현지여건에 따른 제반조건이 피드백 될 수 있도록 특허가 고안이 되어야 한다. 따라서, 향후 기존 특허내용을 활용하고 현장에서 발생하는 문제점을 Test-bed에 의해 해결하도록 하며 특히 토목섬유 튜브가 점토로 채워지는 경우 침강시간이 장기간 소요되는 문제점도 해결할 수 있도록 하며 이에 대한 설계기술을 정립하도록 해야 한다.

- 국내특허

① 차수수단이 설치된 지오튜브 및 그 설치방법, 출원번호 10-2006-0057879
② 지오튜브 제조방법 및 지오튜브, 출원번호 10-2008-0035054
③ 지오튜브를 이용한 제방축조 및 매립공법, 출원번호 10-2009-0002659
④ 지오텍스타일 튜브와 이를 이용한 준설토 처리 방법, 출원번호 10-2008-0036758
⑤ 토목 시공용 튜브 구조물, 출원번호 10-2008-0127544
⑥ 튜브구조체를 이용한 호안구조물을 위한 간척방법, 출원번호 10-2009-0110302
⑦ 유연한 배출부가 구비된 튜브구조체 충진용 호스연결모듈, 출원번호 10-2013-0090597

전반적으로 상기특허는 공사용 가도, 가호안, 수중제방, 해안침식방지 구조물, 인공섬호안, 친수환경조성 및 연약지반 보강용 공법을 적용하는 경우에는 토목섬유 튜브 등에 사용 가능하다. 주로 모래나 다른 토질과 같이 거의 응집성이 없는 고체재료로 적어도 하나 이상의 충전 주입구를 통해 채워지는 직물로 이루어진 토목섬유 튜브 제조방법 및 토목섬유 튜브에 관한 것이다. 최근 특허 중 “튜브구조체를 이용한 호안구조물 간척방법”은 준설토의 배수 및 침강특성을 고려한 배수방법에 대한 기본적인 원리를 제공하고 있다.

- 국외 특허

① 판형 토목섬유 튜브[US Patent 0208288, A1 - Geotextile tube with flat ends, Aug. 20, 2009]
② 해안침식 완화 공법 [US Patent 7461998, B1 - Coastal erosion mitigation solutions (CEMS), Dec. 9, 2008]
③ 튜브구조체 봉합기술 [US Patent 6186701, B1 - Elongate flexible container, Feb 2001]
④ 나선형 봉합 튜브 구조체 [US Patent 5232429, Method and apparatus for making a continuous tube of flexible sheet material, Feb. 6, 1992]
⑤ 튜브 구조체 봉합부위 보강방법 [US Patent 5902070, Geotextile container and method of producing same, Jun. 6, 1997]
⑥ 튜브 구조체 면 봉합방법 [US Patent 7891914, B - 2 Geotextile tube, Sep. 30, 2008]
⑦ 튜브 구조체 주입구 제조방법 [EU 87202211.6, A Mothod of forming a body, e.g. a dike body, a tubular body designed therefor, and a method of manufacturing such a tubular body, Nov. 12, 1987]

상기기술은 준설토를 투입하기 전 포설된 토목섬유 튜브의 형태를 유지하기 위하여 선단부에 둥근판을 설치하여 원형을 유지하고 있으며, 튜브 본체의 단면도는 설치에 앞서 튜브가 설치될 주변 환경 등의 관계에 의해 설정 제시하였다.

해안지역 방파제의 안정화 기술설계를 위하여 다수의 모델을 적용하여 계측에 의해 효과를 검토하는 피드백 방식에 의한 차단계 시공 방식을 결정하는 시스템 설계이다. 특히 TENCATE(사)의 봉합기술은 튜브의 경사방향으로 튜브를 봉제하는 것에서 위사방향으로 원통형 봉합을 하면서 이어져 가기 때문에 튜브의 전단력을 증가시키는 기술이다. 국내수입은 토목섬유 튜브 구조체의 원통형 봉합기술 특허에 의해 튜브 제품이 봉합되어 수입되고 있는 실정이다.

초창기 1990~2012년도 기초연구단계에 기존에 수행된 연구과제는 토목섬유 튜브 공법의 소개, 구조물로써의 적용성에 대한 분석, 현장 시험시공을 통한 거동해석 연구중심으로 수행되어 왔으며 토목섬유 튜브 구조체를 구성하는 원천재료인 토목섬유의 봉합기술과 주입기술, 그리고 설계프로그램 개발 등 원천기술이 확보되지 않아 국외 특허 및 설계 프로그램을 활용하는 것이 지배적이다.

따라서, 본 연구를 통해 관련 원천기술(튜브봉합, 주입기술, 확산기술)과 설계프로그램 기술 등이 Bench Scale 규모와 Protype 모델 실험을 통해서 중소제조기업과 연계한 건설 산업의 국제기술력 경쟁 우위를 확보하기 위한 도약단계에서 성장기로 진입하도록 기술이 개발되었다.

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0111145
(43) 공개일자 2009년10월26일

(51) Int. Cl.
E02D 3/10 (2006.01) *E02D 17/20* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0036758
(22) 출원일자 2008년04월21일
심사청구일자 2008년04월21일

(71) 출원인
주식회사 지오마린
서울 서초구 양재동 276-1 대성빌딩 4층
(72) 발명자
김정한
서울 강남구 역삼동 837-19 르메이에르타운 906호
(74) 대리인
김용대

전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 지오텍스타일 튜브와 이를 이용한 준설토 처리 방법

(57) 요 약

본 발명은 지오텍스타일 튜브와 이를 이용한 준설토 처리 방법에 관한 것으로, 지오텍스타일 튜브에서 침출수의 유출을 촉진시켜서 준설토의 배수가 신속하게 이루어지게 하고, 지오텍스타일 튜브의 준설토 수용량을 극대화하며 준설토 처리 작업시간을 단축할 수 있도록 한 것이다.

즉, 본 발명은 지오텍스타일 튜브에 있어서, 상면에 하나 이상의 집수배출부을 구비하고 상면에서 진동을 부여할 수 있도록 한 것이다.

따라서, 본 발명은 지오텍스타일 튜브의 상면에 하나의 이상의 집수배출부을 구비함으로써 준설토의 탈수가 신속하게 이루어지고 수분의 탈수로 인하여 채워지는 준설토의 양이 극대화되며 지오텍스타일 튜브에 진동을 가함으로써 준설토의 탈수가 촉진되는 것이다.

대 표 도 - 도1

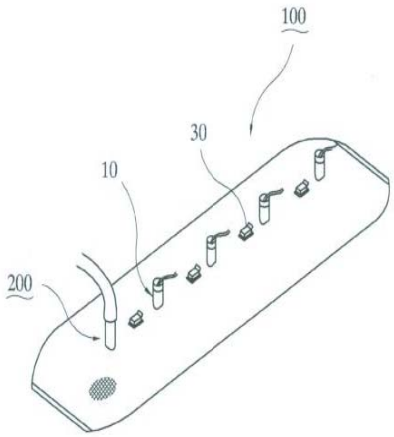


그림 1.3.11 특허서지자료 - 지오텍스타일 튜브와 이를 이용한 준설토 처리방법

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년04월14일
(11) 등록번호 10-1028742
(24) 등록일자 2011년04월05일

(51) Int. Cl.
E02D 3/10 (2006.01) *E02D 3/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0035054
(22) 출원일자 2008년04월16일
심사청구일자 2008년04월16일
(65) 공개번호 10-2009-0109688
(43) 공개일자 2009년10월21일
(56) 선행기술조사문헌
KR100710415 B1*
US05902070 A1*
US07357598 B1*
JP2005281999 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
전양진
경기 고양시 일산서구 일산3동 1055 후곡마을 703-1405
(72) 발명자
전양진
경기 고양시 일산서구 일산3동 1055 후곡마을 703-1405
(74) 대리인
이외백

전체 청구항 수 : 총 2 항 심사관 : 박기효

(54) 지오튜브 제조방법 및 지오튜브

(57) 요 약

본 발명은 공사용 가도, 가호안, 수중제방, 해안침식방지 구조물, 인공섬호안, 친수환경조성 및 연약지반 보강용 등에 사용 가능한 것으로 주로 모래나 다른 토질과 같이 거의 응집성이 없는 고체재료로 적어도 하나이상의 충전 주입구를 통해 채워지는 직물로 이루어진 지오튜브 제조방법 및 지오튜브에 관한 것으로서,

본 발명인 지오튜브 제조방법 및 지오튜브에 관한 구체적인 해결적 수단은,

"하나 이상의 충전 주입구(100)가 천공된 상태에서 상기 충전 주입구(100)를 중앙기준으로 전후에 액체는 통과하고 고체는 통과되지 아니하는 직물 원단의 길이방향 일단에 상기 직물 원단과 같은 재질의 구획차단판(200)이 복수개씩 형성되도록 상기 직물 원단을 한장의 직물원단(1)으로 길게 재단하는 제2 재단단계와,

상기 재단된 한장의 직물 원단(1)을 상기 충전주입구(100)가 상방향으로 구비되면서 스크류 형상으로 길이방향의 일단이 중첩됨과 동시에 상기 구획차단판(200)이 내측으로 구비되어 구획 차단 가능하도록 3중원단 중첩가능하도록 폼을 형성하는 제2 폼 형성단계와,

상기 폼이 형성된 한장의 직물 원단(1)의 길이방향 일단인 스크류 형상으로 상기 구획차단판(200)과 함께 3중중첩된 부위를 재봉 봉제토록 하여 3중중첩봉제선(210)을 형성하는 제2 봉제 단계와,

상기 길이방향 일단이 3중중첩봉제선(210)에 의해 스크류 형상으로 봉제한 후 상기 한장의 직물원단(1)의 선후단부를 재봉 밀봉하여 제2 밀봉선(211)을 형성 밀봉하는 제2 완성단계로 이루어진 것과,

충전 주입구(100)가 다수개 구비되고 액체는 통과하고 고체는 통과되지 아니하는 투수성 폴리에스테르, 폴리프로필렌 또는 폴리에틸렌중 어느 하나를 재질로 하는 직물 원단 중 선택된 어느 한장의 직물원단(1)을 길이방향으로 일측단이 중첩토록 스크류 형상으로 봉제하여 2중중첩봉제선(110)을 형성 원통형 또는 타원통형이 되도록 한 후 선후 양단부에 제1 밀봉선(111)을 형성하여 밀봉처리한 후 상기 충전 주입구(100)를 통해 수분이 함유된 모래 또는 기타 토질을 주입하여 된 지오튜브에 있어서,

상기 한장의 직물 원단(1)에 천공된 충전 주입구(100)를 중앙기준으로 전후 길이방향 일측단에 상기 직물 원단(1)과 같은 재질의 구획차단판(200)이 복수개씩 형성되어 있는 것"을 그 구성적 특징으로 하고 있다.

상기와 같이 구성된 본 발명인 지오튜브 제조방법 및 지오튜브는 한장의 직물원단을 현장의 여건에 적합하도록 원형 또는 타원형으로 제조함에 있어 상기 한장의 길이방향으로 길게 형성된 직물원단을 스크류 형상으로 일측단이 중첩되도록 하고 상기 중첩된 부위를 봉제처리함으로서 기존의 여러조각의 직물 원단을 여러번 봉제처리하여 완성하는 지오튜브보다 인장력이 향상되고 제조과정도 단순 간편하며 특히 한장의 직물원단으로 제조함에 따라 파손의 정도가 상대적으로 낮은 튼튼한 지오튜브를 제조할 수 있는 것이다.

그림 1.3.12 특허서지자료 - 지오튜브 제조방법 및 지오튜브

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0052848
(43) 공개일자 2011년05월19일

(51) Int. Cl.
E02B 3/04 (2006.01) *E02B 3/10* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2009-0109540
(22) 출원일자 2009년11월13일
심사청구일자 2009년11월13일

(71) 출원인
주식회사 젠트로
서울 강동구 성내동 556-2 청일베르네 3층
(72) 발명자
김사동
서울 광진구 광장동 218-1 광장극동아파트 11동 703호
(74) 대리인
특허법인씨엔에스

전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 토목 시공용 튜브 구조물

(57) 요 약

댐, 방파제, 부두 또는 항구 등의 토목 공사용으로 시공되는 튜브 예컨대, 토목 시공용 튜브 구조물이 제공된다.

상기 토목 시공용 튜브 구조물은 내부에 채움재가 충진되는 튜브; 및, 연계 시공되는 선,후행 튜브의 마주하는 양끝에 각각 구비되고, 서로 연결되는 튜브 연결부재, 연계 시공되는 선,후행 튜브의 마주하는 양끝에 각각 구비되는 제1 튜브 연결부재와 그 사이에 연결되는 제2 튜브 연결부재 또는, 연계 시공되는 선,후행 튜브의 마주하는 양끝에 각각 구비되는 암,수형 튜브 연결부를 포함하여, 시공된 튜브간 공간을 제거토록 제공될 수 있다.

이와 같은 본 발명에 의하면, 연이어 일렬로 시공되는 단위 토목섬유 튜브들의 양끝을 별도의 연결부재로 연결하거나, 서로 암,수 연결되는 구조로 개선함으로써, 시공된 튜브간 공간이 형성되지 않아 튜브 구조물의 구조를 견고하게 함은 물론, 튜브 연결부분의 공간을 통한 월류를 차단하고, 이에 따라 사용 기간을 연장시키는 등의 개선된 효과를 얻을 수 있다.

대 표 도 - 도4

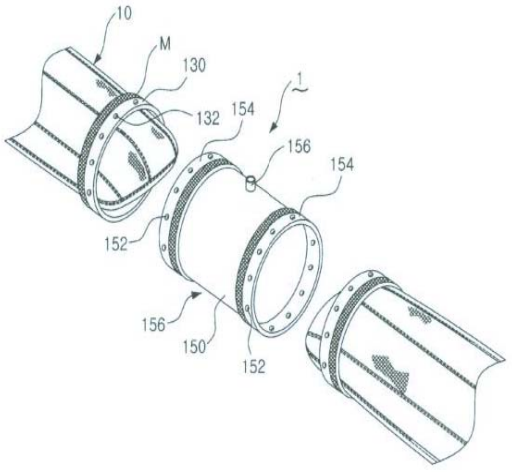


그림 1.3.13 특허서지자료 - 토목 시공용 튜브 구조물

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년06월10일
(11) 등록번호 10-0962350
(24) 등록일자 2010년06월01일

(51) Int. Cl.
E02B 3/18 (2006.01) *E02B 3/12* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2009-0083490
(22) 출원일자 2009년09월04일
심사청구일자 2009년09월04일
(56) 선행기술조사문헌
KR100774551 B1*
KR100697800 B1
JP08218341 A
JP2008173118 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
주식회사 씨엔텍
전북 군산시 미룡동 68
(72) 발명자
원명수
경기 성남시 수정구 신흥2동 2464-1 청구아파트 102-503
(74) 대리인
고영갑

전체 청구항 수 : 총 2 항 심사관 : 김선춘

(54) 간척사업용 튜브구조체

(57) 요 약

본 발명은 간척 및 매립사업 등을 경제적이고 효율적으로 수행하기 위하여 호수나 바다가 해안지역에서 간척사업을 위한 구조물을 제공하고자 한 것이다. 이를 위해, 본 발명은 내부 수용부를 가지며 플렉서블(flexible)한 재질로 이루어진 몸체부와, 상기 몸체부의 내부 수용부에 토사부재와 물이 섞인 상태인 준설토의 주입이 가능하도록 하는 주입부 및 상기 몸체부 내부의 수용부에 상기 주입부를 통하여 주입된 준설토에 함유된 물을 선택된 높이에 따라서 외부로 배출이 가능하도록 상기 몸체부의 측부 상/하 방향을 따라서 복수 개가 구비된 배출유닛을 포함하여 구성되고, 상기 배출유닛은 상기 몸체부의 내/외부를 관통하는 배출홀과, 상기 배출홀에 구비되어 상기 몸체부 내부에 수용된 물은 외부로 배출 가능하도록 하면서 입자로 이루어진 토사부재는 상기 몸체부의 외부로 배출되지 않도록 하는 메시부와, 상기 배출홀의 외부를 덮어 은폐가 가능하도록 상기 몸체부의 외측에 구비되는 덮개부 및 상기 배출홀이 폐쇄되도록 하거나 또는 상기 배출홀이 개방되도록 하는 잠금부를 포함하여 구성되며, 상기 배출홀 및 상기 덮개부를 동시에 둘러 감싸는 보조덮개부를 더 포함하여 구성되어 상기 몸체부를 중심으로 일측 방향으로 간척작업을 행하는 경우 상기 간척작업이 이루어지는 측으로 물의 배출 및 토사부재를 이용한 매립작업이 용이하게 이루어 지도록 한 것을 특징으로 하는 간척사업용 튜브구조체를 제공한다.

대 표 도 - 도6

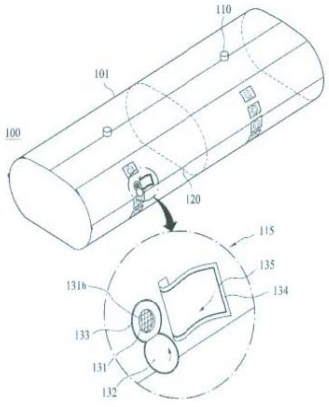


그림 1.3.14 특허서지자료 - 간척사업용 튜브 구조체

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개실용신안공보(U)

(11) 공개번호 20-2012-0005791
(43) 공개일자 2012년08월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
E02B 3/04 (2006.01) *E02B 3/12* (2006.01)
(21) 출원번호 20-2011-0001053
(22) 출원일자 2011년02월08일
심사청구일자 2011년02월08일

(71) 출원인
(주)유성특수산업
경상북도 성주군 월항면 월항농공단지1길 54
(72) 고안자
서동수
대구광역시 북구 중앙대로 591, 침산동코오롱하늘채 203-1901 (침산동)
서정협
대구광역시 북구 침산로21길 23, 201동 2302호 (칠성동2가, 침산1차푸르지오)
(74) 대리인
안경주

전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 고안의 명칭 **지오튜브**

(57) 요 약

본 고안은 지오튜브에 관한 것으로, 지오튜브를 형성하기 위한 지오텍스타일의 측면 결합부를 이중직으로 제직하여 지오텍스타일의 길이방향으로 결합봉이 삽입될 수 있는 삽입부를 형성하여, 복수개 지오텍스타일의 삽입부로 결합봉을 삽입하여 지오튜브를 형성함으로서, 지오튜브의 형성이 용이하도록 하면서 강도가 향상되도록 하는 것이다.

대 표 도 - 도1

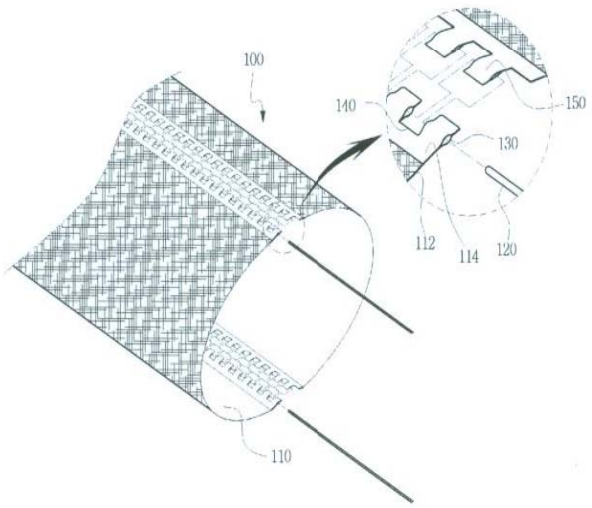


그림 1.3.15 특허서지자료 - 지오튜브

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2007년11월22일
(11) 등록번호 10-0778321
(24) 등록일자 2007년11월15일

(51) Int. Cl.
E02B 3/04 (2006.01) *E02B 3/12* (2006.01)
E02B 3/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2006-0057879
(22) 출원일자 2006년06월27일
심사청구일자 2006년06월27일
(56) 선행기술조사문헌
JP15074037 A
JP2003105735 A
KR1020020024136 A
KR1020050000790 A
전체 청구항 수 : 총 2 항

(73) 특허권자
한국건설기술연구원
경기도 고양시 일산구 대화동 2311-1
(72) 발명자
김진만
경기 고양시 일산동구 739 백마마을 211-302
최봉혁
경기 고양시 일산서구 대화동 2156
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
송세근

심사관 : 이혜순

(54) 차수수단이 설치된 지오튜브

(57) 요 약

본 발명은 투수성 지오텍스타일로 제조된 튜브 속에 준설된 토사를 속 채움 하여 호안 또는 해안의 제체 표면에 설치하는 되는 지오튜브에 있어서, 상기 지오튜브 내 측면을 분할하여 적어도 2개의 셀로 구분시키는 차수수단이 더 설치되도록 하여 상기 차수수단에 의하여 제체 쪽으로 제외지로부터 물이 더 침투하지 않도록 하는 것을 특징으로 하는 차수수단이 설치된 지오튜브에 관한 것이다.

대표도 - 도2a

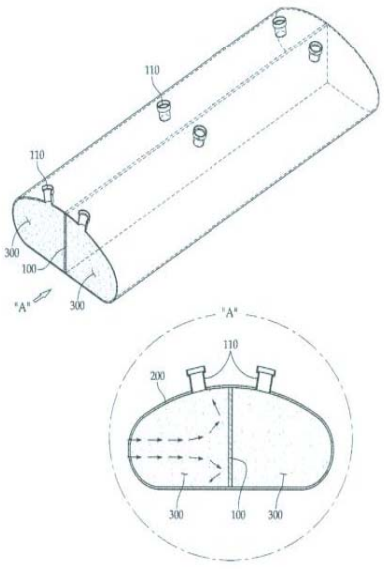


그림 1.3.16 특허서지자료 - 차수수단이 설치된 지오튜브

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년05월19일
(11) 등록번호 10-1396480
(24) 등록일자 2014년05월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
E02B 3/10 (2006.01) *E02B 3/12* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0090597
(22) 출원일자 2013년07월31일
심사청구일자 2013년07월31일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020110085080 A*
JP09268522 A*
KR200416537 Y1*
JP05198653 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
주식회사 준건설
전라북도 전주시 완산구 서곡2길 30-4 (효자동3가)
군산대학교산학협력단
전라북도 군산시 대학로 558 (미룡동, 군산대학교)
(72) 발명자
원명수
전라북도 군산시 미제3길 29 아늑한집 301호
김형주
전북 군산시 백토로 242, 301동 603호 (나운동, 롯데4차아파트)
(74) 대리인
고영갑, 권정기, 임상엽

전체 청구항 수 : 총 11 항 심사관 : 장창환

(54) 발명의 명칭 **유연한 배출부가 구비된 튜브구조체 충진용 호스연결모듈**

(57) 요 약

본 발명은 준설토의 주입이 원활하게 이루어지도록 하는 유연한 배출부가 구비된 튜브구조체 충진용 호스연결모듈을 제공하고자 한 것이다. 이를 위해, 본 발명은 주입부를 구비하는 튜브구조체 내측에 삽입된 상태를 이루되 튜브구조체의 외측으로는 준설토의 주입을 위하여 메인호스가 연결되는 메인몸체부 및 상기 메인몸체부의 양측으로 구비됨과 동시에 폴딩(folding) 가능한 플렉시블(flexible) 재질로 이루어져 튜브구조체가 접혀진 상태에서도 튜브구조체의 길이방향을 따라서 설치가 가능하되 준설토의 주입압에 의하여 팽창되어 튜브구조체의 주입부로부터 기 설정된 이격 위치에서 준설토가 주입되도록 하는 배출부가 포함되는 것을 특징으로 하는 유연한 배출부가 구비된 튜브구조체 충진용 호스연결모듈을 제공한다.

대 표 도 - 도7

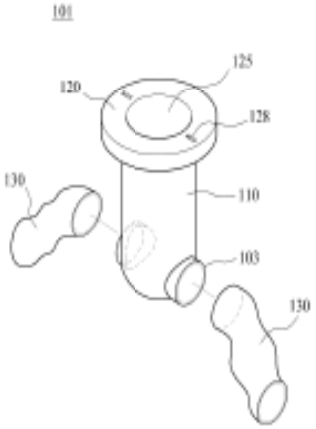


그림 1.3.17 특허서지자료 - 유연한 배출부가 구비된 튜브 구조체 충진용 호스연결모듈

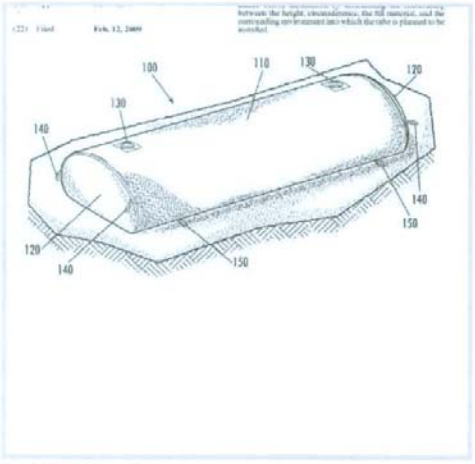
▸ 서지상세보기 US

(54) 발명의 명칭

Geotextile Tube with Flat Ends

(13) 구분	A1 국가별 특허문헌코드
(*) 공보번호/일자	20090208288 (2009.08.20)
(11) 등록번호/일자	
(65) 공개번호/일자	20090208288(2009.08.20)
(21) 출원번호/일자	12370233(2009.02.12)
(51) IPC(Int. Cl.)	*E02B 11/00*
(52) UPC(U.S. Cl.)	*405/45* *405/3026*
(58) Field of Search	E02B 11/00

대표도면 크게보기



(57) 요약(Abstract)

A flexible water-permeable geotextile tube having flat ends when filled with fill material. The tube has separate end panels that are attached to a tube body at the tube body's opposing ends. In one embodiment of this invention, the separate end panels are configured to have the same shape as that of a cross-section of the tube body when the tube body is filled and installed. The cross section of the tube body may be determined before installation by determining the relationship between the height, circumference, the fill material, and the surrounding environment into which the tube is planned to be installed.

세부항목 숨기기

(75) 발명자(Inventors)

번호	국가	이름	주소
1	US	Stephens Thomas C.	
2	US	Dymond Benjamin Zachary	
3	US	Plaut Raymond Herman	

(73) 출원인(Assignee)

번호	국가	이름	주소

(74) 대리인(Attorney, Agent or Firm)

번호	국가	이름	주소

그림 1.3.18 특허서지자료 - Geotextile tube with flat ends

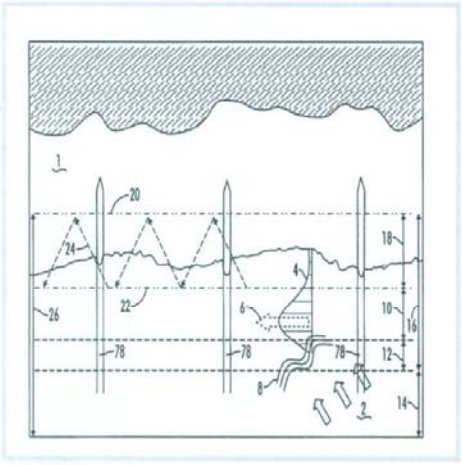
▸ 서지상세보기 US

(54) 발명의 명칭

Coastal erosion mitigation solution (CEMS)

(13) 구분	B1 국가별 특허문헌코드
(*) 공보번호/일자	07461998 (2008.12.09)
(11) 등록번호/일자	07461998(2008.12.09)
(65) 공개번호/일자	
(21) 출원번호/일자	10835592(2004.04.29)
(51) IPC(Int. Cl.)	*E02B 3/04* *G01V 3/38*
(52) UPC(U.S. Cl.)	*405/21* *405/52* *405/22* *702/5*
(58) Field of Search	405/ 52 405/ 21 405/ 22 702/ 5 702/ 12

대표도면 크게보기



(57) 요약(Abstract)

Disclosed herein is a method of stabilizing a beach which includes the steps of producing an engineering design for placement of one or more sand filled, low profile geotextile tubes in proximity to the beach to produce a groin field; and implementing the engineering design to place the one or more sand filled, low profile geotextile tubes in proximity to the beach in accordance with the engineering design to produce the groin field. The method includes an iterative process using multiple model executions to produce an engineering design of a discrete, porous, geotextile groin field for engineering site adaptation and implementation at a specific beach site. The solution may further include post-installation monitoring to assess the effectiveness of the solution and to modify the solution for future erosion mitigation efforts.

세부항목 숨기기

(75) 발명자(Inventors)

번호	국가	이름	주소
1	US	Parnell William C.	
2	US	Rankin Kelly L.	

(73) 출원인(Assignee)

번호	국가	이름	주소
1	US	Beach Restorations, Inc.	

(74) 대리인(Attorney, Agent or Firm)

그림 1.3.19 특허서지자료 - Coastal erosion mitigation solution (CEMS)

Google elongate flexible container Advanced Patent Search

Patents View sample Write review Find prior art Discuss this patent View PDF Download PDF

Elongate flexible container

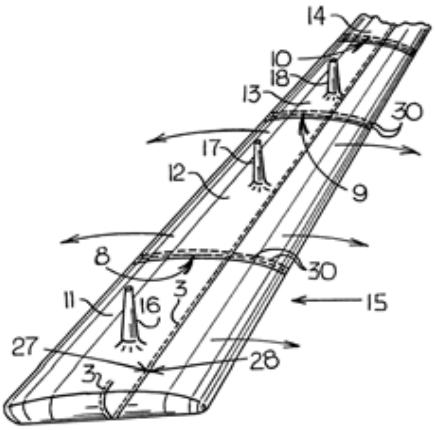
US 6186701 B1

ABSTRACT

An elongate flexible container, made of a textile fabric and having at least one filling opening. The container is filled with solid material, such as sand or other ground material, for the formation of a body adapted for use as a core or base of a dam, a quay, a bank reinforcement, a jetty or a breakwater, or for filling holes or trenches, or for use at the bed of a waterway, or for the packaging and storage of contaminated material. The container is provided at its upper side with at least one filling opening. The container includes stitching extending in the longitudinal direction of the container and mutually connecting facing edges of the textile fabric.

Publication number	US6186701 B1
Publication type	Grant
Application number	US 09/117,961
PCT number	PCT/NL1997/000043
Publication date	13 Feb 2001
Filing date	10 Feb 1997
Priority date	8 Feb 1996
Fee status	Paid
Also published as	WO1997029246A1
Inventors	Anton Daniel Kempers
Original Assignee	Ten Cate Nicolon B.V.
Export Citation	BiBTeX, EndNote, RefMan

Patent Citations (9), Referenced by (44), Classifications (10), Legal Events (5)



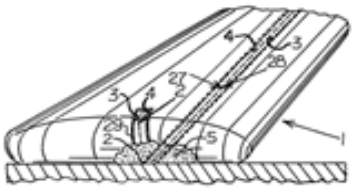


Fig. 1

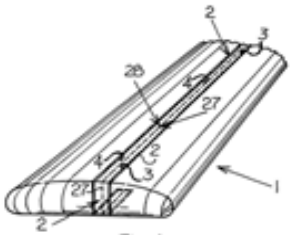


Fig. 1a

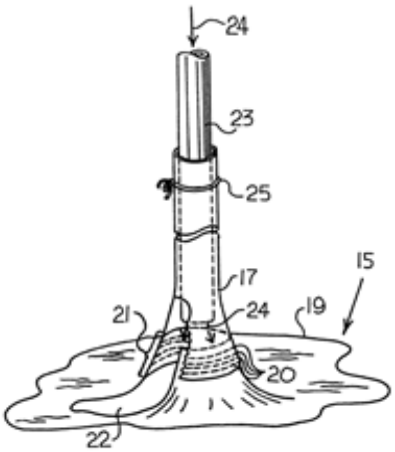


Fig. 4

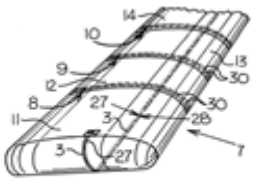


Fig. 2

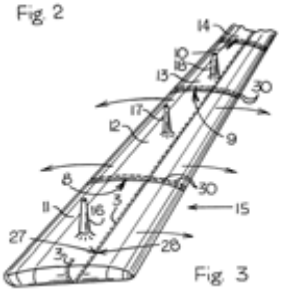


Fig. 3

그림 1.3.20 특허서지 구글자료 - Elongate flexible container

US005232429A

United States Patent [19]

Cizek et al.

[11] Patent Number: 5,232,429

[45] Date of Patent: Aug. 3, 1993

[54] **METHOD AND APPARATUS FOR MAKING A CONTINUOUS TUBE OF FLEXIBLE SHEET MATERIAL**

[75] Inventors: **Jaromir Cizek; Nicolaas J. J. van Rensburg**, both of Port Elizabeth, South Africa

[73] Assignee: **CSIR**, Pretoria, South Africa

[21] Appl. No.: **831,833**

[22] Filed: **Feb. 6, 1992**

[30] **Foreign Application Priority Data**

Feb. 7, 1991 [ZA] South Africa 91/0921

[51] **Int. Cl.**[5] **B31C 3/00**; B31C 3/04; B65H 81/08; D05B 23/00

[52] **U.S. Cl.** **493/299**; 156/195; 156/428; 112/63

[58] **Field of Search** 493/299, 300, 301, 302; 156/189, 195, 425, 428; 112/63

[56] **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

2,585,762	2/1952	Gardner	493/299
3,052.197	9/1962	Judelson	112/63
3,383,261	5/1968	Arnold	156/428
3,533,882	10/1970	Riese	493/299
3,673,024	6/1972	Eriksson	156/195
4,220,077	9/1980	Miller et al.	493/299
4,401,041	8/1983	de Polo	112/63
4,493,749	1/1985	Brezina	156/195
4,639,165	1/1986	Flecknoe-Brown	405/45

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

1429890	3/1976	United Kingdom .
2034432	6/1980	United Kingdom .
1580619	12/1980	United Kingdom .

Primary Examiner—William E. Terrell
Attorney, Agent, or Firm—Ladas & Parry

[57] **ABSTRACT**

Method and apparatus for making tubes from flexible textile sheets by which a sheet is helically wound around two or more non-rotatable support bars. Feed rollers contacting two or more helical convolutions wind the sheet so that adjacent helical convolutions overlap and also maintain the tube upstream of the feed rollers in tension to progress the tube axially along the support bars. As the sheet is wound into helical form, successive helical convolutions are sewn together to form a continuous tube.

2 Claims, 8 Drawing Sheets

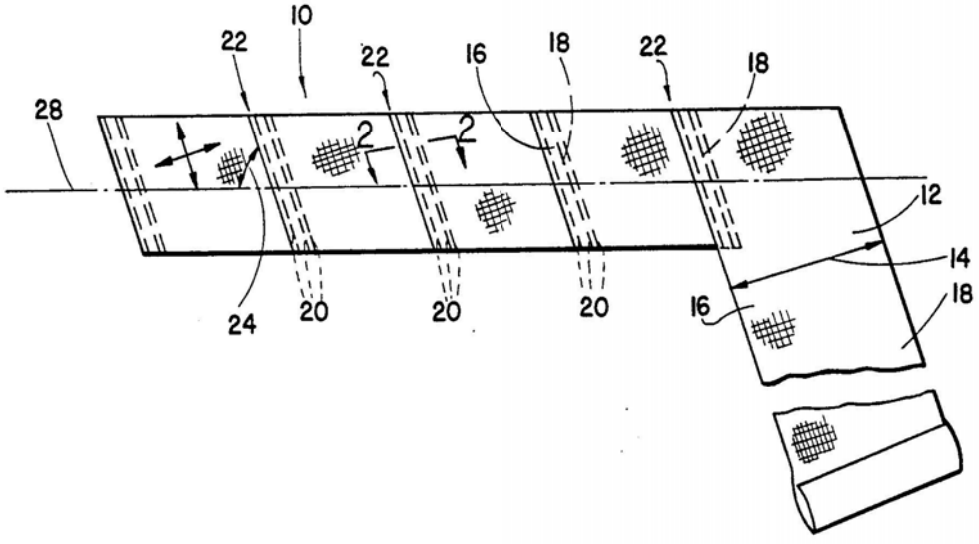


그림 1.3.21 특허서지자료 - Method and apparatus for making a continuous tube of flexible sheet material

US005902070A

United States Patent [19]

Bradley

[11] **Patent Number: 5,902,070**

[45] **Date of Patent: May 11, 1999**

[54] **GEOTEXTILE CONTAINER AND METHOD OF PRODUCING SAME**

[75] Inventor: **Anthony S. Bradley**, Valparaiso, Fla.

[73] Assignee: **Bradley Industrial Textiles, Inc.**, Valparaiso, Fla.

[21] Appl. No.: **08/870,525**

[22] Filed: **Jun. 6, 1997**

[51] **Int. Cl.**[6] **E02D 5/00**

[52] **U.S. Cl.** **405/21**; 2/275; 112/441; 383/107

[58] **Field of Search** 405/18, 19, 20, 405/21, 114, 115; 383/17, 18, 117, 116, 24, 107, 126, 123; 112/441, 440, 424, 432, 415; 2/275

[56] **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

781,494	1/1905	Coltharp .	
909,423	1/1909	Keller .	
1,206,417	11/1916	Cunkle .	
1,642,204	9/1927	Hill .	
2,588,695	3/1952	Brady et al.	383/107
3,373,568	3/1968	Hornbostel	405/21
3,561,219	2/1971	Nishizawa et al. .	
3,696,623	10/1972	Heine et al. .	
3,886,751	6/1975	Labora .	
3,957,098	5/1976	Hepworth et al.	405/17 X
4,275,493	6/1981	Matovich et al.	112/441 X
4,690,585	9/1987	Holmberg .	
4,878,446	11/1989	Vermeulen .	
5,098,754	3/1992	Horstmyer .	
5,492,073	2/1996	Abraham	112/441
5,505,557	4/1996	Bradley .	
5,595,458	1/1997	Grabhorn .	

OTHER PUBLICATIONS

Spec Sheet—Section 2—Technical Provisions, 7 pages.

Geotextile tubes are installed in Maryland to fight erosion—1 page, Civil Engineering News.

Primary Examiner—Dennis L. Taylor

Attorney, Agent, or Firm—Dority & Manning, P.A.

[57] **ABSTRACT**

An improved geotextile container of the type for maintaining fill material includes a geotextile fabric configured into a tubular shape and having stitched, multi-layer, flanged seams with the stitched flange disposed inside the container. Due to this construction, outwardly directed forces imparted by the fill material will be directed against the stitching. An embodiment has a helical seam along the length thereof instead of one or more longitudinal straight seams. An alternative container embodiment with a helical seam along the length thereof, has an inner liner of geotextile material having one or more longitudinal straight seams. Another alternative container embodiment with an outer layer of geotextile material having an helical seam along the length thereof, has an inner liner of geotextile material having its own helical seam configured with a different pitch than the helical seam in the outer layer.

14 Claims, 10 Drawing Sheets

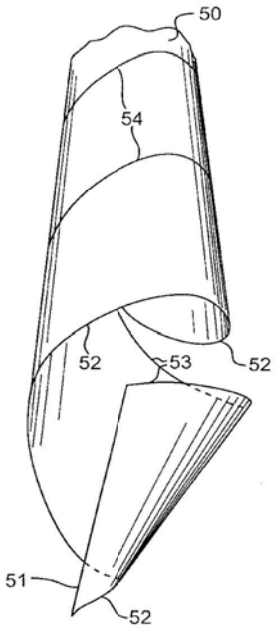


그림 1.3.22 특허서지자료 - Geotextile container and method of producing same

US007891914B2

(12) **United States Patent**
Smallwood et al.

(10) **Patent No.: US 7,891,914 B2**
(45) **Date of Patent: Feb. 22, 2011**

(54) **GEOTEXTILE TUBE**

(75) Inventors: **Joe Lamon Smallwood**, Statesboro, GA (US); **William Alton Smallwood**, Statesboro, GA (US)

(73) Assignee: **Flint Industries, Inc.**, Metter, GA (US)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 128 days.

(21) Appl. No.: **12/286,484**

(22) Filed: **Sep. 30, 2008**

(65) **Prior Publication Data**

US 2009/0129866 A1 May 21, 2009

Related U.S. Application Data

(60) Provisional application No. 61/003,214, filed on Nov. 15, 2007.

(51) **Int. Cl.**
B65D 30/00 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.** **405/302.6**; 405/15; 405/16; 405/18; 383/66; 383/107; 383/117

(58) **Field of Classification Search** 405/15, 405/16, 17, 18, 107, 111, 114, 262, 284, 405/286, 287, 302.4, 302.6, 302.7; 383/66, 383/105, 107, 117, 119
See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,340,919	A *	9/1967	Holbrook	383/117
3,886,751	A *	6/1975	Porraz Jimenez Labora	405/107
3,957,098	A *	5/1976	Hepworth et al.	383/45
4,420,275	A *	12/1983	Ruser	405/217
4,629,651	A *	12/1986	Davis	405/16
5,232,429	A *	8/1993	Cizek et al.	156/195
5,584,599	A *	12/1996	Knittel	405/15
5,902,070	A	5/1999	Bradley	
6,056,438	A *	5/2000	Bradley	383/66
6,186,701	B1	2/2001	Kempers	
6,623,214	B1	9/2003	Hauske	
7,097,390	B1 *	8/2006	Moss	405/284
7,112,283	B2	9/2006	Stephens	
7,357,598	B1 *	4/2008	Bradley	405/15
2003/0035689	A1 *	2/2003	Metz	405/19
2005/0163568	A1 *	7/2005	Sanguinetti	405/15
2006/0102565	A1	5/2006	Alford	
2008/0080936	A1 *	4/2008	Quinley et al.	405/302.7
2009/0249676	A1 *	10/2009	Davis et al.	222/630

* cited by examiner

Primary Examiner—Frederick L Lagman
(74) *Attorney, Agent, or Firm*—J. Bennett Mullinax LLC

(57) **ABSTRACT**

A geotextile tube is provided. The geotextile tube includes a first sheet and second sheet that both have first portions with a first weave pattern and second portions with a second weave pattern. The first portion of the first sheet covers a larger surface area than the second portion of the first sheet. Likewise, the first portion of the second sheet covers a larger surface area than the second portion of the second sheet. A seam contacts and attaches the second portion of the first sheet to the second portion of the second sheet.

19 Claims, 5 Drawing Sheets

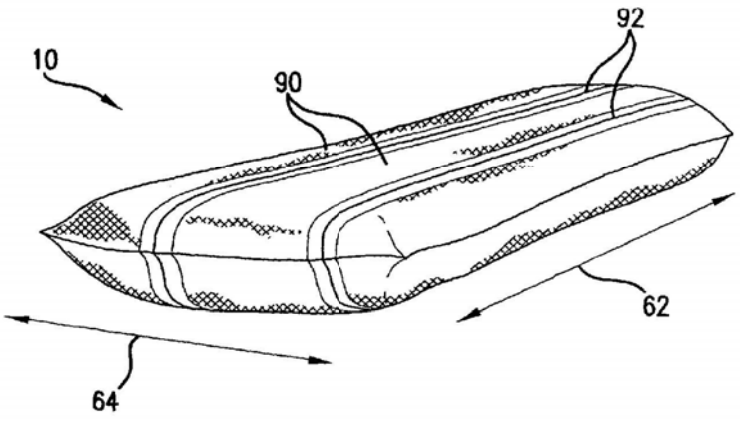


그림 1.3.23 특허서지자료 - Geotextile tube

(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Publication number: **0 267 661**
A2

(12) **EUROPEAN PATENT APPLICATION**

(21) Application number: **87202211.6**

(51) Int. Cl.⁴: **E02B 3/12** , E02B 3/04

(22) Date of filing: **12.11.87**

(30) Priority: **12.11.86 NL 8602875**

(43) Date of publication of application:
18.05.88 Bulletin 88/20

(84) Designated Contracting States:
DE FR GB IT NL SE

(71) Applicant: **Nicolon B.V.**
Sluiskade N.Z. 14
NL-7602 HR Almelo(NL)

(72) Inventor: **Vermeulen, Jan**
Ripperdalaan 11
NL-7491 BZ Delden(NL)

(74) Representative: **Schumann, Bernard Herman Johan et al**
OCTROOIBUREAU ARNOLD & SIEDSMA
Sweelinckplein 1
NL-2517 GK The Hague(NL)

(54) **A method of forming a body, e.g. a dike body, a tubular body designed therefor, and a method of manufacturing such a tubular body.**

(57) This invention relates to a method for the forming of a body consisting substantially of loose or lightly cohesive material, such as sand, for example the core of a dike, a quay, a bank reinforcement, a jetty or a breakwater.

The invention has for its aim so to prepare such a body that this preparation can take place at a fairly low cost. Further, the invention aims to provide a method in which the form of the prepared body is stable.

A further aim of the invention is the provision of a method with the help of which a body can be formed very quickly.

Finally the invention aims to offer a method which makes possible a wide freedom of choice in the form of the body concerned, particularly in respect of its diameter, length and place of the filling inlet.

Thereto the invention provides in general a method which has the characteristic that a tube body (1) of a fabric that is permeable to water and impermeable to the material is provided, said tube body (1) possessing a supply inlet (43), a mixture of the material and water is provided, that mixture is pumped into the tube body through the supply inlet (43), and these such that the tube body (1) gradually fills up with the material and the water is discharged until the desired extent of filling is achieved, whereafter the pumping is stopped and the supply connection is if necessary closed.

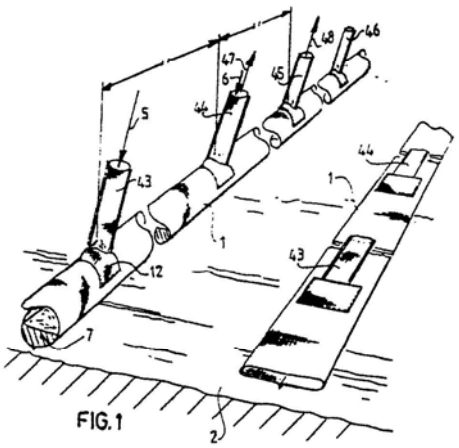


FIG.1

EP 0 267 661 A2

Xerox Copy Centre

그림 1.3.24 특허서지자료 - A mothod of forming a body, e.g. a dike Body, a tubular body designed therefor, and a method of manufacturing such a tubular body

제4절 연구개발결과의 관련분야 기여도

1. 국내·외 시공기술 현황에서 본 연구개발의 창조성

토목섬유 튜브 기술은 방파제, 호안, 준설토 투기장, 수리학적 구조물을 시공 보호하는데 주로 사용되는 기술이다. 이러한 토목섬유 튜브 기술은 해안선, 해변, 바다의 준설토 투기장, 더 나아가 해안 도로 성토체 건설에 사용할 수 있고, 서식지, 수중구조물, 모래언덕, 인공섬 등을 만들 수 있는 기술이다.

토목섬유 튜브 기술은 대부분의 해안 보호 및 해양구조 건설을 위해 비용이 효율적이고 내구성 또한 좋으며 설치가 용이하여 유연한 솔루션으로 평가받고 있다. 중동과 아시아, 유럽과 미국에서 이 기술에 대한 내용이 입증되었으며, 현재에도 50개국 이상에서 시공되며 건설의 사회적 비용을 줄이고 있는 것이 작금의 상황이다.

토목섬유 튜브 공법은 장기적인 거동에 대한 연구가 없이 국내 일부 주요프로젝트에 적용되었고, 점토지반인 경우에는 시공할 때 마다 침강의 지연과 압밀지연, 배수지연 등으로 인해 시공 오차를 반복하고 있는 실정이다. 토목섬유 튜브 공법이 실패하는 경우에는 많은 비용과 유지관리비 등 매우 복잡한 문제를 양산하는 것이 사실이나, 외국에는 공개되지 않은 많은 연구와 노하우를 가지고 있어 국내 인천대교 시공에서 효과적으로 적용하여 성공하였다.

본 연구는 향후 매립과 하천제방 및 도로사면 구축이 예상되는 지역에 사면구조물을 설치할 때에 토목섬유 튜브 공법을 적용하게 될 때에 필요한 설계 및 시공기술을 제공하는데 그 목적이 있다. 더 나아가 연구에 의해 기존 토목섬유 튜브 공법을 획기적으로 개선한 새로운 시공법을 수면을 기준으로 한 각각에 대한 기술을 개발하고 해외 특허를 제안하는 것이 또 다른 목적이다. 따라서, 본 연구는 자연과 환경의 영향 및 다양한 역학과 구조적인 상호거동으로서 해결할 수 있도록 이해를 도모하는 연구를 수행하고자 토목섬유 튜브의 최적 설계기술을 제시하고자 한다. 그리고 시공오차와 유지비용의 최소화 파괴를 사전에 방지함에도 주목하고자 한다.

국내·외에서 축적된 경험을 근거로 토목섬유 튜브는 해안보호, 방파제, 그리고 준설매립 제방, 도로 성토체 및 포장 구축을 위한 기존 암반개발과 콘크리트 재료를 대신할 수 있는 하나의 실용적인 대안이 될 수 있음을 확인하였다. 토목섬유 튜브의 크기와 형태에 대한 상세 설계는 튜브 재료에 영향을 미치는 각종 환경, 지형, 수압, 지반공학과 구조적인 메커니즘의 복합관계를 포함한다. 진행과정에 있어 보다 효율적인 설계, 최적화 전략과 방법은 재료비용 및 건설시간과 같은 추가적인 요소를 종합적으로 고려하여 채택되어야 한다.

본 연구개발의 결과는 아래에서 기술한 바와 같이 관련분야의 기술발전에 기여하였다.

2. 토목섬유 튜브 구조체 주입·시공 기술 기여

튜브 구조체 조성에 의한 인프라구조물 축조 시에는 기존 튜브 구조체에 소형 주입구를 원형으로 봉합하여 메인튜브체에 부착하고 직접 배송관과 연결하여 토사를 주입하는 방식을 사용하고 있었다. 이러한 기존 방법은 주입구 부근에 토사가 확산되지 않아 집중적으로 쌓이고 주입이 완료되는 시점에서는 분사압이 주입구 하단에 집중되어 움푹 파이는 원추형 크레이터가 형성되어 추가적으로 수작업에 의해 구멍을 메우어야 하는 문제를 노출하고 있다. 동시에 주입구 하단은 토사가 확산되지 않고 과도하게 쌓여 불균형적인 튜브 구조체가 형성되므로 응력집중에 의해 튜브 구

조체가 종종 파손되고 있다.

본 연구에서는 아래 그림과 같이 T형주입구를 개발하여 튜브 구조체의 종단 방향으로 확산이 용이하게 되므로 과도한 응력집중을 방지하고 균등한 튜브 구조체가 조성되는 기술이다. 따라서, 본 연구개발은 기존 시공기술의 문제점을 보완한 매우 진전된 시공기술이다.

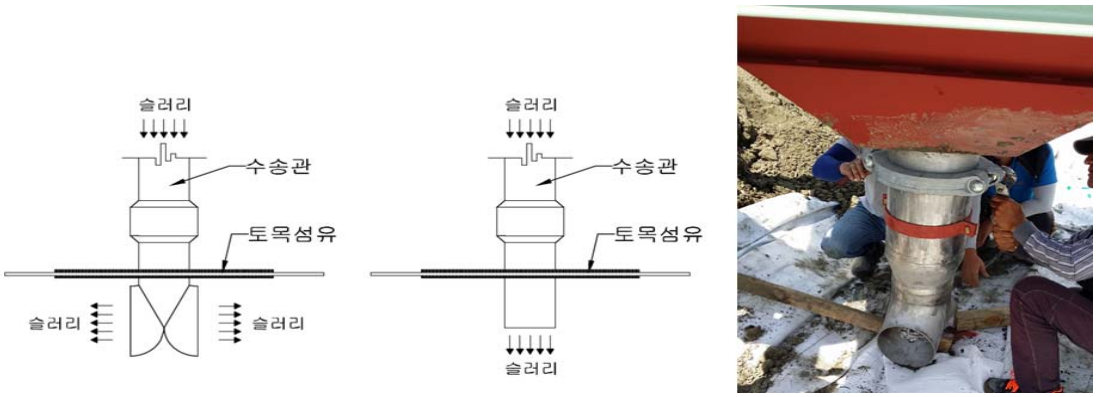
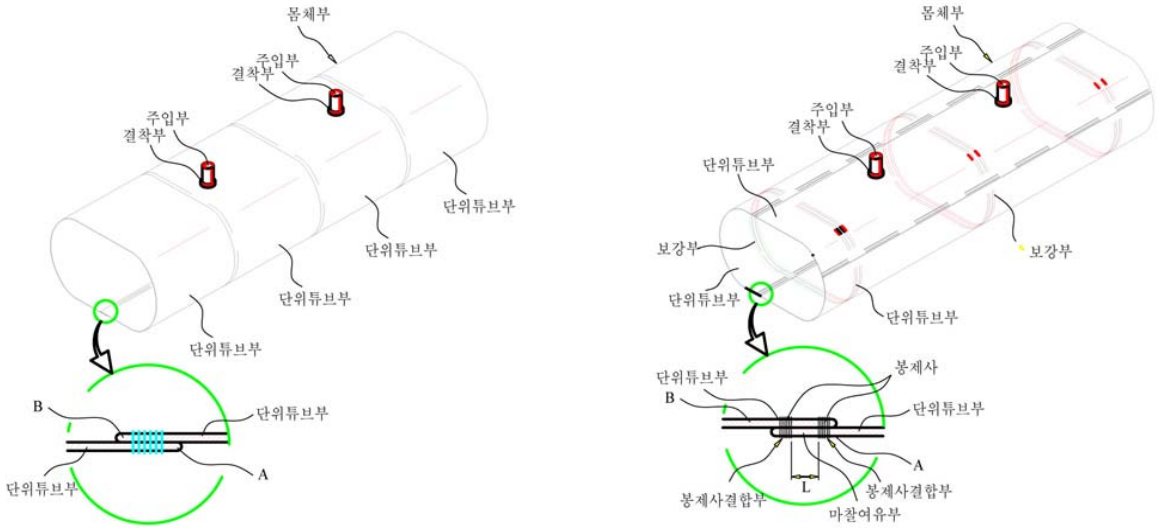


그림 1.3.25 기존 튜브 구조체 I형 주입시공 기술과 본 연구의 T형 주입시공기술

3. 토목섬유 튜브 구조체 봉합기술 기여

[그림 1.3.26]은 기존 TENCATE(사)와 본 연구개발 결과에서 얻어진 봉합기술을 비교한 것이다. 본 연구에 의해 개발된 성과는 기존 위사방향의 횡단봉합을 경사방향의 횡단봉합으로 기술을 개발한 것이다. 횡단 원형방향으로 튜브 구조체의 전단력이 크게 발생하므로 원형 위사방향은 6선 1열로 띠를 보강하였고, 종단(경사)방향은 6선 2열 봉합으로 테스트 베드에 의해 튜브 구조체의 인장력을 확보하였다. 봉합기술은 기존 TENCATE(사)의 봉합기술에서 본 연구결과에 의해 상당한 진전을 이룬 것으로 확인되었고, 국내 봉합기술을 자립화하였다.

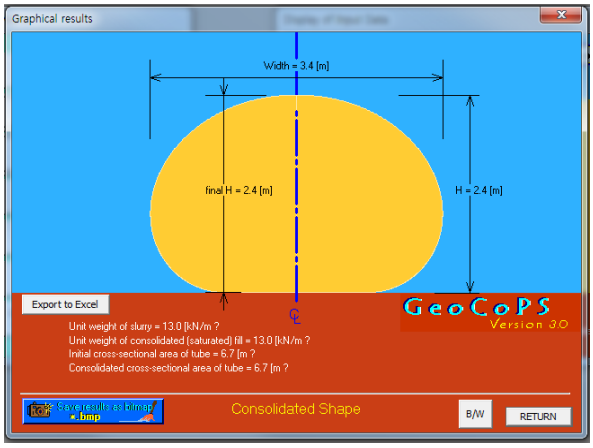


(a) TENCATE사의 봉합기술 (b) 본 연구개발의 봉합기술

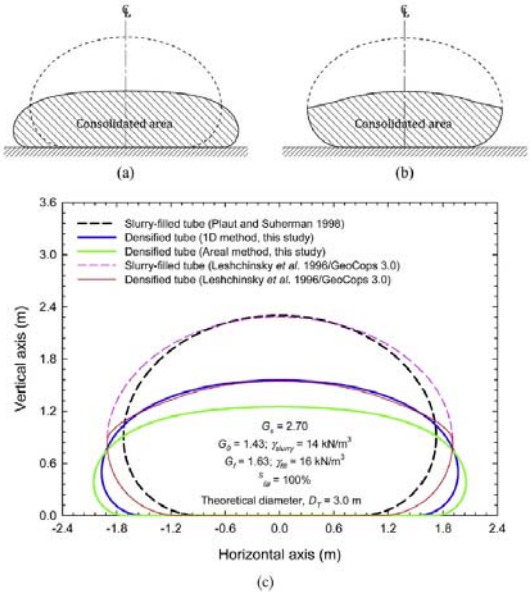
그림 1.3.26 기존 TENCATE(사)와 본 연구개발 결과의 봉합기술 비교

4. 토목섬유 튜브 구조체 설계기술 기여

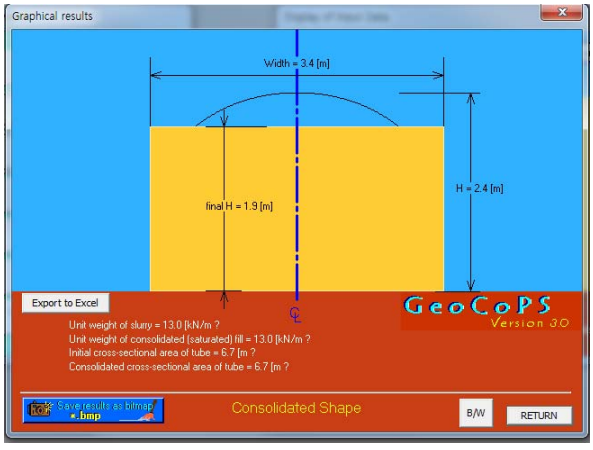
국외에서 개발되어 국내에 시판되는 기존 설계 GeoCoPS 프로그램은 Terzaghi 압밀이론 중 비시간 의존적인 탄성압축이론을 적용한 설계프로그램이다. 이것은 배수에 의한 형상변화를 고려할 수 없고, 또한 튜브 구조체 내의 체적을 구형으로 고려하는 단점이 있다. 따라서, 본 연구에 의해 개발된 GeoTDS 설계프로그램은 기존 GeoCoPS의 프로그램을 탄성거동을 보완하고 새로운 유한 변위압밀이론을 적용한 설계프로그램으로 시간적인 거동설계에 적용할 수 있는 매우 우수한 프로그램이며, 본 연구 성과의 기여는 글로벌 우수성 확보에서 확인된다.



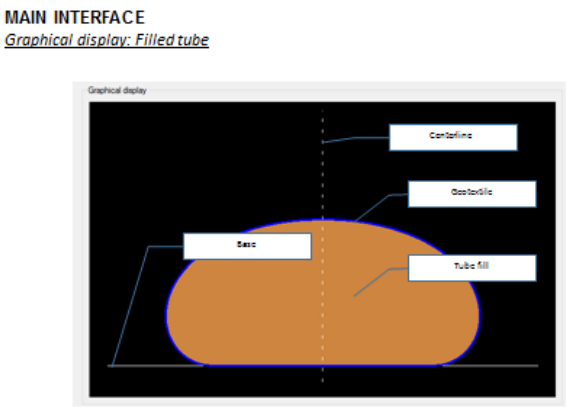
(a) 기존 설계 GeoCoPS 프로그램의 초기값 설정



(b) 개발된 설계 GeoTDS 프로그램의 초기면적설정과 시간별 압밀변화



(c) 기존 설계 GeoCoPS 프로그램의 변형결과

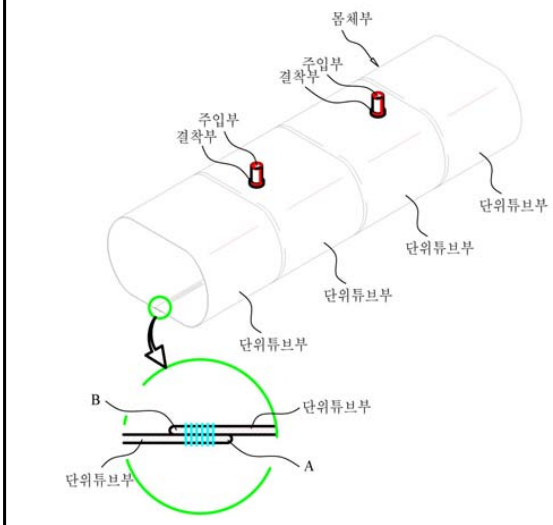
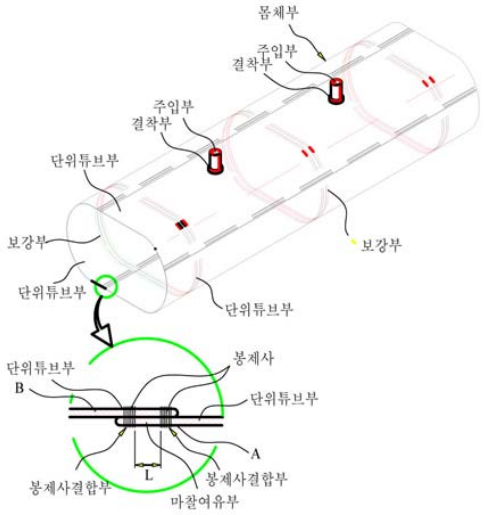


(d) 개발된 GeoTDS 프로그램의 최종 변형상태

그림 1.3.27 기존 GeoCoPS와 본 연구개발 결과의 프로그램 비교

5. 외국기술과의 성능 수준 비교분석

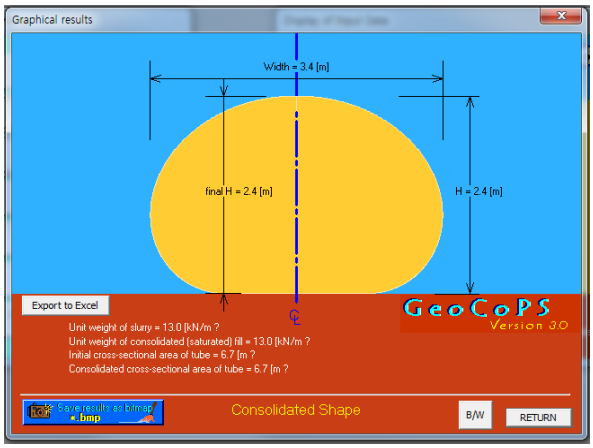
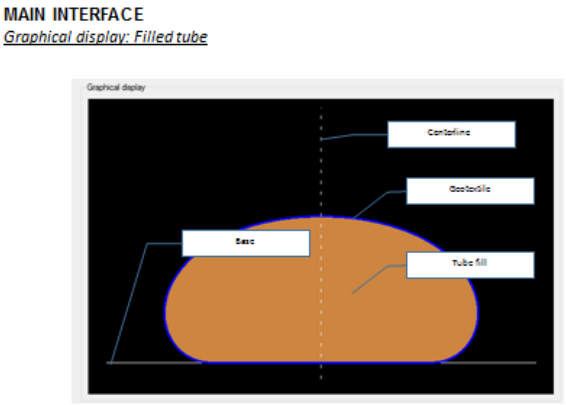
[표. 1.3.1] 국외 토목섬유 튜브 규격 및 봉합기술 비교분석

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>(a) TENCATE(사)의 봉합기술</td><td>(b) 본 연구개발의 봉합기술</td></tr>
</table>

공학적 특성	시험방법 (ASTM)	단위	최소 기준값	시험 결과		
				직포 (Polypropylene, P.P)	직포 (Polyester, P.E.T)	복합포 (Polyester, P.E.T)
광폭인장강도	D 4595	kN/m	>180	▶ 위사 : 162.48 ▶ 경사 : 184.55	▶ 위사 : 168.61 ▶ 경사 : 176.10 (최근 200이상 품질개선 해상부 적용)	▶ 위사 : 177.51 ▶ 경사 : 185.48
광폭인장 신율	D 4595	%	<15	▶ 위사 : 12.90 ▶ 경사 : 13.01	▶ 위사 : 13.70 ▶ 경사 : 14.36	▶ 위사 : 12.93 ▶ 경사 : 13.78
공장 봉합강도 (효율)	D 4884	kN/m(%)	>108(60)	137.1(74.30)	132.2(82.26)	127.1(72.05)

기존 TENCATE(사)와 본 연구개발 결과에서 얻어진 봉합기술을 비교한 것이다. 표에 언급한 내용과 같이 미국 육군 공병단에서 제시한 토목섬유 튜브의 규격에 적합한 인장강도와 봉합강도를 확보하였다. 봉합기술은 기존 TENCATE(사)의 주면봉합과 ASTM기준 이상을 초과하는 봉합강도를 확보하여 기술의 자립화를 달성하였다.

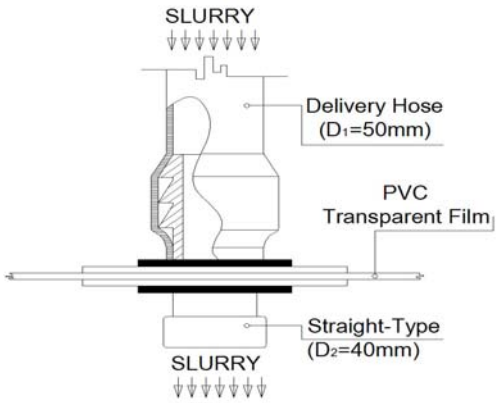
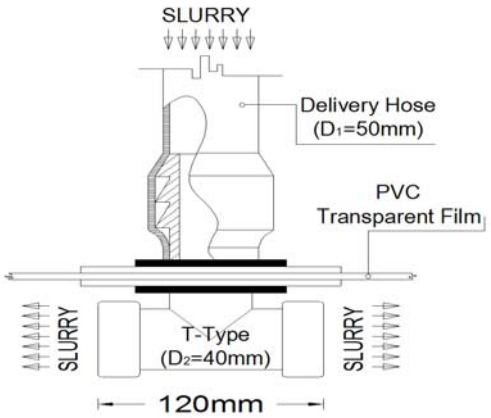
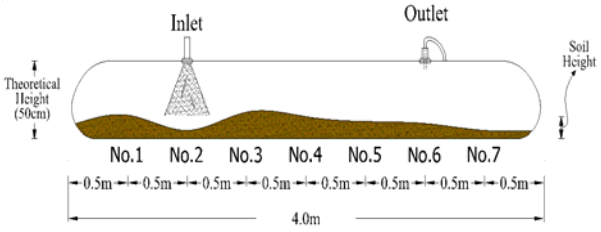
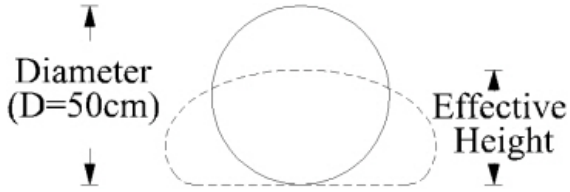
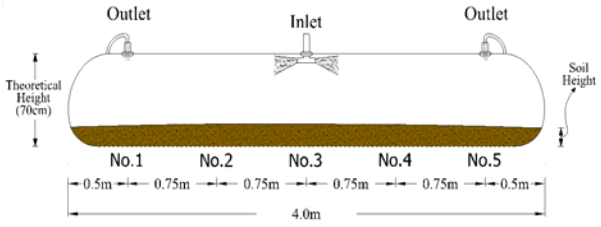
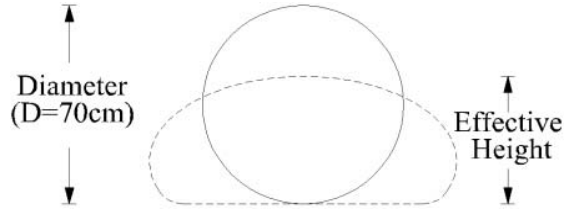
[표. 1.3.2] 국외 수치해석 프로그램과 비교분석

<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>(a) 기존 설계 GeoCoPS 프로그램</td><td>(b) 개발된 GeoTDS 프로그램</td></tr>
</table>

구 분	GeoCoPS	GeoTDS
특징	아래와 같은 변수를 이용하여 토목섬유 튜브를 형상화 a. 토목섬유 극한 강도 b. 설계 최대 높이 c. 펌프압 토목섬유 튜브의 강도 형상화 토목섬유 튜브 압밀의 비시간 종속형상화 토목섬유와 충진물의 수량 및 비용 계산	Plaut & Shuerman (1998)이 개발한 공식을 바탕으로 토목섬유 튜브에 2차원 분석을 수행하여 지표면 및 수중 잠재 시 토목섬유 튜브의 퇴적과정에 대한 형상화 시뮬레이션 Leshchinsky et al. (1996)의 탄성 해석에 기초하여 토목섬유 튜브 내부의 체적만을 고려한 튜브체의 변형 해석 GeoTDS는 1차원 압밀을 일반화한 Mikasa's (1963)의 시간 종속변위 압밀해석에 기초하여 배수속도를 고려하여 시간별 변형해석이 가능
가정 조건	튜브는 2차원 해석으로 해석 토목섬유는 얇고 유연하며 중량 무시 충진재료는 유체상태 토목섬유와 슬러리 사이의 전단응력은 발생하지 않음	

국외에서 개발되어 국내에 시판되는 기존 설계 GeoCoPS 프로그램은 Terzaghi 탄성 압밀이론의 알고리즘을 사용한 비시간 의존적인 토목섬유 튜브 설계프로그램으로 배수에 의한 형상변화를 고려할 수 없다. 본 연구에 의해 개발된 GeoTDS 프로그램은 Mikasa의 유합변위 압밀이론을 적용하고, 배수에 의한 토목섬유 튜브 구조체의 형상화를 실시간 GUI 환경에서 예측 가능한 신개념 설계프로그램이다. 따라서, 본 연구에 의해 개발된 GeoTDS 설계프로그램은 기존 GeoCoPS 프로그램의 시간별 형상화 거동 예측이 미비한 점을 고려한 신개념 설계프로그램이다.

[표. 1.3.3] 국외 주입기술과의 비교분석

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>(a) I-type (국외)</td><td>(b) 역 T-type (연구개발)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">(c) I-type 퇴적형상 (국외)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">(d) 역 T-type 퇴적형상 (연구개발)</td></tr>
<tr><td colspan="2">튜브 구조체 조성에 의한 인프라구조물 축조 시에는 기존 튜브 구조체에 소형 주입구를 원형으로 봉합하여 메인튜브체에 부착하고 직접 배송관과 연결하여 토사를 주입하는 방식을 사용하고 있다. 이러한 기존 방법은 주입구 부근에 토사가 확산되지 않아 집중적으로 쌓이고 주입이 완료되는 시점에서는 분사압이 주입구 하단에 집중되어 움푹 파이는 원추형 크레이터가 형성되어 추가적으로 수작업에 의해 구멍을 메워야 한다. 동시에 주입구 하단은 토사가 확산되지 않고 과도하게 쌓여 불균형적인 튜브 구조체가 형성되므로 응력집중에 의해 튜브 구조체가 종종 파손되고 있다.
따라서, 본 연구에서는 역 T-type 주입모듈을 개발하여 튜브 구조체의 종단방향으로 확산이 용이하게 되어 과도한 응력집중을 방지하고 유효높이를 상승시키며 균등한 튜브 구조체가 조성되는 주입기술.</td></tr>
</table>

6. 기존연구와 연구개발과제의 차별성 검토

[표. 1.3.4] 기존연구와 연구개발과제의 차별성

<table>
<tr><th colspan="2">기존연구(지오튜브)</th><th colspan="2">연구개발과제</th></tr>
<tr><th>과제명</th><th>연구내용</th><th>과제명</th><th>기존연구와 차별화 방안</th></tr>
<tr><td>1. 지오튜브 공법을 활용한 해안 및 항만 구조물 개발 (중소기업청)</td><td>▹해안침식영향을 저감할 수 있도록 지오튜브에 의한 시공방식을 대안으로 제안한 연구
▹본 연구는 연구초기로 해안선 침식을 방지하는 기존 해외 공법에 대하여 소개함</td><td rowspan="7">준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 최적 설계기법 연구</td><td rowspan="7">1. 기존연구와 차별화
1) 세계최초 현장 시뮬레이션이 가능한 대형 모형 준설·매립 시험장치(세팅공간 폭 3.5m, 길이 5.0m, 높이 1.2m)를 개발하여 외적 영향을 배제한 준설 토목섬유 튜브의 퇴적형상과 외적거동 및 응력거동을 규명하고자함
2) 외적영향이 배제된 준설 토목섬유 튜브만의 정량적인 데이터에 근거한 토목섬유 튜브 거동예측 프로그램을 개발하고자 함
3) 해외 공동연구를 위한 경쟁력 확보
▹준설 점성토를 토목섬유 튜브에 활용하기 위한 원천기술 확보
▹준설 점성토를 토목섬유 튜브 성토체로 활용하기 위한 건조수축해석기술 확보
▹토목섬유 튜브 국외 특허출원을 활성화하기 위한 기술 선도모델 구축

2. 신청연구의 목표
최종목표를 달성하기 위한 단계별 목표는 다음과 같다.

▹1단계 : 준설 토목섬유 튜브 토목섬유 기반기술 개발 / 광활한 해상 지역에서 토목섬유 튜브 준설, 매립 성토체의 시공 및 유지관리를 위한 웹기반 계측 자동화 시스템 개발
▹2단계 : 테스트 베드에 의한 준설토 형상화 설계 및 시공기술개발
▹3단계 : 토목섬유 튜브 공법 설계/시공/유지관리 지침 개발 / 준설 토목섬유 튜브 구조체의 설계 프로그램 개발</td></tr>
<tr><td>2. 지오컨테이너를 활용한 환경준설매립기술 개발에 관한 연구 (교육과학기술부)</td><td>▹최근 토목섬유 공법의 발달과 함께 지오컨테이너, 지오튜브. 지오백 등 지오시스템 공법이 시공의 용이성, 경제성, 특히 환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 장점에 대하여 연구검토를 한 기본 연구
▹부유물질발생을 최대한 억제하여 해양 적조현상 등의 오염을 방지할 수 있는 환경준설매립공법에 대한 연구</td></tr>
<tr><td>3. 환경생태계 보존 및 복원을 위한 친환경적 지오튜브 공법 개발 (환경부)</td><td>▹오염지역 정화를 위해 해안 및 항만지역의 오염된 퇴적물을 효율적으로 준설처리 할 수 있는 기술을 제안함
▹연구결과 국내에서 생산되는 지오텍스타일의 투수계수는 10^{-4}cm/sec 제품과 유실율 10%이하 제품을 사용하도록 제시함</td></tr>
<tr><td>4. 연안침식억제를 위한 토목섬유 튜브 Two bag의 개발 (중소기업청)</td><td>▹본 연구는 심도가 낮은 해안에서 두 개의 백을 이용하여 침식방지를 할 수 있도록 시공방법을 해외사례에 의해 제안함</td></tr>
<tr><td>5. 한국형방조제에 적합한 일체형 Geosynthetics One-Tube의 개발 (중소기업청)</td><td>▹본 연구에서는 해안 침식이나 태풍 등의 자연 재해로 인한 해안 및 항만구조물의 파괴가 빈번히 발생되고 있는 현실에서 보다 안전하고 신속한 대책을 마련할 수 있는 Geotextile one-tube 시스템을 도입함
▹본 연구에서 도입된 Geotextile one-tube 시스템은 기존의 Geotextile tube는 폭 방향이 봉제형태로 되어 있었으나, 연결부위를 없앰으로써 재료의 강도를 증진시키고, Geotextile과 Tube를 일체화시켜 안정성과 작업의 효율성을 극대화함</td></tr>
<tr><td>6. 지오텍스타일 튜브를 활용한 친환경적 가호안 축조공법에 관한 연구 (중소기업청)</td><td>▹본 연구는 호안제방 설계사례를 바탕으로 최적의 지오텍스타일 튜브 공법의 적용안을 제시하였고 각종 설계인자를 도출하여 설계하는 것이 경제적임을 제시함</td></tr>
<tr><td>상기연구과제 총괄분석</td><td>▹기존에 수행된 연구과제는 국외 연구 자료 및 제품을 통한 현장 테이터 분석 중심의 연구이고, 외적영향을 배제한 지오튜브의 거동 데이터를 구해 분석하고 이를 근거로 거동예측 프로그램을 개발한 연구사례는 전무하고, 국제공동연구를 통해 국가경쟁력을 확보한 연구사례는 없음 (연구과제 5의 지오씬 세틱 개발은 최대 50m까지 2.5m이내 소구경을 one-tube로 개발한 것이 다소 특색이 있으나 최소인장부위에 대한 실질적인 접합기술 연구가 없음)</td></tr>
</table>

제2장 연구개발 수행내용 및 결과

제1절 토목섬유 튜브 공법 활용기법 분석

최근 해안 인접지역에서는 준설토 투기장을 조성하고 항로 및 박지준설 시 발생하는 준설점토를 투기하여 부지를 조성하는 사업이 많이 시행된다. 이에 따라 연약한 준설토의 개량방안이 중요 문제로 부각되고 있다. 또한, 이러한 투기장을 조성 시에는 제방축조 또는 호안 및 방파제 등을 공사하게 되는 데, 이 때 필요한 자재를 석산개발에 의존하여 건설자재 공급과 관련하여 민원과 환경규제 문제가 발생한다. 이에 따라, 공사비 및 공사기간이 증가하는 비효율적인 사업 진행의 문제와 더불어 심할 경우에는 사업자체의 수립이 불가능한 경우가 발생하고 있다.

이러한 문제에 대해 외국에서는 새로운 공법을 통해 해결책을 모색하고 있다. 즉, 토목섬유 튜브 내에 토사를 채워서 호안, 방파제, 물막이, 가호안, 방조제 등의 구조물을 축조하는 것이다. 세계적인 회사로 이름 높은 TENCATE(사) 및 Geotec협회에서는 세계적으로 다양한 목적으로 적용된 토목섬유 튜브 시공 사례 및 경제성에 대해 소개하고 있다. 석산 개발에 의한 사석공법 등 환경파괴적인 공법을 대체하는 방안들을 제시하여 경제적 비용 감소, 환경 친화적인 연구가 다양하게 진행되고 있다. 이러한 세계적인 공법 추세에 주목하면 제방축조 시 민원 및 환경규제에 의한 비효율성을 개선할 수 있다. 특히 우리나라에서는 재료공급이 용이한 퇴적 준설토를 활용한 토목섬유 튜브를 사석 대체 재료로의 적용이 필수적이다.

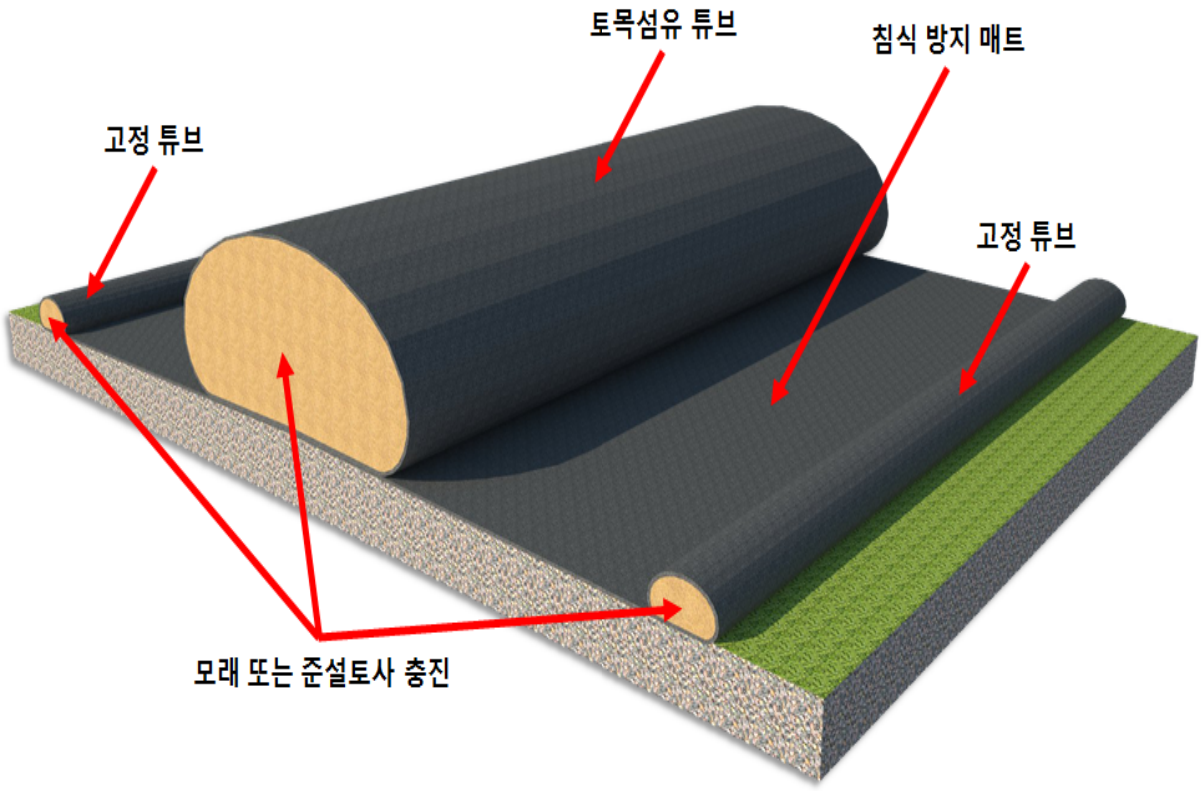


그림 2.1.1 토목섬유 튜브

1. 토목섬유 튜브 공법의 활용 방법 및 특징

(1) 토목섬유 튜브 공법의 개요

토목섬유 튜브 공법은 폴리에스테르(PET), 폴리프로필렌(PP) 등 고분자 합성섬유로 직조된 투수성 지오텍스타일(직포, 부직포, 복합포)로 제작된 거대 포대 내에 모래 또는 준설토사를 채워 대형 성토 구조물을 축조하는 공법이다. 현장토 유용에 따라 환경훼손 최소화, 시공의 편리성, 그리고 경제성 등의 이유로 전 세계적으로 수중제방, 방파제, 가도호안, 해안침식방지, 가호안 등 해안, 하천구조물 축조, 오염준설토 탈수 및 매립 등에 많이 사용되고 있다.

토목섬유 튜브 구조물을 구성하는 요소는 크게 튜브 재질인 토목섬유와 내부 채움재로 사용되는 토사로 구분할 수 있다. 토목섬유는 소요의 유효 입경을 가짐으로써 내부에 흙 시료가 보유하고 있는 물을 배수시키는 통수성 재질이며, 내부 채움재로 사용되는 채움 토사는 시공성과 경제성을 고려하여 현장 가용재료(준설토, 모래)를 사용한다.

토목섬유 튜브의 형상은 일반적으로 소시지 형태나 베개 모양이며, 직경과 길이는 현장조건과 설치 가능성에 따라 달라지는데 보통 길이 50～600m, 폭 4.0～5.0m, 채움높이 1.5～2.0m 정도이다. 토목섬유 튜브 상부는 준설토를 수리학적인 방법으로 채우기 위해 주입구와 배수구가 설치되어 있으며, 주입구 설치 간격은 토목섬유 튜브 내의 균등한 채움을 위해 모래질 흙의 경우에는 보다 가깝게 하고(5m 정도), 점토질 흙의 경우에는 가능한 멀게 한다.

(2) 설계 및 시공 시 고려사항

토목섬유 튜브는 육상 및 수중 조건에서 시공된다. 튜브가 수중에 위치할 때는 채움 작업에 앞서 튜브에 작용하는 부력 효과를 고려해야 하며, 물에 띄워 설치 지점에 위치시킨다. 또한 육상조건에서 시공 시에는 침식 방지용 에이프론(Scour apron)을 설치 위치 바닥에 펼쳐서 고정시키기 위해 모서리 부분에 모래를 채운 고정용 모래주머니(Sand filled anchor tube)를 배치하고, 이러한 침식 방지용 에이프론(Scour apron)은 [그림 2.1.1]에서처럼 튜브 좌우로 각각 튜브 폭의 1～2배정도 폭을 연장해야 한다.

토목섬유 튜브 설계 시 중요한 고려사항은 채움 중 충진 압력에 저항하는 튜브의 봉합강도, 섬유와 흙 사이의 호환성, 장기간 자외선에 노출 시 저항, 마모, 찢어짐, 구멍 뚫림, 파괴 등에 대한 저항, 그리고 튜브 내에서 퇴적물들의 침강 압밀로 인해 발생하는 튜브의 높이 변화 등이다.

(3) 토목섬유 튜브 공법의 장·단점

토목섬유 튜브는 장스판 일괄시공 및 철거가 용이하고, 공기단축과 공사비 절감에 효과적이며, 현장 준설토를 활용함으로써 친환경적인 공법이라 할 수 있다. 또한, 육상토 및 사석 재료가 아닌 현장 준설토의 이용이 가능하므로 재료 수급이 용이하다. 튜브 재료적인 측면에서는 인장강도가 우수한 토목섬유의 적용으로 사면 형성 시 안정성 및 파력에 대한 저항성이 우수하여 해양, 항만 구조물 등 다양한 용도로 사용되고 있다.

단점으로는 튜브 재료로 토목섬유를 적용함으로써 재질의 특성상 날카로운 물체에 잘 찢어지는 특징이 있고, 채움 재료의 특성 및 시공조건에 따라 단면의 형상이 달라질 수 있기 때문에 정확한 시공높이 및 정밀한 단면을 요구하는 경우에는 적용성이 떨어지므로 피복기술이 요구된다.

(4) 토목섬유 튜브 공법의 적용

토목섬유의 기능은 배수, 분리, 여과, 보강 등의 기능을 가지고 있으며, 여러 분야에서 활용되어지고 있다. 토목 분야에 같은 경우는 해양구조물과 연약지반 단지조성 등에 주로 사용되며, 그 외에도 쓰레기 매립장, 하수슬러지 및 산업부산물 처리 등 환경 분야에서도 널리 적용되어지고 있다. 아래 [표. 2.1.1]는 토목섬유 튜브 공법의 적용 분야를 정리한 것이다.

[표. 2.1.1] 토목섬유 튜브 공법의 적용분야

1. 탈수 적용분야 - 준설 세립토(오염토사 포함) - 생활하수 오니 - 수처리 공장 - 동물쓰레기 - 플라이 애쉬처리 - 광산분야	[강] - 고수부지 구조물 - 강변 침식방지 구조물 [습지] - 오염지역 구분 구조물 - 습지 구조물 - 습지 확산 방지구조물 - 습지 생태계 보호구조물
2. 배수 적용분야 - 공항, 자동차 주차장, 고속도로 - 주거지, 산업지, 광산지역	4. 침식 및 세굴방지 적용 - 교량의 교각 및 파일 - 터널 - 교대기초 - 해안 굴착공사시 침식방지 - 각종 침식방지 구조물
3. 구조물 분야 [제방] - 홍수 방지 제방 - 호염확산 방지 제방 - 태풍방지 제방 - 해안제방 보수제방 [해안] - 방파제 - 해안선 구조물 - 해변 모래손실 방지구조물	5. 환경 준설분야 - 오염된 세립 준설토 제거 - 항로주변 - 부두 하역시설지역 - 호수 - 골프장 인공호수 - 오염물질 캐핑 - 유해물질 처리 - 하수 슬러지 등

2. 기존 토목섬유 튜브 구조체 시공사례 분석

기존의 토목섬유 튜브 공법은 제시된 정확한 규격이 없었기 때문에 시공 경험이 많은 미국 육군 공병단이 제안한 규격에 따라 시공되었다. 이에 따라 단순주입 형식의 시공으로 인해 토목섬유 튜브의 파단이 발생하여 시공기간 증가, 공사비 증가 등의 피해를 야기하였다. 토목섬유 튜브 공법은 충진 재료의 공학적 특성, 토목섬유의 역학적 특성 등을 복합적으로 고려한 안정성 검토를 실시하여야 하나, 이를 규정하는 기준은 미미한 실정이다.

본 연구는 이러한 현실을 고려하여 기존에 제안된 토목섬유 튜브공법의 규격과 토목섬유 튜브 공법이 적용되는 국내의 대표되는 현장을 선택하여 검토 작업을 수행하였다.

(1) 제안된 토목섬유 튜브공법의 규격

본 장에서 제시하는 토목섬유 튜브 공법의 규격은 국외에서 시공 경험이 많은 미국 육군 공병단이 제안하였으며, 이는 경험식에 의해 확인된 것이다. 이론적인 판단은 불가능하지만 가장 신뢰할 수 있는 규격으로 판단된다.

[표. 2.1.2] Geotextile tube 품질규격(미국 육군 공병단)

공학적 특성	시험방법 (ASTM)	단위	최소 기준값
광폭 인장강도	D 4595	lb/in	1,000
광폭 인장변형율	D 4595	%	15이하
파열강도	D 3786	psi	1,200
인열강도	D 4533	lb	400
꿰뚫림강도	D 4833	lb	350
공장봉합강도	D 4884	lb/in	600
수직 투수성	D 4491	l/sec	0.1
유효구멍크기	D 4751	us sieve no	100
자외선 저항성	ENV12224	%	90

(2) 토목섬유 튜브 공법의 국내 시공사례

국내 토목섬유 튜브 공법은 21세기를 기준으로 2001년에 영진만에서 최초로 시공되었으며, 시공사례는 점차 증가하는 추세이다. [표 2.1.3]는 토목섬유 튜브의 국내 시공 사례를 정리한 것이다.

[표. 2.1.3] 토목섬유 튜브 공법 시공사례(2001~2010년)

년도	공사명	용도	공사규모	시행사 (설계사)	시공사 (튜브공급자)
2001.11	영진만 재해위험지구 정비사업	해안선 침식방지 및 토사퇴적유도	50m×8EA	강릉시 (동양기술공사)	성원건설 지해산업 (TCN 제품)
2003.07	온배수 저감시설 잠재설치공사	해수욕장 모래유실 방지	50m×6EA	울진 수/원자력발전소 (지해산업)	동아건설 지해산업 (TCN 제품)
2004.10	농업용저수지 퇴적오니준설에 의한 수질정화	저수지준설 정화 최적화 실험시공	지오백	농림부	서울보건대학 지해산업 (TCN 제품)
2005.02	일산대교 가도축조공사	공사용 가축도	3,776m	경기도 (다산컨설턴트)	대림산업 지해산업 (TCN 제품)
2006.05	인천대교 2공구 가축도공사	공사용 가축도	16,500m	한국도로공사 (한동이앤씨)	대림산업 (TCN 제품)
2006.08	광양수어댐 여수로 가물막이 공사	긴급물막이 공사	186m	한국수자원공사 (삼안기술공사)	두산중공업 지해산업 (국산제품)
2007.04	시험시공	사질토이용 제방축조공법 개발	90m	건교부	한국건설기술 연구원 (TCN 제품)
2007.07	부산 신항만 남컨 준설토 투기장 호안공사	호안공사	3,300m	부산지방 해양청 (대영ENG)	현대건설 지해산업 (국산제품)
2008.10	시험시공	석탄회 재활용위한 탈수시험	-	당진화력발전소	세지오물산 (주)젠트로 (국산제품)
2010.07	부산 신항만 남컨 물막이공사	물막이 공사	200m	부사지방 해양청 (유신)	대진종합건설 지해산업 (국산제품)

(3) 토목섬유 튜브 공법의 국내 시공 현황

일산대교 및 인천대교 현장은 가도 조성을 위한 가물막이 목적으로 각각 총 연장 7.4km와 14.0km의 토목섬유 튜브 공법이 적용되었다. 수어댐 여수로 현장은 기존의 토사 가물막이가 장마시 홍수로 붕괴되어 긴급공사가 필요함에 따라 직경 3.5m, 길이 62.0m의 토목섬유 튜브 공법이 채택되어 적용되었다. 부산 신항만 현장은 준설토 투기장 가호안 공사를 위해 토목섬유 튜브 공법을 선정하였으며, 시공 규모는 직경 4.25m, 길이 50.0m의 토목섬유 튜브를 제방 양단에 3.0km를 시공하였다. 영진만 및 울진 원전 현장은 해안선 침식을 방지하고 모래 퇴적을 유도하기 위해 직경 3.5m, 길이 50.0m의 토목섬유 튜브를 2열로 나란히 붙혀 30.0m 간격으로 시공하였다.

새만금 현장은 방조제 끝막이 공사 시 축조된 사석 필터 간극을 통해 배면 매립 토사가 유출되고 세굴되는 것을 방지하기 위해 횡방향으로 폭 10.0m, 길이 2.7km의 튜브 매트리스를 사용하였고, 시공 중 사석필터 재료의 수급 부족으로 인한 대안 공법으로 직경 1.0m, 채움높이 0.6m, 길이 1.0m의 종방향 튜브 3,900개를 시공하였다.



(a) 일산대교



(b) 인천대교



(c) 수어댐



(d) 부산 신항만



(e) 영진만



(f) 새만금 방조제

그림 2.1.2 토목섬유 튜브 공법의 국내 시공 현황

(4) 토목섬유 튜브 공법의 국외 시공 현황

미국 애틀란틱 시티 현장은 허리케인 및 해안 침식의 영향으로 해변 산책로의 붕괴 위험이 있어서 그에 대한 대책으로 토목섬유 튜브를 적용한 해안가 사구를 조성하여 침식 및 모래 유실을 방지한 사례이다. 미국 일리노이 현장은 연장 4.7km의 인공섬 둘레를 형성하기 위해 토목섬유 튜브를 시공하였다. 네덜란드 현장은 해상수로 Naviduct 건설 중 준설토 투기 제방의 코어(Core)로 직경 3.92m, 총 연장 7.5km의 토목섬유 튜브를 적용하였다. 아일랜드 현장은 Fenit항 해안선 침식을 방지하기 위한 방파제 및 호안구조물 설계 시 각각 연장 446m와 200m의 준설토를 활용한 토목섬유 튜브의 경제성을 검토하였다.

에콰도르 현장은 둘레 13.7m, 총 연장 2.0km의 토목섬유 튜브를 피라미드 방식으로 쌓아서 정박지 조성을 위한 방파제 코어(Core)로 적용하였다. 모로코 현장은 높이 6.0m 댐의 일시적인 물막이 공사를 위해 직경 5.0m, 채움높이 3.0m를 갖는 3개의 토목섬유 튜브를 시공하였다. 바레인 현장은 Amwaj 인공섬 조성을 위해 둘레 13.7m, 총 연장 30.0km의 토목섬유 튜브를 2단으로 시공한 후 외부를 사석으로 쌓아 보호하였다. 브라질 현장은 둘레 18.3m, 길이 61.0m의 토목섬유 튜브 용기를 이용하여 매립장에 하수처리장과 분뇨처리 시설을 설치하였다.



(a) Sand dune (USA-Atlantic)



(b) Artificial islands (USA-Illinois)



(c) Dredged soil pond (Netherlands)



(d) Breakwater/Revetment (Ireland)



(e) Breakwater (Ecuador)



(f) Dam (Morocco)



(g) Artificial islands (Bahrain)



(h) Swage works (Brazil)

그림 2.1.3 토목섬유 튜브 공법의 국외 시공 사례

(5) 설계 시 문제점

- 튜브 원단의 광폭인장강도

실제로는 봉합강도를 원단강도의 60%를 보는 관점에서, 원단의 강도보다 봉합강도가 더욱 중요하다. 봉합강도가 불규칙하다고 인식하는 경향이 있으나, 재봉기의 개발과 봉합 방법과 기술의 향상으로 비약적으로 높은 결과를 보여주고 있다. 하지만 봉합강도에 대한 검토는 전무하며, 원단강도만 검토하는 경우가 많다. 봉합이 부실하면 원단의 강도가 높은 것은 의미 없음을 확인하지만 원단강도가 200kN/m가 되는 것이 주요사항으로 요구하고 있다. 봉합강도가 원단강도의 70～80%가 보장된다면 직경 5m이하의 튜브에서는(유효높이 3m이하) 충진재로 모래를 쓸 경우 광폭인장강도는 175kN/m 정도일 것으로 판단된다.

- 광폭 신율

광폭신율에 대한 문제도 중요하다. 대체적으로 원단의 신율에 관한 문제가 시공사 낙찰여부를 결정하는데, 신율이 3～5% 정도의 고저가 중요사항으로 대두되었다. 신율과 튜브형상과의 관계에 있어 20% 이하에서는 큰 차이가 없다고 판단된다(신율 15% 이하는 세계적으로 한 회사만 생산하

고 있다고 한다). 현장에서 시공여건으로 본다면 충진재의 입자 크기와 원단의 유효구멍 크기, 그리고 투수성에 따라 튜브형상 결정에 더 중요한 요인으로 판단되고 있다. 설계상 튜브의 높이에 대해서만 검토되고, 폭의 변화를 무시하는 기존 설계프로그램으로 개발된 프로그램 (GeoCoPS program)은 튜브 구조체의 인장력을 계산하여 높은 신율을 보유한다고 하여 충진재가 더 많이 고려되는 것은 아니다. 이 분야의 선진국에서도 20% 이하로 높이가 과다 설계되고 여러 현장에서 적용되고 있다. 이에 대한 것은 원단 제작측과 일부 설계자의 주장보다 좀 더 기술적인 검토가 필요한 사항이다.

- 충진재료

충진재료 문제로 튜브의 충진재 기준은 충진재료와 토목섬유 튜브의 유효구멍 크기(AOS) 간의 비율에 의하여 결정된다. 구조적으로 튜브공법을 검토할 때 특히 튜브의 높이가 요구될 경우에는 조립질의 모래 사용이 절대적이다. 세립분의 토사를 이용하여 튜브의 이론적 직경 50%의 유효높이를 확보하기 위해선 이에 대한 연구가 더 필요하다. 또한, 충진을 여러 번 나누어 시행해야 할 것으로 판단되며, 현장 시공 전 현장 시험시공을 수행하여 채움재를 최종 적용해야 한다.

(6) 결론

토목섬유 튜브를 이용한 공사와 현재 적용되는 다른 공법 중 어느 것을 선택하는가는 현장에서 구입할 수 있는 튜브 채움재의 가격과 타 공법에서 주재료로 사용되는 석재와 토사의 가격에 좌우된다. 사석값이 저렴하고 운반거리가 짧을 경우에는 기존 공법이 경제적이지만, 공사기간의 단축, 사석 채취와 운반과정에서의 환경문제 및 민원 등의 영향을 고려하면 토목섬유 튜브 공법이 점점 더 선택될 것이다. 토목섬유 튜브 공법은 경제적으로 하천제방과 항만 및 연안 토목구조물로서의 활용성이 더 클 것으로 예상된다. 따라서, 설계와 시공 적용성에 대한 연구가 필수적이며, 그 활용성이 검증되어야 할 것으로 판단된다.

토목섬유 재질에 관하여 국내 섬유산업의 발전추세를 보면 폴리프로필렌 섬유(PP)를 이용한 직포인 토목섬유(Wooven Geotextile) 제품 위주로 개발되어 인장력을 향상시키다보니 직조기술에서 다소 뒤떨어지고 있는 가운데 AOS가 크게 되어 물과 함께 토사를 주입하여 형성되는 원형 튜브 구조체는 과도한 세립토사가 배출되어 충진율에서 선진국 제품에 비해 낮다. 또한, TENCATE(사)처럼 원형 위사 방향으로 직조기술 특허에 의해 국내시장에서 선점을 하고 있는 실정이며, 주입시공기술은 아직 연구되지 않아 수중 시공 시에는 최적 충진이 되고 있는지에 대한 시공기술도 아직 공개되지 않고 있다.

따라서, 전반적으로 주입시공기술과 튜브 구조체 제작기술은 아직 초창기로 국내실정을 감안한 원천기술개발과 이에 응용기술 및 설계기술까지 더욱 확대되어야 할 것으로 판단되어 본 연구의 필요성이 더욱 요구된다.

제2절 시험 재료의 공학적 특성

1. 시험 목적 및 재료

토목섬유 튜브 공법의 충진률에 미치는 재료 특성으로는 토목섬유의 유효구멍크기(AOS)와 그에 상응하는 내부 충진 재료의 공학적 특성이 복합적으로 고려되어야 한다. 본 연구에서는 수행하는 실내 토질시험에 의한 충진 재료의 분류와 섬유시험전문기관인 FITI시험연구원에서 시험한 토목섬유의 유효구멍크기(AOS), 투수 시험 등 수리학적 특성을 고려한 검증 방법을 제시하고, 세립분인 새만금 준설토의 충진 재료에 대한 적용성을 평가하였다.

토목섬유는 대윤지오텍(주)에서 제공된 시편을 사용하였으며, 시험에 사용된 토목섬유의 종류는 직포(PP, PET)와 복합포(직포+부직포)로 구분된다. 복합포의 경우 PET재질의 직포와 부직포를 접착제에 의해 부착되므로 한 면은 직포로, 다른 한 면은 부직포로 구성되기 때문에 투수성이 유효구멍크기(AOS)가 직포로만 구성된 시편에 비해 상대적으로 작게 나타날 것으로 예상되었고, 그에 반면 세립분의 토사를 보유할 수 있는 기능은 월등하게 높을 것으로 판단되어 직포, 복합포에 대한 비교실험을 위해 각각의 섬유를 선택하였다.



그림 2.2.1 채움토사 선정 장소 및 시험토사 운반



(a) 직포(PET) (b) 직포(PP) (c) 복합포(PET)

그림 2.2.2. 토목섬유 시편

2. 시험장치 소개

토목섬유 튜브 시뮬레이터 실험 장치는 준설토 준비부터 준설 및 매립까지의 모든 공정을 포함한 실험이 가능하도록 제작하였다.

[그림. 2.2.3]은 현장규모의 실험이 가능하도록 제작된 토목섬유 튜브 시뮬레이터 실험장치의 모식도와 전경 사진을 나타내고 있다. 토목섬유 튜브 시뮬레이터 실험장치 세팅을 위한 최소 작업공간은 폭 5.0m, 길이 15.0m가 필요하다. 토목섬유 튜브 시뮬레이터 실험 장치는 크게 ①대형실험토조, ②준설토 배합토조, ③고압이송펌프, ④토사공급토조, ⑤타워, ⑥물탱크, ⑦튜브, ⑧콘관입시험 장치로 구성되어 있다. 준설토는 준설토 배합토조에서 준비되어 고압이송펌프를 통해 타워에 위치한 토사 공급토조로 이송되어 대형 실험토조로 자연유하식으로 주입되거나, 토사 공급토조를 거치지 않고 고압으로 대형 실험토조로 직접 펌핑 주입이 가능하도록 제작하였다. 또한, 대형 실험토조에서 월류되는 준설토 또는 물은 물탱크로 유입되어 유량을 측정 가능하도록 제작하였다.

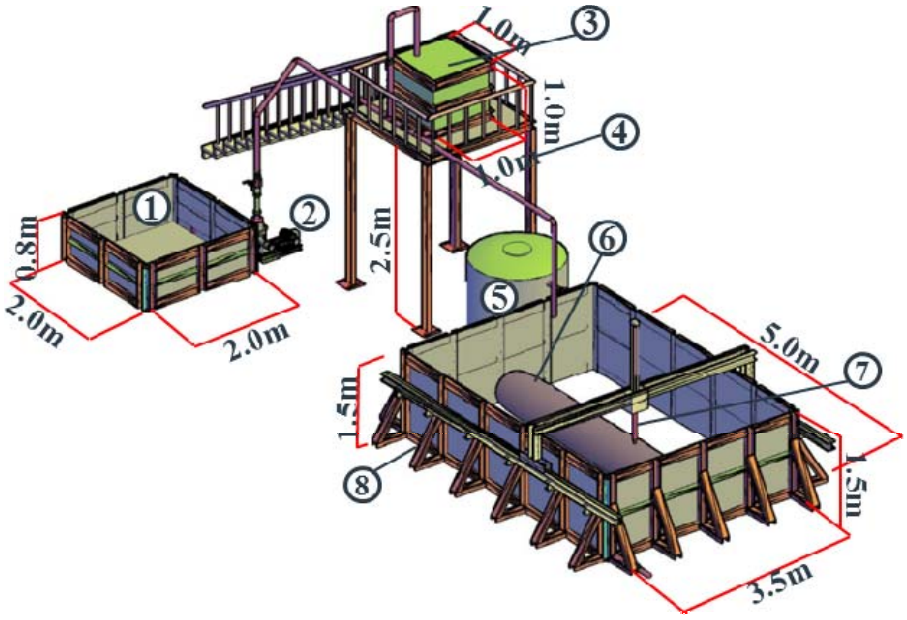
토목섬유 튜브 시뮬레이터 실험장치의 제원은 높이 1.5m, 폭 3.5m, 길이 5.0m이고, 대형 실험토조의 각 면은 6T(6mm)의 강판으로 구성되어 있고, 각 측면은 십자 모양으로 강재 찬넬을 보강하고, 실험 중 토조의 변형을 방지하기 위해 삼각형 모양의 보강재 찬넬를 만들어 총 14곳에 추가로 보강하였다. 대형 실험토조의 바닥은 콘크리트 슬래브로 지지하도록 계획하고, 설치 시 20mm 두께의 몰탈 콘크리트로 수평을 유지하도록 하였다. 대형 실험토조의 사각 측면과 바닥은 부식 방지를 위해 아연 도금된 강판을 사용하였다. 또한 실험 기간 중 측면 변형방지를 위해 추가로 보조지지 볼트를 설치하였다.

토사 배합토조는 초기함수비와 입도조정을 목적으로 현장에서 채취된 준설토를 운반하여 배합토조에서 교반기로 계획된 실험목적에 적합한 교반이 가능하도록 높이 0.8m, 폭 2m, 길이 2m, 두께 6T(6mm)의 강판으로 제작하였으며, 교반 중 토조의 변형을 억제시키고자 토조의 각 측면은 강재 찬넬로 보강하였다. 또한 배합 시 원활한 작업(교반 및 제작시료이송 등)을 위해 토조의 높이는 낮게 제작하였다.

토사 배합토조에서 토사 공급토조로 이송하기 위한 펌프는 시험목적에 따라 토목섬유 튜브로 직접적인 주입이 가능하고, 또 펌프에 의해 토사 공급토조에 이송된 준설토는 일정한 속도로 자연낙하 하여 토목섬유 튜브에 주입하게 된다.

토사 공급토조는 상시 일정한 함수비를 지닌 토사가 자연낙하 할 수 있도록 밸브 및 교반기를 설치하여 침강을 방지하고 상시 일정한 비율의 토사가 토목섬유 튜브로 공급되도록 하였다. 이 장치의 제원은 폭과 길이가 1.0×1.0m, 높이가 1.0m이다. 또한, 토사 공급토조는 준설토가 토목섬유 튜브로 자연수두차에 의해 이송될 수 있도록 높이 2.5m, 폭 2.0m, 길이 2.0m의 타워상단에 정착하였다. 또한, 토목섬유 튜브의 충진 및 배수가 종료되면 전기식 콘관입 피에조미터(Electric Cone Piezometer)가 정착되도록 토조 상단에 이동식 지지대를 설치하였다. 이러한 장치는 토목섬유 튜브 중앙 상단에 콘관입 시험기가 적절하게 위치조정이 용이하도록 하여 튜브 구조체 내부의 강도가 측정되도록 하였다.

이러한 토목섬유 튜브 시뮬레이터 실험 장치는 실물 크기의 주입실험이 가능하므로 본 실험 장치를 활용한 다양한 실험 및 수치해석 연구를 통해 토목섬유 튜브의 거동 및 강도 특성을 규명하고자 하였다.











①토사 배합토조 ②고압이송펌프 ③토사 공급토조 ④타워

⑤물탱크 ⑥모형튜브 ⑦콘관입시험 장치 ⑧모형튜브 실험수조

그림 2.2.3 토목섬유 튜브 시뮬레이터 실험장치 개요

3. 충진 재료의 공학적 특성

(1) 충진 재료의 토질특성

충진 재료인 준설토는 서해안 지역 새만금 내부 준설·매립 현장 중에서 [그림 2.2.4]의 위치도에서 나타난 동진강 방수제 현장으로부터 준설토를 채취하였다. 그리고 이 준설토를 대상으로 기본물성시험 및 역학시험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.



그림 2.2.4 준설토 채취 현장 위치도(동진강 유역)



그림 2.2.5 새만금 내부 준설·매립 현장(동진강 유역)

기본물성시험결과 No.200체 통과율이 26.2%, 비중은 2.705, 소성지수는 N.P로 통일분류법 상(USCS) 실트질 모래로 분류되는 SM으로 나타났고, 일반적인 서해안 준설토의 특성을 나타냈다.

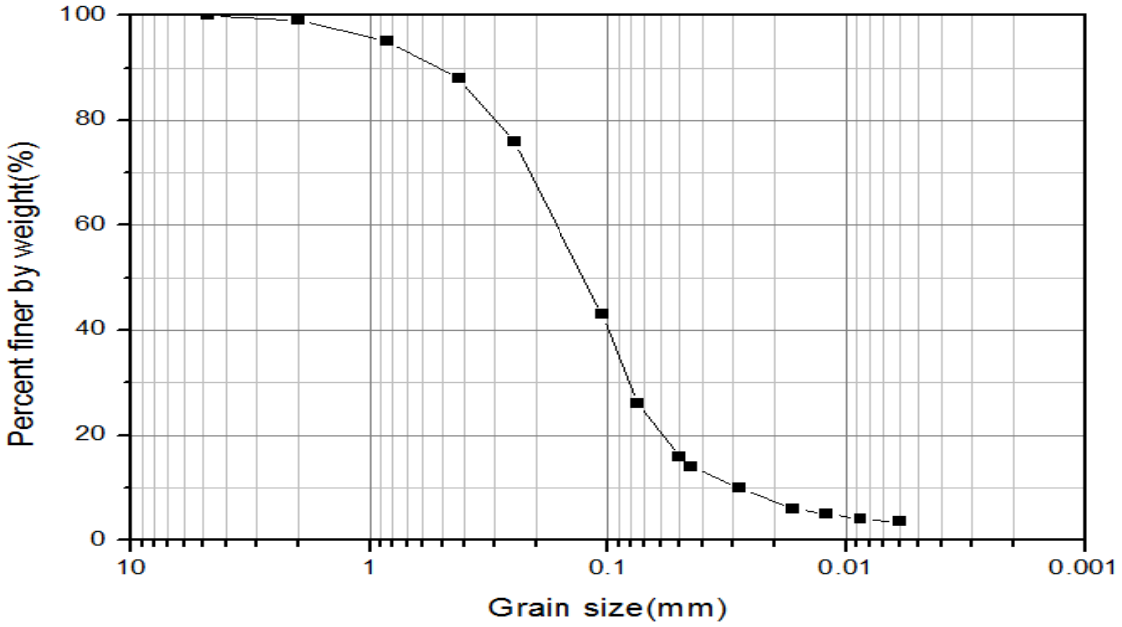


그림 2.2.6 준설토의 입도분포곡선

[표. 2.2.1] 기본물성실험 결과

구 분	값
자연함수비(W_n, %)	20.0
비중(Gs)	2.705
소성지수(PI, %)	N.P
#200체통과율(%)	26.2
통일분류(USCS)	SM

흙의 다짐시험(KS F 2312)은 자연 건조시킨 흙 시료의 함수비를 변화시켜서 동일한 부피와 에너지로 다진 결과이다. 함수비-건조밀도 관계를 작도하여 최대건조단위중량과 최적함수비를 결정하기 위한 시험이다. 다짐시험 결과로 다짐 현장에 적용할 건조·습윤 측 함수비의 시방, 다져진 지반의 상대 다짐도를 평가한다. 다짐시험은 KS F 2312에 규정되어 있는 표준 D방법에 준해 실시하였다. 흙의 다짐은 자연건조 시료에 대하여 층별 55회 총 5층으로, 무게 4.5kg, 자유 낙하고 45cm인 램머(Rammer)를 사용하여 실시하였다. 다짐시험 결과는 다음과 같다.

[표. 2.2.2] 다짐시험 결과

흙의 종류	최대건조단위중량(g/cm^3)	최적함수비(%)
실트질 모래(SM)	1.602	15.0

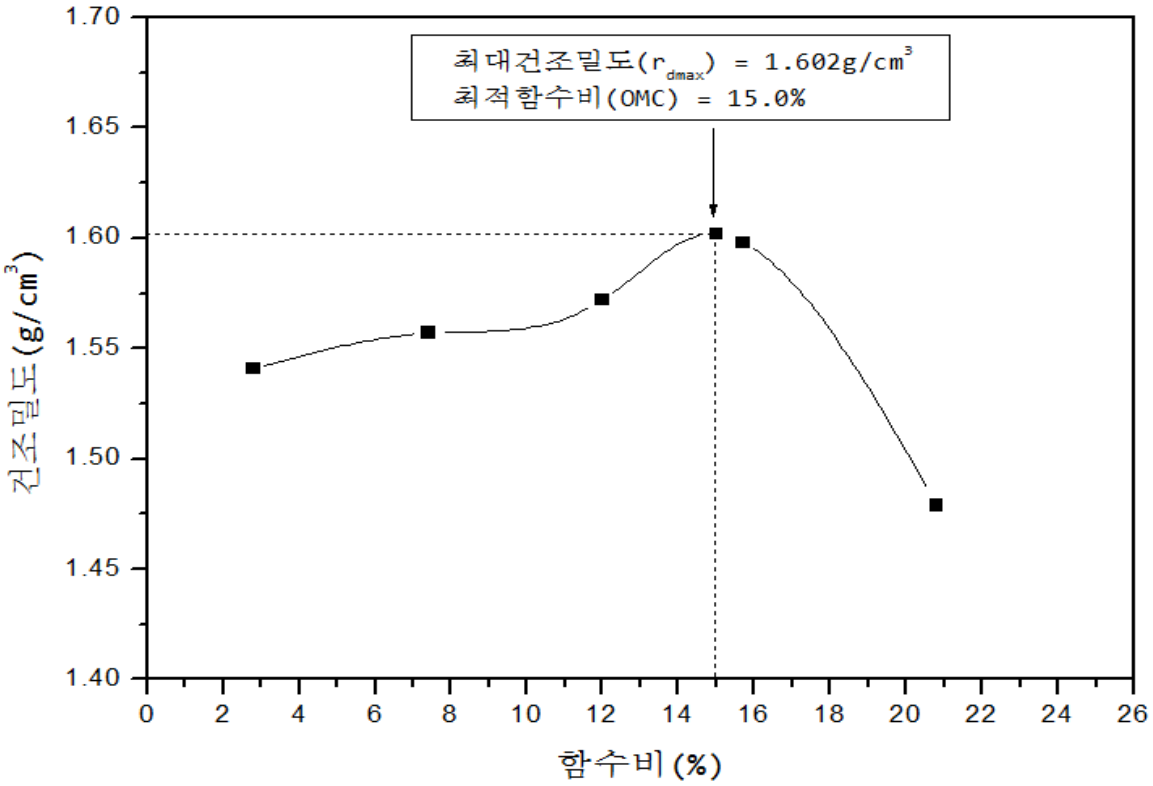


그림 2.2.7 준설토의 다짐곡선

CBR시험은 흙의 공시체에 대하여 피스톤을 규정속도(1mm/min)로 관입시켜 관입량 별로 구한 시험 하중강도를 표준 하중강도에 대한 백분율로 구하는 것이다. CBR의 시험방법은 KS F 2320에 규정되어 있고 포장두께의 설계나 지반의 지지력을 판정하는데 이용되며 결과는 다음과 같다.

[표. 2.2.3] CBR시험 결과

타격회수	CBR	γ_{dmax}	
10회	3.8	95%(1.522g/cm^3)	90%(1.442g/cm^3)
25회	11.9	CBR	
55회	15.2	17.3	13.8

현장에서 채취된 준설토에 대한 다짐시험결과 최대건조밀도는 1.602(g/cm^3)이고 최적함수비는 15%로 나타났다. 따라서, 토목섬유 튜브 구조체에서 배수에 의해 최적함수비가 유지되는 경우는 강성이 매우 큰 튜브 구조체를 형성되고, 자연 물다짐에 의해 강도가 크게 증가되는 준설토임을 알 수 있다. 또한, 노상토 지지력비(CBR) 시험을 통한 결과는 다짐에 의해 CBR이 최소 3.8에서 15.2까지 증가되고 있어 물다짐에 의해 지반반력계수도 크게 증가되고 있음을 알 수 있다.

4. 준설 경량 혼합토의 역학특성 시험 및 적합성 평가

(1) 연구배경 및 목적

현재 국내에서는 해양 개발로 인한 준설토와 건설잔토, 연약지반 등이 많이 발생하고 있으나 건설재료로 적합하지 않아 대부분 폐기하고 있는 실정이다. 이렇게 발생되는 저질의 준설토를 처분하기 위해서 대규모 투기장을 마련하여 단순 투기 및 매립에 의존하고 있는 실정이다.

선진국에서는 단순 폐기 및 매립보다는 신기술 및 신공법 개발로 연약지반이나 모래질 성분이 많이 함유한 준설토를 방파제나 안벽 및 호안 시공 시 건설재료로 이용하는 등의 재활용 기술을 적극적으로 활용하고 있다. 이러한 점에 비추어 연약지반이나 준설토 등에 도로시공 시 적절한 강도 발현이 어려운 하부재료나 토취장 개발에 따른 환경 파괴 등으로 기존 하부재료의 재활용에 대한 필요성이 증대된다고 하겠다.

경량 혼합토(LTS : Lightweight Treated Soil) 공법에 이용되는 기포 혼합토는 건설 발생토(건설잔토, 슬라임 등), 준설토 등의 원료에 물과 시멘트의 고화재와 기포를 혼합하여 제작한다. 경량 혼합토의 단위중량은 0.6～1.2gf/cm^{3}으로 일반토사의 40～70%의 중량 감소 효과가 있고, 제작 직후에는 고유동성을 나타내지만 고화제의 반응에 따라 최종적으로는 양질의 토양 재료와 같거나 그 이상의 강도특성을 가지는 안정처리토가 된다.

국내 경량 혼합토는 다짐이 필요 없는 자체 유동성이 있는 재료이므로 주로 구조물 뒤채움재나 해양구조물 등에 사용하였다. 배윤식 및 윤길림(2010) 등의 경량 혼화토의 연구 자료에 의하면, 배합토의 원중량, 함수비, 고화재로 사용하는 시멘트량 등과 일축압축강도를 비교하여 최적 배합설계를 결정하였다. 강도발현을 위하여 폐타이어와 왕겨를 첨가하였으며, 왕겨는 3%일 때 최대강도를 나타내었고, 폐타이어는 6%일 때 최대강도를 나타내었다. 김준영(2011) 등은 송도지역의 실트질 점성토에 대하여 배합 함수비, 개량재 배합비, 양생기간을 변화시키며 시멘트와 생석회로 고화처리하고, 일축압축시험 및 평탄재해시험을 통하여 강도특성을 파악하였다. 일축압축시험과 평판재하시험은 매우 관련성이 크게 나타났으며, 이를 바탕으로 개량토를 매립지 표토층으로 이용하였을 경우에 건설장비의 주행성을 평가하였다.

Jo(2012) 등은 경량 혼화토를 이용하여 구조물 뒤채움재 재료 개발을 하고자 하였다. 모래성질의 주문진 표준사에 기포와 시멘트를 혼합하여 강도시험을 수행하였다. 함수비가 25%일 때 가장 강한 압축강도와 전단강도가 나타나는 것을 알 수 있었다. 경량혼화토의 밀도, 수직변형, 압축 및 전단강도, 전단탄성계수, 정지토압계수등을 비교한 결과 뒤채움재로 매우 우수한 것으로 나타났다.

일본에서 처음 경량 기포토를 만들고 적용한 Tsuchida(2001) 등의 논문에 의하면, 해안지방에서는 건설에 적합한 흙이 부족하기 때문에 준설토를 활용하면 매우 경제적일 것이라 판단하였다. 그들의 연구에 의하면 도쿄만에 퇴적되어 있는 점성질 준설토에 EPS와 시멘트를 혼합한 후 공학적인 성질을 측정하였다. 공학적 성질을 측정한 결과 경량 혼화토가 건설재료로 적합하다는 결론을 내렸다. 일본의 Watabe 박사 등은 최근 도쿄 하네다 공항 활주로 건설에 점성질 준설토를 이용한 경량 혼합토를 사용하였다. 점성 준설토에 시멘트와 기포재를 혼합하여 경량 혼합토를 개발하여 해양구조물 건설에 사용하였다. 경량 기포 혼합토의 전단강도와 밀도가 해양구조물 설계 규정을 만족하였다. Liu(2006) 등은 polystyrene pre-puff(PSPP) 구슬과 시멘트 함량 비율이 경량 혼화토의 압축강도와 변형특성 등 역학적 성질에 미치는 영향을 분석하였다. 경량 혼화토의 밀도는 PSPP함량 조절로 효율적으로 조정할 수 있음을 알 수 있었다. 2～6%의 PSPP 사용으로 밀도는 약

700~1100 kgf/cm^3 정도로 효율적으로 감소시킬 수 있었다. 시멘트량을 10～15% 사용하였을 때에 경량혼합토의 압축강도와 강성이 크게 증가하는 것으로 나타났다. Wang과 Miao는 시멘트로 처리한 양자강 모래와 EPS를 사용하여 제방재료로서의 적합성을 평가하였다. 수치해석 모델링을 통하여 일반적으로 사용하는 생석회 고화토와 같은 재방재료로서의 성능을 보이는 것으로 나타났다. 또한, 강바닥의 축척된 폐기 준설토를 이용함으로서 경제적으로나 환경적으로 매우 좋은 것으로 나타났다.

경량 기포토와 고화토에 대한 다양한 연구를 수행하였으나, 위 연구들은 구조물 뒤채움재와 도로 노체 등으로 사용되었을 뿐 도로 하부지반의 노상층이나 보조기층 재료로서의 타당성이 검토된 바 없다. 따라서 본 연구에서의 도로포장 하부층 재료 타당성 검토는 그 의미가 크다.

본 연구에서는 전라북도 새만금 지역 내부 개발에 따라 이용이 편리한 준설토를 이용하여 경량혼합토의 일축압축시험강도를 7일 및 28일 강도를 각각 측정하였다. 일축압축시험의 응력변형률(Stress-strain) 관계로부터 탄성계수를 산정하였으며, 이를 이용하여 노상층으로서의 사용성 평가를 수행하였다.

(2) 시험재료 및 방법

군산금 군산 지역에서 채취한 준설토 시료를 사용하여 기본 물성 시험을 실시하였다. 채취한 준설토의 기본적 물리특성을 파악하기 위하여 비중 시험, 액성한계 시험, 소성한계 시험, 함수비 시험 등을 실시하였으며, 그 결과는 [표. 2.2.4]과 같다.

[표. 2.2.4] 준설토의 물리적 성질

액성한계(LL, %)	39.02
소성한계(PL, %)	23.53
소성지수(PI)	15.49
비중(G_s)	2.62
흙의종류(USCS)	CL

본 연구에는 경량 혼합토를 성형하기 위하여 기포제가 사용되었다. 기포제는 동물성, 식물성, 합성유계 등이 있다. 계면 활성 작용을 이용하여 물리적으로 기포를 혼합한 것이며, 환경 친화적인 식물성 기포제를 사용하였다. 혼합토에 균일하게 기포가 분포할 수 있도록 기포기를 이용하여 사전에 발포시킨 후, 혼합하는 방법을 적용하였다. 기포제와 물의 비율을 1:20, 공기압은 2～3kgf/cm^2 하에 발포시킨 기포를 사용하였다. 사용된 기포제의 특성과 공기함량에 따른 단위중량은 [표. 2.2.5]와 같다.

[표. 2.2.5] 기포제의 특징

비중(Gs)	1.03
PH	7.1
가수분해값	5.30
퇴적지수(%)	0
염도(%)	1.7
단위중량(γ_t, gf/cm^3)	0.047

경량 혼합토를 제작하기 위하여 원지반 흙에 고화제 시멘트를 혼합하여 1.4gf/cm^{3}이 되도록 물을 희석하였으며, 기포제를 혼합하여 목표 단위중량을 1.4gf/cm^{3}가 되도록 하였다. 시멘트함량을 슬러리 무게의 5, 10, 15, 20%로 변화하였고, 기포제 함량을 20, 25, 30%로 변화시켜 시료를 제작하였다. 그러나 시료제작 후 양생결과 시멘트 함량이 5% 경우와 기포제 함량이 30%인 경우는 시료성형 및 강도발현이 어려웠다. 경량 혼합토 기포발생을 위하여 기포발생장치를 이용하여 2～3kgf/cm^{2}의 압력 하에 발포시킨 기포를 평균 5분 이내에 수행함으로서 경량 혼합토 공시체 제작에 따른 기포의 소포를 최소화하였다. 시멘트와 기포제의 함량은 [표. 2.2.6]로 요약하였다.

[표. 2.2.6] 혼합비와 실험조건(1)

시멘트 함량(%)	5, 10, 15, 20
기포제 함량(%)	20, 25, 30
재령시간(Day)	7, 28
동결융해(Cycle)	1, 2, 3

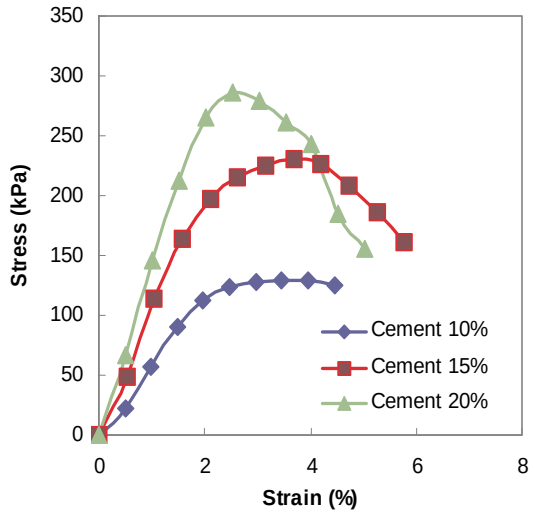
경량 혼합토의 일축압축시험을 위한 공시체 제작을 위하여 직경 5.0cm, 높이 12.0cm인 PVC 몰드를 제작하였다. 그리고 PVC 몰드 하부의 밀봉을 위하여 가로와 세로 10cm의 아크릴판을 준비하여 몰드 하부와 아크릴사이를 접착제를 사용하여 수밀성 있게 고정하였다. 이때 몰드 내면은 경량기포 혼합토가 양생되면서 부착되는 것을 방지하기 위하여 그리스(Grease)를 얇게 도포하였으며, 양생 후 몰드에서 분리할 때 공시체가 교란되는 것을 방지하기 위하여 분리가 가능한 몰드를 제작하여 사용하였다.

일축압축강도를 위한 실내시험은 KS F 2314(2011)의 기준에 따라 수행하였다. 실내시험에서는 미리 계획된 배합조건에 따라 제작한 공시체를 재하판 사이에 설치한 후, 매분 1%의 압축변형이 발생하도록 연속적으로 재하를 가하였다. 이때 발행하는 공시체의 변형량과 압축 하중은 다이얼게이지와 로드 셀에 의해 측정되었다. 한편 공시체에 대한 재하는 압축하중이 최대값을 경과한 후에 그 최대값의 약 50%에 해당하는 압축하중에서 시험을 종료하였다.

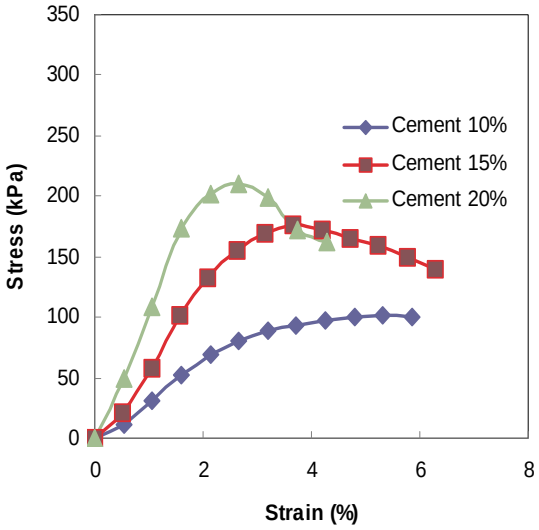
(3) 시험결과 및 분석

- 일축압축실험

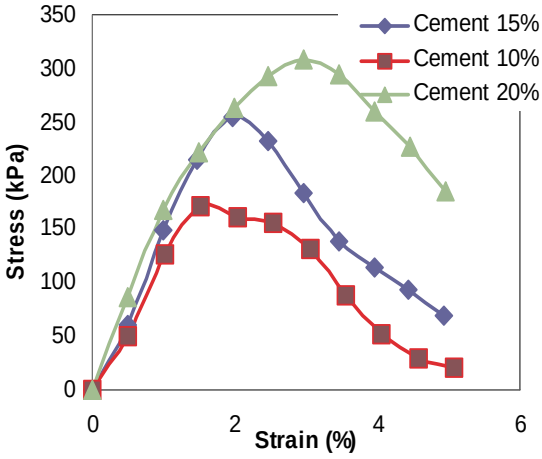
재령기간 7일 및 28일 후의 경량혼합토의 응력-변형거동을 나타내고 있다. [그림 2.2.8]에서 일축압축강도는 기포제 함량이 감소할수록 시멘트 함유량이 많을수록 강도는 크게 나타나는 것을 보여주고 있다. 시멘트 함유량이 15%와 20%일 때 뚜렷한 파괴양상을 보여주나 시멘트 10%일 때는 최고점을 찾아보기가 어려우며 완만하게 파괴되는 것으로 나타났다. 이러한 취성파괴 거동은 시멘트 함유량이 클수록 현저하게 나타나고 있다. 기포제 25%의 경우 20%에 비교하여 강도가 감소하였으며 뚜렷한 Peak 점이 없이 파괴하는 것으로 나타났으며, 파괴 변형율이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 28일 강도의 경우에는 예측한 바와 같이 7일강도보다 증가하였으며, 기포제 함량에 무관하게 뚜렷한 파괴양상을 나타냈다.



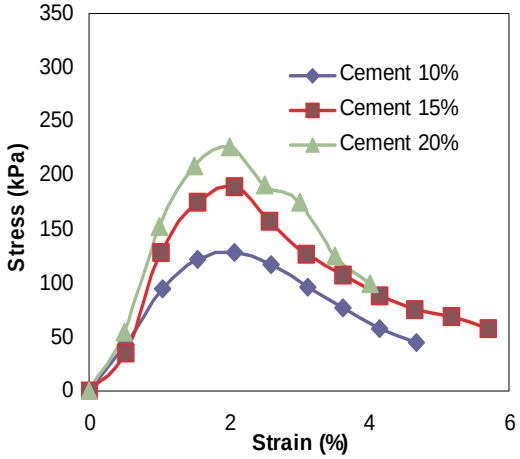
(a)기포제 20%, 7일 재령



(b)기포제 25%, 7일 재령



(c)기포제 20%, 28일 재령



(d)기포제 25%, 28일 재령

그림 2.2.8 일축압축실험 결과

5. 토목섬유의 역학적 특성 평가 방법

(1) 광폭인장강도시험

광폭인장강도시험(Wide-width strip tensile strength test)은 토목섬유 튜브공법의 설계 시에 필요한 토목섬유의 설계인장강도를 산정하는데 기초가 되는 최대인장강도와 신율 등의 인장 특성을 평가하기 위해 광폭시료를 사용하여 수행하는 시험이다. 이 시험은 ISO 10319에 규격화되어 있다. 표준시험방법은 변형제어식(CRE type; Constant Rate Extension type) 인장시험기의 상·하에 붙어 있는 클램프(Clamp) 사이의 거리를 1개 이상의 접점(Junction)을 포함하여 최소 10cm 이상 되도록 조절한 후 최소폭 20cm(5개 이상의 리브 포함)의 토목섬유 시료를 장착하고, 시험기를 가동하여 시료가 파단될 때까지 20±5%/min의 속도로 인장하여 인장변형에 따른 인장응력을 측정한다. 이때 시편이 클램프에서 미끄러지는 영향을 최소화하기 위해 시료 중심부에 LVDT 등의 변위 측정장치를 설치하여 인장변형을 측정할 수 있다. [표 2.2.7]는 ISO 10319에서 규정한 광폭인장강도시험의 개요이다.

본 연구에서는 FITI시험연구원의 광폭인장시험기를 사용하여 광폭인장강도시험을 수행하였다. [그림 2.2.9 참조]

본 실험에서 사용하는 토목섬유 시편은 고강도의 재료이므로 본 시험에서는 어느 정도의 미끄러짐을 허용하면서 안정된 시료장착이 이루어지는 롤 유형의 클램프를 사용하였다. 클램프 사이의 시료 파지길이를 30cm로 하고 보강재 시료 중심부 12cm(1개의 접점 포함)를 대상으로 인장변형을 측정하였으며, 인장 변형 측정용으로 Laser-Extensometer를 이용하였다. 또한 시료 폭은 20cm로 하였으며, 시험 시에 클램프의 물림부분(Jaw) 내부에서 미끄러짐이 발생하거나 물림부분이나 가장자리에서 시편파괴가 일어나는 시험결과는 버리고 재시험을 수행하였다.

[표. 2.2.7] 광폭인장강도시험(ISO 10319)의 개요

항목	내용
시험기	광폭인장시험기
시험온도	20±2℃
시험습도	65±5% (상대습도)
인장속도	20±5%/min
시편 폭	20cm(토목섬유 시편의 가장자리는 절점에서 1cm 이상 남기고 절단)
시편 수	신뢰성 평가를 통해 결정하나, 그렇지 않은 경우에는 3개로 함 (단, 클램프에서의 미끄러짐이 크거나, 편심이 크게 걸려 실패한 시료는 제외)
평가항목	최대인장강도 및 인장변형, 인장탄성계수, 인장-변형 곡선



그림 2.2.9. 광폭인장강도시험 모습

(2) 봉합강도시험

일반적으로 토목섬유 튜브의 봉합은 6열 봉합으로 재봉한다. 토목섬유 튜브 내에는 압력이 작용하고, 압력을 받게 되면 토목섬유의 인장강도와 강성이 증가한다는 전제조건 아래 봉합간격을 조정하며 봉합강도시험을 준비하였다. [그림 2.2.10]처럼 봉합의 단면 형태는 나비형 봉합, J형 봉합, 평면 봉합으로 총 3가지 형태를 봉합부위의 이격 거리별로 시험을 수행하였다.

본 시험에서는 각 시험편의 최대 인장강도, 신율, 파단 형태를 중점적으로 관찰하였다. 토목섬유 튜브 봉합에 사용되는 봉합사의 특성에 따라 봉합강도는 큰 차이를 나타내므로 동일한 조건하에 시험하기 위하여 봉합사는 4000D를 사용하였으며, 봉합사의 제원은 다음 [표 2.2.8]와 같다.

기본적인 봉합강도의 시험은 ISO 10318에 규격화 되어있다. 봉합(seam)은 평면 구조의 재료, 보기를 들어 토목섬유 관련 제품의 둘 또는 그 이상의 분리된 조각들을 일련의 스티치로 연결한 부분이며, 봉합 강도(T_{seam})는 둘 또는 그 이상의 시트들이 연결되어 형성된 접합부위의 최대 인장강도(kN/m)이고, 봉합 효율(E_{seam})은 동일한 방향에서 측정된 재료의 인장강도에 대한 봉합효율(%)이다.

[표. 2.2.8] 봉합사 제원

ITEM	UNIT	4000D
Linear Density	dtex	4450.1
Coefficient of variation of fineness	CV%	0.28
Breaking Strength	N	369.7
Broken Tenacity	cN/dt	8.31
Coefficient of variation of Tenacity	CV%	1.1
Breaking Elongation	%	11.7
Coefficient of variation of Elongation	CV%	3.54
Number of Intermingle	n/m	5
Number of Twisting	n/m	-
Grade	-	AA

$$\text{봉합효율 } E_{seam} = \frac{T_{seam}}{T_{\max}} \times 100(\%)$$

여기서, T_{max}는 광폭인장강도시험에 의해 얻어진 최대 인장강도이다.

[표. 2.2.9]는 ISO 10321에서 규정한 봉합강도시험-광폭인장시험법의 개요이다. 본 연구에서는 기존 6열 봉합에만 의존했던 봉합방법으로 인한 토목섬유 튜브 공법의 봉합부위에서의 파단으로 발생하는 피해를 단축시키고자 고안한 봉합 형태에 따른 토목섬유의 봉합강도를 파악하였다. 본 연구에서 봉합의 이격 거리에 따른 봉합강도 변화를 파악하기 위해 봉합강도 시험을 수행하였다. [그림 2.2.11, 2.2.12, 2.2.13 참조].

[표. 2.2.9] 봉합강도시험-광폭인장시험법(ISO 10321)의 개요

항 목	내 용
시험기	광폭인장시험기
시험온도	20±2℃
시험습도	65±5% (상대습도)
인장속도	20±5%/min
시편 폭	20cm(토목섬유 시편의 가장자리는 절점에서 1cm 이상 남기고 절단)
시편 수	신뢰성 평가를 통해 결정하나, 그렇지 않은 경우에는 3개로 함 (단, 클램프에서의 미끄러짐이 크거나, 편심이 크게 걸려 실패한 시료는 제외)
평가항목	봉합부의 최대인장강도 및 인장변형, 봉합효율, 인장-변형 곡선

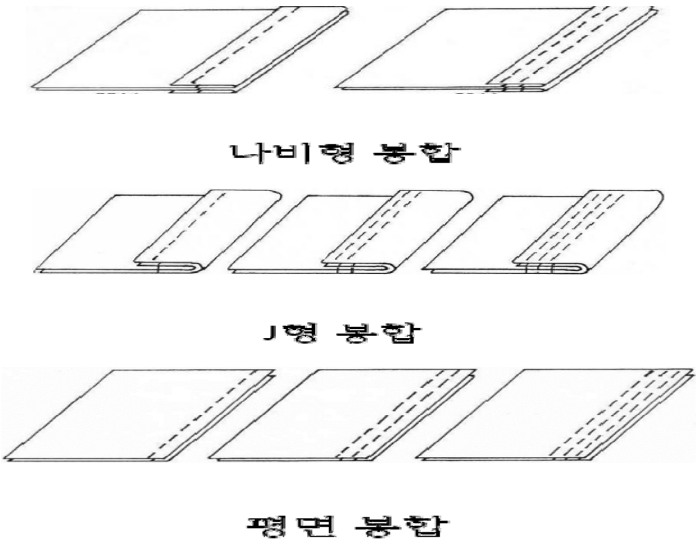
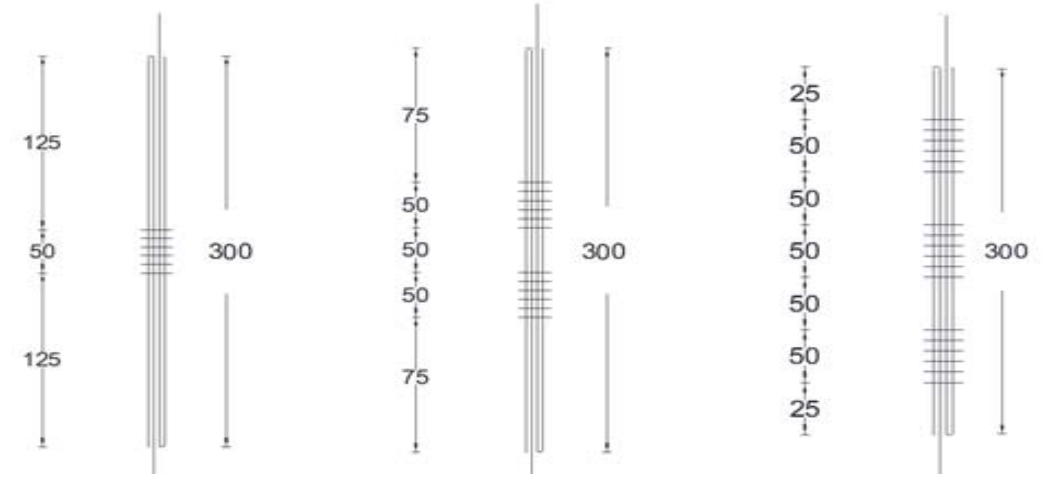
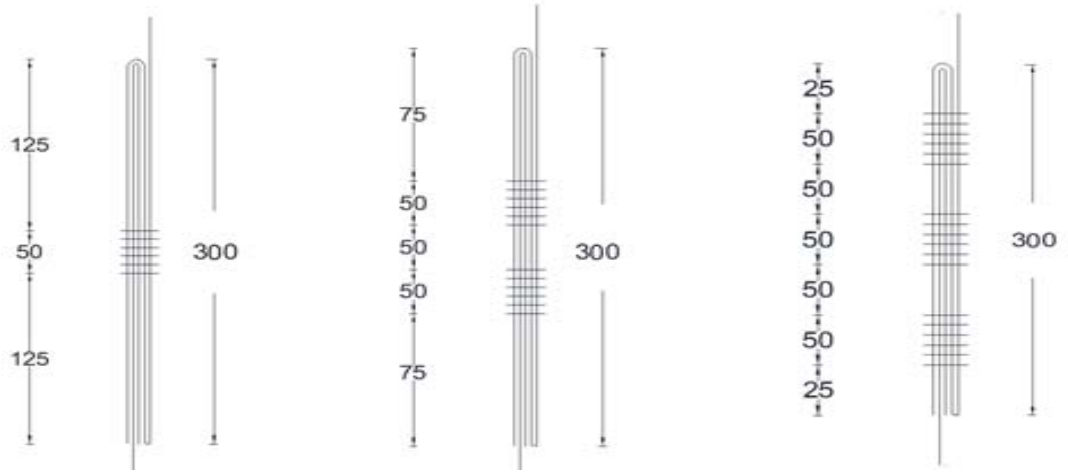


그림 2.2.10 봉합 형태에 따른 시험편



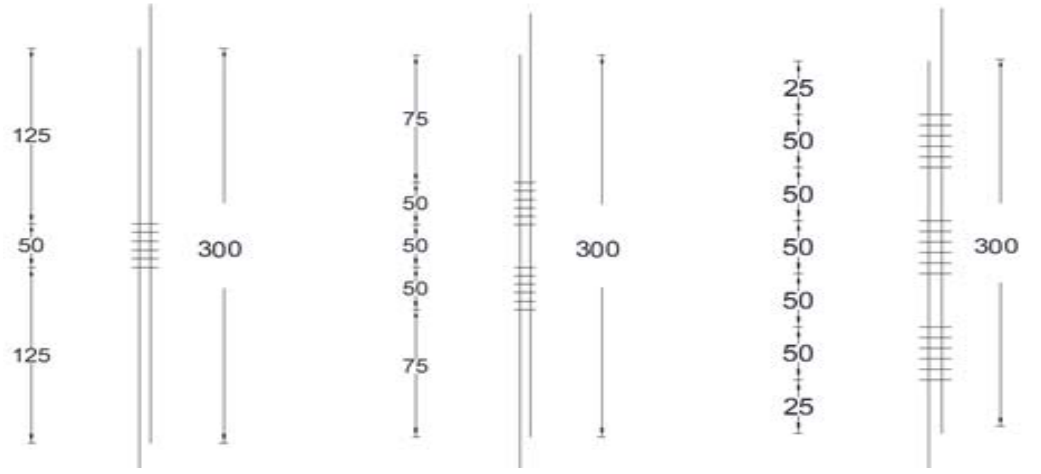
(a) B-1 (b) B-2 (c) B-3

그림 2.2.11 나비형 봉합 단면도



(a) J-1 (b) J-2 (c) J-3

그림 2.2.12 J형 봉합 단면도



(a) F-1 (b) F-2 (c) F-3

그림 2.2.13 평면형 봉합 단면도

(3) 유효입경크기(AOS) 시험

필터로서의 주된 성능은 흙 입자의 보유성과 동시에 물에 대한 투과성이고, 이런 성능을 좌우하는 인자는 토목섬유의 구멍(Opening)이나 Pore의 크기 분포이다.

토목섬유는 이용되는 곳의 흙의 입도분포에 따라서 분리, 여과 및 배수기능을 고려하여 적합한 구멍크기를 가져야 한다. 산출 방법은 입경 또는 입경분포를 미리 알고 있는 유리구슬 또는 흙입자를 이용하여 체분석을 통해 얻어진 분포곡선으로 토목섬유의 구멍크기를 추정하고, 그 값을 유효입경크기(Apparent Opening Size, AOS)로 나타낸다. 이에 대한 시험의 개요는 [표. 2.2.10]과 같다.

[표. 2.2.10] 각 유효구멍크기 시험방법 개요

항목 \ 시험방법		건식방법	습식방법	수리동역학적방법
		ASTM D 4751-91	ISO 12956	KS F 2126
사용재료		유리구슬	흙	흙
입 경	최대	2.0mm (Sieve No.10)	2.0mm	2 × O_f(토목섬유 유효구멍크기)
	최소	0.075mm (Sieve No.200)	0.02mm	$d_{10} \leqq O_f/4$
진동수		규정없음	50Hz	7±1초 침수 (10±1cm 침수깊이) 30±1초 노출을 1Cycle로 하여 2000Cycle이상 시행
진폭		규정없음	1～3mm	
진동시간		10분	15분(적정한 물분사)	24시간
시험중량		50g	7±0.1kg/m^2	0.7±0.3g/cm^2
시료크기		200m 직경	130mm 직경 이상	100mm 직경 이상
시료갯수		5개	3개	-
유효구멍크기		AOS, O_{95} (Apparent Opening Size)	O_{90}	d_{97}, d_{95}, d_{90}
기타		5% 통과 백분율에 해당하는 유리구슬의 입경 (mm, ㎛)	90% 누적 통과 백분율에 해당하는 흙입자크기 (mm, ㎛)	dn: n% 누적 통과 백분율에 해당하는 흙입자크기 (mm, ㎛)

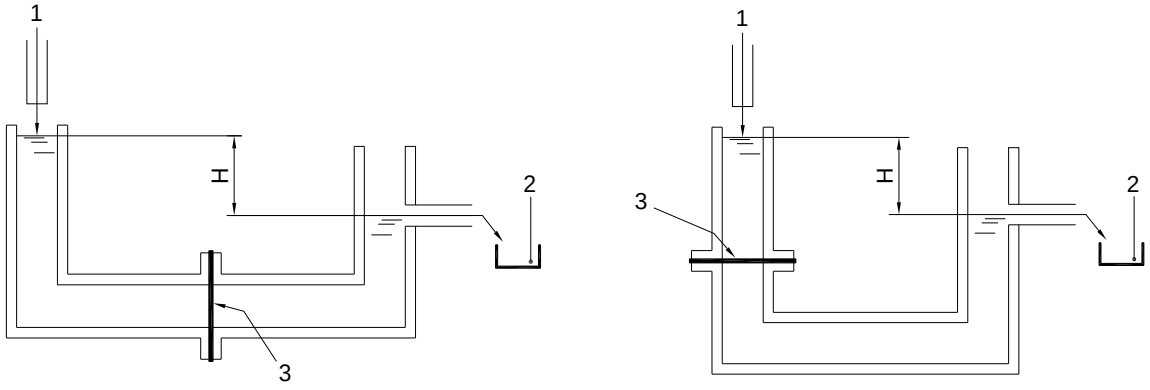
본 연구에서 수행한 유효구멍크기 시험은 습식방법이다. 습식방법은 일반적으로 양호한 입도분포를 갖는 과립형 시료를 이용하도록 하고 있으며, 과립형 시료는 흙 시료를 사용하고 있다. 큰 입자의 흙은 모래를 이용하면 되지만, 작은 입자의 흙을 사용하는 경우 점토와 같은 세립토를 사용해야 하는데, 점토 입자를 75㎛ 눈금 이하의 체로 분리하기도 어려우며, 점토는 물에 혼합되면 흙탕물이 되어 시험에 사용하기가 매우 어렵다. 따라서 현재는 매우 단단한 모래질 흙을 갈아서 시험에 사용할 세립토를 만들어 사용하고 있다.

이러한 이유로 흙시료의 조제 및 체분석이 번거롭고, 이는 오차 발생의 요인이 되고 있다. 사용 흙시료에 따라 약간의 차이가 발생할 가능성이 있지만, 실제 현장상태와 유사한 조건으로 시험이 수행되기 때문에 다른 유효구멍크기 시험방법에 비해 상대적으로 도출된 결과를 신뢰할 수 있다.

(4) 토목섬유 투수성 시험방법

토목용 섬유제품의 수리학적 기능은 Drain, Waterproof membrane, Solid filter, Liquid filter의 기능을 말하고 섬유의 역학적 특성에 의해 영향을 받으며, 특히 인장응력과 압축응력의 역할이 중요하다. 이러한 수리학적 거동에 대한 인장응력의 영향을 실험적 방법으로 그 응력의 역할이 중요하다. 수리학적 거동에 대한 인장응력의 영향을 시험적 방법으로 그 평가를 판정하기란 다소 어려운 점이 있다. 하지만 직포형 토목섬유의 경우 인장응력은 섬유 사이의 공간을 증가시키며 이로 인해 액체와 고체의 투수성은 증진하게 되며, 이러한 현상은 열융착된 장섬유 부직포형 토목섬유에서도 비슷하게 나타난다.

본 연구에서는 토목섬유 튜브 제작 시 가장 효율적인 섬유를 판별하기 위해 PET, PP, 복합포 각각에 대한 수리학적 시험을 수행하였다. 본 시험에서는 정수두법에 의해 진행되었으며, 수직·수평식 투수시험을 통해 각 섬유의 투수계수를 확인하였다.



(a) 수평식 (b) 수직식

1. 유입구 2. 배출구 3. 시험편 H. 손실 수두(mm)

그림 2.2.14 정수두법 시험장치

6. 시험결과 및 분석

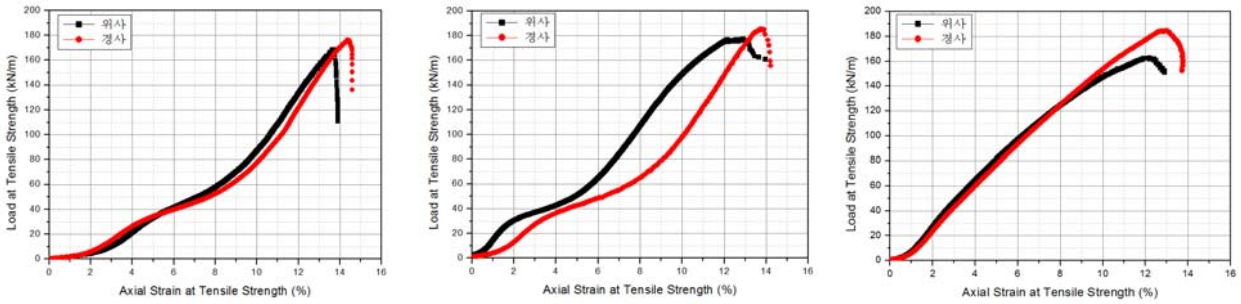
(1) 각 토목섬유의 인장특성

본 연구에 사용된 토목섬유는 폴리에스터 재질의 직포와 복합포 그리고 폴리프로필렌 재질의 직포 등 3종류의 재료이다. 토목섬유의 인장강도는 170～185kN/m이며, 파괴 시의 신율은 13～14% 정도이다.

아래 [표. 2.2.11]와 [그림 2.2.15]은 사용된 토목섬유의 종류와 인장강도 특성이다.

[표. 2.2.11] 사용된 토목섬유 종류 및 인장강도

토목섬유 종류	재 질	방 향	인장강도(kN/m)	신 율(%)
직 포 1	폴리에스터 (Polyester)	보조방향(위사)	168.61	13.70
		주방향(경사)	176.10	14.36
복합포 (부직포+직포)	폴리에스터 (Polyester)	보조방향(위사)	177.51	12.93
		주방향(경사)	185.48	13.78
직 포 2	폴리프로필렌 (Polypropylene)	보조방향(위사)	162.48	12.90
		주방향(경사)	184.55	13.01

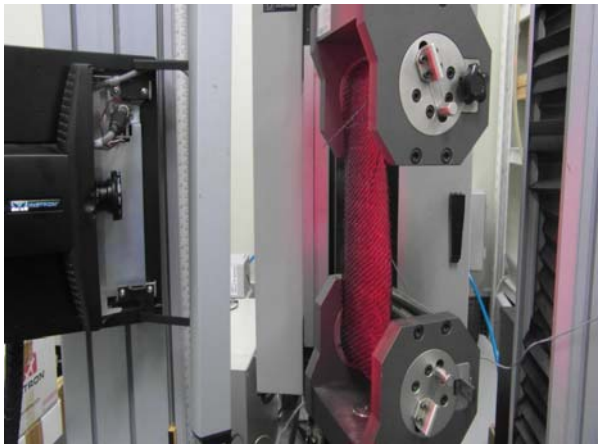


(a) 직포 1(Polyester)의 무봉합 인장강도 특성

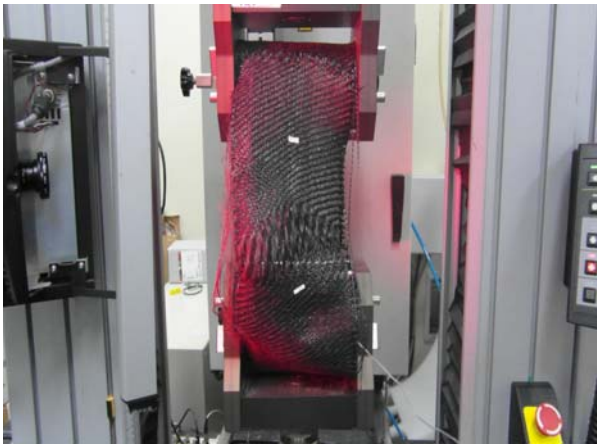
(b) 복합포(Composite)의 무봉합 인장강도 특성

(c) 직포 2(Polypropylene)의 무봉합 인장강도 특성

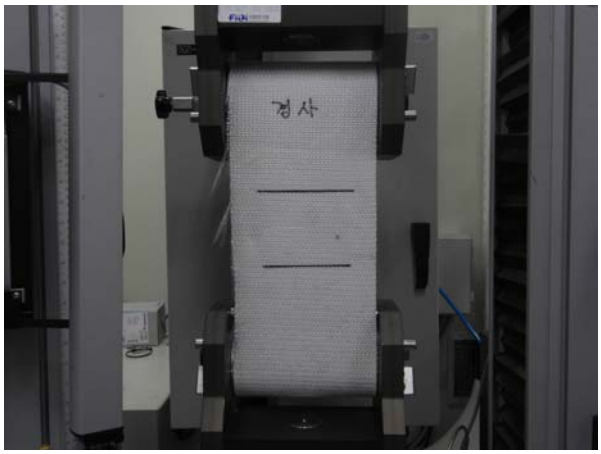
그림 2.2.15 사용된 토목섬유의 인장강도 특성



(a) 직포(PP)의 인장강도 시험 전



(b) 직포(PP)의 인장강도 시험 후



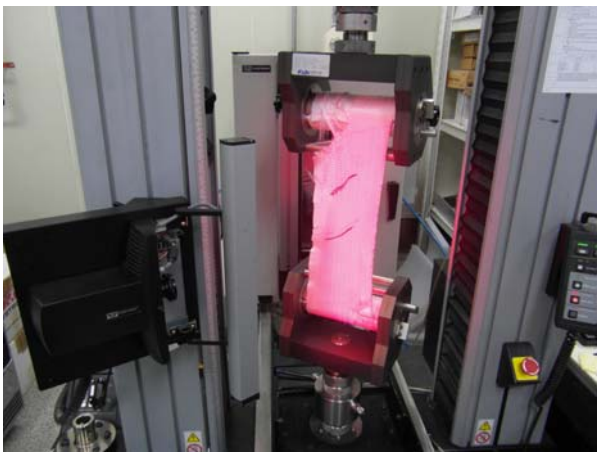
(c) 직포(PET)의 인장강도 시험 전



(d) 직포(PET)의 인장강도 시험 후



(e) 복합포(PET)의 인장강도 시험 전

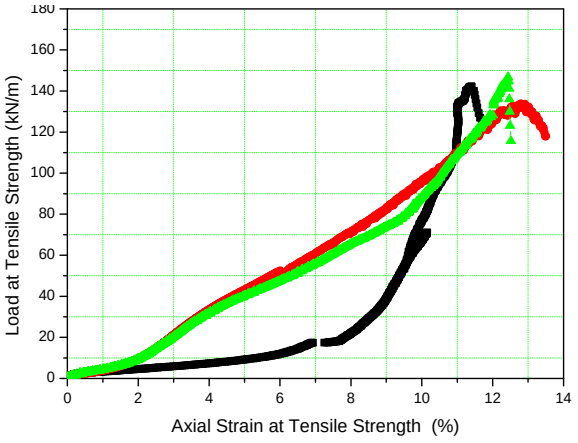


(f) 복합포(PET)의 인장강도 시험 후

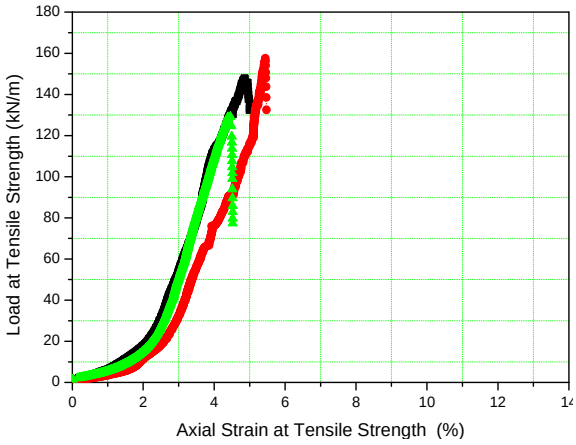
그림 2.2.16 토목섬유의 인장강도 시험

[표. 2.2.12] 봉합강도 및 봉합효율 요약

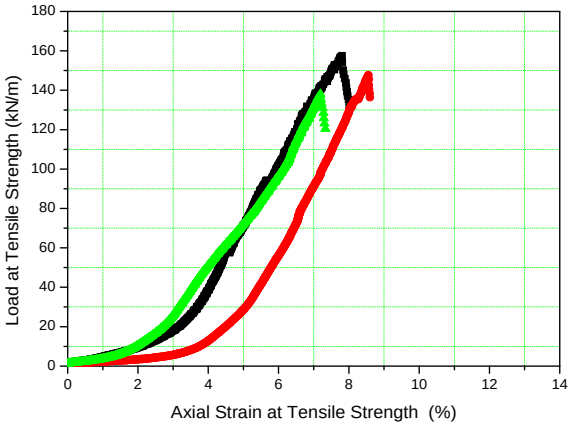
토목섬유	재질	봉합형태	6선 봉합 수	봉합강도(kN/m)				봉합효율 (%)
				1회	2회	3회	평균	
직포 1	Polyester	나비형	1 열	142.3	133.7	146.7	140.9	80.02
			2 열	147.9	157.6	91.3	132.2	82.26
			3 열	157.5	146.7	138.1	147.8	83.91
		J형	1 열	142.5	156.5	149.5	149.5	84.88
			2 열	152.5	158.1	158.1	156.2	88.72
			3 열	120.0	118.8	112.7	117.1	66.54
		평면형	1 열	64.3	66.8	65.1	65.4	37.12
			2 열	140.9	132.3	173.3	148.8	84.52
			3 열	143.3	133.6	126.1	134.3	76.29
복합포 (Composite)	Polyester	나비형	1 열	148.1	127.0	131.4	135.5	70.36
			2 열	114.7	135.3	131.4	127.1	72.05
			3 열	164.3	178.6	178.1	173.7	93.64
		J형	1 열	129.0	127.6	131.5	129.4	69.75
			2 열	133.1	144.8	115.4	131.1	70.70
			3 열	150.6	143.6	127.6	140.6	75.81
		평면형	1 열	109.2	112.4	122.2	114.6	61.80
			2 열	179.6	178.5	166.8	174.9	94.32
			3 열	141.8	134.5	137.4	137.9	74.36
직 포 2	Polypropylene	나비형	1 열	108.3	91.0	66.9	88.7	48.07
			2 열	108.2	128.4	174.7	137.1	74.30
			3 열	173.9	160.5	167.9	167.4	90.72
※ 여기서, 봉합 수(열)는 6선 봉합을 의미하고, 봉합 수(열)의 간격은 5cm임								



(a) 6선 1열 봉합

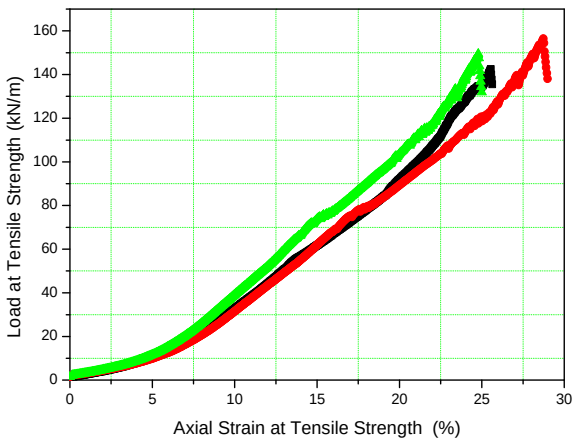


(b) 6선 2열 봉합

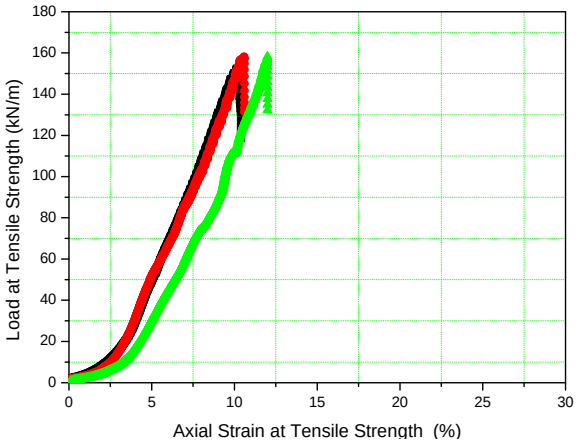


(c) 6선 3열 봉합

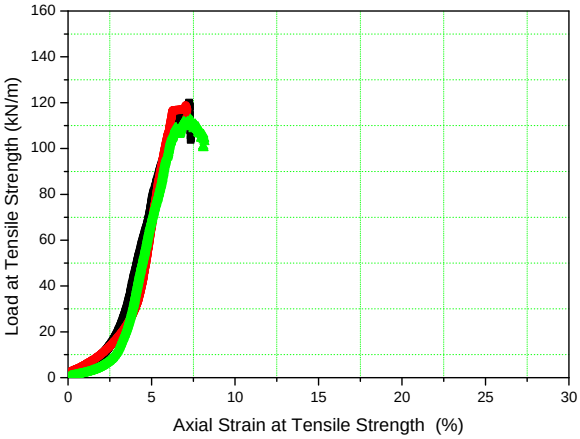
그림 2.2.17 직포(Polyester) 나비형 봉합강도



(a) 6선 1열 봉합

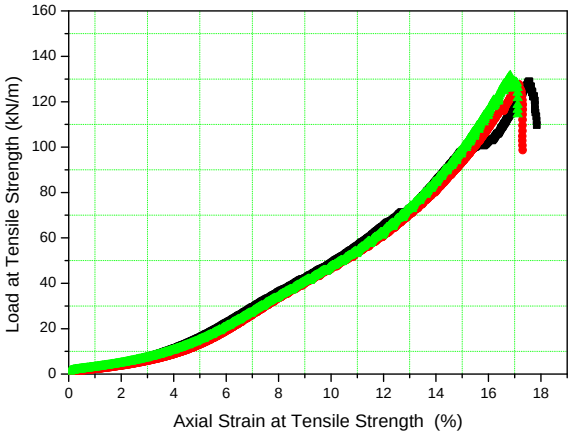


(b) 6선 2열 봉합

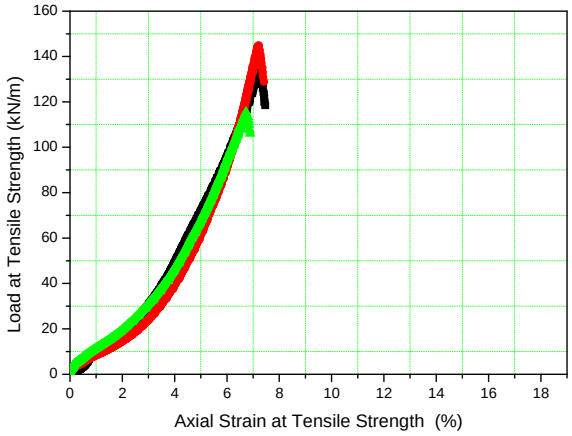


(c) 6선 3열 봉합

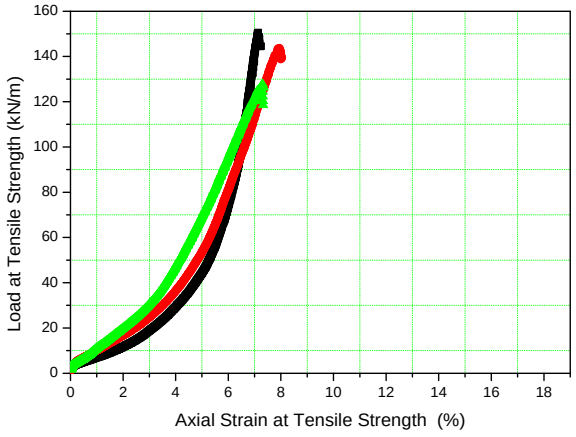
그림 2.2.18 직포(Polyester) J형 봉합강도



(a) 6선 1열 봉합

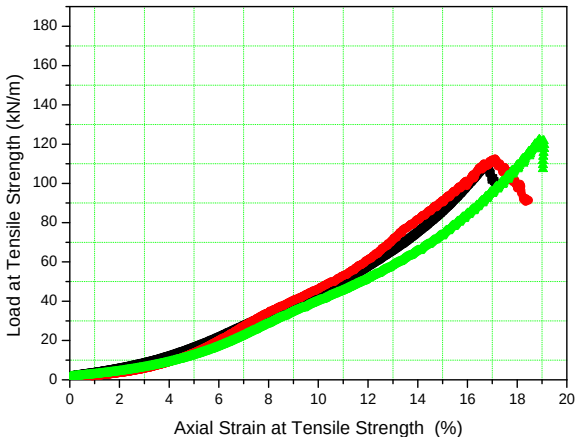


(b) 6선 2열 봉합

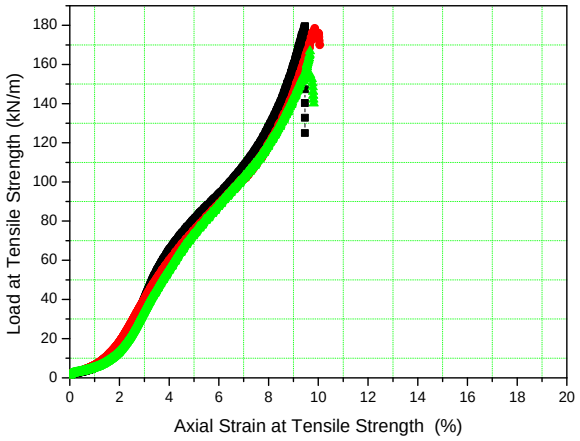


(c) 6선 3열 봉합

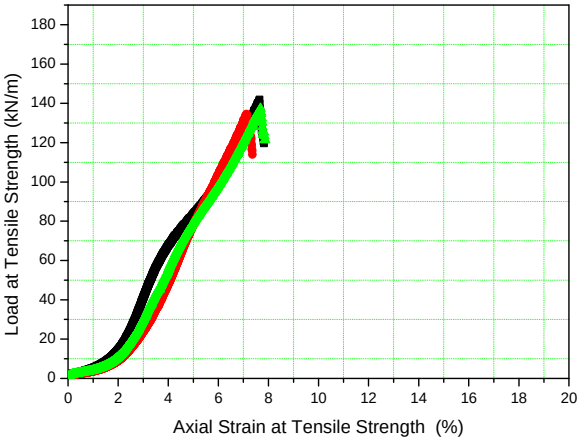
그림 2.2.19 복합포 J형 봉합강도



(a) 6선 1열 봉합

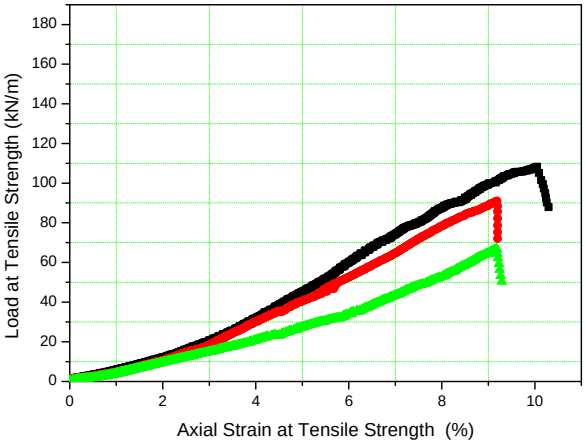


(b) 6선 2열 봉합

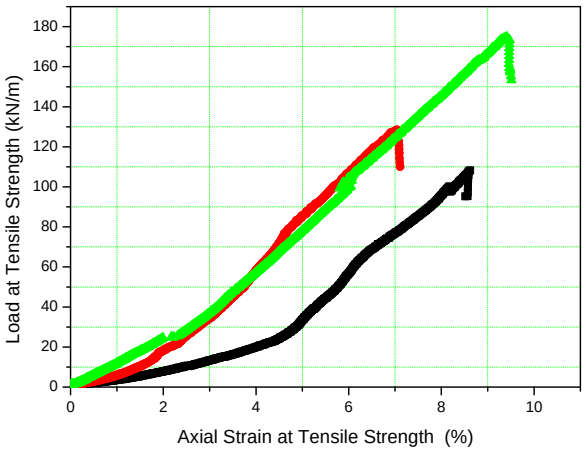


(c) 6선 3열 봉합

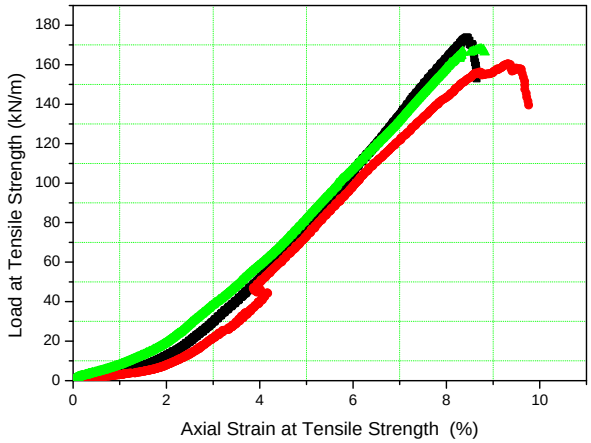
그림 2.2.20 복합포 평면형 봉합강도



(a) 6선 1열 봉합

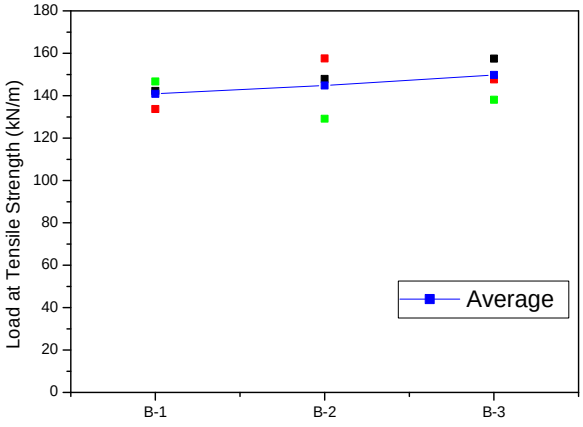


(b) 6선 2열 봉합

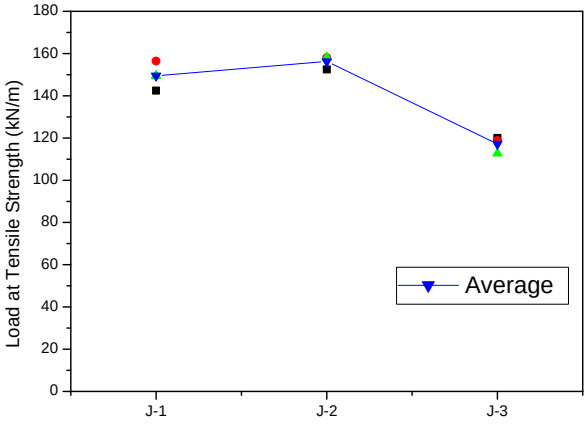


(c) 6선 3열 봉합

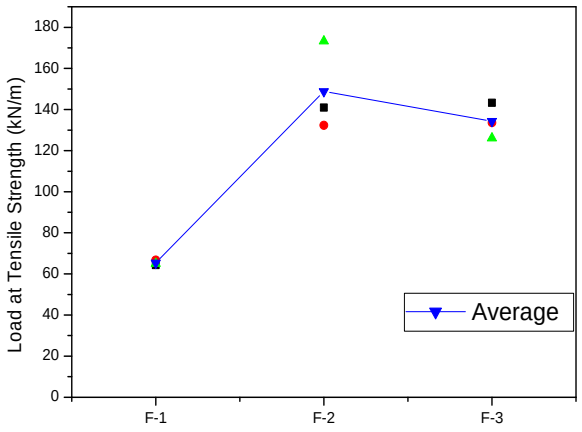
그림 2.2.21 직포(Polypreopylene) 나비형 봉합강도



(a) 나비 형

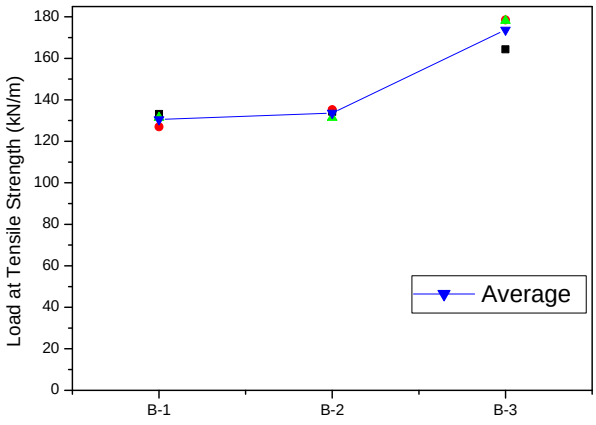


(b) J 형

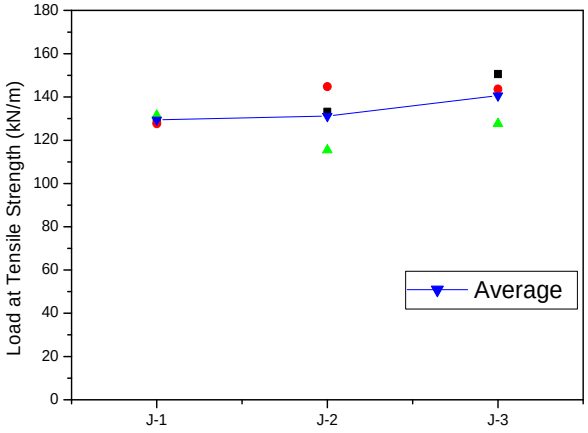


(c) 평면 형

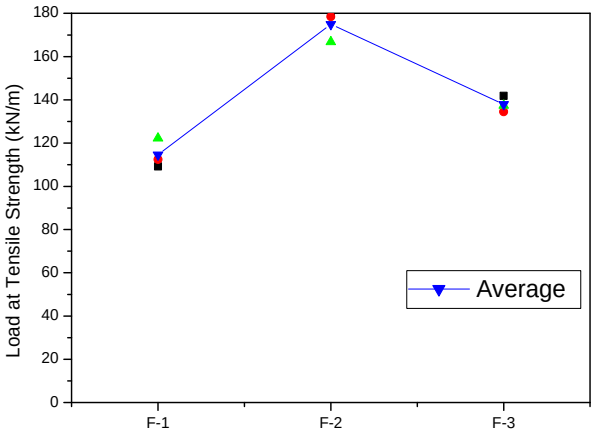
그림 2.2.22 직포(Polyester) 봉합 형태별 강도 비교



(a) 나비 형



(b) J 형



(c) 평면 형

그림 2.2.23 Composite 봉합 형태별 강도 비교

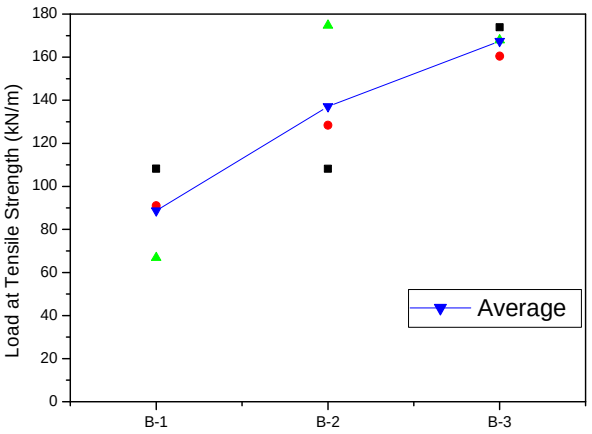


그림 2.2.24 직포(Polypropylene) 나비형 봉합 강도 비교

재질이 폴리에스터인 직포(1)의 봉합효율은 6선 봉합의 수(열)에 따라 나비형 80.02~83.26%, J형은 84.88~66.54%, 평면형은 37.12~76.29%로 나타났다. 나비형의 봉합형태가 J형이나 평면형 봉합보다 효율이 큰 것으로 나타났으며, 나비형의 경우에는 6선 봉합의 수에 비례하여 봉합효율이 증가하는 것으로 나타났다. J형과 평면형 봉합의 경우에는 6선 봉합이 1열에서 2열로 증가할 때 봉합효율이 증가하고 3열로 증가하면 감소하는 것으로 나타났다. 6선 봉합이 2열인 경우 평면형 봉합효율이 나비형보다 크게 나타났다.

부직포와 직포가 합성된 복합포의 봉합효율은 6선 봉합의 수에 따라 나비형 70.36~93.64%, J형 69.75~75.81%, 평면형 61.80~74.36%로 나타났다. 나비형과 J형은 6선 봉합수의 수에 비례하여 봉합효율이 증가하고, 평면형의 경우는 6선의 봉합 수가 2열일 때까지는 증가하나 3열인 경우는 감소하는 것으로 나타났다. 6선 봉합의 수가 2열인 평면형 봉합에서 봉합효율이 가장 크게 나타났다.

재질이 폴리프로필렌인 직포(2)의 경우에는 나비형 봉합에 대해서만 봉합강도시험을 수행하였다. 봉합효율은 6선 봉합의 수에 따라 48.07～90.72%이고, 봉합의 수에 비례하여 봉합효율이 증가하는 것으로 나타났다.

나비형의 봉합은 토목섬유의 종류에 관계없이 6선 봉합의 수의 증가에 비례하여 봉합효율이 증가하였다. J형의 봉합은 재질이 폴리에스터인 직포(1)의 경우에는 6선 봉합의 수가 1열에서 2열로 증가할 경우에는 효율은 증가하나 3열인 경우는 감소하고, 복합포의 경우에는 6선 봉합의 수에 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 평면형의 봉합은 직포와 복합포 모두 6선 봉합의 수가 1열에서 2열로 증가할 때 봉합효율은 크게 증가하고, 3열인 경우는 2열일 때보다 작게 나타났다. 나비형, J형, 그리고 평면형 봉합형태 중 쉽고 일반적인 것이 평면형이고, 6선 봉합의 수가 2열인 경우 평면형의 봉합효율은 직포와 복합포 모두 나비형보다 큰 것으로 나타나고 있다.

위의 결과에 따라 봉합강도의 효율을 고려할 경우, 토목섬유 튜브 구조체는 평면형 6선의 봉합수 2열을 적용한 것이 합리적인 것으로 판단된다. 봉합강도시험 결과를 근거로 본 연구에서는 평면형 6선의 봉합 수 2열을 적용하는 튜브 구조체를 개발하고 이를 적용하여 현장테스트 베드 시험을 수행하였다.

(2) 각 토목섬유의 유효입경 및 투수계수 특성

토목섬유의 수리적 특성을 파악하기 위해 시험을 FITI시험연구원에 의뢰하였으며, 시험 결과는 다음과 같다.

[표. 2.2.13] 토목섬유의 유효구멍크기

유효구멍크기 (KS K ISO 12956 : 2011) : μm			
노출시료면적	PET (폴리에스테르)	PP (폴리프로필렌)	COMPOSITE (복합포)
$177 cm^2$	309	381	132
유효구멍크기 (ASTM D 4751 : 2012) : μm			
노출시료면적	PET (폴리에스테르)	PP (폴리프로필렌)	COMPOSITE (복합포)
$177 cm^2$	315	472	145

- 토목섬유 종류 : PET(폴리에스테르)
- 시험방법 : ASTM D 4751 : 2012

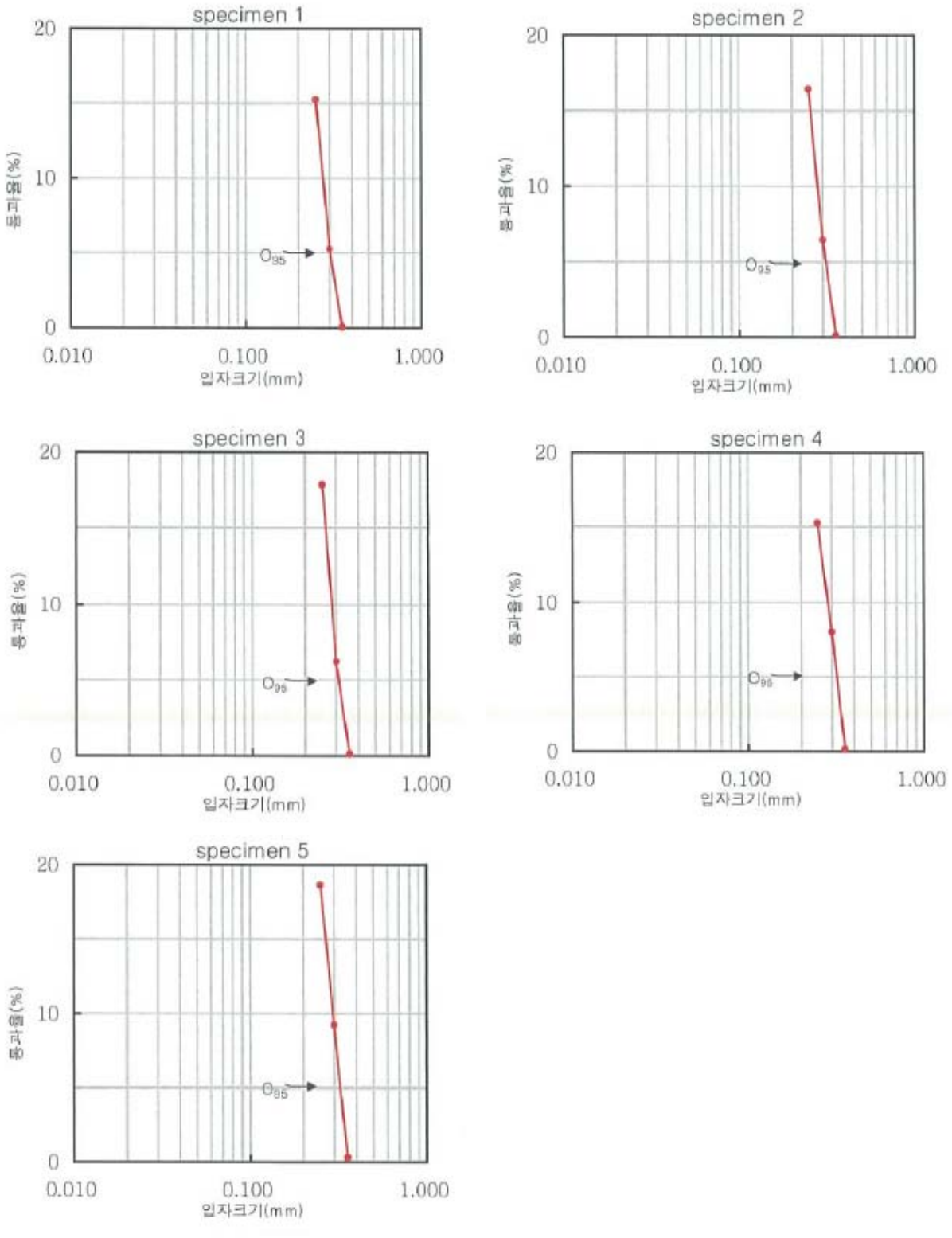


그림 2.2.25 시험편을 통과한 과립형 PET(폴리에스테르)의 입도 분포 곡선

- 토목섬유 종류 : PP(폴리프로필렌)
- 시험방법 : ASTM D 4751 : 2012

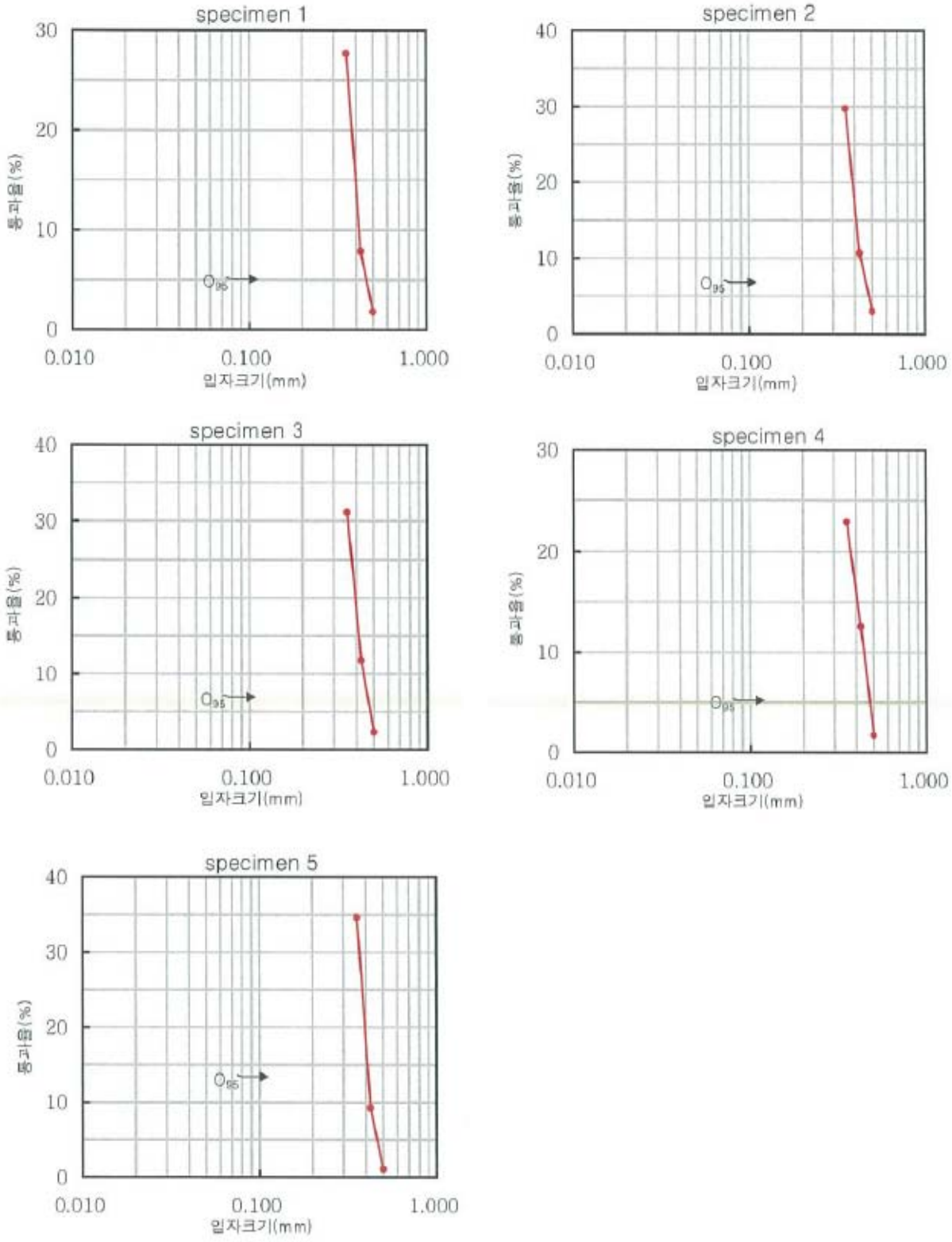


그림 2.2.26 시험편을 통과한 과립형 PP(폴리프로필렌)의 입도 분포 곡선

- 토목섬유 종류 : Composite(복합포)
- 시험방법 : ASTM D 4751 : 2012

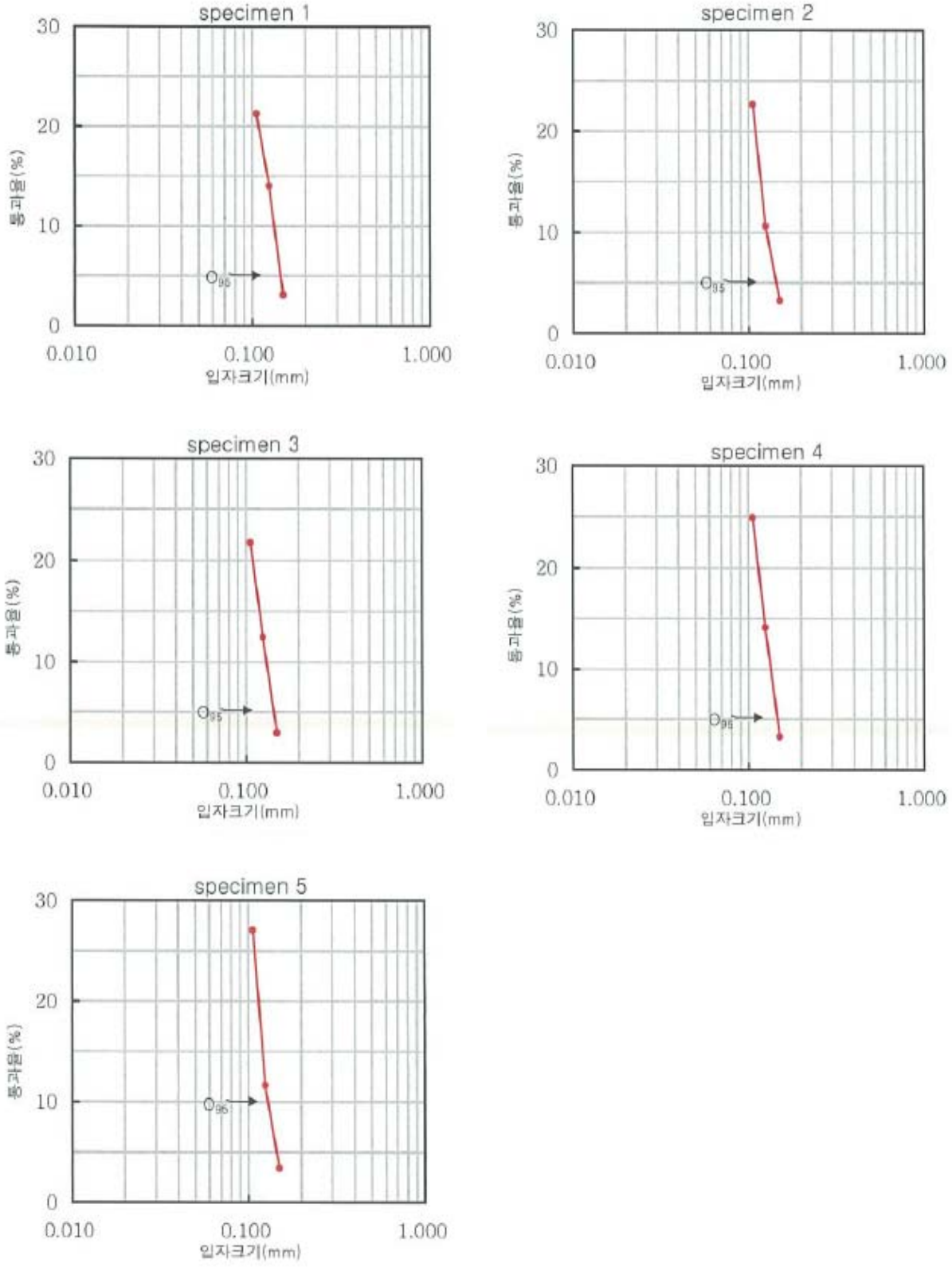


그림 2.2.27 시험편을 통과한 과립형 Composite(복합포)의 입도 분포 곡선

[표. 2.2.14] 토목섬유의 수직투수계수

수직투수계수(KS K ISO 115058 : 2011, 정수두법) : cm/s			
수두높이(mm)	PET(폴리에스테르)	PP(폴리프로필렌)	COMPOSITE(복합포)
50	8.1×10^{-3}	1.1×10^{-1}	5.4×10^{-2}
수직투수계수(ASTM D 4491 : 1999, 정수두법) : cm/s			
수두높이(mm)	PET(폴리에스테르)	PP(폴리프로필렌)	COMPOSITE(복합포)
50	8.5×10^{-3}	1.1×10^{-1}	5.8×10^{-2}

[표. 2.2.15] 토목섬유의 수평투수계수

수평투수계수(KS K ISO 12958 : 2011) : m^2/s			
가압압력 : 조건1 - 20kPa, 조건2 - 100kPa, 조건3 - 200kPa			
구 분	PET(폴리에스테르)	PP(폴리프로필렌)	COMPOSITE(복합포)
조건1 - MD	4.6×10^{-5}	7.5×10^{-5}	6.3×10^{-5}
조건1 - CD	3.4×10^{-5}	6.0×10^{-5}	5.0×10^{-5}
조건2 - MD	2.9×10^{-5}	3.3×10^{-5}	2.7×10^{-5}
조건2 - CD	1.9×10^{-5}	2.8×10^{-5}	2.0×10^{-5}
조건3 - MD	2.2×10^{-5}	0.6×10^{-5}	2.1×10^{-5}
조건3 - CD	1.6×10^{-5}	0.6×10^{-5}	1.6×10^{-5}
수평투수계수(ASTM D 4716 : 2008) : m^2/s			
가압압력 : 조건1 - 20kPa, 조건2 - 100kPa, 조건3 - 200kPa			
구 분	PET(폴리에스테르)	PP(폴리프로필렌)	COMPOSITE(복합포)
조건1 - MD	4.5×10^{-5}	7.5×10^{-5}	6.2×10^{-5}
조건1 - CD	3.3×10^{-5}	6.0×10^{-5}	4.8×10^{-5}
조건2 - MD	2.8×10^{-5}	3.3×10^{-5}	2.5×10^{-5}
조건2 - CD	1.8×10^{-5}	2.8×10^{-5}	1.9×10^{-5}
조건3 - MD	2.1×10^{-5}	0.7×10^{-5}	2.0×10^{-5}
조건3 - CD	1.4×10^{-5}	0.5×10^{-5}	1.5×10^{-5}

토목섬유는 동일한 구멍크기와 분포를 가지지 않고 무질서한 형태이다. 적정시험을 통해 구멍크기를 측정하는데, 이를 유효구멍크기라고 한다. 토목섬유 튜브는 필터, 분리, 배수기능을 원활하게 하기 위해서는 물의 흐름이 양호해야 하고, 세립토가 손실되지 않아야 한다. 간극수압발생 또는 세굴이 방지되기 위해서는 서로 상반된 규격을 요구하므로 유효구멍크기에 있어 적정한 선정이 중요하다. 즉, 유효구멍크기는 물 흐름과 입자유실방지의 상반된 조건이 필요하므로 해당지반에 맞는 규격의 사용이 중요하고 시험을 통한 규격이 결정되어야 한다.

시험 결과에 따르면, 복합포의 경우 유효구멍크기는 PET나 PP에 비해 가장 작은 값을 나타내어 세립분의 유실을 막을 수 있는 반면, 양호한 투수계수를 가지고 있어 필터 및 배수 기능에 있어 우수한 성능을 가지고 있었다.

본 연구개발은 세립분의 유실을 최소화하고자 유효구멍크기가 작은 복합포를 이용하여 TENCATE(사)와 동등 이상의 품질확보가 가능한 국내생산 가능한 토목섬유 튜브 구조체를 개발하는 데 목적도 있다. 이를 위해 본 개발에서는 첫째, 인장강도 및 인장변형에 유리하도록 단위튜브부가 결합되는 튜브 구조체를 구성하였고 둘째, 인장강도 및 인장변형에 최적화를 이룰 수 있는 결합 형태를 가지도록 튜브의 형태를 고려하였다. 셋째, 복합포와 같이 비배수 시의 구조적 안정성을 보다 강화시킬 수 있도록 인장력도 보조적으로 발휘되도록 하였다.

본 연구개발에 의해 제작되는 튜브 구조체는 길이방향인 종방향을 따라서 복수 개의 단위튜브부가 각각 인접된 단위튜브부와 중첩된 부위가 봉제사에 의하여 결합되도록 하였다. 단위튜브부는 종횡으로 탄소섬유가 직조되어 구성되고, 종방향으로 배치된 탄소섬유가 횡방향으로 배치되는 탄소섬유의 인장강도를 보다 더 크게 하도록 하였다.

또한, 봉제사 결합부는 두 개 이상이 구비되어, 한 측 봉제사 결합부와 타 측 봉제사 결합부 사이로 상기 단위튜브부가 서로 대면된 상태를 이루도록 하여 마찰 여유부를 가지며 형성되도록 하였다. 본 연구에 따른 튜브 구조체를 이루는 몸체부는 복수 개의 단위튜브부가 결합되어 이루어지도록 하여 몸체부 구성을 위한 단위튜브부는 세 개에 한정되지 아니하고, 두 개의 단위튜브부나 네 개 이상의 단위튜브부로 구성될 수도 있도록 하였다.

보다 튜브 구조체의 봉합부의 인장력을 발휘하도록 튜브 구조체의 길이방향인 종방향이 횡방향보다 더 길게 이루어지도록 하고, 두 개의 인접하는 단위튜브부가 서로 각각의 종방향 가장자리 일부 구간이 중첩되어 결합되도록 하였다. 단위 튜브부 제작 시의 비용을 절감함과 동시에 준설토 등의 주입 시 상대적으로 약한 횡방향의 내구성도 보강되도록 하였다. 이는 종·횡방향에 배치되는 탄소섬유 자체의 강도 조절을 통하여 구성될 수 있어 복합포와 같이 비배수 기능을 갖는 튜브 구조체의 봉합부위의 인장력을 보다 크게 향상 시킬 수 있다.

현장에서 투수성이 작은 세립토의 경우 주입량을 배가시켜 시공의 경제성을 확보할 필요가 있다. 이 경우 토목섬유 튜브 구조체는 배수가 지연되고 상대적으로 주입토량은 증가되는 경우 허용 인장력 이상의 인장력이 발생하는 경우가 있다. 횡방향까지 인장력이 보강되는 띠봉합에 의해 토목섬유 튜브 구조체가 안정적으로 제작기술을 개발함으로서, 원천적으로 국외 특허를 대체한 국내 개발 토목섬유 튜브 제작 생산이 가능하도록 하였다.

제3절 실내모형시험 및 결과 분석

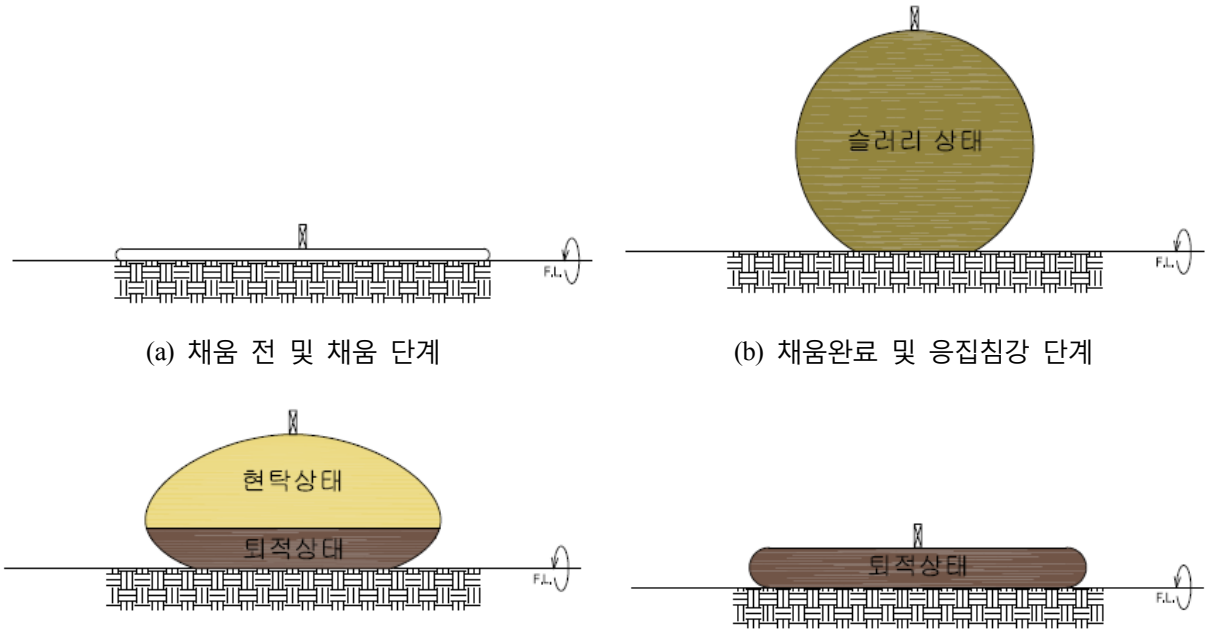
1. 튜브 구조체 충진재료의 확산·분리퇴적 원리와 시험

(1) 튜브 구조체 조성원리와 시험목적

현재까지 국내에서 수행된 토목섬유 튜브 공법에 대한 연구는 준설토 충진 시 펌핑 압력, 튜브 재질 및 채움재 종류와 같은 요인에 따른 튜브의 형태변화 측정에 집중되는 경향이 있다. 하지만 준설토 투입 후 튜브 내부 채움재의 침강 및 자중압밀 동안 튜브 내부에서 발생하는 채움재의 퇴적 거동이 튜브 외형 변화 및 거동에 미치는 영향에 대한 연구는 미미한 상황이다.

이와 같은 연구 배경 하에 본 연구에서는 [그림 2.3.1]과 같이 토목섬유 튜브 구조체 조성원리를 육안으로 파악하고자 비닐소재를 사용하여 모형튜브를 제작하였다. 이러한 모형튜브의 제작은 기존의 국내·외 준설토 퇴적성상에 관한 연구를 응용하여 대형 시험토조에 배치한 모형비닐튜브 내 준설토의 침강 및 자중압밀 단계에서 채움재의 3차원적인 튜브 내부 거동을 육안으로 측정함으로써 튜브의 수평퇴적과정 및 특성을 고려한 튜브의 최적 형상화 설계를 위한 기초적 선행연구로서의 목적이 있다.

본 연구팀은 지금까지의 국내 토목섬유 튜브에 대한 연구가 현장시험 또는 시공사례 중심으로 진행되어 토목섬유 튜브 조성원리와 형상화 그리고 현장 시공성과 설계기술이 정리되지 않고 있는 점에 주목하였다. 이에 따라 그간 국내에서 아직 구비되지 않은 실대형 토목섬유 튜브 모형시험 장치를 구축하여 토목섬유 튜브의 형상화를 모형비닐튜브의 시뮬레이션에 의해 토목섬유 튜브의 거동특성 및 영향인자를 정량 및 정성적으로 파악하였다.



(a) 채움 전 및 채움 단계 (b) 채움완료 및 응집침강 단계

(c) 구간침강 및 자중압밀 단계 (d) 배수완료 및 재채움 단계

그림 2.3.1 준설토 확산 퇴적시험 원리

(2) 준설 토목섬유 튜브 모형장치 제작

실대형 시험토조는 준설토 시료준비부터 준설 및 매립까지 모든 공정을 포함한 실험이 가능하도록 제작하였다. [그림 2.3.2]과 [그림 2.3.3]은 현장규모의 시험이 가능하도록 제작된 실대형 시험토조의 모식도와 전경사진을 나타내고 있다. [그림 2.3.2]과 [그림 2.3.3]에 나타낸 바와 같이, 실대형 시험토조는 크게 ①토목섬유 튜브 거동 시험수조, ②준설토 배합토조, ③고압이송펌프, ④토사공급토조, ⑤타워, ⑥물탱크, ⑦토목섬유 튜브, ⑧콘관입시험 장치로 구성되고, 세부 사진은 [그림 2.3.4]과 같다.

준설토는 준설토 배합토조에서 준비되고, 고압이송펌프를 통해 타워에 위치한 토사공급토조로 이송되어 토목섬유 튜브 거동 시험수조로 자연 준설되거나, 토사공급토조를 거치지 않고 고압으로 토목섬유 튜브 거동 시험수조로 직접 펌핑 준설이 가능하도록 제작하였다. 또한, 토목섬유 튜브 거동 시험수조에서 월류되는 준설토 또는 물은 물탱크로 유입되는 양을 체크하도록 하였다.

[그림 2.3.5]은 실대형 시험토조의 제작 과정이며, [그림 2.3.6]은 준설토 배합토조에서 준설토 이송을 위한 고압이송펌프와 토사공급토조 배관상태를 표현한 것이다. 펌프에 의해 이송된 준설토는 토사공급토조 상부 배관을 통해 토사공급토조로 공급된 후 하부 배관을 통해 자연 낙하하여 토목섬유 튜브로 준설되거나, 상부배관을 잠그고 하부배관을 통해 고압으로 직접 토목섬유 튜브로 펌프준설이 가능하도록 하였다. 즉, [그림 2.3.7]에서처럼 준설토 배합토조에서 이송되는 이송관과 토사공급토조 토출부를 하나의 라인으로 만들고, 상하부 배관 밸브를 이용하여 펌프를 통과한 준설토가 토사공급 토조로 이송되어 토목섬유 튜브로 중력에 의해 자연 준설되거나 펌프 가압에 의해 토목섬유 튜브로 직접 준설이 가능하도록 하였다. 또한, 타워에는 원활한 이동과 안전을 위해 계단과 펜스를 제작 설치하였다.

상기에 기술한 바와 같이, 본 연구에서 제작한 실대형 시험토조는 토목섬유 튜브 준설·퇴적 모형 시험이 가능하다. 향후 이러한 토조를 활용한 다양한 시험 및 수치해석 연구를 통해 준설에 따른 토목섬유 튜브와 준설통의 거동 특성을 규명할 수 있을 것이다.

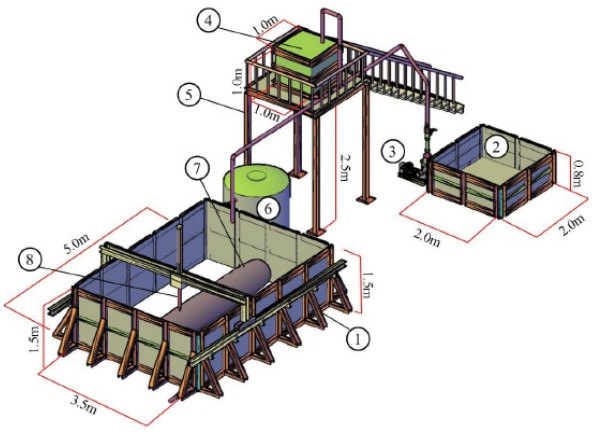


그림 2.3.2 실대형 시험토조 전체 모식도



그림 2.3.3 실대형 시험토조 전경 사진



(a) 토목섬유 튜브 거동 시험수조



(b) 준설토 배합토조



(c) 고압이송펌프



(d) 토사공급토조



(e) 타워



(f) 물탱크



(g) 토목섬유 튜브



(h) 콘관입시험 장치

그림 2.3.4 실대형 시험토조 세부 사진



(a) 벽체 거치 및 조립



(b) 벽체 측면 찬넬보강



(c) 벽체 조립 완성



(d) 수조바닥 수평작업



(e) 수조바닥 마감작업



(f) 수조바닥 완성

그림 2.3.5 토목섬유 튜브 거동 시험 수조 조립과정



(a) 고압이송펌프 및 주위 배관



(b) 토사공급토조 하부 배관



(c) 토사공급토조 상부 배관

그림 2.3.6 고압이송펌프 및 토사공급토조의 배관 사진



(a) 준설토 배합



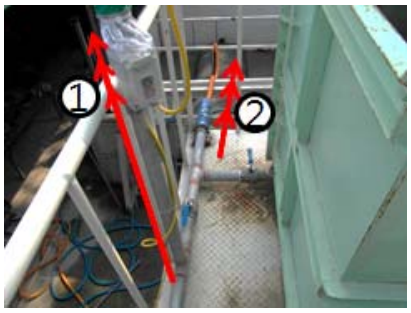






(c) 고압 이송펌프

(b) 준설토 이송



(d) 충진방식 변환 밸브







(e) 중력식

(f) 압력식

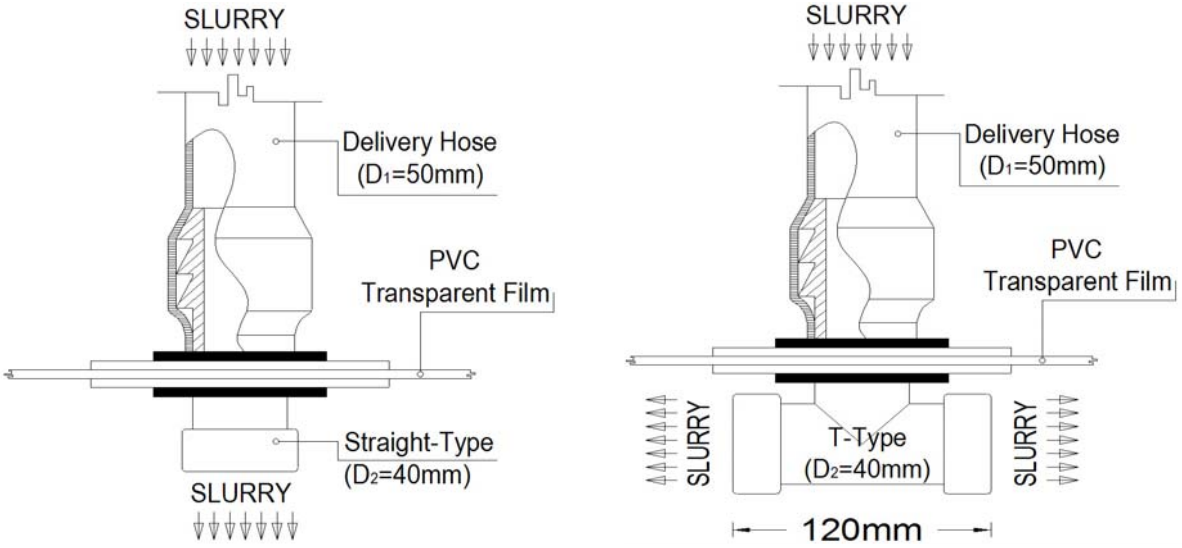
그림 2.3.7 토목섬유 튜브 충진방법

(3) 준설 비닐모형튜브 제작

준설토가 튜브 내부에서 수평 퇴적되는 과정 및 특성을 파악하기 위해 [그림 2.3.9]과 같이 기존의 토목섬유 재질의 재료 대신 투명의 비닐소재(두께 t=0.8mm, PVC=Poly-Vinyl Chloride)를 이용하여 비닐모형튜브를 제작하였다. 이 과정을 통해 비닐재료 특성상 튜브의 봉합은 고주파 열처리 공정을 통해 강도를 확보하였다.

비닐모형튜브의 크기는 [그림. 2.3.10]의 비닐모형튜브 모식도에 나타낸 것처럼 각각 직경(D) 0.5m, 0.7m, 길이(L) 4.0m로 제작하였다. 비닐모형튜브 내의 각 지점에서 퇴적형상을 관찰하기 위해 Case-1 (D=0.5m)은 0.5m 간격으로 7개의 눈금자를 비닐모형튜브 표면에 부착하였고, Case-2 (D=0.7m)는 비닐모형튜브가 설치될 토조 바닥에 0.75m 간격으로 5개의 측정 지점을 배치하였다. 또한, 실험과정 중 준설토의 채움과 퇴적 후 상등액 배수를 위해 주입구와 배출구를 각각 2.0m와 1.5m 간격으로 배치하였다. 실험 중 시료의 채움 및 모형튜브 형상화를 용이하게 하도록 [그림. 2.3.8]과 같이 각각 다른 유형의 채움 형상을 적용하였다.

Case-1(D=0.5m)은 수직방향-I형 주입모듈, Case-2(D=0.7m)는 수평방향-T형 주입모듈을 각각 적용하였다. 수직방향-I형 주입모듈은 토목섬유 튜브 시공현장에서 튜브 내 준설토 충진 시 일반적으로 사용되는 방법이며, 수평방향-T형 주입모듈은 튜브 내에 준설토를 수직 충진 시 형성되는 분화구(Crater) 및 수리학적 유동(Hydraulic jumping)에 의한 준설토의 확산퇴적 지연을 방지하고자 본 연구에서 자체 개발된 방법이다.



(a) Case-1 (수직방향-I형 주입모듈)　　(b) Case-2 (수평방향-T형 주입모듈)

그림 2.3.8 모형튜브 채움 형상 모식도



(a) 튜브 재단



(b) 주입구 및 배출구 제작

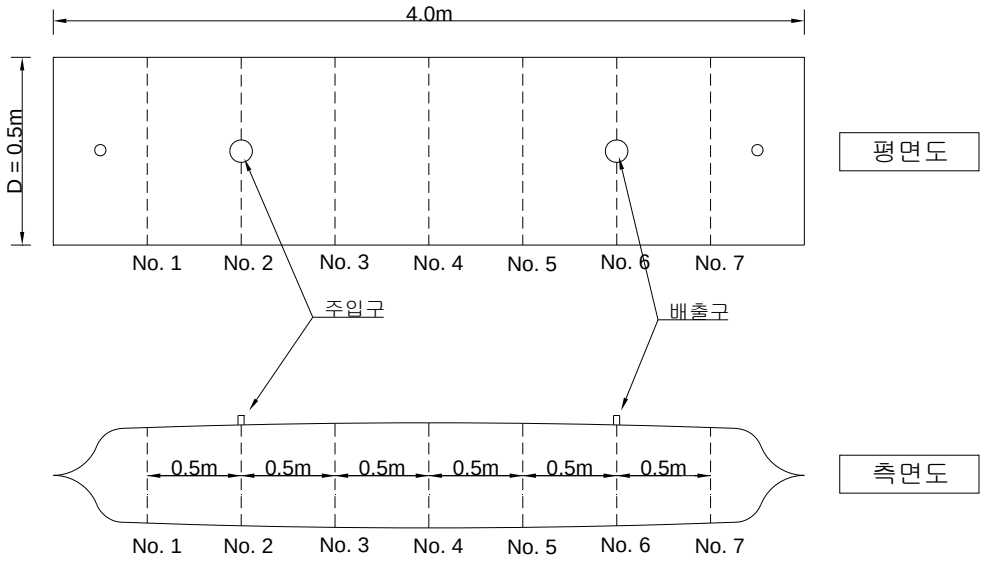


(c) 튜브 봉합

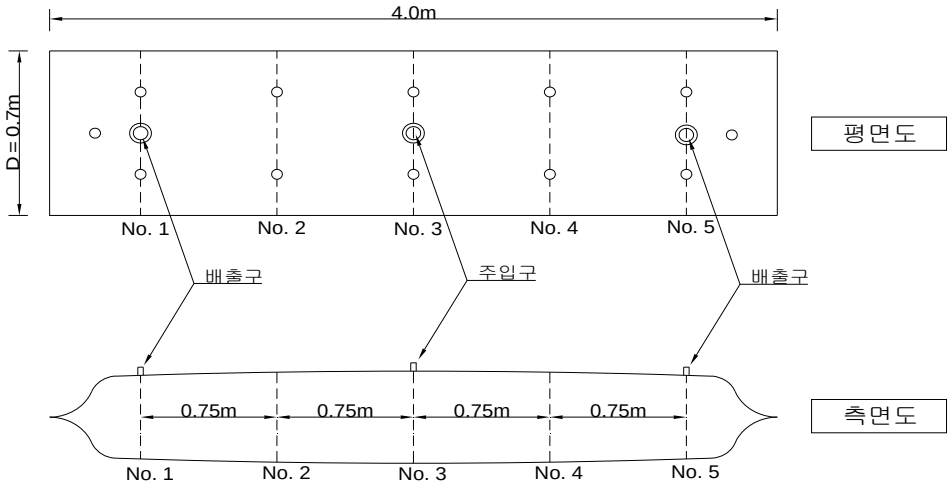


(d) 튜브 제작 완료

그림 2.3.9 비닐모형튜브 제작과정



(a) Case-1 (D=0.5m)



(b) Case-2 (D=0.7m)

그림 2.3.10 비닐모형튜브 모식도

(4) 시험방법

준설토 2차원 확산 퇴적실험을 수행하기 위해 [그림 2.3.11]의 모식도와 같이 비닐모형튜브를 실험수조 내부에 배치하고 준설토 배합토조에서 일반 현장 준설토의 함수비 범위인 300～1000% 조건으로 배합한 슬러리 상태의 시료를 준비하였다. 준설토의 기본적인 물리적 성질은 [표. 2.3.1]과 같으며, 배합된 슬러리 상태의 시료는 고압이송펌프를 통해 2.5m 높이의 타워에 위치한 토사공급토조로 이송되고, 비닐모형튜브에 연결된 호스를 통해 자연 유하식으로 투하되었다.

실험의 원리는 채움, 침강 및 자중압밀 후에 시료 상부의 상등액을 배수과정에서 제거하고 슬러리 상태의 시료를 재주입하는 과정을 반복한다. 실험 절차는 [그림 2.3.12]과 같이 투하된 준설토가 비닐모형튜브 내에서 퇴적되는 형상을 관찰하기 위해 침강 및 자중압밀 단계에서 비닐모형튜브 각 지점에 퇴적된 토립자의 실질 토량고를 측정하였고, 모형튜브 각 지점에 퇴적된 준설토의 퇴적특성에 미치는 영향인자를 파악하였다.

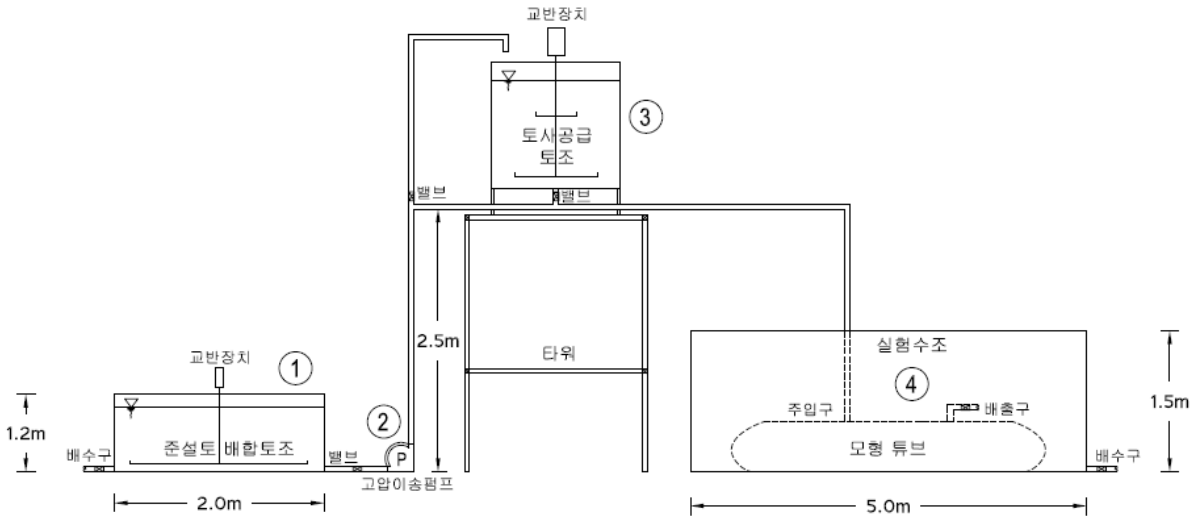
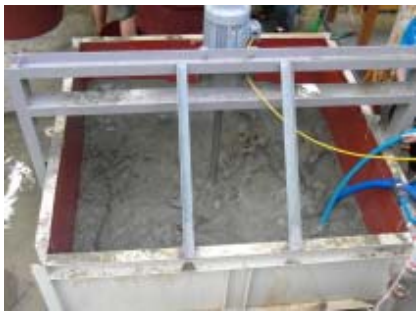


그림 2.3.11 준설토 확산 퇴적실험 장치 모식도

[표. 2.3.1] 준설토의 물리적 특성

구 분	값
자연함수비(W_n, %)	28.65
비중(G_s)	2.570
액성한계(LL, %)	N.P
소성지수(PI, %)	N.P
#200체통과율(%)	16.9
통일분류(USCS)	SM



(a) 준설토 배합



(b) 준설토 이송



(c) 채움



(d) 침강 및 자중압밀



(e) 실질토량고 측정



(f) 배수



(g) 시료채취



(h) 베인전단시험

그림 2.3.12 준설토 확산 퇴적실험 절차

(5) 시험결과 및 분석

- 채움단계에 따른 비닐모형튜브 내 지점별 퇴적형상

채움단계에 따른 비닐모형튜브 내 각 지점별 퇴적형상을 관찰하기 위해 직경 0.5m와 0.7m 2가지 종류의 비닐모형튜브를 준설토 확산 퇴적실험을 수행하였다. 실험 중 시료의 채움 및 모형튜브 형상화를 용이하게 하도록 Case-1 (D=0.5m)은 수직방향 I-type 주입모듈, Case-2 (D=0.7m)는 수평방향 역 T-type 주입모듈을 각각 적용하여 퇴적형상 결과를 비교하였다. 시험 결과는 [그림 2.3.13, 2.3.14]와 같다.

[표. 2.3.2] 각 주입단계의 투명 비닐모형튜브 원주스케일(I-type)

지점		1	2(주입)	3	4	5	6	7
각 지점의 수평거리(cm)		50	100	150	200	250	300	350
원주스케일(cm)	1단계	38.1	35.2	33.6	32.4	31.1	31.7	31.3
	2단계	39.4	35.7	35.9	33.2	31.5	31.4	31.9
	3단계	40.8	38.4	35.9	34.0	32.45	31.4	31.8
	4단계	47.3	40.9	42.8	37.0	32.7	32.2	33.4
	5단계	50.6	46.4	46.1	37.5	33.7	33.1	33.0
	6단계	51.8	48.6	47.1	37.2	34.9	32.8	32.4
	7단계	55.5	52.0	50.7	47.7	47.4	47.8	49.5
	8단계	56.8	54.3	59.8	57.3	54.8	52.9	54.8
	9단계	60.7	49.1	58.5	62.5	58.9	53.3	56.3

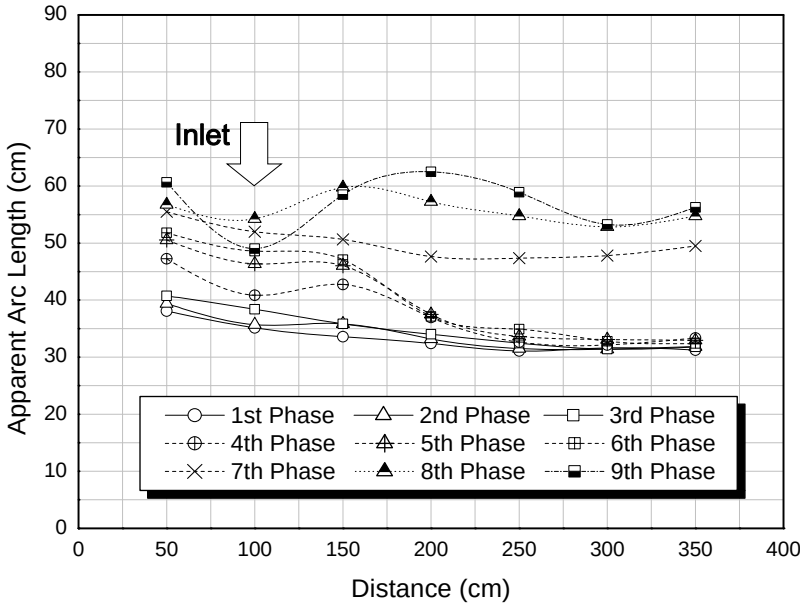


그림 2.3.13 각 주입단계의 투명 비닐모형튜브 원주스케일(I-type)

[표. 2.3.3] 각 주입단계의 투명 비닐모형튜브 수직높이(역 T-type)

지점		1	2	3(주입)	4	5
각 지점의 수평거리(cm)		50	125	200	275	350
실질토량고(cm)	1단계	4.4	4.5	5.0	4.5	4.0
	2단계	5.3	7.5	7.4	7.9	6.0
	3단계	6.4	8.3	8.0	8.5	6.5
	4단계	19.5	19.5	20.0	19.6	18.0

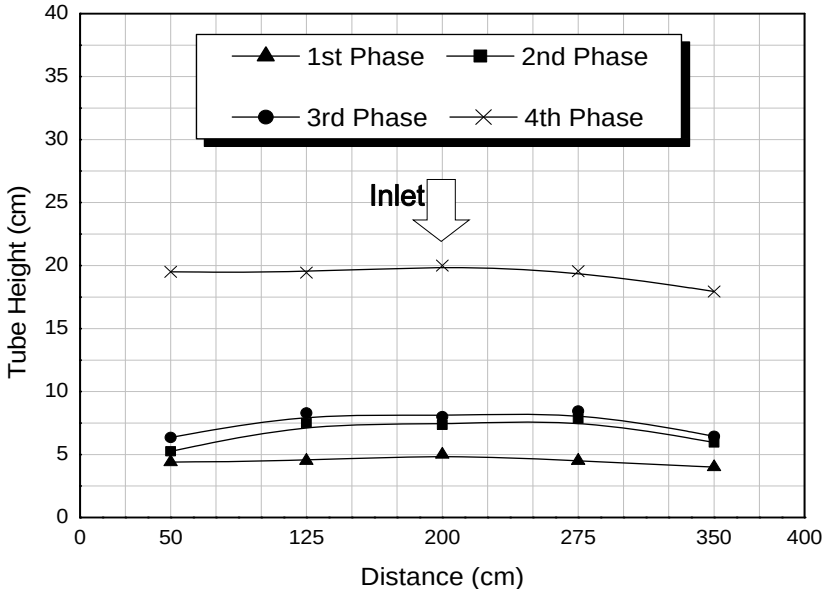


그림 2.3.14 각 주입단계의 투명 비닐모형튜브 수직높이(역 T-type)

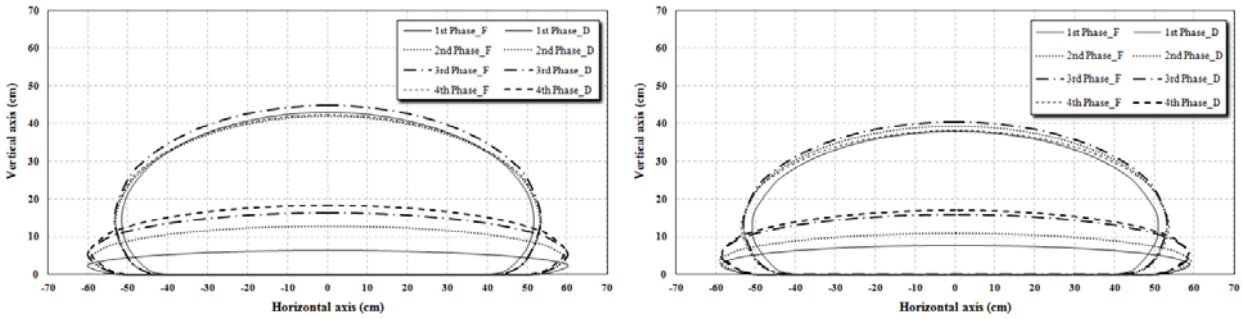


(a) I-type (b) 역 T-type

그림 2.3.15 각 주입 단계에서 비닐모형튜브 내 실질토량고의 퇴적 분포

역 T-type 주입 시 비닐모형튜브 주입구 부근 지점과 끝단 부분 지점에서 준설토의 퇴적 형태를 주입 직후의 초기 형상과 배수 후의 퇴적 상태로 나타냈다. 주입 직후 비닐모형튜브의 형태와 침강완료 후 비닐 모형튜브의 형태를 비교하면, 주입구 부근 지점은 2단계 주입부터 실질토량의 증가로 연직 퇴적 높이는 미소하게 증가하고, 수평 폭은 역으로 감소하고 있다. 비닐모형튜브 끝단

부분 지점은 확산퇴적 시 백워터 영향으로 부유물질이 주입구 부근 지점보다 다소 많이 퇴적되어 실질 토량고 증가가 작은 것으로 나타났다. 전반적으로 주입 단계가 진행됨에 따라 각 침강완료 시점에서 연직 높이는 점점 증가하고 동시에 수평 폭은 주입과 동시에 감소하면서 수평 폭의 선단은 퇴적과 함께 상향 이동되고 있다.



(a) 주입구 부근 (b) 비닐모형튜브 끝단

그림 2.3.16 주입 및 배수 단계에서의 비닐 모형튜브 거동형상

- 모형튜브 내 지점별 베인전단강도 분포

Case-2 (D=0.7m)의 경우에는 최종단계 채움 및 배수 후 모형튜브 각 지점에서 ELE사의 베인시험기를 튜브 상단에서 수직방향으로 관입 및 회전하여 퇴적층 상·하부에서 베인전단강도(C_u)를 측정하였다. 측정결과는 [그림 2.3.17]과 같이 조립토가 분포하는 No.2～No.4 지점의 전단강도 분포는 0.83～4.24kN/m^{2}를 나타냈고, 세립토가 분포하는 튜브 끝단의 No.1과 No.5 지점은 0.31～1.14kN/m^{2}의 분포가 나타났다.

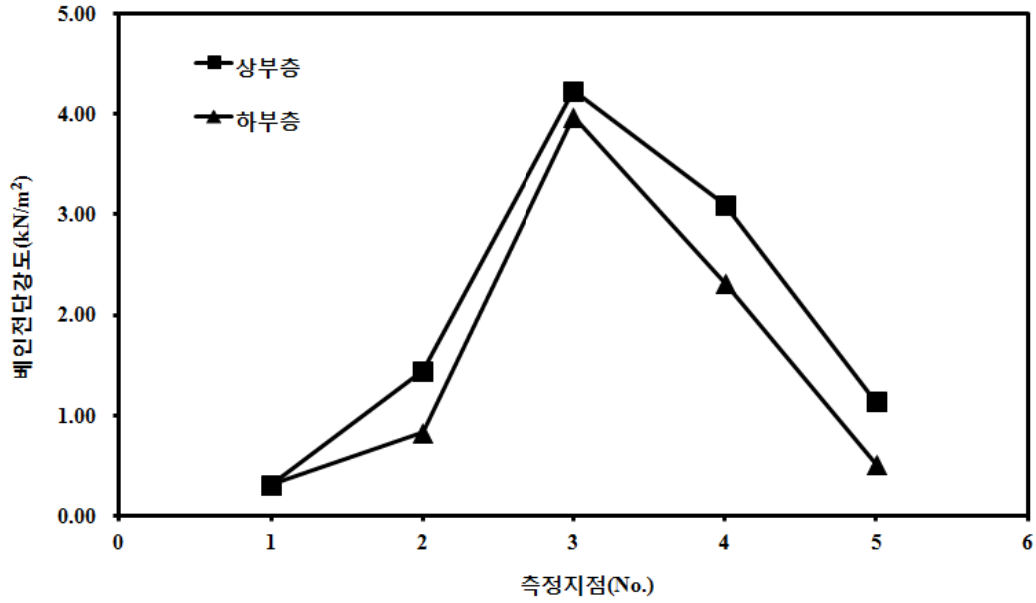


그림 2.3.17 모형튜브 내 지점별 베인전단강도 분포

- 주입형태에 따른 충진재료의 분리퇴적 및 확산분포 영향

주입형태에 따른 튜브 내 준설토의 퇴적분포를 관찰하기 위해 기존 I-type 주입모듈과 역 T-type 주입모듈을 투명 비닐모형튜브에 설치하여 준설토 주입 실험을 수행하였다. 준설토 주입 실험을 통해 I-type 주입모듈과 역 T-type 주입모듈에 의해 주입된 준설토가 투명 비닐모형튜브 내에서 퇴적에 의한 일련의 실험결과를 나타냈다.

I-type 주입모듈의 경우에는 주입 함수비 1000%로 조정하였고, 주입단계 1단계에서는 주입구로부터 종단거리 별로 완만한 경사로 퇴적층이 분포하고, 2단계 주입 시에 펌핑속도가 퇴적층에 침식을 발생시키면서 미소한 크레이터(Crater)가 형성되지만, 3단계 주입 시는 기 형성된 크레이터 사면이 안식각을 초월하자 함몰된다. 4단계 주입에서는 실질토량고를 증가시키기 위해서 주입 함수비를 500%로 저하시켜 주입하였고, 침투력도 증가되면서 동시에 크레이터의 크기도 증가되고 있다. 5단계 주입 시에는 기 형성된 크레이터의 사면이 입자의 점핑(Jumping)을 방해하는 사면구배가 한계값에 이르자 퇴적사면은 함몰되고 지속적인 주입에 의해 퇴적 높이가 상승되면서 반복적으로 침식에 의해 크레이터가 형성되며, 주입 함수비를 300%로 감소시켜 추가적으로 실질토량을 더욱 증가시켜 최종 9단계 주입에서는 침식에 의해 크레이터가 증가되고 동시에 사면구배도 증가되는 비등방하중상태의 튜브 구조체가 형성된다. 이에 따라 확산퇴적을 발생시킬 수 있는 주입구간 거리를 결정하는 데 큰 어려움이 있는 것으로 확인되었다.

이러한 문제점을 해결하고자 직경(D) 70cm의 비닐튜브를 제작하여 제안된 역 T-type 주입모듈을 사용하여 단계별 주입시험을 실시하였다. 1단계로부터 최종 4단계까지 주입을 진행하는 동안 비닐모형튜브에서 준설토가 튜브 종단 방향으로 퇴적되는 상태를 나타내고 있다. 기존 I-type 주입모듈을 사용할 경우 발생하는 크레이터는 발생되지 않고 있다. 초기 주입 시는 튜브 종단방향으로 준설토의 실질토량고가 균등하게 퇴적되지만 2, 3단계에서는 튜브 끝단(주입지점에서 2.0m거리)에서 준설토가 역류(Back Water)하여 세립부유물질이 다소 이격되어 내측에서 침강 퇴적되므로 실질 토량고가 다소 작게 나타내고 있지만, 튜브 구조체가 충진 되면서 그 영향은 감소하고 있다.

기존 I-type의 주입 시 함수비(ω)가 낮고(500% 이하) 투입량이 증가하는 경우 비닐모형튜브는 퇴적 및 침식속도는 크게 변화(0.03～0.28cm/min)하면서 크레이터(Crater)가 형성되며 지속적으로 주입되는 준설토를 분리퇴적 시키고 있다. 또한, 비교적 주입 함수비 큰 1,000%에서 퇴적속도는 0.05～0.28cm/min 으로 크레이터는 미소하게 형성되기 시작하며 전체적으로 퇴적층은 주입지점을 기준으로 하향 경사 분포를 나타냈다.

이에 따라 확산범위가 종단 방향으로 증가되고 있어 주입구의 이격거리를 크게 할 수 있고, 주입시간 단축 및 균등한 튜브 구조체의 형성이 가능하므로 매우 경제적이고 실용적이며 안정적인 공법으로 판단할 수 있다.

주입 방법에 따른 튜브 내 준설토의 퇴적분포를 관찰한 결과, 기존 I-type 주입의 경우에는 주입 분사압에 의해 크레이터(Crater)가 형성되고, 주입되는 토사는 수리학적으로 점핑되어 수평으로 부유 및 확산 형태로 분리퇴적 되면서 비균질 비등방적인 튜브 구조체를 형성하였다. 개발된 역 T-type 주입은 크레이터가 사전에 제어되는 확산퇴적으로 균질 및 등방적인 튜브 구조체 형성이 가능하였다.

2. 지오셀(Geo-Cell) 실험

(1) 실험목적

기존 연구에서는 토목섬유 튜브의 외적 형태변화에 집중되어 내적 변화에 대해서는 연구가 미미한 실정이다. 이러한 점을 고려하여 지오셀 실험을 통해 토목섬유 튜브 구조체의 내부 퇴적 형상과 응력 특성을 파악하기 위해 기초적 선행연구로 지오셀 시험을 수행하고자 하였다. 특히 이 실험을 통해 지오셀 내부의 퇴적형상과 압력 분포를 측정하여 응력발생 메커니즘을 제시하고자 하였다.

(2) 사용재료

- 준설토

본 실험에 사용된 준설토 시료는 새만금 내부에서 채취한 시료이다. 사용된 준설토 시료의 토질 특성은 [표. 2.3.4]와 같다. 준설토 시료는 비중이 2.69, 200번체 통과율이 25.0%이며, 소성지수는 N.P이다. 통일분류법상 실트질 모래에 해당되는 SM으로 분류되었다.

[표. 2.3.4] 준설토의 토질 특성

Properties	Quantity
Specific gravity, G_s	2.69
Percentage Passing #200 Sieve (%)	25.0
Plasticity Index	N.P
Max. Dry unit weight, γ_{dmax} (kN/m^3)	16.7
Optimum moisture content, w_{opt} (%)	17.0
U.S.C.S	SM

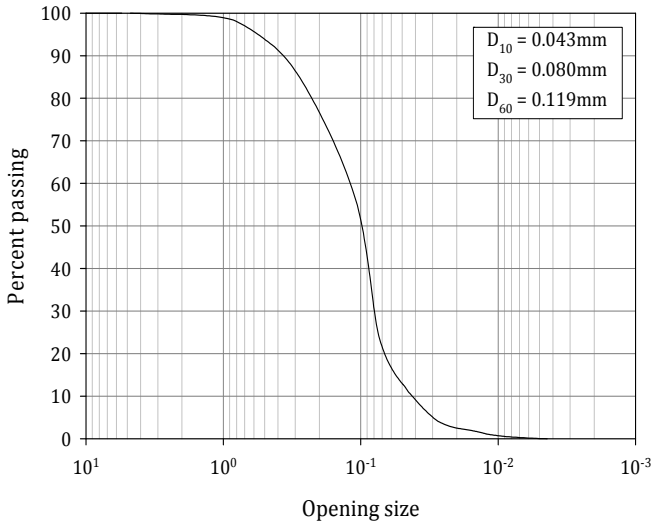


그림 2.3.18 준설토의 입도분포곡선

- 토목섬유

토목섬유별 투수 시험 결과를 보면, 폴리에스터 < 복합포 < 폴리프로필렌 순으로 투수계수가 크게 나타나고 있다. 필터 역할을 수행할 토목섬유의 선정은 투수계수 값이 중간으로 나타난 복합포로 선정하였다. 복합포는 세립분 유실을 방지하기 위하여 겉감인 직포와 안감인 부직포로 구성된다. [표 2.3.5]와 [그림 2.3.20]과 같이 복합포의 무봉합 인장강도는 위사 178kN/m, 경사 185 kN/m이고, 파괴 시 복합포의 신율은 평균 13% 정도이다.

[표. 2.3.5] 토목섬유 특성

재 질		복합포(Composite)
인장강도	보조방향(위사)	177.51(kN/m)
	주방향(경사)	185.48(kN/m)
신 율	보조방향(위사)	12.93(%)
	주방향(경사)	13.78(%)



(a) 복합포의 직포 (b) 복합포의 부직포 (c) 복합포

그림 2.3.19 지오셀(Geo-Cell) 실험에 사용된 복합포

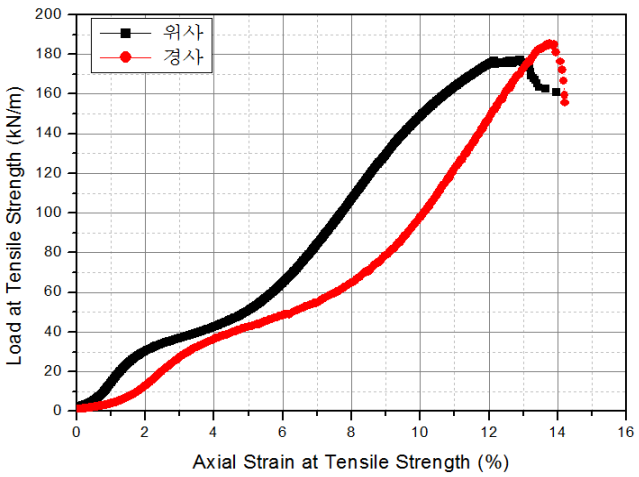


그림 2.3.20 복합포의 무봉합 인장강도

(3) 지오셀 실험장치 및 시험방법

본 연구에서는 배수 거리를 최대한 길게 하여 배수 지연 시 토목섬유 튜브 구조체에서 발생하는 최대 압력을 측정 가능한 튜브 구조체를 고려하여 원형 아크릴 튜브 모형 실험장치를 제작하였다. 지오셀의 내경은 28.0cm이고 총 길이는 2.63m이다. A, B 지점에서 [그림 2.3.22]과 같은 8각형 형태의 고정대를 자체적으로 개발하여 설치하였다.

8각형 고정대의 3개면(하단, 중단, 상단)에 토압계를 부착하여 시간경과에 따른 지오셀(Geo-Cell) 내부의 응력 변화를 관찰하였다. 또한, 양 끝단에는 겉감인 직포와 안감인 부직포로 구성된 복합포를 부착하여 배수 및 필터 재료로 사용하였다. 지오셀 실험 장치는 ①대형교반토조, ②고압이송펌프, ③이동식교반토조, ④지오셀로 구성되어 있다. 토목섬유 튜브 구조체의 내부 응력 거동을 규명하고자 기초적 선행연구로 지오셀 실험을 수행하는데 필요한 장치이다. 지오셀 실험장치의 모식도는 [그림 2.3.21]과 같으며, [그림 2.3.23]은 실험장치의 실제 사진이다.

본 강성 재질의 투명 아크릴로 제작된 원형 아크릴 튜브는 배수판을 양 끝단에 설치하여 순간적인 비배수 시 최대 압력을 발생시킬 수 있으며, 주입과 방치 및 재주입 시 튜브 구조체에 발생하는 등방압력과 퇴적 후 정지지중상태와 비등방상태의 응력 변화를 파악할 수 있는 이상적인 토목섬유 튜브 구조체 실험 장치이다.

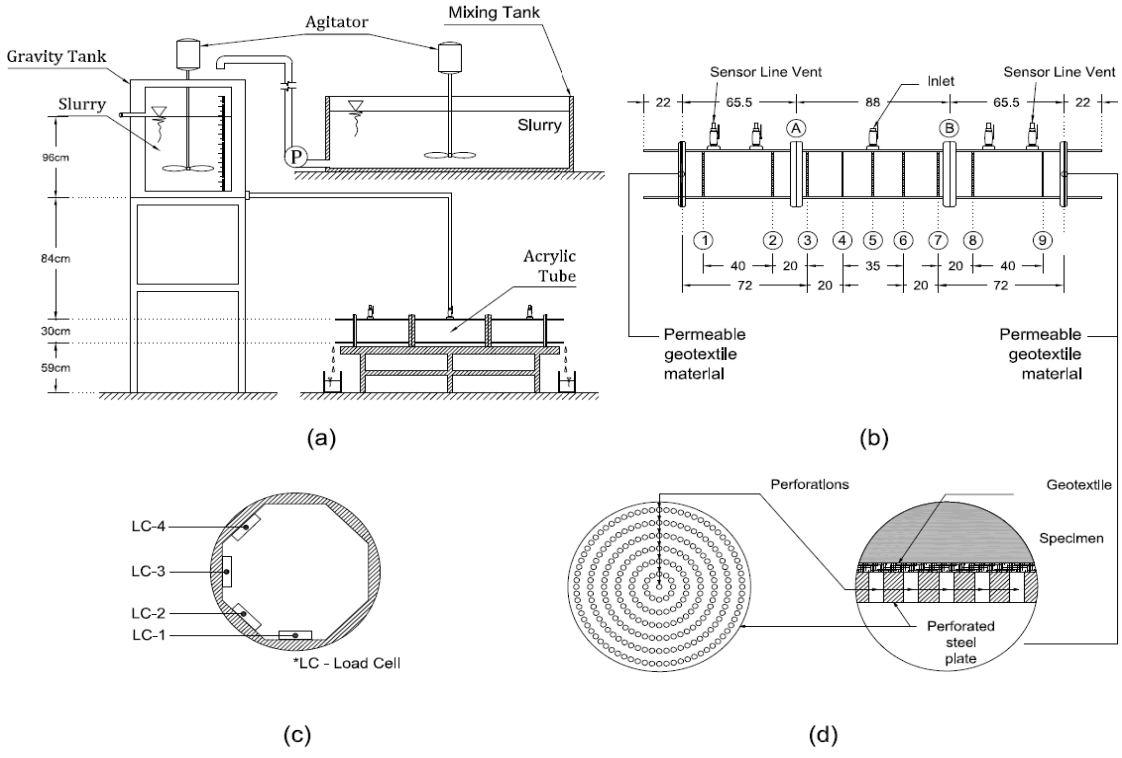


그림 2.3.21 지오셀 실험장치 모식도

필터 역할로 부착된 토목섬유는 필터 케이크 현상으로 인해 배수가 원활하지 않아 단계별로 주입 및 배수를 하여 실험을 수행하였다. [그림 2.3.23]을 참조하면 주입에 사용될 준설토 슬러리를 평균 함수비 700%로 중량배합으로 제작하여 대형 교반토조에서 1차 교반을 한 뒤 고압이송장치

를 통해 이동식 배합토조로 이송되며 2차 교반 뒤 자연유하식으로 지오셀에 주입하는 방식을 확인할 수 있다. 지오셀과 이동식 교반토조의 수두차는 1.8m로 약 18kPa의 주입압력으로 준설토 슬러리가 지오셀에 주입하도록 되어있다.



(a) 토압계 고정대 납질 작업



(b) 토압계 고정대 작업 완료

그림 2.3.22 토압계 설치



그림 2.3.23 지오셀(Geo-Cell) 실제 사진

①번 사진은 대형교반토조이고, ②번 사진과 ⑤번 사진은 지오셀(Geo-Cell) 내부 응력을 측정하는 데이터로거이다. ③번 사진은 고압이송펌프와 이동식 토조이며 마지막으로 ④번 사진은 지오셀(Geo-Cell)이다.

(4) 실험결과 및 분석

본 실험에서는 수평 길이가 2.2m의 지오셀(Geo-Cell) 내부의 퇴적 형상을 파악하기 위해 투명아크릴 외부에 총 9개의 줄눈자를 부착하여 퇴적 형상을 파악하였다. I-type과 역 T-type 주입 모듈을 사용하여 퇴적형상을 비교하였을 때, I-type의 경우 주입구 근처에만 주입압력에 의해 움푹 파이는 Crater 현상이 발생하여 좌·우측 양 끝단까지는 확산이 되지 않아 지오셀 내부 응력 측정이 불확실하여 퇴적 형상만 측정하였다. 역 T-type의 경우 주입압력에 의해 모든 지점에 대하여 균등한 퇴적 분포를 보였으며, 실험이 종료된 후 최종 퇴적 형상은 [그림 2.3.24]과 같다.

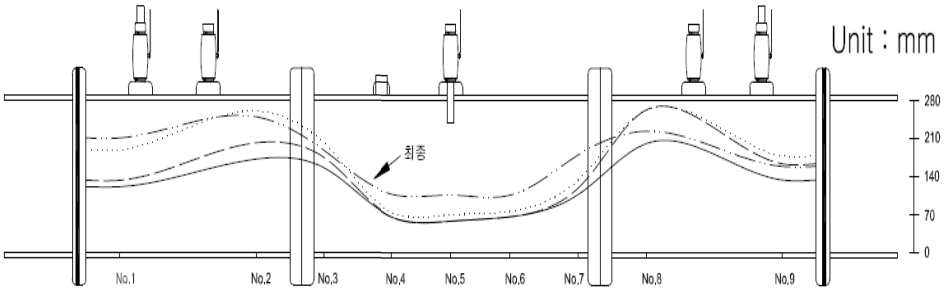
지오셀 실험에 역 T-type의 주입 모듈을 이용하여 총 주입량은 1.893m^3, 주입속도는 0.01㎥로 단계별 주입 및 배수를 실시하였다. [그림 2.3.26]은 지오셀(Geo-Cell) 실험을 수행하는 동안 A, B 지점에서 측정한 압력을 평균값으로 정리한 것이다.

평균 함수비 700%의 액상 시료가 원형 아크릴 튜브 내부에 주입과 방치(leaving) 시 [그림 2.3.21(b)]의 Ⓐ, Ⓑ 지점에서 측정된 평균 퇴적고와 시간 관계를 나타내면 [그림 2.3.25]와 같다. [그림 2.3.25]은 시료 주입 후 약 200분 동안 초기 주입-방치-최종 주입-최종 방치과정을 거치면서 원형 아크릴 튜브 내부에서 측정된 퇴적고를 나타내고 있다. 중력수두높이 1.8m에서 원형 아크릴 튜브 내부에 토사를 주입한 후 약 1～2분 내에 원형 아크릴 튜브 내부 충진이 완료되었고, 10분 경과 후부터는 부착된 외부 배출구를 통하여 토사 및 상등수가 유출(Overflow)되고 동시에 배수판 토목섬유를 통하여 퇴적토사의 내부 포화수가 배수되었다. 약 80분 경과 후에 주입밸브를 잠그고 15분 동안 자연방치를 하였다. 포화간극수의 배수에 의해 체적이 크게 감소하며 재차 최종 주입을 약 65분 동안 실시한 결과 퇴적고는 지속적인 주입에 의해 증가된다. 최종적으로 주입을 중단하고 배수판에 부착된 복합포를 통하여 자연 방치 시 간극수가 배수되면서 퇴적고도 감소되며 최종적으로 약 26cm정도의 퇴적고를 나타내고 있다.

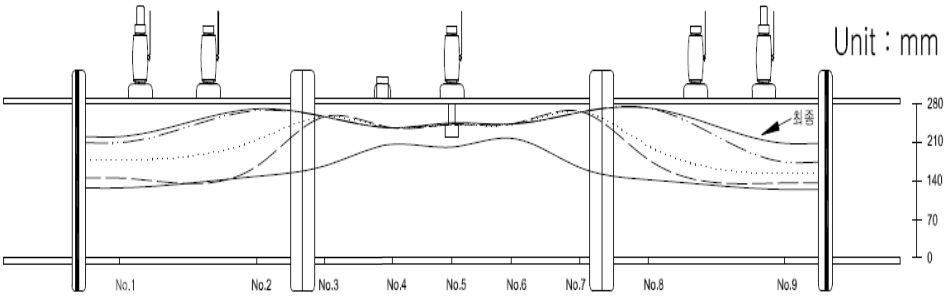
[그림 2.3.24]은 T형 주입 시 원형 아크릴 튜브 수평거리와 원형둘레 높이를 기준으로 측정한 수평과 원형둘레의 시간별 퇴적고이다. 주입과 방치에 의해 원형 아크릴 튜브 내부의 퇴적고는 증가되며 특히 T형 주입 방법은 토사의 수평퇴적확산 능력을 크게 증가시키고 있다. [그림 2.3.24]에서 원형 아크릴 튜브 주입 시 5분 경과 시에 주입토사는 계면침강에 의해 퇴적경계면이 나타나기 시작하였으며, 지속적인 주입에 의해 퇴적고는 상승되어 약 80분 경과 시에 최대 퇴적고를 나타내고 있다. 초기 주입부터 누적 경과시간 200분부터는 실험을 중단하고 원형 아크릴 튜브 내부에서 함수비를 측정한 결과 함수비는 평균 42%정도였다.

[그림 2.3.26]은 일련의 실험과정을 거치면서 원형 아크릴 튜브 내부에서 측정된 압력이다. 초기 주입 후 약 10분 동안 원형 아크릴 튜브 내부의 압력은 증가되고 배수관에 부착된 배수재를 통해 배수도 지속적으로 이루어지고 있다. 원형 아크릴 튜브 하단의 LC-1은 평균 20.18kPa까지 증가되고 있다(일부 노이즈 발생 값 제외). 주입 수두압력 18kPa 보다 약 2.18kPa가 증가된 것은 퇴적 토사의 상재하중 영향이며, 원형 아크릴 튜브 수평면에 설치된 LC-3는 17.89kPa로 초기 주입압력에 근접한 값을 나타내고 있는 것은 초기 주입함수비 700%의 액상 상태가 원형 아크릴 튜브 중간부에서 주입함수비와 동일한 상태를 나타내고 있기 때문이다. 한편 원형 아크릴 튜브 상단 LC-4는 주입압력보다 감소하여 13.58kPa 정도를 유지하는 것은 주입과 동시에 원형 아크릴 튜브 내부에 퇴적된 토량이 증가되면서 유출구로 통한 배출속도의 증가와 배수판에 설치한 토목섬유를 통한 배수에 의해 압력손실도 크게 발생하고 있다. 최종 주입 시는 초기 주입 시보다 원형 아크릴 튜브

내부의 압력은 감소되고 하단부터 상단에 걸쳐 압력이 주입압력 18kPa보다 감소되는 것은 원형 아크릴 튜브 내부에 퇴적된 토량의 체적 증가가 이루어지면서 원형 아크릴 튜브 내부에 미치는 압력 전달이 감소되고 잔여 압력은 배수재 및 보조 토사 유출구를 통해 손실되기 때문이다.



(a) I-type 퇴적형상



(b) 역 T-type 퇴적형상

그림 2.3.24 주입 모듈에 따른 지오셀(Geo-Cell) 내부 퇴적형상

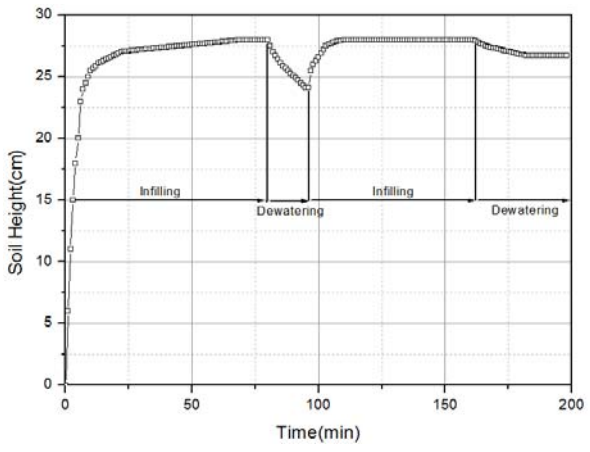


그림 2.3.25 아크릴 튜브 퇴적고 분포

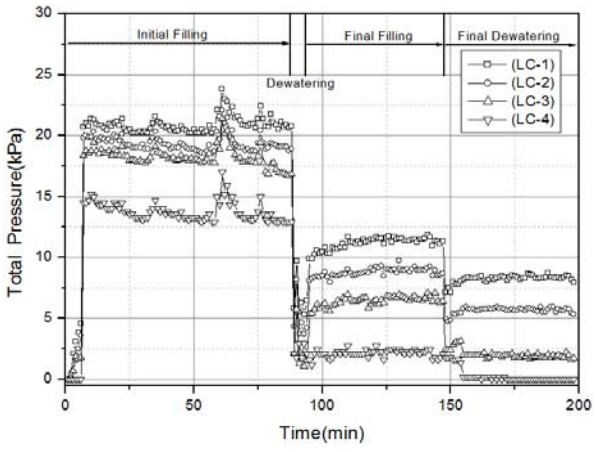


그림 2.3.26 아크릴 튜브 압력 분포

[그림 2.3.27]은 원형 아크릴 튜브 내부의 각각의 위치에서 단계별 측정된 압력의 평균치를 초기 주입-방치-최종 주입-최종 방치-퇴적층(평균함수비 42%)로 나뉘어 내부 압력을 연직 심도별로 표

시한 것이다. 측정된 튜브 구조체 내부의 압력 변화는 ①초기 주입 시는 하단에서 최대 20.18kPa이고 중하단에서 18.94kPa, 중단에서 17.89kPa, 상단에서는 13.58kPa이다. 원형 아크릴 튜브 수평면 이하에서는 주입 압력에 의한 영향을 크게 받지만 전체적으로 원형 아크릴 튜브 내부는 퇴적층이 증가되면서 상단부에서는 압력이 감소되고 있다. ②주입구의 밸브를 닫고 원형 아크릴 튜브 내부의 주입토사가 배수재를 통해 방치 단계를 거친 후에 최종 주입 시 퇴적고가 증가되며 주입압력의 영향은 크게 감소하고 있다. 최종 주입 시 원형 아크릴 튜브 하단은 10.80kPa로 감소하며 수평면 이상부터는 크게 감소하고 있는 원인은 원형 아크릴 튜브 양 끝단에 설치된 배수재의 투수성에 의해 주입압력이 감소되고 있기 때문이다. ③최종 방치 시는 잔류간극수압의 영향을 받아 내부 전응력은 평균함수비 42%에 의해 구한 정지상태응력보다 다소 크게 나타나고 있다.

[그림 2.3.28]은 실험을 통해 발생하는 원형 아크릴 튜브의 압력원으로 원형 아크릴 튜브 하단에서 측정된 최대 압력(LC-1)과 위치별 측정된(LC-2, 3, 4) 압력을 곡선으로 연결하여 표시한 것이다. [그림 2.3.28]에서 점선은 주입과 방치과정을 거치면서 측정된 하단 LC-1의 최대값을 기준으로 점선원호를 나타내고, 상단으로 진행될수록 측정된 원호 압력은 중간부까지 미소하게 감소하는 등방성에 근접하나 상단부는 원호 압력이 크게 감소하는 비등방성을 나타내고 있다. 원형 아크릴 튜브 내부에 퇴적된 토량이 증가되면서 액상 퇴적고는 상승되지만 압력원의 중심은 원형 아크릴 튜브 중하단부에서 형성되고 최종 정지지중압력상태에 근접되고 있다. 따라서, 배수가 지연되고 횡변형이 억제되는 원형 아크릴 튜브 구조체는 초기 주입압력이 감소하면서 배수재의 배수 속도와 배수비(직경, D/수평거리, L)에 영향을 받아 초기 주입압력이 감소하고 중심이 하향에 위치하는 소성 상태의 퇴적구조체로 형성되고 있다.

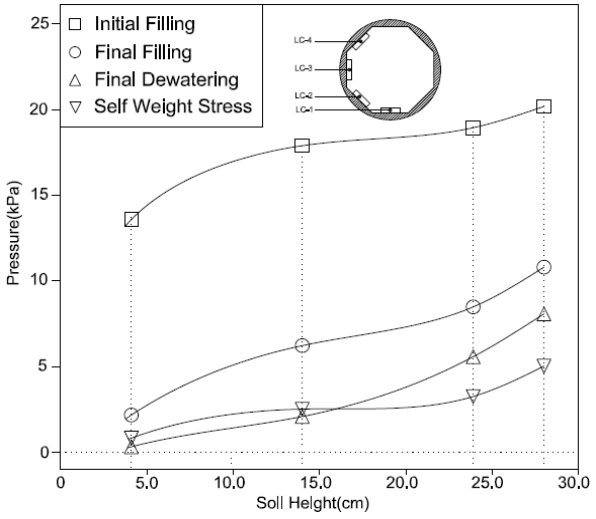


그림 2.3.27 아크릴 튜브 내 각 위치별 압력

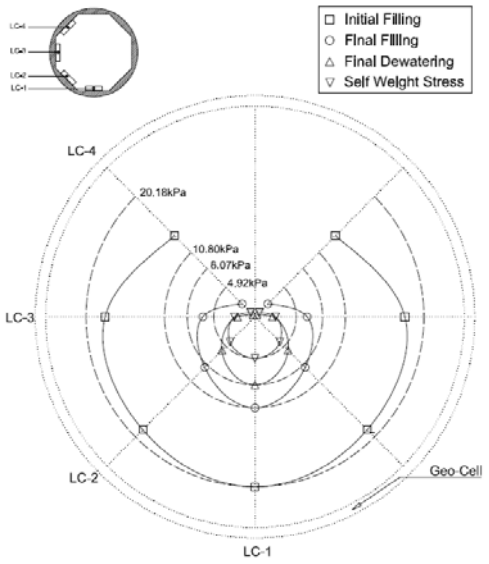
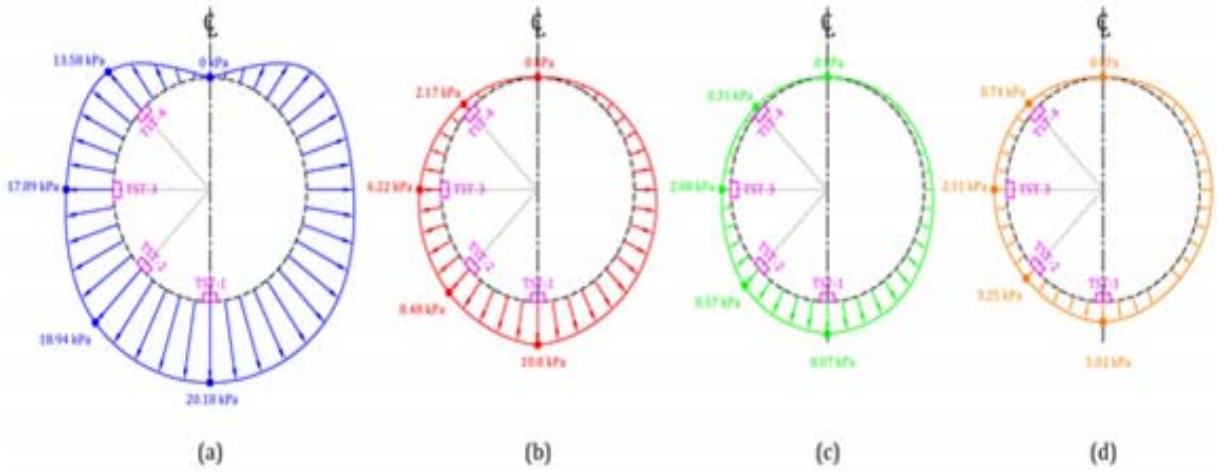


그림 2.3.28 아크릴 튜브 압력원

따라서, 평균 함수비 700%로 액상 시료를 단계별 주입과 방치(Leaving)과정을 거치면서 원형 아크릴 튜브 내부의 퇴적고는 초기 주입-방치-최종 주입-최종 방치과정에 의해 퇴적고가 증가되고 있으며, 배수재로 사용된 복합포는 배수가 지연되지만 토사 저장효과는 우수하다.

[그림 2.3.29]에서 (a)는 초기 주입 시에 측정된 전응력으로 주입 시 주입압력이 균등하게 튜브 구조체 내부에 등방으로 작용되고 있으며, 그림 (b)는 주입 후 양 선단에 부착된 배수재의 영향을 받아 주입압력은 감소하고 튜브 저부는 주입토사의 퇴적에 의해 상재하중이 증가되고 있다. 그림 (c), (d)는 최종배수단계에서 튜브 구조체 내부는 안정화되면서 점진적으로 작용되는 연직응력과 수평응력 크기가 다른 비등방상태로 튜브 구조체를 형성하고 있다. 따라서, 원형 아크릴 튜브 내부는 초기 주입-방치-최종 주입-최종 방치 시 내부 압력은 주입 직후 주입압과 원형 아크릴 튜브 내부에 퇴적된 토량의 증가에 따라 원형 아크릴 튜브 하부에서는 증가되는 반면, 상단부에서는 배수에 의해 감소되고 있다. 원형 아크릴 튜브 내부의 퇴적된 토량이 증가되면서 배수재의 투수성에 의해 퇴적층 함수비가 감소하는 소성 상태의 퇴적층으로 전이되고 있다.

횡방향 배수 및 변위를 억제하는 원형 아크릴 튜브 구조체의 일환으로 원형 아크릴 튜브는 주입과 방치에 의해 압력 영향은 크게 감소하며, 원형 아크릴 튜브 내부에서 발생하는 압력원은 상부단면에서 비등방성 압력원을, 중하단부 아래에서는 등방성 압력원을 각각 나타내고 있으므로, 원형 아크릴 튜브에서 발생하는 압력원의 무게중심도 하부로 이동되고 최종적으로 간극수압이 배수되면서 정지상태의 지중압력(Geo-static earth pressure, K_o)에 근접하고 있다.



(a) 초기주입단계 (b) 최종주입단계 (c)최종배수단계 (d) 시험종료 시의 최종 전응력

그림 2.3.29 강성 튜브 구조체의 전응력 분포

3. 실대형 토목섬유 튜브 모형시험

(1) 시험목적

지금까지의 국내 토목섬유 튜브에 대한 연구는 현장시험 또는 시공사례 중심으로 진행되는 경향이 큰 반면, 실대형 토목섬유 튜브 모형시험에 의한 토목섬유 튜브의 거동을 시뮬레이션하는 사례는 전무하다. 이와 같은 배경 하에 본 연구에서는 토목섬유 튜브와 준설토의 거동특성 및 영향인자를 분석하고자 하였다.

(2) 실대형 토목섬유 튜브 제작

시험에 사용된 토목섬유는 폴리프로필렌(PP) 재질이며, 두께 2.0mm, 신율은 5～28%의 국산제품인 토목섬유이다. 시험을 위해 제작한 토목섬유 튜브는 [그림 2.3.30]와 같이 대형 실험수조의 크기(B×L×H=3.5m×5.0m×1.5m)를 고려하여 직경(D)은 1.0m, 길이(L)는 4.0m로 적용하였다. 주입구는 실제 현장에서 주입구 배치에 적용되는 비율(튜브 끝단에서 주입구까지 거리 : 주입 유효거리 = 4.5m : 7.5m ≒ 1 : 1.67)을 고려하여 튜브 끝단에서 주입구까지 거리는 1.5m, 주입구간 거리는 2.5m로 배치하였다.

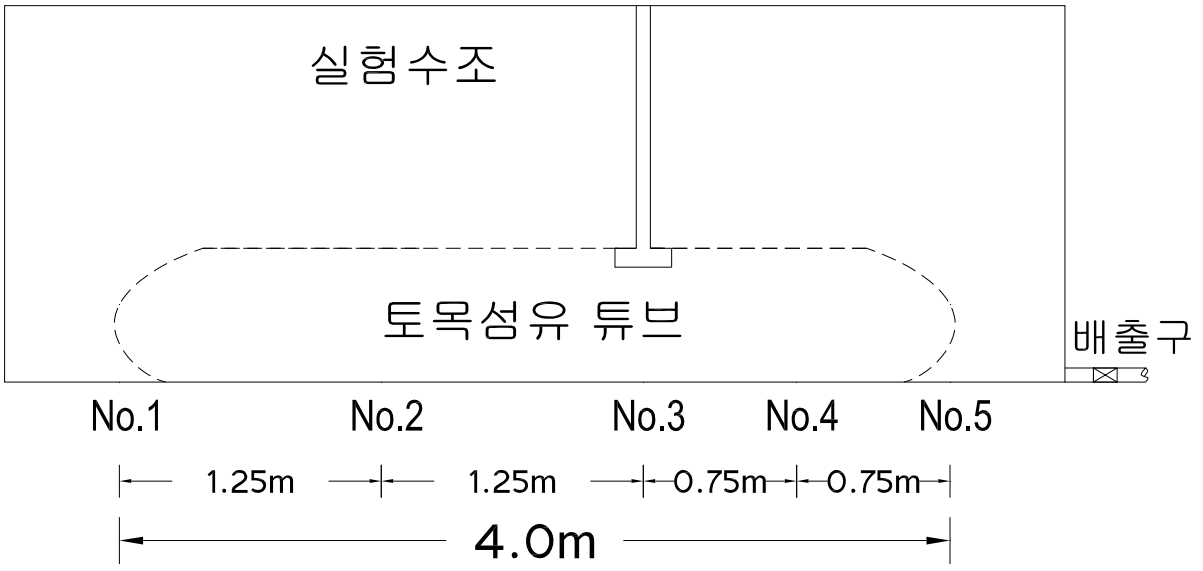


그림 2.3.30 실대형 토목섬유 튜브 배치도

실대형 토목섬유 튜브의 제작과정은 [그림 2.3.31]과 같이 토목섬유를 계획된 크기(D×L=1.0m×4.0m)로 재단한 후 튜브 형태로 봉합하기 위해 원형단면의 하단부 1개소에 필라멘트 재질의 실을 이용하여 일반적으로 현장에서 적용되는 방법과 동일한 6선 봉합을 하였다. 튜브 봉합 후에 튜브 끝단 마감은 튜브 양 끝단에 여유장을 두고, 굵은 철사를 이용하여 2중으로 매듭한 후 토목섬유 튜브 제작을 완성하였다.



(a) 튜브 재단



(b) 튜브 봉합



(c) 튜브 끝단 마감



(d) 튜브 제작 완료

그림 2.3.31 실대형 토목섬유 튜브 제작과정

(3) 스트레인게이지 부착 및 방수성능 시험

토목섬유 튜브 내부 준설토의 확산 퇴적 실험 중 튜브를 통해 여과되는 현탁액으로 인해 스트레인게이지의 누전 방지를 위해 [그림 2.3.32]과 같은 스트레인게이지 방수성능 실험을 수행하였다. 시험 전 [그림 2.3.32(a)]과 같은 강력 접착제를 이용하여 튜브 표면의 요철 부위를 매끄럽게 처리한 후 스트레인게이지를 튜브 표면에 부착하여 고정하였으며, [그림 2.3.32(b)]과 같은 방수테이프를 이용하여 2차례에 걸쳐 방수 처리한 후 마감하였다. 실험에 사용된 방수테이프는 한국 계측기술연구소(주)에서 출품된 SB-TAPE와 VM-TAPE를 사용하였고, SB-TAPE는 경화가 되지 않는 방수테이프이다. 이 테이프는 스트레인게이지의 1차적인 보호를 하며, VM-TAPE는 경화되지 않는 SB-TAPE의 외부 손상에 대비하기 위한 방수 및 보호테이프로서 스트레인게이지에 대한 2차 보호 기능을 한다.

토목섬유 시편 표면의 요철 및 방수처리 후 스트레인게이지 방수 성능시험을 수행한 결과, 24시간 동안 수침시킨 후 스트레인게이지는 [그림 2.3.32(h)]와 같이 인장하중에 대해 양호하게 반응하는 것으로 확인되었다.

토목섬유에 클로로프렌 접착제를 사용한 스트레인게이지의 부착방법은 다음과 같다.

㉮ 스트레인게이지가 부착될 부분의 이물질 제거

㉯ 스트레인게이지가 부착될 수 있는 적당한 크기를 토목섬유 위에 직사각형으로 그린다. 이 때 토목섬유의 인장방향으로 직사각형의 장변이 위치하도록 한다.

㉰ 적당한 양의 클로로프렌 접착제를 그려진 사각형 위에 고르게 도포한다.

㉱ 접착제 도포 후 3~5분이 경과한 후에 평평하고 매끄러운 고무판을 이용하여 접착제가 도포된 부분을 압축하여 접착제가 토목섬유에 기복 없이 평평하게 부착되도록 한다.

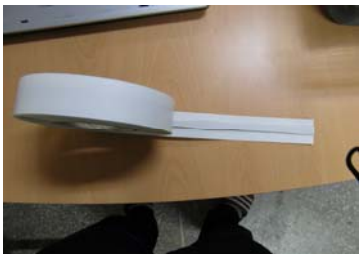
㉲ 토목섬유에 접착제를 도포한 다음 12~24시간이 경과한 후에 스트레인게이지를 도포된 접착제 위에 부착한다.

㉳ 리드선을 연결하고, 엔원(N-1) 코팅제와 방수(V.M.) 테이프 등으로 스트레인게이지를 보호하고, 방수 처리한다.

상기와 같이 클로로프렌 접착제를 매개체로 사용해 토목섬유에 스트레인게이지를 부착할 경우에는 접착제가 연성이고 신축성이 좋으므로 인장응력에 저항하는 저항력이 작다. 또한 토목섬유 밑에서 올라오는 물에 의한 영향을 방지할 수 있어 대기 중은 물론, 준설 토목섬유 튜브의 시공 중에도 효과적으로 토목섬유의 변형률을 계측할 수 있다.



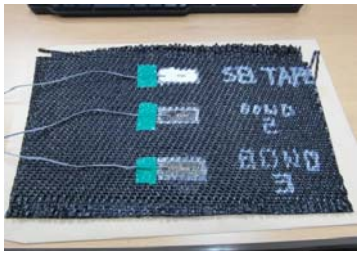
(a) 표면처리 재료(강력접착제)



(b) 표면처리 재료(방수테이프 SB-TAPE)



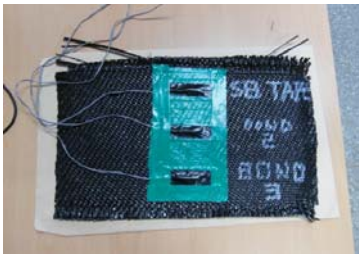
(c) 표면처리 완료



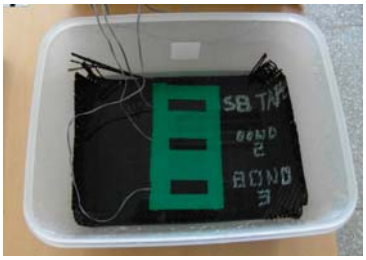
(d) 스트레인게이지 부착



(e) 1차 표면보호(SB-TAPE)



(f) 2차 표면보호(VM-TAPE)

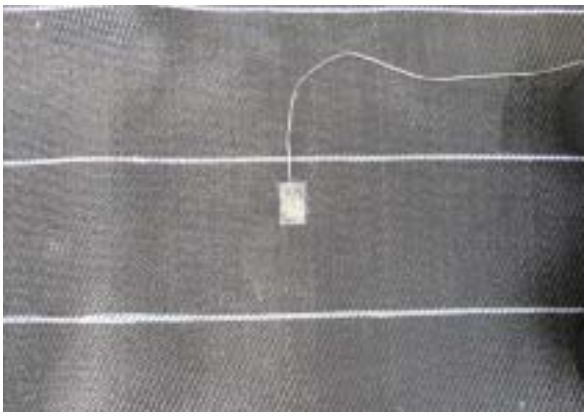


(g) 수침

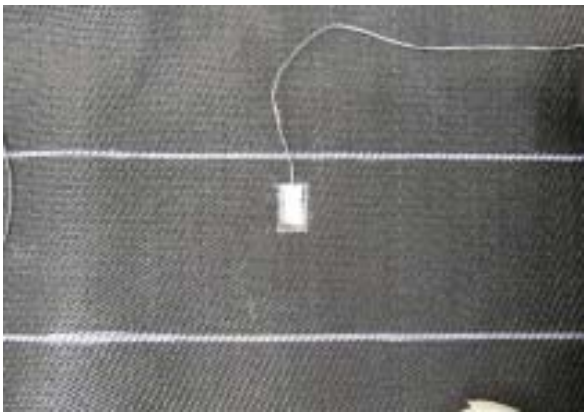


(h) 스트레인게이지 반응유무 확인

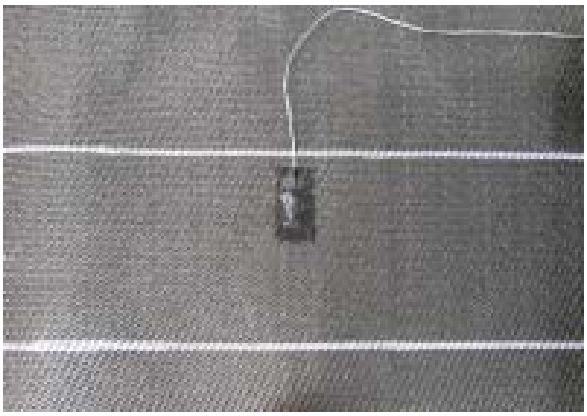
그림 2.3.32 스트레인게이지 방수 성능시험



(a) 스트레인게이지 부착



(b) 스트레인게이지 표면 보호-1차



(c) 스트레인게이지 표면 보호-2차



(d) 부착완료

그림 2.3.33 스트레인게이지 부착과정

(4) 시험방법

준설토를 활용한 실대형 토목섬유 튜브 모형시험은 [그림 2.3.34]과 같은 순서로 수행되었다. 먼저 [그림 2.3.35]의 모식도와 같은 실대형 시험수조 내에 제작된 토목섬유 튜브와 각 측정 지점을 배치하였다. 또한 자연 건조된 준설토를 배합토조에서 일반적인 현장 준설토의 함수비 범위인 300 ~1000% 조건으로 조정한 후 준설토 배합토조를 이용하여 교반하였다. 교반되는 준설토는 가압펌프를 이용하여 대형 시험수조 내부에 배치된 토목섬유 튜브에 주입하였으며, 채움방식은 튜브 내부에서 균등한 토량고 분포를 위해 역 T-type의 주입모듈을 적용하였다.

채움은 가압펌핑에 의해 튜브의 이론적 직경의 50%까지 수행하였으며, 튜브의 거동을 확인하기 위해 채움 및 방치기간 동안 튜브의 폭과 높이 변화를 외부에서 측정하였다. 또한, 대표단면의 표면에 배치한 스트레인게이지를 이용하여 각 지점에서 변형 분포를 측정하였다. 튜브 내부 바닥의 각 지점에 배치된 토압계를 이용하여 채움재 투입 및 방치 후 안정화 단계에서 튜브 내부의 각 지점에서 작용하는 3차원 방향 전하중 분포를 측정하였다.



(a) T형 주입구 거치



(b) 튜브 배치



(c) 준설토 배합



(d) 준설토 채움



(e) 튜브거동 측정(채움단계)



(f) 튜브거동 측정(방치단계)



(g) 변형분포 측정



(h) 시료채취

그림 2.3.34 실대형 토목섬유 튜브 퇴적시험 절차

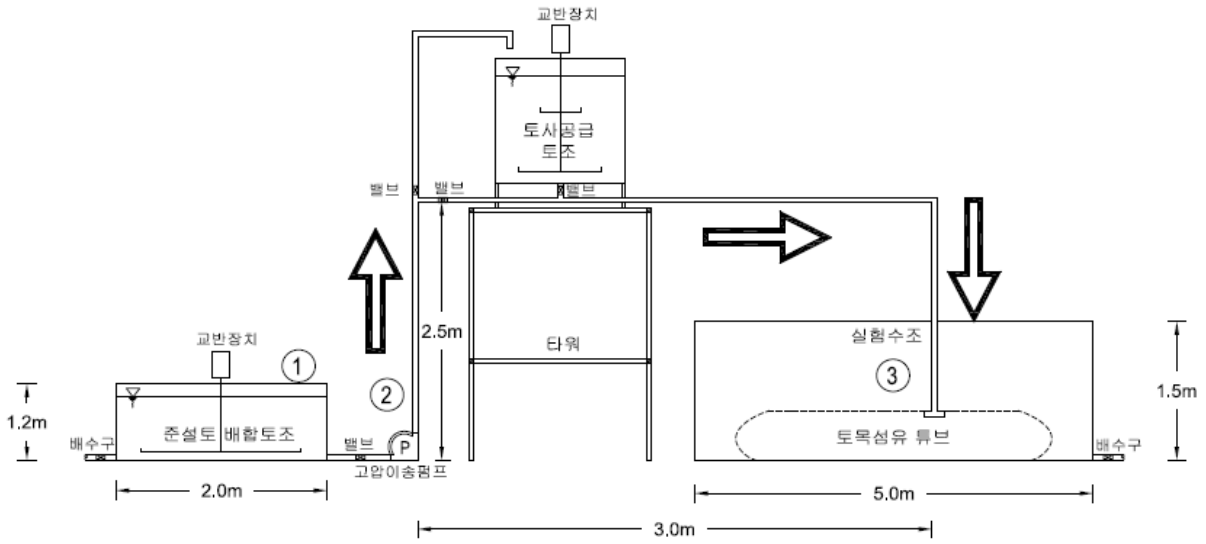
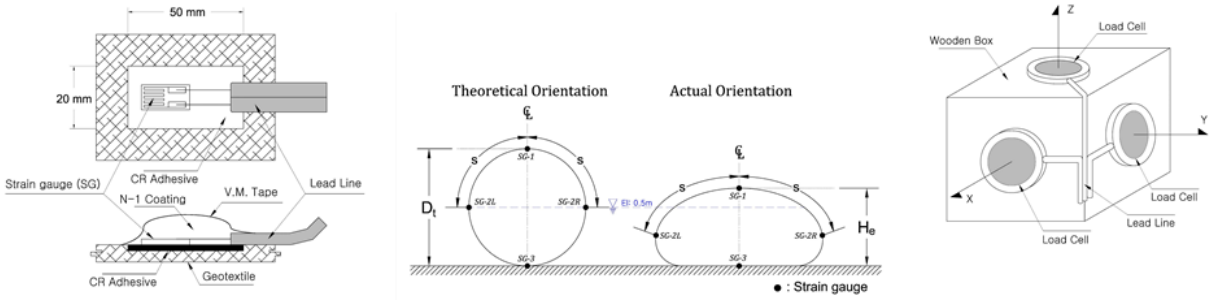
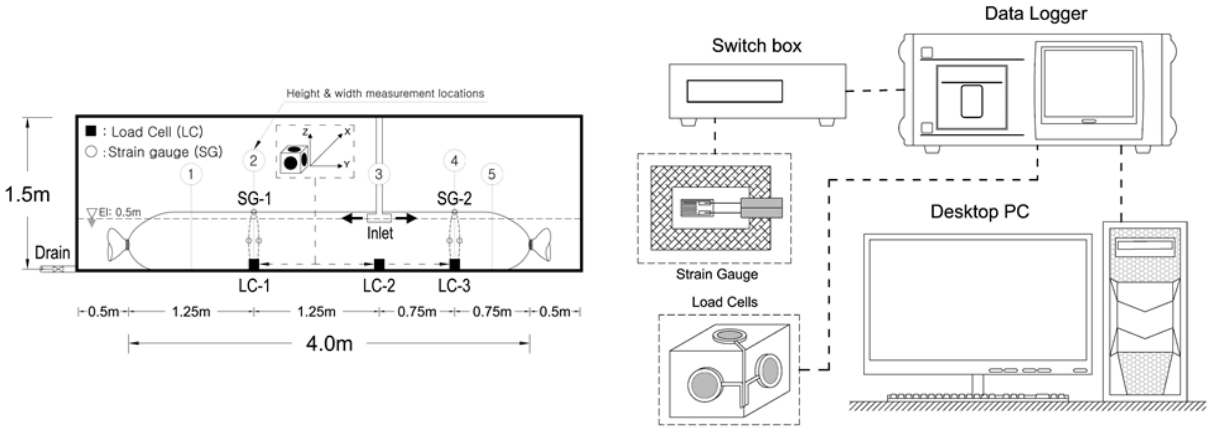


그림 2.3.35 실대형 토목섬유 튜브 퇴적시험 장치 모식도



(a) 스트레인게이지 세부 설치도 (b) 스트레인게이지 위치도 (c) 토압계 설치도



(d) 계측기 위치도 (e) 데이터 스테이션

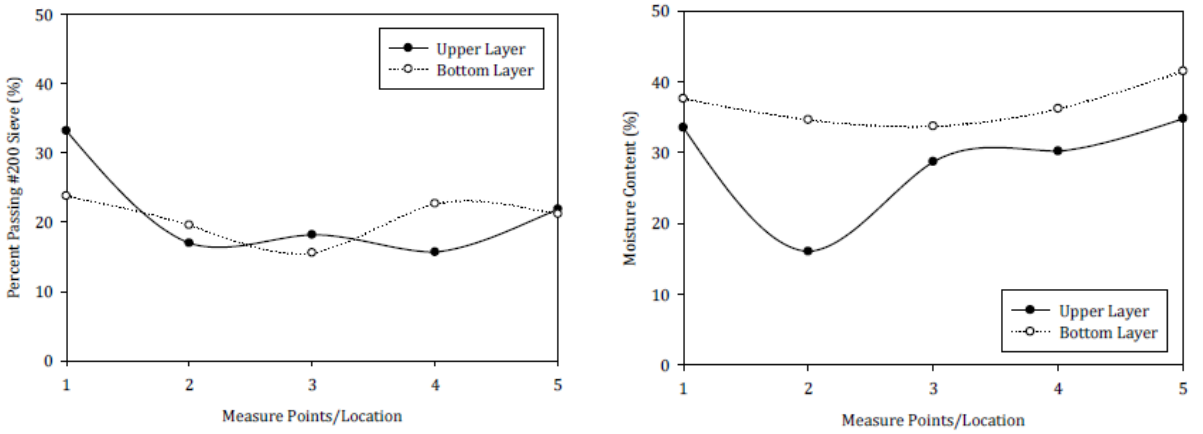
그림 2.3.36 계측기 설치 및 위치도

(5) 시험결과 및 분석

- 시험 후 충진재료의 물리적 특성

역 T-type의 주입모듈을 적용하여 실대형 토목섬유 튜브 시험 종료 후에 튜브의 각 지점에서 상·하부층의 시료를 채취하여 물성시험을 수행하였다. [그림 2.3.37]과 같이 #200번체 통과율이 모든 지점의 상·하부층에서 거의 동일한 크기의 입도가 분포하였다. 주입 거리에 관계없이 튜브 채움토사인 현장 준설토의 #200번체 통과율 25%에 평균적으로 근접하고 있으므로 튜브 종방향 거리별로 준설토가 균등하게 확산되고 있음을 확인하였다.

튜브 끝단 봉합지점(No.1)에서는 역 T-type의 주입모듈에 의해 세립의 준설토가 종방향으로 광범위하게 확산되지 못한 결과, 다른 지점에 비해 #200번체 통과율이 증가함을 확인할 수 있었다. 이러한 시험결과는 기존 현장에서 적용되고 있는 연직투입 방식(I-type)에 의한 주입구 부근의 과도한 펌핑 압력으로 인하여 형성되는 분화구 현상(Crater)과 지속적으로 채움 시 수리학적 유동에 의한 채움재가 월류하는 현상(Hydraulic jumping)을 방지하는 방법을 도출하는데 유용할 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서 적용한 역 T-type 주입모듈은 준설토가 튜브 내부에 균등하게 퇴적되므로 퇴적형상 차이에 의한 토압의 집중을 분산시켜 튜브 파손을 방지하는데 매우 효과적이고, 현장에서는 튜브의 주입구 수를 줄일 수 있어 다수의 주입구에 의한 준설 소요시간을 단축할 수 있으므로 매우 경제적인 것으로 확인되고 있다.



(a) 각 지점별 #200체 통과율 분포 (b) 각 지점별 함수비 분포

그림 2.3.37 시험 후 충진재료의 물리적 특성

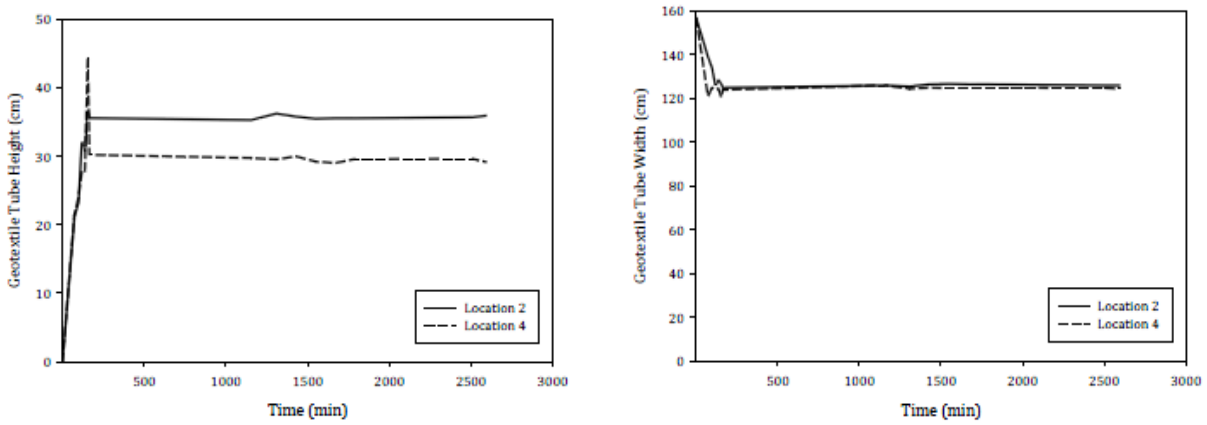
- 실대형 토목섬유 튜브의 2차원 거동 및 변형분포

튜브의 채움 및 방치기간 동안 종방향 확산 퇴적지점에 대한 2차원 거동을 확인하기 위해 4단계 채움 및 배수과정을 수행하고, 약 2일간의 방치기간 동안 튜브의 높이 및 폭을 계측하여 측정결과를 [그림 2.3.38] 및 [그림 2.3.39]에 나타냈다.

튜브 종방향 지점별(No.2, No.4) 2차원 거동을 파악하고자 [그림 2.3.38]에서 튜브 구조체의 종방향 위치를 표시하였다. 그림에서 최종 채움 종료 직후 측정한 튜브높이가 No.4지점은 크게 나타났지만 방치기간을 거쳐 안정화 단계에서는 역으로 자중침하가 크게 발생하여 No.2지점보다 튜브

높이가 작게 나타나고 있다. 이는 채움재인 준설토가 종단 봉합지점에 가까워지면서 백워터(Back water)영향으로 부유 토사가 반복 퇴적되어 퇴적고는 증가하지만 부유물질 영향으로 퇴적고는 32%정도 감소되어 No.2지점보다 최종 튜브 높이가 작게 나타나고 있다. 따라서, 역 T-type 주입모듈이 확산을 용이하게 하고 있어 상대적으로 봉합지점으로부터 먼 No.2지점은 최종 채움단계와 방치 후 안정화 단계에서 튜브높이가 감소하는 것은 상대적으로 조립 토사가 퇴적되고 수평으로 부유 토사가 지속적으로 확산되고 있음을 알 수 있다.

[그림 2.3.39(a)]는 No.2(주입구에서 좌측으로 1.25m)와 No.4(주입구에서 우측으로 0.75m)지점의 단계별 채움 시 측정한 튜브높이의 상승변화를 나타내고 있으며, 최종 채움단계에서 튜브 상승고는 No.2지점이 크게 나타나고 있다. [그림 2.3.39(b)]와 같이 방치 후 안정화 단계에서 No.4지점이 부유토사의 침하량이 증가되므로 실질토량고는 작게 평가되고 있다. 따라서, 충진 위치에 따른 지점별 튜브높이 변화가 다르게 나타나고 있으므로 수평확산거리 증가와 균등한 튜브 구조체를 조성하기 위해서는 역 T형주입이 유효함을 알 수 있다.

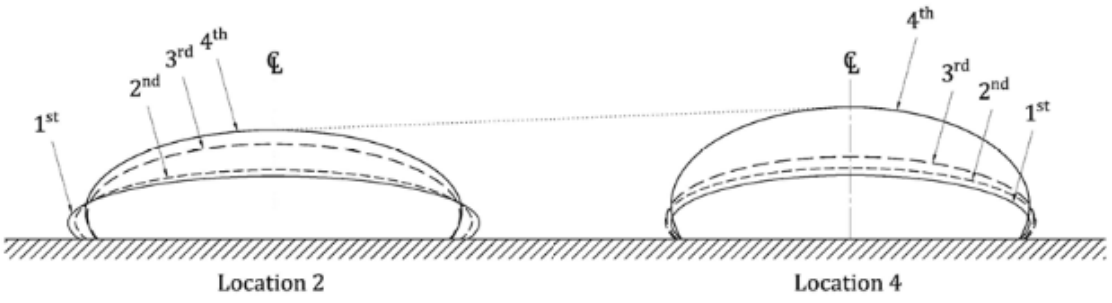


(a) 높이-시간 (b) 폭-시간

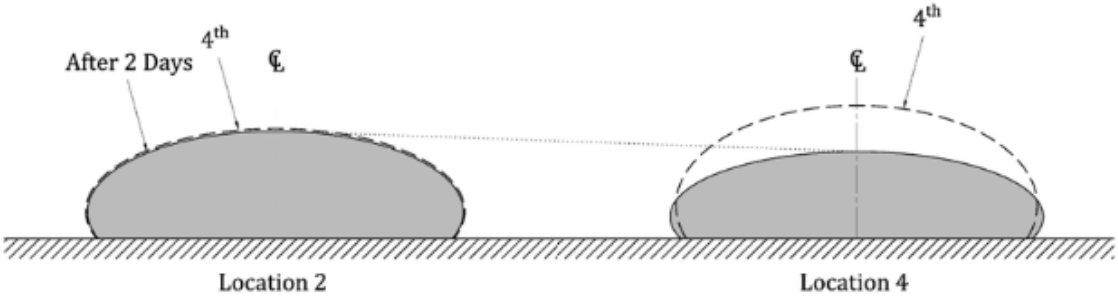
그림 2.3.38 토목섬유 튜브의 형상 변화

[표. 2.3.6] 토목섬유 튜브 형상 변화에 대한 수치

위 치	특 성	채움단계				안정화 단계
		1^{st}	2^{nd}	3^{rd}	4^{th}	
No.2	높이(mm)	212	233	321	368	360
	폭(mm)	1390	1340	1260	1265	1260
No.4	높이(mm)	215	240	278	446	292
	폭(mm)	1210	1250	1240	1205	1245



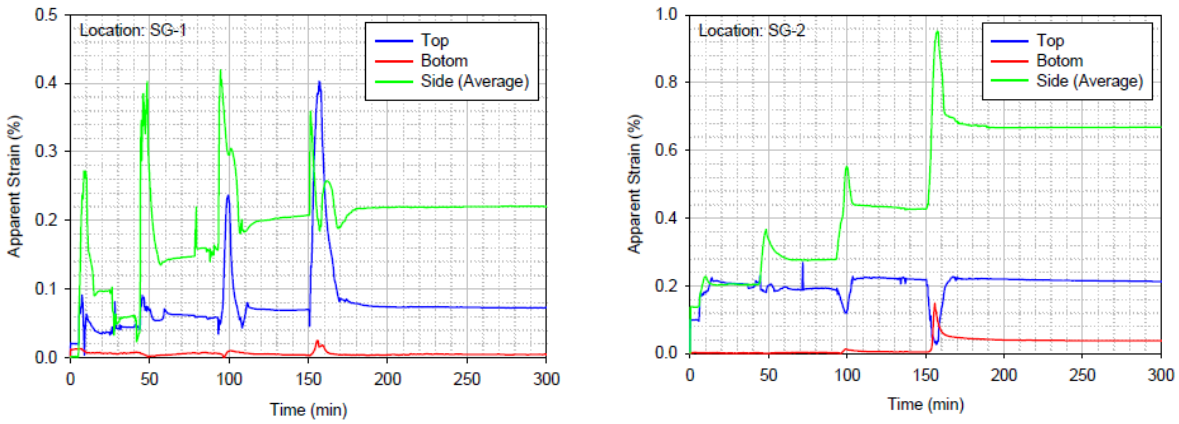
(a) 토사 채움 시 형상 변화



(b) 튜브 안정화 시 형상 변화

그림 2.3.39 No.2와 No.4 채움 시 튜브형상 변화

[그림 2.3.36(d)]은 토목섬유 튜브에 스트레인게이지 배치도를 나타낸 것이다. SG-1은 No.2지점의 토목섬유 튜브에 스트레인게이지가 설치된 위치이며, SG-2는 No.4지점이다. [그림 2.3.40]을 보면 스트레인게이지 변형률은 채움 시에 증가하였다가 배수 시에는 감소하고, 재채움 단계에서는 변형률 급격하게 상승하는 것을 확인할 수 있다. 하부의 변형률은 토목섬유 튜브의 채움 및 배수과정을 거치면서 채움재가 점차 퇴적되어 No.2와 No.4 지점에서 변형률이 모두 미소하게 증가하고 감소하였다. 또한, 측면에서의 변형은 상단에서의 변형률보다 크게 나타났고, 이러한 현상은 채움 시에 수직응력보다 수평응력이 크다는 것을 알 수 있다. 또한, 토목섬유 튜브 채움 시에 작용하는 인장력이 액체 상태임에도 불구하고 비등방으로 작용하는 것으로 나타났다.



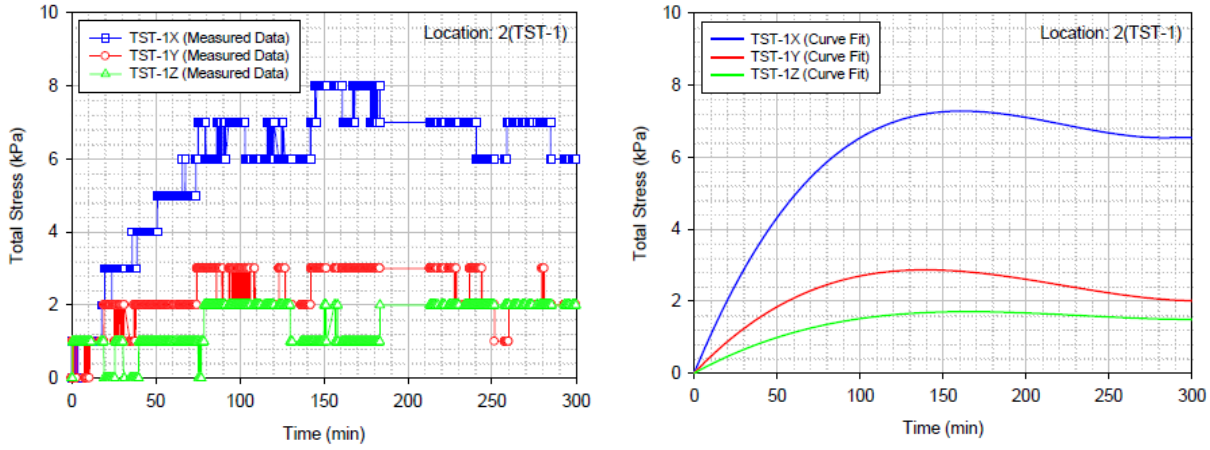
(a) SG-1 (b) SG-2

그림 2.3.40 스트레인게이지 시간-변형률 분포

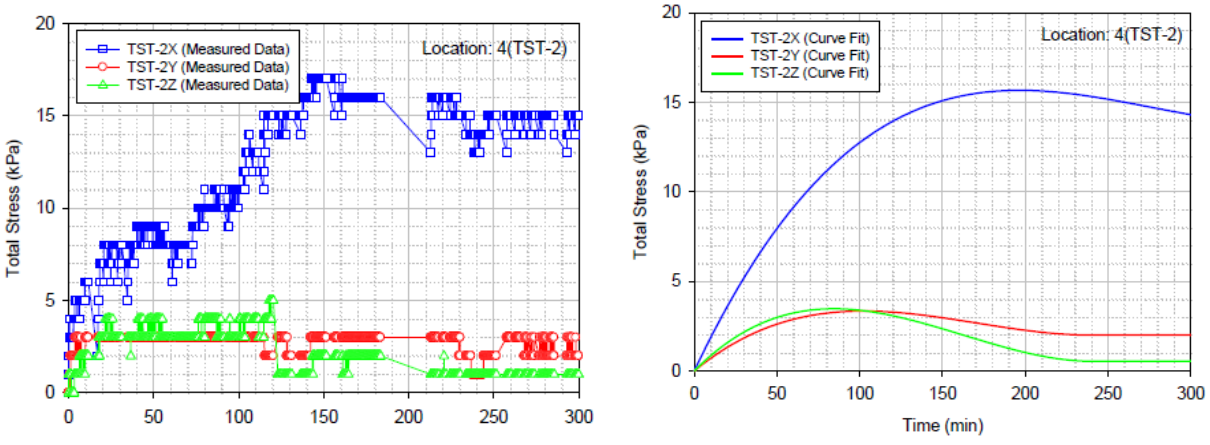
- 실대형 토목섬유 튜브의 내부 3차원 응력변화 특성

로드 셀은 x, y 및 z 방향에서 발생하는 응력을 측정하기 위해 스틸로 구성된 셀에 3축 방향으로 부착하여 토목섬유 튜브 내부에 발생하는 응력변화를 데이터 로거를 이용해 측정하였다. 지점별로 측정된 전응력은 [그림 2.3.41]과 같고, 오른쪽 그림은 측정된 전응력 값을 추세선으로 나타낸 그래프이다. 여기서, x, y 값은 토목섬유 튜브의 폭과 길이방향을 나타낸 값이며, z는 토목섬유 튜브의 수직방향 값을 나타낸 것이다.

토목섬유 튜브에 초기 채움 시에는 x, y 및 z 방향에서 전응력이 증가하다가 일정시간 이후에는 감소하는 경향을 확인할 수 있다. 또한, 채움재가 응집·퇴적되면서 No.2와 No.4 지점 모두 x, y 방향의 전응력 값이 z 방향의 전응력 값보다 높게 나타났고, 이는 수직방향보다 수평방향으로 확산되는 것을 알 수 있다.



(a) No.2 토압



(b) No.4 토압

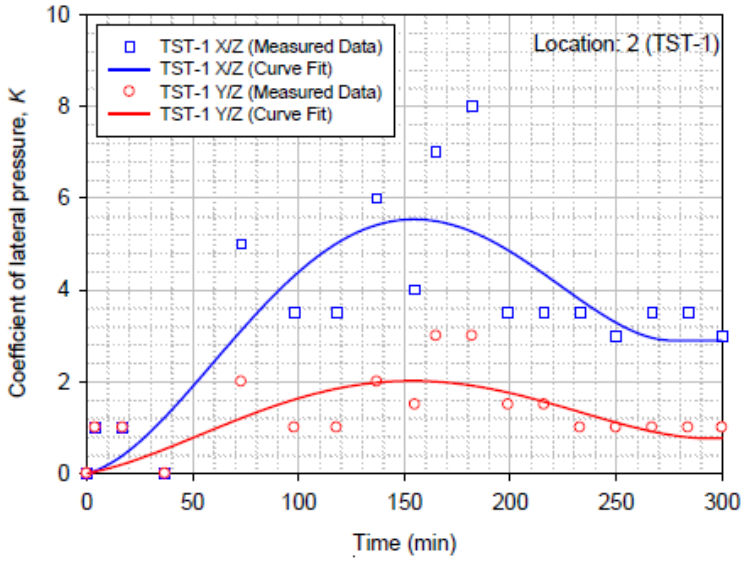
그림 2.3.41 토목섬유 튜브의 내부 토압 변화

토압계수는 유효수직응력분에 유효수평응력으로써 No.2와 No.4 지점에서 발생하는 토압계수 변화를 [그림 2.3.42]과 같이 확인하였다.

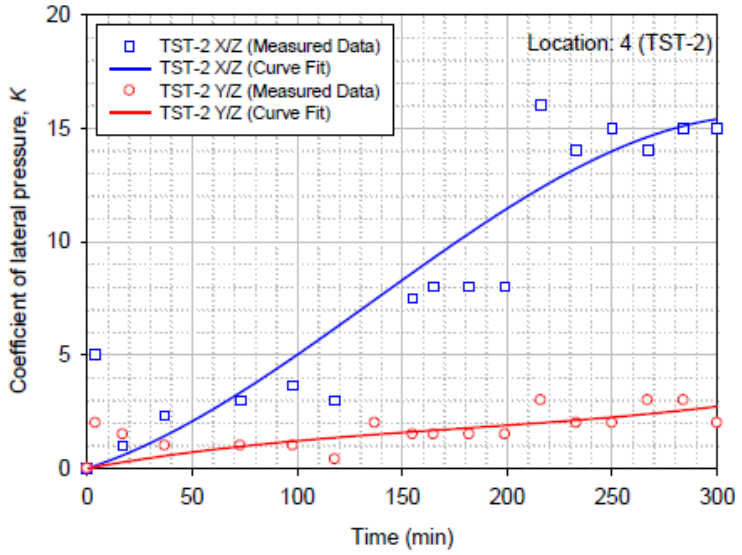
$$K = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} \tag{1}$$

No.2 지점에서의 토압계수는 채움 시에는 증가하였다가 최종 단계에서는 토목섬유 튜브의 높이가 낮아져 토압계수 또한 감소하였다. 이는 초기 채움 시에는 주동토압 상태이고, 배수 시에는 수동토압 상태이며, 최종 방치단계에서는 정지토압 상태임을 나타낸다.

No.4 지점은 주입구의 위치 근처이기 때문에 과잉간극수압의 영향으로 인하여 정상 상태의 도달점이 No.2 지점보다 크다는 것을 알 수 있다.



(a) No.2 지점의 토압계수



(b) No.4 지점의 토압계수

그림 2.3.42 토목섬유 튜브 내부 토압계수

4. 토목섬유 재질에 의한 튜브 구조체의 전단특성

(1) 시험목적

직접전단시험은 간편하고 해석이 용이하므로 흙-보강재 경계면에서의 전단특성을 파악하기 위해 일반적으로 사용하고 있다. 본 연구에서는 복합포를 사용한 토목섬유 튜브의 내·외 경계면에서의 전단 특성을 파악하고자 대형직접전단시험을 수행하였다.

(2) 사용재료

본 시험에 사용된 준설토 시료는 새만금 내부에서 채취한 시료이다. 본 연구에서 사용한 준설토 시료의 토질 특성은 [표. 2.3.7]과 같다. 준설토 시료는 200번체 통과율이 29.5%이며, 통일분류법상 실트질 모래에 해당되는 SM으로 분류되었다.

[표. 2.3.7] 준설토 물리·역학적 특성

채취장소	비중	#200통과율	소성지수	최대건조밀도	최적함수비	U.S.C.S
새만금 내부	2.63	29.5(%)	N.P	1.67(t/m^3)	17.0(%)	SM

- 복합포 특성

전단시험에 사용한 토목섬유는 복합포이다. [표. 2.3.8]과 같이 시료로 사용된 섬유의 유효입경은 145μm이며, 인장강도는 위사와 경사가 약 180kN/m으로 나타났다. [그림 2.3.43]은 실험에 사용된 복합포 사진이다.

[표. 2.3.8] 토목섬유의 특성

유효입경크기(ASTM 4751)		145μm
인장강도	위사	177.51kN/m
	경사	185.48kN/m



(a) 직포(PET, 튜브 바깥쪽)



(b) 부직포(PET, 튜브 안쪽)



(c) 복합포 사용

그림 2.3.43 사용된 복합포

(3) 시험방법

대형직접전단시험기는 [그림 2.3.44]과 같다. 주요 구성은 전단상자, 수직하중 재하장치, 전단하중 재하장치 및 조절장치이다. 전단상자 내부 크기는 30cm×30cm×46cm(가로×세로×높이)이고, 최대 7cm의 변위까지 전단시킬 수 있다.



그림 2.3.44 대형직접전단시험기



(a) 나무블록



(b) 직포



(c) 부직포



(d) 시험종료

그림 2.3.45 대형직접전단시험 시험과정

준설토 시료와 토목섬유 튜브의 경계면에서의 전단특성을 평가하기 위하여 시험조건을 변화시키며 대형직접전단시험을 수행하였다. 전단상자 내의 준설토 시료는 새만금 내부 준설토의 상대밀도와 같은 40%와 같은 조건으로 제작하였고, 토목 섬유 튜브 내·외부의 전단마찰 특성을 파악하고자 복합포의 안쪽면의 부직포와 바깥쪽면의 직포부분을 각각 전단시험을 실시하였다. 이때 하부

전단상자에는 목재블록을 감싼 토목섬유가 위치하고, 상부 전단상자에는 준설토 시료가 위치한다. 시험 시 수직응력은 32kPa, 66kPa, 98kPa, 132kPa 을 각각 재하하였으며, 전단 시 전단속도는 수평변위 3.0mm/min을 유지하였다.

(4) 시험결과

[그림 2.3.46]은 준설토-토목섬유 경계면에서의 응력-변위 곡선과 응력-강도 곡선을 나타낸 그래프이다. 본 시험은 앞에서 설명했던 바와 같이 수직응력 조건을 4가지로 하여 대형직접전단시험을 수행하였으며, [표. 2.3.9]는 대형직접전단시험 결과를 나타낸 것이다.

[그림 2.3.47]에서 보면 모든 시험에서 수직응력과 수평변위가 증가할 수 전단응력이 증가하는 경향을 알 수 있다. 또한 [표. 2.3.9]과 같이 준설토/준설토 시료보다 준설토/토목섬유 시료가 내부마찰각이 크게 도출되었다는 것을 알 수 있다. 직접전단시험 결과는 일반적으로 효율계수의 항목으로 보고되고 있으며, 효율계수에 대한 식은 다음과 같다.

$$\text{마찰각에 대한 효율 계수,}\quad \phi_{eff.} = \frac{\tan\delta(\text{흙} - \text{보강재})}{\tan\phi(\text{흙} - \text{흙})}$$

$$\text{점착력에 대한 효율 계수,}\quad C_{eff.} = \frac{C(\text{흙} - \text{보강재})}{C(\text{흙} - \text{흙})}$$

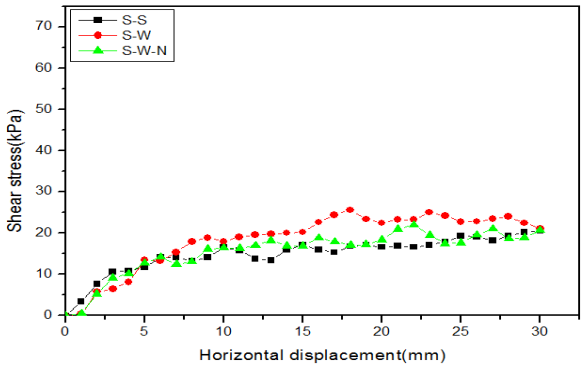
본 시험 결과를 이용하여 구한 효율계수는 [표. 2.3.9]와 [그림 2.3.47]와 같으며, 효율 계수의 범위는 토목섬유의 종류에 따라 0.583～1.175인 것으로 나타났다.

[표. 2.3.9] 대형직접전단시험 결과

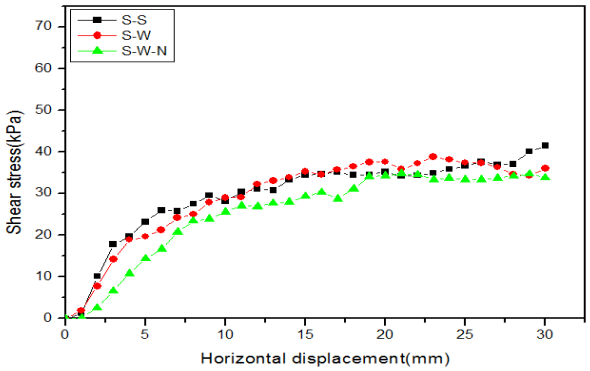
구분	효율계수		전단강도 정수	
	점착력($C_{eff.}$)	내부마찰각($\phi_{eff.}$)	점착력C(kPa)	내부마찰각ϕ(°)
준설토/준설토	1	1	11.8	21.2
	전단강도		$\tau_f = 11.8 + 0.388\sigma_v$	
준설토/직 포	0.917	1.175	10.8	24.5
	전단강도		$\tau_f = 10.8 + 0.456\sigma_v$	
준설토/부직포	0.583	1.170	6.9	24.4
	전단강도		$\tau_f = 6.9 + 0.454\sigma_v$	

본 연구에서는 준설토-토목섬유 경계면에서의 전단특성을 규명하기 위하여 대형직접전단시험을 실시하였다. 시험결과 준설토-토목섬유 경계면에서의 전단특성은 미소하게, 점착력의 경우에는 준설토/준설토보다 감소하고 내부마찰력도 미소하게 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 준설토/직포 경계면에서 점착력과 내부 마찰각에 효율계수는 각각 0.917과 1.175으로 미소하게 증가하거나 감

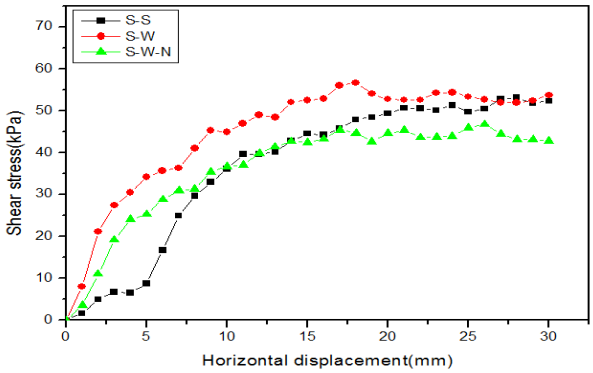
소하고 있으나 그 변화량은 미소하므로 실질적으로 토목섬유 튜브 구조체의 재질보다 충진재의 토사특성이 접촉면의 마찰력을 변화시킴을 알 수 있어 재질영향은 미미함을 알 수 있다.



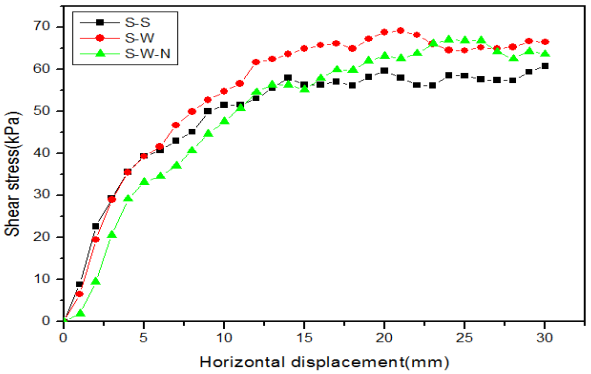
(a) 수직응력 32kPa



(b) 수직응력 66kPa

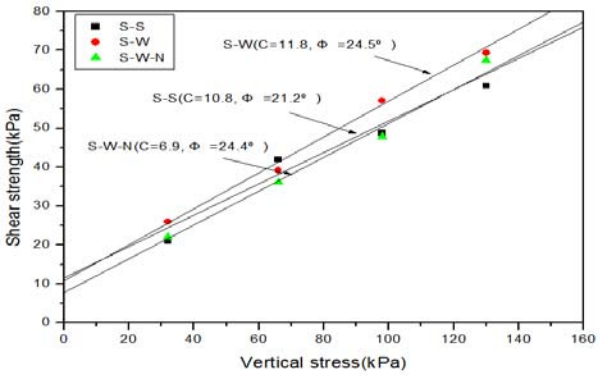


(c) 수직응력 98kPa

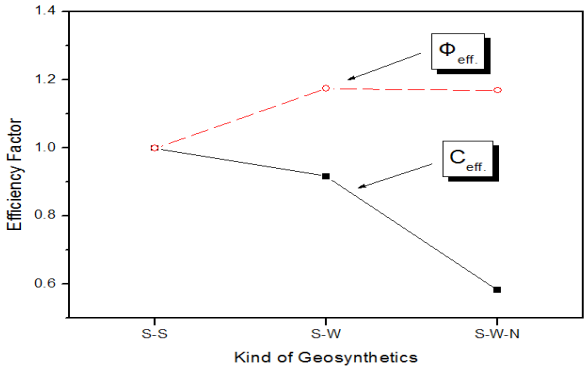


(d) 수직응력 130kPa

그림 2.3.46 변위-전단응력



(a) 수직응력-전단강도



(b) 효율계수

그림 2.3.47 대형직접전단시험 결과

5. 침투수압에 의한 중력 행잉백의 투수 시험

(1) 시험목적

준설토 채움에 따른 토목섬유 튜브 구조체의 투수계수를 측정하는 방법과 해석기술은 아직 정립되지 않고 있다. 2006년 Koerner는 미국 애틀란타 해안비치 현장에서 간편하게 목재로 패브리케이션 지지대를 만들어 버클로 토목섬유 튜브 구조체를 중력식으로 매달고 하부에서 유출되는 유량을 측정하여 지점별로 유출속도를 구하였다. 그러나, 현장에서 수행하는 간편한 시험방법으로 투수계수를 제시하지는 못했다.

본 연구의 시험은 실내에서 튜브 구조체를 로드셀에 매달고 수침상태에서 중력이 작용되도록 하고 지속적인 수압을 작용시켜 준설토 내부 수압이 증가되는 경우에 대한 시험을 실시하여 투수계수를 정량적으로 측정하여 튜브 구조체의 투수계수를 설계에 적용하는 명확한 시험방법과 해석방법을 제시하였다. 본 시험의 특징은 소형 높이 1.5m 직경 102cm를 매달아 중력에 의한 배수방식으로 튜브 구조체가 인장력을 받으면서 동시에 물이 배출되는 Hanging bag 시험에 의해 튜브 구조체 내부의 물이 배출되는 방식을 제시하였다는데 큰 의미가 있다. 튜브 구조체는 직포와 부직포가 사용되었다.

(2) 사용재료

본 시험에 사용된 준설토는 새만금 내부에서 채취한 것이다. 준설토 시료의 특성은 [표. 2.3.10]와 같다. 200번체 통과율은 29.5%이고, 통일분류법상 실트질 모래에 해당되는 SM으로 분류된다.

[표. 2.3.10] 준설토의 물리적 특성

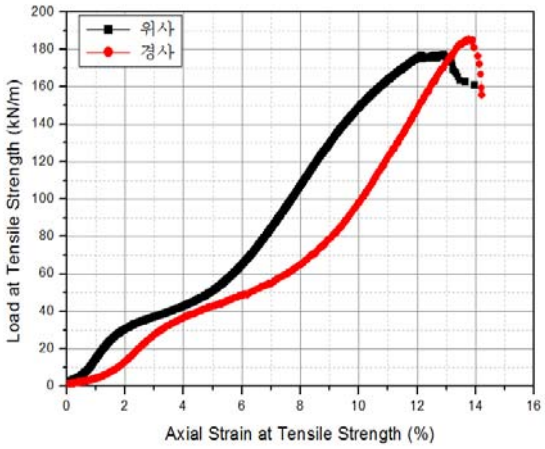
채취장소	비중	#200통과율	D_{10}	D_{30}	D_{60}	U.S.C.S
새만금 내부	2.63	29.5(%)	0.028	0.075	0.160	SM

- 토목섬유

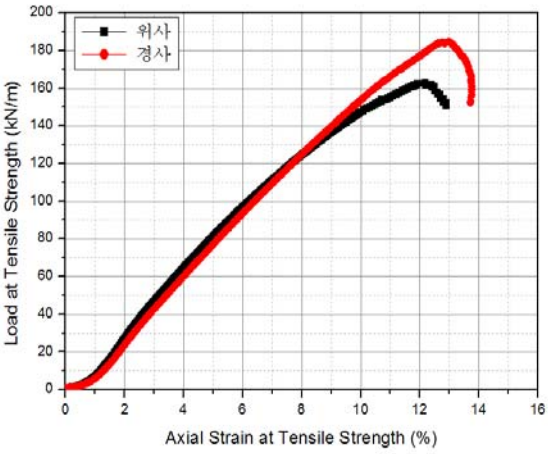
행잉백 시험에 사용한 토목섬유는 복합포와 직포이다. [표. 2.3.11]과 같이 시료로 사용된 복합포와 직포의 유효구멍은 각각 145μm와 472μm이고, 주방향의 인장강도는 모두 185kN/m이다. 투수계수는 복합포의 경우 5.8×10^{-2}cm/s이고, 직포의 경우 1.1×10^{-1}cm/s로 나타났다.

[표. 2.3.11] 토목섬유의 특성

재 질		복합포(Composite)	직포(Woven)
인장강도 (kN/m)	보조방향(위사)	177.51	162.48
	주방향(경사)	185.48	184.55
신 율 (%)	보조방향(위사)	12.93	12.90
	주방향(경사)	13.78	13.01
유효구멍크기 (ASTM 4751 : μm)		145	472
투수계수 (ASTM 4491 : cm/s)		5.8×10^{-2}	1.1×10^{-1}



(a) 복합포 무봉합 인장강도



(b) 직포 무봉합 인장강도

그림 2.3.48 사용된 토목섬유의 인장강도 특성

(3) 시험방법

[그림 2.3.49]는 중력식 행잉백 시험장치에 대한 상세도이다. 점진적으로 침투수압을 행잉백 내부 중심부에 설치된 배수관을 통해 증가시키면서 정수위를 유지시키는 아크릴 외부로 유출되는 배수량을 측정하도록 제작되었다.

[그림 2.3.50, 2.3.51]은 중력식 행잉백 세부상세도이다. 시험에 사용된 토목섬유 튜브의 제원은 20cm×60cm(지름×높이)이고, 침투수량 측정을 위한 받침대의 제원은 60cm×50cm×60cm(가로×세로×높이)이다. 상시 중력식 행잉백이 수침에 의해 포화가 되고 정수위 변화량를 통해 외부에 유출되는 배수량을 측정하고자 원형 아크릴 28cm×100cm(지름×높이)를 받침대 위에 설치하였다.

준설토와 물을 중량배합비 300%로 작성하여 행잉백에 플라스틱 호퍼를 이용해 채움을 실시하였다. 채움 과정의 변동량을 배제하기 위해 채움이 완료된 후부터 중력에 의해 행잉백으로부터 유출된 침투수량을 측정하였고, 침투수의 농도는 준설토 채움 시부터 300초 간격으로 메스실린더를 이용하여 측정하였다.

행잉백에 채움이 완료된 후부터는 행잉백 중심부에 설치된 유공관에 침투수압을 가할 수 있도록 콤퓨레샤와 레귤레이터를 이용하여 침투수압을 증가시켰다. 본 시험에 사용된 압력은 각각 20kPa, 39kPa, 59kPa, 78kPa이며, 침투압을 가하는 동안 정수위를 유지시키고, 원형 아크릴에서 유출되는 배수량을 측정하여 토목섬유 튜브 구조체의 투수계수를 Darcy법칙에 의해 구하였다. 또한, 토목섬유 튜브의 상단에는 수압계를 중단에는 간극수압계를 설치하여, 단계적으로 침투압을 가하는 동안 토목섬유 튜브 내부에 압력변화를 측정하도록 하였다.

$$k = \frac{Q \bullet L}{A \bullet \triangle h \bullet t} \tag{1}$$

- Q : 단위시간당 유출량, L : 흙 시료의 길이
- A : 행잉백의 단면적, $\triangle h$: 수두차, t : 유출시간

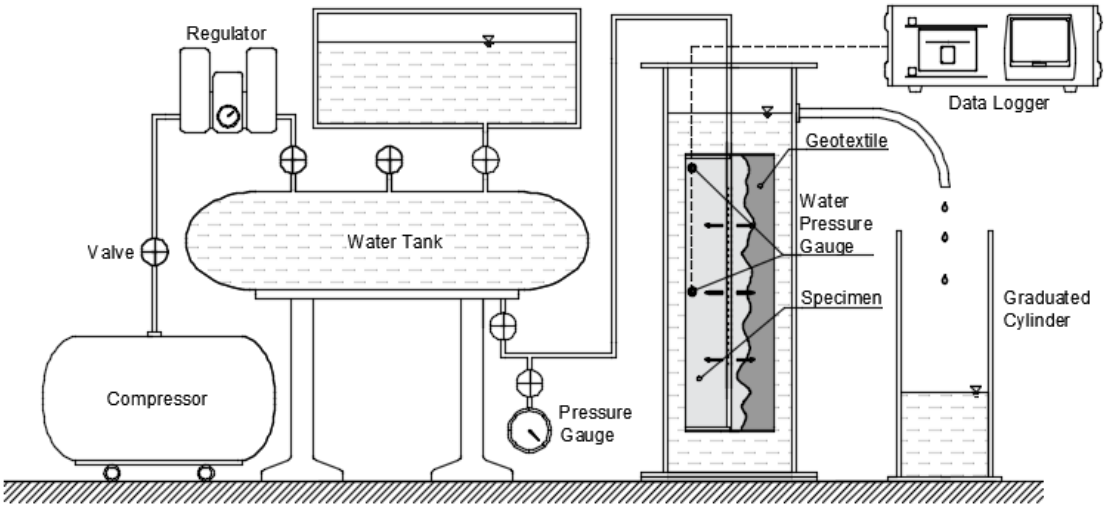


그림 2.3.49 침투압 시험장치 모식도

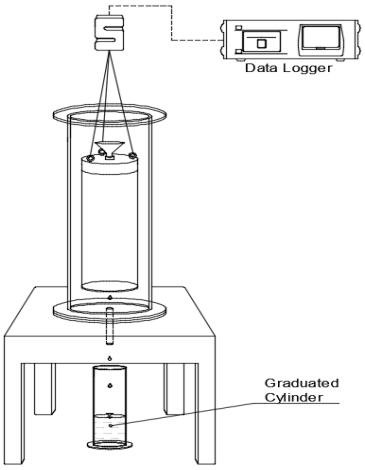


그림 2.3.50 중력식 행잉백 세부 시험장치

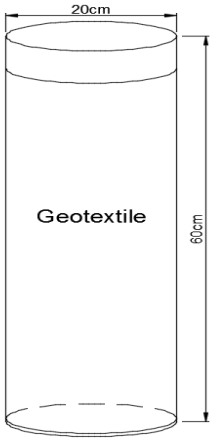




그림 2.3.51 행잉백 모식도 및 사진

(4) 시험결과 및 분석

행잉백으로부터 유출된 침투수의 농도를 측정한 결과는 [그림 2.3.52]과 같이 시간이 경과함에 따라 농도는 감소하고, 복합포가 직포보다 작게 나타났다. 이러한 현상은 직포와 부직포를 결합한 복합포의 필터기능에 의한 것으로 판단된다. 이는 복합포가 직포보다 세립분 유실 방지에 효과적임을 의미한다.

[그림 2.3.53]은 준설토 채움 후로부터 유출된 침투수량이다. 초기 침투수량은 직포의 경우 $17.5\times10^{-6}\times m^3$이고, 복합포는 $9.0\times10^{-6}\times m^3$로 직포가 복합포보다 2배정도 크게 나타났다. 약 250초가 경과한 후부터는 직포와 복합포의 침투수량이 거의 같게 나타났다. 직포는 복합포와 비교하였을 때, 초기 침투수량이 복합포보다 큰 것은 직포의 토목섬유 재질이 투수계수 및 유효구멍크기가 크므로 나타난 현상으로 판단된다.

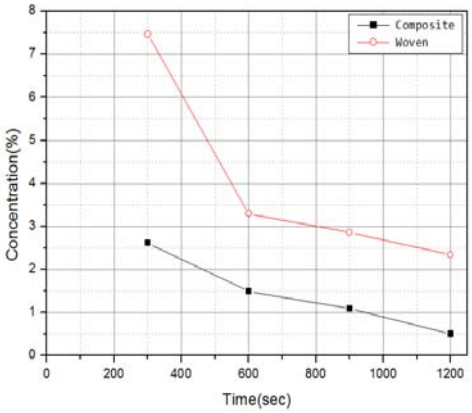


그림 2.3.52 침투수량에 따른 농도변화량

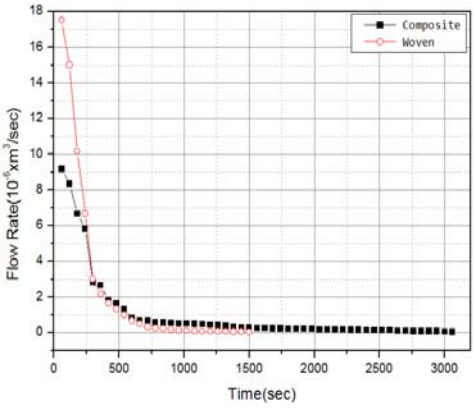


그림 2.3.53 주입완료 후 유출수량

[그림 2.3.54]는 준설토의 채움 및 유출 과정의 행잉백 상부에 설치된 로드셀로부터 계측된 하중을 표시한 것이다. 복합포와 직포의 행잉백 크기와 준설토 채움량이 같기 때문에 최대하중과 수렴단계의 하중은 거의 같으나, 최대하중과 수렴단계의 하중에 도달하는 시간은 다르게 나타나고 있다. 복합포와 직포 행잉백의 계측된 최대 하중은 약 332kN이고, 수렴단계의 하중은 314kN이다. 최대하중 도달 시간은 복합포가 1500초, 직포가 2500초이고, 수렴단계 도달 하중은 복합포의 경우가 2300초, 직포의 경우 5900초이다. 이와 같은 현상은 재질별 유효구멍의 차와 필터 기능의 유무에 의한 것으로 판단된다. 즉, 직포의 경우 유출수가 빠르게 배출되어 하중이 빠르게 수렴되었고, 복합포의 경우는 유출수가 느리게 배출 되어 직포보다 느리게 수렴하는 것으로 판단된다. 튜브 구조체 내부의 상단과 중단에 설치된 수압계와 간극수압계에 의해 나타난 튜브 구조체의 간극수압도 표시하였으며, 직포가 복합포보다 수압이 작게 나타난 것은 직포가 복합포보다 배수량이 크고 또한 클로깅에 의한 튜브 구조체의 섬유의 막힘 현상이 적기 때문이다. 따라서 하중이 증가되면서 최종적으로는 일정한 수압을 나타내고 있는 것은 클로깅에 의해 유출속도가 일정한 상태를 유지하기 때문이다.

[표. 2.3.12]는 각 침투수압별 일정 배출속도에 대한 투수계수를 수치적으로 나타낸 것이다. 이에 따르면, 원단 토목섬유 투수계수보다 약 1000배 정도 감소하고 있어 토목섬유 튜브체가 배수 시 세립입자의 막힘 현상에 복합포는 약 1000배 정도, 직포는 10,000배 정도 감소하고 있다. 직포는 필터기능이 부족하여 복합포보다 클로깅 현상이 증가됨을 알 수 있다. 직포로 구성된 토목섬유는 세립토사가 직접 토목섬유 내부 표면에 부착되어 주입초기부터 배수기능이 저하되기 때문이다. 제작된 토목섬유 튜브에 침투압을 가하는 동안 튜브 내부의 수압 및 간극수압의 변화와 침투압에 따른 토목섬유 튜브의 투수계수를 관찰하였다. Darcy 법칙을 이용하여 투수계수를 구하면 [표. 2.3.12]와 같이 나타나며 침투수압이 증가되면서 복합포와 직포는 시간경과와 함께 유출량과 투수계수가 모두 감소하고 있다.

[그림 2.3.55]은 침투수압이 단계별로 증가되면서 튜브 구조체의 배출량은 직포가 복합포보다 크게 나타난 것을 표시한 것이다. 단계별 침투수압이 증가되면서 배출수량은 직포와 부직포의 차이가 미미하게 나타나고 있다. [그림 2.3.56]는 복합포의 유효구멍크기가 직포보다 작기 때문에 침투수압에 의한 배수량이 직포보다 초기에는 감소폭이 크지만 침투수압이 증가되면서 최종적으로는 투수계수는 약간 크나 유사하게 근접됨을 표시한 것이다.

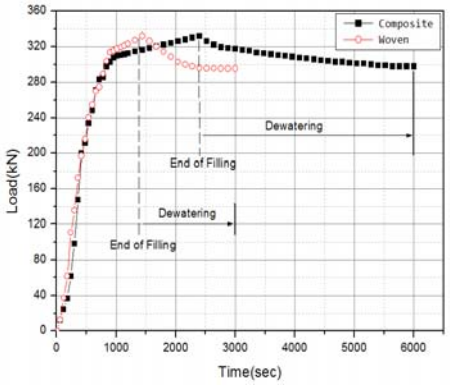


그림 2.3.54 시간에 따른 하중변화량

[그림 2.3.57]는 행잉백 내부에 상부와 중간에 간극수압계를 설치하여 측정된 값을 나타낸 것이다. 행잉백 중단에 설치된 유공관을 통해 침투수압을 튜브 구조체에 외주방향으로 작용시킨 경우에 단계별 침투수압 작용 시 직포가 복합포보다 간극수압이 작게 나타나고 있는 것은 유효구멍크기가 커서 발생된 과잉간극수압의 배수속도가 크기 때문이다. 복합포는 침투수압이 작은 경우, 즉 초기단계에서는 과잉간극수압이 서서히 증가하고 있으나 최종단계에서는 초기에는 급격하게 증가되고 최고치에 도달 후는 급격하게 하향되어 일정한 값으로 수렴되고 있으며, 침투수압보다 크게 잔류간극수압의 소산이 서서히 이루어지고 있다.

[표. 2.3.12] 침투압에 따른 투수계수 및 배수량

주입압력		20(kPa)	39(kPa)	59(kPa)	78(kPa)
투수계수	복합포	$8.53\times10^{-5}(cm/\sec)$	$5.76\times10^{-5}(cm/\sec)$	$5.01\times10^{-5}(cm/\sec)$	$4.41\times10^{-5}(cm/\sec)$
	직포	$5.22\times10^{-5}(cm/\sec)$	$5.08\times10^{-5}(cm/\sec)$	$4.56\times10^{-5}(cm/\sec)$	$4.08\times10^{-5}(cm/\sec)$
배수량	복합포	$1.18\times10^{-3}\times m^3$	$2.30\times10^{-3}\times m^3$	$3.09\times10^{-3}\times m^3$	$3.69\times10^{-3}\times m^3$
	직포	$1.93\times10^{-3}\times m^3$	$2.60\times10^{-3}\times m^3$	$3.40\times10^{-3}\times m^3$	$3.99\times10^{-3}\times m^3$

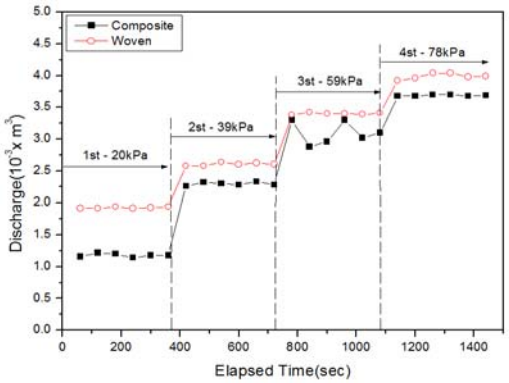


그림 2.3.55 침투압에 따른 배수량

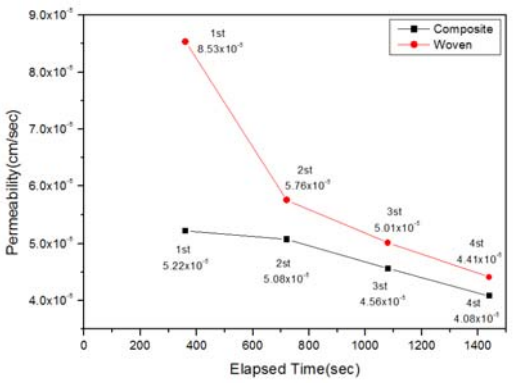


그림 2.3.56 침투압에 따른 투수계수

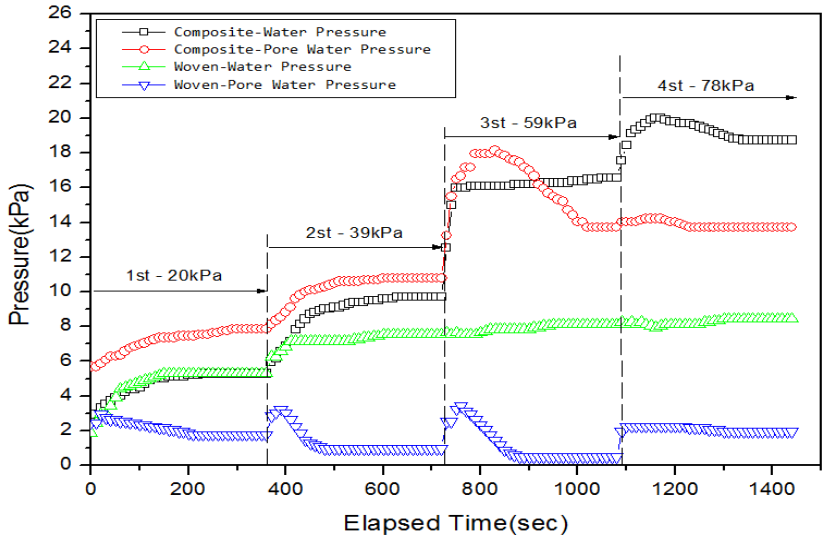
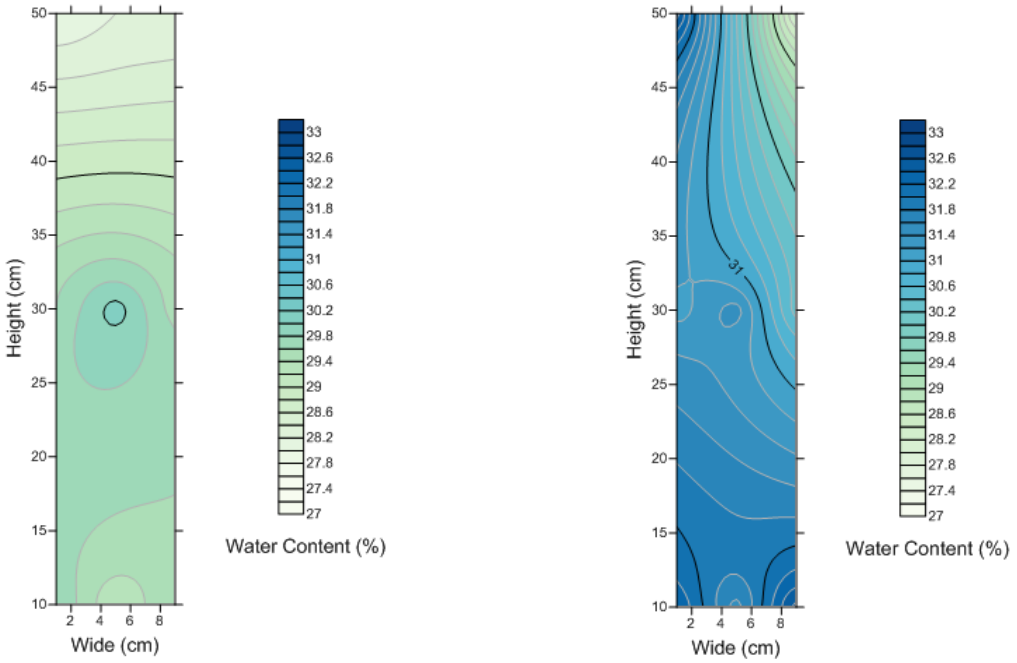


그림 2.3.57 침투압 시험 시 수압계 및 간극수압계 계측값

최종 침투수압이 작용되어 배수가 일정상태에 도달하는 정상상태에서 시험을 종료하고 튜브 구조체 내부의 퇴적상태를 파악하고자 시료를 9곳에서 채취하여 함수비를 측정하였다. [그림 2.3.58]에서 튜브 구조체의 함수비는 직포는 상·하경계면에서 균등하게 나타나고 있으나, 상대적으로 복합포는 하부와 경계면에서 상대적으로 직포보다 함수비가 높게 나타나고 있는 것은 세립토사를 보다 많이 보유하고 있기 때문이다.



(a) 폴리프로필렌 (b) 복합포

[그림 2.3.58] 시험 종료 후 튜브 구조체 함수비 분포(%)

6. 토목섬유 반단면 튜브 구조체 인장력 실험

(1) 실험목적 및 장치

토목섬유 튜브(Geotextile tube) 공법은 고인장 섬유소재인 PP, PET 등의 재질로 튜브 형태를 재단 및 봉합하여 토사를 주입하고 타원체를 형성한다. 소정의 용도에 적합하게 구조물을 조성하는 기술로 타원형 토목섬유 튜브는 준설토사를 물과 함께 주입 시 튜브의 횡방향 인장력은 토사가 충진되면서 하부 접촉면과 토목섬유 튜브 내부가 충진됨에 따라 토목섬유 튜브 구조체가 상승되면서 발생하는 인장력이 크게 다르다.

본 연구에서는 반단면 토목섬유 튜브를 상부와 하부를 고정한 상태에서 토사 주입 시 토목섬유 접선방향의 인장력을 측정하여 토목섬유 튜브 구조체의 안정성을 평가하였다. 실험에 사용된 토목섬유는 폴리프로필렌(PP) 재질이며, 신율은 5~28%이다. 횡방향과 종방향의 최대 인장강도는 각각 186.12kN/m, 166.53kN/m로 규명된 국산제품인 토목섬유를 활용하였으며, 반단면의 튜브 형태로 봉합하여 실험을 수행하였다. 또한, 토목섬유 튜브의 크기에 대한 결정은 이론적 직경(D) 1.5m에 대한 60% 충진률의 튜브 단면으로 [그림 2.3.59]과 같이 제작하였다. [그림 2.3.61]는 함수비 300%인 슬러리 상태의 준설토를 고압이송펌프를 이용하여 반단면 토목섬유 튜브 내에 주입하는 실험 장치를 모식도로 나타낸 것이며, 펌프 주입 시 발생하는 주입 압력은 평균 37.9kPa으로 측정되었다.

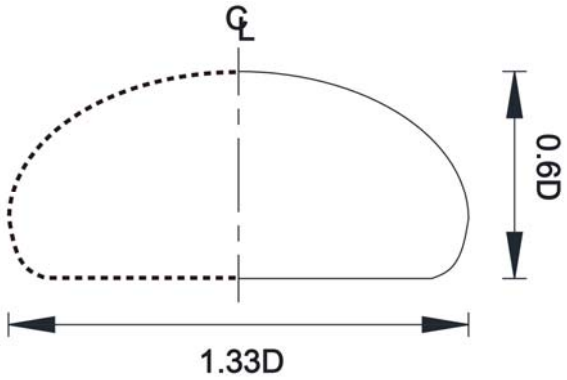


그림 2.3.59 튜브 형상(60%)



(a) 반단면 토목섬유 튜브 배치



(b) 반단면 토목섬유 튜브 인장력 실험

그림 2.3.60 반단면 토목섬유 튜브 실험 전경

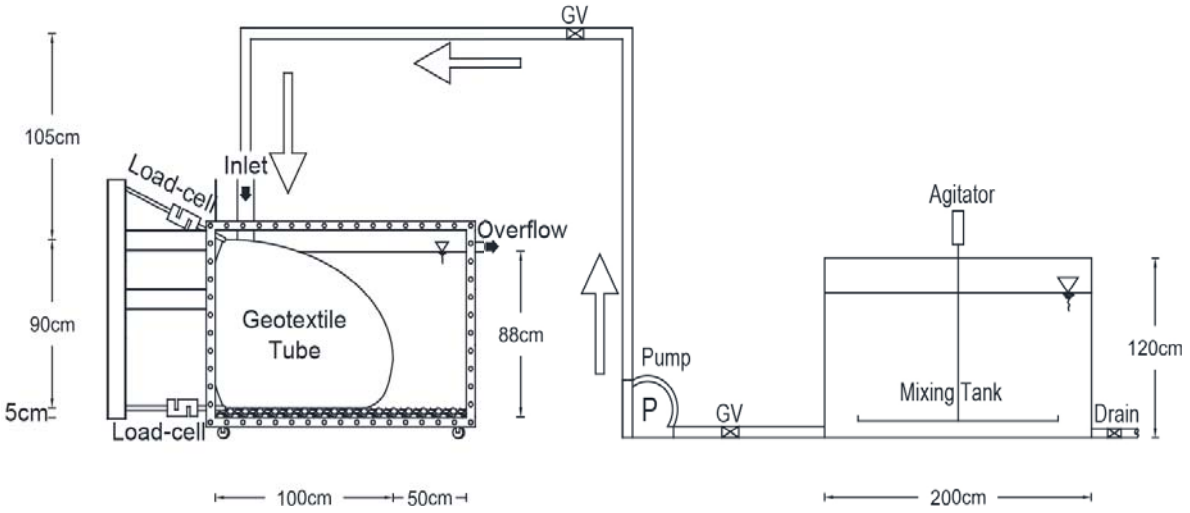


그림 2.3.61 반단면 토목섬유 튜브 실험 모식도

(2) 반단면 튜브체 실험 결과 및 분석

[그림 2.3.62]은 준설토 주입 시 반단면 토목섬유 튜브 하단과 상단접선부에 발생하는 응력을 나타낸 것이다. 상단은 시계방향으로 회전하려는 튜브의 회전력을 상단에 부착된 로드셀이 끌어당기는 접선 인장력(-)이 작용하고, 하단은 역으로 시계방향으로 회전하려는 전단력이 작용하며, 접선 인장력은 주입이 완료되면서 급격하게 감소하였다. 전단력도 감소하므로 주입완료 된 후 상하단면에서 튜브 구조체에 발생하는 응력이 감소하여 충진된 토사의 탈수에 의한 강도증가로 인해 안정화된 튜브 구조체가 형성될 것으로 판단된다.

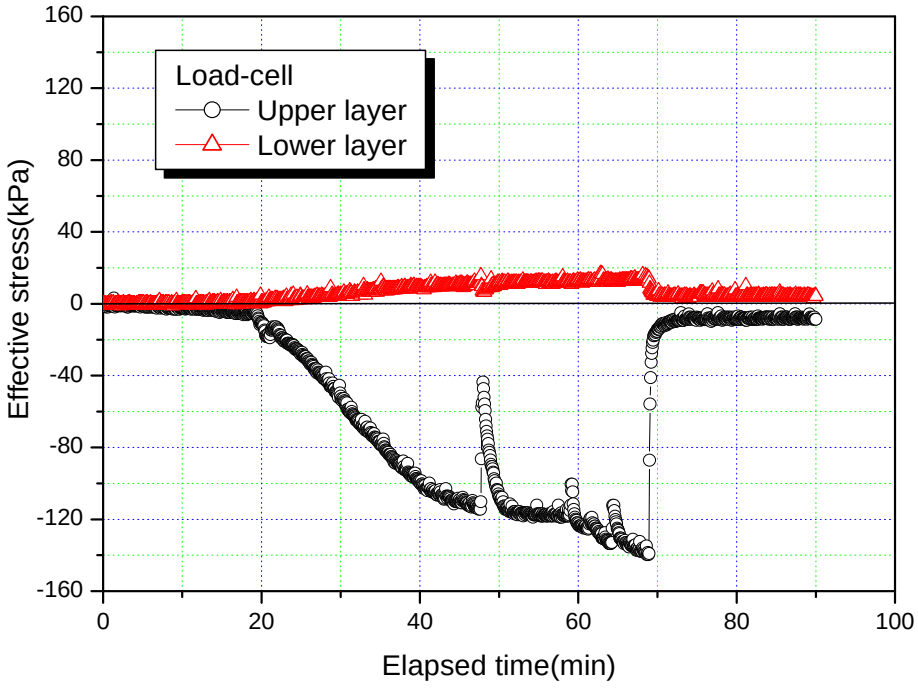


그림 2.3.62 시간에 따른 튜브 상, 하단의 작용응력

7. 준설 토목섬유 튜브 구조체 강도 분석

(1) 시험목적 및 장치

토목섬유 튜브 공법에 관한 연구는 네덜란드의 Delft 수공학 연구소에서 초기 개념적 연구가 이루어진 이후로 최근 여러 다방면의 학자들에 의해 모형튜브의 펌핑압에 의한 형태변화 및 거동분석(Silvester, 1977), 내부 퇴적특성에 따른 모형튜브 거동 분석(김형주 등, 2013) 등 대다수의 연구목적은 내·외적 영향에 의한 토목섬유 튜브의 거동으로 거론되어지고 있지만, 토목섬유 튜브 내부 채움토사에 의한 지지력에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 전기식 피에조콘을 이용하여 배수조건에 따른 물의 영향이 준설토로 충진된 토목섬유 튜브의 지지력 거동에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

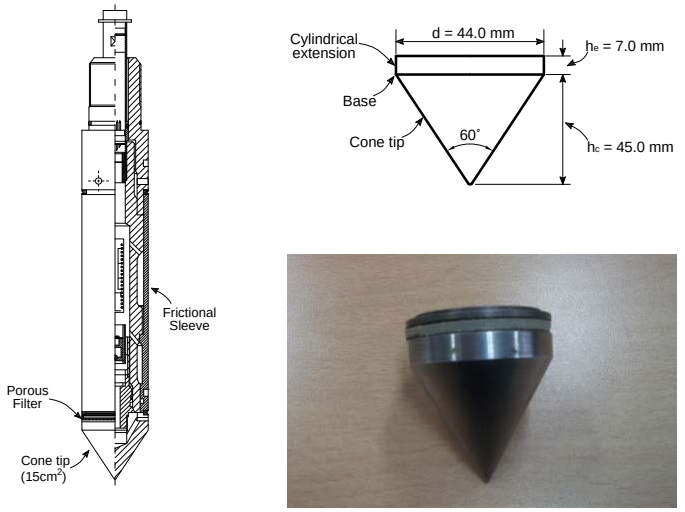
(2) 튜브 구조체의 퇴적층 특성과 콘관입 시험

[표 2.3.13]은 준설토 2차원 확산 퇴적시험 후 튜브 내 각 지점별 기본물성 시험결과로 튜브 퇴적고를 위치별로 측정한 함수비를 평균으로 하여 종단상에 나타낸 값이다. 평균 함수비의 차이는 약 2~3% 정도로 차이가 미소하나 #200통과율은 주입구로 부터 먼지역이 높게 나타나고 있다. 이는 주입구가 가까운 지역으로 튜브 끝단 봉합부근에서 토사의 확산을 저지하는 백워터 영향으로 부유토사가 많이 퇴적되었기 때문이다.

토목섬유 튜브 내부 채움토사에 의한 종단 퇴적성상에 대한 강도 및 간극수압 소산특성을 파악하고자 콘관입 시험으로 전기식 피에조콘을 이용하여 간극수압과 콘저항치를 심도와 종단별로 파악하여 튜브 구조체의 내부 지지력을 파악하였다. [그림 2.3.63]은 시험에 수행된 콘의 종류를 나타낸 것으로 선단각 60°, 단면적 15cm^{2}로 구성된 전기식 피에조콘이며, 간극수압 필터의 위치는 콘팁 후방에 위치하도록 하여 필터의 손상을 방지하였다. 전기식 피에조콘은 토목섬유 튜브 각 지점의 표면을 천공한 후 초당 2.0±0.5cm의 일정한 속도로 관입하여 원추관입 저항력(q_c)을 측정하였다.

[표 2.3.13] 준설토 2차원 확산 퇴적시험 후 튜브 내 각 지점별 기본물성시험

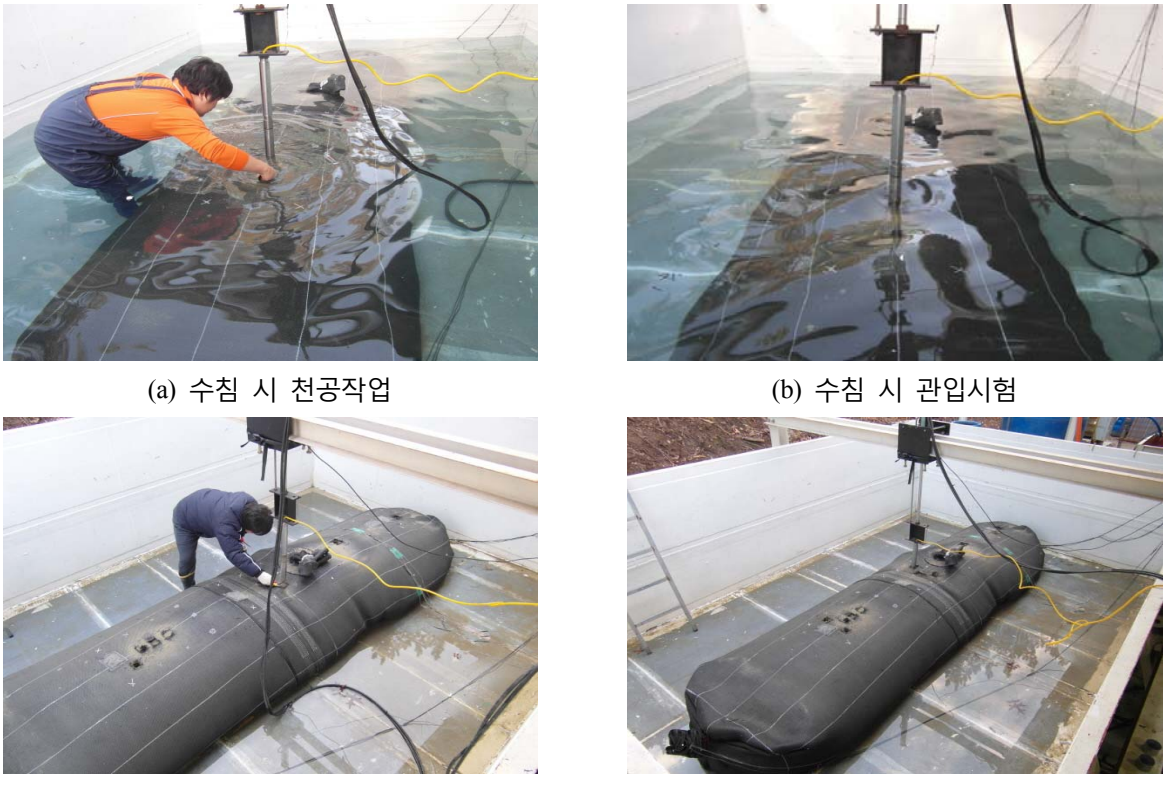
구 분	No.1	No.2	No.3
자연함수비(W_n, %)	38.9	36.3	39.4
비중(Gs)	2.700	2.705	2.706
#200체통과율(%)	39.1	27.4	20.6
소성지수(PI, %)	N.P	N.P	N.P
통일분류(USCS)	SM	SM	SM



[그림 2.3.63] 전기식 피에조콘

2) 콘관입 저항 시험 결과

본 연구에서는 전기식 피에조콘을 이용하여 콘저항을 측정하고자 [그림 2.3.64]에서처럼 토목섬유 튜브 각 지점의 표면을 천공한 후 초당 2.0±0.5cm의 일정한 속도로 관입하여 원추관입 저항력(q_c)을 측정하였다.



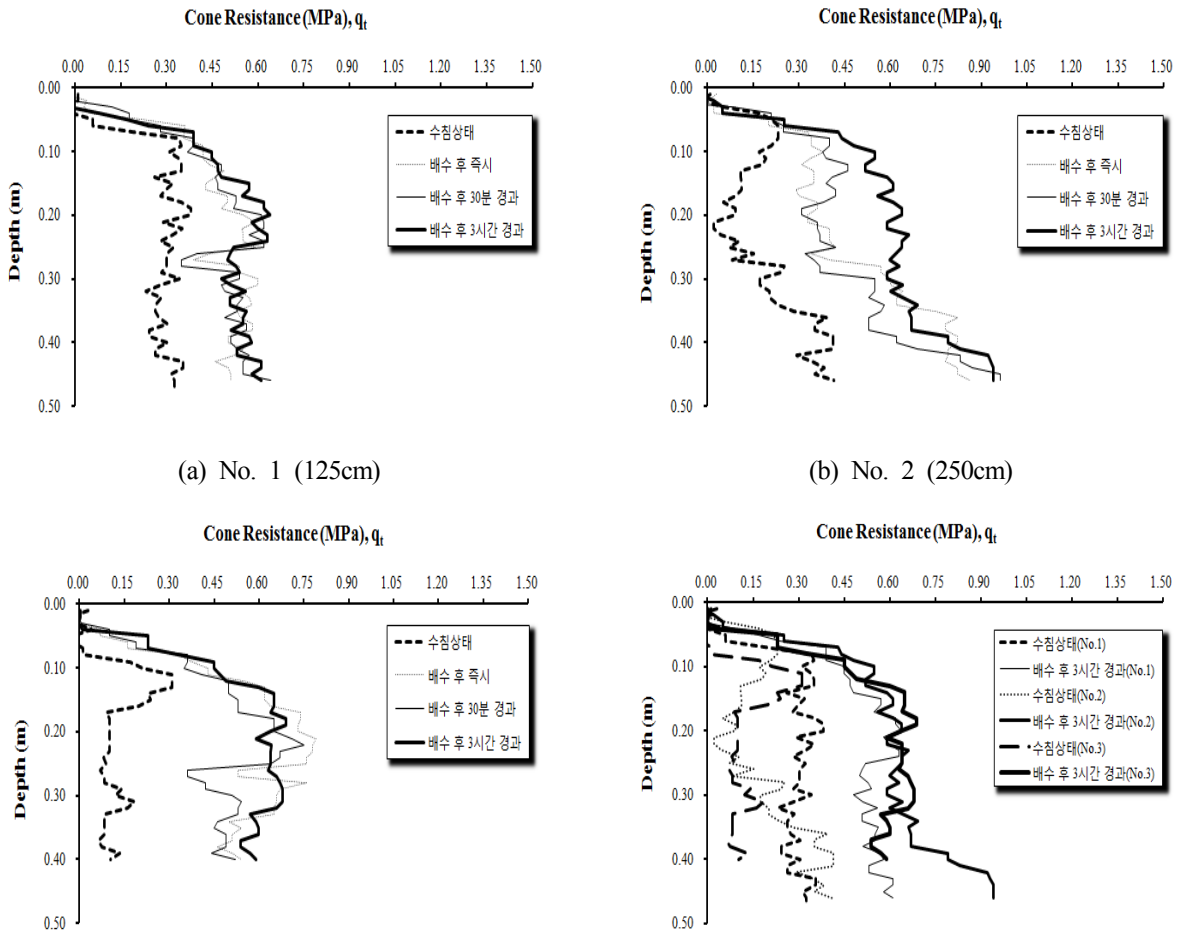
(a) 수침 시 천공작업 (b) 수침 시 관입시험

(c) 배수 시 천공작업 (d) 배수 시 관입시험

[그림 2.3.64] 토목섬유 튜브 구조체의 콘관입시험

[그림 2.3.65]은 수침 시, 배수 후 즉시, 배수 후 30분, 3시간 경과 시의 CPT시험에 의해 콘저항치를 나타낸 것으로 튜브 끝단으로 부터 우측으로 125cm, 즉 주입구로부터 좌측으로 125cm 떨어진 지점(No.1)은 배수 후 즉시, 배수 후 30분 경과, 배수 후 3시간 경과 후 수침상태의 지지력이 최대 0.34MPa, 0.65MPa, 0.65MPa 이다. 250cm 떨어진 지점인 주입구(No.2)에서는 동일시간 경과 후 최대 0.30MPa, 0.45MPa, 0.63MPa이며, 튜브 끝단에서 우측으로 325cm, 주입구로부터 우측으로 75cm 떨어진 지점(No.3)에서는 최대 0.3MPa, 0.65MPa, 0.65MPa으로 나타나고 있다. 전반적으로 콘관입 저항치는 튜브 구조체의 연직중간 위치에서 0.63MPa 값을 나타내고 있으며, 하부 바닥에서는 콘관입 저항치는 연직중간 위치보다 미소하게 증가되고 있다. 또한, 토사주입구 위치에서 다소 콘관입 저항치가 크게 나타난 것은 조립토사가 타 위치보다 채움 토사가 많이 퇴적되었기 때문이다.

전반적으로 배수가 진행되면서 콘 저항치가 증가되고 있는 것은 배수에 의해 입자간의 밀도증가가 유효응력을 증가시키기 때문이다. 이러한 영향은 튜브 구조체 하단으로 심도가 깊어질수록 발생하고 있다.



(a) No. 1 (125cm)

(b) No. 2 (250cm)

(c) No. 3 (325cm)

(d) 종단상의 콘관입저항치 정리

[그림 2.3.65] 시간에 따른 콘 저항지수 변화

제4절 수치해석을 이용한 설계이론 분석

1. 국외 상용 수치해석 프로그램을 이용한 영향인자 분석

(1) 개요

일반적으로 토목 공사는 환경에 최소한의 영향을 주는 것에 초점을 맞춘다. 토목섬유 튜브를 이용한 제방 축조기술도 이러한 점에 주목하여 다양한 시도 끝에 개발되었다. 튜브는 봉제된 토목섬유로 제작되고, 시공 시 주입구는 오픈 상태로 있으며, 주입구 상단에 이송파이프를 고정시켜 펌핑압 또는 수압으로 튜브 내부를 충진시켜 구조물로 적용된다.

토목섬유 튜브 공법 시공 시 충진 재료를 모래로 적용할 경우, 슬러리 상태일 때에는 물이 모래를 단거리로 이송시키므로 튜브의 균일한 충진을 위해 주입구 간격을 약 9m정도로 위치시켜야 안정적으로 시공할 수 있다. 이와 반대로 충진 재료를 점토로 적용할 경우에는 미세한 점토 입자들이 토목섬유의 직물을 막아 물의 배출속도를 지연시키기 때문에 주입구의 간격을 최소 15m정도로 위치시켜야 한다.

본 절에서는 상용 수치해석 프로그램인 GeoCoPS를 이용하여 토목섬유 튜브에 영향을 미치는 인자를 파악하고 분석하였다. Pilarczyk(1994), Sprague(1993)이 언급한 바와 같이 토목섬유 튜브의 영향인자는 시공사례와 관련이 있으며, 안정적인 시공을 위해서는 튜브 주입구의 형태와 위치, 즉 시공측면에서 다양한 변수를 고려한 설계가 되어야 한다.

(2) 분석의 개요

슬러리 상태의 토사를 압송하여 충진된 토목섬유 튜브가 소세지 형태의 원형 구조를 조성할 때의 튜브 내부 둘레에 작용하는 인장력을 기반으로 관계식을 산정하였다. 본 관계식은 기존 문헌에 이미 언급된 바 있으며[Liu(1981), Kazimierowicz(1994), Carroll(1994)], 관계식의 신뢰도 분석을 위해 기본적인 개요를 재정립하였다.

① 평면변형과 같은 2차원적인 부분을 고려하기 위해서는 튜브 길이와 장축에 직교하는 모든 횡단면도에서의 형상과 재료는 동일하여야 한다.
② 토목섬유는 얇고 신축성이 있어야 하며 단위 길이 당 중량은 무시할 수 있다.
③ 튜브 구조체를 충진하는 재료는 슬러리 상태이므로 튜브 내부에는 압력이 작용해 응력이 발생한다.
④ 슬러리 상태의 토사와 토목섬유 사이에서는 전단응력이 발생하지 않는다.

기호 표기는 [그림 2.4.1]과 같이 나타내었다. 명확한 표현을 위해 튜브는 공기에 둘러싸이고 한 종류의 슬러리에 의해 충진하는 것으로 간주된다.

그러나, 내부 슬러리 층과 외부 유체 층을 포함한 공식의 확장은 간단하다. 사실 GeoCoPS는 다른 시간에 상이한 밀도를 갖는 두 층의 슬러리와 물에 튜브의 일부 또는 전체 침수의 영향을 받는 외부 두 층의 유체를 수용할 수 있다.

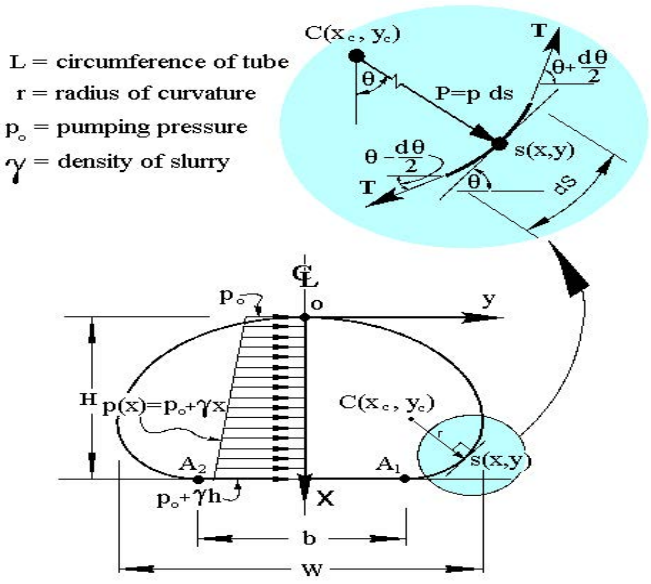


그림 2.4.1 토목섬유 튜브의 단면도

단면은 대칭이며, H = 토목섬유 튜브의 높이, B = 폭, b =기초지반과 접촉하고 있는 폭, P_o = 튜브 내에 슬러리를 주입하는 펌핑압, γ = 슬러리의 평균 단위 중량으로 나타냈다. 따라서 어떤 깊이(x)에서의 슬러리의 압력은 지점 O에서 측정하며 $P_{(X)} = P_o + \gamma_x$ 라는 식으로 나타낼 수 있다.

토목섬유 튜브의 형상에 관한 함수를 $y = f(x)$로 정의하고, $S(x, y)$의 접점에서 토목 섬유의 곡률 반경(r)의 중심점 C(X_c, Y_c)에 있으며, 반경과 중심점은 $y(x)$에 따라 다르므로 토목섬유에서 힘(S)이 작용하는 호의 길이(ds)를 슬러리와 토목섬유의 관계에서 2차원으로 해석하고, 전단응력은 작용하지 않는 것으로 가정하여 토목섬유 튜브의 원주 방향을 따라 일정한 인장력(T)을 가지게 된다. x, y 방향으로 힘의 평형방정식을 이용하여 다음과 같은 식을 추론할 수 있다.

$$r(x) = \frac{T}{p(x)} \tag{1}$$

식(1)은 A_1OA_2 를 따르는 어떠한 지점에서도 만족하며 폭을 따라 토목섬유의 인장력이 식(1)에 의하여 계산된다. 결과적으로 식(1)로 인하여 인장력에 관한 식을 해석할 수 있으며, 미분 방정식을 사용하여 곡률 반경에 관한 다음과 같은 식을 추론 할 수 있다.

$$r(x) = \frac{[1 + (y')^2]^{2/3}}{y''} \tag{2}$$

여기서, $y' = dy/dx$, $y'' = d^2y/dx^2$ 식(2)와 $p(x)$를 식(1)을 대입하면

$$Ty'' - [p_o + \gamma x][1 + (y')^2]^{3/2} = 0 \tag{3}$$

식(3)은 비선형 미분 방정식으로 정확한 답을 제시하며, 이러한 해석은 튜브의 형상(y(x)), 원주 방향 인장력(T), 펌핑압(p_o), 단위 중량(γ) 및 튜브 높이(h) 사이의 관계를 도출할 수 있다.

$$y = f(x|T, p_o, h, \gamma) \tag{4}$$

슬러리의 단위 중량(γ)을 알고 있으므로, 식(4)는 독립 변수 x와 세 매개 변수 T, p_o, h로 구성된 함수이다. 일반적으로 세 매개 변수 T, p_o, h 역시 주어지므로 y(x) 역시 주어진 변수만으로 해석이 가능하다. 그러므로 명확한 해석을 위해서는 정확한 구속 조건을 부여하여야 한다. 이러한 2가지 매개 변수는 설계 파라미터와 튜브의 형상이 결정되고, 또한 다른 2가지의 매개 변수를 얻게 된다. 즉, 2개의 물리적 변수는 현재 해결 방법의 일환으로 알 수 없는 매개 변수 2가지를 대체한다. 첫 번째 변수는 점 O에서 기하학적 경계 조건이다. 물리적으로, 토목섬유는 튜브의 반단면과 대칭인 단면으로부터 보다 나은 해석을 위해 O점은 수평이 되어야 한다.

$$1/y'(O) = O \tag{5}$$

두 번째 변수는 길이(b)에 대한 식에서 수직력을 요구한다.

$$b = \frac{W}{p_o + \gamma \bullet h} \tag{6a}$$

여기서, W는 튜브 전체가 슬러리로 충진 된 단위 길이 당 무게이다.

$$W = 2\gamma \int_o^h y(x) \bullet dx \tag{6b}$$

식 6a에 식 6b를 대입하면 다음과 같다.

$$b = \frac{2\gamma}{p_o + \gamma h} \int_o^h y(x) dx \tag{7}$$

특정 둘레(L)를 가진 튜브는 식[(3), (5), (7)]에 T, p_o, h를 대입하여 b를 계산한다. 그러나 토목섬유 시트로 봉합되어 만들어진 튜브는 b보다는 둘레는 더 고려해야 한다. 둘레(L)가 고려하면 b의 값은 다음과 같은 식에서 얻을 수 있다.

$$L = b + 2 \int_s ds \tag{8}$$

ds는 미적분에서 호의 길이와 식=$[1 + (y')^2]dx.$와 같다. 식(7)의 치환하여 얻어진 식(8)의 ds를 이용하면 다음과 같은 식과 같다.

$$L = \frac{2\gamma}{p_o + \gamma h}\int_o^h y(x)dx + 2\int_o^h [1 + (y')^2]^{1/2}dx \tag{9}$$

위에 제시된 둘레를 식(3), (5), (9)를 연립하여 계산한다면 T, h, p_o와 y(x) 사이의 관계를 식(4)와 같이 도출할 수 있다. 설계 파라미터(T, h, p_o) 중 하나가 정해진다면 수치해석이 용이해진다. 이 계산 방법은 많은 시간이 소요되는 시행착오법이며, 여러 문헌(Liu 1981, Kazimierowicz 1994, Carroll 1994)에서도 찾아볼 수 있다. 하지만, 이러한 문헌에서는 실용적 설계 계산방법은 명시되어 있지가 않다. 이러한 배경 하에 GeoCoPS가 개발되었다.

$\mathbf{T}$ = circumferential geosynthetic tensile force (Equation 3)
$\mathbf{T}_{axial}$ = axial geosynthetic tensile force (Equation 11)

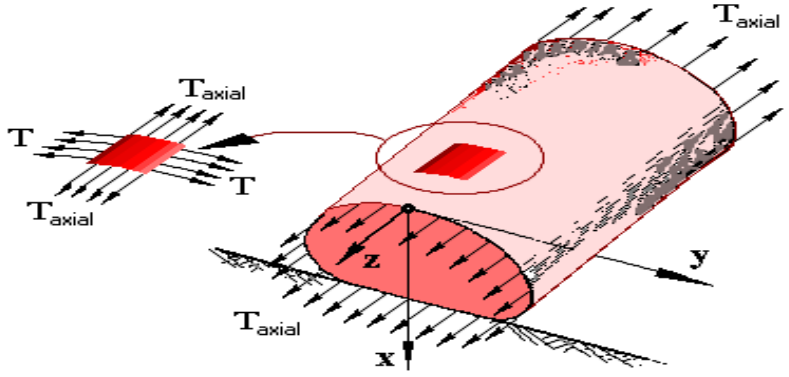


그림 2.4.2 토목섬유 튜브의 축방향 인장력 발생현황

GeoCoPS 프로그램은 토목섬유 튜브로 슬러리를 충진할 때, 작용하는 단위 길이 당 축방향 인장력(T)을 측정해야 해야 한다. 축방향 인장력의 정의는 [그림 2.4.2]과 같으며, 가압된 슬러리로부터 튜브 끝의 수직면에서 전하중(P)이 작용한다.

$$P = 2 \cdot \int_o^h (p_o + \gamma x) \cdot y(x) \cdot dx \tag{10}$$

P가 튜브의 Z방향에서 축방향으로 지지되며, 인장력(T)은 튜브의 둘레에서 등분포하중으로 작용한다.

$$T_{axial} = \frac{2}{L}\int_o^h (p_o + \gamma x)y(x)dx \tag{11}$$

튜브의 형상이 식(3)을 통해 결정된다면, 인장력은 식(11)에 의해 계산할 수 있다. 일반적으로 원주방향의 인장력은 T_{axial} 보다 클 수 있다. 따라서, 토목섬유에 등방으로 하중이 작용한다면 인장력은 설계 매개변수에 포함되지 않는다.

그러나, 보통의 토목섬유는 경사와 위사 방향에 따라 하중이 다른 이방성이다. 따라서 토목섬유 구조물의 안정성과 경제성을 보장하기 위해 T_{axial} 값을 항상 고려해야 되며 GeoCoPS는 T, T_{axial} 값 모두를 제공한다.

(3) 검증분석

- 수치해석

Sivester(1986)는 특정 원주를 가지는 튜브에 관한 무차원 수치 해석을 제시하였고, 튜브 형태의 수치해석 결과는 실험을 통해 입증하였다. 입력 데이터는 [표. 2.4.2]와 같이 정리하였으며, 둘레($L = 12 feet$) 및 튜브 하단의 압력($p = p_0 + \gamma h$) 값이 나타나있다. 사용된 슬러리의 단위 중량은 물을 기준으로 2.0이다. 동일한 입력 데이터를 바탕으로 Silvester(1986)에 의한 계산값과 GeoCoPS 의한 값을 비교하여 [표. 2.4.1]와 같이 나타냈다. 표에서 알 수 있듯이 두 값은 거의 비슷한 값을 도출하였다.

Liu(1981)는 물과 모르타르를 사용하여 실험 수행 및 결과 분석을 하였고, 수중 조건에서 모르타르를 충진한 케이스의 경우 인장력의 관한 데이터는 없지만 [표. 2.4.1]에서 나타나듯이 CeoCoPS의 결과와 매우 유사한 것을 알 수 있다.

또한, Kazimieowicz(1994)도 수치해석법을 제시하였다. [표. 2.4.3]에서 나타나듯이 하나의 슬러리에 각각의 펌프압에 따른 값을 GeoCoPS의 결과 값과 비교분석 하였을 때 유사값이 나타났다.

[표. 2.4.1] Silvester(1986)와 GeoCoPS 프로그램에서 얻은 결과 비교

No.	Input		Calculated					
	L [m]	P [kPa]	Source	h [m]	b [m]	W [m]	Area [m^2]	T [kN/m]
1	3.6	44.6	Silvester	1.00	0.48	1.27	1.05	17.5
			GeoCoPS	1.00	0.46	1.27	1.04	17.4
2	3.6	30.2	Silvester	0.90	0.65	1.32	0.99	10.1
			GeoCoPS	0.91	0.64	1.32	1.00	9.7
3	3.6	22.2	Silvester	0.80	0.82	1.38	0.95	5.8
			GeoCoPS	0.82	0.83	1.38	0.94	5.8
4	3.6	18.1	Silvester	0.70	0.94	1.45	0.89	4.2
			GeoCoPS	0.75	0.95	1.42	0.90	4.2
5	3.6	13.7	Silvester	0.60	1.05	1.50	0.81	2.8
			GeoCoPS	0.63	1.15	1.52	0.81	2.4
6	3.6	11.6	Silvester	0.51	1.21	1.55	0.74	2.0
			GeoCoPS	0.55	1.25	1.56	0.74	1.7

[표. 2.4.2] Liu(1981)와 GeoCoPS 프로그램에서 도출된 결과 비교

No.	Input		Calculated					
	L [m]	P [kPa]	γ_{slurry} [kN/m^2]	Source	h [m]	b [m]	W [m]	d(1) [m]
1(3)	0.93	3.86	1.00	Liu(2) GeoCoPS	0.23 0.23	0.18 0.16	0.34 0.34	0.09 0.09
2(3)	0.93	1.76	1.00	Liu(2) GeoCoPS	0.16 0.16	0.31 0.29	0.38 0.38	0.05 0.05
3(4)	1.04	3.44	2.00	Liu(2) GeoCoPS	0.24 0.25	0.25 0.24	0.41 0.41	0.09 0.09

(1) d = 높이가 최대일 때 튜브의 폭, W occurs.
(2) 도출된 결과 값은 도표에 의한 보고를 바탕으로 함.
(3) 튜브 외부에 물이 없는 경우.
(4) 튜브는 물과 모르타르로 가득 채워짐.

[표. 2.4.3] Kazimierowicz(1994)와 GeoCoPS 프로그램에서 얻은 결과 비교

No.	Input		Calculated			
	L [m]	P [kPa]	Source	h [m]	b [m]	T [kN/m]
1	3.6	17.5	Kazimierowicz GeoCoPS	1.00 1.00	0.46 0.46	11.8 12.2
2	3.6	20.4	Kazimierowicz GeoCoPS	0.90 0.91	0.64 0.65	6.8 6.9
3	3.6	4.6	Kazimierowicz GeoCoPS	0.80 0.82	0.84 0.82	4.0 4.2
4	3.6	3.0	Kazimierowicz GeoCoPS	0.70 0.77	0.96 0.93	2.7 3.2

이러한 비교 분석은 기본적으로 식(3)을 이용하여 수치해석을 한 것이다. GeoCoPS에 설계된 수치해석 절차는 튜브의 비교적 정확한 형태와 인장력(허용 가능 오차 범위 내)을 나타낼 수 있으며 근사값을 얻을 수 있다.

(4) 실험 해석

Liu(1981)는 8.2feet 길이의 PVC 튜브에 물이나 모르타르를 충진시켜 시험을 수행하였다. 모르타르가 충진된 튜브는 수중에서 시험이 수행되었다. 또한, Liu는 튜브의 형상을 측정하였으며, [그림 2.4.3]~[그림 2.4.5]는 시험에 의한 튜브의 둘레에 따른 측정지점의 위치와 CeoCoPS의 결과를 비교한 것이다. 그림의 3가지 케이스는 [표. 2.4.2]에 나타나 있으며, 그림에서의 비교는 실험 결과에 제한적이다.

프로그램 계산 결과와 실험 데이터는 분명 유사한 값을 나타내고 있으며, 이는 해석 결과에 따른 신뢰성을 가지고 있다. 따라서, GeoCoPS는 토목섬유 튜브 설계에 있어 적합한 프로그램이라 할 수 있다.

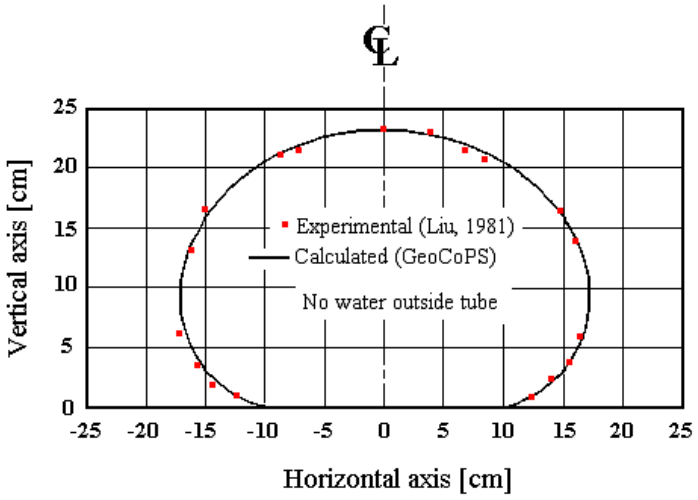


그림 2.4.3 GeoCoPS에 의해 기하학적으로 도출된 튜브(Liu 1981) 둘레 측정(1)

$(L = 0.93m;\ p = p_0 + \gamma_h = 3.86\ kPa;\ \gamma = \gamma_w)$

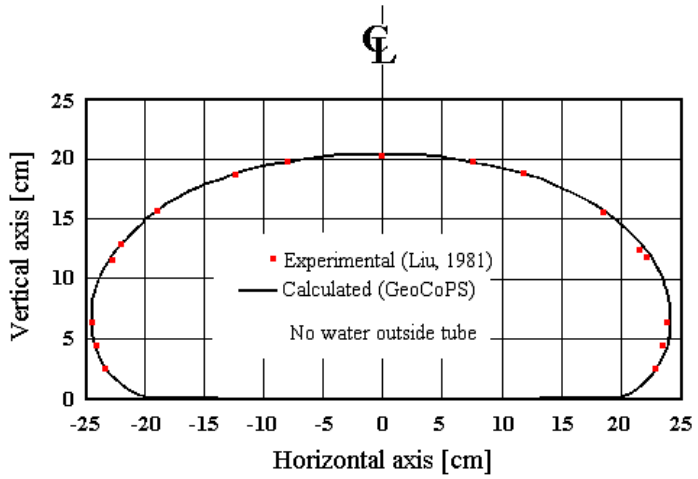


그림 2.4.4 GeoCoPS에 의해 기하학적으로 도출된 튜브(Liu 1981) 둘레 측정(2)

$(L = 0.93m;\ p = p_0 + \gamma_h = 1.73\ kPa;\ \gamma_{slurry} = \gamma_w)$

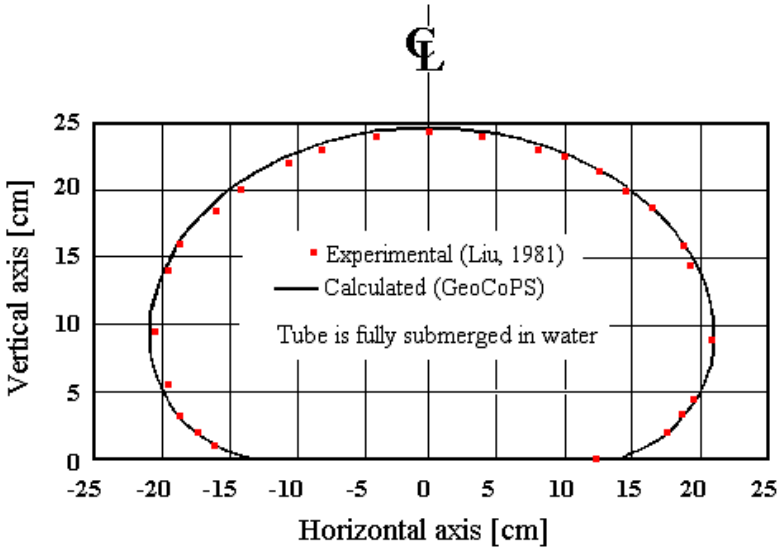


그림 2.4.5 GeoCoPS에 의해 기하학적으로 도출된 튜브(Liu 1981) 둘레 측정(3)

$(L = 1.04m;\ p = p_0 + \gamma_h = 3.45\ kPa;\ \gamma_{slurry} = 2\gamma_w)$

- 매개변수 연구

토목섬유 튜브 설계 시 설계는 매개변수와 관계가 있으므로 이에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구는 GeoCoPS를 사용하여 수행하였으며, 모든 케이스에서 튜브의 둘레는 $L = 30\,ft$, 슬러리의 단위중량은 물을 기준으로 1.2, 토목섬유 튜브 외부에는 물이 없다고 가정하였으며, 토목섬유 강도의 안전계수는 1.0으로 설정하였다.

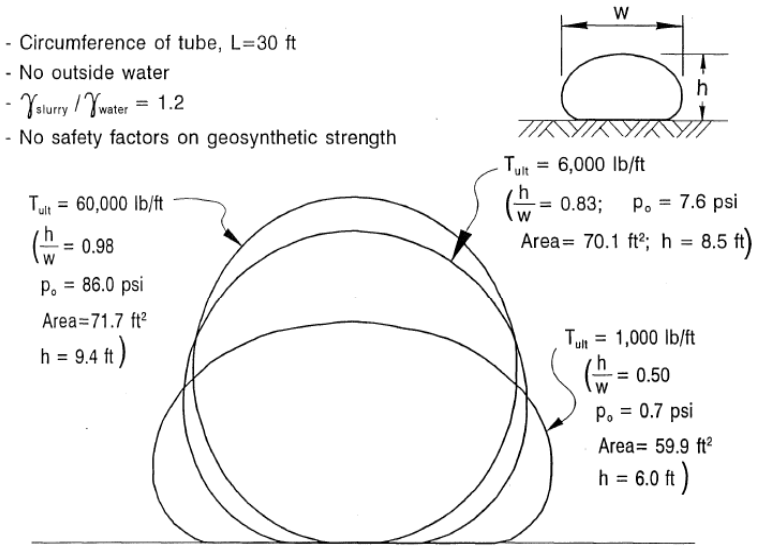


그림 2.4.6 튜브의 형상에 미치는 T_{ult}의 영향

토목섬유 튜브 구조에서 토목섬유의 인장력(원주 방향)의 효과는 [그림 2.4.6]과 같이 도시하였다. 토목섬유 튜브가 $D = L/\pi = 9.55ft$로 이론 높이를 얻기 위해서는 인장력(T)은 무한대에 근접해

야 된다. 하지만 인장력이 $1000\,lb/ft$보다 낮게 작용한다면 토목섬유 튜브의 높이(h)는 6.0ft가 형성될 것이며, 이는 이론 높이(D)의 63% 정도이다. 인장력이 $6000\,lb/ft$ 이상 된다면 토목섬유 튜브의 높이(h)는 8.5ft가 형성되고, 이론 높이의 89%정도이다. 높이의 변화에 따라 튜브의 단면적의 넓이도 변화한다는 점에서 이에 따라 요구되는 슬러리의 체적이 달라지며 이는 명확히 설계와 관계가 있다.

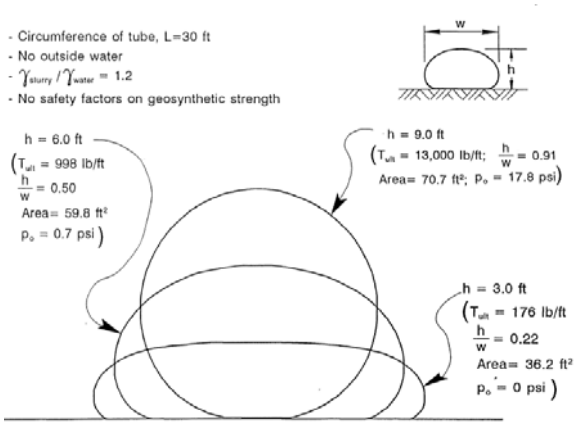


그림 2.4.7 튜브의 형상에 미치는 H의 영향

[그림 2.4.7]은 토목섬유 튜브 구조체에서 설계된 높이 h의 효과를 보여준다. 예를 들어, 3.0ft의 높이(최대 이론 직경의 31%)의 튜브를 설계한다면 요구되는 펌프압은 거의 0에 가까우며, 원주 방향으로 작용하는 힘도 매우 작다. 그러나, 9.0ft(최대 이론 직경의 94%)의 튜브를 설계한다면 필요한 펌프압은 17.8psi이며, 원주 방향의 힘은 이전보다 실질적으로 크게 발생하게 된다.

[그림 2.4.8]은 토목섬유 튜브 구조체의 펌프압의 효과를 나타내고 있다. 이는 낮은 압력에서는 펌프압이 미소하게 증가하더라도 튜브의 높이 h는 크게 증가되는 것을 알 수 있다. 그러나, 펌프압이 토목섬유 튜브에서 요구되는 특정 값(예를 들어, 5psi)을 초과한다면 펌프압의 변화에 따라 튜브 높이의 변화는 미미하다고 볼 수 있다.

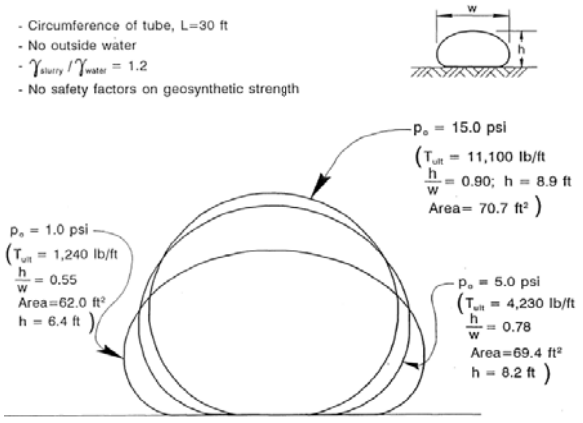


그림 2.4.8 튜브의 형상에 미치는 p_0의 영향

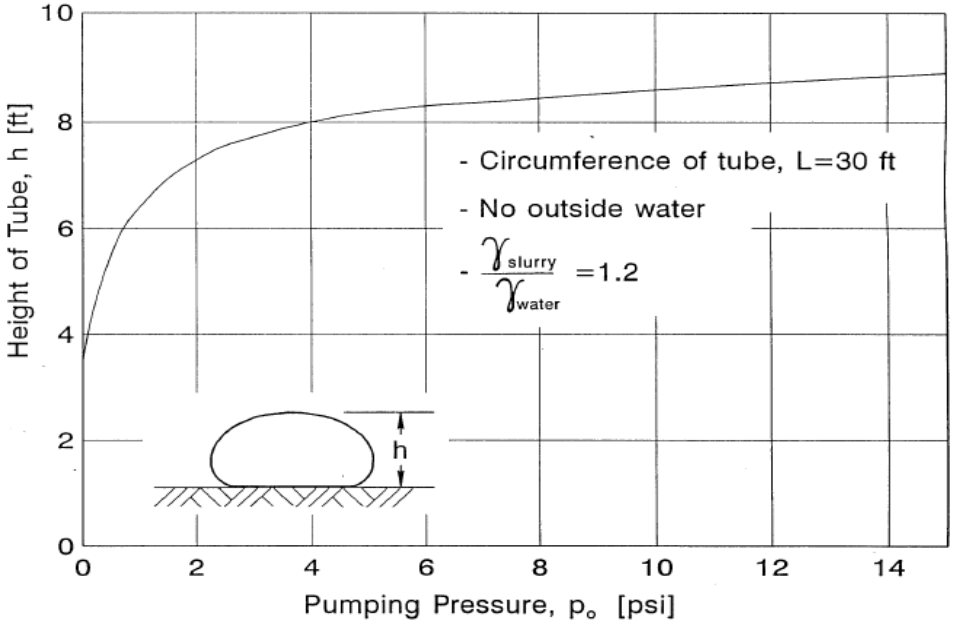


그림 2.4.9 펌핑압에 따른 튜브의 높이변화

[그림 2.4.9]은 튜브의 높이와 펌프압 사이의 관계를 보여준다. 이것은 압력이 낮을 때 매우 중요하다고 볼 수 있다. 압력이 높은 경우에는 h와의 관계는 미미하게 작용하고, 펌프압이 거의 무한대에 가까울 때 $h = D$ 를 만족한다.

[그림 2.4.10]은 펌프압과 T와 T_{axial}의 관계를 나타낸 것이다. 펌프압이 감소하면 축방향 인장력은 원주방향 힘에 가까워지는 것을 알 수 있다.

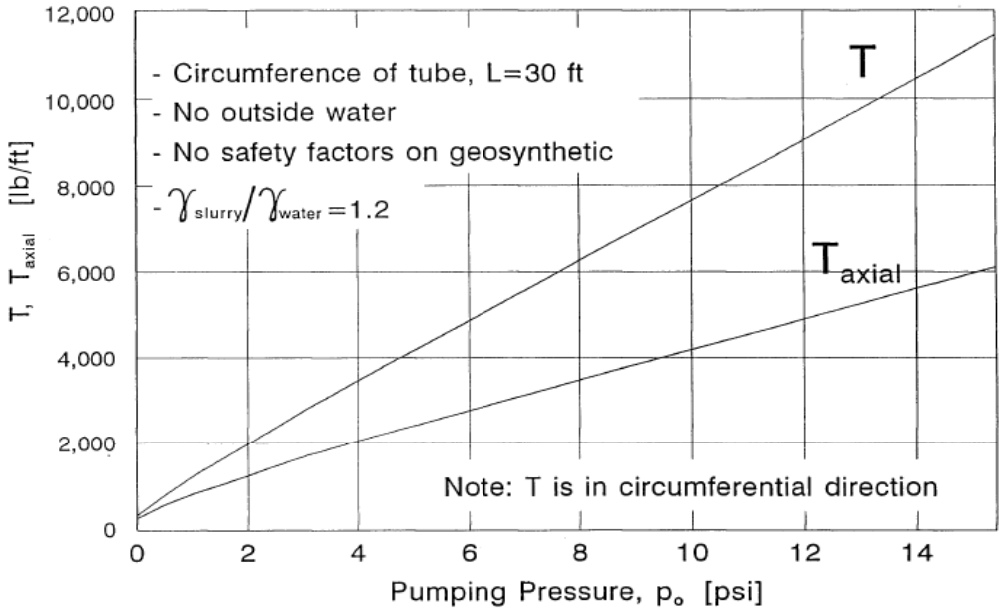


그림 2.4.10 펌프압에 따른 T와 T_{axial}의 변화

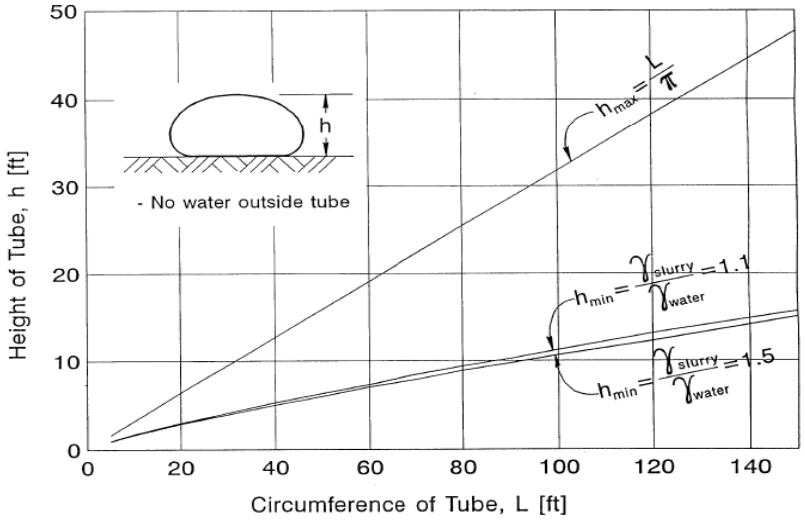


그림 2.4.11 튜브 높이의 극한값(튜브 외부에 물이 없는 경우)

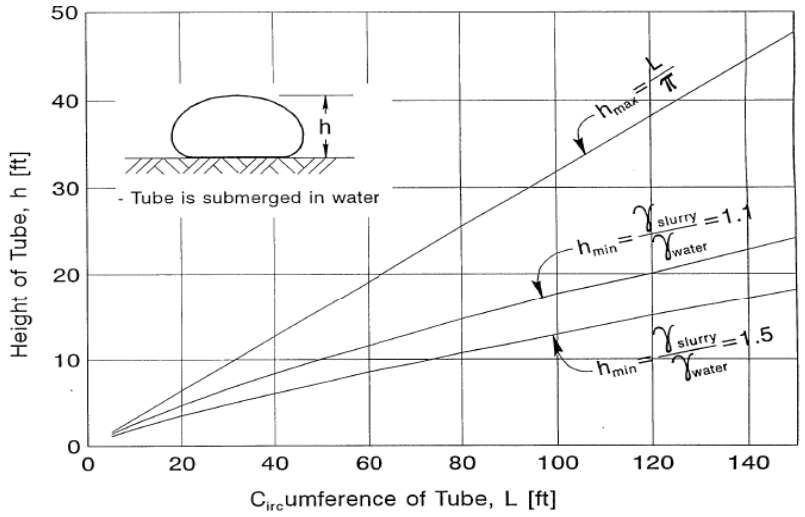


그림 2.4.12 튜브 높이의 극한값(튜브 외부에 물로 가득 찬 경우)

마지막으로 [그림 2.4.11], [그림 2.4.12]은 원주(L)를 갖는 튜브의 최대 및 최소 높이를 표시한 것이다. 최대 높이(h_{max})는 원주를 갖는 튜브의 직경과 동일하고 최소 가능한 높이(h_{min})는 GeoCoPS를 통하여 계산하였다. 이것은 펌프압이 미소하게 작용하고, 튜브의 단면은 아직 다 충진되지 않은 것으로 본다. 즉, 토목섬유 튜브의 원주 방향에서의 곡률의 변화가 없는 상태(윗부분에서 처짐이 발생하지 않는 상태)의 한계 값을 말한다. [그림 2.4.11]에 나타나 있듯이 튜브가 수중상태가 아니라면 슬러리 밀도에 따른 h_{min} 변화는 미미하다고 할 수 있다. 그러나, [그림 2.4.12]과 같이 튜브 구조체 전체가 수중상태라면 수중 조건의 경우가 비수중 조건의 경우보다 h_{min}이 더 크게 형성되는데, 이는 튜브가 수중 조건서 슬러리의 유효응력이 감소한 결과이다. 감소된 슬러리의 응력은 튜브가 원형에 가까운 단면을 유지할 수 있도록 도와준다.

(5) 설계 고려사항

- 토목섬유 강도

토목섬유가 극한강도를 갖기 위해서는 힘을 계산하여 적용한 안전계수를 산정해야 한다. 안전계수는 다음과 같다.

$$Tult = Twork \cdot (Fs\text{-}id \cdot Fs\text{-}cd \cdot Fs\text{-}bd \cdot Fs\text{-}cr \cdot Fs\text{-}ss) \quad (12)$$

* Twork = 토목섬유 사용하중의 계산된 장력 또는 원주방향, 축방향
* Fs-ss = 봉합강도의 안전계수 봉합능률에 따라 고강도의 직포가 꽤 낮아질 수 있다. 최소 2.0의 값이 필요하다. 정확한 값은 ASTM D 4884-90의 구체적인 실험을 이용하여 결정한다. 이 실험은 봉합능률과 Fs-ss의 관계는 (1/봉합능률)과 동일하게 정의된다.
* Fs-id = 화학적 저항에 대한 안전계수, 슬러리가 손상되는지 여부를 확인하는 것은 ASTM D 5322-92의 구체적인 시험을 통하여 활용할 수 있다. 하지만, 이 시험은 실제 슬러리를 사용해야 의미가 있으며 야외로 노출된 태양빛으로 화학적 저하를 야기시킬 수 있다. 화학적 저하를 평가하는 것은 ASTM D 4355-92의 시험을 통해서 알 수 있다. 가령 토목섬유는 채움이 필요 할 것이고, 시공 동안 일부 햇빛에 노출된 섬유는 강도가 필요할 것이다. 최소값 Fs-id = 1.0이 필요하다. 대부분의 토목섬유는 검은 탄소섬유로 되어 있어 UV노출에 천천히 저하됨을 주목해야 된다.
* Fs-bd = 생물학적 저하 안전계수 이 저하는 튜브를 사용하는데 있어 문제가 되지 않아 Fs-bd = 1.0값을 권장한다.
* Fs-cr = 크리프 안전계수 이것은 건축물의 설계수명 후 변형에도 극한강도를 줄이는데 요구되는 값이다. 토목섬유 거동에 인한 크리프는 시험 ASTM D 5262-92에 의해 결정된다. 그러나, 이 계수는 튜브에서 평가되어지며 토목섬유의 최대 장력은 펌핑되는 동안만 고려된다. 펑핑 후 슬러리는 고체화 되고 장력은 안정된다. 그 결과 최대 장력은 짧은 주기에 존재하며, 비교적 작은 크리프 안전계수보다는 큰 비중을 차지한다. 이 값은 장력 크리프의 파괴강도는 힘이 존재하기 이전에 Twork 보다 클 것이다. (즉, 펌핑 후 과잉간극수압의 소산과 슬러리의 고체화된 후) 최소 1.5값이 필요하다.
* Tult = 토목섬유에 요구되는 극한강도 Twork = T로 식(12)에 적용할 경우 이 값은 원주의 방향에 있음을 유의해야한다. 만약 Twork = Taxial 이라면 Tult는 축방향에 있다. 적어도 극한강도는 뒤틀리거나 원주와 축방향이 일치한 채움 방향에서 토목섬유는 구체적일 것이다. 극한강도는 ASTM D 4595-94 시험과 일치한다.

- 토목섬유 내의 고형입자 보존

일반적으로 슬러리로 충진된 토목섬유는 필터 기능을 수행할 수 있다. 토목섬유 튜브 내 슬러리의 토사는 보존하면서 물은 배수 작용을 수행한다. 일반적으로 토목섬유는 필터로서 투과성을 지니며 토사를 보존시키는 서로 반대되는 두 가지 특성을 가지고 있다. 이러한 고형입자를 유지시키는 역할은 폐기물 매립에 있어서 토목섬유 튜브의 매우 중요한 역할이다.

슬러리의 고형입자를 보유하는 토목섬유를 사용하면 슬러리의 호환성이 요구된다. ASTM D 4751-93(토목섬유의 유효 구멍 크기 시험)을 사용하여 토목섬유의 유효 구멍 크기(AOS)를 구할 수 있다. AOS는 일반적으로 토목섬유를 통과 가능한 대략적인 고체 입자의 크기를 나타낸다. Koerner(1994)는 AOS를 고려하여 특정 입도 분포를 갖는 토사의 보존을 알 수 있는 설계 방법을 나타낸 표를 제시하였다. 이 방법은 Task Force #25, AASHTO에 실려 있다.

① 200번 체 통과율 50% 이하 토량 $O_{95} < 0.59mm$
② 200번 체 통과율 50% 초과 토량 $O_{95} < 0.30mm$

결론적으로, 슬러리의 입도 분포를 결정하기 위해 통상적인 시험을 수행하는 경우에 토목섬유의 허용 최대 AOS를 지정할 수 있다. Leshchinsky(1992)는 슬러리가 점토로 구성되어 있을 경우, 토목섬유 외부로 물이 배수되며 토사 입자는 보존되는 경향이 있다고 언급하였다. 그러나, 오염된 슬러리의 경우에 AOS 기준은 고형 입자 보존에 있어서 완벽한 척도로 볼 수는 없기에 수정될 필요가 있다. 이러한 수정 사항은 시뮬레이션 시험을 통해 수행될 수 있다.

정해진 현장의 토사를 사용하여 특정 토목섬유의 클로깅 현상을 ASTM D 5010-90(흙-토목섬유간의 클로깅 현상 표준 시험 방법)을 통하여 판단할 수 있다. 일반적으로 토목섬유를 선정할 때, AOS 기준을 사용하면 클로깅 현상에 대해 크게 척도를 두지 않는다. 그러나, 토목섬유 내 슬러리의 생물학적 활성을 고려한다면 클로깅 현상은 ASTM D 1987-91 시험으로 평가할 수 있다. 일반적인 토목섬유의 필터 기능은 생물학적인 활성을 고려한다면 장기적으로 살펴볼 필요가 있다.

토목섬유에 있어서 완벽하게 고형입자를 보존시키며 높을 투과성을 가지고 고강도를 보유하기는 쉽지 않다. 이러한 경우에 미립자를 보존하기 위해 내부에 부직포를 사용하며, 외부에는 고강도의 투수성이 좋은 직포를 사용해야 슬러리를 보존시키는데 유용하다.

- 튜브의 최종 높이

주입 완료 후 슬러리가 압밀되면서 튜브의 최대 폭은 증가하는 반면, 튜브의 높이는 감소하게 된다. 특히 세립토를 주입하였을 경우에 튜브 높이의 감소는 매우 중요하다고 볼 수 있다. 충진 재료의 압밀이 거의 완료되었을 때(충진 재료의 밀도가 어느 일정치에 도달하는 경우), 토목섬유 튜브의 높이는 판별할 수 있다. 슬러리의 완전히 포화($S=100\%$)를 가정하였을 때, 질량-체적관의 관계를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega_o = \frac{G_s - \frac{\gamma_{slurry}}{\gamma_w}}{G_s(\frac{\gamma_{slurry}}{\gamma_w} - 1)} \tag{13}$$

$$\omega_f = \frac{G_s - \frac{\gamma_{soil}}{\gamma_w}}{G_s(\frac{\gamma_{soil}}{\gamma_w} - 1)} \tag{14}$$

여기서, ω_o, ω_f는 각각 충진 재료의 초기 및 최종 함수비를 나타낸다. G_s는 충진 재료의 비중, $\gamma_{soil}, \gamma_{slurry}, \gamma_w$는 각각의 토사, 슬러리, 물의 단위 중량을 나타낸다. 충진 재료가 아래 방향(일차원적 이동)으로만 이동한다고 가정하였을 경우, $[\Delta e/(1+e_o)] = \Delta h/h_o$의 관계를 이용하여 다음 식을 도출할 수 있다.

$$\frac{\Delta h}{h_o} = \frac{G_s(\omega_o - \omega_f)}{1+\omega_o G_s} \tag{15}$$

여기서, Δh, h_o는 각각 튜브의 높이 감소량, 초기의 튜브 높이를 나타낸다.

식(13), (14), (15)를 결합하여 튜브의 높이 저하를 추정할 수 있다. [그림 2.4.13]에서는 $G_s = 2.70$으로 가정하였고, 앞의 세식을 가정하여 그 결과를 나타내었다. 슬러리의 단위중량을 1.1 토사의 단위중량 1.2로 가정했을 때, 높이의 감소 결과는 약 50%이다. Leshchinsky은 튜브에 미세립자를 주입했을 때, 한 달 동안 높이가 50% 감소한다는 것을 주장했다. 이 단계에서 고체화된 흙은 사람이 걸을 수 있게 형성된다. 슬러리를 추가적으로 주입하는 것보다 원하는 높이를 형성하는 것이 목적이라면, GeoCoPS는 튜브 내에 슬러리의 서로 다른 밀도를 해석할 수 있다. GeoCoPS는 원하는 최종 높이를 얻을 때까지 계속 반복적으로 해석한다. 그렇지 않으면, 200번체 통과량이 50% 미만인 모래를 주입한다고 가정하여 주입 후에 튜브가 허용할 수 있는 최종 치수가 결정된다.

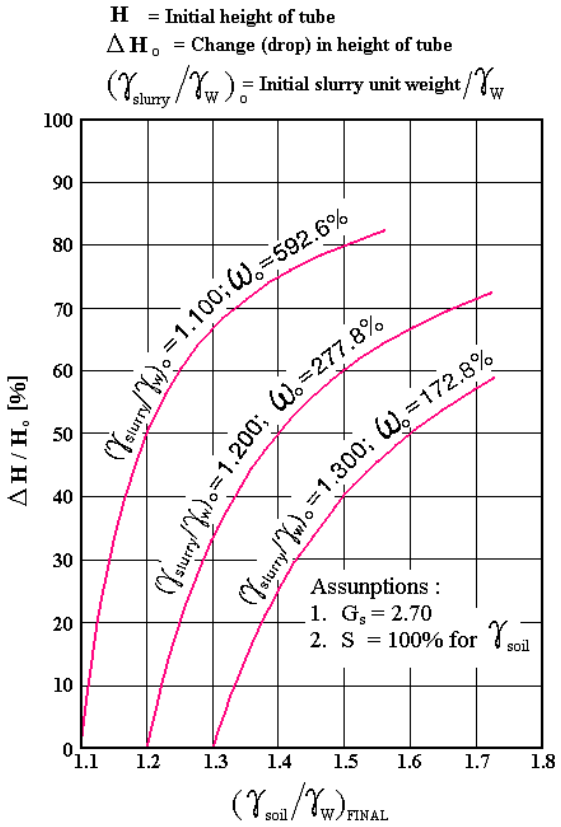


그림 2.4.13 주입토사의 함수비에 의한 단위중량과 튜브 퇴적고 변화관계

2. 국제공동연구기관 FEM 수치해석 연구결과

○ 1-2차년도 연구결과

(1) Introduction

Geotextile tubes have been successfully implemented around the globe for several purposes, including shoreline protection and slope protection, slurry dewatering (Howard and Trainer, 2011) and the creation of embankment structures (Tyagi, 2005). The Saemangeum Development Project in South Korea has made extensive use of geotextile tubes in an effort to reclaim approximately 280 km2 of land from a river estuary near the city of Kunsan. As part of this effort, containment dikes will be used to partition the areas to be reclaimed, the partitioned areas will then be filled with dredged alluvium to create new land. Many of these containment dikes will be shrouded with geotextile tubes as a means of protection from wave action, while other dikes will be constructed entirely of stacked geotextile tubes.

Geotextile tubes have historically been filled with sandy slurries which are dredged from the beds of nearby water bodies. The Saemangeum Development Project, for example, makes use of sandy alluvial slurries as fill for geotextile tubes. Consolidation of the fill material progresses rapidly in these sand-filled geotextile tubes due to the relatively high hydraulic conductivity of most sands.

However, very little is presently understood about the consolidation behaviour of geotextile tubes filled with fine-grained slurries. Fine-grained slurries undergo a prolonged consolidation process due to their significantly lower hydraulic conductivity and higher compressibility. The exact nature of this consolidation process must be understood before fine-grained fills can be implemented in construction projects. Specifically, the rate of consolidation, the time required for the fill to fully consolidate, and the final consolidated height of the geotextile tube are all parameters which are of interest to geotechnical engineers who might make use of fine-grained fills in geotextile tubes.

Two commercially available, two-dimensional finite element software packages are employed in this project to model the consolidation behaviour of a geotextile tube filled with fine-grained slurry. The first application, PLAXIS (PLAXIS, 2013), is a code written specifically for geotechnical applications, while the second application, ABAQUS (Dassault systems, 2013), is a more generalized code which has built-in geotechnical modelling capabilities. The modelling process consisted of two stages. First, a simple one-dimensional consolidation process was modelled in order to verify that both codes have the ability to model the behaviour of a very soft soil. These results are evaluated by a comparison to a well established one-dimensional finite strain consolidation model, CONDES (Yao et al., 2002). Presently, the full geometry of a geotextile tube is being modelled in both codes in order to determine the consolidation rate, the time to complete consolidation, and the final consolidated height of a geotextile tube.

(2) Material properties

Dredged material is deposited inside geotextile tubes in the form of a slurry. The consolidation of

slurries typically results in significant plastic volumetric strains. As a slurry consolidates, its hydraulic conductivity may be reduced by several orders of magnitude while its compressibility necessitates a large quantity of pore water to be drained. Terzaghi's infinitesimal consolidation theory, which relies on the assumption that the ratio of compressibility to hydraulic conductivity remains constant throughout the consolidation process, does not accurately model the large strains which slurries undergo during consolidation. Instead, the finite strain theory presented by Gibson et al. (1967) is applied to account for these changes in material properties.

Finite strain offers a level of rigour which is not found in Terzaghi's infinitesimal consolidation model. The finite strain model accounts for changes in material compressibility and hydraulic conductivity as the consolidation process proceeds. Additionally, it accounts for surcharge loads, seepage forces, and self-weight as drivers for the consolidation process (De Oliveira Filho & Menezes, 2012). Slurry consolidation is driven entirely by the self-weight of the solid material, and so it is critical that this aspect of the consolidation process be captured.

- Compressibility and hydraulic conductivity relationships

A series of Seepage Induced Consolidation Tests (SICT) were carried out using dredged alluvial material from the Gulf of Mexico in the United States to obtain material properties for these models. SICT results provide material properties which follow the forms of the compressibility and hydraulic conductivity relationships given by Eq. 1 and Eq. 2 respectively (Abu-Hejleh et al., 1996).

$$e = A(\sigma' + Z)B \tag{1}$$

$$k = CeD \tag{2}$$

Here, e is the void ratio, σ' is the vertical effective stress (kPa), and k is the hydraulic conductivity (m/s). The parameters B and D have no units, Z has units of (kPa) and C has units of (m/s), while A changes with the system of units. Note that these relationships are dimensionally consistent, so alternative units could be used if desired.

Two sets of material properties were acquired for use in these numerical models. The first material, herein referred to as Material A, has properties which were directly obtained from SICT results and the second material, herein referred to as Material B, is a hypothetical material similar to Material A but with an increased value of Z, i.e. a lower initial void ratio representing a stiffer material. [표. 2.4.4] shows the SICT properties for both materials.

- Numerical modelling parameters

Numerical modelling of consolidation processes requires the use of a plasticity model within the numerical code. The Modified Cam Clay (MCC) model was selected for this modelling program because its input parameters can be matched to SICT parameters. Matching of the compressibility parameters is

accomplished by plotting the relationship in Eq. 1 using the parameters listed in [표 2.4.4] and then fitting log-linear recompression and virgin compression lines to the appropriate portions of the curve. Thus, the MCC parameters are calibrated along the K0 compression stress path. The slope of the re-compression line in a semi-log plot is the parameter κ and the slope of the virgin compression line in a semi-log plot is the parameter λ.

[표. 2.4.4] Material characteristic parameters

Parameter	Material A	Material B
A	1.52	1.52
S	-0.193	-0.193
C(m/s)	2.50E-09	2.50E-09
D	4.24	4.24
Z(kPa)	0.1	6.4

Both numerical codes require that the initial void ratio, e_0, the Cam Clay compressibility parameter M, and the Poisson's ratio, ν, be input as well. The initial void ratio is found by setting σ' equal to zero in Eq. 1, as this represents the state of the slurry upon deposition. The parameter M is then a function of the angle of internal friction, ϕ, which was assumed to be 21° for both materials. Eq. 3 provides the relationship between M and ϕ.

$$M = \frac{6\sin\phi}{3-\sin\phi} \tag{3}$$

Poisson's ratio was assumed to be 0.281 for both materials. ABAQUS also requires that an initial vertical effective stress, σ'_0, be specified. ABAQUS encounters errors when a state of zero effective stress is modelled, so an initial stress of 5 Pa was assumed.

Both ABAQUS and PLAXIS then require the hydraulic conductivity relationship to be input. ABAQUS allows the relationship in Eq. 2 to be directly input as a series of void ratio-hydraulic conductivity pairs. PLAXIS uses a pre-defined logarithmic function to relate void ratio and hydraulic conductivity, with a user-defined constant of proportionality, c_k, and a user-defined initial hydraulic conductivity, k_i, corresponding to the initial void ratio. [표. 2.4.4] provides a summary of the relevant compressibility and hydraulic conductivity parameters which were input into ABAQUS and PLAXIS.

(3) Numerical modeling : One-dimensional verification

- Methodology

Using the material properties listed in [표. 2.4.5], simple one-dimensional consolidation models were generated in ABAQUS and in PLAXIS. A third numerical code, CONDES, was also used to model the

one-dimensional case. CONDES is a custom code which numerically solves the finite strain equation proposed by Gibson et al. (1967) in one dimension. The results from CONDES are known to be accurate and verifiable (Yao et al., 2002). These models have rectangular geometries with a height of 2.36 m, and with vertical displacement constraints applied to the bottom surface and horizontal displacement constraints applied to the left and right surfaces. Initially, undrained boundary conditions were applied to all four surfaces. Analyses were carried out using properties for both Material A and Material B.

The PLAXIS model consisted of three calculation steps: the first step with zero unit weight applied to the soil, the second step with the unit weight suddenly activated in an undrained condition to model the generation of excess pore pressures, and the third step with the top boundary opened to drainage. Likewise, the ABAQUS model consisted of three steps. The first step consisted of an undrained calculation with zero gravity applied, the second step suddenly applied a gravity load in an undrained condition, and the third step allowed drainage to occur at the top surface. An assumption implicitly incorporated into these models is that the process of filling the soil column would be nearly instantaneous relative to the time required for the soil to consolidate.

[표. 2.4.5] MCC and hydraulic conductivity parameters

Parameter	Material A	Material B
κ	0.0867	0.0097
λ	0.2473	0.0908
e_0	2.371	1.062
M	0.814	0.814
ν	0.281	0.281
c_k1	1.213	0.923
k_i(m/s)1	9.72E-08	3.23E-09
σ'_0(kPa)2	0.005	0.005

1Parameter only used in PLAXIS

2Parameter only used in ABAQUS

- Results – Material A

[그림 2.4.14] shows the settlements predicted by each of the three numerical codes. CONDES and ABAQUS agree quite well, with CONDES predicting a final consolidated height of 1.51 m and with ABAQUS predicting a final height of 1.56 m. PLAXIS, however, predicts a final height of 2.06 m. Additionally, the PLAXIS model was nearly completely consolidated after 200 days, while the CONDES and ABAQUS models did not reach full consolidation until more than 600 days after the initial deposition. It is worth noting that the PLAXIS model shows the same initial rate of consolidation as the ABAQUS and CONDES models, and that the decreased consolidation time in the PLAXIS model is caused by the decreased total settlement and lower volume of expelled water.

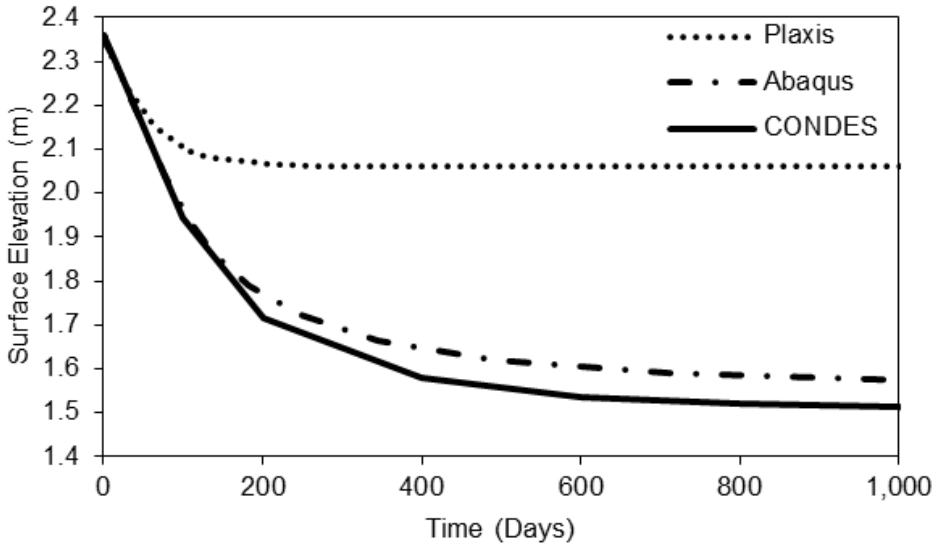


그림 2.4.14 Material A - Settlement

[그림 2.4.15] through [그림 2.4.17] show the void ratio distributions in the soil column. Note that these profiles are plotted on the undeformed geometry. Similar to the settlement predictions, the void ratio predictions from the CONDES and ABAQUS models ([그림 2.4.15] and [그림 2.4.16] respectively) match well, while the PLAXIS void ratio profiles appear to exhibit some numerical instability and do not match the other two models. Additional analysis has suggested that PLAXIS is not capable of modeling plastic volumetric strains at extremely low stress levels (below about 1 kPa), and that volume changes which occur in that range of stresses are not captured. Further discussion of this problem is beyond the scope of this paper, however, and so it will not be discussed further.

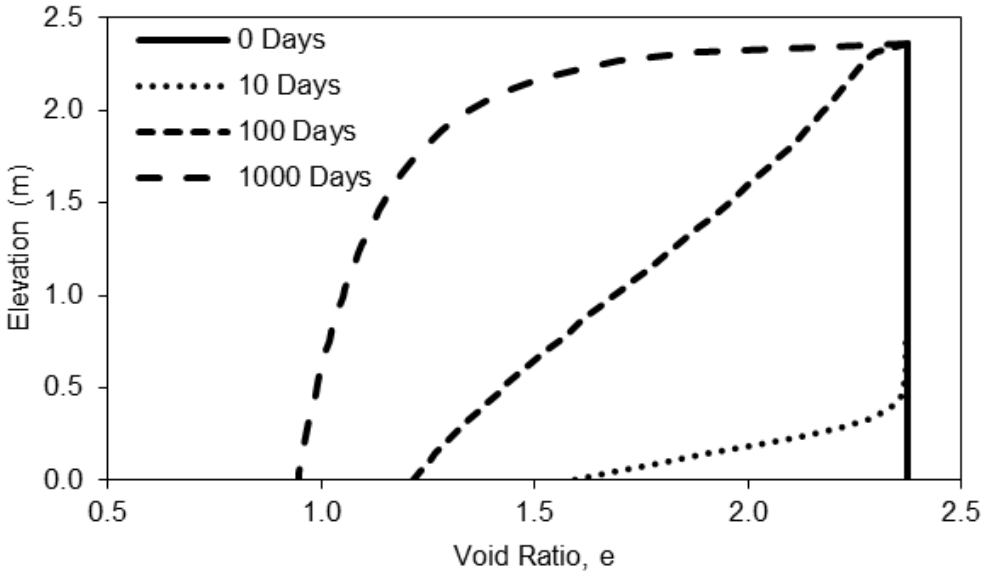


그림 2.4.15 Material A - Void ratio profiles from CONDES

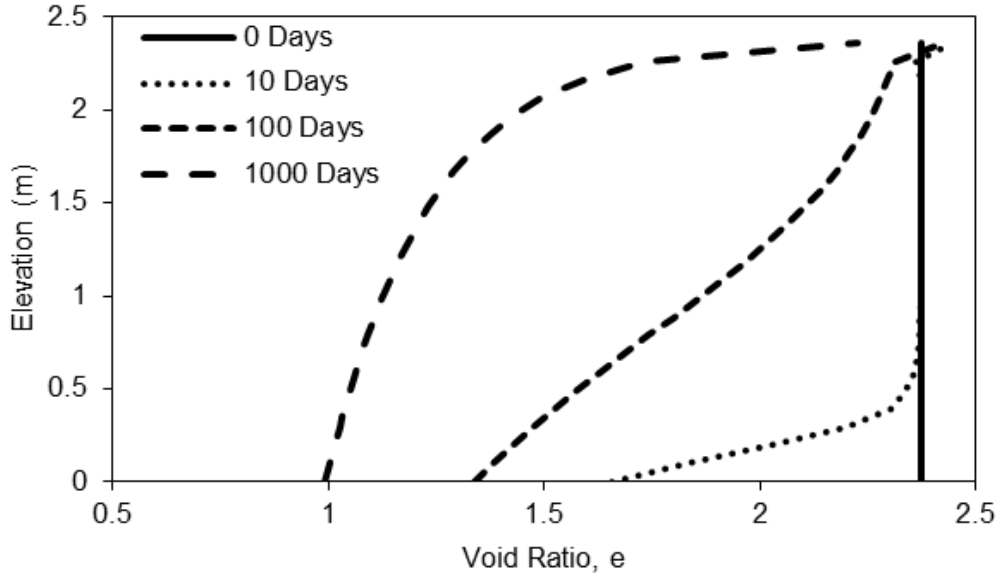


그림 2.4.16 Material A - Void ratio profiles from ABAQUS

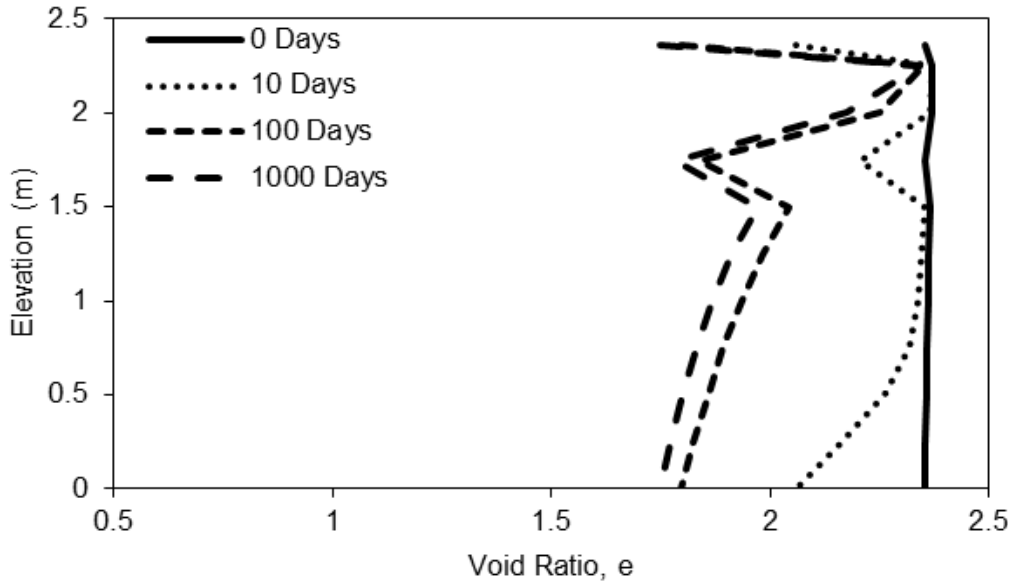


그림 2.4.17 Material A - Void ratio profiles from PLAXIS

[그림 2.4.15] and [그림 2.4.16] show that one-dimensional consolidation begins at the bottom of the soil column and proceeds upward in the form of a “consolidation front”. A critical upward gradient is established above the consolidation front as water near the bottom of the column is pushed toward the drained boundary. This critical gradient maintains a state of near-zero effective stress in the soil above the consolidation front, thus preventing the soil in that region from consolidating. Then, once the consolidation front reaches the drained boundary, the critical gradient no longer exists and consolidation is allowed to occur throughout the soil column simultaneously.

- Results – Material B

Material B properties were then employed in each of the three numerical codes. [그림 2.4.18] shows that the stiffer Material B properties produce much less settlement. Additionally, all three models predict nearly the same final height of approximately 2.17 m. The void ratio distributions shown on [그림 2.4.19] through [그림 2.4.20] also agree well. PLAXIS appears to have had no trouble modelling the stiffer Material B, which is explained by the fact that stiffer materials experience less volume change at small levels of stress.

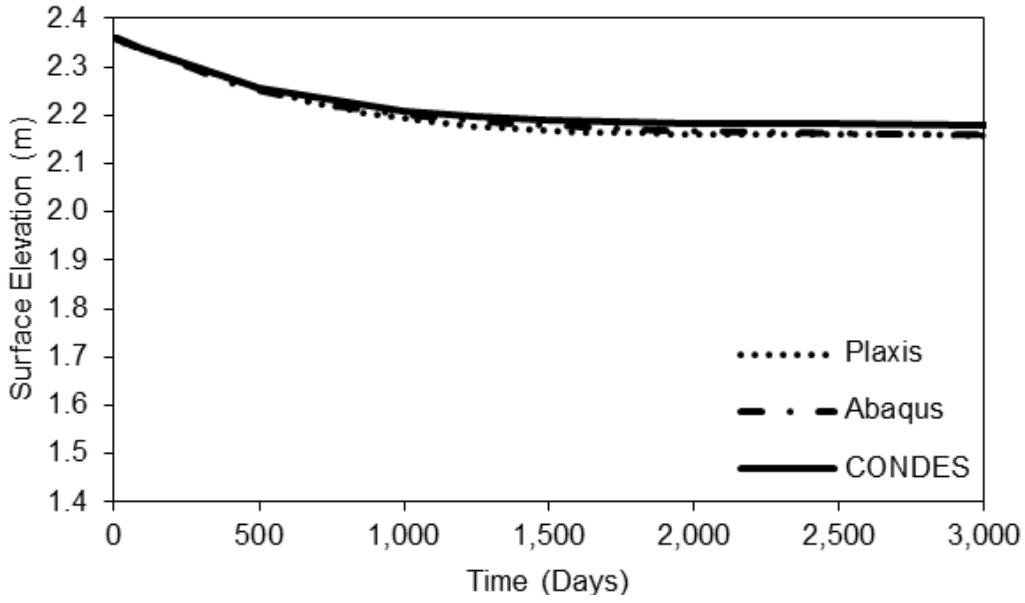


그림 2.4.18 Material B - Settlement profiles

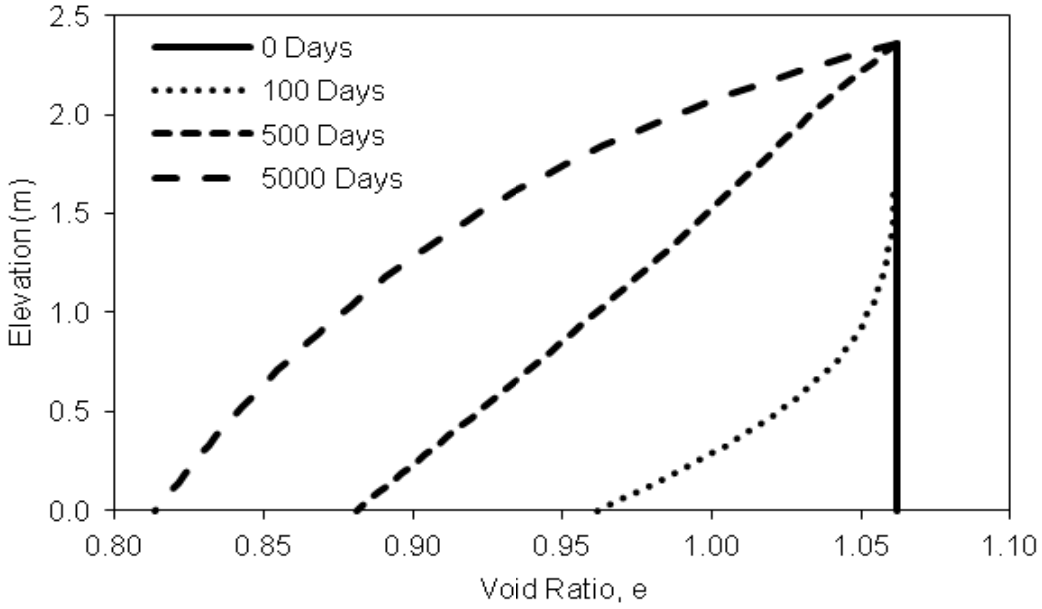


그림 2.4.19 Material B - Void ratio profiles from CONDES

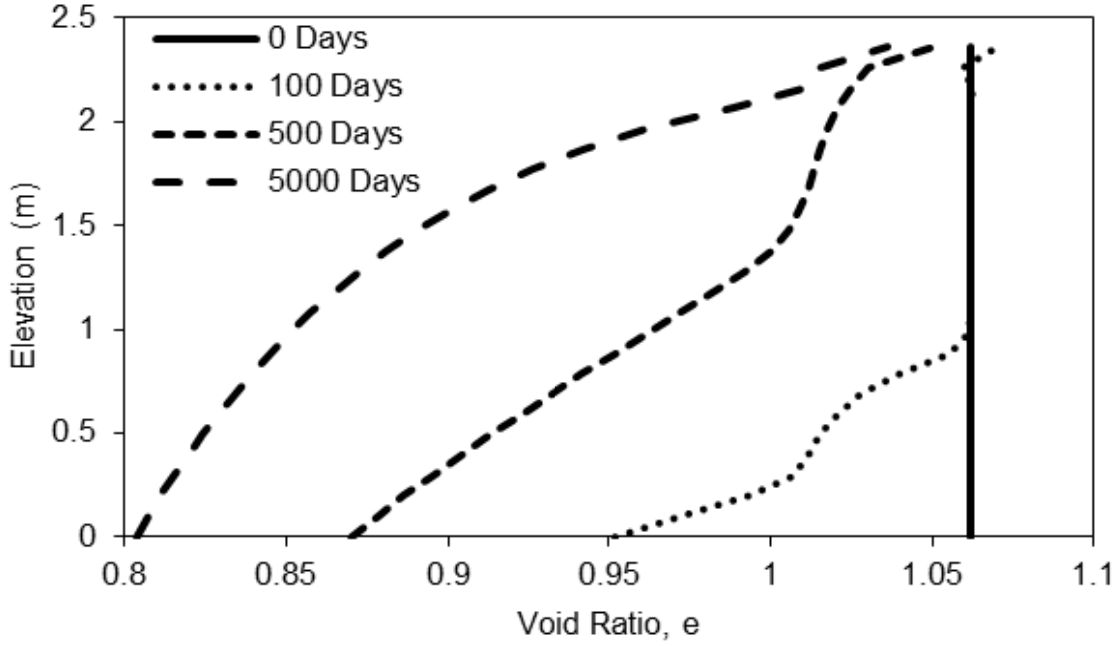


그림 2.4.20 Material B - Void ratio profiles from ABAQUS

❍ Generally, it can be concluded from these one-dimensional models that ABAQUS is capable of modelling both the softer Material A and the stiffer Material B properties, while PLAXIS only produces valid results for the stiffer Material B properties.

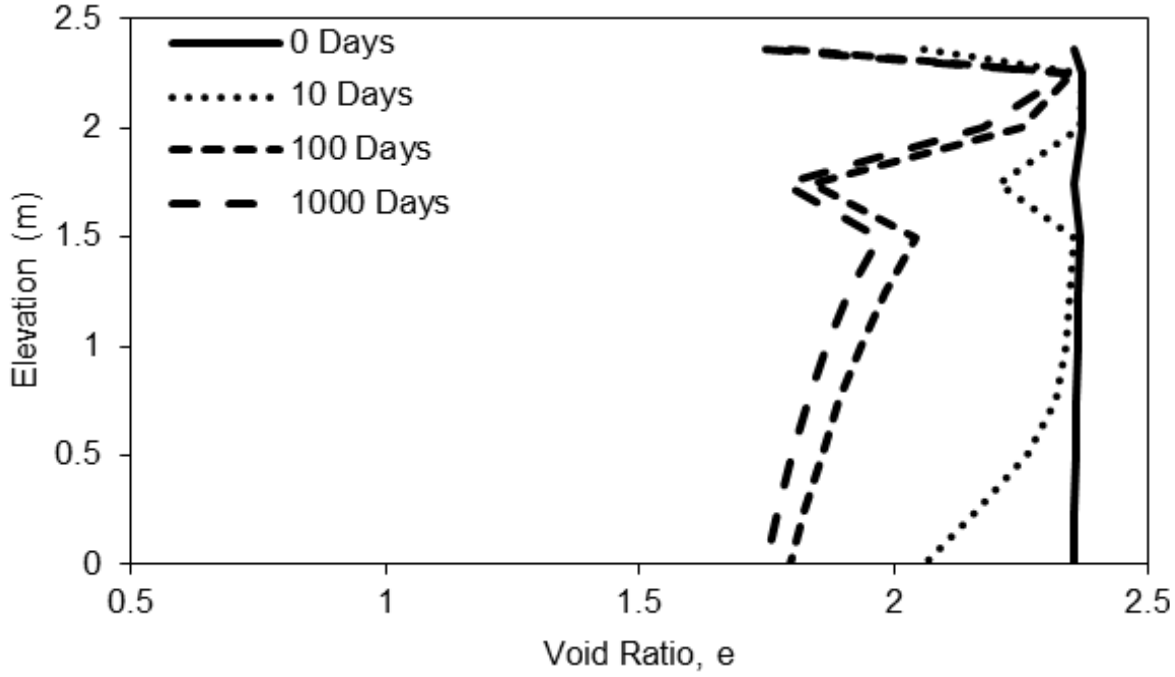
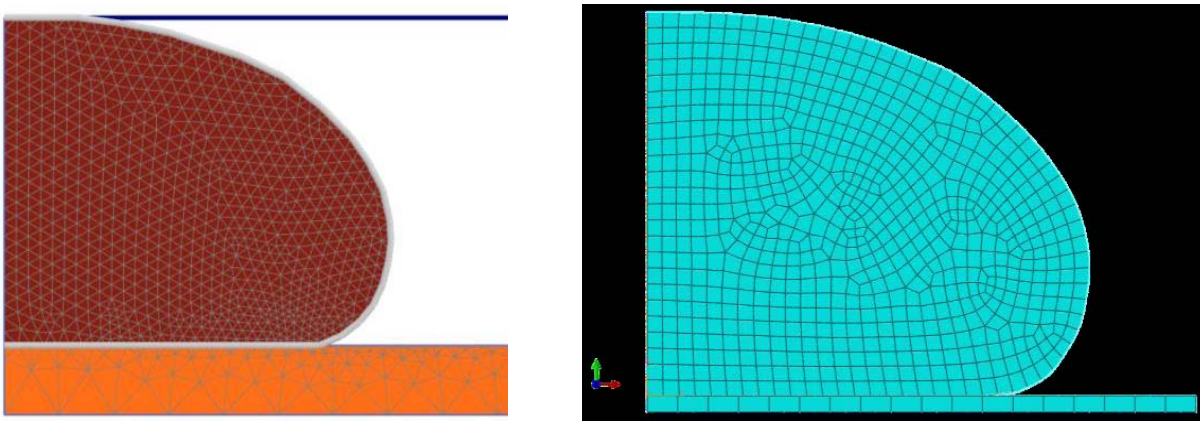


그림 2.4.21 Material B - Void ratio profiles from PLAXIS

(4) Numerical momeling : Geotextile tube geometry

- Methodology

With the understanding gained from the one-dimensional analyses, the full geometry of a geotextile tube is modelled in PLAXIS and in ABAQUS. Again, it was desired to model both Material A and Material B properties. Based upon the one-dimensional modelling results, however, it was anticipated that PLAXIS would not be capable of modelling the Material A parameters, therefore only Material B parameters were employed in the PLAXIS model. The geometry of a 2.36 m tall geotextile tube was approximated using the force-balance approach provided by Leshchinsky et al. (1996). Only one half of a geotextile tube was modelled, assuming symmetry about a vertical line passing through the centre of the tube. [그림 2.4.22] shows the models which were created in PLAXIS and in ABAQUS respectively.



(a) PLAXIS Model (b) ABAQUS Model

그림 2.4.22 Geotextile tube models

The geotextile fabric was modelled assuming that the fabric is 2 mm thick, and that the geotextile material has an elastic modulus of 106 kPa. Although difficult to see in [그림 2.4.22], the geotextile material confines the soil on all sides except along the line of symmetry. In both models, the geotextile tube was assumed to be resting on a rigid foundation. The rigid foundation was modelled using elastic material properties with an infinitely large elastic modulus. A frictional contact was applied along the mating surface between the geotextile and the foundation, while a fixed contact was applied where the soil interfaces with the geotextile. Similarly to the one-dimensional models, the geotextile tube models consisted of three calculation steps: an initial step with no gravity load, an undrained step with the sudden application of a gravity load, and a third consolidation step where drainage was allowed. Drainage was allowed on the curved surface of the geotextile tube. It was assumed that the head loss across the geotextile would be negligibly small relative to the head losses induced by the fine-grained fill material, and that the geotextile could be modelled as perfectly drained.

- Results

Both ABAQUS and PLAXIS were used to model the full geotextile tube geometry using Material B properties. However, ABAQUS encountered difficulties when modelling such a complex geometry. The cause of these difficulties is yet unknown and further analysis is needed to determine whether ABAQUS has the capability to model a full geotextile tube. For this reason, no results from the ABAQUS code are presented here. Using Material B properties, PLAXIS predicted the geotextile tube would reach a final consolidated height of 2.02 m at the centerline of the tube, as shown on [그림 2.4.23] This equates to a total settlement of 0.34 m. [그림 2.4.17] also shows the one-dimensional PLAXIS settlement curve using Material B properties for comparison.

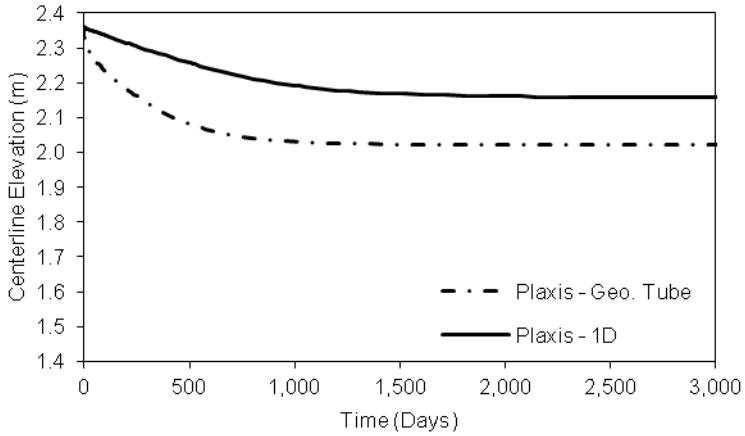


그림 2.4.23 PLAXIS settlement profile at centerline

A comparison between these two curves shows that the geotextile tube settles substantially more than the one-dimensional model. A likely explanation for this result is that the geotextile tube is allowed to spread laterally. Thus, it appears that the settlement of a geotextile tube can be broken into two components: the settlement caused directly by the expulsion of pore water (consolidation), and the settlement caused by lateral spreading. The one-dimensional model predicts only the consolidation settlement, allowing the lateral spreading component of settlement to be computed as the difference between the total settlement in the geotextile tube and the settlement predicted by the one dimensional model.

Note that the geotextile tube settlement curve in [그림 2.4.23] shows about 0.05 m of settlement occurring before the consolidation process begins. The geotextile tube may not be in perfect force-equilibrium in its initial configuration due to small errors in the numerical process used to estimate its geometry. This settlement is likely a result of the geotextile tube deforming slightly to restore equilibrium. The geotextile tube also settles at a faster rate than the one-dimensional model. The geotextile tube is nearly fully consolidated at 1,000 days, while the one-dimensional model with the same initial height requires nearly 1,500 days to consolidate. A geotextile tube allows drainage on all sides except where it contacts the foundation, thus allowing consolidation to occur more quickly than the one-dimensional model.

[그림 2.4.24] through [그림 2.4.26] provide the void ratio distributions that were predicted by PLAXIS at three different locations. [그림 2.4.24] shows that up until day 10 the soil at the centerline of the geotextile tube behaved much like the one-dimensional model, in that consolidation began at the bottom. However, by day 150 the soil near the top of the geotextile tube had consolidated while the soil near elevation 1.0 m had not yet begun to consolidate. The final void ratio distribution also differs from the one-dimensional case in that the soil at the top of the model experienced a reduction in void ratio due to the load induced by the geotextile. In the one-dimensional models, the soil at the top of the model remained at near-zero effective stress, and so it never consolidated. [그림 2.4.25] and [그림 2.4.26] show sequentially greater deviation from the one-dimensional results. This shows that the soil behaviour deviates from the one-dimensional case more and more as the drained edge is approached. At distances far from the centerline, the soil near the top boundary of the geotextile tube consolidated much more quickly than the soil at the centerline. Additionally, lateral drainage allows consolidation to occur at the mid-elevations much sooner at locations far from the centerline.

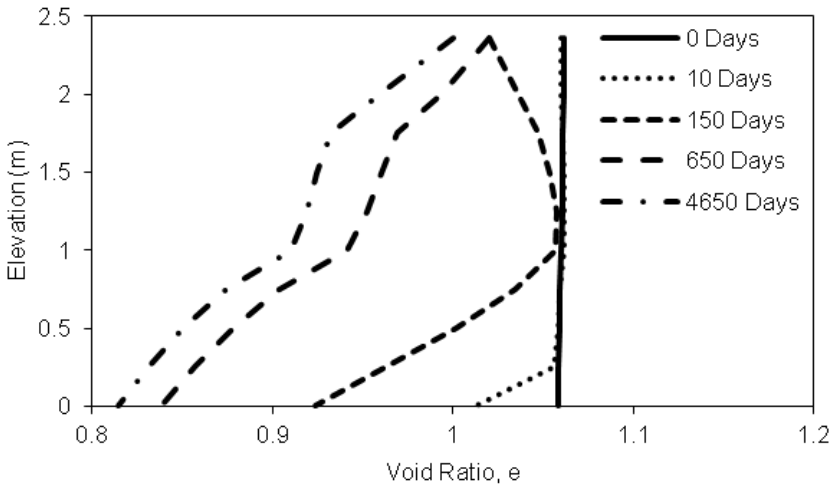


그림 2.4.24 Void ratio distribution at the centerline

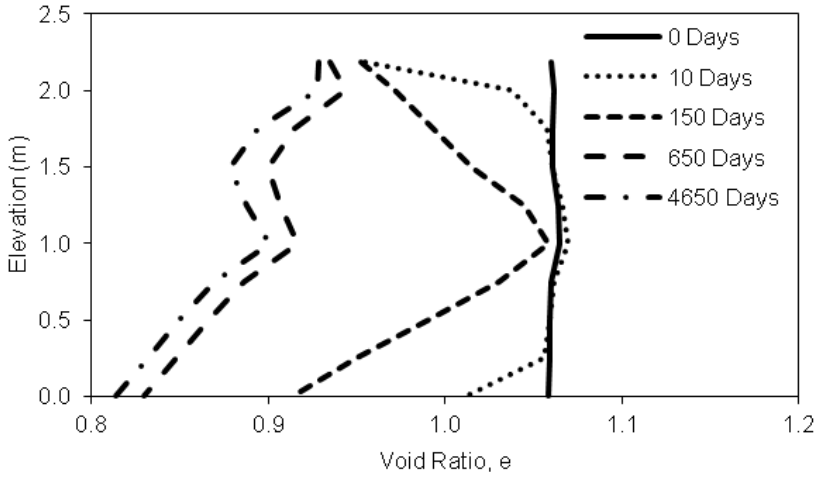


그림 2.4.25 Void ratio distributions 1.4 m from centerline

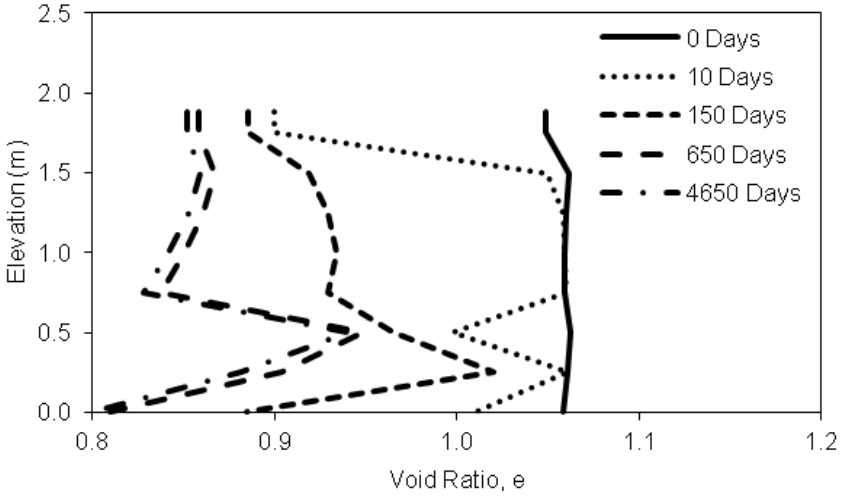


그림 2.4.26 Void ratio distributions 2.1 m from centerline

○ 2-3차년도 연구결과

(1) Geotextile tube model results

Instead of showing plotted settlement results for the geotextile tube model, graphical results are displayed in [그림 2.4.27]. This figure shows how the geotextile tube shrinks vertically over time, and how it also spreads laterally. Thus, the two-dimensionality of a geotextile tube is introduced though both the drainage boundary conditions and the allowance for horizontal motion of the soil.

Void ratio predictions are also shown in [그림 2.4.27], which show how consolidation begins along the entire perimeter of the tube and not only along the drained boundary. Along the drained boundary, a consolidation front similar to that observed in the one-dimensional model develops along the undrained boundary which is in contact with the foundation and progresses upward. At the same time, a consolidation front is observed along the drained boundary, which penetrates toward the center of the geotextile tube over time. Note that results from the reference code are not available for more complicated models like this one, as the reference code is only able to perform one-dimensional modeling.

However, the predicted constitutive behavior may provide some insight into the accuracy of the numerical model results. [그림 2.4.28] shows that the constitutive predictions do not follow the theoretical behavior (represented by the solid line) exactly. Although the same bilinear trend which was observed in the one-dimensional model is again observed here, the two lines are pushed noticeably to the right. Such behavior is a consequence of the initial effective stress specified in this model. The initial effective stress was noticeably greater than the preconsolidation stress of the soil. This condition is unacceptable in the Modified Cam Clay plasticity model. To correct this problem, the soil's preconsolidation stress was automatically (and artificially) increased to the value of the initial effective stress. The result is that any volumetric strains which should have occurred at stresses below the initial effective stress were ignored by the numerical code.

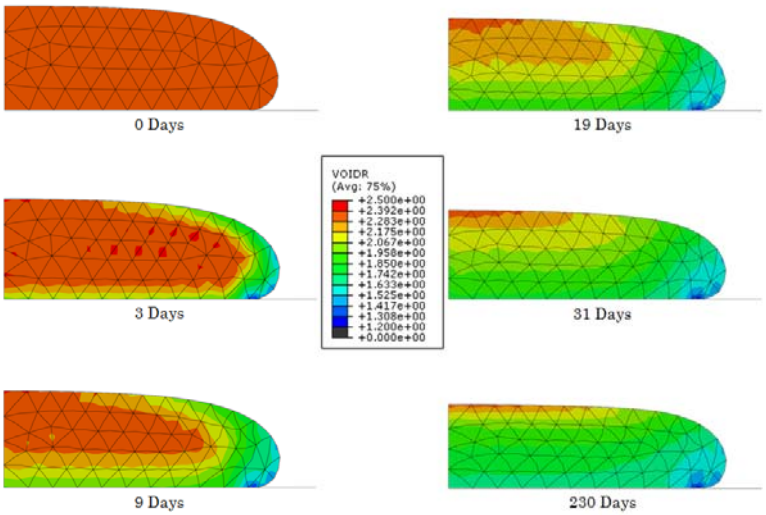


그림 2.4.27 Void ratio results for geotextile tube numerical model

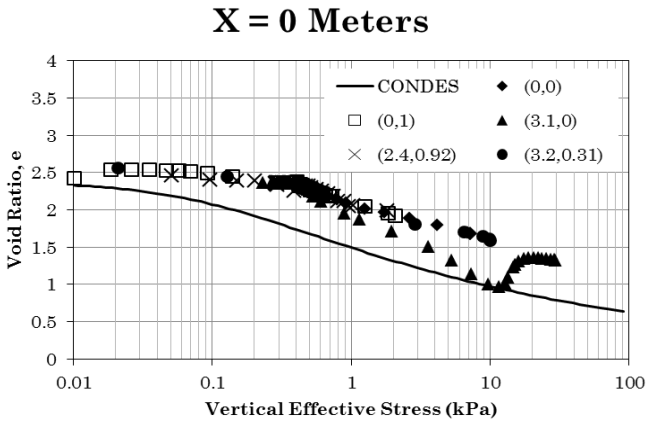


그림 2.4.28 Constitutive behavior of geotextile tube model

It can thus be concluded that the numerical code under-predicted the settlement of the geotextile tube because it did not capture the reduction in void ratio which should have occurred at effective stresses below the initial effective stress. This represents a potentially severe limitation to the use of commercially available numerical codes to model the behavior of consolidating soil slurries in complex, real-world scenarios.

The process of modelling the full geotextile tube geometry is not yet complete, and additional steps should be taken to better represent the true behavior of a geotextile tube. The model discussed here assumed that the fill material was deposited instantaneously, though this may not always be the case. It is possible that the tube may be filled gradually over time, or that it might need to be refilled after consolidating for an allotted time. Thus, the effects of time-dependent filling of the geotextile tubes should also be analyzed in future modelling efforts. Overall, numerical modelling has produced interesting and useful results, and it has shown that substantial limitations exist in the use of commercially available codes to model slurry consolidation.

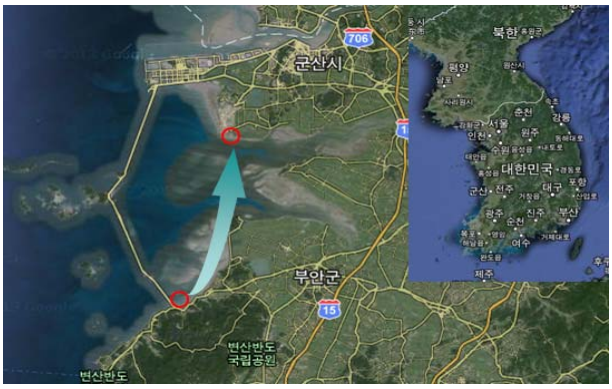
제5절 새만금 테스트 베드 현장시험

1. 현장 시험계획

(1) 관계기관 협의 및 부지 공간 확보

실내 토목섬유 튜브의 준설매립 시뮬레이터를 개발하여 실대형 토목섬유 튜브 구조체 모형시험을 수행하여 토목섬유 튜브의 거동을 분석하고 최적 형상화 기술에 대하여 연구해 왔다. 이러한 배경 하에 토목섬유 튜브 구조체의 조성 기술과 수리학적 특성 및 파라메타 해석을 통해 최적설계 기법을 연구하고, 현장 적용성을 테스트 베드 시험에 의해 실증화하기 위해 <새만금개발청>의 협조 하에 전라북도 군산시 하제 새만금 현장에서 시험을 실시하였다.

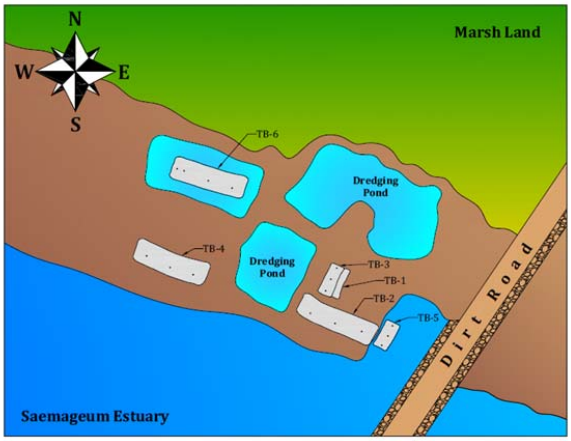
1차 현장시험과 관련하여, 아래 (a)는 테스트 베드 장소가 부안에서 군산 하제항 부근으로 위치가 변경된 것을, (b)는 구축된 상황을, (c)는 상세도, (d)는 6개의 테스트 베드가 완료된 사진을 각각 가리킨다. [그림 2.5.2]는 현재 구축되고 있는 2차 해상 테스트 베드상태이며, 2015년 11월 현재 진행 상태이다.



(a) 테스트베드 시험위치 변경(부안→군산하제)



(b) 새만금 테스트베드 구축현황(구글)



(c) 1차 육상 테스트베드 현황(14년6월~14년10월)

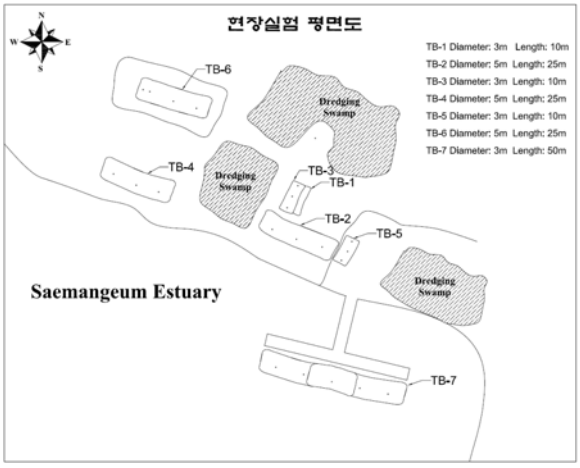


(d) 사진전경

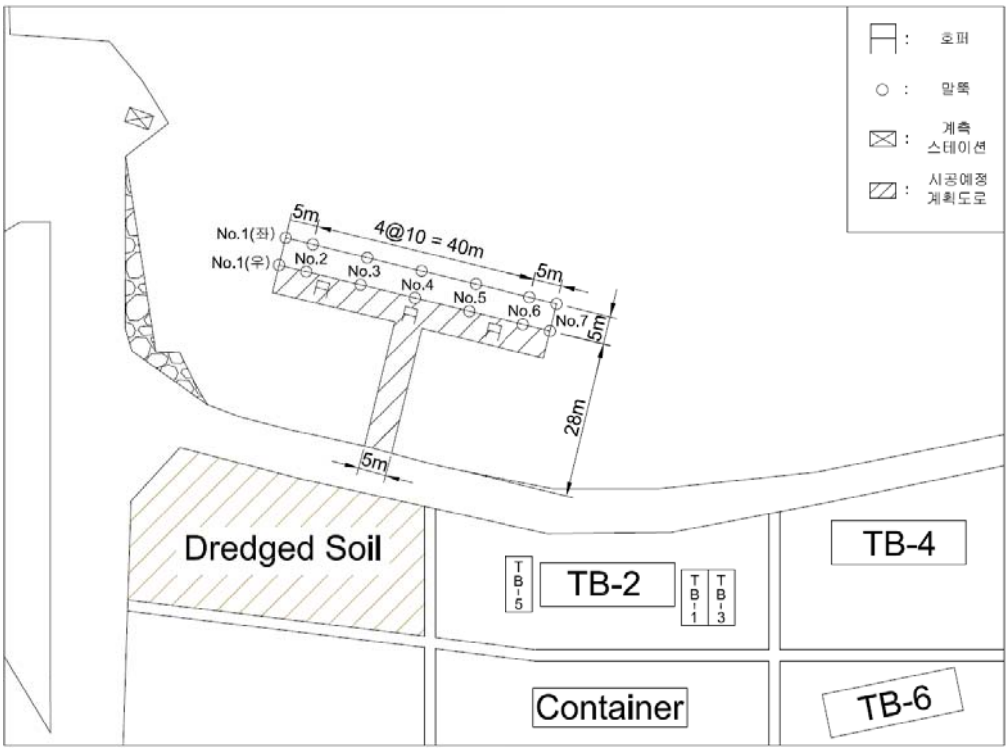
그림 2.5.1 새만금 1차 테스트 베드 현장시험[군산시 옥서면 선연리 하제, 부지 면적 : $7200m^2(120\times60)$]



(a) 새만금 2차 테스트 베드 구축(구글)



(b) 1차 육상, 2차 해상 새만금 테스트 베드 현황도(15년10월～16년1월)



(c) 2차 해상 새만금 테스트 베드 상세도(15년10월～16년1월)

그림 2.5.2 기존 1차 육상 테스트 베드 시험과 연계한 2차 해상 테스트 베드 현황
[군산시 옥서면 선연리 하제, [부지 면적 : 12,200m^2(1차 : 120m×60m, 2차 : 100m×50m)]

(2) 지반조사 및 채움재 특성

현장시험 시공에 앞서 토목섬유 튜브의 시공을 용이하게 하기 위해 테스트베드 구축 기반을 조성하였으며, 지반조사를 위하여 보링을 수행하였다. 또한, 채움재 및 기초지반의 역학적 성질을 파악하기 위하여 물성시험을 수행하였다. 기본 물성 시험 결과 #200번체 통과율이 29.53%, 비중은 2.634, 소성지수는 N.P로 통일분류법상 SM으로 분류하였다.



그림 2.5.3 테스트 베드 현장전경(시공 전)



그림 2.5.4 테스트베드 현장 기반조성

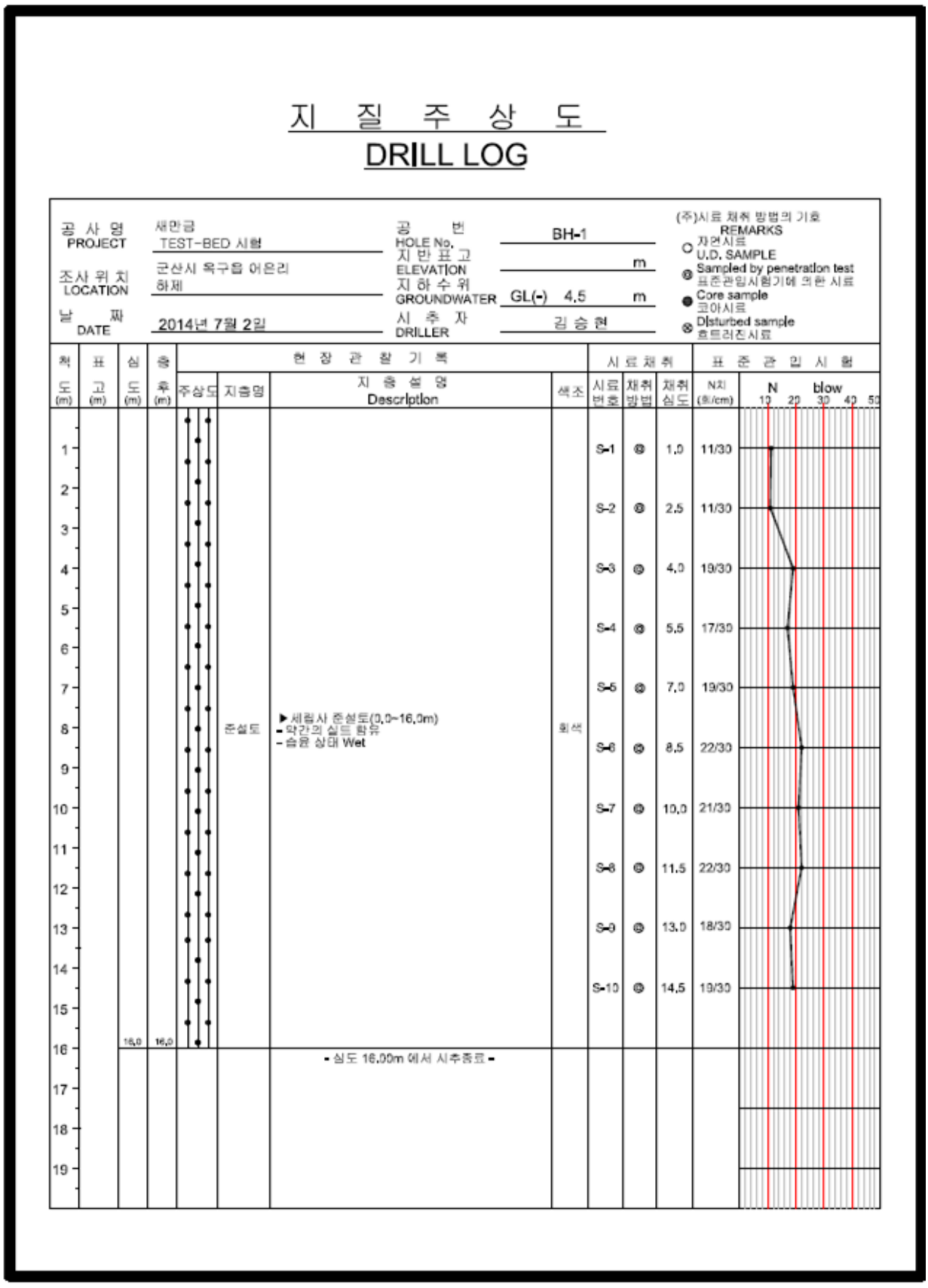




그림 2.5.5 테스트베드 현장 지반조사

[표. 2.5.1] 기본물성시험 결과

구분	값
자연합수비 (W_n, %)	19.5
비중 (G_s)	2.634
소성지수 (PI, %)	N.P
#200번체 통과율 (%)	28.54
통일분류 (USCS)	SM



지 질 주 상 도
DRILL LOG

공 사 명 PROJECT	새만금 TEST-BED 시험	공 번 HOLE No.	BH-1
조사 위 치 LOCATION	군산시 옥구읍 어은리 하제	지 반 표 고 ELEVATION	m
날 짜 DATE	2014년 7월 2일	지 하 수 위 GROUNDWATER	GL(-) 4.5 m
		시 추 자 DRILLER	김 승 현

(주)시료 채취 방법의 기호 REMARKS
○ 자연시료 U.D. SAMPLE
⊗ Sampled by penetration test 표준관입시험기에 의한 시료
● Core sample 코아시료
⊗ Disturbed sample 흐트러진시료

척도 (m)	표고 (m)	심도 (m)	층후 (m)	현장관찰기록 주상도	지층명	지층설명 Description	색조	시료채취 시료번호	채취방법	채취심도	표준관입시험 N치 (회/cm)	N blow 10 20 30 40 50
1								S-1	⊗	1.0	11/30	
2								S-2	⊗	2.5	11/30	
3								S-3	⊗	4.0	19/30	
4								S-4	⊗	5.5	17/30	
5								S-5	⊗	7.0	19/30	
6					준설토	▶세림사 준설토(3.0~16.0m) - 약간의 실트 함유 - 습윤 상태 Wet	회색	S-6	⊗	8.5	22/30	
7								S-7	⊗	10.0	21/30	
8								S-8	⊗	11.5	22/30	
9								S-9	⊗	13.0	18/30	
10								S-10	⊗	14.5	19/30	
11												
12												
13												
14												
15												
16		16.0	16.0			- 심도 16.00m 에서 시추종료 -						
17												
18												
19												

그림 2.5.6 하제 현장 지질주상도

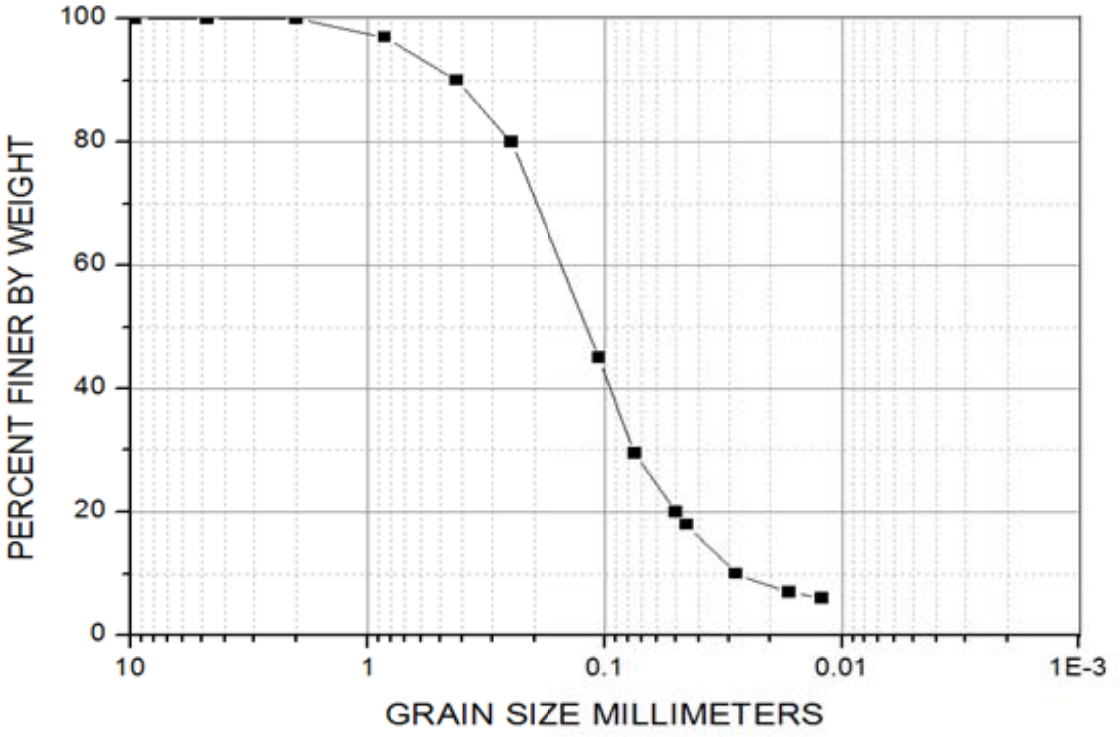
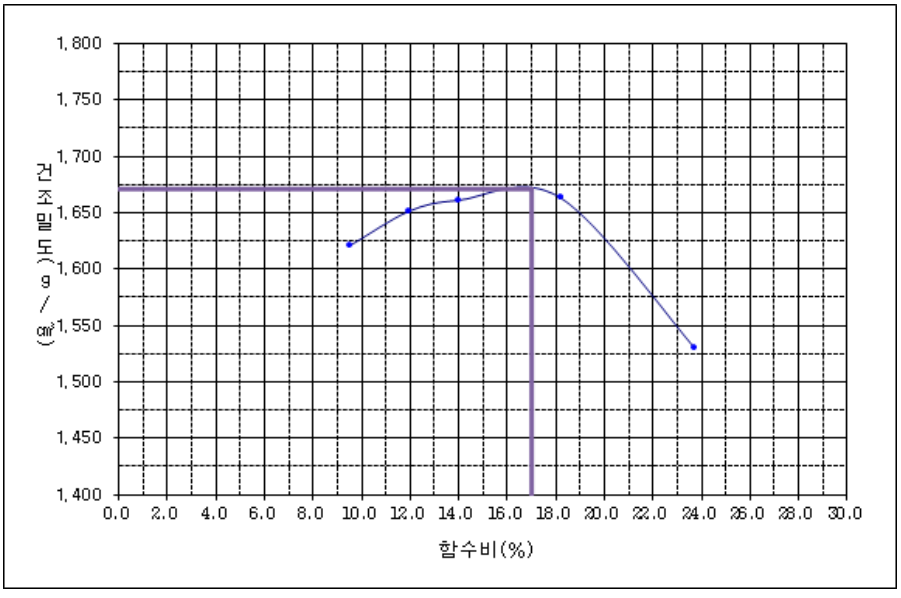


그림 2.5.7 채움재의 입도 분포 곡선



최대건조 밀도	1.671 (g/cm^3)
최적 함수비	17.0 (%)
현장 건조 밀도	1.265 (g/cm^3)
현장 다짐도	75.9 (%)

그림 2.5.8 채움재의 다짐곡선

(3) 현장시험 계측계획

- 계측기 위치

계측은 시공 시 현장 지반과 구조물의 거동특성을 규명하고 안전하게 시공하기 위하여 지하수압, 응력, 하중, 변형 등을 측정하는 것을 의미한다. 본 연구는 현장 시험 시공 할 토목섬유 튜브 구 조체의 시공 및 시공 후 공정 진행에 따른 안전성 평가를 위하여 토압, 간극수압, 토목섬유 튜브 변위 등의 계측관리를 수행하였다.

토목섬유 튜브의 설계와 시공에서 주요인자로는 토목섬유 튜브의 기본적 특성, 토목섬유 튜브에 채워지는 준설토 및 토사의 특성, 토사와 물과의 혼합비 등 재료 및 시공방법에 따라 다양한 영향 인자가 있다. 또한, 토목섬유 튜브의 시공과정에서의 안정성 및 시공관리 등이 수행되어야 하며 각종 자연 변화에 따른 장기적인 안정성 평가를 수행하여야 한다. 본 연구는 토목섬유 튜브의 시공과정에서 발생될 수 있는 토목섬유 튜브의 형태변화 및 내부의 응력변화를 측정하며, 시공 후 안정성 및 사후 계측 관리를 수행하였다.

- 토압계 설치

토압계 설치 시 모래를 이용 지반은 평탄하게 조성한 후 사각 베어링 플레이트 위에 설치한다. 응력측정에 사용되는 측정 장비는 최대용량 2kg/cm^{2}의 전기식 토압계를 이용하였으며, 본 토압계는 전기 저항을 통해 데이터 로거에 출력되는 원리로 이루어져있고 다른 계측기와 자동화 계측을 위해 채택하였다.

토목 섬유 튜브 토압 측정에 사용한 토압계 설치 방법은 다음과 같다.

① 토압을 측정할 지점의 토사를 약 30cm 가량 굴착한다.
② 수평자를 이용하여 토사를 굴착 지점을 평탄하게 조성한다.
③ 설치 지점에 토압계가 부착된 베어링 플레이트를 위치시키고 곱고 축축한 모로 덮는다.
④ 케이블을 배선하기 위하여 압력센서 위치에서 케이블 선단 방향으로 배선로를 파고 배선로에 날카로운 돌이나 암석은 제거한다. 케이블 손상을 방지하기 위하여 배선로 내에서 케이블을 꾸불꾸불하게 배선하여 축축한 모래나 부드러운 기초 토사로 케이블을 덮는다.
⑤ 데이터 로거에 연결한 뒤 토목 섬유 튜브를 시공하기 전에 초기 값을 측정한다.

- 간극 수압계 설치

간극수압계는 기타 이물질에 의한 오염을 방지하기 위해 필터 섬유로 봉한 후 토압계의 상부의 튜브 내측에 하단부에 고정시켜 설치한다. 간극수압계도 토압계와 마찬가지로 전기식으로 최대용량은 2kg/cm^{2}이다.

토목 섬유 튜브 토압 측정에 사용한 토압계 설치 방법은 다음과 같다.

① 전기식 간극수압계는 50μm급 저밀도 필터가 부착되어 있어 올바른 계측값을 얻기 위해 설치 전 약 12시간 정도 물속에 담가 공기를 뺀다.
② 토목 섬유 튜브에 작은 구멍을 뚫고 튜브 내에 위치시킨 후 고정한다. 고정 후 구멍에서 토사 및 물이 흘러나오지 않게 실리콘으로 구멍은 메운다.
③ 케이블선의 단선을 방지하기 위해서 케이블이 10～20% 정도 여유 있게 설치한 뒤 초기 값을 구한다.




그림 2.5.9 토압계 설치







그림 2.5.10 간극수압계 설치

- 스트레인게이지 설치

스트레인게이지는 토목섬유 튜브에 모래를 주입하기 전에 측면에 SB-TAPE, VM-TAPE를 이용하여 토목섬유 튜브에 부착시킨 후 주입중의 변위를 기록하고, 향후 성토후의 변위량과 비교하여 튜브의 장기적인 변형률을 측정한다. 측정에 사용되는 스트레인게이지는 전기식으로 신율 15%까지 측정가능하며 토목섬유 튜브 측정 단면 8개 부분에 설치한다.

본 연구에서는 [그림 2.5.11]과 같이 클로로프렌(CR) 접착제를 매개체로 하여 스트레인게이지를 토목섬유에 간접적으로 부착하여 토목섬유의 변형률을 계측하는 방법을 이용하였다.

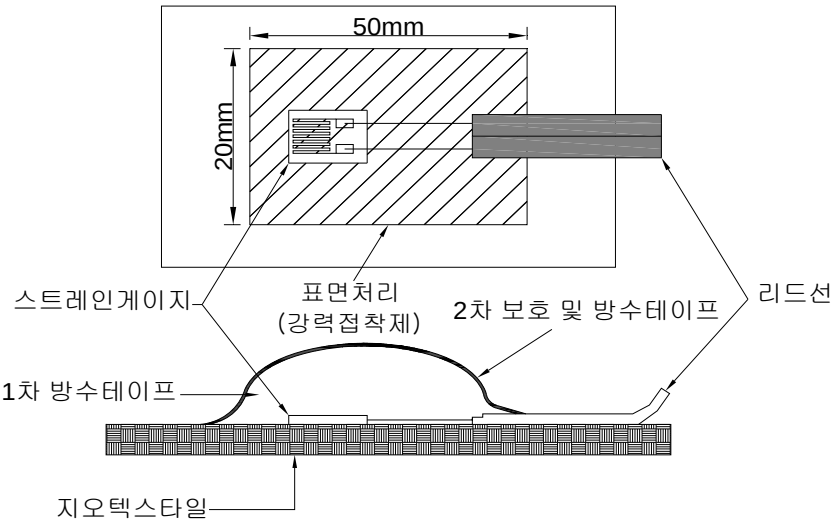


그림 2.5.11 토목섬유에 매개체를 이용한 스트레인게이지 부착방법

토목섬유에 클로로프렌 접착제를 사용한 스트레인게이지의 부착 방법은 다음과 같다.

① 스트레인게이지가 부착될 부분의 이물질을 제거 한다

② 스트레인게이지가 부착될 위치를 토목 섬유위에 표시한다. 이 때 토목섬유의 인장방향으로 스트레인게이지의 장변이 위치하도록 한다.

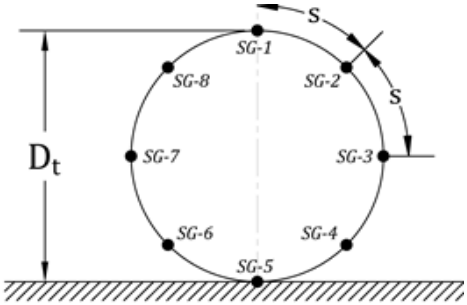
③ 적당한 양의 클로로프렌 접착제를 그려진 표시 위에 고르게 도포한다.

④ 접착제 도포 후 3~5분이 경과한 후에 평평하고 매끄러운 고무판을 이용하여 접착제가 도포된 부분을 압축하여 접착제가 토목섬유에 기복 없이 평평하게 부착 되도록 한다.

⑤ 토목섬유에 접착제를 도포한 다음 12~24시간이 경과한 후에 스트레인게이지를 도포된 접착제 위에 부착한다.

⑥ 리드선을 연결하고, 엔원(N-1) 코팅제와 방수(V.M.) 테이프 등으로 스트레인게이지를 보호하고, 방수 처리한다.

상기와 같이 클로로프렌 접착제를 매개체로 사용해 토목섬유에 스트레인게이지를 부착할 경우에는 접착제가 연성이고 신축성이 좋으므로 인장응력에 저항하는 저항력이 작다. 또한, 토목섬유 밑에서 올라오는 물에 의한 영향을 방지할 수 있어 대기상태에서는 물론, 준설 토목섬유 튜브의 시공 중에도 효과적으로 토목섬유의 변형률을 계측할 수 있다.





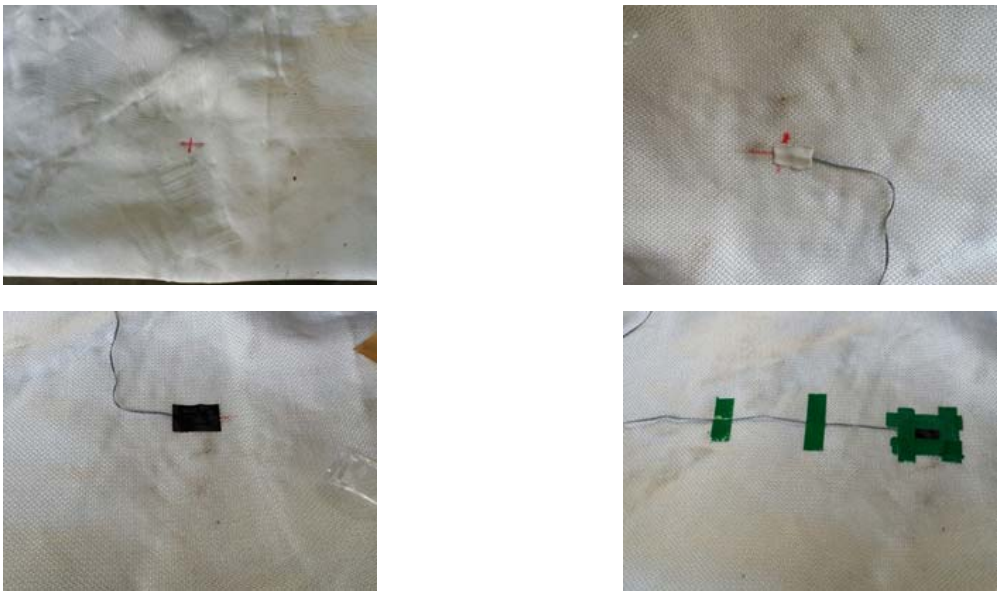


그림 2.5.12 간극 수압계 설치

- 기타 계측기

준설토 주입 시와 주입 후에 장기적으로 토목섬유 튜브의 거동을 살펴보기 위해 광파기를 이용하여 토목섬유 튜브 계측 단면의 높이와 폭을 계측하여 장기거동 특성을 파악하였다. 원격 모니터링 시스템을 이용하여 데이터를 수집하고 계측데이터를 분석 및 유지 관리를 하였다. Data Box를 설치하여 데이터 로거, 컴퓨터 및 기타 기기를 보관하며 계측 데이터를 수집하였다.



그림 2.5.13 Data Box



그림 2.5.14 광파기 계측





그림 2.5.15 원격 모니터링 시스템

2. 토목섬유 튜브 시험조건 및 방법

(1) 주입구 및 배출구 설치

현장작업에는 어려움이 있어 사전에 토목 섬유 튜브의 주입구와 배출구(350mm)를 설치하였다. 우선 토목 섬유 튜브와 주입구를 홑 바느질을 한 뒤, 핸드 미싱기로 4선 봉합하였다. 토목 섬유 튜브 총 6개 모두 주입구 및 배출구를 각 3개 씩 설치하였다.

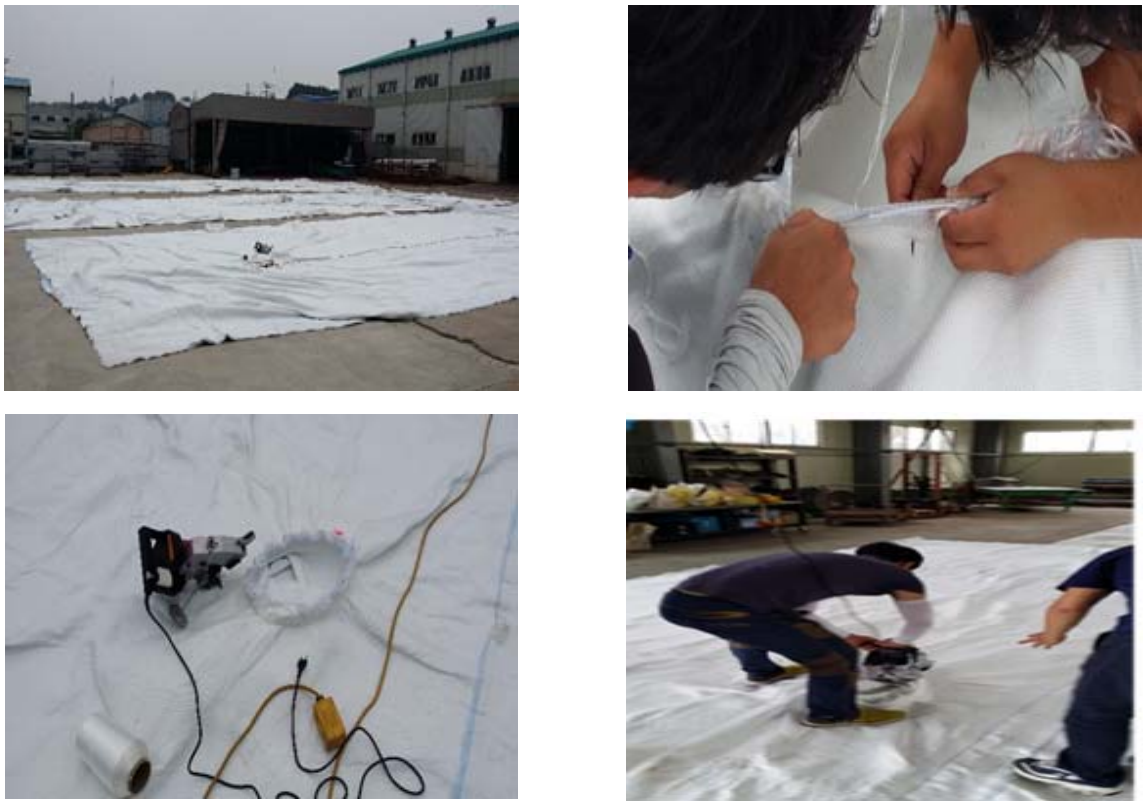


그림 2.5.16 주입구 설치

(2) 평탄화 작업 및 매트포설

토목섬유 튜브를 설치하기 이전에 튜브 배수에 의한 지반의 편향적인 세굴과 자중에 의하여 튜브가 기울어지는 현상을 방지하기 위하여 평탄화 작업을 실시하고 배수로를 확보하였다. 평탄화 작업이 마무리된 지반 위에 지반의 침식을 방지하기 위하여 보호매트(Polypropylene)을 포설하였다. 또한, 배수로의 침식을 최소화하고자 방수 천막(카파 천막)을 포설하였다.

(3) 호퍼 및 주입 펌프 설치

토목섬유 튜브에 토사를 주입하는 방법으로는 여러 가지 공법이 있지만, 본 연구에서는 시공비 절감을 위하여 호퍼를 이용해 토사를 주입하는 방법으로 채택하였다. 호퍼의 주입 직경은 300mm로, 주입구 350mm보다 작게 설계하여 주입모듈과 주입구와의 연결을 용이하게 하였다. 시공 시 토사의 손실율은 약 10～15% 정도였으며, 작업량은 평균 120m^3/hr 정도였다. 최대 유량 60m^3/hr의 펌프를 2개 사용하였으며, 상황에 맞게 펌프의 유량을 조절이 용이하도록 제작하였다. 펌프로 군

산 하제 앞바다의 해수를 흡입하여 호퍼로 이송한 다음, 12개의 작은 호스를 거쳐 호퍼에서 슬러리 상태로 3m의 수두차를 두고 자연유하식으로 토목섬유 튜브 내부에 주입하도록 설치하였다.



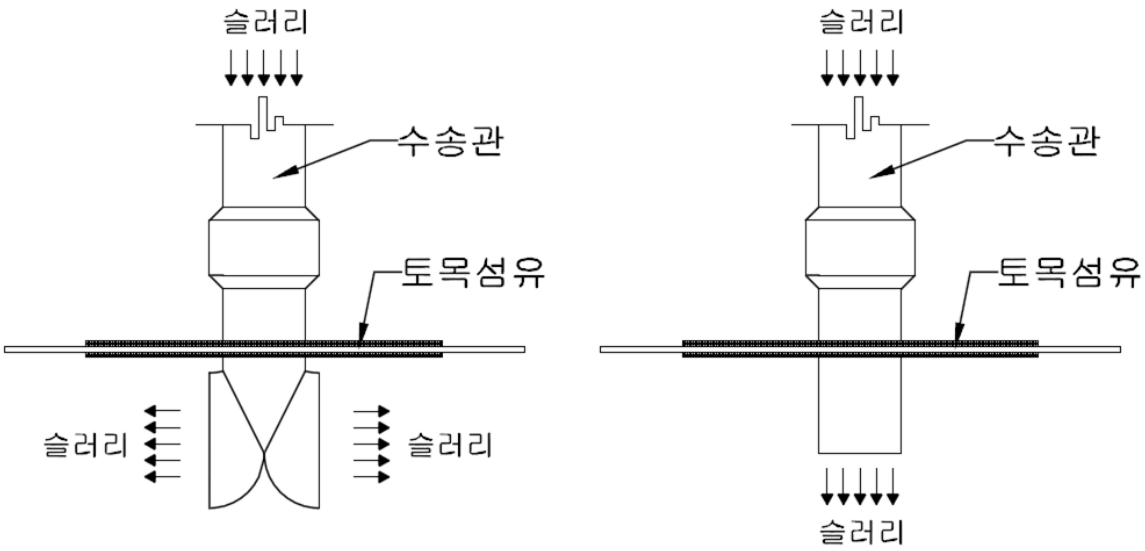
그림 2.5.17 평탄화 작업 및 중앙부 Key 설치와 매트포설



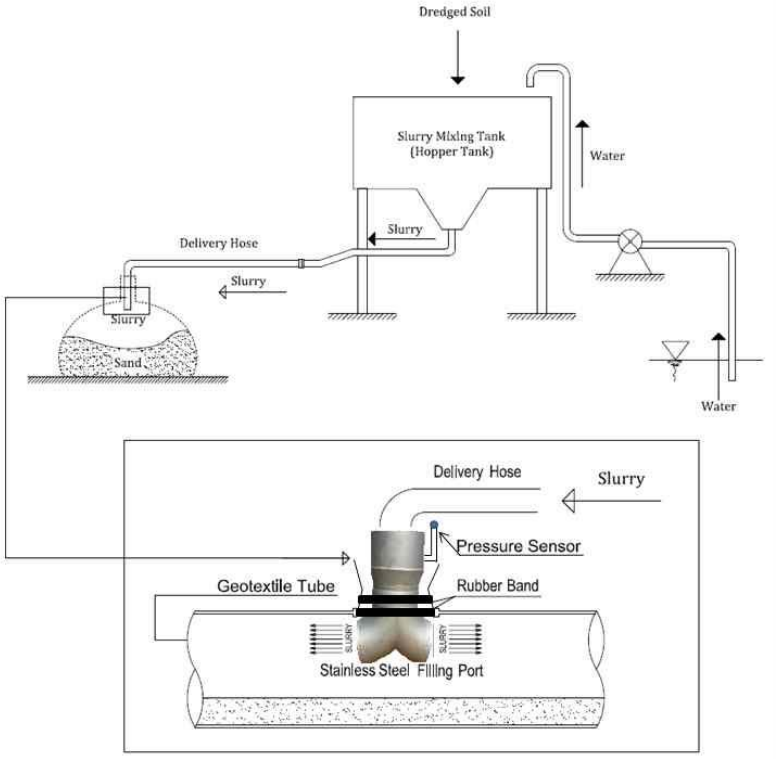
그림 2.5.18 토사주입장치(호퍼)

(4) 주입모듈

일반적인 토목섬유 튜브 시공 현장에서는 준설토를 주입 시 I형 주입모듈을 사용하지만, 본 연구에서는 Y형 주입모듈을 자체적으로 제작 및 개발하여 적용하였다. Y형 주입모듈의 사용 목적은 손실수두를 최소화하고, 준설토 채움 시 손실량 감소와 튜브 주입구 근처 분화구(Crater) 현상을 방지하여 토사가 균등하게 분포되도록 함으로써 튜브의 형상을 최적화하기 위함이다. Y형 주입모듈의 상부는 330mm으로써 30mm의 여유를 둠으로써 호퍼와 주입모듈 간에 결합을 용이하게 하였고, 중하부는 300mm로 제작하였다.



(a) Y형 주입모듈 (b) I형 주입 모듈



(c) 주입호퍼-배송호스-Y형 주입모듈과 시스템

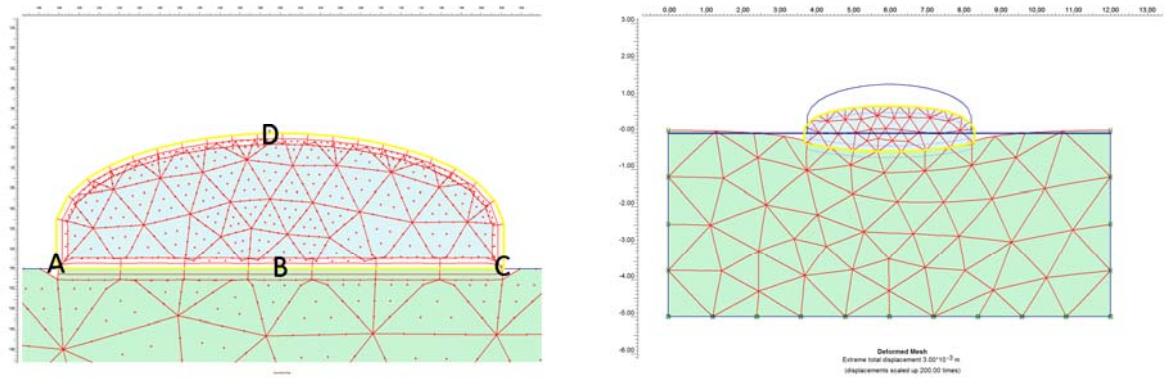
그림 2.5.19 Y형 주입 모듈에 의한 토목섬유 튜브 구조체 조성 시스템

(5) 토목섬유 튜브 구조체 수치해석 및 시뮬레이션

본 연구에서는 현장시험을 계획함에 있어 토목섬유 튜브 구조체의 안정성 검토를 하기 위하여 2개의 Case를 시뮬레이션 모델링하여 수치해석을 실시하였다. 수치해석에 있어서 지반의 변형과

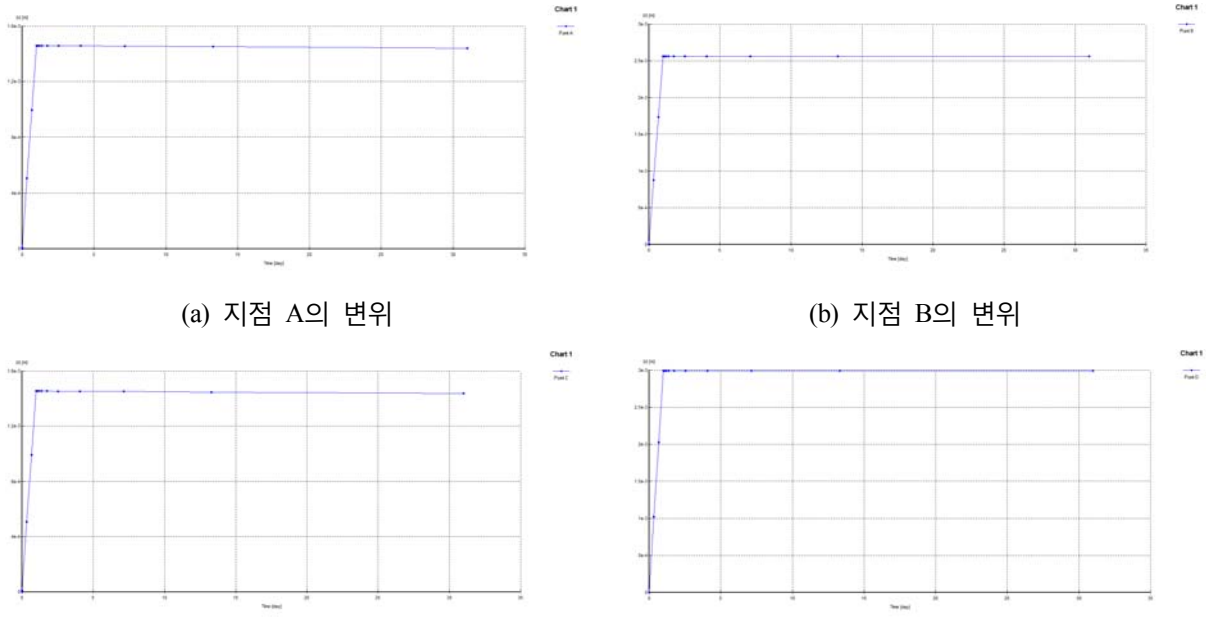
안정성의 2차원 분석을 위한 유한요소해석 프로그램으로 2D 및 2D PlaxFlow 모듈을 포함한 PLAXIS 2D 프로그램을 사용하였다. PLAXIS 2D 프로그램의 사용은 타 프로그램(ABAQUS 등)에 비하여 토목섬유 튜브의 형상을 완전하게 모델링하기에 좀 더 용이하다고 판단하였기 때문이다.

Case-1은 소형튜브(직경 3m, 길이 10m)로 이론높이의 3m의 충진률 45%인 토목섬유 튜브 구조체의 높이 1.35m이며, 시공 후 약 한 달간의 압밀기간을 가진 것으로 모델링하였다. 준설펌프를 사용한 시공이 아닌 호퍼를 이용한 테스트 베드 시공인 만큼 실제 토목섬유 튜브 시공 현장의 충진률 보다 낮은 충진률인 45%로 예상하였다. 토목섬유 튜브의 각 4개 지점을 포인트로 지정하여 지점별 침하량을 해석하였다. 필요한 물성 데이터는 실제 현장의 주입 시료 및 토목섬유에 대한 조사를 통해 구한 실제 데이터를 사용하였다. 수치해석 결과는 다음과 같다.



(a) case 1의 4개 지점 (b) 수치해석 결과

그림 2.5.20 Case-1 형상 모델링

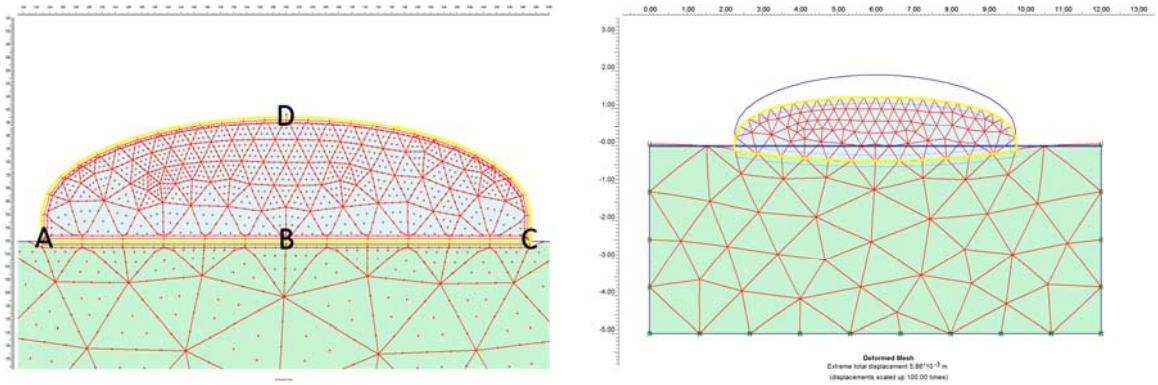


(a) 지점 A의 변위 (b) 지점 B의 변위

(c) 지점 C의 변위 (d) 지점 D의 변위

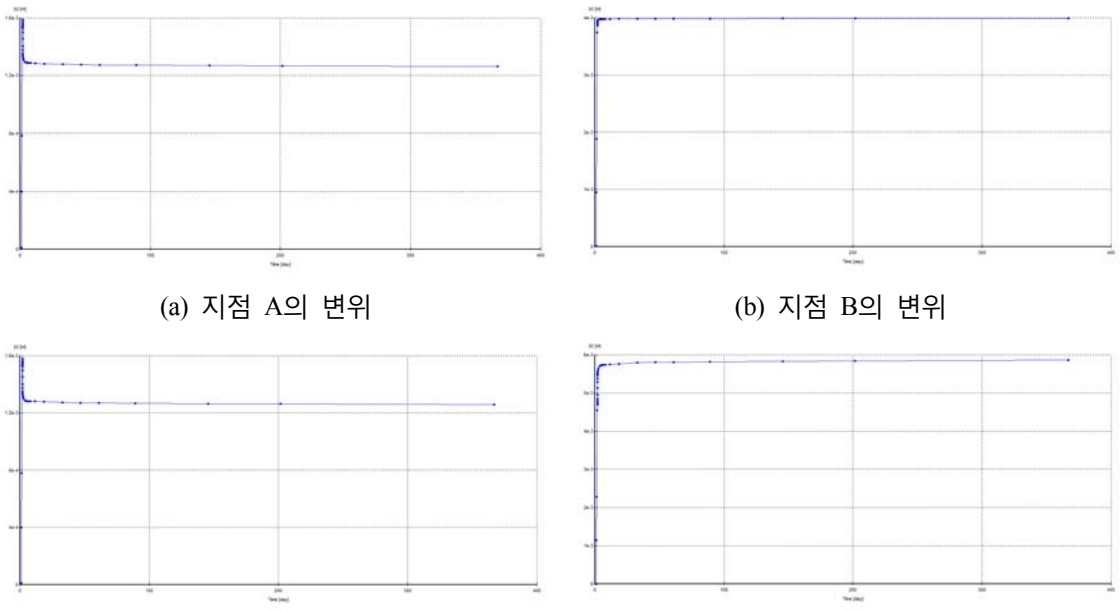
그림 2.5.21 Case-1 수치해석 결과

Case-2는 대형튜브인 만큼 소형튜브에 비하여 더 낮은 충진률을 보일 것으로 예상하여 튜브(직경 5m, 길이 25m)의 이론높이(5m)에서 충진률은 약 40%(토목섬유 튜브 구조체의 높이 1.9m)로 시공 후 약 일 년간의 압밀기간을 가진 것으로 모델링하였다. 토목섬유 튜브의 각각의 4개 지점을 포인트로 지정하여 지점별 침하량을 해석하였다. 필요한 물성데이터는 실제 하제 테스트 베드 현장의 주입 시료 및 토목섬유에 대한 조사를 통해 도출된 실제데이터를 사용하였다. 수치해석 결과는 다음과 같다.



(a) Case-2의 4개 지점 (b) 수치해석 결과

그림 2.5.22 Case-2 형상 모델링



(a) 지점 A의 변위 (b) 지점 B의 변위

(c) 지점 C의 변위 (d) 지점 D의 변위

그림 2.5.23 Case-2 수치해석 결과

○ PLAXIS 2D 프로그램을 사용한 수치해석 결과에 따라 다음과 결론을 내릴 수 있다. Case-1의 경우 각 지점의 최대 변위량이 3.00mm, Case-2의 경우가 지점의 최대 변위량이 5.86mm로

Case-1, Case-2 모두 침하가 크지 않다. 지점 B와 지점 D의 변위 차이는 토목섬유 튜브의 높이가 높을수록 크다. 토목섬유 튜브의 양 끝단 지점 A, 지점 C의 경우 지점 B, 지점 D 보다 변위량 비교적으로 작으며, 토목섬유 튜브의 폭이 큰 Case-2의 경우 튜브의 양 끝의 변위는 증가하다 다시 줄어드는 경향을 볼 수 있다.

(6) 튜브 구조체 개발공법의 시공성 및 경제성 분석

- 시공성 분석

최근 들어 토목섬유 튜브 구조체를 적용하여 해안의 침식을 방지하거나 해안 주변을 간척하는 다양한 방법이 개발되어 적용되고 있다. 토목섬유 튜브는 해안에 토목섬유 튜브 구조체를 설치한 후, 준설토 또는 모래를 채워 토목섬유 튜브 구조체를 조성함으로써 해안가 주위의 침식 또는 호안작업 등이 이루어지도록 하는 기술이다.

토목섬유 튜브 내에 토사(준설토 또는 모래)의 채움 방식은 준설펌프식과 호퍼식으로 구분된다. 준설펌프식은 주로 해상공사에, 호퍼식은 육상공사에 각각 적용된다. 펌프식의 경우 준설토를 펌핑할 수 있을 정도의 선박을 사용하는 경우에는 그 비용이 상당하고, 또한 대다수의 주요 작업이 모두 해상에서 이루어지게 되어 많은 숙련공이 필요하게 됨은 물론, 작업 자체에 애로사항이 많다. 종래의 호퍼식의 경우는 하나의 주입호스에 의존하여 물의 공급이 안정적이지 못하며, 토목섬유 튜브 내측에 토사의 채움 작업이 원활하지 못하는 경향이 있다. 따라서, 비용을 줄임과 동시에 빠른 작업속도가 가능하면서도 안정적인 설치형태를 유지할 수 있는 시공기술의 개발이 필요하다.

이 연구에서는 토사와 물의 교반 효과를 높이면서 토목섬유 튜브 구조체 내의 토사 채움 작업을 원활하게 수행할 수 있는 교반장치를 개발하였다. 이 연구에서 개발한 토목섬유 튜브 구조체 채움용 토사 교반장치의 효과에 대하여 설명하면 다음과 같다.

① 본 발명에 의하면, 토목섬유 튜브 구조체의 채움 작업이 해안의 외측 지형에서 가능하게 되어 채움을 위한 설비의 운영이 편리하게 됨은 물론 작업자의 작업환경을 유리하게 할 수 있게 된다. 이로 인하여 작업에 소요되는데 필요한 비용을 획기적으로 절감할 수 있게 된다.

② 본 발명에 의하면, 교반본체부 내측에 망부 및 철판부를 구비하도록 하여 한 번에 많은 토사 또는 크기가 크게 뭉친 토사뭉치가 몰리어 배출부가 막히는 것을 방지하게 되는 효과가 있다.

③ 본 발명에 의하면, 교반본체부 내측에 다수 위치에서 물이 주입되도록 함으로써 토사가 뭉치는 것을 방지함과 동시에 토사와 물의 교반작용이 원활하게 이루어지게 된다. 특히 물이 주입되는 주입부의 각도 변경을 통하여 보다 현저한 교반효과를 노릴 수 있게 된다.

④ 본 발명에 의하면, 다양한 받침부를 구비하여 상황에 따라서 적합한 받침부를 적용함으로써 현장 상황에 최적의 작업이 가능하게 되는 효과를 기대할 수 있다.

이 연구에서는 상부가 개구되며 하측으로 갈수록 수렴되는 형태로 이루어지되 하부에 관통된 형태로 배출부가 구비된 교반본체부가 구비된 토목섬유 튜브 구조체 채움용 토사 교반장치를 개발하여 토목섬유 튜브 구조체 개발공법의 시공성을 개선하였다.

이 연구에서 개발한 교반장치는 필요에 따라 백호나 받침부에 정착할 수 있고, 물을 입체적으로 공급할 수 있다. 개요도와 사진은 아래 그림과 같다.

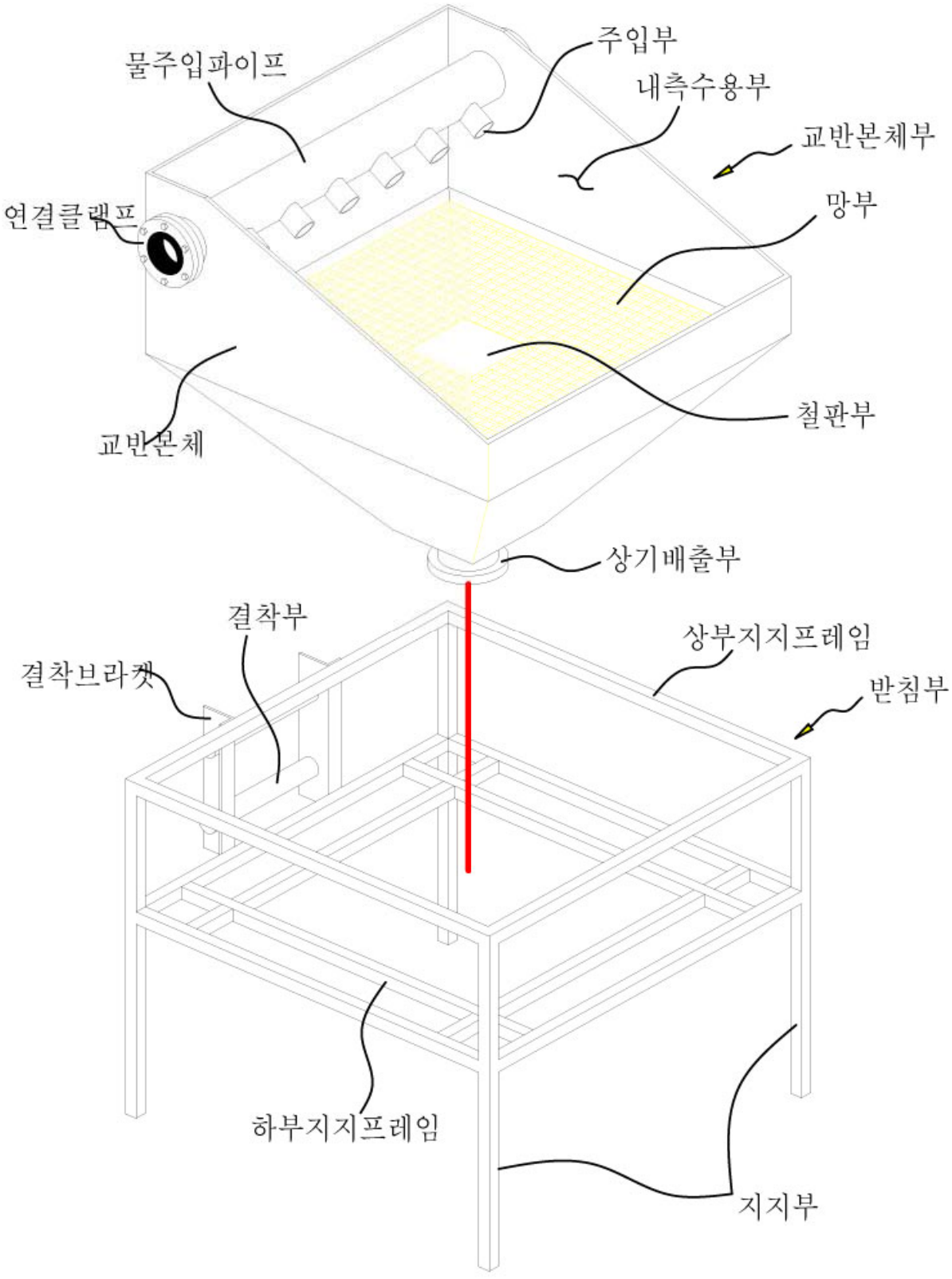


그림 2.5.24 본 연구에서 개발한 토사 교반장치와 받침부의 분해도

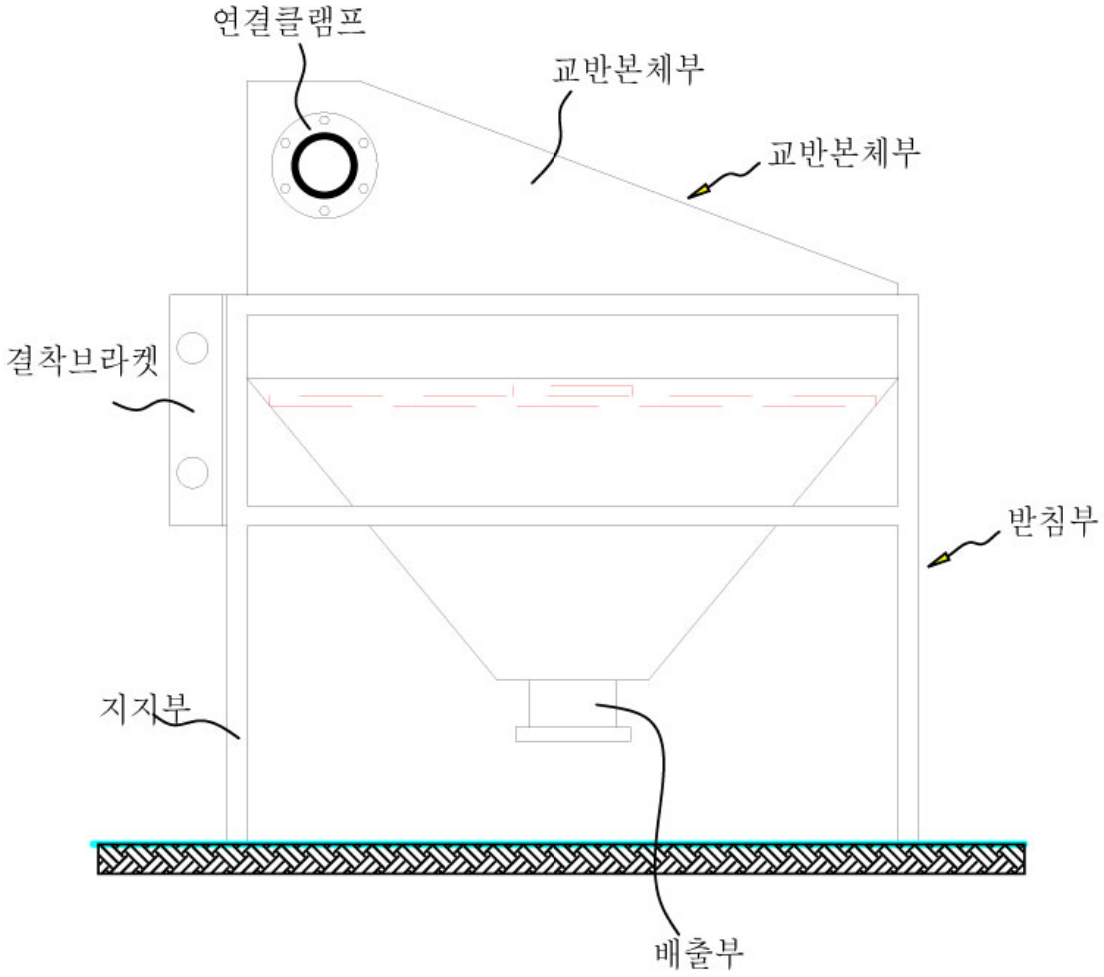


그림 2.5.25 본 연구에서 개발한 토사 교반장치가 받침부에 결합된 모습을 나타낸 측면도

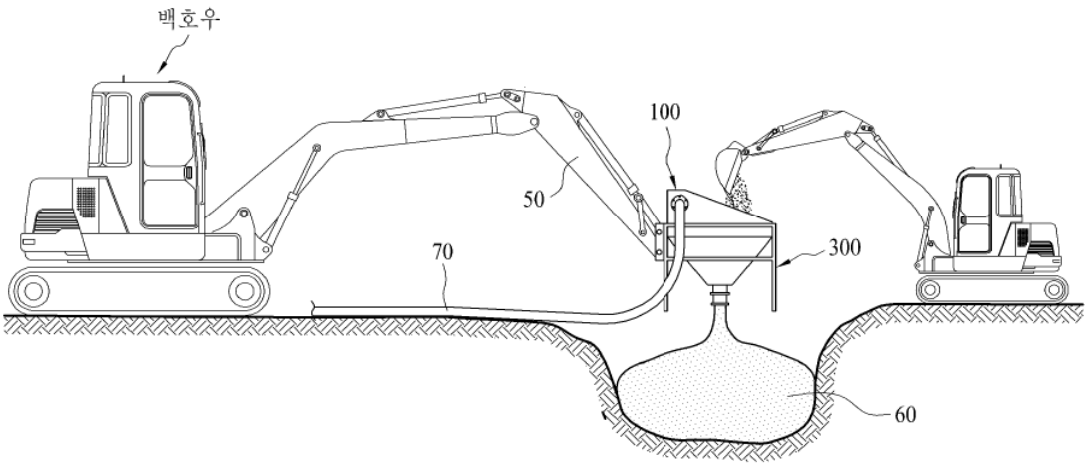


그림 2.5.26 본 연구에서 개발한 발명의 실시 예

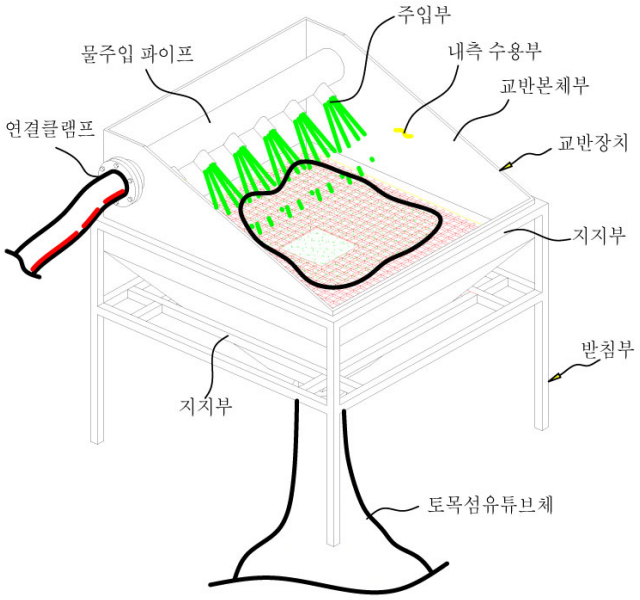


그림 2.5.27 본 연구에 개발한 토사 교반장치를 이용하여 튜브체에 토사 및 물을 충진

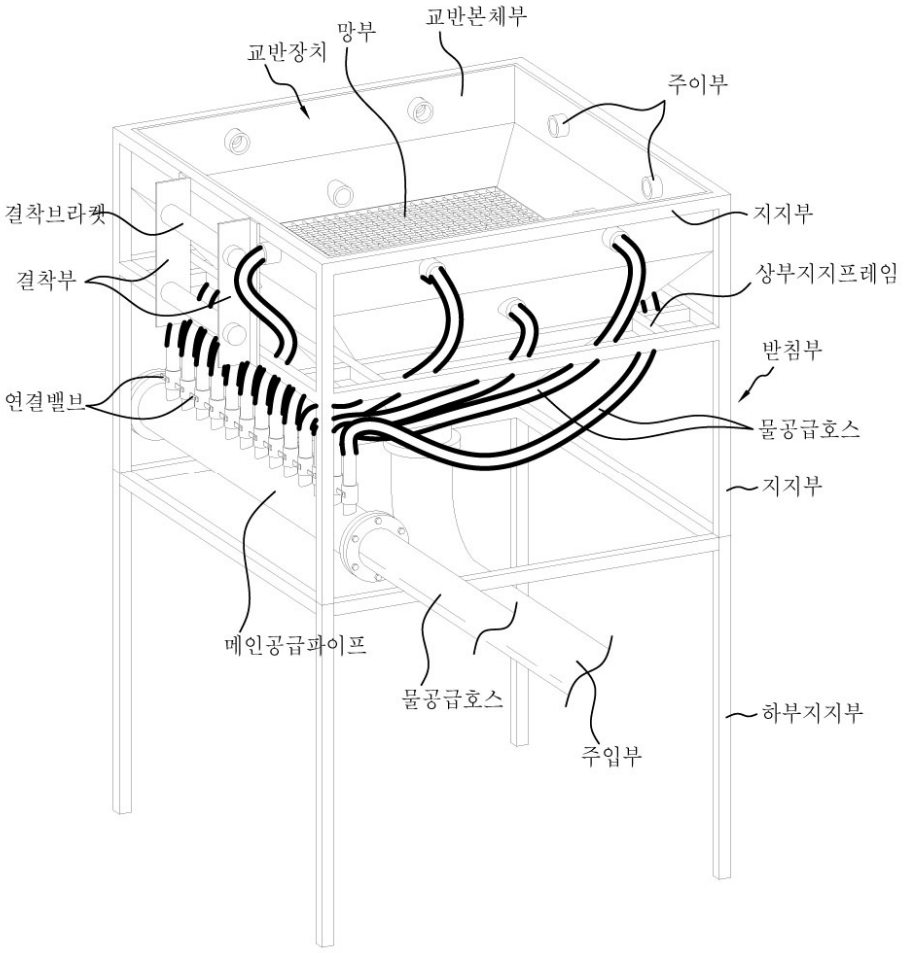


그림 2.5.28 본 연구에서 개발한 토사 교반장치의 주입부에 물공급호스가 연결된 모습



(a) 백호 정착 이동식 교반장치



(b) 교반장치 필터 기능의 철망





(c) 백호를 이용한 토사 채움



(d) 밸브를 이용한 입체적인 물 공급 조절



(e) 받침대를 이용한 토사 채움

그림 2.5.29 연구 개발한 토사 교반장치를 이용한 현장 시험

- 경제성 분석

토목섬유 튜브 구조체 개발공법의 경제성 분석은 해상 준설펌프식과 육상 호퍼식을 비교 검토를 통해 실시하였다. 토목섬유 튜브의 규격은 직경 2, 3, 4, 5m이고, 시공연장은 100m 가정하였다. 호퍼식은 물의 공급 없이는 토사 채움이 곤란하므로 군산 지역의 조수간만의 차를 고려한 작업시간을 산정하여 적용하였다. 호퍼식의 경우는 물의 공급이 원활하다면 공사비용은 절반 가까이 줄어 들것으로 생각된다.

분석결과 호퍼식이 준설펌프식보다 경제적인 것으로 나타났다. 이는 준설펌프식의 경우 초기 준설선 세팅 비용이 많이 소요되기 때문인 것으로 생각된다. 따라서, 호퍼식과 펌프식의 경제성은 공사 규모에 크게 좌우 될 것으로 판단된다. 경제성 검토조건 및 결과는 아래와 같다.

[표. 2.5.2] 경제성 검토 조건

구 분	육상(호퍼식)	해상(준설펌프식)	비고
튜브 규격	ϕ2000, ϕ3000, ϕ4000, ϕ5000	ϕ2000, ϕ3000, ϕ4000, ϕ5000	단위:mm
시공 연장	100m	100m	
토사 반입 조건	인근 1km 이내에서 토사반입	배사관을 이용하여 최대 3km 이내에서 토사 이송	
튜브 하부 조건	침식 방지 매트 설치	침식 방지 매트 설치	
튜브 포설 조건	불필요	PP마대 수중 고정	
기상 조건	조수간만의 차로 인한 작업시간 제한(4H/day)	기상 제약은 적으나, 해상 기상 상황에 따른 작업제한	

[표. 2.5.3] 경제성 검토 결과 (금액단위 : 천원)

규격 / 설치구분	Φ2000	Φ3000	Φ4000	Φ5000	비고
① 육상 호퍼식	50,459	69,053	97,729	146,575	
② 해상 펌프식	164,958	180,729	223,765	275,650	
③ 차액(②-①)	114,499	111,676	126,035	129,075	

품 명	규 격	수량	단위	재료비		노무비		경 비		합 계	비고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액		
Geoteextile-Tube(Φ2000) 설치 비교											
1. Geotextile Tube 설치(해상 펌프식)											
침식방지겸 보강매트 부설(수중)	PP or PET-I, 8t/m	400	㎡	5,128	2,051,200	6,733	2,693,200	458	183,200	4,927,600	
토목섬유튜브 부설(수중)	D200	100	m	255,900	25,590,000	185,214	18,521,400	38,788	3,878,800	47,990,200	
펌프준설 및 채움	N=5~10미만	314	㎥	1,812	568,968	393	123,402	1,231	386,534	1,078,904	
배사관 부설 및 철거	Φ610㎜이상	1	식	3,689,716	3,689,716	48,996,289	48,996,289	2,180,287	2,180,287	54,866,292	
펌프준설선단 회항비	군산⇔인천	1	식	25,979,210	25,979,210	22,009,460	22,009,460	8,107,187	8,107,187	56,095,857	
합계					57,879,094		92,343,751		14,736,008	164,958,853	
2. Geotextile Tube 설치(육상 호퍼식)											
침식방지겸 보강매트 부설(육상)	PP or PET-I, 8t/m	400	㎡	4,389	1,755,600	2,622	1,048,800		0	2,804,400	
토목섬유튜브 부설(육상)	D200	100	m	223,926	22,392,600	74,010	7,401,000	28,256	2,825,600	32,619,200	
토사굴착 및 운반	1km 이내	314	㎥	1,738	545,732	2,125	667,250	1,883	591,262	1,804,244	
토사 주입	BH1.0㎥급	314	㎥	680	213,520	462	145,068	423	132,822	491,410	
발전기 임대료	100kw	7	일		0		0	320,000	2,240,000	2,240,000	
호퍼 임대료		7	일		0		0	1,000,000	7,000,000	7,000,000	
펌프 임대료	75kw	7	일		0		0	500,000	3,500,000	3,500,000	
					0		0		0	0	
합계					24,907,452		9,262,118		16,289,684	50,459,254	

품 명	규 격	수량	단위	재료비		노무비		경 비		합 계	비고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액		
Geoteextile-Tube(Φ3000) 설치 비교											
1. Geotextile Tube 설치(해상펌프식)											
침식방지겸 보강매트 부설(수중)	PP or PET-I, 8t/m	600	㎡	5,128	3,076,800	6,733	4,039,800	458	274,800	7,391,400	
토목섬유튜브 부설(수중)	D200	100	m	375,500	37,550,000	185,214	18,521,400	38,788	3,878,800	59,950,200	
펌프준설 및 채움	N=5~10미만	706	㎥	1,812	1,279,272	393	277,458	1,231	869,086	2,425,816	
배사관 부설 및 철거	Φ610㎜이상	1	식	3,689,716	3,689,716	48,996,289	48,996,289	2,180,287	2,180,287	54,866,292	
펌프준설선단 회항비	군산⇔인천	1	식	25,979,210	25,979,210	22,009,460	22,009,460	8,107,187	8,107,187	56,095,857	
합계					71,574,998		93,844,407		15,310,160	180,729,565	
2. Geotextile Tube 설치(육상 호퍼식)											
침식방지겸 보강매트 부설(육상)	PP or PET-I, 8t/m	600	㎡	4,389	2,633,400	2,622	1,573,200		0	4,206,600	
토목섬유튜브 부설(육상)	D200	100	m	343,526	34,352,600	74,010	7,401,000	28,256	2,825,600	44,579,200	
토사굴착 및 운반	1km 이내	706	㎥	1,738	1,227,028	2,125	1,500,250	1,883	1,329,398	4,056,676	
토사 주입	BH1.0㎥급	706	㎥	680	480,080	462	326,172	423	298,638	1,104,890	
발전기 임대료	100kw	8	일		0		0	320,000	2,656,000	2,656,000	
호퍼 임대료		8	일		0		0	1,000,000	8,300,000	8,300,000	
펌프 임대료	75kw	8	일		0		0	500,000	4,150,000	4,150,000	
					0		0		0	0	
합계					38,693,108		10,800,622		19,559,636	69,053,366	

품 명	규 격	수량	단위	재료비		노무비		경 비		합 계	비고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액		
Geoteextile-Tube(Φ4000) 설치 비교											
1. Geotextile Tube 설치(해상 펌프식)											
침식방지겸 보강매트 부설(수중)	PP or PET-I, 8t/m	800	㎡	5,128	4,102,400	6,733	5,386,400	458	366,400	9,855,200	
토목섬유튜브 부설(수중)	D200	100	m	587,813	58,781,300	340,388	34,038,800	58,126	5,812,600	98,632,700	
펌프준설 및 채움	N=5~10미만	1,256	㎥	1,812	2,275,872	393	493,608	1,231	1,546,136	4,315,616	
배사관 부설 및 철거	Φ610㎜이상	1	식	3,689,716	3,689,716	48,996,289	48,996,289	2,180,287	2,180,287	54,866,292	
펌프준설선단 회항비	군산⇔인천	1	식	25,979,210	25,979,210	22,009,460	22,009,460	8,107,187	8,107,187	56,095,857	
합계					94,828,498		110,924,557		18,012,610	223,765,665	
2. Geotextile Tube 설치(육상 호퍼식)											
침식방지겸 보강매트 부설(육상)	PP or PET-I, 8t/m	800	㎡	4,389	3,511,200	2,622	2,097,600		0	5,608,800	
토목섬유튜브 부설(육상)	D200	100	m	531,046	53,104,600	74,010	7,401,000	42,329	4,232,900	64,738,500	
토사굴착 및 운반	1km 이내	1,256	㎥	1,738	2,182,928	2,125	2,669,000	1,883	2,365,048	7,216,976	
토사 주입	BH1.0㎥급	1,256	㎥	680	854,080	462	580,272	423	531,288	1,965,640	
발전기 임대료	100kw	10	일		0		0	320,000	3,200,000	3,200,000	
호퍼 임대료		10	일		0		0	1,000,000	10,000,000	10,000,000	
펌프 임대료	75kw	10	일		0		0	500,000	5,000,000	5,000,000	
					0		0		0	0	
합계					59,652,808		12,747,872		25,329,236	97,729,916	

품 명	규 격	수량	단위	재료비		노무비		경 비		합 계	비고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액		
Geoteextile-Tube(Φ5000) 설치 비교											
1. Geotextile Tube 설치(해상펌프식)											
침식방지겸 보강매트 부설(수중)	PP or PET-I, 8t/m	1,000	㎡	5,128	5,128,000	6,733	6,733,000	458	458,000	12,319,000	
토목섬유튜브 부설(수중)	D200	100	m	884,827	88,482,700	494,369	49,436,900	77,086	7,708,600	145,628,200	
펌프준설 및 채움	N=5~10미만	1,962	㎥	1,812	3,555,144	393	771,066	1,231	2,415,222	6,741,432	
배사관 부설 및 철거	Φ610㎜이상	1	식	3,689,716	3,689,716	48,996,289	48,996,289	2,180,287	2,180,287	54,866,292	
펌프준설선단 회항비	군산⇔인천	1	식	25,979,210	25,979,210	22,009,460	22,009,460	8,107,187	8,107,187	56,095,857	
합계					126,834,770		127,946,715		20,869,296	275,650,781	
2. Geotextile Tube 설치(육상 호퍼식)											
침식방지겸 보강매트 부설(육상)	PP or PET-I, 8t/m	1,000	㎡	4,389	4,389,000	2,622	2,622,000		0	7,011,000	
토목섬유튜브 부설(육상)	D200	100	m	807,767	80,776,700	160,533	16,053,300	56,402	5,640,200	102,470,200	
토사굴착 및 운반	1km 이내	1,962	㎥	1,738	3,409,956	2,125	4,169,250	1,883	3,694,446	11,273,652	
토사 주입	BH1.0㎥급	1,962	㎥	680	1,334,160	462	906,444	423	829,926	3,070,530	
발전기 임대료	100kw	13	일		0		0	320,000	4,000,000	4,000,000	
호퍼 임대료		13	일		0		0	1,000,000	12,500,000	12,500,000	
펌프 임대료	75kw	13	일		0		0	500,000	6,250,000	6,250,000	
					0		0		0	0	
합계					89,909,816		23,750,994		32,914,572	146,575,382	

- 사석식 공법과 토목섬유 튜브 공법의 경제성 분석

국내·외의 시공 사례에서 가호안 및 해안 침식방지 구조물 축조 시 기존 사석 대신 준설 토목섬유 튜브를 적용함으로써 40～50% 정도의 공사비 및 시공재료비 절감 효과가 있는 것으로 보고되었다. 분석 결과들을 정리하면 [표. 3.5.4]와 같다.

또한, 시공규모를 L=3.5km라고 가정하고 사석 및 준설 토목섬유 튜브 공법의 경제성을 분석한 결과는 [그림 2.5.30]에서처럼 준설 토목섬유 튜브 공법 적용 시 운반거리가 15km이하인 공사비가 기존 사석공법에 비해 다소 크게 나타났다. 하지만, 외국처럼 석산개발에 따른 환경보전 분담금과 개발여건과 도심통과를 고려한 비용을 가산하고, 동시에 지속적인 튜브 구조체의 조성 기술이 개발된다면 운반거리 15km이하에서도 공사비 절감효과는 크다. 또한, [표. 2.5.4]에서와 같이 성토제방의 코아를 50%이상 토목섬유로 대체한다면 공사비 절감효과는 크다.

[표. 2.5.4] 토목섬유 튜브 공법의 경제성 분석 시 고려사항

Case	Economic consideration
Nether lands, Ecuador, Bahrain	The amount of quarry materials saving of more 50% is attained by replacing the core of the embankment with geotextile tube
Ilsan bridge	Cost saving of 42% is attained by applying geotextile tubes in the embankment construction
Busan new port	Reduce the width of the counterweight fill for sand mound by 60m Reduce the amount of the sand for sand mound by 900,000m^3 Enlarge the capacity of dredging soil ground by 1,000,000m^3 Cost saving of more 40% is attained by applying geotextile tubes in the embankment construction
Uljin beach	Budget and public resentment saving of 50% is attained by replacing the riprap and dissipation block with geotextile tube

국외의 경우는 네덜란드, 에콰도르, 바레인 현장 사례에서 시공연장 L=2.0～60km인 사석 제방단면의 코어 부분을 모래로 채운 토목섬유 튜브로 대체함으로써 기존에 사석을 이용한 제방쌓기 공사에서 필요한 사석물량을 50% 이상 절감하여 시공재료비를 최소화할 수 있었다. 아울러 대규모의 사석을 채취함으로써 발생할 수 있는 환경문제 및 운반차량에 의한 교통장애를 해결할 수 있었다. 아일랜드 Fenit항 현장사례에서는 해안 침식을 방지하기 위한 구조물 설계 시 준설재료를 이용한 토목섬유 튜브 공법의 적용성을 확인하기 위해 경제성을 검토하였으며, 검토 결과는 [표. 2.5.5]와 같다. [표 2.5.6]은 해안침식 방지 구조물 축조 시 사석 제방단면의 코어 부분을 Fenit항 현장의 준설재료로 채운 토목섬유 튜브로 대체함으로써 기존에 사석을 이용한 제방쌓기 공사에서 필요한 사석 물량을 20～70%이상 절감할 수 있는 것을 확인한 것이다.

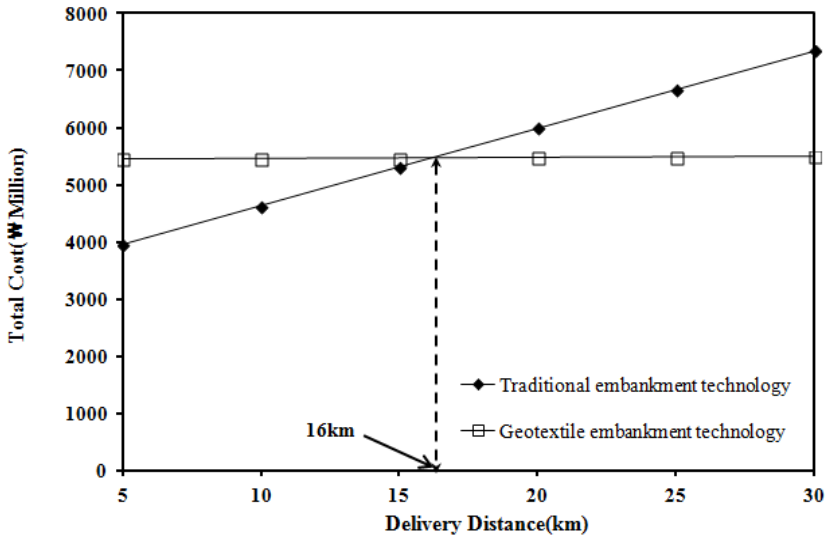
[표. 2.5.5] 해안구조물 축조 시 필요한 사석량

Coastal structure	Quarry material (tonf)	Traditional embankment technology	Geotube and riprap technology
Breakwaters	Total	472,121	140,065
	Saving effect (%)	0	70.00
Revetments	Total	16,752	13,353
	Saving effect (%)	0	20.29

[표. 2.5.6] 해안구조물 형태로 토목섬유 튜브 공법과 사석식 제방공법비교

Coastal structure	Cost (€)	Traditional embankment technology	Geotube and riprap technology
Breakwaters	Cost per meter	17,754	11,545
	Total	7,921,000	5,124,000
	Saving effect (%)	0	35.31
Revetments	Cost per meter	1,325	1,382
	Total	265,000	276,500
	Saving effect (%)	0	-4.34

[그림 2.5.30]은 구조물 시공규모 및 사석 운반 거리에 따라 결정되는 각 구조물의 공사비용을 정리한 것이다. 준설재료로 채운 토목섬유 튜브를 적용함으로써 방파제 구조물의 경우는 35% 정도의 공사비 절감 효과를 나타냈다.

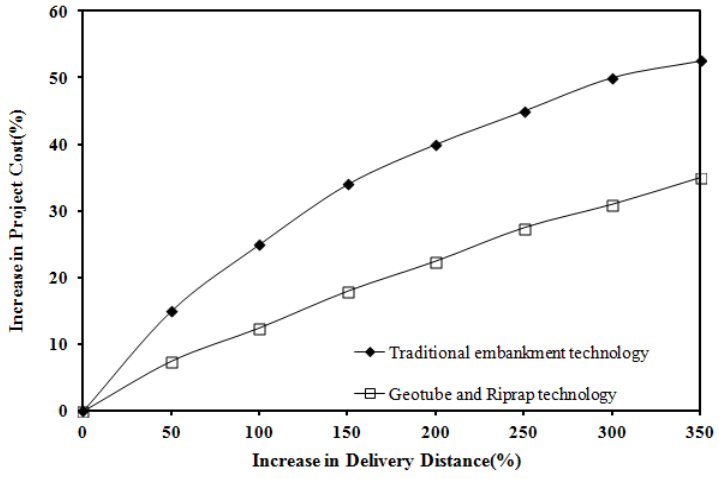


[그림 2.5.30] 사석운반 거리 증가에 따른 비용증가

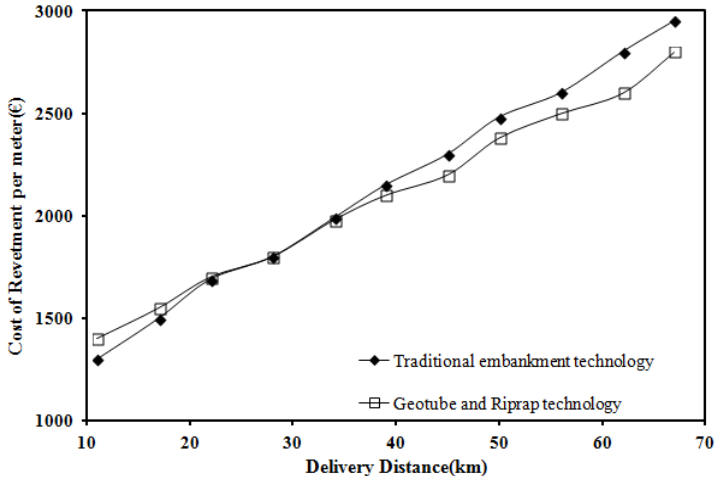
호안구조물의 경우는 반대로 4.34% 정도 공사비 증액이 있는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 [표. 2.5.6]에서 검토된 것처럼 호안구조물(연장 200m)은 방파제 구조물(연장 446m)에 비해 시공규모가 작아 절감된 사석 물량이 현저히 작으며 이에 따른 사석의 운반비 절감액이 개발여건을 고려하지 않고 토목섬유 튜브 구입, 준설 및 펌핑 장비 구입비용을 완전히 부담하지 못하기 때문인 것으로 보고되고 있다.

방파제 구조물의 경우는 준설 토목섬유 튜브 대체 공법 적용 시 사석 물량 감소뿐만 아니라 [그림 2.5.31]에서처럼 사석 운반거리(11km 기준) 증가에 따른 운반비용의 절감 때문에 공사비 절감 효과가 나타났다. 반면, 호안구조물의 경우는 준설 토목섬유 튜브 대체 공법 적용 시 사석 물량은 감소하지만 오히려 상대적으로 공사규모를 고려한다면 더 크게 증가될 수도 있다.

[그림 2.5.31]에서는 운반 거리가 11km인 경우는 공사비가 기존 공법에 비해 다소 절감되나 상대적 운반거리가 약 25km 이상인 경우에 공사비 절감 효과가 더욱 증가되고 있는 것으로 나타났다. 아일랜드 Fenit항 현장사례의 준설 토목섬유 튜브 공법에 대한 경제성 검토 결과 해안 침식방지 구조물 설계 시 경제적으로 효율적인 공법을 선정하기 위해서는 공사규모 및 사석 운반거리는 중요한 영향인자인 것으로 보고되고 있다.



(a)



(b)

[그림 2.5.31] 사석운반거리 증가에 의한 프로젝트수행비와 단위미터당 제체 축조 비용비교

3. 현장 시험을 통한 준설 토목섬유 튜브 구조체의 장기거동 특성 규명

(1) 원격 모니터링 통합 시스템 유지관리

원격자동계측 시스템은 측정가가 계측지점에 접근하지 않아도 계측기에 부착된 자동계측시스템에 의해 계측된 데이터를 CDMA 데이터 통신을 이용하여 계측자 사무실에서 컴퓨터로 전송할 수 있는 시스템이다.

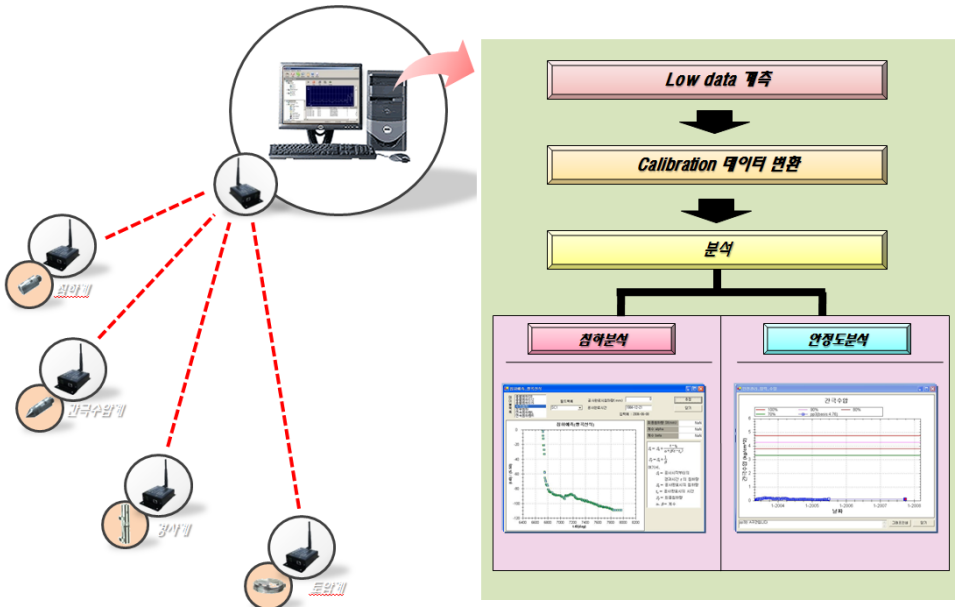


그림 2.5.32 모니터링 룸(원격서버) 구조도

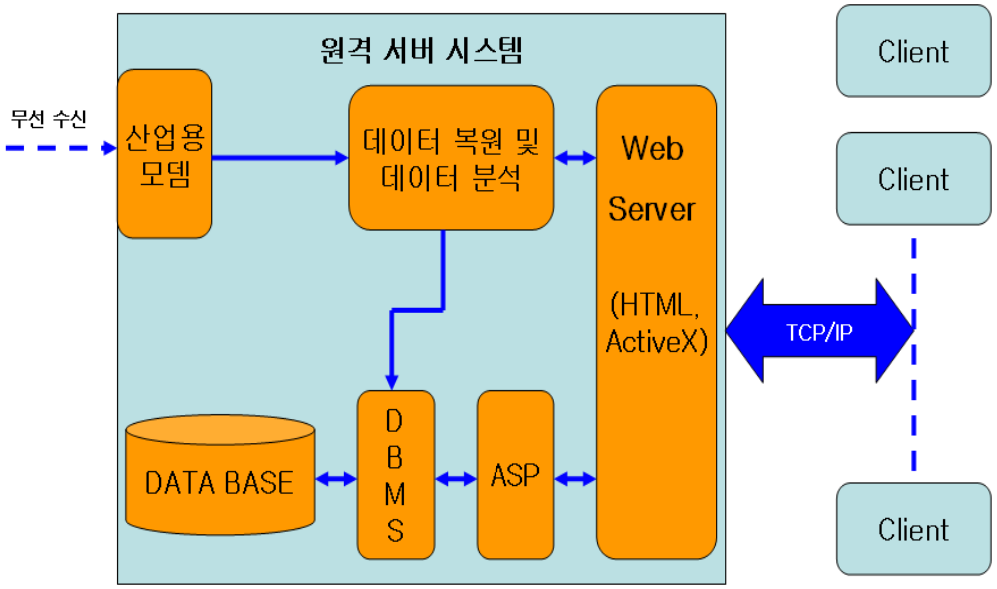


그림 2.5.33 자동계측 서버 시스템의 상세 구조

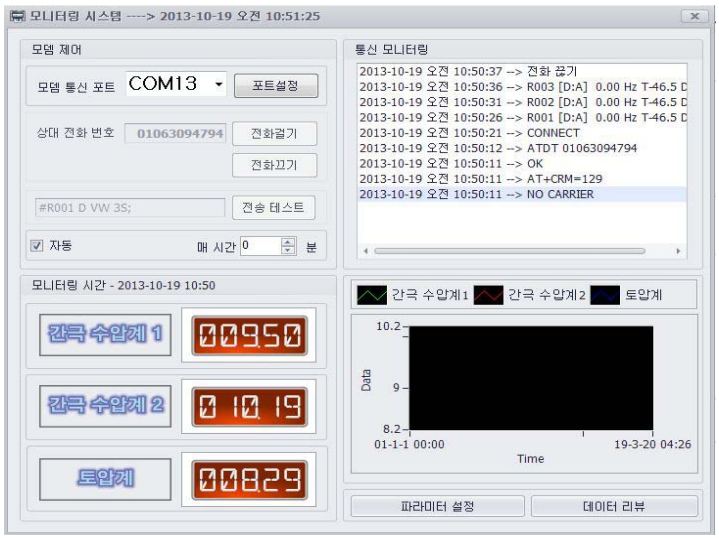


그림 2.5.34 상시 모니터링 프로그램

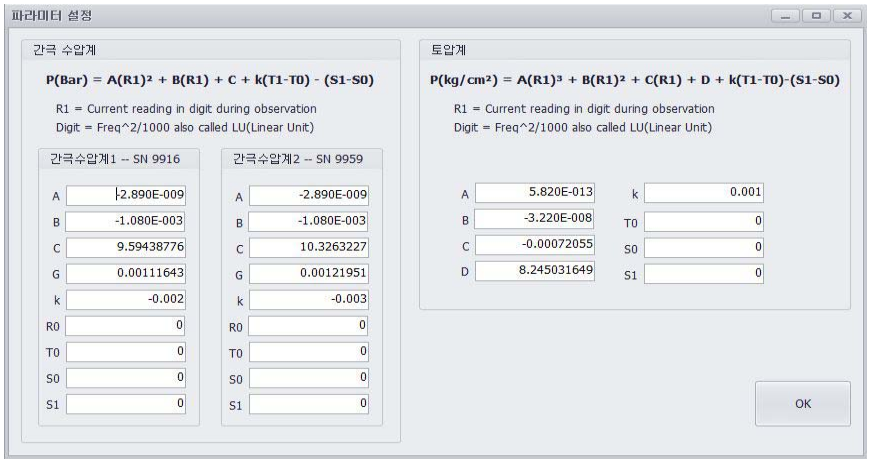


그림 2.5.35 센서 파라메타 변경

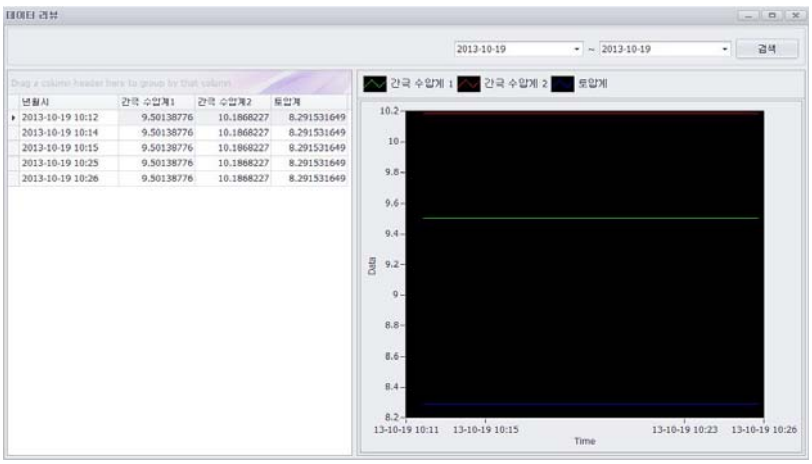


그림 2.5.36 데이터 베이스 모니터링





(a) 현장 설치 계측기 토압계 및 수위계



(b) 수중설치함체 제작



(c) 새만금 무선 계측 시스템 설치 위치



(d) 토목섬유 튜브 계측 시스템



(e) 현장 유선 계측 시스템



(f) 무선 전원공급 솔라셀 설치

그림 2.5.37 현장 계측 시스템 설치

[그림 2.5.37]에서와 같이 산업용 모뎀으로 받아들인 현장 계측 정보는 DBMS를 통해 Database에 저장된다. 이러한 작업은 현장 무선 계측 단말기와 서버 단말기의 송수신 주기에 맞추어 실시간으로 진행되며, 현장 상태 및 계측 데이터의 모니터링이 가능하다. 향후에는 인터넷에 연결된 원격 클라이언트에서 현재 계측 상태의 모니터링을 요구할 경우, 웹서버 시스템을 이용하여 Active-X 및 ASP 기능으로 원격 클라이언트에 해당되는 자료를 전송할 수 있다.

4. 현장 시험결과

(1) 육상 테스트 베드 지역현황

새만금 하제항 퇴적 지역을 육상 테스트 베드 시험지역으로 선정하였다. 부지 여건은 새만금 방조제가 완성되기 전까지는 항구이었지만, 방조제 완공 후 해수유입이 차단되어 일시적으로 하제항이 새만금 내부로 약 2km정도 이동되어 일시적으로 어항기능을 담당하고 있다. 아래 [그림 2.5.38]과 같이 간사지가 드러난 지역을 선정하고, 부지정리를 2014년 6월부터 약 15일 동안 수행하였고, 테스트 베드 현장시험은 2015년 7월말까지 총 6개를 구축하였다.



(a) 새만금 테스트 베드 육상부지 현황 (b) 새만금 테스트 베드 부지 정리

그림 2.5.38 새만금 테스트 베드 육상부지 전경

(2) 해상 테스트 베드 지역 및 진행현황

추가적으로 2차 해상시험은 아래 그림과 같이 2015년 10월부터 실시하고 있으며, 10월부터 새만금 수위조절과 눈비로 인하여 지연되고 있다.

[그림 2.5.39]은 해상 테스트 베드 시험 부지정리 현황을 제시하고 있다. 해상 테스트 베드 구축 지역의 수위는 최소 0.5m에서 최대 1.0m정도를 유지하고 있어 이상적인 조건에서 시험이 가능한 지역이며, 1차 육상부지와 인접된 부근이다. 본 테스트 베드 구축 예정지역은 1차 육상 테스드 베드가 구축된 지역과 경계부로 해상에서 약 50m가 이격된 수중지역으로 외적환경을 고려하고 장기거동 변형계측에 이상적인 지역을 설정하였다.

본 시험에서 구축되는 토목섬유 튜브 구조체는 1개당 길이가 25m를 2개로 연결하여 총길이는 50m이다. 25m의 메인 튜브체의 2개를 연결함에 있어서 메인튜브체-(연결 보조튜브체)-메인튜브체 중 “연결 보조튜브 시공방법”(본 연구에 의한 특허출연, 출원번호 10-2015-0060657)을 활용하였다. 종방향으로 메인튜브와 보조튜브간 연결 구조체 조성방법을 활용하여 조성하고자 하였다. 또한, T형 주입모듈에 의해 수중에서 종방향 확부의 불연속성을 해소하고자 종방향으로 균등한 튜브 산정 길이와 파력에 의한 변형상태도 장기간 관찰하고자 시험을 수행하고 있다.

해상 테스트 베드의 장기관찰을 위해 지금까지의 수행상황은 먼저 지반조사를 실시하였고, 토목섬유 튜브의 포설을 위해 해상부지의 진입도로를 개설하였다. 개설 후에 진입도로에 주입호퍼를 배치시키고 난 뒤 해상부지에 토목섬유 튜브를 포설하였다. 또한, 최종적으로 토목섬유 튜브의 주입구와 주입호퍼를 연결시켜 주입이 가능하도록 하였다.



(a) 새만금 테스트 부지 해상부지 지반조사



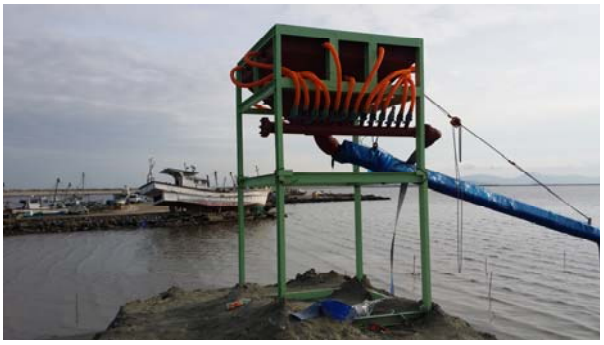
(b) 새만금 테스트 베드 해상부지 진입도로 개설 (2015년 10월)

그림 2.5.39 새만금 테스트 베드 2차 해상부지 전경









(a) 새만금 테스트 베드 해상부지 튜브설치

(b) 새만금 테스트 베드 진입도로와 주입호퍼설치

그림 2.5.40 새만금 테스트 베드 2차 해상시험 현재 수행상황

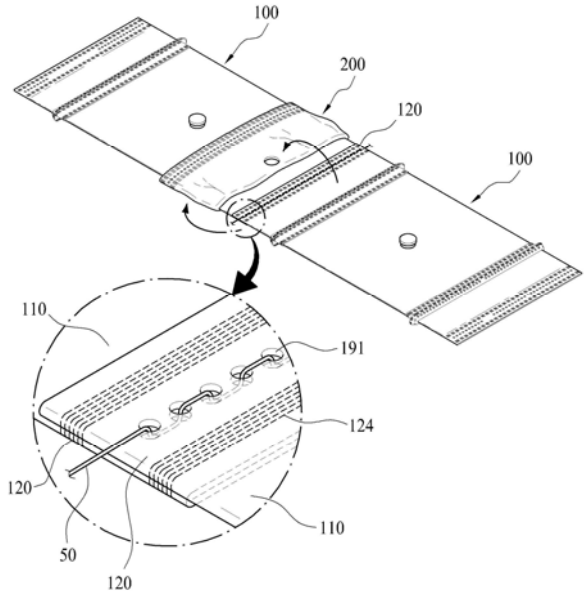
(3) 육상 테스트 베드 시험 계측현황 및 형상화 분석

1차 육상 테스트 베드시험으로 총 6개의 토목섬유 튜브 구조체를 조성하였다. [표. 2.5.7]는 각각의 시험목적과 계측기 종류와 수량을 요약하여 표시한 것이다.

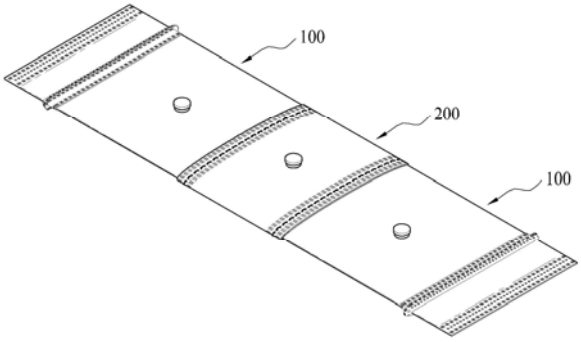
본 계측안정관리 연구는 효율적인 계측기 설치와 취약단면에 대한 효과적인 안정성 평가 및 결과분석을 위하여 최적의 계측단면을 설정하였다. 연구형태는 6개로 분류하였으며, 본 연구에서 개

발된 6선 2열 종봉합과 횡보강을 연구형으로 설정하였다. 국외 TENCATE(사)의 봉합기술과 연구개발된 봉합기술을 융합하고, 또한 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 횡보강이 없는 6선2열 봉합을 종방향으로 봉합한 국내형을 봉합형태로 설정하였다. 또한, 토목섬유 튜브의 이론직경을 3m와 5m 그리고 종방향 토목섬유 튜브 길이(10m, 25m)로 다양하게 제작하였다.

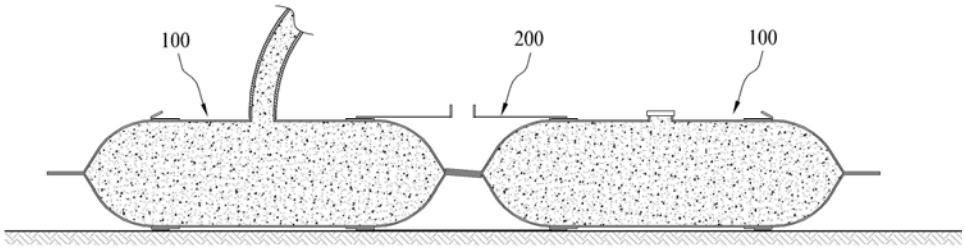
본 연구에서 개발된 주입모듈인 T형과 기존 I형 주입형태를 사용하여 현장 테스트 베드 시험을 실시하였다.



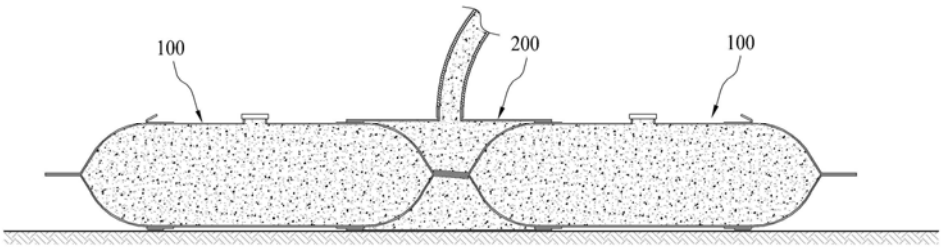
(a) 메인튜브 구조체와 결합 시 보조튜브 구조체의 폴딩상태



(b) 메인튜브 구조체와 보조튜브 구조체의 결합상태



(c) 메인튜브 구조체 준설토 주입(측단면도)



(d) 보조튜브 구조체 준설토 주입(측단면도)

그림 2.5.41 메인튜브 구조체와 보조튜브 구조체의 연결시공방법

[표. 2.5.7] 새만금 테스트 베드에 사용된 연구형태와 계측기 설치 현황

구 분	연구형태	토압계	간극수압계	스트레인 게이지	총 설치개수
TB-1	연구형	1	1	-	2
TB-2	TENCATE+ 연구형	2	2	-	4
TB-3	TENCATE+ 연구형	-	2	-	2
TB-4	국내+연구형	-	3	16	19
TB-5	국내+연구형	-	-	-	-
TB-6	연구형	-	2	-	2

- 테스트 베드 시험 TB-1, 3 분석

TB-1은 직경 3m, 길이 10m인 토목섬유 튜브이다. 봉합형태는 현재 자체 개발 연구한 6선 2열종 봉합 + 횡보강(띠보강) : 연구형 방식을 사용하였다. 토사주입량은 총 $66m^3$이며, 총 2차 주입으로 단계별 주입을 거쳐 총 약 130여분의 시간동안 주입하였다. 1일 경과 후, 최종 높이 1.42m, 둘레 10.99m, 폭 4.36m 의 형상을 나타냈고, 주입방식은 I-type을 사용하였다. 종방향으로 주입토사가 확산되지 않아 주입횟수를 증가하여 토사를 확산시키므로 토목섬유 튜브 구조체의 최종 높이는 다소 증가되었고, 띠보강 효과에 의해 구조체는 안정적이다.

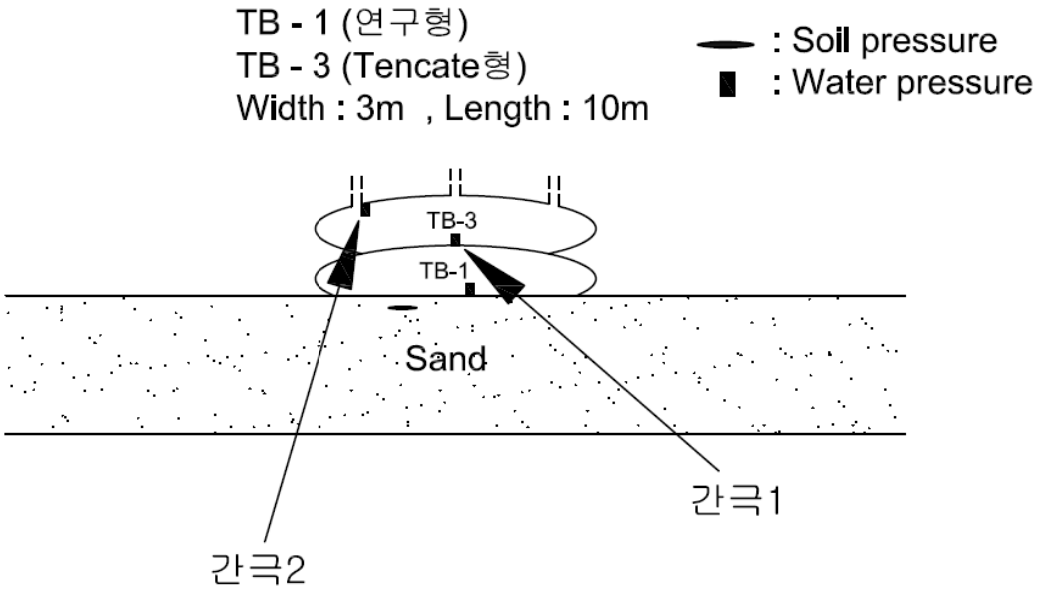


그림 2.5.42 TB-3 계측기 설치현황

[표. 2.5.8] TB-1, 3 계측기 설치개수

	토압계	간극수압계	총 설치개수
설치 개수	1	3	4



그림 2.5.43 TB-1 시공단계



그림 2.5.44 TB-1 최종형상

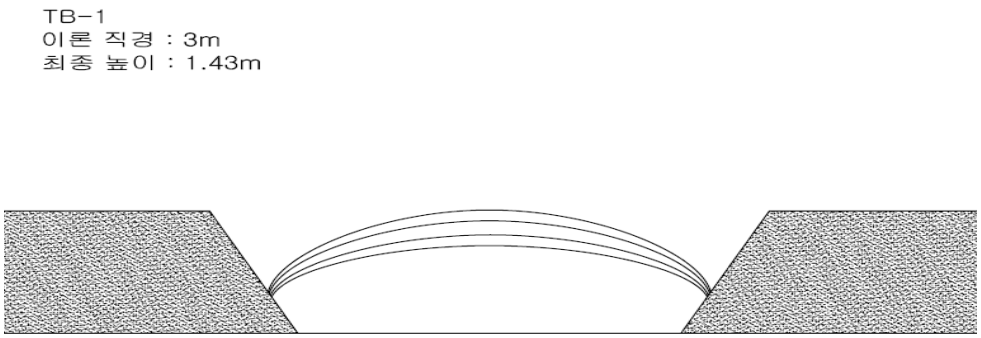


그림 2.5.45 TB-1 주입단계 단면도

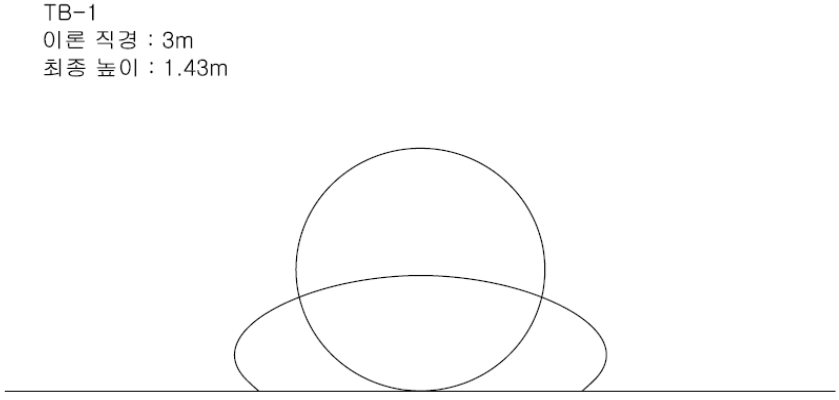


그림 2.5.46 TB-1 최종형상 단면도

TB-3은 직경 3m, 길이 10m인 토목섬유 튜브이다. 봉합형태는 6선 2열 일반형(국내형) 방식을 사용하였다. 토사주입량은 총 88.2m^3이며, 총 2차 주입으로 단계별 주입을 거쳐 총 약 120여분의 시간동안 주입하였다. 1일 경과 후, 최종 높이 1.6m의 형상을 나타냈다. TB-1 위의 역 T-type 주입 모듈을 이용한 이단 시공으로 주입되어 주입시간 단축과 균등한 토목섬유 튜브 구조체 조성 및 크레이터 현상을 방지하였다.



그림 2.5.47 TB-3 시공단계

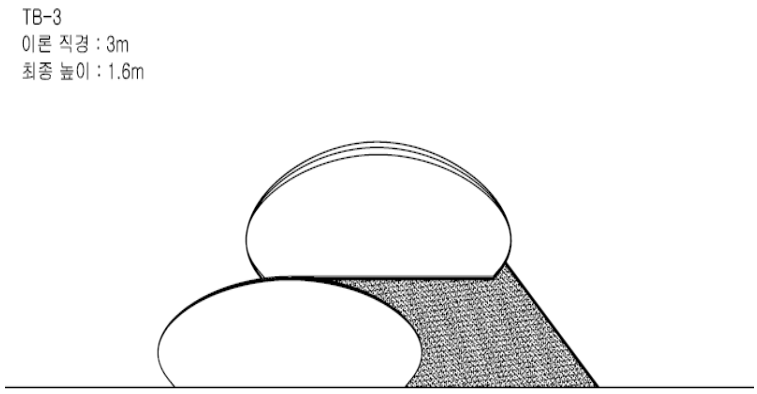


그림 2.5.48 TB-3 주입완료시까지 형상변화

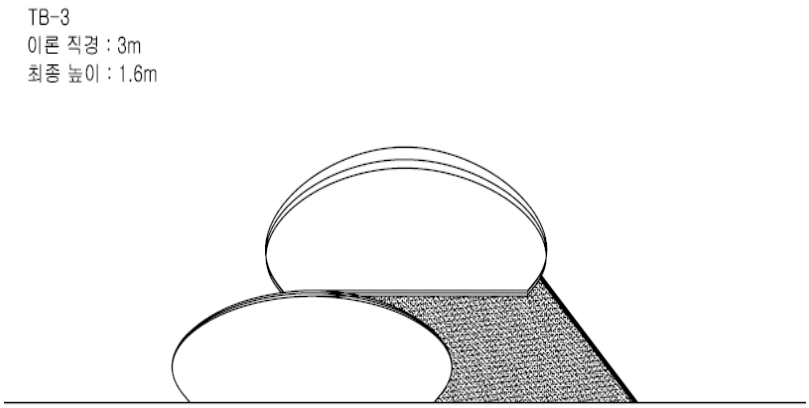


그림 2.5.49 TB-3 주입완료 후 형상변화 단면도

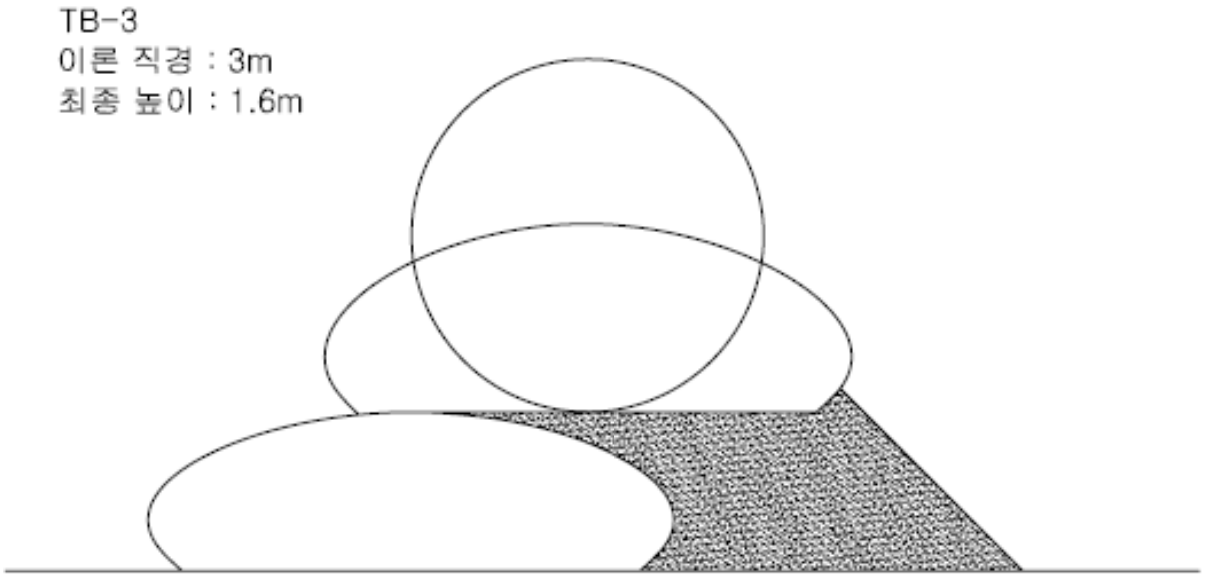


그림 2.5.50 TB-3 최종형상 단면도

- 테스트 베드시험 TB-2 분석

TB-2은 직경 5m, 길이 25m인 토목섬유 튜브이다. 봉합형태는 6선 2열 횡봉합(TENCATE) 방식을 사용하였다. 토사주입량은 총 437m^3이며, 총 5차 주입으로 단계별 주입을 거쳐 총 약 230여분의 시간동안 주입하였다. 1일 경과 후, 최종 높이 1.367m, 둘레 17.21m, 폭 7.5m의 형상을 나타냈다. 주입방식은 I-type으로 종방향으로 주입토사가 확산되지 않아 주입횟수를 증가하여 토사를 확산시켰다. 튜브 종단 끝부분은 연약지반지역으로 쇄굴과 부등침하가 발생하여 종방향으로 다소 기울어졌으나, 튜브인장력에 의해 토목섬유 튜브 구조체를 지속적으로 유지하고 있다.

또한, I-type의 주입모듈로 중앙부터 주입하였으나 토사가 주입방향으로 관성력을 받으면서 주입되므로 튜브 외측방향으로 주입구가 밀리는 현상이 발생하였다. 따라서, 튜브 종단 끝부분에서 세굴이 일어나 세굴부근으로 토목섬유 튜브도 다소 기울어 졌다.

튜브 하단에 설치된 토압계는 주입과 동시에 증가되면서 주입이 완료된 후에는 일정한 상태로 수렴되고 있다. 하부지반과 튜브 구조체가 접하는 원지반의 간극수압이 주입과 동시에 증가하면서 주입 완료 후에는 급격하게 저하되고 있다. 이러한 원인은 토목섬유 튜브 구조체의 압밀이 종료되면서 하단의 지하수위가 주변으로 배수되기 때문이다.

본 지역은 원지반고가 주변보다 약 30cm 높게 부지 정리를 한 곳이다. 토목섬유 튜브를 포설하여 주변 지반고가 상대적으로 낮은 지역이다.

[표. 2.5.9] TB-2 계측기 설치개수

	토압계	간극수압계	총 설치개수
설치 개수	2	2	4

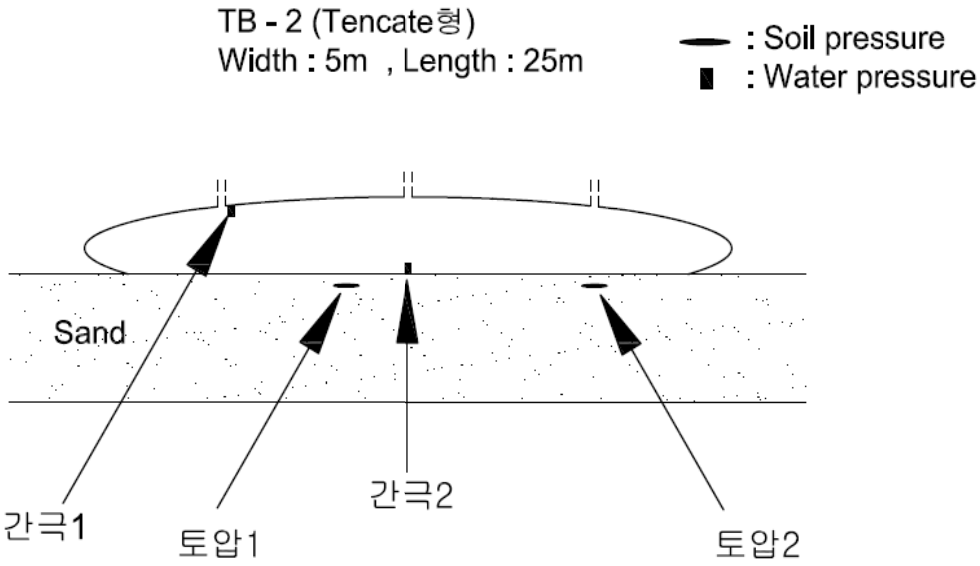


그림 2.5.51 TB-2 계측기 설치현황



그림 2.5.52 TB-2 시공단계



그림 2.5.53 TB-2 최종형상

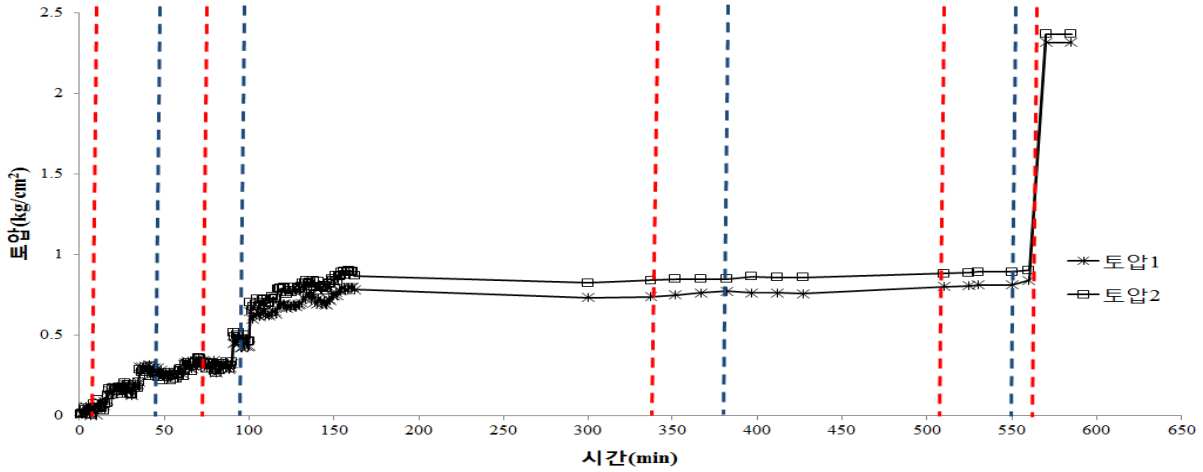


그림 2.5.54 TB-2 토압 분포

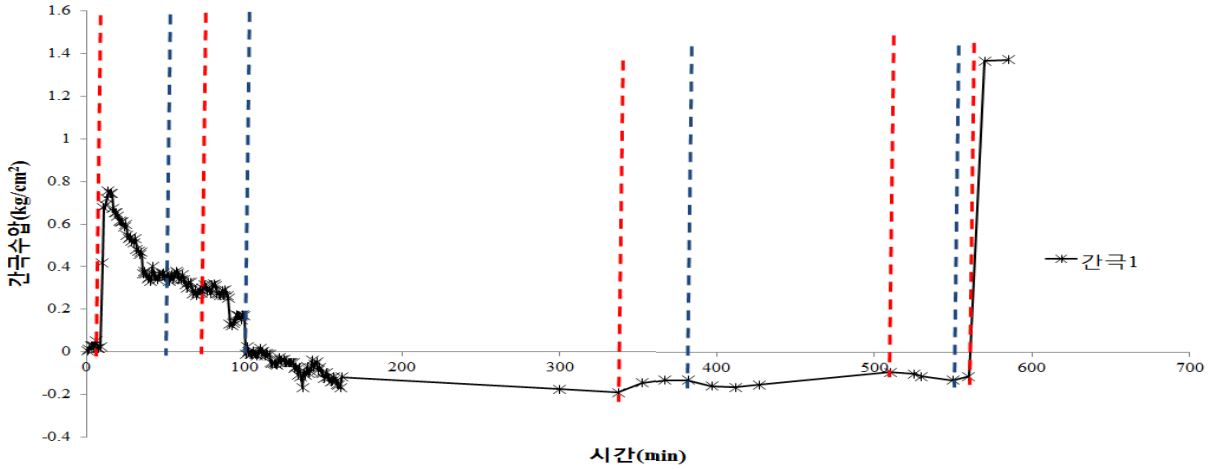


그림 2.5.55 TB-2 간극수압 분포

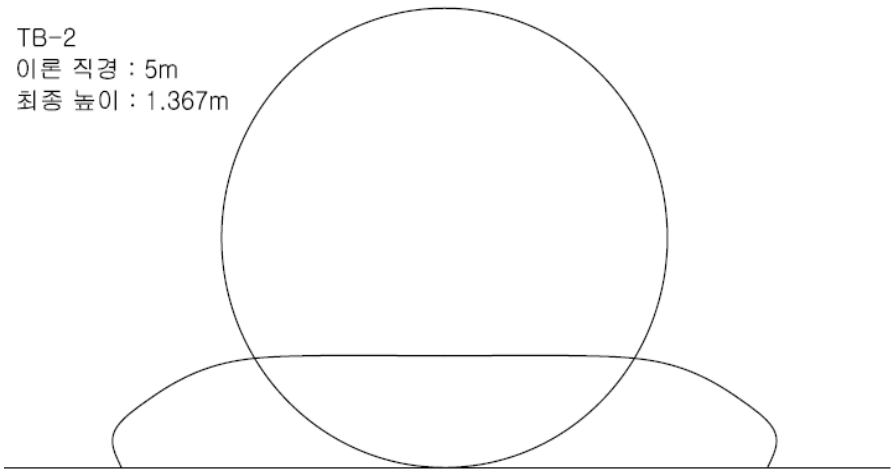


그림 2.5.56 TB-2 최종형상 단면도

- 테스트 베드시험 TB-4 분석

TB-4은 직경 5m, 길이 25m인 토목섬유 튜브이다. 봉합형태는 6선 2열 일반형(국내형) 방식을 사용하였다. 토사주입량은 총 205.2m^{3}이며, 총 5차 주입으로 단계별 주입을 거쳐 총 약 240여분의 시간동안 주입하였다. 1일 경과 후, 최종 높이 S1단면 : 1.21m, S2단면 1.645m, 폭 7.41m의 형상을 나타냈다. 주입 과정에서 6선 1열의 봉합이 파괴되었으나, 다른 6선 1열은 그대로 유지되어 시공을 마무리 지을 수 있었다. 타 튜브와 달리 2개 단면의 형상을 계측하였다.

토목섬유 튜브의 현장시험 결과, 스트레인게이지의 경우는 [그림 2.5.57]에 나타낸 바와 같이 준설토 채움과정에서 토목섬유 튜브 구조체가 I-type의 경우 호퍼설치 위치로부터 외측방향으로 25° 정도 뒤틀리는 현상이 발생하였다. 준설토가 관성력을 받아 외측방향으로 주입되는 경우 때문에 발생한 것이다. 그러나, 역 T-type 주입의 경우는 주입모듈 내부에서 직각방향인 튜브의 종방향으로 확산시키기 때문에 뒤틀림 현상을 방지할 수 있다.

TB-4의 변형률은 채움 시 증가하고 방치 시 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 채움 시 압에 의해 팽창한 토목섬유 튜브가 배수가 진행되면서 내부 주입압이 감소하기 때문이다. 최대 변형률은 정점을 기준으로 시계방향으로 25° 기운지점에 나타났고, 원지반 상부의 좌우 하부지점에서 전반적으로 크게 나타나 이 부분에서 토압을 많이 받는 것으로 추정된다.

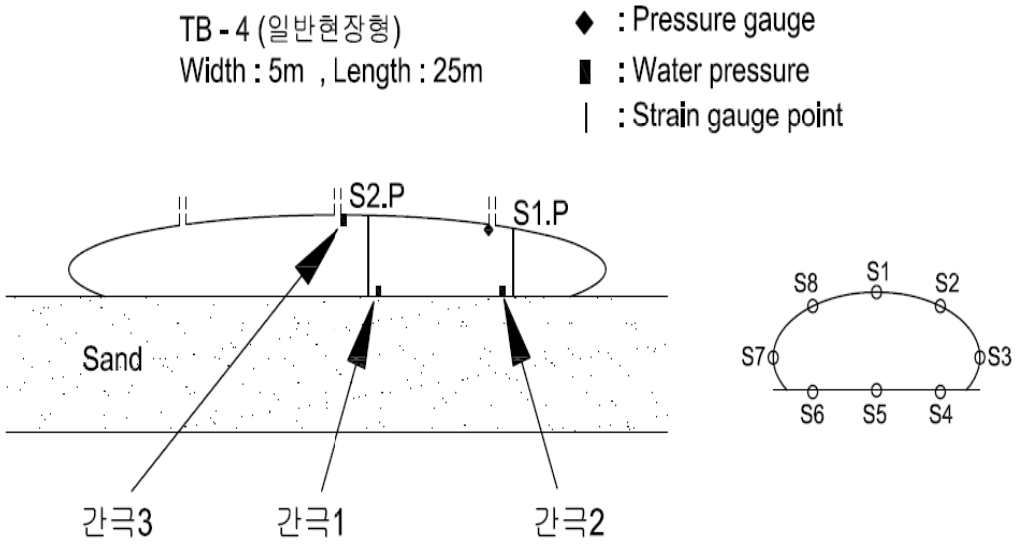


그림 2.5.57 TB-4 계측기 설치현황

[표. 2.5.10] TB-4 계측기 설치개수

	간극수압계	스트레인게이지	총 설치개수
설치 개수	3	16	19



그림 2.5.58 TB-4 시공단계



그림 2.5.59 TB-4 최종형상

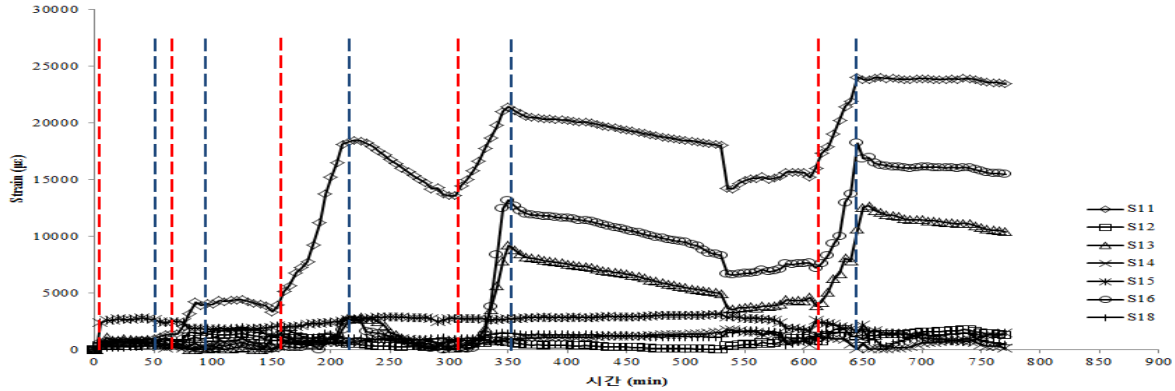


그림 2.5.60 TB-4 S1지점 변형률 분포

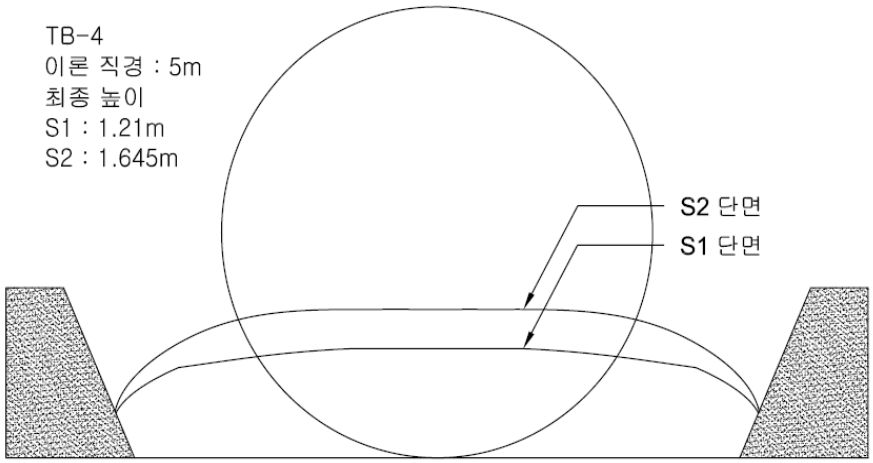


그림 2.5.61 TB-4 최종형상 단면도

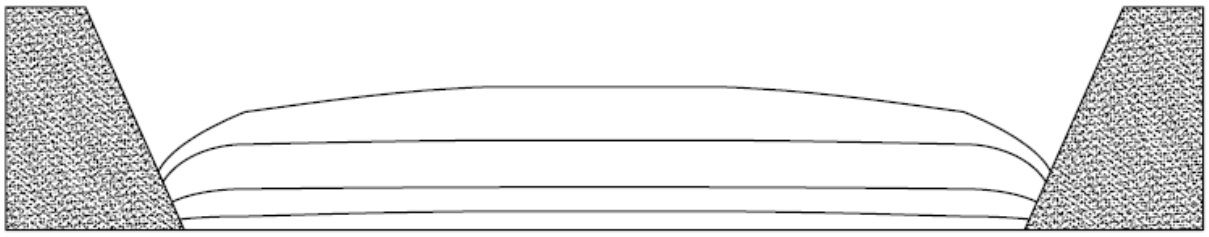


그림 2.5.62 TB-4 S1 형상변화 단면도

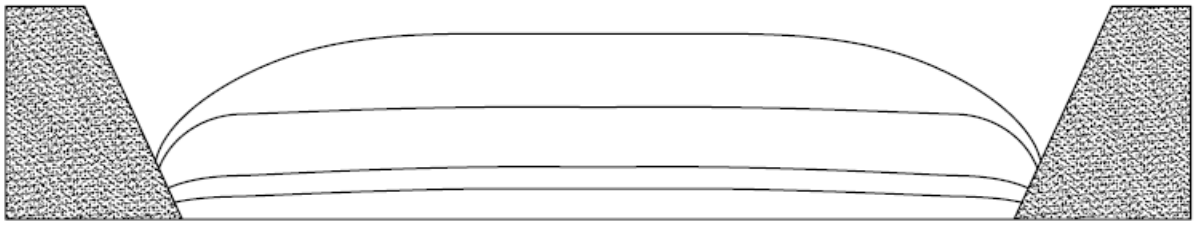
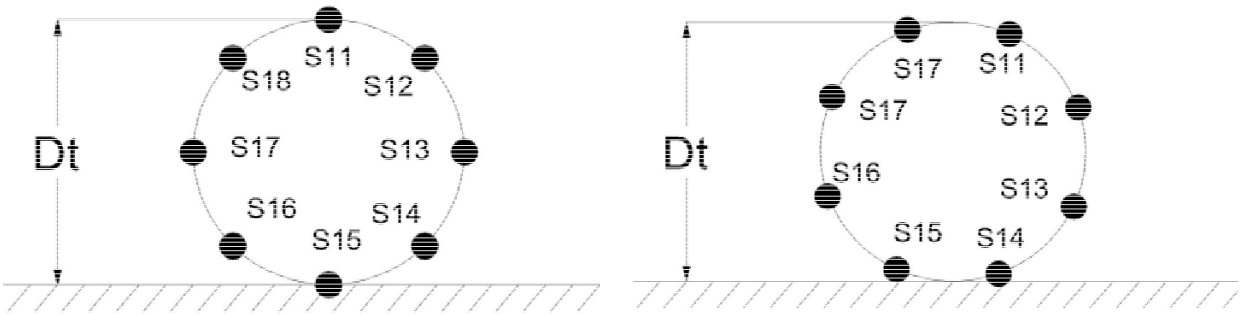


그림 2.5.63 TB-4 S2 형상변화 단면도



(a) 스트레인게이지 위치-계획(채움 전) (b) 스트레인게이지 위치-실제(채움 후)

그림 2.5.64 TB-4 지점의 바닥부 전단 Key 설치 시 토목섬유 튜브 변형 형태

- 테스트 베드 시험 TB-5 분석

TB-5은 토사주입량을 확보하고자 원지반을 굴착하여 생긴 도랑에 토목섬유 튜브 구조체를 설치하였다. 직경 3m, 길이 10m인 토목섬유 튜브이며, 봉합형태는 6선 2열 일반형(국내형) 방식을 사용하였다. 토사주입량은 총 94.2m^{3}이며, 총 2차 주입으로 단계별 주입을 거쳐 총 약 110여분의 시간동안 주입하였다. 1일 경과 후, 최종 높이 1.63m의 형상을 나타냈다. 약 30cm 정도의 수심에서 수중 시공하였다. 시공 초기에 튜브의 포설에 있어 난항을 겪었으나 원활히 시공을 완료하였다.



그림 2.5.65 TB-5 시공단계



그림 2.5.66 TB-5 최종형상

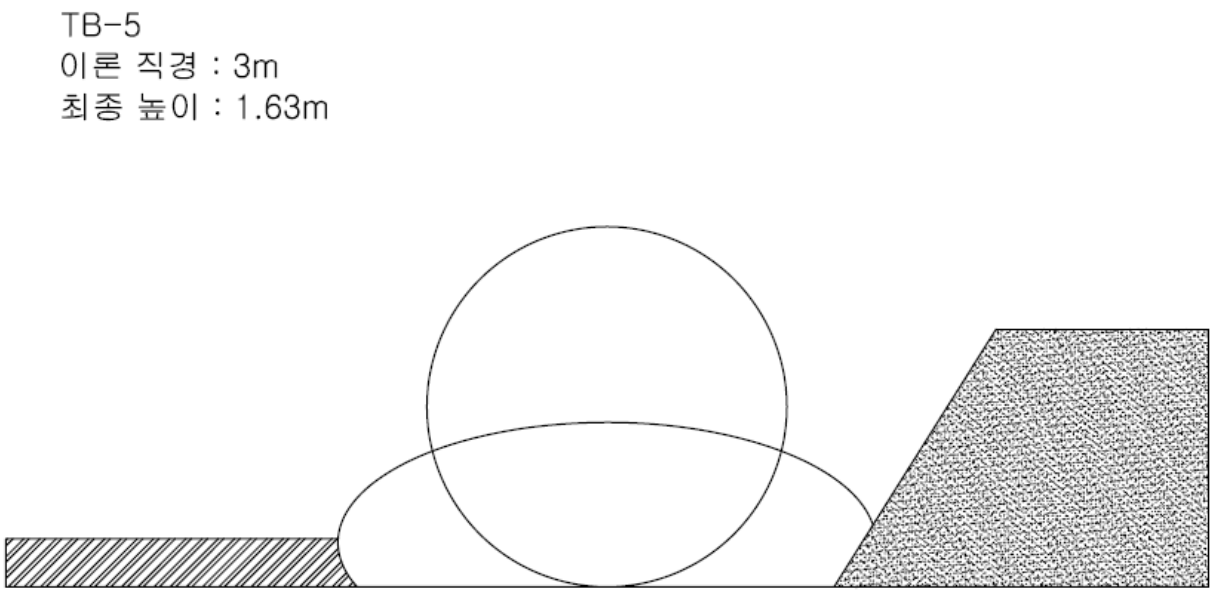


그림 2.5.67 TB-5 최종형상 단면도

- 테스트 베드 시험 TB-6 분석

TB-6은 직경 5m, 길이 25m인 토목섬유 튜브이다. 봉합형태는 현재 자체 개발 연구한 6선 2열 띠보강(연구형) 방식을 사용하였다. 토사주입량은 총 253.8m^{3}이며, 총 3차 주입으로 단계별 주입을 거쳐 총 약 350여분의 시간동안 주입하였다. 1일 경과 후, 최종 높이 1.863m, 폭 7.4m의 형상을 나타냈다. 각 단계별 주입 시 주입구를 변경하여 시공하였다. 7.5m 간격의 주입구에 순서대로 주입하였으며 25m 토목섬유 튜브 중에서 가장 균등한 형상을 나타내고 있다.

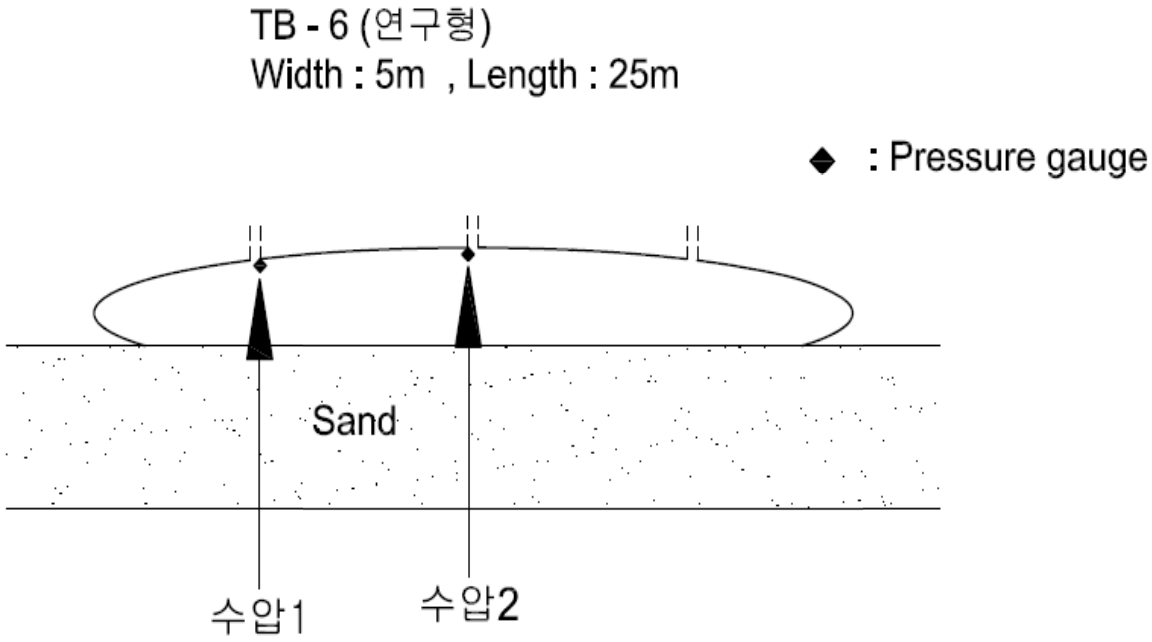


그림 2.5.68 TB-6 계측기 설치현황

[표. 2.5.11] TB-6 계측기 설치개수

	수압계	총 설치개수
설치 개수	2	2



그림 2.5.69 TB-6 시공단계



그림 2.5.70 TB-6 최종형상

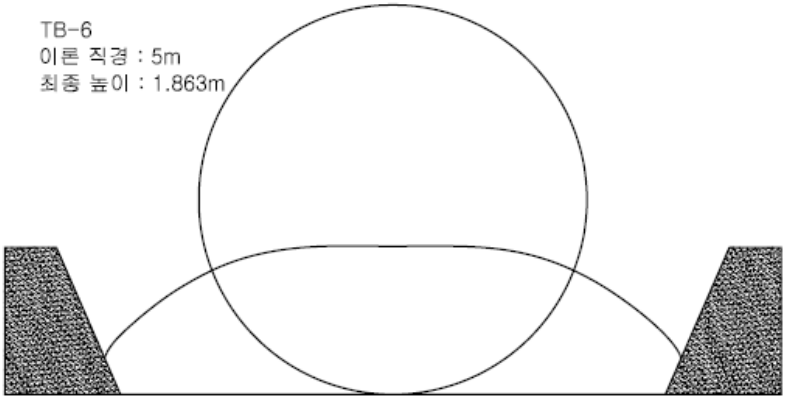


그림 2.5.71 TB-6 최종형상 단면도



그림 2.5.72 TB-6 주입 완료시까지 형상변화

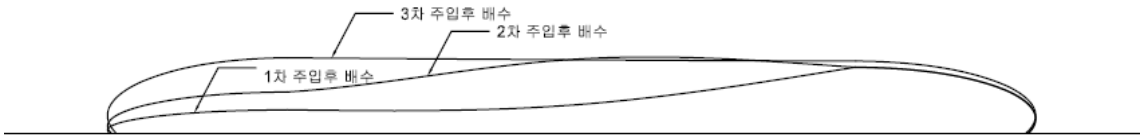


그림 2.5.73 TB-6 단계별 주입에 따른 횡단면도



그림 2.5.74 TB-6 주입완료 시까지 횡단면도 형상변화

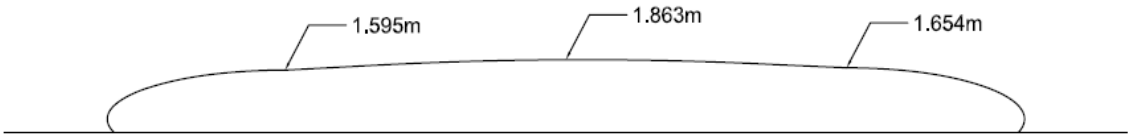
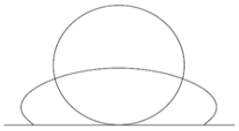
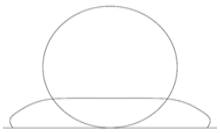
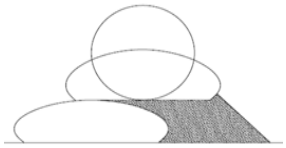
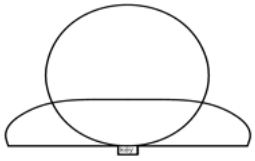
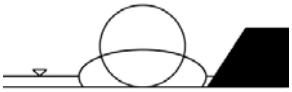
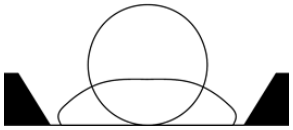


그림 2.5.75 TB-6 횡단면도 최종형상

(4) 육상 테스트 베드 시험 요약

구 분	TB-1	TB-2	TB-3
사 진			
단면도			
이론직경(m)	3	5	3
길이(m)	10	25	10
봉합형태	6선2열 종봉합+횡보강 : (연구형)	6선2열 횡봉합 : (TENCATE+연구형)	6선2열 횡봉합 : (TENCATE+연구형)
최종높이(m)	1.43	1.37	1.60
주입모듈	I-type	I-type	역 T-type
특징	띠보강 효과가 나타나나 주입횟수 증가	불규칙적인 토사퇴적으로 인하여 튜브체에 응력 집중과 비균등체 발생	주입시간단축에 의한 균등한 튜브체 조성과 크레이터 현상 없음

구 분	TB-4	TB-5	TB-6
사 진			
단면도			
이론직경(m)	5	3	5
길이(m)	25	10	25
봉합형태	6선2열 종봉합 : (국내+연구형)	6선2열 종봉합 : (국내+연구형)	6선2열 종봉합+ 횡보강 : (연구형)
최종높이(m)	S1=1.41 S2=165	1.63	1.86
주입모듈	I-type	역 T-type	역 T-type
특징	토사불규칙적인 퇴적으로 인한 과도한 응력집중으로 인하여 봉합부분이 일부 파손됨	수중시공으로 토사의 퇴적이 균등하게 퇴적된 튜브 구조체	주입시간단축과 토사의 균질퇴적에 의한 본 연구시험의 최적 튜브 구조체 조성

(5) 기초지반의 침하, 수심, 파력 등의 외적환경 요인이 토목섬유 튜브 구조체에 미치는 영향 규명 및 안전성 관계 도출(해외 자료 분석)

연안 보호를 위한 대체재로서 토목섬유 튜브나 토목섬유 컨테이너와 같이 모래가 주입된 토목섬유 구조체가 고려되고 있다. 파력에 의한 토목섬유 구조체의 불확실한 안정성은 토목섬유 구조체가 아직 널리 적용되지 않는 이유 중 하나이다. 따라서, 파력에 의해 영향을 받는 토목섬유 구조체의 안정성에 초점을 맞춰 대규모의 물리적 모델 시험을 수행하였다.

국외 자료 분석에 따라 파력 및 수심이 토목섬유 튜브 구조체에 미치는 영향을 살펴볼 수 있다. 토목섬유 튜브 구조체의 주입 시 충진율에 따라 파력 및 수심으로 인한 토목섬유 튜브 구조체의 형상 변화가 야기된다. 일반적으로 토목섬유 튜브 구조체의 주입 시 충진율이 낮을수록 파력 및 수심에 의한 토목섬유 튜브 구조체의 높이가 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나, 현실적으로는 시공되어지는 토목섬유 튜브 구조체의 대부분은 이론 면적의 80% 이상을 달성하므로 형상 변화에 있어 큰 영향을 끼치지는 않는다. 단일 토목섬유 튜브의 파력이 영향을 끼치기 전의 토목섬유 튜브 구조체의 높이에 기초하여 충진율과 높이의 상관관계를 도출하였다.

$$S_{tube} = -0.41P_{h,b} + 31.3$$

S_{tube} = 상대 침하율 $(= \frac{D_{\mathrm{deformed}} - D_{initial}}{D_{initial}})$

$P_{h,b}$ = 튜브의 높이에 기초한 충진율(41%~74%)

국외 자료에서는 파도의 높이를 튜브의 높이와 같게 설정하여 도출한 결과인 만큼 이를 파력이 약한 새만금 현장에 적용시키기에는 어려움이 있다. 따라서, 국내 현장의 파력 및 수심이 토목섬유 튜브 구조체의 영향을 규명 및 실증화 시키기 위해서 보완 및 검토가 필요하다.

(6) 수치해석을 통한 수심 및 파력에 의한 토목섬유 튜브 구조체의 거동 분석

본 연구에서는 수심 및 파력이 고려된 토목섬유 튜브 구조체의 거동 특성을 분석하기 위해서 4개 case를 시뮬레이션 모델링하여 수치해석을 실시하였다. Case-1은 토목섬유 튜브 구조체 내에 준설토가 채워진 경우이고, Case-2는 준설토로 채워진 토목섬유 튜브 구조체에 튜브 높이의 $\frac{1}{2}$의 편수심이 작용하는 경우이며, Case-3은 준설토로 채워진 토목섬유 튜브 구조체에 튜브 높이와 같은 편수심이 작용하는 경우이다. 마지막으로 Case-4는 튜브 높이의 $\frac{1}{2}$의 편수심이 작용하며, 튜브 방향으로 $1kN/m^2$의 등분포 파압이 작용하는 것으로 설계하였다. 토목섬유 튜브의 형상을 완전하게 모델링하기에 좀 더 용이하다고 판단된 유한요소 해석 프로그램인 PLAXIS 2D 프로그램을 사용하여 수치해석을 수행하였다.

각 Case의 토목섬유 튜브는 직경 3.00m, 높이는 45%의 출진율을 고려하여 1.35m, 폭 4.50m로 토목섬유 튜브 모두 준설토로 동일하게 채워진 형상으로 설계하였고, 토목섬유 튜브의 지점별 변위량을 알아보기 위해 각 4개 지점을 포인트로 지정하였으며, 그 형상은 다음과 같다.

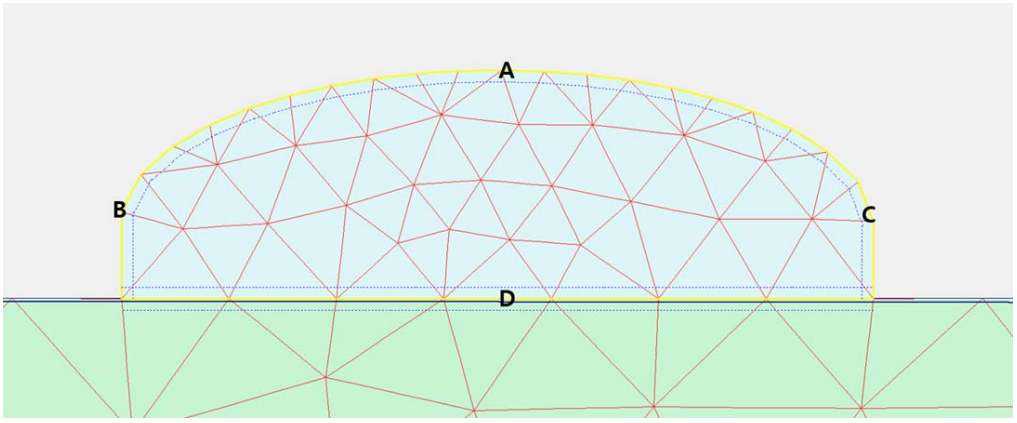
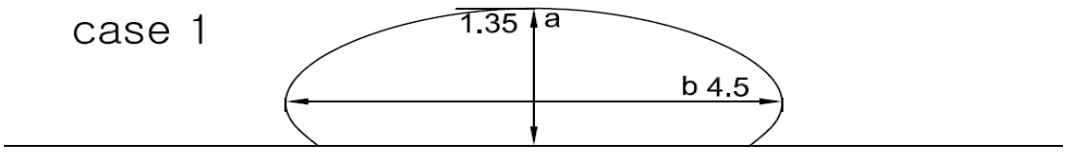
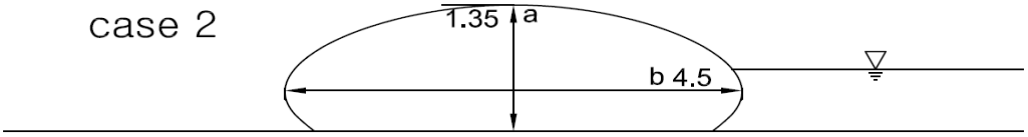


그림 2.5.76 수치해석 수행 전 토목섬유 튜브형상

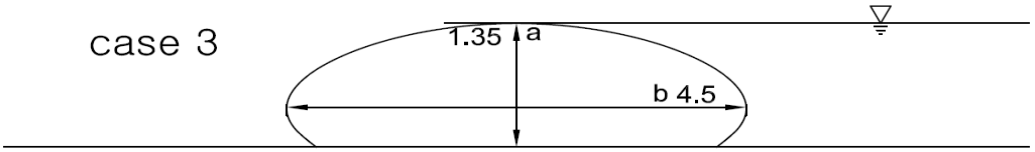
파력 및 수심에 의한 토목섬유 튜브의 거동 변화를 해석하기 위해 분류한 4개 Case의 해석 조건 및 단면도는 다음과 같다.



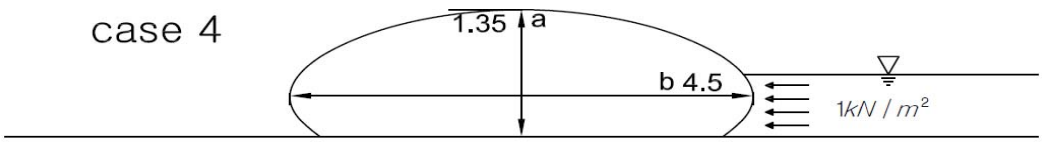
(a) Case-1



(b) Case-2



(c) Case-3



(d) Case-4

그림 2.5.77 각 Case의 해석 조건 및 단면도

[표. 2.5.12] 각 Case의 조건

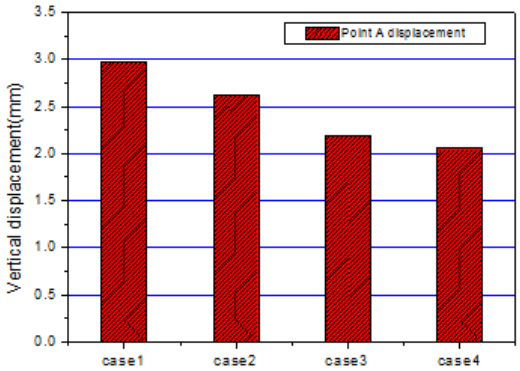
구분	튜브 구조체	준설토	수심	파력
Case-1	O	O	-	-
Case-2	O	O	$\frac{1}{2}a$	-
Case-3	O	O	a	-
Case-4	O	O	$\frac{1}{2}a$	$1kN/m^2$
※ 여기서 a는 토목섬유 튜브 구조체의 높이				

기초 지반의 지하수위는 지표면과 일치하는 것으로 가정하였으며, 필요한 물성데이터는 실제 하제 테스트 베드 현장의 주입 시료 및 토목섬유에 대한 조사를 통해 구한 실제데이터를 사용하였다. 구체적인 내용은 다음과 같다.

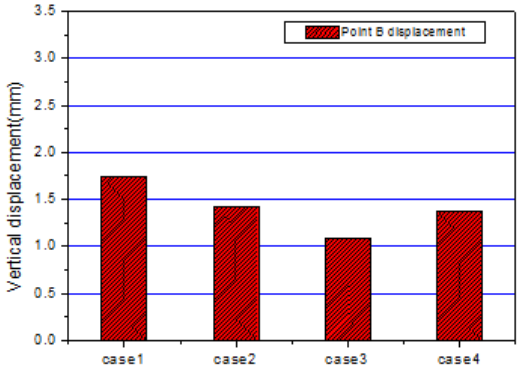
[표. 2.5.13] 주입 시료 및 토목섬유의 해석 정수

구분	$\gamma_{unsat}(kN/m^3)$	$\gamma_{unsat}(kN/m^3)$	$C_{ref}(kN/m^2)$	ϕ	$E_{ref}(kN/m^2)$	υ
주입시료	14.500	18.100	11.800	21.2	0.00018	0.400
구분	EA(kN/m)			$N_p(kN/m)$		
토목섬유	0.00018			1.000E+10		

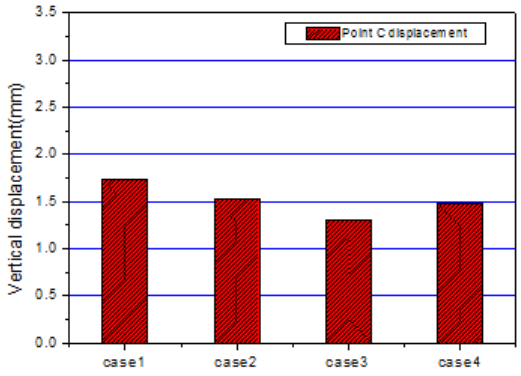
위와 같은 조건으로 수치해석을 수행하였으며, 수치해석에 따른 각 4개 지점의 수직 및 수평 변위는 다음과 같다.



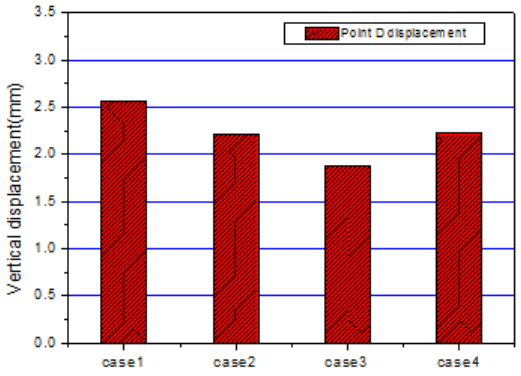
(a) 지점 A의 변위



(b) 지점 B의 변위

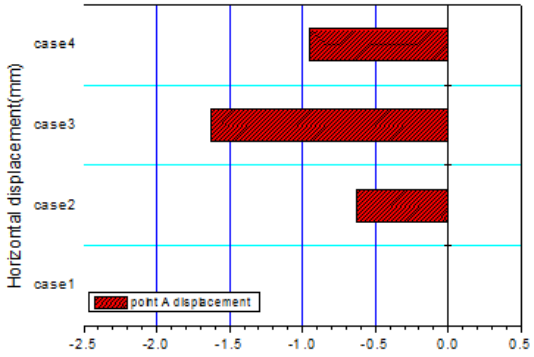


(c) 지점 C의 변위

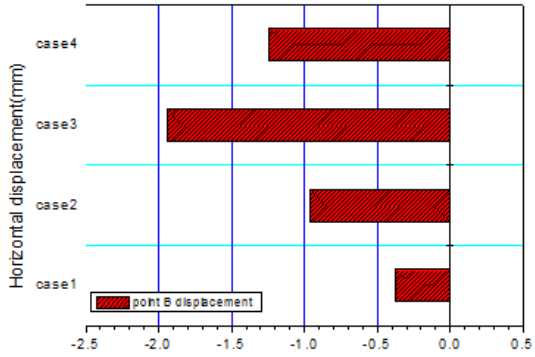


(d) 지점 D의 변위

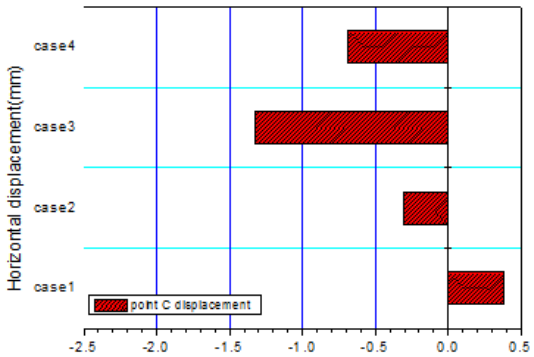
그림 2.5.78 각 Case 지점별 수직변위 비교



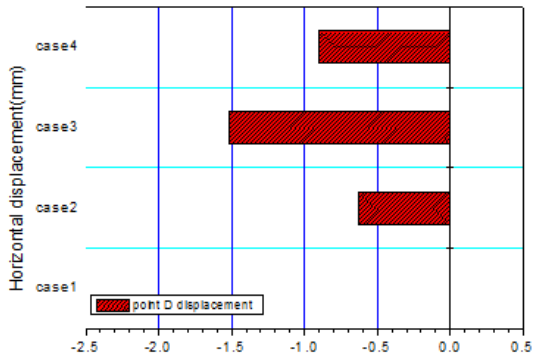
(a) 지점 A의 변위



(b) 지점 B의 변위



(c) 지점 C의 변위



(d) 지점 D의 변위

그림 2.5.79 각 Case 지점별 수평변위 비교

[표. 2.5.14] 각 Case 지점별 변위량 (단위 : mm)

구분	지점 A		지점 B		지점 C		지점 D	
	수평 변위	수직 변위	수평 변위	수직 변위	수평 변위	수직 변위	수평 변위	수직 변위
Case-1	0	-2.981	-0.380	-1.737	0.380	-1.737	0	-2.561
Case-2	-0.628	-2.626	-0.958	-1.427	-0.303	-1.524	-0.624	-2.209
Case-3	-1.631	-2.185	-1.945	-1.080	-1.321	-1.305	-1.513	-1.879
Case-4	-0.952	-2.504	-1.249	-1.376	-0.689	-1.472	-0.898	-2.129

유한요소 범용 해석 프로그램인 PLAXIS 2D를 사용한 수치해석 결과에 따르면 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

수심이 적용되지 않은 경우 Case-1에 비하여 수심이 적용되는 타 Case의 경우 전체적으로 토목섬유 튜브 구조체의 수직변위는 감소한 것을 알 수 있다. 수심이 미치는 수직변위의 변화에 비하여 파력이 미치는 수직변위의 변화는 작으며, 파력이 미치는 수직변위 또한 소폭 감소하는 것을 알 수 있다. 수심 및 파력에 의하여 토목섬유 튜브 구조체의 수평변위도 발생하는 것을 볼 수 있으며, 수평변위 또한 수심이 미치는 변위의 변화량이 파력에 의한 변화량보다 큰 것을 알 수 있다. 그러나, 기존에 설정되어 있는 파력의 파압보다 더 큰 파압이 작용한다면 파력이 미치는 수평변위의 변화량이 수심이 미치는 수평변위의 변화량보다 더 커질 수도 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 수행한 수치해석에서는 편수심에 의한 변위만 살펴보았지만, 토목섬유 튜브 구조체의 양쪽에 동일한 수심으로 영향을 받을 경우에는 수심에 의한 수평변위의 변화는 없을 것으로 예상되며, 수평변위는 파력에 의한 경우에만 영향을 받을 것으로 예상된다.

5. 싱가폴 토목섬유 튜브 Pilot Test 국제기술제안서

(1) Tekong 매립 Phase 2(Section 21)지역 토목섬유 튜브 Pilot Trial Site

▹ 프로젝트 내용 : 함수비 150%를 상회하는 점성토를 토목섬유 튜브에 충진 시 튜브체의 강도를 증진시키는 기술과 모니터링에 의해 토목섬유 튜브 구조체의 안정성을 확인하는 정보화 시공을 포함한 Pilot Trial Site 지역의 2개의 토목섬유 튜브 매립호안 축조용 기술제안서

▹ 목적 : 본 과업은 토목섬유 튜브 내의 충진재로 연약점토사용

▹ 발주처 : 싱가폴 Housing Development Building (HDB)

▹ 총사업비 : US 800mill(토목섬유 튜브 구조체, 매립, 연약지반개량비 포함).

▹ 공사기간 : 91개월

▹ 현황 : [그림 2.5.80], [그림 2.5.84] 기술제안서 참조



그림 2.5.80 싱가폴 Tekong Area 현황

(2) 본 연구 성과에 의한 국외 기술제안서 내용

- Background

Geotextile-encapsulated sand elements (e.g., geotextile tubes) are three-dimensional systems manufactured from textile materials conventionally filled sand. They form a sub-group of a wider system of geosynthetic solutions for erosion that are known as Geosystems. These elements are commonly used in hydraulic engineering structures such as dams, dikes, and breakwaters as an alternative for quarry stones and boulders as core materials. The use of these elements has the advantage that local materials can be utilized and that no stone needs to be extracted and transported from a quarry to the site. Compared to the traditional construction methods (with quarry stone) the application of geotextile sand filled elements may add considerable operational advantages to the execution of hydraulic works and may offer attractive financial opportunities and environmental aspects. Geotextile tubes are geotextile containers consist of a water permeable, sand-sealed geotextile filled with sand or other granular

materials. The tube diameter can vary from 0.5 m to 5.0 m and the length may vary from 25 m to 100 m depending on the project where the geotextile tube will be installed.

Due to the increasing demand of construction materials used to build the conventional structures, geotextile tube technology is an inexpensive solution and a strong contender to replace the more conventional hard engineering solutions. Environmental impacts for geotextile tubes are less than that of the rubble mound structures, as the quarrying and transporting of rocks are not required and these structures can be easily be removed in the case of adverse unforeseen impacts. Also, the ability to use local material and unskilled labor makes construction easier and faster. There are vast possibilities for geotextile applications in coastal and environmental engineering. Geotextile tubes are researched widely for its applications in civil engineering and through the years its material components are continuously improved. Presently, an effective design criteria is yet to be achieved due to the limited knowledge and understanding specifically on the mechanics of the geotextile tube filling and consolidation. In this research proposal, pilot tests are to be carried out to better understand and develop methodologies for the implementation of geotextile tube infilling works.

New and promising developments in hydraulic engineering, such as geotextile tubes, are sometimes hampered by lack of design rules. This, perhaps, is the reason why planners, designers, engineers and contractors are therefore rather hesitant to apply this technology. Most of the design rules are empirical in nature and this means that existing experience is therefore required to design new structures. For this reason it is a challenge to design a structure when only limited experience is available with what type of material.

Geotextile tubes have historically been filled with sandy slurries which are dredged from the beds of nearby water bodies. Presently, fine-granular materials (e.g., soft clay) are being considered as infill alternative for geotextile tubes. However, very little is presently understood about these types of filling materials. The exact nature of the sedimentation and / or consolidation process of these types of in fills needs to be studied and understood before in can be fully implemented in construction sites. Large scale pilot must be conducted in order to determine and establish engineering parameters which will be useful for planners, designers, engineers and contractors who might make use of these type of in fills for geotextile tubes.

- Objectives and content

i) General objectives

The ultimate objective of this proposal is to carry out pilot tests [그림 2.5.81] and study the infilling operations [그림 2.5.83] for geotextile tubes to better understand and develop methodologies for the implementation of soft clay as the tube infill material. The research contractor shall design and construct Pilot Trial Site based on the standard guidelines and requirements, including but not limited to engaging specialists or professional engineers, where required. In general, the Pilot Trial includes the construction of the geotextile tube containment bund and its foundation, carrying out infilling works, preparation of an in-situ bearing layer on top of the soft-clay infill, carry out significant ground im-

provement methods, and carrying out the final topping up and compaction to the finish level.

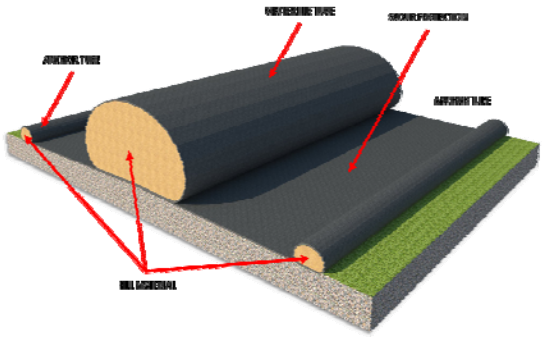


그림 2.5.81 Conventional anatomy of a geotextile tube



그림 2.5.82 Large scale geotextile tube pilot test (Grant Code : 12TRPI-C064124-01)

The research contractor shall propose methods for infilling including, but not limited to, initial soil treatment of the approved fill materials. Evaluation on inlet port modifications will also be performed [그림 2.5.82] Survey works shall be carried out after the completion of infilling works for every trial plot prior to the commencement of ground improvement works. Instrumentation and monitoring devices will be provided to monitor and assess the field data. Laboratory field test will be conducted to evaluate the development of soil strength of the infill materials.

The contractor shall furnish all labor, materials, equipment and incidentals as specified and required in connection with the dredging works, construction and stability monitoring of the geotextile tube containment bunds, in accordance with the lines, grades, designs and dimensions shown on the drawing [그림 2.5.85, 2.5.86] provided herein and the relevant ground improvement methods.

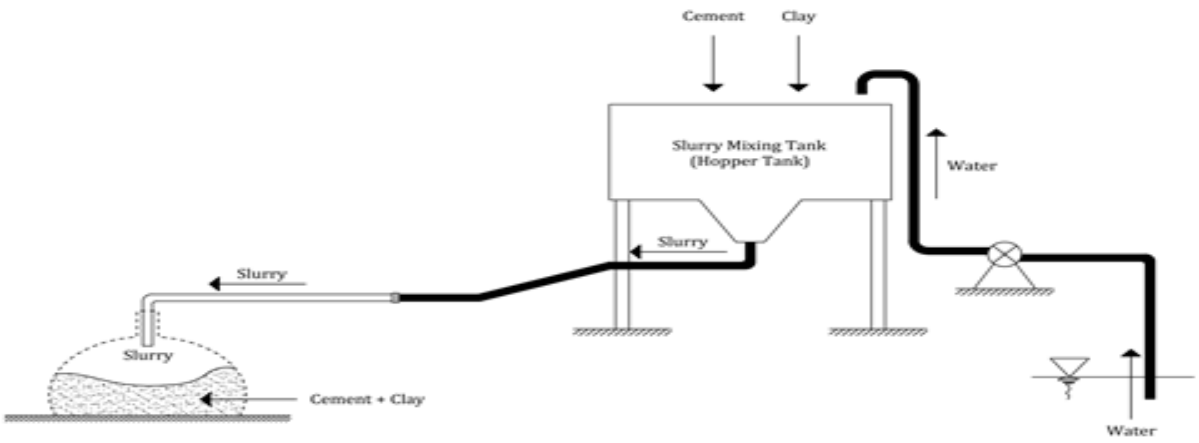


그림 2.5.83 Infilling process

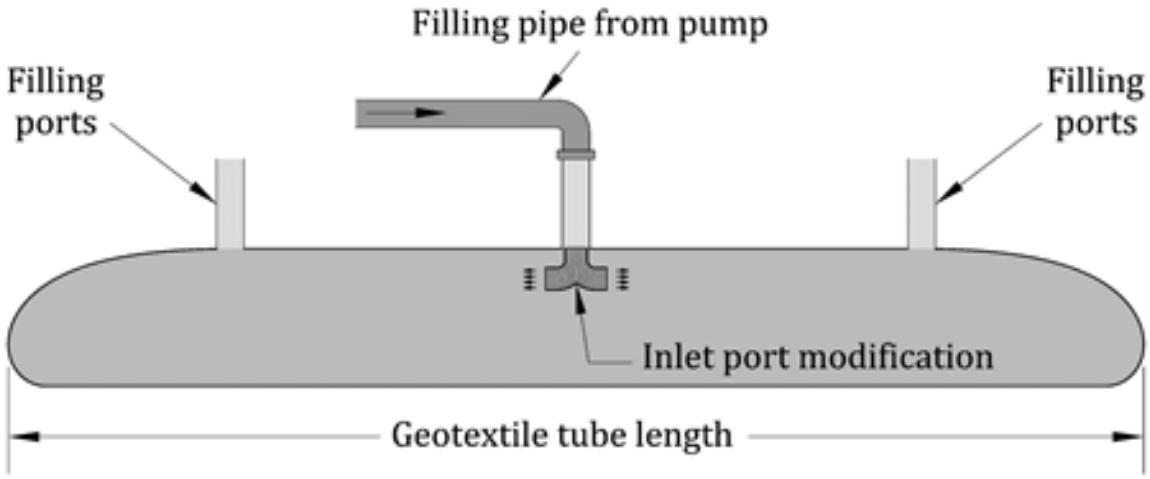


그림 2.5.84 Filling port modifications (PCT 2015FP-2015-0105/US)

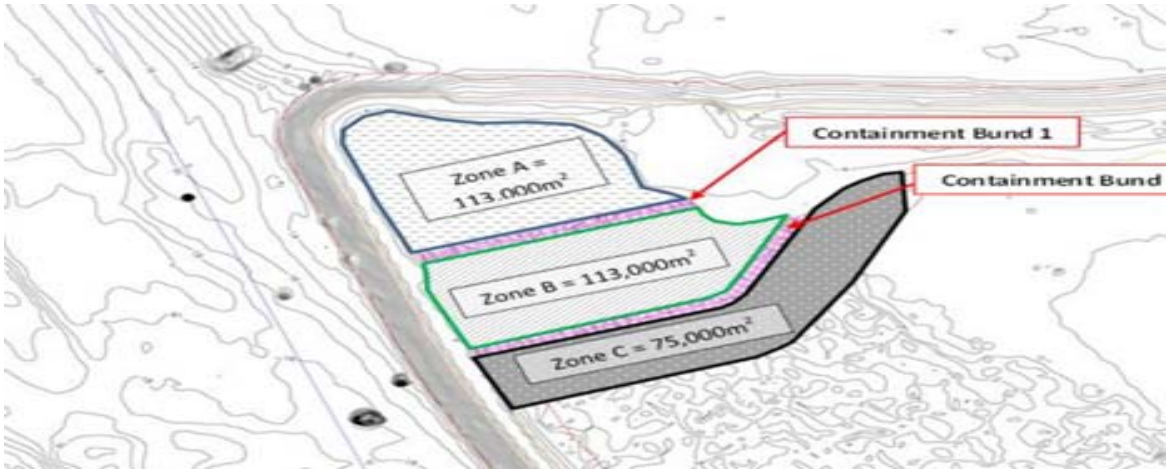


그림 2.5.85 Zones A and B in the trial site

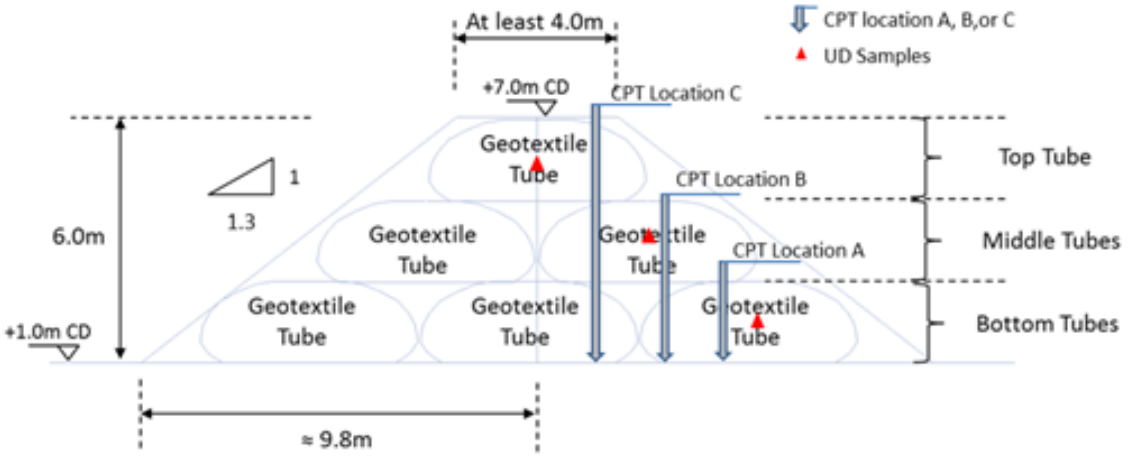


그림 2.5.86 Geotextile tube construction phase of containment bund 1, 2

[표. 2.5.15] 싱가폴 Teckon 토목섬유 튜브 테스트 베드 국제제안서

Major research objectives	Final deliverables	Technology in demand
Obtain geotechnical properties of representative dredged soil materials from selected area.	Physical and mechanical properties of infilling soil	Field and laboratory test equipment and monitoring devices for obtaining geotechnical properties of soil samples.
Obtain geotechnical properties of ground base for the geotextile tube containment bunds.	Physical and mechanical properties of ground base soil	Field and laboratory test equipment and monitoring devices for obtaining geotechnical properties of soil samples.
Acquire geotextile materials for the geotextile tube containment bunds	Geotextile tube containment bunds (custom made or readily available in the industry)	Industry grade equipment, monitoring devices, PC computer
Carry out significant ground improvement methods	Physical and mechanical properties of the ground base. Application of soil treatment/improvement technology	Field equipment
Perform laboratory tests on cement mixed slurries	Physical and mechanical properties of the cement mixed slurries	Field and laboratory test equipment and monitoring devices for obtaining geotechnical properties of cement mixed samples.
Conduct large scale infilling pilot test on geotextile tube containment bunds	Observe variation of field behavior (stress, strain, settlement, physical data) of different shapes and size of geotextile tubes tested at various field load and configurations. Compare field test results with simulated laboratory conditions.	Field and laboratory test equipment and monitoring devices for obtaining site and laboratory measurements for pilot case studies
Obtain geotechnical properties of the consolidated material infill	Physical and mechanical properties of the infill materials	Field and laboratory test equipment and monitoring devices for obtaining geotechnical properties of soil samples.
Perform experimental / analytical / numerical analyses and optimization methods for geotextile tube design based on data and experimental results from field and laboratory	Analyze variation of geotextile tube behavior with the various design parameter and constraints. Establish correlation between input and output variables	MS office, PC
Develop methodologies for the implementation of soft clay as the tube infill material.	Establish engineering parameters which will be useful for planners, designers, engineers and contractors who might make use of these type of in fills for geotextile tubes	MS office, PC
Draft and final report and recommendations for the developed methodologies based on the results of the study	Formulate design recommendations and report based on the result of the study.	MS office, PC

[표. 2.5.16] Schedule of extracting undistributed samples from geotextile tubes

No.	Schedule	Quantity of UD sample at each layer of the tube at each monitoring location	Laboratory test
1	1 day after the filling of the geotextile tube containment bund	3	CIU
2	3 day after the filling of the geotextile tube containment bund	3	CIU
3	7 day after the filling of the geotextile tube containment bund	3	CIU, OT
4	28 day after the filling of the geotextile tube containment bund	3	CIU

(3) Utilization of the findings and expected outcome

Geotextile infilling works are typically a short term construction process. However, the consolidation process of the tube may take several days. Based on initial recommendations and design guidelines developed from the result of the study, preliminary and final designs will be suggested for the proposed geotextile tube methodologies. Continuous monitoring will be performed on those applied areas to observe the actual field behavior of the geotextile tubes with time and subjected to the various applied forces in the field. Whenever variations will be observed between field observations and predictions or estimations using recommended design from optimization method, adjustments will be made from time to time based on new analysis and new or revised recommendations will be formulated. Updated design recommendations based on field experience and revised analysis will then be used for the design of geotextile tube for other pilot areas not yet applied.

Based on the objectives of the study, expected outcomes of the research are efficient and optimized design parameters for geotextile tubes applied in reclamation work shoreline protection, marine embankments, breakwater, revetments, and dikes. The use of conventional protection materials such as rock and concrete will then be minimized and prevent further disturbance of the rivers, mountains, and onshore environment or quarried mineral sites. Cost of construction materials and construction time will be then be expected to be reduced. The acquired methodologies and design parameters will then aid design engineers for an optimized design of the proposed geotextile tube for further reclamation works in the country after considering all the design variables and input parameters.

제6절 토목섬유 튜브 구조체 설계소프트웨어(S/W) 개발

1. 설계소프트웨어 개발 배경 및 목적

국외수입에 의존하여 활용하고 있는 토목섬유 튜브 구조체의 설계프로그램 GeoCoPS는 일련의 토목섬유 튜브 구조체에서 발생하는 배수(Dewatering)와 압밀(Consolidation) 과정을 반영하지 못하고 있으며, 현장 시험 등과 비교 검증이 이루어지지 않아 튜브 구조체의 형상화 과정을 정확하게 예측하지 못하고 있는 실정이다. 이와 같은 배경 하에 준설토, 주입속도, 토목섬유 튜브의 섬유 인장력 및 토목섬유와 준설토의 복합재료의 투수특성을 고려하여 토목섬유 튜브 구조체의 충진-배수-압밀 거동을 설계 시에 예측할 수 있는 GUI(Graper User Interface) 기반의 범용 설계프로그램을 개발하고자 하였다. 그리고 이를 통해 국내 건설엔지니어링 산업의 국제적인 비교우위 확보와 수입대체 효과 및 국내건설사의 동남아, 중동 등에서의 경쟁력 확보를 도모하였다.

2. 설계소프트웨어의 특징 및 구성

(1) Main goals and objectives

GeoTDS was developed in order to provide a design tool for practical analysis. The main functions of GeoTDS are:

① filling simulation (non-time dependent) of geotextile tube filled with pressurized slurry
② densification analysis (non-time dependent)
③ consolidation analysis (time dependent) of geotextile tubes filled with dewatered or solidified material

(2) Disclaimer

GeoTDS is a computer program, using the Matlab GUI environment, for geotextile tube analysis in which a tube structure is modeled in order to simulate the geotextile-soil behavior. The GeoTDS code, including the geotextile and soil models, have been developed with great care. The software developer does not guarantee that the GeoTDS code is free of errors. Moreover, the consolidation analysis utilizes Finite Difference Method (FDM) in the numerical solution which implicitly involves some inevitable numerical and modeling errors. The accuracy at which reality is approximated depends highly on the expertise of the user regarding the modeling of the problem, the understanding of the geotextile tube model and their limitations, the selection of model parameters, and the ability to judge the reliability of the numerical results. Therefore, GeoTDS may only be used by professionals possessing the aforementioned expertise. The user must be aware of his/her responsibility when he/she uses the numerical results for geotechnical design purposes. The GeoTDS developers cannot be held responsible of liable for design errors that are yielded from GeoTDS numerical output.

(3) Short review of features

GeoTDS is a computer program utilizing a GUI environment intended for the simulation and two-di-

mensional analysis of deformation of geotextile tubes. A brief summary of the important features of the program are as follows:

Input of geotextile tube model geometry: The input of the geotextile tube circumference / perimeter or theoretical diameter and tube length.

Material properties: Basic geotextile tube properties such as unit weight of the slurry fill and the maximum allowable circumferential stress is entered.

Input of filling parameters: A panel where the pumping pressure is inputted and the filling conditions are selected. There two types of filling conditions: (1) surface filling - i.e., tube filling above ground; and (2) submerged filling - i.e., tube filling fully or partially under water. For geotextile tubes filled under submerged condition the depth and specific weight of the external fluid are required.

Start analysis button: To start the analysis, after the required input parameters were inputted, the "PROCEED TO ANALYSIS" button is pressed to start the simulation analysis.

(4) System requirements

① Processors: Any Intel or AMD x86 processor
② Disk Space: 100 MB
③ RAM: 2 GB
④ Graphics: No specific graphics card is required. Hardware accelerated graphics card supporting OpenGL 3.3 with 1GB GPU memory recommended.

(5) Program algorithm

The Geotextile Tube Design Software (GeoTDS) is a computer program developed in this study using the MATLAB® graphical user interface (GUI) environment. The solutions introduced by Plaut and Suherman (1998) were utilized in the coding of the computer program for the simulation modeling of geotextile tubes.

The software program was developed in order to perform the following specific functions:

Geotextile tube filling simulations in both under surface and fully submerged condition based on the formulations applied by Plaut and Suherman (1998) in the two-dimensional analysis for geotextile tubes.

Non-time dependent consolidation analysis based on Leshchinsky et al (1996). and new proposed method.

Time-dependent consolidation analysis based on Mikasa's (1963) generalized one dimensional consolidation theory.

Initially, the geotextile tube dimensions are inputted in the "Tube Dimension" panel and evaluated whether or not the method used is applicable for plane strain state analysis. The design method selection is based on the design criterion presented in Eq. (2.1). If the plane strain state is applicable, the analysis can proceed and the material properties for the fill and geotextile materials are inputted in the "Material Properties" panel. The filling condition options can be modified in the "Filling Parameter". The effects of geotextile strain can be included in the analysis by enabling the specified radio button in the "Material Properties" panel. The effects of geotextile strain is not included in this study, however, this will be integrated in the future GeoTDS version. The integration parameter k is then determined in order to calculate for the non-dimensional tension force t. The geotextile strain can then be calculated and the circumference of the tube is updated in the plane strain state. Subsequently, the simulation modeling can be performed. Following the geotextile tube simulation modeling, the stability and consolidation analysis can be performed based on the tube's geometry in the last simulation step.

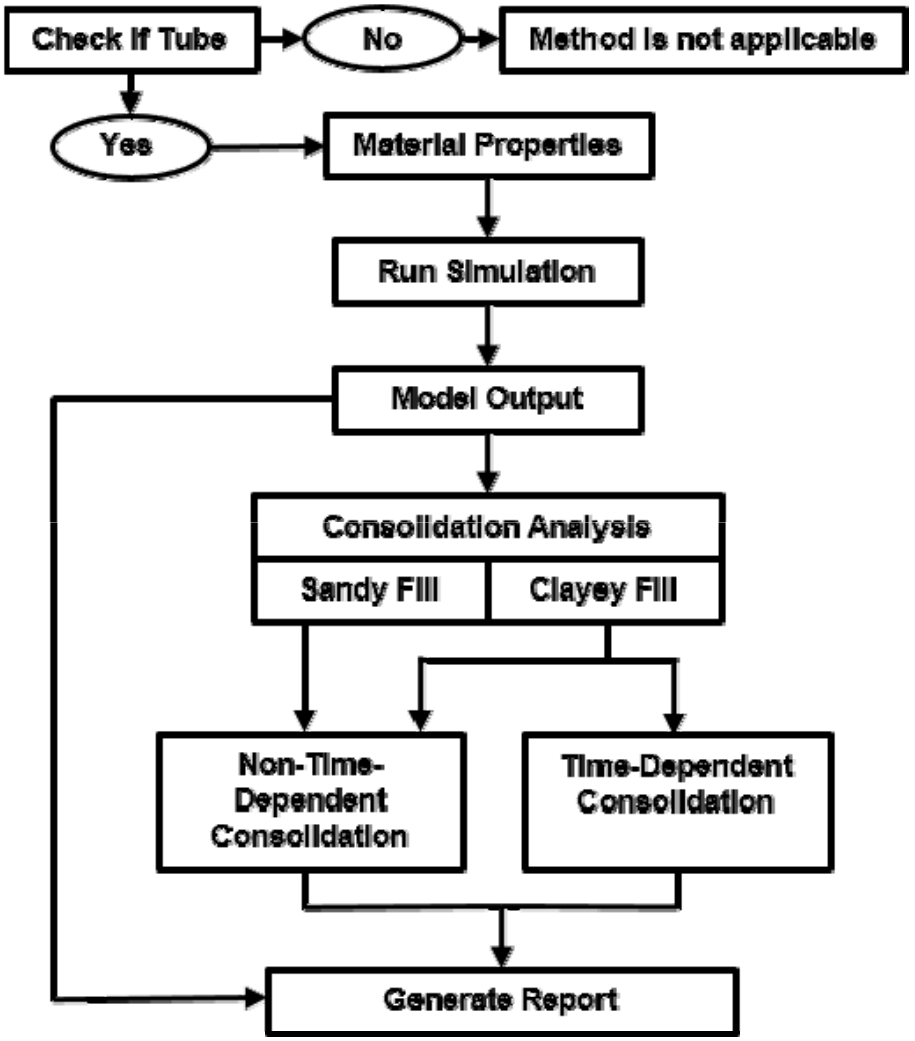


그림 2.6.1 Flowchart for geotextile tube simulation modeling and analysis procedure

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%              GeoTDS: Geotextile Tube Design Software
%                     "k-Parameter Generator"
%                 GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY
%   Dept. of Civil and Environmental Eng'g., Kunsan National University
%    558 Daehangno, 573-701 Gunsan City, Jeollabuk-do, Rep. of Korea
%            Software Developers: Kim, H.J. & Jamin, J.C.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clc;
format long
pbot = 0:0.00001:11;
row = 1; col = size(pbot, 2);
k = zeros(1, col); k0 = zeros(1, col);
THETAi = zeros(1, col);
for a = 1:col
   THETA = linspace(0,180, 3599);
   [K,E] = ellipke(sind(THETA).^2);
   j = 2.*pbot(1,a).*(K-E);
   i = find(j>0.99999 & j<1.09999,10);
   ival = any(i);
   if ival == 0
      THETAi (1, a) = 89.95666;
      k(1, a) = sind(THETAi(1,a));
      k0(1, a) = sqrt(k(1, a)^2/(1-k(1, a)^2));
   else
      m = min(j(i)); location = find(j==m);
      THETAi(1, a) = THETA(1,location:location);
      k(1, a) = sind(THETAi(1,a));
      k0(1, a) = sqrt(k(1, a)^2/(1-k(1, a)^2));
   end
   disp(pbot(1,a));
   end
ptop = pbot.*sqrt(1-(k.^2));
% Print Data
k_pbot = [pbot; ptop; k; k0; THETAi];
fileID = fopen('txtGeoTDS_kParam.txt','w');
fprintf(fileID,'%3.5f %3.5f %1.5f %1.5f %3.5f rn',k_pbot);
fclose(fileID);
```

그림 2.6.2 Structure for "k-Parameter Generator" code

(6) Use of design software

- **Getting started**

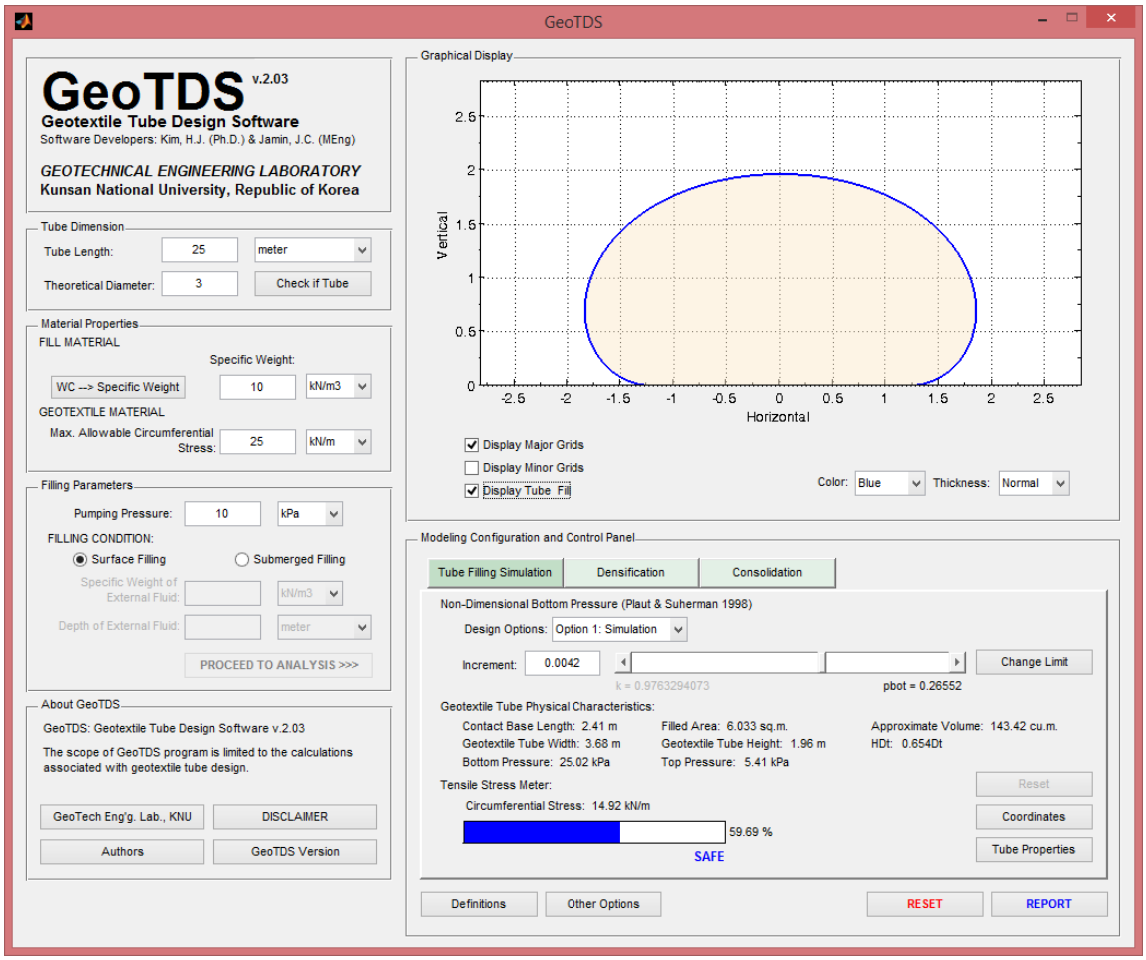


그림 2.6.3 GeoTDS Graphical User Interface(GUI)

GeoTDS is a program designed for the interactive geotextile tube analysis. This quick start tutorial will familiarize the user with some of the basic features of GeoTDS.

- Tube dimension panel

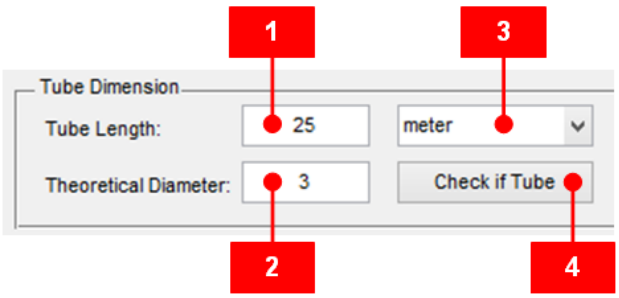


그림 2.6.4 Input panel for tube dimensions

The tube dimension input panel [그림 2.6.4] is located below the topmost left panel of the GeoTDS GUI. The tube length is entered at [1] and the theoretical diameter is inputted at [2]. The tube dimension units can be changed at [3]. The button at [4] is used to check if the geotextile tube geometry valid for two-dimensional (2D) analysis. At this stage, the supplementary control panels are in inactive state. If the inputted geometric properties of the tube is valid, the supplementary control panels will be activated.

- **Material properties panel**

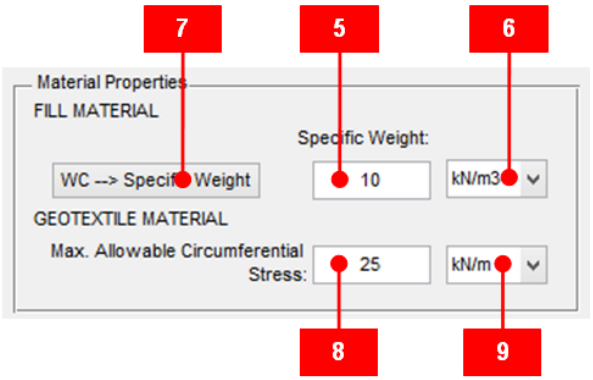


그림 2.6.5 Input panel for material properties

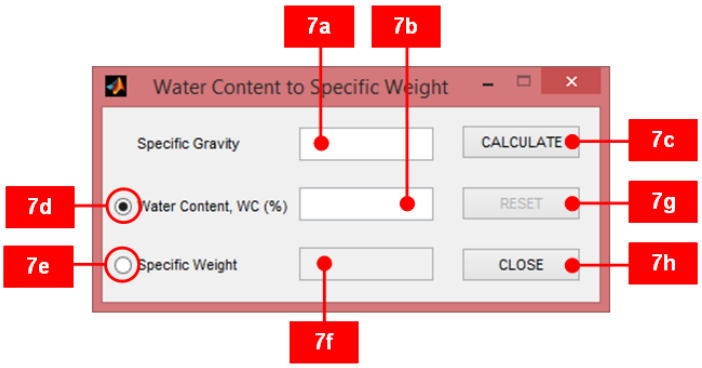


그림 2.6.6 Specific weight calculator

The material properties input panel [그림. 2.6.5] is located below the tube dimension control panel of the GeoTDS GUI. The specific weight of the fill material is inputted at [5] and the corresponding unit can be selected at [6]. In cases where only the water content and the specific gravity of the material fill are only the known parameters, button [7] can be used. After pressing button [7], the GUI shown in [그림 2.6.6] pops up. The specific gravity and water content are inputted in [7a] and [7b], respectively. Then button [7c] is pressed to calculate the specific weight of the fill material after making the necessary inputs. The allowable circumferential stress of the confining geotextile material is required and should be entered at [8] and it corresponding unit at [9].

- **Filling parameters panel**

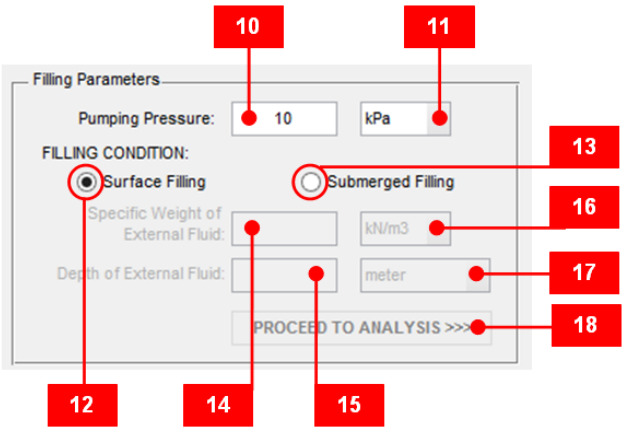


그림 2.6.7 Input and selection panel for filling parameters

The material properties control panel is located below the tube dimension control panel of the GeoTDS GUI. The GeoTDS program requires the pumping initial pumping pressure to be inputted primarily (however, analysis regarding the changes in pumping pressure can be done later, hence the pumping pressure value can be modified later in the simulation analysis). The pumping pressure value is inputted at [10] and its corresponding unit can be selected at [11]. The GeoTDS software is capable of analyzing tubes filled above, under, or partially submerged in water body. For tubes filled on dry land, the user can select the "Surface Filling" option at [12], no further parameters are needed. For tubes filled under or partially submerged in water, the user should select the "Submerged Filling" option at [13]. Additional parameters such as the specific weight and depth of the external fluid are inputted at [14] and [15]. The corresponding units can be selected at [16] and [17]. Subsequently, the "PROCEED TO ANALYSIS >>>" button at [18] is pressed to start the geotextile tube analysis. This will enable the "Graphical Display". Initially, the Graphical Display will display a horizontal blue line representing the empty tube [그림 2.6.8]

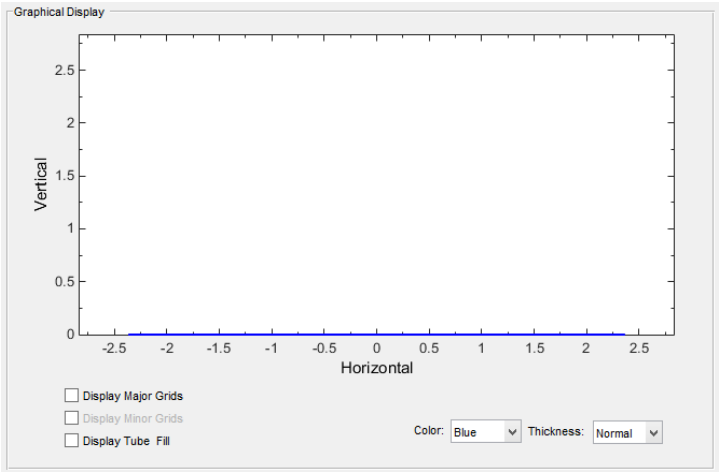


그림 2.6.8 Initial graphical display showing the empty tube represented by the blue horizontal line

- **Modeling configuration and control panel**

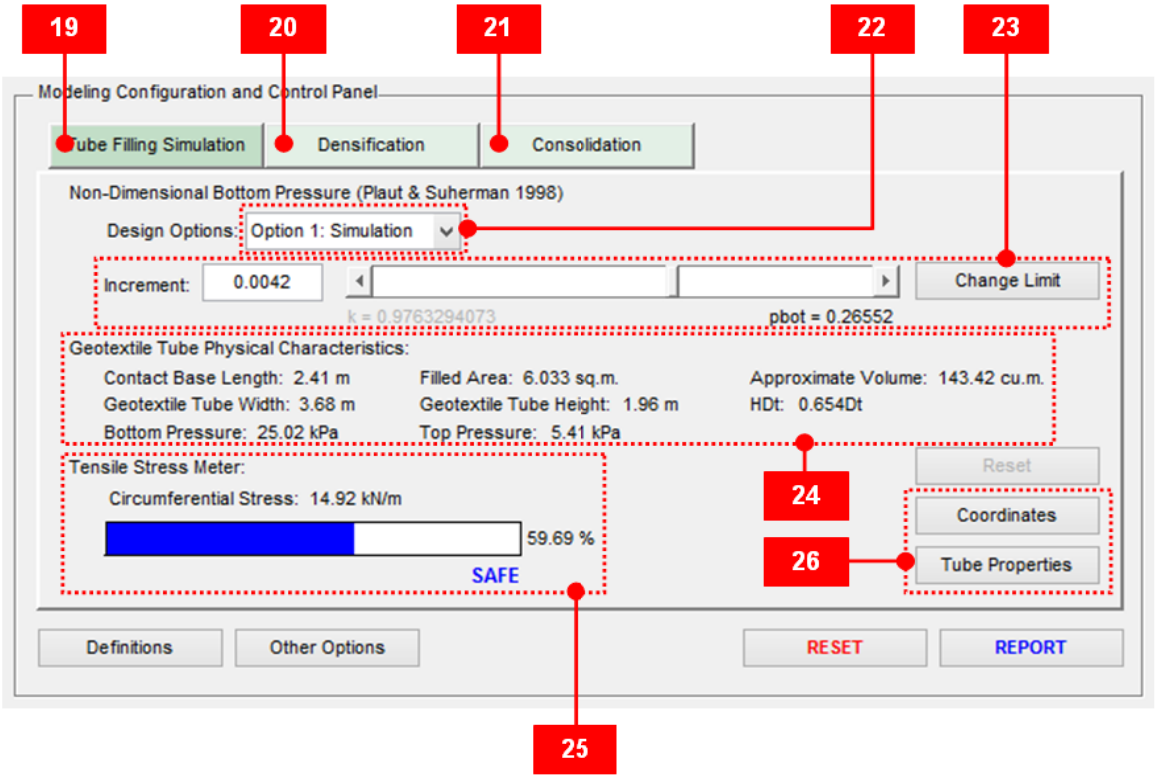


그림 2.6.9 Modeling configuration and control panel

After pressing the "PROCEED TO ANALYSIS >>>" button, the "Modeling Configuration and Control Panel" is enabled. Under the "Modeling Configuration and Control Panel" there are three sub-sequent sub-panels, namely: (1) Tube Filling Simulation [19]; (2) Densification [20]; and Consolidation [21].

- Tube filling simulation

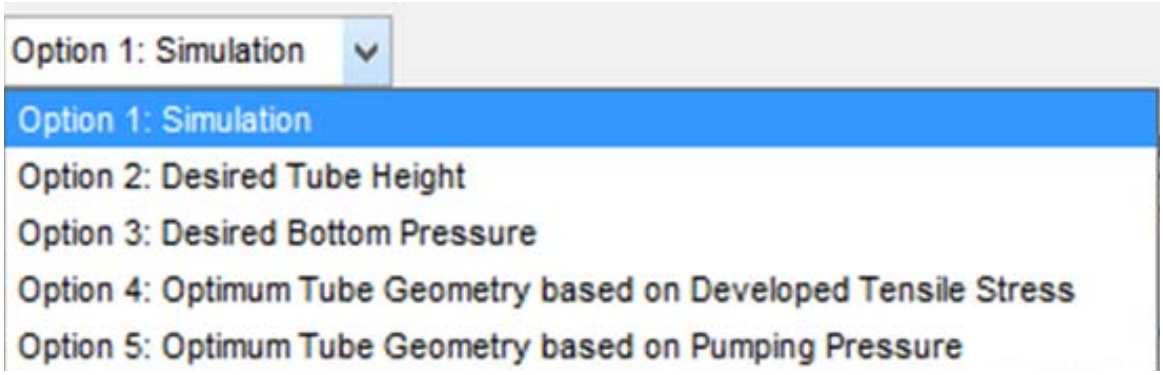


그림 2.6.10 Tube filling simulation options

The design options can be found at [22] in [그림 2.6.9]. There are five options under the tube filling simulation tab [그림 2.6.10]. This enables the user to choose various options based on field situations. Option 1 corresponds to the tube filling simulation. This will enable the user to take full control of the "Simulation controls" [23] from [그림 2.6.9] as shown in [그림 2.6.11].

Option 1: Simulation

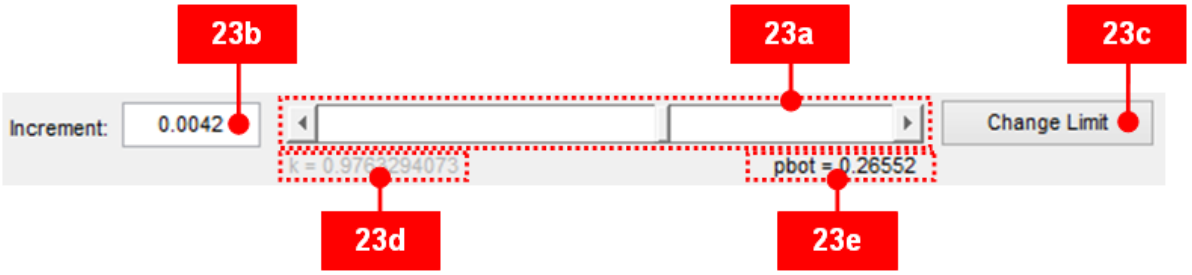


그림 2.6.11 Simulation controls

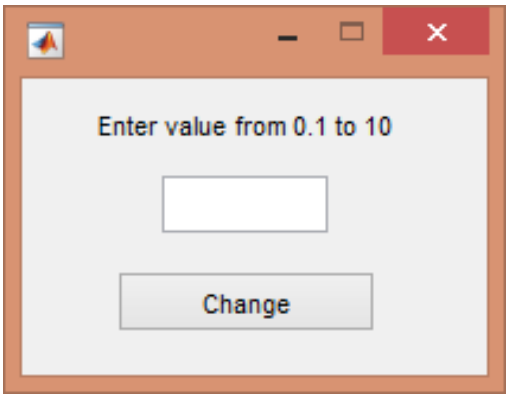


그림 2.6.12 Modification window for the maximum slider control limit

The main components under [23] are the (1) slider control [23a], (2) increment edit box [23b] and the (3) change limit button [23c]. The slider control [23a] movement corresponds to the bottom pressure of the geotextile tube. The user can slide the control to the right (increasing value, normally applied to tube filling) to simulate the increase in bottom pressure. Conversely, the user a can slide the control to the left (decreasing value, normally applied to tube dewatering) to simulate the decrease in bottom pressure. The numerical increment can be modified at [23b]. The user is allowed to input increment values up to five (5) decimal places. Initially, the computer program predetermines a maximum limit value for the slider control. However, the user can modify this limitation using [23c], this will display the widow shown in [그림 2.6.12]. The numerical values for the elliptic parameter k [23d] and dimensionless bottom pressure pbot [23e] are displayed interactively as the slider is move, as shown in [그림 2.6.11].

Option 2: Desired Tube Height

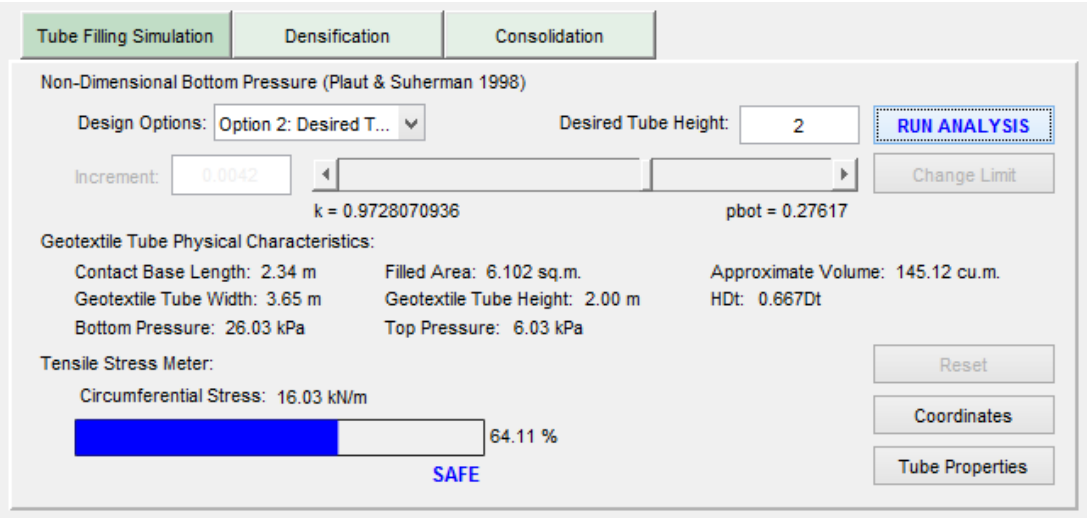


그림 2.6.13 Modeling and configuration panel display for option 2: Desired tube height

When Option 2 is selected by the user, the additional edit box and push button emphasized in [그림 2.6.13] appears. Simultaneously, the "Simulation Controls" are disabled. The user simply inputs the desired tube height and run the analysis and the computer will do the rest. The input unit should be consistent with the user defined units at the start of the analysis.

Option 3: Desired bottom pressure

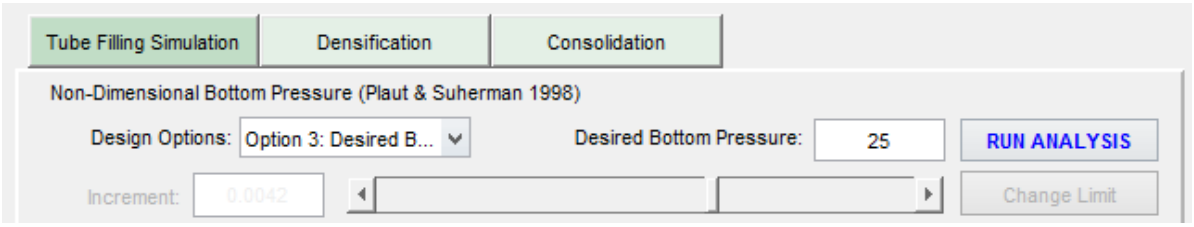


그림 2.6.14 Modeling and configuration panel display for option 3: Desired bottom pressure

Option 4: Optimum tube geometry based on developed tensile stress

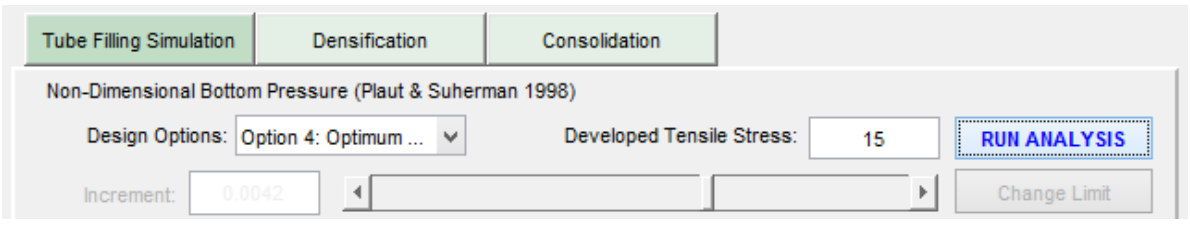
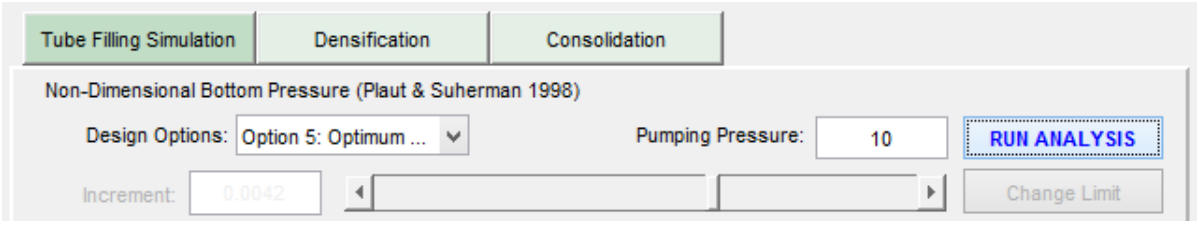


그림 2.6.15 Modeling and configuration panel display for option 4: Optimum tube geometry based on developed tensile stress

When option 4 is selected by the user, the additional edit box and push button emphasized in [그림 2.6.15] appears. Simultaneously, the “Simulation Controls” are disabled. The user simply inputs the desired tensile stress and run the analysis and the computer will do the rest. The input unit should be consistent with the user defined units at the start of the analysis.

Option 5: Optimum tube geometry based on pumping pressure



[그림 2.6.16] Modeling and configuration panel display for option 4: Optimum tube geometry based on desired pumping pressure

When option 5 is selected by the user, the additional edit box and push button emphasized in [그림 2.6.16] appears. Simultaneously, the “Simulation Controls” are disabled. The user simply inputs the desired pumping pressure and run the analysis and the computer will do the rest. The input unit should be consistent with the user defined units at the start of the analysis.

The physical tube characteristics [24] and the generated tensile stress [25] are displayed interactively during the slider movement as shown in [그림 2.6.17] and [그림 2.6.18], respectively. Under the tensile stress meter [25], the calculated stress [25a] and the percentage tensile stress (with respect to the maximum allowable circumferential stress) [25b and 25c] are displayed in real time. The computer will also inform the user if the tube is within safe capacity or not from the display at [25d] as shown in [그림 2.6.18].

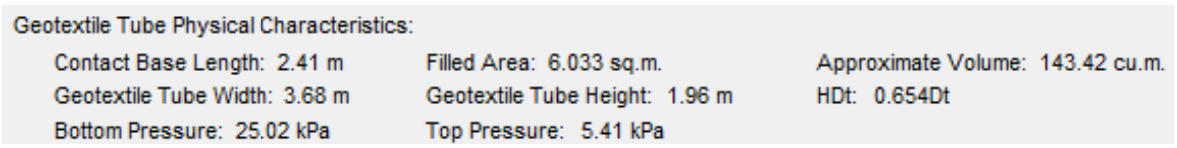
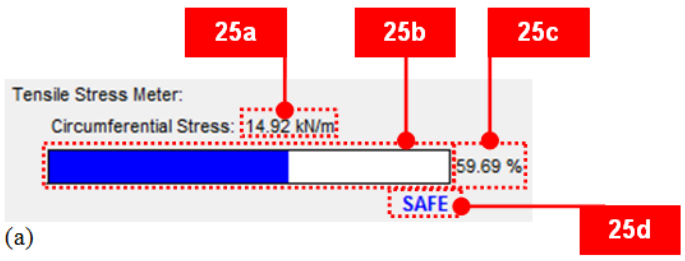


그림 2.6.17 Interactive results display





(b)



(c)

그림 2.6.18 Tensile stress meter. (a) Safe, (b) Critical and (c) Fail

[26] is used to view the output as .txt files. In [그림 2.6.19], [26a] outputs the .txt file for the current tube coordinate as shown in [그림 2.6.20] and [26b] outputs the .txt file for the current tube properties as shown in [그림 2.6.21].



그림 2.6.19 Opening output file (Txt files)

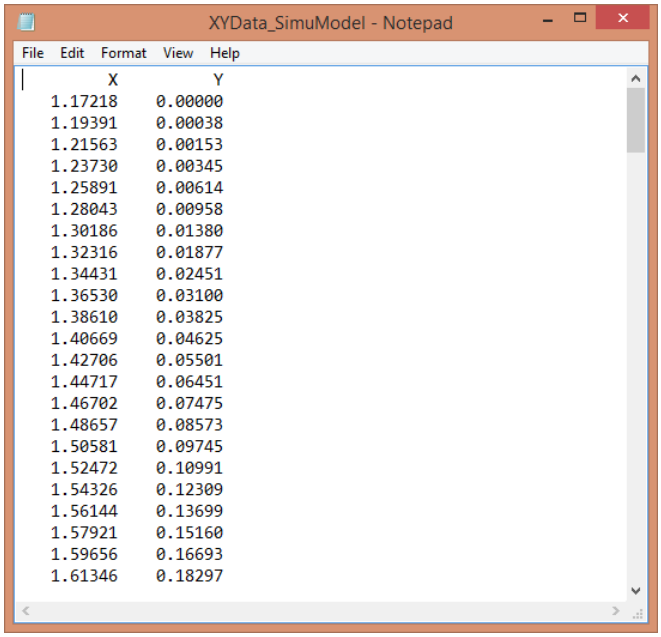


그림 2.6.20 Txt files for the current tube coordinate

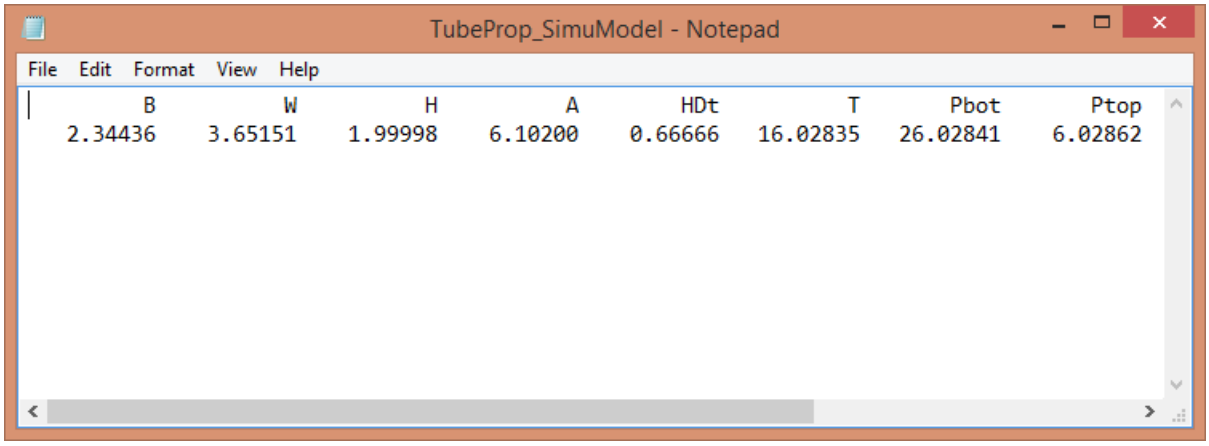


그림 2.6.21 Txt files for the current tube properties

During the tube filling analysis, the updated tube shape will be displayed at the “Graphical Display” panel in real time. In the “Graphical Display” panel, the user can modify the appearance of the graphical output. By default, the “Graphical Display” should look like [그림 2.6.22]. To change the appearance of the graphical display, the user should select the desired options provided at the bottom of the graphical display panel.

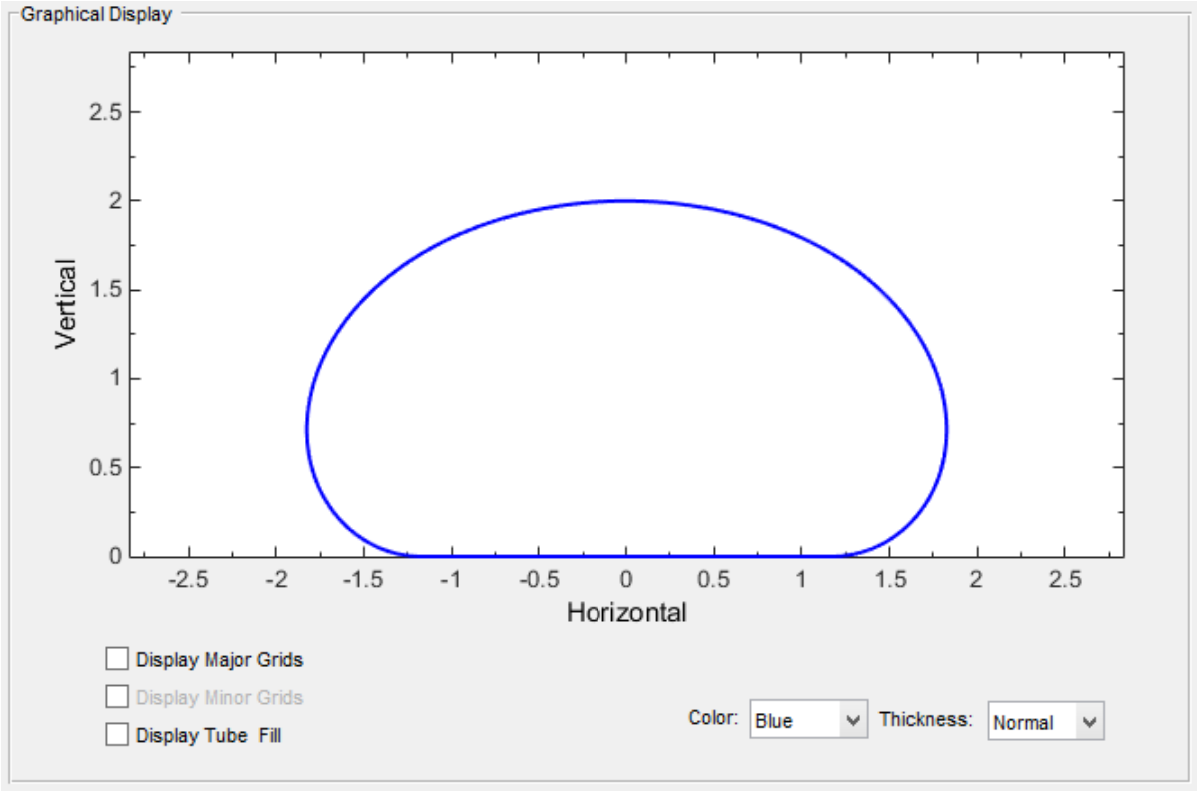


그림 2.6.22 Default “Graphical Display”

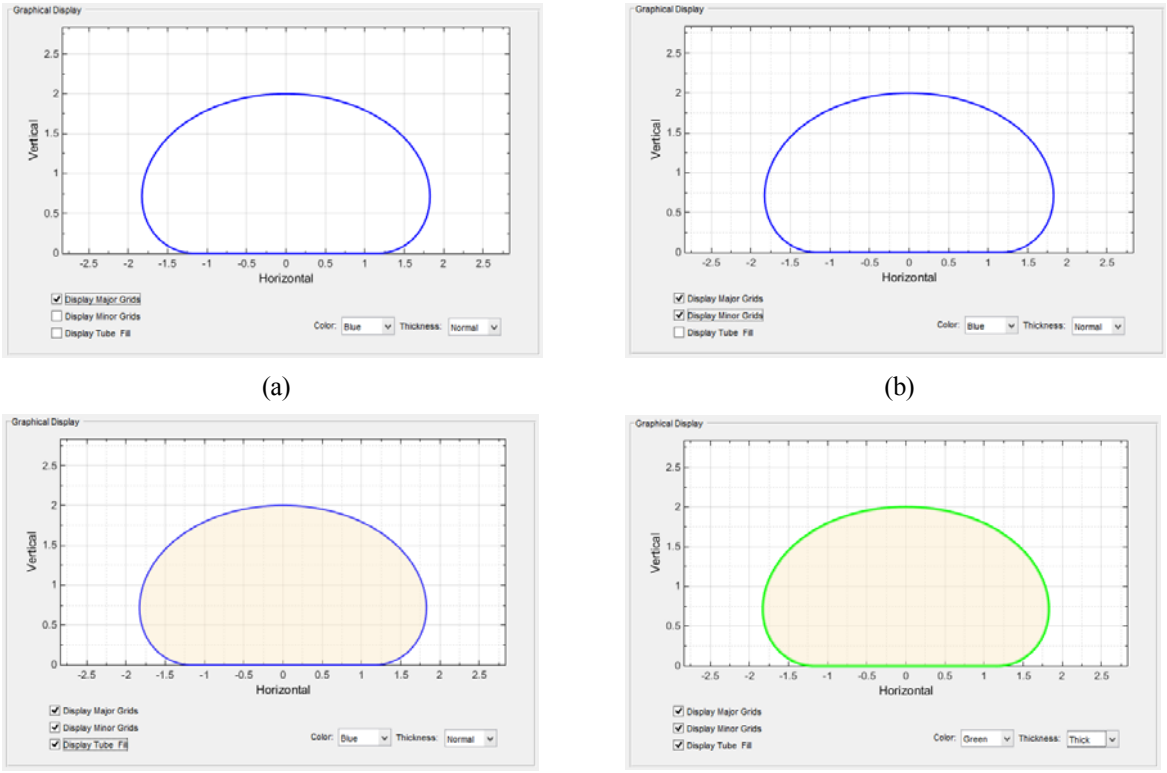


그림 2.6.23 Appearance options for the “Graphical Display”: (a) Displaying the major grids, (b) Displaying the minor grids, (c) Highlighting the tube fill, and (d) Changing the color and line thickness of the geotextile membrane.

- Densification analysis

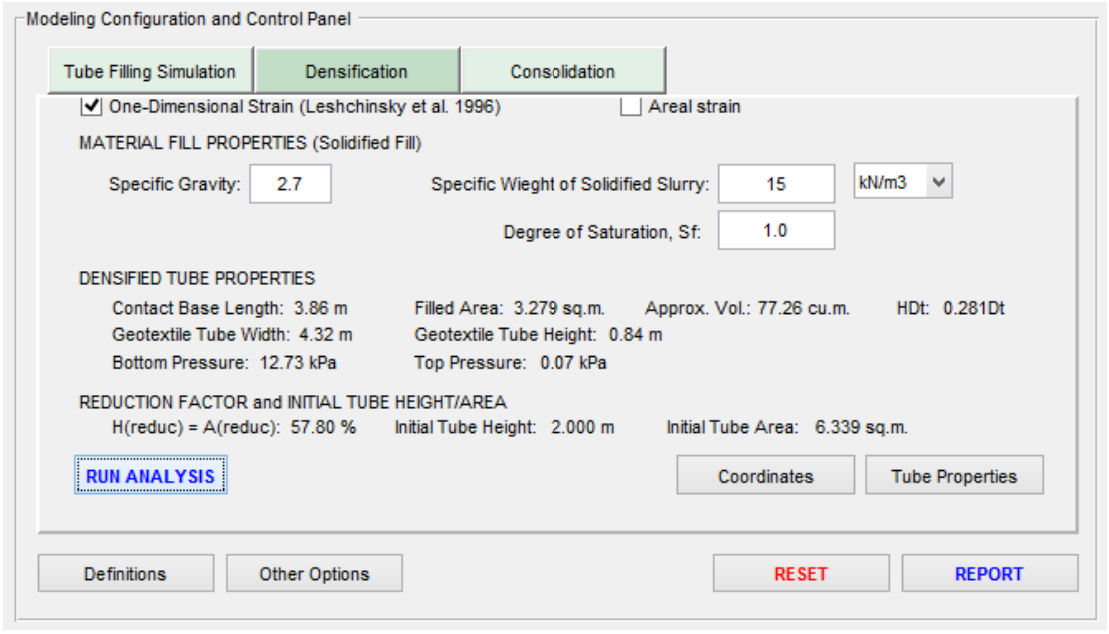


그림 2.6.24 Densification control panel.

The user can select the “Densification” tab / panel for the non-time dependent consolidation analysis of geotextile tubes. Under this panel, additional parameters such as the specific gravity of the slurry, specific weight of the slurry and the degree of saturation of the slurry must be inputted by the user. After providing these parameters, the densification analysis can be performed by pressing the “RUN ANALYSIS” button. Results should be displayed in real time as shown in [그림 2.6.25]. The initial tube is represented by the dashed line and the final tube shape is represented by the solid line. Similar to the simulation analysis, the data results can be accessed via .txt files.

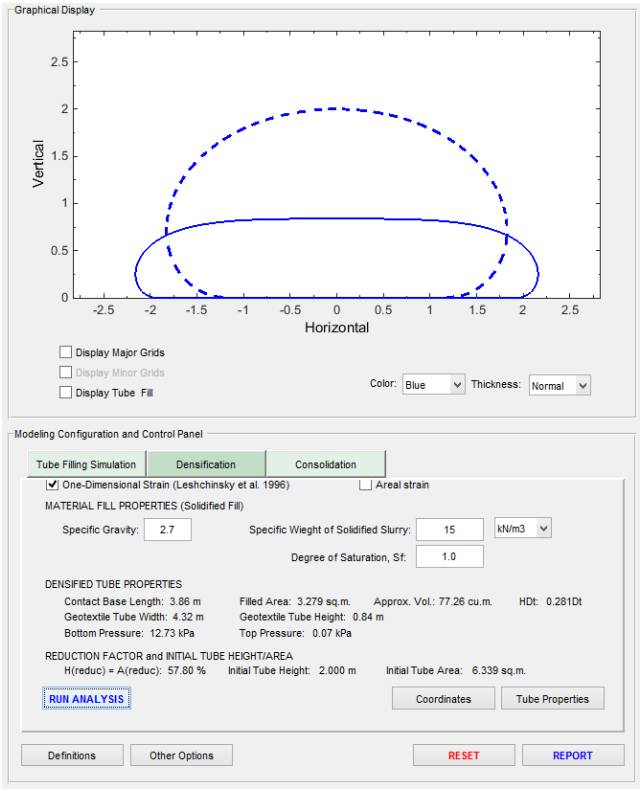


그림 2.6.25 Output results for “Densification” analysis

- **Consolidation analysis**

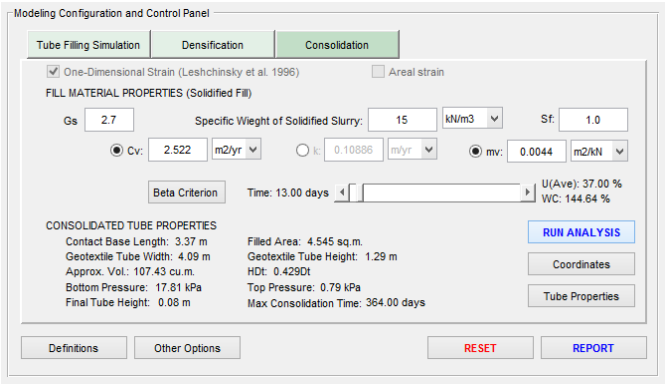


그림 2.6.26 Densification control panel

The user can select the “Consolidation” tab/panel for the time dependent consolidation analysis of geotextile tubes. Under this panel, additional parameters such as the specific gravity of the slurry, specific weight of the slurry and the degree of saturation of the slurry must be inputted by the user. Moreover, consolidation parameters such as coefficient of consolidation C_v and Coefficient of volume compressibility m_v, should also be provided by the user. After providing these parameters, the densification analysis can be performed by pressing the “RUN ANALYSIS” button. Results should be displayed in real time as shown in [그림 2.6.27]. The initial tube is represented by the dashed line and the final tube shape is represented by the solid line. Similar to the simulation analysis, the data results can be accessed via .txt files. To view the results at each time increment, the slider – which represents the consolidation time, is used.

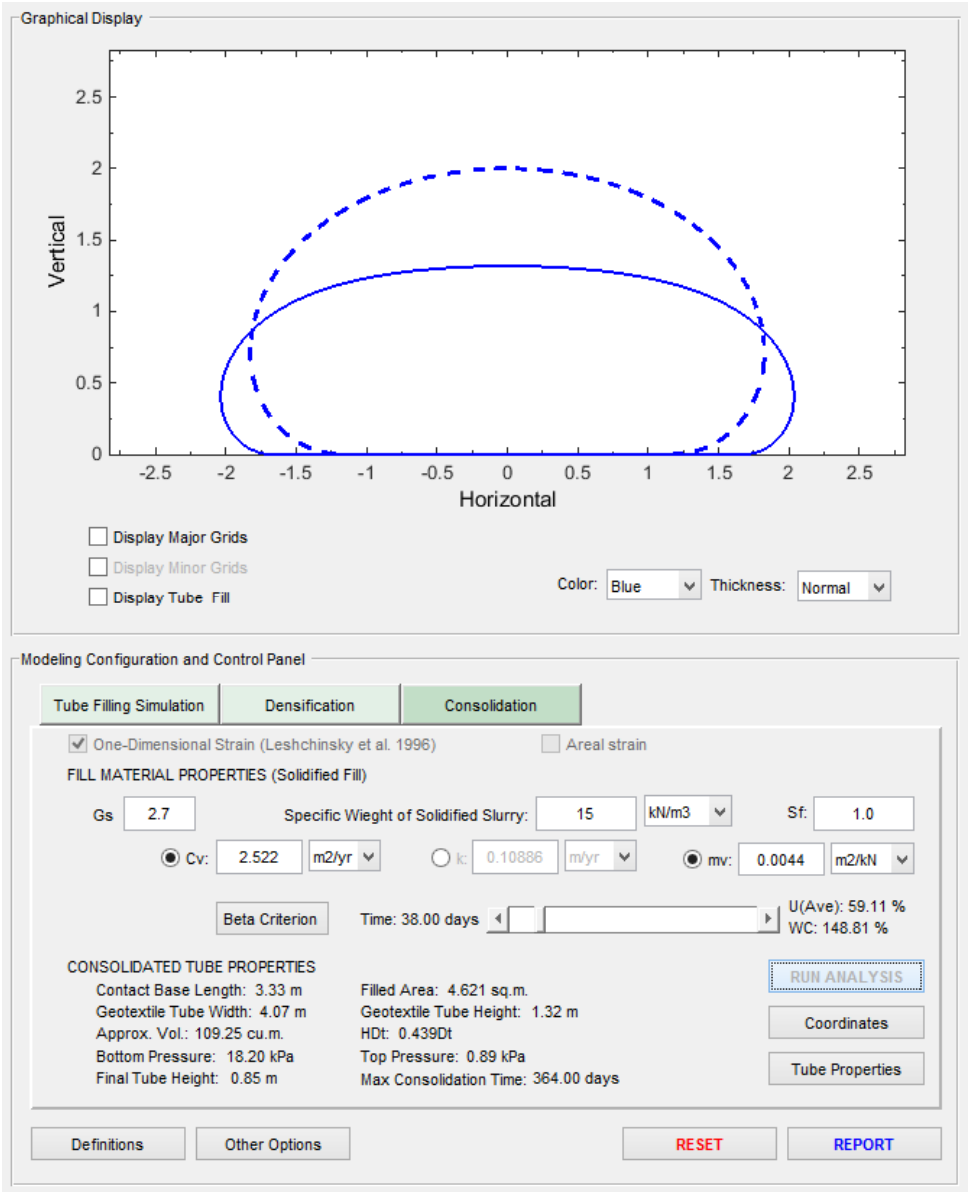
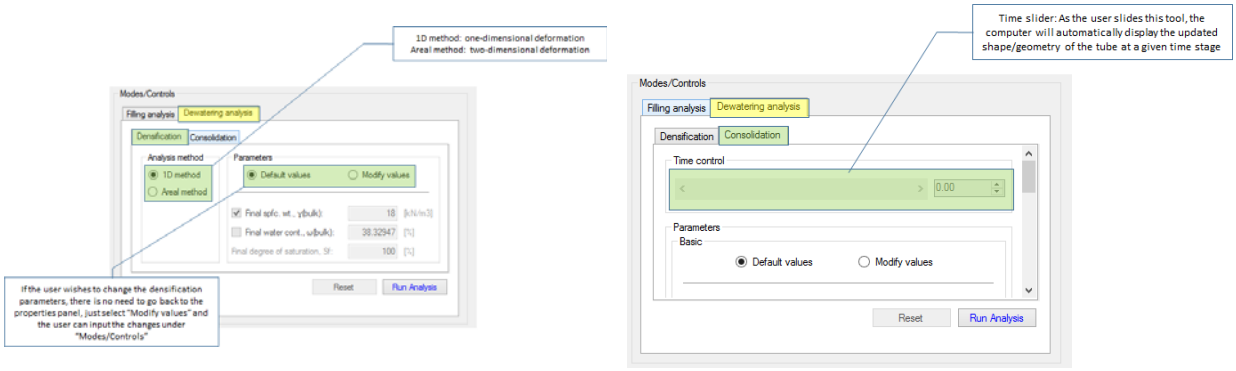
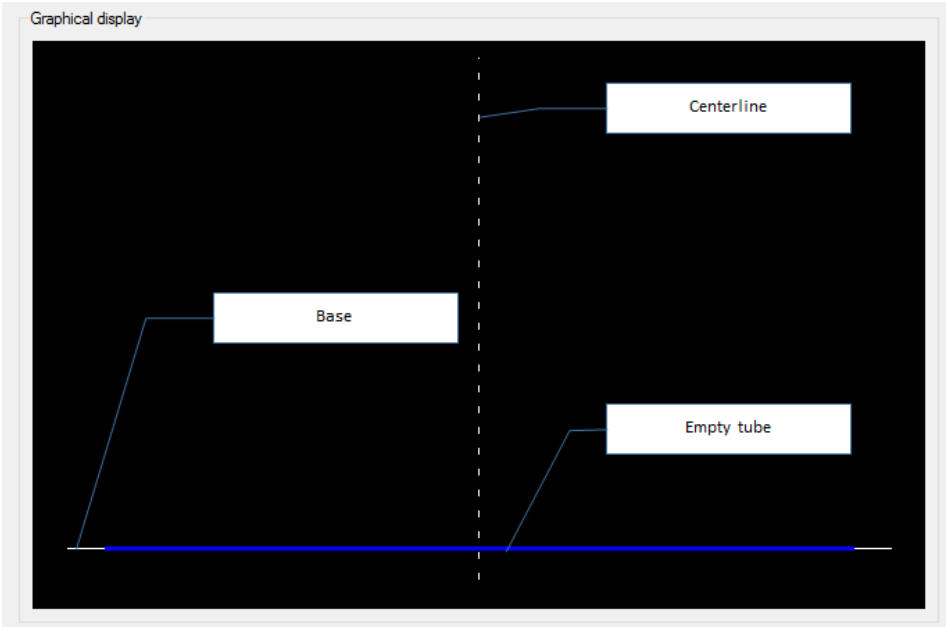


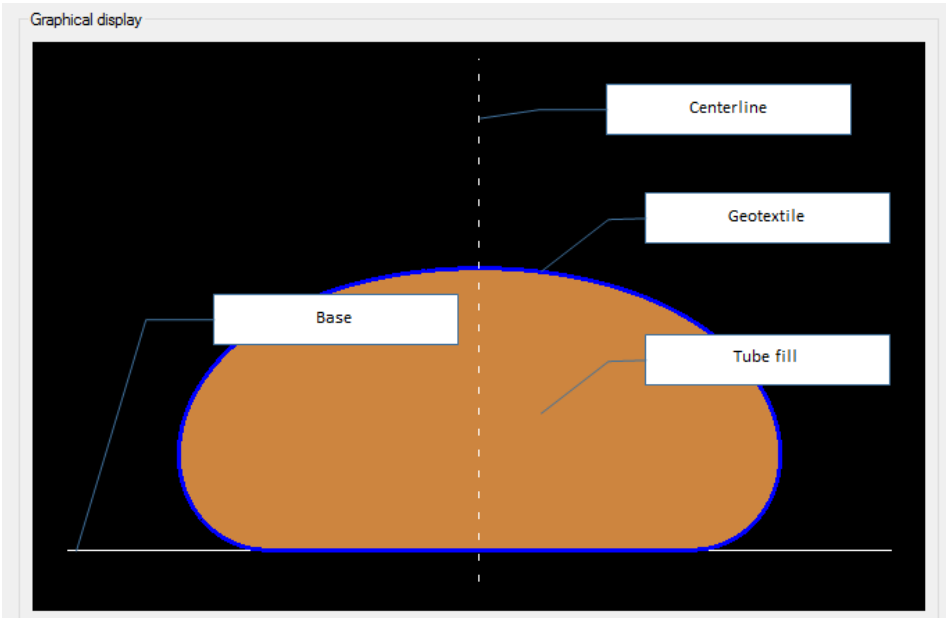
그림 2.6.27 Output results for “Densification” analysis



(a) Modeling configuration and control panel



(b) Default "Graphical Display"



(c) Output results for "Densification" analysis

그림 2.6.28 Development using another program (C# Program)

제7절 토목섬유 튜브 구조체의 설계, 시공 지침(안)

1. 개요

For over two decades high strength woven polypropylene geotextile tubes have been used to construct coastal protection structures. Earth covered tubes have also been successfully used for shoreline erosion protection from waves and currents. Several miles of these structures have served to protect coastal property from hurricane and tidal surges that cause flooding, floating debris, silt and sands onto streets and highways. Tubes have been used to construct dredged material containment structures for storage of maintenance dredged material and construction of islands. Tubes have been used to construct jetties, contraction dikes and control structures to prevent erosion and control depositions of sand and silts to minimize dredging cost. They have been use as sub-division dikes, spur dikes, underwater control dikes, current contraction dikes and thalweg control structures. Tubes have been used as bend way weirs, dikes, flood protection dikes and permanent and temporary structures. They have also been used for dike repair. Several other coastal applications such as groins, off shore wave breakwaters, beach nourishment, shoreline structures, on shore and off shore stability berms, and coastal sand dune protection have utilized Geotextile tubes. Tubes have been used to protect wetland habitat, wetland creation, and to create wildlife habitat such as oyster and fishing reefs.

2. 토목섬유 튜브 구조체의 특징

(1) Geotextile tube applications

Geotextile tubes are used for a range of hydraulic and marine applications where mass-gravity barrier-type structures are required. These applications are shown in [그림 2.7.3], and are described briefly below:

- Revetments

Geotextile tubes are used for revetment structures [그림 2.7.1], where their contained fill is used to provide mass gravity stability. They are used for both submerged and exposed revetments. For submerged revetments the geotextile tube is covered by local soil, and is required to provide protection only when the soil cover has been eroded during periods of intermittent storm activity. Once the storm is over, the revetment is covered by soil again, either naturally or by maintenance filling. For exposed revetments the geotextile tube is exposed throughout its required design life.

To prevent erosion of the foundation soil in the vicinity of the geotextile tube it is common practice to install a scour apron. This scour apron usually consists of a geotextile filter layer that passes beneath the geotextile tube and is anchored at the extremity by a smaller, filled, geotextile tube.

Revetments are also constructed using multiple-height geotextile tubes. Here the geotextile tubes are staggered horizontally to achieve required stability. Considerable care should be exercised during construction of these types of revetment to ensure that the water emanating from the hydraulic filling of

the upper geotextile tubes does not erode the soil and undermine the lower geotextile tubes in the multiple-height revetment structure.



그림 2.7.1 Geotextile tubes as revetment for marine and hydraulic applications

- Offshore breakwaters

Geotextile tubes are used for offshore breakwaters [그림 2.7.2] to prevent the erosion of shoreline developments. Here the filled geotextile tube is located a certain distance offshore in order to dissipate wave forces before they can reach the shoreline. Again, scour aprons are used beneath the geotextile tube breakwater to ensure that local erosion does not undermine the breakwater structure.

In many instances the geotextile tube is left exposed, which consequently affects its design life. Additional techniques or treatments may be applied to the geotextile tube breakwater to increase its exposed design life.

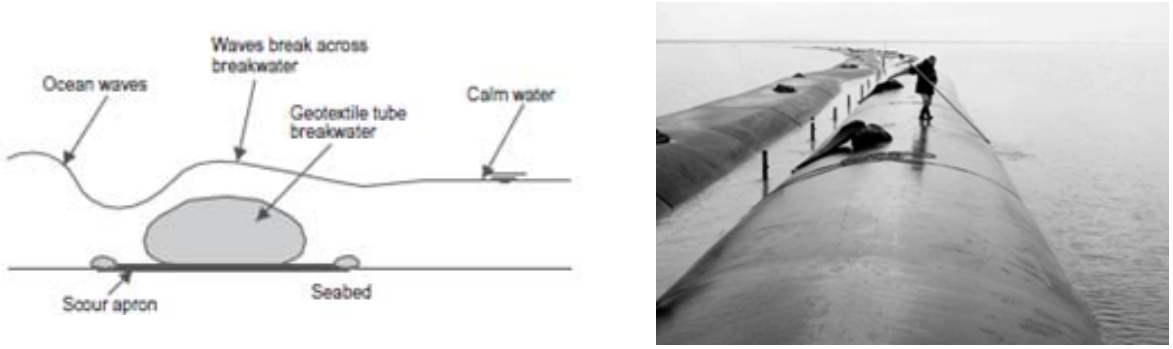


그림 2.7.2 Geotextile tubes as offshore breakwater for marine and hydraulic applications

- Protection dikes

Geotextile tubes are used for protection dykes [그림 2.7.3], where they prevent flood and storm damage to valuable structures and real estate. Protection dykes also may be used for river, lake or stream training works.

Where geotextile tube protection dykes are constructed it is common to cover the geotextile tube with local soil. The geotextile tube is required to function only intermittently during storm or flood pe-

riods when the soil cover is eroded. The use of the soil cover provides several advantages to the geotextile tube core. First, it hides the geotextile tube core, thereby providing an aesthetic environment and ensuring no damage due to vandalism. Second, it protects the geotextile tube from long-term exposure.

Where geotextile tubes are used for river, lake or stream training works it is common to leave the tube exposed except for major structures, where rock armor layers may be placed over it to dissipate hydraulic forces. Where the tubes are left exposed, a geotextile shroud may be used across the top of the tube, or a coating applied, to enhance its longevity in an exposed environment.



그림 2.7.3 Geotextile tubes as protection dikes for marine and hydraulic applications

- Containment dikes

Geotextile tubes are used for the cores of containment dykes [그림 2.7.4] where water depths are relatively shallow. Here, the tube structure contains a filled reclamation area, the reclamation fill being dry-dumped or placed hydraulically. The advantage of this approach is that the same hydraulic fill used in the reclamation can also be used inside the geotextile tubes for the containment dykes, thus avoiding the need to import rock fill for the dykes. Containment dykes constructed from geotextile tubes provide an economic alternative to other forms of construction, such as sheet-piled walls, especially where the foundation soil is soft. Where water forces dictate, and where longevity is required, rock armoring can be placed around the geotextile tube core [그림 2.7.4].

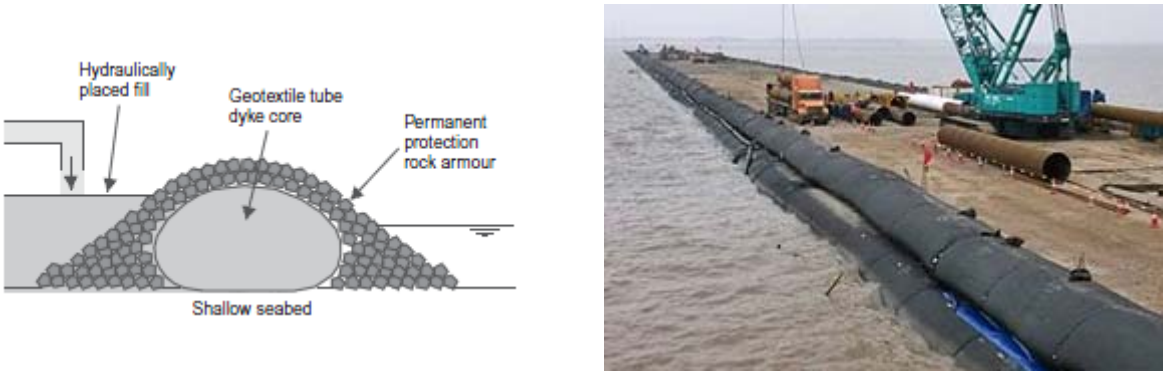


그림 2.7.4 Geotextile tubes as containment dikes for marine and hydraulic applications

- Groins

Geotextile tubes can be used as groins [그림 2.7.5] to prevent the littoral movement of sediment. In most cases the geotextile tubes are left exposed, but coatings or a rock covering may be applied, depending on the circumstances and the required life expectancy.

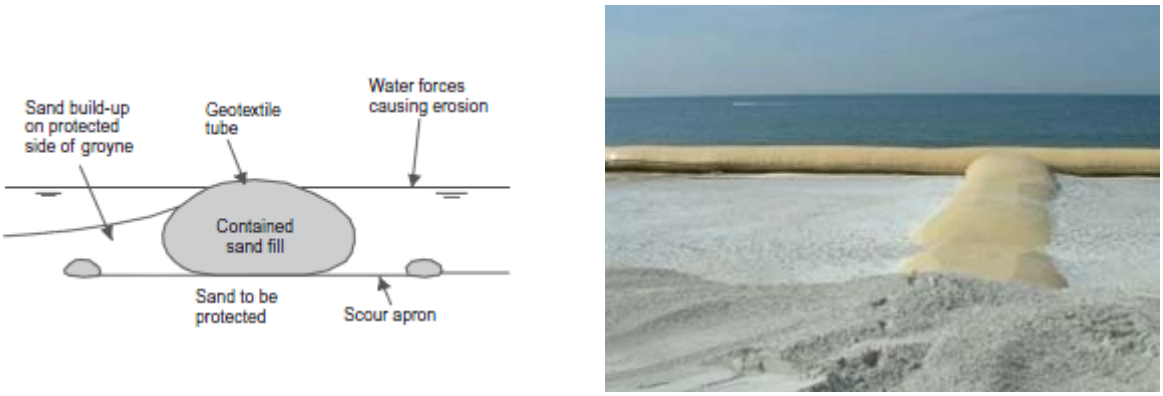


그림 2.7.5 Geotextile tubes as groins for marine and hydraulic applications

3. 토목섬유 튜브 구조체의 설계 방법

(1) Limitations of geotextile tubes

The concerns raised at the workshop were the same as those raised by Pilarczyk (1995) in his thorough review of "novel" systems for coastal engineering. Participants were concerned about fabric resistance to puncture and abrasion, fabric degradation in the environment, especially under exposure to ultraviolet (UV) light, the difficulty in placing a tube precisely on a given alignment and in achieving a consistent crest height along the length of the tube, and the lack of hydraulic, hydrodynamic, and geotechnical design guidance. Each of these concerns is addressed below.

The resistance to geotextile fabrics to punctures and abrasion is low. Puncturing the materials with a blunt object is not easy. However, it takes no effort to puncture even the highest strength material with a pointed object, such as a knife. Consequently, in areas where the public has access to the tubes, vandalism often results in damage. Debris (for example, a stump with sharp roots) that is forced against the tube by waves or currents can puncture and abrade the material. The workshop participants also suspected that ice could abrade or puncture the fabric. The material can be abraded during shipping and handling, or during deployment. Tubes may be damaged by placing equipment (pipes, flanges, cables, and connectors) on the tubes. Participants also indicated that tubes that are cut or torn will lose sediments within only a few feet to either side of the cut. That is, most of the tube beyond the damaged area will remain intact.

Fabric degradation in UV light is uncertain. Laboratory tests that have exposed the fabrics to intense UV radiation have been conducted. The results suggest that the fabric is resistant, but the results cannot be extrapolated to actual field applications. Some workshop participants suggested that tubes could

last several decades (20 to 50 years) in the field; others suggested that, without data, those values cannot be relied upon. It should be noted that exposure to UV light is significantly blocked when the tube is submerged or covered by sediments or marine growth such as algae and barnacles.

The constructed quality of the tubes depends on the skill of the construction contractors and the environmental conditions under which the deployment and filling takes place. The skill and experience of some contractors is increasing within the dredging industry, but no method has yet been widely accepted or documented as the best approach to deploying and filling tubes. Given that the overall average height of the tube depends on the length and circumference of the tube, the permeability of the fabric, the pressure and flow rate inside the tube during filling, sediment characteristics, and other factors, it has been difficult to determine whether it is these factors or the techniques of the contractor that affect the quality of the final tube shape. Ultimately, the experience of the contractor and the available equipment seem to dictate the construction methods chosen.

Some variations of height cannot be avoided. If the contractor stops filling a tube prematurely, because of weather for example, sand in the tube will stabilize and flatten the tube out. Once that happens it is very difficult to pump the tube higher. Also, low spots always occur near the filling ports, with other random undulations elsewhere. It is not surprising to find variations of 0.5 ft (0.15 m) or more along the length of the tube. Based on the results reported at the workshop, the maximum tube height that can be achieved is 5 ft (1.5 m), regardless of the circumference of the tube used. Greater final tube height might be possible, but it has not been the general experience.

Not only does the height of the tube vary, but the elevation of the bed upon which it rests may vary. Hence, if the tube is not placed directly on a given bed elevation, the variations in the bed itself result in variations of the crest elevation. Geotextile tubes are hard to position and hold in place in waves and tidal or wind-driven currents prior to filling. Occasionally, a tube may roll to one side during filling. When this occurs, the tube moves off alignment, it puts the filling ports to the side of the tube instead of on top, and it increases the stress in the fabric.

Existing guidance is limited for designing and predicting the stability of tube structures. Some techniques modified from other structure design techniques were discussed at the workshop. It was suggested that the methods described in the “Shore Protection Manual” (U.S. Army Corps of Engineers 1984) or Minikin (1983) be used for loading on vertically faced structures. Similarly, the methods outlined in Goda (1985) or Walton and others (1989) could be used.

Once the forces are estimated for the tube, one can assume that the cross section of the tube is a rigid, roughly oval object and calculate its tendency to slide or overturn. The recommended friction angles are 18 deg for fabric on fabric and 25 deg for fabric on sand. The WES maintains a discrete-element model that can be used to simulate the deformation of a tube in two-dimensional cross section under loading. A graphical technique to estimate the strength of fabric needed for an application has been developed*. Most workshop participants agreed that, if there is concern about the strength of the fabric, the strongest available fabric should be used. Sprague* also presents a technique for selecting the spacing for filling ports along the crest of the tube. Each of these methods is likely

conservative, and all the methods disregard the three-dimensional nature of the tubes.

(2) Criteria for geotextile tube applications

Based partially on the limitations discussed above, a list of general criteria was compiled for use in determining appropriate applications for geotextile tubes. Pilarczyk (1995) also identifies several of these criteria. The greater the number of criteria satisfied, the more successful the implementation is likely to be.

The listing of criteria given below probably is incomplete, but it can serve as a good guide. The criteria are not listed in order or priority. Priority might be set based on project characteristics.

Shallow water, low tidal range, and low wave energy. The region in which the tubes are placed should be shallow (0～3 ft, < 1 m) and where the tidal range is small (0～3 ft, < 1 m). Several corps of engineers projects have been stable and have performed successfully in such environments. These criteria limit the size of the waves that will impact the project such that the tubes are inherently stable. Further, tubes placed at low crest elevations as assumed here are usually inundated by surge during large wave events. Larger waves, which might occur with meteorologically induced surges, pass over the tubes with reduced force. The propagation of such waves over the tubes is not problematic, because the area in the lee of the tube is low-elevation marsh.

Temporary, maintained, and hidden. An appropriate geotextile tube application is one in which the tube is a temporary structure. Obviously, a tube that is used until another approach can be found is just temporary. However, a less obvious temporary application would be a tube that is maintained. For example, a tube used to contain and protect dredged material that is needed only until the next dredging cycle (3～5 years) would be temporary. During the next cycle, the tube may no longer be needed, or it may be maintained or replaced. A hidden tube is one that is covered over, by sediment for example, and serves only as protection when erosion exposes it. This is a useful approach when vandalism or debris is a concern. It also blends the tube into the environment. Once the tube is exposed, however, maintenance is required to repair and rebury it. Material suppliers have indicated that holes in tubes might be patched in situ using marine adhesives. However, if the damage is significant, new tubes can be placed in front of or behind the failed tube. Workshop participants noted that they had little success placing one tube on top of another.

No threat to life or property. An appropriate geotextile tube application is one where there is no risk of life or property if it fails. Geotextile tubes are effective structures as long as they remain intact. However, since their durability is uncertain, depending on them to protect life or property for long periods of time (without maintenance) is not recommended.

Flexible height and alignment requirements. Since aligning tubes during placement and achieving consistent crest elevation along the length of tube is difficult, projects where variation in these parameters can be tolerated are best.

Associated with an existing dredging project. A final criterion is that the tube construction be asso-

ciated with an existing dredging project. The growing popularity of geotextile tubes is due to several factors, the main one being that they are usually less expensive than other protection or containment alternatives. Geotextile tubes are most cost effective when used in conjunction with a dredging project because the cost of mobilizing a dredge to fill the tubes is minimized. The cost of tube construction is maximized when a dredge has to be mobilized on short notice to fill a small section of tube.

(3) Required hydraulic properties of geotextile tubes

Geotextile tubes are constructed to perform in a variety of hydraulic environments, ranging from still or slow moving water, to fast-moving currents, to wave environments. In many of these applications the geotextile tube skin is exposed directly to the hydraulic environment. Two aspects of the hydraulic environment should be taken into account when considering the use of geotextile tubes: the type of hydraulic regime acting on the geotextile tube, and the time period of exposure to this hydraulic regime. As stated already, a variety of hydraulic regimes can act on geotextile tubes, depending on their use. The severity of these hydraulic regimes governs the hydraulic properties of the geotextile skin as well as whether the geotextile tube can perform suitably in an unprotected manner (i.e. with the geotextile skin exposed directly to the hydraulic regime).

The time period of exposure can also have an effect on the severity of the hydraulic environment: for example, exposure to intermittent storm activity will not have the same effect as continual exposure to the same types of waves. [표. 2.7.1] summarizes the recommended hydraulic properties of the geotextile skin, and whether additional protection measures are required, according to the mode of hydraulic regime and the period of exposure. In [표. 2.7.1], intermittent exposure refers to exposure for several days at a time to the specific hydraulic regime (not for several weeks or months). An example would be the effects of storm activity that is periodic but only acts over a short period of time. [표. 2.7.1] indicates that geotextile tubes can perform in an exposed state in a variety of hydraulic regimes, except where continual water currents greater than 1.5 m/s and continual wave heights greater than 1.5 m occur.

In these extreme hydraulic environments additional protection is required in order for the geotextile tube to perform acceptably. Examples of additional protection measures are rock armor, or wire gabions and mattresses placed around the exposed surface of the geotextile tube. At the low end of the performance spectrum an additional sacrificial covering may be used. These additional protection measures dissipate much of the hydraulic forces before they reach the geotextile tube skin. For other, less intense hydraulic regimes described in [표. 2.7.1] the geotextile tube may perform well structurally in an unprotected state, but some loss in serviceability(i.e. change in shape) may occur over time.

[표. 2.7.1] Hydraulic properties and required protection guidelines for geotextile tubes according to the type and period of hydraulic regime (after Lawson 2008)

Hydraulic regime	**Period of exposure to hydraulic regime**	
	Intermittent	**Continual**
Still, or slow-moving water	No protection required. AOS $\leq$ 0.5 mm $q_{n,100} \geq$ 10L/m^{2}s	No protection required. AOS $\leq$ 0.5 mm $q_{n,100} \geq$ 10L/m^{2}s
Water current < 1.5 m/s	No protection required. AOS $\leq$ D_{85} fill $q_{n,100} \geq$ 10L/m^{2}s	No protection required. AOS $\leq$ D_{85} fill $q_{n,100} \geq$ 30L/m^{2}s
Water current $\geq$ 1.5 m/s	No protection required, but some changes in shape may occur after repeated events. AOS $\leq$ D_{85} fill $q_{n,100} \geq$ 30L/m^{2}s	Protection required and some changes in shape may occur after repeated events. AOS $\leq$ D_{50} fill $q_{n,100} \geq$ 30L/m^{2}s
Wave < 1.5 m	No protection required. AOS $\leq$ D_{50} fill $q_{n,100} \geq$ 30L/m^{2}s	No protection required, but some changes in shape may occur over time. AOS $\leq$ D_{50} fill $q_{n,100} \geq$ 30L/m^{2}s
Wave $\geq$ 1.5 m	No protection required, but considerable changes in shape may occur after repeated events. AOS $\leq$ D_{50} fill $q_{n,100} \geq$ 30L/m^{2}s	Protection required and changes in shape may occur. AOS $\leq$ D_{50} fill $q_{n,100} \geq$ 30L/m^{2}s

* Note: AOS = apparent opening size of the geotextile skin; $q_{n,100}$= volume flow at 100 mm constant head through the geotextile tube skin. Intermittent exposure refers to exposure for several days at a time to the specific hydraulic regime, not several weeks or months (example : storm activity).

(4) Terminology

Geotextile tube - A large tube [greater than 2.3 m in circumference] fabricated from high strength, woven geotextile, in lengths greater than 6.1 m. Geotextile tubes used in coastal and riverine applications are most often filled hydraulically with a slurry of sand and water, although many other fill materials have been used. Tubes can also be filled by a combination mechanical / hydraulic method.

Scour apron - An apron of geotextile designed to protect the foundation of the main geotextile tube from the undermining effects of scour. In coastal and riverine applications, scour can be present at the base of the tube due to wave and current action. There may be aprons on both sides of the main tube, or only on one side. Scour aprons also reduce local erosion and scour caused during the hydraulic filling process of the main tube. Scour aprons are typically anchored by a small tube at the water's edge or by sandbags attached to the apron.

Filling port - Also called a fill spout or fill nozzle, fill ports are sleeves sewn into the top of the geotextile tube into which the pump discharge pipe is inserted. Ports are typically 300~450 mm in diameter and 0.9~1.5 m in length. Fill ports are fabricated from the same geotextile as the main tube. Ports are spaced along the top of the tube to provide access to the contractor. Spacing is usually no closer than 7.6 m to accommodate sand slurry but can be as far apart as 30 m for some viscous fill materials. After pumping, ports are to be closed by tying, sewing or gluing.

4. 시공방법(육상)

(1) Preconstruction guidelines

- Laboratory experiment and researches

This came at the first stage of our design process. Geotechnical test on samples for the fill material were conducted to determine its physical and geotechnical properties. The results from the test are the necessary data that is needed to enter into the design program and calculations. This section gives a description of the specific test that should be carried out.

① Dewatering sample material

This is the very first manipulation which involved the sludge (slurry). The test sample needs to be transformed from sludge state to a soil state which could then be used in the preceding tests. This was achieved by rendering the sludge more liquefied and adding flocculants to it which causes the smaller particles to stick together forming larger grains. This mixture was poured in to bags made of geotextile GT 500D where the water could drain out leaving behind the solid particles.

② Atterberg limit test

This test gives an image of the expected behavior of the soil at different water contents. This is done by mixing the sample with water to homogeneity and filling and grooved in the cup of a Casagrande apparatus. The cup is been knocked against its base and closure of the groove is measured

together with the number of knocks it had. At three distinct blow intervals, samples are taken to determine their water content. From this water content and number of knocks to close up the groove, an average line graph is made on a Cartesian plane with the water content on the abscissa. Interpolating the closure at 25 knocks will give the water content of the liquid limit. Another important limit that is defined in this test is the plastic limit which is reached when soil sample cannot be rolled to a thin 3 mm threat.

③ Density test

This test is used to determine the average density of a soil sample (excluding the voids). This is obtained by filling a pycnometer with a soil sample mixed with distilled water. Air entrapped in the bottle is eliminated and the pycnometer is refilled to required level and weight. Then the pycnometer is emptied and refilled with distilled water. From there the density of the can be determined through calculations.

④ Oedometer test

This test consists of filling undisturbed sample in to the cell of the Oedometer. The soil sample is been subject to loading and the settlement registered at specific time interval. This gives a preview of the nature of settlement that will take place in the soil under defined loads.

⑤ Direct shear test

This test gives the properties of the soil in relation to its strength to resist loads or forces subjected to it. It consists of filling a shear box with soil sample, apply load on it and pull the shear box apart such that the soil inside witnesses a horizontal shearing force. The test was modified by introducing a geotextile on the shearing plane. This gave the amount of resistance to sliding to expect on the surface of the geotextile tube units.

⑥ Triaxial test

This is one of the most essential tests during our project. It determines the cohesion and the internal angle of friction of the soil sample. This is obtained by mounting an undisturbed sample in a membrane on the cell of a triaxial apparatus. This sample is subjected to pressure from its sides and top. The load on the top of the sample is being increased slowly until failure occurs. Failure of the sample occurs in a diagonal direction whose angle to the horizontal is the internal angle of friction of the sample. The greater these value, the greater the strength of the material.

⑦ Sieve analysis

This test gives the particle distribution of the sample. It tries to give a quantitative distribution of the various particle sizes that are present in the sample. This is obtained by passing the sample material through a series of sieves where the held back particles are measured.

- **Plan of construction**

The contractor shall submit a plan of construction describing the sequence of operations for the construction of the sand-filled geotextile tubes. The plan shall address site preparation, deployment and filling of tubes, placement of scour apron and anchor tubes, and tie-out to the shoreline at each end of the reach. Equipment to be used for geotextile tube construction shall be specified.

- **Fabric requirements**

The geotextile for the tubes, anchor tubes, and the scour apron/pad shall be a woven monofilament or multifilament pervious sheet of polymeric yarn. Fibers used in the manufacture of the geotextile fabric shall consist of long-chain synthetic polymers composed of at least 85 percent by weight polyolefin, polyesters, or polyamides. Stabilizers and / or inhibitors shall be added to the base polymer if necessary to make the filaments resistant to deterioration by ultraviolet light, oxidation, and heat exposure. Reclaimed or recycled fibers (post-consumer) or polymer shall not be added to the formulation. Geotextiles shall be formed into a network such that the filaments or yarns retain dimensional stability relative to each other (including the filaments or yarns at the edges of the fabric). The geotextile physical properties shall equal or exceed the minimum average roll test values (MARV). Acceptance of geotextile shall be in accordance with ASTM D 4759. Geotextile fabrics that are not in accordance with ASTM D 4759 shall be replaced as directed by the contracting officer at no additional cost to the government.

- **Preparation of plant and equipment**

The plant and equipment used for the work required shall be determined by the contractor, identified in the plan of construction, and shall be approved by the contracting officer. There are commonly two types of geotextile tube filling setup. The first type involves the use of a dredging ship as shown in [그림 2.7.6]. This type of method is expensive and are practically used only when dredge-fill material are not available near or on-site, or when constructing geotextile tubes offshore(i.e., offshore breakwater, containment dikes for artificial islands). Alternatively, the second type of filling method using hopper tanks (as shown in [그림 2.7.7]) is practically applicable for inland geotextile tube filling. An actual hopper tank used in a large scale test is shown in [그림 2.7.8].

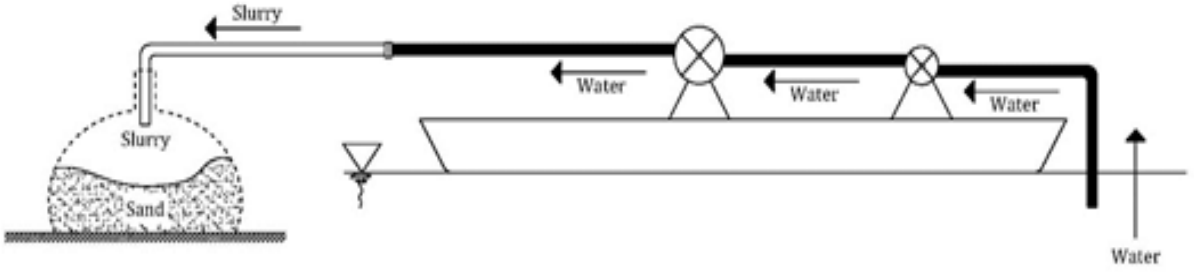


그림 2.7.6 Geotextile tube filling via dredging barge

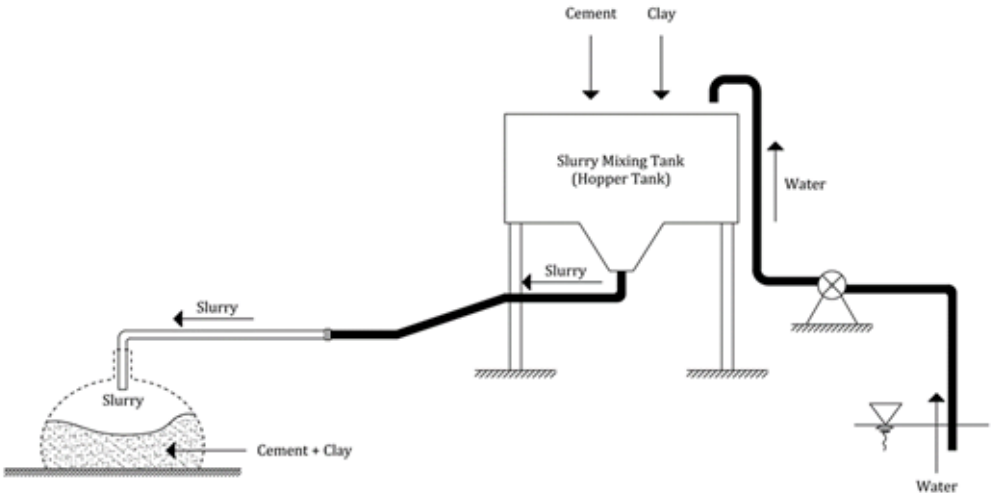


그림 2.7.7 Geotextile tube filling via hopper tanks



그림 2.7.8 Hopper tank

- Selection of fill materials

Material for filling the geotextile tubes for coastal and riverine applications will normally consist of fine sand dredged from a designated borrow site. Suitable material for filling the tubes will contain no more than 15 percent fines (percent by weight passing the No.200 sieve) to minimize subsidence of the tubes after filling. If excessive fines are observed during the filling process, the contractor should divert the flow until more suitable borrow material can be located. If the fill material is known to be primarily organic and / or fine-grained material, repeated fillings may be required to reach the design elevation of the tube. Considerable care must be taken to avoid overstressing the geotextile and inducing creep strains and excessive distortion. This type of fill material is not suitable for designs where the primary objective is a specified elevation.

- Fill gradation

Gradation testing of hydraulic fill materials shall be conducted in accordance with ASTM D 422. Samples shall be obtained from the dredge discharge pipe immediately before inserting the pipe into the fill port. At a minimum, one gradation test shall be performed for each 300 m of fill tube. Extremely large tubes may require more frequent testing. Also, additional testing may be warranted at any time that visual inspection of the sand fill materials indicate that the percentage of fines may exceed the requirements presented herein.

- Tube foundation

The foundation for the placement of the geotextile tube and its scour aprons shall be smooth and free of protrusions which could damage the geotextile. Remnant timber piles, piers, footings, underground utilities, etc., at or below grade, shall be removed if located within 20 feet (6.0 m) of the project site. Weak or unsuitable foundation material shall be removed or stabilized.

- Tube alignment

Tubes used in coastal and riverine applications normally require alignment within ± 2.0 feet (600 mm) of the baseline. The alignment can be facilitated by a number of methods, e.g., earthen cradles, tie-down straps, or physical buttressing. The filled tubes shall have an effective height of ± 0.5 feet (150 mm) of the specified elevation. Effective height is defined as the height from the existing tube foundation to the average top of the filled tube measured every 25 feet (7.0 m) along the length of the tube between fill ports. Any subsidence of the top elevation of the tube below the specified height shall be corrected by supplemental filling or, if the tube has been damaged, replacement of the tube. Filling tubes higher than the manufacturer's recommended height can lead to failure during construction. At no time shall construction equipment be operated directly on the geotextile tube or its ancillary materials. Filled geotextile tubes and scour aprons can be traversed if a 1 foot (300 mm) minimum of soil is covering the geotextile. No hooks, tongs or other sharp instruments shall be used for handling. The geotextile tube or scour apron shall not be dragged along the ground.

(2) Construction

- Fabrication

Geotextile tubes shall be fabricated by sewing together standard sheets of high strength, woven geotextile material to form a tubular shape or by weaving the material into a tube shape. The tube shall have a circumference of 9.1 m. The tubes may vary in length from a minimum of 45.7 m to a maximum of 106.7 m. Tube filling ports shall be spaced at intervals not exceeding 7.6 m along the crest of the tube. Each fill port shall consist of a geotextile sleeve having a length of at least 1.5 m and a circumference slightly greater than that of the filling pipe. In addition, a pressure relief port, consisting of a 1.5 m long geotextile sleeve, shall be located not more than 1.5 m from each end of each tube. The port sleeves shall be fabricated of the same geotextile as the tubes and shall have a “drawstring”

closure system to assure a secure closure after the completion of filling. Loops or straps shall be incorporated along the sides of the tube every 6.1 m to facilitate deployment and anchoring. The loops or straps shall have the same tensile strength as the tube geotextile. All seams shall be overlapped and folded. All seams shall be completed at the factory.

- Geotextile tube installation procedures

A variety of consideration must be addressed for geotextile tube installations. Most of these should be addressed in the project specifications. Since these tubes are made of geotextile, standard ASTM guidelines should be followed regarding storage and handling. The ASTM guidelines regarding fabrication of geotextiles should also be followed at the fabrication facility.

① Site preparation

Before the geotextile tubes and scour aprons are deployed on site, the area is usually prepared using common grading equipment. The location in which the geotextile tubes are to be placed is usually marked-off with grade stakes. Large stakes or anchors can also be used at predetermined spacing so that the geotextile tube can be fastened to them with straps to assure proper alignment during filling.

② Positioning of scour aprons

Deployment of both the scour apron and the geotextile tube is usually accomplished by unrolling them off a core (or pipe), supplied with the tube and apron by the manufacturer. The scour apron is deployed before the geotextile tube, however, in some cases the scour apron may be attached to the bottom of the geotextile tube at the fabrication facility. Once the scour apron has been fully deployed, positioned, and secured, the geotextile tube is unrolled. It should be unrolled into position with the injection and relief ports facing upwards along the top centerline. Once deployed, it can be secured to the previously installed alignment stakes or anchors.

③ Filling of the scour aprons

The anchor tubes located on the scour apron is usually filled first to provide ballast for the scour apron. The anchor tube is sometimes filled with the same dredging equipment that will be used to fill the geotextile tube; however, a smaller pump can also be used since the anchor tubes are usually fairly small (two-foot diameter or less). The anchor tube's pump nozzle is accessed either by a simple slit in the geotextile or by prefabricated inlet ports.

④ Preparation of the filling equipment

After the scour apron has been secured by filling the anchor tubes, the geotextile tube is position [그림 2.7.6]. After positioning the geotextile tubes, it is ready to be filled with slurry. This process will take much longer and is much more complex than simply filling the anchor tubes. The discharge pipe (or injection nozzle) of the dredge must be placed inside the appropriate injection port of the geo-

textile tube. The injection ports are fabricated of the same geotextile that make up the tube itself. The ports are usually 1.5 m long 457 mm in diameter, however, the dredge pipe should not be this large; typically an eight to 305 mm diameter dredge pipe is used. The pipe should be inserted approximately 2/3 of the way into the injection port and secured with tension strapping. The discharge nozzle and injection port and secured with tension strapping. The discharge nozzle and injection port [그림 2.7.11] connection should be elevated to a vertical position with a back hoe or by rigging.



그림 2.7.9 Laying of scour apron on top of tube foundation



그림 2.7.10 Tube placement and alignment

⑤ Filling ports

Most geotextile tubes will contain several injection ports throughout the length of the tube. The ports [그림 2.7.12] are usually located at the top centerline at a spacing of no more than 15 m. These ports are employed for filling and also for relief of excess water. A determination of the port spacing must

be made by the contractor and / or the engineer prior to the fabrication of the geotextile tube. Several factors will influence the appropriate spacing, such as overall size of the geotextile tube, size of the dredge pip, discharge volume of the dredge, type of fill material, and amount of water to be used as a vehicle for transporting the solids.



그림 2.7.11 Discharge nozzle and filling port assembly



그림 2.7.12 Filling port opening

⑥ Determining the location where to unload the filling material

Depending upon the spacing of the injection ports, the composition of the dredged material, and the capabilities of the dredge, some of the injection ports will not be used at all. For example, a 61 m long geotextile tube may contain five injection ports. If the conditions are ideal and the dredge is ca-

pable, it is likely that the entire 61 m long geotextile tube could be filled from one injection port located near one end of the tube. The injection port located the farthest away would be left open to allow the expulsion of excess water, acting as a relief port. All of the ports in between would be tied off and left unused. If conditions are not ideal for filling from one port, then the correct intervals in which to move the dredge pipe to continue filling the tube must be determined. Filling operations are performed sequentially by using one port for injection and one (or more) port(s) for relief. As the operation progresses, all ports in completed segments of the tube should be closed to prevent loss of materials from within the tube.

⑦ Initial tube filling

Prior to filling with any solid material, the tubes are filled to their desired height with water only. Once the desired height has been achieved, the dredge operator can introduce solids into the geotextile tube. By first filling the tube with water, the solid material is allowed to be distributed within the tube more evenly. Newly introduced solids and vehicle water will simply push out the existing water.

⑧ Tube filling sequence

Most projects contain multiple geotextile tubes that must be filled in a predetermined sequence. Each tube is usually filled completely prior to the installation of subsequent geotextile tubes. Subsequent tubes can then be placed against the existing tube and filled. This method of installation will create a low area between the tubes due to their rounded ends. If low spots are not desired, alternate connection methods can be employed. The most common installation practice to eliminate, or at least minimize, the amount of depression is by the use of an overlap. With this type of a connection each subsequent geotextile tube (and usually the scour apron) must be placed underneath the tail end of the previously deployed tube. The "underlapped" tube is not fully deployed at this time. Obviously, this overlapping procedure must be accomplished prior to filling either geotextile tube with water or solids. Once the connection has been made, the "first" geotextile tube is filled as previously described. Each subsequent tube is also filled in the same manner, however, the section of the tube that has been placed underneath will not be filled and a fairly tight (and "full height") connection should result.

⑨ Securing the filling ports after filling process

Upon completion of the installation, the injection ports must be secured properly to assure that they do not become torn during wave events. The correct procedure for securing the injection ports will be provide by the geotextile tube manufacturer. However, a commonly practiced method is to simply cut-off the injection port, while allowing enough excess fabric to roll (or fold down) flush to the top surface of the tube. The folded material is then fastened to the tube surface by the use of corrosion resistant lock rings or compression type fittings.



그림 2.7.13 Tube filling via hopper tank

⑩ Dewatering stage

Filled and closed geotextile tubes will continue to dewater and the solids will further consolidate for some time. The duration of the dewatering and consolidation period will vary depending upon the type of geotextile and fill material. Typically, coarse material will dewater much faster than fine material such as silty clay. This will result to an uneven shape of the tube, hence the tube is pumped with slurry once more (the number of refilling stages will depend on whether the desired tube height is achieved or not). Once the expected amount of dewatering has taken place, the geotextile tubes can be buried, back-filled, etc.



그림 2.7.14 Geotextile tube shape after dewatering

5. 유지관리 방법

5.1 개요

(1) Post construction

- Ultraviolet (UV) ray protection

The geotextiles tube shall be installed with approved protection of the upper half of the filled geotextile tube from UV degradation. The protection shall cover, as a minimum, the upper portion of the filled tube, corresponding to a 90-deg arc with apex located at the approximated center of the tube or any portion of the tube that is exposed to direct sunlight. Tubes covered by sediment or completely submerged do not need UV protection. UV protection may be accomplished using a protective shroud, composed of the specified material, and attached securely around its edges, in an approved manner. Other alternatives, which are documented to provide similar, 100 percent protection from UV during a period typical of the life span of the specified shroud may be proposed by the contractor, and shall be included in the construction plan. Alternative UV protection must be approved, in writing, prior to its use on this contract.

- Filled tube height to width ratio

The height to width ratio of the fully deployed tube shall not exceed a value of 0.5. The height to width ratio is an indicator of the stability of the tube in coastal and riverine applications. The design engineer should evaluate stability with respect to sliding, overturning, bearing, global stability, and overtopping of waves and associated wave forces.

- Final inspection and acceptance

The geotextile tube structure, located between stations xxx and yyy, shall be surveyed for acceptance no sooner than 6 months after completion of the geotextile tubes. Any subsidence of the top elevation of the geotextile tubes below the planned elevation shall be corrected by supplemental filling or replacement of the tubes that are below the specified elevation at no additional cost to the government. After the completion of final surveys for acceptance, the completed reach shall be examined for acceptance by the contracting officer. Use of any portion of the completed reach for construction activities will not be allowed without prior approval by the contracting officer. Any damage to the accepted reach caused by construction activity shall be repaired by the contractor at no additional cost to the government.

5.2 품질관리

(1) 재료의 특성

- 토목섬유 시험 항목 및 관련 기준

토목섬유 튜브의 공학적 특성을 파악하기 위해 실내시험은 인장강도, 인장신도, 정·동적 꿰뚫림

강도, 봉합강도, 무게, 두께, 섬유 유효구멍크기, 투수성, 내후성, 생화학적 영향 및 크리프시험 등과 같은 재료적 기본특성 시험이 있다.

[표. 2.7.2] 토목섬유 튜브의 공학적 특성 관련기준

시험항목	관련기준	
	KS K ISO	ASTM
▣ 물리적(Physical)		
성분(Composition)	KS K 0210-1	-
두께(Thickness)	KS K ISO 9863	-
무게(Mass per unit area)	KS K ISO 9864	D 5261
▣ 기계적(Mechanical)		
광폭 인장강도(Wide-width tensile strength)	KS K ISO 10319	D 4595
광폭 인장신도(Wide-width tensile elongatio)	KS K ISO 10319	D 4595
공장 봉합강도(Factory seams strength)	KS K ISO 10321	D 4884
정적꿰뚫림강도(Puncture strength)	KS K ISO 12236	D 4833
▣ 수리학적(Hydraulic)		
섬유 유효구멍크기(Apparent Opening Size)	KS K ISO 12956	D 4751
투수성(Water permeability)	KS K ISO 11058	D 4491
▣ 기타		
내후성(Weatherability), UV저항성	KS K 0746	D 4355
생화학적 영향(Chemical and biological degradation)	KS K ISO 12960	D 5322
시간경과영향(Creep)	KS K ISO 13431	D 5262

[표. 2.7.3] 온도 20℃에서 측정한 토목섬유의 물리•역학적 특성

재료		단위중량 ($tonf/m^3$)	인장강도 ($tonf/m^2$)	탄성계수 ($tonf/m^2$)	항복 변형율 (%)	Creep발생에 따른 허용 변형율 범위(%)		
						2년후	10년 후	100년 후
PET		1.38	800～1,200	12,000～18,000	8～15	70	65	50
PP		0.90	400～600	2,000～5,000	10～40	<20	0	0
PE	LDPE	0.92	80～250	200～1200	20～80	<20	0	0
	HDPE	0.95	350～600	600～6000	10～45	-	-	-
PA		1.14	700～900	3,000～4,000	15～30	60	55	40

∴ PET: Polyester, PP: Polypropylene, PE: Polyethylene, PA: Polyamide or nylon

(2) 재료의 시방기준

- 토목섬유 튜브의 재질특성 및 품질기준

토목섬유 튜브 공사 시 사용되는 재질의 특성 및 품질 기준은 아래표의 값과 같거나 이상이어야 한다.

[표. 2.7.4] 토목섬유 기계적 특성

항 목	시험방법	단위	D200~D300		D350이상	
광폭인장강도	KS K IOS 10319	kN/m	위사	120이상	위사	200이상
			경사	120이상	경사	200이상
광폭인장신도	KS K IOS 10319	%	위사	15이하	위사	15이하
			경사	15이하	경사	15이하
봉합강도	KS K IOS 10321	kN/m	85이상		160이상	
정적꿰뚫림강도	KS K IOS 12236	kN	11이상		16이상	
(콘낙하)천공	KS K IOS 13433	mm	10이하		8이하	

[표. 2.7.5] 토목섬유 수리학적 특성

항 목	시험방법	단위	D200~D300		D350이상	
섬유구멍크기 (습식)	KS K IOS 12956	mm	AOS-O90	0.30이하	AOS-O90	0.30이하
투수계수	KS K IOS 11058	cm/s	$a\times10^{-2}$이상		$a\times10^{-1}$이상	

[표. 2.7.6] 토목섬유 물리적 특성

항 목	시험방법	단위	D200～D300	D350이상
무 게	KS K IOS 9864	gf/m^2	550이상	850이상
재 질	KS K 0210	-	폴리프로필렌(PP)	폴리프로필렌(PP)
두 께	KS K IOS 9863	mm	1이상	2이상

(3) 시공순서

토목섬유 튜브 공법의 시공순서는 토목섬유 튜브 소요자재 및 인력, 중장비 확보 등 시공성을 확보하기 위해서는 사전에 충분히 조사하여 시행하는 것이 중요하다. 시공에 따른 순서는 [그림 2.7.15]와 같다.



그림 2.7.15 시험시공에 따른 시공순서도

5.3 시공 시 유의사항

현장 시험시공을 통하여 토목섬유 튜브 구조물의 시공 시 유의사항 및 개선사항에 대한 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 저면매트의 1회 포설길이는 100m이고, 저면매트의 이음은 2m이상의 겹이음이 필요하다. 저면매트 포설 후 부력에 의해 뜨지 않게 샌드백(10～20kg/개)으로 눌러준다.
2. 주입구의 규격은 직경 30～50cm, 길이 80～100cm가 되어야 하고, 주입관의 직경은 20～30cm로 하는 것이 일반적이다.
3. 준설토가 토목섬유 튜브 내에 균일하게 분포되고, 전체적으로 고르게 채워지기 위해 I형 주입구 간격은 5m 이내, 확산 역 T형은 10m 이상으로 한다.
4. 토목섬유 튜브의 좌우양측에 고정 부착되어 있는 고정 고리를 걸 수 있도록 토목섬유 튜브가 설치될 위치에 따라 일정간격으로 설치한다. 수중 토목섬유 튜브가 포설 후 부력에 의해 뜨지 않게 5m 간격으로 대형마대($0.7m^3$/개)으로 눌러준다. 토목섬유 튜브의 수중고정을 위해 대형마대 설치로 파랑 및 담수호 유속에 의한 선형변형을 방지한다. 육상경우도 이와 동일하다.
5. 육상 호퍼 주입 시 물과 교반되는 토사가 호퍼 배출구에서 막히지 않도록 충분히 분사하여 토사가 교반장치 내에 교반되도록 한다. 주입구 압력은 5psi($0.35kg/cm^2$)를 초과하지 않도록

압력계와 토출 조절변을 호스 끝에 달아서 토목섬유 튜브 내부로 주입되는 혼합물의 주입압력을 지속적으로 관찰하며 압력이 초과 될 때에는 다른 주입구를 열어서 주입 압력을 조절한다.

6. 펌프준설선에 의한 펌핑 진행 동안 준설토는 통상 물과 토사의 권장비율이 토사(10～15%)와 물(85～90%)로서 주입구에 펌핑한다.
7. 주입 중에 토사를 뺀 나머지 물의 배출은 배출구나 섬유의 유효구멍을 통해 빠져나간다. 토목섬유 튜브 표면에서 토사와 함께 주입된 물이 배수되어야 하므로 주입과정에서 표면의 섬유 조직틈 사이가 토사미립분에 의해 막히는 현상이 없도록 관리해야 한다.
8. 토목섬유 튜브의 이상적인 형상은 튜브 원통지름의 70～80% 정도이므로 채움작업은 80% 이상 넘지 않도록 한다. 이때 토목섬유 튜브의 높이는 직경의 약 반 정도가 된다. 튜브의 평면폭의 절반높이가 채워졌을 때 원하는 형태가 이루며 그 이상 높이 채우는 것도 가능하나 튜브 바닥의 마찰저항 감소로 안정성이 떨어지므로 충분한 접지폭을 확보하여야 한다.
9. 주입구에 주입관의 근입 깊이는 내부에 삽입 후 주입작업을 실시한다. 주입이 완료된 후 주입구는 주입된 토사가 유출되지 않도록 말거나 접어서 견고하게 묶어야 한다.
10. 토목섬유 튜브 주입 중 현지 기상여건 등으로 인하여 작업이 중단될 시 토목섬유 튜브 내부의 토사가 안정되어 토목섬유 튜브가 평평해지면서 재주입을 하더라도 단면높이를 증가시키기가 어려움이 예상된다. 따라서, 주입작업 중단을 가능하면 피해야 한다.
11. 일반적으로 토목섬유 튜브의 채움작업 시 I형 주입은 불균등한 튜브 구조체가 조성되고 크레이터가 발생하므로 역 T형 주입을 하여 방지하여야 하며 최종 채움완료 시에는 크레이터 부분을 재주입하거나 별도의 토출 밸브를 설치하여 유속을 저하시키면서 크레이터부분을 충진 한다. 정확시공을 위하여 호퍼에 의한 기계적인 방법 적용이 바람직하다.
12. 휠타사석과 토목섬유 튜브의 경계면에서 시공 중에 발생되는 시공파손이 되지 않도록 주의시공이 요구된다.
13. 우리나라 서해안에 많이 분포하고 있는 세립질 토사를 채움토사로 사용할 경우 토목섬유 튜브의 시공과정에서 거동분석과 시공 후 침강, 배수 및 압밀에 의한 거동분석을 실시하여 시공방법을 결정한다.

5.4 토목섬유 튜브 구조체 현장적용 시방규정 검토

(1) 범위

도급자는 설계도에 명시된 설치선(Line), 구배(Grades), 규격, 모양을 준수하여 시공해야 한다. 또한 토목섬유 튜브를 충진 전 고정하여 실제 시공선에 맞게 시공하여야 하며, 설치에 필요한 작업인부, 기능공, 자재, 장비 및 부자재들을 모두 제공하여야 한다.

(2) 일반사항

도급자는 인조 토목섬유를 직조하여 만든 원통형의 토목섬유 튜브가 손상되지 않도록 시공해야 할 장소에 펼쳐 놓고, 준설한 재료로 토목섬유 튜브를 채워 설계요구 높이, 넓이, 길이 및 모양이 되도록 하여 설치 완료하여야 한다.

- 품질보증

제조자의 자격 : 모든 제품은 정상적으로 제품생산 및 설계분야에 종사하여 온 제조자가 생산하는 표준화된 제품이어야 하며, 유사한 공정에서 해당 제조자의 생산제품, 성능이 입증되어야 한다.

- 제출서류

1. 세부예정공정 계획(인력, 자재, 장비수급계획 포함)
2. 자재공급원 및 시험성과
3. 품질/환경관리계획
4. 안전관리계획
5. 시공도면
   ① 시공완료에 필요한 설치방법과 재료장비에 관한 현장 시공계획도면을 제출하여야 한다.
   ② 제품자의 제품설명서와 토목섬유 튜브 및 부품에 사용한 재료의 특수사항을 제출하여야 한다.
   ③ 제조자가 현장 특수 시방기준에 부합되는 재료를 사용함을 증명하는 제조자 서명이 포함된 확인서를 제출하여야 한다.
6. 안정성 검토서

- 제품의 출하 및 보관과 취급

1. 토목섬유 튜브와 관련 구성품들은 손상이 가지 않게 포장 및 덮개를 사용하여 공사현장에 출하한다. 각 물품들은 쉽게 확인할 수 있도록 제품 표시를 쉽게 보일 수 있는 곳에 깨끗이 붙여야 한다.
2. 토목섬유 튜브를 취급하는 곳에서는 날카로운 갈고리나 집게 등의 공구를 사용해서는 안 되며 땅에 끌어서도 안 된다. 토목섬유 튜브는 제조자가 권장하는 설치현장에서 배치하여야 한다.
3. 토목섬유 튜브는 물이 고이거나 경사진 곳은 물론 토목섬유 튜브 원재료의 성능이나 기능에 영향을 줄 수 있는 조건에서 보호받을 수 있는 장소에 보관하여야 한다. 또한, 60°C의 고온에 노출되거나, 제조자가 권장하는 보관기간(현장의 보관 상태에 따라 다를 수 있음)을 초과해도 안된다.

- 충진물

1. 토목섬유 튜브를 채울 충진물은 시공도면에 지정된 준설구역에서 준설한 사질토나 모래들로 구성되어야 한다.
2. 토목섬유 튜브는 설계높이에 도달할 때까지 균일하게 충진하여야 하며, 과충진된 물이 적절히 배수될 수 있도록 하여야 한다.
3. 토목섬유 튜브는 제조자가 권하는 방법으로 제자리에 고정하여 충진되는 과정에서 이동하거나 구르지 않도록 하여야 한다.
4. 토목섬유 튜브가 요구된 높이로 채워지면 주입구는 제조자가 권하는 방법대로 토목섬유 튜브에 붙어 매어야 한다.

제3장 최종 연구성과 및 적용 방안

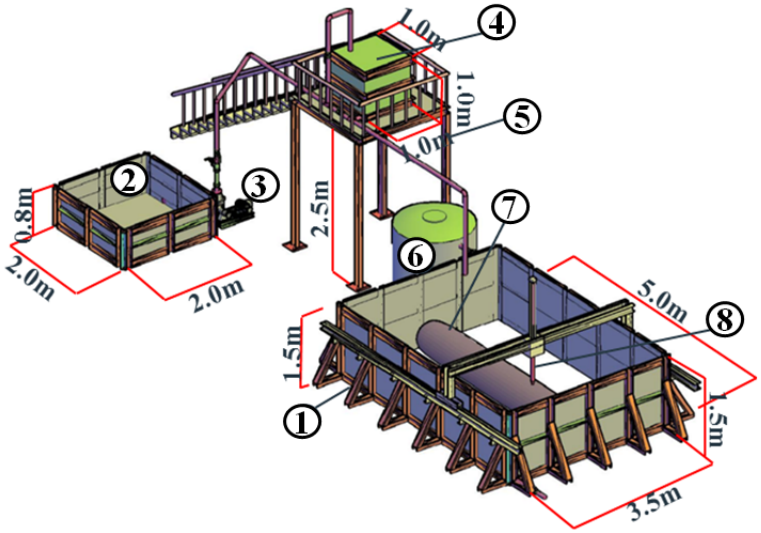
제1절 개별 연구성과명

1. 성과리스트

연번	핵심성과명	핵심성과 설명	성과유형	성과달성 책임	해당연차
1	토목섬유 튜브 구조체 시뮬레이터 시험장치	토목섬유 튜브 구조체에 미치는 영향인자 파악 시험장치	시제품	주관연구기관 연구책임자	’12.12 ～’13.11 (1년)
2	무선 네트워크 토폴로지	실시간 현장 데이터 전송기술	시제품	주관연구기관 연구책임자	’12.12 ～’13.11 (1년)
3	토목섬유 튜브 구조체 충진용 토사 교반장치	토목섬유 튜브 구조체 내의 토사 채움 작업을 원활하게 수행할 수 있는 교반장치	시제품	주관연구기관 연구책임자	’13.12 ～’14.11 (1년)
4	토목섬유 튜브 구조체의 채움재 충진을 위한 분지된 타입의 주입모듈	토목섬유 튜브 구조체 내의 채움재의 확산을 용이하게 함으로서 튜브 구조체의 손상을 최소화할 수 있는 주입모듈	시제품	주관연구기관 연구책임자	’13.12 ～’14.11 (1년)
5	토목섬유 튜브 구조체 설계프로그램 및 매뉴얼	토목섬유의 인장력 및 복합재료의 투수특성을 고려한 설계프로그램 및 프로그램 매뉴얼	소프트웨어 / 지침	주관연구기관 연구책임자	’14.12 ～’15.11 (1년)
6	토목섬유 튜브 공법 매뉴얼	국내 토목섬유 튜브 구조체 설계/시공/유지관리 매뉴얼	기준	주관연구기관 연구책임자	’14.12 ～’15.11 (1년)

2. 핵심성과별 세부 설명

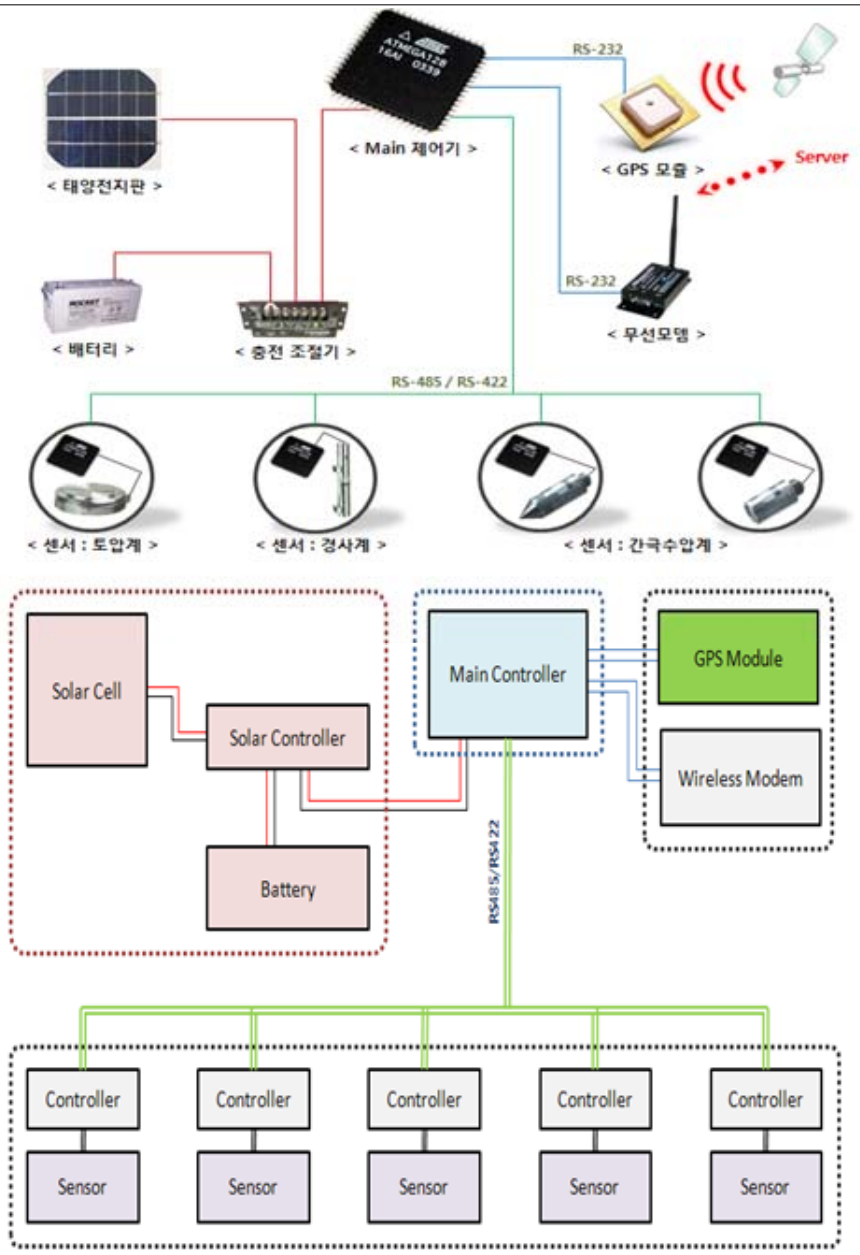
(1) 토목섬유 튜브 구조체 시뮬레이터 시험장치

관련 그림 / 사진	 ①토목섬유 튜브 거동 시험수조 ②준설토 배합토조 ③고압이송펌프 ④토사공급토조 ⑤타워 ⑥물탱크 ⑦토목섬유 튜브 ⑧콘관입시험 장치
정의(설명)	준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 시뮬레이터를 통해 준설토의 거동 특성 및 영향인자를 분석하기 위해 직접적인 준설이 가능한 시뮬레이터 시험장치
설정사유	기존 국내 토목섬유 튜브 구조체의 시공 및 연구는 시공사례를 중심으로 진행되어 토목섬유 튜브 구조체를 시공하기 위한 지침이나 제안방향이 시험을 통해 고려되지 않아 안정성 및 경제성에 대한 문제가 대두되어 이와 같은 시험장치 제작

<table>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">토목섬유 튜브 구조체의 영향인자 및 구체적인 시공안정성 검토를 위해 실내 시뮬레이터 시험장치를 이용하여 준설토의 주입형태에 따른 확산분포, 토목섬유 재질에 따른 거동분석 파악</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
기존 토목섬유 튜브 구조체 시공 방향은 국외 시방 기준에 의해 공사가 진행되었으며, 그러한 시방 기준은 국외 환경조건에 의해 제안된 사항으로 국내에서의 적용성에 대한 문제가 제기됨

(개발기술 수준 설정근거)
기존 현장시공 시 발생한 문제로 과도한 펌핑압에 의한 토목섬유 튜브 구조체의 주입구 부근에서의 파단과 설계방안 미흡으로 인한 기초구배 설정 오류 등 다양한 안정성에 대한 검토가 미미하여 실내에서 시험이 가능한 시뮬레이터 시험장치를 통해 설계기준을 제안함으로써 이와 같은 문제해결방안 제시</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성
책임자
(소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) : 김형주(군산대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’12.12. ～ ’13.11 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심
성과</td><td>양적
성과</td><td>차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>2</td><td>1</td><td></td><td>시제품 제작 1
국제 학술발표 3
국내 학술발표 9</td></tr>
<tr><td>질적
성과</td><td>차년도</td><td colspan="5">1. 토목섬유 튜브 거동 분석</td></tr>
<tr><td>달성
확인
방법</td><td>차년도</td><td colspan="5">1. 시뮬레이터 시험장치 제작여부
2. 실내 시험을 통한 토목섬유 튜브 구조체의 영향인자 파악여부</td></tr>
</table>

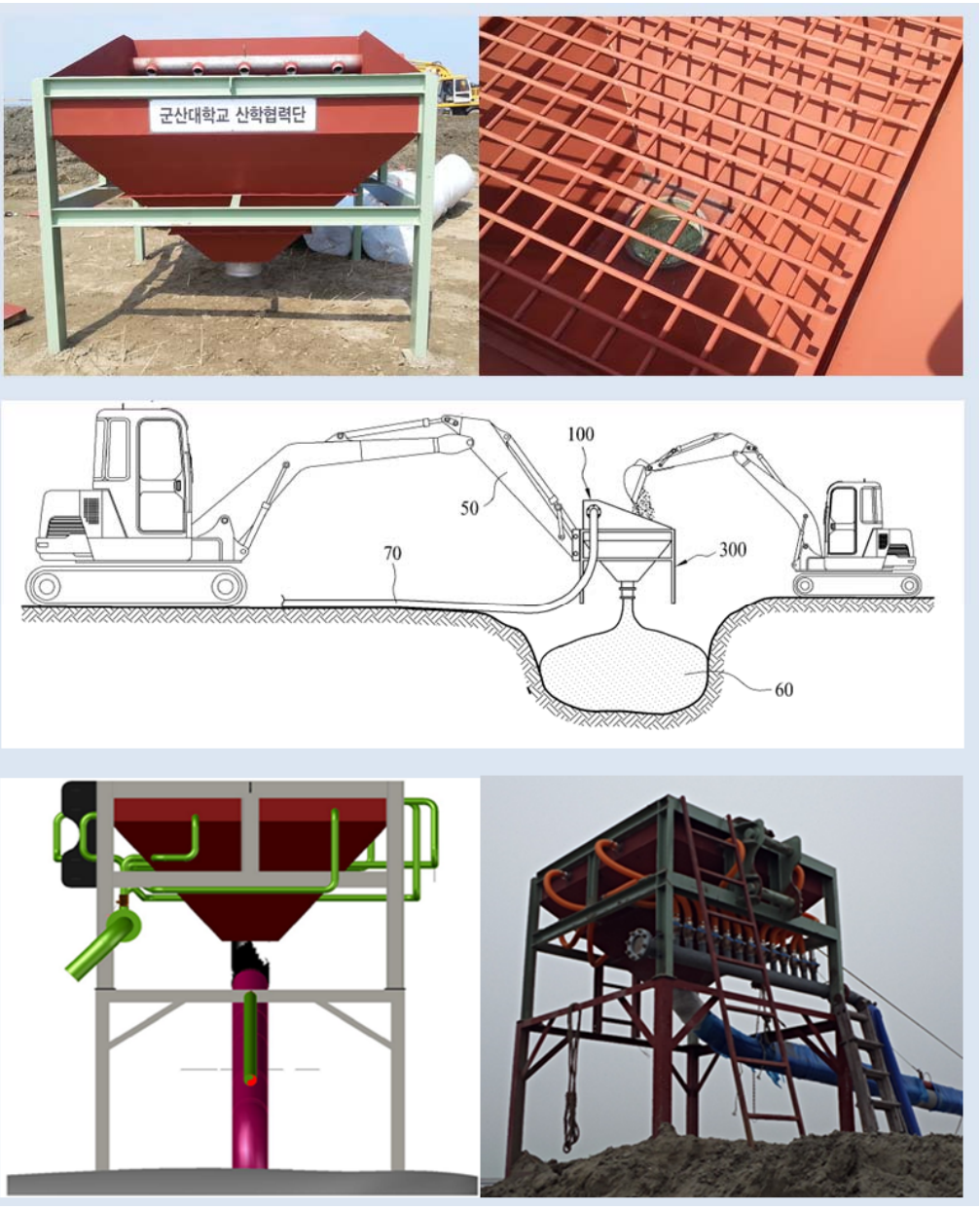
(2) 무선 네트워크 토폴로지

관련 그림 / 사진	
정의(설명)	무선 네트워크 포톨로지는 자동계측 시스템으로서 측정자가 계측지점에 접근하지 않아도 계측기에 부착된 자동계측시스템에 의해 계측된 데이터를 CDMA 데이터 통신을 이용하여 계측자 사무실에서 컴퓨터로 전송할 수 있는 시스템
설정사유	기존의 계측방식으로는 토목섬유 튜브 구조체 현장 시험과 관련하여 분석 및 검증에 부족한 데이터를 보완하고자 주기적인 계측이 가능한 무선 네트워크 포톨로지 자동계측 시스템을 설치하여 데이터 계측을 수행

<table>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">무선 네트워크 포톨로지 자동계측 시스템을 현장시험에 활용하여 토목섬유 튜브 구조체의 형상 및 거동을 주기적으로 계측하여 이를 바탕으로 데이터를 분석 및 설계 프로그램과의 검증을 통하여 토목섬유 튜브 구조체의 형상 및 거동 특성을 파악하고자함</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
기존의 자동 계측시스템은 부산 신항만, 광양항 축조공사, 서해안 고속도로 성토 및 교량 구조물과 평택항 개발 등 국내의 대규모 공사에서만 활용되었던 반면 연구 개발에서는 흔히 사용되지 않음

(개발기술 수준 설정근거)
산업용 모뎀으로 받아들인 현장 계측 정보는 DBMS를 통해 Data Base에 저장되며 이러한 작업은 현장 무선 계측 단말기와 서버 단말기의 송수신 주기에 맞추어 실시간으로 진행되며, 현장 상태 및 계측데이터의 모니터링이 가능하다. 향후 인터넷에 연결된 원격 클라이언트에서 현재 계측 상태의 모니터링을 요구할 시 웹서버 시스템을 이용하여 Active-X 및 ASP 기능으로 원격 클라이언트에 해당되는 자료 전송 가능</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성
책임자
(소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) : 김형주(군산대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’12.12. ～ ’13.11 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심
성과</td><td rowspan="2">양적
성과</td><td rowspan="2">차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>시제품 제작 1
국내 학술발표 1</td></tr>
<tr><td>질적
성과</td><td>차년도</td><td colspan="5">1. 실시간 현장 데이터 전송기술 향상</td></tr>
<tr><td>달성
확인
방법</td><td>차년도</td><td colspan="5">1. 실시간 현장 데이터 전송기술 개발여부
2. 현장 모니터링을 통한 데이터 검증여부</td></tr>
</table>

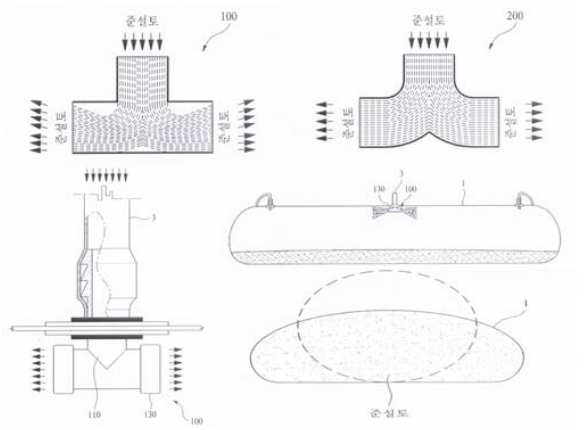
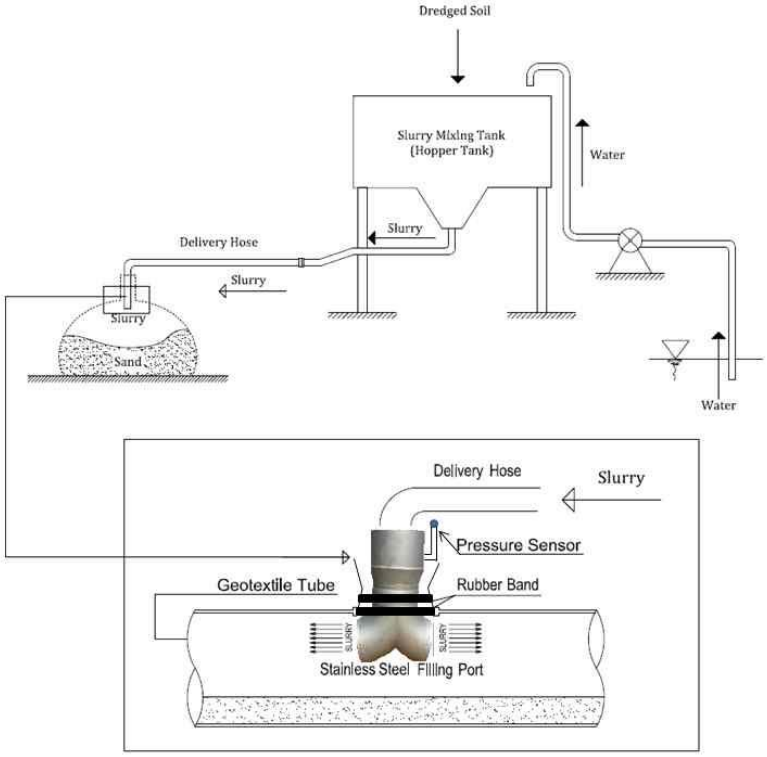
(3) 토목섬유 튜브 구조체 충진용 토사 교반장치

관련 그림 / 사진	
정의(설명)	상부가 개구되며 하측으로 갈수록 수렴되는 형태로 이루어지며 하부에 관통된 형태로 배출부가 구비된 교반 본체부가 있는 토목섬유 튜브 구조체 채움용 토사 교반장치
설정사유	튜브 내에 토사의 채움 방식은 준설펌프식과 호퍼식으로 구분되며 준설펌프식은 시공 비용이 상당하며, 또한 대다수의 주요 작업이 모두 해상에서 이루어지게 되어 많은 숙련공이 필요하게 되므로 육상 작업 시에는 애로사항이 많음

<table>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">기존의 준설 펌프식을 대체하여 비용을 줄임과 동시에 지형에 관계없이 빠른 작업 속도가 가능하면서도 안정적인 설치형태를 유지할 수 있는 기술이 요구되어 토목섬유 튜브 구조체 충진용 토사 교반장치 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
준설 펌프식 토사 채움 방식은 주로 해안공사에만 사용되며 준설토를 펌핑할 수 있을 정도의 준설선을 사용하는 경우 비용이 상당하며 근로자의 숙련도에 따라 시공성이 좌우되므로 안정적이지 않음

(개발기술 수준 설정근거)
1. 토목섬유 튜브 구조체 채움용 토사 교반장치의 채움 작업이 해안의 외측 지형에서 가능하게 되어, 채움을 위한 설비의 운영이 편리하며 작업자의 작업환경을 유리하게 할 수 있게 되며 이로 인하여 작업에 소요되는 비용을 획기적으로 절감
2. 교반본체부의 내측에 망부 및 철판부를 구비하여 한 번에 많은 토사 또는 크기가 크게 뭉친 토사뭉치가 몰리어 배출부가 막히는 것을 방지
3. 교반본체부 내측에 다수 위치에서 물이 주입되도록 함으로써 토사가 뭉치는 것을 방지함과 동시에 토사와 물의 교반작용이 원활하게 이루어짐
4. 다양한 받침부를 구비하여 상황에 따라서 적합한 받침부를 적용함으로써 현장 상황에 최적의 작업이 가능한 효과기대</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성
책임자
(소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) : 김형주(군산대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’13.12. ～ ’14.11 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심
성과</td><td rowspan="2">양적
성과</td><td rowspan="2">차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>국내 1</td><td></td><td></td><td></td><td>시제품 제작 1</td></tr>
<tr><td>질적
성과</td><td>차년도</td><td colspan="5">1. 토사 충진용 교반장치 기술 향상</td></tr>
<tr><td>달성
확인
방법</td><td>차년도</td><td colspan="5">1. 토사 충진용 교반장치 개발여부
2. 현장 시험 교반장치 성능평가
3. 현장 시험을 통한 기술수준 향상도</td></tr>
</table>

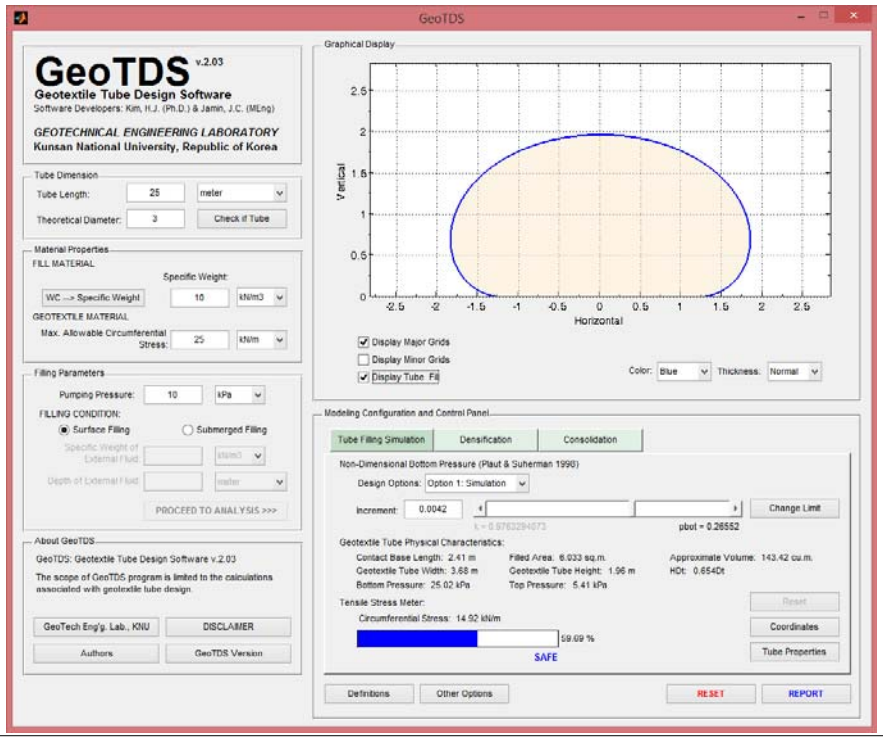
(4) 토목섬유 튜브 구조체의 채움재 충진을 위한 분지된 타입의 주입모듈

관련 그림 / 사진	 
정의(설명)	준설토의 주입을 위한 메인호스가 연결되며 하부가 토목섬유 튜브 내측에 삽입되는 메인 몸체부와 준설토를 수평방향으로 배출되도록 몸체부 양측으로 배출부가 포함되는 것을 특징으로 한 토목섬유 튜브 구조체의 준설토 충진을 위한 주입포트
설정사유	펌프압력은 토목섬유 튜브의 최적 퇴적고를 형성하기 위해 중요한 설계요소이며, 과도한 펌프압력 작용 시 토목섬유의 파단 또는 파손시키는 요인이 되므로 새로운 주입 방법이 필요

<table>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">토목섬유 튜브 구조체 내에 채움재의 과도한 충진 시 토목섬유 튜브 구조체의 파손 및 파단 방지와 튜브체 내에 주입부를 중심으로 양측 일부 구간에서 막힘 현상을 방지함으로써 주입효율을 향상시키는 시공성 및 경제성 개선</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">과제 해결수단
(기존기술 수준)
기존 I-type의 주입모듈로 충진 시에 채움재는 토목섬유 튜브 구체의 수직 방향으로 주입되며 이로 인해 주입구 하단의 퇴적토사가 침식되어 분화구(Crater) 모양으로 파이는 현상을 방지하고 상대적으로 축방향의 힘보다 원주방향의 힘을 크게 증가시켜 토목섬유 튜브 구조체에 과도한 인장력을 발생시켜 튜브 구조체가 파단됨

(개발기술 수준 설정근거)
채움재 충진을 위한 역 T-type의 주입모듈은 토목섬유 튜브 구조체의 길이방향인 축방향으로 주입하여 주입 효율을 증대시킬 수 있으며, 튜브 구조체 내측에서 분화구 현상을 방지할 수 있음과 동시에 채움재의 확산거리를 증가시켜 주입구간의 간격을 최대화 할 수 있다. 또한, 원활한 주입으로 인해 시공성 및 경제성을 향상시킴</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성
책임자
(소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) : 김형주(군산대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’13.12. ～ ’14.11 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심
성과</td><td rowspan="2">양적
성과</td><td rowspan="2">차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>국제 1
해외 1</td><td></td><td>국내 1</td><td></td><td>시제품 제작 1
국제학술지 2</td></tr>
<tr><td>질적
성과</td><td>차년도</td><td colspan="5">1. 토목섬유 튜브 구체의 채움재의 주입 기술 향상</td></tr>
<tr><td>달성
확인
방법</td><td>차년도</td><td colspan="5">1. 채움재의 주입모듈 개발 여부
2. 현장 시험을 통한 주입모듈 성능 평가
3. 개발된 주입모듈 특허 출원 여부</td></tr>
</table>

(5) 토목섬유 튜브 구조체 설계프로그램 및 프로그램 매뉴얼

관련 그림 / 사진	GeoTDS Geotextile Tube Design Software Version 2 User's Manual 
정의(설명)	토목섬유 튜브 구조체의 설계프로그램은 준설토, 주입속도, 튜브섬유 인장력 및 토목섬유와 준설토의 복합재료의 투수특성을 고려하여 토목섬유 튜브 구조체의 충진-배수-압밀 거동을 설계 시에 적용할 수 있는 GUI(Graper User Interface)기반의 범용 설계프로그램 및 프로그램 매뉴얼
설정사유	본 연구의 1, 2, 3차년도 연구개발성과를 집약하여 토목섬유 튜브 구조체를 설계할 수 있는 검증된 범용 설계프로그램 개발, 또한, 1, 2, 3차년도 연구에서 확보된 일련의 실내시험과 현장시험데이터를 비교 검증함으로써 연구의 우수성을 확보하여 국내 토목·건설 분야 소프트웨어 산업의 활성화를 도모

<table>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">1, 2, 3차년도 실내시험 및 현장시험데이터가 충분히 반영된 실용화된 범용 설계 프로그램으로써 국내 토목엔지니어링 산업의 국제적인 비교우위 확보와 수입대체 효과 및 국내 토목기업 해외 경쟁력 확보</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
국외수입에 의존하여 활용하고 있는 토목섬유 튜브 구조체의 설계프로그램 GeoCoPS는 토목섬유 튜브 구조체에 슬러리를 주입하는 설계 프로그램으로 본 소프트웨어는 Adama Engineering의 Dov Leshchinsky와 Ora Leshchinsky가 개발하였다. GeoCoPS는 토목섬유 튜브 구조체에서 발생하는 배수(Dewatering)와 압밀(Consolidation)과정을 충분히 반영하지 못하며 현장 시험데이터 등과 비교검증이 이루어지지 않아 튜브 구조체의 형상화 과정을 정확하게 파악하지 못함

(개발기술 수준 설정근거)
외국에서 수입하여 활용하고 있는 토목섬유를 활용한 튜브 구조체의 해석프로그램(GeoCoPS)은 튜브 구조체에 일시적으로 주입하는 경우만을 가정하고 있으며, 튜브 구조체의 형상변화도 연직방향으로만 고려하고 있어 2차원적인 횡방향 변형의 정확도가 저하되고 있다. 따라서, 장기간 배수에 의한 거동해석이 불가능하여 유지관리 차원에서도 튜브 구조체의 형상변화를 적절하게 반영하지 못한다. 이에 따라, 개발되는 본 프로그램은 설계 및 시공과 유지관리 차원에서도 활용하여 튜브 구조체의 형상화를 반영하는 수준까지 개발할 필요성이 요구되며 실무자가 용이하게 사용하도록 GUI(Graph User Interface)기능과 사용 매뉴얼도 영문으로 작성되어 국외판매를 중심으로 추진함</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성
책임자
(소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) : 김형주(군산대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’14.12. ~ ’15.11 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심
성과</td><td rowspan="2">양적
성과</td><td rowspan="2">차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>국외 1</td><td>국내 1</td><td>등록 1</td><td>국제학술발표 1
국내학술발표 3</td></tr>
<tr><td>질적
성과</td><td>차년도</td><td colspan="5">1. 개발프로그램이 수행된 실내 시험결과와 현장 시험결과치를 적절하게 개별모듈을 반영한 알고리즘과 성능시험을 체계적으로 반영하여 개발하고 있는지에 대한 단계별 프로세스 구축</td></tr>
<tr><td>달성
확인
방법</td><td>차년도</td><td colspan="5">1. 프로그램 개발 시 현장문제 인식과 선행조사 알고리즘 구성과 관련이론, 사용성 등이 SCI 논문 등에 반영 여부
2. 개발 프로그램이 소프트웨어로 공인기관 등록</td></tr>
</table>

토목섬유 튜브 설계 프로그램(GeoTDS) 기초 설계 과정

프로그램 알고리즘

- 토목섬유 튜브 설계 프로그램 (GeoTDS)는 MATLAB® GUI(Graphical User Interface)를 기반으로 본 연구에서 개발된 컴퓨터 프로그램이다. 토목섬유 튜브 모델 시뮬레이션을 위하여 Plaut, Suherman (1998)의 이론을 이용하였다.

- 토압계수 K와 정지토압계수 K_0는 “k-parameter generator"라는 컴퓨터 프로그램을 기반으로 미리 산정되어진다. 이는 GeoTDS 프로그램의 계산 시간을 줄이기 위함이며 “k-parameter generator"의 컴퓨터 코드는 아래와 같다.

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                GeoTDS: Geotextile Tube Design Software                  %
%                    "k-Parameter Generator"                              %
%                 GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY                     %
%   Dept. of Civil and Environmental Eng'g., Kunsan National University   %
%     558 Daehangno, 573-701 Gunsan City, Jeollabuk-do, Rep. of Korea     %
%              Software Developers: Kim, H.J. & Jamin, J.C.               %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clc;
format long
pbot = 0:0.00001:11;
row = 1; col = size(pbot, 2);
k = zeros(1, col); k0 = zeros(1, col);
THETAi = zeros(1, col);
for a = 1:col
    THETA = linspace(0,180, 3599);
    [K,E] = ellipke(sind(THETA).^2);
    j = 2.*pbot(1,a).*(K-E);
    i = find(j>0.99999 & j<1.09999,10);
    ival = any(i);
    if ival == 0
        THETAi (1, a) = 89.95666;
        k(1, a) = sind(THETAi(1,a));
        k0(1, a) = sqrt(k(1, a)^2/(1-k(1, a)^2));
    else
        m = min(j(i)); location = find(j==m);
        THETAi(1, a) = THETA(1,location:location);
        k(1, a) = sind(THETAi(1,a));
        k0(1, a) = sqrt(k(1, a)^2/(1-k(1, a)^2));
    end
    disp(pbot(1,a));
end
ptop = pbot.*sqrt(1-(k.^2));
% Print Data
k_pbot = [pbot; ptop; k; k0; THETAi];
fileID = fopen('txtGeoTDS_kParam.txt','w');
fprintf(fileID,'%3.5f %3.5f %1.5f %1.5f %3.5f \r\n',k_pbot);
fclose(fileID);
```

그림 3.1.1 “k-parameter generator"의 컴퓨터 코드

- GeoTDS 프로그램은 다음과 같은 특정 기능 수행 및 이론에 기초하여 개발하고 있다.

가. 지표면 및 수중 상태에서의 토목섬유 튜브 충진 시뮬레이션의 2차원 분석
(기존의 GeoCoPS는 1차원 분석)

나. 구조적 분석법을 사용한 토목섬유의 변형 효과 관련 상호보완적인 토목섬유 튜브 시뮬레이션

다. 토목섬유 튜브의 부분적 잠제 시 토목섬유 튜브의 안정성 분석

라. 토목섬유 튜브의 압밀 최종 형태 분석(비 시간 종속 압밀만 해석하는 기존의 GeoCoPS에 비하여 비 시간 종속 압밀 및 시간 종속 압밀까지 해석하여 보다 현실적인 토목섬유 튜브의 형상화를 제시)

마. 시간에 따른 압밀 분석은 Mikasa(1995)의 1차 압밀 이론에 기초함

(6) 토목섬유 튜브 공법 설계/시공/유지관리 매뉴얼

관련 그림 / 사진	
정의(설명)	연약지반이 분포된 해안지역에 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체를 이용하여 도로성토사면조성 및 준설매립 호안(매립용 가호안) 구축과 하천제방사면, 방파제와 연약지반 표층을 개량 등을 수행하는데 필요한 설계/시공/유지관리 매뉴얼
설정사유	해안지역에서 도로 및 호안(가호안), 방파제 등을 조성하는데 필요한 재료로써 석산에서 개발된 사석을 활용하고 있으나, 환경문제와 지역주민과의 마찰, 내륙에서 해안지역까지 골재를 운반 시 장거리 운반에 따른 수송비 증가 등으로 인하여 SOC 산업의 고비용 저효율에 의한 환경문제 대두되고 있음. 따라서, 토목섬유 튜브 구조체를 활용한 저비용 고효율의 SOC구축과 국내 토목섬유 산업 활성화와 국내건설사의 국제경쟁력을 확보하도록 하고자 아직 구비되지 않고 있는 토목섬유 튜브 구조체의 설계/시공/유지관리 등의 관련 매뉴얼을 조기에 구비할 필요가 있음

<table>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체 기술의 개발에 따른 관련 법규 및 설계/시공/유지관리 매뉴얼을 구축하여 건설기술의 향상과 국제적인 경쟁력 확보를 위함</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
토목섬유 튜브 구조체를 활용한 기술은 국외기술에 의해 2004년 인천대교 공사용 도로사면을 구축한 이래 국내에서 다양하게 시공이 이루어지고 있으나, 기존 기술에 대한 성능 및 신뢰성, 현장적용 기준 등이 부재하고 매뉴얼화 되어있지 않음

(개발기술 수준 설정근거)
국외 시공기술에 의존한 토목섬유 튜브 구조체를 활용한 설계/시공기술은 전적으로 국외기술과 국외재료수입에 의존하여 시공되고 있어 설계/시공/유지관리 기술에 대한 현장문제 인식을 제고하여 개발된 기술에 대하여 성능, 현장시험을 통한 신뢰성을 확보하고 국내 관련규정과 연계시켜 매뉴얼화 함</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성
책임자
(소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) : 김형주(군산대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’14.12. ~ ’15.11 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심
성과</td><td>양적
성과</td><td>차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>국외 1</td><td>국외 1</td><td>국내 1</td><td></td><td>국제학술발표 1
국내학술발표 2</td></tr>
<tr><td>질적
성과</td><td>차년도</td><td colspan="5">1. 국외 설계/시공/유지관리 분석결과를 고찰하고 실내시험 및 현장 시험 결과를 토대로 한 설계/시공/유지관리 매뉴얼 반영 여부</td></tr>
<tr><td>달성
확인
방법</td><td>차년도</td><td colspan="5">1. 성과 프로그램을 이용하여 분석한 결과가 양적성과로 SCI 논문 및 특허에 반영되었는지 여부
2. 설계/시공/유지관리기술이 국내·외 관련 학회에 홍보 및 구두로 발표되었는지 여부
3. 설계/시공/유지관리 기술이 관련기관과 협의보고서 및 관련 규정과 연계 여부</td></tr>
</table>

3. 기술개발 성과의 국내·외 시장 전망

(1) 해외건설업체 진출 현황

토목섬유 튜브를 이용한 인프라구조물 시설을 위해 유럽계 회사가 상당히 진출해 있다. 외국기업에 비해 국내시공업체는 아직 충분한 설계기술 및 노하우가 확립되지 않은 상태이다.

[표. 3.1.1] Asia regional sales and technical support (http://www.tencate.com)

Country	Telephone	Fax
Malaysia	+60 3 5192 8568	+60 3 5192 8575
China (Zhuhai)	+86 756 886 1616	+86 756 886 1610
China (Beijing)	+86 10 6568 6628	+86 10 6568 6629
Hong Kong	+852 2280 4628	+852 2169 0230
India (Hyderabad)	+91 40 2770 1271 / 1273	+91 40 2770 1276
India (Noida)	+91 120 426 4088	+91 120 426 4089
Indonesia	+62 21 782 8963	+62 21 782 8664
Philippines	+632 633 8458	+632 637 3603
Singapore	+65 6266 0188	+65 6266 0182
Thailand	+662 692 6680	+662 692 6679

(2) 주요국가의 시장규모

세계 환경시장의 규모는 584억불이며, 미국이 227.4억불로 가장 큰 규모의 시장을 형성하고 있다. 미국, 서유럽, 일본 등의 선진국 환경 시장의 성장률은 평균 연 2.5%이며, 아시아와 더불어 중동 등의 국가들은 약 8%로 급증하고 있다.

세계 환경시장의 구성에서 준설이 포함된 오염정화 및 복원에 해당하는 Consulting & Engineering 시장은 전체 환경시장의 6%를 차지하고 있으며, 매년 연 4%의 성장을 하고 있다. 미국 Consulting & Engineering 시장은 1980년대 이후로 급격히 증가하였으며, 1999년부터 2003년까지 매년 8.0～8.4%의 성장을 나타냈다.

시장규모의 경우는 2001년 183.7억불(22조원)에서 2003년 194.6억불(24조원)로 증가하였으며, 준설이 포함된 유역관리시장인 Natural Resource 분야는 2001년 9.8억불에서 2003년 11.1억불로 증가하였다. 미국의 생태 친화적 유역관리 분야는 2005년 이후로 향후 10년 동안 총 1000억불의 시장으로 확대되어 환경시장의 새로운 블루 오션으로 전망되고 있다(Environmental Business Internation, EBI 보고서).

[표. 3.1.2] 지역별 친환경 매립 생태 환경시장 규모(2000-2003)

Region	2000	2001	2002	2003	Est Ann Gr 2006-2010
USA	210.5	215.2	221.4	227.4	2.4%
Western Europe	157.8	160.8	165.0	169.3	2.7%
Japan	93.7	93.3	92.4	93.5	2.6%
Rest of Asia	24.0	25.6	27.1	29.5	6.0%
Mexico	3.57	3.61	3.79	4.0	5.0%
Rest of Latin America	9.0	9.2	9.7	10.3	6.0%
Canada	15.0	15.2	15.7	16.2	2.0%
Austrailia / NZ	8.4	8.6	8.8	9.1	3.0%
Central & Eastern Europe	9.6	10.2	11.2	12.3	8.0%
Middle East	6.8	7.0	7.4	7.7	8.0%
Africa	3.4	3.6	3.8	4.1	12.0%
Total	542	552	566	584	3%

※ Source : Environmental Business Interational Inc (San Diego, Calif).

(3) 세계 시장을 선도하는 주요업체

- 기술력 (기술수준은 부분적으로 선진국에 비해 열위)

① 미국계 TENCATE(사)의 동남아 및 한국시장 점유

② 플랜트의 경우 엔지니어링(E) 중 상세설계와 시공/관리(C) 분야는 선진국과 대등하나, 엔지니어링의 원천기술 및 기본설계 분야와 기자재 분야는 선진국의 60% 내외 수준

③ 원천 기술의 경우 선진국의 주요 업체들이 이미 입증된 기술을 보유하고 있어 국내 업체들의 진입이 어려움

④ 핵심기자재도 국내 업체의 기술 부족, 해외 벤더 등록 미흡 등으로 소요량 대부분을 해외 조달에 의존

⑤ 토목과 건축의 경우에도 상세설계와 시공/관리 능력은 미국, 유럽, 일본 등 선진업체와 대등한 수준

⑥ 특히 다수의 해외공사 수행 경험을 바탕으로 프로젝트 관리능력이 우수하여 공기단축 등을 통한 발주처의 신뢰 확보가 가능

- 중국 및 한국 업체들의 부각

① 2009년 세계 25대 해외건설 업체 중 구미지역에 위치하지 않은 기업은 중국 3, 호주 2, 브라질 1, 한국 1 등 7개 기업

② 우리나라의 현대건설과 중국의 China Railway Construction(사)는 지난해 세계 50위권에서 신규로 25대 해외 건설업체에 진입

- 해외시장 예측 및 발전방향 (글로벌 준설매립 산업 현황(IADC 2009년도 연례보고서))

① 2000년대 들어 준설·매립 관련 산업 시장 규모는 그 이전에 비하여 급격하게 성장하였다.

② 2008년의 전 세계 준설·매립 시장은 100억 유로(약 15조)로써 2000년도 40억 유로(약 6조)에 비하여 약 2.5배의 신장을 이루었다.

- 무역 활성화로 인하여 항만 유지관리 및 인프라 구축 분야 약 150% 성장
- 연안 도시 개발 및 해안 보호에 대한 관심 증가로 각 분야별로 48% 및 93% 성장
- 해안 자원 개발 및 수송 분야 약 340% 성장
- 관광 자원 개발(인공섬·크루즈 터미널, 테마파크 등)을 위하여 6.3억 유로로 성장

③ 지역별로는 2008년 기준 중동-유럽-중국 순으로 3대 시장을 형성하고 있다.

- 중동 : UAE와 카타르를 중심으로 한 인공tja 개발
- 유럽 : 무역물동량 증대를 위한 항만 유지관리 및 항로 준설
- 중국 : 관공주도의 대형 하천(황하강/양쯔강 등) 유역 준설 및 연안 준설

④ 국가별 준설·매립 시공 능력 순위는 네덜란드, 벨기에, 미국, 중국의 순으로 나타난다.

- 네덜란드, 벨기에가 대부분의 점유
- 중국의 경우 국영 CHEC를 중심으로 점유율을 증가 시키고 있음
- 국내의 경우 현대건설이 친환경적인 시공 공법인 TSHD (Trailing Suction Hopper Dredger) 분야 세계 7위권의 준설 능력을 보유한 것으로 나타남

Owners Backhoe, Grab and Dipper Dredgers		
1	Royal Boskalis Westminster (Netherlands)	11%
2	Great Lakes Dredge & Dock (USA)	6%
3	CHEC (China)	5%
4	Jan de Nul NV (Belgium)	4%
4	DEME NV (Belgium)	4%
4	Van Oord NV (Netherlands)	4%
7	GIE Dragages - Ports	3%
7	Weeks Marine Inc (USA)	3%
9	Inai Kiara (Malaysia)	2%
9	UDL Marine Assets	2%
% of global capacity - top 10		44%

그림 3.1.2 준설 기술별 시공 능력 순위

⑤ 중국은 자국내 황하강, 양쯔강, 광동성, 동부해안 등의 개발로 인한 연간 2억m3 이상의 준설공사 물량을 소화하기 위해 최근 대형 점보급 준설선을 수입 또는 자체 제작하고 있다. 중국 난징 호하이 대학은 델프트 공대와 연구 협약하여 준설 시험실을 설치하였고, 주요 준설회사들은 중국 준설 협회(China Dredging Association)를 조직하여 국제 준설 세미나를 개최하는 등 활발한 국제 기술 교류를 통해 저임금의 풍부한 노동력과 기술 개발을 조화시킴으로써 우리나라에게는 가장 강력한 위협이 되고 있다.

⑥ 유럽 주요 경쟁사의 준설선 건조 동향을 분석해 보면, 세계 준설시장은 친환경, 첨단화, 대형화, 대심도 추세이며, 원천 기술력을 보유한 유럽 등은 기술이전을 적극적으로 회피하고

있으므로, 준설선의 효율적인 운영 및 친환경 고효율 매립기술 뿐만 아니라,소형 준설선 설계 및 건조관련 기술개발이 시급하다.

⑦ 준설 부유 물질의 양을 최소화 하여 흡입 농도를 임의로 조절하기 위해서는 현장 작업 조건, 준설토의 특성, 헤드의 성능을 조합 하여야 하므로 매우 복잡한 기술에 대한 이해가 필요하다.

⑧ 국내에서는 준설에 대한 연구가 현재까지 학제간 전문 연구진이 구성되지 못하여, 토목공학과, 기계, 조선, 제어 등 여러 학문의 사각지대로 남아있다. 따라서, 준설 현장 기술자들은 경험에 의존하여 운영할 수밖에 없는 실정이다. 최근에 장비의 대형화, 첨단화가 진행되면서 과거의 경험지식 만으로는 국제 경쟁력이 약화되어 심각한 위기에 처해있는 현장기술 분야이다. 우리나라에서도 실기하지 않도록 체계적인 연구를 시급히 착수한다면 과거의 풍부한 시공 경험을 바탕으로 충분히 경쟁국과 대등한 수준의 기술 개발이 가능 하다고 판단된다.

⑨ 환경오염 저감을 위한 규제로 인하여 저오염 준설 장비의 활용이 지속적으로 증가 추세를 나타내고 있다(Trailing Suction Hopper Dredger. TSHD / Cutter Suction Dredger. CSD 등).

⑩ 일자리 창출과 새로운 성장 동력에 대한 모델을 해양 개발을 통해 실현하고자 하는 정책의 일환으로 전 세계적으로 대규모 매립형 해안 개발 계획이 활발히 논의 중이며 대표적으로 계획 중인 나라로는 영국(Watford 인근 대서양, 320억 유로), 네덜란드(튤립섬, 13조원), 러시아(Federation Island, 62억 달러), 중국(Double Fish Island, 10억 위안)등을 들 수 있음. 국내의 경우, 부산항 북항 재개발 마스터플랜(안), 한강 르네상스 사업, 영일만 항 내 인공섬 해상도시(고현 워터프런트 시티) 사업을 통해 각각 친수·친환경의 인공섬 복합 문화 공간을 띄워 조성할 계획을 갖고 있다.

⑪ 중국의 경우, 마카오-홍콩-중국본토를 잇는 50km에 달하는 초장대 교량 건설에 중간 지점으로 총면적 216 헥타아르에 달하는 2개의 인공 섬 구축을 계획하고 있다. 또한, 중국 하이난 지역에서는 7성급 호텔을 포함하는 초호화 레져·관광 타운 구축을 위하여 6헥타아르 규모의 인공섬 구축을 계획하고 있다(2012년 공사 수행 예정).

(이상『산업이슈』중「해외건설시장현황 및 예측 보고서」에서 인용 정리)

- 개발된 기술의 해외 진출방향

국내기업은 가격경쟁력을 바탕으로 중동지역에서 호조를 지속하고 있으나, 설계기술의 부족과 경쟁심화로 수익성 악화가 예상되고 있다. 우리 기업의 엔지니어링과 기자재 분야의 기술력 부족 및 특허충돌로 인하여 해외 진출의 어려움이 예상되는 상황이다.

현재 중동과 아시아 건설시장에서 국내 토목섬유 튜브에 대한 설계 및 시공기술이 정립되지 않은 상태에서 시공과 설계를 국외기술에 의해 의존하고 있어 국내 기술을 가지고 중동 및 아시아 시장에서 적극적으로 진출과 시공에 대한 기술력을 확보하도록 해야 한다. 본 토목섬유 튜브의 설계 및 시공기술은 원천적으로 TENCATE(사)가 최초로 골재가 부족한 중동의 바레인의 복합리조트 인공섬 건설에서 대규모적으로 최초 시작하였으며 우리나라에도 진출하고 있는 실정이다. 현재 준설토를 토목섬유 튜브에 의해 형상화 하는 시공기술은 초창기 단계로 많은 시행착오를 하고 있어 기본적 기술능력 확보를 위한 엔지니어링 분야의 외국 선진업체와 제휴를 하여 원천기술 확보를 통해 고부가치화 해야 한다.

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 최적 형상화 기술과 설계 프로그램 개발의 연차별 연구개발 목표 달성도는 다음과 같다.

[표. 4.1.1] 연차별 연구개발 목표 달성도

연도	목표	달성도 (%)	내용
1차년도	□토목섬유튜브 - 준설토 물리·역학적 특성 및 확산 특성 평가	100	▷토목섬유 재료 인장 및 봉합강도 ▷준설토 활용 토목섬유 튜브 거동 분석을 위한 대형 실험토조 제작 ▷주입 형상에 따른 모형튜브 내 준설토의 확산 퇴적 및 물리 역학적 특성
	□토목섬유 튜브 구조체의 거동 특성을 위한 실내 모형 토조 시험에 의한 시뮬레이션	100	▷실대형 토목섬유 튜브 준설토의 형상화 특성 ▷실대형 토목섬유 튜브의 거동 및 변형 분포 특성
	□준설 토목섬유 튜브 구조체의 탈수 및 압밀과정과 퇴적거동에 관한 이론 해석	100	▷준설 재료의 압밀거동 파악을 위한 수치모델링 파라메타 도출 ▷준설 재료의 압축성과 투수성의 상관관계 도출 ▷수치 모델링-세립 준설재료의 1차원 압밀거동 ▷수치 모델링-토목섬유 튜브 형상
	□준설 경량 혼합토 성능 최적 배합 설계	100	▷준설토에 고화재인 시멘트와 기포제를 혼합하여 준설 경량 혼합토 배합설계
	□준설 경량 혼합토의 역학 특성 분석	100	▷배합비에 따른 일축압축강도실험 ▷배합비에 따른 회복탄성계수실험 ▷포장 공용성 평가
	□국외 연구자료, 글로벌 시공사의 시공현황 및 시공기술 분석	100	▷준설 비균질 토목섬유 튜브 구조체의 압밀 건조수축 연구
	□무선 네트워크 토폴로지 개발	100	▷실시간 현장 데이터 전송기술 개발
2차년도	□토목섬유 튜브 구조체 개발	100	▷토목섬유 재질별 봉합조건에 따른 봉합강도 특성 평가 ▷토목섬유의 봉합강도 특성을 고려한 튜브 구조체 개발

	□준설 토목섬유 튜브 구조체의 수리적 특성에 따른 형상화 규명	100	▷준설토의 물리적·역학적 특성 평가 ▷토목섬유의 수리적 특성 평가 ▷모형실험에 의한 토목섬유의 수리적 특성에 따른 준설 튜브의 형상화 규명 ▷수치해석에 의한 토목섬유의 수리적 특성이 준설 튜브에 미치는 영향 규명과 토목섬유의 수리적 특성과 튜브의 거동관계 규명
	□새만금 현장 테스트베드 시험 계획	100	▷관계기관 협의 및 부지 공간 확보 ▷지반조사 및 테스트 베드 시험계획 ▷토목섬유 튜브 구조체 안정검토 및 설계(침하, 압밀기간, 수위조건 고려 튜브 구조체 사면안정검토 등) ▷튜브 구조체 개발공법의 시공성 및 경제성 분석
	□현장 테스트 베드 시험을 통한 준설 토목섬유 튜브 구조체의 장기거동 특성 규명	100	▷원격 모니터링 통합 시스템 유지관리 ▷현장 테스트 베드 시험을 통해 수심과 파력 및 침하 등이 고려된 준설 토목섬유 튜브 구조체의 장기거동 특성 파악 ▷일련의 수치해석을 통해 기초지반의 침하, 수심, 파력 등의 외적환경 요인이 튜브 구조체에 미치는 영향 규명 ▷수치해석을 통해 튜브 구조체의 변형이 제방 성토체에 미치는 영향 규명 ▷수치해석을 통해 기초지반의 침하와 튜브 구조체의 안정성 관계 도출
3 차 년 도	□준설 토목섬유 튜브 구조체의 설계 프로그램 개발	100	▷최적 토목섬유 튜브 설계를 위한 GUI(Graph User Interface)프로그램 개발 ▷현장 테스트 베드 시험과 실내 시험 데이터와 개별 거동을 융합한 최적 시스템 토목섬유 튜브 설계기법 제시
	□준설 토목섬유 튜브 구조체 설계 프로그램의 검증 및 보완	100	▷수치해석을 이용한 거동분석과 현장 시공계측 데이터의 비교 분석 ▷지속적인 현장 모니터링을 통한 설계기법 검증 및 보안
	□토목섬유 튜브 구조체의 최적설계/시공/유지관리 매뉴얼 작성 제안	100	▷현장시험 및 결과 분석에 의한 토목섬유 튜브 구조체의 설계/시공/유지관리 매뉴얼 작성, 공법, 설계기법 평가 ▷국내 준설 토목섬유 튜브 구조체 설계/시공/유지관리 지침개발

제2절 연구개발 성과의 기술적 효과 분석

본 연구를 통한 획득된 성과로부터 발생하는 기술적 효과는 다음과 같다.

- 신기술 확보

① 안정적인 토목섬유 튜브 구조체를 제작하는 봉합기술로 6선 2열 종방향 봉합과 횡(띠)보강기술은 국외 TENCATE(사)의 봉합기술을 대체하고 비교우위를 확보할 수 있어 국내 토목섬유 튜브 구조체 봉합기술의 자립화가 가능

② 토목섬유 튜브 주입기술로 개발된 역 T-type모듈은 기존 주입 시공기술을 획기적으로 변환시킨 신기술로 튜브 구조체의 토사 수평 확산거리를 증가시키고 균등한 튜브 구조체가 조성되므로 시공성과 경제성 및 활용성, 안정성을 크게 증가시킴

③ 개발된 토사교반장치는 토사와 물의 교반 효과를 높이면서 막힘 현상을 획기적으로 방지할 수 있어 작업환경을 유리하게 하고 지형에 관계없이 채움을 위한 설비 운영이 편리하고 시공비용을 획기적으로 절감할 수 있는 신기술

④ 현재 수입하여 사용하고 있는 국외 토목섬유 튜브 구조체 설계 프로그램 GeoCoPS를 획기적으로 대체할 수 있는 토목섬유 튜브 구조체 범용 프로그램으로 개발된 GeoTDS는 설계자가 GUI환경에서 손쉽게 설계를 할 수 있어 국외경쟁력이 확보됨

⑤ 토목섬유 튜브를 활용한 인프라구조물 축조에 대한 설계 매뉴얼이 구비되지 않은 가운데 국내시공이 확산되고 있는 상황을 고려할 때, 본 연구 성과는 중동 및 아시아 지역에서 인프라 구조물 축조 기술 우위를 확보

⑥ 산업기술의 발전에 따라 항만공사 시공이 증가하고 있으며, 이에 발생하는 건설잔토인 준설토를 재활용하는 신재생 기술이 확보된다. 따라서, 본 연구를 통하여 친환경적으로 준설토사를 활용한 토목섬유 튜브체 조성 융합 신기술이 확보되었음

- 기술확산 효과

① 관련 설계 및 시공 기술개발에 의해 현재 국내기업이 진출하여 시공하고 있는 중동 및 아시아 지역에서 인프라 구조물 축조기술의 선도적 기술력이 확보되어 본 연구 성과가 싱가폴 Tekong Phase 2(발주처 : 싱가폴 국영 Housing Development Building) 토목섬유 테스트 베드 구축을 위한 국제기술 제안

② 본 연구에 참여하고 있는 참여기업이 국외 토목섬유 튜브 구조체 시공 시 튜브 구조체 체적 변화를 고려한 제작 및 수량산출 기술을 제공

③ 본 연구의 기술 확산을 통해 연관 산업으로 국내 섬유산업을 활성화하게 되어 중소기업 의 고용창출 및 수익성이 개선됨

- 기술경쟁력 향상 및 확보

① 국내 토목섬유 튜브 공법은 네덜란드의 TENCATE(사)에서 토목섬유 공급 및 공법 설계, 시공을 전담하고 있으므로 외국기업과의 국가 기술 경쟁력 확보

② 원천기술 개발을 통한 국내 토목 시공기술/설계 소프트웨어 산업의 글로벌 경쟁력 확보 및 관련 설계 기술개발에 의한 중동 및 아시아 지역의 국가 기술경쟁력 확보

제3절 연구개발 성과의 경제적·정책적 효과 분석

본 연구를 통한 획득된 성과로부터 발생하는 경제적·정책적 효과는 다음과 같다.

- 시장 창출 및 확대 효과

① 토목섬유 튜브 구조체 조성 관련 설계 및 시공 기술개발 성과는 싱가폴 Tekong Phase 2(발주처 : 싱가폴 국영 Housing Development Building)의 토목섬유 테스트 베드 구축에 기술 제안서를 제출하게 되어 기술적인 국외 시장창출이 가능함

② 국내 토목섬유 제조기업이 기술적으로 토목섬유 튜브 봉합을 가능하여 국외수출을 위한 토대마련

③ 개발된 토목섬유 튜브 구조체 설계 프로그램 GeoTDS는 국내 소프트웨어 개발회사와 기술이전을 통해 국내외 판매

④ 본 연구의 기술 확산을 통해 연관 산업으로 국내 섬유산업이 활성화되므로 중소기업의 고용창출 및 수익성이 개선 및 국제경쟁력 확보

⑤ 새만금 내부도로 설계와 신재생에너지 단지조성과 대중국 경협 단지 조성 시 경제적 효과달성 예정

⑥ 건설잔토인 준설토 및 굴착점토의 활용 가능한 전문인력 양성을 통해 신규고용창출 향상

⑦ 시공위주에서 신규기술개발에 의한 엔지니어링 기술 확보로 국가 이미지 제고

⑧ 도시 및 해안가, 지하공간 굴착토 재활용에 의한 비용절감

⑨ 물이용을 위한 소규모 댐 건설 시 물막이용 제방건설과 홍수방어에도 활용 가능

- 산업규모 변화

① 향후 해안가, 토취장 및 석산부족지역은 준설토 활용에 의해 탄소저감 신산업 위주 변화

② 건설과 토목섬유산업이 상호 연계되어 연관 산업위주로 재편되므로 제조업 활성화 기회

③ 도심 하수도의 하수 준설토 고형화 기술에 활용되어 도심산업 인프라 시설 활용 변화

④ 준설토의 매립 및 관리비용 감소

- 관련 산업 파급 효과

① 토목섬유 튜브 공법에서 튜브를 구성하는 토목섬유 생산에 의한 관련 산업 파급효과

② 국내 토목섬유 제조업체의 국외입찰 시 토목섬유 형상화 단면 물량산출 협조 및 오레곤 Geosynthetic 15 컨퍼런스에서 참여기업 부스에서 홍보

③ 국방시설과 연계한 해안가 급편 연약지반 도로 및 방호시설 구축

④ 해안가 인프라 헬리포트조성

- 연구개발의 홍보

① 언론보도 (국토교통부 R&D인프라 국제공동 연구사업 선정 관련기사)
[코리아 뉴스와이어(2012.11.12), 내일신문(2012.11.13)]

② 국제교통부 R&D인프라 국제공동연구 미국콜로라도 대학과 협약(2013.01.04)

③ 국토교통부 R&D정책인프라사업 국제공동연구 세미나(2013.06.10)

④ 언론보도(새만금 내부개발 실증화를 위한 TEST-BED시험) / [군산미래신문(2014.09.30.)]

제5장 연구 성과의 활용 계획

제1절 연구 성과 향후 활용방안

본 연구를 통해 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 최적 설계기법이 정립되면 해상 및 해안 지역의 인프라구조물이 확충됨에 따라 현장에서 재료 공급이 용이한 준설토를 활용하여 시공재료비를 친환경적으로 최소화하여 시공비용과 시공기간을 단축하고 구조물의 안정성과 효율성을 최대한 극대화하는 설계 및 시공기술이 될 것이다. 활용전망 및 기업화 방안은 다음과 같다.

1. 활용방안

① 토목섬유 튜브에 의한 연약지반 인프라구조물 시공 및 설계기술의 경쟁력 확보
② 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체 기술은 해안지역 도로 및 호안구축 단지조성 인프라 구조물에 활용되므로 신산업 기술에 의한 시장창출 가능
③ 다양한 외적 조건을 반영한 토목섬유 튜브 구조체의 설계프로그램 개발은 국내전량 수입되어 판매되는 국외 설계프로그램의 한계를 극복하고 원천기술의 개발로 인한 국내 토목설계 소프트웨어 산업의 글로벌 경쟁력 확보
④ 토목섬유 튜브 설계프로그램 매뉴얼 및 설계/시공/유지관리 지침서(안)에 의해 토목섬유 튜브 공법의 합리적인 운영
⑤ 도심 하수도의 하수 준설토 고형화 기술에 크게 활용되어 도심산업 인프라시설 활용변화 가능
⑥ 새만금 한중경협단지 개발 시 토지의 경제성을 확보하고 투자유치 활성화와 16년 예정인 새만금 남북2축 도로에 활용
⑦ 국방시설과 연계한 해안가 급편 연약지반 도로 및 방호시설 구축기술 활용

2. 기대효과

(1) 기술적 측면

① 토목섬유 튜브를 활용한 인프라구조물 축조에 대한 설계 매뉴얼이 구비되지 않은 가운데 국내시공이 확산되고 있는 상황을 고려할 때, 본 연구 성과는 중동 및 아시아 지역에서 인프라구조물 축조 기술 우위를 확보
② 토목섬유 제조 기술력 향상과 관련한 산업 생산의 증가
③ 국내 대형건설업체는 시공을 중소기업에 위탁 시공하는 형태라는 점을 감안할 때, 기술의 확산을 통한 중소기업의 고용창출 및 수익성을 개선
④ 토목섬유 튜브 공법의 종합설계 기준이 제시되므로써 해안지역 인프라 시공기술과 설계기술의 경쟁력 확보가 이루어져 국제적으로 기술경쟁력을 확보

(2) 경제·산업적 측면

① 봉합특허와 함께 수입되고 있는 외국 토목섬유 튜브 구조체를 대체 할 수 있는 봉합기술을 개발함으로서 침체된 토목섬유 튜브 제조 산업을 활성화함

② 토목섬유 튜브 구조체 토사교반장치 및 주입모듈을 활용한 플랜트 장치산업 활성화
③ 기존 국외수입 설계프로그램을 대체하고 글로벌화 함으로서 소프트 설계산업 활성화
④ 침체된 소형 펌프준설선 확대에 따른 조선산업 활성화
⑤ 새만금 신재생 에너지 단지 조성을 위한 경제적 토지조성 효과
⑥ 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 공법의 전문인력 양성으로 신규 고용창출 향상
⑦ 중동의 쿠웨이트 및 싱가폴 공사를 포함한 해외공사의 수주확대
⑧ 시공위주에서 신기술 개발에 의한 엔지니어링 원천 기술확보
⑨ 도심 하수도의 하수 준설토 고형화 기술에 크게 기여하여 도심재해 방지에 활용
⑩ 강, 하천, 바다 공간지역에 대한 워터프런트 개발을 통해 친수공간 창출
⑪ 경제적인 해상 신재생에너지 기반 조성 부지 확보 가능

3. 정부 정책과의 연계방안

본 연구 결과와 정부 정책과의 연계성에 가장 큰 축은 국내의 해양 인프라구조물 축조 시에 토목섬유 튜브 공법을 현장에 적용할 수 있도록 하는 것이다. 이를 위해서는 본 연구에서 수행한 준설토를 활용한 토목섬유 튜브 구조체의 최적설계기법을 정립시키고 이를 이용하여 토목섬유 튜브 공법의 설계/시공/유지관리 매뉴얼을 제안해 해양 인프라구조물 축조 현장에 적용할 수 있도록 하고 있다. 이를 위해 설계법의 장점, 시공과정 등을 담은 홍보용 CD를 제작하여 국토교통부, 해양수산부 등을 포함해 한국도로공사, 농어촌공사, 수자원공사 등 국내 대형 공사 발주업체 등에 배포하여 홍보하고 궁극적으로는 각 공사 발주업체에서 이 설계기법을 공사에 적용하도록 유도할 예정이다.

최근 국방방호 및 급편 연역지반 도로구축이 요구되어 해안가 연약지반지역을 토목섬유 튜브 구조체에 의해 표층지지력을 확보하는 설계 및 시공 기술도 민간 건설시설물 설계기준에 의한 지침마련이 필요하므로 정부 부처간 협업 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 관련 후속연구개발의 전망

① 하천 및 해안개발관련 정책입안 기관, 해역의 이용 및 관리기관, 민간사업자 등의 개발계획 수립 시 공법선택의 폭 확장
② 향후에는 본 기술을 이용하여 “준설토 활용한 환경친화적인 해안공간조성기술”, “준설매립지의 효율적인 부지조성기술” 그리고 “재활용 가능한 폐기물의 효율적인 활용기술” 등이 수행가능할 것으로 전망된다.
③ 본 연구는 육상 토목섬유 튜브 구조체 조성을 위한 기술성과(1차 육상 테스트 베드)로 현재 해상에서 수행되고 있는 2차 테스트 베드시험(수중)을 보다 확대하여 새만금 내부 해상개발에 적용할 필요가 있다.

제2절 추가 연구 필요성

1, 2, 3차년도의 연구결과 국내 토목섬유 튜브 공법에 대한 종합적인 검토가 완료되었으며, 국외의 선진기술에 대해서도 향후 일정에 따라 연구현황에 대한 차별성 및 활용성에 대한 분석이 가능할 것으로 판단된다. 또한 1, 2차년도에 수행된 실내모형시험을 통해 준설토-토목섬유 간의 상호 작용에 대한 평가를 실시하였고, 실시간 현장 데이터 전송기술과 충진용 토사 교반장치를 개발하여 현장 시험에 적용함으로써 토목섬유의 봉합기술 및 토목섬유 튜브의 거동을 분석하였다. 그로 인해 합리적인 설계변수 평가가 규명 가능할 것으로 판단된다. 3차년도에는 실내모형시험과 현장 시험 결과를 비교분석하기 위해 설계소프트웨어를 개발하였으며, 그에 따른 설계프로그램 매뉴얼과 토목섬유 튜브 공법의 설계/시공/유지관리 매뉴얼(안)을 개발하였다. 1, 2, 3차년도의 연구결과로 국내 해상 및 해안 인프라 구조물 축조 시에 적합하고 체계적인 토목섬유 튜브 공법을 정립시켰다.

이러한 연구를 통해 그 동안의 과거 연구는 외형적인 튜브 구조체의 다단시공에 대한 검토와 튜브 구조체의 설계높이의 확보 및 유지에 대한 부분을 중점적으로 검토하였지만, 실제 일반화된 주입방법으로는 주입과 확산이 용이하지 않아 주입구 간격에 따른 시공성 분석 및 기술개발과 경제적 문제점들을 해결하였다. 또한, 새만금 테스트 베드 토목섬유 튜브 구조체 조성 현장을 방문조사하여 국방차원의 연약지반 급편 방호시설 및 도로구축을 위한 연구의 필요성이 제기되고 있다.

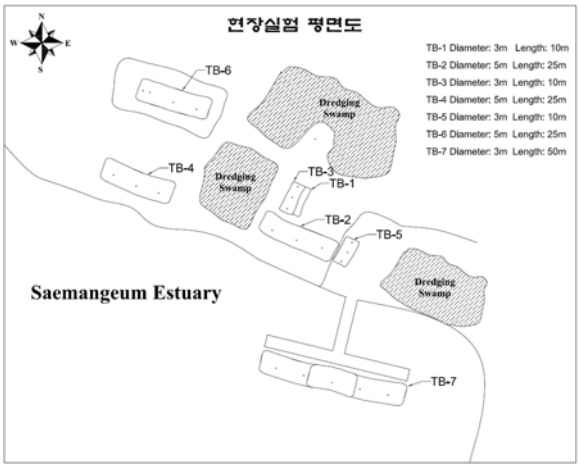
본 연구는 기존 연구에 대한 분석을 통하여 이론적인 정립과 대형시험장비 구축을 지속적으로 3개년에 걸쳐 수행하고 있다. 장기간 시험과 해석을 수행하여 실제 현장에 적용되는 설계와 시공법을 테스트 베드 시험을 통하여 획기적인 기술발전도 도모하였다. 본 연구는 현재 새만금 퇴적 간사지 육상에서 수행되었고, 현재 진행중인 2차 테스트 해상시험은 1차 테스트 베드 시험 육상지역과 인접되어 추가 연구는 아래와 같은 장점이 있어 매우 유효하다.

① 본 시험장소는 다량으로 소요되는 토사를 야적하고 적기에 토사를 활용하여 시험을 수행할 수 있는 공간성과 시험장비를 확보하고 있다.
② 현장시험의 위치가 새만금 내부 군산미군 비행장 유도등 부근에서 이루어져 어려울 것으로 예상되었지만 국제공동연구기관인 University of Colorado Boulder의 도움으로 새만금이 국가용지임에도 불구하고 수월하게 제공받아 새만금 현장 시험을 진행할 수 있었다.
③ 현재 2단계 해상 테스트 베드 시험을 위해 튜브 제작 및 기초 작업과 해상진입도로 구축(15‘년10월) 및 해상에 토목섬유 튜브 설치(15’년11월)가 진행된 상태이다.
④ 15‘년 10월과11월 급격한 비와 눈, 바람과 비용으로 인해 해상 테스트 베드 2차 시험이 지연되고 있으나, 현재 진행중인 해상시험을 완성하여 새만금 개발청에서 시행하는 새만금남북2축도로건설과 대중국 경협단지 조성에 활용할 계획이다.
⑤ 또한, 정부부처 간 협업추진을 위해 국방부 시설지원 및 기획과에서 2차례 세미나(15‘년 11월)가 있었으며, 폭발을 통한 성능평가를 위해 국방부의 지원도 가능하다고 판단된다. 따라서, 사회적 여건 변화와 국가 방호시설물 차원에서도 추가 연구의 필요성이 대두되고 있다.

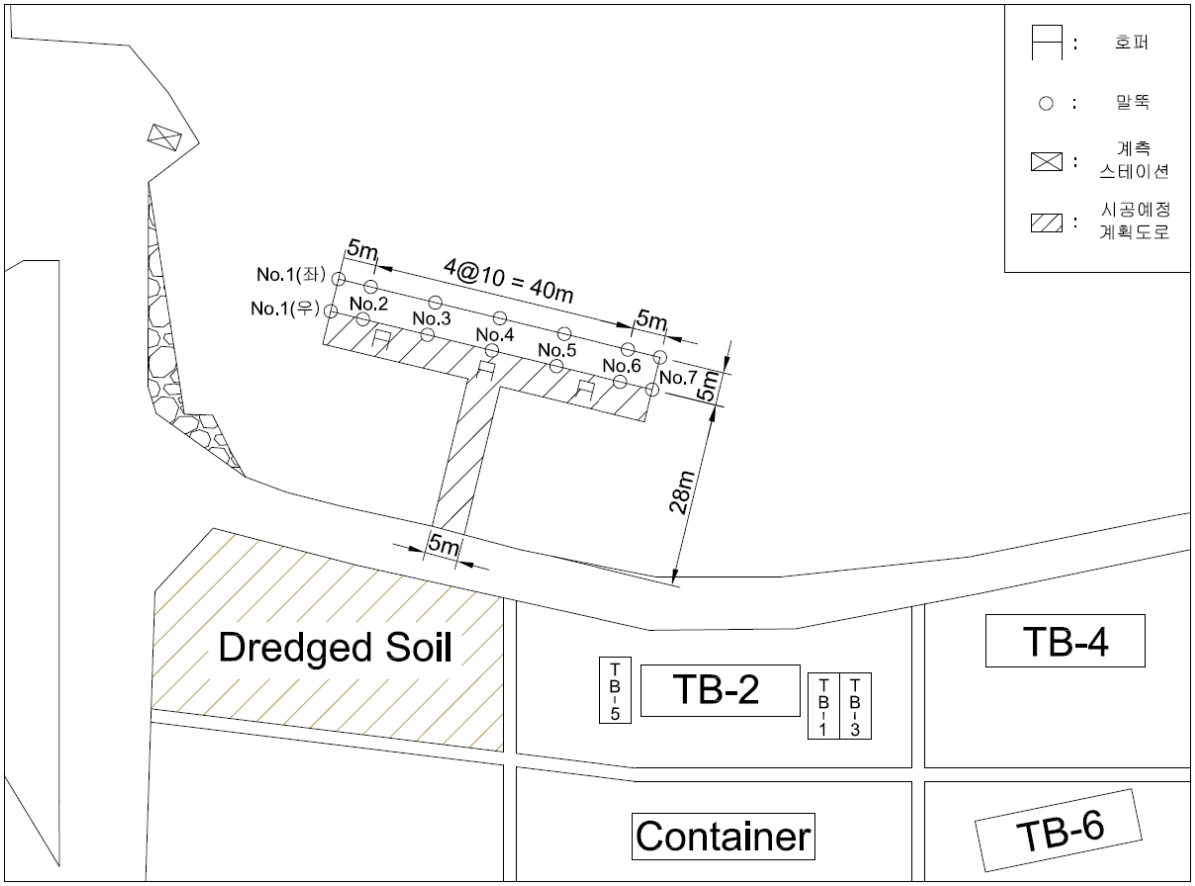
- 새만금 해상 2차 테스트베드 수행 현황 (15‘년 9월～15‘년 11월 현재)



(a) 새만금 2차 테스트베드 구축(구글)



(b) 1차 육상, 2차 해상 새만금 테스트베드 현황도(15년10월부터～현재 수행중)



(c) 2차 해상 새만금 테스트베드 상세도(15년10월부터～현재 수행중)

기존 1차 육상 테스트 베드시험과 연계한 2차 해상 테스트 베드 현황 (군산시 옥서면 선연리 하제)

[부지 면적 : 12,200m^2(1차 : 120m×60m, 2차: 100m×50m)]



(a) 새만금 테스트 해상부지 지반조사



(b) 새만금 테스트 베드 해상부지 진입도로 개설(2015년 10월)

<새만금 테스트 베드 2차 해상부지 전경>







(a) 새만금 테스트 베드 해상부지 튜브설치



(b) 새만금 테스트 베드 진입도로와 주입호퍼설치

<새만금 테스트 베드 2차 해상시험 현재 수행 상황>

제6장 참고문헌

Abu-Hejleh, A.N. and Znidarčić, D. (1995). “Desiccation Theory for Soft Cohesive Soils”, Journal of Geotechnical Engineering-ASCE, Vol.121, No.6, pp.493-502.

Abu-Hejleh, A.N. Znidarcic, D. and Barnes, B.L. (1996). “Consolidation Characteristics of Phosphatic Clays”, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.122, No.4, pp.295-301.

Bezuijen, A., and Pilarczyk, K. W. (2012). “Geosynthetics in Hydraulic and Coastal Engineering: Filters, Revetments and Sand filled Structures”, Proc., 5th European Geosynthetics Congress, Dept. of Civil Engineering, Ghent Univ., Ghent, Belgium, pp.65 - 80.

Carroll, R.P. (1994). “Submerged Geotextile Flexible Forms using Non circular Cylindrical Shapes”, Geotech. Fabrics Rep., Industrial Fabrics Association International, st. Paul, Minn., 12, pp.4-15.

De Oliveira Filho, W.L. and Menezes, L.P. (2012). “Consolidation Relationships for Different Ore Tailings in Brazilian mines”, Tailings and Mine Waste 2012, University of British Columbia, Keystone, Colorado, United States, 16, pp.205-215.

Gibson, R.E. England, G.L. and Hussey, M.H.L. (1967). “The Theory of One-dimensional Consolidation of Saturated Clays”, I. Finite Nonlinear Consolidation of Thin Homogeneous Layers, Geotechnique, Vol.17, No.3, pp.261-273.

Goda, Y. (1985). “Random Seas and Design of Maritime Structures”, University of Tokyo Press, Tokyo, Japan.

Howard, I.L. and Trainer, E. (2011). “Use of Geotextile and Geomembrane Tubes to Construct Temporary Walls in a Flooded Area”, SERRI Report 70015-003, SERRI, pp.28-55.

Hyeong-Joo, Kim, Hiroshi Yoshikuni, Kazuiro Tsurugasaki (1991). “Estimation of Compressibility and Permeability of Very Soft Clays by Means of the Diffuse Double Layer Theory”, Journal of Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.31, No.3, pp.175-184.

Hyeong-Joo, Kim, Jose, Leo C. Mission, Il-Sang, Park (2007). "Analysis of Static Axial Load Capacity of Single Piles and Large Diameter Shafts using Nonlinear Load Transfer Curves", KSCE Journal of Civil Engineering, Vol.11, No.6, pp.285-292.

Hyeong-Joo, Kim, Jose, Leo. Mission (2009). "Negative Skin Friction on Piles Based on Finite Strain Consolidation Theory and the Nonlinear Load Transfer Method", KSCE Journal of Civil Engineering, Vol.13, No.2, pp.107-115.

Hyeong-Joo, Kim, Jose, C. Leo Mission (2011). "Probabilistic Evaluation of Economical Factors of Safety for the Geotechnical Design of Pile Axial Load Capacity using Monte Carlo Simulation", KSCE Journal of Civil Engineering, Vol.15, No.7, pp.1167-1176.

Hyeong-Joo, Kim, Jose, C. Mission (2011). "Development of Negative Skin-Friction on Piles: Uncoupled Analysis Based on Nonlinear Consolidation Theory with Finite Strain and the Load Transfer Method", Canadian Geotechnical Journal, Vol.48, No.6, pp.905-914.

Hyeong-Joo, Kim, Jose, Leo C. Mission (2011). "Numerical Analysis of One-dimensional Consolidation in Layered Clay Using Interface Boundary Relations in Terms of Infinitesimal Strain",

International Journal of Geomechanics, American Society of Civil Engineers, Vol.11, No.1, pp.72-77.

Hyeong-Joo, Kim, Jose, Leo Mission, Jeng-Hee, Ko (2013). “Artificial Neural Network (ANN) Prediction of One Dimensional Consolidation in Homogeneous Clay under Uniform Applied Load”, International Journal of Civil Engineering and Technology, Vol.4, No.4, pp.135-145.

Hyeong-Joo, Kim, Jay, C. Jamin, Myoung-Soo, Won, Hyun-Jong, Sung, Jang-Beak, Lee (2013). “A Study on the Behavior of Dredged Soil Stratified in a Transparent Geobag”, Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM13), pp.2980-2987.

Hyeong-Joo, Kim, Jay, C. Jamin, Jose, Leo Mission (2013). “Finite Element Analysis of Ground Modification Techniques for Improved Stability of Geotubes Reinforced Reclamation Embankments Subjected to Scouring”, Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM13), pp.2970-2979.

H.J. Kim, M.S. Won, Y.B. Kim, M.J. Choi, J.C. Jamin (2014). “Experimental Analysis on Composite Geotextile Tubes Hydraulically Filled Underwater Condition”, Adances in Civil, Enviroemntal, and Materials Research (ACEM14).

H.J. Kim, K.W. Lee, S.K. Jo, T.W. Park, Jay C. jamin (2014). “The Influence of Filling Port System to the Accretion and Pressure Distribution of Dredged Soil Fill in Acrylic Tubes”, Advances in civil, environmental, and Materials Research (ACEM14).

Hyeong-Joo, Kim, Kwang-Hyung, Lee, Jay C. Jamin, and Jose Leo C. Mission (2014). "Stochastic Cost Optimization of Ground Improvement with Prefabricated Vertical Drains and Surcharge Preloading", Geomechanics and Engineering, Vol.7, No.5, pp.525-537.

Hyeong-Joo, Kim, Kwang-Hyung, Lee, Sung-Kyeong, Jo, Jay C. Jamin (2014). "Stress and strain behavior investingation on a scale model geotextile tube for Saemangeum dike project", Ocean Systems Engineering, Vol.4, No.4, pp.309-325.

Hyeong-Joo, Kim, Myoung-Soo, Won, Jay C. Jamin (2015). "Finite-Element Analysis on the Stability of Geotextile Tube-Reinforced Embankments under Scouring", International Journal of Geomechanics, Vol.15 No.2, pp.1-13.

Hyeong-Joo, K., Myoung-Soo, W., Jang-Baek, L., Jong-Hoon, J. and Jay, C. J. (2015). "Comparative Study on the Behavior of Soil Fills on Rigid Acrylic and Flexible Geotextile Containers", Geomechanics and Engineering, Vol.9, No.2, pp.243-259.

Hyeong-Joo, K., Myoung-Soo, W., Tae-Woong, P., Min-Jun, C. and Jay, C. J. (2015). "Derivation of Design Charts Based on the Two-Dimensional Structural Analysis of Geotextile Tubes", Structural Engineering and Mechanics, Vol.55, No.2, pp.349-364.

Hyeong-Joo, Kim, Myoung-Soo, Won, Jang-Baek, Lee, Min-Jun, Choi, Jay, C. Jamin (2015). “A Study on the Generation of Stress and Strain in Geotextile Tube by Scale Model Test”, Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM15).

Hyeong-Joo, Kim, Kwang-Hyung, Lee, Jeong-Hoon, Joo, Tae-Woong, Park, Jay, C. Jamin (2015). “Determination of Design Parameters by Seepage Pressure Induced Hanging Bag Test”, Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM15).

Hyeong-Joo, K., Myoung-Soo, W., Jay, C. J. and Jeong-Hoon, J. (2016). "Numerical and Field Test

Verifications for the Deformation Behavior of Geotextile Tubes Considering 1D and Areal Strain", Geotextiles and Geomembranes, Vol.44, No.2, pp.209-218.

Hyeong-Joo, K., Myoung-Soo, W., Kwang-Hyung, L. and Jay, C. J. (2016). "Model Tests on Dredged Soil-Filled Geocontainers Used as Containment Dikes for the Saemangeum Reclamation Project in South Korea", International Journal of Geomechanics, Vol.16, No.2, pp.1-13.

Jose, Leo C. Mission, Hyeong-Joo, Kim (2011). "Design Charts for elastic pile shortening in the equivalent top-down load-settlement curve from a bidirectional load test", Computer and Geotechnics, Vol.38, No.2, pp.167-177.

Jose, Leo C. Mission, Hyeong-Joo, Kim (2011). "Improved Evaluation of Equivalent Top-Down Load-Displacement Curve from a Bottom‐Up Pile Load Test", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol.137, No.6, pp.568-578.

Jose, Leo Mission, Hyeong-Joo, Kim, Kwang-Hyung, Lee (2013). "Artificial Neural Network (ANN) Application for Spatial Interpolation of Standard Penetration Test (SPT) and Soil Profile Data", Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM13), pp.3068-3072.

K. W. Pilarczyk (1996). "Design Aspects of Geotubes and Geocontainters", pp.1.

Kazimierowicz, K. (1994). "Simple Analysis of Deformation of Sand Sausages", Proceedings of the 5th International Conference on Geotextile, Geomembranes, and Related Products, Southeast Asia Chapter of the International Geotextile Society, Singapore.

Koerner, G. R. & Koerner, R. M. (2006). "Geotextile Tube Assessment Using a Hanging Bag Test", Geotextiles and Geomembranes, Vol.24, No.2, pp.129-137.

Koerner, R. M., Hwu, B. L., Wayne, M. L. (1987). "Soft Soil Stabilization Designs using Geosynthetics", Journal of Geotextiles and Geomembranes, Vol.6, No.1-3, pp.33-52.

Lawson, C. R. (2008). "Geotextile Containment for Hydraulic and Environmental Engineering", Geosynthetics International, Vol.15, No.6, pp.384-427.

Leshchinsky, D. (1993). "Issues in Geosynthetic-Reinforced Soil", Earth Reinforcement Practice, pp.871-897.

Leshchinsky, D., Leshchinsky, O., Ling, H. I. and Gilbert, P. A. (1996). "Geosynthetic Tubes for Confining Pressurized Slurry : Some Design Aspects", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.122, No.8, pp.682-690.

Liu, G. S. & Silvester, R. (1977). "Sand Sausages for Beach Defence Work", 6th Australasian Hydraulics and Fluid Mechanics Conference, pp.340-343.

Liu, G.S. (1981). "Design Criteria of Sand Sausages for Beach Defenses", In: Proc. International Association for Hydraulic Research, pp.123-131.

MATLAB 8.1 [Computer software]. USA, Mathworks, Inc.

Mikasa, M. (1963). "The Consolidation of Soft Clay-A New Consolidation Theory and its Application", Kajima Institution Publishing Co., Ltd. Tokyo.

M.S. Won, H.J. Kim, K.H. Lee, J.C. Jamin, S. K. Jo (2013). "A Study on the Sedimentation Properties of the Geobag Filled with Dredged soil by Model Tests", GhIGS GeoAfrica 2013

Conference.

N.R. Brink, H. J. Kim, D. Znidarcic (2013). “Consolidation Modelling for Geotextile Tubes Filled with Fine-Grained Material”, GhIGS GeoAfrica 2013 Conference Accra, Ghana.

Nicholas Brink, Hyeong-Joo, Kim, Dobroslav Znidarcic (2015). “Numerical Modeling Procedures for Consolidation of Fine-Grained Materials in Geotextile Tubes”, 2015 Geosyntetics Conference, pp.332-340.

Pilarczyk, K. (2003). “Alternative Systems for Coastal protection: An overview”, Proc., Int. Conf. on Estuaries and Coasts, Zhejiang University Press, Hangzhou, China, pp.409 – 419.

Pilarczyk, K. W. (2008). “Alternatives for Coastal Protection”, Journal of Water Resources and Environmental Engineering, 23, pp.181-188.

Plaut, R. H. & Klusman, C. R. (1999). “Two-dimensional Analysis of Stacked Geosynthetic Tubes on Deformable Foundations”, Thin-walled Structures, Vol.34, No.3, pp.179-194.

Plaut, R.H. and Suherman, S. (1998). “Two-dimensional Analysis of Geosynthetic Tubes”, Acta Mech., Vol.129, No.3-4, pp.207-218.

PLAXIS (2008). Plaxis BV, (www.plaxis.nl).

PLAXIS 2D 8.2 [Computer software]. Delft, Netherlands, Plaxis.

PLAXIS (2013). Plaxis 2D, Plaxis 2D Geotechnical Software, Retrieved July 29, 2013, from http://www.plaxis.nl/plaxis2d/

Silvester, R. (1986). “Use of Grout-filled Sausages in Coastal Structures”, J. Waterw., Port Coast. Ocean Eng., Vol.112, No.1, pp.95-114.

Sprague, C.J., (1995). "P.E.T. Geotextile Tube and Containers for Beneficial Use of Dredged Material, contract report for Bradley Industrial textiles", Inc., Valparaiso, FL, and Hoechst Celanese Corporation, Spundbond Business Group, Spatan.

Tyagi, V.K. (2005). “Applications of Geosystems as Retaining Structures in Marine Environments”, Slopes and Retaining Structures under Seismic and Static Conditions, 1.

USACE (1999). “Guidelines on Ground Improvement for Structures and Embankments”, Report No. ETL 1110-1-185, US Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

USACE(2011), "Use of Dry Dredging and Geotubes in Island Construction", US Army Corps of Engineers BUILDING STRONG®.

Yao, D., Znidarcic, D., Hasen, M. (2003). “A Consolidation Test for Dredged Material”, Journal of Dredging Engineering, Western Dredging Association, Vol.11, No.3, pp.13-23.

Yao, D.T.C., Oliveira-Filho, W.L., Cai, X.C., and Znidarcic, D. (2002). “Numerical Solution for Consolidation and Desiccation of Soft Soils”, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol.26, No.2, pp.139-161.

Kim, Hyeong Joo, Jamin, Jay C., Lee, Jang Baek (2015), “Geotextile Tube Design Software (GeoTDS)”, 대한토목학회 학술발표회, pp.45-46.

건설교통부 (2005), “하상재료를 이용한 하천제방 축조기술 연구” 건설기술기반구축사업 최종보고서, 2007. 06.

국무총리실 새만금사업추진기획단 (2011), “새만금 종합개발계획 Master Plan", 2011. 03.

김유성, 원명수 (2001), “구속압 하에서의 토목섬유 인장특성에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, Vol.21, No.2, pp.131-140.

김태형, 정수정 (2006), “지오텍스타일 튜브의 탈수능력”, 한국토목섬유학회 학술발표회, Vol.2006, No.4, pp.125-134.

김형주, 성현종 (2013), “준설 토목섬유 튜브를 활용한 제방 축조 공법 결정을 위한 영향인자에 대한 연구”, 한국산학기술학회, Vol.14, No.10, pp.5230-5236.

김형주, 원명수, 성현종, 이광형 (2013), “준설토 활용 지오튜브 거동 분석을 위한 대형 실험토조 소개”, 한국토목섬유학회 봄학술발표회, Vol.2013, No.4, pp.9-12.

김형주, 성현종, 이광형, 이장백 (2014), “준설토 주입방법에 의한 비닐튜브체의 퇴적 및 변형 특성”, 한국토목섬유학회 논문집, Vol.13, No.2, pp.1-10.

김형주, 박태웅, 주정훈, 최민준, 제이재민 (2015), “고소성 항로 준설 점토의 자중압밀에 의한 체적비 변화 연구”, 대한토목학회 학술발표회, Vol.2015, No.10, pp.17-18.

김형주, 박태웅, 최민준 (2015), “행잉백 시험에 의한 토목섬유 튜브의 침투수량에 관한 연구”, 한국토목섬유학회 학술발표회, Vol.2015, No.4, pp.95-98.

김형주, 원명수, 이광형, 제이재민, 최민준 (2015), “연성 토목섬유 튜브체의 변형에 관한 실험적 고찰”, 2015 한국복합신소재구조학회 학술발표회, pp.47-50.

김형주, 원명수, 이장백, 박태웅 (2015), “토사 주입과 배수 시 원형 아크릴 튜브 구조체의 압력 변화에 대한 실험적 연구”, 한국복합신소재구조학회 논문집, Vol.6, No.3, pp.86-94.

김형주, 원명수, 주정훈, 박태웅 (2015), “토사 주입 시 강성 지오컨테이너 튜브체에서 발생하는 응력 변화”, 한국복합신소재구조학회 학술발표회, pp.12-15.

김형주, 원명수, 주정훈, 이광형 (2015), “침투압에 따른 토목섬유 튜브의 투수계수 분석”, 한국토목섬유학회 봄학술발표회, pp.99-102.

김형주, 이장백, 주정훈, 박태웅, 최민준 (2015), “준설토 주입을 통한 반단면 토목섬유 튜브의 인장력 실험”, 대한토목학회 학술발표회, pp.9-10.

김형주, 이장백, 박태웅, 문성길 (2016), “토목섬유 튜브의 면적과 투수성을 고려한 유한변위 압밀해석”, 한국지반공학회 봄학술발표회, pp.76-77.

김형주, 이장백, 박태웅, 문성길 (2016), “자중과 침투수압이 작용되는 중력식 토목섬유 행잉백 배수 실험”, 한국지반공학회 봄학술발표회, pp.338-339.

김형주, 이장백, 박태웅, 유충열, 김형수 (2016), “토사 주입 지오텍스타일 튜브체의 3차원 응력 변화에 관한 실험적 고찰”, 한국복합신소재구조학회 학술발표회, pp.36-39.

김형주, 원명수, 이장백, 김영신 (2016), “준설토의 퇴적형상과 수침조건에 따른 토목섬유 튜브 내 준설토의 콘 저항치에 관한 연구”, 한국지반공학회 논문집, Vol.36, No.1, pp.85-96.

대림기술정보 (2004), “지오텍스타일 튜브(Geo-textile Tube)를 이용한 가도축조공법”, Vol.78, pp.114-123.

박태웅, 주정훈, 조성경, 김형주 (2014), “대형직접전단시험을 이용한 준설토-토목섬유 경계면에서의 전단특성에 관한 연구”, 한국토목섬유학회 학술발표회, Vol.2014, No.11, pp.89-92.

성현종, 김형주, 고정희 (2013), “준설토를 활용한 도로 성토 기술개발을 위한 지오텍스타일 튜

브의 국내외 시공현황 분석”, 한국토목섬유학회 봄학술발표회, Vol.2013, No.4, pp.13-16.

신은철, 김영진, 김성환, 임영근 (2009), “HBT(Hanging Bag Test)를 이용한 지오텍스타일 튜브의 활용성에 관한 연구” 한국토목섬유학회 학술발표회, Vol.2009, No.11, pp.203-210.

원명수 (2001), “점성토를 활용한 토목섬유 보강토벽의 변형거동에 관한 연구”, 전북대학교 대학원 박사학위논문.

원명수, 이장백, 김기준, 김형준 (2013), “토목섬유의 봉합강도의 관한 연구”, 한국토목섬유학회 학술발표회, Vol.2013, No.11, pp.53-56.

윤길림, 배유신 (2010), “준설토 활용을 위한 환경기준 고찰”, 한국지반공학회지, Vol.26, No.4, pp.16-27.

이광형, 최민준, 제이제민, 김형주 (2014), “현장 실험을 통한 토목섬유 튜브의 거동 관찰”, 한국토목섬유학회 학술발표회, Vol.2014, No.11, pp.57-60.

이장백, 성현종, 박태웅, 김형주 (2013), “실대형 토목섬유 튜브 내부 준설토의 퇴적 특성”, 한국토목섬유학회 학술발표회, Vol.2013, No.11, pp.109-112.

이장백, 성현종, 이광형, 김형주 (2013), “모형튜브 내 준설토의 퇴적특성에 관한 연구”, 한국지반환경공학회 학술발표회, Vol.2013, No.9, pp.86-90.

이장백, 성현종, 이광형, 김형주 (2014), “준설 토목섬유 튜브의 배수상태에 따른 지지력 변화에 관한 연구”, 한국토목섬유학회 학술발표회, Vol.2014, No.4, pp.45-48.

임책국 (2008), “Geo-Tube 해상 가설도로 설계 및 시공”, 인천대교 기술발표회논문집, pp.171-182.

장용채, 손가영, 이승은, 김상진, 김석우 (2012), “침식방지를 위한 토목섬유 튜브의 거동분석”, 한국지반공학회 논문집, Vol.28, No.5, pp.5-12.

장용채, 이승은, 서지웅, 존바우더스 (2009), “정적마찰 시험을 통한 접촉전단 특성평가”, 한국지반공학회 춘계학술대회, Vol.2009, pp.813-818.

장용채, 이진수, 이승은, 김용휴 (2006), “대형직접전단시험에 의한 소라껍질-토목섬유 경계면에서의 마찰특성”, 대한토목학회 학술발표회, Vol.2006, No.10, pp.3456-3459.

전한용, 유중조, 장용채 (2008), “지오텍스타일 튜브의 봉합거동에 관한 연구”, 한국지반공학회 추계학술발표회, Vol.2008, pp.1593-1603.

조삼덕 (1998), “새로운 토목섬유의 적용기술”, ‘98년도 토목섬유(Geosynthetics) 기술세미나 논문집, pp.269-295.

조삼덕, 안주환, 이광우 (2002), “대형직접전단시험에 의한 섬유혼합토의 전단강도 특성 평가”, 한국토목섬유학회 학술발표회논문집, Vol.2002, No.11, pp.227-234.

조성경, 성현종, 이광형, 김형주 (2013), “실대형 토목섬유 튜브의 2차원 거동 연구”, 한국토목섬유학회 학술발표회, Vol.2013, No.11, pp.65-68.

조성경, 성현종, 이광형, 최인태, 김형주 (2013), “지오실린더 튜브내의 준설토 퇴적 특성에 관한 연구”, 대한토목학회 가을학술발표회, pp.2759-2762.

조성경, 성현종, 김용범, 김형주 (2014), “준설토 채움에 따른 토목섬유 튜브 단면의 형상변화에 관한 연구”, 한국토목섬유학회 학술발표회, Vol.2014, No.4, pp.95-98.

주재우, 박종범, 장용채 (2003), “전단시험방법에 따른 토목섬유/모래 접촉면에서의 마찰특성”, 한국토목섬유학회 논문집, Vol.2, No.1, pp.39-45.