

2차원 한계평형 및 사면안정해석을 통한 지오텍스타일 튜브 복합구조물의 안정성 분석

Stability Behavior of Geotextile Tube Composite Structure by Slope Stability and 2-D Limit Equilibrium Analysis

오 영 인^{1*} Oh, Young-In
신 은 철² Shin, Eun-Chul
강 정 구³ Kang, Jeong-Gu

ABSTRACT

Geotextile has been used for various types of containers, such as small hand-filled sandbags, 3-dimensional fabric forms for concrete paste, large soil and aggregate filled geotextile gabion, prefabricated hydraulically filled containers. They are hydraulically filled with dredged materials and have been applied in coastal protection and scour protection, dewatering method of slurry, temporary working platform for bridge construction, temporary embankment for spill way dam construction. Recently, geotextile tube technology is no longer alternative construction technique but suitable desired solution. The paper presents the stability behavior of geotextile tube composite structure by 2-D limit equilibrium and slope stability analysis. 2-D limit equilibrium analysis was performed to evaluate the stability of geotextile tube composite structure to the lateral earth pressure and also transient seepage and stability analysis were conducted to determine the pore pressure distribution by tide variation and slope stability. Based on the results of this paper, the three types of geotextile tube composite structure is stable and also slope stability of overall geotextile tube composite structures is stable with the variation of tidal conditions.

요 지

지오텍스타일 튜브공법은 지오텍스타일의 필터 및 배수기능을 복합적으로 활용하는 공법으로 과거의 모래주머니, 웨브릭 폼, 계비언 등의 개념에서 최근 수리학적 채움기법을 적용하여 해안침식방지 구조물, 슬러지의 탈수, 교량축조를 위한 가도, 여수로 공사를 위한 임시구조물 등의 신구조물 공법으로 자리매김 하고 있다. 본 연구에서는 지오텍스타일 튜브와 지반재료와의 복합구조물의 안정거동에 대하여 2차원 한계평형, 침투해석 및 사면안정해석방법을 통하여 분석하였다. 2차원 한계평형이론을 통하여 설계영향인자 및 현장여건에 따른 지오텍스타일 튜브 복합구조물의 지반공학적인 안정성을 분석하였으며, 사면안정해석을 위하여 일차적으로 부정류 침투해석을 통하여 조위변동에 따른 복합구조물내의 간극수압분포를 분석하였다. 최종적으로 범용 사면안정해석 프로그램인 Slope/W를 이용한 침투분석결과와 연동하여 사면안정해석을 수행하였다. 2차원 한계평형해석 및 평면변형해석 방법을 통한 분석결과, 세가지 형태의 지오텍스타일 튜브 복합구조물 모두 안정성을 확보하고 있으며, 지오텍스타일 튜브 구조물 자체는 수위조건 변화에 대해서는 크게 영향이 없이 안정한 것으로 도출되었다.

Keywords : Geotextile tube, Composite structure, Seepage analysis, Slope stability, Limit equilibrium

1. 서 론

해안 및 하천제방은 천연재료의 부족으로 인하여 건설

및 유지관리에 많은 비용이 발생하며, 조류 및 조위변동에 의한 해안침식, 태풍이나 폭풍 등 자연재해로 인한 하천 및 해안구조물의 파괴가 빈번히 발생하고 있다. 따라서 기

1* 정회원, 한국토목섬유연구소 지반연구팀 수석연구원 (Member, Principal Researcher, Geotechnical Research Team, Korea Geosynthetic Research Institute, E-mail: yioh2010@kgri.co.kr)
2 정회원, 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수 (Member, Prof. Civil & Environmental System Eng. University of Incheon)
3 정회원, 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 석사과정 (Member, M.S. Student, Civil & Environmental System Eng. University of Incheon)

준구조물을 대체할 수 있고, 자연재해로 인하여 훼손된 구조물의 신속한 복구 및 해안침식방지 등이 가능한 기술개발이 요구되고 있다. 지오텍스타일 튜브공법은 경제적이면서 시공성이 우수하고 환경 친화적인 하천 및 해안구조물 축조공법으로 기존의 사석 및 콘크리트 구조물을 대체할 수 있는 공법이다. 특히, 다단식 튜브구조물과 토사성토재료와의 복합구조물의 형태는 지오텍스타일 튜브구조물의 적용분야 확대를 가져오고 있다.

일반적으로 지오텍스타일 튜브공법의 설계는 크게 소요 구조물의 기능분석과 2차원 한계평형해석에 의한 안정성 검토, 시공과정 및 시공 후의 거동분석이 이루어져야 한다. 따라서, 설계자는 일차적으로 구조물의 필요성과 해안침식방지, 파랑 감쇄 효과, 매립제방 등과 같은 기능분석을 수행하여야 하며, 둘째는 수리동역학적 요소와 지반공학적 요소가 복합적으로 고려되어 작용하는 외력에 대한 구조물의 안정검토가 이루어져야 한다. 또한 최종적으로는 상재하중과 구조물의 상호작용 및 공용 후의 지오텍스타일 튜브 복합구조물의 거동 해석을 수행하여야 한다 (오영인, 2003). Silvester(1990)는 2차원 한계평형해석을 통하여 지오텍스타일의 튜브의 둘레, 압력, 접촉면적, 채움높이와 폭 등의 관계를 도출하였으며, 지오텍스타일에 발생하는 인장력 계산방법을 제시하였다. 또한, 모형실험 연구에 따른 결과와 2차원 평형해석 결과가 잘 일치한다고 보고하였다. Liu(1981)는 모래채움 튜브에 대한 수치해석 연구를 통하여 지오텍스타일에서 발생하는 응력과 평형해석 방정식을 제시하였으며, 실내 모형시험을 통하여 지오텍스타일 신율의 영향을 분석하였다. 미공병단(1996)과 Leshchinsky and Leshchinsky(1996)는 미공병단의 CPAR 프로그램의 일환으로 지오텍스타일 튜브공법에 대한 2차원 평면변형 해석 프로그램인 GeoCoPS(version 1.0)를 개발하였다. Plaut and Suherman(1998)은 하부지반조건의 변화와 지오텍스타일 튜브의 설치조건을 네 가지로 구분하여 해석을 수행하였다. 이 연구에 따르면, 지오텍스타일 튜브가 강성 기초지반에 설치된 경우보다 연성기초지반에 설치될 경우 지오텍스타일에 발생하는 인장력이 크며, 외측면에서 작용하는 수압 등의 외력이 있을 경우 인장응력은 감소한다고 보고하였다.

삼면이 바다와 접해있는 우리나라의 경우, 서·남해안

을 중심으로 가용용지의 확보를 위한 준설매립공사가 빈번히 진행되고 있음에도 지오텍스타일 튜브공법의 활용은 거의 전무하였으나, 최근 들어 동해안에서 침식방지용 이안제 구조물로 최초로 시공된 바 있다. 대규모 지오텍스타일 복합구조물이 일산대교 교각공사를 위한 가도축조공사에서 최초로 시공되었으며, 해안지역 공사에 다양한 분야에서의 설계 및 적용성 검토가 확대되고 있다. 본 연구에서는 00대교 연결도로 건설공사 중 가도로 설계된 지오텍스타일 튜브 복합구조물의 안정성 분석을 실시하였다. 연구대상지역의 지반공학적인 조건 및 수리동역학적 조건을 분석하며, 이를 바탕으로 2차원 평형해석기법을 활용하여 지오텍스타일 튜브구조물 안정성 분석을 수행하였다. 또한, 지오텍스타일 튜브 복합구조물의 전반적인 사면안정성을 분석하기 위하여 조위변동에 따른 침투해석 및 사면안정해석을 수행하였다.

2. 지오텍스타일 튜브 복합구조물

본 현장의 지반특성을 살펴보면 상부표층에서 5m까지는 N치 6이하의 점성토로 이루어져 있고 N치 6이상의 점성토층이 8m까지 형성되어 있으며 그 아래 실트층이 9m 및 사질토 3m, 풍화암 4m 및 연암 순으로 층별 구성을 이룬다. 점성토의 평균 N치는 11/30이며 중간 굳음 정도의 연경도가 대부분이다. 특히 점성토층의 실내시험결과, 비중 2.7, 함수비 39%, 액성한계 36.8, 소성한계 17로 통일분류법상 CL층에 해당하며 투수계수는 $6.7 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 를 나타낸다. 압밀시험결과 압축지수는 0.25, 재압축지수는 0.3 선형압밀하중 1.07kgf/cm^2 을 나타내며 정규 압밀점토층에 해당한다.

다단식 지오텍스타일 튜브적용현장은 인천대교 연결도로 건설공사 2공구 STA No. 0+000~STA. No. 1+500되는 지점까지 튜브별 조합에 의해 A구간, B구간, C구간, D구간, E구간으로 나누어 단계별 시공 중에 있다. 매립계획고 EL.(+)6.20m이며, 주교량 부분의 폭은 33m, 요금소가 들어설 제작장 구간의 폭은 83m이며 총연장 610m의 다단식 지오텍스타일 튜브로 시공된다. 지오텍스타일 튜브의 내부채움재는 양입도의 모래로 채워지며 평균높이는

표 1. 계측구간의 토질특성

비중	함수비(%)	액성한계, LL(%)	소성한계, PL(%)	비배수 전단강도, $c_{ui}(\text{kgf/cm}^2)$	압축계수(C_c)	선형압밀하중, $P_c(\text{kgf/cm}^2)$
2.7	39 %	36.8	17.0	0.28	0.25	1.07

GT500이 2.3m, GT400이 2.2m, GT300이 1.7m로 46%~56%의 충전율을 보인다.

$$h_{CT} = D(1 \pm \sqrt{1 - R_f}) \quad (1)$$

여기서, h_{CT} 는 튜브의 높이, D 는 튜브의 원형직경, R_f 는 채움비율을 의미한다. 각각의 채움비율에 따른 높이와 폭은 $R_f = 0.85$ 일 때 $h_{CT} = 0.61D$, $R_f = 0.90$ 일 때 $h_{CT} = 0.68D$, $R_f = 0.95$ 일 때 $h_{CT} = 0.77D$ 를 통하여 얻을 수 있다. 표 2는 본 연구에 적용된 튜브의 형태분석결과를 정리한 것이다.

3. 지오텍스타일 튜브 복합구조물의 안정해석

3.1 튜브구조물의 형태분석

지오텍스타일 튜브구조물의 형태분석은 크게 기하학적 형태분석과 시공 후 변형에 따른 형태분석으로 구분하며, 채움재료가 잔류침하가 적은 사질토일 경우, 형태분석에 의하여 튜브구조물의 형상을 예측한다. 지오텍스타일 튜브 구조물의 채움비율에 따른 높이는 다음 식 1을 통하여 도출할 수 있다(신은철과 오영인, 2002).

3.2 튜브 복합구조물 안정해석단면

일반적인 튜브구조물의 안정해석은 주로 파압 및 수리동역학적 하중에 대한 안정해석이 주를 이루나, 튜브 복합구조물의 안정해석은 복합구조물에 작용하는 하중조건 및

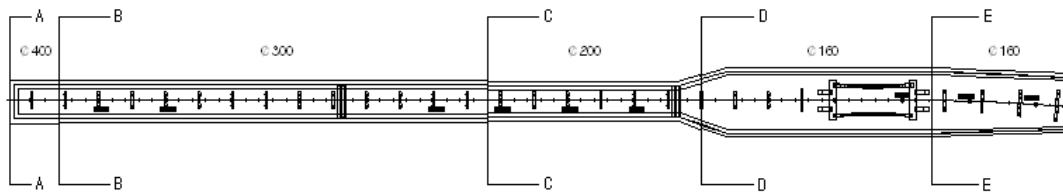


그림 1. 가축도 설치계획 평면도

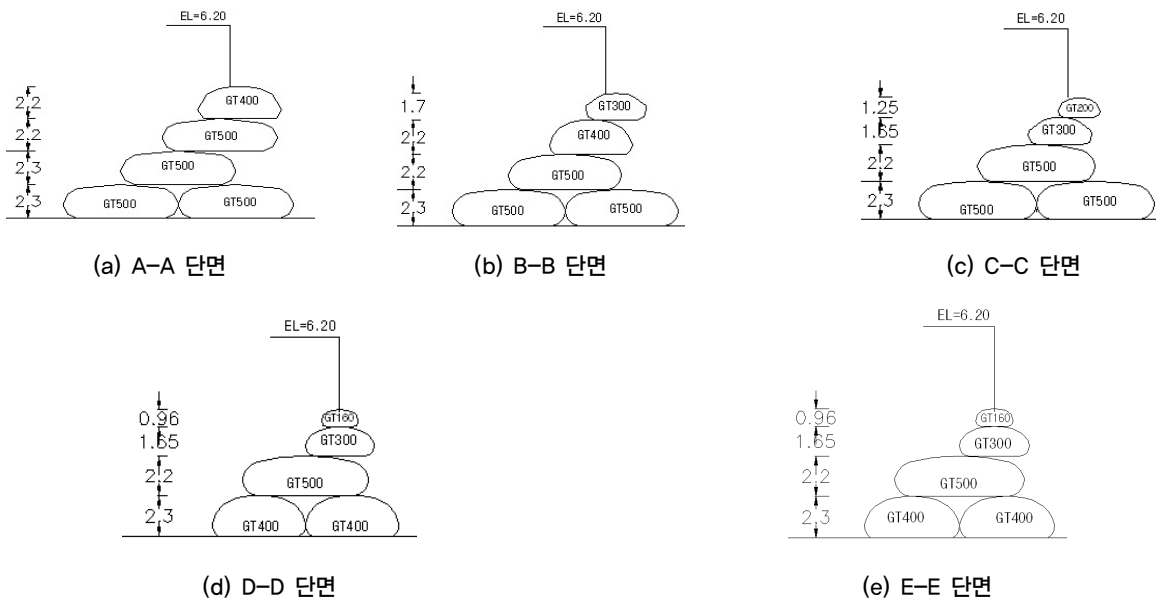


그림 2. 각 구간별 가축도 설치단면도

표 2. 지오텍스타일 튜브의 형태분석결과

구분	단위	GT300	GT400	GT500
원주장	m	9.5	12.5	15.7
직경	m	3.0	4.0	5.0
시공높이(60%)	m	1.8	2.4	3.0
환산폭	m	3.2	4.4	5.5

작용토압 등 지반공학적 요소에 대한 안정검토가 요구된다. 본 연구에서는 시공과정 중, 후에 발생될 수 있는 지반공학적 조건에 대한 안정해석을 수행하였다. 시공과정 중의 안정해석 단계는 2단의 지오텍스타일 튜브가 설치된 후 1차 준설성토가 진행되는 단계를 설정하였다. 1차 준설성토단계는 수리동역학적 안정성을 확보한 지오텍스타일 튜브구조물에 준설성토에 따른 토압이 가장 먼저 작용하는 단계로 해석단면은 종단위치에 따라 그림 3에 나타낸 바와 같다. 그림 3(a)는 하부에 GT500으로 구성되어 있으며, 그림 3(c)와 3(e)는 하부에 각각 GT400, GT300으로 구성되어 있다. 3가지 종류의 지오텍스타일 튜브의 구성은 천단고를 확보하기 위하여 조합된 결과이며 본 연구의 추가 안정성검토에서는 하부 지오텍스타일 튜브의 크기에 따라 구분하여 검토를 수행하였다.

3.3 튜브 복합구조물의 안정해석

튜브 복합구조물의 지반공학적 안정해석은 다양한 설계영향요소와 현장여건에 따라 단면 및 하중조건이 다르므로, 현재까지 통합적용 가능한 설계방안이 부재한 실정이다.

따라서, 튜브 복합구조물의 특성을 최대한 고려하며 안

전측의 설계가 될 수 있도록 현장여건에 대한 적절한 가정이 요구된다. 본 연구대상 튜브 복합구조물은 준설성토에 따라 발생하는 토압을 고려하며, 튜브구조물의 활동특성에 따라 횡하중에 가장 활동이 발생되기 쉬운 최해측 하단에 위치한 지오텍스타일 튜브의 안전율을 계산하여 검토하였다. 활동에 대한 안전율은 지오텍스타일 튜브 자중과 상재하중인 수직력에 의한 전단저항력과 외력으로 작용하는 수평력의 비로 나타낸다. 활동에 의한 안전율은 다음 식 2에 나타낸 바와 같다.

$$SF_{(sliding)} = \frac{F}{P_h} = \frac{P_v \times \tan \phi'}{P_h} \quad (2)$$

여기서, P_h 는 준설성토에 의한 횡방향력, F 는 전단저항력, P_v 는 상재하중과 튜브 자중에 의한 수직력, P_w 는 준설성토에 의한 횡토압, h_{GT} 는 지오텍스타일 충전 후 높이, ϕ' 는 채움토사 및 하부지반 토사와 지오텍스타일의 접촉마찰각이다. 최해측 하단부에 위치한 지오텍스타일 튜브의 안정해석을 위한 단면가정은 최해측 하단부에 위치한 튜브의 평탄한 상부쪽에 대한 2단 튜브의 유효 중첩율을 고려하여 설정하였다. 중첩율의 계산은 다음 식 3를 이용하였으며, 유효중첩율은 표 3에 나타낸 바와 같다.

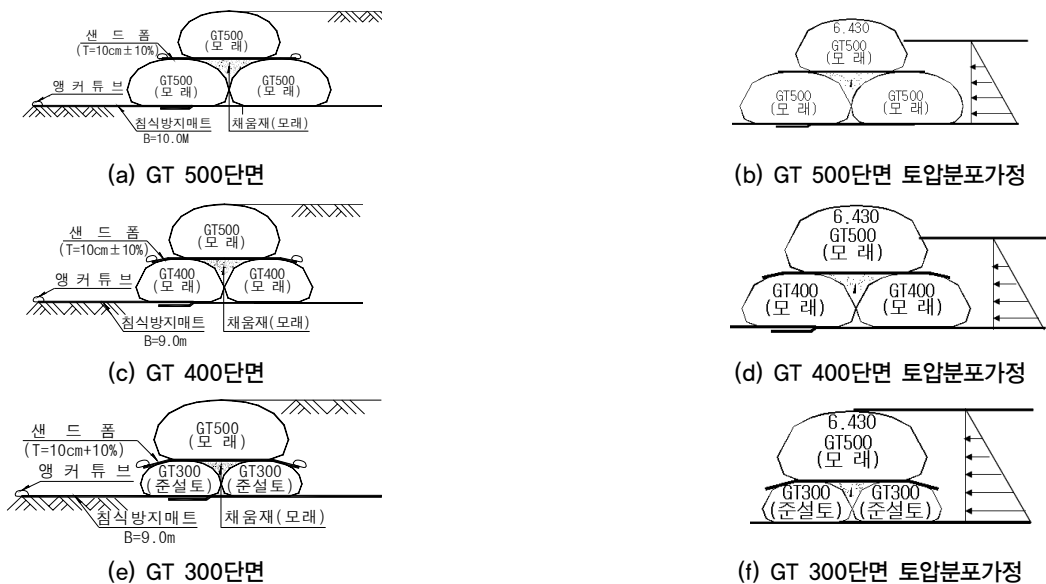


그림 3. 지오텍스타일 튜브 복합구조물단면 및 토압분포도

표 3. 유효중첩율

최해측 튜브	유효중첩길이,(m)	최해측 튜브 접지폭,(m)	유효 중첩율,(%)
GT500	0,811	6,430	12,6
GT400	1,425	5,144	27,7
GT300	1,991	3,858	51,6

$$R_{OR} = \frac{l_{\text{유효중첩길이}}}{B_{\text{최해측튜브}}} \quad (3)$$

표 3에서 보는 바와 같이, 최해측 하단부의 지오텍스타일 튜브가 GT500, GT400인 단면은 유효중첩율이 30% 이하로 상부 2단 튜브의 자중이 하부튜브의 전단저항력에 큰 영향을 주지 못하나 GT300의 경우, 유효중첩율이 50% 이상으로 상단 튜브의 자중을 하단 튜브의 전단저항력에 큰 영향을 미치므로 상단튜브의 중첩부 하중을 자중으로 고려하여 안정해석을 수행하였다. 또한, 유효 중첩율이 30% 이하인 GT500, GT400단면의 횡토압 작용높이를 상단튜브 높이의 50%만 고려하였으며, 중첩율이 높은 GT300 단면의 경우, 횡토압의 작용높이를 상단 튜브 높이 전체를 고려하여 안정계산을 수행하였다. 각각 단면에 대한 안정해석 결과는 표 4에 나타낸 바와 같다. 최해측 튜브의 활동 안전율은 전체적으로 GT500, GT400, GT300단면이 모두 활동에 대하여 안정한 것으로 도출되었다. 그러나, GT300 단면의 경우, 가장 작은 GT300 튜브 상단에 GT 500이 위치하여 구조적으로 불안정한 느낌을 주고 있으며, 안전율도 1.1로 가장 작게 도출 되어 향후 추가적인 검토와 시공시 면밀한 계측 및 시공관리가 요구된다.

4. 조위영향에 따른 튜브 복합구조물 단면안정성 검토

4.1 조위영향에 따른 침투해석

4.1.1 침투류 해석조건

본 검토의 침투류 해석은 지오텍스타일 튜브의 설치구간에 따른 단면변화를 고려하여 침투 해석을 수행하였으며, 해측의 조위조건 등의 침투 경계조건 변화에 따른 침윤선 변화를 검토하였다. 해석 프로그램은 GeoSlope사의 Seep/W를 사용하였으며, 적용한 조위 및 수위조건은 연구대상 지역의 조위자료를 활용하였다. 조위변화에 따른 침투류 해석을 실시하기 위한 조위 주기함수는 해수면의 상승과 하강을 12시간으로 근사화하고 진폭을 고극조위 EL

±4.63m를 기준으로 한 Sine함수로 설정하였다. 조위자료 분석 결과에 따른 침투 해석에 적용 조위함수는 그림 4에 나타낸 바와 같다. 전체 침투류 해석의 시간조건은 가축도 내의 간극수압 및 침윤선이 주기적 균형상태에 도달했을 때의 결과를 얻기 위하여 초기 제체내의 침윤선을 EL 0.0m로 설정하고, 주어진 경계조건에 대하여 16일 동안의 침투 해석을 실시하여 결과를 도출하였다. 본 연구의 침투류 해석에 적용한 가축도 구성재료는 총 5가지(준설토, 튜브 채움 모래, 연약지반 점토, 기초지반1, 풍화토)로 구분하였으며, 입력자료는 정상류상태의 투수계수 및 Seep/W 프로그램에 내재되어 있는 재료특성에 따른 흡·수분 특성 함수를 선정하여 모델링하였다.

4.1.2 침투해석 단면 및 결과

본 연구의 침투해석 검토단면은 지오텍스타일 튜브 가축도의 구간별 단면에 대하여 설정하였다. 그림 5는 각각의 구간별 침투해석 모델링 단면 및 해석결과를 나타낸 것이며 지오텍스타일 튜브는 등가직사각형으로 모델링 하였다. 각각의 해석결과에서 보는바와 같이, 해측 조위변화에 대하여 준설토 가축도 제체 내의 침윤선은 크게 변화하지 않는 것으로 도출되었다. 일반적으로 가축도 도로의 상부층 내로 침윤선이 분포할 경우 공사용 도로의 공용 후, 지지력 감소 및 장기침하 발생 등으로 인하여 도로의 이용에 문제가 발생할 수 있다. 반면 해측 지오텍스타일 튜브 내에서 침윤선 변화가 급격히 발생하는 것으로 나타났다. 따라서, 해측의 조위변동에 따라 지오텍스타일 튜브 구조물 내에서 급격한 동수경사변화가 예상된다.

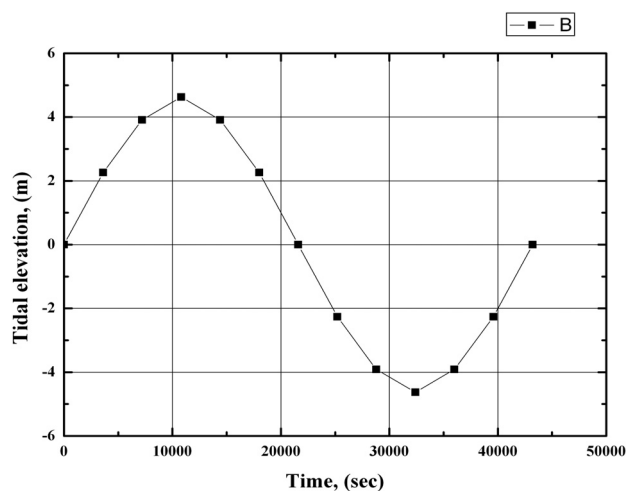


그림 4. 침투해석 조위함수

표 4. 튜브복합 구조물의 안정해석결과

단면	P_v (tf/m)	P_h (tf/m)	ϕ' (°)	FS
GT500	27.9	6.9	20	1.47
GT400	17.85	5.3	20	1.24
GT300	23.99	7.95	20	1.1

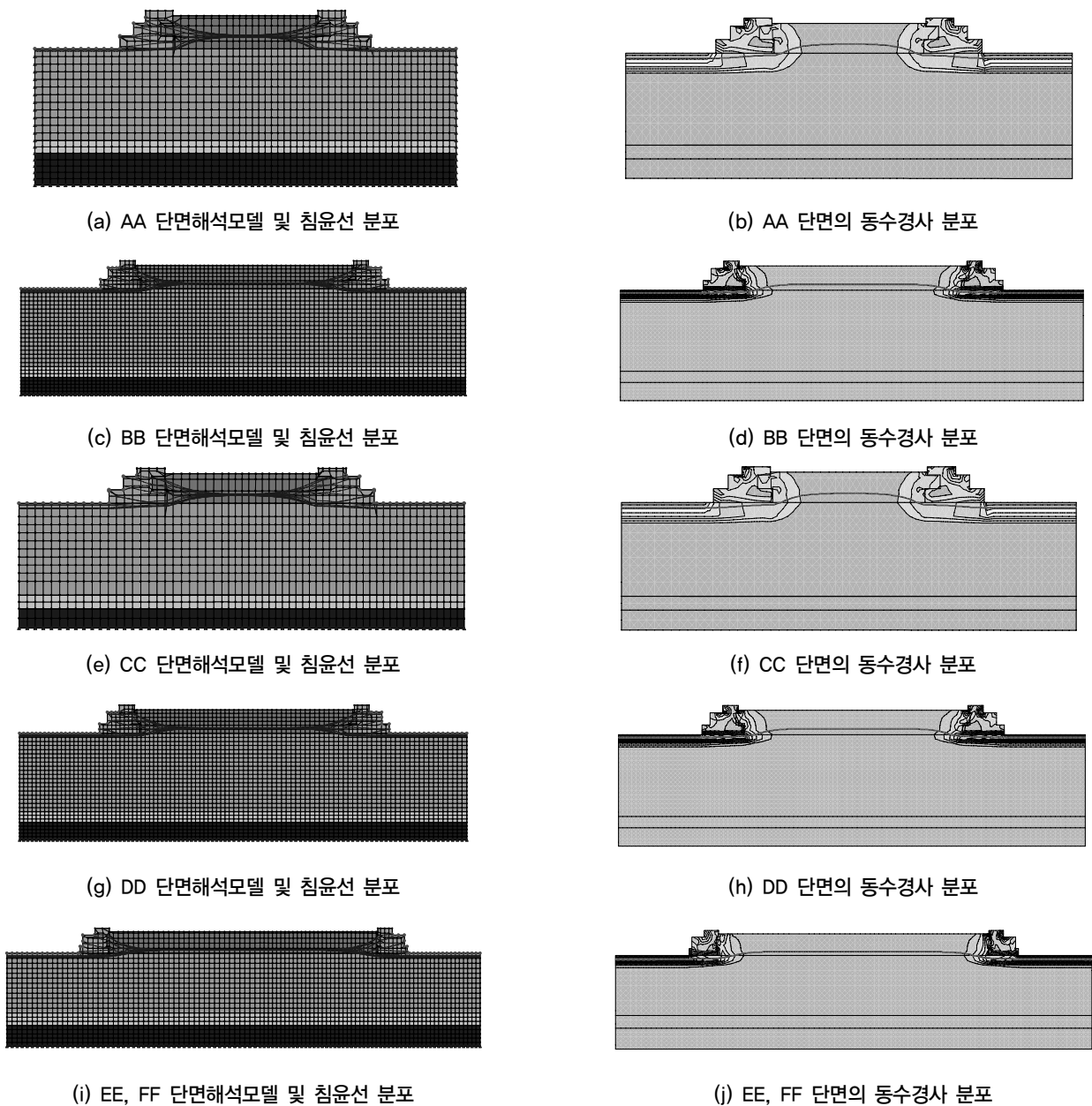


그림 5. 지오텍스타일 튜브 복합구조물단면 및 토압분포도

4.2 조위영향에 따른 사면안정해석

4.2.1 사면안정 해석조건

지오텍스타일 튜브를 활용한 가축도의 구간별 단면에 대한 사면안정성 검토는 각각의 수위조건 및 성토재의 토질역학적 특성에 따른 안정도를 검토하기 위하여 원호 파괴면에 대한 최소안전율을 분석하였으며, 해석프로그램은 GeoSlope사의 2차원 한계평형해석 프로그램 Slope/W를 사용하였다. 사면안정 해석의 수위조건은 침투 해석의 수위조건과 동일하게 적용하였으며, 침투류 해석에 따른 간극수압 분포를 사면안정해석 프로그램과 연동하여 활용하

였다. 지층구성에 따른 입력변수는 설계 시 적용한 토질 특성값과 본 검토를 위하여 수행한 토질조사 및 실내토질 시험 결과를 준용하여 사용하였다. 또한, 현장의 관리시공이 어려운 수중 성토부의 토질특성 변화를 고려하여 해석을 수행하였다. 표 5는 본 검토를 위하여 수행한 토질조사 및 실내토질시험 결과를 바탕으로 적용한 입력토질정수표를 나타낸 것이다.

4.2.2 사면안정 해석결과 및 분석

지오텍스타일 튜브를 활용한 가축도의 단면별 사면안정 검토는 튜브구조물 설치구간에 대한 보강이(매트보강)

표 5. 해석시 적용 토질정수

토 층	단위중량(tf/m^3)	점착력(tf/m^2)	ψ
채움모래	1.8	0	35
준설토	1.8	0	25
점토층	1.7	2	25
모래층	1.9	0	30
풍화토	1.9	2	25

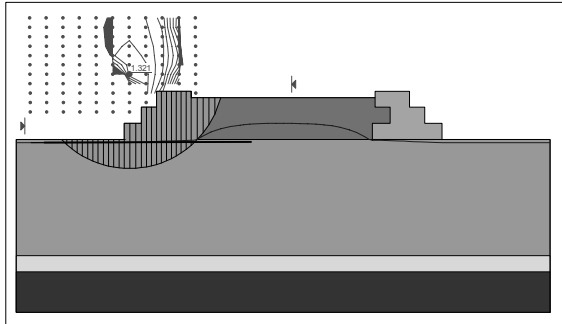


그림 6. AA단면 안정해석결과

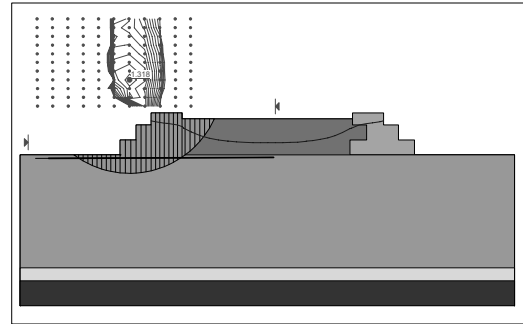


그림 7. BB 단면 안정해석결과

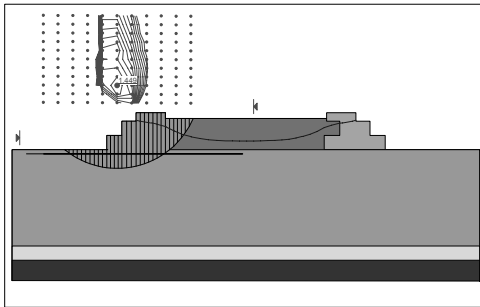


그림 8. CC 단면 안정해석결과

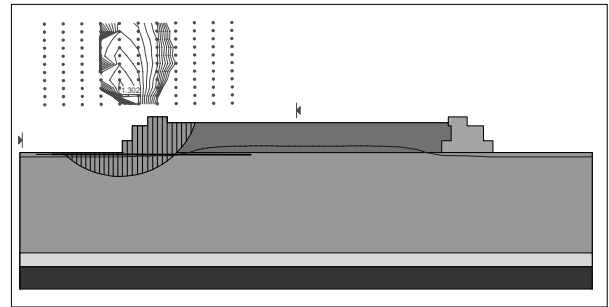


그림 9. DD 단면 안정해석결과

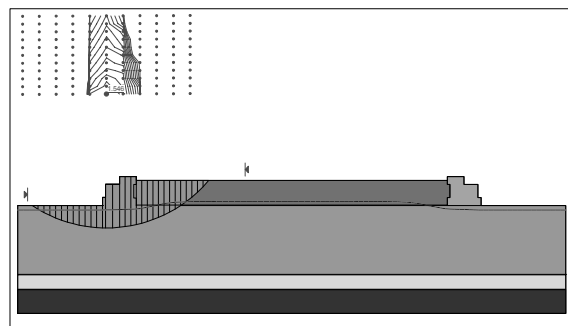


그림 10. EE, FF 단면 안정해석결과

이루어진 조건에서 안전율을 도출하였다. 해석결과는 그림 6~그림 10에 도시한 바와 같다. 각각의 조건에 따른 사면안정성 분석결과는 표 6에 나타난 바와 같으며, 안전율 적용기준은 1.2로 설정하였다. 표 6에서 보는 바와 같이 하부지반이 보강될 경우, 지오텍스타일 튜브 구조물 자체는 수위조건 변화에 대해서는 크게 영향이 없이 안정한 것으로 도출되었다. 또한, 시공 시 정확한 시공관리가 어

표 6. 사면안정도 해석결과

단면	해측간조시	안정성
AA단면	1,321	전단면 안정
BB단면	1,318	
CC단면	1,449	
DD단면	1,302	
EE, FF단면	1,546	

려워 설계시의 토질특성값을 확보하기 어려운 수중시공구간의 토질특성값에 따라 안정도가 크게 변화할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 2차원 평형해석기법을 활용하여 지오텍스타일 튜브구조물에 대한 지반공학적 안정성 검토를 수행하였으며, 튜브 복합구조물 설치구간의 전반 사면안정성 분석을 위하여 부정류 침투해석 및 사면안정해석을 수행하였다. 총괄 연구 분석에 따른 결론사항은 다음과 같다.

1. 연구대상 튜브 복합구조물의 지반공학적 안정검토는 튜브 구조물 중 안정성이 가장 불확실한 최해측 튜브의 준설성토 단계에서의 활동안전율 검토를 수행하였다. 전체적으로 GT500, GT400, GT300단면이 모두 활동에 대하여 안정한 것으로 도출되었으나, 하단 튜브가 상대적으로 작은 GT300단면의 경우, 구조적으로 비교적 불안정하게 나타났으며, 안전율도 1.1로 가장 작게 나타났다.
2. 지오텍스타일 튜브 복합구조물에 대한 부정류 침투해석결과, 해측 조위변화에 대하여 준설토 가축도 제체내의 침윤선은 크게 변화하지 않는 것으로 도출되었으나, 해측 지오텍스타일 튜브내에서 침윤선 변화가 급격히 발생하는 것으로 나타났다. 따라서, 해측의 조위변동에 따라 지오텍스타일 튜브 구조물 내에서 급격한 동수경사변화가 예상된다.
3. 범용 사면안정해석프로그램 Slope/W에 의한 튜브복합구조물의 전반 안정성 검토 결과, 지오텍스타일 튜브 구조물 자체는 수위조건 변화에 대해서는 크게 영향이 없이 안정한 것으로 도출되었다. 그러나 시공 시 정확한 시공관리가 어려운 수중시공구간의 토질특성값에 따라 안정도가 크게 변화할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 인천지역 환경기술개발센터의 2002년도 연구개발 사업비 지원(02-1-80-81)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 신은철, 오영인 (2002), “지오텍스타일 튜브의 2차원 평형해석 및 수리모형시험을 통한 안정성 분석”, *한국지반공학회 논문집*, 제18권, 5호, pp.251-260.
2. 오영인 (2003), *친환경적 지오텍스타일 튜브의 거동 분석*, 박사학위논문, 인천대학교 대학원, pp.14-15.
3. Leshchinsky, D., Leshchinsky, O., Ling H. I. and Gilbert, P. A. (1996), “Geosynthetics Tubes for Confining Pressurized Slurry: Some Design Aspect”, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.122, No.8, pp.682-690.
4. Liu, G. S. (1981), “Design Criteria of Sand Sausages for Beach Defense”, *Proceedings of 19th Congress of the International Association for Hydraulic Research*, Vol.3, New Delhi, India, pp.123-131.
5. Pilarczyk, K. W., Breteler, M. K. and Stoutjestijk, T. (1998), “Stability Criteria for Geosystems -an Overview-”, *Proceedings of Sixth International Conference on Geosynthetics*, Atlanta, Georgia, USA, Vol.2, pp.1165-1172.
6. Plaut, R. Ho and Suherman, S. (1998), *Two-dimensional Analysis of Geosynthetic Tubes*, Acta Mechanica. pp.207-218.
7. Silvester, R. (1990), “Flexible Membrane Units for Breakwaters”, *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, J. B. Herbich, ed., Vol.1, Gulf, Houston, pp.921-938.
8. U.S. Army Corps Engineers. (1996), *Geosynthetics Confined Pressurized Slurry (GeoCoPS): Supplemental Notes for Version 1.0*, Technical Report, CPAR-GL-96-1, U.S. Army Corps of Engineers Waterway Experiment Station, Vicksburg, MS. pp. 18-29.

(논문접수일 2006. 9. 21, 심사완료일 2006. 11. 30)