

지오텍스타일 컨테인먼트를 활용한 발전소 방파수로 설계인자 분석

Analysis of Design Parameters for Power Plant Breakwater Channels Using Geotextile Containment

김 성 환^{1*} Kim, Sung-Hwan

오 영 인² Oh, Young-In

ABSTRACT

The geotextile tube shall be sewen with geotextile longitudinally in the shape of hose and it shall be filled hydraulically through filling ports at the proper intervals to construct structure. Geotextile container shall be sewen after spreading of geotextile on the split barge and sealed shut after the filling soil, and then moved and positioned at the required position. And the geotextile container passes through the bottom of barge by opening split barge and drops to the seabed to form structure. This structure for the ○○ project, UAE and we would propose that geotextile containment for core material of power plant breakwater to be constructed for lower bunds with containers up to -4.0m and do upper parts with the structures of tube up to 0.0m. For the application of proposed geotextile containment, review on stability of breakwaters and design consideration were adopted. The evaluation on stability of geotextile containment was classified by 3 items, internal design consideration for material selection, reviews on stability for individual and global structure. In this research, the geothermal analysis was performed to estimate the geothermal behavior of central breakwater. Central breakwater is located boundary of intake and outfall channel, it is mean that the central breakwater is thermal boundary of intake low temperature sea water and outfall high temperature sea water. Therefore, it is required to be designed a low permeability to ensure no mix of intake and outfall waters.

요 지

본 연구에서 검토한 지오텍스타일 컨테이너와 튜브를 활용한 수로구조물은 UAE에서 수행한 프로젝트로 수심이 4.0m 이하인 경우 지오텍스타일 컨테이너를 저개식 바지로부터 해저바닥에 착지시키는 방법으로 시공하고 그 윗부분은 지오텍스타일 튜브로 시공을 수행하였다. 따라서, 본 연구에서는 지오텍스타일 컨테이너와 튜브를 활용하여 해상의 발전소 방파제 수로구조물 축조 시 고려된 구조물의 개별 및 다단구조물의 안정성, 지오텍스타일 재질 선택에 관련한 설계인자를 분석하였다. 또한, 방파제 구조물이 위치한 현상이 발전소의 용수의 유입과 유출이 발생하는 구역으로 발전소 유출입수의 온도가 방파제 구조물 내부의 온도변화에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

Keywords : Geotextile tube, Geotextile containment, Geothermal, Breakwater

1. 서 론

모래주머니와 같은 작은 크기의 지오텍스타일 컨테인먼트(Geotextile containment)는 이미 오래 전부터 임시 토

공구조물을 축조하는데 많이 사용되어져 왔으며, 선진외국에서는 대규모 지오텍스타일 컨테인먼트가 경제성, 시공의 용이성, 특히 환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 장점으로 각광받고 있다(신은철 등, 2007). 특히 항구

1* 정회원, 인천대학교 토목환경공학과 박사과정 (Member, Ph.D Student, Civil & Environmental Eng., University of Incheon, E-mail: sherikim315@naver.com)
2 정회원, 한국농촌공사 농어촌연구원 농촌자연환경연구소 선임연구원 (Member, Senior Researcher, Research Group on Rural natural Environment, Rural Research Institute, KRC)

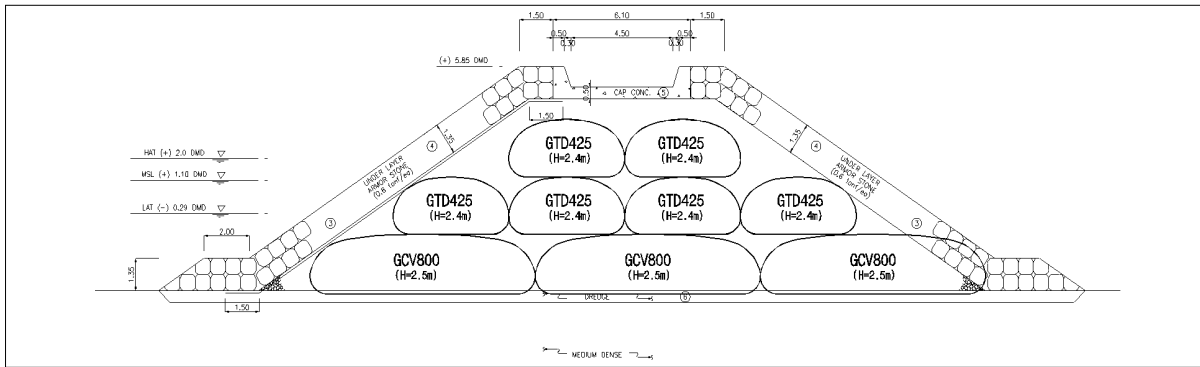


그림 1. 설계된 방파제 단면도

주변을 직접 준설하여 고함수비 퇴적물 및 오염물질을 지오텍스타일 컨테이너먼트에 넣어 매립에 활용하는 환경준설 매립이 많이 활용되고 있다(오영인 등, 2008). 최근 우리나라를 비롯하여 해외 많은 지역에서 기존 항만을 확장하거나 공유수면에 대한 준설매립공사를 통하여 대형 컨테이너 부두, 산업단지, 공항, 신도시 등을 건설하고 있는 추세를 감안할 때, 시공이 용이하고, 토공에 비하여 경제적인 지오텍스타일 컨테이너먼트공법에 대한 체계적인 연구개발과 실용화 연구가 필요하다. 지오텍스타일 컨테이너먼트는 크게 지오텍스타일 백형, 튜브형, 컨테이너 형으로 구분되며, 지오텍스타일 내에 토사를 채워 구조물을 형성하며, 채움 방법은 펌핑에 의한 수리학적 채움과 기계적 방법이 현장여건에 따라 적용될 수 있다. 일반적으로 지오텍스타일 튜브는 길이방향으로 긴 호스모양으로 지오텍스타일을 미리 봉재하고 일정간격의 주입구에 수리학적 채움을 수행하여 구조물을 축조하며, 지오텍스타일 컨테이너는 저개식 바지에 미리 봉재한 지오텍스타일을 펼쳐놓은 후, 토사를 채운 후 최종현장 봉합 및 계획구간에 저개식 바지를 열어 컨테이너를 침강시키는 방법으로 구조물을 축조한다. 다단식 지오텍스타일 튜브 구조물을 활용한 준설 투기장 제방에 대한 안정성 평가항목은 지오텍스타일 재료를 선정하는 내적 설계고려사항 검토, 지오텍스타일 튜브 단독 구조물에 대한 안정성 검토, 매립제방으로 활용할 경우 외력에 대한 안정성 검토로 크게 세 가지 부분으로 구분할 수 있다(신은철 등, 2007). 따라서, 본 논문에서는 설계 시 요구된 상기 내용에 대하여 세부 검토를 수행하였다. 또한, 지오텍스타일 컨테이너와 튜브를 활용한 방파제 구조물 축조 후 방파제 구조물이 위치한 현상이 발전소의 용수의 유입과 유출이 발생하는 구역으로 발전소 유출수의 온도가 방파제 구조물 내부의 온도변화에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

2. 지오텍스타일 튜브 및 컨테이너 설계시 고려사항

2.1 지오텍스타일 컨테이너 설계사항

대형컨테이너의 설계와 시공에서 주요 인자를 몇 가지 열거하면 컨테이너 내부에 내용물을 넣은 후의 지오텍스타일의 접합강도, 지오텍스타일 내부에 공기가 유입되었을 때의 형태변화, 바지선의 개봉 후 지오텍스타일과 바지선 양 측면과의 마찰 등 무수히 많은 영향인자가 있다. 지오텍스타일의 설계 시 지오텍스타일과 내부토사 사이에 작용하는 힘, 대형컨테이너의 시공 중에 발생하는 형태변화, 덤프과정(덤프속도, 침강속도)과 수중 착지 충격, 환경준설매립 후 수중 오염도 변화 및 수중 착지 후 안정성, 구조적 요구와 시공성 등 고려사항을 분석하였다(오영인 등, 2008). 그림 1은 지오텍스타일 튜브와 컨테이너를 활용하여 설계된 방파제 구조물의 단면도이다.

2.1.1 소요 둘레길이

대형컨테이너를 구성하는 지오텍스타일의 소요 둘레길이, S_0 는 대형컨테이너가 바지선의 바닥 개구부 폭, b_0 를 통하여 빠져 나올 동안 작용하는 힘들에 저항할 수 있도록 충분히 길어야 한다(그림 2 참조). 여기서 A_f 는 컨테이너의 채움시 컨테이너의 단면적이다.

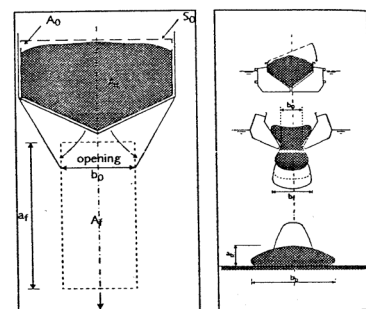


그림 2. 바지선의 바닥 개구부에서 대형컨테이너의 형태

$$S_o \geq (2.5 \sim 4) \left(\frac{A_f}{b_o} + b_o \right) \quad (1)$$

2.1.2 대형컨테이너의 최대높이

수중바닥에서 대형컨테이너의 실제 모양은 채움재가 적게 채워지면 직사각형 형태에 가깝고, 많이 채워지면 준타원형에 가까워진다. 따라서 최종 안정 상태에서의 컨테이너의 최대높이, a_b 는 아래와 같은 범위에 있다. 대형컨테이너의 최대높이는 주어진 구조물에 필요한 평균개수를 추정하는데 사용된다.

$$\frac{S_o}{2} (1 - \sqrt{1 - 16\phi\alpha}) < a_b < \frac{2S_o}{\pi} (1 - \sqrt{1 - 14\phi\alpha}) \quad (2)$$

여기서, α =지오텍스타일 컨테이너 전체용량에 대한 실제 채움용량비(≤ 1), $\phi = A_o/S_o^2$, $A_o =$ 분리형 바지선단면의 최대면적이다.

2.1.3 침강 시 침강속도

대형컨테이너가 수중바닥에 부딪힐 때의 충격력은 침강속도의 함수이다. 중력 가속에 따른 흐름저항은 컨테이너의 침강속도를 감소시키며, 이러한 중력과 흐름저항의 차이가 일정할 때 평형속도에 도달한다.

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{2Vol(\rho_s - \rho_w)g}{A \cdot \rho_w \cdot C_d}} \quad (3)$$

여기서, V_{\max} = 침강속도로 약 5~7m/s, ρ_s = 채움재밀도 (kg/m^3), ρ_w = 물의 밀도(kg/m^3), Vol = 컨테이너의 부피 (m^3), A = 흐름을 받는 컨테이너의 표면적(m^2), C_d = 항력 계수이다.

2.1.4 컨테이너의 유발인장력

대형컨테이너는 수중바닥에 도착하기 바로 직전에 최대 동적에너지를 갖는다. 이 에너지는 컨테이너가 수중바닥에서 안정상태로 되면 완전히 소산된다. 에너지 소산은 지오텍스타일의 변형과 기초지반의 변형, 채움재의 형태 변환 등에 의해 발생된다. 동적에너지의 일부는 수중바닥에서의 충격력 q_o 에 의해 컨테이너 내부에 발생하는 과잉압력이 지오텍스타일의 인장력(F)과 인장변형을 유발시킴으로써 소산된다(Pilarczyk, K. W, 1996).

$$F = q_o \cdot R \cdot L, \quad q_o = \sqrt{\frac{K \cdot Vol \cdot \rho_s \cdot V^2 \cdot E}{S \cdot L \cdot R^2}} \quad (4)$$

여기서, q_o = 컨테이너 내부의 과잉압력(N/m^2), V = 수중바닥 착지 시 속도(m/s), E = 지오텍스타일의 탄성계수(N/m), L = 컨테이너의 길이(m), R = 컨테이너의 반경($S/2\pi$)(m), S = 컨테이너의 둘레길이(m), K = 소산계수이다.

2.2 지오텍스타일 튜브 설계시 검토사항

지오텍스타일 튜브의 설계는 지오텍스타일 튜브의 채움 작업 시 발생하는 인장강도와 튜브의 단면변화 등을 분석하기 위해 2차원 평면해석을 실시한다. 2차원 평면해석에는 미국의 ADAMA Eng.사에서 개발한 GeoCoPS(Version2.0)를 활용한다. GeoCoPS는 지오텍스타일 튜브공법에 대한 2차원 평면변형 해석 프로그램이다. 이 프로그램에 의해 재료특성에 따른 설계변수분석은 토목섬유의 극한강도가 주어졌을 때 지오텍스타일 튜브의 형상을 분석하는 방법으로 진행하였으며 형상조건에 따른 설계변수분석은 최대높이를 주었을 때 이에 요구되는 지오텍스타일 튜브의 인장강도를 분석하였다(신은철, 2006). 설계 시 고려한 조위조건 및 파랑조건 적용된 물성값은 다음 표 1~표 3과 같이 적용하였다.

2.3 구조물 안정성 분석사항

2.3.1 파압산정방법

지오텍스타일 튜브에 작용하는 파압의 산정방법은 해안의 소파구조물에 작용하는 파압산정이론을 바탕으로 한다. 경험적으로 가장 많이 사용되는 수리학적 파압산정은 Hiroi식, Goda식(1985) 등이 있다(오영인, 2002). 특히 Hiroi식은 일본과 아시아지역에서 많이 적용된다. Hiroi식은 평면에 작용하는 파랑의 동적 압력을 모델로 하여 운동량의 식에서 유도한 것으로 Hiroi가 제시한 후 여러 차례 경험적으로 수정되어 다음 식 (5)와 같이 제시되었다. 또

표 1. 설계시 고려한 조위조건

MLWS(m)	MHW (m)	MLW(m)	LAT(m)	MHWS(m)
-0.921	0.491	-0.460	-1.170	0.877
설계적용				설계적용

표 2. 파랑조건(100년 빈도)

수위	위치	설계파고(m)
2	구조물 외해측	2.5

표 3. 설계시 적용된 물성값

마찰각 (튜브&지반)	뒷채움 단위중량	튜브와 컨테이너 채움재의 마찰각	튜브와 채움재의 단위중량
25°	17	35°	17

한, 네덜란드의 Delft 수공학연구소에서는 지오텍스타일 튜브 구조물을 방파제 및 돌제로 활용하는 경우에 대한 수리모형실험을 실시하였다. 실험에 사용한 방파제 및 돌제 구조물을 지오텍스타일 튜브 구조물과 유사한 콘크리트 채움 호스를 적용하였다. Delft 수공학연구소에서는 천단고가 없는 경우에 대하여 호스의 폭과 길이, 유의파고(파고가 높은 순서 중에서 3분에 1을 택해서 평균한 것) 등의 다양한 조건을 변화시켜가며 수리모형실험을 실시하였으며, 실험결과를 바탕으로 하여 다음과 같은 안정해석기준을 다음 식 (6)과 같이 제시하였다(오영인, 2002).

$$P_w = 1.5 \times \rho_0 \times H_{1/3} \quad (5)$$

여기서, P_w 는 파압, ρ_0 는 해수의 단위중량, $H_{1/3}$ 는 유의파고를 나타낸다.

$$\frac{H_{1/3}}{\Delta B} = 1.0 \quad (6)$$

여기서, Δ 는 슬러리의 단위중량비, B 는 구조물의 폭을 나타낸다. 일반적으로 구조물의 폭은 1.1~1.2D(D=지오텍스타일 튜브의 직경)를 적용한다.

2.3.2 2차원 한계평형해석에 의한 안정해석 방법

지오텍스타일 튜브 구조물의 안정에 대한 해석은 활동과 전도에 대한 안정성을 고려한다. 활동에 대한 안전율은 지오텍스타일 튜브 자중과 상재하중인 수직력과 외력으로 작용하는 수평파압의 비로 나타내어진다. 활동에 의한 안전율은 다음 식 (7)에 나타낸 바와 같다.

$$SF_{(sliding)} = \frac{F}{P_h} = \frac{P_v \times \tan \phi'}{P_w \times h_{GT}} \quad (7)$$

여기서, P_h 는 수평력, F 는 수직력, P_v 는 상재하중과 지오텍스타일 자중에 의한 수직력, P_w 는 파도에 의한 파압, h_{GT} 는 지오텍스타일 충전 후 높이, ϕ' 는 채움토사와 지오텍스타일의 포화시 접촉마찰각이다. 활동에 대한 안전율은 1.0이상일 경우 안전한 것으로 판정한다. 지오텍스타일 튜브의 전도에 대한 안전율은 파도에 의한 전도모멘트와 자중에 의한 저항모멘트의 비로 나타내어지며, 다음 식 (8)에 나타낸 바와 같다.

$$SF_{(overturning)} = \frac{M_R}{M_o} = \frac{P_v \times \frac{B'}{2}}{P_w \times \frac{h_{GT}}{2}} \quad (8)$$

여기서, M_R 은 저항모멘트, M_o 은 전도모멘트, P_w 는 파도에 의한 파압, B' 는 지오텍스타일 튜브의 등가 직사각형 폭이다. 전도에 대한 안전율은 1.0 이상일 경우 안전한 것으로 판정한다.

3. 설계시 검토결과

3.1 지오텍스타일 컨테이너 검토결과

앞서 언급한 지오텍스타일 컨테이너의 설계 시 고려사항에 대하여 검토를 수행하였다. 표 4 및 표 5는 지오텍스타일 컨테이너 내부 채움재의 습윤단위중량에 따른 토압,

표 4. 단위중량과 토압계산결과($\gamma_t = 17.0kN/m^3$)

b_0 (열림폭)	θ	A_a	A_b	h	γ_s	K_0 (정지토압계수)	W_a	W_b	P_0	T_v (수직인장력)
0	15	0	14,909	4.5	17	0.577	0	253.45	99,316	-46.28
0.86	20	4,2256	12,618	4.25	17	0.577	71,835	214.51	88,588	-6.114
1.72	25	8,059	10,723	4.012	17	0.577	137	182.29	78,944	30,214
2.58	30	11,28	9,047	3.76	17	0.577	191.76	153.8	69,338	61,319
3.44	35	14,055	7,573	3.514	17	0.577	238,94	128,74	60,562	88,246

표 5. 마찰력과 인장강도 계산결과($\gamma_t = 17.0kN/m^3$)

T(인장력)	$\sin \theta$	$\cos \theta$	$\tan 25$	F(마찰력)	N(수직력)	$F_{max,1}(0.4)$	$F_{max,2}(0.5)$
-178.8	0.2588	0.9659	0.466	-197.2	315.22	126.09	157.61
-17.88	0.342	0.9397	0.466	-13.64	270.66	108.26	135.33
71.427	0.423	0.9063	0.466	92.551	231.94	92.778	115.97
122.64	0.5	0.866	0.466	155.65	195.84	78.336	97.92
153.87	0.573	0.819	0.466	194.21	163.25	65.302	81.627

마찰력, 인장강도를 산정한 계산 시트를 나타낸 것이다. 그림 3과 그림 4는 산정된 결과를 그래프로 도시한 것이다. 저개식 바지의 열림각이 25°일 때 저개식 바지의 한계 열림폭은 1.7m로 도출되었다. 표 6은 한계 열림폭을 1.7m로 고정한 후 산정식 우변의 계수가 2.5일 때 소요돌레는 33.0m로 산정되었다. 또한, 지오텍스타일 컨테이너의 형태가 구형인 경우와 원형인 경우에 대한 평균값을 산정하여 도출한 지오텍스타일 컨테이너의 최대높이는 2.65m로 산정되었다. 지오텍스타일 컨테이너 검토 결과, 지오텍스타일 재료의 인장강도는 200kN/m를 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

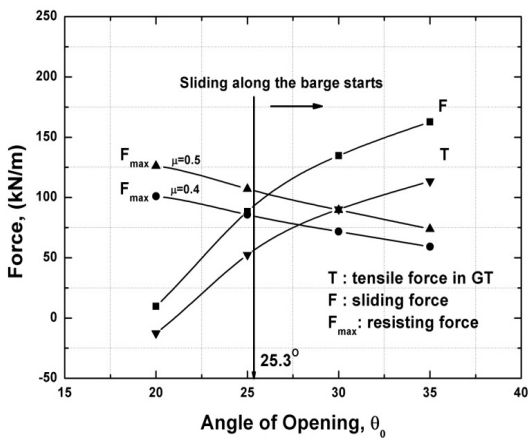


그림 3. 바지선 열림각에 따른 인장강도

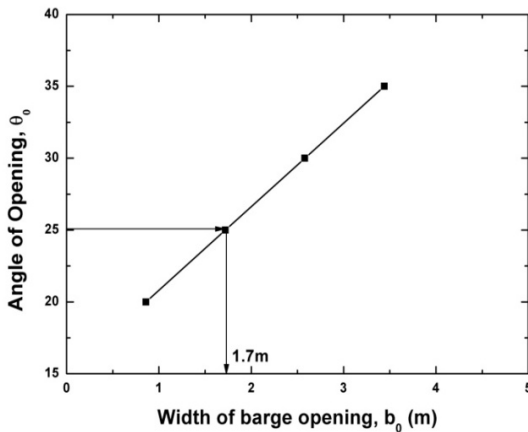


그림 4. b_0 , θ_0 의 관계곡선(한계 폭)

표 6. 지오텍스타일 요구돌레 산정결과

NF(영향계수=2~3)	A_t	b_0	S
2	22.0	1.7	29.3
2.25	22.0	1.7	32.9
2.5	22.0	1.7	36.6
2.75	22.0	1.7	40.3
3	22.0	1.7	43.9

3.2 지오텍스타일 튜브 검토결과

GeoCoPS를 활용한 설계인자 분석결과, 본 검토대상 튜브구조물을 축조하기 위한 지오텍스타일 인장강도는 약 150kN/m가 적정할 것으로 판단된다. 표 7은 지오텍스타일 튜브의 검토결과를 표로 나타낸 것이다.

3.3 구조물 안정성 검토결과

시공 시 발생하는 튜브 단독구조물에 대한 파압 및 토압에 대한 안정성 분석결과, 토압에 대해서는 모두 안정한 것으로 도출되었으며, 파압에 대한 튜브 단독구조물의 안전성은 경험식에 의한 방법과 2차원 한계평형해석에 의한 방법 모두 활동 및 전도에 대한 안전율이 안정한 것으로 도출되었다. 본 논문에서 적용대상 튜브구조물의 특성을 고려하여, 다단식 시공이 진행됨에 따른 토압에 대한 안정성을 검토하였다. 앞서 기술한 바와 같이, 해상측에 시공되어 파압에 대한 영향을 크게 받는 최해측 1단 튜브 단독구조물의 시공 후 내측에 매립을 실시할 경우, 수평토압(P_h)에 대하여 안정한 것으로 도출되었다. 안정성 검토시 지오텍스타일 튜브구조물의 수중단위중량($r_t=17\text{kN/m}^3$)을 적용하였다. 토압의 작용면은 각단 시공튜브의 중앙부를 기준으로 하였다. 그림 5 및 그림 6은 안정성 검토 시

표 7. 지오텍스타일 튜브 해석 결과표

지오텍스타일 튜브	해석결과
극한강도(kN/m)	17.3
튜브의 최대 높이(m)	2.4
튜브의 최대 폭(m)	4.0
평평압력(kPa)	1.7
최종 높이(m)	2.4

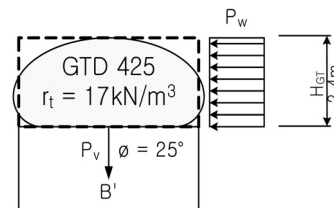


그림 5. 1단 튜브 개념도

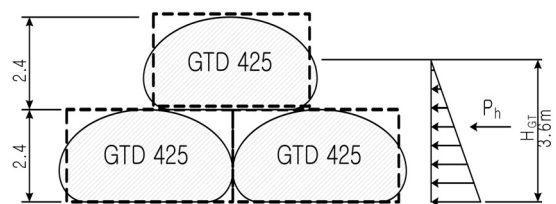


그림 6. 2단 튜브 개념도

고려한 튜브의 1단과 2단일 때의 개념도를 나타낸 것이다.

4. 방파제 구조물의 온도변화 해석

4.1 적용 프로그램 및 해석결과

TEMP/W 프로그램은 구조물 또는 파이프라인과 같은 구조물의 지반의 온도에 따른 변화를 해석하는데 적용하는 유한요소해석 프로그램이다. 본 논문에서 방파제 내부의 온도변화를 모델링하기 위하여 TEMP/W 프로그램을 적용하였다(TEMP/W, 2000). 쇄석과 지오텍스타일 튜브의 채움재 내부의 온도변화 모델링은 방파제 양쪽 끝단의 수온을 경계조건으로 적용하였다. 방파제 내부의 온도변화를 분석하기 위하여 그림 7과 같이 모델링 하였다. 쇄석은 투수계수가 크기 때문에 지오텍스타일의 양쪽 끝단을 경계로 적용하였다. 온도변화 해석 시 적용된 물성값과

경계조건은 표 8에 나타낸 바와 같다. 그림 8은 프로그램 해석결과를 나타낸 것으로 방파제 구조물 내부의 온도변화는 일정한 간격으로 변화하는 것으로 확인할 수 있었으며, 방파제 구조물 중앙부의 온도는 약 27°C 정도인 것을 확인하였다.

5. 결론

본 논문은 지오텍스타일 튜브와 컨테이너를 활용하여 해상에 방파제 구조물을 설치하고 방파제 구조물 외부의 해수 온도차이가 방파제 구조물 내의 온도변화를 분석하기 위하여 TEMP/W 프로그램을 사용하였다. 방파제 구조물을 설치하기 위하여 지오텍스타일 튜브와 컨테이너의 설계 시 고려사항을 검토하고 설치된 방파제 구조물의 안정성을 검토하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

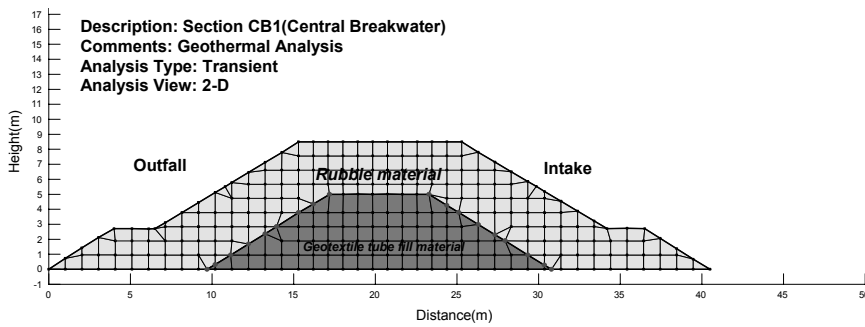


그림 7. 온도변화 해석을 위한 방파제 모델링

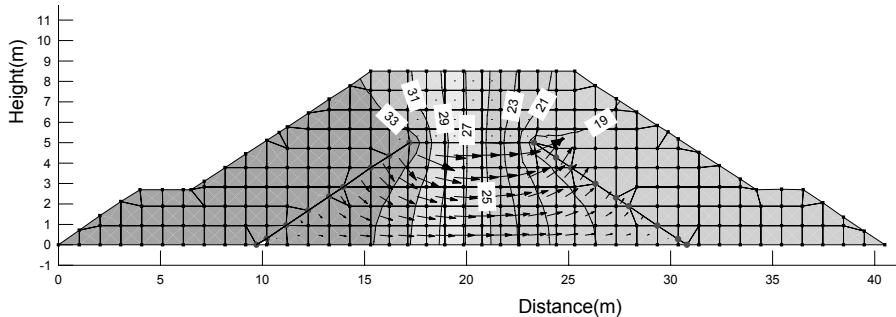


그림 8. 방파제 내부 온도변화 contour

표 8. 온도해석시 적용된 물성치와 경계조건

쇄석 물질		튜브 내 채움재료 : 저투수성 실트	
특성	적용값	특성	적용값
잠열(kJ/m ³)	420,000	잠열(kJ/m ³)	344,000
동상 열량(kJ)	2,500	동상 열량(kJ)	1,900
비동상 열량(kJ)	2,900	비동상 열량(kJ)	2,300
경계조건	단면 내측 : 18°C, 단면 외측 : 35°C		
Transient condition	After 8 months		

참고문헌

1. 설계 시 요구조건에 대한 검토결과, 지오텍스타일 컨테이너의 소요돌레길이는 33.0m, 최대높이는 2.65m로 산정되었으며 지오텍스타일 컨테이너의 인장강도는 200kN/m로 도출되었다. 또한, GeoCoPS를 활용한 설계인자 분석결과, 방파제 구조물을 축조하기 위한 지오텍스타일 인장강도는 약 150kN/m가 적절할 것으로 판단된다.
 2. 방파제 구조물의 특성을 고려하여, 다단식 시공이 진행됨에 따른 토압에 대한 안정성을 검토한 결과, 활동과 전도에 대하여 안정한 것으로 나타났다.
 3. 방파제 구조물 내부의 온도변화 분석결과 방파제 구조물 내부의 온도변화는 일정한 간격으로 변화하는 것으로 확인할 수 있었으며, 방파제 구조물 중앙부의 온도는 약 27°C 정도인 것을 확인하였다.
1. 신은철 (2006), “2차원 한계평형 및 평면변형해석을 통한 지오텍스타일 튜브 복합구조물의 거동분석”, *한국지반환경공학회 논문집*, 제7권, 제6호, pp.13-22.
 2. 신은철, 김성환, 김기한 (2007), “지오텍스타일 튜브의 단면결정에 관한 연구”, *2007년 대한토목학회 정기학술발표회 논문집*, pp.2224-2227.
 3. 오영인 (2002), *친환경적 지오텍스타일 튜브의 거동 분석*, 박사학위 논문, 인천대학교.
 4. 오영인, 김석현, 김성환, 김정환 (2008), “토목섬유를 활용한 퇴적오염물 처리 및 처분방안”, *한국지반공학회 해양항만기술위원회 학술발표회 논문집*, pp.133-142.
 5. Goda, Y (1985), *Random seas and design of maritime structures*, University of Tokyo Press, Japan.
 6. Pilarczyk, K. W (1996), “Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering-An Overview”, *Proc. 1st European Geosynthetics Conf. (Euro-Geo1)*, Maastricht, The Netherlands.
 7. TEMP/W User's Guide (2000), *GEO-SLOPE International Ltd.*, Canada.

(논문접수일 2008. 7. 14, 심사완료일 2008. 8. 3)