

트렌치 굴착에 있어서 경량 흙막이 구조체의 안정성 해석

Stability Analysis of the Light Weight Earth-Retaining Structure in the Trench Excavation

서 성 탁* · 허 창 환** · 김 회 덕*** · 지 홍 기****

Seo, Sung-Tag · Heo, Chang-Han · Kim, Hee-Duck · Jee, Hong-Kee

Abstract

In trench excavation, essential factor of earth-retaining temporary work structure should be easy taking to pieces and movement, and dead weight must be less. This paper studies about the light weight material and application as earth-retaining structure to prevent the slope failure of sand soil ground caused by the variation of groundwater level in trench excavation. That is, light weight earth-retaining structural is proposed and a simulation with FEM on application of proposed structural in sandy soil is presented. The results are summarized as follows; ① The study proposed FRP H-shaped pannel for the light weight member, and also presented estimation method about stability. ② Mechanical property (bending moment, shear force, axial force, displacement) were changed according to groundwater level, but these values had been within enough safety rate and allowable stress. Therefore, proposed light weight pannel with FRP is available for bracing structure in trench excavation.

Keywords : Trench, Slope failure, Retaining wall, Fiber reinforcement polymer, Light weight pannel

I. 서 론

건설공사 현장에서 발생하는 중 대 재해는 크게 추락재해, 붕괴재해 및 중기재해로 구분할 수 있으

며, 그 중에서 붕괴재해는 토사붕괴, 암반붕괴, 타설 콘크리트 붕괴, 철골붕괴 등이 있다. 특히, 이 중에서 토사붕괴는 굴착규모가 클 경우에는 비교적 완벽한 사전준비와 붕괴방지에 필요한 설계기준과 재료의 선택이 일반적으로 표준화되어 있다. 그러나 굴착 규모(깊이와 폭)가 작고 신속한 매설이 요구되는 상수관, 하수관, 가스관 및 전력·통신선 관로등을 도로 혹은 공공용지에 신속히 매설하고 되메우기 할 경우에는 토사의 붕괴를 막기 위한 가설공사의 구조물 설계 및 시공방법이 표준화되어 있지 않아서 건설현장에서는 토석붕락 사고 및 교통

* 경일대학교 토목공학과

** 충주대학교 토목공학과

*** 경일대학교 토목공학과

**** 영남대학교 토목공학과

* Corresponding author. Tel.: +82-53-354-8361

Fax: +82-53-850-7606

E-mail address: seosungtag@yumail.ac.kr

장애가 빈발하고 있다.

건설현장에서 트렌치 굴착은 흙막이 가설구조물에 의해서 진행이 되기 때문에 해체와 이동(재조립)이 용이해야 하고 가설구조물의 자중이 적어야 한다. 뿐만 아니라 가설구조물 내에서는 관로 매설 등의 작업이 진행되어야 하므로 가능한 충분한 작업공간의 확보, 지하수에 의해서 부식되지 않아야 하며, 상재하중 및 수압등의 외력이나 국부적 응력 집중에 충분히 저항할 수 있는 강도를 지녀야 한다.

굴착 깊이가 얇고 교통흐름의 방해할 가져올 수 있는 현장에 적합한 몇몇 공법들이 10여 년 전부터 연구 개발되어 왔다. ① HDD(Horizontal directional drilling)는 고밀도 폴리에틸렌 파이프를 이용하여 굴착 없이 상수관, 가스관 등을 매설하는 연구로서, 먼저 굴착하는 지점의 중앙선을 따라 작은 직경의 유도공을 굴착한 후에 목표하는 크기의 관경으로 확장하고, 이를 상수관, 가스관, 전력 및 통신관으로 이용하는 수평방향 굴착방식이다(Knight et al., 2001). ② 건설재해의 예방, 건설비의 절감등의 관점으로부터 건설, 채광 및 도로작업과 같은 산업분야에 로봇을 이용한 연구(Hemami, 1995), ③ 트렌치 굴착에 있어서 가설벽의 붕괴, 무거운 물건의 개착부로 낙하, 굴착기 및 기타장비의 매몰 등의 사고를 예방하기 위해서 Computer Aided Design(CAD)을 이용한 굴착과 파이프의 배근 시스템에 관한 연구(Huang and Bernold, 1997). ④ H형의 상호 연결된 콘크리트 블록이 전단과 압축에 저항하며, 콘크리트 블록사이의 적당한 공간은 비블록화된 배수로 역할을 하도록 하는 공법으로서, 깊은 굴착과 얇은 굴착에 사용할 수 있고, 특히 신속하고, 배수에 유리한 신축성 있는 흙막이벽 시스템에 관한 연구(Huang, 1997)등이 있다. 최근 선진국에서는 트렌치 굴착시 토석붕괴 방지를 위한 가설구조로서 SS 패널, 스피드 패널 및 슈퍼 패널 등이 많이 사용되고 있으며, 이들 구조의 특징은 백호, 크레인만으로 굴착, 삽입, 판매설, 되메우기, 뽑기까지 반복할 수 있고, 또한 알루

미늄 합금을 사용하여 경량화를 꾀하였기 때문에 좁은 장소 등에서 유리하며, 운반의 경제성도 우수하고 인력과 공기가 대폭 절감될 수 있는 특징을 가지고 있다(Ou et al., 1996; Addenbrooke et al., 2000).

본 연구에서는 건설현장에서 트렌치를 굴착할 때, 흔히 발생하기 쉬운 토석붕괴를 방지하기 위하여 유리섬유강화 플라스틱(Fiberglass Reinforced Plastics : FRP)과 같이 내구성, 내식성, 강도, 일시적인 충격이나 압력에 대한 복원력과 기능성이 우수하고, 경량화된 소재(제품)를 이용한 가설 흙막이 구조체를 제안하며, 사질토 지반에서 지하수 위 변동에 따른 가설구조체의 안정성 평가를 위하여 3차원 FEM 해석을 수행한다.

II. 지하수위 변동에 따른 토압분포특성

버팀굴착부에 작용하는 토압을 Fig. 1에 나타냈다. 사질토지반에 작용하는 토압은 $P_a = 0.65 \gamma H K_a$ 로 계산되며(Peck, 1969), K_a 는 Rankine의 주동 토압계수로서 $K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$ 이다(Rankine, 1857).

여기서, γ 는 흙의 단위중량, H는 흙막이 벽의 높이, h 는 지하수위이다. 또한 지하수위(h)가 존재하는 경우, 흙의 단위중량(γ)은 아래의 평균 단위중량 $\gamma_{ave} = \{ \gamma(H-h) + \gamma' h \} / H$ 를 사용한다. 여기서, γ' 는 흙의 포화상태 단위중량(γ_{sat})에서 물의 단위중량(γ_w)을 뺀 유효단위중량으로서 $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ 이다. 또한, 상재하중에서는 $P_a = K_a q$, 수압에서는 $P_w = \gamma_w h$ 을 사용한다. 상재하중 q 는 충격을 포함한 값이다.

흙막이 구조체의 뒷채움 재료는 사질토로서, 토질상수는 각종 문헌(Liao et al., 1998)을 참조하여 Table 1과 같이 정하였다. 또한, 지하수위는 $h=0m$, 구조체높이(H)에 대하여 $\frac{1}{4}H$, $\frac{1}{2}H$,

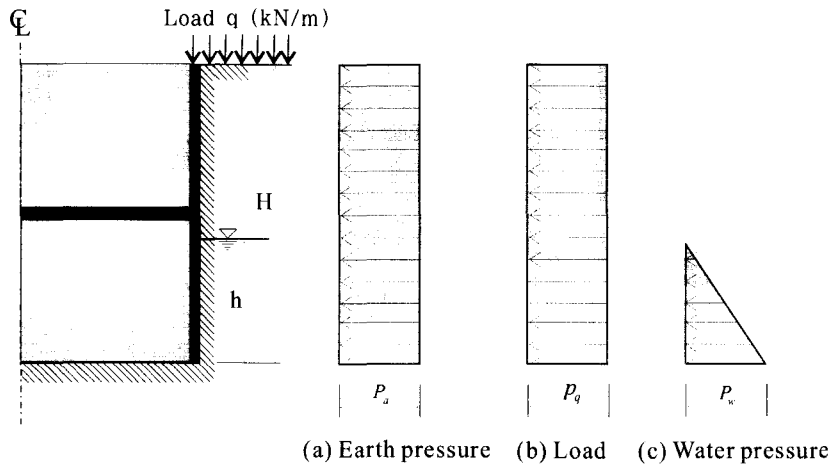


Fig. 1 Forces acting at retaining wall (sandy ground)

Table 1 Soil parameters for sandy soil

Soil constants		Sandy soil (SP)
Unit weight (kN/m ³)	γ	18.6
	γ_{sat}	20.6
Angle of internal friction	ϕ	30°
Coefficient of active earth pressure	K_a	0.3
Load (kN/m ²)	q	9.8

(a) Soil constants of sandy soil (Liao et al., 1998)

Soil constants		h=0	h=H/4	h=H/2	h=3H/4	h=H
Sandy soil (SP)	γ_m (kN/m ³)	18.62	16.66	14.7	12.74	10.78
	P_a (kN/m ²)	12.08	10.82	9.55	8.27	7
	P_s (kN/m ²)	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26
	P_w (kN/m ²)	0	7.35	14.7	2.45	29.4

(b) Soil constants on groundwater level variation

$\frac{3}{4}H$ 및 H 등의 5가지 케이스에 대해서 구조해석을 했다.

III. 경량흙막이 구조체의 제안 및 안정성 평가에 대한 이론

1. 경량흙막이 구조체의 제안

가. 경량흙막이 구조체의 형상

본 연구에서 제안한 흙막이 구조체는 Fig. 2과 같이 FRP재질의 흙막이용 경량패널과 횡방향 강재 지지봉으로 구성되어 있다. 지지봉은 연결판과 일체로 용접되어 볼트 또는 적당한 연결장치를 사용하여 경량패널의 중앙부에서 접합된다. 또한, 토압으로 인한 패널 하부의 전도를 방지하기 위하여 2개의 지지말뚝을 설치하여 횡방향 변위를 구속하였다. 시공방법은 Fig. 3과 같이 ① 패널전체를 굴착부에 넣은 뒤, 패널 한면에 횡방향 지지말뚝을 설치한다. ② 길이 조절이 가능한 버팀보를 설치하여 화살표방향으로 일정한 폭만큼 이동한 후 횡방향 지지말뚝을 설치한다. ③ 해체는 설치의 역순으로서 횡방향 지지말뚝과 버팀보를 제거한 뒤, 판넬을 뽑아 올린다. 이렇게 해서, 백호, 크레인만으로 굴착, 삽입, 판매설, 뽑기, 되메우기까지를 반복시공한다.

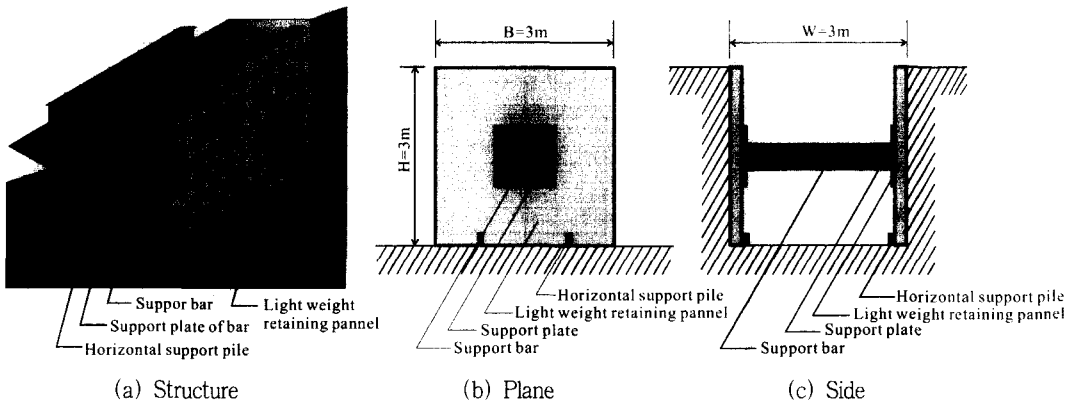


Fig. 2 Light weight panel structure

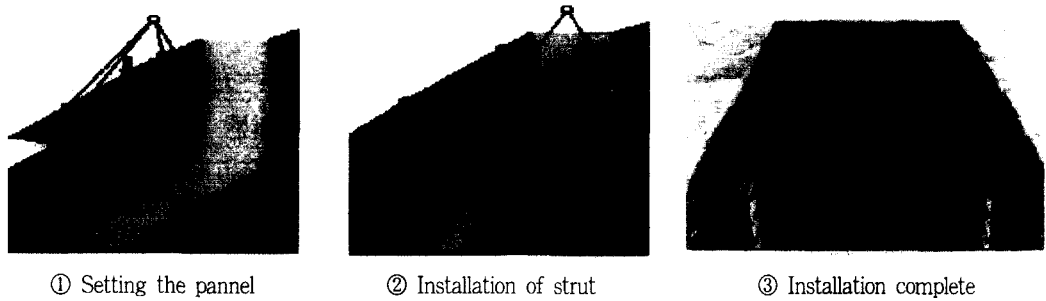


Fig. 3 Construction process of the light weight earth-retaining structure

나. 유리섬유강화 플라스틱(FRP)의 성질 및 대상 구조물의 제원

구조재료용 FRP는 불포화 폴리에스테르수지와 유리섬유를 조합한 것으로 최근에 들어 고분자재료의 제조기술 발달에 힘입어 초고강도의 FRP 제품이 등장하고 있으며, 토목건축분야에서도 널리 사용되고 있다. FRP재료의 구조재료용으로 특징은 다음과 같다(Djamaluddin, 2003). 1) 내부식성이 우수하며, 가볍고 강하다. 2) Ion 용출이 전무하며, 접착성이 강하여 다른 재료와의 접착이 양호하다. 3) 성형, 착색, 설계, 가공이 자유롭고 현지 시공이 용이하다. 4) 전기절연성, 내열, 내후성이 우수하여 수명이 반영구적이다. 5) 외관이 미려하여 치장이 불필요하다. 6) 하자발생시 그 수리가 간단하고 흔적이 거의 남지 않는다. FRP와 각종 구조재료의

기계적 성질을 Table 2(JSCE, 1993)에 정리하였다. FRP재료(고급유리직포)는 구조용 강재(SS41)에 비교하여 인장강도는 78%이지만, 비중은 약 23% (Rizkalla, 2001)에 불과하다.

본 연구에서 대상으로 하는 경량 흠막이 구조체를 구성하고 있는 부재의 제원과 단면치수를 Fig. 4 및 Table 3에 나타냈다.

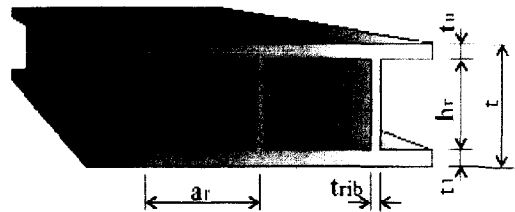


Fig. 4 Details of the light weight panel (H-shaped FRP)

Table 2 Mechanical properties of FRP and various structure material

Material		Tensile strength	Compression strength	Bending strength	Shear strength	Elastic modulus	Impact coefficient	Specific gravity
		(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
Metal Material	Structural steel (SS41)	411.6	-	-	-	205.8	14,700	7.8
	Aluminium alloy (24S-T)	460.6	-	-	274.4	68.6	1,960~2,842	2.8
	Aluminium alloy (52S-O)	186.2	-	-	124.46	68.6	8,134	2.8
FRP	High-grade fiber glass fabric	323.4	274.4	490	78.4~98	19,600	1,274	1.8
	Roving fiber glass fabric	267.54	163.66	230.3	159.74	19,600	-	1.8
	Plain fabric fiber glass fabric	196	147	254.8	78.4~98	15,680	980	1.7
	Glass mat	98	98	14~18	78.4~98	15,680	980	1.6
Plastic	Unsaturated polyester	40.18	154.84	112.7	64.68	3,724	30.38	1.12
	Rigid vinyl chloride resin	58.8	98	98	39.2	2,940	29.4	1.4
	Polyacrylate acrylic resin	70.56	98	98	43.12	2,744	29.4	1.4

Table 3 Details of the light weight pannel and support bar

Height (H)		300 cm
Total thickness (t)		15 cm
Pannel	Upper thickness (t _u)	1 cm
	Lower thickness (t _l)	1 cm
Rib	Thickness (t _{rib})	0.5 cm
	Height (h _r)	13 cm
	Spacing (a _r)	20 cm

(a) Light weight pannel

Diameter (φ)	10 cm
Thickness (t)	1 cm
Section area (A)	28.27 cm ²
Geometrical moment of inertia (I)	289.3 cm ⁴
Radius of gyration (r)	3.20 cm
Support condition (K)	Hinge (k=1)
Length (L)	270 cm
Design moment (M _d)	0.294 kN · m
Design strength (P _d)	196 kN

(b) Support bar

2. 안정성 평가에 대한 이론

흙막이 구조체의 안정도 평가과정을 Fig. 5에 나타냈다. 첫째, 흙막이 구조체에 작용하는 외력 즉 토압계수, 굴착깊이, 지하수위, 상재하중을 산정한다. 둘째, 패널, 지지봉의 형상, 재료의 역학적 특성에 대해서 검토한다. 셋째, 외력과 재료를 고려한 흙막이 구조체의 모델링 및 구조해석을 수행한다. 넷째, 각종 외력에 의한 토류판에 작용하는 단면력을 해석하며, 이를 토대로 경량패널의 안정도에 대해서 평가한다.

가. 2축 휨 및 전단에 대한 안정성 평가

2축 휨을 받는 단면의 휨응력은 각 축에 대한 휨응력의 중첩으로 생각할 수 있으며, 안정조건은 아래와 같다.

$$f_b = \frac{M_{xx}}{I_x} y + \frac{M_{yy}}{I_y} x \leq f_{bo} \dots \dots \dots (1)$$

구조해석 결과 x 및 y방향의 최대휨모멘트는 단면 중앙에서 동시에 발생하고, 대상단면의 2차모멘

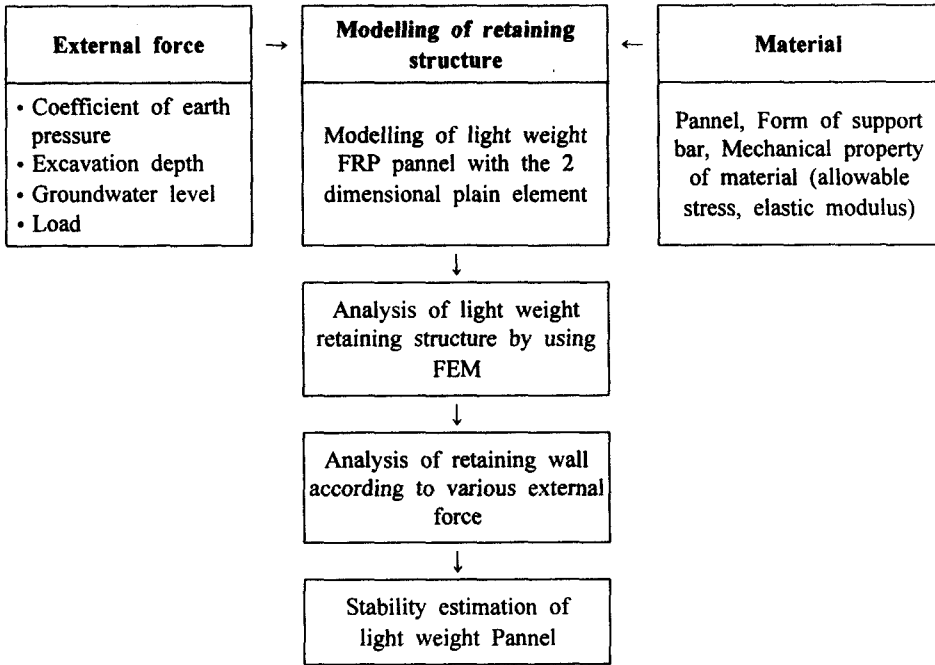


Fig. 5 Flowchart of analysis procedures for structure

트 및 상·하연 거리가 x 및 y 축에서 동일하므로 상기 식을 아래와 같이 변환할 수 있다.

$$(f_b \frac{I}{y} = M) = M_{xx} + M_{yy} \leq (f_{ba} \frac{I}{y} = M_a) \dots (2)$$

따라서 본 연구에서는 휨에 대한 안전율을 아래와 같이 정의한다.

$$F.S.M = \frac{M_a}{M_{xx} + M_{yy}} \geq 1.0$$

동일한 방법으로 전단에 대해서도 아래와 같은 안전율을 정의할 수 있다.

$$F.S.v = \frac{V_a}{V_{xx} + V_{yy}} \geq 1.0 \dots \dots \dots (3)$$

- 여기서, M_{xx}, M_{yy} : x, y 방향의 최대 모멘트
- V_{xx}, V_{yy} : x, y 방향의 최대 전단력
- M_a, V_a : 허용 휨모멘트 및 허용 전단력
- f_b, f_{ba} : 휨응력 및 허용 휨응력

나. 경량패널의 횡변위 고찰

패널의 응력(휨응력, 전단응력)도에 여유가 있어도, 그 변위량이 크게 되면 패널 뒷면의 지반침하가 발생하며, 주변 건축물이나 도로등의 시설에 영향을 미치므로 변위량(사용성)에 대해서 검토할 필요성이 있다. 구조해석의 모델링에서 패널을 두께 5 cm의 층신판으로 하여 단면력을 산정함으로 실제 변위는 단면2차모멘트 비를 사용하여 다음과 같이 환산하여 평가한다.

$$\delta_e = \frac{I_{model}}{I_{actual}} \delta_x = \frac{1041.7}{10274} \delta_x = \frac{\delta_x}{9.86} \dots \dots \dots (4)$$

3. 실제 흙막이 구조체의 적용분석

본 논문은 범용구조해석 프로그램 MIDAS (Midas Information Technology, 2001)을 사용하였으며, 흙막이 구조체를 8×8개의 판(plate)

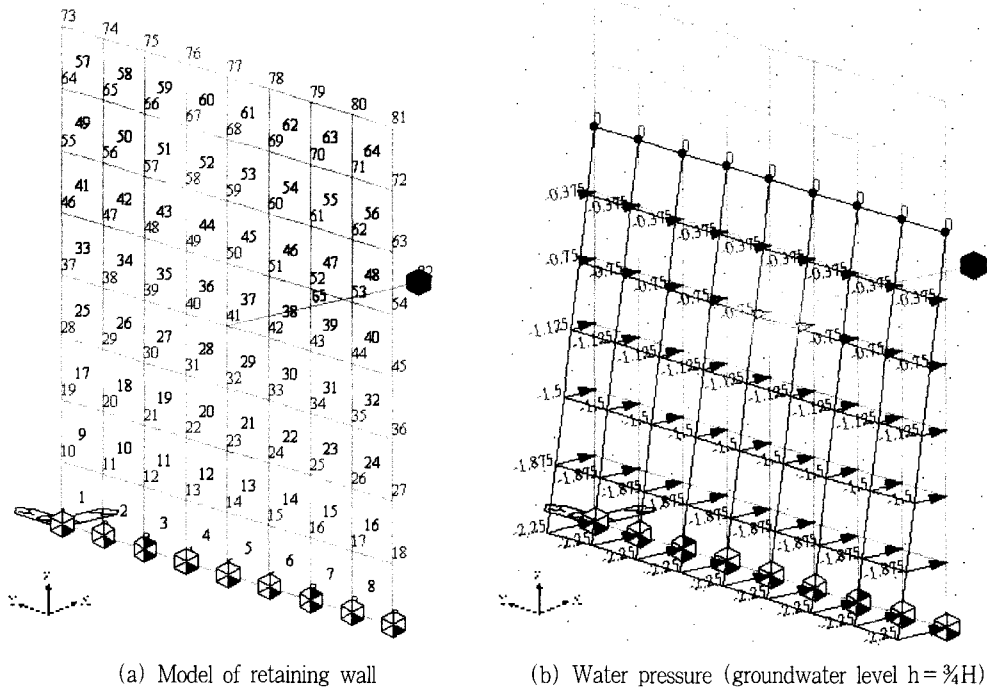


Fig. 6 Finite-Element mesh for simulating sheet structure

요소로 분할하여 Fig. 6(a)와 같이 모델링하였다. 여기서, 설계과장상의 효율성을 높이기 위하여 본 구조계산시의 판의 단면은 실제 형상과는 다른 두께 50 mm 충실판으로 모델링하였다. 실제와 다른 변형에 대한 문제는 후처리과정에서 실제단면의 단면 2차모멘트를 사용하여 환산하는 것으로 대처하기로 하였다. 지지봉은 평판 중앙 절점인 41 절점에 연결하였으며, 다른 단(절점 82)은 모든 변위를 구속하였다. 흙막이 구조체 하부에서 모든 절점(절점 1-9)의 z방향의 변위를 구속하였고, 절점 3과 7에서는 횡방향 지지말뚝으로 인하여 x방향의 변위를 구속하였다. 외력으로서 전술한 상재하중, 토압 및 수압을 각 해석 케이스별로 달리 입력하여 판요소의 단위길이당 휨모멘트, 전단력, 축방향력 및 반력을 구하였다. Fig. 6(b)는 흙막이 구조체의 해석모델과 수압에 의한 외력의 예로서 지하수위 $h = \frac{3}{4}H$ 에 대한 것이다.

IV. 안정성 평가 및 고찰

1. 경량패널의 단면상수 및 내하력

판이론에 의해 해석된 패널의 단면력은 단위길이당 단면력으로, 본 연구에서 제안된 패널의 단위길이당 단면상수는 Table 4에 나타났다. 여기서, FRP 리브의 면적은 계산의 간략화를 위하여 Fig. 7과 같이 등가단면적으로 환산한다.

Table 4 Section constants

Geometrical moment of inertia ($I_{xx} = I_{yy}$)	10274 cm ⁴ /m
Section modulus ($S_{xx} = S_{yy}$)	1370 cm ³ /m
Allowable bending moment (M_a)	134.26 kN · m/m
Web section area ($A_w = t_w \times h_r$)	30 cm ² /m
Allowable shear strength (V_a)	147 kN/m

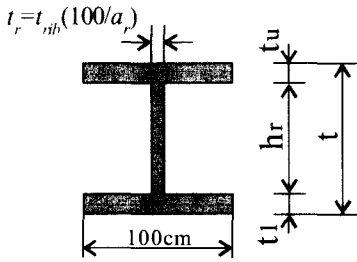


Fig. 7 Equivalent section area of rib per unit length

2. 휨에 대한 안정성 평가

평면 모멘트도로부터 M_{xx} 는 외력이 횡적변화가 없는 좌우대칭이므로 지하수위에 관계없이 좌우대칭인 단면력을 나타내고 있으며, M_{yy} 는 횡방향 지지말뚝의 구속효과에 의해 지하수위가 높아질수록 하부의 모멘트가 (-)에서 (+)로 전환되어 증가한다(Fig. 8).

또한, 해석 결과에서 도출한 단위길이당 최대모멘트로부터 지하수위와 모멘트의 관계를 Fig. 9에 정리하였다. x , y 방향의 최대 모멘트는 평판의 중심에서 발생하며, 지하수위의 레벨 $h=0\text{m}$ 일 경우, 순수한 상재하중과 토압에 대한 휨모멘트, M_{xx} , M_{yy} 는 $47.92 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$ 가 발생하며, 그 후 지하수위 (h)가 1.5 m 상승할 때까지 조금씩 감소하는 경향을 나타내지만, 다시 1.5 m 부터 휨모멘트가 급격히 증가한다. 이것은, 지하수위 1.5 m 지점에서 횡방향 지지말뚝에 의한 변위가 구속되었기 때문이다. 그러나 최대 휨모멘트, M_{xx} , M_{yy} 는 지하수위 (h)가 3 m 에서 발생되며, 크기는 각각 $62.72 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$ 및 $57.72 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$ 이다. 또한, 지하수위 $0 \sim 3 \text{ m}$ 에서 안전율은 $1.58 \sim 2.20$ 사이에 분포하고 있으며, 지하수위가 상승할수록 감소하는 경향을 나타내지만, 모든 경우에서 안전율이 1.0 을 초과한다. 최저안전율로서는 지하수위 3 m 에서 $F.S.M = 1.58$ 이다.

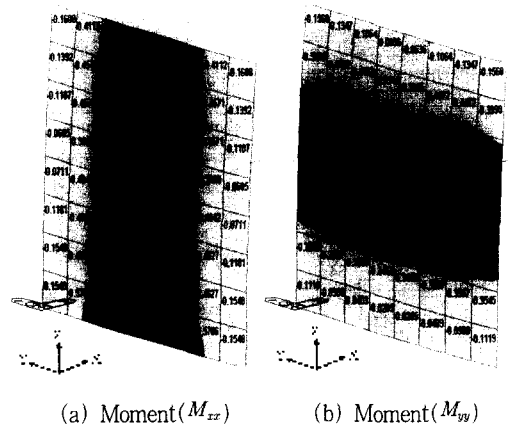


Fig. 8 Bending moment diagram ($h=1/4H$)

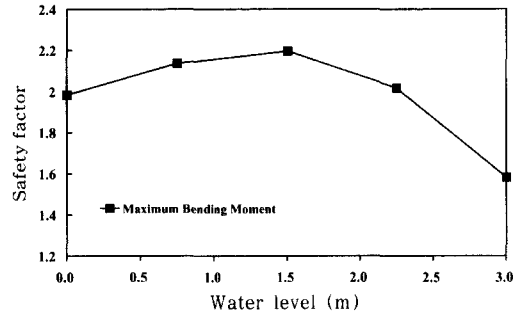
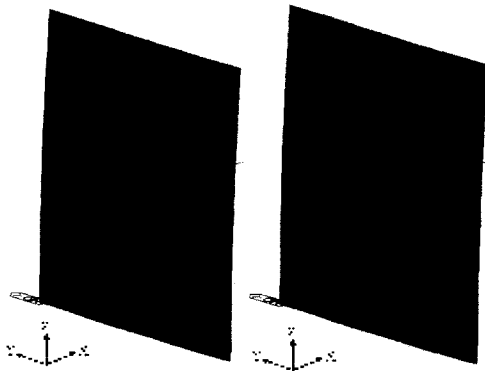


Fig. 9 Effect of bending moment on groundwater level change

3. 전단에 대한 안정성 평가

평면 전단력도로부터 V_{xx} 및 V_{yy} 는 각각 x 축 및 y 축에 대하여 역대칭적인 관계를 나타내고 있으며, V_{xx} 의 경우 최대값 발생위치는 지하수위 변화에 관계없이 중앙단면의 ($x=0$)의 $y = \pm 1/4B$, V_{yy} 의 경우 최대값 발생위치는 중앙단면의 ($y=0$)의 $x = \pm 1/4H$ 이다.(Fig. 10)

지하수위 변동에 따른 최대전단력을 Fig. 11에 나타냈다. 전단의 경우는 동일한 위치에서 x 축과 y 축에 대한 최대전단력이 발생하지 않으나, 전단력 V_{xx} 및 V_{yy} 의 절대값은 모멘트 경우와 동일하



(a) Shear force(V_{xx}) (b) Shear force(V_{yy})

Fig. 10 Shear force diagram ($h=1/4H$)

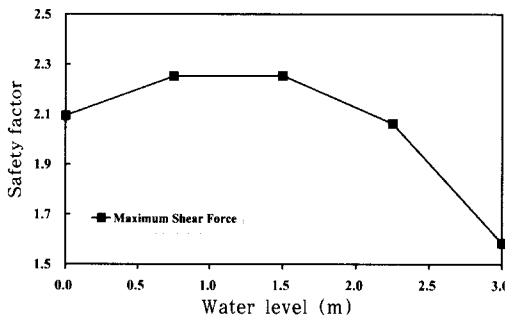


Fig. 11 Effect of shear force on groundwater level change

계 지하수위가 $h=1/2H$ 에서 H 에 이르는 동안 급격히 증가한다. 최대 전단력 V_{xx} , V_{yy} 는 지하수위(h)가 3.0 m에서 발생되며, 크기는 각각 66.15 kN/m 및 65.07 kN/m이다. 또한, 지하수위 0~3 m에서 안전율은 1.58~2.25사이에서 분포하고 있으며, 지하수위가 상승할수록 감소하는 경향을 나타내지만, 모든 경우에서 안전율이 1.0을 초과한다. 안전율의 최저값은 휨모멘트와 동일하게 지하수위 3 m에서 발생하며, 그 크기는 1.58이다.

4. 경량패널의 횡변위 고찰

FRP의 탄성계수는 강재의 약 1/10 정도인 1.96×10^4 N/mm²(Abdullah, 2001)이므로 강재에 비

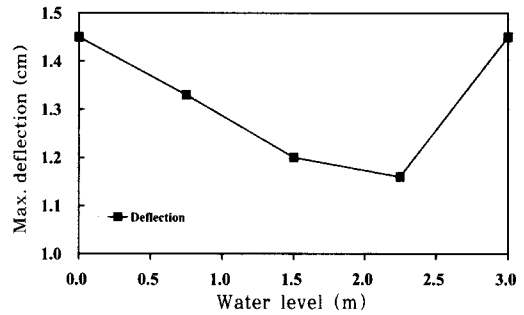


Fig. 12 Maximum deflection on groundwater level change

해 변위가 크게 나타날 것으로 예상되었으나, 하부 전도 방지용 말뚝을 설치한 영향으로 상부변위가 상당히 줄어들었다.

구조용 FRP에 대한 허용 처짐량에 대한 규정은 아직 제정된 것이 없으나, 환산한 변위의 최대값은 상부에서 1.45 cm로서, $\delta_{max}/H=1/207$ 정도인 점을 미루어 유연성이 풍부한 FRP의 특성상 무리가 없는 것으로 생각되며, 전체 구조물에도 큰 영향이 미치지 않을 것으로 판단된다. Fig. 12에서 지하수위의 레벨 $h=0$ 일 경우, 순수한 상재하중과 토압에 대한 패널의 변위는 1.45 cm가 발생하며, 그 후 지하수위(h)가 1.5 m 상승할 때까지 선형적으로 감소하는 경향을 나타내며, 다시 $h=3/4H$ 부터 급격히 상승한다. 최대 변위는 $h=0$ 및 $h=3$ m에서 발생하며, 크기는 1.45 cm이다.

5. 횡방향 지지말뚝의 지지력

경량 패널의 내측방향으로 설치된 2개의 지지말뚝에 대한 횡방향지지력을 평가하기 위하여 절점 3, 7의 반력(R_x)을 구했다(Fig. 13). 지하수위가 $h=0$ 일 때 지지력 $R_{pile}=0$ 이며, 그 후 지하수위가 증가할수록 말뚝의 지지력은 증가하며, 지하수위 $h=3$ m에서 최대지지력 $R_{pile} = -22.1$ kN이 발생한다. 그러므로 횡방향 지지말뚝은 안전율 1.7 (Korea Road Transportation Association,

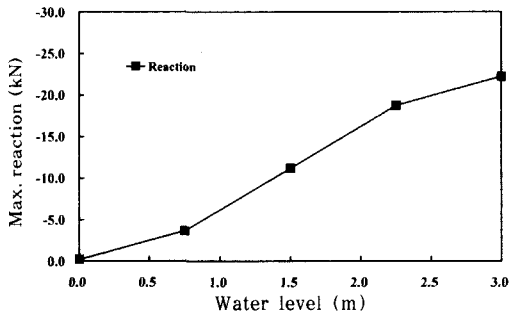


Fig. 13 Reaction of horizontal support pile on groundwater level change

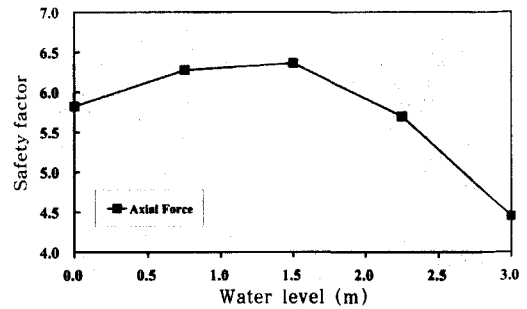


Fig. 14 Effect of axial force on groundwater level change

2000)을 고려하여 37.5 kN 이상의 지지력을 가지도록 설계하는 것이 필요하다.

6. 지지봉의 안정성 검토

경량 패널의 2차원 평판해석 결과로부터 각 해석 케이스별로 지지봉에 작용하는 축방향력과 휨모멘트를 Fig. 14, Table 5에 정리하였으며, 지하수위의 레벨 $h=0$ 일 경우, 순수한 상재하중과 토압에 대한 지지봉의 축방향력은 -137.69 kN이 발생하며, 그 후 지하수위의 상승에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보이며, 지하수위 $h=1/2H$ 을 기점으로 급격히 증가한다. 또한, 축방향력과 모멘트의 최고치는 지하수위 $h=3$ m에서 -180.22 kN 및 0.319 kN·m이다. 이에 본 연구에서는 지지봉의 안정성 검토를 위하여, 27요소로 분할하여 부재의 좌굴해석을 수행했다. 해석결과 좌굴은 하중 801.7 kN에서 발생하며, 지지봉의 축력 (Table 5)과 비교하면 약 4배 이상의 안전율을 보유하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 모멘트를 추가로 받는 기둥의 경우, 좌굴하중이 감소하는 경향이 있으나 설계축력에 비하여 좌굴하중이 상당히 크므로 전혀 문제시되지 않는다.

상기에서 FRP를 이용한 경량 흙막이 구조체를 제안하였으며, 실제에의 적용성을 확보하기 위해서는 일정한 축척의 모형틀 제작하여 실제하중에 대

Table 5 Analysis results of support bar

Soil	Ground level	$h=0$	$h=H/4$	$h=H/2$	$h=3H/4$	$h=H$
Sandy	R_x (kN)	-137.69	-127.79	-126.03	-140.73	-180.22
	M (kN·m)	0.32	0.29	0.24	0.21	0.26

한 역학적 변형을 확인할 필요가 있으며, 재료의 선택, 가설구조물의 구성 및 부재의 변형 등에 관련된 실측이 필요할 것으로 판단된다.

V. 결 론

지금까지 트렌치 굴착시 굴착지반의 토질조건과 지하수위의 변동에 따른 토석붕괴 방지를 위한 가설구조물의 시공상 안전성과 편이성 그리고 작업성에 주안점을 두어, FRP 재료를 이용한 경량 흙막이 가설 구조체를 제안하였다. 또한, 제안한 흙막이 가설 구조체의 안정성을 파악하기 위해서 사질토 지반을 대상으로 하여 지하수위 변동에 따른 구조 해석을 수행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 흙막이 구조체의 경량화를 위하여 유리섬유강화 플라스틱(FRP)를 이용한 흙막이판 구조체(재료, 형상, 제원)를 제안하였으며, 제안한 경량 흙막이 구조체의 안정성 평가 방법을 기술하였다.

2. 흙막이 판에 작용하는 토압분포를 고려하여 FEM을 이용한 구조체의 안정성 해석을 하였으며, 각 부재에 대하여 안정성을 평가할 수 있는 해석결

과를 제시하였다.

3. 제안한 경량 가설 흙막이 구조체(FRP)를 사질토 지반을 대상으로 구조 해석한 결과, 지하수위의 변동에 따른 흙막이 패널의 응력 및 변형상태(휨모멘트, 전단력, 축응력, 변형률)는 변화하나, 그 값은 허용응력 범위 내에 있음이 확인 되었으며, 경량 패널이 흙막이 구조로서 유용함을 확인했다.

본 연구는 건설안전관리공단의 2002년 사업의 일환으로서 본 연구를 가능하게 한 건설안전관리공단의 지원에 감사드립니다.

References

1. Addenbrooke, T. I., B. Dabee, and D. M. Potts. 2000. Displacement flexibility number for multipropped retaining wall design. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE. 126(8): 718-726.
2. Abdullah, B. 2001. Fundamental study on strengthening of steel girder bridge with RC slab by using pultruded GFRP members. Ph.D. diss. Fukuoka, Japan: Kyushu University.
3. Braja M. D. 2001. *Fundamentals of Geotechnical Engineering*. Thomson Learning. Singapore. 595, 295-305.
4. Djamaluddin, R. 2003. Fundamental study on application of unresin continuous carbon fiber reinforcing system to concrete structures. Ph.D. diss. Fukuoka, Japan: Kyushu University.
5. Hemami, A. 1995. Fundamental analysis of robotic excavation. *Journal of Aerospace Engineering*. ASCE. 8(4): 175-179.
6. Huang, T. K. 1997. Mechanical behavior of concrete block retaining wall. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE. 123(3): 197-203.
7. Huang, X., and L. E. Bernold. 1997. CAD-integrated excavation and pipe laying. *Journal of Construction Engineering and Management*. ASCE. 123(3): 318-323.
8. JSCE. 1993. State of the art report on continuous fiber reinforcing materials. Research Committee on Continuous Fiber Reinforcing Materials. 161. Tokyo, Japan.
9. Knight, M., G. Duyvestyn, and M. Gelinis. 2001. Excavation of surface installed pipe-line. *Journal of Infrastructure Systems*. ASCE. 7(3): 123-129.
10. Korea Road Transportation Association. 2000. Highway Design Specification. 55-56. Seoul, Korea.
11. Liao, H. J., Y. H. Lin, and S. F. Su. 1998. Base stability of deep excavation in anisotropic soft clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE. 124(9): 809-819.
12. Midas Information Technology. 2001. *Structural Analysis*. Seoul: Dooans Communication.
13. Ou, C. Y. et. al. 1996. Analysis of deep excavation with column type of ground improvement in soft clay. *Journal of Geotechnical Engineering*. ASCE. 122(9): 709-716.
14. Peck, R. B. 1969. Deep excavations and tunneling in soft ground. *Proc. 7th ICSMFE*. 225-290. Mexico City.
15. Rizkalla, S. 2001. *Reinforcing concrete structures with fiber reinforced polymers*. Design Manual No. 3. Manitoba, Canada: ISIS Canada.
16. Rankine, W. M. J. 1857. On stability on loose earth, *Philosophic Transactions of Royal Society*. Part I, 9-27. London. quoted by Baraja M. D. 2001.