



농산촌 재난대피시설 제작을 위한 FRP 부재의 강도특성에 관한 연구

A Study on the Strength Properties of FRP Member for Making Personal Disaster Shelters in Rural Area

김정면* · 황대원* · 임현택* · 박성용** · 연구석*** · 김용성****,†

Kim, Jung Meyon · Hwang, Dea Won · Lim, Hyun Taek · Park, Sung Yong · Yeon, Kyu Seok · Kim, Yong Seong

Abstract

This study is about development of personal disaster shelters for minimization of the casualties caused by the landslide and steep slope collapse. The objectives of present research is the selection of disaster evacuation facilities utilizing FRP (Fiber Reinforced Plastic) material. For the proper assessment of FRP member, several layers by strength test and the three-dimensional numerical analysis of these FRP member was carried out. As a result, the personal disaster evacuation facility utilizing FRP materials, was found to be of a material that is able to protect the weak person at the time of the collapse of the landslides and steep slopes.

Keywords: Steep slopes; landslide; weak person; FRP; Shelters

1. 서 론

최근 전 세계적으로 기상이변에 따른 재해의 발생횟수와 재해로 인한 피해규모가 급속도로 증가하고 있는 실정이며, 산업사회의 고도화에 따른 위험에너지의 증가 및 안전약자 등 사회구조의 취약성 증가로 인해 자연재해 발생 시 인명피해와 재산피해는 점차 증가하는 추세이다. 1970년대 이후 홍수조절을 위한 댐건설, 하천정비 등 치수사업에 집중투자하고 1998년부터 인명피해 예방을 위해 자연재해위험지구 정비사업을 추진하면서 전체적인 인명 및 재산피해는 감소 추세에 있으나, 산림청 산사태 정보시스템에 따르면 2002년부터 10년간의 자연재해로 사망한 680명중 약 33%에 달하는 223명(연평균 22.3명)이 산사태와 급경사지 붕괴사고로 사

망한 것으로 나타났다. 피해규모가 다소 크게 발생한 자연재해로는 2002년 태풍 루사, 2003년 태풍 매미, 2006년 태풍 에위니아 등이 있었으며, 이러한 태풍의 피해로 인해 각각 246명, 132명, 40명의 사망자가 발생하였다. 또한, 2011년 집중호우로 도심지와 산간지역에서 78명의 사망자가 발생하였다(National disaster information center).

산사태 및 급경사지 붕괴 사고시 피해를 방지하기 위한 가장 효과적인 방법은 피해를 사전에 인지한 후 주민들에게 전달하여 신속하게 대피시키는 방법이 가장 효과적이나, 기상이변으로 인하여 발생하는 돌발성 자연재해 및 야간에 발생하는 재해에 대해서는 사전예방이 불가피하므로 피해를 미연에 방지하는 것이 어려운 실정이다. 특히 농촌 지역의 경우 도심지에 비해 노인인구 등 안전약자의 비율이 높아 재해발생을 사전에 인지하였다 하여도 대피시간이 증가하여, 현재 국내에서 시행하고 있는 자연재난 사전 대피계획(P-EP)의 실효성이 의문시 되는 것이 현실이다. 따라서 돌발성 자연재해 및 야간에 발생하는 산사태 및 급경사지 붕괴에 따른 인명피해를 최소화하기 위해서는 농산촌의 주택 내 설치가 가능하고 보관이 용이하며, 누구나 재해를 사전에 인지하여 쉽게 대피할 수 있는 개인용 재난대피 시설 개발이 장래에 필요한 실정이다.

현재 국내·외를 통틀어 농산촌의 산사태 및 급경사지 붕괴에 대한 인명피해를 최소화하기 위한 개인용 재난대피시설의 개발은 전무한 상태이지만, 외국의 경우 일본에서는 지진해일(Tsunami)에 대비한 개인용 대피시설이 개발된 상태이다

* Ph. D. Candidate Student, Dept. of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

** Senior Researcher, National Disaster Management Institute, Ministry of Public Safety and Security

*** Professor, Dept. of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

**** Associate Professor, Dept. of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

† Corresponding author

Tel.: +82-33-250-6463 Fax: +82-33-251-6463

E-mail: yskim2@kangwon.ac.kr

Received: September 30, 2015

Revised: March 21, 2016

Accepted: March 22, 2016

(Pimanmas et al., 2010).

본 연구에서는 산사태 및 급경사지 붕괴에 따른 인명피해를 최소화하기 위한 개인용 재난대피시설 개발에 대해 검토하였으며, 보다 세부적으로는 적층공법에 의한 FRP 부재의 적층수별 시편을 제작하여 인장 및 굽힘강도 시험을 수행하였다. 또한, 3차원 구조해석을 통하여 FRP 부재 적층수별 적정성을 평가한 후 FRP 재료를 활용한 개인용 재난대피시설 개발을 위한 적정 부재 두께를 선정하였다. 이 연구를 통해 농산촌의 산사태와 급경사지 붕괴, 장래 지진 발생으로 인한 붕괴 위험이 큰 건축물에 주거하는 주민의 인명피해를 줄이는데 활용할 수 있는 개인용 재난대피시설 제작 시 필요한 제반 기초자료로 활용 할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

II. FRP 강도 특성 시험

1. 사용 재료

본 연구에서는 재료적 특성으로 경량이며, 충격에도 강하면서 경제적인 구조물의 재료로 섬유강화 복합체 (Fiber Reinforced Plastic : FRP)를 선정하였으며, 주요 구조물의 재료로 사용중인 섬유강화 복합체에는 유리섬유 (Glass Fiber), 탄소섬유 (Carbon Fiber), 아라미드 섬유 (Aramid Fiber) 등이

있다. 유리섬유는 현재 구조용 FRP 제작에 가장 많이 사용하는 섬유로서 유리를 녹여 섬유모양으로 만든 제품으로 내부 식성 및 내구성이 강한 것이 특징이다. 반면에 탄소섬유는 충격에 약하며, 낮은 신장률과 상대적으로 낮은 압축강도를 갖는 것이 특징이다. 아라미드 섬유는 보강재로 사용되는 가장 일반적인 유기 섬유이며, 내열·내한성이 우수한 고강도 섬유이다. 분자간의 결합이 매우 단단하여 안정적이긴 하지만 탄소섬유에 비해 내열성이 떨어지며, 압축응력에 약한 것이 특징이다 (Introduction to FRP Composites, 2006). 따라서, 본 연구에서는 구조 부재용 재료 중 FRP 제작에 가장 많이 사용되며, 내구성이 강한 유리섬유를 사용하였다.

2. 시편 제작

FRP 재료의 인장강도 및 휨강도 측정을 위하여 유리섬유재인 매쉬 유형 (Mash type : Roving cloth)과 매트 유형 (Mat type: Chopped strand)재료에 수지액을 침투시켜 경화되기 전에 매쉬 유형과 매트 유형의 유리섬유재를 교대로 중첩시키거나 아래층의 경화가 너무 진행되지 않은 상태에서 상층을 겹쳐서 수작업으로 성형하는 방법인 핸드 적층법 (Hand lay-up method)을 사용 하였다. Fig. 1와 Table 1~2에서 나타낸 바와 같이 유리섬유의 두께에 따른 인장 및 굽힘강도 시험을 위해 Case1 (9겹), Case2 (11겹), Case3 (13겹), Case4 (15

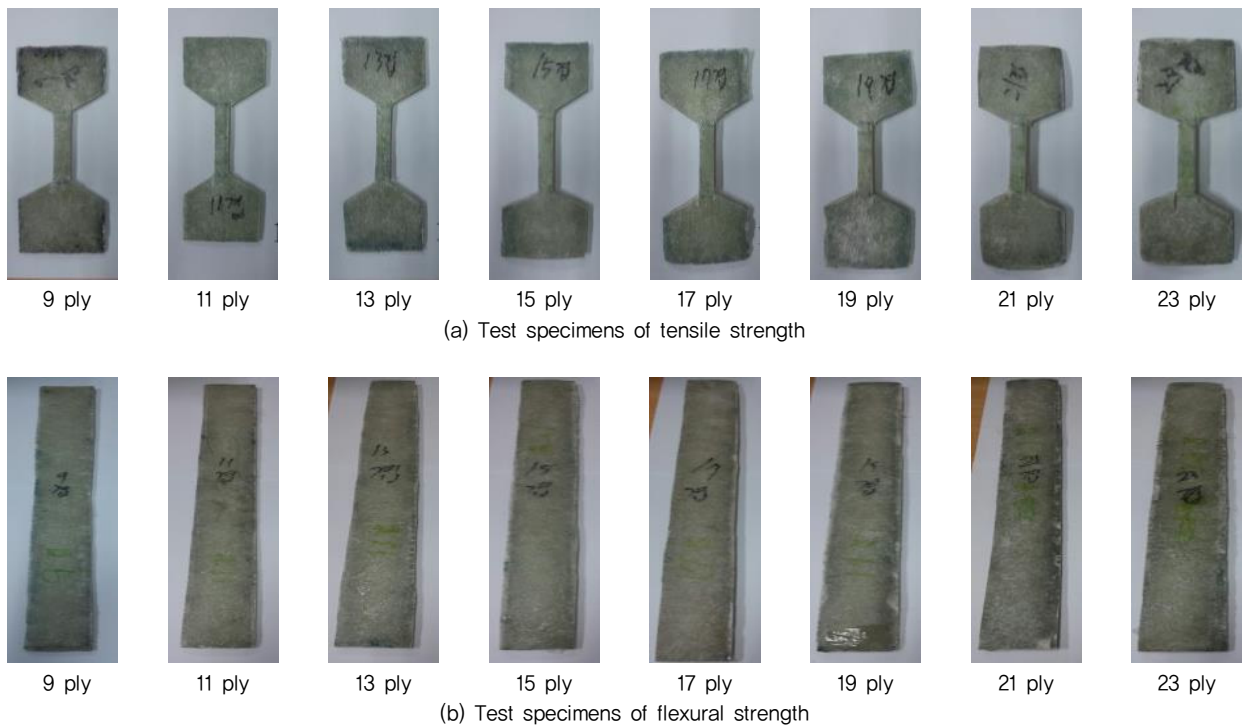


Fig. 1 Test specimens of Tensile and Flexural strength

Table 1 Tensile strength of test specimens specification

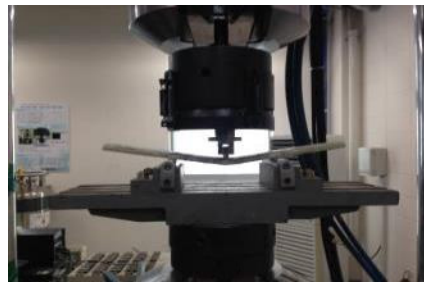
Type	Case1 (9Ply)	Case2 (11Ply)	Case3 (13Ply)	Case4 (15Ply)	Case5 (17Ply)	Case6 (19Ply)	Case7 (21Ply)	Case8 (23Ply)
Length (cm)	6.6	6.8	7.6	7.8	7.0	6.5	6.8	6.7
Area (cm)	1.7	1.4	1.5	1.6	1.6	1.5	1.6	1.5
Thickness (mm)	7.0	8.5	10.0	11.5	14.0	15.0	17.0	19.0

Table 2 Flexural strength of test specimens specification

Type	Case1 (9Ply)	Case2 (11Ply)	Case3 (13Ply)	Case4 (15Ply)	Case5 (17Ply)	Case6 (19Ply)	Case7 (21Ply)	Case8 (23Ply)
Length (cm)	46.8	45.7	45.2	45.0	45.4	46.0	45.6	45.0
Area (cm)	5.4	5.3	5.3	5.5	5.1	6.0	5.8	6.0
Thickness (mm)	7.5	9.0	11.0	12.0	13.0	14.0	16.0	17.0



(a) Tensile strength test

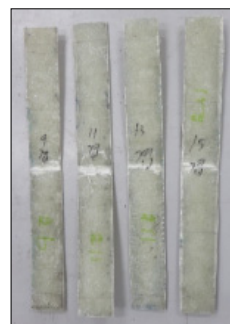
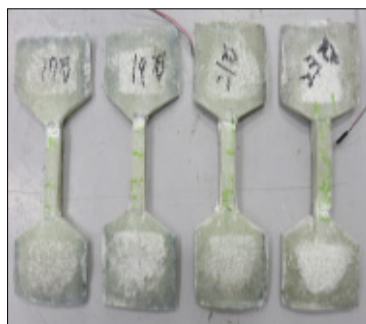


(b) Flexural strength test

Fig. 2 The tensile and flexural strength test with the laminated thickness



(a) Result of tensile test



(b) Result of flexural test

Fig. 3 Result of specimen test

겹), Case5 (17겹), Case6 (19겹), Case7 (21겹), Case8 (23겹)으로 총 8Case의 시편을 제작하였다.

3. 시험 방법

인장강도 및 굽힘강도 시험은 KS F 2241 (유리섬유 강화 플라스틱의 인장시험 방법), KS F 2242 (유리섬유 강화 플라스틱의 굽힘 시험 방법)에 의해 실시하였다 (Ministry of Oceans and Fisheries Notice, 2013).

시험 장비는 500 kN 용량의 MTS사의 인장, 굽힘시험 등에 사용하는 장비를 사용하여 인장강도 2.0 mm/min, 굽힘강도 4.0 mm/min의 속도로 하중을 재하 하여 시험을 실시하였다. 시험으로부터 적층두께별 인장 및 굽힘강도를 Fig. 2와 같이 측정하였으며, 인장강도 및 인장탄성계수는 KS F 2241에서 규정하는 다음 식 (1), (2)에 의해 계산하였다.

FRP 시편 시험의 결과는 Fig. 3과 같다.

$$\text{인장강도 (MPa)} = \frac{P}{A} \quad (1)$$

$$\text{인장탄성계수 (E: MPa)} = \frac{L}{A} \left(\frac{P}{\Delta l} \right) \quad (2)$$

위의 식에서 P는 파단하중 (MN), A는 시험편의 중앙부의 단면적 (m²)을 나타내며, 굽힘강도 및 굽힘탄성계수는 KS F 2242에서 규정하는 식 (3), (4)를 통하여 계산 된다.

$$\text{굽힘강도 (MPa)} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot L}{b \cdot t^2} \quad (3)$$

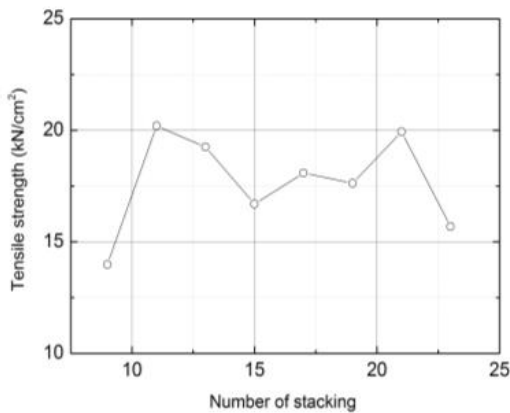
$$\text{굽힘탄성계수 (E: MPa)} = \frac{L^3}{4b \cdot t^3} \cdot \frac{P}{\Delta l} \quad (4)$$

여기서, P는 파단하중 (MN), L은 지점간의 거리 (m), b는 시험편의 너비 (m), t는 시험편의 두께 (m), P는 시험 파괴시의

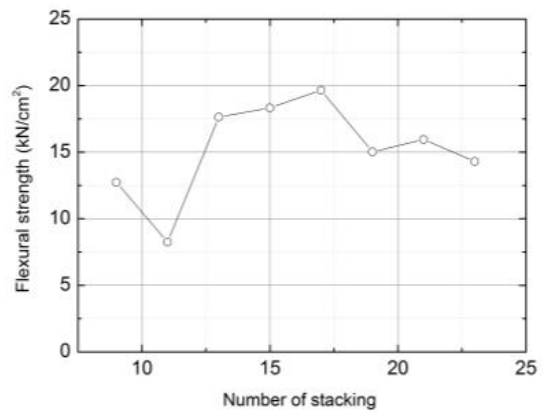
하중, Δl는 시험 파괴시의 변위입니다.

4. FRP 강도특성 시험 결과

개인용 재난대피시설 재료인 유리섬유 재료의 특성상 가공방법, 사용재료, 제작시의 환경조건, 부재두께 등에 따라서 그 물성치가 달라지므로 이를 고려하여 유리섬유를 사용한 FRP 부재의 적층두께별 인장 및 굽힘강도 시험을 실시하였다. 그 결과 Fig. 4(a)와 Table 3에서 나타난 것과 같이 인장강도의 경우 Case2 (11겹)에서 202 MPa 로 가장 높게 강도가 측정되었으며, 굽힘강도의 경우 Case5 (17겹)에서 196 MPa로 나타났다 (Fig. 5(b), Table 4). Case1 (9겹) 및 Case8 (23겹)을 제외한 나머지 시험에서 인장 및 굽힘강도가 유사하게 나타났으며, 위의 결과를 종합적으로 분석해 볼 때 균일한 강도가 나타나야 함에도 그렇지 않은 이유는 시험 제작시 사용한 복합섬유체와 에폭시양에 의한 경화도 조건에 의해 발생한 것으로 판단되어 이를 보완하는 방법으로 시험강도의 최



(a) Tensile strength test



(b) Flexural strength test

Fig. 4 Strength test result of the number of stacked

Table 3 Tensile strength test result of the number of stacked

Type	Case1 (9Ply)	Case2 (11Ply)	Case3 (13Ply)	Case4 (15Ply)	Case5 (17Ply)	Case6 (19Ply)	Case7 (21Ply)	Case8 (23Ply)
Maximum load (kN)	16,64	24,04	28,88	30,73	40,53	39,67	54,22	44,72
Tensile strength (MPa)	139,8	202,0	192,5	167,0	180,9	176,3	199,3	156,9
Maximum displacement (mm)	1,51	2,02	4,67	1,94	2,31	2,07	2,27	1,83

Table 4 Flexural strength test result of the number of stacked

Type	Case1 (9Ply)	Case2 (11Ply)	Case3 (13Ply)	Case4 (15Ply)	Case5 (17Ply)	Case6 (19Ply)	Case7 (21Ply)	Case8 (23Ply)
Maximum load (kN)	1,29	1,22	3,84	4,84	5,65	5,89	7,90	8,27
Flexural strength (MPa)	127,4	82,5	176,3	183,3	196,6	150,2	159,6	143,0
Maximum displacement (mm)	21,28	22,93	17,19	14,11	13,41	10,90	11,50	13,17

대치와 최소치를 제외한 평균값을 적용하여 개인용 재난대피 시설의 3D 해석을 수행하도록 하였다.

단, 개인용 재난대피시설의 안전성과 경제성 등을 검토하기 위해 구조적인 수치해석을 통하여 부재 두께의 적정성을 검증할시에는 각 시편 시험값으로 검증 필요가 있다.

III. FRP 부재 적층수별 강도특성을 고려한 수치 해석적 검증

1. 해석 모델링

가. 해석 프로그램

수치해석 프로그램은 구조해석에 범용적으로 사용하고 있는 Sap2000을 사용하여 3D Shell요소 해석을 수행하였다. Sap2000 프로그램은 유한요소법 (Finite Element Method) 을 사용하여 다양한 조건에 대해 해석할 수 있는 프로그램으로 세계적으로 공인된 프로그램 이다.

나. 개인용 재난대피시설 Modelling

개인용 재난대피시설은 평상시에는 일정한 장소에 보관하였다가 산사태 등의 위험이 예상되는 시기에 사람이 실제 거주하는 실내공간에 설치하여 인명피해를 최소화하는 시설로써, 국내의 대표적인 농산촌 지역인 강원도의 경우 2014년도 기준 총 인구 1,544,000명, 총가구수 674,000호로서 평균 가구당 2.29명으로 1가구당 1~2 인 가구가 대부분을 차지하고 있는 실정이다 (Statistics Koera, 2015).

가구당 1~2인이 거주하는 인구수에 맞는 규모의 재난 대피 시설은 경제성, 사용성, 내구성 등을 고려하여 2인용 침대 넓이 (퀸용=150 cm)와 평균 키 (170 cm)에서 허리를 숙인 높이를 고려하여 폭 1.5 m, 높이 1.25 m의 Barrel Shell 형식의 구

조로 다음 Fig. 5(a)와 같이 계획하였다. 해석을 위한 모델링은 계획한 단면을 토대로 길이 방향으로 5 Segment로 Fig. 5(b)와 같이 구성하고, 1 Segment는 길이를 40 cm, 각각의 부재 요소는 15~20 cm로 구성하였다.

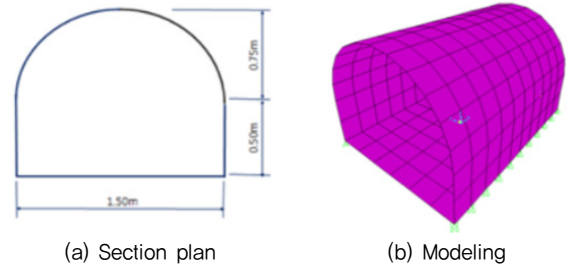


Fig. 5 Personal disaster shelters modeling

2. 해석 물성치 산정 및 안전성 판정기준

가. 강도시험에 따른 부재별 물성치

FRP 재료 특성상 가공방법, 사용재료, 제작 시의 환경요건, 부재 두께 등에 의해 물성치가 달라지므로 이를 고려하여 적층수에 따른 부재 적정성 검토를 위해 FRP 적층 시편을 제작하여 시험하였다. Table 3 및 Table 4의 시험 결과를 바탕으로 부재별 물성치를 산정하였으며 (Table 5, Table 6), 단위중량 및 포아송비는 각각 $1.6 \times 10^{-5} \text{ kN/cm}^3$, 0.23으로 가정하여 구조적인 수치해석을 수행하였다 (Design of FRP-Profiles and All-FRP Structures, 2009).

나. 부재의 안전성 판정기준

개인용 재난대피시설의 구조적 안전성 판정에 대한 기준은 정립된 기준이 없으므로 허용응력법을 기준으로 하여 안전성 판정기준으로 규정하였다. 응력판정기준은 부재별로

Table 5 Tensile test physical property

Type	Case1 (9Ply)	Case2 (11Ply)	Case3 (13Ply)	Case4 (15Ply)	Case5 (17Ply)	Case6 (19Ply)	Case7 (21Ply)	Case8 (23Ply)
Tensile strength (MPa)	139.8	202.0	192.5	167.0	180.9	176.3	199.3	156.9
Tensile elastic modulus (MPa)	6,110	6,800	3,130	6,710	5,480	5,530	5,970	5,740
Allowable stress (MPa)	132.8	228.3	182.8	158.6	171.8	167.4	189.3	149.0

Table 6 Flexural test physical property

Type	Case1 (9Ply)	Case2 (11Ply)	Case3 (13Ply)	Case4 (15Ply)	Case5 (17Ply)	Case6 (19Ply)	Case7 (21Ply)	Case8 (23Ply)
Flexural strength (MPa)	127.4	82.5	176.3	183.3	196.6	150.2	159.6	143.0
Flexural elastic modulus (MPa)	5,320	2,750	6,210	7,210	7,520	6,560	5,780	4,260
Allowable stress (MPa)	121.0	78.3	167.4	174.1	186.7	142.6	151.6	135.8

Table 7 Allowing displacement of the FRP materials

Type	The maximum dimension member (m)	Allowing displacement rate condition (%)	Allowing displacement (cm)
Allowing crown displacement	1,25	5,0	6,25
Allowing Convergence displacement	1,50	5,0	7,50

얻어진 항복응력의 95 %를 허용응력에 대한 안전성 기준값으로 선정하였으며, 사용성에 대한 기준인 처짐 또는 변위에 대한 기준은 Table 7과 같이 부재 최대치수의 5 %의 허용변위를 적용하여 허용변위를 선정하였다.

3. 재하하중 산정과 하중 케이스

가. 재하하중 산정

산지 재해에 작용할 수 있는 하중은 충격을 포함한 집중하중과 분포하중으로 대별된다. 국토교통부의 낙석방지책 설치기준에 따르면 절개벽이나 경사지의 낙석 무게는 보통 1.0~30.0 kN을 기준으로 낙석높이에 따라 낙석 방지책을 설정하여 설계에 반영되고 있는 점을 감안하여 집중하중은 최대 낙석 무게인 30.0 kN으로 선정하였다 (Ministry of Land, 2013).

산사태시 토석류의 의한 동적하중으로 발생하는 분포하중은 식(5) 및 Table 8을 이용하여 구하며, 토석류 밀도 18 kN/m³, 산사태 속도 6~7등급 평균값인 2.5 m/s 의 2/3보다 약간 큰 1.6825 m/s를 적용하여 구한 값인 50.625 kPa을 개인용 재난 대피시설의 높이 1.25 m까지 토압분포와 같이 작용하는 분포하중으로 선정하였다. 분포하중인 토석류에 의한 하중은 건축물이 파손된 후 작용하는 하중으로써 개인용 재난대피시설의 경제성과 사용성 등을 고려하여 산사태 속도에 의한 산사태 최고 등급의 1/3에 해당하는 하중을 선정하여 적용하였다.

$$\text{동적하중 (Pa)} = \rho \cdot A \cdot V^2 \quad (5)$$

여기서, ρ : 토석류의 밀도 (kN/m³),
 A : 토석류가 흐르는 면적 (m²)
 V : 토석류의 평균유속 (m/s)입니다.

Table 8 Ratings according to the landslide rate (WP/WLI, 1993)

Speed ratings	Speed limit	Speed level
6	0.05 m/sec	fast
7	5 m/sec	Very fast

나. 하중 케이스

대표적인 하중은 개인용 재난대피시설의 자중, 낙석류에 대한 집중하중, 토석류에 의한 분포하중, 자중과 집중하중 및

분포하중과의 조합하중으로 4종류를 구성하였으며, 하중 재하 방법으로는 개인용 재난대피시설의 천단부 및 측벽부에 편측 또는 양측으로 하중을 재하 하는 방법으로 9개의 하중 케이스를 적용하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 적층수 별 부재 적정성 판단

개인용 재난 대피시설의 부재인 FRP 재료의 적정성을 판단하기 위해 III.2~3의 강도 시험에 따른 부재별 물성치와 재하하중을 토대로 각 Case별로 1 Segment에 대하여 다음과 같이 개인용 재난 대피시설에 대한 수치해석을 수행하였다.

가. 1 Segment에 대한 수치해석 Modelling

수치해석은 개인용 재난 대피시설의 적정성을 판단하기 위해 5 Segment로 구성된 Segment중 다음 Fig. 6과 같이 1 Segment를 대상으로, 부재는 약 20 cm 내외의 Shell 요소로 된 3차원 입체 구조로 Modelling 하였다.

재하하중으로는 적용이 간편하면서도 안전성을 판별하기 위해 Shell 입체 구조의 취약부인 천단부에 집중하중 30.0kN을 재하하였다 (Kang and Kim, 2014; Ventsel and Krauthammer, 2001).

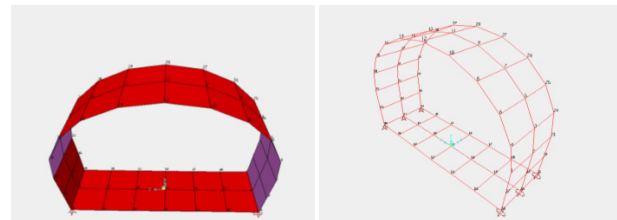


Fig. 6 Numerical modeling for determining adequacy member

나. 적정성 판정을 위한 수치해석 결과

각 시험 재료의 Case별로 수치해석한 결과 중 안전성과 사용성 판정을 위한 Shell 구조의 주요 부위별에 대한 굽힘응력 결과 값은 다음 Table 9와 같고, 변위에 대한 결과 값은 Table 10과 같다.

Table 9 Key position by bending stress results

Case	Allowable Flexural stress (MPa)	Crown	Sidewall	Internal spot	Lower the center
1 (9Ply)	121,0	-193,2	125,0	42,4	38,8
2 (11Ply)	78,3	-134,6	87,5	29,6	26,8
3 (13Ply)	167,4	-90,5	58,5	18,7	17,8
4 (15Ply)	174,1	-76,2	49,2	16,9	14,9
5 (17Ply)	186,7	-65,1	41,9	15,4	12,7
6 (19Ply)	142,6	-56,3	36,1	12,5	10,9
7 (21Ply)	151,6	-43,3	27,7	10,4	8,3
8 (23Ply)	135,8	-38,4	24,6	9,3	7,3
Determining adequacy		Case3 Over ∴ O,K	Case3 Over ∴ O,K	Case1 Over ∴ O,K	Case1 Over ∴ O,K

Table 10 Key position by displacement results

Case	allowable displacements (cm)		Crown (cm)	Sidewall (cm)	Internal spot (cm)	Lower the center (cm)
	Crown	Convergence				
1 (9Ply)	6,25	7,50	-107,05	78,99	-39,99	55,49
2 (11Ply)	6,25	7,50	-120,28	88,63	-44,83	61,91
3 (13Ply)	6,25	7,50	-29,27	21,56	-10,89	14,95
4 (15Ply)	6,25	7,50	-19,45	14,33	-7,24	9,89
5 (17Ply)	6,25	7,50	-14,69	10,82	-5,46	7,44
6 (19Ply)	6,25	7,50	-13,51	9,95	-5,02	6,81
7 (21Ply)	6,25	7,50	-10,30	7,58	-3,82	5,15
8 (23Ply)	6,25	7,50	-11,67	8,59	-4,32	5,81
Determining adequacy			∴ N,G	∴ N,G	Case4 Over ∴ O,K	Case7 Over ∴ O,K

Table 11 The results of displacement reinterpretation by the biggest properties with test material

Case	allowable displacements (cm)		Crown (cm)	Sidewall (cm)	Internal spot (cm)	Lower the center (cm)
	Crown	Convergence				
7 (21Ply)	6,25	7,50	-7,88	5,80	-2,88	3,86

다. 부재의 적정성 선정

수치해석 결과에 의하면 응력기준으로는 Case3 (13겹) 이상은 안전하고, 변위기준으로는 천단부와 측벽부가 안전성 기준에는 다소 불안정한 것으로 판단된다. 이것은 일반적인 FRP 재료의 물성치와 비교시 상대적으로 작은 물성치 값으로 수치해석을 수행한 결과이다.

시편 시험의 물성치 값이 작게 나온 이유는 FRP 시편 제작 시 주변 환경과 사용재료의 양, 시편제작의 정밀도 등의 요인으로 보이며, 이를 고려할시 공장 제작 시에는 재료의 물성치 값을 상당히 개선할 요인이 있어 이를 고려하여 Table 10의 하부 중앙에서의 허용처짐의 허용 여부를 고려하여 Case7 (21겹)의 재료 두께를 선정된 후 시험 결과의 Case5 물성치로

재해석한 결과의 처짐은 다음 Table 11과 같다.

Table 10과 Table 11의 Case 7 (21Ply) 비교에서 천단부의 처짐이 허용 변위에는 만족하지 않지만 재난 대피시설의 문 형식과 강도 증진을 고려하면 사용성을 만족시키는 경제적인 부재 두께로 판단된다.

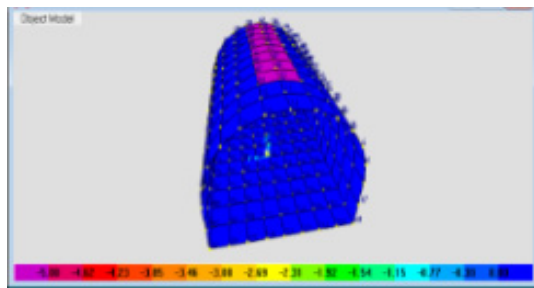
2. 개인용 재난 대피시설에 대한 수치해석 결과

가. 수치해석 Modelling

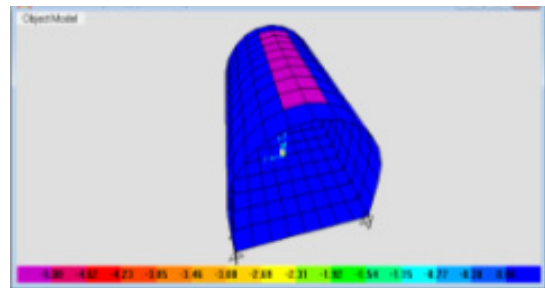
개인용 재난 대피시설의 부재로 IV.1에서 선정된 Case7 (21겹) 재료로 5 Segment 전체를 3차원으로 입체 Modelling 한 후 FRP 재료의 물성치와 안전기준, 하중조건 (Table 12),

Table 12 Numerical Load Case

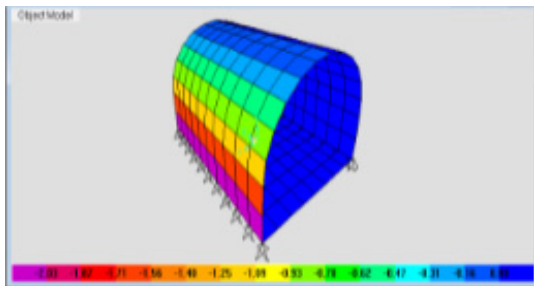
Load case	Applied Load
1	Self-weight
2	Self-weight + Concentrated load on one side part of crown
3	Self-weight + Concentrated load on center part of crown
4	Self-weight + Distributed load of debris on one side part
5	Self-weight + Distributed load of debris on both part
6	Self-weight + Concentrated load on one side part of crown+ Distributed load of debris on one side part
7	Self-weight + Concentrated load on one side part of crown + Distributed load of debris on both part
8	Self-weight + Concentrated load on center part of crown+ Distributed load of debris on one side part
9	Self-weight + Concentrated load on center part of crown+ Distributed load of debris on both part



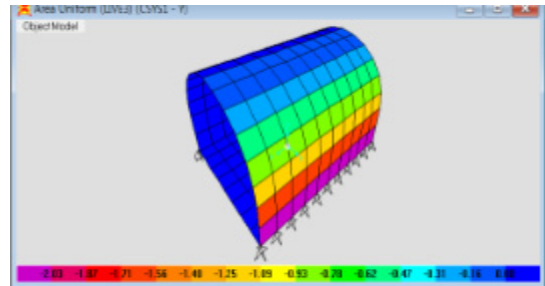
(a) Concentrated load on one side part of crown



(b) Concentrated load on center part of crown



(c) Distributed load of debris on left side part



(d) Distributed load of debris on right side part

Fig. 7 Loading Cases

Table 13 The major location-specific stress results

(Unit: MPa)

Type	Crown	Left side wall	Right side wall	Left internal spot	Right internal spot	Bottom
Load case1	0,97	0,59	1,14	1,42	0,62	1,16
Load case2	58,20	40,81	41,27	16,22	14,74	14,56
Load case3	51,08	30,36	30,03	11,38	10,73	10,86
Load case4	24,18	40,04	24,33	49,89	20,33	40,12
Load case5	27,03	34,27	35,54	24,40	24,24	15,89
Load case6	49,69	54,04	56,84	43,94	41,61	39,31
Load case7	39,29	22,57	22,59	19,13	19,54	7,60
Load case8	37,19	47,87	47,26	31,48	36,65	36,64
Load case9	23,29	15,63	17,09	17,83	17,35	5,46

Table 14 The major location-specific displacement results

(Unit: cm)

Type	Crown	Left side wall	Right side wall	Left internal spot	Right internal spot	Bottom
Load case1	-0,024	0,017	-0,017	-0,008	0,007	-0,098
Load case2	3,862	2,819	-2,821	1,359	-1,360	1,741
Load case3	-2,801	2,052	-2,503	1,014	-1,015	1,388
Load case4	-6,227	-6,821	-5,302	-2,498	-1,101	-1,169
Load case5	2,341	-2,182	2,185	-1,415	1,419	-2,239
Load case6	-6,227	-5,769	-7,712	-1,824	-2,443	1,317
Load case7	-1,497	-1,012	0,872	-0,741	0,744	-1,039
Load case8	-6,671	-5,091	-7,068	-1,479	-2,098	1,039
Load case9	-0,440	-0,345	0,347	-0,395	0,397	-0,752

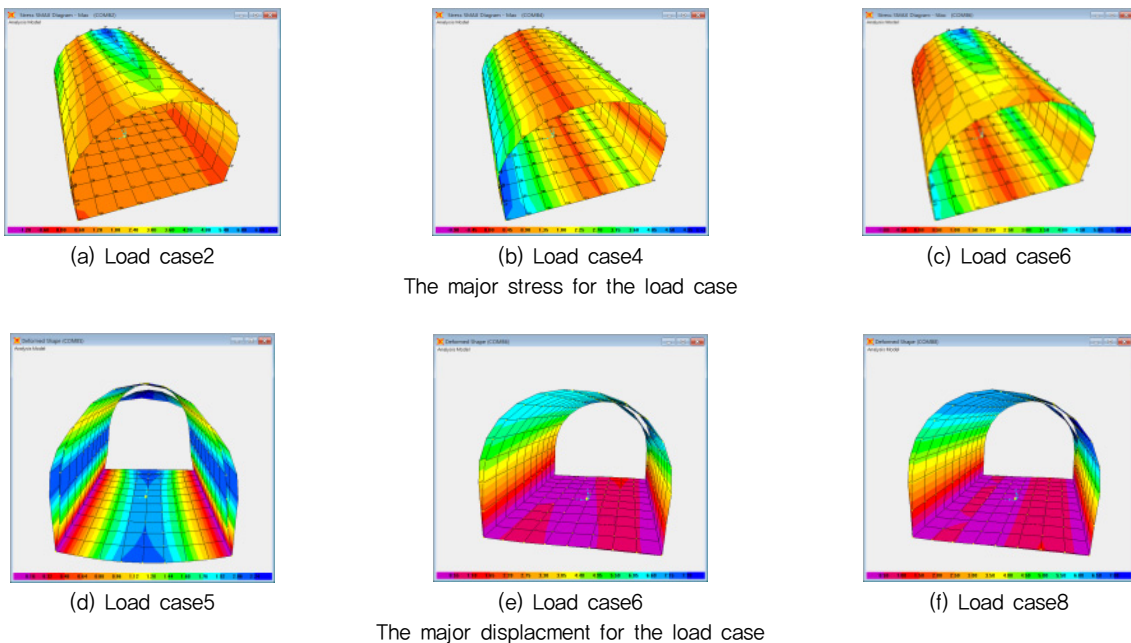


Fig. 8 The major stress and displacement for load cases

하중재하도 (Fig. 7) 등을 적용하여 수치해석을 수행하였다.

나. 수치해석 결과

FRP 재료의 적층수에 따른 적정성 판단결과 선정된 Case7 (21겹)의 개인용 재난 대피시설의 3D 수치해석 결과 안전성과 사용성의 기준이 되는 응력값은 Table 13와 같고, 변위는 Table 14와 같이 검토되었으며, 최대응력과 최대 변위가 발생하는 Load case를 살펴보면 최대응력의 경우 천단부는 Load case2에서 58.2 MPa로 천단부 편측 집중하중이 발생하는 경우가 중앙부 집중하중이 발생하는 Load case 3보다 7.12 MPa 크게 응력이 발생하는 것으로 나타났다. 측벽부는 Load case6에서 좌 우측 각각 54.04 MPa, 56.84 MPa로 천단부 편측 집중 하중의 영향이 천단부 중앙부 집중하중이 발생하는

Load case8보다 다소 응력이 크게 발생하는 것으로 나타났으며, 지점부 및 하부는 지점부 우측을 제외한 지점부 좌측 및 하부는 Load case4에서 각각 48.89 MPa, 40.12 MPa의 최대응력이 발생하는 것으로 나타났다.

최대변위의 경우 천단부는 Load case8에서 -6.671 cm, 측벽부는 Load case6에서 -7.712 cm가 발생하여 제안 허용변위를 약 2.7%~6.7%를 상회하는 것으로 나타났다.

지점부는 Load case4에서 -2.498 cm, 하부의 경우 Load case5 -2.239 cm로 제안 허용변위를 만족하는 것으로 나타났다.

위의 각 요소별 최대응력과 최대변위에 대한 Load case를 나타내면 Fig. 8과 같다.

최대응력은 허용응력 이내로 나타났지만, 변위의 경우 천단부 -6.671cm, 측벽부 -7.712cm로 천단부 제안 허용변위

6.25 cm, 측벽부 제안 허용변위 7.50 cm을 다소 상회 하는 것으로 나타나 사용성 기준에 조금 초과 하였지만 나머지 부위에서는 제안 변위 내에 있다. 초과한 변위부는 최대응력이 허용응력 이내로 나타나면서 문 형식과 강도 증가 방안 등을 고려하면 사용성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

다. 수치해석 결과에 대한 고찰

Barrel Shell 유형의 개인 재난 대피시설에 대한 수치해석 결과 Barrel Shell 유형은 천단부에서 편축하중 작용시 가장 큰 응력과 변위가 발생하였으며, 그리고 측벽의 경우에도 편축하중 작용시 Spring line 부근에서 응력과 변위가 크게 발생함을 알 수 있었다. 이를 토대로 하여 개인 재난 대피시설 제작시 편축하중에 의한 응력과 변위가 크게 발생하는 부위를 보강(부재두께 증대 혹은 강도 증대)하여 제작하면 응력에 대하여 약 28.5%보다 더 큰 경제적인 절감 효과와 안전한 개인 재난 대피시설을 만들 수 있을 것으로 판단되며, 특히 FRP 재료는 부위별 보강이 가능한 재료로서 수치해석 결과에 의한 부위별 보강정도를 활용할 시 경제성을 도모할 수 있는 재난 대피시설의 재료로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 산사태 및 급경사지 붕괴에 따른 인명피해를 최소화하기 위한 개인용 재난대피시설 개발에 대한 기초연구로서, 개인용 재난대피시설 재료선정을 위하여 FRP 부재의 적층수별 강도시험 및 3차원 구조해석을 실시하였으며, 이를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 개인용 재난대피시설의 부재로 사용한 FRP (유리섬유) 재료는 FRP 시편 제작 시 접착제로 사용한 에폭시 수지액의 비 균일한 사용량과 제작방법 및 제작하는 사람에 따라 시편의 두께가 다르게 나타났으며, 주변 환경인 제작시의 온도(10~30°C)와 습도(60~80%)가 일부 제작 일에 따라 다르게 적용한 경우와 시험 시편의 제작 시 제작자에 따른 정밀도 등에 따라 재료의 물성치인 탄성계수 값과 부재 두께 등이 다르게 나타남을 알 수 있었다.
2. FRP 재료를 사용한 개인용 재난대피시설은 수치해석 결과와 같이 산사태와 급경사지 붕괴 시 및 지진시의 건축물 붕괴에 따른 안전약자를 보호 할 수 있는 시설물로 개발이 가능한 재료임을 알 수 있었다.
3. 개인용 재난대피시설의 개발 시 구조물에 작용하는 하중, 특히 토석류에 의한 동적 분포하중의 크기에 따라 개인용

- 재난대피시설의 등급 기준을 정립하면 경제적이면서 안전한 재난대피시설이 될 수 있음을 알 수 있었다.
4. 개인용 재난대피시설의 개발 시 FRP 재료를 사용할 경우 강재나 콘크리트 재료와 같이 재료의 물성치인 탄성계수 값이 일정하도록 제작 시 사용 재료의 범위, 제작 시 온도, 주변 환경 조건, 시편 제작에 의한 물성치 검증법 등에 대한 기준 정립이 필요함을 알 수 있었다.
 5. 몇 년의 주기로 발생하는 큰 자연재해와 빈번하게 발생할 가능성이 있는 지진재해에 대비하여 붕괴위험성이 큰 건축물에 거주하는 주민들을 보호하기 위해 추가적으로 실용성이 더 우수한 개인용 재난대피시설의 개발과 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2016년도 농촌진흥청 국립농업과학원 공동연구사업(과제번호: PJ01089103)의 지원에 의해 이루어진 것임

REFERENCES

1. Design of FRP-Profiles and All-FRP Structures, 2009.
2. Introduction to FRP Composites, 2006. 3-28. Bristol. Virginia.
3. Kang, H. S., and Y. T. Kim, 2014, Physical Vulnerability Function of Buildings Impacted Debris Flow, *Journal of the Korean society of hazard mitigation*, 4(5): 137-140 (in Korean).
4. Ministry of Land, 2013. Road safety facility installation and management guidelines (Side of Rockfall protection facilities safety), Infrastructure, and Transport. 452-483.
5. Ministry of Oceans and Fisheries Notice, 2013 Revision of the structural criteria of reinforced plastic (FRP) boat. 2013 (227) (in Korean).
6. National disaster information center, disaster statistical data (in Korean).
7. Pimanmas, A., P. Joyklad, P. Warnitchai, 2010. Structural Design Guideline for Tsunami Evacuation. *Journal of earthquake and tsunami*, 04(4): 269.
8. Statistics Korea Dongbuk regional statistics office, 2015. *10 years of gangwon-do to see change through statistics* (in Korean).
9. Ventsel, E., T. Krauthammer, 2001. *Thin Plates and Shells Theory, Analysis, and Applications*. Pennsylvania State University University Park, Pennsylvania: 298.
10. WP/WLI (International Geotechnical Societies=UNESCO Working Party on World Landslide Inventory), 1993. Multilingual Landslide Glossary. BiTech Publishers Ltd.