



산사태로 인한 인명피해 대비 개인용 재난대피기구 개발 (I) - 재하하중 및 재료시험 중심으로 -

Development of the Personal Disaster Evacuation Apparatus in Case of the Life Damage by the landslide (I) - Focusing on the Load Weight and Material Test -

김정면* · 황대원* · 박성용** · 임창수*** · 연규석**** · 김용성*****†

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

Abstract

The houses are formed in the lower part of the mountain slope face in most agricultural areas of Korea, and old residents accounting for a large portion of the agricultural populations cannot respond to the evacuation quickly when the landslide happens, and the possibility the life damage occurs is high. Therefore, it is urgent to arrange the measure on this. This study is intended to develop the personal disaster evacuation apparatus that can be installed in the house to minimize the life damage by the landslide and to develop the self-initiative evacuation apparatus. This study suggested the load applicable to the personal disaster evacuation apparatus by quantitatively analyzing the effect of the load of rockslides and avalanches caused by the landslide on the structure. Also, the material property of materials was calculated through the tension and bending intensity test after making the specimen of glass fiber reinforced plastic (GFRP) member. The load weight and material property drawn from this study can be used as the basic material for the stability analysis of the personal disaster evacuation apparatus.

Keywords: Rural; landslide; Debris Flow; Disaster evacuation apparatus; life damage

1. 서론

국내 농촌 지역은 주거 단지가 대부분 산지 비탈면 하부에 형성되어 있으며, 재난약자인 고령층의 거주비율이 높아 산사태로 인한 인명피해에 취약한 편이다. 산사태 발생 시 인명피해 최소화를 위한 가장 효과적인 방법은 재해를 사전에 인지한 후 주민들에게 전달하여 신속하게 대피시키는 방법이 가장 효과적이나, 국지적인 집중호우로 인하여 발생하는 산사태와 같은 돌발성 자연재해에 대해서는 사전예측이 불가하므로 피해를 미연에 방지하는

것이 어려운 실정이다 (Kim et al., 2016).

일본은 동일본 대지진으로 발생한 지진해일 (Tsunami)로 인한 대규모 인명피해 경험을 바탕으로 재난 예·경보 시스템 확충과 더불어 지진해일과 같은 돌발재해에 주민들이 자기 주도적으로 신속한 대피가 가능하도록, 주택 내 설치가 가능한 개인용 재난대피기구 및 시설에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

국민안전처 (National Emergency Management Agency, 이하 'NEMA'라 한다) 재해연보를 통한 최근 27년 간 (1988~2014) 발생한 자연재난 인명피해 현황을 살펴보면 총 2,494명 중 산사태로 499명의 인명피해가 발생하였으며, 이는 전체 인명피해의 약 20%에 해당된다. 그러나 최근 10년 간 (2005~2014)간으로 범위를 좁혀보면 약 37.4%로 과거에 비해 산사태로 인한 인명피해는 점차 증가하고 있다.

Kim et al. (2013)은 1999년~2013년까지 지난 15년 간 발생한 지역별 산사태 발생현황을 분석한 결과 강원, 충북 등 산악지형이 발달한 농촌 지역에 산사태가 집중되어 농촌지역이 도시지역보다 산사태에 매우 취약한 구조를 갖고 있음을 주장하였다. 또한 통계청의 인구주택 총조사 (Statistics Korea, 2010)에 따르면 농촌지역으로 분류되는 88개 지자체 중 고령사회를 나타내는 65세 이상의 인구비율이 14% 이상인 지자체가 88개로 전체를 차지하

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

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

*** Researcher, Rural Development Administration, National Institute of Agricultural Sciences

**** 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: August 28, 2016

Revised: September 5, 2016

Accepted: September 11, 2016

며, 이 중 노인인구 비율 20% 이상인 초고령 지자체도 57개로 전체 농촌지역 지자체의 64.7%로 나타났다.

이처럼 농촌지역은 산사태에 매우 취약하며, 노인인구가 농촌 인구의 대부분을 차지함에 따라 일반 성인보다 대피 반응 속도가 느린 고령의 재난약자의 인명피해 최소화를 위해 주택 내 설치가 가능하고 설치·해체 및 보관이 용이한 개인용 재난대피기구 개발이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 개인용 재난대피기구 개발을 위하여 산사태로 인한 낙석이나 토석류 하중이 구조물에 미치는 영향을 정량적으로 분석하여 개인용 재난대피기구에 적용 가능한 재하 하중을 제시하였으며, 유리섬유강화플라스틱 (Glass Fiber Reinforced Plastic: GFRP) 부재의 시편을 제작하여 인장 및 굽힘강도 시험을 통하여 재료의 물성치를 산정하였다. 본 연구에서 도출된 재하 하중 및 재료 물성치는 개인용 재난대피기구의 안정성 검증의 기초자료로 활용될 수 있다.

II. 개인용 재난대피기구 재하 하중

1. 낙석 하중

낙석에 의한 집중하중은 국토교통부 낙석방지시설 설치기준 (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 이하 ‘MOLIT’라 함, 2013)에서 제시된 낙석류 하중으로 산정할 수 있다. 낙석류에 의한 낙석류의 크기와 낙석에너지는 다음 Fig. 1 과 그에 따른 마찰계수 값인 Table 1에 의한 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_w = (1 - \frac{\mu}{\tan\theta}) M \cdot g \cdot H \cdot \sin^2\theta_0 \quad (1)$$

여기서, E_w 는 낙석에너지, M 은 낙석질량, θ 는 절개면의 경사각, H 는 낙석의 낙차, θ_0 는 낙석방지망의 경사각, g 는 중력가속도, μ 는 낙석의 등가마찰계수를 나타낸다.

국내 국도 주변 275개소에 대한 낙석을 조사한 결과 낙석의 평균 중량은 4 kN이나, 낙석 방지시설 설계 시에는 낙석 무게를 보

통 1 kN~30 kN을 기준으로 낙석 높이에 따라 설정하여 설계에 반영하고 있다. 낙석방지망의 경우 4 kN의 암석이 2.5 m의 높이에서 낙하하는 에너지 10 kJ, 낙석방지울타리는 4 kN의 암석이 12.55 m의 높이에서 낙하하는 에너지 약 50 kJ, 낙석방지옹벽은 30 kN의 암석이 20 m 높이에서 낙하하는 에너지 600 kJ을 설정하여 설계에 적용하고 있다.

2. 토석류 충격하중

토석류는 집중호우 등으로 인하여 불안정해진 산사면에 분포하는 다량의 표층이 우수와 함께 하부로 이동하는 현상으로 정의될 수 있으며, 이러한 토석류는 점토, 실트 및 모래와 같은 세립의 토사와 암편 및 자갈과 같은 조립질의 암석덩어리들 및 우수의 복합체로 일반적으로 점성이 높은 Wet Concrete와 특성을 보인다 (Choi, 2013).

토석류로 인하여 발생하는 충격하중은 Armanini (1997)에 의한 정수압 형식으로 다음 식(2)와 식(3)을 이용하여 구할 수 있으며, 동수압 형식으로는 다음 식(4)을 이용하여 구할 수 있다 (Hung et al., 1984; Armanini and Scotton, 1992).

$$\text{동적하중 } (F_{df}) = \beta \rho_{df} g h^2 / 2 \quad (2)$$

$$\text{단면적에 의한 동적하중 } (F_{df}) = \alpha \rho_{df} A v^2 = \alpha \rho_{df} Q_p v \quad (3)$$

$$\text{동적압력 } (P_{df}) = \alpha \rho_{df} v^2 \quad (4)$$

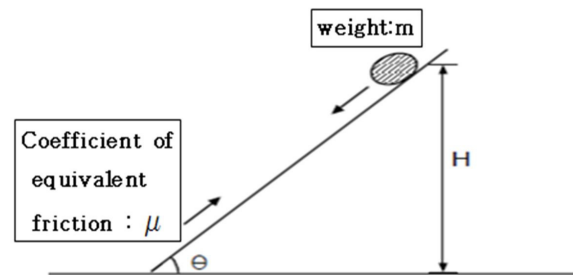


Fig. 1 Calculation of Rockfall energy (MOLIT, 2013)

Table 1 Types of open-cut slope and Coefficient of equivalent friction (MOLIT, 2013)

Characteristics of Rockfall	Characteristics of open-cut slop	Coefficient of equivalent friction
Round shape	Hard rock, little rugged and non tree	0.05
Angular or Round shape	Soft rock, medium or large rugged, non tree	0.15
Angular or Round shape	Weathered rock, small or medium rugged, non tree	0.25
Angular shape	Cliff, medium or large rugged	0.31

*degree of rugged of open-cut slop (rugged heights per 1.0 m of open-cut slop) below 0.1 m: small, 0.1~1.0 m: medium, more 1.0 m: large

여기서 ρ_{df} 는 토석류 밀도, g 는 중력가속도, β 는 토석류의 동적충격에 대한 경험 계수(보통 7~11), h 는 토석류의 높이, α 는 동적 압력계수(보통 1.0~1.5), A 는 토석류가 흐르는 단면적, Q_p 는 토석류의 침두 토출량, v 는 토석류가 구조물에 충돌 시 속도를 나타낸다.

토석류의 동적하중 크기에 영향을 미치는 주요인과 구조물에

작용하는 하중을 산정하기 위한 요인을 살펴보면 다음과 같다.

가. 토석류 침두 토출량과 속도

토석류 침두 토출량 및 속도는 토석류 제어 구조물, 사방댐 설계 시 중요한 인자로 활용되며, 토석류 최대 단면적에 최대 흐름이 발생하는 시간동안의 속도와외의 곱으로 정의된다. 토석류 침두 토출량 및 속도는 측정하기 어렵기 때문에 직접 측정하는 경우는 거의 없으며, 대부분 경험적 관계를 통해 산출하고 있다 (Kang and Kim, 2014).

일반적으로 토석류 침두 토출량 및 이동속도와 관련된 경험식 중 가장 많이 인용되는 식은 Rickenamnn (1999)이 제안한 식으로 다음 식 (5), (6)과 같다.

$$Q_p = 0.1M^{0.833} \tag{5}$$

$$v = 2.1Q_p^{0.33}S^{0.33} \tag{6}$$

여기서, Q_p 는 침두 토출량, M 은 토석류 규모, v 은 토석류 속도, S 는 사면경사비를 나타낸다.

나. 토석류 밀도

토석류의 밀도(ρ)는 Iverson (1997)에 의하면 토석류 상태의 공극률 및 체분석 결과값을 이용하여 다음 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho = \rho_{solid} V_{solid} + \rho_{fluid} V_{fluid} \tag{7}$$

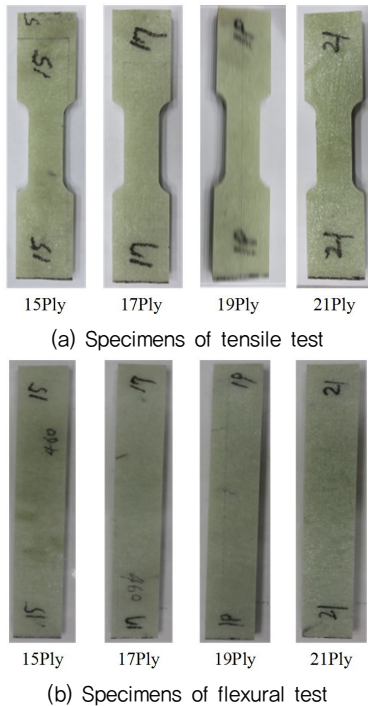


Fig. 2 Specimens of test

Table 2 Landslide velocity scale

Division	Old class (Varnes, 1978.)		New class (WP/WLI, 1994.)	
	typical velocity	typical velocity	description	probable destruction significance
1	-	-	extremely slow	precautions structures undamaged, detectible only with special instruments.
2	0.06 m/year	0.016 m/year	very slow	some permanent structures are undamaged, crack etc. occurrence (Repair possible)
3	1.5 m/year	1.6 m/year	slow	in case of non continuing, distributed over a wide area: frequent maintenance roads and insentives structures can be maintained.
4	1.5 m/month	13 m/month	moderate	some roads and strong structures can be temporarily repaired. sensitive building located on soil clod can be damaged.
5	1.5 m/day	1.8 m/hour	rapid	all persons are able to escape, structures are damaged.
6	0.3 m/min	3 m/min.	very rapid	velocity is too fast, everyone can not be avoided, some persons are killed, struct-ures can be occured serious damage.
7	3 m/sec.	5 m/sec.	extremely rapid	people have no time to escape, so many people die,structures are destroyed. (catastrophe occures)

Table 3 Dynamic impact pressure acting on the structure by analysis of landslide in Korea

Occurrence area	Peak discharge volume (m ³)	slop ratio/ slop gradient	movable velocity (m/s)	static/dynamic pressure (kPa)	total impact pressure (kPa)
Chunchen, cheonjeonri (1)	78.8	0.35/19 °C	6.08	9.46/77.89	87.35
Chunchen, cheonjeonri (2)	87.4	0.29/16 °C	6.24	17.15/73.94	91.09
Chunchen, cheonjeonri (3)	31.55	0.19/11 °C	3.82	8.43/29.20	37.63
Chunchen, yupori	46.67	0.45/24 °C	5.72	6.86/65.32	72.18
Chunchen, chugokri	159.98	0.25/14 °C	7.08	10.49/100.29	110.78
Chunchen, seosangri	20.62	0.32/18 °C	3.93	8.53/30.95	39.48
Chunchen, hyeonamri	40.67	0.19/11 °C	4.35	5.98/37.81	43.79
Chunchen, Jichonri	33.64	0.21/12 °C	4.02	4.12/32.31	36.43
Chunchen, Jungri	11.57	0.24/13 °C	2.90	4.70/16.87	21.57
Seoul, Umyeondong (1)	964.4	0.09/5 °C	9.09	17.72/148.66	166.38
Seoul, Umyeondong (2)	988.8	0.29/16 °C	9.16	26.46/151.14	177.60
Miryang, sangdong, yangji	661.8	0.19/11 °C	10.35	103.13/142.46	214.11
Boseong, hoecheon, hwajuk	62.0	0.31/17 °C	5.57	21.78/55.85	77.62
Daejeon, daesadong	31.6	0.58/30 °C	5.48	26.03/54.48	80.51
Seocheon, wonsuri	32.6	0.32/18 °C	4.55	18.24/37.26	55.50
Pocheon, gisanri	58.5	0.32/18 °C	5.52	18.42/54.90	73.32
Pocheon, geumdongri	30.5	0.36/20 °C	4.63	18.18/38.59	56.69
Pocheon, simgokri	20.6	0.47/25 °C	4.44	26.43/35.48	61.91
Dongducheon, sangbongamdong	241.3	0.35/20 °C	9.08	39.30/148.35	187.65
Yongin, mohyeonmyeon	39.3	0.25/14 °C	4.46	22.20/35.80	58.00
Jeongeup, jiseonri	100.1	0.45/24 °C	7.38	12.86/97.99	110.85
Inje, bupyeongri	160.4	0.16/9 °C	6.13	17.45/67.58	85.03
Inje, deokjeokri	159.6	0.18/10 °C	6.36	16.93/72.80	89.73
Bonghwa, chunyang, seokmunri	469.9	0.14/8 °C	8.36	18.38/125.80	144.18
Bonghwa, chunyang, seobyek-ri	357.8	0.16/9 °C	8.12	36.01/118.56	154.57

Table 4 Damage class to buildings by dynamic impact pressure (debris flow)

Division	Damage class	Impact pressure (kPa)
Non concrete building (Brick/Masonry/Wood/Steel/ Light beam/structure)	Slight	0 ~ 15kPa
	Extensive	15 ~ 30kPa
	Complete	> 30kPa
Reinforced concrete building	Slight	0 ~ 35kPa
	Moderate	35 ~ 100kPa
	Extensive	> 100 kPa

여기서, ρ_{solid} 는 토석류 내의 암석의 밀도, ν_{solid} 는 암석의 체적비, ρ_{fluid} 는 토석류 내의 유체의 밀도, ν_{fluid} 는 유체의 체적비를 나타내며, 실트이하의 입자는 유체와 같은 거동을 하므로 유체의 체적비에 포함된다. 토석류의 밀도값은 현장조건, 구성물질 등에 달리 산정되어 일반화 하기는 어려우나, Kang and Kim (2014)의 연구에 따르면 일반적으로 대부분의 토석류 밀도(ρ_{df})는 20~22 kN/m³의 범위로 분포하지만, 토석류 발생 지역의 토

석류 퇴적물에서 채취한 시료를 통해 얻은 토석류 밀도값을 바탕으로 20 kN/m³을 제시하였다.

3. 토석류에 의해 발생하는 하중 분석

가. 산사태 속도에 의한 하중

산사태 속도에 의해 발생하는 하중의 크기는 속도의 제곱에 비례하므로 이를 고려하여 제시된 산사태 등급을 살펴보면 Varnes

(1978)의 과거등급과 WP/WLI (1993)의 신등급을 Table 2와 같이 구분할 수 있으며, 이를 식 (4)에 의해 단위 면적당의 작용하는 하중을 산정한 결과 식 (8)과 같이 0.005 kPa~50.0 kPa의 하중이 발생하는 것으로 나타났다.

$$P_{df} = 2,000 \times (0.05 \sim 5.0)^2 = 0.00 \sim 50.0 \text{ kPa} \quad (8)$$

여기서, 토석류 밀도는 Kang and Kim (2014)이 제시한 20

kN/m³을 적용하였으며, 산사태 속도는 산지재해의 종류에 따라 상이하나, 본 연구에서는 인명피해가 발생하는 산사태 등급 6~7 등급에 해당되는 산사태 속도 0.05~5.0 m/s를 적용하였다.

나. 국내 토석류에 의한 구조물에 작용하는 동적충격 압력
Table 3에 나타난 바와 같이 최근 2006년에서 2011년 사이에 발생한 국내 산사태 중 25개소에 대한 토석류의 침투 토출량, 토석류 이동거리, 이동속도 등을 Rickenamnn이 제안한 경험식

Table 5 Loads acting on structure

Rockfall load (kN)	Load by landslide velocity class (kPa)	Load by debris flow in Korea (kPa)
average: 4 general: 1 ~ 30	0.005 ~ 50	21.57 ~ 214.11

Table 6 Size distribution of dynamic impact pressure in the Korea landslides

load size (kPa)	Number of occurrences (%)	load size (kPa)	Number of occurrences (%)	load size (kPa)	Number of occurrences (%)
30	6 (14.0)	50	6 (14.0)	100	19 (44.2)
150	7 (16.2)	200	4 (9.3)	250	1 (2.3)

< 30 kPa: 6 (14.0 %), < 50 kPa: 12 (28.0 %), <100 kPa: 31 (72.2 %), < 150 kPa: 38 (88.4 %), < 200 kPa: 42 (97.7 %), < 250 kPa: 43 (100.0 %)

Table 7 Topographic slope and occurrence number for landslide area

Zone Division		Landslide occurrence number by regional groups							and so on
		Kangwondo			Kyung buk	Jeon buk	Ulsan, Busan	National park	
Landslide area gradient	less 10 °C	0	2	1	0	0	0	1	▷Gapyeong area -Averag gradient : 19.52 °C -Standard deviation : 10.77 -Occurrence number : 322 ▷Yeoju, Icheon area -Averag gradient : 14.470 -Standard deviation : 9.87 -Occurrence number : 56 ▷Hoengseong area -Averag gradient : 17.55 °C -Averag gradient : 10.99 -Occurrence number : 643 ▷Gimcheon area -Averag gradient : 18.52 °C -Standard deviation : 11.05 -Occurrence number : 499
	11~15 °C	0	1	7	-	-	2	-	
	16~20 °C	14	0	26	11	10	6	2	
	21~25 °C	40	5	22	-	-	4	-	
	26~30 °C	86	12	140	59	83	2	34	
	31~35 °C	42	14	30	-	-	1	-	
	36~40 °C	10	11	92	73	78	0	55	
	41~45 °C	4	12	86	25	11	0	18	
> 46 °C	0	11	64	4	-	0	15		
subtotal	196	68	468	172	182	15	125		
Landslide direction	NE	-	3	7	66	53	3	0	
	NW	-	10	5	55	48	3	0	
	SE	-	1	2	26	44	2	0	
	SW	-	5	1	25	37	1	0	
	N	-	-	5	0	0	1	59	
	S	-	-	2	0	0	0	51	
	E	-	-	4	0	0	3	5	
W	-	3	1	0	0	2	10		
Geological characteristics	Igneous rock	-	23	-	106	106	12	60	
	Metamorphic rock	-	58	-	38	7	0	65	
	Sedimentary rock	-	0	-	28	69	3	0	
	and so on	-	0	-	0	0	0	0	
landslide year of occurrence		06	02~11	06	05~07	05	14 (hazard)	06	2001~2014
averag gradient		32.35			32.0	29.95	23.0	34.52	32.05 (total) 31.77 (excluding national park)
gradient standard deviation		8.99			8.26	6.93	5.60	8.20	8.64 (total)

과 실측한 자료에 대한 Choi (2013), Kang and Kim (2014), Choi (2013)의 연구내용을 참고하여 분석한 결과 토석류에 의해 구조물이 받은 충격압력의 범위는 21.57~214.11 kPa이며, 손상된 건축 구조물은 평균 95.36 kPa의 충격 압력을 받은 것으로 볼 수 있으며, 손상된 구조물의 최대 충격력 작용 시 토석류의 평균속도는 6.12 m/sec가 발생한 것으로 분석되었다. 또한, 국내·외의 토석류에 의하여 건물 손상에 대한 설명 및 건물 손상등급과 취약 지수 관계는 Hu et al. (2012)의 연구내용을 참고하여 국내에서 Kang and Kim (2014)가 현황에 맞게 수정 연구한 피해건물의 손상 등급을 Table 4와 같이 6단계로 나타낼 수 있다.

4. 개인용 재난대피기구 재하하중 산정

개인용 재난대피기구에 작용하는 낙석 및 토석류 하중에 대하여 분석한 내용을 요약하면 다음 Table 5와 같이 나타낼 수 있으며, 작용하중은 Table 5에서 제시한 하중 중 가장 큰 하중에 대하여 안전하면 좋으나 경제성, 사용성 등에 불리하여 산사태 시 토석류 발생원인, 토석류 속도 등을 검토·분석한 자료를 근거로 하여 산사태 시의 작용하중에 맞는 하중을 적용하기 위한 하중등급을 검토하였다.

재난 안전 구조물에 작용하는 하중 등급을 구분하기 전에 실제 국내에서 발생한 산사태에 작용하는 동적 충격압력을 50 kPa 크기 단위로 나타내면 다음 Table 6과 같이 나타낼 수 있다. 토석류가 발생하는 주요 인자인 지형 경사도로 인한 토석류 발생빈도를 선행연구 (Jung, 2009; Park et al., 2010; Lee et al., 2015)를 바탕으로 분석한 결과 Table 7과 같이 토석류가 발생하는 지점의 지형 경사도가 20 °C이하에서 11.5 %, 21°C~40 °C에서 71.5 %, 41 °C~45 °C에서 7%, 46 °C이상에서 10%가 발생함을 알 수 있었다. 이를 고려하여 토석류 하중의 경우 산사태 속도 등급에 의한 하중, 토석류에 의한 건물 손상 등급 하중과 같이 토석류 동적 충격하중을 산사태 발생율과 발생 분포도, 건물 손상 등급을 고려하여 개인용 재난대피기구에 작용하는 하중 등급을 Table 8과 같이 분류하였다. 낙석하중은 1~4등급은 산사태 시 발생 분포도를 고려하여 낙석하중의 평균을 적용하고 4~6등급은 산사태 발생 분포도

가 낮아서 낙석 방지시설 설치기준의 최대하중을 적용하였다.

III. 개인용 재난대피기구 재료 시험

1. 시험재료 및 방법

가. 사용재료 및 시편제작

개인용 재난대피기구 제작을 위하여 재료적 특성으로 경량이며, 충격에도 강하면서 경제적인 구조물의 재료로 활용되는 섬유 강화플라스틱 (Fiber Reinforced Plastic, 이하 'FRP'라 함)을 선정하였으며, 주요 구조물의 재료로 사용 중인 섬유강화플라스틱 구성 재료로는 유리섬유 (Glass Fiber), 탄소섬유 (Carbon Fiber), 아라미드 섬유 (Aramid Fiber) 등이 있다.

유리섬유는 현재 구조용 FRP 제작에 가장 많이 사용하는 섬유로서 내부식성 및 내구성이 강하나, 반면에 탄소섬유는 충격에 약하며, 낮은 신장률과 상대적으로 낮은 압축강도를 갖는 것이 특징이다. 아라미드 섬유는 보강재로 사용되는 가장 일반적인 유기섬유이며, 내열·내한성이 우수한 고강도 섬유이다. 분자간의 결합이 매우 단단하여 안정적이긴 하지만 탄소섬유에 비해 내열성이 떨어지며, 압축응력에 약한 것이 특징이다 (Introduction to FRP Composites, 2006).

본 연구에서는 FRP 제작에 가장 많이 사용되며, 내구성이 강한 유리섬유강화플라스틱 (Glass Fiber Reinforced Plastic: GFRP)을 사용하여 수작업으로 성형하는 방법인 핸드 적층법 (Hand lay-up method)으로 Fig. 2와 Table 9에서 나타낸 바와 같이 유리섬유 두께에 따른 인장 및 굽힘강도 시험을 위해 Case#1 (15겹), Case#2 (17겹), Case#3 (19겹), Case#4 (21겹)으로 총 4 Case의 시편을 제작하였다.

나. 시험방법

인장강도 및 굽힘강도 시험은 KS F 2241 (유리섬유 강화 플라스틱의 인장시험 방법), KS F 2242 (유리섬유 강화 플라스틱의

Table 8 Load class acting on the disaster safety structures

Load class	Acting load		Slope ratio of applied terrain	Remarks
	Rockfall load (kN)	dynamic load (kPa)		
1 class	4	15	0,368 (about 20 °C)	*concentrated load is Loads due to rockfall kind, *distributed load (dynamic load) was classified by considering to size distribution of the dynamic impact pressure, and damage class of building during in the Korea landslide.
2 class	4	30	0,568 (about 30 °C)	
3 class	4	35	0,635 (about 33 °C)	
4 class	4	50	0,835 (about 40 °C)	
5 class	30	100	1,512 (about 56 °C)	
6 class	30	150	2,168 (about 65 °C)	

Table 9 Test specimens specification

Type	Tensile strength of test specimens specification				Flexural strength of test specimens specification			
	Case#1 (15Ply)	Case#2 (17Ply)	Case#3 (19Ply)	Case#4 (21Ply)	Case#1 (15Ply)	Case#2 (17Ply)	Case#3 (19Ply)	Case#4 (21Ply)
Length (mm)	70	70	70	70	450	450	450	450
Width (mm)	30,12	30,05	30,20	30,21	49,97	49,86	49,90	49,84
Thickness (mm)	11,56	13,31	15,65	16,33	12,25	13,90	15,67	17,08



(a) Tensile strength test

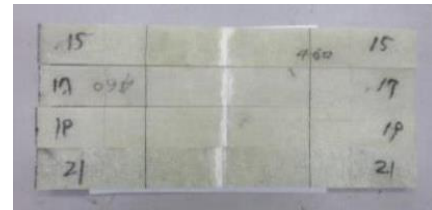


(b) Flexural strength test

Fig. 3 The tensile and flexural strength test with the laminated thickness



(a) Result of tensile test



(b) Result of flexural test

Fig. 4 Result of test specimen

굽힘 시험 방법)에 의해 실시하였다 (Ministry of Oceans and Fisheries Notice, 2013). MTS사 500 kN 용량의 인장시험 및 굽힘시험 등에 사용하는 장비를 사용하여 인장강도 2.0 mm/min, 굽힘강도 4.0 mm/min의 속도로 하중을 재하 하여 시험을 실시하였다 (Fig. 3).

인장강도 및 인장탄성계수는 KS F 2241에서 규정하는 다음 식 (9), (10)에 의해 계산하였다.

$$\text{인장강도 (MPa)} = \frac{P}{A} \quad (9)$$

$$\text{인장탄성계수 (E: MPa)} = \frac{L}{A} \left(\frac{P}{\Delta l} \right) \quad (10)$$

여기서, P는 파단하중 (MN), A는 시험편의 중앙부의 단면적 (m²)을 나타내며, 굽힘강도 및 굽힘탄성계수는 KS F 2242에서 규정하는 식 (11), (12)을 통하여 계산하였다.

$$\text{굽힘강도 (MPa)} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot L}{b \cdot t^2} \quad (11)$$

$$\text{굽힘탄성계수 (E: MPa)} = \frac{L^3}{4b \cdot t^3} \cdot \frac{P}{\Delta l} \quad (12)$$

여기서, P는 파단하중 (MN), L은 지점간의 거리 (m), b는 시험편의 너비 (m), t는 시험편의 두께 (m), P는 시험편 파괴시의 하중, Δl는 시험편 파괴시의 변위를 나타낸다.

2. 시험결과 및 고찰

개인용 재난대피기구 재료인 유리섬유강화플라스틱 (GFRP)의 재료인 유리섬유의 특성상 적층두께에 따라 재료의 물성치가 달라지는 것을 고려하여 적층두께별 4 Case의 시험편을 제작하여 인장 및 굽힘강도 시험을 실시하였다 (Fig. 4).

그 결과 Table 10에서와 같이 인장강도 시험의 경우 최대하중은 적층두께가 증가할수록 증가함을 알 수 있었으며, 인장강도 및 인장탄성계수는 Case#1에서 각각 22.29 kN/cm², 544 kN/cm²

Table 10 Tensile strength values of test specimen

Type	Case#1 (15Ply)	Case#2 (17Ply)	Case#3 (19Ply)	Case#4 (21Ply)
Thickness (mm)	11,56	13,31	15,65	16,33
Maximum load (kN)	77,61	79,71	92,07	102,58
Maximum deformation (mm)	2,87	2,57	2,61	2,71
Tensile strength (kN/cm ²)	22,29	19,93	19,48	20,79
Tensile elastic modulus (kN/cm ²)	544	543	523	537

Table 11 flexural strength values of test specimen

Type	Case#1 (15Ply)	Case#2 (17Ply)	Case#3 (19Ply)	Case#4 (21Ply)
Thickness (mm)	12,25	13,90	15,67	17,08
Maximum load (kN)	6,88	8,58	10,41	10,26
Maximum deformation (mm)	16,13	14,40	12,73	10,63
Flexural strength (kN/cm ²)	27,53	26,65	25,43	25,22
Flexural elastic modulus (kN/cm ²)	929	888	850	926

Table 12 Properties of FRP material for members

Division	Elastic modulus (kN/m ²)	Tensile strength (kN/m ²)	Flexural strength (kN/m ²)	Unit weight (kN/m ³)	Poisson's ratio (ν)
GFRP	8,98×10 ⁶	206,200	262,000	16	0,23

으로 가장 높게 측정되었다. 또한 Table 11의 굽힘강도 시험의 경우 인장강도 시험과 유사하게 Case#1에서 휨강도 27.53 kN/cm² 및 휨탄성계수 929 kN/cm²로 가장 높게 나타났다.

시편시험 Case별 인장 및 휨강도 시험결과를 종합적으로 분석해 볼 때 인장강도 19.48~22.29 kN/cm² (평균: 20.62 kN/cm²), 굽힘강도 25.22~27.53 kN/cm² (평균: 26.20 kN/cm²), 탄성계수 850~929 kN/cm² (평균: 898 kN/cm²)로 측정값의 편차가 크지 않아 신뢰성이 있음을 알 수 있었으나 일부 시편에서 재료의 강도측면에서 시험 값이 미소하게 낮게 측정된 것은 시편제작 시 유리섬유와 에폭시 양에 의한 경화도 조건 및 수제작으로 인한 오차로 판단된다. 따라서 위의 시편시험 결과 값을 평균하여 적용한다면 개인용 재난대피기구 안전성 검증을 위한 수치해석 시 GFRP 재료의 물성치로 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 시편시험 결과의 탄성계수, 인장 및 굽힘강도에 대한 평균값은 다음 Table 12와 같다.

IV. 결 론

본 연구는 산사태로 인한 인명피해를 최소화 하기 위한 개인용 재난대피기구 개발을 위한 기초 연구로서, 산사태로 인하여 발생하는 토석류 하중에 의하여 구조물에 미치는 영향을 정량적으로 분석하여 개인용 재난대피기구에 적용가능한 하중을 제시하고,

GFRP 부재의 시편을 제작하여 인장 및 굽힘강도 시험을 실시하였으며, 이를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 국내 산사태가 발생한 25개소의 실측 자료 분석한 결과 구조물이 받은 충격압력의 범위는 21.57~214.11 kPa이며, 손상된 건축 구조물은 평균 95.36 kPa의 충격 압력을 받은 것으로 나타났다. 또한 손상된 구조물의 최대 충격력 작용 시 토석류의 평균속도는 6.12 m/sec로 분석되었다.
2. 국내에서 발생한 산사태에 작용하는 동적 충격압력을 분석한 결과 30 kPa: 14.0 %, 30~50 kPa: 14.0 %, 50~100 kPa: 44.2 %, 100~150 kPa: 16.2 %, 150~200 kPa: 9.3 %, 200~250 kPa: 2.3 %로 총 6단계로 하중 구분이 가능한 것으로 나타났다.
3. 개인용 재난대피기구에 작용하는 하중은 토석류로 인하여 발생하는 동적 충격 압력하중을 산사태 발생율과 발생분포도 및 건물손상등급을 고려하여 분류한 결과 6단계로 구분이 가능하였다.
4. 개인용 재난대피기구 재료인 GFRP 시편 Case별 인장 및 굽힘강도 시험 결과, 개인용 재난대피기구 안전성 검증을 위한 수치해석 시 GFRP 재료의 허용응력 및 변위의 기준이 되는 물성치로 사용될 수 있는 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있었다.

사 사

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

REFERENCES

1. Kim, J. M., D. W. Hwang, H. T. LIM, S. Y. Park, K. S. Yeon, and Y. S. Kim, 2016. A Study on the Strength Properties of FRP Member for Making Personal Disaster Shelters in Rural Area. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 58(2): 73-82 (in Korean).
2. National Emergency Management Agency, (1988~2015). Disaster Annual Report, Korea.
3. Kim, S. W., S. J. Jung, E. K. Choi, S. H. Lee, and D. G. Park, 2013. An Analysis of the Current Status of Disasters Occurring on the Steep Slopes in Kore, *Journal of environmental science international* 22(11): 1529-1538 (in Korean).
4. Statistics Korea, 2010. Population and Housing Census, Korea.
5. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013. Falling rock facility to prevent safety side, 453, Korea.
6. Choi, J. H., 2013. *A Study on Slope Hazard-Triggering Rainfall Characteristics in Chuncheon Area. Ms.D. diss., Dept. civil engineering: Kangwon National University.*
7. Armanini, A., and P. Scotton, 1992. Experimental analysis on the dynamic impact of a debris flow on structures. In Proc. *6rd International Symposium*, 107-116. Bern.: INTRAPREVENT.
8. Hungr, O., G. C. Morgan, and R. Kellerhalls, 1984. Quantitative Analysis of debris Torrent Hazard for Design of Remedial Measures, *Canadian Geotechnical Journal* 21: 663-667.
9. Rickenmann, D., 1999. Empirical relationships for debris flows. *Natural Hazard* 19: 47-77.
10. Iverson, R. M., 1997. The Physics of Debris Flows. *Rev, Geophys* 35: 254-296.
11. WP/WLI, 1993. A suggested method for describing the activity of a landslide. *Bulletin International Association of Engineering Geology* 47: 53-57.
12. Kang, H. S., and Y. T. Kim, 2014. Physical Vulnerability Function of Buildings Impacted by Debris Flow, *Journal of National Institute for Disaster Prevention* 4(5): 137-140 (in Korean).
13. Choi, W. I., 2013. *A Study on Development of Vulnerability Function based on Characteristics of Debris Flow and Structure in Korea. Ph.D. diss., Dept. civil engineering: University of Seoul.*
14. Hu, K. H., P. Cui, and J. Q. Zhang, 2012. Characteristics of Damage to Buildings by Debris Flows on 7 August 2010 in Zhouqu, Western China. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12: 2209-2217.
15. Jung, K. W., 2009. *Studies on the causal characteristics of landslide and the development of hazard prediction map for landslide in Gyeongsangbuk-Do Province. Ph.D. diss., Dept. Forestry: Kyungpook National University.*
16. Park, C. M., H. S. Ma, W. S. Kang, K. W. Oh, S. H. Park, and S. J. Lee, 2010. Analysis of Landslide Characteristics in Jeonlabuk-do, Korea. *Journal of Agriculture & Life Science* 44(4): 9-20 (in Korean).
17. Lee, S. Y., G. Y. Jung, and S. J. Park, 2015. Evaluating Geomorphological Classification Systems to Predict the Occurrence of landslides in Mountainous Region. *Journal of the Korea Geographical Society* 50(5): 485-503 (in Korean).
18. Ministry of Oceans and Fisheries Notice, 2013 Revision of the structural criteria of reinforced plastic(FRP) boat. 2013(227) (in Korean).
19. Introduction to FRP Composites, 2006. 3-28. Bristol. Virginia.