



농촌 주택붕괴 대비 방재셸터의 부재 적정성 평가 - 수치해석을 중심으로 -

Appropriateness Evaluation of Rural House Collapse Prepare Disaster Shelter Member - Focusing on the Numerical Analysis -

오현문* · 김정면* · 이응범* · 임창수** · 김용성*,†

Oh, Hyeonmun · Kim, Jungmeyon · Lee, Eungbeom · Lim, Changsu · Kim, Yongseong

Abstract

This research is a basic study to minimize the risk of disaster (earthquakes and landslides) for rural residential houses. In this study, three-dimensional numerical analysis was performed by varying the diameter (D), thickness (T) and the spacing of longitudinal members (C.T.C) of duralumin and galvanized steel pipe as the materials of main members in order to carry out the analysis of the dimension and the applied load of shelter for disaster prevention, and to evaluate the eligibility of members that can satisfy safety and usability. From the evaluation results of the member eligibility by the above numerical analysis, it was found that duralumin has a great influence on the member diameter (D) and thickness (T), and in the case of galvanized steel pipe, its spacing of longitudinal members has a huge amount of influence over the member force, so it is considered that the duralumin and galvanized steel pipe materials can be used as materials for the main members of disaster prevention shelters in terms of safety and usability.

Keywords: Earthquake, Landslide, Housing collapse, Disaster prevention shelter, Human injury

1. 서 론

자연재난으로 인한 인명피해를 최소화 하고자 국내·외에서 다양한 자연재난 대피관련 기술개발이 활발이 이루어지고 있으나, 주로 정보전달시스템 분야에 치중되어 있으며 대피시설, 대피기구와 같은 실제 자연재난 발생 시 주민의 생명과 안전을 지킬 수 있는 제품개발은 미흡한 것으로 나타났다 (Kim et al., 2017).

국민안전처 (National Emergency Management Agency) 재해연보를 통한 최근 27년간 (1988~2014) 발생한 자연재난 인명피해 현황을 살펴보면 총 2,494명 중 산사태로 499명의 인명피해가 발생하였으며, 이는 전체 인명피해의 약 20%에 해당된다 (Kim et al., 2016). 그러나 최근 10년간 (2005~2014)간으로 범위를 좁혀보면 약 37.4%로 과거에 비해 산사

태로 인한 인명피해는 점차 증가하고 있다 (Kim et al., 2016).

급경사지 붕괴 및 산사태로 인한 인명피해의 대부분은 농촌지역에 집중되고 있으며, 이는 배산임수의 취약특성과 노인 등 재난약자의 비율이 높은 농촌지역이 도시지역보다 피해가 심각한 것으로 나타났다 (Kim et al., 2017).

또한 2016년 9월에 규모 5.8의 지진으로 인해 23명의 인명피해가 발생한 9.12 지진 사례에서 알 수 있듯이, 농촌지역의 주택의 대부분이 내진설계가 반영된 건축물이 아님에 따라 지진발생 시 주택붕괴 등으로 인한 인명피해 우려가 심각하다.

현재 국내에서는 지진 및 산사태 발생을 사전에 감지하여 주민들에게 학교, 마을회관, 관공서 등 사전에 지정한 대피소로 이동을 유도하고 있지만 대피소의 거리가 멀 경우 노인, 어린이 등 재난약자들은 대피를 포기하여 피해를 입는 경우가 빈번하게 발생하고 있으며, 지진의 경우에는 본진 이외에 지속적으로 발생하는 여진에는 속수무책으로 위험에 노출되고 있다.

일본의 경우에는 동일본 대지진의 경험을 바탕으로 지진해일 (Tsunami)로 인한 주민의 생명을 보호하기 위하여, 국가적인 시스템 구축보다는 자기주도적 대피를 유도하기 위한 다양한 대피기구 제품이 개발되어 상용화 되고 있으나, 국내의 경우 국가적 차원의 재난예경보 시스템과 같이 관제시스템 위주의 기술개발이 주를 이루고 있으며, 이 또한 지진, 산사태와 같이 재해를 사전에 예측하기 어려운 돌발재해의 성격이

* Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

** Rural Development Administration, National Institute of Agricultural Sciences

† Corresponding author

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

E-mail: yskim2@kangwon.ac.kr

Received: August 18, 2017

Revised: August 31, 2017

Accepted: September 1, 2017

큰 재해에는 유명무실한 것이 현실이다(Kim et al., 2016).

따라서 국가적 차원의 관제시스템과 더불어 주민들에게 실제적으로 도움을 줄 수 있는 자기주도적인 대피기구 개발이 필요하며, 이를 실현하기 위해 다양한 형태의 자연재난 중 실제적으로 인명피해의 우려가 큰 지진 및 산사태에 주안점을 둘 필요가 있다.

본 연구에서는 지진 및 산사태 재해 특성상 외부하중에 따른 주택붕괴로 발생하는 낙하물 및 토석류로 인한 피해가 대부분인 점과 재해를 사전에 예측하기 어려운 특성을 고려하여 주택 내에 설치 가능하고 주택붕괴에 따른 외부하중에 신체를 보호할 수 있는 주택용 방재쉘터를 개발하고자 하며, 이를 위한 기초연구로 안전성 및 사용성 측면에서 만족할 수 있는 방재쉘터의 제원 및 고강도 토목섬유, 두랄루민, 아연도강관 부재의 적합성을 평가하고자 3차원 수치해석을 수행하고 타당성을 검토 하였다.

II. 주택용 방재쉘터 특성

1. 주택용 방재쉘터 계획

주택용 방재쉘터의 구성은 주택붕괴 및 낙하물에 견딜수 있는 고강도 강관을 활용한 조립식 골조시스템(Frame system) 및 이와 연동하여 하중 분산 및 토사유입을 막을 수 있는 고강도 섬유를 활용한 멤브레인 시스템(Membrane system)으로 구성된다.

골조시스템의 주재료인 고강도 강관은 농업시설물 및 구조용 재료로 널리 활용되는 아연도 강관(galvanized steel pipe)과 텐트 및 타프의 구조용 재료로 쓰이고 있는 알루미늄 합금인 두랄루민(Duralumin)으로 계획하였다.

두랄루민은 아연도 강관에 비해 고가이나 무게가 가벼워 사용성 측면에서 우수한 반면 아연도 강관의 경우 두랄루민

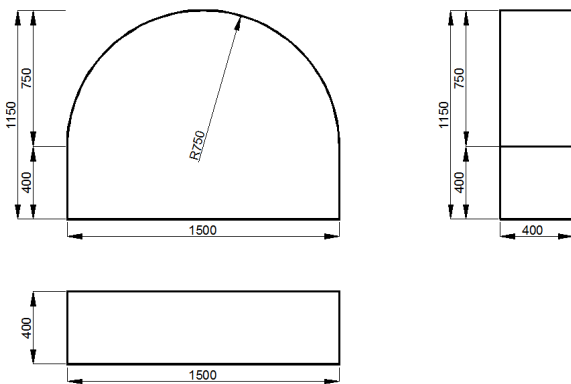


Fig. 1 Residential emergency shelter specification

과 비교하여 무게가 무거워 설치 및 해체, 이동이 용이하지 않는 단점이 있으나 경제성 측면에서 우수한 장점이 있다. 이에 본 연구에서는 고강도 재료 선정 시 재료 수급이 원활하고 제작 시 가공성이 우수하며, 사용자의 활용성 등을 고려하여 아연도 강관 및 두랄루민 재료를 선정하였다.

멤브레인 시스템에 주재료인 고강도 섬유는 토목공사 시 널리 사용되는 고강도 토목섬유인 PET Mat을 선정하였다.

지진 및 산사태로 인한 주택붕괴, 낙하물과 같은 외력에도 견딜수 있는 구조적으로 안정한 마제형의 Barrel Shell 구조를 채택하였다. 또한 현재 농촌지역의 고령화 및 인구감소 현상으로 인하여 가구당 1~2인이 거주하는 주택이 대부분인 점을 고려하여 2인이 동시에 사용할 수 있도록 하기 위해 Fig. 1. 과 같이 폭 1.5 m, 길이 2.0 m, 높이 1.25 m로 계획하였다(Kim et al., 2016).

또한 방재쉘터는 주택의 방, 거실 등의 실내에 설치되는 대피기구로서 위험이 예상되는 시기에 설치했다가 해체가 용이하도록 조립식 구조를 채택했으며, 온돌 및 침대를 사용하는 가정에 사용성을 높이기 위해 침대에도 호환이 가능하도록 계획하였다.

Fig. 2는 주택용 방재쉘터의 모식도를 나타내었다.



(a) Floor type



(b) Bed type

Fig. 2. Residential emergency shelter of Schematic

2. 재료의 특성

주택용 방재셀터에 사용할 수 있는 재료는 여러종류가 있지만 그중에서 경제성, 사용성, 구조적 안정성 등에 적합 재료로 고강도 토목섬유와 두랄루민 및 아연도 강관을 사용하였다. 두랄루민(Duralumin) 재료는 경량이면서 고강도, 우수한 내식성 및 가공성을 가지기 때문에 자동차, 선박, 수압관의 이음쇠 등 구조재로 널리 사용되고 있다(Hwang and Yoon, 2004).

두랄루민은 Cu, Mn, Mg의 합금으로 성분과 열처리 방법에 따라 Table 1과 같이 Duralumin, Ultra duralumin, Ultrastrong duralumin로 분류되며, 합금 성분에 따라서 1xxx계열에서 9xxx계열까지 나누어진다(POSRI, 2013).

알루미늄의 순도가 99% 이상인 제품은 1XXX계열이며, 알루미늄-구리 합금은 2XXX계열, 알루미늄-아연 합금은 7XXX계열 등으로 구분된다(POSRI, 2013).

아연도 강관은 강관에 용융 아연을 도금한 것으로서 강관 제작 시 철의 성분과 합금 성분비에 따라 그 특성이 다르게 나타나며, KS D 3506에서 규정한 SGCC, SGHC 또는 이와 동등 이상의 품질인 재료로서 일반적으로 구조물의 골격 구조에 적합한 종류로는 SPVH 계열로 기계적 성질은 Table 2와 같다(MAFRA, 2001).

멤브레인 시스템의 재료로 사용되는 토목섬유(Geotextile)는 비탈면 보강공사 및 공사용 차량의 주행안정성 확보를 위해 널리 활용되고 있는 재료로 일반섬유와는 달리 고인장강도를 확보하고 있다. 일반적으로 토목공사 시에는 PP(polypropylene) Mat, PET(polyester) Mat을 주로 활용하고 있으며 최대인장강도는 50 kN/m~400 kN/m로써 사용목적에 따라 선택하여 사용하고 있다.

3. 주택용 방재셀터 작용하중 분석

주택용 방재셀터에 작용하는 하중은 시방기준이나 지침 등이 정립된 것이 없어 이를 고려하여 산지재해에 발생할 수 있는 여러 하중과 지진 시 주택붕괴에 따른 하중을 선행연구 및 문헌 등을 분석하여 대피기구에 작용하는 하중을 선정하였다.

주택용 방재셀터에 작용하는 하중으로는 급경사지 붕괴 및 산사태 등과 같은 산지재해의 경우 충격을 포함한 집중하중과 분포하중으로 대별되며, 지진 시 발생하는 하중은 주로 진동으로 인한 주택붕괴로 발생하는 하중으로 구분할 수 있으며, 세부적으로 아래와 같다.

가. 급경사지 붕괴 및 산사태 하중

급경사지 붕괴 시 발생하는 낙석류는 집중하중으로써 국내 국도 주변 275개소에 대한 낙석을 조사한 결과(MOLIT, 2013) 낙석의 평균 중량은 4 kN이나, Table 3과 같이 낙석방지시설 설계 시에는 낙석 하중을 보통 1 kN~30 kN을 기준으로 낙석높이에 따라 설정하여 설계에 반영하고 있다(Kim et al., 2016).

분포하중은 토석류로 인한 충격하중으로 최근 2006년에서 2011년 사이에 발생한 국내 산사태 중 25개소의 실측한 자료에 대한 분석 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(Kim et al., 2016).

또한, 국내·외의 토석류에 의하여 건물 손상에 대한 설명

Table 1 Name and its characteristics and mechanical properties of duralumin (KS D 3603, 2014)

Alloy name	Alloy element (%)					Heat treatment temperature (°C)			Yield point (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)
	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Anneal	Harden	Temper		
Duralumin	4.0	0.5	0.5	-	-	415	505	-	275 (28)	420 (43)
Ultra duralumin	4.5	0.6	1.5	-	-	415	465	190 8~10h	285 (29)	440 (45)
Ultrastrong duralumin	1.6	0.2	<2.5	<5.6	0.3	415	415	120 22~26h	490 (50)	560 (57)

Table 2 Mechanical properties of galvanized steel pipe

Type	Assortment	Plating amount (g/m ²)	Yield strength (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)
SPVH	Galvanized steel pipe	300 More than	205 More than	270 More than
SPVHS			295 More than	400 More than
SPVH-AZ	Aluminum-zinc alloy coated steel pipe	160 More than	205 More than	275 More than
SPVHS-AZ			295 More than	400 More than

Table 3 Rockfall energy and Tensile force (MOLIT, 2013)

Rockfall weight (tonf):(diameter)	Rockfall expected height			Tensile force (kN)
	10 m	20 m	30 m	
0.3 (0.596 m)	22.74	45.49	68.24	23.69
0.4 (0.661 m)	31.44	62.88	94.32	26.27
0.5 (0.707 m)	37.91	75.82	113.73	28.10
1.0 (0.891 m)	75.81	151.64	227.46	35.42
1.5 (1.020 m)	113.73	227.46	341.19	40.55
2.0 (1.123 m)	151.63	303.28	454.92	44.64
2.5 (1.209 m)	189.55	379.10	568.65	48.06
3.0 (1.302 m)	227.46	454.92	682.37	51.75

Table 4 Damage class to buildings by dynamic impact pressure (Kang and Kim, 2014)

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

및 건물 손상등급과 취약 지수 관계는 Hu et al. (2012)의 연구 내용을 참고하여 Kang and Kim (2014)이 국내 실정에 맞게 수정 연구한 피해건물의 손상 등급을 Table 4와 같이 6단계로 나타낼 수 있었다 (Kim et al., 2016).

나. 지진 시 주택 붕괴하중

지진 시 주택의 붕괴하중은 고정하중인 지붕하중과 등분포하중인 적재하중으로 구분되며, 건축물 하중기준 및 해설 (Architectural Institute of Korea, 2000)에 따르면 지붕하중은 철근콘크리트 슬래브 두께 0.2 m를 기준으로 5.0 kN/m²의 하중이 발생한다.

적재하중은 건물의 입주자나 집기류 등 건물의 점유에 관련된 하중으로 정의된다. 보통 적재하중은 수시로 이동할 가능성이 있기 때문에 정확한 분포하중을 계산하기 어려우며, 자연재난 시 피난 등 예기치 않은 하중을 초래할 우려도 있지만 적재물이 거의 없는 주택으로 설정하여 Table 5에 나타냈다.

Table 5 House collapse load (Architectural Institute of Korea, 2000)

Division	Fixed load	Loading Load
House collapse load	5.0 kN/m ²	2.0 kN/m ²

다. 주택용 방재쉼터 작용하중 선정

급경사지 붕괴 및 산사태 하중은 낙석하중, 비콘크리트 건물이 파괴된 후 작용하중 등을 고려하여 분포하중 15 kN/m² 과 토석류가 밀려와 일반 주택의 실내 높이 약 2.0 m까지 토사에 매몰된 경우를 고려하여 Table 6과 같이 선정하였다.

또한 지진발생 시 작용하는 하중은 고정하중인 지붕하중과 유동성이 있는 적재하중 등을 고려하여 10 kN/m²으로 선정하였다.

III. 수치해석을 통한 부재적정성 평가

1. 해석모델링

방재쉼터 부재적정성 해석을 위한 수치해석 프로그램은 범용적으로 사용하고 있는 Sap2000 프로그램을 사용하여 3D

Table 6 Load applied to disaster prevention shelter

Division	Load applied
Steep slope collapse and landslide	15.0 kN/m ² or Soil height 2 m
Earthquake	10.0 kN/m ²

Frame 및 Membrane 요소 해석을 수행하였다.

해석을 위한 모델링은 위의 II.1에서 계획한 단면을 토대로 하여 재료가 토목섬유와 두랄루민 및 아연도 강관으로 구성된 단면을 3차원 Membrane 요소와 Frame 입체요소로 각각 모델링 하였으며, 각 부재는 20~25 cm의 요소 부재로 구성하였다 (Fig. 3).

2. 해석조건

가. 재료 물성치

방재철헤터에 사용되는 재료는 토목섬유, 두랄루민, 아연도 강관으로 모두 KS D에서 규정한 동등이상의 품질을 만족하는 기성제품이다. 토목섬유의 경우 PET Mat중 인장강도 400 kN/m 이상의 물성치를 적용하였으며, 두랄루민은 구조물의

뼈대 구조에 적합한 2XXX계열대, 아연도 강관은 SPVH 재료중 안전성, 사용성, 경제성 등을 만족 시키는 환봉 형상의 재료를 선정한 후 일반적인 기계적 성질인 탄성계수, 인장강도, 신율 등은 기존 자료의 값을 사용하여 작용하중에 안전하도록 3차원 수치해석에 사용하였다 (Table 7).

나. 안전성 기준

주택용 방재철헤터 안전성 판정에 대한 기준은 현재 정립된 기준이 없으므로 허용응력법을 기준으로 하여 안전성에 대한 판단기준을 설정하였다.

일반적으로 건축물이나 토목 구조물에서 강재의 안전계수는 1.5~2.2정도 사용하고 있지만 방재철헤터는 항상 응력이 작용하는 구조물이 아니고 특정한 상태에서 일시적으로 하중이

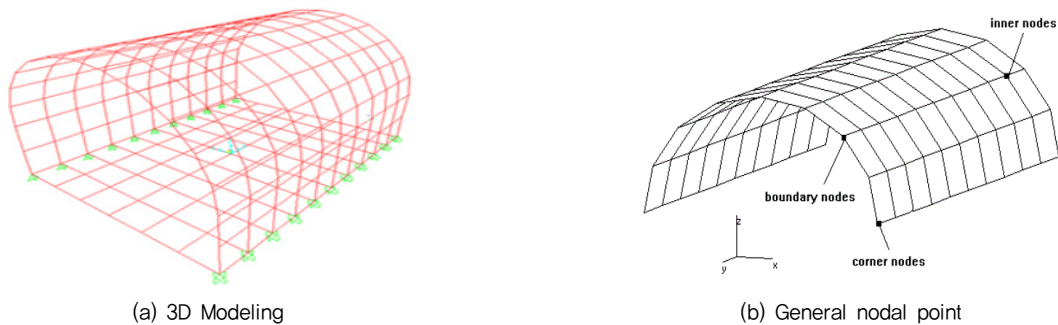


Fig. 3 Basic modeling for analysis

Table 7 Properties of Geosynthetic and Duralumin, Galvanized steel pipe

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)
Geosynthetic	9.0E5	490	–	17.6	0.30
Duralumin	7.0E7	420,000	–	26.4	0.34
Galvanized steel pipe	2.1E8	410,000	405,000	77.0	0.30

Table 8 The allowable stress values of Geosynthetic and Duralumin, Galvanized steel pipe

Division	Elastic modulus (kN/m ²)	Yield strength (kN/m ²)	Tensile strength (kN/m ²)	Allowable stress (kN/m ²)	Poisson's ratio (ν)
Geosynthetic	9.0E5	–	490	275	0.30
Duralumin	7.0E7	275,000	420,000	180,000	0.34
Galvanized steel pipe	2.1E8	320,000	410,000	210,000	0.30

Table 9 Criteria for deflection

Division	Maximum dimension of member (m)	Allowable deflection ratio (%)	Allowable deflection (mm)
Allowable deflection of the crown	1.25	5.0	62.5
Allowable deflection of the convergence (space of inside)	1.50	5.0	75.0

작용하므로, 이를 고려하여 각 재료의 항복응력의 66.7%에 해당하는 안전계수 1.5를 적용하여 허용응력에 대한 안정성 기준 값을 Table 8과 같이 선정하였다 (Kim et al., 2016)

또한 허용변위 기준은 부재응력이 허용 응력이내에 있으면서 최대의 변위를 허용하는 값은 연성거동을 하는 재료와 같이 부재 치수의 5%를 변위에 대한기준으로 Table 9와 같이 설정하였다.

다. 부재 직경과 종방향 간격을 고려한 모델 Case

방재셀터 부재의 적정성을 평가하기 위해서는 외력 대부분에 대하여 저항하는 골조를 이루고 있는 두랄루민과 아연도강관의 직경 (D), 두께 (T), 종방향 부재간격 (C.T.C)를 결정하는 것이 중요하다.

방재셀터는 안전성도 만족하여야 하지만 무엇보다도 사용자가 쉽게 조립 및 해체가 용이하도록 사용성 측면도 고려해야 한다. 종방향 간격이 좁고, 부재 직경이 클수록 안전성 측면에서는 더욱 큰 효과가 발휘되나, 부재수가 불필요하게 많으면 경제성 및 사용성 측면에서 불리하다.

따라서 본 연구에서는 Table 10~11에서와 같이 현재 시중에서 판매되고 있는 부재의 제원을 바탕으로 토목섬유+두랄루민, 토목섬유+아연도강관의 직경, 두께, 종방향 간격을 달리하여 부재 적정성 평가를 수행하였다.

3. 해석결과

가. 토목섬유+두랄루민

토목섬유와 두랄루민이 결합된 방재셀터의 부재직경 (D), 두께 (t), 종방향 간격별 부재 적정성 검토결과 Fig. 4-6, Table 10~11과 같이 모든 Case에서 허용응력과 변위에 만족하는 것으로 나타났다.

천단부에서 응력과 변위가 가장 크게 나타났으며, Case 1 및 Case 2는 지진 시 하중을 적용한 경우로써 골격을 이루고 있는 두랄루민 보다 토목섬유에서 응력이 집중되는 것으로 나타났다. 이는 하중 발생 시 두랄루민으로 하중을 분산시켜 주는 역할을 담당하는 토목섬유가 하중에 저항하는 결과로 두랄루민 종방향 간격이 길어서 발생하는 현상으로 판단되며, 또한 Case 2의 경우에는 종방향 간격이 Case 1에 비해 좁으나 응력 및 변위가 크게 나타났으며 이는 종방향 간격보다는 부재의 직경 및 두께가 부재력에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

반면에 산사태 하중을 적용한 Case 3 및 Case 4는 토목섬유보다 두랄루민에 응력이 집중되는 것으로 나타났으며, 이는 두랄루민 부재의 종방향 간격이 좁아 토목섬유가 하중에 저항하기 보다는 하중을 분산시켜 강도가 큰 두랄루민 부재로 응력이 전이되는 것을 알 수 있다.

Table 10 Model case by regard to material thickness and skeleton spacing

Model case	Acting force (kPa)	Geosynthetics thickness (mm)	Duralumin	Galvanized steel	Skeleton spacing (mm)
			Material Specification (mm)		
Case 1	10	1.0	D=40.0, t=3.0	D=38.1, t=2.0	500
Case 2	10	1.0	D=38.0, t=2.5	D=38.1, t=2.0	400
Case 3	32	1.0	D=40.0, t=3.0	D=38.1, t=2.0	250
Case 4	32	1.0	D=35.0, t=3.0	D=38.1, t=2.0	200

Table 11 Stress values of numerical analysis

Division		Crown (kN/m ²)	Sidewall part (kN/m ²)	Central part of bottom (kN/m ²)
Case 1	Geosynthetics	304	179	29.0
	Duralumin	118,048	135,402	42,223
Case 2	Geosynthetics	306	206.8	39
	Duralumin	119,191	138,267	44,026
Case 3	Geosynthetics	189	72	24
	Duralumin	129,079	87,529	27,979
Case 4	Geosynthetics	176	73.5	25.0
	Duralumin	135,414	92,612	30,596
Judgement of adequacy		Allowable stress (Geosynthetics=327, Duralumin=180,000)		
		all case ∴O.K	all case ∴O.K	all case ∴O.K

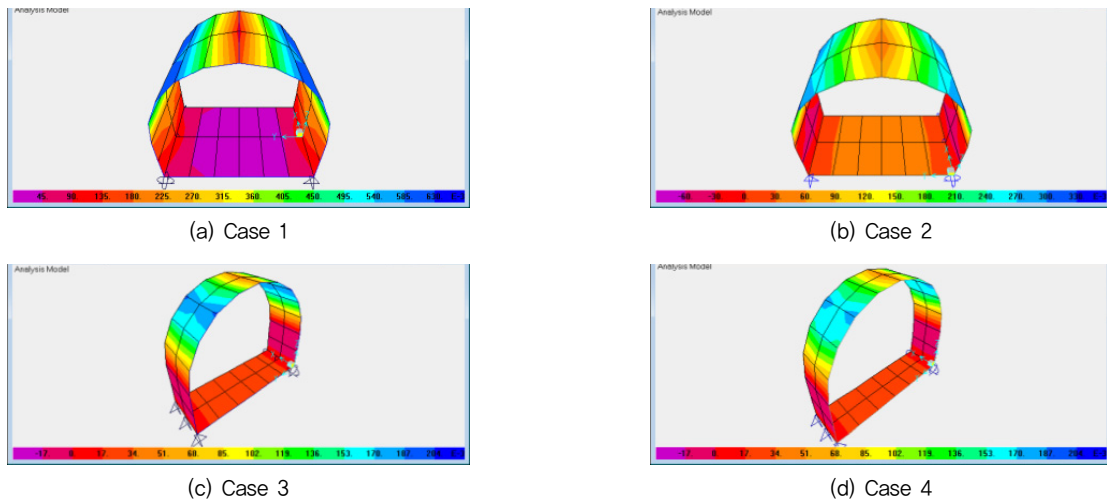


Fig. 4 Numerical analysis result of Maximum stress for geosynthetics

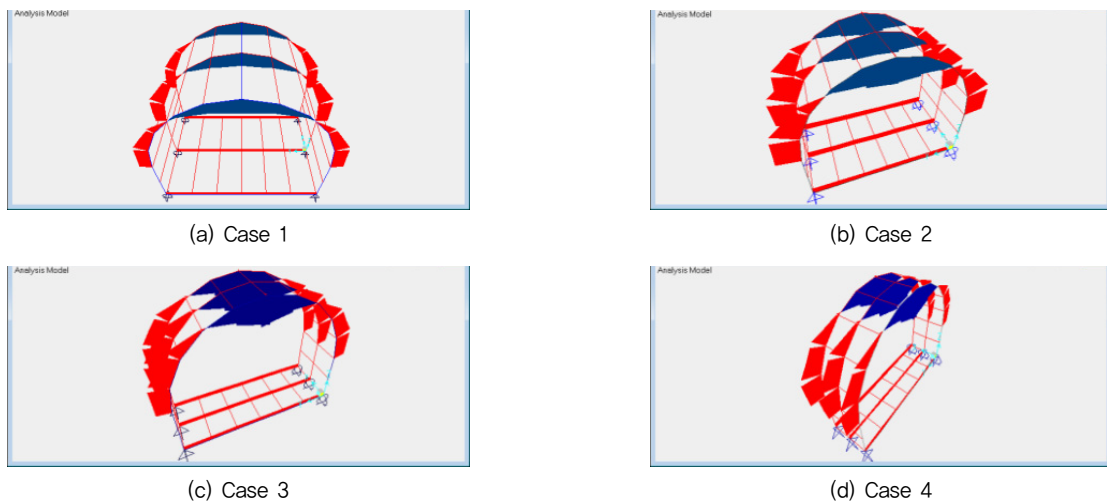


Fig. 5 Numerical analysis result of Bending moment for Duralumin

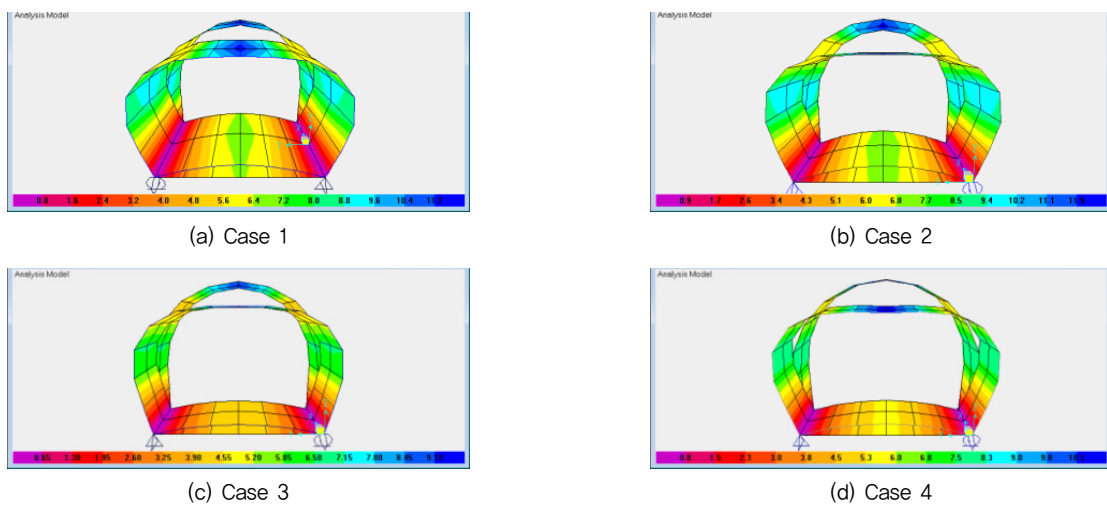


Fig. 6 Numerical analysis result of Deflection (Geosynthetics+Duralumin)

나. 토목섬유+아연도 강판

토목섬유와 아연도 강판 직경 (D)=38.1 mm, 두께 (t)=2.0 mm에 대하여 종방향 간격을 변화시켜 수치해석을 통한 안전성 검토결과 Fig. 7~9, Table 13~14와 같이 모든 Case에서 허

용응력과 변위에 만족하는 것으로 나타났다.

토목섬유+두랄루민 결과와 유사하게 천단부에서 최대응력과 변위가 발생하였으며, 토목섬유는 하중에 저항하기 보다는 아연도 강판으로 하중을 분산시켜 주는 것으로 나타났다.

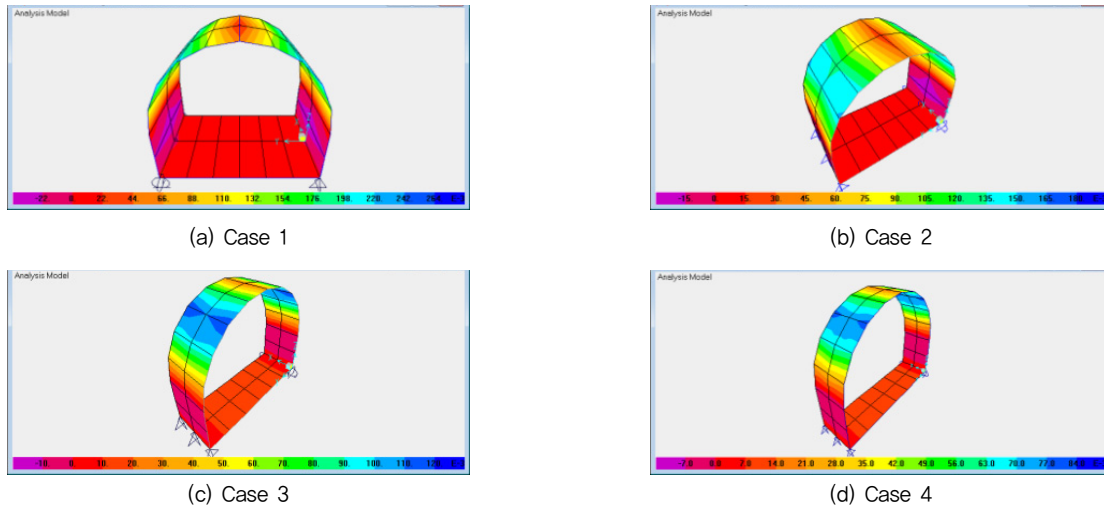


Fig. 7 Numerical analysis result of Maximum stress for geosynthetics

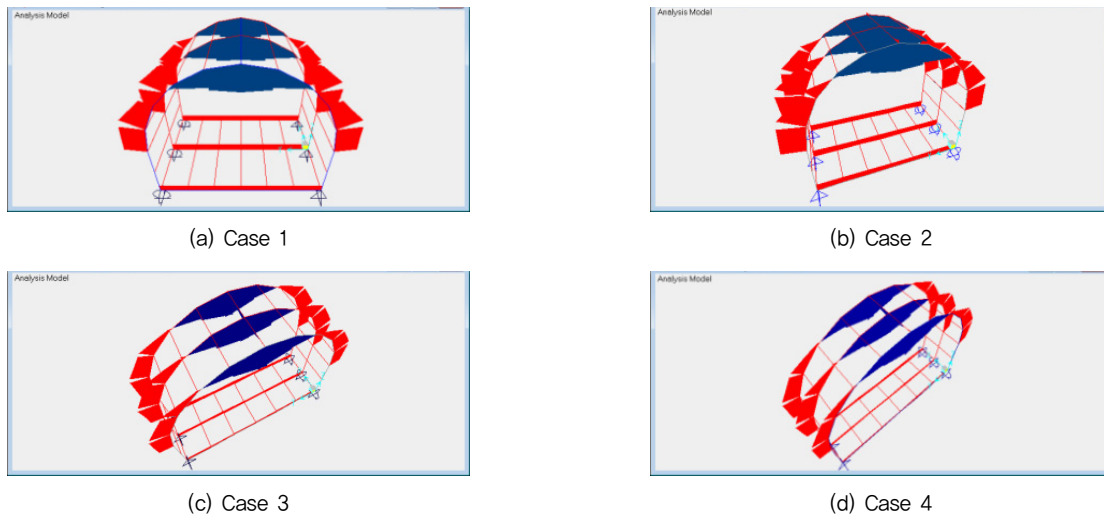


Fig. 8 Numerical analysis result of Bending moment for Galvanized steel

Table 12 Deflection values of numerical analysis

Division	Crown (mm)	Sidewall part (mm)	Central part of bottom (mm)
Case 1	-11,64	-9,35	6,87
Case 2	-12,34	-9,99	7,35
Case 3	-9,25	-6,70	4,47
Case 4	-11,25	-8,19	4,90
Judgement of adequacy	Allowable deflection (Crown=62,5, Convergence=75,0)		
	all case ∴O,K	all case ∴O,K	all case ∴O,K

지진 시 주택붕괴 하중을 적용한 Case 1 및 Case 2의 경우 부재 종방향 간격이 100 mm 증가 시 응력 및 변위는 약 25 % 감소되었으나, 지진 시 하중보다 3.2배 큰 산사태 하중을 적용한 Case 3 및 Case 4의 경우에는 부재 종방향 간격을 50 mm 감소 시 응력과 변위가 약 20 % 감소되는 것으로 나타났다. 이는 작용 하중이 비교적 큰 경우에는 부재 수를 증가시켜 응력을 분산시키는 것이 안전성 측면에서 우수할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 지진 및 산사태 등으로 인한 농촌 주택붕괴 대비 주택용 방재셸터 제작을 위한 기초연구로써 방재셸터의 제원 및 작용하중 분석을 수행하고, 안전성 및 사용성을 만족할 수 있는 부재의 적정성을 평가하고자 주부재 재료인 두랄루민과 아연도 강관의 직경 (D), 두께 (T), 종방향 부재간격 (C.T.C)

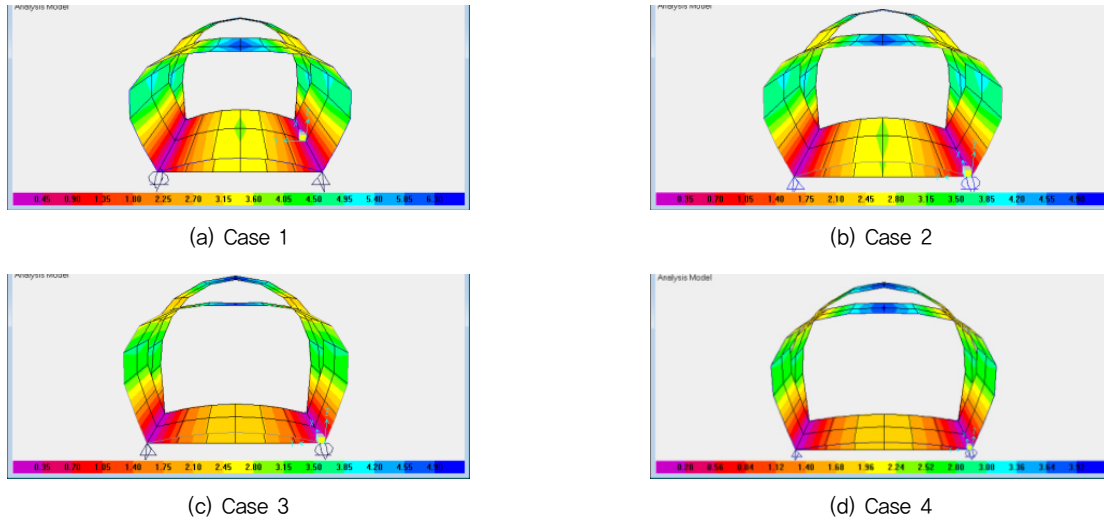


Fig. 9 Numerical analysis result of Deflection (Geosynthetics+Galvanized steel)

Table 13 Stress values of numerical analysis

Division		Crown (kN/m ²)	Sidewall part (kN/m ²)	Central part of bottom (kN/m ²)
Case 1	Geosynthetics	216	135	14
	Galvanized steel	187,247	217,356	66,451
Case 2	Geosynthetics	149	96	15
	Galvanized steel	143,912	170,965	53,466
Case 3	Geosynthetics	110	45	12
	Galvanized steel	202,993	139,376	46,409
Case 4	Geosynthetics	80	10	1
	Galvanized steel	158,714	110,904	36,267
Judgement of adequacy		Allowable stress (Geosynthetics=327, Galvanized=210,000)		
		all case ∴O,K	all case ∴O,K	all case ∴O,K

Table 14 Deflection values of numerical analysis

Division	Crown (mm)	Sidewall part (mm)	Central part of bottom (mm)
Case 1	-6.35	-5.13	3.71
Case 2	-4.92	-3.98	2.88
Case 3	-5.01	-3.63	2.39
Case 4	-3.97	-2.89	1.90
Allowable deflection (Crown=62.5, Convergence=75.0)			
Judgement of adequacy		all case ∴O,K	all case ∴O,K

을 변화시켜 3차원 수치해석을 수행하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 토목섬유는 외력에 저항하기 보다는 하중을 분산시켜 주 부재 재료인 두랄루민과 아연도 강관에 하중이 집중되는 것으로 나타나, 토목섬유의 두께 (T) 및 인장강도 증가보다는 두랄루민과 아연도 강관의 종방향 부재간격 조정을 통한 효과적인 하중분산이 방재셸터 안전성 향상에 지배적인 것으로 판단된다.
- (2) 토목섬유와 두랄루민이 결합된 방재셸터의 경우 골조를 이루고 있는 두랄루민의 종방향 간격이 넓을수록 토목섬유에 응력이 집중되는 것으로 나타나, 종방향 간격보다는 두랄루민의 직경 (D), 두께 (T)가 부재력에 더 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- (3) 토목섬유와 아연도 강관이 결합된 방재셸터의 경우 작용 하중이 큰 경우가 작을 때보다 종방향 부재간격이 부재력 및 응력저감 효과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나, 작용하중이 큰 경우에는 부재수를 증가시켜 응력을 분산시키는 것이 효과적일 것으로 판단된다.
- (4) 두랄루민, 아연도 강관 재료는 안전성 및 사용성 측면에서 주택용 방재셸터 주부재 재료로 활용이 가능하며, 향후 방재셸터 제작 시에는 재난의 복합성을 고려하여 작용 하중이 큰 산사태 하중을 적용하여 안전성이 만족되는 부재의 제원을 결정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

사 사

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

REFERENCES

1. Kim, J. M., S. Y. Park, C. S. Lim, K. S. Yeon, and Y. S. Kim, 2017. Improved Plan for Evacuation of Residents in Landslide-Prone Rural Area. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 59(1): 1-10 (in Korean).
2. Kim, J. M., D. W. Hwang, S. Y. Park, C. S. Lim, K. S. Yeon, and Y. S. Kim, 2016. Development of the Personal Disaster Evacuation Apparatus in case of the Life Damage by the landslide (I). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 58(5): 39-47 (in Korean).
3. Kim, J. M., D. W. Hwang, S. Y. Park, C. S. Lim, K. S. Yeon, and Y. S. Kim, 2016. Development of the Personal Disaster Evacuation Apparatus in case of the Life Damage by the landslide (II). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 58(5): 49-56 (in Korean).
4. 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).
5. 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.
6. Posco Research Institute, POSRI Issue Report. www.posri.re.kr Accessed 10 April. 2013.
7. Nam, S. W., 2001. Maintenance, repair and reinforcement of pipe framed greenhouses, 65-71. Sejongsi: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013. Falling rock facility to prevent safety side, 453, Korea.
9. Architectural Institute of Korea, 2000. Standard design loads for buildings, Korea.