

Cool Roof 성능을 확보한 Honey Comb Panel 지붕 접합부의 인발 성능 평가

이인호¹ · 박상우² · 고광일³ · 정미자³ · 이은택^{4*}

¹공학석사, 중앙대학교, 건축공학부, ²석사과정, 중앙대학교, 건축공학부, ³박사과정, 중앙대학교, 건축공학부, ⁴교수, 중앙대학교, 건축공학부

Evaluation of Pull-Out Strength of Connections with Roof Cladding using Honey Comb Panel Secured Cool Roof Performance

Lee, In Ho¹, Park, Sang Woo², Ko, Kwang Il³, Chung, Mi Ja³, Lee, Eun Taik^{4*}

¹Master, Dept. of Architectural Engineering, Chung-ang University, Seoul, 06974, Korea

²Ms.C. Student, Dept. of Architectural Engineering, Chung-ang University, Seoul, 06974, Korea

³Ph.D. Student, Dept. of Architectural Engineering, Chung-ang University, Seoul, 06974, Korea

⁴Professor, Dept. of Architectural Engineering, Chung-ang University, Seoul, 06974, Korea

Abstract - Roof cladding of buildings are required for the measures about the 'screw pull-out' which causes the casualties and the property damage by typhoons. In this study, the pull-out resistance was increased by increasing the penetration depth of the screw installing a ironware called 'insert nut' on the roof cladding frame. Tensile tests were conducted to compare the pull-out strengths of a general screw-joint and a nut insert joint. Roof cladding that is actually being used in the field was produced using the 'solid work' and then the roof claddings using a general screw-joint and a nut insert joint were compared by a static test and dynamic test.

Keywords - Pull-Out, Screw, Nut Insert, Roof cladding, Static test, Dynamic test

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

건축물의 지붕은 단순히 비, 바람, 눈, 우박 등의 자연재해로부터의 보호 또는 짐승의 위협으로부터의 보호를 위한 셸터(shelter)로서의 역할과 프라이버시 보호를 위한 공간으로써 물리적 장벽의 역할 뿐만 아니라 각종 외부의 위협으로부터 보호 받을 수 있는 공간을 제공하는 역할을 하며, 인류의 건축기술이 발전함에 따라 형태적 구조적 또는 재료적

으로 발전해 왔으며, 지붕에 설치되는 지붕재 역시 다양한 재료와 성능이 향상된 제품들이 개발, 발전되고 있다.

그 중 스테인리스강 재질의 Honey Comb Panel은 태양 반사율과 열 방사율이 뛰어난 Cool Roof 성능을 갖춰 냉방 부하로 인한 에너지 손실을 최소화 시킬 뿐만 아니라 부식(Corrosion)에 대한 문제점까지 개선한 친환경적 지붕외장재이다. 이렇듯 친환경 시대에 맞춰 지붕재에 대한 활발한 연구와 기술 발전이 이뤄지고 있지만, 지붕구조, 재료 등 지붕재에 대한 기술 발전에 비해 안전과 연관되어 건축물에서 풍압에 의한 지붕재 탈락에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다.

지붕재의 탈락 원인으로는 지붕 골조의 변형, 지붕 패널의 변형, 손상 또는 접합철물의 녹과 그 외의 원인이 있겠지만 풍압에 의한 탈락이 가장 큰 원인이 될 수 있다.

건물에 작용하는 풍압은 풍속, 지형적 위치, 구조물의 크기, 형태와 높이, 표면상태 등에 따라 변화하게 되는데 바람의 방향이 건물로 향하는 정압(Positive pressure)과 건물

Note.-Discussion open until December 31, 2016. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on August 24, 2015; revised April 6, 2016; approved on April 19, 2016.

Copyright © 2016 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-2-827-0182 Fax. +82-2-813-8052

E-mail. etlee@cau.ac.kr

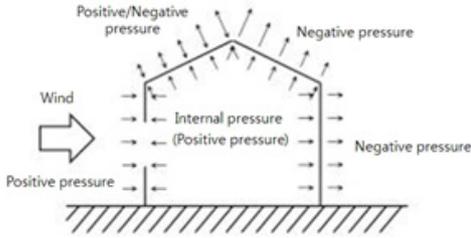


Fig. 1. Upwind side opening

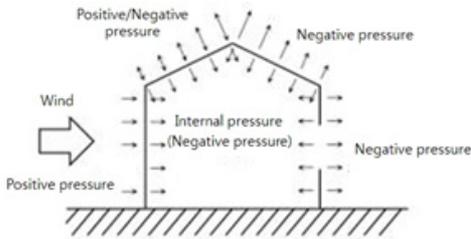


Fig. 2. Downwind opening

반대 방향으로 흡입하는 부압(Negative pressure)로 나눌 수 있다.

바람이 건물에 작용 할 때 지붕의 표면에는 부압이 발생하게 되는데 이 부압에 의해 지붕재가 탈락하게 된다.

건물은 크게 밀폐형, 개방형, 부분개방형으로 구분 할 수 있으며, 실내압이 발생하지 않는 밀폐형과 개방형 건물과 달리 실내압이 발생하는 부분 개방형 건물의 경우 더 큰 풍압의 영향을 받을 수 있다.

본 연구에서는 고층건물에서 풍압에 의한 지붕외장재의 박리, 비산에 의한 피해를 최소화하고자 기존의 지붕외장재 접합 방식을 개선하여 태풍과 같이 순간적으로 큰 풍압이 가해질 때 인발저항력을 향상시키는 것에 목적이 있다.

1.2 태풍의 피해

건물에 영향을 끼치는 풍하중 중에 가장 큰 피해를 입히는 것으로 태풍을 꼽을 수 있다. 태풍은 북태평양 서부에서 발생하는 열대저기압 중에서 중심 부근의 최대풍속이 17m/s 이상의 강한 폭풍우를 동반하고 있는 것을 말한다.

지난 10년간 우리나라에 불어 닥친 태풍은 31개이며, 최근 100년(1904년도~2013년도)간 발생한 태풍 현황을 살펴 보면 한해 평균 22~23개의 태풍이 발생하고 있고 이중 우리나라에 영향을 미친 태풍(Table 1)은 평균 3.1개로서 한해 3개 정도의 태풍이 내습하였고 태풍 내습의 최다 월은 8월, 7

Table 1. Typhoons affect in South Korea

(1904~2010)

Month	1~4	5	6	7	8	9	10	11~12	Total	Average annual
Count	-	2	18	94	122	83	8	-	327	3.1



(a) (b)
Fig. 3. Typhoons damage cases

월, 9월 순으로 나타났다.

우리나라는 해마다 내습하는 태풍으로 인해 큰 인명적, 재산적 피해를 입는데, 지난 106년간 태풍에 의한 총 피해는 인명피해 6005여명, 재산피해 14조 232억 원으로 집계되었으며 해마다 약57명의 사망 실종과 1336억 원의 재산 피해가 발생하는 것이다.

1.3 연구 목적 및 방법

본 연구에서는 Cool Roof system을 갖춘 스테인리스 Honey Comb Panel 지붕 시스템에 관한 내용을 다루며, 상세하게는 지붕 구조물에서 지붕 외장재와 지붕 골조 사이의 접합, 즉 인발 성능 평가에 관한 내용을 심도 있게 다루려 한다.

현재 시공되는 지붕구조물의 구성은 보통 지붕트러스와 펄린, 지붕 외장재로 구성되며, 대공간의 경우 스페이스프레임 위에 지붕 외장재를 설치하는데 Honey Comb Panel을 지붕 외장재로 사용하는 경우 패널 설치를 위한 백프레임의 설치와 외장재와 골조 사이에 추가적으로 필요 된다.

이 지붕외장재와 지붕 구조물 간의 접합은 앞에서 언급했듯 강한 풍압, 즉 태풍에 의한 강력한 부압의 발생으로 지붕 외장재를 건물 표면 반대 방향으로 밀어내려 하는 힘에 의해 지붕외장재와 지붕 골조 간의 접합 철물인 스크류에 인장력이 작용하게 되고 이 힘을 견디지 못한 스크류가 결국 인발되어 지붕재의 박리, 비산을 초래하여 인명적, 재산적 피해를 발생 시키는 등 인발에 대한 취약점을 갖고 있다.

또한 태풍과 같이 강한 풍압이 반복적으로 지붕외장재에 작용함으로써 스크류와 같은 접합철물 또는 패널에 피로 파

괴가 발생되기도 한다.

따라서 강한 풍압에 견딜 수 있으며 기존 방식 보다 피로에 대해 내구성이 뛰어난 접합방식을 적용하여 지붕 외장재 탈락으로 인한 인명피해 또는 재산적 피해를 최소화 할 수 있는 새로운 지붕시스템을 제안하고, 관련 실험을 통해 그 성능의 검증 및 이전의 방식과 비교 분석하는 것이 본 연구의 목적이라 할 수 있다.

연구의 방법은 지붕외장재와 프레임간의 접합 부분에 대한 시험편 실험과 Cool Roof 성능을 확보한 스테인리스 재질의 Honey Comb Panel 1m²와 패널 설치를 위한 프레임을 한 모듈로 제작한 실험체에 대해 정적실험과 가상의 풍압을 반복적으로 재하하는 동적 실험을 진행한다.

1.4 국내외 연구 동향

스크류는 건축 뿐만 아니라 각종 산업 및 의료, 일상생활 등 다양한 분야에서 사용된다. 하지만 스크류 접합부에 관한 연구는 전단에 관한 연구가 대부분이며, 그에 비해 인발에 관한 연구는 국내 뿐만 아니라 국외에서도 그 사례를 찾기 힘들며 풍하중에 의한 건물 외장재의 탈락에 관한 연구는 더 더욱 드물다.

국내에서의 스크류 인발에 관한 연구는 최영현^[1], 조종수^[2], 윤상훈^[3], 강승원^[4]에 의해 스틸하우스에서 PRY-트러스 적용을 위한 접합부 검토에서 스크류의 인발에 관해 다뤄졌으며, 이화형 등^[5] 국산 대나무 OSB(Oriented Strand Board)의 수종별, 연령별로 못 및 나사못 인발저항에 관한 연구를 수행하였다.

또한 (주)명화금속에서도 스크류 인발 실험이 수행 되었지만 단일 스크류에 대한 철판두께별 인발을 알아보는 간편 실험이었다.

국외에서 관련 연구로는 호주의 Xu^[6]에 의해 Arctangent Sheeting, Ribbed Sheeting, Trapezoidal Sheeting의 각기 다른 Type의 Sheet 지붕에서의 정적실험, S-N Curve를 가지는 피로실험과 Simulated uplifting wind load test를 수행하여 세 가지 타입의 Sheet지붕의 풍하중에 의한 인발 저항력과 내구수명을 비교 분석한 연구가 1995년에 발표되었으며 미국 철강협회(American Iron and Steel Institute)의 연구보고서^[7]에서도 스크류 인발에 관한 내용을 다뤘다.

국외의 경우, 풍압에 의한 지붕 외장재 탈락 및 스크류 인발에 대한 문제를 인지하여 관련 논문 및 연구 보고서 등이 발표 되고 그에 관한 연구가 진행되고 있지만 국내의 경우에

는 풍압과 연관된 스크류 인발에 관한 연구는 일부 있지만, 풍압과 지붕 외장재에 관련하여 스크류 인발에 관한 연구는 찾아볼 수 없었다.

풍압에 의한 스크류 인발 및 지붕 외장재 탈락에 관련하여 부족한 국내외 관련 연구를 감안했을 때, 본 연구가 후속적으로 진행 될 풍압에 대한 스크류 접합의 인발에 관한 연구에 참고적 역할이 될 것이라 판단된다.

2. Pull-Out 성능을 개선한 지붕 시스템 제안

기존 아파트 및 주택 등의 지붕외장재의 설치는 펄린 위에 지붕 외장재가 단순히 스크류 접합이 되는 형식이었지만, 본 논문에서 제안하는 지붕 시스템은 Cool Roof 성능을 확보한 스테인리스 허니컴 패널을 사용하며 풍압에 의한 지붕 외장재의 탈락에 대비하여 인서트 너트에 스크류가 체결되는 지붕 시스템이다.

Cool Roof 성능을 가진 스테인리스 재질의 허니컴 패널을 지붕외장재로 설치하기 위해서는 지붕 골조 또는 지붕 트러스 위에 허니컴 패널 설치를 위한 격자형태의 프레임이 추가로 설치되며, 그 프레임 위에 허니컴 패널이 스크류에 의해 접합된다.

지붕면은 부압을 받기 때문에 나사산에 의해서만 인발에 저항해야 하는 스크류에 대한 개선이 필요하다.

$$P_{not} = 0.85t_c d F u_2 \quad (1)$$

여기서, d : 스크류의 직경

t_c : 스크류 머리 또는 와셔와 맞닿지 않는 부재의 두께, 관통깊이 중 작은 값

P_{not} : 공칭 Pull-out 강도

$F u_2$: 스크류 머리 또는 와셔와 맞닿지 않는 부재의 인장강도

위의 식 (1)에서 알 수 있듯, 동일한 직경에서 스크류 인발 강도는 관통깊이 또는 체결되는 부재의 인장강도 그리고 볼트의 직경에 영향을 받는다.

본 연구에서 다루는 스테인리스 허니컴 패널에서 인발 저항력을 높이기 위한 방법 중 볼트의 직경을 늘리는 방법은 패널 시공 시 볼트의 공간 확보가 어려워질 염려가 있고 연단거리가 과도하게 짧아져 또 다른 문제를 발생시킬 수 있다.

또한 스크류가 체결되는 부재의 인장강도를 높이는 방법은 더 높은 강재의 사용이 필요하므로 공사비가 증대되어 경제성이 떨어지는 단점이 있다.

따라서 스크류의 인발에 대한 저항력을 높이기 위해서 관통깊이의 증가가 요구된다.

본 장에서는 스테인리스 허니컴 패널 지붕의 구성에 대해 알아 보고 기존 접합 방식에서 취약점이었던 스크류 인발을 개선한 새로운 ‘인서트 너트’에 대한 지붕 시스템을 제안하고자 한다.

2.1 Honey Comb Panel

허니컴 패널이란 상·하 표면재와 표면재 사이에 벌집모양의 허니컴 코어가 접착필름에 의해 하나의 패널이 되는 내·외장재이다.

허니컴 패널은 가벼우면서 강하고, 평활성이 좋은 불연재로서 친환경적이며, 항공기, 헬리콥터 날개 등의 항공 분야와 자동차, 열차 등의 수송 분야 뿐만 아니라 건축물 내·외장재 등 그 사용 분야가 넓다.

김옥^[8]에 의해 Cool Roof 시스템의 성능기준 연구가 수행되었다. 표면재의 재질은 스테인리스, 알루미늄, 플라스틱 등 다양하며, 또한 스테인리스 재질의 표면재를 사용함으로써 열 반사와 열 방사율, SRI값을 높여 LEED 성능기준에 만족하는 Cool Roof 성능을 확보하여 건물의 에너지 부하를 최소화 할 수 있어 냉·난방비를 절약할 수 있는 경제적 이익을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 CO₂ 배출을 억제함으로써 친환경적인 이득까지 얻을 수 있는 신개념적 내·외장재이다.

스테인리스 허니컴 패널이란 스테인리스와 스테인리스 시트 사이에 얇은 알루미늄 육각 기둥의 구조용 심재인 허니컴 코어로 접합한 패널로서 스테인리스 소재 특유의 내식성과 더불어 허니컴 패널의 경량성, 내구성, 완벽한 평활도를

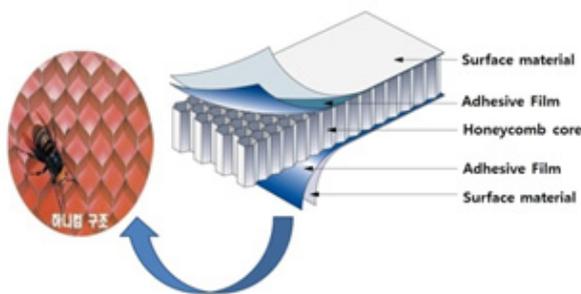


Fig. 4. Configuration of honey comb panel

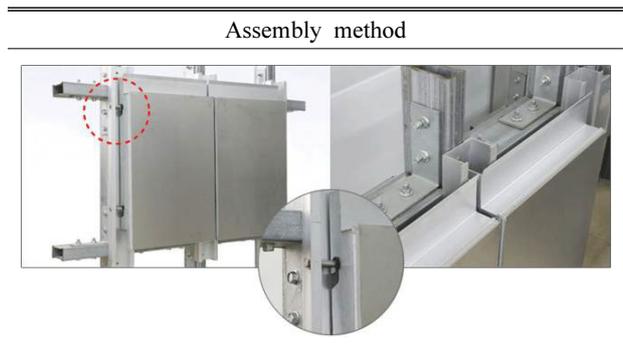
유지시키는 제품이며, 스테인리스 허니컴 패널의 구성은 Front Skin으로 두께 0.8~1.0T의 스테인리스와 AA3104 H18 50 μ m이상, 1/2"cell이상의 허니컴 코어, 두께 0.4~0.5T의 Back Skin으로 총 두께 10mm의 패널로 구성된다.

2.2 Back Frame

Honey Comb 패널의 설치 시, 패널과 펠린 간에 격자형태의 프레임이 추가로 필요하다.

패널과 펠린 사이에 설치되는 프레임의 명칭은 ‘Back Frame’ 또는 ‘SFAC’라고 칭한다.

Table 2. Prefabricated quality



1. Simple construction, solving weakness from welding parts by adopting bolt assembly;
2. Free from fire accidents and lowering costs by shortening the construction period;
3. No need for sound-proofing or painting process, and reusable;
4. Applicable to panels made from metal or stone;
5. Potential for construction for either internal and external usage;
6. Suitable for new or renovation construction.

Table 3. Comparative general square pipe and SFAC

Standard	Thick-ness	Pipe I_0	SFAC I_1	I_0/I_1	Bracket THK(mm)
50×50	1.6	121,070	129,205	1.07	4.5
	2.3	166,801	178,996	1.07	4.5
	3.2	219,696	237,587	1.08	4.5
75×50	2.3	314,242	326,567	1.04	4.5
	3.2	385,820	401,471	1.04	4.5
100×50	2.3	881,785	935,371	1.06	6
	3.2	1,187,239	1,263,994	1.06	6
100×75	3.2	1,562,186	1,638,940	1.05	6
150×75	3.2	4,165,728	4,287,986	1.03	6

현재 사용 되는 백프레임은 각 부재 간에 용접 또는 볼트 접합을 하여 격자의 형태를 완성하며, 하나강구조의 Back Frame과 우진월시스템(舊. 비맥)의 SFAC가 대표적인데 볼트를 사용한 조립식 공법으로 용접 접합에 비해 많은 장점을 가지며 다음 Table 2과 같다.

또한 백프레임 또는 SFAC의 단면은 프레임 간의 접합을 위한 브라켓 설치를 용이하게 하기 위해 안으로 오목하게 절곡된 형상이며 프레임을 이어주는 브라켓은 파이프 두께 보다 약 2배 이상 두꺼우므로 구조적 성능에서도 일반적으로 쓰이는 사각 파이프 보다 우수한 단면 성능을 가진다.

SFAC와 일반 사각 파이프의 비교는 Table 3과 같다.

2.3 Nut Insert

너트 인서트는 얇은 박판 또는 파이프 등 폐단면을 가지는 소재에 너트 부착이 필요할 때 용접을 하지 않고도 한 방향에서 공구를 사용하여 쉽게 작업할 수 있는 철물로 제조회사마다 다른 명칭으로 불러 지기도 하는데 일반적으로 팝너트, 너섯트라고 통칭된다.

체결과정은 아래의 Fig. 5와 같이 너트 인서트를 공구 스크류에 대고 가볍게 밀어 정회전 시킨 후 공구에 장착된 너트 인서트를 모재의 가공된 홀에 삽입한다.

체결 공구의 방아쇠를 당기면 바디가 접히고 자동으로 역회전하여 빠져나온다.

너트 인서트의 특징 및 장점은 얇은 박판에 안정된 나사선을 확보가 가능하고 전용 공구를 이용하여 작업 속도가 빠르고 시공이 간편하며 부적합한 볼트 체결을 사전 방지하여 신뢰성 있는 나사선을 확보할 수 있으며 표면 처리(도장)후에도 체결 가능하다.

또한 용접 관리 설비를 없애므로써 깨끗한 환경을 유지할 수 있으며 다품종 소량 생산 및 대량 생산에 쉽게 대처 할 수 있는 유연한 생산 방식을 갖추고 있다.

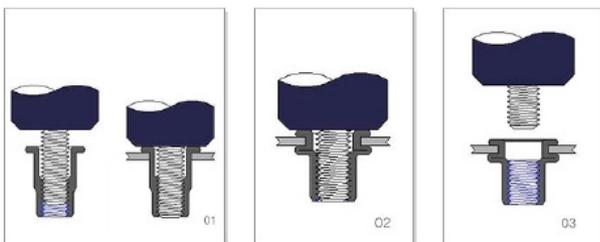


Fig. 5. Nut Insert construct process

Table 4. Nut Insert types and quality

Splind Nut Insert		
	characters	Circular body with various material and size and crease in the body to prevent spinning with no friction.
	specification	size : screw thread standard M3~M12 quality of material : aluminum, steel, stainless, or rubber head shape : small flange, large flange
Closed Nut Insert		
	characters	body with terminally closed type, can be used in need of water-proof function.
	specification	size : screw thread standard M4~M8 quality of material : steel head shape : small flange, large flange
Nut Insert-HEX		
	characters	body with hexagonal shape, can be used in need of more torque values compared to Spind Nut Insert.
	specification	size : screw thread standard M4~M10 quality of material : steel, stainless head shape : small flange, large flange
Nut Insert-Tetra		
	characters	body with square shapes, can be used in need of more torque values compared to Nut Insert-HEX.
	specification	size : screw thread standard M5, M6 quality of material : steel head shape : large flange

3. 시험편 인장실험

단품의 스크류 접합과 너트 삽입형 접합의 인장강도 비교를 위한 시험편의 인장강도실험을 실시하였다.

실험을 위한 시험편은 구조용 아연도금 각판 50×50×2T의 길이 50mm와 SCM435재질의 M4-35(피치 0.7mm)의

볼트를 설계된 두께 12mm의 지그에 너트를 이용하여 체결한 형태로 기본형 3개, 너트삽입형 7개씩 인장실험을 수행하였다. 가력은 만능재료시험기(UTM)을 사용하여 수행하였으며, 하중제어 방식으로 가력속도는 1.5kN/min.로 하였다.

하중의 값이 떨어지거나 육안으로 접합부가 제 기능을 발휘할 수 없다고 판단되었을 때를 실험 종료 시점으로 설정하고 실험을 진행하였다.

시험 결과, 기본형과 너트삽입형 각각 4.53kN, 7.64kN의 평균하중에서 인발이 되었으며, 기본형의 경우 Fig. 7에서 볼 수 있듯 상대적으로 강도가 약한 각관의 나사산 부분에 손상이 발생하면서 볼트가 인발 되었다.

너트 삽입형의 경우에는 삽입된 너트가 각관의 상부 플랜지를 강하게 물고 있기 때문에 일차적으로 각관의 변형이 발생하였으며 발생한 변형으로 인해 너트 인서트에 설치된 각관의 구멍이 벌어지면서 볼트와 너트 인서트가 통째로 뽑혀 나오거나 너트 인서트가 파단 되었다.

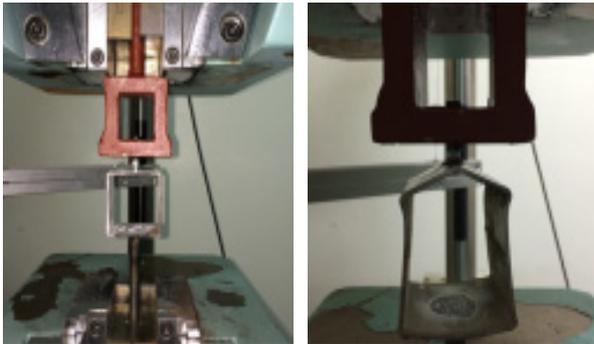


Fig. 6. Specimens tensile test



(a) Before the test (b) After the test

Fig. 7. Tensile test comparison of section

Table 5. Compare of Pull-Out strength

	Basic	Nut insert
Pull-Out strength	4.53kN	7.64kN

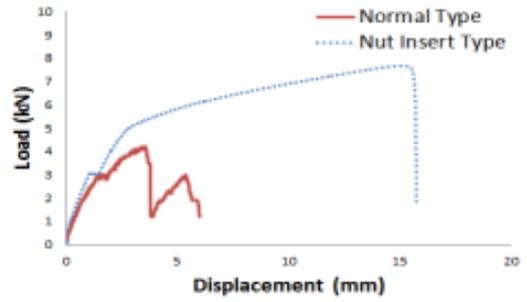


Fig. 8. Load-Displacement curve

또한 기본형의 경우, 스크류가 인발되어 하중이 감소하게 되면 다음 나사산이 프레임에 걸리더라도 스크류와 프레임 간의 체결 부위의 손상으로 더 이상 기능을 할 수 없는 것을 알 수 있었으며, 기본형과 너트 삽입형 모두 일정한 하중에서 슬립이 발생하는 것을 하중-변위 그래프에서 확인 할 수 있었다.

4. 정적 실험

4.1 풍하중 산정

정적실험을 진행하기에 앞서 인발성능 판별을 위한 기준을 세우기 위해 가상의 풍하중을 설정하였다.

풍하중은 서울지역 기본 풍속과 국내 내습 태풍 중 가장 많은 재산 피해를 입힌 태풍 루사와 매미 등 총 세가지 타입으로 KBC2009 외장재 풍하중 산정에 의거하여 각각의 풍하중을 산정하였다.

$$P_C = q_H(GC_{Pe} - GC_{Pi}) \quad (N/m^2) \quad (2)$$

서울기본풍속(30m/s), 루사(42.18m/s), 매미(55.56m/s)에 대한 설계속도압(q_H)은 각각 0.52kN/m², 1.02kN/m², 1.78kN/m²이며 그에 따른 최대 부압은 다음의 Table 6과 같다.

Table 6. Wind load calculation

Division	Average of Seoul	Rusa	Maemi
Importance Factor 1.0 Exposure Category A	3.11kN/m ²	6.14kN/m ²	10.66

4.2 본 실험

본 연구를 위한 실험체는 두 가지 Type으로 제작하였으며, 실제 스테인리스 허니컴 패널의 확보가 어려워 스테인리스 허니컴 패널을 대체한 패널과 패널 설치를 위한 백프레임으로 구성된다.

백프레임은 구조용 아연도금각관 50×50×2T에 길이 1500mm를 사용하였으며 프레임 간의 접합은 용접접합을 하였다. 또한 프레임의 연성을 고려하여 보조 프레임을 설치하여 고정 지점의 수를 증가시켜 인발강도 측정에 프레임의 영향을 최소화하였다.

실험체의 구분은 패널과 백프레임 간의 접합방식에 따라 구분하였으며 보조철물을 사용하지 않은 실험체는 ‘기본형’으로 명명하였고 너트 인서트를 사용하여 패널과 백프레임을 접합한 실험체는 ‘너트 삽입형’이라 명명하였다.

접합 개소 수의 결정은 관련 규정이 없기 때문에 허니컴 패널 특기시방서에 명시 되어있는 Pitch 500mm 이하를 만족하도록 8개소로 정하였다.

접합에 사용되는 스크류는 SCM435재질(인장강도 951MPa)의 M4-35(피치 0.7mm)의 볼트가 사용 되었다.

실험체 패널은 두께 1mm의 1000×1000 스테인리스304 재질의 판의 상·하에 각각 980×980 3T와 940×940 4T의

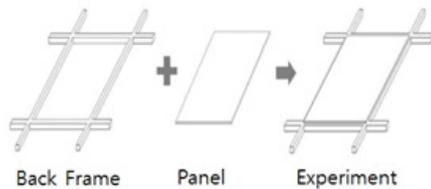


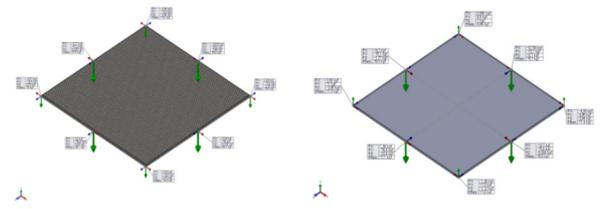
Fig. 9. Assembly of specimen

Table 7. Section plan of specimen

	
①	1000*1000*1
②	940*940*4
③	980*980*3
EI value	7.78kN·m ²
EI Value (Honey Comb)	7.78kN·m ²
Difference	0.004kN·m ²

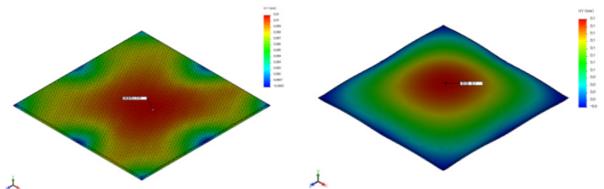
강재 판을 볼트 접합한 형태로 7.775kN·m²의 EI값을 가지며, 7.779kN·m²의 휨강성(EI)값을 가지는 스테인리스 허니컴 패널과 3,966kN·mm²의 차이를 보였다.

실제 허니컴 패널과 실험체 패널 신뢰성 검증을 위해 해석 프로그램인 ‘Solid Work’를 이용하여 스크류 접합부분을 고정 지점으로 설정하여 모델링 후 해석하였으며 다음과 같은 지점 반력을 얻었다. 서울 기본 풍속 기준 스테인리스 허니컴 패널과 실험체의 반력 차이는 Table 8와 같다.



(a) Support reactive force of Honeycomb Panel (b) Support reactive force of specimen

Fig. 10. Seoul standard wind speed support reactive force



(a) Honey Comb Panel (b) Specimen

Fig. 11. Seoul standard wind speed displacement

Table 8. Comparative analysis modeling of reaction force

	A	B	C	D	E	F	G	H
T (kN)	0.28	0.18	0.29	0.20	0.30	0.20	0.29	0.18
S (kN)	0.03	0.07	0.03	0.10	0.01	0.07	0.00	0.10

Table 9. Equipment specifications(MTS-244.22)

Sensor	Capacity	maker
Actuator	± 125mm stroke ± 100kN load cell	MTS

실험체의 정적실험은 전라북도 군산에 위치한 전북 자동차기술원 내의 실험동에서 11채널 HYDRAULIC DURABILITY TESTING SYSTEM(100kN)을 이용하여 수행되었다.

실험은 변위제어 방식으로 수행하였으며 가력속도는 2mm/min.의 속도로 가력 하였고, 프레임의 구속 조건은 실제 프레임 설치 시 볼트접합과 용접을 같이 하므로 고정구를 설치하여 고정 지점으로 세팅하였다.

정적실험 결과, 기본형 실험체의 경우는 인장하중 약 15.61kN(1.59ton)에서 볼트가 2개소에서 인발되었으며, 이때의 변위는 약 33.32mm이었다.

너트 삽입형의 경우에는 기본형 보다 약 1.3배 높은 약 20.53kN(2.09ton)에서 패널하단 양쪽 모서리 사이지점에서 접합 볼트와 인접한 스테인리스 패널이 찢어진 후 곧바로 패널 좌측 모서리 사이 지점과 좌측 하단 모서리의 순서로 패널이 찢어짐으로써 실험이 종료 되었다.

8개의 접합부분 중 어느 한곳의 스크류가 인발 되거나 패널이 찢어지게 되면 다른 부분에 응력이 집중되어 연쇄적으로 나머지 접합부분의 스크류가 인발되거나 패널이 찢어짐으로써 외장재의 기능을 상실하게 되었다.

너트 삽입형의 최종 인발강도는 KBC2009^[9] 외장재 설계용 풍하중 산정식에 의한 서울풍속 기준 외장재 설계풍압(3.1kN)에 비해 약 6.6배 이상, 태풍 매미의 최대풍속 기준 외장재 설계풍압(10.7kN)의 약1.9배 이상의 인발 저항력을

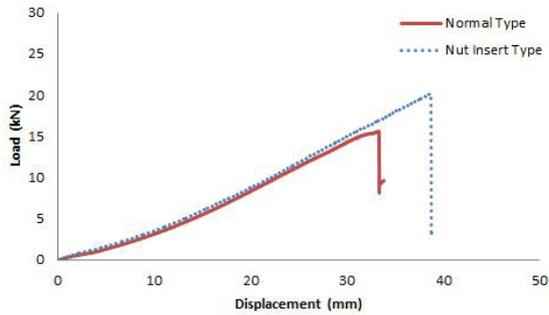


Fig. 12. Comparative of Load-Displacement

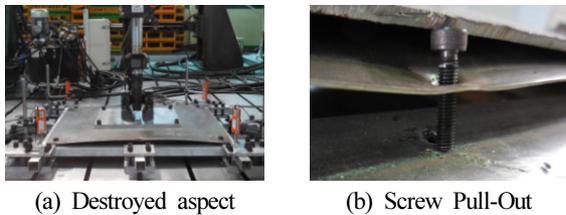


Fig. 13. Static test results of basic type

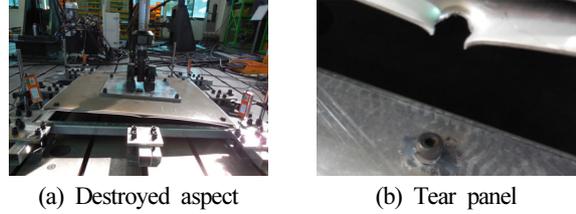


Fig. 14. Static test results of Nut Insert type

발휘하였으며, 기본형에 비해 31%정도 뛰어난 성능을 발휘하였다.

5. 동적실험

5.1 풍하중 계획

해외에서 Kim 등^[10]에 의해 사이클 시험 연구가 수행되었다. 동적실험을 위한 풍하중은 Australian Standard Wind Loading Code(Standards 1989)에 채택된 Cyclic loading regimes 중 하나이며 1978년부터 사이클론 지역에서 지붕재의 피로 실험 방법으로 널리 사용되고 있는 TR440방식을 채택하였다.

총 10,200회 중에 제로부터 설계 풍압(Table 10)의 0.625까지 8000회, 제로부터 설계풍압의 0.75까지 2000회, 제로부터 설계풍압까지 200회를 반복한다.

반복실험의 기준이 되는 설계풍압은 극한 상태에서의 거동을 관찰하기 위하여 2003년에 국내를 강타하여 약 42,225억 원의 재산피해를 입힌 태풍 매미(MAEMI)의 최대풍속을

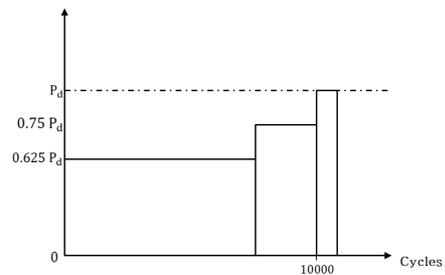


Fig. 15. Load plan of TR440

Table 10. Load plan of repeated test

Cycles	
8000cycles	0 to -6.66kN
2000cycles	0 to -8.00kN
200cycles	0 to -10.66kN

기준으로 외장재 풍압설계 강도를 산정하여 사용하였다.

5.2 본 실험

본 연구를 위한 실험체는 패널과 프레임 간의 접합에 따라 두 가지 Type으로 제작하였다. 실험체의 구성은 실제 스테인리스 허니컴 패널의 확보가 어려워 스테인리스 허니컴 패널을 대체하기 위하여 앞서 정적실험에서 사용된 패널과 동일한 사양의 패널을 사용하였으며, 패널과 패널 설치를 위한 백프레임으로 구성된다.

백프레임은 구조용 아연도금각관 50×50×2T에 총 길이가 가로, 세로 각각 1500mm인 프레임을 사용하였으며 프레임 간의 접합은 용접접합을 하였다. 또한 프레임의 연성을 고려하여 보조 프레임을 설치하여 고정 지점의 수를 증가시켜 인발강도 측정에 프레임의 연성에 의한 영향을 최소화하였다.

실험체의 구분은 패널과 백프레임 간의 접합방식에 따라 구분하였으며 보조철물을 사용하지 않은 실험체는 ‘기본형’으로 명명하였고 너트 인서트를 사용하여 패널과 백프레임을 접합한 실험체는 ‘너트 삽입형’이라 명명하였다.

패널과 프레임 간의 접합 개소 수의 결정은 관련 규정이 없기 때문에 허니컴 패널 특기시방서에 명시 되어있는 Pitch 500mm 이하를 만족하도록 8개소로 정하였다.

접합에 사용되는 스크류는 SCM435재질(인장강도 951MPa)의 M4-35(피치 0.7mm)의 볼트가 사용 되었다.

실험체 패널은 두께 1mm의 1000×1000 스테인리스304 재질의 판의 상·하에 각각 980×980 3T, 940×940 4T의 강재 판을 볼트 접합한 형태로 7,775,434kN·mm²의 휨강성(EI) 값을 가지며, 7,779,400kN·mm²의 휨강성(EI) 값을 가지는 스테인리스 허니컴 패널과 3,966kN·mm²의 차이를 가진다.



Fig. 16. Dynamic test

Table 11. Dynamic test results

	Basic	Nut Insert
No. of Cycles (6.66kN)	4631 cycles	5333 cycles

반복의 한도는 최근 10년간 전국에 피해를 입힌 태풍의 평균 영향기간(2.3일)을 고려하여 3일을 피로한도로 설정하였으며 이는 앞서 언급한 하중계획에서 총 사이클 10200회를 1주기로 봤을 때 26주기에 해당한다.

반복속도는 Xu^[6]의 연구를 참고하여 처음 1Hz로 가정하였으나, 실제 실험 시 패널의 연성으로 인해 액추에이터의 반복속도가 최대 0.2Hz까지가 한계였기에 반복속도를 0.2Hz로 하였다.

동적실험 결과, 기본형과 너트 삽입형 각각 4631회, 5333회에서 실험이 종료 되었으며, 기본형의 경우에는 총 8개의 접합 부분 중 2개의 패널 가장자리 부분에서 패널이 찢어지고 2개의 코너 부분에서 스크류 인발이 관찰 되었다.

너트 삽입형의 경우, 모두 패널 가장자리 접합 부분에서 이상이 관찰 되었는데, 접합 부분 중 2개 부분에서 패널이 찢어졌으며 1개 부분에서 볼트머리가 전단파괴 되었고 1개 부분에서 약간의 스크류 인발이 관찰 되었다.

패널 가장자리의 접합 부분에서 패널의 찢어짐이 먼저 발생한 후 그 외 부분에서 볼트의 인발이 발생 되었는데 그 이유는 상대적으로 많은 응력이 집중 되는 패널 가장자리 부분의 접합에 많은 하중이 작용하였고 스테인리스304 1T패널의 강도가 충분하지 않아 패널이 찢어졌기 때문이다.

기본형과 너트 삽입형 모두 2개의 접합 부분에서 패널이 찢어졌지만 패널이 찢어진 후 볼트 인발까지의 인발 저항력 차이로 인해 약 700 cycles 이상의 차이를 보이는 것으로 판

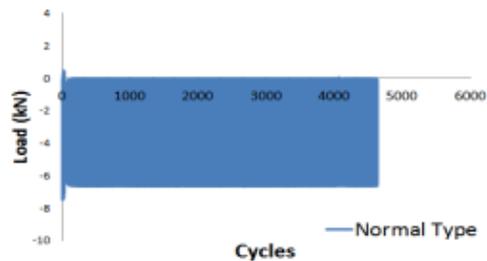


Fig. 17. Load-cycle graph of basic type

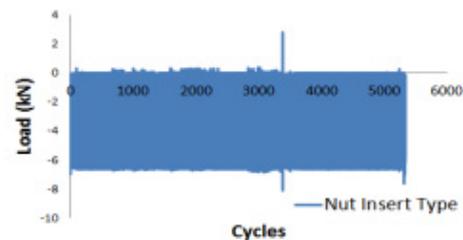


Fig. 18. Load-cycle graph of Nut Insert type

단된다.

또한 기본형에서는 볼트가 단순히 인발 되었지만 너트 삽입형에서는 인서트 너트가 볼트를 강력하게 체결하고 있어 인발되지 않고 볼트머리가 전단 파괴된 것을 관찰 할 수 있다.

6. 고찰

너트 삽입형의 최종 인발강도는 KBC 2009 외장재 설계용 풍하중 산정식에 의한 서울풍속 기준 외장재 설계풍압(3.1kN)에 비해 약 6.6배 이상, 태풍 매미의 최대풍속 기준 외장재 설계풍압(10.7kN)의 약 1.9배 이상의 인발 저항력을 발휘하였으며, 기본형에 비해 31%정도 뛰어난 성능을 발휘하는 것을 확인하였다.

기본형과 너트 삽입형 모두 서울 기본풍속 기준으로 산정한 풍하중 이상의 인발 저항력을 보이므로 일상적 풍압에서는 안전권에 속하지만 태풍과 같이 순간적으로 강한 풍압이 작용할 때에는 너트 삽입형이 더욱 뛰어난 안전성을 보여 줄 것으로 판단된다. 또한 너트 삽입형의 경우, 패널 단부의 찢어짐으로 인해 실험이 종료 되었으므로 패널 강도의 보장 또는 연단 거리 확보를 한다면 정적 하중에서 더욱 우수한 성능을 기대할 수 있을 것이라 사료 된다.

내구 수명을 비교하는 동적실험에서 기본형 및 너트 삽입형 모두 1주기 내에서 실험이 종료 된 이유는 풍압설계를 태풍의 풍속을 기준으로 과대 설계하여 극한의 상황을 연출하려 하였기 때문인 것으로 판단되며 기존보다 더 낮은 풍압설계 강도를 기준으로 동적실험을 진행한다면 더욱 확연한 기본형과 너트 삽입형의 차이를 관찰할 수 있을 것이라 판단된다.

동적실험에서 기본형과 너트 삽입형 모두 2개의 접합 부분에서 패널이 찢어졌지만 패널이 찢어진 후 볼트 인발까지의 인발 저항력 차이로 인해 약 700 cycles 이상의 차이를 보이는 것으로 판단되며, 기본형에서는 볼트가 단순히 인발 되었지만 너트 삽입형에서는 인서트 너트가 볼트를 강력하게 체결하고 있어 인발되지 않고 볼트머리가 전단 파괴된 것을 관찰 할 수 있다.

기본형과 너트 삽입형 모두 초기 반복하중에서 실험이 종료 되었지만 반복하중의 기준이 되는 풍압이 극한 상황에서의 비교를 위해 과대 설계된 하중이므로 실제 풍압에서 내구 수명은 더욱 길 것으로 예상되며, 패널 접합부의 연단 거리 또는 패널 자체 강도가 증가 된다면 기본형과 너트 삽입형의 내구 수명 차이는 더욱 클 것으로 예상된다.

7. 결론

본 연구에서는 기존의 스테인리스 허니컴 패널의 접합 취약점이었던 인발 성능의 개선을 위하여 본래의 스테인리스 허니컴 패널과 백프레임의 스크류 접합에서 너트 인서트를 접합철물을 추가하여 인발 저항력의 향상을 추구하였으며, 시험편을 제작하여 단일 스크류의 인발 저항력을 측정, 비교 분석하였다. 또한 1m²의 패널을 접합한 실험체를 제작하여 11채널 Hydraulic Durability Testing System(100kN)을 이용한 정적실험 및 동적실험을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

정적하중실험에서 스테인리스 허니컴 패널과 백프레임의 스크류접합에서 너트삽입형은 기본형에 비해 일반적으로 약 31% 이상의 인발성능을 가진다.

정적하중실험에서 너트삽입형은 지압형 접합으로서 전단력과 인장력이 동시에 작용하며, 패널의 면외하중인 인장력은 긴결상태를 느슨하게 만들어 접합된 부재간의 마찰저항을 감소시킨다. 패널의 면내하중인 전단력은 볼트를 변형시키며 이로 인하여 패널 단부의 찢어짐 파괴를 유발한다. 따라서 패널강도를 증가시키려면 볼트의 조임토크를 증가시키고 패널의 연단거리를 확보한다면 더욱 우수한 인발성능을 가진다.

동적하중실험에서 실험체 모두 가장자리 부분에서 패널이 찢어지는 파괴양상을 보이고 있다. 패널이 찢어진 후 기본형에서는 백프레임의 모재자체에 형성된 나사부분이 인발력에 의하여 나사부가 인발파괴되고, 이보다 더 큰 부하사이클에서 너트삽입형의 경우는 볼트머리부가 전단파괴되는 결과를 보였다. 패널의 연단거리를 확보하고 패널의 자체강도(두께)가 증가된다면, 전단력의 감소로 볼트의 변형이 감소되어 너트삽입형이 기본형에 비해 더욱 우수한 인발성능을 가진다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업(No. 2012R1A2A2A01013006)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌(References)

- [1] 최영현 (2001) 냉간성형 형강의 접합부에 관한 연구. 영남대학교 석사학위논문.
Choi, Y.H. (2001) Study on the connection of cold-formed steel section frames, Master dissertation, Yeungnam University, (in Korean).
- [2] 조종수(2002) 냉간성형 형강 프레임 구조의 거동에 관한 연구. 영남대학교 석사학위논문.
Cho, J.S. (2002) Study on the behavior of Cold-formed steel section frames, Master dissertation, Yeungnam University, (in Korean).
- [3] 윤상훈(2003) 신형상 PRY-TRUSS의 접합부 거동에 관한 연구. 영남대학교 석사학위논문.
Yoon, S.H. (2003) A Study on The Connections of PRY-Truss Steel Sections, Master Dissertation, Yeungnam University, (in Korean).
- [4] 강승원(2003) 신형상 냉간성형 경량형강 프레임의 구조적 거동. 영남대학교 석사학위논문.
Kang, S.W. (2003) The structural behavior of cold-formed steel section frames, Master dissertation, Yeungnam University, (in Korean).
- [5] 이화형, 김관의(2002) 국산 대나무 OSB의 못 및 나사못 인발저항, 한국가구학회논문집, 한국가구학회, 제13권, 제3호, pp.2-6.
Lee, H.H. and Kim, G.E. (2002) Nail & Screw Withdrawal Resistance of OSB Made from Domestic Bamboo, Vol.13, pp.2-6 (in Korean).
- [6] Xu, Y. (1995) Fatigue Performance of Screw-Fastened Light-Gauge-Steel Roofing Sheets. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.121, No.3, pp.389-398.
- [7] Research report (2009) Screw Connections Subject to Tension Pull-Out and Shear Forces, AISI, Fall, viii pp.53, (in USA).
- [8] 김옥(2010) Cool Roof 시스템의 성능기준 및 설계지침에 관한 연구, 박사학위논문, 중앙대학교.
Kim, O. (2010) A Study on The Performance Standards and Design Guidelines of Cool Roof System, Ph. D. Dissertation, University of Chung-Ang, (in Korean).
- [9] 대한건축학회(2009) 건축구조기준 및 해설, 풍하중, pp.85-121.
Architectural Institute of Korea (2009) Korean Building Code 2009. WindLoad, pp.85-121.
- [10] Kim, P., Henderson, D., and Ginger, J. (2007) LHL:New Australian test method for wind induced fatigue of building envelopes. James Cook University, Australia. ICWE12.

요 약 : 건물의 지붕 외장재는 강한 풍압 또는 태풍으로 인한 부압으로 지붕 외장재와 지붕 골조 간에 접합철물인 스크류가 인발되어 지붕외장재의 박리, 비산을 초래함으로써 인명, 재산적 피해가 발생함으로써 스크류 인발에 대한 대책이 요구되고 있다. 본 연구에서는 ‘인서트 너트’라는 철물을 지붕외장재가 설치되는 프레임에 체결하여 스크류의 관통 깊이를 증가시켜 인발 저항력을 높였으며 시험편 인장실험을 통한 단순 스크류 접합과 인서트 너트 접합의 인발 강도를 비교하였고 Solid Work를 이용한 모델링 해석을 통해 실제 사용되는 지붕외장재와 동일한 조건의 실험체를 제작하여 정적실험 및 가상의 풍하중을 이용한 동적실험을 통해 일반적인 스크류 접합 지붕외장재와 인서트 너트를 사용한 지붕외장재를 비교하였다.

핵심용어 : 인발, 스크류, 너트 인서트, 지붕외장재, 정적실험, 동적실험
