

Light Gauge Steel Frame의 해석 및 설계기법



홍 건 호*

1. 머리말

LGSF Housing (Light Gauge Steel Framed Housing)이란 국내의 건축관계자에게는 상당히 생소한 단어로 여겨질 수도 있다. 그러나, 건축 선진국으로 알려진 많은 국가에서는 이미 여러해 전부터 이에 대한 실질적인 연구가 이루어지고 있으며, 또한 수천호의 건설 실적이 있는 것으로 알려져 있다. 우리나라에서는 작년부터 스틸하우스라는 이름으로 도입되기 시작하였으며 아직까지는 이에 대한 연구가 초보단계에 머무르고 있다고 볼 수 있다. LGSF Housing이란 이름 그대로 박판(薄板)의 철강재를 주요 구조부재로 사용하여 건축물을 축조하는 방법으로서 그 기원은 목조건물에 뿌리를 두고 있다. 즉 미국의 전통적인 목조공법인 2×4 공법을 근간으로 하여, 사용되는 목조부재를 얇은 두께의 냉간성형된 아연도금강판을 사용하여 제작된 C형강 형태의 스티드로 대체한 구조방식으로 이해할 수 있다. 이와같은 공법의 개발은 최초에는 목재가격의 불안정 등에 기인하여 목조공법이 널리 사용되던 지역에서부터 시작되었으나 최근에는 공기의 단축, 시공의 편리성,



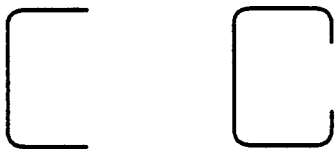
그림 1 LGSF Housing 골조공사 장면

공업화 건축 및 자원의 재활용이라는 측면에서 미국을 비롯한 북미지역 및 호주 등지에서 급속도로 발전하고 있으며, 일본에서도 강재구락부 등을 중심으로 몇년 전부터 이에대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와같은 연구의 결과로 미국에서는 이미 미국건축감독협회(CABO : Council of America Building Officials)에서 steel framing의 표준을 승인하여 사용하고 있으며, 일본에서도 금년내 스틸하우스의 법적인증이 이루어질 것으로 보고 있다.

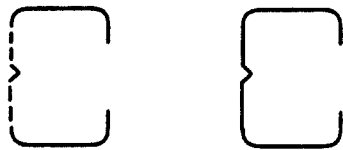
* 포항산업과학연구원 철강 Eng. 센터, 공학박사

2. 사용자재의 단면형상

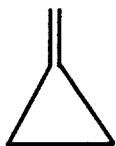
LGSF Housing에 사용되는 자재는 일반적으로 두께 0.8~3.0mm의 박판으로서 그 단면형태에 따라 부재의 내력에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서, 부재의 단면형태가 초기에는 그림 2 (가), (나)와 같은 단순한 경C형강 및 리프C형강의 형태가 주류를 이루었으나, 최근에는 각 지역의 기후 및 생활습관 등의 특성에 따라 부재의 단면형상을 변화시켜 그 효율성을 극대화시키고자 노력하고 있다. 대표적인 개선형태로서는 북유럽등지의 한대기후에 적합하도록 부재의 단열성능을 향상시킨 단면형상(그림 2 (다))과 단면의 국부좌굴길이를 향상시키고 부재의 탄성상태를 유지하기 위하여 개발된 형상(그림 2 (라)) 및 조합부재를 사용하기 위하여 개발된 형상(그림 2 (마)) 등 특이한 형상들이 다양하게 개발되고 있다. 현재 국내에서는 건축용 강재 받침재로서 비내력벽용 스티드가 생산되고 있으며, 주요 형태는 경C형강 및 리프C형강의 2가지가 주류를 이루고 있다.



(가) 경C형강 (나) 리프C형강



(다) 단열성능을 향상시킨 변형형상 (라) 내력을 향상시킨 변형형상

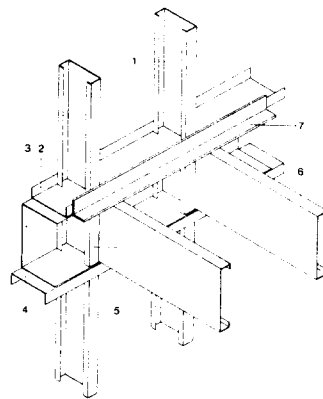


(마) 트러스 및 조합부재를 위한 특수형강

그림 2 자재의 단면형상

3. 부재의 설계방법

LGSF Housing의 구조설계방법은 미국의 AISI (American Iron and Steel Institute)에서 제작된 설계 manual 및 일본의 스틸하우스 구조설계 지침을 참조할 수 있다. LGSF Housing의 주요구조부재로는 중력하중에 의한 압축력을 지지하는 스티드와 슬래브 등 휨부재를 지지하는 조이스트 및 지붕 트러스 부재로 대별되며(그림 3), 전체 구조시스템의 골격으로서 내력벽(Load-Bearing Wall) 시스템을 사용하고 있다. 즉, 일정한 간격으로 배치된 스틸스티드와 스티드의 상하부에 배치된 상·하부 트랙을 심재로 하고 그 외부를 합판 혹은 식고보드 등으로 마감한(Sheathing) 부재를 내력벽체로 하여 건축물의 뼈대를 이루게 된다. 이때 이 내력벽체의 허용내력을 계산하기 위해서는 각 스틸스티드의 허용내력이 계산되어야 하며, 스틸스티드의 내력은 박판의 부재인 관계로 좌굴내력에 큰 영향을 받게 된다. 즉, 스틸스티드 1분의 허용내력 계산의 기본 개념은 현행 철골구조설계의 기본인 허용응력도 설계법의 개념과 유사하게 다음의 식 (1)과 같이 표시된다.¹⁾



'Platform' System where columns forming upper storey rest on the floor platform of the storey below

- 1 loadbearing stud
- 2 top track
- 3 closure channel
- 4 bottom track
- 5 web stiffener
- 6 floor joist
- 7 edge support

그림 3 주요 구조부재의 구성

$$P_{allowable} = \frac{F_n \times A_e}{\Omega} \quad (1)$$

식 (1)의 변수중 F_n 은 박판부재의 극한 내력을 의미하게 되며, 이때 이 내력은 박판부재의 강도와 국부좌굴, 비틀림 등을 고려한 단면성능에 의하여 다음의 식 (2), (3) 중 작은 값으로 결정된 F_e 에 따라 식 (4)에 의하여 계산된다.

$$F_{e1} = \pi^2 E / (K_y L_y / r_y)^2 \quad (2)$$

$$F_{e2} = \frac{(\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t}}{2\beta} \quad (3)$$

For $F_e > F_y/2 \quad F_n = F_y(1 - F_y/4F_e)$
 For $F_e < F_y/2 \quad F_n = F_e \quad (4)$

이때 σ_{ex} 및 σ_t 는 부재의 단면형상에 따라 횡방향 좌굴에 대한 좌굴모드가 결정되게 되므로 그림 4와 같은 도표를 활용하여 그 파괴모드를 정의할 수 있게 된다.

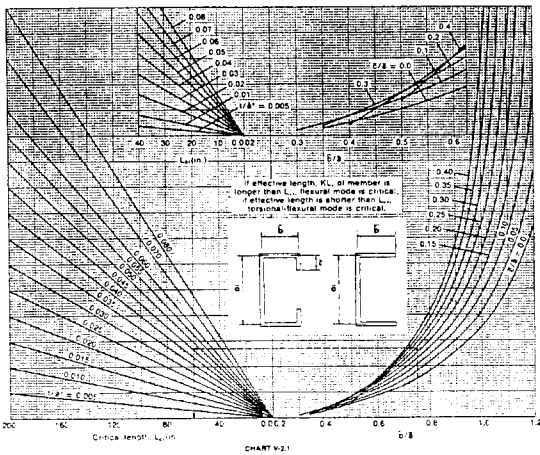
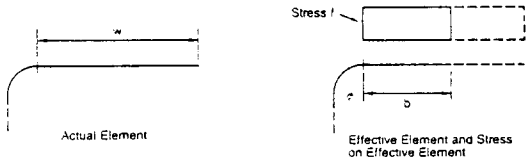


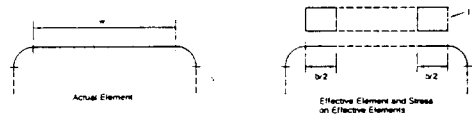
그림 4 부재의 좌굴모드

또한, A_e 의 경우에는 부재의 국부좌굴을 고려한 유효단면적으로서 LGSF에 사용되는 부재의 두께가 0.8~3mm 정도의 박판인 점을 고려한다면 거의 모든 경우에 일반 철골부재에서 적용되는 판

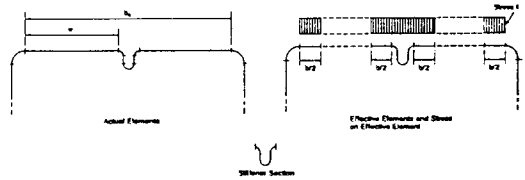
요소의 폭두께비값을 초과하게 된다. 이에 따라 유효단면적 A_e 는 부재의 각 요소(웹, 플랜지, 리프)별로 국부좌굴 가능성을 검토하여 그 유효단면적이 계산된다.(그림 5)



(가) 일변지지 타단자유의 경우



(나) 양변지지의 경우



(다) 양변지지, 중간보강의 경우

그림 5 유효단면적의 개념도

이와같이 계산된 부재의 단면력은 다시 부재의 응력상태에 따른 안전율 Ω 로 나누어 최종적인 부재의 허용 압축력이 계산된다. 실제 건축구조물의 경우 기둥 및 내력벽체와 같은 압축부재는 압축력 이외에 횡력 및 편심력에 의한 모멘트를 받게 된다. 이와같은 압축력과 휨모멘트를 고려한 조합응력을 받게되는 경우에 대하여 미국 철강협회 AISI에서는 다음의 식을 제안하고 있다.

$$\frac{P}{P_a} + \frac{C_{mx}M_x}{M_{ax}\alpha_x} + \frac{C_{my}M_y}{M_{ay}\alpha_y} \leq 1.0 \quad (5)$$

현재 미국 등 해외 자재업체에서는 이와같은 방법에 의하여 산정된 각 부재의 허용 하중표를 작성하여 구조설계업체에 제공하고 있으며, 구조설

기업체에서는 자재업체에서 제공된 허용 하중표를 단간으로 실제 부재의 설계에 활용하고 있다. 또한, AISI의 manual에서는 각 단계의 설계흐름도를 제시하고 있어 사용자 하여금 빠른 시간내에 이를 프로그래밍할 수 있도록 지원하고 있다.

그러나, 실제 지진 등의 횡하중을 받는 LGSF Housing의 벽체설계에 있어서는 상기의 스티드 이외에도 내력벽의 일부로서 목질의 합판 등을 사용하고, 강판과 목질합판이 일체화해서 외력에 저항하고 있기 때문에(횡방향 하중에 대한 가새효과) 순수한 철근조로 구조계산하는 것은 불합리한 부분도 있게된다. 또한, 내력패널의 전단내력 및 강성 등이 일반적으로 공개되어 있지 않기 때문에 일반의 설계자가 이러한 합성체를 고려하여 구조계산하기에는 부리가 따를 수도 있다. 이에따라 AISI 및 일본의 설계기준에서는 단순히 스티드의 내력을 규정하는 이외에 Sheathing재료를 고려한 벽체패널의 전단내력에 대하여도 규정하고 있다. 한 예로 일본의 스틸하우스 구조계산지침을 살펴보면 벽체패널의 최대 전단내력은 다음의 식과 같이 규정하고 있다.²⁾

$$P_a = \min(P_1, P_2) \quad (6)$$

단, P_1 : 최대전단내력 Q_{max} 의 2/3

$$Q_{max} = \min(Q_{a1}, Q_{a2}, Q_{a3})$$

Q_{a1} : 면재의 탭핑나사접합부 내력으로 구하는 경우

Q_{a2} : 면재의 전단강도에 의하여 구하는 경우

Q_{a3} : 수직틀재의 압축내력에 의하여 결정되는 경우

P_2 : 전단변형각이 1/300 일 때의 수평력

이러한 면재의 전단강도는 사용되는 Sheathing 재료에 따라 큰 차이를 갖게 된다. 일본의 기준에서는 주요 Sheathing 자재에 대한 면재의 전단강도 F_s 를 다음의 표 1과 같이 정의하고 있으나, 각 자재의 성능기준이 국가별로 차이가 있다는 점을 고려한다면 이에 대한 국산자재의 성능검토가 선행되어야 한다고 사료된다.

표 1 면재의 전단강도 F_s

면재의 종류	면재의 전단강도(kgf/cm ²)
구조용 합판	98
OSB	60
석고보드	8

4. 설계자동화현황

현재 미국 등지에서 사용하고 있는 LGSF Housing의 설계자동화 프로그램은 본 구조형식의 뿌리가 목조인 점을 고려하여 과거 목조주택의 설계에 활용하였던 프로그램의 데이터베이스를 Light Gauge Steel로 전환하고, 일부 알고리즘을 AISI 규준에 적합하도록 변환시켜 사용하고 있다. 자동화의 수준은 통상 국내에서 일컫는 건축 통합시스템의 기능을 대부분 수용하고 있으며, 이중 설계 부분에 해당하는 디자인 기능의 일부를 제외한 모든기능을 수행할 수 있는 것으로 알려져 있다. 미국내에서 현재 LGSF Housing의 설계용 프로그램으로서 가장 널리 알려진 한 프로그램의 기능을 살펴보면, 프로그램내의 자재 데이터베이스를 기초로하여 건축물의 디자인, 구조부재 및 비구조부재의 배치, 구조해석, 부재의 선택 및 응력비 계산, 소요자재일람표, 구조도의 작성, 구조부분의 견적 및 자재 재고관리 등의 모든 기능을 포함하고 있다. 또한 모든 프로그램의 출력은 AutoCad 및 일반 Editor로의 연결출력이 가능하여 사용자의 수

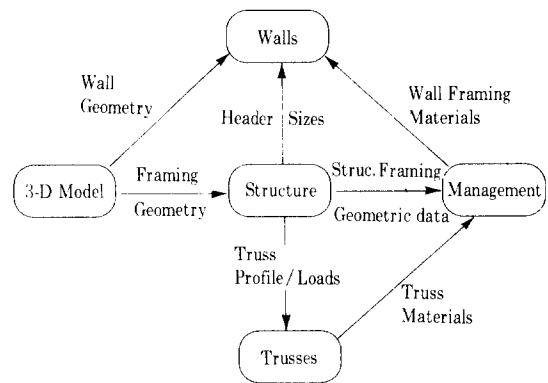


그림 6 설계자동화 프로그램의 구성도

정 및 보완이 가능할 수 있도록 구성되어 있다. 프로그램의 전체 구성은 그림 6과 같다.⁵⁾

5. 맺음말

이상에서 알아본 바와 같이 LGSF Housing의 설계는 기존의 2×4 목조주택의 설계방법을 그대로 수용하되 박판의 강재를 사용한다는 특성에 따라 부재의 좌굴특성을 고려하는 점에서 큰 차이가 있다고 볼 수 있다. 따라서 부재의 허용내력은 부재의 형상에 따라 그 좌굴모드가 결정되고 각 모드 중 최소의 값이 부재의 최종 허용내력으로 결정된다. 이와같은 상상을 살펴볼 때 LGSF Housing은 사용되는 자재의 단면형상 개발에 따라 그 내력의 증진을 기대할 수 있으며, 이에 대한 연구의 필요성이 크다고 볼 수 있다. 또한, 스틸하우스는 공장에서 제작된 스틸의 현장조립에 의하여 시공되므로 이들 부재간의 집합방법에 큰 영향을 받게 된다. 기존 외국의 시공사례를 살펴보면 부재간의 집합은 주로 핸드킨 등에 의한 스크류를 사용한 집합방법이 이용된다. 따라서, 이러한 집합

방법의 내력평가방법도 해결되어야 할 문제점으로 볼 수 있다. 이러한 제반 문제점 등이 해결된다면 LGSF Housing은 건설공기의 단축을 기할 수 있고, 시공의 신속·편리성을 도모할 수 있으며, 자원의 재활용이 가능하고 향후 벽체 패널의 공장 생산 등을 통한 공업화 진척이 가능하다는 점 등을 고려할 때 국내 저층구조물의 설계에 새로운 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. "Cold Formed Steel Design Manual," AISI, 1987
2. "스チ-ルハウス構造計算指針 改訂版," 社団法人 鋼材俱樂部 住宅建材小委員會, 平成8年
3. "Design in Cold Formed Steel (Based on CSA-S136-94)," Seminar Report, 1996
4. "철강재주택 선진 기술개발 동향에 관한 세미나," 한국철강협회, 1996.5
5. "Intelligent Takeoff Manual," KeyMark Enterprises, 1996 