

# 국내·외 스틸하우스 개발 현황과 전망

## The Developed State and the Prospects of Steel House between Korea and Others

김 갑 득\*  
Kim, Kap Deug

### 1. 국내 스틸하우스의 개발배경

우리 나라의 근대 주거사를 돌아보면, 산업화·도시화로 인한 인구의 도시집중으로 인해 대도시를 중심으로 주택수의 절대부족이라는 문제가 유발되었다. 따라서 이의 해결책으로 200만호 주택건설 등 대량의 주택보급을 위한 정책이 필연적인 현상으로 나타나게 되었고, 이 과정에서 획일화·무 개성화된 주거양상이 불가피하게 발생하게 되었다.

그러나, 최근에 이르러 주택 보급율이 증가하면서 지방도시를 중심으로 주택보급은 100%에 이르고 있어 주택 문제는 주거의 질적 문제로 대두되기 시작하여 사회전반에 걸쳐 다양화, 차별화가 주거에도 나타나기 시작하여 더 이상 획일화된 주거양식으로는 거주자들의 다양한 주거의식을 만족시킬 수 없게 되었다. 최근 탈 도시화와 때를 맞추어 도시근교의 단독주택형 전원주택의 발생도 이러한 현상의 한 단면으로 볼 수 있다. 또한, 그간 산업발전의 부산물로 받아들여야 했던 환경오염 문제는 모든 의사결정에 있어 가장 중요한 요소 중의 하나로 대두되고 있으며, 이에 따라 주거건축물의 건설에 있어서도 환경친화적인 소재채택에 대한 관심이 날로 증대되고 있다.

이에, 두께 1mm 정도의 냉간성형 표면처리 경량형 강재를 구조재로 사용하는 스틸하우스 공법은 환경

보호라는 측면과 주택의 다양화, 건설단가 및 공기의 감소, 주거성능의 향상 등 최근의 주거문제를 복합적으로 해결할 수 있는 최적대안으로 등장하고 있다.

우리나라 주택건설의 대부분을 차지하고 있는 기존의 콘크리트, 조적조 공법은 단순한 형태의 주거시설물들을 저렴한 가격으로 공급할 수 있다는 장점이 있는 반면, 품질관리가 어렵고 폐자재가 다량발생하며, 쾌적한 주거환경을 유지하기 곤란한 여러 가지 단점을 가지고 있다. 이에 반하여 스틸하우스 공법은 폐기물의 재활용도 측면에서 환경 친화적이며 다양해지는 소비자들의 욕구를 과도한 건축비용의 상승 없이 충족시킬 수 있을 뿐만 아니라 쾌적한 주거환경을 가지는 우수한 품질의 건축물을 소비자들에게 제공할 수 있는 장점이 있다.

1930년대 미국에서 최초로 스틸하우스 모델이 등장한 이후 1960년대 목재가격의 인상과 공급량 감소, 스틸하우스 부자재 시스템의 개발 등을 계기로 스틸하우스 공법의 장점을 적극 활용하여, 개인주택, 연립주택, 호텔, 콘도 등 다양한 건축물에 스틸 하우스 공법이 채택되고 있다. 특히 80년대 후반이후에는 환경문제가 심각해지면서 재활용의 측면에서 철강재의 우수성이 일반대중에게 널리 인식되어 급격한 보급확산이 진행되고 있다.

스틸하우스 공법이 국내에 소개된 것은 1996년 이래 포항종합제철(주)을 중심으로 포항산업과학연구원과 설계 및 시공, 자재업체 등으로 구성된 한국철강협회내 스틸하우스클럽이 주축이 되어 해외의 스틸하우스 공법을 조사, 분석하고 국내 실정에 적합한 부재 및 공법의 개발과 아울러 KS규격의 제정과

\* 포항산업과학연구원 경량구조연구팀장  
본 원고는 한국농촌건축학회 2001특별초청강연회에 발표된 것임.

구조설계 기준의 고시, 건설신기술의 지정 등 보다 경제적이고 시공성이 우수한 스틸하우스의 개발, 보급을 위하여 현재도 끊임없는 연구를 계속하고 있다.

## 2. 국내 스틸하우스의 기술개발 현황

국내에서 스틸하우스는 1996년 2월에 한국철강협회 내에 스틸하우스클럽이 결성되고 여기에 국내에 철강소재·가공·건설업체들이 각 분과를 결성하여 스틸하우스에 대한 검토를 추진하였으며, 우선적으로 선진국들의 현황조사 및 모델스틸하우스 7동 (6동은 완전 주거용 주택, 1동은 지붕과 골조)건립을 서울, 포항, 광양에 추진하였다.

이 모델하우스의 건립으로 스틸하우스가 국내의 건축계에 알려지게 되었고 일반인, 주택업자 및 학계에서도 관심의 대상으로 등장하게 되었으며 스틸하우스가 국내에서 주택의 한 분야로 자리를 잡기 위해 포항중합제철(주)와 포항산업과학연구원, 한국철강협회 스틸하우스 클럽을 중심으로 활발한 기술개발이 이루어졌다. 스틸하우스의 보급확대를 위한 기술개발은 먼저 주택으로서의 안전성을 확보하기 위해 구조안정성을 확보할 수 있는 설계기준을 확립과 시공현장에서 작업자가 더욱 정확하고, 안전하게 시공할 수 있는 시공매뉴얼의 개발, 각종 주거성능에 대한 실험을 통하여 거주자가 지속적으로 쾌적하게 살 수 있는 성능향상 기술개발 및 설계모델을 개발하는데 중점이 주어졌다.

이러한 결과를 바탕으로 국내에 처음으로 모니터용 스틸하우스를 구조설계하고 이를 실제로 기흥에 있는 포항산업과학연구원 강구조연구소에 건설하여 시공성에 대한 검증과 아울러 건설된 모니터 하우스에 대한 주거성능 평가를 추진해 왔다. 강구조연구소 내에 건설된 56평형 2층 규모의 단독주택으로 건설된 모니터하우스는 국내 실정에 맞게 개발된 표면처리 경량형강을 이용하여 구조계산이 이루어 졌으며, 벽체와 바닥 설계사양은 기존 모델하우스에 대한 주거성능 평가를 통해 도출된 개선안을 이용한 다양한 사양이 적용되었다.

스틸하우스 설계를 위한 기준확립, 각종 구조 및

주거성능실험 이외에 시공재료에 대한 연구개발도 활발히 이루어져, 스틸하우스용 표면처리 경량형강이 KS규격으로 제정되었고 구조설계에 활용할 수 있도록 형강이 지지할 수 있는 하중을 나타내는 허용하중표가 작성되었으며, 또한 스틸하우스의 주요 구조자재인 접합철물과 나사도 개발되어 스틸하우스의 안전성을 확보하는 데 기여하고 있다.

스틸하우스 개발을 위해 그 동안 다음과 같은 연구가 이루어졌다.

- 스틸하우스를 국내에 소개하기 위한 모델 스틸하우스 건립
- 스틸하우스 기반기술 개발을 위한 연구 수행
  - \* 연구결과를 토대로 스틸하우스용 경량형강 자체 KS 규격 및 냉간성형강 구조설계기준 제정
- 스틸하우스 원가절감 및 시공성 향상을 위한 연구개발 지속적 실시
  - 스틸하우스 해외기술 현황조사 및 검토
  - 스틸하우스 설계 및 시공에 대한 지침마련
  - 스틸하우스 건설현장에 대한 품질관리 및 시공 기술 개발·정립
- 세부 연구내용을 살펴보면 다음과 같다.
  - 모델스틸하우스 건설평가 : 모델하우스분석, 구조부재내력 및 주거성능평가, 적용재료, 시공성 및 경제성 분석
  - 스틸하우스 및 스틸빌라 기술개발 : 스틸하우스 표준화, 규격화 및 경량형강 구조설계기술개발 / 스틸하우스 시공 및 주거성능 확보기술 개발
  - 모델스틸하우스 건축계획 평가 : 모델스틸하우스를 대상으로 전문가의 평가를 통해 스틸하우스 계획에 필요한 기반자료 수집
  - 모델스틸하우스의 주거성 평가와 건축계획에 대한 선호경향조사 : 주거가치관, 성능기대, 만족도 분석 / 각 모델하우스의 건축계획에 대한 선호경향 분석
  - 모니터하우스 성능평가 및 주거성능 향상연구 : 벽체의 차음, 단열, 결로성능 평가 / 바닥충격음 및 진동성능 평가 / 벽체개산안 개발 / 벽체용도 확대를 위한 공법개발
  - 스틸하우스 디테일DB 구축 : 디테일 분류체계

수립 및 자료조사 / 구조, 바닥, 마감 디테일개발 / 디테일 DB 구축

- 스틸하우스 시공합리화 기술개발 : 경량형강 벽패널의 모듈화 계획 / 공기단축을 위한 공업화생산 및 시공기술 개발 / 건식바닥판 적용기술 개발 / 현장적용을 통한 성능평가 및 경제성분석
- 스틸하우스 거주후 평가 및 설계요령집 개발 : 스틸하우스 거주 후 평가를 통한 보완사항도출, 개선 / 설계표준화를 위한 설계요령집 개발 및 전단벽 구조실험 / 신형상 트러스개발 / 트러스단면 및 허용하중표 작성
- 스틸하우스용 스테드 생산자동화 기술개발 : 자동화 생산라인 시스템설계 / 구조설계 data 수치제어처리프로그램 개발 / 수치제어 개념설계 및 패널 packing화 기술개발
- 폐단면형 경량형강 트러스 개발 : 신형상 단면 개발 및 부재성능표 작성 / 트러스유형, 허용하중표 및 접합부 개발 / 시방서, 브레이싱 치짐개발 / 시범사업 적용

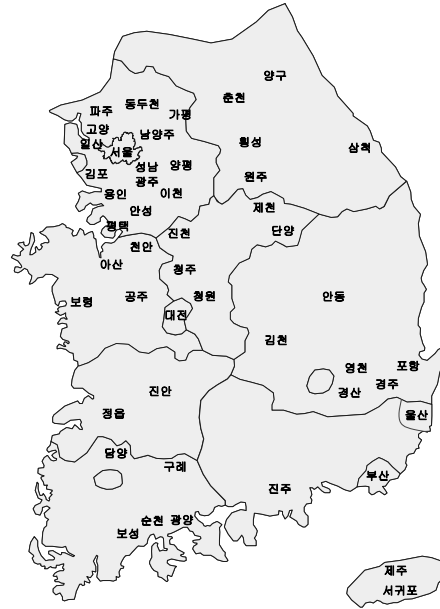


그림 1. 스틸하우스 국내 지역별 건설현황

### 3. 국내 스틸하우스의 보급현황 및 전망

국내 스틸하우스의 보급대상은 전체 주택시장을 아파트 80%, 주택 20%(단독+연립)로 볼 때, 전체 주택(단독+연립)시장의 20%정도가 스틸하우스의 보급 대상이 된다. 스틸하우스의 보급전망은 표 1과 같으며 현재 국내에 건설된 스틸하우스의 건설현황을 살펴보면 그림 1과 같다.

표 1. 스틸하우스(주택) 보급현황 및 전망

| 구분       | 1998 | 1999      | 2000 | 2001   | 2004   |
|----------|------|-----------|------|--------|--------|
|          | 도입   | 시장개발 및 보급 |      | 성장     | 성숙     |
| 스틸하우스 건립 | 170호 | 530호      | 600호 | 1,000호 | 4,500호 |

스틸하우스공법은 주택이외에도 다른 여러 가지 용도로 쓰이고 있는데 이를 살펴보면 표 2와 같다.

표 2. 스틸하우스 공법의 적용 예

| 프로젝트        | 개요  |
|-------------|---|
| 동성학원 인성교육관  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 건립위치 : 경기 광주군 광주읍 송정리</li> <li>○ 건립규모 : 지상1층, 지상2층, 연면적 217평</li> <li>○ 공사기간 : '98. 4 ~ '98. 8 (시공 : 동성진흥)</li> <li>○ 경기도 교육청 학교교육여건개선시설지원사업</li> <li>○ 강제소요량 : 35.0톤</li> </ul> |
| 평택 대학원 학생회관 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 건립위치 : 경기 평택시 용이동 가산리</li> <li>○ 건립규모 : 지상2층, 연면적 235평</li> <li>○ 공사기간 : '98. 8 ~ '99. 7</li> <li>○ 강제소요량 : 31.9톤</li> </ul>   |
| 연대통합 시범막사   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 건립위치 : 경기 포천군 일동면 가산리</li> <li>○ 건립규모 : 지상2층, 연면적 670평</li> <li>○ 공사기간 : '98. 5 ~ '98. 12 (시공 : 삼우종합)</li> <li>○ 강제소요량 : 25.0톤</li> </ul>  |
| 태연학원 교사동 신축 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 건립위치 : 울산 북구 대안동 상46</li> <li>○ 건립규모 : 지상1층 4개동, 연면적149.5평</li> <li>○ 공사기간 : '98. 8 ~ '98. 12</li> <li>○ 강제소요량 : 17.9톤</li> </ul>  |
| 우리마을 장애인 시설 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 건립위치 : 경기 강화군 갈상면 온수리</li> <li>○ 건립규모 : 지상2층, 연면적 664평</li> <li>○ 공사기간 : '98. 8 ~ '99. 2</li> <li>○ 강제소요량 : 66.4톤</li> </ul>   |
| 성서 대학교 기숙사  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 건립위치 : 서울 노원구 상계7동 205</li> <li>○ 건립규모 : 지하1층 지상3층, 연면적 968평</li> <li>○ 공사기간 : '98. ~ '99.</li> <li>○ 강제소요량 : 96.8톤</li> </ul>   |
| 한전기공 기숙사    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 건립위치 : 경북 경주시 양남면 하서리</li> <li>○ 건립규모 : 지상2층 7개동, 연면적 527평</li> <li>○ 공사기간 : '98. 9 ~ '98. 12.</li> <li>○ 강제소요량 : 73.8톤</li> </ul>   |

#### 4. 해외의 스틸하우스 보급현황

##### 4.1 미국

##### 4.1.1 보급과정 및 전망

오늘날 전 세계적으로 보급되고 있는 스틸하우스는 150년 이상의 역사를 가진 북미의 전통적인 목조주택의 2×4 공법에서 유래되었다. 목조주택에서는 세로 2인치와 가로 4인치(혹은 6인치)의 표준 목재를 이용하여 목조틀을 구성하고 여기에 건식벽체와 각종 마감재를 부착하여 주택을 완성한다. 스틸하우스는 목조주택의 이러한 기본 공법을 기초로 하되, 목재 대신에 두께 1.0mm 내외의 아연도금된 강판을 C-형상으로 구부려 부재로 사용하는 것이다. 미국에서는 이러한 스틸하우스를 흔히 박판 철골구조 주택(Light Gauge Steel-Framed Housing)이라고 한다.



그림 2. 목조프레임 (WOOD FRAME)



그림 3. 스틸프레임 (STEEL FRAME)

미국에서의 스틸하우스는 1900년대 초반부터 등장하였는데, 수요자의 인식부족과 더불어 현장 시공 기술력 부재로 일반인들의 관심을 끌기에는 역부족

이었다. 이후 1960년대부터 시작된 목재가격의 상승과 불안정성, 그리고 관련 업계에서 부자재 및 시스템 개발 등이 뒷받침되어 미국에서의 스틸하우스 공법은 새로운 전환기를 맞게 되었다. 특히 1980년대 후반부터 환경문제가 전 세계적으로 심각하게 대두되면서 철강재의 재활용성에 대한 일반인들의 인식이 빠르게 확산되었고, 이에 따라 1990년대는 관련 제도의 정비와 함께 본격적인 보급의 시기가 열렸다.

1992년 당시 클린턴 대통령의 국유림(國有林) 벌채 금지령으로 목재가격이 급등한 것을 계기로 스틸하우스 건설이 급격하게 증가하였는데, '92년에 500호 정도였던 건설이 '93년에는 1.3만 호로 급등하였고, '95년에는 5.5만 호, 그리고 '98년에는 12만 호 등으로 꾸준히 증가하고 있다.

미국철강협회(AISI)에서는 2004년 말까지 전체 주택시장의 25%에 해당하는 부분을 스틸하우스로 건립할 것을 목표로 하여 현재 모든 노력을 기울이고 있다. 미국 주택건설시장의 경우('98년 기준), 단독주택 및 공동주택 분야에서 연간 1,402만 톤의 철강재 수요발생 시장이 잠재하고 있으므로 여기에서 25%는 약 350만 톤에 해당한다.

##### 4.1.2 보급 네트워크

스틸하우스의 보급은 미국철강협회(AISI)를 중심으로 이루어지고 있는데, 특히 '98년부터는 주택시장에서의 경량형강 사용을 보다 가속화시키기 위하여 북미스틸하우스연합회(NASFA, North Steel Framing Alliance)를 AISI 산하에 설립하면서 현재 NASFA에서 스틸하우스 보급과 관련한 중점적인 역할을 수행하고 있다. NASFA에 가입된 회원사들은 제철회사, 아연제조회사, 롤포밍업체, 나사업체, 공구 및 장비업체, 주택관련업체(시공자, 제작자, 엔지니어 등), 기타 철강관련 업체 등으로 구성되며, 스틸하우스의 기반을 구축하는 데에 노력하고 있다. 나아가 NASFA와 긴밀한 관계를 가지면서 각 지역의 스틸하우스 보급에 앞장서고 있는 동맹이 별도로 있는 지역이 있는데, 하와이(Hawaii Steel Alliance), 중서부지역(Midwest Steel Framing Alliance), 남동부지역(Southeastern Steel Framing Alliance), 텍사스지역(Texas Steel Framing Alliance), 캘리포니아지역

(California Steel Framing Alliance) 등이 대표적이다.

#### 4.1.3 기술개발 및 전파

스틸하우스 기술개발은 경량형강엔지니어협회(LGSEA), 미국주택건설협회(NAHB) 산하 기술연구소를 중심으로 시공자가 활용하기 쉬운 설계요령집 개발, 비용 효과적이고 에너지 효율적인 스틸하우스 개발, 목구조주택과의 비용 및 성능비교 연구 등이 수행되고 있다. 또한 관련 연구소 및 학교에서도 활발한 기술개발이 수행되고 있으며, 설계/시공회사 산하의 연구소에서 자체적으로 독자적인 자재, 설계 또는 공법을 개발하여 현장에 적용하는 경우도 많다.

경량형강에 대한 설계 및 상세와 관련하여 다양한 연구 및 기술개발을 하고 있는 LGSEA에서는 기술자료(Tech Notes)를 발간하여 많은 기술 정보들을 관련 업체에 제공하고 있다. 이와 아울러 NASFA에서는 스틸하우스와 관련하여 기술적으로 궁금한 점이 있을 경우 자문을 제공해주는 전용선 (Steel Home Hotline ,1-800-79-STEEL, #2)을 운영하고 있다. 학계에서는 경량형강을 이용한 구조설계, 자재개발, 제조기술 개발, 공법 등에 관한 내용을 집중적으로 다루는 국제 회의가 Missouri-Rolla 대학교 산하 냉간성형강구조센터 (Center for Cold-Formed Steel Structures)에서 2년마다 주최되어 국제적인 기술교류가 이루어진다.

한편, 현장에 우수한 기능인력을 많이 확보할 수 있도록 NASFA는 다양한 지역에 TRAINING CENTER를 운영하면서 스틸하우스 시공과정을 교육하고 있으며, 해마다 참가자가 증가하고 있다.

#### 4.1.4 부재 및 구조설계기준

##### 1) 부재설계기준

AISI 산하의 냉간성형강 구조부재설계 시방서에 관한 위원회(COS, Committee on Cold-Formed Steel Design Specifications)에서는 메탈 테크플레이트, 지붕재, 벽패널 시스템, 창고 선반, 특히 스틸하우스에 사용되는 경량형강 부재의 구조설계에 기초가 되는 시방서(Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members)를 개발하고 유지하는 중요한 역할을 담당하고 있다.

##### 2) 구조설계기준

AISI는 NAHB 부설연구소와 함께 '스틸하우스 설계요령집'('Prescriptive Method for Residential Steel Framing)을 개발하였는데, 여기에는 2층 이하 스틸하우스에 대한 간편 구조설계법이 수록되어 있어 골조 구조에 대한 지침을 마련하고 있다. '96년 미국건설부회의(CABO, Council of American Building Officials)의 1~2가구 주택법규위원회(1 & 2 Family Dwelling Code Committee)가 'Prescriptive Method'를 승인하면서 스틸하우스 구조설계에 대한 제도적인 틀이 본격적으로 마련되었다.

#### 4.1.5 미국지역 스틸하우스의 특징

##### 1) 고층화 프로젝트

미국의 경우 광대한 토지로 인해 고층 아파트보다는 2층 이하 단독주택이 많은 실정이다. 그러나 최근 들어서 5층 이상 주거시설물에도 경량형강의 적용이 활성화되고 있으며, 그 사례가 5층 고급빌라인 'Watermark'와 8층 높이의 Holiday Inn Hotel이다.



그림 4. 'Watermark' 5층 (San Diego)



그림 5. Holiday Inn 8층 (Seattle)

##### 2) GREEN BUILDING 운동

앞서 언급했듯이 미국에서의 스틸하우스는 환경문제 대두와 더불어 보급이 확산되기 시작하였다. 이에 따라 AISI에서는 스틸하우스 자재의 우수성을 재활용성에 초점을 맞추어 선전하고 있다. 반면, 목조주택의 경우 1호당 1에이커(약 4천㎡)의 삼림을 벌채하는 환경파괴를 가져온다.

철강재의 재활용에 대한 연구는 철강재활용협회(SRI, Steel Recycling Institute)를 중심으로 이루어지고 있는데, 몇 년 후에는 거의 모든 철강재가 100% 재활용이 가능할 것으로 예상하고 있다. 재활용 사업은 단기적으로는 많은 고용효과를 볼 수 있고, 장기적으로는 에너지 절감효과와 천연자원을 보존할 수 있고 자연환경을 보호할 수 있다.

한편 1990년대에 들어서면서 환경운동이 전 세계적인 관심으로 떠오르면서, NAHB 연구소와 미국 주택도시개발부(HUD, U.S. Department of Housing and Urban Development)가 주도가 되어 Green Building 운동을 펼치고 있다. 현재 NAHB 연구소는 Green Building운동과 기술을 소개하는 지침서를 발간하여 경제성 및 효율성, 그리고 자재에 대하여 상세히 설명하고 있다.

Green Building이란 효과적인 단열시스템이나 자연통풍과 같은 효율적인 에너지 계획을 적용하고 재활용이 가능하거나 재활용된 자재들을 사용하는 환경친화적인 건물을 말한다. 스틸하우스는 자재의 재활용율이 높고 에너지 효율이 뛰어나므로 Green Building에 가장 적합한 주택으로 평가받고 있다. HUD에서는 신축건물에 대하여 Green Building 평가제를 적용하여 4개 분야 20점 이상을 취득하면 저리용자 혜택을 부여하고 있으므로, 스틸하우스로 신축할 경우에 건축주들은 저리용자에 매우 유리하다.

## 4.2 호주

### 4.2.1 보급과정 및 전망

호주에서의 스틸하우스 역사는 1940년대 후반으로 거슬러 올라가는데, 철골을 이용한 주택의 건립은 제 2차 세계대전 후부터 시작되었다. 당시 목재를 비롯한 건축자재의 만성적인 부족으로 인해 Econosteel이란 스틸하우스가 개발되었는데, 이는 페인트를 한

무피복 단면을 사용하여 벽체 골조시스템을 완성하는 것이었다. 이러한 스틸하우스 시스템은 당시 목조주택보다 6배 정도 고가이었음에도 불구하고, 300개 이상의 스틸하우스가 호주의 수도인 Canberra와 그 주변에 건립되었다. 이후 1960년대 중반에, 한 미국인 건설자가 호주 북동부지역인 Queensland에 있는 Gold Coast 주변의 개간지에 아연도금된 형강을 이용하여 목조주택과 유사한 공법으로 약 50채의 스틸하우스를 건립하였다.

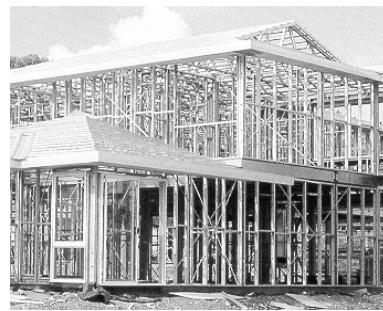


그림 6. Arrow시스템 골조 전경

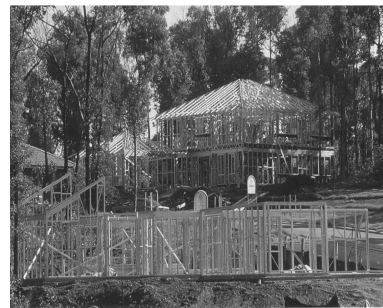


그림 7. Supraframe시스템 골조 전경

호주의 최대 철강회사인 BHP社는 이때 주택시장에서 철강의 수요확대가 많은 잠재성을 지니고 있음을 확인하고 철강주택 시장을 지원하기 시작하였다. 그리하여 1968년 시드니의 Thornleigh 지역에 이전과는 다른 새로운 공법의 스틸하우스가 처음으로 건립되었으며, 골조는 두께 1.2mm의 아연도금된 강재를 끼워넣고 용접하는 방법으로 형성되었다. 1970년대에 접어들어서 BHP社를 중심으로 여러 회사가 스틸하우스 건설에 참여하기 시작하였으며, 자사 고유

의 시스템을 개발한 업체도 눈에 띄기 시작하였다. BHP Steel은 International-Coated Products Division에서 Arrow Framing Systems이라는 시스템을 개발하여 전국적으로 보급하였다. 최근에는 고강도 경량형강 부재를 적용한 벽체 및 지붕시스템의 Supraframe을 개발하여 해외까지 공급하고 있다.

전체 신축 주택에서 스틸하우스 건립호수는 1990년대 초반에는 약 10% 내외의 점유율을 유지하고 있었으며 1994년의 경우 신축 주택호수가 약 140,000호일 때, 10,000호의 스틸하우스가 건립되어 전체의 7% 수준을 차지하였다. 이후 전체 주택시장의 15~20% 점유율을 차지하며 스틸하우스는 널리 확산되었으며, 당시 BHP社의 많은 관계자들은 향후 50% 점유율을 내다보고 있었다.

#### 4.2.2 보급 네트워크와 기술전파

호주에서 스틸하우스의 보급은 BHP社를 중심으로 발전되었지만, 1980년대 초반에 스틸하우스를 보다 확산시키기 위해 스틸하우스협회(NASH, National Association of Steel House)가 결성되었다. NASH는 스틸하우스 시장을 확대할 수 있도록 회원사를 지원하고, 스틸하우스 산업을 대표할 수 있는 조직으로서 회원사 및 소비자의 이익을 보호하며, 교육 및 훈련을 통하여 스틸하우스 공법에 유능한 시공업자를 육성하는 것을 목표로 하고 있다.

스틸하우스의 기술개발은 막강한 자금력과 기술력을 보유하고 있는 BHP社 연구소를 중심으로 이루어지고 있으며, 그 기술의 전파는 앞서 언급하였듯이 호주스틸하우스협회(NASH)를 통하여 이루어지고 있다. 경량형강과 관계된 기초기술에 대한 각종 연구는 호주 Sydney 대학교 및 Melbourne 대학교내 토목공학부에서도 수행되고 있으며, 호주철강건설협회(AISC, Australian Institute of Steel Construction)에서도 경량형강과 관련된 논문들이 활발하게 발간되고 있다.

#### 4.2.3 자재 및 설계기준

##### 1) 자재

호주표준협회(AS, Australian Standard)의 AS 1397-1993에는 스틸하우스 골조 자재와 접합부재에 대한 내용을 포함하고 있다. 자재의 대부분은 아연도

금 또는 알루미늄 도금된 강재, 강관 및 강대이다. G500 등으로 표기하는 강재 표기법이 가장 일반적인 표기법으로, G500에서 'G'는 강을 아연이나 알루미늄/아연 속에 넣어서 도금하기 전에 열 성형과정에서 획득하는 강재 성분을 나타내고, G 다음에 붙는 숫자 '500'은 Mpa 단위의 항복강도이다.

냉간성형된 경량형강 스틸트는 지붕 트러스 및 래프터, 벽체 골조, 그리고 바닥 시스템에 구조재로 사용되고 있다. 대부분의 스틸하우스용 스틸트는 두께 1.0mm - 1.2mm의 G500(500N/mm<sup>2</sup>)등급의 냉간성형강으로 제작한다. 단면 형상은 립이 있는 C-형과 립이 없는 2가지의 스틸트와 트랙으로 크게 구분하고, B-형 및 Z-형도 사용되는 경우가 있다. 강재는 용접이나 볼트, 나사로 일반적으로 체결되며, 클린치 연결방법이 최근 많이 사용되고 있다.

##### 2) 설계기준

호주 스틸하우스의 설계기준 AS 3623-1993에는 '호주 스틸프레임(Domestic Metal Framing)'라는 항목으로 거주용 건물로서의 구조성능 요구조건을 명시하고 있다. 구조적 정밀성과 내구성을 고려하여 층고는 2층 이하로, 지붕 경사도는 최대 35. (7:10)로 제한하고 있으며, 구조설계는 허용응력설계법과 한계상태설계법으로 검토할 수 있다고 명시되었다. 구조물의 내구성을 확보하기 위하여 설계하중과 하중 조합, 구조설계 방법에 대하여 구체적으로 설명하고 있다. 현재 냉간성형강 구조물에 관한 호주기준(Cold-Formed Steel Structures Code, AS 1538-1988)에서는 1980년도와 1986년도의 미국 냉간성형강 구조 설계매뉴얼(Cold-Formed Steel Design Manual)와 매우 유사한 설계법에 따라 설계하는 것으로 규정되어 있다. 한계상태설계법은 1991년도 미국 냉간성형강 설계기준(AISI-LRFD)과 매우 유사하되, 고강도강인 G550을 적용한 것이 다르다.

#### 4.2.4 호주지역 스틸하우스의 특징

##### 1) 고강도 강재의 사용

대부분의 스틸하우스용 스틸트는 두께 1.0mm ~ 1.2mm의 G500(500N/mm<sup>2</sup>)등급의 냉간성형강으로 제작하여 사용되어 왔으나, 최근에는 두께 0.48mm ~ 0.75mm의 G550(550N/mm<sup>2</sup>) 등급의 고강도 냉

표 3. 각국별 사용강재 종류 및 강도 비교

| 국 가 | 호주         | 미국   | 한국                               |
|-----|------------|--|----------------------------------|
| 강도  | 구분<br>(기준) | 일반<br>(ASTM A370)  | 건축구조용<br>(KS D 3854)             |
|     | 항복<br>강도   | 33ksi (2,300kg/cm <sup>2</sup> ) ~<br>50ksi (3,500kg/cm <sup>2</sup> ) | 42ksi (3,000kg/cm <sup>2</sup> ) |
|     | 두께         | 0.5mm ~ 2.5mm  | 0.8mm ~ 2.4mm                    |
|     | 단면형상       | 일반 C-형   | 일반 C-형                           |

간성형강을 사용하고 있다. 강재의 두께가 얇으면 쉽게 체결할 수 있는 이점이 있으나 부재가 휨 또는 비틀림에 약해지기 때문에 이를 방지할 수 있는 복잡한 단면형상이 요구되는 단점이 있다.

2) 다양한 접합방법

① Tab-in-Slot 시스템 - 스티드와 스티드를 연결하는 과정에서 나사를 이용하지 않고 보조재(tab)를 사용하는 것으로, 스티드에는 구멍(slot)이 있어서 그곳에 보조재를 끼워넣은 후 서로 연결한 방법이다. 고정을 위해 용접이 흔히 사용된다.



그림 8. Tab-in-Slot 방식(1)

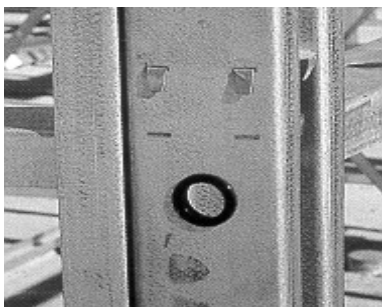


그림 9. Tab-in-Slot 방식(2)

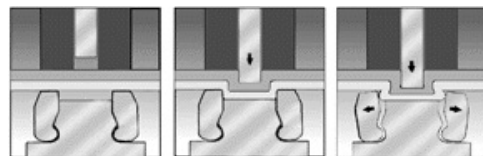


그림 10. 클린치의 원리 개념도

② Clinch Joining 시스템 - 클린치 접합은 열을 이용하지 않고 박판을 접합하는 방법이다. 단추가 맞물리는 원리와 같이 펀치를 이용하여 철판이 튀어나오도록 눌러서, 그 튀어나온 돌출부의 바깥 면이 다른 철판의 돌출부의 안쪽 면에 맞닿아 들어가도록 급형에 대고 눌러 부재와 부재를 체결한다. 이 시스템은 열이나 소음을 발생시키지 않고 철판 자체의 부분적 변형을 이용하는 접합형태이다. 클린치를 할 경우 아연도금이 손상되지 않고, 열이 가해지지 않으므로 접합시 자재의 변형이 적다는 장점이 있다.

4.3 영국

4.3.1 보급과정 및 최근동향

30년 넘게 냉간성형강은 영국 건설업계에서 중요한 부분을 차지하여 왔지만, 그 적용범위는 비구조재나 마감재 등 한정되었다. 그러던 중 냉간성형강을 바닥 테크플레이트에 적용한 결과 우수한 구조성능을 인정받았고, 이로부터 냉간성형강은 바닥 외에 벽체 및 지붕에도 활발하게 적용되기 시작하였다. 1990년대 초반에 건설규모 상위 20개의 주택건설업체들이 앞다투어 스틸하우스 사업에 뛰어들면서, 자유로운 공간계획이 가능하고 공기가 짧은 냉간성형강을 이용한 경량형강 구조가 중저층 주거용 및 상업용 건물에 적극적으로 도입된 것이다.

현재 영국 건설시장에서 스틸하우스는 성공적으로



보급되고 있으며, 기존 조적조 공법과는 비교도 되지 않을 만큼 공기가 짙고 시공품질이 우수하여 뛰어난 경제성을 갖고 있다는 것이 주택업자들의 일반적인 견해이므로, 향후 스틸하우스 전망은 매우 밝다고 볼 수 있다.

#### 4.3.2 보급 네트워크

스틸하우스 보급은 영국 최대 철강회사인 British Steel 산하의 British Steel Framing社 (Surebuild 시스템)를 선두로 Metsec Framing社 (Metframe), Speedframe社, 그리고 Ayrshire / The Forge Company 에 의하여 주도적으로 이루어지고 있다. 각각의 회사는 자사 고유의 시스템을 개발, 보급하는 한편 스틸하우스에 대한 규격화 및 표준화를 유도하고 일관된 홍보전략을 추진하기 위하여 1998년에 스틸하우스협회(Steel Frame Homes Association)를 설립하였다.



그림 11. Surebuild 시스템



그림 12. Speedframe 시스템

주택의 건설비용을 절감하고 품질을 향상시킬 수 있는 기술을 개발토록 장려한 정부 방침의 계기로

스틸하우스의 기술개발 및 효율성에 대한 연구가 활발하게 진행되었으며, West of England 대학교, Oxford Brookes 대학교, 철강건설학회(SCI) 및 British Steel 연구소에 의하여 주도적으로 이루어졌다. Oxford Brookes 대학교에는 내구성, 차음성, 단열성 등 각종 시험을 위해 2층 실험동 주택을 건립하여 성능을 평가하고 있다.

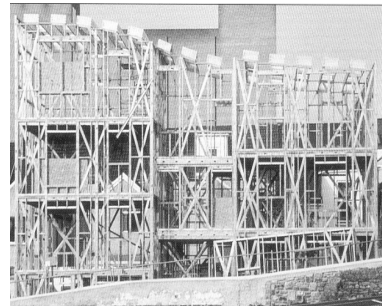


그림 13. Ayrshire/Forge Company 시스템



그림 14. Metsec 시스템

#### 4.3.3 설계기준 및 인증제도

##### 1) 설계기준

영국에서 냉간성형강(Cold-formed steel)에 대한 설계기준은 British Standards(BS)의 '구조용 강재의 설계' 편에서 찾아볼 수 있다. 스틸하우스 설계는 BS 5950 '건축물내 구조용 강재 공법의 이용(Structural use of steelwork in building)'의 Part 5 '냉간성형강 설계기준(Code of Practice for Cold Formed Sections)' - 1987년 - 에 근거하고 있다. 아울러 내화성능에 대한 설계기준은 BS 5950 Part 8 - 1980년 - 에 나타나 있다.

표 4. 조적조 주택 대비 스틸하우스의 이익 (10호 단지 사례)

| 구분        | 조적조 주택      | 스틸하우스       | 비교 (스틸하우스 기준) |         |
|-----------|-------------|-------------|---------------|---------|
| 시공기간      | 9개월         | 6개월         | 3개월 단축        | 33% 빠름  |
| 총 개발기간    | 13개월        | 10개월        | 3개월 단축        | 23% 빠름  |
| 판매시점      | 7개월 후       | 5개월 후       | 2개월 단축        | 29% 빠름  |
| 이익        | £ 1,661,946 | £ 1,681,977 | £ 20,031 증대   | 1.2% 향상 |
| 최대 현금 필요량 | £ 985,481   | £ 923,114   | £ 62,366 절감   | 6% 절감   |

2) 인증제도

영국승인위원회(BBA, British Board of Agreement)는 1960년대부터 각종 건축자재 및 공법의 성능에 대한 권위적이고 독립적인 승인인증(Agreement Certificates)을 부여해온 공공기관이다. BBA 승인인증은 각종 실험, 현장 검사 및 생산공장 실사를 통해서 평가가 이루어진 후에 부여되는데, British Steel Framing의 Surebuild 시스템은 건축시스템으로서 BBA의 인증을 현재 받은 상태이다.

4.3.4 영국지역 스틸하우스의 특징

1) 공기단축에 따른 공사비 절감

영국 스틸하우스 업체들은 스틸하우스의 우수성을 입증하기 위해 전통적인 조적조와 스틸하우스의 공기를 비교한 자료들을 분석하였다. 실례로, Surebuild 시스템으로 시공된 Crawley 지역의 2층 2호 연립 스틸하우스는 기존 벽돌조의 14주~18주 공사기간을 8주로 단축하여 시공하였다. 벽체 및 지붕 골조는 사전에 조립된 후 현장에서 간단하게 연결되었으며 골조를 세우는 데에 3일밖에 소요되지 않았다. 아울러 SCI에서는 기존 벽돌조 주택 대비 스틸하우스의 기대이익을 실제 프로젝트 사례를 위주로 분석하였다. 아래 표는 각 공법에 따라 10호씩 주택이 완공된 사례에 대해 경제성을 분석한 결과인데, 공기는 기존 공법대비 3개월이 단축되었고(10호 단지 기준), 총 이익은 £ 20,031로써 각 호당 £ 1,002 (≒170만원. 2000. 5 환율 적용)의 절감효과가 나타났다.

3) 모듈러시스템의 적용

현재 영국 주택건설업계에는 공장에서 조립을 마친 모듈러하우스(완전조립 주택)에 관심이 모아지고 있다. 이 시공방법은 패스트푸드점과 같은 단층건물이나 호텔, 주유소같은 반복적인 모듈을 적용하는 건

물에 적용하면 시공성과 경제성을 극대화할 수 있는 장점이 있어 각광받고 있다. 대표적인 예로 McDonald's 식당은 공업화된 완전조립 모듈러 형식을 도입하여 획기적으로 비용을 절감하였는데, 다른 패스트푸드 업체에 경량형강 모듈러시스템을 적용하는 좋은 선례가 되었다.



그림 15. 모듈러유닛 시공

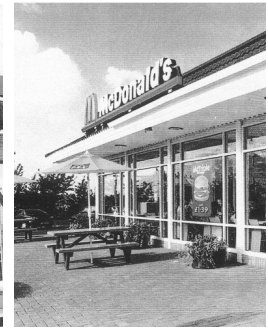


그림 16.모듈러 McDonald's 식당

4.4 일본

4.4.1 보급과정 및 전망

1995년 일본 고베에서 발생한 대지진으로 인해 사망한 사람들의 대다수는 재래 목조주택의 붕괴에 따른 압사(壓死)였다. 이를 계기로 1996년에 강재구락부(KOZAI CLUB) 시장개발위원회내에 신일본제철, 가와사키제철, 고베제강, 스미토모금속, 일신제강, NKK의 6대 대형 철강업체를 중심으로 스틸하우스 위원회가 설립되었으며, 이로부터 내진성이 우수한 스틸하우스의 기술개발이 본격적으로 시작되었다.

대학교 교수, 철강연구소 연구원 등으로 구성된 스틸하우스 기술분과위원회에서 1995년부터 5개년 연구계획을 수립하여 스틸하우스의 설계법, 내구성,

표 5. 철강재 프리패브주택 및 스틸하우스 보급실적과 전망 (강재구락부-1999)

| 구분    | 년도     | 1999       | 2000    | 2001    | 2002    | 2003    |
|-------|--------|------------|---------|---------|---------|---------|
|       |        | 철강재 프리패브주택 | 호수      | 163,400 | 178,700 | 171,800 |
|       | 강재량(톤) | 705,800    | 780,200 | 750,000 | 826,900 | 846,700 |
| 스틸하우스 | 호수     | 200        | 1,500   | 5,000   | 10,000  | 20,000  |
|       | 강재량(톤) | 1,000      | 5,400   | 17,900  | 36,600  | 73,300  |

단열, 차음, 내화, 긴결구 및 시공에 대한 연구를 철저히 수행하였으며, 실험형 구조실험, 진동대실험, 벽체 및 바닥 전단실험 등 각종 실험이 뒷받침되어 지금까지 총 72편의 관련 연구결과를 건축학회에 발표하였다.

강재구락부는 일본 기후, 법규, 설계조건 등을 만족하는 KC-형(Kozai Club의 K와 C) 스틸하우스 시스템을 개발하였으며, 1997년 9월에 건설성으로부터 KC-형 스틸하우스 A-타입에 대한 일반인정을 취득하여 12월에 1호를 건설하였고, 주택금융공고의 용자대상 주택승인을 획득하였다. 1998년 6월에는 목조주택 대비 경쟁력을 확보하기 위해 KC-형 스틸하우스 A-타입 개량형에 대한 일반인정을 취득하였으며, 2000년 1월에는 3층 단독주택 및 2층 연립주택에 대한 일반인정을 건설성으로부터 취득함으로써 본격적인 보급체계를 갖추게 되었다.

건설인증 작업이 완료된 1998년부터 KC-형 스틸하우스가 일본에서 건립되기 시작하였으며 1999년 9월 기준으로 약 80개 동이 전국적으로 완공되었다. 아직까지 스틸하우스의 골조가 목조보다 가격경쟁력이 떨어져 보급이 전면적으로 이루어지지 않고 있는 실정이지만, 강재구락부에서는 향후 스틸하우스의 전망을 낙관적으로 보아 2003년도에 20,000호 건설을 목표로 하고 있으며, 이는 강재량으로 환산할 경우 약 73,300톤에 해당한다.

4.4.2 보급 네트워크

KC-형 스틸하우스의 운용은 스틸하우스보급회를 중심으로 추진되고 있다. 강재구락부 산하 스틸하우스위원회는 운용지침에 따라 스틸하우스를 건설하려는 스틸하우스보급회의 일반회원에 대하여 자재업체의 공장인정과 공무점(工務店)의 기술연수를 실시하고 있다 : 스틸하우스용 자재를 생산·공급하는 강

재구락부 인정공장은 약 34개 공장(경량형강 10개, 접합철물 8개, 나사 16개 공장)이 있으며, 설계 및 시공관리 기술자를 육성하기 위한 기술연수는 1996년부터 실시된 이래 3년동안 설계기술자 연수가 667명, 시공관리자 연수가 502명에 이른다. 설계자 연수는 강재구락부 주최로 1급, 2급 건축사를 대상으로 실시하고 있으며, 시공관리자 연수는 고용촉진사업단 주최로 치바현의 고도직업능력개발촉진센터에서 실시하고 있다.

스틸하우스 설계 및 시공은 스틸하우스보급회에 가입된 제1종 및 2종 회원인 지역별 공무점, 하우스메이커, 설계사무소에 의해 이뤄지고 있으며, 보급회에서는 전국 동일의 고품질 시공을 실현하기 위해 설계에서 시공, 유지관리까지의 토탈시스템을 구축하였다. 자재는 공장인정이 완료된 재료메이커에서 공급한다. 한편, 스틸하우스보급회가 건설성으로부터 KC-형 스틸하우스 A-타입에 대한 일반인정을 취득하였으므로 회원사는 별도의 시스템인정관련 수속없이 설계 및 시공할 수 있어 편리하다.

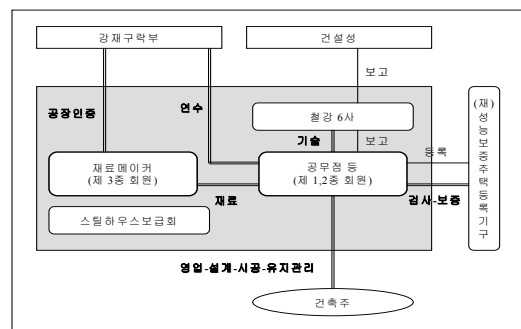


그림 17. 일본 KC-형 스틸하우스의 보급·운영체계

4.4.3 스틸하우스 자재, 설계기준 및 보증제도

표 6. KC-형 스틸하우스 A-타입 인정내용 개요

| 구분   | 주요내용   |  |      |       |
|------|--|--|------|-------|
| 명칭   | KC(강재구락부)형 스틸하우스 A타입                         |  | 주요용도 | 전용주택  |
| 구조형식 | 건축구조용 표면처리 경량형강에 의한 스티드나 구조용 면재에 의한 철강계 패널구조 |  |      |       |
| 규모   | 층수   | 1층 또는 2층 주택  | 최고높이 | 13m이하 |
|      | 건축면적   | 300㎡이하   | 천정높이 | 9m이하  |
|      | 연면적  | 500㎡이하   |      |       |
| 설계조건 | 장기허용내력                                       | 5.0t/㎡이상, 3.0t/㎡이하 5.0t/㎡ 미만                       |      |       |
|      | 적설하중   | 일반지역 수직 최심적설량 30cm, 50cm<br>동일 상부의 단위중량 2.0kg/㎡/cm |      |       |
|      | 속도압  | q = 60√h (h : 지반에서의 높이, m)                         |      |       |
|      | 표준전단계수                                       | 0.2  |      |       |

1) 자재

일본 스틸하우스에 사용되는 구조용 경량형강의 강종은 인장강도 400N/mm<sup>2</sup> 이상인 ZSB400을 사용하며, 규격은 웹 폭 235, 184, 140 및 89mm 이고 사용두께는 1.0mm~1.6mm 범위이다. 한편 경량형강 표면처리방법은 아연도금 강판의 경우 양면 3점법 평균 부착량이 275g/㎡인 Z27, 5% 알루미늄 아연도금 강판의 경우 평균 부착량이 180g/㎡인 Y18, 55% 알루미늄 아연도금 강판의 경우 평균 부착량이 150g/㎡인 AZ 150을 적용하고 있다.

2) 설계기준

일본 스틸하우스의 설계기준은 강재구락부에서 개발한 KC-형 스틸하우스 인정내용에서 찾아볼 수 있다. 1995년부터 시작된 기초연구를 바탕으로 1997년 9월에 2층 단독주택 (KC-형 스틸하우스 A-타입)에 대한 건설대신(建設大臣) 인정을 취득한 내용은 다

음 표와 같다.

이후 목조주택에 대한 경쟁력 향상을 위해 적용범위의 확대, 사양추가, 공사비 절감을 목적으로 1차 개량작업을 실시하였으며, 1998년 6월에 건설성으로부터 KC-형 스틸하우스 A-타입 개량형에 대한 인정을 취득하였다.

스틸하우스위원회는 1차 개정 후 공동주택과 3층 단독주택에 대한 시스템인정 취득을 목표로 구조실험과 차음, 내화실험 등을 수행하였으며, 2000년 1월에 건설대신으로부터 인정을 취득하였다. 주요 개정내용은, 연면적 1,500㎡까지의 공동주택 범위추가, 적설량 2m 이하 지역에서의 건설 가능, 다락방을 이용한 3층 주택의 대상 포함 등이다. 아울러 사양추가와 공사비 절감을 위한 개량으로서는 건물 모서리부분 양면 개구부의 추가, 나사 설치간격 확대, 각형강판의 이용, 못접합 방법 추가 등이 포함되었다.

표 7. KC-형 스틸하우스 A-타입 개량형의 개정 내용

| 항목      | 주요 개정부분   | 목조주택과의 비교                    |
|---------|---|------------------------------|
| 적용범위 확대 | ○ 적용범위<br>- 적설지역 : 50cm 이하 →150cm 이하<br>- 폭풍지역 추가<br>○ 대상주택 : 점포병용 주택 추가  | 목조와 동일하게 전국보급                |
| 원가절감    | ○ 두께저감 : 스티드 1.2mm →1.0mm<br>○ 지붕트러스 설치간격 : 455mm →910mm  | 목조와 동등한 시공성확보 (접합, 디테일 간략화)  |
| 사양추가    | ○ 벽재료 : 중질섬유판(MDF), 구조용패널(OSB) 추가   | 목조와 동등한 사양                   |
| 구조규칙 완화 | ○ 내력벽의 구성방법<br>- 최대 개구부폭 : 3m →4m<br>○ 내력벽선에 의한 구획작성기준<br>- 구획면적 : 60㎡이하 →72㎡<br>- 모서리부 개구부 : 1방향 1개소<br>○ 수직벽높이 : 최대 3.5m →무제한 | 목조와 동등한 구조규칙 (구획면적은 목조보다 유리) |

### 5. 스틸하우스의 농촌주택 적용 전망

농촌주택에 있어 스틸하우스의 보급은 아직 폭넓게 이루어지고 있지는 않다. 그러나 농업기반공사가 1995년부터 농어촌 생활개선사업의 일환으로 주거환경을 획기적으로 개선할 수 있는 현대식 농어촌주택 모델을 개발하여 보급하고 있고 이러한 작업의 일환으로 농어촌주택 표준설계도를 작성하여 보급하고 있다. 농어촌주택 표준설계도는 기존의 농어촌주택에 대한 설문조사를 거쳐 1999년에 선호도가 높은 30평형 단층 2개 모델과 2층 2개 모델 등 총 4개 모델을 개발하여 보급하였고 2000년에도 역시 26평형 2종과 29평형 4종을 개발하여 보급하였다. 향후 농어촌주택 표준설계도서는 가족구성의 변화에 대응이 쉽고 다양한 자재의 선택이 가능하며 지붕형태는 경사지붕을 기본형으로 하여 설계하고 있다. 농업기반공사에서는 2001년에도 역시 30평형 3개 모델과 26평형 1개 모델, 총 4개 모델을 농어촌주택 표준설계도로 작성 중에 있으며 현재 포항산업과학연구원과 공동으로 4개 모델을 스틸하우스로 설계 중에 있다. 따라서 2001년도에 스틸하우스로 농어촌주택 표준설계도가 작성된다면 향후 농어촌 지역에 있어 스틸하우스의 보급은 보다 확대될 전망이다. 또한 농어촌 주택 부속창고의 경우 기존의 조적조 대신 스틸하우스 공법을 적용하여 부속창고를 시공하는 경우 사용하는 자재가 경량이며 또한 시공이 간편하여 쉽게 증축을 할 수 있고 내부 공간의 변화도 쉽게 할 수 있는 장점이 있어 그 활용은 매우 클 것으로 기대된다.