

친환경 유닛모듈라 주택의 공장생산시스템에 관한 비교 연구 - 한국, 미국, 일본, 유럽의 사례를 중심으로 -

A Study on Factory Product System of Unit Modular Housing System in Korea, United States, Japan, Europe

임석호*
Lim, Seok-Ho

박금성**
Park, Keun-Sung

채창우**
Chae, Chang-U

권보민***
Kwon, Bo-Min

Abstract

The use of light steel framing as a method of house construction has increased significantly throughout Japan, United States and Europe. Industrialized unit method are prevailing in developed countries. Unit modular house industry has supported an intensive technical development, and housing systems are now available, which are highly adaptable in form and use. Unit modular house have their own merits and demerits, but the more crucial aspect is that the constant design standard should be applied in each design procedure. It entails the necessity of industrial housing development on the open system basis. This paper describes the general forms of factory product system of unit modular housing system in Korea, United States, Japan. And this study attempts to propose the unit factory product system of which the rate of pre-fabrication is the biggest, that can cope with the demand of user on the basis of open-system.

Keywords : Unit house, Industrial Housing, Design Criteria, Modular Coordination, Open System

주요어 : 유닛하우스, 공업화 주택, 설계기준, 모듈정합, 오픈시스템

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 주택건축산업은 건설산업으로 분류되면서 건설산업의 특징인 현장생산, 습식생산 그리고 이로 인한 노동집약적 산업으로 인식되고 있다. 그러나 미국과 일본, 유럽과 같은 선진기술국에서는 3R의 중요성이 부각되면서 기존의 주택건설에서의 문제점을 극복할 수 있는 합리적인 대안으로서 철골조 유닛모듈라 주택이 일정 규모 이상의 시장을 형성하고 있고 쾌적한 주거성을 실현하는 공장생산주택의 이미지로 자리잡고 있다. 또한 미국과 일본, 유럽에서 철골조 유닛주택은 3R의 특성을 극대화하기 위해 자동차생산으로 대표되는 제조업에서와 같이 부품생산 → 부품조립 → 완성품 제공이라는 제조업 Process를 도입하여 이제는 주택건축산업에서도 주택부품생산(공장) → 주택부품조립(공장 및 현장) → 완성 주택 제공이라는 Process가 새로운 주택생산의 형태로 자리매김 한지

오래되었다. 그러나 국내의 경우 위와 같은 새로운 주택생산의 패러다임이 자리잡기 위해서는 고객의 Needs에 따른 설계의 Flexibility를 실현하는 한편, 오픈시스템을 지향하는 Module설계의 적용 등이 보완되어야 한다. 이에 본 연구는 유닛모듈라 주택의 선진기술을 보유하고 있는 미국과 일본, 유럽의 사례를 조사하여 향후 우리의 환경과 특성에 적합한 시스템 개발 방향설정을 위한 기초적 자료를 제시하고자 한다.

2. 연구의 대상 범위 및 방법

본 연구에서는 이미 유닛 모듈라주택 역사가 30년이 넘는 일본사례와 함께 이와는 다소 다른 기술이지만 공장생산에 의한 공급생산시스템을 보유하고 있는 미국과 유럽의 생산프로세스를 조사하여 최근 유닛모듈을 소량생산하는 국내의 유닛모듈라 주택생산과정을 비교함으로써 향후 우리가 지향해야 하는 유닛 모듈라의 생산기술방향을 설정하는데 기초적 자료를 제시하고자 한다.

이를 위해 미국과 일본, 유럽의 유닛모듈라 주택생산 현장을 직접 방문하여 공장에서 제작되는 전체 프로세스를 조사하고 공통적인 항목을 기준으로 국가별로 상호 비교 고찰한 후, 국가별 특징과 함께 장점과 단점 그리고 우리가 취해야 할 개별방향과 내용을 도출했으며, 최종적으로 한국적 유닛모듈라주택 모델을 제안하였다.

*정회원(주저자, 교신저자), 한국건설기술연구원, 공학박사, 수석연구원

**정회원, 한국건설기술연구원, 공학박사, 선임연구원

***정회원, 한국건설기술연구원, 공학석사, 연구원

본 연구는 건설교통부 핵심기술사업의 지원으로 수행되었음(과제번호 04핵심기술-A04-05)

II. 유닛모듈라 주택관련 이론적 고찰

유닛모듈라 주택이란 현장에서 시공하는 기존의 주택과 달리 공장에서 다수의 입방체로 구성되는 구조체로 내부에 각종 내장재, 기계설비, 전기배선 등을 미리 시공하고 이를 현장에 운반하고 조립하여 완성하는 주택을 말한다.

이는 주로 저층 고밀형(연립 및 다세대 다가구형)과 집합주택(3~4층)으로 공급될 수 있다.

유닛모듈라 주택은 고효율성 주택으로서 구조체와 내외장, 설비 등이 분리가능한 구법으로서 개보수가 용이하다. 그리고 단위모듈이 조립화로 중개축이 용이하며 신속한 주택공급(표준공정: 50일)이 가능하다. 특히 수요자 요구 대응형 주택으로서 거주자의 Lifecycle에 따라 변화할 수 있는 모델로서 공급될 수 있다.

유닛모듈라 주택은 3R(Recycle, Reuse, Reduce)형 환경친화적 주택으로서 건축구성재의 표준화, 부품화로 자원의 유효이용이 가능하여 폐기물 대량배출을 억제하고 단위유닛의 주요 구조부재의 설치·해체가 용이하며 재사용(Reuse)이 가능하다.

유닛모듈라 주택의 기술적용시 기대효과로는 우선 건축구성재의 부품화, 조립화를 통해 공사기간 단축 및 현장 인건비 절감이 가능한데 기존 습식공법에 비해 모듈라주택의 현장작업율은 약 20%로 공사기간 및 인건비 절감이 가능하다. 또한 총공사비 중 인건비가 50%인 기존 공법에 비해 모듈라주택은 인건비 20%, 부재 및 설비비 80%로 고기능, 고부가가치 제품으로 수익성 증대를 기대할 수 있다.

이와 함께 설계자동화 시스템으로 건축설계, 구조설계, 도면작성시간 대폭 절감이 가능하며, 부품·유닛DB를 통해 거주자의 주문형 주택 설계가 가능하다.

표 1. 환경부하 및 Cost 저감 효과

구분	내용
건축물 생산시 폐기물	약 90% 이상 감소
이산화탄소 발생량	약 897 kg/호(1호 바닥면적 132 m ² 기준)
골조의 재활용율	약 90% 이상 강제 재활용 가능
골조 공사비	약 14% 이상 절감(복미식 스틸하우스 대비)

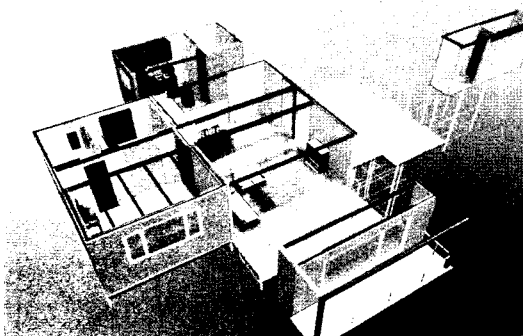


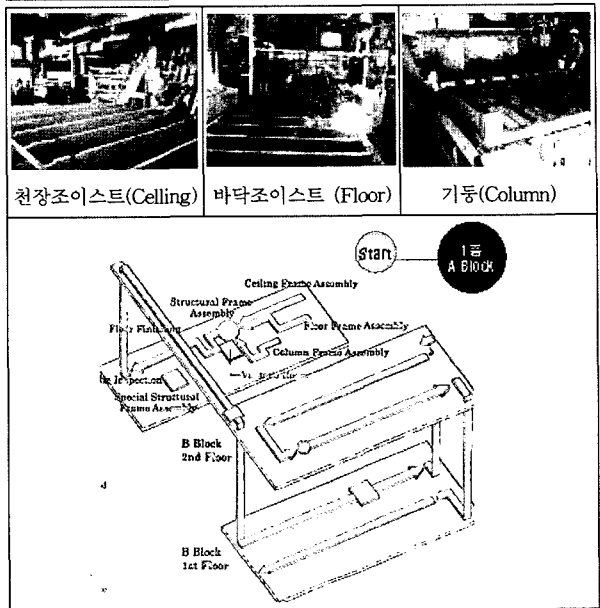
그림 1. 유닛모듈라 주택의 생산 및 조립

III. 모듈라 주택의 공장생산 사례 1 (일본)

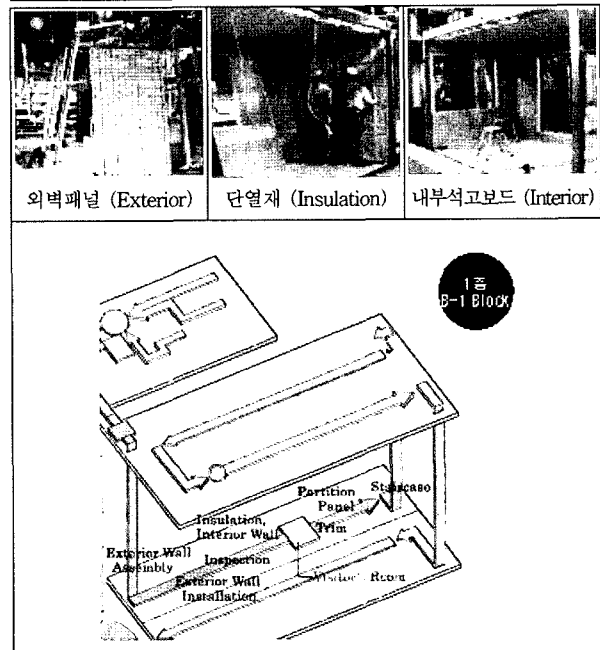
1. 전체 생산라인 구성

일본은 이미 주택생산부재가 자동차생산의 대량생산체제를 갖추었다. 4분에 하나의 유닛이 생산될 수 있는 생산체제를 갖추어 매년 수만호의 유닛모듈라 주택을 건립하고 있다. 30여년 이상의 기술적 개선을 통하여 오늘날에 이르는 이러한 시스템은 구조체 프레임 제작은 공장에서 직접 자체 조립하지만 외벽시스템, Partition Wall, Kitchen 시스템 등은 부품사로부터 외주조달을 하고 있다. 프레임과 내외벽이 짜맞춰지면 컨베이어 벨트를 타고 운

[1] 구조체 프레임 제작



[2] 내외벽 조립 및 검사



직이는 유닛에 해당 공정의 기술자가 간막이벽, 설비 부품을 조립한다. 생산라인을 따라 움직이는 유닛은 고객의 요구에 따라 차별화된 유닛으로 각각의 유닛은 모두 다른 형태로 제작되었다.

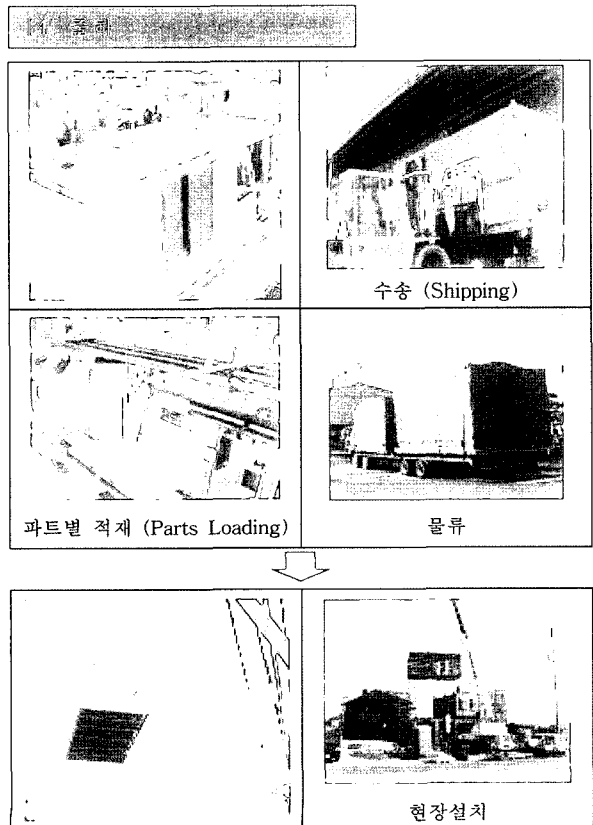
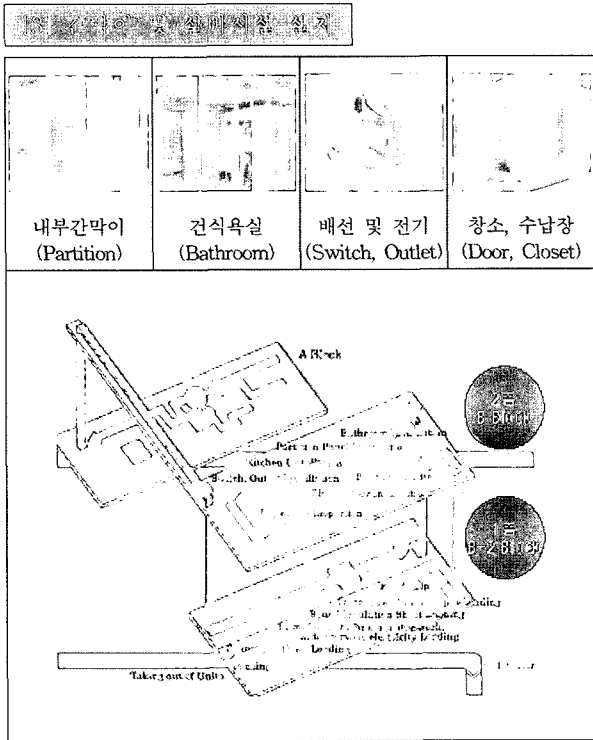


그림 2. 일본의 유닛모듈라 주택 생산

2. 단계별 생산과정

1) 철골가공



- 철골이 유닛의 기초가 된다.
- 라멘구조의 유닛사이즈에 필요한 만큼 철골재가 대형공작기로 자동 절단 된다.
- 고도의 품질관리에 의한 공장생산
- 컴퓨터 제어에 의한 가공기계 작동
- 치수오차 2mm범위내 가공 완성

2) 프레임 조립



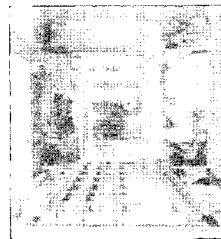
- 프레임의 강도는 용접에 좌우된다.
- 프레임 조립시에는 “spot용접”, “이크용접” 등에 의해 확실하게 강 접합한다.

3) 천장, 바닥조립



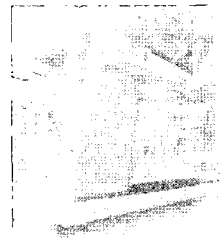
- 로봇에 의한 바닥재 시공
- 바닥 프레임은 철골의 작은 보가 접합된 후 단열재와 파티클보드 (PB)가 설치된다.
- 타정기로 견고하게 고정
- 자동타정기로 높은 정밀도의 품질 관리로 고정된다. 또 천장 프레임에는 2x4목재가 설치되고 여기에 석 고보드가 시공된다.

4) 구조체 조립






- 구조체 조립
- 대형 용접기에 따라 측벽 프레임을 조립하여 유닛 구조체가 완성된다.
- 8곳의 유닛 모서리를 견고하게 용접한다.
- 조립 후 이 단계에서 배선작업까지 완료하기 때문에 작업에 낭비가 발생하지 않는다.

5) 외벽 설치



- 볼트로 직접 접합
- 완성된 유닛 구조체에 외벽을 설치 한다.
- 반송기로 유닛까지 운반된 외벽체 패널은 볼트로 직접 구조체에 접합 한다.
- 고객별로 관리된다.
- 외벽체는 모두 공장내에 고객별로 관리되므로 미리 치수가 맞춰진다.

<p>6) 간막이벽 설치</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 두께 100 mm 단열재 설치-유닛 내측 벽에는 두께 100 mm 단열재를 채운 후 내벽 보드를 설치한다. 또 이 단계에서 고객의 Plar에 맞춘 간막이벽도 설치된다. • 수주생산-유닛 생산을 모두 사전에 주문 된 수주 생산이므로 불필요한 자재의 낭비가 없다. - 3R의 특성 반영
<p>7) 설비, 창호설치</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템키친 설치-서브라인에서 조립된 계단과 욕실 유닛, 키친 유닛과 수납 등 설치 • 공장마감 단계 - 내부마감단계에서는 기능공이 직접 설비에 맞는 배선, 배관공사를 한다.
<p>8) 유닛의 완성</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 검사항목 200여가지 이상 실시 - 전체 작업이 끝나면 조립된 유닛은 전문 검사요원이 면밀한 체크가 이루어진다. - 200개 체크리스트가 미리 준비되어 적용 • 방수시트로 포장 출하-엄격한 검사를 통과한 유닛은 건축 현장에서 사용할 부자재와 함께 3중 방수시트로 포장되어 출하된다. - 이 단계에서 필요한 부재만 출하되므로 현장 내 쓰레기 발생이 적어진다.
<p>9) 현장으로 운반</p>	

IV. 유닛모듈주택의 공장생산사례 2 (미국)

1. 개요

미국의 유닛 모듈라는 2개의 유닛으로 1개 개인 주호가 완성되기 때문에 상대적으로 큰 유닛으로 생산되고 있다. 공장생산 되는 점은 일본과 동일하며, 유닛속에 각종 간막이벽, 창호, 전기 및 기계설비, 내장 및 외장 등이 모두 공장조립되고 있다. 주로 단층구조로 생산되는 특징이 있으며, 미국 전역에 이러한 공장생산 유닛모듈라 주택건설공장이 중소규모로 수십개에 이르고 있다. 생산공장별로 컴퓨터에 의한 설계정보의 관리, 듀벨 접합에 의한 조인트결합, 외주에 의존하기 보다는 유닛공장내 창호, 간막이벽, 부엌기구 등을 공장별로 자체 생산하고 있다. 그림 4와 같이 일본의 유닛모듈라에 비해 단순한 구법을 채택

하고 있으며, 자동화 생산라인이라기보다는 수작업에 의한 소량반자동 생산체제에 의존하고 있다. 일본의 경우 1개 주택에 10여개의 유닛이 적용되고 있는 반면 미국은 용마루 방향으로 2개의 유닛으로 분절되어 공장에서 제작되고 현장에서는 이들 2개의 유닛으로 조립하는 단순한 공정으로 건축되고 있으나, 한국과 일본과 같은 협소하도로와 도로교통법으로 인한 유닛의 크기가 제한되는지역은 생산이 어려운 공법적 특징을 갖고 있다.

2. 미국 유닛모듈 공장생산 특징

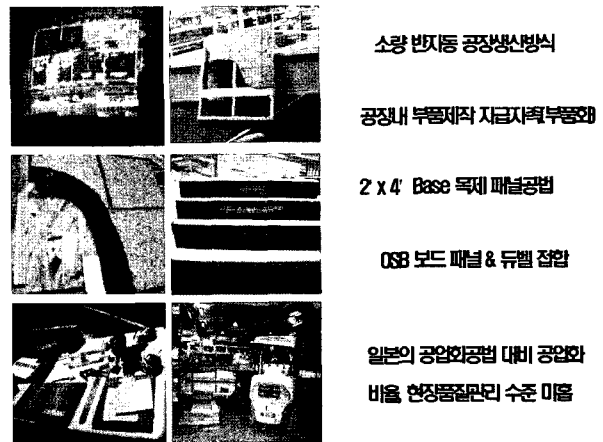


그림 3. 미국 유닛모듈라 주택의 생산 특징

3. 공장생산 순서

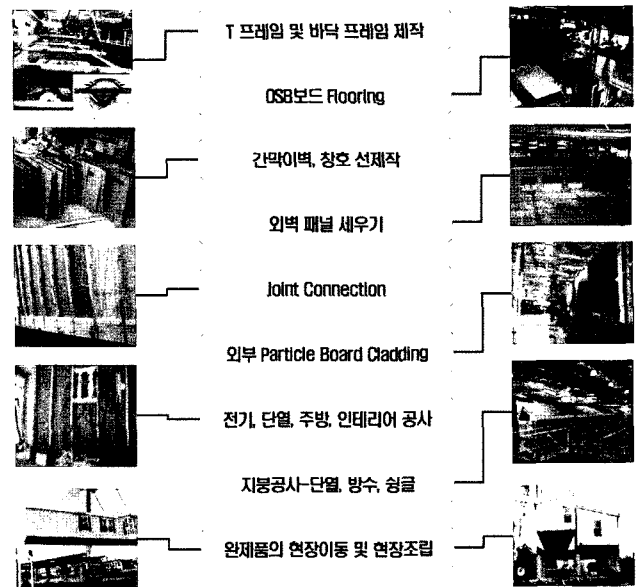


그림 4. 미국 유닛모듈라 주택의 공장생산 process

V. 유닛모듈주택의 공장생산사례 3 (유럽)

1. 개요

유럽에서는 영국이 가장 많은 유닛모듈라 주택의 건설 실적을 보유하고 있다. 영국에서는 1990년대 말부터 유닛

모듈에 대한 연구가 시작되었으며, 모듈 개념의 도입 배경으로 건설 산업의 환경변화, 즉 에너지 절감, 재활용과 재사용, 이산화탄소의 저감, 건설폐기물 저감 방안, 노무 및 인건비의 상승으로 인해 양질의 주택을 경제적으로 건설하는 것이 점차 어려워지고 있어, 기존의 프리캐브 공법을 이용, “유닛 모듈”이라는 시스템에 기반한 현대적 주거공간을 설계하고자 한다.

영국에서는 구조체의 경우 아연도금강판을 이용한 스틸스터드 단면 형상을 적용하고 있으며 두께는 1.2-2.4 mm로 제작되고 있다. C형강 단면 크기는 65-300 mm로 다양하며 아연도금강판의 강도는 S280-S390을 사용하고 있다. 영국의 유닛모듈라 공법은 기둥과 보의 접합 형상에 스틸스터드를 이용한 내력벽체와의 복합구조시스템으로서 현장시공에 비해 경제성이 증대되나 국내와 같이 국가적 차원의 표준화 추진은 미흡한 상태이다.

영국에서 순수하게 경량형강을 이용한 것은 7층 규모가 최대이며, 그림 5-그림 10에서 보여주고 있는 바와 같이 유닛모듈은 미국과 같이 한 모듈의 크기가 상당히 크기 때문에(폭 4.2m, 길이 8m 이상) 주로 야간에 이동이 가능하다. 현장에서는 하루에 10개 정도의 모듈 시공이 가능한데, 이는 모듈 구조체의 크기가 일본의 모듈 크기보다 상대적으로 크기 때문이다. 영국에서는 최근 코어 스타일을 이용하여 맨체스터에 9층 규모로 시공한 사례가 있고, 기타 중저층 이하 규모로 간호사를 위한 임대주택이나 군인 등 특수 직업군을 위한 주거의 공간으로 활용하기 위해 시공된 사례가 다수 있다.

2. 유닛모듈라 주택의 특성

1) 유닛 모듈라 시스템의 구조 일반

① 각 유닛 설계시 적용하는 하중 및 설계법

전용 해석 및 설계 프로그램이 작성되어 사용되지는 않고 있으며, 일반적인 구조해석 및 설계 프로그램을 이용하여 수행하고 있다. 즉, 특별히 모듈이 적층되는 시스템으로 전제하여 설계하는 하는 것이 아니라 일반적인 내력벽의 시스템으로 전제하고 이를 해석, 설계하고 있다.

규모가 작은 건물은 구조, 설계 부분을 모두 총괄적으로 처리하는데, 이때 제작업체의 자료도움을 받아 처리한다. 그러나 일반적인 일 처리과정은 구조 엔지니어가 전담하여 수행한다.

② 구조재의 단면 크기와 내외장의 치수에 따른 오차의 수렴 방법

공장에서 작업자들이 상황에 따라 발생하는 오차를 즉시 수렴하는 방식을 채택하고 있다. 일본과 같이 대규모의 공장생산 방식이 아니기 때문에 생산 공장에서 발생하는 오차는 현장에서 바로 처리하고, 현장 조립시 발생하는 문제는 현장 작업시 처리하여 오차를 수렴하는 방식을 채택하고 있다.

국내에서 철골조 유닛 모듈라 시스템 주택을 현장 적용한다면, 우선적으로 초창기에는 수작업에 의한 공장생

산 및 현장조립 방식을 채택할 경우, 이러한 부분에 대한 상호간의 기술적 경험을 공유하는 네트워크를 구축할 필요가 있다.

2) 유닛 모듈러간 접합부

① 유닛 모듈러간 접합방식 및 안전성/거주성 확보 방안
영국의 유닛 모듈의 구조적 특징으로 스틸스터드를 조립한 내력벽 시스템을 채택하고 있어 유닛 모듈간 수평 및 수직접합부 처리는 바닥시스템과의 긴결을 통하지 않고 유닛 모듈의 네모서리에 공장에서 이미 용접 제작된 앵글형 단면의 좌우면에 볼트를 이용하여 접합부를 처리하고 있다.

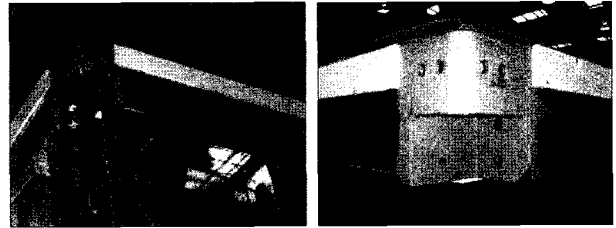


그림 5. 유닛모듈의 모서리 상세부위

② 작탈이 자유로운 접합방식의 상세와 상용화 정도
볼트 체결 및 나사 긴결 방식을 사용하고 용접 등의 방식은 피하고 있다. 일반적인 내용은 구조전문가가 담당하여 해결하는 것을 원칙으로 하고, 강구조물 설계에서 사용하고 있는 접합방식을 이용하고 있다.

③ 바닥 앵커(기초)와의 일체성 및 구조적 안전성 확보 방안

기존 구조물 또는 바닥 슬래브 및 기초와의 일체성을 확보하기 위해 기존 구조물에 설치되어 있는 형강보 위에 유닛 모듈을 적치하고 이의 긴결을 위해 앵커 볼트를 활용한다.

3. 유닛모듈라 주택의 공장생산순서

1) 자재 반입 및 절단

소요 자재가 공장 내에 반입이 되면 주요 소재인 스틸스터드를 공정에 맞추어 절단하고 나사못을 이용하여 패널을 조립시공한다<그림 6 참조>.

2) 패널 조립 및 마감

이미 조립된 패널을 이용하여 내부에 단열재를 삽입한



그림 6. 자재반입 및 절단

이후 외부 마감재인 석고보드나 OSB 합판을 이용하여 최종적인 내력벽체를 생산한다<그림 7 참조>.

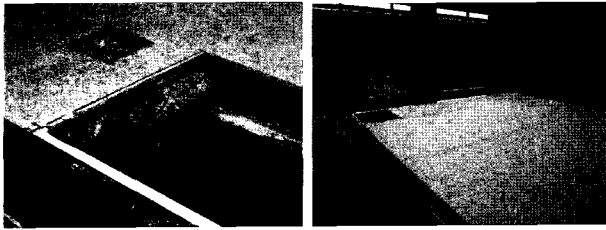


그림 7. 내력벽체 조립 및 마감

3) 유닛 모듈화 조립 공정

단일 소재가 조립되어 내력 패널을 형성하고 외부 마감재 부착 공정이 완료되면 비로소 단위 유닛 모듈로 구조체를 형성하게 된다. 이때 유닛 모듈의 내모서리에는 상부측에 고정 및 양중용 볼트가 설치되고 하단부에는 유닛간 모듈 고정용 앵글이 장착된다<그림 8 참조>.

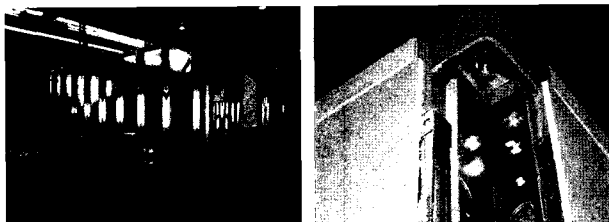


그림 8. 유닛모듈 조립

4) 내부 부품의 설치

유닛 모듈 내부의 부품의 설치하는 유닛 모듈 골조가 완공되고 내부 마감이 완료된 시점에서 필요한 냉난방 설비와 화장실과 같은 부품설치가 이루어진다<그림 9 참조>.



그림 9. 내부 부품 설치

5) 야적 실태 및 검사와 운송

일반적으로 사용하고 있는 유닛 모듈의 크기로 폭*길이*높이는 4~4.5*8~12*4 m인 것을 사용하고 있으나, 운송시 도로폭 및 통과 제한 높이 등으로 인해 폭 4.2를 최대 크기로 제한하고 있다.

또한, 현장 운반시 교통량이 많은 낮시간 보다는 유닛 모듈의 폭이 1차도로의 폭보다 크기 때문에 교통량이 거

의 없는 새벽시간을 이용하여 시공현장으로 운송하는 것으로 파악되었다.



그림 10. 야적 및 검사

VI. 유닛모듈주택의 공장생산사례 4 (한국)

국내의 경우 국책사업의 일환으로서 유닛모듈라 주택 시범사업을 시행하였으며, Pilot Project를 수행한 실적이 있다. 대량생산체제가 갖추어지지 않아, 수작업으로 14개의 유닛을 공장 제작하였다.

안산의 K사에서 생산된 국내 철골 유닛모듈라 주택의 공장 생산 순서는 다음 <그림 11>과 같다.

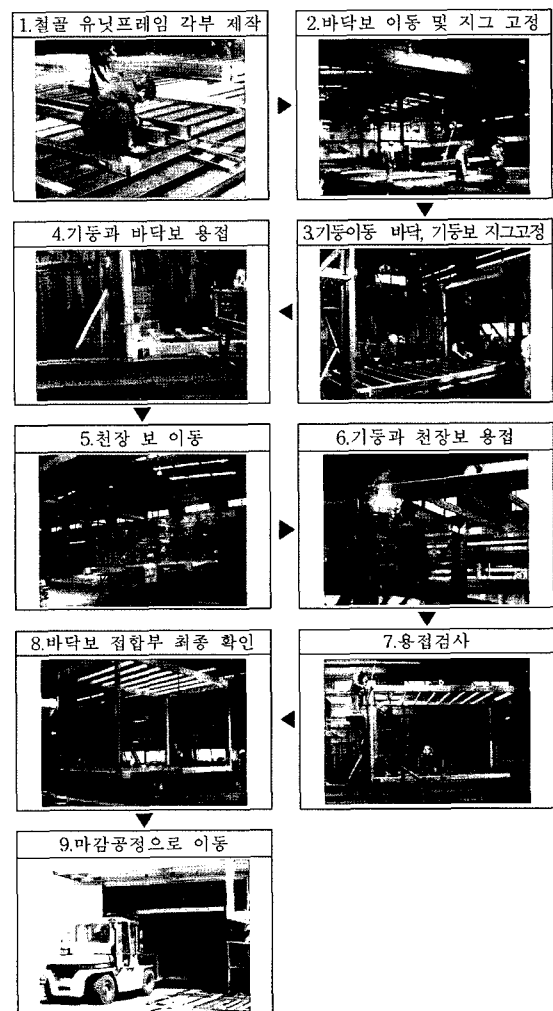


그림 11. 한국의 유닛모듈라 주택 공장 생산 process

7. 한국, 미국, 일본, 유럽의 유닛모듈라 주택생산비교

본 연구에서는 유럽 및 미국과 일본의 유닛모듈라 주택 건설의 현황과 비교를 통하여 우리의 실정에 맞는 유닛 모듈라주택의 모델을 개발하는데 목적이 있다.

기본적으로 미국의 유닛모듈라 주택은 대규모 모듈유닛을 바탕으로 1개 주호를 중방향으로 2개의 모듈유닛으로 구분하여 폭 4m, 길이 20여 m의 모듈유닛을 공장에서 제작하고 있다. 반면 일본의 경우에는 상대적으로 작은 특정 유닛모듈을 450모듈이라는 치수체계로서 제작하여 이를 상호 조합하는 방법으로, 미국에 비하여 접합부에 대한 디테일이나 현장에서의 프리패브올도 상대적으로 높은 것으로 파악된다.

미국의 경우에는 도로교통법상에서 예외적인 조항이 있어 일본보다 훨씬 큰 규모의 유닛으로 생산공급 할 수 있는 것으로 보인다. 그러나 시공의 효율성으로 본다면 일본의 경우에도 오전 중에 1개 주호를 조립하는 것으로 나타나 대규모의 모듈을 조합하는 미국의 유닛모듈라에 비하여 생산성측면에서 떨어지지 않는 효율성을 보이는 것으로 나타났다.

특히 바닥이나 벽 마감재에 대한 프리패브화율이나 유닛 간의 수평접합에 대한 시공의 정밀성은 일본의 모듈라가 상대적으로 우수한 것으로 보이며, 현장 기능공의 시스템화된 공정관리나 시공수준도 보다 우위에 있는 것으로 판단된다.

한편 유럽의 경우에는 일본과 같은 완전 자동방식이 운영되고 있지만 공법적으로는 내력벽 방식과 라멘조 방식이 모두 사용되고 있다.

유닛 모듈라의 역사를 본다면 모두 30여년이 경과된 상태에서 유사한 기술경험을 보이고 있지만 국가적 문화나 건설 환경의 유사성으로 인하여 우리의 유닛모듈라의 모델은 일본의 유닛모듈라에 많은 유사점을 갖게 될 것으로 판단된다. 특히 도로가 협소하고 대지의 고저차가 심한 우리의 실정에서 대규모의 유닛모듈을 운반하고 양중하는 것에는 많은 한계를 안고 있다.

그러나 일본의 모듈라 공법을 적용하기 위해서는 많은 초기 자본이 투자되어야 할 것으로 판단되며, 일본은 주로 2층형의 단독주택에 맞추어진 공법내용이지만 우리나라는 공동주택에 대한 선호도가 높고 시공비의 절감을 고려할 때 3-4층의 타운하우스나 다세대 다가구의 주택더 나아가 고층 주거형태로 개량하는 방안이 필요하다.

공장 설비제작의 경우 일본에서도 수십년간의 시행착오를 거쳐서 습득한 기술로서 이를 단기간에 습득하고 이를 정착시키기 위해 단일 연구과제로서 접근할 수 있는 사안이 아닐 것이다. 우리나라는 주택시장이 협소하지만, 선진 유닛모듈라 공법을 체계적으로 받아들일 수 있다는 특징을 살릴 수 있기 때문에 국가적 차원의 Open System을 정립하는 것이 무엇보다도 필요하다.

따라서 향후 유닛모듈라 건축물을 생산하는 업체에게 국가적 차원의 설계기준과 시공기준을 정립하여 이를 공유하는 것이 중요하다.

표 2. 유닛모듈의 비교

	한국	미국	일본	유럽(영국)	
System의 범위	Open System (국가적차원)	Closed System (생산사별 별도의 시스템 보유)	Closed System (생산사별 별도의 시스템 보유)	Closed System (생산사별 별도의 시스템 보유)	
주요 조사방문 지역 및 회사	한국 강원도 평창	미국 플로리다 Bay Aristocrat (Palm Harbor Homes)	일본나라 (Sekeisue Heim)	영국, London (Terrapin Limited)	
조사 기간	2006.6~9	2005.6	2005.6	2006.11	
모듈의 크기	90모듈	특정 모듈 없음	2.7~5.4 m (90모듈) 3.0~6.0 m (50모듈)	특정모듈 없음	
운반방식	주간이동	주간이동 (2차선 점유)	주간이동	야간이동 (2차선 점유)	
주용도	군부대시설, 학교, 주택	단독주택	주택 (단독주택)	군부대시설, 주택 (공동주택 등)	
층수	1~3층	1~2층	1~2층	2~10층	
모듈의 구조, 공법	Space Unit	프리유닛	Space Unit	Space Unit	
유닛의 크기	길이(mm)	3,600(900의 배수길이 증가)	특정규정 없음	3,600(900의 배수길이 증가)	특정규정 없음
	폭(mm)	2,400(1,280)		2,400(1,200)	
	층고(mm) (높이)	3,000		3,000	
공장생산방식	수작업방식	반자동방식	완전자동방식	완전자동방식	
현장생산방식 (Prefab화율)	50%(현재)	80%	70~80%	70%	

VIII. 오픈시스템을 위한 한국형 유닛모듈라 개발

앞에서 조사한 일본과 미국의 공장생산실태조사를 통하여 우리의 실정에 적합한 유닛모듈라 주택의 형태를 제안할 수 있는데, 우리나라의 가장 큰 특징으로는 앞서 <표 2>와 같이 국가적 차원의 오픈시스템이 전제된다. 즉 전체적인 시장이 협소한 우리나라는 일본과 유럽이나 미국에 비하여 오픈시스템의 필요성이 더욱 요구된다.

<표 2>에서와 같이 운반방식이나 모듈 유닛의 크기를 고려한다면 한국형의 방식과 유럽 및 미국의 방식을 비교하는데는 많은 한계를 안고 있다.

이에 본 연구에서는 오픈시스템으로서의 한국과 클로즈드 시스템을 적용하고 있는 일본의 사례를 중심으로 비교하고자 한다. 현재 일본의 유닛하우스의 생산사는 세끼스이하임 뿐만아니라 토요다사가 시장의 대부분을 점유하고 그 외 몇개의 군소회사가 유닛모듈라 주택을 생산하고 있다. 그러나 모듈유닛에서부터 생산사별로 다소 상이한 실정인데, 우선 세끼스이하임사는 450모듈을 사용하면서 길이방향으로 안목치수 2,700, 3,600, 4,500, 5,400 mm의 유닛이 사용되고 있다. 폭 방향은 메인유닛이 안목치수 2,224 mm이고 하프유닛의 경우 1,112 mm의 유닛이 사용되고 있다.

표 3. 한국과 일본의 유닛치수 비교
수평치수(단위: mm)

회사 항목	일본의 세끼스이 하임사		일본의 토요타사		한국형 유닛모듈주택		비고	
	내부	외부	내부	외부	내부	외부		
유닛사 이즈	길이	2,700	2,940	3,000	3,250	2,700	3,000	길이 치수의 경우 900 mm 의 중분 치수로 증가함.
		3,600	3,840	3,500	3,750	3,600	3,900	
		4,500	4,740	4,000	4,250	4,500	4,800	
		5,400	5,640	4,500	4,750	5,400	5,700	
				5,000	5,250			
		5,500	5,750					
		6,000	6,250					
	폭	2,224 (1,112)	2,464 (1,352)	2,250 (1,000)	2,500 (1,250)	2,400 (1,050)	2,700 (1,350)	
기둥 사이즈	100 각형강관		100 각형강관		100 각형강관			
외부와 내부차이 산출내역	240=100강관 × 2 + 내부마감 (외벽패널 두께 제외)		250=100강관 × 2 + 내부마감 (외벽패널 두께 제외)		300=100강관 × 2 + (내부마감, 외벽패널)			
적용계획 모듈	450		500		300			

※()안은 하프유닛의 경우임.

여기서 안목치수와 외부치수와의 차이 240 mm는 유닛의 외부를 구성하는 각형 강관기둥과 내부마감 등을 포함하고 있는 치수이다. 한편 또 다른 대규모 생산사인 토요타사의 경우에는 500모듈을 사용하면서 길이방향 안목치수 3,000, 3,500, 4,000, 4,500, 5,000, 5,500, 6,000 mm의 유닛이 사용되고 있다. 폭 방향은 메인유닛이 안목치수 2,250 mm이고 하프유닛의 경우 1,000 mm의 유닛이 사용되고 있다. 안목치수와 외부치수와의 차이 250 mm는 유닛의 외부를 구성하는 각형 강관기둥과 내부마감 등을 포함하고 있는 벽체의 치수이다. 결국 일본의 세끼스이와 토요타사는 각기 상이한 치수체계를 보이고 있어 클로즈드 시스템을 보이고 있다. 따라서 이들 생산사에 납품하는 각종 자재와 부품의 모듈은 각각 450과 500 mm의 모듈치수체계로 양분되어 납품되고 있는 실정이다.

한편 본 연구를 통해 제안하는 한국형 유닛모듈라 주택은 오픈시스템을 구현하기 위해서는 기존의 주택법의 설계도서작성기준에서 수평계획모듈로서 적용하는 300 mm(3 M)모듈을 활용하여 표 3에서와 같이 길이방향 및 폭 방향 모두 안목치수적용을 원칙으로 일정한 모듈치수를 적용할 필요가 있다.

한편 수직방향의 치수의 경우에도 일본의 경우에는 세끼스이와 토요타사가 유닛모듈의 높이에서 표준화된 치수를 보이고 있지 못하고 있다. 즉 수직치수의 경우, 천장고 2,400 mm를 사용하고 있지만 유닛높이의 경우 세끼스이 하임사는 2,830 mm, 토요타사의 경우에는 2,880 mm로 나타났다.

한국형 유닛모듈라 주택은 오픈시스템을 지향하기 위하여 <표 4>와 같이 주택법의 설계도서 작성기준을 준용하여 층고 3,000 mm와 천장고 2,400 mm를 적용할 필요가 있다.

표 4. 한국과 일본의 유닛치수 비교
수직치수(단위: mm)

회사 항목	세끼스이 하임사 Desio GX		토요타사 Since All		한국형 유닛모듈라 주택		비고	
유닛 높이	2,830		2,880		3,000		외곽 치수 기준	
천장고	2,400		2,400		2,400			
층간 대	바닥 판	199		234		340		유닛하 우스 (안) 은돌출 포함
		파티클보드 15	파티클보드 20	파티클보드 10	온수온돌판 75			
		나무각재 30	나무각재 35	온수온돌판 75	파티클보드 20			
		바닥보 150	바닥보 175	파티클보드 20	나무각재 50			
		조인트 4	조인트 4	바닥보 175	바닥보 175			
천장 판	231		246		260			
	조인트 8.5	조인트 8.5	조인트 8.5	천장보 200				
	천장보 200	천장보 200	천장보 200	나무각재 30				
	나무각재 10	나무각재 18.5	나무각재 18.5	천장재 19	툽 2.5			
	천장재 12.5	천장재 19	천장재 19					

즉 한국형 유닛모듈라 주택의 수평 및 수직계획모듈과 여기에 비롯되는 각종 자재와 부품은 주택법과 한국산업규격(KS)에서 규정하고 있는 치수의 준용을 통하여 표준화된 오픈시스템을 지향하여야 하며, 더 나아가 일반 공동주택에 적용하는 자재와 부품의 규격치수가 그대로 유닛모듈라 주택에 적용할 수 있는 국가적 차원의 오픈시스템의 기반이 선행되어 정립되어야 할 것이다.

IX. 결 론

본 연구에서는 한국과 미국 그리고 유럽 및 일본의 유닛모듈라 주택의 생산 및 시공현황을 조사하고 이에 대한 상호 비교고찰을 통하여 향후 우리나라의 유닛모듈라 주택의 개발과 발전방향을 모색하였다. 현재 우리나라에서 진행되고 있는 실험모델로서의 모듈라 주택은 미국과 유럽 및 일본에서 양산화되고 있는 모듈라 주택과는 많은 차이가 있다. 우리의 유닛모듈라 주택은 보급단계에 있기 때문에, 이들 국가별 생산시스템의 장단점을 면밀하게 조사분석할 수 있으며, 가장 효율적인 생산시스템을 선별하여 우리의 실정에 적합한 시스템으로 소화하는 것이 필요하다. 이를 위하여 국가적 차원에서 약속된 오픈시스템의 토대를 무엇보다도 먼저 구축하고, 생산시는 이를 준용한 후, 그 바탕위에서 국내의 생산사가 자율적이면서 상호 바람직한 기술경쟁이 이루어져야 할 것이다. 우리나라는 미국 등 해외 선진국에 비하여 건설시장의 규모가 협소하고, 인구나 국토의 면적등 제반 환경을 고려한다면 어느 나라보다도 오픈시스템의 필요성은 크다고 할 수 있다. 무분별한 기술이나 생산설비의 도입이 불러올 수 있는 비표준화된 생산시스템은 결국 국가적 차원에서 비효율적인 생산체제를 야기시킬 수 있는 단초를 제

공할 수 있다. 앞으로 통일 후를 대비하는 주택의 모델이나 재난 복구를 위하여 단기적으로 주택을 공급하여야 하는 현 수요상황 앞에서 미국이나 일본의 유닛모듈라 주택을 그대로 수입하기 보다는 우리의 오픈시스템을 바탕으로 한국형 유닛모듈라 주택 개발이 무엇보다도 선행되어야 할 것이다.

2. 임석호(2004), 한국형유닛하우스의 모듈정합설계기준연구, 대한건축 학회 춘계학술발표대회.
3. 임석호(2006), 부품 및 유닛 DB를 이용한 유닛모듈라 주택의 설계 자동화 연구, 한국주거학회 논문집.
4. 한국건설기술연구원(2006), 자원순환형 철골조 유닛모듈라 주택개발 연구, 한국건설교통기술평가원.

(接受: 2007. 3. 21)

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원(2002), 리모델링 주택부품인정에 관한 연구, 공공기술연구회.