LHI Journal (2019) 10(3):67-75 http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.067
http://lhi.lh.or.kr

적층식 모듈러주택의 시공 프로세스 분석을 통한 품질관리 중점사항 제안

Suggestions for Quality Management through Analysis of Construction Process of Multi-layer Modular Housing

손정락[1] · 이동건[2] · 방종대[3] · 김진원[4]
Jeong Rak Sohn · Dong Gun Lee · Jong Dae Bang · Jin Won Kim

(Received September 2, 2019 / Revised September 27, 2019 / Accepted October 17, 2019)

ABSTRACT

The modular construction means that more than 70% of the parts such as walls, windows, electrical wiring, facility piping, bathrooms, and kitchen appliances are pre-assembled at the factory and transported to the site. It is possible to shorten the construction period than general construction work and to secure high quality through modular mass production since the modular construction works in the field at the same time as the modular production. However, there are only four domestic modular manufacturers, and each company's modular components and construction methods are different, so it is necessary to standardize them. Therefore, this study investigated the construction process centering on the stacking method of modular housing construction work applied to D site in Cheonan-si, and proposed the key points of quality management by construction stage. As the project was conducted as a pilot project for government R&D projects, some differences may occur from general modular housing construction. However, the construction process and quality control focus of each unit box type modular house analyzed in this study can be used as basic data in the future of modular housing construction. In addition, the results of this study can be used to establish construction standards, such as the development of checklists and establishment of standard processes.

Key words: Modular Housing(모듈러주택), Multi-layer Modular(적층식 모듈러), Quality management(품질관리), Housing Construction(주택건설공사)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 1인 또는 2인 가구의 증가에 따라 고령자, 사회초년생, 신혼부부 등을 위한 공공임대주택 수요가 증가하고 있다. 하지만 도심지의 주택의 공급여건은 택지부족, 건설비 상승, 도심 임대료 급증, 임대주택에 대한 수요층 변화 등으로 공공임대주택의 공급방식에 대한 변화가 필요한 실정이다(김진성 등, 2009). 이에 따라 정부에서는 소규모택지를 활용하고, 공기단축을 통한 주택의 적기 공급을 위해 모듈러 공법을 적용하여 도심지에 소규모 임대주택을 공급하고 있다. 지난 2017년에는 한국토지주택공사가 부산광역시 용호동에 4층 규모 14호 다세대주택을 공급하였고, 같은 해 12월에는 서울주택도시공사가 서울특별시 가양동에 6층 규모 30호 공동주택을 공급하였다.

모듈러 공법을 적용한 주택 건설공사는 터파기, 기초, 지하 및 지상 구조물 공사와 모듈러 공장제작을 동시에 진행할 수 있어 전체 공사기간을 단축시킬 수 있다. 뿐만 아니라 모듈러 공법은 유닛의 대량생산을 통한 원가절감 및 고품질 확보, 도심지 소규모택지 활용 가능, 필요에 따라 이축 및 증축 가능 등 다양한 측면에서 장점을 가지고 있다. 하지만 국내에서 모듈러주택은 아직까지 공급사례가 많지 않으며,

1) 토지주택연구원 연구위원(주저자: jrsohn@lh.or.kr)
2) 토지주택연구원 책임연구원(dk418@lh.or.kr)
3) 토지주택연구원 선임연구위원(jdbang@lh.or.kr)
4) 토지주택연구원 연구원(교신저자: jw-kim@lh.or.kr)

모듈러 제작업체별 공업화주택 인정범위가 서로 달라 모듈러 구성재료 및 시공방법 등이 표준화되어 있지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 모듈러주택 건설공사의 기획 및 설계단계에서 품질을 확보할 수 있도록 모듈러 공장제작, 현장조립, 현장마감 단계에 발생하는 주요 문제점을 파악하고, 품질관리 중점사항을 도출하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 지난 2019년 6월 천안시에 준공된 D현장의 모듈러주택 건설공사의 적층식 공법을 대상으로 수행하였다. 연구의 범위는 터파기, 기초, 지하 및 지상 골조공사 등 비모듈러 부문을 제외한 적층식 모듈러의 공장제작, 현장조립, 현장마감 등 모듈러 부문의 공사단계로 설정하였다. 모듈러 공사단계별 시공 프로세스는 설계도서 및 작업일보 검토와 시공단계별 모니터링을 통해 조사하였다. 그리고 품질관리 중점사항은 모듈러 공사에서 발생하는 시공오차, 공기지연, 공종 간의 작업간섭, 기타 요인 등의 분석 및 공사관리 책임자와의 인터뷰를 통해 도출하였다. 본 연구의 세부적인 수행절차는 다음과 같다.

(1) 모듈러 공법의 개요에 대한 고찰을 실시하고, 모듈러 공사의 품질관련 선행연구를 파악하였다.

(2) 천안시 D현장의 공사개요를 파악하고, 적층식 공법의 공사추진 계획을 파악하였다.

(3) 적층식 공법의 공사단계별 프로세스를 조사하고, 공사관리상의 주요 문제점을 파악하였다.

(4) 공사관리 책임자와의 인터뷰를 통해 적층식 공법의 공사단계별 품질관리 중점사항을 도출하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 모듈러 공법의 개요

모듈러 공법은 유닛 구조체에 벽체와 창호, 전기 배선, 설비 배관, 욕실, 주방기구 등 70% 이상의 부품을 공장에서 선 조립하여 현장으로 운송 후 조립하는 공법으로 Table 1과 같이 유닛박스형, 패널라이징, 인필 공법으로 분류할 수 있다. 유닛박스형 공법은 공장에서 철강재로 구조체를 제작하고, 바닥판 설치, 벽체 및 천장 판넬, 전기 및 설비, 내·외부 마감재 등의 작업을 공장에서 실시한 후 현장으로 운송하여 수평 및 수직으로 적층하여 조립하는 공법이다. 패널라이징 공법은 설계단계에서 구조계산을 통해 자재의 종류, 크기, 수량 등을 결정하여 주요구조부재 및 판넬을 공장에서 생산하고, 현장으로 반입하여 각 부재를 조립하는 공법을 의미한다. 마지막으로 인필 공법은 공장에서 단층형 유닛모듈을 제작하여 현장으로 운송 후, 철골 또는 철근콘크리트 구조물에 유닛모듈을 삽입하는 공법이라 정의할 수 있다.

Table 1. Type of the modular system

classification	Unit box type	Panelizing	Infill
factory production rate	80%	50%	80%
construction period reduction rate	50%	30%	50%
subject of application	middle and low-rise	low-rise	high-rise

본 연구에서 정의한 적층식 모듈러주택은 유닛박스형 모듈러를 공장에서 제작한 후 현장으로 운송하여 레고블록 형태로 쌓아올려 완성되는 주택이라 할 수 있다. 이 공법은 공장제작율이 약 80% 정도로 일반 건축공사보다 공사기간을 단축할 수 있는 장점이 있으며, 중저층 및 고층에 적용할 수 있어 다세대 또는 공동주택 등에 적용이 가능하다. 하지만, 적층식 모듈러 공법은 모듈러 하부의 기초 및 지하층 등의 습식공사가 선행되어야 하며, 모듈러와 비모듈러 접합부위에 대한 품질확보가 중요하므로 설계단계에서 공정 및 품질 등을 종합적으로 고려하여 설계도서가 완성되어야 할 것으로 판단된다.

2.2 모듈러 공법의 개발동향

모듈러주택은 주택법 제51조에 의거하여 주요 구조부의 전부 또는 일부, 세대별 주거 공간의 전부 또는 일부를 국토교통부령으로 정하는 성능기준 및 생산기준에 따라 맞춤식 등 공업화 공법으로 건설하는 주택을 의미한다. 국내 공업화 공법 관련 기술개발은 1990년대 초 프리캐스트 콘크리트(PC) 공법이 아파트 건설에 도입되었으나, 설계 엔지니어링 및 시공 기술력 확보 부족으로 큰 성과를 거두지 못하였다(김균태, 2011). 또한, IMF로 인한 주택경기 침체와 경제성 미확보, 부실공사 등으로 인해 공업화 주택에 대한 인식이 개선되지 않음에 따라 대부분의 업체들은 공업화 주택 생산을 포기하였다(문영아 등, 2013). 2000년대에는 국내에서 건설인력 부족, 품질향상, 이동 및 재사용이 가능한 건축물의 필요성 등으로 철골구조 기반의 모듈러 공법 개발에 대한 연구가 진행되었다(조봉호 등, 2007). 2003년에는 서울 신기초등학교 시범사업에 모듈러 공법이 적용되었고, 이후 군대 막사나 학교 기숙사 등 공공시설에 모듈러 공법이 도입되었다. 또한, 2017년에는 정부 주도로 부산 용호동(14호 다세대주택)과 서울 가양동(30호 공동주택) 주택건설 공사에 모듈러 공법이 도입됨에 따라 향후에도 모듈러 공법은 소규모 주택건설 공사에 확대 적용이 가능할 것으로 판단된다.

2.3 모듈러 품질관리 관련 선행연구

국내의 모듈러 건축시장은 영국이나 미국과 같은 해외 선진국에 비해 활성화가 되어있지 않은 실정이며, 모듈러 공법을 적용한 공동주택 건설공사 시장규모는 매우 작은 편이다. 따라서 아직까지 모듈러주택의 품질과 관련하여 진행된 연구는 다소 미흡한 편이라 할 수 있다. 이영호 등(2012)은 모듈러 건축물의 설계품질 향상을 위해 건축물의 공장제작 및 현장시공 단계에서 발생하는 문제점을 도출하여 기본설계 단계에서 고려해야할 주요 검토사항을 제시하였다. 황현준과 정찬우(2016)는 주거시설물의 모듈러 제작품질을 확보하기 위해 기 준공된 4개의 시설물에서 발생하는 하자를 중심으로 모듈러 제작도면을 개선하기 위한 연구를 수행하다. 또한, 전영훈 등(2015)은 국내에 적용사례가 가장 많은 유닛박스형 모듈러주택을 대상으로 인터뷰 조사를 통해 설계품질 향상 방안을 제시하였다. 모듈러 공법의 품질과 관련된 선행연구는 대부분 준공이 완료된 현장을 대상으로 실시하거나, 모듈러 제작업체 관계자와의 인터뷰를 통해 결과를 도출하였다. 따라서 모듈러 공법의 품질관리 관련 선행연구들은 모듈러 제작·조립·마감 단계에서 발생할 수 있는 다양한 문제점들을 개선하는데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 모듈러주택의 공사단계별 모니터링을 통해 시공 프로세스를 조사하고, 주요 문제점 분석을 통한 품질관리 중점사항을 도출하고자 한다.

3. 현장개요 및 모듈러 공사 추진현황

3.1 현장 개요

천안시 D현장의 모듈러주택 건설공사는 비모듈러와 모듈러 공사로 구분된다. 비모듈러 공사는 터파기, 기초, 지하 및 1층 골조공사, 지상층 코어, 인필식 골조공사, 외장공사 등을 포함하고 있으며, 모듈러 공사는 인필식과 적층식 공법이 혼합하여 적용되었다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 유닛박스형 모듈러로 구성되어 있는 적층식 부분을 중심으로 공사단계별 시공 프로세스를 조사하였다. 해당 사업지구는 일반주거지역으로 빌라 촌 사이에 위치하고 있으며, 50m 거리에 초등학교 및 학원들이 밀집해 있어 안전을 고려하여 공사를 수행하였다. 또한, 사업부지 북측에는 8m도로가 위치하고 있으나, 주거지역의 특성상 인근 주민들이 갓길에 차량을 빈번하게 주차하고 있어 모듈러 현장조립을 위한 크레인 배치 및 모듈러 현장반입 시 공기지연 장애요소로 파악되었다. 이밖에도 해당 현장 맞은편 건물에 학원들이 위치하고 있어 학교 하교시간에 다수의 차량이 현장의 주도로를 왕래하였으며, 현장에서 발생하는 소음과 비산먼지 등으로 인해 일부 민원이 발생하였다. 천안시 D현장의 모듈러주택 건설공사 개요는 Table 2와 같이 요약할 수 있다.

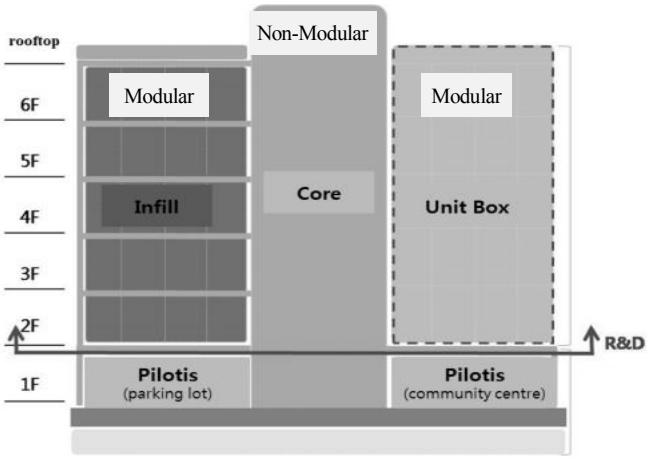


Fig. 1. Construction scope by construction method

Table 2. Construction overview of modular housing

classification	content
types of houses	Rental housing
location	581 Dujeong-dong, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungnam
area	971.20㎡
road Status	North side passing road 8M
construction area	402.16㎡
building coverage ratio	41.41%
total building floor area	1514.55㎡
ratio of floor area to site	155.95%
the number of households	20 units of infill & 20 units of unit box
method of construction	RC & Modular method
number of stories	6F
parking lot	17

3.2 모듈러 공사추진 현황

천안 D현장의 공사추진 프로세스는 Fig. 2와 같이 총 5단계로 구분할 수 있으며, 비모듈러(터파기 및 골조공사)와 모듈러(생산, 조립, 지붕, 외부) 공사를 순차적으로 실시한 후 다시 비모듈러(RC 코어 및 부대공사) 공사 순서로 공사추진 계획을 수립하였다.

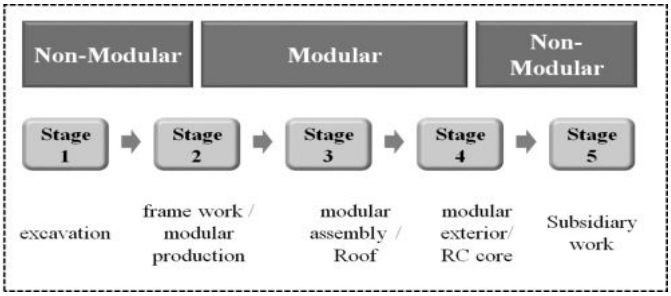


Fig. 2. Step-by-step process of modular housing construction

모듈러 생산 프로세스는 Fig. 3과 같이 9단계로 분류되며, 크게 모듈러 생산준비와 공장생산 단계로 구분할 수 있다. 모듈러 생산준비 단계에서는 제작사양 및 도면접수, 생산요구서 접수, 생산책임자 선정 및 생산계획 수립, 제작계획 수립, 협력업체 선정 및 발주 등의 업무를 수행한다. 모듈러 공장생산 단계에서는 자재 반입 및 승인, 모듈러 생산 및 공정관리, 최종검사, 제품출고 등의 업무를 수행한다.

modular production preparation	production specification and drawings received
	▼
	accept production request
	▼
	selection of directors and production plan
	▼
	establish a modular production plan
	▼
	partner selection and ordering
	▼
modular factory production	material import and approval
	▼
	modular production and process management
	▼
	inspection
	▼
	modular shipment (transportation)

Fig. 3. Modular production process

모듈러는 모듈러 접합부위, 기계/전기/통신 작업을 위한 공용부위 천장마감, 복도 바닥마감 등을 제외한 대다수의 작업이 공장에서 진행되었다. 공장에서 생산이 완료된 모듈러는 너비 3.0m, 길이 10.5m, 높이 3.2m로 주간에는 통행이 불가능하여 야간에 운송을 실시하였다. 또한, 모듈러 운송차량은 현장주변의 임시장소에 대기한 후 현장조립 일정에 맞춰 해당 현장으로 이동하였다.

모듈러 공사는 지상층 코어부분의 공사가 완료된 이후 현장조립 작업을 실시하였으며, 최하층 모듈러가 설치되는 2층 바닥에는 콘크리트 타설 시 앵커볼트를 사전에 매립하였다. 천안시 D현장의 모듈러 양중계획은 Fig. 4와 같이 최하층과 최상층은 1일에 4개의 모듈러를 설치하였고, 기준층에 해당하는 3층 과 4층은 1일에 6개의 모듈러를 설치하였다. 모듈러 현장조립 기간에는 비나 바람 등의 영향을 받지 않아 4일 연속으로 작업이 진행되었다. 모듈러 설치가 완료된 이후에는 지붕트러스 자재를 옥상으로 인양하여 현장에서 지붕구조물과 슬래브 판넬 등을 설치하였고, 마지막으로 지붕바닥에 방수작업을 실시하였다. 모듈러 내부는 공장에서 대부분의 작업이 이루어졌기 때문에 각 모듈 간의 접합부위를 중심으로 일부 마감작업을 실시하였고, 복도 바닥마감, 전기 배선작업, 외부 칼라강판 설치 등 현장에서 수행하는 일부 마감공사를 진행하였다.

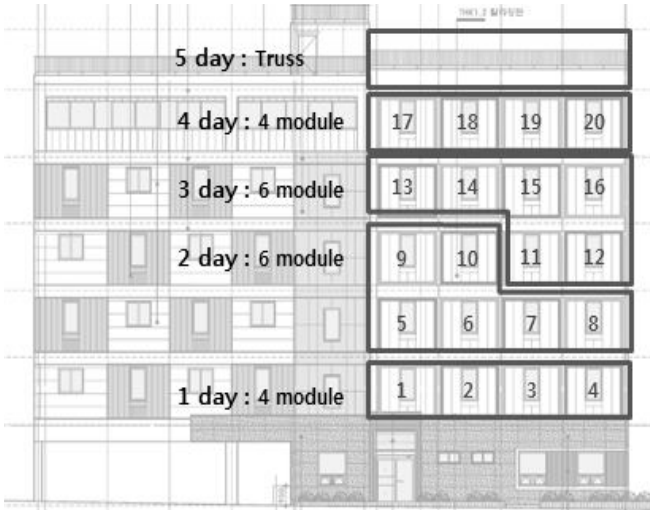


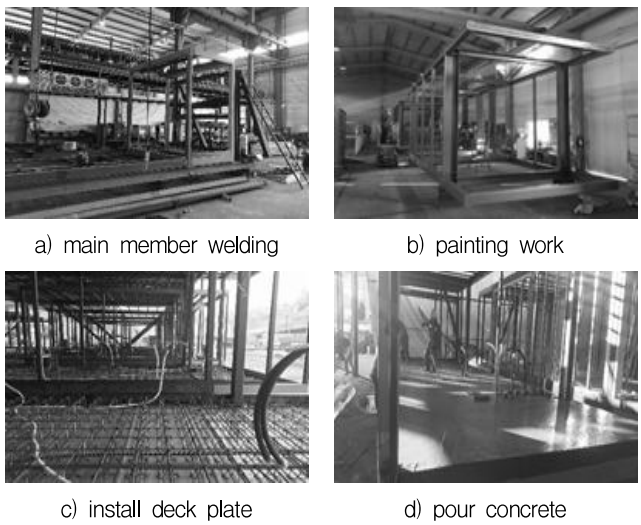
Fig. 4. Lifting plan of unit box type modular

4. 공사단계별 프로세스 및 품질향상 방안

4.1 모듈러 공장제작

모듈러의 공장제작은 해당 프로젝트에 대한 도면검토와 모듈러 제작도면이 완성되고, 주요구조부 자재의 반입 및 가공이 완료된 이후에 작업을 착수한다. 모듈러 공장제작 프로세스는 설계도서 검토 및 공장제작 모니터링을 통해 파악하였으며, 모듈러 제작단계에서 발생하는 주요 문제점이나 공사관리 주요사항 등을 검토하였다.

모듈러의 공장제작은 구조체 제작과 내부 마감공사로 구분할 수 있다. 모듈러 구조체 제작은 Fig. 5와 같이 모듈러 조립지그를 통해 구조부재를 용접하고, 방청 및 내화 도장작업 이후 데크 플레이트 설치, 바닥 철근배근, 콘크리트 타설 및 양생 등의 순서로 이루어졌다.



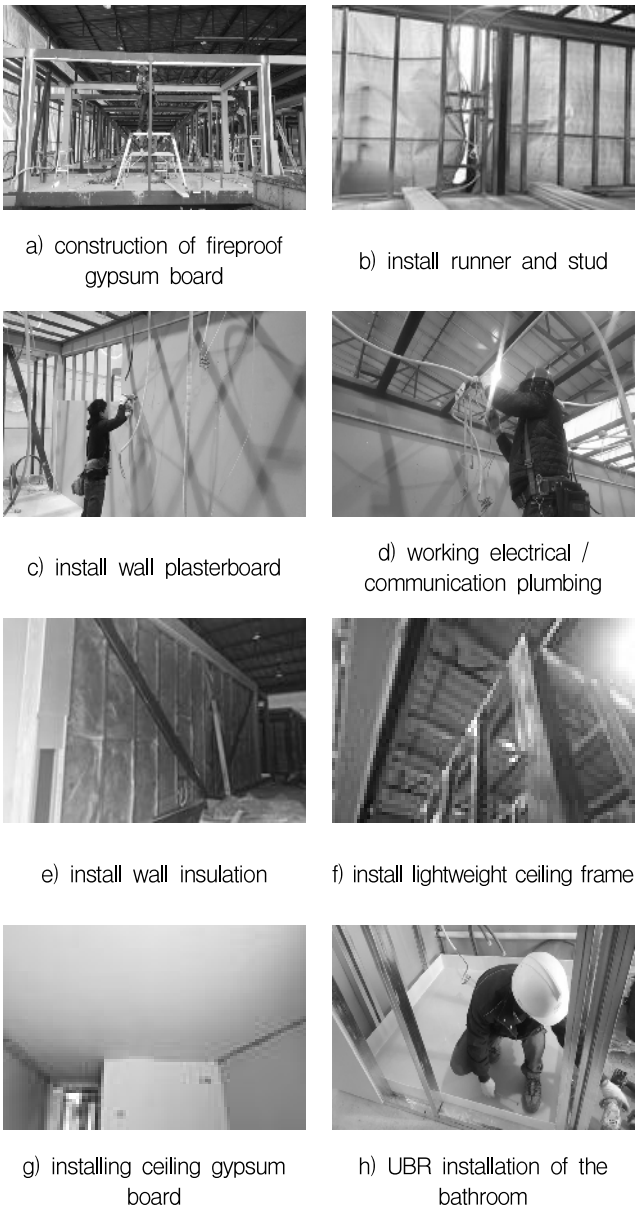
a) main member welding　b) painting work

c) install deck plate　d) pour concrete

Fig. 5. Manufacture structure of unit box type modular

공장에서 수행하는 내부 마감공사는 구조부위 마감, 습식마감, 기타 마감으로 구분되는데, 구조체 제작이 완료되면 모듈러를 트레일러에 상차할 수 있도록 적정한 위치로 이동 신 후 마감작업을 실시하였다.

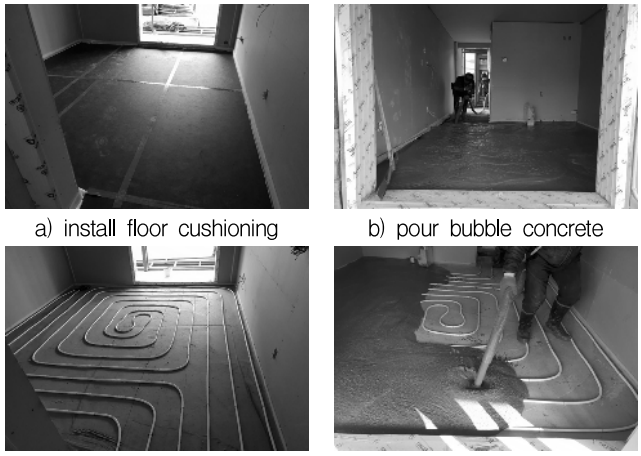
구조부위 마감은 Fig. 6과 같이 모듈러 기둥과 보 부위에 내화 석고보드를 시공하고, 벽체 마감을 위한 런너와 스터드 설치, 석고보드 시공, 전기/통신 배관작업, 단열재, 설치, 경량 천정 공사, 화장실 UBR 설치 등의 작업을 수행하였다. 이 단계에서는 모듈러 구조체가 내화기준을 충족시킬 수 있도록 내화 석고보드의 정밀시공이 필요하나, 모듈러 현장조립 부위는 내화 석고보드를 공장에서 설치할 수 없어 현장마감 단계에서 정밀시공이 필요할 것으로 판단된다.



a) construction of fireproof gypsum board
b) install runner and stud
c) install wall plasterboard
d) working electrical / communication plumbing
e) install wall insulation
f) install lightweight ceiling frame
g) installing ceiling gypsum board
h) UBR installation of the bathroom

Fig. 6. Finishing the structural part of unit box type modular

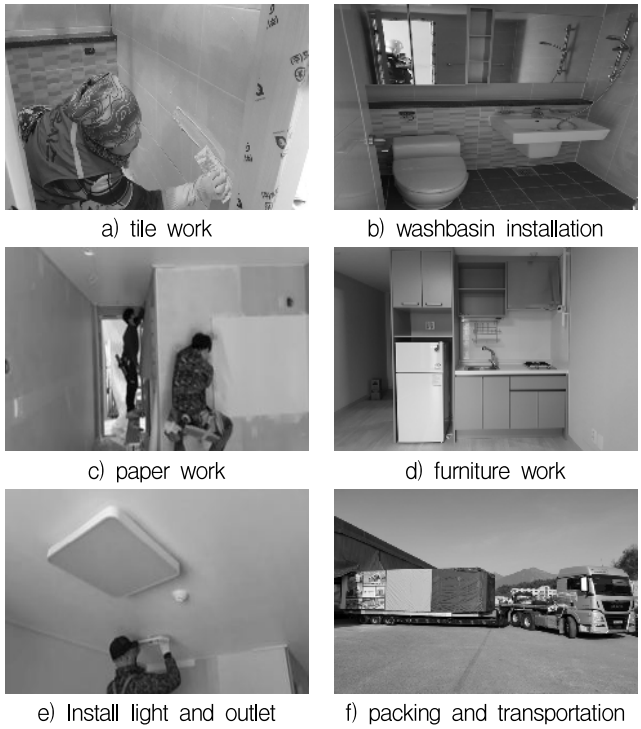
모듈러 습식마감은 Fig. 7과 같이 일반 공동주택의 방바닥 미장공사 작업내용과 대동소이하며, 층간 차음재 깔기, 기포 콘크리트 타설, 바닥 난방배관 설치, 방바닥 모르타르 타설 및 양생 등의 작업을 수행하였다. 이 단계는 일반 공동주택 건설공사의 작업내용과 대동소이하며, 기포 콘크리트 및 몰탈 타설 시 크랙이 발생하지 않도록 양생관리가 중요할 것으로 판단된다.



a) install floor cushioning
b) pour bubble concrete
c)install floor heating piping
d) pour mortar

Fig. 7. Plaster plastering of unit box type modular

모듈러 기타 마감은 Fig. 8과 같이 모듈러 접합부위와 공용부위의 현장시공 부분을 제외한 세대내부의 건축마감 중심으로 작업을 수행하였다.



a) tile work
b) washbasin installation
c) paper work
d) furniture work
e) Install light and outlet
f) packing and transportation

Fig. 8. Other finishes of unit box type modular

주요 단위작업은 화장실 및 발코니 타일시공, 위생도기 설치, 벽체 및 천장 도배, 신발장 및 주방가구 설치, 전등 및 콘센트 설치 등이 있으며, 모듈러 제작이 완료되면 보양을 실시하여 현장으로 운반을 하였다. 이 단계에서는 모듈러 구조체의 자재수급 지연뿐만 아니라 일부 마감자재의 납품지연 등으로 모듈러 현장반입 일정이 지연됨에 따라 공장에서 수행해야 하는 외부 마감작업이 완료되지 않은 상태로 모듈러를 현장으로 운송하였다. 따라서 공정계획 수립 시 모듈러 공장제작에 소요되는 기간을 적정하게 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4.2 모듈러 현장조립

모듈러 현장조립은 베이스 플레이트 설치와 모듈러 적층 단계로 구분할 수 있다. 모듈러 현장조립 프로세스는 베이스 플레이트 설치부터 지붕 트러스 현장조립이 완료되는 시점까지 직접 모니터링을 실시하여 세부내용을 파악하였다. 최하층 모듈러와 철근콘크리트 구조물과의 접합을 위해 설치하는 베이스 플레이트는 1층 필로티 상부의 기둥 및 보 철근이 교차되는 부위에 설치하였다. 베이스 플레이트를 설치하는 시공 프로세스는 Fig. 9와 같이 철근배근이 완료된 이후 앵커 고정용 플레이트 설치, 앵커볼트 설치, 콘크리트 타설, 베이트 플레이트면 바탕정리, 베이스 플레이트 레벨확인, 무수축 모르타르 타설 및 양생 순서로 이루어졌다.

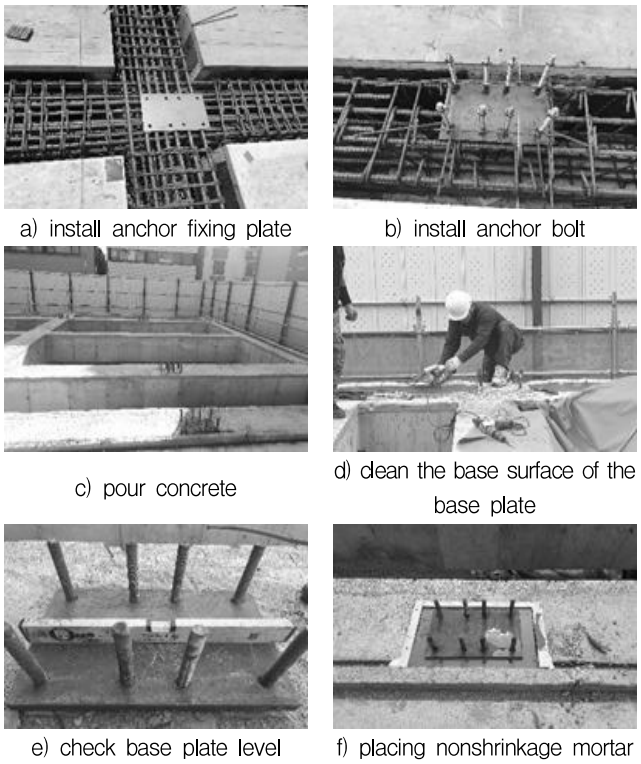


Fig. 9. Construction process of base plate

이 단계에서는 최하층 모듈러가 설치되는 부위의 설계도서에 일부 오류가 발생하여 슬래브 거푸집 및 철근 작업을 일부 재시공하였다. 따라서 콘크리트 구조물과 최하층 모듈러 접합부의 고정을 위한 앵커볼트 설치가 다소 지연되었으나, 해당 현장은 1층 필로티 공사뿐만 아니라 지상층 코어공사가 선행된 이후에 모듈러 현장조립을 수행하므로 전체 공정에 영향은 미치지 않는 것으로 나타났다. 하지만, 코어부분도 모듈러로 구성되는 경우에는 공사기간이 영향을 미칠 수 있으므로 공사준비 기간에 철저한 설계검토가 필요할 것으로 판단된다. 앵커볼트 시공 위치는 기둥과 보가 교차하는 부위와 보의 중간 지점에 설치되며, 1개의 모듈 당 6개의 접합부위로 구성되어 있었는데, 기둥 및 보 철근과 앵커볼트의 시공부위가 겹쳐 작업과정에서 일부 간섭이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 콘크리트 구조물과 모듈러의 접합부위는 BIM 설계를 통해 철근배근 위치와 앵커볼트 시공위치를 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

지상층 코어공사가 완료된 후에는 공장에서 제작한 모듈러를 현장으로 운송하여 현장설치 작업을 실시하였다. 먼저, 모듈러 반입 전 크레인을 설치하고, 모듈러를 수평으로 양중하기 위해 밸런스 빔을 크레인에 고정시켰다. 그리고 최하층 코어부분을 시작으로 양중순서에 따라 모듈러를 반입하여 설치하였다. 모듈러 적층이 완료된 후 트러스 자재를 지붕으로 양중하여 현장에서 작업을 실시하였다. 모듈러 현장조립 세부 프로세스는 Fig. 10, Fig. 11과 같이 정리할 수 있다.

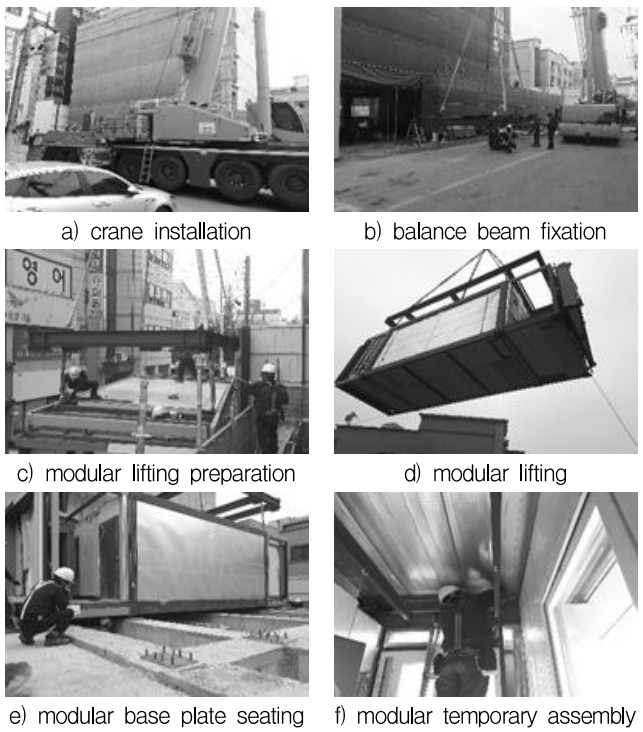
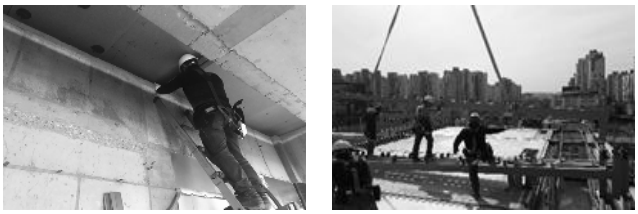


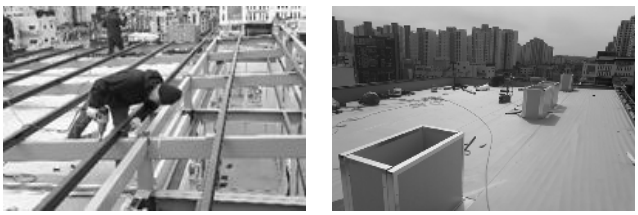
Fig. 10. Assembly process of unit box type modular



g) plate installation for fixing　h) modular plate seating(repeat)



i) tighten modular bolts　j) import and lift of truss materials



k) roof truss assembly and fixing　l) roof panel and waterproof sheet

Fig. 11. Assembly process of unit box type modular

모듈러 현장조립 단계에서는 대다수의 작업이 크레인을 통해 이루어지므로 공장에서 제작한 모듈러 구조체의 수직 및 수평상태 확인, 접합부 Hole 사이즈 및 허용오차 검토, 볼트체결에 대한 접합강도 확보, 안전관리 계획 수립 등을 사전에 검토해야 한다. 또한, 우천 등으로 인해 모듈러 내부 마감재가 훼손되지 않도록 조치해야 한다. 해당 현장에서는 전반적으로 모듈러 구조체의 품질이 양호하여 20개의 모듈을 적층하여 고정하는데 큰 어려움이 없었으며, 해당 기간에 기상상태도 양호하여 4일간 연속으로 작업이 진행되었다. 하지만, 모듈러 접합부의 볼트체결이 기능공의 수작업에 의해 진행되었기 때문에 볼트체결 강도를 균일하게 유지하는데 다소 한계가 있을 것으로 판단된다.

4.3 모듈러 현장마감

모듈러 현장마감은 전용 및 공용 부위로 구분할 수 있으며, 모듈러 본 조립이 완료된 이후 지붕공사와 동시에 작업이 진행되었다. 모듈러 현장마감 주요 작업내용은 모듈러 현장조립과 동일하게 공사 완료시점까지 직접 모니터링을 실시하여 세부내용을 파악하였다. 전용부위의 현장마감 단위작업은 Fig. 12와 같이 현관 출입구의 단열 및 도배 공사, 발코니의 천장 및 설비배관, 에어컨 실외기실 설치 등이 있다. 현관 출입구의 단열 및 도배는 공장에서 실시하도록 계획되어 있었으나, 마감자재 납품 일정이 일부 지연되어 현장에서 작업을 실시하였다.



a) insulation and papering of the entrance　b) lightweight ceiling work on the balcony



c) plumbing installation in the balcony　d) outdoor unit installation of air conditioner

Fig. 12. Internal finish of unit box type modular

공용부위의 현장마감 단위작업은 Fig. 13과 같이 모듈러 접합부위의 판넬시공, 복도 전기/통신 배선, 복도 천장 및 바닥 마감, 외부 칼라강판 설치 등이 있다. 외부 칼라강판은 공장에서 대부분의 작업이 진행되고, 모듈러 접합부 일부만 현장에서 시공하도록 계획되어 있었다. 하지만, 칼라강판 제작업체의 자재생산 및 납품지연으로 공장에서 약 40% 정도만 부착된 상태로 현장에 반입되어 현장에서 수행하는 작업량이 다소 증가한 것으로 나타났다.



a) finishing wall panels　b) electrical / communication and ceiling finishing



c) floor finishing　d) color steel work on the modular joints

Fig. 13. Common part finish of unit box type modular

4.4 모듈러 공사의 품질관리 중점사항 도출

일반적으로 모듈러 공법을 적용한 건설공사는 공장의 대량생산을 통한 공기단축 및 고품질 확보 등의 장점이 있다. 하지만 아직까지 국내에서 모듈러주택 시장은 활성화되지 않아 제작업체들이 자동화시스템을 구축하지 못하고 있으며, 모듈러 생산품질은 공장제작 기능공의 숙련도에 따라 현장별로 다르게 나타날 수 있다. 이에 따라 본 절에서는 발주처나 건축주들이 모듈러 공사의 기획 및 설계 단계에서 품질을 확보할 수 있도록 실제 모듈러 시공사례 분석결과를 중심으로 품질관리 중점사항을 제시하고자 한다. 모듈러 공사의 품질관리 중점사항은 모듈러 공장제작, 현장조립, 현장마감 단계로 분류하였으며, 천안시 D현장의 공사 관리상의 문제점과 공사단계별 주요 체크사항 등을 종합적으로 검토하여 Table 3과 같이 도출하였다.

모듈러 공법이 적용된 주택건설공사에 공통적으로 적용할 수 있도록 모듈러 공장제작 단계를 도면검토 및 샵드로잉, 공장제작 계획수립, 모듈러 공장제작 등으로 분류하여 7개의 품질관리 중점사항을 도출하였다. 도면검토 및 샵드로잉 단계에서는 모듈러 접합부위의 Hole 크기 및 위치 검토, 모듈러 접합부위의 시공 상세도 및 방법 검토, 기계/전기/통신 배선 및 배관의 간섭여부 검토 등의 업무를 수행해야 하고, 공장제작 계획수립 단계에서는 현장의 공사추진 일정을 고려하여 모듈러 생산일정을 수립하고, 모듈러의 운송 및 현장조립 단계의 시공성을 고려하여 공장생산 범위를 결정해야 한다. 마지막으로 공장제작 단계에서는 구조체 용접부위의 품질상태를 검토하고, 내화재료의 품질 및 도장두께를 확인해야 한다.

모듈러 현장조립 단계에서는 모듈러가 건물로서의 기능을 충족시킬 수 있어야 하고, 구조적 안전성을 확보할 수 있도록 정밀 시공이 이루어져야 한다. 따라서 모듈러 현장조립은 시공성을 중심으로 모듈러 운송 및 양중 계획수립, 베이스 플레이트 설치, 지상층 모듈러 조립, 지붕층 모듈러 조립 단계로 구분하여 11개의 품질관리 중점사항을 도출하였다. 운송 및 양중 계획수립 단계에서는 날씨, 거리, 시간, 경로 등을 종합적으로 검토하여 모듈러 운송계획을 수립해야 하고, 운송경로에 대한 장애요인 검토 및 강우를 고려한 보양방법 검토가 필요하다. 또한, 모듈러의 중량, 인양높이, 회전반경 등을 고려하여 크레인의 위치를 선정하는 것이 중요하다. 베이스 플레이트 설치 단계에서는 모듈러 현장반입 이전에 앵커볼트 및 플레이트 위치를 확인해야 하고, 베이스 플레이

Table 3. Quality control focus of modular construction

classification		quality control focus
factory production	review and shop drawing	· review the hole size and location of the modular joints · review the construction details and methods of modular joints · review the interference of mechanical, electrical, communication wiring and piping
	factory production planning	· establish modular production schedule in consideration of construction promotion schedule on site · factory production range setting considering modular transport and construction in the field assembly stage
	modular factory production	· review of quality condition of welded structure such as column and beam · check the quality and coating thickness of fireproof coating materials
assembly	transportation and lifting planning	· develop a modular transportation plan by comprehensively reviewing weather, distance, time and route · review the obstacles to the transportation route of the modular and review the modular rehabilitation method considering the rainfall · selecting the proper position of the crane considering the weight of the modular, lifting height, turning radius, etc.
	base plate installation	· position anchor bolts and plates before modular on-site · check the smoothness of base plate and the strength of non-shrink mortar
	ground floor modular assembly	· after modular temporary assembly, check the level between modules · checking bolt tightening strength when modular assembly · check the measures in case of rain during the modular assembly stage
	roof layer modular assembly	· check the position and bolting status of the roof structure · review of durability and required performance of roof panels and waterproof finishes · construction method and quality status of roof waterproofing construction
finishing work	Interior finish	· process planning to avoid interference with other finishing work performed on site · examine whether or not structural deformation or finish material drop out during modular transportation and assembly
	common part finish	· check the fixation of the frame and panel for modular exterior finishing · check for condensation and leakage of modular joints

트의 평활도 및 무수축 몰탈의 강도 등도 확인이 필요하다. 지상층 모듈러 조립 단계에서는 모듈러와 RC 구조물 간의 수직 및 수평 상태, 볼트체결 강도 확보 여부, 갑작스런 우천 발생에 대비할 수 있는 조치사항 등을 확인해야 한다. 그리고 지붕층 모듈러 조립 단계에서는 지붕구조물의 위치 및 볼트 체결 상태, 지붕판넬 및 방수재료의 내구성 및 요구성능, 지붕방수의 시공방법 및 품질상태 등을 검토해야 한다.

모듈러 현장마감 단계에서는 사용자 관점에서 하자가 발생하지 않도록 고품질을 확보할 수 있도록 마감작업을 실시해야 한다. 모듈러 공사는 대다수의 작업이 공장에서 이루어져 현장에서 모듈러 간의 접합을 통해 완성되기 때문에 지붕이나 접합부에서 누수가 발생하지 않도록 철저한 관리 감독이 필요하다. 따라서 모듈러 현장마감 단계는 내부와 공용부 마감작업으로 분류하였으며, 4개의 품질관리 중점사항을 도출하였다. 내부 마감작업은 현장에서 수행하는 다른 마감공종과의 작업 간섭이 발생하지 않도록 공정계획을 수립해야 하고, 모듈러 운송 및 조립 단계에서 구조체의 변형이나 마감자재의 탈락 등이 발생했는지 확인하여 조치하여야 한다. 그리고 공용부위 마감작업은 외부마감을 위한 하지철물 및 외부판넬의 고정상태를 확인하고, 모듈러 접합부위의 결로 및 누수 발생 여부 등을 검토하여야 한다.

이밖에도 모듈러주택 건설공사는 일반 건축공사와 달리 공장과 현장에서 동시작업이 진행되기 때문에 기획 및 설계, 발주 및 계약, 시공 및 유지관리 등 제도적인 측면에서도 품질확보를 위한 각종 기준이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 시사점

본 연구는 모듈러 공법이 적용된 천안시 D현장을 중심으로 적층식 공법에 대한 공사단계별 시공 프로세스와 품질관리 중점사항을 도출하였다. 기존의 모듈러 품질관련 선행연구들은 공사가 완료된 이후 공사관계자 및 모듈러 제작업체와의 인터뷰를 통해 결과를 도출하였기 때문에 시공단계에서 발생하는 문제점을 파악하는데 한계 있다. 이에 본 연구에서는 모듈러 공사단계별 시공 프로세스를 직접 모니터링하여 현장에서 발생하는 공사 관리상의 문제점과 공사단계별 주요 체크사항을 분석하였다.

모듈러 공사의 품질관리 중점사항은 모듈러 공장제작, 현장조립, 현장마감 등 공사단계별로 구분하였다. 하위 체계는 도면검토 및 샵드로잉, 공장제작 계획수립, 모듈러 공장제작, 운송 및 양중계획 수립, 베이스 플레이트 설치, 지상층 모듈러 조립, 지붕층 모듈러 조립, 세대내부 마감, 공용부위 마감 등 공사단계에 따라 9개 공정으로 분류하였으며, 총 22개의 품질관리 중점사항을 도출하였다.

본 연구의 대상 프로젝트는 모듈러 공법을 적용한 조립식 주택의 실증단지 사업으로 진행되었기 때문에 다수의 이해관계자가 프로젝트에 참여함에 따라 의사결정 지연, 설계도서 오류 및 설계변경, 자재수급 지연 등 공사관리 측면에서 일반 모듈러주택 건설공사와 일부 차이점이 발생할 수도 있을 것이다. 하지만, 본 논문에서 분석한 적층식 모듈러주택의 공사단계별 시공 프로세스와 설계단계에서 검토 가능한 모듈러 공사의 품질관리 중점사항은 향후 모듈러주택 건설공사를 수행함에 있어 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 LH의 연구비 지원으로 수행된 “모듈러주택 공정관리 표준화기법 발굴에 관한 연구” 과제의 성과를 기초로 작성하였다.

참고문헌

1. 김균태(2011), “도시형생활주택을 위한 모듈러 주택시공의 타당성 분석”, 「대한건축학회 춘계학술발표대회논문집 구조계」, 31(1): 155~156.
2. 김진성, 김형근, 류국무(2017), “도심지 소규모 모듈러주택 계획특성 연구”, 「대한건축학회 학술발표대회 논문집」, 37(1): 975~976.
3. 문영아, 김미경, 박미정(2013), “주거용 단일유닛 모듈러의 활성화를 위한 국내외 사례연구”, 「대한건축학회논문집 계획계」, 29(10): 65~73.
4. 이영호, 이두헌, 김균태(2012), “유닛모듈러 건축물의 설계 초기 단계에서의 고려사항”, 「한국건설관리학회 논문집」, 13(6): 133~142.
5. 전영훈, 김균태, 이영(2015), “국내 모듈 주택 사례분석을 통한 설계품질 향상방안 연구”, 「대한건축학회논문집 구조계」, 31(6): 23~31.
6. 조봉호, 김홍진, 고광호(2007), “모듈러 건축 시스템의 기술개발 동향 및 적용 사례”, 「한국강구조학회지」, 19(1): 112~119.
7. 황현준, 정찬우(2016), “모듈러 주거시설의 단위유닛 제작품질 확보를 위한 공장제작도서 개선 연구”, 「한국주거학회논문집」, 27(6): 137~144.
8. http://www.law.go.kr/lsSc.do?tabMenuId=tab18&query=%EC%A3%BC%ED%83%9D%EB%B2%95#J51:0