LHI Journal (2019) 10(3):77-87 http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.077
http://lhi.lh.or.kr

인필식 모듈러 공법을 적용한 주택건설공사의 작업분류체계 구축 및 표준 프로세스 제안

Standard Process and Work Breakdown Structure for Housing Construction Projects using Infill Modular System

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

In Korea, the modular construction method was applied to the construction of facilities such as military barracks and school dormitories, beginning with the pilot project of Seoul New Elementary School in 2003. In 2017, public modular houses were supplied to Busan(Yongho-dong) and Seoul(Gayang-dong), and modular housing is expected to continue to be supplied in the future. However, there is no clear construction standard for the modular housing construction yet, and there are few cases where the infill modular system is applied. Therefore, this study established the work breakdown structure and proposed a standard process focusing on the infill modular system applied to the construction of Dujeong-dong modular house in Cheonan. Level 1 of the work breakdown structure by construction stage of Infill modular was defined as modular manufacturing, assembly, and finishing process. Level 2 was defined as preparation, modular production, modular infill, modular fixing, floor plastering, building finishing, and other site finishing. Level 3 is defined as 57 detailed unit work of infill modular construction. The standard process of infill modular is proposed for the assembly stage that is commonly applicable to infill modular housing construction. The results of this study can be used for the process plan, transportation plan, lifting plan of modular housing construction.

Key words: Modular Housing(모듈러주택), Infill System(인필식 공법), Work Breakdown Structure(작업분류체계), Standard Process(표준 프로세스), Housing Construction(주택건설공사)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

모듈러주택은 주요 구조부의 전부 또는 일부, 세대별 주거 공간의 전부 또는 일부(거실, 화장실, 욕조 등 일부로서의 기능이 가능한 단위 공간을 말함)를 국토교통부령으로 정하는 성능기준 및 생산기준에 따라 맞춤식 등 모듈러 공법을 적용하여 건설하는 주택을 의미한다. 모듈러 공법은 모듈러 공장제작과 현장의 골조공사를 동시에 진행할 수 있어 일반 건축공사 대비 공기를 단축시킬 수 있다. 또한, 고품질 달성, 경제성, 경량화, 친환경성, 이동 및 재사용 가능, 현장 기능인력의 감소, 안전성, 유지관리 편리성 등의 장점이 있다(조봉호 등, 2007). 하지만, 국내의 모듈러주택 시장은 규모가 작아 일반 RC공사보다 공사비가 비싸고, 조립식 주택에 대한 선입견, 거주 성능에 대한 신뢰부족 등으로 아직 활성화 단계에 접어들지 못하고 있는 실정이다.

국내에 모듈러 공법이 도입된 시기를 살펴보면, 2003년 서울 신기초등학교 시범사업을 시작으로 군대막사나 학교 기숙사 등 공공시설에 모듈러 공법이 적용되었다. 그리고 지난 2017년 8월에는 부산광역시 용호동에 4층 규모 14호 다세

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)

대주택이 공급되었으며, 같은 해 12월에는 서울특별시 가양동에 6층 규모 30호 공동주택이 공급되었다. 하지만, 아직까지 모듈러주택 건설공사에 대한 명확한 공기산정 기준이 없고, 모듈러주택의 가장 큰 장점이라 할 수 있는 공기단축이 현실적으로 이루어지고 있지 않은 실정이다. 특히, 인필식 모듈러 공법은 구조체가 완성된 이후에 공장에서 제작한 모듈러를 현장에서 인필하는 공법으로 국내 모듈러주택에 적용된 사례가 거의 없는 실정이다. 하지만, 이 공법은 철골 또는 RC 공사를 통해 골조공사가 완료된 이후에 모듈러 공사를 착수하므로 모듈러를 적층하는 방법보다 구조적으로 안정적이고, 고층 건물에 적용할 수 있는 장점이 있다. 이에 본 연구에서는 모듈러주택 건설공사의 인필식 공법을 중심으로 공기산정 기초자료 제공을 위해 모듈러 공장제작· 현장조립· 현장마감의 작업분류체계를 구축하고, 공사단계별 시공프로세스를 조사하여 표준 프로세스를 제안하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 인필식 모듈러 공법에 대한 작업분류체계 구축과 표준 프로세스 제안을 위해 이 공법이 적용된 천안시 D현장을 중심으로 연구를 수행하였다. 작업분류체계는 크게 모듈러 공장제작, 현장조립, 현장마감 단계로 구분하였다. 각 단계별 단위작업은 모듈러 제작공장과 대상 현장에서 수행하는 작업내용을 모니터링하여 파악하였고, 공사관리자 인터뷰를 통해 작업분류체계를 구축하였다. 그리고 인필식 모듈러주택 건설공사의 표준 프로세스는 모듈러 공장제작 범위에 관계없이 이 공법이 적용된 현장에 공통적으로 적용되는 현장조립 단계의 단위작업을 중심으로 제시하였다. 본 연구의 세부적인 수행절차는 다음과 같다.

(1) 모듈러주택의 정의 및 특성을 살펴보고, 인필식 공법에 대한 프로세스를 파악하였다.

(2) 인필식 모듈러의 공장생산, 현장조립, 현장마감 단계의 세부 작업내용을 파악하여 작업분류체계를 구축하였다.

(3) 천안시 D현장 모듈러주택의 인필식 공사를 대상으로 작업일보 분석 및 현장 모니터링을 통해 공사단계별 시공프로세스를 파악하였다.

(4) 인필식 공법의 현장조립 단계의 1개 층을 중심으로 단위작업을 최소화 할 수 있는 표준적인 프로세스를 제안하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 모듈러주택의 정의 및 특성

모듈러주택은 아파트나 다세대 주택 등을 건설함에 있어 「주택건설기준 등에 관한 규칙」, 「건설산업기본법」, 「주택건설기준 등에 관한 규정」 등의 기준을 충족시켜야 한다. 일반적인 모듈러주택의 생산 및 시공 프로세스는 Fig. 1과 같이 공장에서 구조체 제작 및 일부 마감공사를 마친 모듈러를 현장으로 운송하여 조립한 후, 잔여 마감공사를 현장에서 실시하여 주택을 완성하게 된다. 그리고 모듈러주택은 사용자의 필요에 따라 모듈러를 해체하여 다른 곳으로 이동시킬 수 있으며, 새로운 모듈러 생산 및 조립을 통해 규모를 확장시킬 수도 있다.

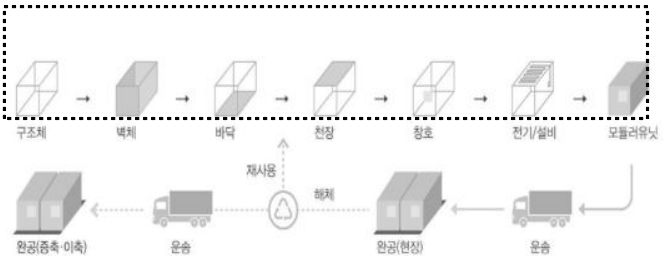


Fig. 1. Modular housing production and construction process

모듈러주택 건설공사는 일반 건설공사와 달리 모듈러 공장생산과 동시에 현장에서 철근콘크리트 공사를 동시에 진행할 수 있어 일반 건축공사 대비 약 50~60% 정도의 공기를 단축시킬 수 있다(이광복 등, 2011; 김균태 등, 2011; 조봉호 등, 2007). 또한, 모듈러는 공장의 대량생산을 통해 균일한 품질확보뿐만 아니라 현장에서 발생하는 폐기물을 최소화하여 환경적인 민원발생을 저감시킬 수 있다.

이밖에도 모듈러주택 건설공사는 Table 1과 같이 신속성, 경제성, 친환경성, 확장성, 안전성, 고품질 등 다양한 측면에서 일반 건설공사보다 장점을 가지고 있다. 따라서 모듈러주택은 기존 습식공법에 대한 문제점을 해결할 수 있으며, 미래 주택 건설시장의 새로운 영역이 될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1. Characteristic of modular system

classification	characteristic
quickness	· shorten construction period · factory production and field construction at the same time
economic feasibility	· cost reduction through factory mass production · reduce waste by simplifying site construction
environment friendly	· reuse of modules by using eco-friendly materials and high strength bolting method
expandability	· advantageous for removing and reconstruction of modular unit · various types of modular arrangement
safety	· secure the safety of modular system through specialized design, fire resistance test and durability verification
high quality	· produce high quality modular unit by building factory standardization system

2.2 인필식 공법의 개요

인필식 공법은 주택용 내부 벽체와 싱크대, 화장실, 수납장 등을 공장에서 크루즈 객실처럼 선 조립·제작 후, 완성된 골조 속에 모듈러를 인필(Infill)시켜 건물을 완성하는 공법이다. 이 공법은 적층식 공법과 달리 철근콘크리트 또는 철골구조체 공사가 선행되어야 하며, 공장에서 제작한 모듈러를 인필하는 형태로 공사가 진행되므로 저층뿐만 아니라 고층건물에도 적용할 수 있다. 인필식 모듈러는 인양 케이지를 이용하여 양중작업을 실시하게 되는데, 모듈러를 인양하는 케이지의 부위별 세부명칭은 Fig. 2와 같이 정리할 수 있다.

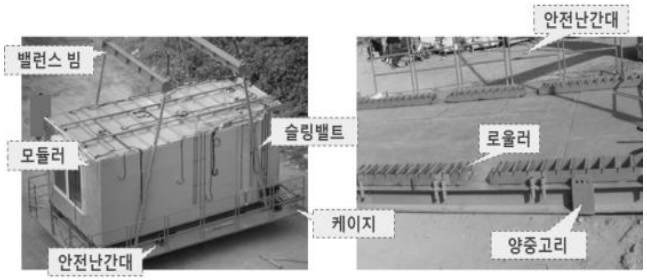


Fig. 2. Details of lifting equipment of infill modular

인필식 공법의 현장시공 프로세는 Fig. 3과 같으며, 공장에서 제작한 모듈러가 현장에 도착한 후 모듈러 인양을 위한 케이지에 안착시키고, 현장에 배치된 크레인을 이용하여 인필 부위에 인양하여 슬래브 내에서 모듈러를 이동하는 방식으로 현장시공이 이루어진다.

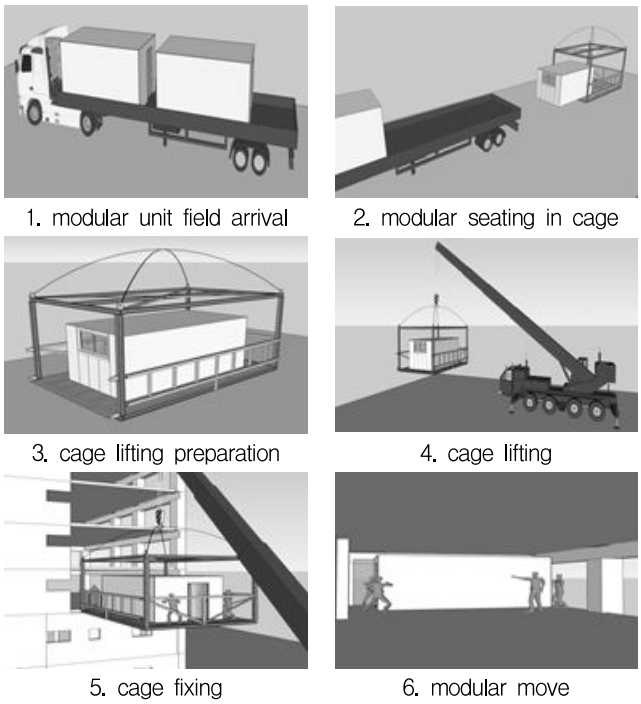


Fig. 3. Field construction process of infill modular system

2.3 작업분류체계의 정의

작업분류체계는 1950년대 미 국방성에서 최초로 사용된 용어로서 프로젝트 팀이 목표를 달성하고 필요한 인도물을 산출하기 위해 실행하는 작업을 인도물 중심의 계층 구조로 세분해 놓은 것이라 할 수 있다. 작업분류체계의 최상위 계층은 해당 프로젝트를 의미하고, 하위 계층으로 내려갈수록 작업범위가 상세하게 정의된다. 작업분류체계는 프로젝트 산출물 및 업무 분류, 상위수준부터 하위수준으로 정의, 각 업무요소에 식별코드 배정, 분할의 적정성에 대한 검증 등을 통해 구축할 수 있다(정재헌, 2012).

일반적으로 건설공사에서 작업분류체계는 Table 2와 같이 공사의 종류나 부위 등에 따라 다르게 나타날 수 있다. 대공공종(Level 1)은 건축공사, 토목공사, 기계공사 등으로 나눌 수 있으며, 중공정(Level 2)은 공사의 종류에 따라 골조공사나 마감공사로 구분하거나 공사 부위에 따라 외부마감이나 내부마감으로 구분할 수 있다. 소공정(Level 3)은 중공정의 하위체계 공종으로 구성되며, 경우에 따라 Level 4, Level 5 등 상세한 단계로 구분할 수도 있다. 따라서 작업분류체계는 프로젝트에 참여하는 이해관계자들이 참여하여 목적에 따라 작성하는 것이 합리적이라 할 수 있다(김재홍, 2016)

Table 2. Example of work breakdown structure

classification	Level 1	Level 2	Level 3
type of construction	construction work	reinforced concrete construction	rebar work
			form work
			concrete work
		finishing work	brick work
			plasterer work
			waterproof work
scope of construction	construction work	exterior finishing work	curtain wall work
			glass work
			painting work
		internal finishing work	brick work
			plasterer work
			waterproof work

3. 인필식 공법의 작업분류체계

3.1 작업분류체계의 구축방법

인필식 공법에 대한 작업분류체계는 모듈러 공장과 시공현장의 실태조사 결과를 바탕으로 구축하였다. 모듈러 제작에 대한 실태조사는 생산준비, 모듈러 제작, 모듈러 운송 단계에 총 7회에 걸쳐 각 단계별 세부 작업내용과 모듈러 제작 프로세스를 조사하였다. 모듈러 현장 조립 및 마감 공사에 대한 실태조사는 현장반입부터 인필 및 고정 완료까지 약 2주 동안 현장에 상주하면서 공사 부위별 세부 단위작업 및 시공 프로세스를 조사하였다. 이 결과를 바탕으로 모듈러

제작공장의 관리책임자와 모듈러 현장 조립 및 마감 단계의 공사 관리책임자와의 인터뷰를 실시하였고, 인필식 모듈러 공법에 대한 작업분류체계를 정의하였다.

3.2 인필식 공법의 작업분류체계

작업분류체계는 총 3단계로 분류되는데, Level 1은 모듈러 공사단계(공장제작, 현장조립, 현장마감), Level 2는 공사대상 및 부위(제작준비/공장제작, 인필/고정, 방바닥미장/현장마감/기타마감), Level 3은 각 단계별 세부 단위작업으로 정의하였다. 인필식 모듈러의 공장제작 단계의 작업분류체계는 Table 3과 같이 모듈러 제작준비와 공장제작 단계로 분류하였다.

Table 3. Work breakdown structure in factory production

Level 1	Level 2	Level 3
factory production	preparation	drawing review and material supply
		shop drawing
		subsidiary materials ordering
		UT floor frame production and import
	modular production	wall and ceiling panel production
		combined UT and UC floor plates
		UT and UC interior wall assembly
		UT wall frame installation
		insulation pin installation
		wall plumbing
		wall insulation installation
		UT and UC exterior wall assembly
		lifting and fixing ceiling panels
		ceiling piping work
		toilet accessory Installation
		toilet water pressure test
		outlet and light installation
		finishing work
		packing work

제작준비 단계는 단위작업은 모듈러 공장제작 착수 이전에 수행하며, 도면검토 및 원자재 수급, 샵드로잉, 부속자재 발주, Unit Toilet(화장실 부위 모듈러, 이하 UT라 한다) 바닥판 프레임 생산 및 반입 등 4개의 단위작업으로 정의하였다. 모듈러 제작 단계에서는 일반적으로 모듈러 구조체 제작 및 건축마감 작업을 수행하는데, 천안시 D현장에 적용된 인필식 공법은 현장에서 방바닥미장 공사 및 세대 내·외부 건축마감을 수행하였다. 따라서 모듈러 제작 단계는 벽체 및 천정 판넬생산, UT 및 Unit Cabin(거실 부위 모듈러, 이하 UC라 한다) 바닥판 결합, UT 및 UC 내부벽체 조립, UT 벽체 하지틀 설치, 단열재 보온핀 설치, 벽체 배관작업, 벽체 단열재 설치, UT 및 UC 외부벽체 조립, 천정 판넬 인양 및 고정, 천정 배관작업, 위생도기 및 악세서리 설치, 화장실 수압테스트, 콘센트 및 등기구 설치, 검사 및 잔손보기, 보양 및 포장 등 15개의 단위작업으로 정의하였다.

인필식 공법은 모듈러 제작이 완료된 후 현장의 공사일정에 따라 모듈러 운송 및 양중 작업을 실시하였다. 모듈러 현장조립 순서를 요약해 보면, 모듈러를 케이지에 안착시킨 후 크레인을 이용하여 해당 부위로 인양하고, 인력에 의해 모듈러를 설치 부위로 이동시켜 고정 작업을 실시하였다. 이를 토대로 모듈러 현장조립 단계의 작업분류체계는 Table 4와 같이 모듈러 인필 및 고정으로 분류하였다.

Table 4. Work breakdown structure at the assembly stage

Level 1	Level 2	Level 3
assembly	modular infill	Modular import and unloading preparation
		modular seating in cage
		cage lifting and fixing
		modular move to the slab
		modular move to the fixing site
	modular fixing	vertical / horizontal level check
		modular horizontal junction
		angle installation for fixing fire protection panel
		fire protection panel installation
		modular bottom fixation
		finishing work

모듈러 인필 단계는 모듈러 반입 및 하역준비, 모듈러 케이지 안착 및 고정, 모듈러 인양 및 삽입부 고정, 모듈러 슬래브 안착, 모듈러 설치위치 이동 등 양중작업과 모듈러 해당부위 이동과 관련이 있는 5개의 단위작업으로 정의하였다. 모듈러 고정은 모듈러 위치 및 레벨 확인, 세대 간 모듈러 접합, 방화패널 고정용 앵글 설치, 세대 간 방화패널 설치, 모듈러 바닥고정, 잔손보기 등 기능공에 의해 실시하는 6개 단위작업으로 정의하였다.

인필식 모듈러 현장마감은 모듈러의 공장제작 범위에 따라 사업지구별로 다르게 나타날 수 있다. 일반적으로 세대 내부의 건축마감 공사는 대부분 공장에서 수행하지만, 천안시 D현장에 적용된 인필식 모듈러 공사는 방바닥 미장공사와 세대 내부 마감공사를 현장에서 수행함에 따라 현장마감 공사 작업량이 일반적인 모듈러 공사보다 다소 많은 것으로 나타났다. 인필식 모듈러 현장마감 작업분류체계는 Table 5와 같이 방바닥 미장, 세대 건축마감, 기타 현장마감으로 구분하였다.

인필식 모듈러 현장마감은 발코니와 복도의 모듈러 설치부위의 마감을 제외하고 일반 주택건설 공사의 단위작업과 대동소이한 것으로 나타났다. 방바닥 미장은 바닥 완충재 설치, 보일러 급수배관 및 분배기 설치, 기포 콘크리트 타설, 세대내 문틀 및 문짝 설치, 마루귀틀 설치, 바닥 난방배관 설치, 수도계량기 설치, 방바닥 몰탈 타설 등 8개 단위작업으로 정의하였다. 그리고 세대 건축마감은 주방 벽체 타일시공,

현관 바닥 타일시공, 몰딩 시공, 걸레받이 시공, 주방가구 설치, 신발장 설치, 장판 깔기 등 7개 단위작업으로 정의하였다. 마지막으로 기타 현장마감은 발코니 시트방수, 발코니 바닥 타일시공, 발코니 하지철물 설치, 발코니 벽체판넬 설치, 복도 벽체판넬 설치, 복도 및 발코니 상부 방화패널 설치, 발코니 세대칸막이 설치, 발코니 창호 설치, 보일러 및 연도 설치, 발코니 수전 설치, 잔손보기, 준공청소 등 12개의 단위작업으로 정의하였다.

Table 5. Work breakdown structure at the finishing stage

Level 1	Level 2	Level 3
finishing	floor plastering	floor cushioning installation
		boiler piping installation
		bubble concrete pouring
		door frame and door installation
		porch floor separator installation
		floor heating piping installation
		water meter installation
		mortar pouring
	building finishing	kitchen wall tile work
		porch floor tile work
		molding installation
		baseboard installation
		kitchen furniture installation
		shoe closet installation
		linoleum work
	other site finishing	balcony sheet waterproof
		balcony bottom tile work
		balcony wall frame installation
		balcony wall panel installation
		Corridor wall panel installation
		Corridor/Balcony fire protection panel installation
		balcony partition installation
		balcony window installation
		boiler installation
		balcony accessory installation
		finishing work
		cleaning

4. 인필식 모듈러 공장생산 및 현장시공

천안시 D현장 모듈러주택 건설공사는 한국건설기술연구원 주관으로 수행한 「수요자 맞춤형 조립식주택 기술개발 및 실증단지 구축」 연구의 실증단지 사업이다. 해당 사업지구는 비모듈러(하부공사, 지상층 코어, 인필식 골조, 외장공사)와 모듈러(인필식, 적층식) 공사로 구분되며, 두 개의 모듈러 공법이 혼합하여 적용되었기 때문에 모듈러 공사에 대한 표준 프로세스를 도출하는데 한계가 있다. 또한, 모듈러 제작업체에 따라 구조시스템이나 생산능력, 기술력 등이 다르므로 모듈러주택 건설공사는 현장별로 적용공법에 따라 표준 프로세스가 다르게 나타날 수 있다. 따라서 본 절에서는 해당 사업지구에 적용된 인필식 모듈러 공사의 공장제작, 현장조립, 현장마감 공사에 대한 작업 프로세스를 파악하였고, 이를 바탕으로 표준 프로세스를 제안하였다.

4.1 인필식 모듈러 공장제작

인필식 모듈러의 공장제작은 판넬생산과 UT 및 UC 제작 단계로 구분할 수 있다. 모듈러 공장제작 프로세스는 공사단계별 공장제작 실태조사와 관리자 인터뷰를 통해 세부내용을 파악하였다. 모듈러 벽체 및 천정에 사용되는 판넬은 해당업체에서 자체적으로 생산하였으며, 판넬생산 프로세스는 Fig. 4와 같이 원자재 반입 후 강판 절단 및 절곡, 접착제 도포, 글라스울 부착 등의 순서로 이루어졌다.

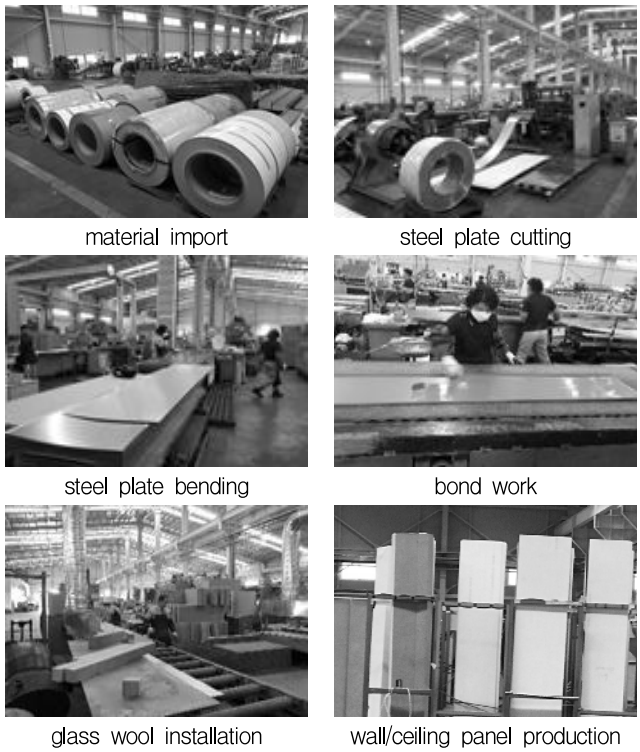


Fig. 4. Infill modular panel production process

인필식 모듈러의 UT 제작은 바닥판 제작 및 방청, 바닥타일 시공 등의 작업은 외주업체를 통해 실시하였고, 모듈러 제작공장에서는 내부 벽체설치, 화장실 문틀 및 문짝 설치, 급수배관 설치, 화장실 위생기구 취부, 악세서리 설치, 수압테스트 등은 자체적으로 직접 실시하였다.

인필식 모듈러 UC 제작은 UC 하지 틀 설치 후 먼저 작업한 UT 바닥판과 결합하였고, 벽체판넬(하부 프로파일, 내부 벽체, 전기/통신, 단열, 외부 벽체, 창틀, 상부 프로파일)과 천정판넬(천정판, 전기통신)을 설치하고, 기타작업을 실



Fig. 5. Infill modular factory production process

시하여 모듈러 공장제작이 완료되고, 현장조립 일정에 따라 보양 및 운송을 실시하는 것으로 나타났다. 인필식 모듈러 UT 및 UC 공장제작 프로세스는 Fig. 5와 같이 정리할 수 있다.

4.2 인필식 모듈러 현장조립

인필식 모듈러 현장조립은 모듈러 인필과 고정 단계로 구분할 수 있다. 모듈러 현장조립 프로세스는 모듈러 현장반입부터 고정작업이 완료되는 시점까지 직접 모니터링을 통해 세부내용을 파악하였다. 모듈러는 현장조립 작업 1일 전 오후에 공장에서 상차하였으며, 다음날 아침에 모듈러가 현장에 반입되었다. 모듈러가 현장에 반입된 이후에는 모듈러 인양케이지에 모듈러를 안착하고, 모듈러 삽입 부위에 케이지를 고정하여 인력에 의해 슬래브 내에서 모듈러를 이동시키는 작업을 실시하였다. 모듈러 고정은 모듈러 위치 및 수직/수평 레벨 확인이 완료된 이후 각 세대 간 상부에 방화패널을 설치하였으며, 마지막으로 앵커볼트로 슬래브에 모듈러를 고정시켜 현장 세팅작업이 완료되었다. 2개 모듈러로 구성되어 있는 세대는 현장에서 모듈러 현장접합 이후에 전기통신 배선작업을 실시하였다. 인필식 모듈러 현장조립 프로세스는 Fig. 6과 같이 정리할 수 있다.

modular infill


crane installation


cage carrying


modular import


modular move (truck → cage)


modular cage seating


cage lifting preparation


cage lifting


cage fixing


modular move ready


modular slab primary move


modular slab secondary move


modular Positioning

modular fixing


vertical / horizontal level check


modular horizontal junction


modular joint filling


angle installation for fixing fire protection panel


fire protection panel preparation


fire protection panel installation


panel joint filling


modular installation complete


anchor bolt area drilling


anchor bolt fixing


modular fixation complete



electrical finish (module connection part)

Fig. 6. Infill modular assembly process

4.3 인필식 모듈러 현장마감

모듈러 현장마감 공사는 모듈러 공장제작 범위에 따라 사업지구별로 다르게 나타날 수 있다. 본 연구의 대상인 천안시 D현장 모듈러주택은 방바닥 미장공사를 현장에서 실시함에 따라 공용부위 및 전용부위 등의 각종 마감공사도 현장에서 실시되었다. 따라서 인필식 모듈러 현장마감은 방바닥 미장공사, 세대내부 건축마감, 기타 현장마감으로 구분하였다.

방바닥 미장공사는 마감 먹줄놓기, 바닥 완충재 설치, 급수배관 및 분배기 설치, 마루귀틀 설치, 기포콘크리트 타설, 세대 내 문틀설치, 난방배관 설치, 방바닥 몰탈 타설 등 일반 주택건설 공사의 마감공사 프로세스와 대동소이한 것으로 나타났다. 각 단계별 작업 프로세스는 Fig. 7과 같이 정리할 수 있다.



Fig. 7. Floor plastering work process

세대내부 건축마감은 방바닥 미장공사가 종료된 이후 타일공사, 가구공사, 수장공사 등의 작업이 진행되었으며, 천정 및 벽체의 마감재는 컬러강판으로 구성되어 있어 도배작업은 실시하지 않았다. 세대내부 건축마감의 주요작업은 Fig. 8과 같이 정리할 수 있다.



Fig. 8. Building finishing unit work

이밖에 모듈러 공사의 기타 현장마감은 기계/전기/통신 등의 잔여마감 공사와 콘크리트 구조물의 실측을 통한 공용부위 마감자재 발주 및 제작 등이 여기에 포함된다. 인필식 모듈러 공사에서 현장에서 수행해야하는 주요 작업들은 Fig. 9와 같이 정리할 수 있으며, 공용부위 하지철물 설치, 모듈러 상부 방화패널 및 판넬 설치, 발코니 창호 및 세대칸막이 설치, 보일러 및 각종 악세서리 설치, 준공청소 등이 있다.



Fig. 9. Other site finishing unit work

4.4 인필식 모듈러 현장조립 표준 프로세스 제안

인필식 모듈러 공사는 공장제작 범위에 따라 공사단계별 작업내용이 달라질 수 있으며, 모듈러 공장의 규모 및 생산능력에 의해서도 모듈러 생산 프로세스는 다르게 나타날 수 있다. 또한, 해당 프로젝트의 성격이나 특성에 따라 모듈러 공사의 표준 프로세스는 현장별로 상이할 수 있다. 이에 본 절에서는 천안시 D현장에 적용된 실제 프로세스를 조사하여 인필식 공법 현장조립 단계의 크리티컬 패스에 해당되는 모듈러 반입, 인양, 인필, Level 확인 등의 단위작업을 중심으로 표준 프로세스를 제안하였다.

인필식 모듈러의 현장조립 표준 프로세스 제안을 위해 천안시 D현장과 동일하게 세대 당 2개의 모듈이 구성되도록 층당 평면 형태를 Fig. 10과 같이 가정하였다. 모듈러의 크기는 A형이 3,200 × 6,500이고, B형이 3,200 × 3000이며, 운반차량은 9톤 이하 화물차로 A형은 1개 모듈, B형은 2개 모듈을 동시에 운반할 수 있다. 모듈러 인필 순서는 발코니 부위에 위치하는 B형을 먼저 설치하고, 복도 부위의 A형을 나중에 설치한다. 단, 1호 세대의 경우는 기둥 간섭으로 인해 A형 모듈러를 먼저 설치해야 한다.

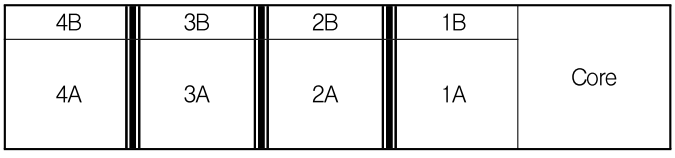


Fig. 10. Example of modular unit division in modular housing

천안시 D현장에 적용된 1개 층 기준 시공 프로세스는 총 20단계에 걸쳐 이루어졌는데, 공동주택 건설공사에 이 공법이 최초로 적용됨에 따라 모듈러 운반 및 양중 계획이 적절하게 수립되지 않은 것으로 나타났다. 모듈러 현장조립은 양중장비에 의해 공사가 진행되므로 모듈러 현장반입 및 양중순서가 매우 중요하다. 또한, 각 세대 사이에 화재발생 시 이를 차단시키는 방화패널이 설치된 이후에 순차적으로 모듈러를 설치해야 한다. 하지만 해당 현장에서는 모듈러 운송 및 양중 계획에 대한 검토가 부족하였고, 현장조립 프로세스가 아닌 운송차량 수급여건을 우선적으로 고려하여 모듈러를 상차하여 현장으로 운반하였다. 결과적으로 모듈러 현장반입 및 인필이 완료된 이후에 모듈러를 슬래브 내에서 재이동시키는 불필요한 작업이 발생하였다. 이에 본 연구에서는 인필식 모듈러 공사에서 현장조립 프로세스를 최적화하기 위해 운송 및 양중 계획을 고려하고, 현장조립 프로세스를

반영하여 표준 프로세스를 다음과 같이 제안하였다.

인필식 모듈러의 1개 층 기준 현장조립 순서는 양쪽의 측 세대 모듈러 설치, 2호 또는 3호 세대의 모듈러 설치, 세대 간 방화패널 설치, 2호 또는 3호 세대 모듈러 설치 순서로 이루어지며, 현장조립 프로세스를 20단계에서 17단계로 간소화 시킬 수 있는 것으로 나타났다.

인필식 모듈러 현장조립 실행 프로세스
① 2B+1B 모듈러 반입 및 2B 양중 ② 1B 모듈러 양중 ③ 1A 모듈러 반입 ④ 슬래브 내 2B 모듈러 이동 ⑤ 슬래브 내 1B 모듈러 이동 (2층 1A 모듈러 양중을 위한 공간 마련) ⑥ 1A 모듈러 양중 ⑦ 1B 모듈러 이동(제 위치잡기) ⑧ 2A 모듈러 반입 및 양중 ⑨ 4B+0B(다른 층) 모듈러 반입 및 4B 양중 ⑩ 0B 모듈러 양중 ⑪ 4A 모듈러 반입 및 양중 ⑫ 1~2호 세대 방화패널 설치 ⑬ 3~4호 세대 방화패널 설치 ⑭ 2B 모듈러 이동(제 위치잡기) ⑮ 2A 모듈러 이동(제 위치잡기) ⑯ 2~3호 세대 방화패널 설치 ⑰ 3B+0B(다른층) 모듈러 반입 및 3B 양중 ⑱ 0B(다른 층) 모듈러 양중 ⑲ 3A 모듈러 반입 및 양중 ⑳ 세대별 위치 및 레벨 확인

인필식 모듈러 현장조립 표준 프로세스 제안
① 1A 모듈러 반입 및 양중 ② 1B+4B 모듈러 반입 및 1B 양중 ③ 4B 모듈러 양중 ④ 4A 모듈러 반입 및 양중 ⑤ 2B+0B(다른 층) 모듈러 반입 및 2B 양중 ⑥ 0B(다른 층) 양중 ⑦ 4A 모듈러 반입 및 양중 ⑧ 2A 모듈러 반입 및 양중 ⑨ 1~2호 세대 방화패널 설치 ⑩ 3~4호 세대 방화패널 설치 ⑪ 2B 모듈러 이동(제 위치잡기) ⑫ 2A 모듈러 이동(제 위치잡기) ⑬ 2~3호 세대 방화패널 설치 ⑭ 3B+0B(다른 층) 모듈러 반입 및 3B 양중 ⑮ 0B(다른층) 모듈러 양중 ⑯ 3A 모듈러 반입 및 양중 ⑰ 세대별 위치 및 레벨 확인

5. 결론 및 시사점

일반적인 모듈러 공법은 공장에서 제작한 모듈러를 레고블록처럼 적층하는 방식을 의미하지만, 인필식 공법은 철골이나 철근콘크리트 구조체를 현장에서 먼저 시공한 후에 공장에서 제작한 모듈러를 해당 부위에 삽입하는 공법을 의미한다. 본 연구에서는 모듈러주택 건설공사에 적용되는 인필식 공법을 대상으로 모듈러 공장제작 단계에서부터 현장조립 및 마감에 이르기까지 각 단계별 작업분류체계를 구축하고, 표준 프로세스를 제안하였다. 인필식 모듈러의 공사단계별 작업분류체계의 Level 1은 공장제작, 현장조립, 현장마감으로 정의하였고, Level 2는 제작준비, 모듈러 제작, 모듈러 인필, 모듈러 고정, 방바닥 미장, 세대 건축마감, 기타 현장마감으로 정의하였다. 마지막으로 Level 3은 인필식 모듈러 공사의 세부 단위작업을 의미하며, 총 57개로 정의하였다. 이를 바탕으로 천안시 D현장 모듈러주택 건설공사를 중심으로 작업수행 현황을 조사하여 표준 프로세스를 제안하였다.

본 연구의 한계점은 인필식 모듈러 공사의 표준 프로세스를 현장조립 단계로 한정하여 제시하였다는 점이다. 하지만, 모듈러 공사는 프로젝트의 성격이나 공장제작 범위에 따라 현장별로 표준 프로세스가 다르게 나타날 수 있어 인필식 공법이 적용된 프로젝트에 공통적으로 적용 가능한 현장조립 단계의 표준 프로세스 제안은 향후 활용가치가 높을 것으로 판단된다. 본 논문에서 제안한 결과는 인필식 공법을 적용한 모듈러주택 건설공사의 공정계획 수립에 활용할 수 있고, 설계 및 기획 단계에서 모듈러 공장제작 범위를 적정하게 설정하는데 기여할 수 있을 것이며, 모듈러 운송 및 양중 계획을 수립하는데 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, 김창한, 이두헌, 이영호(2011), “한국형 모듈러 주택 시공의 시나리오 개발”, 「한국건축시공학회 학술기술논문발표회논문집」, 11(1): 81~83.
2. 김재홍(2016), “건설사업 작업분류체계와 위험분류체계의 통합에 관한 연구”, 「석사학위논문」, 강원대학교.

3. 이광복, 김경래, 신동우, 차희성(2011), “유닛 모듈러 공법의 효율성 확보를 위한 공장제작, 운반, 현장설치의 최적 공정 제안”, 「한국건설관리학회논문집」, 12(6): 14~21.
4. 정재헌(2012), “WBS(Work Breakdown Structure)를 중심으로 한 웹기반 정보시스템 사업관리 방안에 대한 연구”, 「석사학위논문」, 단국대학교.
5. 조봉호, 김홍진, 고광호(2007), “모듈러 건축 시스템의 기술개발 동향 및 적용 사례”, 「한국강구조학회지」, 19(1): 112~119.