

모듈러건축 공법의 공장제작과정 개선을 위한 M.E.P.시스템 외주제작 적용에 관한 연구

A Study on Outsourcing Application of M.E.P. System for Manufacturing Process Improvement of the Modular Construction Method

최 준 석* 이 재 수

Choi, Jun-Sok* Lee, Jae-Soo

Department of Design, Halla Corporation, Songpa-Gu, Seoul, 05510, Korea

Abstract

This study is conducted to improve the manufacturing process of the modular construction method, which is a pre-fabricated construction method recognized for its advantage on the shortening of construction time. This study first identified the factors that result in shortening of pre-fabrication processes in the current module-processing factory. In addition, those identified factors were further considered for installing the M.E.P. system that is being outsourced on the main module in the production line. A manufacturing process of the construction modules, which considers installation of a M.E.P. system most suitable for shortening the time on the outsourcing of modular construction, is introduced throughout the research. Furthermore, this study suggests the factors in need of improvement during design phase of modular construction and improvement measures to consider the quality of unit modules by focusing on the module parts that are most exposed to defects.

Keywords : modular construction method, M.E.P. system, manufacturing process, pre-fabrication, outsourcing application

1. 서 론

1.1 연구의 배경과 목적

근래의 건설시장에서 구조물의 건설을 위해 골조공사가 건축물 전체의 시공과정 중 많은 부분을 소비하고 비용을 발생시키는 주요인이 되고 있다. 이에 골조공정의 상당부분을 공장에서 제작할 수 있는 모듈러 건축물은 공사기간을 단축할 수 있고, 자재의 재사용을 통하여 이산화탄소 발생을 저감할 수 있으며, 다양한 형태의 사용처에 적용할 수 있어 대안으로서 가치가 높다고 사료된다.

본 논문에서는 상기와 같은 모듈러건축 공장제작분에 대해 현황을 알아보고, 개선점을 찾아 대안을 제시하려한다.

모듈러공장의 생산라인은 여러 공종이 복합적으로 얽혀 있는 일이며, 그 일은 선공종과 후공종이 순차적으로 투입된다. 각 공종 작업의 소요시간을 단축할 수 있는 방법이 있다면 그 다음 공종의 투입시점이 빨라지게 되어 결과적으로 모듈러 공장의 생산 소요시간은 단축될 수 있다.

생산 소요시간의 단축 방법을 예로 들면, 선공종 작업 중 세부 부품들을 설치하여 기능이 구현되는 공종을 모듈러 공장 생산라인의 외부에서 외주제작하고, 그렇게 제작된 부분을 모듈러공장 생산라인에서 덩어리 채로 설치하는 것이며 이와 같은 방법을 외주제작이라고 칭하려고 한다.

외주제작에 적합한 공종은 건축물의 전기와 기계 설비 시스템을 들 수 있다. 그 이유의 첫째로 통상적으로 마감내부에 위치되어 건축마감 공종의 선공종이 되어 소요시간 단축의 필요성이 있으며, 둘째로 독립된 외주제작장에서는 고급

Received : November 29, 2016

Revision received : December 23, 2016

Accepted : April 16, 2018

* Corresponding author : Choi, Jun-Sok

[Tel: 82-2-3434-5494, E-mail: junsok70@gmail.com]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

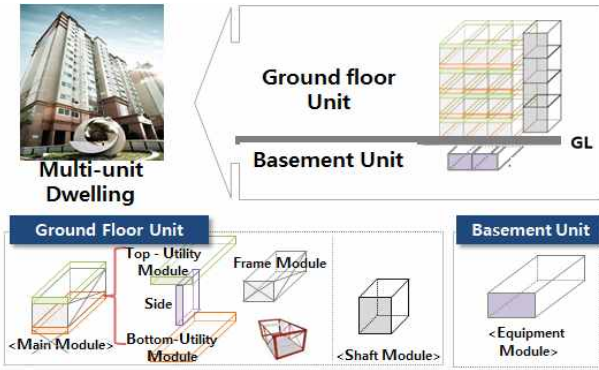


Figure 1. Definition of utility module

전문인력의 작업연속성이 확보되어 고임금을 효과적으로 투입할 수 있고, 마지막으로 후공중에 쫓기지 않아 작동성능 확보가 중요한 이 공종을 품질테스트로서 완성도를 높일 수 있다. 따라서 본 연구는 모듈러공장 생산라인의 소요시간 단축을 위해 설비시스템을 외주제작 계획시 고려사항을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 회의실, 연회장과 같은 개방공간의 평면으로 계획된 건축물보다 소평형의 공동주택처럼 독립공간이 구성되고, 평면이 반복되어 설계된 건축물로 그 대상을 한정한다. 이와 같이 설계된 건축물이 반복적 특성을 가지는 모듈러건축의 의도와 부합되는 부분이 많기 때문이다.

따라서 본 연구의 범위를 독립모듈로 세대를 구성하는 공동주택 모듈러 건축의 설비시스템 공종 중 공장제작분에 대해 외주제작이 가능한 설비시스템으로 제한하고, 이 방식을 효과적으로 적용하기 위해 설계단계부터 현장설치단계까지 고려되어야 할 사항에 대해 제안하고자 한다.

다만 본 논문에서 제시하는 내용에 대한 경제성분석은 논외로 한다. 그 사유는 당 연구방법 적용에 따른 원가 초과 및 절감량은 시범현장적용 이후 평가가 가능하기 때문이다.

논문의 내용 중 혼돈을 방지하기 위해 하기와 같은 용어를 정의하려고 한다.

- 1) 모듈러유닛 : 전체 건축물을 입방면체 형태로 분할하여 제작용이 및 운송 가능하도록 한 최소단위.
- 2) 모듈러공장 : 모듈러유닛을 제작하기 위한 제작장
- 3) 공장제작분 : 모듈러공장에서 제작되는 공사분
- 4) 현장 : 최종목적물인 건축물이 위치되는 토지.
- 5) 모듈러유닛조립 : 현장으로 운송된 모듈러유닛을 서로 연결, 설치하여 건축물의 형태를 갖추는 일.

- 6) 현장설치분 : 모듈러유닛조립 후 현장 설치되는 공사분
- 7) 외주제작 : 모듈러유닛의 세부공종 중 덩어리 채 설치할 수 있는 부분을 모듈러공장 생산라인 외에서 제작하는 것

2. 기존연구의 고찰

2.1 모듈러 건축 관련 선행 연구

Table 1. Previous studies of modular construction

References	Contents	The difference
Lee DH et al. [1]	<ol style="list-style-type: none"> ① Raising the water leak problem of plumbing systems ② Raising the plumbing system interfere with one another system 	No suggestions of the M.E.P. system
Lee CJ et al. [2]	<ol style="list-style-type: none"> ① A Comparative study on the construction cost between modular and general construction ② The conditions for modular construction to achieve high economic viability than general construction 	This study review in a typical way about utility system, but my study review in modular M.E.P. system
Yu M et al. [3]	<ol style="list-style-type: none"> ① Presenting the benefits of modular factory fabrication ② Comparison of construction duration by modular and one another construction 	This study focus on the frame work but my study focus on the M.E.P. system
Jang GS et al. [4]	<ol style="list-style-type: none"> ① Present the advantages and possibility of modular unit construction. ② Describe the importance of carrying out the transportation plan for the crash unit when carrying out a modular unit 	This study focus on frame and finish work but my study focus on M.E.P. system

상기 Table 1의 선행연구는 모듈러건축 공법에서 건축공종의 개선점을 주로 다루었고, 설비시스템의 내용이 기재되었더라도 개선의 대상으로 다루어지지 않아 본 연구와 차이점을 보인다. 본 연구는 선행연구에서 다루어지지 않은 모듈러건축 공법의 설비시스템에 대해 개선점을 찾고 대안을 제시하여 공장제작율을 향상시키는데 기여하려고 한다.

2.2 모듈러건축에서 설비시스템의 동향

최근 모듈러유닛 공법으로 건설된 현장의 설비시스템은

현장조립분과 공장제작분을 구분하는데, 모듈러건축 제작 공장의 생산담당자와 인터뷰한 결과를 정리한 자료로 아래의 Table 2와 같은 현황이 있어 소개한다.

2.2.1 설비 시스템 공장제작분과 현장설치분 구분

Table 2. Differences between on-shop-produced versus on-site-produced module of plumbing system

Classification	On-shop-produced module	On-site-produced module
Sanitary Plumbing	Connection part of sanitary equipment after PD within household (inclusive of equipment)	Riser pipeline within household and connection part piping modular unit plumbing
Heating System (in case of individual heating system)	-	Entire heating construction of each household (hot water distributor, bottom coil)
Ventilation duct	Connection part of exhaust hood & fan after PD within household (inclusive of hood&fan)	Riser pipeline of PD within household and its connection part
Sprinkler	Sprinkler plumbing within household	Connection part of pipelines for public area & those within household

2.2.2 연구방향 구체화

상기의 Table 2로서 판단할 때 두 가지 연구방향을 제시하고, 다음 장에서 구체화 하기로 한다.

- ① 현장설치분 공장제작화 : 공장제작율을 높이기 위해 현장설치분 중 공장제작이 가능한 부분 판단
- ② 공장제작분 외주제작시 고려사항 : 사전 준비에서 시공단계까지 효과를 높일 수 있는 고려사항 제시

3. 모듈러건축 설비시스템 공장제작율 향상 방안

3.1 현장설치분 공장제작화

상기 Table 2에서 현장설치분 중 공장제작이 가능한 부분을 아래와 같이 선정하고 그 사유를 기술하였다. 단, 연결부분의 작업범위는 모듈러유닛의 특성상 필연적으로 발생하므로 제외하였다. 구체적인 제작방식은 외주제작화 부분에서 다루기로 한다.

1) 위생배관 : (공장제작 적용 : 세대 P.D 입상배관) 급수, 위생, 환기, 소방배관이 집중화 된 곳이며, 타공종 간섭발생 부위임. 공장제작시 여러 공종의 기술자가 모듈러 유닛 내부에서 건축공종 사이에 투입되어 단기적으로 작업할 경우 높은 인건비의 전문공이 연속 작업 곤란. 외주제작으로 설비배관들을 철제박스(직육면체)타입의 틀안에 넣어 제작하고, 그렇게 제작된 철제박스를 공장에서 모듈러유닛에 볼트로 고정가능(일반공이 작업가능). 철제박스로 틀을 만드는 것은 외주제작품의 품질확보(부재의 변형, 위치변경 방지)에 기능이며, 이 품질이 확보되어야 현장 설치시 수정작업에 소요되는 시간을 효과적으로 단축가능.

2) 난방배관(개별난방시)

- 위치 : 세대난방 설비공사

(공장제작 적용불가 : 바닥코일)

(공장제작 적용 : 온수분배기)

- 온수분배기 : 원제품 구입이 가능하여 외주제작 적합
- 난방코일 : 통상 바닥마감전 난방코일을 보호하기 위해 몰탈층이 타설되는데, 공장에서 이 작업을 수행할 경우 양생기간이 추가로 필요하여 공장의 야적공간 부담이되며, 현장조립시 모듈러 유닛간의 수평레벨 맞춤이 곤란한 경우 발생하는 문제예상.

3) 환기덕트

- (공장제작 적용 : 세대 P.D의 입상배관) 환기덕트의 세대 PD 입상부분은 상기 '① 세대 PD 입상배관'에서 제시한 것과 같이 철제 Box타입으로 함께 제작가능.

4) 스프링클러

- (공장제작 적용 : 공용부위 소방배관) 세대내 스프링클러는 공장제작시 설치 가능, 공용부분 소화전함과 소화용수용 배관은 공용샤프트 공장 제작시 포함.

3.2 공장제작분 외주제작화

1) 상기 Table 2와 '3.1항'에서 공장제작이 가능한 설비시스템을 선정했고 그에 대해 아래와 같이 외주제작을 계획하려 한다. 하기의 Figure 2에서 'Top, Bottom, Side, Shaft'의 설비시스템 모듈'은 외주제작 제조사에 의뢰하여 제작하고, 그렇게 제작된 '설비시스템 모듈'이 메인모듈 제작공장에 운송되어 일반공의 단순조립으로 메인모듈에 설치된다. 이 완성된 메인모듈이 현장에서 설치되어 건물로 완성된다.

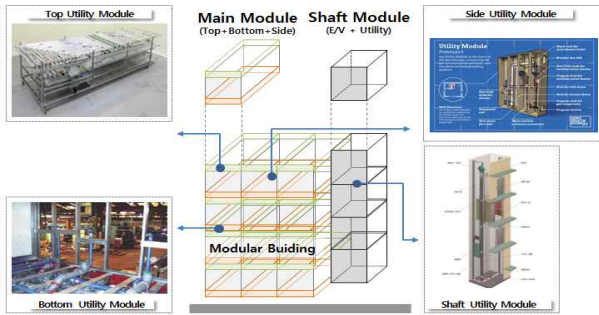


Figure 2. Outsourcing application concept

2) 상기의 Figure 2의 개념으로 하기 Table 3에서 공장제작이 가능한 모듈러건축의 설비시스템에 대해 Top, Bottom, Side, Shaft로 구분했다.

Table 3. Possible parts for outsourcing application of plumbing system

Classification	Previously on-shop-produced module (parts)	Previously on-site-produced module (parts)
① Sanitary Plumbing	Connection part of sanitary equipment after PD within household (Bottom)	Riser pipeline of PD within household (Shaft)
② Heating System (in case of indiv. heating)	-	Boiler Hot water distributor (Side or Bottom)
③ Ventilation duct	Connection part of exhaust hood&fan after PD within household (inclusive of hood&fan) (Top or Side)	Riser pipeline after PD within household (Shaft)
④ Sprinkler	Sprinkler plumbing within household (Top)	Pipeline of public areas (Top)

3) 하기 Figure 3은 모듈러 제작공장의 생산담당자와의 인터뷰를 통해 입수한 공장조립 순서 및 작업내용을 도식화한 것이다. 공장조립의 세부공종을 뜻하는 S1~S10의 정반은 레일에 일렬로 배치되어 있고, 다음 단계의 작업으로 넘어가면서 전진 이동하게 된다. 이때 레일의 전체길이가 정해져 있기 때문에 가장 시간이 오래 걸리는 정반을 기준으로 움직이게 된다. 이 그림에는 해당 정반에서 이루어지는 작업내용과 함께 소요 시간이 나타나 있는데, 이 시간이 25 ~ 85분까지 편차가 다소 큰 경향을 보이며, 적색점선으로 표시된 부분은 설비시스템 작업이 포함되어 있다. 해당 공장의 실무자를 인터뷰한 결과 각 정반별 소요시간의 편차를 줄여 균등하게 할당시간을 배분한다면 공장에서의 생

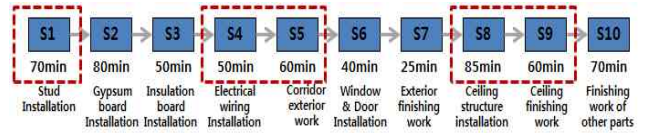


Figure 3. Production process in module factory



Figure 4. Site panorama of module factory, S1~S10 above rail

산성이 향상될 것이라고 하였다. 그러나 공장조립의 공종은 복잡하게 얽혀 있고 각 정반에서는 선후공종이 순서대로 작업되어야 하며, 해당 공종의 설치 방법에 따라 고온, 고전압, 습식, 건식 등 공사방법이 다양하여 균등한 시간을 배분하는데 제약이 있다.

S1~S10까지의 작업내용 중 공통적인 사항을 살펴보면 설비시스템(매립배관 등)을 설치할 수 있는 정반은 마감 혹은 Stud가 설치되는 단계 이전이어야 한다. 따라서 S1에는 벽체, S8~S9에는 천정 설비시스템을 배치할 수 있다.

공장에서는 정반을 동시에 이동시켜야 하기 때문에 S1 ~ S10중 가장 오래 걸리는 시간인 '85분'을 넘길 경우 전체 공정이 불리해 진다. 따라서 S1에서는 여유시간 10분, S9에서는 25분이 설비시스템을 설치할 수 있는 여유 시간임을 알 수 있다. 설비배관을 낱낱이 설치 및 연결하는 것과 외주제작으로 제작된 소형유닛모듈을 이동시켜 볼트체결로서 조립하는 것을 비교해보면 해당 정반에서의 소요시간은 후자가 유리할 것으로 판단된다. 더욱이 설치 후 마감에 가려지는 곳은 그 설치분에 대해 품질검사까지 마쳐야 한다면 외주제작품을 미리 검사하여 품질검사에 걸리는 시간을 줄일 수 있어 유리하다.

3.3 외주제작 계획에 따른 설계단계 고려사항

3.3.1 효율적 건축평면 설계

본 논문의 제시안이 자유로운 평면계획 저해하려는 의도는 없지만 본 논문처럼 설비시스템을 구성하기 유리한 평면은 Figure 5와 같으며, 적용된 개념은 아래와 같다.

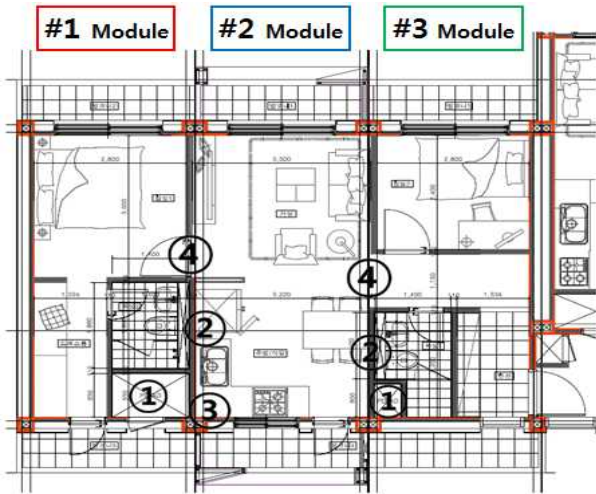


Figure 5. Floor-plan of unit household efficient for outsourcing application of M.E.P system

- ① 설비배관 집중
 상기 평면 ‘①’ 위치에 설비배관을 집중하면 3개의 모듈 중 2개의 모듈에만 PD를 만들면 되고, 그에 따라 외주제작품의 제작 개수 감소. 또한 주변 기기들과 거리가 짧아 연결부속 및 작업량 감소.
- ② PD에서 급수필요 설비의 연결거리 최단배치
 예를 들어 세탁기, 싱크대(빌트인 제품) 등을 PD의 최단거리에 위치시켜 연결부위의 작업량 감소.
- ③ 천정 및 바닥 점검구 최소조성
 각 모듈간의 설비시스템 연결부위에 점검구가 필요한데 배관 연결부위를 집중하여 점검구를 최소화하면 현장설치 및 사후관리에 이점이 있다.
 상기의 Figure5에서 ‘④’ 번의 부위에 소방배관, 난방배관 등을 집중하였다.

3.3.2 전용 연결부속 개발 필요성.

Table 4[6] 및 Figure 6, Figure 7은 국가연구과제인 모듈러 건축 중고층화 및 생산성 향상 기술개발(2014착수)의 1차년도 연구수행 시 조사되었던 자료이다. 그 내용으로 볼 때 모듈러건축물의 설비하자는 이음부분의 취약도에 따라 누수(leakage)하자가 다수 발생하고 있으며, 그 결과는 누수에 따른 마감 오염, 가구 및 가전 파손에 따른 피해규모 확대로 이어지는 경향을 보이게 된다.

이를 일반공법으로 건설된 건물의 하자유형과 비교해 보면 Figure 7과 같이 뚜렷한 경향의 차이를 보인다.

Table 4. Plumbing system defects rate of modular buildings (6)

Classif.	No. of occurrence	Major defects
Leakage	84	Leakage in A/C refrigerant / Sewage&Drainage pipelines
Operation	41	Malfunction of ventilator, A/C, Hot water supplier
Heating	24	defects of temperature regulator sensor
Construction	11	Cracks in basin, Poorly fixed A/C
Odor	3	Odor within restroom
Others	3	Rust of pipeline, Noise from retardant water

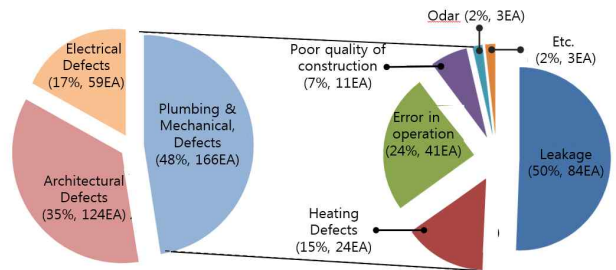


Figure 6. Defects rate of plumbing system in modular buildings

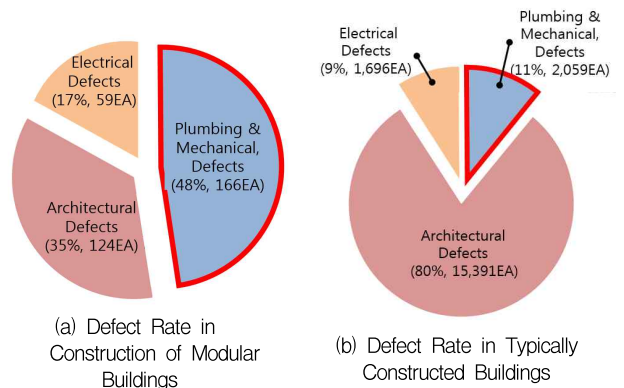


Figure 7. Comparison of defects rate between modular and typical construction method

이에 모듈러의 중고층화가 진행될 경우 이음부위가 많은 모듈러 건축물의 하자경향에 비추어보면 배관 및 기계부분의 하자비중이 높아짐과 동시에 누수하자 발생건수의 증가가 예상된다. 그 대책으로써 기계설비 공종의 접합개소가 감소되는 방향으로 설계하고 필연적인 접합부분은 하자의 발생에 효과적으로 대응할 수 있는 방법을 취하여야 한다. 아래 소개하는 부속은 그 특징점으로 인해 하자사항 개선에 유리할 것으로 판단하여 제시한다.

Figure 8은 생활용수를 공급하는 배관의 이음부위를 무



Figure 8. Accessory specialized for connection part of plumbing system [7]



Figure 9. Accessory specialized for connection part of plumbing system

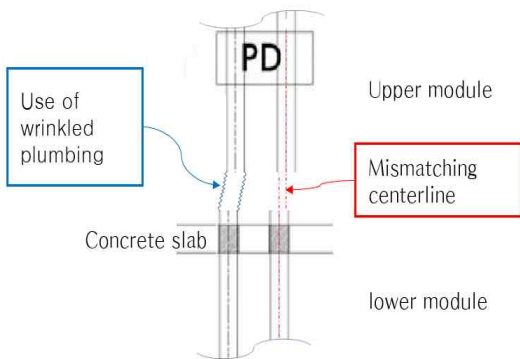


Figure 10. Solution of the mismatching centerline

용접으로 연결하는 부속이다. 누수를 방지하기 위해 배관 삽입부에는 여러 겹으로 유연한 재질로 구성되어 있다. 이 부속의 장점은 복잡성을 요구하는 용접과 접착 작업을 압착과 같이 단순작업으로 변경하여 사람이 발생시키는 실수가능성을 감소시키는 것에 있다.

Figure 9의 적색점선은 하수배관의 수평과 수직관을 연결하는 부속이며, 연결부위가 주름관 형태로 되어 있어 구부릴 수 있다. 이를 아래의 Figure 10 같은 상황에 적용하여 입상배관 상하부의 시공오차를 주름관 형태의 부속으로써 흡수할 수 있을 것으로 생각한다.

사람의 실수나 시공오차는 발생할 수 있음을 전제하여 상

기의 Figure 8, 9, 10에서 다룬 내용처럼 시스템 차원의 대책을 마련하여 품질향상을 도모하는 계획을 세워야 하자 감소에 효과를 발휘할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 모듈러 건축의 생산성을 향상시키기 위해 모듈러공장의 생산라인의 소요시간 단축방법을 모색하였다. 그 수단으로서 모듈러유닛의 전기와 기계설비시스템을 외주제작하고 모듈러공장 생산라인에서는 간단한 설치에만 시간이 소요되도록 계획하였다. 이를 위해 설비시스템 중 어떤 부분이 효과적인지 제시하고, 설계단계에서부터 고려해야 할 점과 취약부위의 연결부위에 대해 하자저감을 방법을 제시하였다. 본 연구가 모듈러 건축의 공장제작을 향상증가에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

요 약

공기를 획기적으로 감소시킬 수 있는 모듈러건축으로 유사 모듈이 반복되는 공동주택을 건설하는 안에 대해 현행의 시공방법을 고찰한 결과 설비시스템에서 개선할 점을 발견하고, 그 방법으로 공장제작과 현장설치부분을 구분해서 살펴보고 현재 모듈러생산사 실무진의 의견과 종합건설사 기술담당자의 의견으로 그 가능성을 확인하고자 했으며 그 과정에서 제기된 문제에 대해 원천적인 관점에서 쉽게 풀어나갈 수 있는 방법으로 유리한 설계안을 제안하였고, 접속부위의 누수하자와 같은 고질적 문제점에 대한 대안을 기재하였다.

키워드 : 모듈러 건축, 모듈러 제조공장, M.E.P. 시스템, 외주제작

Acknowledgement

This study was supported by a grant(14RERP-B082884-01) from Technical Development of Modular Construction in Mid-high Rise Building and Higher Productivity funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government in 2016.

References

1. Lee DH, Ock JH, A study on the application of the in-fill construction method to high-rise unit modular buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2014 Mar;30(3):105-14.
2. Lee CJ, Wang WC, Lee WH, Lim SH, Study on modular construction of economic analysis, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2012 Oct;32(2):99-100.
3. Yu M, Oh JW, Lee MH, Yu YD, Park TK, A Study on analyzing the duration of modular construction method, Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2005 Oct;25(1):201-4.
4. Jang GS, Lee CJ, Lim SH, Research on manufacture process of modular construction, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2012 Oct;32(2):125-6.
5. Lee KB, Kim KR, Shin DW, Cha HS, A Proposal for optimizing unit modular system process to improve efficiency in off-site manufacture, transportation and on-site installation, Korea Journal of Construction Engineering and Management, 2011 Nov;12(6):14-21.
6. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, First year annual report of Technical Development of Modular Construction in Mid-high Rise Building and Higher Productivity, Goyang(Korea): Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology; 2015 Feb 23; 293 p. Report No.: 14RERP-B082884-01.
7. JOINTOP CO.,LTD, Connection part for water supply Non welded joint [Internet], Korea: JOINTOP CO.,LTD; 2011. Available from: http://www.jointop.co.kr/Board/html/tech_opr.asp.