pISSN 1598-2033
eISSN 2233-5706
Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 12, No. 4
http://dx.doi.org/10.5345/JKIBC.2012.12.4.415
www.jkibc.org

그린 프레임의 기둥접합부 특성 분석

Comparative Analysis of Column Connection Characteristics of Green Frame

김 근 호[1] 이 택 운[2] 이 성 호[1] 김 선 국[1*]

Kim, Keun-Ho[1] Lee, Taick-Oun[2] Lee, Sung-Ho[1] Kim, Sun-Kuk[1*]

Department of Architectural Engineering, Kyung Hee University, 1732 Deogyeong-dearo, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 446-701, Republic of Korea [1]

Department of Architecture, Yeungnam College of Science & Technology, 170 Hyeonchung-ro, Nam-gu, Deagu, 705-703, Republic of Korea [2]

Abstract

Green Frame was developed to embody a Green structural system that can provide long life, resource reduction, and availability of remodeling in apartment buildings. Composite precast concrete column and beam, the major structural material of Green Frame, can be installed precisely and promptly through connection of steels and concrete. The connection of Green Frame can be divided into four types, based on the method and characteristics of connection. To select an appropriate type for the site, a comparative analysis of the four types is necessary. The objective of this study is to compare the duration, cost, quality, and safety of four types. The findings of this study can be applied during the selection that appropriate composite precast concrete column reflected project characteristics in design phase.

Keywords : green frame, composite precast concrete member, connection

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 주택의 60%에 이르는 공동주택의 경우 대부분 내력벽식 구조로 이루어져 리모델링 시 많은 문제점이 있다. 특히, 층간소음 문제를 해결하기 위해 바닥 두께가 점차 두꺼워지고, 이에 따라 전체 골조단면이 증대한다. 그 결과 CO_2 발생 비중이 높은 골조관련 자원 투입이 증대한다[1]. 이러한 문제에 대응하기 위해 장수명, 자원저감 및 친환경 구조시스템인 그린프레임(Green Frame, 이하 GF) 공법이 개발되었다[2]. GF 공법은 철골과 철근 콘크리트 재료의 장점을 활용한 합성 프리캐스트 콘크리트(Precast Concrete, 이하 PC) 부재로 구성된다[3,4].

일반 PC구조는 기둥과 보의 접합이 철근과 콘크리트로 이루어지며, 접합부 성능이 타 구조에 비하여 상대적으로 약한 단점을 가지고 있다[5]. 이와 달리 GF의 주요 구조부재인 합성 PC 기둥과 보는 접합부 철골과 콘크리트에 의해 접합되므로 일반 PC구조의 구조적 단점을 보완 할 수 있으며, 신속한 설치가 가능하다[6,7,8].

GF의 합성 PC 보는 철골의 일반적 특성을 가지고 있지만 합성 PC 기둥의 경우에는 접합 특성에 따라 시공성, 경제성이 다르다. GF 공법의 합성 PC 기둥은 접합방식에 따라 네 종류로 분류된다[3]. 이들은 각기 접합 특성 및 공정이 다르므로 공기, 원가, 품질, 안전성능이 다르다. 따라서 프로젝트 특성에 맞는 합성 PC 기둥 선정하여 설계 및 시공계획을 수립할 필요가 있다.

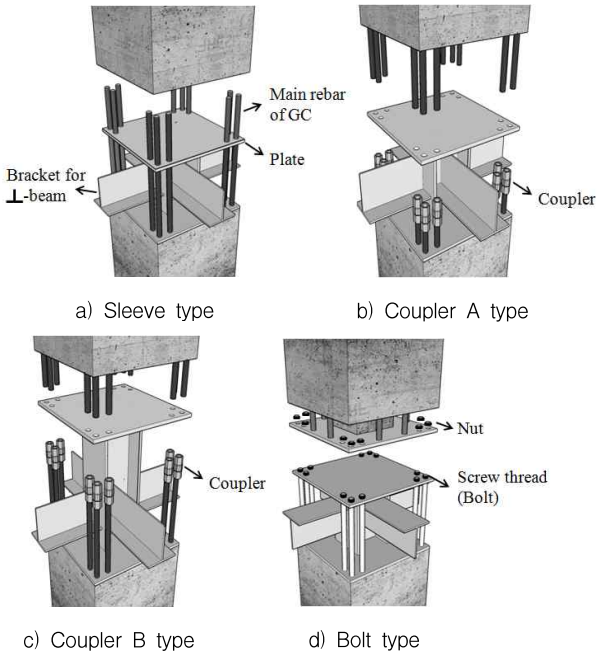
Kim et al.[3]는 GF 공법의 합성 PC 기둥에 관한 일반적인 특성과 장·단점을 비교하는 연구를 진행하였다. 그러나

Received : February 28, 2012
Revision received : June 8, 2012
Accepted : July 2, 2012
* Corresponding author : Kim, Sun-Kuk
[Tel: 82-31-201-3365, E-mail: kimskuk@khu.ac.kr]
ⓒ2012 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

이 연구는 사전조사 수준에서 진행하였으므로 보다 심도 있는 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 그린프레임의 종류별 기둥 접합부 특성을 파악하기 위하여 공기, 원가, 품질, 안전성능 분석하는 것을 목적으로 한다. 본 연구의 결과는 설계단계에서 프로젝트 특성을 반영한 적정 합성 PC 기둥을 선정하는데 활용된다.

1.2 연구의 범위 및 절차

GF의 합성 PC 기둥(Green Column, 이하 GC)은 Figure 1과 같이 슬리브(sleeve) 방식, 커플러(coupler) 방식(기둥 선 설치형, 이하 A형), 커플러 방식(기둥 후 설치형, 이하 B형), 볼트(bolt) 방식으로 구성되며, 상세내용은 2.1절에서 기술한다.



a) Sleeve type b) Coupler A type

c) Coupler B type d) Bolt type

Figure 1. Connection form of each column type

본 연구에서 위 네 가지 방식의 GC를 대상으로 특성을 분석하며, 그 절차는 다음과 같다. 첫째, 종류별 GC 접합부의 일반적 특성을 파악한다. 둘째, 사례 현장을 대상으로 모션스터디(시뮬레이션)를 통하여 GC 종류별 접합부 설치 공기를 산정한다. 또한 원가분석 기법을 활용하여 원가를 비교한다. 셋째, 전문가 설문을 통해 AHP를 기반으로 Fuzzy 이론과 Delphi기법을 이용한 FD-AHP 기법 사용으로 품질과 안전성능을 비교한다. 넷째, 종류별 GC 접합부의 종합적인 비교·분석을 한다.

2. 예비적 고찰

2.1 GC 접합부 소개

GC 접합부는 철골이 매입되어 신속한 접합으로 공기를 절감할 수 있고 구조적 안전성을 확보하게 된다[9]. 이와 같은 GC의 접합방식은 Figure 1과 같이 네 가지가 있다.

상 · 하부 GC의 연결을 위한 플레이트는 하부 기둥 접합부 철골 상단에 존재한다. 플레이트는 상 · 하부기둥 접합과정에서 철근이 관통되며, 수직 전단력에 저항하는 전단 연결재 역할을 한다[10].

2.1.1 슬리브방식 접합

슬리브방식 접합은 기둥 후 설치형(B형)이다. 기둥 후 설치형은 하부기둥에 보를 설치하고 슬래브를 타설한 후 기둥이 설치되는 방식이다. 슬래브 타설 후 기둥이 설치되기 때문에 접합부에 그라우팅 작업이 필요하다. 슬리브방식 접합은 Figure 1의 a)와 같이 일반 PC기둥 접합과 유사한 방식이다. 상부기둥 하부에 매입된 슬리브에 하부기둥 주근을 삽입시킨 후 접합부에 고압으로 무수축 모르타르를 충전하여 일체화시킨다. 슬리브 접합방식은 일반 PC 구조의 많은 예시에 적용되어 안전성이 검증되었다[3,10]

2.1.2 커플러방식 A형 접합

커플러방식 A형 접합은 기둥 선 설치형으로 하부기둥에 보를 설치한 후 슬래브를 타설하기 전에 상부기둥을 설치하는 방식이며, Figure 1의 b)와 같다. 이는 노출된 상 · 하부 기둥 철근이 커플러로 연결된다. 커플러 연결을 위해 철근은 나사산 가공되어 있다. 이후 슬래브와 함께 콘크리트를 타설하여 일체화시킨다. 이와 같은 접합방식은 그라우팅 작업이 필요하지 않기 때문에 공종의 개수가 감소한다[3].

2.1.3 커플러방식 B형 접합

커플러방식 B형 접합은 Figure 1의 c)와 같다. 이는 슬래브 타설 후 노출된 상부기둥 철근과 하부기둥 철근이 커플러로 연결된다. 커플러 연결을 위해 철근은 나사산 가공되어 있다. 이후 접합부를 모르타르 충전하여 일체화시킨다[3].

Figure 1의 b), c)와 같이 각각의 하부기둥 접합부 철골은 비슷한 형상이다. 하지만 커플러방식 B형의 경우, 상부기둥은 슬래브 타설 후 하부기둥 철골 접합부와 접합된다.

따라서 접합을 위해 하부기둥 접합부 철골은 슬래브 상단에 도출되어 커플러방식 A형 접합부 철골보다 길다[11].

2.1.4 볼트방식 접합

볼트방식 접합은 기둥 후 설치형(B형)이다. 볼트방식 접합은 Figure 1의 d)와 같이 너트 체결을 위해 상부기둥에 플레이트가 매입되어있다. 매입된 플레이트는 나사산 가공된 하부기둥 철근에 너트를 체결하여 하부기둥과 연결된다. 이후 접합부를 모르타르 충전하여 일체화시킨다[3].

2.2 관련연구 동향

지금까지 진행된 GF 관련 연구를 살펴보면, Hong et al.[12]와 Lee[11]의 연구는 GF 구성에 관한 고찰 및 물량과 공사비를 산출하였다. Lee et al.[7]의 연구는 슬리브, 커플러 A형, 커플러 B형 방식 GF 소개를 하였고 내력벽식 구조와 볼트형 GF 간의 물량과 CO_2를 비교·분석하였다. 또한 내력벽식 구조와 복합무량판 구조, GF 세 가지 구조형식의 공정을 비교·분석하였다. Kim et al.[13]의 연구는 GF 구성을 고찰하며 RC공법과 합성 PC 라멘조 공법의 공기와 원가를 비교하였다. 위의 연구들은 골조 전반적인 관점에서의 시공성 및 경제성 파악으로 GC 종류별 접합부에 따른 특성을 알 수 없다. 반면 Kim et al.[3]는 종류별 GC 접합부의 일반적인 특성과 장·단점을 비교하는 연구를 진행하였다. 그러나 개략적인 종류별 GC 접합부 소개만 하였을 뿐 세부적인 비교 · 분석은 이루어지지 않아 심도 있는 연구가 필요하다.

3. GC 접합부 공기 및 원가 비교

본 장에서는 4가지 종류의 GC 접합부 설치를 위한 공기 및 원가를 산정한다. 사례 현장에 적용한 예비연구를 통하여 종류별 GC 접합부의 공기 및 원가를 비교한다.

3.1 사례 현장 개요

선정한 사례 현장은 경기도에 있는 공동주택 현장으로 지상공간은 대부분 녹지 및 근린생활 공간이다. 사례 현장은 Table 1과 같이 대지면적 57,330m^2, 용적률 227.87%, 건폐율 18.91%이고 지상 25층, 지하 2층의 건물이다. 층고는 2.9m로 조사되었다. 또한 세대 당 공급면적은 83m^2이다[14].

Table 2. Brief description of a sample project

Location	Gyeonggi-do
Site area (m^2)	57,330
Structure type	Composite rahmen system (Green Frame)
Building type	Apartment buildings
Volume (%)	227.87
Building coverage (%)	18.91
Stories	F25, B2
Floor height	2.9 m

기준층 구조평면은 Figure 2와 같이 4개의 세대로 구성되어 있다. 사례 현장 기준층 GC와 GB의 물량은 GC 39개, GB 62개가 소요된다. 본 연구는 GC의 크기 0.5×0.5×2.9m, GC의 주근은 12-D25로 선정하여 진행한다.

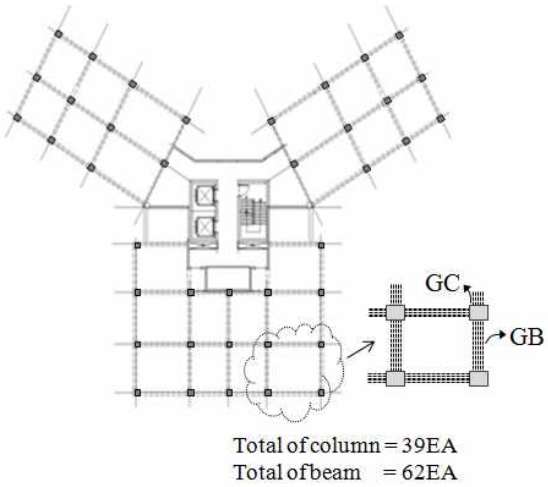


Figure 2. Typical structural floor plan

3.2 공기 비교

종류별 GC 접합부 설치를 위한 전체 주공정은 Figure 3과 같이 기둥 선·후 설치형과 접합 연결재에 따라 공종의 분류와 순서가 다르다. 3개 층 1개절로 구성되는 GC 설치 과정에서 GC 설치를 기준으로 GB 및 데크(Deck) 설치, 슬래브 및 GB 철근보강, 거푸집 설치, 슬래브 타설 및 양생 공종이 3번 반복된다. 즉, 공정은 종류별 GC 접합부에 따라 다르다.

종류별 GC 설치를 위한 일반적인 T/C 양중 절차는 다음과 같다. ① 기둥의 양중을 위해 와이어로프를 기둥에 연결하는 부재연결 단계, ② 눕혀진 기둥을 수직으로 세우고, 기둥이 T/C에 의해 설치장소로 수평, 수직 이동되는 양중 및 이동 단계, ③ 상부 GC와 하부 GC의 접합면의 위치를 정확

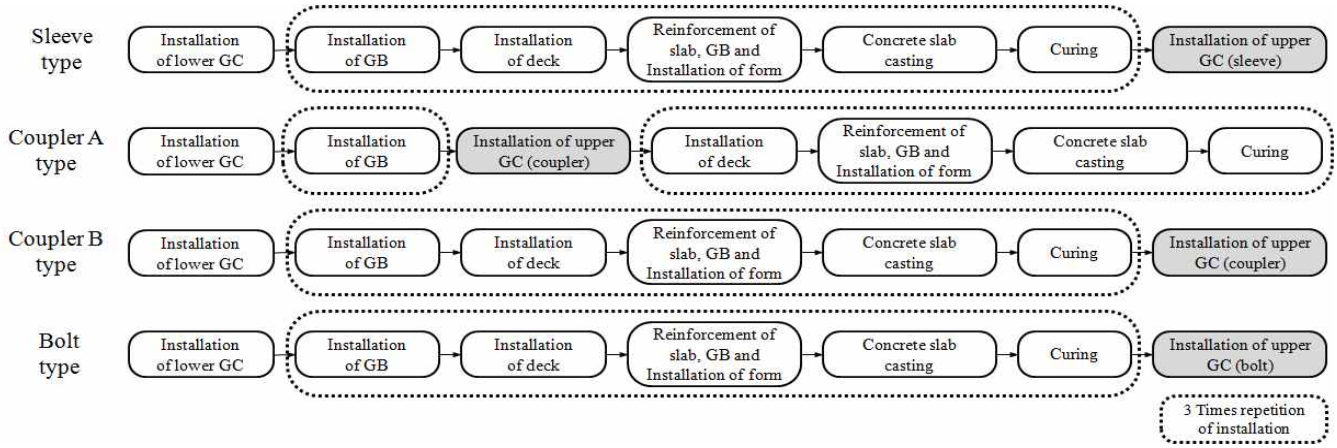


Figure 3. Working process of each column type

히 조정하는 위치잡기 단계, ④ 기둥의 임시고정을 위한 가접합을 실시하는 임시접합 단계, ⑤ 임시접합 상태를 검사하고 연결된 기둥의 와이어로프를 해제하는 검사 단계, ⑥ 다음 기둥 연결을 위해 와이어로프를 지상으로 하강시키는 줄 내리기 단계로 구성된다. 양중 절차는 각 단계별 작업이 반복적으로 이루어진다. 그러나 슬리브방식의 경우, 전체 양중 절차에서 임시접합 단계는 제외된다.

실제 GF 적용현장의 T/C에 의한 볼트방식 GC 1개 인양 및 설치 공기는 부재 T/C 연결 1분, 세우기 1분, GC 양중 및 이동은 3분, 위치잡기 1분, 검사 2분, T/C 줄내리기 1분으로 본 연구에 적용한다. 상부 GC 설치공기는 하부 GC 기설치를 가정하고, 이후 1개층(1개절)이 설치되는 공기를 산정한다. T/C는 1대 설치를 기준으로 하며, 종류별 GC 접합부간의 설치공기를 비교하므로 장비가동률은 100%로 가정한다. GC 양중 및 이동 시간은 12층 기준(1개층 : 2.9m)으로 수직 이동시간(T/C 정격속도 = 40m/min.) 1분과 수평 이동시간 2분을 기준으로 한다. 코어부 공기는 산정하지 않는다.

종류별 GC 접합은 T/C에 의한 주공정 작업 이외에 최종적인 GC 접합을 위한 추가공종이 존재한다. 추가공종은 주공정 이후에 이루어지며, 추가공종 작업시 다른 주공정 작업(GB 설치, 데크 설치)이 함께 이루어 질 수 있다. 즉, 추가공종은 T/C 영향을 받지 않는 접합부 최종설치 마무리 작업이다. 따라서 종류별 GC 접합 설치 공기는 GC가 인양 및 설치되는 주공정 이후의 접합부별 추가공종 공기를 별도 산정한다. 접합부별 추가공종의 공기는 공종별 2인 1조 작업 기준으로 산정한다.

Figure 3의 상부 GC 설치 공종을 제외한 나머지 공종의 공기는 GB설치 10시간 20분, 데크 설치 8시간, 상부근 및 거푸집 설치 4시간, 검사 1시간, 콘크리트 타설 8시간, 양생 24시간으로 동일하게 두어 본 연구에서는 공기산정에 고려하지 않는다.

3.2.1 슬리브방식 접합부

1개 슬리브방식 접합부 GC 인양 및 설치 주공정은 Table 2와 같이 부재 T/C 연결 → 기둥 세우기, 양중 및 이동 → 위치잡기 → 검사 → T/C 줄 내리기로 총 9분이 소요된다. 슬리브방식 접합부는 타 방식과 비교하여 임시접합 공종이 제외된다.

Table 3. Installation activities of sleeve type GC

Critical Path	T/C connection of member	Tilting-up & installing GCs	Position -ing	Inspect -ion	Disconnection of T/C	Total
Time (min.)	1	4	1	2	1	9
Additional work	Non-shrink grouting					Total
Time (min.)	18					18

최종 GC 접합을 위한 추가공종인 슬리브 고압 무수축 모르타르 그라우팅 작업이 존재한다. 이는 기둥 개소당 주입기 설치 15초, 주입 30초, 작업 후 면 처리 45초로 총 1분 30초가 소요되며, 12곳 작업으로 18분이 소요된다. 따라서 사례 현장에 적용한 39개 상부 GC 설치 주공정은 351분, 추가공정은 702분이 산정되었다.

3.2.2 커플러방식 A형 접합부

1개 커플러방식 A형 접합부 GC 인양 및 설치 주공정은 Table 3과 같이 부재 T/C 연결 → 기둥 세우기, 양중 및 이동 → 위치잡기 → 커플러 임시접합 → 검사 → T/C 줄 내리기로 총 15분이 소요된다.

Table 4. Installation activities of coupler A type GC

Critical Path	T/C connection of member	Tilting-up & installing GCs	Position-ing	Temporary coupling	Inspect-ion	Descent of T/C line	Total
Time (min.)	1	4	1	6	2	1	15
Additional work	Final coupling						Total
Time (min.)	12						12

최종 GC 접합을 위한 추가공종인 상·하부 철근의 커플러 본접합 작업이 존재한다. 이는 기둥 개소당 1분 30초씩, 8개 접합으로 12분이 소요된다. 커플러 설치 소요시간은 실제 현장에서 적용된 실측치를 사용한다. 따라서 사례 현장에 적용한 39개 상부 GC 설치 주공정은 585분, 추가공정은 468분이 산정되었다.

3.2.3 커플러방식 B형 접합부

1개 커플러방식 B형 접합부 GC 인양 및 설치 주공정은 Table 4와 같다. 이는 커플러방식 A형 접합부 GC 설치 주공정과 동일하므로 총 15분이 소요된다.

Table 5. Installation activities of coupler B type GC

Critical Path	T/C connection of member	Tilting-up & installing GCs	Position-ing	Temporary coupling	Inspect-ion	Descent of T/C line	Total
Time (min.)	1	4	1	6	2	1	15
Additional work	Final coupling	Grouting					Total
Time (min.)	12	2					14

최종 GC 접합을 위한 추가공종인 상·하부 철근의 커플러 본접합 작업이 존재한다. 이는 기둥 개소당 1분 30초씩, 8개 접합으로 12분이 소요된다. 커플러 설치 소요시간은 서울 OO현장에서 적용된 실측치를 사용한다. 더불어 상부 GC 하단부 무수축 모르타르 그라우팅 작업이 존재한다. 이는 기둥당 주입기 설치 15초, 주입 1분, 작업 후 면 처리 45초로 총 2분이 소요된다. 따라서 사례 현장에 적용한 39개 상부 GC 설치 주공정은 585분, 추가공정은 546분이 산정되었다.

3.2.4 볼트방식 접합부

1개 볼트방식 접합부 GC 인양 및 설치 주공정은 Table 5와 같이 부재 T/C 연결 → 기둥 세우기, 양중 및 이동 → 위치잡기 → 볼트 임시접합 → 검사 → T/C 줄 내리기로 총 13분이 소요된다[2].

Table 6. Installation activities of bolt type GC

Critical Path	T/C connection of member	Tilting-up & installing GCs	Position-ing	Temporary bolting	Inspect-ion	Descent of T/C line	Total
Time (min.)	1	4	1	4	2	1	13
Additional work	Final bolting	Grouting					Total
Time (min.)	8	2					10

최종 GC 접합을 위한 추가공종인 볼트 본접합 작업은 개당 1분씩, 8개 접합으로 8분이 소요된다. 또한 상부 GC 하단부 무수축 모르타르 그라우팅 작업은 기둥당 주입기 설치 15초, 주입 1분, 작업 후 면 처리 45초로 총 2분이 소요된다. 따라서 사례 현장에 적용한 39개 상부 GC 설치 주공정은 507분, 추가공정은 390분이 산정되었다.

사례 현장에 적용한 종류별 GC 접합부 최종설치 공기는 Figure 4와 같다. 주공정은 슬리브방식, 볼트방식, 커플러방식(A·B형) 순으로 증가하였다. 공기가 가장 짧은 슬리브방식 대비 볼트방식은 44%, 커플러방식(A, B형)은 66%의 공기가 증가한다. 추가공종은 볼트방식, 커플러방식 A형, 커플러방식 B형, 슬리브방식 순으로 증가하였다. 공기가 가장 짧은 볼트방식 대비 커플러방식 A형은 20%, 커플러방식 B형은 40%, 슬리브방식은 80%의 공기가 증가한다.

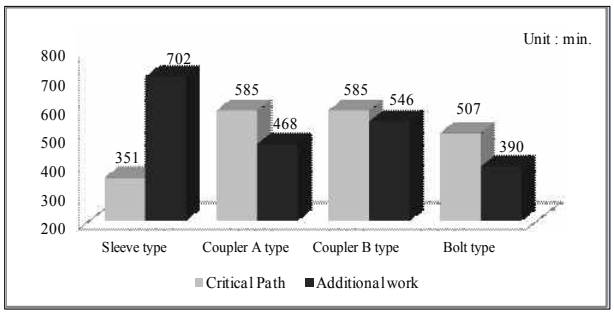


Figure 4. Time comparison of GCs per floor

3.3 원가 비교

본 절에서는 종류별 GC 접합부에 따른 접합부별 설치 원가를 비교 · 분석한다. 동일한 환경에서 상부 GC를 설치한다는 가정 하에 사례 현장에 투입된 비용을 산출한다.

비용은 종류별 GC 접합부에 사용되는 철골, 철골 설치비, 모르타르, 철근 이음재료비(커플러, 볼트), 철근 나사산가공비를 산정한다. 이는 실제 GF 적용된 현장에서 집계된 단가와 대한건설협회 2012년 1월 거래가격을 기준하여 산정한다[15]. 접합부 최종설치를 위한 설치비(installation cost)는 GF 적용현장 단가 측정시 철골 톤(ton)당 금액으로 환산하여 전체 인건비와 설치비를 포함한 금액이다. 더불어 GC 설치를 위해 공통으로 사용되는 1대 T/C를 주공정 시간에 의하여 임대료를 산정한다. 그러나 가설공사비는 원가산정에서 제외한다.

3.3.1 슬리브방식 접합부

슬리브방식 접합부 철골은 Figure 5와 같이 H형강, GB 설치를 위한 역T형강 브래킷, 상 · 하부 플레이트로 구성된다. 이와 같은 접합은 3장에서 분석한 바와 같이 하부기둥의 철근과 상부기둥 접합에서 무수축 그라우팅 공종이 추가된다.

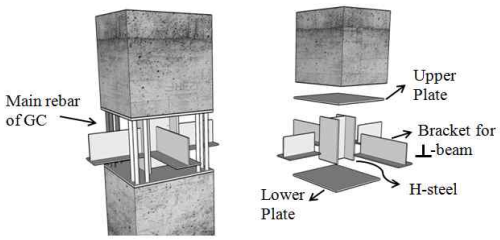


Figure 5. Joint steel detail of sleeve type GC

고압 무수축 그라우팅은 기둥 한개당 12개의 지름 30mm, 길이 72.5cm의 홀(Hole)에 작업을 한다. 따라서 슬리브방식 접합부 설치의 원가는 Table 6과 같이 산출하였다.

Table 7. Connection cost of sleeve type GC

Description	Unit	Quantity	Unit price	Cost
Installation cost	ton	3.16	240,000	758,400
Str. Steel	ton	3.16	1,160,000	3,665,600
Grouting mortar	m^3	0.79	912,000	720,480
T/C	EQH	5.85	44,499	260,319
Total				5,404,799

상기 Table 6을 바탕으로 하여, 슬리브방식 접합부 설치를 위한 설치비는 758,400원이다. 철골 재료비는 3,665,600원이며, 무수축 그라우팅을 위한 재료비는 720,480원이다. 또한 기준층 GC 설치를 위한 주공정은 5.85시간(EQH : Equipment · Hour, 장비 사용시간)으로 타워크레인 임대비용은 260,319원이다. 따라서 사례 현장에 적용한 슬리브방식 접합부 원가는 총 5,404,799원으로 분석되었다.

3.3.2 커플러방식 A형 접합부

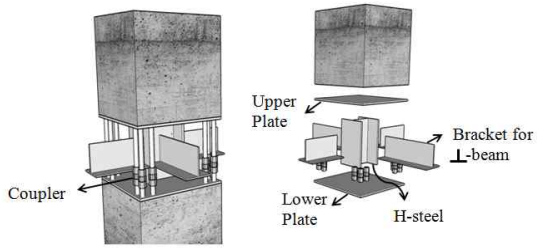


Figure 6. Joint steel detail of coupler A type GC

커플러방식A 접합부 철골은 Figure 6과 같이 H형강, GB 설치를 위한 역T형강 브래킷, 상 · 하부 플레이트로 구성된다. 이와 같은 접합은 3장에서 분석한 바와 같이 철근 이음을 위한 커플러 공종이 추가된다. 그리고 커플러접합을 위한 철근의 나사산 가공이 필요하다. 따라서 커플러방식 A형 접합부 설치의 원가는 Table 7과 같이 산출하였다.

Table 8. Connection cost of coupler A type GC

Description	Unit	Quantity	Unit price	Cost
Installation cost	ton	3.16	240,000	758,400
Str. Steel	ton	3.16	1,160,000	3,665,600
Screwed rebar	ton	0.51	30,000	15,300
Coupler	EA	468.00	7,300	3,416,400
T/C	EQH	9.75	44,499	433,865
Total				8,289,565

상기 Table 7을 바탕으로 하여, 커플러방식 A형 접합부 설치를 위한 설치비는 758,400원이다. 철골 재료비는 3,665,600원이며, 커플러 이음을 하기위한 철근 나사산 가공비는 15,300원이다. 커플러 재료비는 개당 7,300원으로 3,416,400원이 소요된다. 또한 기준층 GC 설치를 위한 주공정은 9.75시간으로 타워크레인 임대비용은 433,865원이

다. 따라서 사례 현장에 적용한 커플러방식 A형 접합부 원가는 총 8,269,565원으로 분석되었다.

3.3.3 커플러방식 B형 접합부

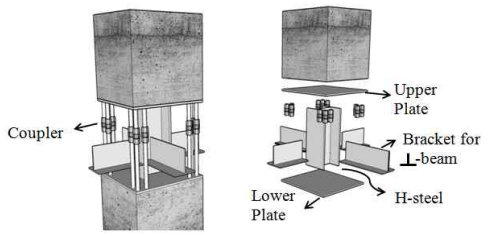


Figure 7. Joint steel detail of coupler B type GC

커플러방식B 접합부 철골은 Figure 7과 같이 H형강, GB 설치를 위한 역T형강 브래킷, 상·하부 플레이트로 구성된다. 이와 같은 접합은 3장에서 분석한 바와 같이 철근 이음을 위한 커플러 공정과 상부기둥 하단의 그라우팅 공정이 추가된다. 그라우팅 공정은 Figure 1의 (c)와 같이 철골 접합부 상단부가 타방식보다 상부 GC 설치를 위해 노출되어 있어 슬래브 상단의 기둥하부 그라우팅이 필요하다. 그리고 커플러접합을 위한 철근의 나사산 가공이 필요하다. 따라서 커플러방식 B형 접합부 설치의 원가는 Table 8과 같이 산출하였다.

Table 9. Connection cost of coupler B type GC

Description	Unit	Quantity	Unit price	Cost
Installation cost	ton	3.51	240,000	842,400
Str. Steel	ton	3.51	1,160,000	4,071,600
Screwed rebar	ton	0.51	30,000	15,300
Coupler	EA	468.00	7,300	3,416,400
Grouting mortar	m^3	1.80	53,130	95,634
T/C	EQH	9.75	44,499	433,865
Total				8,875,199

상기 Table 8을 바탕으로 하여, 커플러방식 B형 접합부 설치를 위한 설치비는 842,400원이다. 철골 재료비는 4,071,600원이며, 커플러 이음을 하기위한 철근 나사산 가공비는 15,300원이다. 커플러 재료비는 개당 7,300원으로 3,416,400원이 소요된다. 그라우팅을 위한 모르타르 재료비는 95,634원이다. 또한 기준층 GC 설치를 위한 주공정은 9.75시간으로 타워크레인 임대비용은 433,865원이다. 따라서 사례 현장에 적용한 커플러방식 B형 접합부 원가는 총 8,875,199원으로 분석되었다.

3.3.4 볼트방식 접합부

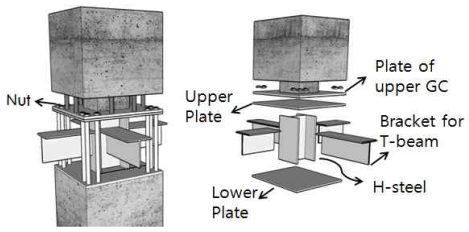


Figure 8. Joint steel detail of bolt type GC

볼트방식 접합부 철골은 Figure 8과 같이 H형강, GB 설치를 위한 T형강 브래킷, 상·하부 플레이트로 구성된다. 더불어 상부 GC 하단부에 접합을 위한 플레이트가 존재한다. 따라서 총 3개의 플레이트로 타방식보다 철골량이 많다. 이와 같은 접합은 3장에서 분석한 바와 같이 접합부 철골과 상부기둥 접합에서 볼트접합 및 그라우팅 공정이 추가된다. 그라우팅 공정은 볼트방식은 Figure 1의 (d)와 같이 슬래브 상단의 기둥하부 그라우팅이 필요하다. 그리고 볼트접합을 위한 철근의 나사산 가공이 필요하다. 따라서 볼트방식 접합부 설치의 원가는 Table 9와 같이 산출하였다.

Table 10. Connection cost of bolt type GC

Description	Unit	Quantity	Unit price	Cost
Installation cost	ton	3.74	240,000	897,600
Str. Steel	ton	3.74	1,160,000	4,338,400
Screwed rebar	ton	0.25	30,000	7,500
Bolt	EA	468.00	288	134,784
Grouting mortar	m^3	0.92	53,130	48,880
T/C	EQH	8.45	44,499	376,017
Total				5,803,181

상기 Table 9를 바탕으로 하여, 볼트방식 접합부 설치를 위한 설치비는 897,600원이다. 철골 재료비는 4,338,400원이며, 볼트 체결을 하기위한 철근 나사산 가공비는 7,500원이다. 볼트 재료비는 개당 288원으로 134,784원이 소요된다. 그라우팅을 위한 모르타르 재료비는 48,880원이다. 또한 기준층 GC 설치를 위한 주공정은 8.45시간으로 타워크레인 임대비용은 376,017원이다. 따라서 사례 현장에 적용한 커플러방식 B형 접합부 원가는 총 5,803,181원으로 분석되었다.

사례 현장에 적용한 종류별 GC 접합부 최종설치 원가는 Figure 5와 같이 슬리브방식, 볼트방식, 커플러방식 A형, 커플러방식 B형 순으로 증가하였다. 원가가 가장 낮은 슬리브방식 대비 볼트방식은 7.3%, 커플러방식 A형은 53%, 커플러방식 B형은 64.2%의 원가가 증가한다.

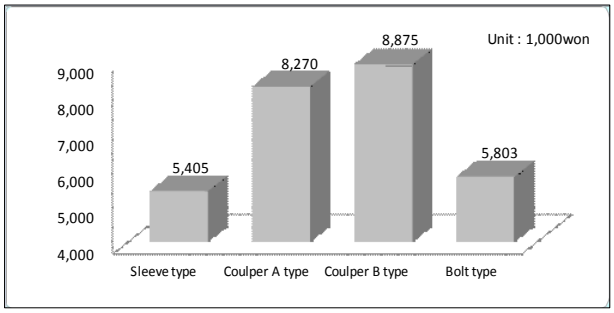


Figure 9. Cost comparison of GCs per floor

4. GC 접합부 품질 및 안전 비교

합성 PC부재는 실제 19층 공동주택과 주상복합건물에 적용하여 실험과 해석을 통해 구조적 안전성과 품질의 우수성을 입증하였다[18,19,20]. 이에 본 연구의 종류별 GC 접합부에 대한 품질 및 안전성능은 관련분야의 전문가(경력 5년 이상인 GF 적용 현장의 엔지니어 7명, 생산업체의 전문가 1명을 대상으로 총 8명 선정)들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 전문가 설문 후 FD-AHP (Fuzzy Delphi-Analytic Hierarchy Process) 기법을 사용하여 GC 접합부별 중요도를 비교한다. FD-AHP 기법은 AHP를 기반으로 Fuzzy이론과 Delphi기법을 이용한 새로운 의사결정모델이다. FD-AHP의 목적은 AHP와 같이 복수 대안들 중에서 최선의 대안을 선택해야 하는 의사결정문제에 쌍대비교(pairwise comparison)하여 평가결과를 정량화시켜 체계적으로 정리함으로써 의사결정에 반영할 수 있도록 하는 기법이다[16,17]. 따라서 종류별 GC 접합부 비교는 가장 우수한 접합부를 '1'로 환산하여 타방식 접합부와 함께 나타내었다.

4.1 품질 비교

설문은 종류별 GC 접합부별로 고려항목을 선정하여 실시하였다. 설문의 구성항목은 2장에서 분석한 바와 같이 종류별 GC 접합부 설치시 세부공정에 따른 상부 GC 수직도, 그라우팅 밀실도, 커플러 · 볼트 조임의 구조적 안정성, 철근 단부 나사산 가공의 양호성을 고려한다.

FD-AHP 기법 사용결과 전체 100% 기준하여 슬리브방식 30.09%, 커플러방식 A형 6.08%, 커플러방식 B형 9.81%, 볼트방식 54.03%의 품질성능 우수를 나타내었다.

각 종류별 품질 비교에 관한 내용을 정리하면 Figure 10과 같이 볼트방식, 슬리브방식, 커플러방식 B형, 커플러방식 A형 순으로 우수한 것으로 분석되었다.

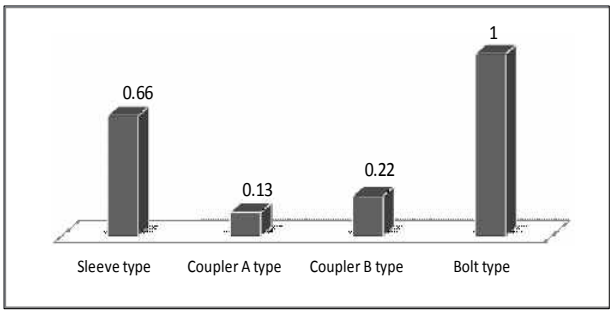


Figure 10. Quality comparison of GCs

4.2 안전 비교

설문은 추락, 낙하·비래, 충돌·협착 항목으로 구성되어있다. 3.2절에서 분석한 바와 같이 종류별 GC 접합부의 기둥 선·후 설치형에 따라 슬래브 공종순서는 다르다. 따라서

추락은 슬래브 설치 유무에 따라 시공자의 작업시 위험이 있다. 또한 기둥의 인양 및 설치시 부재나 장비의 낙하·비래, 접합재 및 접합부분과의 충돌·협착이 있다.

FD-AHP 기법 사용결과 전체 100% 기준하여 슬리브방식 21.12%, 커플러방식 A형 9.42%, 커플러방식 B형 23.91%, 볼트방식 45.56%의 안전성능 우수를 나타내었다.

각 종류별 안전 비교에 관한 내용을 정리하면 Figure 11과 같이 볼트방식, 슬리브방식, 커플러방식 B형, 커플러방식 A형 순으로 우수한 것으로 분석되었다.

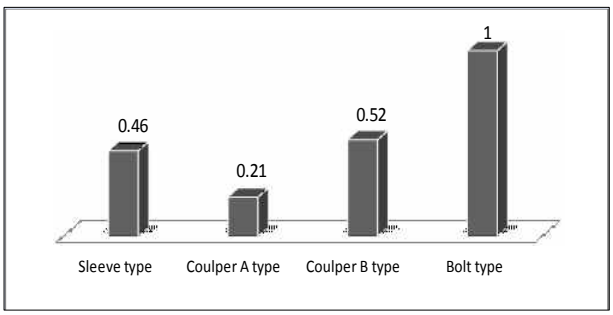


Figure 11. Safety comparison of GCs

5. GC 접합부 종합 비교

본 장에서는 종류별 GC 접합부별로 3장과 4장에서 분석된 공기, 원가, 품질, 안전성에 대한 자료를 바탕으로 하여 GC 접합부 특성을 종합적으로 비교한다. 각 항목별 비교된 수치 결과를 나타내면 Table 10과 같다. 또한 항목별 가장 우수한 GC 접합부를 '5점' 기준으로 환산하여 Figure 12와 같이 도식화하였다.

Table 11. Total comparison of GCs

Description	Time (min.)		Cost (1,000 won)	Quality (%)	Safety (%)
	Critical Path	Additional work			
Sleeve type	351	702	5,405	30.09	21.12
Coupler type A	585	468	8,269	6.08	9.42
Coupler type B	585	546	8,875	9.81	23.91
Bolt type	507	390	5,803	54.03	45.56

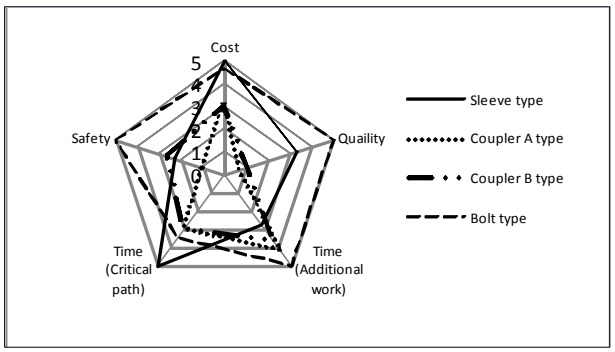


Figure 12. Total comparison of GCs

Figure 12와 같이 종류별 GC 접합부는 공기, 원가, 품질, 안전에 따라 접합부별 우수한 방식이 다르다. 공기 단축을 요하는 현장에서 주공정 측면은 슬리브방식, 주공정 이후 추가공정 측면은 볼트방식이 적합하다. 원가 절감을 요하는 현장은 슬리브 방식, 품질 및 안전성능을 요하는 현장은 볼트방식이 적합하다. 따라서 시공자는 프로젝트 특성 및 상황에 맞는 적합한 GC 접합부의 선택이 가능할 것으로 판단된다.

6. 결 론

GC는 종류별 접합부의 특성 및 공종순서가 다르므로 공기, 원가, 품질, 안전성능이 다르다. 따라서 접합부별 우수한 항목을 파악하여 GF 적용현장에 이를 선정할 수 있다. 본 연구는 사례 현장을 통한 예비연구 및 전문가 설문을 통한 FD-AHP 기법을 통하여 종류별 GC 접합부를 비교·분석하였다. 따라서 종류별 GC 접합부 특성 비교 결과에서 다음과 같은 특성을 고찰하였다.

첫째, 공기의 측면에서 주공정은 슬리브방식 접합부가 가장 짧은 것으로 분석되었다. 주공정 이후 최종설치를 위한 추가공정으로는 볼트방식 접합부가 가장 짧은 것으로 분석되었다. 이는 종류별 GC 접합부의 인양 및 설치 공기와 세부공종 작업에 따른 소요공기가 다르기 때문이다. 따라서 공기 단축을 목표로 하는 현장에서 주공정 및 추가공정에 따라 슬리브방식과 볼트방식이 적합하다.

둘째, 원가의 측면에서는 슬리브방식 접합부가 가장 경제적인 것으로 분석되었으며, 볼트방식 접합부 또한 큰 차이를 나타내지 않았다. 이는 커플러방식과 볼트방식의 커플러와 볼트 재료비, 철근 나사산가공비, 철골량의 차이 때문이다. 또한 접합부별 주공정에 따른 타워크레인 임대비의 차이 때문이다. 따라서 원가 절감을 목표로 하는 현장에서는 슬리브방식이 적합하다.

셋째, 품질과 안전의 측면에서는 볼트방식 접합부가 가장 우수한 것으로 분석되었다. 품질측면은 접합부별 공종에 따른 그라우팅 및 접합재료의 구조적 안정성, 철근단부 나사산 가공의 양호성의 차이가 존재하기 때문이다. 안전측면은 슬래브 설치 유무에 따른 시공자의 추락, 기둥의 인양 및 설치시 부재나 장비의 낙하비래, 접합재 및 접합부분과의 충돌협착 발생이 존재하기 때문이다. 따라서 품질과 안전을 우선시 하는 현장에서는 볼트방식이 적합하다.

종류별 GC 접합부 형상과 접합방식에 따른 공기, 원가, 품질, 안전성능의 연구하였다. 본 연구는 GF 적용 현장에서 종류별 GC 접합부 특성과 프로젝트 상황에 따른 적합 GC 선정함에 목적이 있다. 종합비교 및 분석 결과 각 항목별 우수한 접합부 방식이 존재한다. 따라서 각각의 GC 선정에 따른 결과는 적용 현장의 요구사항에 부합이 가능하다. 향후 본 연구의 결과는 GF 적용 현장에서 시공자의 접합부 선택에 도움이 되는 자료로 사용될 것이다.

요 약

공동주택의 리모델링 수월성, 장수명화, 자원저감, 친환

경 구조시스템 구현을 위하여 라멘구조인 그린프레임 공법이 개발되었다 그린프레임의 주요 구조부재인 합성 프리캐스트 콘크리트 기둥과 보는 접합부 철골과 콘크리트에 의한 접합으로 신속하고 정밀하게 설치할 수 있다. 그린프레임의 접합부는 그 형상에 따라 네 종류로 분류할 수 있으며, 각 종류에 따라 각기 접합 특성과 시공방법이 다르다. 현장상황에 적합한 기둥을 선택하기 위해서는 기둥 종류별 접합부 특성 비교 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 기둥 종류별 접합부의 공기, 원가, 품질, 안전성능 비교 · 분석하는 것을 목적으로 한다. 본 연구의 결과는 GF 공법의 설계단계에서 프로젝트 특성을 반영한 적정 합성 프리캐스트 콘크리트 기둥을 선정하는데 활용된다.

키워드 : 그린프레임, 합성 프리캐스트 콘크리트 부재, 접합부

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MEST) (No. 2012-0000609).

References

1. Lee KH. A Comparison of Embodied Energy and Environmental Impacts between the Steel-Structured and Wall-typed Apartment Housing. Journal of the Korea Housing Association. 2004 Jun;15(3):83-91.
2. Lee SH, Kim SK. A composite frame concept for the long life of apartment buildings. Journal of the Construction Engineering and Management. 2011 Feb;4:119-24.
3. Kim KH, Joo JK, Lim CY, Kim SK. A Basic Research for Connection Type of Green Frame. Autumn Annual Conference of The Korea Institute of Building Construction. 2011 Nov;11(2):171-2.
4. Lim CY, Joo JG, Lee SH, Kim SK. In-Situ Production Analysis of Composite Precast Concrete Members of Green Frame. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2011 Oct;11(5):501-14.
5. Seo SY, Yoon SJ, Lee WJ. Evaluation of Structural Performance the Hollow PC Column Joint Subjected to Cyclic Lateral Load. Journal of the Korea Concrete Institute. 2008 Jun;20(3):335-43.
6. Lee SH, Kim SE, Kim GH, Joo JK, Kim SK. Analysis of Structural Work Scheduling of Green Frame -Focusing on Apartment buildings-. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2011 Jun;11(3):301-9.
7. Lee SH, Joo JK, Kim JT, Kim SK. An Analysis of the CO_2 Reduction Effect of a Column-Beam Structure Using Composite Precast. Indoor and Built Environment. 2012 Jun;21(1):150-62.
8. Lim CY, Joo JK, Lee GJ, Kim SK. Requirement analysis for Development of the Bolt-type Rebar Coupler. Proceedings of the Korea Institute of Building Construction; 2011 Nov 18; Suwon (Korea); the Korea Institute of Building Construction; 2011. p. 169-70.
9. Kim SH, Kwon GD, Kim SK, Lee SH. Research on Improvement of PC Composite Frame. Annual Conference of Korea Institute of Ecological Architecture and Environment. 2010 Nov;10(2):65-8.
10. Yoon TH, Hong WK, Kim SK, Park SC, Yun DY. Development of Beam-Column Connection for The New Apartment Structural System. Journal of Korea Institute of Ecological Architecture and Environment. 2010 Dec;10(6):145-51.
11. Lee SK. The Development & Feasibility Study of Apartment Buildings for Low-carbon emissions & Long-service life [master's thesis]. Yongin (Korea): KyungHee University; 2010. p. 139.
12. Hong WK, Kim SK, Kim HG, Yoon TH, Yune DY, Kim SI. A Feasibility Study of Green Frame(GF) for the Implementation of Low-carbon Emissions & Long-life Housing. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2010 Feb;10(1):57-63.
13. Kim SH, Choi EG, Kim SK, Lee SH. An Improvement Case Study of Structural Work of Logistics Facility by Using PC Member. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2010 Dec;10(6):127-35.
14. Lim CY, Lee SH, Lee DH, Kim SK. Application study for the space efficiency improvement of the underground parking lots in the apartment building. Annual Conference of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment. 2010 Nov;10(2):61-4.
15. Construction Association of Korea. Investment expenditures of Korea construction market. https://cmpi.co.kr/price/main.asp?pagenum=1&part=price; 2011.

16. Liu YC. Application of the Fuzzy Delphi Analytic Hierarchy Process on Rock Mass Classification [master's thesis]. Tainan (Taiwan): National Cheng Kung University; 2002. 102 p.
17. Zheng Q, Lee DH, Lee SH, Kim JT, Kim SK. A Health Performance Evaluation Model of Apartment Building Indoor Air Quality. Indoor and Built Environment. 2011 Feb;20(1):26-35.
18. Hong WK, Park SC, Kim HC, Kim JM, Kim SI, Lee SG. Experimental Study of Reinforced Concrete Beams Strengthened with a GFRP and CFRP Sheets. The Structural Design of Tall and Special Buildings. 2010 Aug;19(5):497-517.
19. Hong WK, Park SC, Lee HC, Kim JM, Kim SI, Lee SG, Yoon KJ. Composite Beam Composed of Steel and Precast Concrete (Modularized Hybrid System). Part Ⅲ: Application for a 19-Story Building. The Structural Design of Tall and Special Buildings. 2010 Oct;19(6):679-706.
20. Hong WK, Kim SI, Park SC, Kim JM, Lee SG, Yoon KJ, Kim SK. Composite Beam Composed of Steel and Precast Concrete (Modularized Hybrid System). Part Ⅳ: Application for Multi-Residential Housings. The Structural Design of Tall and Special Buildings. 2010 Nov;19(7):707-27.