Korean Journal of Construction Engineering and Management
2012. Vol.13, No.1, 118~128

www.kicem.or.kr (pISSN 2005-6095)
http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2012.13.1.118

합성 PC부재에 의한 그린 프레임의 철근물량 산출 자동화 알고리즘

Automatic Algorithms of Rebar Quantity Take-Off of Green Frame by Composite Precast Concrete Members

이 성 호* 김 선 형** 이 군 재*** 김 선 국**** 주 진 규*****
Lee, Sung-Ho Kim, Seon-Hyung Lee, Goon-Jae Kim, Sun-Kuk Joo, Jin-Kyu

Abstract

As the bearing wall structure, which has been widely applied to domestic apartment buildings since the 1980s, cause many problems during remodeling of buildings, the government encourages constructors to adopt flat plate or rahmen structure through legal incentives. In line with such a trend, the green frame, an eco-friendly rahmen structure that has removed the shortcomings of previous structures, was developed to enhance structural safety, constructability, and eco-friendliness. The construction of green frame can reduce the labor cost and facilitate the composition of iron bars to reduce rebar loss through calculating the quality and establishing the bar bending schedule automatically on the precast concrete member data collected over the design phase. Therefore, the purpose of this study is to develop the algorithm to automate the calculation of iron bar volume for the green frame designed on composite precast concrete members. Automated algorithm to calculate concrete structural design information and design information. Practices through the application site should prove efficacy. The database established by the developed algorithm will automate the establishment of iron bar processing map and bar cutting list and the calculation of optimal composition and order volume to minimize the rebar loss. This will also reduce the expenses on management staff and overall construction cost through the minimization of rebar loss.

Keywords : *PC Members, Green Frame, Quantity of Rebar, Automation, Algorism*

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

1980년대 이후 국내 아파트에서 적용되어온 벽식구조는 장수명화와 이에 따른 리모델링의 어려움으로 인하여 정부에서는 법적인 인센티브1)를 제공하면서 무량판구조 및 라멘구조를 장려하고 있다. 그러나 현재 다수의 아파트 설계에 반영하고 있는 무량판 구조는 내력벽이 줄었음에도 불구하고 구조적 특성으로 인

* 일반회원, 경희대학교 대학원 건축공학과 박사과정, khsh@khu.ac.kr
** 일반회원, 경희대학교 대학원 건축공학과 석사과정, sunhyungk@nate.com
*** 일반회원, 경희대학교 대학원 건축공학과 박사과정, m60dx@nate.com
**** 종신회원, 경희대학교 건축공학과 교수, 공학박사, kimskuk@khu.ac.kr
***** 종신회원, 신동아건설, 공학박사(교신저자), myzhu@hanafos.com

1) 국토법시행령, 제46조 제5항 지구단위계획을 수립하는 경우 주거지역 안에서 용도종류 및 규모 등의 완화가능

하여 기존 벽식 대비 철근 물량이 증가할 뿐 아니라 리모델링의 수월성 또한 라멘조에 비하여 떨어진다(이승근, 2009). 이에 따라 기존 구조의 문제점을 개선한 친환경 복합 라멘구조인 그린프레임(Green Frame)이 개발(SH공사, 2010)되어 구조적 안전성 뿐 아니라 시공성, 친환경성에 대한 검증이 이루어졌다(홍원기 외5, 2010).

그린프레임은 철골, 철근 및 콘크리트로 구성된 합성 프리캐스트 콘크리트 부재(Composite Precast Concrete Member : CPCM)를 이용하여 기둥과 보를 구성하며, 바닥의 경우 기존 철근콘크리트(Reinforced Concrete : RC), 하프 슬래브(half slab) 또는 데크 플레이트(deck plate)를 이용하여 시공된다. PC(Precast Concrete)부재의 특성 상 그린프레임의 경우 설계단계에서 작성된 비교적 정형화된 부재 정보를 이용하여 물량산출 및 철근 가공도 등을 자동으로 작성하면 인력저감 뿐 아니라 철근 손율을 줄이는 철근조합을 용이하게 수행할 수 있다.

철근물량 산출 자동화 알고리즘 관련 연구로 김선국 외 1인(1991)은 철근의 최적조합을 위한 알고리즘 및 그에 따른 프로그램을 개발하여 철근 손율을 최소화하였고, 박현용 외 3인(2008)은 설치위치정보를 포함한 배근 상세도 작성 및 가공철근 자동물량산출 시스템을 개발하였다. 그러나 기존 연구는 RC공사를 중심으로 한 연구이며, 비교적 정형화된 설계정보를 가지고 있는 합성 PC부재에 대한 연구는 진행되지 않았다. 따라서 본 연구는 CPCM에 의해 설계된 라멘조의 철근물량 산출 자동화 알고리즘을 개발하는 것을 목적으로 한다. 개발된 알고리즘에 의해 저장된 정보는 철근가공조립도, 철근 재단리스트 작성 자동화 뿐 아니라 철근 손율을 최소화 할 수 있는 최적 조합과 주문물량 산출 자동화에도 활용할 수 있다.

1.2 연구의 범위 및 절차

지금까지 철근 물량 산출 자동화 관련 연구는 현장타설 철근콘크리트 구조를 대상으로 수행되었다. 그러나 비교적 표준화 수준이 높은 CPCM를 이용한 라멘조의 철근물량 산출이 자동화된다면 부재 생산업무의 효율을 높일 수 있다. 따라서 본 연구의 범위는 그린프레임에 사용되는 CPCM로 한정한다. 또한 그린프레임의 구조 시스템은 일반적으로 3개층 1개절로 구성되는 기둥 4종류, 보 12종류가 사용될 수 있으나 시공성이 우수하여 가장 많이 사용될 것으로 기대되는 기둥 1종류, 보 2종류를 대상으로 자동화 알고리즘을 개발한다. 개발된 알고리즘은 구조설계 조건 변경을 통해 나머지 기둥과 보에 쉽게 적용할 수 있다. 또한 개발된 알고리즘의 효용성 증명을 위한 사례적용 및 평가는 S건설이 라멘조로 설계한 공동주택 프로젝트를 대상으로 한다.

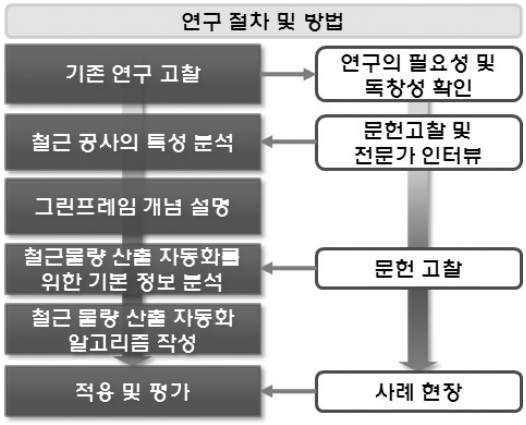


그림 1. 연구 절차 및 방법

본 연구의 절차는 그림 1과 같이 기존 연구 및 관련 문헌 고찰을 통해 본 연구의 필요성 및 독창성을 확인하고, 철근물량 산출 자동화의 효과를 가늠하기 위하여 문헌고찰 및 전문가의 인터뷰를 통하여 기존 철근공사의 특성을 분석한다. 본 연구에 적용되는 그린프레임의 개념을 설명하고, 철근물량 산출 자동화를 위해 필요한 기본 정보에 대하여 고찰한다. 여기서 기본정보는 철근형상에 따른 벤딩 마진(bending margin) 분석, 부재별 피복두께, 이음 · 정착 길이 등을 포함한다. 또한 구조 설계정보와 설계기본정보를 이용하여 철근물량 산출 자동화 알고리즘을 작성한 후 사례현장 적용을 통하여 개발된 알고리즘의 효용성을 증명한다.

2. 예비적 고찰

2.1 기존연구 고찰

철근공사는 1998년 철근콘크리트 구조물 설계의 경제성, 안정성 및 효율성을 위해 제정된 강도설계법 기준에 따르고 있다. 이후, 1999년 건축 · 토목분야에 공동으로 사용 할 수 있는 철근콘트리트 구조설계기준을 규정하고, 2005년 철근콘크리트 구조설계기준이 수정되어 철근공사에 활용되고 있다. 이로 인하여 구조물의 부위별, 콘크리트의 강도별 및 철근의 직경 등에 따라서 철근의 가공 · 배근 기준을 달리 적용하여 현장에서의 철근공사는 복잡하게 이루어지고 있다. 이에 따라 철근공사 관련자들은 시공 및 자재관리에 많은 어려움을 겪고 있으며 자재 손율 및 인력 증대 뿐 아니라 원가상승의 문제점을 낳고 있다.

철근공사와 관련된 기존연구들을 살펴보면, 김선국 외 1인(1991)은 철근 손율을 줄이기 위한 최적화 알고리즘 개발에 관한 연구를 진행하여 자동화된 철근 가공장비와 통합 시스템으로 구성하여 보다 정밀하고 과학적인 자재 및 공사관리가 가능하게

했다. 그러나 철근 가공 시 명시적인 벤딩 마진이 고려되지 않았으며 실무 적용 시 철근가공과 연계된 형상정보 및 시방정보와 연계하는 과정이 시스템적으로 연계되지 않는 한계가 있다. 조훈희 외 5인(2007)은 국내 철근 공장가공 현황 및 실태를 분석하여 철근가공 공장 활성화 및 생산성 향상을 위한 개선방안을 제시하였으나, 개선방안 구현을 위해 철근공사 통합관리 시스템의 개발 및 표준 철근 가공형상 데이터베이스 구축의 후속연구가 필요하다. 이민우 외 5인(2006)은 ADC(Automatic Data Collection)기술 등의 응용방안 모색차원에서 철근공사를 대상으로 RFID(Radio Frequency Identification)기술의 적용을 위한 기초적인 실험 및 적용에 관한 연구를 진행하였다.

김광희 외 2인(2002)은 철근의 손실에 따른 철근관리의 문제점을 개선하기 위하여 철근정보 통합관리시스템을 개발하여 철근가공 공장을 대상으로 기존 업무 절차와 연구 개선절차를 비교하여 시스템 적용의 문제점 고찰 및 개선안을 제시하였다. 박현용 외 3인(2008)은 설치위치 정보를 철근 배근 시공 상세도의 작성 전에 설정함으로서 시공자로 하여금 입고 및 가공된 철근의 설치위치 파악을 용이하게 하며, 검수 시 설치위치 정보 확인을 통한 최적의 적치장 및 설치장소에 자재를 이동시킬 수 있도록 지원하여 현장 내 소운반 작업의 효율을 개선할 수 있도록 하였다.

김동진 외 1인(2004)은 철근공사의 배근시공도 작성, 철근 가공 및 현장조립과정의 상관관계를 파악하여 공장가공의 현황과 문제점을 분석하고 이를 합리화하기 위한 방안을 도출하였다. 그러나 기존의 철근 물량 산출 자동화 연구는 RC공사를 대상으로 진행되었으며, CPCM을 대상으로 한 연구는 진행되지 않았다. 따라서 본 연구를 통해 PC부재의 철근물량 산출이 자동화된다면 업무처리의 신속성, 과학적 공사관리 체계를 구축할 수 있다. 또한, 이 과정에서 생성된 정보를 이용하여 철근 가공도 및 재단 리스트의 작성, 손율 최소화를 위한 철근조합 등의 작업을 자동화할 수 있다. 그리고 주문 및 생산과정에서의 체계적 자원관리, 가공된 철근의 과학적 재고관리로 원가절감 효과를 얻을 수 있다.

2.2 그린프레임 개념

본 연구 대상에 적용된 그린프레임은 철골, 철근 및 콘크리트로 구성된 합성 PC부재를 이용하여 기둥과 보를 구성하며, 슬래브의 경우 하프 슬래브 또는 데크 플레이트를 이용하여 시공된다.

기둥은 슬래브와 기둥의 설치 순서와 기둥과 기둥의 접합 방식에 따라 기둥 후설치 슬리브 접합형, 기둥 선설치 커플러 접합형, 기둥 후설치 커플러 접합형, 기둥 후 설치 볼트접합형으로 분류되며 그림 2와 같다. 본 연구에서는 기둥 설치 시 안전하며,

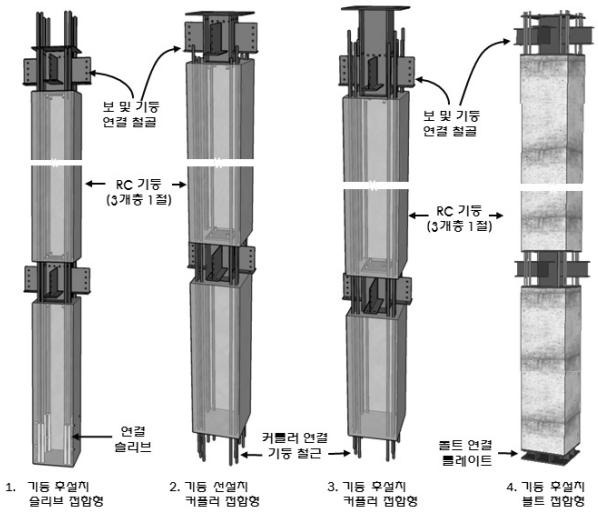
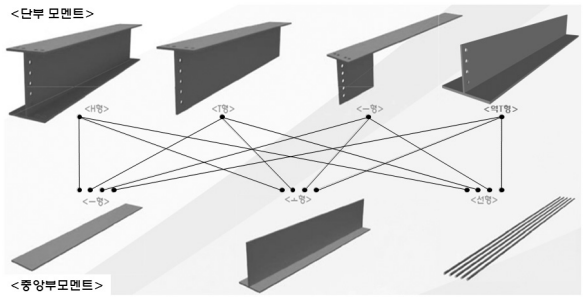


그림 2. 기둥 종류

접합 작업이 용이하여 가장 많이 사용될 것으로 기대되는 기둥 후설치 볼트 접합형으로 연구를 한정하였다. 기둥은 3개층 1개절로 구성되고 주근은 중간 접합부철골을 관통하며, 구조적 메커니즘에 따라 일부는 접합부 철골에 볼트로 정착된다. 이때 기둥철근은 나사산 가공되어 기둥설치 시 시공이 용이하다.

표 1. 보 시스템의 조합 개념

조합개념



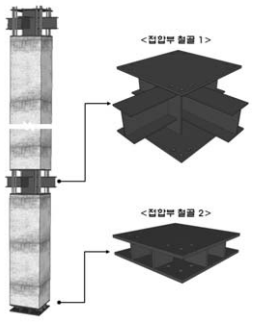
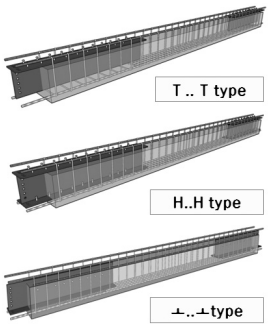
구분		사용부재			
단부	구성	H 형강	T 형강	플레이트	역T 형강
	표기법	H	T	-	⊥
중앙부	구성	플레이트	역T형강	철근	
	표기법	-	⊥	..	

적용사례) T..T형 = 단부 T형강, 중앙부 철근

보는 응력분포에 따라 철골과 철근을 최적 배치함으로써 구조적 안정성을 보장하는 범위에서 보강재(철골, 철근)의 물량감소를 유도하고, 이에 따른 공사비 절감, CO2 배출량 감소 효과를 기대할 수 있다. 표 1과 같이 보의 단부와 중앙부에 적용되는 응력분포에 따라 구성을 달리하여 총 12가지의 보를 구성할 수 있

으며, T..T에서 표시되는 알파벳은 보의 양단부 철골의 모양을 의미하며, 중앙의 ..은 중앙부의 철근을 의미한다. 12가지 보 중 본 연구에서는 표 2와 같이 가장 많이 사용될 것으로 예상되는 T..T형, H..H형, ㅗ..ㅗ형을 중심으로 알고리즘을 기술하며, 나머지 9개 유형의 보는 구조설계 특성 변화에 따라 용이하게 응용할 수 있으므로 생략한다.

표 2. 기둥 및 보 형상

기둥	보
	

2.3 철근물량 산출 관련 기본 정보

철근 물량 산출 자동화 및 향후 철근 가공도, 재단리스트 작성을 자동화하기 위해서 각 부재별 형상, 이음 및 정착 기준, 피복 두께, 벤딩 마진에 대한 고찰이 필요하며, 그 내용을 기술하면 다음과 같다.

2.3.1 형상정보

조훈희 외 5인(2007)는 철근 공장가공 활성화 방안으로 철근 가공 형상 표준화를 제안한 바 있으며, 그 연구결과에 따르면 철근 가공 기본형상은 철근의 가공 뿐 아니라 배근작업의 효율화에고 영향을 주는 중요한 사항이다. 즉 철근 형상을 표준화함으로써 공장 및 현장에서의 철근가공 작업의 혼선을 제거하고 손실을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 배근 작업시에도 작업속도를 향상시킬 수 있으며, 철근가공조립도 작성 및 철근일람표 산출 업무 전산화를 위해서도 매우 중요한 의미를 지닌다. 기존연구 결과(조훈희 외 5인, 2007)에 추가하여 표 3에 ACI 315, BS 8666 및 대한주택공사 배근시공도면 작성방안(2007.10)의 철근 가공 형상을 비교 검토 하였다. 본 연구에서는 배근작업의 편의성과 보급 및 활용성 부분에서 우수하고 형상이 비교적 단순한 BS 8666을 적용하였다.

표 3. 철근 가공 형상 비교

구분	기본 형상		다양한 형상 (주택공사)
	ACI 315	BS 8666	
형상수	40개	33개	135개
형상 표현력	보통	보통	우수
배근 작업 편의성	우수	우수	보통
보급 및 활용성	우수	우수	보통
비고	기본 26개 스터럽 14개	가공형상 기호	ㅡ형, L형, U형, ㅁ형, 굴곡형

2.3.2 이음 및 정착 기준

정착길이 개념은 콘크리트 속에 묻힌 철근 단면 주위에 작용하는 평균부착응력을 기반으로 하고 있다. 정착길이는 철근 단면적에 외력이 작용하여 파괴에 도달했을 때, 극한 부착응력을 고려한 내력이 평형상태를 이루는 조건으로 구할 수 있다. 이는 콘크리트 구조설계기준 식 8.2.1에 보정계수를 곱하는 방식과 콘크리트 구조설계기준 식 8.2.2를 이용한 방식이 있다. 이음의 경우 가능한 한 최소응력점에서 철근을 잇도록 하고, 이음으로 인해 나타날 수 있는 위험한 거동을 보완하기 위해 이음위치가 서로 엇갈리도록 콘크리트 구조설계기준 5.6.1에 규정되어 있다. 이음길이는 인장이형철근의 경우 콘크리트 구조설계기준 식 8.2.2를 이용하나 초과철근에 대한 보정계수가 이음위치에서 이미 반영되어 보정하지 않는다. 압축이음의 경우는 콘크리트 구조설계기준 8.6.3(2)를 이용한다. 철근 지름이 다를 경우 최소 이음 및 정착 길이의 확보를 위해 굵은 철근을 기준으로 하며, 철근의 정착은 기둥 및 보의 중심선 외측에 정착시킨다.

2.3.3 피복 두께 기준

철근과 콘크리트의 부착력, 내화성, 골재의 유동성, 방청성, 내구성 확보를 위해 최소피복 두께를 확보하여야 하며, 표 4와 같다.

표 4. 피복 두께 기준(건축공사 표준시방서, 2006)

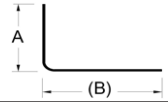
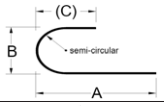
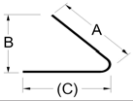
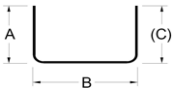
부위			최소피복 두께(mm)	
			마감있음	마감없음
흙에 접하지 않는 부위	바닥슬래브, 지붕슬래브, 비내력벽	옥내	20 이상	20 이상
		옥외	20 이상	30 이상
	기둥, 보, 내력벽	옥내	30 이상	30 이상
		옥외	30 이상	40 이상
	옹벽		40 이상	40 이상
흙에 접하는 부위	기둥, 보, 바닥슬래브, 내력벽		-	40 이상
	기초, 옹벽		-	60 이상

기둥과 보의 경우 30mm이상을 유지해야하며, 옥외의 마감이 없는 부분은 40mm이상을 유지해야 한다. 그러나 피복 두께가 과다할 경우 유효깊이의 부족을 초래하여 휨강도, 전단강도, 처짐에 악영향을 미치게 되므로 최소피복 두께를 균일하게 유지해야 한다.

2.3.4 벤딩 마진 분석

벤딩 마진은 철근 구부림 시 철근의 인장으로 인하여 기존의 철근보다 늘어나는 길이를 의미한다. 따라서 실제 절단길이는 구부림 시 늘어나는 길이를 계산길이에서 공제하여 산정하여야

표 5. 철근 형상 정보(BS 8666, 2005)

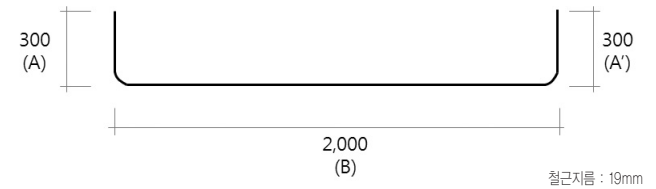
code	형상	산정식
11		A + (B) − 0.5r − d
13		A + 0.57B + (c) − 1.6d
14		A + (C) − 4d
21		A + B + (C) − r− 2d

한다. 그러나 기존의 연구에서는 벤딩 마진이 고려되지 않았으며, 본 연구에서는 벤딩 마진을 고려함으로서 철근 재단 시 손율을 줄일 수 있으며, 정교한 가공이 가능하여 설치 시 피복 두께가 부족하게 되는 등의 문제를 예방할 수 있다. BS 8666에서 규정한 실제 절단길이 산정식의 예는 표 5와 같으나, 철근 굽힘 시 내면의 반지름을 고려해야 하며, 철근의 공칭 지름에 따라 다른 식을 적용해야 하는 번거로움이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 BS 8666에서 규정한 산정식을 고려하고, 현장사례와 전문가의 조언을 통한 약산식을 적용한 90° 굽힘철근의 일반적인 길이 산정공식을 식 (1)과 같이 도출할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^{n} A_i + n \times 25d$$

A_i : 철근 각부 치수
d : 철근 지름
n : 90° 굽힘 횟수

표 6. 벤딩 마진 적용 사례

철근 형상 (mm)

철근지름 : 19mm

산정식 (mm)	
벤딩 마진 미 고려 재단 사이즈	A + A' + B 300 + 300 + 2,000 = 2,600 mm
BS 8666 code21 적용 재단 사이즈	(A + A' + B) − r − 2d 300 + 300 + 2,000 − 70 − (19 × 2) = 2,492 mm
약산식 적용 재단 사이즈	(A + A' + B) − 2.5d × 2 (300 + 300 + 2,000) − (2.5 × 19 × 2) = 2,505 mm

같은 형상의 철근을 벤딩 마진을 고려하지 않은 경우와 BS 8666의 기준을 적용한 경우, 약산식을 적용한 예는 표 6과 같다. 벤딩 마진을 고려하지 않고 시공할 경우 2,600mm의 철근을 재단하고, 위와 같은 형상으로 가공할 경우 필요한 형상의 철근과 약 10mm의 오차가 발생한다. 이때 시공 시 최소 필요 피복 두께에 미달하는 현상이 발생하여 부착력 및 내화성 등의 시공품질은 물론 띠철근(hoop)이나 스터럽(stirrup)의 경우 크기의 오차로 인한 정교한 시공이 불가하여 시공성이 저하된다. 따라서 철근 재단 시 벤딩 마진을 고려하여야 할 필요가 있고, 이에 따라 약 4%의 철근 손율을 줄일 수 있다. 이때 BS 8666의 기준을 적용한 경우 2,492mm, 약산식을 적용한 경우 2,505mm로 약 13mm(0.5%)의 미세한 오차가 발생하지만 현장 적용 시 문제가 발생하지 않기 때문에, 전술한 것과 같이 약산식을 적용한다.

3. 철근 물량산출 자동화 알고리즘

3.1 철근 물량산출 자동화 개념

철근의 물량을 산출하는 과정에서부터 가공 · 조립까지 일관되게 대두되는 문제점은 철근적산과 배근시공도라고 볼 수 있다. 여기서 발생되는 문제는 근본적으로 건설공사의 원가와 직결되므로 정확한 철근물량의 산출과 함께 철근 자재 손율을 감소시키는 것이 가장 중요하다 (김광희 외 2인, 2002). 합성 PC 부재의 경우 비교적 표준화된 형태의 보와 기둥을 설계하므로 이러한 설계정보를 이용하여 자동으로 물량을 산출하고, 이 과정에서 도출된 정보를 이용하여 철근 가공도와 재단 리스트를

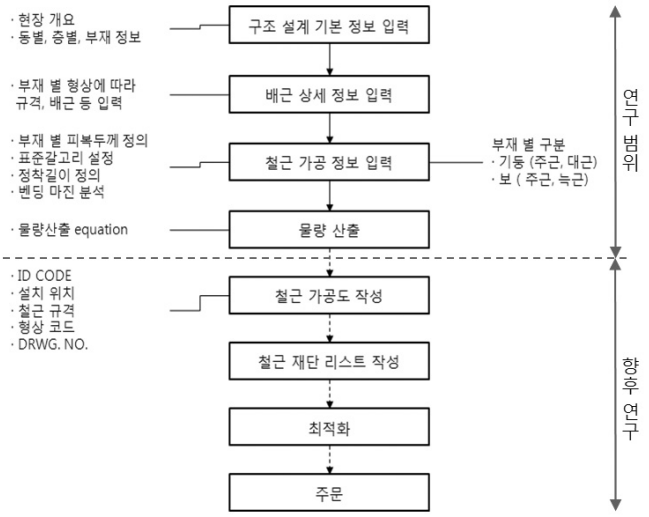


그림 3. 자동화 업무 절차

자동으로 작성할 수 있다. 즉, 철근의 적산과 배근시공도 작성을 체계적으로 정리하여 표준을 마련하고, 본 연구의 자동화 알고리즘을 적용시킨다면 철근 자재의 구매 및 가공 · 조립의 문제까지 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

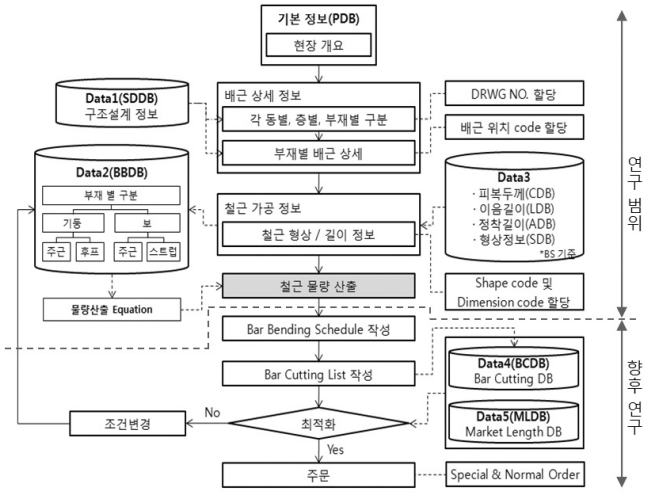


그림 4. 물량 산출 자동화 알고리즘

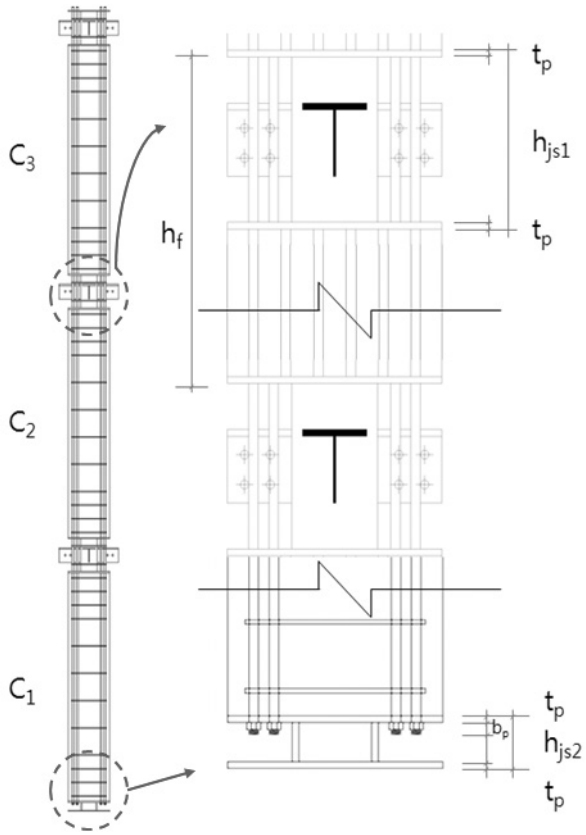


그림 5. 그린 프레임 합성 PC 기둥 정보

일반적인 철근 업무의 흐름은 설계도면을 통하여 수작업으로 철근 목록(bar list)을 작성하여 각 부재별, 철근 길이별 수량을 파악하여 철근 가공도를 작성하고, 철근공장이나 현장에서 투입된 철근을 가공한다. 이때 정확한 이음 및 정착 길이 또한 벤딩 마진을 고려하지 않으므로 정확성이 떨어지게 되고, 무계획적인 철근의 절단으로 활용하지 못하는 철근이 증가되어 손율이 증가되는 문제가 발생한다. 따라서 설계도면을 통한 철근 목록 작성, 철근 길이별 수량, 철근가공조립도의 자동화 뿐 아니라 철근 재단 리스트작성을 통한 철근 손율을 최소화 할 수 있는 최적 조합과 주문물량(special order) 산출 자동화가 구축이 된다면, 원가절감은 물론이며 업무생산성을 향상시킬 수 있다. 물량산출 자동화 업무 절차는 그림 3과 같으며, 물량 산출 자동화 알고리즘은 그림 4와 같다. 향후 철근 가공도 및 재단 리스트 자동화을 통한 최적화 철근물량 산출 및 주문에 관한 연구가 필요하다.

3.2 기둥철근 산출식

그린 프레임의 합성 PC 기둥은 그림 5와 같이 1개절 최대 3개층으로 구성되며, 현장상황에 따라 2개층 1개절 또는 1개층 1개절로 조정 할 수 있다. 대부분의 주근은 중간 접합부철골들을 관통하여 하부기둥의 하부 플레이트와 상부기둥의 상부 플레이트에 볼트접합으로 정착되며, 구조적 메커니즘에 따라 일부 주근은 중간 접합부철골들을 관통하지 않고 1개층 기둥 내의 상하부 접합부 철골의 플레이트에 볼트로 정착된다. 따라서 기둥은 상부기둥(C3), 중앙부기둥(C2), 하부기둥(C1)으로 분류하고, 1개층 1개절일 경우에 적용되는 단일기둥(C4)이 추가적으로 포함된다. 이에 따라 각 기둥 별 주근의 산정식을 통하여 1개절의 기둥의 주근을 산출하며, 그 산출식은 식(2), 식(3), 식(4)와 같다.

$$L_{c3f} = (L_{c1} + L_{c2} + L_{c3}) \times n \quad \text{--------- 식(2)}$$

$$L_{c3f} = (L_{c1} + L_{c3}) \times n \quad \text{--------- 식(3)}$$

$$L_{c3f} = L_{c1} \times n \quad \text{--------- 식(4)}$$

L_{c3f} : 3개층 1개절 기둥 주근길이　L_{c2f} : 2개층 1개절 기둥 주근길이
L_{c1f} : 1개층 1개절 기둥 주근길이　L_{c1} : 하부기둥 주근 길이
L_{c2} : 중앙부기둥 주근 길이　L_{c3} : 상부기둥 주근 길이
L_{c4} : 단일기둥 주근 길이　n : 철근개수

식(2)는 본 연구의 기준 기둥인 3개층 1개절 기둥주근 산출식이다. 상부기둥, 중앙부기둥, 하부기둥 주근의 합으로 산출되며, 식(3)은 2개층 1개절 기둥주근 산출식으로 상부기둥과 하부기둥 주근의 합으로 산출된다. 식(4)는 1개층 1개절 기둥 주근 산출식

으로 하부기둥의 하부상세와 상부기둥의 상부상세가 적용된 단일기둥으로 산출되며, 각 식들은 철근의 개수(n)와의 곱으로 1개 절기둥의 주근 철근 물량이 산출된다.

이 때 각 기둥 별 접합부를 관통하는 철근과 관통하지 않는 철근의 산출식이 각각 필요하다. 각 철근은 층고(h_f)[2], 볼트돌출길이(b_p), 플레이트두께(t_p), 접합부철골1 높이(h_{js1}), 접합부철골2 높이(h_{js2}), 철근지름(d)등의 변수를 고려하여 산출하며, 각각의 물량 산출식은 아래와 같다.

$L_{c1} = (h_f - h_{js2} + t_p + b_p) \times n$ ------ 식(5)

$L_{c1'} = (h_f - h_{js1} - h_{js2} + 3t_p + 2b_p) \times n$ -------- 식(6)

$L_{c2} = h_f \times n$ ------- 식(7)

$L_{c2'} = (h_f - h_{js1} + 2b_p + 2t_p) \times n$ -------- 식(8)

$L_{c3} = (h_f - 2t_p + b_p) \times n$ -------- 식(9)

$L_{c3'} = (h_f - h_{js1} + 2b_p + 2t_p) \times n$ ------- 식(10)

$L_{c4} = (h_f - h_{js1} + 3t_p + 2b_p) \times n$ -------- 식(11)

$L_{c4'} = (h_f - h_{js1} - h_{js2} + 3t_p + 2b_p) \times n$ -------- 식(12)

L_{c1} : 하부기둥 접합부 관통 철근 길이 $L_{c1'}$: 하부기둥 접합부 미관통 철근 길이

L_{c2} : 중앙부기둥 접합부 관통 철근 길이 $L_{c2'}$: 중앙부기둥 접합부 미관통 철근 길이

L_{c3} : 상부기둥 접합부 관통 철근 길이 $L_{c3'}$: 상부기둥 접합부 미관통 철근 길이

L_{c4} : 단일기둥 접합부 관통 철근 길이 $L_{c4'}$: 단일기둥 접합부 미관통 철근 길이

h_f : 층고 h_{js1} : 접합부철골1 높이 h_{js2} : 접합부철골2 높이

t_p : 플레이트 두께 b_p : 볼트 돌출 길이 n : 철근개수

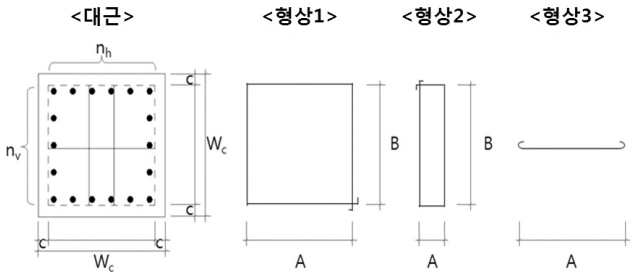


그림 6. 띠철근 정보

기둥의 좌굴을 방지하기 위한 띠철근의 정보는 그림 6과 같으며, 횡방향 철근배근 시 양 단부의 최소구간(he)은 기둥 순 높이의1/6, 기둥 단면의 최대치수, 450mm 중 최대값 이상으로 하여야 한다. 이때 철근의 최대간격은 8배이하, 띠철근 지름의 24배이하, 기둥 단면의 최소치수의 1/2, 300mm 중 최소값 이하로 하여야 하며, 양 단부 구간외의 중앙부 구간(hm)에서는 단부 철근간격의 2배 이하로 설계하여야한다. 또한 주철근과 주철근 사이의 순간격이 150mm 이하인 경우에는 보조 띠철근이 필요없으나, 그린프레임 기둥의 경우 150mm 이상 떨어진 경우가 존재하여 추가적인 보조 띠철근이 필요하다. 따라서 구조적 메커니즘에 따른 주근의 개수와 간격에 따라 크기와 형태가 결정되며, 식(13)과 같이 3가지 형상(type)의 띠철근과 보조 띠철근의 합으로 한 세트의 띠철근 물량이 산출된다. 총 띠철근의 물량은 식(14)와 같이 양단부와 중앙부의 띠철근 개수의 합에 의해 산출된다.

$L_h = L_{ht1} + L_{ht2} + L_{ht3}$ ------ 식(13)

$L_{htotal} = L_h \times (N_{he} - N_{hm})$ -------- 식(14)

L_h : 주, 보조 띠철근 길이의 합 L_{ht1} : 형상1 띠철근 길이

L_{ht2}: 형상2 띠철근 길이 L_{ht3} : 형상3 띠철근 길이

L_{htotal} : 단위 기둥 당 총 띠철근 길이 N_{he} : 단부 띠철근 개수

N_{hm} : 중앙부 띠철근 개수

각 띠철근의 가로(A), 세로(B) 길이는 기둥 폭(Wc), 피복 두께(c), 가로철근개수(nh), 세로철근 개수(n_v), 철근지름(d), 벤딩 마진에 의해 산출되며, 띠철근의 개수는 단부 띠철근 간격(i_e), 중앙부 띠철근 간격(i_m) 등의 변수를 고려하여 산출한다.

$L_{ht1} = (A+B) \times 2$

$= (W_c+2c) \times 4+10d \times 2-25d \times 5$ ------ 식(15)

$L_{ht2} = (A+B) \times 2$

$= [\{(W_c+2c)-nh \times d\}/(nh-1)+2d] \times 2+(W_c+2c)$ - 식(16)

$L_{ht3} = (W_c+2c)+10d \times 2-25d \times 2$ ----- 식(17)

L_{ht1} : 형상1 띠철근 길이 L_{ht2} : 형상2 띠철근 길이

L_{ht3} : 형상3 띠철근 길이 W_c : 기둥 폭

c : 피복 두께 d : 철근 지름

nh : 가로 철근 개수 n_v : 세로 철근 개수

형상1의 띠철근 길이는 식(15)와 같이 A와 B 모두 각 기둥단면의 최대치수에서 피복 두께를 제외한 길이의 합과 양끝의 갈고리치수인 10d를 합하고, 다섯번의 구부림에 의한 벤딩 마진인 2.5d × 5를 제외함으로써 산출된다. 형상2의 띠철근 길이는 식(16)과 같이 산출된다. 이때 A의 길이는 철근 2개를 커버하는 길이로써 철근이 등간격으로 배근됨을 가정하였고, B는 기둥단면의 최대치수에서 피복 두께를 제외한 길이로 산출하였으며, 형상1과 같이 갈고리치수와 벤딩 마진을 적용하였다. 형상3의 띠철근 길이는 식(17)과 같이 A의 길이에 갈고리치수와 벤딩 마진을 적용하여 산출하였다.

2) 본 층을 기준으로 상부기둥의 하부 플레이트 최하단에서 하부기둥의 최상단의 거리(Floor to Floor)

$N_{he} = (he^{3)} / ie+1) \times 2$ ------ 식(18)

$N_{hm} = hm^{4)} / im-1$ ------ 식(19)

N_{he} : 단부 띠철근 개수 N_{hm} : 중앙부 띠철근 개수
he : 한부 띠철근 최소 구간 hm : 중앙부 띠철근 구간
h_{js1} : 접합부 철골1 높이 ie : 단부 띠철근 간격
im : 중앙부 띠철근 간격

띠철근의 개수는 양단부 구간과 중앙부 구간으로 구분하여 산출하며, 단부 구간은 식(18)과 같이 기둥 순높이의 1/6, 기둥 단면의 최대치수, 450mm중 최대값으로 선정한 구간을 단부 띠철근의 간격으로 나누어 산출한다. 중앙부 구간은 식(19)와 같이 순기둥 길이에서 양 단부의 구간을 제외한 구간을 중앙부 띠철근의 간격으로 나누어 산출한다.

3.3 보철근 산출식

그린 프레임의 합성 PC 보의 정보는 그림 7과 같으며 단부의 철골 형상에 따라 T..T형과 ㅗ..ㅗ형, H..H형 등으로 조합된다. 주근은 최소 상부에 2개 하부에 2개가 배근된다. 이때 T..T형 보는 단부에 T형의 철골이 배치되고 중앙부하부와 단부하부에 구조적 메커니즘에 따라 추가적인 철근을 배치한다. ㅗ..ㅗ형 보는 단부에 ㅗ형의 철골이 배치되고 중앙부하부와 단부상부에 구조적 메커니즘에 따라 추가적인 철근이 배치된다. H..H형 보는 단부에 H형의 철골이 배치되며 중앙부 하부에 추가적인 철근을 배치한다. 주근은 기둥 폭(Wc), 보 길이(L_b), 철근지름(d) 등의 변수를 고려하여 산출한다. 이때 보 길이 산출이 불가피할 경우에 식(20)과 같이 PC보 길이(L_{bpc}), 보와 기둥의 접합부 브라켓(braket) 길이(L_{bk})를 사용하여 보 길이를 산출하고, 보의 양옆기둥의 폭이 상이할 경우 식(21)에 의해 평균 기둥 폭을 산출한다.

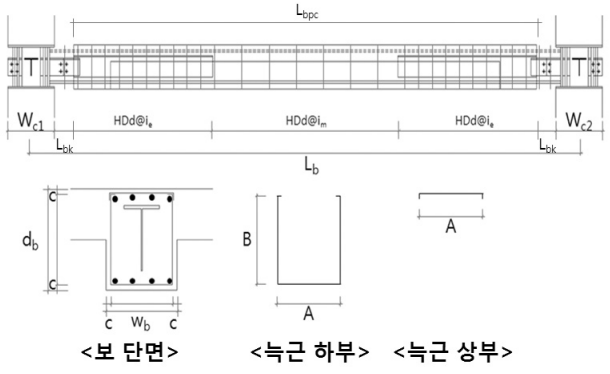


그림 7. 그린 프레임 합성 PC 기둥 정보

3) he(단부 띠철근 최소 구간) = hf/6, Wc, 450mm 중 최소값
4) hm(중앙부 띠철근 구간) = hf − h_{js1} − 2he

$L_b = L_{bk} + 2L_{bk} + W_c$ ------ 식(20)

$W_c = W_{c1} + W_{c2} / 2$ ------ 식(21)

W_c : 평균 기둥 폭 W_{c1} : 기둥1 폭
W_{c2} : 기둥2 폭 L_b : 보 길이(양 기둥 중심 길이)
L_{bpc} : PC보 안목 길이 L_{bk} : 보와 기둥의 접합부 브라켓 길이

연속된 보의 상부주근은 응력이 가장 적게 발생하는 지점에서 이음하며, 현장 여건상 이음의 위치가 변할 수 있기 때문에 인장철근 이음 길이를 적용한다. 산출식은 식(22)와 같으며, 구조적 메커니즘에 따라 추가적인 상부 단부 및 중앙부 철근이 필요시 식(23),(24)을 적용한다.

$L_{bt} = L_b\ 40d \times 2 \times n$ ------ 식(22)

$L_{bte} = [\{(L_b - W_c)/4 + W_c/2 + 13l_d\} \times 2] \times n$ ------ 식(23)

$L_{btm} = \{(L_b - W_c)/2 + l_d \times 2\} \times n$ ------ 식(24)

L_{bt} : 상부 주근 길이 L_{bte} : 상부 단부 부근 길이
L_{btm} : 상부 중앙부 부근 길이 L_b : 보 길이(양 기둥 중심 길이)
W_c : 기둥 폭 l_d : 인장 철근 정착길이
n : 철근 개수

하부 주근은 접합부 철골 내에서 추가적인 정착철근에 의하여 이음한다. 이때 PC보의 시공성을 위하여 보에 맞닿는 기둥 최외단면보다 10mm 짧게 산출하며, 식(25)과 같다. 전술한 것과 같이 추가적인 하부 단부 및 중앙부 철근 산출식은 식(26), (27)과 같으며, 주근의 이음을 위한 접합부 철골 내의 정착철근은 식(28)에 의해 산출된다.

$L_{bb} = L_b - W_c - 10 \times n$ ------ 식(25)

$L_{bbe} = [\{(L_b - W_c)/4 + l_d\} \times 2] \times n$ ------ 식(26)

$L_{bbm} = \{(L_b - W_c)/2 + 13l_d \times 2\} \times n$ ------ 식(27)

$L_{bj} = \{W_c + (l_d \times 2)\} \times n$ ------ 식(28)

L_{bb} : 하부 주근 길이 L_{bbe} : 하부 단부 부근 길이
L_{bbm} : 하부 중앙부 부근 길이 L_{bj} : 정착 철근 길이
L_b : 보 길이(양 기둥 중심 길이) W_c : 기둥 폭
l_d : 인장 철근 정착길이 n : 철근 개수

보의 사인장 균열에 대비하기 위한 스터럽의 정보는 그림 7과 같으며, 이때 간격은 0.5d 이하, 600mm이하로 설계하여야한다. 그린프레임은 직사각형 스터럽을 사용하며, 상부와 하부 스터럽으로 구성되고, 전단력이 큰 단부에서는 간격을 좁게 배근하고, 전단력이 적은 중앙부로 갈수록 간격을 넓게 배근한다.

식(29)와 같이 상부와 하부 스터럽의 합으로 한 세트의 스터럽 물량이 산출되며, 총 스터럽의 물량은 식(30)과 같이 양단부와 중앙부의 스터럽 개수에 의해 산출된다.

$$L_s = L_{sb} + L_{st} \quad \text{------} \quad \text{식(29)}$$

$$L_{stotal} = L_s \times (N_{se} + N_{sm}) \quad \text{------} \quad \text{식(30)}$$

L_s : 상, 하부 스터럽 길이의 합　　L_{sb} : 하부 스터럽 길이
L_{st}: 상부 스터럽 길이　　L_{stotal} : 단위 보 당 총 스터럽 길이
N_{se} : 단부 스터럽 개수　　N_{sm} : 중앙부 스터럽 개수

각 스터럽의 가로(A), 세로(B) 길이는 보 폭(db), 보 너비(wb), 피복 두께(c), 철근지름(d), 벤딩 마진에 의해 산출되며, 스터럽의 개수는 단부 스터럽 간격(ie), 중앙부 스터럽 간격(im) 등의 변수를 고려하여 산출한다.

$$L_{sb} = A + 2B$$
$$= \{w_b - 2c + 2(d_b - 2c) + 10d \times 2\} - 25d \times 4 \quad \text{-----} \quad \text{식(31)}$$

$$L_{st} = w_b - 2c + 10d \times 2 - 25d \times 2 \quad \text{------} \quad \text{식(32)}$$

L_{sb} : 하부 스터럽 길이　　L_{st} : 상부 스터럽 길이
w_b : 보 너비　　d_b : 보 폭
c : 피복 두께　　d : 철근 지름

하부 스터럽의 길이는 식(31)와 같이 A와 B 모두 각 보 단면의 최대치수에서 피복 두께를 제외한 길이의 합과 양끝의 갈고리 치수인 10d를 합하고, 네번의 구부림에 의한 벤딩 마진인 2.5d × 4를 제외함으로써 산출된다. 상부 스터럽의 길이는 식(32)와 같이 갈고리치수와 벤딩 마진을 적용하여 산출하였다.

$$N_{se} = \{(L_b - W_c)/4 + i_e + 1\} \times 2 \quad \text{------} \quad \text{식(33)}$$

$$N_{sm} = (L_b - W_c)/2 + i_m - 1 \quad \text{------} \quad \text{식(34)}$$

N_{se} : 단부 스터럽 개수　　N_{sm} : 중앙부 스터럽 개수
L_b : 보 길이　　W_c : 기둥 폭
i_e : 단부 스터럽 간격　　i_m : 중앙부 스터럽 간격

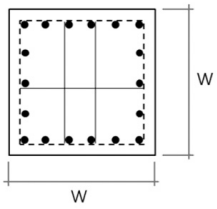
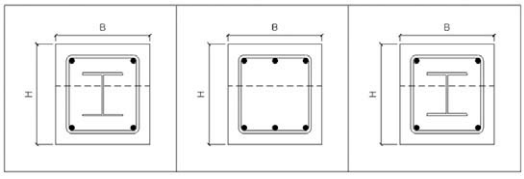
스터럽의 개수는 양단부 구간과 중앙부 구간으로 구분하여 산출하며, 단부 구간은 식(33)과 같이 보의 안목길이의 1/4지점으로 양 단부에 배치되며, 단부 스터럽의 간격으로 나누어 산출한다. 중앙부 구간은 식(34)과 같이 양 단부를 제외한 구간을 중앙부 스터럽의 간격으로 나누어 산출한다.

4. 사례적용 및 평가

본 연구에서 제시한 PC부재 철근 물량 산출 자동화 알고리즘을 그린프레임이 계획된 현장에 사례적용 하였다.

적용 범위는 기 설계된 3개층 1개절 기둥과 보 각각 한 개의 PC부재 철근물량산출로 한정하였다. 표 7은 기둥과 보의 설계정보이다. 기둥의 주근은 접합부 철골을 관통하는 22mm 철근 12개와 관통하지 않는 19mm 철근 6개로 설계되었다. 주근물량 산출은 식(2)에 의해 산출된다. 띠철근 물량산출은 식(13)에 의해 산출된다.

표 7. 설계정보

구분	기둥				
단면 형상					
크기	500(W) × 500(W) × 2900(H)				
철근 정보	명칭 주근		APC1 (1F~6F)		
			12-HD22(관통)		
			6-HD19(미관통)		
	띠철근	단부	HD10@150		
		중앙부	HD10@300		
구분	보				
단면 형상					
크기	360(H) × 350(B) × 4500(L)				
철근 정보	명칭		APG2		
	주근	구분	INT	CENTER	EXT
		상부근	2-SHD19	1-SHD16	2-SHD19
		하부근	2-SHD19	1-SHD16	2-SHD19
	스터럽	단부	HD10@150		
		중앙부	HD10@300		

이때 띠철근의 단부 구간은 기둥 순 높이의 1/6, 기둥 단면의 최대치수, 450mm 중 최대값인 기둥 단면의 최대치수인 500mm로 한다. 보의 주근은 상부에 19mm 철근 2개와 하부의 19mm철근 2개로 설계되었으며, 부근으로 상부와 하부의 중앙부에 16mm철근이 배근되었다. 주근물량 산출은 식(22), (24), (25), (27), (28)에 의해 산출되며, 스터럽 물량산출은 식(30)에 의해 산출된다. 각 식들에 의해 산출된 철근의 길이와 물량은 표 8의 철근 가공도에 입력된다.

표 8. 사례적용 철근 가공도

공사명 : OO아파트 신축 공사 날짜 : 2011.00.00 쪽수 : 1

ID Code	DRWG NO.	설치 위치	철근 규격	형상 코드	치수(mm)					철근 길이 (mm)	철근 개수 (ea)	철근 무게 (kg)
					A	B	C	D	E			
APC1	1	c-tp	HD22	1	2,955	-	-	-	-	2,955	12	107.3
APC1	2	c-mp	HD22	1	2,900	-	-	-	-	2,900	12	105.2
APC1	3	c-bp	HD22	1	2,825	-	-	-	-	2,825	12	102.6
APC1	4	c-ts	HD19	1	2,620	-	-	-	-	2,620	6	35.2
APC1	5	c-ms	HD19	1	2,620	-	-	-	-	2,620	6	35.2
APC1	6	c-bs	HD19	1	2,520	-	-	-	-	2,520	6	33.8
APC1	7	c-he1	HD10	51	420	420	-	-	-	1,880	10	10.5
APC1	8	c-he2	HD10	51	92	420	-	-	-	1,224	10	6.8
APC1	9	c-he3	HD10	1	420	-	-	-	-	620	10	3.5
APC1	10	c-hm1	HD10	51	420	420	-	-	-	1,880	7	7.3
APC1	11	c-hm2	HD10	51	92	420	-	-	-	1,224	7	4.8
APC1	12	c-hm3	HD10	1	420	-	-	-	-	620	7	2.4
APG2	1	g-te	HD19	1	6,020	-	-	-	-	6,020	2	27
APG2	2	g-tm	HD16	1	2,800	-	-	-	-	2,800	1	8.7
APG2	3	g-be	HD19	1	3,990	-	-	-	-	3,990	2	17.9
APG2	4	g-bm	HD16	1	3,280	-	-	-	-	3,280	1	5.1
APG2	5	g-bj	HD19	1	1,450	-	-	-	-	1,450	2	6.5
APG2	6	g-set	HD10	21	270	-	-	-	-	470	16	4.2
APG2	7	g-seb	HD10	47	270	280	-	-	-	1,030	16	9.2
APG2	8	g-smt	HD10	21	270	-	-	-	-	470	6	1.6
APG2	9	g-smb	HD10	47	270	280	-	-	-	1,030	6	3.4
합계					-	-	-	-	-	44,428	157	538.2

5. 결론

기존의 벽식 및 무량판 구조의 문제점을 개선한 친환경 라멘조인 그린 프레임(Green Frame)이 개발되어 구조적 안전성 뿐 아니라 시공성, 친환경성에 대한 검증이 이루어졌다. 비교적 표준화 수준이 높은 합성 PC부재를 이용한 그린 프레임의 철근물량 산출이 자동화된다면 부재 생산업무의 효율향상 뿐 아니라 철근 손율을 줄일 수 있다.

따라서 본 연구에서는 각 부재별 형상, 이음 및 정착 기준, 피복 두께, 벤딩 마진에 대한 고찰을 하고 각 기준에 맞는 내용을 적용하였으며, 그림 프레임의 기둥, 보의 각 철근의 물량 산출식을 작성하여 철근물량 산출 자동화 알고리즘을 개발하였다.

개발된 알고리즘의 평가를 위해 그린 프레임이 기 설계된 현장에 적용하여 검증을 하였다. 적용 범위는 3개층 1개절 기둥과 보 각각 한 개의 PC부재 철근물량산출로 한정하였으며, 4장에서 전술한 것과 같이 부재의 기본정보만을 가지고 물량산출 자동화 알고리즘을 통해 부재 별 형상, 설치위치, 규격, 길이가 자동으로 산출되어 철근 가공도에 출력되었다. 이에 따라 철근 손율을 줄일 수 있으며, 업무처리를 정확하고 신속히 할 수 있어 과학적 공사관리 체계를 구축할 수 있게 되었다.

그러나 본 연구는 물량산출만을 자동화한 한계점을 가지고 있다. 따라서 향후 철근 손율을 최적화하고 자동화 시스템 구축을 위하여 철근 가공도 및 철근 재단 리스트 작성 자동화 연구가 진행되어야 할 것이며, 본 연구는 기초자료로 활용될 것이다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2011-0001031)

참고문헌

김광희, 박우열, 강경인 (2002), 국내 건축물 철근공사 품질·원가 개선을 위한 시스템 개발에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제18권 5호, pp 121~128

김동진, 김욱종 (1991), 철근공사 공장가공 합리화 방안, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제24권 1호, pp 419~422, 2004김선국, 김문한, 철근 손율을 줄이기 위한 최적화 알고리즘 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제7권 3호, pp 385~391

박우열, 김광희, 강경인 (2004), 국내 철근공사 실태분석 및 개선방안에 관한 연구, 한국건축시공학회논문집, 제4권 3호, pp 83~91

박현용, 이승현, 강태경, 이유섭 (2008), 설치 위치 정보를 포함한 배근시공상세도 작성 및 가공철근 자동 물량산출 시스템 개발, 한국건축시공학회논문집, 제8권 2호, pp 63~70,

이승근, 저탄소 장수명 (2009), 공동주택의 공법 개발 및 타당성 분석, 경희대학교 일반대학원 석사학위 논문

조훈희, 박우열, 강태경, 박현용, 윤석현, 허영기 (2007), 철근공사의 공장가공 현황분석과 활성화 방안, 한국건설관리학회논문집, 제8권 1호, pp 57~65

홍원기, 김선국, 김형근, 윤태호, 윤대영, 김승일 (2010), 저탄소 및 장수명 공동주택 구현을 위한 Green Frame(GF)의 타당성 분석, 한국건축시공학회 논문집 제10권 1호, pp 57~63

SH공사 (2010), 100년 가는 장수명주택을 위한 Green Frame 설계매뉴얼

논문제출일: 2011.08.25
논문심사일: 2011.08.26
심사완료일: 2011.10.31

요 약

1980년대 이후 국내 아파트에서 적용되어온 벽식구조는 리모델링 시 많은 문제점을 유발시켜 정부에서는 법적 인센티브를 제공하며 무량판 및 라멘구조를 장려하고 있다. 이에 따라 기존의 골조의 문제점을 개선한 친환경 라멘조인 그린 프레임이 개발되어 구조적 안전성 뿐 아니라 시공성, 친환경성에 대한 검증이 이루어졌다. 그린프레임의 경우 설계단계에서 작성된 프리캐스트 콘크리트(Precast Concrete; PC) 부재 정보를 이용하여 물량 산출 및 철근 가공도(bar bending schedule) 등을 자동으로 작성하면 인력저감 뿐 아니라 철근 손율(loss)을 줄이는 철근조합을 용이하게 수행할 수 있다. 따라서 본 연구는 합성 PC부재에 의해 설계된 그린 프레임의 철근물량 산출 자동화 알고리즘을 개발하는 것을 목적으로 한다. 철근물량 산출 자동화 알고리즘은 구조 설계정보, 시방정보, 합성PC의 철골정보 등을 이용하여 작성한 후 사례현장 적용을 통하여 개발된 알고리즘의 효용성을 증명한다. 개발된 알고리즘에 의해 저장된 정보는 철근가공조립도, 철근 재단 리스트(bar cutting list)작성 자동화 뿐 아니라 철근 손율을 최소화 할 수 있는 최적조합과 주문물량 산출 자동화에도 활용될 것이다. 또한 공사관리인력 저감 뿐 아니라 철근 손율 최소화 관리에 따른 공사 원가절감의 효과를 기대할 수 있다.

키워드 : PC부재, 그린프레임, 철근물량, 자동화, 알고리즘