



Form-LPSRC 기둥의 건전도 확보 방안

Method of Integrity for Form-Latticed Prefabricated Steel Reinforced Concrete Columns(Form-LPSRC)

백호진 Ho-Jin Baek
삼성엔지니어링(주) 산업환경사업본부
수석엔지니어

김영훈 Young-Hoon Kim
삼성엔지니어링(주) 산업환경사업본부
수석엔지니어

장남석 Nam-Suk Jang
삼성엔지니어링(주) 산업환경사업본부
수석엔지니어

1. 머리말

최근의 건설 프로젝트는 공사기간 단축이 가장 큰 화두가 되고 있다. 특히 골조공사는 프로젝트의 전체 공사비 및 공사기간에서 차지하는 비율이 매우 높으며, 대형 프로젝트에서 골조공사 공기단축은 프로젝트의 성패를 결정하는 중요한 요소가 되고 있다. 이에 기존의 철근콘크리트(Reinforced Concrete; RC) 공법 및 콘크리트에 강재를 매입하는 SRC(Steel Reinforced Concrete) 공법을 대체하기 위한 신기술 및 신공법이 지속적으로 연구 및 개발되고 있다.

SRC 기둥의 단면 성능을 높이기 위해서는 강재를 최대한 기둥 단면의 모서리에 배치하는 것이 효과적이며, 공기단축을 위해서는 프리패브화를 통해 현장에서의 작업을 최소화하는 것이 필요하다. 이에 (주)센구조연구소와 (주)센코어테크는 H형강 대신 앵글을 사용하는 PSRC(Prefabricated Steel Reinforced Concrete) 합성 기둥을 개발하였으며, 이는 기존의 SRC 기둥에 비해 압축과 휨에 대한 강성 및 강도가 더 높다. 그리고 공장에서 앵글과 철근을 선 조립하여 일체화하기 때문에 현장에서의 철근작업이 생략되고, 기둥-보 접합부의 일체화가 가능하다는 장점이 있다. 그러나 여전히 현장에서의 거푸집작업이 필요하므로 PSRC 기둥에 공장 선조립으로 영구거푸집까지 일체화하여 공기단축 및 시공성을 향상시키기 위한 새로운 공법 개발의 필요성이 제기되었다. 이에 기존의 PSRC 공법을 기초로 하여 영구거푸집까지 선조립하여 시공하는 Form-LPSRC(Form-Latticed Prefabricated Steel Reinforced Concrete) 공법이 개발되었다. 그러나 Form-LPSRC 공법은 영구거푸집을 사용함으로써 거푸집 내부를 확인하기 어렵다는 단점이 있으며, 이에 콘크리트의 미충전 가능성이 존재한다.

본 과제는 Form-LPSRC 공법을 적용함에 있어 기둥의 콘크리트 충전성을 확보하기 위한 방안을 마련하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 송도에 위치한 E현장에 적용된 Form-LPSRC 기둥에 콘크리트 충전 Mock-up test를 수행하여 충전성능 확보 방안의 적용 가능성을 검토하였다.

2. PSRC 공법

기존의 SRC 기둥은 기둥 중심부에 강재가 위치하여 단면이 비효율적이라는 단점이 있는데, PSRC 기둥은 이런 단점을 보완하기 위해 기둥 단면 외곽에 철골을 집중하여 단면성능을 향상시킨 기둥으로, 단면계수, 2차모멘트 및 팔 길이의 증가로 SRC 기둥 대비 압축과 휨내력이 증가하여 원가 절감이 가능하다. 또한 공장에서의 가공

및 조립공정을 늘리고 현장 설치 공정이 줄어서 SRC 공법 대비 현장의 생산성 증대와 공기의 단축 효과를 기대할 수 있다.

〈그림 1〉은 PSRC 기둥의 상세를 나타낸 것이다.

3. Form-LPSRC 공법

Form-LPSRC 기둥 공법은 PSRC 공법과 기본 원리는 동일하고 장점을 공유하지만, 기존의 띠철근 용접 대신 래티스를 볼트접합하여 PSRC 공법의 장점을 더욱 극대화하고, 여기에 골데크 영구거푸집을 선조립하여 기존 SRC 공법 대비 비계공사, 철근공사, 그리고 거푸집공사를 생략할 수 있는 공법이다. 〈그림 2〉는 Form-LPSRC 기둥의 단면 및 내부 프레임 구조를 도식화한 것으로, Z형상의 거푸집지지 프레임을 선조립하고 여기에 골데크 영구거푸집을 self-drilling screw 혹은 그와 유사한 체결자재를 이용하여 접합시킴으로써 경제성, 제작성 그리고 시공성을 향상시켰다.

Form-LPSRC 기둥의 공장제작 과정은 먼저 공장에 자재가 반입되면, 각 부재별로 도면에 따라 조립 전 가공작업을 수행하고, 각 면을 분리 제작한 후 래티스를 볼트접합하여 면조립한다. 여기에 골데크 영구거푸집을 self-drilling screw 등을 이용하여 부착

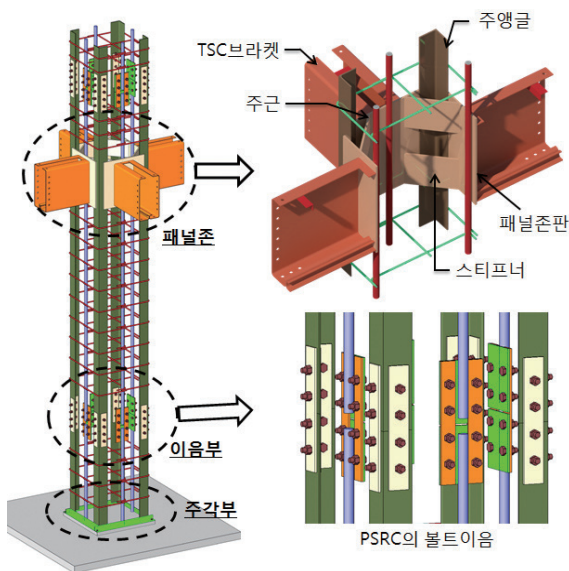


그림 1. PSRC 기둥 형상

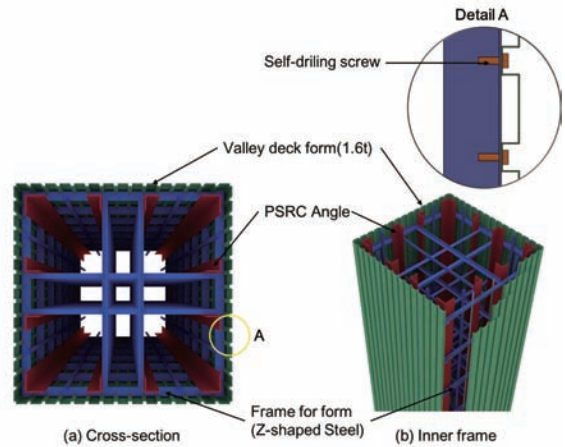


그림 2. Form-LPSRC 기둥 형상

하고, 완료된 제품에 대해 치수검사 및 제작오차 조정을 실시한다. 검사가 완료된 제품은 현장으로 운반 후 현장에서 최종 치수검사 및 제작 오차 여부를 육안으로 확인 한 후 설치 위치별로 이동 야적하여 설치를 준비한다.

4. Form-LPSRC 기둥의 콘크리트 타설

〈그림 2〉에 나타낸 Form-LPSRC 기둥의 형상은 보는 바와 같이 래티스 볼트 접합의 철골 구조에 골데크 영구거푸집을 공장에서 선조립하여 현장에서 설치하는 공법이므로 거푸집 내부를 확인하기 어렵다는 단점이 있다. 〈사진 1〉은 Form-LPSRC 기둥의 시공된 모습으로, 그림에서 보는 바와 같이 공장 선조립된 골데크 거푸집은 아연도 강판이고 이는 해체되는 가설재가 아닌 영구 거푸집이므로 콘크리트의 밀



사진 1. Form-LPSRC 기둥 시공 모습

실 충전 여부를 육안으로 확인할 수가 없다. 따라서 이러한 Form-LPSRC 기둥의 밀실 충전을 확보하기 위한 방안이 필요하다. E현장에서는 Form-LPSRC 기둥의 밀실 충전을 위해서 크게 두가지 방향으로 방안을 강구하였다.

첫째, 콘크리트 재료적 측면에서의 개선 방안이다. 콘크리트 종류를 일반콘크리트가 아닌 유동화 콘크리트를 사용해 콘크리트 타설 시 기둥내부에서 콘크리트의 흐름을 원활히 하여 기둥의 충전성을 확보하도록 하였다.

둘째, 콘크리트 타설의 시공성 측면에서의 개선 방안이다. Form-LPSRC 기둥의 콘크리트 충전성을 확보하는 것은 소요 콘크리트의 정확한 물량을 확인하는 것으로 가능하기 때문에 콘크리트 타설 물량을 관리하였다. E현장에 적용한 Form-LPSRC 기둥의 규모는 0.8m×0.8m, 높이 8.0m이므로 콘크리트의 소요량은 5.12m³가 된다. 따라서 콘크리트 타설물량을 소요량인 5.12m³가 되도록 관리한다면 Form-LPSRC 기둥의 콘크리트는 밀실하게 충전되었다고 볼 수 있다. 추가적으로 콘크리트 내부의 기

포도 없애야 한다(그림 3).

E현장에서는 콘크리트 타설 소요량의 관리와 콘크리트 내부의 기포 제거를 위해 여러 번의 mock-up 시공을 통하여 콘크리트 타설 순서(procedure)를 설정하였다.

〈표 1〉에서 확인할 수 있듯이 Form-LPSRC 기둥의 콘크리트 타설을 총 6차로 나눠 조정레버를 통해 단계별로 토출량을 조정하고 내부의 기포를 배출하여 밀실 타설 유도 및 상부면 평활도 확보를 할 수 있도록 했다. 단계별 타설의 제어는 타설 시간을 통해 수행하며, 이를 통해 타설량을 소요 타설량에 맞추는 동시에 밀실 타설 및 기둥 상부면의 평활도를 확보할 수 있다. 단계별 정확한 타설 시간의 관리를 위해서는 타이머를 사용하였다. 토출량의 관리는 토출압의 관리에 의해 이뤄진다. 토출압의 관리는 콘크리트 펌프카 조정 리모콘에 장착되어 있는 토출량 조정레버를 통해 1~3까지 단계별로 토출압 및 토출량을 조정하였다. 콘크리트 소요 타설량의 관리는 레미콘 차량의 1대 물량 6m³ 대비를 활용하여 소요량인 5.2m³을 관리할 수 있다. 레미콘 차량의 물량 제한에 따른 콘크리트 타설 끊김을 예방하기 위해 예비 레미콘 차량을 콘크리트 펌프카의 호퍼에 연결하여 대기하였다.

콘크리트 타설 직후에 기둥 내부의 콘크리트 밀실 충전 여부를 확인하기 위해 두가지 방법을 적용하였다. 첫째, 콘크리트 타설 소요량 5.2m³ 대비 실 콘크리트 타설 물량의 대조를 통한 밀실 타설 여부의 확인이다. 둘째, 콘크리트 타설 직 후 기둥 하부 구간에 고무망치 등으로 두드려서 공극 여부를 확인하는 것이다.



그림 3. Form-LPSRC 기둥 콘크리트 타설 단계

표 1. Form-LPSRC 기둥 콘크리트 타설 Procedure

타설 차수	타설 시간 (min)	토출량 조절레버 단수	토출 압력 (bar)	타설 속도 (m ³ /min)	타설량 (m ³)	누적 타설 높이(m)
1차	2	1단	7.05	0.25	0.50	0.80
2차	3	2단	9.40	0.33	0.99	2.33
3차	5	3단	14.10	0.50	2.50	6.20
4차	2	2단	9.40	0.33	0.66	7.30
5차	1	1단	7.05	0.25	0.25	7.70
6차	3	1단 / 멈춤 반복	-	0.07	0.22	8.00
계	16	-	-	-	5.12	-

5. 건전도 검사

Form-LPSRC 기둥을 타설하고 일정기간 양생 후 기둥 내부 콘크리트의 충전 및 기밀 상태를 확인하기 위하여 건전도 시험을 하였다. 건전도 시험 방법은 Sonic Logging Test를 채택하였다. Sonic Logging Test는 음파검측 방법으로써 콘크리트 타설 전 검측 공을 기둥 내부에 설치하고 콘크리트 타설 후 경화가 진행된 이후 초음파를 투사하여 음파의 속도와 에너지의 변화를 분석하여 건전도 여부를 판정하는 방법이다. E현장에서는 기둥 2개소에 대하여 검사를 실시하였고, 기둥 1개소당 4개의 검측 공을 설치하였다. <그림 4, 5>는 기둥 2개소에 대한 Sonic Logging Test 분석 Data를 나타낸 것이다. Sonic Logging Test는 초음파 측정에 의한 것으로 초음파의 속도저감율(%)의 수치로 A, B, C, D의 4개 등급으로 구분하여 결함의 수준을 평가한다. <표 2>는 Sonic Logging Test의 건전도 판정 기준을 나타낸 것이다(한국도로공사 전문시방서 기준).

E현장의 기둥 2개소에 대한 Sonic Logging Test 결과는 <표 3>과 같이 기둥 1의 속도저감율은 0.82%, 기둥 2의 속도저감율은 0.88%로 양호등급 판정 기준인 속도저감율 10%에 비해 현저히 낮게 나타났다. 이로서 Form-LPSRC 기둥의 건전도는 매우 우수한 것으로 판단된다.

표 2. Sonic Logging Test의 건전도 판정 기준

등급	판정기준	비고
A (양호)	- 초음파 주시곡선의 신호왜곡이 거의 없음 - 건전한 콘크리트 초음파 전파속도의 10% 이내 감소에 해당하는 전파시간 검측 (속도저감율 10% 미만)	$R(%) = (1 - TO/T) \times 100$ R : 결함부 속도저감율 T : 결함부 초음파 최초도달시간 TO : 결함부와 인접한 무결함부 초음파 최초도달시간
B (결함의심)	- 초음파 주시곡선의 신호왜곡이 다소 발견 - 건전한 콘크리트 초음파 전파속도의 20% 감소에 해당하는 전파시간 검측 (속도저감율 10 ~ 20% 미만)	
C (불량)	- 초음파 주시 곡선의 신호왜곡의 정도가 심함 - 건전한 콘크리트 초음파 전파속도의 20% 이상 감소에 해당 되는 전파시간 검측 (속도저감율 20% 이상)	
D (중대결함)	- 초음파 신호 자체가 감지되지 않음 - 전파시간이 초음파 전파속도 1,500 m/sec에 근접	

표 3. E현장 기둥의 Sonic Logging Test 결과

검사수량/위치	측정공수	속도저감율(%)	판정등급	비고
G/2열(2절)	4	0.82	A등급[양호]	판정 : 한국도로공사 기준 적용 (초음파 검사시방의 결함점수에 따른 판정기준) A등급 : 속도저감율 10% 미만
G/3열(2절)	4	0.88	A등급[양호]	

6. 맺음말

본 기사에서는 기존의 SRC 공법을 개선하여 연구 거푸집을 부착한 개량된 합성기둥인 Form-LPSRC 공법을 적용함에 있어 기둥 콘크리트 충전성을 확보하기 위한 방안을 나타내었다. 또한 Form-LPSRC가 적용된 송도에 위치한 E현장에 건전도 Mock-up test를 실시하여 충전성 확보 방안의 적용 가능성을 검토하였다.

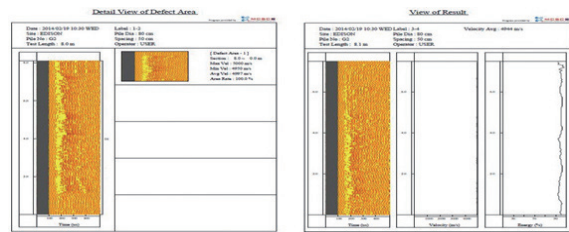


그림 4. Sonic Logging Test 분석 데이터(기둥 1)

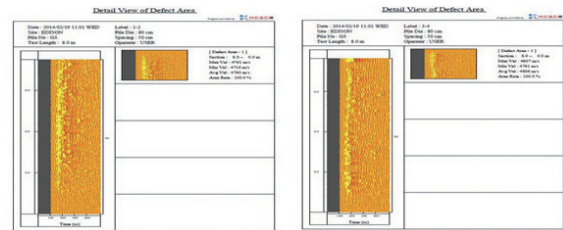



그림 5. Sonic Logging Test 분석 데이터(기둥 2)

E현장에서는 Form-LPSRC 기둥의 콘크리트의 충전성을 확보하기 위하여 시공시 크게 두 가지 방법을 수행하였는데, 첫째, 유동화 콘크리트의 사용이고, 둘째, 기둥 콘크리트 타설 Procedure의 정립이다. 또한 콘크리트 경화 후 Sonic Logging Test를 통하여 충전성 여부를 확인할 수 있었는데, Form-LPSRC 기둥 콘크리트의 전전도는 매우 우수한 것으로 나타났다.

Form-LPSRC 공법은 사전에 공장에서 거푸집 및 철골을 일체로 제작하여 현장 설치 후 타설하는 형태로 안전, 시공, 원가 측면에서 많은 장점이 있으나 영구거푸집의 사용으로 콘크리트의 충전성 여부의 확인이 불가한 단점이 있어 여러 가지 방안을 동원하여 충전성을 확인하였다. 향후 이러한 여러 가지 번거로운 방안을 생략할 수 있는 근본적인 해결 방안에 대해 더욱 많은 연구가 필요하다. 

담당 편집위원 : 이승환(주)센구조연구소 shlee@senkuzo.com

참고문헌

1. Hwang HJ, Park HG, Lee CH, Park CH, Lee CN, Kim HS, Kim SB, Seismic Resistance of Concrete-filled U-shaped Steel Beam-to-RC Column Connections, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 23, No. 1, 2011, 2, pp. 83~97.
2. Song JA, Park HG, Lee CN, Eom TS., Earthquake Resistance of Prefabricated Reinforced Concrete Beam-Column Connection, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 27, No. 10, 2011, 10, pp. 19~26.
3. 백호진, 김수영, 이승환, 'Form-LPSRC 기둥 개발 및 적용 연구', 한국건축시공학회 논문집, 심사중, 2014, 06.



백호진 수석엔지니어는 한양대학교 건축공학과에서 건축구조 및 재료 분야에서 석사학위를 취득한 후 건설관리 분야 박사를 수료하였으며, 현재 삼성엔지니어링(주)에서 수석엔지니어로 근무하고 있다. 건축학회, 건설관리학회, 건축시공학회 정회원이며, 현재 대형 건설프로젝트에서 엔지니어로서 건설관리 및 공법개선에 관한 실무와 이론의 접목을 위한 연구와 개발에 노력하고 있다.
backho@samsung.com



김영훈 수석엔지니어는 인하대학교 건축공학과에서 건축공학을 전공하였으며, 현재 삼성엔지니어링(주)에서 수석엔지니어로 근무하고 있다. 국내 외의 여러 건축 프로젝트 다년간 수행하였으며, 현재 대형 건설프로젝트에서 엔지니어로서 공법개선에 관한 실무와 이론의 접목을 위한 연구와 개발에 노력하고 있다.
yh301.kim@samsung.com



장남석 수석엔지니어는 울산대학교 건축공학과에서 건축공학을 전공하였으며, 현재 삼성엔지니어링(주)에서 근무하고 있다. 국내외 여러 건축 프로젝트 다년간 수행하였으며, 특히 중동의 건축 프로젝트의 Project Manager로서의 다양한 경험을 바탕으로 현재 대형 산업플랜트 프로젝트의 소장으로서 공법개선에 관한 실무와 이론의 접목을 위한 연구와 개발에 노력하고 있다.
ns0925.jang@samsung.com