

PC접합부에 사용되는 스플라이스 슬리브의 품질확보 방안

1. 서론

국내 건설환경 변화에 대응하고 공동주택의 품질 확보를 위해서는 탈현장 공법(Off-Site Construction, 이하 OSC)을 통한 건설 생산성 고도화를 이루어야하나, OSC 공법의 특성에 따른 구체적인 실행 방안에 대한 연구가 필요한 실정이다. 대표적인 OSC공법중 하나인 PC(Precast Concrete, 사전제작 콘크리트)공법을 이용한 PC공동주택은 고층(15층 이상) 및 단지단위의 건설이 가능하여 일정 규모의 세대 수 확보가 유리하나, PC공법의 특성상 필연적으로 발생하는 PC부재 접합부 품질에 따라 구조 안전성 및 건설현장 안전성 저하 우려가 있다.

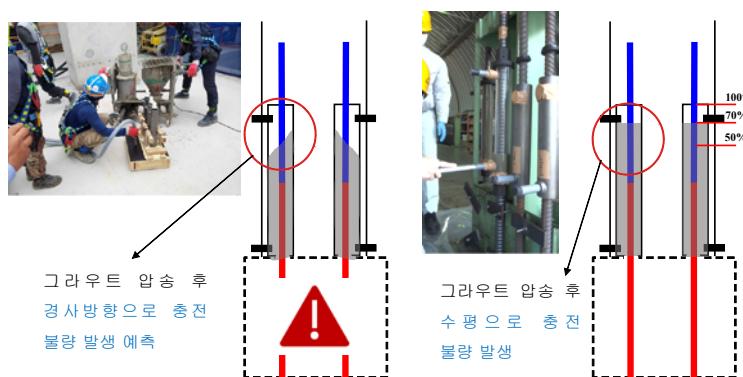
현행 기준(국내: KCS, EXCS, 국외: PCI, JASS10)의 습식 PC접합부 그라우트 품질 검사는 작업자의 육안으로 수행하도록 되어있어 정량적 품질 확보의 기준이 모호한 실정이며, PC접합부의 내부는 육안으로 확인 할 수 없으므로 비파괴 등 새로운 검사 방법 필요하다. 또한 PC접합부는 PC건축물의 구조 시스템(연성 및 에너지소산능력)에 미치는 영향이 크므로 구조 품질의 확보가 필수적이다.

따라서, 본 연구에서는 PC접합부에 사용되는 스플라이스 슬리브의 인발 성능에 미치는 영향을 고찰하여 고품질 PC공동주택 건설을 위한 실행 방안을 마련하고자 하였다. 이번 연구를 통해 스플라이스 슬리브의 인발성능을 확보할 수 있는 방안을 도출한다면 PC공동주택의 구조적 안전성 향상을 이룩함과 동시에 PC공동주택의 활성화에 기여할 것으로 기대된다. 본 연구에서의 PC접합부는 그라우트를 이용한 스플라이스 슬리브로 한정하였다.

2. PC접합부 그라우트 충전 품질 저하 시나리오

현행 대부분의 PC구조 건축물의 경우(공동주택 및 상업시설 포함)에는 스플라이스 슬리브를 이용한 그라우트 충전 방식의 습식 접합방법을 사용하고 있으며, PC 수직부재(기둥 및 벽체)의 그라우트 충전은 [그림 1]과 같이 스플라이스 슬리브의 주입구(하부) → 토출구(상부)의 반중력 방향으로 그라우트를 압송 주입하고 있다.

반중력 방향의 그라우트 주입 방식의 품질은 중력, 스플라이스 슬리브 내 공기, 작업자 숙련도에 의하여 영향을 미치며, 특히, 공장에서 PC부재 내에 선 설치된 스플라이스 슬리브 내부는 육안으로 검사할 수 없으므로 그라우트 시공에 대한 충전 불량 형상의 고려가 필요하다.



[그림 1] 스플라이스 슬리브 충전 및 그라우트 충전 불량 예

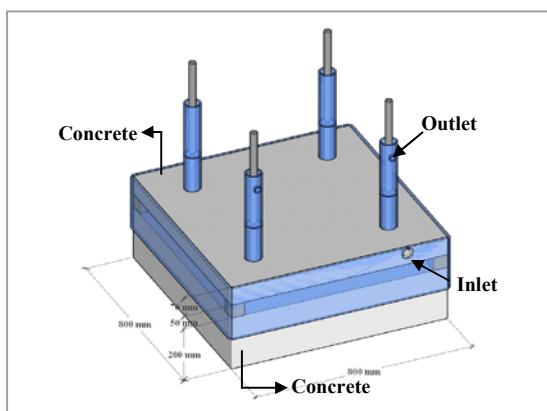
스플라이스 슬리브의 내부에 배근된 철근의 인발성능은 그라우트와 철근의 부착작용에 의하여 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 콘크리트와 철근의 부착성능은 콘크리트 강도, 철근의 직경, 부착전달길이(묻힘길이)에 영향을 받는다. 따라서 그라우트 압축강도가 증가하면 스플라이스 슬리브 내의 철근의 부착성능 향상될 것으로 보인다.

그라우트 특성 상 초기 재령(3일 이내) 시 설계 압축강도의 80%이상 발현 되므로 PC접합부 시공 시 이에 대한 영향을 고려해야 한다. 또한 PC접합부 철근 강도 및 직경은 구조 설계를 통하여 결정되며, 철근 직경이 클수록 스플라이스 슬리브 크기가 커지며, 이에 따라 그라우트 충전량, 충전 불량이 증가할 수 있다. 더불어 철근 편심이 발생 할 경우, 그라우트 또한 스플라이스 슬리브 내에서 충전불량(편심 충전)이 발생할 우려가 있으며, 편심 충전이 발생 할 경우 스플라이스 슬리브 내에서 철근과 그라우트의 부착작용이 저하되어 구조적 안전성 저하가 발생 가능하다. 이를 종합하여 볼 때, 다음과 같은 PC접합부 그라우트 충전 품질 저하 시나리오 도출이 가능하다.

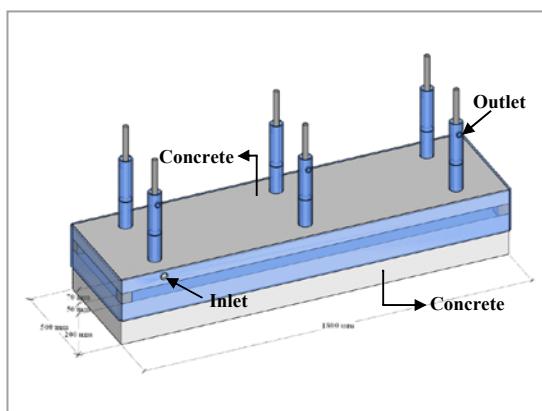
- » 스플라이스 슬리브 주입 방식에 따라 그라우트 충전 불량 발생 가능
- » 그라우트 강도와 재령에 따라 PC접합부 품질 저하 발생 가능
- » PC접합부 내 배근되는 철근의 직경, 편심에 따라 품질 저하 발생 가능

3. PC접합부 Mock-up 실험을 통한 충전결함 검증

현행 PC접합부에서 사용되는 스플라이스 슬리브의 그라우트 충전에 대한 신뢰성 검증을 위하여 실내형 Mock-up 실험을 수행하였다. Mock-up 실험체는 [그림 2]와 같이 PC기둥-PC기둥 및 PC벽-PC벽 접합부로 구성되어 있으며, 스플라이스 슬리브는 투명 아크릴로 제작하여 그라우트 충전형상을 육안으로 관찰 할 수 있게 하였다.



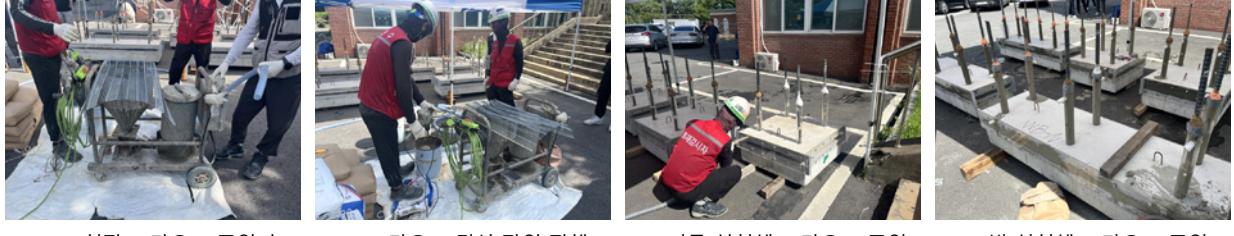
(a) 기둥 Mock-up 실험체 형상



(b) 벽체 Mock-up 실험체 형상

[그림 2] Mock-up 실험체 형상

실험의 변수는 현재 PC시공 현장에서 빈번하게 발생할 수 있는 PC 접합부 철근의 편심과 슬리브 내부로 충전되는 그라우트의 강도로 설정하였다. 그라우트 충전 실험은 [그림 3]과 같이 실제 PC시공현장에서 사용되는 장비를 사용하여 수행하였다.



(a) PC현장 그라우트 주입기 (b) 그라우트 믹싱 작업 진행 (c) 기둥 실험체 그라우트 주입 (d) 벽 실험체 그라우트 주입

[그림 3] Mock-up 실험

[그림 4]와 같이 Mock-up 실험결과, 아크릴 모형의 스플라이스 슬리브의 그라우트 충전결함은 주입기의 압력이 제거되었을 경우와 철근의 편심에 따라 슬리브 내부에 충전 결함이 발생하였다. 평균 충전결함은 약 8.5%내외로 나타났다. 본 연구는 PC시공현장에서 사용하는 장비를 통하여 실험실 조건에서 그라우트 충전결함을 검증하였으며, 실제 시공현장에서는 실험실 조건에 비하여 온도, 습도 등 변수가 다양하므로 그라우트 충전 결함이 다양하게 발생할 수 있을 가능성이 있을 것으로 판단된다.



(a) 주입기 압력에 의한 충전결함

(b) 철근의 편심에 의한 충전결함

[그림 4] Mock-up실험의 주요 충전결함

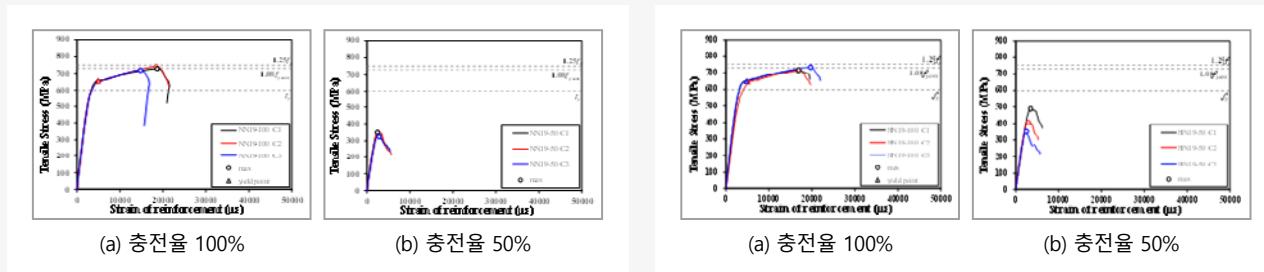
4. 스플라이스 슬리브의 인발성능 평가

본 연구에서는 스플라이스 슬리브의 인발성능을 평가하였으며, 실험체의 변수는 그라우트 충전율(50%, 100%), 그라우트의 강도(60MPa, 80MPa)이다. [그림 5]와 같이 KDS 14 20 52(콘크리트구조 정착 및 이음 설계기준)에 준하여 일방향 인장 시험을 진행하였다. 인장시험은 1,000 kN의 용량을 보유한 UTM을 사용하였다. 가력방식은 변위 제어 방식으로 진행하였으며 가력속도는 7 mm/min으로 설정하여 그라우트 슬리브의 강도가 급격하게 저하 되었을 경우 가력을 종료하였다.



[그림 5] 스플라이스 슬리브 실험

[그림 6 및 7]은 스플라이스 슬리브의 1방향 인장실험 결과를 나타낸 그래프이다. 실험결과, 그라우트의 충전율이 높을수록, 그라우트의 강도가 높을수록 스플라이스 슬리브의 인발응력이 증가하는 것으로 나타났다.



[그림 6] 그라우트 강도 60MPa

[그림 7] 그라우트 강도 80MPa

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 PC접합부에 사용되는 스플라이스 슬리브의 품질확보 방안을 도출하기 위하여 PC접합부 그라우트 충전 품질 저하 시나리오 제안, PC접합부 Mock-up 실험을 통한 충전결함 검증, 스플라이스 슬리브의 인발성능 평가를 진행하였으며, 그 결과를 다음과 같이 얻었다.

- 1) 실대형 Mock-up 실험체를 제작하여 PC공동주택 건설현장과 동일한 조건에서 수행된 그라우트 주입결과, 충전결함은 주입기의 압력이 제거되었을 경우와 철근의 편심에 의하여 발생하였으며, 평균 약 8.5%의 충전결함으로 확인되었다. 실제 PC 시공현장에서는 실험실 조건에 비하여 작업 환경이 열악하므로 그라우트 충전의 정밀시공이 요구된다.
- 2) 본 연구에서는 스플라이스 슬리브의 1축 인장실험을 수행하였으며, 그 결과, 그라우트 충전율 및 그라우트의 압축강도가 증가할수록 스플라이스 슬리브의 인발성능이 개선됨을 확인하였다. 따라서 실제 PC건축물 시공현장에서 작업조건이 열악 할 경우에는 그라우트의 강도를 상향하는 것이 PC접합부 품질확보에 유리 할 것으로 판단된다.

PC접합부는 PC건축물의 연성 및 에너지소산능력에 영향을 주므로 매우 중요하다. 본 연구결과를 종합하여 볼 때, PC접합부의 구조성능에 직접적으로 영향을 미치는 스플라이스 슬리브의 인발성능은 충분한 그라우트 충전 및 그라우트의 강도확보를 통하여 확보될 수 있을 것으로 판단된다. 향후 다양한 PC시공현장에서의 변수연구를 통하여 스플라이스 슬리브의 인발성능에 미치는 인자를 규명하여 현행 건축물 PC구조설계기준에 반영하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 원고가 국내 공동주택 건설산업의 패러다임 전환에 필수적인 것으로 판단되는 PC공법에 대한 현장 실무자 및 관련 연구자들의 이해 제고와 확산에 기여할 수 있기를 바란다.

* 감사의 글 - 본 원고는 LH에서 수행한 “고품질 PC공동주택 공급을 위한 품질관리 시스템 고도화(2024)” 연구의 일부입니다.

김민준 / LH토지주택연구원 수석연구원

