

RC교각 코핑부 배근방법에 따른 안전성 평가

Safety Assessment of RC Pier Coping

According to Modification of Rebar Arrangement

박봉식† 박성현* 신왕수** 조재열***
Bong-Sik Park Sung-Hyun Park Wang-Su Shin Jae-Yeol Cho

ABSTRACT

Construction of the coping of reinforced concrete piers is very complicated due to heavy density of rebars and usually exposed to negligent accident. To correct these problems, coping is pre-assembled at the ground in pier coping pre-assembly method and recently a new method of rebar assembling has proposed in this study. For safety assessment of proposed method, small scale model test of railway bridge(PSC U-GIRDER T-shaped pier) was carried out and it was verified that crack pattern, failure mechanism and load resistance capacity are similar between existing method and proposed method. And using analytical approach, linear and non-linear finite element analysis was performed. As a result, it was checked that proposed method has an acceptable structural safety.

1. 서론

교각의 코핑은 높은 곳에 위치하기 때문에 코핑 거푸집 내부에서 배근 작업시 건설자재 또는 작업자의 추락 등과 같은 위험이 존재하고 작업공간이 협소하기 때문에 시공성이 매우 떨어진다. 그리고 작업시 크레인과 같은 인양장비가 대기해야 하므로 장비비 손실이 매우 크다. 게다가 관행적인 설계방법대로 코핑을 설계하는 경우, 철근이 과다하게 배근되어 작업성이 매우 떨어진다. 특히 원형 교각의 경우 코핑 내에서 기둥주철근과 코핑의 주압축철근 및 수평전단철근이 간섭되어 철근의 배근이 매우 어렵다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 제안된 교각 코핑 선조립 시공법은 코핑부 수평·수직전단철근과 기둥의 수직주철근 사이의 간섭이 최소화되도록 철근 배근 방법을 변경하고 이를 지상에서 선조립하여 인양 후 교각에 거치하여 콘크리트를 타설하는 시공법이다. 본 연구에서는 선조립 시공법에 따라 제작된 철도교(PSC U-GIRDER T형 교각) 교각 코핑부의 축소모형 정적실험을 수행하여 교각 코핑 선조립 시공법의 안정성을 보다 면밀히 검토하였다.

2. 본론

2.1 선조립 시공법에 따른 철근 배근 변경

2.1.1 대상구조물 선정

이 연구에서는 실제 사용된 철도교(PSC U-GIRDER T형 교각) 교각 코핑을 대상으로 코핑 철근 선조립

† 정회원, 서울대학교, 건설환경공학부, 박사과정
E-mail : sonmal00@gmail.com

* 정회원, 한국해양연구원, 연안개발에너지연구부, 연구원

** 정회원, 삼성물산 건설부문, TA팀, 차장

*** 정회원, 서울대학교, 건설환경공학부, 조교수

시공법의 구조적 안전성 평가를 실시하였다. 콘크리트의 설계강도는 24MPa 이고 철근의 설계강도는 300MPa 이다. 그림 1에 대상 구조물의 정면도와 측면도를 나타내었다.

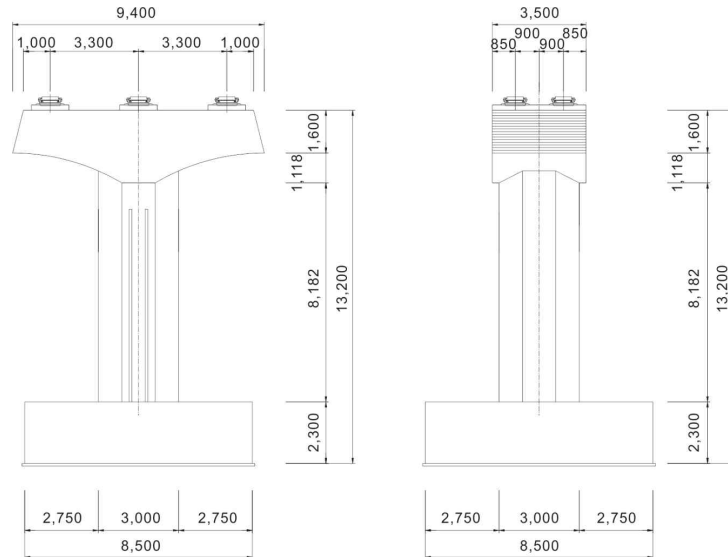


그림 1. 대상 구조물 - 철도교 (PSC U-GIRDER T형 교각)

2.1.2 철근 배근 변경안

선조립 시공법에 따른 철근 배근 변경안의 내용은 (1) 기둥 수직주철근 정착길이 감소 (2) 코핑과 기둥철근 간섭영역 내 수평 절단 (3) 코핑과 기둥철근 간섭영역 내 수직전단철근 절단 (4) 기둥주철근 부근 코핑 압축주철근 bent-up 등이다.

(1) 기둥 수직 주철근 정착길이는 도표 1에서 볼 수 있듯이, 기존 시공법에 비해 1/2 이상 감소하였다. 이는 인장이형철근 정착길이에 대해서는 규정에 다소 못 미치지만 압축이형철근과 표준갈고리를 갖는 인장이형철근 정착길이에 대해서는 만족시킴을 알 수 있다.

(2) 콘크리트구조설계기준의 수평전단철근은 휨인장철근에 인접한 유효깊이의 2/3 내에 균등하게 배치하여야 한다는 규정에 따르면, 철도교의 경우 유효깊이의 2/3에 해당하는 1,379mm 내에 균등하게 배치하여야 한다. 이 규정을 만족시키기 위하여 수평전단철근은 코핑부 상면으로부터 1,600mm 이하의 부분에 배근된 철근을 기둥 수직 주철근과 만나는 지점에서 절단하였다.

(3) 수직전단철근은 간섭영역 내에서 코핑부 상면으로부터 이하의 철근만 남기고 절단하였다. 콘크리트구조설계기준에 깊은 보, 브래킷, 코벨의 전단설계에 스트럿-타이 모델을 적용할 수 있다고 규정되어 있으므로 이를 이용하여 수직전단철근 변경안의 설계기준 부합여부를 검토하였다. 스트럿-타이 모델을 적용한 결과, 수직전단철근을 사용하지 않는 스트럿-타이 모델의 코핑 설계가 유효한 것으로 나타났다. 따라서 선조립 시공법의 수직전단철근 배근 변경안은 콘크리트설계기준을 만족한다고 생각된다.

(4) 기둥주철근 부근 압축주철근을 bent-up 한 것과 관련된 국내설계기준은 없기 때문에 선조립 시공법에 따른 선형·비선형유한요소해석을 수행한 결과, 철근의 최대압축응력이 선형유한요소해석에서는 46~49MPa, 비선형유한요소해석에서는 30~51MPa로서 철근의 항복강도 이하이다. 그리고 선조립 시공법의 철근 최대인장응력 및 최대압축응력이 기존 시공법의 해석결과와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 선조립 시공법에 의한 철근 배근은 구조적으로 안전한 것으로 생각된다.

표 1. 기둥 수직 주철근 정착길이

구 분	설계기준			기존 시공법	선조립 시공법
	압축이형철근	인장이형철근	인장이형철근(갈고리)		
정착길이(mm)	490	1,176	490	1,868	700

2.2 축소모형실험

2.2.1 축소모형

본 연구에서는 대상 구조물인 철도교 교각 코핑의 크기 및 실험설비의 제약 등으로 인하여 축소모형을 제작하였다. 축소모형은 기존 시공법에 따른 실험체와 선조립 시공법에 따른 실험체를 각각 1개씩 제작하였고 축소모형 제작시 실험결과에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 기둥부의 높이를 최소화하였다. 축소모형에는 교각 코핑의 원형에 상사법칙을 적용하여 산출된 콘크리트 치수, 철근 단면적, 재하하중이 사용되었다. 이 때 사용된 축소비는 (1) 축소모형의 현장제작 및 운반의 용이성 (2) 축소된 철근 치수와 기성제품간의 적합성 (3) 재하하중 및 실험설비의 성능 등을 검토하여 15/33으로 결정하였다. 그림 2에 축소모형을 나타내었다.

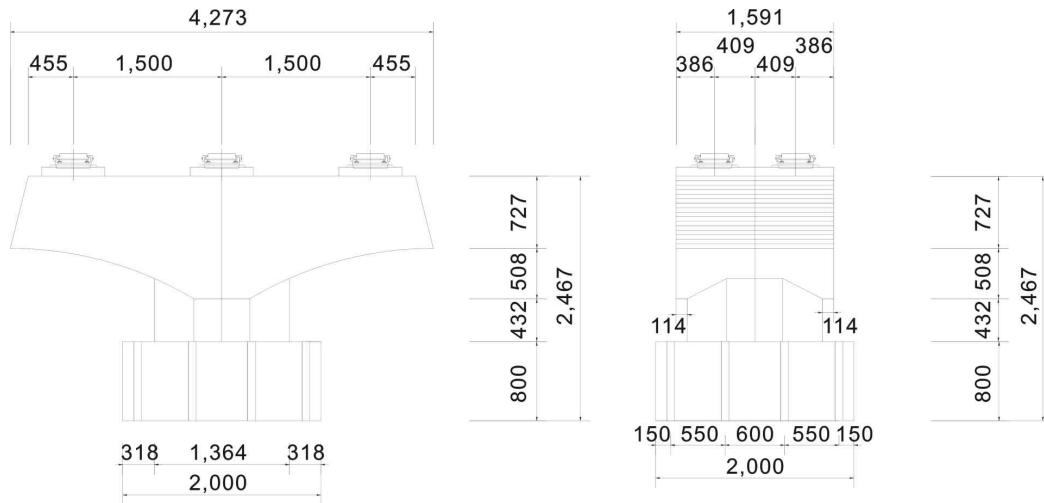


그림 2. 축소모형

2.2.2 사용재료

축소모형에 사용된 콘크리트의 설계압축강도는 원형과 동일한 24MPa이다. 실험에 사용된 콘크리트의 압축강도를 측정하기 위하여 축소모형 제작시 원형공시체(100mm×300mm)를 함께 제작하여 압축강도테스트를 실시하였다. 원형공시체는 기존 시공법에 따른 실험체 제작시 10개, 선조립 시공법에 따른 실험체 제작시 9개 등 총 19개를 제작하였으며 수중양생후 재령 40일 전·후에 서울대학교 콘크리트구조 연구실, 서울대학교 암반공학 연구실, GS 기술연구소에서 압축강도테스트를 실시하였다. 테스트 결과 콘크리트의 평균압축강도는 57MPa로서 설계압축강도를 훨씬 상회하지만 두 축소모형의 압축강도 간의 차이가 거의 없어 선조립 시공법의 안정성 평가에 큰 문제가 되지 않는다고 생각된다.

2.2.3 실험체 설치

실험은 명지대학교 Hybrid 구조실험센터에서 수행하였다. 실험체 높이와 가력장치(Actuator)의 길이를 고려하여 철제 프레임을 설치하고 5,000kN 용량의 MTS 가력장치 세 개를 철제 프레임 상부에 고정시켰다. 그리고 실험체를 운반하여 실험체의 하중재하 지점과 가력장치가 일치하도록 실험체를 위치시키고 4개의 강봉을 이용하여 실험실 바닥에 고정시켰다. Fig. 5에 설치가 완료된 실험체의 모습을 나타내었다.



그림 3. 설치완료된 실험체

2.2.4 하중 재하 및 계측

교각 코핑부 위험단면에 최대전단력과 모멘트가 발생할 때 사용하중과 계수하중을 계산하면 각각 17,521 kN, 27,529 kN이고 여기에 15/33 상사비를 적용하면 3,620 kN, 5,688 kN이다. 실험에서는 기존 시공법에 따른 실험체와 선조립 시공법에 따른 실험체에 재하된 하중이 각각 6,030 kN, 6,130 kN으로서는 사용하중과 계수하중을 훨씬 상회한다. 중앙부 가력장치의 경우 실험여건상 1,530 kN에서 가력을 중지하였지만 이는 교각의 코핑부 거동 검토에 영향을 미치지 않는다고 판단된다.

두 실험체의 동일한 위치에 철근 및 콘크리트게이지를 부착하여 코핑 철근 선조립 시공법의 구조적 안전성평가를 실시하였다. 철근게이지는 횡인장철근(T), 수평전단철근(HS), 수직전단철근(VS), 주압축철근(JC), 기둥주철근(PU, PL)에 부착하였고 콘크리트게이지는 주압축철근이 bent-up 되면서 기둥주철근과 유격이 발생하는 코핑과 기둥부 접합부(CG)에 부착하였다. 그림 4에 게이지 부착 위치를 나타내었다.

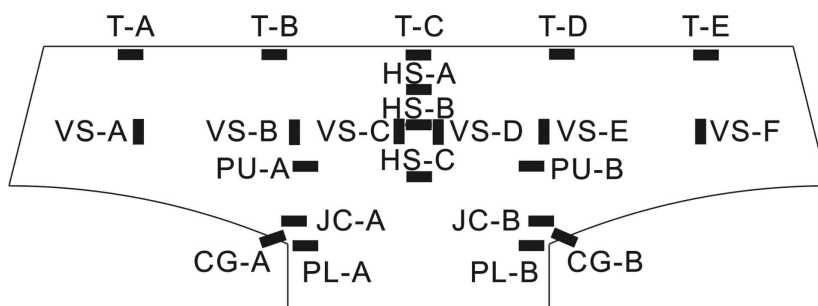


그림 4. 게이지 부착 위치

2.3 실험결과 및 분석

2.3.1 균열양상

그림 5에 두 실험체의 균열도를 나타내었다. 균열계측결과 두 실험체의 균열양상이 유사하였다. 두 실험체 모두 재하하중 약 4,500 kN 일 때, 중앙부 하중받침판 양끝지점에서 균열이 처음 발생하여 이후 하중받침판 사이와 중앙부 하중받침판 하부에서 추가균열이 발생하였다. 중앙부 하중받침판 하부에서 발생한 균열은 중앙부 가력장치에는 1,530 kN 보다 큰 하중이 재하되지 않았기 때문으로 생각된다.

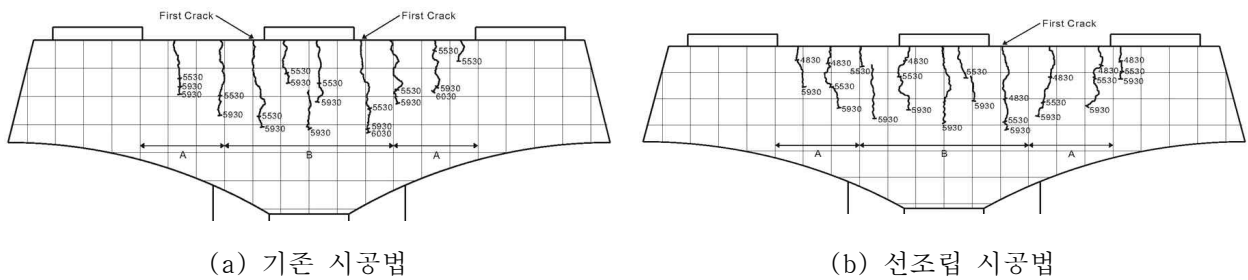


그림 5. 축소모형 균열도

2.3.2 하중-변형률 곡선

계측된 철근 및 콘크리트게이지의 주요 하중-변형률 곡선은 그림 6과 같다. 두 실험체에 부착된 게이지의 하중-변형률 곡선은 비슷한 거동을 보이는 것을 알 수 있다.

휨인장철근은 균열이 발생하는 4,500 kN에서 기울기가 변화하는 것을 볼 수 있다. 그리고 최대재하하중에서 계측된 변형률이 휨인장철근의 항복변형률인 0.0015보다 작은 0.0008 이내이고 두 실험체의 휨인장철근 변형률 곡선이 큰 차이가 없는 점으로 미루어 선조립 시공법의 배근방안이 휨인장철근의 거동에 미치는 영향이 작다고 생각된다.

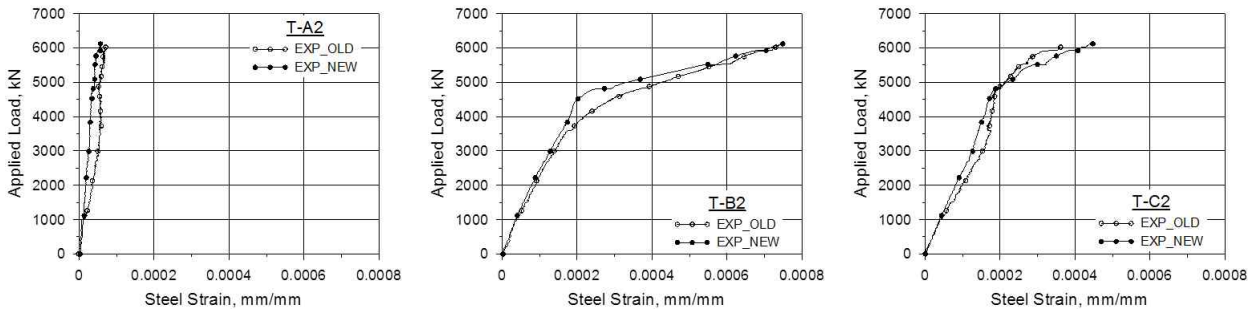
수평전단철근의 하중-변형률 곡선을 보면 A그룹에서 C그룹으로 갈수록 최대변형률이 작아지는 것을 알 수 있다. 이는 하단에 위치한 수평전단철근의 복부전단보강 기능이 미미하다는 것을 의미한다. 따라서 C그룹 하부에 배근되는 수평전단철근을 절단하는 것은 코핑의 구조적 거동에 큰 영향을 미치지 않는다고 생각된다.

수직전단철근의 최대변형률이 -1.0×10^{-4} 이하로 매우 작은 값을 갖는다. 이는 수직전단철근이 부담하는 하중이 매우 작다는 것을 의미하므로 수평전단철근과 마찬가지로 수직전단철근을 기둥주철근과 만나는 지점에서 절단해도 무방하다고 생각된다.

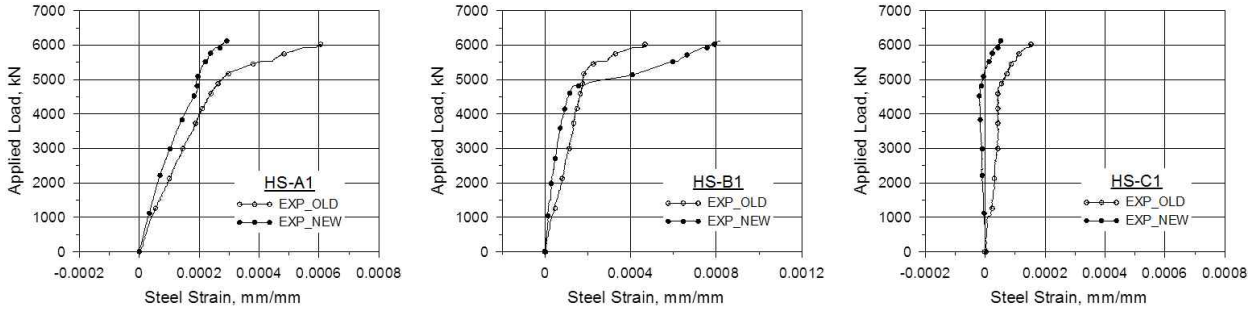
주압축철근의 최대변형률이 주압축철근의 항복변형률에 비해서 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 이는 선조립 시공법에 따라 주압축철근을 기둥주철근과 만나는 지점에서 bent-up 시킴으로써 발생하는 응력집중현상이 작다는 것을 의미한다.

기둥주철근의 하중-변형률 곡선을 보면 기존 시공법에 따른 실험체에만 부착된 게이지의 최대변형률이 매우 작은 것을 알 수 있다. 따라서 선조립 시공법에 따라 변경된 기둥주철근의 정착길이가 코핑의 구조적 거동에 미치는 영향이 작다고 생각된다.

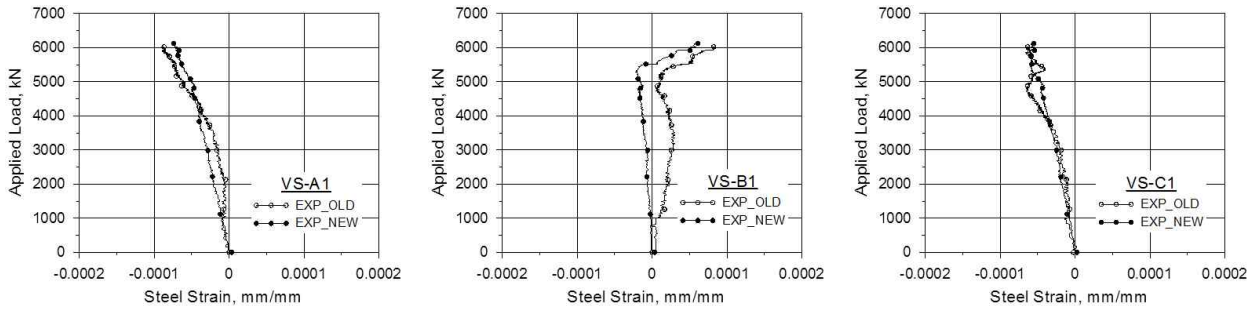
기둥부와 코핑부가 만나는 지점의 콘크리트 변형률은 두 실험체 간의 차이가 크지 않은 것을 알 수 있었다. 따라서 주압축철근에 부착된 게이지의 응력-변형률 곡선에서 보았듯이 주압축철근이 bent-up 되면서 발생하는 응력집중현상이 크지 않고 선조립 시공법에 따른 주압축철근의 배근방안은 구조적으로 안전성을 확보하고 있다고 생각된다.



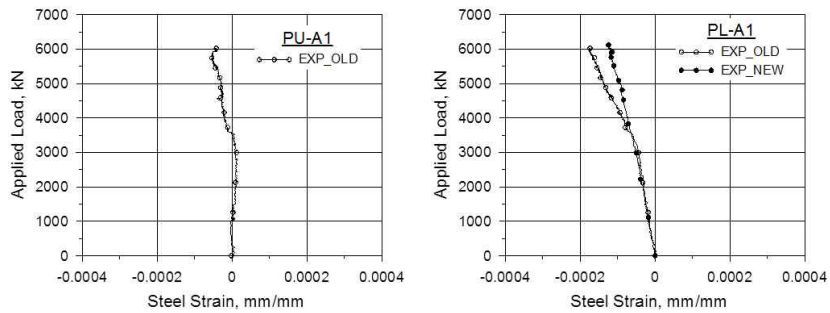
(a) 횡인장철근



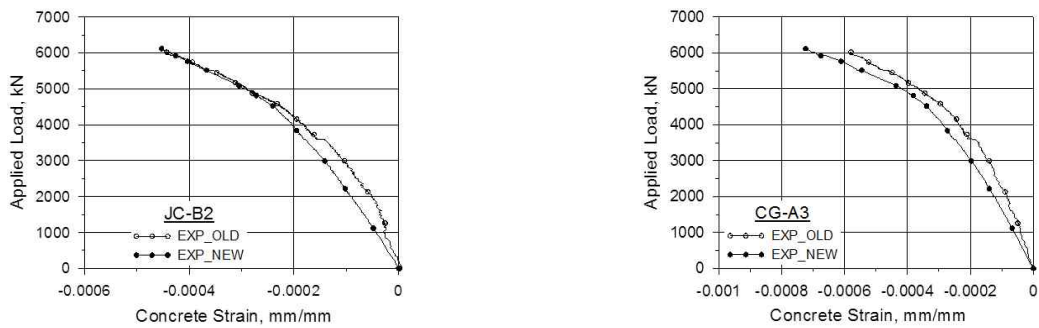
(b) 수평전단철근



(c) 수직전단철근



(d) 기둥주철근



(e) 주압축철근

(f) 콘크리트게이지

그림 6. 하중-변형률 곡선

3. 결론

교각 코핑부 배근방법에 따른 안정성 평가를 위하여 축소모형실험을 수행한 결과로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

(1) 사용하중 3,620 kN과 계수하중 5,688 kN 의 사이인 약 4,500 kN에서 코핑 상면에 균열이 발생하여 실험을 종료한 약 6,000 kN 의 하중에는 코핑부 깊이의 절반까지 균열이 발전하였다. 그러나 본 실험에서 실험장비의 성능과 안전사고를 우려하여 최대하중까지 재하하지않고 도중에 강제종료한 것이며, 각종 측정 데이터를 분석한 결과 종료 이후에도 추가하중에 견딜 수 있을 것으로 생각된다.

(2) 철근과 콘크리트에 부착된 게이지로부터 얻은 데이터를 분석한 결과, 기존 시공법에 따른 실험체와 선조립 시공법에 따른 실험체의 거동에 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 따라서 선조립 시공법에 따른 실험체는 구조적으로 안전성을 확보하고 있다고 판단된다.

본 연구결과는 시공 현장과 밀접한 관련이 있는 내용이기 때문에 이를 현장에 반영하면 (1) 안전성 확보 (2) 공기단축 및 공사비 절감 (3) 품질 확보 등과 같은 효과를 기대할 수 있고 공사의 규모가 큰 대규모의 현장에서 그 활용성과 효과는 더욱 커지리라 예상된다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, “콘크리트구조설계기준 해설,” 콘크리트구조설계기준 위원회, 2007
2. 대한토목학회, “철도설계기준,” 건설교통부, 2004
3. DU BETON-FIB, "Structural concrete: textbook on behaviour, design and performance," Bulletin, Vol.1, pp 253-260, 2009
4. Timoshenko, S. and J. Goodier, "Theory of elasticity," McGraw, Third Edition, 1970
5. Park, R. and T. Paulay, "Reinforced concrete structures," John Wiley & Sons Inc, 1975
6. Chen, W., "Plasticity in reinforced concrete," J. Ross Publishing, 2007