

# 강연선으로 긴장한 강재매입형 조립식 합성교각의 장기거동

## Long-term Behavior of Precast Circular Composite Piers with Bonded Tendons

윤재영\*    심창수\*\*    정영수\*\*\*    임현식\*\*\*\*

Yoon, Jae Young    Shim, Chang Su    Chung, Young Soo    Lim, Hyun Sik

---

### ABSTRACT

Steel-embedded composite piers can enhance the resistance of core concrete by confinement of the steel elements and also can strengthen the stability of the embedded steel elements by concrete parts, so that the resistance of the composite members and seismic requirements can be provided without increasing section dimensions and self-weight. While modular composite piers with single segment do not need prestressing, precast segment composite piers with multiple segments need to have prestressing to prevent excessive cracking at the joints. Initial stresses and deformation by the introduced prestress are changed by long-term properties of concrete and need to be considered in the design. This paper deals with the prestress losses by the measurement of load cells, strains of reinforcements, concrete and embedded steel tubes.

### 요약

강재매입형 합성교각은 강재의 구속효과에 의하여 심부콘크리트의 내력상승을 유발하고, 또한 심부콘크리트로 인한 강재의 좌굴 보강효과로 단면과 자중을 증가시키지 않고도 부재의 내력이 증가하게 만들 수 있어 내진 설계시 필요한 여러 조건들을 충족시키는 구조물이라 할 수 있다. 조립식 강재매입형 합성교각에서는 일체형으로 하는 경우에는 프리스트레스를 도입하지 않아도 되지만 세그먼트를 나눌 경우에는 이음부 균열제어를 위해 일정 수준의 프리스트레스를 도입해야 한다. 도입되는 프리스트레스에 의해 합성단면에 발생하는 초기 응력과 변형은 콘크리트의 장기거동에 의해서 변화하게 되고 설계시 이를 검토해야 한다. 이 논문에서는 세그먼트로 나누어진 프리캐스트 합성교각에 프리스트레스를 도입한 후 강연선에 부착된 로드셀과 철근, 콘크리트, 강관의 변형을 변화를 통해 프리스트레스 손실량을 검토하여 분석하였다.

---

\* 정회원, 중앙대학교, 토목환경공학과, 석사과정

\*\* 정회원, 중앙대학교, 토목공학과, 교수

\*\*\* 정회원, 중앙대학교, 토목공학과, 교수

\*\*\*\* 정회원, 중앙대학교, 토목환경공학과, 석사과정

## 1. 서 론

합성단면을 이용한 축방향 부재를 모듈화하는 것은 여러 측면에서 많은 장점을 지니게 된다. 우선, 단면의 제작 및 가설 과정에서 매입된 강재 단면을 최대한 활용할 수 있고 강관 부재와 같은 경우에는 중공된 상태에서 가설 후 충전함으로써 가설 자중을 경감할 수 있다. 또한, 프리캐스트 세그먼트로 분리하는 경우에도 축방향 강재량을 매입강재로 대체할 수 있어서 상세를 단순화할 수 있고 기초와의 연결부에서의 벌어짐을 방지할 수 있는 상세를 도입하면 프리스트레스를 도입하지 않아도 되는 간편한 하부구조 시스템을 시공할 수 있다. 연결 상세는 강구조의 볼트 혹은 용접 연결을 활용하고 단면을 콘크리트 단면으로 간주할 수 있도록 낮은 강재비를 유지함으로써 시공성과 경제성을 함께 도모할 수 있는 장점을 지니게 된다.

이 논문에서는 교각의 높이가 높아서 세그먼트로 분리 시공을 해야 할 경우에 프리스트레스를 최소한 도입하게 되는데 이에 대한 장기거동을 실험을 통해서 분석하고 설계 변수의 영향을 검토하여 제안사항을 도출하였다.

## 2. 장기거동 실험

### 2.1 실험부재 및 변수

장기거동 계측을 위한 강재매입형 합성교각의 설계는 RC교각과의 비교를 위해 기존 RC교각을 기본으로 직경 800mm, 높이 2550mm를 갖는 형상비 3.19인 합성기둥을 설계하였다. 이는 대형교각을 대상으로 한 프리캐스트 세그먼트를 갖는 합성교각이다. 콘크리트 세그먼트는 기초위에 미리 가설되어 있는 강관에 끼워져서 가설되며 최소한의 프리스트레스 도입으로 세그먼트의 일체화를 이루고 이후에 강관의 내부와 외부의 중공부분을 모르타르로 타설하여 매입강재와 콘크리트 세그먼트를 일체화시키는 방법이다. 도입 프리스트레스를 최소화함으로써 콘크리트 세그먼트의 이음부 균열에 대한 고려가 특별히 요구되지 않고 교각의 거동에도 큰 영향을 미치지 않게 된다. 그림 1은 실험부재의 도면 상세를 나타내었으며, 그림 2는 조립 과정을 나타내었다.

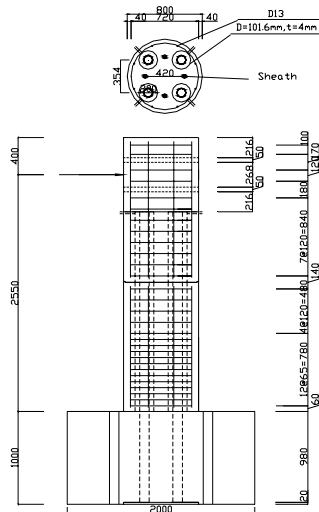


그림 1. 실험 단면 및 배근도



그림 2. 조립 과정

표 1. 실험변수

Specimens	D (mm)	H (m)	Steel tube (mm)	Confinement Reinforcement	Steel & Reinforcement Ratio	Test Variable
PSRC-L-P0	800	2.55	D=101.6 t=4 4EA	0.48	1.18%	Standard
PSRC-L-P2-85						Perfobond attach
PSRC-L-P4-85						
PSRC-S-P4-85				0.96		
PSRC-S-P4-70						
L : 한경연성    S : 내진설계    P4 : 인장하는 강연수의 수    85 : 강연선 인장하중의 85%의 프리스트레스 도입						

## 2.2 장기거동 측정

프리스트레스 도입 후, 장기거동을 살펴보기 위하여 3개의 실험부재의 강연선에 Load cell을 설치하여 도입되는 프리스트레스의 양과 손실량을 계측하였다. 모든 실험부재의 동일한 위치에 강관, 주철근, 콘크리트 부분에 한 개의 부재에 10개의 변형률 게이지를 부착하여 프리스트레스 도입 시 각각의 재료의 변형률의 변화를 계측하였다. Sampling rate는 인장 시기에는 2초에 1회 인장 후 부터는 20분에 1회의 속도로 계측을 하였다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 강연선의 하중

PSRC-L 부재들의 경우, 재령일이 360일 정도로 장기거동 측면에서 콘크리트의 건조수축과 크리프에 의한 변형률은 거의 무시될 수 있지만, PSRC-S 실험부재는 재령일이 45일 정도로 건조수축과 크리프의 변형률을 고려하여 계측하였다. 그림 3은 인장 시기부터의 강연선에 설치된 Load cell의 하중변화를 나타낸 그림이다. 프리스트레스 도입은 2회 걸쳐 도입을 하였기 때문에 최대점이 두 개로 나타나고 있으며 도입 직후에는 두 실험부재 초기 손실로 인해 S-P4-70 실험부재의 경우 약 43%, S-P4-85 실험부재는 약 37% 정도의 프리스트레스가 손실되었다. 이는 주로 썩기의 슬립량이 과다하여 발생한 것으로 실제 시공에서는 최소화할 수 있을 것이다. 이후에 콘크리트의 장기거동에 의해서 지속적으로 하중이 감소하는 것을 볼 수가 있는데 프리스트레스 도입 후 약 16일이 경과된 시점에서는 두 실험체 모두 유효프리스트레스의 약 6%정도의 하중이 손실되었다는 것을 알 수 있다. 지속적인 계측을 통해서 프리스트레스의 손실량과 매입 강재의 응력 증가량 등을 평가할 것이다. 그림 4는 강관의 변형률은 인장 후, 강관의 내외부에 모르타르 충전후에 강관과 콘크리트를 일체화 시킨후의 계측 값이다. 강연선에 도입된 프리스트레스가 손실되면서 강관의 변형률 역시 증가하는 것을 확인할 수 있다.

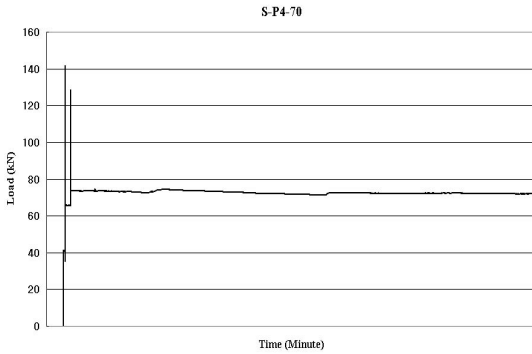


그림 3. 강연선 인장 하중

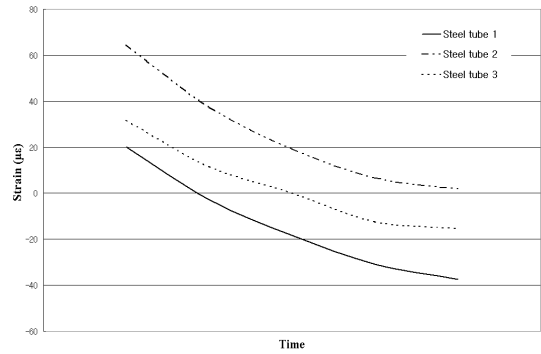


그림 4. 강관의 변형률

#### 4. 결론

강합성 교각을 프리캐스트화하여 여러 개의 세그먼트로 분할하고 프리스트레스를 도입할 경우의 장기거동에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 프리스트레스 도입 후 강관 내외부의 모르타르 충전을 통해 강관과 콘크리트의 합성을 강관의 변형률 변화를 통해 확인 할 수 있다. 추후 지속적인 계측을 통해 실험결과가 축적되면 프리캐스트 세그먼트를 이용한 합성교각의 장기거동에 대한 전체 또는 국부적인 거동을 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

이 연구는 교량설계핵심기술연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설기술혁신사업 (03산C02-01)에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

1. 민진, 정인근, 심창수, 정영수 (2005), 강제 매입형 합성기둥의 합성작용에 관한 실험, 한국콘크리트 학회 논문집, Vol. 17, No. 3, pp.393-400.
2. 심창수, 정영수, "합성단면을 이용한 경제적 교량의 하부구조 급속시공 시스템 (Substructure system for fast and economical construction of bridges using composite section)", 2007 건설교통 R&D 성과포럼 논문집, 2007. 05.09, pp.280-283.
3. Chang-Su Shim, Young-Soo Chung, Jung-Hoon Han, "Cyclic response of concrete-encased composite columns with low steel ratio", Structures and Buildings, Proc. of the Institution of Civil Engineers, 161, Issue SB2, pp.77-89.
4. ACI318-05 (2005), Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute.
5. Eurocode 4(2005), Design of composite steel and concrete structures Part 2: General rules and rules for bridges. European Committee for Standardization.