

# 비부착텐던 프리캐스트 교각의 내진거동에 대한 해석적 연구

## An Analytical Study for Unbonded Precast Column under Seismic Loading

최 승 원\*      김 익 현\*\*      조 재 열\*\*\*      이 도 근\*\*\*\*  
Choi, Seung Won\*   Kim, Ik Hyun\*\*   Cho, Jae Yoel\*\*\*   Lee, Do Keun\*\*\*\*

---

### ABSTRACT

It has better seismic performance and construction performance in precast column than in conventional RC column. In this research, seismic performances of precast column are analyzed by OpenSEES. Main variables of analysis are concrete strength, jacking ratio of tendon, amount of tendon and size of segment. As the amount of tendon and jacking ratio are increased, the flexural strength is also increased. And there is very little effect as it varies concrete strength and size of segment. But high initial jacking ratio leads to early yielding of tendon. And it is considered that a size of segment is related on construction problem. And also, strain in core concrete is less than ultimate strain. Consequently, it is considered that the amount of transverse steel will be reduced.

### 요 약

프리캐스트 콘크리트 교각은 일반 철근콘크리트 교각에 비하여 내진성능과 지진후의 공용성능이 우수하고, 특히 급속시공이 가능하다. 본 연구에서는 비부착 프리캐스트 교각의 내진거동을 OpenSEES 프로그램을 사용하여 분석하였다. 특히, 교각의 콘크리트 강도, 강선의 초기 긴장비율, 강선의 량, 세그먼트의 크기의 변화에 대한 프리캐스트 콘크리트 교각의 내진거동에 대하여 해석적으로 연구하였다. 교각의 휨강도는 프리스트레스량 및 긴장비율에 따라 변화하였고, 콘크리트 강도 및 세그먼트 크기는 교각의 휨거동에 미치는 영향이 작았다. 그러나 긴장비율의 증가는 강선의 항복을 앞당기고 또한 세그먼트 크기는 교각의 시공에 영향을 미치므로 설계시 이러한 영향을 충분히 고려해야 할 것으로 사료된다. 또한 심부콘크리트 변형률이 극한변형률에 미치지 않으므로 일반 콘크리트교각에 비하여 심부구속 철근량을 감소할 수 있을것으로 사료된다.

---

\*정회원, 서울대학교 건설환경종합연구소, 선임연구원

\*\*정회원, 울산대학교 건설환경공학부, 부교수

\*\*\*정회원, 서울대학교 건설환경공학부, 조교수

\*\*\*\*정회원, 서울대학교 건설환경공학부, 석사과정

## 1. 서론

프리캐스트 콘크리트 교각은 콘크리트 교각에 연직방향으로 프리스트레스트를 도입한 교각으로 일반 철근콘크리트 교각에 비하여 내진성과 지진후의 공용성능이 우수한 형식의 교각이다. 특히 공장에서 각 세그먼트를 제작하여 현장에서 조립작업을 수행하므로 일반 현장치기 교각에 비하여 시공기간을 단축시킬 수 있다. 이러한 이유로 미국, 일본 등 일부 국가에서는 현재 도심지의 교통혼잡을 감소시키는 등 경제성을 향상시키고, 시공성이 우수한 프리캐스트 콘크리트 교각에 대한 시공 및 연구가 활발하게 진행되고 있고, 현재 우리나라에서도 이에 대한 연구가 진행 중이다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트 강도, 긴장비율, 강선의 량, 세그먼트의 크기의 변화에 대한 프리캐스트 콘크리트 교각의 내진거동에 대하여 OpenSEES를 이용한 해석적 연구를 수행하고자 하였다.

## 2. 해석대상

### 2.1 해석 변수 및 설계

해석에 사용된 교각은 700×450mm 직사각형 단면의 중공단면의 프리캐스트 콘크리트 교각으로 벽체의 두께는 100mm이고, 각 세그먼트의 높이는 1m 씩 4개의 세그먼트로 구성된 교각으로 하중가력점까지의 높이는 3.5m이다. 그림 1과 표 1은 각각 이 실험에서 사용한 교각 단면과 변수를 나타낸다.

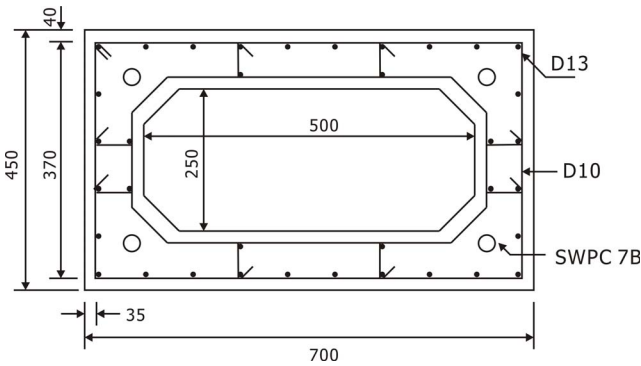


그림 1 시험체 단면도

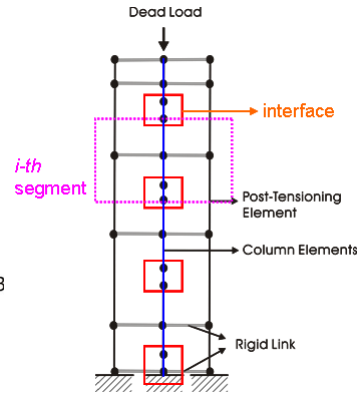
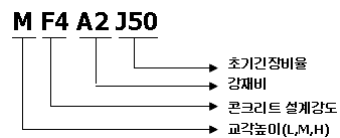


그림 2 교각 모델링

주철근은 SD400, SD500(D13)을 사용하였고, 횡철근은 SD400(D10)을 도로고 설계기준에 따라 배근하였다. 강선은 SWPC 7B를 사용하였고 그림 1과 같이 교각 단면의 네모서리부분에 설치하였다. 콘크리트 설계강도는 40, 60MPa, 강선의 긴장비율은 항복하중의 30, 50, 75%로 결정하였고, 강선비는 0.1~0.8%이다. 교각의 총 높이는 2.1, 3.5, 7m로 하였으나 각 세그먼트의 높이는 1m로 일정하게 하였다. 해석시 세그먼트의 크기의 영향을 살펴보기 위하여 0.5, 1.0, 1.5m의 세그먼트를 설정하였다.

표 1 주요 실험변수

| fck [MPa] | 강재비 [%] | 긴장비율 [%] | 교각높이 [m] |
|-----------|---------|----------|----------|
| 40        | 0.1~0.8 | 30       | 2.1      |
| 60        |         | 50       | 3.5      |
|           |         | 75       | 7.0      |



## 2.2 해석 모델링

본 교각 해석은 파이버 요소를 사용한 OpenSEES를 사용하였고, 비부착 텐던의 프리캐스트 교각의 모델링은 그림 2와 같다. 교각부는 보-기둥요소를 사용하였고, 비부착강선은 트리스모델을 사용하여 모델링하였다. 텐던의 기하형상을 유지하기 위하여 강체(rigid link)로 교각부와 연결하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 콘크리트 압축강도 및 형상비에 따른 변화

압축강도의 증가는 프리캐스트 교각의 최대하중 및 에너지흡수율에 큰 영향을 미치지 않았다. 해석에 사용된 프리캐스트 교각의 주철근은 세그먼트 경계면에서 단락되어 있어 변형발생시 철근과 콘크리트 사이로의 응력의 배분이 발생하지 않는다. 따라서 콘크리트 압축강도 및 철근의 인장강도는 교각의 성능에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 그림 3(a)는 콘크리트 압축강도에 따른 교각의 횡변위와 횡하중의 관계를 나타낸다. 교각의 높이가 증가할 수록 교각의 횡강도와 에너지 흡수율은 감소함을 알 수 있다(그림 3(b),(c)).

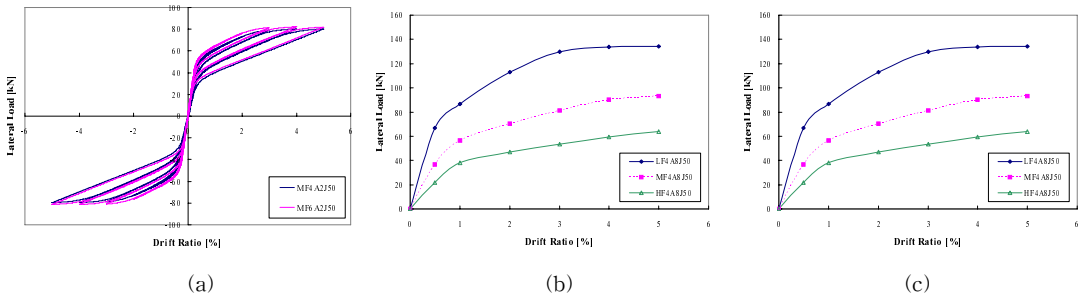


그림 3 프리캐스트 교각의 하중-변위 관계

### 3.2 강재량 및 긴장력에 따른 변화

그림 4(a)는 강재량의 증가에 따른 하중-변위 관계를 나타낸다. 강재량이 증가함에 따라 횡하중은 증가하였고 이는 강재량의 증가로 인한 압축력이 증가하여 중립축깊이가 증가하였기 때문이다. 강재량이 2배, 3배로 증가함에 따라 중립축깊이는 각각 22%, 47% 증가함을 볼 수 있었다. 이때 횡하중의 증가량은 각각 약 27%, 54%이다. 그림 4(b), (c)는 각각 하중단계별 잔류변위와 에너지 흡수율을 나타낸다. 잔류변위 및 에너지 흡수율은 강재량이 증가함에 따라 증가하지만, 모든 변수에서 변위비(drift ratio) 5%시 잔류변위는 5mm이하로 매우 작은 잔류변위를 갖는다.

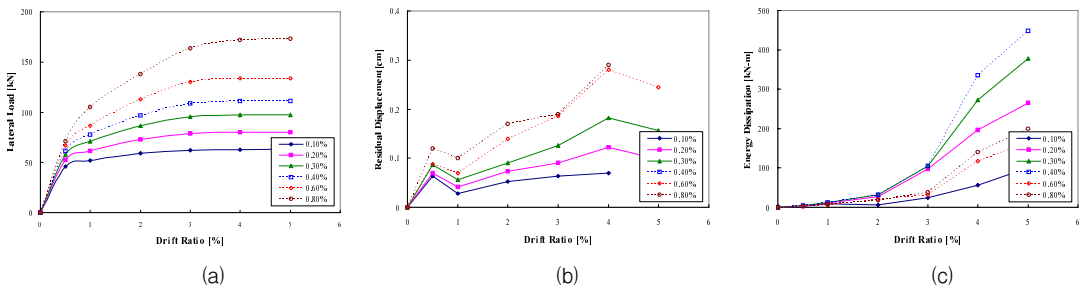


그림 4 강재량에 따른 하중-변위 관계

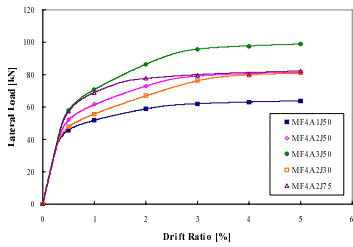


그림 5는 긴장비율 및 강재량에 따른 최대하중의 변화를 나타낸다. 동일한 강재량에 대해 긴장비율이 증가하면 초기 축압축력이 증가하여 횡하중은 증가하지만 강선의 항복시점이 빨라짐을 알 수 있었다. 프리스트레스에 의한 축력은 긴장비율과 강재량의 조합으로 구성된다. 이때 프리스트레스에 의한 동일한 축력이 작용할 경우, 강재량의 증가가 횡하중의 증가에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 비선형성이 증가하기 시작하는 softening 하중은 유사하였다.

그림 5 긴장비율 및 강재량에 따른 최대하중

그림 6은 gap opening에 의한 변위 기여도를 나타낸다. 프리캐스트 교각의 변위의 80~90%는 gap opening에 의해 발생하고 특히 최하단 세그먼트의 gap opening에 의해 지배적임을 알 수 있었다. 심부콘크리트의 압축변형률은 모든 해석 대상에 대하여 0.003 이하로 측정되었고 이는 현행 도로교설계기준에 따라 횡철근 보강을 하지 않아도 콘크리트 압축파괴에 의한 교각의 파괴는 발생하지 않는 것을 의미하고 따라서 횡철근량을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

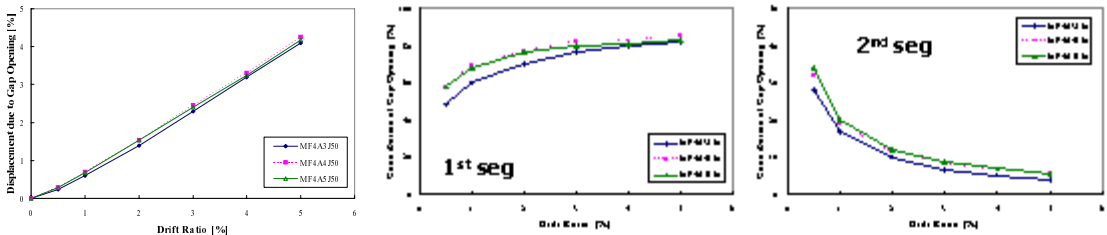


그림 6 세그먼트의 gap opening에 의한 변위기여도

### 3.3 세그먼트 크기에 따른 변화

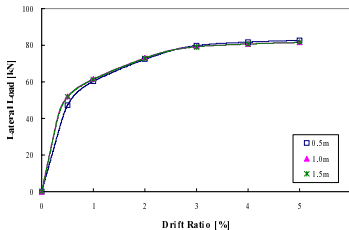


그림 7은 세그먼트의 크기에 따른 횡하중의 변화를 나타내고, 세그먼트 크기는 횡하중에는 직접적인 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 실제 시공시 세그먼트의 크기는 운송 및 시공에 영향을 미치므로 설계시 주의를 해야 할 것으로 사료된다.

그림 7 세그먼트 크기에 따른 최대하중

## 4. 결론

콘크리트 강도는 교각의 휨성능에 큰 영향을 미치지 못하였지만 강재량 및 긴장비율은 교각의 휨성능에 지배적인 역할을 하였다. 세그먼트의 크기는 휨성능과는 무관하지만 시공에 영향을 미치므로 설계시 고려해야 할 것으로 사료된다. 프리캐스트 콘크리트 교각의 첫 번째 세그먼트 사이의 벌어짐(gap)에 의한 변위기여도는 총 변위의 80% 이상이었고, 심부콘크리트의 변형률은 극한변형률 이하로 나타났다.

### 참고문헌

1. 건설교통부, “도로교 설계기준”, 2005
2. D.G.Hieber, J.M.Wacker, M.O.Eberhard, J.F.Stanton, “Precast concrete pier systems for rapid construction of bridge in seismic regions”. Final Research Report, Agreement T2695, T53. Washinton State Transportation Commissions, 2005