

## 교량의 급속시공을 위한 교각의 연구개발 방향

Overview on Research Trend for Fast Construction of Bridge Piers



김성욱\*

Sung-Wook Kim



박동규\*\*

Dong-Gyu Park

### 1. 머리말

우리나라는 국토의 65.5%가 산지이고 도시적 용지로 사용할 수 있는 토지의 비율이 5.6%로서 일본 7.3%, 영국 13% 등, 우리 국토와 형상이 유사한 외국에 비해 매우 낮아 만성적인 토지 부족과 도심 집중이 매우 높은 특성을 지니고 있다. 또한 우리나라의 물류비는 GDP의 12.8% 혼잡비용이 GDP의 3.7%에 달하는 등, 기반인프라의 부족으로 인한 손실금은 실로 상당한 금액에 이르고 있다. 특히 전국 면적의 11.8%에 불과한 수도권에 인구의 47%, 제조업체의 57%, 금융예금의 68%, 공공기관의 85%가 집중되어 난개발과 지가상승, 환경훼손 등, 각종 부작용을 유발하고 있는 상황이며 우리나라 수도권의 인구집중률은 일본 32%, 프랑스 18.5%, 영국 11.8% 등 수도권 과밀이 문제되고 있는 다른 외국에 비해 매우 높은 실정이다.

우리나라의 도시는 광역화가 진전되면서 생활권역의 중심에 위치한 대도시지역은 도시로 유입되는 교통량의 증가로 도시 내 교통 혼잡은 가중되고 있으며, 대도시와 인근 신도시 및 중소도시를 연계해줄 수 있는 광역버스가 부족하고, 광역전철망도 미비하여 자가용승용차 의존도가 높아 교통정체로 도심 진입에 과도한 시간이 소요되는 등, 통행에 불편을 겪고 있다.

정부는 대중교통 위주로 도시교통체계를 구축하기 위해 대중교통의 육성 및 지원에 필요한 재원을 안정적으로 확보하기 위한 방안을 마련하고 일부는 시행 중에 있으며 수송효율성을 재고하는 등, 다양한 대책을 강구하고 있다. 그 정책의 일환으로 대도시는 장기적으로 대량수송수단인 지하철을 지속적으로 건설하되, 단기적으로는 버스노선을 합리적으로 조정하여 상호 보완

관계를 유지하고, 도시광역화에 따른 광역대중교통망 구축을 위해 광역전철 건설계획을 마련하고 있다. 또한 대도시의 지하철 지선, 위성도시와의 연계노선, 중소도시의 간선에는 경량전철을 건설하여 대중교통 위주의 도시교통체계를 구축하고자 시행 및 확장 계획을 수립하고 있다. 한편 대중교통 위주로 도시교통체계를 개편하더라도 지난 10년간 자동차의 등록수가 3배가량 증가하는 상황에서 도로의 확충과 정비 또한 소홀히 할 수 없는 과제여서 도시의 연결도로와 상습 정체 구역의 입체화를 통하여 도심 도로의 통행 속도를 높이고자 계획하고 있다.

이러한 도시교통체계의 개선을 위한 연결도로의 입체화, 광역전철 및 경량전철의 건설은 인구가 과밀하고 교통량이 매우 많은 도심에서 이루어지는 경우가 대부분이다. 도심에서 이루어지는 도로 및 철도공사는 외곽의 도로 및 철도공사와 달리 작업공간의 확보가 어렵고, 건설공사 기간 동안 혼잡비용은 극대화되고 시민들의 불편은 극에 달하여 건설기간을 단축하는 것은 경제적, 사회적 관점에서 건설기술자가 풀어야 할 대명제가 된다.

급속시공이 필요한 건설공사가 비단 교량에 한정되지는 않지만 물류비용의 선진화와 혼잡비용의 최소화를 통한 국가 경제 기여도 측면에서 본 논문에서는 급속시공 기술이 다양하게 시도된 상부구조는 제외하고 교량의 하부구조인 교각의 프리캐스트화를 통한 급속시공 기술의 개발 방향을 살펴보고자 한다.

### 2. 프리캐스트 RC교각의 적용 현황

프리캐스트 철근콘크리트(이하, RC) 교각의 경우 급속시공 및 내구성 향상 차원에서 해상 및 육상에서 적용된 예가 있다. 일본에서는 지진 피해에 따른 긴급 복구 수요가 필요한 교량공사에서는 공사기간을 상당히 요하는 현장타설 교각보다는 프리캐스트 교각의 적용 필요성이 높아지면서 RC 프리캐스트 교각의 개발과 적용이 확대되었다. <사진 1>은 일본의 KAWAWA

\* 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원  
swkim@kict.re.kr

\*\* 정회원, 삼성물산 건설부문 과장

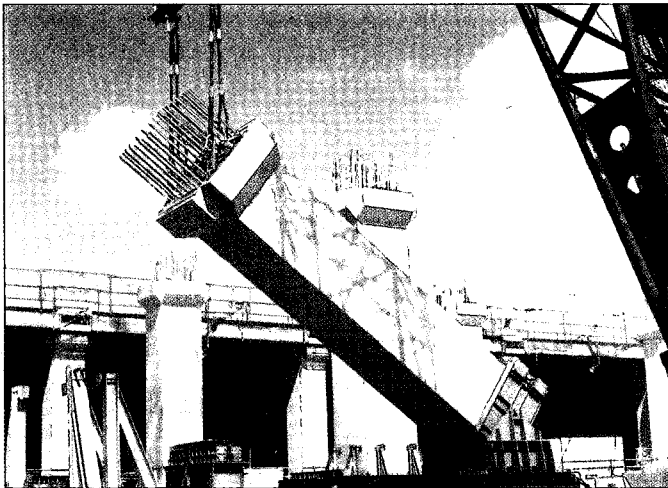


사진 1. KAWAWA 차량기지 프리캐스트 RC교각 시공현장

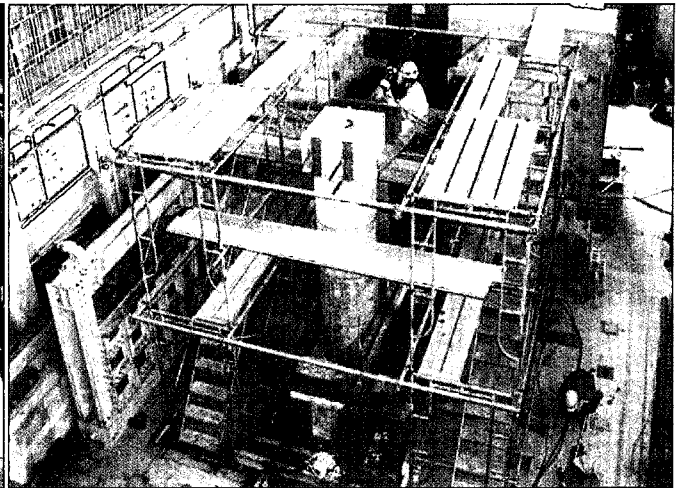


사진 2. 프리캐스트 세그멘탈 RC교각의 구조실험

차량기지에서 프리캐스트 RC교각을 시공하는 장면으로써 지진에 의해 손상 받은 교각의 급속 교체작업에 프리캐스트 세그멘탈 RC교각을 적용한 예이다.

기존 교각 대체 작업을 위해 실행된 실험결과에 의하면 프리캐스트 세그멘탈 RC교각의 경우, 반복재하 상태에서 현장타설로 일체시공된 RC교각과 비교하여 동등한 성능 이상의 거동을 보여 그 적용성이 입증되었다. <사진 2>와 <그림 1>은 프리캐스트 세그멘탈 RC교각의 구조실험 장면과 실험결과로 나타난 하중-변위 곡선의 예이다.

각 세그먼트의 일체화 작업의 경우, 주철근은 시공성 등을 고려해 구속형 커플러 등을 사용해 연속화하는 방법도 있으나 위의 실험에서는 각 세그먼트의 연속화는 쉬스에 철근을 연속으로 시공하고 그라우팅하는 방법을 통해 일체로 거동하도록 하고 있다. 그 결과 같은 철근량에 불구하고 쉬스와 그라우팅에 의한 주철근의 구속효과로 인해 좌굴이 지연되는 효과를 얻어 더 큰 휨강도를 보이고 있다.

### 3. PSC교각의 특성

통상적으로 교량 하부구조에 가장 많이 적용되는 RC교각의 경우 부재 크기가 매우 크고 각 공정단계별로 최소 시공기간이 필요하기 때문에 공정의 합리화를 통한 총 공사기간의 획기적인 단축은 그리 쉽지 않다. 프리스트레스트를 도입한 프리스트레스트 철근콘크리트조(이하, PSC) 교각의 경우, 외국에서는 1980년대 후반부터 PSC교각에 대하여 프리스트레스트 정도, 편심, 콘크리트강도, 강재의 항복응력 등이 교각의 강성에 미치는 영향을 파악하기 위해 본격적인 연구가 진행되었다. 초기에는 주로 프리스트레스트를 도입한 PSC교각의 거동 규명과 파괴성상을 파악하기 위한 연구가 주류를 이루었고 이후 휨방향 구속철근이

PSC교각에 미치는 영향, 세장비, 단면형상 등을 변수로 한 연구도 진행되었으나 PSC교각이 교량 하부구조에 적극적으로 적용되지는 못하였다.

1995년 일본에서는 한신-아와지 지진을 경험하면서 교각의 내진성능과 지진후의 공용성능 향상을 목표로 PSC교각에 대한 연구가 활발히 이루어졌다. 일본을 비롯해 외국의 여러 나라에서는 PSC교각과 관련된 많은 연구성과가 발표되었으며 그 연구내용은 대체로 다음과 같이 요약할 수 있다.

우선, PSC교각의 경우, 에너지 흡수능력이 통상적인 RC교각에 비해 작기 때문에 큰 에너지를 가진 지진 발생 시 더 큰 응답변위를 보일 것으로 염려되었다.(<그림 2, 3> 참조)

그러나 RC교각과 PSC교각의 pseudo-dynamic 실험결과에 의하면 같은 휨강도와 초기강성을 가지는 두 부재의 최대응답변위에서 큰 차이를 발견할 수 없었고 최대 가속도가 지난 이후의 응답변위는 PSC교각의 경우가 더 작은 응답변위를 보였다. 이는 에너지 흡수능력 자체만이 직접적으로 응답변위에 영

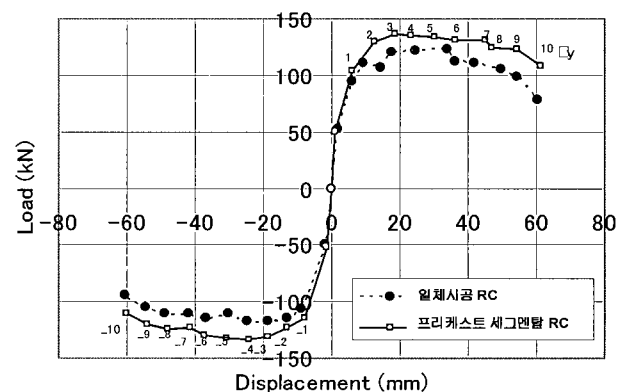


그림 1. 일체시공 RC교각과 프리캐스트 세그멘탈 RC교각의 하중-변위 곡선 비교

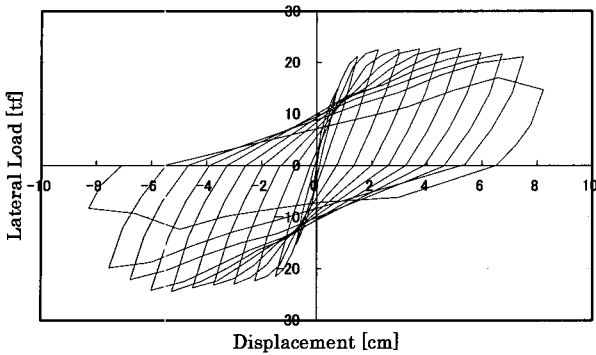


그림 2. RC교각의 하중-변위 곡선a

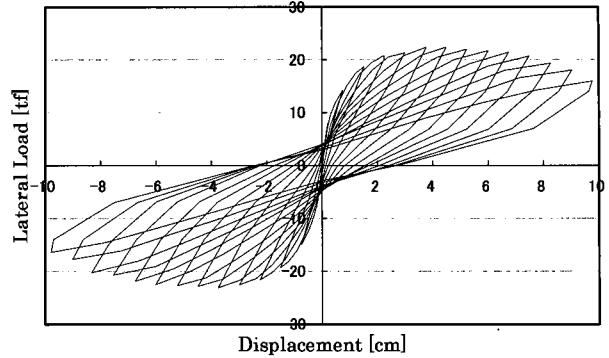


그림 3. PSC교각의 하중-변위 곡선

향을 미치지 않는 것을 증명한 것이다. 또한 지진 후 공용성능 향상과 관련하여 교각의 복원력은 PSC교각의 특징적인 거동이며 PS강재의 내력분담률과 긴장비에 상당한 영향을 받고 있음을 나타낸 결과이다.

주어진 PSC교각 단면에서 최대한의 내진성능 및 공용성능을 도출하기 위해서는 적절한 내력분담률과 긴장비를 결정함이 중요하다. 같은 단면구성에서 PS강재의 긴장비가 다른 부재의 실험결과에 의하면 PS강재의 긴장비는 PSC교각의 초기강성, 항복변위 등에 상당한 영향을 미치고 있음이 밝혀졌다. 그러나 통상적인 설계에서는 PS강재의 긴장비는 경제적인 이유로 시방서에서 허용하는 기준을 최대한 이용하는 경우가 대부분이라 실질적으로는 PS강재의 내력분담률을 적절하게 결정하여 실제 PSC교각 설계에 적용하고 있다. 특히 PS강재의 내력분담률의 경우, 잔류변위 및 복원력에 상당히 큰 영향을 미치고 있음이 실험적으로 밝혀져, 내력분담률의 적절한 설계를 통해 콘크리트에 어느 정도의 프리스트레싱을 도입하느냐는 실질적인 PSC교각의 설계에서 상당히 중요한 부분이라 할 수 있다.

기존 실험과 PSC교각의 시공 실적으로 판단할 때 고교각의 경우, 고유 진동주기가 길어 내진성능의 향상을 위해서 프리스트레싱을 도입하는 것은 효과가 떨어지는 방법이라 할 수 있으며 외국의 경우 실제 설계에서 통상 20m 정도까지의 높이에서 PSC교각으로 설계했을 때 경쟁력을 가지는 것으로 판단하고 있다.

#### 4. 프리캐스트 세그멘탈 PSC교각의 적용 가능성

위와 같은 PSC교각의 장점을 충분히 살리며 최근 이슈화되고 있는 급속시공을 위하여 PSC교각에 프리캐스트 시스템을 적용할 경우, 시가지의 고가교 혹은 교차로의 입체화 공사에서 충분히 경쟁력을 갖출 수 있으리라 판단된다. 프리캐스트 교각의 장점을 간단히 열거하면 다음과 같다.

- (1) 내구성이 우수함.
- (2) 현장 작업의 간략화, 합리화가 가능
- (3) 공기단축이 가능
- (4) 육상에서 간접적인 손실비를 줄일 수 있고 해상의 경우 직접 공사비 저감이 가능
- (5) 주변 환경에 미치는 영향을 최소화(시공점유 면적의 축소)
- (6) 주변경관과 어울리는 디자인이 가능

그러나 내진성능에 대한 검증이 정확히 이루어지지 않았기 때문에 강 지진지역에서 프리캐스트 PSC교각을 본격적으로 활용하지 못하고 있다. 최근 강 지진지역에서도 충분히 내진성능을 확보한 PS강재의 배치 상세를 제안하려는 시도가 있으나 아직까지 명확히 내진성능을 입증하지 못하여 실질적인 적용은 활성화되지 못하였다.

한편 프리캐스트 세그멘탈 PSC교각의 적용을 위해 현재는 각 세그먼트를 커플러를 사용한 PS강봉으로 연결하는 방법과 PSC교각의 내진성능을 높이기 위해 세그먼트 연결구조 상세에 2중 강관을 사용하는 등의 상세가 제안되고 있으나 프리스트레싱의 도입 정도가 충분하지 못하여 PSC교각의 특성을 발휘하기에 부족하다. 그러나 상당량의 프리스트레싱 도입 시 세그먼트 사이의 중방향균열의 발생을 방지할 수 있는 접합부 상세, 사용하중상태에서의 콘크리트 허용응력 등에 문제가 없는 프리스트레싱 도입량의 결정, 그리고 프리스트레싱 양을 충분히 고려한 PSC교각의 설계개념 정비 등을 위한 연구가 완성되면 충분한 경쟁력을 가진 공법으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 맺음말

국내에서 육상교량의 경우 프리캐스트 세그멘탈 PSC교각은 급속시공에 따른 공사기간과 공정의 단순화로 충분히 경쟁력을

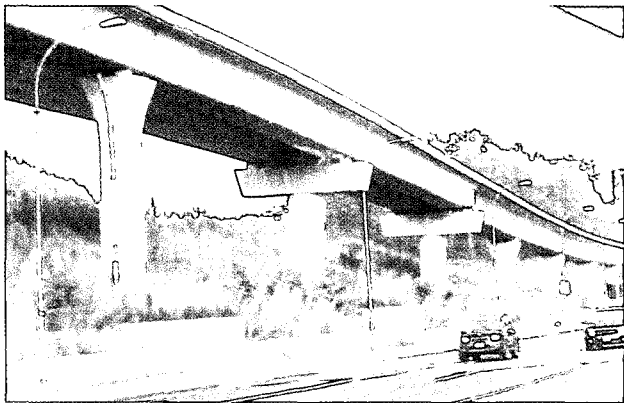


사진 3. 경량전철 교량 구간(캐나다 밴쿠버)

갖춘 시공법으로 발전이 가능하며, 현장 작업이 열악한 곳에서는 프리캐스트 세그멘탈 PSC교각 공법의 장점을 충분히 활용할 수 있고 경제적인 경쟁력도 제고할 수 있는 공법으로 자리할 수 있을 것으로 확신한다. 한편, 해상교량에 프리캐스트 세그멘탈 PSC교각의 적용이 가능하기 위해서는 강재의 부식문제, 내진성능, 선박의 충돌안전성, 접합부 상세와 거동 등에 대한 다양한 부분에 대한 추가연구와 실험이 수행되고 설계개념의 정비가 필요하다. 따라서 해상교량에 적용 가능한 수준으로 발전되려면 위에서 언급한 부분에 대한 많은 연구가 필요하고 다소 연구기간이 필요할 것으로 판단된다.

프리캐스트 세그멘탈 PSC교각에 대한 연구는 국내에서 아직

초보 단계이다. 도심에서 이루어지는 도로교의 연결도로 램프 구간과 경량전철과 같이 치짐과 진동에 대한 제약조건이 강조된 비교적 시간장이 짧고 다량의 교각을 건설할 경우 시민의 불편과 시공면적을 최소화하고 공사기간 동안 혼잡비용을 격감시키기 위해서 교량의 급속시공 기술 개발의 필요성은 절실하다고 하겠다. <사진 3>은 도시를 가로 지르는 경량전철의 교량 구간으로써 경량전철 구간과 나란히 있는 도로의 한적함이 쾌적한 삶을 갈구하는 도시민에게 동경심을 자아낸다. □

### 참고문헌

1. 건설교통부, "건설교통백서", 2003. 2.
2. 박동규 외, "Effect of tendon tensioning level on the seismic performance and design of prestressed concrete piers," Journal of Prestressed Concrete, 2001.
3. 박동규 외, "Effect of pretensioning level on the seismic behavior of prestressed concrete piers", Proceeding of the 10th symposium on developments in prestressed concrete, 2000.
4. 山田俊一 他, "PPRC-PCウエル工法の設計施工一和田橋下部工一", 피에스三菱技報第2号, 2004.
5. 中井將博 他, "リスク管理によるプレキャストPRCケーソンの施工事例", 콘크리트工学, Vol.40, No.7, 2002. 6.

### 특집제목 예고 및 원고 모집안내

학회지 편집위원회에서는 학회지 특집의 제목을 회원들에게 미리 알림으로써 필진의 다양성과 전문성을 확보하고, 더 많은 회원이 직접 참여할 수 있는 장으로 만들고자 합니다. 아래와 같이 2006년 1, 3, 5, 7월호 특집제목을 알려드리오니 회원 여러분의 적극적인 참여를 부탁드립니다.

월 호	특집주제	특집주관	원고마감
2006년 1월호	최신 섬유보강 콘크리트	한상묵(금오공과대학교 토목공학과 교수)	10월 15일
2006년 3월호	하수관거의 리뉴얼 방법	서경석(경동대학교 건축공학부 교수)	12월 15일
2006년 5월호	콘크리트 교량의 교면 방수	김진철(한국도로공사도로교통기술원 재료환경연구실 책임연구원)	2월 15일
2006년 7월호	콘크리트 내구 성능 설계	김진만(공주대학교 건축공학과 교수)	4월 15일