

피어캡의 최적설계와 급속시공 방안

Optimum Design and Accelerated Construction of Bridge Pier Cap



이재훈*
Jae-Hoon Lee



손제국**
Je-Kuk Son



유동호***
Dong-Ho Yoo



신성진****
Sung-Jin Shin

1. 서론

최근 도심지 공사의 증가, 환경에 대한 기준 강화, 품질관리 기준의 강화 등으로 교량 구조물의 급속시공 및 품질 향상에 대한 요구가 증가되고 있다¹⁾. 교량 하부구조의 경우 주로 콘크리트 구조물로 시공되고 있으며, 전체 공사에서 차지하는 공사기간이 길고 육상의 장애물 및 기존 시설과의 간섭이 빈번하게 발생하고 있다. 그러므로 공기를 단축함으로써 이용자의 편의를 도모하는 한편 환경 부하 요인을 최소화하는 대책이 적극적으로 요구된다. 그러나 국내의 경우 아직까지 하부구조의 급속시공이 상부구조에 비해 활발하지 못한 실정이다. 최근 '프리캐스트 시스템을 사용한 교각의 급속시공'²⁾을 비롯한 여러 연구자들의 연구 결과^{3, 4)}가 도출되면서 실용화 단계에 들었다고 하는 하지만, 비교적 배근 상세가 간단하고 공장 제작에 유리한 이점이 있는 기둥 부재에 한정되고 있다. 결론적으로 피어캡의 경우는 아직까지 효율적인 설계 및 시공 방안이 제시되지 못하고 있는 실정이다.

피어캡의 급속시공을 저해하는 요인으로는 부재 자체의 과도한 체적과 중량, 그리고 복잡한 배근 상세를 들 수 있다. 그런데 이러한 요인들은 급속시공을 저해하는 요인이기 이전에 기존의 현장 타설 RC 교각에서도 경제성과 시공성에 많은 문제를 야기하였으며, 많은 기술자들이 이를 인지하고 있었음에도 현실적인 개선 노력은 부진하였다. 국내에서는 피어캡을 관형적으로 코벨(corbel) 또는 깊은 보(deep beam)의 개념으로 설계해 왔으며, 상부 전달하중과 같은 직접적인 요인보다 받침 연단거리와 같은 간접 요인에 의하여 부재 치수가 결정되는 경우가 종종 발생하여 필요 이상의 중량체로 시공된 경우가 많았다. 또한 복잡

한 배근 상세는 기둥 주철근과 피어캡의 휨철근 및 수평전단철근과의 간섭문제를 유발하여 프리캐스트 블록을 현장에서 체결하는 공정에서 문제점을 야기하게 된다.

이러한 문제점을 개선하고자 피어캡의 단면을 축소하기 위한 현실적인 방안을 검토하였다. 현행 「콘크리트구조설계기준」⁵⁾은 주철근으로 항복강도 550 MPa까지 허용하고 있으며, 2010년 개정된 「도로교설계기준」에서도 항복강도 500 MPa인 철근을 주철근으로 허용하고 있다. 그러므로 이러한 고성능 재료를 적용하고, 기존의 관형적인 설계기법에서 탈피하여 단면의 최적설계를 수행한 결과 앞서 언급한 피어캡 부재의 급속시공을 저해하는 요인들을 상당 부분 해소할 수 있었으며, 이러한 검토 내용은 기존 현장타설 RC 교각에 적용하여도 상당한 물량 감소 효과가 있는 것으로 확인되었다. 본 기사는 피어캡의 단면 축소를 위한 검토 내용을 소개하고, 해외 시공 사례 분석을 통하여 검증된 3가지 급속 시공 방안을 제시한다.

내용 서술에 앞서 일러두고 싶은 내용으로 첫째 국내에서는 코핑(coping : 두껍대)⁶⁾이라는 용어를 많이 사용하고 있으나 이는 국제적으로 잘 통용되는 용어가 아니며 피어캡(pier cap : 교각 머리 덮개)⁶⁾이라는 용어가 국제적으로 통용되는 용어이므로 본 기사에서는 피어캡이라는 용어를 사용하였다. 둘째 최적설계는 국내 교각 시공 사례 분석을 통하여 가장 수요가 많은 2차로(폭원 10 ~ 12 m) T형 교각(동해고속도로 주문진 ~ 속초간 건설공사 중 거마3교)을 대상으로 하였으며, 셋째 피어캡의 급속시공 방안 중 상부구조와 동일한 개념으로 길이방향으로 여러 개의 세그먼트로 나누고 프리스트레싱을 도입하는 방안은 공사비 차원에서 현실적인 제약 및 피어캡 단면 축소가 쉽지 않아 본 기사에서는 다루지 않았다.

2. 해외 시공 사례

미국은 ACTT(Accelerated Construction Technology Transfer)라는 공기단축 위원회를 만들어 시공속도에 영향을

* 정회원, 영남대학교 건설시스템공학과 교수

JHL79@ynu.ac.kr

** 정회원, 삼성물산 주식회사 기반기술연구소 선임연구원

*** 정회원, (주)엔바코컨설턴트 대표이사

**** 정회원, (주)한맥기술 기술연구소 부장

가장 큰 하부구조의 공기단축 방안을 연구해 왔다. 시공속도 증진은 현장타설 부재 대비 직접 공사비를 다소 증가시키지만 공기단축을 통해 사회간접비용의 감소, 공사전체의 간접비를 감소시키는 장점이 있다¹⁾.

<사진 1>의 Lake Belton Bridge는 현장부근의 교통량이 많아 이에 대한 간섭을 최소화 하면서 경관성과 부재의 품질을 동시에 확보하고자 시도된 예이다. 피어캡은 단일 부재로 제작되었으며 미리 삽입해 놓은 슈스관으로 기둥에 연결된 다웰바(dowel bar)를 삽입한 다음 모르타르를 충전 정착하였다^{7, 8)}.

<사진 2>의 Hubbard Bridge는 총길이 1,312m의 교량으로 미국 텍사스주 달라스시에 위치하고 있다. 총 43개의 피어캡과 교각은 다웰바를 이용하여 접합하였고, 동일한 형태로 제작하여 경제성 측면에서 효율을 높였다. 미국에서 일반적인 현장타설 콘크리트 교각의 소요 공기가 8~9일 인데 비하여, 이 교량은 교각 1기당 하루의 공기가 소요되어 전체적으로 약 1년 정도의 공기단축이 가능하였다^{7, 8)}.

일본의 경우 강재와 병용하는 CFT구조 및 SRC구조를 프리캐스트 부재와 접목하는 사례가 많았다. <그림 1>은 SPER(Sumitomo's precast form method for resisting earthquake and rapid construction) 공법으로 100mm 두

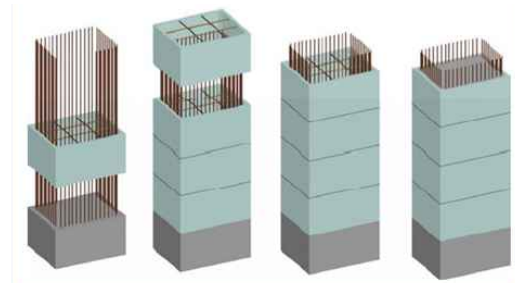


그림 1. SPER Method

께의 프리캐스트 콘크리트 패널은 영구거푸집인 동시에 구조부재로 작용하고, 내부 철근 배근 후 콘크리트를 충전 하는 방식으로 시공속도를 개선하고 연성도를 증가하였다²⁾.

독일과 두바이가 수행하고 있는 <사진 3>의 LRT프로젝트는 두바이의 열악한 환경으로 인하여 엄격한 내구성 기준을 만족하며 동시에 관광도시로서의 경관성에 주안점을 두고 설계된 구조물이다. 영구 거푸집인 동시에 구조물의 역할을 하는 외부 콘크리트는 공장 제작되었으며, 철근망 삽입 후 내부 콘크리트는 현장 타설된다. 사진에 보이는 바와 같이 조립과정에 별도의 동바리 시설을 필요치 않다⁹⁾.

이상 해외 사례를 정리해 보면 피어캡의 급속 시공 방안은 피어캡 전체를 일괄 제작하여 기둥 위에 안착시키는 일체형 시스템, 다수의 블록으로 분할 제작하여 조립하는 블록 분할형 시스템, 영구 구조물인 동시에 거푸집 역할을 하는 외형만을 공장 제작한 후 내부를 현장에서 후 타설하는 거푸집 시스템의 세 가지로 크게 분류할 수 있다.

3. 피어캡 프리캐스트화의 제약 조건

피어캡을 하나의 블록으로 제작할 경우 부피와 중량이 너무 커서 도심지 공사에서는 운반 및 인양의 문제를 야기하게 된다. <표 1>에 나타난 바와 같이 피어캡 가설을 위한 일반적인 작업 반경을 10m, 인양 높이를 30m로 가정한다면, 300톤급 하이드로 크레인의 최대 양중 가능 무게는 104톤 정도로 제한된다. 만일 경제성을 양보하여 그 이상의 대용량 크레인을 사용한다면



사진 1. Lake Belton Bridge



사진 2. Lake Ray Hubbard Bridge



사진 3. Light Rail Transit(UAE)

표 1. 국내 양중 조건

구분	예상 작업 조건	인양 가능 중량
300 톤급	반경 10 m 높이 30 m	100 톤
200 톤급		60 톤
100 톤급		26 톤

이번에는 운송이 문제가 된다. 도로 교통법상 차량 총중량은 40 톤을 초과하지 못하므로 육상 운송이 가능한 부재의 중량은 최대 20 ~ 25 톤이다. <표 2>를 보면 국내 운송 수단의 최대 적재 용량은 25 톤이므로 일반적인 피어캡은 운송이 불가능하게 된다.

기둥의 경우는 단면이 일정하므로 부피나 중량 감소를 위해 적절한 높이로 분할 제작이 가능하며 블록간의 실용적인 연결 방안도 제시되어 있다^{2~4)}. 그러나 피어캡을 몇 개의 블록으로 분할하는 경우는 외국에서도 시공사례가 많지 않은데, 구조적 성능에 대한 검증이 완벽히 이루어져야 함은 물론이고 블록간의 연결 방안에서도 비용을 최소화할 수 있는 공법의 개발이 필요하다. 블록을 수직 분할한다면 필연적으로 긴장 접합 공정이 필요하므로 추가 비용이 발생하게 되며, 수평 분할의 경우 블록간의 전단 저항 요소가 있어야만 일체 거동을 확신할 수 있게 된다. 그리고 어느 쪽으로 분할하던 철근의 단절이 예상되므로 상세에 대한 고민이 따라야 할 것이다.

피어캡 급속시공을 위해서는 기둥 부재와 피어캡 부재간의 철근 간섭문제도 해결되어야만 한다. 선 시공되는 기둥의 주철근은 일반적으로 외면을 따라서 일정한 피복 두께를 가지고 배열되어 있으며, 띠철근으로 횡구속되어 있다. 그리고 기둥의 주철근은 정착장 이상 피어캡 내부로 인입되어야 하므로 필연적으로 피어캡 내부의 수평철근들과 간섭을 일으키게 된다. 그러므로 피어캡의 모든 수평철근은 간격 조정이 이루어져야 한다.

4. 피어캡의 최적 설계 방안

재료 품질 관리가 용이하지 않았던 과거에는 경제성 보다는 안전성에 주안점을 두어 안전율을 충분히 확보하는 설계가 주로 추진되었다. 그러나 프리캐스트 공법의 적용성을 높이기 위해서는 고강도·고성능 재료의 적용을 고려할 필요가 있다. 기존 피

표 2. 국내 운반 조건

구분	저상식 세미트레일러	트럭 풀
적재용량	20 톤	25 톤
적재높이	2.65 m(3.15 m)	2.15 m(2.65 m)
적재길이	10 m(12.9 m)	20 m
적재폭	2.5 m(3.5 m)	2.5 m

Note : ()안의 수치는 허가 신청시 가능

어캡의 경우 27 ~ 30 MPa 범위의 콘크리트 압축강도를 적용하고, 철근도 「도로교설계기준」¹⁰⁾ 4.2.3.2(1)에서 허용한 최대 항복강도 400 MPa을 적용하는데다가 안전율이 크도록 설계하는 관행으로 단면 및 물량 감소에 한계가 있다. 그러나 <표 3>에 나타난 바와 같이, 예제 교각의 설계에는 압축강도 40 MPa의 콘크리트를 사용하고 철근은 「콘크리트구조설계기준」⁵⁾ 3.3.4의 규정과 「도로교설계기준」 2010년 개정판에서 허용하는 500 MPa의 고강도 철근을 주철근으로 사용하였다.

피어캡의 교축방향 두께를 감소하기 위해서 받침연단거리(s)와 최소받침지지길이(N) 또한 최적화하여야 한다. 일반적인 경우 최소받침지지길이에 비하여 받침연단거리가 설계를 좌우하게 된다. 식 (1)과 식 (2)는 「2008 도로교설계기준」¹⁰⁾ 5.4.2의 받침연단거리를 결정하는 관용식이다.

$$\text{거더의 경간 길이 } 100 \text{ m 이하} : s = 200 + 5 L \quad (1)$$

$$\text{거더의 경간 길이 } 100 \text{ m 이상} : s = 300 + 4 L \quad (2)$$

(여기서, L 은 경간 길이 m)

위 식에 따르면 경간이 100 m 이하인 경우 일률적으로 동일한 받침연단거리를 적용하므로 식 자체에 충분한 안전율을 내포하게 된다. 그러므로 일반적으로 30 ~ 35 m(신형식의 거더교라도 40 m 이내)의 경간을 가지는 콘크리트 교량이라면 받침연단거리를 거의 소요량의 1.0배로 줄여도 무리가 없다. 예제 교량의 경우 경간이 30 m이며, 소요 연단거리의 1.06배를 적용하여 기존 설계에 비하여 약 500 mm를 감소할 수 있었다. 받침연단거리의 경우 「콘크리트구조설계기준」⁵⁾ 부록IV의 '콘크리트용 앵커 설계'에 따르면 더욱 엄밀한 설계가 가능하다.

「도로교설계기준」¹⁰⁾ 5.4.4.1(1)은, 피어캡 내민부를 캔틸레버로 설계할 수 있으며, 단 설계 단면으로부터 하중까지의 전단지간비(a/d)가 작을 경우 보의 응력이 비선형 분포이므로 브래킷 또는 코벨의 설계기준을 따르도록 명시하고 있다. 예제 교량을 포함하여 일반적인 콘크리트 거더교의 경우 받침이 5 ~ 6개가 놓이게 되므로 기둥 전면에 위치한 받침의 경우 전단지간비가 1.0 전후가 된다. 기존 설계에서는 전단지간비 검토만으로 단면을 코벨에 대한 관용식으로 설계하는 것이 일반적이었으며, 수직·수평 전단 철근은 전단지간비가 2.5 이하인 경우에 해당하는 깊은 보에 대한 관용식을 만족하도록 설계하였다. 그러나 예제 교량은 <그림 2>의 STM(Strut-tie model)으로 해석하고, 캔틸레버로 설계하여 부재 규모를 합리화 하였다.

기둥과 피어캡 접합부의 철근 간섭을 배제하기 위한 고려도 따라야 하는데, 예제 교각과 같은 T형 기둥의 경우 상단에서 소성힌지의 발생 가능성이 없으므로 피어캡 내부를 지나는 기둥 주철근에 횡방향 철근을 배치하지 않아도 큰 문제가 없을 것

표 3. 피어캡 설계 최적화

구분	관용 설계(거마3교)	설계 최적화
형상	<p>정면도 및 배근도</p>	<p>정면도 및 배근도</p>
	<p>단면도 및 배근도</p>	<p>단면도 및 배근도</p>
	<p>연단거리 및 최소받침 지지길이</p>	<p>연단거리 및 최소받침 지지길이</p>
콘크리트 강도(f_{ck})	27 MPa	40 MPa
철근 강도(f_y)	400 MPa	500 MPa(전단철근은 400 MPa 적용)
콘크리트 물량	81 m ³ (200 톤)	40 m ³ (100 톤)
철근 물량	14.4 톤	6.9 톤

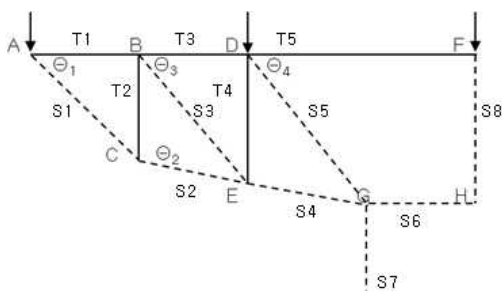


그림 2. 예제 피어캡에 대한 STM 구성

로 판단된다. 또한 기둥 상단의 단면력은 기둥의 높이에 따라 변동이 있을 수 있으나 하단 단면력보다 작으므로, 이에 상응하는

주철근을 감소시켜서 철근 간섭을 피할 수 있을 것이다. 기둥 주철근량의 감소와 횡철근의 배치는 앞서 살펴 본 해외 시공 사례에서 이미 많은 실험을 통하여 검증되었다^{7, 11, 12}. <사진 1>의 Lake Belton Bridge와 <사진 2>의 Hubbard Bridge는 기둥의 주철근을 단절시킨 대신 별도의 다웰바를 피어캡 내부로 삽입 연결하였으며, 이러한 연결 요소에 대하여 많은 실험을 통하여 성능을 검토하였다^{7, 11, 12}.

<표 3>은 예제 교각에 대하여 앞서 언급한 설계 내용을 적용한 결과를 보인다. 최적 설계된 피어캡은 부피와 중량이 감소하여 콘크리트 물량은 물론 철근 물량을 기존의 50%까지 감소시킬 수 있었다. 이러한 물량 최적화는 재료비의 감소를 유도하며, 특히 하부구조의 형상을 날렵하게 하므로 경관상 향상에도 도움

이 된다. <표 4>는 각 교량에 대한 공사비를 비교하고 있다. <표 3>에 보인 관용 설계(거마 3교)의 공사비 비율을 1.0으로 했을 때 최적화된 일반 RC 피어캡의 공사비는 0.54, 최적화 단면과 동일한 단면과 배근을 가지는 Shell type PC 피어캡은 0.97로 산정되었다. <표 4>에서 PC 구조의 경우 제작장 및 제작비용의 증가로 관용 설계된 피어캡과 비슷한 공사비 수준을 보이고 있으나, 여기서는 공기단축에 따른 공사비 절감을 배제한 직접 공사비만을 비교하고 있음을 주목하여야 할 것이다.

5. 프리캐스트 피어캡 시공법

설계 최적화로 피어캡의 부피 및 중량을 감소시킬 수 있었으나 인양 및 운반 문제를 완전히 해결하기 위해서는 해의 사례에서 정리한 공법을 적절히 활용하여야만 한다.

일체형 시스템은 블록 제작 공정에서 가장 유리하며, 철근 후 삽입 공법을 활용한다면 현장 조립 공정에서도 가장 유리한 시스템이다. 반면 최적 설계를 통하여 중량을 100 톤 규모로 대폭 감소하였음에도 불구하고 양중은 최소한 300 톤급 크레인을 사용하여야 하므로 비용이 가장 고가이며, 육상 운반은 거의 불가능하다.

블록 분할형 시스템은 블록 제작과 현장 조립 과정이 불편할 뿐만 아니라 도로 운반이 불가능하며 인양 과정에서도 경제성이 떨어질 가능성이 큰 것으로 판단된다.

PC Shell-피어캡 시스템은 공장 제작되는 외부 거푸집의 중량이 23 톤으로 육상 운반에 문제가 없으며, 100 톤급 크레인으로도 양중이 가능하므로 가장 경제적이다. 거푸집 안에 일체로 제작된 피어캡 철근망을 삽입하고 콘크리트를 타설하므로 기둥 부재와 연결부에서 철근 간의 간섭을 최소화 할 수 있고, 철근 상세는 기존의 RC 교각과 가장 유사하게 조립할 수 있다. 비록 현장타설 공정이 있으나 피어캡 1개소 당 현장타설(1일) 및 양생(4일)에 따라 5일 정도의 공기가 소요되므로 전체 공정상 주 공정(critical path)이 아니고 교각만의 공기를 비교하여도 앞

선 두 시스템에 비해 최대 1개 교각의 양생 기간 정도의 추가 공기가 소요되므로 실질적인 공기상의 장점을 유지할 수 있을 것으로 기대된다. 그러므로 동일한 형태의 다수의 교각을 시공할 경우 가장 경제적인 안이 될 수 있다고 판단된다.

<표 5>에 각 공법별 특징을 정리하였다. 일반적인 2차로 도로교의 피어캡의 급속시공 방안으로 블록 제작, 운반, 인양, 부재 조립을 종합적으로 고려했을 때, 교각을 1~2개 소수로 시공한다면 일체형 제작 시스템이 가장 유리하며, 동일 형태의 다수 교각의 시공이 필요하다면 PC Shell-피어캡 시스템이 가장 경제적인 것으로 판단된다.

6. 결론

해외 시공 사례 검토와 국내 기존 교각에 대한 최적 설계 과정을 통하여 실무에 유효하게 적용할 수 있는 피어캡의 급속 시공안을 소개하였다. 국내에서 수요가 충분하고 수익성이 있는 급속시공 대상은 폭원이 거의 일정한 콘크리트 거더를 상부구조로 가지는 T형 교각이었다. 예제 교각에 대하여 고강도 재료 적용, 받침연단거리의 합리적 적용, STM 적용, 철근 상세를 수정한 결과 부피, 중량 및 전체 물량을 기존 대비 50%까지 감소할 수 있었으며 이는 기존 현장타설 RC 교각에도 적용 가능함을 확인하였다. 시공에 있어서는 일체화 시스템, 블록 분할 시스템, PC Shell-피어캡 시스템이 현실적으로 적용 가능하지만 대상 교각이 소량일 경우 일체형 시스템, 다수의 대규모 공사일 경우 PC Shell-피어캡 시스템이 가장 경제적인 것으로 판단된다. □

참고문헌

1. 심창수, '국내외 교량의 급속시공 관련 동향 분석', 대한토목학회지 기술기사, Vol. 53, No. 12, 2005, pp. 39 ~ 46.
2. 이재훈 외 8인, '프리캐스트 시스템을 사용한 교각의 급속시공', 삼성물산(주) 건설부문 토목ENG팀, 최종보고서, 2009, 175 pp.

표 4. 공사비 비교

구분	관용 설계(거마3교)		최적화 설계(RC)		최적화 설계(Shell type PC)	
제작 및 가설	1,218,200,577	45%	659,339,326	45%	68,079,535	3%
자재비	1,507,007,097	55%	798,969,276	55%	793,337,276	30%
크리캐스트 거푸집 제작	-	-	-	-	1,771,720,000	67%
직접공사비(계)	2,725,207,675	100%	1,458,308,603	100%	2,633,136,811	100%
직접공사비 비율	1.00		0.54		0.97	
주) · 공사비는 원 단위임. · 제작 및 가설 항목은 자재비(철근, 콘크리트)를 제외한 피어캡의 제작 및 가설비용임. · 프리캐스트 거푸집 제작 비용은 피어캡 100개 제작에 필요한 제작장 및 제작비용을 포함하며, 자재비(철근, 콘크리트)는 포함하지 않음.						

표 5. 공법별 특징 비교 분석

구분	일체형 시스템	블록분할형 시스템	PC Shell-피어캡 시스템
특징	피어캡 전체를 공장에서 일괄 제작 후, 기 설치된 교각에 크레인으로 거치하는 방식	피어캡 단면을 상부블록과 하부블록으로 분리 제작 후, 현장에서 연결하는 방식	공장에서 제작된 거푸집 형식의 외형을 현장에서 기 설치된 교각과 연결 후, 현장타설하는 방식
시공 순서	<p>일체로 제작된 Pier cap 쉬스관 모르타르 충전 접합면 처리 (에폭시 타설)</p>	<p>하부블록 쉬스관 상부블록 접합면 처리 (에폭시 타설)</p>	<p>PC Shell (기제작된 콘크리트 거푸집) 철근망 콘크리트 타설 접합면 처리 (에폭시 타설)</p>
블록 제작	일괄제작으로 제작성은 우수하나 쉬스관 설치 공정은 다소 불리	상·하블록 분리 제작 및 쉬스관, 전단기 설치로 제작 불리	거푸집 외형은 공장 제작되므로 제작성 우수
육상 운반	블록 중량 100 톤. 육상 운반 불가	최대 블록 중량 58 톤. 육상운반 불가	거푸집 중량 23 톤. 육상 운반 가능
양중	300 톤급 크레인	200 톤급 크레인	100 톤급 크레인
현장 조립	단일 블록 시공으로 시공성은 우수. 기 등과의 연결에는 철근 후삽입공법 활용	두 개의 블록간 접합을 위한 접합면 처리 및 전단기 손상의 위험 등으로 시공성 불리	기둥 철근과의 간섭이 없어 시공성은 유리하나 현장타설 공정은 다소 불리
물량	콘크리트	40.0 m ³	거푸집 : 9.3 m ³ 내부원타 : 30.7 m ³
	철근	6.98 톤	상부블록 : 2.93 톤 하부블록 : 5.03 톤

- 김영진, 김태훈, 박세진, '프리캐스트 세그먼트 PSC 교각 시스템 공법 개발', (주)대우건설 기술연구원, 최종보고서, 2008, 297 pp.
- 한국콘크리트학회, '2009 가을 학술대회 발표자료 - 프리캐스트 교각', 한국콘크리트학회 프리캐스트교각소위원회 발표자료(zip file), <http://www.kci.or.kr>, 2009.
- 한국콘크리트학회, 「콘크리트구조설계기준 해설」, 2007, 523 pp.
- 한국콘크리트학회, 「콘크리트 용어집」, 2001, 310 pp.
- Brenes, F. J., Wood, S. L., Kreger, M. E., 'Anchorage requirements for grouted vertical-duct connectors in precast bent cap systems', Research Report No. 4176-1, Texas DOT, 2006, 231 pp.
- Wolf, L. M., 'Texas DOT Experience with Prefabricated Bridge Construction', Texas DOT Bridge Division, 2005, 122 pp.

- 이재훈 외 19인, '조립식 Precast를 적용한 Pier-Cap 시스템 개발', 삼성물산(주) 기반기술연구소, 2010.
- 대한토목학회, 교량설계핵심기술연구단, 「도로교설계기준 해설」, 2008, 1,008 pp.
- Billington, S. L., Barnes, R. W., Breen, J. E., 'A precast substructure design for standard bridge systems', Research Report No. 1410-2F, Texas DOT, 1998, 170 pp.
- Matsumoto, E. E., Waggoner, M. C., Sumen, G., Kreger, M. E., Wood, S. L., Breen, J. E., 'Development of a precast bent cap system', Research Report No. 1748-2, Texas DOT, 2001, 378 pp.

담당 편집위원 : 김태훈(삼성물산(주)건설부문) th1970.kim@samsung.com