

PC Beam을 이용한 일체식교대 교량의 실용화 연구

A Study on Utilization and Application of Integral Abutment PC Beam Bridge

이 재 혁* 박 종 면** 유 성 근*** 정 경 자****
Lee, Jae-Hyuk Park, Jong-Myun You, Sung-Kun Jung, Kyung-Ja

ABSTRACT

An integral abutment bridge refers to a jointless bridge with capped-pile stub type abutment. It has been used for more than 50 years in the United States and Canada. This paper briefly describes design and utilization of the PC beam integral abutment bridge which is adapted for Korea and shows its excellent performance compared with that of a jointed bridge. This study introduces the characteristics of structural behaviors of the integral bridge and also mentions about its attributes and limitations.

1. 서론

조인트 교량의 신축이음부에 발생하는 손상은 교대, 교각부의 누수 및 베어링 부식 등을 유발하며 차량의 주행성 저하 및 충격하중 증대와 같은 간접적 영향을 가져올 뿐만 아니라 시간이 경과함에 따라 베어링의 작동불량 및 파손 등을 야기시켜 교량 구조계에 심각한 영향을 초래하고 있는 것이 사실이다. 이러한 문제점을 해결하는 기술적인 방안으로는 신축이음장치의 사용을 최소화하는 방안과 보다 적극적인 해결 방안으로서 교량에서 신축이음부와 교좌장치를 제거하는 방안을 고려할 수 있을 것이다. 후자의 경우, 이는 교량의 안전성을 확보할 뿐만 아니라 건설 및 유지관리의 경제적 측면에서도 매우 바람직하다고 할 수 있다. 본 연구에서 소개하는 Integral Abutment 교량은 무조인트 교량(jointless bridge)중에 하나로 현재 기술선진국(미국, 호주, 캐나다 등)에서 1930년 이후 매우 활발히 사용중에 있으며, 특히 미국 각주(Tennessee, Ohio, Illinois 등)의 DOT(Department of Transportation)에서는 중, 소교량(교량연장 약 120m 이내) 건설시에는 교량선형계획 및 발주시 현장조건이 허락되면 다른 형식의 교량보다 우선적으로 Integral

-
- 1) * 동아건설산업(주) 기술연구소 주임연구원
 - 2) ** 동아건설산업(주) 기술연구소 연구원
 - 3) *** 정희원, 동아건설산업(주) 기술연구소 책임연구원
 - 4) **** 한국도로공사 도로연구소 연구원

Abutment 교량을 사용하도록 규정하고 있을 정도로 교량의 우수한 성능이 인정되고 있는 상황이다. 따라서 Integral Abutment 교량은 이제 더 이상의 교량신공법이 아니라 외국에서 이미 기술 개발 단계를 넘어 수십년 전부터 현재까지 실용화 단계에 있는 교량이다. 또한 근래 관련기술의 전파로 세계 각국에서 이와 관련된 많은 연구 및 실시공이 이루어지고 있다. 따라서 국내에서도 Integral Abutment 교량의 적용 및 시공을 위하여 관련 기술의 습득방안 마련과 국내적용을 위한 필요 기술의 개량등이 현재 매우 필요한 상황이다.

본 소고에서는 Integral Abutment 교량에 관련된 설계, 시공기술에 대하여 외국의 문헌을 통하여 밝혀진 기술사항들을 소개하고 현재 국내에서 진행되고 있는 PC Beam Integral Abutment 교량의 실용화 연구현황에 대해서 간략히 소개하고자 한다.(주; Integral Abutment Bridge는 이하 일체식교대 교량으로 명칭한다.)

2. 일체식교대 교량의 구조형식

아래의 그림 1에서와 같이 일체식교대 교량은 일반조인트 교량에서 필수적으로 사용되었던 베어링, 교대신축이음부가 제거되고, 접속슬래브는 교대부와 일체 시공되었으며, 파일 일렬시공, 접속슬래브와 접속포장부사이의 cyclic joint가 존재하고 있다. 따라서 상부구조와 교대사이의 공간이 존재하지 않기 때문에 누수가 발생되지 않으며 이로인한 구조물의 손상이 발생하지 않는다. 또한 상부구조와 교대가 일체로 시공되어 있으므로 상부구조의 변위량을 파일 기초부에서 처리하도록 되어 있으며 이를 위해 파일의 유연성을 최대한 활용하는 방안이 필요하므로 상대적으로 강성이 작고 변위량을 흡수할 수 있는 강재 H파일을 사용하여 시공하게 된다. 물론 사용되는 구조재료 및 형식은 상부구조의 온도신축 변위량에 따라서 설계자가 합리적인 판단으로 다양한 형식을 취할 수 있다. 이는 미국에서 사용되고 있는 일체식교대 교량의 표준도¹⁾를 비교함으로써 알 수 있듯이 파일의 종류, 시공법, 접속슬래브 및 파일 연결부의 상세 구조형식 등이 각 주마다 다양하게 존재하고 있으나 교량의 구조거동은 매우 유사함을 알 수 있다. 미국의 경우, 일체식교대 교량으로 사용하고 있는 교량형식은 콘크리트 슬래브, PC Beam, Steel Plate Girder 교량등이 있으며 각 주의 DOT마다 고유의 표준설계도면을 작성하여 활발히 사용하고 있다 그림 2와 3은 미국 Ohio 주에 위치한 PC Beam 일체식교대 교량의 모습과 교대부 연결부 상세도를 나타내었다.

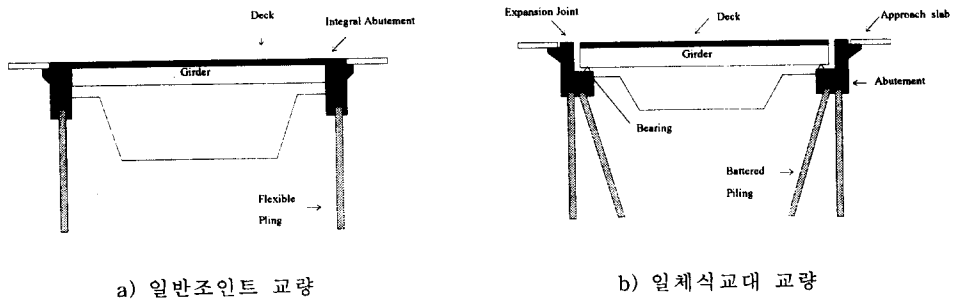


그림 1. 일반조인트교량과 일체식교대교량의 구조형식

3. 일체식교대 교량의 구조거동

일반조인트 교량의 경우, 온도 및 습도변화로 발생하는 신축에 의한 상부구조의 수평변위는 베어링과 신축이음부에서 처리되도록 설계, 시공된다. 그러나 일체식교대 교량의 경우, 상부구조의 신축변위에 대한 전체 교량 구조물은 그림 4과 같이 거동한다는 가정에 기초하고 있다. 일체식교대 교량에서 발생하는 구조거동은 아래와 같으며 이러한 거동들은 설계시 필히 고려하여야 한다.

- ▶ 상부구조와 교대 연결부에 발생하는 라멘거동
- ▶ 교대 Caping부 내에 발생하는 교대의 회전거동(특히 활하중과 온도하중에 대하여)
- ▶ 교대 배면부에 발생가능한 수동토압에 대한 구조거동
- ▶ 교대 파일부의 수평변위 및 소성거동
- ▶ 교대와 연결시공된 접속슬래브의 cyclic변위
- ▶ 상부구조의 횡방향 하중분배의 변화

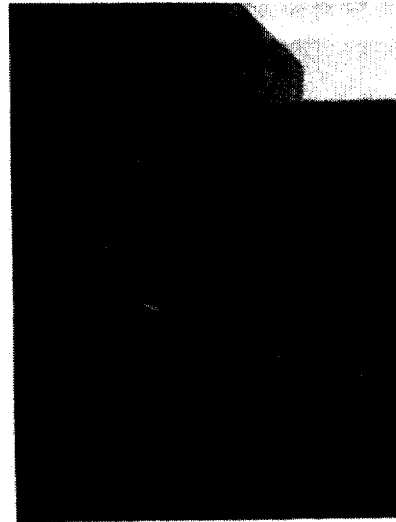


그림 2. Ohio주의 PC Beam 일체식교대 교량의 모습

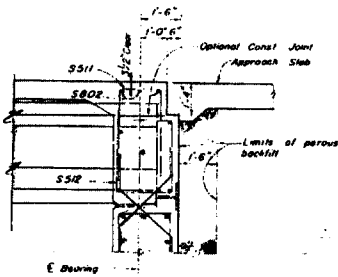


그림 3. Ohio주의 PC Beam 일체식교대 교량의 교대부 연결상세도

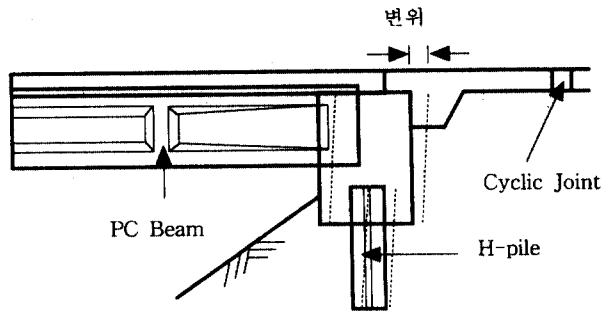


그림 4. 일체식교대 교량의 구조거동

4. 일체식교대 교량의 특성

4.1 일체식교대 교량의 장점

일체식교대 교량의 장점으로는 교대부 베어링을 제거함으로써 유지관리가 용이할 뿐만 아니라 시공시에도 많은 장점을 제공하고 있다. 또한 교대는 상부구조와 함께 일체로 되어 있어 지진하중에 대해 지반과 동시에 같은 변위를 하기 때문에(즉, 상대변위가 같음) 일반 조인트교량에 비하여 유리한 조건을 갖고 있다. 활하중 분배능력 또한 다수의 베어링에 의해 분리, 지지되는 일반 조인트교량과는 달리 일체식교대 교량은 활하중을 보다 넓고 고르게 분포함으로써 상부구조에 발

생되는 응력을 감소시킨다. 아래의 표 1은 일체식교대 교량의 장점을 간략하게 나타내었다.

표 1. 일체식교대 교량의 장점

장 점	설 명
1. 설계의 단순성	수평부재를 일반지점을 가진 보로 가정하여도 무방
2. 상판 조인트 불필요	시공 및 유지관리의 용이
3. 접속슬래브 종방향 응력저항	압력제거용 조인트(Pressure Relief Joint) 설치
4. 시공기간의 단축	물막이공 불필요, 굴착의 최소화, 단순한 거푸집, 소수의 조인트, 부재 요소의 최소화, 기존 구조물의 제거작업 최소화, 단순한 교좌 위치
5. 스패 비율의 넓은 선택 범위	합리적이고 폭넓은 시공성
6. 내진성	조인트교량보다 상대변위가 적음
7. 활하중 분배	상부구조의 응력감소

4.2 일체식교대 교량의 단점

일체식교대 교량을 이루고 있는 부재들은 주하중(사하중, 활하중, 충격하중)에 의하여 발생하는 응력과 2차하중(건조수축, 크리프, 온도변화 등)에 의하여 발생하는 응력을 동시에 부담하고 있다. 그러나 장지간의 일체식교대 교량의 교대 파일은 온도변화에 의한 상부구조의 신축으로 발생하는 휨에 저항함으로써 일반조인트 교량과 비교할 때 상대적으로 높은 휨응력을 부담하여야 한다. 외국의 연구결과에 의하면 장지간의 일체식교대 교량이 장지간화 되면 교대파일에 항복응력에 도달하는 정도의 응력이 발생하는 결과를 나타내는 것으로 나타나 있다. 다시말해 이 같은 크기의 응력이 발생하는 경우, 파일에는 교량 상부구조의 신축으로 발생하는 휨응력을 부담하기 위하여 소성 한지가 생성될 가능성이 충분하다. 이같은 특성 때문에 일체식교대 교량의 경우는 파일 종류에 특별한 제약이 따른다. 즉, 충분한 축하중 능력을 보유함은 물론 동시에 국부적인 변형으로 발생하는 파일의 휨응력을 처리 할 수 있는 형식이어야 한다. 이같은 이유로서 90m이상의 일체식교대 교량에서는 강재 H파일이 가장 합리적 선택이라고 할 수 있다. 아래의 표 2는 일체식교대 교량의 단점과 제약을 간략하게 나타내었다.

표 2. 일체식교대 교량의 단점 및 제약사항

단 점	해결책 및 제약사항
1. 교대파일의 고용력(高應力)	강재 H파일의 일렬시공 최대사각 30, 최대교량연장 (강재 : 90m, 콘크리트 : 120m)
2. 한정된 적용범위	상부구조가 직선 (No Curved Girder), 교대와 교각은 평행(각주마다 상이함)
3. 부력	안전율을 고려한 설계
4. 접속슬래브의 필요	접속슬래브의 충분한 길이 유지
5. 신축조인트의 필요	Cyclic Joint의 설치

5. 일체식교대 교량의 설계

일체식교대 교량의 상부구조는 기존의 일반조인트 교량과 같다. 다만 일체식교대 교량의 하부구조라고 할 수 있는 교대부가 일반조인트 교량과 큰 차이점을 가지고 있다. 따라서 일체식교대 교량의 가장 큰 차이점을 크게 나누면 기존의 옹벽식교대(Wall Type Abutment) 대신에 일명 「난쟁이 교대(Stub Type Abutment)」의 사용, 교대와 상부거더의 접합부, 교대와 접속슬래브의 접합부, 교각과 상부거더와의 접합부, 날개벽과 제방의 모습, 교대의 뒷채움, 접속슬래브와 포장부사이의 cyclic joint 등이 있다. 다음은 대표적인 일체식교대 교량에 관련된 설계사항에 관련된 기술사항이다.

5.1 상부구조와 교대접속부 설계

상부구조와 교대의 접속부는 상부구조에서 종방향으로 발생하는 온도에 의한 변위를 교대, 파일, 접속슬래브에 전달하는 역할을 하므로 설계시 이를 충분히 반영하여야 한다. 상부구조가 온도 신축으로 벽체를 배면방향으로 이동시킨다고 가정하여 교대 배면에 작용하는 토압은 수동토압으로 설계한다. 교대배면이 뒷채움재는 앞에서도 언급한 바와 같이 다짐을 하지 않는 자갈채를 사용한다. 또한 접속슬래브의 역할은 교대배면의 차량통행으로 인한 배면의 다짐을 방지하는 역할을 한다.

5.2 파일설계

현재 건축구조물에서는 H파일을 기초로 사용하는 경우가 있으나 토목구조물, 특히 교량구조물에서는 가설구조물인 경우를 제외하고는 기초로서 H형강 말뚝을 사용하지는 않는 것이 국내실정이다. 그러나 미국의 경우, 일체식교대 교량 교대의 기초로 H파일을 사용하고 있으며 시공시 교축방향의 변위에 대하여 유연하게 작용할 수 있도록 H-파일의 약축이 교축방향이 되도록 그리고 교축과 직각방향이 되도록 일렬배치하여 시공하고 있다. 일체식교대 교량에서 사용되는 파일의 길이는 최소한 4m이상 이어야 한다. 그 이유로는 파일의 길이가 너무 짧으면 휨에 대한 강성이 상당히 커져 유연성(flexibility)을 가지지 못하기 때문에 파일의 길이에 대한 제한을 둔 것으로 판단된다. 그러나 일체식교대 교량의 교대부 기초로 H파일만을 사용하는 것이 아니라 지반의 상태에 따라 또는 지반지지력에 따라 강관말뚝, PC말뚝, 콘크리트말뚝, 나무말뚝등을 사용하는 경우도 있다. 일체식교대교량에서 파일은 교대에 작용하는 힘과 모멘트에 대하여 유연하게 작동하여야 한다. 단경간 일체식교대 교량의 파일설계에는 다음과 같은 조건을 고려한다.

- ▶ 온도신축에 의해 파일에 작용하는 수평하중
- ▶ 온도신축량에 의해 파일에 작용하는 모멘트
- ▶ 교대 배면에 작용하는 수동토압
- ▶ 파일에 작용하는 전체 수직하중
- ▶ 파일에 작용하는 전체 모멘트

5.3 접속슬래브와 포장접속부의 설계

일체식 교량의 접속슬래브의 끝단에는 Cyclic Control Joint라는 일종의 이음장치가 설치된다. 이는 교대를 통하여 접속슬래브로 전달된 수평변위를 허용하도록 하는 것이다. 받침슬래브는 포장부와 접속슬래브 접속부의 처짐을 방지한다. 또한 접속슬래브와 지반사이에는 Filter Fabric이 설치되는데 이것은 접속슬래브와 지반사이의 마찰력을 감소시켜 접속슬래브가 수평방향으로 용이하게 변위를 허용할 수 있도록 한다. 접속슬래브의 길이는 경험적으로 6~10m정도로 하는 것이 바람직하다.

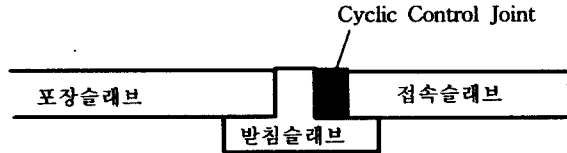


그림 5. 접속슬래브와 포장접속부의 개념도

6. PC Beam 일체식교대 교량의 실용화

앞서 소개한 바와 같이 현재 일체식교대 교량공법은 이미 외국에서 사용중에 있는 교량이며 많은 외국의 교량기술자들에 의해 지난 50여년 동안 연구와 시공을 거듭하며 이룩된 결과라고 할 수 있다. 따라서 미국의 경우, 각주의 DOT마다 고유의 일체식교대 교량의 표준도면을 규정하여 사용하고 있다. 그러므로 이러한 표준도면들중에서 어떤 한가지를 결정해서 국내에서 그대로 시공하기란 사실상 어려운 것이 사실이다. 이러한 이유들중 한가지로 미국에서 규정한 많은 시방부분이 현재 우리나라 현실과 많은 차이가 있기 때문이다. 이에 동아건설 기술연구소와 한국도로공사 도로연구소에서는 「일체식교대 교량의 실용화 연구」라는 과제로 3년간 공동연구로 진행중에 있다. 실용화 시공 대상구간으로는 대전-진주간 고속도로 제13공구내 「두동교」로 선정하였다. 아래의 그림 6, 7 및 표 3은 두동교의 평면도 및 교량제원을 나타내었다.

표 3. 교량의 제원

교량명	두동교
위치	경상남도 함양군 지곡면
형식	PC Beam
연장(m)	90.57
폭원(m)	24.21
평면선형	R=2000
종단선형	S=2.852%
사각	60°

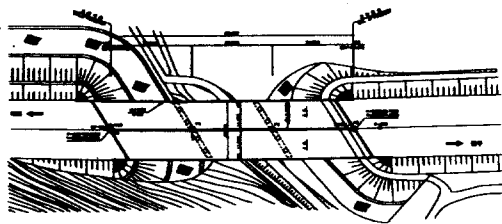


그림 6. 두동교의 평면도

중 단 면 도

S = 1 : 400

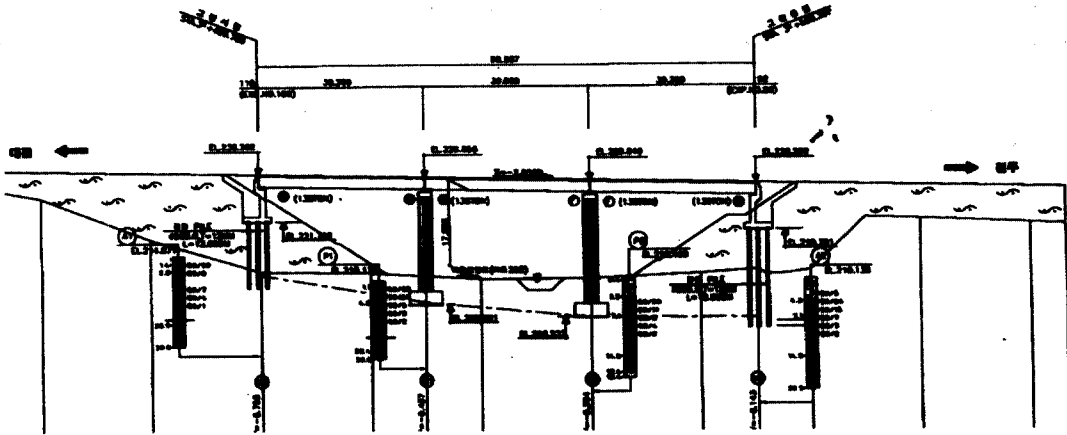


그림 7. 두동교의 중단면도

7. 결론

일체식교대 교량은 이미 언급한 바와 같이 외국, 특히 미국에서 교량의 우수한 성능을 인정받아 시공이 가능한 범위내에서는 거의 모든 종류의 중, 소교량에 있어서 우선적으로 적용되고 있다. 현재는 일체식교대 교량의 활용성을 보다 높일 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있으며 최근에는 일체식교대 교량의 연장을 최대 약 250m(콘크리트교)까지 장지간화 하는데 성공하는 실적을 보이기도 했다. 물론 현재까지도 실험적 연구 및 초보적인 단계의 연구를 시행하는 주(州)도 있는 것이나 거의 40여개 주에서 활발히 적용하고 있으며 일본의 경우, 1996년에 2개의 일체식교대 교량의 시공실적을 보유하고 있으며 유럽지역은 영국을 중심으로 관련기술의 발전을 추구하고 있다. 일체식교대 교량은 기본적인 교량구조 거동을 살펴볼 때 교도의 기술을 요하는 것은 아니지만 오랜경험과 관련기술을 지속적으로 발전시킴으로 완성된 기술임을 알 수 있다. 앞으로 시공될 국내 교량의 종류나 유지관리 실정 등을 고려할 때 본 관련기술의 개발은 매우 필요한 상황이라고 판단되며 사회적, 경제적 파급효과 크게 기대된다. 이와 같은 기술을 국내에 적용하기 위하여는 환경적인 조건(기후, 년중온도분포, 지반조건 등)에 따른 면밀한 조건들에 대한 철저한 분석이 필요함과 동시에 일체식교대 교량의 구조거동 및 관련기술중 현재까지 일반교량에 사용되고 있는 규정과 일치하지 않는 부분에 대한 심층적인 연구가 필요하다. 따라서 현재 당사 기술연구소와 한국도로공사 도로연구소 공동으로 3년에 걸쳐 일체식교대 교량의 실용화 연구를 진행 중에 있으며 관련 연구결과를 국내의 학회를 통하여 지속적으로 발표할 예정이다.

참고문헌

1. Martin P. Burke, Jr., *Bridge Approach Pavements, Integral Bridges, and Cycle Control Joints*, Transportation Research No. 1113, TRB, National Research Council, Washington, 1987
2. E.C. Hambly., *Bridge Deck Behaviour*, 2nd ed, E&FN SPON

3. Wolde-Tensae, A.M. and J.E.Klinger, *Integral Abutment Bridge Design and Construction*, Report FHWA/MD-87/042", University of Maryland, College Park Maryland, 1987.
4. Department of the Navy, Foundations and Earth Structures, Design Manual 7.2, Naval Facilities Engineering Command, May 1982, p.72~60
5. 박종면, 이재혁, 유성근, 김성환, 「일체식교대 교량의 실용화 연구」, 한국건설기술연구회 연구발표회논문집 제5권 제1집, 1997년, p.20~35