



단부격벽 일체형 PSC거더를 갖는 반일체식 교량의 시공성 연구

박종면¹ · 김진배² · 전성용³ · 김충식⁴ · 유성근⁵ · 박중배⁶ · 임정훈⁷

㈜지승컨설팅 대표이사¹, ㈜지승컨설팅 기술연구소 이사², 롯데건설(주) 기술연구원 토목연구팀장³
 ㈜건화 구조부 부사장⁴, ㈜이산 기술연구소 전문⁵, 대우조선해양건설(주) 항만기술팀 이사⁶, 롯데건설(주) 원주기업도시 현장소장⁷

Study on the Field Construction of Semi-Integral Bridge with PSC Girder Integrating End-Diaphragm

Park, Jong-Myen¹ · Kim, Jin-Bae² · Jun, Sung-Yong³ · Kim, Chung-Sik⁴ · You, Sung-Kun⁵
 · Park, Joong-Bai⁶ · Lim, Jung-Hoon⁷

¹ President, Jiseung Consultant co., ltd, Seoul, Korea

² Management Director, Jiseung Consultant co., ltd, Seoul, Korea

³ Senior Manager, Research & Development Institute, LOTTE Engineering & Construction, Seoul, Korea

⁴ Vice President, Transportation Department, Kunhwa Engineering & Consulting, Seoul, Korea

⁵ Head Director, Research Institute, ISAN Corporation, Gyeonggi-do, Korea

⁶ Leader, Marine Engineering, DSME Construction co., ltd, Seoul, Korea

⁷ Project Manager, WonJu Enterprise City Site, LOTTE Engineering & Construction, Seoul, Korea

Abstract: This paper introduces general concepts of jointless bridges and field construction case of semi-integral bridge with psc girder integrating end-diaphragm. The expansion joints need to satisfy thermal and safety conditions of bridges. General bridges with joints have some problems, which are frequently replacement cycle time from mechanical damage or unstable movement, maintenance cost and more. To solve these problems, Integral Abutment Bridges(IAB) have been applied overseas in the 1930s. In Korea, first IAB was constructed in the early 2000s and precast IAB systems was invented and applied lately. Kyungshin overpass bridge in Incheon is the Semi-IAB constructed, the span length is 2@35=70m and the width is 13.9m. The original plan was to use general joint bridge but design field changed with expectations for advanced economic estimation and maintenance. This changed method of B.I.B bridge construction provided not only workability, construction cost but also safety improvement at the same time.

Key Words: Semi-Integral Abutment Bridge(SIAB), B.I.B Girder, End Diaphragm, Cyclic Control Joint

1. 머리말

현재 국내에 건설되어 공용중인 대다수의 교량은 상시 온도 변화와 같은 외부조건에 의해 발생하는 상부구조물의 신축량을 하부구조에 전달하지 않고 상부구조 내에서 해결할 수 있도록 기계적인 신축 이음장치를 상부구조와 상부구조 또는 상부구조와 교대 사이에 설치하는 것이 일반적이다. 기계적 신축이음장치는 주행차량의 지속적 작용하중에 의해

주행소음, 변형, 충격 등이 발생하며 이음부에 이물질 누적으로 기계적 장치의 정상적인 작동을 저해시키는 등 조인트 교량의 대표적인 유지관리 요소이다. 또한, 동절기 제설제의 액상 염화칼슘이나 우수로 인한 누수가 이음장치를 유입경로로 하여 상부구조를 지지하는 교량받침의 내구성 및 작동에 좋지 않은 영향을 미치기도 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 1930년대 이후 미국에서는 신축이음장치나 교량받침을 설치하지 않는 일체식 교량(Integral Abutment Bridge)을 제

주요어: 반일체식 교대 교량, 비아이비 거더, 단부격벽, 신축조절장치

Corresponding author: Park, Jong-Myen

Jiseung Consultant co., ltd, 3, Hoenamu-ro 26-gil, Yongsan-gu, Seoul, Korea

Tel: +82-2-792-9087, Fax:+82-2-792-9086, E-mail: pjmaaaa@naver.com

투고일: 2014년 6월 12일 / 수정일: 2014년 6월 27일 / 게재확정일: 2014년 6월 27일

안 및 설치하기 시작하였다. 조사결과에 따르면 1990년대 중반까지 약 3,000개소가 공용중이었으며, 2004년에는 약 13,000개소의 일체식 교대 교량 계획이 반영되었다. 이러한 추세는 유지관리부재 및 유지보수 발생 원인을 사전에 배제하고자 하고 구조물의 내구성 향상 및 LCC 절감에 대한 사전 예방차원에서 접근한 것으로 판단된다.

일체식 교량은 기계적 신축이음장치를 배제하고 신축조절장치(Cyclic Control Joint, 이하 CCJ)를 경계부(도로부와 교량부의 접경부)에 위치시킴으로써 상부구조의 신축량을 분산시키는 형태의 교량이다. 이러한 교량은 완전일체식(full-Integral Abutment Bridge, 이하 IAB)과 반일체식(Semi-Integral Abutment Bridge, 이하 SIAB)으로 구분된다. 전자의 경우는 상부구조, 교대부, 말뚝이 일체구조로 구성되는 형태이며, 후자의 경우 상부구조와 교대부(벽체교대)를 일체화시키되 상부구조와 하부구조 간에는 교량받침을 두어 하부구조의 기초형식에 제한이 없는 분리된 형태이다. 이와 같은 구분은 일체화된 부분의 교량 상부구조계 거동에 따라 신축이음량을 흡수할 수 있는 교량연장의 한계와 적용제한을 극복하기 위함이다.

국내에서는 2000년에 30m PSC Beam을 사용한 3경간 교량(평촌1교, 시공사 동아건설산업(주), 발주처 한국도로공사)을 최초 시공하여 현재 공용중에 있으며, 2009년에는 지간 43m의 강박스 거더를 이용한 국내최초의 반일체식 교대 교량을 시공하였으며, 지속적인 계측을 통해 반일체식 교량의 거동에 대한 데이터를 축적중이다. 또한, 유지관리 최소화를 위한 무조인트(일체식) 교량의 적극적인 설계반영으로 향후 그 추세는 해외사례와 유사하게 진행될 것으로 판단된다.

2. 일체식 교대 교량 공법 개요

일체식 교대 교량(IAB)은 상부구조, 교대부, 말뚝이 일체구조로 구성되고 접속슬래브는 현지철근을 사용하여 교대부와 결합하며 상부-하부구조 전체교량계의 온도신축을 교량부-도로부 사이에 설치되는 신축조절장치(CCJ)를 통해 수용하는 형식이다.

신축이음장치를 갖지 않는 일체식 교대 교량(IAB)에서 온도변화에 따른 교량계의 안전성은 지반 속에 일렬배치한 말뚝기초의 유연한 거동을 통해 확보가 가능하다. 하부구조의 말뚝기초는 다음 그림과 같이 주로 H-말뚝이 사용되며 교축 직각방향 1열말뚝이 약축방향으로 저항하도록 토공부에 배치한다.

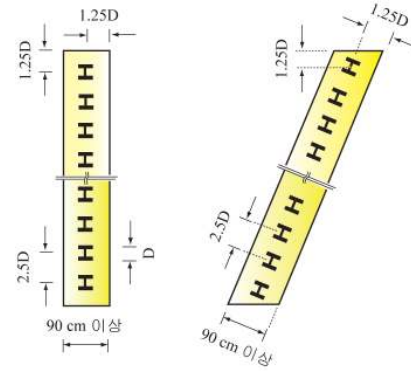


Fig. 1 Arrangement of H-Pile

신축이음장치를 갖지 않는 일체식 교대 교량(IAB)에서 온도변화에 따른 교량계의 안전성은 지반 속에 일렬배치한 말뚝기초의 유연한 거동을 통해 확보가 가능하다. 하부구조의 말뚝기초는 주로 H-말뚝이 사용되며 교축 직각방향 1열말뚝이 약축방향으로 저항하도록 토공부에 배치한다.

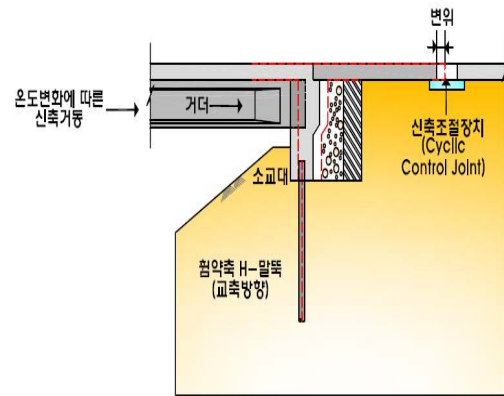


Fig. 2 Concept of Integral Abutment Bridge

이러한 교량형식은 상부구조의 신축량을 하부구조에 직접 전달하게 되므로 교량연장에 제약이 발생하게 되며 콘크리트 교량의 경우 120m까지 적용이 가능하다. 상기와 같은 이유로 일체식 교대 교량(IAB)의 적용 제약이 있으며 적용 범위는 다음과 같이 정하고 있다.

- 1) 교량연장 : 콘크리트 교량의 경우 120m, 강교의 경우 90m 이하
- 2) 기초조건 : 지지말뚝 조건을 적용하며, H-말뚝을 선호하며, 강관말뚝, PHC말뚝도 적용이 가능함. 말뚝의 최소 길이는 6m
- 3) 교량사각 : $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$
- 4) 종단경사 : 5% 이하
- 5) 곡선반경 : 시중점 교각 5° 이하

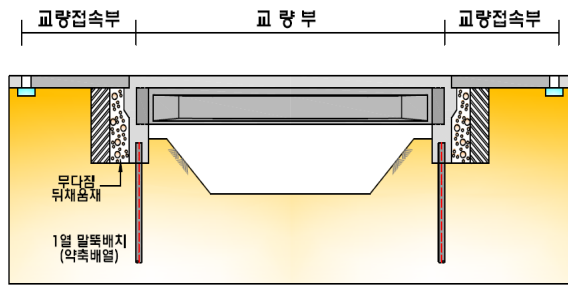


Fig. 3 Organization of Integral Abutment Bridge

일체식 교대 교량의 경우 상기된 내용과 같이 교량연장 및 말뚝기초 조건에 제약을 받기 때문에 적용성에 한계가 있다. 그러므로 일체식 교대 교량의 적용여부는 교대부에 일체로 강결합된 1열말뚝의 연성거동에 따른 변위량, 말뚝응력 크기 및 상부구조와 일체 시공되는 교대부에 작용하는 단부 부모멘트의 크기 등을 고려하여 판단하여야 한다. 이에 교대부는 배면에 발생하는 수동토압의 최소화와 상부구조-교대 강결합의 안전성을 확보하도록 구성하여야 한다. 이러한 적용한계를 극복하기 위해서 상부와 하부구조가 분리된 반일체식 교대 교량(SIAB)을 적용할 수 있다.

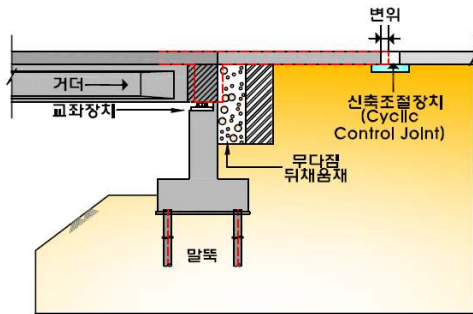


Fig. 4 Concept of Semi-Integral Abutment Bridge

반일체식 교대 교량(SIAB)은 상부구조와 교대부(벽체교대)를 일체화시키되 상부구조와 하부구조 간에는 교량받침을 두어 상부와 하부구조를 분리한 교량형식이다. 완전 일체식 교대 교량(IAB)과 마찬가지로 기계적 신축이음장치는 배제되고 상부구조의 신축량은 교량부-도로부 사이에 신축조절장치(CCJ)를 두어 온도신축을 수용하게 된다.

반일체식 교대 교량(SIAB)의 경우, 결보기 형상은 일반적인 조인트 교량과 유사하지만 교량받침과 하부구조의 강성으로 수평변위 및 하중에 저항하는 일반적인 교량과는 다르게 뒷채움부의 수동토압으로 저항하는 구조형식이다.

무다짐 뒤채움재는 모서리가 둥근 강자갈, 최대

치수 25mm의 굵은 골재 및 SB-1에서 세립분을 배제한 SB-3 등이 사용되며, 교대부 일반 뒤채움재와의 연결부에서 세립분의 유입을 방지하기 위해 무진동 뒤채움 구간인 전이구간을 형성시켜야 한다.

기존 조인트 교량의 경우 높은 교대의 흉벽에 작용하는 수평토압이 기초구조에 부담을 주어 기초크기 또는 말뚝의 소요량을 증가시키는 반면, 반일체식 교량(SIAB)의 교대는 흉벽부의 상부 일체화로 소규모 교대(Stub Abutment)적용이 가능하며 토압 중심의 하향이동으로 기초에 대한 하중부담이 감소하게 된다.

반일체식 교대 교량의 경우도 일체식과 마찬가지로 수용할 수 있는 변위의 한계가 있으므로 현재까지는 다음과 같은 적용범위가 있다.

- 1) 교량연장 : 콘크리트 교량의 경우 225m, 강교의 경우 135m 이하
- 2) 기초조건 : 상하부 분리구조로 직접기초, 말뚝기초에 따른 적용제한 없음.
- 3) 교량사각 : 0° ~ 30°
- 4) 종단경사 : 5% 이하
- 5) 곡선반경 : 시중점 교각 5° 이하

국내의 경우 최대 225m를 교량 연장의 적용한계로 하고 있으나, 미연방도로국의 자료(Integral

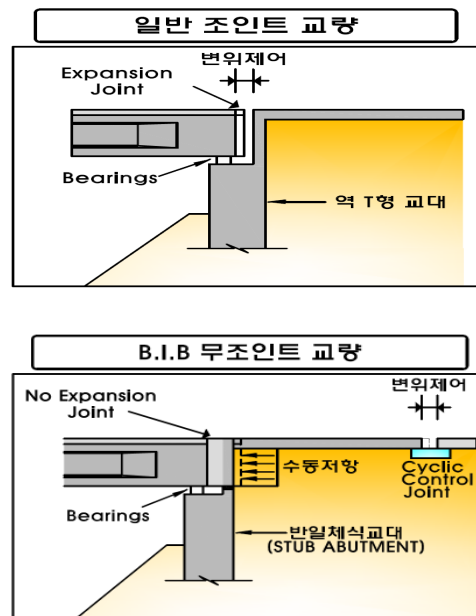


Fig. 5 Behavior of General Type & Semi-Integral Abutment Bridge

Abutment and Jointless Bridges, 2005, FHWA)에 따르면 약 900m(3280ft)까지 적용한 사례가 있으며 일반적인 교량의 사각 및 곡률에 대한 적용성이 충분한 것으로 조사되었다.

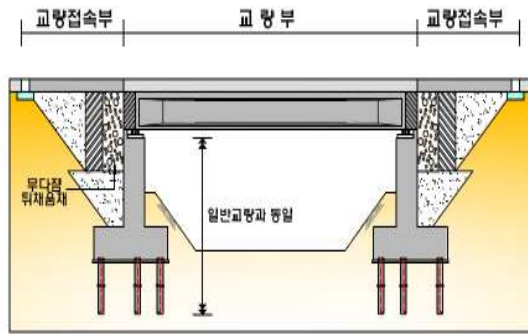


Fig. 6 Organization of Semi-Integral Abutment Bridge

그러므로 일체식 또는 반일체식 교대 교량에 대해 국내에서 다수의 사례발생, 거동에 대한 계측자료의 축적 및 다양한 해석적 연구를 통해 접근한다면 향후 적용범위는 점차적으로 확대 가능할 것으로 판단된다.

3. 현장 적용 사례

3.1 개요

최근 인천광역시 남동구에 시공된 경신상로교는 발촌들과 경신마을을 연결하는 교량으로서 총 경간 70m(2@35m)의 왕복 2차선 교량이다.

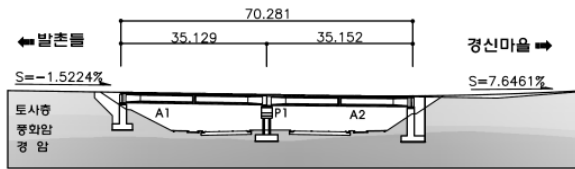


Fig. 7 Plan of Kyungshin overpass Bridge

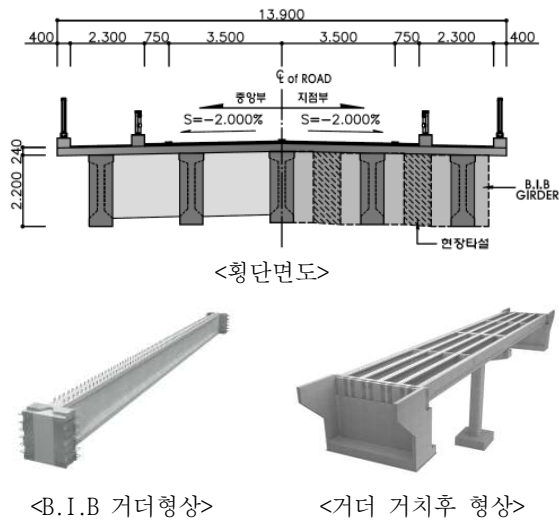


Fig. 8 Cross Section

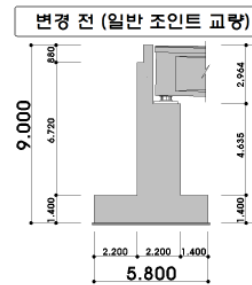
Table 1. Bridge Specifications

교량 개요		
상부형식	B.I.B GIRDER	
경간구성	L = 2 @ 35 = 70m	
폭 원	B = 13.9 m	
형 고	H = 2.2 m	
가설공법	크레인 거치	
하부 형식	교대	역 T 형
	교각	T 형

적용형식은 기계적 신축이음장치를 배제하고, 상부구조에 단부격벽(벽체교대)을 일체형으로 형성시킨 반일체식 교대 교량(SIAB)을 적용하였으며, 시공성, 경제성 및 유지관리성 향상이 기대되어 설계변경을 통해 적용되었다.

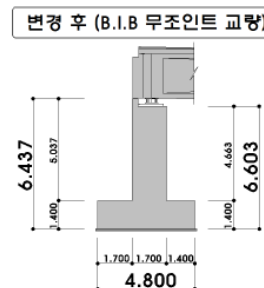
3.2 시공 개요

교각의 경우 일반적인 교량과 동일하나 교대의 경우 그 형상이 약간 상이하다. 일반적인 교대는 흙벽이 설치되며 상단에 신축이음장치가 위치하게 된다. 하지만, 반일체식 교대의 경우 흙벽이 상부구조에 일체화된 형상이므로 높이가 축소되며 이에 따라 본체 및 말뚝기초의 규모도 감소되어 경제적 효과로 나타나게 된다.



구분	수량
콘크리트	770m ³
철근	61.0ton
거푸집	1028m ²

<교대 주요수량>



구분	수량
콘크리트	536m ³
철근	39.3ton
거푸집	531m ²
비고	▼ 30~48%

<교대 주요수량>

Fig. 9 Abutment Section

B.I.B (Ban Integral Bridge) 거더는 PSC 거더 본체와 단부격벽(벽체교대)을 동시에 타설하여 제

작된다. 과거 반일체식 교량의 경우 단부격벽부를 거더 거치 후 현장타설 조건하에 거푸집설치 및 철근배근 조립과정을 통해 시공함에 따라 작업의 복잡성, 콘크리트 타설 등 현장 시공성이 상당히 저하되었으며, B.I.B 거더는 이러한 문제점을 개선하였다. B.I.B 거더는 단부격벽을 프리캐스트 형식을 적용함으로써 시공성 향상과 공기 절감의 효과를 얻을 수 있다. 거더를 거치한 후 거더와 거더 사이는 간단한 철근 연결후 현장타설을 통해 일체화하게 된다. 이때 단부격벽 일체형 B.I.B 거더는 별도의 전도방지를 도입할 필요가 없어 기존 거더의 시공보다 효과적으로 크레인 거치를 할 수 있다.

3.3 적용 효과

경신상로교는 지간이 35m이며, 일반 PSC Beam교로 계획되어 있었으나, 공기 단축과 공사비 절감이 가능하고, 작업시 상대적으로 안전한 프리캐스트 반일체식 거더공법으로 변경 하였다.

1) 공법변경에 따른 구조안전성 검토

경신상로교는 2경간 연속교로서 지반조건이 당초 위치의 지반조건과 동일한 것으로 판단되므로



Fig. 10 B.I.B Girder Work Flow

계획의 변경없이 상시와 지진시에 대한 검토를 수행하였다. 상시의 경우는 당초와 유사하나, 지진시의 경우 받침 및 교각강성이 지진하중에 저항하는 당초 일반 조인트 교량과 달리 반일체식 교대 교량의 경우 뒷채움 토사의 수동토압이 추가되어 상시와는 다른 양상을 나타내게 된다.

Table 2. B.I.B Girder Features

구분	변경전	변경후
적용공법	일반 PSC Beam	B.I.B Girder
장 점	· 시공경험 다수로 품질확보 편리	· 프리캐스트 형식으로 시공성 향상 · 공용중 소음감소 · 교량 내구성 향상 · 유지관리성 향상
단 점	· 신축이음장치로 유지관리성 및 교량 내구성 감소 · 전도방지시설	· 추가 구조 안전성 검토

- 내진해석

뒷채움 토사의 수동토압을 고려하기 위해 스프링으로 치환한 강성을 추가하여 내진해석시 이를 고려하였다. 해석 결과, 교각 P1에서 모멘트 및 수평력은 최대 52%, 교대에서는 기초하단에 작용하는 하중이 최대 43% 감소함으로써 지진력에 대한 감소성능이 향상됨을 알 수 있었다.

- 단면 및 기초 검토

변화한 부재력을 통하여 구조 검토를 수행한 결과 현장변경 가능한 교대의 경우 반일체식의 특성에 따라 콘크리트 30%, 철근 35% 감소하였다. 교대의 경우 기 서술된 바와 같이 배면토압의 하중중심이 하단으로 변화하므로 이와 같은 양상을 보이며, 말뚝기초를 적용할 경우 이러한 경제적 효과는 더욱 향상될 것으로 판단된다.

- 경제성 분석

그림8에 나타난 바와 같이 소규모 교대의 사용으로 하중감소가 발생하며 주요물량을 비교한 결과 30~48%의 감소효과가 발생하였다. 단, 상부의 경우 단부블록이 증가되므로 소폭의 공사비 증가가 발생하지만, 하부의 감소분에 의해 상쇄되며, 경신상로교의 전체적인 공사비 절감분은 다음과 같다.

Table 3. Economical Comparison

구 분	변경전	변경후	비고
도급공사비	10.07억원	9.58억원	▼ 4.9%
관급자재비	3.21억원	2.66억원	▼ 13%
합 계	13.28억원	12.24억원	▼ 8%

Table 3은 초기공사비 절감액에 해당되며, 공기절감에 따른 영향과 같은 간접비용 등은 고려하지 않았다. 이를 포함하여 신축이음 교체비, 보수공사에 따

른 차량지체 비용 등을 고려할 경우 공법변경에 따른 기대효과는 더욱 커질 것으로 예상된다.

4. 맺음말

본고에서는 일체식 및 반일체식 교대 교량에 대한 일반적인 현황과 인천광역시에 가설된 BIB 반일체식 교량 시공 사례에 대하여 소개하였다.

일체식 및 반일체식 교량은 기계적 신축이음장치를 배제를 통해 유지관리 성능 및 교량 내구성 향상에 탁월한 효과를 나타내는 형식으로 이미 해외에서는 유지관리 부재하자에 대한 예방차원에서 적극적으로 도입되는 실정이다. 국내에서는 2000년대 초반부터 도입되기 시작하였으며 최근에는 이를 프리캐스트화하여 시공성 및 품질향상이 가능한 형식이 적용되고 있다.

경신상로교는 PSC거더 조인트교량 형식을 반일체식 교대 교량공법(SIAB)으로 적용될 수 있도록 설계 변경한 사례이다. 이를 통해 현장에서는 시공성과 경제성 그리고 전도방지효과를 통한 작업시 안전성 등과 같은 여러 가지의 개선효과를 동시에 만족하였다.

또한 단부격벽형 BIB거더 반일체식 교대 교량은 경제성 및 유지관리성 면에서 유리한 형식이며 국내 교량의 상당수를 차지하는 중소교량에 매우 합리적인 교량이다.

Table 4. Advantages after Application of B.I.B Girder

구분	효과	변경전	변경후
경제성	○	13.3억원	12.2억원
시공성	◎	단부시공 복잡	프리캐스트
안전성	○	전도방지지설	필요없음
유지관리	◎	기계적 신축이음	필요없음

현재 한국도로공사에서는 일체식 교량에 대한 지속적인 계측을 실시하고 있으며, 성능향상을 위한 연구가 진행될 예정이다. 향후 일체식 교량의 장기적 거동에 대한 계측결과와 설계기준의 비교분석을 통해 성능향상 또는 적용성 확대연구가 필요할 것으로 사료된다.

본고에서 소개된 반일체식 교대 교량에 대해 향후 지속적인 관심과 축척된 자료를 갖는다면 국가 및 엔지니어링 경쟁력 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Design Manual for Integral Bridges (2009), Korea Expressway Corporation
- Integral Abutment and Jointless Bridges (2005), Constructed Facilities Center, College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University, The 2005-FHWA Conference.
- Park, J. M., You, S. K., Yhim, S. S., and Yoon, S. J. (2003), Integral vs. Semi-integral Abutment Bridge, *The Magazine of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 15, No. 1, 2003, pp. 76-80. (in Korean).
- Park, Y. H., Kim, N. Y., Lee B. J., Lee, K. H., Kim, I. B., and Park, Y. S. (2010), *Practical Application of Semi-Integral Abutment Bridges*, Expressway & Transportation Research Institute Research Report, Korea Expressway Corporation. (in Korean).