Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 20, No. 4 pp. 597-605, 2019

https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.4.597
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

# 토압분리형 교량과 라멘교의 거동분석

신근식[1], 한희수[2*]
[1]한국도로공사 남북도로협력처, [2]금오공과대학교 토목공학과

# Behavior Analysis of IPM Bridge and Rahmen Bridge

**Keun-Sik Shin[1], Heui-Soo Han[2*]**
**[1]Inter-Korean Highway Cooperation Agency, Korea Expressway Corporation**
**[2]Department of Civil Engineering, Kumoh Institute of Technology**

요 약 IPM Birdge는 경간장 30.0m에서부터 최대 120.0m까지 적용이 가능한 일체식 교량으로, 이러한 교량의 형상 조건은 라멘교에서도 적용가능하다. 교량의 형상조건은 유사하나 거동이 다른 IPM Bridge와 라멘교를 현장에 적용하기 위해, 두 교량의 공학적 우수성을 비교분석하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 라멘교와 IPM Bridge의 구조해석을 수행하여, IPM Bridge와 라멘교의 하중, 모멘트, 및 변위 등의 분포 형태를 비교분석하였다. 입력조건의 차이가 두 교량 형식의 거동에 영향을 미치지 않도록 동일한 조건에서 구조해석을 수행하였다.
구조해석은 경간 30.0m를 기준으로 단경간 교량부터 4경간 120.0m까지로 각 4개의 모델로 구조해석을 수행하였다. 본 연구로부터 도출된 결론은 다음과 같다. 1) 휨모멘트는 라멘교가 크게 산정되었고, 수평변위는 IPM Bridge가 크게 산정되었다. 2) 라멘교는 교량의 연장보다는 경간장에 의해 휨모멘트가 크게 도출되므로, 설계에서 경간장에 대한 허용 휨모멘트가 고려되어야 한다. 3) IPM Bridge의 파일벤트는 120.0m 경간에서도 강관말뚝의 소성모멘트를 초과하지 않았지만, 수축방향의 수평변위가 조인트 교량의 허용기준인 25mm에 근접하므로 설계 시 고려가 필요하다. 4) 실제 설계에서는 부재력에 대한 안정성을 확보하는 것이 중요하므로, 부 모멘트에 대한 검토가 가장 중요한 것으로 나타났다.

**Abstract** IPM bridge is an integral bridge that can be applied from span 30.0m up to 120.0m, the shape conditions of IPM bridge is also applicable to the rahmen bridge. In this study, to perform the structural analysis of Rahmen bridge and IPM Bridge, the researchers compared the distribution types such as load, moment, and displacement of those bridges. Structural analysis was carried out on four span models ranging from single span bridges to four spans of 120.0 m, based on span length of 30.0 m. Structural analysis was carried out on those bridge with span 30.0m up to 120.0m. The conclusions drawn from this study are as follows. 1) The bending moments were calculated to be large for the Rahmen bridge, and the horizontal displacements were estimated to be large for the IPM bridge. 2) Since the bending moments are derived by the span length rather than the extension of the bridge, the permissible bending moment for the span length should be considered in the design. 3) The pile bent of the IPM bridge did not exceed the plastic moment of the steel pipe pile at 120.0m span, but because the horizontal displacement in the shrinkage direction is close to 25mm, the design considerations are needed. 4) In the actual design, it is important to ensure stability against member forces, so review of the negative moment is most important.

**Keywords :** IPM Bridge, Rahmen Bridge, Structural Analysis, Bridge Behavior, IAB Bridge, Pile Bent

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(2016-104-101)
*Corresponding Author : Heui-Soo Han(Kumoh Institute of Technology)
Tel: +82-54-478-7618 email: hanhs@kumoh.ac.kr
Received January 31, 2019 Revised February 27, 2019
Accepted April 5, 2019 Published April 30, 2019

# 1. 서 론

Integral Abutment Bridge (이하 IAB Bridge)는 기존 조인트 교량이 가지는 문제점들을 개선한 교량 형식이다. IAB Bridge는 상부구조와 하부구조가 일체화되어, 하부구조가 상부구조의 수직하중과 수평변위를 지지하게 된다. 따라서, 상부구조의 수평변위를 유발하는 온도하중과 시간의존적 하중에 큰 영향을 받는다[1]. 뿐만 아니라, 하부구조는 벽체교대와 기초교대 그리고 이를 지지하는 말뚝기초로 구성되므로, 지반과 구조물의 상호작용에도 큰 영향을 받는다[2-3]. IAB Bridge는 상부구조의 수평변위에 따라 말뚝기초에 작용되는 부재력이 결정되기 때문에 상부구조의 연장 시 이에 대한 고려가 필요하다. 최근에 IAB bridge의 연장을 늘리기 위해 말뚝기초에 작용되는 부재력을 감소시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[4-6]. 하지만, IAB Bridge의 말뚝기초는 상부구조의 수평하중을 모두 지지해야 할 뿐 아니라, 지반에 완전히 매립되어 있기 때문에 지반에 의한 구속압을 크게 받는다. Fig. 1은 전형적인 이경간 IAB Bridge의 형태를 보여준다.

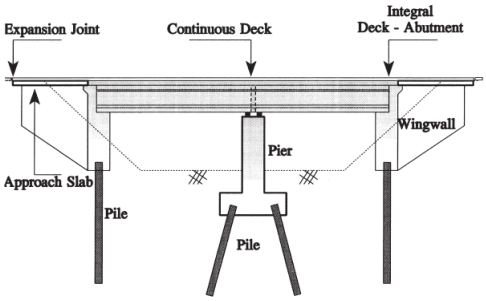



Fig. 1. Typical integral abutment bridge with 2-spans [4]

IAB Bridge의 문제점을 개선하고자 Nam et al. (2016)[7]은 IAB Bridge과 MSEW Bridge (Mechanically Stabilized Earth Wall Bridge, 이하 MSEW bridge)의 장점을 결합한 Integrated and Pile Bented Abutment with Mechanically Stabilized Earth Wall Bridge (이하 IPM Bridge, 국문명은 토압분리형 일체식 교대 교량)를 개발하였다[7]. IPM Bridge는 IAB Bridge와 동일하게, 상부구조와 하부구조가 일체화된 일체식 교대 교량이다. 하지만, 교대가 지지하는 횡방향 토압을 보강토옹벽이 지지하기 때문에, 말뚝기초는 지표면으로부터 돌출된 파일벤트 형식이다. IAB Bridge에서 필요하였던 앞성토와 날개벽은, 보강토옹벽으로 인해 제거되기 때문에 다리밑공간은 늘어나게 된다[8-9]. Fig. 2는 IPM Bridge의 개략도를 보여준다.

Fig. 2. Schematic of IPM bridge [7]

]IPM Bridge는 상부구조의 온도신축과 시간의존적 변위인 건조수축과 크리프, 프리스트레싱의 장기손실 등으로 인해 말뚝에 과도한 응력과 피로하중이 유발되므로, 이 하중들을 지지하기 위해 충분한 강성과 유연성을 가진 강재 말뚝만을 사용토록 제한하였다. 그리고 IPM Bridge의 파일벤트 말뚝기초는 교대의 상부구조 및 하부구조를 일체화시키기위해 지표면에 돌출되어 있으므로, 상부구조의 수직하중과 수평하중을 충분히 지지할 수 있도록 최소 근입깊이에 대한 검토가 필요하다. 특히, IPM Bridge의 파일벤트 말뚝기초는 압축과 휨을 동시에 받는 기둥 부재로 설계되므로 이에 대한 거동 특성도 고려되어야 한다. Kim et al.(2017)[1]은 IPM Bridge의 파일벤트에 대한 최소근입깊이를 검토한 결과, 파일벤트가 돌출된 높이($H$)와 근입심도($L$)의 비($L/H$)가 1.0 이상이 되도록 설계기준을 제시하였다[1].

이러한 IPM Bridge는 일반적으로 경간장 30.0m에 최대 연장을 120.0m까지 적용할 수 있다[7]. 하지만, 이러한 교량의 형상 조건은 라멘교에서도 적용가능하다. 라멘교는 벽체와 슬래브가 일체화된 라멘구조로써 기계적 장치가 없고 하나의 철근콘크리트 구체로 되어있기 때문에 유지관리의 효율성과 내구성이 좋다. 하지만, 하부구조인 벽체와 상부구조인 슬래브가 강결된 라멘교는 접합부인 단부에 모멘트가 크게 발생된다.

그러나 IPM bridge는 상부구조의 수평 변위를 유연한 파일벤트가 지지할 뿐만 아니라 지표면에 돌출되어 있으므로, 파일벤트에 작용되는 휨모멘트가 고정 조건보다는 상대적으로 작게 발생된다.

교량의 형상조건은 유사하나 거동이 다른 IPM Bridge와 라멘교를 현장에 적용하기 위해, 두 교량의 공

학적 우수성을 비교분석하는 과정이 필요하다.

본 연구에서는 라멘교와 IPM Bridge의 구조해석을 수행하여, IPM Bridge와 라멘교의 하중, 모멘트, 및 변위 등의 분포 형태를 비교분석하였다.

연구에 사용된 교량의 횡단면도는 왕복 2차로의 한국도로공사 표준횡단면도를 적용하였다. 이 단면은 고속도로의 본선 또는 진입도로와 육교에 가장 많이 적용되는 단면이기 때문이다. 그리고 교량의 연장은 단경간 30.0m에서 4경간 120.0m까지 모델링에 적용하고, 구조해석을 수행하여, 단부에 작용되는 모멘트와 교대 벽체의 변위를 비교·검토하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 일체식 교대 교량 (IAB Bridge)

IAB Bridge는 상부 구조와 소교대가 이음부 없이 강결된 교량을 의미한다. 이 강결부는 상부구조와 교대가 단일 부재로 거동하도록 한다. 상부구조와 하부구조가 강결된 점에서 라멘교와 동일하다. 하지만, IAB Bridge는 교대가 상부구조와 함께 강결된 벽체로 거동하고 말뚝은 유연한 거동을 나타내기 때문에 라멘교와 같이 강결부에 부모멘트가 크게 발생되지 않는다. 대신 교대보다 단면적이 매우 작은 말뚝 머리에 최대 휨모멘트가 발생된다. 말뚝 머리의 최대 휨모멘트는 Fig. 3과 같이 상부구조와 강결된 교대의 회전량에 따라 지배된다[10].

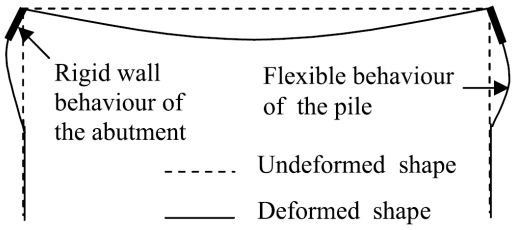



Fig. 3. Behavior of pile and wall of IAB bridge [11]

### 2.2 토압분리형 교량(IPM Bridge)

IPM Bridge는 기존의 IAB Bridge와 일반적인 거동특성은 거의 동일하지만, 보강토 옹벽이 교대에 작용하는 횡방향 토압을 부담하고, 교대를 지지하는 파일벤트 말뚝기초가 지표면에서 돌출된다는 특성이 있다[11]. 파일벤트 형식의 말뚝기초의 거동은 Fig. 4와 같이 말뚝캡의 역할을 수행하는 교대의 변형형상에 의해 지배된다[12]. 이 거동은 거더와 교대, 바닥판의 기하형상, 휨 및 압축강성이 복합적으로 작용되어 발생하므로, 교량 전체의 구조해석을 통해 면밀히 검토하여야 한다. 이때, 상부거더의 재료가 철근콘크리트 또는 프리스트레스 콘크리트일 때는 온도하중 외에도 시간의존적 변위인 건조수축과 크리프, 프리스트레싱의 장기손실 등을 고려하여야 한다. 특히 상부거더의 온도하중은 수축과 팽창의 계절적 거동을 유발하여 시간의존적 변위와 조합되므로 교량 구조해석에서 이를 고려하여야 한다[8].

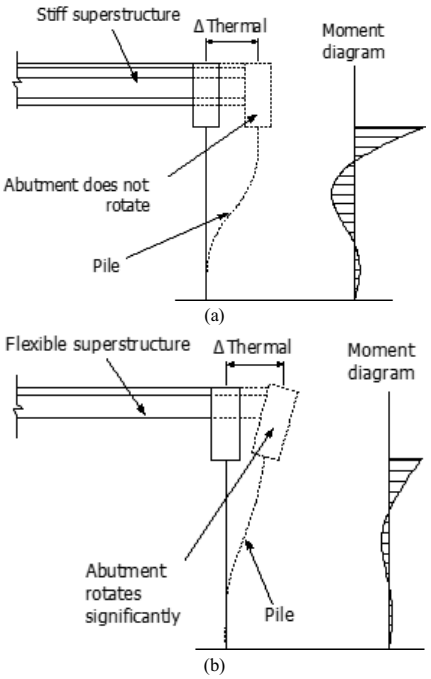



Fig. 4. Stress distribution of reinforced soil by load of super-structure [12]; (a) Vertical earth pressure (b) Horizontal earth pressure

## 3. 구조해석

### 3.1 해석조건

입력조건의 차이가 두 교량 형식의 거동에 영향을 미치지 않도록 동일한 조건에서 구조해석을 수행하였다. IPM Bridge와 라멘교의 구조해석을 위해, 교량의 기하

형상, 재료의 특성과 하중조건을 동일하게 적용하였다. 구조해석은 경간 30.0m를 기준으로 단경간 교량부터 4경간 120.0m까지로 각 4개의 모델로 구조해석을 수행하였다.

Fig. 5는 상부구조의 횡단면도로 한국도로공사의 왕복 2차로 표준횡단면도이다. 교폭은 13.7m이고 방호벽과 중앙분리대가 존재한다. 구조해석 모델에서는 방호벽과 중앙분리대는 사하중으로 재하 하였다. IPM Bridge의 거더는 한국도로공사의 연장 30.0m PSC 표준도를 적용하였다. Fig. 5에 제시된 횡단면도와 PSC 거더는 Park and Nam (2018)[8]이 IPM Bridge의 성능 검증을 위해 수행한 구조해석에 적용되었던 것과 동일하다.

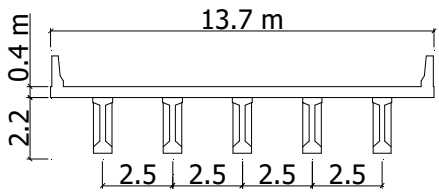



Fig. 5. Cross-section view for super-structure

구조해석에 적용된 하중은 사하중, 활하중, 온도하중과 시간의존적 하중인 건조수축과 크리프이다. 사하중은 MIDAS Civil의 프로그램 자체에서 중력방향의 가속도를 적용하여 계산된다. 활하중은 도로교설계기준(2008)[13]에서 제시된 표준트럭의 이동하중(DB-24, DL-24)을 재하하였다. 차로폭은 3.0m, 차량의 휠 간격은 1.8m이며, 2차로로 이동하중을 재하하였다. 이때의 충격계수는 연장 30.0m를 적용하여, 0.241이다.

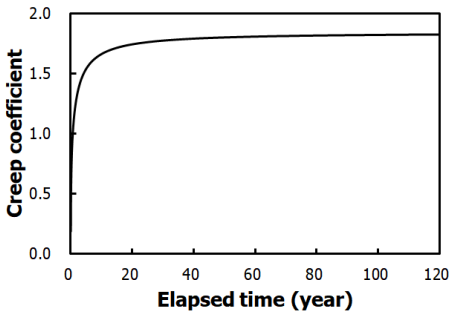
Table 1. Temperature ranges and thermal-expansion coefficients [13]

| Bridge type | Temperature ranges(℃) | | $\alpha$ (1/℃) |
|---|---|---|---|
| | Moderate | Cold | |
| Concrete bridge | -5~+35 | -15~+35 | $1.0\times10^{-5}$ |
| Steel bridge (upper-route bridge) | -10~+40 | -20~+40 | $1.2\times10^{-5}$ |
| Steel bridge (lower-route bridge and steel-deck bridge) | -10~+50 | -20~+40 | $1.2\times10^{-5}$ |

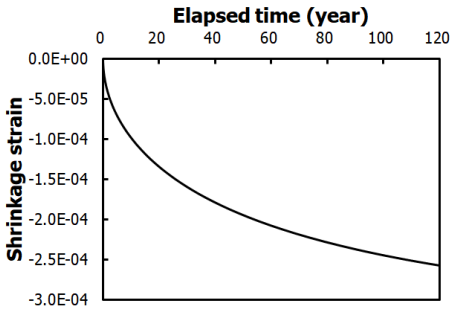
상부구조와 하부구조가 일체화된 IAB Bridge와 라멘교에 가장 중요 영향인자로 적용되는 온도하중은 도로교설계기준(2008)[13]에 제시된 가동받침의 이동량 산정 시의 온도변화 및 선팽창계수를 적용하였다(Table 1). PSC 거더교는 표 4.10에 제시된 PSC교의 한랭한 지방의 온도변화구간인 −15℃ ~ 35℃, 열팽창계수는 $1.0\times10^{-5}$(1/℃)를적용하였다. 가설온도는 10℃를 기준으로 온도해석을 수행하였다.

시간의존적 거동을 나타내는 건조수축과 크리프는 CEB-FIP(1990)[14]의 제안식을 적용하였다. 28일 압축강도는 40$MPa$을 적용하였으며, 외기온도는 70%, 시멘트의 종류는 보통시멘트, 타설 후 건조수축 시작 시간은 3일로 설정하였다.

본 논문에서는 시공단계해석을 통해 시간의존적 거동을 해석하였으며, 고속도로의 공용연한인 100년에서 20년을 추가하여 120년으로 해석하였다. Fig. 6은 이 해석 과정에 사용된 콘크리트의 크리프 계수와 건조수축 변형률을 보여준다[8]. Fig. 6 (a)에서 시간 경과에 따른 크리프 계수는 약 20년 후에 약 1.8로 수렴하는 것으로 나탔으며, Fig. 6 (b)에서 건조수축의 변형률은 120년까지 약 $-2.5\times10^{-4}$까지 감소되는 것으로 나타났다.




(a)




(b)

Fig. 6. Time-dependent loads (drying shrinkage and creep) [8]; (a) Creep coefficient (b) Shrinkage strain

### 3.2 토압분리형 교량의 구조해석 모델

IPM Bridge의 구조해석 모델은 Fig. 7에 제시하였다. Fig. 7 (a)는 IPM Bridge 설계지침(2016)[15]에 제시된 설계조건을 고려한 교량의 단면도로, Fig. 5에 제시된 연장 30.0m의 한국도로공사 표준 PSC거더를 적용하였다. 보강토옹벽의 높이는 8.2 m로써, 파일벤트의 돌출높이는 8.0m이다. 파일벤트는 강관말뚝으로 직경 508.0mm, 두께 12.0mm이다.

IPM Bridge의 교각은 일반적인 역T형 교각을 적용하였다. Park and Nam (2018)[8-9]의 논문에서도 동일한 교각으로 모델링하였다. 탄성받침은 경간장 30.0m에 가장 많이 적용되는 규격으로 1,350 kN, 형상 300(B) × 400(L) × 89(H) mm를 적용하였다. 탄성받침은 Elastic link로 모델링하였으며, 이때의 압축 스프링 계수는 333.42kN/m, 전단 스프링 계수는 1840.0kN/m이다.

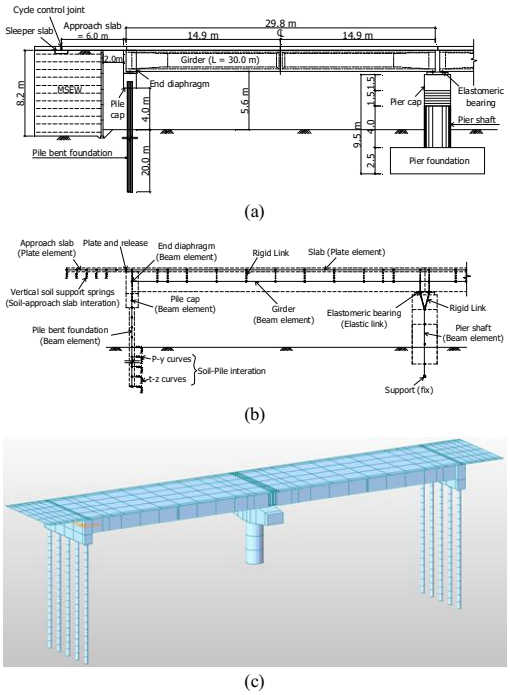



Fig. 7. Structural analysis model for IPM bridge (a) Section view; (b) Numerical model, (c) 3D model (60.0m with 2-span bridge)

Fig. 7 (b)는 IPM Bridge의 구조해석 모델을 나타낸 것이다. 거더, 말뚝, 교대 벽체는 휨을 받는 부재이므로 모두 보요소로 모델링하였다. 바닥판과 접속슬래브는 모두 판요소로 모델링하였다. 그리고, 바닥판과 거더는 모두 강체 연결(Rigid link)하였다. Fig. 7 (c)는 2경간 60.0m의 IPM Bridge의 구조해석 모델을 나타낸 것이다.

IPM Bridge의 파일벤트와 접속슬래브에서는 지반과 구조 부재의 상호작용이 발생된다. 접속슬래브와 지반의 상호작용은 수직 지반 스프링으로 모델링하였다. 스프링 강성은 고속도로공사 전문시방서(2012)[16]에 제시된 노상 지지력계수인 200 MN/㎥을 적용하였다.

기존 연구에서와 제시된 바와 같이, IPM Bridge의 거동에 가장 큰 영향을 미치는 요소 중 하나인 말뚝과 지반의 상호작용을 해석하기 위해, 구조물기초설계기준 해설(2009)[17]에 제시된 Reese et al. (1974)[18]공식으로 p-y곡선을 적용하였다. 표준관입시험의 N값이 20일 때로 지반을 가정하였으며, 이 경우의 p-y곡선은 Fig. 8에 보인 다선형 스프링으로 모델링하였다.

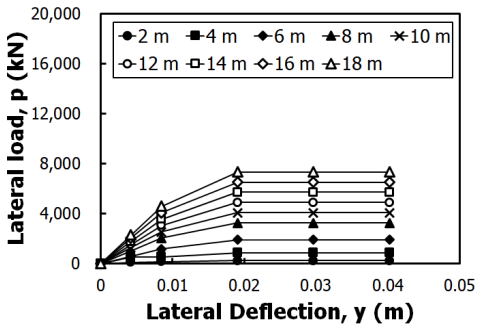



Fig. 8. Multi-linear spring based on soil conditions

### 3.3 라멘교의 구조해석 모델

IPM Bridge에 대응되는 라멘교의 구조해석 모델은 Fig. 9에 제시하였다. Fig. 9 (a)는 IPM Bridge의 형상조건을 고려한 동일 조건의 라멘교 단면도이다. 슬래브의 두께는 0.9m이고, 벽체의 높이는 10.0m이다. 경간장 30.0m마다 두께 1.0m의 벽체를 추가로 모델링하였다. 따라서, 교량의 경간장과 총 연장은 IPM Bridge와 라멘교가 동일하다. Fig. 9 (b)는 라멘교의 구조해석 모델이다. 라멘교의 슬래브와 벽체 그리고 날개벽까지 모두 판요소로 모델링하였으며, 라멘교의 벽체 하부는 고정점으로 설정하였다. Fig. 9 (c)는 4경간 120.0m의 라멘교의 구조해석 모델이다.

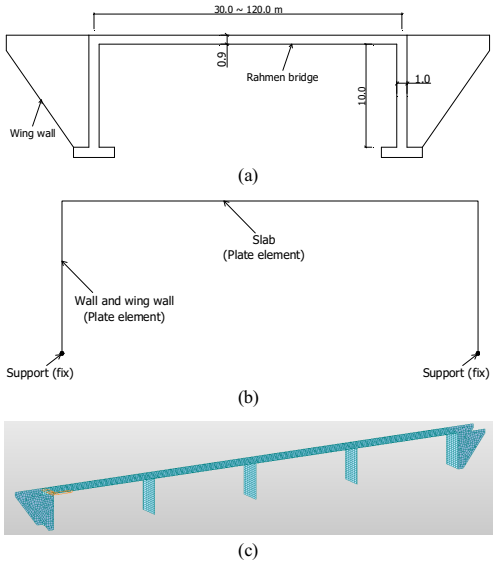



Fig. 9. Structural analysis model for rahmen bridge; (a) Section view, (b) Numerical model, (c) 3D model (120.0m with 4-span bridge)

## 4. 구조해석 결과

단부가 강결된 IPM Bridge와 라멘교의 구조해석 결과를 분석하여, 두 교량의 단부 모멘트와 변위를 비교검토하였다. IPM Bridge의 경우 가장 큰 모멘트가 발생되는 파일벤트의 두부(head)에서 산정된 모멘트와 변위를 분석하였다.

Fig. 10은 IPM Bridge와 라멘교의 휨모멘트를 경간(30.0m)별로 비교한 것이다. 라멘교에서는 단경간 30.0m에서 가장 큰 휨모멘트가 발생되었다. 단경간에서는 상부구조의 수평변위와 수직하중을 라멘교의 벽체가 모두 지지하지만, 2경간부터는 라멘교의 중앙에 설치된 벽체가 이를 추가적으로 분담하기 때문이다.

Fig. 10에 제시된 휨모멘트는 상부구조가 수축되며 발생되는 정방향 휨모멘트이다. IPM Bridge는 교각의 교량받침에 의한 수직과 전단 방향의 거동이 탄성 스프링에 의해 지지되므로, 4경간 120.0m일 때 상부구조의 수축량이 가장 크게 된다. 그러므로, IPM Bridge는 4경간 120.0m에서 가장 큰 휨모멘트가 발생되었다.

Fig. 10에서 발생된 휨모멘트에 따라 라멘교는 슬래브와 벽체의 연결부에 인장철근을 설계하게 되며, IPM Bridge는 파일벤트의 두부에서 발생되는 휨모멘트가 강관말뚝의 소성모멘트를 초과하는지 여부를 검토하게 된다. Park and Nam (2018)[8]의 연구 결과에서, 강관말뚝 508×12t의 소성모멘트를 470.0 kN·m로 산정하였으며, 4경간 120.0m에서도 이를 초과하지 않았다.

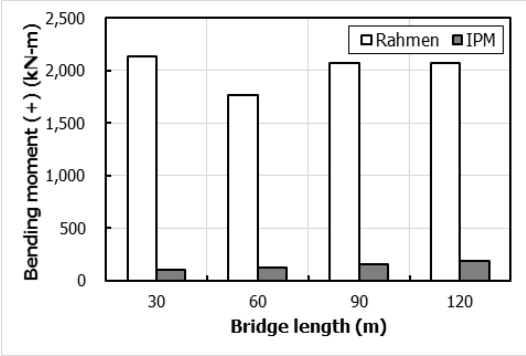



Fig. 10. Comparison of bending moment of IPM bridge and rahmen bridge

Fig. 11은 IPM Bridge와 라멘교의 수축방향 수평변위를 비교한 것이다. 수평변위는 교축방향으로 수축될 때의 변위이다. Fig. 10의 휨모멘트가 발생될 때의 변위가 Fig. 11에 제시된 수평변위이다. 라멘교는 4경간 120.0m에서 13.34mm의 수평변위가 수축방향으로 발생되었고, IPM Bridge는 4경간 120.0m에서 23.56mm의 변위가 발생되었다. Fig. 10에 제시된 바와 같이, 벽체와 슬래브가 강결된 라멘교가 약 10배 큰 휨모멘트가 발생되었고, 반대로 변위는 작게 발생되었다. IPM Bridge는 Fig. 4에 제시된 바와 같이, 유연성을 가진 파일벤트가 지지하므로 휨모멘트는 라멘교보다 훨씬 작게 발생되었고, 반대로 변위는 더 크게 발생되었다. 4경간 120.0m에서 발생된 변위가 교량의 허용 수평변위인 25.0mm (1 in)를 초과하지 않았다. 하지만, 4경간 IPM Bridge 길이 120.0m에서 23.56mm의 변위가 발생되어, 수축방향의 수평변위가 설계지침에 제시된 조인트 교량의 허용기준인 25mm에 근접하므로 설계단계에서 이에 대한 검토가 필요하다.

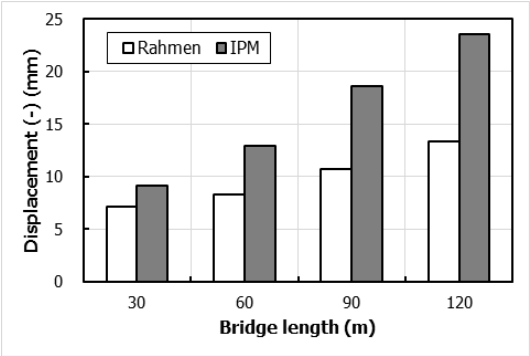



Fig. 11. Comparison of contraction displacement of IPM bridge and rahmen bridge

Fig. 12는 IPM Bridge와 라멘교의 부 휨모멘트를 비교한 것이다. 라멘교에서는 단경간 30.0m에서 가장 큰 부 휨모멘트가 발생되었다. 이는, 정방향의 휨모멘트와 동일하게, 단경간에서는 상부구조의 수평변위와 수직하중을 라멘교의 벽체가 모두 지지하고, 2경간부터는 라멘교의 중앙에 설치된 벽체가 추가 지지하기 때문이다. 발생된 휨모멘트는 정방향보다 부방향이 약 2.5배 크게 산정되었다.

IPM Bridge의 부 휨모멘트는 단경간 30.0m에서 가장 큰 휨모멘트가 발생되었다. 그 이유는 온도팽창에 의해 수평변위가 발생되면, 단경간일 때는 양단 모두가 파일벤트로 지지되고, 2경간부터는 한쪽 단만 파일벤트로 지지되기 때문이다.

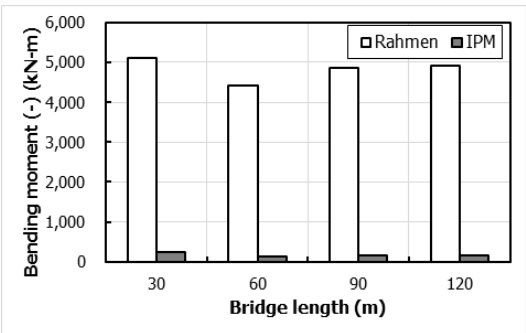



Fig. 12. Comparison of negative bending moment of IPM bridge and rahmen bridge

Fig. 13은 IPM Bridge와 라멘교의 팽창방향 수평변위를 비교한 것이다. 팽창방향 수평변위는 IPM Bridge가 라멘교보다 크게 산정되었다. 라멘교는 수축방향보다 팽창방향의 변위가 상대적으로 작게 산정되었다. 그 이유는 벽체 배면 지반의 수동토압으로 팽창방향의 수평변위를 저항하기 때문이다.

IPM Bridge는 Fig. 12와 같이, 양단이 파일벤트로 지지되는 단경간에서 가장 큰 팽창방향의 수평변위가 발생되었다. 팽창방향이 수축방향보다 작게 산정된 것은 교대와 일체화된 접속슬래브가 수직방향의 지반 스프링에 지지되기 때문이다.

두 교량 형식에서 휨모멘트는 수축방향의 부 휨모멘트가 크게 산정되었고, 수평변위는 수축방향이 크게 산정되었다. 실제 설계에서는 부재력에 대한 안정성을 확보하는 것이 중요하므로, 팽창방향의 부 모멘트에 대한 검토가 가장 중요한 것으로 나타났다.

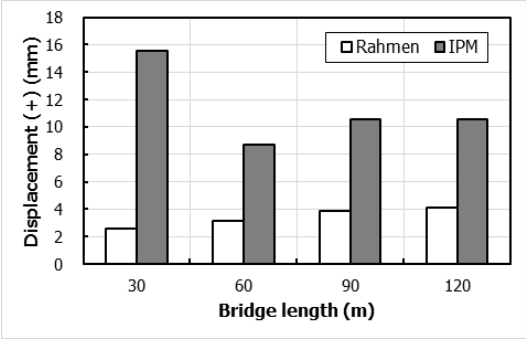



Fig. 13. Comparison of expansion displacement of IPM bridge and rahmen bridge

## 5. 결 론

본 연구에서는 단부가 강결된 라멘교와 IPM Bridge의 거동을 분석하기 위해, 두 교량 모델의 구조해석을 수행한 후 비교·검토하였다. 본 연구로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

1) IPM Bridge는 상부구조의 수평변위를 강관말뚝의 파일벤트가 지지하고, 라멘교의 경우 강결조건이므로, 단부의 휨모멘트는 라멘교가 크게 산정되었고, 수평변위는 IPM Bridge가 크게 산정되었다.
2) 라멘교는 슬래브와 벽체가 강결되므로, 교량의 연장보다는 경간장에 의해 휨모멘트가 크게 도출되

었다. 따라서, 설계에서 경간장에 대한 허용 휨모멘트를 고려하는 것이 필요하다.

3) IPM Bridge의 파일벤트는 설계지침에 제시된 최대 연장 120.0m에서도 강관말뚝의 소성모멘트를 초과하지 않았다. 하지만, 수축방향의 수평변위가 조인트 교량의 허용기준인 25mm에 근접하므로 설계단계에서 이에 대한 검토가 필요하다.

4) 두 교량 형식에서 휨모멘트는 수축방향의 부 휨모멘트가 크게 산정되었고, 수평변위는 수축방향이 크게 산정되었다. 실제 설계에서는 부재력에 대한 안정성을 확보하는 것이 중요하므로, 부 모멘트에 대한 검토가 가장 중요한 것으로 나타났다.

## References


[1] H. B. Kim, T. S. Kim, J. S. Park, H. S. Han, "Analysis of Minimum Penetrated Depth of Pile bent of IPM Bridge". Journal of the Korean Geo-environmental Society, Vol.18, No.5, pp.45-53, 2017.
DOI: https://doi.org/10.14481/jkges.2017.18.5.45

[2] W. S. Kim, J. A. Laman, "Integral abutment bridge behavior under uncertain thermal and time-dependent load", Structural Engineering and Mechanics, Vol.46, No.1, pp.53-73, 2013.
DOI: https://doi.org/10.12989/sem.2013.46.1.053

[3] S. M. Olson, K. P. Holloway, J. M. Buenker, J. H. Long, J. M. LaFave, "Thermal behavior of IDOT integral abutment bridges and proposed design modifications", FHWA-ICT-12-022, Illinois Center for Transportation, Illinois, pp.1-63, 2013.

[4] S. Arsoy, J. M. Duncan, R. M. Barker, "Behavior of a Semiintegral Bridge Abutment under Static and Temperature-Induced Cyclic Loading", Journal of Bridge Engineering, Vol.9, No.2, pp.193-199, 2004.
DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2004)9:2(193

[5] M. Dicleli, S. M. Albhaisi, "Maximum length of integral bridges supported on steel H-piles driven in sand", Engineering structures, Vol.25, No.12, pp.1491-1504, 2003.
DOI: https://doi.org/10.1016/S0141-0296(03)00116-0

[6] M. Feldmann, J. Naumes, D. Pak, M. Veljkovic, M. Nilsson, J. Eriksen, P. Collin, O. Kerokoski, H. Pétursson, M. Verstraete, "Economic and durable design of composite bridges with integral abutments", European Commission Joint Research Centre, pp.140, 2010.
DOI: https://doi.org/10.2777/91014

[7] M. S. Nam, J. N. Do, T. S. Kim, Y. H, Park, H. J. Kim, "Development of IPM Bridge", Korea Expressway Corperation Research Institute: Korea, 2016.

[8] M. C. Park, M. S. Nam, "Behavior of integral abutment bridge with partially protruded piles", Geomechanics and Engineering, Vol.14, No.6, pp.601-614, 2018.
DOI: http://dx.doi.org/10.12989/gae.2018.14.6.601

[9] M. C. Park, M. S. Nam, "Numerical Analysis of the Behavior of an IPM Bridge According to Super-Structure and Sub-Structure Properties", Sustainability, 10(3), 833, 2018.
DOI: https://doi.org/10.3390/su10030833

[10] M. Dicleli, S. Erhan, "Effect of soil and substructure properties on live-load distribution in integral abutment bridges", Journal of Bridge Engineering, Vol.13, No.5, pp. 527-539, 2008.
DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2008)13:5(527)

[11] T. S. Kim, "Performance Verification and Behavior Analysis of Integrated and Pile Bented Abutment with Mechanically Stabilized Earth Wall Bridge(IPM Bridge)", Thesis paper, Kumoh National Institute of Technology. 2017.

[12] VTrans IAC. "Integral Abutment Bridge Design Guidelines, 2ed. VTrans Structures Section", Montpelier, Vermont: the State of Vermont, Agency of Transportation, 2008.

[13] MLTMA, "Road design manual", Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2008.

[14] CEB-FIP, "Model code 1990." Bulletin d'Information, 1990.

[15] KEC (2016). "IPM Bridge design Guidelines", Korea Expressway Corperation.

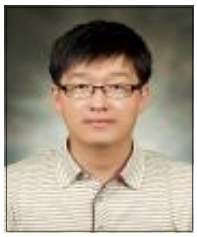
[16] KEC (2012). "Expressway Construction Guide Specification." Korea Expressway Corperation.

[17] L. C. Reese, W. R. Cox, F. D. Koop, "Analysis of laterally loaded piles in sand", Offshore Technology in Civil Engineering Hall of Fame Papers from the Early Years, OTC 2080, pp.95-105, 1974.
DOI: https://doi.org/10.4043/2080-MS

[18] Korean Geotechnical Society, Structure foundation design standards specification, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2015.



신 근 식(Keun-Sik Shin) [정회원]



- 1996년 8월 ~ 현재 : 한국도로공사 근무
- 2012년 8월 : 경북대학교 일반대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 일반대학원 토목공학과 박사과정

<관심분야>
토질및기초, 보강토옹벽, 토류구조물

한 희 수(Heui-Soo Han) [정회원]

- 1991년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과 (공학석사)
- 1999년 12월 : South Dakota School of Mines Technology (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
토질 및 기초, 사면안정, 보강토옹벽