

슬라이딩 거더를 가진 라멘의 온도거동과 구조효율

정달영¹, 정창현², 임성순^{1*}
¹서울시립대학교 토목공학과, ²(주)티앤산업

Thermal Behavior and Structural Efficiency of Rahmen with Sliding-Girder

Dal-Yeong Jeong¹, Chang-Hyun Jeong², Sung-Soon Yhim^{1*}

¹Department of Civil Engineering, University of Seoul

²THINKING & NEW TECHNOLOGY INDUSTRY CO.,LTD

요약 일반라멘가교의 거동에 영향을 미치는 여러 하중들 중에서 온도하중은 중요한 하중임에도 불구하고 이에 대한 충분한 검토가 부족한 실정이다. 일반라멘가교의 온도하중에 의한 응력을 감소시키기 위해서는 열변형으로 인한 거더의 수평변위는 자유롭고, 발생내력은 최소가 되도록 하여야 한다. 슬라이딩가교는 일반라멘가교와 달리 온도하중으로 인한 축방향 변형을 허용하여 축응력을 감소시키고 휨응력은 전달시키는 구조이다. 본 연구는 슬라이딩거더를 가진 라멘가교의 온도거동과 구조효율성을 일반라멘가교와 비교하여 분석하였다. 분석을 위하여 경간장 10, 20, 30, 40m, 교각높이 2, 4, 6m의 경우에 대하여 일반라멘가교와 슬라이딩가교의 구조해석을 수행하였다. 하중은 연직 고정하중과 축방향 온도하중을 재하하고, 마찰계수는 매끄러운 상태와 윤활상태의 중간인 0.4를 적용하였다. 구조해석결과 슬라이딩가교는 온도하중 증가에 관계없이 경간장 증가에 따라 응력이 증가하며 일반라멘가교는 온도가 증가하거나 경간장이 증가할수록 응력이 증가하였다. 일반라멘가교에 비해 슬라이딩가교의 거더 중앙부 응력은 20에서 50%, 교각 하단부 응력은 50에서 90% 감소하였다. 따라서 온도하중이 작용하는 슬라이딩가교는 축응력이 감소하며 동일 제원의 일반라멘가교와 비교하여 구조효율성을 확보할 수 있다.

Abstract Although the temperature load is an important load among the various loads affecting the behaviors of general rahmen-type temporary bridges (GRTB), no study of the thermal load has been carried out. In the case of GRTB, horizontal displacement should be free, and the generated internal force should be minimized to reduce stress due to a temperature load. Sliding girder type bridge (SGTB) allows the axial deformation due to thermal load, and decreases the axial stress and delivers bending stress. This study examined the temperature behavior of an SGTB. Structural analysis was carried out for four types of spans (eq. 10, 20, 30, and 40m) and three types of pier heights (eq. 2, 4, and 6m) along with the GRTB. The applied loads were a fixed vertical load and an axial temperature load. The friction coefficient was 0.4, which is a representative value of a steel girder. Consequently, the stress of the SGTB increased with increasing span length, regardless of the temperature load. The stress of the GRTB increased with increasing temperature and span length. Compared to the GRTB, the stress of the SGTB decreased by 20% to 50% at the center of the girder and by 50% to 90% at the bottom of the pier. This could secure the structural efficiency compared to the GRTB with the same specifications.

Keywords : Rahmen Bridge, Sliding-Girder, Structural Efficiency, Temperature Load, Thermal Deformationm

*Corresponding Author : Sung-Soon Yhim(University of Seoul)

email: yhimss@uos.ac.kr

Received September 9, 2019

Accepted January 3, 2020

Revised October 28, 2019

Published January 31, 2020

1. 서론

현재 국내에서 사용되는 라멘가설교량은 상부구조에 신축이음부가 없으므로 온도변화에 의하여 부재에 축력과 모멘트가 발생하게 된다. 즉, 축방향 열변화로 인하여 온도하중이 발생하고 이는 부재의 축력을 유발하게 된다. 또한 거더의 상연과 하연 온도차로 인하여 모멘트가 발생할 수도 있다. 최근 건설기술력이 발전하면서 가교도 장경간화 되고 다경간 구조체를 나타내므로 부정정차수도 증가하며 온도하중이 구조거동에 큰 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다. 따라서 기존 라멘가교의 문제점을 보완하기 위하여 온도하중이 발생할 때, 거더 길이가 변하고 발생내력을 최소화하여야 한다. 이와 같은 열응력을 최소화하기 위한 연구는 많이 시도되어 왔다.[1-3] 하지만 기존 연구는 일반 거더교의 온도영향에 대한 연구가 주를 이루었고[4-9] 가설교량의 온도영향에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 특히, 슬라이딩거더라는 신형식가교에 대한 기존연구는 전혀 없는 상태이다. 본 연구의 해석 모델과 가장 유사한 연구로서, 정창수(2011)의 다경간 가설교량을 위한 단부 수평가동-수직구속 부재를 이용한 라멘공법이 소개된 바가 있다.[11] 본 연구의 슬라이딩 거더는 정창수의 라멘공법과 같이 수평방향으로 가동단이나 수직방향과 회전방향이 강제로 이루어졌다는 점에서 차이점을 나타낸다.

슬라이딩거더 가교는 새로운 형식의 구조체이므로 연구대상 가교는 온도변화에 의한 축응력의 변화를 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 슬라이딩거더 시스템을 이용한 가교에 대하여 일반라멘가교와 동일한 조건에서 특정 설계변수를 선택하여 온도변화에 따른 해석을 수행하고 해석결과로부터 온도거동 분석을 연구목적으로 한다.

2. 슬라이딩가교

2.1 슬라이딩가교의 특징

2.1.1 그림, 표, 수식

슬라이딩거더는 기존 강재가교의 교각부에 설치되는 교축방향 상부거더가 온도하중으로 인하여 수평방향으로 이동할 수 있도록 설계된 거더이다. 일반적인 라멘가교는 상부거더 온도하중으로 인하여 가교의 구조적 안정성에 문제가 발생할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 온도하중에 의한 수평방향 신축이 가능한 슬라이딩

거더를 교각상부에 설치하였다. 슬라이딩거더는 거더 단부가 내·외측 박스로 구성되어 있다. 슬라이딩거더 외측 박스는 하부 교각에 고정되어 있고 내측박스는 온도하중에 의한 축변형이 발생하면 자유롭게 수평 이동하며 내·외측 박스 사이에 PTFE 패드 미끄럼판이 설치되어 있다. 본 연구에 적용한 슬라이딩거더가교의 일반적인 구성은 Fig. 1과 같은 강재가교이다.

슬라이딩가교는 교각상부에 설치된 슬라이딩거더로 인하여 교축방향 수평이동이 가능하므로 온도하중에 의한 축응력은 발생하지 않는다. 슬라이딩에 대한 상세 개요는 Fig. 1에 나타내었다. 다경간가교는 부정정차수가 높아 온도변화와 같은 초기응력문제에 민감한 응답을 나타낼 수 있지만 부정정차수가 낮아지면 그 응답은 반감될 수 있다. 본 연구는 온도변화에 대한 슬라이딩거더의 거동분석을 연구목적으로 선택하였으므로 슬라이딩효과가 적은 단경간 가교만을 선택하였다.

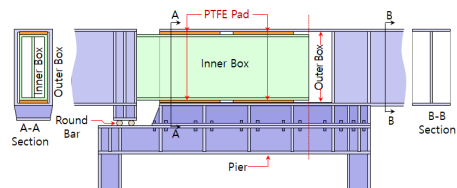


Fig. 1. Sliding Girder

3. 온도해석이론

3.1 수평스프링연결 라멘의 온도해석

수평스프링연결 라멘구조는 보와 기둥이 만나는 연결부 좌단이 강절점 구조이고 우단이 수평스프링으로 연결된 구조이다. 이 구조는 본 연구의 슬라이딩거더 가교와 동일한 구조형식에 해당한다.

우측기둥 상단에 설치한 수평스프링은 수평방향 변위가 가능하고 회전은 구속된 구조이다. 기둥의 하단은 양쪽모두 회전 및 변위가 구속된 경계조건을 나타낸다. Fig. 2의 해석모델은 보에 등분포 고정하중 w 과 상연과 하연의 온도차에 의한 온도하중 F_T , M_T 를 받는 스프링연결 3차 부정정구조이다. 온도변화로 인하여 라멘구조의 보는 축력과 모멘트가 발생하며 수평방향 변위도 발생하게 된다.

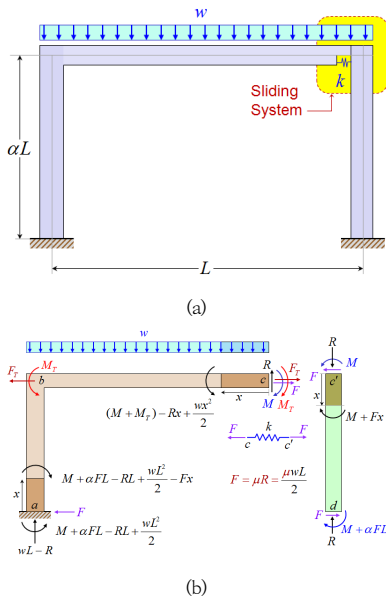


Fig. 2. Rahmen with horizontal Spring
(a)Analysis model
(b)Free body diagram

4. 슬라이딩가교의 수치시물레이션

4.1 개요

본 연구의 분석대상교량은 슬라이딩거더를 설치한 가교이다. 슬라이딩거더를 적용하지 않은 일반라멘가교와 달리 슬라이딩거더를 설치한 슬라이딩가교는 축방향 온도하중에 대한 축응력이 작으므로 상부거더 및 하부 교각에 발생하는 조합응력이 일반라멘가교에 비하여 감소하게 된다. 슬라이딩거더의 수평이동에 따른 마찰계수는 슬라이딩가교의 전체적인 단면력에 영향이 있다. 즉 마찰계수의 변화에 따라 축방향 온도응력이 달라지며 이는 교각의 휨응력에 영향을 주게 된다. 본 연구는 슬라이딩거더가교의 온도거동 분석이 목적이므로 일반라멘가교와 슬라이딩가교의 구조해석을 통하여 상부거더 및 하부교각에 발생하는 단면력을 비교 분석하였다. 슬라이딩가교의 온도하중에 의한 거동분석을 위하여 일반라멘가교와 슬라이딩가교에 대한 구조해석을 수행하였다. 해석모델은 경간장변화, 교각의 높이변화, 온도하중을 매개변수로 선정하여 강재의 마찰계수 0.4에 대한 구조해석을 수행하였다.

4.2 해석방법

구조해석은 선형탄성범위에서 수행하였고 모든 하중을

정적하중으로 치환한 상태에서 정적해석을 수행하였다. 거더의 상재하중은 2차하중을 포함하여 거더와 데크의 자중과 온도변화에 의한 온도하중을 정적하중으로 선택하였다.

해석모델은 2차원 라멘구조를 적용하였다. 슬라이딩거더와 교각의 연결요소는 수평이동이 가능하고 연직변위와 회전자유도가 구속된 링크요소를 적용하였다. 해석도구는 실무에서 널리 사용하는 유한요소해석 프로그램 Midas를 이용하였다.

구조해석에 적용되는 단면제원 및 적용하중은 슬라이딩가교와 일반라멘가교에 동일하게 적용하였으며 이에 대한 수치해석 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Analysis Data of Rahmen and Sliding Girder

Part	unit	Classification	Value	
Length (L, H)	m	Girder	H-900×300×16×28	10 ~ 40
		Pier	H-400×400×13×21	2, 4, 6
Area	m ²	Girder	H-900×300×16×28	3.098×10 ⁻²
		Pier	H-400×400×13×21	4.374×10 ⁻²
Moment of Inertia	m ⁴	Girder	H-900×300×16×28	4.110×10 ⁻³
		Pier	H-400×400×13×21	1.708×10 ⁻²
Height	m	Girder	H-900×300×16×28	0.9
		Pier	H-400×400×13×21	2.165
Modulus of Elasticity	kN/m ²	Girder, Pier		2.05×10 ⁸
Thermal Coefficient	1/℃	Sliding Girder		1.2×10 ⁻⁵

4.3 해석결과

4.3.1 하중 변화

하중변화는 거더자중을 포함하여 10에서 50℃까지의 온도변화를 적용하여 슬라이딩가교와 일반라멘가교의 응력들을 분석하였다. 온도거동 분석을 위하여, 경간장별 온도변화에 대한 슬라이딩가교와 일반라멘가교의 거더 중앙부와 교각 상·하단 응력을 비교하였다. 고정하중은 경간장 변화에서 적용하였던 등분포하중 7.43kN을 적용하였다.

경간장은 10에서 40m까지 적용하고 슬라이딩가교의 마찰계수는 0.4로 가정하고 온도변화에 따른 거동을 분석하였다. 이때 교각높이는 2, 4, 6m를 사용하였다. 결국, 슬라이딩가교와 일반라멘가교의 온도변화에 따른 온도거동분석은 고정하중+상승온도하중에 대한 구조응답만으로 제한하였다.

(1) 교각높이 2.0m

거더중앙부 응력은 Fig. 3과 같고 슬라이딩가교의 거

더 중앙부 응력은 온도변화와 무관하며 경간장 증가에 따라 증가분포를 나타낸다. 그러나 일반라멘가교는 동일한 경간장이어도 온도변화가 증가하면 응력도 증가한다.

일반라멘가교 거더 최대응력은 138MPa이 발생하며 슬라이딩가교는 58MPa이므로 일반라멘가교와 비하여 2.3배정도 적은 값을 나타낸다. 일반라멘가교는 경간장이 증가하면 온도변화의 영향이 크게 작용하며 응력 증가폭도 커짐을 알 수 있다.

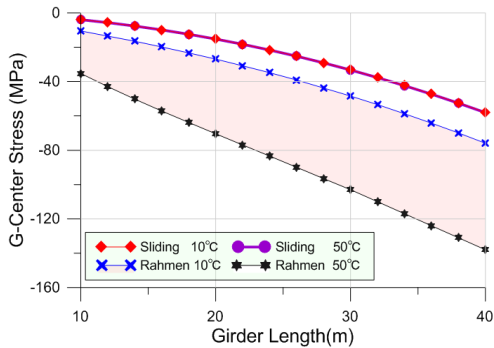


Fig. 3. Sliding and Rahmen G-Center Stress(Pier2m)

슬라이딩가교의 교각 상단부 응력은 Fig. 4에서와 같이 온도변화와 관계없이 경간장 증가에 따라 증가한다. 반면에 온도변화와 경간장이 증가하면 일반라멘가교의 교각 상단부 응력은 증가함을 알 수 있다. 일반라멘가교의 교각 상단부 응력은 거더 중앙부와 달리 경간장이 증가할수록 온도변화증가에 의한 응력차가 미소하게 감소한다. 슬라이딩가교와 일반라멘가교가 동일한 경간장인 교각 상단부 응력분포를 보면, 응력의 차이는 크지 않다. 온도변화가 50°C일 때, 경간장 변화에 의한 응력차이를 보면, 경간장 10m이면 응력차이는 6MPa이며 경간장이 40m이면 응력차이는 3MPa로 감소함을 알 수 있다.

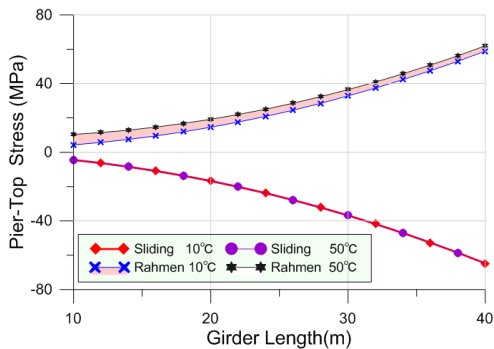


Fig. 4. Sliding and Rahmen Pier-Top Stress(Pier2m)

마찬가지로 Fig. 5와 같이 온도변화에 따라 슬라이딩가교의 교각하단부 응력차이는 없고 경간장 변화에 따라 응력이 증가한다. 반면에 일반라멘가교는 온도와 경간장 증가에 따라 교각 하단부 응력도 증가함을 알 수 있다.

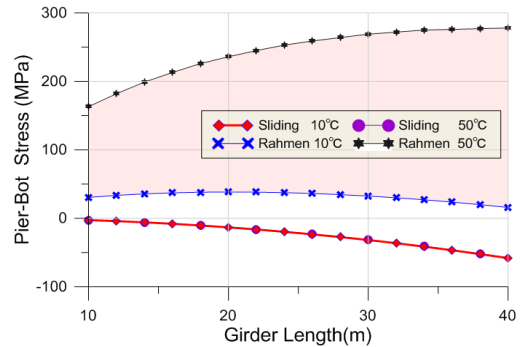


Fig. 5. Sliding and Rahmen Pier-Bottom Stress(Pier2m)

(2) 교각높이 4.0m

거더 중앙부 최대응력은 Fig. 6과 같고 슬라이딩가교 응력이 89.4, 일반거더 응력이 60MPa로 일반라멘가교와 비교하여 1.5배 적다. 또 Fig. 3과 비교하면, 일반라멘가교는 교각높이가 증가하면 거더 중앙부 응력은 감소함을 알 수 있다.

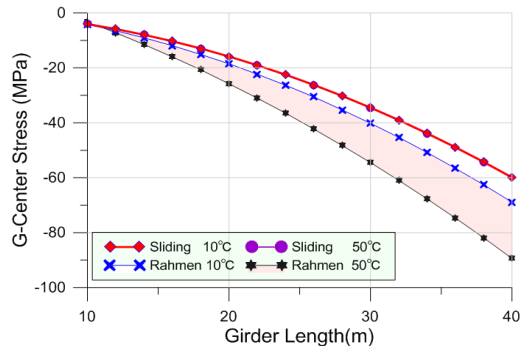


Fig. 6. Sliding and Rahmen G-Center Stress(Pier4m)

Fig. 7에서와 같이 슬라이딩가교의 교각 상단부 응력은 온도변화와 관계없이 경간장 증가에 따라 증가한다. 반면에 온도변화와 경간장이 증가하면 일반라멘가교의 교각 상단부 응력은 증가한다. 경간장이 40m이고 온도변화가 10과 50°C일 때, 교각 상단부 응력차이는 2MPa만큼 미소하게 증가하며 응력차이는 크지 않다.

슬라이딩 가교의 교각 하단부 응력은 온도변화에 따라

차이가 없고 경간장 변화에 따라 압축응력이 증가한다. 반면에 일반라멘가교는 온도변화와 경간장이 증가하면 인장응력이 증가한다. 일반라멘가교의 상부거더에 발생하는 온도하중에 의한 축변형으로 교각 하단부는 온도가 증가할수록 응력이 크게 증가하였다.

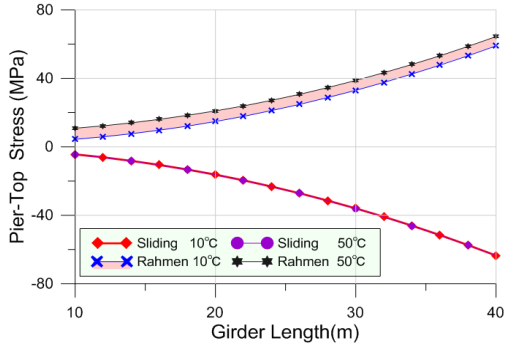


Fig. 7. Sliding and Rahmen Pier-Top Stress(Pier4m)

Fig. 8 슬라이딩 가교의 교각 하단부 응력은 온도변화에 따라 차이가 없고 경간장 변화에 따라 압축응력이 증가한다. 반면에 일반라멘가교는 온도변화와 경간장이 증가하면 인장응력이 증가한다. 일반라멘가교의 상부거더에 발생하는 온도하중에 의한 축변형으로 교각하단부는 온도가 증가할수록 응력이 크게 증가하였다.

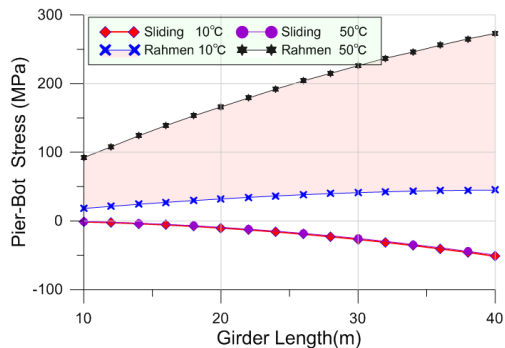


Fig. 8. Sliding and Rahmen Pier-Bottom Stress(Pier4m)

(3) 교각높이 6.0m

슬라이딩가교와 일반라멘가교에 대하여 온도하중이 10에서 50°C까지 변하고 경간장에 따른 거더 중앙부, 교각상단부, 교각하단부 응력분포는 Fig. 9, 10, 11과 같다. Fig. 9를 보면, 슬라이딩가교의 거더 중앙부 최대응력은 62MPa이며 일반라멘가교는 68.4MPa이므로 슬라이딩거더 응력이 1.1배 적게 발생하였다. 슬라이딩가교에 대하여 온도변화 10에서 50°C까지 증가하고 경간장에 따른 거더 중앙부 응력은 교각의 높이와 온도증가와 관계없이 60MPa를 넘지 않는다. 반면에 일반라멘가교는 경간장이 증가할수록, 교각높이가 작을수록, 온도상승에 따라 거더 중앙부 응력이 증가하게 된다. 경간 40m인 거더 중앙부 최대응력은 교각높이가 2, 4, 6m일 때 각각 114.7, 81.7, 66.9MPa이 발생한다. 이는 동일한 경간장과 교각높이를 가진 슬라이딩가교에 비하여 단면증가와 구조효율이 떨어짐을 알 수 있다.

Fig. 10을 보면, 슬라이딩가교의 교각 상단부 응력은 교각높이와 온도변화에 관계없이 큰 차이가 없으나 경간장 변화에 따라 응력이 증가함을 알 수 있다. 일반라멘가교는 온도가 증가하고 경간장이 증가하면 응력이 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 11과 같이 슬라이딩가교의 교각 하단부 응력은 교각높이와 온도변화보다 경간장 증가에 따라 더불어 증가함을 알 수 있다. 반면에 일반라멘가교는 교각높이가 낮고 온도변화가 증가할수록 교각 하단 응력이 증가한다.

Fig. 10을 보면, 슬라이딩가교의 교각 상단부 응력은 교각높이와 온도변화에 관계없이 큰 차이가 없으나 경간장 변화에 따라 응력이 증가함을 알 수 있다. 일반라멘가교는 온도가 증가하고 경간장이 증가하면 응력이 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 11과 같이 슬라이딩가교의 교각 하단부 응력은 교각높이와 온도변화보다 경간장 증가에 따라 더불어 증가함을 알 수 있다. 반면에 일반라멘가교는 교각높이가 낮고 온도변화가 증가할수록 교각 하단 응력이 증가한다.

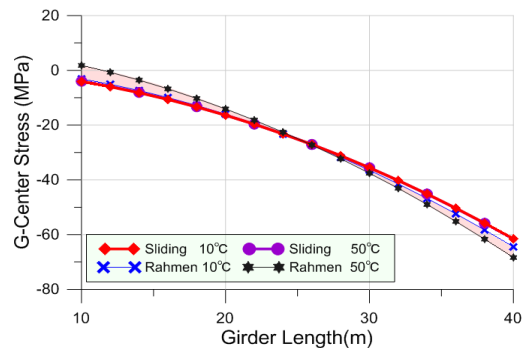


Fig. 9. Sliding and Rahmen G-Center Stress(Pier6m)

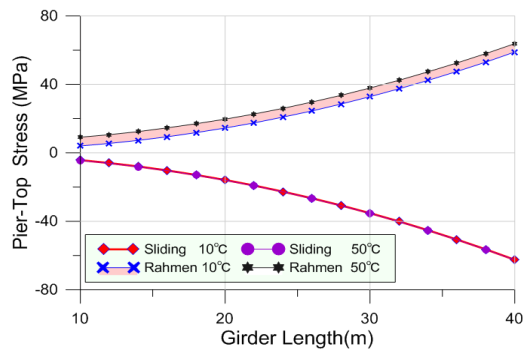


Fig. 10. Sliding and Rahmen Pier-Top Stress(Pier6m)

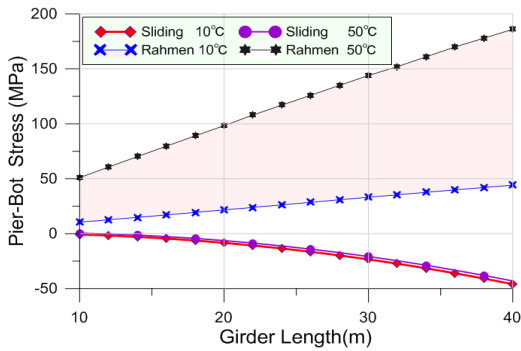


Fig. 11. Sliding and Rahmen Pier-Bottom Stress(Pier6m)

5. 결론

본 연구는 슬라이딩가교의 온도해석과 거동분석이 목적이므로 일반라멘가교와 슬라이딩가교에 온도하중을 재하하여 구조해석을 수행하고 각 부재의 응력을 분석하였다. 본 연구의 해석결과로부터 슬라이딩거더가교는 일반라멘가교에 비하여 구조적 효율성이 높으며 다음과 같은 사실을 확인 할 수 있다.

첫째, 슬라이딩거더가교는 온도하중에 의해 수평하중을 발생시키고 거더축력은 매우 작다. 일반 라멘가교는 수평변위가 작고 거더축력이 발생한다.

둘째, 거더중앙부 응력은 슬라이딩거더가교는 경간장증가에 비례하고 60MPa를 넘지 않으며, 교각높이 및 온도변화와는 무관하다. 일반라멘가교는 경간장 증가, 교각높이 감소, 온도변화 증가와 비례한다. 슬라이딩거더가교가 일반라멘가교에 비해 구조효율성이 좋다는 것을 알 수 있다.

셋째, 교각 상단부 응력은 슬라이딩거더가교는 온도증가에 상관없이 경간장의 길이에 영향을 받는다. 일반라멘가교는 온도증가, 경간장증가에 비례하여 응력이 증가한다.

넷째, 교각 하단부 응력은 슬라이딩거더 경간장증가에 따라 응력이 증가한다. 일반라멘가교는 온도와 경간장이 증가하거나 교각높이가 낮아질수록 응력이 증가하였다. 온도하중 35°C 일 때 슬라이딩가교의 교각 하단부 응력은 일반라멘가교보다 84% 감소하였다.

본 연구는 슬라이딩가교의 온도거동을 분석하기 위하여 거더에 축방향 온도하중을 재하하고 구조해석을 수행하였다. 해석결과를 보면, 슬라이딩가교는 온도하중이 증가하거나 경간장이 증가할수록 일반라멘가교보다 응력이 감소하여 구조효율성이 증가하는 것을 알 수 있었다.

References

- [1] Elbadry, M. M., A. Ghali, "Nonlinear temperature distribution and its effects on bridges," *International Association for Bridge and Structural Engineering*, Zurich, pp.169-191, Aug. 1983. DOI:<https://doi.org/10.5169/seals-37501>
- [2] Emanuel, J. H., L. L. Hulsey, "Temperature Distribution in Composite Bridges," *Journal of the Structural Division*, Vol.104, No.1, pp.65~78, 1978.
- [3] Dilger, W. H., et al, "Temperature stresses in composite box girder bridges," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.109, No.9, pp.1460-1478, June. 1983. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1983\)109:6\(1460](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1983)109:6(1460)
- [4] Dilger, W. H., J. C. Beauchamp, M. S. Cheung and A. hali, "Field Measurements of Muskwa River Bridge," *Journal of the Structural Division*, Vol.107, No.ST11, pp. 2147-2161, 1981.
- [5] Elbadry, M. M., et al, "Temperature variation in concrete bridges," *Journal of Structural Engineering*, ASCE. Vol. 109, No.10, pp.2355-2374, Oct. 1983. DOI:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1983\)109:10\(2355](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1983)109:10(2355)
- [6] Reynolds, J. C. and J. H. Emanuel., "Thermal stresses and movement in bridges," *Journal of the Structural Division*, Proceedings of the ASCE, Vol.100, No.ST1, pp.63-78, Jan. 1974.
- [7] Mirambell, E. et al, "Temperature and stress distributions in concrete box girder bridges," *Journal of Structural Engineering*, ASCE. Vol.116, No.9, pp.2388-2409, Sep. 1990. DOI:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1990\)116:9\(2388](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:9(2388)
- [8] Moorty, S. et al, "Thermal response of skewed bridges," *Development in short and medium span bridges engineering 90*, Canadian Society for Civil Engineering, Toronto, Canada, pp.343-353, Apr. 1990.
- [9] Rahman, F. and K. P. George, "Thermal Stress Analysis of Continuous Skew Bridge," *Journal of the Structure Division*, Vol.105, No.7, pp.1525-1541, 1979.
- [10] British Standards Institution, "Steel Concrete and Composite Bridges," Part 2 Specification for loads, BS5400: Part2:1978, pp.20-23, 1999.
- [11] Chang-Soo, Jung, "Rahmen-type Movable Joint System for Temporary Bridge," master's thesis, Yonsei University, 2011.

정 달 영(Dal-Yeong Jeong)

[정회원]



- 2013년 12월 ~ 현재 : 서울시 도시기반시설본부 안전관리과
- 2017년 2월 : 부산대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 서울시립대학교 토목공학과(박사과정)

<관심분야>

토목구조, 건설안전

정 창 현(Chang-Hyun Jeong)

[정회원]



- 2015년 02월 ~ 현재 : ㈜티앤산업
- 2019년 8월 : 서울시립대학교 토목공학과(공학석사)

<관심분야>

토목구조, 구조진동

임 성 순(Sung-Soon Yhim)

[정회원]



- 1987년 8월 : 서울대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1993년 1월 ~ 1999년 3월 : 서울시립대학교 토목공학과 조교수
- 1999년 4월 ~ 2004년 8월 : 서울시립대학교 토목공학과 부교수
- 2004년 9월 ~ 현재 : 서울시립대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

토목구조, 구조진동