

곡선 강박스 거더교의 가설중 거동 파악 연구

A Study on the Behavior of Steel Curved Girder Bridge during Construction

길 흥 배¹⁾ · 배 창 규²⁾ · 강 상 규³⁾
Gil, Heung Bae Pae, Chang Kyu Kang, Sang Gyu

요 약 : 원곡선교의 거동은 일반적인 직선교보다 복잡하여 교량의 해석 및 설계와 시공에 있어서 많은 주의를 요한다. 곡선교의 설계에는 일반적인 구조해석 프로그램이나 전용 프로그램에 의한 격자 해석이 주로 이용되는데 이들 해석 프로그램의 결과와 실제 곡선 교량의 거동에 대한 정합성을 비교 검토한 연구는 국내에서 아직까지 이뤄지지 않았다. 본 연구에서는 두 개의 교량-단경간 교량과 3경간 연속교-를 대상으로 현장 계측 및 범용 구조해석 프로그램과 3차원 정밀 해석 프로그램을 이용한 해석을 실시하여 곡선교의 거동에 대한 연구와 현 설계 방법에 대한 검증 실시하였다. 공정별 계측과 해석 결과는 서로 정량적인 차이를 보이고 있지만 정성적으로는 유사한 관계를 가지고 있었다. 플랜지의 횡 방향에 대한 응력의 변화가 관찰되었고, 격자 해석 모델이 3차원 정밀 해석 모델보다 보수 측의 해석 결과를 갖는 것으로 나타났다.

ABSTRACT : The behavior of steel curved bridges is more complicated than straight bridges, thus the analysis, design and construction process of curved bridges require much more attention. In design of curved bridges, the grillage analysis using general structural analysis program or special program is mainly used. Comparative study in coherence between these analytical results and actual behavior of curved bridges has been rarely conducted. To study the behaviour of curved bridges and verify the current design method, field measurements and analyses using general structural analysis program and 3-D refined analysis program were carried out for simple and continuous bridges in this study. The study focused on the behavior of curved steel bridges during construction. Measured and analytical results had quantitative difference mutually, but there were qualitatively similar. Stress variations in transverse direction of flange were observed and grillage analysis models yielded more conservative values than 3-D refined analysis models.

핵심 용어 : 곡선교, 박스 거더, 현장 계측, 격자 해석, 정밀 해석,

KEYWORDS : Curved bridge, Box girder, Field measurement, Grillage analysis, Refined analysis,

1. 서론

일정한 평면 곡률을 갖는 곡선 강교는 도로의 인터체인지와 램프 등에서 진출입 차량의 흐름을 원활하게 처리하기 위해 광범위하게 이용된다. 거더의 곡선 배치에 의해 발생하는 큰 비틀림 모멘트에 의해 이들 곡선교의 거동은 일반적인 직선교보다 복잡하며 국내에서는 비틀림 강성이 큰 강재 박스 거더교가 주로 사용되고 있다. 교량의 해석 및 설계와 시공에 있어서도 일반적인 직선 교량보다는 복잡하며, 많은 주의를

요한다.

곡선교를 설계하기 위한 구조 해석에서는 일반적인 구조 해석 프로그램이나 교량 전용 해석 프로그램을 이용한 격자 해석이 주로 사용된다. 정밀한 값이 요구될 때는 Shell 요소를 이용해 바닥판, 거더 등을 모델링하는 3차원 유한 요소 해석이 이용되기도 한다. 그러나, 이들 해석 프로그램의 해석 결과와 실제 곡선 교량의 거동에 대한 정합성을 비교 검토한 연구는 많이 이루어지지 않았으며, 특히 강·콘크리트 합성 거더교에 있어 바닥판과 주거더가 합성되기 전까지의 거동에

1) 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원
(Tel. 031-371-3330, Fax. 031-371-3339, E-mail: hgil@freeway.co.kr)
2) 한국도로공사 도로교통기술원 연구원
3) 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 연구원

본 논문에 대한 토의를 2006년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

대한 연구는 거의 없는 실정이다.

최근 Keller(1994)에 의해 3차원 유한 요소 해석 모델을 이용한 곡선 I 거더교의 비합성 및 합성 거동에 대한 연구가 실시되었다. 경간 길이, 거더 높이, 플랜지 폭, 거더 수, 곡률과 거더의 간격 등과 같은 매개 변수에 대한 연구를 실시한 결과에서 곡선 I 거더교의 거동은 곡률에 의해 가장 큰 영향을 받는 것으로 밝혀졌다. Linzell 등(2004)은 FHWA의 곡선 강교 연구 프로젝트(CSBRP) 일환으로 Full-scale 곡선 I 거더교의 가설 공정에 따른 거동을 파악하기 위한 연구를 실시하였다. 이 연구에서는 실험체에 대한 계측과 3차원 유한 요소 모델을 이용한 해석이 동시에 실시되었는데 유한 요소 해석을 통하여 교량의 가설 중 거동 예측에 대한 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 계측과 해석 결과 간에는 지점 반력, 변형량, 부재력 등에서 정량적인 차이가 있었고, 이런 차이는 해석 모델에서는 재현되지 않는 실험체의 제작과 가설 공정에서 비롯된 것으로 판단되며 이에 대한 명확한 원인 규명은 아직 이뤄지지 않은 상태이다. Topkaya(2002)는 텍사스주 도로국(TxDOT)의 주도로 실시된 연구에서 오픈 박스 거더교의 가설 공정에 대한 거동 예측 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 거더에 가장 큰 응력이 발생하는 바닥판 타설 진행에 따른 순차적 거동은 물론 타설 완료 후 양생 과정에서 발생하는 콘크리트와 거더의 준 합성 거동에 대한 영향까지 비교적 정확하게 확인할 수 있는 것으로 평가되고 있다. 국내에서도 곡선 강박스 거더교의 실험체를 제작하여 하중 재하 실험을 수행하고 3차원 정밀 해석 결과와 비교하여 단면 내 응력 분포에 대한 거동 예측을 실시한 바 있다(한금호 등, 2004). 그러나 아직까지 국내에서는 곡선 강박스 거더교의 시공 과정의 거동 분석에 대한 체계적인 연구는 실시되지 않았다.

본 연구에서는 시공 중 변형률 계측 및 범용 구조 해석 프로그램과 3차원 정밀 해석 프로그램에 의한 해석을 통하여 곡선교의 거동을 파악하였다. 시공 중 거동 파악을 위하여 시공 중인 두 개의 곡선교를 대상으로 바닥판 타설과 같은 교량의 자중 변화가 있는 경우 변형률을 계측하였다. 변형률 계측을 거더가 응력을 받지 않는 박스 거더의 현장 지조립 전에 부착되었으며 바닥판 타설 후까지 계측이 수행되었다. 범용 구조 해석 프로그램을 이용한 격자 해석과 ABAQUS(2002)를 이용한 정밀 해석을 수행하여 계측 결과와 비교하였다.

2. 대상 교량 현황

본 연구에서는 곡선교 거더의 무응력 상태에서부터 변형률

계측을 시작하기 위하여 가설 중인 단경간 교량과 연속교를 계측 대상으로 삼았다. 단경간 교량은 그림 1(a)과 같이 4개의 강재 박스 거더로 구성된 교량으로, 지간은 50m, 교폭은 15.6m이며 R=95m의 곡률 반경을 갖는다. 연속교는 그림 1(b)와 같이 3경간 2거더 교량으로 총 지간은 140m(40m+60m+40m), 교폭은 12.6m이며 R=350m의 비교적 큰 곡률 반경을 갖는다. 단경간 교량의 거더는 그림 2(a)와 같이 높이가 230cm, 폭은 180cm로서 직사각형 단면이고, 연속교의 거더는 그림 2(b)와 같이 높이가 내측 220cm, 외측 232cm, 폭은 240cm의 사다리꼴형 단면을 갖고 있다. 두 교량 모두 가로보는 5m 간격으로 배치되었으며, 단면 제원은 표 1과 같다. 대상 교량의 설계시 격자해석을 통해 파악한 계측지점에 작용하는 응력과 단면의 허용 응력은 표 2와 같다. 고정하중과 활하중이 작용할 때, 단경간 교량에서는 허용응력의 95%, 연속교에서는 허용응력의 84% 정도의 응력을 받도록 강재 부재가 설계되었다.

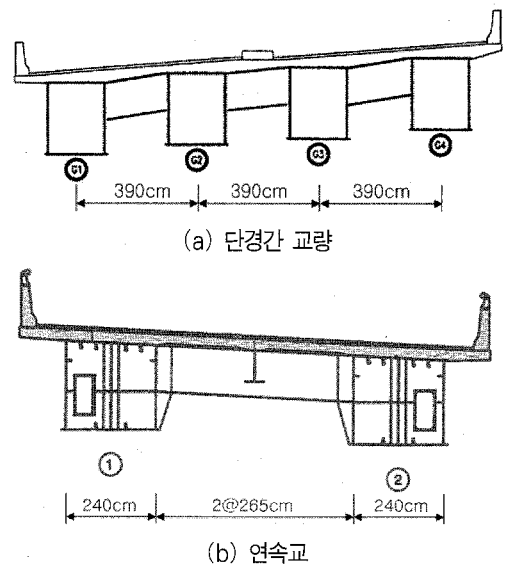
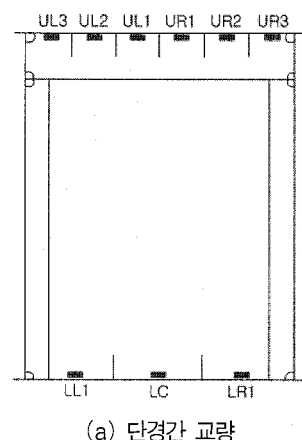
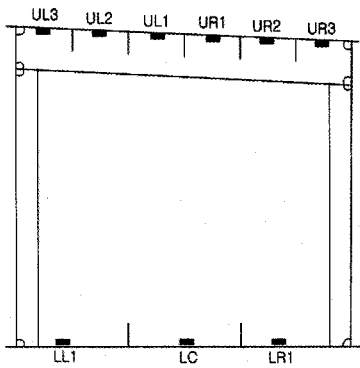


그림 1. 교량의 단면도





(b) 연속교

그림 2. 박스 거더의 단면도

표 1. 단면 부재의 치수(cm)

단면	단경간 교량	연속교
상부 플랜지	200×1.8	260×1.8
상부 리브	1.4×15	1.4×15
복부판	230×1.2	232(220)×1.2
하부 리브	1.4×15	1.4×15
하부 플랜지	200×2.8	264×1.8

표 2. 교량의 작용 응력과 허용 응력

구 분	작용 응력(MPa)		허용 응력(MPa)	
	상 부	하 부	상 부	하 부
단경간 교량	-175.4	178.7	214.3	186.3
연속교	-145.7	156.2	186.3	186.3

※ 하중 조합 : (1)+(2)+(3)

- (1) 합성전 고정하중에 의한 응력
- (2) 합성후 고정하중 및 활하중에 의한 응력
- (3) 건조 수축 및 Creep에 의한 응력

3. 계측 계획

변형률의 계측은 무응력 상태의 지조립에서부터 시작되었으며 주요 공정별로 변형률 계측을 진행하였다. 계측 장비의 채널 수 제한으로 인하여 교량의 거동을 전반적으로 계측하지 않고 외측 박스 거더의 1개소를 선정하여 거더 내부 변형률을 계측하였다. 변형률의 변화를 상세하게 모니터링하기 위하여 주요한 공정이 있는 경우에 5분~15분 간격으로 측정을 하였다. 계측을 통하여 얻어진 변형률은 응력과 변형률의 관계를 이용하여 응력으로 변환하였다.

3.1 온도 영향의 보정

현장에서의 구조물 거동 계측에서는 온도가 큰 영향을 미치므로 스트레인 게이지 자체에 대한 온도 영향뿐만 아니라 온도 변화에 의해 구조물에 발생하는 온도 변형에 대한 영향도 고려해야 한다. 그러므로 응력 측정에 있어서 필요하지 않은 온도 스트레인을 고정하중과 활하중에 의한 역학적 스트레인으로부터 분리해 내는 것은 중요한 부분중의 하나이다.

측정된 전체 스트레인 양에서 온도에 의한 스트레인을 제거하기 위하여 단경간 교량에는 지조립 상태에서부터 무응력 상태의 강판에 스트레인 게이지를 붙여 온도 보정 데이터를 측정하였고, 연속교에는 거더의 계측 지점에 주응력 방향으로 부착된 Active 게이지와 응력이 거의 발생하지 않는 부위에 부착한 Dummy 게이지로 Half Bridge를 구성하여 온도 보정을 실시하였다. 온도 보정은 대체적으로 만족스러운 결과를 보여주었으나 상부와 하부 플랜지의 온도차가 큰 낮 시간대에서는 하중의 변화가 없음에도 불구하고 응력의 불균형이 발생하였다. 이는 상·하부 플랜지의 종방향 변형의 차이로 인하여 발생하는 응력의 불균형으로 판단된다.

3.2 단경간 교량

그림 3에서 보는 바와 같이 단경간 교량에서는 곡선교의 일반적인 특성에 비추어 응력을 가장 많이 받을 것으로 예측되는 중앙부 최외측 G4 거더 내부의 상·하부 플랜지에 그림 2(a)와 같이 변형률 게이지를 부착하였다. 계측 진행은 그림 4와 같은 순서에 따라 실시하였으며 바닥판 타설시에는 타설 6일 전부터 연속 계측을 실시하여 타설 전·후 간 발생한 응력 변화에서 온도 응력을 정확히 제거하고자 하였다. 또한 바닥판 타설에 따른 거더와 바닥판의 합성 작용을 살펴보기 위하여 타설 완료 6일 후에도 2일간 계측을 시행하였다. 바닥판의 타설은 06:00에서 시작되어 12:30에 종료되었으며 Deck Finisher를 이용하여 A2에서 A1 방향으로 진행하였으며 내측의 G1과 G2 측을 먼저 타설하고 10m 정도 거리를 두고 외측의 G3와 G4 측을 타설하였다. 방호벽과 중분대가 설치된 후에도 응력 변화에 대한 계측을 실시하였다.

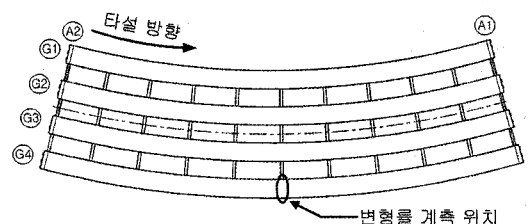


그림 3. 단경간 교량의 계측 위치 및 바닥판 타설 방향

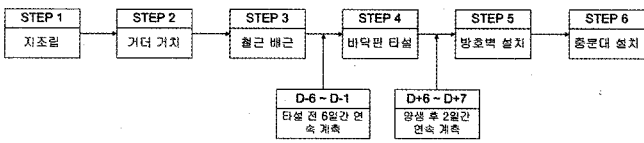


그림 4. 단경간 교량의 계측 절차

3.3 연속교

연속교에서는 그림 5와 같이 계측과 접근이 용이한 G1 거더의 측경간 중앙부 상·하부 플랜지에 그림 2(b)와 같이 변형률 게이지를 부착하여 변형률의 변화를 측정하였다. 계측 진행은 그림 6과 같으며 바닥판 타설시에는 바닥판의 타설 완료 후 양생의 진행에 따른 합성 작용의 영향을 관찰하기 위하여 타설 후 3일간 연속 계측을 실시하였다. 바닥판의 타설은 06:30에 시작되어 14:30에 종료되었으며 2차선 교량이므로 A2에서 A1 방향으로 교량 전폭을 동시에 타설하였다. 양측 방호벽이 타설된 후에도 변형률의 변화를 측정하였다.

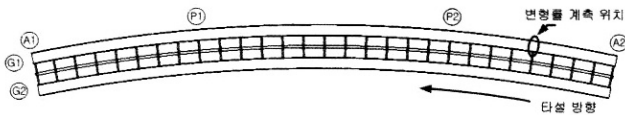


그림 5. 연속교의 계측 위치 및 바닥판 타설 방향



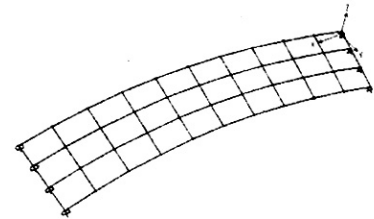
그림 6. 연속교의 계측 절차

4. 구조 해석

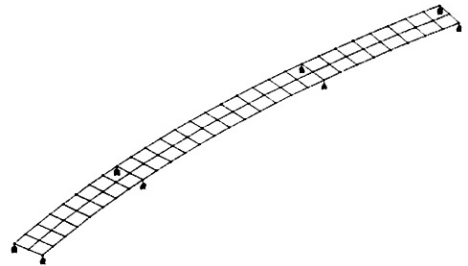
계측 결과의 검증 및 비교를 위하여 범용 구조 해석 프로그램인 SAP2000 7.4(2000)와 정밀 유한 요소 해석 프로그램인 ABAQUS 6.3(2002)을 사용하여 해석을 실시하였다. 계측 결과의 검증에 덧붙여 계측 결과와 두 가지 해석 프로그램에 의한 결과를 서로 비교해 봄으로써 곡선교의 설계에서 많이 사용하고 있는 SAP2000 7.4(2000) 등을 이용한 격자 해석 결과에 대한 신뢰도도 함께 평가해 보고자 하였다.

해석 모델은 바닥판 타설까지는 비합성, 바닥판 타설 후 방호벽 및 중분대 설치에 따른 응력의 변화를 고려하는 경우에는 합성 모델을 사용하였다. 해석 모델은 그림 7과 같으며 SAP2000 7.4(2000)를 이용한 격자 모델은 설계 구조 계산서와 동일하게 직선 프레임 요소가 사용되었고, ABAQUS 해

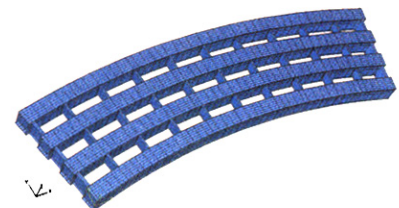
석 모델에서는 4절점 Shell 요소를 사용하여 박스 거더를 모델링하였으며, 바닥판에는 8절점 Solid 요소가 사용되었다. SAP2000의 해석 결과는 교량 설계에서 이용된 구조계산서와 차이가 없었다. SAP2000을 이용한 격자 해석 결과는 상부와 하부 플랜지의 대표 응력을 제시하지만, ABAQUS를 이용한 해석 결과는 상·하부 플랜지의 변형률 게이지 부착 위치의 응력을 직접 확인시켜 준다.



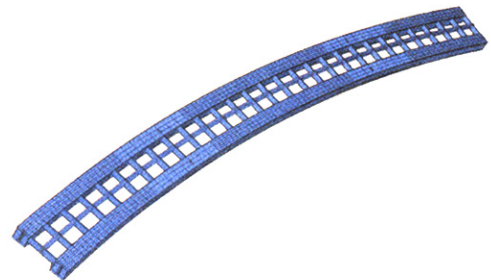
(a) 단경간 교량의 SAP2000 모델



(b) 연속교의 SAP2000 모델



(c) 단경간 교량의 ABAQUS 모델



(d) 연속교의 ABAQUS 모델

그림 7. 구조 해석 모델

5. 계측 결과

계측이 이루어진 주요 공정은 지조립 전부터 중앙분리대 설치까지이며 단경간 교량은 Step1~Step6(그림 4), 중앙분리대가 없는 연속교는 Step1~Step5(그림 6)까지 계측이 실시되었다. 단경간 교량의 계측 위치는 교량의 시간 중앙부로

서 상·하부 플랜지에 최대 응력이 발생하였으나, 연속교의 계측 위치는 제 1경간 중앙부로서 이 지점은 정 모멘트와 부 모멘트가 교차하는 부근으로 상·하부 플랜지에는 비교적 작은 응력이 발생하였다.

교량의 거동에 영향을 미치는 바닥판과 거더의 합성 작용은 타설 8시간 후부터 발생하고, 재령 28일까지 합성도가 증가하는 것으로 보고되었다(Topkaya, 2002). 따라서 바닥판 타설에 소요되는 시간이 8시간을 초과하게 될 경우, 8시간 후 타설되는 구간은 8시간 전에 타설된 구간에서 발생하는 합성 작용의 영향을 받게 된다. 계측이 수행된 대상 교량의 바닥판 타설 소요 시간은 8시간을 초과하지 않았지만, 본 연구에서는 타설이 완료된 후 시간의 경과에 따른 합성도의 증가가 교량의 거동에 어떤 영향을 미치는지를 파악하고자 타설 전·후 연속 계측을 실시하였다. 합성 작용이 시작되면 그림 8과 같이 거더의 중심축이 상승하여 플랜지에 작용하는 응력의 크기는 상부에서는 작아지고 하부에서는 커질 것으로 예상되었다. 그림 9를 살펴보면 단경간 교량에서 바닥판 콘크리트가 타설됨에 따라 상·하부 플랜지의 응력이 증가하였으며, 타설 7일 후에 상부에서는 응력의 변화가 거의 없었으며, 하부에서는 전체적인 응력의 증가가 관찰되었다. 하부 플랜지의 응력 변화는 바닥판의 건조 수축에 의해 발생한 것으로 판단된다. 표 3은 계측이 이루어진 시점의 각 부재 온도를 나타낸다.

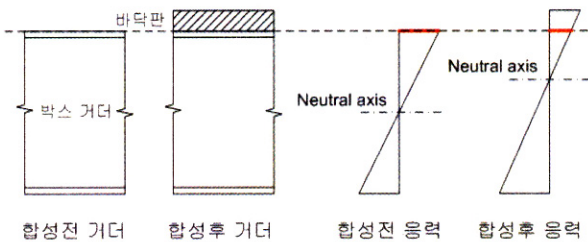
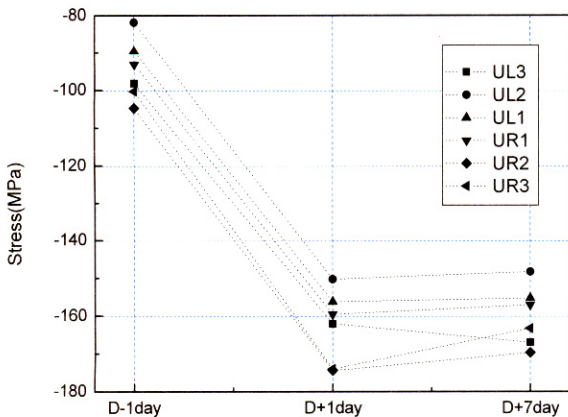
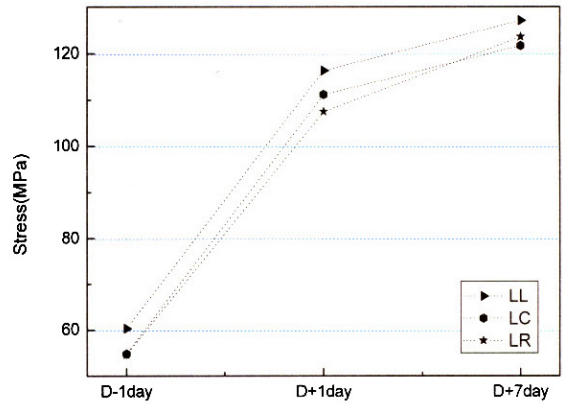


그림 8. 합성 전·후 응력 비교



(a) 상부 플랜지



(b) 하부 플랜지

그림 9. 단경간 교량의 바닥판 타설 전·후 응력 비교

표 3 상·하부 플랜지 및 좌·우측 복부판의 온도(°C)

	외부	상부	하부	좌측	우측
D-1day	21.5	25.5	24.2	24.2	24.2
D+1day	21.5	43.0	26.2	27.8	25.8
D+7day	21.5	24.8	25.8	25.3	24.0

6. 계측 결과와 해석 결과의 비교

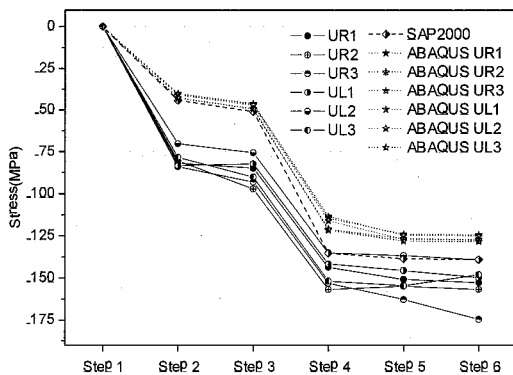
계측 결과를 해석 결과와 비교해 봄으로서 계측된 데이터가 거더의 거동을 정확히 모사할 수 있는지 확인해 보았다. 두 교량 모두 거더의 현장 거치(Step2)로 인한 응력의 증가는 계측 결과가 해석 결과에 비하여 월등히 크게 나타났고 이후 공정부부터는 두 결과가 서로 비슷한 응력의 증가를 보였다. Step2에서의 계측과 해석 결과의 차이는 무응력 상태로 가정한 지조립 상태가 해석상의 이상적인 무응력 상태와는 차이를 갖고 있으며, 거더거치 과정에서 발생한 시공 오차도 영향을 미친 것으로 보인다.

계측 결과는 해석 결과에 비하여 계측 지점간의 응력 편차가 크게 나타났고 간혹 계측 오류로 판단되는 비정상적인 응력의 증가도 발생하였으나 전체적인 응력 변화의 흐름을 읽는데 큰 문제가 되지는 않았다.

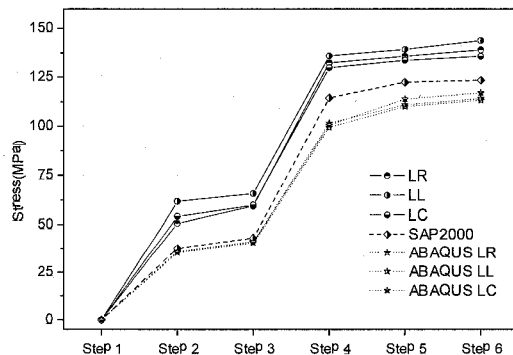
6.1 단경간 교량

단경간 교량에 대한 상·하부 플랜지의 공정별 응력 변화는 그림 10과 같으며 상부에 압축, 하부에 인장이 각각 발생하였다. 응력 증가는 Step2와 Step4에서 가장 큰 것으로 나타났고 Step1에서 Step2로 공정이 진행되는 동안 계측된 응력 값은 ABAQUS 해석을 통해 얻어진 결과 보다 상부는 80%, 하부는 40% 정도 더 큰 것으로 나타났다. Step3 이후로는

Step2에서 발생한 계측 값과 해석 값의 차이를 그대로 유지한 채 서로 비슷한 양상의 응력 증가를 보이는 것으로 나타났다. Step2에서 계측 결과에 의한 상·하부 플랜지의 응력 값의 차이는 132.4~145.1MPa이다. Step1의 계측 값은 거더의 Segment가 아직 조립되지 않고 지상에 놓여진 무응력 상태에서 계측된 값이고, Step2의 계측 값은 현장에서 바닥판을 제외한 상부 구조의 가설이 완료된 시점이다. Step 별 거더에 발생한 응력 크기는 하부 보다 상부가 더 큰 것으로 나타났다는데 이는 계측 지점의 상·하부 플랜지의 서로 다른 부재 치수 - 상부 플랜지 두께는 18mm이고 하부 플랜지의 두께는 28mm - 때문인 것으로 판단된다.



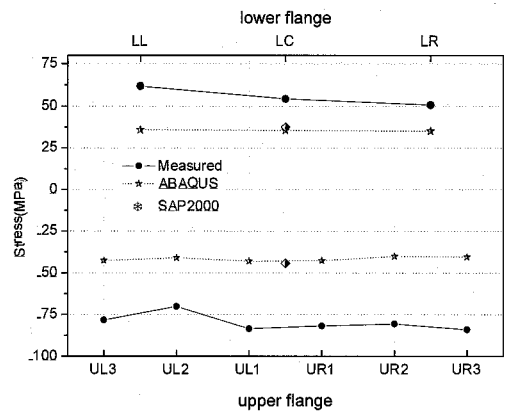
(a) 상부 플랜지 응력(압축)



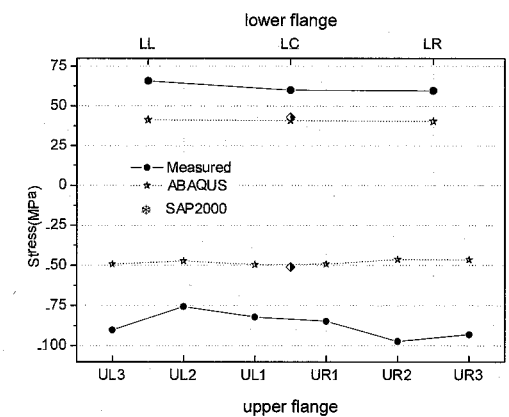
(b) 하부 플랜지 응력(인장)

그림 10. 단경간 교량 상·하부 플랜지의 응력

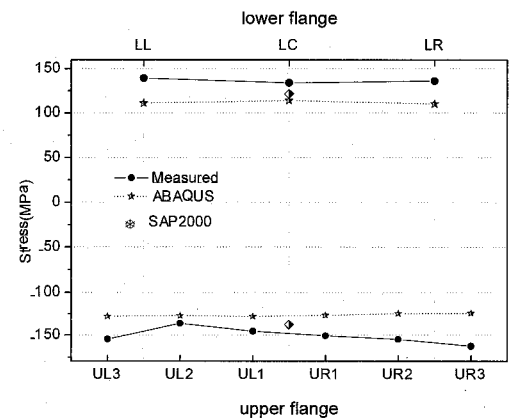
그림 11은 Step2에서 Step5까지의 상·하부 플랜지의 횡방향 폭에 따른 단면 내에서의 응력 변화를 비교한 그림이다. 계측과 ABAQUS를 이용한 유한 요소 해석 결과는 서로 정량적인 차이를 가지고 있으며 Step2에서 Step5로 공정이 진행되는 동안 이 차이는 하부 플랜지에서는 증가하였고 상부 플랜지에서는 감소하였다. 격자 해석 결과는 Step2, Step3에서 정밀 유한 요소 해석 결과와 서로 일치하였으나, Step4, Step5에서는 정밀 유한 요소 해석 결과 보다는 크고 계측 결과 보다는 작은 값을 나타내었다.



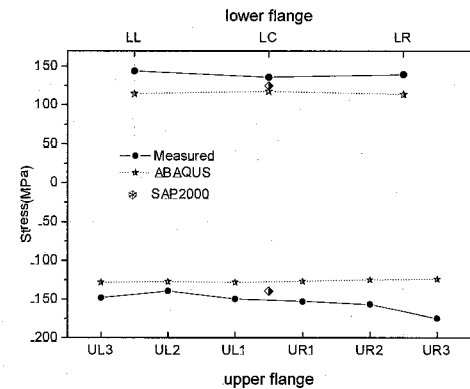
(a) Step2(거더 거치)



(b) Step3(철근 배근)



(c) Step4(바닥판 타설)

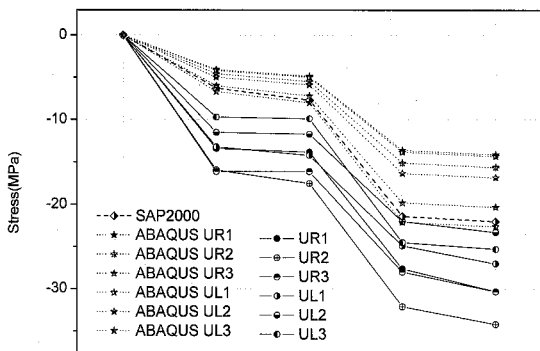


(d) Step5(방호벽 설치)

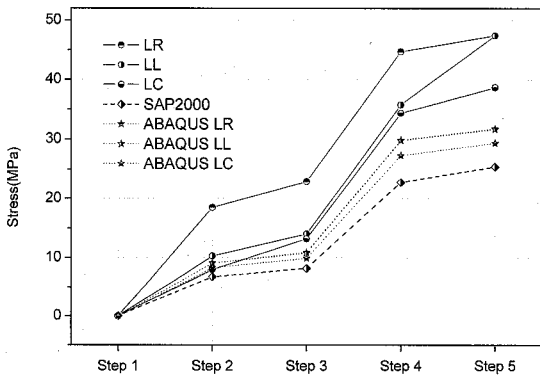
그림 11. 단경간 교량의 플랜지 주응력 비교

6.2 연속교

그림 12는 연속교의 상·하부 플랜지에서의 공정별 응력 변화를 나타낸 것이다. 대체적으로 연속교도 단경간 교량과 유사한 공정별 응력 변화를 보이고 있는데 하부 플랜지의 Step2에서 계측 값 LL, LC는 단경간 교량의 경우와 달리 정밀 해석 결과 값인 ABAQUS LL, ABAQUS LC와 비슷한 크기의 응력 증가를 보였다. Step 별 거더에 발생한 응력의 크기는 단경간 교량과 반대로 하부 플랜지에서 더 크게 나타났다. 이는 단경간 교량과 달리 상·하부 플랜지의 두께 차이가 없고 그림 2에서 보듯이 상부의 종방향 보강재가 하부보다 더 많기 때문인 것으로 판단된다.



(a) 상부 플랜지 응력(압축)

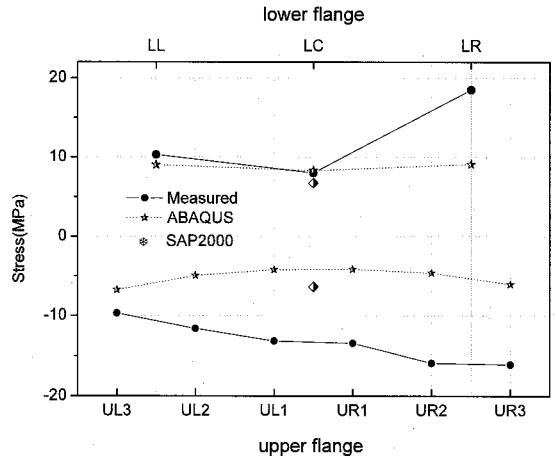


(b) 하부 플랜지 응력(인장)

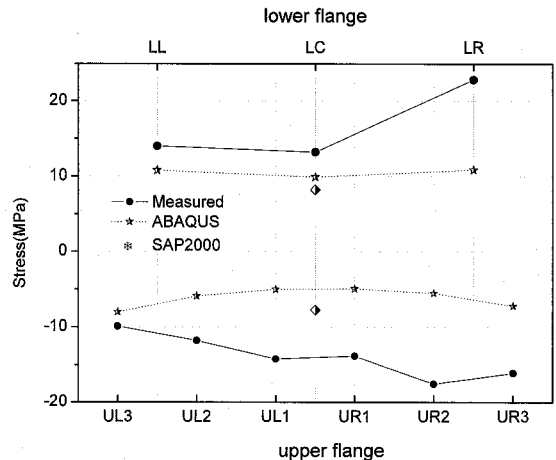
그림 12. 연속교 상·하부 플랜지의 응력

그림 13은 Step2에서 Step5까지 상·하부 플랜지의 횡방향 폭에 따른 단면 내에서의 응력 변화를 비교한 그림이다. 계측 값 중에서 LL값은 Step4에서 Step5로 방호벽이 설치되는 과정에서 급격한 응력 증가를 보이는데 이것은 계측 오류인 것으로 판단된다. Step별 하부 플랜지의 계측 값은 LR(외측)이 LL(내측) 보다 크고 LC(중양)는 LL(내측) 보다 작았다. ABAQUS 해석 결과도 이와 유사한 관계를 나타

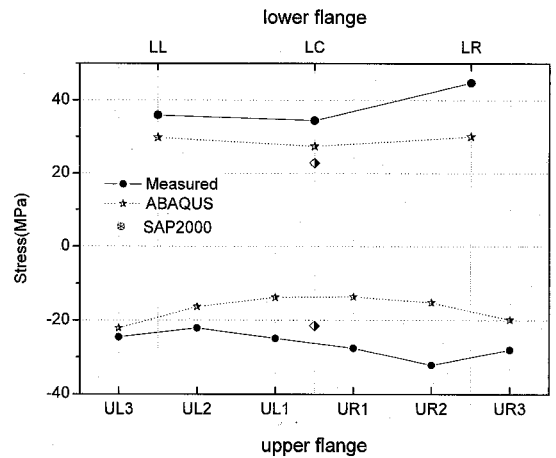
내었으나 위치별 응력 값의 편차는 계측의 경우에 비하여 매우 작았다. Step별 상부 플랜지의 응력 값은 UL3(내측)에서 UR3(외측)으로 갈수록 작아지는 경향을 보이는 반면 ABAQUS 해석 값은 중앙으로 갈수록 커지는 경향을 보였다. SAP2000의 해석 값은 ABAQUS 해석 값과 비교했을 때 하부 플랜지에서는 작고, 상부 플랜지에서는 큰 값을 갖는 것으로 나타났다.



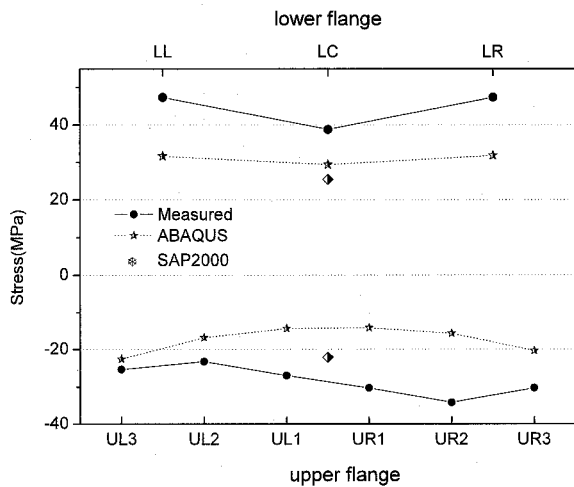
(a) Step2(거더 거치)



(b) Step3(철근 배근)



(c) Step4(바닥판 타설)



(d) Step5(방호벽 타설)

그림 13. 연속교의 플랜지 주응력 비교

7. 결론

현장에서의 변형을 계측과 컴퓨터를 이용한 구조 해석을 통하여 구조물의 거동을 파악할 수 있었으며 계측과 해석 결과 간의 정합성을 확인할 수 있었다. ABAQUS를 이용한 정밀 유한 요소 해석과 SAP2000을 이용한 격자 해석 결과를 서로 비교해 봄으로써 격자 해석 결과에 대한 정확도도 확인할 수 있었다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 두 교량의 공정 진행에 따른 응력의 증가는 계측 결과가 해석 결과에 비하여 큰 값을 나타내었고 거더 거치와 바닥판 타설 시에 고정하중의 증가로 인하여 응력 증가가 두드러지게 큰 것으로 나타났다. 공정별 계측과 해석 결과는 서로 정량적(Quantitative)인 차이를 보이고 있지만 정성적(Qualitative)으로는 유사한 관계를 가지고 있었다.
- (2) 타설이 완료된 후 시간의 경과에 따른 합성도의 증가가 교량의 거동에 어떤 영향을 미치는지를 파악하기 위하여 타설 전·후 연속 계측을 실시하였으나 건조수축을 제외하고 합성도의 증가로 인한 거동의 변화는 관찰되지 않았다.
- (3) 계측 결과를 살펴보면 플랜지의 횡 방향으로 응력이 변화하는 것으로 나타났으며, ABAQUS를 통한 정밀 해석을 통해서도 확인되었다. 횡 방향에 대한 응력의 변화가 발생하는 원인은 거더의 곡선 배치에 의해 발생하는 비틀림 모멘트 때문일 것으로 판단된다.
- (4) 단경간 교량에서 SAP2000의 해석 결과는 ABAQUS 결과와 같거나 약간 크고 거더 거치 이후 계측 결과와

비슷한 응력 증가를 보이는 것으로 볼 때 SAP2000을 이용한 현재의 설계 방법에 큰 문제는 없는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 시행하는 건설교통기술혁신사업의 일환으로 실시된 곡선 강교의 설계 및 구조상세 기술개발 연구(과제번호 : C102B1000015-04B0000-00630)의 재정적 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 한금호, 박남희, 강영중, 곡선 상자형 거더의 거동 분석을 위한 실험 연구," 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 4557-4561, 2004.
- Computers and Structures Inc., *SAP2000 Nonlinear Version 7.4 Analysis Reference Manual*, Berkeley CA, 2000.
- Galambos, T.V., Hajjar, J.F., Huang, W., Pulver, B.E., Leon, R.T., and Rudie, B.J., Comparison of measured and computed stresses in a steel curved bridge, *Journal of Bridge Engineering*, Vol.5, No.3, August, 2000.
- Helwig, T. and Fan, Z., Field and computational studies of steel trapezoidal box girder bridges," *Research Report 1395-3*, The University of Houston, August 2000.
- Hibbit, Karlsson and Sorenson, Inc., *ABAQUS Standard User's Manual Version 6.3*, Pawtucket, RI, 2002.
- Keller, M.A., *Parametric study of horizontally curved I-girder systems including lateral bracing effects*, M.S. thesis, Auburn University, Auburn, AL. 1994.
- Linzell, D.G., Leon, R.T., Zureick, A.H., Experimental and analytical studies of a horizontally curved steel I-girder bridge during erection, *Journal of Bridge Engineering*, Vol.9, No.6, November, 2004.
- Topkaya C., *Behavior of curved steel trapezoidal box girders during construction*, Ph.D Dissertation, University of Texas at Austin, Austin, TX, 2002.
- (접수일자 : 2005. 7. 13 / 심사일 2005. 7. 18 / 심사완료일 2005. 10. 10)