

대블록시공법에 따른 강상판교의 시공단계별 거동

Behavior Due to Construction Step in Steel Deck Bridge by Large Block Construction Method

이 성 행¹⁾

김 경 남^{2)*}

함 형 길³⁾

정 경 섭⁴⁾

Lee, Seong Haeng

Kim, Kyoung Nam

Hahm, Hyung Gil

Jung, Kyoung Sup

Abstract

The displacements of steel deck bridge due to construction step are measured, and three dimensional analysis with full modeling is carried out to compare with the measured results. Three dimensional structural analyses considering construction step by large block construction method are accomplished with verified model. The conclusions are as follows. 1. Comparing the data of grid analysis with the result of 3D full modeling in steel deck bridge, the design method using grid analysis has a limit for describing the displacements of curved bridge. The analysis of 3D full modeling has been proved as more accurate method. The differentiation of results in two methods is about 10%~20%. 2. It is verified that the maximum displacement of during construction is 1.7 times larger than the displacement of final construction. 3. The bridge behavior considering the construction step is somewhat different from that of final stage in whole structure and the displacement and stress during construction is larger than that of final construction. Therefore, it needs the reasonable structural design considering the construction step to get economical efficiency and a high competitive construction.

Keywords : Construction step, Large block construction method, Steel deck bridge, 3D Structural Analysis.

1. 서론

세계적인 철새도래지를 포함하고 있는 지역에 교량을 가설할 경우, 각종 NGO 및 환경보호법 등으로 인하여 대규모 토목공사를 수행하는데 큰 어려움이 있다. 본 연구에서는 이와 같은 지역에 가설되는 교량을 대상으로 여러 제한 조건을 만족시키기 위하여 여러 가지 설계 및 시공 방법이 사용되었는데, 이를 요약하면 다음과 같다. 우선 철새 등의 환경적인 영향으로 인하여 단순한 강상자형교 형식을 선택하였으며, 게다가 습지 등을 보호하기 위하여 최소한의 시공, 가설작업을 위한 대블록 시공법 등이 적용되었다. 또한 100m이상의 지간을 확보하면서, 연약지반을 감안하여 기초공사비 최소화 및 대블록 시공법을 적용하고자 하였으며, 이를 위해 상부 구조의 하중이 상대적으로 가벼운 단일 상자로 된 강상판형교를 선택하였다(조충영 등, 2005). 그러나 장경간에 대한 대블록공법의 적용시, 일반적인 설계시에는 고려되지 않은 큰 변위와 응력이 가설시에 발생되므로 가설방법에 대한 검토가 이루어져야 한다.

본 연구의 목표는 대상교량의 대블록가설공법에 따른 가설시 발생될 수 있는 예기치 못한 변위나 응력 등을 검토하고 후후 동일 조건의 교량계획의 기초자료를 제공하는 것이다. 연구대상 교량에서는, 마지막으로 연결되는 경간을 가설하기 전에 교량 단면내에 변형률게이지와 온도 게이지를 부착하여 교량 연결에 따른 교량 단면에 발생하는 변형과 응력을 측정하였다. 구조해석에서는 대상교량의 가설방법에 따라 시공단계해석을 실시하고, 측정과 비교하여 구조해석 모델에 대한 신뢰성 및 적정성을 확보하였다. 이후 실제 시공된 대블록 시공법에 의한 가설을 3차원 구조해석을 통하여 모사해 봄으로써 설계와 실제 거동간에 발생하는 차이를 분석하여 설계시 주의되는 요구사항과 해결 방안 등을 제시하였다.

2. 교량 가설 및 계측

2.1 대상교량의 현황

대상교량은 총 연장 5,205m이며, 이중 본 연구에서 검

1) 정회원, 부산대학교 사회환경시스템공학부 교수

2) 정회원, 충북대학교 건설기술연구소 연구원

3) 정회원, 부산대학교 사회환경시스템공학부 교수

4) 정회원, 충북대학교 토목시스템공학전공 교수

* Corresponding author : kkn74@cbnu.ac.kr 043-264-2408

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2010년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Characteristics of the objective

교량명	규모(m)		설계하중	비고
	연장	폭		
○○대교 MBR-1	105+3@125+105	12.74	DB-24 (DL-24)	강바닥판 폐단면 상자형

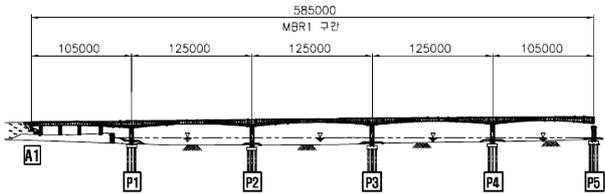


Fig. 1 Side view of target bridge

Table 2 Pulling and installation of MBR-1

단계	대상 구간	연장(m)	중량(kN)	설치일	가설공법
1	P4~P5	117	7860	08.05.06	F/C 15000kN
2	P3~P4	125	8380	08.06.06	F/C 20000kN
3	P2~P3	125	8370	08.07.06	
4	A1~P1	117	7780	08.07.04	H/C 4500kN
4-1					
5	P1~P2	101	6500	08.08.24	F/C 20000kN



Fig. 2 Pulling of large block with barge

토할 구간은 MBR-1 구간으로, 일부 완화 곡선구간과 직선구간으로 이루어진 5경간 연속 교량이다. 대상교량의 제원은 Table 1과 같으며, 대상교량의 측면도를 Fig. 1에 나타내었다(명지대학교주식회사, 2006).

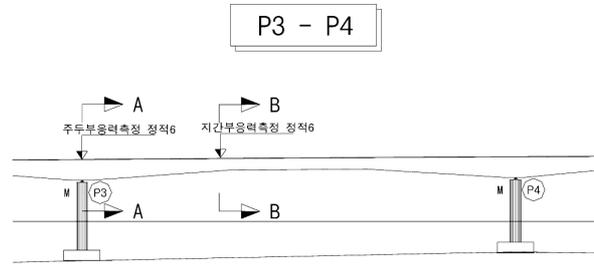
설계에서 계산된 현상이음부 연결 연속 강교 가설이 아닌 현지 사정을 고려한 F/C(Floating Crane)를 이용한 대블록 가설 공법을 사용하게 됨으로써 대상 구조물에 발생될 수 있는 문제점을 파악하고자 단면내에 정모멘트부와 부모멘트부를 각각 1개소씩 선정하여 변형률게이지를 부착, 변형률을 측정하였다.

2.2 대상교량 가설

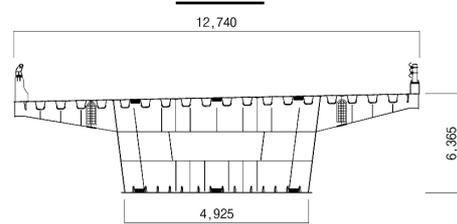
대상교량의 인양 및 설치는 해상 F/C과 육상 H/C (Hydro Crane) 공법에 의하여 작업하였다. 대상교량의 하행선에 대한 인양 및 가설은 Table 2와 같이 이루어졌으며, Fig.

Table 3 Position and installation of gauge

계측항목	계측위치	정/동적 구분	수량
지점부 응력	P3 지점부	정적 변형률	6EA
지간부 응력	P3-P4 지간1/4지점	정적 변형률	6EA

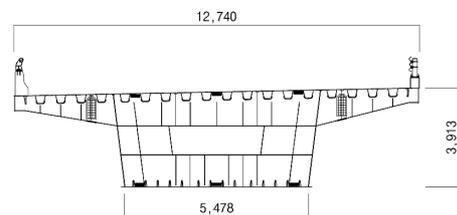


단 면 A-A



표시	품 명	수량(ea)	비 고
■	변형률계	6	정 적

단 면 B-B



표시	품 명	수량(ea)	비 고
■	변형률계	6	정 적

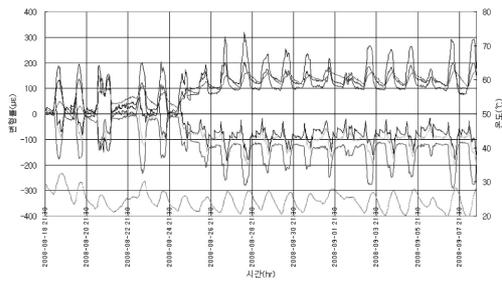
Fig. 3 Attachment of gauge in bridge section

2는 바지선을 이용한 대블록 인양 모습이다.

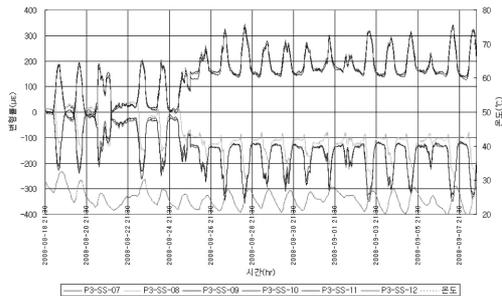
대상교량은 총 5단계로 나누어 가설하였으며, 4단계는 해상크레인을 이용하여 작업할 수 있는 최대 거리를 벗어나게 되어 육상에서 Hydro Crane에 의하여 일부 작업이 수행되었다.

2.3 대상교량 계측

대상교량의 시공중 안정성 평가를 수행하기 위하여 2008년 8월 8일 계측기 설치를 완료하고, 8월 9일 0시부터 자동계측이 시작되었다. 게이지 부착위치는 Fig. 3 및 Table 3과 같다.



(a) at Pier3 (section A)



(b) between Pier3-Pier4 (section B)

Fig. 4 History of strain measured

2.4 계측결과

Fig. 4의 이력곡선에 따르면 8월 25일~26일 사이 P1~P2 구간 구조물 거치 관계로 P3~P4 구간에 설치된 변형률계에서는 약 100×10^{-6} (20MPa) 내외의 변형률 차이가 발생하였으며, 이후부터는 일 온도변화에 따른 강재의 변형률은 약 $100 \sim 200 \times 10^{-6}$ 으로 주된 거동은 하중 변화에 따른 것보다 온도변화에 따른 경향이 주를 이루고 있다. P1~P2구간 구조물 거치에 따른 변형률의 변화로부터 해당 고정하중에 의한 측정부위의 응력을 산정하는 것으로 한다. 자세한 응력의 계산에 대하여는 3.2절 구조 해석에서 해석결과와의 비교를 통하여 검토하였다.

3. 구조해석

3.1 구조해석 조건

3.1.1 모델링 형상

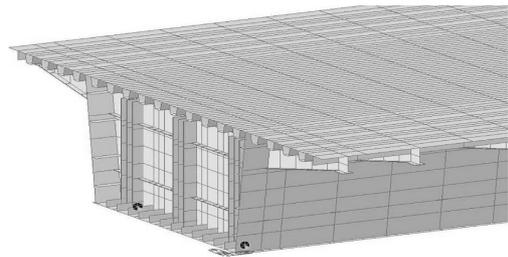
대상교량의 모델링에 사용된 유한요소의 물성치 및 제원은 Table 4와 같으며, 유한요소 모델링의 형상은 Fig. 5와 같다. 범용 구조해석 프로그램인 MIDAS/CIVIL(마이다스아이티, 2008)을 이용하여 Fig. 5와 같이 Plate 요소로 3차원 전체 모델링을 실시, 해석하였으며, 강상판의 보강재인 U-리브는 Offset을 이용한 Frame 요소를 이용하여 Stiffened plate와 같은 역할을 하도록 하였고, 편심이 고려되지 않는 보강재인 수직보강재 등도 Frame 요소를 적용하였다. 5경간 전체 모델링에 사용된 노드 수는

Table 4 Materials property and type of finite element used

해석 요소	단위중량 (kN/m ³)	탄성계수 (MPa)	Poisson's ratio	비고
Plate	78.5	2.06E5	0.3	강상판, 웨브, 하부플랜지, 다이아프램, 종리브
Beam	78.5	2.06E5	0.3	수직보강재, U리브 외



(a) Overview



(b) Detail view

Fig. 5 Appearance of FE model

71,052개이며, 총 요소 수는 101,117개이다. 이 중 Frame 요소는 27,793개이고, Plate 요소는 73,324개이다.

3.1.2 하중조건

1) 고정하중

강재부의 자중은 이음재 및 볼트 등의 중량을 고려하여 14.9% 할증하였다. 미할증 시의 유한요소 모델링의 총 자중은 35,142kN이며, 도면상의 총 자중을 고려하여 40,379 kN이 되도록 고려한 것이다. 이음재 및 볼트 등의 무게는 교량 전구간에 걸쳐 거의 균일하게 배치되고 사용되므로 별도의 추가하중으로 고려하지 않고 고정하중의 할증으로 간단하게 모사하여 구조해석에 반영하였다(건설교통부, 2001).

2) 2차 고정하중

중분대, 방호벽 및 부속설비하중이 2차 고정하중으로 포함되며, 이 중 중분대와 방호벽은 각각 해당 위치에 1.74 kN/m, 6.98kN/m를 Pressure 하중으로 환산하여 재하하고, 부속설비 하중과 아스팔트포설(80mm) 하중은 중분대와 방호벽을 제외한 교량 전면에 0.5 kN/m^2 , 1.8 kN/m^2 를 각각 재하하였다.

3) 시공단계 고려

F/C에 의한 대블록 가설은 시공단계로서 고려된다. 조립되는 블럭의 강도와 고정하중에 의하여 기존 구조물에 어떤 영향을 미치게 되는지를 각각의 시공단계에 따라 모델링하되, 시공단계에 따라 연결시킨다. 해석방법으로는 역

방향 해석을 실시한 후, 각 단계에서의 교량의 거동을 순 방향으로 누적하여 분석하였다(대림산업주식회사, 2001).

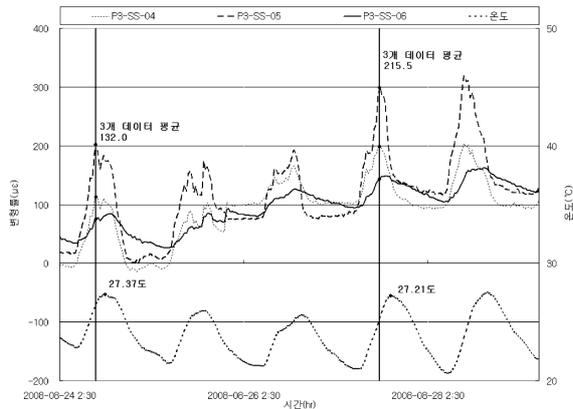
3.1.3 경계조건

대상교량의 교좌장치는 Hydampot(E-Shape)이라는 특수한 구조를 적용하여 연직방향 이외의 방향으로 일시적으로 변형이 가능하도록 하였다. 그러나 본 연구에서 시공단계에 따른 구조해석 및 검토를 위하여 일반적인 신축, 팽창이 가능하다고 가정하고, 4단계 가설시 A1~P1 블록과 같이 별도의 독립된 구조로 작용하는 경우도 있으므로 일반적인 변위 구속 조건을 부여한다.

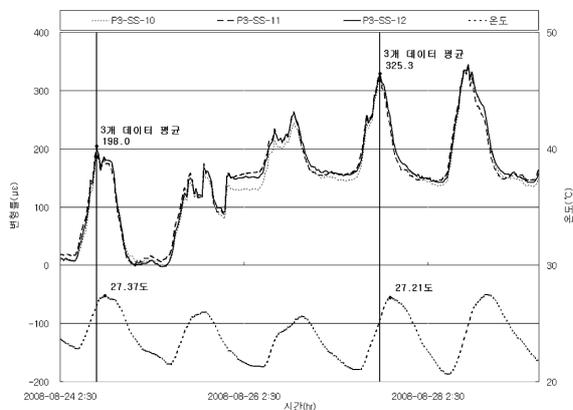
3.2 측정치와의 비교를 위한 해석

3.2.1 해석 내용

F/C에 의한 대블록 가설 공법으로 대상교량을 가설하는 동안 개별 단계에서 안전도 확인을 위하여 각 단계별 반력, 응력, 변위 등의 변화 추이를 계산할 필요가 있다. 이를 위하여 우선 구조해석 모델의 적정성을 검증할 필요가 있는데, 2장 Table 2의 5단계에 해당하는 구조해석의 결과와 측정결과를 비교하여 해석 모델의 검증을 실시하였다.



(a) at Pier3 (section A)



(b) between Pier3~Pier4 (section B)

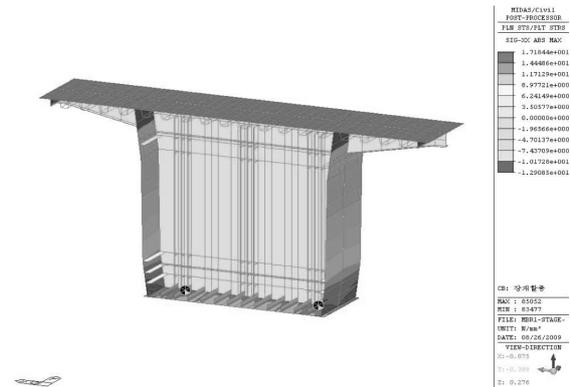
Fig. 6 Strain curve measured in Stage 5

3.2.2 측정치와의 검토

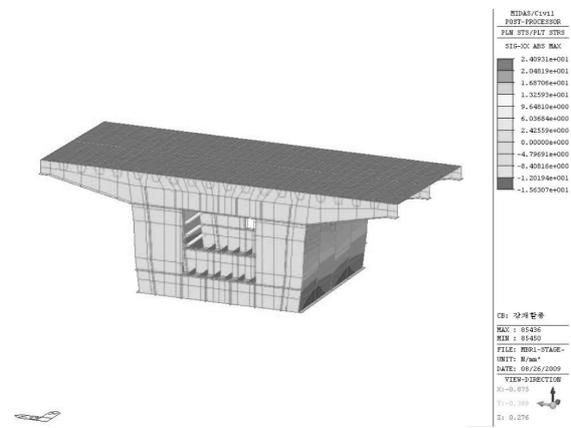
5단계 (P1-P2구간) 가설로 인하여 P3의 측정부위에서 측정된 변형률을 Fig. 6에 정리하였다.

Fig. 6의 변형률 변화량은 Stage 5가 시공되기 이전과 시공된 후의 데이터로부터 구하게 되는데, 비교되는 두 구간의 선택은 일일 최고기온이 유사한 8월 24일과 8월 27일의 낮시간대를 선택하고, 변형률이 최대가 되는 시간대를 기준으로 하단 3개 게이지의 값을 평균하여 대표값을 구한다. 지점부에서 17.2MPa ($(215.5-132.0) \times 0.21 \times 0.98$)로 계산되며, P3-P4사이의 1/4위치에서는 26.2MPa로 계산된다($(325.3-198.0) \times 0.21 \times 0.98$).

Stage 5에 해당하는 구조해석 모델에서 게이지를 부착한 부분의 응력을 확인하면 Fig. 7에 보인 바와 같이 지점부에서 17.2MPa로 계산되고, 시간부 1/4 위치에서는 24.1MPa로 계산된다. 측정치와 구조해석치 사이에는 시간부에서 최대 약 8%이내의 오차가 발생되고 있어, 실제 구조물의 거동을 구조해석 모델이 적절히 반영하고 있는 것으로 판단된다. 이하 측정치와 비교에 사용된 모델을 적용하여 구한 계산치 및 설계도서에 의한 값을 비교하고, 이들 값들을 적용한 시공단계해석을 실시하여 실제 가설시에 발생하는 응력을 검토하였다(명지대학교주식회사, 2006).



(a) at Pier3 (section A)



(b) between Pier3~Pier4 (section B)

Fig. 7 Computational results in Stage 5

3.3 Grid 해석과의 비교를 위한 해석

3.3.1 해석 목적

강재자중과 2차 고정하중에 대하여 3D Full 모델링에 의한 해석과 2차원 Grid 해석에 의한 도면상 캠버를 비교하여 설계에서 사용되는 해석방법의 적정성을 확인하였다.

3.3.2 해석결과

강재 자중 및 2차 고정하중에 대한 해석된 결과를 각각 Table 5와 Table 6에 도면의 캠버와 비교하였다. 최대응력과 처짐은 구조해석에서 하부플랜지의 폭방향 1/2위치에서 발생하는 값을 기준으로 정리하였다. 설계에서 사용되는 Grid해석의 결과(캠버)가 3D Full 모델링에서의 결과에 비하여 최대 21.9%로 차이가 발생하고 있다. 그리고 중분대와 방호벽의 하중이 각각 1.74kN/m, 6.98kN/m로서, 교량 단면의 반력에서도 좌, 우로 큰 차이가 발생되게 된다. Table 6에서 최대 반력은 Pier 1에서 3,287kN이지만 같은 위치에서 반대편에 위치한 교좌장치는 1,488 kN으로 좌우 비대칭이 크게 발생되며, Table 6에서는 한

Table 5 Computational results (steel girder weight)

구분	3D 구조해석			도면	캠버 오차 (%)
	반력(kN)	응력(MPa)	처짐(mm)	캠버(mm)	
Abut 1	1,140	-	-		-
A1~P1	-	56.8	115.5	120	+3.9
Pier 1	4,603	-69.7			-
P1~P2	-	31.0	60.7	50	-17.6
Pier 2	4,303	-64.3			-
P2~P3	-	37.5	90.3	87	-3.7
Pier 3	4,332	-63.6			-
P3~P4	-	31.4	63.0	55	-12.7
Pier 4	4,567	-70.2			-
P4~P5	-	59.2	109.9	112	+1.9
Pier 5	1,244	-	-		-

Table 6 Computational results (secondary dead load)

구분	3D 구조해석			도면	캠버 오차 (%)
	반력(kN)	응력(MPa)	처짐(mm)	캠버(mm)	
Abut 1	982	-	-		-
A1~P1	-	32.2	65.4	62	-5.2
Pier 1	3,287	-38.2	-		-
P1~P2	-	16.9	33.3	26	-21.9
Pier 2	3,141	-35.1	-		-
P2~P3	-	20.7	50.5	45	-10.9
Pier 3	3,149	-34.6	-		-
P3~P4	-	17.0	34.2	28	-18.1
Pier 4	3,223	-38.6	-		-
P4~P5	-	33.7	62.9	58	-7.8
Pier 5	1,041	-	-		-

지점에서 좌우측 두 개의 반력 중 큰 값 하나만의 결과를 나타내고 있다.

3.3.3 설계에 대한 적정성 검토

2D Grid 해석의 결과와 3D Full 모델링과의 결과를 비교하면 처짐에서 최대 약 21.9%의 차이가 발생되며 강상 자형교량이 일반적으로 블록으로 조립되어 시공된다는 것을 고려할 때, 시공단계 해석에 의한 보다 엄밀한 해석에 의하여 비교가 될 경우 설계와의 차이는 추가로 발생될 수도 있을 것이다.

3.4 시공단계 해석

3.4.1 Stage 5 해석

시공단계해석에서는 역순서로 5단계로부터 1단계로 구조해석을 수행하여 해석 결과를 선형적으로 조합하여 교량 단면에서의 유해 변위, 응력을 검토하였다. 각 시공단계의 가설도면은 Fig. 8과 같다.

P1~P2구간이 가설되는 상황을 고려하면 Fig. 8(a)와 같다. Stage 5에서 대상교량이 콘크리트 슬래브가 없는 강구조물이므로 합성거동에 대하여 고려하지 않고, 전체 교량 구간이 강성을 갖되 추가의 Body force는 P1~P2 구간만 갖는 것으로 한다.

Fig. 9는 Stage 5에서 대상교량의 발생반력, 변위, 응력을 나타낸 것이다. P1~P2 구간에 고정하중이 작용하게 됨에 따라 Pier 1과 Pier 2번에서는 각각 (+)의 반력이 발생하며, 홀수 번째로 인접되는 지지점 (Abut 1과 Pier 3 그리고 Pier 5)에서는 (-)방향의 반력이, 짝수 번째로 인접되는 지지점 (Pier 4)에서는 (+)방향의 반력이 발생되며 Fig. 9(a)에 따라 변형형상도 인접경간에서는 (-)의 변위가, 짝수 번째로 떨어진 경간에서는 (+)의 변형이 발생하는 것을 Fig. 9(b)에서 확인할 수 있다. Stage 5에서 대상경간에서의 최대처짐 250mm, 최대응력 82.5 MPa, 교좌장치 당 반력 2,049kN이 계산되었으며, 인접경간에서는 최대 부처짐 126mm 그리고 최대 부반력 475kN이 각각 계산되었다.

3.4.2 Stage 4 & 3 해석

Stage 4에서는 전체 완성계에서 P1~P2구간만이 가설되지 않은 상황에 해당한다. 즉, Fig. 8(b)와 같이 독립적인 구조물 A1~P1 구간이 가설되는 상황이 Stage 4이며, Stage 3은 Fig. 8(c)와 같이 P2~P3 구간이 가설되는 상황이다.

3.4.3 Stage 2 해석

3.4.2항에서 사용된 모델에서 P2~P3구간이 가설되는 않은 상황으로 Fig. 8(d)와 같이 Stage 2에서는 P3~P4 구간만이 Body force가 적용된다.

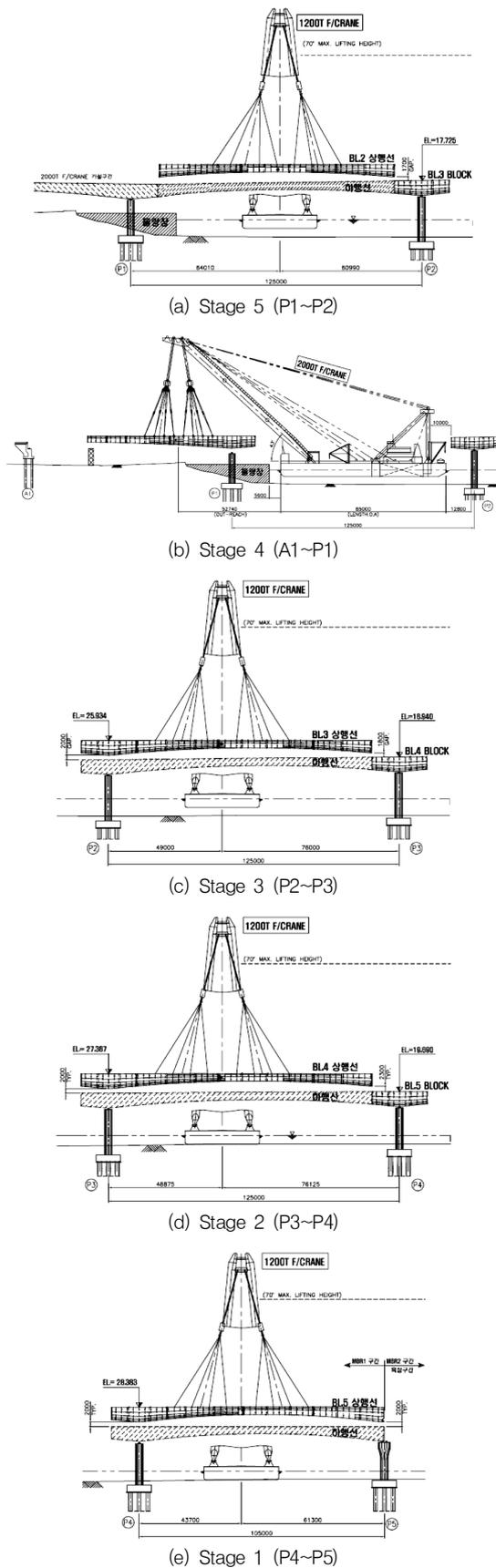


Fig. 8 Drawing in each stage

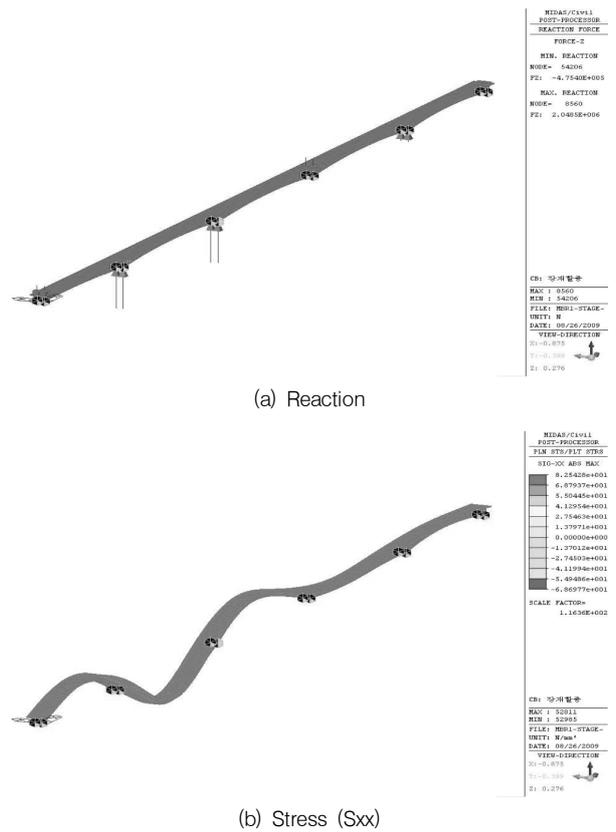


Fig. 9 Computational results in Stage 5

3.4.4 Stage 1 해석

3.4.2항에서 사용된 모델에서 P2~P3 및 P3~P4구간이 가설되는 얇은 상황으로 Fig. 8(e)와 같이 독립적인 구조물인 P4~P5 구간이 가설된다.

3.4.5 시공단계에 따른 변위 검토

시공단계에 따라 구조해석을 실시하고, 각 단계별로 변위를 요약하면 Table 7과 같다.

Table 7에서 변위 계산 위치는 Abutment (A), Pier (P)와 경간중양(A-P, P-P) 그리고 대블록 Splice(S)의 각 구분점이며 표에 나타난 변위량은 교량 하부플랜지의 폭 방향 1/2 위치에서의 결과값이다. 일괄시공은 교량이 전 구간에 걸쳐 한번에 조립되어 가설된다고 가정할 경우로서 일반적인 구조해석으로 얻을 수 있는 변위량이다. 시공단계를 고려한 시공은 각 시공단계에서 발생하는 변위량을 누적한 것이다.

Table 7에 따르면 일괄시공과 시공단계에 따라 계산한 변위에 큰 차이가 발생하고 있다. 이러한 차이는 실제 가설되는 각 단계별 교량 구간이 단순보 또는 일단 힌지 타단 고정과 같은 지지상태에서 가설되기 때문이며 게다가 이 경우 교축방향으로 내민부의 변위가 생기면서 조립되는 교량 끝단이 회전되어 경사 변위가 크게 생겨 가설되는 대상 구간의 중앙경간에서 큰 처짐이 유발되기 때문

Table 7 Computed displacements in each stage (mm)

위치	거리 (m)	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	시공 단계	일괄 시공
A1	0.81				0.0	0.0	0.0	0.0
A1-P1	50.00				-291.4	118.4	-173.0	-110.6
P1	105.00				-0.2	-0.2	-0.4	-0.4
S1	116.25				80.9	-54.3	26.6	-0.7
P1-P2	167.50				-248.4	-248.4	-60.6	
S2	218.75			101.4	-55.7	45.7	-4.2	
P2	230.00			-0.2	-0.2	-0.4	-0.4	
P2-P3	292.50			-375.0	117.6	-257.4	-90.3	
S3	343.75		103.1	-76.9	19.7	45.8	-10.7	
P3	355.00		-0.2	-0.3	0.1	-0.4	-0.4	
P3-P4	417.50		-382.4	165.1	-42.8	-260.1	-62.9	
S4	468.75	92.5	-79.4	28.0	-7.3	33.8	-1.7	
P4	480.00	-0.2	-0.3	0.1	0.0	-0.4	-0.5	
P4-P5	532.50	-314.4	174.3	-62.4	16.2	-186.3	-105.3	
P5	584.13	-0.2	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	

Table 8 Accumulated displacement in each stage (mm)

위치	거리 (m)	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계 완공	일괄 시공	캠버량
A1	0.81				0.0	0.0	0.0	
A1-P1	50				-286.7	-168.4	-110.6	120.0
P1	105				-0.2	-0.4	-0.4	
S1	116.25				79.2	24.9	-0.7	
P1-P2	167.5				-162.8	-60.6	50.0	
S2	218.75			92.1	92.1	36.4	-4.2	
P2	230			-0.2	-0.2	-0.4	-0.4	
P2-P3	292.5			-323.4	-323.4	-205.8	-90.3	87.0
S3	343.75		93.9	17.0	17.0	36.7	-10.7	
P3	355		-0.2	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	
P3-P4	417.5		-331.6	-166.6	-166.6	-209.3	-62.9	59.8
S4	468.75	92.5	13.0	41.1	41.1	33.8	-1.7	
P4	480	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	
P4-P5	532.5	-314.4	-140.1	-202.5	-202.5	-186.3	-105.3	105.1
P5	584.13	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	

이다. 그러나 실제로는 P4~P5를 가설할 때, 다음 번 블록이 연결되는 지점 S4에서는 이미 상향의 처짐이 발생되어 있다. 이로 인하여 P4~P3의 블록은 한쪽면이 상향으로 기울어진 채 체결되기 때문에 Table 8에서와 같이 조립되는 블록의 순서에 따라 선형적으로 보간된 수정변위를 계산하여야 한다.

Table 8에 따르면, 블록들이 조립되어 연속화 되면서 처짐이 줄어들어 내측 경간 P3~P4 구간에서는 260mm에서 210mm 정도로 수정 계산된다. 그러나 전체교량이 일체로 시공된다는 가정에서 계산된 변위와 비교하면 여전히 A1~P1 구간에서 1.5배(168.4mm/110.6mm), P3

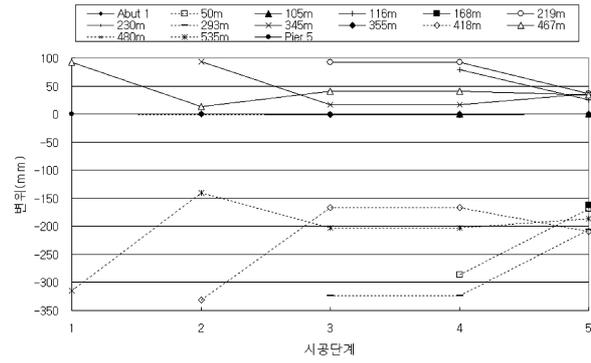


Fig. 10 Variables of displacement in each stage

Table 9 Accumulated stress in each stage (MPa)

위치	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계 완공	일괄 시공
A1-P1 경간				90.30	64.30	50.70
P1 지점				-1.38	-41.48	-63.40
P1-P2 경간					70.40	28.80
P2 지점			-1.67	-1.67	-40.17	-58.90
P2-P3 경간			98.40	98.40	72.80	35.80
P3 지점		-1.72	-53.42	-53.42	-39.82	-57.80
P3-P4 경간		101.00	63.60	63.60	73.28	29.70
P4 지점	-1.44	-52.24	-33.94	-33.94	-38.69	-63.10
P4-P5 경간	104.00	62.70	77.50	77.50	73.67	54.80

~P4 구간에서 3.3배(209.3mm/62.9mm)까지 크게 발생되어 있어 시공단계에 따라 실제로 크게 발생하는 처짐을 고려해야 함을 확인할 수 있다.

Fig. 10은 시공단계에 따라 변화되는 각 지점에서의 변위값의 변화를 나타낸 것이다. 최종 완료시점인 5단계에서는 교량의 여러 단면에서 발생하는 처짐이 거의 일정한 값으로 수렴되고 있다. 그러나 교량의 가설중에 일어날 수 있는 최대 처짐은 시공단계가 완료된 상태의 처짐에 비하여 P2~P3 구간에서 1.6배(323.4mm/205.8mm), P4~P5 구간에서 1.7배(314.4mm/186.3mm) 까지 커질 수 있음이 확인된다.

3.4.6 시공단계에 따른 응력 검토

Table 9에 따르면 가설단계에서 최대로 발생하는 응력은 P4~P5경간을 가설하는 1단계의 경간중앙부에 발생하는 104MPa이다. 일괄 시공시의 응력보다 블록별로 조립되어 시공될 경우, 정모멘트부에서는 응력이 증가하고 부모멘트부에서는 응력이 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 11은 시공단계에 따라 변화되는 각 지점에서의 응력값의 변화를 나타낸 것이다. 최종 완료시점인 5단계에서는 교량의 여러 단면에서 발생하는 응력이 처짐의 경우와 마찬가지로 수렴되고 있지만 교량의 가설중에 일어날 수 있는 최대 응력은 완료된 상태의 잔류 응력에 비하여

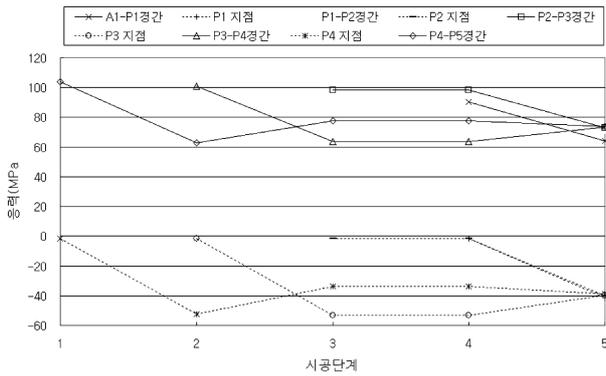


Fig. 11 Variables of stress in each stage

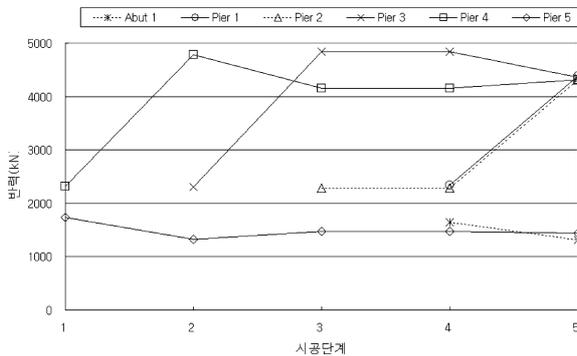


Fig. 12 Variables of reaction in each stage

P4~P5 구간에서 1.4배(104MPa/ 73.67MPa)까지 차이가 발생할 수 있으므로 가설 시의 응력 변동을 확인하여 안전에 대한 검토가 필요하다. 그러나 대상교량에 대해 검토해보면 사용된 강재는 SM490으로 허용응력은 190MPa이며, 가설시를 고려하면 최대 1.5배까지 허용응력을 증가시킬 수 있으므로, 현재 대상교량의 가설 도중 발생하는 고정하중에 대한 최대 발생응력 104MPa는 충분한 안전여유가 확보되고 있으며, 기왕의 단계별 시공에 큰 무리는 없었던 것으로 판단된다.

3.4.7 시공단계에 따른 반력 검토

Fig. 12에 따르면 내부 Pier 부에서 발생하는 반력이 거의 동일하게 계산되는 것을 확인할 수 있으며 Abut 부에서는 Pier 부의 약 40%정도가 발생되고 있어 이론적인 값 ($\frac{3}{8} : \frac{10}{8}$)에 거의 맞추어 균형분배되는 것이 확인된다.

일반적인 설계에서는 Abut 1의 경우 강재 고정하중에 의하여 1,140kN의 반력이 작용할 것으로 계산할 것이다. 그러나 시공단계에 따라서 가설중 최고 1,645kN의 반력이 가해지며, 강교량 가설 후에는 1,313kN으로 안정된다. 실제 Abut 1에서는 강재자중 뿐 아니라 Table 6을 참고로 하면 2차고정하중에 의하여 982kN과 활하중에 의하여 발생하는 반력까지 고려하여 충분한 여유가 있는 교차장치가 설치되었을 것이다. 그러나 가설에 따른 반력이 설

계에서 계산된 반력과 다르다는 사실이 확인되고 있으므로 만일의 대비를 위하여 이에 대한 충분한 검토가 이루어져야 할 것이다.

이상과 같이 대상교량의 시공단계에 따른 구조해석 결과, 강재 주형 거치시에는 추가적인 고정하중이나 활하중의 영향이 제외되므로 가설시 반력집중은 구조물의 안전을 해칠 정도의 크기는 아니었으나, 전체 강재 주형이 한번에 거치된다는 가정하에 계산된 응답보다 큰 응답이 가설 중과 가설 완료 후에 발생됨을 구조해석 결과로부터 확인하였다.

그러므로 설계에서의 일괄 가설 가정과 달리 블록으로 나누어져 가설되는 강교에서는 경제적인 가설방법을 얻기 위해서는 시공단계에 따른 구조해석 검토가 설계과정에서 필요하다고 생각한다.

4. 결론

경간장 585m의 U-리브로 보강된 강바닥판을 적용한 폐단면 상자형 도로교를 대상으로 시공단계에 따른 구조물의 거동을 측정하였으며, 3차원 Full 모델링을 실시하여 실제 가설 순서대로 시공단계 해석을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 시공단계에 따른 구조물의 응력값과 이를 모사한 3D 구조해석 결과 사이에는 오차가 약 8% 이내로 제한되어, 적절한 구조해석을 모델을 얻을 수 있었다.

2) 설계자료와 3차원 모델의 해석값을 비교한 결과, Grid 해석에 의한 설계방법은 좌후 편심되는 하중의 거동을 모사하는데 한계가 있는 것으로 판단되었으며, 오차 범위는 약 -10% ~ 20% 정도였다.

3) 교량의 가설이 진행됨에 따라 가설 중에 일어날 수 있는 최대 처짐은 완료된 상태의 처짐에 비하여 P4~P5 구간에서 1.7배 이상까지 크게 발생되었다. 또한, 전체교량이 일체로 시공된다는 가정에서 계산된 변위와 비교하면 1.5배~3.3배까지 크게 발생되고 있어 시공단계에 따라 실제로 크게 발생하는 처짐을 고려해야 한다.

4) 일괄 시공된다는 가정에서 구한 응력과 비교할 때, 단계별로 시공된 교량은 정모멘트부에서는 응력이 증가하고 부모멘트부에서는 응력이 감소하는 경향을 보였으나, 교량의 가설이 진행됨에 따라 가설중에 일어날 수 있는 최대 응력은 완료된 상태의 응력에 비하여 P4~P5구간에서 1.4배까지 차이가 발생되고 있어, 가설 시의 응력 변동을 확인하여 안전 및 경제성에 대한 검토가 필요하다고 생각한다.

이와 같이 전체 구조물이 일체로 되어 한번에 거치된다는 가정하에 계산된 결과는 시공단계 해석에 의해 도출된 결과와 차이가 발생되고 있으며, 중간의 가설과정에서 설계에서 고려된 응답보다 더 큰 결과가 도출될 수 있으며

로, 설계시 시공단계를 고려한 해석을 통하여 합리적인 구조설계가 이루어져야 한다.

감사의 글

본 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. 조충영, 최성욱, 이동일, 엄기엽 “명지대교건설 민간투자사업 설계사례”, 한국강구조학회학술발표논문집, 한국강구조학회, 2005, pp. 586-591.

2. 건설교통부, 도로설계기준, 2005.
3. 건설교통부, 도로교 설계 편람(III) 교량편, 2001, pp.506-153~506-220.
4. 대림산업주식회사, 서해안 고속도로 서해대교 공사지, 2001, pp.36-47.
5. 마이다스아이티, Analysis for Civil Structures, 2008.
6. 명지대교주식회사, 명지대교 강교가설공법 변경실시설계 구조 계산서 및 설계도면 (본선 MBR1), 2006.

(접수일자 : 2009년 9월 30일)

(심사완료일자 : 2009년 12월 4일)

요 지

시공단계에 따른 강상관교의 변위를 측정하였고, 이 결과와 비교하기 위하여 3차원 구조해석을 수행하였다. 검증된 모델을 사용하여 대블럭 시공법에 의한 시공단계에 따른 3차원 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 1. 설계에 사용된 Grid 해석과 3차원 해석에 의한 결과를 비교하면, Grid 해석의 결과는 곡선교의 변위를 모사하는데 한계가 있었으며, 두 가지 해석방법에 의한 변위의 차이는 약 10~20%정도였다. 2. 가설중에 일어날 수 있는 최대 처짐은 완료된 상태의 처짐에 비하여 1.7배까지 크게 발생하였다. 3. 시공단계 해석 결과, 블록시공법에 의하여 시공되는 교량의 거동은 전체 구조물이 일체로 되어 한 번에 거처되는 교량과는 다른 결과가 도출되며, 중간 단계에서는 설계시 고려된 응답보다 더 큰 결과가 도출되고 있으므로, 설계시 시공단계를 고려한 해석을 통하여 합리적인 구조설계가 이루어져야 한다.

핵심 용어 : 시공단계, 대블럭가설공법, 강상관교, 3차원 구조해석