

노후교량을 이용한 가설시 기존교량 보강 방법 - WPC 거더 철도 과선교 중심

Reinforced Method of Existing Bridge for Erection Used Old Bridge - WPC Girder for Rail Overpass Bridge in Downtown



이호근*
Ho-Keun Lee



양효종**
Hyo-Jong Yang



고범석***
Beom-Suk Ko



한중덕****
Jong-Deok Han



양철호*****
CHel-Ho Yang

1. 서론

교량의 교체는 내구연한 경과로 인한 교량의 노후화와 도시의 팽창으로 인한 도시계획의 변경에 따른 도로의 신설, 통행하중 증가에 따른 교량등급 상향 및 기타 환경적 요인들 등에 의해 그 교체 주기는 점점 짧아지고, 기존 교량들은 교체, 신설되고 있다. 한남 고가차도 역시 도시계획의 변경 및 노후화로 인해 교량의 재가설이 추진되었고, 현재 오정오거리 방향 교량에 대하여 가설이 완료된 상태이다.

국토해양부에서 매년 발표하는 전국교량건설 현황 통계자료에 의하면 최근 10년간 국내에 건설된 교량은 연평균 140 km 이상 건설되고 있다. 그러나 지난 수년간 경제발전으로 인해 부족함 도로를 확보하기 위한 건설이 우선시되었고, 건설시 안전성, 건설 후 유지관리부분에 대해서는 상대적으로 등한시 된 것이 사실이다. 1994년 성수대교 붕괴사고 이전까지만 해도 건설 완료된 교량들에 대한 유지관리의 중요성은 신설 교량들에 비해 크게 대두되지 않았다. 성수대교 사고를 포함한 일련의 사건, 사고들의 발생으로 인해 유지관리 중요성이 부각되었고, 이에 따라 건설 후 건설 당시의 자료들(도면, 계산서 등)의 가치가 중요함을 인지하게 되었다. 현재 최근 몇 년 사이에 건설된 교량들을 제외한 과거 수년간 건설된 교량 및 구조물 자료들은 그 중요성이 깊게 인식되지 않아 건설이 완료된 교량들에 대한 정보가 부족한 경우가 많이 있다. 따라서 본 고에서는 한남 고가차도와 같이 기존 교량들에 대한 설계정보들이 부족하여 임시적으로 설계하중 이상의 하중이 작용하는 경우, 즉 가설을 위한 가설도로로 활용될 경우 기존교량의 보강방법 및 이에 대한 구조적 접근 방법을 제시하고, 최초로 적용하는 WPC 거더 철도 과선교에 대해 소개한다.

2. 한남 고가차도 현황

한남 고가차도 건설공사는 대전시 오정동에 위치한 경부선 철로를 횡단하는 과선교로 공사명은 '경부고속철도변 정비사업 한남고가차도 건설공사'이다. 이 공사는 경부선을 횡단하는 구간을 포함하고 있으며, 교량구간은 WPC 거더 교량으로 설계 반영되었다. 교량의 총연장은 오정오거리 방향으로 170 m(35 + 39 + 29 + 37 + 30), 한남대방향으로 173 m(35 + 35 + 30 + 35 + 38)인 두 개의 상하행선 분리교량으로 도로폭은 보도의 유무에 따라 8.81 m ~ 11.31 m이다. 공사기간은 2008년 11월에서 2010년 11월까지 약 2년의 공사기간으로 현재 기존 한남 고가차도 옆 오정오거리 방향의 교량을 우선적으로 설치 완료하였다. 이후 기존 한남 고가차도 구간을 철거한 후 한남대 방향의 공사가 진행될 예정이다.

한남 고가차도에 적용된 WPC 거더 교량공법은 상부플랜지를 내·외측으로 폐합 확대하여 단면의 구조적 효율성을 향상시킨 박스형태의 PSC 거더 형식으로 제작된 거더를 상부 플랜지가 서로 맞닿도록 배치하고 바닥판을 타설하여 교량을 완성하는 방식이다. 그러므로 일반 거더교에 비해 바닥판 타설시 거푸집 및 동바리 공정이 불필요하고 시공성이 우수하며, 작업자의 안전사고를 예방할 수 있는 경제성과 시공성을 두루 갖춘 신개념 교량 건설공법으로 작업자의 안전성 확보와 선로 비상하는 낙하물을 최소화 할 수 있어 철도과선교에서도 그 적용성이 우수하다. 특히 경부선은 서울, 광주, 부산을 연결하는 물류의 대동맥으로 횡단교량의 안전이 무엇보다도 중요하고, 한남 고가차도 하부로는 매일 수백량의 열차가 운행되고 있어 시공시 열차의 정시성과 안전성 확보가 필수적인 곳이다.

한남 고가차도의 철도횡단구간 작업시간은 철로의 차단가능한 새벽(01:00 ~ 04:00) 시간이며, 연착, 안전을 위한 조기 작업 중지 시간을 고려하면 매일 작업할 수 있는 시간은 2시간 30분 내외로 상당한 시간적 제약이 있었다. 작업시간의 제약은 매

* 정희원, 이엔이건설(주) 기술팀 차장
hokeun74@paran.com

** 이엔이건설(주) 부설연구소장 상무

*** 이엔이건설(주) 공사팀 이사

**** 신도중합건설(주) 현장대리인

***** (주)삼보기술단 책임감리원

일 작업할 수 있는 시간이 짧기 때문에 WPC 거더 교량은 타형식에 비해 거푸집, 동바리 작업 및 낙하물 방지공 등의 안전장치 설치 등 절대적인 공사기간을 감소시킬 수 있어 실질적인 공기 단축에도 상당한 도움이 되었다.

<그림 1>은 한남 고가차도 WPC 거더 가설후 교량전경을 나타낸 것이며, 앞쪽에 보이는 교량은 기존 한남 고가교이고, 뒤쪽으로 보이는 교량은 신설된 한남 고가차도이다. <그림 1>의 하면은 신설 한남 고가차도의 종단면도를 나타내고 있으며, 신설한남 고가교 설치를 위한 가설벤트 보강도를 나타내었다.

3. 신설 한남 고가차도 가설 방안 검토

기존의 한남고가교는 1984년 12월 준공되었고, 현재까지 몇 번의 개보수를 거쳐 사용되고 있다. 2010년 현재 새로운 도시계획과 더불어 기존 교량 철거 및 한남고가의 새로운 신설이 확정되었으며, 현재 기존 교량 옆에 오정오거리 방향으로 신설 한남 고가차도가 시공 중이다. 기존의 한남 고가교는 새롭게 신설되는 교량이 완료되면 철거후 재가설 될 계획이다. 신설되는 한남 고가의 가설여건을 검토한 결과 도심지 공사로 인한 운반로 확보의 어려움으로 인하여 기존 한남 고가차도를 이용한 신규교량의 가설방법을 최적 안으로 확정하였다. 기존 교량을 이용하기 위해 다양한 방법이 검토되었지만, 최종적으로는 DB18로 설계된 기존교량의 단면을 보강하는 방법을 선정하였다. 기존 교량의 설계정보가 부족하여 제원 및 설계내용을 확인하기 위해 연장 25m, DB18로 설계된 교량들에 대한 PSC 표준도를 조사한 결과 기존의 표준도는 <표 1>과 같이 한남 고가교와 비슷한 형태를 갖는 경우는 없는 것으로 파악되었다. 따라서 현재 통행

되고 있는 한남 고가차도는 표준도와 다른 일반형식의 PSC 거더로 설계된 것으로 파악되어 조사한 자료에서는 설계조건을 확인할 수 없었다. 이에 본 교량은 강연선 및 긴장력 등의 설계조건에 대한 어떠한 정보도 확인할 수 없어 보수공사를 위해 조사된 거더 일반도를 기준으로 가설시 가설하중에 대한 거더의 보강방법을 여러 형태로 검토한 후 아래와 같은 방법에 대하여 결정하였다.

초과하는 하중에 대하여 보강하는 방법은 거더 단면자체의 강성을 키우는 방법과 작용하중에 대한 발생모멘트를 줄이는 방법으로 구분될 수 있고, 단면강성을 키우는 방법은 단면을 변경하는 방법과 보강하는 방법으로 구분될 수 있다. 단면을 변경하는 방법은 교량의 계획단계에서 가장 합리적인 방법이고, 단면을 보강하는 방법은 통상적으로 실시하는 방법으로 내하력 평가과정을 거쳐 필요한 만큼 단면의 강성을 키우는 방법으로 영구적인 보강방법이다. 또한 발생모멘트를 줄이는 방법으로는 먼저 구조물의 등급 변경 등으로 작용하중을 줄여 발생모멘트를 작게 할 수 있고, 두 번째로는 작용하중이 이미 결정되어 있는 상태에서 발생모멘트를 줄이는 방법으로 지간을 줄이는 방법이 있다.

기존 한남 고가차도는 25년전에 시공이 완료되어 공용되고 있는 상태이며, 오정오거리방향의 교량 설치후 철거 재가설 될 교량으로 영구적인 보강방법은 경제적인 면에서 합리적인 선택이 될 수 없었다. 또한 영구적인 방법으로 보강을 실시하더라도 설계된 단면력을 정확하게 알 수 없어 어느 정도를 보강해야 하는지 알 수 없다. 그러므로 영구적인 보강방법이 아니라 임시적인 보강방법들 중에 합리적인 방법은 거더 하면에 임시적인 지점을 형성하여 거더의 지간을 줄이는 것으로 선정하였다. 기존 한남 고가교 경우 교량에 대한 설계정보가 없기 때문에 '기존의

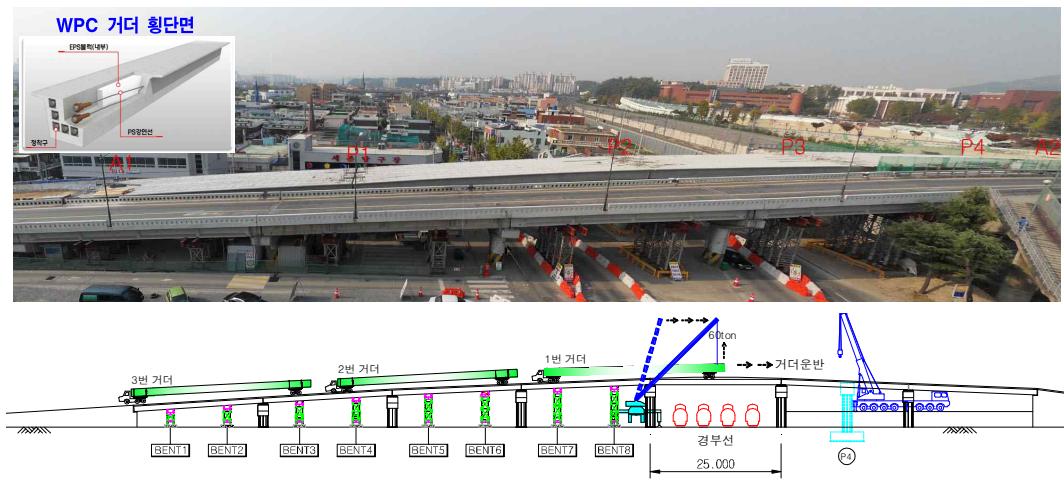


그림 1. 한남 고가차도 거더 거치 및 가설벤트 설치 전경

표 1. 연대별 적용 표준단면의 변화

구분	도로교상부구조 표준도	고속도로건설공사 표준도	고속도로건설공사 표준도	한남 고가차도
연도	1978년	1989년	2001년	1984준공
발행처	건설부	한국도로공사	한국도로공사	-
거더 횡단면				
형고(H)	1.65 m	1.75 m	1.75 m	1.39 m
긴장력	8@54 ton	3@144 ton	3@143 ton	?
f_{ck}	370 kgf/cm ²	400 kgf/cm ²	400 kgf/cm ²	?
설계하중	DB18	DB24	DB24	DB18

DB18로 설계된 설계하중이 작용했을 때 발생하는 모멘트와 가설하중이 작용하였을 때 발생하는 모멘트의 크기를 비교하여 가설시 발생하는 모멘트가 작게 발생되도록 하는 벤트를 계획하였고, 설치 위치는 다음과 같은 조건들을 만족하도록 하였다.

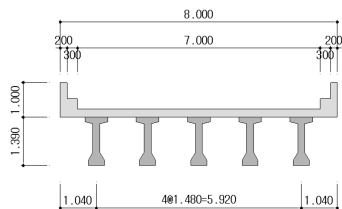
먼저 교량의 위치가 도심지이므로 교통흐름을 최대한 확보할 수 있는 방향으로 가설벤트의 설치 위치를 계획하였고, 두 번째로 가설벤트 설치로 인해 발생하는 모멘트의 분포가 기존 교량에서 발생하는 최대모멘트가 발생하는 위치에서 가설벤트 설치 후에도 동일하게 발생되게 하였다.

이는 벤트 설치후 벤트 설치부에서 부모멘트가 발생하게 되면 PSC 거더에서 최대 압축력이 작용하는 부분에서 부모멘트에 의해 거더 하면의 압축력 증가로 인한 취성적인 압축파괴를 방지하기 위함이다. 이와 같은 이유로 가설을 위한 벤트는 지간 당

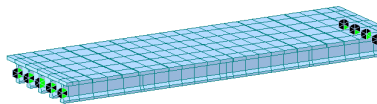
2곳에 설치하였고, 유한요소 해석을 통하여 최적 위치를 결정하였다.

3.1 기존교량 횡단면도 및 구조해석 모델

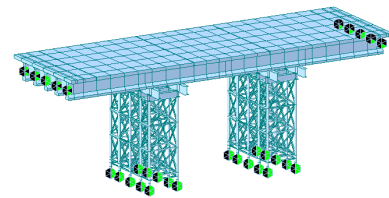
앞서 설명한 것과 같이 기존교량에 대한 구조해석 모델을 설정하여 DB18의 설계하중 모멘트도를 작성하고 이보다 작은 모멘트가 발생하도록 벤트의 위치를 결정하였다. 적용 교량의 지간은 25m PSC 거더 교량으로 안전측 검토를 위해 모델링 지간은 받침 중심간 거리가 아닌 교량 지간을 적용하였고, 거더, 가로보 및 벤트는 보요소로 모델링 하였다. 가설벤트는 임시 지점을 내부에 설치한 모델에 대하여 반력을 산정하고, 반력에 대하여 벤트의 단면을 결정하였으며, 결정된 보강용 가설벤트를 기존의 모델과 연결하여 전체 모델을 완성하였다. 적용한 유한



(a) 기존 한남고가교 횡단면도



(b) 기존 한남고가교 모델



(c) 가설벤트 설치후 모델

그림 2. 기존 한남고가교 횡단면 및 유한요소 모델

요소 모델과 횡단면도는 <그림 2>에 나타내었으며, 벤트가 설치된 모델은 <그림 2-(c)>와 같다.

3.2 작용가설하중 및 하중재하 방법

가설 벤트는 설치위치에 따른 발생 모멘트를 분석하여 최소 모멘트가 발생하는 위치로 결정하였고, 발생하는 모멘트는 DB18 2차선을 전체 하중 재하시 발생하는 모멘트보다 작은 모멘트가 되게 하였다.

최적의 설치위치는 측경간과 중앙경간의 정모멘트 및 설치된 벤트에 의해 발생하는 부모멘트가 동시에 최소화되는 곳으로 경간구성은 7.0 m + 11.0 m + 7.0 m이었다.

기존의 한남고가교에 작용하는 하중은 WPC 거더의 무게와 트레일러 및 기관차의 무게를 고려하였고, WPC 거더의 최대 중량은 1,650 kN이며 기관차와 트레일러의 무게는 150 kN을 적용하였다. 하중의 작용위치는 <그림 3-(b), (c)>와 같이 편측 및 중앙부에 재하하여 거더에 최대 모멘트가 발생되게 하였다.

3.3 해석결과

앞서 언급하였듯이 기존 교량에 대한 강선제원 및 긴장력에 대한 정보 부재로 인해 제안하는 안전성 검토 방법은 WPC 거더 가설하중에 의해 발생하는 최대 모멘트의 크기를 기존 설계

하중(DB18)에 의한 모멘트 보다 작게 되도록 가설벤트를 설치하여 두 모멘트의 비교를 통해서 정모멘트부의 안전성을 확인하였다. 또한 전단력과 벤트설치에 의해 발생하는 부모멘트에는 보수적인 가정조건을 적용하여 단면력을 검토하였다.

3.3.1 정모멘트 최대부분 검토

<그림 4>와 같이 기존 한남고가 교량에 가설벤트를 보강하지 않은 경우 DB18의 설계하중에 의한 활하중 발생 모멘트는 829.52 kN·m이고, 가설하중이 작용하는 경우 발생하는 모멘트는 1376.82 kN·m으로 가설하중에 의한 모멘트가 설계하중에 의한 모멘트의 1.66배 정도 크게 발생하고 있다. 따라서 기존 교량을 이용한 WPC 거더의 가설은 벤트를 이용한 보강방법을 적용함으로써 발생모멘트를 DB18 설계모멘트 이하로 확보할 필요가 있다.

기존 한남고가교의 내하력이 어떤 수준인지 정확하게 알 수 없지만 <그림 5>에서와 같이 설계하중인 DB18이 작용하는 경우를 기준으로 했을 때 ‘가설벤트 설치 후 가설하중 작용시 최대 발생 모멘트’/‘설계하중 최대 발생모멘트’의 비(= 423/830 = 0.51)는 약 51%로 설계하중의 거의 50% 수준의 활하중이 작용하는 경우와 같음을 알 수 있었다. 그러므로 가설 벤트 설치후 DB18의 작용하중과 비교하여 중앙부 최대 모멘트 안전율은 약 1.96배를 확보할 수 있음을 확인하였다.

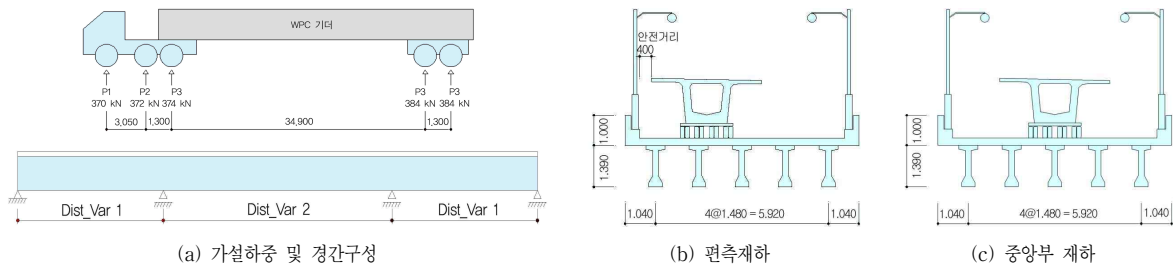


그림 3. 경간구성, 가설하중 및 하중재하 위치

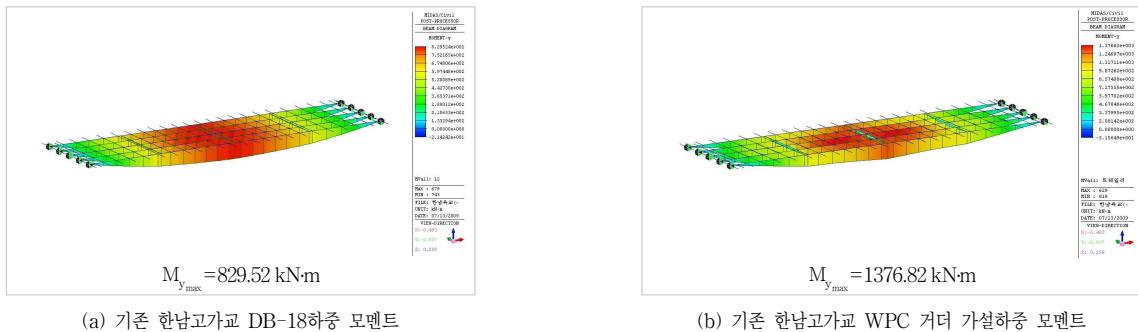


그림 4. 기존 한남고가교 DB18-하중 및 WPC 거더 가설하중 모멘트

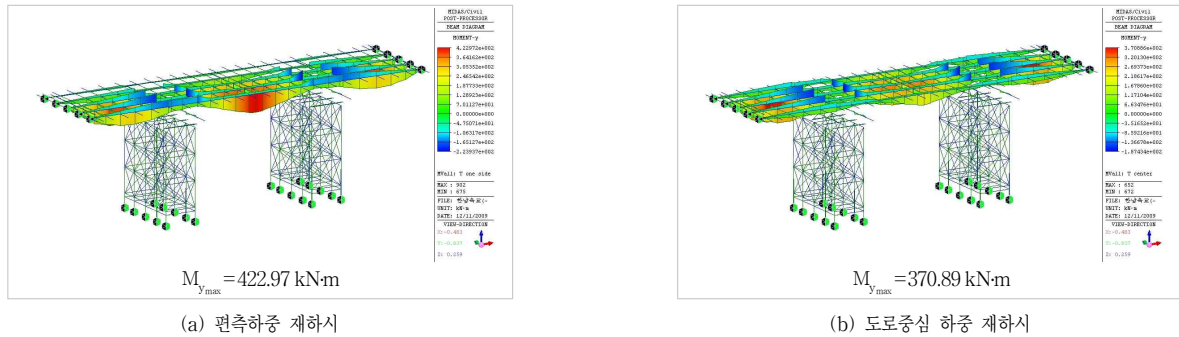


그림 5. 가설벤트 설치후 가설하중 재하 결과

3.3.2 부모멘트 구간 검토 및 전단력 검토

정모멘트와 달리 부모멘트가 발생하는 벤트 상단부에서 단면력은 바닥판의 종방향 수평온도철근을 고려하여 단면력을 검토하였다. 수평온도철근의 배근 간격은 D13($f_y = 300 \text{ MPa}$)@200 mm, 바닥판 두께는 200 mm로 가정하였고, 이때 단면력과 발생모멘트와 비교 검토한 결과 설계 단면력이 계수하중을 상회하였다. 발생전단력은 기존 교량의 제원으로부터 거더 자중, 바닥판, 포장, 방호벽 하중을 고려하였고, 최대 전단력이 발생하는 지점부, 가설벤트 설치부에 대하여 검토하였다. 아래의 표에서와 같이 작용하중에 대한 부모멘트 및 전단력은 가정에 의한 추정 단면력보다 작은 값을 나타내고 있으며, <표 2>에서와 같이 철근 간격 및 직경은 상당히 보수적인 값으로 가정하였기 때문에 충분히 안전할 것으로 판단되었다.

3.4 검토 결과

3.4.1 정모멘트 부분의 단면 검토 결과

현재 한남 고가교의 설계 하중(DB18) 작용시 발생하는 모멘트 값과 가설하중을 재하시 발생하는 모멘트 값의 비교로부터 가설시 현 한남고가교의 안전성을 검토한 결과 거더 중앙부에서 발생하는 최대모멘트 비 즉, '가설벤트 설치후 가설하중 작용시 최대 발생 모멘트' / '설계하중 최대 발생모멘트'비(= 423/821 = 0.51)는 약 51%로 설계하중의 50% 수준의 모멘트가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 발생하는 모멘트의 비교에서와 같이 휨에 대한 단면의 안전성을 확보하고 있음을 알 수 있었다.

3.4.2 가설벤트 설치지점에서의 부모멘트 및 최대전단력 검토 결과

가설벤트 설치 후 가설하중 작용시 가설벤트 설치 부분에 발생하는 바닥판의 부모멘트를 확인한 결과 보수적인 가정조건들에 의해 계산된 단면력을 만족하였다.

가설벤트 설치 후 가설 하중 작용시 발생하는 전단력을 강도 설계법으로 비교 검토한 결과 계수하중에 의한 전단력은 전단강도(콘크리트+철근)보다 작기 때문에 전단에 대한 안전성을 확

표 2. 벤트 설치부의 부모멘트 및 최대전단력 검토

<p>[가정 조건]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 수평온도철근 간격 : 200 mm · 바닥판 두께 : 200 mm · 전단철근 직경 : D13(=126.7mm²) · 전단철근 간격 s : 300 mm · 철근 항복강도 f_y : 300 MPa 	<p>벤트 설치부 부모멘트 휨 검토</p> <p>[휨강도검토]</p> <ul style="list-style-type: none"> · $C = 0.85f_{ck} \times a \times b = 13,685a$ · $T = A_s \times f_y = 532,140$ · $C = T$ 이므로, $a = 38.885 \text{ mm}$ · $M_n = T \times (d - \frac{a}{2})$ = 761,257 kN · m · $\phi M_n = 647,068 \text{ kN} \cdot \text{m}$ · $M_u = 1.3(L + D) = 291,118 \text{ kN} \cdot \text{m}$ <p>$\therefore \phi M_n > M_u \Rightarrow \text{O.K}$</p>	<p>벤트 설치부 전단(최대전단) 검토</p> <p>[전강도검토]</p> <ul style="list-style-type: none"> · $V_c = 1/6 \sqrt{f_{ck}} b_w d = 264.733 \text{ kN}$ · $V_s = \frac{2 \times A_s \times f_y \times d}{s}$ = 367.430kN · $\phi V = \phi(V_c + V_s) = 505.722 \text{ kN}$ · $V_u = 1.3VD + 1.3VL$ = 417.032 kN <p>$\therefore \phi V_n > V_u \Rightarrow \text{O.K}$</p>
---	---	--

보하고 있고, 안전율은 1.21을 나타내었다.

4. 한남 고가차도 WPC 거더 가설

앞서 설명한 가설 보강 방법의 검토과정을 거쳐서 보강용 가설벤트를 설치한 다음 한남고가교 오정오거리 방향의 WPC 거더교를 시공하였다. <그림 6>은 계산에 의해 결정된 위치에 가설벤트의 설치 전·후의 모습을 나타내었고, <그림 7>은 신설 한남고가교 WPC 거더의 대표적인 시공과정을 나타내었다. 가설작업은 도심지 공사로 인해 교통통제를 주간에는 할 수 없어 통행량이 적은 새벽(0:00 ~ 06:00) 시간에 철도횡단구간과 일반구간을 나누어 수행되었으며 안전하게 작업을 완료하였다.

5. 결론

한남 고가차도의 WPC 거더 교량은 과선교 적용 첫 번째 사례로 도심지 제작장 확보, 운반, 가설 등 작업의 시간적, 공간적 제약이 많은 현장으로 과선교의 특성상 거치 후 작업중 낙하 등의 문제를 해결할 수 있는 효율적인 구조 시스템의 교량이다. 도심지 교량건설공사에서 기존도로를 활용하는 것은 피할 수 없는 과정이지만, 많은 교량들의 설계제원이 부족한 것 또한 현실적인 문제이다. 본 고에서와 같이 가설벤트를 이용한 방법은 향후 이와 유사한 교량의 시공시 보강방법의 좋은 예가 될 것으로 생각된다. 또한 이와 같은 접근은 기존의 보강방법에 비해 쉽게 접근할 수 있고 안전성을 충분히 확보할 수 있는 직관적인 방법이다. 기존 한남 고가교의 철거 후 시공을 기다리고 있는 한남대 방향의 교량은 현재 시공한 오정오거리 방향의 교량에 가설을 위한 충분한 안전율을 포함하도록 설계에 반영하여 시공의 편의성을 최대한 반영하였다. 설계제원이 부족한 많은 교량을 임시적으로 보강할 경우 앞서 설명한 과정의 검토로 충분히 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 이와 같은 현상이 발생할 경우 조금이나마 도움이 되었으면 하는 바람이다. □

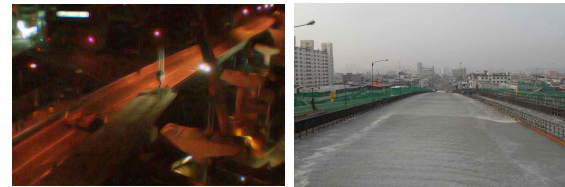


(a) 설치 전 (b) 설치 후

그림 6. 가설벤트 보강전후 기존 한남고가교 차도 전경



(a) 상차 (b) 운반



(c) 가설 (d) 바닥판 타설

그림 7. 신설 한남고가교 시공 전경

참고문헌

1. 이호근, 인정태, 장동학, 허석범, '확폭 플랜지를 갖는 프리스트레싱 U형 거더의 동적 및 정적 성능시험', 콘크리트학회지, Vol. 21, No. 4, 2009. 7, pp.50 ~ 56.
2. 한국철도기술연구원, 'WPC교량의 동적성능 검증 분석에 의한 철도교 적용성 연구(최종보고서)', 2008. 6.

담당 편집위원 :
 손혁수((주)서영엔지니어링) shssge@yumail.ac.kr

<http://www.kci.or.kr>

KOREA CONCRETE INSTITUTE