

3-D 해석에 의한 워킹타워 설치 사례

오문석 한국도로공사 삼척속초건설사업단 책임감독
 천승현 한진중공업 삼척속초건설사업단 삼척-동해4공구 현장소장
 안영인 한진중공업 삼척속초건설사업단 삼척-동해4공구 공무팀장

삼척-동해간 고속도로 건설공사는 기존 동해고속도로를 남삼척나들목까지 연결하는 공사(총연장 18.6km, 2차로)다. 이 중 한진중공업에서 시공하는 4공구는 전천대교, 쇄운교, 지홍1교, 지홍2교 등 고교각 장대교량으로 구성되어 있으며 2015년 12월 완공을 목표로 하고 있다.

교각 시공 시 균로자의 이동을 위해 교각과 근접하여 설치하는 워킹타워는 현재 명확한 설치기준이 없는 상황이다. 때문에 현장마다 상이하게 설치되어 있는 데다, 성능이 검증된 자재를 사용하는 것이 중요함에도 불구하고 수리와 선별이 제대로 되지 않은 재사용품 및 미검정 가설재가 다양 사용되고 있다. 즉 균로자의 안전상 위험요소가 상당히 내재되어 있는 것이다.

이에 워킹타워의 구조적인 안정성 확보 및 안전상 위험요소 제거에 기여하고자 당 현장의 전천대교 및 지홍1교에 설치한 워킹타워의 체계적인 시공 및 관리방안을 소개한다.

1. 워킹타워 설치

가. 워킹타워 설치 현황

전천대교는 총길이 685m PSC BOX GIRDER교 형식이다. 상부구조물을 교대후방에 미리 설치한 제작장에서 1Segment(일반적으로 1Span을 2-3등분)씩 제작하여, Prestress를 도입시킨 후 교량의 교축방향으로 특수 압출장비를 이용하여 밀어내는 가설공법인 ILM공법으로 설계되어 있다. 폭원 12.6m의 상·하행선 분리구간으로 양방향 교

각과 교각사이가 최대 27.3m 이격되어 있고, 교각 높이는 17.5m ~ 37.5m로 구성되어 있다(그림 1).



그림 1. 전천대교 시공 전경

전천대교 워킹타워는 교각과 교각사이의 거리가 멀어 교각 1개소 당 1개의 워킹타워를 설치하는 3점지지 방법을택 하였다. 교각기초를 벗어나 워킹타워가 설치됨에 따라 설치 위치에 콘크리트 기초를 20cm 두께로 시공 후 워킹타워를 설치하고 균로자 이동에 따른 흔들림에 의한 워킹타워의 이동을 방지하기 위하여 워킹타워와 기초 상단부를 세트앵커로 고정하였다(그림 2).

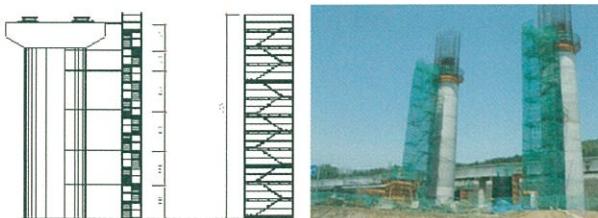


그림 2. 전천대교 워킹타워

지홍1교는 총길이 270m, 폭원 24.3m 복합 트러스 형식

(PCT)의 특수 교량으로, FCM가설공법을 국내에 최초로 적용한 교량이다. 이는 이동식작업차(Form Traveller)를 이용하여 교각에서 순차적으로 한 Segment씩 제작하여 Cantilever를 시공함으로써 교량을 가설하는 공법을 말한다. 지흥1교는 상·하행선 일체구간으로 설계되어 양방향 교각과 교각사이가 12.2m 이격되어 있고, 교각 높이는 21.0m ~ 33.0m로 구성되어 있다(그림 3, 4).



그림 3. 지흥1교 시공 전경

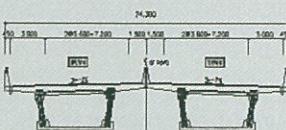


그림 4. 지흥1교 상부 단면도

교각과 교각사이 거리가 12.2m의 일정한 간격을 유지함에 따라 교각마다 워킹타워를 설치하지 않고 교축방향 교각과 교각사이 중간부에 워킹타워를 설치하였다. 워킹타워가 교축방향 중간부에 설치됨에 따라 설치위치를 일정한 높이로 복토하여 4점지지 방법을 택하였고, 워킹타워 기초지반의 안정성 확보를 위해 기초 바닥에 20cm 두께로 콘크리트를 타설하였다. 또 근로자의 이동에 따른 흔들림으로부터의 워킹타워 이동을 방지하기 위하여 워킹타워와 기초사이를 세트앵커로 고정하였다(그림 5).

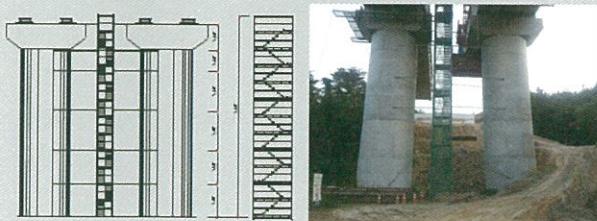


그림 5. 지흥1교 워킹타워

워킹타워 전도방지를 위한 전도방지재는 강관파이프($\Phi 48.6\text{mm}-2.3\text{t}$)를 사용하여 3.6m 간격으로 설치하였고, 워킹타워와 전도방지재의 연결부는 클램프를 이용하여 체결하였으며, 교각 기둥과 연결부는 세트앵커를 이용하여 교각기둥에 고정하였다.

워킹타워는 비틀림 및 전도에 저항하도록 설치높이 20m

이상 구간에만 외부 브레이싱을 설치하여 보강하였다. 이는 설치높이 20m까지는 외부 브레이싱을 보강하지 않아도 비틀림 및 전도에 대하여 안전하다는 점을 감안한 조치다.

나. 워킹타워 설치 기준

워킹타워는 근로자의 이동을 위해 설치되는 작업통로로, 작업에 필요한 자재 및 공구를 적치하여 작업하는 작업용 비계와는 구분된다. 설치 기준은 국토교통부 설계실무요령 ‘비계설치 높이’ 기준을 준용하여 기초상단 ~ 코평 상단까지의 높이로 설치하여야 한다.

다. 자재공급원 승인 및 성능 확인

워킹타워에 사용되는 자재는 인증자재를 사용하여야 하며, 신규자재는 공급원 승인을 득한 후 사용해야 한다. 재사용 자재는 감독원 성능 확인 후 사용하여야 하며, 작업계단의 경우 신규자재는 공급원 승인, 재사용 자재는 사용 승인을 득한 후 사용하여야 한다.

안전인증 대상 자재는 작업대, 클램프, 조절형 반침찰물, 안전방망(1회용 재사용 불가), 수직보호망, 수직재, 수평재, 가새재, 연결조인트 등이 있다. 작업계단 검토·승인 시 확인서류는 공인기관 성능시험 성적서, 사업자 등록증 등이 있다.

작업계단 규격 및 성능기준은 KS F 8012 작업발판에 규정하고 있으며, 설치규격은 단 높이 240mm 이하, 발판 너비 350mm 이상, 디딤면 180mm 이상으로 규정하고 있다. 성능 기준은 계단발판 및 지지대 처짐량은 전체 처짐(지지대 포함) 25mm 이하, 계단발판 15mm 이내이며, 지지대 휨하중은 5,390N 이상으로 규정하고 있다.

라. 시공 전 가설구조물 시공계획 확인

워킹타워 시공 전에는 워킹타워 설치방법, 사용재료에 대한 품질인증서류 또는 시험성적서, 워킹타워 해체를 위한 방법 및 일정, 공급원 승인 신청서, 구조계산서 등을 확인하여야 한다.

2. 워킹타워 설계

가. 워킹타워 하중 적용 기준

가설공사 표준시방서(2014, 국토교통부)에서 비계 및 기타 가시설물의 설계 시에는 수직하중, 풍하중, 수평하중 및 특수하중 등에 대해 검토하여야 한다.

수직하중에는 워킹타워 및 작업발판의 고정하중과 작업하중이 있다. 통로역할을 하는 비계와 가벼운 공구만을 필요로 하는 경작업의 경우 바닥면적에 대해 $1.25\text{kN}/\text{m}^2$ 이상이어야 하고, 수평하중은 풍하중과 수직하중의 5%에 해당하는 수평하중 가운데 큰 값의 하중이 부재에 작용하는 것으로 한다.

풍하중 적용기준은 가설공사 표준시방서, 건축구조설계 기준 및 도로교 설계기준의 풍하중 항목을 따른다.

$$W_f (\text{풍하중}) = p_f \cdot A$$

$$p_f(\text{설계풍력}) = q_z \cdot G_f \cdot C_f (\text{N/m}^2)$$

A : 작용면의 외곽 전면적 (m^2)

가설구조물의 풍력계수(C_f)는 총실률에 따라 다음과 같이 산출한다.

$$C_f = (0.11 + 0.09\gamma + 0.945C_o * R) * F$$

γ : 보호망, 네트 등의 풍력저감계수

C_o : 가시설물의 기본풍력계수

R : 가시설물의 형상보정계수

F : 비계 위치에 대한 보정계수

특수하중은 선반 브래킷, 양중설비, 콘크리트 타설장비 및 낙하물 방지망 등 안전시설물의 특수한 설비를 설치한 경우에만 영향을 고려한다. 워킹타워는 작업자의 이동통로이며 특수한 설비가 설치되지 않음으로 특수하중은 고려하지 않는다.

나. 워킹타워 설계 기준

워킹타워 설계기준은 가설공사 표준시방서(건설교통부, 2014)를 준용하여 허용응력 설계법을 적용한다. 강재 또는 알루미늄재 등과 같이 비교적 재사용이 많은 부재에 대해서는 장기허용응력을 적용하여야 하나 풍하중, 충격하중과 조합되는 경우 단기 허용응력을 적용한다.

비계, 작업발판, 통로 및 부속품에 대한 안전율은 3이상이어야 하고, 워킹타워 등의 기타 가시설물에 사용되는 와이

어로프 및 강선의 안전율은 5이상으로 한다. 전도에 대한 안전율은 2이상이어야 한다.

워킹타워 등의 가시설물 설계는 시공시의 수직하중, 풍하중, 수평하중 및 특수하중에 대하여 검토하여야 하며, 작용되는 하중을 안전하게 기초에 전달하도록 하여야 하고, 조립·해체가 편리한 구조로써 이음부나 교차부에서 하중을 안전하게 전달할 수 있어야 한다.

워킹타워는 비교적 높게 설치되므로 3-D 상세해석을 적용하여 구조적 안정성을 검토하여야 한다.

3. 워킹타워 구조적 안정성 검토

가. 워킹타워 구조검토 방법

당 현장에 설치된 워킹타워의 전도방지재 연결방법은 상·하행선 분리구간으로 교각마다 설치되는 워킹타워의 경우 3점지지 방법을택하였고 3.6m간격으로 설치하였다(그림 6).

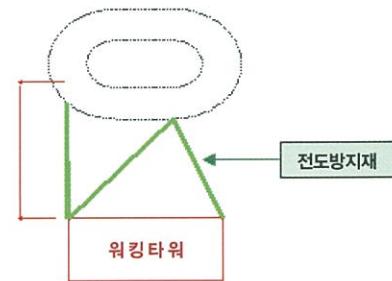


그림 6. 전천대교 3점지지

지홍1교는 상·하행선 일체구간으로 교축방향 교각과 교각사이 중간부분에 설치됨에 따라 4점지지 방법을택하였고 3.6m간격으로 설치하였다(그림 7).

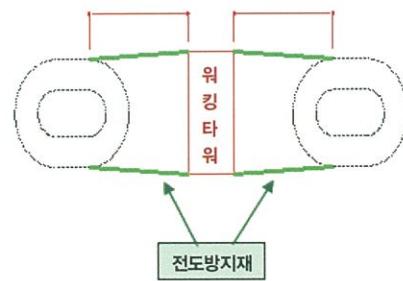


그림 7. 지홍1교 4점지지

워킹타워는 생산업체별로 규격이 상이함에 따라 당 현장에 설치된 워킹타워를 기준으로 전도방지재의 2가지 지지 방법에 대하여 3-D 상세해석을 통해 높이별 구조적 안정성 확보방안을 검토하였다(표 1).

3점지지	4점지지
- 20m 이하	- 20m 이하
- 21m~50m 이하	- 21m~50m 이하
- 51m~75m 이하	- 51m~75m 이하
- 76m ~ 100m 이하	- 76m ~ 100m 이하

표 1. 검토 CASE

나. 구조계산 하중 산정

수직하중은 1.25kN/m^2 으로 워킹타워 통행제한 인원 1인/80kg 기준 10인으로 제한하며, 2개층 동시 통행하는 것으로 가정하여 최하층, 중간층, 상단층으로 구분하여 각각 적용하였다. 수평하중은 수평, 수직부재에 작용하는 풍하중과 그물망에 작용하는 풍하중이 수직하중의 5%의 값보다 크므로 풍하중을 적용하여 3-D 상세 해석을 시행하였다.

다. 구조해석 결과

3-D 상세 해석을 통한 검토결과는 워킹타워 높이별 검토 CASE 20m이하에서는(표 2) 기존 워킹타워 자재사용 및 외부 브레이싱 미 보강 시에도 문제가 없는 것으로 검토되었다.

구분	적용자재	3점지지	3점지지
수직재	$\Phi 42.7-2.3t$	OK	OK
수평재	$\Phi 42.7-2.3t$	OK	OK
브레이싱	$\Phi 42.7-2.3t$	미설치	미설치
계단거치바	$\Phi 48.6-2.3t$	OK	OK
전도방지재	$\Phi 48.6-2.3t$	OK	OK

표 2. 20m이하 검토 CASE

높이별 검토 CASE 21m~50m이하에서는(표 3)

구분	적용자재	3점지지	3점지지
수직재	$\Phi 42.7-2.3t$	OK	OK
수평재	$\Phi 42.7-2.3t$	OK	OK
브레이싱	$\Phi 42.7-2.3t$	미설치	설치필요
계단거치바	$\Phi 48.6-2.3t$	OK	OK
전도방지재	$\Phi 48.6-2.3t$	OK	OK

표 3. 21m~50m이하 검토 CASE

3점지지의 경우 기존 자재 사용 및 외부 브레이싱 미보강 시에도 문제가 없는 것으로 검토되었으나, 4점지지의 경우 외부 브레이싱 보강이 필요한 것으로 검토되었다.

높이별 검토 CASE 51m~75m이하에서는(표 4)

구분	적용자재	3점지지	3점지지
수직재	$\Phi 42.7-2.3t$	OK	NG
수평재	$\Phi 42.7-2.3t$	OK	OK
브레이싱	$\Phi 42.7-2.3t$	미설치	설치필요
계단거치바	$\Phi 48.6-2.3t$	OK	OK
전도방지재	$\Phi 48.6-2.3t$	OK	OK

표 4. 51m~75m이하 검토 CASE

3점지지의 경우 워킹타워 기존 자재 사용 및 외부 브레이싱 보강이 불필요한 것으로 검토되었으나, 4점지지의 경우 기제작된 워킹타워 수직재로는 구조검토 결과 사용이 어려움에 따라 수직재의 재질을 변경($\Phi 42.7-2.3t \rightarrow \Phi 42.7-2.8t$) 및 외부 브레이싱 보강이 필요한 것으로 검토되었다.

높이별 검토 CASE 76m~100m이하에서는(표 5)

구분	적용자재	3점지지	3점지지
수직재	$\Phi 42.7-2.3t$	NG	NG
수평재	$\Phi 42.7-2.3t$	OK	OK
브레이싱	$\Phi 42.7-2.3t$	설치필요	설치필요
계단거치바	$\Phi 48.6-2.3t$	OK	OK
전도방지재	$\Phi 48.6-2.3t$	OK	OK

표 5. 76m~100m이하 검토 CASE

3점지지의 경우 수직재의 변경($\Phi 42.7-2.3t \rightarrow \Phi 42.7-2.8t$) 및 외부 브레이싱 보강이 필요하고, 4점지지의 경우도 수직재의 변경($\Phi 42.7-2.3t \rightarrow \Phi 48.6-2.8t$) 및 외부 브레이싱 보강이 필요한 것으로 검토되었다.

4. 마무리

교각 시공 시 근로자의 이동을 위해 교각과 근접하여 설치하는 워킹타워는 설치기준의 부재로 현장마다 상이하게 설치됨에 따라 근로자의 안전상 위험요소가 내재되어 있다.

따라서 당 현장에 설치한 워킹타워에 대한 3-D 상세 해석 구조검토 결과를 기준으로 높이별 워킹타워 설치방법에 대하여 제시하였다.

워킹타워는 제작사별 부재 및 규격이 상이하므로 당 현장에서 설치한 규격과 상이한 워킹타워를 설치할 경우 당사에서 제시한 3-D 상세 해석 구조검토를 참고하여 구조적 안정성을 검토 후 설치하여야 한다.

당 현장은 워킹타워의 높이별 설치기준 및 체계적인 시공관리 방안을 확립하여 오늘도 안전시공을 위해 노력하고 있다. ☺