고속도로 제14호선 밀양 - 울산간 건설공사(제4공구) 기술정보 사례

글 조건웅 / 고속도로 제14호선 밀양 - 울산간 건설공사(제4공구)현장 소장 / **전화** 055-353-5466 / **E-mail** kwcho@ssyenc.com
글 전진욱 / 고속도로 제14호선 밀양 - 울산간 건설공사(제4공구)현장 과장 / **전화** 055-353-5466 / **E-mail** jujeon@ssyenc.com
글 황태규 / 고속도로 제14호선 밀양 - 울산간 건설공사(제4공구)현장 과장 / **전화** 055-353-5466 / **E-mail** taekyu83@ssyenc.com

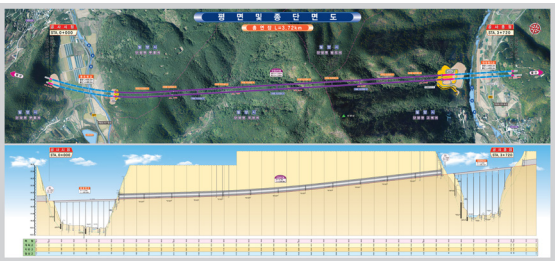
1. 머리말

고속국도 제14호선 밀양-울산간 건설공사(제4공구)는 1992년 국토교통부에서 수립한 전국 간선 도로망 계획(7X9)의 동서 8축과 9축의 간격(70km)이 동서간선도로망 평균간격(30~40km)보다 넓어 이를 보완하는 도로를 구축하여 상대적으로 낙후된 경남 북부지역 개발을 촉진하고 영호남을 연결하는 산업, 관광 동맥 역할을 도모하고자 시행되는 함양-울산간 고속도로 145.3km의 1차 발주구간인 밀양-울산간 고속도로 45.2km에 해당되며, 그 중 당 현장(제4공구)은 3.72km의 신설 도로개설 현장이다. 본 고에서는 당 현장에 적용된 4건의 기술정보에 대해 소개하고자 한다.

2. 공사개요

공사명	고속국도 제14호선 밀양-울산간 건설공사(제4공구)
계약방식	최저가입찰, 장기계속공사
공사위치	경남 밀양시 단장면 무릉리~고례리
공사기간	2014.03.10 ~ 2020.12.31
공사금액	90,088백만원(VAT포함)
발주처	한국도로공사
공사개요	• 연 장 : 3.72km(4차로 23.4m) • 토공부 : 깎기 665천m³, 쌓기 202천m³ • 교량부 : 용포천교(L=500m), 단장천2교(L=450m) • 터널부 : 단장4터널(L=2,592m)

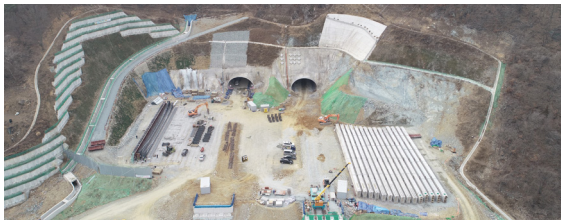
[그림 1] 노선도



[그림 2] 용포천교 현장전경

[그림 3] 단장천2교 현장전경

[그림 4] 단장4터널 종점부 현장전경



3. VRS기법을 이용한 거더 거치

3.1 개요

현재의 건설산업은 컴퓨터 산업의 발전을 통하여 3D CAD에서 설계된 모델을 표면처리(Mapping)와 재질처리(Rendering)기술을 사용해 가상현실(Virtual Reality, VR)을 실현할 수 있는 단계에 이르렀고, 이러한 기술은 최근 건설현장에서도 VR을 이용한 많은

응용 사례들이 추진되고 있다.

본 고에서는 당 현장 용포천교 Girder 거치 전 가상현실을 구현한 VRS(Virtual Reality Simulation)로 작업방법과 안전교육 사례를 제시하여 현장 시공 시 실무적용의 참고자료로 제안하고자 한다.

<표 1> 용포천교 교량 현황

길이(L)	폭(B)	높이(H)	Girder
500m	12.3m (1개 방향)	40m (지반~교량)	100본 (중량 128톤/본)

3.2 현장여건 및 및 VRS 적용배경

첫째, 크레인 작업 반경내에는 고압선이 인접해 있어 감전사고의 위험이 있었고, 두번째, 하천에 인접하여 정확한 크레인 설치위치 및 하천점용 면적 산정이 어려웠고, 세번째, 현장 여건에 맞는 크레인 용량 선정방법이 필요했고, 네번째, 고중량물 거치를 위한 크레인 운전원에 대한 교육이 필요했다.

이에 따라 크레인에 대한 사고예방을 위해 정보통신기술을 교량 건설시공에 적용할 방안을 검토하게 되었으며, 이중 VRS가 크레인을 이용한 교량 거더 거치 시 효과적일 것으로 예측되었다.

3.3 VRS를 활용한 교량 거더 거치 작업 방법 개선

1) 크레인 운전원 관점에서의 VR시스템 구축

VR기법은 일반적으로 시뮬레이션을 구현할 때는 관리자의 시선을 중심으로 표현하게 된다. 하지만 당 현장은 인접한 고압선과 약 50m 높이에 교량을 거치해야 하는 고난이도의 크레인 조종이 요구되다보니 교량 거더 거치시 운전원의 관점에서 VRS기법을 도입하게 되었다.

작업 전 특수안경을 통해 가상체험을 할 수 있도록 하고, 안전교육 자료로 활용함으로써 작업자나 운전원들이 위험요인과 대책 및 작업방법을 쉽게 이해할 수 있었다.

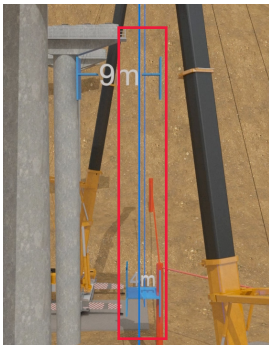
또한, 이와 같이 VR을 활용한 새로운 교육자료 제작과 교육기법 적용은 작업자들의 안전의식 향상과 위험에 대응하는 능력을 키워줌으로써 작업자들로부터 많은 호응을 받았다.

[그림 5] VRS통한 크레인 조종원 가상체험

2) 주변 시설물 간섭여부 확인

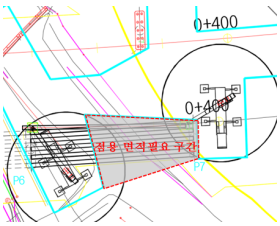
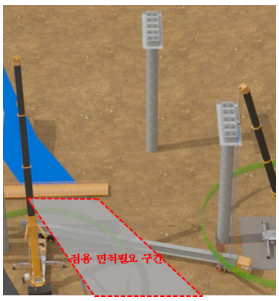
교량 거더 거치 시 터널 임시 고압전선이 간섭되는데 항공사진이나 2D도면으로는 교량거더 거치 시 고압선과의 간섭 여부를 정확히 확인하기가 어려워 VRS기법을 통해 실제 거더 인상 시 간섭여부를 확인할 수 있었다.

[그림 6] 거더인상 시 고압선과의 간섭여부 확인

고압선 위치 항공 사진	VRS
	
2D는 고압전선과의 간섭 예측 불가능	실제 거더 인양 시 간섭여부 확인 가능

또한, 교량 거더 거치 시 크레인의 아웃트리거가 하천을 점용해야 하므로 하천 통수를 원활하게 하기 위해서는 2D 도면으로는 정확한 설치위치 및 점용 면적 산정이 어려워 VRS기법을 통해 최적의 크레인 설치위치 및 최소 하천 점용 면적을 산정할 수 있었다.

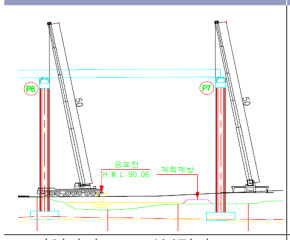
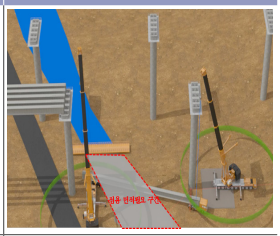
[그림 7] 하천점용 시 최적 위치 및 점용면적 확인

2D	VRS
	
원활한 하천충돌수를 위한 점용면적 산정 불가	VRS기법을 도입하여 점용면적 산정

3) 현장 여건에 맞는 크레인 용량 산정

보통 교량 거더 거치 시에는 사전에 거더의 중량을 확인하고 인양 높이와 작업반경을 확인하여 인양 능력을 산정한 후 크레인을 선정하지만, 당 현장에서는 VRS기법을 이용하여 적정크레인 용량을 산정하였다.

[그림 8] VRS기법을 이용한 크레인 용량 산정

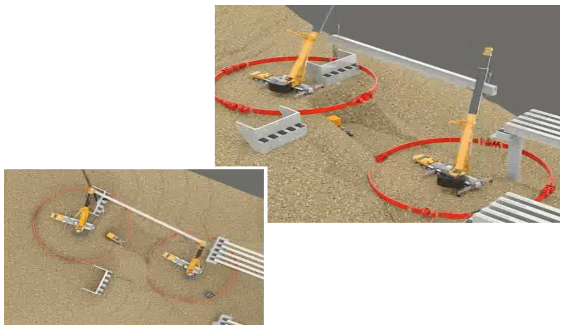
2D	VRS
	
작업반경 : 19m / 붐길이 : 50m	작업반경 : 20m / 붐길이 : 48m

중량물	크레인	작업반경	작업높이	인양능력	비고
128.6T	300T	20m	48m	67.2T	NG
	400T	20m	48m	81T	NG
	500T	20m	48m	144T	OK

4) 급경사 구간에서의 교량 거더 거치

당 현장은 터널과 교량으로 주로 설계되어 자연훼손을 최소화 하도록 하고 있다. 이와 같은 설계 특성에 따라 급경사 구간에 크레인을 설치하고 교량 거더를 인양/설치해야 하는 경우가 다수 발생하였으며 이는 크레인의 전도위험성을 매우 높게 하였다. 이에 따라 당 현장에서는 거더 거치 전 VRS기법을 적용하여 급경사 구간에서의 크레인의 적정 위치 및 작업로 조성계획을 수립하여, 작업의 적합성 및 안전성을 확보하여 작업을 수행할 수 있었다.

[그림 9] 급경사 구간에서의 교량거더 거치 VRS



3.4 결론

최근 건설현장의 안전사고는 대형 건설장비 사용 부주의로 인한 사고가 급증하고 있는 실정이며 중량물을 취급하는 건설장비 사고는 다른 사고에 비해 더 큰 물적/인적 피해를 일으키게 되므로 작업 전 위험요인을 철저히 파악하고 대책을 수립하여야 한다.

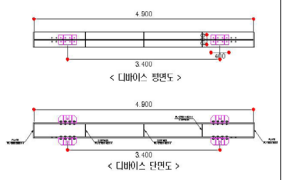
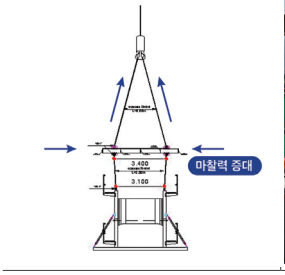
VRS기법은 최신 ICT(정보통신기술)를 활용하여 인간의 오감을 통해 해당 작업의 위험요소 및 작업의 적정성을 미리 보고 체험할 수 있기 때문에 언어로 전달되는 안전교육보다는 근로자 스스로의 위험 대응 능력을 키워줌으로써 사고를 더 효과적으로 예방을 할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 코핑 강재거푸집 해체를 위한 디바이스 활용

4.1 개요

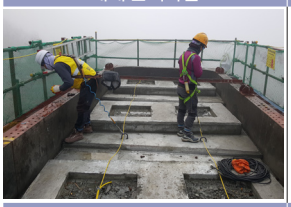
교량 구조물공사 간 교각 코핑부 강재거푸집 해체 작업 시 강재거푸집의 오므라드는 현상으로 인한 콘크리트 면과의 마찰력 증대로 크레인 과부하 및 충격이 생겨 크레인 전도, 작업근로자 안전 및 해체시간 증가 등의 문제점이 발생되어 이를 해결하고자 디바이스(Device)를 사용한 작업방법 사례를 제시하여 현장 시공 시 참고자료로 제안하고자 한다.

4.2 디바이스 도면/사진 및 제원

평면도 / 단면도	현장 사진
	
코핑 거푸집 측면도	현장 사진
	

디바이스 부재 제원				
구분	사용부재	검토	단위	어용
와이어	25mm(6m)	인장력	안전율	5
H-beam	H-300x300x10x15	축응력	MPa	122.6
샤클	1인치	인장력	kN	85
볼트	A325-Φ3/4 "	인장응력	MPa	74.9
		전단응력	MPa	38.6
러그	필렛용접 6t	전단응력	MPa	64.8
	⊥-200x147x12x17	지압응력	MPa	126

4.3 작업순서도

해체 준비작업	디바이스 설치
	
체결 후 작업자 대기	**거푸집 해체**

4.4 기존 작업방법 대비표

작업사진		
작업방법	와이어와 거푸집 직접연결	와이어를 디바이스에 연결 후 디바이스와 거푸집 연결
소요시간	거푸집 2개소 기준 1일	거푸집 2개소 기준 2시간
작업인원	5인	5인
안전	거푸집 롤링시 끼임 발생에 대한 근로자 확인시 추락위험	디바이스로 인해 거푸집이 벌어져 쉽게 해체
기타	- 마찰력에 대한 해체시간 증가 - 크레인의 무리한 작업으로 크레인 반동 발생(전도위험)	- 마찰력최소화로 해체시간 단축 - 별도 추가작업 필요 없고 크레인 전도사고 예방 가능

4.5 결론

교량 구조물 공사 중 가장 빈번하게 발생하는 안전사고 중 하나인 교각 강재거푸집 해체 작업에 대해 근로자 추락 및 크레인 전도에 대한 사고 예방을 하고자 현장 공사 담당직원이 아이디어를 제안하여 당 현장에서 처음 적용한 해당 작업(특허 출원, '길이조절형 와이어 연결장치 및 이를 이용한 중량체 인양방법' 출원번호 10-2019-0025233)은 안전사고 예방뿐만 아니라 작업시간 단축 및 추가 작업 불필요에 따른 공사기간 단축 및 공사비 절감 효과를 줄 것으로 기대된다.

5. 런칭 거더 가설

5.1 개요

당 현장의 종점부에 위치한 단장천2교는 당 공구 단장4터널과 제5공구 재약산터널을 잇는 450m의 콘크리트 거더 교량으로 지반으로부터 교량상부까지의 높이가 61m에 이르며, 교량하부에 왕복 2차선의 지방도 제1051호선(B=9.5m) 및 단장천(B=85m)이 흐르고 있는 현장여건으로 인해 거더 가설시 크레인을 이용한 가설이 불가하여 트롤리 레일을 이용한 런칭 가설공법으로 설계에 반영되었다. 해당 가설 공법에 대한 작업방법과 시공순서를 제시하여 현장 시공 시 실무적용의 참고자료로 제안하고자 한다.

<표 2> 단장천교 교량 현황

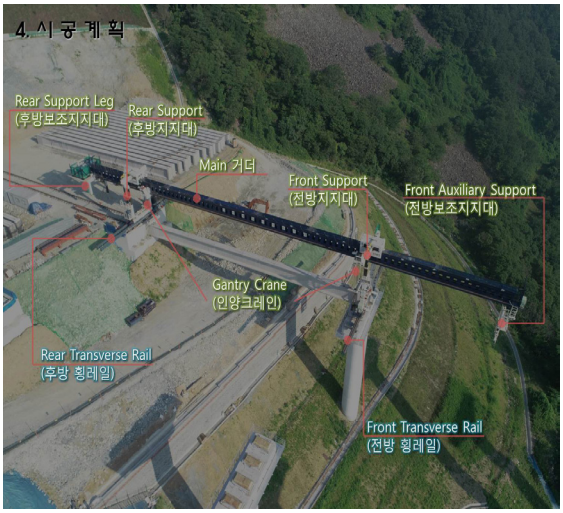
길이(L)	폭(B)	높이(H)	Girder
450m	12.3m (1개 방향)	61m (지반~교량)	90본 (중량 128톤/본)

5.2 해당공법 적용 사례

산간 계곡부	국가하천 및 해상가설
도심지 및 교차로	**철도 및 고속도로 횡단**

5.3 Beam Launcher 주요 명칭

[그림 10] 런처 주요명칭



5.4 작업순서

1. Girder 상차(Trolley)	2. Beam Launcher Girder 가설준비
3. Trolley를 이용하여 후방 지지대까지 이동	4. 전방 크레인으로 견인하여 전방으로 인양
5. 후방 크레인으로 견인	6. 거더가설 위치로 이동 (횡방향 이동)
7. 거더셋팅 완료	8. 런처로 다음경간 이동 후 트롤리레일 설치

5.5 크레인 및 런처 가설 비교

작업전경		
작업방법	지상에서 제작된 거더를 크레인위치까지 운반 후 가설	거더를 후방 공급하여 런처장비로 가설
소요시간	8~10본/일	5본/일
작업인원	8~12인	8~12인
장점	- 일 최대 10본까지 가능 - 저(低)교량 경제성 좋음 - 장비고장 시 대체가능	- 하부 지형, 지물 등 높이에 상관없이 시공가능 - 하부 토공작업 불필요
단점	- 하부 지형, 지물에 따라 작업성 저하 - 하부 부지정리 및 다짐 필요 - 대형장비 수배 곤란	- 크레인가설 대비 작업속도 저하 모터 등 부품고장 시 작업 지연 - 가설 전 구조검토 및 가설 후 해체필요

5.6 결론

최근 고속도로 건설공사의 추세는 자연환경 훼손 및 하부 지형·지물의 영향을 최소화로 하는 공법이 다수 적용되고 있는 실정이다. 그 중 당현장에 적용된 런칭 거더 가설공법은 후방에서 거더를 제작 후 기 가설된 거더위에 레일과 트롤리를 이용해 거더를 운반하여 런처장비를 가설하는 공법이다. 이처럼 현장 여건에 맞는 거더가설 공법 적용으로 안전사고 예방뿐만 아니라 작업시간 단축 및 추가 작업 불필요에 따른 공사기간 단축 및 공사비 절감 효과를 줄 것으로 기대된다.

6. IoT 액션캠 LTE 시스템

6.1 개요

스마트폰, PC를 넘어 자동차, 냉장고, 세탁기, 시계 등 모든 사물이 인터넷에 연결되는 것을 사물인터넷(Internet of Things, IoT)이라고 한다. 이 기술을 이용하면 각종 기기에 통신, 센서 기능을 장착해 스스로 데이터를 주고 받고 이를 처리해 자동으로 구동하는 것이 가능해진다.

당 현장에서는 IoT를 기반으로 해서 근로자 안전모에 소형 카메라를 달아 동영상 촬영을 통해 현장을 관리하는 액션캠 LTE(Long Term Evolution) 시스템을 도입하였다. 근로자의 작업사항에 대해 실시간으로 촬영한 영상을 시간과 장소의 제약 없이 스마트 폰이나 PC로 모니터링 되는 시스템에 대한 설명자료를 제시하여 현장 시공 시 실무적용의 참고자료로 제안하고자 한다.

6.2 도입배경

교각 구조물 공사에 대한 고소작업 시 상부근로자의 안전관리가 현행 방법으로는 부족한 실정이었다. 이에 따라 실시간 모니터링을 통한 밀착안전관리의 필요성이 발생하였고, 장소에 구애 받지 않으며 저비용·고효율 관리가 가능한 IT장비를 활용한 대책을 모색하였다.

<표 3> 액션캠 LTE 시스템 도입배경

구분	현행 관리	문제점
하부에서 관리		밀착관리 불가
관리자 동행		작업구간 협소
드론		근접촬영 한계

6.3 적용사례

안전모 액션캠 설치	액션캠 현장 적용
작업 근접촬영	작업 근접촬영
실시간 작업확인	실시간 안전TV확인

6.4 결론

당 현장 교각 구조물 공사 시 Pier 및 Coping부의 고소작업 중 작업공간의 협소에 따라 관리자가 동행하기 어려운 여건으로 인해 상부 근로자에 대한 실시간 안전관리 및 작업관리가 힘든 실정이었다.

이에 따라 당현장에 적용된 액션캠 LTE시스템은 근로자의 안전모에 액션캠 LTE를 부착하고 실시간 촬영한 영상을 시간과 장소의 제약없이 스마트 폰이나 PC로 모니터링을 할 수 있었으며, 사무실과 작업현장의 거리가 멀고 여러 곳에서 공사가 진행되는 건설현장에 대해 활용도가 크며 핵심공정, 고난도 공사, 위험 공사 관리에 용이하다. 이를 통해 근로자들의 안전 및 작업에 대한 경각심이 높아져 사고 예방에 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

7. 맺음말

당 현장은 연장 3.72km의 고속도로 건설공사 현장으로 교량 2개소 및 터널 1개소의 비교적 단순 공종의 공사현장으로 보여질 수 있으나, 높이 60m의 교량과 하부의 기존도로 및 하천을 통과하는 등의 어려운 현장여건이 내재된 공사이다. 이러한 시공 난관을 극복하고자 현장의 직원들은 현장여건 개선을 위해 아이디어를 접목한 사례발굴을 통해 작업관리 및 안전관리에 계속적으로 노력하고 있다.

본 고를 통해 당 현장에 적용된 우수 사례들을 통해 여러 임직원들이 공유하고, 유사공사 시 적극 활용될 수 있기를 바라며, 해당 적용사례 발굴 및 개발에 진심어린 조언과 협조를 아끼지 않고 보내주신 본사 토목기술팀 및 안전혁신팀 임직원분들께 진심으로 감사드린다.