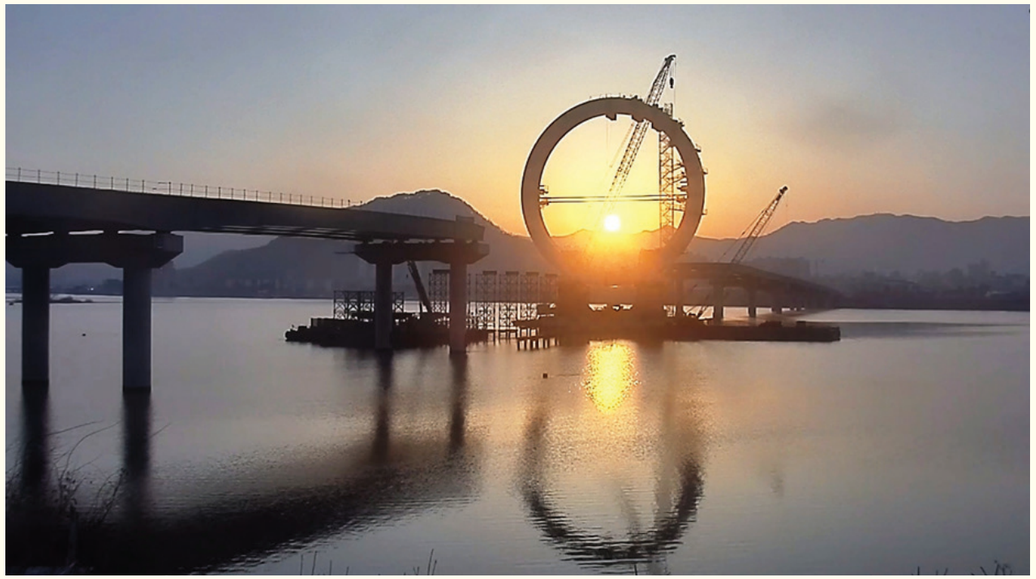
국내 최초 원형주탑 콘크리트 사장교, 레고랜드 진입교량



1 | 사업 개요

어린이용 블록제품 레고(LEGO)를 주제로 한 테마파크인 레고랜드(Lego Land)는 1968년 덴마크에서 처음으로 개장한 이래 세계 일곱 개소에서 운영 중에 있고, 현재 한국의 춘천시에 새로운 레고랜드를 개발하는 사업이 진행 중에 있다. 레고랜드 진입교량 건설공사는 새로운 테마파크가 위치하게 될 강원도 춘천시 하중도와 춘천 시내를 연결하는 도로교량 건설공사로 과업구간은 1.059km이다.

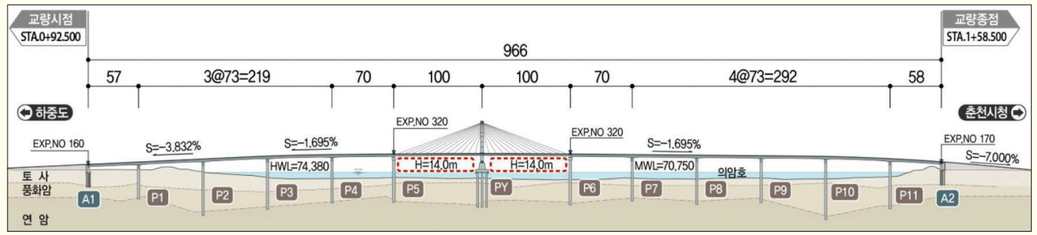
레고랜드 진입교량의 총연장은 966m(주경간교 200m, 접속교 766m)이고, 교량의 시점부에 92.5m의 도로구간이 위치한다. 본 교량의 주경간교에는 레고랜드 코리아의 관문 및 지역의 랜드마크 역할을 하기 위하여 레고의 이미지를 형상화한 원형 강재주탑을 적용하고, 초고성능콘크리트(Ultra High Performance Concrete, 이하 UHPC)가 도입된 보강거더를 적용한 사장교로 계획하였다. 접속교는 시점부 346m와 종점부 420m에 설치되는 평면선형이 직선인 교량으로 57~73m의 경간장을 갖는 개구제형 강합성교이다. 본 기술기사에서는 주경간교 및 접속교의 시공에 대하여 소개하고자 한다.

[표 1] **사업개요**

공사명	레고랜드 진입교량 건설공사
입찰방식	설계시공일괄입찰
도급금액	75,796백만원(VAT 제외)
공사기간	2015.06.08~2017.10.02.(29개월)
공사위치	강원도 춘천시 중도동 ~ 근화동
발주처	강원도



[그림 1] **레고랜드 진입교량 건설공사의 과업구간**



[그림 2] **과업 교량의 구성**

2 | 접속교의 시공

2.1 하부 및 기초

접속교의 하부 및 기초는 교대를 제외하면 전구간 직경 2.5m의 단일현장타설말뚝으로 구성되어 있으며, 환경오염이 적고 암반굴착이 용이한 희생강관+RCD(Reverse Circulation Drill) 공법을 적용하였다. 기초의 가설오차를 수용할 수 있는 푸팅이 생략되어 있기 때문에 기초의 시공정밀도 관리가 매우 중요하다. GPS 측량을 통해 300mm 이내에서 Jig Jacket을 설치한 이후 Vibro Hammer 및 Hammer Grab를 이용하여 희생강관의 항타 및 내부굴착을 실시하였다. 희생강관 설치 시 발생한 연직도는 1/200로 시방규정을 만족하고 있다. 이후 RCD를 이용한 암반천공 작업, 철근망 설치 및 콘크리트타설 작업, 말뚝두부정리 작업 순으로 공사가 진행되었다. 주탑 기초 8본(직경 2.0m)을 포함하여 총 30본의 현장타설말뚝에는 공사기간 6개월에 RCD장비 1 set, Barge선 3대, 크레인 2대 등의 장비가 사용되었다.

말뚝시공이 완료되고 희생강관 절단 및 두부정리를 시행



[그림 3] **현장타설말뚝 RCD 공법**



[그림 4] **접속교 교각**

하면 본격적으로 교각 시공을 시작하게 된다. 기본적으로 기둥철근조립, 강재거푸집 설치, 콘크리트 타설 및 양생의 반복작업으로 P1~P11 교각별 높이 차에 의해 타설 높이 및 횟수는 상이하다. 1회 타설 높이는 과거 4.0m를 넘지 않았던 사례와 비교하여 0.8m 높은 4.8m를 적용하여 공기단축을 도모하였다.

길이 21m, 폭 2.7~4.0m, 높이 3.0m인 교각 코핑 타설을 위한 강재거푸집은 물양장에서 2조를 선조립하여 시공이 완료된 교각 상단에 거치하였다. 거치 후 미세조정을 통하여 교량받침 설치시 가설오차를 최소화하도록 하였다. 콘크리트 양생이 완료되면 강재거푸집은 2분할로 해체되어 운반 Barge선에 선적 후 물양장으로 이동하여 청소 및 재조립된다. 교각 및 코핑 시공에는 자재운반 및 강재거푸집 설치/해체를 위하여 Barge선 3대 및 크레인 3대 등의 장비가 소요되었다.

육상에 위치한 교량 양측의 교대(A1, A2)에는 구조효율성 및 경제성이 우수한 복합말뚝이 적용되었다. 동재하시험을 통하여 말뚝의 지지력 확인 후 터파기 및 버림콘크리트 타설을 시작으로 교대 형상에 따라 각각 4차례 분할타설하여 구조물을 완성하였다. 교각 코핑과 마찬가지로 교량받침 설치오차를 최소화하기 위하여 10mm 이내에서 정밀도를 관리하였다.



[그림 5] **교각 코핑 강재거푸집 설치**



[그림 6] **접속교 강재거더 거치**

2.2 상부구조

접속교 상부구조는 57~73m의 경간장을 갖는 개구제형 강합성교로 경간중앙부와 지점부의 형고는 각각 2.2m, 3.0m 이다. 시점부는 5경간 연속교, 종점부는 6경간 연속교이다. 폭원은 25m로 총 4개의 강재거더가 횡방향으로 나란히 설치되고 지점부를 제외하면 거더 내 · 외부 모두 트러스형 다이아프램이 설치되어 물량 절감을 도모하였다. 개구제형 강재거더는 콘크리트 슬래브와 합성되기 전까지는 휨강성이 매우 작은 구조체로 강박스 거더와 비교하여 처짐이 크게 발생한다. 총 5회에 걸쳐 공장 가조립 검사 후 현장으로 반입된 강재 소블럭들은 크레인을 이용한 교각 거치 단위로 현장 조립 후 지조립 검사를 다시 시행하였다. 전체 거더가 설치 된 이후 형상측량을 통하여 처짐값을 확인하고, 반단면 프리캐스트 슬래브 거치 후 처짐을 다시 측량하여 최종적으로 슬래브 타설시 목표 형상을 맞추기 위한 슬래브 분할타설 위치를 결정하였다. 접속교 강교 물량은 총 4,600TON(11경간, 766m)으로 길이 30~40m, 중량 20~60TON 규모로 분할되어 경간단위로 거치되었다. 한 대의 크레인이 블록 1개를 인양하여 교각 상에 거치/임시고정하면 다른 한 대의 크레인이 연결되는 블록 1개를 인양하여 다음 교각 상에 거치/임시고정한 이후 공중에서 연결부를 시공하는 형태로 작업이 진행되었다. 인양/운반/거치를 위하여 Barge선 2대 및 크레인 3대 등의 장비가 사용되었고, 공사기간은 약 4개월이 소요되었다.

3 | 주경간교의 시공

3.1 주탑

본 교량의 주탑은 직경 2.0m인 현장타설말뚝 8본으로 구성된 기초구조와 하부의 콘크리트 저판 및 기둥부, 상부의 원형 강재주탑으로 나누어져 있다. 콘크리트 저판의 타설을 위한 거푸집으로는 PC-House를 적용하였다. 14.7m×7.0m×2.9m의 규모로 콘크리트량 210m³, 철근량 50TON이 소요되었고, 인양 중량을 고려하여 4분할로 제작되었다. 인양/운반/거치를 위하여 Barge선 3대 및 200TON 크레인 2대 등의 장비가 소요되었다.

높이 2.9m인 PC-House 내부 콘크리트는 3차례로 나누어 분할타설 하였다. 1차 타설 높이는 0.5m로 PC-House 슬래브의 단면성능에 의해 결정되었고, 타설높이 2차 1.4m, 3차 1.0m는 매스콘크리트의 수화열 검토를 통하여 결정하였다. 높이 7.2m의 콘크리트 주탑 역시 매스콘크리트로 온도균열제어 및 곡선형상 등에 의해 7차례로 나누어 분할타설 하였다. 콘크리트 주탑 내부에는 강재주탑과 접합되어 두 구조물이 일체화 거동을 할 수 있도록 하는 앵커프레임이 매입되었다. 앵커프레임 설치시 접합면의 3차원 좌표 및 편평도가 확보되지 않을 경우 원형 강재주탑 양측의 레그의 설치오차는 누적되어 증가하므로 수 차례의 확인 측량을 통하여 설치 정밀도를 확보하도록 하였다.

원형 형상의 강재주탑은 면내방향 강성이 부족하므로 이를 보완하기 위하여 5본의 수평 케이블이 설계되었다. 주탑 상단의 키블럭 폐합 전에 2본의 수평 케이블을 긴장하여 구조효율성을 높이고, 나머지 3본의 케이블은 키블럭 폐합 후 긴장하도록 계획하였다. 이와 같은 가설단계에 의하여 키블럭 양 옆으로 약 185mm씩의 유격이 발생하도록 제작캠버가 산정되었고, 공장 가조립 검사를 통하여 제작상에 문제가 없음을 사전에 확인하였다.



[그림 7] **PC-House 거치**

중량 710TON의 강재주탑은 총 26개로 소분할되어 제작 및 현장반입 되었고, 25개의 소블럭들은 형상유지 용도의 대규모 가설스트럿이 없이 캔틸레버 구조의 형태로 순차적으로 거치 및 접합되었다. 마지막 키블럭 설치 전 수평케이블 2본을 긴장하고, 주탑 상단의 유격을 최종적으로 측정한 이후 키블럭을 거치 및 접합하여 강재주탑 설치공사를 마무리하였다. 인양/운반/거치를 위하여 1,800P Barge선 1대 및 275TON 크레인 1대 등의 장비가 소요되었다.

3.2 UHPC 보강거더

약 10,000m²의 부지에 UHPC 생산용 배치플랜트(Batch Plant, 이하 B/P), UHPC 세그먼트 제작장, 가설자재 및 케이블 야적장 목적의 제작장을 조성하였다. 사장교 전체연장 200m 중에서 189m 구간에 적용되는 UHPC 보강거더의 물량은 약 2,000m³로 일반적인 경우라면 작은 수량으로 인해 별도의 B/P를 세우지 않는다. 그러나, 시험생산 포함 약 50여회 가동하고, 생산과정이 일반 콘크리트와 다소 상이하며, 계량오차 및 온도 등에 따라 물성이 민감하게 변화하는 점을 고려하여 현장에서 직접 품질관리를 할 수 있는 현장 B/P를 적용하였다. 단위물량 1m³를 생산할 수 있는 믹서를 2개소 설치하여 교번 생산하되, 타설도중 특정 믹서의 오작동시 나머지 믹서에서 지속적으로 생산할 수 있도록 계획하였다.

매치캐스트(Match Cast) 방식으로 제작되는 폭 29.5m, 높이 1.85m, 길이 4m의 프리캐스트 세그먼트는 당초에는 Long Line Method로 제작할 예정이었으나, 제작장 부지확보, 고온양생설비 등의 제반여건을 고려하여 Short Line Method로 변경하였다. 세그먼트 타설장은 2개소를 두었고, 각 타설장별 12개의 세그먼트를 적치할 수 있는 길이 60m의 Skidding Line을 두어 최대 24개의 세그먼트를 적치할 수 있도록 하였다. 세그먼트 생산 중 부등침하 등으로 품질저하가 발생하지 않도록 타설장에는 말뚝 기초가 직접 지지하도록 하고, Skidding Line은 골재포설 후 다짐작업을 통하여 설계지지력를 확보하였다.

본 교량에 적용된 UHPC는 2차례의 양생과정을 거친다. 한 세그먼트의 평균 물량은 40m³로 타설이 완료되면

곧바로 양생실 커버를 닫고 약 24시간 동안 20℃로 양생하여 탈형을 위한 강도를 발현시킨다. 탈형 후 상 · 하로만 움직이는 강재거푸집을 내리고, 약 5m 전방의 2차 양생실로 압출시켜 약 48시간 동안 90℃ 고온양생을 거치면 압축강도 180MPa 이상의 초고강도 콘크리트의 제작이 완료된다. 이와 같이 기본공정 5일(타설 1일 → 1차양생 1일 → 탈형 1일 → 2차양생 2일)을 포함하여 현재 9일 간격으로 제작되고 있고 2개의 생산라인에서 월평균 6개의 세그먼트를 제작 중에 있으며 2017년 7월에 생산을 종료할 예정이다.

제작장에서 생산된 약 100TON 중량의 세그먼트는 특수 트레일러를 이용하여 물양장으로 이동하여 운반용 Barge 선에 상차 후 가설지점으로 운반된다. 가설벤트 위에 거치된 세그먼트를 벤트 위의 레일을 따라 계획된 위치로 이동시킨 후 순차적으로 접합 및 강연선 긴장 작업을 반복 실시한다. 총 47개의 프리캐스트 세그먼트(188m)와 현장타설구간(12m)이 완성되어 연결되면, 케이블 긴장 후 가설벤트를 해체할 예정이다. 프리캐스트 세그먼트를 운반/거치를 위하여 300TON 크레인 2대, Barge선 3대(운반용 1,000P 1대, 크레인 탑재용 1,800P 2대) 등이 사용된다.



[그림 8] **원형 강재주탑 시공**

3.3 케이블

Beam & Slab 형식의 보강거더 측에는 케이블 정착구가 보도부에 노출되어 있어 긴장단을 거더 측에 둘 경우 보행자의 입장에서 보면 정착구의 규모가 과대해 보일 수 있다. 이에 따라, 모든 사장교 케이블은 3.5m×3.5m 크기의 원형 강재주탑 내부에 긴장단을 두었고, 소규모 장비로 긴장이 가능한 MS(Multi Strand) 방식을 적용하였다. 3차원 팬 형식의 입체적인 케이블 배치는 원형주탑과 더불어 본 교량의 주요 경관포인트이나, 원형 형상의 주탑 내부는 이동이 용이하지 않고 공간이 협소하기 때문에 중량이 무거운 케이블 정착구 등은 주탑 가설시 선설치하였다. 보강거더가 벤트 상에 설치되면 최소 긴장력으로 케이블을 설치하고, 보강거더 폐합 후 재긴장을 통하여 형상조정을 할 예정이다. 한편, 원형주탑은 케이블 장력에 의해 면내방향 변위가 크기 때문에 이를 보완할 목적으로 5본의 횡방향 케이블이 설치된다. 주탑 폐합전 2본을 먼저 긴장하고, 나머지 3본은 폐합 후 긴장한다.



[그림 9] **UHPC 제작장 전경 및 Batch Plant**

4 | 맺음말

2015년 겨울에 혹한의 환경에서 본 공사에 착수한 이후 약 일년 반 남짓의 짧은 기간 동안 총 13기의 교대 및 교각, 총 766m의 접속교량, 국내 최초로 사장교에 적용된 높이 52m의 원형주탑이 완성되었다. 2016년 여름부터는 제작장 조성공사를 시작하여 현장 B/P를 세우고 2기의 90℃ 고온양생설비를 설치하여 세계 최초로 도로사장교에 적용할 압축강도 180MPa의 초고성능콘크리트 보강거더를 제작 중에 있다. 유사규모 교량으로는 국내 최단 공기로 시공 중인 레고랜드 진입교량은 현재 사장교의 거더 및 케이블 가설을 앞두고 있으며 금년 하반기 준공 예정이다. 본 기사에서 소개한 일련의 시공과정이 교량기술 발전에 조금이나마 보탬이 되기를 기대한다.



[그림 10] **UHPC 프리캐스트 세그먼트**

참고문헌

1. 레고랜드 진입교량 건설공사 실시설계보고서
   대림산업 (2015).
2. 도로교설계기준(한계상태설계법)을 적용한 레고랜드 진입교량의 계획과 설계
   이보베, 이두재, 최현석, 윤자걸 (2015). 대림기술정보