

팜제벨알리교량 설계 및 시공 기준

Design and Construction Specifications of Main and Crescent Bridges in Palm Jebel Ali



강동욱*
Dong-Ok Kang



김영선**
Yeong-Seon Kim



이형진***
Hyung-Jin Lee



신현양****
Hyun-Yang Shin



박동규*****
Dong-Kyu Park

1. 프로젝트 개요

본 사업은 두바이에 위치하고 있는 Palm Jebel Ali의 인공섬을 연결하는 교량(이하 PJA교량)을 건설하는 것으로 2개의 main 교량과 3개의 crescent 교량을 포함하고 있으며, 2010년 완공 예정이다<그림 1>. 발주처는 Dubai 개발업체인 Nakheel 사이고, 설계 및 시공은 삼성물산이 수행하고 있으며, 감리에는 Parsons가 참여하고 있다. 교량의 설계는 Halcrow에서 수행하였다. 공기 단축을 위해, 설계시공 병행 진행 방식인 패스트트랙(fast-track) 방식을 적용하고 있으며, 매립상태에서 교량을 시공한 후 준설을 하는 공사방식을 채택하고 있다. 또한, main 교량은 프리캐스트 세그멘탈 공법을 적용하여 공기 단축을 계획하고 있다. 본고에서는 PJA교량에 적용하는 설계기준에 대해 주로 다루며, 시공기준에 대해서는 간략히 언급하고자 한다<그림 2>.

2. 교량별 특징

2.1 Main 교량

M1(총 길이 1,200m, 폭 23.5m)과 M3(총 길이 1,450m, 폭 23.2m)로 구성되어 있으며, 5경간 연속형식(5@50=250m)을 적용하였다. 상부구조는 2-cell PSC 박스거더로써 상/하행 분리구조이다. Launching Gantry를 이용한 PSM(precaster segmental method)으로 시공되며, 15개의 세그먼트가 한 경간을 구성하고 있다. 상하수 시설과 같은 각종 유틸리티의 지지를 위해 상/하행 박스 구조 사이에 강재 빔이 연결되어 있는 특징이 있다.

2.2 Crescent 교량

C1, C4는 PSC 박스거더로써 8경간 연속형식(40+6@50+40=380m)이며, C3는 발주처 요청에 따라 경간을 재구성 중이다. 현장타설 FSM(full staging method)으로 시공중에 있다. 각종 유틸리티의 지지를 위해 바닥슬래브가 교량 중심축으로 캔틸레버 형태로 연장되어 있는 특징이 있다.

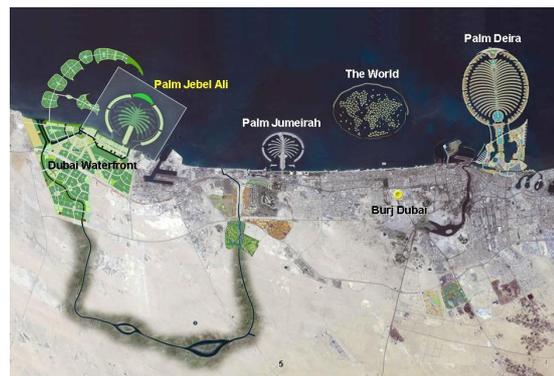


그림 1. Palm Jebel Ali 위치도



그림 2. PJA 교량 위치도

* 정희원, 삼성물산(주)건설부문 팜제벨알리교량현장 과장
okkang@samsung.com
** 정희원, 삼성물산(주)건설부문 팜제벨알리교량현장 차장
*** 삼성물산(주)건설부문 팜제벨알리교량현장 소장, 상무
**** 정희원, 삼성물산(주)건설부문 도목ENG팀 부장
***** 정희원, 삼성물산(주)건설부문 교량팀 과장

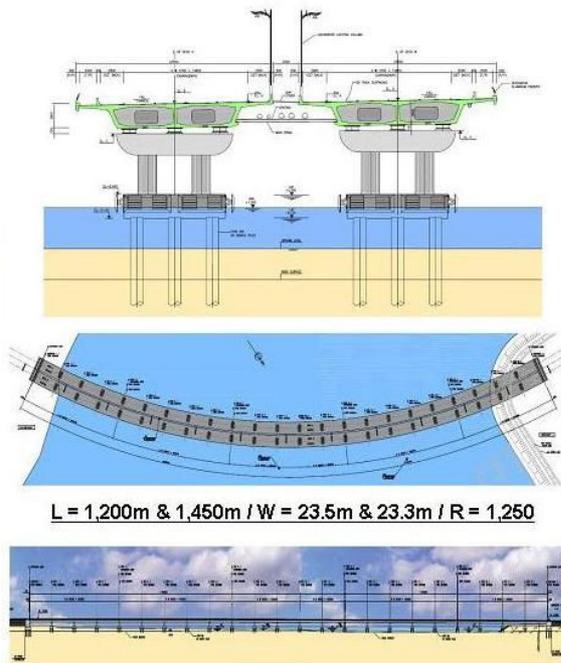


그림 3. Main 교량

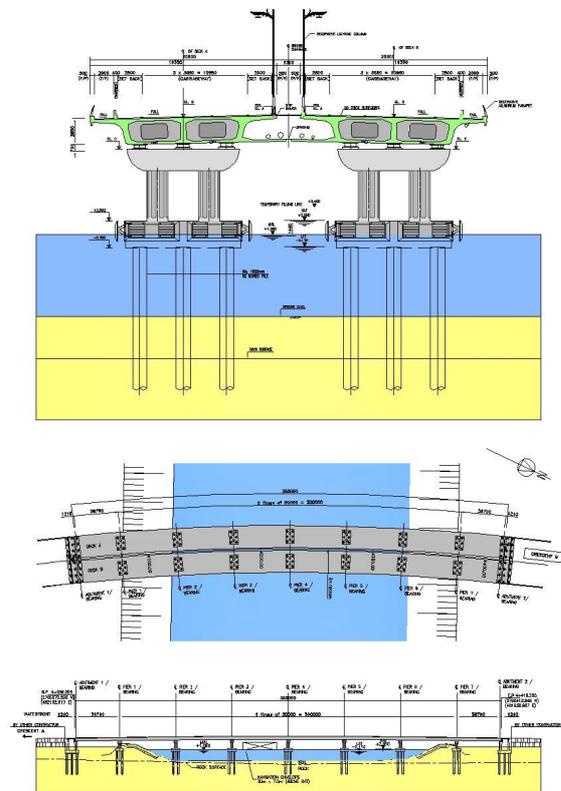


그림 4. Crescent 교량

3. 설계 기준

3.1 개요

PJA교량의 설계 기준은 AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 제 3판 (SI Units, 2004)을 우선 적용하고, 지역 여건에 맞는 인증 기준 및 보고서가 있을 경우 아래와 같은 추가적인 자료를 적용하고 있다.

- Review of Selected Standards for Floating Dock Design, SPN commission, PIANC, January 1997.
- Admiralty Tide Tables (2005), Region 3, "Jebel Ali Port", Port No.4207
- Palm Island Water Quality and Morphology Study, Delft Hydraulics, February 2002
- Formation and circulation of dense water in the Persian/Arabian Gulf, Stephen A.Swift and Amy S. Bower, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543

설계 승인과정은 설계사의 설계가 완료되면 설계검토사(시공 계약자가 선정한 COWI) 및 감리사(발주처가 선정한 Parsons)에 의해 설계검토가 진행되고, 최종적으로 JAFZA(Jebel Ali Free Zone Authority)의 CED(Civil Engineering Department)에서 NOC(No Objection Certificate)를 받으면 설계 승인이 완료되는 과정으로 되어 있다. 또한, JAFZA에서는 본 설계 완료 이후에 작성된 Design Guideline을 추가로 만족하도록 요구하고 있다.

본 과업에서는 설계자와 설계검토사 간에 동일한 설계기준 (design criteria for bridge structures)을 작성하여 이 기준 하에서 설계와 설계검토가 수행될 수 있도록 하고 있다.

3.2 하중 특성

3.2.1 설계 수명

교량은 AASHTO LRFD 1.2절에 따라 75년 설계수명을 가지도록 설계되었다. 그러나 발주처(Clinet)의 요구에 따라 내구성 설계(예 : 피복 및 도장 등의 추가조건)를 바탕으로 100년의 내구수명을 가지도록 설계되어야 한다.

3.2.2. 주변 여건(environmental parameters)

해수면의 높이를 결정하는 데 있어서 지구 온난화 효과를 고려하고 있다. 100년 동안의 온도 변화와 해수면 높이 변화를 예측

하는 보고서를 참조하여 해수면 평균 높이가 25cm 변하는 것을 고려하였다. 즉, HAT(highest astronomical tide)는 현재 2.3m이지만, 설계 고려시 지구온난화 효과를 고려하여 2.55 m 를 적용하고 있다.

3.2.3. 주요하중 및 하중조합

설계에 적용하는 하중은 기본적으로 AASHTO LRFD에 규정 된 하중을 적용하고 있다. 그러나 지역 여건에 맞게 다음과 같은 하중을 수정하여 적용하고 있다.

1) 활하중

본 과업의 설계활하중은 AASHTO LRFD의 HL-93을 적용 하되 1.5배의 증가계수를 추가하여 적용하도록 되어 있다. HL-93에 1.5배를 하는 것은 BS CODE와 유사한 하중을 가지 도록 설계하기 위함이다. 또한 차선하중(lane load)은 종방향으 로 9.3N/mm로 등분포로 재하되도록 고려한다.

구조물 횡방향으로는 설계 차선하중을 3m 폭으로 등분포 재 하되도록 고려하고, 충격계수(dynamic allowance)는 재하하 지 않는다. 동시재하계수는 AASHTO LRFD 3.6.1.1.2절을 적용한다.

구조물 횡방향 해석시 utility 유지 보수를 위한 활하중 1.5 kN/m²를 추가로 적용하고 있다.

2) 온도하중 (TU)

콘크리트 교량에서의 등분포 온도의 범위는 0에서 54℃까지를 적용하고 있다. 바뀌 말하면 -27~27℃로 볼 수 있다. 또한, 온 도 구배하중(temperature gradient)은 AASHTO LRFD 3.12.3절에 따라 ZONE 1로 설계한다.

3) 선박충돌하중 (CV)

선박 충돌 가능성이 큰 항로 인접구간에 대해 선박 충돌에 대 하여 설계한다. 선박 충돌 하중은 Client로부터 제공받은 다음과 같은 선박 타입에 근거하여 계산하였다.

Vessel type	Max. weight (ton)	Max. velocity (knots)
Private/pleasure boats	38.0	5.0
Emergency boats	8.0	10.0
Barges	1,000	1.0

4) 크리프와 건조수축(creep and shrinkage)

CEB-FIP 1990에 따라 크리프와 건조수축 값을 산정하였다.

5) 지진하중(earthquake load)

지진하중은 AASHTO LRFD의 ZONE 2에 따라 설계하고, PGA=0.15 g으로 설계한다. Extreme limit state-I에서 활하 중의 하중계수는 고려하지 않는다. 그러나 JAFZA의 승인과정 중 PGA=0.19 g(새로운 design guideline)로 검토하여 구조 물이 이상 없음을 보여주어야 한다.

6) 하중조합

하중계수 및 하중조합은 AASHTO LRFD 3.4절을 적용한다.

3.3 재료 특성

3.3.1. 프리스트레싱 스트랜드

설계에 적용하는 텐던의 특성치는 다음과 같다.

Type	15.2 mm low-relaxtion 7-wire strands	Elastic modulus	197 kN/mm ²
Area	140 mm ²	Friction coefficient	0.200
Mass	1.10 kg/m	Wobble coefficient	0.0017/m
Tensile strength	1,860 N/mm ²	Wedge draw-in	6 mm
Characteristic breaking load	260.7 kN		

3.3.2. 그라우트

그라우트 재료는 무수축 시멘트를 사용하며, 최소 3축 압축강도 (cubical compressive strength)가 재령 7일 일 때 30N/mm², 그리고 28일 일 때 50N/mm² 이상을 확보하여야 한다.

3.3.3. 콘크리트

콘크리트의 압축강도는 기본적으로 cubic 강도를 사용하며, 설계에서는 AASHTO LRFD를 적용하기 위해 아래와 같이 실 린더 강도로 환산하여 적용하고 있다.

구조물 위치	Cubic 강도(MPa)	실린더 강도(MPa)
Piles	50	41.7
Deck Superstructure (including parapets)	50	41.7
Structural blinding	25	20.8
All other concrete structures	40	33.3

3.3.4. 철근

모든 철근은 BS4449의 grade 460B deformed type 2의 고강도 철근을 적용하였다. 최소 인장강도는 460N/mm²이며 최소 탄성계수는 190 kN/mm²을 적용하였다.

3.3.5. 피복

최소 순피복(철근의 최외측 표면과 콘크리트 표면 사이의 거리)은 내구성과 연관이 되어 있기 때문에 시공시 검측이 상당히 까다롭다. 최소 순피복은 아래와 같이 적용하였다.

Reinforced concrete bored piles(mm)	100	Bridge deck	50
Reinforced concrete pile cap & columns in splash zone(mm)	100	Faces above ground level and not in contact with soil except precast beam faces	50
Bottom faces of footings(mm)	100		
Surfaces below ground level and in contact with soil(mm)	75	Precast beam faces	50

3.3.6 균열폭

균열폭은 할크로의 중동 내구성 기준(Halcrow middle east durability criteria)에 근거하여 최대 설계 균열폭을 아래와 같이 정하였다.

Above ground level, protected(mm)	0.200	Splash zone	0.125
Above ground level, unprotected(mm)	0.175	Buried and in contact with ground water or soil	0.125
Buried above ground water(mm)	0.150		

균열 검토는 위의 최대 설계 균열폭을 기준에 따라 균열 지수 “Z”를 정의하여 AASHTO LRFD 5.7.3.4.절에 따라 설계하였다. 균열 지수 “Z”는 아래와 같이 적용하였다.

Above ground level, protected(N/mm)	15,000	Splash zone	9,375
Above ground level, unprotected(N/mm)	13,125	Buried and in contact with ground water or soil	9,375
Buried above ground water(N/mm)	11,250		

내구성 규정이 구조물의 설계에 많은 영향을 미치기 때문에, 입찰 단계에서 이에 대한 많은 검토가 선행되어야 한다.

3.3.7 방수

테크 슬래브의 상면에는 방수를 하지 않는다. 그러나 내구성을 만족하기 위해서 지반고(ground level) 아래에 흠과 접촉이 되는 구조물은 방수를 해야 한다.

4. 시공 기준

시공 기준(technical specifications)은 크게 general specifications와 particular specifications로 나뉘어져 있다.

General 부분은 두바이 정부기관에서 만든 것으로 영국시방서(British standards)에 기반을 두고 있으며, 수정이 불가하다. Particular 부분은 설계사에서 개별 프로젝트에 필요한 내용을 추가하도록 되어 있으며, general 부분의 수정이 필요한 경우에는 이 부분에서 명시하도록 되어 있다.

본 사업의 설계 기준이 AASHTO LRFD이기 때문에 particular specifications에는 ASTM 등 미국에서 만든 기준에 기반한 내용이 많으며, 앞서 언급한 대로 general specifications는 영국에서 만든 기준에 기반하고 있다. 이러한 혼용으로 인해, 시공시 기준간 불일치 사항들이 발생하는 것을 해결해야 하는 어려움이 있다.

5. 결 론

PJA 교량은 국내에서도 몇 차례 사용된 AASHTO LRFD bridges design specifications에 기반하여 설계되었으며, 본 고에서는 활하중 등 추가적으로 요구된 설계 하중에 대해 기술하였으며, 시공 기준에 대해 간략하게 언급하였다. 이 사업을 통해 우리나라의 교량 설계 및 시공 기술을 널리 알림으로써, 해외 진출을 위한 도약의 발판이 될 것으로 기대한다. 

Abstract Design of main and crescent bridges in Palm Jebel Ali, Dubai, is based on AASHTO LRFD. Additional standards and reports are also considered to reflect regional conditions. In addition, JAFZA's Bridge Design Guideline is reviewed for their approval. This article focuses on modified design requirements such as load and durability fit to the middle east area. Technical specifications are mentioned briefly.

Keywords Palm Jebel Ali, main and crescent bridges, AASHTO LRFD, design standards, JAFZA, technical specifications