기술기사 1

해외 설계 사례 분석을 통한 국내 설계의 개선 방향 (말뚝설계를 중심으로)

윤 여 준
한국종합기술 구조부 부장

김 현 성
한국종합기술 구조부 차장

1. 개요

현재 국내건설시장은 사회간접 시설물의 포화, 경기 하향, 복지예산 증대로 인한 건설예산의 축소등으로 불황기를 맞고 있으며, 따라서 국내 발주 토목구조물의 설계물량이 대폭 감소하고 있다.

각 설계사들은 현재의 상황을 타계하기 위하여 해외사업의 발굴, 사업성 검토, 설계에 많은 인력을 투입하고 있으나, 발주국의 설계 기준, 관련법, 언어등에 익숙하지 못하여 실제 수주에까지 연결되지 못하는 것이 대부분이다. 이에 반해, 해외에서의 시공경험이 많은 시공사와 손잡은 일부 대형 설계사들은 입찰 성공률이 비교적 높은 실정이다.

본 기사에서는 쿠웨이트의 해상교량사업에 Design/Build로 입찰설계에서부터 참여하여, 현재 기본 및 실시설계를 수행하고 있는 설계 경험을 바탕으로 국내 설계와 해외 설계의 차이점을 개략적으로 설명하고자 한다.

2. 해외 Design/Build 설계 절차

해외 Design/Build설계 절차는 국내 Turn Key와 흡사한 점이 많으며, 입찰부터 시공 및 유지관리까지의 일반

적인 진행 순서는 다음과 같다.

① 입찰공고 → PQ → 현장 설명회
② 입찰서류(ITB, Invitation to Bidder) 구매
③ 입찰서류 질문 및 수정(Query and Addendum)
④ 입찰제안서(Proposal) 작성 - 입찰설계(Tender Design)
⑤ 기술제안서(Technical Proposal) – Pass or Not
⑥ 가격제안서(Commercial Proposal) – 최저가 낙찰
⑦ 낙찰통지서(LOA, Letter of Award) 수령
⑧ 협상 및 사업계약서 작성(Negotiation and Contract Agreement)
⑨ 공사 착수서(NTP, Notice To Procedure) 제출
⑩ 설계 및 시공(Basic Design, Detail Design, Construction, As-built Document)
⑪ 시운전, 보증 시험(Commissioning)
⑫ 준공 및 인도(Hand-over)
⑬ 유지관리(O&M, Operation and Maintenance)

3. 주요 설계 단계별 특징

주요 설계 단계에 대한 일반적인 사항은 아래와 같다.

① 사업 타당성 조사(BFS, Basic Feasibility Study)

입찰전 발주처에서 기본적인 사업 타당성을 조사한다.

② FEED(Front End Engineering Design)

발주처에서 별도 입찰을 통해 선정한 설계사에게 의뢰하여 수행하는 설계 과정으로 입찰을 위한 기본계획 수준이며, 계약 문서인 ITB(Invitation Tender Bulletin)를 구성하는 사항을 선정한다.

③ 입찰설계(Tender Design)

시공사가 ITB에 의거하여 입찰 금액을 추정하기 위한 설계로서 국내 시공업체의 경우 시공사 자체 인원, 해외 설계사, 국내 설계사를 적절히 활용하여 수행한다.

④ 기본 및 실시설계 (Basic and Detail Design)

Design/Build사업의 특성상 설계기간이 따로 주어져 있지 않고 준공 기일내에 설계, 시공, 시운전등이 완료되어야 한다. 설계는 해상(주교량 및 접속교량), 육상, 교차로등으로 구분하여 수행하며 설계중에도 다수의 Revision을 거치게 되는데, 설계감리에 해당하는 ICE(Independent Check Engineering)와 설계 및 시공에 대해 발주처를 대신하는 PMC (Project Management Consultant)의 검토 및 협의를 거쳐 설계를 수행한다.

⑤ 현장설계(Field Engineering)

시공은 Fast Track 방식으로 PMC의 승인이 완료된 구간부터 시공을 시작하게 된다. 실시설계도면으로 시공을 위한 상세가 부족한 경우에는 보다 상세하게 도면 및 검토가 필요하며, 필요에 따라 설계인원이 현장에 파견되어 업무를 수행한다.

⑥ 준공도서 작성(As-Built Document)

실시설계 종료 후 시공 중에 여러 가지 이유로 도면과 상이한 상황이 발생하게 되며 이를 기록하였다가 시공이 완료되는 시점에 준공도서(설계도, 계산서 등)에 모두 반영하여 발주처에 제출한다.

설계 공정상의 국내 설계와 해외 설계의 가장 큰 차이는 국내의 설계 자문 또는 심사를 대신하여, 설계 성과품을 시공사가 선정한 설계관리기관 또는 엔지니어(ICE, Independent Check Engineer)가 1차로 검토하고, ICE 통과 후 설계 및 시공에 대해 발주처를 대신하는 PMC에 제출하여 검토를 받는 것이다.

다시 말하면, 구조물의 설계는 한번에 시공이 가능한 도서가 작성되지 않고 수번의 수정을을 거치게 되는데,

기술기사

최종적으로는 설계 및 시공에 대해 발주처를 대신하는 PMC의 검토 및 요구사항을 수용하여 설계에 반영하여야 한다.

4. 해외말뚝설계방법

말뚝기초설계는 해외에서는 2000년 이후부터 점차적으로 하중저항계수 설계법(LRFD)을 적용하여 현재에는 모든 설계에 반영하고 있다. 반면, 우리나라의 구조물 설계는 2014년까지도 강도설계법 및 허용응력설계법에 의하여 설계를 하였으며, 2015년부터 하중저항계수 설계법(LRFD)을 적용하고 있으나, 적용 초기로 기준이 정립되지 않은 부분이 일부 있어 개선해야 될 부분이 많은 상황이다.

해외설계는 AASHTO나 Euro Code를 적용하게 되며, 설계에 필요한 경험식이나 지반정수의 근거를 마련하여 기본 설계에 반영한 후 실시설계시 적정한 재하시험으로 설계의 적정성을 확인하거나, 재하시험 결과를 수치적으로 분석하고 설계에 반영하여 말뚝이 시공되는 지반의 특성을 반영한다.

1) 말뚝기초의 지지층 선정

우리나라는 지반조건이 양호하여 해상에서도 지표하 30m이내 풍화암 또는 연암이 출현하므로 대부분의 지지력이 선단에서 발휘되는 선단지지말뚝으로 설계를 하고 있다.

그러나, 해외 해상교량의 경우, 지표하 100m까지 암반이 나타나지 않는 지역이 다수이며, 주면에서 대부분의 지지력이 발휘되는 마찰말뚝으로 설계하게 된다. 마찰말뚝 적용시, AASHTO에서 제시하고 있는 IGM(Intermediate GeoMaterial)층에서의 지지력을 고려하게 되면 국내의 토사와 암반으로 2분한 설계법보다 경제적인 설계가 가능하다. IGM에 의한 지반 지지력과 말뚝재하시험 결과는 비교적 일치하는 것으로 나타나고 있으며, 국내에서도 N값 50이상인 풍화토, 풍화암등에 적용하면 기존의 토사층에 준한 지지력 산정법보다 지지력 상향이 가능하므로, 공사비 절감이 가능하다.

2) 지반반력계수의 산정

최근의 교량 구조물은 대부분 상부-하부-기초(주로 말뚝기초)가 함께 모의되는 Full-Modelling으로 구조해석을 수행하며, 이 때 지반분야에서 제시하는 지반반력계수(Soil Stiffness)가 하부 및 말뚝 제원에 큰 영향을 미친다. Design/Build는 대부분 Fast Track으로 공사 착수와 동시에 기본설계와 지반조사가 함께 수행되므로 기본설계시에는 지반조사결과를 반영하기 어려우며, ITB와 함께 제시된 개략적인 지반조사결과를 반영하여 지반반력계수를 산정하게 된다.

기본설계시에는 AASHTO, Euro Code 등의 경험식으로 가(假)지반정수를 산정하게 되며, 지반의 비선형성을 고려한 P-y Curve를 지반반력계수로 구조분야에 제공한다. 구조해석은 다양한 Case에 대해 수행되며, 지반뿐만 아니라 구조물의 비선형성을 고려할 경우 현존하는 해석 프로그램의 한계로 하중 및 변위의 중첩효과(Superposition Effect)를 이용할 수 없으므로 이를 직선화된 탄성계수로 변환하고 최대 하중(Passive Limit)을 초과하지 않도록 반복하여 계산하게 된다. 구조물의 비선형성을 고려하지 않는 경우는 제공된 P-y Curve를 그대로 이용하여 해석 가능하다.

실시설계(Detail Design)시 지반반력 계수는 축소 말뚝재하시험(Pilot Pile Test)이나 실규모 말뚝재하시험 결과를 분석하여 그 지반에 적합한 지반반력계수를 산정하여 구조해석에 반영한다.

3) 말뚝재하시험의 중요성

국내 말뚝설계방법은 기본적인 조사를 시행하여 기본 및 실시설계를 수행하고, 설계가 타당하면 발주처에서 승인하고 시공시 재하시험을 통하여 검증하는 형태를 취하고 있다. 따라서, 시공시 재하시험 결과가 설계검토결과와 상이할 경우 시공사 및 설계사가 다시 검토를 하는 경우가 발생한다. 그러나, 해외설계는 PMC가 말뚝재하시험(일반적으로 영구말뚝 수량의 2%이내) 과정부터 관여하며, 재하시험결과 및 지반조사자료를 분석하여 실시설계에 반영되는 값의 사용여부를 PMC와의 협의하에 결정하게 된다. 이는 말뚝기초가 설치되는 지반을 명확하게 반영하여 설계를 진행한다는 점에서 보다 합리적이며, 말뚝의 수량이 많을 경우 말뚝재하시험 결과에 의해 축소되는 말뚝길이를 감안하면 경제적이라 할 수 있다.

5. 국내 말뚝설계의 개선 방향

현재 세계적인 설계방법은 하중저항계수설계법(LRFD)을 이용하여 보다 경제적인 설계를 지향하고 있다. 국내 설계는 현재 강도설계법 및 허용응력설계법에서 한계상태설계법으로 전환되는 과도기적 시점으로 한계상태설계법에 대한 체계적인 연구 및 설계경험이 미비한 실정이다. 따라서, 해외의 하중저항계수설계법을 수용하고, 국내 건설 현황을 반영하여 보다 체계화할 필요가 있으며, 이와 함께 지반-기초-구조물의 상호작용을 고려한 설계를 통해 기존의 보수적인 설계를 탈피하여 경제적인 최적설계를 지향해야 한다.

해외의 PMC 요청사항은 대부분 '무엇을 증명하라', '방법을 제시하라.', 명확히 하라.'가 대부분이다. 이는 설계자가 확고한 지식과 근거를 가지고 설계할 것을 요구하게 되며, 설계를 기준에 근거할 뿐만 아니라 필요시 최신의 지식을 바탕으로 합리적이고 경제적인 설계가 가능함을 뜻한다.

이외에 영어를 습득하여, 설계자의 뜻하는 바가 PMC, 시공사뿐만 아니라 협업하는 해외 설계사에 명확하게 전달될 수 있도록 하는 것이 중요하다. 공인된 언어를 통해 상대방을 설득하는 능력이 없다면, 많은 설계 지식과 경험은 해외 설계에서 무의미하게 된다.