

Track 3 첨단토목 기술

# 영종도 연육교 적용공법

신현양 · 삼성물산 건설부문 부장

## 개요

영종대교는 2000년대 수도권항공수요에 대비하여 영종도와 용유도 일원의 간석지에 건설되어, 인천국제공항과 인천 경서동을 연결하는 총 연장 4420m의 해상교량으로 현수교 3경간(550m), Truss교 18경간(2,250m), 강상형교 27경간(1,620m)로 구성되어있다. 이 교량 중에 현수교의 트러스 형식은 접속트러스 형식과 유사하여 케이블관련 이외에는 별 차이가 없으므로 이 글에서는 영종대교의 기술집약적 교량타입인 현수교를 강조해보기로 한다. 이 현수교 3경간은 영종대교가 인천국제공항의 진입로라고 하는 상징성을 살리기 위한 공모를 통해서 3차원케이블(Mono-duo cable)의 자정식 현수교로 설계되었다. 이 모양은 우리나라의 전통가옥을 상징화한 것으로 인천국제공항에 도착하는 외국인에게 처음으로 대한민국임을 알리는 적절한 상징성을 나타내고 있다는 것을 비행기를 타본 사람이면 인정을 할 것이다. 충분히, 대한민국 관문의 역할을 해낼 것으로 보인다. 그러나, 이런 조정적인 이유로 인해, 기술자들은 다음의 어려움에 봉착하게 된다. 이 어려움은 적절한 적용공법의 선택을 요구하고 있고 이 글에서 작은 지면이나마, 중점적으로 간략히 설명될 것이다.

## 구조 및 공법

영종대교는 위 언급의 형상을 상징화하기 위해서 자정식 현수교와 모노듀오 타입의 현수교를 선택하게 되었다.

먼저 자정식 현수교의 결정으로 케이블의 경사를 대표하는 경간 새그비가 1/5로서 세계최고의 치를 부여받았고 그 결과는 케이블의 최대경사각 41도라는 것으로 나타내어졌다. 이 경사각에서 일을 해야 되는 시공사로서는 다음과 같은 점에 착목을 두고 일을 수행해 나갔다. 먼저 작업자들이 미끄러지지 않고 일을 할 수 있는 공중작업 발판(켓트워크)의 개발이 필요했다. 이것은 용접금망으로 구성되는 계단을 개발하게 되는 동기를 부여했다.

두 번째는 스핀윙힐의 이동에 따라서 단

위길이당의 경사의 수직변화가 매우 크기 때문에 스핀윙힐에서 돌출되는 와이어의 경사조정이 매우 힘들어지게 되었으며 이에 적절한 도구를 개발, 적용하였다.

다음은 자정식 현수교의 케이블은 보강형에 응력을 잘 분산시키면서 정착되어야 하나, 2층 다리이기 때문에 하층공간의 점유에 제약이 발생됨으로써 응력 분산을 위한 케이블의 방사각이 세계최대로 되었다. 이는 와이어의 가선시 큰 수평력이 발생하게 되어 이의 정렬을 위한 노력이 필요하다. 결국, 관련 시스템의 개발이 이루어졌다.

다음은 모노듀오 타입의 케이블관련이다. 모노듀오타입의 케이블이라 할지라도 가선시에는, AS 공법이기 때문에 직선으로 가선된다. 이를 어느 공중에서 3차원으로 만들어야 되며 후속공종을 위해서 공중작업발판도 케이블과 같이 3차원으로 이동되어야 한다. 이를 위해서는 공중작업발판의 재료로 이용되는 용접금망의 적정성여부를 확인해야 되었고 실험결과 부적정한 것으로 결론지워져 새로운 금망이 개발되었다.

현수교의 켓트워크로서는 세계최초의 일이었다. 또한 2차원케이블에서 모노듀오케이블로 형상화하기 위한 세계 첫 경험의 시공법이 시도되었고 만족한 성과를 이루어 내었다. 이를 위해서 인입스트랜드 가이드 새들, 행거소켓과 PC스트랜드이음용 정착 플레이트, 그리고 행거로프의 인입각조정 데비에이터 등 생소한 키워드들로 이루어진 시스템이 개발되었다. 이들의 개발은, 직접 인입으로 행거 인입을 실시케 했을 위해서는 수직재의 공간상의 장애, 그리고 행거의 국부응력의 초과, 시공기한 등의 문제점 등이 야기되었다.

그러나, 이들의 문제점은 각각 인입 가이드 새들, 80개의 잭의 적용, 그리고 사전 실험을 통한 철저한 시공관리를 통해서 해결되었다. 또한 3차원의 케이블은 평면상으로 상로 도로를 점유하기 때문에 만약에 있을 케이블의 유지관리상의 문제점 발생시, 도로를 차단하지 않으면 안 되는 경우가 발생, 국제도로의 위상에 손상이 갈 수 있기 때문에 될 수 있는 대로 유지관리 프리의

개념으로, 최첨단의 방청설비인 송기설비(Dehumidification system)가 세계 4번째로 채용되었다. 이는 케이블내의 공극을 도관으로 이용, 건조공기를 송기하여 케이블내 부식환경을 인공적으로 조정하는 것으로서 상대습도 50%이내로 상대습도를 맞추어 두면 어느 경우에서도 발청이 불가하다는 이론적, 실험적 뒷 배경을 두고 개발한 것이다. 이를 위해서, 케이블방청을 위해 래핑하는 래핑와이어는 기계적 전단으로 물려있는 S type의 와이어를 적용하였고 종래에 적용되었던 페이스트를 삭제하였다. 그리고 관련 건조설비를 주탑의 수평재에 설치 케이블전장에 건조공기가 송기될 수 있도록 하였다. 또한, 3차원의 모양으로 케이블 위에 설치되는 핸드프로프의 설치도 심사숙고된 공법을 선택하지 않으면 안되었고 켓트 워크등의 해체도 일반 2차원의 그것과는 어려운 쪽으로 차별화되었던 것도 사실이다.

다음은 주탑 관련공법이다. 케이블의 모노듀오 타입을 유지하기 위해서는 주탑이 다이아몬드형이 되어져야 하는데 다이아몬드형의 주탑은, 보강형이 놓여지는 수평재와 주탑이 연결되는 관절(조인트)이 3개의 용도가 다른 부재가 연결되어지는 조인트로 설계되어 시공과정 상의 응력 진행이 매우 복잡하게 되며 또 큰 인장응력이 발생하게 되어 라미라 테어의 방지를 위한 특수한 강재가 적용되었다. 이는 고강도강으로서 새로운 용접기술 및 환경을 요구하였고 이를 만족시켜서 제작을 했기 때문에 국내강교 제작기술을 한 단계 올렸다고 해도 과언이 아니다.

또한 주탑의 제작, 지조립, 그리고 설치에 적용하는 고난도 기술은 대규모 탑저판 그라우팅, 저판설치정도 1/10,000의 확보, 저판기부 메탈터치 50% 이상, 그리고 부재 제작정도 1/10000의 확보, 주탑 설치 정도 1/5000의 확보 등에 대한 요구는 충분히 만족시켰고 여타공구의 회사의 기술정도도 기술정보공유를 통해서 같이 그레이드업을 했다는 것에 더 큰 가치를 두고 있다. 독립주탑의 안정성에 대한 검토도 다방면으로 이루어져 보강형이 있는 상태에서의 주탑 상부를 가설하는 가설순서를 유도해내었고

결과적으로 가설순서변경만으로 경제적이고 안전한 독립 주탑의 가설이 가능토록 한 것도 큰 소득이었다. 보강형가설은 3000톤 플롯팅크레인에 의해서 선적, 가설되었다.

따라서, 각 보강형 블록 크기는 3000톤에 맞추어 쪼고 임시교각의 간격도 그것에 맞추어 쪼다. 플롯팅크레인에 의한 대블럭 가설공법은 그 동안 단블럭 가설공법은 있었지만 영종대교에서와 같이 연속적으로 가설하는 것이 처음이었다. 더구나, 조수간만 차이가 큰 서해에서는 특히 플롯팅크레인의 흡수관리가 중요한 것으로 시간상의 제약을 받게 되는 것이 큰 어려움이었다. 이로 인해 세팅빔, 하이텐션볼트의 잠금작업계획, 부재별잠금순서등 여러 가지 관점에서 가설계획을 세웠고 만족할 만하게 완료되었다. 보강형의 가설순서는 케이블준비작업을 보강형가설과의 병행케 해서 공기를 절약할 수 있도록 시도하였다. 결과적으로 수 십일의 공기는 절약되었으나 중앙 폐합이라는 어려운 공종을 피할 수 없게 되었다. 또한 작업이 중복됨에 따라서 안전상의 관리가 좀 더 어려워지게 되었으나 무사고로 완료되었으며 중앙 폐합관련 기술이 축적되었다.

보강형은 상로박스라는 박스거더에 와렌트러스로 연결된 복합구조에 그 위에 하로도로가 올라타는 비합성 구조로 이루어지고 있다. 그 단면의 크기는 세계최대이다. 상로 박스내부의 방청방지를 위해서 페인트를 대신하여 제습장치를 채용하였다. 이는 케이블의 송기설비와 같은 이론적 배경을 두고 있으나 송기되는 공기의 대상이 넓은 곳이나 좁은 곳이나의 차이가 있다. 보강형의 제습설비는 유럽식이고 케이블의 송기설비는 일본식인데 이 두개를 병용한 곳은 전세계에 영종대교 한곳이다. 케이블로 전달되는 하중은 주탑과 보강형에서 받게되는데 주탑의 하중은 케이스기초를 통해서 지반으로 퍼지게 된다. 이 뉴메텍케이스는 국내 최초로 무인화굴착공법이 시도되었으며 설치된 곳 중 최대의 조수간만의 차가 있는 곳이었다. 이 이유로 국내에서는 최초로, 그리고 세계의 뉴메텍 기술과는 차별화 되는 것이 개발되었다. 그 중의 하나

가 기압과 해수압의 연동장치이다. 이 뉴메텍케이스는 연암, 경암, 심지어는 풍화암 등에 놓여 질 수 있으나 모든 것을 고려하여 경암 위에 설치되는 것으로 결정했다. 마지막 심도결정은 전문가의 오감과 평판 재하시험을 통해서 결정되었다

끝으로 영종대교의 아스팔트는 보강형이 강상판으로 이루어졌다는 것을 들어서 구스아스팔트가 적용되었다. 이 구스아스팔트는 독일이 원류이나 그 용도가 일본의 구스아스팔트와는 틀리다. 독일은 일본과 달리 콘크리트교량 일반도로에도 구스아스팔트를 많이 적용하고 있다. 이에 반해 일본은 강상판 교량만이 적용되고 있으므로 강상판의 구조로된 영종대교에는 일본식의 구스아스팔트를 적용하였다. 구스아스팔트는 하층으로 적용되었으며 4cm 두께로 설계되었다. 또 상층은 개질아스팔트로서 마모층의 역할을 하며 3.5cm두께로 설계되었다. 하로 도로 및 상로 도로는 구스아스팔트의 열로 인해 열해석을 통해 타설순서 및 방법을 결정하였으며 특히 비합성구조인 하로 도로는 특히 주의를 하여 타설하였다. 타설 공기가 약 6개월 걸린 것으로 일반아스팔트가 2주일정도 걸린다고 생각하면 그만큼의 시공기간을 잠식하는 것으로 영종대교의 시공이 얼마나 짧은 기간에 이루어진 것이라는 것을 미루어 짐작할 수 있을 것이다.

## 결언

결론적으로, 영종대교의 성공이 상징하는 것은, 세계최장의 자정식현수교, 최대의 단면, 세계최초의 Mono-duo type 의 평행선 케이블, 자정식현수교로서는 세계최초의 철도병용식, 그리고 뉴메텍케이스로서는 세계최대의 조수간만의 차들로 인한 모든 문제점을 전부 크리어 하면서 계약공기보다 더 빨리 공사를 완료시켰다는 것이다. 다시 말해서, 자정식 현수교 및 3차원케이블로서는 세계최고의 경쟁력을 갖추었다는 것이다.

따라서, 우리의 기술이 세계의 현수교 시장에 진출하게 될 날이 멀지 않았음을 감히 언급하고 싶다.