

# 거가대교 침매터널의 시공

Construction of the Busan-Geoje Fixed Links Immersed tunnel



글 | 曹捧鉉  
(Cho, Bong Hyun)

(주)대우건설 부장  
GK침매터널현장 소장

E-mail : bhcho@dwconst.co.kr

The Busan-Geoje Fixed Link is an 8.2 km long motorway connecting Busan to the island of Geoje where the Korean big two shipbuilding yard locate on. This motorway includes a 3,300m immersed tunnel which is one of the longest immersed tunnel in the world and two cable-stayed bridges each of 2km in length. The site locates in a exposed offshore, which is subjected to strong winds, large swell waves and strong tidal currents. These conditions together with the tunnel being at a deepest immersed tunnel ever built and the foundation condition is consisting of a very soft, normally to slightly over consolidated marine clay, makes the project unique and one of the most challenging immersed tunnels ever built.

## 1. 머리말

섬과 섬을 교량으로 연결하고 높고 깊은 산으로 가로막힌 두 공간을 터널로 연결하는 등의 사업은 인간의 생활을 좀 더 편리하게 하기위한 물리적인 인프라를 구축하기위한 것이다. 경제가 성장하고 기술이 발전하고 각종 교통수단이 발달함에 따라서 자연환경으로 인해 단절되었던 공간을 연결하고자 하는 요구는 수도권을 넘어서 전 국토로 확장되었다. 이러한 요구에 부응하고자 지금 이 순간에도 한반도 남단의 섬과 육지를 잇는 여러 사업이 진행되고 있다. 섬과 육지를 잇고 강을 건너는 방법 중 일반인들은 물론이고 건설기술자에게 가장 일반적이고 상식적인 것은 교량일 것이다. 하지만 이러한 상식은 국가별로 차이가 있을 수 있다.

전 세계적으로 침매터널이 가장 많이 건설된

국가라고 할 수 있는 네덜란드와 일본의 경우엔 침매터널이 섬과 육지를 잇고 강을 건너는 방법 중 하나라는 것이 상식일 것이다. 국내에서도 부산-거제간 연결도로 건설공사를 계기로 많은 언론매체와 학술회의 등을 통해서 침매터널이 점차 대중적으로 알려지고 있는 상황이다.

침매터널은 100여년의 짧지만은 않은 역사를 가진 공법이지만 국내에서는 부산-거제간 연결도로 건설공사에 처음 적용되었다. 긴 역사를 가지고 있음에도 불구하고 국내에서는 늦게 소개된 데는 여러 가지 이유가 있겠지만 가장 큰 이유는 그 필요성이 아닐까 생각된다. 부산-거제간 연결도로에는 침매터널이 적용되어야 할 절실한 조건들이 있다는 말이다.

교량의 파괴로 인해 해군작전을 위한 함대의 이동을 제한하는 극단적인 상황의 회피나 두꺼운 연약지반층 통과, 제한된 선형조건 등이 침매

터널을 필요로 하는 조건이라 할 수 있을 것이다. 환경보호와 까다로운 조건에서의 연결도로 건설 등 침매터널건설의 필요성은 앞으로도 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 침매터널을 계획하고자하는 이에게 작은 도움이 되었으면 하는 바람으로 침매터널 시공전반에 대한 내용을 본론에 간략하게 소개하고 맺음말에는 중점관리사항에 대해서 언급하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 침매터널이란?

침매터널은 강이나 해협을 수저면 아래로 연결하는 터널의 하나로서 육상의 제작장에서 단위합체를 제작하여 이를 부력을 이용하여 물에 띄워서 시공현장까지 이동한 후에 합체 내에 있는 물탱크에 물을 채워 서서히 가라 앉혀서 미리 굴착된 트렌치 저면에 합체를 내려놓고 기 설치된 선행합체와 연결하는 공법이다.

침매터널은 철도용의 경우 1910년에 미국과 캐나다 사이의 디트로이트강을 연결하는 사업에 최초로 적용된 이후로 근 30년 동안 미국에서만 건설되었고, 유럽과 일본에서는 1941년에 네덜란드의 Mass 터널과 1944년에 오사카 해저터널이 각각 최초의 침매터널이다.

이와 같이 침매터널은 미국에서 최초로 적용된 이후로 지난 100여년의 기간 동안 전 세계 150여 곳에서 적용된 공법으로서 설치되는 지역의 자연환경적 특성에 따라 긴 역사만큼이나 다양한 형태의 구조형식을 가지고 있다.

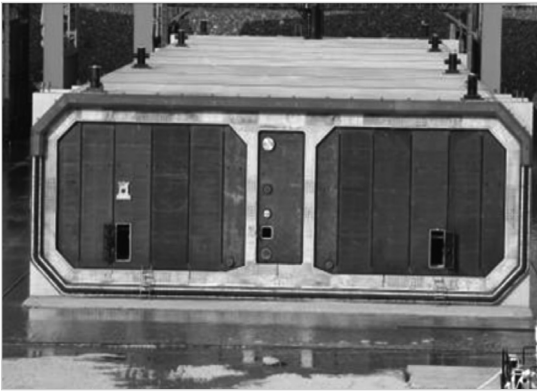
### 2.2 침매터널공법의 주요 공정

침매터널공법은 <그림 1>과 같은 주요공정으로 이루어지고 각각의 공정이 개별적으로 평행선상에서 동시에 진행된다. 바로 이러한 점이 침매터널공법의 시공상의 특징이자 장점이다. 즉 공기를 단축시킬 수 있고 품질관리가 용이하다. 콘크리트 자체의 수밀성으로 방수기능을 수행하는 침매터널의 경우 콘크리트 품질관리가 어느 구조물보다도 중요하다. 그런 측면에서 공장에서 제품을 생산하듯이 제작장에서 단위합체를 제작하는 침매터널은 품질관리가 매우 용이하고 공기단축 또한 가능하다.

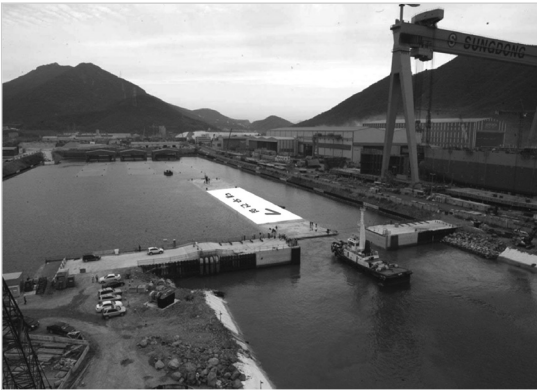
침매터널 공정을 좀 더 상세하게 살펴보면 합체제작을 위한 콘크리트 타설작업은 특수 제작된 거푸집을 이용하여 콘크리트 양생초기에 발생할 수 있는 관통균열을 방지하기 위해서 일반적인 방식이 아닌 대단면을 한번에 타설하는 일괄타설방식으로 진행되며, 품질관리를 위해서



<그림 1> 침매터널 주요공정



〈그림 2〉 격벽(Bulk head) 설치



〈그림 3〉 드라이독 주수 및 함체 반출

증기양생 등의 과정을 거쳐 침매함체가 완성된다. 이렇게 제작이 완료된 함체를 임시계류장으로 이동시키기 위해 수면 위로 띄우기 위한 준비작업을 하게 된다. 준비작업은 함체 양단에 Bulk head라고 하는 격벽을 설치하는 작업과 드라이독 내부에 물을 채우는 주수작업으로 이루어진다. 주수로 인해서 함체가 급격히 거동하는 것을 방지하기 위해서 주수작업 실시 전에 함체 내부에 설치되어 있는 Ballast tank에 함체 내부배관을 통해 물을 채워 넣는 선행작업을 수행한다. 드라이독에 대한 주수가 완료되면 Ballast tank에 채워져 있는 물을 점진적으로 함체 밖으로 배수하므로써 함체를 띄우는 작업

을 실시한다. 띄워진 함체는 드라이독에 설치되어 있는 윈치(Winch)와 예인선에 의해서 제작장 밖으로 반출된 후에 계류장으로 즉시 예인되어 침설전까지 계류장에 미리 설치되어 있는 앵커와 와이어에 고정되게 된다. 계류장에서는 침설을 위한 각종 장비와 가시설을 설치하는 작업이 이루어진다.

Trench 준설, 지반개량, 기초 Foundation 조성 등 함체 침설 전에 침설위치에서 이루어져야 할 선행공정이 완료되어 함체 침설이 가능해지면 국내 최초로 적용되는 기상예보시스템을 통해서 해상기상조건을 최종 확인한 후에 계류장에서 침설현장까지 함체를 예인하여 운반한다.



〈그림 4〉 임시계류장



〈그림 5〉 침설을 위한 준비작업(계류장)

침설위치에 함체가 도착하면 사전에 미리 설치해 둔 앵커 와이어를 함체에 연결하는 작업을 수행하여 파도와 조류에 대한 함체의 안정성을 확보한 후에 함체 내부에 설치된 Ballast tank에 물을 채워 넣어 함체를 서서히 가라앉혀 기설함체와의 접합면에서 50cm가 이격된 위치에서 기초에 안착 시킨다. 함체가 안착된 후에는 함체의 정확한 위치를 측정하기 위한 장치와 1차 접합을 위한 유압잭을 설치하는 작업을 수행한다. 이러한 작업이 완료되면 침매함체의 접합공정과 함체 배면 뒤택움 및 보호공 작업을 순차적으로 진행하게 된다.

침매터널의 접합 및 조인트부에 대한 공정은 유압잭의 견인에 의한 1차 접합, 함체 사이의 공간에 있는 물의 배수에 의한 2차 접합, 2차지수재의 설치, 가격벽 제거 및 전단키 설치의 순으로 이루어진다.

함체 운반 및 침설·접합 작업은 매 단위 함체마다 실시되고 이러한 작업과 함체 내부에서 실시되는 작업들이 완료되면 비로소 침매터널이 완성되는 것이다.

### 3. 맺음말

침매터널의 시공에 있어서 주안점으로 두고 집중적인 사전학습과 검토가 필요한 사항은 사업의 특성에 따라 다르고, 시공관점에서의 사업특성은 주어진 자연환경과 시공정밀도의 수준일 것이다. 본 사업 침매터널의 경우 세계적으로 사례가 없는 최대 50m의 깊은 수심과 외해조건 그리고 최대 35m 두께의 연약지반에 적용된다. 이

러한 깊은 수심과 외해조건으로 인해 트렌치 준설, 기초자갈 포설, 침설 등의 작업에 기대할 수 있는 정밀도가 매우 제한적일 수밖에 없다. 하지만 열악한 외해조건에서 함체의 안정성을 최대한 확보하고 단 시간 내에 함체를 기초에 내려놓고 접합 등의 후속작업을 진행하기 위해서는 이러한 환경적 제약을 극복해야만 한다.

이를 위해서 가장 주안점을 두고 사전조사와 시험시공 등을 거쳐서 결정한 것이 기초 Foundation을 조성하는 작업이다. 함체의 하중을 트렌치 저면에 균등하게 전달하기 위해서 트렌치 준설이후에 약 1m 두께의 기초자갈을 포설하게 된다. 만약 트렌치 저면을 매우 균등하게 준설할 수 있다면 별도의 기초가 필요하지 않을 수도 있을 것이다. 하지만 현실은 그렇지 못하므로 함체의 하중을 전달하는 역할을 하는 소위 침매터널 기초Foundation이 필요하고 이는 그 시공방법에 따라서 크게 두 가지로 구분되어 진다.

함체를 패드 형식의 가 기초 위에 유압잭 등을 이용하여 임시로 거치한 후에 트렌치 저면과 함체저면 사이에 존재하는 공간을 모래, 시멘트 몰탈, 콘크리트 등으로 채워 넣는 방식이 그 한가지이고 높은 정밀도 수준으로 자갈을 포설하여 기초를 조성하고 그 위에 함체를 즉시 올려놓는 방식이 또 다른 한가지이다. 폭 26.5m, 높이 9.97m, 길이 180m의 함체를 높은 파도와 빠른 조류의 외해조건에서 수직 및 수평 방향으로  $\pm 40\text{mm}$  내의 허용위치오차 내에서 정밀하게 접합하고 뒤택움까지 완료하기 위해서는 기상조건이 허락하는 시간 내에 침설작업을 완료해야만 한다. 이러한 작업에 허락되는 시간은 5일 정



〈그림 6〉 침매터널 기초자갈 포설장비

도이고 이 시간은 이 지역에 대한 국지적이고 광역적인 해상 및 기상정보를 분석하여 산출된 것으로 침설가능 기상조건을 모두 고려하여 산출된 것이다. 침설이 가능한 기상조건을 만족하는 시기가 연중 또는 월간 중 매우 제한적이기 때문에 주어진 시기에 침설을 실시하지 못할 경우 전체 공정에 상당한 지장을 줄 수 있다. 그래서 되도록이면 침설공정을 단순화하고 시간을 단축시키는 것이 침설성공 여부를 판가름하는 매우 중요한 요소가 된다. 이러한 이유로 본 침매터널에는 자갈을 포설하고 함체를 즉시 거치하는 방식을 적용하였다. 이 방식을 적용하기 위해서는 정밀한 포설을 담보할 수 있는 시공방법과 장비를 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 장비를 확보하는 것은 쉽지 않은 또 하나의 과제였다. 본 사업구간과 같은 깊은 수심과 외해조건에서  $\pm 40\text{mm}$ 의 허용포설오차 기준을 만족하면서 작업을 수행한 사례나 장비가 전 세계적으로 전무한 상태에서 2007년 6월에 장비개발에 착수해서 시험시공을 모두 마치고 2008년 2월에 실제 작업에 적용하는 쾌거를 이루었다. 현재 침매터

널을 계획하고 있는 홍콩이나 미국에서도 이 장비에 대해서 관심을 가지고 문의해오고 자료를 요청할 정도로 그 우수성을 인정받고 있다.

지면의 제약으로 인해 일일이 다 소개하지는 못하지만 기초Foundation 시공 외에도 주어진 자연환경과 공사여건을 극복하기 위해 국내기술자의 피와 땀으로 개발되어 적용된 여러 가지 사항이 있다.

거가대교 침매터널 시공을 통해 얻은 가장 큰 자산은 꿈과 열정을 가진 기술자 특히 한국인 기술자에게 극복하지 못할 어려움은 없다는 자신감이다. ‘조금 더 빠르고 편하게, 조금 더 자유롭게, 조금 더 친환경적으로’ 라는 인류 보편적인 요구가 없어지지 않는 한 섬과 섬을 육지와 섬을 나아가서는 나라와 나라를 이어달라는 요구는 지속적으로 증가할 것이다. 이러한 요구에 부응함에 있어서 거가대교 침매터널 시공경험과 이를 통한 자신감은 상당히 중요한 자산이 될 것이다.

〈원고접수일 2010년 2월 17일(수)〉