

## 수저터널의 방재설계 및 시공에 대한 연구

Design and Construction Method for Disaster Prevention Measures in Underwater Tunnel

고동춘\*, 김준모\*†, 황일선\*\*

DongChoon Go\*, JoonMo Kim\*†, EylSeon Hwang\*\*

**Abstract** This paper addresses design and construction method for underwater vehicle passage tunnel which facilitates storage, treatment and discharge of permeated and/or inundated water when the hollow sectioned tunnel tube leaks. The same also applies to serviced and/or polluted water which is resulted from operation and/or maintenance activities of underwater tunnel. Specifically, it deals with; furnishing storage tank in the continuous tunnel tube which is connected with supporting structure such as jacket, pontoon, etc; separately gathering the permeated and/or inundated water against the serviced and/or polluted water; allowing by virtue of gravity the separately gathered water to flow into designated tank; transmitting the separately gathered water onto the water treatment facilities furnished in the deck structure; discharging treated water; furnishing escape routes for refugee in case of emergency. It also focuses on the cost-effective offshore installation method for the above mentioned structures which are constructed onshore.

**Keywords** : submerged floating tunnel, SFT, vertical shaft, jacket support

**초 록** 본 연구는 수저터널의 설계 및 시공방법에 관한 것으로, 차량이 통행하는 중공부 단면을 갖는 터널튜브가 수중에서 누수가 발생되거나 파손 및 기타 사고에 의하여 물이 유입되는 경우, 또는 터널튜브내부에서 발생하는 오폐수 등에 대하여 이를 집수, 배수하는 시설에 관한 것이다. 구체적으로 설명하면, 물밑에 설치된 연속하는 터널구조물을 지지 및 계류하는 자켓, 폰툰 등과 같은 구조물과 일체로 집수탱크(Tank)를 설치하는 단계, 수저터널로 유입된 물과 터널운영 중 발생한 오폐수를 분리집수하는 단계, 상기 집수탱크를 수저터널의 튜브보다 낮은 위치에 설치하도록 하여 중력으로 물과 오폐수를 분리집수 하는 단계, 상기 집수된 물을 수표면 위로 배출하는 단계 및 수면 위 데크(Deck) 구조물에 설치된 오폐수정화시설을 통하여 정화된 물을 배출하는 단계, 재난발생 시 여객의 피난 및 구조를 할 수 있는 단계를 모두 포함하는 경제적이고 현실적인 설계 및 시공방법을 소개하였다.

**주요어** : 수중터널, 수저터널, 해중터널, 다중튜브수직구

## 1. 서 론

본 연구는 터널튜브 및 터널튜브와 일체형으로 연결된 다중튜브수직구를 통해 터널튜브에 누수가 되거나 파손 및 기타 사고에 의하여 물이 유입되는 경우와 터널운영 중 발생하는 오수 및 폐수 등에 대하여 이를 집수하여 배수하는 체계와 방재구조시설, 철도운영에 필수적인 전기기계계측제어설비 시설의 배치 및 운영에 대한 설계 및 시공방법을 연구하였다.

† 교신저자: (주)서현기술단 (nobelkjm@naver.com)

\* (주)서현기술단

\*\* (주)KTIM

## 2. 본 론

### 2.1 연구배경, 문제점 분석 및 목적

#### 2.1.1 연구배경

강이나 호수, 바다, 만을 건너는 통행수단으로서 교량 외 수저터널이 적용될 수 있다. 그러나 수저터널은 교량에 비하여 수상교통에 어떠한 장애를 주지 않는 장점 등의 이유로 선호되지만, 물속에 위치하고 있는 관계로 터널튜브자체의 누수와 더불어 사고 발생 시 다량의 물이 유입되어 이용할 수 없는 큰 문제가 발생 할 수 있다.

수저터널에 대한 기존의 연구는 터널본체와 그 시공방법 등에 대한 것이 대부분이며, 본 연구목적 및 기능인 외부 유입수와 터널내부 발생수에 대한 처리, 차량 및 열차 운영에 필수적인 전기기계계측제어설비 등의 시설운영과 더불어 유사시 방재대책 및 구호에 대한 사항은 전혀 연구되지 않은 실정이다.

#### 2.1.2 수저터널의 특성 및 문제점

수저터널은 완전방수를 목표하고 있으나 건설시공의 특성에서 따라 수백에서 수천미터의 큰 구조물을 하나로 제작하여 설치하기는 불가능하다. 따라서 육지나 선박에서 200 미터 이내의 유닛(unit)으로 제작한 터널튜브를 선박을 이용하여 진수 위치로 운반한 후, 수중에서 유닛들을 서로 연결하거나, 해저바닥에 가라앉힌 후 수중으로 이동시켜 연결하는 시공방법 등을 사용하여왔다.

그러나 이러한 시공방법으로 제작된 수저터널의 가장 취약한 부분은 튜브와 튜브를 연결하는 부분(joint)이며 이 부분에서 누수가 발생하는 근본적인 문제가 있다. 또한 이와 같은 시공방법은 육상에서 제작된 터널튜브를 선박을 이용하여 운반해야 하는 번거로운 문제가 있을 뿐만 아니라, 터널튜브를 일일이 수중에서 상호 방수 연결해야 하는 까다로운 공정이 반드시 수반되므로, 시공에 높은 비용(예를 들어, 터널 길이 1m 당 1.2 억원 소요)과 오랜 시간이 소요되었다. 더욱이, 수많은 터널튜브의 연결부가 완전방수상태를 유지해야 하는데, 수중에서의 방수작업이 현실적으로 매우 까다롭고, 특히 시공단계에서 완벽한 방수연결을 하였다고 하더라도 연결부의 방수상태가 양호하지 않아 수저터널의 사용 중에 수압에 의한 누수가 발생되어 이를 시정하는 보수 및 보강공사에 많은 비용이 소요되는 후속적인 문제점들이 야기되고 있다.

이에 더하여 차량 및 열차운행에 필수적인 전기기계 및 계측제어시설을 집적하여 운영유지관리하는 시설의 구획구분과 더불어 위치에 대한 사항도 매우 중요한 사항이다. 또한 전 세계적으로 많은 터널에서 화재가 발생하여 인명과 재산의 피해가 발생하였음은 주지의 사실이나 수저터널에서 발생한 재난에 대한 대비, 유사시의 방재 및 구호시설에 관한 연구 및 사례는 거의 없는 실정으로 본 연구에서는 수저터널의 방재 및 재난구호 대책 등의 설계 및 시공방법을 연구하고자 한다.

#### 2.1.3 연구목적

본 연구는 상술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 터널튜브의 연결부분 누수, 튜브자체에서 야기되는 방수의 문제와 배수문제를 해결함과 더불어 외부의 충격이나 폭발 등으로 인하여 터널튜브가 부분파손이 되어 침수할 경우까지도 대비하였다. 즉, 본 연구의

목적은 수중터널튜브에 물이 유입될 경우 신속한 집수와 터널튜브에서 외부로 물을 배수(Drainage)하여 기존의 문제점을 해결함과 동시에 터널운영 중에 발생할 수 있는 각종 화재 및 사고, 기타 인재 및 천재지변에 대처하여 수저터널내의 차량과 열차의 통행에 지장을 받지 않게 할 수 있는 방법과 공정으로 수저터널을 시공하는 방법을 연구하는 것이 목적이다.

## 2.2 수저터널의 배수체계 정립

### 2.2.1 기본사항

본 연구의 목적을 달성하기 위하여, Fig. 1 의 (07)과 같은 차량이 통행하는 중공부 단면을 갖는 수저터널 또는 수중교량은 항상 방수에 완벽을 기한다고 하여도 문제가 발생 할 수 있으며 터널튜브와 튜브의 연결부등에서의 누수발생을 피할 수는 없다. 이 때문에 수저에 설치된 구조물은 반드시 내부로 유입된 물을 모으고 이를 외부로 배출하여야만 시설물을 사용하고 유지 할 수 있다.

수저터널 또는 수중교량 튜브의 물은 외부에서 유입되는 물과 더불어 차량 및 철도의 운행과 운영, 유지 관리에서 발생하는 물로 대별할 수 있다. 외부에서 유입되는 물은 대개 방수이상과 누수로 인하여 유입된 오염이 되지 않은 물이며, 운행과 운영, 유지 관리에서 발생하는 물은 바닥 또는 노면, 궤도면상에서 발생한 오염된 물로 그 성격과 수질 등 오염 정도가 확연히 차이가 나며, 필히 정화처리를 하여야 하는 오염수로 분류 할 수 있다.

### 2.2.2 집수체계 및 계통의 정립

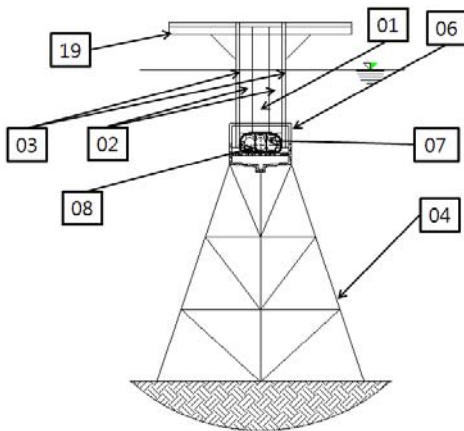


Fig. 1 수중터널 수직구 개념도

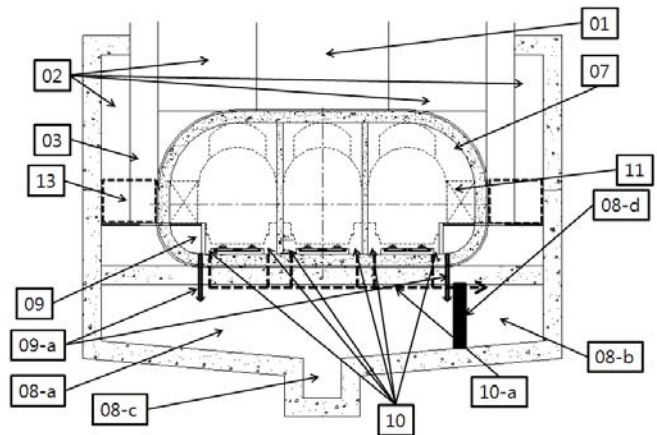


Fig. 2 수직구 횡단면부 상세도

본 연구에서는 외부 유입수와 내부 발생수를 분리하여 집수하도록 분리관로를 Fig. 2 의 (09, 09a)와 같이 설치한다. 외부 유입수는 Fig. 2 의 (09)번의 측면배수구를 설치하여 터널튜브의 종단구배를 따라 일반 집수탱크로 이동하게 한다. 그러나 내부 발생수는 대개 청소 내지, 화재, 차량의 파손으로 누출된 윤활유, 브레이크 패드 분진, 타이어나 차륜의 마모에 따르는 오염물질이 포함되어 있는 관계로 Fig. 2 의 (10)번의 바닥배수구를 설치하고 이를 오수탱크를 별도로 구획 설치하여 오수관로의 오염수가 집수되도록 한다.

집수탱크의 물은 펌핑(Pumping)하여 외부배출하며, 오수탱크의 물은 Fig. 3 에 표시된 다양한 지지계류구조물의 수면 위에 설치된 Fig. 4 의 (19)번과 같은 데크(Deck)에 설치된 정화처리장치에서 오염원에 대한 정화처리를 한 후에 배출한다. 여기서 집수탱크와 오수탱크는 지지계류구조물(자켓구조물, Frame, 인장 및 압축 부재 등)에 설치된 터널튜브의 바닥보다 낮은 위치에 설치되게 하여 자연스럽게 물이 탱크에 모이게 하며 집수탱크와 오수탱크의 사이에는 격벽을 설치하여 분리 하거나 두 탱크를 독립시켜 분리 설치하도록 하여 소량의 오염된 물만 정화 처리하여 비용을 대폭 절감하게 하고 오염물질을 분리 정화 수거 하여 해역을 청정하게 유지는 매우 우수한 장점이 얻어진다.

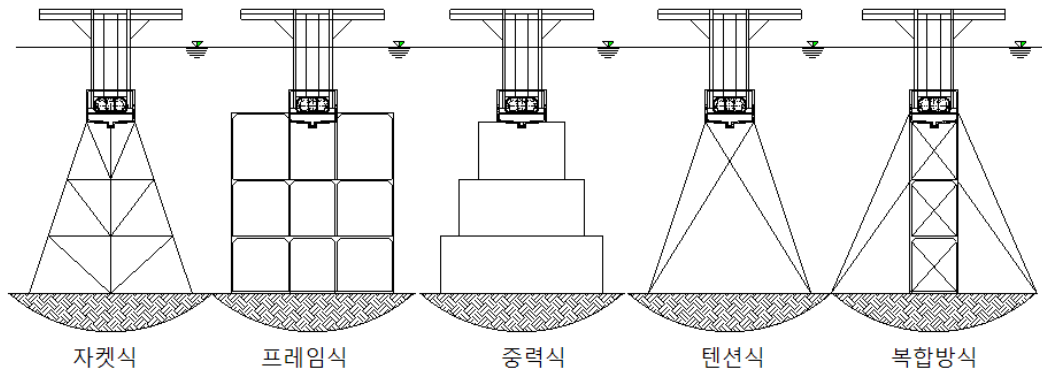


Fig. 3 수저터널 수직구의 각종 지지계류구조물 형식

더욱이 상기 집수탱크와 오수탱크, 수저터널과 수면 위의 데크를 연결하는 일체형 다중튜브수직구조물 (Fig. 4 의 (03)번 참조) 등은 지상에서 지지 및 계류구조물을 제작 할 때에 함께 제작하여 부착하고 방수 및 누수 시험을 하여 이상 여부를 확인 한 후에 이를 해상에 설치하기 때문에 시공 품질이 향상된다. 추가로 다중튜브수직구조물은 지지 및 계류구조물의 해상설치 시 부력을 주는 장치(예:자켓 밸러스트, Jacket Ballast)의 역할을 겸하므로 비용과 공정이 훨씬 최소화되는 추가적인 이익도 있다.

### 2.2.3 수저터널방재계획

연속하는 연속터널튜브는 차량이 통행하고 수면 위 대기 중에는 터널튜브와 일체형으로 연결되는 다중튜브수직구조물이 연결되며 이 다중튜브수직구조물 상단에 데크(Deck)를 설치한다. 여기서 다중튜브수직구조물은 터널튜브에 공기를 유입하거나 배출하게 하는 1 개 이상의 환기구와 사람이 계단 또는 승강기(엘리베이터 등)를 통하여 터널튜브 상단 수면 위의 데크(Deck)로 이동할 수 있도록 하는 기능이 있다 (Fig. 5 의 (1) 내지 (3)번 참조).

또한 다중튜브수직구조물은 수상의 조위 변화에 의하여 물의 상승되거나, 파도에 의하여 월파(Wave Overtopping)되어도 물이 넘어 들어오지 않는 높이에 데크를 설치하여 환기구로 물의 유입을 차단하게 한다.

동시에 데크에는 다중튜브수직구조물을 통하여 차량이 운행하는 터널튜브로 동력을 공급하고 변전시설을 설치하며 비상용 발전기 등의 설비를 수용하는 것과 동시에 무 정전 전원공급장치등을 구비하여 차량과 열차의 운행에 지장이 없도록 한다. 특히 터널튜브에 공급되는 전력이 비상 및 재난 시 차단이 될 경우에도 본 데크에 설치된 비상용 발전기 등의

설비를 수용하는 것과 동시에 무 정전 전원공급장치 등이 공급하는 전원으로 집수탱크와 오수탱크의 물을 외부 및 데크에 설치된 정화시설로 양수(Pumping)할 수 있도록 하며, 소화전, 비상조명, 복구에 사용하는 전기동력의 공급이 가능하다. 이와 더불어 차량이 운행하는 터널튜브에서 다중튜브수직구조물을 통하여 수면보다 높은 상부의 데크로 대피한 승객들은 헬리콥터나 선박 등 타 교통수단으로 대피할 수 있는 동시에 재난구조 및 복구인력과 장비를 투입 할 수 있다.

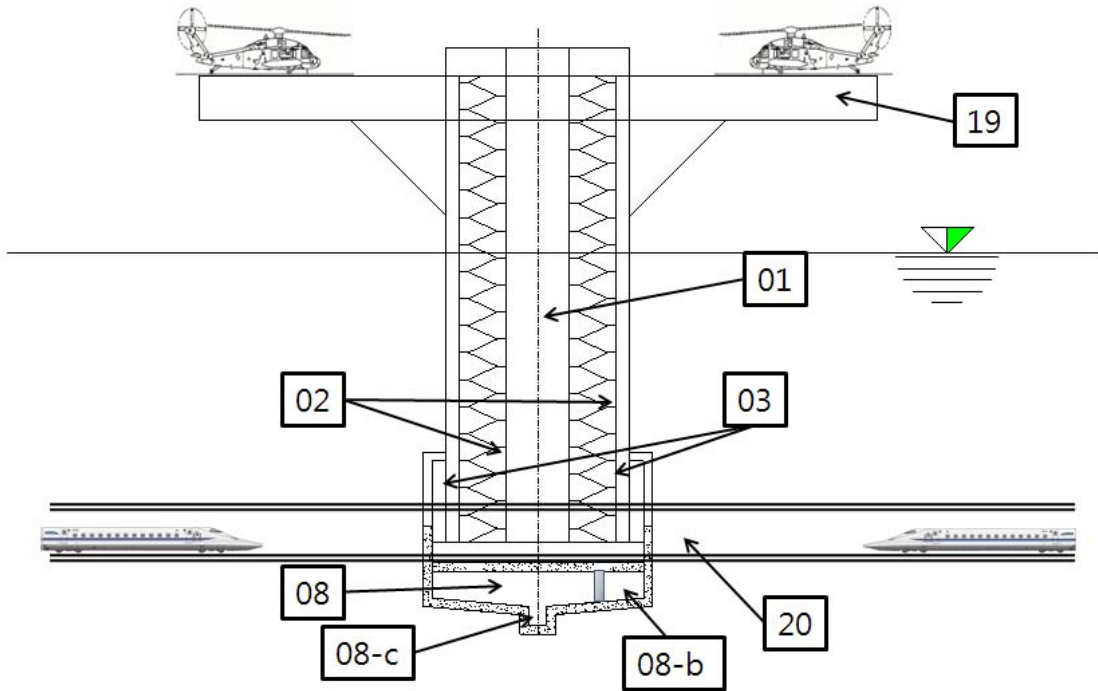


Fig. 4 수저터널 수직구 방재구획 개념도

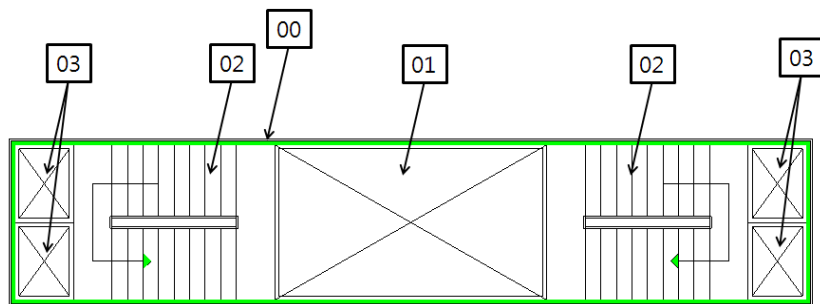


Fig. 5 수저터널 수직구 평면계획 개념도

또한 고속전철, 전기철도에 전기동력을 공급하는데 필수적인 ‘변전소, 급전구분소, 보조급전구분소, 병렬급전소’ 등을 수저의 공간에 설치 할 경우, 유지관리 및 누수, 침수 등의 위험한 상황이 발생 될 수 있기 때문에 수면 위의 건조한 지역인 데크(Deck)에 설치하고 비와 파도, 조위 등의 영향이 없는 곳에 위치하도록 하여 상시 점검 및 유지 관리에 손쉽고 간편하며 시간과 비용도 절감되게 한다. 철도운행을 제어하고 관리하는 장치설비는 항상 수면

위에 물의 영향이 없는 곳에 설치하여야 하므로, 차량 및 열차의 안전운행을 위하여 필수적으로 제공 하여야 하는 ‘보호계전기’는 차량이 운행 중인 터널튜브에 설치하고 데크(Deck)에서 이를 총괄 제어하는 시스템을 도입한다.

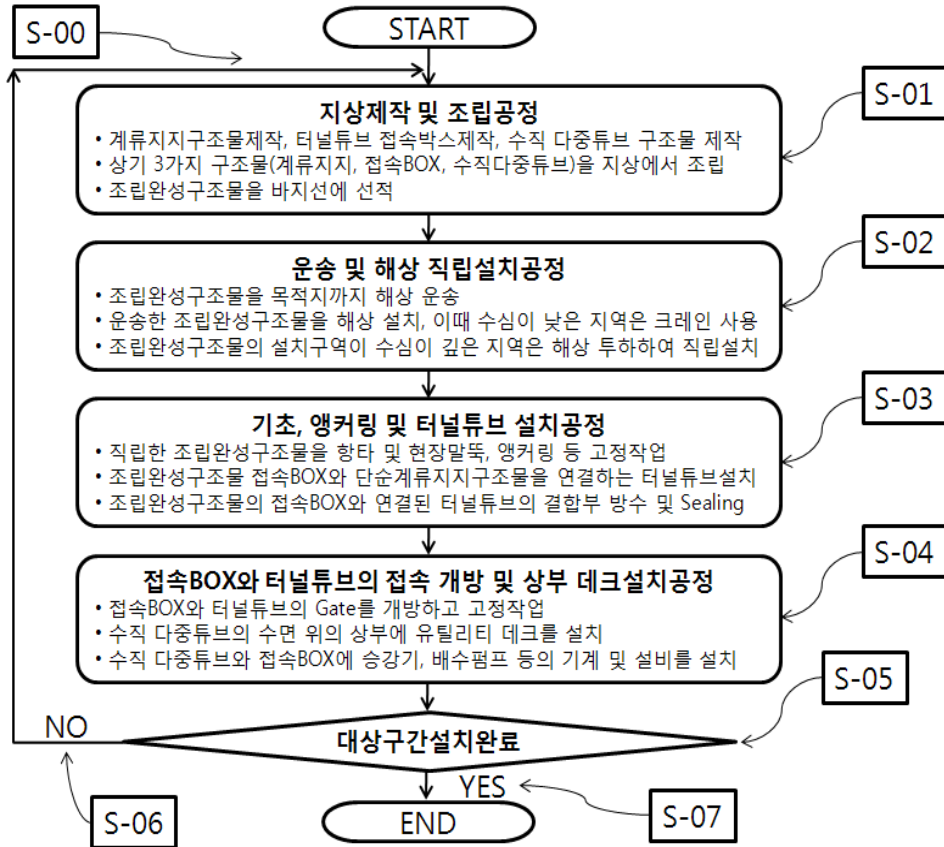


Fig. 6 수저터널 수직구 설계 및 시공 흐름도.

해상설치 또한 수저에 설치되는 터널튜브와 데크를 연결하는 다중튜브수직구조물을 각각의 부분으로 나누어 수상에서 연결을 하는 것이 아니라 지상에서 지지 및 계류구조물(자켓 등등)의 제작과 함께 일체로 연결 함으로써, 수저터널의 시공공정이 단순화되고 제작비용이 저렴해질 뿐만 아니라 장시간 동안의 사용 중에도 누수를 신뢰성 있게 방지할 수 있도록 한다. 특히, 본 연구에 따른 수저터널의 설계시공방법은 거푸집을 반복하여 사용할 수 있으며, 별도의 가설공사나 동바리 등의 설비가 필요하지 않는 간단한 제작공정을 제공한다.

### 3. 결론

본 연구를 통하여 현재 운영중인 육상철도시설과 동일한 환경을 수저터널에 구현하기 위한 방배수, 방재, 철도 E&M 시설의 설치운영에 대하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- 방재 안정성: 신속한 집수 및 배수와 더불어 유사 시 효과적인 피난 및 재난구호 방법을 제공하여 사람, 차량 등의 운행에 지장이 없도록 할 수 있다.

- 운영 및 유지관리: 터널튜브와 수면 위의 데크(Deck)를 연결하여주는 일체형 다중튜브수직구조물을 설치, 데크에서 ‘보호계전기’ 등을 총괄할 수 있는 제어시스템을 제공할 수 있다.
- 시공 및 경제성: 간단한 공정과 낮은 비용으로 수저터널을 시공할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] 김준모 외 (April, 21, 2010) 자켓구조물을 응용한 수중터널연구, *KTA 2010 Annual Conference*, , 7(4), pp. 155-172.
- [2] 김준모 외 (April, 29, 2009) 압출연속공법을 이용한 수저터널연구, *KTA 2009 Annual Conference*, 7(4), pp. 150-164.