

## 강합성 중공 RC 해중터널의 화재시 손상도 분석

서지혜<sup>1</sup>, 한택희<sup>1</sup>, 한상훈<sup>1</sup>, 박우선<sup>1</sup>, 원덕희<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>한국해양과학기술원 연안개발-에너지연구부

### Damage of Steel Composite Hollow RC SFT under Fires

JiHye Seo<sup>1</sup>, Taek Hee Han<sup>1</sup>, Sang Hun Han<sup>1</sup>, Woo-Sun Park<sup>1</sup>, Deok Hee Won<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Coastal Engineering and Ocean Energy Research Division,  
Korea Institute of Ocean Science and Technology

**요약** 국가 간 교류 급증 및 이상기후현상으로 인해 새로운 교통기반시설 확보에 대한 관심이 증대되면서 해중터널에 관한 연구가 진행되고 있다. 하지만 이는 전 세계적으로 거의 초기 단계이며, 특히 재해로부터 안전을 도모하기 위한 다양한 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 해중터널의 구조 성능 평가 중에 화재가 발생하였을 경우에 화재열이 해중터널에 미치는 영향성을 분석하고자 한다. 해중터널의 해석 대상 모델은 강합성 중공 RC 해중터널을 대상으로 해석을 수행하였으며, 다양한 화재가 발생하였을 경우에 화재열이 해중터널 구조에 미치는 영향에 대해서 해석적으로 분석하였고, 또한 이를 방지할 수 있는 방지 기법을 해석적으로 검토하였다.

**Abstract** The research is being conducted on a SFT (Submerged Floating Tunnel), because of increased exchange among nations and abnormal weather-disasters and new transportation infrastructure has attracted interest. However, studies in this are almost in the early stages around the world and various researches will be needed to promote the safety form the disaster. In this paper, heat transfer analysis was applied among the structural performance evaluation of a SFT if afire occurs in the tunnel. The analysis model of the SFT was performed as steel composite RC hollow. The impact of heat by fire under a range of fire scenarios was analyzed and prevention techniques were examined.

**Key Words** : Composite hollow RC, Fire design model, Fire scenarios, Heat transfer analysis, SFT

### 1. 서론

해중터널이란 바다 속에 설치된 터널, 즉 해수면과 해저면 사이의 수중에 설치된 터널이라 정의할 수 있다. 공식 전문용어로는 Submerged Floating Tunnel (SFT)이며, Suspended tunnel 또는 Archimedes bridge라고도 불린다.

해중터널은 Fig. 1와 같이 자중(W)과 부력(B)의 크기에 따라 4가지 지지방식이 있다[1]. 부력이 자중보다 큰 경우에는 긴장 계류선을 이용하는 방식, 자중이 부력보다 큰 경우에는 추가 부력 폰툰을 설치하여 총 자

중과 부력을 같게 하는 방식 또는 해저에 교각을 세워 서 지지하게 하는 방식, 자중과 부력을 일치시켜 별도의 지지를 하지 않는 방식 등을 들 수 있다. 각 방식은 장단점이 달라 적용지역 환경조건에 따라 적절한 선택이 필요하다[2].

최근, 국가 간 인적·물적 교류가 급격한 증가하고 아이슬란드 화산폭발, 칠레 지진, 주기적인 태풍과 폭설 등 기후변화에 따른 기존 교통기반시설의 한계성을 극복하기 위해 새로운 교통기반시설 확보에 대한 수요가 증대되어 국외적으로 스리랑카대륙연결사업, 베링해협횡단사업 등 수많은 심해횡단사업이 계획되고 있

본 논문은 한국해양과학기술원의 기본연구사업인 '해중터널 실용화를 위한 핵심기술개발(PE99223)'의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

\*Corresponding Author : Deok Hee Won(KIOST)

Tel: +82-2-400-6339 email: thekeyone@kiost.ac

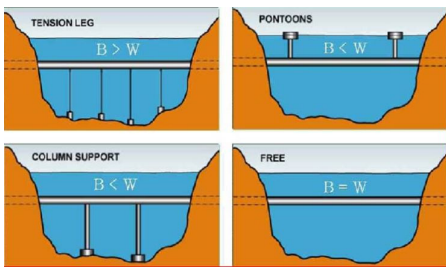
Received March 7, 2014

Revised April 21, 2014

Accepted July 10, 2014

고, 우리나라 주변에는 한-중 및 한-일 철도, 제주도 연육사업 등 해양횡단을 통한 물류네트워크 구축사업 논의가 진행되고 있다.

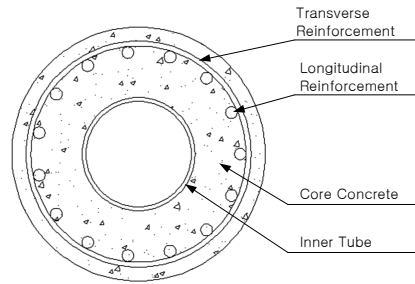
하지만 타우런 터널, 고타드 터널 등 대형터널의 화재로 인하여 참혹한 사고를 겪게 되었다. 특히, 영국과 프랑스의 협업을 횡단하는 유로터널 및 이탈리아 몽블랑터널의 대형화재는 구조체의 손상 뿐 아니라 인명피해로 인해 물적·인적자원의 막대한 경제적 비용손실을 초래하였다. 더욱이 트럭, 유조차, 폭발물 탑재 차량 등 운송체의 다양화와 대형화, 터널 내 차량충돌 사고 빈발 등 터널 내부에서의 대형화재 위험성이 급증되고 있다. 우리나라에서는 이런 재해로부터 인간과 재산을 보호하기 위해 실제 화재가 일어났을 경우를 모사하는 연구가 아직까지는 진행되고 있지 않다. 국외에서는 구조물 내에서 실제 차량을 연소시켜 시간에 따른 열 방출율을 측정하였고, 이러한 연구결과 RABT, RWS, ISO 834 등의 표준시간-온도 곡선을 제정하여 사용하고 있다. 본 연구에서는 강합성 중공 RC 해중터널 내에서 화재가 발생하였을 경우에 발생하는 단면 손상정도를 분석하였으며, 이를 방지할 수 있는 방지 기법을 제안하였다.



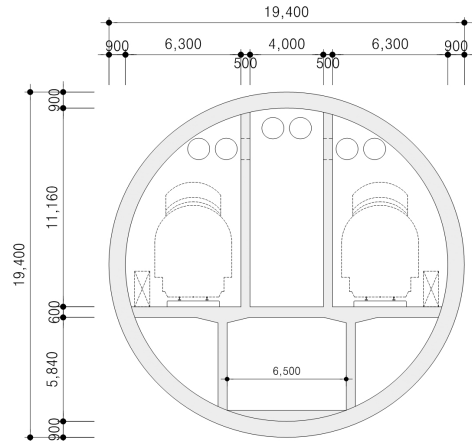
[Fig. 1] Support method of Submerged Floating Tunnel [1]

## 2. 해석 방법 연구

본 연구에서는 Fig. 2와 같이 중공 철근콘크리트 단면 내부에 강재 튜브가 배치되어 있는 구조인 강합성 중공 RC 단면을 Fig. 3와 같이 철도를 운행하는 단면에 적용하여 내화 해석을 수행하였다. 단면 제원은 Fig. 3과 같이 직경 19.4m, 메인 튜브의 두께 0.9m(내부 튜브 50mm)이다. 본 연구에서는 메인 튜브만 고려하여 검토하였다.



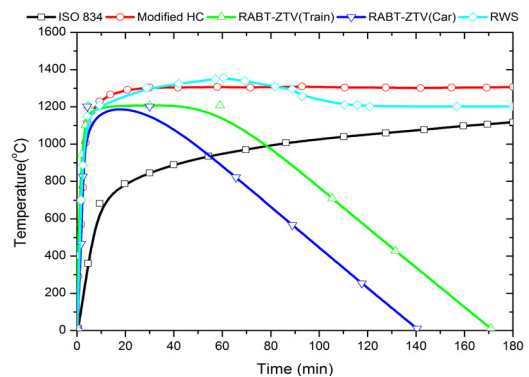
[Fig. 2] Constitution of steel composite hollow RC section



[Fig. 3] Dimension of submerged floating tunnel for Mokpo-Jeju

### 2.1 화재 시나리오

해중터널에 발생하는 화재의 최고온도 도달시간, 지속시간 등은 화재의 상황에 따라 구분된다. 유조차, 철도, 일반 차량 등 연소 재료에 따라 화재 상황이 많이 다를 수 있다. 이에 따라서 Fig. 4와 같이 화재 시나리오들이 제안되었다[3-6].



[Fig. 4] Fire scenarios [3-6]

ISO-834[3]는 건축구조에 주로 적용되는 표준화재 곡선이며, Modified HC는 hydrocarbon[4] 곡선을 약 200℃ 상향 조정한 것으로 프랑스 기준이다. RABT-ZTV(car/train)[5]는 독일에서 제안되고 사용되는 기준으로 터널에서 화재가 발생하였을 경우를 가정하여 제안된 곡선으로, 화재 발생 후 5분 만에 1200℃ 까지 온도가 급상승하여 60분간 지속되며 열차와 자동차에 따라 곡선이 다르다. 마지막으로 네덜란드의 RWS[6]는 45,000 리터급 대형유류탱크로리의 화재시를 상정한 것으로 화재 발생 후 60분 만에 최고온도 1,350℃에 도달하는 가장 엄격한 규정이다.

## 2.2 재료 물성치

내부강관, 횡철근, 종철근 그리고 콘크리트로 이루어진 강합성 중공 RC 단면의 열전달 해석을 위하여 사용한 강재와 콘크리트의 온도물성치는 다음과 같다.

### 2.2.1 강재의 물성치(Eurocode 3[7])

Eurocode 3에 제시되어 있는 식 (1)~(4)는 강재의 온도에 따른 비열(Specific Heat, unit :  $J/kgK$ )의 온도 분포를 식으로 표현한 것으로서 600℃~900℃사이에서 비열이 매우 커지는 것으로 나타난다.

- for  $20^{\circ}C \leq \theta_a < 600^{\circ}C$ :
 
$$c_a = 425 + 7.73 \times 10^{-1} \theta_a - 1.69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2.22 \times 10^{-6} \theta_a^3 \quad (1)$$
- for  $600^{\circ}C \leq \theta_a < 735^{\circ}C$ :
 
$$c_a = 666 + \frac{13,002}{735 - \theta_a} \quad (2)$$
- for  $735^{\circ}C \leq \theta_a < 900^{\circ}C$ :
 
$$c_a = 545 + \frac{17,820}{\theta_a - 731} \quad (3)$$
- for  $900^{\circ}C \leq \theta_a < 1,200^{\circ}C$ :  $c_a = 650 \quad (4)$

여기서,  $\theta_a$ 는 온도[℃]를 의미한다.

또한 식 (5)~(6)은 온도에 따른 전도도(Thermal Conductivity, unit :  $W/mK$ )를 나타낸 식이며 800℃ 까지 감소하다 일정해진다.

- for  $20^{\circ}C \leq \theta_a < 800^{\circ}C$ :
 
$$\lambda_a = 54 - 3.33 \times 10^{-2} \theta_a \quad (5)$$

- for  $800^{\circ}C \leq \theta_a < 1,200^{\circ}C$ :  $\lambda_a = 27.3 \quad (6)$

### 2.2.2 콘크리트의 물성치(Eurocode 2[8])

Eurocode 2에 제시되어 있는 식 (7)~(10)은 콘크리트의 온도에 따른 비열을 나타낸 것으로 본 연구에서는 콘크리트에 수분이 없는 상태로 가정하였다.

- for  $20^{\circ}C < \theta_a \leq 100^{\circ}C$ :  $c_p = 900 \quad (7)$
- for  $100^{\circ}C < \theta_a \leq 200^{\circ}C$ :
 
$$c_p = 900 + (\theta - 100) \quad (8)$$
- for  $200^{\circ}C < \theta_a \leq 400^{\circ}C$ :
 
$$c_p = 1,000 + (\theta - 200)/2 \quad (9)$$
- for  $400^{\circ}C < \theta_a \leq 1,200^{\circ}C$ :  $c_p = 1,100 \quad (10)$

식 (11)~(12)는 온도에 따른 콘크리트의 전도도를 나타낸 것인데, 이때 식(11)은 상계치가 되고 식(12)의 값은 하계치가 된다. 콘크리트의 전도도가 상태에 따라서 변화가 심하기 때문에 범위를 두어서 값이 결정되어져 있는데, 본 연구에서는 상계치를 사용하여 열전달 해석을 수행 하였다. 상계치를 사용할 경우에 상대적으로 열전달이 잘되어 부재의 온도가 상승하게 된다. 이는 최악의 조건을 해석적으로 고려하기 위함이다.

- for  $20^{\circ}C \leq \theta < 1,200^{\circ}C$ : Upper limit
 
$$\lambda_c = 2 - 0.2451 \times (\theta/100) + 0.0107 \times (\theta/100)^2 \quad (11)$$
- for  $20^{\circ}C \leq \theta < 1,200^{\circ}C$ : Lower limit
 
$$\lambda_c = 1.36 - 0.136 \times (\theta/100) + 0.0057 \times (\theta/100)^2 \quad (12)$$

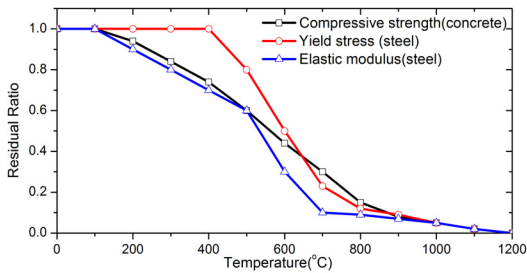
강관과 콘크리트의 온도에 따른 구조적 재료 물성치 변화는 Fig. 5를 따르며, 강재의 극한 강도는 Eurocode 3에 따라 식 (13)~(15)으로 결정하였다.

- for  $T = 300^{\circ}C$ 

$$f_u = 1.25 f_y \quad (13)$$
- for  $300^{\circ}C \leq T < 400^{\circ}C$ 

$$f_u = f_y (2 - 0.0025 T) \quad (14)$$
- for  $T \geq 400^{\circ}C$   $f_u = f_y \quad (15)$

여기서,  $f_u$ 는 극한강도이며,  $f_y$ 는 항복강도이다.



[Fig. 5] changes in structural material properties of concrete (siliceous) and steel at high temperatures

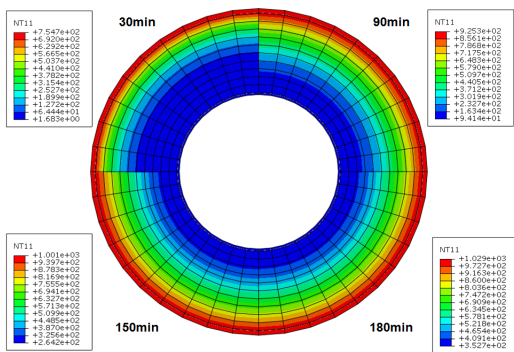
### 2.3 열전달 해석 방법의 검증

화재열이 시간의 흐름에 따라서 열이 전도되는 분포를 분석하기 위하여 범용 프로그램 ABAQUS [9]를 이용하였다. 강합성 중공 RC 단면의 열전달해석을 수행하기 위해 2차원 Solid의 4절점 선형 열전도 4변형 요소 DC2D4를 사용하여 일시(Transient) 열전달해석을 수행하였다. 온도 하중은 식 (16)의 표준가열곡선 ISO 834[3]를 적용하여 온도하중이 내부튜브 표면에 직접 도달한다고 가정하였다.

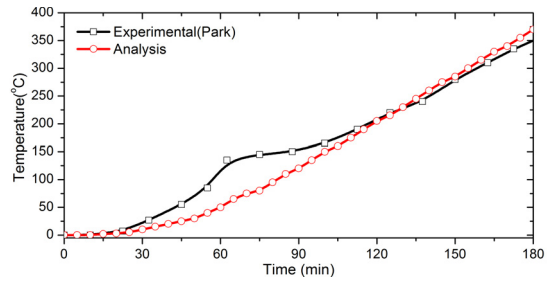
$$T = 345 \cdot \text{Log}_{10}(8t + 1) \quad (16)$$

여기서,  $t$ : 분(min),  $T$ : 가열온도(°C)

식 (16)의 표준가열곡선 하에서 기둥의 열전도 특성을 실험적으로 검증한 Park et al.(2009) [10]이 수행한 실험치를 이용하여 해석방법을 검증하였다. 단면 및 중공부 직경이 각각 406.4mm, 150mm이고 외부강관 및 내부강관의 두께가 각각 9mm, 7.1mm인 단면을 선정하여 열전달 해석을 수행하였다.



[Fig. 6] Analysis results of heat transfer



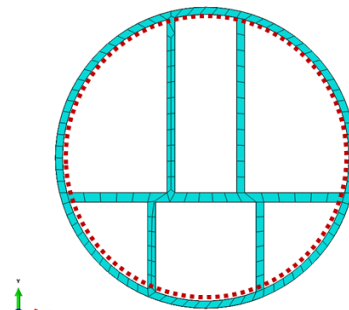
[Fig. 7] Comparison of the analysis values with the experimental data on the concrete inner surface [10]

Fig. 6은 30분~180분 동안 60분 간격으로 열전달 해석을 수행하여 검증 단면의 온도분포를 나타낸 것으로, 콘크리트 외부와 내부 표면에서 온도를 나타낸 Fig. 7과 비교해보면 실험값과는 약간의 오차를 보인다. 실험시의 환경 조건과 재료의 수분 등의 상태를 고려하지 못한 점을 생각한다면 이와 같은 방법으로 열전달 해석을 수행하는 것이 합리적인 방법이라고 판단된다.

## 3. 화재시나리오별 해중터널의 손상도 분석

### 3.1 강합성 중공 RC 해중터널의 분석

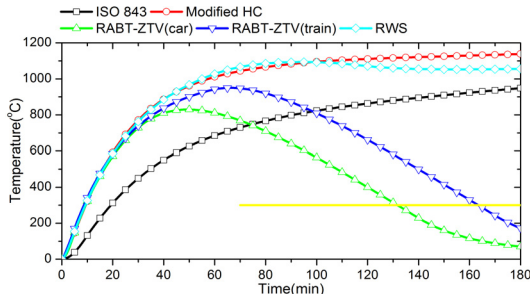
Fig. 9는 온도하중(화재 시나리오) 재하 위치를 나타낸 것으로 Fig. 5의 온도하중이 직접적으로 표면에 가해진다고 가정하였다. 이전 장에서 검증된 열전달 해석 방법을 Fig. 3의 목포-제주간 해중터널 단면에 적용하여 해석을 수행하였다. 내부 격벽은 모델링을 하지 않았으며, 온도하중을 내부튜브 표면에 가하였다. 화재 시나리오는 Fig. 4에서 보인 ISO 843, Modified HC, RABT-ZTV (car, train), RWS를 선정하여 열전달 해석을 수행하였다.



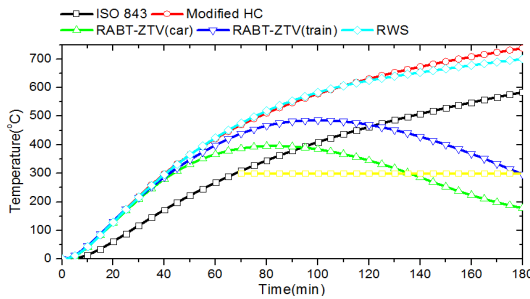
[Fig. 9] Location of thermal loading

Fig. 10은 표면으로부터 10mm 위치에서 온도변화를 나타낸 것으로 70분을 기준으로 보면 Modified HC와 RWS 온도 곡선의 온도가 가장 높으며, 그 다음으로 RABT ZTV(train) = RABT ZTV(car) = ISO 834 순으로 온도가 높지만 시간이 흐를수록 서서히 온도가 상승하는 것을 볼 수 있다. 그러나 RABT ZTV (train/car)는 화재곡선에 감소구간이 존재하기 때문에 약 70분을 기점으로 점차 감소하는 것을 볼 수 있다.

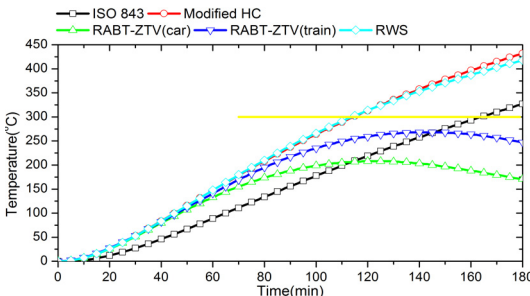
온도하중 재하 지점에서 50mm에서 Fig. 11과 같은 온도분포를 보이는데 Modified HC와 RWS가 500°C 이상의 온도로 상승 되는 것으로 나타났으며, 이밖에도 ISO 843이 120분 이후에 400°C 이상으로 상승하는 것으로 나타났다. 이밖에도 100mm 떨어진 위치에서는 Fig. 12와 같이 주로 450°C이하의 온도분포를 보이는 것으로 나타났다.



[Fig. 10] Temperature distribution at 10mm from surface



[Fig. 11] Temperature distribution at 50mm from surface



[Fig. 12] Temperature distribution at 100mm from surface

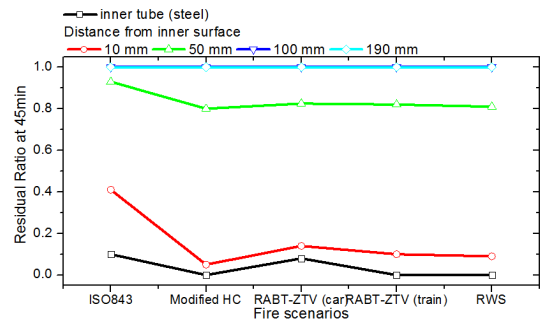
이를 화재 시나리오 별로 살펴보면 다음과 같다.

ISO 843의 표준 화재곡선인 경우, 내측 표면으로부터 10mm 떨어진 곳의 최대 온도가 약 800°C로 굉장히 높은 것을 알 수 있다. 강재의 온도가 800°C에 도달할 경우에는 Fig. 5에 의하여 인장강도가 상온의 10% 수준으로 감소되는 것으로 나타나 내부튜브가 성능을 발휘하지 못하는 것으로 나타났으며, 이에 따라 단면 성능이 감소될 것으로 판단된다.

Modified HC 화재 하중을 가하였을 때의 온도분포를 보면 단면 표면에서는 화재가 발생한 후 10분 후에 1,300°C에 도달하는 것으로 나타났으며, 콘크리트 표면(10mm 떨어진 곳)에서도 1,000°C에 도달하는 것으로 나타났다. 이때 내부튜브의 강도는 0으로 감소할 것으로 판단된다.

RABT-ZTV(car, train)의 온도강도는 약간 차이가 있으며 온도 감소구간이 있기 때문에 전반적으로 온도가 감소하는 것이 특징이나 80분 이후에는 표면의 온도보다 내측 부분의 온도가 더 높은 구간이 나타나는 것을 보이며, 콘크리트 표면에 온도가 800°C에 도달하는 것으로 보아 내부튜브의 강도의 90%가 손상된 것으로 추정가능하다.

RWS의 온도분포는 가장 높은 것으로 판단되며, 120분에 도달하였을 때 온도가 약간 감소하지만 거의 1,200°C 이상을 유지하면서 화재가 발생하는 것으로 나타났다. 내부튜브의 온도는 약 1,000°C로 강도가 0으로 감소되었을 것으로 판단된다.



[Fig. 13] Strength changes according to the distance from surface until 45 min

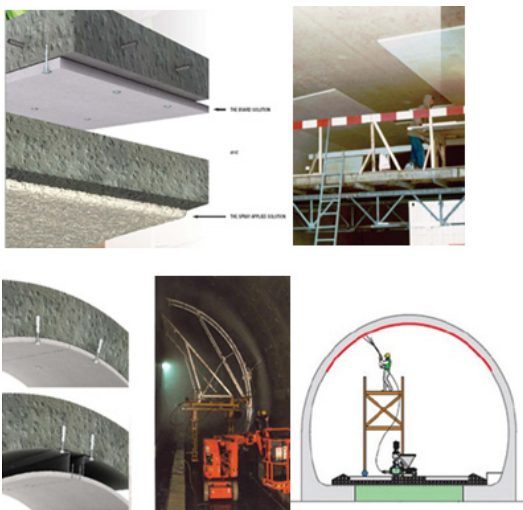
Fig. 13은 화재 후 45분에 내부 표면으로부터의 거리에 따른 재료의 강도 변화를 나타낸 것이다. 내부 튜브의 경우에 모든 화재에서 거의 90%의 강도가 감소

한 것으로 나타났으며, 콘크리트의 경우 표면으로부터 50mm 이상 구간에서의 손상이 없지만 장시간 화재가 진행될 경우 50mm 이상 구간에서도 파괴 위험성이 매우 커질 것으로 판단된다. 본 강합성 중공 RC 구조물은 중공 철근콘크리트 단면의 내측 횡방향 철관과 종방향 철근 대신 내부튜브를 삽입하는 구조로 제시되었기 때문에 내부튜브의 성능확보가 매우 중요하다. 외력을 지속적으로 받고 있는 상태에서 내부튜브가 손상을 입는다면 해중터널의 국부적 손상을 발생시킬 것으로 판단된다.

## 4. 내화 보강 방법의 검토

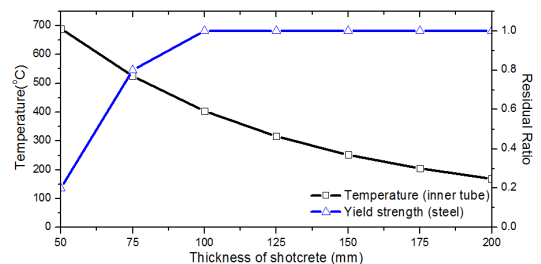
### 4.1 내화 보강 방법

열전달해석결과 콘크리트에 대한 피해보다는 내부튜브에 대한 피해가 매우 큰 것으로 나타났다. 하중 시나리오에 따라 달라지지만 거의 온도가 1,000℃에 도달하는 것으로 나타났는데, 이런 경우에는 내부튜브가 손상을 입어 해중터널의 성능이 감소될 것으로 판단된다. 이를 방지하기 위해 도로터널 및 침매터널에서 주로 사용하고 있는 방지법을 해중터널에 적용해 보았다. 실제 현장에서는 대표적으로 Fig. 14와 같이 구조체를 보호하기 위해 내화보드를 보강하거나 슛크리트를 타설하고 있다.



[Fig. 14] Methods for fire resistance of tunnel

해중터널의 경우 내화보드의 시공이 쉽지 않기 때문에 본 연구에서는 기존의 슛크리트 보강을 통하여 열전달을 차단하는 방법을 적용하였다. 가장 큰 손상을 입힌 Modified HC 화재를 온도하중으로 적용하였으며, 슛크리트는 시중에서 판매되는 내화 몰탈의 물성치를 적용하여 그 두께를 50mm~200mm 까지 변경하면서 해석을 수행하였다. 보강 결과 슛크리트의 두께가 두꺼워 질수록 내부튜브의 온도가 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 15는 슛크리트 두께에 따라서 내부튜브의 온도와 항복강도의 변화를 나타낸 것으로, 약 100mm정도 보강할 경우에는 온도가 약 400℃인 것을 볼 수 있다. 이를 Fig. 5와 비교해 보면 강재의 항복강도가 전혀 감소하지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이는 100mm 정도만 보강해도 내부튜브의 강도를 확보하는 것으로 충분히 화재에 의한 피해를 방지하는 것으로 나타났다.



[Fig. 15] Changes of temperature and yield strength of inner tube according to the thickness of shotcrete

## 5. 결론

본 연구에서는 강합성 중공 RC 해중터널에 화재가 발생하였을 경우, 온도하중(화재 시나리오)에 따라 해중터널 단면의 손상정도를 열전달 해석을 통하여 분석하였다.

- (1) 화재 발생 후 표면으로부터 약 10mm 구간 즉 내부튜브가 가장 큰 손상이 발생하였다. 타우린과 고타드 터널과 같이 장시간 화재가 진행될 경우 파괴 위험성이 매우 큰 것으로 나타났다. 해중터널은 해양 외력을 지속적으로 받는 구조로서 내측의 내부튜브의 강도가 상실될 경우 국부적인 파괴가 전체 시스템 붕괴로 이어질 가능

성이 크다. Modified HC와 RWS화재 조건에서 가장 큰 손상을 입었으며, 100mm 위치의 콘크리트 강도가 50%정도 감소하였다.

- (2) 내부튜브가 손상을 입어 성능이 감소될 것을 방지하기 위해 슛크리트 타설로 보강하여 해석한 결과 쇼크리트의 두께가 두꺼워 질수록 온도가 감소하는 것으로 나타났다. 강재의 항복강도는 400°C이하에서는 감소가 발생하지 않는 것으로 보아 약 100mm 정도만 쇼크리트로 보강하여도 충분히 화재에 의한 피해 방지가 가능하다.
- (3) 화재 곡선의 종류에 따라서 구조물의 손상정도가 매우 다른 것으로 나타났다. 향후 해중터널에 운행되는 차량의 종류에 따라서 내화설계가 되어야 할 것으로 판단된다.
- (4) 해중터널은 외부의 소화장비 접근이 매우 어려운 구조로서 최악의 경우에도 구조물이 안전할 수 있도록 합리적인 내화 설계법을 갖추어야 한다.

### References

- [1] Østlid H, When is SFT competitive, *Procedia Engineering*, 4, pp. 3-11, 2010.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2010.08.003>
- [2] Woo-sun Park, Sang-Hun Han, Myoung-Hak Oh, Taek-Hee Han, jin-Hwan Ko, Technical Trend on Submerged Floating Tunne, *J Korean Soc Civ Eng*, 60(8), pp.23-29, 2012.
- [3] ISO 834, Fire Resistance Tests-Elements of Building Construction, 1999.
- [4] HCM(Modified hydro carbon), french hydrocarbon curve
- [5] RWS, Rijkswaterstaat hydrocarbon fire curve
- [6] RABT Germany fire curve
- [7] Eurocode 3, Design of steel structures - Part 1-2 : General rules - Structural fire design , EN 1993-1-2, CEN, Brussels, 2005
- [8] Eurocode 2, Design of concrete structures - Part 1.2 : General rules - Structural fire design EN 1992-1-2, CEN, Brussels, 2004
- [9] SIMULIA, ABAQUS Manual 6.11, 2011
- [10] Park S. H., Song K. C., Chung S. K., Min B.Y., Choi S. M., An Experimental Study on the Fire Resistance of Concrete-filled Double Skin Tubular Columns, *the 5th International Symposium on Steel Structures*, pp.299-307, 2009.

### 서 지 혜(JiHye Seo)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한국해양대학교 운항시스템공학부 (공학학사)
- 2007년 12월 ~ 2013년 2월 : 한국해양과학기술원 (구 한국해양연구원) 연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연안개발·에너지연구부 OST협동연구생 (석사과정)

<관심분야>

해양 및 항만 구조물, 해양에너지

### 한 택 희(Taek Hee Han)

[정회원]



- 2006년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2007년 11월 ~ 2008년 12월 : Auburn University 토목공학과 연구원
- 2009년 1월 ~ 2011년 1월 : 서울메트로 기술연구소 전문위원

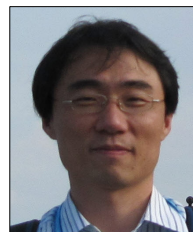
- 2011년 1월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연안개발·에너지연구부 선임연구원

<관심분야>

합성구조, 해양에너지, 비선형 구조해석

### 한 상 훈(Sang-Hun Han)

[정회원]



- 1996년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과 (공학박사)
- 2006년 7월 ~ 2007년 6월 : 일본도쿄대학교 초빙연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 책임연구원

<관심분야>

해양구조물, 해양 신재생에너지, 위험도 해석

---

**박 우 선(Woo-Sun Park)**

[정회원]



- 1986년 2월 : 한국과학기술원 토목 공학과 (공학석사)
- 2011년 8월 : 한국과학기술원 토목 공학과 (공학박사)
- 1991년 3월 ~ 1999년 2월 : 한국 해양연구원 선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 책임연구원

<관심분야>

해양 및 항만 구조물, 해양에너지

---

**원 덕 희(Deok Hee Won)**

[정회원]



- 2008년 8월 : 고려대학교 사회환경 시스템공학과 (구조공학석사)
- 2011년 8월 : 고려대학교 건축사회 환경공학과 (구조공학박사)
- 2011년 9월 ~ 2012년 6월 : 고려대학교 연구교수
- 2012년 6월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연구원

<관심분야>

강구조, 합성구조, 신재생에너지, 해양구조