

## 고속충격탄의 연료탱크 관통시 열전달 특성

이승철\* · 박영록\* · 전우철\* · 이해평

강원대학교 소방방재학부 · \*강원대학교 방재전문대학원

### Heat Transfer Characteristics on the High Speed Bullet Penetrated a Fuel Tank

Lee, Seung-Chul\* · Park, Young Rok\* · Jeon, Woo Chul\* · Lee, Hae Pyeong  
School of Fire & Disaster Prevention Engineering, Kangwon Nat'l Univ.

\*The Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon Nat'l Univ.

#### 요 약

본 연구에서는 차량 연료탱크에 충격탄 관통 시 화재발생 여부를 분석하기 위한 연구의 전단계로서, 충격탄 속도 변화에 따른 연료탱크 내부의 열전달특성을 분석하기 위해 전산 유체역학기법을 도입하여 수치해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 잔류속도 120m/s의 경우, 관통부를 지난 위치에서 최대온도는 약 324.8K를 나타내고 잔류속도 360m/s의 경우, 충격탄이 관통부로 유입되면서 급격하게 증가되어 최고온도 약 382.1K를 나타낸다. 이러한 결과로 미루어 최고 온도가 가솔린 연료의 착화온도보다 높아 화재의 위험성이 있지만 순간적인 온도변화가 심하고 착화시간이 만족되지 않을 것으로 판단된다.

#### 1. 서 론

시스템이 폭발물이나 충격탄과 같은 물체의 충격을 외부로부터 받았을 때 시스템 내부에서 발생하는 화재를 예측하고 분석하여 시스템의 작동가능성을 판단하는 연구로서 국내·외적으로 연구가 미미하여 자체 개발할 필요가 있다. 또한, 외부 충격탄과 폭발물에 의한 충격으로 순간 화재의 위험성 및 사고 가능성이 매우 높기 때문에 이와 같은 화재 및 폭발에 의한 사고예방을 위하여 체계적이고 종합적인 원인 분석과 시스템의 취약성 분석이 필요하다.

외부 충격탄과 폭발물에 의한 충격으로 순간 화재의 위험성을 해석하기 위해서는 실물 실험을 통해 직접 측정하는 방법, 전산유체역학(CFD) 기법을 이용하는 방법 등이 있다. 실험에 의한 방법은 실제 값을 얻을 수 있어 가장 신뢰할 수 있지만 외부 충격탄의 빠른

† 연락처자 : 이승철, Tel : 033-540-3122, Fax : 033-540-3129, e-mail : sclee@kangwon.ac.kr

속도로 인해 실험에 어려움이 많으며 많은 시간과 비용을 필요로 한다. CFD에 의한 방법은 실험보다 적은 시간과 비용으로 상세한 정보를 예측할 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 아직까지 초고속 물체이동과 순간화재와 같은 실제 상황과는 약간의 차이를 지니고 있다.

따라서 본 연구에서는 차량 연료탱크에 충격탄 관통 시 화재발생 여부를 분석하기 위한 연구의 전단계로서, 연료탱크 내부의 열전달특성을 분석하기 위해 전산유체역학의 이동격자방법을 도입하여 외부 충격탄의 움직임과 열적 거동을 고려한 수치해석을 수행하였다.

## 2. 잔류속도

질량  $m$ 인 충격탄이 대상을 관통하면서 잃어버리는 운동에너지  $\Delta E_{kin}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.[1]

$$\Delta E_{kin} = (m/2)v_S^2 - (m/2)v_R^2 = (m/2)v_L^2 \quad (1)$$

여기서  $v_S$ ,  $v_R$  및  $v_L$ 는 각각 초기속도, 잔류속도 및 관통에 필요한 운동에너지의 속도를 의미한다. 따라서 잔류속도  $v_R$ 은 다음과 같이 표현된다.[1]

$$v_R = \sqrt{(v_S^2 - v_L^2)} \quad (2)$$

질량 24g인 충격탄이 480m/s의 초기속도로 날아가다가 대상물 관통 후 120m/s의 잔류속도를 가진다면 관통할 때 소모된 에너지는 2.592kJ이 된다. 또한 초기속도 960m/s일 때, 잔류속도가 360m/s이면 관통 시, 소모된 에너지는 9.504kJ이다.

## 3. 대상 모델

본 연구의 대상모델을 그림 1에 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 점선 외곽선이 연료탱크 외부이며, 외부 충격탄과 연료탱크의 크기는 각각 가로 12mm, 세로 6mm 및 가로 600mm, 세로 300mm이다. 또한 점선 화살표는 외부 충격탄의 진행방향을 가리키며 외부 충격탄의 속도는 120m/s와 360m/s로 하였다.

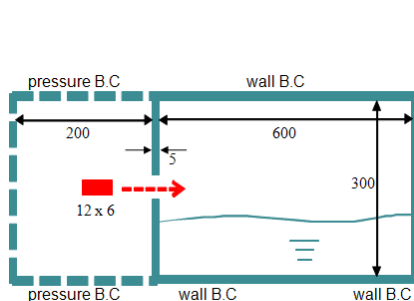


그림 1. 대상모델

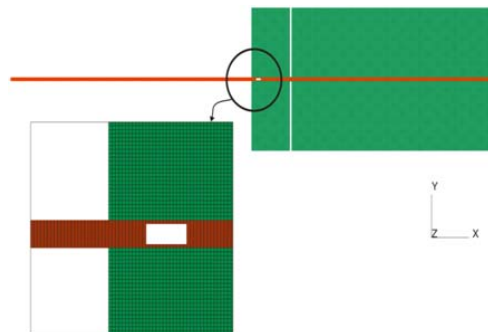


그림 2. 계산 격자계

## 4. 수치해석

### 4.1 기본 가정

외부 충격탄과 폭발물에 의한 충격으로 순간 화재의 위험성을 해석하기 위해서는 열전달 및 연소해석 등의 실제 물리적 현상을 모두 고려하여야 하지만, 본 연구에서는 순간화재 해석의 전 단계로써 다음과 같은 가정을 통해 문제를 단순화 하였다.

- (1) 2차원 해석으로 가정하였으며 연료탱크 내부의 유체는 공기로 가정한다.
- (2) 연소는 고려하지 않으며 유체유동과 열전달(복사열전달 제외)만을 고려한다.

### 4.2 수치해석 방법

본 연구에 사용된 지배방정식은 2차원 비정상상태 난류 열유동을 해석하기 위한 연속방정식, 운동량방정식, 난류운동에너지방정식, 난류운동에너지소산율방정식 및 에너지방정식이며 각 방정식에 대한 수식적 표현은 지면관계상 생략하였다. 또한 난류해석을 위해서는 표준  $k-\epsilon$  난류모델을 사용하였다.

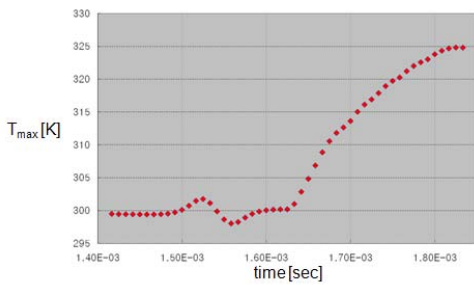
본 해석의 경계조건은 그림 1에서 점선 외곽선 부분이 압력경계조건으로 대기압을 부여하였으며 나머지 실선 외곽선은 벽면조건으로 점착(no-slip)조건을 부여하였다. 온도 경계조건은 충격탄의 전면부와 연료탱크의 관통면에 관통 시, 소모된 에너지를 열유속으로 부여하였다. 또한 충격탄의 이동은 STAR-CD[2]에서 제공하는 이동격자의 첨가 및 삭제방법을 사용하여 구현하였다. 따라서 충격탄은 시간간격에 대하여 항상 일정한 격자간격만큼 움직이게 된다.

본 계산은 STAR-CD Ver. 4.10 프로그램을 사용하였으며, 시간에 대해서는 Implicit 알고리즘과 압력보정방법은 PISO 알고리즘[3]을 사용하였다. 대류항의 차분에는 상류차분법을 사용하였다. 계산에 사용된 격자수는 547,094개로 충격탄 이동경로에 격자를 집중시켰다. 그림 2에는 본 계산에서 채택한 격자계를 나타내었다.

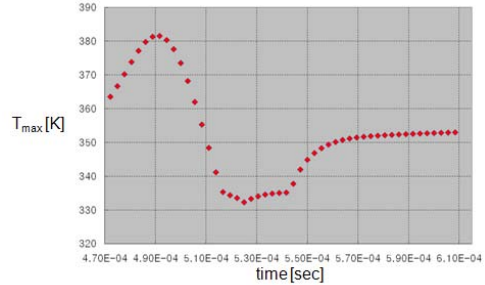
## 4. 결과 및 검토

그림 3에는 잔류속도별 시간에 따른 최고온도 분포를 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 잔류속도 120m/s의 경우, 온도는 충격탄이 관통부로 유입되면서 열이 공급되어 계속적으로 증가되어 최대 약 324.8K를 나타내며 이후 서서히 감소됨을 알 수 있다. 또한 잔류속도 360m/s의 경우, 온도는 충격탄이 관통부로 유입되면서 급격하게 증가되어 최고온도 약 382.1K를 나타내며, 이후 감소하다가 다시 약간의 증가가 있음을 알 수 있다.

이러한 결과로 미루어 최고 온도가 가솔린 연료의 착화온도보다 높아 화재의 위험성이 있지만 순간적인 온도변화가 심하고 착화시간이 만족되지 않을 것으로 판단된다.



(a) 잔류속도 120m/s



(b) 잔류속도 360m/s

그림 3. 시간에 따른 최대온도 분포

## 5. 결론

본 연구에서는 차량 연료탱크에 충격탄 관통 시 화재발생 여부를 분석하기 위한 연구의 진단계로서, 충격탄 속도 변화에 따른 연료탱크 내부의 열전달특성을 분석하기 위해 전산 유체역학기법을 도입하여 수치해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

잔류속도 120m/s의 경우, 관통부를 지난 위치에서 최대온도는 약 324.8K를 나타내고 잔류속도 360m/s의 경우, 충격탄이 관통부로 유입되면서 급격하게 증가되어 최고온도 약 382.1K를 나타낸다.

이러한 결과로 미루어 최고 온도가 가솔린 연료의 착화온도보다 높아 화재의 위험성이 있지만 순간적인 온도변화가 심하고 착화시간이 만족되지 않을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서와 같은 충격탄의 속도로 연료탱크 관통 시, 화재발생은 어려울 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 방위사업청 국방과학연구소 '생존성기술특화연구사업(과제번호 220100001)'의 지원에 의하여 수행된 것입니다.

## 참고문헌

- [1] Ruprecht Nennstiel, Prediction of the remaining velocity of some handgun bullets perforating thin metal sheets, Forensic Science International, V.102, pp.121-132, 2009.
- [2] Computational Dynamics Ltd., STAR-CD Version 4.10 User Manual, 2009, Computational Dynamics Ltd.
- [3] Issa, R.I., "The Computation of Compressible and Incompressible Recirculating Flows by a Non-Iterative Implicit Scheme", J. Computational Physics, V.62, pp.66-82, 1986.