

석유저장탱크 화재시 복사열과 온도에 관한 시뮬레이션

허만성, 하동명*

우송공업대학 소방안전관리과, *세명대학교 안전공학과

Simulation on the Radiation and Temperature in Petroleum Storage Tank Fires

Man-Sung Hur, Dong-Myeong Ha*

Dept. of Fire Safety Engineering, Woosong Technical College

** Dept. of Safety Engineering, Semyung University*

1. 서론

석유는 현대산업에 있어서 가장 기본적인 물질로써 최대의 에너지원이다. 원자력에너지의 이용도 증가하고 있지만 석유의 경제성, 편리성 때문에 석유의 의존도는 줄어들지 않고 있다. 때문에 대규모 탱크가 대도시 주변에 저장·유통되고 있어 그 안전성은 화재연구는 물론 안전공학 측면에서도 큰 문제가 된다. 따라서 탱크 주위에는 일정한 공지가 필요하고 주위 건물까지의 거리에 대한 규정을 두고 있다.

석유탱크 화재는 일반 건물화재에 비하여 건수는 많지 않지만 일단 화재가 일어나면 소화활동이 어렵고, 장시간에 걸쳐 많은 사회활동에 영향을 미치는 경우가 있다. 따라서 외국에서는 액화탄화수소를 연료로하는 석유탱크화재의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또 가스계 연료에 대한 pool-like fire의 연구까지도 많은 정보를 가지고 있다.^{1,2)} 그 내용도 실험을 중심으로 한 것부터 실험결과를 이론적 해석을 행한 것, 대규모 화재에 대한 주위의 복사열, 화염높이의 추정 등이 있다. 세계적으로 많은 연구가 이루어지고 있으나 대표적으로 NIST에서 Baum과 McGrattan을 중심으로 oil tank에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.³⁾

그러나 국내에서는 석유저장탱크 화재에 관한 연소특성의 연구 및 분석은 이루어진 바가 거의 없다. 따라서 본 연구의 목적은 석유저장탱크 화재시 발생하는 복사열 및 온도분포 특성을 시뮬레이션을 통하여 실험⁴⁾과 비교하는데 있다.

2. 수치모사 방법

Fig. 1은 실험에 사용된 저장탱크의 크기와 형상을 보여주고 있으며, 화재 실험과 일치

를 시키기 위하여 저장탱크는 250 ℓ 로 직경 750mm, 높이 610mm로 동일하게 하였고 탱크 재질은 3.2mm Steel, 액면 높이는 56cm로 하였다. 계산에 사용된 격자는 비균일 정렬 격자계로 생성된 격자의 수는 73,728개이며 계산영역은 8m×8m×8m로 하여 바닥 중앙에 석유저장탱크가 위치한 것으로 하였다(Fig. 2). 또 계산의 정확을 위하여 탱크 내부는 외부보다 조밀하게 격자를 형성하였다.

초기조건 및 경계조건은 화재발생 이전 초기 상태의 압력은 1기압이며, 온도는 20℃, 초기의 유동은 전혀 없고, 바람은 1m/sec로 하였다. 탱크의 바닥과 벽면 재질은 철판 3.2mm로 하였으며 화원은 원유를 사용하였다.

원유의 stoichiometric coefficients는 NIST의 실험데이터를 그대로 사용하였으며, 단위면적당 열방출량은 1000kw/m²로 가정하였고 계산은 화재전용 수치해석 프로그램인 NIST Fire Dynamics Simulator(FDS v.3.0)를 사용하여 수행하였다.

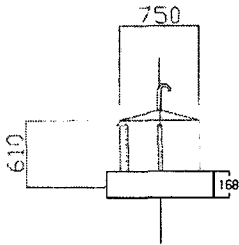


Fig. 1. Schematic diagram of the tank.

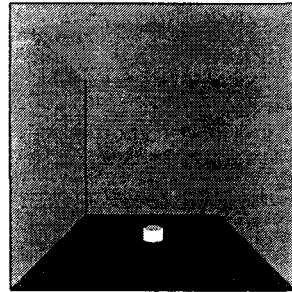
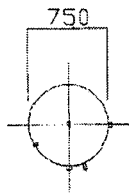


Fig. 2. Computational domain.

Fig. 3은 탱크의 중심에서 120° 각도로 외벽으로부터 1m 간격으로 3m까지 기둥을 설치하고, 각각의 기둥에 높이 1m, 2m, 3m인 지점에 k-type 온도센서를 27개 설치하여 15초 간격으로 온도를 측정하였다. 화염의 온도변화는 Fig. 4와 같이 탱크 상부표면으로부터 30cm, 60cm, 90cm 위치에 k-type 온도센서를 설치하여 1분 간격으로 측정하였다. 탱크 내부 온도변화는 Fig. 5와 같이 탱크 바닥 면으로부터 8cm 높이마다 6개의 온도센서를 설치하여 1분 간격으로 온도를 측정하였다. 화염으로부터 발생하는 복사열은 Fig. 6과 같이 heat flux sensor를 탱크 외벽으로부터 1m에서 0.5m 간격마다 15° 각도로 설치하여 1분 간격으로 측정하였다.

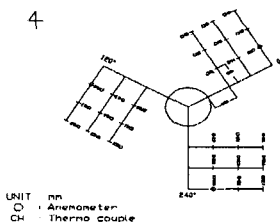


Fig. 3. The locations of thermocouple & multi-channel anemomaster.

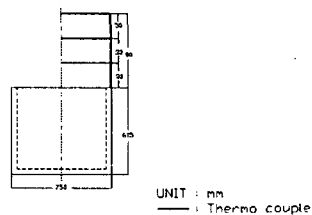


Fig. 4. The locations of thermocouple for flame temperature.

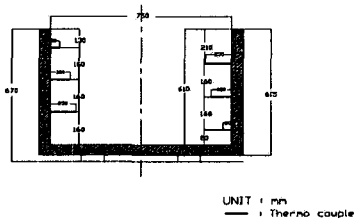


Fig. 5. The locations of thermocouple for liquid temperature measurement.

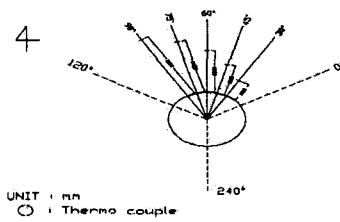
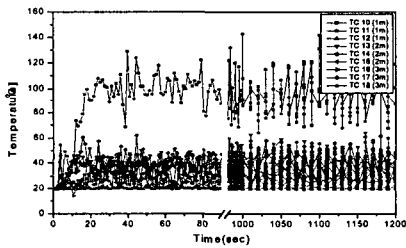


Fig. 6. The locations of heat flux sensors for radiation.

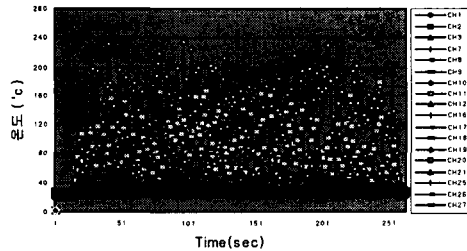
3. 결과

3.1 탱크 주위온도

Fig. 7은 화재시 탱크 주위온도 변화를 나타내는 것으로 저장탱크의 중심축으로부터 120° 간격, 탱크 벽면에서 거리 1m~3m, 높이 1m~3m에 위치한 곳에서의 온도변화이다. 그림(a)은 이론적 결과로 탱크에서 1m 떨어진 거리와 높이인 TC10에서 100°C 정도를 나타냈으며, 1m 이상 떨어진 TC11~TC18은 20°C~60°C 정도로 낮게 나타났다. 이것은 실험 결과인 (b)과 대체적으로 비슷하게 나타났다.



(a) Theoretical results

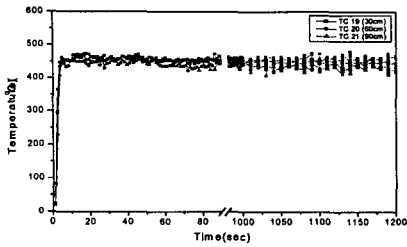


(b) experimental results

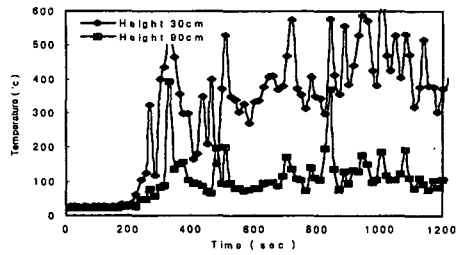
Fig. 7. Temperature profiles of the oil tank outside.

Fig. 8은 탱크 상부 표면에서 30cm, 60cm, 90cm 높이의 온도를 나타내는 것으로 그림 (a)은 이론적인 결과로 대부분 400~500°C를 나타낸 반면에 그림(b)은 실험 결과로 30cm 높이에서는 400~500°C를 나타내었으나 90cm 높이에서는 100°C 정도를 나타내었다. 이것은 실험에서는 탱크 주위의 온도가 시시각각 변하는 풍향과 풍속에 따라 변화되었기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 9는 탱크 내부의 온도 변화를 나타내는 것으로 그림(a)은 이론적 결과로 실험 결과인 그림(b)과 비슷하게 나타났다. 액면의 표면에 가까운 a, b, d의 온도가 비교적 높게 나타났다. 이론적인 결과는 140°C, 100°C, 70°C와 같이 일정한 온도상태를 유지한 반면에 실험은 계속 증가하는 상태를 보여주었다. 또 연료 표면에서 비교적 먼 거리인 c, e, f의 경우에는 이론과 실험 모두 20°C~50°C의 비슷한 결과를 나타내었다.

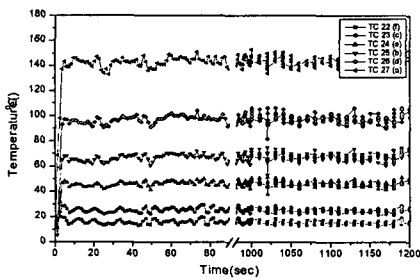


(a) Theoretical results

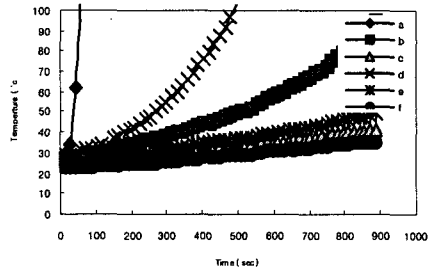


(b) experimental results

Fig. 8. Temperature profiles above the oil tank.



(a) Theoretical results

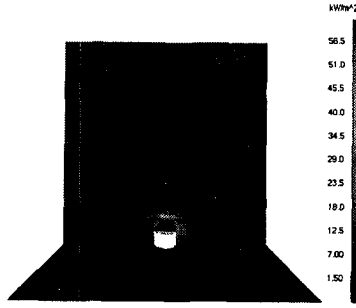


(b) experimental results

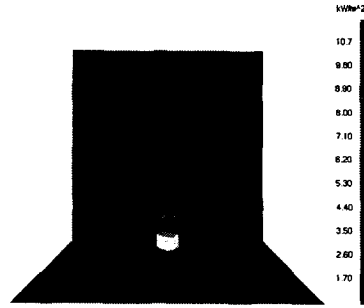
Fig. 9. Temperature profiles inside the oil tank.

3.2 복사열변화

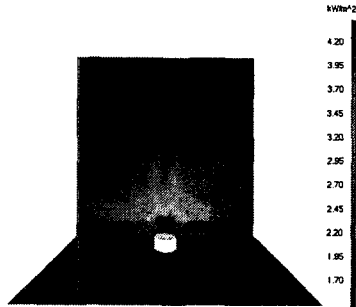
Fig. 10은 탱크에서 떨어진 거리에 따라 복사열량의 변화를 나타내는 것으로 탱크의 중심이 그림(a)에서 가장 높게 나타났으며 탱크중심에서 멀어질수록 감소하였다. 그림(h)은 이론적 결과(B)와 실험의 평균치 결과(C)를 비교한 것이다. 1m 떨어진 곳에서 이론적 결과는 4.2kw/m^2 인 반면에 실험은 $8\sim 9\text{kw/m}^2$, 1.5m에서 이론은 3.2kw/m^2 인 반면에 실험은 6kw/m^2 , 2m에서 이론은 2.48kw/m^2 인 반면에 실험은 3kw/m^2 , 2.5m에서 이론은 2.34kw/m^2 인 반면에 실험은 2.5kw/m^2 , 3m에서 이론은 2.19kw/m^2 인 반면에 실험은 1.5kw/m^2 를 나타내었다. 실험의 결과는 복사열량이 $q=32/(L/D)^2$ 의 관계식에 의해 변화되었다.



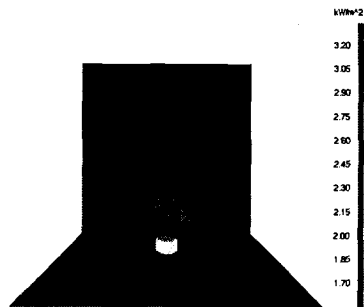
(a) 탱크 중심



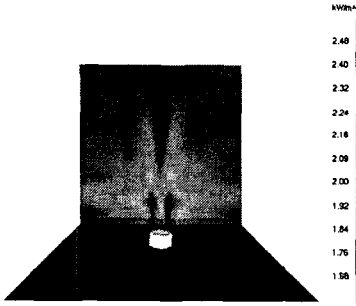
(b) 탱크 표면



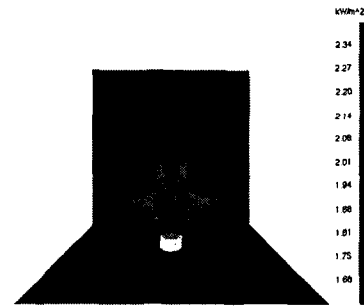
(c) 1m



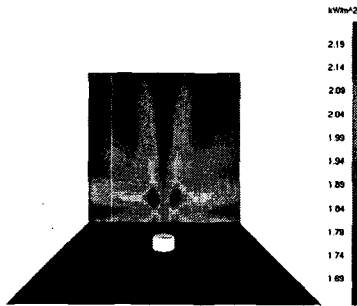
(d) 1.5m



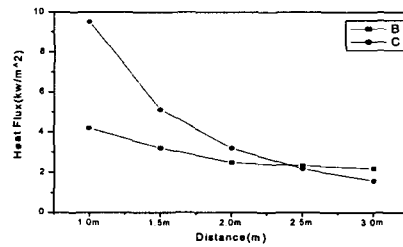
(e) 2m



(f) 2.5m



(g) 3m



(h) 1m~3m

Fig. 10. Heat flux from the oil tank outside wall.

4. 결론

본 연구는 250ℓ의 석유 저장 탱크 화재시 발생하는 온도와 복사열에 대하여 시뮬레이션한 결과와 실험 결과를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 탱크 주위의 온도는 이론적인 결과와 실험의 결과가 비슷한 경향을 나타내었다. 탱크에서 1m이상의 떨어진 거리에서는 온도 변화가 거의 없었다.
- 2) 탱크 중앙 화염 상부의 온도는 30cm 높이에서 400~700℃로 이론과 실험이 비슷하게 나타났으나, 90cm 높이에서는 이론적인 결과가 실험의 결과보다 높게 나타났다. 이것은 탱크 주위의 풍향과 풍속의 변화 때문인 것으로 사료된다.
- 3) 탱크화재시 화염으로부터 방출되는 복사열은 탱크의 벽으로부터 1m의 거리에서 이론적인 결과는 4.2kw/m²인 반면에 실험 결과는 9kw/m²로 실험결과가 높게 나타났다. 또 거리가 증가함에 따라 지수 함수적으로 복사열량의 감소도 실험이 이론보다 크게 $q=32/(L/D)^2$ 의 관계식에 따라 변화함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Hasemi, Y., Tokunaga, T., "Some Experimental Aspects of Turbulent Diffusion Flames and Buoyant Plumes from Fire Sources against a Wall and in a Corner of Walls", Combustion Science and Technology, Vol. 40, p.1(1984)
2. Corlett, R. C., "Gas Fires with Pool-like Boundary Conditions", Combustion and Flame", Vol. 12, p.19(1968)
3. Howard R. Baum, Kevin B. McGrattan, "Simulation of Oil Tank Fires", International Interflam Conference 8th Proceedings", Vol. 2, pp.1117-1128(1999)
4. 허만성, 정기창, 구동철, "석유저장탱크 화재시 복사열과 온도에 관한 연구", 한국 화재·소방학회 추계학술논문집, pp.46-52(2003)
5. Akita, K., Yumot, T., "Heat Transfer in Small Pools and Rates of Burning of Liquid Methanol", 10th Symposium on Combustion, p.943(1965)
6. 古積 博, "Research on Oil Tank Fire", Feb.(1996)
7. 自治省消防廳研究所, "大規模石油タンクの燃焼に關する 研究報告書", 消防研究所 研究資料 第46号(平成 11年)
8. D. Y. Lee, "Thermal Effects in the Pool Fire of Petroleum", M.S. Thesis, pp.1-9(1994)
9. D. E. Lee, "Numerical Simulation of a Pool Fire", M. S. Thesis, pp.1-7(1995)
10. Hiroshi Koseki, "Radiation Properties and Flame Structure of Large Hydrocarbon Pool Fires", Thirteen Meeting of the UJNR Panel on Fire Research and Safety, Vol. 2, pp.41-50(1997)
11. Howard R.Baum, Kevin B. McGrattan, "Simulation of Large Industrial Outdoor Fires", Fire Detection, Fire Extinguishment and Fire Safety Engineering, NRIFD 50th Anniversary Symposium Proceedings, pp.23-30(1998)

12. Mudan K. S., "Thermal Radiation Hazards from Hydrocarbon Pool Fires", Prog. Energy Combustion Science, Vol. 10, p.59(1984)
13. Quintiere, J., "Pool Fires-a Review", University of Maryland(1991)
14. 한국소방검정공사, "위험물탱크의 시험·점검관련 조사연구 논문집", Vol. 1, NO. 6(1998)