

위험물 저장탱크 화재시 주위인접 가연물 및 시설에 대한 영향의 실험적 연구

박형주* · 김 홍 · 강영구 · 정기창 · 이정윤*

호서대학교 안전시스템공학과 · *호서대학교 안전공학과 대학원

1. 서 론

위험물 저장탱크의 대형화 및 다양화에 따라 그 위험성이 증대되어 설계 단계에서부터 안전 측면을 고려한 설계를 하고 있기 때문에 다른 화재에 비하여 발생 빈도는 낮으나 위험물의 특성상 화재가 발생하면 대형화 됨으로써 화재 진화의 어려움과 대규모 재산 피해 및 인명피해를 유발할 위험성을 항상 내포하고 있다.

따라서 이러한 위험성들을 감소시키기 위해 국내외적으로 위험물 저장탱크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 대표적으로 탱크 화재 성상에 관한 연구¹⁾와 수치해석 및 시뮬레이션 연구^{2),3),4)}를 그 예로 들 수 있다.

또한, 위험물 저장탱크에서의 화재발생 시 화염으로부터 방출되는 복사열에 의해 주위 인접 가연물 및 시설에 대한 피해규모가 크기 때문에 각국에서는 위험물 저장탱크간 설치 거리에 관한 법 규정을 마련하여 엄격히 적용되는데, 국내의 경우 일반적으로 소방법 소방기술기준에 관한 규칙 제176조에 의해 엄격하게 적용되며, 해외의 경우 보험 회사에서 보험요율 산정 시 적용하는 기준(IRI) 및 미국방화협회 기준(NFPA 30, Section 2-3)이 많이 적용되고 있다.

복사열에 의한 주위인접 가연물 및 시설에 대한 영향은 Table 1.에 나타낸 바와 같이 37.5 kW/m²의 복사열 강도에서 인근 장치 및 설비가 손상되는 위험성이 있다.

Table 1. The effects of Radiation Heat(World Bank)

복사열 강도		영 향
(Btu/hr/ft ²)	(kW/m ²)	
11900	37.5	장치 및 설비가 손상됨
7900	25	오랫동안 노출되면 최소한의 에너지에 의해 목재가 발화됨
4000	12.5	목재 또는 플라스틱 튜브의 착화를 유도하는데 충분한 최소의 에너지
3000	9.5	8초 후에는 심한 고통을 느끼며, 20초 후에는 2도화상을 입음
1300	4	20초 내에 보호되지 않으면 통증을 느끼며 피부가 부풀어 오름
500	1.6	장기간 노출되면 불편함을 느낌

따라서 본 연구에서는 저장용량이 250 ℓ, 2500 ℓ, 25000 ℓ 인 규모의 Steel 재질의 위험물 저장탱크를 제작하여 액면화재(Pool Fire)와 유출화재(Spill Fire)에 대한 신태화재 연구를 수행하여, 주위온도의 변화와 화염으로부터 방출되는 복사열을 측정하고 온도와 복사열 강도에 따른 탱크 인접 가연물 및 시설에 대한 영향을 실험적으로 평가하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2-1 실험장치

본 실험에 사용된 저장 탱크는 저장 용량이 각각 250 ℓ (Φ 750 mm X 610 mm), 2500 ℓ (Φ 1680 mm X 1220 mm), 25000 ℓ (Φ 5050 mm X 300 mm)로 재질은 Steel로 하였으며, 250 ℓ, 2500 ℓ 탱크의 경우 콘크리트 재질의 방유제를 설치하였다.

신태 화재 실험을 통한 Data 수집을 위하여 사용된 실험 장치는 Table 2.와 같다.

Table 2. A summary of Experimental Apparatuses

측정기기명	모델 및 사양	용도
Digital Heat Flux Meter	Medtherm 사 Model 5H203-DR1 10, 50, 100, 500, 1,000 W/cm ²	액면화재 및 유출화재 시 화원으로부터 방출되는 복사열(Heat Flux)을 측정
Multi-channel Anemomaster	KANOMAX사, Model 6242	석유 탱크 화재시 주위의 공기유속, 온도 측정, 및 대류 현상 분석
화재 온도 측정 장치	주)삼부시스템 MultiScan/1200™ K-type의 열전대 (총 30 Channel)	액면 화재시 탱크 주위의 거리별 온도 분포 및 화염 의 온도 측정
Climomaster	KANOMAX사, Model 6531	주위의 습도 측정
온도기록계	K-type의 열전대	액면 화재시 탱크내 온도 분포 측정

2-2 실험 방법

제작된 탱크에 연료인 경유를 채운 후 액면화재와 유출화재를 실시하였으며, 점화 봉으로 점화 시킨 후 Table 2에 나타난 실험 장치를 사용하여 실시간으로 Data를 측정한다. 화염으로부터 방출되는 복사열과 탱크내 연료의 온도 분포, 주위의 습도 및 풍향을 매 1분 간격으로 측정하였으며, 액면화재 시 화염의 온도와 석유 탱크 주위의 공기유속, 온도 측정은 매 15초 간격으로 측정하였다. 또한, 실험하는 동안의 비디오 캠코더를 사용하여 화염의 크기와 바람에 의한 화염의 변화를 측정하였다.

석유류 저장탱크의 각각 용량별 공통된 실험 순서는 다음과 같다.

- 1) 각 실험장치의 Setting
- 2) 탱크 내 연료 충전 (Drain Valve를 통한 연료의 유출, 25000 l 제외)
- 3) 각 실험장치의 초기값 측정
- 4) 점 화
- 5) 화염의 크기 및 바람에 의한 화염의 변화를 측정
- 6) Heat Flux, 탱크 내 온도분포(25000 l 제외), 화염의 온도분포 (25000 l 제외), 탱크 주위의 온도 분포 및 유속, 풍향, 습도의 실시간 측정
- 7) 연소완료(소화)
- 8) 측정 Data의 분석

3. 실험결과

3-1 주위온도 변화

액면화재 및 유출화재시 주위온도 변화를 측정하기 위해 각 저장 탱크의 중심점을 기준으로 120°의 각도로 외벽으로부터 매 1m간격으로 3m까지 K-type의 온도 센서를 부착할 수 있는 기둥을 설치하고, 각각의 기둥에는 지상으로부터 1m, 2m, 3m의 지점에 온도 센서를 부착하여(총 27channel) 매 15초 간격으로 온도를 측정하였다.

유출 화재시 250 l의 경우 2.48 l/min., 2500의 경우 10.3 l/min.로 유출속도로 경유의 총 유출량을 각각 40 l, 155 l로 하여 온도를 측정하였다.

Fig. 1~Fig. 3은 액면화재 시 저장 탱크의 중심축으로부터 120°간격, 탱크 벽면에서 거리 1m, 높이 2m에 위치한 Channel들에 대한 주위온도 변화로 외부바람의 영향에 의해 큰 편차가 나타남을 알 수 있었으며, 25000 l에서 2500 l에 비해 최고온도가 낮은 이유는 화염의 열기가 주위의 공기를 흡입하는 과정에서 냉각된 것으로 판단된다.

Fig. 4은 액면화재 시와 동일한 위치에서 250 l의 유출화재에 대한 Channel들의 온도 변화로 외부바람의 영향과 경유의 유출과정상에서 한곳으로의 정체 현상에 의해 CH 20에서 높은 온도를 나타낸 것으로 판단된다.

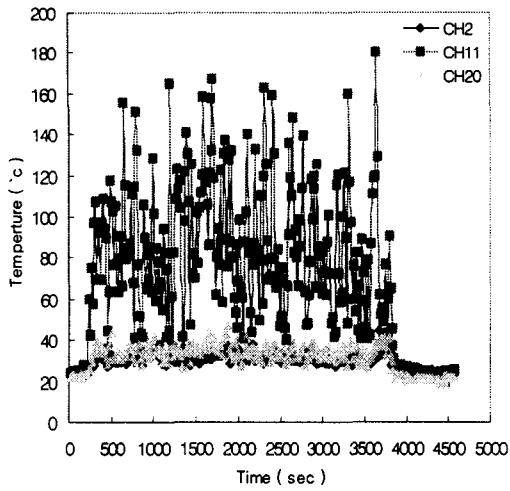


Fig. 1 The Atmospheric Temperature Variations depending on the fire time(250 l , pool fire)

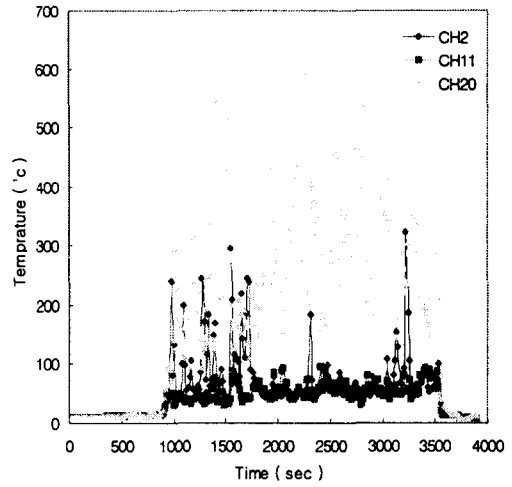


Fig. 2 The Atmospheric Temperature Variations depending on the fire time(2500 l , pool fire)

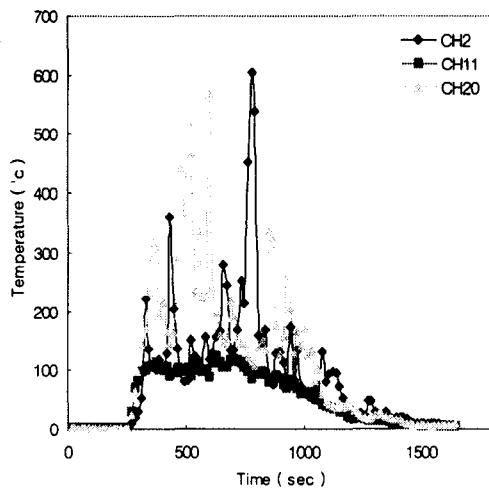


Fig. 3 The Atmospheric Temperature Variations depending on the fire time(25000 l , pool fire)

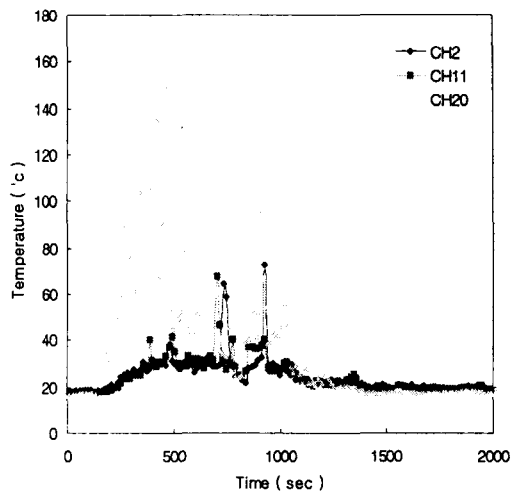


Fig. 4 The Atmospheric Temperature Variations depending on the fire time(250 l , spill fire)

3-2 화염으로부터의 복사열 측정

탱크 화재시 화염으로부터 발생하는 복사열을 측정하기 위한 Heat Flux sensor의 위치는 250 l의 경우 탱크 외벽으로부터 1m, 1.5m, 2.0m, 2.5m, 3.0m의 거리, 중심점을 기준으로 매 15° 각도로, 2500 l의 경우 2m, 2.5m, 3.0m, 3.5m, 4.0m의 거리, 중심점을 기준으로 매 15° 각도로, 25000 l의 경우 3m, 3.5m, 4.0m, 4.5m, 5.0m의 거리, 중심점을 기준으로 매 22.5° 각도로 설치하여 매 1분 간격으로 측정하였다.

Fig. 5는 250 l, 2500 l, 25000 l에 대한 액면화재시 화염으로부터 방출되는 복사열을 탱크 외벽으로부터 규정 거리에서 측정한 것으로 탱크 외벽으로부터 멀어질수록 복사열은 지수함수적으로 급격히 감소함을 알 수 있었다. 또한, 저장탱크의 직경이 커짐에 따라 화염으로부터 방출되는 복사열 또한 급격히 증가함을 알 수 있었다.

Fig. 6은 250 l, 2500 l에 대한 유출화재시 화염으로부터 방출되는 복사열을 액면화재시의 Heat Flux sensor 위치와 동일하게 하여 측정한 것으로 액면화재시와 비교해서 탱크 외벽으로부터 멀어질수록 복사열이 지수함수적으로 급격히 감소하고 탱크로부터 동일한 1m 거리에서의 복사열을 비교해 볼 때 상당한 차이가 나타남을 알 수 있었다. 이는 유출된 경유의 양이 액면화재시의 연소량보다 작고, 연소면적이 커짐에 따라 일정한 화염 형성이 이루어지지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

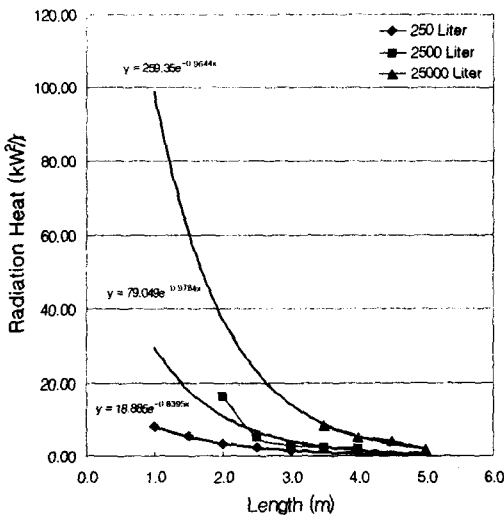


Fig. 5 Radiation Heat on Distance from Tank outside wall (pool fire)

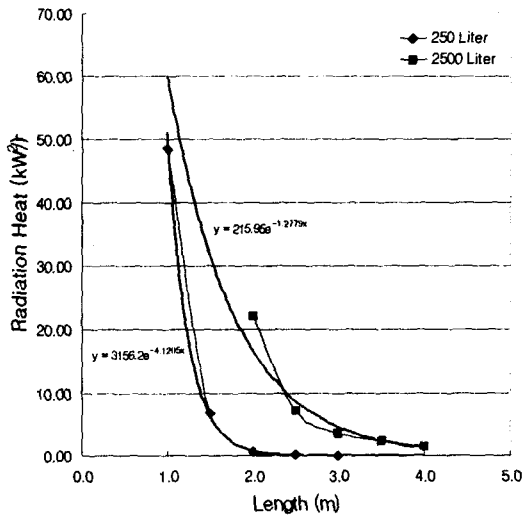


Fig. 6 Radiation Heat on Distance from Tank outside wall (spill fire)

Table 3은 액면화재시 화염으로부터 방출되는 복사열을 측정한 Data를 이용, 추세선을 그리고 그에 따른 방정식을 이용하여 계산한 것으로 탱크 외벽으로부터 동일한 거리에서 용기의 직경에 따라 복사열의 편차 또한 지수함수적으로 감소함을 알 수 있었다.

Table 3. Radiation Heat on Distance from Tank outside wall (pool fire)

용기 직경 (mm)	Heat Flux sensor의 위치에 따른 복사열(kW/m ²)								
	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m	3.5m	4.0m	4.5m	5.0m
750	8.2	5.4	3.5	2.3	1.5	1.0	0.7	0.4	0.3
1680	29.7	18.2	11.7	6.8	4.2	2.6	1.6	1.0	0.6
5050	98.9	61.0	37.7	23.3	14.4	8.9	5.5	3.4	2.1

4. 결 론

위험물 저장탱크를 제작하여 액면화재(Pool Fire)와 유출화재(Spill Fire)에 대한 실험 화재 연구를 통한 주위온도의 변화와 화염으로부터 방출되는 복사열을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- 1) 위험물 저장탱크 화재 시 화염으로부터 방출되는 복사열은 거리가 증가함에 따라 지수함적으로 감소함을 알 수 있었다.
- 2) 화염으로부터 방출되는 복사열은 저장탱크의 표면적에 따라 급격히 증가함을 알 수 있었으며, 특히, 25000ℓ의 경우에는 탱크의 외벽으로부터 1m의 거리에서 최대 약 98.9kW/m²임을 예측할 수 있었다.
- 3) 위험물 저장탱크를 중심으로 하여 120°각도의 3방향으로 설치된 온도 측정기의 측정 결과 각기 다른 온도분포를 나타냄으로써 탱크 주변의 온도가 풍향, 풍속에 의해 영향을 받는다는 것을 확인하였다.

참고문헌

- 1) Howard R.Baum, Kevin B. McGrattan, "Simulation of oil tank fires", International interflam conference, 8th Proceedings", Vol.2. June 29, 1999
- 2) D.Y.Lee, "Thermal Effects in the Pool Fire of Petroleum", M.S. Thesis, pp 1-9, 1994.
- 3) I.H.Lee, "Studies on the Relation of Flammable Liquid Storage Tank Space and Radiation Heat Exposed by Pool Fire", M.S.Thesis, pp. 1-31, 2001.
- 4) Hiroshi Koseki, "Radiation Properties and Flame Structure of Large Hydro-carbon Pool Fires", Thirteen Meeting of the UJNR Panel on Fire Research and Safety, March 13-20, Vol.2., pp 41-50, 1997.