

경유와 메탄올의 유출속도에 따른 화재특성

이정윤^{*} · 김홍

호서대학교 일반대학원 환경안전기술융합학과
(2016. 9. 27. 접수 / 2016. 10. 15. 수정 / 2016. 10. 19. 채택)

Fire Characteristics for Spill Rate of Light oil and Methanol

Jung Yun Lee^{*} · Hong Kim

Department of Convergence Technology for Safety and Environment, Graduate School of Hoseo University
(Received September 27, 2016 / Revised October 15, 2016 / Accepted October 19, 2016)

Abstract : In this study, tank truck incidents of road transport of hazardous materials to experimental investigated the potential fire hazard. Real scale fire was to perform experiments for on this qualitative and quantitative data collection and analysis. Particularly affected by radiant heat from the flames caused and damage estimates range investigated accordingly. Flame temperature, internal temperature of tank and emitted radiation from the flames was investigated. The flame of light oil spill caused a fire at a temperature of about 300°C high in comparison with the methanol by combustion of diesel and methanol, according to the difference, the flame duration changes varies depending on the Burning rate. Depending on spill rate(30, 60, 90 and 120 ℓ/min) and the longer the duration of the flame important factors for the internal temperature of tank lorry rise was found. Road accident in a fire caused by leakage of hazardous was could the higher the damaged. Therefor, Fire suppression activities should be required in particular to be around.

Key Words : tank lorry fire, spill rate, spill fire, fire characteristic, fire period

1. 서론

세계적으로 환경보호정책에 따라 전기자동차와 하이브리드 자동차의 보급이 확대되고 있으나, 국내 차량운행대수의 증가와 경유차량의 인기에 의해 경유소비가 증대되고 있으며, 한국석유공사 자료에 따르면 지난 2016년 5월에 경유 소비량이 사상 최고치를 경신하였다¹⁾.

또한 전자제품/반도체 칩의 제조, 폐수처리, 연료전지에 사용 등을 포함한 화학, 식품공업에 사용되는 메탄올은 화학 중간물질로 활용됨에 따라 그 사용처/활용처 발굴에 따라 사용량 또한 증가되고 있다.

이렇게 사용량이 증가될수록 운송량이 증가될 수밖에 없는데, 경유는 정유소에서 저유소까지 송유관으로 이송하지만 두 물질 모두 주유소/사용처까지의 운송은 탱크로리를 사용하고 있다²⁾.

따라서 본 연구에서는 경유와 메탄올 운송을 위한 이동탱크로리의 도로 운행 중 사고 발생 시 적재가연

물의 유출로 인한 화재 위험성을 고찰하고 이에 관한 정성적, 정량적인 Data를 수집 및 분석하기 위하여 real scale 화재 실험을 하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 이동 탱크로리 적재 가연물의 유출 화재시 도로에 확산되는 화염에 의한 도로 상부온도와 탱크로리 주위온도를 측정하기 위하여 화재온도 측정장치(Multiscan/1200TM)를 사용하였다. Fig. 1과 같은 위치에 26개의 K-type thermocouple을 지면으로부터 0.8, 1.6 m 높이로 설치하였고 전용 컴퓨터 프로그램을 통하여 data를 15 sec 간격으로 기록하였다. 화염으로부터 방출되는 복사열유속을 측정하기 위하여 Medtherm사의 Model 5H203-DR1-DIGITAL HEAT FLUX METER 및 Radiant transducer(sensor)를 사용하였고, 설치 위치는 Fig. 2와 같이 실험도로 중심으로부터 3 m~4.5 m (0.5 m 간격)이다.

^{*} Corresponding Author : JungYun Lee, Tel : +82-41-533-9567, E-mail : jungyun@hoseo.edu

Department of Convergence Technology for Safety and Environment, Hoseo University, 20, Hoseo-ro79beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Choongcheongnam-do 34199, Korea

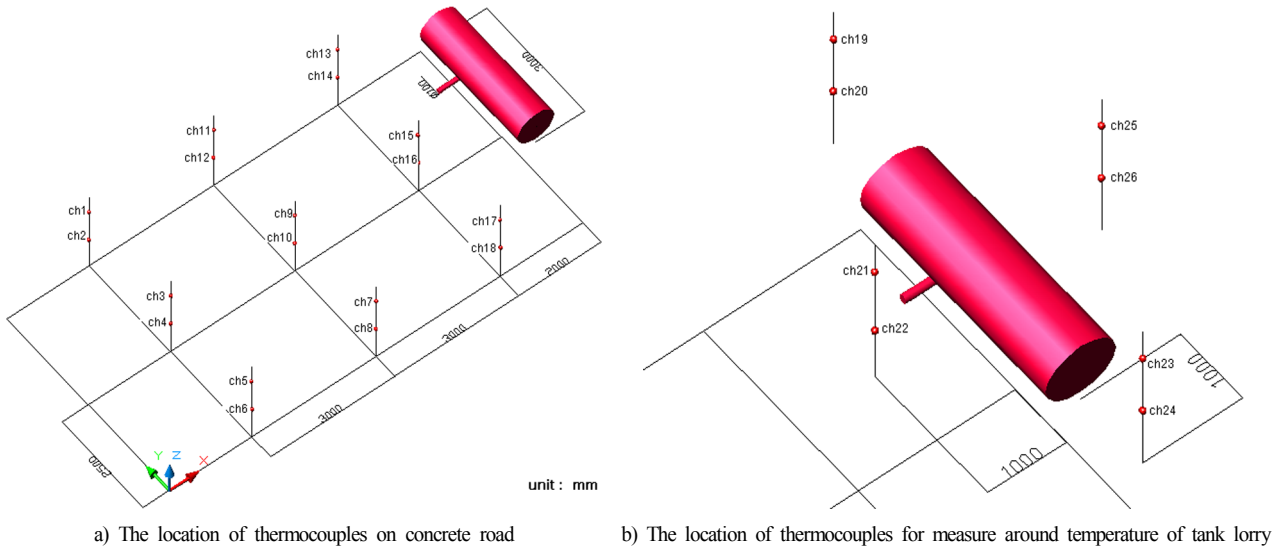


Fig. 1. The location of thermocouples for measuring temperatures of flame and around of the tank.

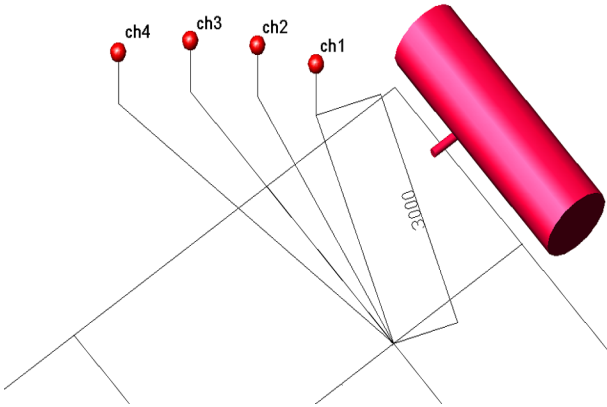


Fig. 2. The location of sensors for measuring radiant heat flux from the fires.

탱크로리로부터 가연성 물질의 유출에 따른 화염의 확산 양상을 실험하기 위하여 설치된 Fig. 1의 실험 도로는 ch13에서 ch17방향으로 -1° , ch1방향으로 -1° 의 기울기를 가진 길이 10 m, 폭 5 m의 콘크리트 포장도로이다. 실험에서 사용된 가연물은 경유와 메탄올로써 유출속도를 30 ℓ/min , 60 ℓ/min , 90 ℓ/min 과 120 ℓ/min 으로 설정하여 1분간 유출과 동시에 점화한 후, 각 센서들로부터의 측정값을 기록하였다. 실험 당시의 환경은 기온 2°C , 풍속 0.4~0.8 m/sec 였다.

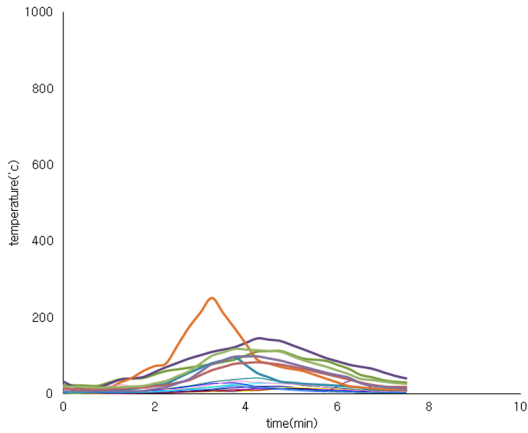
3. 실험 결과 및 분석

경유와 메탄올의 유출속도 변화에 따른 화재 실험에 의하여 측정된 도로 상부온도, 탱크로리 주위온도변화와 복사열유속을 측정하였다.

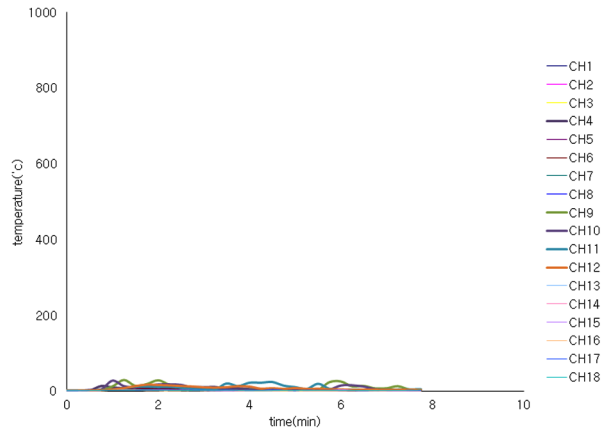
3.1 유출속도 30 ℓ/min 에서의 화재특성

Fig. 3은 경유와 메탄올의 유출속도에 따른 화염 온도를 나타낸 것이다. 경유 30 ℓ/min (see Fig. 3.a-1)의 유출화재 실험에서 ch12에서 3분15초에 약 250°C 의 최고치를 보였고, 주변 센서위치(ch10, ch11, ch14-16)에서 기록된 화염의 온도는 약 4분15초까지 서서히 증가하고 그 이후에는 다시 서서히 감소하는 양상을 나타내었다. Fig. 3.a-2의 메탄올 30 ℓ/min 의 도로 상부 온도는 점화 45초 만에 27.7°C 로 증가하였으며, 그래프에 나타나 있듯이 실험도로 표면을 타고 흘러내려감에 따라 최대 온도 측정 지점이 변동됨을 알 수 있다. 도로 상부 온도는 평균 15.4°C 로 나타났다. 탱크로리 주위 온도 변화(see Fig. 3.b-1 and Fig. 3.b-2)는 두 가연물 모두 화재와 가장 근접한 위치인 ch22에서 가장 높은 측정치를 보였다. 경유실험에서는 4분45초(18.5°C)까지 서서히 증가하는 반면, 메탄올실험에서는 1분45초 만에 기록최고치(8.1°C)에 근접한 7.4°C 까지 증가하였다. 이는 같은 조건의 경유화재의 온도보다 현저히 낮은 수치이며, 기록된 복사열량 명확한 차이를 보였다. 경유실험에서의 복사열량은 3 m위치에서 최고 $60.3 \text{ kw}/\text{m}^2$, 평균 $45.3 \text{ kw}/\text{m}^2$ 인데 반하여, 메탄올 실험에서 최고 $16.02 \text{ kw}/\text{m}^2$, 평균 $14.49 \text{ kw}/\text{m}^2$ 으로 나타났다.

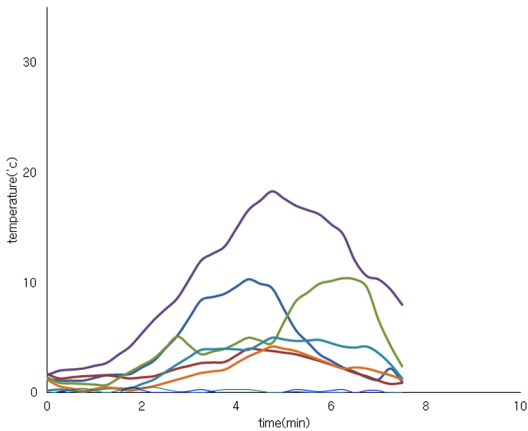
Fig. 3의 경유실험에서의 온도상승 위치가 메탄올 실험에서 기록된 그 것보다 범위가 좁고 장시간 높은 온도로 기록된 것은 경유의 점도가 높아 pool형성 면적이 적고, 발열량이 상대적 높기 때문인 것이며, 화재가 장시간 지속된다면 3 m거리의 목재를 착화시킬 수 있는 충분한 복사열을 방출한다는 것을 의미한다³⁻⁶⁾.



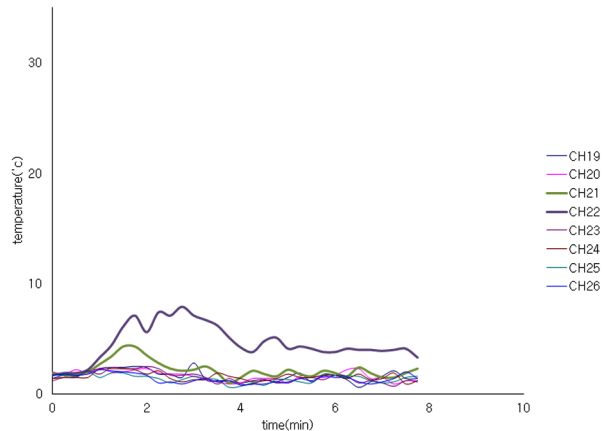
a-1) temperature of light oil fire above the road



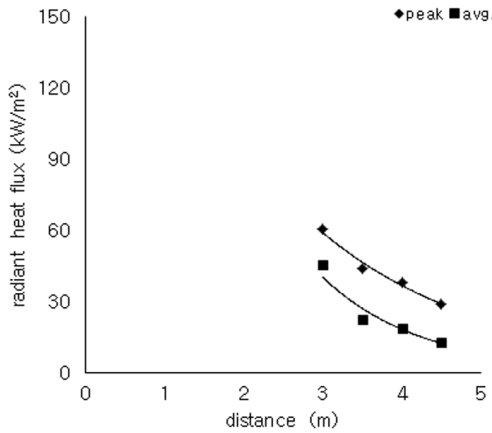
a-2) temperature of methanol fire above the road



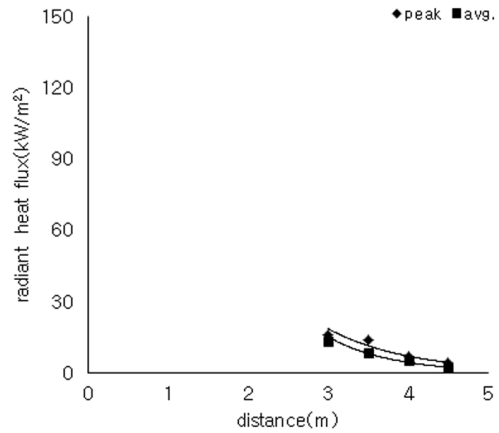
b-1) temperature of light oil fire around the tank lorry



b-2) temperature of methanol fire around the tank lorry



c-1) peak and average radiant heat flux of light oil



c-2) peak and average radiant heat flux of methanol

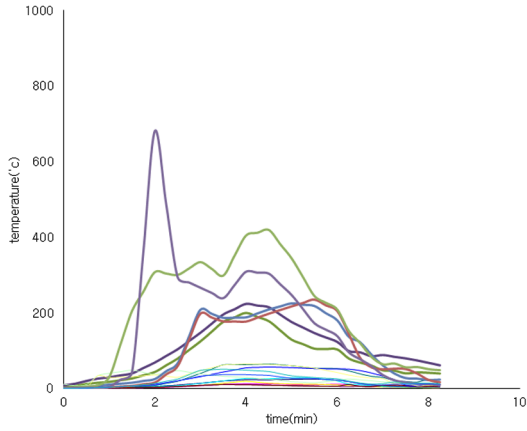
Fig. 3. The Variation of measured temperature and radiation heat flux during fire of spill rate 30 ℓ/min.

3.2 유출속도 60 ℓ/min에서의 화재특성

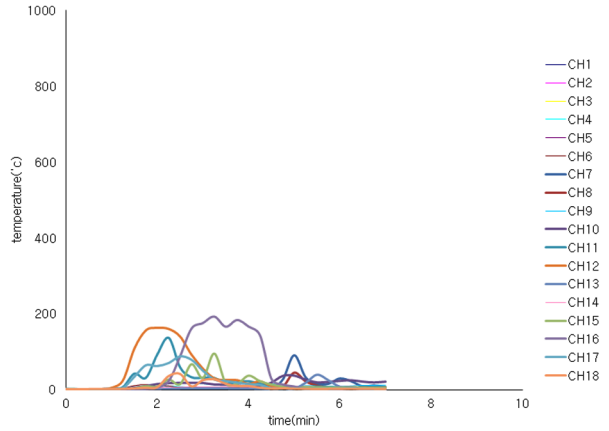
경유 실험에서 점화후 유출구와 근접한 위치의 온도가 서서히 상승하기 시작해 ch15위치에서 가장 먼저 200°C에 도달하였고 1분45초에 ch16위치(실험도로의 중심)에서 680.5°C의 최고온도를 기록하였다. 동시에 ch9, 10의 승온

속도가 증가하여 4분에 223.8°C의 최고온도를 기록하고 서서히 감소하는 양상을 나타내었다. 2분 30초부터 ch13, 14에서 기록된 온도가 급격히 상승하는 것이 나타났는데, 이때 복사열유속의 최고치가 120.77 kw/m^2 로 기록되었다. 경유실험에서의 복사열유속 평균은 70.45 kw/m^2 으로

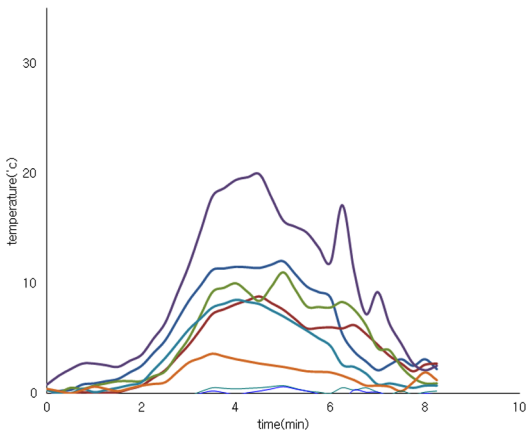
경유와 메탄올의 유출속도에 따른 화재특성



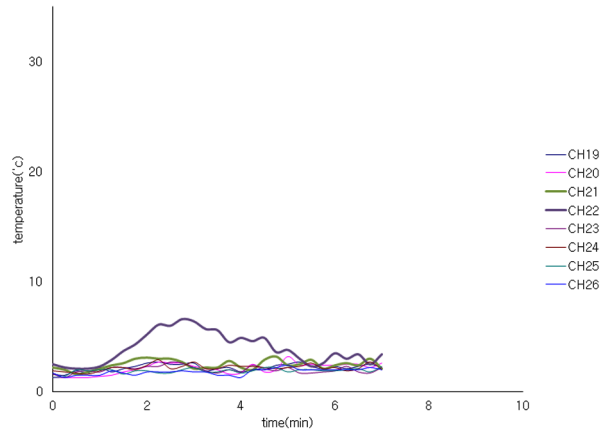
a-1) temperature of light oil fire above the road



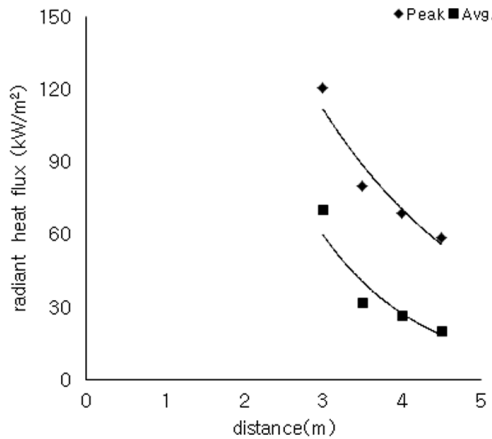
a-2) temperature of methanol fire above the road



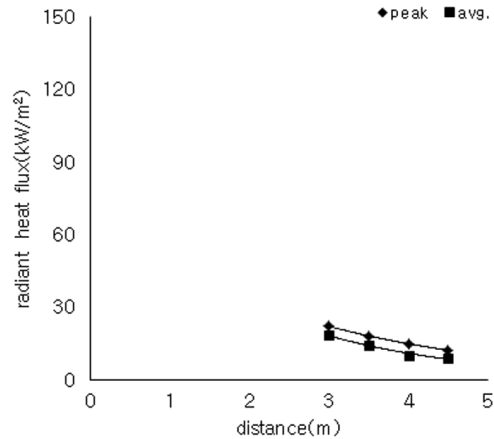
b-1) temperature of light oil fire around the tank lorry



b-2) temperature of methanol fire around the tank lorry



c-1) peak and average radiant heat flux of light oil



c-1) peak and average radiant heat flux of methanol

Fig. 4. The Variation of measured temperature and radiation heat flux during fire of spill rate 60 ℓ/min.

1인치 두께의 foam plastic 또는 Polyurethane foam을 거의 즉시 착화시킬 수 있는 양이다⁷⁾. 메탄올 실험에서는 ch12, 16에서 160~185°C의 최고치를 기록하였으나, 다른 센서 위치에서는 평균 약 50°C의 온도가 기록되었다. 이는 경유 실험에서의 온도와 비교하여 매우 낮은 변화이며, Fig.

4.b-2에 나타난 바와 같이 탱크로리 부위 온도는 약 7°C 상승에 그칠 뿐이었다. 그러나 실험도중 기록된 복사열은 3 m거리에서 최고 22.4 kw/m^2 , 평균 18.4 kw/m^2 으로 인체의 피부가 6초 이상 노출될 경우 수포를 일으킬 수 있는 양으로써, 노면상부 또는 탱크로리 주위의 온도가

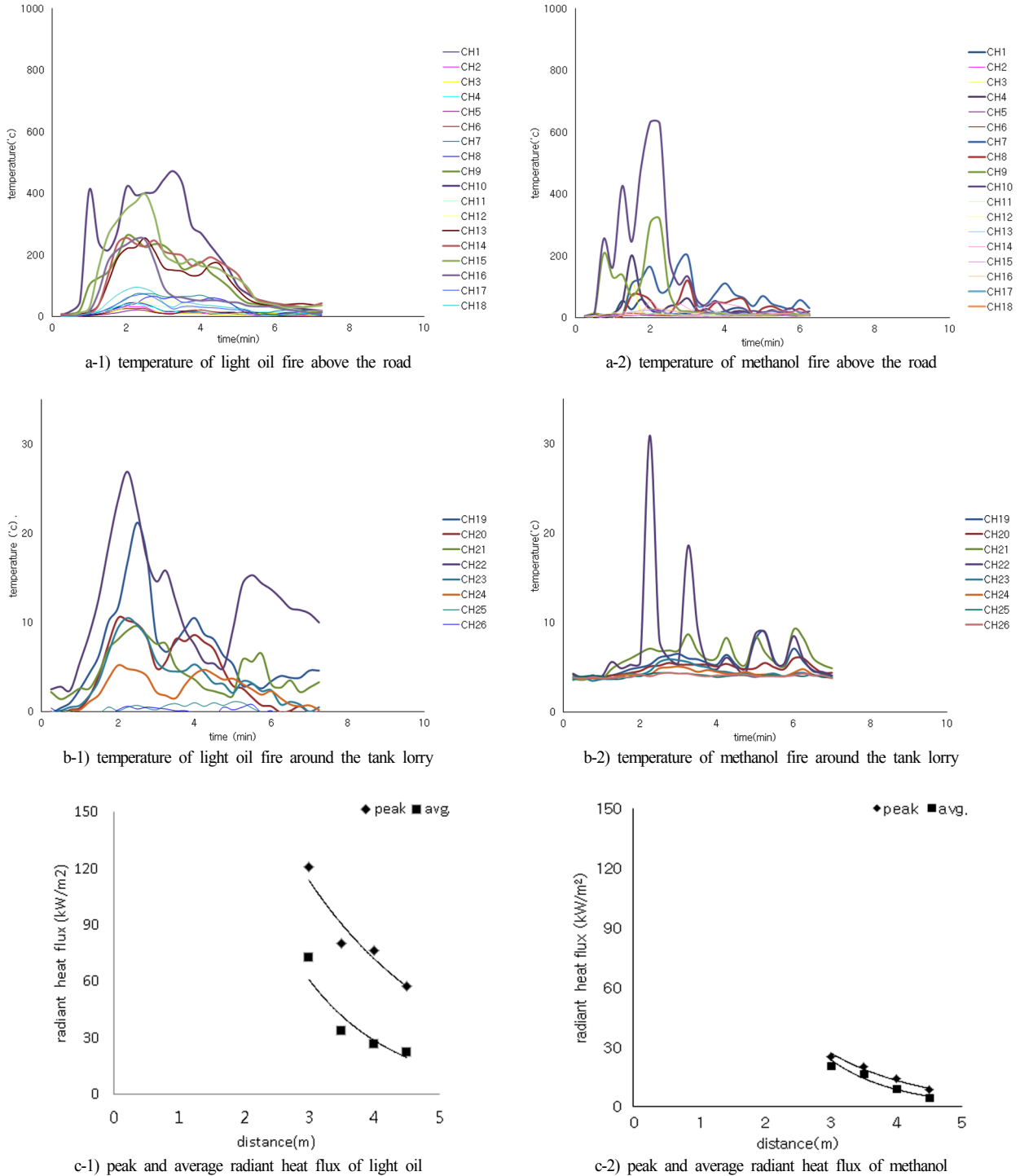


Fig. 5. The Variation of measured temperature and radiation heat flux during fire of spill rate 90 l/min.

낮아도 인체에 유해할 정도의 위험성이 있다는 뜻이다⁸⁾.

3.3 유출속도 90 l/min에서의 화재특성

유출속도 90 l/min의 실험에서는 경유와 메탄올 모두 1분 이내에 ch10의 위치에서 급격한 온도 상승을

보였고, 이때 기록된 온도는 경유가 410.8°C, 메탄올이 253.9°C였다. 30과 60 l/min의 실험에서의 온도 기록 결과와 비교하여 온도 상승소요시간이 15~30초 빠르게 나타났고, 경유실험에서 1분30초부터 ch 13-16 위치의 온도가 상승하여 약 4분까지 약 200°C의 온도가 기록

경유와 메탄올의 유출속도에 따른 화재특성

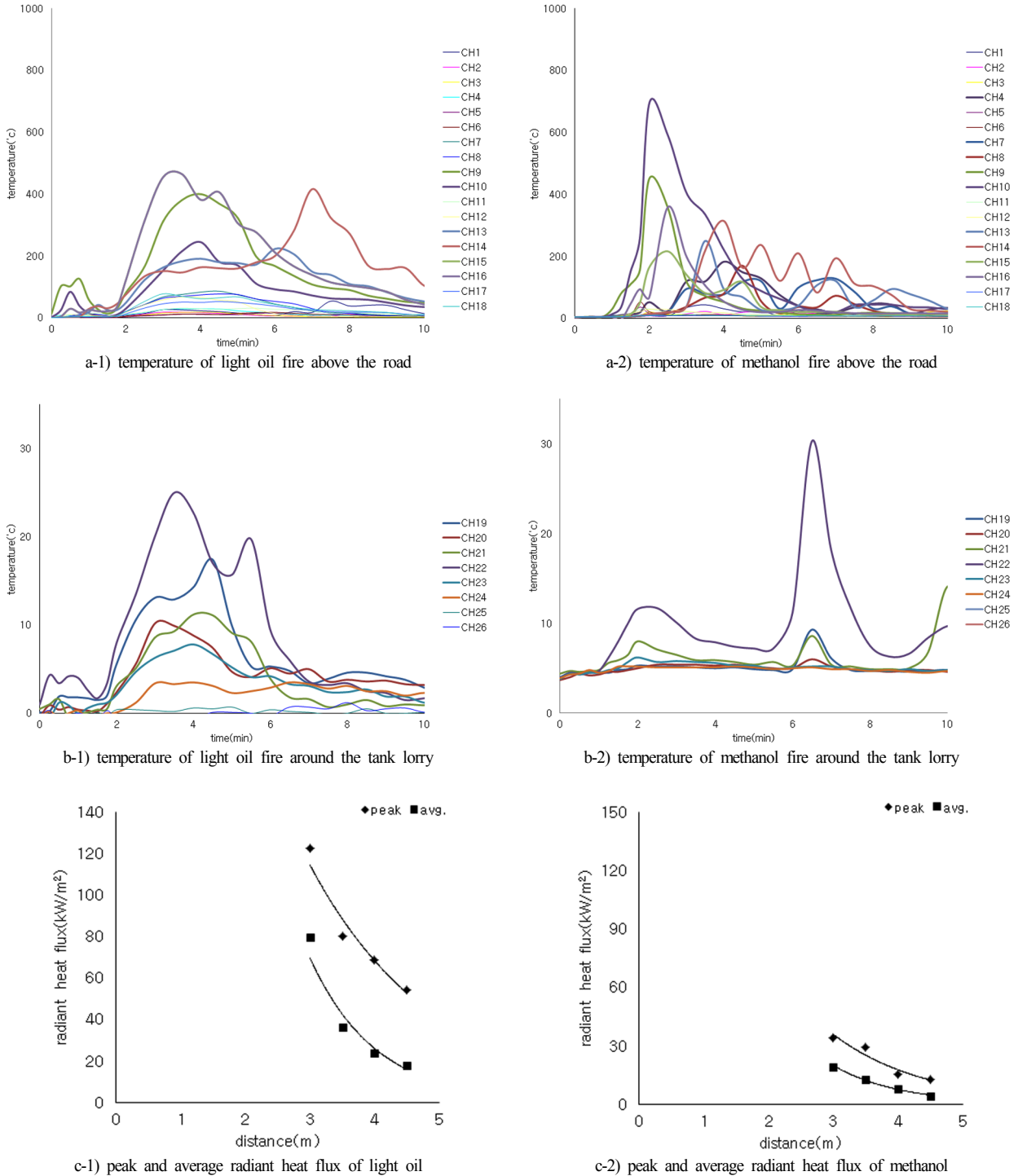


Fig. 6. The Variation of measured temperature and radiation heat flux during fire of spill rate 120 l/min.

되었고, 메탄올 실험에서는 ch 7, 8위치에서 온도가 상승하는 것으로 기록되었는데 점도가 더 높은 경유에 의해 형성된 pool이 메탄올실험에서 보다 더 가까운 거리에 있다는 것을 의미한다^{9,10}. 이렇게 형성된 경유 pool화염이 탱크로리 주위온도를 최고 25°C, 평균 약

7.5°C상승시키는 것으로 나타났다. 최성기인 2분30초에 3 m의 거리에서 기록된 복사열유속의 최고치는 120.7 kW/m², 평균치는 72.4 kW/m²로, 60 l/min의 유출속도실험과 비교하여 0.07 kW/m²의 차이를 보였다. 메탄올 실험의 경우, 3 m거리에서 25.2 kW/m²의 최고

치가 기록되었고 평균치는 20.5로 기록되었다.

3.4 유출속도 120 ℓ/min에서의 화재특성

유출속도 120 ℓ/min의 경유실험에서 ch9 위치의 온도가 2분45초에 최고치인 464.4℃로 기록된 이후 ch9, 10, 13-16위치에 pool을 형성하여 이 부근의 실험도로 노면상부의 위치가 상승하는 것으로 나타났다. 반면에 메탄올 실험에서 ch10에 590℃의 최고치가 기록되었는데 온도변화양상 또한 다른 유출속도를 가진 메탄올 실험에서와 비교하여 온도 상승폭이 크다는 것을 알 수 있다. 두 실험 모두 탱크로리 주위 온도 변화는 다른 유출속도를 가진 실험과 비교하여 양상이 다르지 않았고, 3m거리에서 측정된 복사열유속의 경우, 경유 실험에서는 Table 1과 같이 60, 90 120 ℓ/min 조건 모두 $\pm 0.85 \text{ kw/m}^2$ 의 근소한 차이를 보였다. 또한 평균치는 79.56 kw/m^2 으로 기록되었다. 메탄올의 경우, 120 kw/m^2 실험에서 3 m거리의 복사열유속이 최고 33.9 kw/m^2 , 평균 18.86 kw/m^2 으로 기록되었다.

Table 1. Peak and average radiant heat flux at 3m far of light oil and methanol for spill rate

spill rate (ℓ/min)	Light oil(kw/m ²)		Methanol(kw/m ²)	
	peak	avg.	peak	avg.
30	60.3	45.3	16.02	14.49
60	120.77	70.45	22.4	18.4
90	120.7	72.4	25.2	20.57
120	122.4	79.56	33.9	18.86

4. 결론

본 연구에서는 탱크로리의 운행중 사고 발생시 적재 위험물의 유출속도에 따른 화재 특성의 변화를 실험적으로 고찰하였으며 실험도로 상부온도, 탱크로리 주위 온도 및 화염으로부터 방출되는 복사열유속을 측정, 분석한 결과 다음과 결론을 도출할 수 있었다.

1. 각 유출속도별 실험도로 노면 상부의 온도기록 양상에서 경유화염의 pool이 메탄올의 화염 pool보다 크게 나타났는데, 이는 경유의 점도가 메탄올보다 크기 때문에 상대적으로 좁은 공간에서 더 많은 복사열유속을 방출하기 때문에 판단된다.

2. 경유실험에서 복사열유속은 60 ℓ/min 이상인 경우 최고치의 평균이 약 120 kw/m^2 이었으나, 유출속도가 증가됨에 따른 평균치는 지속적으로 증가하여 주위 가연물에 대한 착화위험성이 증대될 수 있다.

3. 메탄올 유출화재의 경우, 상대적으로 넓은 pool을 형성하게 되는데 화염으로부터 방출되는 복사열유속에 의한 인접 가연물 착화위험성과 함께 화염의 직접 전파에 의한 화재 확대 가능성도 무시할 수 없다.

따라서 이동탱크로리의 적재 가연물 종류에 따른 화재진압 접근방법과 화재/화염 전파 방지 방법이 달라하는 등 화재 진압 활동에 있어 주의가 필요하다.

References

- 1) Petronet, "Amount of Diesel Consumption in Korea", 2016.
- 2) http://www.petroleum.or.kr/ko/sub02/02_8.php, 2016.
- 3) J. G. Quintire, "Principles of Fire Behavior", Delmar, U.S.A., 1998.
- 4) Y. -J. Chung and Eui jin, "Combustion Properties of the Quercus variabilis and Zelkova Serrata Dried at Room Temperature(II)", Appl. Chem. Eng., Vol. 21, No. 4, Aug., pp. 467-474, 2010.
- 5) J. Lee, K. Jung and H. Kim, "An Experimental Investigation on Fire Characteristics of Light Oil & Methanol for Spilled Surface", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 25, No. 6, pp. 103-108, 2010.
- 6) H. Kim and H. Park, "Experimental Study of Radiation Heat Flux for the Pool and Spill Fire in Petroleum Storage Tanks", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 19, No. 1, pp. 88-93, 2004.
- 7) J. G. Quintire and M.Harkleroad, "New concepts for Measuring Flame Spread Properties", NBSIR 84-2943, 1984.
- 8) A. M. Stoll and L. C. Greene, "Relationship between Pain and Tissue Damage Due to Thermal Radiation", Journal of Applied Physiology, Vol. 14, No. 3, pp. 373-382, 1959.
- 9) <http://www.viscopedia.com/viscosity-tables/substances/diesel-fuel/>
- 10) <http://www.viscopedia.com/viscosity-tables/substances/methanol/>