

# 수송기관용 오일의 화재위험성에 관한 연구

박영주 · 황미정\* · 이해평 · 이승철 · 이창현\*\*

강원대학교 소방방재학부 · \*강원대학교 방재대학원 · \*\*국방과학연구소  
(2013. 10 4 접수 / 2014. 5. 28 채택)

## A Study on the Fire Hazard of Transportation Oil

Young Ju Park · Me Jung Hwang\* · Hae Pyeong Lee · Seung Chul Lee · Chang Hyun Lee\*\*

Department of Fire & Emergency Management, Kangwon National University

\*Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

\*\*Agency for Defense Development

(Received October 4, 2013 / Accepted May 28, 2014)

**Abstract :** The purpose of this study is to conduct the study of the combustion and thermal characteristics through transportation oil for the analysis of fire hazard. Transportation oil breaks down into fuels such as diesel for civilian demands, gasoline, DF1(diesel for military), high sulfur diesel(for marine), kerosene and JP1(for aviation), and lubricants like brake fluid, power steering oil, engine oil, and automatic and manual transmission oil. The experiments of flash point, ignition point, flame duration time, heat release rate were carried out using TAG closed cup flash point tester(AFP761), Cleveland open cup auto flash point analyzer(AFP762), KRS-RG-9000 and Dual cone calorimeter. As a result, the fuel's ignition points were lower than lubricants, especially that of gasoline was not conducted as it has below zero one. Gasoline has the highest ignition point of about 600°C, while the other fuels showed 400~465°C. For flame duration time, lubricants had over 300 seconds, but fuels had less than 300 seconds except high sulfur diesel(350 seconds). Total heat release rate ranged 287~462 kW/m<sup>2</sup> for lubricants and gasoline showed the highest total heat release rate, 652 kW/m<sup>2</sup>.

**Key Words :** fire hazard, flash point, ignition point, heat release rate

### 1. 서론

현대 산업사회의 대량생산체제는 수송수단의 급격한 변화를 불러일으켰고, 그에 따른 편의성의 부산물로 예기치 않게 발생하는 사고의 위험도 증가하였다. 그 원인 중 화재에 의한 사고도 개인의 차량소지 증가와 대중교통수단의 발달로 인해 해마다 증가하고 있는 추세이다.

소방방재청 2013년도 통계자료에 따르면 2007년도부터 2012년까지 자동차화재는 해마다 5,000건 이상 일어나 누적건수가 35,000건 가까이 되며, 선박화재사건도 2011년도를 제외하고 해마다 100건 이상 발생하여 위의 해당 기간에 716건이나 발생하였다. 그밖에 소수이긴 하지만 군용차량 화재사건도 같은 기간 18건 발생하였고 항공기 화재사건도 13건이나 발생하였다<sup>1)</sup>.

이중 가장 많은 비중을 차지하는 자동차 화재를 발

화요인별로 세분화 해보면, 자동차 자체의 원인으로 발생하는 화재, 교통사고에 의한 화재, 방화 그리고 기타 등으로 나눌 수 있다. 자동차 자체에 기인한 화재는 다시 연료/오일계통의 화재, 배기관/차륜 계통 화재, 전기 계통 화재 등으로 분류하고, 연료/오일 계통의 화재는 연료나 각종 부속오일류(엔진오일, 변속기오일, 파워스티어링오일, 브레이크오일 등)가 부적절한 배관 설치나 접속 부분 불량 등으로 인해 누출된 연료증기나 누출된 오일이 전기스파크나 배기관의 열에 의해 착화되어 발생한다. 교통사고에 의한 화재도 연료계통의 누출된 연료(주로 가솔린)가 노면과 차체의 마찰에 의해서 발생하고, 또한 충돌사고에 의해 연료탱크나 연료파이프가 파손되어 연료가 누출된 경우에는 자동차 하부에 큰 연료 풀(pool)이 형성되어 보통 자동차 화재보다 더 급속한 화재가 발생하게 된다<sup>2)</sup>. 이렇게 차량화재 중 연료나 부속오일류가 차지하는 비중은 상당

\* Corresponding Author : Me-Jung Hwang, Tel : +82-33-575-1199, E-mail : hwangmejung@hanmail.net

Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, 346, Hwangjo-gil, Dogye-eup, Samcheok-si, Gangwon-do 245-905, Korea

하며 이는 다른 수송용 수단에서도 유사할 것으로 사료된다.

유류를 비롯한 가연성액체의 위험성을 표시하는 기준으로 인화점, 폭발한계(연소범위), 발화점, 발열량, 비중 등을 제시할 수 있고, 이것을 이해하는 것이 화재위험을 예측하는데 큰 도움이 된다. 특히 수송기관용 유류 중 가솔린은 제 1석유류에 속해 있어서 위험 등급 II, 그리고 나머지 석유류는 위험 등급 III으로 분리되므로 화재위험성에 크게 노출되어 있다고 할 수 있다.

수송수단에 관련된 기존 선행연구로는 임우섭 등<sup>3)</sup>이 디젤연료를 이용한 액면화재 실험으로 화염의 온도 분포, 순간 최대화염온도, 평균 최대화염온도를 측정하고 거리에 따른 복사강도 측정을 통하여 복사열을 계산하여 화재위험성을 연구하였고, 송영호 등<sup>4)</sup>은 바이오디젤연료의 혼합비율에 따른 연소성 및 열적특성을 검토하였다. 이 연구는 Tag 밀폐식, Cleveland 개방식 인화점 시험기, 자연발화점 시험기를 이용하여 인화점, 연소점, 자연발화점을 측정한 실험이었다.

그러나 위의 선행연구들은 하나의 차량용 연료에 의한 화재위험성에 대한 연구이고, 부속용 오일과 연료에 대한 비교연구 사례는 풍부하지 않다. 더구나 군용 연료와 민간 차량용 연료에 대한 비교연구는 더욱 흔하지 않다고 할 수 있다.

본 연구에서는 민간차량, 군용 차량, 항공기, 선박용 등 다양한 수송수단의 유류에 의한 화재위험성을 고찰하고자 시중에서 사용되는 수송관련 석유류를 대상으로 연소특성 및 발열특성에 관한 분석을 수행하였다. 실험은 연료용 오일과 부속용 오일을 대상으로 비중, 인화점, 발화점, 화염지속시간 및 열방출률을 측정하고 후 이들을 통하여 화재위험성을 분석하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험대상

본 화재위험성 실험은 수송수단용 석유류를 연료와 부속용 오일 두 가지로 나누어 실행하였다. 연료로는 일반민간차량용 디젤과 가솔린, 군용차량용 경유, 항공기용 백등유와 제트유, 선박용 고유황경유 등을 사용하였다. 부속용 오일로는 브레이크오일, 파워오일, 엔진오일, 자동변속기 오일, 수동변속기오일 등을 대상으로 각각 일반용과 고급형 두 가지씩을 시료로 선정하여 각 실험을 실시하였다. Table 1에는 사용된 석유류에 대해 종류별로 분류한 시료와 성분을 제시하였다. 각 제품은 현대 Mobis사의 제품이고 구체적인 성분함량은 회사 특성상 밝혀주지 않아 목록에 구체적으로

열거할 수 없었다.

### 2.2 실험장비 및 실험방법

#### 2.2.1 연소 특성실험

수송기관용 오일의 화재위험성을 분석하기 위하여 연소특성을 고찰하였는데 연료와 부속용 오일의 비중, 인화점, 발화점, 그리고 화염지속시간을 측정하였다.

액체는 비중(specific gravity)이 낮을수록 화재위험성이 증가한다. 액체의 비중은 주로 물보다 작으므로 물보다 가볍고 또한 물에 녹지 않는 성질을 가지고 있기 때문에 수면에 유출되거나 부유하는 경우 화재가 발생하면 비중이 낮은 물질이 물위에 떠서 유동하게 되어 연소범위가 확대될 수 있기에 위험할 수가 있다. 특히 주수소화법을 사용할 때 문제를 일으킬 수 있다. 비중은 비중계로 측정되었다.

인화점(flash point)은 가연성 액체가 액면 가까이에서 인화할 때 필요한 증기를 발산하는 액체의 최저온도로 정의되며 가연성 액체의 화재위험성을 평가하는

Table 1. Experimental Materials

Classification		Ingredient		
Lubricant	Brake fluid	Ordinary	Tetraethylene glycol diethyl ether	
		Fine	"	
	Power steering oil	Ordinary	mineral oil, alkaloids butanols, silicones, hydrocarbons	
		Fine	"	
	Engine oil	Gasoline	Ordinary	severely hydrotreated heavy paraffinic distillate, viscosity modifier additive, etc
			Fine	"
		Diesel	Fine	severely hydrotreated heavy paraffinic distillate, mixed performance additive, etc
			Automatic transmission fluid	Ordinary
			Fine	"
		Manual transmission fluid	Fine	"
Fuel	Diesel	Civilian demands	-	
	Gasoline		-	
	DF1(Diesel)	Munition vehicle	-	
	High-sulfur diesel	Marine	-	
	Kerosene	Aviation	-	
	JP1		-	

데 중요한 지표이다. 이는 동일한 양이 동일한 조건에 있을 때 인화점이 낮을수록 그 인화성 액체의 화재위험도가 커지기 때문이다. 연료의 인화점 측정을 위해서 TAG closed cup flash point tester(AFP 761)를 사용하여 ASTM D 56-05에 의거하여 실험하였고, 부속용 오일의 인화점 측정을 위해서는 Cleveland open cup auto flash point analyser(AFP 762)를 사용하였다. 인화점 측정에서 두 가지 다른 장비를 사용한 이유는 TAG closed cup flash point tester는 인화점이 93℃ 이하인 원유 및 석유제품의 인화점 및 착화점 자동측정기기이고, Cleveland open cup auto flash point analyser는 원유 및 연료유를 제외한 80℃ 이상의 석유제품의 인화점 및 발화점 자동 측정기기이기 때문이다. Fig. 1~2에는 각각의 장치들을 나타내었다.

일반적으로 개방식 장치에서 측정된 인화점은 밀폐식 장치의 인화점보다 조금 높게 나타나는 것으로 알려져 있다. 송영호 등<sup>4)</sup>은 실험결과로 개방식 장치에서 측정된 인화점이 밀폐식 장치의 인화점보다 8~12.5℃ 정도 높게 나타난다고 하였는데, 그 이유로 밀폐식 인화점 시험기는 가연성 액체 표면으로부터 발생한 가연성 증기가 시료컵 상부에 축적되므로 개방식보다 인화점이 낮게 측정된다고 하였다.



Fig. 1. Tag closed cup auto flash point tester(AFP 761)

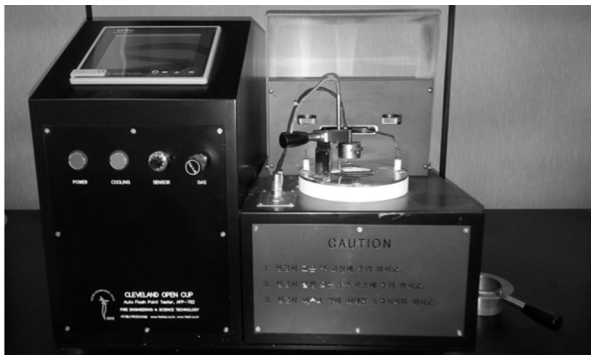


Fig. 2. Cleveland open cup auto flash point tester(AFP 762)

TAG closed cup flash point tester(AFP 761) 실험방법은 먼저 시료 50± 0.5 ml를 채취하여 시료컵에 넣고 시료표면의 기포를 제거한 뒤 덮개를 덮고 규정된 승온 온도를 확인하면서 시료를 가열한다. 시료의 온도가 예상 인화점보다 5℃ 낮은 온도에 도달하면 시험불꽃을 1초 동안 접촉시킨다. 이때 인화하지 않으면 온도가 0.5℃ 상승할 때마다 개폐기를 작동하여 시험불꽃을 1초 동안 접촉시킨다. 이와 같은 방법으로 인화할 때까지 불꽃을 반복 접촉시키며 인화여부를 확인한 후 인화점을 기록한다<sup>5)</sup>.

Cleveland open cup auto flash point analyser(AFP 762)는 약 80ml의 시료를 시료컵에 넣고 매분 5.5±5℃의 속도로 서서히 가열한다. 2℃마다 시험불꽃을 시료컵 위에 통과시켜 시료증기에 의해 인화하는 최저온도를 구한다. 이는 ISO 2592의 Determination of flash point-Cleveland open cup method에 따른 것이며, KS M 2010의 원유 및 석유제품 인화점 시험방법에 의거하였다. 가솔린의 경우 인화점이 -43~-20℃로 상온에서도 증발하기 쉬운 상태라 인화점 시험을 수행하지 않았다. 구체적인 실험조건은 Table 2에 제시하였다. 결과값은 3회 반복 실험하여 측정값의 평균값을 사용하였다.

발화점(ignition point)은 가연물이 공기 중에서 가열하였을 때 점화원 없이 스스로 발화할 수 있는 최저온도로서 인화점보다 수 백도 정도 높은 것으로 알려져 있다. 측정 원리는 대기압에서 시료를 노(furnace)내에 넣으면 발염하기까지 처음에는 천천히 질량이 감소하고 주위로부터 차차 열을 빼앗아 열분해로부터 발생된 휘발성성분이 방출되고 순간적으로 발화분위기가 형성된 부분에서 발화가 발생하는 것<sup>6)</sup>이다. 발화온도를 측정하기 위하여 일본 Kuramochi사의 KRS-RG-9000 발화온도 시험기를 이용하였으며 Fig. 3과 Table 3에 시험기와 실험조건을 각각 나타내었다. 발화온도 측정은 3 ml의 시료를 가열되고 있는 가열로에 놓아 발화가 되는 온도를 자동으로 측정하였다.

발화대기시간은 4초로서 발화원 없이 물질이 자동발화(autoignition)할 때의 최저점으로 측정되었다. 결과값은 3회 반복 실험하여 측정값의 평균값을 사용하였다.

Table 2. Experimental conditions of flash point testers

Items	fuel	lubricant
Model	Tag closed cup Auto flash point tester(AFP 761)	Cleveland open cup auto flash point tester (AFP 762)
Volume (ml)	50±5	80
Test time (s)	Time until there occurred a flame	Time until there occurred a flame



Fig. 3. Ignition temperature tester (KRS-RG-9000)

Table 3. Experimental conditions of ignition temperature tester

Items	Conditions
Model	KRS-RG-9000
Volume (mℓ)	3
Test time (s)	4

연료와 부속용 오일류의 화염지속시간을 측정을 위해서는 영국 FTT(Fire Testing Technology)사의 Dual cone calorimeter를 사용하였다. 화염지속시간 측정은 실험재료가 복사열에 노출되었을 때 발화가 개시되는 시간부터 발화가 자연종료 되는 시간(혹은 소멸시간)까지를 의미하며 화염의 유무 역시 육안으로 판단하여 기록하였다. 실험기와 실험조건은 각각 Table 4와 Fig. 4에 각각 나타내었다.

Table 4. Experimental conditions of cone calorimeter

Items	Conditions
Model	Dual cone calorimeter
Size (mm)	100×100
Volume (mℓ)	30
Heat flux (kW/m <sup>2</sup> )	Fuel : 5, lubricant : 25
Test time (s)	Time until there was no more weight decrease



Fig. 4. Dual cone calorimeter

## 2.2.2 발열특성 실험

본 연구에서는 석유류의 발열특성을 고찰하기 위해 국제규격 ISO 5660을 만족하는 영국 FTT(Fire Testing Technology)사의 Dual cone calorimeter를 사용하였으며 Fig. 4에 기기를 나타내었다. 이 실험방법은 일반적으로 연소열이 연소 시 필요한 산소의 양에 비례한다는 점에 기초를 둔다. 즉 산소 1 kg이 소비되면 약 13.1 MJ의 열이 발생한다는 가정 하에 산출되는 발열량을 얻는 실험방법이다. 실험값은 불완전연소 상태의 CO<sub>2</sub> 및 CO 발생을 고려하고, 온도계와 차압계 등을 통해 종합적으로 계산된다<sup>7)</sup>. 이 cone calorimeter를 이용하여 총열방출량(Total Heat Release), 평균열방출율(Mean Heat Release Rate), 최대열방출율(Peak Heat Release Rate)을 분석하였고, 결과값은 역시 3회 반복 실험하여 측정값의 평균값을 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 수송기관용 오일의 연소특성

액체위험물의 위험성을 표시하는 데는 인화점, 발화점, 발열량, 비중 등을 제시할 수 있고, 이것을 이해하는 것이 화재위험의 특성과 성상을 예측하는데 큰 도움이 되므로 수송기관용 오일의 연소특성 분석을 위해 인화점, 발화점 그리고 화염지속시간을 시험기기를 통하여 측정하였다.

Table 5는 실험을 통해 얻은 비중, 인화점, 발화점 그리고 화염지속시간의 결과값이다. 먼저 비중을 살펴보면 브레이크 오일이 1,070 kg/m<sup>3</sup> 정도로 가장 높은 값을 보이며, 고급 파워스티어링 오일이 약 726 kg/m<sup>3</sup>으로 제일 낮은 값을 보이고, 그 다음으로 민간차량용 가솔린이 745 kg/m<sup>3</sup>정도의 값을 보이고 나머지는 약 800~860 kg/m<sup>3</sup> 정도 범위의 값을 보인다.

인화점을 살펴보면, 등유, 백등유, 경유 등 연료용 유류가 부속용 오일보다 현격히 낮은 인화점을 보인다. 특히 앞에서 확인했듯이 가솔린은 영하의 값을 갖기 때문에 측정이 불가능하였다. 이에 비해 부속유류들은 브레이크 오일과 고급 파워스티어링 오일을 제외하고 215~266℃까지 고른 분포를 보였다.

발화위험성 평가의 또 다른 기준인 발화점을 살펴보면, 인화점과 다른 분포를 보이는 것으로 나타났다. 브레이크 오일과 파워스티어링 오일이 대체로 낮은 325~365℃의 결과값을 가지는 반면 600℃ 정도의 가솔린을 제외한 다른 부속용 오일과 연료들은 400~465℃의 비교적 고른 분포를 보였다.

불꽃이 소멸된 시간에서 발화시간을 뺀 화염지속시

Table 5. Material characteristics and flash & ignition points

Classification			specific gravity (kg/m <sup>3</sup> )	flash point (°C)	ignition point (°C)	ignition time (s)	extinguish time (s)	flame duration time(s)	
Lubricant	Brake fluid	Ordinary	1070.2	149.9	326.4	60	376	316	
		Fine	1069.9	161.4	363.1	52	473	421	
	Power steering oil	Ordinary	870.2	215.1	325.7	82	487	405	
		Fine	725.8	188.1	356.0	66	432	366	
	Engine oil	Gasoline	Ordinary	856.9	266.6	439.3	143	504	361
			Fine	863.3	253.7	442.1	123	546	423
		Diesel	Fine	856.8	243.6	425.7	106	483	377
	Automatic transmission fluid	Ordinary	851.8	218.9	422.8	91	485	394	
		Fine	845.9	227.4	424.1	94	541	447	
	Manual transmission fluid	Fine	858.5	246.7	425.1	215	634	419	
Fuel	Diesel	Civilian demands	815.5	47.8	425.0	92	339	247	
	Gasoline		744.6	-	600.6	2	149	147	
	DF1(Diesel)	Munition vehicle	832.1	45.3	415.1	72	298	226	
	High-sulfur diesel	Marine	866.1	51.9	465.1	404	754	350	
	Kerosene	Aviation	797.5	76.4	458.5	92	368	276	
	JP1		797.0	51.1	462.5	141	438	297	

간도 화재 위험도를 측정하는데 중요한 요소가 되는데 Cone calorimeter로 측정된 발화시간을 살펴보면, 가솔린이 2초 후에 발화되어 제일 급속히 발화하고, 그 다음으로 브레이크 오일, 파워스티어링 오일, 자동변속 오일 순으로 발화가 일어났다, 부속류 오일 중에서는 수동변속오일이 가장 늦게 발화하는 것으로 나타났다.

연료 중에서는 군용차량 디젤 DF1이 72초의 발화시간을 보여서 연료 중 가솔린 다음으로 짧은 발화시간을 보였고 항공용 등유가 민간차량용 디젤과 같은 발화시간(92초)을 보였으며, 그 다음으로 항공유 JP1(141초), 그리고 부속용 오일과 연료 중 가장 늦게 발화한 것은 해상용 고유황 디젤류로 400여 초가 지난 후에 발화되었다.

Fig. 5와 Fig. 6에는 부속용 오일류와 연료용 오일에 대한 각각의 화염지속시간 결과를 나타내었다. 결과를 살펴보면, 부속용 오일류는 대개 300초 이상의 비교적 긴 화염지속시간(316~447초)을 보였으며, 이 중에서 브레이크오일(보통)이 약 320초 정도로 부속용 오일 중 가장 짧은 화염지속시간을 보였다. 하지만 다른 부속용 오일류들을 보면, 자동변속 오일(고급)이 가장 긴 지속시간인 447초였고 대부분 350초 이상의 화염지속시간을 보였다.

이에 반해, 연료의 화염지속시간을 보면, 부속용 오일보다는 대체로 낮은 147~350초의 분포를 보인다. 선박용 고유황 디젤유가 350초의 화염지속시간을 나타

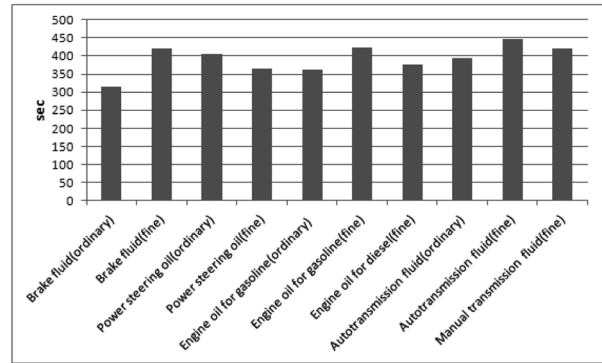


Fig. 5. Flame duration time for lubricants

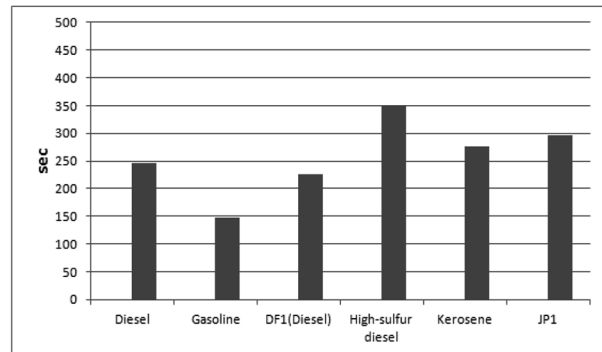


Fig. 6. Flame duration time for fuels

낸 것을 제외하면 모두 300초 이하이며, 특히 가솔린은 150초에도 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 모든

부속 오일류와 연료들을 비교하여도 가장 짧은 화염지속시간이었다. 민간용과 군수용 디젤연료는 비슷한 화염지속시간(각각 247초, 226초)을 보였고, 항공유는 등유와 JP1이 비슷한 시간분포(276~297초)를 보였고 연료 중 가장 오랫동안 화염이 지속된 것은 해상용 고유황 디젤(350)이었다. 이는 민간차량 가솔린의 두 배가 넘는 비교적 오랜 시간이었다.

연소특성에서 가솔린은 여타의 연료와 다른 특이점을 보였는데 제일 낮은 영하의 인화점을 갖는 동시에 제일 높은 발화점(600℃)을 가지며 제일 짧은 발화시간(2초)과 최단기간의 화염지속시간(147초)을 나타냈다.

### 3.2 수송기관용 오일의 발열특성

열방출률(Heat release rate; HRR)은 화재발생시, 화재의 성장과 진화에 직접적인 영향을 미치므로 화재안전 측면에서 매우 중요한 요소이다. Table 6에 나타난 이들의 총 열방출률(total heat release rate)을 보면 부속용 오일은 65~120 MJ/m<sup>2</sup>까지의 총열방출률을 보이며, 연료 오일은 64~108 MJ/m<sup>2</sup>의 분포를 보였다. 부속용 오일 중 브레이크 오일이 가장 낮은 총열방출률을 보였고, 그 다음으로 일반 가솔린 엔진오일이 100 MJ/m<sup>2</sup>에 조금 못 미치는 총열방출률을 보였다. 그 뒤로 일반 파워스티어링 오일과 고급 가솔린 엔진오일, 자동/수동변

속기 오일은 110 MJ/m<sup>2</sup> 근처의 총열방출률을 보였고, 디젤차량 엔진오일이 이들보다 조금 높은 120 MJ/m<sup>2</sup>로 가장 높은 총열방출률을 보였다.

연료오일은 64~108 MJ/m<sup>2</sup>의 분포를 보였는데, 민간용 디젤유와 가솔린, 군용디젤(DF1)은 64~68 MJ/m<sup>2</sup>로 비슷한 분포를 보였고, 그 다음으로 선박용 고유황유는 96.1 MJ/m<sup>2</sup>로 다른 디젤보다 훨씬 더 높은 총열방출율을 보였다. 그러나 제일 높은 총열방출율을 보인 것은 항공유인 백등유와 JP1으로 각각 101 MJ/m<sup>2</sup>과 108 MJ/m<sup>2</sup>의 총열방출율을 보였다. Fig.7~8에는 부속용 오일과 연료의 총열방출율을 그래프로 나타내었다.

평균열방출율(Mean heat release rate)을 살펴보면, 가솔린 엔진오일이 200 kW/m<sup>2</sup>에 좀 못 미치는 열방출율을 보이고, 그 다음으로 브레이크 오일이 267~287 kW/m<sup>2</sup>, 다음이 고급 자동변속오일과 수동변속오일이 316~317 kW/m<sup>2</sup>의 비슷한 분포를 보이고, 다음으로 일반 파워스티어링 오일, 고급디젤엔진오일, 일반 자동변속오일 순서로 점점 더 높은 평균열방출율을 보였다. 부속용 오일 중 제일 높은 평균값을 보인 것은 고급 파워스티어링오일로 390 kW/m<sup>2</sup>정도의 열방출율을 보였다. 연료오일을 살펴보면, 274~512 kW/m<sup>2</sup>까지의 다양한 열방출율을 보였다. 이중 민간차량 디젤유가 제일 낮은 274 kW

Table 6. Thermal characteristics of lubricants and fuels

Classification			Heat release rate				
			Total (MJ/m <sup>2</sup> )	Mean (kW/m <sup>2</sup> )	Peak (kW/m <sup>2</sup> )	peak time(s)	
lubricant	Brake fluid	Ordinary	68.9	287.0	322.5	270	
		Fine	65.8	267.2	287.5	245	
	Power steering oil	Ordinary	108.1	332.3	369.4	275	
		Fine	114.8	387.9	462.0	225	
	Engine oil	Gasoline	Ordinary	98.9	196.5	358.7	245
			Fine	110.3	194.0	367.4	270
		Diesel	Fine	120.0	357.1	399.3	365
	Automatic transmission fluid	Ordinary	111.8	371.2	453.9	255	
		Fine	110.9	316.5	374.6	175	
	Manual transmission fluid	Fine	107.9	317.3	369.0	455	
fuel	Diesel	Civilian demands	67.6	274.3	457.9	130	
		Gasoline	64.5	431.2	652.7	25	
	DF1(Diesel)	military	68.5	301.7	462.2	95	
	High-sulfur diesel	Marine	96.1	299.6	349.1	495	
	Kerosene	Aviation	101.3	492.1	596.7	175	
			JP1	108.6	512.4	624.2	145

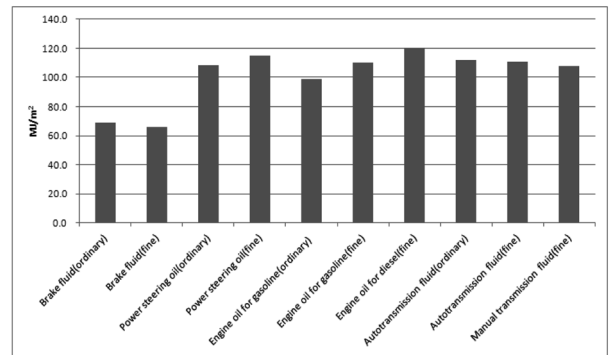


Fig. 7. Total heat release rate of lubricants

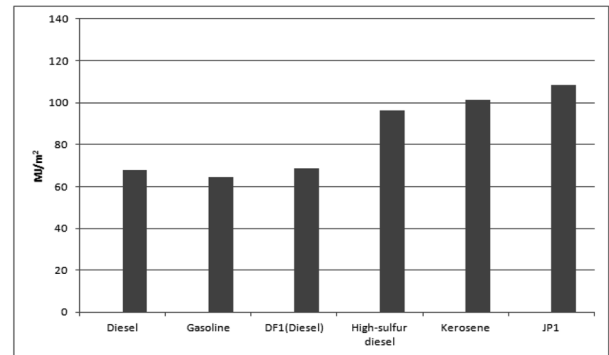


Fig. 8. Total heat release rate of fuels

m<sup>2</sup>, 그 다음으로 선박용 고유황유, 군용 디젤인 DF1이 비슷하게 300 kW/m<sup>2</sup> 근처의 열방출율을 보이고, 가솔린이 그 뒤를 이었고 제일 높은 평균열방출율을 보인 것은 항공용 JP1이었다. 이는 부속용 오일 중 가장 높은 열방출율을 보인 고급 파워스티어링오일보다 120 kW/m<sup>2</sup> 정도 높은 수치이다.

최대열방출율(Peak heat release rate)을 보면 부속용 오일은 287~462 kW/m<sup>2</sup>의 분포를 보이는데, 브레이크오일이 가장 낮고, 그 다음으로 일반 가솔린 엔진오일이었고 일반 파워스티어링오일과 고급 가솔린 엔진오일, 수동변속오일이 모두 360 kW/m<sup>2</sup> 후반부의 열방출율로서 비슷하고, 다음으로 고급 자동변속오일, 일반자동변속오일이며 제일 높은 최대열방출율을 보인 부속오일은 고급 파워스티어링 오일이었다. 이중 고급자동변속기 오일의 peak time은 175초인 반면, 수동변속기 오일의 최대 peak time은 455초로 많은 차이를 보였다.

마지막으로 연료의 최대열방출율을 보면 선박용 고유황유가 349 kW/m<sup>2</sup>로 가장 낮은 수치를 보이고, 그 다음으로 민간차량디젤유가 458 kW/m<sup>2</sup> 정도, 군용 디젤유가 462 kW/m<sup>2</sup>, 다음은 항공기 백등유와 JP1이 각각 596 kW/m<sup>2</sup>과 624 kW/m<sup>2</sup>를 보였고 가장 높은 최대열방출율을 보인 것은 652 kW/m<sup>2</sup>의 가솔린이었다. 이들의 peak time은 가솔린이 25초로 발화 후 얼마 되지 않아 최대열방출율을 보였으나 대조적으로 고유황선박유는 495초로 다른 연료들(95초~175)과 많은 차이를 보였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 수송수단용 석유류의 화재위험성을 알아보기 위하여 일반민간용 차량의 디젤과 가솔린, 군용차량용 경유, 항공기용 백등유와 제트유(JP1), 선박용 고유황경유 등의 연료와 브레이크오일, 파워오일, 엔진오일, 자동변속기 오일, 수동변속기 오일 등의 부속용 오일들에 대해서 각각 일반용과 고급형 두 가지씩 시료를 선정하여 비중, 인화점, 발화점, 화염지속시간으로 연소특성을 살펴보고, 총열방출율, 최대열방출율, 평균열방출율로 발열특성을 고찰하여 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

1) 비중은 브레이크 오일이 1070 kg/m<sup>3</sup> 정도로 가장 높은 값을 보이며, 고급 파워스티어링 오일이 약 726 kg/m<sup>3</sup>으로 제일 낮은 값을 보이고, 그 다음으로 민간용 차량 가솔린이 745 kg/m<sup>3</sup> 정도를 보여 화재위험이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 나머지는 약 800~860 kg/m<sup>3</sup>까지의 중간값을 보였다.

2) 인화점을 살펴보면, 연료(45~76℃)가 부속용오일

(188~266℃) 보다 훨씬 낮은 인화점을 보이는데 그만큼 연료의 화재위험성이 높음을 의미한다. 그리고 발화점을 살펴보면, 브레이크 오일과 파워스티어링 오일이 대체로 낮은 325~365℃의 결과값을 가지는 반면 가솔린(600℃ 정도)을 제외한 다른 부속용 오일과 연료들은 400~465℃의 비교적 높은 분포를 보였다.

3) Cone calorimeter로 측정한 화염지속시간을 살펴보면, 부속용 오일류는 전반적으로 300초 이상의 비교적 긴 화염지속시간(316~447초)을 보였으며, 선박용 고유황 디젤유가 350초의 화염지속시간을 가지는 것을 제외하면 모두 300초 이하이며 특히 가솔린은 150초에도 미치지 못하는 것으로 나타났다.

4) 총열방출율(total heat release rate)을 보면 부속용 오일은 65~120 MJ/m<sup>2</sup>까지의 열방출율을 보이고 연료 오일은 64~108 MJ/m<sup>2</sup>의 분포를 보였다. 평균열방출율(Mean heat release rate)에서 부속용오일은 194~387 kW/m<sup>2</sup>, 연료는 274~514 kW/m<sup>2</sup>의 분포를 보였다. 최대열방출율(Peak heat release rate)을 보면 부속용 오일은 287~462 kW/m<sup>2</sup>, 연료는 349~652 kW/m<sup>2</sup>의 분포를 보였다.

**감사의 글:** 이 논문은 국방과학연구소 생존성 기술특화연구센터의 사업으로 지원받아 연구되었음(과제번호 UD1200190D)

#### References

- 1) National Emergency Management Agency, "Fire Current Status Statistics", 2013.
- 2) E. -P. Lee, "Analysis of Actual State of Motor Vehicle Fires in Korea", J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng., Vol. 25, No 2, p57, 2011.
- 3) W. -S. Lim and J. -W. Choi, "Measurement of Flame Temperature and Radiation Heat Flux from Pool Fire with Petroleum Diesel Fuel", J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng., Vol. 21, No. 3, 2007.
- 4) Y. -H. Song, B. -W. Shin, D. -M. Ha and K. -S. Chung, "Combustion Property of Biodiesel Fuel", J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng., Vol. 23, No 4, p22, 2009.
- 5) ASTM D56-05. "Standard Test Method for Flash Point by Tag Closed Cup Tester", ASTM, 2005.
- 6) C. -J. Kim, "Combustion Characteristics of Wood Materials(1) (Mass Reduction and Ignition Delay)", J of Korean Society of Combustion, Vol. 4, No. 2, 1999.
- 7) ISO 5660-1. "Reaction-to-fire-tests-Heat Release, Smoke Production and Mass Loss Rate-Part 1: Heat release rate(cone calorimeter method)", 2002.