

# 차량화재의 원인분석 및 실험적 고찰

진봉걸 · 이정윤 · 정기창 · 김 흥\*

호서대학교 안전공학과 · \*호서대학교 안전시스템공학과

## 1. 서 론

산림화재, 선박화재, 철도차량화재 등과 함께 특수화재로 분류되는 차량화재는 매년 지속적인 증가 추세를 보이며 그 심각성 또한 중대한 문제로 대두되고 있다.

차량화재는 '연소는 가연물, 점화원, 산화제를 필요로 한다.'<sup>[1][2]</sup>라는 관점에서는 다른 화재들과 유사하다. 그러나 차량화재는 차량을 이루고 있는 물질의 조성 때문에 다른 화재보다 복잡한 양상을 나타내는 차이를 보인다.

차량의 용도에 따라서도 다른 특성을 보이고 있다. 예를 들어 가연성 위험물을 수송하는 차량의 경우 화재 발생 시 그 크기를 예측하기는 매우 어렵다. 하지만 이들 차량 화재의 공통적인 특성으로는 화재 발생 후 짧은 시간에 크게 확대되는 것을 알 수 있다.<sup>[3]</sup>

차량화재의 가연물은 물질의 조성들이 다양하고 복잡하게 구성되어 있으며, 대부분의 차량 내장재는 경량화 및 단가 문제로 인해 대부분의 물질들이 고분자 플라스틱으로 이루어져 있다. 이러한 고분자 플라스틱류들은 여러 연구에서 연구된바 화재의 위험성이 매우 큼을 알 수 있다. 대처방안으로 제조과정 중에 난연 처리를 하고 있으나 화재 발생시 그 역할은 매우 미미하다고 할 수 있다.<sup>[4]~[9]</sup>

차량 화재를 발화원에 따라 분류하면 (1)전선들의 단락 또는 합선으로 인한 과열, (2)엔진 점화시스템에서의 스파크, (3)배기계의 높은 온도, (4)엔진의 역화; 타이어의 과열, 브레이크, 휠베어링, (5)충격으로 인한 스파크, 부품간의 마찰로 인한 스파크, (6)담배의 부주의한 사용 등 6가지로 분류할 수 있다.

차량화재는 통계상 전체 화재사고 중 약 17%정도 보고 되고 있다. 차량화재 발생의 원인으로는 크게 차량의 결함, 방화, 실화 세 가지로 나눌 수 있다. 이 외에 사고로 인한 차량화재가 발생이 되기도 하지만 이는 약 0.1%정도로 매우 미비하다고 알려져 있다<sup>[10]</sup>. 차량의 결함은 기술이 고도화 되면서 그 원인을 찾는 것이 더욱 힘들어 지고 있다.

따라서 본 연구에서는 차량화재 발생 원인을 분석하고 차량의 정상 운전 중 엔진룸 내에서 발생하는 열이 화재 점화원으로 작용할 가능성에 관하여 실험적으로 조사·고찰하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 실험장치 및 방법

#### 가. 차량 주행조건 별 엔진구획 내 온도변화 실험

현대자동차의 SONATA II™ 2000cc 모델을 사용하여 실험을 수행하였다. 열전대는 Fig. 1과 같이 총 6곳(배기 매니폴드, 배기 매니폴드 3cm 상부, 변속기, 변속기 3cm 상부, 흡기 매니폴드와 후드 사이(엔진룸 중앙), 엔진룸 후면(방화벽)에 설치하였으며, 5분 간격으로 엔진룸 내 각부의 온도를 측정·기록하였다.

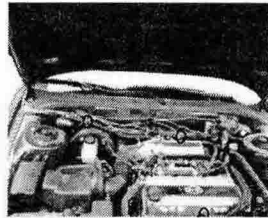


Fig. 1 Locations of fixed thermocouples

실험은 다음과 같은 변수를 사용하여 총 5종의 방법으로 실험하였으며 그 방법은 다음과 같다.

Table 1. Experimental cases of variable drive condition.

실험번호	실험 조건
1	엔진 Idle 상태
2	러시아워시 시내주행
3	고속도로 정속주행 (100km/h)
4	150분 60km/h 정속주행 후 엔진정지
5	속도변화에 따른 온도변화 측정·기록

#### 나. 차량화재실험

엔진룸 내부에서의 발화, 연료탱크부에서의 발화라는 상황을 설정하여 실제 차량을 이용하여 엔진룸과 연료탱크부분 두 곳을 지정하여 화재발생의 상황을 설정한 후 실험을 수행하였다.

4번 case 실험을 사용하여 엔진이 가열된 상태에서 연료 유출 후 착화되어 엔진룸에서의 화재 발생시 화염의 거동을 확인하기 위하여 엔진룸 화재를 설정, 엔진룸 안에 직접 착화시킨 후 보닛을 닫은 후 화염의 전파 모습을 확인하였다.

또한 연료탱크부분에서의 화염전파를 확인하기 위하여 연료탱크에 홀을 생성한 뒤 가솔린을 20ℓ 주입, 착화시킨 후 이에 따른 화염의 전파 모습을 확인하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 주행조건별 온도변화 실험

실험은 주위온도 약 8°C의 상태에서 수행되었다. 1번 조건에서의 실험을 한 경우 Fig. 2와 같은 결과를 나타내었다. 매니폴드위치에서의 5분정도 까지 온도가 급격히 상승하였으며 실험 시작 후 30분경에 최고 223°C가 측정되고 실험종료까지 일정한 온도가 유지되는 것으로 나타났다. 다른 위치에서는 온도가 서서히 증가하였으며, 40분이 경과되었을 때 최고온도를 나타내었다. 다른 측정위치와 비교하여 매니폴드 앞에서의 온도가 다른 위치에서 보다 약 30~40°C 높게 측정되었다.

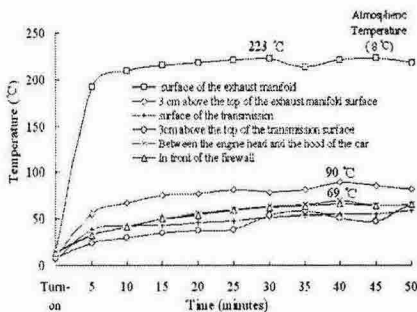


Fig. 2 Temperature distributions in the engine compartment (while idling)

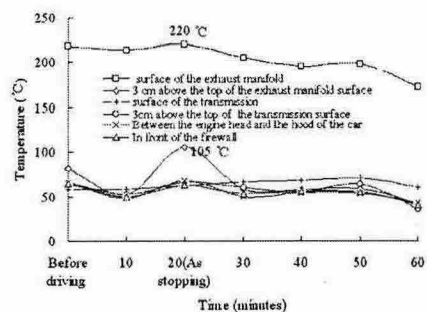


Fig. 3 Temperature distributions in the engine compartment while the car was in heavy downtown traffic.

Fig. 3은 2번 조건에서 정상주행을 하던 중 약 20분경부터 교통체증지역에 진입을 하여 엔진이 정지 후 냉각이 시작되었음을 알 수 있다. 배기 매니폴드의 경우 가열과 냉각이 빠르게 되어 엔진정지 후 실험종료 시까지 온도가 하강하는 것을 볼 수 있다. 20분이 경과되었을 때 배기매니폴드 앞 3cm 지점의 온도가 급격히 올라간 것을 확인할 수 있는데 이는 외부에서의 주행풍이 유입이 정지함으로 인해 배기 매니폴드에서의 대류가 원인이 되어 온도의 급격한 상승을 보이는 것으로 사료된다.

이 외에 다른 위치에서의 온도변화는 거의 없는 것으로 보아 정상상태를 유지하는 것으로 확인되었다.

Fig. 4는 3번 조건에서의 실험 결과로 그래프의 변화폭이 심함을 보였다. 정속주행을 하였기 때문에 풍속이 일정할 경우 외부에서 엔진룸 내부로 유입되는 공기의 양은 일정하다고 할 수 있다. 이 경우 변화폭이 심하게 나타난 원인은 외부공기의 풍속이 일정한 것이 아니라 변화가 심하여, 엔진룸 내부로 유입되는 외풍의 양이 증감에 따라 배기 매니폴드의 온도변화가 심한 것으로 사료된다. 하지만 다른 위치에서는 온도변화가 적은 것으로 보아 엔진룸 안쪽으로는 공기의 유입이 원활하지 않은 것으로 보인다.

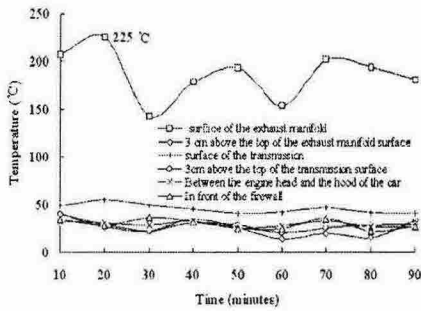


Fig. 4 Temperature distributions in the engine compartment while the car was driving on an expressway.

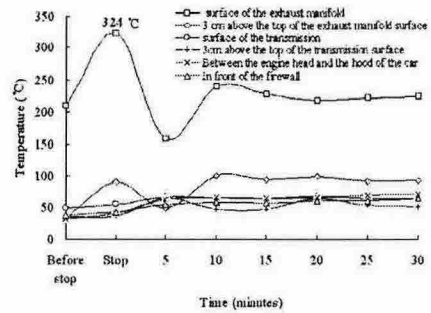


Fig. 5 Temperature distributions in the engine compartment when the car was stopped after 150minutes driving.

Fig. 5는 실험조건 4에서의 실험 결과 그래프로 주행 후 정지 시 온도상승이 급격하게 이루어짐을 볼 수 있었고, 정지 후 5분까지는 온도가 급격히 하락되었으나 10분 후 다시 매니폴드에서 약 230°C까지 상승하는 양상을 나타내었다.

차량의 엔진이 정지한 후 제네레이터의 가동과 냉각수의 순환이 약 5분경까지는 이루어져 온도가 급격히 감소하였으나 이들 장치의 가동이 정지된 후 다시 엔진룸 내부의 온도가 상승하는 경향을 보였다.

Fig. 6은 일정한 가속력으로 150km/h까지 가속하는 동안의 엔진룸 내부의 온도변화를 측정된 결과로 배기 매니폴드에서의 측정값은, 20km/h때 323°C를 기록하였다.

50km/h까지 일정한 기울기로 감소하여 약 200°C까지 감소하다 90km/h에서 다시 약 20°C정도 감소되어 약 180°C로 유지되는 것을 보였다. 반면에 매니폴드 이외에 위치에서는 50°C를 넘지 않는 값을 나타내었다.

이 실험으로 엔진룸 내부온도는 차량의 주행속도에 영향을 받는 것으로 나타났다.

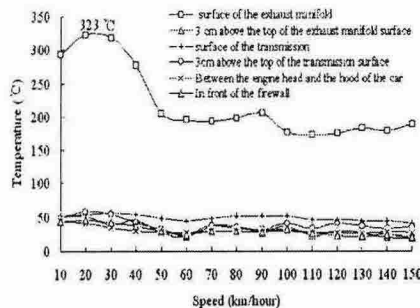


Fig. 6 Temperature distributions in the engine compartment depending on the driving speed of the car.

### 3-2. 차량화재 거동 실험

#### 가. 엔진룸 착화

화재초기 화염은 전면 유리부로 전파되고 전면 유리부에 화염이 완전히 전파된 후 차량의 하단부로 전파되며 앞쪽 타이어가 폭발하는 현상을 나타내었다. 실험종료 후 화염이 차량내부로 전파되어 앞좌석 시트가 연소되어 있는 모습을 확인할 수 있었다.

차량의 엔진룸과 차량내부 사이에는 방화벽이 설치되어 있어 차량 전면부에서의 화재 발생시 차량내부로 화재전파를 차단할 수 있도록 설계되어있다. 그러나 차량내부까지 화염이 전파가 되어있었다. 이는 환기구, 배선 등이 차량내부의 장치와 연결될 수 있도록 개구부가 존재하고 있다. 이 개구부가 화염전파통로로 사용되어 차량내부로 화염이 전파된 것으로 사료된다. 따라서 엔진룸(Engine room)과 실내(Passenger room)를 분리하는 방화벽(Fire wall)의 기능을 하지 못함을 확임함.



(a) Beginning fire

(b) During fire

(c) Decay

Fig. 7 The picture of engine room fire

#### 나. 연료탱크부 착화

연료탱크부에서의 화재는 착화 직후에는 특별한 양상을 보이지 않았으나 곧 연료주입구의 캡이 이탈되는 현상을 보였다. 이후 화재는 급속히 진행되어 차량의 좌측후면부로 화재전파 후 뒷좌석과 트렁크부분으로 화재가 전파되는 현상을 보였다.

이러한 결과를 나타낸 것은 착화 뒤 연료탱크 내에서 화재가 형성되던 중 탱크 내부의 압력이 급격히 증가하면서 연료탱크의 가장 약한 부분인 연료주입구 쪽으로 압력이 방출되고 이로 인해 산소의 공급이 원활해지면서 연소가 활발해진 것으로 사료된다.

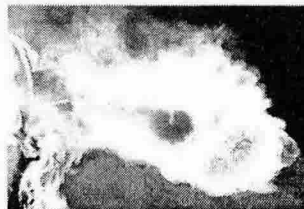


Fig. 8 The filler cap was being blown off.

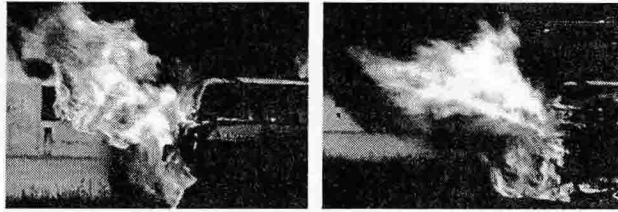


Fig. 9 Blowtorch effect caused by the release of gasoline vapor from the vent hole and cap hole of fuel tank.

## 4. 결 론

### 4-1. 주행조건별 온도 변화

위에서 확인된 바와 같이 엔진룸에서 매니폴드 표면의 온도는 주행 초기(Fig. 6)와 장시간 주행 후 정지 시 320℃ 이상 되는 온도를 나타내었다. 차량에 사용되는 오일류(Air Compressor oil, Antifreeze, Brake fluid, Automatic Transmission Fluid, Power steering fluid)들이 이상상태로 인하여 매니폴드에 접촉되었을 경우 이들 오일류의 발화점보다 높기 때문에 인화되어 화재가 발생할 수 있음을 확인하였다.

오일류 뿐만 아니라 기타 가연성 물질들이 매니폴드에 접촉되어 있다면 그들은 충분히 발화원이 되어 차량화재의 원인이 될 수 있다.

### 4-2. 차량화재 실험

앞에서 언급한바 있지만 차량의 엔진룸과 실내 사이에는 방화벽이 설치되어 있다. 그러나 앞서 실험에서 확인한 것과 같이 엔진룸에서 발생한 화재도 내부로 전파된 것을 보았다. 이는 차량의 배선이나 호스 또는 이를 덮고 있는 커버들이 절연체인 고무나 플라스틱류로 구성되어 있고 이 물질들은 가연성 물질이다.

방화벽 중간에 배선 등이 차량 내부로 연결되기 위하여 구멍이 뚫려 있다. 이 배선 등이 화재시 연결통로가 되어 차량 내부로 화재가 전파되고 내부의 가연성물질에 착화되면서 화재가 급속히 진행된다.

연료탱크에서의 화재시 연료탱크자체의 폭발은 없었다. 하지만 연료탱크 내부의 압력에 의한 Jet 화염이 발생이 되었는데 이로 인해 주위의 다른 가연물에 의한 2차 화재가 발생할 위험성이 있다.

## 참고문헌

- [1] 강영구, 김웅식 외 13명, “기초공학개론”, 동화기술, pp. 30
- [2] 현성호, 이창우 외 1명, “방화방폭공학”, 신광문화사, pp. 2
- [3] 정국삼, 이병곤 외 5명, “최신안전공학개론”, 동화기술, pp. 148~149

- [4] Cantwell, Elizabeth Raye, "buoyancy and heat loss effects in near interface",  
University of California, Berkeley(0028), Degree : PHD(1993)
- [5] Torero, Jose Luis, "Buoyancy effects on smoldering of polyurethane foam",  
University of California, Berkeley(0028), Degree : PHD(1993)
- [6] 김홍, 김기환, "석면 대체용 셀룰로오즈 단열재의 연소전이에 관한 연구",  
산업안전학회지, Vol.7, No.3, p.7 (1992)
- [7] 김홍, 인세진, "붕산-붕사-Aluminium sulfate계 셀룰로오즈 단열재의 연소 특성",  
산업안전학회지, Vol.7, No.4, p.7(1992)
- [8] 정국삼, 류영순, "A study of the combustability of formed polyethylene",  
산업안전학회지, Vol.9, No.3, pp. 60~66(1994)
- [9] 김정훈, 김홍 외 1명, "자동차 내장재의 연소특성에 관한 연구" 한국안전학회(구  
산업안전학회) '96 추계학술연구발표회 pp. 85~90.
- [10] Vector, Y., "Replacing Halon Systems in Tanks." Fire International, No. 147,  
Summer, 1995, pp. 23~24.