



자동차 화재의 탑승자 생존 가능성¹⁾

양우진/소화연소팀 연구원

1. 개요

자동차 화재는 미국에서 화재로 인한 사상자가 발생하는 주요 원인이 되어 왔다.

따라서, 미국 자동차 산업을 비롯한 관련 업계에서는 최근 몇 년 동안 막대한 자본을 투입하여 이 사안을 연구하고 있다. 이 기고문의 저자들은 자동차 산업 관련 보고서, 연구 논문, 통계 자료 등을 분석해서 얻은 결과를 토대로 하여 자동차 화재시 탑승자의 생존 가능성을 향상시켜야 한다고 주장하고 있다.

미국 연방 자동차 안전기준 302(FMVSS 302)는 약 40년 전에 차량 내장재의 가연성을 측정하고자 도입되었다. 그러나, 자동차와 자동차 연료 탱크의 내충격성능이 향상되고, 가연성 부품 사용 범위가 확대됨에 따라 차량 화재 시나리오에 중대한 변화가 초래되었다. 특히 1960년대 화재를 일으키는 초기 위협요소는 담뱃불에 의한 가연성 내장재의 소규모 발화 현상을 의미하였지만, 현재는

충돌 후 발생하는 화재로 인한 가연성 내장재 및 외장재의 대규모 발화 현상으로 변화되었다. 따라서 40년 전에 제정된 FMVSS 302 규격은 현재 운행 중인 차량의 화재 안전성을 적절하게 예측할 수 없으므로, 차량 시스템 또는 자동차의 일반적인 내충격성능과 동일한 수준의 내화성능을 객관적으로 평가할 수 있는 규격 제정 작업이 필요하다.

※ 키워드 : 차량(철도차량 및 도로상을 주행하는 모든 운송기계), 화재로 인한 사망자, 화재안전, 열방출, 탑승자 생존 가능성, 자동차, 교통

2. 배경

미국 거주지 이외 지역의 화재사고 사망자들은 대부분 자동차 화재로 인한 인명피해였으며, 소비자 제품²⁾에서 발생한 화재 시나리오와 함께 가장 발생빈도가 높았다.³⁾ 미국에서 매년 보고되는 160

역주 1) 출처/ Fire and Materials Vol.32, No.4 저자/ K. H. DIGGES 외 9인

역주 2) Consumer product: 제품과 서비스를 어떻게 고객들에게 전달할 것인가라는 화두에서 도출된 전략이 Product Strategy인데 이 전략에 필요한 구성 요소를 이용하여 제품과 서비스를 구분하게 된다. 일반적으로 B2B(Business to Business) Product와 B2C(Business to Consumer) Product로 분류할 수 있으며 Business Product는 B2B Product를, Consumer Product는 B2C Product를 의미한다. 이 두 가지는 제품 구매자의 최종사용자 해당 여부에 따라 구별할 수 있는데 개인이 자신의 용도에 따라 최종소비를 하기 위해 제품을 구매했다면 Consumer Product라 할 수 있고 그대로 되팔거나, 가공해서 되팔기 위해 제품을 구매했다면 Business Product라 할 수 있다. 특히 Consumer Product는 Convenience Product, Shopping Product, Specialty Product 이렇게 3가지 종류가 있다.

*NFPA 통계에 따르면, 실내에 설치되어 있는 가구류가 최초 발화원으로서 작용하여 1999년부터 2002년까지 매년 560명이 사망하였다. 반면에, 같은 기간에 차량화재로 인하여 사망한 사람은 496명(그 중 383명은 일반도로 주행용 차량에서 발생한 화재로 사망)이었다. 담배는 흔히 발화원이 되는 소비자 제품이다; 즉 담뱃불이 발화원이 되어 일단 다른 제품에 옮겨 붙게 되면, 수많은 사상자(약 800명 이상/1년)가 발생하게 된다.

만 건의 화재사고 중에서 1/5(약 30만 건)은 차량 화재이다. 차량 화재의 3/4은 정상운행 중인 자동차의 기계적 또는 전기적 고장 때문에 발생하고 있지만, 탑승자 탈출이 용이하다는 상황적 특성 때문에 인명피해 가능성은 낮은 편이다. 이에 반하여 충돌에 의한 차량 화재는 10% 미만이지만, 상대적으로 탈출이 어려운 상황으로 전개되므로 차량 화재 사망자 중 대다수(60~75%)가 충돌 화재로 사망하고 있다. 따라서 미국에서는 차량 화재 때문에 매년 약 3,000명이 부상당하고, 대략 500명이 생명을 잃고 있다. 이러한 사상자 중 2/3는 전방충돌, 측면충돌, 전복사고로 인하여 발생되었으며, 나머지 1/3에 해당하는 사상자는 후방충돌을 비롯한 기타 사고로 인한 인명피해로 보고되고 있다. 특히 차량 화재사고 사망자의 2/3는 급격하게 진행되는 화재특성 및 탑승자의 행동능력 상실의 주요 사망원인이 밝혀졌다. 또한, 정확하지 못한 집계방식 때문에 자동차 화재사고 사망자 수는 매우 작게 추정되고 있지만, 자동차라는 아이템이 화재로 인한 인명피해 사고에서 중요하게 고려되어야 할 대상임은 의심할 여지가 없다. 침구류, 가구류 화재와 비슷한 수준의 인명피해가 자동차 화재 때문에 발생하는 현실을 고려해 볼 때 다소 놀라운 사실은 침구류 및 가구류에 대한 규제나 감독 절차에 견줄만한 조치가 자동차에 적용되고 있지 않다는 점이다.

미국 교통부 산하 국가도로 교통안전국(NHTSA)은 미국 연방 규정집의 자동차 안전편 301장(자동차 안전) 표제 49에서, 자동차 및 관련 부품 제조사는 제정된 FMVSS 규격 및 규정에 따라 인증을 받도록 법적으로 규제하고 있다. 이러한 내용을

명시한 첫 번째 기준은 FMVSS 209로서 좌석 안전띠에 관한 사항을 다루었으며 1967년 3월부터 시행되었다. FMVSS 규격은 대부분 1968년 1월 1일 이후 출고되는 차량에 대하여 적용되었기 때문에 209를 제외한 나머지 규격은 그 이후에 제정된 것이며 신규 및 개정 규격은 미국연방관보에 고시되고 있다. 이러한 연방안전규격은 차량 및 관련 장비의 안전상 최소 성능 확보라는 관점에서 기술된 강제적인 법규이다. 이 법규에서는 일반 운전자 보호를 위한 설계, 제작 단계를 비롯하여 자동차 운전환경에서 파생되는 비정상적인 충돌위험을 기술하고 있으며, 충돌사고시 사상자가 겪게 될 예상하지 못한 위험요소까지 고려하여 대처하도록 하고 있다. 즉, 내충격성능 평가 규격 제정기관인 미국 국가도로 교통안전국(NHTSA)의 근본 취지는 안전성능을 객관적으로 정량화하고 합격/불합격 여부를 판단함으로써 안전상 최소 성능 조건을 정립하는 것이다.

1967년 미국 국가도로 교통안전국(NHTSA)에서 최초로 제정한 FMVSS 301 규격은 연료시스템 보호에 필요한 자동차 내화성능을 규정하였고 1972년 9월 1일자로 발효된 FMVSS 302는 승용차, 다용도 차량, 트럭, 버스 등의 내장재 가연성에 관한 규격이었다. 화재로 야기될 수 있는 위험과 화재 확산속도를 고려한다면, 화재 발생 후 인명구조 활동이라는 사후대책보다 충돌사고시 화재를 유발시킬 수 있는 인자 자체를 줄이는 노력이 바람직하며 이것은 FMVSS 301이 제정된 배경이기도 하다. 따라서 FMVSS 301은 자동차 연료시스템을 강화하고 보완하기 위한 사항을 규정함으로써, 충돌사고시 발생할 수 있는 연료누설

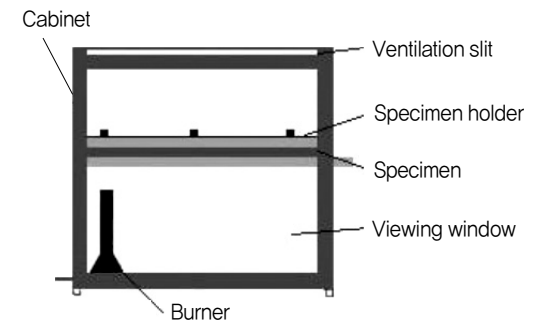
및 화재, 탑승자 부상 가능성을 감소시키고자 제정된 규격이었다. 한편, 휘발유는 발화 위험성이 높을 뿐만 아니라 규격이 고시되었던 당시에 주요 화재하중으로서 자동차 충돌 화재시 가연물의 점화원이 되는 경우가 대부분이었다. 따라서 FMVSS 301은 충돌사고시 연료탱크 파열에 의한 화재를 방지하려고 한 것이었다. 그러나 운행중인 차량 수가 지속적으로 증가되고, 내장재 및 외장재로서 사용되는 가연물(특히 플라스틱)비율이 10배이상 확대되었기 때문에 전체 자동차 화재 사망률은 지난 몇 십년 동안 큰 변동없이 비교적 일정한 수준을 유지하고 있다.

FMVSS 302는 유사한 목적을 가진 다른 규격의 내용도 반영하고 있으므로 사실상 국제적인 규격임을 인지하는 것이 중요하다. ISO 3795, BS AU 169(영국), ST18-502(프랑스), DIN 75200(독일), JIS D 1201(일본), SAE J369(자동차 업계), 플라스틱 재료의 가연성을 다루는 ASTM-D 규격의 시험방법이 적용된 법규가 현재 여러 국가에서 광범위하게 시행되고 있다.

FMVSS 302 규격은 차량 화재 특히 성냥 또는 담배와 같은 점화원으로부터 발생하는 자동차 내부 화재일 때, 재료의 가연성 측면에서 탑승자 상해 및 사망을 줄이는 것이 목적이었다. 또한 그 대상은 자동차나 탑승자를 제외한 조립 부품에 한정하여 요구사항을 상술하고 있는데, 미국 국가도로 교통안전국(NHTSA) 규격인 점을 고려할 때 예외적이라고 할 수 있다. FMVSS 302 규격이 적용되기 시작한 당시에 Goldsmith는 차량 화재의 30~40%가 자동차 내부(승객칸 및 트렁크)에서 발생한다는 사실을 통계적으로 증명하였다. 그러

나, 지난 수 십년 동안 충돌시 생존 확률과 연료탱크 내화성능이 향상됨으로써 가연물 양이 9kg/차량 1대(1960년)에서 90kg/차량 1대(1996년)로 약 10배 이상 증가했음에도 불구하고 자동차 내부 화재 발생비율은 10% 미만으로 감소하였다. 현재 플라스틱 가연성 부품은 일반 차량의 주요 화재하중(휘발유 중량 및 열함량의 2배)이기 때문에 자동차 화재에서 최초 발화 물질이 될 확률이 가장 높다. 실제로 생존 확률이 높은 차량 충돌사고인 경우에도 플라스틱 가연물의 발화 및 연소로 인하여 수많은 사망자가 발생하고 있다.

FMVSS 302는 10 cm × 36 cm인 시편의 양쪽 모서리를 고정하고 분젠 버너 불꽃 위에 수평하게 매달아 놓고 하부에서 점화하도록 시험방법을 정해놓고 있다([그림 1] 참조).



[그림 1] Schematic of FMVSS 302 fire test

이 때 시편의 수평방향 연소속도는 102mm/min을 초과하지 않아야 한다.

미국 교통부 산하 국가도로 교통안전국(NHTSA)에서는 일정한 주기로 FMVSS 302 규격의 적합성을 검토함으로써, 연방규정집 571절 49장의 연방 자동차 규격을 고찰하고 있다.

1910년대 당시 적용되고 있었던 철도 차량에 대한 연방지침이 30년 동안 개정되지 않아서 자동차 내장재의 화재 안전성 평가에 부적합하다고 판단한 미국 연방 교통안전위원회(NTSB)는, 모든 교통수단에 적용 가능한 내장재 내화성능 규격을 교통국에서 검토 및 제정할 것을 건의하였다.

자동차에 이용되는 가연성 내장재 문제는 1995년부터 세부적으로 검토되었는데, 교통국과 GM사는 협정을 맺어 미국 연방 교통안전위원회(NTSB)가 주도하는 조사에 참여하였으며 GM C/K 픽업 트럭 화재와 관련해서 막연하게 추정되었던 결점에 대하여 연구하였다.

미국 연방 교통안전위원회(NTSB)는 연료시스템 보호 차원에서 FMVSS 301 규격을 보편·타당하도록 개정하고자 했으며 GM사는 이 사업을 지원하기로 교통국과 합의하였다. GM사는 문제점이 제기된 C/K 픽업 트럭을 리콜하는 대신에 5년에 걸쳐 자동차 안전 분야에 5,100만 달러를 투자하기로 결정하였다. 특히 투자 금액 중 1,000만 달러 및 자동차 안전연구원에서 지원한 400만 달러는 충돌 화재 분야 안전기술 연구에 투입되었다.

GM사, 미국 국립표준기술원, FM Global은 1996년 11월 13일부터 2000년 2월 23일까지 공동 연구를 진행하였는데, 충돌사고 이력이 있는 최근 차량 모델에 대한 화재시험을 11회 수행하여 충돌 후 탑승자의 생존 가능성에 화재가 미치는 영향을 고찰하였다. 1,340만 달러의 비용이 소요

된 이 연구과제의 시험결과를 비롯한 성과물은 FM Global의 주도하에 자동차 안전연구원에서 발행되는 3권의 보고서로 정리되었다.

3. 최근의 연구결과

상기 기술한 바와 같이 GM사가 수행한 시험결과를 분석하여, 충돌 후 차량 화재 발생시 내장재 등 자동차 구성부품이 탑승자 생존 가능성에 미치는 영향을 규명하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

전방충돌로 엔진룸 화재가 발생한 경우, 화염이 차량 내부로 확산되는데 걸리는 시간은 10~20분이다. 일단 화염이 승객칸으로 번지게 되면, FMVSS 302 규격에서 예측하는 시간보다 몇 배 빠른 속도로 전파되어 1~3분 사이에 탑승자는 사망에 이르게 된다. 탑승자 사망시간을 추정하려면 우선 자동차 화재시험을 통해서 플래시오버 조건을 측정하고, 이 때 내장재의 연소면적 증가율을 파악해야 한다. 차량 화재시험에서 선형 전파속도 R(in m/s)을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$R = (Q/HRR)^{1/2} t_{fl}^{-1} \quad (1)$$

※자동차 내부의 평균 열방출률(HRR)⁴⁾: 플래시오버 조건일 때 Q는 400임.

t_{fl} : 승객칸으로 화염이 확산되어 플래시오버에 도달하는 시간을 의미.

자동차 내장재 35 종류의 최대 열방출률 평균 값은 430kW/m²로 알려져 있음.

후방충돌로 인한 휘발유 풀 파이어⁵⁾일 때, 화염은 2분 안에 개구부를 통하여 차량 내부로 확산되며, 확산된 화염은 내장재로 급속하게 전파되는데 FMVSS 302 규격의 예상값보다 약 10배 빠르다. 또한 일단 화염이 승객칸으로 침투하게 되면 열, 연소, 독성가스의 시너지 효과로 인하여 모든 탑승자는 약 2분 안에 사망하게 될 것이다.

전방충돌이 아닌, 즉 측면이나 후방충돌인 경우 차량 내부에서 탑승자가 생존할 수 있는 시간은 소방서, 경찰서 같은 화재사고 처리 기관의 대응 시간인 10~15분보다 훨씬 짧은 편이다. 여기서 대응시간이란, 화재사고 접수시 사고현장에 도착해서 차량 안에 갇혀있거나 움직일 수 없는 탑승자 구조 활동을 시작할 때까지 걸리는 시간을 의미한다. 자동차 화재에서 흔히 볼 수 있는 급격한 화염 전파현상은 화염이 전방위로 퍼지면서 생성된 복사열로 플라스틱을 용융시킬 가능성이 높기 때문에 인명사고 발생의 주요 원인이 되고 있다. 1997년 미국 연방 교통안전위원회(NTSB)의 권고에 따라 미국 국가도로 교통안전국(NHTSA), GM사, 자동차 안전연구원, 미국 방화협회(NFPA) 연구재단에서는 운행 중인 자동차의 부품 내화성능을 연구하여 내화등급 평가방법을 개발하고, 충돌 후 차량 화재의 탑승자 생존 가능성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 기준을 정립하였다. 이러한 일련의 연구사업 결과, 아래와 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 현행 화재시험 방법을 이용하여 자동차 부품의 발화 위험성 및 화재거동을 원하는 수준의 오차범위까지 정량화 할 수 있다.
- (2) 자동차 구성 부품의 내화성능을 정량화하는 시험을 통해서 실제 충돌 후 차량 화재가 발생했을 때 충분한 탈출시간을 확보하기 위한 허용 범위를 정립할 수 있다.
- (3) FMVSS 302 규격을 만족한 자동차 플라스틱 부품이더라도 상용 플라스틱 수지와 비교해 보면, 충돌 후 화재 발생시 차량 탑승자 보호 기능이 거의 없으며 발화 위험성은 비행기 객실 내장재보다 훨씬 높다.

4. 플래시오버 도달 시간

자동차 화재시 발생하는 화염을 상향화염, 난류 화염, 또는 상향으로 확산되는 난류화염이라고 가정하면, 화염 확산속도는 $HRR^{2/3}$ 에 비례하며 아래와 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$R \propto HRR^{2/3} \quad (2)$$

t_{fl} : 플래시오버 도달 시간 또는 탑승자 생존을 위해 필요한 시간

Q: 플래시오버 상태일 때 열방출률(HRR)

이 때 t_{fl} 은 $Q^{1/2}$ 에 비례하고, $HRR^{1/6}$ 에 반비례한다.

$$t_{fl} \propto Q^{1/2} / HRR^{1/6} \propto Q^{1/2} / HRR \quad (3)$$

역주 4) 열방출률(속도): Heat release rate [HRR]

1) 연소에 의해서 열에너지가 발생하는 속도

2) 시간의 함수로서 표현된 주어진 화재시나리오 조건하에서 방출되는 에너지

역주 5) 풀 파이어 [pool fire]: 가연성·인화성 액체, 용융고체의 용탕에서 발생하는 화재

이 계산식에 의하면, 플래시오버 도달시간이 부품 재료의 열방출률에 반비례하므로, 상업용 항공기 객실에서 진행된 실제 조건의 시험 결과와 일치하게 된다.

플래시오버 상태일 때 자동차 엔진룸과 승객칸의 열방출률은 서로 다르지만, 현재 통용되고 있는 계산식에서는 동일하다고 가정하고 있다. 각 구획된 공간(엔진룸, 승객칸)에서 $HRR_0, t_{fl,0}$ 인 차량을 기준으로 할 때 플래시오버 도달시간이 증가한다면, 아래와 같은 수식으로 표현될 수 있다.

$$t_{fl}/t_{fl,0} = HRR_0/HRR \quad (4)$$

만약에 전방충돌 후 엔진룸과 승객칸에서 각각 10~15분, 2분 동안 화재가 성장하여 피난하기 어려운 상황이 된다고 가정하면, 플래시오버 도달시간이 10분 증가하게 된다.

$$\begin{aligned} HRR/HRR_0 = t_{fl,0}/t_{fl} &= \{(10 \sim 15min) + 2min\} / \\ &\{(10 \sim 15min) + 2min + 10min\} \\ &\approx 1/2 \end{aligned}$$

즉, 전방충돌 화재일 때 탈출시간을 10분 늘리기 위해서는 엔진룸 및 내장재 열방출률을 기존 사용 부품 대비 약 1/2정도로 감소시켜야 한다.

화염이 2분 안에 내장재로 확산되고, 플래시오버 도달시간이 2분인 후방 및 측면 충돌 또는 전복사고일 때 동일한 방식으로 계산해 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} HRR/HRR_0 = t_{fl,0}/t_{fl} &= (2min + 2min) / \\ &(2min + 2min + 10min) \approx 1/4 \end{aligned}$$

즉, 후방 및 측면충돌 또는 전복사고인 경우 탈출시간을 10분 늘리기 위해서는, 엔진룸 및 플라스틱 내장재의 열방출률을 1/4로 감소시켜야 한다.

5. 토의

최근의 연구성과를 종합해 보면, 소비자 품목 중에서 가연성 제품과 관련하여 미국 국가도로 교통안전국(NHTSA)에서 제시한 화재안전규격의 타당성과 유효성에 의문이 제기되고 있다. 내충격 성능이 향상되어 충돌 자체에 의한 사망률은 감소했지만, 충돌로 야기된 화재로 탑승자 사망사고가 발생한다는 점이 예전과 달라진 자동차 화재의 본질적인 특징이라고 할 수 있다. 게다가 예전에는 휘발유가 가장 큰 화재하중이었지만, 최근에는 플라스틱 부품이 그 자리를 대신하고 있다는 점도 과거의 자동차 화재와 차별화되는 부분이다.

결과적으로, FMVSS 302 자동차 화재 규격은 현재 운행 중인 차량의 화재시나리오를 제대로 설명할 수 없으며, 그 이유는 다음과 같다.

- (1) 차량 화재 원인의 약 95%, 차량 화재 사망 원인의 약 92%는 승용차 화재인 것으로 보고되고 있다. 그런데 승용차 화재는 담뱃불 같은 작은 불씨에 의한 내장재 발화가 아니라, 주로 충돌 때문에 발생하고 있다.
- (2) 차량 내장재인 플라스틱 가연성 부품, 천, 발포재 등이 설치되어 있는 면적은 보통 20 m² 정도이지만, FMVSS 302에서 기술된 것

처럼 수평으로 설치되어 위로 향하고 있는 내장재가 차지하는 면적은 1/3 미만이다. 실제로 대다수의 가연성 자동차 내장재는 수직으로 설치되어 있거나 천장 마감재로 사용되고 있다. 만약 소량의 용융 플라스틱에 불이 붙게 되면 부력 효과와 인접한 표면에서 생기는 발화 현상으로 인하여 화염 확산 속도는, 수평으로 설치되어 위로 향하고 있는 내장재보다 훨씬 빨라지게 된다.

- (3) 승객칸과 관계 없는 플라스틱 부품(예, 엔진룸 및 차체 패널)은 내장재와 비슷한 화재하중 및 위험성을 지니고 있지만, 화재시험 합격여부를 의무사항으로 정하지 않고 있다. 물론 승객칸 내장재조차도 모두 화재시험을 통과해야 하는 것은 아니다.
- (4) 복사열이 생성되는 차량 화재에서, 가연물로 전이된 화염은 매우 빠른 속도로 진행되지만 현행 규격에서 제시하고 있는 시험에서는 고려하지 않고 있다.
- (5) 실제 조건에서 표준 재료의 성능을 확인하지 않고, FMVSS 302의 표준 재료 화염시험을 이용하여 차량 화재의 거동을 예측하는 것은 불가능하다.

6. 결론

차량의 화재 안전성은 탑승자의 한계를 고려하되 차량 시스템이 확보해야 할 성능 수준은 최소화하는 방향으로 검증되어야 한다. 특히 관련 법규에서는 차량 화재사고의 위험성 및 변화되는 특

성을 집중적으로 조명하여 충돌 후 화재 발생시 대피 또는 구조 시간을 충분하게 확보할 수 있도록 내화성능 요건을 정립해야 한다. 또한 법규에 부속되는 규격들을 제정하여 화재, 열(열방출은 화재위험도분석에서 가장 중요한 인자), 연기독성 가스(특히 일산화탄소) 등이 탑승자 한계 범위에 미치는 영향을 분석해야 한다. 또한 충돌 후 생존 가능성을 높이기 위해서는, 탑승자의 탈출이 어렵거나 움직일 수 없는 상황에서 구조대원이 도착할 때까지 살아남을 수 있도록 주변 여건을 확보해야 한다.

비상 구조활동 사례를 분석해 보면, 사고 발생 후 구조대원이 현장에 도착할 때까지 걸리는 시간은 10~15분이다. 여기에 구조대원이 구조 활동(예, 파손된 사고차량에 구멍을 내어 사람을 구출하는 작업)을 시작하는데 추가로 필요한 시간이 5~10분이다. 따라서 현실적으로 불 때 전방, 측면, 후방충돌 후 탑승자 생존에 필요한 시간은 최소 15~20분이다.

실제 조건에서 수행되었던 차량 화재시험의 기존 데이터를 분석해 볼 때, 화재발생시 필요한 자동차 내화성능은 다음과 같은 방법으로 구현될 수 있다.

FMVSS 규격의 전방, 측면, 후방 충격시험을 수행했던 차량을 이용하면 실제 조건의 화재시험을 수행할 수 있다. 표준 팬(pan) 화재(헵탄을 사용하는 화재)를 발생시켜 엔진룸 및 차량 뒷부분 하부에 점화시키면, 탑승칸 내부의 승객 머리 높이에서 피난이 어려운 상황에 도달하는 시간을 측정할 수 있다. 충돌 후 화재 발생시 15~20분의 탈출시간을 확보하기 위한 시스템 변경, 난연재 사

용 등 여러 대응방안이 실제 조건의 화재시험을 통해서 검증되었으며 다음 사항을 반영하고 있다.

- (1) 충돌 후 화재 발생시 화염 전파속도를 줄이기 위해서는, 엔진룸과 승객간에 내화성능이 우수한 부품을 사용해야 한다. 불꽃 연소하는 플라스틱의 열방출률을 약 400이라고 가정할 때 전방, 측면 또는 후방충돌에 의한 화재 발생시 탈출시간을 10분 더 확보하기 위해서는 상기 계산식에 의거, 열방출률을 1/2 또는 1/4로 감소시켜야 한다. 여기서 1/2에 해당하는 수치는 200으로서, 수직 분젠버너시험 및 상향으로 화염이 전파되는 UL 94V(수직불꽃시험)에서 내화 플라스틱이 자기소화 반응할 때의 값에 해당한다. 현재 사용되고 있는 자동차 플라스틱 부품의 열방출률을 100까지 줄일 수 있다면, 항공기 객실 내장재의 내화성능과 비슷한 수준이 될 것이다.
- (2) 엔진과 승객칸 사이에 있는 격벽, 개구부, 전선관을 내화처리하면 엔진룸에서 승객칸으로 화재가 확산되는 시간을 지연시킬 수 있다.
표준 시간-온도곡선에 따라 내화등급을 분류한 난연재 또는 관통부 밀봉재, 엔진룸 방화용 모포, 화재진압 및 방지 설비를 이용하는 것도 화재확산 시간을 지연시킬 수 있는 방법 중의 하나이다.
- (3) 차량 하부의 유류화재가 승객칸으로 확산되는 것을 지연시키려면 차체의 내충격성능과 연료탱크의 내화 및 내충격성능을 강화하

고, 방화 섬유, 화재진압설비 등을 이용해야 한다.

요약하여 부언하자면 자동차는 화재로 인한 인명피해를 야기하는 주요 소비자 제품군 중의 하나인데, 그 이유는 지난 수 십 년 동안 관련 법규가 별로 개정되지 않은 것에 비하여 차량 화재의 메카니즘은 상대적으로 많이 변화했기 때문이다. 내충격성능이 향상되고, 경량 플라스틱 부품의 사용 범위가 확대됨에 따라 충돌 후 발생하는 화재 때문에 인명피해 사고가 증가하고 있으며, 승객칸의 급격한 화재 확산현상이 주요 사망 원인으로 대두되고 있다. 그러나, 자동차 업계는 기타 대중교통 및 건설부문과 달리, 최근에 개발된 화재시험 방법, 방화재료, 방화설비를 도입하지 않고 있다.

따라서 관련 법규를 적절히 보완하여 이러한 신기술을 도입하게 된다면 자동차 화재 사망률을 줄일 수 있을 것이다. 또한 자동차 화재로 인한 사망자 수는 자동차 관련 사망자의 약 4%에 해당되는 작은 비율이므로, 화재로 인한 인명사고 문제는 투자 대비 수익 분석, 제품 수명 및 환경영향 평가를 통해서 신중하게 접근해야 할 것이다. **FILK**