

연구논문 >>> chapter 3

자동차용 플라스틱 연료탱크의 내화성능평가

방재설비부 연구원 / 공학박사 곽지현

1. 도입

기계공학의 꽃이자 문명의 이기 중 대표선수격인 자동차는 한시도 떨어질 수 없는 생활필수품으로 자리 잡은 지 오래다. 날이 갈수록 새로운 기술이 적용되어 세계 4대 모터쇼 등을 통해 우리는 더욱 편리하고 안락하며 성능이 우수한 자동차들을 만나고 있다. 21세기의 자동차는 과거에 비해 그 어느 항목보다도 안전성이 강조되고 있으며, 충돌이나 전복사고에 대한 안전성능시험과 더불어 이로 인한 화재발생에 대비한 내화성능시험 등이 실시되고 있다.

자동차에서 화재 발생시 가장 위험한 요소는 바로 인화성 가연물을 담고 있는 연료탱크이다. 연료탱크에서 연료가 누설되면 화재가 크게 확산될 수 있으며, 탱크가 가열되어 내부압력이 증가하면 폭발의 위험성도 가지게 된다. 영화나 TV에서 흔히 자동차가 폭발하는 경우를 자주 목격하게 되는데 이는 바로 연료탱크가 폭발하는 것이다.

지금껏 연료탱크는 안전성 확보를 위해 철재로 만들어진 것을 주로 사용하여 왔으나 최근 플라스틱 기술의 발전과 더불어 자동차용 연료탱크에도 혁신이 일어나게 되었다. 바로 더욱 가벼우면서도 내화성능을 보유한 플라스틱 연료탱크가 등장하게 된 것이다.

이 플라스틱 연료탱크는 가격도 저렴하며 경량이라 1킬로그램 단위로 무게를 줄여 연비를 향상시켜 보려는 자동차 제조사들에게 희소식 이었다. 문제는 안전성이었는데 충격에 강하며 화재에 노출되어도 일정한 내화성능을 가지는 연료탱크가 개발되자 세계의 우수한 자동차 메이커들은 일부 차량 모델에 철재 대신 플라스틱 연료탱크를 장착하기 시작하였다.

플라스틱 연료탱크는 가열되어 내부 증기압력이 증가해도 2기압 정도에서 벤팅 부분이 터지기 때문에 폭발사고를 방지할 수 있는 장점도 있다. 문제는 플라스틱 연료탱크 제조사들이 자신들의 연료탱크의 내화성능을 증명해줄 수 있는 방법이 필요하였으며, 완성차 제조사들 또한 이러한 성능이 보장되는 연료탱크를 납품 받고자 하였으므로 EEC(European Economic Community)에서 제정한 연료탱크의 시험기준을 적용하여 그 성능을 검증하였다.

지금은 세계적인 자동차 강국인 일본에서도 NISSAN 자동차 등을 중심으로 이러한 내화시험을 통한 플라스틱 연료탱크를 적용하고 있으며, 유럽에 자동차를 수출하기 위해서는 독일의 세계적인 인증기관인 TÜV Rheinland에서 인증을 받은 연료탱크를 장착하여야 가능한 만큼 세계적인 추세가 되었다.

이 글에서는 이러한 자동차용 플라스틱 연료탱크

의 내화성능 평가를 위한 시험기준과 시험절차 등을 자세히 살펴보고, 그 동안 본 연구원에서 수행된 몇 가지 연료탱크의 내화시험 사례를 소개하고자 한다.

2. 내화성능평가 방법

2.1 시험 기준

현재 자동차 연료탱크의 내화성능을 확인하기 위해 통용되고 있는 시험기준은 EEC에서 제정한「EEC Directive 70/221/EEC Fuel tanks and rear underrun protection, Issue 1(2002.8)」중 6.3.5절로「Resistance to fire」부분이며, 이 기준에는 내화시험을 위한 자세한 시험절차가 설명되어 있다. 또한 이 기준의「Appendix 2 Dimensions and technical data of fire bricks」에는 간접가열시 사용하는 스크린 벽돌의 사양이 상술되어 있으며, 내화시험시 연료탱크 안에 주입하는 연료에 대해서도「98/69/EC Motor vehicle emissions, Issue 1(2000.1)」의「Annex IX Specifications of reference fuels」에 연료의 사양이 자세히 기술되어 있다.

2.2 시험장치

본 시험장치는 가솔린 연료로 2분간 자동차 플라스틱 연료탱크를 가열한 후 연료탱크의 내화 및 기밀성을 평가하는 시험장치로 연료팬, 내화스크린, 차대 이송대, 레일, 제어반 및 전동장치로 구성된다.



[그림 1] 연료탱크 내화시험장치

- (1) 연료팬
 - ① 규격 : 1800×1600
 - ② 격자크기 : 200(W)×200(L)×50(H)
 - ③ 재질 : 프레임-스틸, 격자-철판(2t)
 - ④ 특징
 - ㉠ 각 격자크기는 200×200으로 한다.
 - ㉡ 격자 벽의 높이는 50으로 한다.
- (2) 내화스크린
 - ① 규격 : 2400×1200
 - ② 재질 : 스크린-내화벽돌, 프레임-스틸
 - ③ 특징
 - ㉠ 연료팬 벽과 스크린의 간격은 20이 되도록 고정대의 높이를 조절한다.
 - ㉡ 스크린을 받치는 이송장치는 레일 위에 설치하고 기어모터와 연결하여 전동식으로 이동할 수 있도록 한다.
- (3) 차대 이송대
 - ① 규격 : 2800×2800
 - ② 재질 : 스텝
 - ③ 특징
 - ㉠ 이송대의 높이는 조절이 가능하도록 기동에 일정 간격의 구멍을 뚫어 고정할 수 있도록 한다.
 - ㉡ 이송대는 레일 위에 설치하며 정전이나 고장 등의 비상 시 수동으로 이동을 위해 밀고 당길 수 있는 연결 고리를 설치한다.
 - ㉢ 연료탱크는 자동차 새시에 부착된 채로 고정되므로 이러한 고정이 가능하도록 간격이 조절 가능한 고정장치를 둔다.
- (4) 레일
 - ① 규격
 - ㉠ H형 강 : 100(W)×100(H)×6t×8t
 - ㉡ 앵글 : 50×50×6t
 - ② 재질 : 스텝
 - ③ 특징 : 바닥 고정은 탈부착이 용이하도록 설치
- (5) 제어반 및 전동장치
 - ① 규격
 - ㉠ 제어반-박스 (600×800, 380V 제어용, 스텝)

〈표 1〉 시험장치 구성품 및 특징

항 목	용 도	특 징
연료팬	연료탱크 가열용	내화시험을 위한 화염원
내화스크린	간접가열용	규정시간 동안 화염세기 감소
차대 이송대	차대 이송	연료팬 위로 일정시간 노출
레일	스크린 및 차대 이동용	조립식으로 제작하여 탈·부착이 용이
제어반 및 전동장치	이송장치 제어	전동식 이송장치 제어

- ① 전동장치-기어모터(1 PS, AC)
- ② 기능
 - ㉔ 연료탱크와 스크린 이송대의 전동장치 제어
 - ㉕ 전동기의 과부하 사용 시 차단

2.3 시험절차

EEC Directive 70/221/EEC에 나와 있는 내화시험의 절차는 다음과 같다.

(1) 실제 차량에 부착한 것과 같은 상태로 2분간 화염에 노출되어야 한다.

(2) 연료를 채운 서로 다른 탱크에 대해 다음과 같이 3회의 시험을 실시한다.

① 만일 탱크가 가솔린 엔진이나 디젤 엔진을 갖는 차량에 설치되도록 설계되었다면 최상 등급의 가솔린을 채운 탱크에 대해 3회의 시험이 수행되어야 한다.

② 만일 탱크가 디젤 엔진을 갖는 차량에만 설치되도록 설계되었다면 디젤연료를 채운 탱크에 대해 3회의 시험이 수행되어야 한다.

③ 각각의 시험에서 탱크는 가능한 한 실제 설치상태와 유사한(Simulating) 고정틀에 설치되어야 한다. 탱크가 고정틀에 고정되는 방법은 그 차량에 대한 관련 사양서에 부합되어야 한다. 탱크와 부속품들을 화염으로부터 보호하는 차량부품들(탱크와 플러그에 설치된 특별한 요소들뿐만 아니라) 또는 화염의 경로에 어떠한 식으로든 영향을 미치는 차량부품들이 고려되어야 한다. 시험기간 동안 모든 개구부는 막혀야 하지만 배출 시스템은 작동상태를 유지하여

야 한다. 시험 직전에 탱크용량의 50%를 지정된 연료로 채워야 한다.

(3) 탱크에 가해지는 화염은 팬에서 가솔린 엔진에 사용되는 상업용 연료(이하 연료라 한다)를 연소시킴으로써 얻어진다. 팬에 넣는 연료의 양은 자유연소 상태에서 전 시험과정 동안 충분히 연소시킬 수 있는 양이어야 한다.

(4) 팬의 크기는 탱크의 옆면이 화염에 노출되도록 선정되어야 한다. 따라서 탱크의 수평투영길이를 최소한 20cm 이상 초과하고 50cm 미만의 크기로 한다. 팬의 옆면은 시험시작 시 연료의 수위 보다 8cm 이상 높지 않아야 한다.

(5) 연료를 채운 팬은 팬 내의 연료 면과 탱크 바닥 사이의 거리가 탱크에 연료가 없는 상태에서 도로면 위의 탱크 설계높이와 같도록 설치한다.(Section 2.3 참조) 팬이나 시험장치 또는 두 가지 모두는 이동이 가능하여야 한다.

(6) 시험 중 C단계 동안 연료 면으로부터 3±1cm 높이에 스크린이 놓여야 한다. 스크린은 Appendix 2에서 기술된 것과 같이 내열성 있는 재료로 만들어져야 한다. 벽돌사이에 간격은 없어야 하며 벽돌에 있는 구멍이 방해받지 않도록 팬 위에 설치되어야 한다. 프레임의 폭과 길이는 프레임과 팬 사이에 통기가 가능하도록 1~2cm의 간격을 위하여 팬의 내부 크기보다 2~4cm 더 작아야 한다.

(7) 시험이 개방된 곳에서 수행될 때 충분한 바람막이 장치가 있어야 하며 연료팬 높이에서 풍속은 2.5km/h(약 0.7m/sec)를 초과하지 않아야 한다. 시험 전에 스크린의 온도는 308±5K(35±5℃)로 가열

되어야 한다. 벽돌은 각각의 연속적인 시험에서 같은 시험조건을 보장하기 위하여 적셔질 수 있다.

(8) 시험은 4단계로 구성된다.

① A 단계 : 예열

팬의 연료는 시험되는 탱크로부터 최소 3m의 거리에서 점화되어야 한다. 60초의 예열 후 팬은 탱크 아래 놓여야 한다.

② B 단계 : 화염에 직접노출

60초 동안 탱크는 자유로이 타고 있는 연료의 화염에 노출되어야 한다.

③ C 단계 : 화염에 간접노출

B단계 완료 직후 스크린은 타고 있는 연료팬과 탱크 사이에 놓여져야 한다. 탱크는 이 약해진 화염

에 60초간 노출되어야 한다.

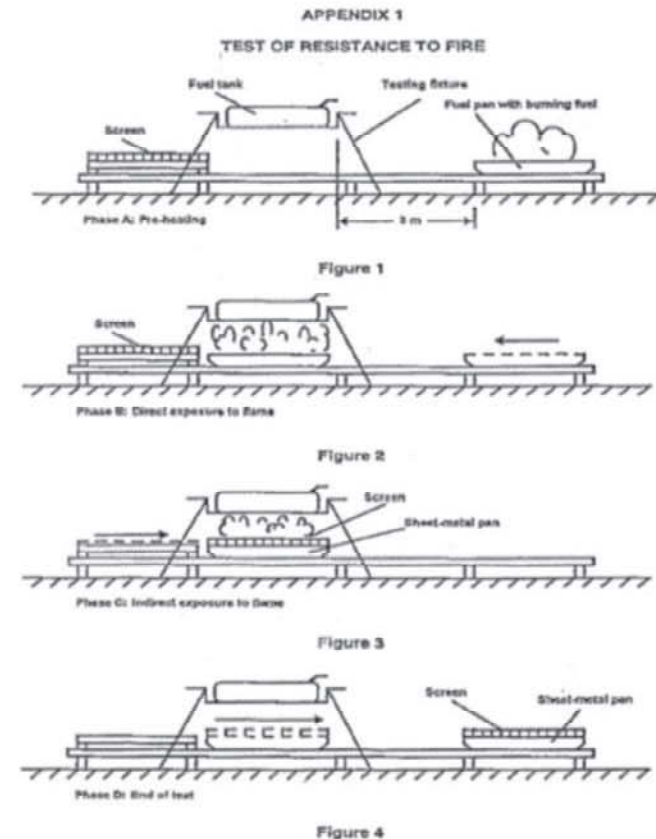
④ D 단계 : 시험 종료

스크린 아래에서 타고 있는 연료 팬은 원래 위치(A단계)로 옮겨져야 한다. 만일 시험 종료 시 탱크가 타고 있다면 즉시 소화되어야 한다.

그림 2는 시험방법에 대한 이해를 돕기 위한 각 4 단계에 해당하는 개략도이다.

한편 C 단계의 간접 가열시 사용되는 내화스크린의 사양과 그림은 다음과 같다.

표 3은 본 연료탱크 내화시험시 탱크 내에 주입하는 연료 즉, 휘발유와 경유에 대해 「98/69/EC Motor vehicle emissions, Issue 1(2000.1)」의 「Annex IX Specifications of reference fuels」에



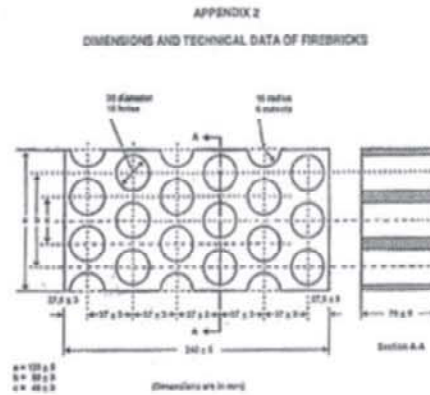
[그림 2] 각 단계별 내화시험

서 규정하는 사양을 나타낸 것이다.

휘발유는 무연휘발유를 사용하며 옥탄가가 95 이상인 것을 요구하고 있으며, 상온(15℃)에서의 밀도

〈표 2〉 내화스크린의 사양

항 목	사 양
내화성능등급 (Segger cone 온도표)	SK 30
알루미나(Al ₂ O ₃) 함유율 (%)	30 ~ 33
공극율 (%)	20 ~ 22
밀도 (kg/m ³)	1900 ~ 2000
개구율 (%)	44.18



〔그림 3〕 내화 스크린 벽돌

〈표 3〉 시험용 연료의 사양

휘 발 유		경 유	
항 목	98/69/EC 기준	항 목	98/69/EC 기준
밀도 (g/cm ³)	0.748 ~ 0.762	밀도 (g/cm ³)	0.833 ~ 0.837
증기압 (kPa)	56 ~ 60	세탄가	52 ~ 54
옥탄가	95 이상	증류성상 (℃) -50% 유출온도 -95% 유출온도	245 이상 345 ~ 350
증류성상 (℃) -초류점 -종말점 -잔류량(%부피)	24 ~ 40 190 ~ 215 2.0 이하	인화점 (℃)	55 이상
방향족 화합물 (%부피)	28 ~ 40	저온필터막힘점 (℃)	-5 이하
올레핀 (%부피)	10 이하	동점도 (at 40℃)	2.5 ~ 3.5
벤젠 (%부피)	1.0 이하	전산가	0.02 이하
산소 함량 (%무게)	2.3 이하	황분 (%무게)	0.03 이하
산화안정도 (min)	480 이상	동판부식 (at 100℃)	1 이하
황분 (ppm)	100 이하	10% 잔유중 잔류탄소	0.2 이하
납 함량 (g/l)	0.005 이하	회분 (%무게)	0.01 이하
인 함량 (g/l)	0.0013 이하		
동판부식 (at 50℃)	1 이하		
세척현존검 (mg/100ml)	4 이하		

〈표 4〉 시험용 연료의 분석결과

휘 발 유			경 유		
항 목	시험결과	비 고	항 목	시험결과	비 고
밀도 (g/cm ³)	0.7534	적합	밀도 (g/cm ³)	0.829	약간 부족
증기압 (kPa)	65.6	약간 초과	세탄가	52.7	적합
옥탄가	98	적합	증류성상 (℃) -50% 유출온도 -95% 유출온도	250.9 90% 유출온도 : 320.6 종말점 : 350.1	적합 적합 예상
증류성상 (℃) -초류점 -종말점 -잔류량(%부피)	37 196.1 2.0	적합	인화점 (℃)	56	적합
방향족 화합물 (%부피)	28.4	적합	저온필터막힘점 (℃)	-14	적합
올레핀 (%부피)	7.1	적합	동점도 (at 40℃)	2.383	약간 부족
벤젠 (%부피)	0.6	적합	전산가	0.0156	적합
산소 함량 (%무게)	2.13	적합	황분 (%무게)	0.017	적합
산화안정도 (min)	480 이상	적합	동판부식 (at 100℃)	1	적합
황분 (ppm)	9	적합	10% 잔유중 잔류탄소	0.01	적합
납 함량 (g/l)	0.001 미만	적합	회분 (%무게)	0.002	적합
인 함량 (g/l)	0.0001 미만	적합			
동판부식 (at 50℃)	1	적합			
세척현존검 (mg/100ml)	1 미만	적합			

는 748~762kg/m³, 증기압은 56~60kPa 등의 조건을 만족해야 한다. 경유는 세탄가가 52~54, 밀도는 833~837kg/m³, 인화점은 55℃ 이상 등을 요구하고 있다. 이러한 조건들은 무척 까다로운 것으로 시험기관은 내화시험을 하기 전에 이러한 요구사항이 충족되는지 연료에 대한 성분 및 품질을 분석해 보아야 한다.

표 4는 본 연구원에서 내화시험을 수행하기 위해 구입한 연료에 대하여 한국석유품질검사소에 의뢰하여 실시한 휘발유와 경유의 분석결과를 나타낸다.

2.4 판정 기준

각기 다른 탱크로 3회의 반복시험 결과 누설이 없

으면 합격으로 한다.

3. 성능평가 사례

3.1 플라스틱 연료탱크 제조업체

현재 소형자동차용 플라스틱 연료탱크를 생산하는 업체는 INERGY Automotive사와 TI Automotive사가 있는데 이들 회사는 유럽에 본부를 둔 다국적 기업으로, 두 회사 모두 한국에 아시아 R&D 센터를 두고 있다. 이들 기업은 주로 유럽으로 수출되는 승용차와 SUV의 연료탱크를 제조하여 완성차 업체에 공급하고 있으며 완성차 제조사들로부터 앞에서 설명한 EEC 기준에 적합한 연료탱크를 장착하도록 요

구 받고 있으므로, 실제 차체에 연료탱크를 장착하여 공인시험기관에서 TUV의 입회 하에 내화성능시험을 실시하여 시험성적서를 제출하고 있다.

3.2 인증기관 및 시험기관

유럽으로 수출되는 차량의 각종 성능을 인증하는 공인기관은 앞장에서 설명한 TUV Rheinland사이며, 이 공인인증기관의 인증을 받아야 유럽으로 차량의 수출이 가능하다. 한편 전 세계에서 유럽으로 수출되는 모든 차량의 성능시험을 TUV가 직접 할 수는 없으며 멀리 떨어진 나라에서 의뢰하기엔 비용이 많이 들므로, TUV는 이 시험이 가능한 각 나라의 공인시험기관에서 EEC 기준을 만족하는 시험장치를 갖추고 TUV의 검사원이 입회하여 시험을 수행하면 그들의 공인인증을 받은 것으로 간주해주는 시험 대행 업무를 활성화 시켰다.

국내에서도 2004년부터 본 연구원에서 연료탱크 내화시험장치를 갖추고 TUV 인증시험을 대행하고 있는데 주로 유럽으로 수출하는 국내 완성차용 연료탱크나, 가까운 일본의 NISSAN, SUZUKI 등의 차량용 연료탱크의 시험을 자주 실시하고 있다.

3.3 내화성능평가 사례

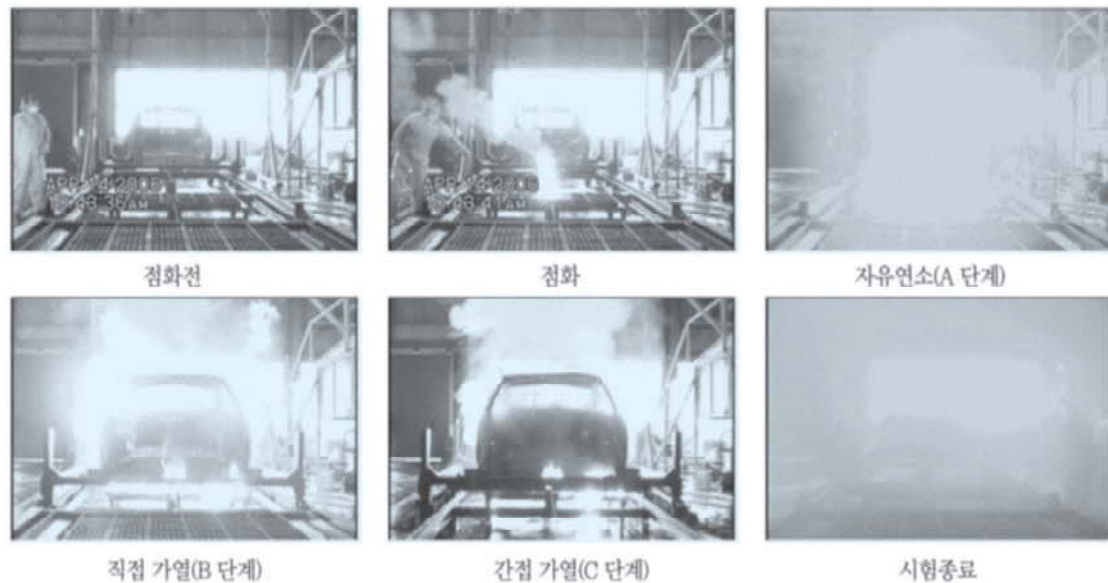
그 동안 본 연구원에서 수행했던 여러 가지 자동차용 플라스틱 연료탱크의 내화시험 가운데서 두 가지 시험사례를 소개한다.

(1) Case A

- ① 장착 차량 : 승용차
- ② 연료탱크 사양
- ③ 연료 : 휘발유
- ④ 지상고 : 179 ~ 192 mm

Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
1140	578	242
Capacity (liter)	Material	Weight(kg)
70.0	HDPE, Multilayer Coextrusion	10.5

- ⑤ 시험장면
- ⑥ 시험결과 3회 연속 연료의 누설이 없었으며 탱크의 상태도 양호하였다.



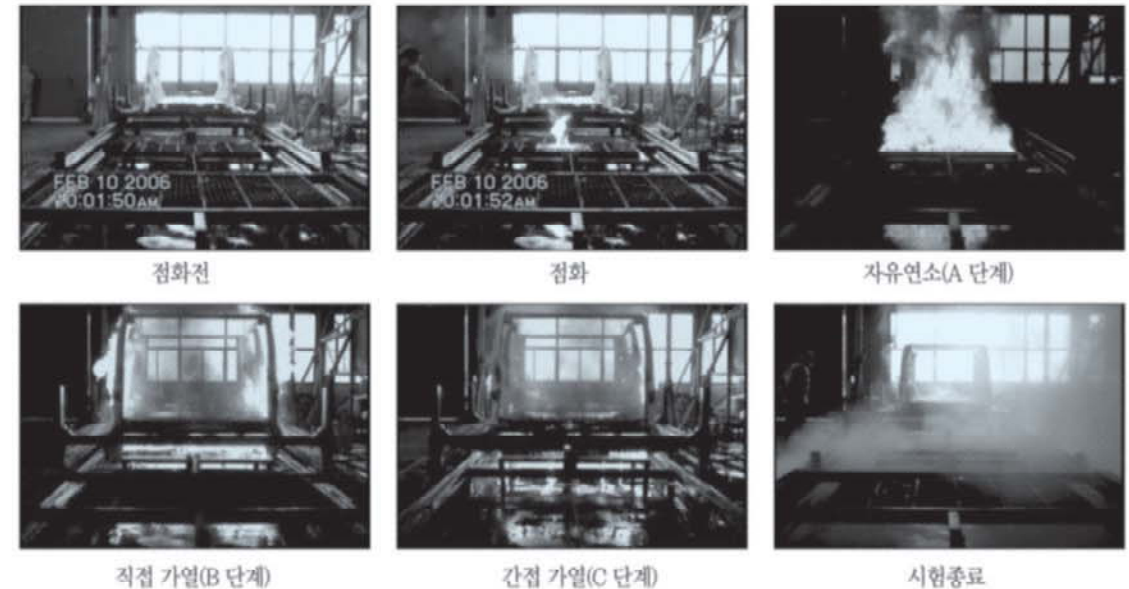
[그림 4] 각 단계별 내화시험 장면

(2) Case B

- ① 장착 차량 : SUV
- ② 연료탱크 사양
- ③ 연료 : 휘발유

Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
1180	640	270
Capacity (liter)	Material	Weight(kg)
78.5	HDPE, EVOH ADHESIVE	10.4

- ④ 지상고 : 186 mm
- ⑤ 시험장면



[그림 5] 각 단계별 내화시험 장면

- ⑥ 시험결과 3회 연속 연료의 누설이 없었고 탱크의 상태도 양호하였다.

4. 맺음말

이상에서 자동차용 플라스틱 연료탱크의 내화성능평가 방법과 사례에 대해 자세하게 살펴보았다. 현재까지 본 원에서 수행된 여러 시험결과에 의하면 약 80%의 합격률을 나타내고 있는데 이는 국내 플라스틱 연료탱크 제조사들의 수준이 상당히 높게 올라와 있음을 나타내는 것이다. 그러나 현재 국내에서 생산되는 승용차나 SUV의 연료탱크 중 플라스틱의 비율은 아직 20~30% 대에 머물러 있다. 철재에 비해 장점이 많고 안전성도 우수한 플라스틱 연료탱크의 보급이 플라스틱 기술의 발전과 더불어 앞으로 더욱 촉진되기를 기대해본다. **FILK**