

연료전지자동차의 고압수소저장시스템 신뢰성 평가

장 규진¹⁾, 최 영민²⁾, 안 병기³⁾, 임 태원⁴⁾

The Evaluation of Reliability for the High pressure hydrogen Storage System of Fuel Cell Vehicle

Gyujin Jang, Youngmin Choi, Byungki Ahn, Taewon Lim

Key words : High Pressure Hydrogen Storage System(고압수소저장시스템), Vibration Durability Test(진동내구시험), Sled Impact Test(대차충격시험), Vehicle Rear Clash Test(실차후방충돌시험)

Abstract : We have concentrated on the performance improvement of each part for durability, safety and cost of high pressure storage system for fuel cell vehicle so far. But for the mass production of fuel cell vehicle, it is necessary to evaluate durability and safety in system module. We built the standard to evaluate vibration and collision safety of high pressure storage system for fuel cell vehicle, and could verify reliability of high pressure storage system.

Nomenclature

g : acceleration of gravity, 9.8 m/s²

subscrip

MAST : multi-axial simulation table

진동시험기에 시험 샘플을 설치한 것과 이와 관련한 시험 절차를 보여준다. 시험 전·후에 수소를 용기에 350 bar로 기밀성을 평가하고, 시험중에는 헬륨을 30 bar로 채워서 기밀성을 확인한다. 기타 시험방법은 “Test Procedure For Fuel Gas Container (TRIAS 7-1996)에 준하여 시험하였다.

1. 서론

연료전지 자동차는 차량이나 부품의 시험 방법에 통일된 기준/표준/시험법이 아직 완전하게 정비되어 있지 않고, 시장에서의 도입 제도, 기준 등이 정비되어 있지 않다. 그러나 궁극적으로 연료전지 차량이 양산화 시점에서 경쟁력을 갖기 위해서는 각 부품들이 모듈화 되어 있는 상태에서의 내구성 및 안전성의 평가가 필요하다.

2. 본론

2.1 진동 내구 시험

2.1.1 진동내구시험기 개요 및 시험절차

Fig.1과 Fig.2는 본 시험에 사용한 MTS Multi-Axial Simulation Table(MAST, MST사의 6-축 자유

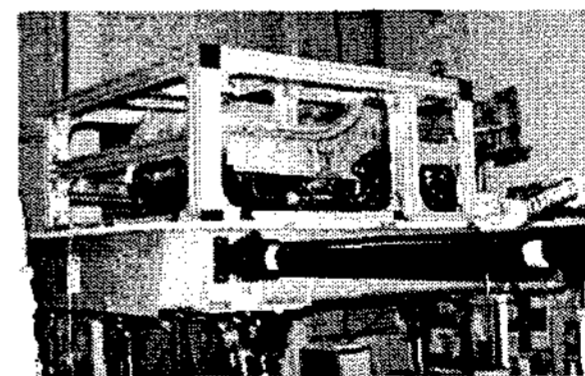


Fig. 1 Test Sample & JIG on MAST

- 1) 현대기아자동차 연구개발총괄본부
E-mail : ejang@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3223 Fax : (031)899-3331
- 2) 현대기아자동차 연구개발총괄본부
E-mail : hsmile@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3139 Fax : (031)899-3331
- 3) 현대기아자동차 연구개발총괄본부
E-mail : b.k.ahn@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3230 Fax : (031)899-3331
- 4) 현대기아자동차 연구개발총괄본부
E-mail : twlim@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3200 Fax : (031)899-3332

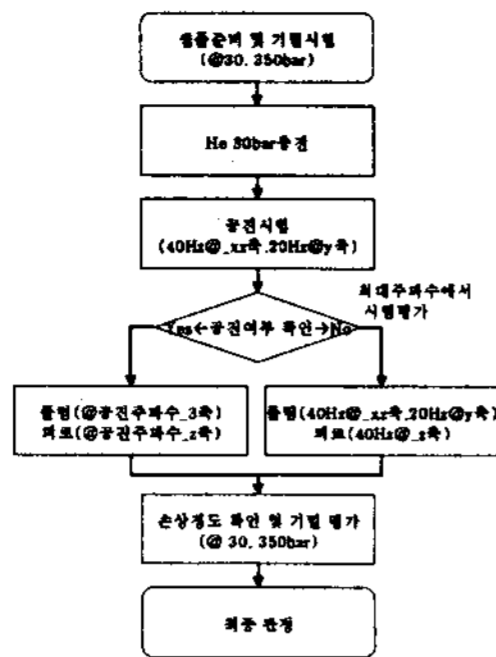
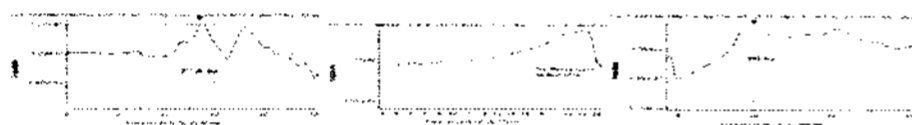


Fig. 2 Flow Chart of Vibration Durability Testing Procedure

2.1.2 진동내구시험

Fig.3는 차량의 주파수에 따라 공진하는 고압 수소저장시스템의 특정 주파수 확인한 시험 결과이다. 상하진동의 공진주파수는 상하 : 27.5Hz, 좌우 : 20Hz, 전후 : 21.6Hz로 40Hz미만의 영역 내에서 형성되었음을 보여준다.



(a) Vertical (b) Transverse (c) Longitudinal
Fig. 3 The Result of Resonance Test

Fig.4는 고압수소저장시스템을 확인된 공진주파수에서 상하/전후/좌우 각 세 방향으로 40만회, 그리고 가속도는 4.9 m/s² (0.5g)로 마운팅디바이스(볼트 및 피팅 등)의 플립 정도를 확인하는 플립 시험을 진행한 후, 다시 Table.1의 피로시험 가진 프로파일로 상하방향 가진을 진행시켜 차체에 고정되는 부위의 강도를 확인한다. Fig.4는 시험후 샘플에 대한 점검 결과를 보여주는 사진이다. 또한 시험전 체결부의 볼트 및 피팅의 위치를 유성 펜으로 표시하여, 시험 후 플립에 따른 표시선의 어긋난 정도를 확인하였다. Fig.4 에서 보여주는 바와 같이, 시험 전후 표시선이 전혀 변함이 없어, 볼트 및 피팅이 전혀 풀리지 않았음을 확인할 수 있었다. Table.2는 고압수소저장시스템의 진동내구시험 판정 결과를 나타낸 것이다.

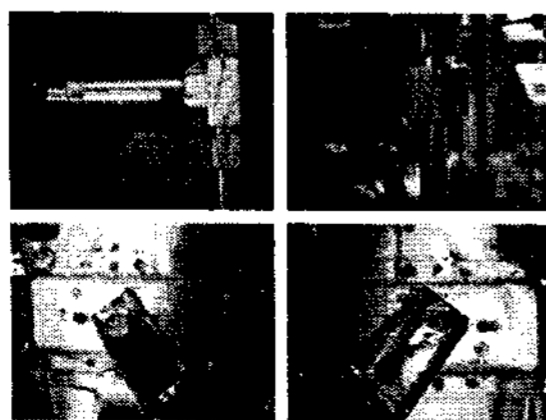


Fig. 4 Inspection of Test Sample after Vibration Durability Test

Table 1 The Fatigue Test Program

가진순서	가속도, m/s ² (g)	반복속도
1	±19.6 (±2g)	1,000
2	±14.7 (±1.5g)	9,000
3	±9.8 (±1g)	90,000
4	±5.9 (±0.6g)	2,900,000

Table 2 The Result of Vibration Durability Test

No	점검 항목	결과
1	공진주파수 확인	Fig.3에 표시
2	플립 시험후 플립, 손상 여부	없음
3	피로 시험후 플립, 손상 여부	없음

2.2 충돌 시험

자동차제작사에서는 차량 운행 중에 벌어지는 각종 충돌로부터 승객을 보호하기 위하여 북미의 FMVSS(Federal Motor Vehicle Safety Standard)와 같은 법적 규정에 따른 시험을 수행하고, 생산되는 모든 승용 차량에 대해 만족하도록 설계 및 제작을 하고 있다. 이중 연료장치의 충돌 안전성과 관련된 북미 후방충돌법규(FMVSS 301)는 후방 충돌에 의한 연료계의 파손에 따른 연료누출로 인한 화재사고 방지를 목적으로 제정되었다. 한편, 최근 자동차제조사에서는 충격량이 후방 충돌 시 보다도 큰 전방충돌에서 충돌시 발생하는 관성력 또는 에너지가 연료장치에 작용함으로써 연료장치의 연료가 누출이 되는 지를 자체적으로 평가하는 경향이 있다. 따라서, 본 연구에서는 차량용 고압 수소 저장 시스템이 차량의 후방에 장착되기 때문에 전방충돌의 경우에는, 시스템 변형이 크지 않고 관성에 의한 충격량 만이 시스템에 영향을 줄 것으로 판단되어 Sled impact test로 신뢰성을 확인하고, 후방 충돌의 경우에는 연료전지 차량으로 개조한 샘플카에 대하여 실차 후방 충돌시험을 수행하여 고압 수소 저장 시스템의 전후방 충돌 안전성을 확인하였다.(2,3,4)

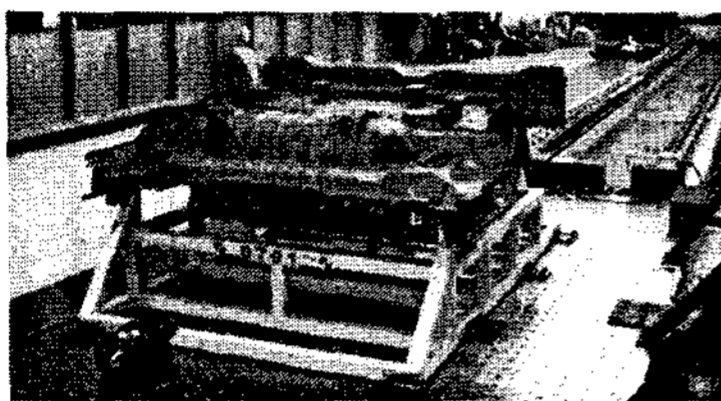
2.2.1 시험방법

Table.3은 본 연구에서 수행한 충돌 시험 조건을 나타낸다. Fig.5(a)에서는 Sled impact test 설비 및 시험 샘플 장착 형태를 보여준다. Sled 정반 위에 고압수소저장시스템을 장착하여 시험을 수행하였다. Fig.5(b)는 실차충돌시험에 사용한 시험 샘플카를 보여준다. 실차 충돌중에 고압수소저장 시스템의 압력센서, 온도센서, 내장형 고압 솔레노이드 밸브의 측정 및 제어를 위한 Engineering Terminal(이하 'ET'라고 함)와 만일 ET가 충돌시에 손상을 입어 고장이 났을 경우에 대비하기 위하여 별도의 데이터 수집 장치를 장착하였다. 이와

는 별도로 충돌시 샘플카에 장착된 주요 부품의 가속도 변화량을 측정하기 위한 충돌차량용 데이터 수집장치가 장착되고 있음을 보여준다.

Table 3 Type of the Collision Simulation

No	구분	모사방법 (충돌속도, kph)	시험규격
1	전면충돌	Sled Impact Test(75)	사내규격
2	후방충돌	Vehicle Rear crash Test(48)	FMVSS301



(a) Sled Impact Test Set-up



(b) Vehicle Rear crash Test Set-up

Fig. 5 Collision Simulation Test Set-up

Fig.6은 대차 충격 시험과 실차 충돌시험을 수행하는 시험절차를 보여준다. 시험 전·후에 수소를 용기에 350 bar로 기밀성을 평가하고, 시험중에는 헬륨을 30 bar로 채워서 기밀성을 확인한다.

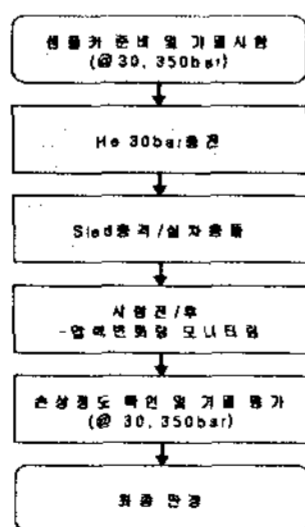


Fig. 6 Flow Chart of Collision Simulation Testing Procedure

2.2.2 Sled impact test 결과

Fig.7은 Sled impact test시 가속도계 부착위치를 나타내고 있다. JIG전후방을 기준으로 최전방쪽에 위치 74L탱크(이하 ‘탱크#1’ 라고 함), 39L탱크(이하 ‘탱크#2’ 라고함)에 각각 1개, 후방에 위치한 39L탱크(이하 ‘탱크#3’ 라고함)에 2개 그리고 고압수소저장시스템이 장착되어 있는 Jig의 중심부에 1개의 가속도계를 부착 하였다. Fig.8은 Sled impact test시 시간대 가속도량의 변화 선도를 보여준다. Sled impact test시 장착된 탱크와 Jig가 시간에 대한 가속도 변화량이 유사하게 나타나고 있음을 보여준다. 다만 탱크#2가 가장 큰 충격량을 보이고 있는 것은 Sled impact test시에 탱크 #2의 장착 부위가 충격으로 변형이 되어 가속도값이 다소 높아진 것으로 판단된다. Fig.9는 Sled impact test시 촬영한 고속비디오 사진이며, Fig.10은 영상 분석을 통하여 얻어진 탱크#2의 위치 이동량을 나타낸다. 장착지그 기준으로 상하방향으로 10mm, 전후방향으로 20mm 이동하였으나, 부품의 파손이나 이탈은 관찰 할 수 없었다.

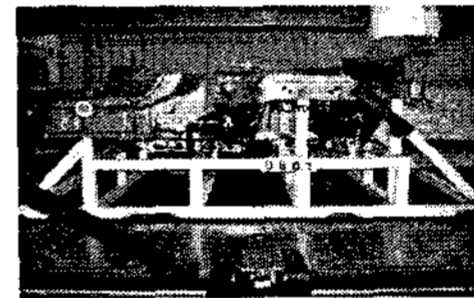


Fig.7 Marking Tank Number for Sled Impact Test

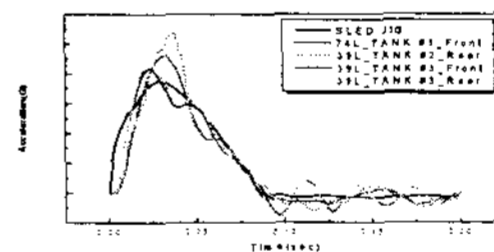


Fig. 8 Variation of Acceleration by Time

Fig.11은 Sled impact test전후의 시간에 따른 압력 변화량 값을 나타낸다. Fig.11에서 보여진 바와 같이 압력 변화는 나타나지 않았다. 이러한 사실로부터 Sled impact test 후에 충격량으로 인한 연료 누출이 없었음을 알 수 있었다.

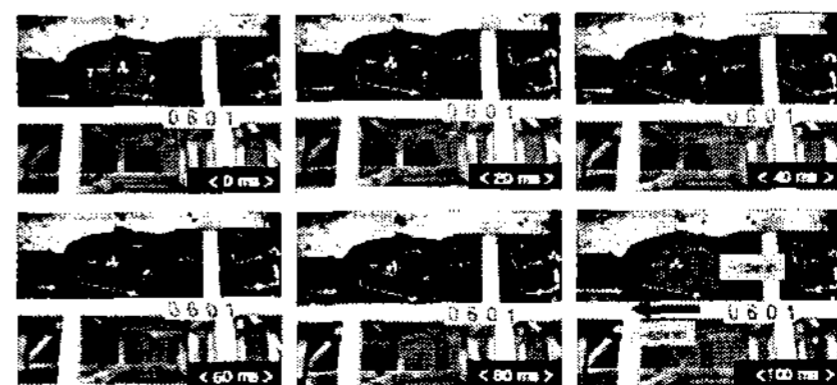
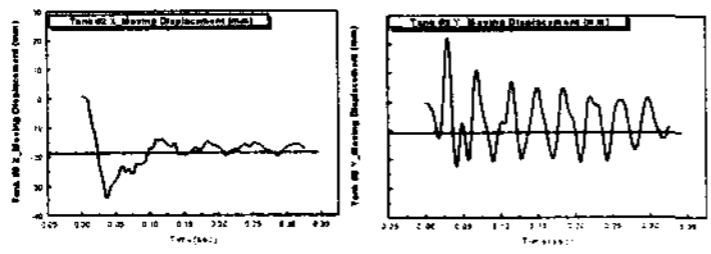


Fig. 9 Side View during Sled Impact Test



(a) Vertical (b) Longitudinal
 Fig. 10 Variation of Tank Position by Time

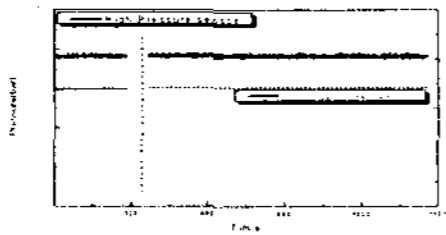


Fig. 11 Variation of Tank & Line Pressure by Time

2.2.3 후방 실차 충돌 시험 결과

Fig.12은 실차 충돌 시험 상황을 고속 비디오 촬영기로 분석한 결과를 보이고 있다.



(a) Side View



(b) Top View

Fig. 12 Side & Top View during Vehicle Rear crash

3. 결론

연료전지자동차용 고압수소저장시스템에 대하여 차량의 운행 및 전후방 충돌시에 수소 누출 및 파손 없이 제 성능을 만족해야 함을 검증하기 위해 본 진동 및 충돌시험 평가를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) "Test procedure for fuel gas container(TRIAS 7-1996)에 준하여 고압수소저장시스템에 대한 진동시험을 한 결과, 폴립이나 손상 및 수소 가스 누출이 없었음을 확인할 수 있었다. 또한 공진 주파수는 상하 30.4Hz, 좌우 20Hz, 전후 21.6Hz로 40Hz미만의 영역 내에서 형성 되었음을 확인할 수 있었다.

2) 현대기아자동차 사내 규격에 의거 고압수소저장시스템의 전방 충돌을 모사한 Sled impact test결과, 시험 전후의 압력 변화량이 없어 수소

가스 누출이 없음을 간접적으로 확인할 수 있었다. 다만 Tank#2의 경우, 충격에 의한 변형량이 가장 컸고, 그 변형량의 값은 상하 방향으로 10mm, 전후 방향으로 20mm 이동이 있었다.

3) FMVSS301규정에 의거 고압수소저장시스템에 대한 실차 후방 충돌을 수행한 결과, 시험 전후의 압력 변화량이 없어 수소 가스 누출에 대한 안정성을 검증 할 수 있었고, 또한 충돌시 차체를 기준으로 위치 이동량을 측정하여 위치 변형량의 정도를 확인할 수 있었다. 위치 이동량이 가장 많았던 Tank#3의 경우에는, 하방 약 20mm, 전방으로 약 167mm 이동하였음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구 내용은 산자부 신재생에너지개발사업의 프로젝트개발사업內, "연료전지차량용 고압수소저장시스템 개발 및 실증"과제의 일환으로 수행한 결과로서, 이 같은 성과를 낼 수 있도록 지원을 하여주신 산자부, 에너지관리공단 그리고 수소연료전지사업단 관계자분들에게 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Deming Wang, Hanjun Kim, "Evaluation of MAST Transfer Function in the Vehicle Exhaust System Full System Durability Test", SAE 2002
- [2] Myung-jun Song, Jinkyoo Kim, Myung-jin Choi, "The study of the principal functions of the driver's seat for the safety of passenger in Rear Sled Impact", KSAE05-F0250, 2005
- [3] Younghan Youn, A Comparison Study of Door Trim Design in Abdomen Injuries by the Sled Test and Simulation, KSAE06-S0210, 2006
- [4] FMVSS301 Fuel System Integrity, 1998