

수소연료전지 자동차의 긴급대응 가이드 분석

이광주^{1†} · 이종태² · 용기중³

¹성균관대학교 대학원, ²성균관대학교 기계공학부, ³교통안전공단 자동차안전연구원

The Analysis of Emergency Response Guide for Hydrogen Fuel Cell Vehicle

KWANGJU LEE^{1†}, JONGTAI LEE², GEEJOONG YONG³

¹Graduate School of Sungkyunkwan University, 300, Chunchun-dong Janan-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 440-746, Korea

²Department of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, 300, Chunchun-dong Janan-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 440-746, Korea

³Korea Automobile Testing & Research Institute, 625, Samjoun-ri, Songsan-myun, Hwasung-si, Gyeonggi-do, 445-871, Korea

Abstract >> In case of commercializing of the hydrogen fuel cell vehicle, the suitable emergency response guide is necessary to prepare an accident. In order to suggest the suitable guide for the domestic affairs, the existing external guide about GM, Ford, Honda, and Hyundai was reviewed. The emergency response guides in CAFCP and main FC vehicle makers were included in the analysis. As the results, it was found that the design and make of vehicle for the domestic user are demanded in the emergency response and the guide is made with the shut-down manual picked out for the rescuer and repair man as well as user.

Key words : Hydrogen fuel cell vehicle(수소연료전지 자동차), Emergency response guide(긴급대응가이드), Manual shut down(수동멈춤), Hydrogen tank(수소탱크), High voltage(고전압)

1. 서 론

미래의 환경과 에너지 고갈 문제에 대응하기 위해 세계 각국은 앞 다투어 미래 사회기반을 수소 경제화 할 수 있는 견인차가 수소연료전지 자동차라는 인식하에 다양한 관련 기술들을 개발하고 있다. 그 결과 수소 인프라가 폭 넓게 구축된다면 조만간 수소를 연료로 하는 연료전지 자동차의 상용화가 가능한 것으로 보고 있다. 차량 개발과 함께 수소연료전지 차량의 주요 제작사들은 사고를 대비한 긴급대응

가이드도 제작하고 있다. 국내에서도 친환경 자동차인 수소 연료전지 자동차의 개발 및 보급을 추진하고 관련법규도 제정하고 있다. 친환경 자동차의 안전 기준 및 안전성 평가기술 개발과 안전기준 국제 조화는 국토해양부가 주관하여 추진하고 있다. 수소연료전지 차량의 사고를 대비한 긴급대응 가이드에 대한 준비는 국내의 모두 초기단계이다. 따라서 국내의 가이드제작에는 무엇보다 국내 실정을 다양하게 고려하여 제작하는 것이 바람직하다^{1,2)}.

여기서는 미국 캘리포니아 연료전지 파트너십에서 제작된 긴급대응 가이드를 살펴보고 수소연료전지 자동차 제작사들의 긴급대응 가이드에 대해 분석하고자 한다.

[†]Corresponding author : kjlee81@skku.edu

[접수일 : 2012.3.27 수정일 : 2012.4.20 게재확정일 : 2012.4.27]

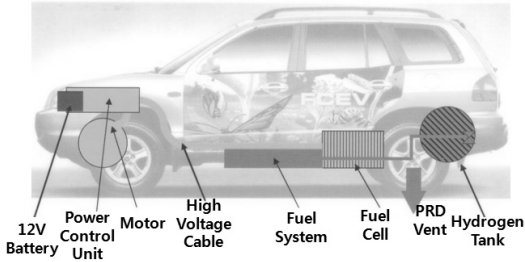


Fig. 1 Emergency response diagram of Hyundai SantaFe FCEV in CAFCP emergency response guide

2. CAFCP의 긴급대응 가이드

캘리포니아 연료전지 파트너십(CAFCP: california fuel cell partnership)의 긴급대응 가이드는 크게 소형 연료전지 자동차, 연료전지 버스, 수소 충전소 그리고 간략한 제작사별 수동멈춤 및 주의사항 등 4장으로 구성이 되어 있다. 이 중 소형 연료전지 자동차에서는 간략한 고전압 시스템과 수소저장 시스템에 대하여 소개하며, 충돌이나 사고에 대비하여 반드시 수소센서, 충격센서, 온도압력 감응식 안전밸브(TPRD : Temperature Pressure Release Devices), 긴급 수동멈춤 버튼이 필요하다고 제시하고 있다. 또한 연료전지 자동차가 작동이 안되거나 사고가 났을 때 승객을 구조하기 전에 시스템의 작동유무와 TPRD의 계기판을 반드시 확인해야 됨을 거론하고 있다. 승객을 구출하기 위해 차를 뜯어내는 경우에는 각 차량의 수동멈춤 절차를 따라야 하며, 만약 차체를 절단하여야 하는 경우, 연료전지 시스템의 위험한 요소는 피해야 함을 제시하고 있다. 여기서 위험한 요소는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 빗금친 부분의 수소저장 시스템과 고전압 시스템으로 정의되며, 어떠한 경우에도 빗금친 부분은 절단을 금지하도록 제시하고 있다. 차량에 충격이나 화재가 났을 경우, 절대로 TPRD 주변에 가까이 있으면 안된다. 사고에 대한 대처로서는 먼저 부상이 없는 사고인 경우, 방화복이 필요하며, 수소누설측정기로 검사해야 된다. 대형사고나 화재 사고인 경우에도 전체 방화복이 필요하며, 특히 고전

Table 1 Voltage Classifications in GM ER Guide⁴⁾

Classification	Low Voltage (No color code)	Intermediate Voltage (Blue)	High Voltage (Orange)
Voltage Ranges	DC ≤ 30v AC ≤ 15v _{RMS}	DC: 30 - 60v AC: 15 - 30v _{RMS}	DC > 60v AC > 30v _{RMS}

압 고무장갑 및 정전기소산 재질의 장비 등이 필요함을 제시하고 있다. 또한 희박한 수소불꽃을 측정하기 위한 UV탐지기와 수소누설 측정기가 필요하다. 특히 수소연료전지 자동차와 내연기관 자동차의 충돌사고가 있을 경우 2차 사고를 피하기 위하여 가능하면 내연기관 자동차를 옮겨야 한다.

연료전지 자동차의 사고에 대한 관련 장비들 중 기본 장비들은 상하의 방화복, 고전압 절연 신발 및 장갑, 헬멧 및 안면 보호대, 산소호흡기, 절연 공구 등이 있다. 전기안전 및 화재안전에 관한 특별 장비들은 NFPA 70E, NFPA 1975, ASTM F1506-98, OSHA Final Rule 1910.269, Typically constructed of Nomex IIIA의 표준들을 권고하고 있다. 수소화염 측정에는 UV광학센서가 필요하며, 수소누설 측정에는 열전도성 센서, 극저온 센서 등을 제시하고 있다³⁾.

3. 수소연료전지 자동차 제작사들의 긴급대응 가이드

3.1 GM의 Chevrolet Equinox FCV

GM사의 chevrolet equinox fuel cell 긴급대응가이드를 살펴보면 간략한 연료전지 및 수소의 특성을 소개하며, 차량에 연료전지나 수소의 마크가 표시된 곳을 보여준다. 또한 Table 1과 같이 전압 분류에 대하여 소개하며, 상기 차량은 저전압과 고전압을 구분하여 사용하는 것을 명시하였다. 차량 구조에 대한 설명 시 해당되는 고전압은 옐로우 색상으로 표시하고 있다. 고전압 시스템과 수소 저장시스템의 명확한 위치파악을 위하여 위, 옆, 아래 방향으로 상세한 사



Fig. 2 Do not cut zones of GM ER guide

진이 첨부되어 있다. 이와 함께 중요한 부품들의 사용 목적이나 위치를 설명하고 있다. 특히 수소가스의 누설을 탐지하기 위한 센서는 자동차 각부에 총 7개가 장착되며, 상기 센서로부터 운행 중 수소 누설이 탐지되면 경고음과 함께 계기판의 경고등이 점등된다. 인명구조를 위해 전기를 완전히 차단할 경우에 대한 절차는 먼저 시동을 끄고 트렁크를 열어 배터리 케이스를 제거한 뒤 배터리 케이블을 분리하고 10초를 기다려 고전압을 방전시키고 구조해야 된다고 제시하고 있다. CAFCP의 긴급대응 가이드와 유사하게 Fig. 2에 나타난 바와 같이 차량 절단 금지 영역에 대한 경고도 포함되어 있다⁴⁾.

3.2 Ford의 Focus FCV

Ford사의 Focus FCV 긴급대응 가이드는 주요부품의 소개, 위험성 및 위치에 대한 사진과 함께 Fig. 3에 나타난 바와 같이 시간 흐름에 따른 TPRD 작동

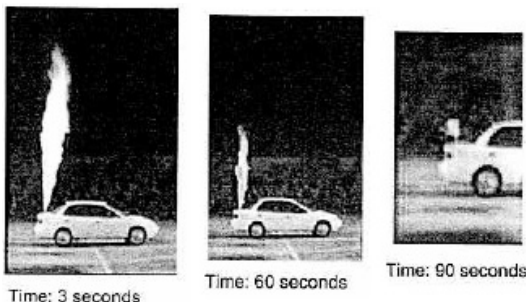


Fig. 3 The result of venting through the TPRD with forced ignition in Ford ER guide

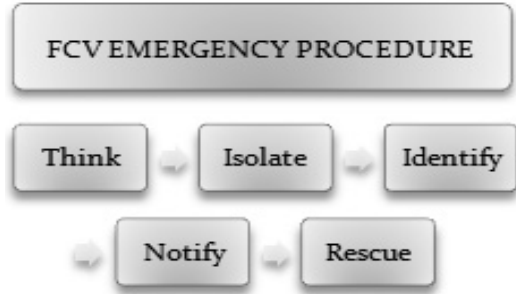


Fig. 4 FCV emergency procedure in Ford ER guide

실험도 포함되어 있다. 이 같은 결과는 TPRD의 작동으로 인해 2분정도 짧은 시간 안에 수소방출을 안전하게 할 수 있음을 보여준다.

Fig. 4는 Ford만의 특이사항으로 5단계의 긴급절차에 대하여 제시되어 있다. 먼저 Think에서는 차량의 위치, 즉 언덕이나 도로인지, 그리고 어디서 수소가 누설되는지에 대한 파악이며, 두 번째 Isolate에서는 사고가 난 장소에서 사람들을 150m정도 격리시키는 것이며, 세 번째 Identify는 차량의 종류가 무엇인지에 대한 확인이며, 네 번째 Notify에서는 인명구조요원이나 Ford사의 사고 매니저에게 알리는 것이며, 끝으로 Rescue에서는 운전자를 구조하거나 차량을 옮기기 전에 복장 및 도구들을 확인하고, 고전압 시스템의 위치를 파악하여, 수동 멈춤 절차를 따라야 된다고 명시되어 있다. 수동 멈춤 절차는 먼저 자동변속기를 주차 상태로 놓은 뒤 시동키를 오프하거나 그렇지 못한 경우 보닛을 열어 12V 배터리의 음극단자를 분리하라고 되어 있다. 또한 내연기관차량과 충돌한 경우 내연기관차량을 옮겨야 되며, 내연기관 차량의 연료가 누설되는 경우, 거품으로 된 비활성 연료를 분사하라고 제시되어 있다. 차량에 불이 붙은 경우와 동시에 수동 멈춤 절차를 행할 수 없는 경우는 PRD가 작동되므로 수소 소진 시 까지 대기하라고 되어 있다^{5,6)}.

3.3 Honda의 FCX CLARITY

Honda사의 FCX CLARITY 긴급대응 가이드는 연

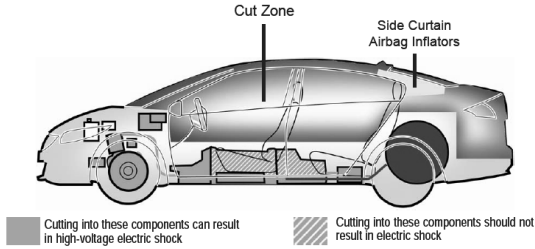


Fig. 5 Cut zone in Honda ER guide

료전지 및 수소 탱크 등의 중요 부품에 대한 자세한 설명과 함께 사진이 첨부되어 있으며, 수소의 위험성과 전기쇼크 및 고전압 시스템의 위험성에 대하여 설명하고 있다. GM사와 다르게 화재 시와 침수 시에 대해 대응하고 있다. 그러나 화재 시에 PRD가 작동하니 5분정도 멀리서 지켜본다거나 침수 시에는 물 밖으로 차량을 이동시켜야 된다는 수준이다.

긴급대응에 대한 수동멈춤 절차는 Ford와 유사하게 두가지로 분류된다. 먼저 시동 키를 돌려 시동을 끌 경우에는 별 다른 절차가 필요없다. 차량 키를 끌 수 없는 경우에는 보닛을 열고 메인 퓨즈를 드라이버 공구로 푼 뒤 배터리 전원을 분리하면 3분 뒤에 전기가 멈추도록 하고 있다. 구조를 위해 차량을 절단해야 할 경우 GM과는 다르게 Fig. 5에 나타난 바와 같이 차량 절단 가능 영역과 차량 절단 금지 영역을 나누어 표시하였다⁷⁾.

3.4 Hyundai-Kia의 ix35 FCEV

국내에서 유일하게 수소연료전지 차량을 개발 중인 현대-기아사의 ix35 FCEV 긴급대응 가이드 또한 연료전지, 고전압 시스템, 수소 탱크 등의 중요 부품에 대하여 자세한 소개가 명시되어 있다.

Fig. 6은 타사의 긴급대응 가이드와 다르게 각종 경고등에 대한 설명을 나타낸 것이다. 거북이 모양의 경고등은 파워서플라이에 부하가 높은 경우에 켜지며, 수소 경고등은 수소가 누설되었을 때 점등되며, 스택이나 모터의 발열이 심할 때는 발열 경고등이 켜지며, 시스템 오작동에 대한 시스템 체크 경고등

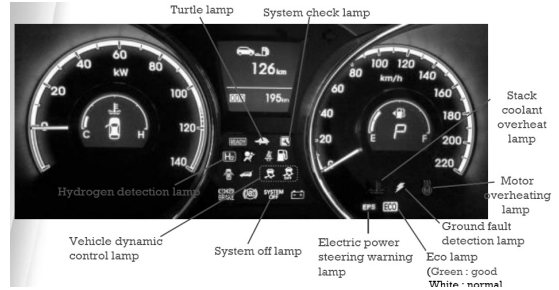


Fig. 6 Warning lamps on cluster in Hyundai-Kia ER guide

등이 있다.

시동 시 문제는 다음과 같은 방안을 제시하고 있다. 먼저 기어 상태가 N이나 P임을 확인하고 Fig. 7에 나타난 바와 같이 EDS 버튼이 작동되었는지 확인한다. 그래도 시동이 안될 경우, 짐칸 쪽의 야광불빛의 강도를 확인하고 약할 경우 배터리를 확인하라고 명시되어 있다. 긴급대응에 대한 수동멈춤 절차는 세가지로 분류된다. 먼저 EDS 버튼을 작동시키면 수소 밸브 및 고전압 시스템을 멈출 수 있다. 또한 타사의 수동멈춤 절차와 유사하게 시동 키를 돌려 시동을 끌 경우에 모든 시스템이 멈춘다. 그럴 수 없는 경우에도 마찬가지로 배터리의 음극을 분리하면 된다⁸⁾.



Fig. 7 Trouble shooting : Starting problem in Hyundai-Kia ER guide

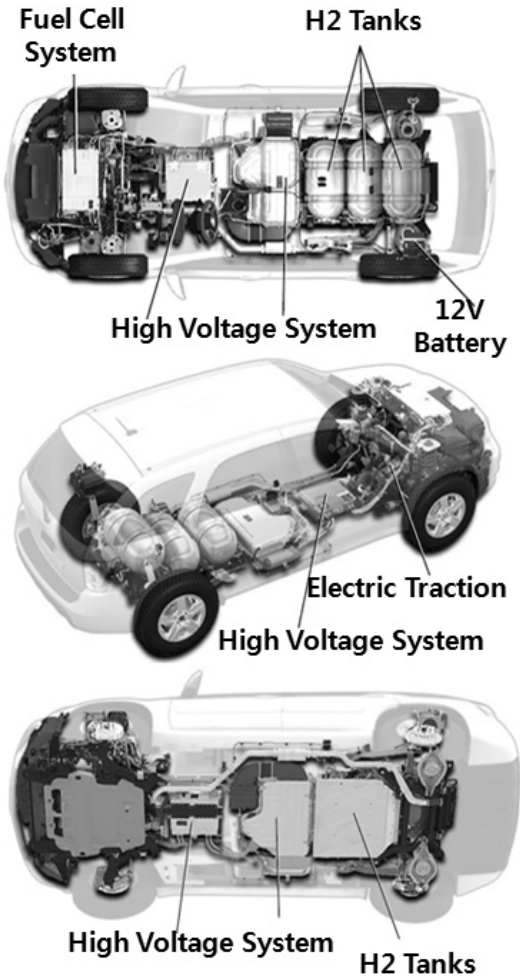


Fig. 8 Equinox fuel cell component location (top, side and underside view)

4. 고 찰

수소연료전지 자동차의 주요 제작사들의 긴급대응 가이드를 비교분석한 결과, 긴급상황 발생 시 사용자 또는 인명 구조자의 신속 대응 절차가 상세히 기록된 것이 있는 반면 그렇지 못한 경우도 있다. GM의 경우, 긴급상황 시 사용자나 인명 구조자가 시스템을 멈추기 위해 트렁크의 배터리 전원을 분리하기에는 시간이 너무 많이 소요된다. Ford, Honda 및 현대의 경우 보닛의 메인퓨즈를 제거하기 위해 드라이버 공

Table 2 The comparison of items for ER guides

No	항목	GM	Ford	Honda	Hyundai
1	차량소개	o	o	o	o
2	연료전지소개	o		o	o
3	수소특성소개	o	o	o	o
4	외관	o	o		o
5	전압분류소개	o			o
6	위험요소위치	o	o	o	o
7	주요부품소개	o	o	o	o
8	수소센서위치	o			o
9	TPRD설명	o	o	o	o
10	에어백위치	o			
11	Shut Down	o	o	o	o
12	위험시스템경고	o	o	o	o
13	No cut zone	o	o	o	o
14	가솔린연료비교		o	o	o
15	수소탱크소개	o	o	o	o
16	PRD실험		o		
17	수소탱크실험		o		
18	긴급절차		o		
19	수소측정도구		o		
20	내연기관차사고		o		
21	화재시 대처		o	o	o
22	안전장치소개			o	o
23	전기감전 대처			o	
24	침수시 대처			o	o
25	경고등 소개				o
26	시동시 문제해결				o
27	타이어문제해결				o
28	견인시 방법				o

구를 바로 사용하기 어려워 보인다. 이는 긴급대응 가이드의 문제로 볼 수 있으나 수소연료전지 자동차 제작 시에 이러한 수동멈춤 절차를 간소화하기 위한 설계가 요구된다는 것으로 보아야 할 것이다. 그리고 Fig. 8에 나타난 바와 같이 고전압과 수소저장 시스템에 대하여 인명 구조자가 긴급 대응 시 위치를 알아보기 쉽게 위, 아래, 옆 등에 상세한 사진 첨부이 필요하다.

Table 2는 지금까지 살펴 본 제작사별 긴급대응 가이드를 총 28개의 항목으로 나누어 비교한 것이다.

이 중 GM은 14개 항목, Ford는 17개 항목, Honda는 15개 항목, 현대는 21개의 항목을 제시하였다. 물론 국제적인 인증 또는 표준이 현재 진행 중에 있고, 상기의 모든 항목을 제시할 필요는 없으나 긴급한 상황에 대응할 수 있는 항목들은 반드시 명시되어야 한다. 특히 위험요소 사진, 수동멈춤 방법, 위험시스템에 대한 경고, No cut zone 등은 모든 가이드에서 제시되었으나, 긴급절차, 인명 구조자가 갖추어야 할 측정도구, 내연기관 차량과의 사고 시 대처 등에 대한 항목은 Ford의 긴급대응 가이드만이 제시하였다. 긴급대응 가이드 제작 시 인명 구조자를 위하여 이러한 항목들을 소홀히 해선 안될 것이다.

수소연료전지 자동차의 긴급대응 가이드는 문자 그대로 긴급한 상황에 대응할 수 있는 지침서이며, 지금까지 제작된 긴급대응 가이드들은 국외 실정에 맞게 제작되어 있다. 따라서 국내의 경우도 마찬가지로 긴급대응 가이드 제작에 대한 독자적인 대응은 당연하다. 가이드 제작에는 국내 자동차의 운행밀도, 교통사고의 빈도, 도로여건, 운전자의 운전태도 등 다양한 인자들이 고려되어야 할 것으로 생각된다. 또한 국내 사용자의 성격에 맞게 긴급 대응 시 비상버튼 등의 수동멈춤 절차가 간소화될 수 있는 차량 설계가 필요하다.

5. 맺음말

자동차 산업은 미래의 환경과 에너지문제에 대응하기 위해 새로운 기술을 요구하며, 이에 따라 다양한 차량이 개발 중이나 수소연료전지 자동차가 중요한 역할을 할 것이다.

세계 각국의 자동차 제작사들은 수소연료전지 자동차가 기존의 내연기관 자동차와 동등 이상의 안전성 확보를 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 그 중 하나인 긴급대응 가이드는 사용자, 인명 구조자, 정비사들에게 중요한 정보임에 틀림이 없다. 따라서 국

내의 제조, 교통 및 긴급 구조 등의 종합적인 상황을 고려하여, 사용자, 인명 구조자 및 정비사들이 긴급 상황에 쉽게 대처할 수 있도록 수소연료전지 자동차의 안전시스템과 긴급대응 가이드가 설계·제작되어야 한다.

후 기

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(07교통체계-미래02)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Jae Moon Lim, Hyung Jin Chang and Gyu Hyun Kim, "Trends on Crash and Fire Safety Research of Hydrogen Fuel Cell Vehicles", KSAE 08-S0207, pp. 1253-1258.
2. Kwanju Lee, Jongtae Lee and Geejoong Yong, "The Strategy Plans for Practical use of Hydrogen Fueled Vehicles in Domestic", KHNES, Vol. 21, No. 4, pp. 346-353, 2010.
3. "Emergency Response Guide-Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Fueling Stations", California Fuel Cell Partnership, 2004
4. "Chevrolet Equinox Fuel Cell-Emergency Response Guide", GM, 2007.
5. "Hydrogen Fuel Cell Vehicles-Emergency Response", Ford.
6. Y. Tamura, J. Tomioka, J. Suzuki, "Study on the fire response of vehicles with compressed hydrogen cylinders", WHEC 2010, Vol. 78-5, pp. 253-260
7. "FCX CLARITY-Emergency Response Guide", HONDA, 2008.
8. "ix35 Fuel Cell Electric Vehicle-Emergency Response Guide", HYUNDAI-KIA MOTORS, 2011.