

북미 법규 강화를 고려한 국내 자동차의 천정강도 시험특성에 관한 연구

김은희*, 이재광⁺, 이문구⁺⁺, 홍민성⁺⁺⁺
(논문접수일 2009. 2. 13, 심사완료일 2009. 6. 9)

A Study on the Characteristics of Domestic Vehicle on the Roof Crush Test Considering the Enhanced Safety Standard, FMVSS 216

Eunhee Kim*, Jaekwang Lee⁺, Moongu Lee⁺⁺, Minsung Hong⁺⁺⁺

Abstract

In order to reduce the risk of roll over crash, one of the greatest risk events, National Highway Traffic Safety Administration(NHTSA) issued Notice of Proposed Rulemaking(NPRM) enhancing the safety standard on roof crush resistance, FMVSS No. 216 and changing some part of the test procedure. According to this NPRM, the boundary Gross Vehicle Weight Rating(GVWR) of the vehicles applied by this standard is extended from 2,722kg(6000 lb) to 4,536 kg(10000 lb) and the applied test force is increased from 1.5 times to 2.5 times of Unloaded Vehicle Weight (UVW). Also the current limit on the amount of roof crush, 127mm(5 inch), is replaced with a new requirement of maintaining enough headroom without touching the head of a seated 50% male dummy. In this paper, we carried out the rollover crash test on some domestic cars and investigated their safety due to the KMVSS No. 92 and the enhanced safety standard, FMVSS No. 216, respectively. The result shows that most of them can satisfy the new standards but further tests will be necessary, especially for heavier cars.

Key Words : Roof Crush Test(천정강도시험), FMVSS(천정강도법규), KMVSS(자동차안전기준)

* LIGNEX1 Co, Ltd., ISR Research Lab.
+ 아주대학교 산업대학원 기계공학부
++ 아주대학교 기계공학부
+++ 교신저자, 아주대학교 기계공학부 (mshong@ajou.ac.kr)
주소: 443-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지

1. 서론

오늘날 자동차는 생활에 있어 필수품이라 할 만큼 보유량이 증가하고 있으며, 따라서 기능과 성능 뿐 아니라 안정성에 대하여도 많은 관심이 기울여지고 있다. 그동안 가장 심각한 피해를 초래해 왔던 정면충돌사고에 의한 인명 피해는 수많은 연구를 통하여 줄어드는 경향을 보이는 반면, 차량의 전복에 의한 인명 피해는 증가 추세에 있다. 매년 북미에서는 272,925대의 차량이 전복사고를 일으키고 있으며, 그 중 33,735명이 심각한 상해를, 그리고 9,942명이 사망하고 있다. 전복사고는 대부분 단일 차량에 의한 사고로 사고 건수 및 상해, 사망자 수는 비록 다른 주요 사고유형에 비해 작으나 승객 당 상해 및 사망률은 가장 높게 조사되고 있다⁽¹⁾. 이는 정면충돌의 경우, 충돌 하중이 승객에게 전달되기 이전에 엔진이 위치해 있는 공간에서 차체가 변형하며 충돌 에너지를 흡수하지만 전복의 경우에는 자동차의 외부에서 차실내로 Roof를 밀고 들어오려는 변형 에너지가 바로 승객 공간에 전달되어 치명적인 부상으로 유도되기 때문이다.^(2,3)

이에 북미교통안전국(NHTSA)은 2005년 8월 법규 제정의 향서(NPRM)에서 FMVSS 216 “천정강도법규”의 요구조건을 강화하고 시험절차 중 일부분을 개정할 계획이라고 밝히고 있다. 개정된 내용은 천정강도 시험 적용기준 차량의 무게를 2722kg에서 4563kg까지 확대 적용하고, 강도의 기준을 한계없이 공차중량(UVW)의 1.5배에서 2.5배로 강화하며, 하중인가를 위한 시험장치의 이동거리를 현행 일률적으로 정해진 127mm에서 천정구조물이 변형될 때 실내 천정구조물이 승객의 머리와 접촉되지 않을 때까지로 변경하는 것이다. 이러한 북미교통안전국의 움직임에 대응하기 위하여 국내 차량들의 차체 보강이 불가피한 상황이며, 경우에 따라서는 많은 횟수의 개발 및 검증 시험이 수행 되어야 할 것이다⁽⁴⁾.

본 논문은 북미 천정강도법규(FMVSS 216) 강화를 계기로 국내 차량 중 일부분의 차량들에 대해서 천정강도 특성을 시험 후 NPRM 요구조건에 적합여부를 살펴보았다.

2. 천정강도시험 절차 및 장비

2.1 국내 및 북미 천정강도시험 절차

‘자동차안전기준(KMVSS)에 관한 시행세칙’에 명시된 국내 천정강도시험 절차는 다음과 같다.

Fig. 1과 같이 시험 장치를 설치한다. 시험장치의 길이방향 축은 측면에서 보았을 때 전방으로 수평선 하향 5도 기울

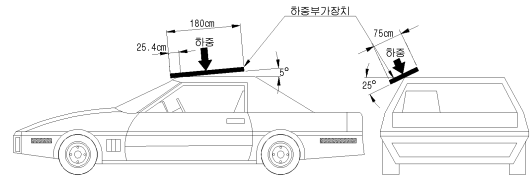


Fig. 1 Schematic view of Test Equipment for KMVSS 92

어져 있고 자동차의 길이방향중심선을 통과하는 수직면에 대해 평행을 이루고 있어야 하며 가로 방향 축은 정면에서 보았을 때 측면 외곽으로 수평선 하향 25도 기울어져 있어야 한다. 시험장치의 바닥면은 자동차 표면에 접촉되어 있어야 하며, 초기 접촉점 또는 초기 접촉면적의 중심은 시험장치 바닥면의 길이 방향 중심선상에 있고, 그 중심선의 가장 앞쪽 지점으로부터 25.4cm 떨어져 있어야 한다.

현재 북미교통안전국의 시험절차서(Laboratory Test Procedure)에서는 국내와 동일하게 시험 장치를 기울인 상태에서 시험 장치와 자동차 표면의 초기 접촉점이 시험장치 바닥면의 길이방향 중심선상에 있도록 유지하고, 그 중심선의 가장 앞쪽 지점이 차체 패널과 전면유리 끝단에 발생하는 틈새를 막아주는 트림(windshield trim)을 포함하는 외측 천정면의 최 앞단으로부터 254mm 떨어져 있도록 규정하고 있다.

2.2 안전기준

현 북미 법규의 요구사항은 국내 자동차안전기준(KMVSS 92)과 동일하며 총중량 2722kg 이하의 차량에 대하여 120초 이내의 시간에 매초 12.7밀리미터 이하의 속도로 하중

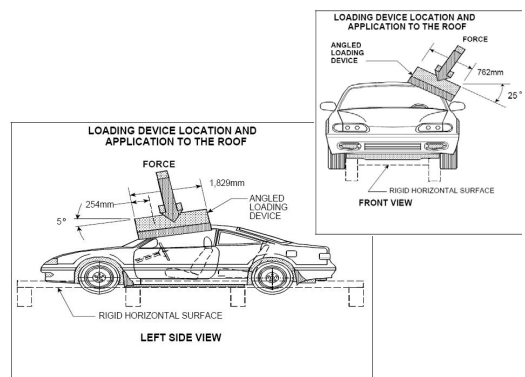


Fig. 2 Schematic view of Test Equipment for FMVSS 216

천정에 하중을 가할 때, 시험 장치가 받는 하중을 측정하며, 측정된 하중값의 총계가 차량에 가해진 하중값이 된다. 유압 시스템으로 하중을 조절하고 변위계가 장착되어 있어 실험대의 이동거리를 측정한다.

2.5 천정강도 시험방법

본 논문에서 사용된 시험의 개요도는 Fig. 5와 같다. 시험은 시험차량을 지면에 수평하게 브래킷을 차체 프레임에 용접하여 정반에 올린 후 창문을 닫고, 문을 모두 잠근 상태에서 정반 고정공구를 이용하여 단단히 고정시켜서 하부와 측면이 구속되어 시험 중 측면 이동이나 회전 운동이 없도록 장착하고 Fig. 1과 같은 각도를 유지한다. 또한 바닥면은 자동차 표면에 접촉되어 있으며 초기 접촉점 또는 초기 접촉면적의 중심이 시험장치 바닥면의 길이방향 중심선상에 있고 그 중심선의 가장 앞쪽 지점으로부터 25.4cm 떨어져 있다.

전방 좌측 또는 우측 좌석에 성인남성의 50%인 Dummy를 착석시킨 상태에서 시험 장치를 이동시켜 실내 천정구조물이 Dummy의 머리부와 접촉이 일어나기 직전까지 하중

을 가하고, 측정하였다. 실내 천정구조물이 Dummy의 머리부와 접촉이 일어나는 순간에는 경광등에 불이 들어오고 알람소리가 나도록 Fig. 7과 같은 접촉스위치타입의 장치를 이용하였다. 시험에 대한 인체모형 착석 모양은 Fig. 8과 같고



Fig. 7 Touch Switch Type Lamp

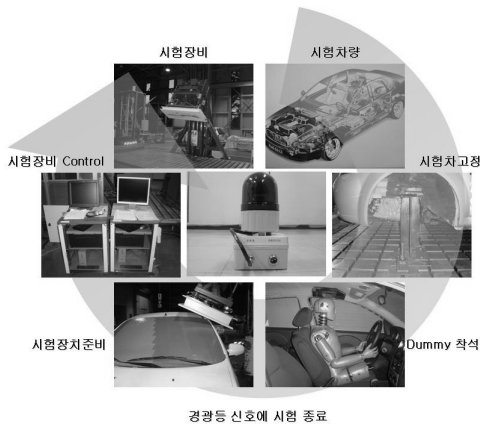
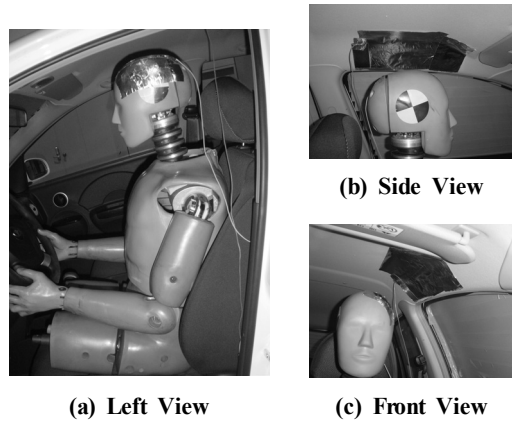


Fig. 5 Test Flow Chart



(a) Front View (b) Rear View

Fig. 6 Test Preparation



(a) Left View (c) Front View

Fig. 8 Seating Views

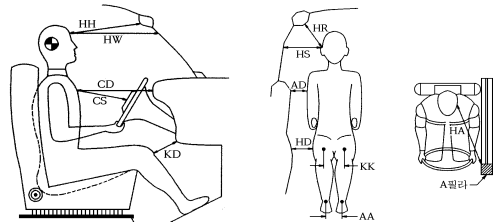


Fig. 9 Seating Position

- HH = 머리에서 앞면유리위쪽 전면부
- HR = 머리에서 천정측면
- HS = 머리에서 옆면유리
- AD = 팔에서 도어(door)
- HA = 머리에서 A-필라



Fig. 10 Measurement of Seating Position

착석 위치는 Fig. 9를 기준으로 거리를 측정하였다.

3. 시험결과

본 시험은 승용차 6대와 SUV 3대, 총 9차종의 국내 차량

Table 3 Test Results Based on the Domestic Standard

Test Criterion and Applied Load					
Within 120 second and under 12.7mm/sec, displacement reaches under 127mm at less value of [1.5 times weight or 2,270kg]					
Type	Weight (kg)	Load (kg)	Disp. (mm)	P/F	Note
A / J	1,950	2,270	52	P	SUV
C / Q	1,905	2,270	45	P	
B / M	1,850	2,270	69.5	P	
C / N	1,645	2,270	69.6	P	
C / O	1,460	2,190	53	P	
C / P	1,230	1,845	34	P	
C / R	1,145	1,717	24	P	
B / K	1,125	1,687	37	P	
B / L	1,120	1,680	37	P	

Table 4 Test Results Based on the Enhanced Safety Standard

Test Criterion						
When applying load to head of dummy just before the impact between head and ceiling at the conditions of seating 50% dummy below speed of 12.7mm/sec, the weight should be greater than 2.5*UVW.						
Type	Wt (kg)	Disp. (mm)	Time (sec)	Std Load (kg)	Appl. Load (kg)	P/F
A / J	1,950	161	35	4,875	4,500	F
C / Q	1,905	156	34	4,762	5,490	P
B / M	1,850	164	70	4,625	5,294	P
C / N	1,645	158	25	4,112	4,210	P
C / O	1,460	219	44	3,650	4,462	P
C / P	1,230	162	35	3,075	4,661	P
C / R	1,145	123	27	2,862	4,629	P
B / K	1,125	151	33	2,812	3,463	P
B / L	1,120	125	53	2,800	3,459	P

Table 5 Change of Seating Position

Type	HH		HR		HS		AD		HS	
	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A
A / J	380	380	170	70	170	130	85	125	425	440
C / Q	340	355	165	105	195	160	85	110	395	380
B / M	375	415	180	125	230	220	140	135	773	790
C / N	350	360	160	100	220	200	140	145	355	335
C / O	380	390	180	115	230	220	120	130	415	400
C / P	340	345	160	70	180	140	100	100	360	360
C / R	450	443	182	165	167	120	62	100	350	350
B / K	410	410	170	60	210	170	95	90	390	370
B / L	395	420	160	70	260	255	165	180	823	850

에 대하여 6.3mm/sec의 시험 속도로 시행되었다.

각 차량에 대하여 인체모형의 착석위치를 시험 전과 후로 구분하여 측정하여 시험으로 인해 변형되는 천정구조물의 변형을 Table 5에 표시하였으며, 하중-변위, 하중-시간, 변위-시간의 그래프를 얻었다. 전 시험 차량에 대한 시험 결과 및 판정 결과는 Table 3과 4와 같다.

Table 3,4에서와 같이 시험차량 9대는 모두 국내 법규 기

준을 만족시키며 개선된 북미 법규 기준에도 1대 만이 부적합 차로 판정된다.

C사의 Q차는 차량중량이 1,905kg인 SUV차로 Fig. 11~13의 하중-변위, 하중-시간, 변위-시간 그래프로부터 Dummy의 머리부가 실내 내장품과 접촉 직전까지의 최대 적용하중은 5,490kg, 접촉 변위량은 156mm, 시간은 34초임을 알 수 있다. 또, 현행 법규에 따른 제한하중 2,270kg에서의 변위량은 45mm이다. 이러한 결과로부터 C차는 국내 법규의 시험뿐 아니라 북미 NPRM기준에도 적합한 차로 나타남을 볼 수 있다.

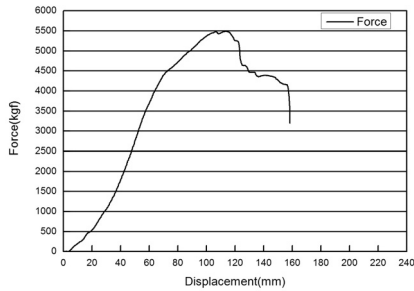


Fig. 11 Force-Displ. Graph(Model Q of C Company)

Fig. 11로부터, Q차의 경우 천정 구조물과 인체모형 머리부의 접촉 시점이전에 최대강도가 얻어짐을 알 수 있다.

시험차량의 대부분은 이와 같이 접촉시점 이전에 최대하중이 발생하지만, A사의 J차와 B사의 L차는 접촉시점까지도 하중이 늘어나는 경향을 보인다. 즉, 최대하중발생 시점이 접촉 시점 이후임을 나타낸다. 그러나 천정 구조물의 최대 강도가 접촉시점 이후이면 비록 구조물의 강도기준이 요구조건을 만족하더라도 의미가 없어진다.

A사의 J차에 대한 하중-변위, 하중-시간, 변위-시간 그래프를 Fig. 14~16에 나타 내었다. J차는 국내 법규의 시험에

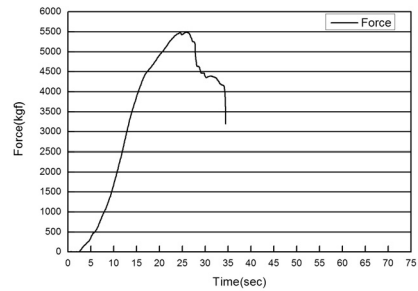


Fig. 12 Force-Time Graph(Model Q of C Company)

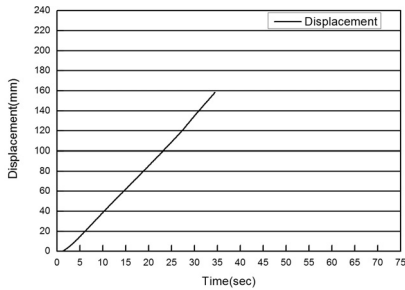


Fig. 13 Displ.-Time Graph(Model Q of C Company)

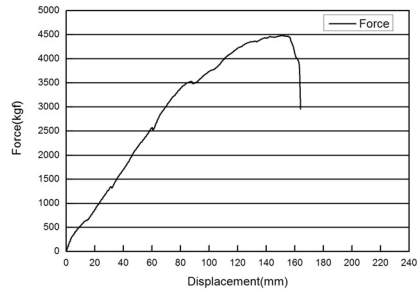


Fig. 14 Force-Displ. Graph(Model J of A Company)

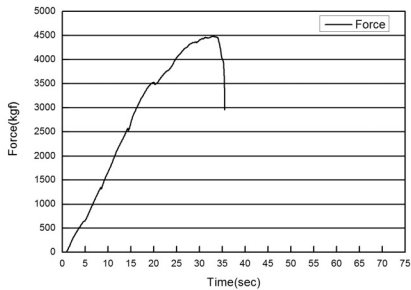


Fig. 15 Force-Time Graph(Model J of A Company)

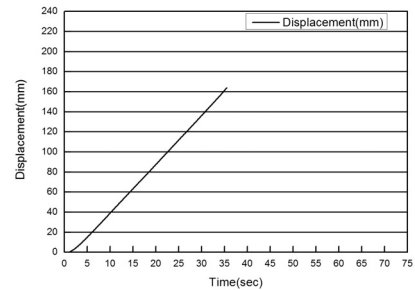


Fig. 16 Displ.-Time Graph(Model J of A Company)

Table 6 SWR (Strength to Weight Ratio) of Test Vehicles

Type	Weight (kg)	Appl. Load/Weight (SWR)
A / J	1,950	2.3
C / Q	1,905	2.9
B / M	1,850	2.9
C / N	1,645	2.6
C / O	1,460	3.1
C / P	1,230	3.8
C / R	1,145	4.0
B / K	1,125	3.1
B / L	1,120	3.1

는 적합한 차이지만, 북미 NPRM기준에는 부적합한 차로 나타났다.

국내법규 또는 현행 법규에서는 기준하중이 한계치에 의해 제한을 받지만, 개선될 법규에서는 기준하중이 강화되었을 뿐 아니라 차량의 공차중량에 의해 정해지게 되므로, 자동차의 차량중량이 클수록 기준하중 더 커지게 된다.

Table 6은 실험에서 측정된 최대 적용하중과 차량 중량과의 비를 나타낸다. 개선될 법규의 적합 판단기준은 SWR값이 2.5이다. Table 6에서 볼 수 있는 바와 같이 현재 국내 차량들은 천정강도가 차량의 중량 또는 크기에 비례하여 증가하지 않기 때문에 SWR값은 무거운 차일수록 감소한다. C사의 차량들의 경우에도 경량의 R차에서 4.0이지만, Q차는 2.9에 불과하다. 즉, 현재 시험 차량들의 경우 대부분 적합으로 판정 받았지만, 향후 더 많은 차량들 특히 중형 및 SUV차량들에 대한 더 많은 시험과 천정강도의 강화가 필요함을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 향후 강화될 북미 NPRM 시험조건을 적용시켜 현재 국내 생산된 9종의 자동차들을 대상으로 요구조

건 적합성을 시험하였다. 시험은 차량의 종류와 무게에 따라 시행하였고, 1대를 제외한 모든 대상 차량이 NPRM 시험 조건에 만족을 만족함을 확인하였다.

대부분의 대상차량들이 적합 판정을 받았음에도 불구하고, 본 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 첫째는, 향후 북미 NPRM 시험조건에 만족하기 위해서 중형 이상의 차량에 대한 시험이 추가적으로 수행되어야 하며 궁극적으로는 차량 중량을 고려한 국내 차량의 천정구조물 설계 및 제작이 필요하다는 것이다. 둘째는 천정강도의 최대 하중 발생 지점과 접촉시점에 대한 선후관계가 시험을 통해 확인되어야 한다는 점이다.

현재 북미 NPRM 시험 조건에 만족하는 천정구조물의 제작을 자동차 제작사에서 설계 제작하고 연구가 진행 중이지만, 본 연구가 천정구조물의 설계 제작을 위한 참고가 되기를 바라며 자동차 제작사에게 도움이 되길 바란다.

후 기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- (1) Lim, J. S., Lee, K. K., and Shim, I. S., 2006, "Consideration on the Characteristics of Roof Crush Test according to the Test Procedures of KMVSS 92 and FMVSS 216 considering Proposed Rule Making," *KSAE*, Vol. 2, pp. 1005~1010.
- (2) Rechnitzer, G. and Lane, J., 1997, "Roll Over Study-Vehicle Design and Occupant Injuries," *Monash University Accident Research Centre-Report #65*.
- (3) Kahane, C. J., 1989, "An Evaluation of Door Locks and Roof Crush Resistance of Passenger Cars," *NHTSA Report Number Dot HS 807 489*.
- (4) Willke, D. T., 2004, "Status of NHTSA's Roof Crush Research," *SAE Government/Industry Meeting*.