

## 북미와 유럽 측면 충돌의 특성과 그 대비에 대한 고찰

### Comparative Analysis of NHTSA and EEVC Side Impact Test Procedures and Occupant Protections

윤 영 한\*  
Y. H. Youn



윤 영 한  
· 1955년 5월생  
· 정회원  
· 한국기술교육대학교  
· 차체충돌 해석 및 승객 거동 해석

#### 1. 서 론

북미와 유럽을 비롯한 전세계에서는 지난 수십년 동안 측면 충돌시 승객 보호에 대한 연구를 지속하여 북미에서는 1991년 소위 FMVSS 214 D[1]라고 불리는 법규가 제정되어 시행중이고 유럽에서도 EEVC[2]를 중심으로 북미와 유사한 법규를 마련하여 1998년 9월부터 시행을 최근 공포하였다.

한편, 국내의 자동차 업계에서는 이미 수년 전부터 측면 충돌의 법규 제정에 대한 대비책으로 상당한 부분 연구가 진행되었지만 이들 연구는 어디까지나 대상 차량의 법규 만족 여부 또는 개선 안에 초점을 맞추는 초보적인 단계로 선진국에서 신차 개발용으로 활용되는 각종 시험법의 도입 또는 FEM을

이용한 해석 기술에 대한 확보의 수준에 불과한 실정이다. 그리고 또한 모든 연구가 법규가 시행 중인 북미의 FMVSS 214 D에 초점이 맞추어져 있기에 향후 국내 자동차 업계의 가장 큰 수출 시장으로 예상되는 유럽 지역에서 새로이 적용될 측면 충돌의 법규 동향 및 국내 차량의 유럽 법규에 대한 안전성 확보에 대한 대비 연구가 부족한 실정이다. 특히 국내의 자동차 산업에서 측면 충돌 대비 안전성 확보는 국제적인 안전 규제의 동향과 그 난이성을 살펴보면 만족하기 가장 까다로운 법규의 항목 중에 하나로 많은 시간과 노력이 필요하다. 특히 상대적으로 소형차를 주종으로 생산 수출하는 국내의 여건으로 볼 때 측면 충돌에 대비한 안전성의 확보는 요사이 국제적인 안전 법규의 강화, 소비자의 고안전도 차량의 선호도 증가 등은 자동차 제작사의 각별한 노력이 요구된다.

그러므로, 본 연구는 지난 십수년 동안 전세계적으로 북미와 유럽 법규 시험의 데이터를 서로 비교 분석, 해석하여 이들 측면 충돌에 대한 특성을 이해하고자 한다.

## 2. 북미와 유럽 측면 충돌 법규의 특성

### Test Protocols

실차를 이용한 측면 충돌시 승객 보호의 법규 시험은 근본적으로 세 가지의 중요한 요소가 필요하다. 실제 도로상의 가장 빈번한 사고 유형을 제한된 공간인 실험실에서 재현할 수 있는 시험 조건, 인체를 대표하여 측면 충돌시 입을 수 있는 상해를 측정 가능케 하는 인체모형 그리고 실제 차량의 Bumper를 대표하는 표준화된 대차이다. 그리고 법규 시험에서의 이들 세 가지의 요소는 반드시 반복성(Repeatability), 재사용성(Reproducibility) 그리고 실현성(Practicality)은 검증되어야 한다<sup>(3)</sup>.

측면 충돌에 관련된 법규는 북미의 NHTSA

의 법규와 유럽의 EEC 법규로 구별되는데 서로가 유사하면서도 그 특성이 상당히 다르다. 상이점은 근본적으로 북미와 유럽에서의 통계적인 차량의 분포도 즉 표본 차량의 크기, 무게, 충돌 사고 유형의 빈번도등이 서로 다르기에 대차의 크기, 무게 그리고 지상고, 즉 Ground Clearance, 충돌 방향 등이 차이가 난다. 그리고 상해치를 측정하는 근본적인 기준이 서로 다르기에 인체모형의 Biofidelity 또한 서로 상이하다. Fig.1은 두 법규 시험의 전체적인 개략도 및 Moving Deformable Barrier의 특성을 나타내고 있다.

1993년 9월부터 시행된 북미의 FMVSS 214 dynamic의 시험법은 27도 경사를 가진 대차가 정지된 시험 차량의 측면을 54 Km/h의 속도로 충돌시키는 시험법이다. 이때 대

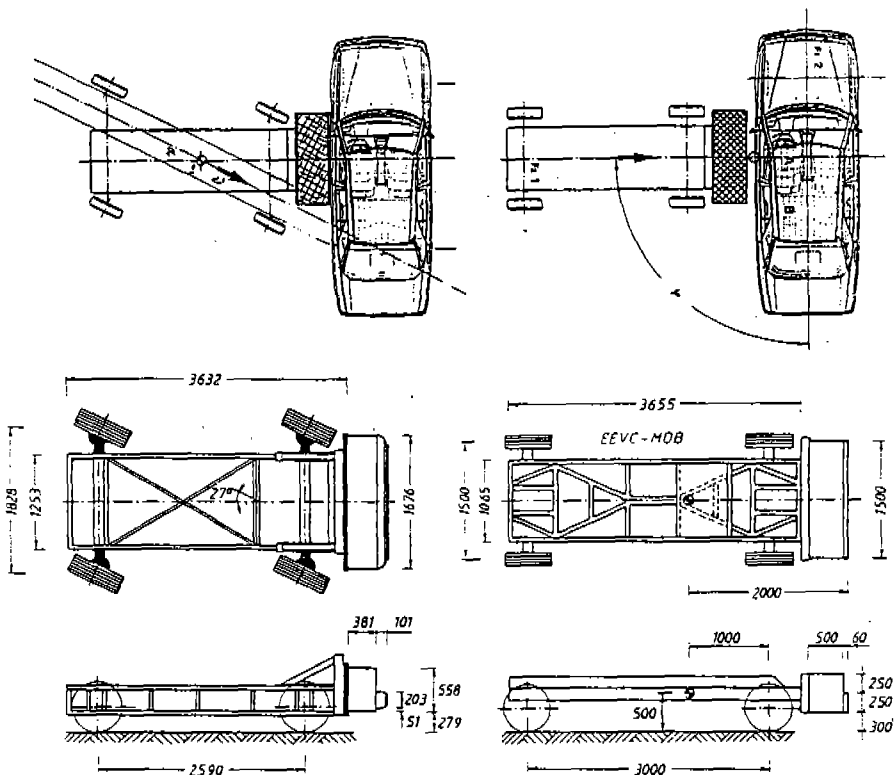


Fig.1 북미 및 유럽 측면 충돌 시험의 개략도

차는 Deformable Moving Barrier라고 불리는데 대차의 전두부에는 에너지 흡수체인 Aluminum Honeycomb을 부착한다. Honeycomb의 물리적, 기계적인 특성은 통계적으로 1978년 북미의 평균적 차량의 전두부를 대표하는 것으로 대차 전체의 무게는 1360Kg (3000Lb)이고 폭은 1676mm(66inch)로 대차의 왼쪽 끝단이 시험차의 Wheelbase의 중간에서 940mm(37inch) 떨어진 A-Pillar를 충돌하게 위치한다. 상해치를 측정하는 도구로서의 인체모형인 Dummy는 USSID 또는 NHTSA SID라 불리는 측면 충돌용 Dummy를 운전자석과 운전자 뒷좌석에 착석하여 시험을 진행한다.

유럽의 측면 충돌 관련 법규는 1998년 9월부터 시행될 예정으로 있으며 법규 시험의 방법은 북미와 유사하게 정지 상태의 시험차를 대차가 직각인 90도의 충돌 각도로 50km/h의 속도로 대차의 중간점이 시험차의 R point를 충돌하도록 규정되어 있다. 이때 대차의 무게는 950kg이고 북미와 마찬가지로 대차의 전면에 충격 에너지를 일부 흡수할 수 있는 Barrier face를 부착하는데 그 기계적인 특성은 북미와 상이하다. 또한 상해치를 측정하기 위해서 유럽 독자의 측면 충돌용 인체 모형인 EuroSID(또는 EuroSID-1)를 운전자석에만 착석후후 시험을 실시한다.

Table 1은 북미와 유럽의 측면 충돌 시험

Table 1 북미와 유럽의 측면 충돌 시험 절차 비교

Test Procedure	NHTSA Test Protocol	EEVC Test Protocol
Test Configuration		
Impact Speed	54 Km/h(33.5mph)	50 Km/h
Impact Center	Left side barrier front 940mm(37") left from mid-wheelbase	Symmetrical plane of barrier passes through R point
Impact Angle	90°	90°
Crabbed Angle	27°	0°
Test Vehicle		
Front Seat Position	midpoint	midpoint
Front Seatback Angle	nominal design position	25° or nominal position
Moving Barrier		
Weight	1360Kg(3000 Lb)	950 Kg
Ground Clearance	279mm(11")	300 mm
Front Height	559mm(22")	500 mm
Front Width	1676mm(66")	1500 mm
Front Material	Al. Honeycomb	Free if meet spec.
Dummy		
Type	USSID	Euro SID-1
Seating Position	Driver Rear left Passenger	Driver only
Configuration	50th percentile male	50th percentile male
Detail	No arm;included thorax mass	Upper Arm, Shoulder

의 차이점을 보여주고 있다.

### Injury Criteria

측면 측면 충돌에 대한 상해치 기준은 크게 세 가지로 구분되는데 첫째는 북미에서 적용하고 있는 최고 가속도 값을 근거로 승객을 보호 하고자 하는 시도이고 또 다른 하나는 유럽에서 법규로 제시하는 Deflection과 Viscous 기준이다. 또한 유럽에서는 Abdomen과 Pelvis의 상해치를 하중을 기준으로 측정 평가하고 있다. 그러므로, USSID 및 EuroSID에는 가속도, 변위, 하중을 측정하기 위하여 Accelerometer와 Displacement Transducer, Force Transducer를 아래의 Fig.2과 같은 위치에 장착하여 상해치를 계산한다.

북미의 법규에서는 시험차가 대차에 의해 충돌될 때 각각의 좌석에 탑재된 USSID가 받는 최고 가속도 값을 기준으로 인체모형의 흉부에 대한 Thoracic Trauma Index(TTI)와 Pelvic의 가속도 상해 기준치가 있다. 북미의 FMVSS 214D에서는 최대의 Rib 가속도와 최대 Lower Spine 가속도와 의 평균치로 계산되는 TTI는 4 Door 승용차의 경우 85g를 넘지 못하거나 2 Door의 경우 90g를 넘지 못하도록 규정하고 있다. 그리고 Pelvis

의 가속도는 최대 허용 가속도 130g로 규정하고 있다. 그리고 실제의 측면 충돌시 가장 빈번히 발생하는 Head에 대한 상해 기준은 제외되어 있지만 이를 보완하기 위하여 기존의 FMVSS 201을 개정하여 Vehicle Upper Interior에서의 Head 보호 법규를 추가하였다. 북미의 데이터 처리의 특징은 모든 가속도 데이터를 최종적으로는 FIR(Finite Impulse Response) filter를 이용하여 계산하는 점이다. 이 FIR은 SAE class 180과 유사하나 최고 Peak치들은 서로 다르게 나타나는 특징이 있다.

한편 1998년 9월부터 시행될 유럽의 경우 상해의 기준을 가속도 값으로 계산되는 북미와는 달리 변형을 상해의 기준으로 인체의 Upper Part에서는 최대 Rib deflection과  $V * C$ 로 명명되는 Viscous Criteria로 정의된다. 또한 Force를 기준으로 인체의 Lower Part에 대한 기준으로 Abdomen과 Pubic symphysis Force로 규정되며, Head에 대한 법규는 만약 Head가 Vehicle Interior와 접촉시 북미의 HIC로 계산되는 가속도 기준의 Head Performance Criteria가 있는데 그 기준에 대한 구체적인 수치는 Table 2에서와 같이 나타나 있다.

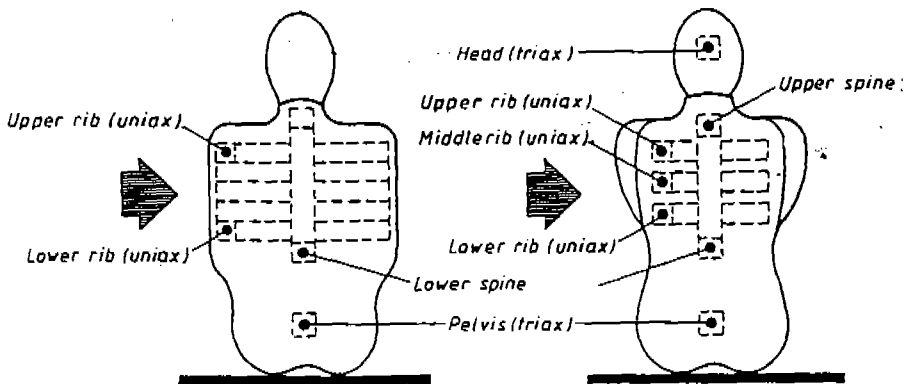


Fig.2 USSID와 EuroSID의 상해 측정위치

Table 2 북미 및 유럽의 상해 기준치

Injury Criteria	Side Impact US Regulation	Side Impact EEVC Regulation	
		Rib Deflection (mm)	U rib<42 M rib<42 L rib<42
Thorax Injuries	TTI< 85g(4 Door) 90g(2 Door)	Viscous Criteria (m/sec)	U rib<1.0 M rib<1.0 L rib<1.0
Plevis Injury	Peak Acceleraton< 130g	Pubic Symphysis Peak Force <6.0KN	
Abdomen Injury	N/A	Abdomen Load Summation <2.5KN	
Head Injury HPC	N/A	<1000 During head contact	

3. 북미와 유럽 법규 시험 결과 비교

본 연구에서는 북미와 유럽 법규의 특성을 구별하기 위하여 지난 수십년 동안 진행되어 온 각종 측면 충돌 관련 데이터 중에서 북미와 유럽의 법규 제정의 목적으로 실시된 데이터를 이용하여 면밀히 조사하여 분석하였지만 그동안 많은 시험 절차상의 개선, Moving Deformable Barrier 특성의 변화, Biomechanical한 특성의 변화가 지속적이어서 두 시험법의 특성을 정확히 파악하기는 상당히 어려운 현실이다. 그러나, 본 연구에서 인용한 시험은 우선 각각의 경우 동일한 차량을 이용하여 Moving Deformable Barrier의 영향, MDB의 진행 방향의 영향, 서로 다른 Dummy를 사용할 때의 영향 등을 비교하였다.

NHTSA와 EEVC 시험에서 나타난 상해치 비교

두종류의 Full Scale Test에서의 각각 Sub

-compact category의 차량과 Compact size와 Mid-size급의 차량을 NHTSA와 EEVC의 법규 시험시 법규에 해당되는 USSID와 EuroSID에 나타난 상해치를 비교한 결과는 Table 3에 나타나 있다. 결과에서 보는 바와 같이 가속도 값을 기준으로 하였을 시는 상대적으로 EEVC의 EuroSID를 사용할 때 가속도 값이 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 단순히 차량의 크기와 무게가 큰 경우 NHTSA의 가속도 기준의 상해치에는 상당히 유리하나 유럽 법규를 비교하면 차량의 크기와 무게가 크다고 해서 상해치가 낮아지는 것은 아님을 또한 알 수 있다.

NHTSA와 EEVC 시험에서 나타난 차체의 변형 형태 비교

측면 충돌시 밀고 들어오는 MDB에 의해 정지 상태의 차체의 왼쪽 측면은 Crush되며 이때 밀려들어오는 속도와 침입량은 인체의 상해치에 중대한 영향을 미친다. 특히, 이미 영국의 TRRL의 연구에서 밝힌 바와 같이

Table 3 북미와 유럽 측면 충돌 범규 시험시 상해치 비교 (\*)

Vehicle Injury	Sub-compact Size		Compact Size		Mid Size	
	NHTSA	EEVC	NHTSA	EEVC	NHTSA	EEVC
Acc. g						
U. Rib	74	251	69	231	57	140
M. Rib	N/A	280	N/A	209	N/A	295
L. Rib	107	319	85	235	73	230
L. Spine	62	93	78	122	73	109
TTI	85	206	82	179	73	202
Pelvis	94	108	65	68	90	80
Defl. mm						
U. Rib	N/A	52	N/A	33	N/A	43
M. Rib	N/A	54	N/A	44	N/A	45
L. Rib	N/A	50	N/A	55	N/A	40
V*C m/sec						
U. Rib	N/A	1.0	N/A	0.66	N/A	1.1
M. Rib	N/A	1.03	N/A	1.09	N/A	1.3
L. Rib	N/A	0.85	N/A	1.81	N/A	1.2
Force KN						
Pubic	N/A	4.4	N/A	1.1	N/A	3.4
Abdomen	N/A	2.0	N/A	1.0	N/A	1.1

\* Note : Unpublished Crash data from CCMC

침입하는 도어의 수직 평면상의 변형 형상은 상해치에 결정적인 영향을 미친다. USSID나 EuroSID의 경우 상대적으로 Pelvis 및 Abdomen에 대한 상해의 허용치는 차종마다 상대적으로 다르나 일반적으로 충분한 공간의 확보가 가능하여 그 안전도의 확보는 용이하다. 그러나, 반대로 Thorax에 대한 상해치를 만족하기란 상당히 까다로우므로 도어가 밀고 들어오는 현상과 Dummy에의 충격 에너지 분배에 보다 많은 연구가 이루어져 왔다. 침입하여 들어오는 도어의 변형량을 상대적으로 Dummy의 Thorax와 부딪치는 도어의 부위와 Pelvis부위의 도어 변형량을 상대적으로 비교하여 볼 때 EEVC의 충돌시험시 상대적으로 MDB의 지상고가 상대적으로 높기에 수직선상의 도어에서 중간 부위의 변형

Table 4 Front Door의 Vertical Deformation Patterns (\*\*)

Vehicle	Door Def.	Vehicle Dor Crush Difference(mm)	
		Deformation of (Mid Door - Lower Door)	
		NHTSA	EEVC
Subcompact Size		-117mm	+8mm
Compact Size		-45mm	-12mm
Mid Size		-39mm	+12mm

\*\* Note : Unpublished Crash Data from CCMC

량이 하단부보다 크다는 것을 Table 4에서 보는 바와 같이 알 수 있다.

#### 4. 결과 분석 및 토의

위의 Table에서 보는 바와 같이 북미와 유럽의 측면 충돌 시험의 방법론이 모두다 실

계 도로상에서 발생하는 사고에서 승객을 보호하고자 하는 목적에서 제정되었지만 그 시험 절차 및 상해치의 근본적인 기준이 서로 상이하므로 인해 인체 상해의 기준에서는 비록 북미의 USSID나 유럽의 EuroSID 모두 서구 사람의 체형의 표준인 50 Percentile을 기준으로 설계, 제작되었으나 측면 충돌시 나타나는 상해치에는 큰 차이가 남을 알 수 있다.

우선, 북미와 유럽의 시험에서 비교 가능한 TTI 및 Pelvis의 상해치를 비교 분석하여 보면 다음과 같다. TTI의 경우 북미의 범규 시험시 Subcompact 차량에서는 85g 였으나 유럽의 시험에서는 206g로 가속도 값의 증가는 121g 하였으며, 전체적으로 약 140% 유럽의 경우가 크게 나타난다. 또한 Compact 차량의 경우 NHTSA에서 TTI는 82g 인데 반면 유럽의 경우 TTI값은 179g로 97g의 가속도 값의 차이가 나며 약 118% 정도 유럽의 경우가 높게 나타난다. 그리고 Midsize의 경우 북미의 73g에서 유럽의 경우 202g로 176% 정도 크게 나타난다.

북미보다 유럽 범규 시험의 경우 Thorax에 대한 가속도 값이 높게 나타나는 요인은 두 가지로 볼 수 있는데 우선 유럽의 MDB의 지상고가 북미의 것보다 높고 또한 북미의 MDB은 폭이 1676mm(66")로 대부분의 차량은 A-Pillar와 접촉하여 충격 에너지를 충분히 차체의 A-Pillar와 T-Bar가 충분히 흡수하여 차체의 도어 및 B-Pillar로 전달되는 에너지를 분산시킬 수 있다. 그러나, 유럽의 MDB은 폭이 상대적으로 작아서(1500mm) A-Pillar와 직접적인 Contact이 없으므로 모든 충격 에너지가 Door와 B-Pillar에서 흡수하여야 북미와 비교시 상대적으로 Door의 중간 부분에 대한 침입량과 침입 속도가 빨라서 Throx에 대한 상해치가 높게 나타난다. Table 4에서 나타난 것 같이 동일한 차

량을 북미와 유럽으로 나누어서 충돌시 Door의 Thorax와 Pelvis 부위에 대한 변형량은 상당히 차이가 남을 알 수 있다. 그리고 USSID와 EuroSID의 Biofidelity상의 차이와 Arm으로 인한 에너지 흡수가 없는 상태에서 Thorax의 Rib cage에 직접적인 충격을 가하므로 가속도 값이 높게 나타나는 것은 당연하다.

그러나, Pelvis에 대한 상해치는 가속도의 측면에서 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 실차 시험의 결과에서는 Pelvis 가속도 값은 두 Dummy의 차이가 크게 나지 않음을 알 수 있다. 이러한 결과는 비록 북미의 경우보다 유럽의 시험법에서 차체의 침입량이 비록 크다고 하더라도 USSID와 EuroSID의 Abdomen에 대한 구조의 차이점 때문이라고 판단된다. 실차의 경우 충격이 전체의 Dummy에 걸쳐서 전달될시 EuroSID에서는 Lower Body의 충격량이 Abdomen과 Pelvis로 충격 하중이 분산되는 반면 USSID에서는 복부(Abdomen)으로의 전달은 미미하고 대부분 직접적으로 Pelvis로 전달되어 그 가속도 값이 동일한 Level로 나타났다고 추정된다.

유럽에서 규정하고 있는 Rib의 Deflection과 Viscous Criteria인  $V * C$ 에 대한 상해치의 결과를 살펴보면 세 유형의 차량 모두 상해 기준을 만족하지 못함을 알 수 있다. 이러한 결과는 기본적으로 북미의 FMVSS 214 D를 기초로 차량을 개발시 가장 흔히 볼 수 있는 현상으로 승객 보호의 관점에서는 전혀 다른 Approach를 적용하여야 할 것 같다. Padding을 사용할 때 승객의 가속도의 Peak치는 낮출 수 있으나 상대적으로 Rib cage와 도어의 Padding과 접촉하고 있는 시간이 증가하므로 인해 Rib의 변형량이 커지는 경향이 있다. Rib Deflection은 Left Rib Cage와 Spine과의 상대적인 변위를 나타내므로 적절하게 Rib과 Spine의 운동을 조절하므로 Rib

Table 5 Padding Stiffness에 따른 EuroSID의 상해치 비교(4)

Sled Speed		40 Km/h Test 1		40 Km/h Test 2		30 Km/h Test 3		30 Km/h Test 4	
Padding condition	TH/PE	TH	PE	TH	PE	TH	PE	TH	PE
	Stiff. N/cm <sup>2</sup>	26	25	6.5	25	15	25	6.5	25
	Thick	35	30	40	30	30	15	30	15
Rib Def.	Upper	51		41		48		31	
	Middle	49		37		43		29	
	Lower	50		37		38		25	
Rib Acc.	Upper	130		75		55		42	
	Middele	213		144		115		106	
	Lower	214		139		149		108	
Acce.	T1	73		43		44		24	
	T12	107		71		77		53	
	Pelvis	150		152		110		104	

의 변위량 감소시킬 수 있다.

아래의 Table 5에서 보는 바와 같이 프랑스 Renault<sup>4)</sup>에서 실시한 Sled Test 연구의 결과는 Thorax와 Pelvis 부위에 대한 Padding의 Stiffness를 조절하므로 Rib Deflection의 감소 효과를 가져왔다. 이러한 상해치의 감소 효과는 Thorax에 대한 Padding의 강성을 상대적으로 Soft한 재질로 사용하여 얻은 결과이다. 위의 Sled Test 결과에서 나타난 것 같이 우선 Rib Deflection은 동일한 충격 속도에서는 Thorax의 padding Stiffness가 낮을수록 효과적임을 알 수 있다. 먼저 충격 속도가 40Km/h인 Test 1과 2의 경우를 보면 비록 Test 2의 Thorax Padding 두께가 5mm 정도 더 두꺼워서 Thorax가 Pelvis보다 접촉하고 있는 시간이 길다고 하여도 가속도, Rib 변형량 모두 효과적임을 알 수 있다. 그리고 Test 3, 4의 경우를 보면 Soft한 Thorax의 Padding이 효과적임을 입증하고 충격 속도의 차이(40km/h와 30Km/h 비교) 또한 Rib의 Deflection에 큰

영향을 미침을 알 수 있다. 그러므로 Thorax에 사용되는 Padding의 Stiffness는 Pelvis보다 Soft하여야 하고 그 정도는 6.5N/cm<sup>2</sup> 이하의 Stiffness를 가진 재료가 가장 효과적이다.

## 5. 결 론

북미의 FMVSS 214D인 측면 충돌 법규와 1988년 9월 시행 예정인 EEVC의 측면 충돌 법규를 시험의 Protocol 및 인체모형인 USSID와 EuroSID 이용한 Full Scale Test의 시험 결과를 연구 분석한 결과 북미와 유럽의 측면 충돌 시험의 특성을 다음과 같이 결론 지을 수 있다.

- 1) 북미의 경우 국내의 자동차 업계에서는 이미 충분한 연구가 진행된 결과 이에 대한 대비가 충분히 진행되었지만 유럽의 법규는 비록 시험 절차가 유사하다 라도 MDB의 충격 Point, 크기 등이 상이하고 EuroSID의 USSID와 다른



동력학적 거동을 보이므로 유럽 법규에 대비한 새로운 전략이 필요하다.

- 2) 기존의 가속도 Base의 대응책으로는 Rib Deflection 및  $V \cdot C$ 의 감소 효과는 기대하기 어려우므로 도어가 승객 방향으로 침입하여 들어올 때 Door의 Vertical한 거동, Padding의 영향 유럽의 상해치에는 주요한 변수이므로 이에 대한 연구가 필요하다.
- 3) 북미의 USSID과 비교시 유럽의 EuroSID의 시험법의 상이점과 Dummy의 차이로 인해 TTI의 경우 최저 118% 최고 176% 정도 유럽의 경우가 높게 나타난다.
- 4) EuroSID에서 가장 문제가 되는 Rib Deflection의 조절은 Thorax부위에 Soft한 Padding의 부착하는 방법과 동시에 Pelvis쪽이 먼저 Door와 접촉하도록 유도하는 방법이 가장 효과적이다.
- 5) Pelvis를 침입하여 들어오는 Door와 먼저 접촉시키는 방법으로는 Door의 Lower Part가 상대적으로 Rigid하여 변형없이 Pelvis와 빠른 시간내에 접촉하는 방법과 EEVC Barrier 충격으로

가장 취약한 B-Pillar의 중간부위를 보강하여 가능하면 B-Pillar의 Middle이 Bending type collapse을 방지하여 Pelvis와 Door가 먼저 접촉하는 방법 등이 적용가능하다.

### 참 고 문 헌

1. Code of Federal Regulation, 49. Part 571.214, Side Impact Protection.”
2. ECE, “Draft Regulation—Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicle with Regard to the Protection of the Occupant in the Event of a Lateral Collision”, TRANS/SC.1/WP.29/R.640, 1993
3. TNO., “Evaluation of European and USA draft regulations for Side Impact Collisions”, 12th ESV Conference, 1987
4. J. Rio, D. Pouget, N. Casadei, “Renault VSS Safety Vehicle Occupant Safety in Side Impacts”, 13th ESV Conference, 1991