

뒷좌석 승객 보호를 위한 안전띠의 기하학적 특성에 대한 연구

윤영한* · 박지양** · 이승상** · 김민용**

A study of rear seat belts geometric characteristics for rear seated occupants protections

Younghan Youn*, Jiyang Park**, Seungsang Lee**, Minyoung Kim**

Key Words : Torso Belt(어깨띠), Lab Belt(골반띠), Rear Seat(뒷좌석), Crash simulation(충돌 시뮬레이션), Anchorage(앵커, 부착구), Combined Injury Probability (복합 상해가능지수)

ABSTRACT

The protection of frontal seat passengers in both driver and front seated occupant has been more focused from the auto industries as well as regulatory bodies more than 40 years. Recently, their interests have been extended to rear seat occupants especially children and female occupants. However, the current available safety devices for the rear seat occupants are seat belt only. According to the previous researchers, the injury level of the rear seat passengers tend to be higher than the injury level of the frontal seat passengers. In this study, the optimal location of seat belts anchorages to enhance rear passengers crashworthiness are studied. FEM models are designed in accordance with regulation of KMVSS102, UN R44, UN R16, and UN R14. and three point belts are fitted on the HybridIII 5th percentile dummy and HybridIII 50th percentile dummy. The combined injury value used HIC15, Nij, Chest deflection, Femur force are used to evaluate rear seat belt anchorage optimal locations.

1. 서론

전통적으로 운전자를 포함한 전방탑승객의 보호는 매우 중요시 되어 에어백 및 안전벨트는 기본으로 장착이 되어 승객을 보호할 뿐만 아니라 승객을 보호할 수 있는 다른 여러 방안들이 연구되고 있다. 그러나 정면 충돌시 뒷좌석의 승객 보호 성능에 대해서는 많은 관심을 가지고 있지 않다. 이러한 상황으로 인해 자동차 사고 발생시 뒷좌석 승객의 상해 수준이 앞좌석 승객의 상해 수준보다 높은 경향이 나타났다.

특히, 평균체형보다 작은 어린이⁽¹⁾와 여성승객의 경

우 안전벨트가 상해가능성을 증가시키는 것으로 보고되고 있다. 따라서 자동차 안전기준을 만족하고 많은 비용이 소모되는 실차의 충돌테스트를 대체하기 위해 CAE를 이용한 충돌시뮬레이션(Crash simulation)의 역할이 확대되고 있다.

본 연구에서는 뒷좌석의 승객 보호 성능을 향상시키기 위해 뒷좌석 안전벨트의 특성중 부착구 위치를 최적화 하는데 있다. KMVSS 102조, UN R14, UN R16, UN R44의 규정을 따라 슬레드 시험을 해석적 방법으로 구현하고, HybridIII 5th percentile 여성더미와 HybridIII 50th percentile 성인더미에 3점식 안전띠를 적용하였다. 벨트 부착구의 위치를 최적화하기 위해 시험계획법에 의해 해석을 수행하였고, 인체모형의 상해를 평가하기 위하여 HIC15, Nij, Chest deflection, Femur force의 수치가 조합된 상해 가능성 수치를 이

* 한국기술교육대학교 메카트로닉스 공학부

** 한국기술교육대학교 대학원

E-mail : yhyoun@koreatech.ac.kr

용하여 평가하였다.

2. 충돌시험 시뮬레이션 모델

2.1. 시험의 개요

본 연구는 자동차 뒷좌석 탑승자의 안전띠 부착구 위치(Anchorage point)에 따른 상해 정도를 연구하기 위해 UN R14, UN R16, UN R44를 이용하여 전방 모의충돌시험 해석을 수행하였다. 탑승자의 상해치를 판단하기 위해서 뒷좌석 탑승자의 많은 부분을 차지하는 10세 정도의 유아 및 여성의 신체 사이즈를 고려하여 HybridIII 5th percentile 여성 더미와 HybridIII 50th percentile 성인더미를 사용하였다. 충돌시험 시뮬레이션 모델 해석을 하기 위하여 Solver로 LS-DYNA를 사용하였다.

2.2. 뒷좌석 시트의 모델링

뒷좌석 탑승자의 상해 정도를 연구하기 위해 UN R44⁽²⁾의 규정에 의거하여 Fig. 1과 같이 표준시트를 구성하였다.

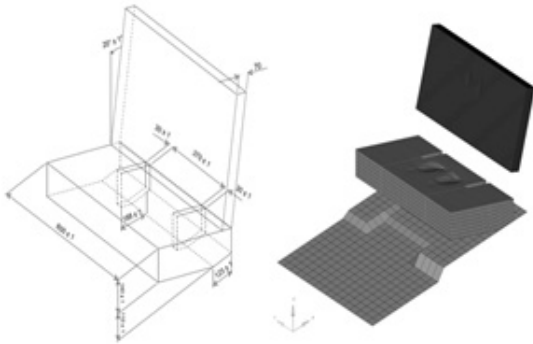


Fig. 1 UN R44 FEM rear seat modeling

뒷좌석 시트의 폼(foam) 재료는 UN R44에 명시된 Polyurethane foam을 사용하여 시트를 구성하였다. Polyurethane foam의 물성치는 Fig. 2와 같다.

안전띠의 웨빙(Webbing)은 일반적으로 가장 많이 사용하는 7%의 신율을 사용하였다. 대부분의 승용차에 뒷좌석에는 프리텐서너와 로드리미터가 장착되어 있지 않기에 해석모델에서는 적용하지 않았다.

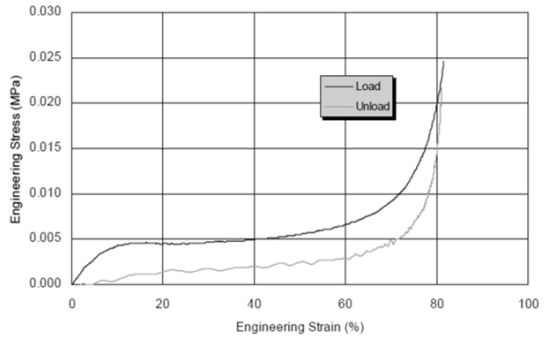


Fig. 2 Material data for a polyurethane foam

2.3. 해석 모델의 구성

본 연구에 UN R16의 규정에 따라 슬래드 시험모델링을 하였고, 규정에서 정의된 가속도 펄스를 사용하여 해석을 진행하였다. Fig. 3은 슬래드 시험 해석모델에서 사용한 충돌 과형으로 UN R16⁽³⁾의 30mph 정면 하프 사인 그래프이다.

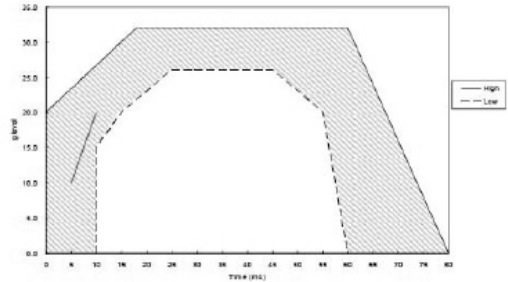


Fig. 3 Sled pulse for UN R16

해석적인 방법을 이용하는 본 연구에서 착석기준점을 찾기 위하여 FEM 해석을 통하여 착석기준점을 구하였는데 방법으로는 더미위치와 각 관절 부의 각도를 맞추어주고, 더미의 무게중심에 -z 방향으로 1g의 가속도를 주고 시트가 더미의 자중에 의해서 압축되는 위치를 찾는 방법으로 착석기준점을 계산하였다.

3. 뒷좌석 안전띠의 부착구 위치 최적화

본 연구는 뒷좌석에 탑승한 여성 탑승자와 성인 탑승자의 상해를 최소화하는 뒷좌석 안전띠의 최적화된 기하학적 부착구 위치를 직교배열법을 이용하였다.

3.1. 안전띠 부착구의 허용범위

UN R14⁽⁴⁾에서는 안전띠 부착구 위치에 대한 범규를 다루고 있다. 안전띠의 부착구는 Upper belt point와 Lower belt point로 구분된다.

Upper belt point는 어깨띠가 차체의 상부에 고정되는 위치로 아래 Fig. 4와 같은 영역내에 설치되어야 하며 뒷좌석의 Lower anchorage point는 착석기준점의 수평선에서 30도에서 80도 이내에 설치하도록 규정하고 있다.

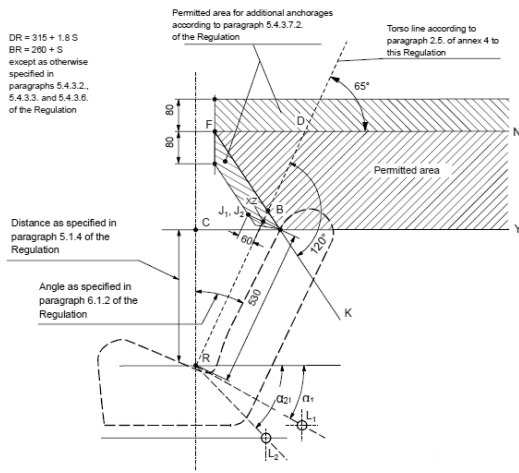


Fig. 4 UN R14 Rear seat anchorages permitted area

3.2. 변수 선정 및 최적화 방법

자동차 안전분야에서 범규나 상품성 평가 등에서 공통적으로 적용하고 있는 정면충돌에서의 탑승자의 상해정도의 판단 기준은 주로 머리상해지수(HIC : Head Injury Criterion), 가슴가속도, 목상해지수(Nij : Normalized Neck Injury Criterion)등으로 평가 되고 있다.

머리상해지수 (HIC)는 식(1)으로 정의 된다. 목 상해(Nij)는 식(2)로 정의되고 충돌 시 가슴과 머리의 상대 변위로 인해 굽힘력, 전단력, 장력이 발생하는데 목 상부에 장착된 로드셀(load cell)로 측정한다. 가슴 상해는 안전벨트에 의한 갈비뼈의 변위로 측정한다. 다리 상해는 대퇴부 내에 설치되어 있는 로드셀(load cell)로 측정한다.

$$HIC = \max \left[\frac{1}{t_2 - t_1 \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt} \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

$$N_{ij} = \frac{F_z}{F_{zc}} + \frac{M_{ocy}}{M_{yc}} \quad (2)$$

Fz : Force at the neck

Fzc : Critical force

Mocy : Total moment

Myc : Critical moment

뒷좌석 승객을 대변하는 인체터미의 상해를 최소화 하는 안전띠의 특성에 대한 최적화 설계를 위해 Table 1, Table 2와 같이 목적함수를 정의하였다. 본 연구에서는 인체상해를 최소화하는 목적함수로 미국의 USNCAP⁽⁵⁾에서 적용하는 5%tile 여성터미 와 50%tile H3 남성터미에 사용하는 상해위험 가능성을 나타내는 공식을 적용하였다.

Table 1 Injury risk probability for 35 mph Frontal USNCAP (H3 5F dummy)

Injury Criteria	Risk Curve
Head (HIC15)	$P_{head} = \Phi \left(\frac{\ln(HIC_{15}) - 7.45231}{0.73998} \right)$ <p>Where Φ = cumulative normal distribution</p>
Chest (mm)	$P_{chest_defl} = \frac{1}{1 + e^{10.5456 - 1.7212^* (ChestDefl)^{0.4612}}}$
Femur (kN)	$P_{femur} = \frac{1}{1 + e^{5.7949 - 0.7619 * Femur_Force}}$
Neck (kN)	$P_{neck_Nij} = \frac{1}{1 + e^{3.2269 - 1.9688 * Nij}}$ $P_{neck_Tens} = \frac{1}{1 + e^{10.968 - 3.770 * Neck_Tension}}$ $P_{neck_Comp} = \frac{1}{1 + e^{10.968 - 3.770 * Neck_Compression}}$ $P_{neck} = \text{maximum}(P_{neck_Nij}, P_{neck_Tens}, P_{neck_Comp})$

Table 2 Injury risk probability for 35 mph Frontal USNCAP (H3 50M dummy)

Injury Criteria	Risk Curve
Head (HIC15)	$P_{head} = \Phi\left(\frac{\ln(HIC_{15}) - 7.45231}{0.73998}\right)$ <p>Where Φ = cumulative normal distribution</p>
Chest (mm)	$P_{chest_defl} = \frac{1}{1 + e^{10.5456 - 1.568 * (ChestDefl)^{0.4612}}}$
Femur (kN)	$P_{femur} = \frac{1}{1 + e^{8.795 - 0.5196 * Femur_Force}}$
Neck (kN)	$P_{neck_Nij} = \frac{1}{1 + e^{3.2260 - 1.9688 * Nij}}$ $P_{neck_Tens} = \frac{1}{1 + e^{10.9745 - 2.375 * Neck_Tension}}$ $P_{neck_Comp} = \frac{1}{1 + e^{10.9745 - 2.375 * Neck_Compression}}$ $P_{neck} = \text{maximum}(P_{neck_Nij}, P_{neck_Tens}, P_{neck_Comp})$

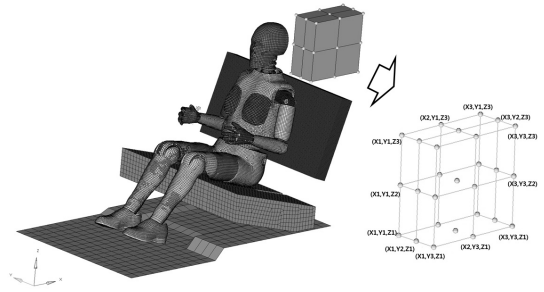


Fig. 5 Upper anchorage Location for optimization

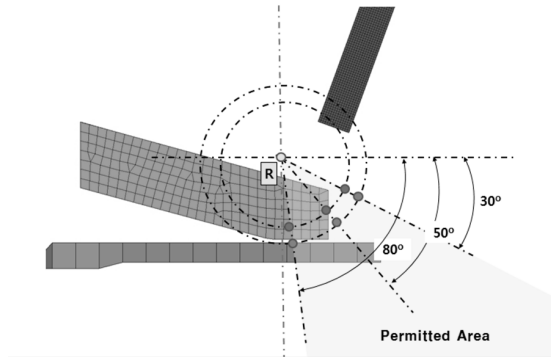


Fig. 6 Lower anchorage Location for optimization

또한 뒷좌석 승객의 안전성을 종합적으로 판단하기 위해 USNCAP에서 정한 머리 상해 Phead, 목 상해 Pneck, 가슴상해 Pchest, 대퇴골 상해 Pfemur의 부분 별 상해를 측정하여 식(3)을 이용하는 하여 복합 상해 가능지수를 계산 하였다.

$$P_{combined} = 1 - (1 - P_{head}) \times (1 - P_{neck}) \times (1 - P_{chest}) \times (1 - P_{femur}) \quad (3)$$

UN R14에서 요구하는 안전띠 앵커위치의 허용범위 내에서 착석기준점을 기준으로 상대 좌표로 X, Y, Z축 방향으로 각각 3개의 변위 좌표를 갖도록 Fig. 5와 Table1과 같이 설계변수를 설정하였다.

마찬가지로 Lower anchorage point는 Fig. 6 및 Table 3과 같이 UN R14의 허용범위에서 각각 30°, 50°, 80°로 3개의 변수를 선정하였다.

설계 변수 (design parameter)는 안전띠 부착구 위치를 선정하였으며, D1, D2, D3는 각 Upper anchorage point의 X축, Y축, Z축이며, D4는 Lower anchorage point의 각도로 선정 하였다.

Table 3 Design parameter for anchorage points

(Ref. H-Point, Unit: mm)

Parameter	Upper anchorage Location			Lower belt Anchorage Angle
	X	Y	Z	
1	209.84	140.00	450.00	30°
2	363.08	210.00	596.14	50°
3	516.32	280.00	742.28	80°

Table 4 Levels of design parameters

Design Parameter		Level		
		1	2	3
D1	D-ring Location of X axis	X1	X2	X3
D2	D-ring Location of Y axis	Y1	Y2	Y3
D3	D-ring Location of Z axis	Z1	Z2	Z3
D4	Lower belt Anchorage Angle	A1	A2	A3

슬레드 시험 시 제어할 수 없는 잡음 인자로서 정확한 가속도 펄스를 제어하기 힘들기 때문에 펄스를 잡음인자로 결정하였다. N1인자는 30G보다 0.5G가 낮은 가속도를 잡음인자라고 보고 N2인자는 0.5G가 높은 가속도를 잡음 인자로 설정하였다.

4. 영향도 분석

각 설계인자의 수준은 3이고 인자가 4개이므로, 3수준의 직교배열표⁽⁶⁾ 가운데서 열이 최소 4개 이상 필요하다. 그러므로 4개의 인자 배당이 가능한 직교배열표 L9(81)을 사용하였다. H3 5%tile 여성더미와 H3 50%tile 남성더미에 대한 해석의 결과는 Table 5와 같다.

Table 5 HybridIII 5F dummy analysis results

NO.	Parameter Design				P _{combined}	
	D1	D2	D3	D4	N1	N2
1	X1	Y1	Z1	A1	0.573	0.620
2	X1	Y2	Z2	A2	0.876	0.826
3	X1	Y3	Z3	A3	0.918	0.958
4	X2	Y1	Z2	A3	0.493	0.542
5	X2	Y2	Z3	A1	0.633	0.768
6	X2	Y3	Z1	A2	0.785	0.836
7	X3	Y1	Z3	A2	0.450	0.494
8	X3	Y2	Z1	A3	0.690	0.752
9	X3	Y3	Z2	A1	0.744	0.826

4.1. 5%tile 여성더미에 대한 변수 연구

Table 5의 직교배열표에 따라 실시된 변수연구를 통해 Fig. 7과 같이 부착구 위치에 따른 상해치 변화

를 파악하였다. 5%tile 여성더미에 대한 뒷좌석 안전띠에서 부착구의 최적위치로는 X축 방향에 대해 X3위치가 최적위치로 선정되었으며, Y축방향에서는 Y1, 즉 더미에 근접할수록 상해치가 감소하는 경향을 보인다. 또한 Z축의 경우는 어깨 부위에 떨어질수록 상해치가 낮아졌다. Lower anchorage 각도는 안전띠가 승객을 Z방향으로 구속할수록 상해치가 감소되는 효과가 있다.

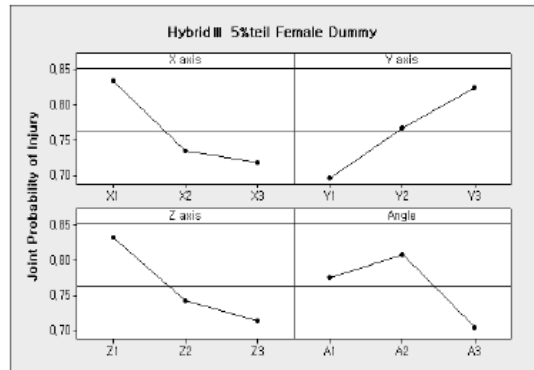


Fig. 7 Effectiveness of design parameters for 5%tile female dummy combined injury probability

4.2. 50%tile 성인더미에 대한 변수 연구

H3 50%tile 남성더미에 대한 해석의 결과는 Table 6과 같다.

Table 6 HybridIII 50M dummy analysis results

NO.	Parameter Design				P _{combined}	
	D1	D2	D3	D4	N1	N2
1	X1	Y1	Z1	A1	0.379	0.437
2	X1	Y2	Z2	A2	0.588	0.642
3	X1	Y3	Z3	A3	0.743	0.784
4	X2	Y1	Z2	A3	0.474	0.522
5	X2	Y2	Z3	A1	0.430	0.546
6	X2	Y3	Z1	A2	0.669	0.722
7	X3	Y1	Z3	A2	0.369	0.398
8	X3	Y2	Z1	A3	0.538	0.587
9	X3	Y3	Z2	A1	0.560	0.573

뒷좌석 남성 탑승자의 안전띠의 부착구 위치에 따른 상해치 변화를 분석 한 결과 여성의 경우와 같이 부착구의 최적위치로 X방향에 대해 X3 위치가 낮은

상해치를 보여준다. Y축 방향으로 Y1에서 상해치가 가장 작게 나타났으며 골반띠의 경우는 50도 부근에서 상해치가 가장 작은 것을 확인 할 수 있었다. Z축은 5%tile 여성 더미와 같이 유사한 상해치 감소 효과가 있음을 발견하였다.

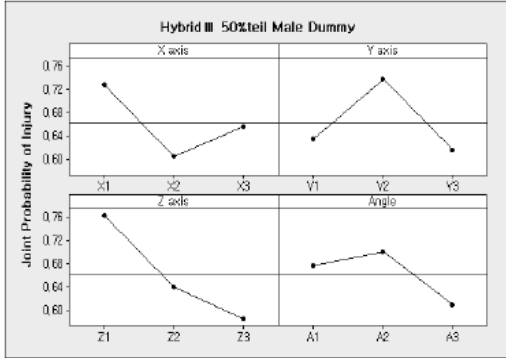


Fig. 8 Effectiveness of design parameters for 50%tile male dummy combined injury probability

5. 결론

본 연구에서는 안전띠 부착구 위치에 따른 여성과 성인남성의 충돌 환경에서 받을 수 있는 영향을 연구 하였다.

본 연구의 한계점으로는 충돌모사시험을 실시할 수 없어 뒷좌석 승객에 안전띠 부착구의 위치가 인체상해에 미치는 영향을 시험적으로 확인하지 못하였다. 향후 첨단안전과제의 일환으로 진행되는 충돌모사시험과 비교할 예정이다

UN R16의 슬레드 파형을 이용하여 해석적인 시뮬레이션을 통해 뒷좌석 안전띠의 부착구 위치에 따른 뒷좌석 탑승자 상해 가능성에 대한 분석을 통해 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 유한요소모델을 이용하여 안전띠 부착구 위치에 대한 최적화를 실험계획법을 적용해 여성더미와 성인더미에 대한 안전띠 착용 경로를 분석하였다.

- 2) 안전띠 부착구의 최적화 위치는 X축 방향으로 여성더미보다 성인남성더미의 상해치가 개선되는 경향을 확인할 수 있었고, Y축 방향으로 어깨의 중심에 안전띠가 위치할수록 상해치가 개선되는 경향을 확인할 수 있었다. 그리고 Z축 방향으로 어깨위치보다 높이 위치할수록 상해치가 개선되는 경향을 확인할 수 있었다.
- 3) Y축 방향으로 멀어질수록 안전띠가 벗겨지는 경향을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 Y3의 경우 벨트가 벗겨지는 현상이 나타났다. 따라서 탑승객의 충돌안전성 향상을 위해 Y축 방향으로 어깨범위를 넘어가지 않도록 해야한다는 것을 확인할 수 있었다.
- 4) Lower anchorage point는 허용범위에서 각도를 크게 가져갈수록 상해치가 개선되는 효과를 확인할 수 있었다. A1의 경우처럼 각도가 작아질 경우 submarine 현상은 피할 수 없을 것으로 예측된다.

후 기

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(11PTSI-C054118-03)으로 수행된 연구임.

참고문헌

- (1) Younghan Youn, "Assessing Rear seat Belt Anchorage Geometry in Older Children Safety", KSAE spring conference, pp. 1225-1232, 2013
- (2) UN R.44 "Child restraint System Regulation"
- (3) ECE R.16 "Safety belts Regulation"
- (4) UN R.14 "Safety belt anchorages Regulation"
- (5) National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Consumer Information; New Car Assessment Program: Notice, 2008
- (6) Yun-Bae Kim, "The Optimization of Passenger Seat Belt Design for Female Passenger", KSAE, Vol. 20, No. 4, pp.10-15, 2012