◎ 논 문

좌석안전띠 부착장치 위치에 따른 어린이 충돌안전성 연구

김시우* · 류 현** · 김용길** · 백선현** · 김민우** · 박지훈**

The Study on the Effect of Seatbelt anchorage points using Q6 in sled test

Siwoo Kim*, Hyun Ryu**, Yonggil Kim**, Seonhyeon Baek**, Minwoo Kim**, Jihun Park**

Key Words : Child Restraint Systems(어린이 보호장치), Frontal crash(정면충돌), Children's safety(어린이 안전), 6세 어린이 인체모형(Q6 Dummy), Sled Test(충돌모의 시험), Seatbelts anchorage points(좌석안전띠 부착장치 위치)

ABSTRACT

Development in vehicle industry could increase interest in children's safety recently. However the research of children safety is not being conducted as many as that of adult's. Especially the basic study for the vehicle crash on-board children was not much. This study focused on the effect of seatbelt anchorage points to evaluate children's safety in frontal crash. The current regulation of the seatbelt anchorage points is suitable for ranged from female 5% to male 95%. The assessment of children's safety at buckle up of no used CRS(child restraint system) was performed using frontal sled tests. The frontal crash pulse in sled tests was designed to the average of about 30 KNCAP frontal crash pulses. To reduce number of experiments, DOE is used. The Q6 child dummy and standard seat in UN R 129 were used. According to the analysis of test results, children's safety has been influenced by the points of seatbelt anchorage.

1. 서 론

자동차 좌석안전띠는 자동차 사고시 탑승자의 상해를 줄여주는 중요한 효과적인 장치로 알려져 있다. 좌석안전띠가 효과적으로 탑승자를 구속하기 위해서는 좌석안전띠가 고정되는 지점의 위치가 매우 중요한 역할을 한다. 따라서, 자동차 안전기준에 관한 규칙에는 고정장치의 위치영역을 기준으로 규제하고 있다. 또한, 자동차 안전기준에서는 상해관련 기준을 전방탑승자에 한해서만 규제하고 있다.[1] 자동차안전도평가의 충돌시험에도 마찬가지로 전방탑승자에 대한 평가만을 시행하고 있다.[2] 이러한 자동차안전기준과 자동차안전도평가 시행 등으로 자동차의 안전도는 지속적으로 향상되었으며 그로 인해 최근에는 전방탑승자의 경우 과거와 비교해서 안전도가 매우 높아져 있다. 그러나 상대적으로 뒷좌석의 경우는 좌석안전띠의 설치의무와 좌석안전띠 고정장치 위치영역에 대한 규정만이 있다. 그리고 안전도 향상 등에는 전방탑승자에 비해 관심도가 부족한 실정이다. 특히, 어린이의 경우 대부분 자동차의 뒷좌석에 탑승하고 있으나 국내에는 뒷좌석에 대한 충돌안전성 기준이나 평가제도 등을 시행하고 있지 않아 도입이 시급하게 검토되어야 하는 시점이다.

경찰청 통계에 따르면 국내의 어린이(12세 이하) 교통사고 건수가 전체 교통사고에서 차지하는 비율이 2005년 8.4%에서 2012년에는 5.6%로 줄어들고 있다.

* 교통안전공단 자동차안전연구원
E-mail : wawoo@ts2020.kr

사망자는 2005년 250명에서 2012년 83명으로 약 66%가 감소하였고, 부상자는 2005년 22,051명에서 2012년 15,485명으로 약 30%의 감소가 확인되었다.[3] 이러한 추세는 해외에서도 유사하게 나타나고 있다. 유럽 19개국의 통계에 따르면 15세 이하의 어린이 교통사고 사망자가 2001년 1,862명에서 2010년 788명으로 약 50%가 줄었으며,[4] 미국의 경우도 14세 이하의 어린이 교통사고 사망자가 2007년 1,680명에서 2012년 1,168명으로 약 30%의 감소를 나타냈다.[5]

아울러, 유럽의 경우 자동차안전기준에 어린이 보호장치에 대한 기준이 UN R 44과 2012년 안전도가 강화된 어린이보호장치(Enhanced Child Restraint System)에 대한 규정이 UN R 129로 제정되었다. 최근에는 6세 이상의 어린이에 대한 안전도 강화를 위한 부스터 시트에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한, 유럽신차안전도평가(Eueo NCAP)를 통해 평가대상 자동차뒷좌석에 어린이 인체모형을 탑재한 상태로 40% 부분정면충돌 시험과 어린이 보호장치에 대한 자동차 좌석 장착성 및 어린이 보호장치 장착을 위한 자동차의 상태평가를 동시에 시행하고 있다. 따라서, 어린이 보호를 위한 자동차의 평가방법 및 어린이 보호장치에 대한 부품의 평가기준 등은 제정되어 있으나, 실제 좌석안전띠 부착장치에 대한 연구는 다소 부족한 실정이다.

Klinich는 적정하지 못한 벨트의 고정은 부스터 시트 사용 유무와 상관없이 복부나 머리상해를 증가시키는 현상을 HybridIII 6세와 10세 인체모형을 이용해 결과를 제시하였다.[6] Reed는 FMVSS213 좌석을 이용한 시트 형상과 강성에 대해 54차종 비교연구를 시행하였다. 그결과 FMVSS 213 시트가 대부분의 자동차 보다 더 부드럽다고 제시하였다.[7] 최근 미국 도로교통안정청(NHTSA)는 2013년 시트쿠션의 길이와 벨트 고정위치에 대한 평가를 Hybrid 6세와 10세에 대해 시행하였다. 안전벨트 고정위치변수는 골반부 각도로 30도와 75도 사이로 결정하였고, 시트 길이는 350 mm와 450 mm로 시험을 하였다. 시험결과 쿠션길이가 길고 벨트 고정위치각도가 낮을 경우 거동이 불리한 방향으로 나타남을 제시하였다.[8] 최근 NHTSA의 연구결과를 제외하면 안전벨트 고정위치에 대한 연구가 거의 없는 상태이며 최근 개선된 어린이 인체모형(Q6)에 대해서는 연구가 필요하다고 하겠다.

본 연구에서는 다소 부족한 어린이 탑승객 안전을 위해 좌석안전띠의 고정위치에 대한 기초연구를 시행하였다. 국내에서도 시급한 어린이 탑승객 안전을 위한 자동차평가절차의 연구에 앞서 좌석안전띠 고정장치 위치가 어린이 안전에 미치는 영향을 개선된 6세 어린이 인체모형을 대상으로 충돌모의 시험을 시행하고 그 결과를 분석하였다.

2. 어린이 상해기준

어린이 탑승객 보호를 위한 어린이 보호장치(CRS)에 대한 자동차안전기준은 유럽, 일본 및 미국 등에 규정되어 있다. 어린이 보호장치에 대한 안전기준 적합성 평가는 어린이 보호장치에 어린이 인체모형을 탑재하여 충돌하는 시험방법으로 시험한다. 충돌시험 과정 중 어린이 인체모형에서 계측되어지는 값을 상해지수값으로 계산하여 어린이의 안전성을 확인하는 절차로 진행된다. 본 연구에서도 충돌을 모의하는 시험방법을 통해 어린이 인체모형의 상해지수값을 산출하고 평가함에 따라 어린이 인체모형과 상해기준에 대해 간략히 기술하였다.

어린이 인체모형은 HybridIII와 최근 개발된 Q-series 어린이 인체모형이 있다. Q-series 어린이 인체모형은 Hybrid III 인체모형보다 생체 충실도가 높은 어린이 인체모형이다.[9] 따라서 본 연구에서 활용한 Q-series 어린이 인체모형과 그 상해기준을 검토하였다.

2.1. Q-series Dummy

1993년 어린이 인체모형 연구그룹(Child Dummy Working Group)에서 기존의 어린이 인체모형인 P 시리즈의 개선에 대한 논의가 시작되었다. 새로운 인체모형인 Q 시리즈는 1997년 유럽집행위원회(EC)가 지원하는 어린이보호장치 기준(Child Restraint System STandard, CREST) 프로젝트에서 연구되었고 최초 3세 인체모형인 Q3가 1998년 개발완료 되었다. 그 후 1999년 Q6, 2000년 Q1, 2003년 Q0와 Q1.5가 개발되었고, EC에서 지원하는 EPOCh (Enabling Protection of Older Children)에서 2010년 Q10이 개발되었다. Fig. 1은 Q-Series 인체모형이다.

Fig. 1 Q-series of child dummies(left to right Q1.5, Q6, Q0, Q10 and Q3)

유럽의 강화된 어린이보호장치(Ehanced child restraint system) 기준인 UN R 129에서 Q-Series 인체모형의 사용과 상해기준을 제시하고 있다. EuroNCAP(Europe Korea New Car Assessment Program)에서도 Q-Series 인체모형을 사용하고 있다. EuroNCAP에서는 Q1.5와 Q3를 부분정면충돌과 측면충돌 시험에서 사용하고 있다. 20016년부터는 Q6과 Q10을 부분정면충돌과 측면충돌에서 사용할 계획이다. KNCAP(Korea New Car Assessment Program)에서는 2017년부터 Q6와 Q10 어린이 인체모형을 부분정면충돌과 측면충돌 시험 시 뒷좌석에 착좌하여 사용할 계획으로 있다.

2.2. Q-series Dummy 상해기준

Q 더미에 대한 어린이 상해위험 데이터를 직접적으로 활용할 수 있는 문헌은 제한적이다. 일반적으로 성인 상해데이터와 실사고 사고재현을 통한 상해기준 등의 스케일링 기법을 활용한다. CREST와 CHILD에서 P 더미와 Q 더미들을 이용한 98건의 실사고데이터 재현을 통한 연구를 수행하였다. 이를 통하여 Q 더미에 대한 상해기준값을 제안하였다.

Q 더미의 상해지수들은 HIC(Head Impact Criterion), Head Acc3ms, 목 인장력과 목 굽힘모멘트와 흉부압축변위량(chest deflection)이다. EEVC(European Enhanced Vehicle-safety Committee)에서는 Certainty Method와 Logistic Regression 기법을 이용하여 HIC, 머리 가속도, 목 인장력, 목 굽힘 모멘트 흉부압축 변위량에 대한 AIS 3+ 20～50％ 상해 확률을 제시하였다.[10] EPOCh(Enabling Protection for Older Children) 프로젝트는 Q10 더미에 대해 ECE R 44에 따른 시험 시 관련 상해기준값을 제안하였다. Table 1은 EEVC에서 제시하는 Q3와 Q6의 AIS 3+ 50％에 대한 상해 기준값과 EPOCh에서 제안하는 Q10 상해기준값을 정리하였다.

Table 1 Proposed injury criteria for Q3, 6 and Q10

Measurement	Q3	Q6	Q10
HIC_{15}	1000	1389	-
Head acceleration(3ms)	99g	109g	80g
Upper neck Tension	1705N	2304N	-
Upper neck Flexion	-	-	125N
Upper neck Flexion Moment	96Nm	143Nm	37Nm
Chest deflection	53mm	49mm	56mm
Chest acceleration	-	-	45g

Table 1의 Q6 상해지수값은 Q3을 100％로 하여 스케일링 기법으로 산출되어 Q10보다 더 높은 값이 표현되어 있다.

Table 1과는 다소 상이하지만 Euro-NCAP에서는 Q1.5세와 Q3세에 대해서 상해기준을 Table 2와 같이 정의하여 사용하고 있다.

Table 2 Injury criteria for Q1.5 and Q3

Measurement	Q1.5	Q3
Head Peak Acc.	80g	96g
Head acceleration(3ms)	88g	100g
Upper neck Tension	3000N	3000N
Chest acceleration	55g	66g

UN R 129에서 제시하는 상해기준은 Table 3과 같다.

Table 3 Standard injury criteria for Q series dummy

Measurement	Q1.5	Q3	Q6
HIC_{15}	600	800	800
Head acceleration(3ms)	75g	80g	80g
Upper neck Tension	Monitoring		
Upper neck Flexion Moment	Monitoring		
Chest acceleration	55g	55g	55g

상해기준은 사용하는 기관에 따라 다소 상이함을 볼수 있으며 UN R에서 제시하고 있는 기준이 최소한의 기준으로 판단하고 있다.

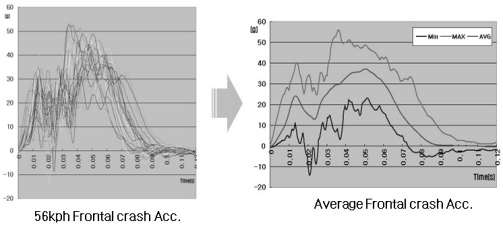
3. 시험방법 등

3.1.UN R 129 표준시트

Q6 더미에 좌석안전띠 부착장치 위치에 대한 시험용 시트는 UN R 129에서 규정하고 있는 표준시트를 사용하였다. 표준시트에서 조절가능한 좌석안전띠 부착장치의 위치를 Fig 3과 같이 설정하였다.

3.2. 충돌속도 및 가속도 펄스

정면충돌 시험을 위해 2010년부터 2012년 KNCAP에서 시행한 자동차에 대한 정면충돌 감속도를 확인하였다. 총 30차종에 대한 감속도를 확인하였으며 감속도의 최고와 최저에 대한 범주를 확인하여 평균 감속도를 Fig 2와 같이 확인하였다. 충돌 속도는 KNCAP의 정면충돌 속도인 56 km/h로 시험하였다.



56kph Frontal crash Acc.

Average Frontal crash Acc.

Fig. 2 Frontal crash acceleration and mean acceleration

3.3. 시험방법

표준시트를 이용하여 시험결과의 경향성과 최적방향을 확인기 위하여 실험계획법을 활용하였다. 변수로는 좌석안전띠 부착장치의 위치변화가 가능한 D-ring, LH Anchorage와 RH Anchorage를 이용하였다.

국내 자동차안전기준, FMVSS 213 및 UN R 14에는 좌석안전띠 부착위치에 대한 정의가 있다. Fig. 3과 같이 이를 만족하면서 D-ring은 앞뒤방향으로 이동이 가능한 것으로 가정하였고 LH 및 RH Anchorage는 H-point를 중심으로 하는 원주에서 적용가능한 지점으로 Fig 3과 같이 결정하였다. Table 4는 수준수와 변수를 나타내고 있으며 Level 2를 기준점으로 하였다. 각 인자의 수준은 3수준으로 결정하고 인자가 3개이므로 L9(3^4)를 사용하였다.

Table 4 Level of design parameters

Design parameter		Level		
		1	2	3
D1	D-ring Location	X1	X2	X3
D2	LH Anch. point	Y1	Y2	Y3
D3	RH Anch. point	Z1	Z2	Z3

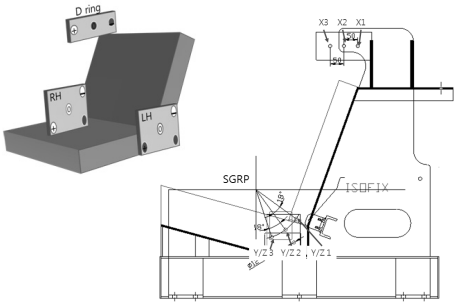


Fig. 3 Design level in UN R 129 Seat

Fig. 4 Test condition

4. 시험결과

각 시험결과에서 확인가능한 상해지수는 HIC_{15}, Head acc.(3ms), Chest acc.(3ms), Upper Neck Fx, Upper Neck My, Upper Neck Fz를 확인하였다. Q6 어린이 인체모형에 대한 상해지수별 상해가능성 곡선이 없다. 따라서 각시험결과에 대한 각각의 상해지수를 표준화 하여 합산값을 시험별 상해지수로 확인하였다.

Table. 5 Orthogonal array & Results

No.	Design parameter			Results
	D1	D2	D3	
1	X1	Y1	Z1	-8.72
2	X1	Y2	Z2	1.33
3	X1	Y3	Z3	-2.27
4	X2	Y1	Z2	-2.12
5	X2	Y2	Z3	4.05
6	X2	Y3	Z1	2.64
7	X3	Y1	Z3	3.74
8	X3	Y2	Z1	0.13
9	X3	Y3	Z2	1.24

Results = SUM[STD(HIC_{15}, HIC_{36}, Head acc. 3msec, Chest acc. 3ms clip, Upper neck tension force, Upper neck shear force, Upper neck moment)] (1)

결과값은 식 (1)과 같이 상해지수의 표준화값에 대한 합산값을 사용하였다. 이는 아직까지 인체모형 계측결과에 대한 제도적인 상해기준이 제정되지 않아서 전반적인 결과의 분석을 위해 활용하였다.

Fig. 5에서 볼 수 있듯이 전반적으로 D-ring, LH, RH 포인트 기준위치보다 뒤쪽으로 설정될 경우 Q6 더미의 상해가 줄었다는 것을 확인할 수 있다. 특히 RH 포인트의 경우 뒤쪽과 앞쪽에 대한 효과가 높게 나타나고 있다. D-ring의 경우 중간지점과 앞쪽 지점과의 차이는 크지 않다. LH지점은 기준지점이 가장 높은 상해결과값이 나타났고 뒤쪽보다는 앞쪽의 값이 더 높게 나타남을 확인 하였다.

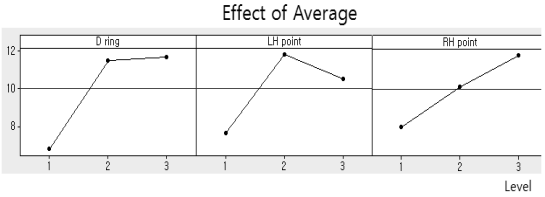


Fig. 5 Q6 injury effects by anchor locations

LH, RH 포인트가 앞쪽으로 이동 될 경우 인체모형의 거동을 초기에 잡아 줄 수 있는 공간이 많기 때문에 거동증가에 따른 상해값이 커지는 경향이 나타났다.

5. 결 론

정면충돌 사고 시 좌석안전띠 부착장치의 위치가 어린이 안전에 미치는 영향을 UN R 129 표준시트와 최근 개발된 어린이 인체모형(Q6)으로 충돌모의 시험을 통해 평가를 시행하고 그 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 좌석안전띠 부착장치의 위치는 정면충돌 시 어린이의 안전도에 영향을 미친다.
(2) 3점식 좌석안전띠 부착장치의 위치가 자동차 전방방향으로 이동될 경우 충돌 시 어린이의 초기 이동량이 증가하며 그에 따라 상해값이 증가하는 경향을 확인하였다.
(3) CRS를 착용하지 않은 Q6 어린이 인체모형의 평가에서 목 상단부 인장력과 가슴 가속도는 UN R 129에서 제시하는 기준값을 초과하였다.

본 연구를 통해서 어린이보호장치(Child restraint system)를 사용하지 않은 상태의 좌석안전띠 부착장치 위치에 따른 상해를 검토하는 기초적인 연구를 수행하였음에 어린이 보호장치의 사용에 따라 그 결과가 달라질 수 도 있어, 향후 어린이 보호장치를 적용한 경우와 실차 조건에서의 추가연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원의 연구비지원(11PTSI-C054118-03)으로 수행된 연구임

참고문헌

(1) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea motor vehicle safety standard. 2014.
(2) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Notice of Korea New Car Assessmemt Program. 2014.
(3) The national Police Agency, "The statistical report of traffic accidents in 2012". 2014
(4) European Commission, "The annual statistical report". 2014
(5) "Traffic Safety Facts, 2012 Data", DOT HS 812 011

(6) Klinich, K. D., Reed, M. P., Orton, N. R., Manary, M. A., & Rupp, J. D. (2012, May). "Optimizing protection for rear seat occupants: assessing booster performance with realistic belt geometry using the Hybrid III 6YO ATD." (Report No. DOT HS 811 608). National Highway Traffic Safety Administration. 2013

(7) Reed, M. P. "Measurement of contour and deflection of vehicle seats for comparison with the FMVSS NO. 213 dynamic test bench." (SAE Technical Paper 2001-01-0265). Warrendale, PA: SAE International. 2011

(8) Klinich, K. D., Reed, M. P., Ebert, S. M., & Rupp, J. D. "Effect of realistic vehicle seats, cushion length, and lap belt geometry on child ATD kinematics." (Report No. DOT HS 811 869). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

(9) "Q-dummies Report(Advanced child dummies and injury criteria for frontal impact)", EEVC 12and 18, 2008.8

(10) "Proposed expansion of UNECE Regulation 44 and NPACS published protocols for use with Q10 Dummy", EPOCh consortium 2011.