

정면충돌 시험방법에 따른 어린이 탑승객 충돌안전성 비교연구

김시우*

A Study on the Comparison for the Child Occupant Safety from Frontal Crash Test Protocol

Siwoo Kim*

Key Words : Child Restraint Systems(어린이 보호장치), Rear seat(뒷좌석), Frontal crash(정면충돌), Offset Frontal crash(오프셋정면충돌), Children's safety(어린이 안전), Q6(6세 어린이 인체모형), Q10(10세 어린이인체모형)

ABSTRACT

Recently, development in vehicle safety could increase interest in children's safety in vehicle collisions. But the research of children safety in vehicle collisions is not being conducted as many as that of adult's. Especially the study for the vehicle crash was not much. This study focused on the comparison of child safety between test protocols to evaluate children's safety in crash test. Injuries of Q6 and Q10 dummy were evaluated using FFRB (Full frontal rigid barrier) test and 40% ODB (Offset deformable barrier) test with one model vehicle. Even though the limit number of test, the tendency of injury criteria of Q6 and Q10 dummy between the test protocols was not conformed but injury criteria of Q6 and Q10 were not same between FFRB and 40% ODB.

1. 서론

자동차 안전기준은 자동차가 갖추어야 하는 가장 기본적인 규정이다. 세계 각국은 자동차 안전기준을 통해 보다 안전한 자동차의 제작을 유도하고 교통사고로부터 인명과 재산을 보호하고자 노력하고 있다. 특히, 최근 10여 년 동안 신차안전도평가제도가 자동차 안전에 큰 영향을 주고 있다. 이는 신차안전도 평가결과를 공개하여 상호비교가 가능하게 하는 정보를 소비자에게 정보를 제공함으로써 제작사의 무한 경쟁을 유도하는 측면이 있다.

신차안전도평가를 통한 다양한 충돌시험방법으로 자동차의 안전도를 확보는 하고 있지만, 어린이 탑승자에 대해서는 1.5세와 3세 만이 어린이보호장치(Child restraint

system)와 함께 정면 또는 부분정면충돌 시 뒷좌석에서 함께 평가되고 있고, 6세 이상의 어린이에 대해서는 평가 계획만이 현재 제시되고 있다.⁽¹⁾ 특히, 실차 충돌시험을 통해 어린이 탑승객의 안전도를 확보하는 자동차 안전기준은 국내의 어디에도 아직 시행하고 있지 않다.⁽²⁾⁻⁽³⁾

국내 자동차 안전기준에 따른 어린이 탑승객 안전은 어린이보호장치(Child restraints system)를 자동차에 장착하기 위한 부착구 관련된 기준만이 있다. 유럽과 미국의 경우 어린이 보호장치에 대한 안전기준이 별도로 규정되어 있어 그에 대한 안전기준 적합여부를 확인하고 있지만, 국내의 경우 자동차관리법이 아닌 품질경영 및 공산품 안전 관리법에 따라 인증을 받도록 규정 되어 있다.⁽⁴⁾

최근 발표되고 있는 한국 신차안전도평가 결과를 보면 자동차의 안전도가 많이 향상되고 있음을 알 수 있다. 그러나 국내에서 어린이 탑승객에 대한 안전도 향상을 위한

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

노력과 그에 대한 연구는 다소 부족할 실정이다. 따라서 본 연구는 교통약자인 어린이 탑승객이 충돌사고 시 차실 내에서 안전도를 확인하기 위해 정면충돌 시험방법에 따른 어린이 탑승객의 충돌안전도를 비교하였다.

2. 국내의 법규 및 NCAP 현황

어린이 인체모형을 자동차에 탑재하여 어린이의 상해 안전성을 평가하는 자동차 안전기준은 아직 도입되지 않았다. 다만, 자동차용 어린이 보호장치(Child restraint system)에 대한 규정은 미국, 유럽 및 국내에서 규정하고 있다. 미국의 경우 FMVSS 213, 유럽은 UN R 44 & 129에서 규정하고 있다. 국내의 경우 자동차안전기준에서 어린이 보호장치 관련 규정이 기준화 되어 있지 않고 품질경영 및 공산품 안전 관리법 시행규칙 제2조1항에 따라 인증을 받도록 되어 있다.

신차안전도평가의 경우 대표적으로 EuroNCAP에서 어린이 안전성을 어린이보호장치(CRS) 자동차 장착 적합성, 자동차의 CRS 장착 기반 적합성, 실차 충돌시험을 통해 평가하고 있다. 어린이 보호장치 장착 적합성 평가항목은 CRS 장착 및 간섭확인, ISOFIX 설치 및 간섭확인이며 실차 충돌시험 평가항목은 40%옵셋 변형벽 부문정면 충돌과 측면충돌 시 어린이의 상해정도 평가가 있다. 어린이 보호장치 자동차 장착 적합성 평가항목은 3점식 벨트 제공, 좌석안전띠 길이 적합성, CRS 3개 동시 장착 가능성, ISOFIX 이용 가능성, 2개 이상 큰 CRS 장착 가능성, 구매 시 CRS 기본품목 제공 여부를 평가하고 있다.⁽⁵⁾

2016년부터 EuroNCAP은 어린이 안전성 확보에 이어 초등학생 위주의 안전도를 추가확보하기 위해 6세와 10세 어린이에 대한 평가를 시행할 예정이며 ASEAN 및

호주 NCAP에서도 어린이 안전성 평가를 시행 중이나 EuroNCAP의 평가방법 일부를 도입하여 시행 중에 있다.

3. 국내 어린이 교통사고 현황⁽⁶⁾

국내 어린이 교통사고는 전체 교통사고 사망자 점유율이 2009년 2.3%(136명)에서 2014년 1.1%(52명)로 감소하였다. 어린이 인구 10만 명당 어린이 사망자수 또한 2009년 2.0명에서 2014년 0.9명으로 감소하였다.

2014년 12세 이하 어린이 사망사고의 가해차종은 승용차(69.1%), 화물차(10.8%), 승합차(6.9%)의 순으로 확인되었다. 이 중 보행 중 사망자가 26명으로 50%를 차지하고 있으며 자동차 승차 중 사망자가 20명으로 38.5%를 차지하고 있다. 그렇지만 부상자의 경우를 보면 자동차 승차 중 부상자가 8,075명으로 전체 14,894명의 54.2%를 차지하고 있어 사망자와 부상자를 모두 고려할 경우 자동차 승차 중에 안전도 또한 매우 중요하다고 할 수 있다.

4. 어린이 인체모형 및 상해기준

자동차 이용자 중 어린이 탑승객 보호를 위한 어린이 보호장치(CRS) 자동차안전기준은 유럽, 일본 및 미국에서 규정하고 있다. 어린이 보호장치에 대한 안전기준 시험은 어린이 보호장치 단품을 시험용 지그에 장착하고 어린이 인체모형을 탑재하여 충돌하는 방법으로 시험한다. 충돌시험과정에서 계측되는 값을 상해지수값으로 계산하여 어린이의 충돌 안전성을 확인한다. 본 연구에서는 정면충돌 시험방법을 통해 어린이 인체모형의 상해지수값을 산출하고 평가함에 따라 어린이 인체모형과 상해기준에 대해 간략히 기술하였다.

어린이 인체모형은 최근에 개발된 Q-series와 과거에 개발된 HybridIII 어린이 인체모형이 있다. Q-series 어린이 인체모형은 Hybrid III 인체모형보다 생체 충실도가 높은 어린이 인체모형이다.⁽⁷⁾ 따라서 본 연구에서 Q-series 어린이 인체모형과 그 상해기준을 검토하였다.

4.1. Q-시리즈 어린이 인체모형

어린이 인체모형 연구그룹(Child dummy working group)에서 기존의 어린이 인체모형인 P 시리즈의 개선에 대한 논의가 1993년부터 시작되었다.⁽⁸⁾ Q 시리즈는 1997년 유럽집행위원회(EC)가 지원하는 어린이 보호장치 기준(Child restraint system standard, CREST) 프로젝트에

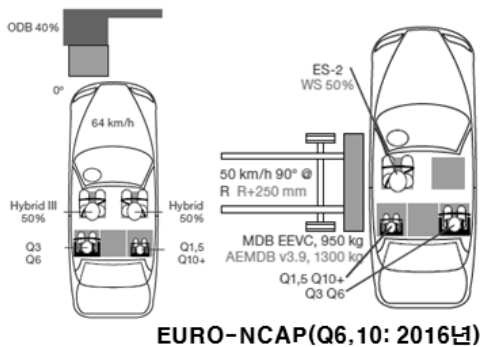


Fig. 1 EuroNCAP child test protocols and plan



Fig. 2 Q-series of child dummies (left to right Q1.5, Q6, Q0, Q10 and Q3)

서 연구되어 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. 2는 Q-Series 인체모형이다.

유럽의 강화된 어린이 보호장치(Enhanced child restraint system) 기준인 UN R 129에서 Q-Series 인체모형의 사용과 상해기준을 제시하고 있다. EuroNCAP(Europe 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 좌파하여 사용할 계획으로 있다.

4.2. Q-series 어린이 인체모형 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.⁽⁷⁾

Q 더미의 상해지수들은 HIC(Head impact criterion), Head Acc3ms, 목 인장력과 목 굽힘 모멘트와 흉부압축 변위량(chest deflection)이다. EEVC(European enhanced vehicle- safety committee)에서는 Certainty Method와

Table 1 Proposed injury criteria for Q3, Q6 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 2 Injury criteria for Q1.5, Q3 Q6 and Q10

Measurement	Q1.5	Q3	Q6	Q10
HIC ₁₅	N/A	N/A	700	700
Head Peak Acc.	80g	96g	N/A	N/A
Head acceleration (3ms)	88g	100g	100g	100g
Upper neck Tension	3kN	3kN	2.62kN	2.62kN
Chest acceleration	55g	66g	55g	55g

Logistic Regression 기법을 이용하여 HIC, 머리 가속도, 목 인장력, 목 굽힘 모멘트 흉부압축 변위량에 대한 AIS 3+ 20~50% 상해 확률을 제시하였다. EPOCh(Enabling protection for older children) 프로젝트는 Q10 더미에 대해 ECE R 44에 따른 시험 시 관련 상해기준값을 제안하였다. Tble 1은 EEVC에서 제시하는 Q3와 Q6의 AIS 3+ 50%에 대한 상해 기준값과 EPOCh에서 제안하는 Q10 상해기준값을 정리하였다.⁽⁹⁾

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

Table 1과는 다소 상이하지만 EuroNCAP에서는 Q1.5, Q3, Q6 및 Q10에 대해서 상해기준을 Table 2와 같이 정의하여 사용하고 있다.

5. 어린이 탑승객 안전도 평가

충돌시험방법에 따른 어린이 탑승객의 안전도를 확인하기 위해 국내에서 시행하고 있는 대표적인 충돌안전도 평가방법인 정면충돌안전도 평가와 부분정면충돌안전도 평가방법을 활용하였다. 국내의 충돌사고 유형이 완전정면충돌이 41.6%이고 부분정면충돌이 58.4%로 부분정면충돌이 더 높은 사고빈도를 가지지만, 본 연구에서는 충

돌시험방법에 따른 상해정도 확인 등을 위하여 두 가지 방법에 대한 평가를 시행하였다.⁽¹⁰⁾ 시험자동차는 국내 판매되고 있는 2,000CC급 중형 세단 타입의 자동차를 이용하였다.

시험은 Fig. 3과 같이 뒷좌석 Q6와 Q10 인체모형을 탑재하여 평가하였다.

부분정면충돌은 64km/h의 속도로 충돌을 하고 정면 충돌은 56km/h의 속도로 충돌하였다. Q6와Q10 인체모형의 탑재를 위해서 우선 제작사에서 추천한 멕시코시 로디픽스 부스터 어린이 보호좌석을 장착하였다. 장착절차는 다음과 같다.

- 1) 부스터 어린이 보호좌석을 사용가능한 상태로 조절한 후 좌석 중앙에 위치시킨다. 부스터 어린이 보호좌석이 좌석등받이에 접촉하도록 조절한다. 이때 부스터 어린이 보호좌석이 어린이보호용 좌석 부착장치 고정장치에 장착이 가능하다면 장착한다. 만일 머리부분 구속벨트가 있는 경우 벨트를 장착하고 벨트의 인장하중이 50±5N이 되도록 조절한다. 이외 일반적인 사항은 부스터 어린이 보호좌석 설치 안내서에 따라 설치한다.
- 2) 부스터 어린이 보호좌석 앞쪽에서 뒤쪽으로 135±15N의 수평하중을 가하여 좌석등받이 뒤쪽으로 접촉하도록 한다. 이때 하중계와 부스터 어린이 보호좌석이 접촉하는 부분은 2,580mm²의 면적을 가지는 평평한 면이어야 한다.

어린이 인체모형의 착석은 다음과 같다.

- 1) 6세 어린이 인체모형은 운전자석 뒤 2열 좌석에 착석시키고, 10세 어린이 인체모형은 전방탑승자석 뒤 2열 좌석에 착석시킨다.
- 2) 어린이 인체모형의 골반 뒤쪽 면이 부스터 어린이 보호좌석의 등받이가 있는 경우 등받이에, 부스터 어린이 보호좌석의 등받이가 없는 경우 좌석등받

이와 평행하게 하여 착석시킨다.

- 3) 인체모형의 골반중심과 부스터 어린이 보호좌석의 중심선이 일치하도록 조절한다.
- 4) 인체모형의 팔 윗부분은 몸통의 흉골과 나란하도록 하고, 손은 허벅지에 접촉하도록 조절한다.
- 5) 인체모형의 무릎은 굽혀서 부스터 어린이 보호좌석 또는 좌석에 최소한으로 접촉하도록 조절한다. 이때 허벅지 중심간 거리가 14cm 이상이 되도록 조절한다. 인체모형의 발은 하지의 중심선에 수직하게 한다.
- 6) 인체모형의 아래쪽 골반 지점에서 부스터 어린이 보호좌석 뒤쪽으로 177N의 하중을 가한다. 그 후 가슴 중심선에서 부스터 어린이 보호좌석 뒤쪽으로 177N의 하중을 가한다.
- 7) 만일 부스터 어린이 보호좌석에 좌석안전띠의 경로를 인도하는 장치나 가이드가 있는 경우 부스터 어린이 보호좌석의 안내서에 따라 조절한다. 만일 좌석안전띠 설치로 인해 인체모형이 움직이면 좌석안전띠를 부스터 어린이 보호좌석 경로로 조절 후 (1)에서 (6)의 절차를 반복하여 재 착석하여야 한다.
- 8) 3점식 수동 안전띠를 매고 잠금 쇠를 채운 후 무릎 띠의 처진 부분을 없앤다. 몸통상부 웨빙을 되감김 장치에서 잡아 당겼다가 놓는 동작을 네 번 반복한 후 무릎 띠에 1N 내지 2N의 인장력을 가한다. 안전 띠 장치에 장력감소장치가 있는 경우사용자 지침서에서 제작자가 정상적으로 이용하도록 지정한 최대 한의 처짐을 주며 안전띠 장치에 장력감소장치가 없는 경우에는 어깨띠의 여분의 웨빙이 되감김 장치의 수축력에 의하여 수축되어 들어가도록 놓아둔다.

착석한 어린이 인체모형은 Fig. 4와 같다. 어린이 인체모형은 머리 3축 가속도계, 상부 목의 6축 하중계, 가슴 변위량 및 가슴 3축 가속도계를 설치하여 계측하였다.

6. 평가결과

어린이 인체모형 머리 상해기준인 HIC₁₅는 Fig. 4와 같이 정면충돌일 경우 Q6(686), Q10(714)로 EuroNCAP

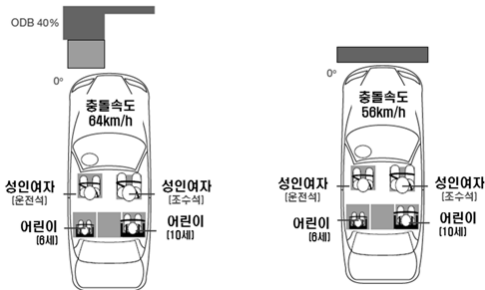


Fig. 3 40% Offset & full frontal rigid barrier test



Fig. 4 Q6 (left) & Q10 (right) setting on rear seat in vehicle

정면충돌 시험방법에 따른 어린이 탑승객 충돌안전성 비교연구

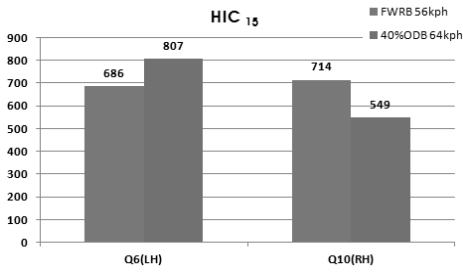


Fig. 5 HIC₁₅ comparison FFRB & 40% offset

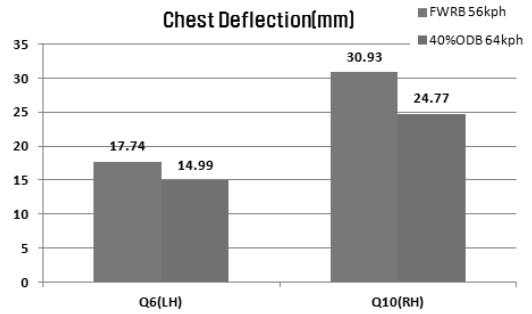


Fig. 8 Chest deflection comparison FFRB & 40% offset

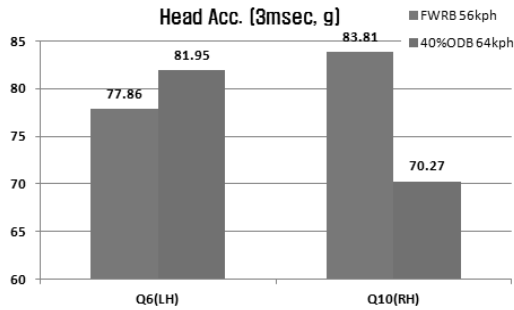


Fig. 6 Head acc. (3msec) comparison FFRB & 40% offset

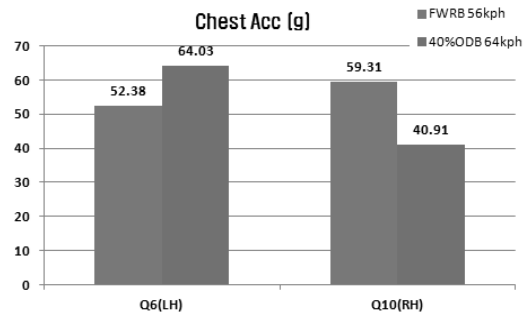


Fig. 9 Chest acc.(3msec) comparison FFRB & 40% offset

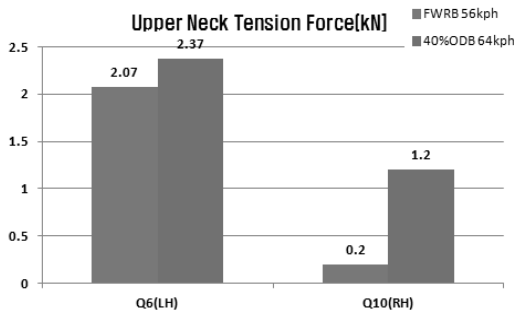


Fig. 7 Neck tension force comparison FFRB & 40% offset

의 기준값을 초과하였고, 부분정면충돌 시험에서는 Q6 (807), Q10(549)로 확인 되었다. 머리 합성속도계 값에서는 Fig. 5와 같이 정면충돌일 경우 Q6(77.86), Q10 (83.81)이고 부분정면충돌 시험에서는 Q6(81.95), Q10 (80.27)로 확인되었다. 어린이 인체모형 목 상단부 인장력의 경우 Fig. 6과 같이 정면충돌일 경우 Q6(2.07kN), Q10(0.2kN)이고 부분정면충돌 시험에서는 Q6(2.37kN), Q10(1.2kN)으로 확인되었다. 가슴변위량은 Fig. 7과 같이 정면충돌일 경우 Q6(17.74mm), Q10(30.93mm)이고 부분정면충돌 시험에서는 Q6(14.99mm), Q10(24.77mm)

로 확인되었다. 가슴가속도계 값은 정면충돌일 경우 Q6 (52.38g), Q10(59.31g)이고 부분정면충돌 시험에서는 Q6(64.03g), Q10(40.91g)로 확인되었다.

7. 결론

충돌시험방법에 따른 어린이 탑승객의 충돌안전성 검토를 위해 세단 형태의 자동차를 대상으로 뒷좌석에 부스터 어린이 보호좌석을 장착한 상태로 Q6와 Q10에 대한 평가를 시행하였다. 시험대상 자동차의 한계로 인해 시험 결과의 경향성을 확인하기는 어려움이 있었으나 시험방식에 대한 차이로 인한 어린이 탑승객의 충돌안전성은 차이가 있는 것을 다음과 같이 확인하였다.

- 1) 어린이 인체모형 상부 목 인장력은 40% 오프셋 시험에서 상해지수값이 높고 가슴변위량의 경우 정면충돌 시험결과와 상해지수값이 높은 것을 확인 하였다.
- 2) 어린이 인체모형 HIC15의 경우 정면충돌 시험결과 Q10과 부분정면충돌 시험결과 Q6에서 EuroNCAP

기준값을 초과 하였고, 흥부 합성 가속도 3msec 값은 정면충돌에서 Q10, 부분정면충돌에서 Q6가 EuroNCAP 기준값을 초과하는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 국토해양부 자동차안전도평가사업의 연구비 지원으로 수행된 연구임.

참고문헌

- (1) Safety Companion 2016, www.carhs.de
- (2) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea motor vehicle safety standard. 2015.
- (3) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Notice of Korea New Car Assessment Program. 2015.
- (4) Ministry of government legislation, "Enforcement decree of the quality and safety management of industrial act," 2016.
- (5) EuroNCAP test protocols, 2016, www.euroncap.com
- (6) The national Police Agency, "The statistical report of traffic accidents in 2014," 2015.
- (7) "Q-dummies Report (Advanced child dummies and injury criteria for frontal impact)," EEVC 12 and 18, 2008.8.
- (8) Kate de Jager, Michiel van Ratingen, Philippe Lesire, Hervé Guillemot, Claus Pastor, Britta Schnottale, Gon al Tejera, Jean-Philippe Lepretre, "Assessing new dhild dummies and criteria for child occupant protection in frontal impact," 19th ESV confrennce, Paper no. 05-0157.
- (9) "Proposed expansion of UNECE Regulation 44 and NPACS published protocols for use with Q10 Dummy," EPOCH consortium 2011.
- (10) "A research of analysis for the effectiveness as introducing crash safety in KNCAP," Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2014.