

Q6, Q10 어린이 인체모형의 상해치 연구

선홍열* · 이 슬* · 석주엽* · 유원재* · 윤일성*

Injury Study for Q6 and Q10 Child Dummies

Hongyul Sun*, Seul Lee*, Juyup Seok*, Wonjae Yoo*, Ilsung Yoon*

Key Words : Euro NCAP(유럽 신차 안전도 평가), KNCAP(한국 신차 안전도 평가), Injury criteria(상해치), Safety restraint system(안전 구속 장치), Sled test(슬레드 시험), DFSS(Design for six sigma), Control factor(제어인자), Input signal(입력신호), Output response(출력반응), CRS(어린이 보호 장치), ISOFIX(유아용 시트 고정장치), Contribution(기여도), Main effect(주 효과)

ABSTRACT

The Child Occupant Safety Assessment was first introduced and carried out by Euro NCAP in 2003, with the goal of ensuring manufacturers to develop safe vehicles for passengers of all ages; the objective was to evaluate the safety and protection offered by different Child Restraint Systems (CRS) in the event of a crash. In 2013, the formerly used P child dummy series was replaced by newer and more biofidelic Q1.5 and Q3 child dummies, representing 1.5 and 3 year old children respectively. The frontal and side impact dynamic performances of the Q1.5 and Q3 were tested within all classes of vehicles assessed by Euro NCAP at the time. As an extension to that initiative, Q6 and Q10 child dummies were later developed representing children of 6 and 10 years old. Since the protection of larger children during vehicle crashes relies greatly on the interaction of vehicle restraint systems such as seat belt and the CRS, instrumented Q6 and Q10 dummies will be used to assess the protection offered in the event of front and side impact crashes. In this paper, we focused on injury criteria of Q6 and Q10 child dummies at 64 kph 40% offset frontal crash test. The whole procedure was designed with DFSS analysis. The full vehicle sled test results of both dummies were conducted with different restraint systems settled through previous sled test. It showed that several injury criteria and image data were collected as the result of the full vehicle sled test. Based on the results of these investigations, this paper describes which factor is most important and combination shows the best performance when evaluating rear seat occupant protection for Q6 and Q10 child dummies.

1. 서론

어린이 인체모형에 대한 평가는 모든 연령대의 승객을 위해 안전한 차량 개발을 장려하기 위한 목적으로 2003년 Euro NCAP(European New Car Assessment Program)

에서 처음 도입되었다. 2013년에는 기존에 사용하던 P1.5, P3 어린이 인체 모형 대신 인체의 생체 충실도가 보다 높은 Q1.5, Q3 어린이 인체모형으로 대체되었고, 이는 동시에 Euro NCAP의 정면, 측면충돌 시험에 적용되었다. Euro NCAP은 2016년부터 Q1.5, Q3를 Q6, Q10으로 대체해 더욱 큰 어린이에 대한 승객 보호 시험과 평가를 예정하고 있으며, 2017년부터 KNCAP(Korean New Car

* GM Korea Company

E-mail : Hongyul.sun@gm.com

Assessment Program) 역시 부분 정면충돌 시험에서 뒷 좌석에 Q6, Q10에 대한 안전 성능 평가가 추가될 예정이기 때문에 Q6, Q10 어린이 인체모형에 대한 제작사의 안전 성능 개발이 필수적으로 요구되고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

본 논문의 선행 연구에서는 Q6, Q10에 대한 4개의 안전 구속 장치(Safety restraint system)의 제어 인자(Control factor) 중 영향력이 큰 제어인자와 그 인자들이 상해치(Injury criteria)에 주는 영향에 관해 기술 하였지만, 한 제어인자인 안전벨트 RPT(Retractor Pretentioner)의 유무가 매우 지배적인 역할을 해 상대적으로 다른 인자의 영향력이 희석되는 부분이 있었다.⁽³⁾ 따라서 본 논문에서는 안전벨트 RPT의 유무를 배제하고 시험의 변수가 되는 제어인자를 찾기 위해 사전 슬레드 시험(Sled test)을 하였으며, 이 결과와 함께 DFSS(Design for six sigma) 기법을 이용하여 전체 시험을 설계하였다. 전체 슬레드 시험결과를 분석하여 Q6, Q10 어린이 인체모형에 대한 안전 구속 장치의 최적화 작업을 수행하였고 상해치 저감에 가장 효과적인 우수한 안전 구속 장치의 조합을 계산하였다. 위의 조합을 슬레드 시험으로 재검증 함으로써 분석에 대한 신뢰성을 확보하였다.

2. 본 론

본 논문은 DFSS기법으로 연구하였으며 방법론 중 IDDOV (Identify/Define/Develop/Optimize/Verify) 절차를 이용하였다.⁽⁴⁾ Identify 단계에서 제어인자 결정을 위한 사전 슬레드 시험을 설계하였고 이 결과로 나온 데이터를 분석하였다. Define 단계에서는 위 결과를 토대로 제어인자의 종류와 수준을 결정하였고, P-diagram을 작성해 전체 시험을 구체화하였다. Develop 단계에서 2개 3수준의 안전 구속 장치로 이루어진 제어인자로 시험표를 작성하였다. Optimize 단계에서 시험표에 따라 슬레드 시험을 진행하였으며 ANOVA 분석을 통하여 안전 구속 장치의 최적화를 실시하였다. Verify 단계에서는 최적화된 안전 구속 장치를 적용해 슬레드 시험을 재시행함으로써 슬레드 실험값에 대한 신뢰성을 검증하였다.

2.1. DFSS 기법을 이용한 시험설계

Euro NCAP과 KNCAP에서 실시하는 부분 정면충돌 시험은 차대 차 부분 정면충돌을 재현하기 위한 것으로 평가 대상 차량을 견인해 고정된 변형벽(Deformable barrier)에 64km/h의 속도로 차량의 폭 40%를 겹쳐서 충돌시키

는 방법으로 시험한다. 이때 변형벽은 차량의 강성을 대변하며 64km/h의 시험모드는 서로 달려오는 50km/h 차대 차 충돌을 재현하기 위한 것이다.⁽⁵⁾ 이 시험 시 Q6, Q10은 각각 운전석과 조수석의 뒷좌석에 위치하게 되며, Q6, Q10의 평가 기준이 되는 상해치 표를 Table 1로 나타내었다.⁽⁶⁾

Table 1 Frontal impact criteria, limits and available points

Region	Criteria		Performance limit		Available points
			Higher	Lower	
Head	HIC ₁₅ (with hard contact)		500	700	4
	Resultant Acc. 3ms		87g	100g	
	Head excursion modifier	Q6		550	
Q10		450	550		
Upper neck	Tension Fz		1.7kN	2.62kN	2
Chest	Resultant Acc. 3ms		41g	55g	2
Total					8 point/ dummy

어린이 인체모형 상해치에 영향을 주는 안전 구속 장치는 차량 구조, 차량 무게, 충돌 속도, 어린이 보호장치(Child Restraint System), 안전벨트 RPT(Retractor Pretentioner), 안전벨트LPT(Lab Pretentioner), DLT(Dynamic Locking Tongue), 안전벨트의 위치 등 다양하다. 본 논문은 안전 구속 장치에 대한 최적화가 목적이며 선행연구 자료를 토대로 차량의 특성을 배제한 안전 구속 장치들을 제어인자로 선정하였다. 또한, 시험결과로 나타낼 출력반응은 Table 1에서 기술한 상해치 중 영향력이 큰 머리 가속도(Head resultant acceleration 3ms), 축 방향에 따른 목 하중(Neck Fz), 흉부 가속도(Chest resultant acceleration 3ms)로 국한하였다.

Table 2는 제어인자 선정을 위한 기능 분석표(Function matrix)이다. 위의 표는 선행 연구를 통하여 작성되었으며, 이를 참고하여 가장 상해치에 영향력이 큰 CRS와 안전벨트를 제어인자로 선정하였고, Table 3을 따라 선행 슬레드 시험을 실시하였다. 이 슬레드 시험의 주목적은 등받이(Backrest)가 없는 사양의 CRS의 영향도를 평가함과 동시에 안전벨트의 사양이 변함에 따라 Q6, Q10 상해치에 주는 영향을 확인하여 제어인자의 수준에 대한 세부적인 결정을 위한 것이다. 본 논문에서 슬레드 시험은 실제 차량 충돌 시험에서 발생한 차량의 가속도 데이터와

Q6, Q10 어린이 인체모형의 상해치 연구

Table 2 Function matrix for control factors

		Q6 child dummy			Q10 child dummy		
		Head	Neck	Chest	Head	Neck	Chest
		Res. acc. 3ms	Fz	Res. acc. 3ms	Res. acc. 3ms	Fz	Res. acc. 3ms
Restraint system	CRS	+	++		+	++	+
	Seat belt RPT	+++	++	+++	+++	+++	++
	Belt position		+				
	DLT		+			+	



Fig. 1 Sled test

Table 3 Pre sled test results

	Test 1		Test 2		Test 3	
	Q6	Q10	Q6	Q10	Q6	Q10
CRS	Maxicosi Rodifix		Clek Oobr (backless)		Maxicosi Rodifix	
Seat belt RPT	4+1kN DLL		3+1kN DLL		4kN CLL	
Head Acc.3ms	1	1	1.23	1.13	0.77	0.98
Upper neck Fz	1	1	1.24	0.93	0.8	0.91
Chest Acc.3ms	1	1	1.2	1.15	1.11	0.99

슬레드의 가속도 데이터를 일치(correlation)시켜 시험을 진행하였으며, 이때 요잉(yawing)은 고려대상에서 제외하였다.

Table 3과 Fig. 2는 슬레드 시험의 결과를 나타낸다. 시험 1은 선행 연구 중 최적화된 결과이며 이를 기준으로 각각 상해치 결과를 비율로 작성하였다. 등받이가 없는

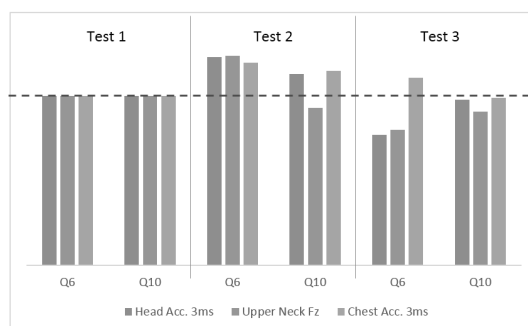


Fig. 2 Pre sled test results

CRS를 사용한 시험2는 같은 안전벨트를 사용함에도 불구하고 상해치 결과가 높게 나온 반면 3+1kN의 안전벨트를 사용한 시험3은 Q6의 흉부 가속도를 제외하고 낮은 상해치를 나타내어 안전벨트에서 최적화할 여지가 더 있다는 것을 보여주었다. 위 결과에 따라 등받이가 없는 CRS는 제어인자 조합에서 제외하였으며, CRS, 안전벨트 RPT의 Load limiter종류에 따른 각 3수준의 제어인자 조합을 아래 Table 4로 나타내었다.

Table 4 Control factors

Level	Control factors	
	CRS	Seat belt RPT
Level 1	Britax Kidfix	4kN+1kN (DLL)
Level 2	Maxicosi Rodifix	3kN+1kN (DLL)
Level 3	Recaro Monza Nova Seatfix2	4kN (CLL)

CRS는 Q6, Q10을 모두 착좌시킬 수 있는 CRS 중 Britax사의 Kidfix, Maxicosi사의 Rodifix, Recaro사의 Monza Nova Seatfix2로 선정하였다. 이들은 모두 Rigid ISOFIX로 고정하는 형태이며 등받이가 있고 CRS의 머리 지지대에 안전벨트가 거치 되는 형태이다. 안전벨트는 서론에 기술한 바와 같이 RPT없는 사양은 제외하고 RPT가 모두 들어가는 사양을 적용하였으며, 해당 차량에 대한 안전벨트 범위 ECE R 16/KMVSS 27, 103을 만족하는 벨트 중에서 Load limiter 종류에 따라 4kN+1kN DLL(Declining load limiter), 3kN+1kN DLL, 4kN CLL(Constant load limiter)의 3종류 안전벨트를 선택하였다.

Table 2에서 언급한 출력반응과 Table 4의 제어인자를 통해 완성된 P-Diagram을 Fig. 3으로 나타내었다.

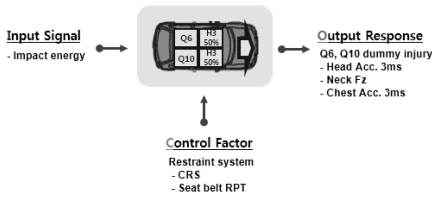


Fig. 3 P-Diagram

2.2. 슬레드 시험(Sled test)

2.2.1. 슬레드 시험표(Test matrix)

Table 4에서 선정된 2가지 3수준의 제어인자로 Table 5와 같이 슬레드 시험표를 작성하였다. 이 시험표는 Full factorial로 설계되었으며, 이 결과는 Q6, Q10에 대한 최적화된 안전 구속 장치를 찾기 위한 ANOVA 분산분석을 위해 쓰이게 된다.

Table 5 Sled test matrix

No.	CRS	Seat belt RPT
1	Level 1	Level 1
2	Level 2	Level 2
3	Level 3	Level 3
4	Level 1	Level 3
5	Level 2	Level 1
6	Level 3	Level 2
7	Level 1	Level 2
8	Level 2	Level 3
9	Level 3	Level 1

2.2.2. 인체 모형 착좌

Q6, Q10 인체모형의 착좌는 IIHS Booster Seat Belt Fit Evaluation Protocol을 참조하였으며 Table 6은 인체 모형의 착좌 방법을 나타낸다.⁽⁷⁾⁽⁸⁾ 이때 운전석과 조수석은 KNCAP 부분 정면충돌에서 적용되는 중간 위치로 설정하였다.

Table 7은 각 CRS에 따른 안전벨트 위치이다. 본 논문에서 사용된 CRS의 안전벨트 위치는 CRS의 머리 지지대의 높이에 따라 달라지며 Q10은 최상단으로, Q6는

Table 6 Q6 and Q10 dummy positioning

Protocol	Positioning	
	Q6	Q10
Dummy position	Center of rear LH seat	Center of rear RH seat
CRS installation	Pushing 135±15N on CRS in parallel with seat cushion after positioning center of rear LH or RH seat	
Dummy installation	Pushing 177N on pelvis and chest with 90 deg against seat back	
Seat belt	Pulling 22N on belt after fastening seat belt	
Knee to Knee	170mm	190mm
Headrest	Removed	Removed

Euro NCAP 범규에 명시된 Kidfix의 아래서 4번째 위치를 기준으로 타 CRS도 동일한 위치로 선정하였으며 이를 Fig. 4로 확인할 수 있다.

Table 7 Belt positioning

CRS	Belt positioning					
	Kidfix		Rodifix		Seatfix2	
Dummy	Q6	Q10	Q6	Q10	Q6	Q10
Position (From bottom)	4th latch	Uppermost	6th latch	Uppermost	4th latch	Uppermost
Remarks	Total 16 click 18mm for 1 click		Total 22 click 10mm for 1 click		Total 16 click 18mm for 1 click	

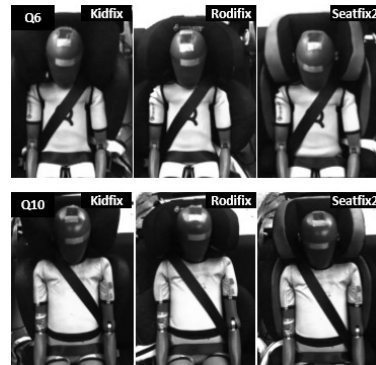


Fig. 4 Q6 and Q10 dummy installations according to belt positions

2.3. 시험 결과 및 분석

2.3.1. 시험 결과

슬레드 시험결과를 Table 8에 정리하였다. 선행연구의 최적화 사양임과 동시에 Table 5와 8에서 5번째 시험

Q6, Q10 어린이 인체모형의 상해치 연구

사양인 Rodifix CRS, 4kN+1kN DLL의 안전벨트 사양을 기준(Reference)으로 설정하고 결과 상해치를 비율로 나타내었다.

Table 8 Sled test results

No.	Control factor		Injury criteria					
	CRS	Seat belt RPT	Head acc. 3ms		Neck Fz		Chest acc. 3ms	
			Q6	Q10	Q6	Q10	Q6	Q10
Base	2	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1.01	0.93	0.97	0.76	0.97	0.92
2	2	2	0.84	0.80	0.81	0.69	0.91	0.87
3	3	3	1.24	1.02	1.51	0.78	1.24	1.15
4	1	3	1.04	0.92	1.03	0.71	1.02	1.06
5	2	1	1	1	1	1	1	1
6	3	2	1.38	0.86	1.62	0.79	1.19	0.95
7	1	2	0.96	0.74	0.96	0.64	1.36	0.86
8	2	3	0.92	0.87	0.91	0.66	0.96	1.00
9	3	1	1.46	0.98	1.85	1.00	1.37	0.95

2.3.2. ANOVA 분산분석(Analysis of variation)

2.3.1.의 슬레드 시험의 결과로 ANOVA 분산분석을 시행하였다. 이는 머리 가속도, 목 하중, 흉부 가속도의 세 가지 출력반응에 따른 각 안전 구속 장치인 제어인자의 기여도(Contribution)와 주 효과(Main effect)를 파악

하기 위한 것이다. 기여도 그래프는 안전 구속 장치가 상해치에 영향을 주는 정도를 나타내며, 주 효과 그래프는 각 안전 구속 장치의 수준 차이에 따른 상해치의 변화 경향을 보여준다. 주 효과 그래프에서 x축은 제어인자의 수준이고 y축은 해당 출력반응의 값이며 본 그래프는 y값이 낮을수록 좋은 망소특성을 가진다.

Fig. 5~7은 Q6의 기여도와 주 효과 그래프이다. 기여

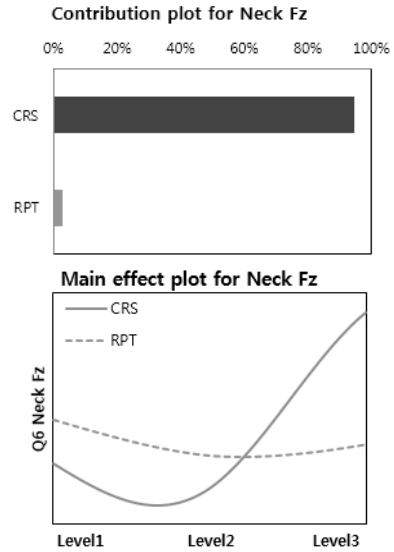


Fig. 6 Contribution and main effect plot for Q6 Neck Fz

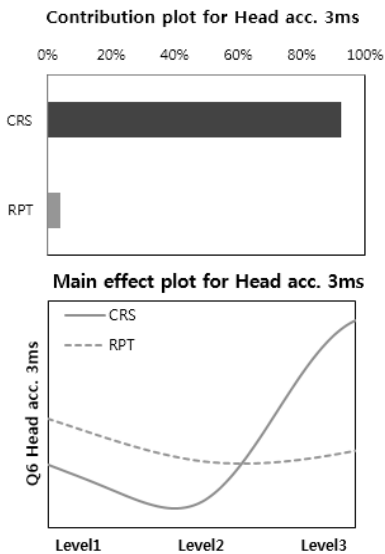


Fig. 5 Contribution and main effect plot for Q6 Head acc. 3ms

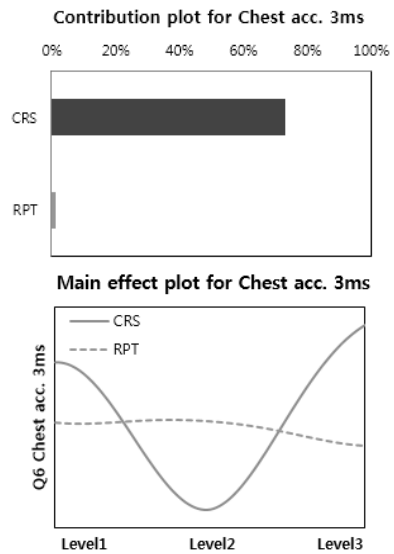


Fig. 7 Contribution and main effect plot for Q6 Chest acc. 3ms

도 그래프에서 CRS가 안전벨트 RPT보다 더 높은 기여도를 보였고 RPT가 들어간 사양의 안전 벨트에서 Load limiter 사양 변화는 상해치에 큰 영향을 주지 못했다. 주 효과 그래프에서 안전 벨트 RPT는 전반적으로 2수준과 3수준인 3kN+1kN DLL, 4kN CLL 이 좋은 결과를 보였으며, CRS는 2수준인 Rodifix가 더 좋은 상해치 결과를 나타내었다.

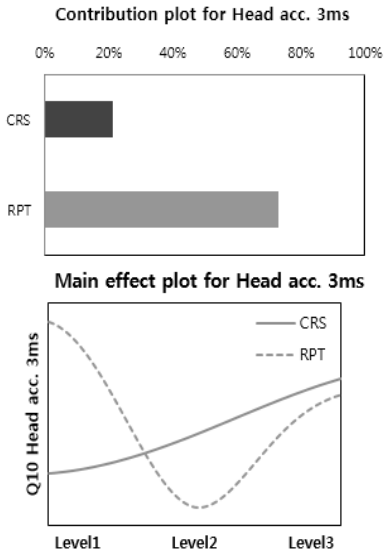


Fig. 8 Contribution and main effect plot for Q10 Head acc. 3ms

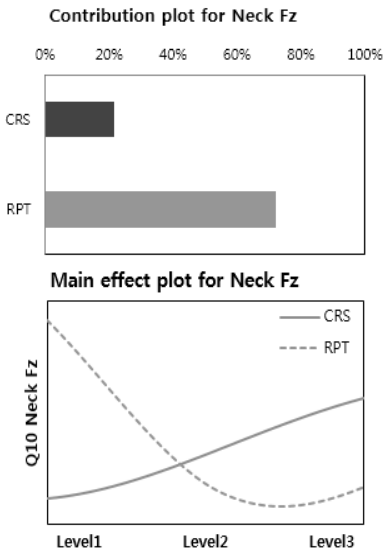


Fig. 9 Contribution and main effect plot for Q10 Neck Fz

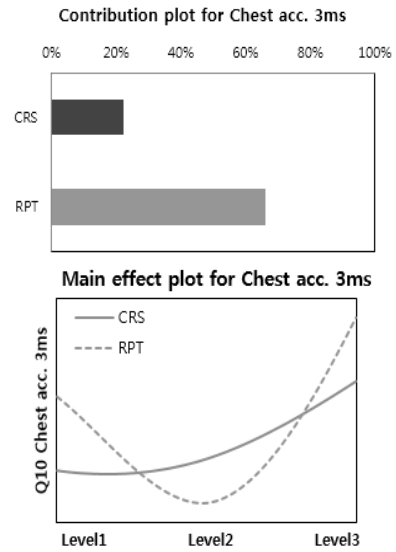


Fig. 10 Contribution and main effect plot for Q10 Chest acc. 3ms

Fig. 8~10은 Q10의 기여도와 주 효과 그래프이다. 위에서 언급한 Q6의 결과와는 상이하게 안전벨트 RPT에 대한 기여도가 컸으며, 세 상해치 모두 CRS가 Kidfix일 때, 3.0kN+1.0kN의 DLL벨트를 사용했을 때 가장 낮은 상해치를 나타내었다.

2.3.3. Q6, Q10 어린이 인체모형 상해치에 대한 최적화

2.3.2.의 ANOVA 분산분석의 결과로 얻은 세 가지 상해치 수치에 따른 최적 조건(optimal case)의 조합을 Table 9에 나타내었다. 안전벨트 RPT는 3kN+1kN로 Q6, Q10 모두 같은 결과를 보였지만 CRS는 Q6에서 Rodifix, Q10에서 Kidfix로 차이를 드러냈다. 이는 각각 Table 8에서 Q6는 2번째, Q10은 7번째 시험에 해당하는 시험조건이다.

Table 9 Control factor combination of optimal case

Control factors		Optimal case	
		Q6	Q10
A	CRS	Rodifix	Kidfix
B	Seat belt RPT	3kN+1kN	3kN+1kN

2.4. 최적 조건에 대한 신뢰성 검증

2.3.3.에서 정한 최적 조건에 대한 신뢰성 검증을 위해

슬레드 시험을 시행하였다. Table 10은 슬레드 시험의 최적 조건 값과 검증 시험 결과 비교표이다. Table 8에서 5번째 시험과 동일한 선행연구 최적화 시험 조건을 기준으로 비율로 나타내었으며, Q6에서는 최고 오차율 차가 7%, Q10에서는 최고 오차율 차가 8%로 측정되었다. 평균 오차율에서도 각각 3%, 5%로 차이가 났으며, Q6는 평균 12%, Q10은 평균 21%의 상해치 향상이 있었다.

Table 10 Validation of ANOVA analysis by Sled test

No	Output response	Base line	Q6		Q10	
			Test	Validation	Test	Validation
1	Head acc. 3ms	1	0.84	0.88	0.73	0.73
2	Neck Fz	1	0.81	0.88	0.63	0.71
3	Chest acc. 3ms	1	0.90	0.88	0.86	0.93
Average		1	0.85	0.88	0.74	0.79

3. 결론

본 논문에서는 DFSS 기법과 슬레드 시험을 활용하여 Q6, Q10 어린이 인체모형 상해치에 대한 안전 구속 장치 최적화 연구를 진행하였고 그 결과는 아래와 같다.

- 1) 해당 연구는 선행 연구였던 “Q6, Q10 어린이 인체모형 상해치에 대한 안전 구속 장치 최적화 연구”에 대한 추가적인 연구이며, KNCAP 부분 정면충돌 시험의 시험 모드로 진행되었다. Q6, Q10에 대한 여러 안전 구속 장치 중 CRS와 안전벨트 RPT를 제어인자로 선정해 출력반응인 머리 가속도, 목하중, 흉부 가속도에 주는 영향에 대해 연구하였다. 위 두 제어인자의 조합으로 시험표를 작성하였으며, 슬레드 시험을 통해 제어인자의 각 조합에 따른 출력반응의 결과를 얻었다.
- 2) 슬레드 시험의 결과로 ANOVA 분산분석을 진행하였으며 그 결과 세 가지 출력반응에 대한 제어인자의 기여도와 주 효과를 알 수 있었다. Q6는 CRS가 Q10은 안전벨트 RPT의 기여도가 높았으며, Q6와

Q10 모두 3kN+1kN DLL 을 사용한 시험의 결과가 좋았지만 CRS는 Q6는 Rodifix, Q10은 Kidfix를 사용했을 때 가장 낮은 상해치를 나타내 다른 최적화 조합을 보였다.

- 3) 신뢰성 검증을 위하여 출력반응에 대한 제어인자의 최적 조건의 시험 값과 동일한 조합의 슬레드 시험을 시행 후 검증 값과 비교하였다. Q6에서는 평균 오차율 차가 3%, Q10에서는 5%로 측정되었으며 이는 각각 선행연구 최적화 결과의 12%, 21%의 상해치 향상을 보인 값이었다.

앞으로 본 논문에서 다루었던 최적화 조합을 실제 차량 충돌 시험으로 검증할 것이며, 뒷 좌석의 여성인체모형의 상해치를 추가로 분석하여 Q6, Q10 어린이 인체모형과 여성 인체모형의 안전 구속 장치에 따른 상해치의 상관관계를 알아볼 것이다. 또한, 부분 정면충돌 시험뿐만 아니라 측면 충돌 시험의 Q6, Q10에 대한 안전 구속 장치 최적화를 추가 진행할 예정이다.

참고문헌

- (1) Humanetics, “Q6 and Q10 Child Dummies Added to the Euro NCAP 2016 Protocols”, 2016.
- (2) Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “KNCAP Updated status”, 2014.
- (3) Hongyul Sun, “The study of optimization of restraint systems for injuries of Q6 and Q10 child dummies”, 2015.
- (4) GMK Technical Center, “DFSS Fundamental Course & Advanced Course”, 2015.
- (5) Euro NCAP, “Adult Occupant Protection, Offset-Deformable Barrier”, 2015.
- (6) Euro NCAP, “Assessment Protocol - Child Occupant Protection”, 2015.
- (7) IIHS, “Booster evaluations for 2014”, www.iihs.org/iihs/ratings/child-boosters, 2014.
- (8) Seungki Kim, “A Study on Child Restraints System for Q10 dummy in frontal sled test”, 2015.