

어린이보호용좌석 효과의 실험적 연구

이재원^{*1)} · 박형원¹⁾ · 윤경한¹⁾ · 박경진²⁾

교통안전공단 자동차성능시험연구소¹⁾ · 한양대학교 공학대학²⁾

Experiments of CRS for Safety Improvement

Jaewan Lee^{*1)} · Hyungwon Park¹⁾ · Kyunghan Yoon¹⁾ · Gyung-Jin Park²⁾

¹⁾Korea Automobile Test and Research Institute, Gyeonggi-do 445-871, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Gyeonggi-do 425-791, Korea

(Received 4 April 2003 / Accepted 12 June 2003)

Abstract : The child restraint system is known to be excellent to reduce child occupant injury in frontal collisions. The effects of the child restraint system are experimentally investigated according to FMVSS 213. A sled simulator is utilized with varying restraint types such as 2point, 3point seat belts, forward-facing types and booster types of child restraint systems. The head and chest injuries for various cases are evaluated based on industrial standards. Also, the maximum displacements of the head and the knees are measured by film analysis. Using the results of the test, the effects of the child restraint system is discussed and reduction of child occupant injury is pursued.

Key words : Chest G(가슴상해치), HIC(머리상해치), CRS(어린이보호용좌석), ECE R44(유럽경제위원회 법규 번호 44), FMVSS 213(미국연방자동차안전기준 213)

1. 서론

자동차에서의 어린이보호용좌석(Child restraint system, CRS)의 개발은 1930년대 이후 현재까지 지속되어 왔다. 1960년대 초반 미국에서는 충돌사고 시 자동차 탑승자의 안전에 대한 문제가 국가적인 관심사로 대두됨에 따라 1971년에는 CRS 관련 법규인 미국연방자동차안전기준 - 어린이보호용좌석(FMVSS 213)이 제정되었다.¹⁾ 그리고 유럽에서도 1982년에 자동차의 어린이 구속을 위한 구속장치의 승인에 관한 법규 - ECE R44가 제정되어 현재까지 수차례 개정을 거듭하면서 강화되어왔다.²⁾ 국내도 1991년에 연소자보호장치의 안전검사기준을 제정하여 시행하고 있다.³⁾ 외국의 CRS 관련 연구사례에

의하면 CRS를 옳게 사용하면 치명상 71%, 병원입원 67%를 줄여주어 상해 감소효과가 매우 우수한 것으로 알려져 있다.⁴⁾ 그러나 최근 교통개발 연구원이 전국 4개 대도시(서울, 부산, 대구, 광주)에서 1,175명을 대상으로 수행한 CRS의 사용 실태 조사에 의하면 CRS 보유율이 19.4%로 매우 저조한 것으로 나타났다. 한편, 어린이 보호 장구의 미보유 사유로는 장·탈착의 어려움(35.9%), 안전 효과 없음(19.8%), 가격 부담(19.2%)으로 나타나 CRS의 필요성에 대한 인식이 부족한 것으로 조사되었다.⁵⁾ 이상에서와 같이 CRS 성능의 우수함이 입증되어 있음에도 불구하고 보유율 및 사용률의 저조로 수많은 어린이들이 위험에 노출되어 있다.

따라서 본 논문에서는 첫째 CRS의 종류 및 상해 감소 효과, 어린이 탑승자의 상해 유형 등을 조사·연구하여 어린이의 연령과 신체에 적합한 CRS를

*To whom correspondence should be addressed.
jwlee@kotsa.or.kr

사용할 때 상해감소 효과가 높음을 고찰하였다. 둘째, 미국의 어린이보호용좌석기준인 FMVSS 213에 준하여 성인용 안전띠(2점식 및 3점식), 앞보기형 CRS 7종류 및 부스터형 CRS 2종류에 대하여 충돌 모의 시험을 수행하였으며, 각각의 시험결과를 토대로 어린이 보호효과에 대한 안전 성능을 비교 평가함으로써 어린이 탑승자의 안전성을 향상시키고자 하였다.

2. CRS의 종류 및 상해감소 효과

2.1 뒤보기형 어린이보호용좌석

뒤보기형 CRS는 1964년 Bertil Aldman 교수에 의해 도입되었다.⁶⁾ 첫돌 이전의 유아는 스스로 목을 가눌 수 없고, 3~4세 이하(또는 체중 10kg, 신장 70cm 이하)의 어린이도 목의 발달 정도에 비해 머리가 상대적으로 크고 무겁다.⁷⁾ 이와 같은 신체적 특징을 고려할 때 뒤보기형 CRS는 정면 충돌시 인체에 가해지는 충돌 에너지를 등받이를 통해 신체의 넓은 부분에 하중을 분산시키고, 머리와 척추를 지지해주므로 매우 효과적으로 어린이를 보호할 수 있는 장치로 알려져 있다.^{8,9)} 유아용 좌석은 신생아로부터 약 9개월까지, 뒤보기형 어린이보호용좌석은 3~4세의 어린이까지 사용할 수 있다. Photo. 1은 뒤보기형 CRS의 모습이다.

2.2 앞보기형 어린이보호용좌석

어린이가 첫 돌 이후 약 3~4세(또는 체중 9~18kg, 키 65~100cm) 정도가 되면 머리의 무게가 감소하고 목은 상대적으로 강해진다. 스스로 목을 가눌 수 있고 앉을 수 있는 어린이들은 앞보기형 CRS를 사용할 수 있다. 앞보기형 CRS는 가장 많이 사용

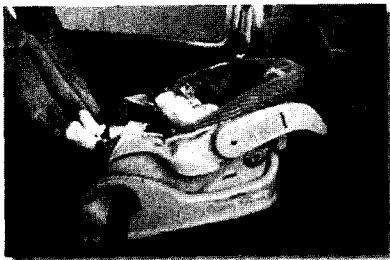


Photo. 1 Rearward-facing type of CRS¹⁰⁾

되고 있다. Photo. 2는 앞보기형 CRS의 모습이다.

2.3 부스터형 어린이보호용좌석

보편적으로 앞보기 CRS를 사용하기에는 체구가 큰 약 5세 이상의 어린이는 해부학적으로 성인과 상당한 차이가 있다. 즉, 착좌 상태에서의 골반의 높이가 성인에 비해 낮고, 충돌 사고시 안전띠의 하중을 지지해주는 골반장골이 충분히 발달되지 않아,⁷⁾ 성인용 안전띠를 직접 사용할 경우 장 파열, 척추 뼈의 이탈 등 치명적 상해를 입을 가능성이 크다.

따라서 4~10세(또는 체중 15~36kg, 키 135cm 이상)의 어린이들은 착좌 상태에서 골반의 높이를 높여주고 성인용 3점식 안전띠의 경로를 적절히 유지시키기 위해 부스터형 좌석을 사용해야 한다. 부스터형 좌석은 Photo. 3과 같은 쿠션형과 Photo. 4와 같이 등받이를 갖춘 좌석형이 있다.



Photo. 2 Forward-facing type of CRS¹⁰⁾



Photo. 3 Booster type of CRS(no-back booster)¹²⁾



Photo. 4 Booster type of CRS(high-back booster)¹⁰⁾

좌석 형의 경우 4세 이하의 어린이도 사용할 수 있도록 좌석 안에 어린이 구속을 위한 멜빵 띠(harness)가 장착된 제품도 있다. 이와 같은 제품의 경우 약 20kgf의 어린이까지는 부스터 좌석 내의 멜빵 띠로 구속하며 20kgf를 초과할 경우 멜빵 띠를 제거하고 성인용 안전띠로 구속하도록 권장하고 있다.^{11,12)}

2.4 성인용 안전띠

10세 이상의 어린이(또는 체중 36kg, 키 135cm 이상)는 골반이 완전히 발달하게 되어 CRS를 사용하지 않고 성인용 안전띠를 직접 사용할 수 있다. 이 경우, 어깨띠와 골반띠를 적절하게 조절하고, 상체의 자세를 올바르게 하여 어깨띠는 가슴을 지나고 골반띠는 골반위로 지나도록 안전띠를 올바르게 착용하여야 한다. 2점식 안전띠를 사용할 때 골반을 구속하지 않고 복부를 구속할 경우 장 파열의 우려가 있으므로 사용시 주의를 하여야 한다. 기존 3점식 안전띠는 2점식 안전띠에 비해 상해감소 효과가 25% 정도 높은 우수한 승객 보호 장치이다.¹³⁾ Photo. 5는 10세 이상의 어린이가 성인용 안전띠를 착용한 모습이다.

이와 같이 어린이의 연령이나 신체 크기에 따라 적합한 CRS를 사용하여야 하며, CRS 종류에 따른 어린이의 중경상 이상(AIS 2+)의 상해감소효과는 뒤보기 CRS가 96%로 가장 높으며, 안전띠를 갖춘 부스터 좌석이 77%, 성인용 안전띠가 59%의 순으로 알려져 있다.¹³⁾ 여기서 AIS (Abbreviated injury



Photo. 5 Seat belt system¹⁰⁾

Table 1 Abbreviated injury scale(AIS)¹⁴⁾

AIS	Severity
0	None
1	Minor
2	Moderate
3	Serious
4	Severe
5	Critical
6	Maximum injury(virtually unsurvivable)

scale)는 신체상해지수로 0에서 6까지 나타내며 Table 1과 같다.¹⁴⁾

3. 어린이 탑승자의 상해유형

어린이가 체격 및 연령에 적합한 CRS를 사용하지 않을 경우 치명적 복합 상해, 즉, 머리상해와 목의 골절이 복합적으로 발생하는 상해를 입게 된다. 보통 3~4세까지의 어린이는 머리의 크기 및 무게에 비해 상대적으로 목이 약한 구조이기 때문에⁷⁾ CRS에 착석한 나이가 어린 어린이의 경우는 정면 충돌시 치명적 복합 상해를 입을 가능성이 높다.¹³⁾

복부 상해는 주로 정면충돌 사고에서 가장 높은 빈도를 보이며, 어린이가 성인용 좌석 안전띠만 착용한 경우 전체 상해 중 복부 상해가 가장 많은 부분을 차지한다. 따라서 어린이가 약 10세가 되기까지는 부스터형 좌석을 사용하여야 하며, 안전띠를 갖춘 부스터 좌석에 착석한 어린이는 복부 상해의 위험이 낮은 것으로 나타났다.¹³⁾

4. 착석위치에 따른 상해 감소효과

탑승자의 착석위치에 따른 상해 감소효과에 대한 다양한 연구가 수행되었으며, 최근 듀얼 에어백 장착차량의 증가와 함께 중요성이 부각되었다. 광범위한 통계적 방법을 사용하여 수행된 연구 결과 뒷좌석에 착석하는 것이 높은 상해 감소효과가 있음을 보여주고 있으며, 적절한 CRS를 사용하는 것이 중요하다.^{15,16)} 충돌시 뒷좌석에서 CRS를 사용하는 어린이는 운전자에 비해 치명상을 입을 확률이 26% 감소하며,¹⁷⁾ 승객석 에어백의 장착 유·무에 관계없이 뒷좌석에서 사망위험이 상당히 낮은 것으로 알려져 있다.¹⁵⁾

반면, 동일한 구속조건이 아닌 경우 적절히 구속된 앞좌석 승객에 비해 구속되지 않은 뒷좌석 승객이 승객보호 차원에서 전혀 우위에 있지 않다고 알려져 있어 착석위치에 관계없이 적절한 구속 장치를 사용하는 것이 승객보호의 기본 요건임을 알 수 있다.¹⁷⁻²⁰⁾

5. CRS 종류별 시험 및 결과분석

5.1 시험조건 및 결과

시험 종류는 3세 어린이 체형에 적합하지 않지만 Table 2와 같이 성인용 안전띠(2점식 및 3점식)의 효과를 확인하기 위한 시험과, 3~5세 어린이가 사용하기에 적합하고 가장 많이 사용되는 앞보기형 CRS 7종류에 대한 시험 및 5~10세 어린이에게 적합한 부스터형 CRS 2종류에 대하여 시험을 수행하였다. 여기서 사용된 시험품 모두 각각의 서로 다른 제작사 및 다른 제품을 사용하였다.

각각의 CRS에 대하여 FMVSS 213 규정에 의해 시속 48.3km/h(30mph)의 속도로 수행하였다.¹⁾ 시험에 사용한 인체모형은 2, 3점식 성인용 안전띠 및 앞보기형 CRS는 Hybrid III 3세 인체모형, 부스터형 CRS는 사용 연령대를 고려하여 Hybrid III 6세 어린이 인체모형이다. Photo. 6은 FMVSS 213에 의한 충돌모의 시험 장면이다.

시험 가속도 파형은 Fig. 1과 같이 FMVSS 213 시험절차의 상부 및 하부한계로 주어진 영역 안에 들어오도록 시험하였다. FMVSS 213의 동하중 시험조

Table 2 Sled test conditions

Test description	Test speed	Dummy	Belt type	
Seat belt	2 Point	48km/h	Hybrid III 3Y	-
	3 Point	"	"	-
Forward type of CRS	A	"	"	2 Point+CRS
	B	"	"	"
	C	"	"	"
	D	"	"	"
	E	"	"	"
	F	"	"	"
Booster type of CRS	B-1	"	Hybrid III 6Y	3 Point+booster
	B-2	"	"	

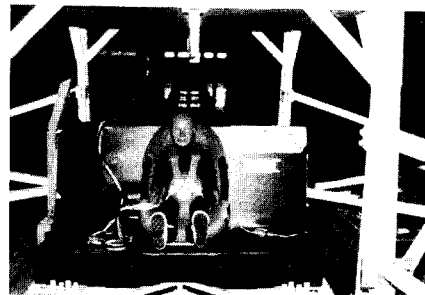


Photo. 6 CRS sled test set-up for FMVSS 213

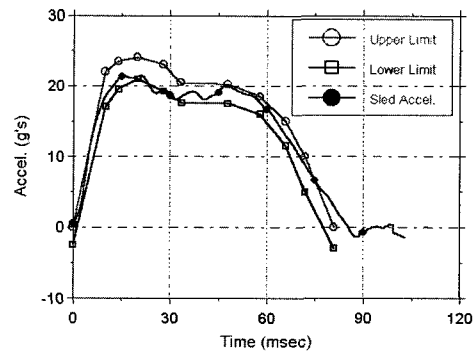


Fig. 1 FMVSS 213 acceleration corridor and test pulse

건에 준하여 앞보기형 CRS의 경우 시험용 표준좌석의 중앙 착석위치에 2점식 안전띠로 부착하고, 부스터형 좌석의 경우 3점식 안전띠로 바깥쪽 착석위치에 부착하여 시험하였다.

시험 기준은 머리, 가슴 상해치 및 머리와 무릎의 이동량에 대하여 제한하고 있다. 머리상해치를 나타내는 HIC¹⁾ 값은 1000으로 제한되어 있으며 식 (1)은 HIC를 구하는 산출식이다.

Table 3 FMVSS 213 Dynamic test requirements

	HIC	Chest g's	Excursion limits(mm)	
			head	knee
Requirements	1000	60	813	915

Table 4 Test results

Description		Test result	HIC	Chest g's	Excursion (head/knee)
1	Seat belt	2 Point	0.95	0.45	-
		3 Point	0.68	0.81	-
2-8	Forward type of CRS	A	0.45	0.55	0.95/0.94
		B	0.47	0.52	0.99/0.92
		C	0.40	0.78	0.95/0.93
		D	0.26	0.66	0.95/0.95
		E	0.46	0.76	1.08/1.03
		F	0.38	0.49	0.99/0.93
9-10	Booster type of CRS	B-1	0.42	0.85	-
		B-2	0.37	0.75	-

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

여기서, a(t)는 중력가속도의 배수로 표시되는 머리의 합성가속도이며, HIC 값은 t₁, t₂가 36msec 이하의 간격을 갖으며 식 (1)을 최대화하는 시간대를 나타낸다. 가슴상해치는 흉부 중심에 위치한 3축가속도계로부터 얻은 합성가속도가 3msec 이상 연속적으로 중력가속도의 60배를 초과하지 않도록 규정하고 있다. 머리 및 무릎 이동량은 표준좌석등받이의 힌지 중심점으로부터 머리 및 무릎의 최대 이동량으로 각각 813mm, 915mm이며, 이동량은 초당 1000장으로 고속 촬영한 필름을 분석하여 구하였다. Table 3은 FMVSS 213의 동하중시험 기준을 보여주고 있다.

시험 결과는 Table 3의 FMVSS 213의 동하중시험 요구조건을 기준으로 정규화(normalize)하여 그 단위를 1로 정하고 Table 4 및 Figs. 2-4에 나타내었다.

5.2 시험결과 분석

본 연구에서 수행된 시험결과를 구속 유형별로 성인용 안전띠, 앞보기형 및 부스터형 CRS 각각에 대하여 상해치 및 이동량 기준에 따라 비교한 결과는 다음과 같다.

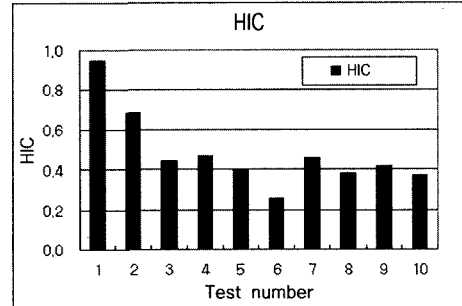


Fig. 2 Comparison of normalized head injury criteria

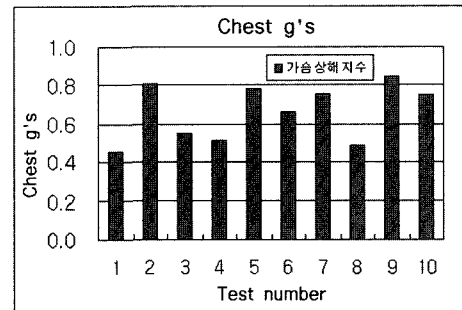


Fig. 3 Comparison of normalized chest injury criteria

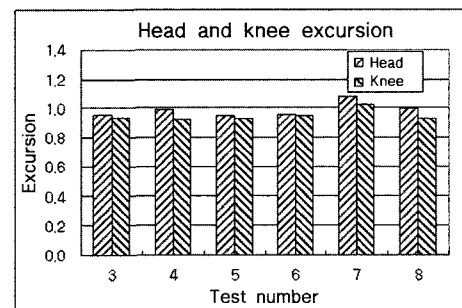


Fig. 4 Comparison of head and knee excursion, forward facing group of CRS

첫째, 2점식 안전띠의 경우 머리상해치가 기준은 만족하나 CRS를 사용한 경우보다 약 2배 가까이 높게 나타났다. 3점식 안전띠의 경우 수치상으로는 상해 가능성이 없지만, 성인용 안전띠는 10세 이하의 어린이에게는 오착용 가능성이 높고 이로 인한 장파열 등의 우려가 높으므로 적합하지 않다.

둘째, 앞보기형 CRS의 머리 및 가슴상해치는 대체로 양호하나 머리 및 무릎의 이동량은 대부분의 제품이 허용기준보다 약간 낮은 수준이며 7번(E) 제

품은 기준치를 초과하였다. 그러나 본 연구는 미국의 FMVSS 213을 기준으로 평가한 반면 7번(E) 제품은 다른 기준에 따라 설계 및 제작되어 개발관점이 다르므로 이에 대한 절대적인 평가는 아니다.

셋째, 부스터 좌석의 경우 6세 인체모형을 사용하여 시험하였다. 따라서 3세 인체모형으로 시험한 성인용 안전띠의 시험결과와 직접적으로 비교하기는 어렵다. 시험 결과에서 알 수 있듯이 성인용 안전띠에 비해 머리상해치는 상당히 양호하며 가슴상해치 역시 기준값 이내로 만족함을 알 수 있다.

앞보기형 CRS의 머리 및 무릎 이동량이 허용한계에 근접하거나 초과함에 따라 그 원인을 분석하였다. 이동량에 영향을 미치는 변수로, CRS의 중량, 착석면의 높이, 착석면의 형상, CRS의 구속위치 그리고 인체모형을 구속하는 벨벨 띠의 조절형식 및 신율특성 등 다양한 변수들에 의해 영향을 받을 것이라고 판단되나, 정보 수집의 한계로 본 연구에서는 Table 5와 같이 중량 및 착석표면의 높이만을 고려하여 분석하였다.

Table 5에서 볼 수 있듯이 CRS 중량 및 착석표면의 높이의 미세한 차이에 대해서는 이동량이 정확하게 비례적으로 증가하지는 않는다. 다만, 제품 E의 경우와 같이 그 차이가 큰 경우 중량과 착석면의 높이가 머리 및 무릎 이동량에 영향을 미친 것을 알 수 있다. 즉, CRS의 무게가 많고 쿠션의 높이가 높음에 따라 가속시 착석한 인체모형의 무게중심이 높아져 모멘트가 크게 작용하고 모멘트 팔이 길이가 길므로 이동량이 많아졌음을 알 수 있다. 머리 및 무릎 이동량이 기준값을 초과할 경우 자동차 안에서 전열 좌석, 계기판넬 등의 내장재에 부딪혀 치명적 상해를 발생시킬 가능성이 높다.

Table 5 Comparison of head and knee excursion according to CRS weight and cushion height

	CRS weight (kgf)	CRS cushion height(mm)	Excursion	
			Head	Knee
A	4.4	155	775	856
B	4.4	155	802	846
C	5.2	170	802	846
D	4.8	165	775	867
E	10.2	260	880	939
F	4.8	190	809	852

6. 결론

어린이보호용좌석 효과에 대하여 종류별로 FMVSS 213에 따라 동하중 실험을 수행하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 10세 이하의 어린이가 성인용 안전띠를 직접 사용하게 되면 오착용 가능성으로 인한 상해 우려가 크므로 적절하지 않다.

2) 앞보기형 및 부스터형 CRS는 상해값 및 이동량 기준을 한 제품을 제외하고는 대체로 잘 만족하며 어린이 탑승자 보호효과가 높으므로 연령 및 체구에 적합한 어린이보호용좌석을 사용하여야 한다.

3) CRS의 무게가 무거울수록, 착석면의 높이가 높을수록 이동량이 증가하는 것으로 나타났으므로 CRS 설계시 이를 고려해야 할 것이다.

4) CRS의 사용률이 증가함에 따라서 전반적으로 어린이 탑승자의 상해 위험이 감소하는 것으로 나타남을 감안할 때, CRS의 필요성에 대한 집중적인 홍보, 착용 의무화법의 강화를 통해서 CRS의 사용률을 높이는 노력이 중요하다.

5) 안전기준과 제품설계의 상호 연관성을 고려하여, CRS의 안전성능 및 품질이 개선될 수 있도록 CRS 관련 법규의 강화 및 지속적인 품질관리가 이루어져야 할 것이다.

후 기

이 연구는 건설교통부의 2002 건설교통기술혁신 사업중 어린이·보행자 보호 안전기술 연구와 한국 과학재단 지정 최적설계기술연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- 1) 49 CFR, Part 571, FMVSS 213, Child Restraint System, DOT, NHTSA, USA, 2002.
- 2) ECE, Regulation No.44-Uniform Provisions Concerning the Approval of Restraining Devices for Child Restraints of Power-Driven Vehicles, 03 Series, ECE, May 2001.
- 3) Korea Agency for Technology and Standards Notice No.2001-376(2001.7.10) Child Restraint Systems.

- 4) C. J. Kahane, "An Evaluation of Child Passenger Safety: The Effectiveness and Benefits of Safety Seats", DOT Report HS 806890, National Highway Traffic Safety Administration. Department of Transportation Washington DC, 1986.
- 5) S. K. Hwang, K. H. Yoon, Y. H. Yoon, "Research Report for Child and Pedestrian", Korea Transportation Institute & Korea Automobile Test and Research Institute, 2002.
- 6) B. Aldman, "A Protective Seat for Children-Experiments with a Safety Seat for Children between One and Six", In Proc. 8th Stapp Car Crash Conference, pp.320-328, Detroit, 1964.
- 7) A. R. Burdi, D. F. Huelke, R. G. Snyder, G. H. Lowrey, "Infants and Children in the Adult World of Automobile Safety Design: Pediatric and Anatomical Considerations for Design of Child Restraints", Journal Biomechanics, Vol.2, pp.267-280, 1968.
- 8) G. Carlsson, J. Holmgren, S. Nilsson, H. Norin, "Volvo/TNO European Workshop on Child Safety in Passenger Cars", Kerkrde, 1986.
- 9) G. Carlsson, H. Norin, L. Ysander, "Rear Facing Child Seats-The Safety Car Restraint for Children", In Proc. 33rd AAAM Conference, Baltimore, Maryland, 1989.
- 10) NHTSA, "Are You Using It Right? - Child Restraint Systems", U.S. DOT NHTSA, June 2002.
- 11) NHTSA, "Types of Child Safety Seats", DOT HS 809 230, 2001.
- 12) NHTSA, "Increasing Booster Seat Use for 4- to 8-Year Old Children", U.S. DOT NHTSA, October 2002.
- 13) I. Isaksson-Hellman, L. Jakobsson, C. Gustafsson, H. Norin, "Trends and Effects of Child Restraint Systems Based on Volvo's Swedish Accident Database", SAE 973299, pp.43-54, 1997.
- 14) J. A. Pike, "Automotive Safety: Anatomy, Injury, Testing and Regulation", SAE, 1990.
- 15) R. B. Elisa, R. Whitfield, A. F. Susin, "Risk of Death Among Child Passengers in Front and Rear Seating Positions", SAE 973298, pp.25-31, 1997.
- 16) A. F. Willians, P. Zador, "Injuries to Children in Automobiles in Relation to Seating Location and Restraint Use". Accident Analysis and Prevention, pp.9, 69-76, 1977.
- 17) S. C. Partyka, "Lives Saved by Child Restraints from 1982-1987", Washington D.C, NHTSA, 1988.
- 18) P. Agran, D. Castillo, D. Winn, "Comparison of Motor Vehicle Occupant Injuries in Restrained and Unrestrained 4-14 Year Olds", Accident Analysis and Prevention Vol.24, No.4, pp.349-355, 1992.
- 19) C. Johnston, F. Rivara, R. Soderberg, "Children in car Crashes: Analysis of Data for Injury and Use of Restraints", Pediatrics Vol.93, No.6, pp.960-965, 1994.
- 20) H. W. Park, Y. H. Youn, J. W. Lee, K. H. Yoon, Y. T. Choi, "A Study of Child Safety on Various Child Restraint Systems" 2002 KSAE Spring Conference Proceeding, Vol.2, pp.618-623, 2002.