

승객석 Restraint System의 구속 효과와 인체상해 연구 - 어린이(6세)탑승자 중심으로 -

이 장 민

동의대학교 산업공학과

요 약

과거 8년간의(1985-1992) 통계에 의하면 정면과 측면 충돌시 구속 시스템의 하나인 Airbag 장착 차량의 사망자 및 중상자 수가 현저히 감소하고 있는 것으로 나타나고 있다. 그러나 최근 소비자로부터 Airbag에 관한 불만을 보고 받고 있다. 즉 구속효과를 발휘함에 있어 부수적으로 인체 부상을 유발하고 있다는 것이다. 사망내지는 심각한 부상은 방지하고 있으나 경미한 부상은 오히려 증가하고 또한 신체가 적은 여성 운전자나 6세 이하의 어린이에게는 심각한 부상의 우려가 있다는 것이다.

본 연구에서는 구속시스템의 총아인 Airbag 시스템의 심각한 부수적인 부상 보고를 입증하기 위하여 우리나라 어린이 6세 신체를 기준으로하여 구속시스템을 착용하지 않았을 경우(실제로 많은 경우), seat belt만 착용시, Airbag만 작동시, 그리고 seat belt와 Airbag을 동시에 사용할 때를 컴퓨터 Simulation Package 이용 신체 dynamic을 모의실험 하였다.

실험결과, 기존에 알려진바와 같이 구속시스템을 사용하지 않았을 경우에 부상은 매우 컸다. 신체 사이즈가 작은 어린이 혹은 여성 운전자의 경우 Seat belt만을 사용한 경우는 Airbag만을 사용한 경우보단 부상정도가 약간 경미하였으나 두 경우 모두 인체가 구속시스템의 구속 범위를 이탈하여 구속 시스템으로써의 역할을 충분히 하지 못하고 있었다. 특히 Seat belt와 Airbag을 동시에 사용하였을시에도 Airbag이 충분히 개선된 이후라도 신체 사이즈가 작은 경우에는 흉부부위에 의한 충격 흡수가 먼저 이루어지지 못하고, 머리에 먼저 Airbag이 접촉이 되어 충격 흡수 역할보다는 반동효과가 더 커서 머리 및 몸체가 뒤로 Rebound 하는 효과로 머리, 혹은 목의 신체 부상한계를 넘고 있어 큰 부상 내지는 사망에 이르고 있음을 알 수 있었다.

1. 서 론

자동차의 경우 운전자 보호 시스템의 설치가 1970년 의무화(미국)된 이후 구속시스템으로 안전벨트(seat belt)와 air cushion 시스템이 연구되어왔다. 안전 벨트는

2point식 3point식 등의 단계를 거쳐 이제는 자동차 안전 시스템으로써의 안전성을 인정받아왔으나(1), airbag의 경우는 실용화시기가 늦어 최근에 와서야 안전시스템으로서의 가치를 인정받아 belt 시스템의 보조시스템으로써 장착되기 시작되었고 1994년형 이후

의 차량은(미국) 90%이상이 운전석에 장착되었다. 이들중의 반은 승객석에도 갖추고 있다. 또한 미국의 경우 모든 새로운 차량은 운전석 및 승객석에 1998년부터 airbag을 의무적으로 장착할 것을 요구하고 있다. 이러한 추세라면 2000년도까지는 매년 airbag의 배치가 50만개정도가 될것으로 추측된다. IIHSA(Insurance Institute for Highway Safety Administration)에 의해 보고된바에 의하면 현재의 상해 비율로 볼 때 airbag의 배치에 따른 상해의 감소는 200,000을 넘을 것으로 보고있다(2).

이와같이 airbag(A/B)은 사망에 이르는 수를 줄일 수 있고, 또한 중요한 상해를 경감시킬 수 있는 효과적인 상해 방지 장치임은 틀림이 없다. 그러나 최근 소비자로부터의 airbag에 대한 불만의 소리가 일고 있다. 즉 구속 효과를 발휘함에 있어 다른 인체 부상을 유발하고 있다는 것이다(3). 즉 탑승자에 에어백 모듈에 아주 근접하여 앉아있거나(어린이 또는 작은 여성들의 경우), 벨트를 매지 않은 탑승자가 충돌 직후 앞으로 이동하든지, 충돌전에 브레이크를 밟는 경우등을 포함하는 에어백의 배치에 따라 차량 충돌사고는 다양한 위험요소를 포함한다는 것이다. 가장 빈번하게 상해를 입는 신체부위는 머리와 목이고, 다음으로 상체와 하체의 말단부분이다.

본 연구에서는 이러한 부상효과를 입증하기 위하여 우리나라 어린이(6세-11세) 혹은 여성 탑승자의 경우에 한하여 Restraint System(R/S) 별로 인체 충돌 모의실험을 하였고, 특히 airbag 시스템의 부수적인 부상효과를 조사하였다.

2. Restraint Systems의 문제점

2.1 Seat belt(S/B)

사고시 인체의 부상방지를 위한 연구는 자동차 생산 초기부터 고려 대상에 포함하지 않을 수 없던 중요한 사항이었다. 안전장치

로써의 수동 구속 시스템과 관련된 초기의 특허 문헌은 collision mat가 기술되었던 1949년으로 거슬러 올라간다. 이후 처음으로 제품화된 수동 벨트 시스템은 1958년에 선을 보였는데 이는 차문을 닫고 좌석에 앉게되면 자동적으로 하나 혹은 양쪽의 문에서 풀려져 채워지게 되는 단순 안전벨트로서 앞좌석의 모든 승객을 보호하는데 사용되도록 되어 있다. 그러나 이 시스템은 실제적인 crash dynamics에서 인간 부상허용치의 한계를 충족하지 못하고 있었다. 이후 수동보호 시스템의 실용화를 위한 자동차 충돌사고와 관련된 지식과 제조기술의 양자가 동시에 발전되어갔다. 1973년 앞좌석 수동 보호장비 의무적 장치가 법제화되어 보호장치의 발전은 급진전을 이루어 지금과 흡사한 3점식 시스템은 1980년대 모델부터 장치되었다. 자동차 이용율의 증가는 부수적으로 사고 발생율을 증가시켰고, 이에 따른 안전장치의 발전은 벨트시스템과 병행하여 기타 추가장비 즉 airbag 시스템이 안전 시스템으로 탑재되기 시작하였다(4).

2.2 Airbag

에어백은 명백히 말해서 최고의 차량 안전 장치이다. 사망과 심각한 상해로부터 가장 확실하게 보호해준다. 고속도로 안전에 대한 보험 회사의 연구가들은 1985-1992년 동안 18000명의 운전자가 차량 충돌로 사망한 것으로 보고되었고, 에어백을 탑재한 차량에서의 정면과 정면-각 충돌에서 훨씬 사망이 적은 것을 알 수 있다고 한다(2). National Highway Traffic Safety Administration's(NHTSA) NASS는 1988-1993 동안 사고로부터 심각한 상해가 확실하게 줄어들었는데 이것은 아마도 에어백 시스템이 효과를 발휘한 것으로 보고있다.

그러나 최근 National Traffic Safety Administration의 결함 연구소는 소비자들로부터 항의를 접수하였는데, 즉 에어백에 의

한 상해에 대한 불평이었다. 에어백은 충돌 시 탑승자를 구속하지만, 이 구속 과정에서 상해를 야기시킨다는 것이다. 이는 에어백의 효과가 무의미하다는 것은 아니다. 즉 생명을 구해준다든지, 심각한 부상을 방지하여주는 반면 많은 작은 상해들이 증가되고 있다는 것이다. 경미한 충돌에서 에어백의 전개는 탑승자를 위협에 노출시킬 수 있고, airbag에 의한 상해가 유발될 수 있다는 것이다. 이러한 조건들은 운전자에게 또는 탑승자에게 취약한 상태에 처하게 할 수 있다는 것이다. 벨트를 착용하지 않은 탑승자는 전방으로 너무 많이 움직이고 충돌할 때 위치를 이탈한다. 벨트를 할 경우에도, 에어백 모듈에 너무 가까이 위치하는 것은 아주 심각한 상해를 야기 할 수 있다. 즉 너무 작거나 나이가 많은 여성들은 운전대에 너무 가깝게 앉아 있는 것이 종종 발견되고 있다.

97' 7월 24일 주간조선은 '두얼굴의 Airbag' 이라는 제목하에 사고 기사를 실고 있다(5). 사고 내용은 소나타 III 승용차가 감속중(30km - 20 km) 앞차 그랜저를 추돌하였다. 소나타 앞좌석 탑승석에는 6세의 어린이가 타고 있었는데 추돌시 airbag이 산개되었고 부상정도는 목과 가슴이며 혈관신경이 cut되어 사망한 사고이다. 반면 운전석은 타박상 정도이고 뒷좌석은 정상이었다.

충돌시간과 충돌속도는 탑승자가 최초로 airbag에 접촉할 때 완전히 팽창되는 것을 전제로한다. 이는리는 고속에서 충돌시 airbag/탑승자간의 상호작용을 방지하게된다. 실제로 충돌시 airbag/탑승자간의 상호작용은 방지되도록 설계되었으나 앞에서 언급한 여러 가지 다른 충돌 Dynamics에 의하고 또한 인체 크기에 따른 충돌 Dynamics에 의하여 매우 다양한 결과를 초래하고 있는것이다.

그러면 과연 airbag 시스템은 어떻게 구성 되었으며 어떠한 절차를 거쳐 작동하는가? 에어백 시스템은 다음과 같은 네가지 기본부품 즉 충돌 센서와 통제, 팽창, 에어백 자체,

특수 회로로 구성된다. 이 특수회로가 airbag 개산을 위해서 정상작동을 해주어야만 다른 3개 구성품들이 부상방지를 위한 제 역할을 하게 된다.

현재 대부분의 시스템은 차량의 앞부분에 많은 전기기계적인 ball-in tube 또는 spring-mass sensor 등과 같은 것은 탑재하고 있다. 이러한 센서들은 진동을 줄여주고 자석의 접극자 센서를 가지는 전선으로 사고와 관련이 없는 충격으로부터 나타나는 부수적인 폭발을 막기위해 1-2g를 미리 적재한다. 일반적으로 센서들은 고정된 장벽을 향해 16 - 19 km/h의 속도로 정면 충돌을 하면 이와 거의 유사한 속도로 차량이 앞쪽으로 움직이는 동작이 발생할때의 갑작스런 감속이 발생할 때마다 에어백이 작동하도록 설계되어져있다. 대부분의 충돌에 대해 센서는 18-23 msec time frame으로 갑작스런 불꽃을 만들어 가스 발생을 시작하는 최초의 충돌 이후 15 - 20 msec 이후부터 작동한다. 결과적으로 충돌 후 21 - 27 msec 동안 나트륨 아지화합물이 연소하여 질소 가스를 생성하고 그 결과로 폴리우레탄 덮개(혹은 핸들커버)를 통해 나일론 에어백이 팽창한다. 사건 발생시 45 - 50 msec 정도에 완전히 팽창된 백에 운전자들이 125 - 150 mm 정도 움직였을 때 접촉하도록 한다. 이 백은 백 뒤에 있는 구멍을 통해 충돌 후 80 - 100 msec time 기간동안 수축되어 운전자로부터 멀어진다. 그림 1은 에어백의 위치와 운전자의 위치와 관련된 전형적인 시간대를 보여준다.

요약하면 현재 에어백의 배치 설계 기준은 125mm - 30ms이다. 이것은 에어백이 30ms 정도에 완전히 팽창된다는 추정에 기반을 둔 것이다. 그리고, 구속은 탑승자가 승객석과 관련하여 전방으로 125mm 움직일 때 시작된다. 운전석의 airbag은 운전자를 향하여 250mm - 330mm 정도 팽창되지만 탑승석의 경우는 운전대(Steering wheel)가 없으므로 380mm - 510mm 정도 팽창될 수

있는 크기이다.

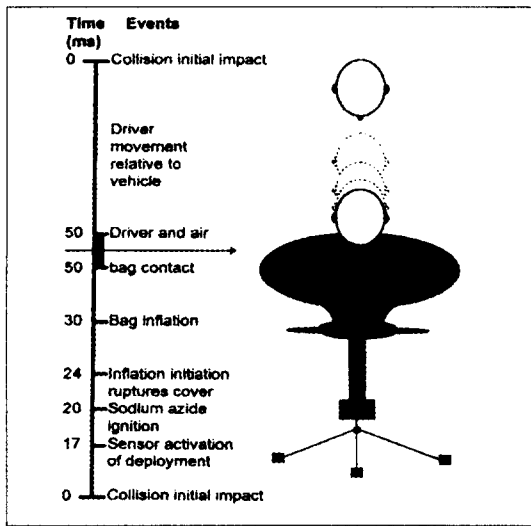


그림 1. Crash시 탑승자/airbag 시간별 Dynamic

3. Restraint System 별 상해 모의실험

3.1 Restraint system 및 인체 조건

지금까지의 충돌조건은 대부분의 경우 어린 신체 크기 50%(percentile)의 조건에 맞는 구속시스템을 기준으로 실험하였다. 또한 구속시스템도 seat belt와 seat belt and airbag만을 비교하였으나 실제 운행중인 차량에서는 다양한 형태의 유형을 볼 수 있다. 즉 어떠한 구속 시스템도 착용하지 않은 상태, seat belt만 착용한 상태, seat belt는 착용하지 않고 airbag를 장비한 상태(실제 앞좌석 어린이 탑승자의 대부분 경우), 그리고 seat belt and airbag 모두를 장비한 상태등 여러 유형이 있어 본 연구에서는 이 모두의 조건 4가지를 실험 조건으로 설정하였다.

탑승자의 유형도 매우 다양하나 본 연구에서는 현재 생산되고 있는 구속 시스템이 어느 대상에게는 매우 심각한 부상의 문제점이 있음을 조사하기 위하여 6 - 11세의 어린이 체형을 주로 대상으로 실험하였다. 이러한

범주는 어린 여성의 경우 신체가 작은 일부에게도 해당되는 경우이기도 하다. 즉 구속 시스템 4가지와 신체 크기 2 종류, 모두 8가지의 경우를 모의실험 하였다. 그림 2는 승객석에 탑승한 6세 어린이의 경우이며 이때 seat belt와 airbag을 장비한 경우의 형태이다.

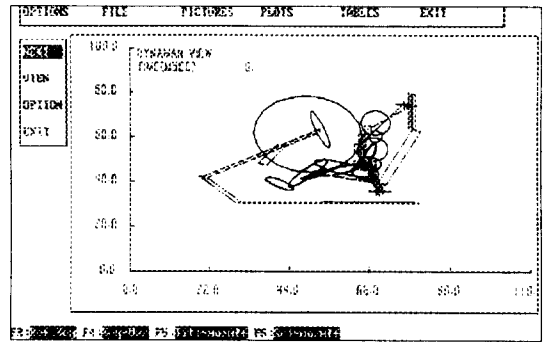


그림 2. Seat belt & Airbag을 장비한 6세 어린이(승객석)

3.2 SIMULATIONS

본 연구에서는 DYNAMAN Simulation Package를 사용하여 모의실험을 하였다. DYNAMAN은 Articulated Total Body(ATB) Model에 근거하여 미운수성 안전부(NHTSA)에서 P.C. version으로 사용되는 simulation model로써 신체를 동적 모의 실험 및 분석할 수 있는 software package이다.

신체는 spring dampers, belts and airbags와 같은 restraint system의 작용과 규정된 외부 가속, 그리고 바람의 효과등의 외부의 환경과의 상호작용도 모의 실험을 할 수 있도록 설계 되었다. model은 gyroscopes와 double pendulums와 같은 간단한 system의 행동방식과 장애물에 부딪히는 자동차, 항공기 조종중 조종사에게 미치는 High 'g'와 같은 보다 복잡한 Biodynamincs의 분석이 가능하다. 이 Software의 응용은 충돌을 포함한 vehicle과 occupants의 동작 및 상해 정도를 분석하는 것이다(6).

4. 실험 결과 분석

이제까지의 충돌 시험은 어른 신체를 중심으로 한 테스트이었다. 그러나 자동차의 생활 도구화에 따라서 가족 단위의 외출은 - 특히 젊은 사람들의 경우에 - 어린 아이들을 동반 하는 경우가 빈번하고 이에 따라 어린이의 앞좌석 탑승 현상은 두드러지게 증가 추세에 있다.

자동차의 종류도 다양하지만 어린이들의 R/S(구속 시스템) 사용 현상도 다양하여 사고시에 부상 현상도 다양하게 나타나고 있다. 본 연구에서 시도한 6세(유치원 입학 연령) 어린이와 11세(어른 작은 사이즈) 어린이에 대한 R/S 시스템 4가지의 경우를 충돌 모의 실험한 결과는 매우 흥미로운 현상을 보여주고 있다. 즉 모의 실험 결과치는 실제 지금까지의 출동 사고를 종합 분석한 미국의 SAE 950867(2)의 상해 정도 통계 결과치에 거의 근접하고 있다는 것이다. 본 연구에서는 신체 생명에 영향을 줄 수 있는 머리, 목 부상 정도 만을 측정할 수 있는 머리의 충격치(HIC)와 목의 신전각도 및 차의 부품들과의 접촉 힘[Contact Force(C/F)]를 주 부상 측정치로 분석하였고, 또한 승객의 충돌 dynamics를 참고 분석치로 활용하였다(7).

airbag의 역할은 충돌시 seat belt의 보조 역할이지 주 구속장치는 아닌 것이다. 즉 seat belt가 가능한한 오랫동안 인체를 구속하여 될 수 있으면 airbag이 팽창되는 동안에 인체와 접촉하지 않도록 하여 보조장치인 airbag에 의한 부수적 부상을 유발하지 않는 것이 목적이나 실제 충돌 Dynamics에서는 앉은 자세, 신체크기, 구속 시스템의 종류등에 따라서 차이를 보일수 있으나 본 연구에서는 부상 가능성이 큰 어린이의 경우에 한정하여 모의 실험을 실시하였다.

표 1에서 보는 바와 같이 6세 어린이 경우(fc6) 머리의 contact force는 A/B만 있는 상태 한계치(250lb)내에 있으나 A/B와 seat belt로 구속된 상태에서 팽창되는 A/B에 접

촉시는 한계치를 넘고 있었다.

표1. R/S 별 신체 사이즈별 상해정도

조 건	C/F(LBS)		HIC	
	fc6	mc11	fc6	mc11
A/B,S/B	508	532	526	1098
S/B	-	1833	1073	3212
A/B	142	1862	544	2632
NO R/S	-	-	1044	2200

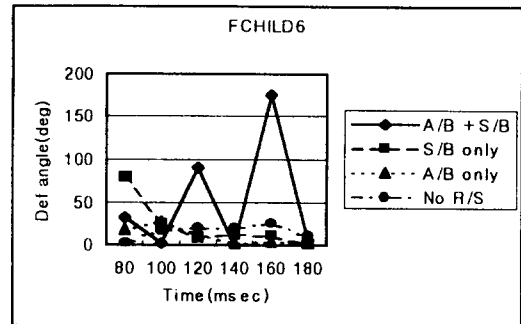


그림 3. 6세 어린이 시간별 신전각도

그러나 A/B에 접촉시 HIC값은 1000을 넘지 않고 있어 머리의 충격은 크지 않은 것으로 추정되나 그림 3에서 보는 바와 같이 충돌시 머리 부위가 먼저 팽창되는 Airbag에 접촉하여 충격을 충분히 흡수하기 전에 rebound 되어 목의 신전각도가 160msec 이후에는 무려 175도에 이르러 목이 부러져 생명에 위험을 줄 수가 있는 것이다. (그림 4)

이는 실제 충돌사고의 통계치에서 나타나고 있는 것과 같이 머리/목 부위의 부상이 50% 정도 차지하고 있는 것과 매우 상관성을 가진다고 추정된다.

S/B만을 착용한 경우에는 몸이 구속벨트 아래로 빠져나가면서 80msec 정도에서 Flexion angle이 80° 정도되어 부상 가능성을 보여주고 있고, HIC 또한 1000을 넘고 있어 어린이의 앞좌석 탑승은 추천되지 않음을 알 수 있다.(그림 5) A/B만을 장비한 경우에는 A/B 팽창과 동시에 탑승자가 접촉되어 머리가 rebound 되고 신체가 S/B등에 의해 구속되어 있지 않아 몸 전체가 머리를 중심

으로 크게 뒤로 젖혀져서 머리/목 보다는 몸/하체부위가 크게 손상될 가능성을 보여주고 있다.(그림 6)

No R/S 경우는 몸 전체가 구속되지 않고 있어 차체 밖으로 이탈되어 생명의 보장이 불가능한 상태로 판단된다.(그림 7)

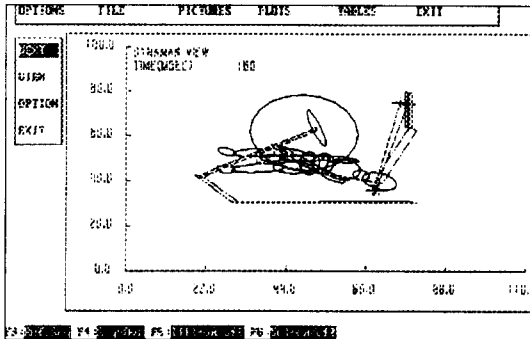


그림 4. A/B&S/B의 fchild6 (160msec)

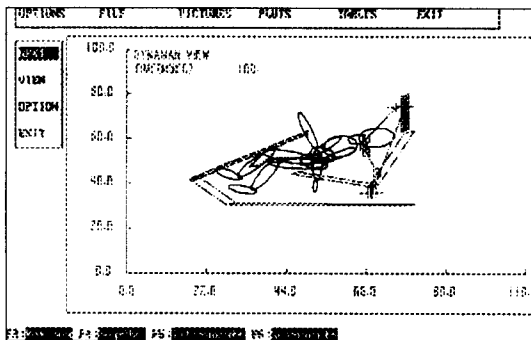


그림 5. S/B의 fchild6 (160msec)

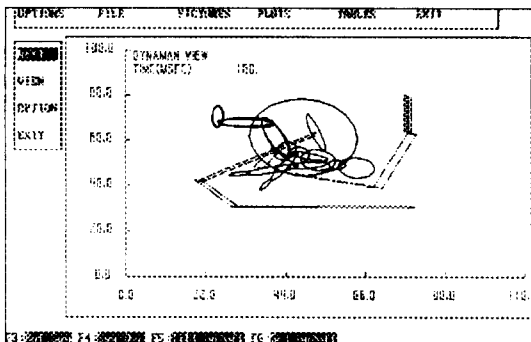


그림 6. A/B의 경우 fchild6 (160msec)

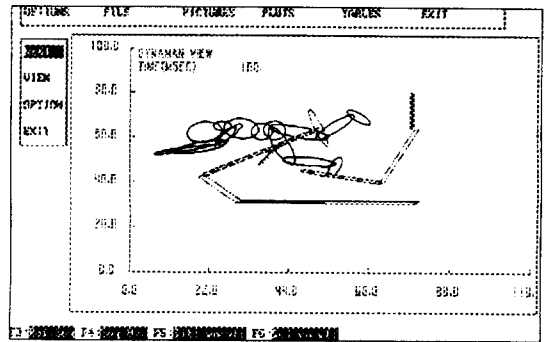


그림 7. No R/S의 fchild6 (160msec)

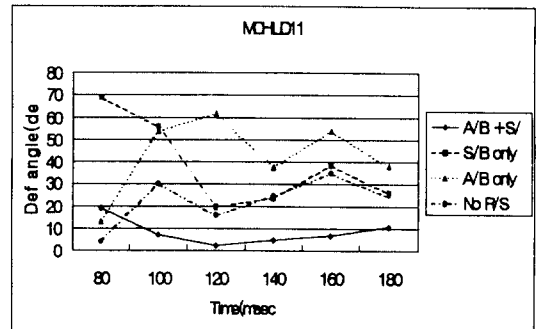


그림 8. 11세 남아 시간별 신전각도

어른의 작은 사이즈인 11세 정도 남자 어린 모든 경우에 contact force도 250lbs를 넘고 있고, HIC값도 1000을 넘고 있어 심한 부상의 가능성을 보여주고 있다.(표 1)

목의 deflexion 각도는 부상허용치를 넘고 있지는 않지만 그림 8, 그림 9, 그림 10에서 보듯이 머리의 rebound 현상은 6세 어린이 보다는 작지만 같은 현상으로 나타나고 있어 작은 신체의 어른도 승객석 airbag 은 현재의 제원에서는 위험성을 내포하고 있다.

S/B 만을 착용시에도 머리의 deflexion 각도가 한계각도를 넘고 있어 부상가능성을 내포하고 있다.(그림 10) 물론 No R/S의 경우에는 그림 12에서 볼 수 있듯이 몸 전체가 차체 밖으로 이탈되어 생명의 보장이 어려운 상태에 이른다.

즉, 현재의 구속 시스템으로 어린 또는 신체사이즈가 작은 사람의 경우, 안전한 구속을 이루기는 어려운 상태임을 알 수 있다. 될 수 있으면 뒷좌석에 탑승하는 것이 안전함을 입증하고있다.

5. 결론

자동차 안전 시스템의 결정체라고 할 수 있는 airbag 시스템이 사고시 수많은 인명을 구하고 있는 것만은 사실이나 일부 대상자에게 부차적인 부상을 일으키고 있음은 통계적으로도 널리 알려진 사실이다.

본 연구에서는 그 일부 대상자인 6세 어린이와 어른의 아주 작은 사이즈에 해당하는 어린이 11세의 경우를 현재 사용중인 자동차 안전 구속시스템의 모든 경우에 컴퓨터 충돌 모의 실험을 실시하였다.

A/B과 S/B 모두가 장비시는 6세 어린이의 경우, 초기 rebound 현상에 의하여 목이 심하게 찢혀져 부러질 가능성이 있었고 11세 어린이의 경우도 rebound 현상은 발생하고 있어 충돌 dynamaid의 조건에 따라서 부상 가능성은 상존하고 있었다.

A/B만을 장비시는 몸이 어느 정도의 구속이 없는 상태에서 A/B과 접촉되어 rebound 후 신체의 움직임이 매우 커져서 타 접촉체와 접촉하는 후발 부상의 가능성이 클 것으로 판단되며 S/B만을 장비시도 6세 어린이 구속 벨트범위 밖으로 이탈되는 등의 구속장비의 효과가 적어지고 있는 현상을 볼 수 있었다. 물론 No R/S의 경우는 충돌시 신체가 차체밖으로 이탈되는 현상이 발생하고 있음을 알 수 있었다. 즉 어린이의 앞좌석 승객석의 탑승은 현재의 구속시스템으로는 부상내지는 사망가능성이 많아 추천 할 수 없으며 앞으로 모든 경우의 안전시스템의 효과를 가질 수 있는 구속시스템의 연구 개발이 진행 되어야겠다.

REFERENCES

1. H.George Johannessen, Historical review of automatic seat belt restraint systems, Restraint Technologies :

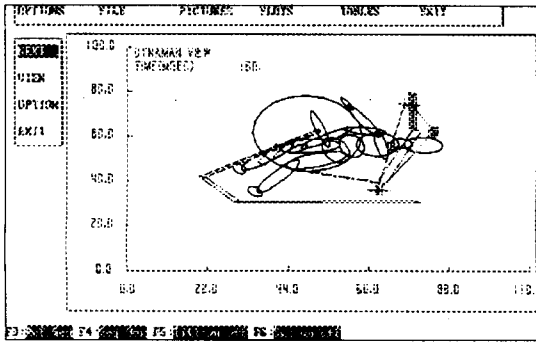


그림 9. A/B&S/B의 mchild11 (160msec)

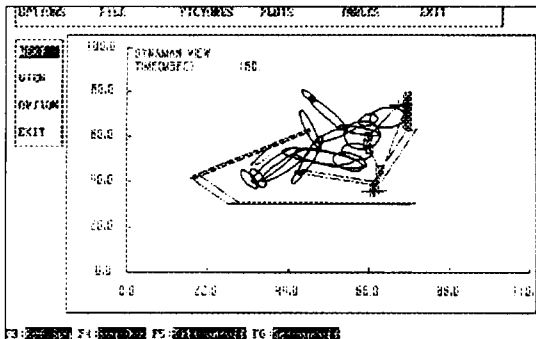


그림 10. S/B의 mchild11 (160msec)

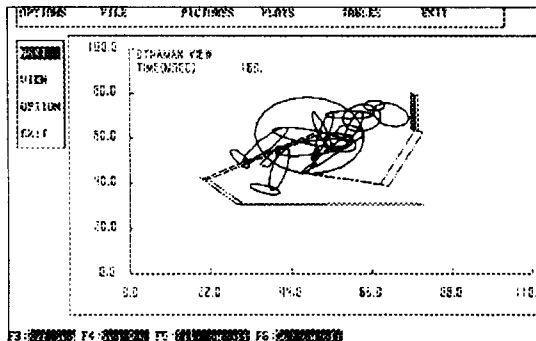


그림 11. A/B의 mchild11 (160msec)

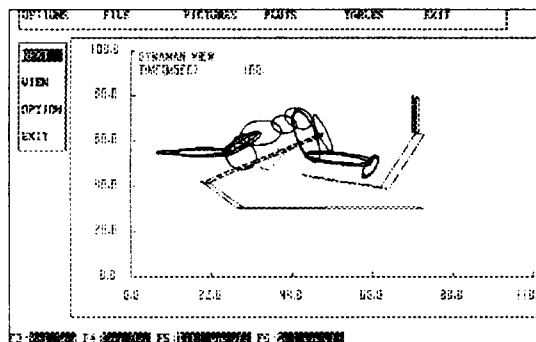


그림 12. No R/S의 mchild11 (160msec)

International Congress and Exposition,
Detroit, Michigan. Feb 23-27, 1987.

2. Tyler A. Kress, David J. Porta, 외 3인,
A Discussion of the Air Bag a System
and Review of Induced Injuries :
Occupant Protection Technologies for
Frontal Impact, 1996.

3. A.C. Malliaris, J.H. DeBlois, K.H.
Digges, Air Bag Field Performance and
Injury Patterns : Occupant
Protection Technologies for Frontal Impact,
1996.

4. H. George Johannessen, Historical
Review of Automatic Seat Belt restrainr
Systems : Restaint Technologies, 1989

5. 두 얼굴의 AirBag, 주간조선. 1997. 7.
24.

6. GESAC.INC., 'DYNAMAN User's
Manual Version 3.0' 1992

7. Mertz,H.J., and Patrick,L.M., Strength
and responce of the Human neck. SAE
paper NO.710855. Society of Automotive
Engineers, INC., 1971