

측면 충돌시 Restraint System의 효과에 관한 연구

- Seat Wing의 효과 -

이창민, 오세민

동의대학교 산업공학과

ABSTRACT

자동차의 안전도는 전통적으로 정면 충돌시 승객의 보호 정도를 가지고 비교된다. 그러나 근래에 와서는 다양한 사고에 의한 승객의 피해를 볼 때 정면과 더불어 측면 충돌시의 피해를 무시할 수 없는 상태에 이르렀다. sled tests 등을 통해서 정면뿐만 아니라 측면 충돌의 영향도 파악하고 있으나 정면 충돌보다 측면 충돌에 대해 승객 보호 장치의 개발이 미흡한 것이 현실이다. 본 연구에서는 현실적으로 보다 효과적인 occupant (운전자 및 승객) restraint system을 computer 모의 실험을 통해서 제안하고자 하였다.

기존의 안전시스템인 lap/shoulder belt system과 Air cushion에 의한 실험은 다각도로 연구되었다. 그러나 측면 충돌에서 Air Bag에 의한 충돌 감소 영향은 정면 충돌에 비해 적어지게 되어 상체 측면 보호 장치가 필요하게 된다. 본 연구에서는 운전자의 lap/shoulder belt system과 Air Bag에 의해 구속되는 dummy를 가지고 다양한 측면 충돌 각도(0° , 15° , 30° , 45° , 70°)에서 실험이 수행되었다. 또한 각 충돌각에 대해 기존 Restraint System에 상체 측면 보호 장치(seat wing)를 포함하여 실험을 수행하였다. 이에 대한 각각의 영향, 그리고 승객 손상도 분석 및 평가를 통하여 보안된 측면 충돌 보호 restraint system의 필요성과 그 효과를 제시하고자 한다.

실험결과에 의하면 정면보다 측면에서 충돌하였을 경우 보조 구속 시스템인 seat wing으로 인해 측면보호는 물론 occupant는 정면으로 나가게 개선되어 구속 시스템으로써의 이점이 확대되고 shoulder belt 또는 dummy의 감속을 통제하는 Air Bag의 잠재적인 이점이 더욱 확대되었음을 보여주고 있다. 그러나 design 단계에서 편안함, 안락감 등의 문제들과, 다른 실용적인 면에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

1. 서론

자동차는 현대인의 생활에 많은 영향을 미치고 있으며, 앞으로도 우리들의 일상생활에서 중요한 역할을 할 것이다. 매년 자동차 사고로 인한 인명 및 재산상의 손실은 심각한 사회문제가 되고 있다. 고속도로에서는 앞좌석의 운전자와 승객이 반드시 안전벨트의 착용을 의무화하고 있으나 사고시 발생하는 피해는 아직도 매우 높은 실정이다. 자동차 부품 하나하나가 모두 중요한 것이지만 특별히 승객의 안전을 고려해 볼 때 구속 시스템의 중요성은 매우 큰 것이다.

충돌 dynamic 연구시 의자는 설계 원칙에 따라서 설계된 의자를 사용하는데, 이는 충돌시 occupant(운전자 및 승객)의 초기 위치와 초기 동작을 통제하는 요인이 되기 때문이고, 의자 cushion은 shoulder hardness와 에너지 흡수 무릎 보호대를 포함하는 passive restraint system으로써 정면 충돌에서 다리 운동을 통제하는 요인이 될 수 있기 때문이다[1]. 의자 cushion의 설계는 lap belt에 의한 구속 문제 때문에 전방 감속시 lap belt와 함께 구속 기능을 강화하는 주요한 요인으로 간주된다[2].

또한 여러 연구에서 측면 충돌시 상체부분의 일부통제를 가능하게 하는 방법들이 연구되고 있다[3-5]. 그러므로 이것은 전통적인 lap/shoulder belt system의 구속 기능과 함께 측면 구속을 더욱 강화할 수 있는 것으로 보여진다.

다양한 occupant의 위치 문제 때문에 측면 충돌시 자동차 설계의 안전 위원회(미국의 경우)에서 고려하고 있는 부문이 많다. 특히 전통적으로 사용하여온 의자나 구속 시스템의 변경은 occupant의 구속 범위를 증가시킬 수 있다고 간주되므로 새로운 실험의 시도는 여러면에서 매력을 느끼게 한다.

소개되는 본 연구의 주 목적은 측면 충돌시의 충돌각에 따른 측면 상체 구속의 mechanism을 조사하는 것이다. lap/shoulder belt system에 의한 구속 시스템에서 Air Bag이 있는 경우와 없는 경우, 그리고 측면 보호 시스템(seat wing)이 있는 경우와 없는 경우로 나누어 실험되었다. 기존의 구속 시스템이 occupant의 동작을 정확히 제어할 수 있다면 현 시스템의 디자인 및 그 효용 가치는 이미 정확히 밝혀졌겠지만, occupant의 dynamics는 매우 복잡한 양상을 띄기 때문에 측면 충돌시 기존의 구속 시스템(lap belt & Air Bag)과 측면 구속 시스템(seat wing or 측면 Air Bag) 등과의 관계를 조사하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. METHODOLOGY

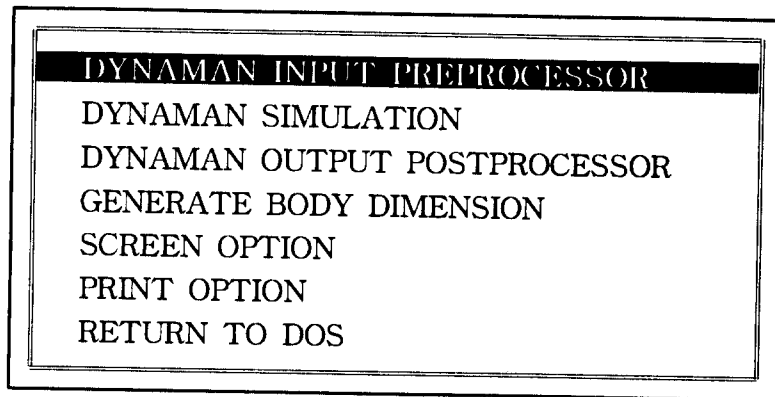
2.1 DYNAMAN 소개

본 연구에서는 DYNAMAN Simulation Package[6]를 사용하여 모의실험을 하였다. DYNAMAN은 Articulated Total Body(ATB) Model에 근거하여 미운수성 안전부(NHTSA)에서 P.C. version으로 사용되는 simulation model로써 신체를 동적 모의실험

및 분석할 수 있는 software package이다. 신체는 spring dampers, belts and airbags와 같은 restraint system의 작용을 통해서 표면 영향과 규정된 외부 가속을 거치는 것과 같은 방법의 수 내에 있는 환경과 상호 작용이 가능하다. model은 gyroscopes와 double pendulums와 같은 간단한 systems의 행동 방식과 장애물에 부딪히는 차와 같은 보다 복잡한 systems의 분석이 가능하다. 이 software의 주요한 응용은 충돌을 포함한 vehicle과 occupants의 동작을 분석하는 것이다.

그림 1은 DYNAMAN의 초기 화면을 나타낸다.

[그림 1] Setup Menu



DYNAMAN은 4개의 modules로 구성된다.

- ① preprocessor인 DYNIPP
- ② simulation module인 DANASIM
- ③ postprocessor인 DYNOPP
- ④ body dimension generator인 BODGEN

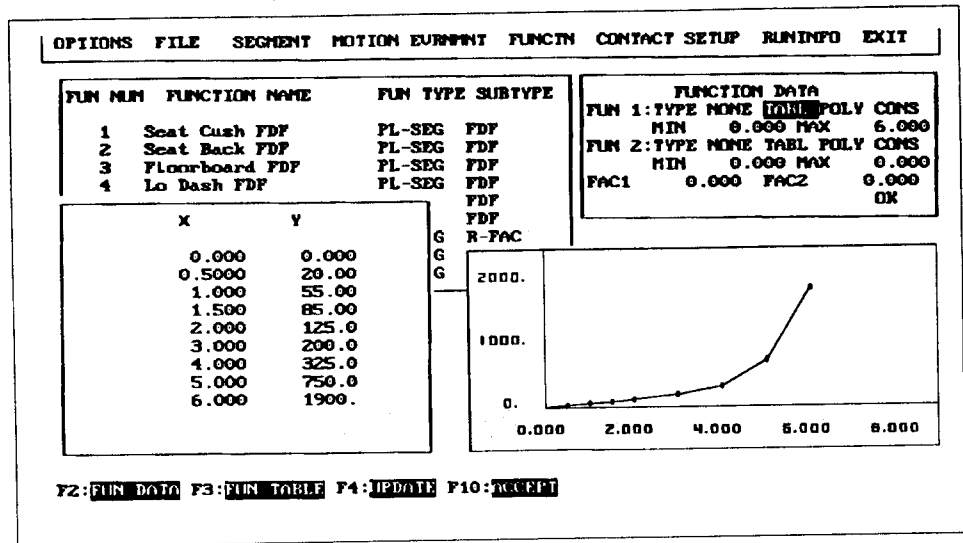
2.1.1 preprocessor인 DYNIPP

이 module은 실험자가 모의 실험을 원하는 초기 data를 생성 및 저장하는 곳이고, 초기치에 대한 이동체 및 조종사의 모든 data를 3D로 재현하여 data에 대한 검증이 가능하다. 즉 이것은 모의실험을 달성하기 위한 input file을 상호 작용하여 분석할 수 있는 곳이다. 초기치는 data Group별, 즉 segment, planes, motions, bags, belts 등으로 각각 file별 입력 및 검색이 가능하다. 그림 2는 예제 화면이다.

2.1.2 simulation module인 DANASIM

BODGEN은 다양한 인간과 dummy model의 segment data를 산정해 내는 프로그램이다. 인간 model을 위해서 사용자는 단지 신장과 몸무게를 입력하게 되면 프로그램이 body dimension을 추정해 낸다. 즉, preprocessor에 의해 받아들여진 자료가 Input file로 만들어지고, 이것은 다양한 운동화적인 변수들을 담고 있으며, 접촉력 table과 vehicle 내 occupant의 동작을 3차원으로 나타낸다.

[그림 2] Screen for defining functions



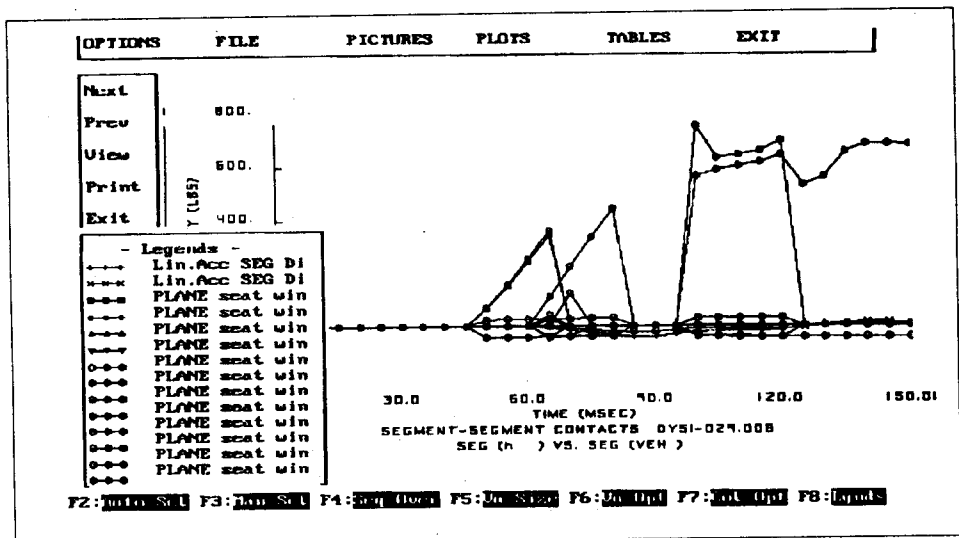
2.1.3 postprocessor인 DYNOPP

일단 data가 확정되면 본 model은 simulation을 시작할 수 있다. DYNOPP은 그림과 graphical, 그리고 table 형태로 simulation module의 출력을 보여줄 수 있다. 사용자는 simulation 도중이라도 중지하고 data를 바꾸어 재실행 할 수 있고, 또는 simulation 중 error 발생시 그 이유를 화면에서 알 수 있도록 설계되었다.

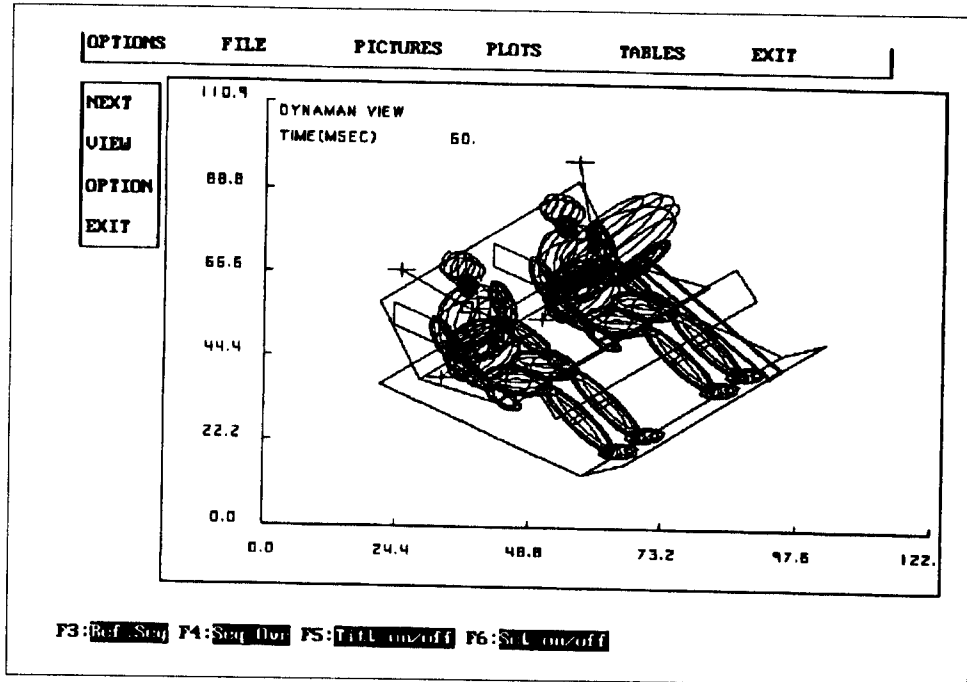
2.1.4 body dimension generator인 BODGEN

이 module은 모의 실험 결과를 그림, 그래프, 테이블 등으로 재현이 가능하도록 한 프로그램이다. 또한 그 결과들을 어떤 형태로도 프린터에 재생해 낼 수 있도록 되어 있어 분석이 매우 편리하도록 설계되었으며 다음의 그림3과 4가 그 예제이다.

[그림 3] Comparing plots from simulation



[그림 4] Comparing plots from simulation



2.2 Simulation

2.2.1 실험 제원

실험은 차량이 시속 30miles/hour로 진행할 때 0° , 15° , 30° , 45° , 70° 의 측면 충돌 각도를 가지고 실시되었다. 좌석은 전통적인 occupant lap/shoulder belt 구속 시스템을 가진 것으로 승객 보호용 Air Bag과 seat wing을 가지고 있을 때 또는 가지고 있지 않을 때의 충돌을 포함한다. lap/shoulder belt restraint system은 전통적인 belt 착용 방식의 단일 3point식으로 구성되어 있다. Air Bag은 시간당 34.5kPa를 유지하고 미리 팽창하는 전통적인 시스템[8]으로 구성된다.

보조 구속 시스템인 seat wing은 seat back의 끝에서 앞으로 약 25cm 연장되고, H point에서 약 21cm위에 설치되며, 높이는 약 20cm이다. 이 위치된 wing은 dummy의 upper arm과 torso에 끈은 직선이고, dummy와 restraint pad 사이의 여유 4cm를 포함한다. 운전대는 수평면으로부터 65° 의 각도에 설치되고 유압에 의한 충격 흡수 능력을 가진다.

3. 실험 결과

3.1 Test Data

lap / shoulder belt restraint system과 Air Bag, 그리고 seat wing을 사용한 tests의 결과는 다음의 Table 1에서 보는 것과 같다.

[Table 1] Test data summary

단위 : LBS (msec)

Impact angle		0°		15°		30°		45°		70°	
Seat wing		No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes
right upper arm	Seat wing	-	0	-	0	-	121 (60)	-	338 (65)	-	365 (60)
upper torso	Seat wing	-	0	-	0	-	518 (150)	-	702 (145)	-	1032 (150)
right upper arm 1	Seat wing	-	0	-	0	-	135 (60)	-	358 (65)	-	455 (60)
upper torso	Seat wing	-	0	-	177 (140)	-	531 (115)	-	749 (100)	-	964 (115)
right upper arm 1	frame	0	0	226 (120)	224 (115)	458 (90)	440 (90)	410 (75)	439 (80)	315 (65)	334 (70)
head 1	frame	0	0	0	0	6 (110)	0	325 (100)	285 (100)	670 (95)	560 (95)
upper torso 1	frame	0	0	0	0	423 (150)	267 (115)	808 (145)	634 (145)	1361 (135)	1020 (145)
head	Air Bag	367 (105)	367 (105)	319 (105)	320 (105)	205 (95)	204 (95)	84 (90)	78 (85)	0	0
neck	Air Bag	340 (95)	340 (95)	295 (95)	295 (95)	180 (95)	176 (95)	51 (90)	44 (85)	0	0
upper torso	Air Bag	408 (85)	408 (85)	381 (85)	381 (85)	294 (80)	294 (80)	206 (75)	206 (75)	96 (65)	96 (65)
mid torso	Air Bag	113 (95)	113 (95)	113 (95)	113 (95)	91 (70)	91 (70)	78 (70)	79 (65)	54 (60)	120 (150)
HIC	value	574	574	393	393	266	281	183	297	323	562
	Ave HR G's	45	45	38	38	33	35	22	27	29	35
HSI	value	663	663	478	478	331	359	232	383	353	600
	Max HR G's	58	58	53	53	47	48	38	47	40	44
CSI	value	335	335	297	297	266	273	246	260	193	287
	Max CR G's	45	45	42	42	40	40	40	40	37	43

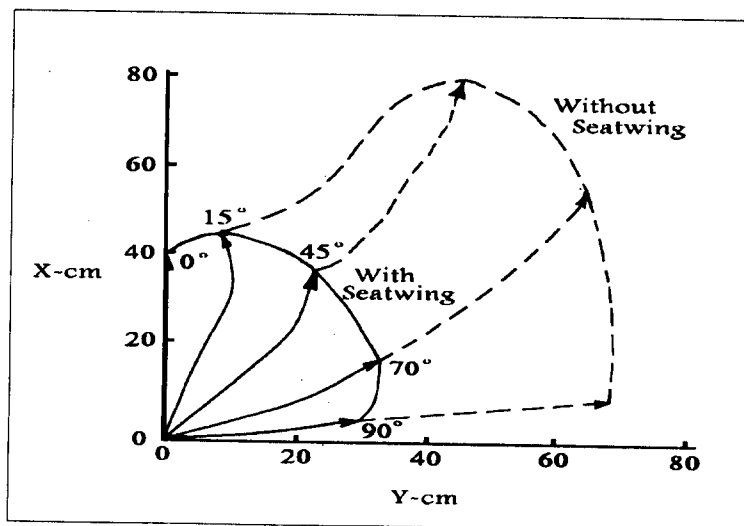
(* 뒤에 1이 붙은 것은 보조자의 신체를 말하는 것임)

test들은 seat wing이 포함되거나 포함되지 않았을 때 충돌각의 유형에 따라 분류되었다. 전통적인 lap/shoulder belt로 tests를 했을 때, 0°(정면), 15°(측면)에서의 충돌은 seat wing에 대한 충돌힘의 차이는 거의 없는 것으로 보여지며, 보다 비스듬한 45-70°의 충돌은 seat wing을 사용했을 때 눈에 띄는 차이를 발견할 수 있다.

seat wing의 견고성은 측면의 충돌시 dummy kinematics를 통제하는 reaction force를 평가하는데 중요한 요인이다. 본 모의실험에서는 seat wing이 견고히 붙어 있는 것을 가정하였다. wing을 가지고 있는 것과 가지고 있지 않은 것과의 비교 tests는 lap/shoulder belt를 사용하여 45° 또는 75° 비스듬한 충돌에 노출시켜서 이를 모의실험을 통해 정확하게 관찰할 수 있는데, wing이 사용되었을 때 dummy 움직임을 통제할 수 있음을 볼 수 있다.

seat wing이 장착된 경우 wing이 없이 shoulder belt를 갖고 있을 때보다 개선된 상호작용을 하고 있다. 즉 wing이 없는 경우는 shoulder belt의 바깥쪽으로 신체 회전이 발생하면서 감속이 된다. belts에 의하여 최대 구속을 받으면서 마치 lower torso와 hip이 lap-belt system에 의하여만 구속이 되는 것 같이 보인다. wing을 사용할 때에는 dummy가 shoulder belt로부터 약간 영향을 덜 받는 것 같지만 상체의 반동 움직임을 조종하여 머리의 움직임을 줄여주고 있다. 즉 wing이 있을 때 머리 움직임이 확실히 줄어들음을 알 수 있다. 여기서 머리의 정면 움직임을 (X)로, 측면 움직임을 (Y)로 하였을 때 45°보다 큰 비스듬한 충돌에서 wing을 사용했을 때 머리 움직임이 적음을 알 수 있다. 이 결과는 궁극적으로 충돌시 초기 힘들이 dummy 구속 dynamics에 결정적인 영향을 주기 때문에 wing을 포함한 좌석 설계에 매우 중요한 정보를 제공하게 된다. 이것은 앞으로의 실험 평가와 분석에 중요한 요소로 보인다. 즉 occupant의 궁극적인 kinematics는 occupant의 초기 궤도를 조종하는 여러 힘에 의해 크게 바뀔 수 있다는 것이다. 머리의 수평적 궤도의 복합된 모습이 정면을 X로, 측면을 Y로 하여 그림 5에 나타나 있다.

[그림 5] Maximum horizontal head excursion



만일 upper shoulder belt 부하의 peak 수준이 wing을 포함하는 기존의 구속 시스템에 의해 개선된 것으로 간주할 수 있다면, 우리는 25-75°의 비스듬한 충돌에서 wing의 유효성을 입증할 수 있다.

유사한 결과는 앞서도 언급하였듯이 upper shoulder hardness에 의한 측면 구속으로 인한 dummy 움직임은 shoulder hardness에 걸린 상체의 무게와의 상호작용을 증진시킨다. 이는 45° 각도의 충돌에서 거의 최대가 됨을 알 수 있는데 wing이 사용되었을 때 약 20% load가 증가함을 볼 수 있다.

전통적인 lap/shoulder restraint system에서 45° 비스듬한 충돌시, shoulder belt의 팽팽함은 감속 시작후 60ms뒤에 시작되고, 85ms에 6.1kN의 최고치에 도달한다. 그러나 seat wing이 사용될 때 dummy는 감속 40ms 뒤에 구속을 받고 상호작용한다. wing을 가진 경우 초기 상호작용은 occupant의 앞으로 향하는 경향이 증가되고 45ms까지는 구속힘 또한 증가한다. 이러한 개선된 상호작용은 dummy에 대한 구속 효과를 증가하게 한다. wing을 가지거나 가지지 않고 있을 때나 dummy 위치는 측면 제한이 있을 때 shoulder belt와의 관계에서 상호 개선된 작용을 한다는 것이다.

다음으로는 측면 충돌에 의한 차량 감속시 Air Bag에 의해서도 이득이 될 수 있는지를 조사하는 것이다. wing을 가지거나 가지고 있지 않은 경우 15° 기울어진 각도의 tests는 wing이 있을 때 Air Bag에 의해 dummy의 상호작용에 약간 개선됨을 보여준다. 이것은 측면 제한이 있을 때 45°와 75°의 충돌각에서 dummy의 움직임에 대한 눈에 띄는 감소와 비교된다. 45°와 75°의 예비 tests는 wing이 없을 때 (그리고 lap belt가 없을 때) dummy는 충돌 방향으로 진행한다. 그러나, wing이 있을 때는 45°와 75°의 작은 wedging action이 작용함이 확실하다.

이는 wing과의 상호작용으로 dummy가 초기 시계방향으로 도는 현상으로 알 수 있다. 이 회전 결과 왼쪽 방향의 Air Bag의 부하를 증가시키고 dummy를 감속 방향으로 향하게 한다. 그러나 이 측면 운동은 wing에 의해서 제지되고, Air Bag과 측면의 구속에 의한 wedging 현상이 발생한다. 그러나 실험 결과는 45° 이상의 측면 충돌에서 상체의 측면 구속이 눈에 띄게 개선됨을 볼 수 있었다. 측면에 구속 시스템이 없을 경우 dummy는 충돌 방향으로 전진 및 Air Bag과의 접촉도 없음이 관찰되었다.

4. 토 의

실험적인 seat wing은 정면으로부터 30-75°의 비스듬한 충돌각에 대해 측면과 정면 모두 dummy 움직임을 줄여줄 수 있는 것으로 나타났다. 머리의 움직임은 45°보다 큰 비스듬한 감속에 대해 50% 이상 줄었고 이것은 shoulder hardness와 upper torso간의 상호작용을 증가시키는 것으로 연구되었다. 비스듬한 충돌에서 wing의 주요한 기능중의 하나는 shoulder belt를 한 upper torso와의 큰 상호작용으로 occupant의 동작을 보다 전방을 향하게 하였다.

이러한 실험에서 shoulder belt 부하에 따른 peak의 수준은 정면 충돌에서보다 비스듬한 감속에서 항상 적었고 따라서 shoulder hardness와의 상호작용은 dummy를 구속할 수 있는 적정수준까지 개선된 것으로 보인다.

또한 초기 상체의 dummy 움직임은 충돌시 occupant의 전체 움직임에 절대적인 영향을 주고, 기존의 shoulder hardness와의 관계에 있어 많은 상호작용을 하고 있다. 그러나 이번 tests는 기존의 lap / shoulder belt restraint system에다가 45° 이상의 측면 충돌시 seat wing이 더불어 사용될 때 비스듬한 충돌 기간 동안 occupant의 동에너지와 occupant kinematics의 보다 나은 통제를 할 수 있는 것을 나타낸다. 그러나, 추가적인 실험이 요구되는데, 즉 측면 torso 구속을 위한 기하학적인 궤도와 reaction force의 대략적인 수준을 결정하기 위한 추가 실험이 필요하고, 이 연구에는 나타나 있지 않은 다른 실용적인 면과 안락함과 편리함을 언급한 내용이 필요하다. 기존의 seat belt에 seat wing을 포함함으로써 기존의 구속 시스템을 개조하는 시도를 보였듯이 이 분야의 계속적인 연구가 필요하다. 본실험에서 보았듯이 우리는 측면 torso 제한 시스템은 정면으로부터 충돌각이 15°를 초과할 때 Air Bag이 함께 사용되면 보호 기능을 한층 증가시키는 것으로 볼 수 있다. 또한 한가지 지적되어야 할 사항은 Air Bag과 측면 상체 보호장치 사이에 상호 작용에 의하여 wedging action이 발생한다는 것이다.

그러나, 충돌시 occupant의 위치는 구속 시스템의 효과를 측정하는 유일한 수단이기 때문에 앞으로 더 필요한 작업은 가장 중요한 design 요소들이 무엇인가를 정의하는 것이다. 이번 test에서 dummy의 회전방향이 초기 구속이 shoulder hardness이나 또는 wing이나에 따라서 달라진다는 점이다. 이러한 점은 다양한 구속 시스템의 종류, 또는 위치에 따라서 상호작용이 다르게 나타나므로 simulation 등을 이용한 다양한 연구가 이루어져야겠다고 생각된다.

REFERENCES

1. J. D. States, S. R. Miller, and U. W. Seiffert, "Volkswagen's Passive Seat Belt/ Knee Bolster Restraint, VWRA: A Preliminary Field Performances Evaluation." Society of Automotive Engineers Technical Publication SAE 770935, 1977.
2. D. Adomeit and A. Heger, "Motion Sequence Criteria and Design Proposals for restraint Devices in Order to Avoid Unfavorable Biomechanic Conditions and Submarining." Society of Automotive Engineers Technical Publication SAE 751146, 1975.
3. J. D. Horsch, et al, "Response of Belt Restrained Subjects in Simulated Lateral Impact." Society of Automotive Engineers Technical Publication SAE 791004, 1979.
4. J. D. Horsch, "Occupant Dynamics as a Function of Impact Angle and Belt Restraint." Society of Automotive Engineers Technical Publication SAE 801310, 1980.

5. D. Cesari, R. Quincy, and Y. Derrien, "Effectiveness of Safety Belts Under Various Directions of Crashes." Society of Automotive Engineers Technical Publication SAE 720973, 1972
6. GESAC, Inc. "DYNAMAN User's Manual Version 3.0" 1991
7. 이창민, "The Future and the Effect of the Air Bag on the View of Safety", 자동차 공학회지 Vol. 12. No. 5. 1991
8. J. D. Horsch and C. C. Culver, "A Study of Driver Interactions with an Inflating Air Cushion." Society of Automotive Engineers Technical Publication SAE 791029, 1979.