Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 17, No. 3 1998

추돌시 Head Restraints 시스템의 구속 효과와 인체 상해에 관한 연구

A Study on Restraint Effects of Head Restraint Systems and Neck Injuries in Rear-End Crash

이 창 민*

ABSTRACT

Focuses of this study are to investigate the usage status of head-restraint system(H/R) in usual driving and to simulate usage conditions of H/R at rear-end crashes. The usage of H/R was categorized into five classes according to the height and distance from occupant's head : Large-90° H/R for enough height and short distance, Large-70° H/R for enough height and long distance, Small-90° H/R for low height and short distance, Small-70° H/R for low height and long distance, and No H/R. Then, these five conditions were tested to find out the degree of neck injuries by using a car-crash simulation package, DYNAMAN.

Results from the investigation of H/R usage show that most of drivers(60%)have Small-70° H/R for low height and long distance. Results from the simulation performed at 15mph and 30mph show that: 1) at 15 mph, there is a possibility for neck injury in Small-90° H/R and Small-70° H/R, 2) at 30 mph, there is a high possibility of death in Small-70° H/R and Small-90° H/R.

* 동의대학교 산업공학과

1. 서 론

교통수단으로서 자동차의 보급률이 급격히 증가함에 따라 교통사고로 인한 인적, 물적 손실 등의 제반 교통관계 문제점들이 새로운 사회문제로 대두된 지 이미 오래되었다. 이러한 문제들은 국민 총 생산에 영향을 줄 정도의 손실비용을 유발시키고 있어 국가 경쟁력마저 떨어뜨리는 역기능을 발생시키고 있다. 년간 4만 여명이 사망하고5-6백만 명이 부상을 입고 있는 미국의 경우 이로 인한 손실비용이 년간 1370억불에 달하고 있다고 한다(The Highway Safety Organization, 1995).

우리의 경우는 년간 1만 명이 사망하고 35만 명이 부상당하고 있는 실정이니 우리의 손실비용 또한 가히 짐작이 간다.

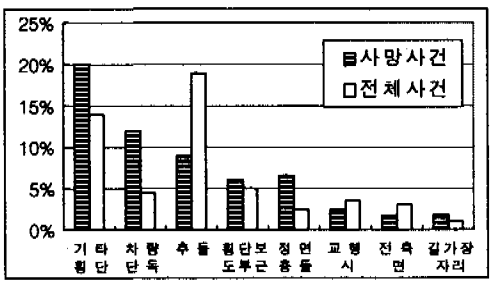


그림 1. 사고 종류별 발생건수 구성비

그림 1에서 보는바와 같이 95년도 국내자동차 사고중 단일 사고로 가장 큰 비중을 차지하는 것이 추돌 사고이며 약 20% 수준에 이르고 있다(도로 교통 안전협회,1995). 미국의 경우 다양한 차량 충돌사고를 분석해보면, 후방 충돌(5,6,7 o'clock)은 1985년에 차량 탑승자중 사망자가 11.6% 정도 되고, 5년 후인 1990년에는 비율이 절반정도가 되었다(Insurance Institute Highway Safety, 1996). 또한 차량 충돌의 사망사고의 5-10%는 후방 충돌에서 발생한다. 많은 현대의 통계학자들은 후방 충돌이 재난의 3.5%를 야기하고, 심각한 상해의 7.6%와 모든 차량 사고의 거의 1/4를 차지한다고 주장한다(Lovsund.P, et el, 1988). Tarriere (1981)의 조사에 의하면, 차량 충돌시 탑승자 5명중 1명은 목의 고통을 호소한다고 한다. 측면충돌에서는 이러한 현상이 동일하게 나타나고, 정면 충돌에 대해서는 2배정도 더 나타난다. 즉, 충돌시 탑승자중 목에 부상을 입은 사람은 10% 정도 이어서, 이러한 연구 결과, 부상을 경감시킬 수 있는 머리 보호대(head rest)의 필요성을 인식하게 되었고 실제적으로 30% 정도의 부상을 경감할 수 있는 머리보호대(현재 사용중인)를 고안해 내게 되었다고 한다(Lovsund. P, et el, 1988). 부상의 정도에 따라서 후방 충돌을 두 부류로 구별하는데, 첫째는 심각하고 치명적인 부류(차량의 천체 치명적인 충돌 사고의 5 - 10%를 차지)와 둘째는 차량에는 거의 손해를 입히지 않지만 탑승자에게 상당한 목의 부상과 장애를 가져오는 부류로 구분된다. 이처럼 충돌시 차량 손상 정도와 인체 부상 정도가 불균형적으로 나타나는 이유는 목에 대한 후방 충돌이 탑승자의 충돌 동태에 따라서 여러 형태로 나타날 수 있기 때문이다(Lovsund.P, et el, 1988).

이러한 여러 형태의 자동차 충, 추돌 사고로부터 인체를 보호해 주기 위하여 시판되는 차는 여러 형태의 안전 시스템을 보유하도록 되어있다. 미국은 1970년 이후 New Car Assessment Program(NCAP)에 의해 새로`

이 생산되는 자동차는 NCAP에서 정하는 바에 의하여 35mph 정면 충돌 시험을 거쳐 소정의 기준치를 통과하여야만 시판이 허락되도록 하고 있다. 이러한 규정 속에는 Structure, Injury Measure, Restraints /Dummy Kinematics, Head restraint (H/R), Bumper 그리고 Overall Evaluation이 있다(Insurance Institute for Highway Safety, 1996).

본 연구에서는 교통사고 중 가장 큰 비중을 차지하는 추돌 사고에(그림 1) 관련되는 안전 시스템인 Head Restraint System의 구속효과와 Dummy의 추돌 동태를 조사하고 장비된 H/R을 얼마나 올바르게 사용하고 있는지를 직접 조사하여 H/R System의 올바른 제작과 사용법을 제시하고자 한다.

2. 연구배경과 Simulation Package

자동차 충돌 연구는 실제 생산 차량에 Dummy를 탑승시켜 concrete 벽에 직접 충돌시켜 차체 및 Dummy의 손상정도를 조사 평가하는 방법과 컴퓨터를 이용하여 이러한 전 과정을 컴퓨터를 통하여 모의 실험 평가하는 방법이 있다. 실제 충돌 시험의 경우는 경비가 많이 드는 것은 물론 초기 설계 단계에서는 전체 형상을 갖출 수 없으므로 부분 설계에 의한 모의 실험을 통한 반복 실험을 통하여 시제품으로 완성 설계에 들어 가게된다. 본 연구에서는 먼저 이제까지 사용된 여러 구속 시스템과 함께 여러 형태로 변형된 H/R의 성능을 Software simulation을 통하여 목의 부상정도를 분석하고 다음은 국내 운전자들의 H/R의 적정 사용 실태를 조사 분석하였다.

2.1 연구 배경

차량이 후방에서 충돌이 생길 때 추돌된 차량은 전방으로 가속된다. 그러나 탑승자의 등받이는 차량에 고정되어 있으므로 충돌시 차량과 함께 앞으로 밀리고, 탑승자의 몸도 같이 움직이게 된다. 몸체와 다르게 머리는 일반적으로 등받이에 기대고 있지 않기 때문에 몸이 앞으로 이동될 때 본래의 자세를 유지하려 하므로 목의 아랫부분인 몸체가 앞으로 움직일 때 목의 윗부분인 머리가 그대로 유지되므로 목이 과도하게 이완되는 것이다. 이렇게 자동차 충돌시 목의 과도한 이완, 즉 hyper-extension이나 hyper-flexion 등의 결과 발생하는 부상에 대한 연구를 위해 Whilst Spitzer(1995)는 '목에 대한 감-가속 에너지 전달'을 'Whiplash' 라고 정의하고 있다(Barnsley. L, et el, 1994). Olsson 등(1990)은 대부분의 자동차들은 Whiplash에 의한 부상을 방지하기 위해 Head Restraint(H/R)을 장치하고 있으나 아직 후방 충돌에 대한 구속 효과는 크게 향상되지 않고 있다고 한다(Olsson. I, et el, 1990). 이들은 머리와 H/R과의 거리가 10cm 이상일 때 목의 부상과 상관관계가 있다고 한다. 또한 Svensson 등(1993)은 머리-H/R과의 Gap이 목 부상에 가장 큰 영향을 미친다고 하고 Parkin 등(1993)은 운전자들의 50% 이상이

H/R이 머리로부터 15cm 이상 위치하고 있고 약 5% 정도만이 H/R의 위치를 안전(5cm이내)하게 사용하고 있다고 한다. Viano 등(1995)은 운전자의 10% 정도만이 후방충돌로부터 목의 부상을 방지하기에 안전한 위치(5cm이내)에 H/R을 놓고 있다고 한다(Viano. D.C, and Gargan.M.F, 1995).

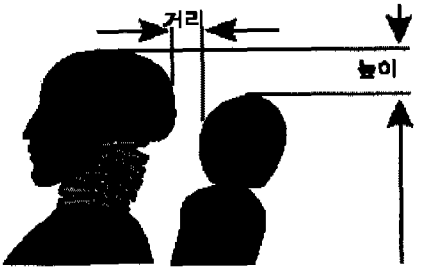


그림 2. Head-Head restraint의 관계

위의 연구들은 모두 차종 브랜드별로 구분하여 분석되고 또한 Head-H/R의 거리별로만 구분하였지 크기가 종합되어 부상정도를 분석하고 있지는 못하고 있다.

본 연구에서는 국내 운전자들의 H/R의 사용 실태를 직접 조사하고 H/R의 크기와 Head-H/R과의 거리가 목의 부상에 미치는 효과를 측정 분석하고자 한다. 이러한 상황에 대한 인체 상해에 대한 조사가 공개적으로 이루어지지 못하고, 국내 한 기업체의 수출 차량의 H/R의 평가는 Good, Acceptable, Marginal, Poor의 등급중 Poor의 평가를 받고 있는 실정이고 보면 이에 대한 연구 조사는 필요하다고 본다(Highway Safety Organization, 1995).

2.2 Simulation Package

본 연구에서는 DYNAMAN Simulation Package를 사용하여 모의실험을 하였다. DYNAMAN은 Articulated Total Body (ATB) Model(Harry.G.A, 1985)에 근거하여 미운수성 안전부(NHTSA)에서 P.C. version으로 사용되는 simulation model로써 신체를 동적 모의실험 및 분석할 수 있는 software package이다.(Lee. C. M, Freivald. A, 1991)

신체는 spring dampers, belts and airbags와 같은 restraint system의 작용과 규정된 외부 가속, 그리고 바람의 효과 등의 외부의 환경과의 상호작용도 모의 실험을 할 수 있도록 설계되었다. model은 gyroscopes와 double pendulums와 같은 간단한 system의 행동방식과 장애물에 부딪히는 차와 같은 보다 복잡한 systems의 분석이 가능하다. 이 software의 주요한 응용은 충돌을 포함한 vehicle과 탑승자의 동작을 분석하는 것이다(GESAC. INC, 1992).

3. 연구 방법

3.1 H/R 사용실태

Svensson 과 Parkin 등이 언급한바와 같이 실제 운전자들이 H/R을 올바로 사용하고 있는지 그리고 생산된 H/R이 "Whiplash" 효과에 의한 부상방지 능력을 가지는지는 선진국 등에서 조사가 이루어져 실제로 그 효과를 크게 발휘하지 못하고 있음이 앞에서 언급한바와 같이 통계적으로 나타나고 있다. 그러면 국내 운전자들은 H/R을 적절하게 사용하고 있는지

그리고 생산된 차량들의 H/R 이 Whiplash 효과방지에 충분한 설계를 가지고 있는 것인지 부산 서면 네거리에서 승용차, 승합차, 버스, 트럭 등 1000대를 대상으로 조사하여 보았다. H/R의 높이(그림 2)는 중간높이를 귓바퀴 윗라인을 '중'으로 하고 그보다 낮으면 '하' 그리고 머리높이까지 충분히 높으면 '상'으로 하여 측정하였다. Head-H/R(그림 2)과의 거리는 주먹을 옆으로 놓은 간격(10cm정도)을 기준으로 그보다 아주 작은 경우(5cm), 10cm 보다 큰 경우(15cm정도)등 3가지로 분류하여 조사하였다.

3.2 Simulations

본 연구에서는 추돌시 H/R이 갖는 효과와 H/R의 높낮이별로 인체에 미치는 영향을 DYNAMAN을 이용하여 모의실험 하였다. 단 H/R이 구조상으로 NCAP의 구비조건을 충족한다고 간주하였다.

평가는 세 가지 기준에 의하여 조사하였는데 즉 H/R의 높이, 머리와의 거리 그리고 H/R의 유무로 나누어 조사하였다. 즉,

1) Large-90 : H/R이 충분히 높고 머리와의 거리도 가까운 것(그림 3),
2) Large-70 : H/R은 높으나 머리와의 거리가 먼 것 (그림 3),
3) Small-90 : H/R이 낮고 머리와의 거리가 가까운 것(그림 3),
4) Small-70 : H/R이 낮으면서 머리와의 거리도 먼 것(그림 3),
5) H/R이 장착되지 않은 것 등 5가지 종류로 구분하였다.

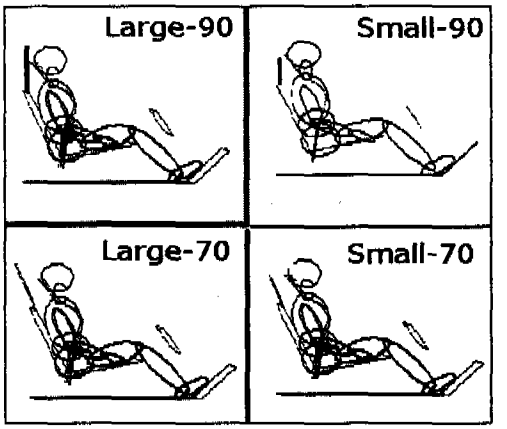


그림 3. 운전자의 H/R 상태

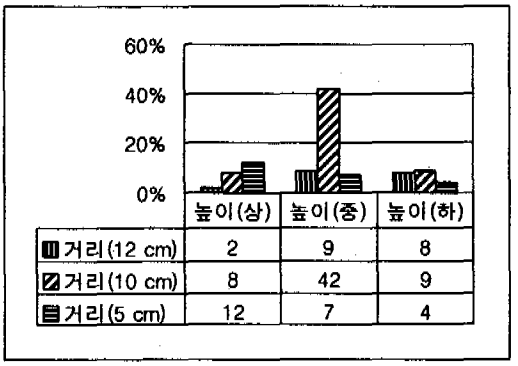
또한 차량의 추돌 속도는 추돌 test 속도인 15mph와 비교 분석을 위해 정면 충돌 Test 속도인 30mph등 두종류로 나누어 실험하였다(T. Lamotte et al., 1996). 사용된 Human Model은 사용될 수 있는 한국인 체형의 Dummy가 아직 개발되지 않아 15개의 Segments와 14개의 Joints로 이루어져있는 미국인 50 percentile Hybrid III 모델을 사용하였다(Stanley.H, 1994).

4. 결과 분석

4.1. H/R 사용실태 분석

우리의 경우도 H/R의 사용 실태는 외국의 경우와 같이 바람직하지 못한 결과가 도출되었다. 먼저 승용, 승합차의 경우에는 그림 4 에서 볼 수 있듯이 H/R이 충분히 높고 머리와의 거리도 가까운 Large-90 (H/R높이: 상, 거리:5cm) 에 해당하는 비율은 12% 정도에

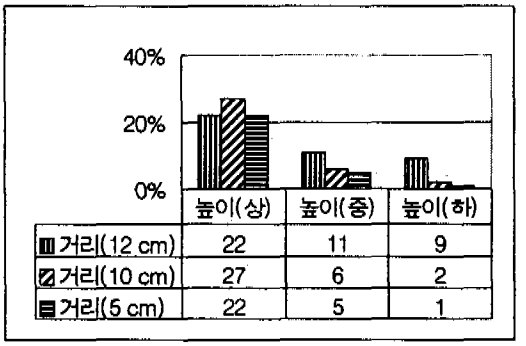
불과해 외국의 통계 10% 수준에 매우 근접하고 있는 것이다. 그리고 Small-90(H/R높이: 중&하, 거리:5cm)에 해당하는 비율이 약 11%, Large-70(H/R높이 : 상, 거리 : 10cm &12cm)에 해당하는 비율이 10%, 나머지는 68%는 Small-70에 해당하고 있다. 이는 약 11%는 Head-H/R의 거리는 가까우나 H/R 자체가 낮게 위치하고, 10% 정도는 H/R 자체가 충분히 높으나 머리와의 거리가 멀고, 나머지는 Head-H/R과의 거리, H/R 높이가 전부 매우 불안전한 상태로 이용하고 있음을 나타내고 있다.



	높이(상)	높이(중)	높이(하)
거리(12 cm)	2	9	8
거리(10 cm)	8	42	9
거리(5 cm)	12	7	4

그림 4. 승용, 승합차 Head-H/R 위치

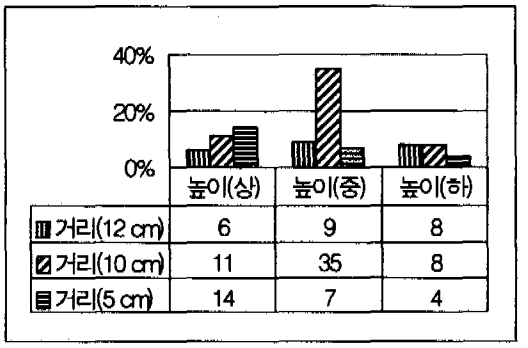
버스, 트럭의 경우를 보면 H/R이 충분히 높고 머리와의 거리도 가까운 large-90에 해당하는 것은 22% 정도이고, Large-70은 49% 인데 이는 제작 시부터 대형 차량은 H/R이 고정식이고 충분히 높게 제작된 것으로 사료된다. 그리고 Small-90은 6%, Small-70은 28%이다(그림 5). 저속 추돌시 안전성이 고려되어 제작되었음에도 사용자의 50% 정도가 적절한 사용을 하지 못하고 있음을 알 수 있다.



	높이(상)	높이(중)	높이(하)
거리(12 cm)	22	11	9
거리(10 cm)	27	6	2
거리(5 cm)	22	5	1

그림 5. 버스/ 트럭의 Head-H/R 위치

승용차에서 트럭에 이르기까지 전체차량을 종합하여 보면 그림 6 에서 보는바와 같이 매우 안전한 위치인 Large-90에 해당하는 비율은 14%, Large-70은 17%, Small-90은 11%, 그리고 나머지 60%는 Small-70, 즉 아주 불안전한 사용을 하고 있음을 알 수 있다. 즉, 약 14% 정도만이 저속 후방충돌에도 안전한 거리, 높이의 H/R을 구비 사용하고 있고 나머지는 항상 부상 가능성을 가진 상태에서 운전하고 있음을 알 수 있다.



	높이(상)	높이(중)	높이(하)
거리(12 cm)	6	9	8
거리(10 cm)	11	35	8
거리(5 cm)	14	7	4

그림 6. 전 차량의 Head-H/R 위치

4.2 Simulation 결과분석

H/R의 견고성은 실제의 제품에 따라서

Dummy Dynamic을 통제하는데 있어서 중요한 역할을 하는 요소이나 본 모의실험에서는 충돌시 견고히 제 위치를 유지할 수 있다고 가정하였다. 또한 기존의 구속 시스템인 Lap /shoulder belt는 동시에 사용되고 구속 시스템으로써의 역할을 할 수 있도록 실험 제원이 구축되었다.

인체의 손상 여부를 결정할 수 있는 요인은 지금까지 생체 역학적으로 사용되어온 HIC(Head Injury Criterion), Head/Neck 신전각도(Extension angle), 그리고 Contact force를 사용하였다(Mertz.H.J, and Patrick. L. M, 1971). 즉 HIC 값은 머리 부상의 기준치인 1000(Neman.J.A, 1980)을 기준으로 적용하였고 Head/Neck deflection angle의 경우는 굴곡과 신전을 각도계를 이용하여 측정할 경우 앉거나 선 자세의 외측에서 턱을 가슴 쪽으로 가깝게 움직인 각도를 측정하였고, 신전은 축을 중심으로 굴곡의 역방향인 후방으로 움직인 각도, 즉 목을 뒤로 젖혀 천장을 볼 때의 운동을 측정하며 신전의 평균 운동 범위는 45° 이다(권 혁철 외 5명, 1996). 그러나 신전의 최대 부상 한계치는 70° (SAE information Report, 1989) 임으로 이 값을 안전기준치로 사용하였고, Contact Force는 Mertz 와 Patrick의 Head Max Contact Force 인 250lbs를 부상 한계치로 하였다(Mertz,H.J., and Patrick, L. M., 1971).

표 1 에서 볼 수 있듯이 H/R이 있는 경우와 없는 경우는 인체 손상 여부가 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

표 1. H/R 상태별 모의 실험 결과 최고치

구분	H/R 상태	HIC	신전 각도	contact force
15mph	large-90	112	25°	142 lbs
	large-70	112	32°	150 lbs
	small-90	116	57°	388 lbs
	small-70	121	61°	177 lbs
30mph	large-90	395	10°	150 lbs
	large-70	784	52°	150 lbs
	small-90	493	64°	500 lbs
	small-70	776	75°	500 lbs
No H/R		1382	120°	

H/R을 장착하지 않는 경우는 HIC 값이 1000을 훨씬 상회하고 있어 머리의 손상을 가져오고 경부 부위의 신전 각도가 120° 를 넘고 있어 경부의 큰 손상을 초래하여 심한 경우 사망에 이를 가능성이 높은 상황이다. 다행히 대부분의 승용차는 H/R을 장비하고 있어 이러한 두 가지 상태의 부상을 초래할 가능성은 적지만 simulation 결과에 의하면 H/R의 높이, 거리에 따라서 인체 부상 정도가 크게 차이가 있음을 알 수 있었다. 목 부상의 가장 큰 요소인 신전 각도는 그림 7, 그림 8에서 볼 수 있는 바와 같이 추돌 속도 15mph, 30mph에서 H/R이 구비되지 않는 경우는 신전 허용각도를 훨씬 상회하는 120° 이상(그림 9) 을 나타내고 있어 H/R이 없는 경우에는 안전 추돌속도 15mph 이내라도 부상정도가 매우 클 수 있음을 알 수 있다. 15mph에서의 시간별 신전각도는 그림 7에서 보는 바와 같이 충돌 후 100m/sec에서 H/R이 small-70, small-90 인 경우(그림10,11) 즉, H/R의 높이가 낮거나 H/R의 높이가 낮고 Head-H/R과의 거리가 먼 경우에 신전 최고 허용범위 70° 는 넘지 않으나 평균운동범위

45° 를 넘고 있어 상황에 따라 목의 부상을 야기 할 수가 있다고 말하고 있다(Andrew P. Morris and Pete Thomas, 1996).

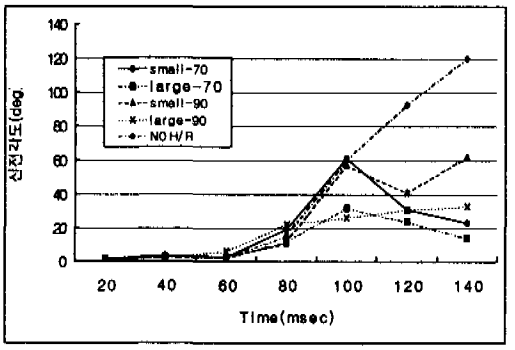


그림 7. 시간별, H/R 상태별 신전각도(15 mph)

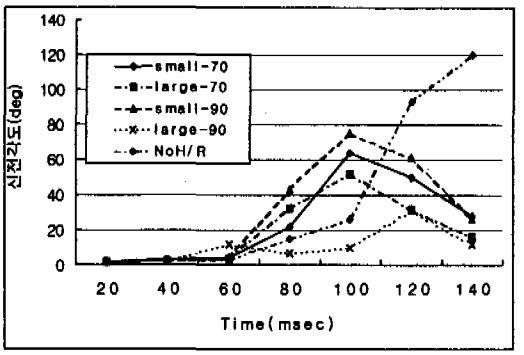


그림 8. 시간별, H/R 상태별 신전각도 (30mph)

그러나 H/R이 large-90, large-70(그림 12, 13) 즉 충분히 높고 거리도 가깝거나, 충분히 높으나 거리가 먼 경우는 신전 각도가 평균운동 범위 내에 있어 부상 가능성이 매우 적음을 알 수 있다.

30mph의 추돌시 시간별 신전각도는 그림 8에서 보는 바와 같다. 이 속도에서도 신전각도의 최고치는 100msec에서 발생하고 있다. H/R이 small-70, small-90(그림 14,15)의 경우는 신전 최고범위 70° 를 넘어가고 있어 목 부상의 가능성이 매우 높고, large-70(그림16)의 경우도 Head-H/R의 거리가 멀어 신전각도가 평균운동범위 45° 를 넘고 있어 부상가능성은 잠재한다고 할 수 있다. Large-90, 즉 H/R의 높이가 충분하고 각도가 90° 를 이루고 있어 머리와의 거리가 가까운 경우는 신전각도도 평균 운동 범위 내에 있어 매우 안전함을 보여주고 있다(그림 17). Contact force 는 15mph 보다는 30mph 추돌시 H/R의 높이가 충분하지 못한 경우 제한치의 2배에 가까워 부상의 가능성을 더욱 크게 하고 있으나 HIC 값은 제한치 인 1000내에 있어서 실제적으로 추돌시 부상 여부는 신전각도가 가장 큰 요소로써 작용하고 있음을 알 수 있다. 앞에서도 언급되었지만 이 모든 경우의 실험은 추돌시 H/R은 물론 시트 등받이가 구조적으로 제 기능을 수행한다는 가정 하에서 모의 실험한 것이다.

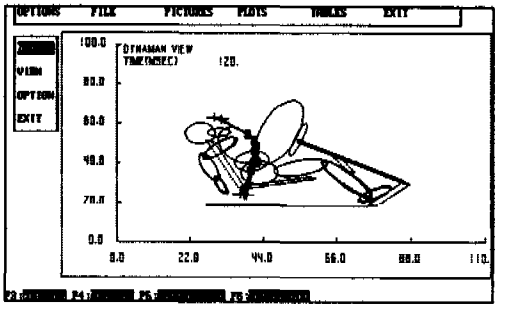


그림 9. No. H/R(120msec, 15mph)

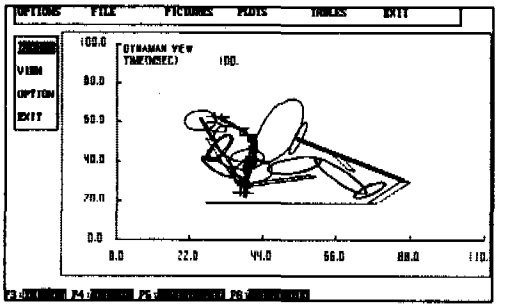


그림 10. small-70 (100msec, 15mph)

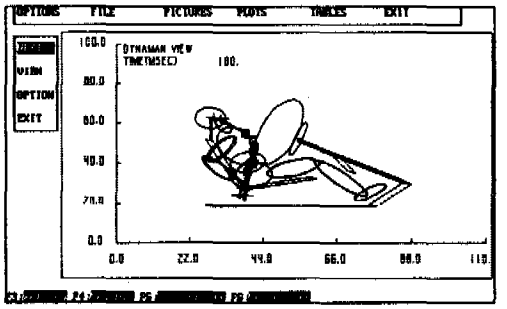


그림 11. small-90 (100msec, 15mph)

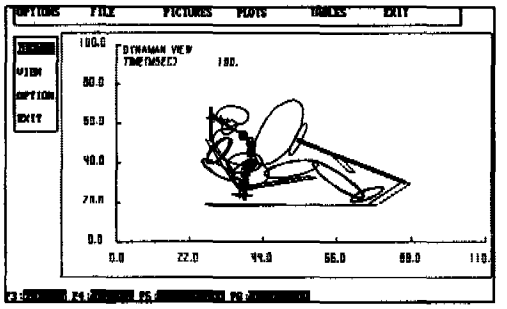


그림 12. Large-90 (100msec, 15mph)

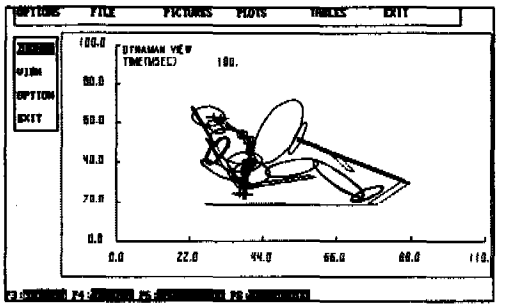


그림 13. Large-70 (100msec, 15mph)

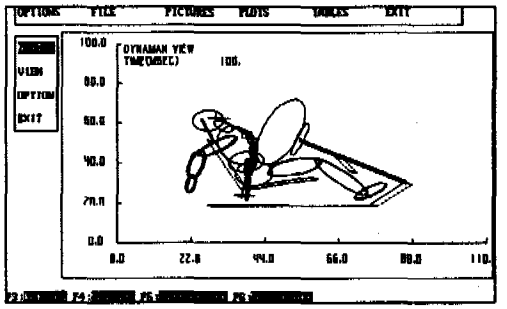


그림 14. small-70 (100msec, 30mph)

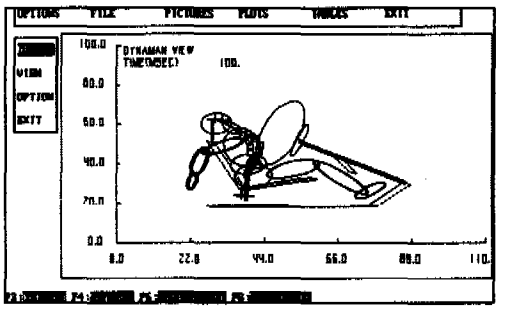


그림 15. small-90 (100msec, 30mph)

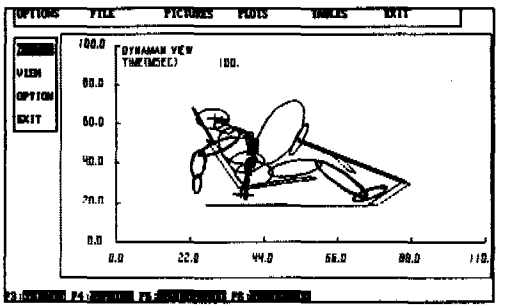


그림 16. Large-70 (100msec, 30mph)

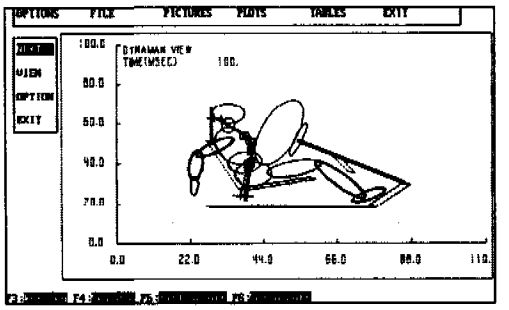


그림 17. Large-90 (100msec, 30mph)

5. 결 론

인체 특성상 목은 외부 힘에 대하여 비교적 취약하다. 자동차 사고시, 머리의 관성의 힘은 부하가 되고 목의 조직은 허용치 이상의 한계를 벗어나면 부상의 요인이 되어 결과적으로 상해를 입히게 된다.

추돌의 인체 부상정도는 통계적으로 입증되어 있으나 이제 까지 살펴 본 바로는 이를 방지하기 위한 우리의 노력은 등한시되고 있었다. 모의 실험 결과에서 보았듯이 H/R의 올바른 설계와 그 사용은 부상의 효과를 크게 감소시킬 수 있는 것이다.

H/R의 사용 실태는 일반적으로 H/R의 높이가 낮고 머리와의 거리가 멀게 위치하고 있는 (Small-70) 운전자가 대부분이고 그 외 부적절한 위치(Large-70, Small-90)등이 26 % 정도가 되어 실제 제대로 H/R을 사용하고 있는 운전자는 14% 수준에 이르고 있음을 알 수 있다. 이는 일반적으로 조절가능 H/R을 사용할 때 대부분의 운전자들이 조절위치에서 Full Down(Small-70 or 90) 위치에 두고 있었기 때문이다. 또한 고정식이고 충분한 높이를 가진 H/R이라도 Seat 각도와 같거나 더 뒤로 누운 H/R의 위치(Large-70)는 머리와의 거리를 멀게 하여 추돌시 충분한 충격 흡수 역할을 하지 못하고 있고 경부의 신전 한계치를 웃돌아 부상의 가능성을 한층 높여 주고 있다는 것이다. 모의실험 결과에서 나타난 Large-90 형태의 H/R 만이 추돌시 경추를 운동범위 45° 내에 머물게 하고 Contact force 또한 제한치 내에 있게 하여 부상의 가능성을 최소화 할 수 있는 것이다. 즉 적절한 H/R의 설계는 물론, 올바른 H/R의 사용(Large-90), 그리고 구조와 성능 면에서도 NCAP의 TEST에서 적어도 Acceptable 내지는 Good 수준으로 평가될 수 있는 구속 시스템이 될 때 안전시스템으로써의 역할을 가질 수 있을 것이다. 추후 연구과제로는 근육 힘이 고려된 충, 추돌 모의실험이 시도되면 부상부위의 상세한 상해정도를 측정가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 권 혁철 외 5명, 근육검진학, 정문각, 1996
[2] 도로교통안전협회, 교통사고 통계분석, 1995
[3] Andrew P. Morris and Pete Thomas, Neck Injuries in the UK Co-operative Crash Injury Study, Proceedings of the 40th STAPP Car Crash Conference, SAE, P-305, No .962433, 1996.
[4] Barnsley. L, Lord. S, and Bogduk. S, Clinical review: whiplash injuries. Pin, 58:283-307, 1994
[5] GESAC.INC., 'DYNAMAN User's

Manual Version 3.0', 1992

[6] Harry. G.A, Aerospace medical research laboratory mission, Aerospace Medical Division, Air Force Systems Command, June 1985.

[7] Insurance Institute for Highway Safety, Passengers Vehicle, 1996

[8] Lamotte. T et al., Surface electromyography as a tool to study the head rest comfort in cars, Ergonomics vol.39, No.5, 781-796, 1996

[9] Lee C. M., and Freivald. A, Biodynamic Simulation of the Effect of a Neck-Mounted Air Bag on the Head/Neck Responses During High G Acceleration. The Journal of Aviation Space Environment Medicine 62, pp.747-753, 1991.

[10] Lee. C. M., A Study of the Effect of a Neck-Mounted Air Bag on the Head/Neck Response during High 'G' Acceleration by Biodynamic Simulation, Ph. D Thesis, 1991

[11] Lovsund. P, Nygren. A, Salen. B, and Tingvall. C, Neck injuries in rear end collisions among front and rear seat occupants. In International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impacts, pages 319-325. IRCOBI, 1988.

[12] Mertz, H. J., and Patrick, L. M., Strength and response of the Human neck. SAE paper NO.710855. Society of Automotive Engineers, INC., 1971

[13] Newman, J. A, Head Injury Criteria in automotive crash testing, Proceedings of the 20th Stapp Car Crash Conference, pp.703-747, 1980.

[14] Olsson. I, Norin. H, and Ysander. L,. An In-depth Study of Neck Injuries in Rear-end Collisions. In Proceedings of the IRCOBI Conference, Sept 12-14, Lyon, France, 1990.

[15] Parkin. S, Mackay. G.M, and Cooper. A, How Drivers Sit in Cars, In Proceedings of the AAAM Conference, San Antonio, Texas, pp375-388, 1993.

[16] SAE information Report, Human tolerance to impact conditions as related to motor design - SAE J885, SAE Hand book Vol 3, 1989

[17] Stanley H. Backaitis and Harold J.Mertz, HYBRID III: The First Human-Like Crash Test Dummy, 1994.

[18] Svensson. M, Lovsund. P, Haland. Y and Larsson. S, The Influence of Seat-Back and Head Restraint Properties on the Head-Neck Motion During read Impact, In proceedings of the IRCOBI Conference. Sept. 8-10, Eindhoven, Holland, 1993.

[19] Tarriere. C, Pathophysiology and mechanisms - neck injury. In: Head and Neck Injury Criteria, U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C., March, 1981.

[20] The Highway Safety Organization, The Scope of the Problem, Advocates for Highway and Auto Safety, 1995

[21] Viano. D.C, and Gargan, M.F, Headrest Position During Normal Driving: Implication to Neck Injury Risks in Rear Crashes, In proceedings of the AAAM Conference, Chicago, Illinois, pp215-229, 1995.