

저속 후면 추돌 시 목부상해 예방을 위한 연구

박인송 · 전용범 · 김관희* · 임종훈

보험개발원 자동차기술연구소

Study on the Methodology to Prevent Neck Injury at Low Speed Rear-End Impact

Insong Park · Yongbum Chun · Guanhee Kim* · Jonghun Lim

*Korea Automobile Repair and Training, 125-1 Susan2-ri, Sulsung-myun, Icheon, Gyeonggi 467-882, Korea
(Received 30 November 2004 / Accepted 13 July 2005)*

Abstract : 141,841 car-to-car collision had occurred in 2003, and among the accidents 51,796 were rear-end impact. According to insurance company for loss or damage, more than 60% of rear-end impact victims suffer neck injury. This means at least 31,000 neck injury victims have happened in 2003. More than 97% of the neck injury victims have low severity injury than A.I.S 2. Head restraint, which is designed to limit rearward head movement and equipped on seat, can considerably protect neck from rear-end impact. In this paper we evaluated head restraint geometry and drivers' sitting position according to RCAR standard and carried out low speed volunteer crash test. The crash speed is 4km/h and N.I.C value is used to determine injury probability. Through these research results we can introduce the method to prevent neck injury at rear-end impact.

Key words : Rear-end impact(후면 추돌 사고), Neck injury(목부상해), Head restraint(머리 지지대), Volunteer test(자원자 시험), RCAR(세계 자동차수리기술 위원회)

Nomenclature

- N.I.C : neck injury criteria, m^2/s^2
- a : acceleration, m/s^2
- V : velocity, m/s
- t : time, s

Subscripts

- rel : relative
- 1, 2 : start time, finish time

1. 서론

2003년 한해동안 우리나라에서 발생한 차대차 교통사고는 141,841건이고 이 중에서 후면 추돌사고는 51,796건이 발생해 차대차 교통사고의 약 22%를 차지한다. 이러한 추돌사고 유형은 차대차 교통사고에서 가장 발생비율이 높은 것을 알 수 있다.¹⁾

손해보험업계의 자료를 분석해 보면, 2001년과 2002년에 우리나라에서 후면추돌로 인해 목부상해를 입은 사람은 각각 19만 명과 26만 명에 이르고 이 기간에 목부상해로 지급된 보험금은 2,500억원과 3,000억원이다.²⁾ 이러한 사실은 후면추돌로 인한 목부상해가 보험적인 측면에서만 아니라 사회적인 측면에서도 매우 심각한 문제임을 잘 보여주고 있다.

*To whom correspondence should be addressed.
kimgh93@kidi.or.kr

자동차의 시트 상단에 장착된 머리 지지대는 후면추돌 사고에서 목부상해를 직접적으로 방지하기 위해 설계된 장치로, 머리 지지대를 올바르게 사용한 경우는 그렇지 않은 경우에 비해 목부상해가 발생할 가능성이 24% 낮다.³⁾ 또한 머리 지지대의 설계 개선을 통해 43%의 목부상해를 방지할 수 있다.⁴⁾

본 논문에서는 저속 후면 추돌 시 머리 지지대가 목부상해 방지에 미치는 영향을 분석하기 위해 자원에 대한 동적 실차시험을 실시하였다. 그리고 56개 국산 차량의 머리 지지대의 기하학적 형상을 RCAR 기준에 따라 평가하였고, 운전자들의 머리 지지대에 대한 인식 및 사용실태를 조사하였다.

2. 후면 추돌 시 목부상해 특징

후면 추돌 시 차량이 앞쪽으로 가속됨에 따라 시트에 지탱되어 있는 몸통은 차량과 함께 가속되나, 구속되어있지 않은 머리는 몸통에 비해 0.5~0.6배 늦은 속도로 움직이게 된다.⁵⁾ 이러한 몸통과 머리의 상대 움직임으로 인해 목부상해가 발생하며, 추돌 초기의 급가속에 의해 목의 정상 운동범위 내에서 상해가 발생하는 특징이 있다.⁶⁾

이 때 발생하는 목부상해는 대부분 편타성(whiplash)상해로 알려진 경미한 부상이나, 어떠한 경우에는 1년이상 증상이 지속되는 경우도 있다.⁷⁾ 최근 까지 목부상해의 주된 원인은 목의 과도한 꺾힘으로 생각되어져 왔으나, 이러한 과도한 꺾힘은 단기적인 목부상해는 설명할 수 있지만 장기적인 부상은 설명하지 못한다.

이러한 장기적인 부상은 신경조직과 척추관절의 손상을 유발하는 복잡한 메카니즘에 의한 가능성이 있다. 추돌사고에서는 척추의 부피가 급격히 발생하므로, 척수액의 정상적인 교환이 불가능해서 결과적으로 척수액압이 척수로 들어가는 신경망을 손상시킬 수 있다.⁸⁾

3. 연구방법

후면 추돌 시 목부상해를 방지하기 위해 국내 56개 차종에 대해 머리 지지대의 기하학적 형상을 평가하였고, 머리 지지대에 대한 운전자들의 인식과 머리 지지대 사용실태를 조사하였다.

국내에서 발생하는 후면 추돌사고를 분석한 결과 AIS 2이하의 목부상해를 입은 사람이 97%이상이었다. AIS 2이하의 상해는 주로 저속에서 발생하므로 자원에 대한 저속 실차시험을 통해 머리 지지대의 위치에 따른 목부상해 위험도를 직접 평가하였다. 이 때 위험도 평가의 기준으로 N.I.C값을 사용하였다.

3.1 N.I.C. 정의

N.I.C는 1996년 Bostrom et al.이 저속 후면 추돌 시 목부상해를 예상하고 수학적으로 모델링하기 위해 제안한 것으로 다음과 같이 나타내어진다.⁹⁾

$$N.I.C(t) = 0.2 \times a_{rel}(t) + [V_{rel}(t)]^2 \quad (1)$$

where a_{rel} : Relative acceleration between head and torso(m/s^2)
 V_{rel} : Relative velocity between head and torso(m/s)

머리와 몸통의 상대 가속도 a_{rel} 와 상대 속도 V_{rel} 는 아래의 식으로 표현될 수 있다.

$$a_{rel}(t) = a_x^{T1}(t) - a_x^{Head}(t)$$

where T1: The first thoracic vertebra
 t : time(s)

$$V_{rel}(t) = \int_{t_1}^{t_2} a_x^{T1}(t) - \int_{t_1}^{t_2} a_x^{Head}(t)$$

where t_1 : starting time
 t_2 : finish time

현재까지의 연구결과에 따르면 N.I.C 16 이하에서는 단기적인(한 달 이하) 부상만 발생하고 N.I.C 16을 초과하는 경우에서 장기적인 부상이 발생할 가능성이 있다.¹⁰⁾

3.2 머리 지지대 평가

3.2.1 평가 기준

머리 지지대의 기하학적 형상은 RCAR(Research Council for Automobile Repairs)에서 제시한 기준에 따라 평가된다. RCAR기준은 운전자의 머리 뒷부분

에서 머리 지지대 앞까지의 거리(Backset)와 운전자의 머리 상단에서 머리 지지대의 상단까지의 거리(Height)에 따라 우수, 양호, 보통, 그리고 미흡의 4단계로 머리 지지대의 등급을 결정한다.

Table 1 Head restraint rating criterion

등급	Height (cm)	Backset (cm)
우수	$H \leq 6$	$B \leq 7$
양호	$6 < H \leq 8$	$7 < B \leq 9$
보통	$8 < H \leq 10$	$9 < B \leq 11$
미흡	$H > 10$	$B > 11$

3.2.2 평가 장비

머리 지지대의 기하학적 형상 평가에 사용되는 장비는 H-point machine과 HRMD(Head Restraint Measuring Device)이다. 본 장비는 평균 성인남성을 모사한 장비로 약 78kg의 무게가 나가고 앉은키는 90cm이다. HRMD에는 Height와 Backset을 측정하기 위한 2개의 프로브(probe)가 있다.

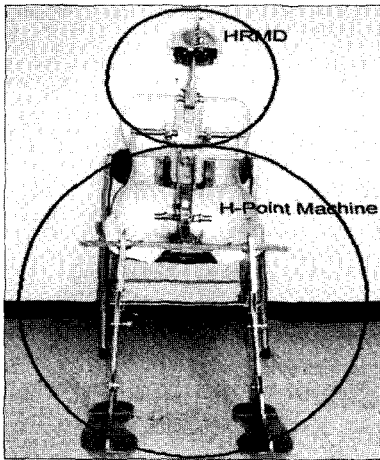


Photo. 1 Head restraint measuring equipment

3.3 운전자세 실태조사

목부상해를 방지하기 위해서는 적절하게 설계된 머리 지지대의 기하학적 형상뿐만 아니라 이것을 사용하는 운전자의 자세도 매우 중요하다.

운전자들의 운전자세를 RCAR기준에 따라 평가하고, 머리 지지대의 용도 및 조절여부에 대해서 설문 조사를 실시하였다.

설문에 응한 운전자는 남성 99명, 여성 141명으로 남성의 경우 손해 보험회사 대물보상 직원을 대상으로 실시하였으며 여성의 경우에는 서울시내 할인 매장에서 실시하였다.

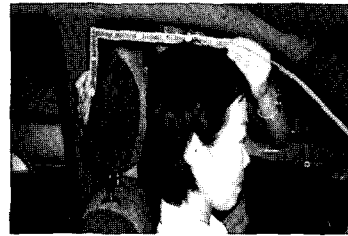


Photo. 2 Driver's sitting position measuring - height

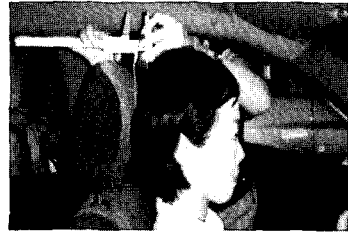


Photo. 3 Driver's sitting position measuring - backset

3.4 자원자 시험¹⁾

머리 지지대의 위치에 따른 목부상해 위험도를 평가하기 위해 자원자를 차량에 탑승시키고 머리 지지대를 가장 높은 위치와 가장 낮은 위치에 놓고 추돌사고를 재현하였다.

자원자는 40대의 남성으로 목 관련 질병은 없었다. 시험에 사용된 차량은 소형(1,500cc)이고, 추돌 속도는 4km/h이다. 자원자는 자연스런 운전자세를 취하도록 요구되었고, 손은 운전대에 올려놓고 발은 브레이크 페달을 밟은 상태를 유지했다.

3.4.1 시험장비

팬들럼 장비를 사용하여 시험 차량의 후면을 전(全)면 충돌하였다. 본 장비는 미국 MGA사에서 제작된 것으로, 최고속도 29km/h, 최대무게 2,727kg까지 시험이 가능하다.

이번 시험은 시험 차량과 동일한 무게로 4km/h의 속도로 실시되었다. 운전자의 이마, 턱 그리고 목 하단부에 가속도미터를 장착하여 충돌 시의 가속도를 측정하였다.



Photo. 4 Pendulum test equipment

머리 지지대의 위치에 따른 목부상해 위험도를 평가하기 위해 추돌 속도는 동일하게 하고, 머리 지지대의 위치를 UP과 DOWN으로 변경하여 시험을 실시하였다. 머리와 머리지지대의 수평거리(Back-set)은 5cm로 설정하였다.



Photo. 5 Volunteer sitting on seat

4. 연구결과

머리 지지대에 대한 정적평가, 운전자세 실태조사와 자원자 시험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

4.1 머리 지지대 평가결과

평가대상 56개 차종 중 우수 19차종, 양호 17차종, 보통 13차종 그리고 미흡 7개 차종으로 나타났다. 우수와 보통 등급은 평균 성인 남성보다 키가 큰 사

람도 후면추돌 시 목부상해로부터 보호할 수 있고, 보통 등급은 단지 평균키의 성인 남성만을 보호할 수 있다. 그리고 미흡 등급은 평균키의 성인 남성도 보호할 수 없음을 의미한다.

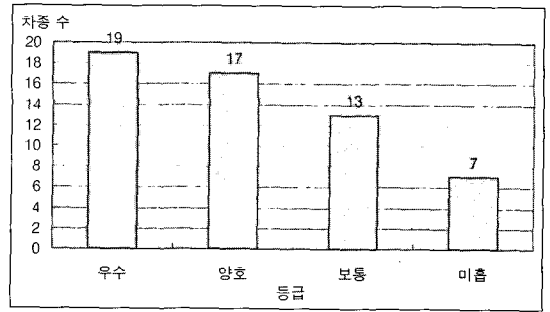


Fig. 1 Results of head restraint measurement

차량의 제작년도를 기준으로 분류해 보면 1990년대에 제작된 차량에 비해 2000년도에 제작된 차량의 머리 지지대가 매우 우수한 것으로 나타났다.

Table 2 Results of head restraint measurement by year

	우수	양호	보통	미흡
1990년도	2	7	7	4
2000년도	17	10	6	3

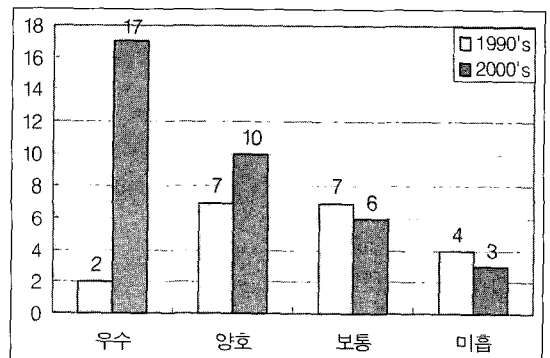


Fig. 2 Results of head restraint measurement by year

4.2 운전자세 실태조사 결과

200여명의 운전자에 대해 설문조사 및 사용실태를 조사한 결과 머리 지지대의 용도에 대한 인식은 낮은 편이 아니었으나, 머리 지지대를 올바르게 사용하는 비율은 매우 낮은 것으로 나타났다.

4.2.1 머리 지지대 용도에 대한 설문조사

남성 운전자의 경우 머리 지지대의 용도를 알고 있다고 답한 경우가 91%였고, 여성운전자의 경우에는 69%였다. 남성운전자와 여성운전자 사이의 차이는 직업적 차이에서 발생한 것이라 판단된다.

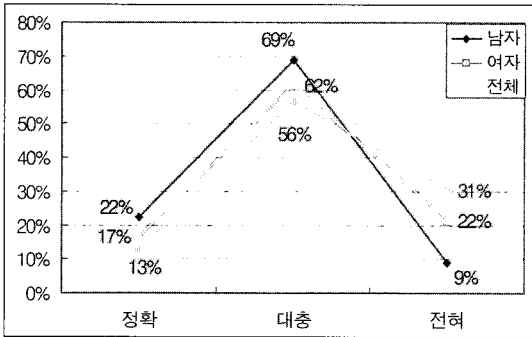


Fig. 3 Awareness of head restraint's purpose

4.2.2 운전자세 평가

머리 지지대의 용도에 대해서는 여자운전자에 비해 남자 운전자들이 더 많이 알고 있는 것으로 나타났으나, 여성운전자가 남성운전자에 비해 머리 지지대를 바르게 사용하는 것으로 나타났다.

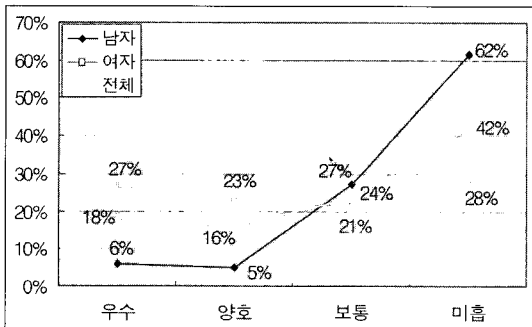


Fig. 4 Driver's sitting position

그러나 이러한 결과는 여성운전자들이 남성운전자들보다 키가 작은 사실에도 그 원인이 있다고 할 수 있다.

4.3 자원자 시험 결과

머리 지지대의 위치에 따른 목부상해 위험도를 평가하기 위해 동일한 속도에서 머리 지지대의 위치를 바꾸어서 시험을 실시하였다.

4.3.1 머리 지지대의 위치에 따른 N.I.C 값

추돌속도가 낮았기 때문에 N.I.C 값은 부상기준인 16보다 매우 낮게 나왔다. 그러나 머리 지지대의 위치에 따른 N.I.C 값은 매우 큰 차이를 알 수 있다.

N.I.C 최대값을 결정하는 방법에 대해서는 이견이 있으나 머리와 머리 지지대가 접촉하기 이전에 발생하는 최대값으로 결정을 한다.¹²⁾ 본 논문에서는 100ms이내에서 N.I.C 최대값을 결정하였다.⁶⁾

Table 3 N.I.C value according to head restraint position

머리 지지대 위치	UP	DOWN
N.I.C_max	1.11	3.20

머리 지지대의 위치가 UP(머리지지대가 가장 높은 위치)인 경우(우수 등급에 해당)에는 N.I.C 1.11이었으나, DOWN(머리지지대가 가장 낮은 위치)인 경우(미흡 등급에 해당)에는 3.20이었다. 이러한 결과는 머리 지지대의 위치에 따라 목부상해 위험도가 크게 낮아지거나 높아질 수 있다는 사실을 보여준다.

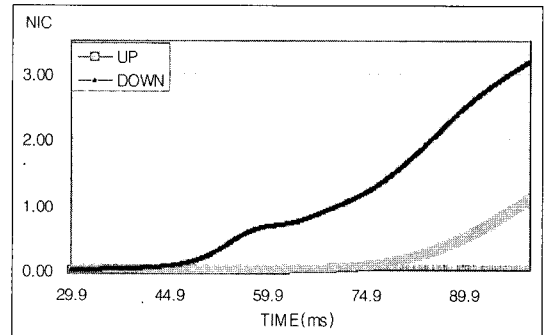


Fig. 5 NIC value within 100ms

5. 결론

후면추돌 시 목부상해로 인한 사회적 비용은 막대한 현실이다. 본 연구는 이러한 목부상해 감소를 위한 방법을 제시하기 위한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 후면추돌 시 목을 보호하기 위해 설계·장착된 머리 지지대는 그 용도에 맞게 설계개선이 이루어져야 한다. 2000년도에 제작된 차량에서는 많

- 은 개선이 이루어졌지만 아직도 미흡한 실정이다.
- 2) 머리 지지대에 대한 운전자의 인식은 높은 편이나 바르게 사용하는 비율은 매우 낮다. 머리 지지대의 설계가 개선되어도 운전자가 이것을 바르게 사용하지 못하면 아무런 효과가 없다. 그러므로 후면추돌 시 목부상해 방지를 위해서는 운전자 스스로도 머리 지지대를 바르게 사용하도록 노력해야 한다.
 - 3) 머리 지지대의 위치에 따라 목부상해 위험도를 나타내는 N.I.C 값에 큰 차이가 있었다. 머리 지지대를 '우수' 위치에 놓고 운전한 경우는 '미흡' 위치에 놓고 운전한 경우에 비해 후면 추돌 사고 시 목부상해 위험도가 1/3로 감소한다. 그러나 이러한 결과는 단 한 번의 시험에서 도출된 결과이기 때문에 보다 정확한 결과를 위해서는 더 많은 시험이 요구된다.

References

- 1) www.rtsa.or.kr.08_information4/info2_07.jsp
- 2) Korea Insurance Development Institute, "Car insurance statistics II," 2003.
- 3) www.thatcham.org/html/mspages/safety/sectiong.htm
- 4) O'Neill, "Head Restraint-Neglected Countermeasure," Traffic Safety and Auto Engineering, pp.2-12, 1999.
- 5) J. W. Lee, K.H. Yoon and G. J. Park, "A Study on Occupant Neck Injury in Rear End Collision," Transactions of KSAE, Vol.8, No.3, pp.130-138, 2000.
- 6) Stephen M. Foreman, Arthur C. Croft, Whiplash Injuries; The Cervical Acceleration/Deceleration Syndrome, Lippincott Williams & Wilkins, pp.57-70, 2000.
- 7) K. H. Kim, "Study of Head and Neck Injury Characteristics by Improved Injury Criteria for Occupant Crash Protection," 2000.
- 8) I. I. H. S., "Advanced Head Restraints and Whiplash Injuries in the U.S.," Research Council for Automobile Repairs, 2002.
- 9) C. Croft, P. Herring, M. D. Freeman, M. T. Haneline, "The Neck Injury Criterion: Future Consideration," Accident Analysis and Prevention, pp.247-255, 2002.
- 10) A. Miller, "Whiplash Update Good Seat Design," RCAR2003, 2003.
- 11) K. Ono, S. Inami, K. Kaneoka, T. Gotou, Y. Kisanuki, S. Sakuma and K. Miki, "Relationship Between Localized Spine Deformation and Cervical Vertebral Motions for Low Speed Rear Impacts Using Human Volunteers," IRCOB Conference, pp.149-164, 1999.
- 12) M. Muser, H. Zellmer and F. Walz, "Test Procedure for the Evaluation for the Injury Risk to the Cervical Spine in a Low Speed Rear End Impact," Rear end Impact Test Procedure Working Draft5, 2001.