초저속 후방 추돌시 BioRID-II를 이용한 목 상해 지수 측정에 관한 연구

홍 승 준^{*1)} · 유 한 규²⁾ · 김 영 은²⁾

삼성교통안전문화연구소¹⁾ · 단국대학교 기계공학과²⁾

A Study on the Neck Injury Criteria Using BioRID-II during Very Low Speed Rear-end Collision

Seungjun Hong^{*1)} · Hankyu Ryu²⁾ · Youngeun Kim²⁾

¹⁾Samsung Traffic Safety Research Institute, 7th Fl., Samsung Bldg. 50 Euljiro-1ga, Jung-gu, Seoul 100-842, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Dankook University, Gyeonggi 448-701, Korea

(Received 23 March 2012 / Revised 6 August 2012 / Accepted 13 October 2012)

Abstract : Although typically classified as AIS 1, whiplash injuries continue to represent a substantial social problem with associated costs estimated at over \$1 billion annually. The primary objective of this study was to determine the effects of seat positions(seatback angle, headrest height) on risk for whiplash injury in very low speed($\Delta V=4\sim 10\text{km/h}$) rear-end impact. To accomplish this, rear impact seat carriage tests and simulations were conducted using the BioRID-II dummy seated in a mass production seat, which allowed for the adjustment of seatback angle and headrest height. Neck injury criteria(NIC, Nkm) were then compared for different ΔV and seat positions.

Key words : Whiplash injury(편타성 상해), Neck injury criteria(목 상해 지수), Seat carriage test(대차 시험), Simulation(모사)

1. 서 론

국내 교통사고 자료 분석 결과에 따르면 저속 후방 추돌 사고에서 발생하는 상해 부위는 목 부위가 95.9%, 허리 부위가 86.6%로 나타났으며, 부상자의 진단명은 경추 및 요추 염좌(cervical & lumbar spinal sprains)가 61.6%, 경추 염좌(cervical spinal sprain)가 12.1%로써 저속 후방 추돌 사고시 경추 및 요추 부위에 상해가 집중되고 있다.¹⁾

후방 추돌시 발생하는 편타성 상해(whiplash injury) 가능성을 예측하기 위하여 다양한 상해 지수(injury criteria)가 제시되고 있다. 대표적인 상해 지수로 다음과 같은 지수들이 사용되고 있다. NIC(Neck Injury Criterion)는 경추의 굴곡-신전(flexion-

extension) 운동으로 인하여 발생하는 척수관(spinal canal)의 순간 압력 변화가 신경계 손상(neural damage)의 원인이 된다는 것을 돼지를 이용한 시험을 통하여 제시한 상해 지수로써 상해 한계값으로 $15\text{m}^2/\text{s}^2$ 가 제시되고 있으며,²⁾ 실차량에 블랙박스를 설치하여 추적된 실사고 통계 자료 분석 결과에 의하면, $\text{NIC}_{\text{max}} < 10.0\text{m}^2/\text{s}^2$ 에서는 1개월 이상 증상이 지속될 가능성은 매우 낮으며, NIC_{max} 값이 $15.0\text{m}^2/\text{s}^2$ 인 경우에는 1개월 이상 증상이 지속될 가능성이 약 20% 존재하는 것으로 보고되고 있다.³⁾ N_{km} 은 시상면(sagittal plane)에서의 전단력과 굴곡-신전 굽힘 모멘트(bending moment)의 선형 조합으로 표현되며,⁴⁾ 실사고 자료 분석 결과를 토대로 작성된 N_{km} 값과 상해 가능성 사이의 연관 관계는 $N_{\text{km}}=0.3$ 일 때, 1개월 이상 증상이 지속될 가능성은 10%~20%이고,

*Corresponding author, E-mail: sjhong1970@naver.com

$N_{km}=0.4$ 일 때, 1개월 이상 증상이 지속될 가능성이 40%로 나타나고 있다.³⁾ 아직 정식적인 상해 지수로 사용되고 있지는 않지만 경추 연부 조직(soft tissue)의 상해 가능성을 판단하는 지표로 제시되고 있는 IV-NIC (Intervertebral Neck Injury Criterion)는 경추 사이의 운동이 생리학적(physiological) 운동 한계를 초과할 때 경추 연부 조직의 상해가 발생하는 현상을 사체 실험을 통하여 규명한 상해지수로써, 상해 한계값으로 1.5가 제시되고 있으며, 이에 해당되는 NIC_{max} 값으로는 $8.7m^2/s^2$ 이 제안되었다.⁵⁾ 이와 같은 목 상해 기준 중에서 모든 경우(추돌 속도, 방향 등)에 적용할 수 있는 기준은 아직까지 없는 상태이며, 여러 연구 기관에서 기준 설정을 위한 노력이 진행되고 있다. 현재 대표적으로 NIC, N_{km} 이 후방 추돌시 목 상해 기준으로 일반적으로 사용되고 있다.⁶⁾

차량 충돌시 인체 상해에 대한 연구를 위하여 인체를 대신할 수 있는 더미(dummy) 개발이 지속적으로 이루어져 왔으며, 후방 추돌시 목 상해를 평가하기 위해 기존의 Hybrid-III를 대체하는 BioRID-II가 다양한 사체 시험 결과를 바탕으로 개발되었다.⁷⁾ 기존의 여러 연구에서 Hybrid-III와 BioRID-II의 비교 시험이 진행되고 있으며, 후방 추돌에 의한 인체 상해 평가를 위해 BioRID-II의 사용이 상대적으로 적절하다는 연구 결과가 보고되고 있다.⁸⁾

본 연구에서는 다양한 추돌 조건(ΔV 변화, 좌석 등받이 각도 변화, 머리 지지대 높이 변화)하에서 후방 추돌시 BioRID-II 더미의 목 상해 지수(NIC, N_{km})를 분석하여 이들 조건이 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

2. 저속 후방 추돌 해석

저속 후방 추돌 해석은 BioRID-II 더미를 이용한 시험적 방법과 MADYMO의 BioRID-II 모델을 이용한 해석적 방법을 사용하였다.

2.1 후방 추돌 시험 조건 및 방법

저속 후방 추돌 시험은 교통안전공단 자동차성능 연구소(KATRI; Korea Automobile Testing & Research Institute)의 대차(seat carriage) 시설을 이용하여 수행되었다.

Fig. 1 Schematic diagram of the seat carriage with a damper and pendulum

저속 추돌 조건($\Delta V=4\sim 10km/h$)에서 더미 착좌 상태(좌석 등받이 각도, 머리 지지대 높이)에 따른 거동 특성 분석을 위하여 BioRID-II 더미를 착좌 시킨 대차 후방 추돌 시험을 수행하였다. Fig. 1은 대차 후방 추돌 시험 개략도를 나타낸다. 그림에서 대차 후방에 부착된 완충기(damper)는 실차 후방 추돌 시험을 통해 생성된 가속도 펄스를 대차 시험시 동일하게 적용하기 위하여 설계 및 제작되었다.

Korea New Car Assessment Program 절차⁹⁾에 따라 H-point 마네킹을 착좌 시킨 후 3차원 위치 측정기를 이용하여 H-point를 설정한 후 BioRID-II 더미의 H-point 위치를 조절하고 pelvis 각도와 머리 지지대 후방 간격(backset)을 측정하였다. 이와 같은 절차로 대차에 착석된 BioRID-II 더미의 착석 모습을 Fig. 2에서 보여주고 있다.

$\Delta V=4\sim 10km/h$ 에서 더미 착좌 상태에 따라 Table 1과 같이 총 16가지 경우에 대하여 대차 후방 추돌 시험을 수행하였다. 동일한 ΔV 에 대하여 일관된 가속도 펄스 생성을 위하여 제작된 완충기를 사용함으로써 Fig. 3과 같이 각 ΔV 에 대한 재현성(reproducibility)을 확인할 수 있었다.

Fig. 2 BioRID-II set-up

Table 1 Details of the test conditions

	ΔV (km/h)	Seatback Angle (deg)	Backset (mm)	Headrest Height (mm)
Case 1	4	15	26	37
Case 2		25	66	0
Case 3			53	37
Case 4			72	60
Case 5	6	35	92	37
Case 6		15	24	37
Case 7		25	66	0
Case 8			63	37
Case 9			63	60
Case 10	8	35	92	37
Case 11		15	54	37
Case 12		25	64	0
Case 13			64	37
Case 14			55	60
Case 15	10	35	94	37
Case 16		25	64	37

Fig. 3 Seat carriage acceleration(x) pulses

2.2 저속 후방 충돌 시뮬레이션

대차 후방 충돌 시험은 많은 시간과 비용이 요구되므로 MADYMO 시뮬레이션을 통한 적용 가능성을 확인하고, 대차 후방 충돌 시험에서 수행하지 못한 좌석 자세에서의 결과를 도출하였다.

2.3 시뮬레이션(MADYMO) 모델 검증

MADYMO 후방 충돌 시뮬레이션에 사용된 차량 좌석 모델은 상세 유한 요소 모델을 사용하였다. 모델의 하중-변위 거동을 검증하기 위하여 자동차용 시트 시험 중 면적 하중 특성 시험 결과와 비교 분석

Fig. 4 Schematic diagram of the load-displacement test

Fig. 5 Comparison of the load-displacement test and simulation results

을 통해 모델의 타당성을 검증토록 하였다. Fig. 4와 같은 형상의 하중판으로 좌석 등받이에 표시된 방향으로 가압(loading) 과정과 감압(unloading) 과정을 수행한 결과와 시뮬레이션에서 얻어진 결과를 비교토록 하였다. Fig. 5에서와 같이 시험 결과와 시뮬레이션 결과가 대체적으로 일치하는 하중-변위 거동을 확인함으로써 좌석 모델의 타당성을 검증하였다.

후방 충돌 MADYMO 시뮬레이션 모델을 검증하기 위하여 대차 후방 충돌 시험(Case 7, $\Delta V = 6\text{km/h}$, 좌석 등받이 각도 = 25° , 머리 지지대 높이 = 0mm)과 동일한 조건으로 시뮬레이션을 수행한 후 결과를 비교하였다. Fig. 6은 머리 가속도에 대한 결과 비교로써, 최대 가속도의 크기는 시험값과 거의 일치하고 최대 가속도 발생 시간은 시험값보다 약 15ms 빠르게 나타난다. Fig. 7은 목 모멘트에 대한 결과 비교로써, 모멘트의 크기는 1Nm 이내의 차이를 보이며 최대값이 발생하는 시간은 시험값보다 약 15ms 빠르게 나타난다. 본 연구에서 적용한 시뮬레이션 모

Fig. 6 Comparison of the head acceleration

Fig. 7 Comparison of the neck moment

델은 부분적인 차이는 있으나 비교적 시험과 잘 일치하므로 경향성과 정량적인 상해치를 고려하기 위한 해석 모델로 적절하다고 판단되었다.

2.4 저속 후방 추돌 시뮬레이션 조건

저속 추돌 조건($\Delta V=4\sim 10\text{km/h}$)에서 착좌 상태(좌석 등받이 각도, 머리 지지대 높이)에 따른 더미 거동 특성 분석을 위하여 총 36가지 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

3. 해석 결과

3.1 대차 후방 추돌 시험 결과

저속 추돌 조건에서 더미 착좌 상태에 따른 후방 추돌 시험 결과를 분석하여 목 상해 지수를 도출하였으며, Fig. 8에서는 추돌 시험시 BioRID-II 더미에서 얻어진 $NIC_{\max}$ 값을 나타내고 있다. $\Delta V=4\sim 10\text{km/h}$

Fig. 8 BioRID-II $NIC_{\max}$ results from seat carriage tests

Fig. 9 BioRID-II N_{km} results from seat carriage tests

일 때 목 상해 지수 $NIC_{\max}$ 는 $2.81\sim 9.17\text{m}^2/\text{s}^2$ 을 나타내며, ΔV 가 증가할수록 $NIC_{\max}$ 는 증가하고 있었다. 또한 좌석 등받이 각도가 15° 에서 35° 로 증가할수록 $NIC_{\max}$ 는 증가하지만, 머리 지지대 높이 변화에 대해서 $NIC_{\max}$ 는 일관된 변화를 보이지 않고 있었다.

Fig. 9는 대차 후방 추돌 시험시 BioRID-II 더미의 N_{km} 값을 나타내고 있다. $\Delta V=4\sim 10\text{km/h}$ 일 때 목 상해 지수 N_{km} 은 $0.075\sim 0.159$ 를 나타내며, ΔV 가 증가할수록 N_{km} 은 증가한다. 또한 좌석 등받이 각도가 증가할수록 N_{km} 값은 증가하지만, 머리 지지대 높이 변화에 대해서 $NIC_{\max}$ 에서와 같이 일관된 변화를 보이지 않고 있다.

3.2 저속 후방 추돌 시뮬레이션 결과

Fig. 10은 후방 추돌 시뮬레이션에서 얻어진 좌석 등받이 각도와 머리 지지대 높이에 따른 NIC_{max} 값의 변화를 보여주고 있다. $\Delta V=4\sim 10\text{km/h}$ 일 때 목 상해 지수 NIC_{max} 는 $3.95\sim 16.50\text{m}^2/\text{s}^2$ 을 나타내며, ΔV 가 증가할수록 NIC_{max} 는 증가한다. 또한 좌석 등받이 각도가 15° 에서 35° 로 증가할수록 NIC_{max} 는 증가하지만, 머리 지지대 높이 변화에 대해서 시험 결과와 마찬가지로 일관된 변화를 보이지 않고 있었다.

Fig. 11은 후방 추돌 시뮬레이션에서 BioRID-II 더미 모델의 N_{km} 값을 나타내고 있다. $\Delta V=4\sim 10\text{km/h}$ 일

Fig. 10 BioRID-II NIC_{max} results from simulation

Fig. 11 BioRID-II N_{km} results from simulation

때 목 상해 지수 N_{km} 은 $0.103\sim 0.403$ 을 나타내며, ΔV 가 증가할수록 N_{km} 은 증가하고 있다. 좌석 등받이 각도와 머리 지지대 높이 변화에 따른 N_{km} 값의 변화는 시험 결과와 일치된 변화를 보여주고 있다.

3.3 더미 시험 및 시뮬레이션 결과 비교

Table 2는 더미 시험과 시뮬레이션 결과에서 목 상해 지수 NIC_{max} 값을 나타낸다. 으로 표시된 결과는 NIC_{max} 값이 $8.7\sim 10.0\text{m}^2/\text{s}^2$ 인 경우로써, IV- NIC 목 상해 지수로 평가할 때 상해가 발생하는 시점으로 더미 시험에서는 $\Delta V=10\text{km/h-A}25^\circ$ 인 경우에서

Table 2 NIC_{max} results of the seat carriage test and MADYMO simulation

ΔV (km/h)	NIC_{max} (m^2/s^2)					
	Seat carriage test results			MADYMO simulation results		
	Headrest height & Seatback angle			Headrest height & Seatback angle		
4	-G15°	4.85-G25°	-G35°	4.29-G15°	4.13-G25°	5.14-G35°
	2.81-A15°	4.26-A25°	3.76-A35°	3.99-A15°	5.44-A25°	5.43-A35°
	-P15°	4.09-P25°	-P35°	3.95-P15°	4.26-P25°	6.62-P35°
6	-G15°	6.57-G25°	-G35°	7.52-G15°	7.68-G25°	9.27-G35°
	4.22-A15°	5.72-A25°	6.58-A35°	9.19-A15°	5.73-A25°	7.07-A35°
	-P15°	6.42-P25°	-P35°	7.64-P15°	5.81-P25°	6.96-P35°
8	-G15°	6.76-G25°	-G35°	6.79-G15°	5.92-G25°	7.83-G35°
	7.12-A15°	7.46-A25°	7.27-A35°	6.27-A15°	8.77-A25°	11.10-A35°
	-P15°	7.07-P25°	-P35°	7.17-P15°	6.19-P25°	9.63-P35°
10	-G15°	-G25°	-G35°	6.13-G15°	6.96-G25°	16.50-G35°
	-A15°	9.17-A25°	-A35°	6.89-A15°	10.50-A25°	15.60-A35°
	-P15°	-P25°	-P35°	7.31-P15°	10.70-P25°	12.30-P35°

머리 지지대 높이(Headrest height) : G(0mm) A(37mm) P(60mm)

Table 3 N_{km} results of the seat carriage test and MADYMO simulation

ΔV (km/h)	N_{km}					
	Seat carriage test results			MADYMO simulation results		
	Headrest height & Seatback angle			Headrest height & Seatback angle		
4	-G15°	0.079-G25°	-G35°	0.115-G15°	0.123-G25°	0.176-G35°
	0.080-A15°	0.078-A25°	0.145-A35°	0.108-A15°	0.123-A25°	0.174-A35°
	-P15°	0.108-P25°	-P35°	0.103-P15°	0.130-P25°	0.186-P35°
6	-G15°	0.121-G25°	-G35°	0.298-G15°	0.128-G25°	0.161-G35°
	0.090-A15°	0.096-A25°	0.135-A35°	0.289-A15°	0.115-A25°	0.164-A35°
	-P15°	0.101-P25°	-P35°	0.272-P15°	0.129-P25°	0.175-P35°
8	-G15°	0.134-G25°	-G35°	0.383-G15°	0.198-G25°	0.216-G35°
	0.095-A15°	0.097-A25°	0.159-A35°	0.342-A15°	0.166-A25°	0.203-A35°
	-P15°	0.075-P25°	-P35°	0.323-P15°	0.143-P25°	0.194-P35°
10	-G15°	-G25°	-G35°	0.362-G15°	0.353-G25°	0.403-G35°
	-A15°	0.144-A25°	-A35°	0.348-A15°	0.293-A25°	0.380-A35°
	-P15°	-P25°	-P35°	0.294-P15°	0.168-P25°	0.388-P35°

머리 지지대 높이(Headrest height) : G(0mm) A(37mm) P(60mm)

발생하였으며, 시뮬레이션에서는 $\Delta V = 6 \sim 8 \text{ km/h}$ 에서 좌석 등받이 각도 및 머리 지지대 높이에 따라 발생하였다. 으로 표시된 결과는 NIC_{max} 값이 $10.0 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 이상인 경우로써 실사와 자료 통계 분석 결과에서 1개월 이상 증상이 지속될 가능성이 존재하는 시점으로 더미 시험에서는 발생하지 않았으며, 시뮬레이션에서는 $\Delta V = 8 \sim 10 \text{ km/h}$ 에서 좌석 등받이 각도가 25° 이상인 경우에서 머리 지지대 높이에 따라 발생하였다.

Table 3은 N_{km} 값 결과로써, 으로 표시된 결과는 N_{km} 값이 0.3~0.4인 경우로써, $N_{km} = 0.3$ 은 실사와 자료 통계 분석 결과에서 1개월 이상 증상이 지속될 가능성이 약 10% 존재하는 값으로 더미 시험에서는 발생하지 않았으며, 시뮬레이션에서는 $\Delta V = 8 \sim 10 \text{ km/h}$ 에서 좌석 등받이 각도 및 머리 지지대 높이에 따라 발생하였다. 또한, 으로 표시된 결과는 N_{km} 값이 0.4 이상인 경우로써, 1개월 이상 증상이 지속될 가능성이 40% 존재하는 값으로 시뮬레이션에서 $\Delta V = 10 \text{ km/h}$, 좌석 등받이 각도가 35° 인 경우에서 발생하였다.

Table 2, 3에서 볼 수 있듯이 더미 시험과 시뮬레이션 결과에서 ΔV , 좌석 등받이 각도, 머리 지지대 높이에 따른 NIC_{max} , N_{km} 값은 크기에서 차이를 보이고 있으나 비교적 일치된 경향을 나타내고 있다.

4. 토 의

후방 추돌시 목 상해 가능성에 영향을 미치는 인자에 대한 많은 연구가 진행되고 있으나 아직까지 명확히 밝혀지지 않고 있다. 본 연구에서는 저속 후방 추돌시 발생하는 평균 가속도 $0.93 \text{ g} \sim 2.17 \text{ g}$ 에 대한 더미 시험과 시뮬레이션을 통하여 ΔV , 좌석 등받이 각도 및 머리 지지대 높이가 목 상해 지수에 미치는 영향을 분석하였다.

본 연구에서 수행한 더미 시험과 시뮬레이션의 목 상해 지수 결과는 크기에서 차이를 보이고 있으나 비교적 일치된 경향을 나타내고 있다. 이와 같이 실제 더미 시험과 수학적 더미 모델을 이용한 시뮬레이션에서 얻어지는 응답 특성의 차이에 대하여 Deter 등¹⁰⁾은 좌석 등받이 형상, 좌석 등받이 각도, 머리 지지대 위치 조절이 가능한 Chalmers 좌석에 BioRID-II 더미를 착좌 시킨 후 IIWPG(International Insurance Whiplash Prevention Group) 표준 가속도 파형을 적용하여 분석하였다. 그 결과 머리 지지대 후방 간격이 증가하면 시뮬레이션 결과에서 목 상부 전단력이 더미 시험에 비하여 최대 358%, 좌석 등받이 각도가 증가할 경우 최대 140%가 발생하였다. 본 연구에서도 머리 지지대 후방 간격과 좌석 등받이 각도가 증가한 상태에서 더미 시험과 시뮬레이션 결과에서 측정된 목 상해 지수 NIC_{max} , N_{km} 의 차이는 각각 153%, 128%로 시뮬레이션 결과에서

크게 발생하였다. 이는 더미 착좌 자세 설정의 차이 및 좌석 모델링에서의 차이로 사료된다. 이와 같은 해석 결과의 차이는 후방 추돌 사고시 실제 운전자의 착좌 자세에 따라 목 상해 가능성에 많은 영향을 미칠 것으로 예상된다.¹¹⁾

NIC는 머리와 제1흉추(T1) 사이의 상대운동으로 표현되며 상대 가속도에 0.2를 곱하고 상대 속도의 제곱을 더하여 결정된다. 한편 N_{km} 은 머리(Head)와 목 사이의 전단력과 굴곡-신전 모멘트로 표현되며 임계하중에 대한 머리로부터 목으로 전달되는 전단력과 임계 모멘트에 대한 총모멘트의 합으로 구성된다.

Kim 등¹²⁾은 후방 추돌시 머리 지지대 위치가 목 상해 지수에 미치는 영향을 인체 모형을 이용하여 중속($\Delta V=17$, 27km/h)의 추돌 조건에서 분석하여, 머리 지지대 높이가 낮아질수록 목 상해 지수(NIC_{max} , N_{km})가 증가하고, 머리 지지대 후방 간격이 증가할수록 목 상해 가능성이 증가한다는 연구 결과를 제시하였다. 좌석 등받이 각도가 증가하면 인체 모형의 착좌 자세에서 머리 지지대 후방 간격이 증가하게 되는데 본 연구의 해석 결과는 좌석 등받이 각도(머리 지지대 후방 간격)가 증가할수록 목 상해 지수(NIC_{max} , N_{km})가 증가하므로 $\Delta V=4\sim 10$ km/h의 저속 후방 추돌시에도 기존의 연구 결과와 일치하는 것을 알 수 있었다. 그러나 본 연구의 머리 지지대 높이 변화에 따른 목 상해 지수 결과는 일관된 경향을 보이지 않고 있는데, 본 연구에서 사용한 자동차용 상용 시트의 머리 지지대는 최대 높이와 최저 높이로 조정할 때 모두 좌석 평가 기준¹³⁾에서 정의하는 “Good” 위치에 해당되기 때문으로 판단된다.

Svensson 등¹⁴⁾은 좌석 강성도(seat stiffness)가 운전자의 머리/몸통 상대 운동에 미치는 영향을 Hybrid-III(TRID) 인체 모형을 이용하여 분석하여 강성도가 목 상해 가능성에 영향을 미치는 요인으로 제시하였으나, 본 연구에서는 동일한 좌석 모델에 대한 결과만을 분석하여 좌석 강성도가 목 상해 지수에 미치는 영향은 고려되지 않았다. 또한 본 연구에서는 후방 추돌을 정후면(rear-end) 상태에서의 추돌로 가정하여 가속도 파형을 생성하고 적용하였으나, 실제 사고 발생시 많은 경우 오프셋(offset) 상

태나 경사(oblique) 상태의 추돌이 발생하고 있기 때문에 이에 대한 추가적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

5. 결 론

다양한 추돌 조건(ΔV 변화, 좌석 등받이 각도 변화, 머리 지지대 높이 변화)하에서 저속 후방 추돌시 목 상해 지수에 미치는 영향을 분석하기 위하여 BioRID-II 더미를 이용한 대차 후방 추돌 시험과 시뮬레이션을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 저속($\Delta V=4\sim 10$ km/h) 후방 추돌시 ΔV 및 좌석 등받이 각도(머리 지지대 후방 간격)가 증가할수록 목 상해 지수 (NIC_{max} , N_{km})가 증가함을 알 수 있었다.
- 2) NIC_{max} , N_{km} 상해 한계값과 비교할 때, 시뮬레이션 결과로부터 $\Delta V=8\sim 10$ km/h에서 좌석 등받이 각도가 정상 착좌 자세와 다를 경우 상해 가능성이 존재하는 것을 알 수 있었다.
- 3) 본 연구는 국내 보험사 보상청구 내역에 범퍼커버 스크래치 정도의 극히 미미한 손상의 초저속 후방추돌사고에서도 많은 목 부상자들이 발생함¹⁾을 감안하여 KNCA이나 IIWPG에서 제안하는 대표적인 충격량보다 낮은 속도에서 부상 가능성을 가늠해 보기 위해 시험과 해석을 수행한 결과로 향후 지원자를 대상으로 한 시험을 통해 결과가 검증되어야 하는 향후 과제를 남긴다.

References

- 1) S. J. Hong, Y. E. Kim and K. H. Yoon, “Cervical and Lumbar Spine Injury Risk in Very Low Speed Rear-end Crashes,” Whiplash - Neck Pain in Car Crashes, 2nd International Conference, 2008.
- 2) O. Boström, M. Y. Sevnsson, B. Aldman, H. A. Hansson, Y. Haland, P. Lovsund, T. Seeman, A. Salio and T. Ortengren, “A New Neck Injury Criterion Candidate - Based on Injury Findings in the Cervical Spinal Ganglia after Experimental Neck Extension Trauma,” IRCOBI Conference, pp.123-136, 1996.

- 3) Folksam/SNRA, Standard Test Method for Rear End Impact Crash Tests, 2004.
- 4) K. U. Schmitt, M. H. Muser and P. Niederer, "A New Neck Injury Criterion Candidate for Rear-end Collisions Taking into Account Shear Forces and Bending Moments," 17th ESV Conference, 2001.
- 5) M. M. Panjabi, S. Ito, P. C. Ivancic and W. Rubin, "Evaluation of the Intervertebral Neck Injury Criterion Using Simulated Rear Impacts," Journal of Biomechanics, Vol.38, pp.1694-1701, 2005.
- 6) L. Eriksson and A. Kullgren, "Influence of Seat Geometry and Seating Posture on NIC_{max} and N_{km} AIS 1 Neck Injury Predictability," IRCOBI Conference, pp.217-231, 2003.
- 7) Schmitt, "Development of a Biofidelic Rear Impact Dummy," Denton ATD Crash Test Update Seminar, 2008.
- 8) A. Kim, K. F. Anderson, J. Berliner, C. Bryzik, J. Hassan, J. Jensen, M. Kendall, H. J. Mertz, T. Morrow, A. Rao and J. A. Wozniak, "A Comparison of the Hybrid III and BioRID II Dummies in Low-severity, Rear-impact Sled Tests," Stapp Car Crash Journal, Vol.45, 2001-22-0012, 2001.
- 9) KNCAP Standard, Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport, No.2012-351, 2010.
- 10) T. Deter, A. Malczyk and M. Kuehn, "Validation of a Seat-dummy Simulation Model for Rear-impact," 20th ESV Conference, 2007.
- 11) H. C. Jo and Y. E. Kim, "A Biomechanical Analysis in the Neck Injury according to the Position of Head Restraint during Low Speed Rear-end Impacts," Transactions of KSAE, Vol.13, No.1, pp.132-139, 2005.
- 12) A. Kim, A. Sutterfield, A. Rao, K. F. Anderson, J. Berliner, J. Hassan, A. Irwin, J. Jensen, J. Kleinert, H. J. Mertz, H. Pietsch, S. Rouhana and R. Scherer, "A Comparison of the Biorid II, Hybrid III, and Rid2 in Low-severity Rear Impacts," 19th ESV Conference, 2005.
- 13) IIHS, RCAR-IIWPG Seat/Head Restraint Evaluation Protocol (Ver.3), 2008.
- 14) M. Y. Svensson, P. Lofsund, Y. Haland and S. Larsson, "The Influence of Seat-back and Head-restraint Properties on the Head-neck Motion during Rear-impact," Accident Analysis and Prevention, Vol.28, No.2, pp.221-227, 1996.