

# 휠체어 탑재 차량의 전방측방 충돌시 휠체어 탑승자의 위험도 분석에 의한 안전성평가

김성민<sup>#</sup>, 김성재<sup>\*</sup>, 강태건<sup>\*\*</sup>, 전병호<sup>\*</sup>, 김경훈<sup>\*\*\*</sup>, 문무성<sup>\*\*\*</sup>

## A Safety Assessment by Risk Analysis Method on Wheelchair Occupant in Frontal & Side Impact of Wheelchair Loaded Vehicle

Sung Min Kim<sup>#</sup>, Sung Jae Kim<sup>\*</sup>, Tae Gun Kang<sup>\*\*</sup>, Byung Ho Jun<sup>\*</sup>,  
Kyung Hoon Kim<sup>\*\*\*</sup>, Moo Sung Moon<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

In this study, for a safety assessment of wheelchair occupant in frontal and side impact of wheelchair loaded vehicle, a sled impact test was performed. Each test was carried out total 6 times, by using Hybrid III 50th-percentile male dummy in light weight and electric wheelchair. We estimate MC(Motion Criteria), CIC(Combined Injury Criteria), HIC(Head Injury Criteria), HNIC(Head and Neck Injury Criteria) based on measured data. Through this study, we make an assessment of risk analysis of wheelchair occupant and wheelchair. Through this study, safety standard of wheelchair is to be evaluated.

**Key Words** : wheelchair(휠체어), frontal & side impact(전방·측방충돌), risk analysis(위험도분석)

### 1. 서론

복지부의 통계를 따르면 우리나라의 2000년 장애인 수는 145만 명으로써, 11가구 당 1가구는 장애인을 가지고 있으며 이들 장애인 가운데 90%에 해당하는 장애인들이 정상적으로 태어난 뒤, 교통사고나 기타 산업재해 등으로 장애를 입은 후천성 장애인으로 보고되었다.<sup>1</sup>

따라서 장애인의 정상생활 영위를 위한 이동권 확보가 사회적인 문제로 대두되고 있으며, 일상생활에 있어서 휠체어 탑승자의 차량 탑승에 의한 이동이 증가하는 추세이나 휠체어탑승자의 차량탑승에 있어서 안전성을 평가하는 기준은 전무한 실정

이다. 몇몇 외국의 자동차회사들은 휠체어를 차량용 좌석대용으로 사용할 수 있도록 휠체어 고정장치와 탑승자 안전벨트 시스템에 대하여 자체 표준을 개발하였고, 미표준협회/북미재활공학회는 휠체어의 차량좌석 사용에 대한 표준(ANSI/RESNA WC-19)을 2000년에 채택하였으며, 미국 자동차 공학회(SAE) 역시 1996년 권고 준수사항으로 마련하였던 휠체어 및 탑승자 고정장치 표준 (SAE J2249 WTORS)을 채택하였다.

이러한 표준안들은 고정장치의 설치를 위한 안내와 탑승자 보호장치의 용법을 포함하고 있다. 현재 휠체어 탑승자의 골반을 고정시키는 벨트는 차량바닥 또는 휠체어 후방에 고정하도록 되어있으며

접수일: 2003년 11월 27일; 게재승인일: 2004년 3월 12일  
# 교신저자 : 건국대학교 의과대학 의학공학부  
E-mail:smkim@kku.ac.kr Tel. (043) 851-3701  
\* 건국대학교 의과대학 의학공학부  
\*\* 한국보건산업진흥원  
\*\*\* 재활공학연구소

어깨벨트의 고정장치들은 차량 벽 혹은 천장에 상부 고정점(upper anchor point)을 두며, 하부 고정구는 골반 벨트 상에 위치한다. ANSI/RESNA WC-19는 차량에 이용할 휠체어에 있는 골반의 고정장치의 추가를 제한한다.

그러나 이러한 차량장착 고정장치는 휠체어 구조상 탑승자를 안전하게 보호할 수 없다. 팔걸이, 차폐막이나 다른 휠체어 구성품들은 효과적인 탑승자 보호에 필요한 벨트의 각도와 위치 선정을 방해하는 요소가 될 수도 있으며, 이로 인한 부적절한 랩 벨트의 고정은 전방충돌 시 탑승자의 장파열이나 요추손상을 초래할 수 있다.

마찬가지로, 부적절한 위치의 어깨벨트는 전방 충돌 후 차체표면에 2차 충돌을 일으키거나 흉부강 조직의 내부손상을 일으킬 수 있는 과도한 두부의 전방 쓸림(excursion)현상을 유발시킨다. 그리고 현재의 휠체어탑승자의 차량탑승에 따른 고정에 있어서는 보호자의 도움이 반드시 필요하다는 불편사항이 존재한다.

위와 같은 여러 가지 기준이나 안전장치 등이 자동차 사고 형태에서 가장 비중이 높은 전방 충돌을 기준으로 만들어 졌지만 미국 고속도로 안전보험 연구소(Insurance Institute for Highway Safety)에 따르면 전체 차량사고 형태 중 30%가 측방 충돌에 의해 발생한다고 보고하고 있다.(1989 기준)<sup>2</sup>

승용차의 경우, 측방 충돌시 탑승자의 주요 상해 부위는 두부와 경부, 흉부, 복부로써 각 부위의 상해 발생 빈도수는 두부 및 경부 58%, 흉부 32%, 복부 21%이다(복합상해 허용시).<sup>3</sup>

측방 충돌 시 일반 탑승자의 경우 흉부와 복부에 충돌한 차량의 직접적인 충격이 가해지는 반면, 휠체어 탑승 차량은 승용차에 비하여 차체가 높고 탑승자도 일반 승용차의 좌석 보다 높은 위치에 앉아있기 때문에 충돌 시, 상대 차량에 의한 직접적인 충격에 의한 위험보다는 충돌에 의한 반발력으로 두부 및 경부에 가해지는 충격에 의한 위험이 더 치명적으로 작용한다.

두부 상해의 경우 뇌 손상의 위험이 있지만 두개골 등의 뼈로 인해 1차 적인 충격이 완화되는 반면에 경부의 경우는 충격 자체에 의한 경추 손상의 위험보다는 충돌 시 두부의 각도 변화에 따른 경추의 순간적인 각도 변화로 생기는 경추 탈골·골절이 훨씬 큰 위험으로 판단된다.

따라서 본 연구는 휠체어의 전방과 측방 충돌

시 위험도 분석을 통한 휠체어 탑승자의 안전성을 평가하기 위하여 수행되었다.

휠체어의 전방 충돌 실험에서는 차량에 탑승하는 휠체어 탑승자의 안전성을 평가하는 기준을 수립하기 위하여 실험에 의하여 얻은 데이터를 가지고 외국 기준을 바탕으로 동작분석지수를 적용하여 안전성을 평가하고자 한다.

휠체어의 측방 충돌에 관해서는 측방충돌 시 발생하는 탑승자와 휠체어의 이동량을 이용하여 동작 분석 지수 및 상해지수를 제안, 이를 토대로 휠체어 탑승자의 위험도 평가 및 안전 기준을 제시하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 전방충돌

전방충돌 실험 결과로 부터 휠체어 탑승자에 대한 운동학적 응답과 생체역학적 하중에 대하여 위험도를 평가하였다. Table 1에서는 휠체어 탑승자의 동작/운동역학적 응답에 대하여 해외 규격을 근거로 인체 및 휠체어의 상해기준 및 허용치를 나타내었다. 두부상해기준(HIC)과 흉부가속도(a)는 미연방 자동차 안전규격<sup>4</sup>을, 목부위에 가해지는 굴전 모멘트, 축인장력, 압축력 전단력은 미국 제너럴 모터스 사의 자체 규격인 상해 평가 기준(GM-IARV)<sup>5</sup>을, 전방충돌시 인체 및 휠체어의 전방쓸림량은 SAEJ2249<sup>6</sup>에서 규정한 생체역학적 한계기준을 근거로 위험도 분석을 하였다.

$F_{tens}$ ,  $F_{comp}$ ,  $F_{shear}$ 는 목에 가해지는 축인장력, 압축력, 전단력을 나타내며,  $M_{flex}$ 는 굴전모멘트, a는 흉부가속도를 HIC는 두부손상기준을 나타내고 있다.

Table 1 Injury criteria and tolerance value of wheelchair and occupant

인체 및 휠체어 상해기준	허용값	관련근거 표준	
두부상해기준(HIC)	1000	FMVSS 208	
목	Flexion 모멘트( $M_{flex}$ )	190 Nm	GM-IARV
	축인장력( $F_{tens}$ )	1100 N (45msec)	
	압축력( $F_{comp}$ )	1100 N (30msec)	
	전단력( $F_{shear}$ )	1100 N (45msec)	
		1500 N (25msec)	
흉부 가속도(a)	3100 N (0msec)	FMVSS 208	
	60 g		

두부 전방 이동량(EXChead)	650 mm	SAE J2249
휠체어 전방 이동량(EXCwc)	200 mm	
무릎 전방 이동량(EXCknee)	375 mm	
휠체어/무릎 이동량비 (EXCwc/EXCknee)	1.1 이하	

## 2.2 측방 충돌

전방 충돌의 경우 여러 가지 운동학적 응답이나 생체 역학적 하중들이 실험 측정값들의 조합을 바탕으로 정량적인 표현이 가능하고 관련 규격이나 기준이 수립되어있는 반면, 측방 충돌의 경우에는 측정 가능한 데이터의 수 자체가 전방 충돌 실험결과에 비하여 부족하고 관련 규격이나 기준에 관한 연구 또한 부족하기 때문에 탑승자에서 얻어진 데이터의 조합만으로는 정량적인 해석이 어려우므로 획득한 데이터 이외에 충돌 실험 과정을 고속 촬영한 장면을 분석하여 얻은 새로운 데이터를 추가하여 탑승자의 이동지수 MC(Motion Criteria)와 두부 및 경부의 상해지수 HNIC(Head and Neck Injury Criteria)를 제안, 위험도 분석을 하였다.

우선, 측방 충돌 시 발생 가능한 위험 요인을 다음의 세 부분을 고려하여 분석하였다.

첫째, 충돌 시 탑승자의 위험요인을 측정하기 위해 더미의 움직임의 변화량을 측정하였는데 크게 하체, 몸통, 머리 그리고 휠체어의 4 곳이다.

둘째, 일반적으로 많이 사용하는 3점식 고정벨트를 사용할 경우 전방 충돌 시 허리와 어깨벨트가 몸체의 전방 쏠림을 막아주지만 측방 충돌의 경우에는 3점식 벨트로는 탑승자의 머리와 몸통의 측면 쏠림 현상을 제어하기가 매우 어려우며 탑승자의 두부 또는 경부가 차체에 직접 충돌하게 되는데 이때, 충격을 완화시켜 줄 수 있는 장치가 없으므로 전방 충돌시보다 훨씬 상해의 정도가 클 수 있다는 가정하에 휠체어 탑승자의 구속방법에 변화(4점식)에 따른 차이를 두어 분석하였다.

셋째, 휠체어 자체의 구속방법 또한 전방 충돌에 비해 측방 충돌 시 가해지는 외력의 방향으로 미루어 보아 휠체어가 접하거나 파손의 위험이 클 것이라고 판단되어 휠체어의 종류가 탑승자의 위험 요소에 미치는 영향이 있는지를 알아보았다.

이를 바탕으로 탑승자의 거동 기준점이 변화하는 정도를 측정하기 위하여 거동 기준점을 각각 하체(대퇴), 머리, 몸통(척추), 휠체어의 4부분으로 나누었다.  $\theta 1, \theta 2, \theta 3, \theta 4$ 는 각각 하체, 몸통, 휠체

어, 머리의 관상면(cronal plane)으로의 변화 각으로서, 정지상태에서의 각인  $0^\circ$ 를 기준으로 충돌시의 각도 변화량을 측정하고자 하였다.(Fig. 1)

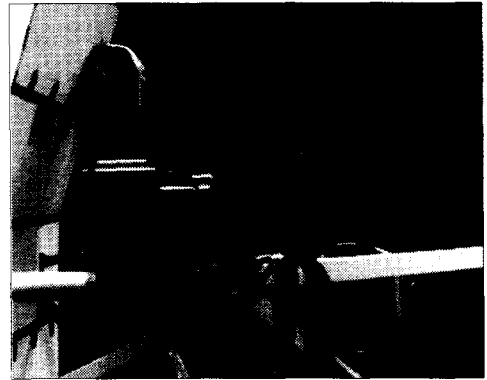


Fig. 1 Measurement of head, trunk and wheelchair deformed behavior in the maximum crash-point

## 3. 실험방법

실제 사고 시의 차량과 같은 충돌 조건을 모사하기 위한 방법으로는 Pendulum test, Sled test, Impact test, Vehicle test 와 같은 다양한 방법이 사용되고 있으며 각각의 장·단점이 있으나<sup>7</sup> 본 실험에서는 재활공학 연구소에서 실시한 Sled test 결과를 사용하여 휠체어의 전방 및 측방 충돌에 따른 위험도 분석을 수행하였다.

### 3.1 차량 탑재 휠체어의 전방충돌 시 실험조건

실험에는 50th-percentile 성인 hybrid III 인체더미를 재활공학연구소에서 개발한 경량휠체어에 탑재되었으며 휠체어 고정은 4점식 고정방법을 사용하였다. 탑승자의 고정은 휠체어 후방을 고정시킨 고정벨트에 랩벨트를 고정시켰으며 팔걸이 밑으로 하여 더미를 구속하였고 어깨벨트의 차량부 고정점은 SAE J2249의 최저 권장높이에 차량부 고정점을 두었고 좌측 랩벨트 부위에 연결부가 있는 어깨벨트를 사용하였다.

슬레드 충격 실험은 총 6회 시행되었으며 충격파는 정현반파로 속도는  $48 \pm 2$  km/h 였고, 가속도는 20g(15msec이상), 15g(40msec이상), 지속시간은 75msec 이상이였다.

본 실험의 결과로 휠체어와 탑승자에 대한 전방 쏠림 이동치, HIC값, 두부가속도, 목에 작용하는 여러 가지 힘과, 모멘트와 흉부가속도 등의 측정이 기대되었다.

### 3.2 차량 탑제 휠체어의 측방충돌 시 실험조건

충돌 실험에 사용된 휠체어는 경량 휠체어와 전동휠체어 2종류가 사용되었다. 경량 휠체어는 재활공학연구센터에서 제작된 것에 강도를 보강하였고, 전동 휠체어는 국산 휠체어와 재활공학연구센터의 제품을 이용되었다.

실험은 교통안전공단 자동차충돌시험연구소에서 총 6회 수행되었으며, 사용된 충격펄스는 Sine 반파로 속도는 30km/h(평균 : 28.38km/h), 가속도 13g(평균 : 12.99g)이었다.(Fig. 2) 휠체어에 탑승된 더미는 EURO SID-1 모델을 3점식, 4점식(평행선형, X자형)의 고정방법을 이용하여 구속되었다.

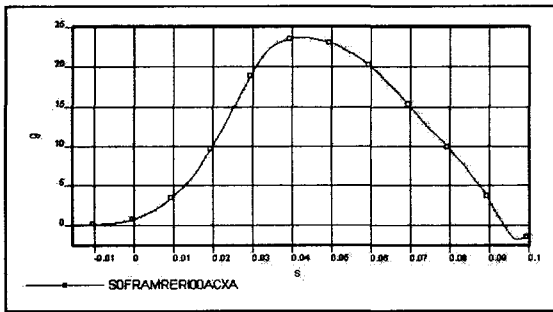


Fig. 2 Impact pulse in the sled test

본 실험의 결과로 HPC(Head Performance Criteria), 4부분의 거동점의 각도변화량, 두부의 최대각도 변화량, Max Accel, 휠체어에 작용하는 힘이 지속되는 시간 등의 측정이 기대되었다.

### 3.3 전방 충돌시 MC와 CIC측정 방법

휠체어탑승자의 전방 충돌시 머리, 휠체어, 무릎의 전방 이동량에 의한 차량내부와의 2차 충돌에 대한 위험도를 정량화 시키기 위하여 SAE J2249에서 제안한 동작기준지수 MC(Motion Criteria)를 적용하였는데 그 식은 다음과 같다.

$$MC = 0.25 \left[ \frac{EXC_{head}}{EXC_{head-lim}} \right] + 0.25 \left[ \frac{EXC_{knee}}{EXC_{knee-lim}} \right] + 0.25 \left[ \frac{EXC_{acc}}{EXC_{acc-lim}} \right] + 0.25 \left[ \frac{EXC_{acc}/EXC_{knee}}{(EXC_{acc}/EXC_{knee})_{lim}} \right] \quad (1)$$

각 변수들은 Table 1에서 설명하였으며 하첨자 lim은 Table 1의 허용치 값이다.

복합상해기준지수 CIC(Combined Injury criteria)는 미연방 자동차 안전 기준인 FMVSS(Federal Motor Vehicle Safety Standard)나 제너럴모터스사에서 두부, 목, 흉부의 측정값을 허용치와 비교하여 생체역학적 허용수준을 판단하기 위하여 제안한 위험도 측정 방정식으로써 두부, 목, 흉부의 위험도가중치를 각각 두부 57%, 목 14%, 흉부 29%로 주었다. 여기서 하첨자 t의 값은 Table 1에 나타낸 각각의 힘들의 허용치이며 CIC 지수는 다음과 같다.

$$CIC = 0.57 \left[ \frac{HIC}{HIC_t} \right]_{head} + 0.29 \left[ \frac{a}{a_t} \right]_{chest} + 0.14 \left[ \frac{F_{axial}}{F_{axial-t}} + \frac{F_{comp}}{F_{comp-t}} + \frac{F_{shear}}{F_{shear-t}} + \frac{M_{flex}}{M_{flex-t}} \right]_{*ck} \quad (2)$$

### 3.4 측방 충돌시 MC와 HNIC측정 방법

이동지수(MC)를 측정하기 위한 더미의 변화량을 측정하였는데 더미의 4가지 거동 기준점 중에서 움직임의 변화가 가장 많은 부분은 몸통이었다. 따라서 100%를 기준으로 몸통의 각도 변화에 가중치 40%를 부여하였고 하체의 각도변화에는 20%, 또한 충격으로 변형될 수 있는 휠체어의 가중치를 각각 20%로 산정 하였으며 그밖에 충격으로 인하여 생길 수 있는 몸통과 하체 사이의 각도 변형이나 몸통과 휠체어 사이의 이격으로 인한 각도 변화에도 가중치를 각 10%로 산정 하였으며, 각도변화의 최대치(100)는 1~6차의 실험값 중 최대값의 120%인  $\theta_1 = 62.4^\circ$ ,  $\theta_2 = 62.4^\circ$ ,  $\theta_3 = 48^\circ$  을 기준으로 산출하였다.(단 머리 부분의 변화량은 휠체어의 파손 여부에 따라 몸통의 운동방향과 반대방향으로 이동되는 경우가 있기 때문에 제외하였고 HNIC 지수에 서 이용한다.)

$$MC = 0.2\theta_1 + 0.4\theta_2 + 0.2\theta_3 + 0.1(\theta_2 - \theta_1) + 0.1(\theta_2 - \theta_3) \quad (3)$$

머리와 목의 상해를 측정하기 위한 머리-목 상해지수 HNIC(Head and Neck Injury Criteria)는 두부

의 각도 변화량에 벽과 충돌이 지속된 시간과의 관계를 정량적으로 표현한 두부 상해 부분과 경부의 최대 각도 변화량에 충돌 후 경부에 작용하는 힘이 지속되는 시간과의 관계를 표현한 경부 상해 부분으로 분리하여 두 부분을 합친 값으로 최대 상해지수를 산출하였다. 따라서 HNIC는 두부와 경부의 위험도를 합한 값에 HPC를 곱한 값으로 정의되며 두부와 경부의 위험도는 각각 50%의 비중을 두었다. 두부의 위험도는 두부의 각도 변화량에 충돌 순간( $F_1$ )부터 두부가 반발되는 순간( $F_2$ )까지의 frame(time value)을 곱한 값으로 정의하였고, 경부 위험도는 두부의 최대 각도 변화량( $\theta_{max}$ )에 두부가 반발되는 순간 순간( $F_2$ )부터 두부에 작용하는 관성이 사라지는 순간( $F_3$ )까지의 frame (time value)을 곱한 값으로 정의하였으며 최대값은  $\theta_4 = 72^\circ$ ,  $\theta_{max} = 108^\circ$ ,  $(F_2 - F_1) = 36$ ,  $HPC = 1000$ ,  $(F_3 - F_2) = 60$  의 조건하에 산출되었다.(여기서 고속촬영 속도는 1000 fps 이다.)

$$HNIC =$$

$$[0.5(90^\circ - |\theta_4|)(F_2 - F_1) + 0.5 \times \theta_{max} \times (F_3 - F_2)] \times HPC \quad (4)$$

#### 4. 실험결과

##### 4.1 전방 충돌 시 위험도 분석 결과

1차 실험에서는 랩벨트의 고정방식이 휠체어 팔걸이 위쪽으로 하여 고정되었으며 휠체어의 좌석 폭은 400mm 였는데 랩벨트와 탑승자사이의 유격으로 인하여 충돌후 2차반동에 의한 탑승자의 거동이 과도하였다.

2차 3차 4차 실험에서는 랩벨트가 팔걸이 밑으로 하여 골반부위와 밀착하여 고정되었고 휠체어의 좌석폭은 2차실험용 휠체어가 400mm, 3,4차 실험용 휠체어가 420mm였다. 2~4차 실험결과는 충돌후 랩벨트의 좌측 고정부위의 연결 리벳이 파손되어 탑승자가 이탈하는 결과가 나타났다.

5차 실험에서는 4차실험과 동일한 조건에서 머리지지대가 보완되었으며 휠체어와 탑승자의 거동에 이상이 없었다.

6차 실험에서는 머리지지대를 제외한 4차실험과 동일한 조건에서 실험되었는데 등받이 부분의 재봉선 파단으로 인하여 반동시 탑승자의 거동이 과도한 결과를 나타냈다.

실험 데이터는 Table 2에 나타내었다.

Table 2 The results of sled impact test

평가항목		시험번호					
		Test #1	Test #2	Test #3	Test #4	Test #5	Test #6
HIC (Head Injury Criteria)		466.5	105.8	192	128.5	427.5	574
CHEST g's[g]		46.8	45.6	47.3	44.5	48.4	47.1
Neck Injury	Fshear[N]	1,326.9	693.7	784.7	712	1,404 (822 for 45msec)	1,728 (820 for 45msec)
	Ftens[N]	2,040	1,805	1,931	1,858	2,003 (914 for 45msec)	1,838 (1279 for 45msec)
	Fcomp.[N]	0	457	505	490	323 (179 for 30msec)	3,059 (836 for 30msec)
	Mflex[Nm]	90.4	64.2	87.1	81.4	67.3	94.1
Sled Accel.	ACC max.[g]	22.3	23.2	23.7	23.5	23.8	23.7
	20g 지속시간[msec]	21	25	26	28	29	28
	15g 지속시간[msec]	41	43	44	46	47	45
Sled Vel.[km/h]		46.8	47	46.1	47.9	46.8	46.2
머리이동량[mm] (초기위치로부터)		-	-	-	-	311	326
무릎이동량 (초기위치로부터)		-	-	-	-	240	270
휠체어이동량 (초기위치로부터)		-	-	-	-	72	70
(EXCwc/EXCknee)		-	-	-	-	0.30	0.26

##### 4.2 MC 와 CIC 측정결과

머리, 무릎, 휠체어 이동량은 5,6차 실험에서 측정되었으며 각기 머리이동량 평균값 318mm(표준편차±10.61), 무릎이동량 평균값 255mm(표준편차±21.22), 휠체어이동량 평균값 71mm(표준편차±1.41)이었으며 휠체어와 무릎이동량의 비는 평균값 0.28(표준편차±0.03)으로써 모두 허용치 보다 낮은 결과를 나타내었다.

위의 결과값을 이용하여 MC를 계산한 결과 평균 0.52에 표준편차±0.1이었다. 즉 휠체어와 탑승자의 거동에 따른 최대 위험도를 100%로 봤을 때 본 실험에서 나타난 상대적인 위험도는 52% 였다(Fig. 3)

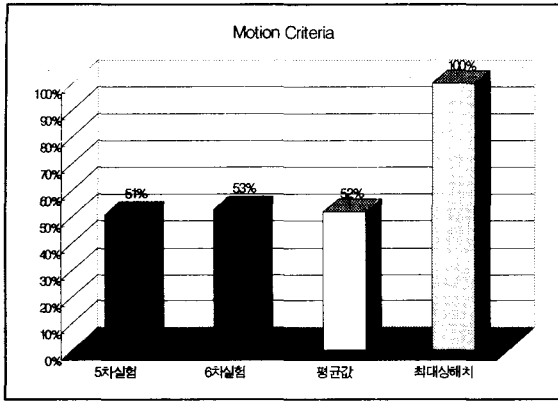


Fig. 3 The results of wheelchair occupant motion criteria(MC)

탑승자의 머리, 목, 가슴부위의 상해정도를 나타내는 CIC 지수는 최대 상해치 100%를 기준으로 하여 최대 66%, 최소 55%, 평균 60.5% 상해 확률을 가지고 있는 것으로 나타났다(Fig. 4).

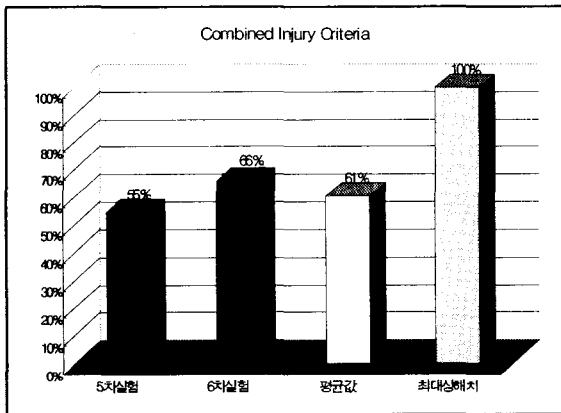


Fig. 4 The results of combined injury criteria for occupant

### 4.3 측방 충돌 분석 결과

1·2 차 실험에서는 강도를 보강한 경량 휠체어에서 측방 충돌 시 탑승자의 구속방법을 다르게 하여 데이터를 얻었다. 육안으로 실험 결과를 보았을 때, 1차와 2차 실험에서 탑승자가 상대적으로 안전한 것으로 보인다. 실제로 HPC 수치도 나머지 실험 결과보다 낮게 측정되었다. 탑승자의 구속방법의

차이로 보았을 때, 일반적인 3점식 구속방법보다 2차 실험시 사용된 4점식 구속법이 측방 충돌에 대하여는 2배 이상 안전한 것으로 측정되었다. HPC 값과 Max accel 값이 1차 실험에 비하여 낮게 나타났다. 이동지수와 상해지수 또한 연결고리가 파손되었던 3차 실험을 제외하면 제일 낮은 결과를 보였다.

이것은 3점식 고정방식의 문제점인 상체의 측방 쏠림을 4점식 평행선형 구속방법을 이용함으로써 상부 벨트가 충돌 순간 상체에 작용되는 관성의 상당부분을 막아주었기 때문이라 생각된다. 휠체어의 각도변형이 1차 실험보다 11°더 생긴 것 또한 더미에 작용되는 관성을 휠체어가 흡수하는 과정에서 생긴 것이라 볼 수 있다. 따라서 휠체어의 기계적인 강도를 보강해 준다면 측방 충돌에 대하여는 3점식 구속방법 보다 4점식 구속방법이 더 안전하다 할 수 있겠다.

3·4차 실험은 국산 전동휠체어에서 실시되었다. 3차 실험은 3점식 고정방법으로 실시되었는데, 데이터 상으로 나타난 결과는 3차 실험의 HPC 값이 다른 실험에 비하여 적게 나왔지만, 이것은 충돌 순간 휠체어와 차량을 연결해주는 고리 중 한 개가 파손되면서 휠체어와 더미에 작용되어야 할 관성의 많은 부분이 손실되었기 때문에 정확한 실험값이 측정되지 않았다. 파손된 휠체어를 보더라도 4차보다 3차 실험 후의 휠체어의 변형정도 및 파손정도가 훨씬 적은 것으로 보아 휠체어 및 더미에 작용되어야 할 힘이 부족했다는 것을 알 수 있다. 4차 실험 결과는 휠체어의 파손으로 인하여 휠체어 자체가 충돌지점을 향한 쏠림이 과도하였으며 이로 인하여 HPC나 Max Accel 값이 모든 실험 중 가장 크게 측정이 되었다. 다른 실험과 달리 4차 실험의 경우에는 두부와 경부의 상해치가 높게 측정이 되었기 때문에 상대적인 위험도가 다른 실험결과에 비하여 크다 하겠다.

5·6차 실험은 다른 전동휠체어(재활공학센터 제품)에서 실시되었다. 5·6차 실험은 충돌과정에서 휠체어의 파손으로 인한 더미의 이동이 이전 실험들에 비하여 과도하였으며 이동지수 또한 높게 측정되었다. 특히 충돌후 더미의 목의 순간적인 각도변형이 심하였다.(90°이상) 실험시 고정방법은 평행선형과 X자형의 방법으로 실시하였는데 두 경우 모두 휠체어의 변형으로 인하여 더미가 입을 손상이 크게 측정되었다. 경량 휠체어에 비하여 고중량고

가의 전동휠체어 임에도 불구하고 변형 및 파손의 정도가 큰 것으로 보아 휠체어 설계시의 기계적 강도보강이 필요하다는 것을 알 수 있다.

1~6차까지의 측정결과 값들을 Table 3에 나타내었으며 고속촬영을 분석해서 얻은 값들을 Table 4에 나타내었다.

Table 3 Measured result data in the sled test

항목 차수	accel (g)	vel (km/h)	HPC ≤1000	Max accel (g)	abdomi- nal force (KN)	pubic force (KN)	sholder belt tension (N)
1차	13.17	29.13	871.65	120.9	0.050	1.81	5,215
2차	13.79	29.98	339.08	67.1	0.059	2.14	-
3차	12.64	28.12	623.33	109.1	0.050	0.58	3,692
4차	12.69	27.79	1026.86	151.0	0.049	1.09	468
5차	12.79	27.56	762.71	125.4	0.063	0.73	2,648
6차	12.84	27.82	750.20	124.6	0.050	0.43	1,970

Table 4 Measured angle data in the image process

항목 차수	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$\theta_{max}$	$F_1$	$F_2$	$F_3$
1차	26°	41°	3°	39°	30°	95	111	184
2차	27°	35°	14°	60°	42°	112	128	146
3차	35°	21°	0°	27°	44°	116	124	217
4차	52°	52°	37°	-42°	89°	119	129	243
5차	48°	54°	17°	-50°	93°	150	163	245
6차	48°	40°	40°	-56°	90°	160	172	247

#### 4.4 MC 와 HNIC 측정결과

Table 3과 Table 4에서 얻은 실험 결과 값들을 식 (3)(4)에 대입하여 얻은 결과를 상대절대값 100을 기준으로 나타내면 이동지수 MC는 총 6회의 실험 중 최대값 80.3, 최소값 32.3, 평균값 60.3 이었고 (Fig. 5), 상해지수 HNIC는 최대값 118.4, 최소값 14.5 평균값 59.7이었고 그림으로 나타내면 다음과 같다(Fig. 6)

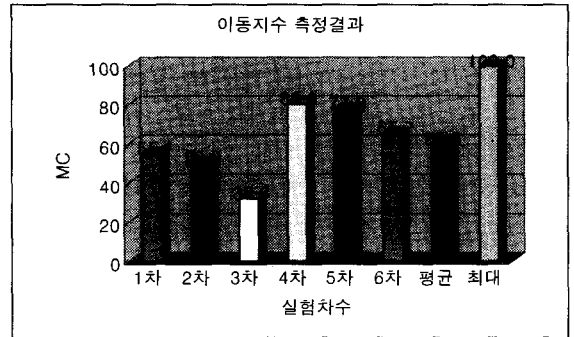


Fig. 5 The result of the calculated MC(Motion Criteria)

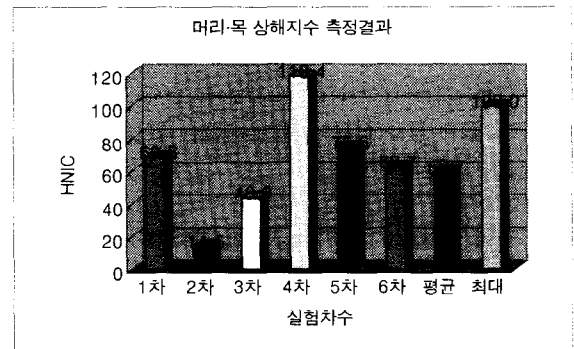


Fig. 6 The result of the calculated HNIC(Head and Neck Injury Creteria)

### 5. 고찰

#### 5.1 전방충돌 시 휠체어의 위험도에 관한 고찰

전방 충돌실험을 통하여 알아본 위험요소와 그에 따른 휠체어 및 휠체어 고정구의 설계시 고려사항은 다음과 같다.

첫째, 현재 휠체어 탑승용 차량의 안전벨트의 고정구 위치는 50th-percentile 성인남성을 기준으로 하여 설정되었는데 이렇게 설정된 고정구 상태를 체형이 다른 사용자에게는 골격부위 외의 다른 신체부위와의 접촉하여 힘이 전달된다면 안전벨트의 효과가 없거나, 위험할 수 있다. 휠체어와 탑승자의 고정에 있어서 불완전한 고정이나 잘못된 고정구 설정으로 인하여 위험을 초래할 수 있으므로 다양한 크기의 휠체어와 휠체어 탑승자의 체형에 대하여 최적의 보호작용을 할 수 있는 탑승자 고정

장치의 개발이 시급하다.

둘째, 랩벨트의 각도와 위치를 어떻게 설정하느냐에 따라 탑승자의 안전에 중대한 영향을 미친다. 느슨한 벨트와 랩벨트 각도, 좌석의 설계와 랩벨트와 탑승자의 위치에 있어서 상관관계는 전방충돌시 탑승자의 이탈이나 벨트에 의한 상해를 초래할 수 있다. 벨트가 골반이 아닌 복부의 연조직 부위에 위치한다면 복부의 내부손상을 초래할 수 있다.

게다가 휠체어의 몇몇 구성요소들은 안전벨트 체결경로와 간섭을 일으킬 수 있기 때문에 적절한 랩 벨트의 고정이 중요하다. 대표적인 휠체어 구성품으로써 팔걸이와 차페막 등이 있는데 이 구성품들은 종종 랩벨트와 차량 바닥부의 앵커와의 결합을 방해 할 수도 있다. 이러한 구조상 문제점으로 인하여 종종 랩벨트의 결합시 팔걸이 위로하여 탑승자를 구속시키기도 하는데 과도한 벨트의 유격과 탑승자에 대한 부적절한 위치로 인하여 충돌시 팔걸이가 탑승자에게 침범할 수 있기 때문에 매우 위험한 결과를 초래할 수 있다.

## 5.2 측방 충돌시 휠체어의 위험도에 관한 고찰

본 실험에서는 측방 충돌시 휠체어의 탑승자의 구속조건과 휠체어 자체의 강도 또한 휠체어 탑승자에게 심각한 위험요소를 제공할 가능성이 크다는 것이 밝혀졌다. 이러한 위험요인들이 탑승자의 안전에 영향을 미치는 결정적인 요소로서 탑승자의 안전에 관한 기준 수립이 중요하다.

전방 충돌의 경우에는 휠체어의 변형이 상대적으로 미미한 반면에 측방 충돌의 경우에는 등받이의 구조가 심하게 변형되었다. 휠체어 설계시 등받이 부분의 기계적 강도를 높이는 구조에 대한 최적화 설계 작업이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

또한 측방 충돌시 탑승자의 신체부위에 있어서 가장 위험한 부분인 두부와 경부의 1차 적인 충격 완화를 유도하여 경부의 순간적인 각도변화를 줄이기 위한 휠체어의 머리받침 부분의 설계 및 개발 또한 필요하다.

휠체어의 설계 이외에도 탑승자의 안전을 위하여 꼭 고려해야 하는 사항에는 차량 측면의 에어백 장착이 필수적임을 알 수 있다. 승용차의 경우에는 측방 충돌시 에어백에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나<sup>8,9</sup> 휠체어 탑승 차량의 측방 에어백에 관한 연구는 매우 미미하여 더욱 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## 6. 결론

경량휠체어를 사용하는 차량탑승 장애인의 전방 및 측방 충돌에 대하여 위험도 분석을 통한 안전성 평가를 하는 과정에서 동작기준과 상해기준을 이용하여 위험도 발생확률을 정량적으로 나타내었다.

전방 충돌 실험에서는 휠체어의 안전성 평가에 있어서 동작기준지수(MC)와 복합상해기준지수(CIC)에 의한 위험도 발생확률을 기준으로 개별적인 상해 기준이 초과하지 않는 한, 낮은 CIC와 MC 지수 값들이 바람직하며, 상해위험을 줄여간다는 것을 나타낸다.

측방 충돌 실험에서는 실험과정 중 얻은 데이터와 실험장면을 고속 촬영한 영상을 재구성한 데이터를 이용하여 동작기준지수(MC)와 머리-목 상해지수(HNIC)를 제안, 측방충돌시 휠체어 탑승자의 안전성평가를 위한 위험도 분석방법을 도출하였다. 휠체어 탑승자의 위험도나 안전성이 탑승자의 이동지수와 목-머리 상해지수와 관계가 있다고 가정하여 각 실험 과정에 대한 이동지수와 상해지수를 도출한 결과 탑승자의 이동지수와 상해지수가 비례하는 경향을 보였으며, 측방 충돌시 탑승자가 가해지는 위험 요소를 평가 할 수 있는 방향을 제시하였다.

## 7. 앞으로의 과제

국내에서 휠체어의 안전성평가를 위한 연구가 극히 미미하여 위험도 지수의 값들이 어느 정도의 값을 가질 때 탑승자가 안전한지에 대한 최적 추정치를 얻기가 어려웠다. 따라서 향후 지속적인 연구를 통하여 안전성 평가를 위한 평가 기준치를 제안하는 것이 남은 과제이다. 또한 휠체어 및 탑승자의 다양한 고정방법의 비교를 통하여 최적화 고정방법을 얻어야 하겠으며 휠체어의 기계적인 강도나 안전성을 보강할 수 있는 설계방법의 개발에 관한 연구 및 차량에 탑재된 휠체어 탑승자를 위한 전방 및 측방 에어백에 관한 연구 또한 남겨진 과제라 하겠다.



## 후 기

본 연구는 재활공학연구소의 충돌 실험 결과를 이용하였으며, 산업자원부 표준기술개발사업의 지원에 의해 수행되었음.

## 참고문헌

1. 통계청, “장애유형별 장애인수 및 장애인 출현율,” 통계청, <http://www.nso.go.kr/>, 2000.
2. Lestina, D. C., Gloyns, P.F., Rattenbury, S. K., "Fatally Injured Occupants in Side Impact Crashes," Insurance Institute for Automotive Safety, November 1990.
3. "Database Analysis of Injured Occupants," Private communications with BMW Safety Personal.
4. SAE, SAE J2249 "wheelchair tiedowns and occupant restraints(WTORS) for use in motor vehicles," Society of Automotive Engineers(SAE), 1996.
5. NHTSA-GM, "General Motors submission USG 2284," App. E. NHTSA Docket 74-14 Notice 32, NHTSA-GM, 1983.
6. DOT, FMVSS "crash protection systems," Department of Transportation(DOT), 49CFR Part 571.208, Department of Transportation, 1993.
7. Baudrit, Pascal., Domont, Alain., Trosseille, Xavier., Tarriere, Claude.; "Influence of Test Conditions on Protection Criteria in Side Impact," SAE Paper No. 962420:1813-1818, 1996.
8. Kompaß, K., Dlgges, K.; "Benefis of inflatable tubular struture," 16th ESV Conf, No.98-S8-O-14.
9. Öhlund, A., Palmertz, C., Korner, J. ; The Inflatable curtain(IC), "A new head protection system in side impacts," 16th ESV Conf, No.98-S8-W-29.