

경량 휠체어 탑승자의 차량 전방충돌시 안전성 평가

김성민¹ · 김성재¹ · 강태건²

건국대학교 의과대학 의학공학부¹, 한국보건산업진흥원²

(2001년 11월 11일 접수, 2003년 2월 28일 채택)

A Safety Assessment on Light Weight Wheelchair Occupant in Frontal Crash

S.M. Kim¹, S.J. Kim¹, T.G. Kang²

School of Biomedical Engineering College of Medicine Konkuk University¹,

Korea Health Industry Development Institute²

(Received November 11, 2001. Accepted February 28, 2003)

요약: 본 연구에서는 경량휠체어 탑승자의 차량 전방충돌시 안전성 평가를 위하여 동적 슬래드 충격실험을 하였다. 실험은 총 6회 시행하였으며 충격속도는 20g/48 +2km/h 였고, Hybrid III 50%ile 성인남자 인체모형을 사용하여 두부손상기준(Head Injury Criteria), 목의 굴진모멘트, 축 인장력, 전단력, 흉부 가속도, 두부, 휠체어, 무릎의 전방 슬림량을 측정하였으며, 미국자동차학회 규격인 SAE J2249에서 제안한 동작기준(Motion Criteria)과 미국 제너럴모터스사의 자체기준(GM-IARV)인 복합상해기준(Combined Injury Criteria)을 이용하여 안전성평가를 하였다. 실험결과는 경량 휠체어 탑승자의 전방 충돌 시 최대 상해치를 100%로 봤을 때 휠체어와 탑승자 거동의 위험도지수 MC는 52%, 탑승자의 상체 위험도지수 CIC는 60.1% 였다

Abstract: In this study, for a safety assessment of light weight wheelchair occupant in frontal crash, we tested a dynamic sled impact test. we carried out total 6 times test and impact speed was 20g/48 km/h. By using Hybrid III 50%ile male dummy, head injury criteria(HIC), neck flexion moment, neck axial tension force, neck shear force, chest acceleration, head, wheelchair and knee excursion were measured. we evaluated light weight wheelchair occupant safety by motion criteria(MC) which proposed in SAE J2249 and combined injury criteria(CIC) which is a voluntary standard(GM-IARV) of General Motors Co.. when we assumed that the maximum injury value in frontal crash was 100%, the result of motion criteria(MC) of wheelchair occupant was 52%, occupant upper body injury index(CIC) was 60.1%.

Key words: Wheelchair, Frontal crash, Safety assessment, Risk analysis

서 론

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 입는 후 천성 장애인으로 밝혀졌다[8].

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

휠체어에서 차량용 좌석으로 이동할 수 없는 휠체어 사용자를 위하여, 휠체어는 차량 탑승 시 좌석의 역할을 해야 한다. 그러나 대부분의 휠체어가 차량좌석용으로 설계되지 않았기 때문에, 휠체어를 사용하는 탑승자는 자동차용 좌석과 같은 수준의 안전을 제공받을 수 없다.

차량용 좌석과 안전벨트는 충돌에 대한 탑승자의 응답을 예

통신저자: 김성민, (380-701) 충북 충주시 단월동 322
건국대학교 의과대학 의학공학부

Tel. (043)840-3761, Fax. (043)851-0620

E-mail. smkim@kku.ac.kr

상하고 보호하기 위하여 설계되었으나, 휠체어 사용 탑승자를 위한 안전장치는 별도 구매(after-market) 장비로써, 휠체어와 탑승자의 다양한 조건과 별개로 설계되었으며, 휠체어 탑승자를 위해 별도로 설치하여야 한다. 많은 사례에 있어서, 이러한 환경적 결과가 충돌에 대한 보호 효과가 없거나 안전벨트가 유발하는 상해 [4, 5]를 초래하곤 한다.

몇몇 외국의 자동차회사들은 휠체어를 차량용 좌석대용으로 사용할 수 있도록 휠체어 고정장치와 탑승자 안전벨트 시스템에 대하여 자체 표준을 개발하였고, 미표준협회/북미제철공학회는 휠체어의 차량좌석사용에 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 포함하고있다. 현재 휠체어 탑승자의 골반을 고정시키는 벨트는 차량바닥 또는 휠체어 후방에 고정하도록 되어있으며, 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 제안한다.

현재의 표준에서 채택하고있는 휠체어의 차량용 탑승자 고정장치에는 몇몇 문제점이 있는데, 차량에 부착되는 고정 장치부의 위치(특히 상부 고정장치)선정에 차량구조상 한계를 보이고 있으며, 창문의 위치, 좌석의 위치, 혹은 차량의 구조적 차이로 인하여 휠체어의 고정 장치부의 최적의 위치선정이 어려울 때가 있다. 또한 각기 다른 휠체어 좌석 높이와 탑승자의 체형에도 불구하고 동일한 높이의 어깨벨트 고정장치를 사용함으로써 발생하는 위험요소가 있다.

차량장착 고정장치는 휠체어 구조상 탑승자를 안전하게 보호할 수 없다. 팔걸이, 차폐막이나 다른 휠체어 구성품들은 효과적인 탑승자 보호에 필요한 벨트의 각도와 위치 선정을 방

해하는 요소가 될 수도 있으며 이로 인한 부적절한 랩 벨트의 고정은 전방충돌 시 탑승자의 장파열이나 요추손상을 초래할 수 있다.

마찬가지로, 부적절한 위치의 어깨벨트는 전방충돌 후 차체 표면에 2차 충돌을 일으키거나 흉부강 조직의 내부손상을 일으킬 수 있는 과도한 두부의 전방 쓸림(excursion)현상을 유발시킨다. 그리고 안전과 편안한 탑승을 더불어 현재의 휠체어탑승자의 차량탑승에 따른 고정에 있어서는 보호자의 도움이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 차량에 탑승하는 휠체어 탑승자의 전방충돌 시 안전성을 평가하는 기준을 제공하기 위하여 본 연구는 전방 충격실험과 휠체어와 탑승자의 위험을 평가할 수 있는 동작분석지수를 이용하여 안전성을 평가하였다.

연구 방법

(1) 휠체어 차량 탑승시 위험도 분석 방법

차량 충돌시 휠체어 탑승자의 안전성평가를 위한 다양한 방법들이 있는데 본 연구에서는 전방충돌 시 휠체어 탑승자에 대한 운동학적 응답과 생체역학적 하중을 에 대하여 위험도를 평가하였다.

표 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[7]을, 목부위에 가해지는 굴전 모멘트, 축인장력, 압축력 전단력은 미국 제너럴 모터스 사의 자체 규격인 상해 평가 기준값(GM-IARV)[6]을, 전방충돌시 인체 및 휠체어의 전방쓸림량은 SAEJ2249[3]에서 규정한 생체역학적 한계기준을 근거로 위험도 분석을 한다.

휠체어탑승자의 전방 충돌시 머리, 휠체어, 무릎의 전망 이 동량에 의한 차량내부와의 2차 충돌에 대한 위험도를 정량화

표 1. 인체 및 휠체어 상해기준 및 허용값

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(Mflex)	190 Nm	GM-IARV
	축인장력(Ftens)	1100 N (45msec)	
	압축력(Fcomp)	1100 N (30msec)	
	전단력(Fshear)	1100 N (45msec) 1500 N (25msec) 3100 N (0msec)	
흉부 가속도(a)		60 g	FMVSS
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	

시킴을 위하여 SAE J2249에서 제안한 동작기준지수(Motion Criteria)를 적용하였는데 그 식은 다음과 같다.

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

각 변수들은 표1에서 설명하였으며 하첨자 lim은 표1의 허용치 값이다.

복합상해기준지수(CIC)는 FMVSS나 제너럴모터스사에서 두부, 목, 흉부의 측정값을 허용치와 비교하여 생체역학적 허용 수준을 판단하기 위하여 제안한 위험도 측정 방식으로써 두부, 목, 흉부의 위험도 가중치를 각각 두부 58%, 목 14%, 흉부 29%로 주었다. CIC 지수는 다음과 같다.

$$CIC = 0.57 \left[\frac{HIC}{HIC_t} \right]_{head} + \frac{0.14}{4} \left[\frac{F_{axial}}{F_{axial-t}} + \frac{F_{comp}}{F_{comp-t}} + \frac{F_{shear}}{F_{shear-t}} + \frac{M_{flex}}{F_{flex-t}} \right]_{\neq ck} + 0.29 \left[\frac{a}{a_t} \right]_{chest} \quad (2)$$

여기서 하첨자 t 의 값은 표1에 나타난 허용치이며 Faxial, Fcomp, Fshear는 복에 가해지는 축인장력, 압축력, 전단력을 나타내며, Mflex는 굴절모멘트, a는 흉부가속도를 HIC는 두부 손상기준을 나타내고 있다.

(2) 휠체어 탑승자의 전방충돌실험

차량내의 휠체어탑승자의 전방충돌 시 위험도를 분석하기 위하여 Sled 충돌실험을 하였다. 실험에는 50th percentile 성인 hybrid III 인체테미가 재확공학연구소에서 개발한 경량휠체어에 탑승하였으며 휠체어 고정은 4점식 고정방법을 사용하였다(사진 1, 그림 1, 표 2 참조). 탑승자의 고정은 휠체어 후방을 고정시킨 고정벨트에 램벨트를 고정시켰으며 팔걸이 밑으로 하여 다리를 구속하였고 어깨벨트의 차량부 고정점은 SAE J2249의 최저 권장높이에(표 3 참조) 차량부 고정점을 두었고 좌측 램벨트 부위에 연결부가 있는 어깨벨트를 사용하였다.

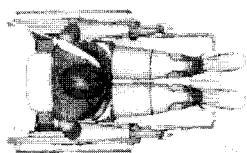
슬레드 충격 실험은 총 6회 시행하였으며 충격파는 6 Sine 반파로 속도는 48 ± 2 km/h 였고, 가속도는 20g(15msec이상), 15g(40msec이상), 지속시간은 75msec 이상이었다.

실험을 통하여 CIC와 MC지수를 계산하기 위한 휠체어와 탑승자에 대한 전방쏠림 이동치, HIC값, 두부가속도, 복에 걸리는 힘과, 모멘트와 흉부가속도 등이 측정되었다.

실험 결과

총 6회의 슬레드 충격 실험이 이루어졌으며 첫 번째 실험에서는 램벨트의 고정방식을 휠체어 팔걸이 위쪽으로 하여 고정하였으며 휠체어의 좌석폭은 400mm 였는데 램벨트와 탑승자 사이의 유격으로 인하여 충돌후 2차반동에 의한 탑승자의 거

RL Securement



FL Securement

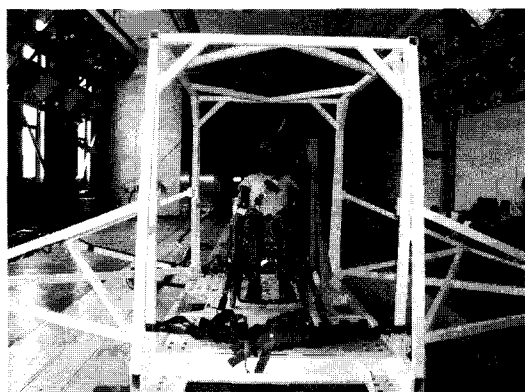
RR Securement

FR Securement

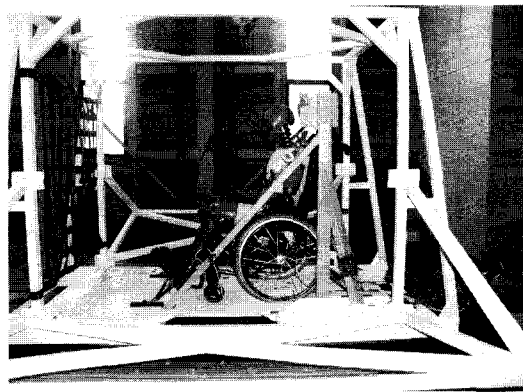
Pelvic Anchor (Lower)

그림 1. 휠체어 고정위치

Fig. 1. wheelchair securement points



(a) 정면



(b) 측면

사진 1. 휠체어 동적 슬레드 테스트 설정

Pic. 1. Configuration of wheelchair dynamic sled test

표 2. 휠체어 고정점 위치

Table 2. wheelchair securement point

Reference	Position	X	Y	Z
Right Wheel Center	FR Securement	751.255	-62	-306.708
	RR Securement	-543.745	29.5	-306.708
	Pelvic Anchor	-436.948	27.126	-306.708
Left Wheel Center	FL Securement	751.255	62	-306.708
	RL Securement	-543.745	-29.5	-306.708
	Shoulder Anchor(upper)	-336.948	30.874	889.406
	Pelvic Anchor(Lower)	-436.948	-27.126	-306.708

표 3. 어깨벨트의 차량고정점 높이

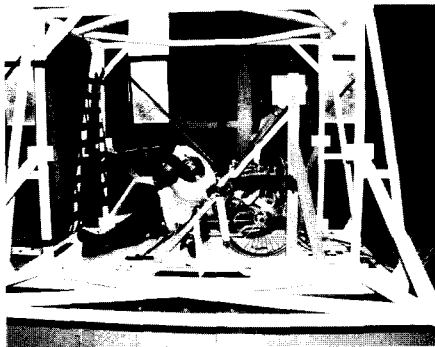
Table 3. Upper shoulder belt anchorage configuration height

어깨벨트 차량부 고정점 높이(cm)	비고
91.44	실제 차량 장착 높이(차창 하단)
119.5	SAE J2249 최저 권장 높이
160	SAE J2249 최고 권장 높이
170	실제 차량 장착 높이(차창 상단)

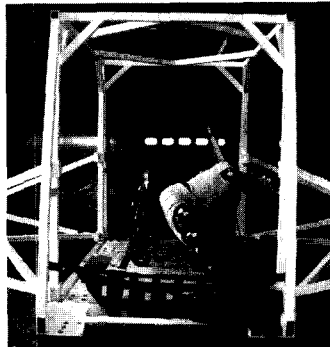
등이 과도하였다.

2차 3차 4차 테스트에서는 램벨트를 팔걸이 밑으로 하여 골반부위와 밀착하여 고정하였고 휠체어의 좌석폭은 2차실험용 휠체어가 400mm, 3,4차 실험용 휠체어가 420mm였다. 2~4차 실험결과는 충돌후 램벨트의 좌측 고정부위의 연결 리벳이 파손되어 탑승자가 이탈하는 결과를 나타내었다(사진 2).

5차실험에서는 4차실험과 동일한 조건에서 머리지지대를 보완하여 실험하였으며 휠체어와 탑승자의 거동에 이상이 없었



(a) 2차실험결과



(b) 3차실험결과



(c) 4차실험결과

사진 2. 동적 슬레드 실험결과 (2, 3, 4차 실험)

Pic 2. dynamic sled test results(2th, 3rd, 4th test results)



(a) 5차실험



(b) 6차실험

사진 3. 동적 슬레드 실험결과 (5, 6차 실험)

Pic 3. dynamic sled test results(5th, 6th test results)

다.

6차 실험에서는 머리지지대를 제외한 4차실험과 동일한 조건에서 실험하였는데 등받이 부분의 재봉선 파단으로 인하여 반동시 탑승자의 거동이 과도한 결과를 나타냈다.(사진 3)

실험결과는 표 4에 나타내었다.

(1) MC 지수

머리, 무릎, 휠체어 이동량은 5,6차 실험에서 측정되었으며 각기 머liy동량 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.

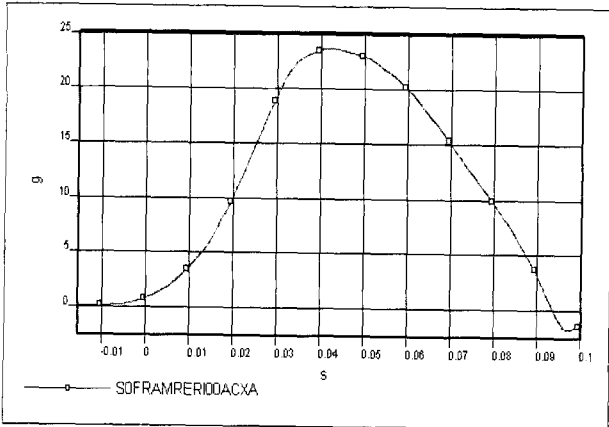


그림 2. 슬레드 테스트 충격 펄스
Fig. 2. Sled Test impact pulse

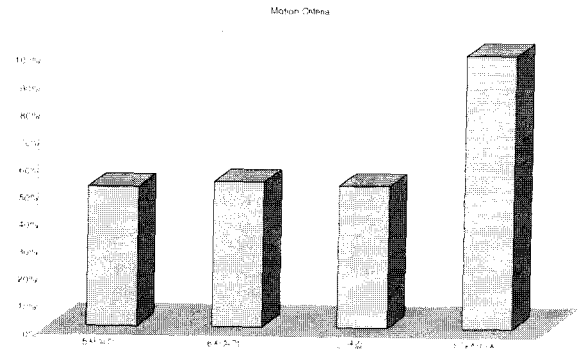


그림 3. 휠체어/탑승자 거동기준(MC) 결과
Fig. 3. The results of wheelchair/occupant motion criteria (MC)

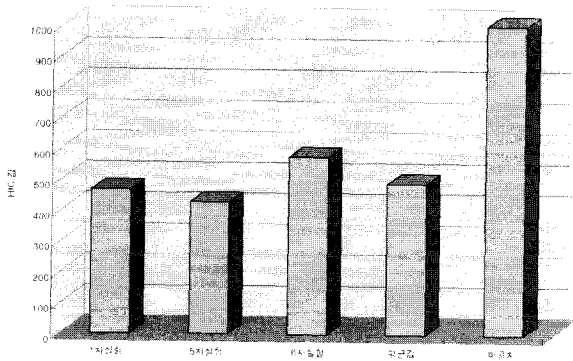


그림 4. 두부상해기준(HIC) 실험결과
Fig. 4. The test results of head injury criteria(HIC)

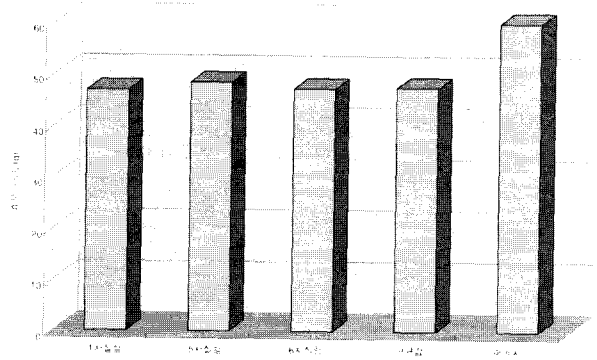


그림 5. 흉부 가속도(a) 실험결과
Fig. 5. The test results of chest acceleration

위의 결과값을 이용하여 MC 지수를 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(그림 3).

(2) CIC 지수

가. 두부 상해 기준 HIC

두부 상해기준치 인 HIC는 허용치가 1000으로써 실험에서 나온 결과값은 랩벨트가 파손된 2~4차 실험값을 제외한 나머지 실험의 평균값은 489.33에 표준편차는 +75.87였으며 실험 결과치 모두 허용치보다 낮은 수치를 보인다(그림 4).

나. 흉부 가속도

흉부가속도는 a는 FMVSS 허용치가 60 g 로써 실험에서 나온 결과값은 랩벨트가 파손된 2~4차 실험값을 제외한 나머지 실험의 평균값은 47.43 g에 표준편차는 +0.85였으며 실험 결과치 모두 허용치보다 낮은 수치를 보인다(그림 5).

목의 축인장력 Ftens 는 GM에서 제안한 허용치는 충돌발생후 45msec까지 1100N 이며 실험에서는 5차, 6차 실험에서

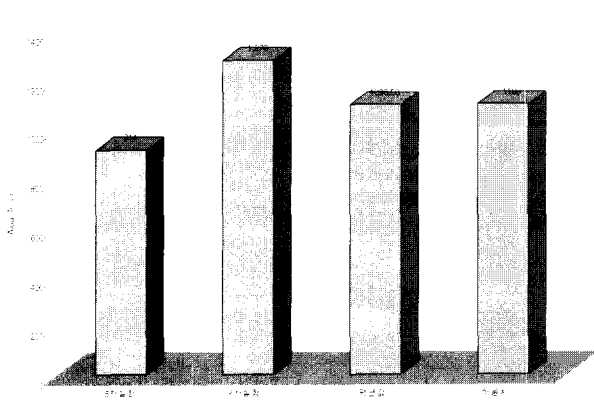
각각 914N, 1,279N 이었으며 평균1,096N 으로 허용치를 초과하지는 않았으나, 6차 실험값의 수치가 허용치를 넘는 것은 충돌 후 등받이부분의 제봉선 파단으로 인한 반동 시 탑승자의 과도한 거동으로 나타나 실제 상황에선 등받이 부분의 파손은 탑승자의 목에 심각한 상해를 입힐 수 있는 위험요소를 가지고 있음을 알 수 있었다.

목의 전단력 Fshear 는 허용치는 충돌발생 후 45msec까지 1100N 이며 실험에서는 5차, 6차 실험에서 각각 822N, 820N 이었으며 평균 821N 으로 허용치를 초과하지는 않았다.

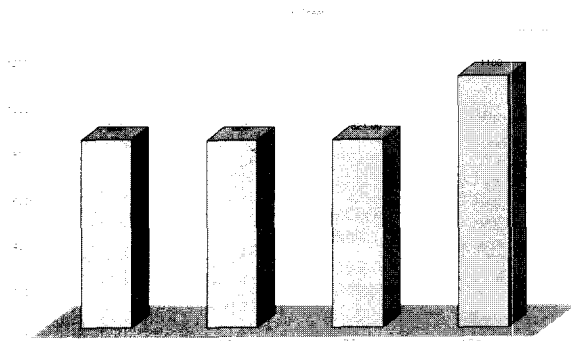
목의 압축력 Fcomp 는 허용치는 충돌발생 후 30msec까지 1100N 이며 실험에서는 5차, 6차 실험에서 각각 179N, 836N 이었으며 평균 507N으로 허용치를 초과하지는 않았으나 두 실험결과에 따라 큰 차이를 보여준다.

목의 굴절 모멘트는 1,5,6차 실험의 평균값은 83.93 Nm 였으며 허용치 190N으로 실험결과 모두 허용치를 초과하지는 않았다(그림 6).

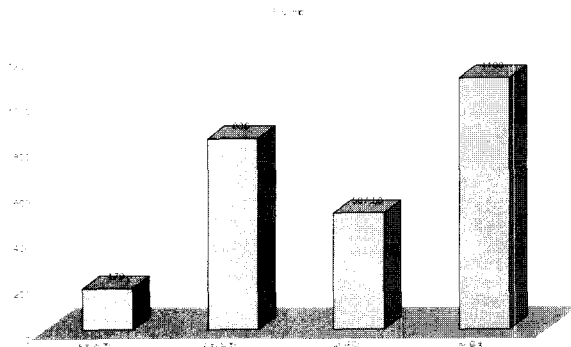
위의 실험결과를 이용하여 CIC 지수를 구할 수 있는데 탑승자의 머리, 목, 가슴부위의 상해정도를 나타내는 CIC 지수는 최대 상해치 100%를 기준으로 하여 최대 66%, 최소 55%, 평



(a) 축인장력(Ftens)



(b) 전단력(Fshear)



(c) 압축력(Fcomp)

그림 6. 목의 생체역학적 실험결과

Fig. 6. The biomechanical test results of neck

은 60.5% 상해 확률을 가지고 있는 것으로 나타났다(그림 7).

고 찰

휠체어 충격실험을 통하여 알아본 위험요소와 그에 따른 휠체어 및 휠체어 고정구의 설계시 고려사항은 다음과 같다
첫째, 현재 휠체어 탑승용 차량의 안전벨트의 고정구 위치

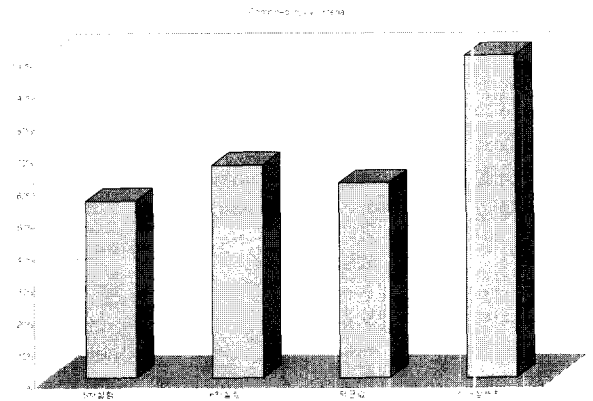


그림 7. 탑승자 복합 상해 기준(CIC) 결과

Fig. 7. The results of combined injury criteria for occupant

는 50th-percentile 성인남성을 기준으로 하여 설정되었는데 이렇게 설정된 고정구 상태를 체형이 다른 사용자에게는 골격 부위 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 고정장치의 개발이 시급하다.

두 번째 다양한 탑승자 크기를 위해 앵커 위치를 최적화 하려해도, 차량의 위치, 좌석, 부적당한 차방 구성요소로 인하여 많은 제약이 따른다.

세 번째 랩벨트의 각도와 위치를 어떻게 설정하느냐에 따라 탑승자의 안전에 중대한 영향을 미친다. 느슨한 벨트와 랩벨트 각도, 좌석의 설계와 랩벨트와 탑승자의 위치에 있어서 상관관계는 전방충돌 시 탑승자의 이탈이나 벨트에 의한 상해를 초래할 수 있다. 벨트가 골반이 아닌 복부의 연조직 부위에 위치한다면 복부의 내부손상을 초래할 수 있다. 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 충돌 시 팔걸이가 탑승자에게 침범할 수 있기 때문에 매우 위험한 결과를 초래할 수 있다. 통합적 구속장치를 사용할지라도, 랩벨트는 각기 휠체어탑승자에게 적합하도록 제작되어야 한다.

네 번째, 대부분의 휠체어 사용자는 차량 탑승 시 보호자에 의해서 차량에 탑승하며 차량에 고정되고 안전벨트가 매여진다. 휠체어와 탑승자의 차량 탑승시 차량에 고정하는 과정과 안전벨트를 매는 과정은 시간이 걸리므로 때로는 부주의하게 고정할 수 있는 가능성을 가지고 있으며 이에 따른 위험요소

를 내포하고 있다. 따라서 휠체어의 탑승시 보호자는 반드시 휠체어의 차량고정과 탑승자의 안전벨트 착용시 정확한 절차에 의해서 결합하여야 하며 고정구 자체도 결합이 쉬운 일체형 구조로 제작되어야 할 것이다.

결 론

경량휠체어를 사용하는 차량탑승 장애인의 전방충돌에 대한 안전성 평가를 동작기준(MC)과 복합상해기준(CIC)을 이용하여 위험도 발생확률을 정량적으로 나타내었다. 휠체어의 안전성 평가에 있어서 동작기준지수와 복합상해기준지수에 의한 위험도 발생확률을 기준으로 개별적인 상해 기준이 초과하지 않는 한, 낮은 CIC와 MC 지수 값들이 바람직하며, 상해위험을 줄여간다는 것을 나타낸다.

국내에서 휠체어의 안전성평가를 위한 연구가 극히 미미하여 위험도 지수의 값들이 얼마의 값을 가질 때 탑승자가 안전한지에 대한 최적 추정치를 얻기가 어려웠다. 따라서 향후 지속적인 연구를 통하여 안전성 평가를 위한 평가 기준치를 제안하는 것이 남은 과제이며, 또한 휠체어 및 탑승자의 다양한 고정방법의 비교를 통하여 최적화 고정방법을 얻어야 하겠다.

참 고 문 헌

1. G.E. Bertocci, J. Evans, "Injury risk assessment of wheelchair occupant restraint systems in a frontal crash: a case for integrated restraints", J Rehabil Res Dev, Vol. 37, No. 5, pp. 573-589, 2000
2. American National Standards Institute(ANSI)/Rehabilitation Engineering Society of North America (RESNA), ANSI/RESNA WC/Vol. 1 Section 19 WHEELCHAIRS-WHEELCHAIRS USED AS SEATS IN MOTOR VEHICLES, ANSI/RESNA, 1999
3. SAE, SAE J2249 wheelchair tiedowns and occupant restraints(WTORS) for use in motor vehicles., Society of Automotive Engineers(SAE), 1996
4. D. Adomeit, A. Heger, "Motion sequence criteria and design proposals for restraint devices in order to avoid unfavorable biomechanic conditions and submarining", SAE Paper, No. 751146, 1975
5. Y. Leung, C. Tarriere, D. Lestreililn, J. Hureau, C. Got, F. Guillon, et al., "Submarining injuries of 3 point belted occupants in frontal crashes", SAE Paper, No. 821158, 1982
6. NHTSA GM, General Motors submission USG 2284, App. E. NHTSA Docket 74-14 Notice 32, NHTSA GM, 1983
7. DOT, FMVSS crash protection systems, Department of Transportation(DOT), 49CFR Part 571.208, Department of Transportation, 1993
8. 통계청, "장애유형별 장애인수 및 장애인 출현율", 통계청, <http://www.nso.go.kr/>, 2000