

충돌모의(Sled) 시험에 의한 특별교통수단 휠체어 탑승자 상해에 관한 연구

김태용* · 심소정 · 김시우 · 강병도

교통안전공단 자동차안전연구원 첨단안전평가실

A Study on Wheelchair Occupant Injury in Wheelchair Accessible Vehicle by the Sled Test

Taeyong Kim* · Sojung Shim · Siwoo Kim · Byungdo Kang

Advanced Vehicle Safety Research Office, Korea Automobile Testing and Research Institute, 200 Samjon-ro, Hwaseong-si, Gyeonggi 18247, Korea

(Received 26 July 2016 / Revised 31 October 2016 / Accepted 19 December 2016)

Abstract : Accidents involving wheelchair accessible vehicles have been frequently occurring since the introduction of these vehicles in the Korean market. However, detailed regulations, which are required to ensure the safety of the wheelchair occupants, are unavailable. In this study, both domestic and international vehicle safety regulations are analyzed in order to select the regulations that are similar to the transportation environment of Korea. Sled tests with an actual wheelchair accessible vehicle were carried out based on the analyzed regulation requirements, as well as the values of the HIC, belt loads, dummy movements, and wheelchair movements. The test results showed that the movements of the dummy and the wheelchair did not meet the criteria of the regulation due to the improper positioning of the restraint systems.

Key words : Disabled occupant(장애인), Wheelchair vehicle(특별교통수단), Sled test(충돌모의시험), Hybrid III(인체모형), SWC(Surrogate WheelChair, 표준휠체어)

1. 서론

우리나라는 2005년 「교통약자 이동편의 증진법」(이하 “교통약자법”이라 한다.)을 제정하여, 교통약자를 위한 이동수단인 특별교통수단의 보급·확대를 위해 노력한 결과, 특별교통수단의 법정보유기준 대비 보급률이 2011년 31.3%에서 2015년 72%로 크게 확대되었다(경기지자체 기준). 하지만, 「교통약자법」이 시행되고 특별교통수단이 도입·확대된 이후 안전장치와 관련된 사고(Table 1)가 매년 지속적으로 발생하고 있다.

현재 「교통약자법」 시행규칙 제6조 제3항은 “특

Table 1 Wheelchair vehicle accident status (MOLIT '08.1~'14.4)

Date	Accident conditions
08.01.28	In right corner driving, Impact handrail and injury
08.08.07	In steep slip, Occupant injury
08.06.29	Restraint system incomplete
09.07.23	In steep slip, Moving rearward and occupant injury
11.02.14	In left corner driving, Impact side glass and injury
11.02.14	Unsuitable location of restraint devices
11.03.25	Restraint system incomplete, Occupant Injury
11.09.09	In steep slip, Occupant injury
11.09.14	In steep slip, Moving rearward and occupant injury
12.12.03	In sudden corner driving, Injury
13.10.05	In sudden stop in non-fasten seatbelt, Impact handrail and injury
13.10.17	In right corner driving, Leaning wheelchair and restoration
14.03.13	Restraint system incomplete
14.04.11	Sudden stop

*A part of this paper was presented at the KSAE 2016 Spring Conference

*Corresponding author, E-mail: tykim@ts2020.kr

별교통수단에는 교통약자가 휠체어를 탄 채 승차할 수 있는 휠체어 리프트 또는 휠체어 기증기 등의 승강설비, 휠체어 고정설비 및 손잡이를 설치하여야 한다.”고 규정하고 있으나, 그 세부기준에 대해서는 규정하고 있지 않다. 이러한 현실 때문에 세부기준 제정에 앞서 현황과약을 위한 연구를 수행하였다.

국내의 평가기준을 분석하고 관련된 평가기준을 선정하여 국내 특별교통수단 제작사인 오택社 차량의 시험평가(Sled Test)를 통해 휠체어 구속장치와 휠체어 탑승자 구속장치의 기준 만족여부를 확인하였다.

2. 특별교통수단 국내외 기준분석

2.1 국내 기준현황

정부는 2007년 “제1차 교통약자이동편의증진계획”을 수립하고, 운영방안을 시행하였다. 앞서 언급한 바와 같이 특별교통수단의 기능과 역할 그리고 특별교통수단이 갖추어야 하는 최소한의 장치들은 「교통약자법」에서 선언적 의미로 규정하고 있다.

따라서 장애인 등 교통약자의 이용자 편의성 뿐만 아니라 사고발생 시 이들의 충돌안전성 확보를 위한 최소한의 안전장치 설치 및 안전에 관한 기준을 규정하고 이를 따르도록 유도할 구체적인 규제책이 요구되고 있다.

2.2 국외 기준현황


2.2.1 유럽

유럽은 2000년대 초반에 유럽연합 내에서 규정하고 있는 기준(EU Regulation)의 국제기준화(UN Regulation) 하기 위한 활동을 UN/ECE WP.29 산하 일 반안전 전문가 그룹(GRSG)에서 시작하여, UN R.107에 이를 반영한 개정작업을 2004년부터 진행하였고, 2007년 11월 WP.29 총회의 승인을 받으며 개정을 완료하였다.³⁾ 기본적으로 유럽연합 내의 기준과 국제기준은 규정하는 내용이 크게 다르지 않으며, 다만 내용을 명확하게 하기 위해 구성이나 용어 등을 다르게 언급하거나 구체화하여 적용하였다.

1) UN Regulation

UN R107 Annex8에서 이동제약자*를 위한 여러

Table 2 UN Regulation 107 general

Classification	Requirements	
Wheelchair compartment	700 mm × 1300 mm Be slip-restraint The Maximum slop of floor 5 %	
Access	1400 mm × 900 mm	
Lift or Ramp	Be possible for a wheelchair user to move freely and easily from the outside of the vehicle	
Lift	800 mm × 1200 mm Carrying a mass of at least 300 kg	
Ramp	Edge: Be rounded no less than 2.5 mm Wide: At least 800 mm The slop of the ramp: Not exceed 12 % (On to a curb 150 mm height) Not exceed 36 % (To the ground) Carrying a mass of at least 300 kg Marked with a band of colour 45 ~ 55 mm at the outer edge	
Wheelchair restraint	Be applied	
Occupant restraint	2 points or 3 points	
Accessibility symbols	Pictogram for wheelchair users	

가지 안전장치에 대한 구조기준 및 안전기준을 규정하였고, 해당 규정에서는 구조기준으로 휠체어 공간, 휠체어 승강구, 리프트 혹은 램프의 규격, 휠체어 및 탑승객 구속장치 등에 관한 사항을 Table 2와 같이 규정하고 있다.

구조기준 외에 휠체어 탑승객의 안전성을 확보하기 위한 정적·동적강도에 관한 규정 등도 포함하고 있으며, 실제 운용상황과 유사한 동적·정적강도 조합된(Hybrid Test) 기준은 Table 3과 같다.

2) EC Directive

유럽연합 기준은 Directive 2001/85/EC에서 이동제약자를 위한 안전장치 구조 및 강도기준에 대해 규정하고 있는데, 국제기준보다 먼저 제정되었으며, 유럽연합 기준을 바탕으로 국제기준이 제정되었다.⁴⁾ 따라서, 국제기준에서 규정하고 있는 내용을 대부분 포함하고 있으며, 차이가 있는 내용은 Table 4와 같다.

* 이동 보조장치에 의하여 보행하는 교통약자로 휠체어 이용자, 유모차 이용자 등을 말함

Table 3 UN Regulation 107 Annex8 hybrid test

		Requirement
Wheel chair rest-reint	S t a t i c	- 1,110±20 daN applied in the longitudinal plane of the vehicle and towards the front of the vehicle at a height of 200~300 mm from floor - 500±20daN applied in the longitudinal plane of the vehicle and towards the front of the vehicle at a height of 200~300 mm from floor - Be maintained for a period of not less than 0.2 seconds
	D y n a m i c	- Forward facing wheelchair Wheelchair test trolley of mass 85 kg Speed 48~50 km/h, Deceleration-time pulse: Exceeding 20 g at 0.015 seconds, Exceeding 15 g at 0.04 Exceeding duration of 0.075 sec, Not exceeding 28 g at 0.08 sec - Rearward facing wheelchair Wheelchair test trolley of mass 85 kg Speed 48~50 km/h, Deceleration-time pulse: Exceeding 5 g at 0.015 seconds, Exceeding 8 g at 0.02 ※ Not apply if the same restraints are used for the forward and rearward direction - Result No part of the system shall have failed, or shall have become detached from its anchorage or from the vehicle during the test, Mechanisms to release the wheelchair and user shall be capable of release after completion of the test, the wheelchair shall not move more than 200 mm in the longitudinal plane of the vehicle during the test

2.2.2 미국

미국은 연방법과 산업계 및 연구소가 제시하는 기준으로 나뉘볼 수 있는데, 자동차연방법인 FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standard)의 스쿨버스 관련 기준(FMVSS 222)에서 휠체어 탑승객을 고려한 안전기준을 확인할 수 있고,⁵⁾ 관련 산업계 기준으로는 미국 자동차 딜러협회(NMEDA, National Mobility Equipment Dealer Association)에서 자체적으로 제시하는 휠체어 탑승객 안전성 확보 기준을 확인할 수 있다. 아울러 미시간대교통연구소(UMTRI, University of Michigan Transportation Research Institute)

Table 4 Directive 2001/85/EC

Condition	Requirement	
Not fitted with any occupant restraint system	Should be restraint system in the wheelchair space	
	S t a t i c	(1) Be applied on the restraint system: 250±20daN (2) Be applied in the horizontal plane of the vehicle and towards the front of the vehicle: If not attached to the floor of the vehicle. Be applied in an angle of 45 ° ± 10 °to the horizontal plane and towards the front of the vehicle: If attached to the floor (3) The force shall be maintained for a period of not less than 1.5 seconds (4) Without Permanent deformation, including partial rupture or breakage of the restraint system and be operable by hand after removal of the traction force

에서는 특별교통수단 운용 중 휠체어 안전성 확보를 위한 연구를 지속적으로 하고 있는데, ISO규정을 기초로 기준을 보완하여 2015년 RESNA(Re-habitation Engineering and Assistive Technology Society of NA) Standards를 제시하였고,⁸⁾ 이를 만족하는 안전장치에 대해 자체적인 인증마크를 부여하고 있다.

1) FMVSS

미국에서 제시되는 기준 중 연방법은 크게 휠체어 탑승객의 구속장치에 관한 기준과 휠체어 고정장치의 강도에 관한 기준으로 나눌 수 있는데, Table 5와 같다.

2) NMEDA 자체규정

자동차 딜러협회에서 제시하는 자체규정은 FMVSS의 규정과 유사한데, 우선 3점식 형태의 휠체어 탑승객 구속장치의 설치를 요구하고, 각 벨트(골반, 흉부)가 만족해야 하는 강도기준을 제시하고 있다. 아울러 휠체어 고정장치는 휠체어 무게의 20배 하중을 견딜 수 있는 강도의 기준을 제시하고 있다.

2.2.3 ISO(국제표준)

국제표준에서는 휠체어 탑승객을 위한 차량내 장치 등에 관한 구조기준과 이들 장치가 확보해야 하는 안전성에 관한 내용을 규정하고 있고,⁶⁾ Table 6과 같다.

Table 5 FMVSS 222

Item	Requirement	
Wheelchair occupant restraints system	Occupant restraint	Wheelchair location shall have occupant restraint system. Each wheelchair occupant restraint shall comply with the requirements for Type2 safety belt system in FMVSS No.209 - Not less than on anchorage for the upper end of the upper torso restraint - Not less than two floor anchorages for wheelchair occupant pelvic and upper torso restraint
	Wheelchair occupant restraint anchorages & Wheelchair restraint anchorages	Each wheelchair occupant restraint floor anchorage shall be capable of withstanding a force of 13,344N applied as specified angle. When more than one wheelchair occupant restraint share a common anchorage, the anchorage shall be capable of withstanding a force of 13,344N multiplied by the number of occupant restraints sharing that anchorage. * When a wheelchair securement devices and an occupant restraint share a common anchorage, including occupant restraint to the securement device or the wheelchair, the loads shall be applied simultaneously. Each anchorage for a wheelchair occupant upper torso restraint shall be capable of withstanding a force of 6,672N applied as specified The 6,672N force shall be attained in not more than 30 seconds, and shall be maintained for 10 seconds.

2.3 평가기준의 선정

국내 사고현황(Table 1)은 차량내 구속장치의 위치를 포함하여 구조 및 구속장치들의 단품성능 등 다양한 분석이 요구되나 기본적으로 휠체어와 탑승자 이동량에 대한 적절한 구속이 확보되었다면, 회전상황을 포함한 다양한 주행상황에서 안전이 확보될 수 있었을 것이라는 예상이 가능하다.

현황파악을 위한 평가기준 선정을 위해 국내외 평가기준을 비교해보았을 때, 실제 특별교통수단내 휠체어 탑승자의 운용상황과 가장 유사한 평가모델은 ISO 10542로써 구체적인 평가 휠체어모델(SWC, Surrogate WheelChair) 및 인체모형(Hybrid III)이 제

Table 6 ISO 7176 & 10542

	Requirements
S t r u c t u r e	1. Wheelchair space: 700 mm × 1200 mm, Slip-restraint 2. Access: 1400 mm × 900 mm 3. Lift: 800 mm × 1200 mm, Maximum loads: 300 kg 4. Ramp: Rounded at least 2.5 mm, Minimum wide: 800 mm, The slope angle from ground: 8° Maximum loads: 300 kg Marked with a band of colour 45~55 mm at the outer edge 5. Wheelchair restraint system: Docking, Tie-down, Screw clamp 6. Occupant restraint system: 3points 7. Handrail guide: At least 15 mm
S a f e t y	1. Forward direction dynamic: 48 km/h, (Peak deceleration: 28 g) 2. Result - Wheelchair excursion limits: 200 mm - Dummy knee excursion limits: 375 mm - Dummy head excursion limits: 650 mm * Knee/Wheelchair excursion ≥ 1.1

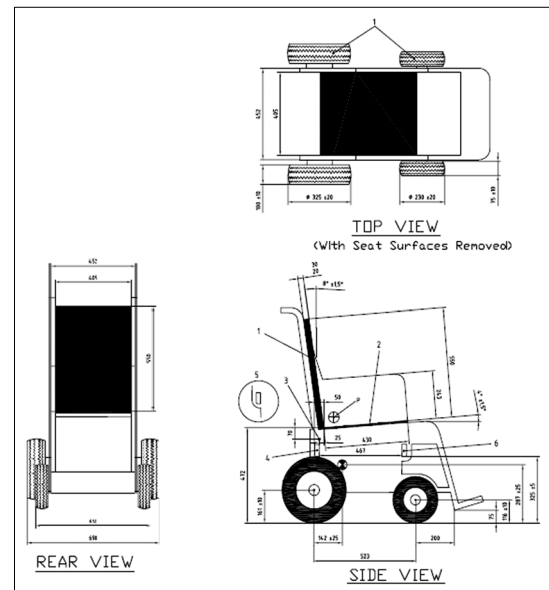


Fig. 1 Surrogate wheelchair diagram

시되고 휠체어와 탑승자의 이동량을 포함한 동적하중 기준이 명시되어 있음을 Fig. 1, Fig. 2 및 Table 7과 같이 확인할 수 있다.

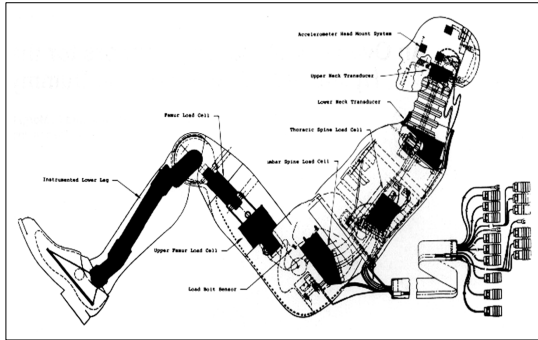


Fig. 2 Hybrid III 50th percentile dummy diagram

Table 7 Test method and criteria

◎ Test method
- Velocity&Acc: 49±1km/h, peak g 28 g - Wheelchair weight: 85 kg(SWC) - Dummy: over 75 kg(Hybrid II or III)
◎ Criteria
- Wheelchair excursion: Below 200 mm - Dummy knee excursion: Below 375 mm - Dummy head excursion: Below 650 mm * Knee/Wheelchair excursion ≥ 1.1 ※ Should be tested wheelchair restraints and occupant restraints simultaneously.

3. 시험평가

시험평가는 실제운용상황과 최대한 유사한 모델을 재현하기 위해 특별교통수단 다관매차종인 오택사의 기아 카니발 개조차량을 선정하여 시험환경을 구성하였다.

3.1 시험 차량 구성

차량내부 장치는 4 points Tie-down 형태의 휠체어 고정장치, 2점식 또는 3점식의 탑승객 구속장치, 휠체어 진입 공간 및 탑승객 손잡이 등으로 운영중인 특별교통수단 시스템과 동일하게 시험차량을 구성하였다.

구성된 차량은 충돌상황을 재현하는 시험장비인 충돌모의시험장비(Sled)에 장착이 가능하도록 지그화 하여 반복시험에 활용할 수 있게 Fig. 3과 같이 구성하였다.



Fig. 3 Wheelchair vehicle sled test jig

3.2 시험 Matrix

제작된 시험지그를 사용하여 2.3 평가기준에서 설명한 ISO 10542에 따라 현황과약을 위한 시험을 수행하였다. 총 3회의 시험을 수행하였으며, 시험 Matrix는 Table 8과 같다.

Table 8 Wheelchair vehicle sled tests matrix

	Options	Measurement
1st Test	<ul style="list-style-type: none"> • Seatbelt: 3points • Wheelchair restraint: 4-point Tie-down • Wheelchair: SWC 	<ul style="list-style-type: none"> • Dummy: Head, Chest, Thigh • Seatbelt/ Restraints load
2nd Test	<ul style="list-style-type: none"> • Seatbelt: 2points(Pelvic) • Wheelchair restraint: 4-point Tie-down • Wheelchair: SWC 	<ul style="list-style-type: none"> • Displacement: Dummy / Wheelchair
3rd Test	<ul style="list-style-type: none"> • Seatbelt: 2points(Pelvic) • Wheelchair restraint: 4-point Tie-down • Wheelchair: Miki. Co. ※ Real condition (Non-reinforced) 	<ul style="list-style-type: none"> • Seatbelt/ Restraints load • Displacement: Dummy / Wheelchair

4. 평가결과

총 3회의 평가를 수행하였으며, 3차평가는 실제 사용되는 일반 수동휠체어를 적용하여 평가를 수행하였다. 2차평가 및 3차평가에서 좌석안전띠 어깨부는 2점식 안전띠 적용으로 미계측되었으며, 2차 평가시 Tie-down 후방 계측값은 16 kN이 초과되는 것을 확인하였다.

4.1 시험 현황

시험평가 후 시험장비(Sled)의 시험속도와 가속도는 Table 9 및 Fig. 4와 같이 ISO 10542 및 UN R107에 적합함을 확인하였다.

Table 9 Sled tests velocity and acceleration

	Velocity and acceleration
1st Test	<ul style="list-style-type: none"> • Peak acceleration : 26.3 g • Duration : 92.9 msec • Velocity : 48.1 kph
2nd Test	<ul style="list-style-type: none"> • Peak acceleration : 26.5 g • Duration : 93.2 msec • Velocity : 48.2kph
3rd Test	<ul style="list-style-type: none"> • Peak acceleration : 26.3 g • Duration : 92.9 msec • Velocity : 48.1 kph

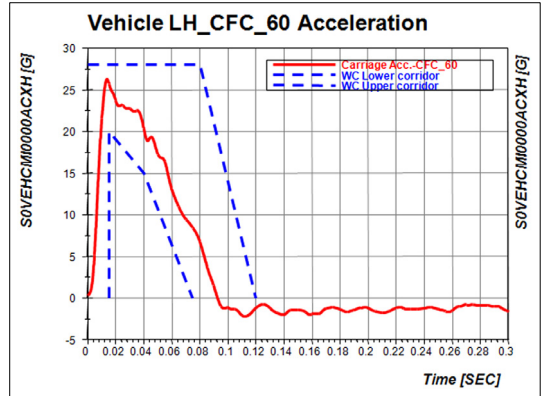


Fig. 4 Acceleration corridor and pulse

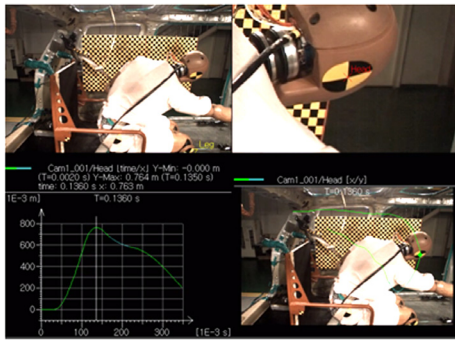
인체모형 등으로부터 계측된 결과값을 Table 10과 같이 확인하였으며, 참고치로서 일반탑승자 뒷좌석 56 kph 충돌결과와 비교하였다.

4.2 인체모형 거동분석

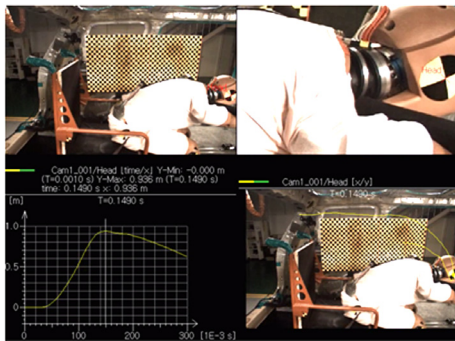
시험간 인체모형의 거동분석을 위해 Fig. 5와 같이 고속카메라로 촬영하였다. 고속카메라로 촬영된 영상을 바탕으로 탑승자의 거동을 분석한 결과 머리 이동량은 1차 764 mm, 2차 936 mm, 3차 834 mm로 모두 기준(650 mm)을 불만족하였고, 무릎 이동량은 모두 기준(375 mm)을 만족하였다.

Table 10 Sled tests result

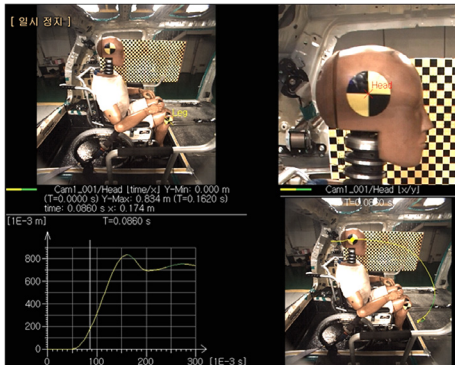
	Measurement position	Measurement factor	1st Test	2nd Test	3rd Test	Rear seat 56 kph crash test result
Dummy	Head	HIC ₃₆	230	738	N/A	408
		Shear force (kN)	0.06	0.3	N/A	1.98
	Neck	Tension (kN)	1.8	8.0	N/A	2.23
		Extension moment (Nm)	40	170	N/A	-
		Resultant acceleration (3 msec)	34.2	27.8	N/A	51
	Chest	Compression (mm)	29	0.9	N/A	44.74
		Right compressible load (kN)	1.5	1.7	N/A	-
Thigh	Left compressible load (kN)	1.0	1.6	N/A	-	
	Right compressible load (kN)	1.5	1.7	N/A	-	
Seatbelt	Shoulder	Tensile load (kN)	7.4	N/A	N/A	-
	Pelvic	Tensile load (kN)	6.0	8.3	12.2	-
Wheelchair Restraint	Pre-Positin (Front)	Angle	Under 5°	Under 5°	Under 5°	-
	Pre-Positin (Rear)	Angle	1°	1°	1°	-
	Front-Left (kN)	Tensile load (kN)	1.76	1.2	1.5	-
	Front-Right (kN)	Tensile load (kN)	1.15	0.9	1.7	-
	Rear-Left (kN)	Tensile load (kN)	12.34	Over 16.0	4.97	-
	Rear-Right (kN)	Tensile Load (kN)	N/A	Over 16.0	4.97	-



[1st Test Analysis_Head]



[2nd Test Analysis_Head]



[3rd Test Analysis_Head]

Fig. 5 Dummy movement analysis in sled tests

머리이동량의 경우 좌석안전띠 어깨부 및 골반부가 적절하게 인체모형을 구속하지 못하여 이동량이 증가한 것을 확인하였다.

특히 2차 평가 시 상체구속장치 미적용으로 인해 사용자 편의를 위해 설치한 전방안전바에 목이 부딪히며 목 상해지수가 자동차안전도평가에서 허용하는 기준값(인장력 2.2 / 짓힘모멘트 49)보다 높게 나타나는 것을 확인하였다.

4.3 안전젤트 위치 적정성 분석

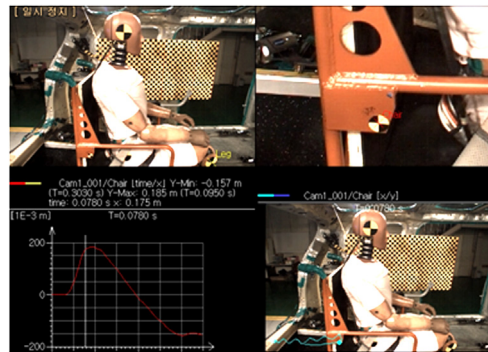
3점식 안전띠의 어깨부분 고정장치 위치는 자동차안전기준에서 제시하고 있는 허용범위에 부적합 하였으며, 2점식 안전띠의 골반부 고정장치 위치 또한 자동차안전기준에서 제시하고 있는 허용범위에 부적합 함을 확인하였다.

4.4 휠체어 구속장치 적정성 분석

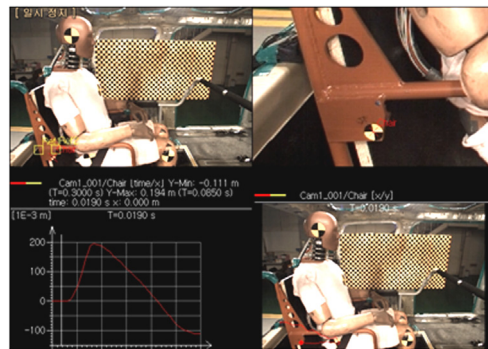
4 Tie-down으로 구성된 휠체어 구속장치 설치위치의 ISO 10542 적합여부를 확인하였으며, 시험간 휠체어 이동량의 ISO 만족여부를 Table 11 및 Fig. 6 과 같이 분석하였다.

Table 11 Displacements of wheelchair in sled tests

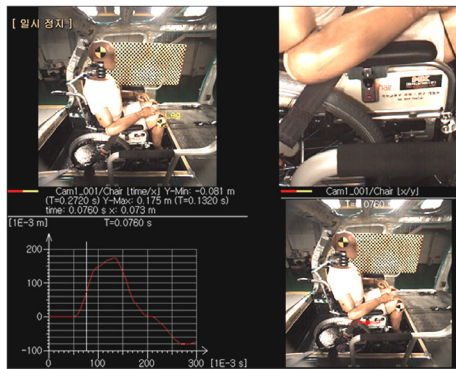
	Measurement	1st Test	2nd Test	3rd Test
Wheelchair displacements	Front-rear (Criteria: Under 200 mm)	185	194	174
	Up-down (mm)	52	105	25



[1st Test Analysis_Wheelchair]



[2nd Test Analysis_Wheelchair]



[3rd Test Analysis_Wheelchair]

Fig. 6 Wheelchair movement analysis in sled tests

휠체어 이동량은 ISO 10542를 만족하는 것으로 확인되었으나, 설치위치의 경우, 후방좌우 고정장치가 기준에 부적합한 것으로 확인되었다. 특히 뒷부분 고정장치의 경우 휠체어 후륜 휠 중심과 유사한 높이로 측면에 고정되어 시험시 휠체어 구속 성능이 저하되고 상하이동의 가능성이 상존함을 고속 카메라 영상을 통해 확인할 수 있었고, 시험간 후방 고정장치 고정 불량으로 휠체어 발판부가 앞쪽 차체 격벽에 충돌하여 휠체어 및 차체 격벽 변형이 발생하였다.

5. 결론

시험 수행 전 국내외 유사 연구결과를 확인하였고 TRL 등 기관에서 휠체어 탑승자의 동적하중 시험결과를 확인할 수 있었으나,¹⁰⁾ 본 현황조사의 조건과 비교 가능한 비정상적 구속위치에 대한 연구는 확인할 수 없었다.

휠체어 탑승 인체모형의 상해정도는 일반 승용차 동차 뒷좌석에 탑승한 동일한 인체모형에 대한 56 km/h 정면충돌 모의시험결과와 유사한 결과를 보였으나, 2차 시험에서 안전바에 인체모형 목이 충돌하며 높은 목상해 결과를 확인할 수 있었다. 아울러 좌석안전띠가 탑승객을 적정하게 구속하지 못해 거동이 증가하여 탑승자 상해치가 낮아진 점 등을 고려했을 때, 적절한 평가결과로는 활용이 불가하였다.

또한 특별교통수단 내부에 고정된 휠체어는 차내 승객석으로서의 역할을 수행하여야하나, 적정하게 구속되지 못하였고, 탑승객 구속장치인 좌석안전띠

의 위치도 부적절하여 인체상해값은 적절한 평가결과로 활용이 불가하였다.

결과적으로 현재 판매되어 운영중인 특별교통수단(카니발 개조차중)의 휠체어 고정장치 및 탑승객 구속장치는 시험결과와 구속장치의 위치 등을 볼 때 기준이 고려되지 않은 것으로 판단되며, ISO 10542 및 UN R107에 부적합한 것으로 확인되었다. 본 시험을 포함하여 추가 동적시험 및 정적시험의 연구 결과 등이 반영된 일정수준의 기능과 성능을 가진 이동수단이 제작될 수 있도록 기준 보완이 필요함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 국토교통부 교통체계효율화사업(과제번호 #15TLRP-B103929-01 “이동불편 교통체계 개선 기술개발”)에 의해 수행되었습니다.

References

- 1) T. Y. Kim, S. J. Shim and S. W. Kim, “A Study on Wheelchair Occupant Injury in Wheelchair Accessible Vehicle by the Sled Test,” KSAE Spring Conference Proceedings, p.736, 2016.
- 2) S. J. Shim, Y. H. Park and K. H. Yoon, “A Study on Functional Requirements of the Special Vehicle for the Disabled,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.1223-1231, 2009.
- 3) Y. H. Park, J. H. Hong, K. H. Kim and I. H. Lee, “A Study of Test Method for and Evaluation of Wheelchair Seating System,” KSAE Fall Conference Proceedings, 2004.
- 4) United Nations Economic Commission for Europe, UN/ECE Regulation No.107 Annex8 Revision 3, 2010.
- 5) European Union, Directive No.2001/85/EC, 2001.
- 6) FMVSS 222 School Bus Passenger Seating and Crash Protection, National Highway Traffic Safety Administration, Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations, 2016.
- 7) ISO, ISO 10542: Technical Systems and Aids for Disabled or Handicapped Persons - Wheelchair Tiedown and Occupant Restraint Systems

- Part1: Requirements and Test Methods for All Systems, ISO 10542-1, 2012.
- 8) Society for Automobile Engineers International, SAE J2249, Wheelchair Tiedown and Occupant Restraint Systems for Use in Motor Vehicles, 1999.
- 9) University of Michigan Transportation Research Institute, Wheelchair and Wheelchair Tiedown/Restraint Testing at UMTRI, 2013.
- 10) Transport Research Laboratory, The Safety of Wheelchair Occupants in Road Passenger Vehicles at TRL, 2003.