Transactions of KSAE, Vol. 24, No. 3, pp.352-357 (2016)

Copyright © 2016 KSAE / 142-12
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2016.24.3.352

사고분석을 통한 에어챔버 트럭충격흡수장치의 안전성능에 대한 연구

조 휘 창[*1)] · 박 인 송[2)]

서일대학교 스마트기계자동차과[1)] · 스마트에어챔버 연구소[2)]

A Study on the Safety Performance of the Air Chamber TMA through Accident Analysis

Huichang Jo[*1)] • Insong Park[2)]

[1)]Department of Mechanics & Automotive Engineering, Seoil University, Seoul 02192, Korea
[2)]Research Institute, Smart Air Chamber Co. Ltd., 208 Haean-ro, Danwon-gu, Ansan-si Gyeonggi 15611, Korea
(Received 30 October 2015 / Revised 5 January 2016 / Accepted 23 February 2016)

Abstract : More recently, workers and passengers of casualties has increased by rear-end collisions of unexpected while working on the road. Recently attracted air chamber TMA mounting car accidents which occurred in 3 years, and analyzed the effect of reducing the shock absorption and protection performance and casualties. There is a risk of the vehicle AIS4 more injury of high five accidents of casualties risk, also, was the analysis that there is risk of death was avoided by the air chamber TMA and SGT. Therefore, by mounting the TMA in the rear-end accident, so you can reduce the death and casualties, it must be increased this of attach rate for road construction vehicle.

Key words : Air chamber TMA(에어챔버 트럭충격흡수장치), Rear-end collision(후면충돌), Casualties risk(상해위험), SGT(트럭 후부안전장치), AIS(약식상해등급), Death and casualties(사망 및 사상자)

1. 서 론

최근 10년간 총 114건의 도로보수원 안전사고가 발생하였고 이로 인한 사고피해는 부상 76명, 사망 10명으로 나타났다. 이에 관련한 교통사고는 2003년 3건에서 2012년 10건으로 증가하여 고속도로 및 일반도로 상에서 사고처리나 유지보수 작업 중에 불의의 후면추돌사고로 인하여 작업자 및 탑승객의 사상자가 발생하고 있는 실정이다.[1)]

이는 2012년 12월 기준으로 최근 10년간 부상자 142명, 사망자 10명으로 약 24 %의 도로유지보수원이 부상을 당하고 약 2 %의 보수원이 사망하여 전체적으로 약 26 %의 사상자가 발생하는 것으로 나타나 평균적으로 치사율도 약 10 % ~ 12 %정도로서 도로 작업자에 대한 안전대책이 시급한 것으로 나타났다. 또한 이러한 사고는 주로 견인식 싸인카에서 발생하며 그 비율이 전체건수의 85 %이상 차지하였다. 미국의 경우도 우리나라의 경우와 같이 이러한 사고로 인한 피해 우려를 개선하기 위하여 미국 고속도로안전보험협회(IIHS, Insurance Institute for Highway Safety)는 2010년 세계자동차수리위원회(RCAR, Research Council for Automobile Repairs) 회의에서 후부안전판의 구조 및 강도 개선 필요성을 제안한 바 있다.

한편 이러한 유형의 사고는 일반 교통사고에 비해 치사율이 높아 이를 예방하고자 에어챔버 트럭충격흡수장치(TMA, Truck Mounted Attenuator) 및 후부안전판(SGT, Safety Guard of Truck)이 개발 보급되고 있다.[2)] 특히 상기와 같이 활용되고 있는 에

[*]Corresponding author, E-mail: johui@seoil.ac.kr

어챔버 트럭충격흡수장치(TMA)가 실질적으로 시장에서 안전성능을 발휘하고 있는지를 평가하기 위해 작업 안전차 및 청소차 등 도로유지 관리차량에 장착 이후 발생한 다양한 사고들을 집적하여 후면 추돌 사고유형과 사고유형별 사고심도 및 사고정도를 파악한 후 에어챔버 트럭충격흡수장치 장착차량의 사망자 및 사상자 등 인명피해 감소효과를 조사하고 개선사항을 분석하여 이를 향후 연구개발 자료로 활용하는데 연구목적이 있다.

2. 에어챔버 트럭충격흡수장치의 구조 및 시험조건

에어챔버 트럭충격흡수장치의 구조특성을 비교하여 보면 기존 후부안전판의 구조는 사각형 빔(beam) 단면으로 구성되어 있고, 에어챔버 충격흡수장치는 열가소성 폴리우레탄 수지(TPU, Thermo-plastic Poly Urethane)소재의 에어챔버에 에어(air)를 채운 형태로 충격 후 추돌차량의 리바운드를 막기 위한 제어판(control case)과 천공관(borer)에 브래킷이 부착되어 있는 Fig. 1과 같은 구조[3]로 충돌력 흡수를 위해 압축 후 압축된 공기를 적정한 시기에 배출하는 기술적 특성을 가지고 있다.

트럭에 부착하여 사용되는 트럭탈부착용 충격흡수장치(TMA)는 도로상의 공사구간, 사고처리 및 청소 등의 긴급자동차간에 설치하며, 위험 구간을 인지하지 못한 차량이 충돌할 경우 차량의 충격에너지를 흡수하여 추돌차량을 안전하게 멈추게 하거나 주행방향으로 복귀시켜 주는 기능을 하게 된다.

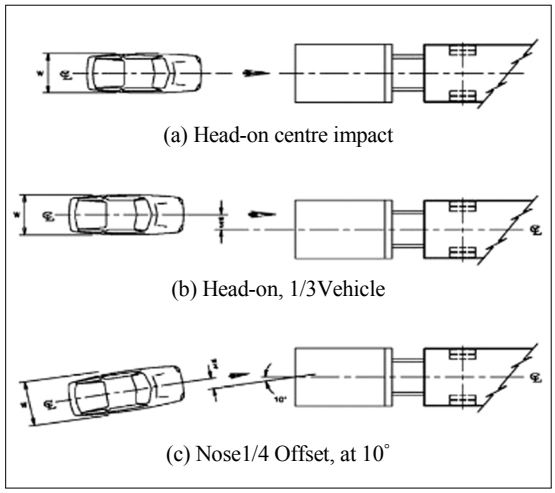

Fig. 2 Test standard for TMA

Table 1 Class of TMA

등급	충돌속도 (km/h)	차량중량 (kg)
TMA1	60	900
		1,300
TMA2	80	900
		1,300
TMA3	100	900
		1,300

Fig. 2는 각 충돌방법에 따른 충돌차량의 충돌위치 및 충돌방향을 나타낸 것이고 Table 1은 시험등급별 충돌시험 조건을 나타낸 것이다.[4,5]

트럭탈부착용 충격흡수시설의 성능은 실물차량 충돌시험 후 탑승자 보호성능, 트럭탈부착용 충격흡수시설의 거동, 충돌 후 충돌차량(impact vehicle)

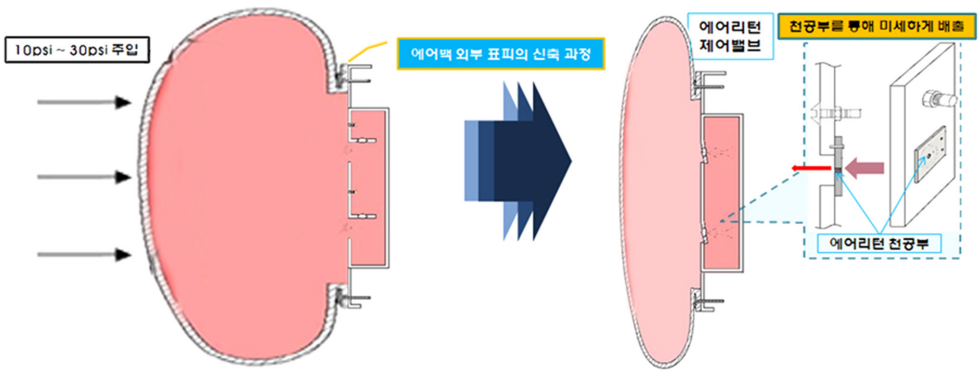

Fig. 1 Structure of the air chamber TMA

Table 2 Occupant safety evaluation criteria

기준 항목	단 위	한계 값
탑승자 충돌속도(종,횡방향) THIV	km/h	44
탑승자 최대 가속도(종,횡방향) PHD	g	20
가속도 지수(삼축 가속도) ASI	-	1.9

및 트럭탈부착용 충격흡수시설 장착차량(support vehicle) 의 거동 등으로 크게 4가지로 구분된다.

이중에 탑승자 보호성능은 탑승자의 안전성능을 평가하기 위하여 탑승자 충돌속도(THIV, Theoretical Head Impact Velocity)와 가속도 지수(ASI, Acceleration Severity Index), 탑승자최대가속도(종,횡방향)(PHD, Post-impact Head Deceleration)를 계산하여 Table 2의 평가기준 한계 값에 만족하여야 한다.[6)]

아울러 트럭탈부착용 충격흡수시설의 거동은 충격흡수 장치의 부재가 차량의 내부공간을 관통하지 말아야 하고 탑승자에게 큰 부상을 줄 수 있는 차량 내부공간의 변형이 없어야 하며 차량 충돌 시에 2 kg 이상의 구성부재가 이탈과 어떠한 부재라도 인접차선을 침범해서는 안 되는 것으로 되어 있다.

3. 에어챔버 트럭충격흡수장치 탑재차량 사고사례 분석

3.1 분석내용 및 방법

후부안전판(SGT) 장착 차량은 사고 후 현장에 입회하여 사고 후 추돌차량과 피추돌차량의 손상형태와 최종 거동위치 등을 촬영하고 에어챔버 트럭충격흡수장치(TMA) 장착차량은 본 제품 상단에 블랙박스를 설치하여 실시간 차량운행을 영상으로 기록하고 추돌사고 순간을 추출하여 사고분석에 필요한 추돌위치, 추돌속도 등의 기초정보로 활용하여 2011년부터 2014년 현재까지 약 3년간 발생한 에어챔버 트럭충격흡수장치 장착차량의 운행 중 발생한 사고사례를 집적하여 사고순간 에어챔버의 고유 기능인 충격흡수 및 방호성능에 대해 분석하였다.

사고로 인한 인명피해 감소 효과를 분석하고자 사고처리 및 도로 유지보수 작업차량의 후면추돌 사고유형, 사고유형별 사고심도 및 사고정도, 사고유형별 에어챔버 트럭충격흡수장치 장착차량의 인명피해 감소 효과 등을 파악하였다.

인명피해 위험도 비교를 위해 약 17건의 사고사례 중에 심도가 매우 높은 상위 위험도 30 %에 해당하는 사고사례(5건)를 선별하여 추돌 차량의 손상정도를 파악하고 다른 사고차종과의 분석내용 연계성이 있는 대표적인 차종으로 승용차와 트럭 차종인 사고사례 2건에 대해 심층 비교 분석한 후 에어챔버 트럭충격흡수장치의 사망사고 예방 성능을 평가하였다.

한편 사고자료 조사를 위해 트럭용 에어챔버 후부안전판 장착차량은 사고 후 현장에 입회하여 사고 후 추돌차량과 피추돌차량의 손상형태와 최종 거동위치 등을 촬영하였고, 에어챔버 트럭충격흡수장치 장착차량은 블랙박스를 설치하여 실시간 차량운행을 영상으로 기록한 후 추돌사고 순간을 추출하여 사고분석에 필요한 추돌위치, 추돌속도 등 기초정보로 활용하였다. Table 3은 에어챔버 트럭충격흡수장치의 종류를 나타내었다.

Table 3 The type of air chamber TMA & SGT

제품명	이미지	모델명	규격(mm)
에어챔버 트럭충격흡수장치 (TMA)		TMA60A	1900×1700 ×700
		TMA60Aa	1800×600 ×830
		Trailer-TMA60A	3400×2350 ×1960
		TMA80C	1970×1700 ×700
		Trailer-TMA80C	3470×2350 ×1960
트럭 후부안전 에어장치 (SGT)		SGT11A	2400×600 ×400
		SGT11Aa	1800×600 ×400

3.2 사고 현황 및 분석

Table 4와 같이 사고사례 분석은 최근 3년간 우리나라 고속도로 및 국도에서 에어챔버 트럭충격흡수장치를 장착한 차량에 발생한 총 21건 사고 중 분석 가능한 17건의 사례에 대해 인명피해 위험 예방효과를 분석하였다.

에어챔버 트럭충격흡수장치를 장착한 모든 차량의 사고사례에 대해서 조사한 결과 사망사고 가능성이 매우 높은 충돌사고에 있어서도 사망자는 한 명도 발생하지 않았다. 그러나 병원치료를 요하지 않는 가벼운 부상자 5명이 있었으며, 이중에 통원치료 및 입원자 치료자는 2~3명에 불과하였고 사고사례 중에 인명피해 위험도가 가장 높은 사고는 5건으로 분석되었다. 또한 충돌속도와의 연관성 분석을 위해 추돌차 및 피추돌차 그리고 장착된 트럭탈부착용 충격흡수시설의 파손정도와 집적된 사고동영상 자료를 분석하였으며 Table 5에서는 추돌차량에 대한 사고유형과 충돌속도를 보여준다.

추돌차량에 대한 분석결과 후면추돌사고 유형은 후면 100 % 겹침 사고, 후면 겹침 사고, 후면경사 사고 등으로 3가지로 분류되었으며 후면 100 % 겹침 사고는 3건(약 5.8%), 후면 겹침 사고는 13건(약 71%), 후면 경사 사고는 1건(약 5.8%)으로 나타났다. 추돌속도 30 km 이하 1건(약 5.8 %), 추돌속도 60 km 이하 5건(약 29.2 %), 추돌속도 80 km 이하 7건(약 41.2 %), 추돌속도 80 km 이상 4건(약 24 %)로서 사망사고 위험성이 높은 60 km 이상 사고 건은 17건 중에 11건으로 전체사고의 약 63 %에 해당하였고 이 중에 사망 위험성이 매우 높다고 판단되는 고 위험성 사고 즉 80 km ~ 120 km 이상의 충돌속도로 추정되는 사례는 5건으로 분석되었다.

또한 추돌사고는 사고예측을 인지하지 못하는 착각추돌(주위태만, 졸음운전 등)에 의해 발생하는 하는 것으로 분석되었으며 추돌사고 직전에 제동장치를 밟지 못하고 추돌하는 것으로 나타났다.

사고 사례와 도로환경 및 주행패턴과의 인과관계는 피추돌차량 전부가 도로 유지보수작업을 수행하는 도중에 추돌사고를 입는 사고임을 알 수 있었다. 이것은 도로 유지보수는 도로의 갓길에서 모두 이루어지기 때문인 것으로 나타났으며, 이때의 사고유형은 후면 겹침 추돌사고로서 전체사고의 약 94.2 %

Table 4 Accidents case of air chamber TMA equipped car

NO	추돌 차량	피추돌 차량	충격흡수 장치	사상자
1	승용차	싸인카	TMA60A	가해차량 없음 피해차량 없음
2	트럭 (25t)	노면 청소차	SGT11A	가해차량 없음 피해차량 없음
3	승합차	노면청소차	SGT11A	가해차량 없음 피해차량 없음
4	승용차	작업차량	TMA60Aa	가해차량 없음 피해차량 없음
5	트럭 (1t)	작업차량	TMA60A	가해차량 없음 피해차량 없음
6	승용차	작업차량	TMA60Aa	가해차량 없음 피해차량 없음
7	승용차	싸인카	TMA80C	가해차량 없음 피해차량 없음
8	승용차	작업차량	TMA60Aa	가해차량 없음 피해차량 없음
9	SUV	노면 청소차	SGT11A	가해차량 없음 피해차량 없음
10	트럭 (1t)	노면 청소차	SGT11A	가해차량 없음 피해차량 없음
11	승용차	작업차량	TMA80C	가해차량 없음 피해차량 없음
12	승용차	작업차량	TMA60Aa	가해차량 없음 피해차량 없음
13	승용차	작업차량	SGT11A	가해차량 없음 피해차량 없음
14	승합차	작업차량	Tralier-TMA 80C, SGT11A	가해차량뒷좌석 2명경상 피해차량 없음
15	승용차	작업차량	Tralier-TMA 80C	가해차량 없음 피해차량 없음
16	SUV	작업차량	TMA60Aa	가해차량 없음 피해차량 없음
17	승용차	작업차량	TMA60Aa	가해차량 없음 피해차량 없음

Table 5 The impact velocity of the accident type

충돌속도 / 사고유형	~ 30 km	31 ~ 60 km	61 ~ 80 km	80 km ~	소계
	1건	5건	7건	4건	
후면 100 % 겹침		2건	1건		3건(17 %)
후면 겹침	1건	2건	6건	4건	12건(71 %)
후면 경사		1건			1건(5.8 %)

에 해당하였다. 특히 도로 유지보수 작업을 수행하는 관계로 피추돌차량이 서행 또는 일시정지 상태에서 추돌사고가 발생하고 이로 인해 충돌 상대속도가 높아 치사율이 높은 사고발생 위험이 높음을 알 수 있었으며 이를 방지하기 위해서는 첨단 후방 추돌사고 방지장치의 개발이 필요하다고 판단된다.

3.3 충돌안전 시험평가와 사고사례의 비교분석

실차충돌시험 결과와 비교 분석을 위해 충돌안전 시험평가는 세계적으로 통용되는 약식상해등급(AIS, Abbreviated Injury Scale)과 미국 고속도로안전보험협회(IIHS) 충돌안전평가 기준으로 평가한 실차충돌시험 결과를 활용하였으며[7,8] 비교 사고사례는 인명피해 상위 위험군 사고 사례 중 대표차종으로 승용차와 트럭을 선정 하였다.

상해 위험도 분석은 약식상해등급을 적용하여 AIS 4 (머리 : 의식불명 6 ~ 24시간, 소혈종, 흉부 늑골 양쪽 3개 이상 골절, 흉부 손상) 이상의 상해를 입을 수 있는 사고사례 즉 사망률 10.6 % ~ 58.4 %에 해당하는 추돌차량의 손상형태에 대해서 분석하였으며 Table 6은 충돌시험 평가 트럭의 상해 위험도 분석결과를 나타낸 것이고 Fig. 3은 트럭의 시험장면과 손상형태를 보여준다.

이에 대한 충돌평가시험 기준은 64 km 정면 40 % 겹침 충돌재현시험으로서 충돌안전도 평가결과는 탑승자의 머리, 목 부상위험이 높게 나타났고, 오른쪽 종아리의 부상 인자와 포터의 좌측 대퇴부, 오른쪽/왼쪽 발 그리고 왼쪽 종아리의 부상인자가 크게 나타났다.

Fig. 4는 승용차의 시험장면으로 승용차에 대한 상해위험도 분석을 위해 안전도 평가결과 대형 승용차량과 경 승용차량의 흉부가속도(G)와 상해가능성을 분석한 결과(AIS ≥ 4) 80 % 이상의 상해 가능성이 있는 것으로 분석되었다.[9]

Table 6 Occupant injury risk of truck

구분	포터
머리와 목	3등급
가슴	1등급
왼쪽 다리와 발	4등급
오른쪽 다리와 발	4등급
차체 구조	4등급
구속 장치	4등급
종합	4등급

(a) Before test (b) After test

Fig. 3 Reconstruction test of truck (40 % offset, frontal impact)

(a) Before test (b) After test

Fig. 4 Reconstruction test of passenger car (40 % offset, frontal impact)

반면에 Fig. 5(a)는 1톤 트럭 사고사례로서 손상형태를 근거하여 평가한 결과는 에어챔버 트럭충격흡수장치(SGT, TMA)가 없었다면 충돌력 흡수성능 50 %에 해당하는 상해위험이 증가할 수 있어 약 100 km 이내의 사고로 추정되며 사망위험이 높게 나타날 수 있는 것으로 파악된다.

중형승용차 상해위험성 사례비교로는 평가결과 1톤 트럭경우와 마찬가지로 에어챔버 트럭충격흡수장치가 없었다면 충돌력 흡수성능 50 %에 해당하는 상해위험이 증가 할 수 있는 사고로서 90 km 이내의 사고로 사망위험이 높게 나타났으며 Fig. 5(b)에서 승용차의 사고사례를 보여준다.

(a) Truck (b) Passenger car

Fig. 5 Accident of truck & passenger car (with TMA)

차량의 손상형태 분석을 통한 상해위험도 분석을 위해 실차충돌시험 차량의 손상특성을 분석하였다.

1톤 트럭 및 승용차의 충돌시험의 경우는 손상부품이 범퍼, 앞 패널, 앞 유리, 도어 등이 손상되었고, 전체적으로는 캐빈 전체가 비틀려진 손상형태를 나타내고 있는데 이러한 손상형태에서는 IIHS 종합등급 4등급에 해당하는 것으로 AIS 4이상의 상해위험이 해당할 수 있다고 판단할 수 있다.

사고사례 중 고위험군 추돌차량의 손상특성 결과분석을 위해 5건의 사례 차량의 손상정도가 실차 충돌시험 차량과 유사한 손상심도를 가지고 있어 IIHS 종합등급 4등급 이상에 해당하며 약식상해등급 AIS 4이상의 상해위험성이 있는 것으로 분석되었다.

특히 에어챔버 트럭충격흡수장치의 충격흡수를 위한 파손정도를 감안하면 실제 추돌차량의 손상정도는 약 1.5 ~ 2배 이상 추돌사고 충돌속도가 높았을 것으로 분석되어져 추돌차의 탑승자 사망위험은 에어챔버 충격흡수장치를 장착하지 않을 경우 사망위험성이 더욱 높아질 수 있음을 알 수 있다.

또한 트럭용 에어챔버 충격흡수장치는 충돌속도 60 km 및 80 km 충돌 안전 시험을 통과한 것으로 실제충돌사고에서 에어챔버 및 프레임이 정상적으로 손상 되었으며, 천공관 역시 정확하게 전개되어 추돌차량의 탑승자 사망위험을 크게 감소시켰다.

4. 결 론

사고사례를 통한 에어챔버 트럭충격흡수장치의 안전성능에 대해 연구하고자 사고처리 및 도로 유지보수 작업차량의 후면추돌 사고유형 파악하고 사고유형별 사고심도 및 사고정도를 분석하였다. 그 결과 손상정도가 심한 추돌차량의 손상정도가 실차 충돌시험 차량과 유사한 손상심도를 가지고 있어 이는 IIHS 종합등급 4등급 이상에 해당하며 약식상해등급 AIS 4이상의 상해위험성이 있는 것으로 이는 에어챔버 트럭충격흡수장치의 안전성능으로 인해 사망위험성이 회피된 것으로 분석되었다.

추돌차량의 사고유형은 주위태만이나 졸음운전 등으로 유발되는 착각운전에 의해 발생하는 후면 겹침추돌사고로 사고형태는 후면 100 % 겹침, 후면 겹침, 후면 경사 사고유형으로 나타났으며, 약식상해등급 AIS 4이상 상위 사망위험 사고사례 예측비율은 약 63 %, 고상해위험 사고 비율은 약 30 %로 추정되었다.

아울러 후면추돌사고 시 사망 및 사상자 감소를 위해서는 에어챔버 트럭충격흡수장치를 장착차량 구조 및 작업환경에 맞추어 장착해야 하며 추돌시 고 시 언더라이더 현상을 막고 충격흡수를 최대한 효과적으로 해야만 사상자를 줄일 수 있으므로 도로 유지보수 및 사고차 처리 작업시 에어챔버 트럭충격흡수장치의 장착율을 높여야 할 것으로 판단됐다.

후 기

본 논문은 2016년도 서일대학교 학술연구비에 의해 연구되었음.

References

1) 교통사고 통계분석, 경찰청, 2014.
2) K. H. Ahn, A Study on the Crash Motion of Polyurethane TPU Airbag, Ph. D. Dissertation, Seoul University, Seoul, pp.20-32, 1992.
3) H. C. Jo and I. S. Park, “A Study on the Damageability and Repairability of the Car Bumper Systems with Gas Tube,” Transactions of KSAE, Vol.11, No.5, pp.134-139, 2003.
4) 도로안전시설 설치 및 관리지침 방호울타리 편, 국토해양부, 2012.
5) 차량방호 안전시설 실물 충돌시험 업무 편람, 국토해양부, 2012.
6) G. H. Kim and I. S. Park, “Evaluation of Occupant Protection of Van and Light Truck Vehicle,” Transactions of KSAE, Vol.20, No.3, pp.13-19, 2012.
7) H. C. Jo and I. S. Park, “A Study on the Occupant Protection Performance in 25% Offset High-speed Frontal Impact,” Journal of the KSMTE, Vol.16, No.2, pp.1285-1291, 2014.
8) Small Overlap Frontal Crashworthiness Evaluation Rating Protocol(Version II), Insurance Institute for Highway Safety, 2012.
9) H. C. Jo and I. S. Park, “An Experimental Study on the Independent Fixed Object Crash Accident by Reconstruction Test,” Journal of the KSMTE, Vol.14, No.3, pp.101-108, 2012.