



고속카메라 영상분석 데이터를 이용한 충격흡수시설의 충돌거동 분석에 관한 연구

Study on Behavior Analysis of Crash Cushion Using Analysis Data of High-Speed Camera

장 대 영* 고 만 기** 이 윤 기*** 주 재 웅****
Jang, Dae-Young Ko, Man-Gi Lee, Yoon-Ki Joo, Jae-Woong

Abstract

Collision behavior of crash cushion occurs for a second of less than 0.4sec usually so that it is too hard to calculate numerically. Therefore, for development of crash cushion, it rely on full-scale vehicle crash test without any design procedure. Occupant safety indices is calculated from acquired data by data measurement system and collision behavior of vehicle and crash cushion is filming using high-speed camera in the crash test. But practical use scope of high-speed camera is limited and it is not using to calculated the occupant safety indices or analyzed the energy dissipated mechanism of crash cushion. This work is to estimate to be suitable or not for compare the data from measurement system with the data from high-speed camera. And also it is to grope for practical use scheme to calculation of occupant safety indices or analysis of collision behavior.

Keywords : *crash cushion, high-speed camera, dynamical maximum deformation, occupant safety index, energy dissipated mechanism*

요 지

충격흡수시설의 충돌거동은 보통 0.4초 미만의 짧은 순간에 일어나므로 삼차원의 매우 복잡한 거동을 수치적으로 계산한다는 것은 쉽지 않다. 따라서 새로운 충격흡수시설을 개발할 때 특별한 설계단계를 거치지 않고 실물차량 충돌시험에만 의존하고 있는 실정이다. 충돌시험에서 탑승자 안전도를 평가하기 위해서 계측기를 통해 가속도와 각속도를 추출하여 계산하고 있으며 고속카메라를 이용해 차량과 충격흡수시설의 충돌거동을 촬영한다. 하지만 고속카메라 영상의 활용범위는 제한적으로 사용되고 있으며, 탑승자 안전도 분석이나 충격흡수시설의 에너지소산 메커니즘을 분석하기 위해 활용된 사례가 없다. 본 연구에서는 계측기로부터 획득한 데이터와 고속카메라 영상분석을 통해 추출된 데이터를 비교해 적합성 여부를 판단하고 탑승자 안전도 해석이나 충돌거동을 분석에 활용할 수 있는 방안을 모색하였다.

핵심용어: 충격흡수시설, 고속카메라, 동적 최대변위, 탑승자 안전도, 에너지소산 메커니즘

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 도로시험팀 연구원 · 교신저자(E-mail : dmyoung@daum.net)

** 정회원 · 공주대학교 공과대학 건설환경공학부 교수(E-mail : mgko@kongju.ac.kr)

*** 비회원 · 조선이공대학 자동차학과 교수(E-mail : lyk9001@chosun-c.ac.kr)

**** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 도로시험팀 전임연구원(E-mail : jjw123@ex.co.kr)

1. 서론

충격흡수시설은 시설물 자체의 파손이나 변형을 전제로 하여 차량의 충돌에너지를 흡수하고 소산하여 탑승자의 안전을 확보하기 위한 일차적인 목적을 지닌다. 또한 충돌차량에 치명적인 상해를 입힐 수 있는 시설물 또는 보호하고자 하는 시설물의 전면에 설치하여 차량을 안전하게 정지시키거나 차량의 잘못된 주행방향을 복귀시키는 목적이 있다. 따라서 설치목적에 부합할 수 있는 우수한 성능의 충격흡수시설 개발을 위해서는 충돌차량의 에너지소산 메커니즘을 잘 이해하여야 한다. 충격흡수시설에 충돌하는 차량이 급격하게 속도가 감소한다면 탑승자가 받게 되는 충격하중이 커질 것이며, 충격흡수시설의 강성이 작다면 변형길이가 길어져야 하므로 경제적 비용이 커질 것이다. 그러므로 적절한 변형길이 안에서 충돌차량을 안전하게 정지시키도록 설계하여야 한다.

충격흡수시설의 충돌시험에서 탑승자의 안전도를 평가하기 위해 시험차량의 내부에 충돌계측기와 센서(X축, Y축 가속도센서, Yaw 각속도센서)를 부착하여 데이터를 계측하고 이를 분석하여 탑승자의 안전도를 평가하고 있다. 또한 충격흡수시설의 전방, 측면, 상부에서 고속카메라를 활용하여 충돌차량과 충격흡수시설의 충돌거동을 분석하고 있다. 하지만 고속카메라로 촬영된 영상은 차량의 개략적인 충돌거동을 파악하고 차량의 속도, 각도 등을 분석하기 위한 국한된 범위로 사용되어지고 있으며 탑승자 안전도 계산을 위한 적용사례는 전무한 실정이다.

국내 지침(국토해양부, 2001)에서는 실물차량 충돌시험 기준 및 평가기준을 수록하여 2001년부터는 충돌시험을 통해 검증된 충격흡수시설만을 설치할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 한국도로공사 도로교통연구원에서 수행된 충격흡수시설의 실물차량 충돌시험 데이터 중 10회의 시험데이터를 대상으로 하였다. 우선 고속카메라 촬영영상을 분석하여 충돌차량의 변위, 속도, 가속도 데이터를 추출하고 충돌계

측기로부터 획득한 데이터와 비교하여 고속카메라 영상분석을 통해 추출된 데이터가 어느 정도 적합한지의 여부를 판단하고 고속카메라 영상분석 결과를 탑승자 안전도 분석에 적용할 수 있는 활용방안을 모색하고자 하였다.

2. 문헌고찰

세계적으로 충격흡수시설에 대한 충돌시험 조건 및 평가기준은 각국의 도로여건을 고려하여 적용하고 있으며 미국의 NCHRP Report 350과 유럽연합의 European Standard(CEN)로 크게 구분되고 국내기준(건설교통부, 2001)은 유럽의 기준을 주로 차용하여 개정한 것이며 현재 개정작업을 수행 중에 있다. 국내의 충돌시험 조건은 그림 1과 표 1에 나타내었다.

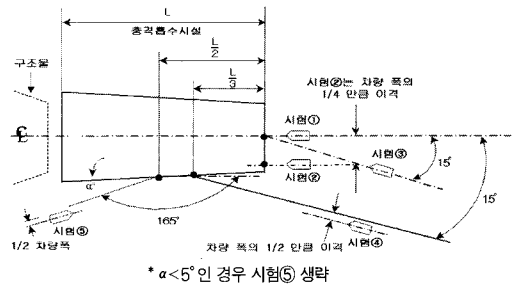


그림 1. 충돌 차량의 충돌 위치 및 충돌 방향

표 1. 충돌시험 조건

등급	충돌 속도 (km/시)	차량 중량 (kg)	충돌 방법
CC1	60	900 1,300	시험 ① 시험 ④
CC2	80	900 1,300	시험 ①, ② 시험 ①, ③, ④, ⑤
CC3	100	900 1,300	시험 ①, ② 시험 ①, ③, ④, ⑤

국내 충격흡수시설의 평가기준으로는 탑승자 보호 성능, 충격흡수시설의 거동, 충돌 후 차량의 거동으로 크게 구분되며 그 안에 세부적인 사항으로 나뉘



다. 탑승자 보호성능의 평가 기준으로는 탑승자 충돌 속도(THIV)와 탑승자 가속도(PHD)를 평가기준으로 하며, THIV의 경우 시험 ①, ②, ③은 44km/h 이하, 시험 ④, ⑤는 33km/h 이하여야 하고 PHD의 경우 20g 이하로 규정하고 있다.

국내 지침에 의하면 탑승자 충돌속도(THIV)의 계산에는 충돌차량의 무게중심점에서 측정한 X축 가속도, Y축 가속도, Yaw 각속도가 사용되며, 탑승자 가속도(PHD)의 계산에는 X축 가속도, Y축 가속도가 사용된다. 충격흡수시설의 충돌거동은 보통 0.4초 미만의 짧은 순간에 일어나기 때문에 삼차원의 매우 복잡한 충돌거동을 보이므로 이를 수치적으로 계산한다는 것은 쉽지 않다.

주재용 등(2008)은 충격흡수시설의 설계에 주안점을 두어야 할 충돌시험조건이 정면 충돌시험이고, 정면 충돌시험의 Y축 가속도(차량의 측방향)와 Yaw 각속도를 무시하고 일차원의 X축 가속도(충돌차량의 진행방향 가속도)만을 사용하여 탑승자 안전지수를 계산하여도 큰 차이가 없다는 것을 증명하였다. 0.9ton 정면충돌, 1.3ton 정면충돌, 0.9ton 1/4 Offset 정면충돌, 1.3ton 15° 정면충돌의 4가지 충돌조건에 대해서는 Y축 가속도와 Yaw 각속도를 무

시하고 X축 가속도 데이터만으로 탑승자 충돌속도(THIV)와 탑승자 가속도(PHD)를 계산하여도 오차 범위 2% 미만의 비교적 정밀한 결과를 보였다. 따라서 삼차원의 복잡한 충돌거동을 X축 가속도 데이터만을 이용한 일차원으로 적용하여도 충격흡수시설의 탑승자 안전도 결과에는 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다.

3. 충격흡수시설의 충돌거동 분석

3.1 고속카메라 영상분석 방법

삼차원의 복잡한 충돌거동을 X축 가속도 데이터만을 이용한 일차원으로 적용하여도 충격흡수시설의 탑승자 안전지수 결과에는 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 기본 전제로 하여 고속카메라 영상분석을 통해 충돌차량의 일방향 변위, 속도, 가속도를 추출하고 계측데이터의 X축 가속도 데이터와 비교하고자 하였다.

분석대상 충격흡수시설은 한국도로공사 도로교통 연구원에서 2006년부터 현재까지 실시한 10회의

표 2. 분석대상 충격흡수시설의 특징

Test No	충돌방법	규격 (mm) (길이/높이/폭)	주요 재질	구조적 특성(Mechanism)
No.01-CC1	①-0.9 F	2220×600×890	철재, 스테인레스 강선	스테인레스 강선의 인장력
No.02-CC1	①-0.9 F	2450×600×1000	철재, 폴리에틸렌	측면레일의 파단력과 쿠션탱크의 압축력
No.03-CC1	①-0.9 F	2070×400×810	철재	철재 Bar의 인발력
No.04-CC2	①-0.9 F	4730×890×890	철재, 페타이어	페타이어의 순간적 압축 공기압
No.05-CC2	①-0.9 F	4200×400×810	철재	철재 Bar의 인발력
No.06-CC2	①-1.3 F	4730×890×890	철재, 페타이어	페타이어의 순간적 압축 공기압
No.07-CC2	①-1.3 F		No.05와 동일한 충격흡수시설	
No.08-CC2	②-0.9 O		No.05와 동일한 충격흡수시설	
No.09-CC2	③-1.3 D		No.06과 동일한 충격흡수시설	
No.10-CC2	③-1.3 D		No.05와 동일한 충격흡수시설	

주) 1. 시험조건에서 ①, ②, ③은 충돌시험 방법(그림 1. 참조)

2. 시험조건에서 0.9와 1.3은 차량의 무게(ton)

3. 시험조건에서 F는 시설중앙 정면충돌, O는 1/4 Offset 정면충돌, D는 15° 정면충돌

정면충돌 시험결과를 대상으로 하였다. 분석대상에 사용된 10종의 충격흡수시설은 차량의 충돌하중을 흡수하는 구조적 Mechanism이나 적용등급, 충돌 시험 방법, 충돌차량 무게, 규격, 재질 등이 서로 다른 경우도 있고 동일한 충격흡수시설을 충돌방법에 따라 다르게 시험한 경우도 있다. 표 2는 분석대상 충격흡수시설의 충돌방법 및 특성을 정리하여 나타낸 것이다.

고속카메라는 초당 500 Frames로 촬영하였으며 고속카메라 분석을 위해 충돌차량에는 Target을 부착하고 차량과 충격흡수시설의 충돌거동을 상부에서 촬영한다. 촬영한 영상을 분석할 때 각 Frame마다 Point가 Target을 따라 움직이며 차량의 변위, 속도, 가속도 등을 추출할 수 있게 된다. 0.002초 간격으로 촬영되는 사진과 Target이 움직이는 픽셀(Pixel)수를 계산하여 나타낼 수 있는 것이다.

그림 2와 그림 3은 10회의 고속카메라 분석결과 중 하나의 예(No.01-CC1)를 나타낸 것이다. 그림 2는 Point가 Target을 따라가며 데이터를 수집하는 과정을 나타낸 것이며 그림 3은 데이터 분석결과를 나타낸 것이다. 상단의 그래프는 시간(sec)에 따른 차량이 이동한 변위(m)를 나타낸 것으로 동적 최대 변위가 1.635m인 것을 알 수 있다. 중앙의 그래프는 차량의 속도(m/s)를 나타낸 것으로 약 17.6m/s

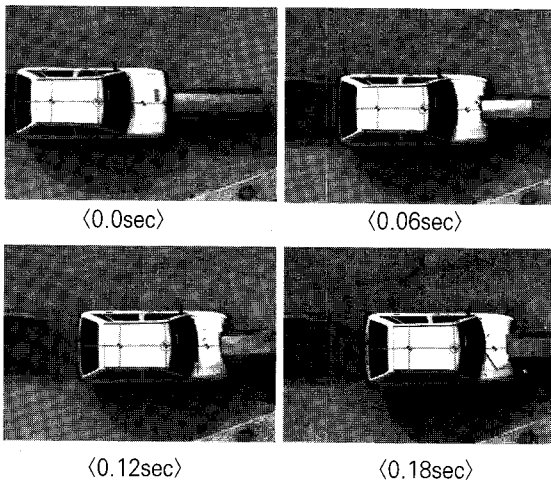


그림 2. No. 01-CC1의 고속카메라 분석과정

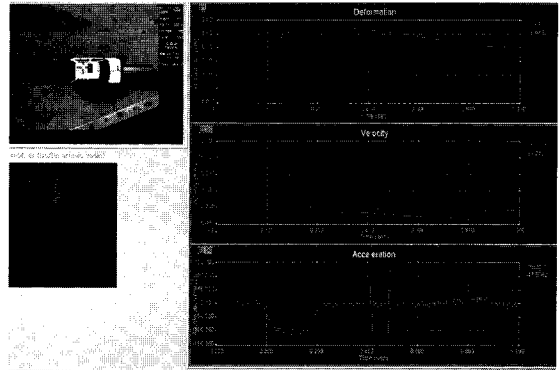


그림 3. No.01-CC1의 고속카메라 분석결과

(=63.4km/h)로 충돌하고 있으며 충돌차량의 실제 충돌속도가 63.3km/h로 분석결과와 거의 일치한다. 하단의 그래프는 시간에 따른 차량의 가속도(m/sec^2)를 나타낸 것으로, 0.42초 부근 두개의 큰 노이즈(Noise)는 Point가 Target을 잠시 잃지 못하여 발생한 것으로 무시하는 것이 옳다.

3.2 고속카메라 영상분석 결과

그림 4는 10회의 데이터 계측결과와 고속카메라 분석결과를 나타낸 것이다. 그래프에서 실선은 X축 가속도센서로부터 계측한 데이터를 나타낸 것으로 차량의 진행방향 가속도(X축)를 적분하여 차량의 속도를 나타낼 수 있으며 속도를 적분하여 차량의 변위를 나타낼 수 있다. 또한 그래프에서 점선은 고속카메라로 촬영된 충돌영상을 분석하여 차량의 가속도, 속도, 변위를 나타낸 것이다.

가속도를 비교해보면 전자의 경우 충돌직후 충격에 의한 노이즈가 많이 나타나는 반면 후자에는 충돌에 상관없이 전반적으로 노이즈가 심하였으며 전자의 가속도 그래프에 비해 기울기가 크지 않아서 Pike(최고, 최저값)치를 잘 나타내지 못하고 있으나 전반적인 형상은 비교적 잘 일치하여 설계단계에서 대략적인 에너지소산 메커니즘을 파악하기에는 충분하다고 판단된다.

그림 4의 속도 그래프를 보면 계측데이터로부터

계산된 속도 그래프의 경우 속도 측정장치로부터 측정된 실차의 초기충돌속도에서 점차적으로 감소하여 차량의 속도가 0에 이르고 다시 Rebound되는 것을 알 수 있다. 계측데이터의 가속도를 적분하여 나타낸 속도 그래프가 고속카메라에서 추출된 속도 그래프와 아주 유사한 감속거동을 보이고 있으므로 데이터 계측시스템이 없더라도 고속카메라로 촬영한다면 분석을 통해 차량의 감속거동을 아주 유사하게 예측할 수 있다.

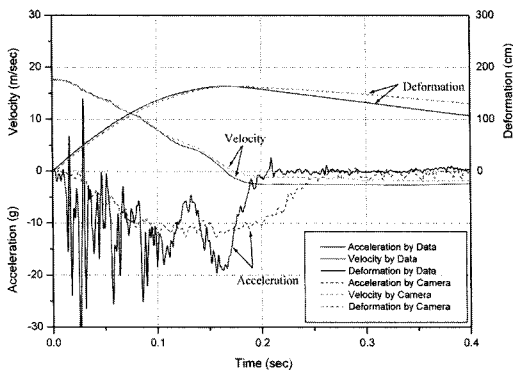
또한 가속도그래프가 서로 다른 기울기로 순간적인 Pike치를 잘 나타내지는 못하지만 속도 그래프가 잘 일치한다는 것은 전체적인 충돌거동(가속도의 면적)을 비교적 잘 예측할 수 있음을 반증하는 것이다.

충돌차량이 충격흡수시설에 충돌하는 순간부터 접촉이 끝나는 순간까지 차량과 충격흡수시설은 동일한 변위를 보인다고 할 수 있다. 따라서 차량의 이동

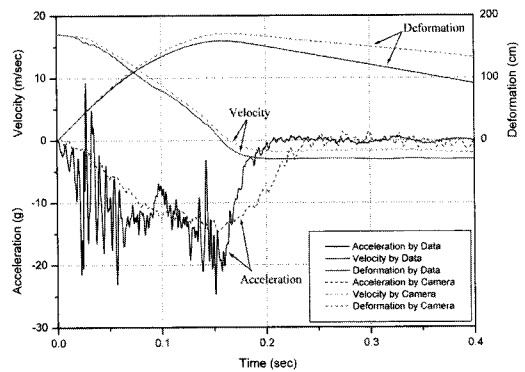
변위를 계산함으로써 간접적으로 충격흡수시설의 변형거리를 판단 할 수 있게 된다. 계측데이터와 고속 카메라의 변위그래프를 비교하면 유사한 차량의 이동변위를 보이고 있으며 충돌에너지로 인한 충격흡수시설의 동적 변형거리를 알 수 있다.

지침(건설교통부, 2001)에 의해 탑승자의 안전평가를 위한 THIV의 계산은 “Flail Space Model”이라는 차량의 가상공간을 가정하여 계산하도록 되어 있다. THIV(Theoretical Head Impact Velocity)는 등속운동을 하는 이론적인 머리가 충돌 순간부터 감속하는 차량의 내부에 충돌하는 상대속도를 나타내는 것이므로 속도그래프가 매우 유사한 거동을 보인다는 것을 감안할 때 고속카메라 분석으로 통해 계산된 THIV가 계측데이터와 아주 유사한 결과를 보일 것이라 미루어 짐작할 수 있다.

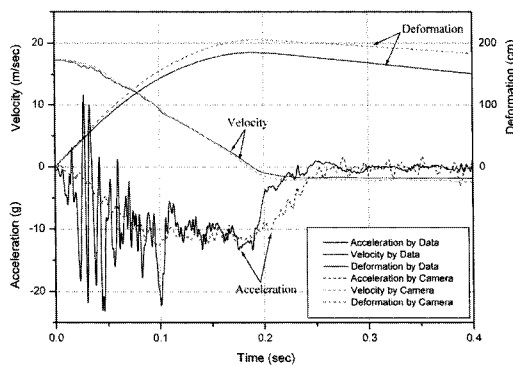
No.01 CC1(①-0.9 F)



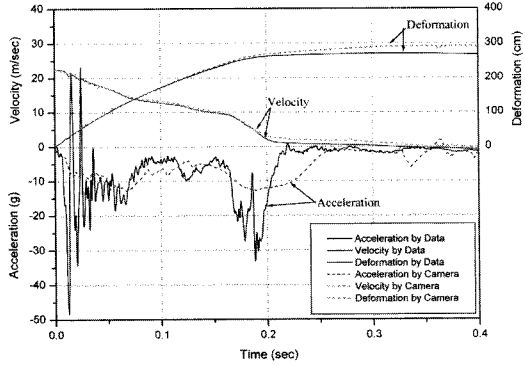
No.02 CC1(①-0.9 F)



No.03 CC1(①-0.9 F)



No.04 CC2(①-0.9 F)



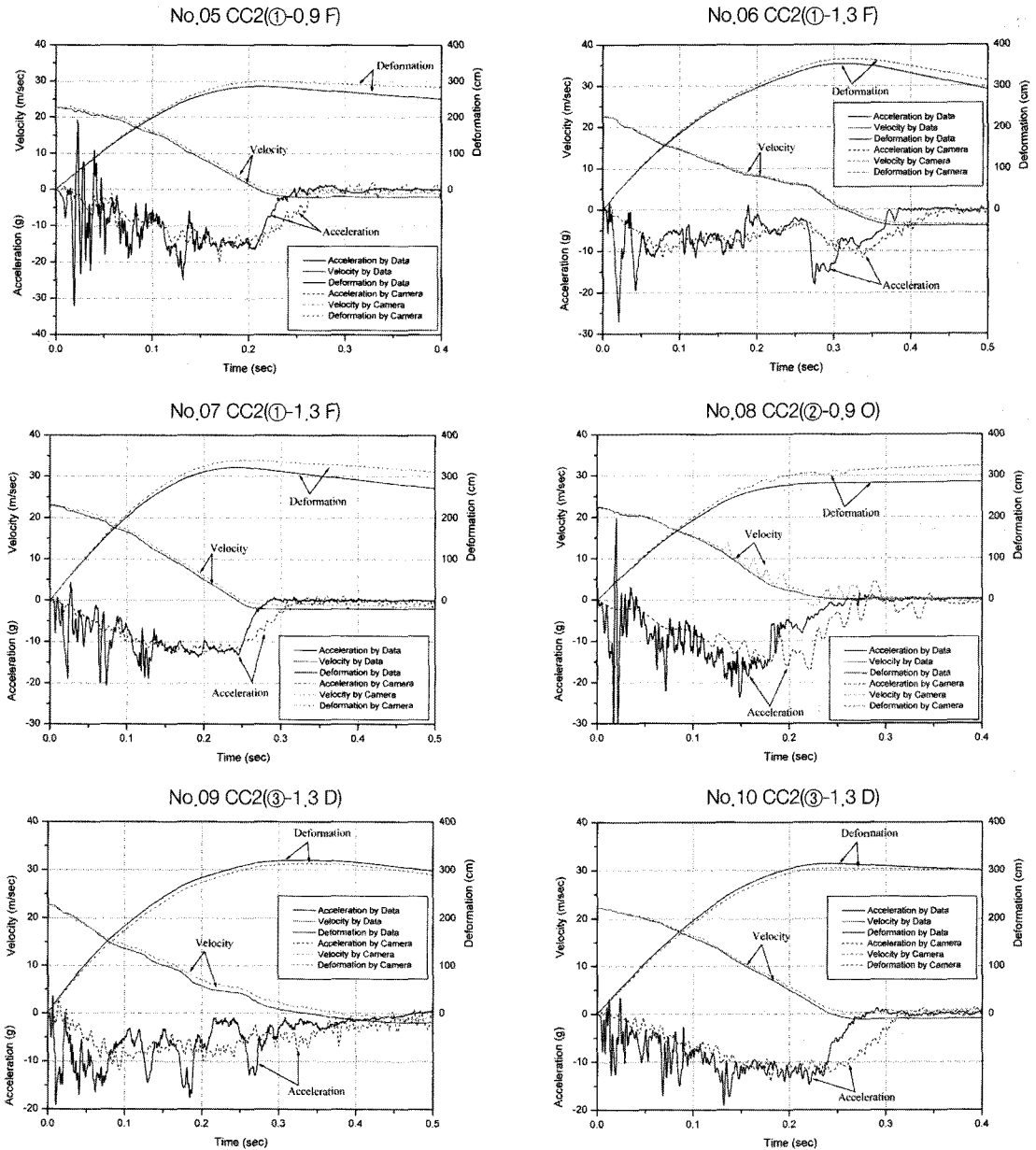


그림 4. 계측데이터와 고속카메라 데이터의 분석결과

4. 충격흡수시설의 충돌거동 분석결과

본 연구에서는 총 10회의 충돌시험결과를 분석하여 시험 계측데이터와 고속카메라 영상데이터 분석결과를 비교하여 표 3에 나타내었다. 여기서 충돌속

도, 차량무게는 충돌시험의 실차 충돌조건을 나타낸 것이며 최종변위는 충돌시험이 완료된 후 충돌차량의 충돌로 인해 변형된 충격흡수시설의 최종 변형거리를 나타낸 것이다. 차량이 충격흡수시설에 충돌하여 동적 최대변형거리를 보인 후 충격흡수시설의 탄

성회복이 발생하므로 최종변형거리는 동적 최대변위에 비해 다소 감소하는 거동을 보인다. 그림 5는 충격흡수시설의 최종변위와 전자, 후자의 동적 최대변위를 나타낸 그래프이다. 시험 계측데이터의 가속도를 두번 적분하여 나타낸 동적 최대변위와 고속카메라 영상데이터 분석을 통해 나타낸 동적 최대변위를 충격흡수시설의 최종 변위와 비교한 결과 큰 차이를 보였다. 시험 계측데이터와 고속카메라 영상데이터에 의해 나타내어진 변위는 차량의 동적인 최대변위를 나타낸 것으로 상대적으로 근사한 차이를 보였다. 여기서 동적 최대변위는 충격흡수시설의 탄성회복으로 인한 차량의 Rebound는 고려되는 않은 것이다.

표 3. 시험 계측데이터와 고속카메라 영상데이터의 분석결과

Test No.	시험결과	충돌속도 (km/hr)	차량무게 (kg)	최종변위 (cm)	데이터분석 결과			카메라분석 결과		
					동적 최대 변위 (cm)	THIV (km/hr)	PHD (g's)	동적 최대 변위 (cm)	THIV (km/hr)	PHD (g's)
No.01-CC1	만족	63.3	880	120	164.0	43.71	18.26	163.5	41.44	12.63
No.02-CC1	만족	61.4	930	102	159.7	41.73	19.22	171.4	44.65	14.05
No.03-CC1	만족	62.2	940	137	185.2	39.85	12.57	205.4	41.00	11.80
No.04-CC2	NG	81	890	232	270.7	35.98	26.67	291.6	36.60	12.71
No.05-CC2	만족	81.2	945	288	286.0	43.34	15.72	300.5	44.81	15.54
No.06-CC2	NG	81.1	1280	317	353.7	34.58	15.35	365.9	33.47	9.85
No.07-CC2	만족	82.5	1300	288	321.5	39.09	13.08	339.3	41.22	11.57
No.08-CC2	만족	80.7	910	244	288.7	40.43	18.42	326.4	42.36	15.43
No.09-CC2	만족	81.7	1285	275	320.2	35.80	15.02	312.9	33.37	8.37
No.10-CC2	만족	80	1295	258	314.0	38.92	13.06	304.7	39.55	12.46

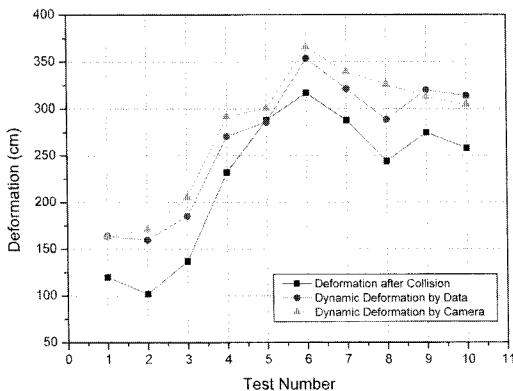


그림 5. 충격흡수시설의 변형거리 비교

그림 5의 그래프에서 탄성회복이 고려된 최종변위와 계측데이터로부터 계산된 동적 최대변위를 비교한 결과 최고 36.1%의 차이를 보였으며 평균적으로 17.1%의 차이를 보였다. 이를 다시 해석하자면 충격흡수시설의 동적 최대변위에 대한 탄성회복의 변위가 평균적으로 약 17.1%의 탄성회복이 발생된다고 말할 수 있다. 하지만 이는 충격흡수시설의 구조적 메커니즘이나 재질에 따라 탄성회복의 크기가 달라질 것이므로 충격흡수시설 전반에 대한 절대적인 기준은 될 수 없다. 다만 충격흡수시설의 탄성회복 크기가 전체변위에서 어느 정도 차지하는지를 고려해 설계에 반영할 수 있는 귀중한 자료가 될 것이다.

또한 계측데이터의 가속도를 적분하여 나타낸 동적 최대변위와 고속카메라 영상분석을 통해 나타낸 동적 최대변위를 비교하면 최고 11.6%의 차이를 보이고 평균적으로 4.3%의 차이를 보였다. 대체적으로 카메라에 의한 변위가 데이터에 의한 변위보다 크게 나타나는 경향을 보였다.

계측기로부터 수집된 X축 가속도데이터는 그대로 사용하되 Y축 가속도와 Yaw 각속도는 모두 0으로 하고 계산된 탑승자 안전지수와 고속카메라 분석을 통해 추출된 X축 가속도 데이터를 이용해 계산된 탑승자 안전지수(THIV)의 오차율을 그림 6에 나타내었다.

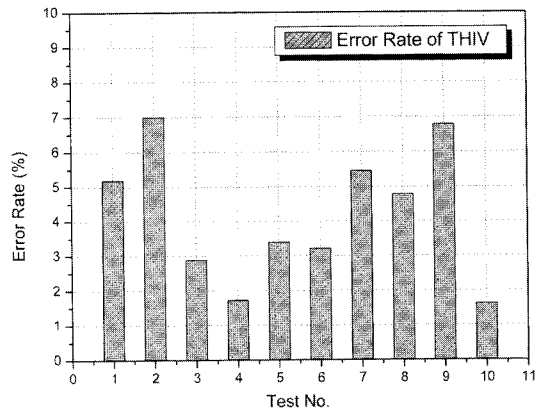
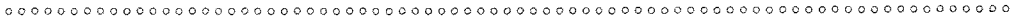


그림 6. 계측데이터와 고속카메라 분석데이터의 탑승자 안전지수 비교



계측데이터와 고속카메라 영상 분석데이터를 이용해 계산된 THIV값 차이 중 최고오차율은 7.0%이고 평균오차율은 4.2%로 나타났다. THIV의 오차율은 비교적 작은 차이를 보였으며 오차값도 비교적 일정하게 나타났다. 또한 그림 4의 속도그래프가 잘 일치하고 가속도그래프의 전체적인 형상은 잘 일치하므로 THIV의 결과값은 비교적 잘 일치할 것이라 예측한 결과에 부합된다.

계측데이터 분석결과와 고속카메라 영상분석 결과를 비교한 결과, 차량의 속도변화가 아주 흡사한 거동을 보였으며 동적 최대변위도 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 THIV를 계산한 결과도 큰 차이를 보이지 않았으므로 설계단계에서 계측데이터가 없더라도 고속카메라 촬영영상분석에 의해 충격흡수시설의 전반적인 에너지소산 거동을 예측하고 설계하기에 충분한 가치가 있다고 판단된다.

최종적으로 충격흡수시설의 탑승자 안전성을 평가하기 위해서는 충돌시험을 수행하여 충돌계측기로부터 수집된 데이터를 사용해야 한다는 것은 분명하다. 다만 연구개발과정에서 충격흡수시설의 충돌거동을 분석하고 예측하기 위해 고속카메라 영상분석을 사용한다면 충분한 가치를 발휘할 것이다.

5. 결론

지금까지 충격흡수시설의 탑승자 보호성능을 평가하기 위해서는 충돌시험을 통해 계측기로부터 획득한 데이터에만 의존해왔으며, 고속카메라 영상데이터 분석을 통한 충격흡수시설의 충돌거동을 연구한 사례는 없었다. 본 논문은 국내의 최초로 충격흡수시설의 실물차량 충돌시험 시 촬영한 고속카메라 영상데이터 분석을 통해 충격흡수시설의 충돌거동을 파악한 연구로서 새로운 충격흡수시설의 개발에 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구에서는 충격흡수시설의 충돌시험에서 계측기로부터 획득한 데이터의 탑승자 안전지수 계산결

과와 고속카메라 영상데이터를 분석하여 비교해 보았다. 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 충격흡수시설의 정면충돌시험을 통해 계측된 X축 가속도 데이터와 고속카메라 영상데이터 분석을 통해 추출된 X축 가속도 데이터를 비교하고 차량의 속도, 변형거리를 비교한 결과, 속도와 변형거리는 비교적 잘 일치하는 결과를 보였다. 따라서 충격흡수시설의 개발 시 고속카메라 영상분석을 통한 충격흡수시설의 에너지소산 충돌거동을 예측할 수 있었다.
2. 시험데이터와 고속카메라 영상데이터를 이용해 탑승자 안전지수를 계산하여 비교한 결과 THIV값의 차이 중 최고오차율은 7.0%이고 평균오차율은 4.2%로 나타났다. 따라서 계측기로부터 획득한 데이터가 없더라도 충격흡수시설의 설계단계에서 고속카메라 분석을 통해 충돌거동을 예측할 수 있음을 확인하였다.

고속카메라 영상데이터 분석을 통해 계산된 탑승자 안전지수를 평가지표로 사용하는 것은 다소 무리가 있을 것이다. 다만 개발단계에서 고속카메라 분석을 통해 충격흡수시설의 에너지소산 시스템을 이해하고 충돌거동을 분석하기에는 소중한 자료가 될 것이다.

참고 문헌

건설교통부(2001), 도로안전시설 설치 및 관리지침-차량방호 안전시설 편.

고만기(2004), 충돌차량 탑승자 안전을 고려한 충격흡수시설 설계법, 대한토목학회논문집, 제24권 5A호 pp1031-1041.

주재용(2008), 충격흡수시설의 실물차량 충돌시험 데이터를 이용한 탑승자 안전도 및 충돌거동 분석에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 제28권 2D호 pp163~170.

European Standard EN 1317-3(2000), "Road



.....
Restraint Systems-Part 3", Status of a British Standard, BSI.

접 수 일: 2008. 12. 24
심 사 일: 2009. 1. 15
심사완료일: 2009. 4. 16

H. E. Ross. Jr., D. L. Sicking, and R. A. Zimmer(1993) "Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features," NCHRP Report 350, *Transportation Research Board*, Washington, D. C.