Journal of Digital Convergence
Vol. 16. No. 9, pp. 173-178, 2018

ISSN 1738-1916
https://doi.org/10.14400/JDC.2018.16.9.173

블랙박스 영상 분석을 통한 차량 충돌 속도 연산 알고리즘에 대한 융복합 연구

고광호
평택대학교 스마트자동차학과 부교수

An Estimating Algorithm of Vehicle Collision Speed Through Images of Blackbox

Kwang-Ho Ko
Associate Professor, Division of Smart Automobile, Pyeongtaek University

요 약 에어백이 작동되는 중고속 추돌 사고의 경우 에어백 작동 전후의 차량 데이터가 차량의 EDM(Event Driven Memory)에 저장되어 그 추돌 속도를 쉽게 알 수 있다. 하지만 에어백이 작동하지 않는 저속영역에서 추돌하는 경우 그 속도를 산정하기가 어렵다. 또한 저속이라 하더라도 추돌속도에 따라 운전자의 부상 정도가 크게 영향을 받기 때문에 그 속도의 산정이 중요하다. 본 연구에서는 블랙박스에 저장된 영상 이미지를 분석하여 저속영역의 추돌속도를 연산하는 알고리즘을 제안하였다. 전기모터로 와이어로프를 이용하여 차량을 견인하는 방식으로 저속의 후방추돌 상황을 정확하게 재현하면서 다양한 차종과 속도에 대해 실험을 수행하였다. 이 때 블랙박스의 영상 이미지에서 두 차량의 거리가 좁아지는 비율과 전방 차량의 번호판 길이가 증가하는 비율이 동일함을 이용하여 추돌속도를 정밀하게 계산할 수 있다. 즉, 미리 측정된 초기거리와 블랙박스의 영상에서의 번호판의 길이를 초기조건으로 설정하여 본 연구의 계산 알고리즘을 적용하면 저속 추돌 속도를 정확하게 산정할 수 있다. 직선 추돌사고에는 본 연구의 결과가 그대로 적용되지만 각도를 두고 추돌하는 경우에는 별도의 고려가 필요하다.

주제어 : 후방추돌, 추돌속도, 블랙박스, 직선추돌, 영상이미지

Abstract The vehicle collision speed in mid and high range can be checked by EDM(Event Driven memory) data recorded when the air bag works. But it's difficult to estimate the low speed of vehicle collision. And estimating the speed is important because the injury level can be changed by the impact speed. The study proposed an estimating algorithm by analysing the images recorded in car blackbox instrument. Low speed rear collision accidents simulated with wire winding motor for various vehicle types. The study estimated the impact speed with the ratio of the distance change between two vehicles and the length change of the number plate of front vehicle. The closer the vehicles are, the larger the plate length is. You can estimate the impact speed with the ratio. The impact speed is calculated with the initial distance for a specific length of number plate in the algorithm. The results can be applied to the linear rear collision because the angle of impact was not considered in this study.

Key Words : Rear collision, Collision speed, Blackbox, Image analysis, Linear impact

*Corresponding Author : Kwang-Ho Ko (kwangho@ptu.ac.kr)
Received July 3, 2018
Revised August 27, 2018
Accepted September 20, 2018
Published September 28, 2018

1. 서론

차량 추돌 사고의 경우 운전자의 부상 정도가 추돌 직전의 차량 간 상대속도에 따라 크게 영향을 받는다[1]. 추돌 시 상대속도가 높을수록 운전자와 탑승자의 부상 수준이 심각해지기 때문이다[2]. 따라서 추돌속도를 산정하는 것이 중요한데, 에어백이 작동하는 중고속 영역의 추돌 사고에서는 그 속도가 차량의 EDM(Event Driven memory)에 저장되어 확인할 수 있다[3]. 하지만 에어백이 작동하지 않는 저속 추돌 사고의 경우 그 속도를 산정하기가 어렵다. 또한 저속 추돌 사고 역시 추돌 직전의 차량 간 상대속도에 따라 운전자 및 탑승자의 부상 수준이 크게 영향을 받는다[4]. 따라서 저속 추돌 사고의 경우 그 속도를 산정하는 것은 중요하면서도 현재는 적당한 방법이 없다고 할 수 있다. 추돌 속도에 대한 정확한 데이터가 없기 때문에 그 부상 수준에 대해 보험사와 운전자 사이에 분쟁이 발생할 수도 있는 것이다[5].

GPS를 장착한 차량용 블랙박스의 경우에는 쉽게 충돌 속도를 찾을 수 있으나, 원가 상승 등의 이유로 GPS를 배제하기도 하고, 혼잡한 도심지에서의 경우 GPS 신호가 다소 불안정하여 정확한 충돌 속도를 확보하기 어려운 점도 있다[6]. 이에 본 연구에서는 차량에 장착된 일반적인 블랙박스의 영상을 활용하여 충돌속도를 연산하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 실험방법 및 속도 계산법

2.1 속도계산법

카메라의 배율이나 렌즈 등을 고정하면 카메라에 찍힌 이미지의 크기는 카메라와 대상의 거리가 가까워질수록 증가한다. 이 때 거리의 변화율과 대상 크기의 변화율은 서로 비례한다고 할 수 있다[7]. Fig. 1와 같이 거리(X)가 감소할수록 대상의 길이(L)는 증가하는 것으로 관찰된다. 이 때 거리의 변화율(X_1/X_2)과 길이의 변화율(L_2/L_1)은 동일하므로 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\frac{X_1}{X_2} = \frac{L_2}{L_1} \quad \rightarrow \quad X_2 = X_1 \bullet \frac{L_1}{L_2}$$

$$\triangle X_1 = X_1 - X_2 = X_1 \bullet (1 - \frac{L_1}{L_2})$$

$$= X_1 \bullet (\frac{L_2 - L_1}{L_2}) = \frac{X_1}{L_2} \bullet \triangle L_1$$

$$\triangle X_2 = X_2 - X_3 = X_2 \bullet (1 - \frac{L_2}{L_3})$$

$$= X_2 \bullet (\frac{L_3 - L_2}{L_3}) = \frac{X_2}{L_3} \bullet \triangle L_2$$

$$= \frac{X_1 L_1}{L_2 L_3} \bullet \triangle L_2$$

$$Speed = \frac{Distance}{Time} = \frac{\triangle X_2}{\triangle t} = \frac{X_1 L_1}{L_2 L_3} \bullet \frac{\triangle L_2}{\triangle t}$$

$$= \frac{X_1 L_1}{L_2 L_3} \bullet \frac{L_3 - L_2}{\triangle t} \quad \text{----- Eq. 1}$$

Eq 1을 이용하면 단위 시간($\triangle t$)에 대한 카메라 영상에 찍힌 대상물체의 길이 변화($\triangle L_2$)를 이용하면 속도를 쉽게 계산할 수 있다. 단, 계산을 위해서는 초기 거리(X_1)와 초기 길이(L_1)를 알고 있어야 한다. 즉, 특정 거리(X_1)에서 특정 대상의 길이(L_1)를 알고 있는 경우 영상의 이미지에서 나타나는 대상의 길이(L_2, L_3)를 각각 계산할 수 있고, 카메라의 촬영 시간간격($\triangle t$)에 따라 추돌속도를 쉽게 계산할 수 있다. 차량의 경우 번호판은 차종에 관계없이 그 크기가 일정하므로 해당 블랙박스에서 촬영된 이미지에서 차량 사이의 거리(X_1)에 따라 번호판의 크기(L_1)를 초기 입력값으로 사용하면 쉽게 연산할 수 있다. 예를 들어 본 실험에서처럼 9m(X_1)의 거리를 두고 촬영된 블랙박스 영상에서 번호판의 가로 길이 13mm(L_1)를 입력해 두면 위의 식들을 이용하여 L_2, L_3를 계산할 수 있고, 이 값들을 이용하면 Eq 1에서 추돌속도를 쉽게 계산할 수 있다.

2.2 실험방법

저속 추돌 사고를 재현하기 위해 Fig 2과 같은 와이어로프를 모터로 구동하는 추돌 장치를 사용하였다. 운전자가 직접 가속페달을 밟아 추돌사고를 재현하는 경우에는 속도를 일정하게 유지하는 것이 어렵기 때문이다. 저속 추돌 상황으로 운전자가 받는 충격이 미미한 수준으로 예상되기는 하나 그 부상에 대한 우려도 있기 때문에 이러한 견인 장치를 사용하는 것이 여러모로 적절하다[7]. 실험장치의 와이어로프를 후방 차량의 범퍼 고정부에 장착하고 정차상태의 전방 차량을 향해 와어로프를 견인하는 방식으로 실험을 수행하였다. 모터의 구동 속도를 설정하면 다양한 추돌 속도를 재현할 수 있는데 2~10km/h 내외의 저속 추돌 속도 영역에서 실험을 수행하였다.

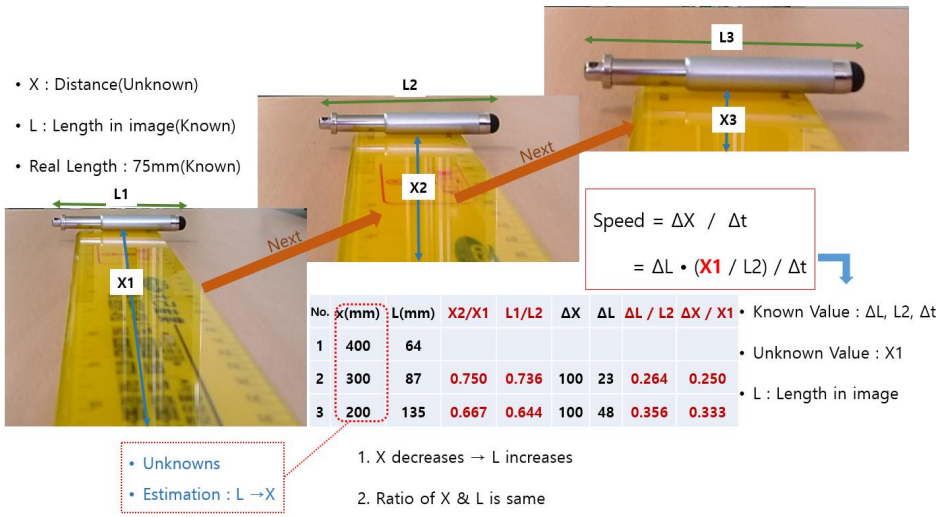


Fig. 1. The change ratio of the length and distance

Fig. 2. Rear impact simulator

Table 1. The specification of the test vehicles

Model	Year	Length (m)	Base (m)	Height (m)	Weight (kg)
CC[1]	2011	3,595	1,595	1,485	880
SP[2]	2011	4,530	1,775	1,435	1,160
MP[3]	2010	4,820	1,835	1,470	1,395
SSUV[4]	2007	4,350	1,820	1,695	1,480

[1]CC : Compact Car
[2]SP : Small Passenger car
[3]MP : Medium Passenger car
[4]SSUV : Small SUV

Table 2. The vehicle combination and speed

Front	Rear	Set speed (km/h)
MP	SP	8
MP	SP	4
MP	CC	8
SSUV	MP	8

본 실험에서는 후방 차량의 실내에 블랙박스 장치를 장착하여 추돌 전후의 영상을 촬영하여 분석하였다. C사의 제품으로 1920x1080의 FHD 해상도의 영상을 초당 25 프레임(fps)으로 촬영하는 장비이다. 블랙박스 작동 중에 영상이 메모리카드에 연속해서 저장되기 때문에 실험을 여러 번 반복하여 추돌 전후의 영상을 찾아 분석하기 용이한 제품이다[8].

실험에는 H사의 승용차와 경차, SUV 등의 차량이 활용되었는데, 그 사양은 Table 1과 같다. 중형승용-소형승용, 중형승용-경차, 소형SUV-중형승용 등의 다양한 조합으로 추돌 실험을 수행하였다. 추돌 조합과 견인장치의 추돌 속도 설정값 등을 Table 2에 정리하였다.

3. 실험결과 및 분석

실험(중형승용←소형승용, 견인속도 8km/h)에서는 초기 거리 9m에서 찍은 영상에서 앞 차량(중형승용)의 번호판 길이를 기준으로 계산을 수행하였다. 이 경우 X_1 =9m 이고, L_1=13mm 이다. 두 번째 사진에서는 번호판의 길이가 21mm 이고, 충돌 직전인 세 번째 사진에서는 36mm 이다. 두 번째와 세 번째 사진 사이의 경과 시간은 1초 이다. 이 경우 Table 3과 같이 충돌 속도가 계산된다. 계산 결과가 8.36km/h로 나오는데 이는 견인속도인 8km/h에 근접하는 값으로 판단된다.

Table 3. Test for MP ← SP (Set speed = 8km/h)

L [mm]	Ratio	X [m]	△X [m]	Estimated speed	
				[m/s]	[km/h]
L_1=13	$\frac{L_2}{L_1}$	$X_2 = X_1\frac{L_1}{L_2}$ $X_3 = X_2\frac{L_2}{L_3}$	$X_3 - X_2$	$\frac{(X_3 - X_2)}{t}$	$\times 3.6$
L_2=21	1.62	X_2=5.57	-	$t = 1.0\sec$	-
L_3=36	2.77	X_3=3.25	2.32	2.32	8.36

Table. 4 Set speed vs. Estimated speed

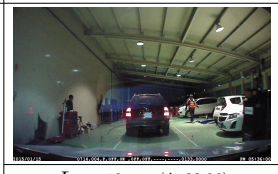
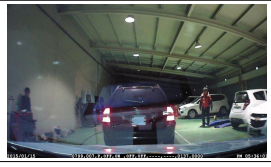
No.	Car	Set speed (km/h)	Estimated speed (km/h)	Error (%)
1	MP ← SP	8	8.36	4.50
2	MP ← SP	4	3.31	17.2
3	MP ← CC	8	7.93	0.87
4	SSUV ← MP	8	8.64	8.00

이런 방식을 적용하여 다양한 추돌상황의 이미지와 그 계산 결과를 정리한 것이 Table 5 이다. 단, 실험에 사용된 소형SUV의 경우 구형번호판이 장착된 차량으로 9m 거리에서 측정된 영상 이미지 상에서 번호판의 길이는 8mm 이다. 즉, 소형SUV←중형승용의 추돌 상황에서 L_1 = 8mm, X_1= 9m가 된다. Table 5의 견인속도와 계산속도를 비교하여 정리하면 Table 4와 같고, 그 계산과정을 플로우차트로 표현한 것이 Fig. 3이다.

차종에 따라 오차의 크기가 다소 변화하나 추돌속도의 크기가 8~4km/h의 매우 낮은 값이기 때문에 그 오차가 백분율 자체는 큰 값이나 실제의 속도 값으로는 0.3~0.7km/h 정도의 작은 값으로 볼 수가 있다. 따라서 실무에서 블랙박스 영상을 분석하여 저속 추돌사고의 추돌속도를 연산할 때에는 의미 있는 결과를 산출할 것으로 판단된다.

본 실험에서 사용된 블랙박스 장치의 촬영속도가 25fps 이기 때문에 각 이미지 사이의 시간 간격이 0.04초 정도이다. 추돌속도가 36km/h=10m/s의 경우 0.04초 동안 0.4m의 거리가 좁아지고, 72km/h=20m/s의 경우 0.8m의 거리가 좁아지는 것에 해당한다. 따라서 전문 영상분석 장치를 사용하여 영상의 이미지 프레임별로 거리와

Table 5. The results of the test and speed estimation

#1 MP ↑ SP @8km/h			Estimated Speed (km/h)
	L_2 = 21mm (t=45:30)	L_3 = 36mm (t=45:31)	8.36
#2 MP ↑ SP @4km/h			Estimated Speed (km/h)
	L_2 = 26mm (t=35:28)	L_3 = 34mm (t=35:29)	3.81
#3 MP ↑ CC @8km/h			Estimated Speed (km/h)
	L_2 = 17mm (t=55:20)	L_3 = 25mm (t=55:21)	7.93
#4 SSUV ↑ MP @8km/h			Estimated Speed (km/h)
	L_2 = 12mm (t=36:00)	L_3 = 20mm (t=36:01)	8.64

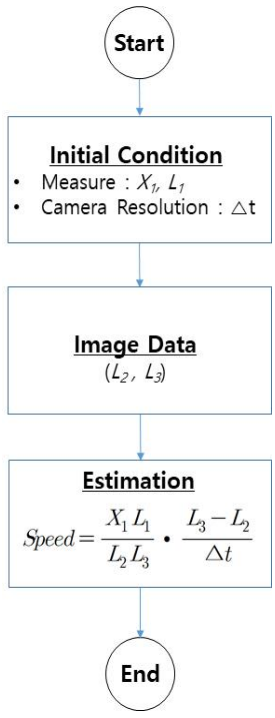


Fig. 3. Flow chart for impact speed estimation

번호판의 길이 변화를 측정하여 분석하는 경우 시간으로는 0.04초, 거리로는 0.4m 이하의 정밀도로 측정할 수 있다. 상당히 높은 수준의 정밀도이므로 사고현장에서 추돌속도에 대한 분쟁은 예방할 수 있을 것으로 판단된다[10]. 본 연구에서는 직선으로 후방 추돌하는 경우에 대해서만 그 결과를 적용하였다. 각도를 두고 후방 추돌하는 경우 이미지 영상에서 그 추돌 각도를 추출하는 기법까지 적용하여 계산하여 다소 복잡해질 수 있다[11]. 하지만 번호판의 좌우 끝의 세로 길이의 차이를 이용하면 추돌 각도까지 이미지 분석에서 계산할 수 있기 때문에 추후 연구에서는 이러한 경사 추돌에 대해서도 속도 연산법을 제안할 수 있을 것으로 판단된다[12].

마지막으로 본 연구에서 전방 차량이 정지한 상태로 실험하였기 때문에 실제 추돌 상황을 정확하게 반영하지 못한 것으로 볼 수 있다. 하지만 전방 차량이 어떤 속도로 주행하는 경우에 본 연구의 계산법을 적용하면 전후방 차량의 상대속도가 계산된다. 추돌 사고에서 운전자가 입는 부상의 정도는 전후방 차량의 상대속도에 비례하기 때문에 역시 본 연구의 결과가 유의미한 기준을 제시할 수 있을 것으로 판단된다[13]. 전방과 후방의 두 차량의 상대속도가 클수록 충돌 시에 운전자에게 가해지는 충격은 클 것이기 때문이다[14].

4. 결론

저속으로 추돌하는 경우 추돌 속도에 따라 부상자가 입는 부상의 정도가 크게 변화한다. 따라서 추돌 속도의 계산이 중요한데, 본 연구에서는 블랙박스에 촬영된 영상 이미지를 분석하여 추돌속도를 계산하는 알고리즘을 제안하였다. 이 연산법에서는 일정거리에서 떨어져 촬영된 이미지에 나타나는 차량의 번호판의 길이를 기준으로 한다. 즉, 초기거리와 초기길이를 설정해 두면, 영상 이미지에서 두 차량이 접근할수록(거리가 짧아질수록) 번호판의 길이가 증가하는 비율을 이용하여 추돌속도를 상당한 정밀도로 계산할 수 있다.

와이어로프를 전기모터로 구동하여 직선 후방 추돌 상황을 재현하였고, 다양한 차종의 추돌 상황에 대해 본 알고리즘을 적용하여 그 추돌속도를 계산한 결과 오차율 10% 내외였다. 저속 추돌속도의 값이 10km/h 이하로 본다면 이 오차율은 1km/h 정도에 해당하는 값으로 볼 수 있어 사고 현장에서 사용하기 합리적일 것으로 판단된다[15].

본 연구에서 제안한 추돌속도 연산법은 영상 촬영 속도가 증가할수록 그 정밀도가 높아질 수 있다. 다만, 직선 추돌 사고에 대해서만 적용해야 하며, 각도를 두고 추돌하는 경우에는 별도의 실험을 통해 제안할 수 있을 것이다.

REFERENCES

[1] J. Lotta & N. Hans. (2002). Suggestions for Evaluation Criteria of Neck Injury Protection in Rear-End Car Impacts, *Traffic Injury Prevention, 3(3),* 216-223.

[2] D. E. Lefler & H. C. Gabler. (2004). The fatality and injury risk of light truck impacts with pedestrians in the United States, *Accident Analysis & Prevention, 36(2),* 295-304.

[3] B. T. Ahn. (2018). Study for Drowsy Driving Detection & Prevention System, *Journal of Convergence for Information Technology, 8(3),* 193-198.

[4] S. Y. Oh. (2012). A Traffic Hazard Prediction Algorithm for Vehicle Safety Communications on a highway, *Journal of Digital Convergence, 10(9),* 319-324.

[5] S. J. Lee C. H. Lee, A. Park & K. H. Kim. (2017). A Convergence Study on the Differences in Medical Practices and Medical cost according to Auto Insurance Companies, *Journal of the Korea Convergence Society, 8(5),* 61-68.

[6] I. H. Han. (2012). Reconstruction Analysis of Multi-Car Rear-End Collision Accidents: Empirical/Analytical Methods, and Application of Video Event Data Recorder, *Journal of Korean Society of Transportation, 30(2),* 127-136.

[7] S. M. Kan & J. H, Kim. (2009). An empirical study on the relationship of speed change and injuries subjected by rear-end collisions, *Journal of the Korean Data & Information Science Society, 20(5),* 797-807.

[8] G. Dagmar, C. David & V. P. Lövsund. (1998). Car occupant safety in frontal crashes: a parameter study of vehicle mass, impact speed, and inherent vehicle protection, *Accident Analysis & Prevention, 100(6),* 713-722.

[9] R. Brach. (2003. 03. 03). Modeling of Low-Speed, Front-to-Rear Vehicle Impacts, *SAE Technical Paper, 2003-01-0491,* https://doi.org/10.4271/2003-01-0491

[10] R. Pride, D. Giddings, D. Richens & D. S. McNally. (2013). The sensitivity of the calculation of ΔV to vehicle and impact parameters, *Accident Analysis & Prevention, 55,* 144-153.

[11] S. M. Kang. (2008). A Study on the Effect of Delta-V Based on Vehicle Damages and Injuries Subjected by Rear-End Collisions, *Journal of the Korean Society of Safety, 23(2),* 72-80.

[12] P. Kubiak, K. Siczek, A. Dąbrowski & A. Szosland. (2016). New high precision method for determining vehicle crash velocity based on measurements of body deformation, *International Journal of Crashworthiness, 21(6),* 532-541.

[13] T. J. Szabo et al. (1994). Human Occupant Kinematic Response to Low Speed Rear-End Impacts, *SAE Transactions, 103(6),* 630-642.

[14] B. Arem. (2006). The Impact of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic-Flow Characteristics, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 7(4),* 429-436.

[15] R. Limpert & D. Andrews. (1991). Linear and Rotational Momentum for Computing Impact Speeds in Two-Car Collisions, *SAE Technical Paper 910123*, https://doi.org/10.4271/910123.

고 광 호(Ko, Kwang Ho) [정회원]

- 1991년 2월 : 서울대학교 항공공학과(공학사)
- 1993년 2월 : 서울대학교 항공공학과(공학석사)
- 2012년 8월 : 서울대학교 기계자동차공학부(공학박사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 평택대학교 스마트자동차학과 부교수
- 관심분야 : 차량제어, 친환경운전, 차량동역학
- E-Mail : kwangho@ptu.ac.kr