Transactions of KSAE, Vol. 29, No. 5, pp.427-436 (May, 2021)

Check for updates

Copyright © 2021 KSAE / 186-04
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2021.29.5.427

〈응용논문〉

PC-Crash 및 PDOF를 활용한 EDR 분석 사례 연구

임 상 현 · 박 정 우*

국립과학수사연구원 교통과

Case Study of EDR Analysis Using PC-Crash and PDOF

Sanghyeon Lim · Jungwoo Park*

Traffic Accident Analysis Division, National Forensic Service, 10 Ipchun-ro, Wonju-si, Gangwon 26460, Korea
(Received 19 August 2020 / Revised 11 December 2020 / Accepted 8 January 2021)

Abstract : EDR is one of the functions of ACU that records the event data when a crash occurs. In addition, EDR data is recorded if the crash or recording condition is satisfied. Prior to using the EDR data for traffic accident analysis, the EDR data should be verified whether the data is recorded from a specified situation by using the PDOF results, air-bag deployment status, and ignition cycle. In this study, two EDR analysis cases were covered. The first is that the PDOF results of EDR data differ from the actual damaged point on the vehicle. The second is that the crash point is different from the recorded event time. The accident reconstruction was performed by using PC-Crash based on the EDR data, vehicle damage status, and black box images. We arrived at the conclusions by taking advantage of a reconstructed accident simulation. The first conclusion is that the PDOF results of the EDR data differ from the actual damaged point on the vehicle when the vehicle crashed as it rotated. The reason is that the direction of the vehicle velocity is different from the actual direction on the vehicle. The second conclusion is that the time zero of the EDR data differs from the time of the crash with some other object. The EDR data is recorded when the crash or recording condition was satisfied. In particular, the recording conditions are defined by Delta-V of the longitudinal and lateral directions. So, if the moving vehicle satisfied the recording conditions, the EDR data is recorded even if the vehicle did not crash.

Key words : Principle direction of force(주충격력), Event data recorder(사고기록장치), Accident reconstruction(사고재구성), PC-CRASH(사고재구성 프로그램), Traffic accident analysis(교통사고분석)

1. 서 론

2015년 12월 19일부터 자동차관리법 29조의3(사고기록장치의 장착 및 정보 제공)에 의거하여 2016년도 이후 출시된 차량의 사고기록장치(Event Data Recorder, 이하 EDR)의 장착 여부 공개와 기록정보 공개가 의무화되었다. 미국에서는 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration) 49 CFR Part 56을 통해 2012년 9월부터 EDR에 대한 설치 권고 및 기록정보의 표준안이 시행되었고, 우리나라의 경우에도 NHTSA 49 CFR Part 563을 바탕으로 자동차관리법 시행규칙 제30조의2(사고기록장치의 장착 안내 및 정보제공 등), 자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙 제56조의2(사고기록장치 장착 기준) 그리고 KS R 5076 자동차용 사고기록장치 등의 내용에 근거하여 차량의 주행 정보와 운전자 조작 정보를 기록하는 항목에 대해 명시되어 있다.

북미에서는 1990년대부터 이벤트 발생 전 상황을 판단 할 수 있는 EDR 기록정보의 신뢰성에 관한 연구가 다수 진행되었고,[1,2] 충돌 후 차량의 전 · 측면 속도변화량을 이용해 상해 가능성을 예측하거나,[3] 주충격력(Principle Direction of Force, 이하 PDOF)의 추정방법 관한 연구[4]도 진행되었다.

한국의 경우에는 2016년부터 자동차관리법 시행규칙에 의해 EDR 기록정보 공개의무화가 이뤄짐에 따라 이벤트 발생 전 5초간 차량의 운행정보를 기록하는 EDR

*Corresponding author, E-mail: jungwoo17@korea.kr
*This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

기록정보의 신뢰성 평가에 대한 연구가 진행되었다. 한인환[5]은 불완전한 EDR 기록정보를 활용하여 사고 재구성 방법을 제안하였으며, 박종찬 등[6]은 충돌 실험을 통해 EDR 기록정보에 대한 신뢰성 평가를 수행하였다. 또한 윤대권 등[7]은 사업용자동차에 장착되는 디지털 운행기록계의 운행정보와 EDR 기록정보를 사례 바탕으로 비교 평가하였으며, 임상현 등[8,9]은 EDR 기록정보를 바탕으로 PC-Crash를 이용해 다중 및 연쇄 충돌 사고와 전복사고에 대한 사고 분석 방안을 제시하였다.

하지만 대부분의 연구에서는 이벤트 발생 5초전부터 이벤트 발생 시점까지의 EDR 기록정보에 대한 신뢰성 평가 부분에 국한하여 연구를 진행하였고, EDR 기록정보를 활용한 사고 분석 방법 연구 및 고찰에 대한 부분은 아직까지 미비한 상황이다.

EDR 기록정보는 차량의 운행정보를 포함하고 있는 만큼 강력한 사고 분석 도구로 이용된다. 그러므로 EDR 기록정보를 사고 분석에 이용하기 위해서는 사고 차량으로부터 추출한 EDR 기록정보가 사고 상황과 일치하는지 확인해야하며, 이벤트 발생 시점에 대한 명확한 해석이 필요하다.

일반적으로 EDR 기록정보의 0초(이벤트 발생 시점)는 충돌 시점으로 해석되지만, 사실 EDR 기록정보의 0초는 상대 차량 및 사물과의 접촉 시점을 의미하지 않으며, 아래 각 항목 중 먼저 발생한 항목에 의해 설정된다.

(1) 에어백제어장치의 “켜짐(Wake-Up)”기능을 가진 경우에 에어백 제어 프로그램이 작동되는 경우
(2) 진행방향 속도변화 누계가 0.02초 이내에 시속 0.8 km/h에 도달하는 경우 혹은 측면방향 속도변화 누계가 0.005초 이내에 시속 0.8 km/h에 도달하는 경우(측면방향 속도변화 누계를 기록하는 자동차의 경우)
(3) 에어백 또는 좌석안전띠 피리로딩 장치 등 비가역 안전장치가 전개되는 경우

그러므로 에어백 전개 사고의 경우 에어백 전개 시점을 0초로 기록하지만, 에어백 미전개 사고의 경우에는 속도변화 누계 값이 EDR 기록요건에 해당하면 충격이 발생하지 않아도 이벤트로 기록하는 상황이 발생하여 사고 분석 시 충격 시점 및 속도를 파악하는데 어려움을 준다.

본 연구에서는 EDR 기록정보의 PDOF 방향이 차량의 파손부위와 다르거나, 에어백 미전개 사고에서 EDR 기록요건을 만족해 이벤트로 기록하는 사고 사례를 바탕으로 PC-CRASH 사고 재구성 시뮬레이션을 수행하였고, EDR 기록정보의 전면 · 측면 속도변화량을 이용한 PDOF의 분석방법 및 시뮬레이션을 이용한 에어백 미전개 사고의 이벤트 기록 시점에 대한 분석을 수행하였다.

2. EDR 기록정보 확인

EDR 기록정보는 강력한 사고 분석 도구이다. 이러한 도구를 사용하기에 앞서 분석가는 EDR 기록정보가 사고 상황과 일치하는지를 시동 스위치 작동 누적횟수 및 PDOF를 이용해 확인하는 과정을 진행해야 한다.

2.1 시동 스위치 작동 누적횟수

이벤트 발생 시, 충돌 기록 시 시동 스위치 작동 누적횟수와 정보 추출 시 시동 스위치 작동 누적횟수는 자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙 제56조의2 제2항 관련 사고기록장치 장착기준에 의해 EDR 기록정보에 기록되며, 여기서 “충돌 기록 시 시동 스위치 작동 누적횟수”는 사고지점까지 ACU에 전원이 총 몇 회인가 되었는지를 의미하고, “정보 추출 시 시동 스위치 작동 누적횟수”는 ACU에서 VCI(Vehicle Communication Interface) 장비를 통해 데이터 추출을 할 때 전원이 들어간 시점의 횟수를 의미한다.

그러므로 사고 분석가는 이러한 두 가지 작동횟수의 차이를 충분히 고려하여 그 차이가 너무 크지 않다면, EDR 기록정보가 해당 사고에 의해 기록된 것으로 고려할 수 있다.

2.2 주충격력(PDOF)

ACU는 일반적으로 차량의 무게 중심과 가장 근접한 곳에 위치하며, 차체와 단단하게 고정된다. ACU는 상대 차량 혹은 구조물과 충격이 발생하여 에어백이 전개되거나, EDR 기록요건에 해당하는 속도변화가 기록될 경우 이벤트 기록 시점(Time Zero: T0)부터 250 ms(300 ms)까지 전면 · 측면의 속도변화량을 기록하는데 이 속도변화량을 아래 식 (1)에 대입하여 PDOF를 계산한다.[4]

$$PDOF = \tan^{-1}\left(\frac{-\Delta V_y}{-\Delta V_x}\right) \quad (1)$$

where, ΔV_x : change in velocity in the longitudinal direction (km/h)
ΔV_y : change in velocity in the lateral direction (km/h)

사고 분석가는 사고 차량으로부터 추출한 EDR 기록정보의 속도변화량 누계 값을 이용해 Fig. 1과 같이 PDOF를 확인하고, 사고 차량의 파손 부위 및 영상에서 확인할 수 있는 충돌 부위와 충격방향을 상호 비교하여

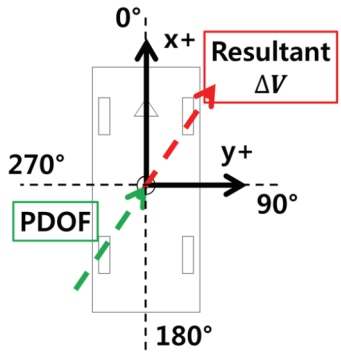

Fig. 1 PDOF definition

EDR 기록정보와 사고 상황의 일치여부를 확인한다.

3. 사고 사례

본 연구에서는 아래와 같은 두 가지 사고 사례를 선택하였다. 사례 1의 경우에는 실제 차량의 파손부위와 EDR 기록정보를 바탕으로 계산한 PDOF의 방향이 달라 주충격 방향에 대한 혼란을 줄 수 있으며, 사례 2의 경우에는 EDR 기록정보가 충돌 상황에서 발생하지 않고 이후 다른 시점에서 이벤트가 발생해 차량의 충격 속도를 분석하는데 어려움을 주는 사례이다.

3.1 사례 1

첫 번째 사례는 2012년 기아자동차 모닝(Morning) 차량이 고속도로 2차로를 진행하던 중 좌・우측으로 휘청거리며 중앙분리대를 충격한 사고이다. 차량과 운전자 진술이 제시되었으며, 사고 상황을 촬영한 CCTV 혹은 차량 내부 블랙박스 영상은 존재하지 않는다. 그러므로 Fig. 2에는 제시된 운전자 진술을 바탕으로 사고 상황을 표현한 그림이다.

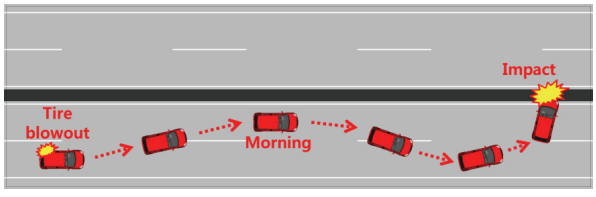

Fig. 2 Accident situation of CASE 1

Photo. 1은 제시된 사고 차량 앞・뒤를 촬영한 사진이다. 차량의 좌측 전조등 및 전면 범퍼의 일부는 파손되어 이탈된 상태이며, 좌측 전면 휀더도 파손되었다.

Photo. 1 Damaged vehicle

Photo. 2는 사고 차량의 전면 범퍼를 확대 촬영한 사진이다. 충격에 의해 전면 범퍼의 일부가 파손되었지만, 남아있는 전면 범퍼에는 조수석에서 운전석 방향으로 쓸린 흔적이 확인된다.

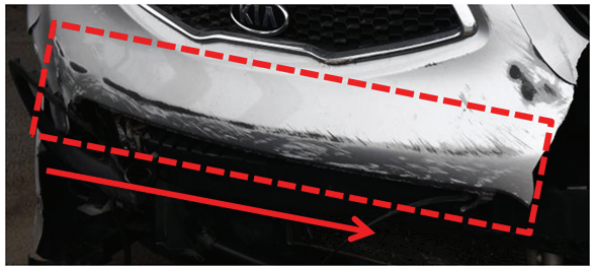

Photo. 2 Front bumper of vehicle

Photo. 3은 타이어 파손 사진이다. 제시된 자료에 따르면 운전자는 사고 후 차량에서 내려 확인해보니 차량 좌측 뒤 타이어가 펑크나 있었다고 했다. 좌측 뒤 타이어(165/60R14)를 확인해본 결과, 트레드와 사이드월 사이가 찢어지며 타이어 공기압이 완전히 소실된 것으로 확인된다.

Photo. 3 Tire blowout

Photo. 4는 차량의 에어백 사진이다. 운전석 및 조수석 에어백은 모두 전개된 상태이다.

Photo. 4 Air-bag status of vehicle

다중사고 횟수 (1 or 2)	1개 이벤트
다중사고 간격 1 to 2 [msec]	0
정상기록 완료여부 (Yes or No)	YES
충돌기록시 시동 스위치 작동 누적횟수 [cycle]	15881
정보추출시 시동 스위치 작동 누적횟수 [cycle]	15884
운전석 정면 에어백 전개 시간 (1단계) [msec]	27
조수석 정면 에어백 전개 시간 (1단계) [msec]	27

Fig. 3 Event status at event on EDR reports

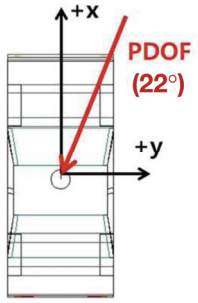

Fig. 4 PDOF of Morning

모닝 차량의 EDR 기록정보 추출을 위해 VCI장비를 이용하여 차량의 OBD-II(On Board Diagnostic-II)단자를 통해 EDR 기록정보를 추출하였다.

Fig. 3을 보았을 때, EDR 기록정보의 충돌 기록 시 누적횟수는 15881 회, 정보 추출 시 누적횟수는 15884 회로 충돌에 의한 기록 횟수와 EDR 기록정보를 추출할 때의 횟수가 유사하게 확인되었다. 또한 운전석 및 조수석 정면 에어백이 전개된 것으로 확인된다. 그러므로 해당 EDR 기록정보는 에어백 전개 여부 및 충돌 기록 시 누적횟수 및 정보 추출 시 누적횟수가 유사한 점으로 보아 본 사고에 의해 발생한 것으로 보인다.

Table 1 EDR data of morning

Time(sec)	Speed(km/h)	Brake(on/off)
-5.0	141	on
-4.5	138	on
-4.0	128	on
-3.5	121	on
-3.0	115	off
-2.5	106	on
-2.0	104	on
-1.5	94	on
-1.0	87	on
-0.5	77	on
0.0	54	on

EDR 기록정보의 진행방향 최대 속도 변화량은 80 ms에 -27 km/h, 측면방향 최대 속도 변화량은 260 ms에 -11 km/h로 기록되었으며, Fig. 4와 같이 약 22 도 방향으로 가해진 충격에 의해 기록된 데이터로 확인된다.

Table 1은 추출된 EDR 기록정보 데이터에서 자동차 속도, 제동페달 작동여부를 정리하였다. EDR 기록정보의 조향핸들 각도의 경우에는 “유효하지 않은 데이터”로 표시되어 제외하였다.

3.2 사례 2

두 번째 사례는 2016년 현대자동차 그랜저(Grandeur) 차량이 2차로 진행 중 진행방향 우측으로 진행하던 경운기와 충격한 후, 좌측 → 우측 → 좌측 방향으로 회전하면서 중앙 가드레일과 충격 후 최종 정지한 사고이다.

그랜저 차량은 제시되지 않았고, 그랜저 차량의 블랙박스 전 · 후방 영상과 EDR 기록정보만 제시되었다. Fig. 5에는 그랜저 차량의 블랙박스 영상을 바탕으로 경운기와 충격하기 전부터 최종 정지시점까지 사고 상황을 표현하였고, Fig. 6에는 Fig. 5의 캡처한 시점을 바탕으로 사고 상황을 표현하였다.

그랜저 차량의 EDR 기록정보에는 총 2 개의 이벤트가 저장되었으며, 이벤트 1의 스위치 작동 누적횟수는 충돌 기록 시 7652 회, 정보 추출 시 7671 회로 이벤트 2의 경우에도 같은 정보를 표시하고 있다. 그러므로 이벤트 1과 2는 같은 횟수의 시동이 걸린 상태에서 발생한 것으로 확인된다.

또한 EDR 기록정보의 이벤트 1 진행방향 최대 속도 변화량은 300 ms에 -1 km/h, 측면방향 최대 속도 변화량은 300 ms에 -9 km/h로 기록되었으며, 이벤트 2 진행방향 최대 속도 변화량은 295 ms에 0 km/h, 측면방향 최대 속

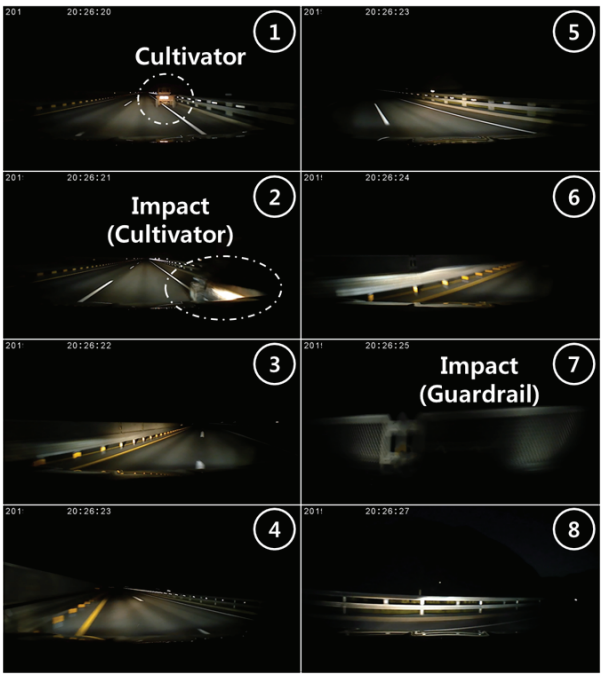

Fig. 5 Accident situation in Blackbox

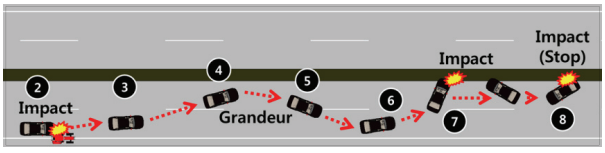

Fig. 6 Accident situation of CASE 2

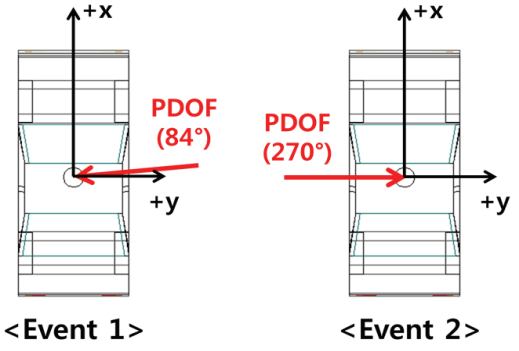

Fig. 7 PDOF of Grandeur

도 변화량은 300 ms에 9 km/h로 기록되었다.

그러므로 Fig. 7과 같이 이벤트 1의 경우에는 차량 진행방향 기준 우측에서 좌측으로, 이벤트 2의 경우에는 좌측에서 우측으로 작용하는 힘에 의해 기록된 것으로 확인된다.

각각의 이벤트에서 확인할 수 있는 "사고 시점의 구속장치의 전개명령 정보"에서 차량에 장착된 어떠한 에어

Table 2 EDR data of Grandeur

Time (sec)	Speed (km/h)	Brake (on/off)	Steering (deg)	Event (E1 / E2)
-7.5	92	off	5	E1
-7.0	92	off	5	E1
-6.5	91	off	0	E1
-6.0	90	off	0	E1
-5.5	89	off	0	E1
-5.0	89	off	0	E1 / E2
-4.5	86	on	40	E1 / E2
-4.0	84	off	-130	E1 / E2
-3.5	75	off	-250	E1 / E2
-3.0	67	off	-165	E1 / E2
-2.5	64	off	15	E1 / E2
-2.0	62	off	210	E2
-1.5	56	off	10	E2
-1.0	47	off	-250	E2
-0.5	16	on	-250	E2
0.0	14	off	-250	E2

백도 전개되지 않음으로 확인된다.

EDR 기록정보에 기록된 이벤트 1과 이벤트 2의 시간 간격은 2,100 ms이며, 각각의 이벤트에 기록된 데이터를 중첩하여 속도, 제동여부 그리고 조향각도를 Table 2와 같이 표현하였다.

Table 2를 보면 최종 이벤트 발생 전 7.5초전부터 차량의 운행정보를 확인할 수 있는데 -2.5초에 이벤트 1이 발생하고, 0.0초에 이벤트 2가 기록되는 것을 확인할 수 있다.

4. PC-CRASH 시뮬레이션

PC-CRASH는 Dr. Hermann Steffan에 의해 개발되었으며 교통사고분석분야에서 차량의 동적 거동을 해석하는데 사용되는 프로그램이다. 유저는 차량의 충돌 속도 및 자세 등의 다양한 변수를 설정하면 프로그램 내부 동역학 모델(Kinetics model)을 기반으로 타이어에 작용하는 종방향 및 횡방향 힘을 계산하고, 계산된 값을 이용하여 무게중심에 가해지는 가속도를 바탕으로 차량의 거동을 구현한다.[10]

4.1 차량 제원

차량의 주요 제원을 조회하여 전장, 전고, 전폭 등의 값을 PC-CRASH에 입력하였다. 하지만 주요제원 중의 하나인 차량의 무게중심은 나와 있지 않기 때문에

Table 3 Vehicle specifications

	CASE 1	CASE 2
	Morning	Grandeur
Weight(kg)	875	1,670
Length(m)	3.595	4.920
Width(m)	1.595	1.860
Height(m)	1.485	1.470
Wheel base(m)	2.385	2.845
Front tread(m)	1.421	1.613
Rear tread(m)	1.424	1.614
Height of CG(m)	0.556	0.560

KNCAP의 주행전복안전성 테스트의 결과중의 하나인 정적안전성인자(Static Stability Factor, SSF)계수를 참고하여 차량의 무게중심높이를 역계산하여 차량의 무게중심높이를 설정하였다.[11)]

차량의 주요 제원 및 무게중심높이는 Table 3과 같으며, 정적안전성인자(SSF)는 75 kg의 인체모형 1 명을 운전석에 탑승시킨 상태에서 윤거(전 · 후륜 평균)와 무게중심 높이를 측정하여 아래 식 (2)와 같이 계산된다.

$$SSF = \frac{T}{2H} \tag{2}$$

where, T : tread (m)

H : height of the centre of gravity (m)

4.2 사고 사례 재구성

PC-CRASH에 차량의 제원, 사고현장을 설정한 후, 각 차량의 파손부분 및 영상자료 그리고 EDR 기록정보를 바탕으로 시뮬레이션을 수행했다.

4.2.1 사례 1

사례 1의 경우에는 모닝 차량이 약 140 km/h 속도로 주행 중 타이어 펑크를 시작으로 사고가 발생하였다. 하지만 PC-CRASH에는 “타이어 펑크”라는 설정옵션이 존재하지 않는다. 그러므로 모닝차량의 타이어 제원(165/60R14)을 바탕으로 지면으로부터 휠까지의 높이를 계산하여 해당 높이만큼 좌측 뒤 타이어의 제원변경을 하고, 타이어의 구름저항력을 증가시켜 타이어 펑크 효과를 설정하였다.[12)]

모닝 차량의 EDR 기록정보에는 조향핸들 각도에 대한 값이 기록되지 않아 정확한 조향각도에 대한 설정은 불가하지만, 운전자의 진술과 타이어 펑크가 발생한 후의 거동을 바탕으로 좌 · 우로 휘청거리며 중앙분리대의 충격위치에 충격하는 상황을 고려하였다.

사례 1에 대한 PC-CRASH 시뮬레이션 설정은 다음과 같다. 충격 지점까지의 경로는 타이어 펑크 후 차량의 거동에 대한 정보와 운전자의 진술을 바탕으로 가드레일과 충격하는 위치까지의 주행 경로를 설정하였다. PC-CRASH에는 초기 속도를 설정한 후에 감가속도의 변화 값으로 차량의 속도를 제어할 수 있다. 그러므로 모닝 차량의 속도는 EDR 기록정보의 초기 속도 값을 설정한 후, 시퀀스 테이블(Sequence table)을 이용하여 0.5초 단위로 가속도 값을 적용하였다. Fig. 8은 전체적인 시뮬레이션 결과를 표현한다.

Fig. 9는 PC-CRASH에서 해석된 차량의 속도를 검은 실선으로 표현하였고, EDR 기록정보의 속도는 빨간 점으로 표현하였다. PC-CRASH 시뮬레이션 결과 EDR 기록정보의 속도와 유사하게 해석되는 것을 볼 수 있다.

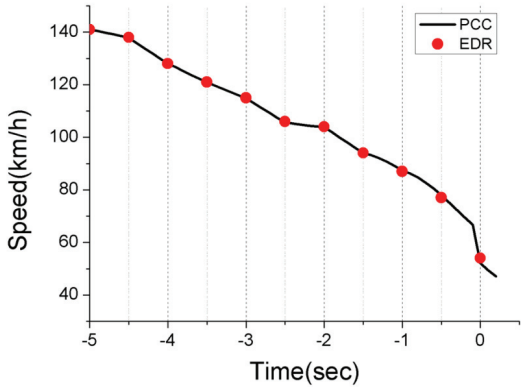

Fig. 9 Simulation speed result of CASE 1

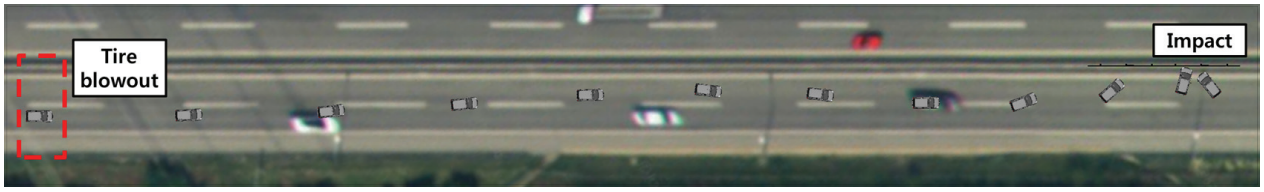

Fig. 8 Simulation result of CASE 1

4.2.2 사례 2

사례 2의 경우에는 블랙박스 영상이 존재하고 전체 이벤트 중에서 총 2번의 제동페달을 작동하였기 때문에 제시된 후방 블랙박스 영상에서 확인되는 제동램프 점등 상태, 운전자 음성 및 충격음을 이용하여 이벤트 1의 운행구간과 이벤트 2의 운행구간을 특정하였다.

블랙박스 전·후방 영상은 각각 18초의 재생시간을 가지며, 1초에 할당된 프레임수가 달라 별도의 인코딩 과정을 거쳐 1초에 30프레임으로 변환하였다.

Fig. 10은 경운기, 가드레일과 충돌한 시점, 제동램프 점등 시점을 표시한 타임라인이다. Fig. 10을 보면 전체 영상에서 약 8.3초에 경운기와 충돌하고, 약 8.6초부터 8.9초까지 첫 번째 제동램프가 점등된다. 이후, 약 12.5초부터 12.6초까지 두 번째 제동램프가 점등되며 가드레일과 충돌한다. 이후, 약 14.6초부터는 세 번째 제동램프가 점등된 상태로 차량은 정지하는 것으로 확인된다.

Table 2의 EDR 기록정보에서 -4.5초와 -0.5초에 제동페달을 밟은 것으로 확인되며, 두 신호의 시간 간격은 약 4.0초이다. Fig. 10의 타임라인에서 첫 번째와 두 번째 제동램프 점등시간 간격이 약 3.6초에서 4.0초까지로 EDR 기록정보에서 확인된 제동페달 시간 간격과 유사한 것으로 확인된다.

그러므로 그랜저 차량은 Table 2의 EDR 기록정보 기준 -5.0초에서 -4.5초 사이에 경운기 차량과 충돌하고, 우측에서 좌측 방향으로 조향하는 시점에 이벤트 1이 기록되었으며, -1.0초에서 -0.5초 사이에 가드레일과 충격 후 차량이 회전하며 이벤트 2가 기록된 것으로 확인된다.

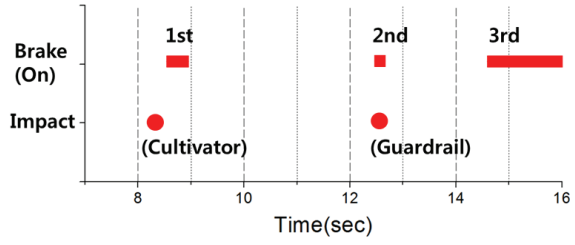

Fig. 10 Timeline of impact and brake operation

Fig. 11은 그랜저 차량의 이벤트 1의 영역과 이벤트 2의 영역을 구분하였고, 이를 바탕으로 사고 상황을 재구성한 그림이다.

사례 2의 경우에는 영상 및 EDR 기록정보의 조향각도를 바탕으로 경운기와의 충돌 시점 및 가드레일과의 충격 시점을 고려하여 PC-CRASH에 주행 경로를 설정하였다. 또한 차량의 속도는 사례 1과 동일하게 초기 속도 값에 0.5초 단위로 가속도 값을 적용하여 충격 시점까지의 PC-CRASH 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 12에는 EDR 기록정보의 속도와 PC-CRASH의 해석 결과를 표현하였으며, PC-CRASH는 검은 실선으로, EDR 기록정보는 빨간 점으로 표현하였다.

5. 사고 상황 분석

5.1 사례 1

모닝 차량은 Photo.1과 같이 좌측 전조등 및 전면 범퍼의 일부가 파손되어 이탈된 상태이며, 좌측 전면 휀더 부분에서도 파손이 확인된다. EDR 기록정보의 경우에는 Fig. 4와 같이 우측 전면부에서 좌측 후면부 방향으로 PDOF가 계산된다. 이러한 자료들을 보았을 때, 실제 파손부위와 EDR 기록정보는 다른 충격 방향을 보이는 것을 알 수 있다.

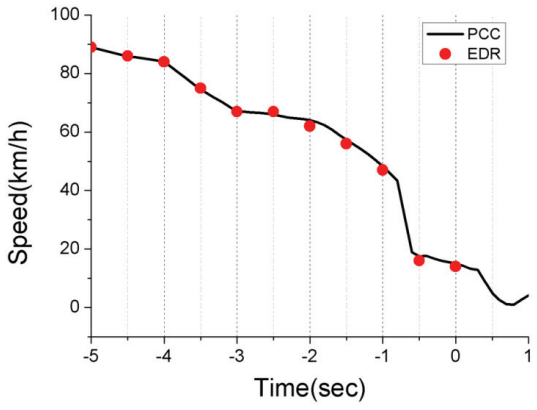

Fig. 12 Simulation speed result of CASE 2

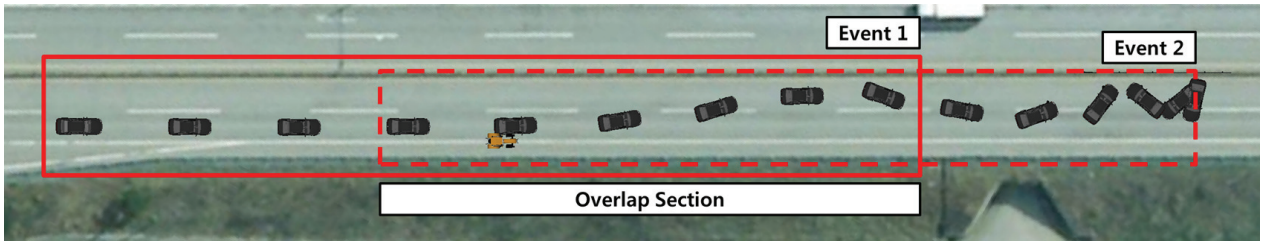

Fig. 11 Simulation result of CASE 2

EDR 기록정보의 전면·측면의 속도변화량은 이벤트 기록 시점부터 10 ms 단위로 0 ms ~ 250 ms까지 기록하며, 최대 속도 변화량은 최대 300 ms까지 내부데이터로 기록한다. 즉, 260 ms부터 300 ms까지의 데이터는 EDR 기록정보에 포함되지 않으며, 최대 속도 변화량을 표현할 때만 사용된다.

EDR 기록정보 및 PC-CRASH 결과를 바탕으로 모닝 차량의 전면·측면의 속도변화량과 PDOF 그리고 이벤트 발생 시점 및 이후 0.3초까지의 거동을 Fig. 13과 Fig. 14에 표현하였다.

Fig. 13을 보면 전면 속도변화량은 80 ms에 -27 km/h에 도달하며 이후 -27 km/h를 유지하고, 측면 속도변화량은 250 ms까지 -10 km/h로 변하며 최대 속도변화량은 260 ms에 -11 km/h로 기록된다.

Fig. 14를 보면 0.0초에 좌측 전조등 부위가 가드레일과 충격을 하고, 0.3초까지 차량이 반시계방향으로 회전하며 가드레일과 분리되는 것을 볼 수 있다.

그러므로 Fig. 13의 데이터를 이용하여 차량의 충돌 후 거동을 분석하면 0.0초에 차량은 가드레일과 충격하고 80 ms까지 전면방향으로 차량 변형이 일어나며, 이후 260 ms까지는 측면방향의 속도변화량이 계속 증가하며 차량이 반시계방향으로 회전해 실제 파손부위와 PDOF의 결과가 다른 것으로 분석된다.

5.2 사례 2

그랜저 차량의 EDR 기록정보를 보면 이벤트 1의 경우 차량 진행방향 기준 우측에서 좌측으로, 이벤트 2는 좌측에서 우측으로 주충격방향이 계산되었다.

그러므로 실제 그랜저 차량의 블랙박스 영상에서 확인할 수 있는 1차 충격(경운기) 및 2차 충격(중앙가드레일)의 방향과 EDR 기록정보의 PDOF는 다른 충격 방향인 것을 알 수 있다.

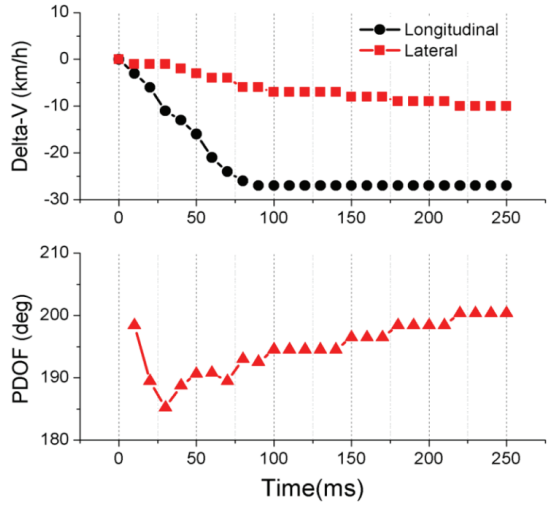

Fig. 13 Delta-V & PDOF of Case 1

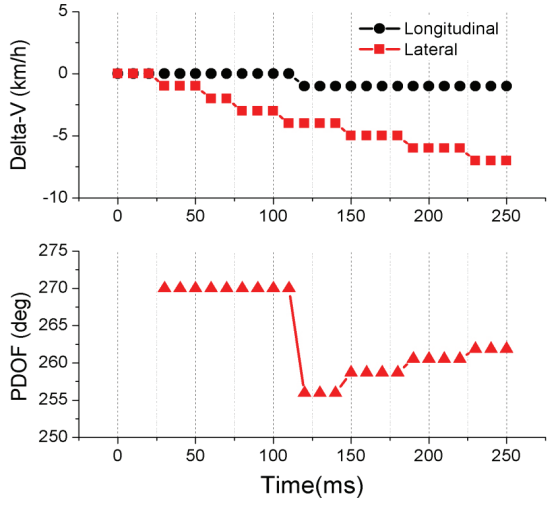

Fig. 15 Delta-V & PDOF of Case 2 (Event 1)

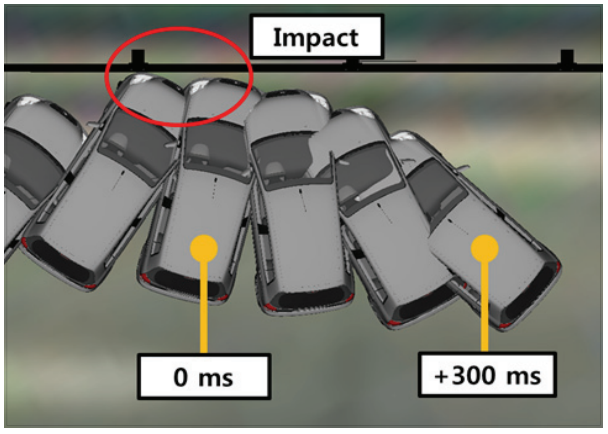

Fig. 14 Vehicle position of CASE 1 from 0 to 300 ms

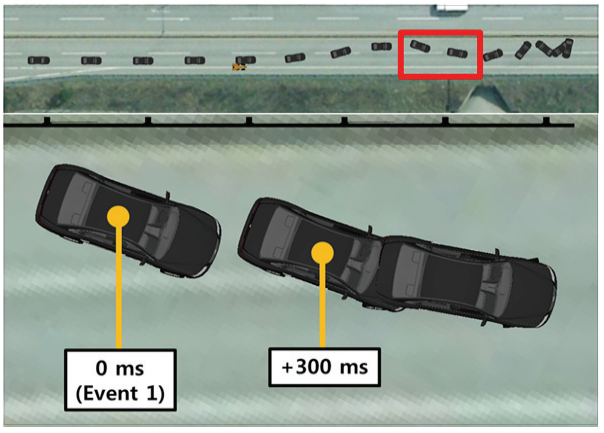

Fig. 16 Vehicle position of CASE 2 (Event 1, 0~300 ms)

EDR 기록정보 및 PC-CRASH 결과를 바탕으로 그랜저 차량의 전면・측면의 속도변화량과 PDOF 그리고 각각의 이벤트 발생 시점 부근의 거동을 이벤트 1은 Fig. 15와 Fig. 16에 이벤트 2는 Fig. 17과 Fig. 18에 표현하였다.

Fig. 15를 보면 전면 속도변화량은 120 ms까지 -1 km/h에 도달하며 최대 속도변화량은 300 ms에 -1 km/h로 기록되고, 측면 속도변화량은 250 ms까지 -7 km/h로 변하며 최대 속도변화량은 300 ms에 -9 km/h로 기록된다.

이처럼 측면 속도변화량이 전면 속도변화량보다 아주 큰 경우는 차량 측면에 집중적으로 힘이 작용할 때 보이는 현상이며, 최대 속도변화량이 250 ms 이상의 값을 보이는 경우에는 차량이 계속해서 전면 혹은 측면 방향으로 움직이고 있음을 의미한다.

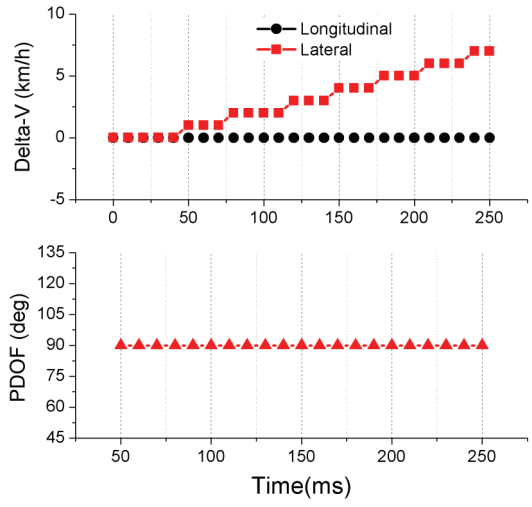

Fig. 17 Delta-V & PDOF of Case 2 (Event 2)

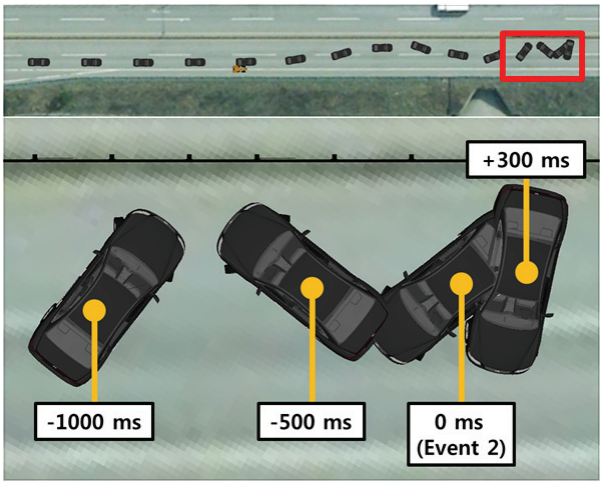

Fig. 18 Vehicle position of CASE 2 (Event 2, -1000~300 ms)

Fig. 16은 이벤트 1의 0.0초에 차량은 1차로에서 2차로로 급격하게 차선을 변경하고 있는 상황이다. 또한, 차량이 급격하게 우측으로 조향을 하면 차량은 좌측으로 관성력에 의해 힘을 받고, 차량에 가해지는 가속도는 상대적으로 전면 방향보다 측면방향으로 크게 작용한다.

그러므로 이벤트 1은 0.0초 부근에서 차량이 우측으로 급격하게 조향하면서 차량의 측면방향 가속도가 EDR 기록요건에 만족하게 되며 이벤트 1을 기록한 것으로 분석된다.

Fig. 17을 보면 전면 속도변화량은 295 ms까지 0 km/h로 기록되고, 측면 속도변화량은 250 ms까지 7 km/h로 변하며 최대 속도변화량은 300 ms에 9 km/h로 기록된다. 이벤트 2의 경우에도 이벤트 1과 동일하게 차량 측면에 집중적으로 힘이 작용할 때 보이는 현상이다.

Fig. 18은 이벤트 2 발생 -1.0초부터 -0.5초 사이에 가드레일과 충돌한 후, 차량이 회전하면서 최종 정지하는 상황이다. 그러므로 이벤트 2는 0.0초 부근에서 차량이 급격하게 반회전하면서 측면방향으로 가속도가 가해지고, 이때 발생한 속도변화량이 EDR 기록요건을 만족해 이벤트 2가 기록된 것으로 분석된다.

6. 결 론

본 연구에서는 EDR 기록정보의 PDOF 방향과 실제 차량 파손부위가 다르거나, 차량 및 구조물과의 충돌이 발생하였음에도 충돌 상황 이외의 시점에서 이벤트가 기록되어 사고분석에 어려움을 주는 사례들에 대해서 PC-CRASH 재구성을 통해 사례 분석을 수행하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) EDR 기록정보의 PDOF는 이벤트 발생시점부터 250 ms(300 ms)까지 기록하는 전면・측면 속도변화량으로 계산되며, 차량이 회전하며 대상과 충돌하는 경우 실제 파손부위와 계산된 PDOF의 결과가 다를 수 있음을 고려하여 사고 분석을 해야 한다.
2) EDR 기록정보의 0.0초는 충돌 시점이 아닌 사고기록 시 기준시점이며 “구속 장치가 전개된 시점”혹은 “충돌 알고리즘이 작동한 시점”을 의미하는 것이므로 PC-CRASH 재구성 시뮬레이션과 EDR 기록정보 및 제시된 기타 자료를 통해 이벤트 발생 시점에 대한 정확한 분석을 해야 한다.

이러한 결론들을 바탕으로 향후에는 본 연구에서 다룬 사고유형 이외에도 추가적으로 사고 분석에 혼란을 가져올 수 있는 사례를 바탕으로 연구를 수행할 계획이다.

후 기

이 논문은 행정안전부 주관 국립과학수사연구원 중장기과학수사감정기법연구개발(R&D)사업의 지원을 받아 수행한 연구임(NFS2021TAA01).

References

1) W. Vandiver, R. Anderson, I. Ikram, B. Randles and C. Furbish, “Analysis of Crash Data from a 2012 Kia Soul Event Data Recorder,” SAE 2015-01-1445, 2015.
2) J. M. Lawrence, C. C. Wilkinson, B. E. Heinrichs and G. P. Siegmund, “The Accuracy of Pre-crash Speed Captured by Event Data Recorders,” SAE 2003-01-0889, 2003.
3) D. W. Kononen, C. A. Flannagan and S. C. Wang, “Identification and Validation of a Logistic Regression Model for Predicting Serious Injuries Associated with Motor Vehicle Crashes,” Accident Analysis & Prevention, Vol.43, No.1, pp.112-122, 2011.
4) K. D. Kusano and H. C. Gabler, “Automated Crash Notification: Evaluation of In-vehicle Principal Direction of Force Estimations,” Transportation Research Part C, Vol.32, pp.116-128, 2013.
5) I. Han, “Optimization Analysis in Reconstruction of Vehicle Collision Accidents with Deficient EDR Data,” Forensic Science International, Vol.283, pp.103-110, 2018.
6) J. C. Park, J. H. Kim, W. T. Oh, J. H. Choi and J. J. Park, “Reliability Evaluation of EDR Data Using PC-Crash & VBOX,” Transactions of KSAE, Vol.25, No.3, pp.317-325, 2017.
7) D. W. Yun, H. T. Lee, I. W. Nam, Y. H. Kim and J. G. Yun, “Comparison Evaluation of Car Tachograph Information and EDR Data,” KSAE Fall Conference Proceedings, pp.1366-1370, 2017.
8) S. H. Lim, J. C. Park, J. H. Kim, W. T. Oh, J. H. Choi and J. J. Park, “Analysis of Multi-Car Rear-End and Chain Reaction Collision Using EDR,” Transactions of KSAE, Vol.27, No.2, pp.101-108, 2019.
9) S. H. Lim, W. T. Oh, J. H. Choi and J. C. Park, “Analysis of Vehicle Rollover Accident Simulation Using EDR and PC-Crash,” Transactions of KSAE, Vol.28, No.4, pp.255-263, 2020.
10) PC-CRASH, PC-CRASH Manual, http://www.pc-crash.com, 2020.
11) KNCAP, KNACAP, http://www.kncap.org, 2020.
12) I. Han, S. H. Lim, J. C. Park and J. H. Choi, “Coasting and Post-impact Motion of a Vehicle With Tire Blowout,” Journal of Korean Society of Transportation, Vol.32, No.5, pp.503-512, 2014.