

사고기록장치의 기록 시점에 대한 사례연구

박종진* · 박정만** · 박정우*** · 인병덕****

Case Study on the Time Zero (T0) of Event Data Recorder

Jongjin Park*, Jeongman Park**, Jungwoo Park***, Byungdeok In****

Key Words: Event data recorder(사고기록장치), Time zero(기록 시점), Sudden unintended acceleration(급발진), Principal Direction of force(주충격력 작용방향), Traffic accident investigation(교통사고조사)

ABSTRACT

On December 19, 2015, as Article 29-3 (Installation of Accident Recording Devices and Provision of Information) of Motor Vehicle Management Act came into force, In Korea, the EDR (Event Data Recorder) reports are often used for the analysis of various traffic accident cases such as multiple collisions, traffic insurance crimes, and sudden unintended acceleration (SUA), and the others. So many investigators have analyzed the driver's behavior and vehicle situation by comparing the time zero in the EDR report to the actual crash time in dash-cam (or CCTV). Time zero (T0) is defined as the reference time for the record interval or time interval when recording an accident in Article 56-2, Enforcement rule of Performance and Standard for Automobile and Automotive parts. Also in the EDR report, time zero (T0) is defined as whichever of the following occurs first: 1. "wake-up" by an air-bag control system, 2. Continuously running algorithms (by monitoring of longitudinal or lateral delta-V), 3. Deployment of a non-reversible deployment restraint. We have already proposed the "Flowchart & Checklist" to adopt the EDR report for traffic accident investigation and the necessity of specialized institutions or courses to systematically educate or analyze the EDR data. Therefore, in this paper, we report to traffic accident investigators notable points and analysis methods based on some real-world traffic accidents that can be misjudged in specifying time zero (T0).

1. 서론

국내는 2015년 12월 19일부터 자동차관리법 29조의 3(사고기록장치의 장착 및 정보제공)에 의거하여 EDR (Event Data Recorder)에 관한 법령이 시행된 이후, 교통 사고 발생 시 단순히 사고차량의 속도분석뿐만 아니라, 다중충돌 사고, 진로변경 사고, 급발진 추정사고, 교통범죄

등 여러 사건·사고 유형에 EDR 기록정보를 활용하여 객관적으로 분석하기 어려웠던 사고의 원인을 밝힐 수 있게 되었다.

따라서 저자는 교통사고분석에서 EDR 기록정보의 채택 여부를 결정하기 위해서 교통사고 조사자들이 비교 및 확인해야 할 최소한의 사항들을 플로 차트(Flow chat)와 체크 리스트(Check list)로 제시하였으며, 아직 EDR 보고서의 잘못된 채택 및 분석으로 국내에서 이슈(Issue)가 된 사례보고는 없으나, 교통사고 조사자들의 분석능력에 따라 교통 사고원인이 뒤바뀔 가능성이 크고, 법정에서 분쟁의 소지가 충분하므로 미국과 같이 우리나라에서도 체계적인 EDR 보고서의 분석방법을 교육하는 전문 기관 및

* 서울과학수사연구소 이공학과, 감정관
 ** 서울과학수사연구소 이공학과, 감정관
 *** 국립과학수사연구원 교통과, 감정관
 **** 서울과학수사연구소 이공학과, 감정관
 E-mail: vortex820@korea.kr

과정의 필요성을 역설했다.⁽¹⁾

현재 국내에는 외국 차종에 대해 EDR 기록정보를 추출하는 BOSCH의 CDR(Crash Data Retrieval) 장비와 Tesla 자동차의 EDR 키트(Kit) 장비만 자유롭게 구매 및 활용 가능하며, 현대·기아 자동차의 VCI(Vehicle Communication Interface) 장비 및 쌍용자동차의 DSM(Diagnosis System Module) 장비는 일부 기관에만 판매하는 상황으로 국내 자동차 제작사의 차종에 대한 EDR 기록정보의 신뢰성에 대한 다양한 실험 및 연구 자료를 찾아보기 어렵다. 이에 국립과학수사연구원에서는 2016년부터 국내 일부 차종을 토대로 EDR 기록정보의 신뢰성 및 적용 방법 등에 대한 연구를 진행하였으며, 실제 사고에서 EDR 기록정보를 분석 및 적용하여 사건·사고원인 규명에 적극 활용하고 있다.⁽²⁻⁶⁾

EDR 보고서에 기술된 이벤트(Event)는 충돌이나 사고 기록장치의 기록 요건에 부합하는 물리적인 충격이 가해졌을 때를 의미하며 Table 1과 같다.

자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙 제56조의2제2항 관련 사고기록장치 장착기준에 “0초”란 사고 기록 시 기록 간격이나 시간 간격에 대한 기준시점으로써 세 가지 경우를 명시하고 있고, 현대·기아 자동차의 EDR 보고서에 “EDR 툴(Tool)에 의해서 회수 되거나 EDR에 기록된 정보는 Time zero를 기준으로 표시된다. Time zero(T0)는 차량 충돌 발생 시 상대 차량이나 사물과의 접촉 시점의 시간을 의미하지는 않는다.”로 명시하고 있으며, Time zero(T0)는 사고기록 시 기준시점으로써 Table

Table 1 Event definition on EDR report

Event
Means a crash or other physical occurrence that causes the trigger threshold to be met or exceeded, or any non-reversible deployable restraint to be deployed, whichever occurs first
1. Deployment Event
1) The event which recorded if an airbag is commanded to deploy
2) The event is locked and cannot be overwritten
2. Non-deployment Event
1) The event which is recorded, but in which an airbag is not commanded to deploy
2) The event is not locked and can be overwritten by a subsequent event (Deployment or Non-deployment event), for example, Pretensioner(s) only deployment
3) An example of a non-deployment event is a pretensioner-only deployment with no airbag deployments

Table 2 Time zero (T0) definition on EDR report

Time zero (T0) Means whichever of the following occurs first
1. For systems with “wake-up” airbag control systems, the time at which the occupant restraint control algorithm is activated
2. For continuously running algorithms
1) The first point in the interval where a longitudinal cumulative delta-V of over 0.8 km/h is reached within a 20msec time period
2) For vehicles that record “delta-V, lateral” the first point in the interval where a lateral cumulative delta-V of over 0.8 km/h is reached within a 5msec time period
3. Deployment of a non-reversible deployable restraint

2와 같이 각 항목 중 먼저 발생된 경우의 시점을 의미하는 것으로 기술하고 있다.

또한, EDR 보고서에서 “사고기록장치에 저장된 사고 이전 정보는 차량 내 각 제어기의 신호특성에 따라 그 정보가 상호 동기화 되지 않을 수 있다.”로 표기되어 있어 차량 속도, 엔진 회전수, 스로틀 열림량, 가속페달 변위량, 제동페달 작동, 조향핸들 각도 등의 기록정보가 동일한 시점에 기록된 데이터라고 볼 수 없다. 이는 차량 내 각 제어기와 통신하는 최소 시간(10 ms, 20 ms 등)과 관련이 있다.

본 논문은 “교통 사고분석에서 EDR 기록정보의 채택에 관한 고찰”로 이미 발표된 논문⁽¹⁾에 이어 저자가 사건·사고를 감정하면서 법원, 경찰, 사고 관계자들에게 쟁점이 되었던 사례를 소개하고자 하며, EDR 보고서의 이벤트 발생 시점 혹은 T0 시점을 영상에서의 사고상황, 차량의 파손상태 등을 비교·설명하며 사고기록장치의 T0 시점에 대한 이해를 돕고자 한다.

2. 사고사례

2.1. 충격력 방향을 비교하여 T0를 선정한 사례

본 사고는 미니밴(Minivan) 차량과 차량용 블랙박스(Dash cam) 영상물이 제시되어 미니밴 차량의 당시 속도가 쟁점이 된 사고로 제한속도 80 km/h의 3차로 도로를 미니밴 차량이 주행하는 상황에 1차로에서 3차로로 진로 변경하며 주행하는 검은색 승용차를 Fig. 1과 같이 미니밴 차량의 앞범퍼 좌측 부분으로 1차 충돌하고 계속해서 주행하여 Fig. 2와 같이 검은색 승용차 우측 뒷문을 2차 충격하



Fig. 1 First collision situation

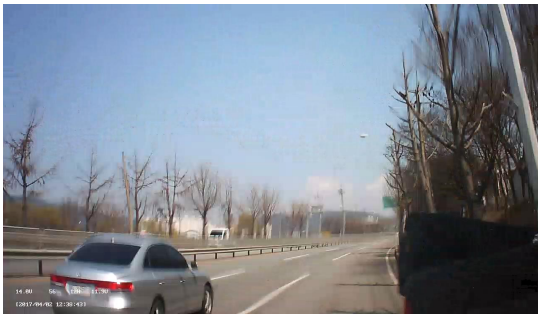


Fig. 2 Second collision situation



Fig. 3 Damage to vehicle (Front-Right)



Fig. 4 Damage to vehicle (Front-Left)

며 약 30 m 진행한 후, 검은색 승용차가 회전하며 우측 가로수 및 가로등 기둥을 강하게 충격하여 운전자가 사망한 사고이다.

미니밴 차량은 Fig. 3과 같이 프런트 범퍼(Front bumper) 우측 부분, 우측 프런트 펜더(Front fender), 프런트 후드(Front hood) 우측 부분, 전방 탑승자석문 등의 구조물이 심하게 파손된 상태이며, Fig. 4와 같이 프런트 범퍼 좌측 부분 및 좌측 프런트 펜더에 검은색 승용차와 충돌로 파손 및 함몰 흔적이 현출된 상태이다.

미니밴 차량을 “Key On” 한 상태에서 OBDII(On Board DiagnosticII) 단자에 VCI 장비를 연결하여 EDR 기록정보를 추출하였다. Table 3과 같이 사고 시점의 EDR 정보에 정상적으로 기록 완료된 상태를 나타내고 있고, 다중사고는 기록되지 않았으며 충돌기록 시와 정보추출 시 시동스위치 작동 누적횟수에 32회의 차이를 보이고 있다. 여기서, 다중사고는 첫 번째 사고가 발생한 시점(Time zero)에서 두 번째 사고가 발생한 시점(Time zero)까지의 시간간격이 5초 이내인 경우로 EDR 보고서에 정의되어 있다.

블랙박스 영상의 사고상황 및 미니밴 차량의 파손형태에서는 2회 이상의 충돌이 발생된 것으로 볼 수 있으나, EDR 보고서에는 1개의 이벤트만 기록된 상태이다.

그러므로 기록된 이벤트가 어느 시점에 발생했는지 구체적으로 확인할 필요가 있다. EDR 보고서에서 이벤트가 발생한 시점의 주충격력 작용방향(Principle Direction Of Force)은 진행방향 속도변화 누계값(-8 km/h)과 측면방향 속도변화 누계값(-6 km/h)을 이용하여 약 37° 방향으로 계산되며, 이러한 방향에서 작용한 충격력에 의해 이벤트가 발생한 것을 알 수 있다. 따라서 미니밴 차량의 전방 우측 부분에 강한 충격이 작용한 시점인 Fig. 2의 충돌상황에서 이벤트가 발생한 것으로 볼 수 있으며, Table 4와 같이 EDR 보고서의 사고 이전 차량정보 T0 시점에 미니밴 차량 속도는 26 km/h이다.

그러나 Fig. 2의 충돌상황 이전에 본 사고가 발생하였으므로 약 2초 전 Fig. 1의 충돌상황에서 미니밴 차량의 충돌속도는 129 km/h로 판단할 수 있고, 사고 직전 미니

Table 3 Event status at event

Multi-event, Number of Event (1 or 2)	1 event
Time from Event 1 to 2 [msec]	0
Completed File Recorded (Yes or No)	Yes
Ignition cycle, crash [cycle]	2124
Ignition cycle, download [cycle]	2156

Table 4 Pre-crash information (-5~0 sec)

Time [sec]	Vehicle speed [km/h]	Engine RPM [rpm]	Engine throttle [%]	Acceleration pedal [%]	Service brake [on/off]	ABS activity [on/off]	Stability control [on/off]	Steering input [degree]
-5.0	146	2800	29	29	off	off	off	-10
-4.5	146	2700	25	25	off	off	off	-15
-4.0	146	2800	53	53	off	off	off	-15
-3.5	147	2800	40	40	off	off	off	-15
-3.0	147	2800	26	26	off	off	off	-20
-2.5	146	2700	0	0	off	off	off	-15
-2.0	129	2400	0	0	on	off	off	-20
-1.5	118	1900	0	0	on	on	off	-25
-1.0	96	900	0	0	on	on	on	35
-0.5	63	700	0	0	on	on	on	160
0.0	26	900	0	0	on	on	on	100

벤 차량은 146 km/h 속도로 주행하는 상황에 승용차와 충돌을 회피하기 위해 제동한 것으로 볼 수 있다. 교통사고처리 특례법 제3조(처벌의 특례)2항의3 제한속도를 시속 20 km/h 초과하여 운전한 경우에 강력하게 처벌하게 되어 있어 충돌 시점의 속도가 쟁점이 된 사례이다.

본 사례와 같이 실제 다수의 충돌이 발생 되어도 사고기록장치에는 1개의 이벤트만 발생할 수 있으므로 정확한 이벤트 발생 시점 혹은 T0 시점을 사고영상, 차량파손상태 등으로 명확히 확인할 필요가 있다.

2.2. 영상 속도를 분석하여 T0를 선정한 사례

본 사례는 ACU(Airbag Control Unit) 및 사진, 차량용 블랙박스 영상, CCTV 영상, SUV 차량 등이 순차적으로 제시되었으며, 운전자가 SUV 차량의 급발진을 주장하는 사고로서 Fig. 5 및 6과 같이 CCTV 영상에 SUV 차량이 내리막길을 주행한 후 담벼락을 충돌하는 상황에 약 0.3 초 동안 주제등등이 점등되고 아래로 추락한 사고로 다행히 SUV 차량 탑승자들은 크게 다치지는 않았다.

본 사고는 세 차례에 걸쳐 감정한 사안으로 처음에 Fig. 7과 같이 SUV 차량 내의 속도 지침이 약 40 km/h를 가리키는 계기판을 촬영한 사진과 ACU 단품만이 제시되었고, 추출한 EDR 보고서의 사고 이전 차량정보 확인 시 Table 5와 같이 이벤트 발생 시점과 T0 시점이 동일한 시점으로 SUV 차량이 담벼락을 충돌한 후 추락하는 상황에서 전복 경사각도의 충돌 감지알고리즘이 작동하여 43 km/h 속도

에서 이벤트가 발생한 것으로 판단하였다.

그러나, 추후 확인된 CCTV 및 블랙박스 영상에서 SUV 차량의 영상 내 속도 분석 시 담벼락을 충돌하는 상황에 약 65 km/h로 계산되어 EDR 보고서에서 이벤트 발생 시

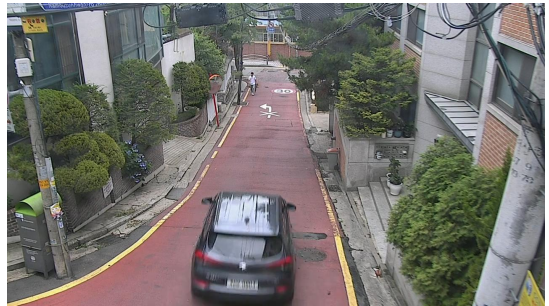


Fig. 5 Downhill situation



Fig. 6 First collision situation

사고기록장치의 기록 시점에 대한 사례연구

Table 5 Pre-crash information (-5~0 sec)

Time [sec]	Vehicle speed [km/h]	Engine RPM [rpm]	Engine throttle [%]	Acceleration pedal [%]	Service brake [on/off]	ABS activity [on/off]	Stability control [on/off]	Steering input [degree]
-5.0	16	900	0	0	off	off	off	20
-4.5	17	900	0	0	off	off	off	20
-4.0	17	900	0	0	off	off	off	0
-3.5	18	900	0	0	off	off	off	-10
-3.0	20	900	0	0	off	off	off	0
-2.5	21	1300	34	34	off	off	off	-10
-2.0	22	1800	100	99	off	off	off	-10
-1.5	27	2100	100	99	off	off	off	0
-1.0	31	2600	100	99	off	off	off	10
-0.5	34	2800	100	99	off	off	off	0
0.0	43	3600	100	99	off	off	off	0



Fig. 7 Speed indication within the instrument cluster

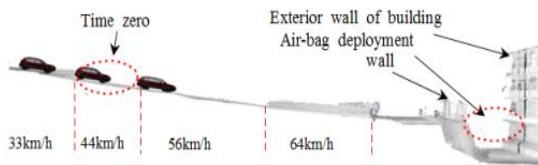


Fig. 8 Accident reconstruction based on 3D scan

점과 T0 시점이 다를 수 있다.

이에 사고현상을 3차원 스캐너로 스캔하고 특정 구간에 대해 영상 분석으로 속도를 각각 구하였으며, Fig. 8과 같이 PC-CRASH 프로그램을 이용하여 나타낼 수 있다. EDR 보고서의 사고 이전 차량정보와 영상 내 속도 비교 시 담벼락을 충돌 후 추락하는 상황에서 에어백은 전개되었지만, T0가 기록된 것이 아니라, SUV 차량이 담벼락

충돌 이전 내리막길을 주행하는 과정에서 노면의 굴곡 및 경사, 차체의 롤링(Rolling) 등으로 충돌감지알고리즘이 작동한 시점(Wake-up)에 T0가 기록된 것을 확인하였다.

많은 교통사고에서 차량에 강한 충돌이 발생한 시점에 배터리 과손, 전원 배선의 단선, 클러스터(Cluster)의 손상 등으로 속도 지침, RPM 지침 등이 사고 당시의 상태를 가리켜 교통사고분석에 중요한 증거자료로 채택되기도 한다. 그러나 이러한 속도 지침, RPM 지침 등이 가리키는 시점이 반드시 사고기록장치의 이벤트 발생 시점(혹은 Time zero(T0))을 나타내는 것은 아니다.

따라서 막연히 사고개요, EDR 기록정보, 사고 차량의 사진 등의 일부 자료 및 정보만으로 정확한 이벤트 발생 시점과 T0 시점에 차이가 발생할 수 있으므로 사고현장에 대한 조사, 사고차량에 대한 조사, 사고상황에 대한 충분한 이해 등의 다각적인 분석으로 EDR 보고서의 이벤트 발생 시점 및 T0 시점에 대해 판단해야 할 것이다.

본 사고사례의 추가적인 사항은 앞서 발표한 논문⁽¹⁾을 참고하기 바란다.

2.3. 전복경사 각도로 T0를 선정한 사례

ACU에 장착된 관성센서로 전복경사각도를 추정할 수 있고 추정된 전복경사각도가 일정 각도 이상으로 증가하면 탑승자 보호를 위해 측면 또는 커튼 에어백을 전개한다. 사고기록장치 데이터 저장 기능 또한 전복경사각도가 일정 각도 이상이 되면 활성화되어 이벤트를 기록한다. 전

복 이벤트 기록 시간과 시간 기록 간격이 규정되어 있지 않으나 다수의 사고기록장치에서 이벤트 발생 -1.0초부터 5.0초까지 0.1초 간격으로 기록하고 있다. 사고기록장치에 전복경사각도는 10° 분해능으로 기록되어 차량의 롤 각도가 약 10° 가량 발생하지 않는 경우 이벤트가 기록되지 않아 특정 사고에서만 T0를 선정하는 기준으로 사용할 수 있다. 특히 이벤트 발생 차량이 후진 주행 중 충돌하는 경우 차량 전면과 1열에 장착된 가속도 센서값이 낮게 측정되어 이벤트가 기록되지 않을 수 있으나, 주행 중 연석을 넘는 주행과 같이 롤 각도가 증가하는 주행 시 이벤트가 기록되고 사고기록장치 데이터와 사고 영상 또는 최종 차량 롤 각도를 비교하여 T0를 특정할 수 있다.

2.3.1. 다중충돌 시 전복경사 이벤트 발생 사례

골목길에서 차량 좌측 전면으로 상가를 충돌하고 이후 건물과 정면충돌하며 정차한 사고로 2번의 충돌이 발생하였으나 사고기록장치 데이터에는 1개의 이벤트만 기록되어 있다. 이벤트 발생 시 진행방향 속도변화가 0 km/h로 기록되어 있으나 건물과 정면충돌로 프런트 후드의 변형이 확인되므로 충돌 시 속도변화로 계산하는 주충격량을 사고 발생 선정 기준으로 사용할 수 없다.

상가 충돌 시 사고기록장치에 기록된 전복경사각도는 Fig. 9와 같이 T0 + 0.1초에 10°로 기록되어 T0 + 0.8초에 20°로 증가하는 것이 확인되고 영상에서 차량이 시계 방향으로 롤링하며 롤 각도가 증가하였다가 전방 충돌 이전에 감소하는 것이 확인되어 상가 충돌 시점에 이벤트가 발생한 것으로 특정할 수 있다.

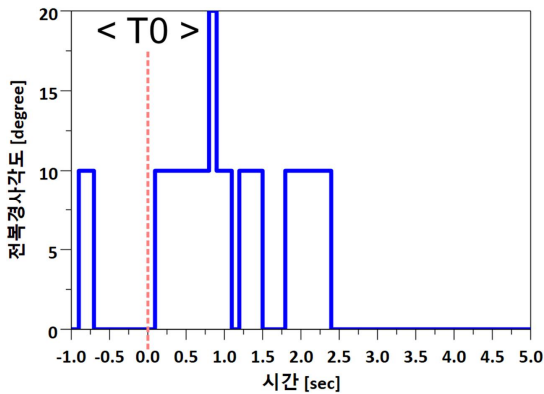


Fig. 9 Rollover angle of multiple crash case

2.3.2. 후진 주행 시 전복경사 이벤트 발생 사례

후진 주행 중 우측 바퀴가 먼저 연석 위로 올라간 상황에서 롤 각도가 증가하고 이후 도로 밖으로 이탈하며 반시계 방향으로 롤링하여 바퀴가 모두 지면에 떨어져 정차한 사고로 주행 중 충돌이 발생하지 않은 사례이다. Fig. 10과 같이 T0 + 0.7초에 전복경사각도가 -10°로 기록되어 우측 바퀴가 연석에 올라가며 반시계 방향으로 롤링하는 상황과 T0 + 3.1초부터 전복경사각도가 감소하며 T0 + 5.0초에 -60°로 감소한 상황은 차량이 반시계 방향으로 전도되며 정차한 것과 일치하므로 차량이 연석과 충돌하는 시점 부근에서 이벤트가 발생한 것으로 특정할 수 있다. 그러나 전복경사각도 증가로 발생하는 이벤트는 전복 방지 알고리즘의 작동으로 활성화되고 사고기록장치의 전복경사각도 기록 분해능이 10°로 크게 설정되어 정확한 이벤트 발생 시점을 특정할 수 없고 발생 구간을 한정하는 한계를 갖는다.

3. 결 론

본 연구에서 소개한 사례들과 같이 사고기록장치에서의 이벤트 발생 시점과 Time zero(T0) 시점이 동일하지 않을 수 있으므로 교통사고 조사자들은 이들을 명확히 판단해서 사건·사고 원인분석을 해야 하며, 다음과 같은 사항을 고려해야 할 것이다.

- 1) 블랙박스 영상 혹은 CCTV 영상, 차량의 파손상태 등으로 실제 교통사고에서 사고차량에 다중 충돌이 발생하였는지와 EDR 기록정보에 다중사고가 기록

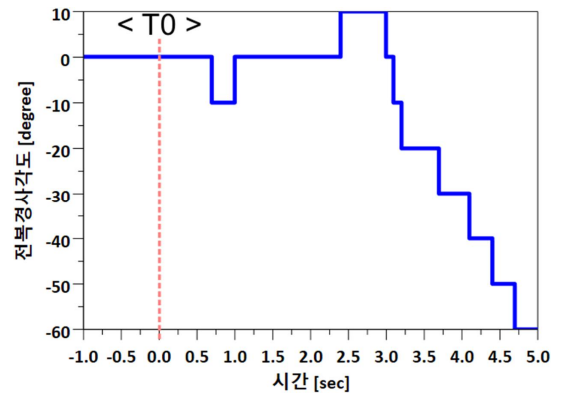


Fig. 10 Rollover angle of reverse driving case

되어 있는지 비교·확인하며 이벤트 발생 시점과 T0 시점을 고려한다.

- 2) 사고차량의 주충격력 방향(PDOF)과 EDR 보고서의 이벤트 발생 시점의 주충격력 방향을 확인한 후, 이벤트 발생 시점과 T0 시점을 고려한다.
- 3) 사고 당시 차량의 속도 및 위치 등을 분석하여 사고를 재구성한 후에 이벤트 발생 시점과 T0 시점을 고려한다.
- 4) 주충격력 방향과 속도분석으로 이벤트 발생 시점을 선정할 수 없는 경우 전복경사각도를 기준으로 이벤트 발생 시점을 선정한다.
- 5) EDR 보고서의 “사고 이전 차량 정보” 데이터를 바탕으로 실제 사고상황과 동일한지 충분히 비교·검토해야 한다.

후 기

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 22AMDP-C162895-02).

참고문헌

- (1) J. J. Park, J. M. Park and Y. S. Lee, 2020, “Study

on Adopting EDR Report for Traffic Accident Analysis”, KASA, Vol. 12, No. 3, pp. 52~60.

- (2) J. C. Park, J. H. Kim, W. T. Oh, J. H. Choi and J. J. Park, 2017, “Reliability Evaluation of EDR Data Using PC-Crash & Vbox”, Transactions of KSAE, Vol. 25, No. 3, pp. 317~325.
- (3) S. H. Lim, J. C. Park, J. H. Kim, W. T. Oh, J. H. Choi and J. J. Park, 2019, “Analysis of Multi-Car Rear-End and Chain Reaction Collision Using EDR”, Transactions of KSAE, Vol. 27, No. 2, pp. 101~108.
- (4) J. J. Park, J. M. Park and Y. S. Lee, 2019, “Case Study on Driver’s Pedal Mal-operation in Sudden Unintended Acceleration Accidents”, Transactions of KSAE, Vol. 27, No. 11, pp. 877~882.
- (5) S. H. Lim, W. T. Oh, J. H. Choi and J. C. Park, 2020, “Analysis of Vehicle Rollover Accident Simulation Using EDR and PC-Crash”, Transactions of KSAE, Vol. 28, No. 4, pp. 255~263.
- (6) S. H. Lim, W. T. Oh, J. H. Choi and J. C. Park, 2019, “Estimation Collision Speed of Vehicle by Using PC-CRASH Collision Optimizer”, Transactions of KSAE, Vol. 27, No. 12, pp. 911~917.