

충돌사고 재구성 해석을 위한 차량 블랙박스의 개발

이 원 희¹⁾ · 한 인 환^{*2)}

(주) HK e-CAR¹⁾ · 홍익대학교 기계정보공학과²⁾

Development of an Automobile Black Box for Reconstruction Analysis of Collision Accidents

Wonhee Lee¹⁾ · Inhwan Han^{*2)}

¹⁾HK e-CAR Co., Seoul Industry Service Center A-206, Kangseo, Seoul 157-030, Korea

²⁾Dept. of Mechano-Informatics & Design Eng., Hongik University, Choongnam 339-701, Korea

(Received 1 September 2003 / Accepted 22 December 2004)

Abstract : This paper presents design concepts, specifications and performances of a newly developed Black Box, the reconstruction analysis tool with the records, and results of validation tests. The Black Box can detect crash accidents automatically, and record the vehicle's motion and driver's maneuvers during a pre-defined time period before and after the accident. The items of the Black Box included the acceleration, yaw-rate, vehicle speed, engine RPM, braking application, steering and several digital inputs for recording driver's maneuvers. To detect the accident-related-crash, it is important to understand characteristics of the crash signal, which are much different from those of normal driving. Therefore, analytical considerations should be taken in designing pre-filtering circuits and selecting appropriate parameters for identifying crash accidents. And, it is necessary to select proper combination of motion sensors and design proper pre-filtering circuits in order to describe the vehicle's motion. The analysis algorithms were developed and implemented which can perform accurate detection of crash accidents, simulating pre-crash trajectories, and calculating parameters for reconstruction analysis of crash accidents. The developed Black Box was installed on passenger cars and several types of validation tests were conducted. Through the tests, the accuracy of the recorded data and usefulness of the analysis tool for reconstruction have been validated.

Key words : Automobile black box(차량 블랙박스), Reconstruction analysis(재구성 해석), Crash accidents(차량 충돌 사고), Crash signal(충돌 신호), Validation tests(유효화 실험)

1. 서론

빈발하고 있는 자동차 충돌 사고에서 사고 상황에 대한 과학적인 해석은 차량 사고의 급격한 증가와 함께 그 중요성이 최근 강력히 인식되고 있다. WHO는 2020년 상해나 사망의 3번째 주요 원인으로 차량사고를 예상하고 있으며, 미국의 경우 모든

수송사고의 90%는 차량에 의해 이루어진다. 2001년 한해 대략 600만건의 사고가 있었고 그중 4만명 가량이 사망하고 300만명 가량이 상해를 입었다. 평균적으로 매 4-5초 간격으로 차량사고가 있는 것이다.¹⁾ 최근 북미, 유럽, 일본 등 해외 선진국에서는 신뢰할 수 있는 과학적 충돌 사고 해석, 효과적인 교통 사고 구조·방지 대책의 수립, 안전도를 제고하는 차량 설계 그리고 텔레매틱스(Telematics)와의 연동을 통한 ITS(Intelligent Transport Systems) 구현 등의 목

*To whom correspondence should be addressed.
ihhan@hongik.ac.kr

적을 위하여, 사고 당시 차량의 각종 운행 데이터를 기록하고 이를 바탕으로 사고의 원인 및 사고 당시 차량 거동과 운전자의 반응을 분석할 수 있는 사고 기록 장치(Event Data Recorder, EDR) 일명 블랙박스²⁾에 대한 개발 및 시험이 활발히 이루어지고 있다.

차내에 장착하는 EDR은 전혀 새로운 개념이 아니다.³⁾ 이와 유사한 초보적인 장치들은 이미 수십년 전부터 북미와 유럽 등지에서 개발이 이루어져 왔다. 미국에서는 1970년대 연방고속도로안전국(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)에서 차량의 충돌 신호를 저장할 수 있는 장치를 개발했으며, 1974년에 1000여대의 차량에 장착하여 시범운영을 하였다. 1992년에는 유럽연방에서도 동일한 장치의 개발을 위하여 프로젝트를 진행하였으며 850대의 차량에 시범운영을 실시한 바 있다. 이 시범운영 결과 사고율은 평균 28% 감소하였으며 사고 비용은 48% 감소하였다고 보고되었다. 1999년에는 미국 연방교통안전국(National Transportation Safety Board, NTSB)에서 모든 학교버스 등에 대해서 의무장착을 권고하였다. 동 년도에 NHTSA에서는 EDR 분과위가 설치되어 표준화 작업을 시작하였다.⁴⁾ 현재는 IEEE에서 2002년부터 동 장치의 표준화를 위한 Project 1616을 진행 중이다.¹⁾ 또한, 일본도 수년전부터 운전기록계(Drive Recorder)라는 이름으로 일본 자동차연구소(Japan Automobile Research Institute, JARI)에서 EDR 개발을 진행하고 있다.^{5,6)} 이러한 정부차원의 노력 외에도 다양한 민간업체의 개발이 이루어져왔다. GM사는 1990년부터 에어백이 장착된 차량에 EDR을 설치하였고 1998년에는 사고 이전 상황을 기록할 수 있는 기능을 추가하였고 1999년에는 충돌보다 5초 앞서 차량의 속도, 브레이크의 사용여부, 엔진의 RPM과 스톱틀 등의 충돌 정보를 기록하는 새로운 기능의 EDR을 설치하였다.⁷⁾ FORD는 1997년부터 한가지 모델에 충돌 기록기를 설치하여 1998년에는 다른 모델들에도 기록기를 장착하였고, 1999년에는 거의 모든 차량에 EDR을 장착하기 시작하였다. 유럽에서는 VDO에서 유사한 장치를 개발하여 유럽 자동차 회사들에 납품하고 있다.⁸⁾ 한편, 국내에서는 수년전에 도로교통안전협회(현 도로교통안전관리공단)에

서 초보 단계의 블랙박스에 대한 연구 개발이 이루어진 바 있다.

EDR은 차량 거동 및 운전자의 조작 상태를 감지하며, 차량 충돌 사고시 운전자의 각종 조작 상태와 충돌 펄스 및 여러 가지 신호들을 저장하는 장치이다. 차량 사고 발생시 EDR의 유무에 따라 획득할 수 있는 정보의 차이가 Haddon 행렬⁹⁾을 활용하여 Table 1과 2에 보여진다. EDR의 도입과 활용은 자동차 사고에 대한 과학적 해석 연구의 획기적 발전을 가져올 수 있다. 전통적인 사고 재현은 사고 현장에 남겨진 타이어의 스키드 마크와 사고 차량의 파손 정도, 차량의 최종 정지위치, 목격자 진술 등을 바탕으로 이루어져 왔으며, HVE, PC-Crash, 본 논문 저자가 개발한 REVECA¹⁰⁾ 등의 사고 재현을 위한 프로그램들을 활용하여 사고에 대한 정확한 분석과 재현을 하려는 노력이 이루어져왔다.¹¹⁾ 그러나, 이러한 방법은 차량 상태 및 도로 상황 등에 대한 불확실한 요소를 포함하고 있어 정확한 사고의 재구성에 많은 한계가 있었다. 본 논문에서는 새롭게 개발된 블랙박스의 설계 개념, 주요 사양 그리고 성능을 요약하며 저장된 데이터를 활용하는 재구성 해석 방법 그리고 실험에 의한 신뢰도 및 실용성 확보

Table 1 Haddon matrix: information available without EDRs

	Human	Vehicle	Environment
Pre-crash		Tire marks	
Crash		Calculate Delta-V	
Post-crash	Injury	Collision damage	Environment after collision

Table 2 Haddon matrix: additional information available with EDRs

	Human	Vehicle	Environment
Pre-crash	Seatbelt use, Steering, Braking	Speed, ABS, Other conditions	Conditions during crash
Crash	Airbag data, Pretensioners	Crash pulse, Measured Delta-V, Yaw, Inflation time	Location
Post-crash	ACN(Automatic Collision Notification)	ACN	ACN

과정을 제시한다.

2. 개발 블랙박스의 설계 개념과 주요 성능

개발한 블랙박스(EDR)는 충돌을 감지하는 방법으로 EDR 내부 가속도계를 사용하거나 별도의 에어백 폭발 신호를 이용, 또는 운전자의 수동조작에 의해 충돌을 감지할 수 있다. 일단, 충돌 사고를 감지하면 EDR은 사고 전후 일정 시간동안 차량의 움직임, 운전자의 행동들과 관련된 자료들을 기록하며, 이러한 기록 자료들은 충돌 사고 해석을 위한 재구성 해석프로그램에서 활용된다. 이와 같이 하여 사고현장에서 차량의 궤적을 재현할 수 있고 또한, 충돌 사고 해석에서 주요한 ΔV 와 PDOF(Principle Direction of Force: 주력방향) 등을 계산할 수 있다.

ΔV 는 식 (1)과 같이 충돌 차량의 속도 변화를 나타내는 벡터량으로 정의¹²⁾되며, 통상 그 크기를 ΔV 라고 부르기도 한다.

$$\Delta V = \Delta V_x i + \Delta V_y j \approx \int_0^{t_{sep}} a_x dt i + \int_0^{t_{sep}} a_y dt j \quad (1)$$

ΔV 는 2차 충돌 즉, 승객과 차량 내부와의 충돌 속도를 추정할 수 있게 하기 때문에, 충돌 정도나 승객의 안전도를 평가하는 기준으로 널리 사용되고 있다. 식 (1)에서 t_{sep} 는 차량의 가속도가 0G로 복귀하는 충돌 분리 시간을 의미하며, 충돌 지속 시간으로 이해할 수 있다. 한편, PDOF는 충돌 단계에서 충격력이 작용하는 방향을 의미하며, 결국 벡터량 ΔV 의 각도(속도변화각)가 된다. 순간 주력방향(Instantaneous PDOF)과 평균 주력 방향(Average of PDOF)으로 구분할 수 있으며,¹²⁾ 식 (2)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Instantaneous PDOF} &= \tan^{-1}\left(\frac{\Delta a_y}{\Delta a_x}\right) \\ \text{Average of PDOF} &= \tan^{-1}\left(\frac{\Delta V_y}{\Delta V_x}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

본 EDR 시스템은 Fig. 1에 보여지는 것처럼 차량의 충돌을 감지하고 동적 거동을 분석하기 위한 중/횡 방향의 가속도 센서, 운전자의 반응 및 차량 조작 상태의 분석을 위한 조향각 센서 및 각종 스위치 조작 정보의 입력을 위한 장치들이 있고, 이들 데이터

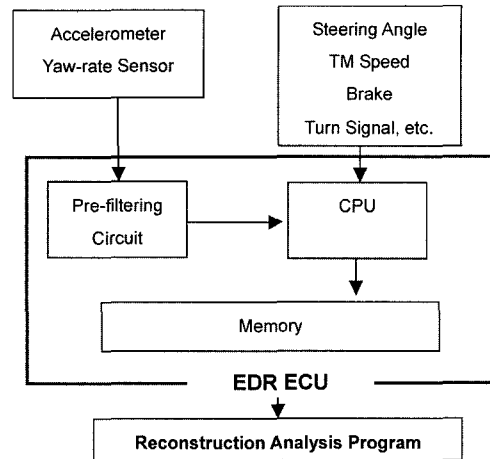


Fig. 1 Conceptual configuration of the EDR

를 저장할 메모리, EDR 시스템을 제어할 마이크로 프로세서 등으로 구성된 EDR 전자제어장치와 사고 재구성 해석 프로그램 등으로 구성된다. EDR 저장 정보는 차량 동적 거동에 관련하여 중/횡 가속도, 차속 데이터가 있으며 운전자 조작과 관련해서는 조향각, 방향등, 제동여부, 가속여부 등이 있다.

EDR의 주요 기능은 충돌의 자동 감지, ΔV 와 PDOF 등의 계산, 차량 거동의 측정 등이다. EDR의 입력 데이터 항목과 이를 바탕으로 해석 가능한 항목들이 Table 3에 보여진다. 충돌 판정 그리고 ΔV 와 PDOF 계산을 위해 $\pm 50G$ 측정범위인 dual-axis capacitance형 가속도계(Analog Devices ADXL250)를 사용한다. 한편, 통상적인 차량 주행에서 가속도의 측정을 위해서는 $\pm 5G$ 범위인 두개의 single-axis capacitance형 가속도계(Analog Devices ADXL105)와 측정 범위 $\pm 100^\circ/\text{sec}$ 인 하나의 yaw-rate 센서(Silicon Sensing Systems CRS-03)를 사용한다. 충돌 동안 가속도의 특성이 정상 주행 동안의 것과는 매우 많이 다르기 때문에 서로 다른 측정 범위의 가속도계와 서로 다른 표본 빈도를 사용한다. 또한, 기록된 자료를 저장하는 동안 입력 전원이 꺼지더라도 기록된 자료를 보호할 수 있는 FeRAM을 사용한다. EDR과 함께 개발한 재구성 해석 프로그램에 의해 EDR에 기록된 자료를 읽어들이고 후 차량 궤적을 재구성할 수 있다. Table 4는 개발한 EDR의 주요 사양을 요약하고 있다.

Table 3 Items of EDR ECU and reconstruction analysis program

ECU	Vehicle motion	Longitudinal acceleration
		Lateral acceleration
		Yaw-rate
	Driver's maneuver	Brake switch
		Steering sensor (Optional)
		Turn signal (Left/Right)
		Tachometer
		Speedometer
	Gear selection switch (P/R/N/D)	
Reconstruction analysis program	Vehicle motion	Longitudinal acceleration
		Lateral acceleration
		Vehicle speed
		Yaw-rate
		Heading angle
		Radius of curve
		Vehicle position
		Estimated roll angle
	Impact information	PDOF
		Delta-V

Table 4 Main specifications of the EDR

Data Item	Specification	
Accelerometer	Range	±50G for Crash detection, and calculating ΔV and PDOF
		±5G for trajectory reconstruction
	Sensing direction	Longitudinal and lateral axis
Sampling freq.	200 Hz for crash detection, and calculating ΔV and PDOF	
	20 Hz for trajectory reconstruction	
Yawrate sensor	Range	±100 deg./sec
	Sampling freq.	20 Hz
Driver's maneuvers		Steering, Turn signal, TM speed Brake, Gear selection, Engine RPM
Memory	Size	32KB FeRAM for recent accident
		1MB flash memory for 32 accident histories
Recording time		-50sec ~ +10sec for each accident

3. 충돌 사고 특성 및 감지

자동차 충돌 사고 재구성 해석에서 차량의 동적 거동은 사고의 진행 과정에 따라 아래와 같이 충돌

전 거동, 충돌 거동, 충돌 후 거동의 3단계¹³⁾로 나눌 수 있다.

- 1) 충돌 전 거동: 충돌 사고 원인을 규명하고 운전자의 운전 습성에 관한 정보 제공
- 2) 충돌 거동: 차량 파손과 승객 부상이 발생하며, 충돌 안전성 향상에 필요한 정보 획득
- 3) 충돌 후 거동: 충돌 후 차량의 거동을 분석하고 2차 충돌의 원인 등을 분석

이 중에서 충돌 거동 단계는 짧은 시간에 매우 큰 힘이 작용하고 센서 잡음이 심하게 발생하며, 그 세부 동작 과정이 대단히 복잡하고 비선형적이라는 특징이 있다¹⁴⁾. 본 절에서는 신뢰성 있는 충돌 감지와 충돌 데이터 해석을 위하여 충돌시 가속도 신호를 특성화하고 충돌 감지 목표 및 변수를 설정하며, 이들을 근거로 하여 충돌 인식 논리를 개발하는 과정을 기술한다.

충돌 가속도의 특성을 파악하기 위하여 NHTSA 실차 충돌실험 자료¹⁵⁾들로부터 충돌신호 지속시간 (Pulse Duration), 주 주파수(Dominant Frequency)의 분포, 충돌속도별 최고 가속도, 위치별 최고 가속도 등을 분석하였다. 충돌시 가속도는 수십 Hz정도(대략 30Hz)의 저주파 진동 성분과 상대적인 고주파로 100Hz이상(대략 120Hz)의 진동성분이 조합되어 나타난다. 이러한 충돌 신호 분석 결과들로부터 Table 5에서 보여지는 것처럼 충돌 가속도 신호의 특성을 요약하였다.

Table 5에 보여지는 가속도 신호 특성으로부터 신뢰성 있는 충돌 감지 방법을 개발하였다. 우선, 충돌 현상을 잘 표현할 수 있는 물리량을 설정하고 그 물리량이 어떤 임계값 이상이 되면 충돌로 인식하도

Table 5 Characteristics of the crash pulse

Duration	Little correlation with collision speed 0.08~0.17sec(6.25Hz~2.94Hz)
Dominant frequency	Little correlation with collision speed Signals of more than 50Hz are from structural vibration
Distrib. of peak value	Little correlation with collision speed (but large deviation) Much effected by cut-off freq. of filter
Mounting position	Dependent on position (After filtering, dependency decreases)

록 하였다. EDR의 목적에 부합하고 사용자의 편의 등을 고려하여 다음과 같이 충돌 감지 목표를 설정 하였다.

- 1) 험로 주행이나 차문 닫음, 후드 닫음 등의 경우 차체에 충돌과 비슷한 크기의 가속도가 작용할 수 있다. 따라서 이들 경우와 충돌을 구분해 낼 수 있어야 한다.
- 2) 에어백 폭발 조건보다 약간 작은 충격까지를 포함하며, 정면/측면/후방 충돌을 모두 감지한다.
- 3) 에어백과는 달리 충돌 감지에 소요되는 시간이 중요한 요인이 아니므로 주요 제한조건에서 제외하며, 충분한 시간을 갖고 신뢰성 있는 충돌 감지를 하도록 한다.

이러한 조건을 만족시키면서 충돌을 신뢰성 있게 감지하기 위하여 충돌 현상을 잘 표현할 수 있는 변수 즉, 물리량을 선정하여야 한다. 충돌을 표현할 수 있는 여러 종류의 물리량에 대하여 전술한 목표를 효과적으로 달성할 수 있는지를 검토하여 가속도와 속도 변화(ΔV)의 두 변수를 충돌 감지를 위한 물리량으로 선택하였다. 가속도는 직접적 측정이 가능한 물리량으로 충돌을 표현함에 있어 가장 기본이 된다. 그러나 앞서 언급했듯이 진동 성분이 크므로 그 단순 크기에 직접적인 물리적 의미를 부여하기가 곤란하며, 특히 단독으로 사용될 때 험로 주행이나 차문 닫음과 같은 경우를 충돌로 오인할 가능성이 크다. 그런데, 속도는 가속도의 적분으로 구해지므로 가속도 성분에 포함되어 있는 진동 성분은 소거될 수 있고, 차문 닫음이나 험로 주행 등 0G를 중심으로 심하게 진동하는 경우를 효과적으로 배제하여 충돌 오인의 가능성을 줄일 수 있다. 반면, 일정 시간 동안 적분을 해야 하므로 충돌 인식에 지연이 불가피하며 또한, 가속도 센서에 0-Offset drift가 심한 경우 그 오차가 누적되어 오류를 유발할 수 있는 위험이 있다. 속도 변화를 구할 수 있게 되면, 이 속도 변화에 질량을 곱하여 계산할 수 있는 충격량(impulse)을 알 수 있으므로 충돌의 심각도 여부를 어느 정도 판별하는 것이 가능하게 된다. 충돌에 의해 충격이 전달되어질 때 속도 변화는 질량에 반비례하므로 무거운 차일수록 속도 변화는 작아지지만 충격량은 속도변화와 질량의 곱이므로 차량 질량에

관계없이 충돌을 비교적 잘 표현할 수 있다. 그리고, 질량과 속도의 제곱을 곱하여 충돌 에너지의 추정도 가능하게 된다.

충돌 감지를 위한 변수를 결정한 후에는, 충돌 사고 인식 임계점을 결정해야 한다. 그러나, 해석적으로 경계를 결정하는 것은 가능하지 않으므로 에어백 개발 과정에서의 같이 반복적인 실험 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 에어백 시스템에서 감지하지 못하는 경우와 충돌로 오인하는 사건들도 구분하여 잘 판정해야 한다. 따라서, 에어백 개발에서 사용하는 전개/비전개 시험 사양과 비교하여 EDR에서 사용할 충돌 사양을 Table 6과 같이 결정하였다.

우선, 가속도 값이 임계점을 넘어서면 충돌 인식 알고리즘을 시작하는 Pre-Trigger 부분과 가속도를 적분하여 구한 속도 변화가 또 다른 임계점을 넘어서면 충돌로 판정하는 충돌 판정부분이 있다. 현재 개발한 EDR에는 5G 측정 범위의 가속도 센서가 종/횡 방향으로 각각 1개씩 있고 50G 범위 종/횡 방향 2축 가속도 센서가 1개 있다. 50G 가속도 센서는 출력 전압 당 가속도 크기가 크므로 잡음 등에 의해 영향을 받을 가능성이 크므로 5G 가속도 센서를 이용하여 충돌 인식 알고리즘 시작을 결정하도록 하며, 가속도 크기는 종/횡 방향 가속도의 벡터합으로 계산한다. 가속도 센서의 0-Offset Drift 문제를 해결하기 위하여 가속도 센서의 초기 출력값을 저장하고

Table 6 Fire/non-Fire conditions (NF: Not Fire, MF: Must Fire)

Impact configuration	EDR	Frontal Airbag	Side Airbag
5MPH frontal	NF	NF	NF
10MPH frontal	MF	NF	NF
10MPH rear	MF	NF	NF
15MPH frontal	MF	MF	NF
15KPH FMVSS214 (Side impact)	MF	NF	NF
25KPH FMVSS214 (Side impact)	MF	NF	MF
20MPH 30°LH/RH	MF	MF	NF
20MPH frontal car to pole	MF	MF	NF
20MPH side pole to car	MF	NF	MF
20MPH car to car 50% overlap	MF	NA	NF
60MPH car to car 50% overlap	MF	MF	NF
Rough road & misuse	NF	NF	NF

있어야 한다. 또한 0-Offset Drift가 큰 경우 실제 가속도는 임계값을 넘어섰는데도 센서 출력이 포화되어 측정 가속도가 임계값을 넘지 못하는 경우도 발생할 수 있으므로 종/횡 방향 어느 축이라도 포화영역을 넘어서면 Pre-Trigger 한다. 충돌 판정부분에서는 종/횡 방향 50G 가속도 센서의 출력값을 일정 시간동안 적분하여 그 벡터합으로 속도 변화의 크기를 구하고 그 값이 어떤 임계값을 넘어서면 충돌로 인식하도록 한다. NHTSA 충돌 실험 자료를 활용하여 앞서 언급한 충돌 감지 목표와 Table 6에서 제시한 충돌 감지 사양을 달성할 수 있는 적분 시간, Pre-Trigger 임계값 그리고 속도 변화 임계값을 설정하였다.

4. 경로 데이터 기록 및 재구성

차량의 주행 경로를 재구성하기 위해서 EDR은 차량의 종/횡 가속도와 차량의 yaw-rate을 기록한다. 충돌 과정 중이 아닌 정상 주행 중에는 가속도가 통상 1G이하로 작기 때문에 $\pm 5G$ 이하를 측정할 수 있는 두 개의 일축 가속도계를 사용하였으며, 추가로 한 개의 yaw-rate 센서를 사용하였다. 차량의 평면 궤적은, 방향 가속도 신호를 고려하며 종/횡 방향의 가속도 신호를 받아 이를 2회 적분함으로써 얻어진다. 그러나 센서로부터 받은 신호는 고주파 잡음, 장착 오차, 센서 영점오차, 3차원 운동의 2차원 평면 운동으로의 전환 등으로 인하여 오차 보정을 위한 전처리 과정을 필요로 한다. 차량 궤적 재구성을 위한 순차적인 처리 과정은 Fig. 2에 보여지고 있다.

본 연구에서 개발한 EDR은 가속도 및 방향가속도 이외에도 차량 속도, 엔진 RPM, 조향 각도 등의 아날로그 신호 외에 추가로 9개의 디지털(ON/OFF) 입력신호를 기록할 수 있다. 이 디지털 입력신호에는 브레이크의 적용 여부, 자동변속장치에서 기어 위치선택, 방향신호 상태들을 할당할 수 있다. EDR에 저장되는 데이터들은 Table 3에 요약되어 있다.

이러한 자동차 주행 경로 관련 기록 데이터 및 재구성 결과의 신뢰도를 확인하기 위하여, 개발한 EDR을 중형 승용차에 설치하여 실험하였다. 실험용 차량은 다양하게 미리 정해진 몇가지 경로를 따라 운전되었으며, 본 논문에서 제시하는 한 실험은

일반 도로에서 슬립이나 스핀이 없이 2개 차선을 지그재그로 주행하며 진행되었다. Fig. 3은 이같이 정해진 경로를 따라 정상 주행하는 차량의 시간(단위: 초)에 따른 종/횡 방향 가속도와 방향 가속도를 센서들의 직접 출력으로부터 후처리한 결과를 보여주며, Fig. 4는 차량에 기본 장착된 속도계에서 측정하는 속도(TM Speed)와 가속도 센서 출력 종방향 가속도를 적분하여 구한 속도를 비교하여 보여주고 있다.

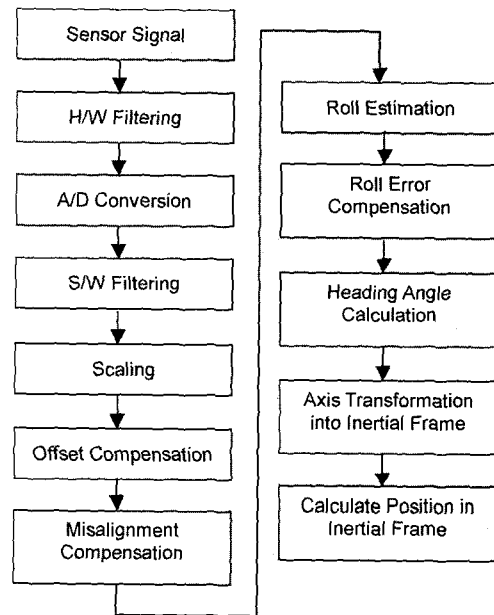


Fig. 2 The procedure for trajectory reconstruction

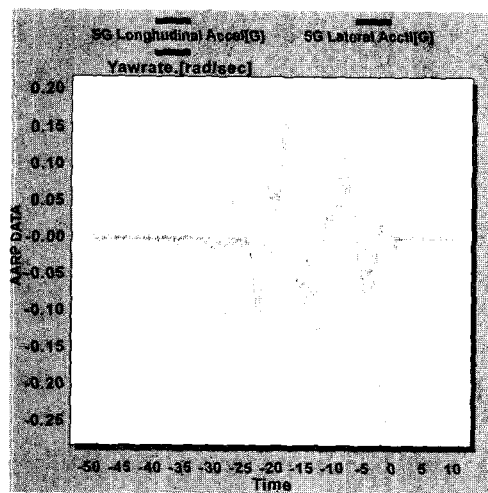


Fig. 3 Accelerations and yaw-rate

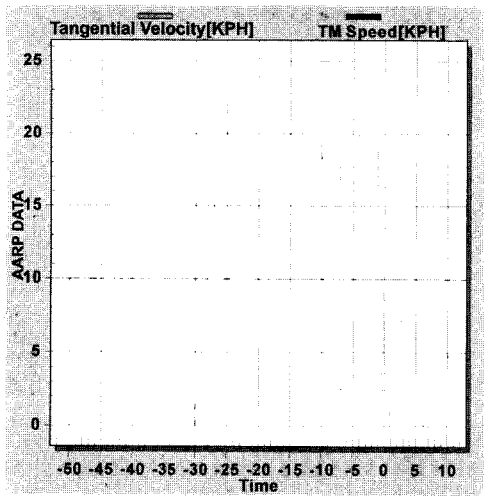


Fig. 4 TM and Calculated Velocities

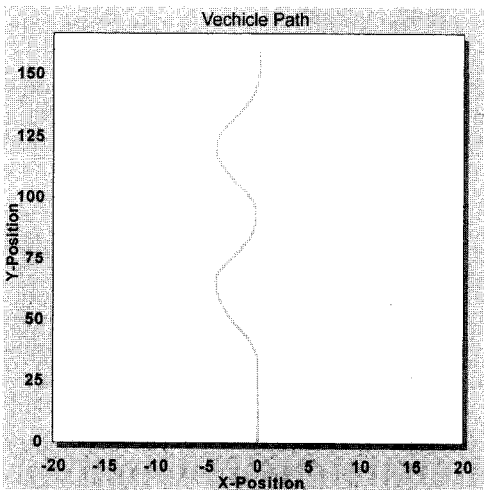


Fig. 5 Calculated vehicle trajectory

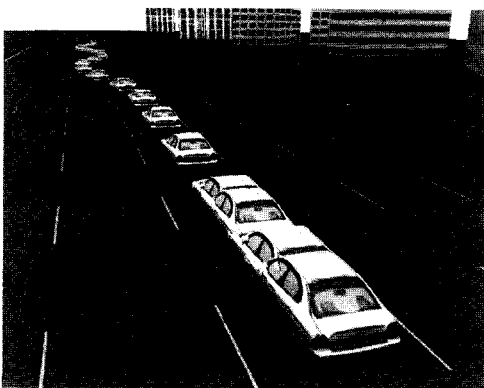


Fig. 6 Graphically animated scene

속도계로부터의 속도는 1Hz 간격으로 추출되었고, 가속도는 20Hz로 추출되어 계산하였다. Fig. 5는 재구성 프로그램으로부터 구현한 차량의 운동 경로(단위: m)를 보여주고 있고, Fig. 6은 차량 움직임에 대한 3차원 그래픽 화면이다.

5. 충돌 사고 감지 실험 및 재구성 해석

앞서 서술한 바와 같이 NHTSA 충돌 실험 자료들을 분석한 결과 충돌신호 지속시간이 충돌 속도와 관계없이 0.07-0.12 초 범위이므로, 적분시간은 Pre-Trigger 후 0.1초 동안의 가속도를 적분하도록 하였다. Table 6의 충돌 사양에서 5MPH 충돌은 비충돌로 인식하고 8.6MPH 충돌은 충돌로 인식하도록 되어있다. 충돌 실험 자료 해석 결과 8KPH 정면 충돌에서 25Hz Cutoff 필터링을 취할 경우 최대 가속도가 2.69G이고 15KPH 정면 충돌의 경우는 8.82G로 구하였다. 따라서, Pre-Trigger 임계값은 2G로 설정하였다. 또한 앞서 설명한 바와 같이 0-Offset drift로 인하여 5G 이하에서 센서 출력이 포화될 수 있으므로 센서 출력이 포화상태가 되면 역시 Pre-Trigger한다. 속도 변화에 대한 충돌 결정 임계값을 선정하기도 용이하지 않다. 그러나 충돌 속도 별로 Pre-Trigger 시간부터 0.1초 동안의 속도 변화를 계산하여 그 분포로부터 충돌 사양을 만족하는 임계값을 선정하였다. 실험 결과에 따르면 9MPH (14.4KPH)대에서는 속도 변화 최소값이 11.9KPH이고, 5MPH(8KPH)대에서는 속도 변화 최대값이 9.0KPH이므로 충돌로 판정하는 속도 변화 임계값을 10KPH로 설정하였다.

이와 같이 구성한 충돌 인식 알고리즘과 개발한 EDR 시스템의 충돌 감지 신뢰성을 판단하기 위하여, Fig. 7에 보여지는 것과 같은 에어백 시험 장비인 Shaker Test 장비를 이용하여 실차 충돌 데이터에서 획득한 가속도와 동일한 가속도를 사고기록장치에 가진하였다. 이러한 Shaker Test 장비를 활용한 실험 결과는 Table 7에 요약되어 있다. 한편, 차량의 험로 주행은 자칫 충돌 사고로 판정하기 쉬우며, 이러한 가능성을 차단하기 위하여 EDR을 장착한 중형 승용차량의 험로 주행 후 충돌 오감지 여부를 조사하였다. 그 결과는 Table 8에 요약되어 있다.

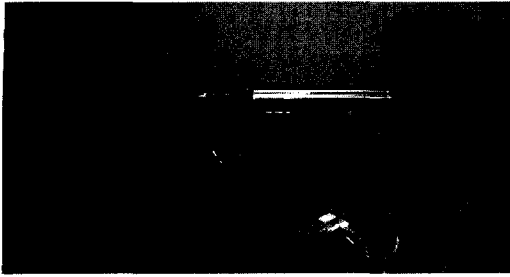


Fig. 7 Shaker test for crash detection

Table 7 Shaker test results: crash detection

Crash configuration	Results (O:Crash detection)		
	Test 1	Test 2	Test 3
10MPH frontal	O	O	O
15MPH frontal	O	O	O
20MPH front offset LH	O	O	O
20MPH front offset RH	O	O	O
50KPH rear end	O	O	O

Table 8 Rough road test results

Road type	Driving condition	Results (X: Non-Fire)		
		Test 1	Test 2	Test 3
Belgian	50KPH sudden braking	X	X	X
Wash board	70KPH sudden braking	X	X	X
Chatter strip	70KPH sudden braking	X	X	X
Body twist	40KPH sudden braking	X	X	X
130mm curb	10KPH non-braking	X	X	X
130mm curb 10°	40KPH non-braking	X	X	X
Pothole lane	10KPH non-Braking	X	X	X

기존 충돌사고 재구성 해석방법은 주로 충돌 후 차량 변형에 많이 의존한다. 그러나, 저속 충돌 사고의 경우에는 충돌 차량들에 해석상 의미있는 변형이 통상 외관으로 잘 나타나지 않으므로 기존 해석 방법으로 ΔV 나 PDOF 등을 계산하는 것이 거의 불가능하다¹⁶⁾. EDR은 충돌동안의 가속도를 측정하여 기록할 수 있으며, 이 정보는 ΔV 와 PDOF를 계산하는데 매우 유용하다.

본 연구에서는 국내 자동차 회사의 신차종을 가지고 15KPH의 속도로 저속 대차 충돌 실험을 수행

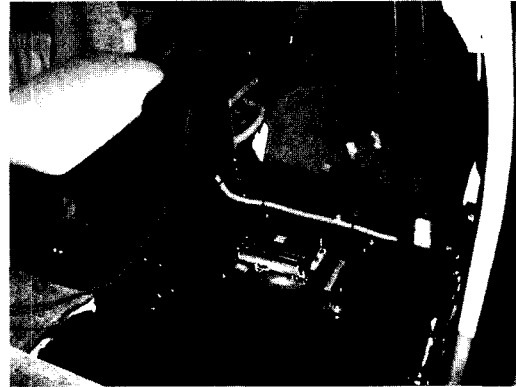


Fig. 8 EDR mounted under passenger seat

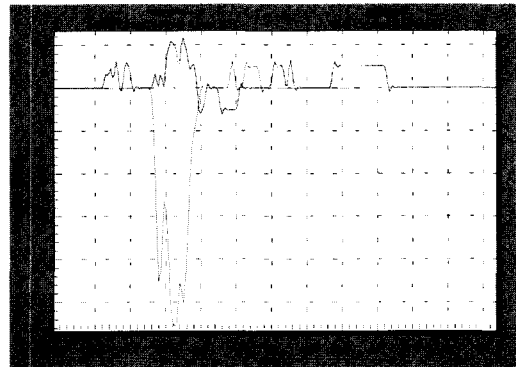


Fig. 9 Measured accelerations during the crash process

하였다. 이는 저속 충돌로, 특이할 만한 차량의 변형도 없을 뿐만 아니라 에어백도 전개되지 않는다. 이런 경우에도 EDR을 활용하면 ΔV 와 PDOF, 충돌 속도 등을 계산할 수 있다. Fig. 8은 시험용 차량의 조수석 하단부에 장착된 EDR을 보여주고 있다. Fig. 9는 충돌 과정 동안의 종/횡 방향 가속도이다. 한편, 가속도 자료로부터 계산된 차량의 속도 변화는 충돌 과정 동안에 걸쳐 Fig. 10에 보여지며, 그 값은 대략 15KPH로 구해진다. EDR에 기록된 가속도와 이를 이용하여 계산된 ΔV 와 PDOF는 Table 9에 보여지는 것과 같으며, 제시한 충돌 실험에 대하여 충돌 속도, ΔV , PDOF는 대략 오차범위 10%이내에서 계산할 수 있었다. 한편, 신차 충돌안전 프로그램(New Car Assessment Program, NCAP)의 정면 충돌 시험규격(56KPH, 40% 오프셋 정면 충돌)에 근거한 대차 충돌 시험도 국내 자동차 회사의 승용차량을 가지고 수행되었다. 이 경우에는 저속 충돌 실험과는 달

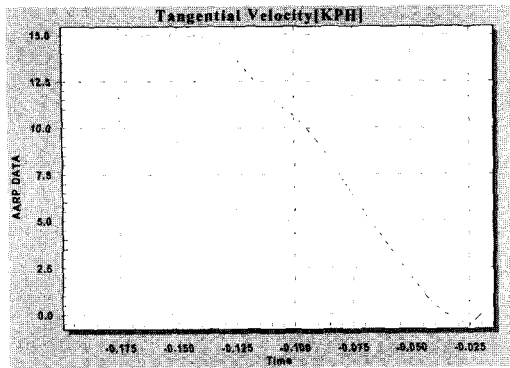


Fig. 10 Calculated longitudinal velocity during the crash process

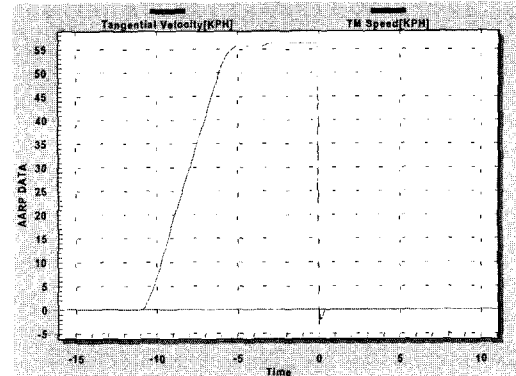


Fig. 12 Calculated longitudinal velocity in NCAP test

Table 9 Reconstruction analysis results: low-speed crash test

x-direction peak acceleration	5.54G
y-direction peak acceleration	1.06G
Delta-V	16.19 KPH
PDOF	8.63 Deg
Closing speed	14.93 KPH

Table 10 Reconstruction analysis results: NCAP test

x-direction peak acceleration	29.09G
y-direction peak acceleration	2.44G
Delta-V	56.4 KPH
PDOF	-3.31 Deg
Closing speed	56.2 KPH

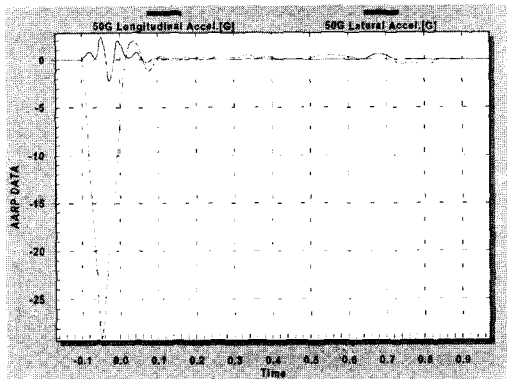


Fig. 11 Measured longitudinal/lateral acceleration in NCAP test

리 차량의 파손 상태가 심각하나, 시험용 차량의 조수석 하단부에 장착된 EDR은 문제없이 작동하였다. Fig. 11은 충돌 시험 동안의 차량 가속도를 보여주고 있으며, Fig. 12는 충돌 시험 동안 차량 속도 변화를 보여주고 있다. EDR에 기록된 가속도와 이를 이용하여 계산된 ΔV 와 PDOF는 Table 10에 보여진다. 본 논문에서 제시한 2가지의 서로 다른 실차 충돌 시험의 경우에 대하여 충돌속도, ΔV , PDOF는 오차범위 10%이내에서 계산할 수 있었다.

6. 결론

본 논문에서는 차량에 장착한 EDR 시스템에서 적절한 충돌 감지를 위한 알고리즘, EDR 저장데이터를 활용하는 재구성 해석 방법 그리고 실험에 의한 신뢰도 및 실용성 확보 과정을 제시하였다. EDR 실차 실험 결과들에서 보듯이 정면/측면/후방 모든 방향에서 충돌을 제대로 감지하였고, 충돌 유사 상황을 정확히 구분하여 배제할 수 있었다. 또한 10% 내의 오차 범위에서 충돌 주요 변수들인 ΔV 와 PDOF를 계산할 수 있었다.

본 논문에서 제시한 기술들은 자동차 사고 재구성 해석 및 자동 통보 과정¹⁷⁾에서 핵심 부분인 블랙박스 즉, EDR 시스템의 상용화 개발을 가능하게 할 것이다. 우선, 선진국에 비해 초보적인 수준에 머무르고 있는 사고 해석 업무를 과학적으로 지원해 주어 자동차 충돌 사고를 신뢰성 있게 구성하는 데 직접 적용할 수 있을 것이다. 본 연구의 결과에 의하여 과학적인 교통사고 조사가 이루어지면 교통사고 원인 분석의 불신으로 인한 교통사고 당사자들의 연쟁을 막을 수 있으며 이로 인한 시간적, 경제적 손실을 최소화하여 국가 경쟁력 향상에 기여할 수 있다. 또한, 사고 자동 통보 및 유고관리 시스템 개발로 응

급구조체계 시장 활성화가 가능하게 되고, ITS 사업의 핵심 부분인 교통 관련 정보제공의 정확도에 획기적으로 기여 할 수 있을 것이다.

References

- 1) IEEE Project 1616 Draft Standard Site; <http://grouper.ieee.org/groups/1616/home.htm>.
- 2) M. Guzek, Z. Lozia, "Possible Errors During Accident Reconstruction Based on Car Black Box Records," SAE 2002-01-0549, 2002.
- 3) A. German, J.-L. Comeau, B. Monk, K. J. McClafferty, P. F. Tiessen, J. Chan, "The Use of Event Data Recorders in the Analysis of Real-World Crashes," Proc. of Canadian Multi-disciplinary Road Safety Conference XII, London, Ontario, 2001.
- 4) NHTSA EDR Working Group, Event Data Recorders-Final Report, NHTSA, US DOE, 2001.
- 5) T. Nishimoto, Y. Arai, H. Nishida, K. Yoshimoto, "Development of High Performance Driver-Recorders for Measuring Accidents and Near Misses in the Real Automobile World," JSAE Review, Vol.22, pp.311-317, 2001.
- 6) T. Nishimoto, "Vehicle Crash Analysis Based on Own Data Recording," Int. J. Vehicle Design, Vol.32, No.1/2, pp.130-141, 2003.
- 7) J. M. Lawrence, C. C. Wilkinson, B. E. Heinrichs, G. P. Siegmund, "The Accuracy of Pre-Crash Speed Captured by Event Data Recorders," SAE 2003-01-0889, 2003.
- 8) R. Fay, R. Robinette, D. Deering, J. Scott, "Using Event Data Recorders in Collision Reconstruction," SAE 2002-01-0535, 2002.
- 9) A. "Chip" Chidester, J. Hinch, T. Mercer, K. Schultz, "Recording Automotive Crash Event Data," International Symposium on Transportation Recorders, May 3-5, 1999, Arlington, VA.
- 10) I. Han, B. Kim, "Determination of Pre-Impact Velocities and Collision Parameters in Automobile Accident Reconstruction," Proc. A of the KSME Spring Annual Meeting, pp.254-259, 1999.
- 11) I. Han, S.-U. Park, "Inverse Analysis of Pre- and Post-Impact Dynamics for Vehicle Accident Reconstruction," Vehicle System Dynamics, Vol.36, No.6, pp.413-433, 2001.
- 12) R. D. Robinette, R. J. Fay, R. E. Paulsen, "Delata-V: Basic Concepts, Computational Methods, and Misunderstandings," SAE 940915, 1994.
- 13) S. Park, I. Han, "Braking and Skidding Dynamics, and Inverse Analysis for Vehicle Accident Reconstruction," Transactions of KSAE, Vol.7, No.4, pp.189-202, 1999.
- 14) M. Huang, Vehicle Crash Mechanics, CRC Press, Boca Raton, FL, 2002.
- 15) NHTSA Vehicle Crash Test Database; http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/database/nrd-11/veh_db.html.
- 16) R. M. Brach, "Modeling of Low-Speed, Front-to-Rear Vehicle Impacts," SAE 2003-01-0491, 2003.
- 17) J. J. Mackey, R. Pandolfi, C. J. Brogan, "Mobile Vehicle Accident Data System," Unites States Patent 6141611, 2000.