

사고기록장치 자료를 이용한 감속도 산출에 관한 연구

A Study on the Calculation of Deceleration Using Event Data Recorder Data

김윤진* · 은주오** · 윤일수***

* 주저자 : 도로교통공단 전북지부 사고조사연구원

** 공저자 : 전라북도지방경찰청 교통사고조사관

*** 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

YunJin Kim* · Juoh Eun** · Ilsoo Yun***

* Traffic Accident Investigation Researcher, Road Traffic Authority

** Traffic Accident Investigation, JeonBuk Provincial Police Agency

*** Dept. of Transportation Eng., Ajou University

† Corresponding author : Ilsoo Yun, ilsooyun@ajou.ac.kr

Vol.18 No.6(2019)

December, 2019

pp.31~42

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.6.31>

2019.18.6.31

Received 7 November 2019

Revised 27 November 2019

Accepted 23 December 2019

© 2019. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요약

사고기록장치(Event data recorder, EDR)에 기록된 운행정보 중 차량의 사고 이전 속도정보는 사고차량 운전자의 처벌, 가해자·피해자 구분, 사고회피 가능성 등을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 또한 EDR 자료를 분석하면 사고차량의 감속도를 분석할 수 있다. 본 연구에서는 교통사고 분석에서 사고차량 운전자의 전방주의의무 이행 여부, 사고회피 가능성 등을 판단하는 주요 요소인 정지거리 산출에 적용 가능한 적정 감속도 값을 제시하기 위하여 선행연구의 제동실험 결과와 교통사고차량의 EDR에서 추출한 자료를 분석한 결과를 비교하였다. 선행연구의 ABS 장착차량 제동실험을 분석 결과, 차량의 평균 감속도는 0.79g~0.94g로 나타났다. 또한 비교적 최근에 이루어진 교통안전공단 자동차 안전도평가 제동실험에서는 감속도 값이 0.92g~0.94g로 매우 높게 나타났다. 그리고, 본 연구에서 수행된 EDR 자료 분석을 통해서 0.55g~0.71g의 감속도 값이 산출되었으며, 선행연구의 제동실험에서 측정된 감속도 값보다 작은 값이 나타났다.

핵심어 : 사고기록장치, 교통사고, 정지거리, 감속도

ABSTRACT

Among the driving information recorded in the event data recorder (EDR), the speed information of the vehicle before the traffic accident is a very important factor that determines the punishment of the driver of the accident vehicle, the identification of the offender and the victim, and the possibility of avoiding the accident. Also, by analyzing the EDR data, the deceleration of the accident vehicle can be analyzed. In this study, the results of the braking test of the previous study and the analysis of the EDR data of the traffic accident vehicle were compared to suggest an appropriate deceleration value applicable to the calculation of the stopping distance. As a result of the braking test of the vehicle equipped with ABS of the previous study, the average deceleration of the vehicle was 0.79g ~ 0.94g. In addition, the deceleration value was calculated from 0.92g to 0.94g in the recent automobile safety evaluation braking test conducted by the Korea Automobile Testing & Research Institute. In addition, the deceleration value of 0.55g ~ 0.71g was calculated through the analysis of EDR data performed in this study, and the value was smaller than the deceleration value measured in the braking experiment of the previous study.

Key words : Event data recorder, Traffic accident, Stopping distance, Deceleration

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

운전자가 보행자, 정지신호, 교통표지판 등을 발견하고 가속 페달에서 발을 떼어 브레이크 페달을 밟기까지 걸리는 시간을 공주시간(idle running time)이라고 하며, 그 동안 차량이 진행하는 거리를 공주거리(idle running distance)라고 한다. 그리고 브레이크가 작동한 때부터 차량이 완전히 정지할 때까지 진행한 거리를 제동거리(braking distance)라고 한다. 이 둘을 합한 것이 정지거리(stopping distance)이다(Do, 2009).

정지거리는 도로구조의 설계, 교통안전표지의 설치지점 선정, 자동차 안전성능의 기준설정 등에 사용되며, 교통사고분석에서는 주로 교통사고 회피 가능성을 분석하는데 사용된다. 즉, 사고차량이 사고도로를 제한속도 이하로 주행하였을 경우 사고를 회피할 수 있었는지, 일정거리에서 운전자가 전방의 위험을 발견하고 제동하였으면 정지할 수 있었는지 등을 판단하는 기준으로 사용된다. 여기서, 정지거리는 사고 차량의 속도, 운전자의 인지 반응 시간, 차량의 감속도(견인계수×중력가속도)에 의해 결정되는데 실제 사고분석에서는 개별차량의 감속도를 정확히 특정할 수 없어 선행연구에 의한 실험값을 사용하고 있다(Kim, 2019).

사고기록장치(Accident data recorder, ADR)란 교통사고에서 차량의 사고 이전 움직임을 기록하는 장치를 총칭하는 말로, 대표적으로 영상기록장치인 차량용 블랙박스(video data recorder, VDR), 사업용 차량에 의무적으로 장착하는 디지털운행기록계(digital tacho graph, DTG), 에어백 작동 시 차량의 운행정보를 저장하는 ACU(airbag control unit)에 설치된 사고기록장치(event data recorder, EDR) 등이 있다.

2015년 12월 「자동차 관리법」에 따라 EDR 자료 기록공개 의무화가 시행되면서, 국내에서도 법률 시행 이후 생산된 차량에 한해서 제조사 및 판매사가 EDR 자료를 제공할 수 있어야 한다. 2015년에 공개가 의무화된 기록은 ACU에 기록되는 차량의 운행정보로 충돌 5초 전부터 충돌 후 0.25초까지의 사고 차량의 속도, 제동, RPM, 핸들 조향각 등의 정보를 포함하고 있다. 이런 사고기록 공개 의무화는 교통사고조사 분야의 획기적인 변화를 가져왔는데, 더 이상 수학적, 물리적 공식을 통해 차량의 속도 등 교통사고 상황을 추정하는 것이 아닌, 실제 차량에 기록된 자료를 통해 교통사고를 재현할 수 있게 해주었다.

최근 주로 이용되는 블랙박스 영상자료를 이용한 속도추정 방법과 비교하였을 때, 영상자료를 이용한 속도추정의 경우 사고 이전 특정 구간에서 차량의 평균속도를 추정하는데, 차량의 위치 특성에 한계가 존재하기 때문에 차량의 세부적인 속도변화를 추정할 수 없는 단점이 있다. 하지만 EDR에 기록되는 정보는 충돌 5초 이전부터 0.5초 단위로 기록되기 때문에 좀 더 세분화된 차량의 움직임을 파악할 수 있다.

EDR의 기록된 운행정보 중 차량의 사고 이전 속도정보는 사고차량 운전자의 처벌, 가해자·피해자 구분, 사고회피 가능성 등을 결정하는 매우 중요한 요소이며, 이를 분석하면 사고차량의 감속도를 분석할 수 있다.

본 연구에서는 선행연구의 실험을 통해 얻어진 감속도 값과 실제 EDR에 기록되어있는 감속도 값을 비교하여 실험값과 실제 사고기록의 차이를 알아보고, 사고차량의 정지거리 산출에 적용할 수 있는 감속도 값을 제시하는데 목적이 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구의 범위

본 연구는 사고기록장치 중 차량의 ACU에 설치된 EDR에 기록된 교통사고 이전 차량 정보를 분석하였으며, 사고기록 자료는 2017년부터 2019년 4월까지 국내에서 수집된 사고기록 자료로서 통상적인 제동속도분석 실험에 가장 많이 사용되는 값과 비교하기 위하여 건조한 아스팔트에서의 승용차의 제동상황 기록으로 한정하였다.

2) 연구수행의 절차

본 연구의 수행 절차는 연구 목적 및 범위 설정, 사고기록장치 현황 및 문헌고찰, 사고기록자료 수집 및 분석, 선행연구 자료와 비교, 결론 등이며, <Table 1>과 같다.

<Table 1> Research process

Types	Contents
Establishment of research purpose and scope	<ul style="list-style-type: none"> • Background and purpose of research • Scope and method of research
Related Status and Literature Review	<ul style="list-style-type: none"> • Overview and Status of EDR • Review of previous research
Data collection and analysis	<ul style="list-style-type: none"> • Collecting EDR data • Analysis of collected data
Deceleration calculation and comparison	<ul style="list-style-type: none"> • Survey of deceleration of prior studies • Calculation of deceleration from EDR data • Presenting deceleration value to calculate stopping distance
Conclusions and future researches	<ul style="list-style-type: none"> • Conclusions • Future researches

II. 관련 현황 및 연구 고찰

1. 사고기록장치 관련 현황

1) 사고기록장치

사고기록장치(Accident data recorder, ADR)이란 교통사고 상황에서 사고차량의 충돌 전·후 움직임을 기록하는 장치로서, 차량용 블랙박스로 불리는 VDR, 「교통안전법」 제55조에 의해 사업용 차량에 의무적으로 장착하게 되어있는 DTG, 차량의 에어백이 전개될 경우 5초 전부터 기록이 저장되는 ACU에 설치된 EDR 등을 포함한다. 이러한 ADR에 기록되는 자료들은 교통사고조사 분야에서 사고 상황을 객관적으로 재구성할 수 있게 만들어주는 자료로, 실제 사고현장에서 가장 먼저 확보하기 위해 노력하고 있다.

(1) 영상기록장치

일반적으로 차량용 블랙박스과 같은 영상기록장치인 VDR은 차량의 룸미러, 트렁크리드 부근에 설치된 소형 카메라로 사고 당시 상황을 촬영하고, 설치된 마이크로 주변의 소리를 담아 저장매체에 저장하는 장치이다. 평상시에는 저장매체가 보장해주는 시간만큼의 주행과 관련된 상황을 기록한다. 차량용 블랙박스는 시동을 걸면 바로 작동되거나 시동이 꺼진 상태에서도 작동할 수 있다. 사고 발생 시 차량속도, 시간 등이 저장매체에 기록된다.

차량용 블랙박스는 사고기록장치 중 가장 널리 알려져 있으며 보급이 활발하게 이루어진 장치이다. 보급 초기에 단순히 주행영상을 저장하여 녹화하는 단계에서 벗어나 최근에는 차선을 감지하여 차선이탈시 경고를 해주는 기능, 장애물과의 거리를 파악하여 경고를 해주는 기능 등 다양한 기능들이 추가되고 있다. 차량용 블랙박스는 녹화된 영상, 음성을 통해 사고 상황을 생생하게 볼 수 있는 장점이 있고, 사용자가 많아 교통사고분석 분야에서 널리 사용되고 있으며 주로 사고차량의 구간평균속도, 사고차량의 위치를 분석하는데 사용된다. 하지만 사고차량의 시간별 속도변화와 운전자의 조작 등을 상세하게 파악할 수 없는 단점이 있다.

(2) 디지털운행기록계

DTG는 「교통안전법」 제55조(운행기록장치의 장착 및 운행기록의 활용 등)에 의해 「여객자동차 운수사업법」에 따른 여객자동차 운송사업자, 「화물자동차 운수사업법」에 따른 화물자동차 운송사업자 및 화물자동차 운송가맹사업자가 장착해야하는 장치로, 운행기록장치 장착의무자는 6개월 동안 운행기록을 보관하여야하며 교통행정기관의 제출요청에 따라 운행기록을 제출하여야한다.

DTG의 경우 차량의 속도 및 제동상황이 초단위로 기록되기 때문에 VDR에 비해 차량의 속도변화를 자세하게 파악할 수 있고, 운전자의 정확한 제동시점을 파악할 수 있다. 또한 GPS 좌표 및 방위각의 변화를 통해 사고차량의 이동경로를 파악할 수 있다. 운행기록 자료는 USB를 통해 추출이 가능하여 자료수집이 용이하지만, 일부 DTG의 경우에는 자료 분석에 필요한 프로그램이 제조사 별로 상이하고, 폐업 혹은 합병된 제조사들이 많아 제대로 된 서비스를 받기 쉽지 않은 단점이 있다.

(3) EDR

에어백이 장착된 차량의 경우 에어백의 전개를 결정하는 전자적 장치인 ACU를 갖게 되는데, ACU 내에 설치된 EDR은 사고 전·후 사고차량의 상황을 기록한다. EDR의 설치목적은 차량에 기록된 사고 이전 자료를 분석하여 차량의 충돌 및 안전장치의 평가에 활용하고, 사고발생시에는 기록된 자료를 통하여 사고 상황을 재현, 원인을 분석하는데 있다. 우리나라에서는 「자동차 관리법」 제29조의 3 에 따라 2015년 12월 EDR 자료 기록공개 의무화 법률이 시행되면서, 제조사가 국토교통부령으로 정하는 기준에 맞는 EDR을 장착해야하며, 구매자들에게 EDR가 장착되어있음을 알려야 한다. <Table 2>는 「자동차 관리법」에서 제시하는 기록 항목 등을 보여주고 있다.

<Table 2> Event data record items

Information to be recorded	Recording interval and time	Recordings per second
Cumulative speed change in the direction of travel	Shorter time of each of the following items a. From 0 to 0.25 seconds b. From 0 to end of accident + 0.03 seconds	100
Maximum speed change in the direction of travel	Shorter time of each of the following items a. From 0 to 0.30 seconds b. From 0 to end of accident + 0.03 seconds	-
Time of maximum speed change		
Speed of vehicle	From - 5 to 0 second	2
Engine throttle valve opening or accelerator pedal displacement	From - 5 to 0 second	2
Brake pedal operation	From - 5 to 0 second	2
Accumulated number of prime mover position of starter	- 1 seconds	-
Cumulative number of operating positions of the prime mover of the starting device when extracting information	Data extraction time	-
Usage of Driver seat belt	- 1 seconds	-
Front airbag warning light on	- 1 seconds	-
Driver's Front Airbag Deployment Time	From 0 to the airbag deployment time	-
Front passenger airbag deployment time	From 0 to the airbag deployment time	-
Number of accidents	End of multiple accidents	-
Interval of accidents	-	-
Information saving	Yes or no	-

EDR은 0.15초 이내에 진행방향의 속도 변화 누계가 지속 8킬로미터 이상에 도달하는 경우, 측면방향의 속도 변화가 기록되는 자동차의 경우에는 측면방향 속도 변화 누계가 0.15초 이내에 지속 8킬로미터 이상에 도

달하는 경우, 에어백 또는 좌석안전띠 프리로딩 장치 등 비가역안전장치가 전개되는 경우에 기록되며 장치로부터 나온 정보는 충돌 후 수집하여 차량의 충돌이나 이벤트 전후 무엇을 하고 있었는지를 확인하기 위해 분석 된다. EDR은 충돌 5초전부터 충돌 후 약 0.25초 동안의 차량의 속도변화, 가속도의 변화량, 핸들조향각도, 엔진스로틀 등의 정보가 비교적 자세하게 기록되기 때문에 영상기록장치와 더불어 차량의 움직임을 파악하고 재현하는데 중요한 정보로 사용된다.

2. 선행 연구 고찰

Oh(2016)는 차량용 EDR에 대한 해외 사례 및 국내 기술에 대한 고찰연구에서 EDR 자료를 통한 해외 사고분석사례를 소개하고, 해외에서 발견된 국내 자동차 생산 업체의 EDR기록에서 나타나는 문제점 등을 소개하였다. 또한 우리나라에서도 이미 EDR관련 자료를 다운받을 수 있는 차량이 생산 되는데 정확한 정보를 공개하기를 주저하고, 전문분석 기술자들에게 교육할 기회도 갖지 못하는 문제는 재검토 되어 공론화 할 필요가 있다고 주장하였다.

Baek(2015)은 사고기록 장치를 이용한 교통사고 심층분석 연구에서 사고기록 장치를 이용한 심층적인 분석을 위한 여러 가지 해석방법 중 오차를 최소화하는 방법을 제시하였고, PC-Crash 등을 이용한 시뮬레이션 결과로 차량의 속도, y-축 가속도를 고려한 분석방법이 오차가 작다는 결과를 얻었다.

Park et al.(2011)는 EDR 기술 동향연구에서 미국과 국내에 적용된 자동차용 사고기록장치의 현황에 대해 분석하였다. 자동차 사고에 대한 과학적인 분석은 중요성이 점점 대두되고 있으며, 개인의 사생활 및 개인정보 보호라는 문제와 양립하고 있다. 이러한 문제점을 해소하기 위해서는 자동차용 사고기록장치 설치와 분석에 관한 사항을 법제화하여, 무분별한 개인 정보 수집으로부터 국민의 사생활을 보호하여야 하며, 기록된 데이터를 교통사고 원인분석 과정에 공정하게 활용함으로써 국민의 생명과 재산을 보호하여야 한다고 주장하였다.

Park et al.(2017)는 Vbox와 PC-Crash를 활용한 EDR정보의 신뢰성 평가 연구에서 차량 충돌 실험을 통해 얻은 EDR정보 중 충돌 전 5초 동안의 속도 자료와 Vbox를 통해 얻어진 GPS 기반의 속도 자료를 비교 및 분석함으로써 EDR 상에 기록되는 속도 자료에 대한 신뢰성을 평가하였으며, 실험 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다. 속도 자료 간의 편차는 2 km/h 내외로 확인되며, 속도 변화의 경향이 매우 유사하다. PC-Crash를 이용한 주행상황을 재구성한 결과, 실제 주행 상황과 매우 유사하다.

Yun et al.(2014)는 교통사고 분석을 위한 EDR 활용 방안 연구에서 교통사고의 과학적인 원인 분석을 위한 자동차 EDR의 활용 방안을 제시하였다. EDR 자료를 활용하면 고의사고, 주행속도 및 충돌속도, 유효충돌속도, 충격력의 작용방향, 충돌의 치명도, 사고와 인체 상해와의 인과관계, 다중충돌(추돌)사고의 과정, 차량결합, 안전벨트 착용 상태, 회피동작의 과정 등 교통사고의 원인과 요인에 대한 과학적인 응용 분석이 가능하고, EDR의 실차충돌 자료는 자동차의 충돌 평가 및 각종 안전장치의 성능평가에도 유용하게 활용할 수 있고 주장하였다.

Jeong(2012)은 교통사고 재현을 위한 제동전 속도추정모형 개발에 관한 연구에서 승용차, 버스 등 실제 제동실험을 통해 제동거리, 활주거리, 제동직전속도, 감속도 자료를 수집하였으며 이를 바탕으로 불완전제동구간의 감속도와 제동직전 속도와 활주거리 관계, 제동직전 속도와 제동거리의 관계, 그리고 활주거리와 제동거리와의 관계 등의 상관관계를 분석하였다. 불완전 제동구간의 감속도는 승용차의 경우 0.73g, 대형버스의 경우 0.58g로 나타났다. 제동직전속도가 높으면 활주거리, 제동거리가 증가하며, 회귀분석 결과 강한 회귀특성이 나타났고, 활주구간 감속도는 속도가 증가할수록 작아졌다. 이를 바탕으로 사고차량의 제동 전 속도추정 모형을 제시하였으며, 사법처리 기준으로 적용되는 활주직전 속도의 문제점을 제시하였다.

Kim et al.(2007)은 건조한 노면에서 Non-ABS 차량의 제동시점 속도계산 방법 연구에서 현재까지 사용되

어은 스키드마크 시작지점의 속도가 아닌 운전자가 브레이크 페달을 최초로 밟은 지점의 속도를 알아내기 위한 식을 제안하였다. 국내에서 제작된 배기량 2,000cc 자동변속기가 장착된 중형급 차종에 속도센서 등을 장착하여 전문가가 제동 실험하였고, 운전자가 브레이크 페달을 최초로 밟은 지점에서 정지한 지점까지 속도 감속량은 모든 속도구간에서 거의 비슷하였으며, 바퀴가 고착되는 순간에도 마찰은 큰 변화가 없다고 하였다. 실험값을 통해 운전자가 브레이크 페달을 밟은 지점의 속도를 계산식을 제안하였다.

Rivers et al.(1998)은 노면상태에 따라 승용차가 활주할 때 마찰계수를 연구하였는데, <Table 3> 과 같이 건조노면에서 활주할 때의 마찰계수는 0.7~1.2, 빗길이나 습윤(濕潤) 노면에서 제동할 때의 마찰계수는 0.6~0.8, 눈길에서는 0.3~0.6, 빙판길에서는 0.1~0.25 정도이다.

<Table 3> Friction coefficient of road

Description of Road Surface		DRY	WET
Concrete	new, fresh	0.7-1.2	0.5-0.8
	smooth from use	0.6-0.75	0.45-0.7
	well-worn	0.5-0.75	0.35-0.6
Asphalt	new, fresh	0.65-1.2	0.45-0.8
	smooth from use	0.55-0.8	0.4-0.65
	well-worn	0.45-0.75	0.4-0.65
	excess tar	0.35-0.6	0.25-0.55
Gravel	packed	0.5-0.85	
	loose	0.4-0.7	
Ice	cold, frost	0.1-0.25	
	warm, wet	0.05-0.1	
Snow	packed	0.25-0.55	0.3-0.6
	loose	0.1-0.25	0.3-0.5

Frick(1990)은 일반타이어를 장착한 승용차와 픽업 트럭을 대상으로 도로의 종류별, 차량의 속도별 마찰계수 범위를 실험하였으며, 결과는 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Friction coefficient of road and velocity

Description of Road Surface		DRY		WET	
		$v \leq 48\text{km/h}$	$v > 48\text{km/h}$	$v \leq 48\text{km/h}$	$v > 48\text{km/h}$
Concrete	new, fresh	0.8-1.2	0.7-1	0.5-0.8	0.4-0.75
	smooth from use	0.6-0.8	0.6-0.75	0.45-0.7	0.45-0.65
	well-worn	0.55-0.75	0.5-0.65	0.45-0.65	0.45-0.65
Asphalt	new, fresh	0.8-1.2	0.65-1	0.5-0.8	0.45-0.75
	smooth from use	0.6-0.8	0.55-0.7	0.45-0.7	0.45-0.65
	well-worn	0.55-0.75	0.45-0.65	0.45-0.65	0.4-0.6
	excess tar	0.5-0.6	0.35-0.6	0.3-0.6	0.25-0.55
Gravel	packed	0.55-0.85	0.55-0.80	0.4-0.8	0.4-0.6
	loose	0.5-0.7	0.4-0.70	0.45-0.75	0.45-0.75
Ice	cold, frost	0.1-0.25	0.07-0.2	0.05-0.1	0.05-0.1
Snow	packed	0.3-0.55	0.35-0.55	0.3-0.6	0.3-0.6
	loose	0.1-0.25	0.1-0.2	0.3-0.3	0.3-0.6

해외 연구의 실험값에서는 국내연구보다 다양한 상황으로 실험조건을 세분화하여 제시하고 있으며, 국내에서 실험된 Non-abs 차량의 제동실험 결과에 비해 높은 값의 최대 감속도를 제시하고 있다. 하지만 범위의 값을 제시하고 있어 평균 감속도는 국내 연구와 유사한 것을 확인할 수 있다.

Ⅲ. 자료 수집 및 분석

1. 사고기록 자료 수집

2015년 12월부터 EDR자료 공개가 의무화되었지만, 자료 추출 장비의 보급은 2018년부터 경찰청 등 공공기관 위주로 이루어지고 있다. 분석에 사용된 자료는 2018년부터 지방경찰청 등을 통해 수집된 사고기록자료 중, 운전자가 전방에 위협을 인지하고 제동하였으나 완전히 정지하지 못하여 발생한 사고기록 자료를 사용하였다. 브레이크 작동기록이 있는 사고, ABS장치가 작동된 사고, 블랙박스 영상에서 노즈다운 현상이 발생한 사고 등 기록된 사고 상황과 EDR기록이 운전자가 급제동 하였다고 판단되는 사례를 선정하였다. 여기서 노즈다운 현상이란 자동차가 급제동할 때, 관성력에 의해 자동차의 앞부분이 아래로 내려가는 현상을 말한다.

2. 수집 자료 분석

수집된 EDR자료 중 7개의 사례를 선정하였으며, 각 사례의 사고 개요는 <Table 5>와 같다. 각 사고의 EDR 자료의 속도정보를 통해 감속도를 산출하면 <Table 6>과 같으며, 제동구간에서 최대 구간감속도는 1.42g로 나타났다.

<Table 5> Analysis data overview

Cases	Model(vehicle age)	Accident overview
Case 1	Santa Fe(2015)	The Santa Fe, which was on the two-lane road for both direction, steered to the right while braking to avoid the right turn of a tractor, which was in front of the Santa Fe. However, the Santa Fe crashed into the tractor.
Case 2	K5(2012)	The driver of the K5 laggingly found stopped vehicles due to preceding accident, and braked the K5. However, the K5 did not stop completely but crashed into a vehicle that stopped in front of the K5.
Case 3	Santa Fe(2019)	The driver of the Santa Fe laggingly found stopped vehicles due to preceding accident, and braked the Santa Fe. However, the Santa Fe did not stop completely but crashed into a vehicle that stopped in front.
Case 4	Accent(2017)	The Accent was braked to avoid a vehicle joining ahead. However, the Accent crashed into the joining car.
Case 5	K5(2018)	The K5 braced to avoid another vehicle entering on the left at an intersection without traffic lights. However, the K5 crashed into the vehicle.
Case 6	Grandeur(2011)	The Grandeur braked to avoid another vehicle entering at an intersection without traffic lights. However, the Grandeur crashed into the vehicle.
Case 7	Tucson(2018)	The Tucson braked to avoid another vehicle entering at an intersection without traffic lights. However, the Tucson crashed into the vehicle.

<Table 6> Analysis data deceleration

Types		Time in second										
		-5	-4.5	-4	-3.5	-3	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0
Case 1	D e c e l e r a t i o n (g)	-	0	0	-0.06	-0.23	-0.12	0	0.06	0.06	-1.14	-0.52
Case 2		-	0	-0.06	0	-0.06	-0.06	0	-0.23	-0.57	-0.86	-0.68
Case 3		-	0	0	0	0	0	0	-0.06	-0.06	-0.06	-1.42
Case 4		-	0	0	0.06	-0.06	-0.23	-0.17	-0.35	-0.63	-0.85	0
Case 5		-	-0.06	0	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.29	-1.42	-0.46
Case 6		-	0.06	0	-0.06	0	-0.06	0	0	-0.12	-0.57	-0.74
Case 7		-	-0.06	0	-0.06	0	-0.06	0	-0.23	-0.8	-1.14	-0.46

IV. 감속도 산출 및 비교

1. 선행연구 감속도

본 연구에서는 EDR자료의 감속도 값과 선행연구 감속도 값을 비교하여 정지거리 산출에서 적용할 수 있는 정적 감속도 값을 제시하기 위해서 선행연구의 실험값과 일반적으로 사용하고 있는 감속도 값을 조사하였다.

선행연구는 주로 차량에 ABS장치가 장착되지 않은 시대에 도로에 발생한 스키드 마크를 이용하여 속도를 산출하기 위한 연구이기 때문에, ABS장치가 장착되지 않은 차량으로 실험한 경우가 많다. 하지만 최근에 생산되는 차량에는 ABS장치를 장착하지 않은 차량은 찾아보기 어렵고 본 연구에서 수집된 EDR자료도 모두 ABS장치가 작동된 차량의 사고 기록이기 때문에, 선행연구의 실험 중에 ABS장치가 장착된 차량의 실험 값과 교통안전공단 자동차안전연구원(Korea Automobile Testing & Research Institute, KATRI)의 자동차 안전도평가의 제동거리를 이용하여 산출된 감속도 값을 비교대상으로 활용하였다. <Table 7>은 선행연구들이 제시한 감속도 값을 보여주고 있다.

<Table 7> Deceleration on prior studies

Prior studies	Model	Test speed(km/h)	Average deceleration(g)
Jeong(2012)	Opirus	80.7-88.2	0.83
	Sonata	23.8-108	0.71
KoROAD(2001)	-	81-90	0.79
KATRI	Light Car	100	0.92
	Small Sedan		0.94
	Medium Sedan		0.93
	Large Sedan		0.94
	SUV		0.93

2. 분석자료 감속도 산출

EDR을 차량의 속도가 0km/h가 될 때까지 속도를 기록하지 않고, 충돌 이후 0.25~0.3초 동안 자료를 기록하기 때문에 충돌 이전 감속도가 계속 유지되었다고 가정하여 제동구간에서 평균 감속도를 산출하였다. 사례 1에서 썬타페는 53km/h에서 감속하기 시작하여 24km/h에 사고정보가 기록되었으며, 0초에서 감속도는 0.52g이다. 24km/h에서 0.52g의 감속도로 0km/h까지 감속하여 정지하였다고 가정하면,

$$v_e = v_i + at \text{ 이므로, } t = \frac{6.67m/s}{0.52 \times 9.8m/s^2} = 1.30887\text{초, 감속시점부터 사고정보기록까지 1초. 총 감속시}$$

간은 2.30887초, $v_0 = v_i + at$, $a = \frac{14.73m/s}{2.30887s} = 6.37974m/s^2 = 0.65g$ 이므로 썬타페의 평균 감속도는 0.65g이다. 위와 같이 각 사례의 평균 감속도를 산출하였다. <Table 8>은 이렇게 산출된 평균 감속도를 정리하고 있다.

<Table 8> Deceleration calculated using EDR data

Cases	Model(vehicle age)	Breaking speed(km/h)	Average deceleration(g)
Case 1	Santa Fe(2015)	53	0.65
Case 2	K5(2012)	88	0.69
Case 3	Santa Fe(2019)	125	Cannot be calculated
Case 4	Accent(2017)	159	0.69
Case 5	K5(2018)	84	0.55
Case 6	Grandeur(2011)	99	0.71
Case 7	Tucson(2018)	98	0.56

3. 정지거리 산출에서 감속도 적용

선행연구에서 건조한 도로상황에서 ABS장치를 장착한 차량을 통해 실험한 결과 제동구간에서 평균 감속도는 0.71g~0.94g로 나타났다. 특히 교통안전공단 자동차 안전연구원의 실험 결과는 0.92g~0.94g로 차종에 상관없이 일반적으로 널리 알려진 감속도 0.8g보다 높은 것으로 나타났다. 이는 실험 상황에서 사용하는 차량 및 타이어의 상태에서 나타난 차이라고 생각된다.

EDR자료의 감속도 값에서도 1g이상의 감속도가 나타난 구간도 있었으나 그 구간이 매우 짧았으며, 차량의 정지를 고려한 평균 감속도 추정 값은 0.55g~0.71g로 나타났다.

선행연구 보다 EDR자료의 감속도 값이 낮은 이유는 선행연구의 실험은 전문가 제동상황을 예측하고 실험한 것에 비해 EDR 자료는 일반 운전자가 운전 중 예상치 못한 상황에서 제동하였기 때문에 완벽한 제동 동작을 할 수 없었기 때문으로 생각된다.

일반적으로 정지거리 산출에 적용되는 감속도는 운전자의 급제동 상황을 고려하여 0.8g를 적용하는데 EDR자료 분석결과에서 알 수 있듯이, 교통사고라는 예상하지 못한 상황이 발생하였을 경우 실험상황과 같은 완전한 제동동작이 이루어지지 못하여 감속도가 0.8g보다 낮은 것으로 나타났다. 사고기록 자료의 평균 감속도 값(0.6g 적용)과 0.8g로 정지거리를 산출하여 비교하면, <Table 9>에서 보인 바와 같이, 차량의 속도가 50km/h 상황에서는 약 4.1m, 100km/h인 상황에서는 약 16.4m 차이가 있는 것으로 나타났다.

<Table 9> Variation of stopping distance according to application of deceleration degree

Type	Initial Speed	Stopping distance
Deceleration 0.6g	50km/h	30.3m
	100km/h	93.4m
Deceleration 0.8g	50km/h	26.2m
	100km/h	77.0m

정지거리는 운전자의 사고회피 가능성, 전방주의 의무준수여부 등을 판단하여 사고운전자의 처벌을 결정하는 주요 요소인데, 전문가의 통제된 실험상황에서 얻어진 감속도 값을 적용하는 것은 적절하지 않다고 생각 된다.

사고기록 자료를 이용하여 산출한 감속도 값을 교통사고 분석에 적용한다면, 운전자의 특성을 고려하지 않은 일괄적인 교통사고 분석보다, 각각의 사고마다 운전자의 제동특성을 반영한 교통분석결과를 얻을 수 있으며, 이 분석결과를 참고하여 정확한 법적 판단의 참고자료로 사용할 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구에서는 교통사고분석에서 사고차량 운전자의 전방주의의무 이행 여부, 사고회피 가능성 등을 판단하는 주요요소인 정지거리 산출에 적용가능한 적정 감속도 값을 제시하기 위하여 선행연구의 제동실험 결과와 교통사고차량에서 추출한 EDR자료를 분석하였다.

선행연구의 ABS장치 장착차량 제동실험을 분석결과, 차량의 평균 감속도는 0.79g~0.94g로 나타났으며, 비교적 최근에 이루어진 교통안전공단 자동차 안전도평가 제동실험에서는 감속도 값이 0.92g~0.94g로 매우 높게 나타났다.

사고차량의 EDR자료는 수집된 사고기록자료 중, 운전자가 전방에 위험을 인지하고 제동하였으나 완전히 정지하지 못하여 발생한 사고기록 자료를 사용하였으며, 사고차량의 충돌 이전 감속도가 계속 유지되었다고 가정하여 제동구간에서 평균 감속도를 산출하였다. EDR자료 분석 결과 0.55g~0.71g의 감속도 값으로, 선행연구의 제동실험에서 측정된 감속도 값 보다 작은 값이 나타났다.

일반적으로 정지거리 산출에 적용되는 감속도는 운전자의 급제동 상황을 고려하여 0.8g 내외를 적용하는데 EDR자료 분석결과에서 알 수 있듯이, 교통사고라는 예상하지 못한 상황이 발생하였을 경우 실험상황과 같은 완전한 제동동작이 이루어지지 못하여 감속도가 0.8g보다 낮은 것으로 나타났다. 사고기록 자료의 평균 감속도 0.6g를 적용하여 정지거리를 산출할 경우 0.8g를 이용하여 산출할 때 보다 차량의 속도가 50km/h 상황에서는 약 4.1m, 100km/h인 상황에서는 약 16.4m 길어지는 것으로 나타났다.

사고차량의 정지거리는 운전자의 처벌수위를 결정할 수 있는 중요요소로서 정지거리 산출에서 감속도 값을 일괄적으로 0.8g를 적용하거나, 전문가의 실험을 통해 얻어진 차량의 최고 감속도를 적용하는 것은 적절하지 않다고 생각된다.

교통사고는 운전자가 예상하지 못한 상황 경험하는 특수상황으로 사고차량의 정지거리를 산출할 경우 개별차량의 사고기록 자료를 통해 추정하거나, 사고기록 자료를 얻을 수 없을 경우, 위 사례에서 분석된 0.5g~0.7g의 감속도 값을 적용하는 것이 적절하다고 판단된다.

2. 향후 연구과제

본 연구에서 사고기록 자료를 이용하여 실제사고 상황에서 감속도 값을 산출하였고, 산출된 감속도 값이 전문가의 제동실험을 통해 얻어진 감속도 값보다 작기 때문에 정지거리 산출에서 전문가의 제동실험 감속도 값을 적용하는 것은 부적절 하다고 제시하였다. 하지만 분석에 적용할 수 있는 사고기록 수집이 어려워 분석 사례의 개수가 적고, 사고기록의 속도정보를 통해서만 감속도 값을 추정하였기 때문에 감속도에 영향을 줄 수 있는 타이어 상태, 운전자의 경력 등을 고려하지 못한 한계가 있다.

EDR자료를 추출장비는 2018년부터 경찰청, 국립과학수사연구원 등을 시작으로 본격적으로 도입되었으며, 사용을 확대해 나가고 있어 점차 사고기록정보가 축적되는 속도가 빨라질 것이다.

향후 연구에서는 빠르게 축적되는 사고기록정보를 활용하여, 개별운전자 및 차량의 특성 등을 고려한 연구가 수행된다면, 사고차량의 연식, 도로 및 타이어 상태, 운전자의 나이 등을 통해 차량의 정지거리를 추정할 수 있는 기초자료를 만들 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 2019년 아주대학교 교통·ITS대학원 석사학위 논문을 토대로 작성하였고, 국토교통부 교통물류 연구사업의 연구비지원(과제번호 17TLRP-B131486-01)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Automobile Management Act, 2019.
- Baek S. R.(2015), *Study on the In-depth Analysis of Traffic Accident Using Accident Data Recorder*, Master Thesis, Gachon.
- Do C. W.(2009), *Principles of Traffic Engineering*, Chung Moon kak.
- Fricke L. B.(1990), *Traffic Accident Reconstruction*, Northwestern Traffic Institute.
- Han C. P., Park K. S. and Choi M. J.(2007), “An Estimate of Vehicle Velocity of Braking Starting Point,” *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 15, no. 5, pp.1173-1179.
- Jung W. T.(2012), *Development of Pre-braking Speed Estimation Model for Traffic Accident Reconstruction*, Doctoral dissertation, Ajou University.
- Kim K. N., Ok J. K., Kim M. S., Mun W. K., Park S. J. and Yoo W. S.(2007), “Calculation of Brake Onset Velocity for Non-Abs Vehicle on Dry Asphalt Pavement,” *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 14, no. 2, pp.109-114.
- Kim Y. J.(2019), *A Study on the Calculation of Stopping Distance Using Event Data Recorder*, Master Thesis, Ajou University.
- Korea Road Traffic Authority(2001), *Traffic Accident Investigation Manual: Engineering Section 1 Step*.
- Korean National Police Agency(2017), *Practical Manual for Analysis of Traffic Accident Science*.
- Oh M. H.(2016), *Case Study on Foreign and Domestic Technology for Vehicle Accident Recorder*,

Master Thesis, Inha University, 2016.

- Park G. O., Kim H. J., Song J. H., Hong Y. S. and Kwon H. B.(2011), “Technical Trend of The Event Data Recorders,” *The Korean Society of Automotive Engineers Sub-Comprehensive Academic Conference*, vol. 5, no. 5, pp.1257-1261.
- Park J. C., Kim J. H., Oh W. T., Choi J. H. and Park J. J.(2017), “Reliability Evaluation of EDR Data Using PC-Crash &Vbox,” *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 25, no. 3, pp.317-325.
- Rivers R. W. and Lofgren M. J.(1998), *Technical Traffic Accident Investigators Handbook*, Charles C Thomas · Publisher, p.184, p.201.
- Ryu T. S., Jeon J. W., Park H. H. and Lee S. B.(2009), “Realationship Beteen Pre-Skidding and Pre-Braking Speed,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 27, no. 1, pp.43-51.
- Traffic Safety Act, 2019.
- Yun D. K., Kim Y. H. and Lee H. T.(2014), “Study on EDR Utilization for Traffic Accident Analysis,” *The Korean Society of Automotive Engineers Academic Conference*, vol. 11, pp.1439-1444.