



사업용 차량(버스)의 위험운전 임계값 개발

Development of a Critical Value According to Commercial use Vehicle(BUS)

오 주 택* 이 상 용** 김 영 삼***
 Ju-Taek, Oh Sang-Yong, Lee Young-Sam, Kim

Abstract

According to the accident statistics published by the National Police Agency in 2007, the number of commercial vehicle accidents explains 3.5 percent of the total number of traffic accidents of the year. Compared to other types of vehicles commercial vehicles may provide more serious damages to both driver himself and passengers. Thus, they generate more serious social and economic problems. There have been various forms of systems such as a digital speedometer or a black box to meet the social requirement for reducing traffic accidents and improving safe driving. However, since the current systems are based on the data often accidents happened, there are lots of limitations to control drivers in real-time. Also, the current speedometers provide drivers with only speeds of vehicles and RPM information regardless of actual dangerous drive behaviors. Therefore, they lack of the effectiveness in terms of safety. In this research, real-time information systems for improving driver safety based on automatic risky driving behaviors, and thresholds to determine risky driving patterns were studied.

Keywords : risky driving type, threshold, commercial vehicle(BUS)

요 지

2007년 경찰청 통계자료에 따르면 사업용 차량(시내, 시외, 기타버스)의 교통사고 건수는 당 해 교통사고 건수의 3.5%에 해당하지만 사업용 차량의 경우 운전자 외 다수 승객의 안전을 책임져야 하므로 더욱 심각한 사회적, 경제적 문제를 초래한다. 이러한 사업용 차량의 교통사고 감소 및 안전운전에 대한 사회적 요구에 부응하기 위하여 디지털 주행기록계, 차량용 블랙박스 등 다양한 형태의 시스템이 사용되고 있으나, 이러한 시스템은 사고 후 차량데이터를 기반으로 위험운전여부를 분석하여 운전자를 관리하기 때문에 실시간으로 운전자를 관리하기에는 큰 한계가 있다. 또한 현재 운영되고 있는 주행기록계는 운전자에게 경고 정보를 제공하지만 실제 위험운전 여부와 상관없이 차량의 속도와 RPM정보만을 이용하여 운전자에게 경고를 제공하고 있어 효율이 매우 떨어지는 실정이다. 이에 본 연구의 선행연구에서는 차량 운전자의 운전행태에 따른 차량 동역학 데이터를 저장·판단하여 운전자에게 실시간으로 경고정보를 제공해 줄 수 있는 위험운전 판단장치를 개발하였으며, 개발된 위험운전 판단장치에서 운전자의 안전운전을 향상 시킬 수 있는 위험운전 유형에 따른 임계값을 개발하였다.

핵심용어: 위험운전 유형, 임계값, 사업용 차량(버스)

* 정회원 · 한국교통연구원 책임연구원, 주저자(E-mail : jutaex@koti.re.kr)
 ** 정회원 · 한국교통연구원 연구원
 *** 정회원 · (주)이노시물레이션 팀장

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 2007년 현재 한 해 동안의 교통사고 건수 21만 여건의 교통사고가 발생하여 OECD국가 중 사고율이 매우 높은 편에 속하고 있다. 이중 사업용 차량(시내, 시외, 기타버스)의 교통사고 건수는 7,200건으로 전체 교통사고건수의 3.5%에 해당하는 것을 알 수 있다(조준희 등, 2007). 사업용 차량(시내, 시외, 기타버스)의 경우 다수의 승객의 안전을 책임져야 하므로 운전자의 위험운전은 더욱 심각한 사회적, 경제적 문제를 초래하고 있는 실정이다. 이러한 사업용 차량의 교통사고 감소 및 안전운전에 대한 사회적 요구에 부응하기 위하여 다양한 형태의 디지털 주행기록계, 차량용 블랙박스 등이 국내외에서 출시되어 위험운전 감소방안으로 사용되고 있지만 이러한 시스템은 사고 후 차량의 데이터를 이용하여 위험운전의 행위를 판별하는 장치이므로 운전자의 위험운전을 실시간으로 관리하는 데에는 큰 한계성을 가지고 있다(조병관 등, 1996). 또한 현재 대부분의 차량에 장착되어진 운행기록 장치는 단순히 차량의 속도 및 RPM을 이용하여 운전자에게 경고를 제공해주는 방식이라 할 수 있다.

본 연구의 선행연구에서는 차량 운전자의 운전행태에 따른 차량동역학 데이터를 저장·판단하여 운전자에게 실시간으로 경고정보를 제공해 줄 수 있는 위험운전 판단장치를 개발하였으며, 개발된 위험운전 판단장치에서 운전자에게 경고를 제공하기 위하여 각 위험운전 유형에 따른 임계값을 「위험운전 유형에 따른 임계값 개발, 한국도로학회지 제11권, 제1호, 2009, 3」 논문에서 개발하였다. 그러나 선행연구에서 개발되어진 임계값은 승용차(승합)를 기준으로 시뮬레이션 및 실차실험이 진행되어 도출된 결과로서 사업용 차량(버스)에 적용하는 것은 다소 무리가 있는 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 위험운전 유형에 따른 임계값

을 사업용 차량(버스)에 적용하기 위하여 시뮬레이션 프로그램인 CALLAS 4.7을 이용하여 시뮬레이션 임계값을 재설정하였으며, 또한 대형 버스를 이용하여 연령대별 실험을 진행하여 실차실험 임계값을 재설정하였다. 기 개발된 승용차(승합) 기준 임계값을 보완하여 사업용 차량(버스) 기준으로 개발하는 것이 본 연구의 목적이라 할 수 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 선행연구인 「위험운전 유형에 따른 임계값 개발, 한국도로학회지 제11권, 제1호, 2009, 3」 논문에서 개발한 임계값을 재정의하는 것이 본 연구의 목적이므로 기 논문에서 분류한 8가지 유형의 위험운전 유형을 본 연구에서 또한 적용하여 실험을 진행하였으며, 본 연구의 수행방법은 그림 1과 같다.

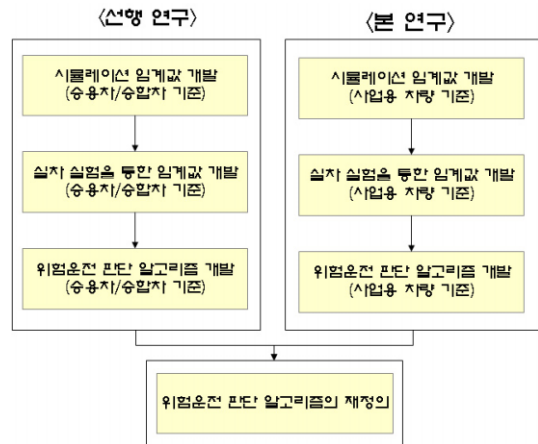


그림 1. 연구수행 방법

2. 선행연구 분석

차량용 블랙박스는 평상시와 사고시의 정보를 저장하는 장치로서 그 정보는 다방면에서 활용되고 있으며, 성능개선을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다(한인환 등, 2007 a). 위험 운전 유형을 급제동, 급가속, 급선회, 급차선 변경의 네 가지로 분류하고 차량



용 블랙박스를 장착한 실차 실험을 통해 주행 데이터를 수집·분석하여 위험 운전을 인지하는 알고리즘을 제시한다. 유형에 따른 알고리즘은 차속에 따른 센서 측정치의 변화량과 도달 시간을 기준으로 구성하였다. 급제동과 급가속 유형에서는 중 가속도가 짧은 도달 시간 동안 각각 급격히 감소하거나 증가하는 경향이 나타났다. 급선회와 급차선 변경은 급선회의 경우에는 긴 주기, 급차선 변경은 짧은 주기 동안 선회속도의 변화가 크게 나타났다. 도출된 기록 데이터는 위험운전 상황 발생순간 센서 측정값을 처리하는 구조가 간단하고 데이터 항목이 적은 온라인과, 일정 구간 또는 장시간 주행 데이터를 차량 운행 종료 후 저장부에서 추출하여 분석하는 오프라인으로 구분할 수 있다. 이 데이터의 분석은 운전자 및 차량 관리 시스템을 구축하는 데 활용할 수 있다(한인환 등, 2007 b).

교통사고의 가장 큰 원인은 운전자의 특성과 운전 행태이지만 위험운전 유형에 대한 명확한 분류가 이루어지고 있지 않아 사고감소 및 안전운전의 사회적 요구에 부응하기 위한 정확한 사고분석이 어려운 실정이다. 이에 위험운전 유형을 분류하고, Data-logger를 개발하여 현실성 있는 위험운전 유형인지 검증하고자 한다.

Data-logger는 시험차량, Gyro, GPS 및 DAQ 시스템, Rack 시스템, 영상 데이터 취득 시스템, 전원 공급 장치와 운전자 인지 검출 시스템으로 이루어진 하드웨어와 Real-time 모듈, Replay 모듈, Export 모듈로 이루어진 소프트웨어로 구성되어 개발되었다. 이는 향후 교통안전 및 인간 공학적인 연구 활동을 위한 첨단 종합 도구로서 실용성이 매우 높다고 할 수 있다. 실험·검증을 위해서 Data-logger를 장착하여 시험차량을 개발한 후 차속센서를 이용한 차속 연산, GPS를 이용한 주행거리 연산, 시험 차량으로부터 획득된 위치의 표시, CPS 음영 지역에서 차량 센서를 이용한 주행거리 연산을 이용해 실험을 진행하였다(오주택 등, 2008).

교통사고 원인규명을 위하여 다양한 형태의 디지털 주행기록계, 차량용 블랙박스 등이 국내외에서 출

시되고 있으나 디지털 주행기록계, 차량용 블랙박스 등은 사고 후 차량의 주행데이터를 이용하여 사고에 대한 명확한 해석은 가능하지만 사고를 미연에 방지해줄 수 있는 시스템은 현재 장착되어져 있지 않아 다수의 사업용 차량을 운행하는 운수회사에서 운전자의 안전운전 관리를 위하여 이러한 시스템을 사용하기에는 현실적으로 많은 어려움이 있다. 따라서 차량 동역학 시뮬레이션 및 실차량을 이용하여 디지털 주행기록계, 차량용 블랙박스 등의 안전운전관리 장치를 향상시킬 수 있으며, 운전자의 위험운전정도를 분석 할 수 있는 위험운전 유형에 따른 임계값을 개발하였다(오주택 등, 2009).

표 1. 논리적 임계값 및 인간공학적 임계값

위험운전 유형		임계값 (Ki)	
		논리적 임계값	인간공학적 임계값
직진구간 과속	-	법규에 준함	-
선회구간과속	ay	0.2 G	0.22 G
	yaw rate	8.6 deg/sec	9.48 deg/sec
급출발	ax	0.2 G	0.14 G
급가속	ax	0.1 G	0.06 G
급정지	ax	-0.4 G	-0.32 G
급감속	ax	-0.4 G	-0.34 G
급차선변경	주기	4초	5.8초
	ay	0.2 G	0.21 G
	yaw rate	5.0 deg/sec	5.34 deg/sec
연속적인 급차선변경	주기	10.0초	8.25초
	ay	0.2 G	0.31 G
	yaw rate	5.0 deg/sec	7.4 deg/sec

* 선회구간 과속 중 yaw-rate는 짝은 노면 기준임

3. 위험운전 판단 알고리즘의 재정의

3.1 시뮬레이션을 통한 임계값의 재정의

본 연구에서는 차량의 선회 거동해석을 위하여 조향 시스템(Steering System)의 동역학적인 모델과



차량의 가·감속에 따른 거동해석이 구축되어 있는 CALLAS 4.7을 이용하여 차종에 따른 거동 해석 시뮬레이션을 시행하였다. 그림 2는 프로그램에 차량의 제원 설정 및 시뮬레이션 결과 분석을 나타내고 있다.

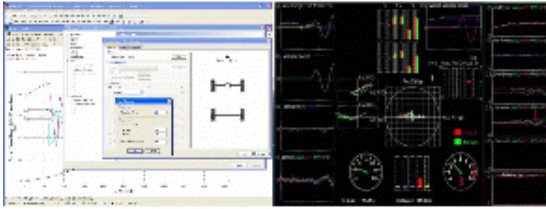


그림 2. CALLAS 4.7

3.1.1 선회 거동 해석

선회 해석을 위한 모델은 조향 시스템(Steering System)의 매커니즘을 고려한 조향 모델과 타이어의 조향각 모델로 구성되어진다.

조향 시스템(Steering System)이란 조향 장치에서 핸들의 회전은 칼럼과 기어박스를 통해 타이로드를 움직이며, 너클암을 통하여 킹핀 둘레 전륜의 회전이 나타나게 된다.

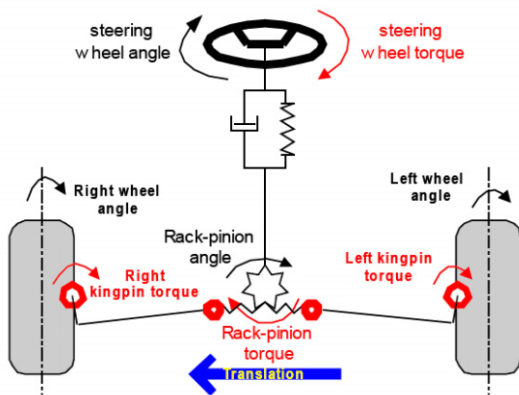


그림 3. 조향 시스템(Steering System)

조향 모델은 지오메트리, 휠 조향각, 조향 반력 토크 및 Power Steering Assistance 시스템으로 구성되어지며, 타이어의 조향각(δ_{sw}) 모델은 그림 4에서

와 같이 사시의 진행 방향에서 타이어 평면의 방향이 이루는 각으로 정의되어진다. 조향각은 사시의 변환행렬(AC)과 휠 허브에서의 변환행렬(A_w) 사이의 관계에서 계산되어진다. 즉, 사시의 좌표축과 스핀들 좌표축의 z축이 거의 평행을 이루므로 사시의 zc축에 대한 스핀들 zS축의 회전각을 계산하여 조향각을 다음 식과 같이 계산되어진다.

$$A_{cw} = A_c^T A_w \begin{bmatrix} \cos \delta_{sw} & -\sin \delta_{sw} & 0 \\ \sin \delta_{sw} & \cos \delta_{sw} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\delta_{sw} = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \delta_{sw}}{\cos \delta_{sw}} \right)$$

타이어 조향각 모델에서 계산되어지는 조향력은 타이어의 반력과 횡 슬립각(α)과 캠버각의 함수로 이루어지나 여기에 캠버각의 변화로 인한 슬립각의 계산을 위해서는 보다 많은 실험과 검증을 통한 데이터베이스가 구축되어야 하지만, 일반적으로 조향력은 캠버각에 의한 영향보다는 타이어 반력과 슬립각의 영향이 훨씬 크므로, 이미 제안된 바 있는 캠버각을 0으로 하는 슬립각-조향력 곡선이 주로 이용되어지며, 횡 슬립각은 조향력의 계산을 위한 주요소이다.

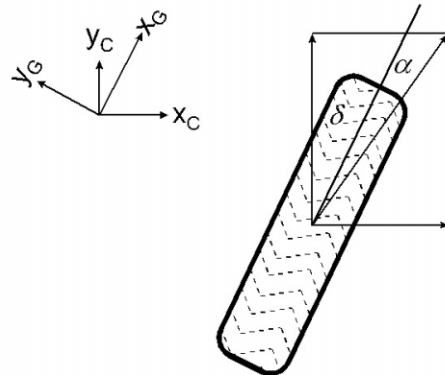


그림 4. 타이어 조향각 모델

차량 거동에 영향을 미치는 요소는 표 2와 같이 축



간거리(축거(軸距), Wheel Base), 중심고, 중량, 타이어 코너링 파워가 있다.

표 2. 차량별 축간거리

구 분	축간거리 (mm)	중심고 (mm)	중량 (kg)	코너링파워 (N/deg)
승용차 (승합차)	2,910	720	1,835	Fy
BUS	6,500	1,348	12,200	6.7×Fy
TRUCK	3,570	950	4,243	2.3×Fy

선회 거동 각 차량의 Yaw Rate(회전각속도)를 분석함으로써 차량 별로 차별화할 수 있으며, 본 연구의 축간거리, 중심고, 중량, 타이어 코너링 파워에 대한 선회 거동 해석 결과는 표 3과 같다.

축간거리에 따른 시뮬레이션 결과 승용차(승합차)의 Yaw Rate는 3.7deg/sec, BUS가 2.92deg/sec, TRUCK이 3.47deg/sec로 분석되었으며, 중심고에 따른 시뮬레이션 결과 승용차(승합차)의 3.76deg/sec, BUS가 3.56deg/sec, TRUCK이 3.69deg/sec로 분석되었다.

표 3. 선회운동에 따른 차량별 Yaw rate(회전각속도) 결과

구 분	축간거리	중심고	중량	코너링 파워
승용차 (승합차)	3.7deg/sec	3.76deg/sec	3.76deg/sec	3.76deg/sec
BUS	2.92deg/sec	3.56deg/sec	2.80deg/sec	3.17deg/sec
TRUCK	3.47deg/sec	3.69deg/sec	3.20deg/sec	3.39deg/sec

중량에 따른 시뮬레이션 결과 승용차(승합차)는 3.76deg/sec, 2.8deg/sec과 3.2deg/sec으로 분석되었으며, 타이어 코너링 파워에 따른 시뮬레이션 결과 승용차(승합차)는 3.76deg/sec, 3.17deg/sec과 3.39deg/sec으로 분석되어 승용차 대비 버스, 트럭의 Yaw Rate(회전각속도)가 작은 것으로 분석되었다. 그림 5는 축간거리에 따른 선회운동 시뮬레이션 결과이다.

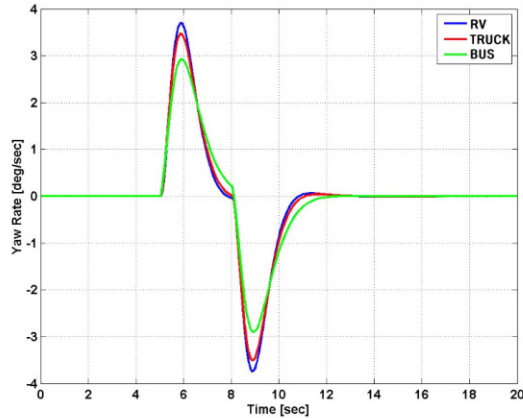


그림 5. 축간 거리에 따른 선회 운동 시뮬레이션

3.1.2 가·감속 거동 해석

차량의 종방향 가속도에 영향을 미치는 요소는 중량, 엔진 최대 토크 및 변속비, 중심고, 브레이크 성능이 있으며, 다음과 같은 이론적인 운동 방정식으로 해석할 수 있다.

$$I \ddot{x} = 2F_{xf} + 2F_{xr}$$

여기에서, m : 차량 중량

F_{xf}, F_{xr} : 종방향 타이어 힘

세계적으로 널리 행해지고 있는 가속 실험 조건은 거리법과 속도법이 있다. 거리법은 정지 상태에서 액셀을 전개하여 거리 400m 도달 시간을 측정하는 방법이며, 속도법은 규정의 속도까지의 도달 시간을 측정하는 방법이다.

가속 운동에 주요 시뮬레이션 파라미터는 중량, 엔진 최대 토크 및 변속비와 중심고이며, 이를 기본으로 최대 가속도를 분석한 결과 표 4와 같이 승용차(승합차), 버스 및 트럭의 가속도는 각각 0.25G, 0.22G 및 0.23G로 분석되었으며, 일반적으로 자동차 제조사에서는 차량의 중량에 따라 적당한 출력을 갖는 엔진을 장착하게 된다.



표 4. 가속

구 분	중량(kg)	최대출력토크(kg·m)	가속도(G)
승용차 (승합차)	1,835	31.5	0.25
BUS	12,200	148	0.22
TRUCK	2,893	38	0.23

정지거리 측정 시험은 브레이크의 최고 능력을 평가하는 것으로 정지거리를 측정하는 브레이크의 기본적인 성능 시험으로 정지거리의 일반적인 정의는 운전자가 위험을 감지하고 브레이크조작을 행하여 차량이 정지할 때까지의 거리를 말한다. 표 5와 표 6은 미국과 호주의 브레이크 성능 기준 중 일반제동과 FADE 브레이크의 성능 기준을 정리한 것이다(shurtz, 2006).

표 5. 일반 제동 성능 기준

구 분	V ₀ (제동 초기 속도)		정지거리		감속도 (G)
	mph	km/h	ft	m	
미국 (FMVSS 105-33)	30	48.3	57	17.4	-
	60	96.6	388	118.26	-
호주 (ADR 31-유압)	-	50~130	-	-	0.5~0.6
호주 (ADR 35-상용)	-	20~100	-	-	0.24~0.43

표 6. FADE 제동 성능 기준

구 분	V ₀ (제동 초기 속도)		감속도		
	mph	km/h	ft/s ²	m/s ²	G
미국 (FMVSS 105-33)	60	96.6	5~15	1.5~4.6	0.16~0.47
호주 (ADR 31)	-	100	-	4.5	0.46

일반적으로 자동차 제조사에서는 세계 각국의 표준 제동 성능을 만족시켜 차량을 출고하고 있으며, 본 연구에서 버스의 임계값으로 설정한 -0.4G의 제동 가속도는 세계 각국의 법규를 모두 만족한다고 할 수 있다.

표 7. 감속

구 분	중량(kg)	제동 성능	감속도(G)
승용차 (승합차)	1,835	세계 각국의 법규 만족	-0.55
BUS	12,200	세계 각국의 법규 만족	-0.4
TRUCK	2,893	세계 각국의 법규 만족	-0.53

3.1.3 시뮬레이션을 통한 임계값의 재정의
 선회거동 해석에 대한 시뮬레이션 결과 표 3을 토대로 BUS는 승용차(승합차) 대비 Yaw Rate 관련 임계값을 21.6%를 낮추고, 2.5톤 트럭의 경우 10.7% 낮출 필요가 있는 것으로 분석되었으나, 가속 운동에 대한 시뮬레이션 결과는 승용차(승합차), BUS, 트럭의 뚜렷한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 또한, 감속 및 제동 운동은 세계 각국의 제동 성능에 만족해야 하는 특징 상 차종에 따라 임계값을 다르게 적용하는 것은 합리적이지 못한 것으로 분석되었다.

표 8. 차종별 위험운전판단 알고리즘 임계값

위험운전유형		판단변수		시뮬레이션 임계값(Ki)		
				승용차 (승합차)	BUS	트럭
과속	선회구간 과속	횡가속도	G	0.2	0.2	0.2
		Yaw Rate	deg/sec	8.6	6.7	7.7
가속	급출발	종가속도	G	0.2	0.2	0.2
	급가속	종가속도	G	0.1	0.1	0.1
감속	급정지	종가속도	G	-0.4	-0.4	-0.4
	급감속	종가속도	G	-0.4	-0.4	-0.4
차선 변경	급차선 변경	주기	sec	4	4	4
		횡가속도	G	0.2	0.2	0.2
	Yaw Rate	deg/sec	5.0	3.92	4.5	
	연속적인 급차선 변경	주기	sec	10	10	10
		횡가속도	G	0.2	0.2	0.2
	Yaw Rate	deg/sec	5.0	3.92	4.5	

3.2 실차 실험을 통한 임계값의 재정의

3.2.1 실험절차 및 참가자

선행연구에서 개발된 임계값은 승용차(승합차)를 대상으로 하여 진행된 실험을 통하여 개발된 실차실험 임계값으로서 사업용 차량(버스)에 장착되어질 위험운전 판단장치에 적용하기가 불가능하기 때문에 본 연구에서는 선행연구의 실험절차를 바탕으로 하여 사업용 차량에 적용 가능한 임계값을 개발하기 위하여 실차실험을 진행하여 기 개발된 실차실험 임계값에 대하여 재정의 하였으며, 그림 6은 실험에 사용된 차량 및 피험자의 설문조사 사진이다.



그림 6. 실험차량 및 피험자 설문조사

본 연구의 실험 장소는 경기도에 위치한 교통안전공단 부설 자동차 주행성능 시험장에서 진행되었으며, 실험절차는 표 9의 주행 시나리오를 이용하여 총 10~12회에 걸쳐 다양한 주행속도로 실험을 진행하여 피험자가 불쾌감을 느끼는 시점에 대한 설문조사를 시행하는 방식으로 실험은 진행되었으며, 실험 참

표 9. 위험 운전 유형별 주행 시나리오

위험운전 유형	운전 유형	실험장소
급출발	· 정지상태에서 출발하여 목표 속도까지 가속하는 주행 유형	종합시험로
급정지	· 속도 60 KPH 주행 중 브레이크를 작동하여 차량을 정지하는 주행 유형	종합시험로
급차선 변경	· 30m의 거리를 50, 60, 70, 80, 90Km/h로 나누어 차선변경	종합시험로
연속적인 급차선변경	· 70m의 거리를 50, 60, 70, 80, 90Km/h로 나누어 차선변경	종합시험로
선회구간 과속	· 선회구간을 일정한 속도로 주행 유형	선회시험로
급감속	· 속도 100 KPH 주행 중 브레이크를 작동하여 속도를 40KPH로 유지하는 주행 유형	고속주행로
급가속	· 속도 40KPH에서 100KPH까지 가속하는 주행 유형	고속주행로

가자는 20~60대 이상의 남녀 총 150명을 대상으로 1~3차로 나누어 연령대별 실험이 진행되었다.

3.2.2 위험운전 유형별 실험 데이터 도출

선회구간 과속 실험은 Yaw Rate는 7.89~17.08deg/sec, 횡방향 가속도 A_y 는 0.12~0.53G의 범위에서 실험이 진행되었으며, 본 연구의 급출발 및 급가속 실험 중 급출발의 종방향 가속도 A_x 는 0.07~0.14G, 급가속 종방향 가속도 A_x 는 0.01~0.09G의 범위에서 실험이 진행되었으며, 급출발과 급가속의 구분은 차량의 최초속도 V_0 가 0km/h이면 급출발로 0km/h가 아니면 급가속으로 정의하였다.

급정지 및 급감속 실험 중 급정지 종방향 가속도 A_x 는 -0.49~-0.24G, 급감속 종방향 가속도 A_x 는 -0.58~-0.21G의 범위에서 실험이 진행되었으며, 급정지와 급감속의 구분은 차량의 최종속도 V_0 가 0km/h이면 급정지로 0km/h가 아니면 급감속으로 정의하였다.

급차선 변경 및 연속적인 급차선 변경 실험 중 급차선 변경 Yaw Rate는 1.52~5.47deg/sec, 횡방향

표 10. 선회구간 과속 실험 데이터

구분	60대 이상		40~50대		20~30대	
	Yaw rate (deg/sec)	Ay (G)	Yaw rate (deg/sec)	Ay (G)	Yaw rate (deg/sec)	Ay (G)
1회	-9.81	-0.14	-10.8	-0.19	-11.21	0.21
2회	-8.38	-0.14	-8.65	0.17	-8.7	0.21
3회	-12.02	-0.24	-12.68	-0.29	-12.59	0.3
4회	-13.91	-0.36	-14.8	-0.43	-14.72	-0.38
5회	-7.96	0.12	-7.89	0.18	-9.21	0.17
6회	-15.82	-0.47	-17.08	-0.53	-16.35	-0.48
7회	-10.94	0.24	-9.65	-0.14	-10.42	-0.15
8회	-13.5	-0.34	-14	-0.38	-13.74	-0.33
9회	-11.98	-0.25	-11.51	-0.23	-12.28	-0.23
10회	-16.04	-0.46	-15.56	-0.52	-9.56	0.14
11회	-	-	-	-	-13.64	-0.34
12회	-	-	-	-	-11.06	-0.18

* yaw rate 와 ay의 부호는 방향을 의미함(+ :우측, -:좌측)



가속도 A_y 는 0.10~0.31G의 범위에서 실험이 진행되었으며, 연속적인 급차선 변경의 Yaw Rate는 1.50~6.69deg/sec, 횡 방향 가속도 A_y 는 0.15~0.33G의 범위에서 실험이 진행되었다. 표 10은 선회구간 과속에 대한 연령대별 실험 데이터를 보이고 있다.

3.2.3 실차실험을 통한 임계값의 재정의

본 연구에서는 연령별 각 파라미터들의 차이가 발생하였는지 판단하기 위하여 독립표본 T-Test (Independent Samples Test)와 ANOVA (Analysis of Variance) Test를 실시하였다. 각 실험의 반응은 동일조건에서 실시한 실험인원이 서로 다르므로 각 조건에서 실험에 참여한 총인원 중에서 불쾌함을 느끼지 않은 인원의 비율로 적용하여 비율이 차이가 발생하였는지를 검정하였으며, 분석에 사용된 변수는 표 11과 같다.

표 11. 평균차이 검정을 위한 변수

비교변수	처리변수
연령별 급출발에 대한 만족비율	가속도
연령별 급정지에 대한 만족비율	가속도
연령별 선회에 대한 만족비율	yaw rate, ay
연령별 가속에 대한 만족비율	가속도
연령별 감속에 대한 만족비율	가속도
연령별 차선변경에 대한 만족비율	yaw rate, ay
연령별 연속차선 변경에 대한 만족비율	yaw rate, ay

T-test는 일반적으로 두 집단의 평균을 비교하는 분석방법으로는 Z-test와 T-test로 구분되는데 Z-test는 모집단의 분산을 알고 있는 경우 사용된다. 그러나 모집단의 분산을 알고 있는 경우는 거의 없기 때문에 T-test를 사용하게 된다.

분산분석은 여러 모집단의 평균을 동시에 비교 검토해야 할 경우가 있다. 즉, 경우에 따라서는 셋 이상의 표본정보를 이용하여 이들이 추출된 셋 이상의 모집단들이 갖는 평균들이 서로 같은가를 확인할 필요가 발생하는데 이러한 문제해결에 사용되는 통계적

추론방법이다.

T-test 분석 결과 연령별로 각 변수간의 차이는 없는 것으로 분석되었으나, 출발 시 발생하는 불쾌감에 대한 분석의 경우 Critical값이 모든 연령에 따라 다르게 적용되었다는 결과가 도출되었다. 또한 본 연구에서는 연령별 각 파라미터들의 차이가 발생하였는지 판단하기 위하여 독립표본 T-Test를 실시한 결과 20~60대 이상의 연령별대에 따른 각 변수간의 차이는 없는 것으로 분석되었다.

표 12. 20대와 40대의 비교 분석 결과

구분	Levene's Test for Equality of Variances		T-test for Equality of Means			
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
출발양호비율	1.695	0.208	-1.148	20	0.265	-0.07283
출발임계값	0.114	0.739	-2.685	20	0.014	-0.01550
정지양호비율	0.426	0.521	0.568	20	0.576	0.09408
정지임계값	1.659	0.212	0.519	20	0.610	0.02217
선회양호비율	0.357	0.557	0.027	20	0.979	0.00428
선회임계값 (yaw rate)	1.205	0.285	0.263	20	0.795	0.30533
선회임계값 (ay)	0.898	0.355	1.295	20	0.210	0.14767
감속양호비율	0.286	0.598	-0.596	20	0.558	-0.09104
감속임계값	2.428	0.135	-0.614	20	0.546	-0.02200
차선변경 양호비율	0.244	0.627	0.063	20	0.950	0.01062
차선변경임계값 (yaw rate)	27.351	0.000	-3.288	20	0.004	-3.66200
차선변경 임계값 (ay)	0.086	0.772	0.626	20	0.538	0.01283
연속차선변경 양호비율	3.606	0.072	-0.049	20	0.961	-0.00868
연속차선변경 임계값 (yaw rate)	5.546	0.029	-1.501	20	0.149	-2.54750
연속차선변경 임계값 (ay)	1.553	0.227	1.449	20	0.163	0.06650

ANOVA 검정은 각 연령대 별로 분석하고자 하는 변수들이 차이가 있는지에 대한 검정을 실시한 것이



며, T-test결과와 비교할 때 같은 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. 즉, 출발 시 발생하는 불쾌감에 대한 분석의 경우 critical 값이 모든 연령에 따라 다르게 적용되었으며, 불쾌감에 대한 반응 역시 연령대별로 다른 것으로 분석되었다.

또한, 출발양호비율과 출발임계값의 경우 그룹 내의 평균과 그룹간의 평균이 다른 것으로 나타났으며, 독립표본 t 검정에서 나타난 결과와 일치하는 것을 알 수 있다.

표 13. ANOVA(연령대별 차이검정)

구분	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
출발양호비율	0.087	2	0.044	2.632	0.089
출발임계값	0.003	2	0.001	10.61	0.000
정지양호비율	0.112	2	0.056	0.429	0.655
정지임계값	0.005	2	0.003	0.300	0.743
선회양호비율	0.206	2	0.103	0.913	0.412
임계값(yaw rate)	0.533	2	0.266	0.035	0.965
임계값(ay)	0.012	2	0.006	0.363	0.699
가속양호비율	0.018	2	0.009	1.565	0.230
가속임계값	0.001	2	0.001	1.118	0.343
감속양호비율	0.052	2	0.026	0.218	0.805
감속임계값	0.006	2	0.003	0.434	0.652
차선변경양호비율	0.001	2	0.000	0.002	0.998
차선변경 임계값(yaw rate)	3.380	2	1.690	1.446	0.252
차선변경 임계값(ay)	0.009	2	0.005	2.046	0.147
연속차선변경양호비율	0.021	2	0.011	0.072	0.931
연속차선변경 임계값(yaw rate)	0.156	2	0.078	0.041	0.960
연속차선변경 임계값(ay)	0.003	2	0.001	0.433	0.653

출발 시 발생하는 불쾌감에 대한 분석의 경우는 20대와 60대의 비교에서 실험을 위한 가속도 값이 동일한 조건에서 실험이 되지 못하였기 때문에 동일한 반응을 보였는지에 대한 통계적 유의성을 가지지 못하는 것으로 분석되었다. 그러나 이를 제외한 모든 변수들이 불쾌감에 대한 차이가 없다는 결과를 나타내고 있으므로 본 연구에서는 급출발 시에 발생하는 가속도에 대한 불쾌감도 다른 변수들과 같이 연령별

로 차이가 없다고 가정하여 연구를 진행하였으며, 연령대별로 불쾌감에 대한 반응이 모두 같았으므로, 본 연구에서는 연령대별 변수들의 평균값을 적용하여 임계값을 적용하였다.

실차실험을 통한 임계값 또한 시뮬레이션 임계값과 같이 가속, 감속 부분에서는 승용차(승합차)와 버스의 큰 차이는 발생하지 않았으나, yaw-rate의 경우 차이가 있는 것으로 분석되었다.

표 14. 실차 실험에 따른 임계값

항 목	판단 변수	승용차 (승합차)	BUS		
			20~30대	40~50대	60대 이상
급출발	ax(G)	0.2	0.108	0.123	0.13
급정지	ax(G)	-0.4	-0.391	-0.413	-0.381
선회구간 가속	yaw-rate (deg/sec)	8.6	11.957	12.262	12.036
	ay(G)	0.2	0.26	0.306	0.276
급가속	ax(G)	0.1	0.04	0.031 G	0.054
급감속	ax(G)	-0.4	-0.365	-0.343 G	-0.332
차선변경	yaw-rate (deg/sec)	5.0	3.095	3.506	2.695
	ay(G)	0.2	0.191	0.193	0.162
연속적인 차선변경	yaw-rate (deg/sec)	5.0	4.023	4.163	4.063
	ay(G)	0.2	0.223	0.215	0.228

* yaw rate 와 ay의 부호는 방향을 의미함(+ :우측, - :좌측)

3.3 시뮬레이션 임계값과 실차실험 임계값 비교 분석

본 연구의 시뮬레이터 및 실차실험에서 재정의된 임계값의 통계 검증을 위하여 시뮬레이션 임계값과 실차실험을 통해 도출된 연령대별 평균 임계값을 비교·분석하였다.

본 연구에서는 시뮬레이션 임계값과 실차실험에 따른 연령대별 임계값의 통계검정을 시행하기 위하여 paired t-test를 실시하였다. 자료로부터 μ_1 (시뮬레이션 임계값)과 μ_2 (실차실험 임계값)가 차이가 있는가를 판단하고자 하는 것이므로 적합한 가설은



$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ 대 $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ 이다.

paired t-test 통계검증결과 자유도가 9인 t분포를 따른다. 따라서 기각역은 $R:t > t_{0.05}(9) = 1.833$ 이며, 본 연구의 $t = -0.856$ 으로 기각역에 포함되지 않으므로 유의수준 0.05로 H_0 를 기각할 수 없다.

즉, 시뮬레이션 임계값이 실차실험 임계값과 차이가 없다는 결론이 도출되었다.

표 15. 시뮬레이션 및 실차실험 임계값 비교

항 목	판단 변수	시뮬레이션 임계값	실차실험 평균 임계값
급출발	ax	0.2 G	0.120 G
급정지	ax	-0.4 G	-0.395 G
선회구간과속	yaw-rate	6.7 deg/sec	12.085 deg/sec
	ay	0.2 G	0.281 G
급가속	ax	0.1 G	0.041 G
급감속	ax	-0.4 G	-0.347 G
차선변경	yaw-rate	3.92 deg/sec	3.099 deg/sec
	ay	0.2 G	0.182 G
연속적인 차선변경	yaw-rate	3.92 deg/sec	4.083 deg/sec
	ay	0.2 G	0.222 G

* yaw rate 와 ay의 부호는 방향을 의미함(+:우측, -:좌측)

통계검증 결과 시뮬레이션 임계값과 실차실험 임계값의 차이가 없는 것으로 분석되었으나 급출발, 급가속, 선회구간과속이 다른 유형에 비하여 임계값의 차이가 좀 더 큰 것으로 분석되었다.

급출발, 급가속의 실험 중 시뮬레이션 실험은 차량 중량에 따른 엔진성능을 데이터로 하여 입력하여 차량의 최대 가속력을 산출한 결과이며, 실차실험의 경우 차량의 엔진 성능에 따라 실차실험의 결과가 달라질 수 있으므로 실험에 사용된 차량의 연식 및 엔진 성능의 출력이 좌우된다. 따라서 급출발, 급가속의 시뮬레이션 실험 임계값이 실차실험 임계값 보다 높게 발생한 것으로 분석되었다.

또한, 선회과속 실험은 차량이 긴 곡선 구간을 주행하는 실험이므로 시뮬레이션 실험 시 도로 설계기준인 것은 노면에 따른 마찰계수를 프로그램을 반영

하여 실험을 진행하였으며, 실차실험은 안전을 고려하여 마른 노면에서 실험이 진행되어 시뮬레이션 실험 결과 임계값보다 실차실험 결과 임계값이 높게 분석되었다.

4. 결론

4.1 연구결과

본 연구에서는 사고 감소 및 안전운전에 대한 사회적 요구에 부응하기 위하여 선행연구인 「위험운전 유형 분류 및 데이터 로거개발, 한국ITS학회지 제7권, 제3호, 2008, 6」논문에서 분류하고 있는 위험운전 유형을 적용하여 「위험운전 유형에 따른 임계값 개발, 한국도로학회지 제11권, 제1호, 2009, 3」논문에서 개발한 승용차(승합차)의 논리적 임계값 및 인간공학적 임계값을 본 연구의 최종목적인 사업용 차량에 적용하기 위하여 시뮬레이션 프로그램 및 대형 버스를 이용하여 기 개발된 임계값을 재정의 하였다.

기 개발된 임계값을 보정하기 위하여 가장 널리 사용되는 차량 동역학 시뮬레이션인 CALLAS 4.7을 사용하여 시뮬레이션을 시행하였으며, 특히, 기 개발된 인간공학적 임계값은 20~40대 총 12명이 실험에 참가하였으나 본 연구에서 개발된 실차 실험을 통한 임계값은 20대~60대 이상의 다양한 연령층의 남녀 150명을 대상으로 1~3차에 걸쳐 대형 버스를 이용하여 실차 실험을 진행하였기에 기존의 인간 공학적 임계값 보다 한층 실제 차량에 적용가능하다고 할 수 있다.

시뮬레이션 결과 BUS는 승용차(승합차) 대비 Yaw Rate 관련 임계값을 21.6%를 낮출 필요가 있는 것으로 분석되었으며, 가속 운동의 시뮬레이션 결과 승용차(승합차)와 뚜렷한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 감속 및 제동 운동은 세계 각국의 제동 성능에 만족해야 하므로 모든 차종의 임계값은 같은 것으로 분석되었으며, 실차실험 결과 중 승용차와 버스



의 임계값 비교 결과 시뮬레이션 실험과 마찬가지로 가·감속 관련 운동보다는 Yaw-rate의 변화량이 큰 것으로 분석되었다.

4.2 향후 연구과제

본 연구에서는 선행 연구에서 도출된 논리적 임계값과 실험차량을 이용하여 개발된 인간공학적 임계값을 재정의하여 보다 사업용 차량에 적용할 수 있는 양호한 결과가 도출되었으나, 향후 연구에서는 다음과 같은 사항들이 보완되어야 할 것으로 판단된다. 첫째, 시뮬레이션 임계값과 실차실험을 통한 임계값의 산출 전제조건을 최대한 맞추어야 한다. 예를 들어 선회구간 과속의 경우 시뮬레이션은 젖은 노면, 실차량 실험은 안전을 생각하여 마른 노면에서 실험이 진행되어 임계값의 차이가 큰 것으로 분석되었다. 둘째, 최근 여성운전자와 고령 운전자가 매우 빠르게 증가하고 있는 추세이기 때문에 운전자의 성별, 연령에 따른 실험이 진행되어야 할 것이다. 셋째, 개발된 위험운전 임계값을 이용하여 각 위험운전 유형에 대한 위험운전 유형 우선순위 모형을 개발하여야 한다. 마지막으로, 본 연구의 최종목적은 사업용 차량 즉, 버스 등의 차량에 위험운전 판단장치를 장착하여 실시간으로 운전자의 위험운전 여부를 판단하여 운전자의 위험운전 관리 시스템을 개발하는 것이므로 운전자에게 실시간 경보를 제공해 줄 수 있는 종합적인 위험운전 감시 시스템을 개발할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업(06교통핵심C01)의 연구비지원에 의해 수행하였습니다.

참고 문헌

조준희, 이운성(2007), 안전운전 관리시스템 개발, *Transactions of KSAE*, Vol15, No1, pp.71~77

조병관, 송성재(1996), ADAMS를 이용한 차량 조종안정성 해석, *한국자동차공학회논문집 제4권 제5호*, pp.109~118.

한인환(2007 a), 차량용 블랙박스 기술 특허분석 및 표준화 방안, *대한교통학회지 제25권 제3호*, pp.29~43

한인환, 양경수(2007 b), 차량용 블랙박스를 활용한 위험 운전 인지, *대한교통학회지 제25권 제5호*, pp.149~160

오주택, 조준희, 이상용, 김영삼(2008), 위험운전 유형 분류 및 데이터 로거개발, *ITS학회논문지 제7권 제3호*, pp.15~28

오주택, 이상용, 김영삼(2009), 위험운전 유형에 따른 임계값 개발, *한국도로학회지 제11권, 제1호*

Matthew Shurtz(2006), Effect of ABS Controller Parameters on Heavy Truck Model Braking Performance, *SAE*

오스트레일리아의 차량 법규, ADR(Australian Design Rule)

미국 연방 자동차 안전 기준, Federal Motor Vehicle Safety Standard

접 수 일: 2009. 4. 20
 심 사 일: 2009. 4. 29
 심사완료일: 2009. 6. 29