



위험운전 유형에 따른 임계값 개발

Development of a Critical Value According to Dangerous Drive Behaviors

오 주 택* 조 준 희** 이 상 용*** 김 영 삼****
 Ju-Taek, Oh Jun-Hee, Cho Sang-Yong, Lee Young-Sam, Kim

Abstract

According to the accident statistics of 2006, it can be recognized that drivers' characteristics and driving behaviors are the most causal factors on the traffic accidents. At present, many recording tools such as digital speedometer or black box are distributed in the market to meet social requests of decreasing traffic accidents and increasing safe driving behaviors. However, it is also true that the system preventing any possible vehicle accidents in advance has not been developed. In this study, we developed critical value for deciding dangerous driving behaviors. The developed critical value could be used to contribute to safety driving management systematization and safety driving behaviors.

Keywords : *critical value, safety driving management system, dangerous driving*

요 지

교통사고의 여러 요인 중 대부분의 사고가 운전자의 특성과 운전행태가 교통사고에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 2006년 경찰청 사고건수 자료를 통하여 파악할 수 있다. 현재 교통사고 감소 및 안전운전에 대한 사회적 요구에 부응하기 위하여 디지털 주행기록계, 차량용 블랙박스 등이 출시되고 있다. 주행기록계, 차량용 블랙박스 등은 사고 후 차량의 주행데이터를 이용하여 사고발생 원인에 대한 명확한 해석이 가능하다. 그러나 사고를 미연에 방지해 줄 수 있는 시스템은 현재 개발되지 못하고 있는 것이 사실이다. 본 연구는 실험차량을 이용하여 디지털 주행기록계, 차량용 블랙박스 등의 안전운전관리 시스템의 업그레이드가 가능할 뿐만 아니라, 운전자의 위험운전 정도를 분석할 수 있는 임계값을 개발하였다. 개발된 임계값을 이용하여 운전자의 안전운전 습성을 도모하고 안전운전 관리업무를 체계화하는데 기여할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 임계값, 안전운전관리시스템, 위험운전

* 정회원 · 한국교통연구원 책임연구원
 ** 정회원 · (주) 이노시물레이션 대표이사
 *** 정회원 · 한국교통연구원 연구원
 **** 정회원 · (주) 이노시물레이션 팀장



1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

교통사고는 운전자, 차량, 주변 교통상태, 도로 및 교통시설 등의 여러 요인이 복합적으로 작용하여 발생하지만 2006년의 경찰청 사고통계자료 중 연간 교통사고 건수를 살펴보면 약 213,745건의 교통사고 중 안전운전불이행, 중앙선침범, 신호위반, 안전거리 미확보 등 대부분이 운전자의 부주의에 의해 이루어진 사고가 약 196,980건으로 약 92% 이상을 차지하고 있음을 알 수 있다. 경찰청 사고통계자료에서 보는 바와 같이 교통사고의 여러 요인 중 대부분의 사고가 운전자의 특성과 운전행태가 교통사고에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으나, 그 원인을 정확히 파악할 수 없는 안전운전 불이행 사고가 118,329건으로 약 60.1%에 해당하고 있다.

교통사고 원인규명과정에서는 사고현장에 남겨진 타이어 자국과 사고차량의 파손정도, 차량의 최종 정지위치, 목격자 진술 등과 사고 재구성 해석을 위한 프로그램들을 활용하여 사고에 대한 정확한 분석과 재현을 하려는 노력이 이루어지고 있으나 이러한 방법은 도로상황, 차량상태 등에 대한 불확실한 요소를 포함하고 있어 정확한 사고의 재구성 해석에 많은 한계가 있기 때문에 현재 사고감소 및 안전운전에 대한 사회적 요구에 부응하기 위하여, 현재 다양한 형태의 디지털 주행기록계, 차량용 블랙박스 등이 국내외에서 출시되고 있다.

그러나 디지털 주행기록계, 차량용 블랙박스 등은 사고 후 차량의 주행데이터를 이용하여 사고에 대한 명확한 해석은 가능하지만 사고를 미연에 방지해 줄 수 있는 시스템은 현재 장착되어져 있지 않아 다수의 사업용차량을 운행하는 운수회사에서 운전자의 안전운전관리를 위하여 이러한 시스템을 사용하기에는 현실적으로 많은 어려움이 있다. ^{(1) (2) (3)}

이에 본 연구에서는 차량동역학 시뮬레이션 및 선행연구에서 개발되어진 실험차량을 이용하여 디지털

주행기록계, 차량용 블랙박스 등의 안전운전관리 장치를 업그레이드할 수 있으며, 운전자의 위험운전정도를 분석할 수 있는 위험운전 유형에 따른 논리적 임계값과 인간공학적 임계값을 개발하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 정의되어진 위험운전 유형은 선행연구인 [위험운전 유형분류 및 데이터로거개발, 한국 ITS학회지 제7권, 제3호, 2008, 6] 논문에서 분류하고 있는 위험운전 유형 중 본 연구에 적용 가능한 8가지의 위험운전 유형에 대한 임계값 개발이 본 연구의 범위라 할 수 있으며, 본 연구의 수행방법은 그림 1과 같다.

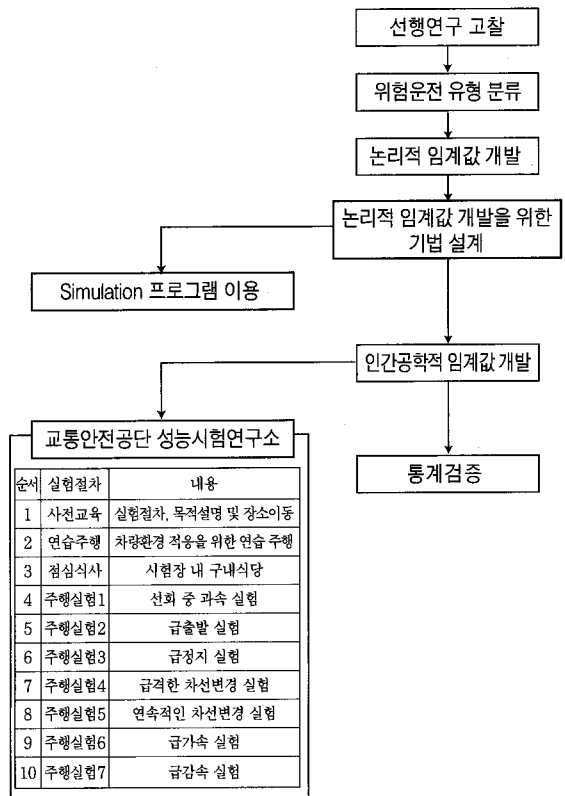


그림 1. 연구수행방법



2. 선행연구 분석

차량용 블랙박스는 평상시와 사고시의 정보를 저장하는 장치로써 그 정보는 다방면에서 활용되고 있으며, 성능개선을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 위험운전 유형을 급제동, 급가속, 급선회, 급차선변경의 네 가지로 분류하고 차량용 블랙박스를 장착한 실차 실험을 통해 주행 데이터를 수집·분석하여 위험운전을 인지하는 알고리즘을 제시한다. 유형에 따른 알고리즘은 차속에 따른 센서 측정치의 변화량과 도달시간을 기준으로 구성하였다. 첫째, 급제동은 속도에 따른 임계치보다 속도에 따른 종 감속도 값이 클 경우 판별하도록 하였다. 둘째, 급가속은 급가속 임계치보다 속도에 대한 종 가속도 값이 클 경우 판별하도록 하였다. 셋째, 40Kph 이상을 기준으로 한 급선회의 경우, 순간적으로 급선회가 나타나는 U턴은 배제하였으며, 선회속도의 변화량을 기준속도에 따른 임계치와 비교하여 위험운전을 판별하도록 하였다. 넷째, 급차선 변경은 위험한 차선 변경과 이중차선 변경으로 구분하였으며, 선회속도의 변화량을 기준으로 위험운전을 판별하도록 하였다. 그 결과, 급제동과 급가속 유형에서는 종 가속도가 짧은 도달시간 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 위험운전상황 발생순간 센서 측정값을 처리하는 구조가 간단하고 데이터 항목이 적은 온라인과, 일정구간 또는 장시간 주행 데이터를 차량운행 종료 후 저장부에서 추출하여 분석하는 오프라인으로 구분할 수 있다. 이 데이터의 분석은 운전자 및 차량관리 시스템을 구축하는 데 활용할 수 있다.⁽⁴⁾

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 실

정이다. 본 연구에서는 위험운전 유형을 분류하고, Data-logger를 개발하여 현실성 있는 위험운전 유형 인지 검증하고자 한다. 위험운전 유형은 속도위반, 가속, 감속, 회전, 차선변경, 가속+회전, 감속+회전의 8가지 대분류와 직진구간 과속, 선회구간 과속, 급출발, 급가속, 급정지, 급감속, 급격한 좌(우)회전, 급차선변경, 연속적인 급차선변경, 중앙선 침범 및 주행차선 위반, 급가속+급차선변경, 급가속+연속적인 급차선변경, 급가속+급좌(우)회전, 급감속+급차선변경, 급감속+연속적인 급차선변경, 급감속+급좌(우)회전의 16가지 소분류로 분류하였다. Data-logger는 시험차량, Gyro, GPS 및 DAQ 시스템, Rack 시스템, 영상 데이터 취득 시스템, 전원 공급장치와 운전자 인지 검출 시스템으로 이루어진 하드웨어와 Real-time 모듈, Replay 모듈, Export 모듈로 이루어진 소프트웨어로 구성되어 개발되었다. 이는 향후 교통안전 및 인간공학적인 연구 활동을 위한 첨단종합도구로서 실용성이 매우 높다고 할 수 있다. 실험·검증을 위해서 Data-logger를 장착하여 시험차량을 개발한 후 차속센서를 이용한 차속 연산, GPS를 이용한 주행거리 연산, 시험차량으로부터 획득된 위치의 표시, CPS 음영지역에서 차량 센서를 이용한 주행거리 연산을 이용해 실험을 진행했다. 주행 중 취득된 데이터 분석 결과, 주행 데이터가 정상적으로 취득되었으며, 향후 추진하고자 하는 운전행태 분석 및 위험운전 판단 알고리즘 개발에 효과적인 도구로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 취득한 영상데이터를 통해 운전자의 주행상황 및 주변 교통상황에 따른 운전자의 주행상황에 대한 분석도 가능할 것으로 판단된다.⁽⁵⁾

3. 위험운전 판단 알고리즘 개발

3.1 위험운전 유형 분류

선행연구인 「위험운전 유형 분류 및 데이터 로거개



발, 한국ITS학회지 제7권, 제3호, 2008, 6」논문에서 분류하고 있는 위험운전 유형을 본 연구에 적용하였으며, 임계값을 도출하기 위하여 적용된 위험운전 유형은 표 1과 같다.

표 1. 위험운전 유형

속도위반	직진구간 과속
	선회구간 과속
가속	급출발
	급가속
감속	급정지
	급감속
회전	급차선변경
	연속적인 급차선변경

3.2 논리적 임계값 개발

3.2.1 직진구간 과속

현재 우리나라에서의 제한속도는 법으로 정해진 속도이며, 직진구간에서의 위험운전 판단기준은 표 2와 같이 교통법규에 정한 제한속도를 근거로 제시하였다. 각 구간별로 지방경찰청장이 필요에 따라 별도 도로 속도를 제한할 수도 있다.

표 2. 교통법규에 따른 제한속도

도로	차선별	제한속도
일반 도로	편도2차선 미만	최고 60km/h
	편도2차선 이상	최고 80km/h
자동차 전용도로		최저 30km/h
		최고 90km/h
고속 도로	편도2차선 이상	최저 50km/h
		최고 100km/h
		최고 80km/h (적재중량 1.5톤 초과 화물자동차, 특수자동차, 건설기계)
		최저 40km/h
	편도1차선	최고 80km/h
		최저 60km/h
	중부선	최고 110km/h
		최고 90km/h (적재중량 1.5톤 초과 화물자동차, 특수자동차, 건설기계)

직진구간 과속의 위험운전 판단 알고리즘은 차량의 속도를 판단변수로 하여, 위에서 정의한 교통법규 최고속도의 110% 이상을 임계값으로 설정하였으며, 이를 정리하면 표 3과 같다.

표 3. 위험운전 판단 알고리즘

도로	차선별	속도 임계값		
		평상시	비/눈	폭우/폭설 안개
일반 도로	편도2차선 미만	66km/h	48km/h	30km/h
일반 도로	편도2차선 이상	88km/h	64km/h	40km/h
자동차 전용도로		99km/h	72km/h	45km/h
고속 도로	편도2차선 이상	110km/h	80km/h	50km/h
		80km/h (적재중량 1.5톤 초과 화물자동차, 특수자동차, 건설기계)	64km/h	40km/h
	편도1차선	88km/h	64km/h	40km/h
	중부선	121km/h	-	55km/h
90km/h (적재중량 1.5톤 초과 화물자동차, 특수자동차, 건설기계)		88km/h	45km/h	

3.2.2 선회구간 과속

선회구간에서의 위험운전 판단기준은 도로포장구조설계지침서(AASHTO)에 정의된 차량의 선회반경에 따른 속도 관계식을 근거로 제시하였다.

$$V = \sqrt{127R(e + f)}$$

여기에서, V : 설계속도 (km/h)

R : 선회반경 (m)

f : 횡방향 미끄럼 마찰계수

e : 편경사 (m/m)

위 식에 따라 속도-선회반경의 관계에 따라 선회반경 대비 안전속도를 보면 20m에서 약 28km/h, 40m에서 약 37km/h, 60m에서 약 43km/h, 80m에서 약 47km/h, 100m에서 약 52km/h로 분석되었다.



차량 동역학 모델링은 일정 선회반경과 지정속도에서 차량의 거동을 해석하기 위해, 그림 2와 같이 차량의 운동을 모델링하였다. 이는 4륜의 차량을 등가적인 전후륜 2륜의 차량으로 Bicycle Model을 설정하여 모델링한 것이며, 이를 토대로 차량의 선회운동을 기술하는 운동방정식을 유도하면 아래 식과 같고, 이는 차량 중심점의 옆미끄러짐각(side slip angle) β 와 회전각속도(yaw rate) r 에 대한 선형연립 상미분방정식이다.

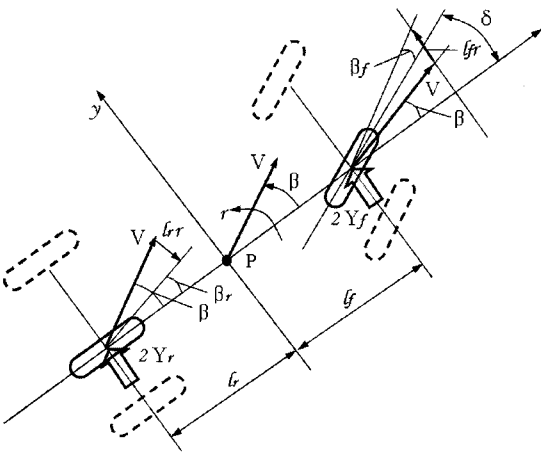


그림 2. 차량 운동 모델링

$$mV \frac{d\beta}{dt} + 2(K_f + K_r)\beta + mV + \frac{2}{V}(l_f K_f - l_r K_r)r = 2K_r \delta$$

$$2(l_f K_f - l_r K_r)\beta + I \frac{dr}{dt} + \frac{2(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)}{V} r = 2l_f K_f \delta$$

여기에서,

m : 차량의 관성질량

I : 차량의 요관성모멘트(yawing inertia moment)

V : 차량의 주행속도

K_f : 전륜 코너링파워(cornering stiffness)

K_r : 후륜 코너링파워(cornering stiffness)

l_f : 차량중심점과 앞차축간의 거리

l_r : 차량중심점과 뒤차축간의 거리

δ : 타이어 조향각

선회구간 과속의 위험운전 판단을 위해서 속도-선회반경의 관계에 따른 조건으로 차량의 거동을 시뮬레이션 하여 위험운전 판단 변수와 그 값을 설정하고자 한다.

차량 동역학 모델링 시뮬레이션 결과 옆미끄러짐각 β 와 회전각속도 r 에 대한 선형연립 상미분방정식을 일정속도 V 에서 원하는 회전반경으로 차량을 선회시키기 위한 조향각 δ 에 대해 수치적분을 통한 시뮬레이션을 수행하면 그림 3과 같은 결과를 얻을 수 있다.

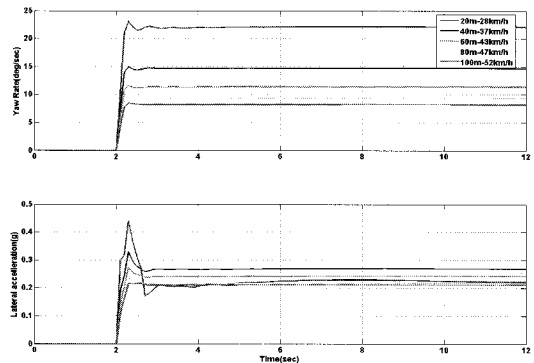


그림 3. 조향각 δ 에 대해 수치적분을 통한 시뮬레이션

시뮬레이션 결과 정상선회시 회전각속도와 횡방향 가속도 결과 표 4와 같이 분석되었다.

표 4. 선회관련 시뮬레이션 결과

입력		시뮬레이션 결과		
선회반경 (m)	속도 (km/h)	조향각 (deg)	횡가속도 (G)	회전각속도 (deg/sec)
20	28	140	0.22	22.1
40	37	77	0.27	14.7
60	43	55	0.24	11.4
80	47	43.3	0.22	9.3
100	52	36.8	0.22	8.2

표 4의 시뮬레이션 결과 선회반경이 커지면 그에 대한 안전속도도 커지며 그 해당 속도에서 선회시 회전각속도가 줄어드는 것을 볼 수 있으나 횡가속도는 비슷한 값으로 나온 것을 확인할 수 있다.

따라서 선회구간 과속 판단 변수 및 임계값은 횡가속도 값이 약 0.2G 이상이 되면 도로설계기준에 해당하는 회전반경과 속도 관계식에서 벗어남을 알 수



있다.

또한, 회전각속도의 경우 실제 도로구간의 평균속도 60km/h와 횡가속도 임계값 0.2G를 기준으로 환산한 결과 8.6deg/sec로 분석되었다. 그림 4는 차량의 속도와 회전각속도와와의 관계를 그래프로 보이고 있다. 즉 위험운전 판단 알고리즘은 횡가속도가 0.2G 이상일 때를 기준으로 설정하면 된다. 그렇게 하면 여러 선회반경 형태를 모두 고려하면서 선회구간 과속을 선별할 수 있다.

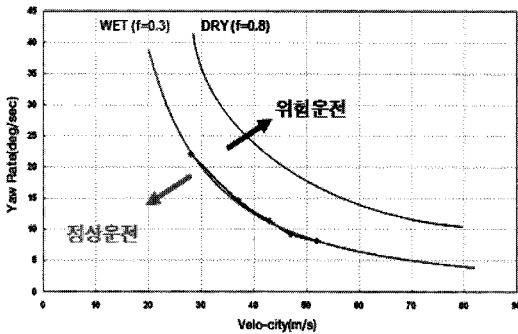


그림 4. 선회구간 위험운전 판단 알고리즘

3.2.3 급출발

급출발에 대한 위험운전 판단기준은 버스가 출발할 때 입석 승객이 쓰러질 수 있는 경우를 위험운전의 기준으로 제시하고자 하며, 뉴턴의 제1법칙인 관성의 법칙을 응용할 수 있다.

관성의 법칙은 외부에서 작용하는 힘의 합력이 0일 때 정지해 있는 물체는 계속 정지해 있고, 운동하던 물체는 계속 등속도운동을 한다는 자연법칙이다.

$$\sum \vec{F}_i = 0 \Rightarrow \vec{a} = 0 \quad (\text{정지 또는 등속도운동})$$

관성력은 관성 때문에 생기는 힘으로 실제 힘은 아니며, 가속도 운동하는 경우에 느낄 수 있는 힘으로 그림 5와 같이 차량이 정지상태나 등속상태에서 가속할 경우에 발생하는 힘이다.

버스가 출발하면 발과 버스 바닥 사이의 마찰력 때

문에 하체는 차량과 함께 움직이기 시작한다. 그러나 상체는 관성에 의해 원래의 자리에 있기 때문에 몸이 뒤로 쏠리고, 즉 차량 안에서 보면 마치 승객들을 뒤로 잡아당기는 힘이 있는 것처럼 보이며, 이것을 바로 관성력이라 한다. 관성력은 차량가속도에 의한 힘과 크기는 같고, 방향은 차량의 움직임 반대로 작용한다.

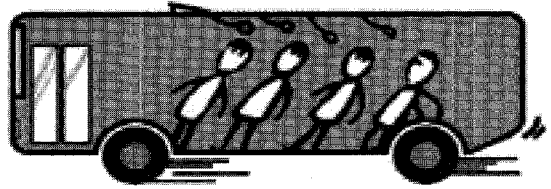


그림 5. 버스 급출발

즉 차량의 급출발로 인해 가속도가 순간적으로 크게 작용하면 그만큼 관성력이 크게 작용하여 차량에 탑승한 승객에게 위험한 상황을 초래할 수 있게 된다.

이에 본 연구에서는 관성의 법칙을 응용하여 급출발에 관한 근거를 개발하기 위하여 2,000CC 중형 승용차를 기반으로 시뮬레이션을 시행하였다. 시뮬레이션 방법은 첫째, 차량 동역학 모델을 정지상태에서 최대가속을 시행한 시뮬레이션 방법과 둘째, 인체 모델을 이용하여 넘어질 수 있는 조건을 계산하는 방법으로 구분할 수 있으며, 이에 대한 시뮬레이션 결

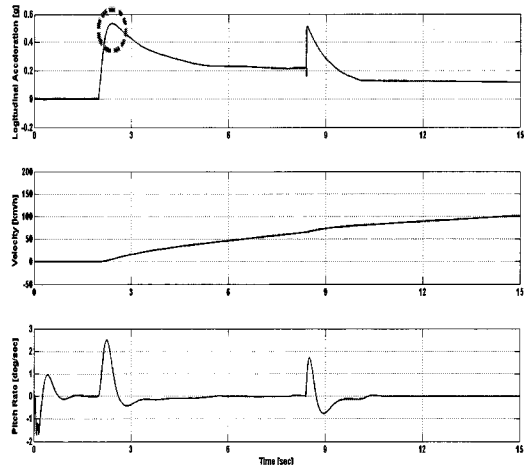


그림 6. STI 타이어 모델과 엔진 동력계 모델을 포함한 시뮬레이션



과를 기준으로 급출발에 관한 위험운전으로 근거 제시하였다. 운동방정식을 토대로 STI 타이어 모델과 엔진 동력계 모델을 포함하여 전차량 동역학 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 6은 급출발 즉 정지상태에서 최대가속시 차량의 종방향 가속도, 속도변화 및 Pitch Rate를 보이고 있다.

시뮬레이션 결과에서 붉은 점선 원 부분이 차량이 정지상태에서 최대로 낼 수 있는 급출발 가속도 그래프이며, 차량의 진행방향으로의 병진가속도가 약 0.5G로 측정되었다. 이 수치는 종방향 가속도 값이 클 뿐만 아니라 Pitch Rate 변화량도 크게 나와 버스에 승차하여 서있는 승객에게는 굉장히 위험한 상황을 초래할 수 있으며, 본 연구에서 구하고자 하는 임계값의 범위를 초과하므로 본 연구에서는 차량 동역학 모델링 이외에 인체 모델링을 이용하였다.

인체 모델링은 버스에 탑승하여 서있는 승객을 모델링하여 차량의 거동에 대한 가속조건으로 시뮬레이션을 수행하는 것으로서, 대한민국 성인 남성(19세 이상)의 평균인체 치수(한국인 인체치수조사, <http://sizekorea.kats.go.kr>)를 고려한 인체 모델을 수립하였다.

표 5. 인체표준치수

구 분	치 수
몸무게(kg)	69.6
키(mm)	169.8
어깨너비(mm)	392

$$\begin{aligned}
 ma \times \cos(\alpha - \theta) &= mg \times \sin(\alpha - \theta) \\
 a &= g \times \sin(\alpha - \theta) / \cos(\alpha - \theta) \\
 a &= g \times \tan(\alpha - \theta), \alpha = \tan^{-1}((0.392 / 2) / 0.849) \\
 a &= g \times \tan(13 - 2) \\
 &= 0.2g
 \end{aligned}$$

3.2.4 급가속

급가속에 대한 위험운전 판단기준은 급출발과 비교했을 때 일정한 속도로 주행 중 최대가속으로 속도를 증가시킬 때 차량의 진행방향의 가속도에 대한 시뮬레이션 결과를 위험운전 판단기준으로 한다. 정지한 상태에서 출발하는 차량의 속도 변화량과 주행 중 속도를 증가시킬 때의 속도 변화량은 많은 차이를 보이며, 급출발시 최대속도 변화량보다 주행 중 속도 변화량은 50% 이하의 값을 지닌다. 따라서 급출발에서처럼 버스에 서있는 승객이 넘어질 수 있는 상황은 발생하지 않으나, 승객입장에서 급격한 속도의 변화량은 불쾌감을 받을 수 있으므로 이때의 시뮬레이션 값을 급가속에 대한 위험운전 판단기준 값으로 제시가 가능하다.

급가속은 급출발과 유사한 상황이지만 주행 중에 차량의 속도가 갑작스럽게 변한다는 점에서 구분된다. 이를 위해 앞에서 수립한 운동방정식을 이용해 초기속도 40km/h에서 급격히 가속을 가하는 상황을 시뮬레이션 수행한 결과 그림 8과 같은 결과도 출되었다

그림 8에서 붉은 점선 원 부분이 10초대에서 가속 페달을 급격히 밟은 상황이며, 차량이 정지했을 때보다 속도 변화량 즉 가속도 수치가 적게 나오는 것을 확인할 수 있다. 이는 차량의 현재 속도에 따라 급가속 시점에서의 임계값을 다르게 설정해야 한다는

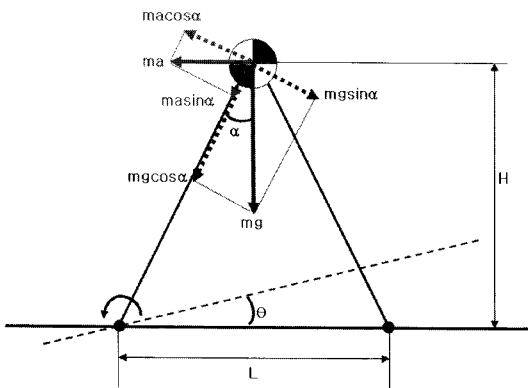


그림 7. 인체 모델링

표 5는 남성(19세 이상)의 평균 인체모델에 대한 파라미터이며, 시뮬레이션 수행결과 가속도 0.2G과 pitch가 2도일 때 인체모델이 쓰러지는 결과가 도출되었다.



것을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 급가속에 대한 위험운전 판단 알고리즘에서 속도 범위별 종방향 가속도 임계값을 표 6과 같이 설정하였다.

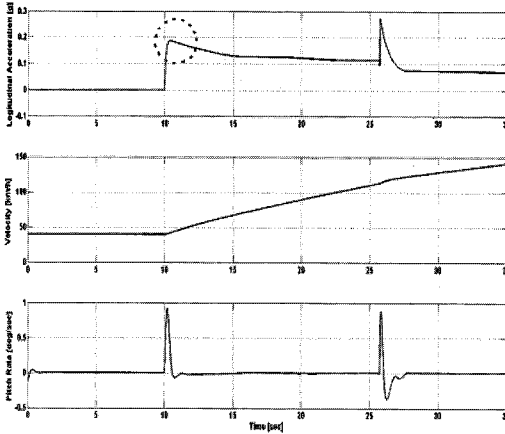


그림 8. 급가속 시뮬레이션 결과

표 6. 속도대별 종방향 가속도 임계값

조건	속도 범위	가속도 [g]
Rapid Acceleration of Passenger Car	Less than 30kph	+0.20
	30 to 60kph	+0.15
	More than 60kph	+0.10

3.2.5 급정지

급정지에 대한 위험운전 판단기준은 버스가 갑자기 정차할 때 입석승객이 쓰러질 수 있는 경우를 위험운전의 기준으로 제시하고자 한다. 급출발에서 관성력에 대해 기술하였듯이 급정지나 급감속의 경우는 급출발과 급가속의 원리와 그 반대의 개념으로 생각하면 된다. 모든 물체는 자신의 운동상태를 그대로 유지하려는 성질이 있으며, 정지한 물체는 계속 정지해 있으려 하고(급출발, 급가속에 해당), 운동하는 물체는 원래의 속력과 방향을 그대로 유지하려고 한다.(급정지, 급감속에 해당)

차량이 출발할 때와 반대로 그림 9에서 보듯이 차량이 멈출 때 하체는 힘을 받아 멈추지만 상체는 계속 앞으로 가기 때문에 앞으로 쏠리는 현상이 발생한

다. 즉 차량 안에서 보면 마치 승객들을 앞으로 잡아 당기는 힘이 있는 것처럼 보인다.



그림 9. 버스 급제동

차량이 급정지로 인해 감속도가 순간적으로 크게 작용하면 그만큼 관성력이 크게 작용하여 차량에 탑승한 승객에게 위험한 상황을 초래할 수 있다. 또한 운전자가 위험을 느끼고 브레이크를 조작했다 하더라도 실제 제동효과가 나타나 감속이 이루어지기까지는 필연적으로 제동지연이 나타날 수밖에 없으며, 이 제동지연시간을 자동차공학 또는 교통사고공학에서는 공주시간이라는 개념으로 표현하며 공주시간 동안 진행한 거리를 공주거리라 한다.

공주시간은 인간 고유의 인지반응특성과 브레이크 장치의 조작특성을 조합한 지연시간으로 통상 위험을 인지하고 오른발이 가속페달에서 떨어질 때까지의 시간(t_1)과 오른발이 가속페달에서 떨어져 제동페달로 옮겨지는 시간(t_2), 그리고 제동페달을 밟기 시작해 실제 제동력이 발휘되기까지의 시간(t_3)으로 구성되어 있으며, 공주거리가 길어지면 위험에 대처하여 안전하게 정지할 수 있는 안전정지거리(safety stopping distance : 공주거리 + 제동거리)도 비례하여 증가되므로 고속주행 상태에서는 그 만큼 위험에 대한 회피/방어능력이 떨어지며, 충분한 안전거리를 확보해야만 한다. 급정지에 대한 위험운전 판단 임계값을 설정하기 위한 첫 번째 방법은 차량을 모델링하여 주행 중 최대감속 상황을 시뮬레이션 했을 때 결과를 얻을 수 있다. 두 번째 방법으로는 제동 성능에 대한 국제법규(FMVSS, 미국 연방 자동차 안전기준)에 근거한 제동가속도를 얻을 수 있으며, 마지막으로는 자동차 제조사에서 차량의 제동성능을 유지하면서 제동시 조향력을 유지할 수 있는 제동시스



템ABS(Anti-Lock Brake System)로 대부분의 자동차에 적용하고 있는 시스템 중 ABS 시스템이 작동할 때의 차량 진행방향의 가속도를 임계값으로 정하는 것이다.

제동감속도에 의한 제동거리와 공주거리를 고려하여 최대감속 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 10은 초기속도를 40km/h부터 100km/h까지 20km/h 간격으로 증가시켜 가면서 최대감속 테스트를 시뮬레이션한 결과를 보이고 있다.

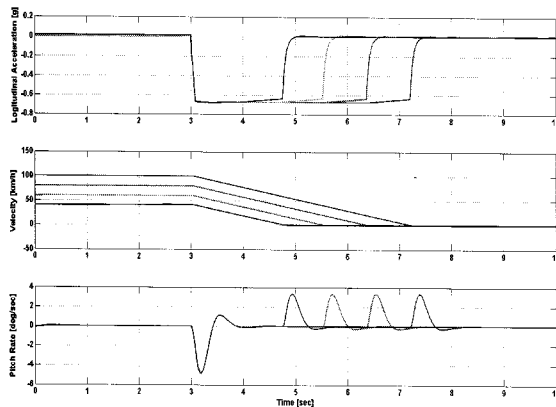


그림 10. 급정지 시뮬레이션 결과

분석결과 최대감속 상황에서 약 -0.7G정도의 감속도가 나오는 것을 확인할 수 있으며, Pitch Rate도 제동 페달을 밟기 시작한 시점과 차량이 완전히 멈추기 직전에 상당히 큰 Pitch 운동을 보이는 것을 볼 수 있다. 이는 앞에서 기술한 급출발이나 급가속에 비해 큰 값이며 급격한 차량 흔들 현상으로 차량에 탑승한 사람에게 균형감을 잃게하여 치명적으로 위험한 상황을 줄 수 있다는 것을 예측할 수 있다. 이

표 7. 속도대별 종방향 가속도 임계값

속도 (km/h)	제동거리 (m)	공주거리 (m)	정지거리 (m)
40	10.60	11.10	21.70
60	21.67	16.70	38.37
80	38.19	22.20	60.39
100	59.38	27.80	87.18

결과로 제동거리를 계산하고 앞에서 기술한 공주거리와 합산하여 총 정지거리를 정리하면 표 7과 같다.

그러나 표 7의 결과는 현재 차량의 속도에서 차량의 제동성능을 완전히 사용하여 급정지한 경우의 값들이므로 차량에 탑승한 승객에게 위험을 초래할 수 있다.

이에 본 연구에서는 시뮬레이션 결과 이외에 제동성능에 대한 국제법규, 자동차 제조사 제동 시스템 작동시 임계값 및 SAE 논문⁽⁶⁾을 참고하여 급정지에 따르는 임계값을 설정하였다.

- 차량이 주행 중 최대감속에 대한 시뮬레이션 결과 차량진행방향으로의 병진가속도는 -0.7G 이상
- 제동성능에 대한 국제법규(FMVSS, 미국 연방 자동차 안전기준)에 따른 차량진행방향의 병진 가속도는 -0.5G 이상
- ABS 작동시 차량의 감가속도를 고려하여 충분한 제동거리를 확보하면서도 유연한 제동을 위해 차량진행방향의 병진가속도는 -0.4G이상

위에서 언급된 제동성능에 대한 국내외법규와 ABS작동시 차량의 감가속도를 고려하여 충분한 제동거리를 확보하면서도 유연한 제동을 위해 위험운전 판단 알고리즘에서는 -0.4G를 기준 임계값으로 설정할 수 있다.

3.2.6 급감속

급감속에 대한 위험운전 판단기준은 급정지와 비교했을 때 일정한 속도로 주행 중 차량의 속도가 갑작스럽게 줄어든 운전행태로 차량의 진행방향의 가속도에 대한 시뮬레이션 결과를 위험운전 판단기준으로 한다.

전차량 동역학 모델을 그림 11과 같이 시속 100km 주행 중 시속 80, 50, 30으로 단계적으로 급감속시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 급정지와 유사한 상황이지만 차량이 완전히 정지하지 않고 주행 중 차량의 속도가 갑작스럽게 감소하는 상황으로 위험운전 판단기준인 종방향 가속도는 급정지 상황과 유사하게 분석되었다. 이에 본 연구에서는 급감속에 대



한 위험운전 판단은 차량진행방향 병진가속도를 -0.4G로 설정하고 감속도 주기와 차량 최종속도로 급정지와 급감속을 구분하도록 하였다.

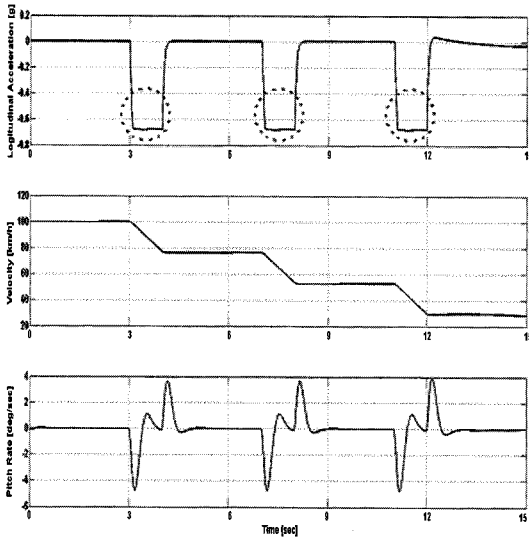


그림 11. 급감속 시뮬레이션 결과

3.2.7 급차선 변경

급차선 변경은 주행속도에 비해 조향 핸들을 급격하게 조작하는 운전행태를 의미한다.

급차선 변경 시 차량은 노면의 상태나 도로 굴곡에 따라 차량전복의 위험까지 처할 수 있다. 따라서 급차선 변경에 대한 위험운전에 대한 판단기준의 차량의 안전성 측면에서 제조사에서 적용하는 ESP 적용 기준으로 제시하고자 한다. 최근 안전에 대한 관심이 높아지면서 자동차 회사에서는 브레이크 시스템과 관련된 핵심기술이 중요하게 대두되고 있으며 일반적인 유압식 브레이크 성능을 한단계 높은 ABS(Anti-lock Brake System)와 TCS(Traction Control System)의 개발로 브레이크 시스템의 획기적인 기술발달을 이루었다.

특히 ESP(Electronic Stability Program)는 ABS와 TCS의 기능을 더욱 향상시켜 적용한 첨단 장치로 급격한 코너링이나 위험한 돌발상황 시 차량

의 여러 위치에 장착된 센서로서 차량의 거동을 빠르게 감지하여 제어함으로써 미끄러움을 방지하고 운전자가 의도하는 대로 방향전환이 가능하도록 개발한 첨단장치이다. ESP가 장착된 차량의 경우 차량이 급격하게 좌회전을 할 때 오버스티어링이 발생하여 차량이 도로 밖으로 이탈하려고 하며, 이때 ESP 센서가 바깥쪽 앞바퀴에 짧게 제동을 가해 반대방향의 회전력을 발생시킴으로써 차량을 안전하게 주행할 수 있도록 제어한다. 또한 언더스티어링의 경우 차량이 도로 밖으로 벗어나려고 할 때 차량의 안쪽 뒷바퀴에 제동을 가해 가고자 하는 방향을 잡아주는 역할을 한다. ESP에 적용되는 센서는 차륜속도센서(wheel speed sensor)를 비롯해 운전자의 의도를 감지하기 위한 조향각센서(stearing angle sensor), 그리고 가속페달센서(acceleration pedal sensor)와 압력센서(pressure sensor)가 있으며 차량의 거동을 감지하기 위한 선회속도센서(yaw rate sensor)와 측방향가속도센서(lateral G sensor) 등으로 구성되어있다. ESP의 가장 큰 특징은 차량의 여러 위치에 장착되어 있는 이 센서로부터 차량의 거동을 빠르게 감지하고 정보를 입수하여 분석된 정보를 통해 차량의 운동을 제어함으로써 운전자의 차량조정능력을 극대화 시킨 장치이며, ESP는 차량이 주행을 할 때 물리적 한계 상황에서도 최대한 차선을 벗어나지 않게 함으로써 차량의 진행방향을 유지시켜 주며 긴급한 상황에서 조향력을 잃어 사고로 이어지는 상황을 미연에 방지해주고 측면 충돌에 대한 위험을 극소화 시켜주는 역할을 한다.

ESP가 위험상황을 자동 센싱 판단하여 차량의 자세를 안정적으로 제어해주는 전자제어 시스템이라면, 우리가 개발하고자 하는 위험운전 판단 알고리즘은 운전자가 위험하게 운전하는 상황을 자동 센싱하고 검출한다는 측면에서 공통점을 가지고 있다. 따라서 ESP의 안정성 판단기준의 원리를 이해하면 이를 위험운전 판단 알고리즘에 적용시킬 수가 있게 된다.

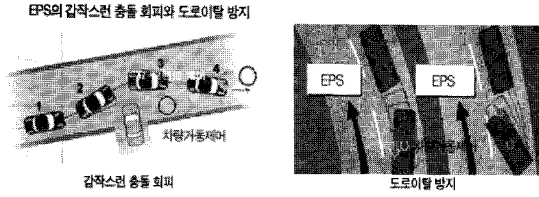


그림 12. EPS

차속을 60km/h와 90km/h로 설정하여 그림 13과 같은 궤적을 따라 차선변경이 이루어지도록 시뮬레이션을 시행하였다.

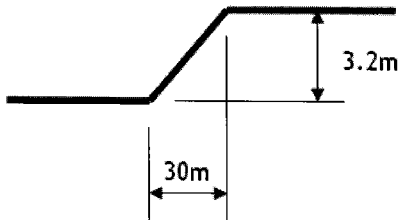


그림 13. 차선변경 궤적

시뮬레이션 결과 그림 14, 그림 15와 같은 결과가 도출되었다.

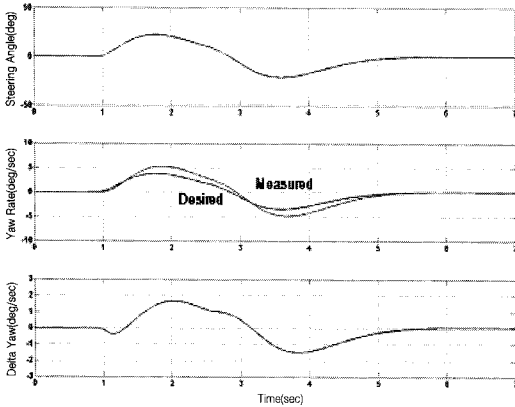


그림 14. 60km/h Lane Change

ESP 안정성 판단기준이 되는 Delta Yaw를 60km/h와 90km/h 속도에 대해서 비교한 결과 그림 16과 같은 결과가 도출되었으며, 한계값 (Threshold)은 노면의 상태나 차량의 상태에 따라 달라질 수는 있지만, 현재 자동차 회사의 ESP제어 로직에서 사용되는 약 2°/s를 한계값으로 설정하였

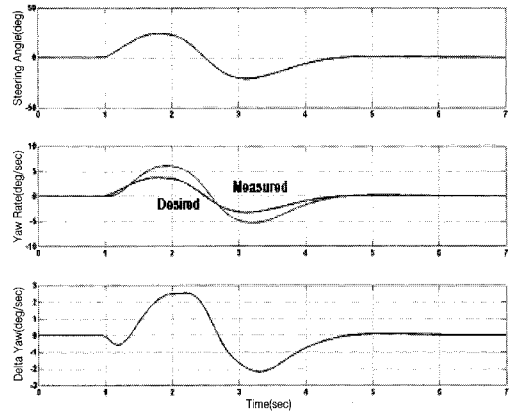


그림 15. 90km/h Lane Change

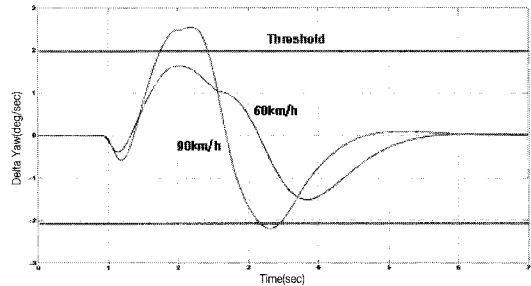


그림 16. Delta Yaw

다. 이를 가정하여 보면, 60km/h에서는 한계값 범위 내에 Delta Yaw가 존재하고 고속인 90km/h에서는 한계값 범위 밖에 있는 것을 볼 수 있다.

이때의 차량의 궤적추적, 횡방향 가속도와 Roll Rate를 보면 그림 17과 같다. 위험운전 판단 알고리

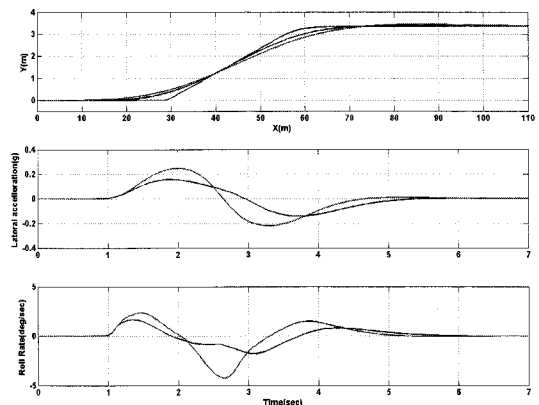


그림 17. 차량의 궤적추적, 횡방향 가속도와 Roll Rate



즘의 판단변수는 횡방향 가속도와 회전각속도로 하고, 이들의 크기뿐만 아니라 차선변경을 위한 Sine 파의 주기 또한 짧다는 것은 속도대비 조향조작을 급하게 한 것이므로 의미 있는 변수가 된다.

급차선 변경에 대한 위험운전 판단변수는 핸들 조작에 의한 차선을 변경하는 동안의 시간과 횡가속도 및 Yaw Rate으로 결정하게 된다. 차선변경하는 동안의 시간의 측정은 차선변경시 모든 Yaw Rate은 형태가 Sine Wave를 그리므로 이때의 주기로 측정한다. 위에서 언급한 Yaw Rate의 Sine Wave 형성시 횡가속도와 Yaw Rate의 최대값을 0.2G와 5 deg/sec로 급차선 변경에 대한 위험운전 판단 임계값으로 결정하였다.

3.2.8 연속적인 급차선 변경

연속적인 급차선 변경에 대한 위험운전 판단기준은 급차선 변경과 동일하다. 연속적인 급차선 변경은 주행속도에 비해 조향 핸들을 급격하게 조작하는 운전행위를 반복적으로 하는 것이므로 급차선 변경과 위험운전 판단변수가 동일하지만 시뮬레이션을 수행하여 기준을 제시하였다.

연속적인 급차선 변경은 주행속도에 비해 조향 핸들을 급격하게 조작하는 운전행위를 반복적으로 하는 것이므로 급차선 변경과 동일하게 시뮬레이션을 반복적으로 수행하게 된다. 차속 60km/h와 90km/h에 대해 시뮬레이션을 실행한 결과 그림 18, 그림 19와 같은 그래프가 도출되었다.

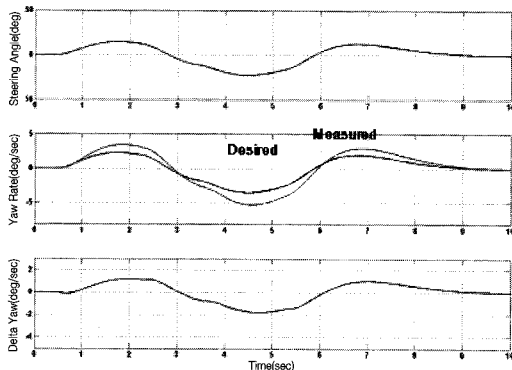


그림 18. 60km/h Double Lane Change

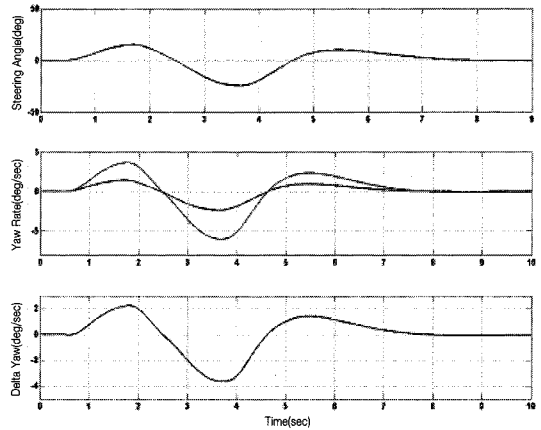


그림 19. 90km/h Double Lane Change

연속적인 급차선 변경은 급차선 변경의 위험운전 판단원리와 같으며, 단지 추월차선 변경을 하였으므로 횡가속도와 회전각속도의 Sine파 유형으로 구분하게 된다.

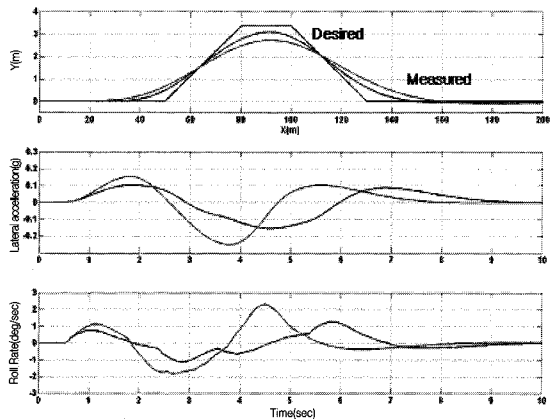


그림 20. 연속적인 차선변경

연속적인 급차선 변경 위험판단변수 및 임계값 설정은 핸들 조작에 의해 차선을 변경하는 동안의 시간과 횡가속도 및 Yaw Rate으로 결정하게 된다.

차선변경하는 동안의 시간의 측정은 차선변경시 모든 Yaw Rate은 형태가 Sine Wave를 그리므로 이때의 주기로 측정하고 연속적으로 발생하므로 3초 이내의 동일한 급차선 변경이 시작되고 8초 이내에 연속적으로 Yaw Rate이 Sine Wave를 이룰 경우에



해당이 된다.

이에 본 연구에서는 Yaw Rate의 Sine Wave 형 성시 횡가속도와 Yaw Rate의 최대값을 0.2G와 7.0 deg/sec로 급차선 변경에 대한 위험운전 판단 임계 값으로 설정하였다.

3.3 인간공학적 임계값 개발

3.3.1 실험절차 및 참가자

본 실험은 본 연구에서 사용된 시험차량의 선행연 구인 「위험운전 유형 분류 및 데이터 로거개발, 한국 ITS학회지 제25권, 제5호, 2008, 6」논문에서 개발 된 데이터 로거가 장착된 시험차량을 이용하였으며 시험차량의 내·외부는 그림 21과 같다.

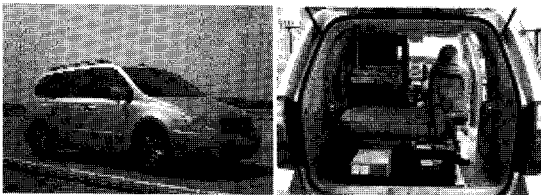


그림 21. 시험차량

선행연구를 통하여 개발된 시험차량을 이용하여 실험이 진행되었으며, 실험장소는 경기도에 위치한 교통안전공단 부설 자동차주행성능시험장에서 진행 되었다.

표 9. 실차 실험절차

순서	실험 절차	내 용
1	사전교육	실험절차, 목적설명 및 장소이동
2	연습 주행	차량환경 적응을 위한 연습주행
3	점심식사	시험장 내 구내식당
4	주행실험 1	선회 중 과속실험
5	주행실험 2	급출발 실험
6	주행실험 3	급정지 실험
7	주행실험 4	급격한 차선변경 실험
8	주행실험 5	연속적인 차선변경 실험
9	주행실험 6	급가속 실험
10	주행실험 7	급감속 실험

실험절차는 주행실험 1부터 7까지 총 5회에 걸쳐 다양한 주행속도로 나누어서 진행되었으며, 실험 참 가자는 Test Driver와 Operator의 총 12명(20대 남성3명, 여성4명, 30대 남성3명, 여성1명, 40대 남 성1명)으로 구성되었다.

3.3.2 위험운전 유형별 임계값 도출

• 직진구간 과속

직진구간 과속에 대한 인간공학적 접근방법에 대 하여 연구를 진행하였으나 본 실험을 진행한 교통안 전공단 자동차주행성능시험장에는 차량제한속도에 따른 직진구간 과속에 대한 인간공학적 임계치(kj) 를 실험하기에는 실험장소적 제약이 따르며, 위의 장 소외에 직진구간 과속에 대한 실험을 진행하기에는 현재 사용중인 도로구간을 제외하고는 현실적으로 설 계속도에 따른 제한속도가 규정되어져 있는 도로 에서의 위험성으로 인하여 실험이 불가하므로 직진 구간의 과속은 논리적 근거인 법적근거를 최종적인 근거로 설정하였다.

• 선회구간 과속

운전자 및 시스템 오퍼레이터를 제외한 피험자 12 인(3인 1조)이 시험차량(그랜드 카니발)에 탑승하여 오퍼레이터가 임의로 결정한 강·중·약의 무작위 순 서로 선회구간 실험을 각조 5회씩 진행하였다. 피험 자는 불쾌감을 느끼는 시점에 시험차량내부에 장착 되어있는 스위치를 누름으로서 불쾌감을 느낀 시점 의 가속도계 및 Yaw Rate센서 값을 저장한 후 후처 리를 통하여 데이터를 분석하였다. 데이터 분석결과 횡가속도 0.22G, Yaw Rate 9.48deg/sec로 분석되 었다.

• 급출발 및 급가속

선회구간 과속실험과 마찬가지로 운전자 및 시스 템 오퍼레이터를 제외한 피험자 12인(3인 1조)이 시 험차량(그랜드 카니발)에 탑승하여 급출발, 급가속 실험을 각조 5회씩 진행하였다. 급출발 실험은 시험 차량 최초의 속도가 0km/h에서 시작하여 60km/h까



지의 도달시간에 따라 급출발의 강도를 강·중·약으로 분류하였으며, 급가속은 최초 차량의 속도가 0km/h가 아닌 약 40km/h의 속도로 주행 중 급격한 속도상승을 통하여 100km/h까지의 달하는 시간에 따라 급가속의 강·중·약을 구분하였다. 선회구간 실험과 마찬가지로 피험자는 급격한 속도상승에 따른 불쾌감을 느끼는 시점에 시험차량내부에 장착되어있는 스위치를 누름으로서 불쾌감을 느낀 시점의 가속도계 값을 저장한 후 후처리를 통하여 데이터를 분석하였다. 데이터 분석결과 급출발 증가속도 0.14G, 급가속 증가속도 0.06G로 분석되었다.

• 급정지 및 급감속

급정지 및 급감속 실험은 급출발, 급가속 실험의 반대되는 상황의 실험으로서 급정지 실험은 시험차량이 주행 중 최종의 속도가 0km/h로 정지하는데 걸리는 시간에 따라 급정지의 강도를 강·중·약으로 분류하였으며, 급감속은 급정지와 마찬가지로 주행 중 차량의 속도를 급격히 감소시키는 것은 동일하나 시험차량의 최종속도가 0km/h가 아니라는 점에서 차이점을 가진다. 급출발, 급가속 실험과 같이 피험자는 급격한 속도하락에 따른 불쾌감을 느끼는 시점에 시험차량내부에 장착되어있는 스위치를 누름으로서 불쾌감을 느낀 시점의 가속도계 값을 저장한 후 후처리를 통하여 데이터를 분석하였다. 데이터 분석결과 급정지 증가속도 -0.32G, 급감속 증가속도 -0.34G로 분석되었다.

• 급차선 변경 및 연속적인 급차선 변경

급차선 변경 및 연속적인 급차선 변경 실험 또한 다른 실험들과 마찬가지로 운전자 및 시스템 오퍼레이터를 제외한 피험자 12인(3인 1조)이 시험차량(그랜드 카니발)에 탑승하여 오퍼레이터가 임의로 결정한 강·중·약의 무작위 순서로 급차선 변경 및 연속적인 급차선 변경실험을 각조 5회씩 진행하였다. 차선 변경 및 연속적인 차선변경은 1차선에서 2차선으로의 차선변경 시간을 얼마나 빨리 하느냐에 따라 피험자가 불쾌감을 느끼게 된다. 급차선 변경 및 연속적

인 급차선 변경 실차실험 결과는 주기 및 주파수, 횡가속도, Yaw Rate로 결정된다. 급차선 변경실험 결과 주기 및 주파수 5.80초, 횡가속도 0.21G, Yaw rate 5.34deg/sec로 분석되었으며, 연속적인 급차선 분석결과 주기 및 주파수 8.25초, 횡가속도 0.31G, Yaw Rate 7.40deg/sec로 분석되었다.

표 10. 논리적 임계값과 인간공학적 임계값 비교

위험운전 유형	검지장비	판단변수	임계값 (Ki)		
			논리적 임계값	인간공학적 임계값	
속도위반	직진구간 과속	Speedometer, GPS	차속	법규에 준함	-
	선회구간 과속	가속도계 Yaw Rate 센서	횡가속도 Yaw Rate	0.2G 8.6deg/sec	0.22G 9.48deg/sec
가속	급출발	가속도계	증가속도	0.2G	0.14G
	급가속	가속도계	증가속도	0.1G	0.06G
감속	급정지	가속도계	증가속도	-0.4G	-0.32G
	급감속	가속도계	증가속도	-0.4G	-0.34G
회전	급차선 변경	CPU	주기 및 주파수	4초	5.8초
		가속도계	횡가속도	0.2G	0.21G
		Yaw Rate 센서	Yaw Rate	5.0 deg/sec	5.34 deg/sec
	연속적인 급차선 변경	CPU	주기 및 주파수	8.0초	8.25초
		가속도계	횡가속도	0.2G	0.31G
		Yaw Rate 센서	Yaw Rate	7.0 deg/sec	7.4 deg/sec

본 연구에서는 논리적 임계값과 인간공학적 임계값의 통계검정을 시행하기 위하여 paired t-test를 실시하였다. 자료로부터 μ_1 (논리적 임계값)과 μ_2 (인간공학적 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.

통계검증결과 자유도가 22인 t 분포를 따른다. 따라서 기각역은 $R: t > t_{0.05}(22) = 1.717$ 이며, 본 연구의 $t = 0.162$ 로 기각역에 포함되지 않으므로 유의수준 0.05로 H_0 를 기각할 수 없다. 즉, 논리적 임계



값이 인간공학적 임계값과 차이가 없다는 결론이 도출되었다.

4. 결론

4.1 연구결과

본 연구에서는 사고감소 및 안전운전에 대한 사회적 요구에 부응하기 위하여 선행연구인「위험운전 유형 분류 및 데이터 로거개발, 한국ITS학회지 제7권, 제3호, 2008, 6」논문에서 분류하고 있는 위험운전 유형을 본 연구에 적용하였다.

분류된 위험운전 유형에 따라 차량동역학 시뮬레이션 프로그램 및 선행연구를 통하여 결정된 임계값을 반영하여 본 연구의 논리적 임계값을 개발하였으며, 데이터 로거가 장착된 실험차량을 이용하여 승객이 불쾌감을 느끼는 시점의 차량상태 정보를 측정하여 인간공학적 임계값을 개발하였다.

본 연구결과에서 나타나듯이 논리적 임계값과 인간공학적 임계값이 완벽히 일치하지는 않았지만, 전체적인 위험운전 유형에 대한 논리적 임계값과 인간공학적 임계값의 비교는 상당히 양호한 것으로 분석되었으며 통계검증을 실시하여 논리적 임계값과 인간공학적 임계값의 유의성을 검증하였다.

4.2 향후 연구과제

본 연구에서는 차량동역학 시뮬레이션 및 선행 연구를 통하여 도출된 논리적 임계값과 실험차량을 이용하여 개발된 인간공학적 임계값을 비교하여 매우 양호한 결과가 도출되었으나, 향후 연구에서는 다음과 같은 사항들이 보완되어야 할 것으로 판단된다. 첫째, 인간공학적 임계값을 산출하기 위한 과정 중 연령층이 20~40대로 제한적이므로 피험자 인원 확장 및 20~60대까지의 연령대별 실험이 진행되어야 할 것이다. 둘째, 논리적 임계값과 인간공학적 임

계값의 산출 전제조건을 최대한 맞추어야 한다. 셋째, 개발된 위험운전 임계값을 이용하여 각 위험운전 유형에 대한 위험운전유형 우선순위 모형을 개발하여야 한다. 마지막으로, 본 연구의 최종목적은 상용차량 즉, 대형트럭이나 버스 등에 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 한다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] 조준희, 이운성, 안전운전 관리시스템 개발, *Transactions of KSAE*, Vol15, No1, 2007, pp.71~77
- [2] 조병관, 송성재, ADAMS를 이용한 차량 조종안정성 해석, *한국자동차공학회논문집* 제4권 제5호, 1996, pp.109~118,
- [3] 한인환, 차량용 블랙박스 기술 특허분석 및 표준화 방안, *대한교통학회지* 제25권 제3호, 2007. 6. pp.29~43
- [4] 한인환, 양경수, 차량용 블랙박스를 활용한 위험운전 인지, *대한교통학회지* 제25권 제5호, 2007. 10, pp.149~160
- [5] 오주택, 조준희, 이상용, 김영삼, 위험운전 유형 분류 및 데이터 로거개발, *ITS학회논문지* 제7권 제3호, 2008, 6, pp.15~28
- [6] Matthew Shurtz, Effect of ABS Controller Parameters on Heavy Truck Model Braking Performance, *SAE*, 2006, 10

접 수 일: 2008. 8. 26
 심 사 일: 2008. 8. 28
 심사완료일: 2008. 12. 17