

■ 論 文 ■

## 신호교차로에서 버스와 승용차의 발진가속도 측정

Estimation of Acceleration Rates of Bus and Passenger car at Signalized Intersections

심재귀

(도로교통공단 경기지부)

이상수

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

### 목 차

- |   |   |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 연구의 배경 및 목적</li> <li>2. 연구의 범위 및 방법</li> </ol> <p>II. 이론적 배경 고찰</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 이론적 배경</li> <li>2. 관련 연구 고찰</li> </ol> | <p>III. 발진가속 추정 및 검증</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 자료수집</li> <li>2. 분석결과</li> <li>3. 통계적 검증</li> </ol> <p>IV. 결론<br/>참고문헌</p> |
|---|---|

Key Words : 발진가속도, 신호교차로, 버스, 승용차, 속도  
Acceleration rate, Signalized Intersections, Speed, Bus, Accident investigation

### 요 약

신호교차로에서 일시 정지 후 출발하는 차량의 최대 및 평균 발진가속도는 교차로 선진입 및 일시정지 여부가 쟁점이 되는 신호위반 교통사고 분석에서 중요한 해결의 실마리를 제공한다. 본 논문에서는 우리나라의 교통상황 특성이 반영된 차종별 발진가속도 값을 현장조사를 통하여 측정하여 제시하였다.

버스 및 승용차의 평균 발진가속도를 5m 간격 50m 까지 진행거리에 따라 추정한 결과, 버스의 평균 발진가속도는  $1.011\text{m/s}^2 \sim 1.314\text{m/s}^2 (0.1g \sim 0.13g)$ , 승용차는  $1.548\text{m/s}^2 \sim 1.818\text{m/s}^2 (0.16g \sim 0.19g)$ 로 파악되었고 관측된 모든 구간에서 차이가 있는 것으로 파악되었다. 그리고 차종별, 진행거리 위치별로 파악된 발진가속도의 차이는 통계적 분석결과 모두 유의한 수준으로 확인되었다. 본 연구에서 제시된 결과를 적용한다면 향후 신호위반 교통사고 분석 시 보다 합리적이고 정확한 추론이 가능할 것으로 예상된다.

The maximum and mean acceleration rates of vehicles estimated from the stopping conditions at signalized intersections provided an important clue to analyze traffic accident investigation when there was a dispute about legal liability such as first entering vehicle at the intersection, etc. This paper provided the maximum and mean acceleration rates of vehicles reflecting current traffic conditions in Korea through field studies.

The mean acceleration rates of vehicles at stopline were measured up to 50m at the intervals of 5m. Results showed that the mean acceleration rate for bus was found to be  $1.011\text{m/s}^2 \sim 1.314\text{m/s}^2 (0.1g \sim 0.13g)$ , and for passenger car was  $1.548\text{m/s}^2 \sim 1.818\text{m/s}^2 (0.16g \sim 0.19g)$ . Statistical test results indicated that the observed differences from vehicle types and vehicle positions were statistically significant for the all ranges tested. It is expected that the accuracy of accident investigation practice will be improved by applying the acceleration rate values presented in this paper.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

신호위반 교통사고는 안전운전불이행사고 다음으로 많이 발생하며, 신호위반 사고의 치사율은 과속, 중앙선 침범 사고의 치사율 보다는 낮지만, 일반도로의 사고와 비교하여 높게 나타난다. 그리고 2006년도의 경우 신호위반 사고로 인한 사상자 비용이 약 3,700억원에 이르는 막대한 피해를 동반하고 있다(도로교통공단, 2007).

그리고 신호위반 사고는 전체 교통사고 중 2002년 9.2%, 2005년 10.9%를 차지하였고, 2007년에는 전체 교통사고 발생 총 211,662건 중 25,624건으로 12.1%를 차지하며, 신호위반 사고의 비율이 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다(경찰청, 2009).

일반적으로 신호위반 사고는 신호변화 후 출발하는 차량과 무리하게 황색신호에 교차로에 진입하는 차량 사이에 자주 발생하며, 짧은 시간 차이에 의해 가해자·피해자가 구분되는 경우가 많다.

교차로의 선진입 여부 및 일시정지 여부가 쟁점이 되는 신호위반 교통사고를 분석할 경우, 최대 발진가속도 값을 추정하여 이를 충돌 시점의 속도 및 정지 후 출발하여 충돌지점에 도달하는 소요시간을 산출하는 과정이 매우 중요하다. 발진가속도 값은 차량 운전자의 성향, 차량의 성능 및 교차로의 기하 구조 등에 따라 차이를 나타내지만, 국내에는 발진가속도와 관련된 체계적인 연구 결과는 거의 없고, 대부분 외국의 자료에 의존하여 현실에 적용하고 있다. 따라서 우리나라 도로 및 교통상황을 반영한 발진가속도를 측정하여 사고분석에 활용한다면 보다 현실적이고 객관적인 결론을 도출할 수 있다.

특히 신호대기 후 선두에서 출발하는 버스의 발진가속도는 일반승용차의 발진가속도와 차이가 있을 것으로 예상되지만, 버스의 발진가속도에 관한 실험 자료가 거의 없는 실정이다. 따라서 현재는 버스 관련 교통사고를 분석함에 있어 일반적인 범위의 발진가속도 값 내에서 조사자가 주관적으로 선택하여 적용하고 있는 실정이다.

본 연구는 국내 신호교차로에서 신호대기 후 선두로 출발하는 버스와 승용차의 평균 및 최대 발진가속도를 산출하여 제시하는데 목적이 있다. 이를 위하여 국내 교차로에서 현장조사를 통하여 자료를 수집하고, 이에 대한 통계적인 분석을 실시하였다. 그리고 차종별, 거리별 요인에 따른 차이를 검증하고 향후 적용 가능한 범위의 값을 제시하였다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 문헌조사를 통하여 발진가속도 관련 연구에 대한 고찰을 실시하였다. 그리고 국내 교통 환경을 반영하는 발진가속도 값을 도출하기 위하여 실제 현장조사를 통하여 자료를 수집하였다.

자료 수집은 경기도내 광로에 위치하고 시거가 양호한 2곳의 신호교차로에서 수행되었고, 버스와 승용차를 구분하여 자료를 분석하여 차종별 발진가속도의 차이를 평가하였다. 그리고 이러한 차이에 대하여 통계적 검증을 실시하여 도출된 결과의 신뢰성 및 객관성을 확보하였다. 그리고 본 연구의 결과와 향후 연구 과제를 결론 부분에 요약하여 제시하였다.

## II. 이론적 배경 고찰

### 1. 이론적 배경

#### 1) 발진가속도의 정의

본 연구에서 정의한 발진가속도란 “신호교차로에서 일시 정지 후 출발하는 선두 차량의 평균가속도”를 의미하며, 기호는  $a$ , 단위는  $m/s^2$ 로 나타낸다.

#### 2) 발진가속계수의 정의

발진가속계수는 발진가속도를 중력가속도( $g=9.8m/s^2$ )와 비교한 비례상수이며, 기호는  $A$ 로 표시하고, 단위는 없었다.

$$A = \frac{a}{g} \quad (1)$$

여기서,  $A$ : 발진가속계수

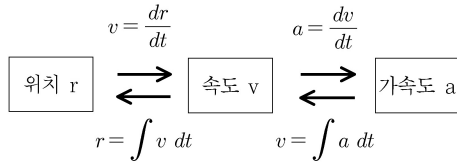
$a$ : 발진가속도( $m/s^2$ )

$g$ : 중력가속도( $9.8 m/s^2$ )

#### 3) 평균가속도의 정의 및 위치, 속도, 가속도의 관계

평균가속도(average acceleration)란 시간  $t$ 에서 물체의 속도가  $v(t)$ 이고, 시간  $t + \Delta t$ 에서 속도가  $v(t + \Delta t)$ 인 경우, 시간 구간  $\Delta t$  동안의 속도 변화율  $\Delta v$ 를 의미한다.

$$\text{즉, } a = \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2)$$



<그림 1> 위치, 속도 및 가속도의 관계

4) 발진가속도의 산출 방법

발진가속도는 다음과 같이 주어진 조건에 따라 다양한 형태로 산출이 가능하다.

$$a = \frac{v_e - v_i}{t} \quad (t, v_i, v_e \text{가 주어졌을 때}) \quad (3)$$

$$a = \frac{2d - 2v_i t}{t^2} \quad (t, v_i, d \text{가 주어졌을 때}) \quad (4)$$

$$a = \frac{v_e^2 - v_i^2}{2d} \quad (v_i, v_e, d \text{가 주어졌을 때}) \quad (5)$$

$$a = fg \quad (f \text{가 주어졌을 때}) \quad (6)$$

여기서,  $v_i$  : 처음속도(m/s),  $v_e$  : 나중속도(m/s),  
 $t$  : 소요시간(s),  $d$  : 진행거리(m),  
 $f$  : 전인계수,  $g$  : 중력가속도(m/s<sup>2</sup>)

5) 속도 산출 방법

본 연구에서 발진가속도를 추정하기 위하여 필요한 속도는 다음 공식을 이용하여 산출하였다.

$$v_e = v_i + at \quad (7)$$

또는

$$v_e = \sqrt{v_i^2 + 2ad} \quad (8)$$

6) 자동차의 구동력과 발진가속도의 한계

자동차가 출발하여 움직이는데 발생하는 엔진 외부의 저항을 주행저항(R)이라 하며, 주행저항(R)에는 구름저항, 공기저항, 경사저항 및 가속저항이 있다(林洋, 1992).

자동차의 가속능력은 구동력과 이와 같은 저항력에 따라 달라지는데, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$F_D = R + \frac{W \cdot a}{g} \quad (9)$$

여기서,  $F_D$  : 바퀴에 전달되는 구동력(kgf),  
 $W$  : 차량 총 중량(kgf),  
 $R$  : 주행저항(kgf),

위 식(9)를 다시 쓰면,

$$a = \frac{(F_D - R)g}{W}$$

로써, 가속도는 구동력 ( $F_D - R$ )에 비례하고, 차량의 중량 W에 반비례한다.

그러나 구동바퀴의 구동력이 아무리 커져도 타이어가 지면에서 미끄러지면 자동차는 전진할 수 없게 된다. 후륜 자동차의 경우 구동력 F는 후축 하중  $W_D$ 로 억제되면서 뒤쪽으로 미끄러지려는 뒷바퀴 타이어의 마찰저항력  $\mu_D W_D$ 의 반력으로서 작용한다. 즉,  $F_D = \mu_D W_D$ 이다.

여기서,  $W_D$  : 구동륜하중(kgf)

$\mu_D$  : 노면 · 타이어의 마찰계수(구동력계수)

$\mu_D$ (구동력계수)는 제동마찰계수와 같이 타이어의 슬립비에 따라 변화하여 건조 노면에서 최대 1.0~1.4에 이른다. 이때, 뉴턴의 제2 법칙에 따라서 다음의 관계식을 정의할 수 있다.

$$F_D = \left(\frac{W}{g}\right)a = \mu_D W_D$$

$$\therefore a = \frac{W_D}{W} \mu_D g$$

일반적으로,  $\frac{W_D}{W} \approx 0.5$  이므로,

$$a = 0.5 \times (1.0 \sim 1.4)g = (0.5 \sim 0.7)g \text{이다.}$$

그리고 4륜 구동차의 경우에는  $\frac{W_D}{W} = 1$  이므로  $a = (1.0 \sim 1.4)g$ 에 이른다.

2. 관련 연구 고찰

강종호(2007)등은 자동차의 속도와 가속도에 따른 차량 배출가소를 예측하는 모형의 필요성을 제시하고 이에 대한 연구 방향을 제기하였다. 홍승표(2007)등은 VMS 정보에 대한 운전자의 반응특성을 평가하기 위한 변수로 속도와 발진가속도를 적용하였다. 연구는 수집된 자료를

이용하여 확률밀도 함수를 추정하였고 이를 미시적 교통류 모형에 적용할 것을 제안하였다. 그러나 이러한 연구들은 가속도 자료를 차량 흐름의 변화를 측정하기 위한 지표로 사용하였고, 본 연구와 같이 발진 가속 자료를 사고분석 과정에 응용하기 위한 연구와는 관련이 없다.

도로교통공단(2002)에서 국내의 사고 재현시 사용하고 있는 자료에 따르면“우리나라 일반적인 자동차의 최대 가속상태는 0.3g 이내이고, 일반적으로 신호대기 후 진행신호에 따라 출발하는 차량의 가속상태는 약 0.1g ~0.15g 내외 정도이다”라고 정의하고 있다. 하지만 이는 차종별의 특성을 구분하지 않고 외국의 자료를 인용하여 일반적인 범위값을 제시하는 데 그치고 있다.

도로교통공단(2007)은 교차로에 진입하는 차량에 대한 출발지체시간과 가속도를 3지교차로 1개소에서 소형차량만을 대상으로 측정하였다. 연구결과 가속도의 값은 1.0g ~1.44g 사이에 존재하고 평균가속도는 1.36g로 제시하였다. 그러나 이 연구결과는 소형차에 한정되고, 실험조건이 기존의 연구와 큰 차이가 있다. 따라서 실험으로 측정된 결과 값도 기존의 연구에 비하여 매우 크게 나타나 이를 현장에 직접적으로 적용하는 것 보다는 특수한 조건하에서 측정된 연구결과로 인용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

이대희(2008)는 발진가속계수를 보다 세분화하여 측정하고 이를 기존의 값과 비교한 결과를 제시하였다. 연구 결과로 발진가속도는 도심과 지방과 같이 지역에 따른 차이는 없으나, 차종별로 구분하여 적용하는 것이 타당하다는 의미 있는 결론을 도출하였다.

일본에서는 발진가속과 관련된 많은 실험이 수행되었고, 시가지 및 교외 교차로에서 차의 발진가속도의 실험을 통하여 다음과 같은 일반적인 경향이 파악되었다(김준택, 2004). 발진가속도는 일반적으로 peak시 0.2g 전후이고, 앞에 차가 많을수록 가속시간이 짧아진다. 그러나 전방에 정체가 발생할 때 발진가속도는 0.1g 대로 떨어지고, 전방의 시거가 충분한 교차로 경우에도 발진가속도가 peak시 0.3g 대를 초과하는 일은 거의 없다. 연구결과를 정리한 내용 중 일부는 <표 1>에 제시되어 있다.

林洋과 山上(1992)등은 시간에 따른 발진가속도의 변화를 분석한 결과, 가솔린 승용차의 경우 차량의 발진 후 0~1.2초사이의 가속도(a)는 약 1.63 %%(0.166g)로 조사되었고, 발진 후 1.2초 이후 가속도(a)는 1.96 %%(0.2g)로 파악되었다.

도로교통공단(2001)교통사고 조사지침에 수록된 자

<표 1> 발진한 차량의 주행거리와 속도의 관계

case	거리(m)	도달 속도, m/s	가속도(a)
선두차로 발진	20	8.89	0.20g
선두차로 발진	40	11.67	0.17g
후속차로 발진	20	7.22	0.13g
후속차로 발진	40	9.44	0.11g

<표 2> 가속 및 감속에 대한 가속도의 변화값

차량 형태	속도(km/h)	가속도(a)
승용차, 보통가속	32	0.149g
	32-64	0.1g
	64	0.05g
승용차, 급가속	32	0.3g
	32-64	0.149g
	64	0.1g
승용차, 감속	32	0.1g
	32-64	0.018g
	64	0.038g
보통트럭, 보통가속	32	0.1g
	32-64	0.05g
	64	0.03g
대형트럭, 적제한 상태, 보통가속	32	0.05g
	32-64	0.03g
	64	0.009g

<표 3> 노스웨스턴대학교 교통연구소 실험자료

차량 상태	속도 범위	가속도(a)
자유낙하		1.0g
승용차의 일반적 가속	30km/h 미만	0.15g
	30~60km/h	0.10g
	60km/h 이상	0.05g
승용차의 급가속	30km/h 미만	0.30g
	30~60km/h	0.15g
	60km/h 이상	0.10g
승용차의 기어를 주행상태에서 중립으로 한 경우	30km/h 미만	-0.01g
	30~60km/h	-0.02g
	60km/h 이상	-0.04g
승용차가 고단기어 상태에서 엔진브레이크	30km/h 미만	-0.04g
	30~60km/h	-0.05g
	60km/h 이상	-0.08g
브레이크를 가볍게 밟은 경우		-0.10g
보통의 브레이크(스키드마크 없음)		-0.20g

료에 따르면 외국에서 승용차와 트럭을 대상으로 가속 및 감속 형태에 대한 가속도의 변화값을 실험한 자료는 <표 2>와 같이 나타나 있다.

그리고 유사한 실험에 대한 미국 노스웨스턴대학교 교통연구소(Northwestern University Traffic Institute)의 실험자료 결과는 <표 3>과 같이 나타나 있다.

이와 같이 발진 가속도와 관련된 외국자료는 승용차

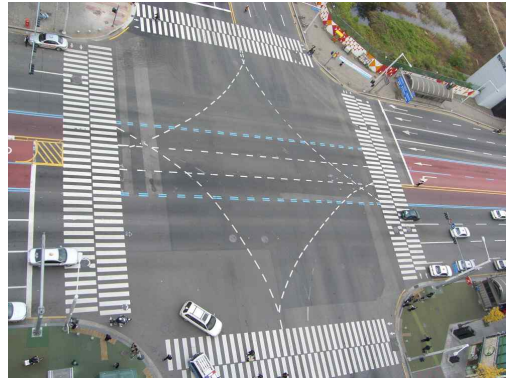
및 트럭에 대하여 인용이 가능하지만, 국내에서는 차종 구분에 따른 체계적인 실험 자료가 매우 부족한 실정이다. 특히 대형차량 및 버스등과 같이 소형차량에 비하여 기계적인 특성이 큰 차이가 있는 차종에 대한 종합적이고 체계적인 연구가 필요하다고 판단된다.

### III. 발진가속 추정 및 검증

#### 1. 자료수집

##### 1) 자료수집 교차로

신호교차로에서 일시 정지 후 출발하는 차량의 발진가속도는 교차로의 크기와 형태, 그리고 운전자의 성향 및 차량 성능 등에 따라 차이가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 거리에 따른 가속도의 변화를 파악하기 위하여 교차로 폭이 약 50 m 내외의 광로에 위치한 4지 교차로 2곳을 선정하여 현장조사를 실시하였다. 대상 교차로는 일산의 백석역 사거리 및 부천의 KT 사거리이고, 신호대기 후 출발하는 버스 및 승용차를 대상으로 5m 간격 50m까지 진행되는 동안의 소요시간을 측정하였다. 현장교차로에 대한 사진은 <그림 2>, <그림 3>에 제시되어 있다.



<그림 2> 경기도 일산 백석역 사거리



<그림 3> 경기도 부천 KT 사거리

##### 2) 자료 수집 방법

실험 대상 차량의 정지 지점은 가변적이고 미리 측정할 수 없는 상황이다. 그러나 일반적인 차량은 정지선 부근에서 정지 후 출발하므로 출발 정지선을 기준으로 하여 정지선 전·후 약 10m 구간에는 1m 간격으로 청 테이프 및 락카 스프레이로 표시점 및 거리를 표기하였고, 교차로 내(內)는 5m 간격으로 청 테이프 및 락카 스프레이로 표시점 및 거리를 표시한 후, 선두에서 신호대기 후 출발하는 차량의 움직임을 노면 표시와 함께 인근 옥상에서 캠코더로 녹화하였으며, 그 후 분석 프로그램을

이용하여 출발 차량들의 5m 간격 이동거리에 따른 소요시간을 분석하였다.

자료 수집시 출발 차량의 전방 약 200m 이상으로 주행 장애가 없는 도로 상태이고, 선두에서 신호 변화를 예측하고 미리 서서히 출발하는 차량 등은 자료 수집 대상에서 배제하였으며, 날씨는 맑고 노면은 건조한 상태였다.

##### 3) 수집 대상 및 표본 수

본 연구에서는 운전자의 성별이나 나이, 운전자의 성

<표 4> 자료 수집 대상 차량의 규모별 특성

차종		차량 수(대)	총계
버스	중형(승차정원이 16인이상/35인이하이거나, 길이·너비·높이중 하나라도 소형을 초과하여 길이가 9미터 미만인 것)	4	총 31 대
	대형(승차정원이 36인이상이거나 길이·너비·높이모두가 소형을 초과하여 길이가 9미터이상인 것)	27	
승용차	경형(배기량이1000cc미만으로서 길이 3.6 미터 ·너비 1.6미터·높이 2.0미터이하인 것)	2	총 31 대
	소형(배기량이 1,500cc미만인 것으로서 길이 4.7미터, 너비 1.7미터, 높이 2.0미터이하인 것)	8	
	중형(배기량이1,500cc이상2,000cc미만이거나 길이·너비·높이 중 어느 하나라도 소형을 초과하는 것)	12	
	대형(배기량이2,000cc이상이거나,길이·너비·높이 모두가 소형을 초과하는 것)	9	

향, 차량의 탑승인원 및 차량의 성능(수동기어 또는 자동기어 등)등은 자료 수집의 한계점을 가지고 있어 고려하지 않았다. 그리고 신호 대기 후 선두에서 출발하는 버스 및 승용차를 자료 수집 대상으로 하였고, 각 차종별, 지점별로 31개의 자료가 수집되었다. 본 연구에서 정의된 차량 규모별 특성은 <표 4>와 같다.

2. 분석결과

1) 버스 및 승용차의 진행거리별 소요시간

실험 교차로에서 수집된 버스와 승용차가 정지 상태에서 출발하여 5m 간격으로 50m 까지 진행하는데 소요된 시간은 <표 5> 및 <표 6>과 같다.

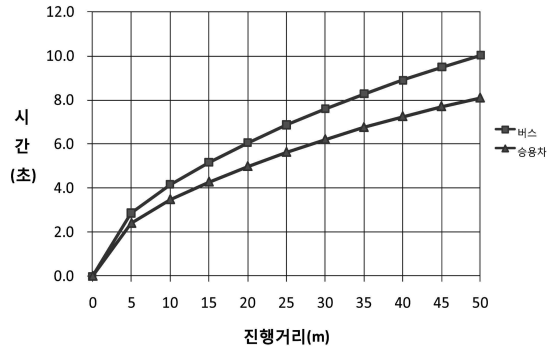
<표 5> 및 <표 6>에서와 같이 진행거리별 소요시간은 차량의 성능 등에 따라 다소 차이가 발생하는 것으로 나

<표 5> 버스의 5m 간격 50m까지 진행 소요시간

진행거리 (m)	최소 소요시간 (초)	최대 소요시간 (초)	평균 소요시간 (초)	표준편차	99% 신뢰구간
5	2.3	4.1	2.868	0.525	2.868±0.243
10	3.5	5.4	4.168	0.560	4.168±0.259
15	4.4	6.4	5.171	0.597	5.171±0.276
20	5.3	7.3	6.055	0.632	6.055±0.292
25	6.0	8.1	6.865	0.662	6.865±0.306
30	6.7	8.8	7.603	0.680	7.603±0.315
35	7.3	9.6	8.271	0.699	8.271±0.323
40	7.9	10.3	8.897	0.712	8.897±0.329
45	8.4	11.0	9.490	0.734	9.490±0.339
50	8.9	11.6	10.023	0.756	10.023±0.350

<표 6> 승용차의 5m 간격 50m까지 진행 소요시간

진행거리 (m)	최소 소요시간 (초)	최대 소요시간 (초)	평균 소요시간 (초)	표준편차	99% 신뢰구간
5	2.0	3.3	2.403	0.336	2.403±0.156
10	2.9	4.5	3.481	0.435	3.481±0.201
15	3.6	5.5	4.281	0.487	4.281±0.226
20	4.2	6.4	4.984	0.530	4.984±0.245
25	4.8	7.1	5.629	0.560	5.629±0.259
30	5.3	7.7	6.210	0.586	6.210±0.271
35	5.8	8.3	6.758	0.613	6.758±0.284
40	6.2	8.9	7.252	0.649	7.252±0.300
45	6.6	9.4	7.706	0.682	7.706±0.315
50	6.9	9.8	8.097	0.695	8.097±0.322



<그림 4> 진행거리별 평균 소요시간

타내고, 버스의 경우 표준편차와 신뢰구간 값이 승용차에 비하여 크게 나타났다. 이와 같은 평균 소요시간 결과를 그래프로 나타내면 <그림 4>와 같다.

2) 버스 및 승용차의 진행거리별 발진가속도

앞에서 측정된 버스 및 승용차의 5m 간격 50m까지의 진행거리에 따른 평균 소요시간을 식(4)에 대입하여 발진가속도를 산출하면 <표 7>, <표 8>의 결과를 얻는다. 각 표에 제시된 결과는 최소 및 최대 발진가속도, 평균 발진가속도, 표준편차 및 이에 대한 99% 신뢰구간이며, 실험 자료를 근거로 산출하여 정리하였다.

버스의 발진가속도는 0.103g~0.134g의 범위로 나타났다, 5m 지점초기에 가장 큰 값으로 파악되었다. 승용차의 경우에는 0.159g~0.186g의 범위로 파악되었고, 역시 5m 지점초기에 평균적으로 가장 큰 발진가속도 값을 나타내는 것을 알 수 있었다.

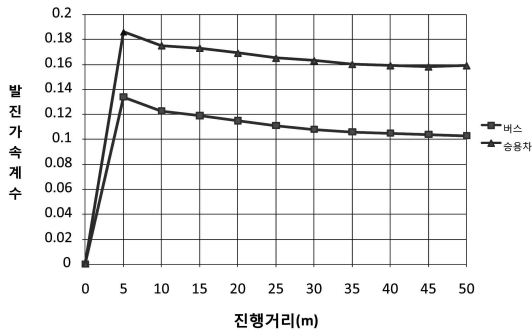
이와 같은 버스 및 승용차의 각 진행거리별 평균 발진

<표 7> 버스의 진행거리별 발진가속도

진행거리 (m)	최소 발진가속도 (m/s²)	최대 발진가속도 (m/s²)	평균 발진가속도 (m/s²)	표준편차	99% 신뢰구간	평균발진가속 계수(g)
5	0.595	1.890	1.314	0.375	1.314±0.173	0.134
10	0.686	1.633	1.205	0.278	1.205±0.129	0.123
15	0.732	1.550	1.162	0.240	1.162±0.111	0.119
20	0.751	1.424	1.123	0.215	1.123±0.099	0.115
25	0.762	1.389	1.088	0.196	1.088±0.091	0.111
30	0.775	1.337	1.061	0.179	1.016±0.083	0.108
35	0.760	1.314	1.044	0.167	1.044±0.077	0.106
40	0.754	1.282	1.029	0.155	1.029±0.072	0.105
45	0.744	1.276	1.016	0.148	1.016±0.069	0.104
50	0.743	1.262	1.011	0.144	1.011±0.066	0.103

<표 8> 승용차의 진행거리별 발진가속도

진행거리 (m)	최소 발진 가속도 (m/s <sup>2</sup> )	최대 발진 가속도 (m/s <sup>2</sup> )	평균 발진 가속도 (m/s <sup>2</sup> )	표준 편차	99% 신뢰구간	평균발진 가속 계수(g)
5	0.918	2.500	1.818	0.431	1.181±0.199	0.186
10	0.988	2.378	1.720	0.385	1.720±0.178	0.175
15	0.992	2.315	1.694	0.349	1.694±0.162	0.173
20	0.977	2.268	1.659	0.320	1.659±0.148	0.169
25	0.992	2.170	1.620	0.296	1.620±0.137	0.165
30	1.012	2.136	1.594	0.280	1.594±0.129	0.163
35	1.061	2.081	1.567	0.265	1.567±0.123	0.160
40	1.010	2.081	1.555	0.261	1.555±0.121	0.159
45	1.019	2.066	1.548	0.259	1.548±0.120	0.158
50	1.041	2.100	1.557	0.255	1.227±0.118	0.159



<그림 5> 버스 및 승용차의 진행거리별 평균 발진가속도계수

가속도를 그래프로 나타내면 <그림 5>와 같다. 발진가속도는 처음 정지 상태에서 5m 까지 진행할 때가 가장 높고, 이후 진행거리에 따라 완만하게 낮아지는 것으로 파악되었다. 발진가속도계수(g)의 결과도 발진가속도와 유사한 경향을 나타낸다.

3) 버스 및 승용차의 진행거리별 평균 속도

버스 및 승용차의 평균 발진가속도 결과를 식(8)에 대입하여 추정된 진행거리별 평균 속도(km/h)는 <표 9>와 같다. <그림 4>의 결과로부터 예측하듯이, 5m~50m 전 구간에서 승용차의 평균 속도가 버스의 평균 속도보다 높은 것으로 파악되었고, 이는 매우 합리적인 결과라고 판단된다.

<표 9> 버스 및 승용차의 진행거리별 평균 속도

진행거리 (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
버스 (km/h)	12.9	17.6	21.1	24.0	26.4	28.6	30.7	32.6	34.3	36.1
승용차 (km/h)	15.2	21.0	25.5	29.2	32.3	35.1	37.6	40.0	42.3	44.8

<표 10> 발진가속도 평균차이에 대한 t-test 결과

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
	F	Sig.	t	df	Sig.
5m	.948	.334	-4.914	60	.000
10m	3.631	.062	-6.033	60	.000
15m	3.850	.054	-6.999	60	.000
20m	3.948	.052	-7.735	60	.000
25m	4.023	.049	-8.355	60	.000
30m	4.122	.047	-8.941	60	.000
35m	4.574	.037	-9.307	60	.000
40m	5.387	.024	-9.638	60	.000
45m	6.533	.013	-9.943	60	.000
50m	6.442	.014	-10.370	60	.000

3. 통계적 검증

1) 차종별 발진가속도 차이 검증

버스와 승용차의 차종별 발진가속도 값의 차이에 대하여 각각의 진행거리별로 통계적 검증을 실시하였고, 이를 위하여 유의수준  $\alpha = .01$  값을 채택하여 t-test를 수행하였다. 본 연구에서 수집된 자료의 크기가 30개 이상 이므로 중심극한의 정리에 따라 Z-test를 할 수 있으나, t-test를 하는 것이 보다 엄격하다는 측면에서 t-test를 선정하였다(이학식등, 2007).

가설검정을 위한 귀무가설과 대립가설은 다음과 같이 설정하였고, 귀무가설은 “진행거리별 버스 및 승용차의 평균 발진가속도는 같다”이다.

$$H_0 : \mu_{\text{버스}} = \mu_{\text{승용차}}$$

$$H_a : \mu_{\text{버스}} \neq \mu_{\text{승용차}}$$

t-test 결과는 <표 10>과 같다.

위 <표 10>에서 Levene's 등분산 검증 결과 p-value 값이 모든 구간에서  $\alpha = .01$ 보다 크기 때문에 등분산이 성립되었다. 그리고 등분산이 가정된 양측검정에서 모든 구간의 t값이 기각영역에 속하고, 유의확률이 .000으로서 귀무가설은 기각되었다. 그러므로 5m 간격별 진행거리에 따른 버스 및 승용차의 평균 발진가속도는 차이가 있는 것으로 나타났다.

2) 거리별 발진가속도 차이 검증

진행거리 위치에 따른 발진가속도 값의 차이에 대한 통계적 유의성을 확인하기 위하여 버스와 승용차 각각의 자료를 이용하여 일원분산분석(ANOVA)기법을 이용한 통계적 검증을 실시하였다(이학식등, 2007).

버스에 대한 분석결과는 <표 11>과 같다. 분산분석표에서 p-value=.000으로 계산되므로 버스의 5m 간격 50m까지 진행거리 위치별 평균 발진가속도는 차이가 있다고 판단할 수 있다.

위와 같이 버스의 진행거리 위치별 평균 발진가속도 값에 차이가 있는 것으로 파악되었고, 이를 그룹화하기 위하여 Tukey's Test 기법을 이용한 다중비교를 수행하였다(Mendenhall, 1986).

이에 대한 결과는 <표 12>에 나타나 있다. <표 12>를 분석하면, 버스는 (5m - 15m), (10m - 40m), (15m - 50m)의 3구간이 동일한 그룹으로 묶일 수 있음을 나타낸다. 이는 발진 초기의 가속도 값이 높고, 이후 구간에서는 완만히 하향하여 감소하는 평균 발진가속도 값의 추세에 기인하는 것으로 판단된다.

<표 11> 버스의 분산분석 결과

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Betw. Groups	2.664	9	.296	6.088	.000
Within Groups	14.587	300	.049		
Total	17.252	309			

<표 12> Tukey's Test 결과: 버스

Homogeneous Subsets

버스

Tukey HSD<sup>a</sup>

거리	N	Subset for alpha=.05		
		1	2	3
50.000	31	1.01121		
45.000	31	1.01587		
40.000	31	1.02870	1.02870	
35.000	31	1.04367	1.04367	
30.000	31	1.06104	1.06104	
25.000	31	1.08836	1.08836	
20.000	31	1.12349	1.12349	
15.000	31	1.16194	1.16194	1.16194
10.000	31		1.20536	1.20536
5.000	31			1.31418
Sig.		.182	.055	.171

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a. Uses Harmonic Mean Sample Size=31.000

<표 13> 승용차의 분산분석 결과

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Betw. Groups	2.208	9	.245	2.467	.001
Within Groups	29.835	300	.099		
Total	32.044	309			

<표 14> Tukey's Test 결과: 승용차

승용차

Tukey HSD<sup>a</sup>

거리	N	Subset for alpha=.05	
		1	2
45.000	31	1.54834	
40.000	31	1.55494	
50.000	31	1.55690	
35.000	31	1.56734	1.56734
30.000	31	1.59399	1.59399
25.000	31	1.62029	1.62029
20.000	31	1.65940	1.65940
15.000	31	1.69432	1.69432
10.000	31	1.71984	1.71984
5.000	31		1.81791
Sig.		.500	.059

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a. Uses Harmonic Mean Sample Size=31.000

승용차에 대한 분산분석 결과는 <표 13>에 제시되어 있다. 분산분석표에서 p-value=.001으로 파악되어 승용차의 경우에도 버스와 같이 5m 간격 50m까지 진행거리 위치별 평균 발진가속도는 차이가 있다고 판단된다.

마찬가지로 승용차의 진행거리 위치별 평균 발진가속도 값에 차이가 있으므로, 이를 그룹화하기 위하여 Tukey's Test 기법을 이용한 다중비교를 수행하였고 결과는 <표 14>와 같다.

<표 14>에서, 승용차는 (5m - 35m) 구간이 동일한 그룹으로, (10m - 50m) 구간이 동일한 그룹으로 묶일 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 승용차의 경우에는 정지 상태에서 5m까지 발진가속도의 차이가 있고, 5m와 10m 사이에도 차이가 존재한다고 볼 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 문헌조사를 통하여 발진가속도 관련 연구를 고찰하고, 실제 현장조사를 통하여 국내 교통 환경을 반영하는 차종별 발진가속도 값을 도출하여 제시하였다.



정지선에서 전방 50m까지 구간의 진행거리 위치별 버스의 평균발진가속도는  $1.011\text{m/s}^2 \sim 1.314\text{m/s}^2 (0.103g \sim 0.134g)$ 로 추정되었고, 승용차는  $1.548\text{m/s}^2 \sim 1.818\text{m/s}^2 (0.159g \sim 0.186g)$ 로 파악되었다.

이와 같은 버스와 승용차의 차종별 발진가속도 값의 차이에 대하여 각 진행거리별로 통계적 검증을 실시한 결과, 5m 간격 50m까지 모든 구간에서 평균 발진가속도는 유의한 차이가 있음이 확인되었다. 따라서 버스와 승용차는 차종에 따라 다른 발진가속도 값을 갖으며, 이를 사고 분석 과정에 반영하는 것이 타당하다고 판단된다.

그리고 진행거리 위치에 따른 발진가속도 값의 차이에 대한 분산분석을 실시한 결과, 버스와 승용차가 5m 간격 50m까지 진행거리 위치별 평균 발진가속도 차이가 있는 것으로 나타났다. 버스는 3그룹, 승용차는 2그룹으로 묶일 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 승용차의 경우에는 정지 상태에서 5m까지 발진가속도의 차이가 있고, 5m와 10m 사이에도 차이가 존재한다고 볼 수 있다.

본 연구는 기존의 일반적인 범위로 제시된 형태로 사용되고 있는 발진가속도 값에 대하여, 국내 신호교차로 환경에서 버스 및 승용차의 차종별 평균 발진가속도를 측정하여 제시하였다. 특히 국내외적으로 연구 결과가 매우 적은 버스의 평균 발진가속도를 측정하여 제시한 사실에 큰 의미를 갖는다. 향후에는 차종을 보다 세분화하고, 상황에 대한 시나리오를 다양화하여 보다 종합적이고 체계화된 발진가속도 값을 도출하는 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- 1. 도로교통공단(2007),“2006 도로교통 사고비용의 추계와 증가”.
- 2. 경찰청(2009), “2008년도 교통사고통계”.

- 3. 林洋(1992), “자동차사고감정공학”, 技術書院, pp.93~95.
- 4. 강중호·이청원(2007), “교통환경분야의 국내외 연구동향 및 시사점 (차량배출량 관련 연구를 중심으로)”, 대한교통학회지, 제25권 제6호, 대한교통학회, pp.7~18.
- 5. 홍승표·박준형·오철·장명순(2007), “VMS에 대한 운전자 반응특성 분석 (DGPS를 이용한 가속도 자료 분석을 중심으로)”, 대한교통학회지, 제25권 제6호, 대한교통학회, pp.111~120.
- 6. 도로교통공단(2002), “교통사고 재현 매뉴얼”, 도로교통공단 교통안전학교, p.341.
- 7. 도로교통공단(2007), “교차로 진입차량의 가속도에 관한 연구”, pp.1~22.
- 8. 이대희(2008), “발진가속도계수의 응용”, 도로교통사고감정사 소식지.
- 9. 김준택 외 8인 譯編(2004), “자동차 사고감정공학”, 골든벨.
- 10. 林洋, 山上 勝, 大慈彌 雅弘 著, 姜聖模 譯 (1992), “자동차사고감정기법”, 法律新聞社.
- 11. 도로교통공단(2001), “교통사고 조사 매뉴얼”, 도로교통공단 교통안전학교, p.574.
- 12. 이학식·임지훈(2007), “SPSS 12.0 매뉴얼”, 법문사.
- 13. Mendenhall, W., R. Scheaffer, and D. Wackerly (1986), “Mathematical Statistics with Applications”, 3rd edition, Duxbury.
- 14. 홍장표·송철기(2005), “동역학”, 북스힐.
- 15. 고재걸·정해두(2007), “역학”, 북스힐.
- 16. Fugger, T., J. Wobrock, B. Randles, A. Stein, and W. Whiting(2001), “Driver Characteristics at Signal-Controlled Intersections” SAE paper 2001-01-0045.
- 17. 도철웅(2006), “교통공학원론(상)”, 청문각, pp.27~29.

- ☞ 주 작 성 자 : 심재귀
- ☞ 교 신 저 자 : 이상수
- ☞ 논문투고일 : 2009. 6. 17
- ☞ 논문심사일 : 2009. 7. 14 (1차)
- 2009. 11. 13 (2차)
- ☞ 심사판정일 : 2009. 11. 13
- ☞ 반론접수기한 : 2010. 4. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필