

## 연속류 도로에서 차량의 주행속도 분석을 통한 정지시거 적용 The Application of Optimum Stopping Sight Distance from Vehicle Driving Speed in Continuous Flow Road

이종출<sup>1)</sup> · 김희규<sup>2)</sup> · 노태호<sup>3)</sup> · 박규열<sup>4)</sup>

Lee, Jong Chool · Kim, Hee Kyu · Rho, Tae Ho · Park, Kyu Yeol

<sup>1)</sup> 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)

<sup>2)</sup> 경남정보대학 건설정보과 교수(E-mail:Kimhg51@hanmail.net)

<sup>3)</sup> 부경대학교 대학원 토목공학과 박사수료(E-mail:rth1348@mail1.pknu.ac.kr)

<sup>4)</sup> 부경대학교 대학원 토목공학과 석사과정(E-mail:cromel@mail1.pknu.ac.kr)

### Abstract

In this study, speed survey has been conducted on Pusan Freeway to identify actual running speed. therefore, suggest that Highway Design Regulations and Highway Design Standard from Ministry of Construction and Transportation, which requires stopping sight distance for 20% less speed when rainy condition in accordance with Highway Safety Act, is not coincident with driver's characteristics. Consequently, it is prudent to compute stopping sight distance with 85th percentile running speed, considering driver's actual behavior and mountainous terrain.

### 1. 서 론

2003년 7월 개정된 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙을 살펴보면 운전자의 안전을 위한 도로의 정지시거에 관한 규칙에서 기존의 정지시거 확보에 필요한 길이가 설계속도에 의해 결정되던 것이 주행속도로 개정되었다. 이에 따른 규정에서 주행속도의 결정은 단지, 설계속도에 따라 85%~100%로 주행속도를 적용한 것이며, 이는 주행속도와 관련된 외국의 규정과 기 연구된 문헌에 의해 결정된 것이지만, 실제 우리나라 운전자를 대상으로 주행속도에 대한 연구·검증을 하여 주행속도에 관한 실험적 연구가 필요하다고 판단하였다.

따라서, 본 연구에서는 설계속도별 연속류 흐름을 가진 대상도로를 선택하여, 대상도로의 비침두시간을 정하여, 디지털 비디오 카메라에 의한 촬영을 실시하여 구간 주행속도를 추출하는 연구를 수행하였다. 각 대상구간의 거리는 수치지도 및 측량, 윤정계(odometer)등을 이용하여 측정하였고, 영상의 분석을 통하여 차량의 구간통과시간을 산정하여 설계속도별, 차종별 주행속도를 추출하였다. 그에 대한 검증으로 차량의 DGPS를 장착하여 대상도로를 주행하면서 디지털 비디오 카메라에 의한 주행속도와 비교·검증을 실시하였다. 이를 통하여 향후, 단속류 도로의 설계속도별 차종별 주행속도에 관한 연구가 필요하다고 판단된다.

## 2. 정지시거 및 DGPS 이론

### 2.1 정지시거

정지시거는 운전자가 같은 차로 상에 있는 고장차 등의 장애물 또는 위험요소를 알아차리고 제동을 걸어서 안전하게 정지하거나, 혹은 장애물을 피해서 주행하기 위하여 필요한 길이를 주행속도에 따라 산정한 것이다. 실제로 그 도로의 확보된 정지시거를 측정하는 방법은 운전자의 위치를 진행하는 차로의 중심선상으로 하고, 운전자 눈의 높이를 도로표면으로부터 100cm로 하여, 장애물 또는 물체의 높이 15cm를 볼 수 있는 거리를 같은 차로의 중심선상으로 측정하여야 한다.

AASHTO에서는 정지시거 계산 시 눈의 높이를 107cm, 물체의 높이를 15cm로 적용하고 있다. 이러한 정지시거는 다음의 두 가지 거리, 즉 운전자가 앞쪽의 장애물을 인지하고 위험하다고 판단하여 제동장치를 작동시키기까지의 주행거리인 반응시간 동안의 주행거리와 운전자가 브레이크를 밟기 시작하여 자동차가 정지할 때까지의 거리인 제동정지거리를 합한 값을 말하며, 식(1)에 나타난 바와 같다. 이때 정지시거를 산정하기 위하여 적용하는 속도는 주행속도이며, 노면 습윤 상태일 때의 주행속도는 설계속도가 120~80km/h일 때 설계속도의 85%, 설계속도가 70~40km/h일 때 설계속도의 90%, 설계속도가 30km/h이하일 때 설계속도와 같다고 보고 계산한다.

$$D = d_1 + d_2 = \frac{V}{3.6} t + \frac{1}{2gf} \cdot \frac{V^2}{3.6^2} = 0.694V + \frac{V^2}{254f} \quad (1)$$

여기서, D : 정지시거(m)      t : 판단시간 + 반응시간(2.5초)

d<sub>1</sub> : 제동반응거리      g : 중력가속도(9.8m/sec<sup>2</sup>)

d<sub>2</sub> : 제동정지거리      f : 타이어와 노면의 종방향 미끄럼 마찰계수

V : 주행속도(km/hr)

이러한 정지시거는 운전자에게 큰 영향을 미치므로 충분히 안전한 값을 취하지 않으면 안 된다. 따라서 종방향 미끄럼마찰계수를 노면습윤상태로 고려함과 더불어 주행속도를 설계속도로 하여 식(1)에 의하여 산정하면 표 1과 같다. 또한, 운전자가 앞쪽의 장애물을 발견하고 브레이크를 밟아 자동차를 정지시키려 할 때 정지하는 거리는 그 도로의 종단경사에 따라 변화하게 된다. 즉, 제동정지거리가 상향 경사구간에서는 감소하고 하향 경사구간에서는 증가하게 된다. 그러므로 종단경사에 의한 정지시거의 영향에 대한 계산식은 식(2)에 나타난바와 같다.

표 1. 노면습윤상태일 때 정지시거

설계속도(km/hr)	주행속도(km/hr)	마찰계수(f)	주행속도에 의한 정지시거(m)	정지시거 채택(m)
120	102	0.28	212.0	215
110	93.5	0.28	183.6	185
100	85	0.29	153.8	155
90	76.5	0.30	127.4	130
80	68	0.30	105.9	110
70	63	0.31	92.6	95
60	54	0.32	72.3	75
50	45	0.34	54.0	55
40	36	0.37	38.4	40
30	30	0.44	28.7	30
20	20	0.44	17.4	20

$$D = d_1 + d_2 = \frac{V}{3.6} t + \frac{1}{2g(f \pm s/100)} \cdot \frac{V^2}{3.6^2} = 0.694V + \frac{V^2}{254(f \pm s/100)} \quad (2)$$

여기서, s : 종단경사(%)

본 연구에서는 평면선형의 소형자동차에 대하여 비교·분석한 결과이므로 규정이 되는 값을 산출한 식은 식(1)을 적용하였고, 노면습윤상태일 경우의 규정값을 적용하였다.

## 2.2 DGPS(Differential GPS) 이론

근접한 두 개의 GPS 수신기가 같은 위성으로부터 신호를 받아 자신의 위치를 계산할 때 각 수신기의 고유오차와 더불어 공통적인 오차가 있는데, 이 중 오차를 제거하여 보다 정확하게 위치측정을 한다는 것이 DGPS의 기본 개념이다. 이 과정을 단계적으로 설명하면 아래와 같다.

- (1) 위성의 관측성이 좋은 열린 공간상에 정확하게 측지하여 기준국(reference station) 역할을 할 GPS 수신기를 설치한 후, GPS 위성에서 신호를 받아 수신기로 계산된 위치를 자신의 위치와 비교하여 보정오차(differential correction error)를 계산한다.
- (2) 계산된 보정오차를 주변의 사용자 수신기에 일정한 형식에 맞추어 전송한다.
- (3) 사용자는 자신의 수신기에서 계산된 위치값에 수신된 보상오차를 적용하여 두 수신기 간의 공통 오차를 제거함으로써, 단독 GPS의 경우보다 정확한 위치를 계산한다.

## 3. 현장실험

본 연구에서는 부산광역시에 소재한 설계속도가 100, 80, 70, 60km/h의 대상도로 일부구간을 각각 그림 1~그림 4와 같이 선택하여 연속류 도로의 차량 주행속도를 산정하였다. DGPS의 관측시스템은 그림 5와 같이 부경대학교 내에 있는 기지점에 먼저 기지국을 설치하고, 그림 6와 같이 이동국은 차량에 일체식으로 탑재하여 대상도로구간을 주행하면서, 3차원 자료를 1초 간격으로 취득하였으며, 관측장비의 제원은 표 2와 같다.

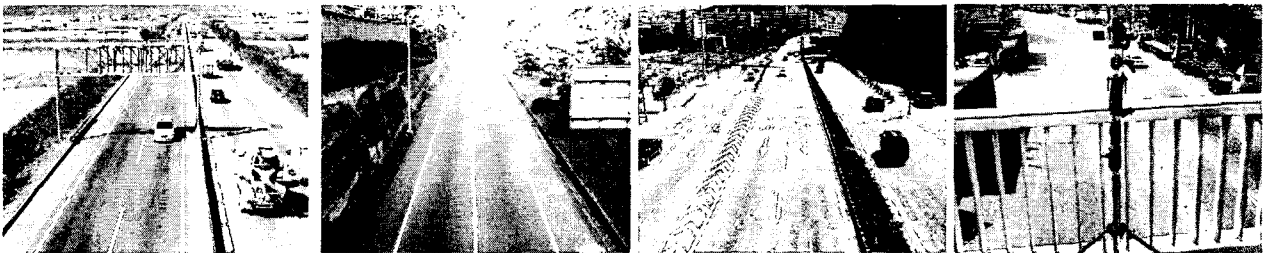


그림. 1 대상도로 전경(구간1) 그림. 2 대상도로 전경(구간2) 그림. 3 대상도로 전경(구간3) 그림. 4 대상도로 전경(구간4)

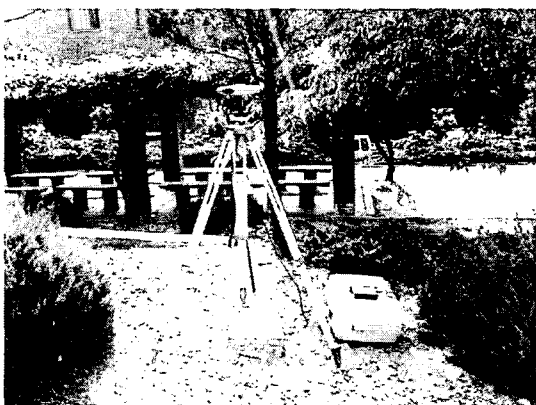


그림. 5 기지국의 모습



그림. 6 이동국의 모습

표 2. GPS장비의 제원

Characteristics	Receiver	Antenna
Type	Legary(JAVAD)	LegAnt
Tracking Channel	40 L1 channels 20 L1/L2 channels GPS/GLONASS	
Signals Tracked	L1/L2 C/A and P-code and Carrier phase	
Accuracy	Horizontal Static 3mm+1ppm (×D) for dual frequency Rapid static 5mm+1ppm (×D) fo Single frequency kinematic 10mm+1.5ppm (×D) for dual frequency RTK (H) 10mm+1.5ppm (×D) for dual frequency (V) 20mm+1.5ppm (×D) for dual frequency	

차량 주행속도를 산정하기 위해 대상도로에 일부구간을 선정하여 2대의 카메라를 설치한 후, 비침투 시간을 선택하여 차량의 주행시간을 추출하였다. 촬영장비는 Sony사에서 제조한 DCR-TRV60 모델을 사용하였으며, 카메라 형상 및 제원은 그림 7 및 표 3과 같다.

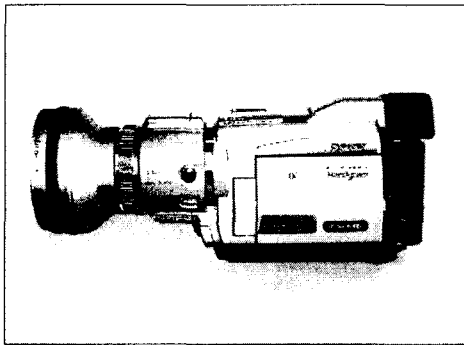


그림 7 DCR-TRV60 모습

표 3 DCR-TRV60 제원

Classification	DCR-TRV60	
Recording mode	CCD recode	
Total pixels	2.11 Mega Pixel	
Efficient pixels	Video mode	1.08 Mega Pixel
	Memory mode	1.92 Mega Pixel
Shutter	1/4000 sec(auto)	
Focal Length	f = 4.5 ~ 45	
Dimensions	73 × 91 × 174 mm	
Weight	565g (without batteries)	

#### 4. 자료처리 및 결과분석

##### 4.1 DGPS에 의한 검증

본 연구에서는 영상에 의해 추출된 주행속도를 검증하기 위해 설계속도가 60km/hr인 도로를 DGPS에 의해 주행한 것을

표 2. 60km/hr 주행시 영상과 DPGS로부터 추출된 주행속도

좌 표		구간평균속도 (km/hr)	DGPS속도 (km/hr)	오차 (%)
x(m)	y(m)			
-15.991	27.574	61.249	59.157	3.400
-16.823	21.964			
-17.287	16.390			
-17.642	10.635			
-18.144	4.919			

그림 7에서 PDOP이 1.5~2.5사이의 값을 가지고, 위성수 또한 7~9개로써 본 연구에서 위성으로부터 취득한 자료는 양호한 상태임을 알 수 있다.

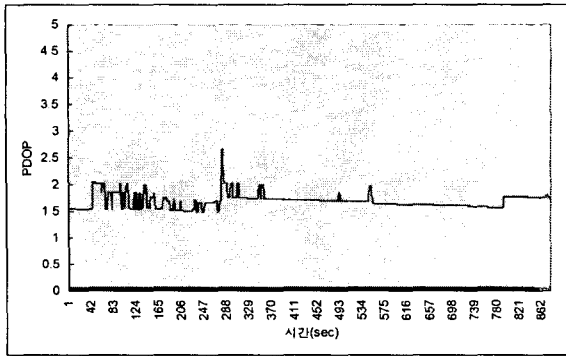


그림 7. 시간대별 PDOP

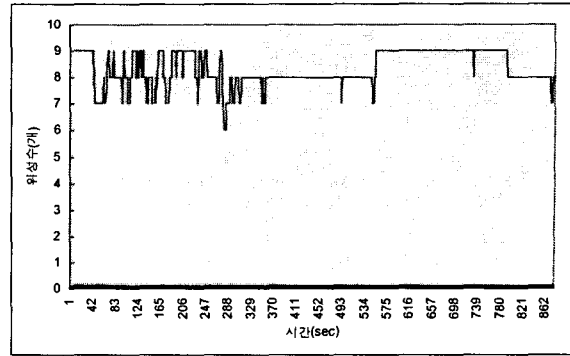


그림 8. 시간대별 위성수

#### 4.2 설계속도별 차종별 교통량과 주행속도 산정 및 분석

본 연구에서는 설계속도별 대상으로 4개구간에서 각각 차량소통이 원활한 비첨두시간을 선정하여 1시간씩 영상을 획득하여 비디오 편집보드와 영상 편집 소프트웨어를 통하여 차량별 구간통행시간을 산정하였다. 또한, 측량을 통해 얻은 각 구간의 거리를 통해 대상구간의 주행속도를 산정할 수 있었다.

설계속도 100km/h인 제1구간은 소형차일때는 101.498km/h, 대형차량은 90.862km/h, 세미트레일러는 87.793km/h로 나타났으며, 설계속도 80km/h인 제2구간은 소형차일때는 71.911km/h, 대형차량은 69.090km/h, 세미트레일러는 68.156km/h로 나타났다. 그리고 설계속도 70km/h인 제3구간은 소형차일때는 65.902km/h, 대형차량은 54.533km/h, 세미트레일러는 51.703km/h로 나타났으며, 설계속도 60km/h인 제4구간은 소형차일때는 63.693km/h, 대형차량은 44.533km/h, 세미트레일러는 43.243km/h로 분석되었다. 이런 결과는 표4에 나타내었다.

표. 4 설계속도별, 차종별 교통량과 주행속도

	소형		대형		세미트레일러	
	교통량(대/h)	주행속도(km/h)	교통량(대/h)	주행속도(km/h)	교통량(대/h)	주행속도(km/h)
제1구간 (설계속도 100km/h)	962	101.498	243	90.862	187	87.793
제2구간 (설계속도 80km/h)	815	71.911	98	69.090	55	68.156
제3구간 (설계속도 70km/h)	456	65.902	82	54.533	101	51.703
제4구간 (설계속도 60km/h)	339	63.693	78	44.533	52	43.243

#### 5. 결론

본 연구에서는 연속류 도로에서 차량의 주행속도 분석을 통한 정지시거산정을 해본결과 다음과 같은 결론을 얻을수있었다.

1. 비디오 카메라로부터 취득된 정지영상으로부터 연속류의 차량의 주행속도를 추출할 수 있었다.
2. DGPS 동적측위방법에 의한 주행속도를 기준으로 비디오 카메라에 의한 주행속도의 오차는 약 4%로써 일반적으로 사용되는 속도 감지기의 오차허용범위 5% 이내임을 알 수 있었고, 이때 동적측위방법에서 PDOP은 1.5~2.5, 위성수는 7~9개로써 양호한 상태임을 알 수 있다.

3. 주행속도를 추출하고 분석한 결과 소형차량은 설계속도보다 높은 속도가 나타났으며, 대형차량과 세미트레일러인 경우에는 설계속도보다 주행속도가 낮은 것으로 분석되었다.
4. 이러한 기법으로 주행속도를 산정하여 정지시거계산에 적용한다면 비교적 합리적인 방법이라 판단된다.

### 참고문헌

- 건설교통부(2000), 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 기문당.
- AASHTO(2001), A Policy on Geometric Design of Highway and Streets, Washington, D.C..
- Karen K. Dixon et al. "Estimating Free-Flow Speeds for Rural Multilane Highways", TRB 1678, TRB, pp. 73~82, 1999.
- 이종출, 노태호, 허종호, 강상민, "비디오 카메라를 이용한 차량의 주행속도 산정", 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 4465~4469, 2003.
- 서정훈(2004), 디지털 비디오카메라를 이용한 아스팔트 콘크리트 포장 노면 관리시스템 개발, 부경대학교 박사학위논문.