

# GPS를 이용한 연속류 통행차량의 속도차와 차두간격 변화에 대한 해석

김재석<sup>1</sup> · 이상관<sup>2</sup> · 우용한<sup>1</sup>

## Analysis on the Variation for Speed Difference and Spacing of Travel Vehicles in Uninterrupted Flow using GPS

Jae-Seok KIM<sup>1</sup> · Sang-Kwan LEE<sup>2</sup> · Yong-Han WOO<sup>1</sup>

### 요 약

GPS를 이용하여 차량의 통행과 관련된 행태를 미시적으로 분석할 수 있다. 2대의 시험차량에 GPS장비를 탑재하고 통행함으로써 순간적으로 발생하는 통행특성을 파악할 수 있기 때문이다. 연속류에 있어서 선행차량과 추종차량의 속도차이와 차두간격의 변화는 용량 및 안전과 관련된 중요한 변수이다. 본 연구는 국도 4호선과 28호선을 통행하면서 수집된 자료를 이용하여 이들을 분석하였다. 주행시의 속도차이에 대한 변화의 폭은 3.0%이내로 경미하였다. 하지만, 가·감속시의 속도차이는 시작 직후보다 4초 정도 경과한 뒤의 차이가 더 큰 것으로 나타났다. 차두간격도 이와 비슷한 변화를 나타내었다. 이와는 별개로 안전성을 고려한 감속 직전의 차두간격에 대해서도 분석하였다. 모형에 의한 이론치와 실측치를 비교하였는데, 실측치가 평균 12.52% 더 짧은 것으로 분석되었다. 이로써 시험대상구간에서 운전한 추종차량은 선행차량의 급감속시 추돌사고를 야기할 가능성이 높음을 알 수 있다.

주요어: GPS, 추종이론, 선행차량, 추종차량, 속도, 차두간격

### ABSTRACT

The travel behavior can be analysed microscopically using GPS because the travel characteristics can be found out by travelling two test cars loaded with GPS equipments. The speed difference and spacing variation between the lead vehicle and the following's in uninterrupted flow are the important variables related to capacity and safety. This study analysed these with data obtained by travelling the 4th Line and 28th Line of the national road. The variation width in speed difference in the run time is below 3.0%. But, related to the speed difference in the situation of acceleration and deceleration the difference after 4second is bigger than that just after the start. The spacing variation is similar to this. The spacing just before deceleration concerning safety was analysed. When the theoretical values by

2001년 8월 29일 접수 Received on August 29, 2001

<sup>1</sup> 경일대학교 도시정보지적공학과 (jskim@bear.kyungil.ac.kr)

Dept. of Urban Information & Cadastral Engineering, Kyungil University

<sup>2</sup> 경운대학교 건축공학과(sklee@kyungwoon.ac.kr) Dept. of Architecture, Kyungwoon University

the modeling method and observed values were compared, the observed values were analysed 12.52% shorter than the other in average.

**KEYWORDS:** *GPS, Car Following Theory, Lead Vehicle, Following Vehicle, Speed, Spacing*

## 서 론

자동차는 우리 생활의 질적 수준을 눈부시게 향상시켜왔지만, 역기능에 의한 부작용도 만만찮게 제기되고 있다. 만성적인 교통정체와 사고는 더 이상 간과할 수 없는 상황이 되었으며, 경제적인 면에서 또 다른 사회문제의 요인이 되고 있다. 하지만 개선을 위한 노력도 꾸준히 진행되고 있는데, 최근에는 첨단 기술이 교통의 여러 부문에 걸쳐 적용되고 응용됨으로서 개선효과가 크게 나타나고 있다. 특히, GIS와 GPS 기술의 적용은 그간의 교통관리와 학술적인 연구에서 한계로 지적되었던 대부분을 극복할 수 있는 계기가 되었다. 거미줄처럼 복잡하고, 다양하게 짜여진 도시 교통망체계를 한눈에 알아보고 효율적으로 관리할 수 있는 것도 이러한 기술들이 접목되었기 때문이며, 도로상에서 행하는 차량의 거동을 실시간으로 미세하게 파악할 수 있는 것도 역시 이 때문이다. GIS에서는 교통(transportation)을 의미하는 'T'를 덧붙혀 세분된 한 영역으로 자리매김을 하였고, 교통관리의 본질이 차량의 위치확인임에 GPS는 더더욱 중요한 요소가 되었다.

교통에서 추종이론은 용량과 안전분야에 가장 많이 응용된다. 각 차로에서 발생하는 교통류의 행태를 검토함으로써 용량의 수준을 파악할 수 있고, 역으로 어느 정도의 용량이 가장 안전하고 최적인 상태를 유지할 수 있는가를 판단할 수 있기 때문이다. 본 연구는 GPS를 이용하여 얻은 자료를 가지고, 차량의 안전과 관련된 속도변화, 차두거리의 변화를 분석한 것이다. 이는 앞서 제기한 용량과 안전을 이해하는 또 다른 한 축이고, 기초적인 필요사항이 되므로 연구

의 목적도 여기에 두는 것이다.

## 기존의 연구

도로를 주행하는 차량은 전방 주행차량, 특히 직전의 차량거동에 의한 영향을 크게 받는다. 이 때문에 도로의 연장방향에 몇 대의 차량이 열을 지어 주행하고 있을 때, 그 도중에서 발생하는 주행상 혼란상황은 후방차량에 순차적으로 전달된다. Reuschel(1950)과 Pipes(1953)는 이와 같은 차량의 추종거동을 미분방정식으로 표현하여 기본적인 행태와 추종시의 혼란전달에 따른 안정성을 분석하였다. 이 이론은 그후 많은 연구자가 계승하였으며, 교통동학이론(traffic dynamics) 혹은 추종이론(car following theory)이라 불려졌다. Forbes(1963)는 추종차량이 선행차량에 대해 안전성을 확보하기 위한 최소 차두간격을 산정하는 식을 제안하기도 하였다. 최근에는 GPS 기술이 민간에 개방되면서 자료수집의 용이성으로 인해 많은 연구가 진행되고 있다. 도로망의 통행시간에 대한 분석을 위해 GIS나 GPS의 적절한 설계방법을 연구한 Guo와 Poling(1995), 차량의 추종특성을 분석하기 위해 GPS를 적용하는 방법에 대해 연구한 Draijer 등(2000), GPS를 이용해 통행특성의 분석자료를 수집하는 방법에 대해 연구한 Hatipkarasulu 등(2000) 등의 연구를 꼽을 수 있지만, 국내에서의 본격적인 연구는 아직 미미한 수준이라 할 수 있다. 또한, 본 연구의 연계성과 관련된 기존의 연구로는 김재석 등(2000)이 있는데, 단속류에서의 가·감속도와 속도의 관계, 그 때의 거리에 관한 모형을 구축하기도 하였고, 우용한(2000)은 연속류에 대해 이를 보강한 분석을 시도하였다.

## GPS 수신자료 해석

본 연구에서 사용된 장비는 Garmin사의 GPSIII Model이다. 이 장비에서 측정할 수 있는 자료는 2초 단위로 수신되는 위치정보에 따라 차량의 속도, 이동거리, 이동방향, 고도, 위성상태 등이다. 그리고 GPS 수신기에 나타나는 좌표는 WGS84(World Geodetic System 1984) 좌표계와 변환을 통한 TM좌표계, 고도, 위성의 상태에 관한 정보이다. WGS84 좌표계는 미 국방성에서 전 세계에 대해 하나의 통일된 좌표체계를 이용하기 위해서 제작한 지심좌표를 기준으로 하는 준거회전타원체이다. 하지만 회전 타원체인 지구를 평면위에 정확히 표시하는 것은 대단히 어렵다. 이러한 문제를 최소화하면서 곡면을 평면으로 변환하는 과정에서 투영과정을 거치게 되는데, 그 중의 하나가 TM좌표투영(transverse mercator projection)이다. 1772년 램버트에 의해 처음 개발된 것으로서 현재 가장 일반적으로 사용되는 것이 TM투영인데, 표준형 Mercator투영에서 원기둥을 90°회전시켜 중앙 자오선이 원기둥면에 접하도록 하는 투영으로서 횡Mercator투영 또는 TM투영이라 한다. TM투영은 축적계수의 특성 때문에 동서가 좁고 남북이 긴 지역에 아주 적합하여 대부분의 나라에서 국가 기준좌표계로 채용하고 있으며, 본 연구에서도 이에 준용하여 자료를 수집하였다.

## 차량의 추종이론

차량 추종이론의 기본은 2대의 차량이 동시에 가로를 통행하면서 나타나는 행태에 대해 분석하고, 규명하는 이론이다. 선행차량(lead vehicle)의 상대적인 위치나 속도(speed), 가속·감속도(acceleration·deceleration), 차두간격(spacing)은 추종차량(following vehicle)에 대한 반응시간(reaction time)이나 민감도(sensitivity) 등에 직접적인 영향요인으로 작

용하기 때문이다. 따라서 협의에서는 단순한 두 차량간의 분석에 해당되지만, 전체 차량의 흐름도 결국은 개별적 차량의 움직임이 합쳐져 이루어지는 것임을 생각할 때, 개별적 움직임을 통해 흐름의 어떤 평균적인 특성이 파악될 수 있다면 개별적이든 전체적이든 서로 통하는 것이라 할 수 있다.

추종이론에 대한 기본적인 내용을 Gerlough와 Huber(1975)는 다음과 같이 정리하고 있다. 선행차량이 시각  $t$ 에서 자극을 일으킬 때, 추종차량은  $T$ 의 시간이 경과한 후 반응을 보이는데(반응시간), 이를 기본식으로 표시하면 식 (1)과 같다.

$$\text{Response}(t+T) = \text{Sensitivity} \times \text{Stimulus}(t) \quad (1)$$

그림 1과 같이 2대의 차량이 가로 위를 통행하고 있다고 가정하자. 그림(a)에서 시각  $t$ 에 대해 선행차량과 추종차량은  $s(t)$ 의 안전거리를 유지할 것이다. 선행차량이 급제동시 추종차량은 추돌하지 않고 안전하게 정지할 수 있는 거리를 의미하며, 선행차량이 정지를 시작하는 시점에서 추종차량이 정지를 시작하는 시점까지의 경과시간을 반응시간( $T$ )이라 한다. 각 차량이 정지를 시작한 후 시간에 따른 차량의 위치변화를 그림(b)에 나타내었다. 그림에서  $x$ 는 차량의 위치,  $u$  속도,  $a$  가속도라 두면, 선행차량의 급제동시 추돌이 발생하지 않을 충분한 거리는 식 (2)와 같다.

$$s(t) = x_n(t) - x_{n+1}(t) = d_1 + d_2 + L - d_3 \quad (2)$$

차량의 속도를  $u(t) = \frac{dx}{dt}$ 로 두고, 가속도를  $a(t) = \frac{d^2x}{dt^2}$ 로 둔다면, 식 (2)는 식 (3)과 같이 바뀌어 나타낼 수 있다.

$$s(t) = Tu_{n+1}(t) + \frac{u_{n+1}^2(t+T)}{2a_{n+1}(t+T)} + L - \frac{u_n^2(t)}{2a_n(t)} \quad (3)$$

만약, 두 차량의 정지거리가 같다면  $d_2 = d_3$ 이므로,

$$x_n(t) - x_{n+1}(t) = Tu_{n+1}(t+T) + L \quad (4)$$

와 같다. 양변을  $t$ 에 대해 미분하면,

$$u_n(t) - u_{n+1}(t) = T[a_{n+1}(t+T)] \quad (5)$$

$$a_{n+1}(t+T) = T^{-1}[u_n(t) - u_{n+1}(t)] \quad (6)$$

이 된다. 즉,  $(t+T)$ 시각에서의 추종차량( $n+1$ )의 가속도는  $t$ 시각에서의 선행차량과 추종차량의 양(positive) 혹은 음(negative)의 속도차이에 비례하며, 비례상수로 사용되는 민감도는  $T^{-1}$ 이다.

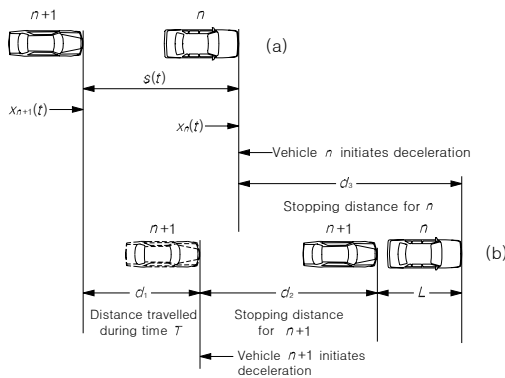


FIGURE 1. Positions of lead and following vehicles for emergency stop condition

### 속도와 차두간격의 해석

#### 1. 자료수집과 해석

##### 1) 자료수집

본 연구는 도로상을 통행하는 연속류를 대상으로 한다. 연속류(uninterrupted flow)란 차량의 흐름을 인위적으로 방해하는 신호등, 정지신호 또는 양보신호 등의 고정된 시설이 없는 곳에서의 차량흐름(건설부, 1992)으로서 신호교차로가 많은 도심에서의 단속류(interrupted flow)와 대비되는 개념이다.

2대의 시험차량에 GPS 장비를 설치한 다음, 최초 시작지점에서 두 차량간의 차두거리를 측정하고, 도로상을 통행하면서 실시간으로

수신된 자료를 수집하였다. 자료수집방법은 가장 일반적으로 사용되는 RTCM SC-104(maritime service special committee 104) 표준형식에 의하였다.

2대의 GPS 수신장비를 이용함으로써 이동하는 2차량간의 상대적인 위치변화를 탐색할 수 있고, 실제 절대적인 위치좌표보다는 이러한 상대적인 위치변화가 본 연구에서는 더 유용하게 사용된다. 또한 이러한 방법을 적용함으로써 전 측정시간대에 걸쳐 차량간에는 동일한 오차가 발생하게 된다.

또한, 2초단위로 수신된 차량의 이동거리는 실제 도로상에서 직선과 곡선구간을 운행할 수 있으나, 본 연구의 분석은 2대의 차량간 상대적인 운전행위에 초점을 둔 것이므로 도로 선형은 문제되지 않는다. 또한 실제 현장에서 곡선이나 구배 구간에 의한 통행장애가 발생하더라도 그 현상자체에 따른 또 다른 통행특성이 발생하므로 이를 모두 포함한 일반적인 특성분석을 행하였다.

표 1은 측정된 자료의 일부를 나타낸 것이다. GPS 수신기로부터 수신받은 최초의 자료는 WGS84타원체 좌표이며, 이를 TM좌표로 전환하는 것은 Leica사의 SKI프로그램을 이용하였다. 이 프로그램은 GPS 측정 데이터의 모든 점들에 대한 좌표값을 처리할 수 있다. 선행차량과 추종차량이 동일 시간대에서 이동한 좌표의 표시와 고도, 위성의 상태를 수신한 자료이다.

##### 2) 오차보정

2000년 5월 1일부터 사용자 제약(SA)오차가 없어진 상태이고, 측정자료로부터 발생하는 기인오차는 동일 장비를 이용한 앞선 연구(이승준 등, 2000)에서 충분히 검증된 상태이다. 또 다른 연구(최기주와 최병운, 2001)에서도 정확한 좌표값에 비해 상대적인 이상치의 비율이 3.75%에 불과하므로 그냥 적용한 사례가 있다. 또한 제품자체의 성능면(Garmin사의 GPSIII Model)에서도 기계자체가 가지는 좌표

TABLE 1. Raw data segment of GPS equipments

시간	선 행 차 량				추 종 차 량							
	WGS84좌표		TM좌표		고도	상태	WGS84좌표		TM좌표		고도	상태
16:02:39	3600.251	12903.855	280503.67	386100.87	142.30	11	3600.069	12903.984	280171.17	386301.87	141.10	11
16:02:41	3600.250	12903.874	280502.43	386129.47	142.50	11	3600.067	12904.002	280168.05	386329.00	141.30	11
16:02:43	3600.248	12903.896	280499.43	386162.61	142.30	11	3600.065	12904.026	280165.11	386365.15	141.00	11
16:02:45	3600.245	12903.920	280494.64	386198.79	142.30	11	3600.062	12904.050	280160.33	386401.33	140.80	11
16:02:47	3600.243	12903.940	280491.58	386228.92	142.40	11	3600.060	12904.072	280157.33	386434.47	140.80	11
16:02:49	3600.241	12903.960	280488.52	386259.06	142.50	11	3600.058	12904.092	280154.27	386464.61	140.70	11
16:02:51	3600.238	12903.979	280483.58	386287.73	142.60	11	3600.056	12904.112	280151.21	386494.74	140.70	11
16:02:53	3600.236	12903.999	280480.52	386317.86	142.70	11	3600.054	12904.131	280148.12	386523.38	140.70	11
16:02:55	3600.234	12904.019	280477.45	386348.00	142.90	11	3600.051	12904.150	280143.18	386552.05	140.60	11
16:02:57	3600.232	12904.039	280474.39	386378.13	143.10	11	3600.050	12904.169	280141.93	386580.64	140.70	11

의 위치정확도는 95%에 달한다. 실제 측정된 결과에 의하면, 선행차량과 추종차량의 왕복통행에서 총 통행거리의 상대적 차이에 따른 오차는 0.12~0.14%로 극히 미미한 수준이다. 따라서 금회 측정한 자료는 별다른 보정 없이 사용하여도 무방할 것으로 판단되었다.

3) 이동거리와 속도산정

측정된 자료로부터 2초간 이동거리를 산정하는 방법은 다음의 식 (7)과 같다. TM좌표값을 X, Y라 하고, 고도를 Z로 하는 3차원 자료에서 현재의 값을 X1, Y1, Z1, 2초 후의 값을 X2, Y2, Z2라 두고 산정하는 방법이다. 그림 2는 위의 거리 산정방법에 대한 개념도를 표시한 것이다.

$$DIST. = \sqrt{(X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2 + (Z1 - Z2)^2} \tag{7}$$

2초 동안 실제 이동한 거리와 속도를 표 2에 일부 나타내었다. 속도자료의 각각은 짧은 구간을 이동한 것이므로 지점속도(spot speed)가 되지만, 각각의 속도를 일정시간 이상 종합적으로 평가할 경우는 통행속도로 평가할 수 있다.

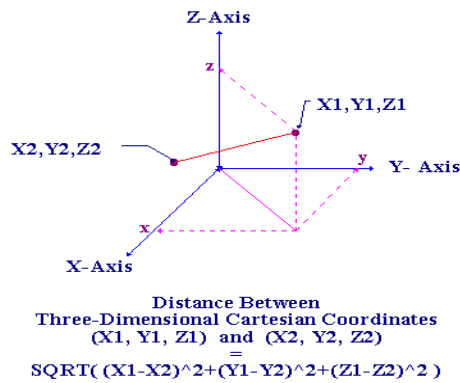


FIGURE 2. Generalized equation of distance calculation

2. 차량간 속도차

1) 속도변화와 분포

2대 차량의 통행속도 차이는 추종차량의 민감도 분석과 그로부터 파생되는 교통류의 안정성(stability)문제, 교통안전과 관련된 추돌사고(rear-end collision)의 공학적 해석을 위해 아주 중요한 요소이다. 대체로 차량간의 속도차이는 교통환경에 따라 다른 패턴을 보이는데, 즉 일반적인 주행시와 가속시, 감속시에 따라 차량간의 속도변화가 다르게 나타난다. 또한 각 환경에서도 시간의 경과에 따라 변화

TABLE 2. Data segment of travel speed and distance

시 간	선 행 차 량			추 종 차 량		
	이동거리 (m/2sec)	누적이동 거리(m)	속도 (km/hr)	이동거리 (m/2sec)	누적이동 거리(m)	속도 (km/hr)
16:02:39	28.80	24051.92	51.84	27.27	24044.00	49.09
16:02:41	28.63	24080.55	51.53	27.27	24071.27	49.09
16:02:43	33.28	24113.83	59.90	36.22	24107.49	65.20
16:02:45	36.50	24150.33	65.69	36.44	24143.93	65.59
16:02:47	30.28	24180.61	54.51	33.24	24177.17	59.83
16:02:49	30.29	24210.90	54.53	30.25	24207.42	54.45
16:02:51	29.09	24239.99	52.37	30.24	24237.66	54.43
16:02:53	30.28	24270.27	54.51	28.77	24266.43	51.79
16:02:55	30.30	24300.57	54.53	29.05	24295.48	52.29
16:02:57	30.28	24330.85	54.51	28.58	24324.06	51.44

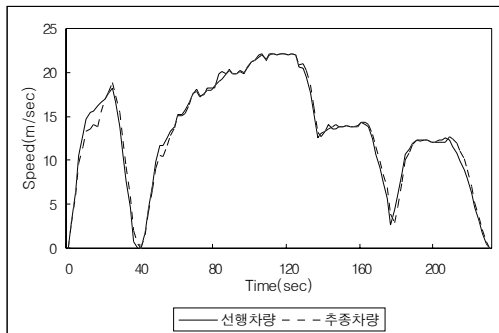


FIGURE 3. Speed variation of lead vehicle and following's

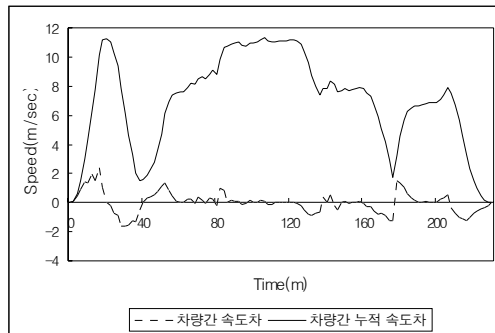


FIGURE 4. Speed difference and cumulation interlead vehicle and following's

의 폭은 달라지게 된다. 가속현상 중에서도 초기가속시간과 말기가속시간 사이에는 두 차량간의 속도변화가 뚜렷한 차이를 보이고 있으며, 감속시에도 비슷한 현상이 나타나고 있다. 추종차량은 선행차량에 비해 약간의 시간차이(즉, 반응시간)를 두고, 선행차량의 속도와 비슷하게 주행하는 현상을 보이며, 가·감속시 차량간 속도차이는 일정 시간 이후에는 차이가 거의 없는 것으로 표시되고 있다.

선행차량과 추종차량의 속도변화를 표시한 것이 그림 3이고, 그림 4는 차량간 속도차와 속도차에 대한 누적치를 표시한 것이다. 전체적으로 선행차량에 대한 추종차량의 속도분포가 안

정된 추세로 나타나며, 두 차량의 속도변화가 속도차이와 누적속도에 직접적으로 반영됨을 알 수 있다. 하지만, 가속이 2차, 3차 지속적으로 이루어짐에 따라 추종차량의 가속도도 동일 패턴으로 따라가는 반면, 여기에서 발생하는 두 차량간의 미세한 속도변화는 명확하게 반영된다고 보기 어렵다. 또한, 도로상에서 선행차량에 의한 제약 외에는 통행장애가 없으므로 추종차량의 속도변화에 대한 직접적인 원인이 운전자의 특성을 고려하지 않는다면, 전적으로 선행차량에 의존하고 있음을 추정할 수 있다. 이때의 평균통행속도는 13.33m/sec(47.99km/hr)이다. 가속과 감속회수는 각각 4회씩이며, 각 단

위시간당 기울기가 클수록 높은 속도차이를 의미한다. 그림상에서 가·감속의 초기부분은 속도차이가 크고, 시간이 지속될수록 작아짐을 알 수 있다.

## 2) 시간경과에 따른 속도차

**TABLE 3.** Increase/decrease rate of speed difference in the run time

구분	가속시 속도증가 율(%)	감속시 속도 감소율(%)	주행시 속도증· 감율(%)
0~4초 이내	+33.27	-46.10	±1.21
4~8초 이내	+64.48	-81.75	±2.77
8~12 초이내	+11.20	-24.33	±2.50
12~16 초이내	+2.11	-3.64	±1.96
16초 이상	+2.03	-3.10	±1.06

시험차량의 통행을 가속시와 감속시 그리고 일반주행시로 구분하여, 각각의 현상이 지속되는 시간대별로 속도차이의 증가율을 분석하였다. 4초 단위로 집계한 분석에서 초기의 속도차이 값을 기준으로 두고 4초 후의 속도차이에 대한 값의 증·감율을 표 3과 같이 정리하였다. 속도차이의 변화가 전체적으로 몇초씩 늦게 진행되는 경향이 있는데, Messer 등 (1997)의 연구에서는 가·감속 시작 초기에 속도의 변화율이 높음을 예견하고 있으나, 본 결과에서는 가·감속이 시작된 후 0~4초 사이보다 4~8초 사이의 속도 증·감율이 더 높게 나타남을 알 수 있다. 가속의 경우 초기 4초 동안은 33.27%의 속도차이가 증가한 반면, 4~8초 동안에는 이전의 2배 가까운 64.48%의 증가율을 나타내고 있다. 감속도 이와 비슷한데 초기 4초 동안은 46.10%의 감속율, 4~8초 동안에는 81.75%의 급격한 속도 감소가 나타내고 있다. 그리고 가속시 보다 감속시의 속도

증·감율이 더 크게 나타남으로서 감속시의 운전행태가 더 급격히 이루어짐을 알 수 있다. 12초 이상에서는 증·감율에 큰 변화가 없으며, 일반주행시에는 전 시간대에서 속도차이의 변화가 거의 없는 것으로 분석되었다.

## 3. 차두간격의 변화

### 1) 기본개념

차두간격(spacing)이란 그림 5에서 표시한 것처럼 연속한 2대의 차량이 주행할 때, 어느 한 순간 선행차량의 앞 범퍼에서 추종차량의 앞 범퍼까지의 거리를 말한다. 차두간격은 주행중일 뿐만 아니라 가·감속과 완전한 정지시에도 차두간격의 변화에 대한 해석이 필요한데, 다음은 정지시 2대의 차량간 차두간격 산정에 관한 식을 유도한 것이다. 먼저, 선행차량의 정지거리를  $x_i$ 이라 두고, 속도를  $v$ , 가속도를  $d_i$ 이라 하면 식 (8)과 같은 표현이 가능하다.

$$x_i = \frac{v^2}{2d_i} \quad (8)$$

추종차량은 선행차량의 행태에 따라 반응하므로 그때의 반응시간을  $\delta$ 라 둔다면, 추종차량의 정지거리  $x_f$ 는 식 (9)가 된다.

$$x_f = v\delta + \frac{v^2}{2d_f} \quad (9)$$

또한,  $x_f$ 를 차두간격  $s$ 와 차량의 대수  $N$ , 차량의 평균길이  $L$ , 두 차량간 안정성이 확보되는 최소차간거리(gap)  $x_0$ 를 사용하여 표현한다면 식 (10)과 같이 정리할 수 있고, 이 식에다가 위의 두 식을 대입하여 정리하면 식 (11)과 같다. 이 식은 두 차량의 감속도와 차량길이, 최소안전차간거리 등을 고려한 정지시의 차두간격 산정식이 된다.

$$x_f = s + x_i - NL - x_0 \quad (10)$$

$$s = v\delta + \frac{v^2}{2d_f} - \frac{v^2}{2d_i} + NL + x_0 \quad (11)$$

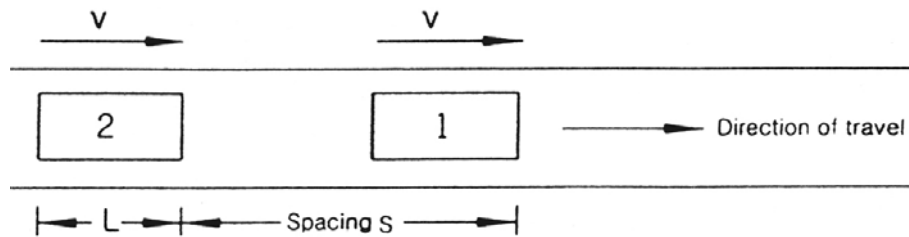


FIGURE 5. Basic concept of spacing

## 2) 차두간격의 변화

정지상태에서의 차두간격은 교통상황에 따라 달라지는데, 한산상태에서는 7.08m, 근포화상태(saturation flow)에서는 6.69m, 과포화상태(over-saturation flow)에서는 6.17m로 산정된 예가 있으며, 외국에서는 전체적인 평균값으로 7.62m(25ft)를 제시한 경우도 있다. 주행 중인 차량의 평균차두거리는 긴 거리를 가지는 것이 일반적이는데, 실제 어느 정도의 차두간격이 형성되는가를 직접 연구한 사례는 거의 없다. 다만, 속도와 밀도관계에 따른 서비스수준(LOS)을 설명하면서 각 수준별 평균차두거리를 환산한 정도이다. 미국의 도로용량편람(HCM, TRB, 2000)에서는 다차로(multilane) 연속류의 기본구간(basic freeway segments) 중 제한속도 100km/hr(62.1mile/hr)이하인 구간에서 서비스수준 'D'일 때 62.50m의 차두간격을 유지하는 것으로 표시하고 있다. 우리나라의 도로용량편람(KHCM, 건교부, 1992)에서는 52.63m로 규정하여 HCM 보다는 약간 짧다.

실측결과에 의하면, 정지시의 차두간격은

7.49m로서 다른 연구결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 한편, 차량이 통행중에는 가·감속시를 모두 포함할 경우 35.71m의 차두간격이 형성되며, 일반 주행시만으로는 39.97m의 거리를 유지하는 것으로 나타났다. 대상도로의 제한속도(80km/hr) 차이는 약간 있지만 HCM 기준과 비교했을 때 36.05%, KHCM과는 24.05% 정도 실제 차두간격을 짧게하여 통행하는 것으로 분석되었다. 즉, 우리나라 운전자들의 실제 운전행태는 도로용량편람에서 제시하는 값보다 더 높은 밀도를 유지하고 있음을 알 수 있다.

각 운전행태에 따른 구체적인 차두간격의 변화는 표 4에 나타낸 것과 같은데, 가속이 시작되기 전의 평균차두간격은 26.43m로서 가·감속을 제외한 일반 주행시의 평균차두간격과 동일하다. 가속 시작후 최초의 0~8초까지는 차두간격이 점점 증가하다가, 그 이후에는 추종차량의 가속도가 높아지면서 차두간격이 약간씩 짧아짐을 알 수 있고, 16초 이후에는 일반 주행시와 비슷한 차두간격이 나타났다. 이는 가속후 일정시간 이후부터는 두 차량간의

TABLE 4. Variation for spacing in the run time each behaviors

구 분	시작전 차두간격	0~4초 이내	4~8초 이내	8~12초 이내	12~16초 이내	16초 이상
정지시	7.49	7.48	7.51	7.50	7.48	7.46
가속시	26.43	49.74	55.50	47.25	43.20	40.81
감속시	39.37	33.10	35.47	16.42	9.05	8.24
주행시	35.02	41.17	39.88	38.63	38.06	39.10



가속행태가 비슷해짐을 의미한다. 감속도 시간의 경과에 따라 안정추세에 접어들기는 가속과 비슷한데, 일정시간이 지난 후는 점점 차두간격을 좁혀 평균차두간격을 유지해 가는 경향이 있다. 그림 6은 행태별 차두간격의 변화를 표시한 것이다.

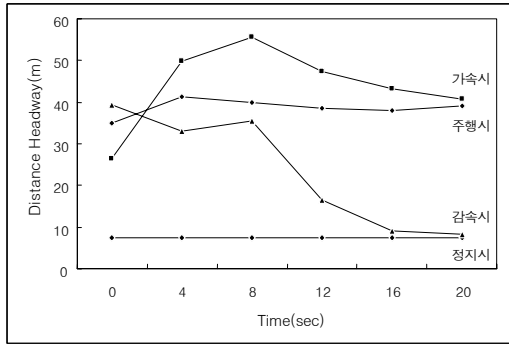


FIGURE 6. Variation of spacing in the run time

### 3) 감속직전의 차두간격

감속하기 직전의 차두간격은 추돌사고의 발생가능성과 밀접한 관계가 있고, 선행차의 자극(감속)에 대한 추종차량의 반응시간 즉, 민감도에 영향을 미친다. 보통 안전한 차두간격이란 앞의 식 (11)에서 제시한 값 이상을 확보해야되는 것으로 해석한다. 감속직전의 속도와 반응시간, 가·감속도, 차량의 길이를 고려한 것이므로 이보다 짧은 차두간격은 선행차량으로부터의 자극에 대해 아주 민감하게 반응하든가, 안전성에 심각한 위협을 받을 가능성이 크다. 그림 7은 식에 의해 산정된 이론적인 차두간격과 실제 현장에서 운전자가 행한 차두간격을 비교하여 표시한 것이다. 가로축은 감속을 행한 회수를 의미하며, 세로축은 그때의 차두간격이다. 그림에서 표시된 것으로 보아 전체적으로 이론치보다 실측치의 값이 적은 것으로 나타났다. 평균차두간격은 이론치가 44.30m인 반면, 실측치는 39.37m로 산정되었다. 안전을 위해 권장하는 차두간격보다 4.93m(12.52%)가 더 짧은 것으로 산정되었다.

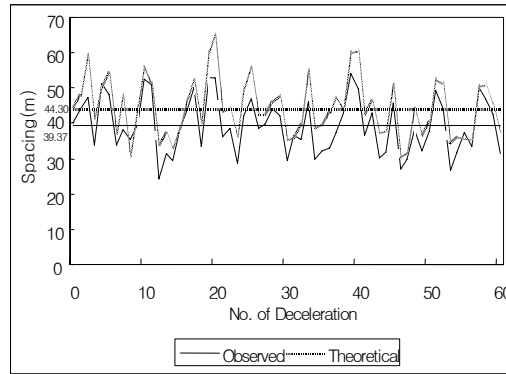


FIGURE 7. Spacing pattern just before deceleration

## 결론

연속류를 통행하는 두 차량의 속도차이와 차두간격 변화를 GPS를 이용하여 수신된 자료로부터 분석하였다. 추종차량은 선행차량의 행태에 따라 반응하는데 변수로서 이용되는 것이 선행차량의 가·감속도와 차량간의 속도차, 그때의 차두간격이다. 가·감속도의 분석과 변화에 관한 모형은 기존의 연구에서 수행된바 있으며, 금회에는 나머지 두 변수에 대한 행태변화를 분석하였다. 일반주행시의 속도차이는 선행차량에 비해 조금 늦게 반응을 보이지만, 변화의 폭은 3.0%이내로서 미미하다. 가·감속의 경우에 대한 속도차이는 각 행위가 시작되기 직후보다 4초 정도 경과한 뒤의 차이가 더 큰 것으로 나타났다. 차두간격 또한 이와 비슷한 변화를 보이며, 감속직전의 차두간격은 안전성을 보장하는 이론치보다 평균 12.52% 더 짧게 유지하는 것으로 분석되었다. 이로써 시험대상구간에서 운전한 추종차량은 선행차량의 급감속시 추돌사고를 야기할 가능성이 높음을 알 수 있으며, 보다 정형화되고 면밀한 검토를 위해 감속직전의 속도와 차두간격의 관계로부터 안전성이 보장되는 적정거리의 한계, 차두간격에 영향을 미치는 영향요인의 크기에 관한 사항, 추종차량의 민감도에

관련된 연구를 향후에 진행할 예정이다. **KAGIS**

## 참고문헌

- 건설부. 1992. 도로용량편람. 127쪽
- 김재석, 우용한, 임채문. 2000. 수치지도와 DGPS 수신자료를 이용한 차량의 통행특성 분석. 한국지리정보학회지 3(3):1-11.
- 우용한. 2000. 차량의 추종행태 분석을 위한 GPS 자료의 수집과 적용. 한국지리정보학회지 3(4):11-21.
- 이승준, 김재석, 우용한. 2000. 운행차량의 GPS 수신자료에 대한 오차보정 방법. 대한토목학회 학술발표회논문집(IV):41-44.
- 최기주, 최병운. 2001. 도로표지 시인거리에 관한 연구. 대한교통학회지 19(4):131.
- Dana, P.H. 1997. Global Positioning System Overview. The Geographer's Craft Project. Department of Geography, The University of Texas at Austin.
- Draijer, G., N. Kalfs and J. Perdok. 2000. GPS as data collection method for travel research. TRB Papers 00-1176.
- Forbes, T.W. 1963. Human factor considerations in traffic flow theory. Highway Research Board, Record 15, HRB, Washington, D.C., pp.60-66.
- Gerlough, D.L. and M.J. Huber. 1975. Traffic Flow Theory. TRB Special Report 165, Transportation Research Board National Research Council, Washington, D.C., pp.87-90.
- Guo, P. and A.D. Poling. 1995. Geographic information systems/global positioning systems design for network travel time study. TRR 1497:135-139.
- Hatipkarasulu, Y., B. Wolshon and C. Quiroga. 2000. A GPS approach for the analysis of car following behavior. TRB:34-42.
- Messer, C.J., N. Gartner and A.K. Rathi. 1997. Traffic Flow Theory(Revised Edition). TRB Special Report 165, Transportation Research Board National Research Council, Washington, D.C., pp.406-414.
- Pipes, L.A. 1953. An operational analysis of traffic dynamics. Journal of Applied Physics 24(3):274-281.
- Reuschel, A. 1950. Vehicle movements in a platoon with uniform acceleration or deceleration of the lead vehicle. Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieurund Architekten-Vereines, 95:59-62.
- TRB National Research Council. 1999. Highway Capacity Manual 2000(Special Report 209). HCM, 233pp. **KAGIS**