

차량의 추종행태 분석을 위한 GPS 자료의 수집과 적용

우 용 한¹

GPS Data Collection and Application for the Analysis of Car Following Behavior

Yong-Han Woo¹

요 약

도시내 가로의 원활한 교통관리를 위해서는 차량의 통행행태를 미시적으로 분석할 필요가 있다. 특히 선행차량과 추종차량과의 역학관계를 규명한 추종이론은 여러 분야에서 기초자료로 이용되고 있다. 최근 GPS에 의한 차량위치와 속도정보의 수신이 가능해짐으로써 이에 대한 다양한 적용이 시도되고 있다. 사례분석을 위해 2대의 차량에 GPS 장비를 탑재하여 통행자료를 수집하였다. 동일한 시간대의 두 차량간 행태를 분석하기 위해 Timer를 동시 Setting하고, 선행차량의 영향을 받을 수 있는 추종주행을 시작하였다. 2초마다 수집된 위치정보로부터 차량의 이동거리를 산정하고, 속도변화를 나타내었다. 또한 선행차량과 추종차량의 가·감속도를 상호 비교하고 분석하였으며, 가·감속도와 가·감속거리 관계에 대한 회귀모형을 구축하여 도로설계와 안전한 교통관리를 위한 규제 등에 이용할 수 있도록 하였다.

주요어: GPS, 추종이론, 선행차량, 추종차량, 통행속도, 가속도, 감속도

ABSTRACT

The travel behavior should be analysed microscopically for the traffic management of urban street. The car following theory which found out the correlation between the lead and the following vehicles is being widely used as basic data in many fields. As the vehicle position and its speed information can be received by GPS, this technique is recently applying to the various fields. For the case study the travel data were collected with two vehicles equipped with GPS receiver. The moving distance was calculated by the collected location data every 2 seconds and the speed variation was checked. And this study analysed and compared the acceleration and deceleration speed between the lead and the following vehicle. Finally, Regression model about the relationship between the acceleration and deceleration speed and the acceleration and deceleration distance was constructed. This model could be helpful for the road design and the regulation for the safe traffic management.

KEYWORDS: GPS, Car Following Theory, Lead Vehicle, Following Vehicle, Travel Speed, Acceleration, Deceleration

2000년 11월 24일 접수 Received on November 24, 2000

¹ 경일대학교 도시정보지적공학과 (yhwoo@neolife.net)

Dept. of Urban Information & Cadastral Engineering, Kyungil University

서 론

도시 내 교통의 효율적인 관리를 위해서는 가로를 통행하는 차량의 거동특성을 미시적으로 분석할 필요가 있다. 교통량(q , flow)과 속도(v , speed), 밀도(k , density)로 대표되는 전통적인 교통류 이론은 거시적인 관점에서 상호관계를 규명한 것이다. 가로의 효율적인 교통관리를 위해서는 거시적인 분석과 더불어 각 차량의 통행행태에 초점을 맞춘 미시적인 분석도 함께 시행되어야 한다. 차량의 추종모형은 가로상을 통행하는 2대의 차량에 대한 상호역학 관계를 규명하는 것이다. 하지만 기존의 연구에는 자료수집의 한계 때문에 많은 제약이 있었다. 통행 중에 있는 차량에 대해 선행차량과 추종차량의 행태를 정확히 측정할 수 있는 방법이 곤란하기 때문이다. 최근에는 GPS의 사용이 보편화되면서 통행중인 차량에 수신기를 탑재하여 순간 순간의 속도와 차량의 위치를 정확히 측정하는 것이 가능하게 되었다. 뿐만 아니라 선행차량의 가·감속시 후속차량의 행태에 대한 구체적인 자료의 수집도 가능하게 되었다.

따라서 본 연구는 2대의 차량이 가로를 통행하는 중 수신된 GPS 자료를 추종이론에 접목하고, 사례연구를 통해 이를 적용하여 분석하기 위함이다. 대상지역을 선정하여 수집된 자료로부터 속도변화를 파악하고, 선행차량에 의해 영향을 받게되는 후속차량의 가·감속도 변화 및 특성 등에 대해 규명할 계획이다. 이러한 결과들이 도시교통을 효율적으로 관리하기 위한 기초자료로 활용되는 경우가 많기 때문이다.

기존연구 및 추종이론

차량추종이론(car following theory)의 기본은 2대의 차량이 동시에 가로를 통행하면서 나타나는 행태에 대해 분석하고, 규명하는 이

론이다. 선행차량(lead vehicle)의 상대적인 위치나 속도, 가·감속도는 추종차량(following vehicle)에 대한 반응시간(reaction time)이나 민감도(sensitivity) 등에 직접적인 영향요인으로 작용한다. 이러한 추종이론은 Reuschel(1950)과 Pipes(1953)에 의해 처음 제기되었다. 그후, Herman 등(1959)은 GM사의 시뮬트랙에서 많은 연구를 수행하였는데, 5개의 차량추종방정식을 개발하기도 하였다. Forbes(1963)는 추종차량이 선행차량에 대해 안전성을 확보하기 위한 최소차두간격을 산정하는 식을 제안하기도 하였다. 이후 자료 수집에 대한 한계로 인해 연구가 부진하다가 위성을 이용한 차량의 위치추적 기술의 발달과 컴퓨터의 이용이 보편화되면서 다시 활기를 띠고 있다. 최근에는 GPS(global positioning systems)의 수신 자료를 이용한 연구가 많이 수행되고 있는데, 다양한 교통상황에서도 정확하고 많은 자료를 연속적으로 얻을 수 있기 때문이다. 도로망의 통행시간에 대한 분석을 위해 GIS(geographic information systems)나 GPS의 적절한 설계방법에 대한 것으로 Guo와 Poling(1995), Laird(1996), Quiroga(1997)의 연구가 있다. 이외에도 차량의 추종특성을 분석하기 위해 GPS를 적용하는 방법에 대해 연구한 Draijer 등(2000), GPS를 이용해 통행특성의 분석자료를 수집하는 방법에 대해 연구한 Hatipkarasulu 등(2000)이 있으나, 국내의 교통분야에서는 아직도 미미한 단계라 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, 이를 식으로 표시하면 다음과 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 안전거리

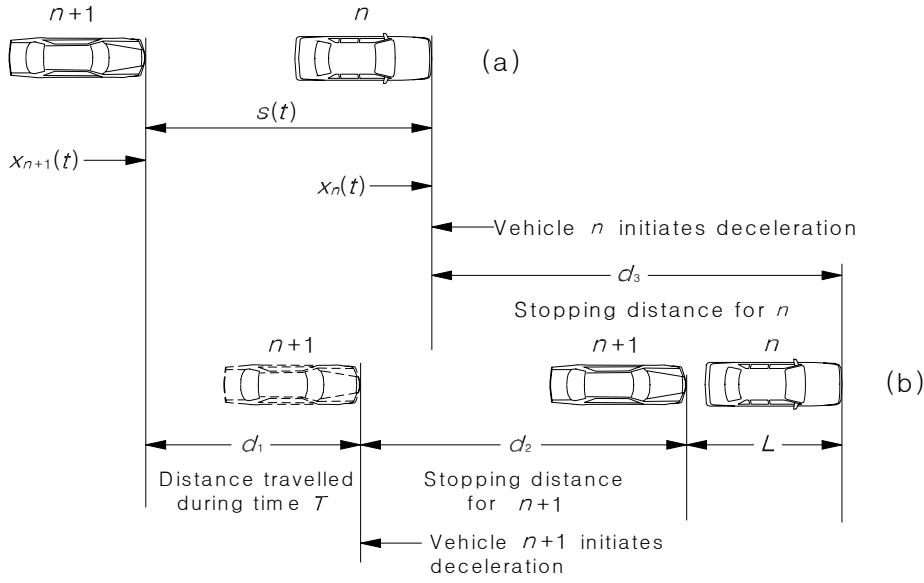


FIGURE 1. Positions of lead and following vehicles for emergency stop condition

를 유지할 것이다. 선행차량이 급정지시 추종차량은 충돌하지 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,

$x_n(t)$: 시각 t 에서 n 차량의 위치

$s(t)$: 시각 t 일 때 두 차량의 차두거리

($= x_n(t) - x_{n+1}(t)$)

d_1 : 반응시간동안 추종차량($n+1$)이 이동한 거리 ($= Tu_{n+1}(t)$)

d_2 : 추종차량의 정지거리

($= [u_{n+1}(t+T)]^2 / 2a_{n+1}(t+T)$)

d_3 : 선행차량의 정지거리

($= [u_n(t)]^2 / 2a_n(t)$)

L : 정지한 두 차량의 차두거리

$u_i(t)$: 시각 t 에서 i 차량의 속도

$a_i(t)$: 시각 t 에서 i 차량의 가속도

라 두면, 선행차량의 급정지시 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 바뀌어서 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 속도차이에 비례하며, 비례상수로

사용되는 민감도는 $T^{-1}(\text{sec})$ 이다. 한편, GM사의 연구팀은 보다 많은 연구를 발전시켰다(May, 1990). 특히 추종차량의 반응시간(reaction time)과 민감도(sensitivity)에 관한 연구를 시험트랙에서 수행하여 안전성을 확보할 수 있는 안전차두거리를 역으로 도출하기도 하였다.

GPS 수신자료의 내역

1. GPS의 구성과 신호

GPS의 구성은 일반적으로 우주부문(space segment)과 제어부문(control segment), 사용자부문(user segment)의 3가지로 구분한다(이영진 등, 1999). 우주부문은 NAVSTAR(navigation satellite timing and ranging global positioning system) 위성이라고 불리우는 GPS위성들로 구성되며 위성의 시간, 위치, 작동상태, 시간보정 등의 정보를 사용자에게 전송하는 역할을 수행한다. GPS위성은 총 24대의 위성으로 구성되어 있으며, 고도는 20,200km로서 적도면에서 55°(Block II 위성)의 경사각을 유지하면서 6개의 위성이 12시간 주기로 지구를 선회하고 있다(Dana, 1997). 또한 전세계 어느 곳에서나 지평선 5° 이내에서 24시간 4대(본 위성 3대, 예비위성 1대)이상의 위성으로 위치를 관측할 수 있도록 되어 있다. 제어부문은 우주부문의 위성들을 매일같이 관리하기 위해 지상에 설치된 관제소로서, 각 위성을 추적, 위성상태 및 각종 위성의 정보를 업데이트하는 업무를 수행하고 있다. 구성요소는 1개의 주제어국(master control station)과 4개의 부제어국으로 이루어져 있다. 사용자 부문은 GPS수신기와 안테나, 자료처리 소프트웨어로 구성되어 있다. GPS는 지구의 북극과 남극을 포함한 지상 어디에서나 날씨에 관계없이 하루 24시간 동안 사용이 가능하며, 사용자는 GPS위성으로부터 보내오는 신호를 수신하기만 하면 되므로 별도의 사용요금을 지불하지 않아도 된다.

GPS위성으로부터 위치, 속도 및 시간 Data를 구하게 되는데, 이때 4개 이상의 위성으로부터 X, Y, Z 위치정보를 알 수 있다. 일반적으로 사용자부문에 포함되는 장비들은 위성신호추적 및 신호관측과 위치결정알고리즘, 사용자 인터페이스, 측위기법 등이 있다.

모든 위성은 L1(1575.45MHz), L2(1227.60MHz) 두 개의 반송파를 이용하여 연속으로 PRN(pseudo-random noise) 코드 및 항법 메시지를 위상 변조하여 전송한다. 이런 두 가지의 주파수를 이용하는 이유는 성층권에서 신호전달이 지연되는 것을 방지하기 위한 것이므로 SA(selective availability)와 A/S(anti-spoofing)기법을 이용하여 고의로 신호의 정확성을 떨어뜨리는데, 이는 미국이외 다른 나라에서 군용으로 GPS를 이용하는 것을 방지하기 위함이다. 즉, SA는 위성에 탑재된 원자시계의 주기를 부정확하게 만들어 사용자가 위성까지의 거리를 측정하는데 오차가 생기도록 하는 방법이다. 이러한 반송파에 중첩되는 정보는 PRN 부호와 항법 메시지로 이루어진다. 수신기를 이용하여 실시간 위치를 결정하기 위해서는 위성과 수신기간의 정확한 전송시간 측정이 필요하며, 이는 반송파상에서 변조된 PRN코드에 의해 이루어진다. GPS위성의 신호 특성은 표 1과 같다.

TABLE 1. Signal characteristics of GPS satellites

구 분	L1	L2
주 파 수	1575.45 MHz	1227.60 MHz
파 장	약 19 cm	약 24 cm
C/A code Clock Rate(code 길이)	C/A Code 1.023MHz (1ms)	None
P code Clock Rate(code 길이)	P Code 10.23MHz (7days)	P Code 10.23MHz (7days)
항법 메시지	50 BPS	50 BPS

주) Y코드 송신시 P 코드는 송신되지 않음

2. GPS 수신자료의 해석

GPS 수신기는 가격에 따라 정확도에 차이가 있는데, 최근에는 1m 이내로 정확도가 향상된 장비도 있다. 본 연구에서 사용된 장비는 그림 2에 표시한 것과 같은 Garmin사의 GPS III Model이다. 이 장비에서 측정할 수 있는 자료는 2초 단위로 수신되는 위치정보에 따라 차량의 속도, 이동거리, 이동방향, 고도, 위성상태 등이다.



FIGURE 2. GPS equipment for data collection

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. 1984년에 만들어진 지구중심 지구고정(ECEF) 좌표계로서 지구 전체를 대상으로 하는 세계 공통 좌표계이며 WGS60, WGS66, WGS72의 개선된 형태로서 새로운 측량기술인 인공위성 레이저 측량 등을 사용하여 지구 형상을 재현하여 사용하였다(유복모, 1992). 회전 타원체인 지구를 평면 위에 정확히 표시하는 것은 대단히 어렵다. 이러한 문제를 최소화하면서 곡면을 평면으로 변환하는 과정중 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, 우리나라에서도 대축적 지도제작에 사용하고 있다.

적용사례

1. 조사방법

선행차량과 추종차량의 행태를 조사하기 위해 2대의 차량(승용차)에 GPS 수신기를 탑재하고 표준시로 세팅한 다음, 2초 단위로 차량의 위치정보가 수집될 수 있도록 하였다. 2대의 차량은 전·후에서 동시에 출발하고, 가로를 통행하는 다른 차량들의 일반적인 흐름과 보조를 맞추어 운행하였다. 대구시의 달구벌대로상에서 12시부터 20분 정도 통행하였다.

2. 수신 자료의 해석

차량이 통행한 20분에 걸쳐 WGS84 좌표값, TM 좌표값, 고도, 위성의 상태가 2초 단위로 수집되었다. 분석에서는 전·후의 자료를 제외하고 800초 동안의 자료를 이용하였다. 표 2는 GPS수신기로부터 수신된 raw data의 일부를 제시한 것이다. 동일 시간대에 선행차량과 추종차량의 위치정보를 비교할 수 있도록 값을 나타내었다. 좌표값이 변하지 않는 부분은 차량이 정지한 것을 의미한다.

TM좌표로부터 단위시간당 이동거리를 산정하는 방법은 식 (7)과 같다. TM좌표값을 X, Y라 두고 고도를 Z라 두면, 2초간 이동한 거리이므로 현재의 값을 X_1, Y_1, Z_1 , 2초 후의

TABLE 2. Raw data segment of GPS equipment

시간	선 행 차 량						추 종 차 량					
	WGS84좌표		TM좌표		고도 상태		WGS84좌표		TM좌표		고도 상태	
12:05:48	3551.360	12838.800	263344.20	348727.70	93.10	11	3551.360	12838.805	263344.33	348735.23	93.00	11
12:05:50	3551.360	12838.783	263343.77	348702.11	93.00	11	3551.359	12838.790	263342.10	348712.68	93.70	11
12:05:52	3551.359	12838.766	263341.49	348676.55	93.50	11	3551.359	12838.775	263341.72	348690.10	93.50	11
12:05:54	3551.359	12838.749	263341.06	348650.95	93.40	11	3551.359	12838.760	263341.34	348667.51	93.30	11
12:05:56	3551.359	12838.732	263340.63	348625.36	93.00	11	3551.359	12838.743	263340.91	348641.92	92.80	11
12:05:58	3551.359	12838.716	263340.23	348601.27	92.80	11	3551.358	12838.726	263338.63	348616.36	92.60	11
12:06:00	3551.359	12838.699	263339.80	348575.68	92.60	11	3551.358	12838.709	263338.20	348590.77	92.30	11
12:06:02	3551.358	12838.682	263337.52	348550.12	92.40	11	3551.358	12838.693	263337.79	348566.68	92.40	11
12:06:04	3551.358	12838.666	263337.11	348526.03	92.20	11	3551.358	12838.677	263337.39	348542.59	92.20	11
12:06:06	3551.358	12838.650	263336.71	348501.94	92.00	11	3551.358	12838.661	263336.98	348518.50	92.10	11
12:06:08	3551.358	12838.634	263336.30	348477.85	91.50	11	3551.358	12838.644	263336.55	348492.91	91.80	11
12:06:10	3551.358	12838.618	263335.90	348453.77	91.50	11	3551.358	12838.628	263336.15	348468.82	91.60	11
12:06:12	3551.358	12838.602	263335.49	348429.68	91.50	11	3551.358	12838.612	263335.74	348444.73	91.60	11
12:06:14	3551.358	12838.587	263335.11	348407.10	91.10	11	3551.358	12838.597	263335.36	348422.15	91.60	11
12:06:16	3551.358	12838.571	263334.71	348383.01	90.90	11	3551.357	12838.581	263333.11	348398.10	91.40	11
12:06:18	3551.358	12838.555	263334.30	348358.92	90.80	11	3551.357	12838.566	263332.73	348375.51	91.30	11
12:06:20	3551.358	12838.539	263333.90	348334.84	90.60	11	3551.358	12838.550	263334.18	348351.40	90.30	11
12:06:22	3551.358	12838.522	263333.47	348309.24	90.50	11	3551.358	12838.534	263333.77	348327.31	90.10	11
12:06:24	3551.358	12838.506	263333.06	348285.15	90.30	11	3551.357	12838.518	263331.52	348303.25	89.80	11
12:06:26	3551.357	12838.487	263330.73	348266.58	90.50	11	3551.357	12838.500	263331.06	348276.15	89.50	11

값을 X2, Y2, Z2라 두고 산정하는 식이다. 그림 3은 위의 거리산정방법에 대한 개념도를 표시한 것이다. 2초 동안 실제 이동한 거리와

속도를 표 3에 나타내었다.

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

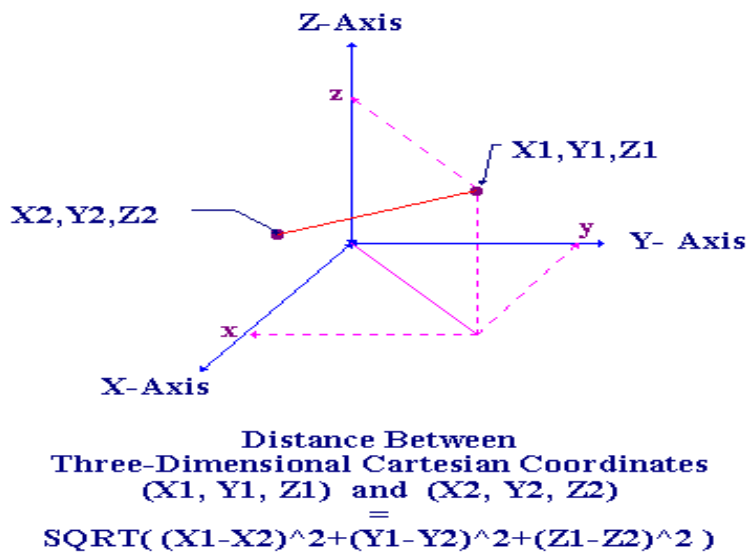


FIGURE 3. Generalized equation of distance calculation

TABLE 3. Data segment of travel speed and distance

시 간	선행차량		추종차량	
	이동거리 속도 (m/2sec)	속도 (kph)	이동거리 속도 (m/2sec)	속도 (kph)
12:05:48	-	-	-	-
12:05:50	25.59	46.07	22.66	40.79
12:05:52	25.66	46.19	22.58	40.65
12:05:54	25.60	46.09	22.59	40.67
12:05:56	25.59	46.07	25.59	46.07
12:05:58	24.09	43.37	25.66	46.19
12:06:00	25.59	46.07	25.59	46.07
12:06:02	25.66	46.19	24.09	43.37
12:06:04	24.09	43.37	24.09	43.37
12:06:06	24.09	43.37	24.09	43.37
12:06:08	24.09	43.37	25.59	46.07
12:06:10	24.08	43.35	24.09	43.37
12:06:12	24.09	43.37	24.09	43.37
12:06:14	22.58	40.65	22.58	40.65
12:06:16	24.09	43.37	24.16	43.48
12:06:18	24.09	43.37	22.59	40.67
12:06:20	24.08	43.35	24.15	43.48
12:06:22	25.60	46.09	24.09	43.37
12:06:24	24.09	43.37	24.16	43.50
12:06:26	28.66	51.60	27.10	48.79

3. 통행속도변화

2대의 차량이 통행한 전체시간과 거리에 대한 내용을 표 4에서 요약하였다. 총 통행거리는 약 5.7km이며, 800초의 측정시간중 차량이 주행한 시간은 선행차량 592초, 추종차량 580초로 산정되었다. 선행차량과 추종차량의 전체구간 평균통행속도는 약 25.5kph로 나타났다. 통행속도 대비 주행속도의 비율은 35.1~37.9% 정도 높은 것으로 분석되었다. 그림 4는 전 구간에 걸쳐 2초 단위로 수신된 속도 변화를 나타낸 것이다. 선행차량의 통행특성이 추종차량에 영향을 미치고 있음을 개괄적으로 알 수 있다.

TABLE 4. Speed data for lead and following vehicles

항 목	선행차량	추종차량
측정시간(sec)	800	800
주행시간(sec)	592	580
정지시간(sec)	208	220
통행거리(km)	5.672	5.677
평균주행속도(kph)	34.49	35.24
평균통행속도(kph)	25.52	25.55

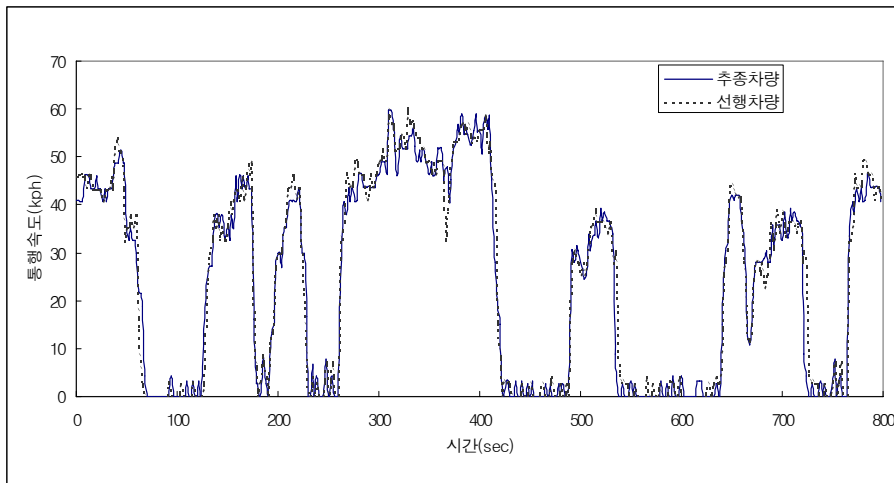


FIGURE 4. Speed variation for lead and following vehicles

4. 가·감속도와 가·감속거리의 비교

차량이 통행중 정지하거나, 정지한 차량이 다시 출발하는 경우에는 반드시 감속(deceleration)과 가속(acceleration)이 이루어진다. 선행차량과 추종차량의 가·감속에 대한 비교는 통행행태를 분석하기 위한 기초자료로 사용되므로 무엇보다 중요하다 할 수 있다. 또한, 도로의 중단구배나 평면곡선 설계시에도 안전차두거리를 산정하기 위한 중요 지표로 사용되지만, 측정상의 어려움 때문에 적용에 제한이 있었다. 두 차량의 행태에 관한 연속성 있는 자료가 2초 단위로 집계되므로 이에 대한 분석이 가능하다. 통상 m/sec^2 으로 표시되는 가속도(a)는 다음과 같이 표시할 수 있다. 속도를 v 라 두고 시간을 t 라 하면, 가속도는 dv/dt 로 표시할 수 있고, 이를 적분하면 $\int_{v_0}^v dv = \int_0^t a dt$ 식 (8)과 같이 된다.

$$v = v_0 + at \tag{8}$$

여기서 v_0 는 최초속도이며, v 는 최종속도를 의미한다. 가·감속시 이동한 거리를 산정하기 위해서 v 는 dx/dt 와 같이 나타낼 수 있고, 식 (8)을 식 (9)와 같이 표현하는 것이 가

능하다. 그 다음 시간 t 동안에 이동한 차량의 거리를 x 라 할 때, 속도와 가속도, 시간을 고려한 이동거리는 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\int_0^x dx = \int_0^t (v_0 + at) dt \tag{9}$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \tag{10}$$

수신된 자료에서 4초 이상 가·감속이 진행되고 속도차이가 3m/sec(10.8km/h) 발생하는 경우에 가·감속도를 조사하였다. 16개의 가·감속자료를 얻었는데, 전체적인 평균치는 표 5와 같다. 선행차량의 평균가속도는 $0.913 m/sec^2$ 이고, 추종차량은 $0.888m/sec^2$ 로 분석되었다. 이때의 평균가속거리는 각각 55.790m와 58.263m로 나타났다. 추종차량이 교통류의 평균속도까지 가속한 거리는 선행차량 그것보다 4.43% 더 길게 나타났고, 가속도는 선행차량에 비해 2.74%가 낮은 것으로 분석되었다. 감속도의 경우는 반대로 나타났는데, 감속거리에 있어서 선행차량의 감속거리가 추종차량보다 오히려 5.47%나 짧은 것으로 분석되었다. 그림 5와 그림 6은 가·감속이 발생한 각각의 경우에 대해서 선행차량과 추종차량의 값을 비교한 것이다.

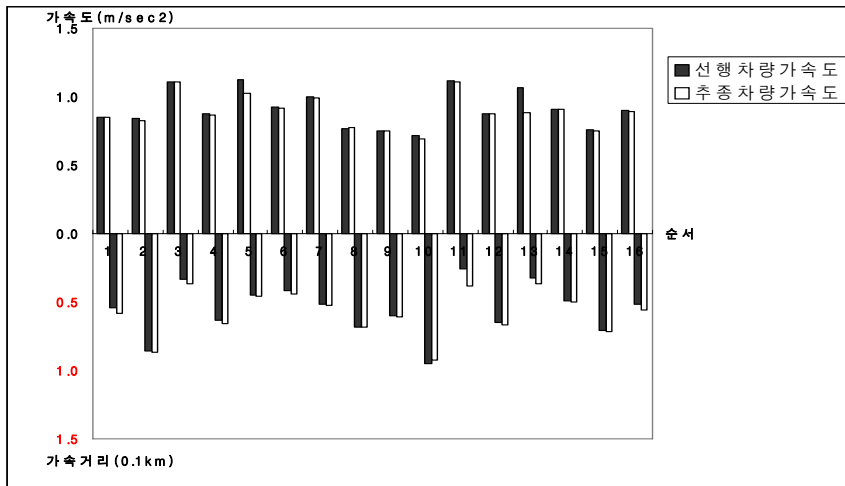


FIGURE 5. Comparison of acceleration and distance for lead and following vehicles

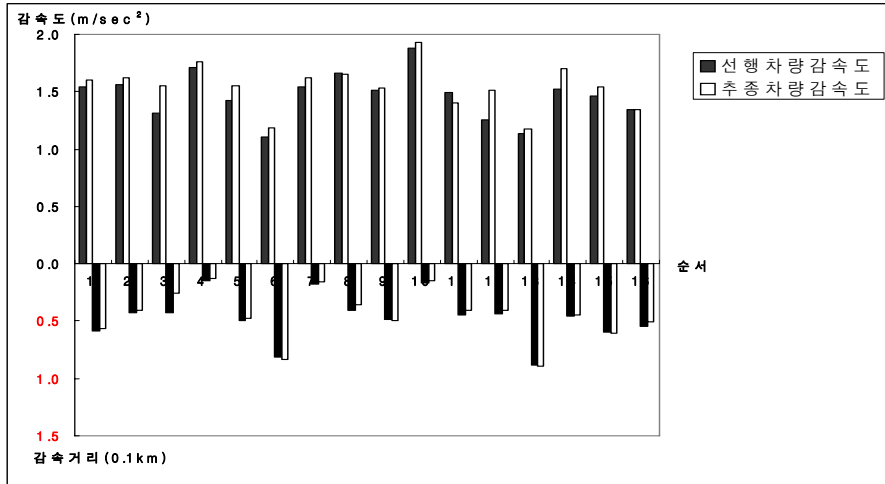


FIGURE 6. Comparison of deceleration and distance for lead and following vehicles

TABLE 5. Comparison of acceleration and deceleration for lead and following vehicles

항 목	선행 차량	추종 차량	추종차량의 증·감율
평균가속도(m/sec ²)	0.913	0.888	▽2.74%
평균가속거리(m)	55.790	58.263	△4.43%
평균감속도(m/sec ²)	1.466	1.543	△5.25%
평균감속거리(m)	46.797	44.239	▽5.47%

5. 가·감속도와 가·감속거리 모형

가·감속도와 가·감속거리에 대한 관계를 그림 7과 그림 8에 나타내었는데, 반비례하는 것으로 나타났다. 가·감속도가 증가함으로써 가·감속거리는 점점 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만 변화의 기울기는 아주 완만한 것으로 나타났으며, 선행차량의 가속도(AL)와 가속거리(ADL), 추종차량의 가속도(AF)와 가속

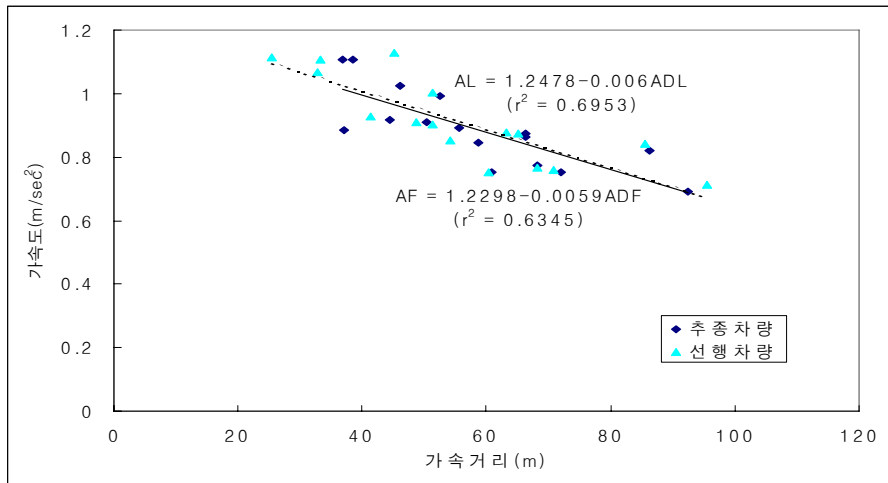


FIGURE 7. Relationship between acceleration and distance

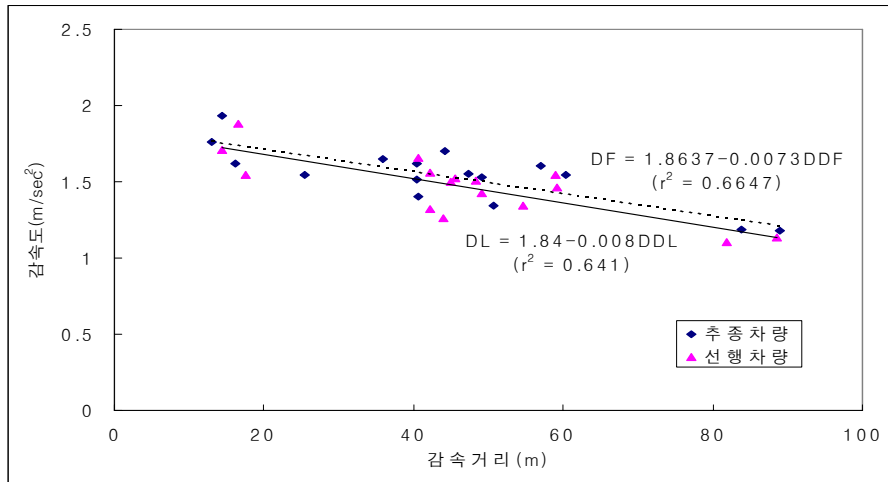


FIGURE 8. Relationship between deceleration and distance

거리(ADF), 선행차량의 감속도(DL)와 감속거리(DDL), 추종차량의 감속도(DF)와 감속거리(DDF)에 대한 관계는 식 (11)~식 (14)와 같다.

$$\circ AL = 1.2478 - 0.0060ADL (r^2 = 0.6953) \quad (11)$$

$$\circ AF = 1.2298 - 0.0059ADF (r^2 = 0.7512) \quad (12)$$

$$\circ DL = 1.8400 - 0.0080DDL (r^2 = 0.6410) \quad (13)$$

$$\circ DF = 1.8637 - 0.0073DDF (r^2 = 0.6647) \quad (14)$$

가·감속거리가 1m 증가함에 따라 0.0059~0.0080m/sec의 가·감속도가 감소함을 알 수 있고, 선행차량과 추종차량과의 구분은 명확하지 않은 것으로 나타났다. 이처럼 통행중 야기되는 차량간 상호 역학관계는 도로 설계와 도시내의 적절한 교통관리와 규제를 위한 기초자료로 유용하게 이용될 수 있으며, 나아가 도로의 용량관계 분석에서도 실용적인 적용이 가능할 것으로 판단된다.

결 론

효율적인 도시교통관리를 위해 선행차량과 추종차량의 행태를 미시적으로 분석하는 방법이 필요하다. 본 연구는 2대의 차량에 GPS 수

신기를 탑재하여 가로를 통행하면서 발생하는 거동특성을 수집·분석하였다. 그 중에서도 전·후 차량의 가·감속도와 그때의 가·감속거리에 대한 특성을 규명하였는데, 차량의 제한속도 규제와 안전차두거리 산정 등의 기초자료로 이용된다. 연구결과, 가속도는 선행차량에 비해 추종차량이 2.74% 낮은 것으로 분석되었고, 가속거리는 4.43%가 증가하는 것으로 분석되었다. 감속도는 반대현상이 나타났는데, 선행차량에 비해 추종차량이 5.25% 높으며, 감속거리는 5.47%가 짧은 것으로 나타났다. 가·감속도와 거리와의 관계는 직선 반비례관계가 적합한 것으로 분석되었고, 관계식은 식 (11)~식 (14)와 같다. 그리고 본 연구를 바탕으로 차량의 추종 관계에 대한 민감도 분석과 안전차두거리의 산정, 현장에서의 적용성 등은 향후 심도있게 추진되어야 할 과제이다. **KAGIS**

참고문헌

유복모. 1992. 측지학. 동명사. 71-116쪽.

이영진, 차득기, 김홍진, 윤홍식, 김경수. 1999. GPS 측량실무. 대한측량협회. 1-15쪽.

- 정연박. 2000. GPS/GIS를 이용한 도시교통운행 Data의 신뢰성검정. 경일대학교 석사학위논문. 41- 55쪽.
- 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.
- Hatipkarasulu, Y., B. Wolshon and C. Quiroga. 2000. A GPS Approach for the Analysis of Car Following Behavior. TRB.
- Herman, R., E.W. Montroll, R. Potts and R.W. Rothery. 1959. Traffic dynamics : analysis of stability in car following. Operation Research 1(7):86-106.
- Laird, D. 1996. Emerging Issues in the Use of GPS for Travel Time Data Collection. Proceedings of the National Traffic Data Acquisition Conference, Albuquerque, N.M., pp.117-123.
- May, A.D. 1990. Traffic Flow Fundamentals. Prentice-Hall, Inc., pp.167-173.
- Pipes, L.A. 1953. An operational analysis of traffic dynamics. Journal of Applied Physics 24(3):274-287.
- Quiroga, C.A. 1997. An Integrated GPS-GIS Methodology for Performing Travel Time Studies. Doctoral Dissertation, Louisiana State University, Baton Rouge, LA.
- Quo, P. and A.D. Poling. 1995. GIS/GPS Design for Network Travel Time Study. Transportation Research Record 1497, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp.135-139.
- Reuschel, A. 1950. Vehicle movements in a platoon with uniform acceleration or deceleration of the lead vehicle. Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur-und Architekten-Vereines 95:59-62. **KAGIS**