

■ 論 文 ■

DGPS 수신장치를 활용한 차량추종 모형 파라미터 정산

Parameter Calibration of Car Following Models Using DGPS DATA

김 은 영

(한국건설기술연구원 첨단도로
시스템연구센터 연구원)

이 청 원

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

김 용 진

(인하대학교 아태물류학부 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구배경 및 목적
 - 2. 연구범위 및 수행방법
 - II. 선행연구고찰
 - 1. 차량추종모형 관련연구
 - 2. DGPS 활용 관련연구
 - III. DGPS 수신장치 이용 자료수집 및 정확도 검증
 - 1. DGPS 수신장치 이용 자료수집
 - 2. 수신자료의 정확도 검증
 - IV. 수신자료를 활용한 차량추종모형 파라미터 정산
 - 1. GM 모형
 - 2. PARAMICS 차량추종모형 (Fritzsche 모형)
 - V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : DGPS, 추종이론, 차량추종모형, GM모형, 파라믹스 추종모형

요 약

미시교통류의 한 연구분야인 차량추종이론은 1950년대에 처음으로 제시되었고 1960년대에 활발히 진행되다가 자료수집의 한계로 인해 연구가 부진하다가 위성을 이용한 차량의 위치추적 기술의 발달과 컴퓨터의 이용이 보편화되면서 다시 활기를 띠고 있다. 최근에는 GPS(global positioning systems)의 수신자료를 이용한 연구가 많이 수행되고 있다. GPS 기술이 교통에 도입되면서 차량의 위치에 대한 실시간 추적이 가능하게 되었다. 위치정보는 시간상으로 연속적일 뿐만 아니라, 여러 대의 차량의 연속추행에 대해서도 동시 추적이 가능하다. 본 연구는 현실자료를 기반으로 한 국내 교통류에 적합한 차량추종모형 파라미터를 정산하기 위하여 수집장치로서 DGPS의 활용 가능성을 타진하는 실험을 반복 수행하였고, DGPS를 활용한 분석 프로세스를 정립하고, 오차에 관한 현장조사를 수행하며, DGPS 수신자료의 활용성을 판단하여 추가조사를 통하여 제한적이긴 하나 차량추종모형의 파라미터를 정산한 후 이 값을 기존 연구결과와 비교해 보는 과정으로 구성되었다.

또한 최근 미시적 시뮬레이션의 도입이 광범위하게 이루어지고 있고, 시뮬레이션에는 차량추종모형이 적용 되어있다. 파라미터 정산의 어려움으로 인해 외국의 Default 값을 수정없이 사용하고 있는데 국내 운전행태가 외국의 경우와 다르므로 Default값을 사용하는 것은 분석의 문제 가능성을 내포하고 있다. 본 연구에서는 현장실험을 통해 수집된 DGPS 수신자료를 이용하여 제한적이거나 PARAMICS의 차량추종모형의 파라미터를 정산하는 것으로 현실에 맞는 파라미터 정산의 가능성을 판단하였다.

Car following model is a theory that examines changes of condition and inter-relationship of acceleration-deceleration, headway, velocity and so on closely based on the hypothesis that the posterior vehicle always follows the preceding vehicle. Car following model which is one of the research fields of microscopic traffic flow was first introduced in 1950s and was in active progress in 1960s. However, due to the limitation of data gathering the research depression was prominent for quite a while and then soon was able to tune back on track with development in global positioning system using satellite and generalization of computer use. Recently, there has been many research studies using reception materials of global positioning system(GPS). Introducing GPS technology to traffic has made real time tracking of a vehicle position possible. Position information is sequential in terms of time and simultaneous measurement of several vehicles in continuous driving is also practicable.

Above research was focused on judging whether it is feasible to overcome the following model research by adopting the GPS reception device that was restrictively proceeded due to the limitation of data gathering. For practical judgment, we measured the accuracy and confidence level of the GPS reception device's material by carrying out a practical experiment.

Car following model is also being applied in simulations of traffic flow analysis, but due to the difficulty of estimating parameters only given values are used in reality.

Under the basis of the above result, it is our goal to produce an accurate calibration of car following model's parameters that is suitable in this domestic actuality.

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

차량의 미시적 움직임을 설명하는 차량추종모델(Car Following Model)은 2대의 차량이 선행차량은 후행차량을 따른다는 가정하에 2대 차량에 동시에 나타나는 행태에 대해 분석하고 규명하는 이론이다. 선행차량의 상대적인 위치나 속도, 가·감속도는 후행차량에 대한 반응시간이나 민감도 등에 직접적인 영향으로 작용한다. 이러한 차량추종이론은 Reuschel(1950)과 Pipes(1953)에 의해 처음 제기되었고, 1960년대에 활발히 진행되었으나, 선·후행 개별차량의 가·감속도 변화, 차두간격 및 속도의 변화 등에 관한 자료수집의 현실적 어려움으로 현실 활용에 있어서 확신성과 보편성에 의문이 제기되곤 해왔고, 이로 인해 연구가 부진 하였다. 그러나, 근래 위성을 이용한 차량의 위치추적 기술의 발달과 컴퓨터의 이용이 보편화되면서 다시 활기를 띠고 있다. 최근에는 GPS(global positioning systems)의 수신자료를 이용한 연구가 많이 수행되고 있다. GPS 기술이 교통에 도입되면서 차량의 위치에 대한 실시간 추적이 가능하게 되었다. 위치정보는 시간상으로 연속적일 뿐만 아니라, 여러 대의 차량의 연속추행에 대해서도 동시 측정이 가능하다. 따라서 시간 자료수집의 한계로 인해 제한적으로 진행되었던 차량추종모형 연구에 활용이 가능해졌다. 통행중인 차량에 수신기를 탑재하여 차량의 순간속도와 차량의 위치를 정확히 측정하는 것이 가능해졌고, 선행차량의 가·감속시 후행차량의 행태에 대한 구체적인 자료수집도 가능하게 되었다. 또한 2000년 5월 SA(Selective Availability) 해제로 인해 GPS 수신자료의 정확도가 향상하였다. 평균 오차율이 5m~1m 내외인데 이 연구에서 사용된 DGPS(Differential GPS) 수신장치의 경우 위치보정을 실시해 오차를 줄이는 방식으로 그 오차범위가 1m~0.2m 내외로 교통공학적 활용이 가능한 것으로 나타났다. 하지만 실제 DGPS를 통해 수집된 자료의 정확성을 판단하지 않는다면 그 연구 결과의 신뢰성이 저하될 것이다.

본 연구는 현실자료를 기반으로 한 국내 교통류에 적합한 차량추종모델 파라미터를 정산하기 위하여 수집장치로서 DGPS의 활용 가능성을 타진하는 실험을 반복 수행하였고, DGPS를 활용한 분석 프로세스를 정립하고, 오차에 관한 현장조사를 수행하며, DGPS 수신자료의 활용성을 판단하여 추가조사를 통하여 제한적이긴 하나 차량추종모델의 파라미터를 정산한 후 이 값을

기존 연구결과와 비교해 보는 과정으로 구성되었다.

또한 최근 미시적 시뮬레이션의 도입이 광범위하게 이루어지고 있고, 시뮬레이션에는 차량추종모델이 적용되어있다. 파라미터 정산의 어려움으로 인해 외국의 Default 값을 수정없이 사용하고 있는데 국내 운전행태가 외국의 경우와 다르므로 Default값을 사용하는 것은 분석의 문제 가능성을 내포하고 있다. 본 연구에서는 현장실험을 통해 수집된 DGPS 수신자료를 이용하여 제한적이거나 PARAMICS의 차량추종모델의 파라미터를 정산하는 것으로 현실에 맞는 파라미터 정산의 가능성을 판단한다.

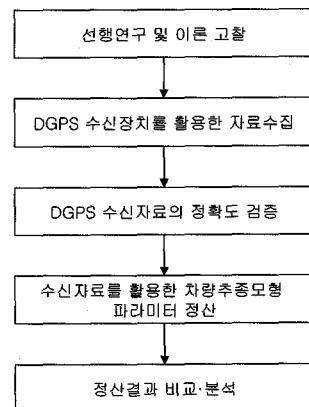
2. 연구범위 및 수행방법

본 연구에서는 DGPS 수신자료의 정확도를 검증하여 차량추종에 이용이 가능한지를 우선 판단하고 실제 현장 수집자료를 이용하여 차량추종 모형의 파라미터 정산을 시도한다.

DGPS 수신장치를 이용하여 차량추종모형 파라미터 정산을 하는 것을 목적으로 하기 때문에 우선 DGPS 수신장치를 이용하여 자료수집을 실시한다.

자료수집을 통한 자료의 신뢰성 및 정확도를 파악하기 위해 자료분석 및 검증을 통해 자료의 정확도 및 신뢰성을 판단하고, 수신자료를 활용하여 차량추종모형 파라미터 정산을 한다. 본 연구에서 적용한 차량추종모형은 GM의 첫 번째와 세 번째 모형과 시뮬레이션인 PARAMICS의 차량추종모형을 수신자료에 적용하였다. 각 모형별 파라미터 정산과 실제 측정된 가속도와 모형 예측 가속도를 비교하여 각 모형별 유의성을 검증하였다.

본 연구의 수행절차는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구수행절차

II. 선행연구고찰

1. 차량추종모형 관련연구

이영인(2000) 등의 연구는 Gazis(1961) 모형(GM 5th Model)을 기반으로 가속·감속·출발·정지 상황에 대하여 차량추종모형의 파라미터를 추정하였다. 각 상황에 대해서 4가지 모형을 적용하여 파라미터를 추정하였다.

김재석(2003) 등의 연구에서는 GPS 수집 자료를 이용하여, 포화상태에서 통행하는 2대의 차량 중 추종차량의 민감도에 영향을 미치는 요인의 종류와 크기를 규명하고자 하였다. 국도 42호선 상에서 2대의 시험차량에 GPS장비(Differential-ready Phase Trace12TM 수신기)를 장착하고, 2초 단위의 실시간 통행 특성 자료를 조사하였다. 조사된 자료를 요인별로 구분하여 정리하고, 요인간의 관계 및 민감도에 미치는 영향의 크기를 단계적 회귀분석을 통해 규명하고자 하였다. 적용된 변수는 7개로써, 선행차량 감속직전 속도, 추종차량 감속직전 속도, 차량 간 속도차, 선행차량 감속도, 추종차량 감속도, 차량 간 차간거리, 안전 차간거리이다.

Cassidy (2002) 등은 Newell에 의해 제안된 차량 추종모형을 증명하였다.

Newell의 차량추종모형은 다른 이론들과 차이를 보인다. 적은 파라미터와 적은 계산과정을 보이지만 매우 중요하다. Newell의 이론은 기존 차량추종이론은 안정적이지 않다고 가정한다. 후행차량 운전자는 주어진 속도에서 적당한 앞차와의 거리를 선호하고 선택한다. 또한 앞차의 경로를 따르는 경향이 있다고 하였다. 연구 배경으로 실제 micro 이론인 차량추종은 안정적이지 않다고 가정한 후 Newell의 이론 증명하였고 이는 고속도로 교통류에 알맞다는 것을 설명하였다.

Panwai(2005) 등은 GHR, collision, avoidance model, linear model, Psychophysical or action point model(AP), Fuzzy logic-based model, Desired spacing models로 선행연구를 구분하였고, 수집된 실시간 데이터를 기반으로 ANNs(Artificial Neural Networks) 사용하여 분석하였다.

2. DGPS 활용 관련연구

국내연구를 살펴보면 김재석(2002) 등은 GPS 수신

기로부터 측정되는 자료의 정확도를 분석·보정함으로써 동일 기종의 장치를 이용하여 수행되는 향후 연구에 대한 준거를 제시하였다. 이 연구는 2가지 유형의 구간으로 구분하여 진행하였는데, 대상구간 주변의 3, 4등 삼각점을 설정하고, 이로부터 측정된 측량 좌표와 DGPS 수신자료에 의한 좌표를 비교하였다. DGPS 수신결과는 최대 0.6m 이내의 오차를 수반하는 것으로 나타났다.

이영우(2004) 등은 DGPS를 활용하여 실시간으로 자료 수집을 하여 링크통행시간 산정시 지점검지기에 의한 교통자료수집보다 GPS를 이용한 교통자료수집이 더욱 합리적이라는 연구결과를 제시하였다.

이창원(2005)은 GPS자료가 교통류 분석에 우선 활용될 수 있는 두 가지 가속소음의 측정과 two-fluid 모형의 계수 산정을 선정하였으며, 자료수집 방법과 사례분석결과를 제시하였다.

국외연구의 경우 Hatipkarasulu(2000) 등은 일반 도로에서 2대의 DGPS와 2대의 차량을 이용해 Car Following Theory 실험을 진행하여 자료수집 및 처리방법에 대해 설명하고, GM 모델을 계산하였다.

Wolshon(2000) 등은 제한적으로 실시되었던 Car-following 실험을 LSU에서 실시했던 일반도로에서 GPS를 사용하여 데이터를 수집했던 방식으로 수행하여 GM모형을 적용시켰다. car-following 개념을 제시하고, GPS 수집시 장점을 설명하였다. 데이터 처리과정과 수집방법을 제시하고 GM 모델을 계산하였다.

Shekleton(2002)은 기존 차량추종모형은 고속도로 환경을 기반으로 계산되었기 때문에 도시부 교통류 상황에는 적합하지 않다고 하였다. 이 연구에서는 DGPS를 사용하여 도시부에서 차량추종 실험을 수행하였다. 두 가지 조건(dry condition, wet condition)으로 나누어 실험하였다. 데이터 분석은 거리와 속도 관계, 가·감속도 결과 비교, 가속도와 속도 관계, 감속도와 속도, 감속도와 속도변화로 하였다.

Ranjitkar(2004) 등은 DGPS를 10개의 차량에 설치하고 test-track을 주행하여 실험하여 속도데이터와 차두시간 데이터를 이용해서 6개의 차량추종이론(CarFollowing Theory)의 파라미터를 산출하여 비교하였다. 추종행태 data를 이용하여 몇 개의 미시적 교통류 모형의 행태를 조사하였다.

모형 파라미터의 최적의 평가는 genecop 알고리즘을 사용하여 결정하였고, 두 가지 경우 나누어서 평가하였는데 속도데이터, 차두시간 데이터를 이용하여 수행하였

다. 속도데이터와 차두시간 데이터를 이용하여 6개 모델 (Krauss, Gipps, Newell, ECS, Bando, Catello)의 평균오차를, 표준편차, 변이계수를 산출하였다. 각 모델에 따른 파라미터를 산출하고 파라미터에 따른 평균오차율, 표준편차, 변이계수를 산출하였다. 또한 속도와 차두시간 데이터를 GPS수신장치 데이터와 Conventional 방법으로 얻은 데이터와 비교하였다.

III. DGPS 수신장치 이용 자료수집 및 정확도 검증

1. DGPS 수신장치 이용 자료수집

DGPS 수신장치를 이용하여 시간, 위치, 속도 등의 자료를 수집할 수 있다. 이 자료를 이용하여 차량추종 모형 정산을 할 수 있다. 같은 시간대의 차량 간 거리 및 속도차를 정확히 측정할 수 있기 때문에 기존의 방법과 비교해서 보다 정확한 값을 산출할 수 있다.

1) 조사장비 구성

일반 GPS보다 높은 정확도를 보장해주는 DGPS는 시·공간 분석을 위한 자료수집에 필수장비이다. 조사 장비는 <그림 2>에서 보는 것으로 미국 Trimble사의 PathFinder Pro-XR로 안테나부, 수신부, 제어부로 나뉘며, 안테나는 실시간 보정신호를 받을 수 있는 비콘(Beacon)이 추가로 내장된 일체형 안테나이고, 안테나에 자석을 연결시켜 차량 외부에 부착하여 조사를 할 수 있다.

조사 요원이 실제 운용한 기기는 제어부 기기로서, GPS 위성과의 수신 상태 모니터 및 데이터 수집 간격, 단위, 요구 데이터 품질(PDOP), 좌표 등의 옵션 등을 사용자가 직접 선택하여 이용 가능한 기기이다.



<그림 2> 조사장비

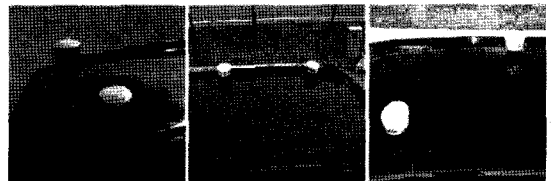
2) 조사방법

(1) 정확도 검증을 위한 조사

GPS의 위치자료 및 속도자료의 오차를 파악하고 자

료 분석 진행시 오류자료 판단을 하기 위해 다음 조사 방법과 같이 2대의 DGPS 수신장치를 부착한 후 동시에 1초단위의 속도자료를 수집하였다. 조사차량 탑승자는 운전자, GPS 수신기 관리자 2명으로 구성하였으며, GPS 속도 측정 간격은 1초로 PDOP 값이 6을 초과하면 데이터 수신을 멈추도록 설정하였다.

- 조사구간: 자유로~통일로 구간
- 조사장비: 차량1대, DGPS 수신장치 2대
- 조사방법: 1회 수평설치 0.7m간격
2회 수직설치 1m간격
3회 대각선 설치 1m간격

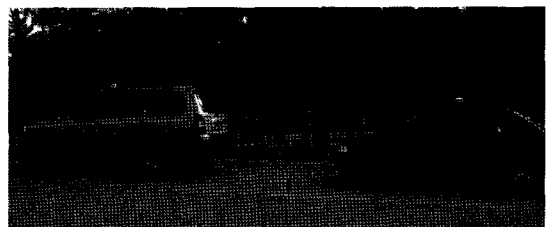


<그림 3> 정확도 검증을 위한 안테나 설치위치

(2) 차량추종모형 적용을 위한 자료수집

차량추종모형 적용을 위한 자료수집은 두 대의 차량에 DGPS 수신장치를 부착하여 조사구간을 주행하여 실험하였다. 실험대상 구간은 경부고속도로 안성 ~ 천안구간과 인천국제공항고속도로구간이고 경부고속도로 안성~천안 구간 3회, 인천국제공항고속도로로 2회, 총 5회 실시하였다. 조사차량 탑승자는 운전자, GPS 수신기 관리자로 구성하였으며, GPS 속도 측정 간격은 1초로 PDOP 값이 일반적으로 6이하면 그 자료의 정확성이 인정되므로 PDOP값이 6을 초과하면 데이터 수신을 멈추도록 설정하였다.

- 조사구간: 경부고속도로 안성~ 천안구간, 인천국제공항고속도로
- 조사장비: 차량 2대, DGPS 수신장치 2대



<그림 4> 자료수집 조사차량

- 조사방법 : 2대의 차량을 조사구간 내에 동일한 조건하에 주행하고 후행차량의 운전자는 선행 차량의 주행행태에 따라 차로를 변경하지 않고 주행함.

3) 조사자료처리

조사자료의 처리는 수집한 자료를 DGPS 응용 프로그램을 통해 GIS data 형태인 *.shp 파일로 변환한 후, GIS 프로그램인 ArcGIS 9.0을 통해 일반적으로 활용되는 좌표계로 좌표변환을 실시한 후, 속도자료를 분석한다.

PDOP의 변화가 있을 때 정확도의 오차가 커지며, 특히 거리 오차의 회복이 늦음을 알 수 있다.

<표 1> DGPS 자료 설명

항목	설명
속력	조사차량의 1초동안 이동속도(km/h)
PDOP	측정시 PDOP (3차원 위치에 대한 오차율)
CORR_TYPE	실시간 보정 여부
RCVR_TYPE	측정 기기 모델 이름
GPS_DATE	GPS 위성으로부터 측정된 날짜
GPS_초	GPS 위성에서 관리되는 10진수단위 초(1주일 단위로 갱신됨)
포인트 ID	1초 단위로 생성되는 위치의 일련 ID
X 좌표	1초 단위로 생성되는 위치의 X좌표
Y 좌표	1초 단위로 생성되는 위치의 Y좌표

4) 조사자료분석

두 장치를 한 대에 차량에 설치하고 3회에 걸쳐 정확도 검증을 위해 실험을 수행하였다. 자유로-통일로 구간을 운행하였는데 교통상태는 양호하였으며, 평균 PDOP 값도 모두 6이하 값으로 모든 데이터가 신뢰할 만한 수준이다. 여기서 말하는 PDOP란 3차원 위치에 대한 오차율로써 데이터 품질을 나타내는 수준이다. 즉 값이 적을수록 그 데이터의 신뢰성이 높다. 일반적으로 6이상의 값은 오차율이 큰 것으로 보고 데이터의 품질을 인정하지 않는다.

수평과 수직, 대각선으로 설치한 것은 안테나 간 위치형태에 따라 다른 결과를 보이는지 어떤 차이를 보이는지 살펴보기 위함이었으나 설치위치에 따라 다른 결과를 보이지는 않았다. 이 실험의 제한적인 요소는 두 장치간 위치 측정시 안테나의 정확한 위치 파악이 어려움으로 약간의 오차가 발생이다. 제한적 요소를 고려하

<표 2> 정확도 조사자료 분석결과 (단위:km/h)

설치장치	평균속도	표준편차	최대속도	최소속도	
수평	1	73.0189	29.56925	120.364	0.013
	2	73.017	29.56831	120.32	0.007
	차이	0.0019	0.00094	0.044	0.006
수직	1	65.3315	24.7124	100.286	0.008
	2	65.33	24.7132	100.327	0.031
	차이	0.0015	0.0008	0.041	0.023
대각선	1	74.60192	31.31152	119.157	0.022
	2	74.55669	31.27335	119.075	0.03
	차이	0.045	0.03817	0.082	0.008

여 가장 적은 차이를 보인 것은 수직으로 설치했을 때로 나타났다. 조사자료의 기본 자료분석 결과는 <표 2>와 같다.

2. 수신자료의 정확도 검증

1) 자료검증 및 분석방법

DGPS 수신자료의 정확도 검증 방법은 두 장치 간 수신자료인 속도자료, 위치자료, PDOP자료를 이용하여 시행하였다.

두 장치간 속도관계, 해당 시각의 속도차와 거리차를 이용하여 나온 시간으로 오차를 알아봤으며, 평균 PDOP값을 비교하여 장치의 수신자료 정확도를 파악하는데 이용하였다.

속도간 상관관계는 R² 값이 모두 0.99 이상으로 서로 영향을 주는 것으로 나타났다.

2) 검증결과

이용한 장비 Trimble사 PRO_XR의 거리오차는 1m 내외이다. 실험결과 평균 거리오차는 0.38m로 오차 범위 안에 값으로 나타났다. 또한 평균 PDOP값 역시 모두 6이하 값으로 설명력이 있는 것으로 나타났다.

두 장치간 속도차 역시 0.11km/h 정도로 차이가 미미한 것으로 나타났고, 상관관계는 0.99이상으로 나타나 장치간 속도관계는 설명력이 있는 것으로 보인다.

그러므로 이 실험에서 수행된 DGPS 장치의 수신자료는 차량추종모델 적용이나 다른 교통공학적 활용에 활용이 가능한 것으로 판단된다. 그러나 두 장치가 같이 오류를 보일 가능성도 없지 않으므로 기종이 다른 장치간 거리오차, 속도차, 속도간 관계 역시 향후 연구시 정확도 검증을 해 봐야 할 것이다.

〈표 3〉 정확도 실험 결과

	거리차(m)	속도차(km/h)	평균 PDOP
1회	0.27	0.14	2.4
2회	0.42	0.05	2.3
3회	0.46	0.14	2.2

V. 수신자료를 활용한 차량추종모형 파라미터 정산

1. GM 모형

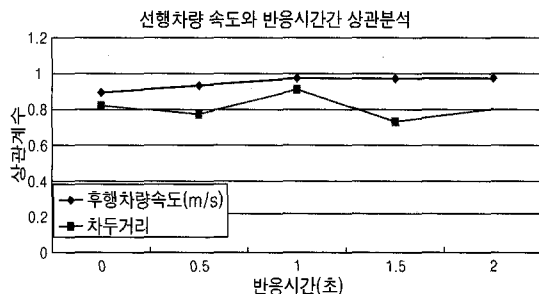
GM 모형의 주요 파라미터는 반응시간과 민감도 계수이다. 본 연구에서 반응시간은 요인간 상관분석을 통해 도출하였고 민감도 계수는 상대속도와 차두거리의 회귀분석, 후행차속도와 속도차 이용하여 도출하였다. 두 가지의 경우를 이용하여 GM 첫 번째 모형과 세 번째 모형에 적용하여 실측치와 예측치를 비교하였다.

1) 요인 간 상관분석을 통한 반응시간 선정

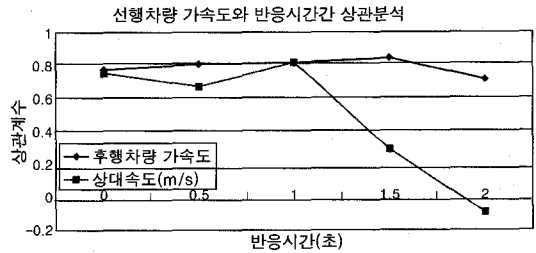
요인간 상관분석을 반응시간 0초, 0.5초, 1초, 1.5초, 2초로 선정하여 분석을 실시하였다. 0.5초~2초 범위는 Johansson과 Rumar의 연구에서 주행차량에 대한 반응실험에서 50%이상 0.66초, 가장 느린 운전자 반응시간 2.0초로 나타난 것을 토대로 범위를 선정하였다.

차량추종에 적용되는 요인은 선행차량속도, 선행차량 가속도, 후행차량속도, 후행차량 가속도, 상대속도, 차두거리이고, 이들 간 상관관계가 0.5이상인 것을 추출하여 3회의 실험에서 1분간 데이터 60개의 샘플을 가지고 반응시간 대별로 상관분석을 실시하였다.

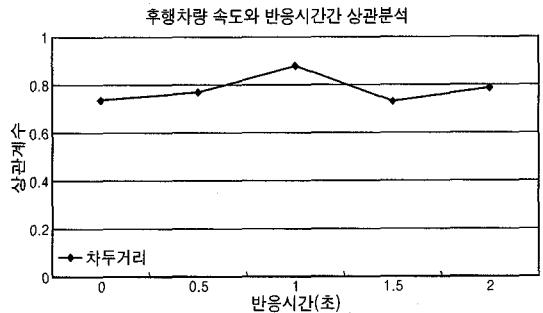
상관분석 결과 반응시간 0초, 0.5초, 1초 일때 선행차량속도와 후행차량속도, 차두거리, 선행차량가속도와



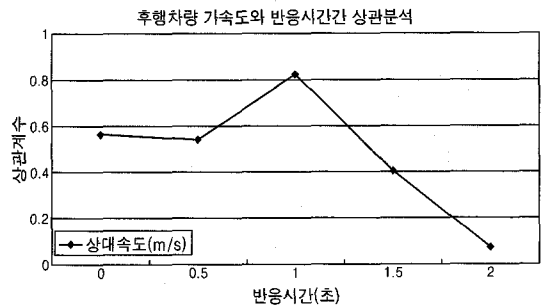
〈그림 5〉 선형차량속도와 반응시간에 따른 상관관계



〈그림 6〉 선형차량 가속도와 반응시간에 따른 상관관계



〈그림 7〉 후행차량속도와 반응시간에 따른 상관관계



〈그림 8〉 후행차량 가속도와 반응시간에 따른 상관관계

후행차량가속도, 상대속도, 후행차량 속도와 차두거리, 후행차량가속도와 상대속도와 상관관계가 있는 것으로 나타났고, 반응시간 1.5초와 2초일 때는 선행차량속도와 후행차량속도, 차두거리, 선행차량가속도와 후행차량가속도, 상대속도, 후행차량 속도와 차두거리간 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

요인간 상관분석 결과 반응시간 1초일 때 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다.

2) GM 첫 번째 모형

(1) 파라미터정산

GM에 사용되는 파라미터는 민감도계수이다. 이 연

구에서 민감도계수는 상대속도와 속도차의 회귀분석으로부터 도출하는 방법 식(1)과 후행가속도와 속도차를 이용하여 도출하는 방법 식(2)과 두가지를 수행하였다.

두 가지의 결과는 <표 4>와 같다.

$$\lambda_1 = C_\lambda \frac{v}{C_{\Delta x} \Delta v} \quad (1)$$

$$\lambda_2 = \frac{a_{n+1}(t+T)}{\Delta v} \quad (2)$$

$$a_{n+1}(t+\Delta t) = \alpha[v_n(t) - v_{n+1}(t)] \quad (3)$$

- 여기서, λ : 민감도계수
- C_λ : 상대속도와 차두거리로부터 산출된 계수
- v_{n+1} : 후행차량 속도
- Δx : 차두거리
- Δv : 상대속도
- $a_{n+1}(t+T)$: 후행차량 가속도

위 식을 기반으로 산출된 민감도계수를 적용하여 GM의 첫 번째 모형과 세 번째 모형에 대입하였고, 대입결과 나온 후행가속도와 실제 인천국제공항고속도로와 경부고속도로 천안-안성구간의 후행가속도와 비교하였다.

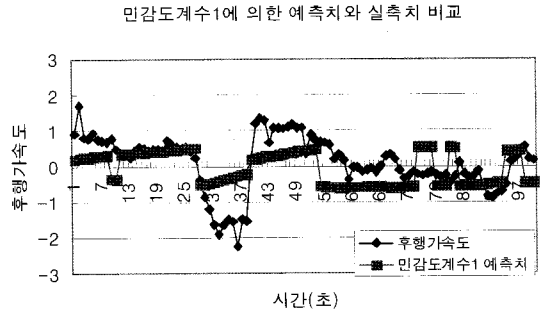
<표 4> GM 첫 번째 모형 파라미터 정산 결과

	C_λ	$C_{\Delta x}$	$\lambda_1 (s^{-1})$	$\lambda_2 (s^{-1})$
인천국제공항 고속도로	-0.0108	-0.5355	0.58	0.54
경부고속도로 천안-안성구간	0.0085	0.2446	-0.19	0.75

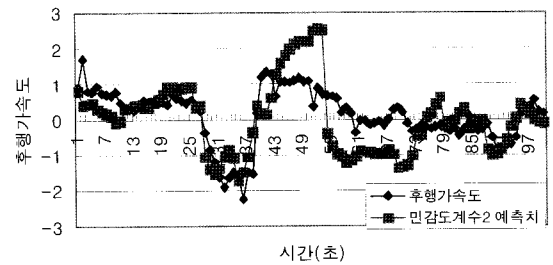
도출된 민감도계수의 값은 과거 GM의 현장실험값인 $0.17(s^{-1})$ 보다 인천국제공항고속도로의 경우 $0.54(s^{-1})$, 경부고속도로 $0.75(s^{-1})$ 으로 훨씬 큰 값으로 나타났다. 과거 GM현장실험 여건보다 차량 간 변화에 민감하게 반응한다는 것을 알 수 있다.

(2) 실측치와 예측치 비교

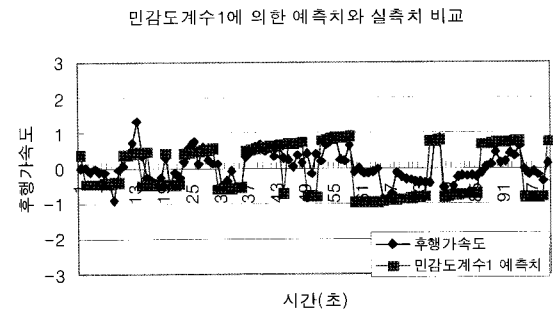
실제 후행차량 가속도와 도출된 민감도계수를 이용한 예측치를 Paired t-test를 통해 검증해 본 결과 후행가속도와 상대속도로 도출된 민감도계수2의 경우 실제 자료와 예측 자료의 차이가 없었다.



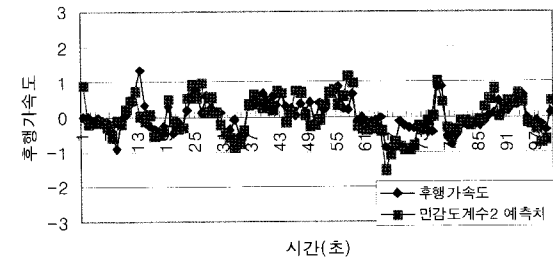
민감도계수2에 의한 예측치와 실측치 비교



<그림 9> 인천국제공항고속도로로 모형예측치와 실측치 비교



민감도계수2에 의한 예측치와 실측치 비교



<그림 10> 경부고속도로 천안-안성 모형예측치와 실측치 비교

여기서 Paired t-test를 실시한 이유는 두 표본평균간의 차이를 기초로 두 집단 간 평균차이의 검증이 필요하였기 때문이다.

유의수준 0.05에서 귀무가설 실제 후행가속도와 모형

예측 후행가속도의 차이는 없다라는 가정 아래 Paired t-test를 실시하였다. Paired t-test 실시 결과 상대속도와 차두거리를 이용한 민감도계수1의 경우 두 집단간 차이가 있음으로 나타났고 민감도계수2의 경우 두 집단간 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉 민감도계수2가 실제 자료에 유의하지 않으므로 모형 설명력에 가까운 민감도계수로 알 수 있다.

3) GM 세 번째 모형

(1) 파라미터 정산

세번째 모형에서 민감도계수는 차두거리와 상대속도, 후행차량가속도 식(4)로부터 산출하였다.

• 민감도 λ : $\lambda = \frac{\alpha_0}{x_n(t) - x_{n+1}(t)}$ (4)

• 모형식:

$a_{n+1}(t+T) = \frac{\alpha_0}{x_n(t) - x_{n+1}(t)} [v_n(t) - v_{n+1}(t)]$ (5)

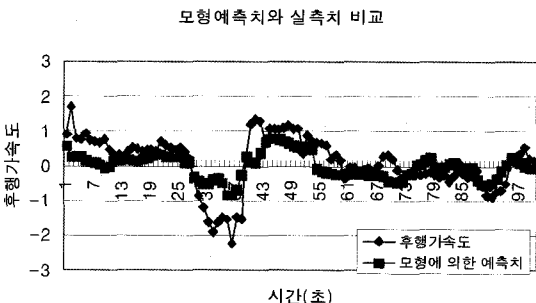
<표 5> GM 세 번째 모형 파라미터 정산 결과

조사구간	λ (m/sec)
인천국제공항고속도로	6.14
경부고속도로 천안-안성구간	13.86

도출된 민감도계수의 값은 과거 GM의 현장실험값은 반응시간 1.2초인 경우 9.14(m/sec)으로 나타났다. 본 연구의 실험결과는 반응시간 1초일 때, 인천국제공항고속도로의 경우, 6.14(m/sec), 경부고속도로 13.86(m/sec)으로 과거 GM현장실험과 반응시간의 차이가 존재하므로 비교할 수 없다.

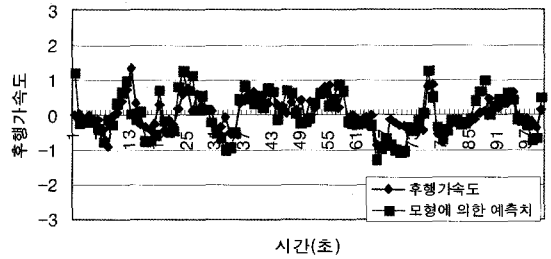
(2) 실측치와 예측치 비교

실제 후행차량 가속도와 도출된 민감도계수를 이용한 예측치를 Paired t-test를 통해 검증해 본 결과 민감도



<그림 11> 인천국제공항 고속도로 모형예측치와 실측치 비교

모형에 의한 예측치와 실측치 비교



<그림 12> 경부고속도로 천안-안성 고속도로 모형예측치와 실측치 비교

계수의 적용은 실제 자료와 예측 자료의 차이가 없었다. 유의수준 0.05에서 귀무가설 실제 후행가속도와 모형 예측 후행가속도의 차이는 없다라는 가정 아래 Paired t-test를 실시하였다. 민감도계수의 경우 두 집단 간 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉 민감도계수가 실제 자료에 유의하지 않으므로 모형 설명력에 가까운 민감도계수로 알 수 있다.

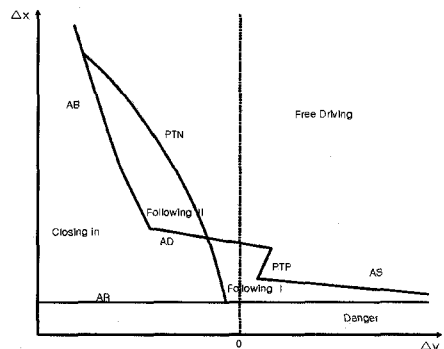
2. PARAMICS 차량추종모형(Fritzsche 모형)

1) 기본모형

PARAMIC 차량추종모형은 Psychophysical 이론 중 Fritzsche 모형을 적용하였다. 즉 차두거리와 속도 차로 차량추종모형을 결정한다. 총 5개의 경계 모드로 구분하여 적용한다.

추종형태를 Following I, Following II, Danger, Closing In, Free Driving으로 구분하는데 이 구분의 경계는 다음의 기준으로 결정된다.

이중 PTN과 PTP는 상대속도에 대한 경계로서 운전자의 인지하는 정도로 정의된다.



<그림 13> Fritzsche 차량추종모형에 따른 모드간 경계와 형태

- Perception-Threshold Negative(PTN)
: 음(-)의 상대속도
- Perception-Threshold Positive(PTP)
: 양(+)의 상대속도

후행차량 운전자는 PTN과 PTP 의 경계를 인지할 수 없다. 운전자는 가속보다 감속을 더 적게 감지한다. 그러므로 PTN은 PTP보다 작다.

또 다른 상대속도의 경계는 Fritzsche 모델의 4가지 headway 구분으로부터 규정된다.

- Desired-Distance (AD) threshold : 설계차두 거리, 후행차량 속도와 관련이 있음
- Risky-Distance (AR) threshold : 차두거리가 안전운행을 하기엔 너무 가까운 거리
- Safe-Distance (AS) : 위험상황에서 충분히 감속할 조건이 아닐 때의 상황, AR에 의해 정의됨(최소안전차두거리), 감속이 필요없음.
- Braking-Distance (AB) : 빠른 속도 또는 늦은 감속 때문에 발생하는 충돌을 피하기 위해 사용되는 추가 구분임

PARAMICS 차량추종모형의 파라미터는 10개로 평균 차량길이, 설계차두시간, 위험차두시간, 안전차두시

〈표 6〉 PARAMICS 차량추종모형의 5가지형태의 구분범위

Phase	Response From Follower Vehicle(i)
Danger	$\Delta x \leq AR$, 감속필요
Closing In	$AR < \Delta x \leq AR$, and $\Delta x \leq \Delta vPTN$ 감속필요
Following II	$\Delta v \leq \Delta vPTN$, and $AD < \Delta x$
Free Driving	$[\Delta v > \Delta vPTN$, and $AD < \Delta x$] or $[\Delta v > \Delta vPTP$, and $AS < \Delta x$] 선행차량에 의한 영향없음
Following I	$[\Delta vPTN < \Delta v < \Delta vPTP$, and $AR < \Delta x < AD$] or $[\Delta v \geq \Delta vPTP$, and $\Delta x < AS$]

〈표 7〉 Fritzsche 모형에 사용된 파라미터

파라미터	Description	Value
Sn-1	Effective length, vehicle n-1	6m
TD	Desired time gap	1.8s
Tr	Risky time gap	0.5s
Ts	safe time gap	1s
Δbm	Deceleration parameter	$0.4m/s^2$
fx	calibration parameter	0.5^*
kPTP	calibration parameter	0.001^*
kPTN	calibration parameter	0.002^*
bnull	Acceleration parameter	$0.2m/s^2$
a+n	Normal acceleration rate	$2m/s^2$

참조 : Fritzsche, 1994

간, 감속도 파라미터, 가속도 파라미터, 평균 가속도 등이 사용된다. Fritzsche 모형에 사용된 파라미터는 〈표 7〉와 같다.

이 값을 기반으로 5가지 상황에 맞는 경계를 결정한다.

2) 실측자료 이용 파라미터 정산

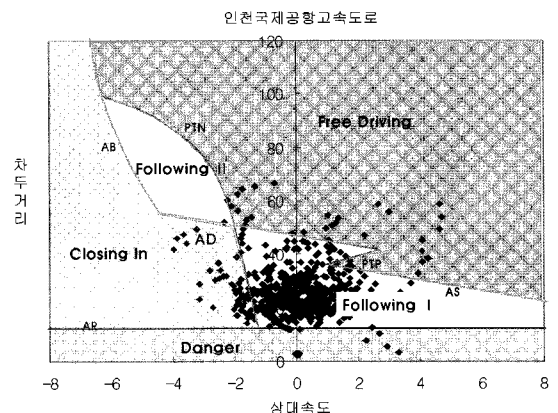
DGPS 수신자료를 이용하여 다음과 같이 파라미터를 정산하였다. $S_n - 1$ 은 차량길이로서 보통 소형차 길이가 5m 정도이나 여유폭을 고려하여 6m로 산정하였고, 차두시간은 설계차두시간 1.8초, 위험차두시간 0.5초, 안전차두시간 1초로 산정하였다. 감속도 파라미터의 경우 $1.88m/s^2$, $1.45m/s^2$ 로 기존 파라믹스 모형의 값보다 훨씬 큰 값이 나왔다.

DGPS 수집자료를 활용하여 산출한 파라미터를 기반으로 PARAMICS 추종모형에 따른 구분 경계값 도출 결과는 〈표 8〉와 〈그림 14, 15〉에 나타나 있다.

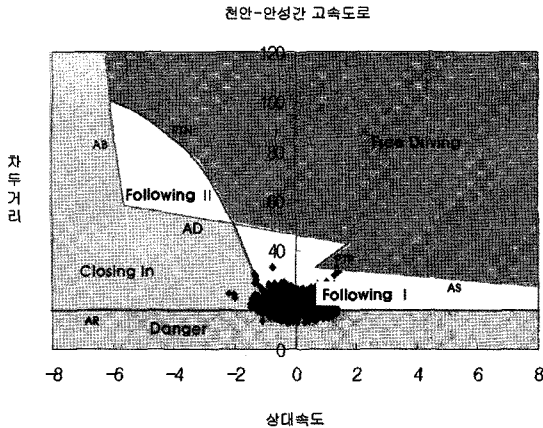
인천국제공항고속도로의 경우 FollowingII 상태를 제외한 모든 구간에 데이터가 산재해 있는 것을 볼 수 있다. 그렇지만 대부분의 위치가 Following I에 존재하는 것으로 보아 이 때 교통류는 소통이 원활한 것으로 판단할 수 있다. 경부고속도로 천안-안성구간의 경

〈표 8〉 파라믹스 추종모형에 따른 구분경계값 산출 결과

	인천국제공항고속도로	경부고속도로 천안-안성구간
PTN	-1.16	-0.837
PTP	0.83	0.668
AD	43.75	46.836
AR	16.52	17.35
AS	26.97	28.687
AB	17.21	17.667



〈그림 14〉 인천국제공항고속도로 실측치 적용결과



(그림 15) 경부고속도로 천안-안성간 실측치 적용결과

우, Danger, Following I, Closing In에서 데이터들을 볼 수 있다. 이는 이 교통상황은 비교적 원활하나, 교통량이 많은 상태로 파악할 수 있다. 즉 짧은 차두거리로 인한 감속이 종종 필요한 경우가 발생하는 것으로 나타난다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 DGPS 수신자료를 추종모형 파라미터 정산에 이용하기 위해서 정확도를 검증하고 검증된 결과를 기반으로 하여 실제 수집된 자료를 가지고 기존 추종모형의 파라미터를 산정하였다.

분석에 따르면, 음영지역으로 인한 일부 어려움만 보완이 된다면 DGPS 수신장치의 활용으로 차량추종 모델 파라미터 정산이 가능하다는 것이 확인되었다.

DGPS 수신자료를 활용하여 GM 첫 번째 모형과 GM 세 번째 모형, PARAMICS 모형의 파라미터를 정산하였다. 차량추종모형의 파라미터 산정에 있어 반응시간의 결정은 요인간 상관분석을 통해 1초로 결정하였다. 반응시간 1초로 산정하여 GM 첫 번째 모형의 파라미터는 상대속도와 차두거리의 회귀분석을 통해 도출된 방법과 후행차량의 가속도와 상대속도를 이용한 방법 이 두 가지로 나누어서 도출하였고,

도출된 파라미터를 이용하여 모형예측치와 실측치를 비교한 결과 후행가속도와 상대속도를 통해 도출된 파라미터가 실측치와 차이가 없는 것으로 나타났다.

GM 세 번째 모형의 파라미터는 후행가속도와 상대속도, 차두거리를 통해 도출되었다. 이 파라미터를 이용하여 모형 예측치와 실측치를 t-test 결과 차이가 없

는 것으로 나타났다.

PARAMICS 추종모형의 파라미터를 실제 자료를 이용하여 정산하였다. 이 정산 파라미터를 통해 실험 자료를 분석하였다. 분석결과 인천국제공항고속도로의 경우 Following I, FollowingII, Danger, Free Driving, Closing In 상태가 모두 나타났다. 대부분의 차량 간 상태는 Following I 상태였다. 경부고속도로 천안-안성구간의 경우 Following I과 Danger 상태로 나타났는데 이를 통해서 두 차량 간 차두거리가 인천국제공항고속도로의 경우보다 가깝고 교통류 상태가 안정됨을 알 수 있다.

향후 연구과제는 첫째, 다른 기종의 DGPS 수신장치의 정확도 검증이 필요하다. 이 연구에서는 동일기종에 대해서만 정확도를 검증하였는데, 다른 기종간 또한 다른 업체의 DGPS의 정확도 검증이 필요할 것으로 사료된다.

둘째, 일부 추종모형의 파라미터에 대해서만 정산하였는데 타 모형에 대해서 파라미터를 추정해보고, 실험을 통한 반응시간 측정이 필요할 것이다. 셋째, PARAMICS의 차량추종모형 파라미터의 정산의 경우 실제 시뮬레이션의 적용해 보고 현장결과와 비교를 하고 국내 운전행태를 반영하는지 여부를 판단해야 할 것이다.

참고문헌

1. 이영인·최승석(2000), 미시적 시뮬레이션 모형을 이용한 차량추종모형의 정립(GM모형을 기반으로), 대한교통학회지, 제18권 제6호, 대한교통학회, pp.47~61.
2. 김재석·임채문·우용한(2003), GPS 수신자료를 이용한 추종차량의 민감도 영향요인 연구, 대한토목학회지 제23권 제2D호, 대한토목학회, pp.139~145.
3. 김재석·이승준·우용한(2002), 통행차량에 대한 GPS 수신자료의 정확도에 관한 연구, 한국지리정보학회지 제5권 제4호, 한국지리정보학회, pp.75~85.
4. 우용한(2000), 차량의 추종행태 분석을 위한 GPS 자료의 수집과 적용, 한국지리정보학회지, 제3권 제4호, 한국지리정보학회지, pp.11~12.
5. 이청원(2005), 교통류분석을 위한 GPS자료의 활용, 대한토목학회지 제25권 제2D호, 대한토목학

- 회, pp.241~247.
6. Panwai, Dia, Development and Evaluation of A Reative Agent-Based Car Following Model, www.itslab.eng.uq.edu.au/ITSLab/Publications/IVRI05.pdf.
 7. Cassidy, Ahn, Verification of a simplified car-following theory ,www.path.berkeley.edu/PWM2002/PWM2002presentations/10a.pdf.
 8. Wolshon, Hatipkarasulu(2000), Results of Car Following Analyses Using GPS, Journal of Trasportation Engineering.
 9. Ranjitkar, Nakatsuki, Asano(2004), Performance Evaluation of Mcirosopic Traffic flow Models with test Track data, TRR 1876 of TRB.
 10. Shekleton, A GPS Study of Car Following Theory, www.aatraffic.com/documents/CAITR2002_SimonShekletonPaper.PDF.
 11. May(1990), Traffic Flow Fundamentals, pp.168 ~170.

✉ 주 작 성 자 : 김은영

✉ 교 신 저 자 : 김은영

✉ 논문투고일 : 2006. 2. 25

✉ 논문심사일 : 2006. 4. 21 (1차)
2006. 4. 24 (2차)

✉ 심사판정일 : 2006. 4. 24

✉ 반론접수기한 : 2006. 9. 30