

2차로도로에서 저속전기자동차 혼입에 따른 교통류 특성분석

The analysis of two-lane highway traffic flows in case of the neighborhood electric vehicle involved

장 근 우*	정 성 화**	조 주 명***	정 필 현****
(Keun-Woo Jang)	(Sung-Hwa Jung)	(Ju-Myung Cho)	(Phil-Hyun Jung)

요 약

전기자동차의 보급·활성화를 촉진시키기 위해서는 전기자동차를 위한 교통기반시설의 공급과 효율적인 정책결정이 필요하다. 하지만 이를 뒷받침할 수 있는 전기자동차의 시설표준화 및 지침구축은 미비한 상태이다. 시설표준화 및 지침구축을 위해서는 다양한 연구를 통한 기준지표와 자료가 마련되어야 한다.

본 연구에서는 2차로도로 시뮬레이션모형(TWOPAS)을 이용하여 이상적인 조건에서 저속전기자동차가 혼입되었을 때의 교통특성을 평균통행속도, 추종시간백분율, 총지체를 통해 분석하고 교통류에 미치는 영향을 검토하였다.

시나리오는 교통량을 기준으로 설정하였으며, 저속전기자동차 혼입율을 1%~30%로 적용하여 분석하였다. 각 시나리오 별로 분석한 결과, 교통량이 650대/시인 시나리오 1의 경우와 교통량이 2,600대/시인 시나리오4가 교통량이 1,300대/시, 1,950대/시인 시나리오2, 시나리오3보다 교통영향이 작게 받는 것으로 나타났다. 이는 교통량이 적은 경우 추월이 비교적 원활해 영향이 작게 나타나며, 교통량이 많은 경우는 기존의 교통류가 전기자동차 주행특성과 비슷하기 때문에 영향이 작은 것으로 나타났다. 반면 비교적 원활한 교통소통을 보이는 시나리오2와 시나리오3은 저속전기자동차의 혼입에 따른 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 따라서 도시내 도로와 같이 교통량이 많은 도로와 교통량이 비교적 한산한 지방부 2차로 도로의 경우는 저속전기자동차에 대한 친화도가 높은 반면 교통량이 1,300대/시~1,950대/시인 도로는 저속전기자동차에 대한 친화도가 낮아 기하구조의 개선 등이 필요한 것으로 나타났다.

Abstract

To make popular the NEV(Neighborhood Electric Vehicles) uses, it must be considered the supply of infrastructure and the political decision for NEV. However, the guidelines of infrastructure for NEV are not prepared. The guidelines of infrastructure for NEV should be performed in many research and case.

The purpose of this study is to reveal the influence of NEV on the two-lane highway traffic flows by TWOPAS simulation model. The main items to check the influence are Average Travel speed, Percent Time Spent Following and Total Delay.

The scenario were setup by traffic volume. And the NEV percentages are changed from 1% ~ 30%. The scenario 1 which traffic volume are 650veh/h and the scenario 4 which traffic volume are 2,600veh/h are less influenced by NEV, compare to scenario 2, scenario 3. Because the scenario 1 is more free to make passing other cars and Scenario 4 is fully saturated with existing traffic volumes. The urban two-lane highway which has much traffic volume and the rural two-lane highway which has little traffic volume has affinity for NEV than the other two-lane highway.

Key words : Neighborhood electric vehicle, mixed-traffic flow, percent time spent following, two-lane highway, TWOPAS

† 본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업 “전기자동차 교통안전융합체계 기술개발” 연구단 과제 (10PTSI-B05630301) 지원으로 수행하였습니다.

* 주저자 : 건현엔지니어링 부설 교통연구소 연구원

** 공저자 : 건현엔지니어링 부설 교통연구소 연구원

*** 공저자 : 건현엔지니어링 부설 교통연구소 소장

**** 공저자 및 교신저자: 건현엔지니어링 대표이사

† 논문접수일 : 2011년 8월 1일

† 논문심사일 : 2011년 8월 25일

† 게재확정일 : 2011년 10월 7일

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

2011년 국제모터쇼의 특징 중에 하나는 세계적인 자동차기업들이 다양한 전기자동차 모델을 개발하여 발표한 것과 소비자들의 관심이 전기자동차에 집중되었다는 점이다. 이러한 추세는 국제유가의 상승, 온실가스감축, 소비자 취향의 변화 등에 따른 것이다.

우리나라도 이러한 흐름에 맞추어 전기자동차 관련 법규가 제정되어 시속 60km/h 이하로 주행하는 저속전기자동차(NEV: Neighborhood Electric Vehicle)가 자동차전용도로를 제외한 시내 일반도로에서 주행이 가능하다. 하지만 저속전기자동차의 운행을 위한 충전시설 및 교통시설 등이 제대로 설치되어 있지 않고 있다. 이는 저속전기자동차에 대한 특성분석 등 기본적인 자료의 부족에 기인한 바가 크다.

본 연구의 목적은 저속전기자동차가 2차로도로에 혼입될 경우 혼입율에 따라 기존의 교통흐름 특성이 어떻게 변화하는가를 분석함에 있다.

이러한 연구를 통하여 장래 보급이 확산될 것으로 예상되는 저속전기자동차의 교통흐름에 대한 영향 정도를 파악하고 이에 대한 개선책 마련 시 기초 자료로 본 연구 성과를 활용할 수 있을 것이다.

2. 연구내용 및 범위

도로용량이란 도로가 일정기간동안 처리할 수 있는 교통량을 의미한다. 도로용량은 도로시설규모 결정시 장래 예상되는 교통량과 비교하여 차로수, 차로폭, 설계속도 등을 산정하기 위한 자료로 활용된다.

이러한 도로용량은 도로의 기하구조 뿐만 아니라 이용하는 차량의 구성에 따라 서로 달라지는 복합적인 값이다. 일반적으로 화물차, 버스 등 차량 성능이 떨어지고 크기가 큰 차량이 많이 포함될수록 도로용량은 감소하여 상대적으로 적은 교통량에도

교통소통 상태는 안 좋아진다. 저속전기자동차가 일반자동차들이 주를 이루는 도로에 혼입되었을 때, 기존 차량보다 떨어지는 차량성능으로 인하여 도로의 용량을 감소시키고, 추가적인 지체를 유발하여 도로의 혼잡을 가중시키기 때문이다.

본 연구에서는 기존의 교통류에 저속전기자동차가 혼입될 경우의 교통소통상태의 변화를 살펴본다. 저속전기자동차의 혼입율에 따라 혼잡교통류에서 발생할 수 있는 승용차와 화물차의 속도변화와 추가지체, 저속전기자동차를 선두로 하는 차량군(Platoon)의 크기 등을 이용하여 분석하였다.

II. 이론적 고찰

1. 저속전기자동차 특성

국내외에서 생산되는 저속전기자동차를 조사하여 이들 차량의 중량, 전장, 전고, 전폭, 최고속도를 검토하였다.

〈표 1〉 저속전기자동차 제원
〈Table 1〉 NEV specification

구분	중량 (kg)	전장 (mm)	전폭 (mm)	전고 (mm)	최고 속도 (km/h)
e-zone	620	2,665	1,440	1,540	60
change	710	3,220	1,560	1,550	60
pead pod	585	3,647	1,435	1,790	40
e2	517	2,529	1,455	1,778	40
GCCC	600	3,400	1,600	1,585	60
gizmo	235	2,032	1,117	1,143	64
zenn	544	3,068	1,473	1,420	40
roush	1288	4,457	1,470	1,798	40

전기자동차는 현 소형, 경차량과 매우 흡사한 외형을 나타내며, 구성은 1~2인승에 3~4륜 구동으로 이루어져 있고, 비교적 비싼 배터리 가격과 성능으로 인해 차체의 크기를 줄이고 가벼운 소재로 외관을 나타내고 있다. 최고속도(40~60km/h)와 최대주행거리가 제한되어 있고, 경사구간을 주행할 때 배터리 소모가 극심하며, 배터리 잔량에 따라 등판능력에 큰 변화를 보인다.

2. 관련문헌고찰

강재원(2010)은 도로용량편람에서 제시하고 있는 설계기준에 포함되지 않은 중차량 혼입율과 교통량에 따른 추중시간백분율(PTSF: Percent Time Spent Following) 및 평균통행속도(ATS: Average Travel Speed) 분석을 통해 가장 적합한 양보차로의 길이 및 설치 간격을 도출하였다. 추중시간백분율(PTSF)은 2차로도로에서 저속의 선두차량에 의해 지체를 받는 차량들의 총주행시간에 대한 지체받는 시간의 비율을 의미하며, 분석 대상구간의 지체도를 표현하는 지표이다[1].

김상구(2004)는 3개의 서로 다른 고속도로-연결로 합류부에서 수집한 실제교통데이터를 이용하여 혼잡교통류 상에서 연결로 교통류와 본선 교통류간의 관계 분석을 실시, 두 교통류 관계분석을 통하여 유입 연결로에서 합류교통량을 결정하는 요인의 분석하였다[2].

김영록(2009)은 2차로도로의 추월기회 제공방법별 운영효과를 분석하기 위하여 TWOPAS를 이용한 모의실험과 현장관측을 통해, 추월차로가 설치된 구간은 추월금지구간과 추월가능구간에 비해 추중시간백분율 및 평균통행속도 등 지체관련 효과적도와 서비스수준이 상당히 향상됨을 제시하였다[3].

김태완(2005)은 경험적으로만 관찰되었던 중차량에 의한 용량감소현상과 승용차 이외의 차량에 의한 영향을 새로운 혼합교통류의 보정공식을 작성하여 계량적으로 영향도를 제시하였다[4].

최병국(1998)은 시뮬레이션을 이용하여 양보차로의 운영효과를 평가하고, 도로용량편람 2차로도로의 서비스수준 평가에 사용되는 차량군백분율을 효과적으로 사용하였다. 시뮬레이션(TWOPAS) 자료와 실측자료를 비교분석하여 시뮬레이션의 정당성을 제고하는 논문이다[5].

기존의 연구에서는 중차량의 혼입으로 인한 용량감소에 대한 새로운 보정공식을 개발하거나 이를 해결하기 위한 방법으로 추월차로 등 기하구조 개선에 대해 중점을 두었다. 분석을 위해 2차로도로의 서비스수준을 나타내는 효과적으로 미국 도로용량편람

(2002)에서 사용하는 추중시간백분율(Percent Time Spent Following)을 사용하였다. 보조적으로 평균통행속도(Average Travel Speed)도 판단기준으로 사용하였다. 본 연구에서는 기존의 교통류에 저속전기자동차가 혼입될 때 교통류에 미치는 영향을 분석하였다.

Ⅲ. 분석대안선정

1. TWOPAS 모형

TWOPAS는 1986년에 개발된 프로그램으로서 2차로도로의 기하구조, 교통제어효과, 차량특성, 운전자특성 및 교통류 특성을 모사할 수 있는 시뮬레이터로서 도로기하구조, 추월관련자료, 교통량 및 혼입율, 평균희망속도, 운전자 특성 값을 필수적으로 입력하고, 경사, 추월구간, 추월시거, 평면곡선 등을 선택적으로 입력할 수 있다[6].

〈표 2〉 TWOPAS 시뮬레이터의 개요
 〈Table 2〉 TWOPAS simulation outline

구분		내용
입력자료	필수사항	도로기하구조, 운전자 특성, 추월관련자료, 교통량 및 혼입율, 평균희망속도
	선택사항	난수발생, 경사, 추월구간, 추월시거, 평면곡선, 차량성능
처리과정		차량추중모형, 추월형태 모형
출력자료		공간평균속도, 추중시간백분율, 지점 차량군 비율, 통행시간지체 등

또한 입력된 자료는 차량추중모형과 추월모형의 서브루틴을 통하여 공간평균속도, 추중시간백분율, 추월차량대수, 지체도 등의 결과를 산출하게 된다.

TWOPAS에서 차량추중요인은 0.8로 지정하여 차량추중모델의 비례상수로 사용하고, 운전자 타입 요인을 0.43~2.12sec, (공격적인 운전자에서 소심한 운전자) 10단계로 구분하여 차두간격으로 사용하였다[7].

2. 분석방법 결정

관련문헌고찰 결과 현장조사를 통해 수집한 데

이터와 시뮬레이션을 통하여 발생된 값을 비교분석하고 새로운 식을 도출하거나, 연구결과를 내는 것이 교통류 분석방법의 일반적인 방법이다.

그러나 저속전기자동차의 경우 국내보급율이 낮고 실제 운행이 매우 제약된 국내 여건상 현장조사를 통한 자료의 수집이 어려워 모의실험(TWOPAS)을 통해 교통량 수준별 저속전기자동차 혼입에 따른 혼합교통류의 특성을 분석하였다.

3. 기하구조 및 분석가정 설정

저속전기자동차가 운행가능한 2차로도로를 선정하고 이상적인 조건의 도로 기하구조, 교통여건 그리고 주변환경을 다음 표와 같이 설정하여 분석시 이용하였다[8,9].

〈표 3〉 적용 기하구조
〈Table 3〉 Geometry structure

구분	내용
차로폭	3.5m 이상
측방여유폭	1.5m 이상
추월가능한 구간	100%인 도로
방향별 분포	50/50
경사구간	평지구간

2차로도로의 도로유형은 설계속도 80km/h인 연속교통류 도로인 유형II로 선정하고, 교통량은 양방향 기준으로 650대/시, 1,300대/시, 1,950대/시 및 2,600대/시로 설정하여 분석을 실시하였다[10,11].

4. 시나리오 구성

저속전기자동차의 혼입율에 따른 교통류 분석을 위해 승용차 70%를 기준으로 하고, 화물차의 혼입율은 30%로 설정하였다.

저속전기자동차의 혼입율은 화물차를 제외한 승용차 70%에서 0%~30%로 차등을 두었다. 저속전기자동차의 혼입율을 승용차에서 분배한 이유는 저속전기자동차의 수요가 승용차의 수요를 분담할 것으로 예상되기 때문이다.

〈표 4〉 도로용량편람에서 제시한 서비스수준별 교통량
〈Table 4〉 Traffic volume in LOS

구분 LOS	총지체율(%)		교통량 (pcph)
	도로유형I	도로유형II	
A	≤8	≤10	≤650
B	≤15	≤20	≤1300
C	≤23	≤60	≤1900
D	≤30	≤40	≤2600
E	≤38	≤50	≤3200
F	>38	>50	-

주) 도로용량편람(2005), 2차로구간 서비스수준, P.172

〈표 5〉 시나리오 구성표
〈Table 5〉 Scenario setting

구분	교통량 (대/시)	승용차 비율	화물차 비율	저속전기 자동차 비율
시나리오 1	650	70%	30%	0%
		69%		1%
시나리오 2	1,300	68%		2%
		67%		3%
시나리오 3	1,950	66%		4%
		65%		5%
시나리오 4	2,600	60%		10%
		55%		15%
시나리오 4	2,600	50%		20%
		45%		25%
40%	30%			

5. 시뮬레이션 구성

시뮬레이션 구간을 10km로 정하고 추월가능구간을 100%, 초기 차량군 비율은 현장조사를 통하여 구하기 어려움이 있어 시뮬레이션에서 교통량에 따라 발생시켜주는 값을 사용하였다.

〈표 6〉 초기 차량군 비율
〈Table 6〉 Entering platoon

시나리오	1	2	3	4
비율(%)	44	68	78	90

시뮬레이션 분석시 대상구간에 진입하는 차량의 차두시간과 진입속도를 변화시켜주는 난수값(Simulation Seed)에 대해서는 총 15번의 분석을 통

하여 결과값의 평균을 사용하였다. 시뮬레이션 시간은 120분으로 설정하였고, Warm-up time을 20분으로 정하였다.

시뮬레이션 입력자료인 차량의 특성은 국내에서 운행 중인 승용차 25종의 제원을 분석하고 도로용량편람 기술보고서(1999)에서 적합한 방법을 준용하였다. 화물차는 우리나라 자동차 등록현황을 분석하여 화물차성능조사 분석연구II(1996)에서의 설계기준차량과 비교하여 선정하였다.

IV. 분석결과

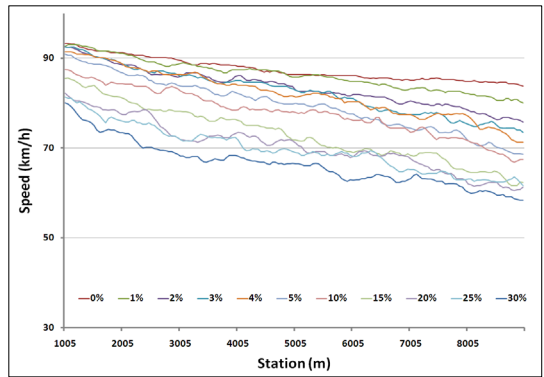
1. 시나리오 분석

저속전기자동차 혼입으로 인해 미치는 영향을 시뮬레이션을 통하여 각 시나리오별로 분석하여 그 결과값을 도출하였다. 승용차와 화물차의 평균통행속도와 추종시간백분율, 총지체 등을 도출하여 승용차와 화물차에 미치는 영향을 분석하였다.

1) 시나리오 1 분석결과

저속전기자동차의 혼입으로 인하여 승용차와 화물차의 속도가 감소하는 것으로 나타났다.

총지체(TD)는 0%일 때 최소값인 0.6min/veh을 나타내고, 20%일 때 최대값인 2.2min/veh로 나타났다.



〈그림 1〉 시나리오1 승용차 속도변화
 〈Fig. 1〉 Changing car speed of scenario 1

추종시간백분율(PTSF)은 전기자동차 혼입율이 0%일 때 55%에서 혼입율이 20%일 때 64%로 9%가 늘어났다. 저속전기자동차 혼입을 20%를 기점으로 약간의 감소 추세를 보인다.

이는 저속전기자동차의 혼입으로 인하여 승용차의 비율이 감소하여 지체를 받는 차량의 수가 줄어들어 감소하는 것으로 판단된다. 저속전기자동차가 5% 혼입될 경우, 승용차는 8.1km/h, 화물차는 6.1km/h의 속도가 감소되었으며, 30% 혼입일때 승

〈표 7〉 시나리오 1 분석표
 〈Table 7〉 Result scenario 1

전기자동차 혼입율	승용차 속도 (km/h)			화물차 속도 (km/h)			저속전기자동차 속도 (km/h)			평균통행속도 (km/h)	추종시간백분율(%)	총지체 (min/veh)
	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균			
0%	95.8	83.2	88.0	80.1	77.7	78.6	-	-	-	84.4	55	0.6
1%	95.6	78.9	86.6	80.1	74.8	77.5	60.0	50.8	52.9	80.9	57	0.8
2%	95.4	73.9	84.0	80.0	71.5	75.5	60.0	50.4	52.7	77.7	59	1.1
3%	95.0	72.3	82.9	80.0	69.5	74.9	60.0	50.3	52.5	76.0	60	1.2
4%	94.6	69.4	82.3	80.0	68.1	74.3	60.0	50.2	52.2	73.5	61	1.4
5%	93.8	66.9	79.9	79.8	65.2	72.5	60.0	50.0	51.8	71.7	61	1.5
10%	92.5	64.1	78.1	78.7	62.3	70.7	60.0	49.9	51.5	66.7	63	1.8
15%	90.6	59.2	73.6	78.4	59.5	67.6	60.0	49.6	51.3	62.7	64	2.0
20%	90.1	58.9	71.3	77.7	57.5	65.6	60.0	49.3	51.2	59.8	64	2.2
25%	89.5	57.6	70.6	77.1	57.0	65.0	60.0	49.1	51.1	58.5	63	2.1
30%	87.4	56.3	67.6	76.1	55.7	62.7	60.0	49.0	51.0	56.7	63	2.0

용차가 20.4km/h, 화물차가 15.9km/h의 속도감소가 발생하여 저속전기자동차의 혼입율이 높을수록 통행속도의 감소가 큰 것으로 나타났다.

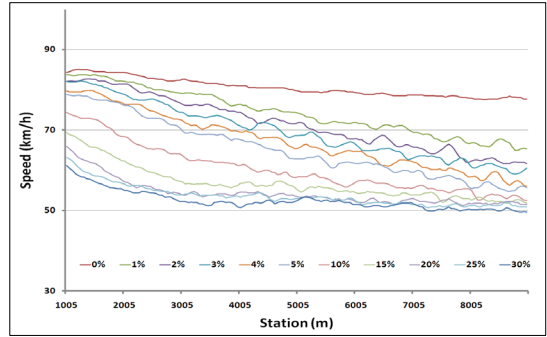
2) 시나리오 2 분석결과

시나리오 2는 양방향교통량이 1,300대/시 수준으로 추월수요가 점점 많아져 추월용량과 추월수요가 비슷해지는 상태이다. 저속전기자동차의 혼입으로 인하여 승용차의 속도가 화물차의 속도로 수렴되는 것으로 나타났다. 저속전기자동차가 5% 혼입될 경우 승용차는 14.6km/h, 화물차는 13.6km/h의 속도가 감소되는데, 이는 시나리오 1에서 저속전기자동차 혼입률이 30%일 때 나타나는 감소폭과 비슷하다.

평균통행속도(ATS)가 약 60km/h에서 50km/h 후반대로 전환될 시점에서 추종시간백분율(PTSF)은 최고치를 보인다. 이러한 현상은 모든 시나리오에서 나타나고 있다. 평균통행속도(ATS)가 50km/h대로 낮아지면서 저속전기자동차의 평균속도에 수렴하는 것으로 나타났다.

3) 시나리오 3 분석결과

교통량 1,950대/시 수준에서 저속전기자동차가 5% 혼입될 경우, 승용차의 속도 감소는 21.6km/h로



〈그림 2〉 시나리오2 승용차속도변화
 〈Fig. 2〉 Changing car speed of scenario 2

발생하는 것으로 나타났으며, 화물차는 21.1km/h의 속도가 감소되는 것으로 나타났다.

총지체(TD)는 0%일 때 최소 1.1min/veh, 15%일 때 최대 3.5min/veh로 나타나는데, 이후 3.1min/veh로 감소하였다. 이때 차량들의 평균통행속도(ATS)가 54.3km/h로 저속전기자동차의 평균속도에 근접하여 지체가 최고조에 이르렀다가 이후 저속전기자동차와 동일한 속도로 주행을 하여 지체 강도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

추종시간백분율은 0%일 때 최소 84%에서 2~5%일 때 최대치인 91%를 나타내며 이후 87%까지 감소하는 것으로 나타났다. 시나리오2와 유사하게 평

〈표 8〉 시나리오 2 분석표
 〈Table 8〉 Result scenario 2

전기자동차 혼입율	승용차 속도 (km/h)			화물차 속도 (km/h)			저속전기자동차 속도 (km/h)			평균통행속도 (km/h)	추종시간백분율 (%)	총지체 (min/veh)
	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균			
0%	91.9	77.1	81.3	80.3	76.1	77.7	-	-	-	79.2	77	1.1
1%	91.4	65.2	75.2	80.0	64.4	71.5	60.0	49.6	51.0	69.8	81	2.1
2%	91.2	62.3	72.6	79.8	62.6	69.4	60.0	49.6	50.9	65.8	82	2.5
3%	91.1	59.4	70.8	79.7	69.5	67.7	60.0	49.6	50.9	63.4	83	2.8
4%	90.1	57.5	68.5	79.2	57.9	66.0	60.0	49.6	50.9	61.3	84	3.0
5%	89.3	55.0	66.7	78.9	54.9	64.1	60.0	49.6	50.8	59.9	84	3.2
10%	87.1	52.6	62.1	77.7	51.7	60.4	60.0	49.6	50.8	56.6	84	3.4
15%	83.7	50.9	58.8	76.0	50.5	57.1	60.0	49.4	50.7	54.3	83	3.5
20%	81.3	50.5	56.6	74.7	49.9	55.4	60.0	49.2	50.7	52.9	83	3.4
25%	79.2	50.1	55.8	73.9	49.4	54.9	60.0	49.1	50.6	52.2	82	3.3
30%	76.8	49.1	54.6	72.6	48.9	53.8	60.0	48.9	50.6	51.6	81	3.1

〈표 9〉 시나리오 3 분석표
 (Table 9) Result scenario 3

전기자동차 혼입율	승용차 속도 (km/h)			화물차 속도 (km/h)			저속전기자동차 속도 (km/h)			평균통행속도 (km/h)	추종시간백분율(%)	총지체 (min/veh)
	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균			
0%	87.5	74.7	78.3	80.1	74.5	76.4	-	-	-	77.4	84	1.2
1%	87.5	62.3	70.0	79.5	63.2	68.6	60.0	49.9	51.3	63.7	90	2.9
2%	86.6	56.3	63.7	79.3	56.8	62.6	60.0	49.6	50.9	57.8	91	3.7
3%	85.5	53.9	61.1	78.9	53.6	60.2	60.0	49.4	50.9	56.3	91	3.9
4%	84.0	52.6	59.1	78.1	52.1	58.1	60.0	49.7	50.9	55.0	91	4.1
5%	82.9	51.3	57.9	77.1	51.0	57.0	60.0	49.2	50.8	54.3	91	4.2
10%	79.5	50.2	55.3	74.4	49.7	54.5	60.0	49.2	50.4	52.3	90	4.3
15%	75.6	49.6	53.7	71.6	49.4	53.1	60.0	49.1	50.3	51.2	89	4.2
20%	73.5	56.3	52.6	70.3	49.1	52.1	60.0	48.6	50.3	50.3	88	4.0
25%	71.9	48.9	52.1	69.4	48.6	51.7	60.0	48.6	50.2	50.1	87	3.8
30%	70.5	49.1	51.6	68.4	48.8	51.3	60.0	48.6	50.1	49.9	87	3.5

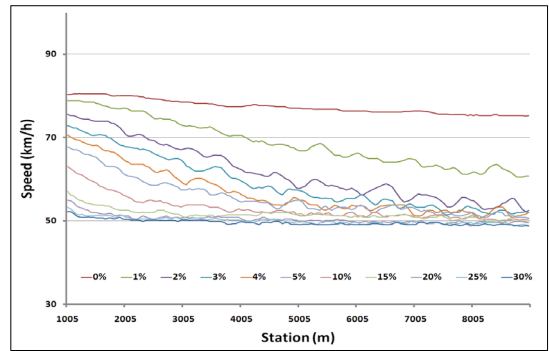
균통행속도(ATS)는 50km/h대의 속도로 전환될 때인 1%에서 2%일 때 최고치를 나타내고 있다.

저속전기자동차가 20% 혼입될 경우 승용차와 화물차의 평균속도가 각각 52.6km/h, 52.1km/h로 비슷하게 나타나며, 평균통행속도는 저속전기자동차의 평균속도인 50.3km/h로 전 차종의 차량이 저속전기자동차의 평균속도로 수렴해 가는 것으로 나타났다. 총지체(TD)는 최소 1.2min/veh에서 10%혼입일 때 최대 4.3min/veh까지 나타났다. 총지체는 추종시간백분율(PTSF)이 최대치를 기록하고 감소추세로 전환될 때 최대값을 나타낸다.

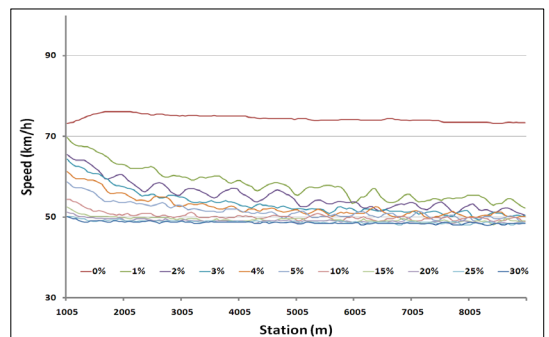
추종시간백분율은 0%일 때 최소 77%에서 저속전기자동차 혼입률 4-10%일 때 최대 84%로 늘었다가 30%일 때 81%로 줄어드는 것으로 나타났다.

4) 시나리오 4 분석결과

교통량이 2,600대/시인 2차로도로는 교통량이 최대 용량에 접근하는 상태로 추월수요는 매우 크나 대향차로의 교통량으로 인하여 추월용량은 0에 가깝게 된다. 시나리오4는 많은 교통량으로 승용차와 화물차의 속도가 유사하게 형성되는 것으로 나타났다. 저속전기자동차의 혼입으로 인해 모든 차량의 속도는 저속전기자동차의 속도로 수렴되어 운행된다.



〈그림 3〉 시나리오3 승용차속도변화
 〈Fig. 3〉 Changing car speed of scenario 3



〈그림 4〉 시나리오4 승용차 속도변화
 〈Fig. 4〉 Changing car speed of scenario VI

〈표 10〉 시나리오 4 분석표
 〈Table 10〉 Result scenario 4

전기자동차 혼입율	승용차 속도 (km/h)			화물차 속도 (km/h)			저속전기자동차 속도 (km/h)			평균통행속도 (km/h)	추종시간백분율(%)	총지체 (min/veh)
	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균			
0%	84.3	73.4	75.4	79.3	73.2	74.8	-	-	-	74.5	92	1.5
1%	81.0	58.4	60.3	76.8	57.9	59.9	60.0	50.2	51.4	56.6	95	3.9
2%	79.2	55.0	57.5	75.0	54.7	57.1	60.0	49.9	51.2	53.6	95	4.5
3%	77.7	53.3	55.9	73.5	53.6	55.6	59.2	49.6	51.0	52.7	95	4.6
4%	75.0	51.7	54.8	71.3	52.0	54.7	57.3	49.4	50.8	52.0	94	4.7
5%	74.0	51.0	53.8	70.3	51.2	53.7	57.6	49.2	50.5	51.4	94	4.8
10%	68.9	49.6	52.1	66.3	49.4	52.0	56.5	48.8	50.3	50.2	93	4.7
15%	66.0	48.8	51.1	65.0	48.6	51.1	56.6	48.7	50.1	49.6	92	4.5
20%	63.7	55.0	50.7	62.9	48.8	50.7	56.3	48.6	49.9	49.5	92	4.3
25%	62.8	48.1	50.4	61.5	48.1	50.3	56.2	48.5	49.7	49.2	92	4.0
30%	61.2	48.4	50.1	60.0	48.4	50.1	56.2	48.4	49.5	49.1	91	3.7

이는 저속차량으로 인하여 추가적인 지체가 발생하여 총지체가 증가하였고, 이후 차량들 간의 평균속도가 동일해지면서 속도차가 감소하고 희망속도(Desire Speed)의 기대치가 떨어져 총지체와 추종시간백분율의 수치가 감소하는 것으로 판단된다.

승용차와 화물차는 저속전기자동차 혼입율 10%부터 저속전기자동차와 비슷한 평균통행속도를 가지게 된다. 시나리오4에서는 혼입율 10%부터 모든 차량이 같은 속도로 운행이 되어 추월에 대한 기대는 사라지고, 현 도로상황에 수긍하여 앞 차만 추종하는 교통류가 된다. 총지체(TD)는 혼입율 5%일 때 최대 4.8min/veh로 나타나며, 최소 1.5min/veh로 나타났다.

2. 종합분석

각 시나리오별로 저속전기자동차 혼입에 따른 평균통행속도(ATS), 추종시간백분율(PTSF), 총지체(TD) 등의 변화를 분석하여 저속전기자동차로 인한 타 차량들의 영향을 살펴보았다.

평균통행속도의 변화를 분석한 결과 승용차는 시나리오2와 시나리오3에서 저속전기자동차의 혼입율이 높아짐에 따라 평균통행속도가 가장 낮아지

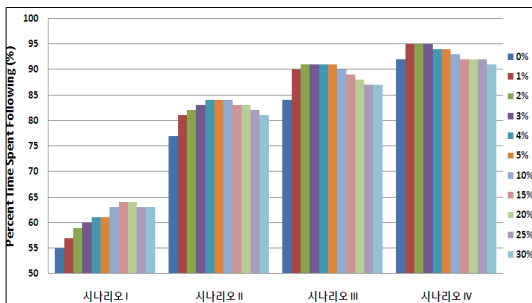
는 것으로 나타났다. 화물차의 경우 시나리오3에서 저속전기자동차의 혼입에 따른 평균통행속도의 저하가 크게 나타났으며, 저속전기자동차의 경우 시나리오4에서 혼입율에 따른 통행속도차이가 크게 나타났다.

시나리오1의 추종시간백분율(PTSF)은 55%-64%, 시나리오2는 77%-84%, 시나리오3은 84%-91%, 시나리오4는 91%-95%로 각각 나타났다. 저속전기자동차의 혼입에 따라 각 시나리오별로 크기는 9%, 작게는 5%의 차이를 보인다.

〈표 11〉 평균통행속도의 분석
 〈Table. 11〉 Analysis of Average Traffic Speed

구분	S-1	S-2	S-3	S-4	비고	
승용차	최대	88.0	81.3	78.3	75.4	혼입율 0%
	최소	68.0	54.6	51.6	50.1	혼입율 30%
	차이	20.0	26.7	26.7	25.3	
화물차	최대	78.0	77.7	76.4	74.8	혼입율 0%
	최소	62.7	53.8	51.3	50.1	혼입율 30%
	차이	15.3	23.9	25.1	24.7	
저속 전기 자동차	최대	52.9	51.0	51.3	51.4	혼입율 1%
	최소	52.7	50.6	50.1	49.5	혼입율 30%
	차이	0.2	0.4	1.2	1.9	

시나리오 간에는 시나리오1과 시나리오2는 약 20%의 차이를 보이는데, 이는 시나리오2의 교통량이 시나리오1의 교통량보다 많기 때문에 추월기회가 적어 추종시간이 길게 나타나는 것으로 해석된다. 추종시간백분율(PTSF)이 교통량에 의해 증가하는 이유는 2차로 도로의 특성상 저속차량을 추월하기 위해서는 대항차로의 차선을 이용해야하나 교통량이 많을 경우 추월가능 횟수가 줄어들어 저속차량에 의해 차량을 뒤따르는 시간이 길어지게 되므로 추종시간백분율(PTSF)이 증가한다.



〈그림 5〉 시나리오별 추종시간백분율
(Fig. 5) PTSF in scenario

추종시간백분율 및 총지체 특성을 분석한 결과 저속차량의 뒤를 따라가는 시간비율이 가장 큰 경우는 시나리오4로 약 92%의 차량이 추월하지 못하고 저속차량의 뒤를 쫓아가는 것으로 나타났다. 총지체의 경우 시나리오4가 가장 커 4.8로 나타났으며, 최소값은 1.5로 나타났다.

〈표 12〉 추종시간백분율 및 총지체 특성분석
(Table. 12) Analysis of PTFS & TD

구분		S-1	S-2	S-3	S-4
추종시간 백분율	최대값	64%	84%	91%	92%
	혼입율	15%~20%	4%~10%	2%~5%	1%~3%
	최소값	55%	77%	84%	92%
	혼입율	0%	0%	0%	0%
총지체	최대값	2.2	3.5	4.3	4.8
	혼입율	20%	15%	10%	5%
	최소값	0.6	1.1	1.2	1.5
	혼입율	0%	0%	0%	0%

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 2차로도로에 저속전기자동차가 혼입될 때 기존 교통류인 승용차와 화물차의 속도 변화, 추종시간백분율 분석을 통하여 저속전기자동차 혼입에 따른 혼합교통류를 분석하였다.

저속전기자동차 혼합교통류 분석을 위한 모의실험으로 TWOPAS 모형을 사용하였으며, 도로용량편람에서 제공하는 이상적인 2차로도로 기하구조를 선정하고 교통량을 기준으로 시나리오를 구성하였다. 승용차와 화물차의 구성비를 70:30으로 설정하고 저속전기자동차의 혼입은 승용차의 구성비에서 분배하였다.

시나리오1은 교통량이 650대/시인 경우로, 저속전기자동차가 30% 혼입될 때 22~26km/h 속도의 감소가 발생하는 것으로 나타났다. 시나리오2는 1,300대/시의 교통량으로 시나리오1의 2배로 저속전기자동차가 5% 혼입될 때 시나리오1의 30%혼입과 같은 속도 감소폭을 나타내어 교통량이 증가함에 따라 저속전기자동차의 영향은 커지는 것으로 나타났다.

시나리오3은 교통량이 1,950대/시인 경우로 저속전기자동차의 영향을 가장 많이 받으며 적은 혼입에도 저속전기자동차의 속도에 수렴하여 동일한 속도로 해당 구간을 주행하고 있다. 저속전기자동차로 인해 생성된 차량군의 길이가 길어지면서 추월에 대한 횟수와 확률이 줄어들어 큰 혼잡을 나타내었다.

시나리오4는 교통량이 2,600대/시의 경우로 기존의 교통량이 많아 저속전기자동차의 혼입에 따른 영향이 시나리오2와 시나리오3보다는 적은 것으로 분석되었다. 이는 저속전기자동차가 혼입되더라도 기존의 교통소통상태와 저속전기자동차의 특성이 유사하여 비교적 적은 영향을 주는 것으로 나타났다.

저속전기자동차가 2차로도로에 혼입되었을 경우 교통량이 1,300~1950대/시 수준에서 교통흐름에 가장 영향을 크게 주는 것으로 나타났다. 650대/시의 경우 추월 등에 의하여 영향이 적고, 2,600대/시 수준에서는 기존 교통류 특성이 전기자동차 통행 특성과 비슷하여 영향이 적은 것으로 나타났다. 따라서 교통량이 많은 시내도로와 교통량이 적은 도로

의 경우 전기자동차의 운행이 비교적 자유로운 반면, 1,300~1,950대/시 수준의 2차로도로에서는 추월 차로 등을 설치하여 교통소통을 개선할 필요가 있다. 저속전기자동차가 설계속도 80km/h 도로에서 원활한 주행을 위해서는 도로시설의 개선 등을 필요하지만 차량 자체의 성능을 높일 수 있는 방법도 강조되어야 할 것이다.

본 연구에서는 현장조사의 한계로 TWOPAS에 의한 모의실험결과를 이용하여 저속전기자동차의 혼입에 의한 교통류 특성을 살펴보았다. 그러나 모형에 의한 시뮬레이션이 한계가 있는 점은 고려하여, 실제 저속전기자동차를 실제 교통류상에 혼입시켜 교통류 특성의 변화를 살펴볼 필요가 있다. 또한 2차로도로 뿐만 아니라 다차로도로, 도시내 다차로도로, 교차로 등에서의 저속전기자동차 혼입에 따른 교통류에 대한 영향 검토 등이 추가적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

[1] 강재원, “2차로도로에서 저속교통류 양보형차로의 효과분석 및 설계기법에 관한 연구,” 명지대학교, 2010.2.
 [2] 김영록, “2차로도로 추월기회 제공방법별 지체도 비교·분석,” 한국도로학회 2009년도 추계학

술대회 논문집, 한국도로학회, 2009.
 [3] 김태완, “무신호 교차로에서 혼합교통류에 의한 용량 보정에 관한 분석연구,” 2005 대한토목학회 정기학술대회, 대한토목학회, 2005.
 [4] 김상구, “혼잡교통류 상태에서의 연결로 합류부 교통류 특성에 관한 기초 연구,” 대한교통학회지, 제22권, 제5호, 대한교통학회, pp.99-109, 2004.
 [5] 최병국, “2차로 고속도로 양보차로 설계 기준,” 대한교통학회지, 제16권, 제3호, 대한교통학회, pp.73-79, 1998.
 [6] 한국건설기술연구원, “도로설계 검사 시스템 개발(설계검사 및 안전도 평가모듈개발),” 2002.
 [7] Federal Highway Administration, “Interactive Highway Safety Design Model, Traffic Analysis Module Engineer’s Manual,” 2010.
 [8] 국토해양부, “도로용량편람,” pp.165-174, 2005.
 [9] 국토해양부, “도로의 구조시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침,” pp.8, 99-100, 2009.
 [10] Transportation Research Board, “Highway Capacity Manual,” 2010.
 [11] Transportation Research Board, “Capacity and Quality of Service of Two-Lane Highways,” NCHRP PROJECT 3-55, Midwest Research Institute, 1998.

저자소개



장 근 우 (Jang, Keun-Woo)

2010년 12월 ~ 현 재 : (주)건현엔지니어링 부설 교통연구소 연구원
2008년 3월 ~ 2010년 2월 : 중앙대학교 석사과정 수료(교통공학전공)
2001년 3월 ~ 2008년 2월 : 중앙대학교 학사(도시공학)



정 성 화 (Jung, Sung-Hwa)

2011년 2월 ~ 현 재 : (주)건현엔지니어링 부설 교통연구소 연구원
2009년 3월 ~ 2011년 2월 : 서울시립대학교 공학석사(교통공학전공)
2003년 3월 ~ 2009년 2월 : 경기대학교 학사(도시및교통공학)



조 주 명 (Cho, Ju-Myung)

2009년 3월 ~ 현 재 : (주)건현엔지니어링 부설 교통연구소 소장
2005년 1월 ~ 2009년 3월 : (주)건현엔지니어링
2002년 1월 ~ 2005년 12월 : (주)화신엔지니어링



정 필 현 (Jung, Phil-Hyun)

2005년 12월 ~ 현 재 : (주)건현엔지니어링 대표이사
1999년 11월 ~ 2005년 11월 : (주)화신엔지니어링
1997년 5월 ~ 1999년 10월 : (주)청석엔지니어링 기술연구소
1995년 6월 ~ 1997년 4월 : (주)내경엔지니어링 기술연구소
1992년 3월 ~ 1995년 5월 : (주)연세대학교 산업기술연구소