

서울시 도시형버스의 주행패턴에 관한 연구

A Study of Driving Pattern of City-bus in the City of Seoul

정 남 훈*, 이 우 택*, 선 우 명 호**, 이 영 재***, 엄 명 도****
Namhoon Chung, Wootaik Lee, Myounggho Sunwoo, Youngjae Lee, Myoungdo Eom

ABSTRACT

Emission from road traffic is one of the major sources of air pollution, and provides some undesirable effects on the atmospheric environment and human health. In the city of Seoul, the higher portion of diesel vehicles runs compared with that of other countries. Emission from the diesel vehicles is much higher than that of other vehicles. In this study, the driving pattern of city-bus in Seoul is investigated through on-road vehicle test and compared with the test modes of other countries in order to examine appropriateness of the present test mode that is taken in our country.

주요기술용어 : City-bus(시내버스), Driving pattern(주행패턴), Test mode(시험모드), Heavy duty diesel engine(중량급 디젤기관), D-13 mode(D-13모드)

1. 서 론

자동차는 1960년대 말부터 환경규제의 대상이 되어왔다. 최근 자동차의 급격한 증가는 대도시의 대기오염을 심화시키고 있으며, 특히 경유자동차의 경우 매연과 질소산화물 등이 많이 배출되어 대기의 질이 어느 때 보다도 악화되고 있다. 따라서 우리나라는 경유자동차에 대하여 1984년 7월부터 배출가스를 규제하기 시작한 이후 강화된 규제를 거쳐, 2000년 1월부터는 배출

가스 중 질소산화물(NOx)과 입자상물질(PM)의 규제를 강화하여 시행해 오고 있다.¹⁾ 또한 최근에는 시내버스의 대기오염물질 방출을 저감시킬 목적으로 압축천연가스 연료를 이용하는 시내버스를 시험운행중에 있다. 서울시에 등록된 자동차수는 99년말 현재 229만대에 이르고 있으며, 이중 경유를 연료로 하는 자동차는 21.8%를 차지하여 외국에 비하여 상대적으로 높은 수치를 나타내고 있다. 뿐만 아니라 시내버스의 경우 국내 총 보유대수의 36.8%인 9,600대가 서울에 집중되어 있다. 또한 98년 서울시에 대기오염물질을 배출하는 배출원 중 용도별로 나누어 보면 자동차에 의한 대기오염물질 배출비율이 85.7%로 난방, 산업 및 발전부문의 배출비율 보다도 크며, 이는 전국적으로 자동차에 의한 대기오염물

* 회원, 한양대학교 대학원

** 회원, 한양대학교 자동차공학과

*** 회원, 한국에너지기술연구원

**** 회원, 국립환경연구원 자동차공해연구소

질 배출비율인 50.3%보다도 큰 수치임을 알 수 있다. 또한 시내버스는 대형트럭과 함께 차량대수면에서는 작은 비율을 차지하고 있으나 배기량이 크고, 연간 주행거리가 길어 오염물질 배출량이 많은 실정이다. 실제로 98년 서울시의 경우 자동차가 발생시키는 대기오염물질 배출량 중에서 경유자동차의 배출비율이 44%로 경유자동차 보유대수비율인 21.8%보다도 큰 수치임을 알 수 있다.^{2,3)}

우리나라는 시내버스엔진(Heavy duty diesel engine)의 배출가스 측정시 95년까지는 D-6 Mode를 적용하였고, 96년 1월부터는 D-13 Mode를 적용하고 있다. D-13 Mode는 99년도까지 유럽에서 버스엔진에 적용하였던 시험모드인 ECE-13 Mode와 동일한 시험모드이다. 한편, 미국에서는 U.S. Heavy Duty Transient Cycle(HDTC)을 적용하고 있고, 유럽에서는 2000년도부터 미국과 동일한 시험모드를 적용하고 있으며, 일본에서는 J-13모드를 적용하고 있다.

이 연구에서는 서울시 도시형 시내버스의 주행시험을 통하여 획득한 주행자료를 분석하여 외국의 시험모드와 비교하며, 현재 우리나라에서 적용하고 있는 시험모드의 개선방향에 대하여 살펴보기로 한다.

2. 시내버스 주행노선의 선정

서울시 시내버스의 주행패턴을 결정하기 위하여는 모든 노선에 대하여 주행시험을 수행하는 것이 필요하나, 시간과 경비를 절감하기 위하여 시험을 수행할 대표노선을 선정한다. 대표노선은 서울시의 교통량, 지형을 대표할 수 있는 노선 중에서 선정한다.

2.1 서울시 교통량 분석

주행시험을 실시할 대표노선 선정을 위하여 서울시의 각 지점별, 시간대별, 요일별 교통량을 분석한다. 교통량 분석을 위하여는 서울지방경찰청 조사자료를 활용하였다.⁴⁾

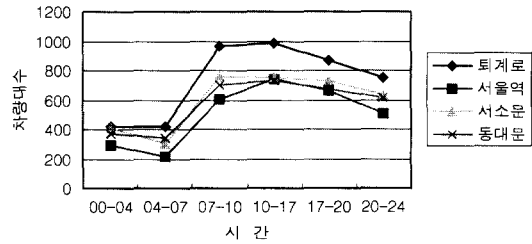


Fig. 1 Traffic volume at downtowns

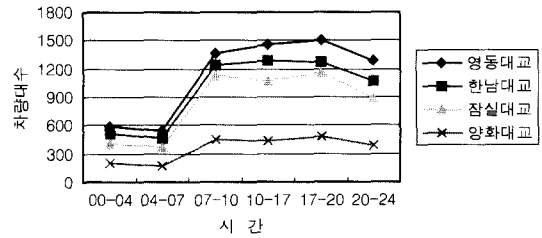


Fig. 2 Traffic volume at bridges

2.1.1 지점별 교통량 분석

Fig. 1~Fig. 2는 서울시의 주요 지점별 교통량을 나타내고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 서울 시내 전지역에서 오전 7시부터 오후 8시까지는 교통량이 많으며, 동일한 그룹에서도 측정 지점별로 교통량에 큰 차이가 나타남을 알 수 있다. 또한 도심, 교량에서는 오전 7시부터 오후 8시까지 교통량에 큰 변화가 없는 교통량 포화상태임을 알 수 있다.

2.1.2 시간대별 교통량 분석

Fig. 3은 서울시의 각 지점별, 시간별 교통량을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 서울시의 전반적인 교통특성은 전형적인 도시 지역의 오전, 오후 첨두현상을 보이고 있으나, 도심지역은 뚜렷한 첨두시간 없이 출근시간 이후 퇴근시간까지 비슷한 수준의 교통량이 발생되고 있다. 첨두시간대는 오전 7시30분부터 10시 사이의 출근시간대와 오후 6시부터 8시 사이의 퇴근시간대에 형성됨을 알 수 있다.

2.1.3 요일별 교통량 분석

Fig. 4는 서울시의 각 지점별, 요일별 교통지수

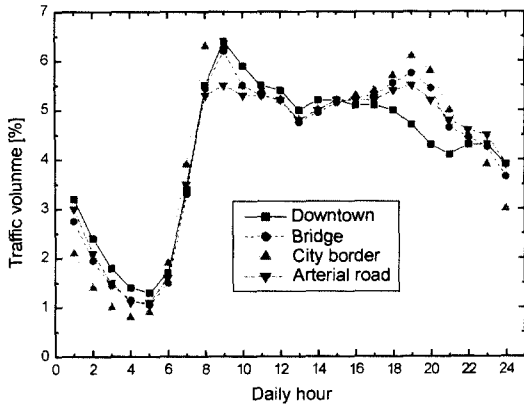


Fig. 3 Hourly traffic volume

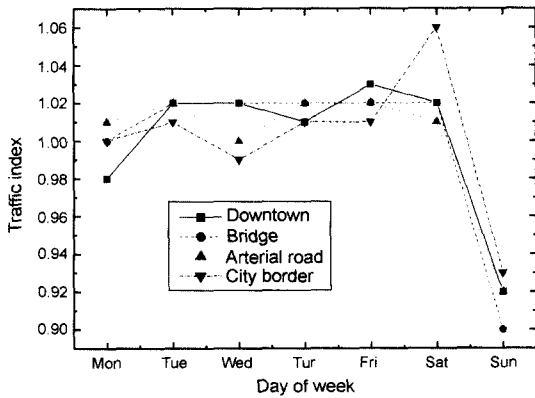


Fig. 4 Traffic index diagram

(Traffic index)를 나타내고 있으며, 교통지수는 다음 식과 같이 정의된다.

$$\text{교통지수} = \frac{\text{일일교통량}}{\text{일주일 평균교통량}}$$

그림에 나타난 바와 같이 일요일을 제외하고는 월요일부터 토요일까지 요일에 따른 교통량의 큰 변화는 없으며, 단지 시경계 지역에서는 주말 행락차량의 증가로 토요일의 교통량이 많은 것으로 나타난다.

2.2 도시형 시내버스 운행현황

현재 서울시내버스는 도시형, 좌석 및 직행좌석버스의 형태로 운행되고 있으며, 일부 소외지역 및 지하철역과 연계하여 마을버스가 운행되

고 있다. 시내버스의 기능은 직행좌석버스, 좌석버스를 주축으로 하는 간선기능과 지역내 및 도심순환 기능을 갖는 지선기능으로 이원화되어 있다. Table 1은 서울시내버스의 운행현황이다.

Fig. 5와 Fig. 6은 좌석버스를 제외한 286개 도시형 및 순환 시내버스노선의 1회 왕복거리와 왕복평균 주행속도를 분석한 결과이다. 1회 왕복거리의 특징으로는 30~50km의 노선이 전체 노

Table 1 Status of city-bus in Seoul

구분	업체수	노선수	인가대수
도시형	84	254	6,467
순환	31	32	280
좌석	40	79	1,636
직행좌석	2	2	26
합계	84	367	8,409

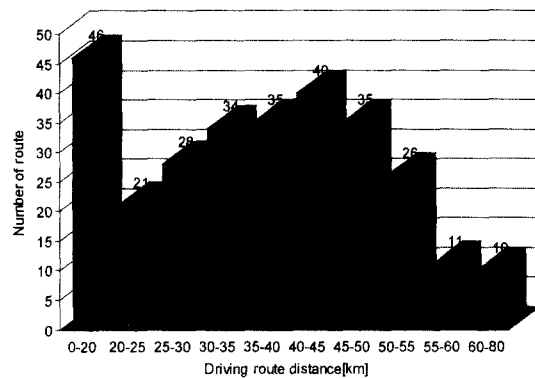


Fig. 5 Distribution of driving route distance for city-bus in Seoul

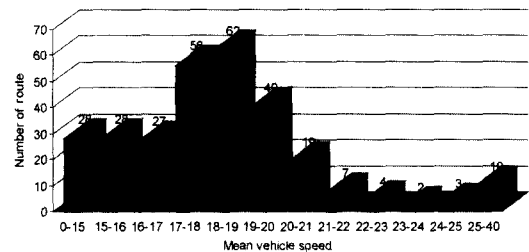


Fig. 6 Distribution of mean vehicle speed for city-bus in Seoul

선의 50.3%를 차지하는 것으로 보아 서울시를 남북으로 종단하거나 동서로 횡단하는 노선이 많음을 알 수 있으며, 1회 왕복거리가 비교적 짧은 20km 이하의 노선이 16%를 차지하는 것은 노선거리가 짧은 순환노선 버스의 영향 때문이다.

평균차속이 17~20km/h인 노선이 전체노선의 55.2%이다. 도시형 및 순환 시내버스노선의 왕복거리와 왕복평균 주행속도의 평균값은 각각 18.1km/h와 34.9km이다.

2.3 대표 주행노선 선정

시내버스노선을 일정한 기준에 의하여 몇 개의 그룹으로 나누고, 각 그룹에 속한 노선들의 특징을 가장 잘 대표할 수 있는 노선을 선정하여 시내버스의 주행패턴을 알아보려 한다. 이 연구에서는 각 노선의 그룹별 분류기준으로 남북종단노선, 동서횡단노선 및 도심순환노선의 3개 그룹으로 분류한다. 이렇게 분류함으로써 서울시의 지형적인 특성을 반영할 수 있고, 서울시내 버스의 대표 주행노선 선정시 교통량이 집중되는 지역도 포함시킬 수 있다고 판단된다. Table 2는 286개 도시형 및 순환 시내버스노선에 대하여 그룹별로 분류한 결과를 나타내고 있다. Table 2에 나타난 바와 같이 남북종단노선, 동서횡단노선, 및 도심순환노선이 차지하는 비율은 72.4%이며, 기타노선으로 분류된 버스노선은 노선거리가 비교적 짧고, 운행지역이 편중되어 대표성이 결여된 노선들로 시험노선 선정시 제외한 노선이다. 남북종단노선은 한강교량을 지나며, 평균노선거리가 41.5km로 길며, 평균차속은 18.8km/h이다.

Table 2 Classification of driving routes

분류	노선수	비율[%]
남북종단노선	128	44.8
동서횡단노선	73	25.5
도심순환노선	6	2.1
기타 노선	79	27.6
합계	286	100

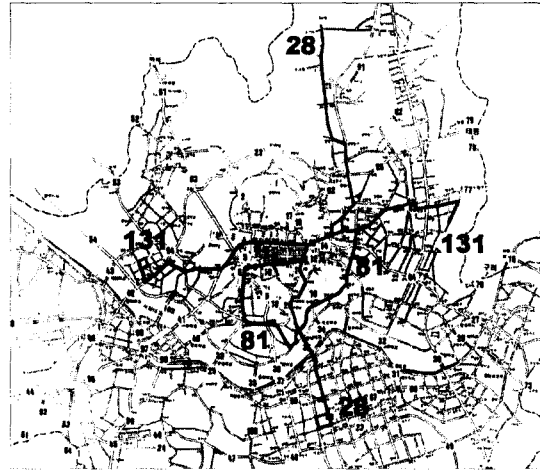


Fig. 7 Test routes of city-buses

동서횡단노선은 평균노선거리가 38.9km이며, 평균차속은 18.2km/h이다. 또한 도심순환노선은 평균노선거리가 29.4km이며, 평균차속은 18.8km/h이다.

이 연구에서는 Table 2와 같이 분류된 버스노선 중에서 노선통과지역을 고려하고, 각각의 분류노선을 대표할 수 있는 대표노선으로 3개의 버스노선을 시험대상으로 선정하였다. Fig. 7은 시험버스 노선도를 나타낸다.

3. 시험장치 및 방법

3.1 시험장치

Fig. 8은 VDAS(차량용 자료획득장치 : Vehicle Data Acquisition System)의 블록도이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 VDAS는 시험차량에 부착된 센서로부터 시험차량의 주행데이터를 68HC11 Micro controller 기반의 시스템 하드웨어를 이용하여 입력받아 저장한 후 분석을 위하여 PC로 전송한다. VDAS는 다음과 같이 크게 3부분으로 구성되었다.

3.1.1 차량 및 센서

시험차량은 시험노선으로 결정된 시내버스 중에서 차량상태와 제작년도를 고려하여 선정

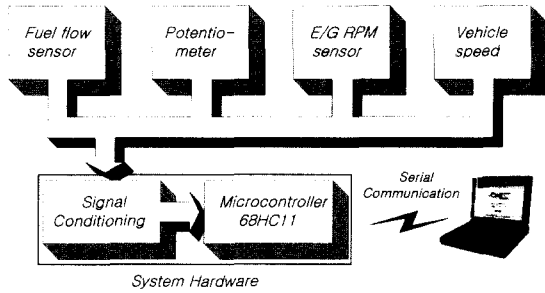


Fig. 8 VDAS schematic

Table 3 Test vehicles

항목	28번, 81번	131번
제작사	현대자동차	대우자동차
모델명	540SL	BS106L
제작년도	1997년	1998년
엔진모델	D6AU	DE12
배기량	11,149cc	11,051cc
최대출력	225PS/2,200rpm	225PS/2,200rpm
최대토크	78kgm/1,400rpm	81.5kgm/1,400rpm

하였다. 시험차량의 현황은 Table 3과 같다.

디젤엔진의 부하는 연료의 분사량으로 판단할 수 있으며, 연료분사량은 연료분사펌프에 장착된 랙(Rack)의 위치에 따라 변하므로 엔진부하를 검출하기 위하여 연료분사펌프의 랙변위를 감지할 수 있도록 한다. 변위검출을 위하여는 선형위치센서(Linear potentiometer)를 사용하며, Fig. 9는 선형위치센서가 장착된 연료분사펌프의 외관형상을 나타낸다. Fig. 9에서 A는 선형위치센서, B는 랙의 인출봉, C는 연결부를 나타낸다. 엔진으로 공급되는 연료량을 계측하기 위하여 유량계를 설치한다. 유량계는 연료탱크와 연료분사펌프에 장착되어 있는 연료피드펌프(Fuel feed pump) 사이의 연료라인에 장착하며, 연료분사펌프와 분사노즐로부터 연료탱크로 복귀되는 리턴라인은 유량계의 출구에 연결한다. 유량계 장착시의 배관도는 Fig. 10과 같다. Table 4는 시험차량에 사용된 선형위치센서와 유량계의 사양

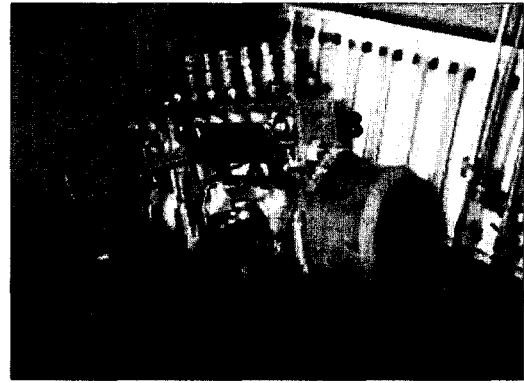


Fig. 9 Injection pump for test

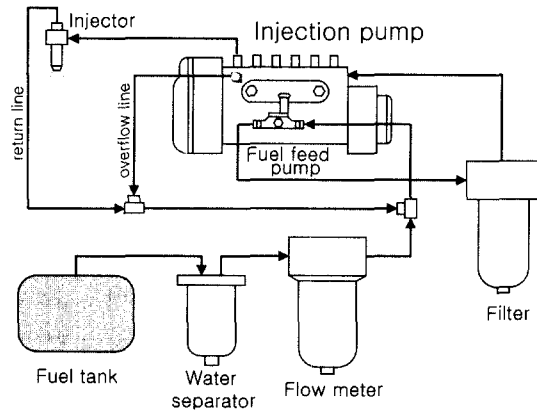


Fig. 10 Schematic diagram of flow meter

을 나타낸다. 차속신호는 시험차량에 장착되어 있는 차속센서로부터 신호를 인출하여 사용하며, 엔진회전속도신호는 인스트루먼트 패널의 타코미터로 연결되는 신호를 인출하여 사용한다.

Table 4 Sensor specifications

항목	선형위치센서	유량계
제작사	Midori(일본)	Onosokki(일본)
모델명	LP-50F	FP-214, DF-312
측정범위	50mm	0.3 ~ 120 l/h
선형성	± 0.5%	± 0.5%
작동온도	-40 ~ 100°C	0 ~ 65°C
내구성	500만 왕복	-

3.1.2 터미널 블록

터미널블록은 차량의 센서신호들을 VDAS 시스템 하드웨어로 연결하는 기능을 담당한다. 선형위치센서와 유량계의 출력신호와 같은 아나로그 신호는 전압범위를 0~5V로 조정하며, 엔진회전속도신호는 정현파로 입력되는 신호를 마이크로컨트롤러가 인식할 수 있도록 구형파로 변환시킨다.

3.1.3 마이크로컨트롤러 보드

마이크로컨트롤러 보드는 신호처리보드와 마이크로컨트롤러 보드로 구성된다. 신호처리보드는 터미널블록을 통하여 입력된 신호에 적절한 증폭과 전기적노이즈 제거를 한다. 이때 입력신호는 VDAS 하드웨어와 전기적으로 분리되도록 하였다. 마이크로컨트롤러 보드는 68HC11를 이용하고 신호처리보드를 거친 아나로그와 디지털신호를 읽은 후 이를 메모리에 저장하거나 또는 PC로 전송하는 기능을 담당한다. 각종 신호의 샘플링주기는 차량의 주행시간 및 메모리용량을 고려하여 1초로 설정하였다. 사용자는 VDAS의 샘플주기, 각종신호처리, 그리고 동작사양을 입력할 수 있으며, 이때 주요사항은 전면에 장착된 LCD로 표시된다. Fig. 11은 시험차량에 장착된 VDAS이며, A는 터미널블록, B는 신호처리보드와 마이크로컨트롤러 보드가 내장된 VDAS 시스템하드웨어, C는 유량계 신호증폭장치이다.

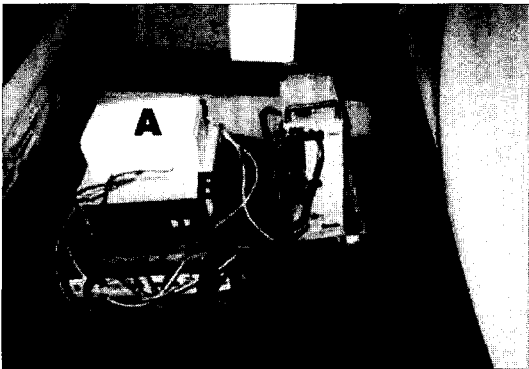


Fig. 11 VDAS installed in the vehicle

3.2 시험방법

3개의 대표노선에서 시험차량을 각각 1대씩 선정하여 시험장치를 장착한다. 선형위치센서가 장착된 연료분사펌프를 엔진에 장착하고, 연료유량계를 엔진실 내부에 설치하며, 차속신호와 엔진 회전속도신호를 인출한다. 또한 신호측정 및 기록을 위하여 차량의 뒤좌석에 VDAS를 설치한다. 주행자료는 시험버스당 하루 7회의 노선운행으로 총 일주일간의 운영을 통하여 얻게 된다. 따라서 시험차량의 요일별, 운행 시간대별 주행자료를 기록하여 계속된 데이터분석시 객관성을 가질 수 있도록 한다.

4. 주행시험 및 자료분석

주행자료를 획득한 후 통계적인 방법으로 주행모드를 분석한다. Table 5는 시험노선별 4모드(4Mode), 차속, 감·가속도, 기관회전속도, 연비, 및 단위 주행거리당 정차회수의 분석결과 및 평균값을 구하여 미국의 시험모드인 HDTC와 유럽의 ECE-13모드(우리나라의 D-13모드)의 분석결과와 비교한 것이다.

4.1 4모드 분석

4모드 분석은 시험차량의 주행자료에 대하여 차량의 주행상태를 4가지의 모드로 분류하여 통계적인 방법으로 처리한 분석결과로 각각의 주행모드 정의는 다음과 같다.⁸⁾

- 1) 가속모드(Acceleration mode)
가속도가 0.03m/s^2 이상일 경우
- 2) 감속모드(Deceleration mode)
가속도가 -0.03m/s^2 이하일 경우
- 3) 항속모드(Cruise mode)
가속도의 절대값이 0.03m/s^2 이하일 경우
- 4) 공회전모드(Idle mode)
차속이 0.3m/s 이하일 경우

4모드 분석시에는 주행시간(Time)과 주행거리(Distance)를 기준으로 사용하며, 이는 전체의 주행시간과 주행거리에 대하여 각각의 주행모드

Table 5 Characteristic parameters for the driving routes

Item	#131	#28	#81	Average	HDTC	ECE-13
Total duration(sec)	9,572	10,233	9,802	9,869	1,060	1,220
Time idling(%)	27.07	26.64	27.88	27.20	32.04	23.61
Time accelerating(%)	34.45	34.69	32.31	33.82	21.22	23.36
Time decelerating(%)	34.31	30.92	30.95	32.06	19.87	18.85
Time cruising(%)	4.17	7.75	8.86	6.93	26.87	34.18
Total distance(km)	46.51	49.02	45.23	46.92	8.92	11.02
Distance accelerating(%)	50.26	49.08	47.55	48.96	25.08	27.94
Distance decelerating(%)	44.47	45.96	47.07	45.83	23.26	17.51
Distance cruising(%)	5.21	4.96	5.37	5.18	51.65	54.55
Max. velocity(km/h)	70.4	81.8	74.9	75.7	93.32	120.0
Mean velocity(km/h)	17.97	17.52	16.84	17.44	30.87	32.75
Run velocity(km/h)	24.55	23.84	23.33	23.91	45.40	42.87
Max. acceleration(m/s ²)	3.77	3.49	2.18	3.15	2.68	1.04
Mean acceleration(m/s ²)	0.58	0.60	0.61	0.60	0.68	0.51
RMS acceleration(m/s ²)	0.67	0.70	0.68	0.68	0.80	0.63
Max. deceleration(m/s ²)	4.69	4.28	3.42	4.13	2.68	1.39
Mean deceleration(m/s ²)	0.61	0.70	0.68	0.66	0.72	0.64
Number of stops per km	2.76	3.05	2.99	2.93	1	1
Max. rpm	2,243	2,565	2,657	2,488	-	-
Mean rpm	1,050	1,142	1,071	1,088	-	-
Fuel economy(km/ℓ)	2.23	1.99	1.93	2.05	-	-

가 차지하는 주행시간과 주행거리의 백분율을 나타낸다. 주행시간을 기준으로 한 4모드 분석 결과를 미국과 유럽의 시험모드와 비교하여 Fig. 12에 보여주고 있다. 서울시내버스의 경우 가속모드가 33.82%, 감속모드가 32.06%를 차지하고 있어 미국시험모드인 HDTC의 21.22%, 19.87%, 유럽의 ECE-13모드의 23.36%, 18.85%보다 크게 나타나고 있다. 이러한 결과는 단위 주행거리(km) 당 정차회수가 서울시내버스의 경우 평균 2.93회로 미국과 유럽시험모드의 1회와 비교할 때 크기 때문에 서울시내버스 운행시 가·감속 조작이 많은 것에 기인하는 것으로 판단된다. 또한 항

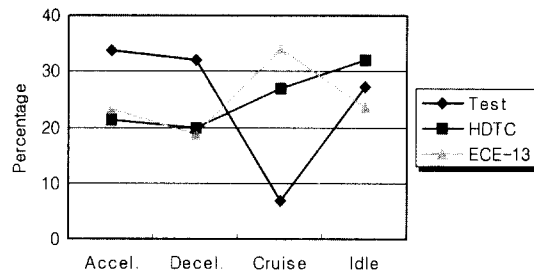


Fig. 12 Modal distribution based on time duration

속모드의 경우 서울시내버스가 6.93%로 미국시험모드인 HDTC의 26.87%, 유럽의 ECE-13모드의 34.18%보다 작게 나타나고 있다. 이는 속도분

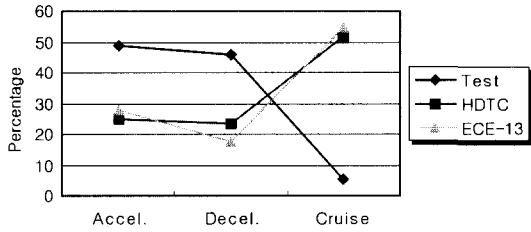


Fig. 13 Modal distribution based on distance

석에서도 알 수 있는 바와 같이 시험노선의 교통소통이 원활하지 못하여 평균속도저하와 함께 정속주행이 어렵기 때문인 것으로 판단된다. 공회전모드의 경우 서울시내버스가 27.20%로 HDTC의 32.04%, ECE-13모드의 23.61%와 비교할 때 큰 차이가 없는 것으로 분석된다. 단위거리당 정차회수(Number of stops per km)는 차속이 제로인 상태가 4초 이상 지속될 때를 차량이 정지한 것으로 한다.⁵⁾

주행거리를 기준으로 한 4모드 분석결과를 미국과 유럽의 시험모드와 비교하여 Fig. 13에 보여주고 있다. 서울시내버스의 경우 가속모드가 48.96%, 감속모드가 45.83%를 차지하고 있어 미국시험모드인 HDTC의 25.08%, 23.26%, 유럽의 ECE-13모드의 27.94%, 17.51%보다 크게 나타나고 있으며, 항속모드의 경우에는 서울시내버스가 5.18%로 미국시험모드인 HDTC의 51.65%, 유럽의 ECE-13모드의 54.55%보다 작게 나타나고 있어 주행시간을 기준으로 한 4모드 분석결과와 동일한 경향을 나타내고 있다.

4.2 속도 분석

주행자료의 최대속도(Max. velocity), 평균속도(Mean velocity), 주행평균속도(Run velocity), 및 속도분포를 구한다. 최대속도는 시험차량의 최대주행속도이며, 평균속도(Mean velocity)는 주행속도의 평균값이고, 주행평균속도(Run velocity)는 엔진공회전을 제외한 경우의 평균속도이다. 최대속도는 서울시내버스가 75.7km/h로 HDTC의 93.32km/h, ECE-13모드의 120.2km/h에 비해 느리게 나타나고 있다. 평균속도는 서울시내버

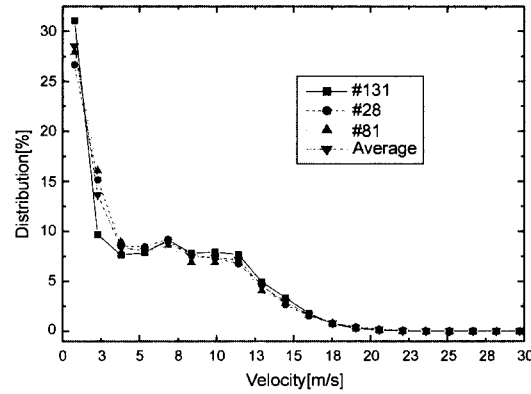


Fig. 14 Velocity distribution diagram

스가 17.44km/h로 HDTC의 30.87km/h, ECE-13모드의 32.75km/h에 비해 느리며, 주행평균속도는 서울시내버스가 23.91 km/h로 HDTC의 45.40km/h, ECE-13모드의 42.87km/h에 비해 느리게 나타나고 있다. 이러한 결과로 판단해 볼 때 서울시의 버스운행조건은 미국이나 유럽에 비해 차량의 속도가 비교적 느린 영역에서 주로 운행되는 상태임을 알 수 있다. 특히 시험모드 설정시 중요한 평균차속의 경우 서울시내버스가 17.44km/h로 HDTC 평균차속의 56.5%, ECE-13 평균차속의 53.3%의 값을 보이고 있다. Fig. 14는 주행데이터의 속도분포선도를 나타낸 것으로 각 시험노선 버스의 속도분포와 속도분포의 평균값을 나타내고 있다. 평균값을 기준으로 판단해보면, 차속이 2.286m/s (8.2km/h) 이하인 경우 속도분포율이 42.1%이며, 차속이 2.286m/s(8.2km/h)에서 11.43 m/s(41.1 km/h) 사이의 속도분포율이 47.3%, 차속이 11.43m/s(41.1km/h)를 넘는 경우 속도분포율이 10.6%로 나타나고 있다. 따라서 차속이 11.43 m/s(41.1km/h) 이하인 경우의 속도분포율이 89.4%로 대부분을 차지하고 있어 서울시의 경우 차속이 41.1km/h 이하에서 주로 운행되고 있음을 알 수 있다.

4.3 가속도 분석

주행자료의 최대가속도(Max. acceleration), 최대감속도(Max. deceleration), 평균가속도(Mean ac-

celeration), 평균감속도(Mean deceleration) 및 RMS 가속도(Root mean square acceleration)를 구한다. 최대가속도와 최대감속도는 주행시험시 시험차량의 최대가속도와 최대감속도이며, 평균가속도와 평균감속도는 주행시험시 가속도와 감속도의 평균값이고, RMS가속도는 제공한 가속도의 평균의 제곱근이다. 최대가속도와 최대감속도는 서울시내버스가 각각 3.15m/s^2 , 4.13m/s^2 으로 나타나 미국시험모드인 HDTC의 2.68m/s^2 , 2.68m/s^2 , 유럽의 ECE-13모드의 1.04m/s^2 , 1.39m/s^2 보다 크게 나타나고 있다. 이러한 경향은 서울시내버스 주행시 급가속과 급감속 조작이 많이 필요하기 때문으로 판단된다. 평균가속도와 평균감속도는 서울시내버스가 각각 0.60m/s^2 , 0.66m/s^2 으로 나타나 미국시험모드인 HDTC의 0.68m/s^2 , 0.72m/s^2 , 유럽의 ECE-13모드의 0.51m/s^2 , 0.64m/s^2 과 비교하여 볼 때 비슷한 경향을 보이고 있다. RMS가속도는 서울시내버스가 0.68m/s^2 으로 나타나 HDTC의 0.80m/s^2 , ECE-13모드의 0.63m/s^2 과 유사한 값을 보이고 있다. 따라서 위의 자료를 종합하여 볼 때 서울시내버스의 주행패턴은 주행속도가 높지 않으며, 단위거리당 정차회수가 많고, 급가속과 급감속이 많은 것을 알 수 있다.

4.4 속도 와 가속도 연계분석

Fig. 15는 주행자료의 속도-가속도 분포선도를 나타낸다. 속도-가속도 분포선도는 차속과 가속도를 각각 20개의 구간으로 나눈 후 각 구간의 분포율을 구하여 3차원 그래프로 나타낸 것이며, 분포율 전체의 합이 100이 되도록 한다. 분포율은 차속이 0.762m/s 이하이고 가속도가 $0.105 \sim -0.2\text{m/s}^2$ 인 구간에서 최대값 11.8%를 나타내며, 차속이 증가하거나 가속도의 절대값이 커질수록 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 결과는 실제 주행사이클의 속도-가속도 분포선도와 잘 일치하고 있음을 보여준다.⁸⁾

4.5 엔진회전속도와 부하분석

Table 6은 주행자료의 분석을 통하여 구한 엔

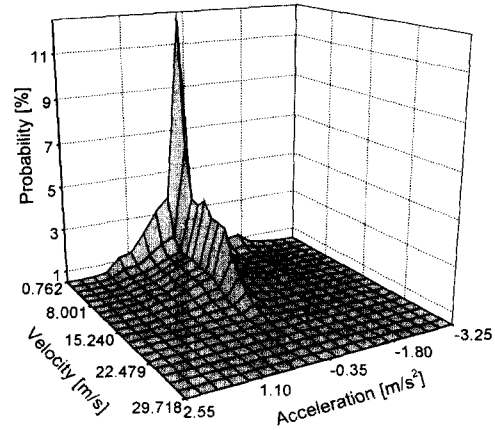


Fig. 15 Surface of probability percentages for velocity-acceleration matrix

Table 6 Engine rpm ~ load distribution

부하 (%)	엔진회전속도(%)			
	공회전	75%	100%	합계
0	32.4	0	0	32.4
10	0	24.6	7.2	31.8
25	0	4.9	1.8	6.7
50	0	6.8	2.9	9.7
75	0	10.7	5.7	16.4
100	0	0.7	2.3	3
합계	32.4	47.7	19.9	100

진회전수-부하 분포를 나타낸다. 부하는 각각의 엔진회전속도에서 최대토크의 백분율로 표시하며, 부하 10%는 0~10%, 25%는 10~25%, 50%는 25~50%, 75%는 50~75%, 100%는 75~100%를 각각 대표한다. 엔진회전속도는 엔진 최대마력시의 회전속도에 대한 백분율로 표시한다. 엔진회전속도 75%는 공회전~75%, 100%는 75~100%를 각각 대표한다.

현재 우리나라 시내버스 엔진의 배출가스 측정시 적용되고 있는 D-13모드의 시험조건은 Table 7과 같다. 이 시험모드의 특징은 공회전시에서 3회 측정하고, 최대토크 회전속도시와 최대마력 회전속도시에 각각 다섯 단계의 부하조건에

Table 7 Test conditions of the D-13 mode

부하 (%)	엔진회전속도			
	공회전	최대토크 속도	최대마력 속도	합 계
0	25			25
10		8	2	10
25		8	2	10
50		8	2	10
75		8	2	10
100		25	10	35
합 계	25	57	18	100

대하여 시험을 실시하도록 되어 있다.

주행시험을 통하여 얻은 Table 6의 자료와 D-13시험모드인 Table 7자료의 상관성을 알아보기 위하여 상관계수(Correlation coefficient)를 구한 결과 0.58의 값을 얻었다.¹¹⁾ 두 자료가 완전히 일치할 경우 상관계수는 1의 값을 갖게 되므로 서울시내버스의 주행패턴과 D-13시험모드 사이에는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 또한 시험 노선버스의 최대 엔진회전속도는 2,488rpm이며, 평균 엔진회전속도는 1,088rpm이고, 연비는 평균 2.05km/ℓ 이다.

5. 결 론

이 연구에서는 서울시내버스의 주행시험을 통하여 주행패턴에 대한 분석자료를 획득하였으며, 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 서울시내버스의 주행패턴을 분석한 결과 평균차속은 17.44km/h, 최대속도는 75.7km/h이며, 차속이 41.1km/h 이하인 주행상태가 89.4%로 대부분을 차지하며, 최대가속도는 3.15m/s², 최대감속도는 4.13m/s²으로 가속도의 변화폭이 크고, 단위 km당 정차회수도 2.93회로써 빈번히 정차하며, 평균주행연비는 2.05 km/ℓ 이다.

2) 주행시간을 기준으로 한 4모드 분석결과 공회전모드는 27.2%로써 미국, 유럽의 시험모드와 큰 차이가 없으나, 가속모드는 33.82%, 감속모드는 32.06%로써 가·감속모드의 합계가 65.88%

로 미국, 유럽시험모드의 가·감속모드 합계인 41.65%에 비하여 큰 값을 나타내고 있다. 또한 항속모드는 6.93%로써 미국, 유럽시험모드의 항속모드인 30.53%에 비하여 작은 값을 보이고 있다. 이러한 결과는 서울시의 경우 정속주행보다는 빈번한 정차로 인하여 가·감속주행이 많음에 기인한다.

3) 주행자료의 엔진회전수-부하 분석결과와 배출가스 시험모드인 D-13시험모드 사이의 상관계수를 구한 결과 0.58로서 상당한 차이가 발생하며, 이는 D-13시험모드가 서울시내버스의 주행패턴을 충실히 반영하지 못하고 있다고 판단된다.

4) 시내버스의 주행패턴은 국가별로 상이하며, 동일한 국가내에서도 도시에 따라 서로 다르게 된다. 현재 국내에서 시내버스엔진에 적용하고 있는 시험모드는 D-13모드이며, 이는 유럽에서 개발된 것으로 우리나라의 도로주행상황을 반영한 고유의 시험모드를 개발할 필요가 있는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 대기환경보전법 시행규칙 제67조, 별표20.
- 2) 통계로 본 서울교통, 서울특별시, 1998.
- 3) 서울의 환경, 서울특별시, 2000.
- 4) 서울시 교통량 조사자료, 서울지방경찰청, 1998.
- 5) 경유자동차 오염물질 저감대책에 관한 연구, 과학기술처, 1988.
- 6) 이영재, 권오석, 고창조, "서울특별시의 주행 특성 분석에 관한 연구," 한국자동차공학회 논문집, 제3권 제2호, pp.1-15, 1995.
- 7) D. T. Montgomery, R. D. Reitz, "Six-Mode Cycle Evaluation of the Effect of EGR and Multiple Injections on Particulate and NOx Emission from a D.I. Diesel Engine," SAE 960316, 1996.
- 8) R. Bata, Y. Yacoub, W. Wang, D. Lyons, M. Gambino, G. Rideout, "Heavy Duty Testing Cycles: Survey and Comparison," SAE 942263, 1994.
- 9) K. F. Brown, G. Rideout, "Urban Driving Cycle Results of Retrofitted Diesel Oxidation Cata-

- lysts on Heavy Duty Vehicles," SAE 960134, 1996.
- 10) K. Voss, J. Adomaitis, R. Feldwisch, C. M. Borg, E. Karlsson, B. Josefsson, "Performance of Diesel Oxidation Catalyst for European Bus Applications," SAE 950155, 1995.
- 11) J. S. Bendat, A. G. Piersol, Random Data, John Wiley & Sons, 1991.