

승용차 도심 주행패턴에 의한 연비 성능 분석

정 남 훈 · 이 우 택 · 선 우 명 호*

한양대학교 자동차공학과

A Study on the Fuel Economy based on the Driving Patterns for Passenger Car in the Metropolitan Area

Namhoon Chung · Wootack Lee · Myounggho Sunwoo*

Department of Automotive Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791 Korea

(Received 24 July 2002 / Accepted 18 October 2002)

Abstract : There are a lot of factors influencing on the automobile fuel economy such as average speed, average acceleration, acceleration sum per kilometer, and so on. In this study, various driving data were recorded during road tests. The accumulated road test mileage in Seoul metropolitan area is around 1,300 kilometers. The data were analyzed by multivariate statistical techniques including correlation analysis, principal component analysis, and multiple linear regression analysis. The analyzed results show that the average trip time per kilometer is one of the most important factors to fuel consumption and the increase of the average speed is desirable for reducing emissions and fuel consumption.

Key words : Fuel consumption(연료소비량), Principal component analysis(주성분분석), Correlation coefficient(상관계수), Multiple coefficient of determination(다중결정계수), MOSS(Mode Survey System)

1. 서론

경제규모의 확대와 국민소득의 향상과 더불어 자동차 보유대수는 지속적인 증가추세를 보이고 있다. 특히 1988년도 서울올림픽을 전후하여 자동차 등록대수의 증가가 최고에 달하여 1989년도에는 자동차 보유대수가 전년도에 비하여 30.7% 증가하였으며, 그 이후에도 연평균 16.4%씩 증가하여 2001년도에는 1,290만대의 자동차 등록대수를 보이고 있다. 또한, 승용차의 경우에는 1987년도부터 2001년도까지의 14년동안 연평균 18.9%의 등록대수 증가를 보이고 있으며, 2001년도에는 승용차 등록대수가 889만대에 이르게 되었다.¹⁾ 따라서 자동차에

의한 대기오염물질의 배출비율도 점점 증가하여 2000년도의 경우 배출되는 대기오염물질 중에서 자동차에 의한 배출비율이 전국적으로 50.3%를 차지하고 있으며, 서울시의 경우에는 이보다 훨씬 높은 85.7%에 이르고 있다.²⁾ 우리나라의 경우 제작차의 배출가스허용기준은 1978년 환경보전법시행령 제정시 최초로 도입되었고, 10여 차례의 개정을 거쳐 차종별로 세분화되었으며, 현재는 선진국 수준으로 기준이 강화되었다. 자동차 배출가스 저감대책으로는 저공해자동차를 개발 및 생산하기 위한 기술적인 측면과 조세제도와 환경개선부담금 등의 제도적인 측면 등 여러가지 방안으로 추진되고 있으며, 연비(fuel economy)의 개선 또한 자동차 배출가스를 감소시킬 수 있는 방안이라고 사료된다. 따라서 이 연구에서는 도심에서 총 1,267km의 승용차 주행시

*To whom correspondence should be addressed.
msunwoo@hanyang.ac.kr

힘을 통하여 주행자료를 획득하고, 주행자료를 다변량 통계적인 방법으로 분석하여 연료소비량(fuel consumption)에 영향을 미치는 인자를 분석하고, 운전자의 성별, 연령별 연비를 분석한다.

2. 시험노선의 선정

서울시 승용차의 연비분석을 위하여 실차 주행시험을 통해 주행자료를 획득한다. 실차시험을 위한 주행노선은 서울시의 도로 중에서 운전자의 도로이용 목적이 비교적 명확한 세 곳을 선정한다. 선정된 주행노선은 Fig. 1과 같으며, 출퇴근노선(SD), 도심순환노선(SM1) 및 고속화도로(SM2)로 구성되어 있다.

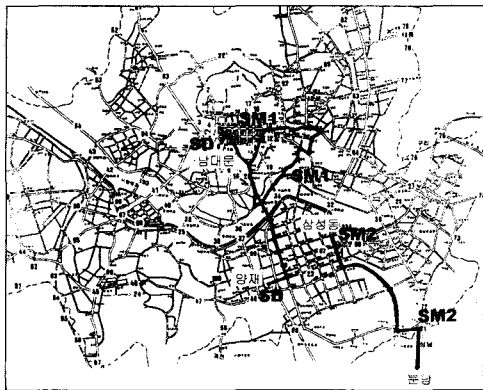


Fig. 1 Driving routes

3. 시험방법

3.1 시험차량 및 계측신호

주행시험에 사용된 차량은 현대자동차의 소나타 III 2.0 DOHC로 수동변속기와 ABS가 장착된 차량이다. 시험차량의 연료소비량 및 운전자의 조작상태를 계측하기 위하여 차량 주행시 Table 1과 같은 차량 주행신호를 측정토록 한다. 현재 연결된 기어의 단수를 계측하기 위하여 변속레버 아래에 광센서를 장착하고, 운전자의 제동페달 작동여부를 측정하기 위하여 제동등 신호를 인출하며, 클러치페달의 작동여부를 측정하기 위하여 광센서를 사용한다. 또한 TPS(Throttle Position Sensor)로부터 가속페달 작동상태를 측정하고, 차량속도는 ABS(Anti-

skid Brake System)의 휠스피드센서 신호를 사용하며, 기관회전수는 CAS(Crank Angle Sensor)신호를 이용한다. 연료소비량을 계측하기 위하여는 인젝터 구동신호를 이용한다. 시험에 사용된 센서와 장착 위치는 Table 1과 같다.

Table 1 Measuring signals

Signal	Mounting position
Gear engaged	Sensor from shift lever
Brake operation	Signal from stop lamp
Clutch operation	Sensor from clutch pedal
Acceleration pedal	ECU(C19)
Vehicle speed	Rear wheel speed sensor
Engine RPM	CAS signal, ECU(C21)
Fuel consumption	Injection signal, ECU(B1)

3.2 자료획득장치

선정된 노선의 주행시험시 주행자료 계측 및 기록을 위하여 주행자료 기록장치(MOSS)를 차량에 장착한다. 주행자료 기록장치는 시험차량에 장착된 각종 센서와 ECU로부터 입력받은 신호를 계측하여 일시적으로 저장하고, 주행시험 종료 후에 PC로 전송하게 한다. 이 장치는 내장된 배터리로부터 전원을 공급받아서 작동되고 신호처리장치, 자료획득장치 및 센서에 필요한 $\pm 12V$, $+5V$ 등 세 종류의 전원을 공급하며 최대 10시간 사용이 가능하다. 주행자료 기록장치의 블록도를 Fig. 2에 나타낸다.

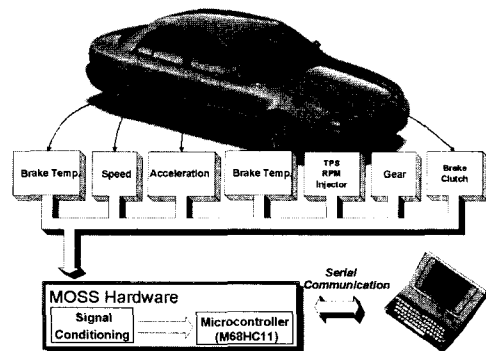


Fig. 2 MOSS architecture

3.3 운전자 선정 및 시험 방법

주행자료 수집을 위한 차량주행시험은 선정된 세 가지의 주행코스에서 실시한다. 운전자 선발은 수

동변속 차량을 보유하고, 운전경력이 3년 이상인 운전자 중에서 나이분포 및 남녀성비에 맞추어 선정한다. 운전자는 예비주행시험을 거쳐 노선별로 15명씩 선발하며, 총 45명의 운전자는 남자 37명, 여자 8명이다. 운전자의 나이별, 성별 분포는 Fig. 3과 같다. 시험차량에는 운전자 외에 주행코스 안내와 주행자료 기록장치 운용을 위하여 보조자 한 명이 동승한다. 주행시험은 오전 9시, 11시, 오후 1시에 각

각 출발하여 하루 3회 실시하며, 운전자는 평소대로 운전하도록 한다.

4. 주행 자료 분석

총 1,267km의 주행시험을 통하여 획득한 주행 자료를 토대로 상관분석, 주성분분석 및 다중회귀 분석 등의 다변량 통계적인 방법으로 분석을 실시하며, 또한 주행노선별 연비분석, 평균주행속도와 연비분석 및 운전자성별, 나이별 연비분석을 실시한다.

4.1 주행변수와 연료소비를 상관분석

연료소비율 분석을 위하여 선정한 주행변수는 18개이며 변수명, 단위 및 계산방법을 Table 2에 나타낸다. 통계분석시에는 시험노선의 주행데이터 74개를 표본자료로 하며, 표본자료의 최소차속은 10.4 km/h, 최대차속은 54.7km/h이며 평균차속은 29.2 km/h이다.

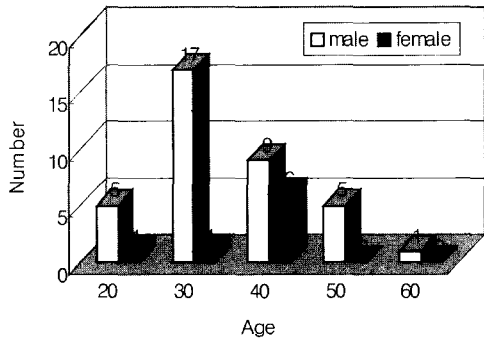


Fig. 3 Distribution of the test drivers

Table 2 Traffic characteristics used in analysis

No	Variables	Unit	Formula
1	average trip speed	km/h	$\bar{v} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$
2	standard deviation of trip speed	km/h	$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (v(t) - \bar{v})^2 dt}, v(t) > 0$
3	average trip time per unit distance	sec/km	
4	average acceleration	g	$\bar{a} = \frac{1}{T} \int_0^T a(t) dt, a(t) \geq 0, v(t) > 0$
5	standard deviation of acceleration	g	$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (a(t) - \bar{a})^2 dt}, a(t) \geq 0, v(t) > 0$
6	time fraction of vehicle stationary	%	$v(t) < 3km/h$
7	time fraction of acceleration	%	$v(t) \geq 3km/h, a(t) \geq 0.3m/s^2$
8	time fraction of cruising	%	$v(t) \geq 3km/h, -0.15m/s^2 \leq a(t) < 0.3m/s^2$
9	time fraction of deceleration	%	$v(t) \geq 3km/h, a(t) < -0.15m/s^2$
10	acceleration energy per unit distance	(m/s) ² /km	$\frac{1}{D} \int_0^T a(t) \cdot v(t) dt, a(t) > 0$
11	number of times of vehicle stationary per unit distance	times/km	
12	time of vehicle stationary per unit distance	sec/km	
13	acceleration time per unit distance	sec/km	
14	cruising time per unit distance	sec/km	
15	deceleration time per unit distance	sec/km	
16	acceleration sum per unit distance	(km/h)/km	$\frac{1}{D} \int_0^T a(t) dt, a(t) > 0$
17	square velocity per unit distance	(m ² /s)/km	$\frac{1}{D} \int_0^T v^2(t) dt, a(t) \geq -0.15m/s^2$
18	fuel consumption	cc/km	

(Note) T : trip time, D : trip distance

Table 3 Correlation coefficient matrix

Var.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1.00	0.83	-0.90	-0.38	-0.43	-0.83	0.89	0.29	0.80	0.18	-0.75	-0.81	-0.93	-0.88	-0.93	-0.82	0.91	-0.75	
2		1.00	-0.66	-0.35	-0.31	-0.51	0.61	0.10	0.48	0.21	-0.45	-0.52	-0.80	-0.74	-0.80	-0.68	0.97	-0.49	
3			1.00	0.39	0.49	0.88	-0.90	-0.36	-0.84	-0.18	0.93	0.98	0.90	0.88	0.92	0.83	-0.74	0.89	
4				1.00	0.60	0.32	-0.33	-0.31	-0.15	0.36	0.34	0.36	0.41	0.27	0.51	0.52	-0.41	0.60	
5					1.00	0.47	-0.48	-0.27	-0.38	0.01	0.48	0.50	0.40	0.37	0.48	0.43	-0.34	0.56	
6						1.00	-0.93	-0.57	-0.92	-0.17	0.84	0.92	0.72	0.68	0.73	0.67	-0.59	0.73	
7							1.00	0.25	0.93	0.38	-0.78	-0.89	-0.74	-0.85	-0.79	-0.61	0.69	-0.74	
8								1.00	0.24	-0.53	-0.47	-0.46	-0.31	0.07	-0.33	-0.52	0.18	-0.34	
9									1.00	0.43	-0.76	-0.86	-0.66	-0.79	-0.64	-0.50	0.52	-0.68	
10										1.00	-0.04	-0.17	-0.02	-0.42	-0.02	0.31	0.11	0.06	
11											1.00	0.95	0.80	0.74	0.82	0.80	-0.56	0.86	
12												1.00	0.80	0.79	0.83	0.75	-0.61	0.86	
13													1.00	0.86	0.97	0.93	-0.89	0.82	
14														1.00	0.85	0.66	-0.78	0.76	
15															1.00	0.92	-0.89	0.84	
16																1.00	-0.79	0.81	
17																	1.00	-0.60	
18																			1.00

Table 3은 전체 주행변수 사이의 상관계수(Correlation coefficient)를 나타내고 있으며, 대부분의 주행변수들은 연료소비율(X18)과 비교적 높은 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있다.

Table 4는 상관계수행렬을 이용한 주성분분석(Principal component analysis)결과를 보이고 있으며, 주성분의 고유치(Eigenvalue)가 큰 것으로부터 10개를 나타낸다. 고유치가 큰 4개의 주성분들이 데이터의 분산 중에서 92.8%를 설명하고 있음을 알 수 있다.

Table 5는 단일변수, 2변수 및 3변수에 대하여 다중회귀분석(Multiple linear regression analysis)의 수행결과를 명기한 것으로 다중결정계수가 가장 큰 것으로부터 10개의 주행변수 조합과 그때의 다중결

정계수를 나타낸다. 주행변수들에 의한 연료소비율 추정치의 정확성을 다중결정계수(Multiple coefficient of determination, r^2)로 나타내고 있다. 단일변수일 경우 단위거리당 평균주행시간(X_3), 단위거리당 정차시간(X_{12}), 및 단위거리당 정차회수(X_{11}) 등의 순으로 다중결정계수가 크게 나타나고 있으며, 2변수일 경우 단위거리당 평균주행시간(X_3)과 평균가속도(X_4), 3변수일 경우 주행속도 표준편차(X_2), 단위거리당 평균주행시간(X_3) 및 평균가속도(X_4)의 다중결정계수가 가장 큰 값을 보이고 있다. 또한 다중회귀분석에 사용되는 주행변수들의 수가 많아질수록 다중결정계수의 최대값이 커지는 것을 알 수 있다. 다중결정계수는 측정된 연료소비율의 총변동 중에서 회귀분석시 사용된 변수들에 의해서 설명되

Table 4 Eigenvalues of principal components

Principal components	Eigenvalues	% of variance	Cumulative%
1st	11.0668	65.1	65.1
2nd	2.2156	13.0	78.1
3rd	1.5007	8.8	87.0
4th	0.9963	5.9	92.8
5th	0.5099	3.0	95.8
6th	0.3342	2.0	97.8
7th	0.1886	1.1	98.9
8th	0.0699	0.4	99.3
9th	0.0499	0.3	99.6
10th	0.0344	0.2	99.8

Table 5 Best to 10th best linear regression

Rank	1 variable		2 variables		3 variables	
	var.	r^2	var.	r^2	var.	r^2
best	3	0.7853	3,4	0.8613	2,3,4	0.8870
2nd	12	0.7412	4,11	0.8408	3,4,17	0.8824
3rd	11	0.7316	4,12	0.8381	3,4,7	0.8761
4th	15	0.7136	3,10	0.8374	1,3,4	0.8756
5th	13	0.6750	15,17	0.8312	3,4,10	0.8735
6th	16	0.6530	3,5	0.8054	4,11,14	0.8734
7th	14	0.5719	3,7	0.8041	8,10,12	0.8729
8th	1	0.5638	3,16	0.8038	3,4,11	0.8712
9th	7	0.5435	2,15	0.8028	3,4,6	0.8679
10th	6	0.5401	2,3	0.8005	3,8,10	0.8651

어지는 변동의 비율로 0과 1사이의 값을 갖게 되며, 다중결정계수가 크다는 것은 다중회귀분석에 의하여 구하여진 연료소비율의 추정치가 실측치에 가깝다는 것을 의미한다.

Fig. 4는 단일변수일 경우 다중결정계수가 가장 크게 나타난 단위거리당 평균주행시간과 연료소비율의 산포도를 나타내고 있다. 그림에서 실선은 선형회귀분석에 의한 연료소비율의 추정치를 나타내며, 점선은 추정치의 95% 신뢰한계를 나타내고 있다.

Fig. 5는 단위거리당 가속량과 연료소비율의 산포도를 나타내고 있다. 그림에서 실선은 선형회귀분석에 의한 연료소비율의 추정치를 나타내며, 점선은 추정치의 95% 신뢰한계를 나타내고 있다.

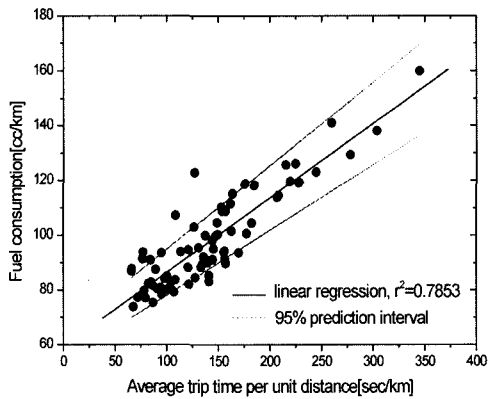


Fig. 4 Relationship between fuel consumption and average trip time per unit distance

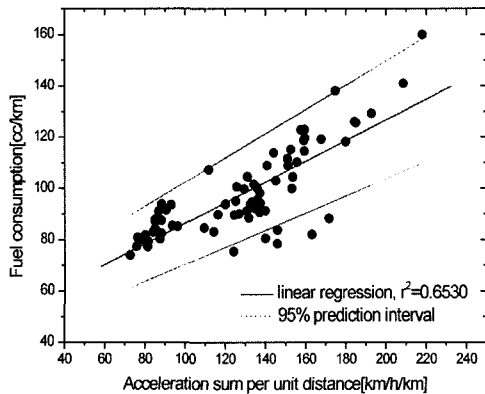


Fig. 5 Relationship between fuel consumption and acceleration sum per unit distance

4.2 주행노선별 연료소비율 분석

Fig. 6은 주행노선별로 연료소비율과 단위거리당 평균주행시간을 나타낸다. 전체 평균 연료소비율은 97.8cc/km이며, 출퇴근노선 및 도심순환노선에서는 연료소비율이 각각 107.4cc/km, 104.5cc/km로써 평균연료소비율보다 큰 값을 보이고 있으나, 고속화도로노선에서는 84.2cc/km로 평균보다 작은 값을 보이고 있다. 따라서 단위거리당 주행시간이 커질수록 연료소비율이 증가하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

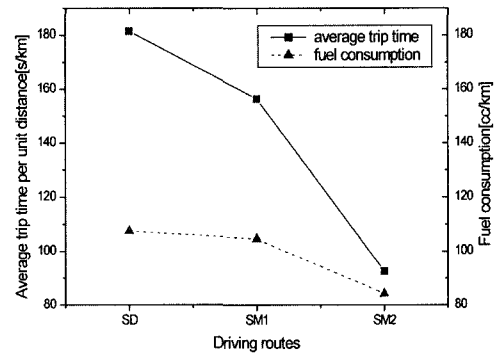


Fig. 6 Fuel consumption and average trip time per unit distance due to the driving routes

4.3 평균주행속도와 연비 분석

Fig. 7은 평균주행속도와 연비의 산포도를 나타내고 있으며, 실선은 최소자승법을 사용한 2차의 적합곡선이다. 연비(Fuel economy)는 연료소비율의

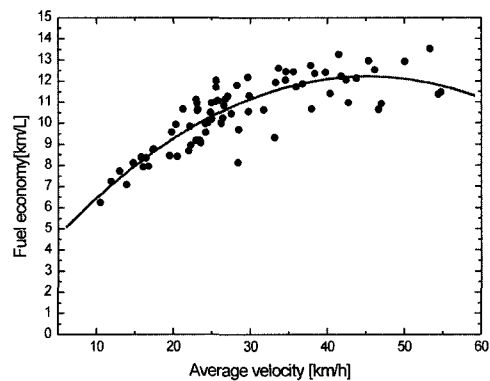


Fig. 7 Relationship between fuel economy and average velocity

역수로 평균주행속도 45km/h까지는 증가하는 경향을 보이고 있으나, 45km/h 이상의 평균주행속도에서는 연비의 상승이 둔화되고 있음을 알 수 있다. 따라서 CO₂ 배기저감과 연비향상을 위하여는 평균주행속도의 증가가 바람직하다.

4.4 성별 연비분석

Fig. 8은 전체운전자 중 남·녀 운전자별로 평균 연비를 분석한 결과를 나타내고 있다. 전체 평균 주행연비는 10.23km/ℓ이며, 남자 운전자의 평균 주행연비는 10.12km/ℓ로 나타나 전체 평균에 비해 1.1% 낮게 나타나고 있으며, 여자 운전자의 평균 주행연비는 10.69km/ℓ로 전체 평균에 비해 4.5% 높게 나타나고 있다. 여자 운전자의 평균 주행 연비는 남자 운전자에 비하여 5.6% 높은 값을 나타내고 있다.

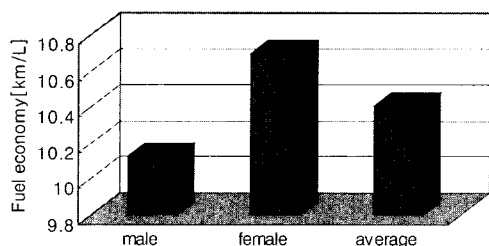


Fig. 8 Fuel economy according to driver's gender

4.5 연령별 연비분석

Fig. 9는 운전자 나이대별로 연비를 분석한 결과를 나타내고 있다. 20대부터 50대까지의 운전자의 연비분석 결과는 각각 9.93km/ℓ, 10.53km/ℓ, 10.75

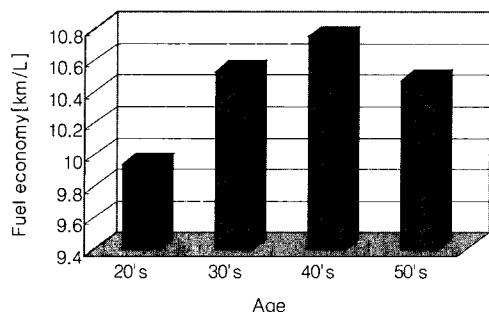


Fig. 9 Fuel economy according to driver's age

km/ℓ, 및 10.47km/ℓ으로 나타나 20대부터 40대까지 연비가 증가하며 50대에서는 오히려 연비가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 40대는 20대에 비하여 8.3%의 연비상승을 보이고 있다.

5. 결론

이 연구에서는 서울시 승용차의 주행시험을 통하여 획득한 주행자료를 통계적인 방법으로 분석하였으며, 얻어진 결론을 요약해 보면 다음과 같다.

1) 연료소비율과 주행변수들 사이의 다중회귀분석을 실시한 결과 단일변수일 경우 단위거리당 평균주행시간, 단위거리당 정차시간, 및 단위거리당 정차횟수 등의 순으로 결정계수가 크게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 2변수일 경우에는 단위거리당 평균주행시간과 평균가속도, 3변수일 경우에는 주행속도 표준편차, 단위거리당 평균주행시간 및 평균가속도의 결정계수가 가장 큰 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

2) 주행변수들의 주성분 분석결과 고유치가 큰 4개의 주성분에 의하여 주행자료 분산의 92.8%를 설명할 수 있음을 알 수 있다.

3) 평균주행속도가 45km/h이하일 경우에 연비는 평균주행속도의 증가와 함께 향상되나 그 이상의 속도에서는 평균주행속도의 증가에 따른 연비향상이 둔화될 수 있다.

4) 시험노선의 전체 평균주행연비는 10.23km/ℓ이며, 성별 연비분석결과 여자 운전자의 평균주행연비는 10.69km/ℓ로 남자 운전자의 평균주행연비인 10.12km/ℓ에 비하여 5.6% 높은 결과를 보이고 있다.

5) 연령별 연비분석 결과 40대 운전자의 평균주행연비가 10.75km/ℓ로 가장 크며, 20대 운전자의 평균주행연비는 9.93km/ℓ로 가장 낮은 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

References

- 1) Y. G. Kim, W. J. Han, "Cost-benefit Analysis and the Design of Economic Instruments for Automobile Emissions Control," KEI Report No. KEI/1997/RE-

- 13, Korea Environment Institute, 1997
- 2) Environment in Seoul, Seoul Metropolitan Government, 2000.
 - 3) Y. J. Lee, O. S. Kwon, C. J. Koh, "Analysis of the Driving Patterns Concerned with Fuel Economy in Seoul Metropolitan Area," Transactions of KSAE, Vol.3, No.2, pp.1-15, 1995.
 - 4) M. H. Sunwoo, J. I. Lee, W. T. Lee, S. J. Lee, W. C. Ju, S. H. Choi, S. T. Lee, H. S. Lee, K. M. Lee, "Development of an In-vehicle Driving Data Acquisition System," Spring Conference Proceeding of KSAE, Vol.1, pp.391-396, 1998.
 - 5) R. Bata, Y. Yacoub, W. Wang, D. Lyons, M. Gambino, G. Rideout, "Heavy Duty Testing Cycles: Survey and Comparison," SAE 942263, 1994.
 - 6) L. Evans, R. Herman, T. Lam, "Multivariate Analysis of Traffic Factors Related to Fuel Consumption in Urban Driving," Transportation Science, Vol.10, No.2, 1976.
 - 7) J. Shima, "Detailed Analysis on the Actual Driving Condition and Fuel Economy," Journal of JSAE, Vol.35, No.10, 1981.
 - 8) K. H. Hellman, J. D. Murrell, "Development of Adjustment Factors for the EPA City and Highway MPG Values," SAE 840496, 1984.