

## 도심지 주행패턴에 의한 배출물특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Characteristics of Exhaust Emission  
due to Vehicle Driving Pattern in Urban Area

한 영 출\*  
Young Chul Han

### ABSTRACT

Driving pattern of gasoline passenger car was measured and analyzed at some areas (6 urban area routes, 4 radial routes, 4 circular routes) in Seoul city.

Measured items were vehicle speed, engine speed, intake manifold vacuum, and fuel consumption.

Driving pattern data were reappearanced with engine dynamometer. Results of this investigation might be summarized as below;

1. When we compared urban area route with radial or circular route in rush hour, it was found that the average vehicle speed was measured to be lower about 25% and fuel consumption to be higher about 12% in urban area route.
2. Average vehicle speed was measured to be higher about 30% and driving resistance output to be higher about 25% in non-rush hour, but average fuel economy was increased a little.
3. On the bases of average fuel economy and characteristics of exhaust emissions, optimum driving vehicle speed was found about 60 km/h in the 4th (top) and about 40 km/h in the 3rd in driving of experimental engine.
4. Idling frequency and exhaust emissions of CO, HC were related to idling closely. But exhaust emission of  $\text{NO}_x$ , which had nothing to do with idling frequency, had relation to acceleration time ratio.

### 1. 서 론

최근 우리나라는 도시인구의 집중화와 차량의 급증에 따라 교통량도 가속도로 증가하여 도로 점유율을 크게 앞질러 가고 있으므로 자

동차의 주행소통 상태가 원활하지 못하고 이로 인하여 배출물의 생성특성도 현저하게 달라지고 있다.<sup>1) 2) 3) 4)</sup>

이로써 도심지의 공해문제가 심각하게 대두되고 있는 현실이다. 그러나 아직까지 자동차

\* 정희원, 국민대학교 공과대학 기계공학과

의 배출물에 대한 정확한 원인 및 주행상태별 자료가 없기 때문에 배출가스의 규제치를 외국자료에 의존하고 있는 실정이다.

자동차의 주행패턴에 관한 조사연구는 1970년초부터 미·일 등에서 자동차의 배출가스에 의한 대기오염이 심각한 문제로 되었던 도시에서 자동차 배출가스 대책을 위한 기초자료의 확보를 목적으로 많은 연구가 선행된 예를 엿볼 수 있다.<sup>5) 6) 7) 8)</sup>

따라서 본 연구에서는 서울 시내에서 주행도로를 선정하여 주행패턴을 조사하고 자동차가 실주행한 주행패턴을 기본자료로 하여 엔진 동력계(dynamometer)에 재현시켜 실주행에 따른 배출물 산정으로 배출특성을 종합검토하여 앞으로 배출가스의 규제기준치 선정과 배출물의 저감대책 수립과 아울러 연료절감방법과 교통체계 개선까지에도 기여하고자 한다.

2. 주행시의 연비율과 저항출력의 계산

2-1 정속주행시의 연비율

공급연료  $E_{Fuel}$  의 에너지 분배는 Fig.1과 같이 A-G의 손실을 제외한 것이 유효한 구동륜 유효에너지  $E_{Dwo}$ 로 된다.

따라서 손실에너지  $E_{Lo}$ 는,

$$E_{Lo} = E_{Li} + E_{Lm} + E_{Lt} = E_{Fuel} - E_{Dwo} \quad (kJ) \dots \dots \dots (1)$$

로 되며, 주행시의 각 효율을 살펴보면 다음과 같다.

$$\text{기관지시열효율; } \eta_i = W_i / E_{Fuel} \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{기관기계 효율; } \eta_m = W_b / W_i \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{구동계전달효율; } \eta_t = E_{Dwo} / W_b \dots \dots \dots (4)$$

$$\begin{aligned} \text{주행에너지 효율; } \eta_{Ro} &= E_{Dwo} / E_{Fuel} \\ &= \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_t \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

여기 단,

$$\text{기관지시열; } W_i = E_{Fuel} - E_{Li} \quad (kJ) \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{기관제동일; } W_b = W_i - E_{Lm} \quad (kJ) \dots \dots \dots (7)$$

구동륜유효에너지;

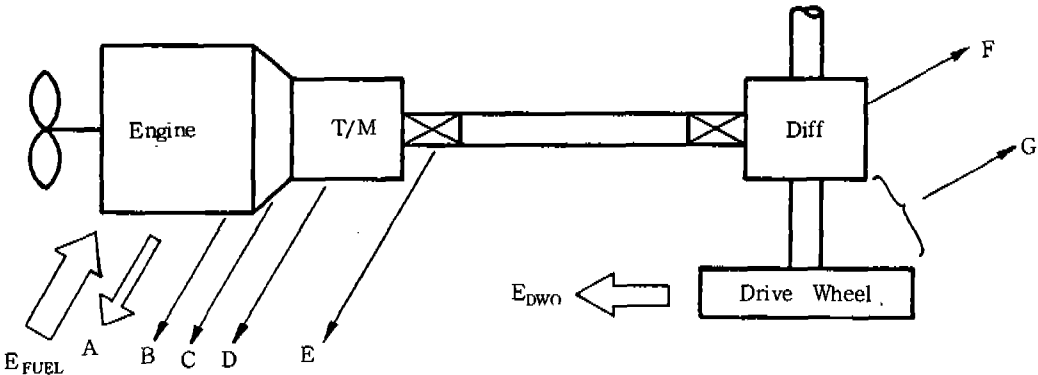
$$E_{Dwo} = W_b - E_{Lt} \quad (kJ) \dots \dots \dots (8)$$

이때 거리  $L$ 을  $V_o$ 의 속도로 주행할 때의 전주행저항을  $R_o$ 라고 하면 정속 주행시의 연비율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_o = \frac{\eta_{Ro}}{R_o} \cdot K_o = \frac{V_o \cdot \eta_{Ro}}{KW_{Dwo}} \cdot K_{ol} \dots \dots \dots (9)$$

여기서,

$a_o$ ; 연비율



- A : Thermodynamical loss ( $E_{Li}$ )
- B : Pump loss of engine
- C : Friction loss of engine

- D : Transmission loss
- E : Driving shaft joint loss
- F : Deep gear loss
- G : Drivingshaft-wheel ground loss

Fig.1 Relationships between  $E_{Fuel}$  and  $E_{Dwo}$  due to Cruising

$K_o, K_{ol}$ ; 상수

$KW_{Dwo}$ ; 구동륜유효출력

2-2 비정속주행시의 연비율

$V=V_o$ (일정)의 경우보다 속도변동에 따른 손실, 즉 가속, 발진, 정지의 반복으로 구성된 실제의 도로주행은 다음과 같은 손실이 있다.

$$E_L = E_{Lo} + E_{Lr} = (E_{Li} + E_{Lm} + E_{Lt}) + (E_{Acc} + E_{Dec-k} + E_{Dec-f} + E_{St-f} + E_{Cl}) \dots\dots\dots (10)$$

로 되고 변속주행의 주행에너지효율은,

$$\eta_R = \frac{E_{Dw}}{E_{Fuel}} = \frac{E_{Fuel} - E_L}{E_{Fuel}} = 1 - \frac{E_L}{E_{Fuel}}$$

$$= \frac{E_{Fuel} - E_{Lo} - E_{Lr}}{E_{Fuel}} = \eta_{Ro} - \frac{E_{Lr}}{E_{Fuel}} \dots\dots\dots (11)$$

여기서,

- $E_L$ ; 변속주행 중의 전손실에너지,
- $E_{Lo}$ ; 정속주행 손실에너지,
- $E_{Lr}$ ; 변속에 따른 손실에너지,
- $E_{Acc}$ ; 가속주행 손실에너지,
- $E_{Dec}$ ; 감속주행 손실에너지,
- $E_{Dec-f}$ ; 감속주행연료손실에너지,
- $E_{Dec-k}$ ; 제동손실에너지,
- $E_{St-f}$ ; 아이들링 연료손실에너지,
- $E_{Cl}$ ; 클러치 단속손실에너지

로서 나타나며 동일량의  $E_{Dw}$ 를 얻기 위해서는 정속주행의  $E_{Fuel}$ 보다도 비정속주행에서는 정속주행의  $a_o$ 의 구성요소  $V_o, \eta_{Ro}, KW_{Dwo}$ 가 항상 변동하지만 일정시간(또는 거리)으로 나누어 각 기간내의 평균적인  $V, \eta_R, KW_{Dw}$ 에 의하여 각 기간(또는 구간)마다 다음과 같이 비정속시의 주행연비율을 구한다.

$$a = \frac{V \cdot \eta_R}{KW_{Dw}} \cdot K(km/\ell) \dots\dots\dots (12)$$

2-3 주행저항출력 <sup>4) 9) 10) 11)</sup>

평지주행을 전제로 하여 주행저항은 동판저항을 포함하지 않으며 가속저항도  $E_{Acc}$ 로서

$\eta_R$ 에 포함되어 있으므로  $R_r$ 과  $R_{air}$ 만을 고려하여 주행저항출력은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$KW_{Dw} = \frac{R \cdot V}{270} = \frac{(R_r + R_{air})}{270} \cdot V \dots\dots\dots (13)$$

단,  $R = R_r + R_{air}$

$$R_r = \mu \cdot W \dots\dots\dots (14)$$

$$R_{air} = \frac{C_d \cdot \gamma \cdot S}{2g} \cdot \frac{V_o^2 + V^2}{2}$$

여기서,

- $R_r$ ; 전동저항(kg)
- $R_{air}$ ; 공기저항(kg)
- $\mu$ ; 전동저항계수
- $W$ ; 차량중량(kg)
- $C_d$ ; 공기저항계수
- $\gamma$ ; 공기비중량( $N/m^3$ )
- $S$ ; 자동차 전면설경면적( $m^2$ )

3. 주행시험과 동력계 재현실험

3-1 실주행실험

1) 주행도로의 선정

자동차 주행패턴 조사의 목적은 주행중인 자동차의 배출가스량 측정, 배출계수 산출, 연료소비율 평가 및 자동차배출가스 방지시설 등에 사용하는 자동차 주행모우드 선정에 있으므로 주행도로는 자동차 배출가스에 의하여 대기오염이 심한 대도시를 대상으로 해야한다.

도심을 중심으로 방사선도로와 순환도로로 형성되어 있는 서울시내를 택하였으며, 이들 도로를 6개의 도심도로(CR), 4개의 방사선도로(R) 및 4개의 순환도로(C)로 구분하여 그 실주행한 주행노선은 Fig. 2에 나타난 바와 같다.

2) 주행측정방법

주행시간대는 교통이 혼잡한 러시아워(오전 8~9시)와 혼잡치 않은 비러시아워(오후 2~4시)로 나누어 실주행하였으며 토, 일요일 및 우천시는 피하고 평일에 실시하였다.

자동차의 주행패턴은 요일, 도로폭, 교통량 및 기상조건 등과 함께 각 노선에 대하여 자

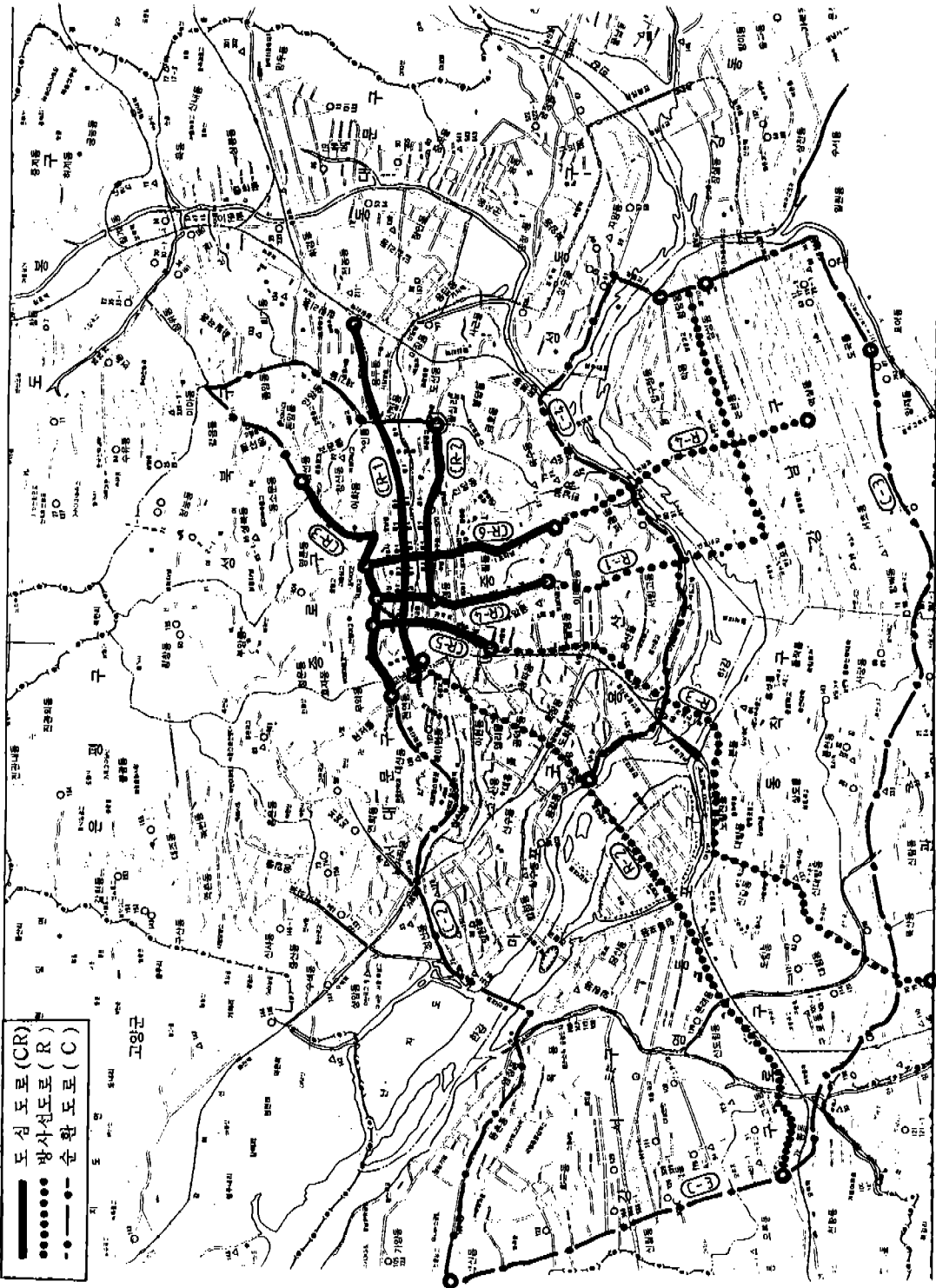


Fig.2 Driving Routes for Driving Pattern Analysis in Seoul City

연교통호름으로 주행하며, 운전자의 습성에 의한 영향을 가급적 배제토록 노력하였다.

또한 차의 주행상태를 파악하기 위하여 차속, 기관의 회전수, 매니폴드 흡기부압 및 연료소비량만을 측정하였다.

### 3) 주행측정장치

실주행측정에 사용한 시험자동차는 국산 포니가솔린 승용차(HYUNDAI CO.제; 4cycle, 4cyl., water cooling)로서 총 주행거리는 운행상태가 양호한 70,000km이었고 정상적인 운전이 가능하도록 엔진·튜업을 실시하였다.

시험자동차에 탑재한 측정장치는 검출기 및 데이터 코더(KYOWA제; RTP A/AL)와 리니어 코더(WATANABE제; WR 3101) 등을 사용하였으며 승차인원은 운전자, 측정기 조작자 및 제반주행상황 음성녹음자의 3인이었다.

### 4) 주행데이터 처리

주행패턴 측정 시스템에서 샘플링된 각종 데이터는 데이터 전환과정, 데이터의 보정, 데이터의 파일화와 재생 및 데이터의 수정 등의 몇차례 데이터 처리과정을 거친 후 프로그램에서 처리한다.

또한 주행모우드는 자동차 기본 4모우드를 사용했으며 이는 조사자에 따라 여러가지로 정의하고<sup>12) 13) 14)</sup> 있으나 본 조사에서는 동경도에서 사용한 4모우드 비율법으로 다음과 같이 정의된다.

- 정지이동(ID: Idling); 자동차가 완전히 정지한 상태( $V_t = 0$ )
- 정속(CR: Cruising); 차속변화가  $\pm 1.5$  KPH/S 범위내에서 4초 이상 계속되는 상태( $|\Delta V| \leq 1.5$  KPH/S가 4초 이상)
- 가속(AC: Accelerating); 차속변화가  $+ 1.5$  KPH/S 이상인 상태( $|\Delta V| > + 1.5$  KPH/S)
- 감속(DC: Decelerating); 차속변화가  $- 1.5$  KPH/S 이하인 상태( $|\Delta V| < - 1.5$  KPH/S)

그리고 평균차속은 속도계에 나타난 주행거리를 소요된 시간으로 나누어 산출하고 가속

도는 다음과 같이 산출하였다.

$$DS_i = \frac{S_i - S_{i-1}}{T_i - T_{i-1}}$$

단,

$DS_i$ : 가속도(KPH/S)

$S_i$ : 시각  $i$ 초에서의 차속(km/h)

$S_{i-1}$ : 시각  $i-1$ 초에서의 차속(km/h)

$T_i$ :  $S_i$  시점에서의 시각(sec)

$T_{i-1}$ :  $S_{i-1}$  시점에서의 시각(sec)

## 3-2 동력계 재현실험

실주행한 데이터를 컴퓨터 처리로 파일화하고 이것을 다시 엔진동력계에 자동차의 노상주행에 가깝도록 재현시켜 배출물의 특성과 고찰시험을 하였다.

즉, 평균적인 노상 주행상태를 실험실에서 실험기관에 재현시켜 그때 배출되는 배기가스를 직접농도용 배출가스 분석장치를 사용하여 각 성분농도를 연속적으로 측정하였다.

이때 사용한 동력계는 수냉와전류 제어형 동력계(TOKYO meter제; EN-20)였으며 기관은 주행자동차와 비슷한 가솔린 승용차기관(NISSAN CO.제; 4 cycle, 4cyl., water cooling)이었다.

또한 배기가스 측정기는 NO<sub>x</sub> 측정기(YA-NACO CO.제; SAE-5800 D)와 HC 및 CO 측정기(HORIBA CO.제; ALTAS-100 D)를 사용하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4-1 주행실험

#### 1) 구간주행의 분석

주행 각 소구간에 대하여 4모우드별(아이들링, 가속, 정속, 감속)로 소요시간, 시간비율, 발생빈도 및 주행거리 등과 아울러 소구간의 평균 주행차속과 기관의 평균회전수 등을 실측 계산하였다.

이 데이터들은 각 구간에 있어서 4모우드별 배출물 산정을 위하여 엔진 다이내모미터의 재현에 필요한 자료로도 사용된다.

ID	AC	DC	CR		
22.8	33.9	26.1	17.2	CR-1	
52.1		22.2	15.9	9.8	CR-2
36.0		31.2	26.6		CR-3
39.7		25.3	27.1	7.9	CR-4
15.7	45.9		35.2	3.2	CR-4-I
25.3	41.1		30.7	2.9	CR-5
29.1	30.3		26.1	14.5	CR-6
21.0	26.6		29.2	23.2	R-1
20.4	44.9		23.6	11.1	R-1-I
26.0	38.0		30.2	5.8	R-2
15.6	41.8		38.1	4.5	R-3
27.7	40.7		29.2	21.4	R-4
26.4	30.6		29.2	13.8	C-1
20.3	20.1	17.1		42.5	C-2
18.8	40.0		27.4	13.8	C-3
18.6	36.5		32.1	12.8	C-4

Fig. 3 4 Mode percentage in each Driving Routes

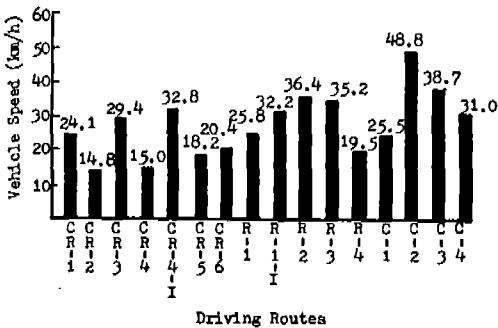


Fig. 4 Average Vehicle Speed of each Driving Routes

Fig. 3 및 Fig. 4는 각 소구간별 시간비율과 평균차속을 나타낸다.

여기에서 보는 바와 같이 아이들링 시간비율(정차시간비율)을 살펴보면 도심도로주행에서는 방사선과 순환도로주행에 비하여 약 42~55% 정도 높고 그 중에서도 특히 교통이 복잡한 CR-2구간(을지로-상왕십리)은 비러시아워지만 가장 심한 교통정체현상이 자주 일

어나고 있음을 알 수 있고 교통소통이 잘되는 정속비율은 도심도로주행에 비하여 방사선도로주행에서 20% 정도 순환도로주행에서 약 43% 정도 높았다. 이로써 순환도로가 방사선도로에 비해 약 2배 정도 교통소통이 잘되는 것을 엿 볼 수 있다.

그러나, 순환노선중 C-3구간(봉천동-사당동)에 가속 및 감속비율이 다른 노선에 비하여 높은 것을 볼 수 있다. 이 원인은 교통신호가 많기 때문에 교통소통이 원활하지 못한 것에 기인한다.

또한 비러시아워일지라도 도심도로에서는 평균차속이 비교적 낮아 차량소통 상태가 원활하지 못하며 방사선도로와 순환도로에서는 차량의 유통이 원활하여 평균차속이 도심도로보다 약 26%, 39% 정도 높은 수준을 볼 수 있다.

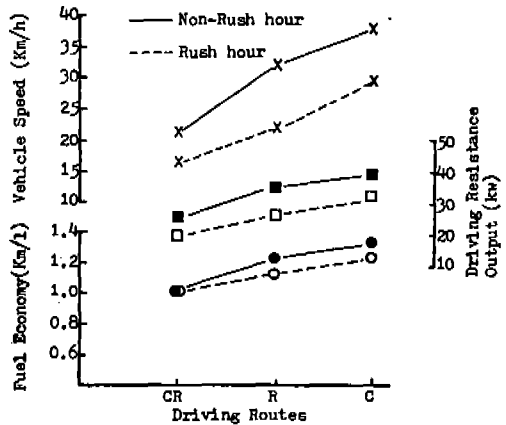


Fig. 5 Comparison of Vehicle Speed, Fuel Economy, Driving Resistance Output due to Driving Route

2) 주행상태와 연비의 변화

Fig. 5는 도심도로의 평균연비를 1.0으로 하여 방사선, 순환도로의 평균연비를 비교하고 평균속도와 주행저항출력을 나타낸 것이다.

여기에서 보는 바와 같이 도심도로, 방사선도로 및 순환도로에서 평균연비의 차이가 크지 않음을 알 수 있으나 순환도로에서는 평균차속이 러시아워보다 비러시아워가 약 20%

정도 높음에도 불구하고 평균연비의 증가는 적다. 이것은 주행저항 출력과 관계가 있으며 식 (12)에서 알 수 있는 바와 같이 평균차속  $V$ 가 크면 공기저항일이 급증하여 주행저항출력은 증가하지만 연비는 저하한다. 즉, 평균차속  $V$ 가 저하하면 주행저항출력의 저하보다도  $\eta_{R0} = \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_t$ 의 저하(특히  $\eta_i \cdot \eta_m$ )로부터  $\eta_R = \eta_{R0} - E_{Lr} / E_{Fuel}$ 의 저하가 현저하므로 평균연비가 저하한다.

3) 평균속도와 정지회수를

정체 등으로 정지회수가 증가하면 평균속도가 낮게 되는 것은 당연하지만 Fig.6은 샘플

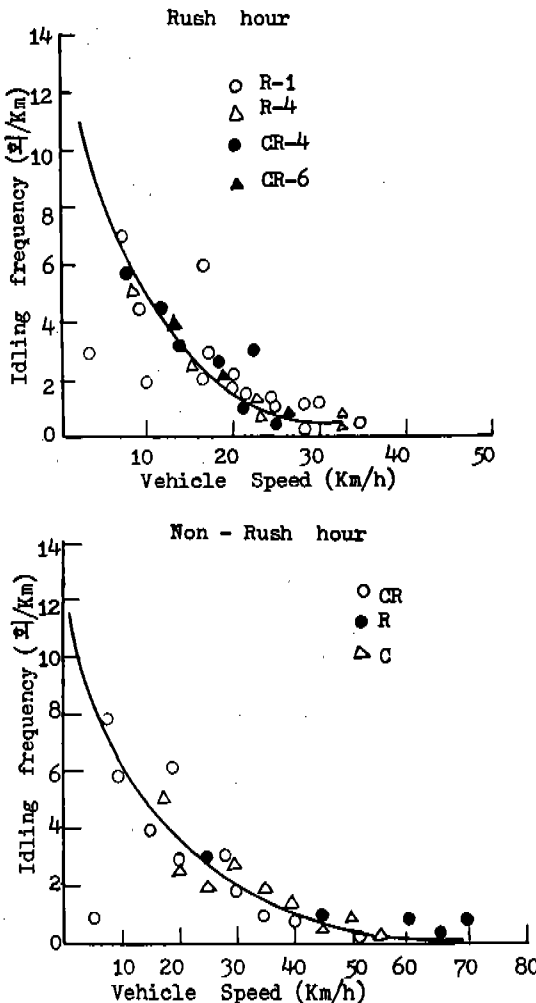


Fig.6 Relationships between Idling Frequency and Vehicle Speed

링 시간을 20분으로 한 경우의 정지회수율 즉, 1km당 정지회수와 주행속도의 관계를 나타낸 것이다. 도심도로가 방사선도로와 순환도로에 비하여 일반적으로 정지회수가 동일차속에 대하여 더 많다는 것을 볼 수 있었다.

비러시아워는 샘플링 시간을 60분으로 하여 정지회수와 평균주행속도와와의 관계를 나타낸 것으로서 각 노선마다 양호한 상관성을 갖고 있다는 것을 알 수 있다.

2-1 배기가스 배출 특성

1) 주행속도와 배출물 생성

Fig.7은 주행속도에 따른 배출가스( $NO_x$ , CO, HC)와 연비의 관계를 나타낸 것이다.  $NO_x$ 는 차속의 증가에 따라 거의 직선적으로 증가하고 CO와 HC는 저속영역에서 배출량

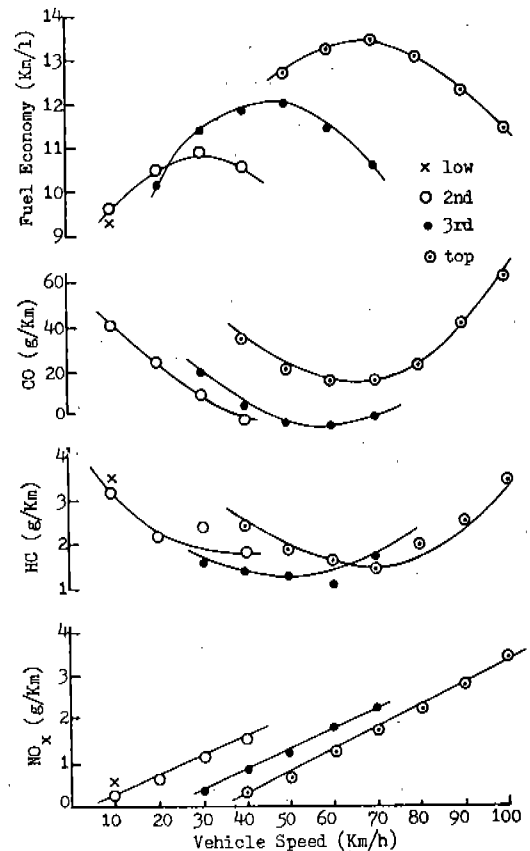


Fig.7 Influence of Vehicle Speed on CO, HC,  $NO_x$  and Fuel Economy

이 많지만 40 km/h부터 매우 낮게 배출하여 고속영역으로 갈수록 점증하는 경향을 알 수 있다.

본 실험차량이 서울시내를 주행할 때 배출물 생성 및 연료소비로 보아 평균차속이 4단에서 약 60 km/h 및 3단에서 약 40 km/h 정도임을 발견하였다.

2) 정지회수와 모우드별(ID, AC) 배출물 생성

Fig. 8은 정지회수에 따른 아이들링 상태의 배출물 생성의 상관성을 나타낸 것이다. CO와 HC의 배출량은 정지회수에 따른 아이들링 회수에 상관성을 가지고 있으나 NO<sub>x</sub>의 생성

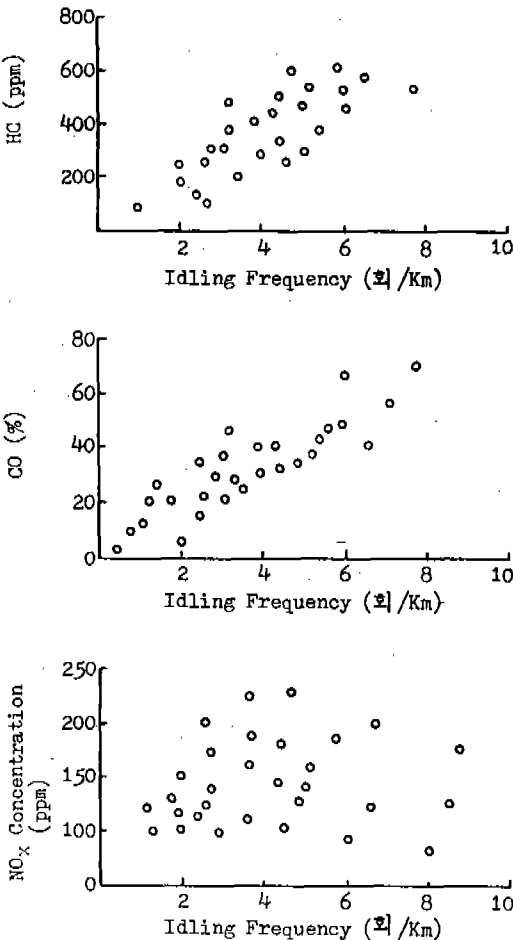


Fig. 8 Relationships between Idling Frequency and HC, CO, NO<sub>x</sub>

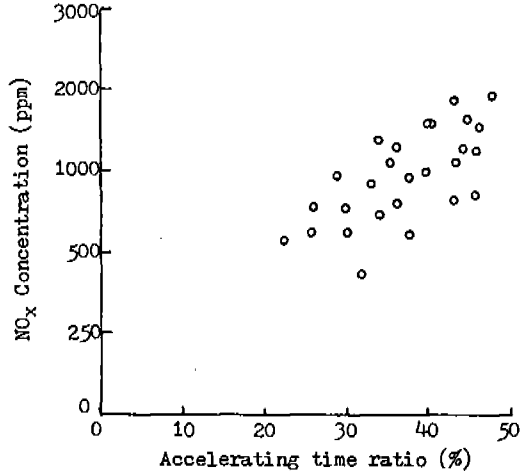


Fig. 9 Relationships between Accelerating time ratio and NO<sub>x</sub>

은 상관성이 없음을 볼 수 있다. 또한 Fig. 9는 가속시간비에 따라 NO<sub>x</sub>의 생성에 상관성이 있음을 나타낸다.

이는 저속시 불완전연소로 CO 및 HC의 생성이 다르나 NO<sub>x</sub>는 고온연소로 생성됨을 재확인하였다.

5. 결 론

실주행한 데이터를 엔진 다이내모미터에 재현시켜 배출물을 측정하여 주행측정한 데이터와 배출물의 생성특성을 종합검토한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 러시아워일 때 도심도로는 방사선도로 및 순환도로에 비하여 평균차속이 약 25% 정도 낮고 연료소비량은 약 12% 정도 높았으며 비러시아워일 때도 평균차속이 약 32% 정도 낮고 연료소비량은 약 16% 정도 높은 것을 알 수 있었다.

(2) 러시아워보다 비러시아워의 평균차속이 약 30% 정도 주행저항출력이 약 25% 정도 높았고 평균연비의 증가는 적었다. 이로써 평균차속이 증가하면 주행저항출력은 증대하지만 연비가 저하하는 경향을 발견하였다.

(3) 본 시험기관의 주행에서 최적운전속도는 평균연비 및 배출물의 생성 특성으로부터



4단에서 약 60 km/h 정도, 3단에서 약 40 km/h 정도임을 발견하였다.

(4) 정지회수와 CO, HC의 배출량은 아이들링과 함께 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있었으나 NO<sub>x</sub>의 배출량은 정지회수에 무관하며 가속시간비율과 상관관계가 있음을 알았다.

이상의 결과로서 교통관계개선, 도로 점유율의 확대 등으로 교통소통을 원활하게 하여 연료소비의 절감, 배출물 생성의 저감 및 평균속도(시간절약)의 증가 등을 꾀할 수 있다.

## 후 기

본 연구는 “한국과학재단”의 연구비 지원에 의하여 이루어진 것으로 연구비를 지원해 주신 한국과학재단에 깊은 감사를 드립니다. 아울러 본 연구에 도움을 주신 국립환경연구소 조강래 연구관에게 감사를 드립니다.

## REFERENCES

1. Alan R. Dohner, “Transient System Optimization of an Experimental Engine Control System Over the Federal Emissions Driving Schedule,” SAE paper. 780286, 1978.
2. B.H. Eccleston and R.W. Hurn, “Ambient Temperature and Trip Length-Influence on Automotive Fuel Economy and Emissions,” SAE paper. 780613, 1978.
3. Clayton Lapointe, “Factors Affecting Vehicle Fuel Economy,” SAE paper. 730791, 1973.
4. 金原淑郎, 杉浦章允, “自動車の燃費低減についての考察”, 自動車技術, Vol.32, No.5. 1978.
5. Thomas C. Austin and Karl H. Hellman, “Passenger Car Fuel Economy-Trends and Influencing Factors,” SAE paper. 730790, 1973.
6. John M. Lang, Linda Snow, etc., “Characterization of Particulate Emissions from In-Use Gasoline-Fueled Motor Vehicles,” SAE paper. 811186. 1981.
7. 公害研究所, “自動車排出ガス防止技術に関する研究”, 公害資源研究所報告, 第16號, 1979.
8. G.C., Hass et al. “The Influence of Vehicle Operating Variables on Exhaust Emissions,” JAPCA Vol. 17, No. 6, 1967.
9. 自動車技術會, “新編自動車工學ハンドブック”, 圖書出版社.
10. 金熙喆外 1人, “自動車工學”, 東明社, pp.378~459. 1982.
11. 有加基, “自動車の走行燃費特性と向上策について(1)”, 内燃機關, Vol.21, No. 259, 1982. 2.
12. 芳住那雄外 1人, “東京都内走行パターン解析”, 東京公害研究所, p.4. 1977.
13. 塚本雄次郎外 1人, “二輪車の市街地における走行状態の調査研究”, 交通公害安全研究所, p.4. 1979.
14. 日本車輛検査協會, “都市走行における自動車排出ガス低減効果試験報告”, 大阪市環境保健局, 1982.