

실 도로 주행 특성에 대한 연구

A Study on Urban Driving Pattern

한 상 명*, 김 창 현*
Sangmyeong Han, Changhyun Kim

ABSTRACT

The durability prediction of emission control components, especially O2 sensor and catalytic converter, is getting more important as emission regulation is getting stricter and vehicle durability mileage requirement is also extended from 80,000 km to 160,000 km in Korean market. And the duration of vehicle mileage accumulation to get vehicle exhaust emission deterioration factor for certification is required to be shorter in order to reduce the vehicle development time. Since most of the vehicle emission development tests are done on chassis dynamometer and aging bench by using vehicle aging modes, real road condition and in-use driving patterns must be reflected into them to predict the vehicle emission level and to meet emission regulation especially at high mileage. In order to get the frequent driving pattern of vehicle and the aging characteristic of emission components, a vehicle was tested by changing drivers and driving roads around Seoul. Real road driving patterns were analyzed and compared with those of the certification modes which are well known in automotive industry.

주요기술용어 : Driving pattern(주행 패턴), Real road(실 도로), Driving condition(주행 조건), Catalytic converter(촉매 정화 장치), Emission regulation(배출가스 규제), AMA(American Manufacturer Association), ADP(Alternative Durability Protocol), FTP75(Federal Test Procedure 75), CAP2000(Compliance Assurance Program 2000)

1. 서 론

실 소비자 주행 결과로 나타난 열화 특성의 차이에 따라, 미 정부 공인 내구 인증 모드로부터 얻어진 열화 특성을 반영하여 배출 가스 인증을 통과한 자동차에서 리콜이 발생하는 등으로 자동차 업계와 미 정부 사이에 내구 인증 모드

(AMA)의 현실성에 대한 논란이 있어 왔다. 이러한 문제를 해결하기 위해 2000년부터 미 정부가 인증하는 내구 인증 모드가 폐기되고 실제 소비자들의 주행 패턴을 반영하고 자동차 업계가 개발한 내구 인증 모드만을 허용하고 있다. 이와 같이 북미에서는 사전 인증 제도 강화 대신 사용자 중심의 관리와 리콜 제도를 강화하는 CAP2000규제를 적용하는 등으로 배출 가스 규

* 회원, 대우자동차 기술연구소

제 방법이 변경되고 있다. 배출 가스에 영향을 미치는 촉매 정화 장치가 열화 되더라도 배출가스 규제를 만족해야 하는데, 현재 ULEV I(Ultra Low Emission Vehicle)규제까지는 10만 마일(160,000 km)이 적용되고 있으나, 2004년부터는 ULEV II 및 SULEV(Super Ultra Low Emission Vehicle)규제로 12만 마일(192,000km) 및 15만 마일(240,000 km)로 늘어난 보증이 적용될 예정이다. 국내의 경우도 배출 가스 보증 기간이 2003년부터 현재의 80,000km에서 160,000 km로 늘어남에 따라, 촉매의 열화 경향에 대한 예측이 필요하다.

이와 같은 움직임으로 볼 때 실 도로 주행에서 자동차의 배출가스와 관련된 부품의 열화 특성의 예측에 대한 책임은 자동차 업계로 넘어 갔음을 알 수 있다. 따라서 자동차 업계는 보다 정확한 실 소비자의 열화 특성을 반영하는 가속 열화 모드의 연구 개발로 개발 기간 및 개발 비용의 절감을 위한 노력이 시급하게 되었다.

배출가스 규제는 계속 강화되어 왔지만, 규제 대응 기술은 주로 촉매 정화 장치(Catalytic Converter)의 성능 향상에 의존하고 있으며, 이 촉매 장치의 열화 특성에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 도로 여건이나 교통 여건이 변화하고 차량에서 촉매 정화 장치의 성능과 장착 위치가 바뀔에 따라, 실제 소비자들의 주행 습관을 조사하여 배출가스 정화 시스템의 열화 과정과 차량 운전 특성이 내구 인증 모드와 비교할 때 어느 것이 더 가혹한 지는 검증하여 차량 개발용 가속 열화 모드를 계속적으로 변경해야 한다.

본 연구는 이러한 노력의 일환으로 진행되고 있는 실 소비자 주행 패턴의 조사에 대한 내용이다. 출퇴근, 또는 영업 활동으로 차량을 운전하는 다양한 소비자들을 대상으로 차량의 운전 습관을 조사하여, 차량 개발을 위해 사시 동력계에서 주행하고 있는 여러 가지 모드들과 비교하여 차량, 엔진의 상태 및 배출가스 시스템에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 시험 방법

2.1 소비자 선정

소비자 선정은 준 중형 또는 중형차를 소유하고 있는 서울/경인 지역 소비자 중 10명을 대상으로 하였으며, 설문서 및 주행 안내문을 작성한 후 평소의 주행을 계속하는 조건에서 5일 동안 주행하였다. 또한 시내연비를 대략적으로 측정하기 위해 주행 전과 주행 후의 주유량을 점검하였다.

Table 1은 선정된 소비자들이 주로 이용하는 도로 특성을 정리한 것이다.

Table 1 참가 소비자들의 주행 패턴

시험수	시험기간	주 경유 도로	도로 특성
1	10.21 ~ 10.26	부평-종로, 부평-대전	시내, 고속도로
2	10.28 ~ 11.02	가좌-경인고속-연수구	고속도로, 시내
3	11.04 ~ 11.09	일산-경인고속-남동공단	고속도로, 국도
4	11.10 ~ 11.16	역곡동-시화공단	국도, 시내
5	11.17 ~ 11.23	하계동-종로	시내
6	11.24 ~ 11.30	잠원동-고속도로-낙성대	시내, 언덕길
7	12.02 ~ 12.07	고덕동-올림픽대로	시내, 전용도로
8	12.08 ~ 12.14	흑석동-시청	시내
9	12.15 ~ 12.21	인천 작전동-과천 주암동	시내, 고속도로
10	12.22 ~ 12.28	수색-서부간선 도로	시내, 전용도로

2.2 주행 시험 방법

시험 차량은 Korea 96 규제를 만족하는 2000 cc급 자동 변속기 차량을 사용하였으며, 트렁크에 데이터 측정 장치(Data Logger)를 설치하여 운전자의 조작 없이 자동적으로 모든 시험 데이터가 1초 단위로 저장되도록 하였으며, 5일 주행 후

차량의 정비 및 주유량을 점검하고 자료를 분석하였다.

주요 측정 데이터는 차량의 엔진 속도, 차량 속도, 배출가스 공연비(A/F ratio), MAP(Intake Manifold Air Pressure), TP(Throttle Position)개도, 엔진 오일 온도, 차량 엔진 룸 온도, 흡기 온도, 냉각수 온도, 외부 온도, 촉매 입구 온도 및 BED온도 등이다.

3. 소비자 주행 패턴 시험 비교 결과

3.1 소비자들의 주행 패턴

Table 2에서 소비자들의 주행 패턴과 일반적으로 자동차 업계에서 사용되고 있는 주행 모드를 비교하였다.

소비자들의 평균 속도가 30km/h내외로 Table 3의 도시 평균 주행 속도^{1,2)}와 비교하여 약간 높고, 유럽 국가별 평균 주행 속도³⁾와 비슷함을 알 수 있다. 전용도로, 고속도로 주행을 하고 있는

Table 2 소비자 주행 형태와 주행 모드의 비교

소비자	차속 (Km/h)	TP (%)	Map (kPa)	Eng. out 온도 (°C)	촉매 BED 온도(°C)
1	42	14	50	482	557
2	22	11	47	424	500
3	26	9	45	430	513
4	30	12	46	455	523
5	27	10	45	439	520
6	26	11	46	451	522
7	22	10	44	415	501
8	25	10	47	450	522
9	34	12	46	427	507
10	22	9	48	415	496
평균	28	11	46	439	516
FTP75	35	11	46	454	558
ADP-I	90	30	64	630	697
AMA	48	13	49	511	592
ADP-II	99	32	68	600	710
US06	78	29	61	573	662

Table 3 도시, 국가별 평균 주행 속도 (단위: km/h)

	서울	부산	대구	인천	광주	대전	독일	프랑스	영국
도심1	20	21	28	20	24	22			
외곽1	25	32	35	25	31	25			
도심2	18	25	28	23	23	24			
외곽2	26	35	36	29	31	27	51	37	42

1: 출퇴근 시간, 2: 1일 평균

소비자들이 많아 고속 분포가 많이 차지한다.

결국 도심 통행 소비자들의 경우 더 낮은 속도로 주행하고 있다고 추정할 수 있으므로, 본 연구에서 얻어진 소비자 주행 패턴은 속도 측면에서 볼 때, 일반적인 주행 속도와 유사한 특성임을 알 수 있다.

TP개도, MAP의 경우, 소비자들의 주행 형태의 평균이 FTP모드와 비슷한 경향을 보이고, 내구 인증 모드인 ADP-I, ADP-II의 경우 가장 열악하고, US06, AMA순으로 열악한 정도를 나타낸다.

촉매 담체의 평균 온도 측면에서 본 열 부하는 ADP-II, ADP-I, US06, AMA, FTP75, 소비자 주행의 순서이다.

소비자들중 가장 열악하게 운전한 소비자는1번 소비자의 경우로, 고속도로 주행이 많아 다른 소비자에 비해 평균 속도가 높고, 차량 부하가 더 많이 걸리며, 촉매 열 부하도 더욱 크게 나타난다. 하지만, 일반적인 촉매의 노출 위험 온도인 900 C이상은 나타나지 않고 있다. 본 연구에 사용된 시험 차량의 촉매 정화 장치는 UCC(under-body catalytic converter) 형태로 장착되어 있어, 열 부하는 CCC(close coupled converter)에 비하여 낮은 편이다.

3.2 속도, 가속도 측면에서의 모드 비교

Fig. 1에서 나타난 바와 같이 현 소비자 주행 패턴은 속도 측면에서 볼 때 내구 인증 모드보다는 속도가 현저하게 낮아 소비자들의 속도로 인한 차량 부하 정도는 매우 낮음을 알 수 있다. 특히 공회전 구간이 35% 정도를 차지하여 일반 도로 주행 시 차량 정체 구간이 많이 차지함을 알 수 있다. 공

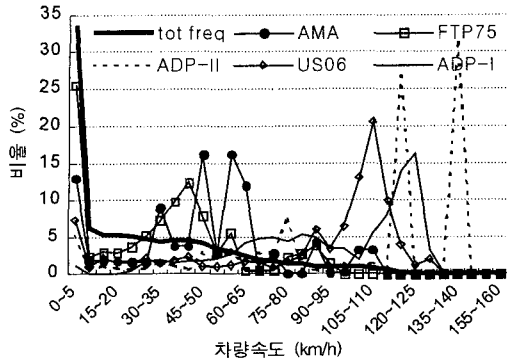


Fig. 1 소비자 평균 주행 속도와 모드 속도 비교(전체 빈도수(%)로 표시)

회전 구간을 제외하더라도 주로 10~20, 30~40km/h 구간이 많아 속도로 인한 차량 열화 조건은 다른 모드에 비해 약함을 알 수 있다.

AMA의 경우 정속 구간, 공회전 구간과 가속도가 일정한 구간으로 구성되어 있어, 가속도 0인 지점이 많이 차지하고 있다. ADP-I의 경우는 105~135km/h구간이, ADP-II의 경우는 115~125 km/h구간과 135~145 km/h 구간이, US06의 경우는 105~110km/h의 고속 구간이 소비자 주행 패턴과 크게 차이가 나고 있음을 알 수 있다.

FTP75, AMA의 경우 낙타 등 모양으로 40, 60km/h부근에 최대가 생성되고, 소비자 평균 주행 패턴은 저속20~30km/h와 40~50km/h부근에서 최대가 발생한다.

소비자들의 평균 주행 속도의 95% 반영할 수 있는 소비자 주행 패턴으로부터 얻어지는 가속 모드의 속도는 다음과 같은 관계식으로 구할 수 있다.⁴⁾

$$\bar{V}_{aging} = varV + 1.65\sigma_v \quad (1)$$

여기서 \bar{V}_{aging} 는 예상되는 내구 가속 모드의 평균 속도, \bar{V} 는 소비자 주행 패턴 평균 속도, σ_v 소비자 주행 패턴 평균 속도 표준편차, 1.65는 95% 신뢰구간을 반영하는 상수이다.

이 관계식으로 구한 평균 속도는 약 77km/h로 국내 법규로 허용된 내구 인증 모드의 하나인 ADP-I 모드의 평균 속도(90 km/h)보다는 낮고

AMA 모드의 48 km/h 보다는 높다.

가속도 측면에서 비교할 때, 전체 가속도의 평균은 0이지만, 양의 가속성분만을 평균하여 비교하면 Table 4와 같다. 국내 내구 인증 모드인 AMA보다 오히려 일반적인 소비자들의 주행 모드가 열악한 상태이어서, 가속성 측면에서의 AMA 모드가 국내 도로를 대변하는 내구 인증 모드로서의 대표성은 약하다고 보여진다. AMA보다 ADP-I모드가 평균 가속도가 크기 때문에, 주행 시 급 가속으로 인한 부품 열화가 촉진되는 현상을 잘 반영할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 국내 내구 인증 모드 중에서 ADP-I이 실제 소비자들의 주행 패턴을 더 잘 반영한 형태임을 알 수 있다.

3.3 MAP, TP비교

소비자 주행의 MAP과 주행 모드들의 MAP을 Fig. 2에 나타내었다. ADP-I, US06, ADP-II 모드의 경우 60~90kPa부근의 분포가 많아 엔진/차량 부하로 인한 차량 부품의 열화 측면에서는 열악한 조건에 있음을 알 수 있다.

ADP-II 모드의 경우 70~90kPa부근의 분포가 많은데, 이는 고속 및 고 부하 운전 조건을 잘 반영하고 있음을 보여 준다. ADP-I에서 70~100kPa

Table 4 소비자 평균 가속도와 모드 가속도 비교(m/s²)

FTP	AMA	ADP	US 06	ADP-I	소비자 평균
0.305	0.234	0.362	0.454	0.119	0.249

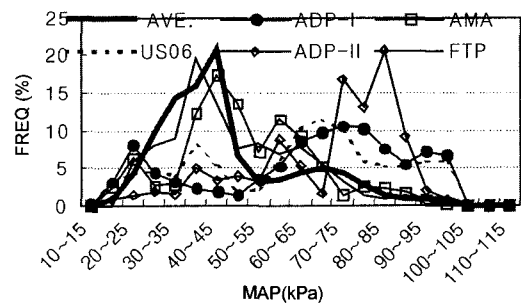


Fig. 2 소비자 평균 MAP과 모드 주행 시의 MAP비교 (전체 빈도수(%)로 표시)

인 분포가 많은 것 역시 고속 지점으로 볼 수 있는데, 이에 비해 고속 부분이 적은 AMA는 70~100kPa분포 지역이 3%이내의 적은 분포를 나타내고 있다. 대신 50~70kPa 부근의 분포가 7~12%로 ADP-I보다 빈도수가 크게 발생한다.

FTP75 모드에서 US06모드로 주행 모드를 전환하게 되면, 40kPa부근의 MAP 분포가 70kPa, 100kPa부근으로 영역이 확장되므로, 차량 단품이 받는 차량 부하가 큰 조건으로 바뀌었음을 알 수 있다. US06 모드는 S-FTP(supplementary Federal Test Procedure) 모드의 하나로, FTP75 주행 조건이 반영하지 못하는 고속 고 부하 조건에서의 배출 가스 특성을 규제하기 위해 미 정부가 FTP75에 추가로 만든 모드이며 시험 결과는 이와 같은 특성을 보이고 있다.

AMA에서 ADP-I로 내구 주행이 바뀌면서, 차량 속도가 고속인 부분이 많아 졌지만 이에 따라 필연적으로 엔진 부하가 높은 쪽으로 이동하는 것은 아닌 것을 알 수 있다. MAP이 30~65kPa인 부분은 AMA가, 70~105kPa부분은 ADP-I가 빈도수가 높은 형태로, 어느 모드로 차량의 내구인증 모드를 주행하는가에 따라서 차량 단품의 내구성에 미치는 MAP의 주요한 압력 범위가 틀리게 된다.

다만 소비자 주행 패턴의 경우 다른 모드와는 달리 20~40kPa부근의 낮은 영역에서 압력 변화가 많은 만큼, 실 주행 특성을 반영하기 위해서는 이 영역에서의 특성을 내구 모드에 반영할 필요가 있다.

Fig. 3은 주행패턴과 모드별 TP개도를 비교한

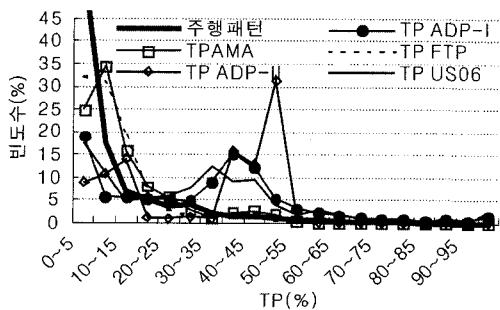


Fig. 3 소비자 평균 TP개도와 모드 주행 시의 TP비교 (전체 빈도수(%)로 표시)

것이다. 공 회전, 저속 구간이 소비자 주행 형태에서는 다른 모드에 비해 많은 부분을 차지함을 알 수 있다 공회전 구간을 제외할 경우 10~20% 개도 분포가 가장 많이 차지하며, 전반적으로 개도를 분포가 다른 모드에 비해 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 갈수록 분포수가 줄어들고 있음을 알 수 있다.

AMA의 경우, 10~15%개도가 많은 분포를 차지하며, ADP-I의 경우 40~45% 개도에서 많은 분포를 차지하고 있다. 이 역시 MAP분포 특성과 마찬가지로 AMA보다 ADP-I모드 주행 시 차량에 미치는 부하가 더 큼을 알 수 있다.

3.4 촉매의 열 부하 측면 비교

Fig. 4는 촉매 담체 온도를 모드별 주행과 소비자 주행 모드와 비교한 것이다. 소비자들의 주행 형태에서는 촉매 담체 온도가 500℃ 부근이 평균적으로 많다. 이는 FTP75주행 모드 이외에 전 모드에서 측정되는 촉매 온도보다 낮는데, 이로써 소비자들 차량에 장착되어 있는 촉매의 열 부하가 가혹하지 않음을 알 수 있다.

ADP-II 모드의 경우 가속도가 일정한 부분이 많아 촉매 온도가 직선으로 나타나고 있다. ADP-II 모드에서는 725℃ 부근의 고온영역이 존재하는데, 이는 차량의 마일리지 축적으로 적합하며, 유럽의 고속도로와 같이 고속 조건이 지

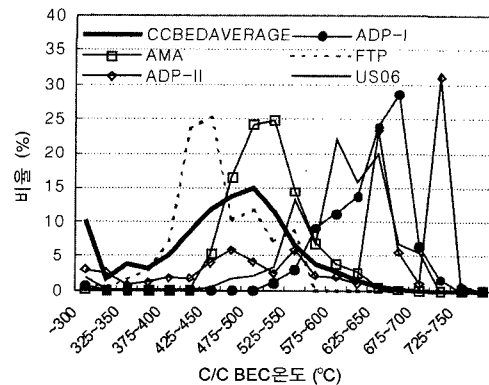


Fig. 4 소비자 평균 촉매 온도와 모드 주행 시의 촉매 온도 비교

배적이어서 촉매에 열 부하가 크게 가해졌을 경우의 노화 특성을 파악하는 데 유리한 모드임을 알 수 있다.

AMA와 ADP-I 모드의 경우 촉매 온도면에서 ADP-I가 매우 가혹한 조건임을 알 수 있다. 촉매 온도 면에서 볼 때, 일반 소비자들의 주행 조건은 AMA의 주행조건보다 70℃ 정도 낮은 분포영역을 이루며 주행 되고 있다.

FTP모드의 경우 420℃ 부근의 주행으로 소비자 주행과 비교해 촉매의 열 부하는 많은 차이가 없으나, US06모드의 경우 630℃ 부근의 온도 분포가 많이 차지하며, 촉매의 열 부하가 상대적으로 크다. 초기 시동 시 촉매 가열 조건을 개선하기 위해 엔진 배기 매니 폴드와 가까이 장착되도록 촉매 위치를 끌어 당길 경우 CCC의 담체 노출 온도는 UCC 보다 크게 상승하므로 내열성이 좋은 촉매를 사용하여야만 본 주행 패턴 연구에서 얻어지는 평균 속도가 77 km/h 인 급속 열화 모드 조건에서 내구성을 만족할 수 있을 것으로 예상된다.

3.5 실 도로 주행 연비 비교

본 연구에 참가한 소비자들의 평균 주행 연비는 주행 시험 전과 주행 시험 후의 연료량을 주행 거리로 나눈 양으로 계산한 대략적인 값으로 이용 도로의 주행 조건에 따라 차이를 보이며, 정부 인증연비의 69%수준을 보이고 있다.

4. 결 론

본 소비자 주행 패턴 연구에서 얻어진 결과와 내구 모드인 AMA, ADP-I, ADP-II 및 주행 모드인 FTP75, US06과 비교하여 다음의 결론을 얻었다.

1) 소비자들의 주행 형태는 평균 주행 속도가

30km/h 정도이고, MAP분포의 경우 20~40kPa영역이 상대적으로 많고, 가속도의 경우 평균적으로 0.249m/s²이고, 촉매 온도의 경우 516℃ 정도이다.

2) 다른 내구 모드가 소비자들의 주행 모드에 비해 평균 속도, 가속도, MAP, TP개도 측면에서 가혹하다. 소비자 주행 패턴으로부터 얻어질 수 있는, 95% 속도를 포함하는 가속 열화 모드는 속도 측면에서 ADP-I보다 저속 조건이나 AMA 보다는 고속 조건이며, ADP-I 모드가 국내 주행 패턴을 더 잘 반영하고 있다.

3) ADP-I모드가 AMA모드 보다 평균속도, 가속도, MAP, TP개도 측면에서 가혹하게 나타난다. MAP분포의 경우 40kPa부근의 분포에서는 AMA가 더 빈번하게 발생한다.

4) 주행 모드를 비교할 때, US06모드가 FTP75 모드보다 평균속도, 가속도, MAP, TP개도 측면에서 가혹하다. MAP분포의 경우 40kPa부근의 분포에서는 FTP75 모드가 더 빈번하게 발생한다.

후 기

본 소비자 주행 모드 시험에 참가하여 주신 분들께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 건교부 통계자료, 1999.
- 2) 박진호, "차량의 주행연비 예측", 자동차공학 회추계학술대회 논문집, pp.755-762, 1999.
- 3) M. Andre, "Driving Cycles for Emission Measurements under European Conditions, pp.193-205, SAE 950926, 1995.
- 4) W. Nelson, Accelerated Testing. Statistical Models, Test Plans, and Data Analyses, John Wiley & Sons, 1990.