

운전자의 가속타입이 MPI 가솔린엔진의 과도성능에 미치는 영향

곽지현* · 전충환** · 장영준**

Effect on Transient Performance of Driver's Acceleration Type in a MPI Gasoline Engine

J. H. Kwark · C. H. Jeon · Y. J. Chang

Key words : Transient performance(과도성능), Transient response specification(과도응답 사양), Acceleration type(가속타입), Delay time(지연시간), Rising time(오름시간), Settling time(정착시간)

Abstract

To provide the appropriate direction for development of transient control in a gasoline engine, transient performance analysis and evaluation under four accelerating types based on typical driver's acceleration type were implemented by experimental study. In order to evaluate the characteristics of transient performance quantitatively, the concept and method by transient response specifications were introduced. Several performance parameters in terms of engine speed(RPM), manifold absolute pressure(MAP), fuel injection duration(Δt_{inj}) and air excess ratio(λ) were measured simultaneously during the four types of the throttle valve opening with the step motor controlled by PC.

The result showed that transient response specifications in terms of delay time, rising time and settling time characterized the transient performance for four acceleration types quantitatively. Intensified acceleration type was most economical and linear acceleration type revealed the best emission performance.

1. 서 론

자동차용 기관에 관한 연구는 기술적 관점에서 출력성능, 경제적 관점에서 연비향상, 환경적 관점

에서 유해 배기가스의 감소나 소음 저감 등에 중점을 두고 진행되어지고 있다." 자동차 운전은 시동 모드, 가열모드, 정속모드, 가감속모드, 공회전모드로 구분되어지는데 일반적으로 시내 주행 시에

* 정회원, 부산대학교 대학원 기계공학과(원고접수일 : 99년 11월)

** 정회원, 부산대학교 기계기술연구소, 기계공학부

는 가감속모드와 같은 과도운전이 운전의 대부분을 차지한다.²⁾ 정속모드에서는 공기 유입량이 일정해서 전자제어장치가 산소센서를 이용해 공연비를 측정하여 이론공연비 운전이 되도록 분사량을 조절해주고 3원 촉매가 배기가스를 효율적으로 변환해주어 좋은 출력, 배기, 연비 등이 보장되지만, 가감속모드에서는 연소실내의 급격한 공기유동 변화에 연료분사가 적절히 따르지 못하고 이에 따라 출력 저하나 유해 배기 가스가 증가되는 등 바람직하지 못한 현상들이 나타난다.³⁾

따라서 이러한 과도시기에 보다 우수하고 안정적인 제어가 요구되는데, 이를 위해 최근에는 기존의 제어 방식과는 다른 지능제어를 이용한 알고리즘 연구도 활발하여 시뮬레이션과 실차 적용을 위한 실험 등이 많은 연구자에 의해 수행되고 있다.⁴⁾ 그러나 이러한 과도시기제어 연구에 선행하여 엔진이 과도운전시 어떻게 반응하고 동작하는지에 관한 정보, 즉 과도운전특성의 정량화된 분석과 평가가 없이는 그것을 제어해줄 알고리즘 설계는 불가능한 것이다.⁵⁾ 현재 이와 같은 과도운전특성에 관한 연구는 가속이나 감속시 스로틀 밸브의 개폐 속도에 따른 특성 연구 정도가 나와 있는데,⁶⁾ 운전자의 다양한 가속 습관이나 타입에 따른 과도특성에 관한 연구는 아직 없다. 따라서 본 연구에서는 MPI 가솔린 엔진을 대상으로 몇 가지 과도운전 상태를 설정하여 과도운전시의 특성을 정량적으로 분석하고 평가하고자 한다. 특히 가속시 스로틀 밸브의 가속타입을 달리하며 흡기 유동과 연료 분사량 등의 변동을 관찰하고 이에 따른 회전수 및 공연비 그리고 배기 가스의 농도 변화를 과도응답사양에 의한 방법으로 분석하여 운전자의 가속타입에 따른 성능특성을 평가하고 이에 따른 적절한 과도제어를 위한 방향을 제시하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

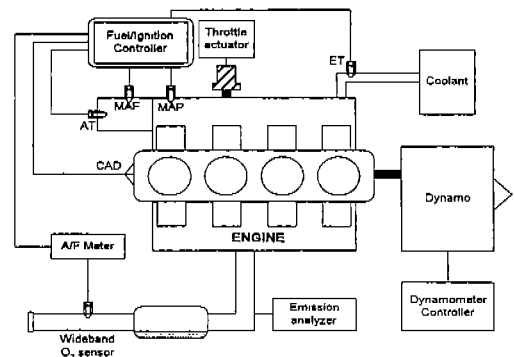
2.1 실험 장치

본 연구에서 사용한 엔진 과도운전 실험장치는 Fig.1과 같이 엔진, 동력계, 엔진컨트롤러 및 각종 센서, 스로틀 밸브 개폐장치, 그리고 배기가스 분

석장치로 구성되어 있다. 과도운전 특성을 파악하기 위해 대상 엔진에 일정한 부하를 걸어주고 발생되는 토크를 측정할 수 있도록 동력계와 연결하였고, 엔진의 운전 정보를 모니터링 하기 위해 냉각수 온도 센서 및 공기온도 센서, 흡기매니폴드에 흡기관 절대압력 센서(MAP), 그리고 배기관에 광역산소 센서를 부착하였다. 그리고 이러한 센서들로부터 정보를 수집하고 점화시기와 분사량을 제어해주는 programmable ECU를 추가 장착하여 엔진을 제어하였다. 기존의 ECU 대신 새로운 ECU를 사용한 이유는 추가로 장착한 센서들과의 호환 문제와 특히 광역산소 센서의 신호를 처리하기 위해서이며, 궁극적으로 과도성능 분석을 통해 제어 로직을 개선하여 과도성능을 향상시켜줄 수

Table 1. Specification of experimental engine

Type	Gasoline, 4 Cycle, SOHC		
Bore×Stroke	80.60×85.00 mm		
Displacement	1796 cc		
Compression ratio	8.9		
Firing order	1-3-4-2		
Valve timing (CA)	Intake	Open	bTDC 19
		Close	aBDC 57
	Exhaust	Open	bBDC 57
		Close	aTDC 19
Idle speed	750±50 rpm		
Fuel injection type	MPI		



- AT : Air temperature sensor
- CAD : Crank angle detector
- ET : Engine temperature sensor
- MAF : Mass air flow sensor
- MAP : Manifold absolute pressure sensor

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

있도록 하기 위해서이다. 본 실험에서 적용한 여러 변수값들—점화시기, 분사기간 등—은 상용 엔진의 값들을 그대로 모사하여 실험하여서 일반 엔진의 과도성능을 보여주는데 무리가 없다. 또한 가감속시 스로틀 밸브의 시간과 개폐타입을 일정하게 조절하기 위해 스로틀 밸브에 스텝 모터를 부착하여 여러 가지 가속 타입을 PC로 정확히 재현하였다. 배기관에는 배가스 분석기 COSA 6000 emission analyzer를 부착하여 CO와 CH₄, NO_x 등의 주요 유해 배가스 농도를 측정하였다. Table 1은 본 실험에서 사용한 대상 엔진의 사양이다.

2.2 실험 방법

실험은 동력계로 부하를 일정하게 걸어준 상태에서, 스로틀 밸브의 닫힘상태를 0%, 전개상태를 100%로 정의했을 때, 밸브 위치를 17%까지 가속시켰다. 이는 주어진 부하에서 이 범위가 주행중 가장 빈번한 운전영역대인 회전수 1500~3000 rpm 사이에 해당하였기 때문이다. 본 실험에서 운전자의 가속습관을 구현하기 위해 Fig.2와 같이 4가지의 가속타입을 설정하였는데 선형 가속(linear type)은 일정한 속도로 가속하는 것을 말하고, 지연 가속(delayed type)은 선형 가속 중 중간에 잠시 멈추었다 다시 가속하는 방식이며, 점차 가속(intensified type)은 처음엔 천천히 가속해서 점점 빠르게 가속하는 방식이고, 소멸가속(decayed

type)은 처음에 급히 가속해서 점차 느리게 가속하는 방식이다. 이들 모두 같은 밸브 열림량에 대해 같은 시간 동안 가속하였다. 특히 가속 타입의 반복성을 확보하기 위해 스로틀 밸브에 스텝 모터를 부착하여 PC로 정확히 각 타입별로 반복 재현하였다. 이 때 기관의 성능 파라미터인 연료 분사기간, 흡기관 절대압력, 공연비, 회전수 등의 변화를 관찰하여 가속타입에 따른 기관의 과도성능특성을 분석하고 평가하였다. 또한 배가스 분석기로 각각의 가속 실험시 밸브 열림 시작후 5초 간격으로 1분 동안 농도 변화를 측정하였다.

2.3 과도성능 분석 및 평가 방법

자동차의 과도운전시 나타나는 주요 현상으로는 응답이 지연되는 헤지데이선과, 가속 중에 발생하는 출력 저하 현상인 스텝블, 원활한 가속이 안되고 완만히 증가하여 가속이 침체에 빠지는 현상인 스트레치니스, 그리고 차량의 전후방향의 저주파 진동인 가속서지 등이 있다.⁷⁾ 본 연구에서는 과도운전특성의 분석 및 평가 방법으로 이런 현상들을 정량화 할 수 있고, 특히 스로틀 밸브의 부분 가속시의 특성을 나타내는데 적절한 과도응답사양에 의한 방법을 사용하였다.⁸⁾ 이 방법은 제어계에서 공인되어 있는 시스템의 응답특성 분석의 한 방법으로 제어 대상이 정상 상태에 도달할 때 까지의 과도시기를 시간 사양들을 이용해 분석하는 방법이다. Fig.3은 본 방법에 사용된 각종 응답사양들을 나타낸 것이다. 스로틀 밸브가 움직인 뒤 응답이 나타날 때까지의 시간을 지연시간 t_d , 정상상태의 평균값에 최초로 도달하는 시간을 오름시간 t_r , 최대값에 도달하는 시간을 피크시간 t_p , 피크 시간에서 정상 상태에 도달하는 시간을 정착시간 t_s 라 정의하였고, 과도시 저하되는 파라미터의 크기를 β , 정상상태치와 최대치의 차를 최대오버슈트 M_p 라고 정의하면 이 사양들으로써 과도운전시 현상들을 분석할 수 있다. 이를테면 연료 분사의 지연시간 t_d 에 따라 엔진의 헤지데이션이 달라지고, 공연비의 β 는 토크 감소를 유발해 스텝블을 일으키며, 기관 회전수의 오름시간은 스트레치니스의 정도를 보여준다. 이러한 과도응답사양들을 통해 운전자의 가속 타입에 따라 과도 성능이 어떻게 달라지

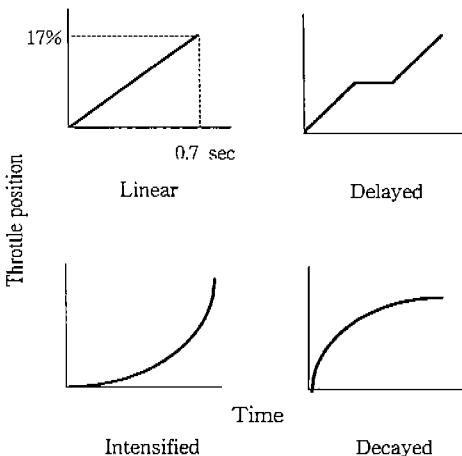


Fig. 2 Acceleration types

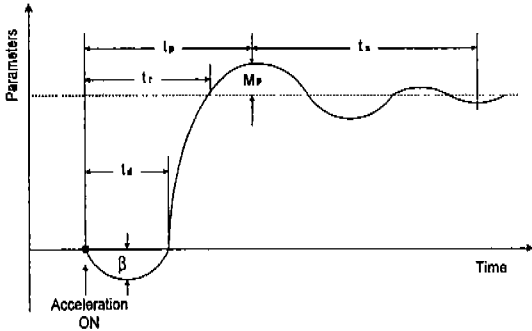


Fig. 3 Time characteristics by transient response specification

는지 정량적으로 비교 평가할 수 있으며, 제어 로직에 초점을 맞추어 가속증량(Accerelation Enrichment)의 민감도와 소멸율의 적절한 제어를 통해 각 상황에 따른 최적의 과도제어 방향을 설정할 수 있을 것이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 흡기관 절대압력의 변화

Fig.4는 일정 부하에 의한 토크 $2\text{kg} \cdot \text{m}$, 회전수 1500 rpm 일 때 스로틀 밸브를 17%로 0.7초 동안 가속시 가속하는 타입에 따른 흡기관 절대압력의 변화를 나타낸다. Fig.5에서 최대오버슈트는 처음에 급히 가속하는 소멸가속이 가장 크고, 다음이 선형가속과 지연가속, 그리고 점차가속의 순으로 나타난다. 스로틀 밸브가 가장 천천히 열리기 시작하는 점차가속의 경우가 가장 작은 오버슈트를 갖게 된다. 정착시간 역시 소멸 가속의 경우가 가장 크고 다음이 선형가속, 지연가속, 그리고 점차가속의 순으로 나타났다. 점차가속의 MAP 변화가 가장 완만하고 안정적이다.

3.2 연료 분사기간의 변화

Fig.6은 같은 조건에서 가속하는 타입에 따른 연료 분사기간의 변화를 나타낸 것이다. Fig.7에서 최대오버슈트는 소멸가속이 4msec 로 가장 크고 점차가속이 3.4msec 로 가장 작다. 소멸가속은 빠른 가속후 서서히 줄어들지만 처음의 급작한 가속으로 순간적인 과농이 되고, 정착시간 동안 분사되

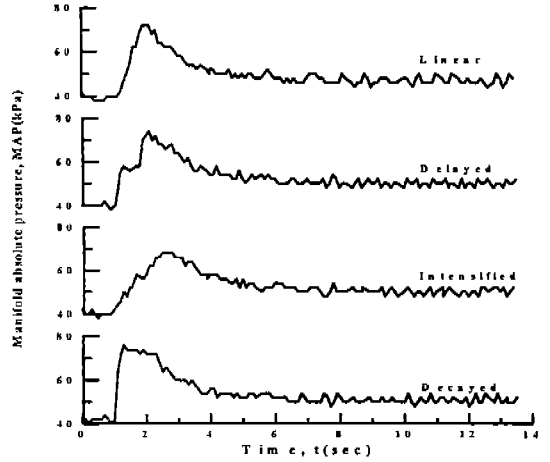


Fig. 4 MAP responses with different acceleration types

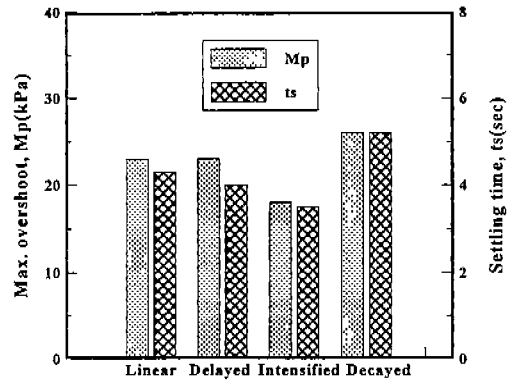


Fig. 5 Transient characteristics of MAP by response time method

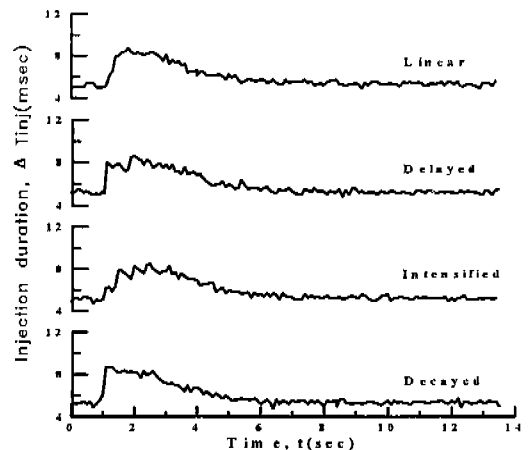


Fig. 6 Fuel injection duration responses with different acceleration types

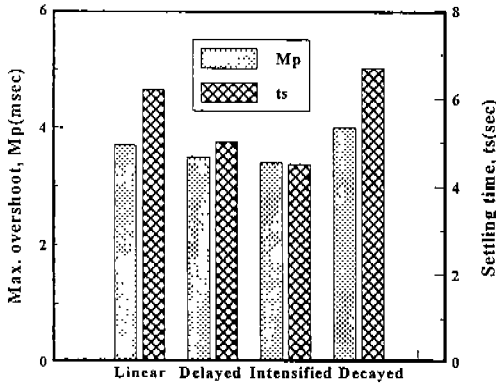


Fig. 7 Transient characteristics of fuel injection duration by response time method

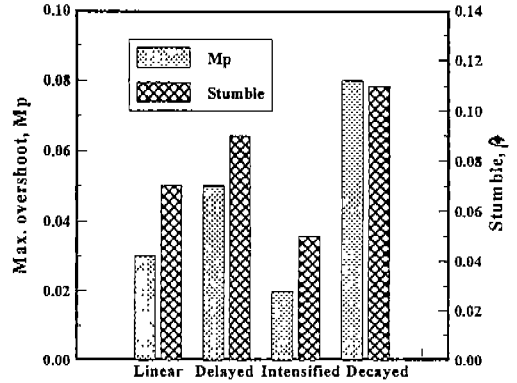


Fig. 9 Transient characteristics of air excess ratio by response time method

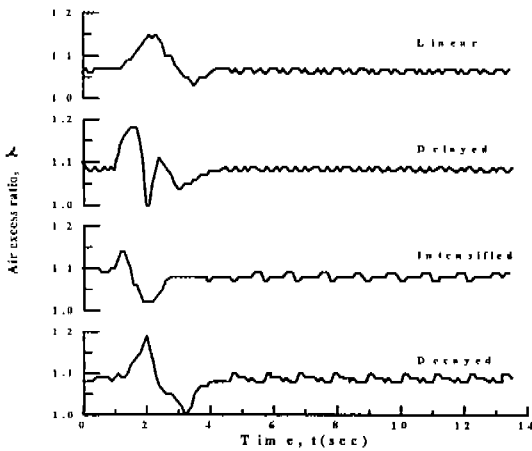


Fig. 8 A/F ratio responses with different acceleration types

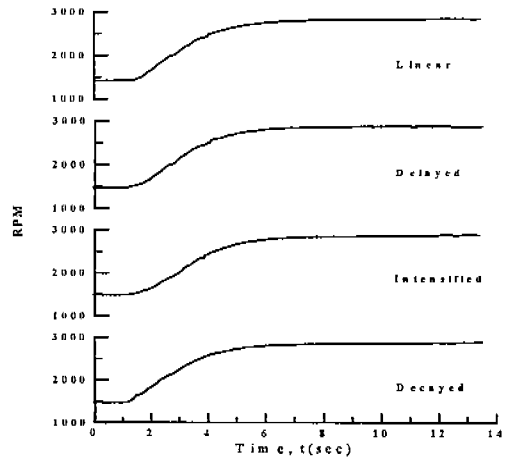


Fig. 10 RPM responses with different acceleration types

는 기간도 6.7msec로 가장 길다. 지연가속의 경우 2차에 걸친 가속으로 가속 증량에 의한 분사량 증가가 2회 반복되어 전체적인 분사량이 많아져 연료소비량이 많다. 점차가속의 경우가 정착시간도 4.5msec로 가장 양호하다. 따라서 최적의 과도제어를 위해 소멸가속시 가속증량의 민감도와 소멸율을 높이어 지연시간과 정착시간을 줄이고, 지연가속시엔 민감도를 낮추어 오버슈트를 줄이도록 제어 로직을 설계해야할 것이다.

3.3 공연비의 변화

Fig. 8은 같은 조건에서 가속하는 타입에 따른 공연비의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 지연가

속은 두 번에 걸친 가속으로 과농 응답이 반복되고 있음을 알 수 있다.

Fig.9에서 공기의 순간 유입으로 회박해지는 스팀블은 소멸가속이 0.11로 가장 크고 다음이 지연가속, 선형가속 순이며, 점차가속의 경우가 0.05로 가장 작다. 가속 증량을 위한 최대오버슈트 역시 소멸가속이 0.08로 가장 크고 다음이 지연가속, 선형가속 순이며 점차가속의 경우가 0.02로 가장 작으며 소멸가속의 1/4 정도이다.

3.4 회전수의 변화

Fig.10은 같은 조건에서 가속하는 타입에 따른 회전수의 변화를 나타낸 것이다. Fig.11에서 응답

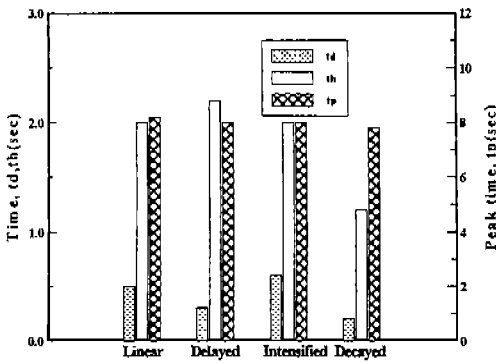


Fig. 11 Transient characteristics of RPM by response time method

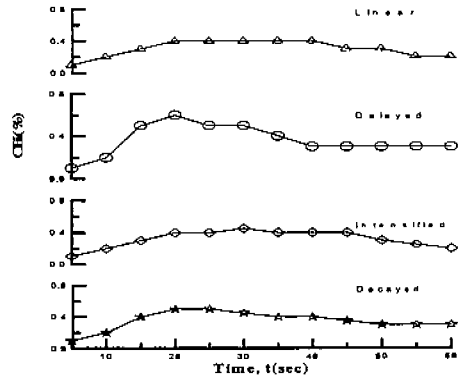
의 신속성을 나타내는 지연시간은 급히 가속을 시작하는 소멸가속의 경우가 가장 짧고 천천히 가속을 시작하는 점차가속시 가장 길다. 피크값의 반까지 도달하는데 걸리는 시간을 하프타임 t_h 로 정의하면 지연가속의 경우가 가장 길고 다음이 점차가속, 선형가속이며 급격히 가속하는 소멸가속이 가장 짧다. 따라서 소멸 가속이 순간 가속 성능은 가장 뛰어나다고 할 수 있다. 그러나 최고값에 도달하는 피크시간은 모든 가속 타입에 대하여 거의 비슷하게 나타난다. 그러므로 실제 주행시 가속 성능의 큰 차이는 없다고 할 수 있다. 따라서 경제성을 고려해볼 때 점차가속이 가장 유리하다고 판단 된다.

3.5 배기 가스 농도 변화

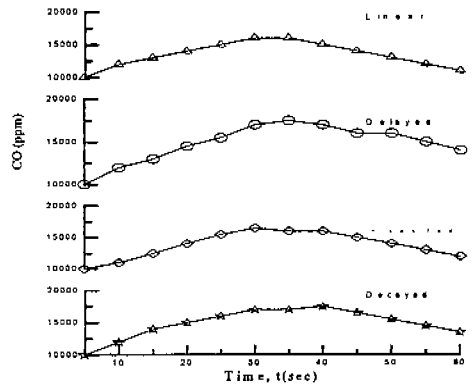
Fig.12는 같은 조건에서 가속 타입에 따른 주요 유해 배기 가스의 농도 변화를 나타낸다. 지연가속과 소멸가속시 CH_4 와 CO 모두 농도가 높으며, 가장 낮은 선형가속에 비해 CH_4 는 최고 0.2% 포인트, CO는 최고 1500 ppm이 더 높다. 선형가속의 경우 CH_4 와 CO 모두 완만히 증가하여 가장 좋은 배기 성능을 보인다. NO_x 는 가속 타입에 따라 큰 차이는 나타나지 않는다.

4. 결 론

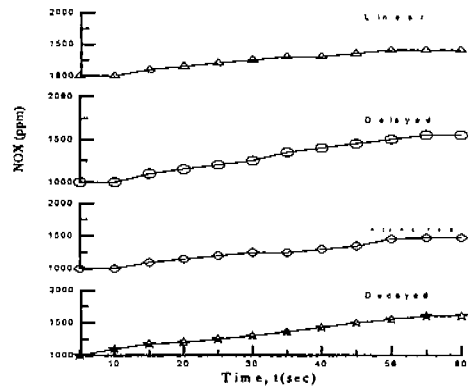
본 연구에서 MPI 가솔린 엔진에 대해 운전자의 가속타입에 따른 과도운전 성능특성을 평가하고 이에 따른 적절한 과도제어를 위한 방향을 제시하



(a) CH_4 responses



(b) CO responses



(c) NO_x responses

Fig. 12 Emission response with different acceleration types

고자 스로틀 밸브의 가속타입별로 엔진 성능파라미터들의 반응을 과도응답사양에 의한 방법으로 분석하고 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 성능 파라미터들의 지연시간, 오름시간, 정착시간 등의 과도응답사양 지표에 근거하여 운전자의 가속 타입에 따른 과도성능을 평가할 수 있었다.
- 2) 네 가지 가속 타입에 따라 같은 양을 같은 시간 동안 가속했을 때, 회전수의 오름시간은 거의 같아서 가속 성능의 큰 차이는 없다고 할 수 있다. 그러나 소멸가속시 분사량의 최대 오버슈트와 정착시간이 가장 크며, 가장 작은 점차가속에 비해 각각 약 1.2배, 1.5배로 나타나 점차 가속의 경제성이 가장 우수하다고 할 수 있다.
- 3) 네가지 가속 타입에 따라 같은 양을 같은 시간 동안 가속했을 때, 배기 가스의 농도 변화는 지연가속시 CH₄와 CO의 농도 증가가 가장 크고, 가장 작은 선형가속시 보다 각각 최고 0.2% 포인트, 1500 ppm 높게 나타나 선형가속의 배기 성능이 가장 우수하다고 할 수 있다.
- 4) 설계자는 성능 파라미터들의 정량화 된 과도응답사양들의 지표를 근거로 제어 로직의 개선에 의해 각각의 가속타입에 따른 적절한 과도제어의 방향을 찾아낼 수 있다.

참고문헌

1. John C. Hilliard and George S. Sprinter, *Fuel Economy*, Plenum Press, 1988.
2. 과학기술처, 국산자동차 엔진용 전자식 control 시스템 개발, 1987.
3. 과학기술처, *엔진의 메카트로닉 컨트롤 시스템(Ⅲ)*, 1991.
4. Ulrich Lenz, "Transient Air-Fuel Ratio Control Using Artificial Intelligence", SAE Paper No. 970618, 1997.
5. N.F.Benninger and G.Plapp, "Requirements and Performance of Engine Management Systems under Transient Conditions", SAE Paper No. 910083, 1991.

6. 조 규상, "과도운전시 가솔린기관의 성능평가", 한국자동차공학회 논문집, 제1권, 제3호, pp. 1~11, 1993.
7. 野村憲一, "過渡時機關性能の向上技術" 자동차기술회지, 39卷, 9號, pp. 1001-1007, 1985.
8. 本望行雄, "過渡時機關性能の評價法に關する研究(1)", 자동차기술회논문집, 제25호, pp. 19~27, 1982.
9. 本望行雄, "過渡時機關性能の評價法に關する研究(2)", 자동차기술회논문집, 제28호, pp. 3~10, 1984.
10. 이종수, 조석구, "Injector에 따른 가감속시 공연비 변동에 관하여", 한국자동차공학회 1992년도 춘계 학술대회 논문집, pp. 38~44, 1992.

저 자 소 개



곽지현 (郭智賢)

1970년 7월생. 1996년 부산대학교 정밀기계공학과 졸업. 1998년 동대학원 정밀기계공학과 졸업(석사). 1998~현재 동대학원 기계공학과 박사과정, 당학회 정회원.



전충환 (全忠煥)

1962년 10월생. 1985년 부산대학교 기계공학과 졸업. 1988년 동대학원 기계공학과 졸업(석사). 1994년 동대학원 기계공학과 졸업(박사). 1995~1996 펜실베니아 주립대 추진공학연구소 Post/Doc. 현재 부산대학교 기계공학부 교수, 당학회 정회원.



장영준 (張英俊)

1947년 5월생. 1975년 부산대학교 기계공학과 졸업. 1977년 동대학원 졸업(석사). 1986년 일본 동경공업대학 대학원 기계공학과 졸업(박사). 현재 부산대학교 기계공학부 교수, 당학회 정회원.