

스로틀 전자제어 방식에서 제어 특성이 차량의 가/감속 시 운전성에 미치는 영향

박 경 석¹⁾ · 이 종 화²⁾ · 박 진 일^{*2)}

금오공과대학교 기계공학부¹⁾ · 아주대학교 기계공학과²⁾

The Effect of the ETC(Electronic Throttle Control) Characteristics on the Vehicle Driveability at Tip-in/out

Kyoungseok Park¹⁾ · Jonghwa Lee²⁾ · Jinil Park^{*2)}

¹⁾School of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsbuk 730-701, Korea

²⁾Division of Mechanical Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

(Received 29 April 2005 / Accepted 17 August 2005)

Abstract : The passenger car drivers want in general to feel good driveability, but they sometimes feel uncomfortable by shock and jerk phenomenon when they push or release acceleration pedal with clutch engaged. In this paper, the shock and jerk characteristics are studied on the vehicles of the throttle-by-wire system. With this system, the throttle is not directly controlled by drivers but via a microprocessor. So the control logic of the throttle is very important on tip-in and tip-out driveability.

Experiments were carried out on two vehicles which show different control characteristics. The torque control logics were analyzed by measuring cylinder pressures. The results show that special torque control logic is needed at tip-in/out state for good driveability.

Key words : Throttle-by-wire(전자 제어 스로틀), Driveability(운전성), Tip-in/out(팁인/아웃), Shock/Jerk(쇼크/저크), Torque Control(토크 제어)

Nomenclature

- P : cylinder pressure, N/m²
- V : cylinder volume, m³
- T : indicated torque, Nm
- θ : crank angle, deg

Subscripts

- 1, 2 : state
- avg, n : average value of n deg. interval

1. 서론

자동차의 상품성을 결정하는 중요한 기준 중에서도 무시할 수 없는 중요한 한 가지를 든다면 바로 승차감이다. 차를 운전할 때, 잘 나간다는 느낌과 함께 편안함을 느끼게 해 주는 좋은 운전감 항목은 단순히 출력이 높은가 하는 항목보다도 운전자에게 더 중요한 인자이다.

자동차의 연구 개발과정에서도 이 점을 중요시하여 운전성을 평가하는 항목에 쇼크-저크(shock - jerk)에 관한 평가 항목이 들어 있다. 쇼크는 운전자가 가속페달을 밟았을 때 초기 가속도에 의한 충격

*To whom correspondence should be addressed.
jpark@ajou.ac.kr

정도이고, 저크는 이러한 충격에 의해 차량의 가속도 진동이 지속되는 시간을 의미한다. 이 같은 쇼크와 저크는 특히 클러치가 물려 있는 상태에서 가속페달을 어느 정도 급하게 밟거나 뺄 때 나타나는데, 이러한 경우를 팁인(tip-in), 팁아웃(tip-out)이라고 부른다.¹⁾

쇼크와 저크가 큰 경우에는 차량의 진동이 앞뒤로 심하게 형성되어 운전자를 당황스럽게 만들기도 하므로, 이러한 좋지 않은 현상을 개선하는 것은 차량의 연구 개발에 있어 매우 중요한 과제 중의 하나이다.

팁인과 팁아웃 시 차량의 거동은 여러 요인에 의해 영향을 받는데, 크게 세 가지로 요약될 수 있을 것이다. 첫째는 엔진의 토크 변동 특성이고^{1,2)}, 둘째는 클러치와 구동축 등의 동력전달계의 특성, 그리고 셋째는 차체를 지지하면서 각 부위를 연결하고 있는 각종 구조물들의 특성이다.³⁾

이 중 동력전달계를 포함한 각 하드웨어적인 구성요소들은 단지 쇼크와 저크 특성만을 고려하여 설계할 수는 없다. 따라서 쇼크와 저크의 개선을 위한 대응에도 역시 한계가 있을 수밖에 없다.

엔진의 토크변동은 운전자의 가속페달에 의해 제어되므로 스로틀이 가속페달에 직접 연결되어 있는 시스템에서는 운전자 스스로가 여러 차례의 학습을 통해 차에 맞도록 운전패턴을 수정해 갈 수는 있다. 그러나 이 역시 차량에 익숙해질 때까지 시간이 걸리는 문제가 있고, 운전자의 조작능력에도 한계가 있다.

그런데, 요즘의 차량은 스로틀을 전자적으로 제어하는 방식을 택하는 경우가 많이 늘어나고 있다. 따라서 운전자의 의지를 반영함과 동시에 운전감이 좋게 느껴지도록 엔진의 토크를 제어하는 것이 개발 과정에서 중요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 팁인 시에 엔진에서 발생하는 토크의 형태가 크게 다른 두 차종을 선택하고 토크의 형태에 따른 차량의 가속도와 진동을 비교하여 토크 형태의 중요성을 살펴보았다. 또한 이와 관련하여 운전상황에 따라 토크의 영향이 어떻게 나타나지는지를 알아보았다. 본 연구의 특징은 실차 시험에서 엔진의 토크를 실린더압 측정을 통해 직접적으로

로 측정하는 점이다.

시뮬레이션이나 실차 시험 대부분의 경우, 엔진 토크에 대한 정확한 측정 정보가 없음으로 인해 정확한 결과를 얻기가 어려웠던 점에 비해, 본 연구에서는 토크 특성에 대한 직접적인 측정을 통해 보다 더 유용하고 확실한 결과를 얻을 수 있었다.

2. 엔진 실린더압력과 토크 관계식

차량의 구동 토크를 직접 측정하려면 바퀴의 구동축에 토크센서를 장착하는 것이 가장 이상적인 방법일 것이다. 그러나 회전체에 대해 직접적으로 토크를 측정하는 것은 그리 쉬운 일은 아니다. 한편, 실린더의 압력을 측정하는 방법은 스파크플러그형 압력센서의 보급화로 이제는 그리 어려운 방법이 아니다. 따라서 본 연구에서는 실린더 압력의 측정을 통해 차량의 토크를 측정하는 간접적인 방법을 택하였다.

일(work)에 관해 엔진 실린더압력과 도시토크의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.⁴⁾

$$\int_{V(\theta_1)}^{V(\theta_2)} Fdv = \int_{\theta_1}^{\theta_2} Td\theta \quad (1)$$

위 식에서 상태 1에서 2사이의 평균토크값($T_{avg,1 \rightarrow 2}$)을 구하면,

$$T_{avg,1 \rightarrow 2} = \frac{180}{\pi} \frac{\int_{V(\theta_1)}^{V(\theta_2)} Fdv}{\theta_2 - \theta_1} \quad (2)$$

이 된다. 식 (2)로부터 크랭크각 1도 동안의 평균토크는 다음과 같이 된다.

$$T_{avg,1}(\theta) = \frac{180}{\pi} F(\theta)(V(\theta+1) - V(\theta)) \quad (3)$$

식 (3)에서 알 수 있듯이 실린더압력을 1도 크랭크각 1도 단위로 측정하고, 실린더 부피의 변화를 알고 있다면, 엔진에서부터 나오는 순시도시토크를 측정할 수 있다. 그런데, 이 경우 엔진 토크의 변화를 매우 세밀히 측정할 수는 있으나, 데이터의 양이 너무 많아진다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서 본 연구에서는 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$T_{avg,30}(n) = \frac{1}{30} \sum_{\theta=n+0}^{n+29} T_{avg,1}(\theta) \quad (4)$$

식 (4)는 크랭크각 1도 단위의 토크를 크랭크각 30도 마다 다시 평균하는 것으로 데이터의 양을 1/30로 줄일 수 있는 장점이 있다.

Fig. 1은 저부하 상태의 한 경우에 대해 압력데이터와 식 (3), 식 (4)에 따라 계산된 토크를 비교해 본 것이다.

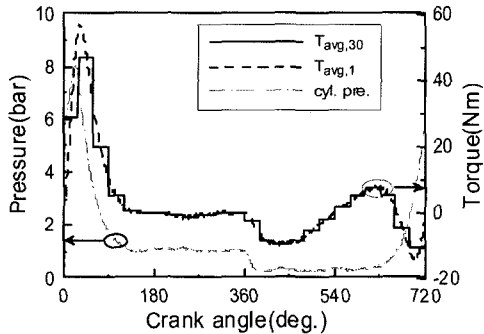


Fig. 1 Cylinder pressure and calculated torque

Fig. 1를 보면, 예상할 수 있는 바와 같이, 폭발행정에서 크게 (+)의 토크가 발생되며, 배기과정에서는 거의 0의 토크, 흡입과정에서는 대부분 (-)토크, 압축 초기에는 약간 (+)의 토크가 나타난다. 이는 저부하 상태에서 흡입이 끝난 후의 실린더 압력이 대기압보다 낮기 때문이다.

토크를 1도 단위로 측정할 경우와 30도 간격으로 평균한 것을 비교해 보면, 대부분은 거의 일치하고, 폭발행정 피크에서만 다소 차이가 나타난다. 4장의 실험 결과에서도 알 수 있지만, 30도 단위로 측정할 경우에도 제어 특성을 비교 분석하는 과정에는 크게 어려움이 없는 것으로 판단된다.

3. 실험 장치

3.1 센서 장착 위치와 측정 신호

Fig. 2는 본 연구에서 부착한 센서 또는 측정하는 신호들의 위치를 보여 주는 그림이다. 1번은 운전석 위치인데, 1a는 운전자의 가속페달 센서를 나타내고, 1b는 운전자석에 부착한 가속도 센서를 나타낸다. 2번은 엔진을 의미하는데, 엔진에서 측정되는 물리량은 실린더 압력, 매니폴드압력, 연료 인젝터 분사시간, 점화시기 등이다. 3번의 3a, 3b는 클러치

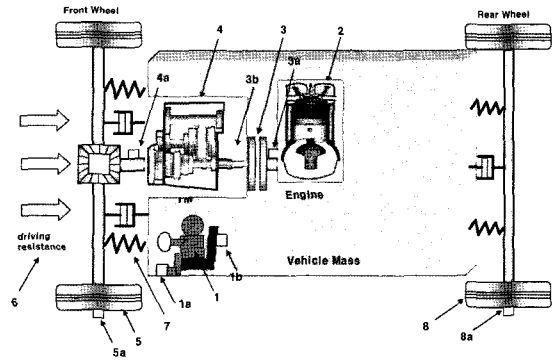


Fig. 2 Measuring positions and components

의 슬립을 알 수 있도록 입력과 출력 양쪽에 속도 측정을 위해 부착한 마그네틱센서들을 나타내는 것이다. 4번은 변속기를 나타내는 것인데, 4a는 차동장치에 부착한 속도 측정용 마그네틱 센서이다. 이 부분의 속도를 측정하면 변속기에 의한 유격(back lash)의 정도를 알 수가 있다.

5, 8번은 각각 앞바퀴와 뒷바퀴를 나타내는데, 각각에 1도 단위의 인코더를 부착하여 각각의 속도를 측정하였다. 전륜 구동 방식인 경우, 앞바퀴에서 구동 토크가 마찰력보다 커지면 지면과 다소간의 슬립이 발생하여 실제 차속과 차이가 있으므로 뒷바퀴의 속도로서 실제 차속을 정확히 알 수 있다.

6번은 주행저항을 나타내는 것인데, 이것은 코스트다운을 통해 측정하는 것이 보통이다. 7번은 차체에 지탱하고 연결시키는 구조물들을 스프링과 댐퍼들로써 대략적으로 나타낸 것이다.

3.2 측정 장비

본 연구에서 사용한 데이터 측정 장비는 자체 제작한 것을 사용하였다. 자체 설계한 측정 보드에는 고속 데이터 처리를 위해 중앙처리장치로서 32비트 실수연산형 DSP 칩을 탑재하였는데, 처리해야 할 신호들의 수가 많아서 보드 2장을 연결하여 사용하였다.

엔진의 토크는 크랭크각 30도 간격으로 측정되어 PC로 전송되었고, 나머지 속도 신호 및 아날로그 신호들은 사이클 혹은 적절한 타이밍에 맞춰서 측정되고 전송되었다.

3.3 차량 제원

두 차종의 제원을 비교해 보면, 차종 A는 2400cc 급이고, 차종 B는 1800cc급으로서 배기량에서 큰 차이를 보인다. 그러나 배기량에서 차이가 있는 만큼 차량 무게나 기타 마찰력 등의 요소들이 차지하는 비율이 거의 비슷하므로 승차감을 비교하는 시험에는 큰 문제가 되지 않는 것으로 판단된다. 다만, 중요한 것은 두 차종 모두 스로틀이 전자제어 방식이라는 중요한 공통점을 가지고 있다는 것과 클러치의 붙음과 떨어짐을 감지하는 센서를 차종 A는 사용하고 있고, 차종 B는 사용하고 있지 않다는 점이다. 이는 두 차종이 서로 다른 제어방식을 채택하는데 기인하며 그 차이점은 다음 장에서 서술한다.

4. 실험 결과

본 연구에서는 가/감속 테스트를 크게 두 가지 모드로 나누어 수행하였다. 첫째는 클러치가 붙어 있는 상태에서 가속페달을 조작하는 톱인/아웃 모드인 경우이고, 둘째는 기어단의 변속과정에서 클러치가 닿으면서 가감속이 일어나는 쉬프트 모드의 경우이다.

4.1 톱인/아웃 시의 제어 특성 비교

Fig. 3, Fig. 4는 각각 차종 A, B에 대해서 톱인/아웃을 테스트한 결과를 나타낸 것이다. 여기서 APS(Accelerator Position Sensor)는 가속페달에 달린 센서의 전압을 나타내고, TPS(Throttle Position Sensor)는 스로틀 밸브의 회전과 연결된 센서의 전압을 나타낸다. 2단 기어 상태에서 운전자는 가속페달을 아이들 상태에서 전부하상태(WOT)까지 급히 밟았다가 다시 놓은 것이다. 이러한 같은 가속페달의 움직임에 대해서 두 차종이 보이고 있는 제어 특성은 서로 다르게 나타나고 있는데, 이는 일차적으로 스로틀 위치 센서의 움직임으로부터 알 수 있다. 차종 A에서는 가속페달의 움직임에 따라서 스로틀이 거의 동일한 움직임을 보이고 있는 반면에, 차종 B에서는 가속 초기에 천천히 움직이다가 0.3초 정도 후에 스로틀이 급격히 열리면서 가속페달의 위치까지 움직이는 것을 볼 수 있다.

두 차의 차속을 자세히 살펴보면, 차종 A에서는

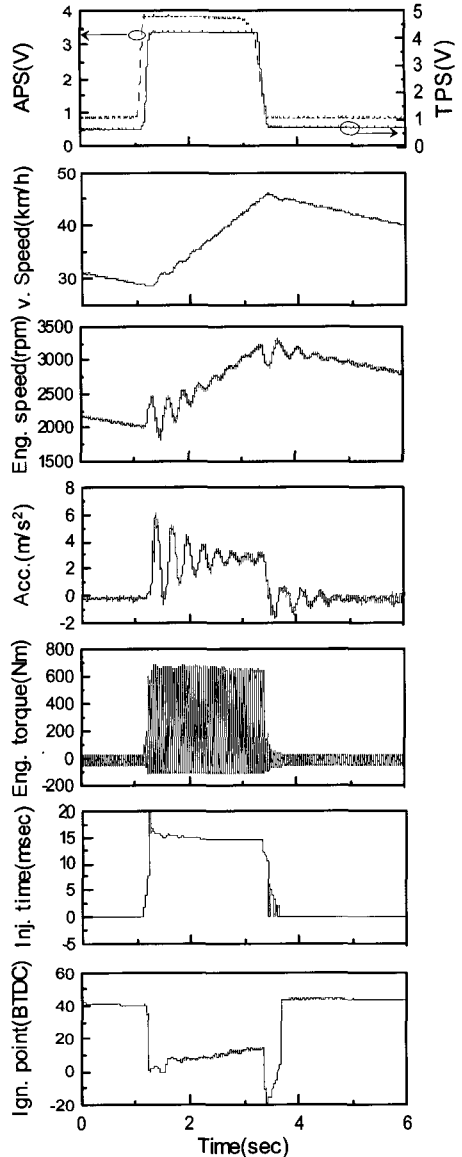


Fig. 3 Tip-in/out test results of the vehicle A

차속이 멈칫거리는 현상을 볼 수 있는 반면, 차종 B에서는 거의 일정한 차속을 보이고 있다. 엔진 회전속도의 변동을 보면, 차속의 변동과 거의 비슷한 형태를 보이고 있는데, 진동처럼 보이는 속도 변동이 차속의 변동보다는 훨씬 보기 쉽게 잘 나타난다. 이는 엔진과 차륜 사이에 차속과 변속기가 연결되어 있기 때문이다. 그러므로 엔진의 회전속도변동은 쇼크-저크의 크기를 가늠할 수 있는 또 하나의 기준으로서 매우 유용하다. 엔진 회전속도 측면에서 보

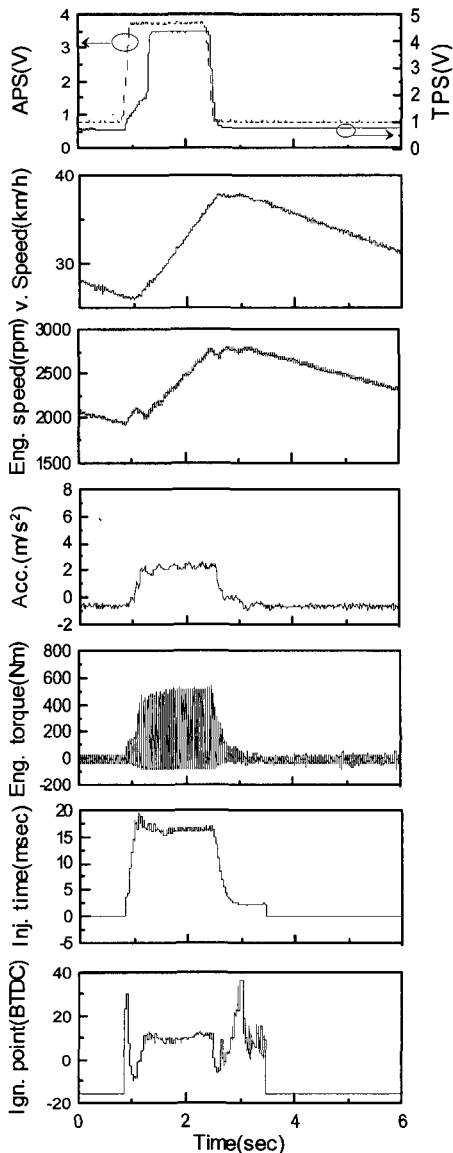


Fig. 4 Tip-in/out test results of the vehicle B

았을 때, 차종 A에서의 진동 크기가 차종 B에 비해 크게 나타나고 있는데, 이것은 가속도 센서의 측정 값과도 일치하는 결과이다.

네 번째 그림은 운전석에 장착된 가속도 센서의 출력을 보여 주는 것이다. 가속 구간 동안 가속도 센서의 출력을 평균해 보면, 두 차종 모두 평균 가속도는 약 2.7m/s^2 으로 가속 성능 면에서는 크게 차이가 없으나, 차종 A에서는 초기에 6m/s^2 정도로 쇼크와 저크가 심하게 나타나는 것을 볼 수가 있는 반면, 차

종 B에서는 초기 가속도 진동 크기가 0.5m/s^2 정도로서 쇼크와 저크가 거의 없는 것을 볼 수 있다.

가속도 센서에 나타나는 진동은 엔진회전수의 진동과 매칭을 잘 이루고 있음을 볼 수 있다. 따라서 엔진회전수의 진동 정도만 보더라도 쇼크와 저크의 크기를 대략적으로 짐작할 수가 있다.

차종 A, B의 제어 특성상 차이점을 좀 더 자세히 분석해 보기 위해 2장에서 언급한 바와 같이 토크를 측정하였고, 기타 엔진의 제어와 관련되는 연료분사량, 점화시기 등의 데이터를 측정하였다.

토크의 특성을 보면, 차종 A의 경우, 토크가 거의 수직으로 상승하고 있는 반면, B의 경우는 토크가 최대치의 1/2정도로 낮게 상승한 다음, 약간의 시간이 지난 후에 다시 최대로 상승하는 형태를 보인다. 이런 토크의 형태를 뒷받침 해 주는 근거로서 연료분사시간과 점화시기를 들 수 있다.

연료분사시간은 연료량과 거의 동일한 물리량으로서 토크의 형태와 거의 유사함을 알 수 있다. 점화시기는 차종 A의 경우 지각량이 약 10도 정도로 작고 변동이 서서히 일어나므로 토크 제어의 의지를 보이지 않고 있는 반면, 차종 B는 가속 초기에 점화지각량을 20도 정도로 두어 초기 토크의 크기를 억제하고자 하는 노력이 확실히 보인다.

팁아웃 시에도 토크 제어에 있어서 반대의 현상이 나타나고 있다. 즉, 연료분사시간과 점화시기 제어를 보면, 차종 A에서는 토크의 크기를 급격하게 떨어뜨리는 제어를 하는 반면, B차종에서는 토크의 기울기를 완만하게 하고자 하는 제어 특성을 볼 수 있다.

4.2 변속 후 가속 시의 제어 특성 비교

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 차종 A, B에 대해서 기어 변속(2단->3단)후 가속 모드를 테스트한 결과를 나타낸 것이다. 변속 후의 테스트가 앞 절의 팁인/아웃의 테스트와 크게 다른 점이 있다면, 그것은 바로 클러치의 상태이다. 팁인/아웃의 경우에는 클러치가 항상 붙어 있는 상태이나, 기어 변속 시에는 클러치가 떨어졌다가 다시 붙는 형태이다.

여기에서의 결과는 팁인/아웃 테스트 결과와는 다르게 두 차종의 제어 특성상 차이가 거의 없음을

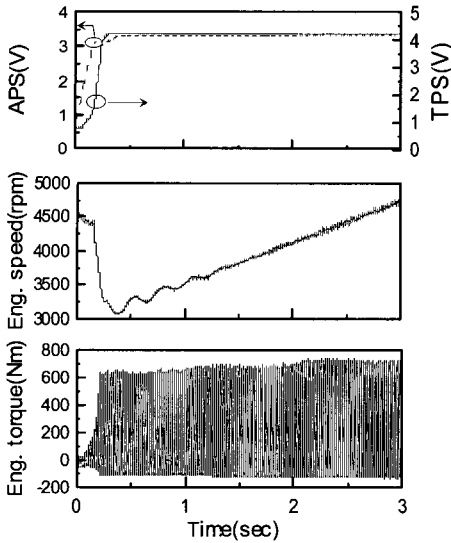


Fig. 5 Gear shift test results of the vehicle A

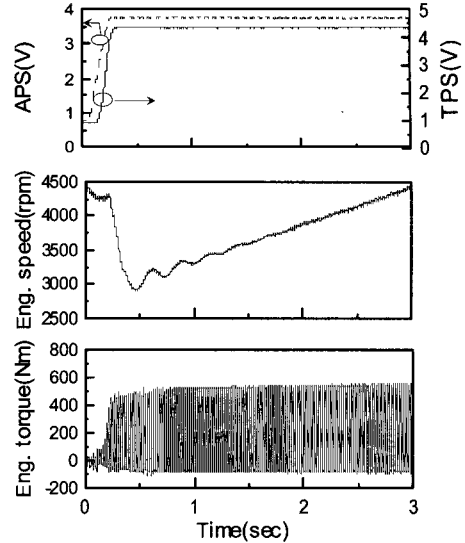


Fig. 6 Gear shift test results of the vehicle B

볼 수 있다. 즉, 스로틀 위치 센서의 반응을 보면, 차종 B의 경우 톱인 시와는 달리 초기에 지연시키는 제어를 하지 않고 있다. 따라서 토크의 상승 역시 차종 A와 같이 거의 수직으로 가파른 상승 형태를 보인다. 엔진회전수의 변동을 살펴보면, 두 차종에서 거의 같은 정도의 진동폭을 보이는데, 이것은 쇼크와 저크가 그리 크지 않다는 것을 뜻하기도 한다.

토크의 상승 크기를 억제하지 않음에도 불구하고 쇼크와 저크의 크기가 작은 이유는 엔진회전속도와 차속 차이가 커서 클러치에서 슬립에 의한 토크의 손실이 크기 때문일 것으로 추정된다. 또한, 기어단수가 높아짐으로 인해 구동계에 전달되는 엔진의 토크가 줄어들게 되므로 의도적으로 엔진의 토크를 줄여 줄 이유가 없는 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 전자제어 스로틀 방식을 사용하는 두 종류의 M/T차종에 대해서 스로틀을 제어하는 컨트롤러의 제어 특성이 운전성 또는 승차감에 어떠한 영향을 미치는 지에 대해 실험을 통하여 알아보았다.

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 실린더 압력 센서를 이용하여 엔진에서 발생하는 토크를 측정하는 방법을 통해 컨트롤러의 토

크 제어 특성을 명확히 파악할 수 있었다.

- 2) 저단 기어 상태에서 톱인/아웃 시와 같은 운전 조건에서는 초기 상승토크를 억제하는 제어 방법이 쇼크와 저크를 크게 줄여줄 수가 있다.
- 3) 기어 단수의 변속이 있는 경우에는 클러치에서 슬립이 발생함과 동시에 마찰손실로 인하여 토크의 손실이 크게 발생하므로 토크를 억제하여 쇼크와 저크를 줄이는 제어를 수행할 필요는 없을 것으로 판단된다.
- 4) 위의 결과들을 종합해 볼 때, 스로틀 전자 제어 방식에 있어서 클러치의 상태는 매우 중요한 제어 입력 변수임을 알 수 있다.

따라서 스로틀 전자 제어 방식에서는 클러치가 붙은 상태인 지, 떨어진 상태인 지를 판별할 수 있는 센서가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

References

- 1) H. B. Song, Y. J. Choi, J. H. Lee, H. S. Cho and N. H. Cho, "An Experimental Study of the Improvement of Driveability in Vehicle Acceleration Mode," Transactions of KSAE, Vol.9, No.6, pp.65-75, 2001.
- 2) Y. J. Choi, H. B. Song, J. H. Lee, H. S. Cho and N. H. Cho, "A Study of the Control Logic Development of Driveability Improvement in

- Vehicle Acceleration Mode,” Transactions of KSAE, Vol.10, No.2, pp.101-109, 2002.
- 3) K. H. Ko, “Analysis of Transient Response of an Engine to Throttle Tip-in/Tip-out,” Transactions of KSAE, Vol.10, No.4, pp.122-128, 2002.
 - 4) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill, 1988.
 - 5) T. J. Chung, D. P. Hong and S. S. Kim, “A Study on Clutch-disc Characteristics for the Torsional Vibration Reduction of the Drive-Line at Creeping,” Transactions of KSAE, Vol.3, No.2, pp.102-111, 1995.
 - 6) J. Baek, S. Park and M. Sunwoo, “Indicated and Load Torque Estimation of SI-Engine using Cylinder Pressure Sensor,” Transactions of KSAE, Vol.11, No.5, pp.1-6, 2003.