

## 스로틀 전자제어 방식 M/T차량의 가감속 시 운전성 향상에 관한 연구

박 경 석<sup>1)</sup> · 이 종 화<sup>2)</sup> · 박 진 일<sup>\*2)</sup>

금오공과대학교 기계공학부<sup>1)</sup> · 아주대학교 기계공학과<sup>2)</sup>

### A Study of the Driveability Improvement on the Electronic Throttle Control M/T Vehicle at Tip-in/out

Kyoungseok Park<sup>1)</sup> · Jonghwa Lee<sup>2)</sup> · Jinil Park<sup>\*2)</sup>

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

<sup>2)</sup>Division of Mechanical Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

(Received 16 August 2005 / Accepted 21 October 2005)

**Abstract** : The passenger car drivers want in general to feel good driveability, but they sometimes feel uncomfortable by shock and jerk phenomena when they push or release acceleration pedal with clutch on state. In this paper, the shock and jerk characteristics are studied on the vehicles controlled by the throttle-by-wire system. Experiments and simulations were carried out on two vehicles which show different control characteristics. The engine torque control characteristics was analyzed by measuring cylinder pressure. Various specification factors of the vehicles and the torque control logic of the engines were simulated through experimental data basis. The result shows the spring effect of the trans-axle in the drive-train is one of the most important factors of the shock-jerk phenomena and the engine torque control method is also responsible for the reducing the shock-jerk amplitude. In this paper a new control logic of the engine torque is suggested for the better driveability on the tip-in/out event.

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

#### Nomenclature

C : damping constant  
F : force  
G : gear ratio  
I : inertia mass moment  
K : spring constant  
M : mass  
R : radius  
T : torque  
Θ : rotational angle  
x : distance

#### Subscripts

CL : clutch  
D : differential gear  
E : engine  
T : transmission  
FW : front wheel  
RW : rear wheel  
V : vehicle  
fric. : friction  
gen. : generating  
trans.: transmitting

\*Corresponding author. E-mail: hsheo@katech.re.kr

## 1. 서론

자동차의 상품성을 결정하는 기준 중에서 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 오히려 더욱 중요할 수도 있다.

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 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.<sup>1)</sup> 쇼크-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.

팁인/아웃 시 차량의 거동은 여러 요인에 의해 영향을 받는데, 크게 세 가지로 요약될 수 있을 것이다. 첫째는 엔진의 토크 변동 특성이고,<sup>1,2)</sup> 둘째는 클러치와 구동축 등의 동력전달계의 특성, 그리고 셋째는 차체를 지지하면서 각 부위를 연결하고 있는 각종 구조물들의 특성이다.<sup>3)</sup>

본 연구에서는 서로 다른 제어 특성을 보이는 두 차종에 대해 실험과 시뮬레이션을 통하여 차량의 거동 특성을 분석해 보았다. 본 연구에서는 엔진의 토크를 실린더압력을 통해 측정하였다. 시뮬레이션의 경우, 엔진 토크에 대한 정확한 측정 정보가 없으므로 인해 정확한 시뮬레이션 결과를 얻기가 어려웠던 점에 비해, 본 연구에서는 토크 측정을 통해 보다 더 유용하고 확실한 결과를 얻을 수 있었다. 시뮬레이션을 위한 모델은 차량의 각 주요 측정 위치에서 속도 측정을 근거로 수립되었고, 하드웨어적인 요소와 엔진토크 제어 등의 시뮬레이션을 통해 주요 영향 인자들의 중요성을 살펴보았다.

## 2. 실험 장치

### 2.1 센서 장착 위치와 측정 신호

본 연구를 위해 부착한 센서 또는 측정 대상 신호들의 위치를 Fig. 1에 나타내었다. 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 분사 시간, 점화시기 등이다. 3번의 3a, 3b는 클러치의 슬립을 알 수 있도록 입력과 출력 양쪽에 속도 측정을 위해 부착한 홀센서 또는 마그네틱 센서들을 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.

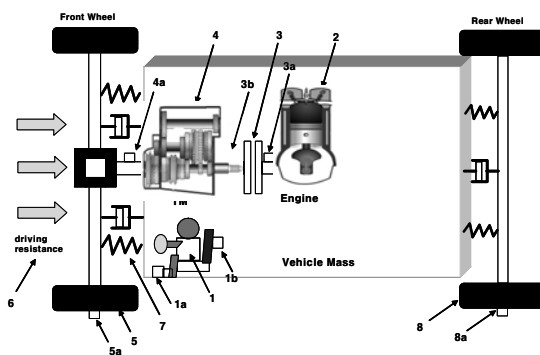


Fig. 1 Measuring positions and components

### 2.2 측정 장비

본 연구에 사용된 데이터 취득 장비를 Fig. 2에 사진으로 나타내었는데, 이 장비는 자체적으로 설계

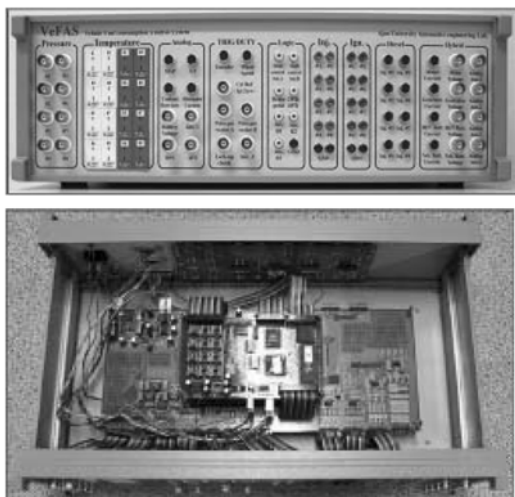


Fig. 2 Photograph of the measuring equipment

제작한 것이다. 자체 설계한 측정 보드에는 고속 데이터 처리를 위해 중앙처리장치로서 32비트 실수연산형 DSP 칩을 탑재하였는데, 처리해야 할 신호들의 수가 많아서 CPU보드 2장을 사용하였다.

실린더 압력을 1도 단위로 측정하여 평균유효압력을 계산할 수 있는 채널이 8개가 있고, 열전대를 사용하여 온도를 측정할 수 채널이 16개가 있다. 또한, 인젝터의 분사시간을 측정할 수 있는 채널 8개와 점화시기를 크랭크앵글 단위로 측정할 수 있는 채널이 역시 8개 있다.

엔진의 토크는 실린더압력을 1도 간격으로 측정하여 매 크랭크각 30도 간격으로 계산하여 PC로 전송하였다. 차속은 차바퀴 쪽에 측정기구와 인코더를 설치하여 측정하였고, 클러치와 기어단의 속도는 홀센서를 기어의 요철 근처 설치하여 측정하였다. 실제 측정 주기는 펄스 각 1개마다 이루어졌으나, 속도가 높아지면, 데이터의 개수가 필요 이상으로 너무 많아지는 문제가 발생하였다. 따라서 매 펄스마다 측정된 데이터를 다시 약 1kHz의 속도로 평균을 내어 데이터를 전송하였다.

### 2.3 차량 제원

두 차종의 제원을 비교해 보면, 차종 A는 2400cc급이고, 차종 B는 1800cc급으로서 배기량에서 다소 차이가 있으나 차량 무게나 기타 마찰력 등의 요소들이 차지하는 비율이 거의 비슷하므로 승차감을

비교하는 시험에는 큰 문제가 되지 않는 것으로 판단된다. 두 차종 모두 스로틀이 전자제어 방식이라는 공통점을 가지고 있는 반면, 클러치의 붙음과 떨어짐을 감지하는 센서를 차종 A는 사용하고 있고, 차종 B는 사용하고 있지 않다는 큰 차이가 있다.

### 3. 차량 동역학 모델링

팁인 시 각 측정 위치마다 측정된 속도를 Fig. 3에 나타내었다. 두 그래프 중에서 아래 그림은 팁인 가속 시에 나타나는 전형적인 데이터인데, 엔진회전수가 전체적으로 크게 진동하는 모습을 잘 보여주고 있다. 한편, 미세한 차이에 대해서는 상단의 그래프에 확대하여 나타내었는데, 하단 그래프의 1초와 1.5초 사이의 데이터를 자세히 살펴본 것이다. 엔진(engine)으로 표시한 데이터는 엔진의 크랭크축에서 측정된 회전속도이고, 클러치(clutch) 속도는 클러치 출력 축의 속도이다.

엔진속도에 미세한 고주파의 진동이 보이는데, 이는 각 실린더 별 압축과 폭발행정에 따른 속도의 증감이다. 팁인 초기에 엔진과 클러치의 미끄럼에 의해 약간 속도차이가 발생하는 부분이 보인다. 그러나 약 1.2초 후에는 엔진과 클러치 사이의 속도차이는 거의 없어진다. 이 현상은 클러치의 스프링이 초기에 압축되는 과정을 보이다가 강성이 약한 원인으로 인해 한쪽으로 완전히 밀착되어 엔진과 클러치가 일체로 움직이는 결과로 볼 수 있다.

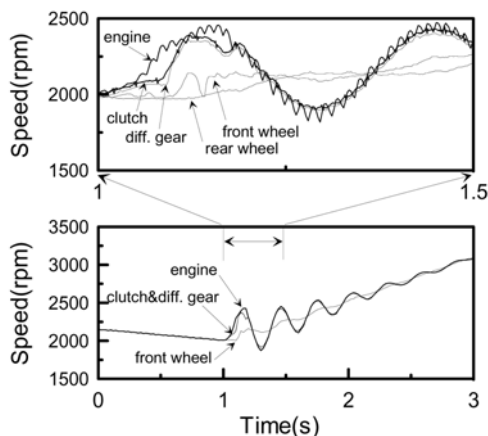


Fig. 3 The speed of the engine, clutch, mission and wheels at tip-in test of the vehicle A

차동기어(differential gear) 축의 속도는 변속기에  
서 최종 감속되어 나온 속도를 보여주는 것인데, 다  
시 엔진 회전수와 비교할 수 있도록 기어비를 곱해  
서 환산한 것이다. 이 속도는 클러치 속도와 거의 동  
일하게 나타나고 있는데, 이 점으로 보아 변속기 내  
부의 기어 물림 사이의 유격(back lash)에 의한 영향  
도 무시할 수 있을 정도로 작은 양임을 알 수 있다.

전륜(front wheel) 속도는 차량의 앞바퀴 속도를  
측정한 것이다. 가속 초기에 순간적으로 속도 변동  
이 심한 것을 볼 수 있다. 차동 축의 속도와 비교해  
보면, 위상과 진폭에 있어 큰 차이를 보이고 있는데,  
이는 차동기어와 앞바퀴 사이에 존재하는 차축이  
댐핑 스프링 역할을 하고 있음을 보여 주는 것이다.  
즉, 차륜에 전달되는 토크에 비해 차축의 강성이 충  
분히 크지 않기 때문이다.

전륜바퀴와 후륜바퀴가 서로 180도 위상을 갖고  
진동을 하고 있는 것도 볼 수 있는데, 이는 전륜과  
후륜이 지지하고 있는 차체 서스펜션 등의 구조물  
이 댐핑 스프링 역할을 하고 있는 것을 나타내 주는  
것이다.

결국 이 그래프를 통해 유추할 수 있는 사실은 차  
축과 더불어 전/후륜 사이에 있는 구조물들이 팀 인  
시의 쇼크-저크에 하드웨어적으로 중요한 역할을  
한다는 점이다.

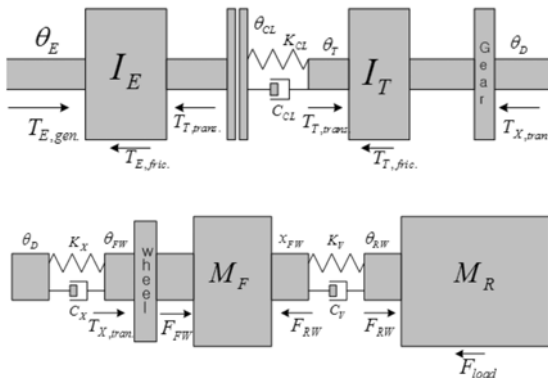


Fig. 4 Simplified drive-train model

이러한 결과를 바탕으로 본 연구에서는 Fig. 4와  
같은 차량의 동역학적 모델을 구성하였다. 위의 모  
델에 대해 운동방정식을 세우면 다음과 같다. 먼저  
엔진과 변속기에 관해 나타내면,

$$I_E \ddot{\theta}_E = T_G - T_{FE} - T_{CL} \quad (1)$$

$$I_T \ddot{\theta}_T = T_{CL} - T_{FT} - \frac{T_{TX}}{R_{GR}} \quad (2)$$

$$T_{CL} = K_{CL}(\theta_{CL} - \theta_T) + C_{CL}(\dot{\theta}_{CL} - \dot{\theta}_T) \quad (3)$$

$$\theta_{TGR} = \frac{\theta_T}{R_{GR}} \quad (4)$$

이 된다. Fig. 3의 시험 결과에서 알 수 있듯이 클러  
치에서 마찰에 의한 엔진과 변속기의 속도차이는  
무시할 수 있을 정도로 작으므로 엔진과 미션을 하  
나의 강체 단위로 볼 수 있다. 또한 실험을 통해 미  
션에서의 마찰손실 토크(TT,fric.)을 구해보면 엔진  
의 마찰손실 토크(TE,fric.)에 비해서 다소 작아서 무  
시할 수 있다. 따라서 시뮬레이션 과정 중에서는 클  
러치의 슬립을 무시하고, 엔진과 미션을 하나의 단  
위로 간주하였다. 이러한 차체 부분에 대해 방정식  
을 세우면,

$$M_F \ddot{x}_{VF} = F_{VF} - F_{RW} \quad (5)$$

$$M_{RW} \ddot{x}_{RW} = F_{RW} - F_{FW} \quad (6)$$

$$x_{VF} = R_{tire} \theta_{VF} \quad (7)$$

$$x_{VR} = R_{tire} \theta_{VR} \quad (8)$$

$$F_{VF} = \frac{T_{TX}}{R_{tire}} \quad (9)$$

$$F_{VR} = K_V(x_{VF} - x_{VR}) + C_V(\dot{x}_{VF} - \dot{x}_{VR}) \quad (10)$$

$$T_{TX} = K_{TX} \left( \frac{\theta_T}{R_{GR}} - \theta_{VF} \right) + C_{TX} \left( \frac{\dot{\theta}_T}{R_{GR}} - \dot{\theta}_{VF} \right) \quad (11)$$

$$F_{road\_load} = f(\dot{x}_{VR}) \quad (12)$$

와 같이 표현된다. 이 식들에서 엔진 마찰토크와 변  
속기 마찰토크 등은 차량을 리프트 위에 올려놓은  
다음 정속 엔진 회전수를 유지하면서 도시토크를  
측정하여 구할 수 있다.

회전관성력은 가속 페달 조작을 통해 엔진의 회  
전수를 변동을 측정하여 구할 수 있다. 차량의 주행  
저항력은 코스트다운시험을 통해 구할 수 있다.<sup>1,2)</sup>

차축을 비롯한 기타 스프링 상수값과 댐핑계수값들은 톱인 실험으로부터 얻어진 데이터와 비교를 통한 시행오차법으로 구하였다.

## 4. 시뮬레이션 결과

### 4.1 모델링 검증

Fig. 5와 Fig. 6은 테스트 차량 A, B 대해서 톱인/아웃 모드를 실제 시험한 데이터와 모델링에 의한 시뮬레이션 결과를 비교해 본 것이다. 차량 A는 톱인/아웃 시에 진동이 차량 B에 비해서 상대적으로 심하게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

두 차량 모두 시험 결과와 시뮬레이션 결과가 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 3장에서 수립한 모델과 기본 가정들에 대해 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.

### 4.2 차량의 하드웨어에 의한 영향

쇼크-저크 특성에 크게 영향을 미치는 인자를 찾기 위하여 일단 두 차량의 제원 상에서 비교적 중요하게 차이가 나는 부분의 수치를 바꾸어 시뮬레이션을 수행해 보았다.

가장 먼저 엔진의 회전관성질량에 대한 영향을

알아보기 위하여 차량 B의 관성값을 차량 A에 적용해 시뮬레이션을 수행한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Table 1에서 언급된 바와 같이 차량 A의 엔진 회전관성질량은 차량 B보다 10%가량 더 크다. 회전관성질량의 변동에도 불구하고 차량 A의 진동 특성에는 변함이 없음을 볼 수 있다. 따라서 엔진 관성의 차이가 두 차량의 쇼크-저크 특성에 크게 영향을 미치지 않는음을 알 수 있다.

차중의 영향을 평가해 보기 위하여 관성 영향 평가와 같은 방법으로 차중을 바꾸어 보았는데, Fig. 8에 보이는 바와 같이 차중이 가벼워진다고 해도 쇼크-저크의 특성에는 변동이 없는 것으로 나타난다.

차축 스프링 상수값을 바꾸어 본 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 원래 스프링 상수 값의 1/2배, 2배에 대해 시뮬레이션을 수행해 보았는데, 스프링 상수값이 크게 되면 쇼크-저크가 좀 더 크게 나타나고, 스프링 상수값이 작아지면 쇼크의 진폭이 다소 낮아짐을 볼 수 있다. 진동 주파수도 스프링 상수가 커지면 높아지고, 스프링 상수가 작아지면 낮아진다. 이 결과를 볼 때, 차축의 스프링 값을 작게 하면 쇼크의 진폭도 작게 할 수 있을 것으로 보인다. 그러나 쇼크의 주파수가 느려져서 다소 울렁거리는 느낌을 받

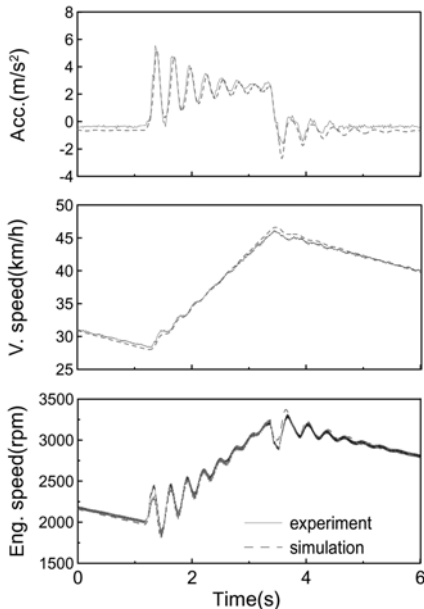


Fig. 5 Comparison of the results between experiment and simulation at tip-in state of the vehicle A

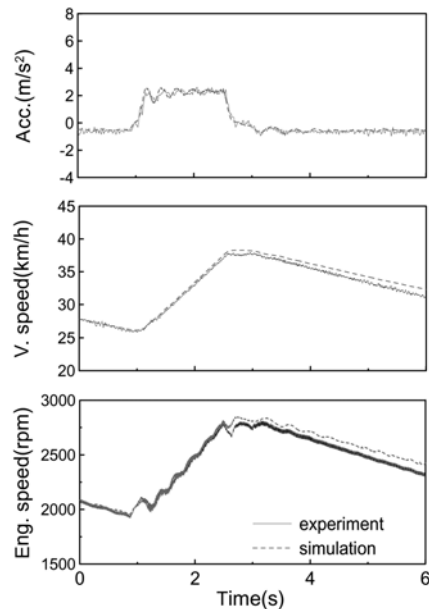


Fig. 6 Comparison of the results between experiment and simulation at tip-in state of the vehicle B

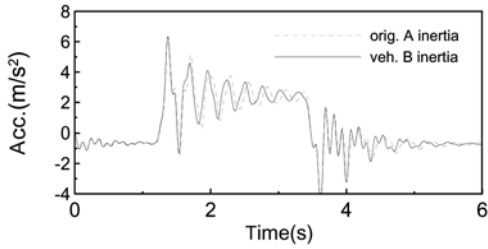


Fig. 7 Effect of the engine inertia replacement

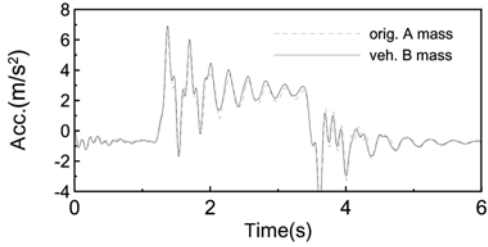


Fig. 8 Effect of the vehicle mass replacement

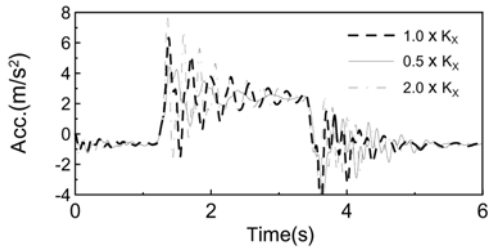


Fig. 9 Effect of the spring constant replacement of the trans-axle

을 가능성도 커진다.

### 4.3 엔진 토크에 의한 영향

위에서 언급한 바와 같이 차량의 하드웨어적인 특성상에서 차축의 스프링 상수값의 영향이 다소 크게 나타났지만, 이것만으로는 두 차량 간의 쇼크-저크의 차이를 완전히 설명하지는 못하고 있다.

따라서 이번에는 엔진에서 발생하는 토크의 크기를 대략 1/2 정도로 줄여서 시뮬레이션을 해 본 결과를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10의 가속도 결과에서 볼 수 있듯이 가속도 진동의 크기가 정량적으로는 약 1/2 수준으로 줄어들었으나, 정성적으로 쇼크-저크의 특성이 그대로 반영되고 있다. 따라서 단순히 토크의 크기가 쇼크-저크의 특성을 좌우한다고는 볼 수 없을 것이다.

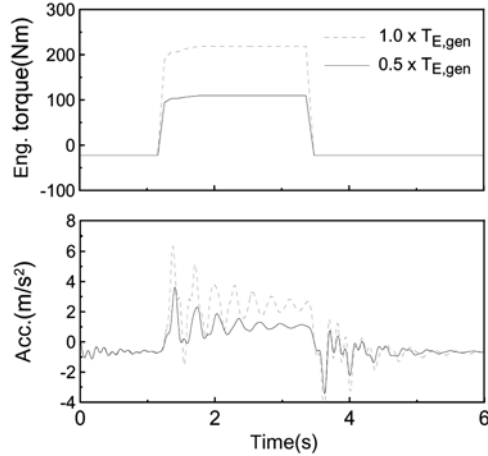


Fig. 10 Effect of the engine torque amplitude

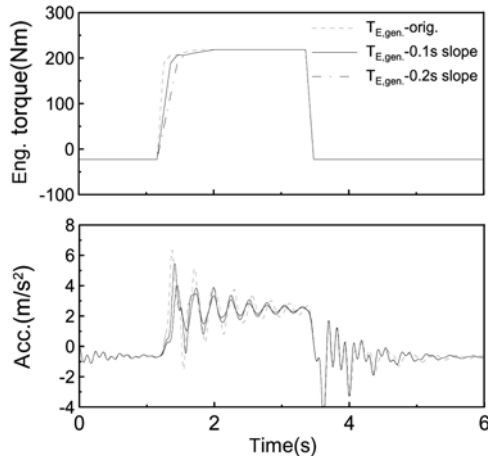


Fig. 11 Effect of the engine torque slope

Fig. 11은 톱인 시 차량 A의 엔진에서 발생하는 토크의 상승 기울기를 변화시켜 본 결과를 보여주는 것인데, 거의 수직으로 상승하는 엔진 토크의 상승 기울기를 임의로 각각 0.1과 0.2초 정도 시간을 가지면서 천천히 올라가도록 조정한 것이다.

이 결과를 보면, 기울기가 완만해 질수록 쇼크의 크기가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 그러나 가속도에 시간지연 효과가 서서히 일어나고 있음을 볼 수 있는데, 기울기가 완만해지면 운전자는 가속도의 지연에 의해 초기에 차가 머뭇거리는 것처럼 느낄 수가 있을 것이다.

이러한 단점을 보완하기 위해 본 연구에서 가상적으로 만들어 본 것이 바로 톱인 시 2단계 토크 제

어 방법이다. 이 방법은 톱인 초기에 엔진 최대 토크의 약 1/2정도만을 출력하도록 하여 상승하는 초기 가속도의 산을 일단 낮추면서 가속도의 끝을 없애기 위해 가속도가 떨어지는 시점에 맞춰서 다시 토크를 상승시키는 방법이다. 이 방법에 의한 결과를 Fig. 12에서 볼 수 있는데, 가속도 상승 초기에 최대 피크 가속도가 줄어들어 약간 쇼크를 줄이면서 첫 번째 가속도 끝에서 떨어지는 크기를 다소 크게 줄였다.

이 방법은 가속 초기에 시간지연이 발생하지도 않기 때문에 운전자에게 차가 멈칫거리는 느낌도 거의 없을 것으로 예상된다.

이렇게 하여 시뮬레이션 결과를 종합해 보면, 차량의 하드웨어적인 특성에서 차축의 강성이 쇼크-저크를 발생시키는 원인으로 분석된다. 그리고 직접적인 원인은 아니지만, 엔진의 토크 특성도 매우 중요한 인자임을 알 수 있었다. 그리하여 엔진의 토크를 효과적으로 제어하여 차축의 강성 부족과 같은 하드웨어적인 단점을 보완할 수 있다는 것도 알 수 있었다.

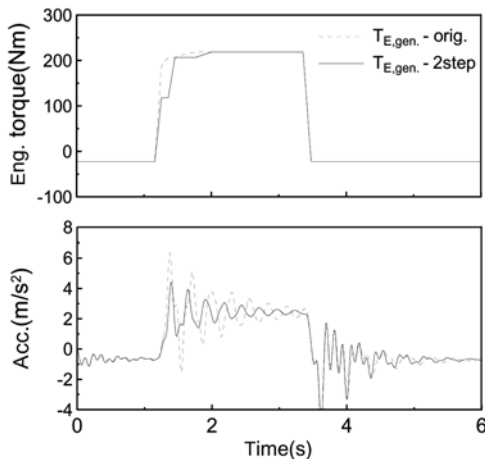


Fig. 12 Effect of the engine torque 2-step control

### 5. 결론

본 연구에서는 전자제어 스로틀 방식을 사용하는 M/T차종에 대해서 운전성 또는 승차감에 미치는 여러 요인들의 영향을 파악하기 위해 시험과 시뮬레이션을 병행하여 연구를 수행하였고, 각 요인들의 중요도를 어느 정도 이해할 수 있었다.

그리하여 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 일반적으로 사용되는 중소형 차량에 있어서, 엔진의 회전관성질량이나 차중량 등의 차이가 톱인 시 운전성에 미치는 효과는 무시할만한 것으로 보이며, 클러치의 슬립이나 댐핑 스프링에 의한 영향도 미미한 것으로 나타났다. 단, 차축의 탄성 스프링 효과가 쇼크-저크의 특성에 크게 영향을 주는 하드웨어적인 요인으로 판단된다.
- 2) 제어 측면에 있어서, 엔진에서 발생하는 토크의 형태는 쇼크-저크에 매우 큰 영향을 준다. 따라서 차축이나 서스펜션 등의 하드웨어적인 특성을 바꾸어서 쇼크-저크의 특성을 개선시키는 것보다는 엔진에서 발생하는 토크의 정성적인 형태를 바꾸어서 쇼크-저크의 특성을 개선시키는 것이 더욱 바람직하다.

이를 위해서 본 연구에서는 2 단계 토크 제어 방법을 제안하였다.

### 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, New York, 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.