

차량엔진모델을 고려한 MR 햅틱 큐 변속보조 시스템의 성능평가

Performance Evaluation of Gear-Shifting Supportive System with MR Haptic Cue Function Considering Vehicle Engine Model

한영민† · 성락훈*

Young-Min Han, Rockhoon Sung

1. 서 론

현재 자동차 산업 분야에서는 차량에 새로운 부가기능을 부여하거나 운전자 편의성을 증대시키기 위해 다양한 주행 보조 시스템이 연구 개발되고 있다. 본 연구에서는 적절한 기어 변속 타이밍을 운전자에게 전달할 수 있는 기능의 필요성에 착안하여 수동 변속기가 장착된 차량에서는 최적의 연료 효율을 얻을 수 있는 보조 시스템을 제안하고자 한다. 차량연비에 직접적으로 영향을 미치는 요인은 여러 가지가 있지만 변속 타이밍은 운전자에게서 기인한 요인으로서 개개인의 운전습관과 직접적으로 관련이 있는 요인이기 때문에 이를 위한 운전자 보조 기술의 개발에는 많은 어려움이 있다⁽¹⁾. 이를 극복하기 위한 가장 주요한 기술 중에 하나는 운전자에게 변속 타이밍을 전달할 수 있는 효과적인 매개수단을 구현하는 것이다.

이를 위해 본 연구에서는 촉감을 통해 적절한 정보를 전달할 수 있는 햅틱기술을 도입하였고, 대표적인 지능재료인 MR(magnetorehological) 유체를 이용한 클러치형 햅틱 큐 장치를 이용한 변속보조 시스템을 제안하였다. 그리고 성능평가를 위해 차량 엔진 모델과 차량주행모델 그리고 주행저항을 고려한 제어 및 평가시스템을 구축하여 햅틱 큐 제어 성능을 실험적으로 평가하였다.

2. MR 클러치형 햅틱 큐 장치

Fig. 1 은 본 연구에서 제안한 MR 햅틱 큐 장치를 갖는 변속보조장치이다. 그림에 나타난 바와 같이

코일(coil)이 감긴 원형의 전자기디스크에 악셀페달의 회전축이 연결되어 있고, 원형 디스크는 MR 유체가 채워져 있는 하우징에 조립되어있다. 제안된 장치에서 발생하는 토크는 다음과 같다.

$$T = 4\pi R^2 d \tau_y(H) + \frac{4\pi\eta R^3 d \dot{\theta}}{h} \quad (1)$$

여기서, $\tau_y(H)$ 는 자기장 H 에 대한 MR 유체의 항복 전단응력, η 는 점성계수, $\dot{\theta}$ 은 모터에 의해 구동되는 회전 하우징의 회전 각속도, R 은 디스크의 반지름, h 는 디스크의 높이, d 는 디스크에서 마그네틱 코일을 제외한 부분의 높이이다.

3. 차량 모델

Fig. 2 는 본 연구에서 제안된 햅틱 큐 장치의 제어 시스템을 보여준다. 차량모델에서 운전자가 악셀페달을 밟으면 스로틀 개도각의 증가에 따라 엔진 내부로 연료가 유입된다. 이 때 매니폴드에 유입되는 공기연료 혼합기의 질량유량(\dot{m})은 다음과 같이 표현된다.

$$\dot{m} = f(\phi) \cdot g(p) \quad (2)$$

$$f(\phi) = 2.821 - 0.05231 \phi + 0.10299 \phi^2 - 0.00063 \phi^3$$

$$g(p) = \frac{2}{p_{am}} \sqrt{p_{am} p - p^2} \quad (g(p) = 1 \text{ if } p < 0.5 p_{am})$$

여기서 p_{am} 은 대기압으로 약 100kPa 이다. 그리고 매니폴드에서 나가서 연소 실린더로 유입되는 질량유량(\dot{M})은 다음과 같다.

$$\dot{M} = -0.366 + 8.979979pn - 337np^2 + 0.01n^2p \quad (3)$$

여기서 n 은 엔진의 회전 각속도이다. 이로부터 매니폴드 운동방정식은 1차 선형모델로 표현된다.

$$\dot{p} = k(\dot{m} - \dot{M}) \quad (4)$$

여기서 k 는 비기체상수로 약 0.5786 이다. 따라서 연소행정에서 발생하는 엔진 구동토크는 실린더에 충전되는 연료혼합기 양으로부터 다음과 같이 경험적

† 교신저자; 정회원, 아주자동차대학 자동차계열

E-mail : ymhan@motor.ac.kr

Tel : (041) 939-3183, Fax : (041) 939-3490

* 아주자동차대학 자동차계열

후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012R1A1A2005370).

참 고 문 헌

(1) Kobayashi, Y., Kimura, T., Yamamura, T., Naito, G. and Nishida, Y., "Development of a Prototype Driver Support System with Accelerator Pedal Reaction Force Control and Driving and Braking Force control," SAE, 2006-01-0572.

인 함수로서 구해진다.

$$T_{eng} = -181.3 + 379.36M_c + 21.91(A/F) - 0.85(A/F)^2 + 0.26\sigma - 0.0028\sigma^2 + 0.027n - 0.000107n^2 + 0.00048n\sigma + 2.55\sigma M_c - 0.05\sigma^2 M_c \quad (5)$$

여기서 (A/F) 는 공기-연료 혼합율로서 약 14.6 이며, σ 는 스파크 어드밴스이다. 그리고 M_c 는 각 실린더에 충전되는 연료혼합기로서 다음과 같다.

$$M_c = \dot{M} \frac{\pi}{n} \quad (6)$$

마지막으로 차체운동, 변속비, 크랭크샤프트의 회전, 그리고 차체운동과 엔진회전수의 선형관계를 고려한 차량운동방정식은 다음과 같다.

$$\left\{ J + \frac{M_v}{[r_w g_r]^2} \right\} \dot{n} = \frac{1}{r_w g_r(i)} [T_{eng} - T_i] \quad (7)$$

여기서 M_v 는 차체 중량, g_r 은 변속비, r_w 는 타이어 반경이다. 그리고 J 는 엔진 크랭크샤프트의 회전 관성모멘트이다. T_i 은 엔진마찰, 타이어 구름 저항, 공기역학적 항력을 고려한 부하이다.

4. 성능평가 및 결론

본 연구에서는 변속 큐 신호를 운전자에게 전달하기 위해 토크 역모델(inverse model)을 이용한 앞먹임 제어기에 의해 입력전류를 결정하였다.

$$I = \frac{2h}{N} \left(\frac{T_m - 4\pi\eta R^3 d \dot{\theta} / h - T_f}{\alpha \cdot 4\pi R^2 d} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (8)$$

여기서 N 은 코일 턴수, T_m 은 토크맵에 의해 엔진이 2500rpm에 도달하면 2Nm 크기의 5Hz 사인파형의 큐 신호가 발생하도록 설정하였다.

Fig. 3(a)는 변속보조를 위한 햅틱 큐 시험장치이며, 10Nm 용량의 회전형 토크센서와 3600 펄스 인크리멘탈형 엔코더(incremental encoder)를 설치하였다. 먼저 차량을 가속시키기 위해 Fig. 3(b)와 같이 가속 페달각을 변화시켜 차량을 가속하고 있다. 이 때 큐 신호를 인지한 운전자가 수동으로 1 단에서 5 단으로 기어변속을 수행하도록 하였다. Fig. 3(c)의 결과와 같이 햅틱장치는 큐신호의 토크궤적을 잘 추종하고 있으며, 이를 인지한 운전자가 약 0.4 초 이내에 변속을 실행함을 알 수 있다. 또한 Fig. 3(d)의 연료소모량도 적정수준을 유지하고 있다.

이상의 결과로부터 본 연구에서 제안된 시스템의 성능을 실험적으로 증명하였으며 향후 실제차량에 적용하여 연구를 발전시켜 나갈 예정이다.

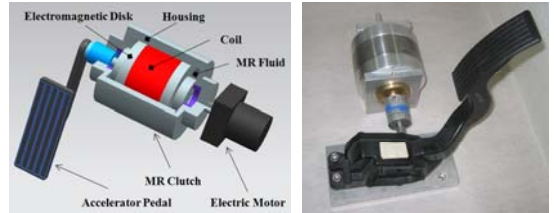


Fig. 1 Haptic cue device.

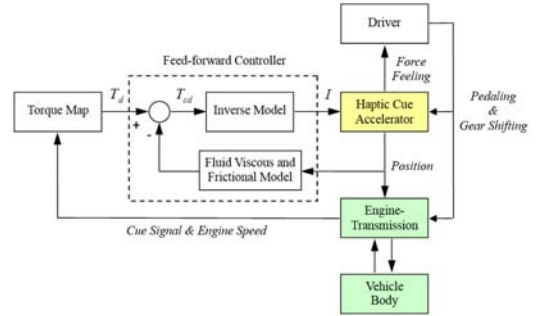


Fig. 2 Control block diagram.

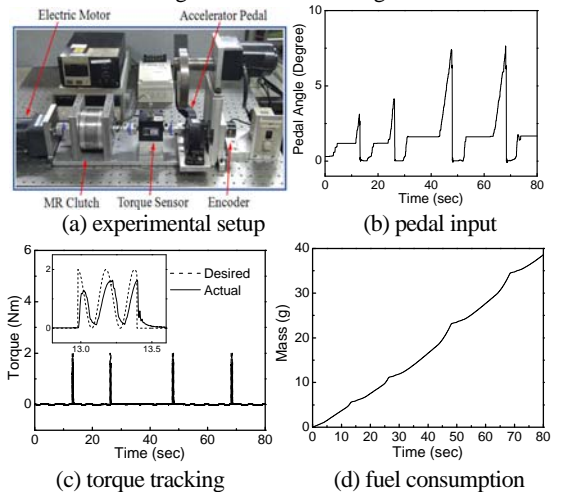


Fig. 3 Haptic cue control.