

차량 정속주행 시스템의 성능향상에 관한 연구 : 외란관측기 기법

(A Study on Performance Improvement of Automobile Cruise Control System :
Disturbance Observer Approach)

양은지* · 조남훈**

(Eun-Ji Yang · Nam-Hoon Jo)

Abstract

The automobile cruise control system tries to maintain a constant velocity in the face of disturbance mainly caused by mass changes or changes in the slope of a road. The controller should compensate for such disturbances and model uncertainties. In this paper, we study on the disturbance observer based controller for cruise control system. In the presence of disturbances and model uncertainties, we carry out computer simulations in order to compare the performance of the conventional PI controller and DOB controller. From the simulation results, we found that the performance of DOB controller is superior to that of the conventional PI controller.

Key Words : Cruise Control System, Disturbance Attenuation, Model Uncertainties, Disurbance Observer

1. 서 론

정속 주행 장치는 사용자가 가속기를 밟지 않아도 차의 속력을 자동으로 유지 시켜주는 제어 장치이며, 이를 사용할 경우 운전자의 피로도를 낮춰주고 일정한 속력을 유지할 수 있어 연비를 향상시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다. 과거에는 장거리 주행을 많이 해

야 했던 미국과 같은 넓은 대륙에서만 정속 주행 장치가 사용되었다. 그러나 현대 사회에 이르러 소비자들은 자동차의 성능뿐만 아니라 편의성도 중요시하게 되었고[1-2], 최근 국내에 출시된 준중형급 차들도 정속 주행 장치를 장착시켜 그 편의성을 향상시켰다. 이처럼 국내에서 정속 주행 장치에 대한 수요가 증가하면서, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[3-6]. 정속 주행 장치 설계시 주변 상황과 상관없이 속력을 유지하는 것이 가장 중요하며, 이를 위해서는 고성능 제어기 설계가 필수적인 요소가 된다.

정속 주행 장치에 통상적으로 사용되는 제어기는 비례-적분 제어기(이하 PI 제어기)이다. PI 제어기는 오차 값(입력과 출력의 차이 값)을 증폭, 적분하여 제어 신호로 만든다. PI 제어기는 출력의 정상상태 오차를 0으로 만들어주는 장점을 가지고 있다. 그러나 PI

* 주저자 : 송실대학교 전기공학부 석사과정
** 교신저자 : 송실대학교 전기공학부 교수
* Main author : Graduate student, Soongsil University, Dept. Electrical Engineering
** Corresponding author : Professor, Soongsil University, Dept. Electrical Engineering
Tel : 02-820-0643, Fax : 02-817-7961
E-mail : nhjo@ssu.ac.kr
접수일자 : 2013년 8월 30일
1차심사 : 2013년 9월 4일, 2차심사 : 2014년 3월 18일
심사완료 : 2014년 4월 10일

제어기는 외란의 영향을 효과적으로 개선하지 못한다는 단점을 가지고 있다. 반면 외란 관측기 (Disturbance Observer; DOB)는 관측된 외란을 보상해주어 외란에 대한 영향을 줄여주는 역할을 한다. 본 논문에서는 기존에 산업계에서 주로 사용하던 PI 제어기보다 DOB 제어기의 성능이 훨씬 우수하다는 것을 보이고자 한다. 이를 위해서 컴퓨터 모의실험을 이용하여 PI 제어기와 DOB 제어기의 제어성능을 비교 분석하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 정속 주행 장치 시스템의 구조와 비선형 모델을 소개하고, 제어기 설계 시 필요한 선형화한 시스템 모델식을 유도한다. 3장에서는 DOB 제어기의 구조와 안정성을 보장하는 조건을 소개한다. 4장에서는 노면 경사각의 변화를 외란으로 간주한 후, 외란에 따른 PI 제어기와 DOB 제어기의 성능을 비교하였다. 5장에서는 도출된 결과를 토대로 결론을 제시한 뒤 향후 연구방향에 대해 논의하였다.

2. 정속 주행 장치 모델

그림 1은 정속 주행 시스템의 구조를 나타낸다.

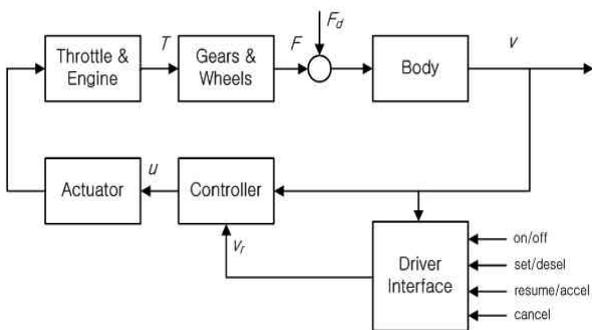


그림 1. 정속 주행 시스템의 구조
Fig. 1. Structure of cruise control system

여기서 전압으로써 입력되는 제어 입력 u 가 액츄에이터에 인가되고, 액츄에이터에서 쓰로틀의 연료 분사각을 조절한다. 또한 쓰로틀의 연료 분사각에 따라 연료 분사량이 조절되며, 연료 분사량에 비례하는 엔진의 토크 T 에 의해 차의 구동력 F 가 발생한다. 이 때

각속도에 대한 자동차 엔진의 토크 곡선은 그림 2와 같이 주어지는데, 엔진의 각속도 ω 에 따른 T 에 대한 식 (1), (2)는 아래와 같다[7].

$$T(\omega) = T_m \left(1 - 0.4 \left(\frac{\omega}{\omega_m} - 1 \right)^2 \right) \quad (1)$$

$$\omega = \frac{n}{r} v =: \alpha_n v \quad (2)$$

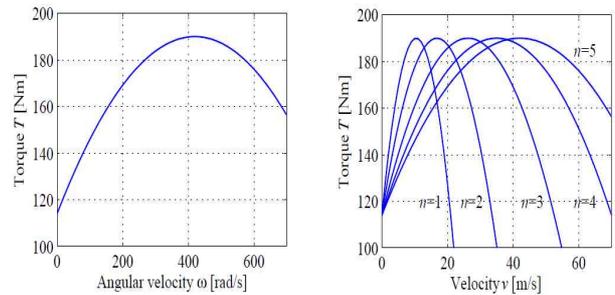


그림 2. 각속도에 대한 자동차 엔진의 토크 곡선과 자동차 기어 단수에 따른 속도-토크 곡선
Fig. 2. Torque curve of car engine with respect to angular velocity and velocity-torque curve for gear ratio

식 (1)에서 T_m 은 최대 토크 값, ω 는 엔진의 각속도, ω_m 은 최대 토크가 얻어지는 각속도 값을 나타낸다. 또한, 식 (2)에서 n 은 기어 비, r 은 바퀴의 반경을 나타낸다.

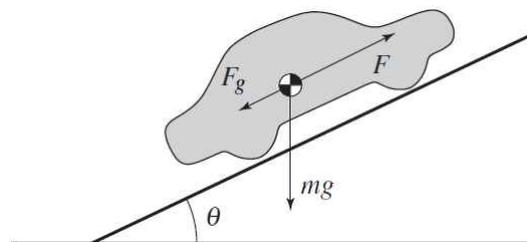


그림 3. 노면 경사각의 변화
Fig. 3. Variation of a road angle

한편 차량 운행 시 노면의 경사각은 그림 3과 같이 변하게 되는데, 본 논문에서는 이러한 경사각을 θ 로 표시한다. 그림 3으로부터 시스템의 수학적 모델식 식

(3)을 구할 수 있다[7].

$$m\dot{v} = \alpha_n u T(\alpha_n v) - mgC_r \operatorname{sgn}(v) - \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 - mg \sin \theta \quad (3)$$

상기 식에서,

m : 차의 질량, v : 차의 속도, g : 중력 가속도,
 C_r : 굴림 마찰 계수, C_d : 공기 저항 계수,
 ρ : 공기 밀도, θ : 도로의 경사각,
 A : 차가 공기와 부딪히는 면적

식 (3)과 같은 비선형 모델식을 갖는 정속 주행 장치 시스템을 제어하기 위해서는 일반적으로 자코비안 선형화가 필요하다[8]. 선형화를 위해 $x := v$ 로 정의하고 식 (3)을 정리하면 다음과 같다.

$$\dot{x} = \frac{\alpha_n T_m}{m} \left(1 - 0.4 \left(\frac{\alpha_n x}{\omega_m} - 1 \right)^2 \right) u - g C_r - \frac{\rho C_d A x^2}{2m} =: f(x, u)$$

자동차의 기준속력을 v_0 로 표시할 때, $f(x_0, u_0) = 0$, $x_0 = v_0$ 을 만족하는 평형점 (x_0, u_0) 은 아래와 같이 계산된다.

$$x_0 = v_0, \quad u_0 = \frac{g C_r + \frac{1}{2m} \rho C_d A v_0^2}{\frac{\alpha_n T_m}{m} \left(1 - 0.4 \left(\frac{\alpha_n v_0}{\omega_m} - 1 \right)^2 \right)}$$

이제 평형점 부근에서의 변화량 $\delta x, \delta u$ 을 아래와 같이 정의할 수 있고,

$$\delta x = x - x_0$$

$$\delta u = u - u_0$$

테일러 급수를 이용하면 식은 다음과 같이 근사된다.

$$\delta \dot{x} = f(x_0 + \delta x, u_0 + \delta u) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &= f(x_0, u_0) + A \delta x + B \delta u \\ &\quad + H.O.T. (high order term) \\ &= A \delta x + B \delta u + H.O.T. \\ &\approx A \delta x + B \delta u \end{aligned}$$

상기 식에서,

$$A = \frac{\partial f}{\partial x}(x, u)|_{x=x_0, u=u_0} \quad (5)$$

$$= - \left(\frac{0.8 \alpha_n^3 T_m u_0 + \rho C_d A \omega_m^2}{m \omega_m^2} \right) v_0 + \frac{0.8 \alpha_n^2 T_m u_0}{m \omega_m}$$

$$B = \frac{\partial f}{\partial u}(x, u)|_{x=x_0, u=u_0} \quad (6)$$

$$= \frac{\alpha_n T_m}{m} \left(1 - 0.4 \left(\frac{\alpha_n v_0}{\omega_m} - 1 \right)^2 \right)$$

이 되고, 식 (5), (6)을 대입하면 식 (4)는 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$\delta \dot{x} = A \delta x + B \delta u \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &= \left(- \left(\frac{0.8 \alpha_n^3 T_m u_0 + \rho C_d A \omega_m^2}{m \omega_m^2} \right) v_0 + \frac{0.8 \alpha_n^2 T_m u_0}{m \omega_m} \right) \delta x \\ &\quad + \frac{\alpha_n T_m}{m} \left(1 - 0.4 \left(\frac{\alpha_n v_0}{\omega_m} - 1 \right)^2 \right) \delta u \end{aligned}$$

마지막으로 식 (7)을 전달함수로 표현하면 다음 식을 도출할 수 있다.

$$P(s) = \frac{\frac{\alpha_n T_m}{m} \left(1 - 0.4 \left(\frac{\alpha_n v_0}{\omega_m} - 1 \right)^2 \right)}{s + \left(\frac{0.8 \alpha_n^3 T_m u_0 + \rho C_d A \omega_m^2}{m \omega_m^2} \right) v_0 - \frac{0.8 \alpha_n^2 T_m u_0}{m \omega_m}} \quad (8)$$

자동차의 기준 입력 v_0 가 변함에 따라서 비선형 모델식 (3)을 근사한 선형전달함수의 형태가 달라진다는 것을 식 (8)로부터 알 수 있다. 따라서 주어진 기준

입력을 적절히 추종하는 제어를 설계하였다고 하더라도, 기준입력이 바뀌면 제어성능이 저하될 수밖에 없고, 다시 제어를 설계하여야 할 수도 있음을 알 수 있다.

3. DOB 제어기

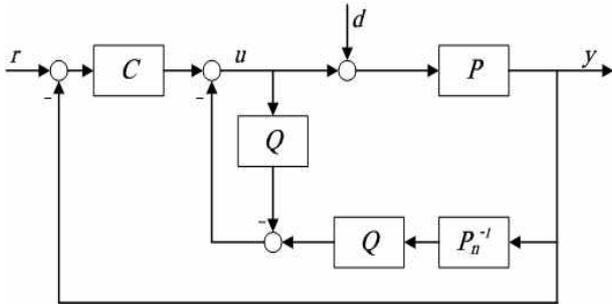


그림 4. DOB 제어기의 구조
Fig. 4. Structure of Disturbance Observer(DOB) Controller

본 논문에서 설계하고자 하는 정속 주행 장치 시스템은 다양한 기준입력에 대해서 적절한 추종성능을 보유하여야 한다. 또한 외란으로 간주한 노면 경사각의 변화에 대한 영향을 효과적으로 감소시킬 수 있는 제어기가 필요하다. 이를 위해서 본 논문에서는 구조가 간단하지만 외란 제거 성능이 뛰어나다는 것이 알려져 있는 Disturbance Observer(DOB) 제어를 사용하고자 한다[9]. 그림 4는 DOB 제어기의 구조를 나타내는데, P 는 실제 플랜트, P_n 은 공칭 모델, Q 는 저역통과 필터이다. 또한 y 는 시스템의 출력을 나타내며, 신호 u , d 는 각각 시스템에 인가되는 제어 입력, 입력 외란을 나타낸다. 그림 4로부터 플랜트 출력은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$y(s) = \frac{PP_n}{P_n + (P - P_n)Q}u + \frac{PP_n(1 - Q)}{P_n + (P - P_n)Q}d$$

저주파 영역에서는 $Q(s) \approx 1$ 을 만족하므로

$$\frac{PP_n}{P_n + (P - P_n)Q} \approx P_n, \quad \frac{PP_n(1 - Q)}{P_n + (P - P_n)Q} \approx 0$$

이 되고, $y(s)$ 는 다음과 같이 근사된다.

$$y(s) \approx P_n u(s) \tag{9}$$

따라서 DOB를 사용하게 될 경우 저주파 외란 d 가 시스템 출력에 거의 영향을 주지 않게 된다는 것을 알 수 있다. 또한 시스템 출력이 공칭모델 P_n 에 의해 결정되고 실제 플랜트 P 의 영향을 받지 않게 된다. 여기서 Q 필터는 일반적으로 (10)과 같은 형태를 사용하는데, ρ 는 시스템의 상대차수를 나타낸다.

$$Q(s) = \frac{a_0}{(\tau s)^\rho + a_{\rho-1}(\tau s)^{\rho-1} + \dots + a_1(\tau s) + a_0} \tag{10}$$

DOB 제어시스템의 장점을 이용하기 위해서는 먼저 전체 시스템의 안정성이 보장되어야 한다. 충분히 작은 $\tau > 0$ 에 대해, DOB 전체 시스템이 안정하기 위해서는 다음의 세 가지 조건을 만족해야 한다[9].

- (i) $P_n C / (1 + P_n C)$ 가 안정해야 한다.
- (ii) $P(s)$ 가 최소 위상 시스템이어야 한다.
- (iii) $p_f(s) := D_Q(s;1) + \left(\lim_{s \rightarrow \infty} \frac{P(s)}{P_n(s)} - 1 \right) N_Q(s;1)$ 일 때, $p_f(s)$ 의 모든 근이 LHP에 존재해야 한다.

4. 모의실험

본 장에서는 모의실험을 통하여 DOB 제어기가 정속 주행 장치에 우수한 성능을 가짐을 검증해 보도록 한다. 전술한 바와 같이 정속 주행 장치의 목적은 기준 속력의 변화 또는 노면의 변화에도 차량의 속력을 일정하게 유지하는 것이다. 제안된 제어기의 우수성을 입증하기 위하여, 산업계에서 주로 사용되는 PI 제어기의 성능과 비교하도록 한다. 먼저 참고문헌 [7]에서 사용한 파라미터 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} T_m &= 190Nm, \quad w_m = 420rad/sec, \\ \alpha_1 &= 40, \quad \alpha_2 = 25, \quad \alpha_3 = 16, \quad \alpha_4 = 12, \quad \alpha_5 = 10, \\ g &= 9.8m/s^2, \quad \rho = 1.3kg/m^3, \quad C_d = 0.32, \quad A = 2.4m^2 \end{aligned}$$

또한 차량의 기준 무게 m 은 $1200kg$ 으로 가정하였다. 본 논문에서는 기준 속도 v_0 를 $60km/h$ 로 설정하여 제어기를 설계한 뒤, 속력이 변화했을 때의 제어 성능을 모의실험을 통해 비교하였다. 이를 위해서 $v_0 = 60$ 일 때 u_0 의 값을 구하면

$$u_0 = 1.4174$$

이고, (5), (6), (8)로부터 다음을 얻을 수 있다.

$$A = -0.0461, B = 1.1258$$

$$P(s) = \frac{1.1258}{s + 0.0461} \quad (11)$$

본 논문에서 제시한 DOB 제어기의 성능을 기존 제어기와 비교하기 위해서 우선 PI제어기를 설계해 보자. PI제어기를 설계하기 위해서는 (11)로 주어진 선형 모델 $P(s)$ 를 이용하는데, 다음과 같은 설계 요구조건을 고려하였다.

- 1) 계단입력에 대한 오버슈트 15% 이내
- 2) 계단입력에 대한 정착시간이 10초 이내.

공칭모델 (11)에 대해서 위의 요구조건을 만족하도록 근궤적(root locus) 기법을 적용하여 PI제어기를 설계하면 아래와 같다.

$$C(s) = 2 + \frac{1}{s} \quad (12)$$

한편 객관적인 성능비교를 위하여 (12)외에 2 가지 제어기를 추가로 고려하였다. 우선 우수한 강인성을 얻기 위해서는 충분한 위상여유가 보장되어야 한다. 이를 위해서 위상여유(Phase Margin)가 85도 이상 되는 제어기를 설계하여 다음을 얻었다.

$$C_{pm}(s) = 2 + \frac{0.4}{s} \quad (13)$$

설계된 제어기의 위상여유를 확인하기 위하여 전체 시스템의 Bode 선도를 그림 5에 나타내었다. 그림 5로부터 제어기 (12)의 위상여유는 78도이지만 새로 설계

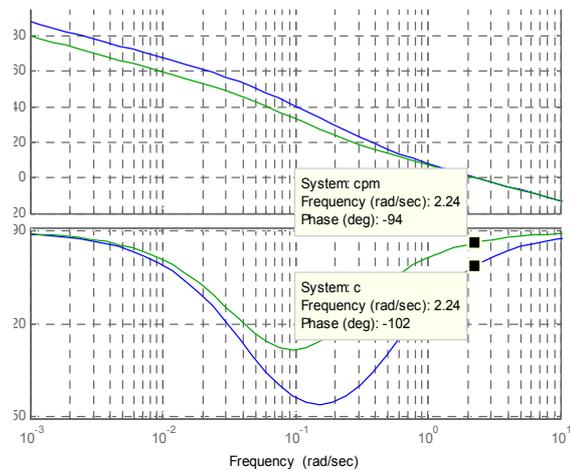


그림 5. 제어기 $C(s)$ and $C_{pm}(s)$ 에 대한 위상여유
Fig. 5. Phase Margins for controllers $C(s)$ and $C_{pm}(s)$

한 제어기 (13)의 위상여유는 86으로 높아졌음을 알 수 있다. 또한 제어기 설계자의 주관성을 배제하고 최대한 객관성을 유지하기 위하여 MATLAB의 자동튜닝(automated tuning)을 이용하여 PI 제어기를 설계해 보았다. 자동튜닝 성능지표를 절대적분오차(Integral Absolute Error)로 선정하여 PI 제어기를 구하면 아래와 같다.

$$C_{auto}(s) = 0.46 + \frac{0.1}{s} \quad (14)$$

이제 본 논문에서 제안한 DOB제어기를 설계하기 위하여 공칭모델을 아래와 같이 선정한다.

$$P_n(s) = \frac{1}{s+1} \quad (15)$$

이 때 DOB 제어기에서 사용되는 $C(s)$ 는 공칭모델 (15)를 고려하여 설계하여야 한다. 공칭모델에 의한 단위 궤환 시스템 $\frac{P_n C}{1+P_n C}$ 의 계단응답이 오버슈트 없도록 $C(s)$ 를 설계하면 아래와 같다.

$$C(s) = 0.84 + \frac{0.8}{s}$$

또한 DOB 제어기에서 사용되는 Q 필터는 다음과

같은 간단한 형태를 선정하였다.

$$Q(s) = \frac{1}{\tau s + 1}$$

이제 3장에서 소개한 DOB 시스템의 안정도를 분석

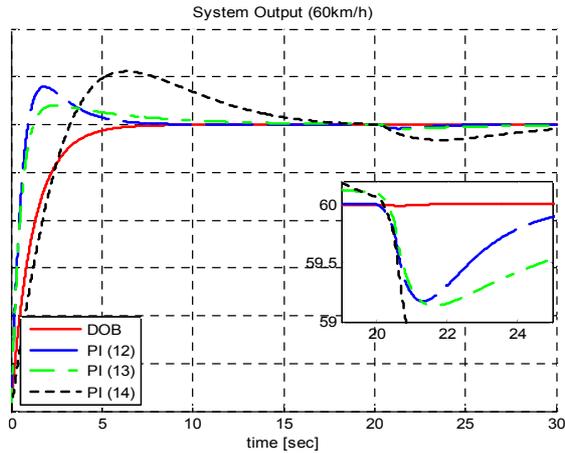


그림 6. 제안된 제어기와 다양한 PI제어기와의 실험결과 비교 : 차량 속도(기준 속도=60km/h)

Fig. 6. Comparison of simulation results for the proposed DOB controller and various PI controllers : car speed(reference speed =60km/h)

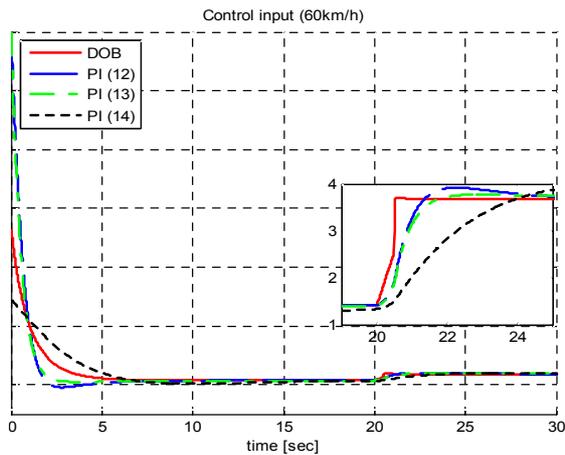


그림 7. 제안된 제어기와 다양한 PI제어기와의 실험결과 비교 : 입력 전압(기준 속도=60km/h)

Fig. 7. Comparison of simulation results for the proposed DOB controller and various PI controllers : input voltage(reference speed= 60km/h)

해 보자. 먼저 $\frac{P_n C}{1+P_n C} = \frac{0.84s+0.8}{s^2+1.84s+0.8}$ 이고, 극점은 $-1.1354, -0.7046$ 이므로 조건 (i)이 만족된다. 또한 기준속력 v_0 가 변하면 플랜트 전달함수 (8)도 변하게 되는데, $20 \leq v_0 \leq 120$ 인 경우, $-0.089 \leq A \leq -0.016$, $1.012 \leq B \leq 1.273$ 이고 $P(s) = \frac{B}{s+A}$ 이어서 조건 (ii)도 만족한다. 마지막으로 $p_f(s) = (s+1) + (B/1-1) = s+B$ 이기 때문에 B 의 범위에 관계없이 $p_f(s)$ 가 항상 안정하여 조건 (iii)도 만족하게 된다. 따라서 DOB 시스템은 충분히 작은 $\tau > 0$ 에 대해서 항상 안정성이 보장된다.

본 논문에서는 모의실험을 위하여 $\tau=0.01$ 로 결정하였다. 또한 그림 3의 경사각 θ 를 외란 d 로 간주하였으며, 20초에서 21초 사이에 0° 에서 15° 까지 선형적으로 변화한다고 가정하였다. 모의실험시 플랜트는 비선형 모델식 (3)을 이용하여 구현하였다. 그림 6과 7은 기준속력이 $60km/h$ 인 경우의 차량속도와 입력전압을 나타낸다. 그림 6과 7로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. 첫째, 정착시간을 비교하면, PI 제어기 (12), (13)과 제안된 DOB제어기는 10초 이내로 비슷하지만, PI 제어기 (14)는 20초 정도로 매우 느리다. 둘째, 오버슈트를 비교하면, PI 제어기 (12), (13), (14)는 상당한 오버슈트가 발생하지만 제안된 DOB 제어기는 오버슈트가 발생하지 않는다. 셋째, 외란이 인가될 경우, PI 제어기 (12), (13), (14)는 차량 속도가 대략 $0.8km/h$ 이상 영향을 받지만 DOB제어기의 경우 차량속도가 거의 변하지 않는다. 마지막으로 입력전압을 비교하면, PI 제어기 (12), (13)은 초기에 120V 정도를 필요로 하지만, DOB 제어기는 이보다 훨씬 작은 50V 정도만 필요로 한다는 것을 알 수 있다. 단 PI 제어기 (14)는 초기에 입력전압이 30V정도로 DOB 제어기보다 작지만, 정착시간이 매우 길고 외란에 의해서 자동차 속력이 매우 큰 영향을 받고 있어서 성능이 많이 떨어짐을 알 수 있다.

DOB 제어기와 PI 제어기의 성능차이는 기준속도가 변하는 경우 더욱 크게 나타난다. 그림 8은 기준속력이 $20km/h$ 로 변한 경우의 모의실험 결과이다. PI 제어기의 경우, 외란의 영향으로 20초 이후 최소한

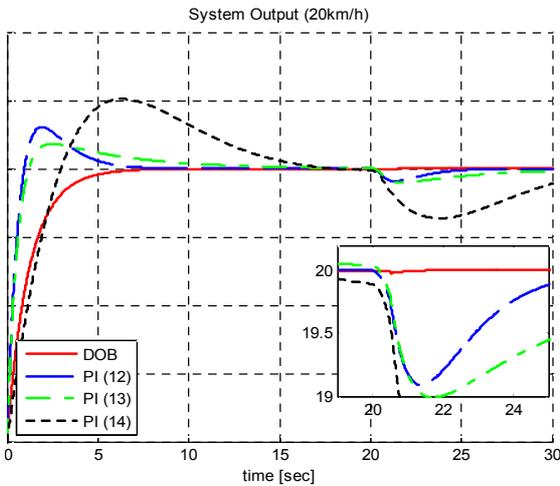


그림 8. 제안된 제어기와 다양한 PI제어기와의 실험결과 비교 : 차량 속도(기준 속도=20km/h)
 Fig. 8. Comparison of simulation results for the proposed DOB controller and various PI controllers : car speed(reference speed =20km/h)

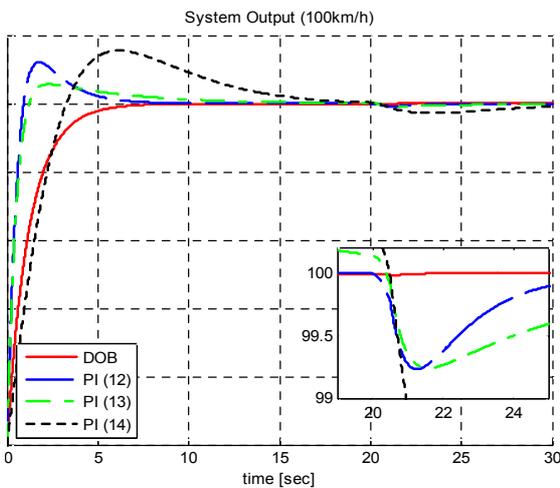


그림 9. 제안된 제어기와 다양한 PI제어기와의 실험결과 비교 : 차량 속도(기준 속도=100km/h)
 Fig. 9. Comparison of simulation results for the proposed DOB controller and various PI controllers : car speed(reference speed =100km/h)

0.9km/h 정도의 순간적인 감속이 나타나는 것을 볼 수 있다. 하지만 DOB 제어기의 경우 외란의 영향을 거의 받지 않을 뿐만 아니라 오버슈트나 정착시간도

다른 제어기보다 우수함을 볼 수 있다. 입력전압 파형은 그림 7과 비슷하여 여기서는 생략하였다.

마지막으로 일반적인 고속도로의 주행 속도인 100km/h를 기준 속도로 정하고 제안된 DOB제어기와 PI제어기의 성능을 비교해 보았다. 그림 9에서 실험결과를 볼 수 있으며, 이전 실험과 마찬가지로 제안된 DOB 제어기의 우수성을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 정속 주행 장치 시스템의 비선형 모델식을 이용하여 DOB 제어기가 기존의 PI 제어기보다 우수한 제어성능을 보유할 수 있음을 보였다. 모의 실험을 통해 PI 제어기와 DOB 제어기의 응답 특성을 비교하였으며, 실험 결과 PI 제어기를 사용하였을 때보다 DOB 제어기를 사용하였을 때 외란에 대한 영향을 효과적으로 없애주었고, 과도 응답 측면에서도 개선되었음을 볼 수 있었다. 향후 정속 주행 장치의 연구 분야에서는 자동차의 무게와 속도뿐만 아니라 노면의 상태, 바퀴의 마모 정도 등 여러 불확실한 특성들을 고려할 수 있는 제어기의 연구가 필요할 것으로 보인다.

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
 (No. 2011-0010233)

References

- [1] B. Yoon, J. Kim, "Research direction on the development of advanced motor vehicle," ICASE Magazine, Vol. 18, No. 2, pp 21~29, August, 2012.
- [2] S. Noh, H. Won, M. Cho, "Patent trends of Motor vehicle," Auto Journal, Vol. 32, No. 2, pp 77~81, April, 2010.
- [3] Ardalan Vahidi, Azim Eskandarian, "Research Advances in Intelligent Collision Avoidance and Adaptive Cruise Control", IEEE Transactions on intelligent transportation systems, Vol. 4, no. 3, pp 143~153, Sept. 2003.
- [4] John-Jairo Martinez and Carlos Canudas-de-Wit, "A Safe Longitudinal Control for Adaptive Cruise Control and Stop-and-Go Scenarios", IEEE Transactions on control systems technology, Vol. 15, no. 2, pp 246~258, March.

2007.

- [5] Daniele Corona, Bart De Schutter, "Adaptive Cruise Control for a SMART Car: A Comparison Benchmark for MPC-PWA Control Methods", IEEE Transactions on control systems technology, Vol. 16, no. 2, pp 365~372, March 2008.
- [6] Behrang Asadi, Ardalan Vahidi, "Predictive Cruise Control: Utilizing Upcoming Traffic Signal Information for Improving Fuel Economy and Reducing Trip Time", IEEE Transactions on control systems technology, Vol. 19, no. 3, pp 707~714, MAY. 2011.
- [7] Karl Johan Astrom, Richard M. Murray, Feedback Systems, Princeton University Press, pp 65~68, Aug. 2011.
- [8] Gene F. Franklin, J David Powell, Abbas Emami-Naeini, Feedback Control of Dynamic Systems, Prentice-Hall, pp 70~72, Jul. 2000.
- [9] Hyungbo Shim, Nam H Jo, "An almost necessary and sufficient condition for robust stability of closed-loop systems with disturbance observer", Automatica, Vol 45, no 1, pp 296~299, Jan. 2009.

◇ 저자소개 ◇



양은지(梁恩志)

1989년 12월 12일생. 2012년 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 2014년 숭실대 대학원 전기공학부 졸업(석사). 현재 ASML Korea 근무중.



조남훈(趙南熏)

1970년 3월 18일생. 1992년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 서울대 대학원 전기공학부 졸업(박사). 2002년~현재 숭실대학교 전기공학부 교수.