

# 외란을 가지는 주행차량의 위치제어에 관한 연구

신 규재<sup>o</sup>, 이 동희, 권 영안  
부산대학교 전기공학과

## A Study on the Position Control in a Moving Vehicle with Disturbance

Kyoo-Jae Shin<sup>o</sup>, Dong-Hee Lee and Young Ahn Kwon  
Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University

*Abstract - The moving vehicle with disturbances has the 6 dof motion in the pitching, yawing and rolling directions of two independent axes. The control system in such a moving vehicle has to perform disturbance rejection well. The paper presents PID controller with disturbance rejection function, low sensitivity filter and notch filter for the bending frequency rejection. The performance of a designed system has been certified by the simulation and experiment results.*

### 1. 서 론

주행상태의 플랜트에는 요잉(yawing), 피칭(pitching), 롤링(rolling) 방향의 외란이 인가되고, 플랜트의 벤딩성분과 기어 백래쉬 및 시스템의 비선형요소로 인하여 시스템의 공진 주파수가 발생하게 되어 정밀 위치제어를 하는데 어려움이 발생하게 된다 [1,2]. 이러한 시스템의 제어를 설계하기 위해서는 무엇보다도 플랜트의 진동특성을 고려한 시스템의 모델링이 중요하다. 본 연구에서는 동력학적 해석방법을 적용하여 벤딩모드를 포함한 플랜트를 모델링하였고, 외란 제거기능을 가진 notch형 PID제어를 설계하였다. 또한 실제로 시뮬레이션과 실험을 통하여 설계된 시스템의 신뢰성 및 제어기의 위치제어 성능이 우수함을 확인하였다.

### 2. 제어 시스템 구성

제어대상은 선회각과 고저각이 서로 독립된 모델이다. 즉 고저속 플랜트와 선회속 플랜트는 서로 독립된 운동 좌표계를 갖고, 각 선회속과 고저속 방향에 대해서 롤링, 요잉과 피칭방향으

로 운동이 진행되며, 각 축의 운동에너지는 다른 축방향의 운동에 영향을 미치지 않는 형태의 6자유도 운동을 한다. 고저속 구동 시스템은 플랜트, 유압 실린더로 구성되며, 비선형 요소로는 차체와 플랜트, 또는 액츄에이터의 간섭부에 대한 쿨롱마찰이 존재한다.

제어 시스템의 구성은 그림1과 같이 위치신호 입력장치, 액츄에이터, 플랜트, 제어기 및 위치/속도 출력신호를 감지하기 위한 자이로와 외란 신호를 감지하기 위한 속도자이로로 구성되어 있다.

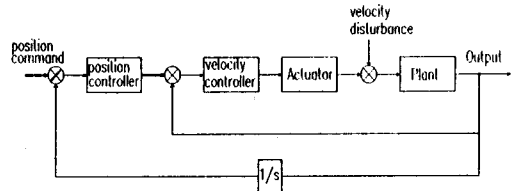


그림1 제어 시스템 구성도

### 3. 시스템 모델링[3]

본연구에서 플랜트의 동력학적 해석의 기본적인 접근방법은 Lagrangian방법으로 계의 운동에너지와 포텐셜에너지, 그리고 분산(Dissipation)에너지를 계산하여 운동방정식을 유도하는 방법을 적용하였다.

고저속에 대한 선형화 모델의 동특성 유도식은 차체, 실린더, 플랜트, 벤딩모드와 자이로의 운동 방정식으로 표현될 수 있으며, 비선형 성분으로는 차체와 플랜트간의 쿨롱 마찰, 액츄에

터와 플랜트 사이의 쿨롱 마찰이 포함되어 있다.

적용된 2차 서보밸브를 2차지연요소로 가정할 경우 식(1)과 같은 모델링이 이루어진다.

$$x_{s2} = G_1(s) \cdot K_{sv} \cdot V_{in} \quad (1)$$

$$\text{단, } G_1(s) = \frac{\omega_{s2}^2}{s^2 + 2\zeta_{s2}\omega_{s2}s + \omega_{s2}^2}$$

연속방정식과 부하방정식을 적용하면 3단밸브의 모델링은 식(2)와 같이 된다.

$$x_{i3} = \frac{K_{q2} \cdot x_{s2}}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (2)$$

$$\text{단, } a_3 = \frac{V_{30}M_v}{4\beta_e A_{i3}}$$

$$a_2 = \frac{V_{30}B_v}{4\beta_e A_{i3}} + \frac{K_{q2}M_v}{A_{i3}}$$

$$a_1 = A_{i3} + \frac{V_{30}K_v}{4\beta_e A_{i3}} + \frac{K_{q2}B_v}{A_{i3}}$$

$$a_0 = \frac{K_{q2}K_v}{A_{i3}}$$

2-3단 서보밸브의 선형화 모델은 전체적으로 5차시스템이 되므로 제어모델의 단순화를 위하여 다음과 같은 가정으로 축소한 선형 모델링이 가능하다. 식(2)에서  $\frac{V_{30}B_v}{4\beta_e A_{i3}} \ll \frac{K_{q2}M_v}{A_{i3}}$  이고, 밸브

stiffness  $K_v$ 의 영향이 무시되면, 식(2)는 식(3)과 같이 축소된다.

$$x_{i3} = G_2(s) \cdot K_{q2} \cdot x_{s2} \quad (3)$$

$$\text{단, } G_2(s) = \frac{\omega_{i3}^2}{A_{i3}s(s^2 + 2\zeta_{i3}\omega_{i3}s + \omega_{i3}^2)}$$

$\omega_{s2} \ll \omega_{i3}$  이므로 식(3)은 식(4)로 축소가 가능하다.

$$x_{i3} \approx \frac{K_{q2}}{A_{i3} \cdot s} x_{s2} \quad (4)$$

따라서 최종적으로 2-3단 밸브는 식(5)와 같이 축소한 모델링으로 표현된다

$$x_{i3} = G_2(s) \cdot K_{q2}K_{sv} \cdot V_{in} \quad (5)$$

#### 4. 제어기 설계

##### 4.1 전류이득 [4]

2-3단 밸브의 전류이득을 설정하기 위하여 식(5)의 근체적에서 임계이득 19.9를 구할 수 있으며, Ziegler-Nichols 방법을 적용한 비례이득은  $K_{opt} = 10$ 임을 알 수 있으나, 스텝응답 특성을 비교한 결과 전류이득은 5.0일 때 가장 좋은 응답 특성을 갖는다.

##### 4.2 위치 제어기 설계

위치제어기를 설계하기 위하여 고저속에 대한 개회로 전달함수를 구하면, 식(6)과 같다.

$$G_3(s) = \frac{A_1(s) + A_2(s)}{B_1(s) \cdot B_2(s)} \quad (6)$$

$$\text{단, } A_1(s) = K_5 SFR K_{mc} H_C(s) \cdot H_1(s)$$

$$A_2(s) = \frac{1}{s} SFDCT K_{mp} K_{sp} \cdot H_1(s)$$

$$B_1(s) = 1 + K_{mc} H_C(s) \cdot H_3(s)$$

$$B_2(s) = 1 + K_5 SFR K_{mc} H_C(s) H_1(s)$$

설계 기준은 다음과 같이 선정될 수 있다.

설계조건1) 10 Hz 이상에서의 전상보상을 통한 시스템의 대역폭 증가

설계조건2) 10 Hz 이하에서의 위상지연의 최소화

설계조건3) 외란제거를 위한 notch형 PID 설계

위의 설계조건과 제어기의 구성을 기초로 Trade-Off 하여 얻어진 제어기의 결과는 식(7)~(9)과 같다.

$$LPF = \frac{K_{sl}\omega_{sl}^2}{s^2 + 2\zeta_{sl}\omega_{sl}s + \omega_{sl}^2} \quad (7)$$

$$BPF = \frac{K_{sb}\omega_{sb}^2 s}{s^2 + 2\zeta_{sb}\omega_{sb}s + \omega_{sb}^2} \quad (8)$$

$$H_5(s) = (K_{sp} + BPF + LPF) \cdot K_{mc} + \frac{K_{sl}}{s} \quad (9)$$

식(7)은 적분요소이고, 식(8)은 미분요소를 결정하며, 이식의 차단 주파수를 결정함으로써 notch 필터를 가지는 PID 제어기를 설계할 수 있다.

설계된 전체 제어기는 식(10)과 같이 나타낼 수 있다

$$H_T(s) \approx \frac{1}{s} \cdot C_1(s) + K_5 \cdot SFR \cdot C_2(s) \quad (10)$$

$$\text{단, } C_1(s) = H_S(s) \cdot K_{mgr} + \frac{K_{st}}{s}$$

$$C_2(s) = H_C(s) \cdot K_{mgc}$$

### 5. 시뮬레이션 및 실험결과

설계된 제어시스템에 대한 시뮬레이션 및 실험결과는 표1과 같다. 주행차량에 측정된 외란신호는 그림2와 같고, 이를 억제하는 제어 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션한 결과는 그림3과 같으며, 또한 차량이 16Km/H의 속도로 주행중에 위치오차를 측정 한 실험결과는 그림4와 같다. 이상의 결과를 통하여 설계된 제이기가 우수한 성능으로 설계되었음을 확인할 수 있다.

표1. 시뮬레이션 및 실험결과

시험 항목	시뮬레이션	실험 결과
입력 외란조건 [mil/sec]	138.6	
외란제거비 [dB]	Max -20	Max -25
최대속도 [rad/sec]	0.45	0.51
가속도 [rad/sec <sup>2</sup> ]	9.8	10.1
오우비 슈트 [%]	85.0	82.0
최대치 도달시간 [sec]	0.083	0.079
정착시간 [sec]	0.38	0.3
대역폭 [Hz]	8.2	10.5
위치 오차 [rms-mrad]	0.31	0.28

### 6. 결 론

본 논문은 주행상태에 있는 차량의 2축 독립모델 제어기의 최적화 설계를 목적으로 하고 있다. 주행차량에서는 노면으로부터의 피칭, 요잉, 롤링축 방향의 외란이 존재하게 된다. 따라서 주행하는 차량에서의 위치제어는 이러한 외란을 적절히 제어하여야 우수한 성능을 얻을 수 있다. 그러므로 주행 차량 위치제어 시스템의 안정화 성능을 개선하기 위하여 외란제거 기능을 가진 비례-적분-미분제어기의 설계, 차량의 진동을 해결하기 위한 notch필터 설계, 운용조건에 따른 동작모드 회로설계를 수행하였으며, 이를 아날로그 회로로 구현하였다. 설계된 제어기의 성능은 시뮬레이션 및 실험을 통하여 외란인가 상태에서 안정화 성능이 개선되었음을 확인할 수 있었다.

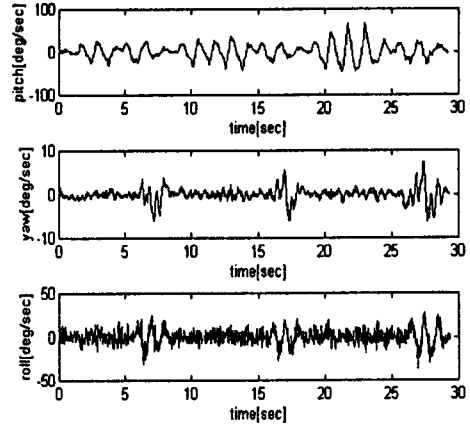


그림2. 외란입력신호

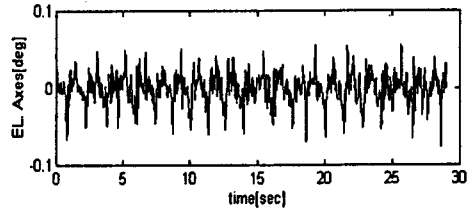


그림3. 위치오차 시뮬레이션 결과

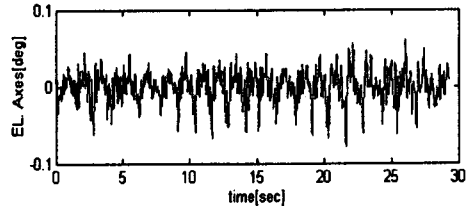


그림4. 위치오차 실험결과

### 참고 문헌

- [1] "Gun/Turret Drive and Stabilization Subsystem Critical System Development Specification", SB-BB-179700, General Dynamic, 1982.
- [2] R.M. Krupka, "Mathematical Simulation of the Dynamics of a Military Tank", SAE Technical Paper, Series, Paper No.850416, 1985.
- [3] T.R. Welch, "The Use of Derivative Pressure Feedback in High Performance Hydraulic Servomechanism", Journal of Engineering for Industry, pp8~14, 1962
- [4] R.Bell & A de Pennington, "Active Compensation of Lightly Damped Electro-hydraulic Cylinder Drives Using Derivative Signals", Vol. 184, no.4, pp83~98. 1969