

산업용 전기·유압 구동기 시스템의 설계 및 제어 Design and Control of Electro Hydrostatic Actuator Systems

이지민 · 박민규 · 박성환 · 김종식 · 이호길
J. M. Lee, M. G. Park, S. H. Park, J. S. Kim and H. G. Lee

1. 서론

최근에는 기존 유압기기의 단점인 기름의 누설, 복잡한 배관의 필요 및 유지보수 성능이 낮은 문제점들을 해결하고 제어밸브의 사용을 배제함으로써 에너지 효율을 크게 개선할 수 있는 전기 유압 구동기 (Electro Hydrostatic Actuator, 이하 EHA)에 대한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. EHA는 전동 모터, 유압 펌프 등의 기기를 실린더와 일체화 하는 것에 의하여 소형화를 실현하고 번거로운 유압 배관 공사도 전혀 필요하지 않는다. 또한 EHA는 기존의 유압시스템에 비해 에너지 효율이 크게 개선된 고효율시스템이며 누유의 저감으로 친환경적 특성도 가진다.

EHA시스템은 주로 항공기에 적용되어 왔으나 최근에는 산업용 액추에이터로 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히, 높은 에너지 효율과 배관을 필요로 하지 않기 때문에 유지보수 및 장착이 매우 용이하여 일반 산업현장의 프레스, 사출성형기 등 제조기기 뿐 아니라 레저용 보트의 킬링 액추에이터 및 대형 선박의 조타장치까지 해양기기 분야 등의 일반산업 분야 전반에 응용이 가능하다.

본 해설기사에서는 산업용 EHA를 설계 및 설계된 산업용 EHA 시스템의 정밀 제어 실현을 위한 제어 알고리즘 연구와 산업용 EHA 시스템에 대한 시험결과에 관해 기술한다.

2. 전기유압 구동기시스템설계

산업용 EHA 시스템은 그림 1의 유압회로도에 나타난 바와 같이, 유압 실린더, 전기모터, 양방향 유압 펌프, 탱크의 역할을 수행하는 어큐뮬레이터로 구성되어 있다. 본 절에서는 산업용 EHA 시스템의 각 구성품의 설계에 관해 간략히 기술하였다.

2.1 산업용 EHA용 실린더의 설계

제작한 산업용 EHA용 실린더의 외관 및 구조를

그림 2에 나타낸다. 그림 2의 (a)는 산업용 EHA용 유압실린더의 실물사진을 나타내고 (b)는 단면도를 나타낸다. 그림 1에 나타난 바와 같이, 산업용 EHA용 유압실린더는 복동 양로드(Double acting double rod)실린더로 설계하였으며 실린더 로드 위치 측정을 위해 실린더 로드에서 중공축을 가공하고 LVDT를 장착하였다. 표 1에는 설계된 산업용 EHA용 유압실린더의 사양을 나타내었다.

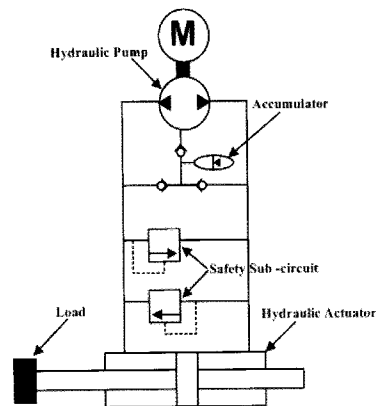
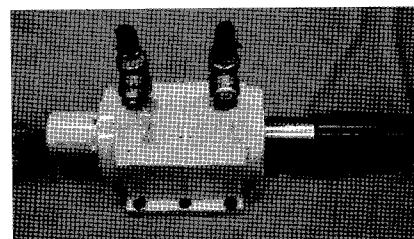
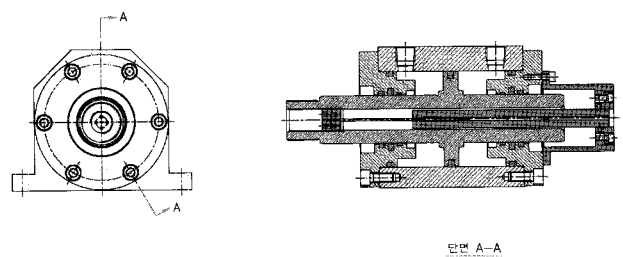


그림 1 산업용 EHA 시스템의 유압 회로도



(a) 산업용 EHA용 유압실린더의 외관



(b) 산업용 EHA용 유압실린더 단면도
그림 2 산업용 EHA용 유압 실린더의 외관

표 1 산업용 EHA용 유압실린더의 사양

Specification	Value
Stroke	0.06 m
Stall force	69,862.57 N
Speed(no load)	0.127~0.1473 m/s
Pressure	100 kg/cm ²

2.2 전기 모터

산업용 EHA 시스템은 유압펌프와 직결된 전기모터의 회전 방향과 회전수를 제어 및 토크 제어를 통해 실린더 로드 방향, 속도 및 시스템의 압력을 제어한다. 본 해설기사에서는 시스템의 Stall Force 및 압력조건을 고려하여 표 2에 나타난 바와 같은 사양의 범용 AC 서보모터를 사용하였다.

표 2 산업용 EHA용 AC서보모터의 사양

Specification	Value
Rated output power	5 kW
Maximum rpm	2000 rpm
Rated torque	23.9 N-m
Maximum torque	71.6 N-m

2.3 EHA용 양방향 기어펌프

EHA 시스템은 모터제어를 통해 유압펌프의 유체 토출방향 및 회전속도를 조절함으로써 고 효율성을 실현할 수 있는 구동기 시스템이므로 양방향 유압펌프의 사용이 필수적이다¹⁾. 본 해설기사에서 기술한 산업용 EHA 시스템에서는 그림 3에 나타난 바와 같이 유압펌프의 백동이 적고 고속회전에도 적합한 내접형 양방향 기어펌프를 선정하여 사용하였다. 표 3에 산업용 EHA 시스템에 적용된 양방향형 기어펌프의 사양을 나타내었다.

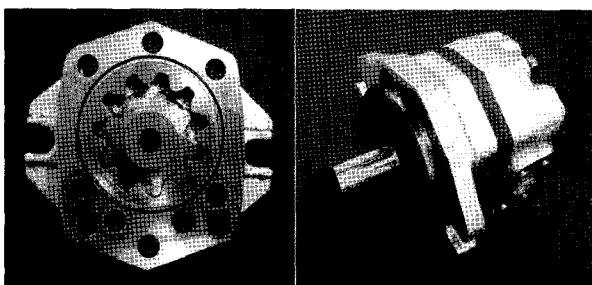


그림 3 산업용 EHA용 양방향 기어펌프

표 3 산업용 EHA용 양방향형 기어펌프의 사양

Specification	Value
Pump displacement	10 cc/rev
Rated pressure	17.5 Mpa
Maximum pressure	21.0 Mpa
Maximum rpm	4000 rpm

2.4 어큐뮬레이터

산업용 EHA 시스템에서 어큐뮬레이터의 역할은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ① 보조동력원으로 사용되는 경우(탱크)
- ② 작동유 온도변화에 따른 체적 증/감 보상
- ④ 작동압력 하에서 시스템 내에 있는 작동유의 압축, 배관 및 실린더 팽창 보상
- ⑤ 예압축을 통한 유압펌프의 흡입력 향상

본 해설에서 기술하는 산업용 EHA 시스템에 적용된 어큐뮬레이터는 가압을 하지 않고 단지 탱크의 역할만을 수행하도록 설치하였다. 향후 어큐뮬레이터의 예압축 효과가 EHA 시스템의 성능에 끼치는 영향을 파악하여 산업용 EHA 시스템에서 어큐뮬레이터의 필요성을 분석할 예정이다.

표 4 산업용 EHA용 어큐뮬레이터의 사양

Specification	Value
Weight	2.0 kg
Volume	0.5 l
Maximum pressure	2.1 Mpa
Maximum flow rate	40 l/min

3. 산업용 EHA 시스템의 성능시험

3.1 산업용 EHA 시스템 성능 시험장치 구성

그림 4는 산업용 EHA 시스템 성능 시험장치의 개략적인 구성도를 나타낸다. 양방향형 내접기어펌프, 전기 서보모터, 유압실린더, 어큐뮬레이터, 그리고 제어기로 구성되어 있다. 실험을 수행하는데 있어 구성된 시스템과 연관된 신호처리와 실험 그리고 실험 데이터 모니터링은 Matlab/Simulink 및 dSPACE사의 DS-1104와 Graphic User Interface (GUI)프로그램인 Control Desk를 이용하여 수행하였다. 신호처리의 샘플링 시간은 0.001 [s]로 선정 하였다.

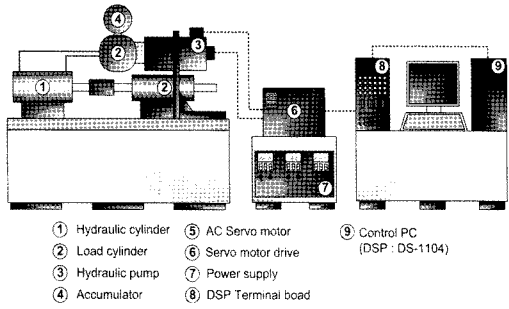


그림 4 산업용 EHA 시스템 성능시험 장치

3.1.1 양방향형 기어펌프의 성능특성

서론에서 기술한 바와 같이, 산업용 EHA 시스템의 성능은 양방향형 기어펌프와 직결된 전기모터의 회전방향, 회전속도 및 토크에 의해 결정된다. 따라서 산업용 EHA 시스템의 성능은 전기모터와 직결되는 양방향형 기어펌프의 동특성과 매우 밀접한 관련이 있다. 본 해설기사에서는 서보모터의 rpm 변화에 대한 유량변화의 정특성 및 동특성과 부하압력 유량에 대한 실험결과를 정리하여 나타내었다. 또한, 양방향형 기어펌프를 EHA 시스템에 적용했을 때 나타날 수 있는 문제점을 성능시험 결과로부터 도출하였다

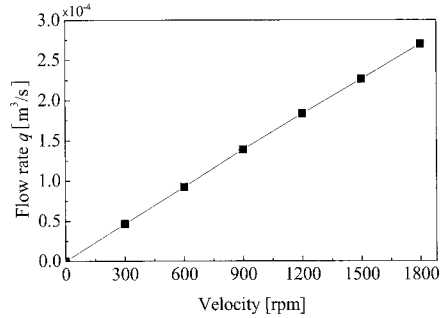
그림 5에는 무부하 상태에서 서보모터의 회전속도를 0~1800 rpm까지 300 rpm간격으로 증가시킬 때, 양방향형 기어펌프의 토출 유량변화를 나타내는 실험결과이다. 그림 5에 나타난 바와 같이, 산업용 EHA 시스템에 적용된 양방향형 기어펌프는 펌프의 회전속도에 대한 토출유량의 관계가 선형적임을 확인할 수 있다.

또한, 무부하 상태에서 서보모터의 회전속도 지령에 스텝입력을 인가하였을 때, rpm 변화에 대한 양방향형 기어펌프의 토출유량 변화의 동특성을 그림 6에 나타내었다. 그림 6에 나타난 바와 같이, 서보모터의 회전속도 변화에 대한 양방향형 기어펌프의 토출유량의 동특성은 약 0.21초의 시정수를 가지는 1차 시스템으로 근사화 할 수 있음을 확인하였다

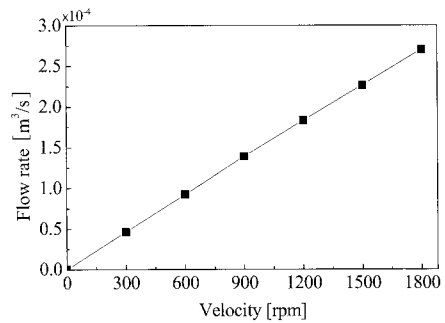
그림 7은 양방향형 기어펌프의 부하압력을 0 [Mpa]에서 8 [Mpa]까지 변화시키면서 양방향형 기어펌프의 토출유량변화를 측정된 실험결과이다.

그림 8은 서보모터에 램프(ramp)입력신호를 인가해 서보모터의 회전속도에 따른 펌프의 유량 변화를 나타낸 실험결과이다. 그림 8에 나타난 바와 같이 전기모터의 회전속도가 200 rpm 이하인 경우 양방향형 기어펌프의 토출유량이 형성되지 않는 것을 확인할 수 있다. 이러한 사역대(Dead-zone) 특성은 전기모터의 낮은 회전속도 구간에서 펌프의 흡입력이 충분

히 발생되지 않는 것이 원인으로 사료된다.

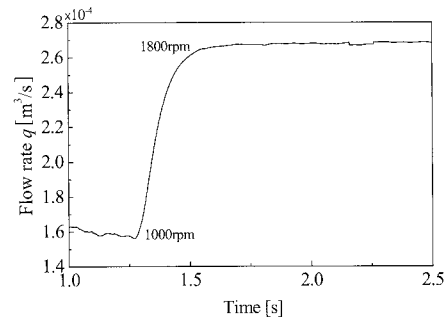


(a) clock-wise direction

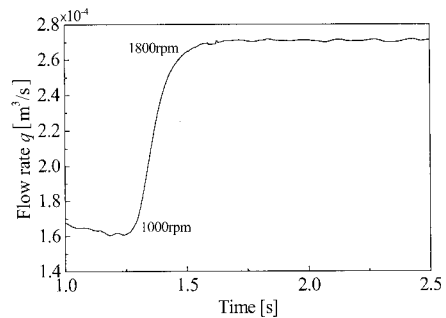


(b) counter clock-wise direction

그림 5 전기모터의 회전 속도에 대한 양방향형 기어펌프의 토출유량 특성

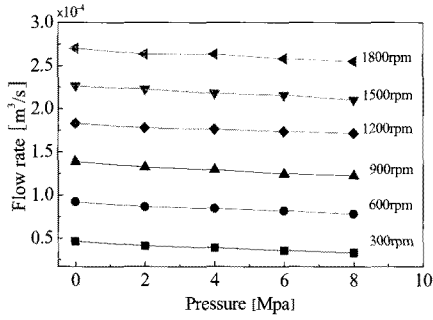


(a) clock-wise direction

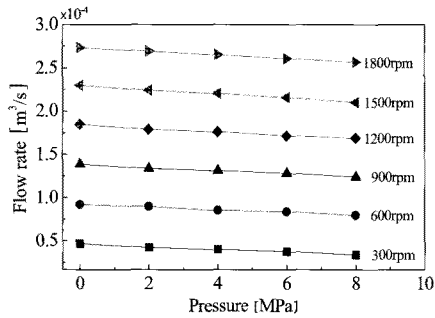


(b) counter clock-wise direction

그림 6 전기모터의 회전 속도의 스텝 지령에 대한 양방향형 기어펌프의 토출유량 동특성



(a) clock-wise direction



(b) counter clock-wise direction

그림 7 양방향형 기어펌프의 P-Q선도

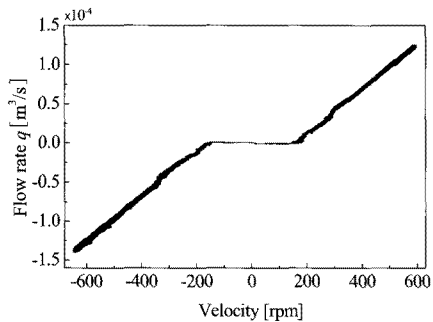


그림 8 양방향형 기어펌프의 회전속도에 따른 토출유량 특성

3.1.1 산업용 EHA 시스템의 위치제어 성능

본 절에서는 산업용 EHA 시스템의 유압실린더의 위치제어 성능 시험 결과에 대해 기술한다. 위치제어기는 PID 제어기를 사용하였으며 PID 제어기의 제어계인은 Ziegler-Nichols 조정법을 이용하여 선정하고 실험적으로 바람직한 응답성능을 얻도록 미세 조정하여 최종 결정하였다. 그림 9에서는 기준입력의 크기 20 mm, 주파수 0.05 Hz의 구형파 신호에 대해 PID 제어기를 이용한 산업용 EHA 시스템의 위치제어결과를 나타내었다.

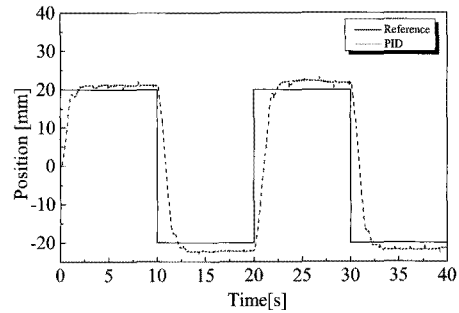
그림 9에 나타낸 PID 제어기를 이용한 산업용 EHA 시스템의 위치 제어결과에서 약 2 mm의 위치오차가 발생하는 것을 확인할 수 있으며 위치오차가

발생하는 구간에서 전기모터의 회전속도는 200 rpm 이하임을 확인할 수 있다. 따라서 PID 제어기를 이용한 위치제어 특성에서 나타나는 정상상태 오차는 양방향형 기어펌프의 회전속도에 대한 토출유량 실험에서 나타난 사역대에 의해 발생하는 것으로 유추해 볼 수 있다.

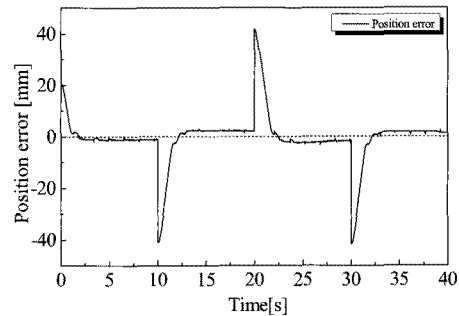
4. 사역대 보상을 위한 위치제어기 설계

4.1 제어기 설계를 위한 산업용 EHA 시스템의 수학적 모델링

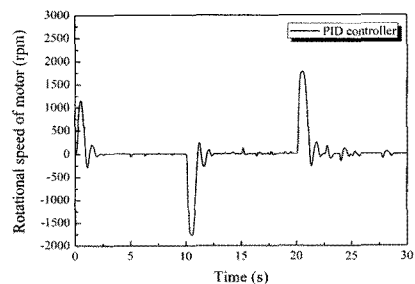
전기 서보모터와 유압펌프는 직결되어 있으며 펌프의 토출유량은 서보모터의 회전속도와 부하 압력에 대하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.



(a) 산업용 EHA 유압실린더의 위치



(b) 위치오차



(c) 위치제어 시 전기모터 회전속도

그림 9 PID 제어기를 이용한 산업용 EHA 시스템의 위치제어 특성

$$q_{Pump} = \frac{K_1 V_D n}{T_1 s + 1} - (K_p + K_l) p_L \quad (1)$$

3절에 서술한 양방향형 기어펌프의 특성 시험결과로부터 식(1)의 펌프의 용적효율을 고려한 유량계수 K_1 , 시정수 T_1 , 부하 유량계수 K_p 와 부하 누설계수 K_l 을 구할 수 있다²⁾.

유압실린더는 전기모터에 의해 구동된 유압펌프로부터 유압실린더 챔버에 작동유가 유입되면 압력이 증가하게 되고 이렇게 발생한 압력은 유압실린더 피스톤의 유효단면적에 작용하여 피스톤로드의 변위를 발생 시킨다. 유압실린더에 대한 수학적 모델식은 다음과 같다^{2,3)}.

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{dV_1}{dt} + \frac{V_1}{\beta_e} \frac{dp_1}{dt} + C_{ip}(p_1 - p_2) + C_{ep}p_1 \quad (2) \\ q_2 &= -\frac{dV_2}{dt} - \frac{V_2}{\beta_e} \frac{dp_2}{dt} + C_{ip}(p_1 - p_2) - C_{ep}p_2 \end{aligned}$$

여기서 C_{ip} 와 C_{ep} 는 각각 내부 및 외부 누설계수이고, β_e 는 작동유의 체적탄성 계수, 그리고 공급측과 귀환측의 체적 V_1 과 V_2 는 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_1 &= V_{01} + A_p x \quad (3) \\ V_2 &= V_{02} - A_p x \end{aligned}$$

이때 V_{01} 과 V_{02} 는 각각 공급측과 귀환측의 초기 체적이고 x 는 실린더의 변위이다. 식(3)에서 피스톤이 유압실린더의 중앙에 위치한다고 가정하면 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$V_{01} = V_{02} = \frac{V_t}{2} \quad (4)$$

여기서 V_t 는 유압관로 및 유압실린더 전체체적이다 펌프의 토출유량 q_a 와 q_b 에 대한 부하유량 q_L 을 식(5)와 같이 정의한다.

$$q_L = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{q_a + q_b}{2} \quad (5)$$

식(3)과 (4)를 식(2)에 대입하고 식(5)를 이용하여 정리하면, 유압실린더에서의 부하유량 방정식은 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_L = A_p \frac{dx_p}{dt} + C_i p_2 + \frac{V_t}{4\beta_e} \frac{dp_2}{dt} \quad (6)$$

여기서, $C_t = (C_{ip} + \frac{C_{ep}}{2})$ 이며 내부누설 C_{ip} 가 없다고 가정한다면 라플라스 변환을 수행하여 표현한 부하유량 방정식은 식(7)과 같다.

$$A_p s x_p + (K_2 + \frac{V_t}{4\beta_e} s) p_L(s) = \frac{K_1 V_D}{T_1 s + 1} n(s) \quad (7)$$

그리고 부하질량에 대한 운동방정식은 식(8)과 같다.

$$A_p p_L = M \dot{x} + K x_p \quad (8)$$

여기서 M 은 피스톤질량, B 는 점성마찰계수, 그리고 K 는 스프링 상수이다. 식(8)에 대하여 라플라스 변환을 수행하면,

$$P_L(s) = \frac{(Ms^2 + Bs + K)}{A_p} x_p(s) \quad (9)$$

이때 식(9)를 식(7)에 대입하여 정리하면,

$$\frac{X_p(s)}{n(s)} = \frac{\frac{K_1 V_D}{T_1 s + 1}}{A_p s + \frac{1}{A_p} (K_2 + \frac{V_t}{4\beta_e} s) (Ms^2 + Bs + K)} \quad (10)$$

4.2 Modified PID 제어기 설계

EHA시스템의 제어기설계를 위해 산업현장에서 많이 사용되고 있는 비례-적분-미분(PID) 제어기를 사용하였으며 EHA 시스템의 비선형 특성은 선형화 기법인 기술함수(Describing function)기법중의 하나인 SIDF(sinu-soidal input describing function)를 사용하여 사역대 보상값을 포함하는 Modified PID 제어기를 설계한다. 식(11)은 전달함수 $K(s)$ 의 형태를 나타낸다.

$$K(s) = K_{pc} + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (11)$$

여기서 K_{pc} 는 사역대 보상값이 포함된 비례 제어기, K_i 는 적분제어 기, 그리고 K_d 는 미분제어기인 이다.

기술함수(describing function)를 이용한 선형화 기법은 쿨롱(coulomb) 마찰, 백래쉬(blacklash), 포화(Saturation), 사역대(deadzone) 등과 같은 하드(Hard) 비선형 요소를 포함하는 시스템의 해석 및 설계에 적용할 수 있는 기법이다⁴⁾.

하드비선형 요소를 포함하는 비선형 시스템을 모

모델링하기 위해서는 일반적으로 입력의 형태에 따라 사인파입력 기술함수(sinusoidal input describing function : SIDF)와 랜덤입력 기술함수(random input describing function : RIDF)가 있으며, 특히 단일 입출력 하드 비선형 시스템에 대한 제어기 설계에 유용한 SIDF를 사용하였다.

그림 10은 SIDF 근사화를 도식적으로 표현한 그림이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 SIDF 계인 N 은 시스템의 비선형성에 발생하는 기본조화성분을 제외한 나머지 조화성분만을 고려한 근사적으로 표현된 선형화된 시스템 계인이다.

EHA시스템에 기술함수를 적용하기 위해 그림 11에 나타낸 블록 선도에서 실린더의 추적오차 e 를 비선형 요소로 고려하고 나머지 부분을 선형요소로 고려하였다. 수학적 모델식에 근거한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 기술함수계인 $N(A)$ 와 비선형요소인 추적오차 e 에 대한 사인파 진폭 A 의 특성은 그림 12와 같이 나타낼 수 있다.

그림 12에 나타낸 바와 같이, 사역대의 비선형 요소는 입력이 작을 때는 계인이 큰값으로 근사화 되고 입력이 클 때는 계인이 값이 작은 값으로 근사화 된다. EHA시스템의 비선형요소인 사역대를 보상하기 위한 SIDF 계인 $N(A)$ 는 식(12)와 같다.

$$N(A) = \frac{4D}{\pi A} \quad (12)$$

여기서 D 는 사역대의 크기, A 는 사인파 입력의 진폭을 나타낸다.

최종적으로 ISIDF(Inverse sinusoidal input describing function)를 이용하여 계산된 제어기에 구현된 비선형함수를 그림 13과 같이 나타낼 수 있으며 [5] 시뮬레이션을 통한 사역대 보상값 D 는 0.096이다.

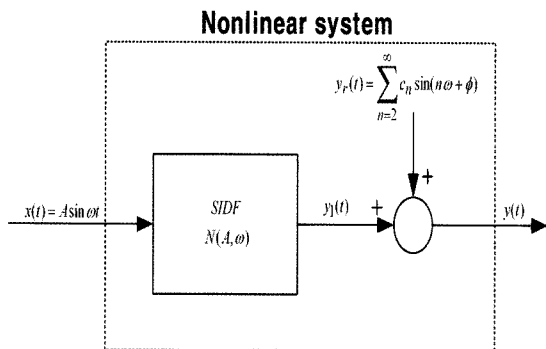


그림 10 A visualization of the SIDF gain $N(A)$

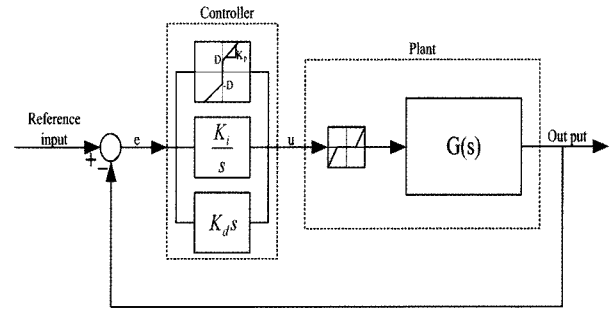


그림 11 Block diagram of the Modified PID control system

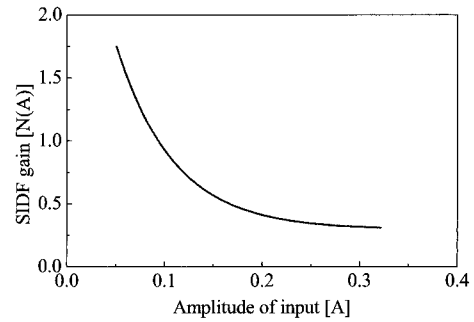


그림 12 Block diagram of the Modified PID control system

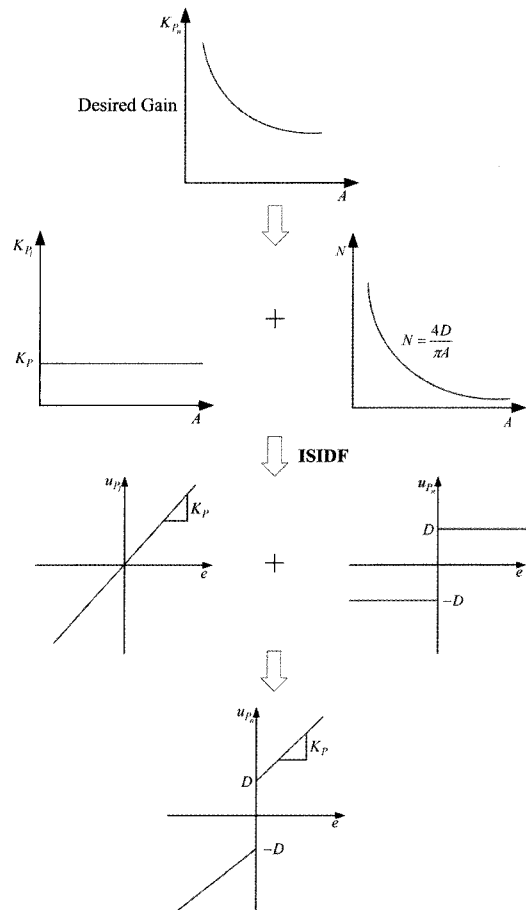
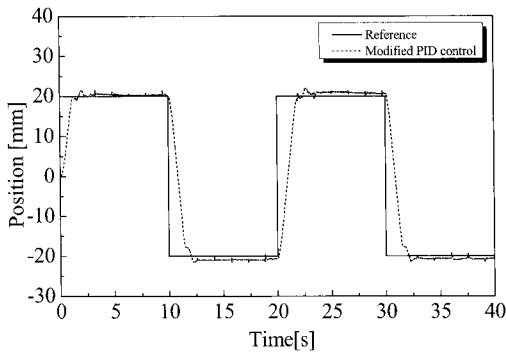


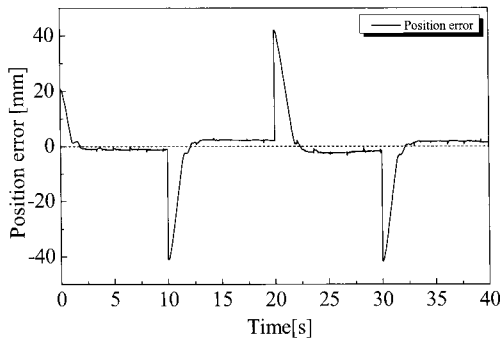
그림 13 A visualization of the ISIDF techniques

4.3 Modified PID 제어를 적용한 위치제어 실험

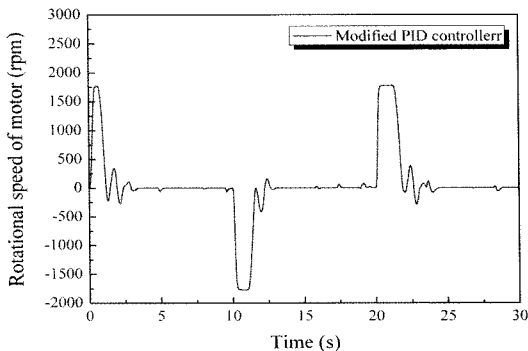
그림 14는 기준입력의 크기 20 mm, 주파수 0.05 Hz의 구형파 신호에 대해 Modified PID 제어를 이용한 산업용 EHA 시스템의 위치 제어결과를 나타낸다. Modified PID 제어기의 비례, 미분, 적분 계인은 3절에서 나타낸 PID 제어기를 이용한 실험결과와 동일한 값을 사용하였으며 일반적인 PID 제어기에 사역대 보상을 위한 SDF 계인을 추가하였다. 또한, 그림 15는 PID 제어기와 Modified PID 제어를 적용한 경우에 대한 위치제어 성능을 비교하였다. 그림 14와 15에 나타낸 바와 같이, 설계된 Modified PID 제어기를 적용한 경우 정상상태 오차는 1 mm 이내로, PID 제어기를 사용한 경우보다 2배 개선된 위치 제어 성능을 구현할 수 있음을 확인하였다.



(a) 산업용 EHA 유압실린더의 위치

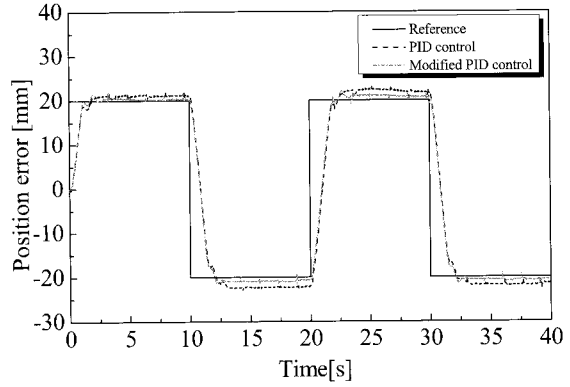


(b) 위치오차

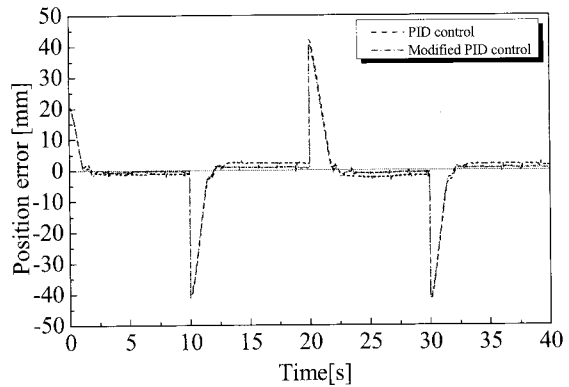


(c) 위치제어 시 전기모터 회전속도

그림 14 Modified PID 제어를 이용한 산업용 EHA 시스템의 위치제어 특성



(a) 산업용 EHA 유압실린더의 위치



(b) 위치 오차 비교

그림 15 PID 제어기와 Modified PID를 이용한 산업용 EHA 시스템의 위치제어 특성 비교

5. 결론

본 해설기사에서는 서보모터, 유압펌프, 유압실린더, 어큐뮬레이터가 집적화된 EHA 시스템의 컴포넌트 설계, 사양선정 및 특성 파악을 통해 EHA 시스템을 제작하였고 위치제어성능을 평가하였다

산업용 EHA 시스템에 대한 구성품 시험 및 PID 제어기를 사용한 위치제어 시스템의 성능평가를 수행하였다.

전기모터가 200 rpm 이하의 저속으로 회전할 때, 양방향형 기어펌프는 흡입력 부족으로 인해 유량을 토출하지 못하게 되어 펌프의 회전속도에 대한 토출 유량의 사역대가 발생하는 것을 확인하였다. 사역대의 효과로 인해 위치제어 시험결과에서 정상상태 오차가 발생하는 문제점이 나타남을 시험결과에서 확인하였다.

또한, 본 해설기사에서는 산업용 EHA 시스템에 대한 정밀 위치제어를 실현하기 위해, 이론적인 수식과 구성품에 대한 시험 결과를 근거하여 시스템을

수학적으로 모델링하였다. 산업용 EHA 시스템의 수학적 모델식을 근거로 ISDF(Inverse sinusoidal describing function)를 이용한 Modified PID 제어를 설계하였다.

설계된 Modified PID 제어를 산업용 EHA 시스템에 적용하였을 때, 일반적인 PID 제어를 사용한 경우보다 위치제어 성능을 약 2배 개선할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

향후, 어쿠뮰레이터를 이용하여 산업용 EHA 시스템의 예압축을 인가함으로써, 예압축 효과가 산업용 EHA 시스템의 정밀 위치제어 성능에 끼치는 영향을 분석할 예정이다. 또한, 강인제어 기법 등 더욱 다양한 제어기의 적용하여 산업용 EHA 시스템의 정밀 위치제어를 실현할 수 있는 최적의 제어알고리즘을 구현할 계획이다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고 문헌

- 1) V. Pastrakuljic, "Design and Modeling of A New Electro Hydraulic Actuator," Graduate Department of Mechanical Engineering University of Toronto, 1995.
- 2) S. H. Park, "A Study on Control of Electro-Hydraulic Servo System Using High Speed Solenoid Valve," Dept. of Mechanical and precision Engineering Graduate School Pusan National University, Feb, 1996.
- 3) S. Habibi, "Design of a New High-Performance ElectroHydraulic Actuator," IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, Vol. 5, No. 2, JUNE, 2000.
- 4) 김종식, "선형 제어시스템 공학" 淸文閣, 2005.
- 5) S. I. Han and J. S. Kim, "Nonlinear Quadratic Gaussian Control with Loop Transfer Recovery," MECHARONICS, Vol. 13, pp. 273~293, 2003.

[저자 소개]



이지민

E-mail : j2002m@pusan.ac.kr

Tel : 051-510-3077

1979년 08월 25일생

2006년 부산대학교 기계공학부 대학원 석사 졸업, 2008년 동대학원 박사 수료, 유압펌프 제어, 에너지 절감형 유압시스템, 철도차량 제동 시스템에 관한 연구 업무에 종사, 유공압시스템학회 학생회원

[저자 소개]



박민규

E-mail : pmgking@naver.com

Tel : 051-510-3077

1980년 07월 09일생

2009년 부산대학교 기계공학부 대학원 석사 졸업, 동년 동대학원 박사 과정, 유압 제어 시스템 및 철도차량 제동 시스템에 관한 연구 업무에 종사, 유공압시스템학회 학생 회원

[저자 소개]



박성환

E-mail : shpark01@pusan.ac.kr

Tel : 051-510-3053

1967년 11월 8일생

1990년 부산대학교 정밀기계공학과 학사, 1992년 동대학원 석사, 1996년 동대학원 박사, 2005년 Tokyo Institute of Technology

대학원 이공학연구과 기계제어시스템전공 박사, 2005년~현재 부산대학교 기계공학부 연구교수, 관심분야는 전기·유압 서보시스템의 설계 및 제어, 수압시스템의 설계 및 제어, 철도차량브레이크 시스템

[저자 소개]



김종식(책임저자)

E-mail : jskim@pusan.ac.kr

Tel : 051-510-2317

1954년 03월 30일생

1987년 미국 M. I. T. 기계공학 공학박사, 차량시스템(자동차, 철도차량, 비행체, 수중 운동체 등) 동역학 및 제어, 생산시스템(압연공정, 공작기계 등) 동역학 및 제어, 다변수 비선형 강인제어 이론 연구, 지능제어 이론 및 응용 연구 분야에 종사, 현 부산대학교 기계공학부 교수

[저자 소개]



이호길

E-mail : hkieel@dongjinco.com

Tel : 055-342-5081

1965년 03월 30일생

1988년 한양대 전기과 학사 졸업, 1990년

현대 자동차 근무, 현 동진정공(주) 대표이

사, 주요생산품 : 자동차부품, 전기모터, 유

압시스템, 농업기계 및 산업용 EHA 개발