

커플링구조에 기초한 전기추진시스템의 동기제어에 관한 연구

양경욱* · 변정환**

A Study on The Synchronous Control of Dual Electric Propulsion System Based on the Coupling Structure

Kyong-Uk Yang* · Jung-Hwan Byun**

요 약

본 연구에서는 무인선, 어군탐지선 등의 듀얼 전기추진시스템에서 두 프로펠러 간에 발생하는 속도 차, 즉 동기오차를 억제하기 위한 동기제어시스템이 설계된다. 이 제어시스템은 각 추진시스템에 대한 예비필터와 속도제어기 그리고 추진시스템 간에 교차 결합된 동기제어기로 구성된다. 예비필터와 속도제어기는 추진시스템이 오버슈트와 입력포화 없이 속도지령을 추종하도록 설계된다. 그리고 동기제어기는 비대칭 외란과 동특성 불일치가 동기오차에 미치는 영향을 분석한 후, 동기제어시스템의 감쇠성과 속응성을 고려하여 설계된다. 끝으로, 시뮬레이션을 통해 설계된 제어시스템이 동기오차의 제거에 효과적임을 보여준다.

ABSTRACT

In this study, the synchronous control system is designed to restrain the speed difference generated between two propellers, namely, synchronous error in a dual electric propulsion system of unmanned surface vehicle, fish finder boat, etc. The control system based on coupling structure is composed of pre-filters and speed controllers for each propulsion system and a synchronous controller cross-coupled between two propulsion systems. The pre-filter and speed controller are designed in order that the propulsion system may follow the speed reference without overshoot and input saturation. And the synchronous controller is designed in consideration of damping and quickness of the synchronous controller system after analyzing effect of the skew disturbance and mismatched dynamic characteristics on synchronous error. Finally, the simulation results show that the designed control system is effective for elimination of synchronous error.

키워드

Coupling Structure, Dual Electric Propulsion System, Synchronous Controller, Skew Disturbance
커플링 구조, 듀얼 전기 추진 시스템, 동기 제어기, 비대칭 외란

1. 서 론

2축 구동시스템에서 축 간의 동기오차는 제품품질, 이송효율, 작업안정성 등에 중대한 영향을 미친다[1].

예를 들면 갠트리 로봇시스템은 주행 경로인 세로방향의 레일과 로봇이 탑재된 가로방향의 긴 거더(Girder)로 구성된다. 이때 로봇은 거더의 좌우에 설치된 모터에 의해 이송되므로 각 모터의 이동거리가 다

*전남대학교 해양기술학부(yangku@jnu.ac.kr)

** 교신저자: 전남대학교 해양기술학부

• 접수 일 : 2017. 11. 28

• 수정완료일 : 2018. 02. 05

• 게재확정일 : 2018. 04. 15

• Received : Nov. 28, 2017, Revised : Feb. 05, 2018, Accepted : Apr. 15, 2018

• Corresponding Author : Jung-Hwan Byun

Faculty of Marine Technology, Chonnam National University

Email : bjh@jnu.ac.kr

른 경우에는 로봇의 안정된 이송이 곤란하고 품질도 저하될 수 있다[2]. 이와 같이 2축 간에 발생하는 동기오차를 억제하기 위해 다양한 동기제어시스템의 구조에 관한 연구가 진행되었다. 이 구조는 각 축마다 분리된 동기제어기에 의해 동기오차가 제거되는 디커플링구조(Decoupling structure)와 2축에 상호 결합된 동기제어기에 의해 동기오차가 제거되는 커플링구조(Coupling structure) 등으로 분류된다. 디커플링구조는 다축으로의 확장성 측면에서 커플링구조보다 유리하지만, 동기오차를 제거하는 과정에서 동기오차의 최대치가 커플링구조보다 증가하는 문제점이 있다[3-5].

최근 환경오염, 소음진동, 에너지효율 등의 관점에서 탐사용 무인선(USV), 소형 어선, 레저보트, 어군탐지선 등의 선체추진 동력원으로 전기모터를 이용하는 전기추진시스템에 대한 연구가 있었다[6-7]. 이들 선박에 대해 2대의 전기모터와 프로펠러 등으로 구성되는 듀얼 전기추진시스템(Dual electric propulsion system)을 적용하면 추진력이 향상될 수 있다[8]. 또한 선미에 설치된 좌우 추진모터는 선체의 진행방향을 결정하는 방향타의 역할을 대체할 수도 있다.

한편 제한된 배터리를 탑재하고 설정된 침로를 따라 정보를 수집하는 무인선이 임무를 신속히 수행하려면 최단경로로 목표점에 도달하는 것이 중요하다. 이 무인선에 듀얼 전기추진시스템이 장착된 경우, 좌우 프로펠러 간의 속도가 일치하지 않으면 선체가 직선으로 진행하지 못하므로 최단경로로 목표점에 도달하기 어렵다. 프로펠러 간의 속도 차인 동기오차는 선박에 탑재된 중량물의 좌우 불균형 배치, 추진시스템 간의 동특성 불일치, 외란 등에 의해 발생된다.

본 연구는 커플링구조에 기초한 동기제어시스템을 이용하여 듀얼 전기추진시스템 간에 발생하는 동기오차를 억제하는 것에 목적을 두고 있다. 이를 위해 서보모터, 기어열, 프로펠러 등으로 구성되는 전기추진시스템을 모델링한다. 그리고 오버슈트와 제어입력 포화를 발생시키지 않고 속도지령을 추종하기 위한 추진시스템의 속도제어기를 설계한다. 또한 커플링구조에서 비대칭 외란(Skew disturbance)이 동기오차에 미치는 영향을 분석하여 이 동기오차를 신속하고 안정적으로 제거하기 위한 동기제어기를 설계한다. 끝으로 설계된 속도제어기와 동기제어기로 구성되는 동기제어시스템의 타당성을 시뮬레이션으로부터 검증한다.

II. 전기추진시스템

소형 무인선, 어군탐지선 등에서는 프로펠러를 회전시키는 동력원으로 전기모터[9]가 이용된다. 그림 1은 동일한 특성의 전기모터, 프로펠러 등으로 구성된 듀얼 전기추진시스템에 대한 개략도이다. 좌우의 각 기어에 모터와 전달축이 연결되고, 전달축의 끝단에 프로펠러가 체결된다. 그리고 모터의 회전운동은 프로펠러에 의해 선체의 병진운동으로 변환된다.

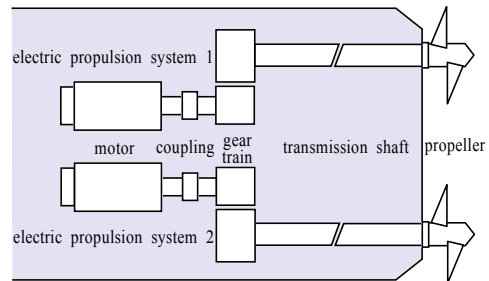


그림 1. 듀얼 전기추진시스템의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of a dual electric propulsion system

그림 2는 모터, 기어열, 전달축, 프로펠러로 구성되는 추진시스템의 블록선도이다. 그림에서 $n = n_1/n_2$, n_1, n_2 는 기어 1, 2의 잇수, K_a 는 증폭기 이득, R_a 는 전기자 저항, K_c 는 역기전력상수, T_L 은 부하토크이다. 그리고 $J_{meq} = J_m + n^2 J_p$, $b_{meq} = b_m + n^2 b_p$, J_m, J_p 는 모터, 프로펠러 축의 관성모멘트 이고, b_m, b_p 는 모터, 프로펠러 축의 점성마찰계수이다. 이때 전압입력 $u(s)$ 와 프로펠러 회전속도 $y(s)$ 의 관계를 전달함수로 나타내면 식 (1)과 같다[10].

$$P_n(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{n K_a K_t}{R_a J_{meq} s + R_a b_{meq} + K_t K_c} \quad (1)$$

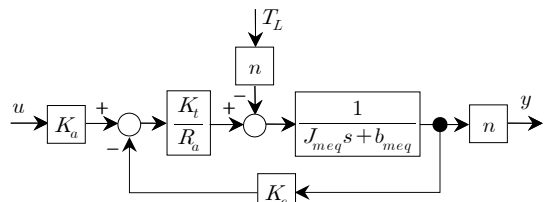


그림 2. 전기추진시스템의 블록선도

Fig. 2 Block diagram of an electric propulsion system

III. 동기제어시스템 설계

3.1 속도제어시스템

동일한 특성의 전기모터와 프로펠러로 구성되는 듀얼 추진시스템이 과도한 오버슈트 없이 빠르게 목표속도에 도달하도록 속도제어시스템을 설계할 필요가 있다. 일반적인 PI제어기로 제어시스템을 구성할 경우, 속도지령의 기울기가 크면 영점은 과도상태에서 오버슈트와 제어입력 포화의 발생요인이 된다.

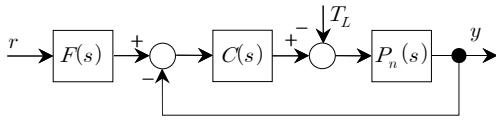


그림 3. 전기추진시스템의 속도제어시스템
Fig. 3 The speed control system of an electric propulsion system

이점을 고려하여 추진시스템의 속도제어시스템은 그림 3과 같이 구축한다. 그림에서 식 (2)와 같은 $C(s)$ 는 토크부하 $T_L(s)$ 의 억제와 속도지령 $r(s)$ 의 추종을 위한 속도제어기이다. 그리고 $F(s)$ 는 영점의 영향을 억제하기 위한 예비필터이다.

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

여기서 K_p 는 비례이득, T_I 는 적분시간을 의미한다. 이때 피드백제어시스템의 전달함수는 식 (3)과 같다.

$$\frac{y(s)}{r(s)} = \frac{P_n(s)C(s)}{1 + P_n(s)C(s)} \quad (3)$$

식 (3)과 같이 제어시스템을 구성할 경우, $C(s)$ 의 적분기에 의해 생성되는 영점은 과도상태에서 오버슈트를 발생시키는 요인으로 작용한다. 따라서 영점의 영향을 감소시키기 위한 예비필터 $F(s)$ 를 추가하면 식 (3)의 제어시스템은 식 (4)와 같이 된다.

$$G_n(s) = \frac{g_b(T_I s + 1)}{s^2 + g_a s + g_b} F(s) \quad (4)$$

$$\text{여기서 } g_a = \frac{R_a b_{meq} + K_t(K_c + nK_p K_a)}{R_a J_{meq}}, g_b = \frac{nK_p K_a K_t}{T_I R_a J_{meq}}$$

이다. 식 (4)에서 영점의 영향을 제거하기 위해 $F(s) = 1/(T_I s + 1)$ 로 선정한다. 그리고 제어기 계수는 퍼센트 오버슈트 O_p 와 정착시간 T_s 를 설계지침으로 하여, 극배치기법으로 식 (5)와 같이 결정한다[10].

$$K_p = -\frac{R_a b_{meq} + K_t K_c + R_a J_{meq}(r_1 + r_2)}{n K_t K_a} \quad (5)$$

$$T_I = -\frac{R_a b_{meq} + K_t K_c + R_a J_{meq}(r_1 + r_2)}{R_a J_{meq} r_1 r_2}$$

여기서 r_1, r_2 는 대표극점이다.

3.2 동기제어시스템

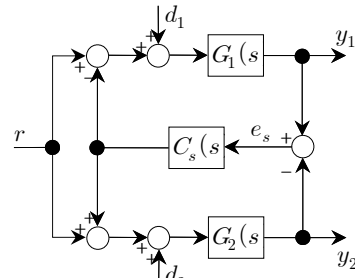


그림 4. 전기추진시스템의 동기제어시스템
Fig. 4 The synchronous control system of an electric propulsion system

그림 4는 프로펠러 간의 속도동기를 위해서 커플링 구조에 기초하여 설계된 동기제어시스템이다. 여기서 $G_1(s), G_2(s)$ 는 공칭플랜트 $G_n(s)$ 에 대한 좌우 전기추진시스템의 제어시스템이고, $C_s(s)$ 는 동기제어기, $r(s)$ 는 위치지령, $y_1(s), y_2(s)$ 는 좌우 추진시스템의 속도, $d_1(s), d_2(s)$ 는 외란이다. 또한 추진시스템 간의 속도 차인 동기오차 $e_s(s)$ 는 식 (6)과 같다.

$$e_s(s) = y_1(s) - y_2(s) \quad (6)$$

한편 동기제어기 $C_s(s)$ 의 유무에 따른 $e_s(s)$ 의 변화를 검토한다. $C_s(s)$ 를 포함한 피드백 제어가 없으면, $e_s(s)$ 는 식 (7)과 같다.

$$e_s(s) = (G_1(s) - G_2(s))r(s) + G_1(s)d_1(s) - G_2(s)d_2(s) \quad (7)$$

그리고 $C_s(s)$ 를 포함한 피드백 제어가 있으면, $e_s(s)$ 는 식 (8)과 같이 된다.

$$e_s(s) = \frac{G_1(s) - G_2(s)}{1+L(s)}r(s) + \frac{G_1(s)}{1+L(s)}d_1(s) - \frac{G_2(s)}{1+L(s)}d_2(s) \quad (8)$$

여기서 $L(s) = (G_1(s) + G_2(s))C_s(s)$ 이다.

식 (7)에서는 $G_1(s) = G_2(s)$, $d_1(s) = d_2(s)$ 이어야 $e_s(s) = 0$ 이 되지만, 식 (8)에서는 $G_1(s) \neq G_2(s)$, $d_1(s) \neq d_2(s)$ 인 경우에도 $C_s(s)$ 를 적절히 설계하면 $e_s(s) = 0$ 이 된다. $G_1(s)$ 와 $G_2(s)$ 의 동특성 차는 e_s 를 발생시키는 하나의 요인이므로, 추진시스템의 속도제어기에 대한 설계지침인 O_p , T_s 를 동일하게 지정할 필요가 있다. 이렇게 결정된 $G_1(s)$ 와 $G_2(s)$ 는 식 (9)의 조건에 근접하게 될 수 있다.

$$G_1(s) = G_2(s) \quad (9)$$

식 (9)의 조건은 $d_1(s) \neq d_2(s)$ 인 비대칭 외란이 없으면 $C_s(s) = 0$ 일 경우에도 동기오차가 억제됨을 의미한다. 그러나 비대칭 외란 $d_s(s)$ 이 인가될 경우에는 동기오차를 감소시키기 위해 동기제어기 $C_s(s)$ 가 존재해야 한다. 식 (9)가 만족되도록 설계된 각 전동실린더의 제어시스템을 $G_n(s) = G_1(s) = G_2(s)$ 로 두면 식 (8)은 식 (10)과 같이 변환된다.

$$e_s(s) = G_n(s)S(s)d_s(s) \quad (10)$$

여기서 $S(s)$ 는 식 (11)로 표현된 동기제어시스템의 감도함수를 의미하며, $d_s(s) = d_1(s) - d_2(s)$ 이다.

$$S(s) = \frac{1}{1+L(s)} \quad (11)$$

여기서 $L(s) = 2G_n(s)C_s(s)$ 이다. 그림 4에서 비대칭 외란 $d_s(s)$ 가 인가되면 동기제어기 $C_s(s)$ 가 식 (10)의 동기오차 $e_s(s)$ 를 감소시킨다. 이하에서는 비

대칭 외란 $d_s(s)$ 에 대해 동기오차 $e_s(s)$ 를 능동적으로 감소시키는 동기제어기를 설계한다.

3.3. 동기제어기

본 연구에서는 과도상태부터 동기오차 $e_s(s)$ 를 신속하고 안정적으로 감소시키기 위해 PD제어기를 $C_s(s)$ 로 이용한다.

$$C_s(s) = K_{ps}(1 + T_{ds}s) \quad (12)$$

여기서 K_{ps} 는 비례이득, T_{ds} 는 미분시간을 의미한다. 동기제어시스템의 특성방정식과 표준 2차 시스템의 특성방정식은 각각 식 (13), (14)와 같다.

$$1 + 2G_n(s)C_s(s) = 0 \quad (13)$$

$$s^2 + 2\zeta_s\omega_{ns}s + \omega_{ns}^2 = 0 \quad (14)$$

식 (13)와 (14)로 부터 $C_s(s)$ 의 계수 K_{ps} , T_{ds} 는 식 (15)와 같이 된다.

$$K_{ps} = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_{ns}^2}{g_b} - 1 \right), \quad T_{ds} = \frac{1}{g_b K_{ps}} (\zeta_s \omega_{ns} - \frac{g_a}{2}) \quad (15)$$

식 (13), (2714)에서 고유진동수 ω_{ns} 와 감쇠비 ζ_s 는 각각 동기제어시스템의 속응성과 감쇠성을 고려하여 선정하는 것이 가능하다.

IV. 시뮬레이션 및 고찰

커플링구조에 기초하여 설계된 제어시스템의 타당성을 검증하기 위해 이용되는 동일한 동특성을 갖는 전기추진시스템1, 2의 계수 값은 표 1과 같다. 그리고 설계지침인 $O_p = 0.5\%$ 와 $T_s = 0.05[s]$ 로 설정하면 속도 제어기의 계수값은 $K_p = 7.87 \times 10^{-2}$, $T_i = 5.83 \times 10^{-3}$ 이 된다. 또한 $F(s) = 1/(T_i s + 1)$ 이다. 이 값들을 식 (11)에 대입하면 $G_n(s) = G_i(s) = \frac{8650.1}{s^2 + 160.0s + 8650.1}$ 이 된다. 그리고 동기제어시스템의 속응성과 감쇠성을 고

려하여 고유진동수 $\omega_{ns} = 200[\text{rad/s}]$, 감쇠비 $\zeta_s = 1$ 로 선정하면 동기제어기 $C_s(s)$ 의 계수는 $K_{ps} = 1.81$, $T_{ds} = 7.66 \times 10^{-3}$ 로 결정된다.

표 1. 추진시스템의 파라미터
Table 1. Parameters of the propulsion system

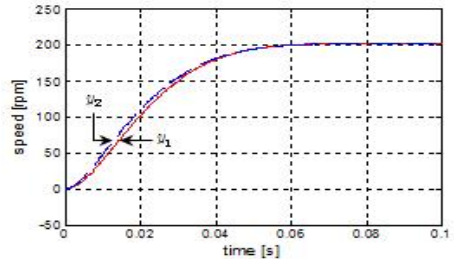
item	value	unit
K_t	2.26×10^{-1}	Nm/A
K_a	5.0	
K_e	2.22×10^{-1}	V/rad/s
R_b	1.6	Ω
J_m	3.50×10^{-4}	kgm^2/rad
b_m	5.50×10^{-3}	Nm/rad/s
J_p	1.50×10^{-4}	kgm^2/rad
b_p	3.00×10^{-2}	Nm/rad/s
n	1/3	

앞에서 결정된 예비필터 $F(s)$, 속도제어기 $C(s)$, 동기제어기 $C_s(s)$ 로 그림 5와 같은 커플링구조의 동기제어시스템을 구성하고, 추진시스템1의 토크상수 K_t 는 30%, 점성마찰계수 b_{meq} 는 50% 변동시켜 추진시스템1, 2의 동특성을 불일치시킨다. 그리고 시물레이션으로 설계된 제어시스템의 유효성을 확인한다.

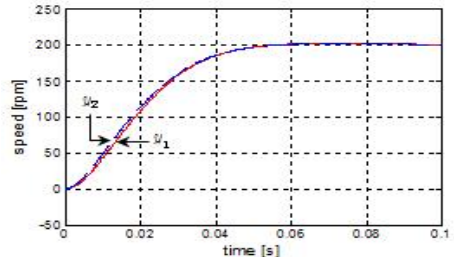
그림 5는 듀얼 전기추진시스템에 커플링구조와 디커플링구조의 동기제어시스템을 각각 적용한 경우의 동기제어 효과를 비교하기 위한 응답이다. 그림 5(a), (b)는 스텝지령($200[\text{rpm}]$)에 대해 디커플링구조와 커플링구조에 의한 속도응답을 나타낸다. 이때 y_1 (실선), y_2 (점선)는 각각 추진시스템1, 2의 속도이다. 그리고 그림 5(c)는 커플링구조(실선)와 디커플링구조(점선)에 의한 동기오차 e_s 를 나타내고 있다. 구조적으로 커플링구조에서는 동기오차를 억제하기 위해 동기제어기가 추진시스템1, 2의 속도를 모두 조절하지만, 디커플링구조에서는 추진시스템2만의 속도를 조절한다. 이와 같은 이유로 커플링구조는 디커플링구조에 비해 동기오차의 최대치가 감소됨을 확인할 수 있다.

그림 6은 그림 5에서와 같은 동특성 불일치의 조건 하에서 커플링구조에 의한 동기제어의 응답이다. 그림 6(a)는 동기제어기가 P제어기, 그림 6(b)는 PD제어기인 경우의 속도응답이다. 그림 6(a), (b)에서 예비필터

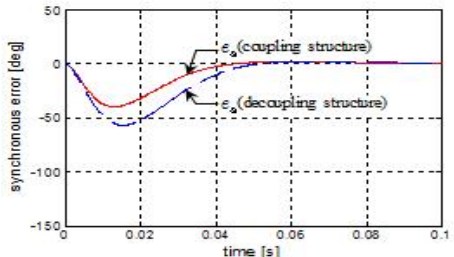
와 PI속도제어기에 의해 파라미터가 변동된 경우에도 속도응답에 대한 설계지침이 만족됨을 확인할 수 있다. 그리고 그림 6(c)는 P제어기(점선), PD제어기(실선)에 의한 동기오차를 나타낸다. 이때 추진시스템1의 파라미터 변동으로 $G_1(s) \neq G_2(s)$ 인 경우에도 PD제어기는 P제어기와 비교하여 과도상태부터 동기오차 e_s 를 신속하고 안정적으로 감소시킴을 확인할 수 있다.



(a) 디커플링구조에 의한 스텝응답
(a) step responses by decoupling structure



(b) 커플링구조에 의한 스텝응답
(b) step responses by coupling structure



(c) 동기오차

(c) synchronous errors

그림 5. 동특성 불일치 하에서 디커플링구조와 커플링구조에 의한 스텝응답과 동기오차

Fig. 5 Step responses and synchronous errors by decoupling structure and coupling structure under mismatched dynamic characteristics

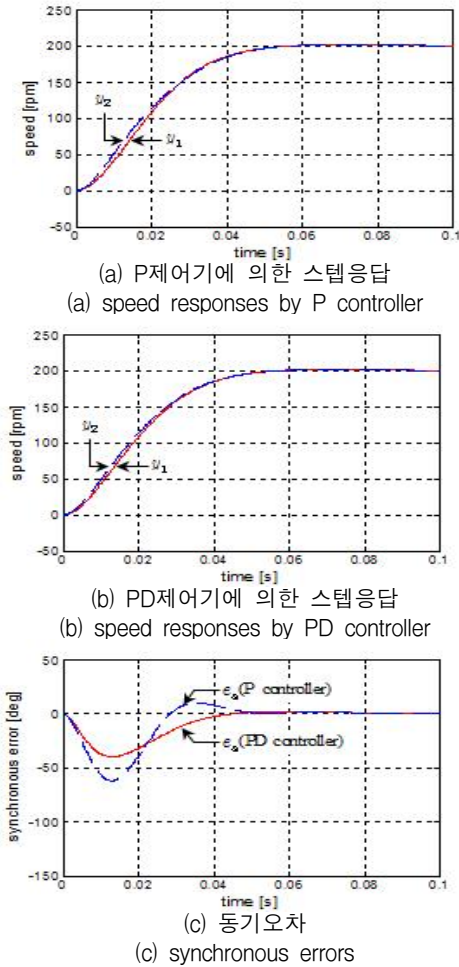


그림 6. 동특성 불일치 하에서 P제어기와 PD제어기에 의한 스텝응답과 동기오차

Fig. 6 Step responses and synchronous errors by P controller and PD controller under mismatched dynamic characteristics

그림 7은 0.12[s]시점에서 추진시스템1에 0.5[Nm]의 토크부하가 인가된 경우, 커플링구조에 의한 동기 제어의 응답이다. 그림 7(a)는 동기제어기가 P제어기, 그림 7(b)는 PD제어기인 경우의 속도응답이다. 그림 7(a), (b)는 부하가 인가된 경우에도 일정한 시간이 경과되면 원래의 속도로 회복됨을 나타내고 있다. 이와 같이 회복되는 과정에서 y_1 과 y_2 의 속도 차는 PD동기 제어기에 의해 그림 7(a)보다 그림 7(b)에서 감소됨을 확인할 수 있다. 한편 그림 7(c)에서 비대칭 외란

$d_s(s)$ 가 동기오차 $e_s(s)$ 에 미치는 영향을 분석하여 설계된 PD제어기(실선)는 P제어기(점선)와 비교하여 동기오차를 신속하고 안정적으로 감소시키고 동시에 동기오차의 최대치도 작게 함을 확인할 수 있다.

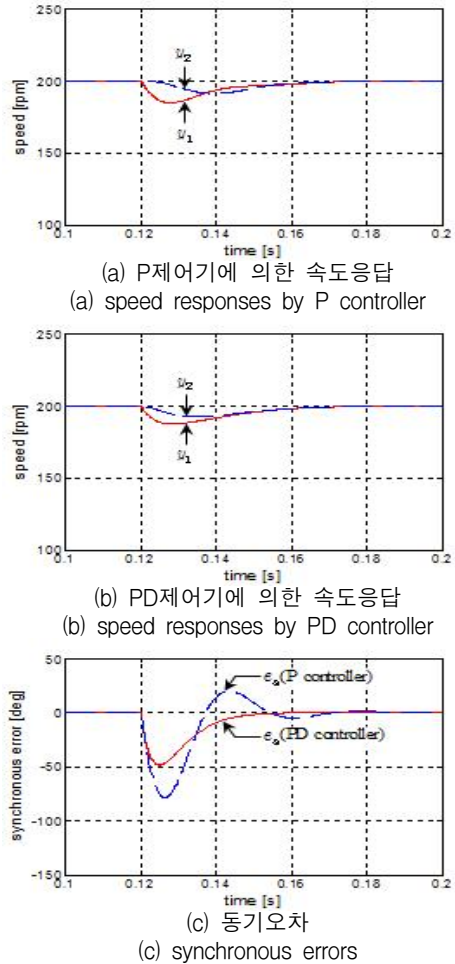


그림 7. 비대칭 외란 하에서 P제어기와 PD제어기에 의한 속도응답과 동기오차

Fig. 7 Speed responses and synchronous errors by P controller and PD controller under skew disturbance

V. 결 론

본 연구에서는 듀얼 전기추진시스템에서 추진시스템 간의 속도 차인 동기오차를 제거하기 위해, 예비필터, 속도제어기, 동기제어기로 구성되는 커플링구조의 동기제어시스템을 구축하였다. 그리고 추진시스템의 파라미터 변동 및 비대칭의 토크부하가 인가된 시물레이션을 통하여 다음 사항을 확인할 수 있었다.

듀얼 전기추진시스템과 같이 2축 구동시스템 간에 발생하는 동기오차의 최대치를 억제하는 경우에는 커플링구조가 디커플링구조에 비하여 유리함을 확인하였다. 또한 동특성 불일치와 비대칭 외란이 동기오차에 미치는 영향을 분석하고, 이를 바탕으로 동기제어시스템의 감쇠성과 속응성을 고려하여 설계된 PD형의 동기제어기는 동기오차를 신속하고 안정적으로 제거할 수 있었다.

References

- [1] S. Goto, M. Nakamura, S. Oka, and N. Kyura, "A Method of Synchronous Position Control for Multi Servo Systems by Using Inverse Dynamics of Slave Systems," *Trans. of the Society of Instrument and Control Engineers*, vol. 30, no. 6, 1994, pp. 669-676.
- [2] S. Ahn, M. Choi, Y. Park, and J. Kim, "Synchronized Control of 2-Driving Axes in Large Scale Gantry Robot Systems," *Proc. of the Korean Society for Precision Engineering Spring Annual Meeting*, Pohang, Korea, May, 1998, pp. 436-439.
- [3] Y. Shin, C. Chen, and A. Lee, "A novel cross-coupling control for Bi-axis motion," *Int. J. of machine tools & manufacture*, vol. 42, no. 14, 2002, pp. 1539-1548.
- [4] S. Jeong, D. Choi, and J. Park, "Synchronous Control of Center Distributed Multi-Head Embroidery Machine Using Disturbance Observer," *J. of the Korean Society of Precision Engineering*, vol. 31, no. 11, 2014, pp. 1015-1021.
- [5] K. Yang and J. Byun, "The Synchronous Control System Design for Four Electric Cylinders," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 12, 2016, pp. 1209-1218.
- [6] N. Son and H. Yoon, "Study on a Waypoint Tracking Algorithm for Unmanned Surface Vehicle," *J. of Navigation and Port Research*, vol. 33, no. 1, 2009, pp. 35-41.
- [7] W. Jeon, Y. Wang, and S. Jung, "Dynamic Characteristic Analysis at Each Operating Condition for Electric Ship Propulsion System," *J. of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 32, no. 8, 2008, pp. 1296-1302.
- [8] Y. Jeong, D. Lee, U. Jeong, C. Oh, and J. Shin, "Study on Operating Performance Estimation Process of Electric Propulsion Systems for 2.5 Displacement Ton Class Catamaran Fishing Boat," *J. of Ocean Engineering and Technology*, vol. 27, no. 5, 2013, pp. 1-9.
- [9] S. Kwak and J. Yang, "Design of Brushless DC Motor Speed Control System for Handpieces," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 6, 2016, pp. 597-603.
- [10] J. Byun, "The Synchronous Control System Design of a Dual Electric Propulsion System for Small Boats," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 1, 2017, pp. 85-92.

저자 소개



양경욱(Kyong-Uk Yang)

1991년 전남대학교 기관시스템공학
학전공 졸업(공학사)

1993년 부경대학교 대학원 기관
학과 졸업(공학석사)

1997년 부경대학교 대학원 제어기계공학과 졸업
(공학박사)

1998년 ~ 현재 전남대학교 해양기술학부 교수

※ 관심분야 : 시스템제어 및 시뮬레이션



변정환(Jung-Hwan Byun)

1992년 부경대학교 기관공학과
졸업(공학사)

1995년 부경대학교 대학원 기관
학과 졸업(공학석사)

1997년 부경대학교 대학원 제어기계공학과 졸업
(공학박사)

2000년 ~ 현재 : 전남대학교 해양기술학부 교수

※ 관심분야 : 동기제어, 전기추진시스템