

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2021년 6월 24일 (24.06.2021)



(10) 국제공개번호
WO 2021/125714 A1

(51) 국제특허분류:

H02P 23/04 (2006.01) *B23Q 11/00* (2006.01)
H02P 5/74 (2006.01) *B23Q 1/00* (2006.01)
G05B 19/05 (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2020/018210

(22) 국제출원일: 2020년 12월 11일 (11.12.2020)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:

10-2019-0170546 2019년 12월 19일 (19.12.2019) KR

(71) 출원인: 두산공작기계 주식회사 (**DOOSAN MACHINE TOOLS CO., LTD.**) [KR/KR]; 51537 경상남도 창원시 성산구 정동로162번길 40, Gyeongsangnam-do (KR).

(72) 발명자: 윤철 (**YUN, Chul**); 51018 경상남도 김해시 율하 2로 125, Gyeongsangnam-do (KR). 박주용 (**PARK, Jooyong**); 51537 경상남도 창원시 성산구 정동로162번길 56, Gyeongsangnam-do (KR). 오태호 (**OH, Taeho**); 51537 경상남도 창원시 성산구 정동로162번길 56, Gyeongsangnam-do (KR). 오명수 (**OH, Myongsu**); 51015 경상남도 김해시 율하3로 100, Gyeongsangnam-do (KR).

(74) 대리인: 김호성 (**KIM, Hosung**); 06168 서울시 강남구 삼성로96길 6, 1406호, Seoul (KR).

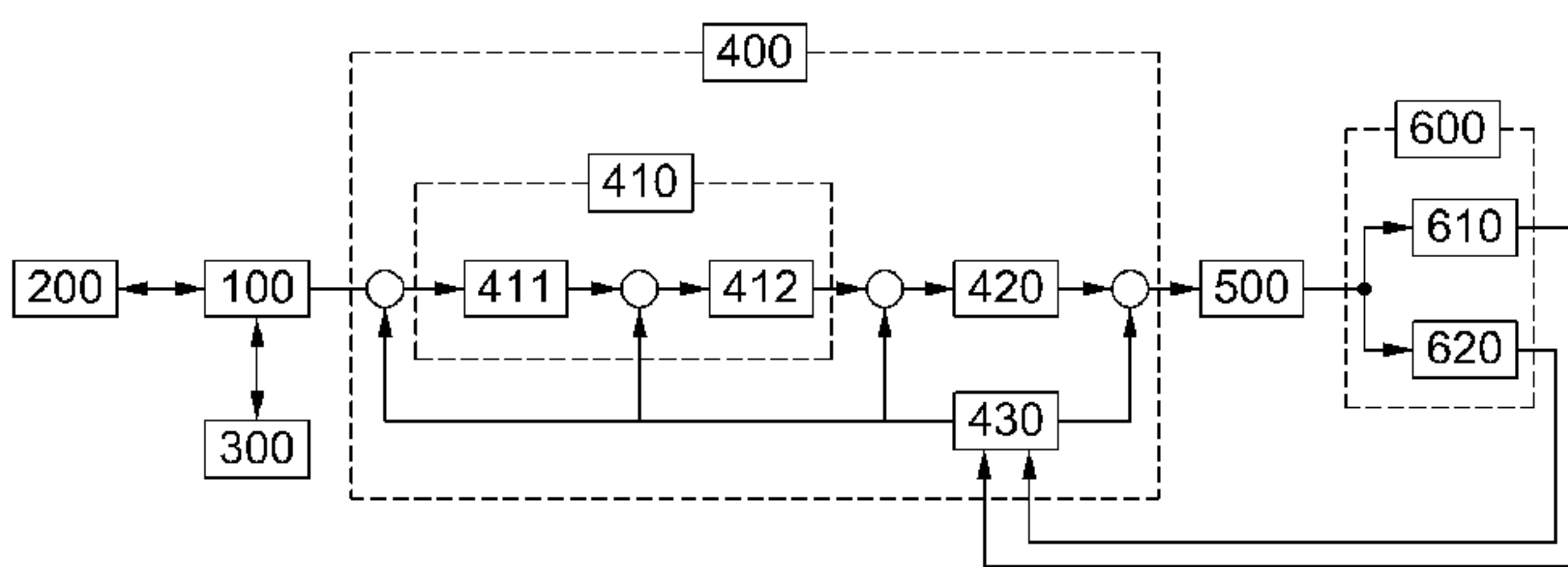
(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(54) Title: TANDEM CONTROL SYSTEM FOR MACHINE TOOL AND METHOD FOR CONTROLLING SAME

(54) 발명의 명칭: 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법

1



(57) Abstract: A tandem control system for a machine tool, according to the present invention, comprises: a numerical control unit; a main operation unit; a PLC which executes a control command via communication with the numerical control unit or the main operation unit; a servo drive which includes a notch filter unit and executes the control command from the PLC; a servo motor unit which is driven under the control of the servo drive; and a power conversion unit which is electrically connected to the servo motor unit and the servo drive so as to apply current to the servo motor unit, wherein the servo drive suppresses resonance due to the operation of the servo motor unit by controlling the application state of current transferred to the power conversion unit according to changes of notch filter coefficients calculated in real time at the notch filter unit.

(57) 요약서: 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템은 수치제어부; 주조작부; 상기 수치제어부 또는 상기 주조작부와 통신을 통해 제어명령을 행하는 PLC; 노치필터부를 구비하고, 상기 PLC의 제어명령을 수행하는 서보 드라이브; 상기 서보 드라이브의 제어에 따라 구동하는 서보 모터부; 및 상기 서보 모터부 및 상기 서보 드라이브와 전기적으로 연결되어 상기 서보 모터부에 전류를 인가하는 전력 변환부;를 포함하고, 상기 서보 드라이브는 상기 노치필터부의 실시간으로 산출된 노치필터 계수의 변화에 따라 상기 전력 변환부에 전달되는 전류의 인가상태를 조절하여 상기 서보 모터부의 운전에 따른 공진억제를 수행하는 것을 특징으로 한다.

[다음 쪽 계속]

공개:

- 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))
- 청구범위 보정 기한 만료 전의 공개이며, 보정서를 접수하는 경우 그에 관하여 별도 공개함 (규칙 48.2(h))

명세서

발명의 명칭: 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법 기술분야

- [1] 본 발명은 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 노치필터 제어부에 의해 노치필터부의 노치필터 계수를 실시간으로 산출하고, 산출된 노치필터 계수에 의해 전력 변환부에 인가되는 전류의 인가상태를 실시간으로 조절함에 따라 2개의 서보 모터를 1대의 전력 변환부와 1대의 서보 드라이브로 병렬운전할 때에 발생하는 공진 억제를 탠덤제어를 통해 제어하여 공작기계의 안정성과 신뢰성을 향상하고, 작업자의 편의를 향상하고, 제조비용과 유지비용을 절감하며 소형화를 도모할 수 있는 공작기계의 공진억제 제어장치 및 공진억제 제어방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 일반적으로 공작기계라 함은 각종 절삭 가공방법 또는 비절삭 가공방법으로 금속/비금속의 공작물을 적당한 공구를 이용하여 원하는 형상 및 치수로 가공할 목적으로 사용하는 기계를 말한다.
- [3] 터닝센터, 수직/수평 머시닝센터, 문형머시닝센터, 스위스 턴, 방전 가공기, 수평형 NC 보링머신, CNC 선반 등을 비롯한 다양한 종류의 공작기계는 다양한 산업 현장에서 해당 작업의 용도에 맞게 널리 사용되고 있다.
- [4] 일반적으로 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 공작기계는 수치제어(numerical control, NC) 또는 CNC(computerized numerical control) 기술이 적용되는 조작반을 구비하고 있다. 이러한 조작반은 다양한 기능스위치 또는 버튼과 모니터를 구비한다.
- [5] 또한, 공작기계는 공작물인 소재가 안착되고 공작물 가공을 위해 이송하는 테이블, 가공전 공작물을 준비하는 팔레트, 공구 또는 공작물이 결합되어 회전하는 주축, 공작물 등을 가공중에 지지하기 위한 심압대, 방진구 등을 구비한다.
- [6] 일반적으로 공작기계에서 테이블, 공구대, 주축, 심압대, 방진구 등은 다양한 가공을 수행하기 위해 이송축을 따라 이송하는 이송유닛을 구비한다.
- [7] 또한, 일반적으로 공작기계는 다양한 가공을 위하여 다수의 공구를 사용하게 되며, 다수의 공구를 수납보관하고 있는 툴 보관장소의 형태로 툴 매거진이나 터렛이 사용된다.
- [8] 또한, 일반적으로 공작기계는 공작기계의 생산성을 향상시키기 위해 수치제어부의 지령에 의해 특정한 툴을 툴 매거진으로부터 인출하거나 다시 수납하기 위한 자동공구교환장치(ATC, Automatic Tool Changer)를 구비한다.
- [9] 또한, 일반적으로 공작기계는 비가공 시간을 최소화하기 위해, 자동팔레트교환장치(APC, Automatic Palette Changer)를 구비한다.

자동팔레트교환장치(APC)는 팔레트를 공작물 가공 영역과 공작물 설치 영역 간에 자동으로 교환한다. 팔레트에는 공작물이 탑재될 수 있다.

- [10] 일반적으로 공작기계에서 자동공구교환장치(ATC), 자동팔레트교환장치(APC), 심압대, 또는 방진구 등을 구동하기 위해서 서보 모터가 사용된다.
- [11] 이처럼, 서보 모터(SERVO MOTOR)를 제어하여 최종적으로 자동공구교환장치(ATC)나 자동팔레트교환장치(APC), 심압대, 또는 방진구를 제어하는 장치를 서보 제어장치라 한다.
- [12] 특히, 대형 자동팔레트교환장치(APC)와 같이 크기가 크거나 큰 힘이 필요한 경우에 생산성 및 경제적인 요인과 하나의 서보모터만으로는 충분한 토크를 얻을 수 없는 기술적인 요인에 의해 2대의 서보모터를 병렬운전하여 하나의 축을 구동하게 되고, 이를 탠덤 제어(Tandem control)이라 한다.
- [13] 그러나 도 1에 도시된 것처럼, 종래 2개의 서보 모터를 사용하는 경우에 종래 서보 제어장치는 각각 1대의 서보모터에 1대의 인버터와 1대의 서보 드라이브가 결합되었다. 즉 제1 서보모터(30)에 제1 인버터(20)와 제1 서보 드라이브(10)가 연결되고, 제2 서보모터(31)에 제2 인버터(21)와 제2 서보 드라이브(11)가 연결되는 멀티 인버터 멀티 서보모터(Multi inverter multi servo motor) 방식으로 운영되었다.
- [14] 그러나 멀티 인버터 멀티 서보모터의 경우 각각의 서보 모터 별로 별도의 인버터와 서보 드라이브를 결합해야 함에 따라 장치의 크기가 증가하고 제조비용과 유지비용이 증가하며, 공작기계의 소형화를 도모할 수 없는 문제점이 있었다.
- [15] 이러한 문제점을 해결하기 도 2에 도시된 것처럼 두대의 서보모터(30, 31)에 1개의 인버터(20)와 1대의 서보 드라이브(10)를 병렬운전하는 방식의 단일 인버터 멀티 서보모터(Single inverter multi servo motor)가 제안되었다.
- [16] 그러나 슬립이 존재하는 유도 모터와는 달리 서보모터는 영구자석형 동기 모터로 슬립이 존재하지 않아 속도 편차가 없도록 두대의 서보모터를 동기화시켜야만 안정적인 병렬운전이 가능하며 그렇지 못할 경우 공진과 탈조를 통해 서보 제어장치의 안정성과 신뢰도가 저하되고, 최종적으로 공작기계의 안정성과 신뢰도 및 가공 정밀도가 저하되는 문제점이 있었다.
- [17] 이러한 공진억제 제어 문제를 해결하기 위해 종래 3가지 탠덤제어 시스템과 이의 제어방법이 제안되었다.
- [18] 첫째로 보조 인버터와 보조 권선을 이용한 감쇠제어 장치 및 방법으로 이는 주 인버터와 보조 인버터를 따로 구비하고 서보 모터와 보조 권선을 형성하는 구조로 종래 2개의 인버터를 구비함에 따라 발생하는 제조비용 증가, 대량생산 어려움과 같은 문제점이 여전히 남아 있다.
- [19] 둘째로 능동감쇠제어(active damping control)장치 및 방법으로 공진억제 제어를 단순히 경험적인 방법으로 설정함에 따라 실제 공진발생이나 많은 외란이나

변수에 능동적으로 대처하지 못하여 서보 제어장치의 신뢰성과 안정성이 여전히 보장되지 않고 제조비용만 증가하는 문제점이 있다.

- [20] 셋째로 부하맥동분석기(load oscillation analyzer)를 이용한 맥동저감 장치 및 방법으로 공진억제 제어를 경험적인 방법으로 산출하고, 자속축 전류의 맥동현상을 감지할 수 있는 센서 등을 구비해야 함에 따라 제조원가가 증가하고, 실제 공진발생이나 장치 운영상태에 따른 실시간 변형량에 대한 고려 없이 공진억제 제어를 수행함에 따라 정확성과 신뢰성이 현저히 감소하며, 최종적으로 공작기계의 가공 정밀도와 신뢰성이 감소하는 문제점이 있다.
- [21] 또한, 일반적으로 공진현상을 억제하기 위해 상술한 3가지의 탠덤제어 시스템과 이의 제어방법을 통해 공진 운전 대역을 회피하거나 노치필터로 공진을 감쇄하는 방법이 있다.
- [22] 도 3 및 도 4에 도시된 것처럼, 일반적으로 공진현상을 억제하기 위해 노치필터를 사용하는 경우에는 노치필터의 공진주파수(ω_0)와 노치필터의 감쇄크기(α) 및 노치필터의 대역폭(Q)에 대한 계수를 구해야 한다.
- [23] 그러나 일반적으로 동일한 제조사의 동일한 모델의 서보모터라도 제조시점, 설계차이에 따라 노치필터의 계수가 달라지고, 동일한 용량의 서보모터라도 제조사에 ek라 노치필터의 계수가 달라지는 문제점이 있다.
- [24] 더욱이, 공작기계의 작동중에 발생하는 노치필터의 공진주파수, 감쇄크기, 대역폭이 실시간으로 변경됨에 따라 각각의 공작기계마다 탠덤제어를 통한 공진억제를 위한 장비튜닝이나 장비설정에 많은 시간과 비용이 소요되고, 작업자의 불편을 초래하며, 생산성을 감소시키는 문제점이 있었다.
- [25] 따라서, 서보모터의 용량이나 종류에 관계없이 실시간으로 변경되는 노치필터 계수를 정확하게 산출하고, 산출된 노치필터 계수를 통해 공진감쇄지령을 출력하고, 출력된 공진감쇄지령에 의해 공진이 발생하는 주파수에서 전력 변환부에 전달되는 전류를 차단하여 공진억제를 수행하는 노치필터를 활용한 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법의 개발이 시급한 실정이다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [26] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 목적은 노치필터 제어부에 의해 노치필터부의 노치필터 계수를 실시간으로 산출하고, 실시간으로 산출된 노치필터 계수에 의해 전력 변환부에 전달되는 전류를 노치필터부로 차단하거나 인가함에 따라 2개의 서보 모터를 1대의 전력 변환부와 1대의 서보 드라이브로 병렬운전할 때에 발생하는 공진 억제를 탠덤제어를 통해 서보모터의 종류나 용량에 관계없이 안정적으로 설정하고 운영하여 작업자의 편의를 도모하고, 최종적으로 자동공구교환장치 또는 자동팔레트교환장치와 같이 서보모터로 구동하는 장치를 제어함에 따라 제조원가를 절감하고, 노이즈 감소에 따른 신뢰도 향상 및 장치의 소형화를 도모할

수 있는 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법을 제공하는 것이다.

- [27] 또한, 본 발명의 또 다른 목적은 노치필터 제어부에서 실시간으로 노치필터 계수를 산출하고 이를 통해 극점영점상쇄기법을 통해 지령부에서 공진감쇄지령을 출력하여 전력 변환부로 전달되는 전류를 노치필터부로 인가 또는 차단함에 따라 전력 변환부에서 제1 서보모터와 제2 서보모터로 인가되는 전류를 조절하여 2개의 서보 모터의 모든 속도와 위치에서 동기화된 정밀한 탠덤제어를 통해 서보모터부의 종류에 관계없이 자동공구교환장치 또는 자동팔레트교환장치의 서보 제어 정밀도와 신뢰도와 안정성을 극대화하고, 유지비용을 절감할 수 있는 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법을 제공하는 것이다.

기술적 해결방법

- [28] 본 발명의 목적을 달성하기 위해 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템은 수치제어부; 주조작부; 상기 수치제어부 또는 상기 주조작부와 통신을 통해 제어명령을 행하는 PLC; 노치필터부를 구비하고, 상기 PLC의 제어명령을 수행하는 서보 드라이브; 상기 서보 드라이브의 제어에 따라 구동하는 서보 모터부; 및 상기 서보 모터부 및 상기 서보 드라이브와 전기적으로 연결되어 상기 서보 모터부에 전류를 인가하는 전력 변환부;를 포함하고, 상기 서보 드라이브는 상기 노치필터부의 실시간으로 산출된 노치필터 계수의 변화에 따라 상기 전력 변환부에 전달되는 전류의 인가상태를 조절하여 상기 서보 모터부의 운전에 따른 공진억제를 수행할 수 있다.
- [29] 또한, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템의 바람직한 다른 실시예에서, 공작기계의 탠덤제어 시스템의 상기 서보 드라이브는 상기 서보 모터부의 운전속도 신호와 상기 전력 변환부에 전달되는 토크 신호를 출력하는 출력부; 및 상기 노치필터부의 노치필터 계수를 실시간으로 산출하고, 산출된 노치필터 계수에 의해 상기 전력 변환부에 전달되는 전류의 인가유무를 제어하는 노치필터 제어부;를 더 포함할 수 있다.
- [30] 또한, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템의 바람직한 다른 실시예에서, 공작기계의 탠덤제어 시스템의 상기 서보 모터부는 서로 병렬로 연결되는 제1 서보모터 및 제2 서보모터를 포함하고, 상기 노치필터부의 노치필터 계수의 실시간 변화에 따라 상기 전력 변환부를 통해 각각 상기 제1 서보모터와 상기 제2 서보모터에 전달되는 전류의 인가유무를 실시간으로 조절하여 상기 제1 서보모터와 상기 제2 서보모터의 탠덤제어 중에 발생하는 공진을 억제할 수 있다.
- [31] 또한, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템의 바람직한 다른 실시예에서, 공작기계의 탠덤제어 시스템의 상기 노치필터 제어부는 상기 제1 서보모터와 상기 제2 서보모터의 병렬운전시에 발생하는 공진을 억제하기 위한 탠덤제어를 위한 정보를 저장하는 메모리부; 상기 메모리부에 저장된 정보를

통해 상기 노치필터부의 노치필터 계수를 산출하는 연산부; 및 상기 연산부의 결과에 따라 공진감쇄지령을 통해 상기 전력 변환부에 인가되는 전류를 상기 노치필터부로 차단함에 따라 탠덤제어를 통한 공진억제를 실시간으로 수행하는 지령부;를 포함할 수 있다.

[32] 또한, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템의 바람직한 다른 실시예에서, 공작기계의 탠덤제어 시스템의 상기 메모리부는 상당 영구자석에 의한 쇠교자속의 최대값, 동작 점에서의 각속도, 노치필터부의 직류이득, 서보 모터부의 고정자의 권선의 인덕턴스, 서보 모터부의 극 상수, 서보 모터부의 고정자 권선 저항, 및 회서보 모터부의 회전자 관성 모멘트에 관한 정보를 저장하는 기본 데이터 저장부; 상기 제1 서보모터를 상기 제2 서보모터와 병렬운전시에 생성되는 상기 제1 서보모터의 위치와 속도 피드백 정보 및 상기 제2 서보모터를 상기 제1 서보모터와 병렬운전시에 생성되는 상기 제2 서보모터의 위치와 속도 피드백 정보를 저장하는 피드백 데이터 저장부; 및 상기 연산부에 의해 산출된 상기 노치필터부의 실시간 노치필터 계수와 상기 지령부에서 출력된 현재의 공진감쇄지령을 저장하는 실시간 데이터 저장부;를 포함할 수 있다.

[33] 또한, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템의 바람직한 다른 실시예에서, 공작기계의 탠덤제어 시스템의 상기 연산부는 상기 기본 데이터 저장부에 저장된 데이터에 의해 상기 서보 모터부의 댐핑계수를 계산하는 댐핑계수 계산부; 상기 기본 데이터 저장부에 저장된 데이터에 의해 상기 서보 모터부의 고유주파수를 계산하는 고유주파수 계산부; 상기 기본 데이터 저장부에 저장된 데이터, 상기 댐핑계수 계산부의 계산값, 및 상기 고유주파수 계산부의 계산값에 의해 상기 탠덤제어 시스템의 극점을 계산하는 극점계산부; 상기 기본 데이터 저장부에 저장된 데이터, 상기 댐핑계수 계산부의 계산값, 및 상기 고유주파수 계산부의 계산값에 의해 상기 노치필터부의 영점을 계산하는 영점계산부; 및 상기 기본 데이터 저장부에 저장된 데이터, 상기 댐핑계수 계산부의 계산값, 상기 고유주파수 계산부의 계산값, 상기 극점계산부의 계산값, 및 상기 영점계산부의 영점값에 의해 노치필터 계수를 계산하는 계수계산부;를 포함할 수 있다.

[34] 또한, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템의 바람직한 다른 실시예에서, 공작기계의 탠덤제어 시스템의 상기 지령부는 상기 기본 데이터 저장부에 저장된 데이터, 상기 댐핑계수 계산부의 계산값, 상기 고유주파수 계산부의 계산값, 상기 극점계산부의 계산값, 상기 영점계산부의 영점값, 및 상기 계수계산부의 노치필터 계수값으로 극점영점상쇄기법을 통해 공진감쇄지령을 출력할 수 있다.

[35] 또한, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템의 바람직한 다른 실시예에서, 공작기계의 탠덤제어 시스템의 상기 출력부는 상기 수치제어부로부터 전달 받은 위치지령과 상기 피드백 데이터 저장부로부터

전달 받은 피드백 신호에 따라 상기 서보 모터부의 운전속도 신호를 출력하는 속도신호 출력부; 및 상기 속도신호 출력부로부터 전달 받은 속도신호와 상기 피드백 데이터 저장부로부터 전달 받은 피드백 신호에 따라 상기 서보 모터부를 구동하기 위해 상기 전력 변환부에 전달되는 유효토크 신호를 출력하는 토크신호 출력부;를 포함할 수 있다.

- [36] 본 발명의 또 다른 목적을 달성하기 위해 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템의 제어방법은 탠덤제어를 위해 서보 모터부와 노치필터부에 대한 기본 데이터를 저장하는 단계; 상기 서보 모터부의 댐핑계수 및 고유주파수를 계산하는 단계; 탠덤제어 시스템의 극점을 계산하는 단계; 노치필터부의 영점을 계산하는 단계; 저장된 상기 기본 데이터와 산출된 상기 서보 모터부의 댐핑계수와 고유주파수, 상기 탠덤제어 시스템의 극점, 및 상기 노치필터부의 영점을 통해 상기 노치필터부의 노치필터 계수를 계산하는 단계; 수치제어부 또는 주조작부와 통신을 통해 PLC에서 제어명령을 수행하는 단계; 상기 PLC로부터 전달된 제어명령을 서보 드라이브에서 수행하는 단계; 상기 서보 드라이브의 신호에 따라 전력 변환부가 제1 서보모터와 제2 서보모터를 구비하는 서보 모터부에 전류를 인가하는 단계; 상기 제1 서보모터를 상기 제2 서보모터와 병렬운전시에 생성되는 상기 제1 서보모터의 위치와 속도 피드백 정보 및 상기 제2 서보모터를 상기 제1 서보모터와 병렬운전시에 생성되는 상기 제2 서보모터의 위치와 속도 피드백 정보를 저장하는 단계; 및 계산된 상기 노치필터 계수에 따라 실시간으로 공진감쇄지령을 출력하는 단계;를 포함하고, 실시간으로 계산되는 노치필터 계수와 공진감쇄지령을 통해 상기 전력 변환부에 인가되는 전류를 상기 노치필터부로 차단함에 따라 탠덤제어를 통한 공진억제를 실시간으로 수행할 수 있다.

- [37] 또한, 본 발명에 의한 공작기계의 공진억제 제어방법의 바람직한 다른 실시예에서, 공작기계의 탠덤제어 시스템의 제어방법은 상기 공진감쇄지령을 출력하는 단계 이후에, 실시간으로 계산되는 현재의 노치필터 계수와 실시간으로 출력되는 공진감쇄지령을 저장하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [38] 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법은 노치필터 제어부에 의해 노치필터부의 노치필터 계수를 실시간으로 산출하고, 실시간으로 산출된 노치필터 계수에 의해 전력 변환부에 전달되는 전류를 노치필터부로 차단하거나 인가함에 따라 따라 2개의 서보 모터를 1대의 전력 변환부와 1대의 서보 드라이브로 병렬운전할 때에 발생하는 공진 억제를 탠덤제어를 통해 서보모터의 종류나 용량에 관계없이 안정적으로 설정하고 운영하여 작업자의 편의를 도모하고, 최종적으로 자동공구교환장치 또는 자동팔레트교환장치와 같이 서보모터로 구동하는 장치를 제어함에 따라 제조 원가를 절감하고, 노이즈 감소에 따른 신뢰도 향상하며, 서보모터의 종류와

용량에 관계없이 범용적으로 사용될 수 있어 탠덤제어 시스템과 이의 제어방법의 호환성을 증가시킬 수 있는 효과가 있다.

- [39] 또한, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법은 1개의 전력부와 전력 변환부에 의해 2개의 서보 모터를 병렬운전시에 발생하는 공진을 실시간으로 산출된 노치필터 계수를 통해 공진감쇄지령에 의해 노치필터부에서 전력 변환부에 전달되는 전류를 인가하거나 차단하는 방식으로 공진억제를 수행함에 따라 불필요한 구성품을 제거하여 공작기계와 공작기계의 탠덤제어 시스템의 소형화를 도모하고, 공간활용도를 극대화할 수 있는 효과가 있다.
- [40] 더욱이, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법은 피드백 데이터 저장부로부터 실시간으로 전달받은 제1, 2 서보모터의 피드백 정보와 실시간 데이터 저장부로부터 실시간으로 전달받은 노치필터 계수와 현재의 공진감쇄지령에 따라 1개의 전력부와 전력 변환부에 의해 2개의 서보 모터를 병렬운전시에 발생하는 공진을 억제하여 2개의 서보 모터의 정밀한 공작억제 제어를 극점영점상쇄기법을 통한 노치필터부를 활용한 탠덤제어를 통해 실시간으로 수행함에 따라 자동공구교환장치 또는 자동팔레트교환장치의 서보 제어장치의 정밀도와 신뢰도를 극대화하고, 공작기계의 안정성과 가공효율을 증가시킬 수 있는 효과가 있다.
- [41] 게다가, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법은 1개의 전력부와 전력 변환부에 의해 2개의 서보 모터를 병렬운전시에 발생하는 공진을 서보모터의 종류와 용량에 관계없이 실시간으로 자동으로 억제 제어함에 따라 작업자의 편의를 도모하고, 비가공시간을 최소화하여 공작기계의 생산성을 극대화할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [42] 도 1은 종래 서보모터 한대에 1대의 인버터와 1대의 서보 드라이브가 결합되는 멀티 인버터 멀티 서보 모터의 개념도를 나타낸다.
- [43] 도 2는 종래 2대의 서보모터에 1대의 인버터와 1대의 서보 드라이브가 결합되어 탠덤제어가 수행되는 단일 인버터 멀티 서보 모터의 개념도를 나타낸다.
- [44] 도 3 및 도 4는 종래 노치필터의 주파수 특성을 설명하기 위한 그래프이다.
- [45] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템의 구성에 대한 블록도를 나타낸다.
- [46] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템의 서보 드라이브의 노치필터 제어부의 구성에 대한 블록도를 나타낸다.
- [47] 도 7은 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템의 지령부에서 극점영점상쇄기법을 통해 공진감쇄지령을 출력 과정을 설명하기 위한 그래프이다.
- [48] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템의 제어방법의

절차도이다.

- [49] 도 9 내지 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법에 의한 탠덤제어를 통한 공진억제 제어 효과를 설명하기 위한 그래프이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [50] 이하, 본 발명의 실시예에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법의 도면을 참고하여 상세하게 설명한다. 다음에 소개되는 실시 예들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하 설명되는 실시 예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 그리고, 도면들에 있어서, 장치의 크기 및 두께 등은 편의를 위하여 과장되어 표현될 수도 있다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조 번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.
- [51] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다. 도면에서 층 및 영역들의 크기 및 상대적인 크기는 설명의 명료성을 위해 과장될 수 있다.
- [52] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시 예들을 설명하기 위한 것이며, 따라서 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprise)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [53] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템의 구성에 대한 블록도를 나타내고, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템의 서보 드라이브의 노치필터 제어부의 구성에 대한 블록도를 나타낸다. 도 7은 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템의 지령부에서 극점영점상쇄기법을 통해 공진감쇄지령을 출력 과정을 설명하기 위한 그래프이다. 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템의 제어방법의 절차도이다. 도 9 내지 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법에 의한 탠덤제어를 통한 공진억제 제어 효과를 설명하기 위한 그래프이다.
- [54] 도 5 내지 도 7을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어

시스템(1)을 설명한다. 도 5 및 도 6에 도시된 것처럼, 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템(1)은 수치제어부(100), 주조작부(200), PLC(300), 서보 드라이브(400), 서보 모터부(600), 및 전력 변환부(500)를 포함한다.

[55] 수치제어부(100)는 NC(numerical control, NC) 또는 CNC(computerized numerical control)를 포함하고, 각종 수치 제어 프로그램이 내장되어 있다. 즉, 수치제어부(100)에는 서보 모터의 구동프로그램, 공구의 가동프로그램 등이 내장되고, 수치제어부의 구동에 따라 해당 프로그램이 자동으로 로딩되어 작동한다. 또한, 수치제어부(100)는 주조작부(200), PLC(300), 서보 드라이브(400)와 소정의 프로토콜에 의해 통신을 수행한다.

[56] 또한, 수치제어부(100)는 자동공구교환장치(ATC) 또는 자동팔레트교환장치(APC)의 구동에 사용되는 서보 모터부(600)의 제1 서보모터(610) 또는 제2 서보모터(620)로부터 피드백 정보를 전달 받는다. 더욱 구체적으로 수치제어부(100)는 후술하는 노치필터 제어부(430)의 메모리부(431)의 피드백 데이터 저장부(4312)로부터 제1 서보모터(610) 또는 제2 서보모터(620)의 위치와 속도에 대한 피드백 정보를 전달받는다.

[57] 주조작부(200)는 화면표시 프로그램과 화면표시 선택에 따른 데이터 입력 프로그램을 포함하고, 화면표시 프로그램의 출력에 따라 표시화면에 소프트웨어 스위치를 디스플레이하고, 소프트웨어 스위치의 온(ON)/오프(OFF)를 인식하여 기계 동작의 입출력 명령을 내리는 기능을 수행한다.

[58] 또한, 반드시 이에 한정되는 것은 아니지만, 주조작부(200)는 공작기계의 하우징, 케이스, 또는 일측에 설치되어 다양한 기능스위치 또는 버튼과 각종 정보를 표시할 수 있는 모니터를 구비한다.

[59] PLC(Programmable Logic Controller, 300)는 수치제어부(100) 또는 주조작부(200)와의 소정의 프로토콜에 의한 통신을 수행하고, 이러한 통신을 통해 제어명령을 행하는 기능을 수행한다. 즉, PLC(300)는 수치제어부(100) 또는 주조작부(200)의 수치 제어 프로그램에 따른 제어 명령을 받아 작동한다.

[60] 또한, 수치제어부(100)나 주조작부(200)로부터 제어명령을 전달받아 이를 수행한 후에 PLC(300)는 이를 수치제어부(100)로 출력하고, 제어명령을 주조작부(200)를 통해 서보 드라이브(400)에 전달한다. 필요에 따라 PLC(300)는 주조작부(200)를 통해 사용자로부터 실시간 제어명령을 서보 드라이브(400)에 전달할 수도 있다.

[61] 서보 드라이브(400)는 PLC(300)의 제어명령을 수행한다. 즉, 서보 드라이브(400)는 PLC(300)의 제어명령을 통해 후술하는 서보 모터부(500)의 서보 모터의 구동을 제어하고, 최종적으로 서보 모터에 의해 구동되는 자동공구교환장치(ATC) 또는 자동팔레트교환장치(APC), 심압대, 방진구와 같은 서보 모터에 의해 구동되는 공작기계의 다양한 부품의 구동을 제어한다. 서보 드라이브(400)는 제어 결과를 점점 또는 소정의 프로토콜에 의한 통신을

통해 PLC(300)에 전달한다.

- [62] 또한, 서보 드라이브(400)는 자동공구교환장치(ATC) 또는 자동팔레트교환장치(APC)의 구동에 사용되는 서보 모터부(600)의 제1 서보모터(610) 또는 제2 서보모터(620)로부터 피드백 정보를 전달받는다. 더욱 구체적으로 수치제어부(100)는 후술하는 제1노치필터 제어부(430)의 메모리부(431)의 피드백 데이터 저장부(4312)로부터 제1 서보모터(610) 또는 제2 서보모터(620)의 위치와 속도에 대한 피드백 정보를 전달 받는다.
- [63] 서보 모터부(600)는 서보 드라이브(400)의 제어에 따라 구동한다.
- [64] 도 5에 도시된 것처럼, 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 서보 제어장치(1)의 서보 모터부(600)는 제1 서보모터(610)와 제2 서보모터(620)를 구비한다.
- [65] 제1 서보모터(610)와 제2 서보모터(620)는 후술하는 전력 변환부(500)에 병렬로 연결되어 서보 드라이브의 제어신호에 따라 전력 변환부(500)에서 인가되는 전류를 통해 병렬운전된다.
- [66] 또한, 노치필터부의 노치필터 계수의 실시간 변화에 따라 전력 변환부를 통해 각각 제1 서보모터와 제2 서보모터에 전달되는 전류의 인가유무를 실시간으로 조절하여 제1 서보모터와 제2 서보모터의 탠덤제어 중에 발생하는 공진 억제를 수행한다.
- [67] 또한, 서보 모터부(600)는 서보 드라이브(400)의 제어에 따라 제1 서보모터(610) 또는 제2 서보모터(620)가 해당 시퀀스 정보와 위치 정보나 프로그램에 따라 구동하게 된다.
- [68] 전력 변환부(500)는 서보 모터부(600) 및 서보 드라이브(400)와 전기적으로 연결된다. 또한, 전력 변환부(500)는 서보 드라이브(400)의 접점 신호에 따라 서보 모터부(600)에 전류를 인가한다.
- [69] 이처럼, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템은 노치필터 제어부(433)에 의해 노치필터부의 노치필터 계수를 실시간으로 산출하고, 실시간으로 산출된 노치필터 계수에 의해 전력 변환부(500)에 전달되는 전류를 노치필터부(420)로 차단하거나 인가함에 따라 서보 모터부(600)의 각각의 제1 서보모터(610)와 제2 서보모터(620)의 병렬운전에 따라 발생하는 공진 억제를 수행한다. 구체적으로 서보 드라이브의 지령부(430)에서 출력된 공진감쇄지령과 공진감쇄지령 신호를 전달받은 노치필터부(420)가 특정 주파수에서 전력 변환부(500)로 인가되는 전류를 차단하고, 다른 주파수에서는 전력 변환부(500)로 인가되는 전류를 공급하여 각각의 제1 서보모터(610)와 제2 서보모터(620)에 인가되거나 차단되는 전류를 실시간으로 조절하여 제1 서보모터(610)와 제2 서보모터(620)의 병렬운전시에 발생하는 공진억제를 노치필터부를 이용한 탠덤제어를 통해 수행한다.
- [70] 따라서, 치필터 제어부에 의해 노치필터부의 노치필터 계수를 실시간으로 산출하고, 실시간으로 산출된 노치필터 계수에 의해 전력 변환부에 전달되는

전류를 노치필터부로 차단하거나 인가함에 따라 따라 2개의 서보 모터를 1대의 전력 변환부와 1대의 서보 드라이브로 병렬운전할 때에 발생하는 공진 억제를 탠덤제어를 통해 서보모터의 종류나 용량에 관계없이 안정적으로 설정하고 운영하여 작업자의 편의를 도모하고, 최종적으로 자동공구교환장치 또는 자동팔레트교환장치와 같이 서보모터로 구동하는 장치를 제어함에 따라 제조 원가를 절감하고, 노이즈 감소에 따른 신뢰도 향상하며, 서보모터의 종류와 용량에 관계없이 범용적으로 사용될 수 있어 탠덤제어 시스템과 이의 제어방법의 호환성을 증가시킬 수 있다.

[71] 도 5에 도시된 것처럼, 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템(1)의 서보 드라이브(400)는 출력부(410), 노치필터부(420), 및 노치필터 제어부(430)를 포함한다.

[72] 도면에 도시되지는 않았지만, 공작기계의 탠덤제어 시스템의 서보 드라이브(400)는 필요에 따라 컨트롤러를 추가로 포함할 수 있다. 이러한 컨트롤러는 서보 드라이브(400)의 내부에 설치되고, 세부적인 제어명령 해독 프로그램이나 각종 가공 프로그램, 구동 프로그램이 별도로 내장된다. 또한, 컨트롤러는 수치제어부(100), 주조작부(200), PLC(300), 서보 모터부(600), 전력 변환부(500)와 소정의 프로토콜에 의해 통신을 수행한다.

[73] 필요에 따라 주조작부(200)는 주조작부의 제어명령을 수치제어부(100)를 거치지 않고 바로 PLC(300)를 통해 서보 드라이브(400)에 전달할 수 있다.

[74] 이처럼, 세부적인 제어명령 해독 프로그램이나 별도의 제어 프로그램이 후술하는 서보 드라이브(400)의 컨트롤러에 모두 내장되어 있기 때문에 수치제어부(100)로부터 서보 모터부(500)의 구동명령을 받지 않고 주조작부(200)와 PLC(300)를 통한 명령을 서보 드라이브(400)가 실행하여 후술하는 서보 모터부(600)를 구동할 수도 있다.

[75] 따라서, 서보 드라이브(400)의 컨트롤러에 의해 수치제어부(100)에서 진행하는 세부적인 제어명령을 수행할 수 있어 다른 수치제어부와 프로토콜 기능만을 프로그램하여 서보 드라이브 기능을 수행할 수 있게 됨에 따라 서보 드라이브를 통해 다양한 프로그램의 구동이 가능하여 장비의 호환성을 극대화하고, 사용자의 편의를 도모할 수 있다.

[76] 출력부(410)는 서보 모터부(600)의 운전속도 신호와 전력 변환부(500)에 전달되는 토크 신호를 출력한다.

[77] 또한, 도 5에 도시된 것처럼, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템(1)의 출력부(410)는 속도신호 출력부(411) 및 토크신호 출력부(412)를 포함한다.

[78] 속도신호 출력부(411)는 수치제어부(100)로부터 전달 받은 위치지령과 피드백 데이터 저장부(4312)로부터 전달 받은 제1 서보모터(610)와 제2 서보모터(620)의 피드백 신호에 따라 서보 모터부(600)의 운전속도 신호를 출력한다.

[79] 구체적으로 속도신호 출력부(411)는 탠덤제어 시스템의 초기 구동시에는 제1

서보모터(610)와 제2 서보모터(620)가 병렬운전하기 이전 상태로 최초 수치제어부(100)로부터 전달 받은 위치지령에 따라 서보 모터부(600)의 운전속도 신호를 출력한다. 이후, 속도신호 출력부(411)에서 출력된 속도지령에 따라 서보 모터부(600)의 제1 서보모터(610)와 제2 서보모터(620)가 병렬운전함에 따라 발생하는 제1 서보모터(610)의 피드백 정보가 피드백 데이터 저장부(4312)로 전달되고, 초기 구동 이후에는 이러한 피드백 데이터 저장부(4312)를 통해 전달되는 제1 서보모터(610)와 제2 서보모터(620)의 피드백 신호와 수치제어부(100)로부터 전달 받은 위치지령에 따라 서보 모터부(600)의 운전속도 신호를 출력하게 된다.

[80] 토크신호 출력부(412)는 속도신호 출력부(411)로부터 전달 받은 속도신호와 피드백 데이터 저장부(4312)로부터 전달 받은 피드백 신호에 따라 서보 모터부(600)를 구동하기 위해 전력 변환부(500)에 전달되는 유효토크 신호를 출력한다.

[81] 구체적으로, 토크신호 출력부(412)는 탠덤제어 시스템의 초기 구동시에는 제1 서보모터(610)와 제2 서보모터(620)가 병렬운전하기 이전 상태로 최초 속도신호 출력부(411)로부터 전달 받은 속도지령에 따라 서보 모터부(600)를 구동하기 위해 전력 변환부(500)에 전달되는 유효토크 신호를 출력한다. 이후, 토크신호 출력부(412)에서 출력된 유효토크 신호에 따라 전력 변환부(500)가 서보 모터부(600)의 제1 서보모터(610)와 제2 서보모터(620)를 구동하여 병렬운전됨에 따라 발생하는 제1 서보모터(610)의 피드백 정보와 제2 서보모터(620)의 피드백 정보가 피드백 데이터 저장부(4312)로 전달되고, 초기 구동 이후에는 이러한 피드백 데이터 저장부(4312)를 통해 전달되는 피드백 신호와 속도신호 출력부(411)로부터 전달 받은 운전속도 신호에 따라 전력 변환부(500)로 전달되는 유효토크 신호를 출력하게 된다.

[82] 노치필터부(420)는 특정 주파수에서 전력 변환부(500)로 인가되는 전류를 차단하고, 다른 주파수에서는 전력 변환부(500)로 인가되는 전류를 필터링하지 않고 전달한다.

[83] 노치필터 제어부(430)는 노치필터부의 노치필터 계수를 실시간으로 산출하고, 산출된 노치필터 계수에 의해 전력 변환부에 전달되는 전류의 인가유무를 제어한다. 구체적으로 노치필터 제어부(430)는 탠덤제어 시스템의 초기 구동 이전에 서보모터의 댐핑계수와 고유주파수를 계산하고, 노치필터부의 노치필터 계수를 계산한다. 또한, 노치필터 제어부(430)는 탠덤제어 시스템의 초기 구동 이후에 서보 모터부(600)의 제1 서보모터(610)와 제2 서보모터(620)가 병렬운전한 후에 노치필터부를 통해 전력 변환부(500)에 전달이 차단되는 공진감쇄지령을 출력하여 제1 서보모터(610)와 제2 서보모터(620)의 병렬운전에 따라 발생하는 공진을 억제 제어하는 기능을 수행한다.

[84] 이러한 출력부(410), 노치필터부(420), 및 노치필터 제어부(430)는 모두 서보 드라이브(400)의 내부에 설치되고, 세부적인 제어명령 해독 프로그램이나 각종

가공 프로그램, 구동 프로그램이 별도로 내장될 수 있다.

- [85] 또한, 출력부(410), 노치필터부(420), 및 노치필터 제어부(430)는 수치제어부(100), 구조작부(200), PLC(300), 서보 모터부(600), 전력 변환부(500)와 소정의 프로토콜에 의해 통신을 수행할 수 있다.
- [86] 따라서, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템은 1개의 전력부와 전력 변환부에 의해 2개의 서보 모터를 병렬운전시에 발생하는 공진을 실시간으로 산출된 노치필터 계수를 통해 공진감쇄지령에 의해 노치필터부에서 전력 변환부에 전달되는 전류를 인가하거나 차단하는 방식으로 공진억제를 수행함에 따라 불필요한 구성품을 제거하여 공작기계와 공작기계의 탠덤제어 시스템의 소형화를 도모하고, 공간활용도를 극대화할 수 있다.
- [87] 도 5 및 도 6에 도시된 것처럼, 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템(1)의 서보 드라이브(400)의 노치필터 제어부(430)는 메모리부(431), 연산부(432), 및 지령부(433)를 포함한다.
- [88] 메모리부(431)는 제1 서보모터와 제2 서보모터의 병렬운전시에 발생하는 공진을 억제하기 위한 탠덤제어를 위한 각종 정보를 저장한다.
- [89] 연산부(432)는 메모리부(431)에 저장된 정보를 통해 노치필터부(420)의 노치필터 계수를 실시간으로 산출한다.
- [90] 지령부(433)는 연산부(431)의 결과에 따라 공진감쇄지령을 통해 전력 변환부에 인가되는 전류를 노치필터부로 차단하거나 전달함에 따라 탠덤제어를 통한 공진억제를 실시간으로 수행한다.
- [91] 이러한, 메모리부(431), 연산부(432), 및 지령부(433)는 노치필터 제어부(430)의 내부에 설치되고, 세부적인 제어명령 해독 프로그램이나 각종 가공 프로그램, 구동 프로그램이 별도로 내장될 수 있다.
- [92] 또한, 메모리부(431), 연산부(432), 및 지령부(433)는 수치제어부(100), 구조작부(200), PLC(300), 서보 모터부(600), 전력 변환부(500), 출력부(410), 및 노치필터부(420)와 소정의 프로토콜에 의해 통신을 수행할 수 있다.
- [93] 도 5에 도시된 것처럼, 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템(1)의 서보 드라이브(400)의 노치필터 제어부(430)의 메모리부(431)는 기본데이터 저장부(4311), 피드백 데이터 저장부(4312), 및 실시간 데이터 저장부(4313)를 포함한다.
- [94] 기본데이터 저장부(4311)는 상당 영구자석에 의한 쇠교자속의 최대값, 동작 점에서의 각속도, 노치필터부의 직류이득, 서보 모터부의 고정자의 권선의 인덕턴스, 서보 모터부의 극 상수, 서보 모터부의 고정자 권선 저항, 및 회서보 모터부의 회전자 관성 모멘트에 관한 정보를 저장한다.
- [95] 기본 데이터 저장은 작업자가 수치제어부(100) 또는 구조작부(200)를 통해 수행할 수 있고, 프로그램 형태로 PLC(300)에 저장할 수도 있다.
- [96] 피드백 데이터 저장부(4312)는 제1 서보모터(610)를 제2 서보모터(620)와 병렬운전시에 생성되는 제1 서보모터의 위치와 속도 피드백 정보 및 제2

서보모터를 제1 서보모터와 병렬운전시에 생성되는 제2 서보모터의 위치와 속도 피드백 정보를 저장한다.

- [97] 상술한 바와 같이 피드백 데이터 저장부(4312)는 출력부(410), 노치필터부(420), 전력 변환부(500), 실시간 데이터 저장부(4313), 서보 모터부(600), 수치제어부(100), 구조작부(200), 및 PLC(300)와 전기적으로 연결되어 소정의 프로토콜에 의해 통신을 수행할 수 있다.
- [98] 실시간 데이터 저장부(4312)는 연산부에 의해 산출된 노치필터부의 실시간 노치필터 계수와 지령부에서 출력된 현재의 공진감쇄지령을 저장한다.
- [99] 상술한 바와 같이 실시간 데이터 저장부(4312)는 출력부(410), 노치필터부(420), 전력 변환부(500), 피드백 데이터 저장부(4312), 서보 모터부(600), 수치제어부(100), 구조작부(200), 및 PLC(300)와 전기적으로 연결되어 소정의 프로토콜에 의해 통신을 수행할 수 있다.
- [100] 도 5에 도시된 것처럼, 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템(1)의 서보 드라이브(400)의 노치필터 제어부(430)의 연산부(432)는 댐핑계수 계산부(4321), 고유주파수 계산부(4322), 극점계산부(4323), 영점계산부(4324) 및 계수계산부(4325)를 포함한다.
- [101] 댐핑계수 계산부(4321)은 기본데이터 저장부에 저장된 데이터에 의해 서보 모터부의 댐핑계수를 계산한다.
- [102] 고유주파수 계산부(4322)는 기본데이터 저장부에 저장된 데이터에 의해 서보 모터부의 고유주파수를 계산한다.
- [103] 극점계산부(4323)는 기본데이터 저장부에 저장된 데이터, 댐핑계수 계산부의 댐핑계수 계산값, 및 고유주파수 계산부의 고유주파수 계산값에 의해 탠덤제어 시스템의 극점을 계산한다.
- [104] 영점계산부(4324)는 기본데이터 저장부에 저장된 데이터, 댐핑계수 계산부의 댐핑계수 계산값, 및 고유주파수 계산부의 고유주파수 계산값에 의해 노치필터부의 영점을 계산한다.
- [105] 계수계산부(4325)는 기본데이터 저장부에 저장된 데이터, 댐핑계수 계산부의 댐핑계수 계산값, 고유주파수 계산부의 고유주파수 계산값, 극점계산부의 탠덤제어 시스템의 극점 계산값, 및 영점계산부의 노치필터부의 영점 계산값에 의해 노치필터 계수를 계산한다.
- [106] 지령부(433)는 기본데이터 저장부에 저장된 데이터, 댐핑계수 계산부의 댐핑계수 계산값, 고유주파수 계산부의 고유주파수 계산값, 극점계산부의 탠덤제어 시스템의 극점 계산값, 영점계산부의 노치필터부의 영점 계산값, 및 계수계산부의 노치필터 계수값으로 극점영점상쇄기법을 통해 공진감쇄지령을 출력한다.
- [107] 따라서, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템은 피드백 데이터 저장부로부터 실시간으로 전달 받은 제1, 2 서보모터의 피드백 정보와 실시간 데이터 저장부로부터 실시간으로 전달 받은 노치필터 계수와 현재의

공진감쇄지령에 따라 1개의 전력부와 전력 변환부에 의해 2개의 서보 모터를 병렬운전시에 발생하는 공진을 억제하여 2개의 서보 모터의 정밀한 공작억제 제어를 극점영점상쇄기법을 통한 노치필터부를 활용한 탠덤제어를 통해 실시간으로 수행함에 따라 자동공구교환장치 또는 자동팔레트교환장치의의 서보 제어장치의 정밀도와 신뢰도를 극대화하고, 공작기계의 안정성과 가공효율을 증가시킬 수 있다.

[108] 또한, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템은 1개의 전력부와 전력 변환부에 의해 2개의 서보 모터를 병렬운전시에 발생하는 공진을 서보모터의 종류와 용량에 관계없이 실시간으로 자동으로 억제 제어함에 따라 작업자의 편의를 도모하고, 비가공시간을 최소화하여 공작기계의 생산성을 극대화할 수 있다.

[109] 도 5 내지 도 7을 참조하여 노치필터 제어부(430)의 연산부(432)와 지령부(433)를 산출원리를 설명한다. 즉, 노치필터 제어부(430)의 연산부(432)와 지령부(433)는 하기와 같은 원리로 노치필터 계수를 실시간으로 계산하고, 산출된 노치필터 계수에 의해 공진감쇄지령을 출력한다.

[110] 상태변수들을 정상상태에서 $X = X_0 + \Delta X$ 로 표현한 테일러 급수를 이용해 선형화된 상태 방정식을 구하면 수학식 1로 계산된다.

[111] <수학식 1>

[112]

$$\frac{d\Delta x}{dt} = A(x_0) \Delta x + B(x_0) \Delta u$$

[113]

$$\Delta x^t = \begin{bmatrix} \Delta i_{ds}^r & \Delta i_{as}^r & \Delta i_{ds}^\omega & \Delta i_{as}^\omega & \Delta \omega_{re}^r & \Delta \delta \end{bmatrix}$$

$$\Delta u^t = \begin{bmatrix} \Delta v_{ds}^r & \Delta v_{as}^r & \Delta v_{ds}^\omega & \Delta v_{as}^\omega & \Delta \omega_{re}^\omega \end{bmatrix}$$

[114]

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_s} & \omega_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\omega_s & -\frac{R_s}{L_s} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R_s}{L_s} & 0 & -\frac{\Phi_f \sin \delta_0}{L_s} & -\frac{\Phi_f \omega_0 \cos \delta_0}{L_s} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{R_s}{L_s} & -\frac{\Phi_f \omega_0 \cos \delta_0}{L_s} & \frac{\Phi_f \sin \delta_0}{L_s} \\ 0 & \frac{3P_f^2 \Phi_f}{2J} & \frac{3P_f^2 \Phi_f \sin \delta_0}{2J} & \frac{3P_f^2 \Phi_f \cos \delta_0}{2J} & 0 & \frac{3P_f^2 \Phi_f (i_{d0}^\omega \cos \delta_0 - i_{q0}^\omega \sin \delta_0)}{2J} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

[115]

$$B = \begin{bmatrix} (1/L_s) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (1/L_s) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (1/L_s) & 0 & i_{a0}^\omega \\ 0 & 0 & 0 & (1/L_s) & i_{d0}^\omega \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[116] 그러나 수학식 1은 안정도를 평가하기 위해서는 병렬운전하는 탠덤 제어시스템이 너무 복잡하다.

[117] 이에 수학식 1을 간단히 하기 위해 서보 모터의 기계적 시정수가 전기적인 시정수 보다 충분히 크다고 가정하고 수학식 1을 정리하면 수학식 2로 계산된다.

[118] <수학식 2>

[119]

$$p \begin{bmatrix} \Delta \omega_{re}^r \\ \Delta \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{3}{2} \frac{P_f^2 \Phi_f^2}{J} \frac{R_s}{\omega_0^2 L_s^2} & \frac{3}{2} \frac{P_f^2 \Phi_f^2}{J L_s} \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \omega_{re}^r \\ \Delta \delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{3}{2} \frac{P_f^2 \Phi_f}{J} \frac{R_s}{\omega_0^2 L_s^2} & -\frac{3}{2} \frac{P_f^2 \Phi_f}{J R_s} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v_{as}^r \\ \Delta v_{as}^\omega \\ \Delta \omega_{re}^\omega \end{bmatrix}$$

[120] 따라서, 수학식 2로부터 전달함수를 구하면 수학식 3과 4가 된다.

[121] <수학식 3>

[122]

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

[123] 즉, 극점계산부(4323)는 수학식 3에 의해 계산된다.

[124] 또한, 전달함수인 특성방정식인 수학식 3을 병렬운전하는 탠덤제어 시스템의 서보 모터부의 댐핑계수와 고유주파수는 수학식 5로 계산된다.

[125] <수학식 4>

[126]

$$H(s) = K_n \frac{s^2 + \alpha\left(\frac{\omega_0}{Q}\right)s + \omega_0^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q}\right)s + \omega_0^2}$$

[127] 즉, 영점계산부(4324)는 수학식 4에 의해 계산된다.

[128] <수학식 5>

[129]

$$\zeta = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{\sqrt{JL_s}}{2} \frac{P_f \phi_f}{J} \frac{R_s}{\omega_0^2 L_s^2}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{P_f \phi_f}{\sqrt{JL_s}}$$

[130] 즉, 댐핑계수 계산부(4321)와 고유주파수 계산부(4322)는 수학식 4에 의해 계산된다.

[131] 도 7은 복소평면에서 극점영점상쇄기법에 대한 개념도를 나타낸다. 도 7에 도시된 것처럼, 일반적으로 제어시에 시스템의 응답특성은 전달함수의 분모를 0으로 설정하고 해석할 수 있다. 이에 따라 수학식 3에 의한 탠덤제어 시스템의 극점을 복소평면에 표시한다.(도 7에서 점선 X로 표시됨)

[132] 도 7에 도시된 것처럼, 수학식 3으로 표현되는 탠덤제어 시스템의 극점은 허수축과 가까우며 이는 하나이 전력 변환부로 동작하는 탠덤제어 시스템이 공진하는 것을 의미한다. 즉, 도 7의 X축을 기준으로 좌측으로 갈수록 안정되고, 우측으로 갈수록 공진에 의해 불안정한 상태를 나타낸다.

[133] 수학식 3의 분모부분인 탠덤제어 시스템의 극점의 위치에 수학식 4의 분자부분인 노치필터의 영점(도 7에서 실선 O로 표시됨)을 배치하여 1개의 전력 변환부로 동작하는 탠덤제어 시스템의 근본적인 공진성분을 상쇄하고 원하는 성능을 갖도록 노치필터의 극점(도 7에서 실선 X로 표시됨)을 배치하면 공진이 억제된 안정적인 탠덤제어가 가능하고 이는 수학식 6으로 표현된다.

[134] <수학식 6>

[135]

$$G_o(s) = H(s)G(s) = K_n \frac{s^2 + \alpha \left(\frac{\omega_o}{Q}\right)s + \omega_o^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_o}{Q}\right)s + \omega_o^2} \times \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

[136] 즉, 지령부의 공진감쇄지령은 수학식 6에 의해 도출된다.

[137] 이후 노치필터 계수중에 공진주파수와 탠덤제어 시스템의 서보모터의 고유주파수를 수학식 7과 같게 설정할 수 있다.

[138] <수학식 7>

[139]
$$\omega_o = \omega_n$$

[140] 결국, 상술한 바와 같이 노치필터의 영점(수학식 4의 분자부분)과 탠덤제어 시스템의 극점(수학식 3의 분모부분)을 극점배치기법(pole placement method)에 의해 수학식 8과 같은 노치필터 계수를 구할 수 있다.

[141] <수학식 8>

[142]

$$\alpha = 2\zeta\omega_n \frac{Q}{\omega_o} = 2\zeta Q$$

$$Q = \alpha \frac{\omega_o}{2\zeta\omega_n} = \frac{\alpha}{2\zeta}$$

[143] 즉, 계수계산부는(4325)는 수학식 8에 의해 도출된다.

[144] 상술한 수학식 1 내지 8에 각 인자는 하기와 같다.

[145] α_l : 고주파 이득 제한값[146] δ : V_t 와 E_f 사이의 토크각[147] $\gamma\delta$: 과도상태에서의 토크각[148] $\Delta\delta$: 선형화된 토크각[149] Δu : 입력변수 변동성분[150] Δx : 상태변수 변동성분[151] $\Delta\omega_{re}$: 선형화된 회전자 각속도[152] ζ : 감쇠정수[153] ω_o : 동작점에서의 각속도[154] ω_{re} : 회전자 각속도[155] ω_{re}^* : 임의의 각속도[156] ω_s : 동기각속도[157] i_{uvw} : 3상전류[158] i_{ds}^r, i_{qs}^r : 회전좌표계 d-q축 고정자 전류[159] $i_{ds}^\omega, i_{qs}^\omega$: 임의의 좌표계 d-q축 고정자 전류[160] i_{ds}^{r*}, i_{qs}^{r*} : 회전좌표계 d-q축 고정자 지령전류[161] $i_{ds}^{\omega*}, i_{qs}^{\omega*}$: 임의의 좌표계 d-q축 고정자 지령전류

- [162] K_n : 노치필터의 직류이득
- [163] ω_o : 노치필터 공진주파수
- [164] α : 노치필터의 가쇄크기
- [165] Q : 노치필터 대역폭
- [166] L_s : 전동기 고정자 권선의 인덕턴스
- [167] P_f : 전동기 극상수
- [168] R_s : 전동기 고정자 권선의 저항
- [169] V_t : 단자전압
- [170] V_{uvw} : 3상 전압
- [171] x : 상태변수
- [172] x_0 : 동작점에서의 상태변수
- [173] J : 모터 회전자 관성모멘트
- [174] $S: \sigma + j\omega$ (σ 는 실수, $j\omega$ 는 허수 즉 S 는 주파수 공간에서의 크기와 위상을 나타내는 인자이다.)
- [175] 이처럼, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템은 노치필터 제어부에 의해 노치필터부의 노치필터 계수를 실시간으로 산출하고, 실시간으로 산출된 노치필터 계수에 의해 전력 변환부에 전달되는 전류를 노치필터부로 차단하거나 인가함에 따라 따라 2개의 서보 모터를 1대의 전력 변환부와 1대의 서보 드라이브로 병렬운전할 때에 발생하는 공진 억제를 탠덤제어를 통해 서보모터의 종류나 용량에 관계없이 안정적으로 설정하고 운영하여 작업자의 편의를 도모하고, 최종적으로 자동공구교환장치 또는 자동팔레트교환장치와 같이 서보모터로 구동하는 장치를 제어함에 따라 제조 원가를 절감하고, 노이즈 감소에 따른 신뢰도 향상하며, 1개의 전력부와 전력 변환부에 의해 2개의 서보 모터를 병렬운전시에 발생하는 공진을 서보모터의 종류와 용량에 관계없이 범용적으로 사용함과 동시에 실시간으로 자동으로 억제 제어함에 따라 작업자의 편의를 도모하고, 비가공시간을 최소화하여 공작기계의 생산성을 극대화할 수 있다.
- [176] 또한, 도면에 도시되지는 않았지만, 본 발명의 일 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템(1)은 입력부와 표시부를 더 포함할 수 있다.
- [177] 입력부는 조작반 또는 주조작부 등에 스위치 또는 터치 버튼 등의 형태로 설치되어 서보 모터부의 병렬운전시에 실시간으로 공진억제 제어를 수행하거나 수행하지 않도록 작업자가 임의로 선택할 수 있는 기능을 수행한다.
- [178] 즉, 입력부에서 공작기계의 탠덤제어 시스템의 서보 모터부의 2개의 서보모터의 병렬운전시에 노치필터 제어부의 기능을 선택하지 않는 경우 공작기계의 탠덤제어 시스템의 공진억제 제어 기능이 작동하지 않게 된다.
- [179] 표시부는 연산부의 댐핑계수값, 고유주파수값, 극점 계산값, 영점 계산값, 노치필터 계수값, 공진감쇄지령 값, 이에 따라 작업자가 육안으로 실시간으로 서보 모터부의 2대의 서보모터의 병렬운전시에 공진억제 유무와 제어 상태를

확인할 수 있다.

- [180] 반드시 이에 한정되는 것은 아니지만 표시부는 주조작부 또는 수치제어부에 LCD, LED, PDP 모니터 등으로 구성될 수 있다.
- [181] 도 8에 도시된 것처럼, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 공작기계의 탠덤제어 시스템의 제어방법은 기본데이터를 저장 단계(S1), 서보 모터부의 댐핑계수 및 고유주파수 계산 단계(S2), 탠덤제어 시스템의 극점 계산 단계(S3), 노치필터부의 영점 계산 단계(S4), 노치필터 계수 계산 단계(S5), PLC 수행 단계(S6), 서보드라이브 수행 단계(S7), 전력변환부의 전력 인가 단계(S8), 피드백 정보 저장 단계(S9), 공진감쇄지령 출력 단계(S10), 및 실시간 데이터 저장 단계(S11)을 포함한다. 각 단계에서 구체적으로 시스템이나 장치의 수행이나 내용은 본 발명의 명세서의 공작기계의 탠덤제어 시스템과 동일한바 이하에서는 공작기계의 탠덤제어 시스템의 제어방법의 특이점을 중점으로 설명한다.
- [182] 기본데이터 저장부(4311)에 탠덤제어를 위해 서보 모터부와 노치필터부에 대한 기본 데이터를 저장한다. 상당 영구자석에 의한 쇠교자속의 최대값, 동작 점에서의 각속도, 노치필터부의 직류이득, 서보 모터부의 고정자의 권선의 인덕턴스, 서보 모터부의 극 상수, 서보 모터부의 고정자 권선 저항, 및 회서보 모터부의 회전자 관성 모멘트에 관한 정보를 작업자가 수치제어부(100) 또는 주조작부(200)를 통해 수행할 수 있고, 프로그램 형태로 PLC(300)에 저장한다.
- [183] 기본데이터 저장 단계(S1) 이후에, 서보 모터부의 댐핑계수 및 고유주파수를 계산한다. 즉, 댐핑계수 계산부와 고유주파수 계산부를 통해 수학식 5로 서보 모터부이 댐핑계수와 고유주파수를 계산한다.
- [184] 서보 모터부의 댐핑계수 및 고유주파수 계산 단계(S2) 이후에, 탠덤제어 시스템의 극점 계산부에서 수학식 3에 의해 탠덤제어 시스템의 극점을 계산한다.
- [185] 탠덤제어 시스템의 극점 계산 단계(S3) 이후에, 노치필터부의 영점계산부에서 수학식 4에 의해 노치필터부의 영점을 계산한다.
- [186] 노치필터부의 영점을 계산하는 단계(S4) 이후에, 기본데이터 저장부에 저장된 기본 데이터와 산출된 서보 모터부의 댐핑계수와 고유주파수, 탠덤제어 시스템의 극점, 및 노치필터부의 영점을 통해 계수계산부에서 수학식 8에 의해 노치필터부의 노치필터 계수를 계산한다.
- [187] 노치필터 계수 계산 단계(S5) 이후에, 수치제어부 또는 주조작부와 통신을 통해 PLC에서 제어명령을 수행한다.
- [188] PLC 수행 단계(S6) 이후에, PLC로부터 전달된 제어명령을 서보 드라이브가 수행한다.
- [189] 서보드라이브 수행 단계(S7) 이후에, 서보 드라이브의 신호에 따라 전력 변환부가 제1 서보모터와 제2 서보모터를 구비하는 서보 모터부에 전류를 인가한다.
- [190] 전력변환부의 전력 인가 단계(S8) 이후에, 제1 서보모터를 제2 서보모터와

병렬운전시에 생성되는 제1 서보모터의 위치와 속도 피드백 정보 및 제2 서보모터를 제1 서보모터와 병렬운전시에 생성되는 제2 서보모터의 위치와 속도 피드백 정보를 피드백 데이터 저장부에 저장한다.

[191] 피드백 정보 저장 단계(S9) 이후에, 계수계산부에서 계산된 노치필터 계수에 따라 실시간으로 수학적 식 6에 의해 지령부가 공진감쇄지령을 출력하고 이를 노치필터부에 전달한다.

[192] 공진감쇄지령 출력 단계(S10) 이후에, 실시간으로 계산되는 노치필터 계수와 공진감쇄지령을 통해 전력 변환부에 인가되는 전류를 노치필터부로 차단함에 따라 탠덤제어를 통한 공진억제를 실시간으로 수행한다.

[193] 또한, 공진감쇄지령 출력 단계(S10) 이후에, 실시간으로 계산되는 현재의 노치필터 계수와 실시간으로 출력되는 공진감쇄지령을 저장한다.

[194] 따라서, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템의 제어방법은 노치필터 제어부에 의해 노치필터부의 노치필터 계수를 실시간으로 산출하고, 실시간으로 산출된 노치필터 계수에 의해 전력 변환부에 전달되는 전류를 노치필터부로 차단하거나 인가함에 따라 따라 2개의 서보 모터를 1대의 전력 변환부와 1대의 서보 드라이브로 병렬운전할 때에 발생하는 공진 억제제를 탠덤제어를 통해 서보모터의 종류나 용량에 관계없이 안정적으로 설정하고 운영하여 작업자의 편의를 도모하고, 최종적으로 자동공구교환장치 또는 자동팔레트교환장치와 같이 서보모터로 구동하는 장치를 제어함에 따라 제조 원가를 절감하고, 노이즈 감소에 따른 신뢰도 향상하며, 서보모터의 종류와 용량에 관계없이 범용적으로 사용될 수 있어 탠덤제어 시스템과 이의 제어방법의 호환성을 증가시킬 수 있고, 실시간으로 산출된 노치필터 계수를 통해 공진감쇄지령에 의해 노치필터부에서 전력 변환부에 전달되는 전류를 인가하거나 차단하는 방식으로 공진억제를 수행함에 따라 불필요한 구성품을 제거하여 공작기계와 공작기계의 탠덤제어 시스템의 소형화를 도모하고, 공간활용도를 극대화할 수 있다.

[195] 도 6 내지 도 7을 참조하여 본 발명에 의한 공작기계의 공진억제 제어장치 및 공진억제 제어방법의 효과를 더욱 구체적으로 설명한다. 도 6은 주파수에 따른 진동량의 변화를 나타내는 보데선도이고, 도 7은 주파수에 따른 위상차리를 나타내는 보데선도이다. 도 6 내지 도 7에서 실선은 종래 서보 제어장치에서 2대의 서보모터의 병렬운전을 나타내고, 점선은 본 발명에 의한 공작기계의 공진억제 제어장치 및 공진억제 제어방법이 적용된 상태를 나타낸다.

[196] 도 9 내지 도 10에서 알 수 있는 것처럼, 종래 본 발명에 의한 탠덤제어 시스템과 이의 제어방법이 적용되지 않은 공작기계의 경우 경우 공진이 발생하고, 위상도 180도 기준으로 대략 9도를 나타낸다. 이와 달리 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법이 적용된 경우 변곡점이 없어 공진 발생이 없어 공진을 완벽하게 억제하고, 위상도 180도 기준 57도를 나타낸다.

[197] 구체적으로 탠덤제어의 수학적 모델의 전달함수인 $G(S)$ (도 9, 10에서

일점쇄선)의 주파수 응답을 보면 22.9 rad/sec에서 공진이 발생하고 있고, 위상마진이 9도로 불안정한 응답을 보이고 있다. 그러나 전달함수 $H(S)$ (도 9, 10에서 점선)인 노치필터로 인해 19db까지 증가하는 공진점 크기는 감쇄되고, 위상마진이 57도로 탠덤제어 전체 시스템인 $G_0(S)$ 의 주파수 응답이 공진이 억제된 안정적인 응답을 보이는 것을 확인할 수 있다.

[198] 결국, 종래보다 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법은 대략 5배 이상의 안정성과 신뢰성을 담보할 수 있다.

[199] 즉, 본 발명에 의한 공작기계의 탠덤제어 시스템 및 이의 제어방법은 계산부에서 수학식 6 및 수학식 8을 통해 실시간으로 노치필터부의 노치필터 계수를 계산하고, 이를 반영하여 지령부에서 공진감쇄지령을 출력하여 전력 변환부로 인가되는 전류를 차단하거나 인가하여 제1 서보모터와 제2 서보모터에 공급되는 전류를 제어함에 따라 1개의 전력 변환부로 2개의 서보모터를 동시에 제어하는 탠덤제어 중에 공진억제를 실시간으로 제어하여 외란에 대해 대략 5.2배의 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있다.

[200] 이상에서 설명한 본 발명의 상세한 설명에서는 본 발명의 바람직한 실시 예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자 또는 해당 기술분야에 통상의 지식을 갖는 자라면 후술할 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 기술 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명의 기술적 범위는 명세서의 상세한 설명에 기재된 내용으로 한정되는 것이 아니라 특허청구범위에 의해 정하여져야만 할 것이다.

[201] <부호의 설명>

[202] 1 : 공진억제 제어장치 10 : 제1 서보 드라이브

[203] 11 : 제2 서보 드라이브 20 : 제1 인버터

[204] 21 : 제2 인버터 30 : 제1 서보모터

[205] 31 : 제2 서보모터 100 : 수치제어부

[206] 200 : 구조작부 300 : PLC

[207] 400 : 서보 드라이브 410 : 출력부

[208] 411 : 속도신호 출력부 412 : 토크신호 출력부

[209] 420 : 노치필터부 430 : 노치필터 제어부

[210] 431 : 메모리부 4311 : 기본 데이터 저장부

[211] 4312 : 피드백 데이터 저장부 4313 : 실시간 데이터 저장부

[212] 432 : 연산부 4321 : 댐핑계수 계산부

[213] 4322 : 고유주파수 계산부 4323 : 극점계산부

[214] 4324 : 영점계산부 4325 : 계수계산부

[215] 433 : 지령부 500 : 전력 변환부

[216] 600 : 서보 모터부 610 : 제1 서보모터

[217] 620 : 제2 서보모터

청구범위

- [청구항 1] 수치제어부;
 구조작부;
 상기 수치제어부 또는 상기 구조작부와 통신을 통해 제어명령을 행하는 PLC;
 노치필터부를 구비하고, 상기 PLC의 제어명령을 수행하는 서보 드라이브;
 상기 서보 드라이브의 제어에 따라 구동하는 서보 모터부; 및
 상기 서보 모터부 및 상기 서보 드라이브와 전기적으로 연결되어 상기 서보 모터부에 전류를 인가하는 전력 변환부;를 포함하고,
 상기 서보 드라이브는 상기 노치필터부의 실시간으로 산출된 노치필터 계수의 변화에 따라 상기 전력 변환부에 전달되는 전류의 인가상태를 조절하여 상기 서보 모터부의 운전에 따른 공진억제를 수행하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 탠덤제어 시스템.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
 상기 서보 드라이브는,
 상기 서보 모터부의 운전속도 신호와 상기 전력 변환부에 전달되는 토크 신호를 출력하는 출력부; 및
 상기 노치필터부의 노치필터 계수를 실시간으로 산출하고, 산출된 노치필터 계수에 의해 상기 전력 변환부에 전달되는 전류의 인가유무를 제어하는 노치필터 제어부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 탠덤제어 시스템.
- [청구항 3] 제2항에 있어서,
 상기 서보 모터부는,
 서로 병렬로 연결되는 제1 서보모터 및 제2 서보모터를 포함하고,
 상기 노치필터부의 노치필터 계수의 실시간 변화에 따라 상기 전력 변환부를 통해 각각 상기 제1 서보모터와 상기 제2 서보모터에 전달되는 전류의 인가유무를 실시간으로 조절하여 상기 제1 서보모터와 상기 제2 서보모터의 탠덤제어 중에 발생하는 공진 억제를 제어하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 탠덤제어 시스템.
- [청구항 4] 제3항에 있어서,
 상기 노치필터 제어부는,
 상기 제1 서보모터와 상기 제2 서보모터의 병렬운전시에 발생하는 공진을 억제하기 위한 탠덤제어를 위한 정보를 저장하는 메모리부;
 상기 메모리부에 저장된 정보를 통해 상기 노치필터부의 노치필터 계수를 산출하는 연산부; 및
 상기 연산부의 결과에 따라 공진감쇄지령을 통해 상기 전력 변환부에

인가되는 전류를 상기 노치필터부로 차단함에 따라 탠덤제어를 통한 공진억제를 실시간으로 수행하는 지령부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 탠덤제어 시스템.

[청구항 5]

제4항에 있어서,
상기 메모리부는,
상당 영구자석에 의한 쇠교자속의 최대값, 동작 점에서의 각속도, 노치필터부의 직류이득, 서보 모터부의 고정자의 권선의 인덕턴스, 서보 모터부의 극 상수, 서보 모터부의 고정자 권선 저항, 및 회서보 모터부의 회전자 관성 모멘트에 관한 정보를 저장하는 기본데이터 저장부;
상기 제1 서보모터를 상기 제2 서보모터와 병렬운전시에 생성되는 상기 제1 서보모터의 위치와 속도 피드백 정보 및 상기 제2 서보모터를 상기 제1 서보모터와 병렬운전시에 생성되는 상기 제2 서보모터의 위치와 속도 피드백 정보를 저장하는 피드백 데이터 저장부; 및
상기 연산부에 의해 산출된 상기 노치필터부의 실시간 노치필터 계수와 상기 지령부에서 출력된 현재의 공진감쇄지령을 저장하는 실시간 데이터 저장부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 탠덤제어 시스템.

[청구항 6]

제5항에 있어서,
상기 연산부는,
상기 기본데이터 저장부에 저장된 데이터에 의해 상기 서보 모터부의 댐핑계수를 계산하는 댐핑계수 계산부;
상기 기본데이터 저장부에 저장된 데이터에 의해 상기 서보 모터부의 고유주파수를 계산하는 고유주파수 계산부;
상기 기본데이터 저장부에 저장된 데이터, 상기 댐핑계수 계산부의 계산값, 및 상기 고유주파수 계산부의 계산값에 의해 상기 탠덤제어 시스템의 극점을 계산하는 극점계산부;
상기 기본데이터 저장부에 저장된 데이터, 상기 댐핑계수 계산부의 계산값, 및 상기 고유주파수 계산부의 계산값에 의해 상기 노치필터부의 영점을 계산하는 영점계산부; 및
상기 기본데이터 저장부에 저장된 데이터, 상기 댐핑계수 계산부의 계산값, 상기 고유주파수 계산부의 계산값, 상기 극점계산부의 계산값, 및 상기 영점계산부의 영점값에 의해 노치필터 계수를 계산하는 계수계산부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 탠덤제어 시스템.

[청구항 7]

제6항에 있어서,
상기 지령부는,
상기 기본데이터 저장부에 저장된 데이터, 상기 댐핑계수 계산부의 계산값, 상기 고유주파수 계산부의 계산값, 상기 극점계산부의 계산값, 상기 영점계산부의 영점값, 및 상기 계수계산부의 노치필터 계수값으로

극점영점상쇄기법을 통해 공진감쇄지령을 출력하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 탠덤제어 시스템.

[청구항 8]

제5항에 있어서,
상기 출력부는,
상기 수치제어부로부터 전달받은 위치지령과 상기 피드백 데이터 저장부로부터 전달 받은 피드백 신호에 따라 상기 서보 모터부의 운전속도 신호를 출력하는 속도신호 출력부; 및
상기 속도신호 출력부로부터 전달 받은 속도신호와 상기 피드백 데이터 저장부로부터 전달 받은 피드백 신호에 따라 상기 서보 모터부를 구동하기 위해 상기 전력 변환부에 전달되는 유효토크 신호를 출력하는 토크신호 출력부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 탠덤제어 시스템.

[청구항 9]

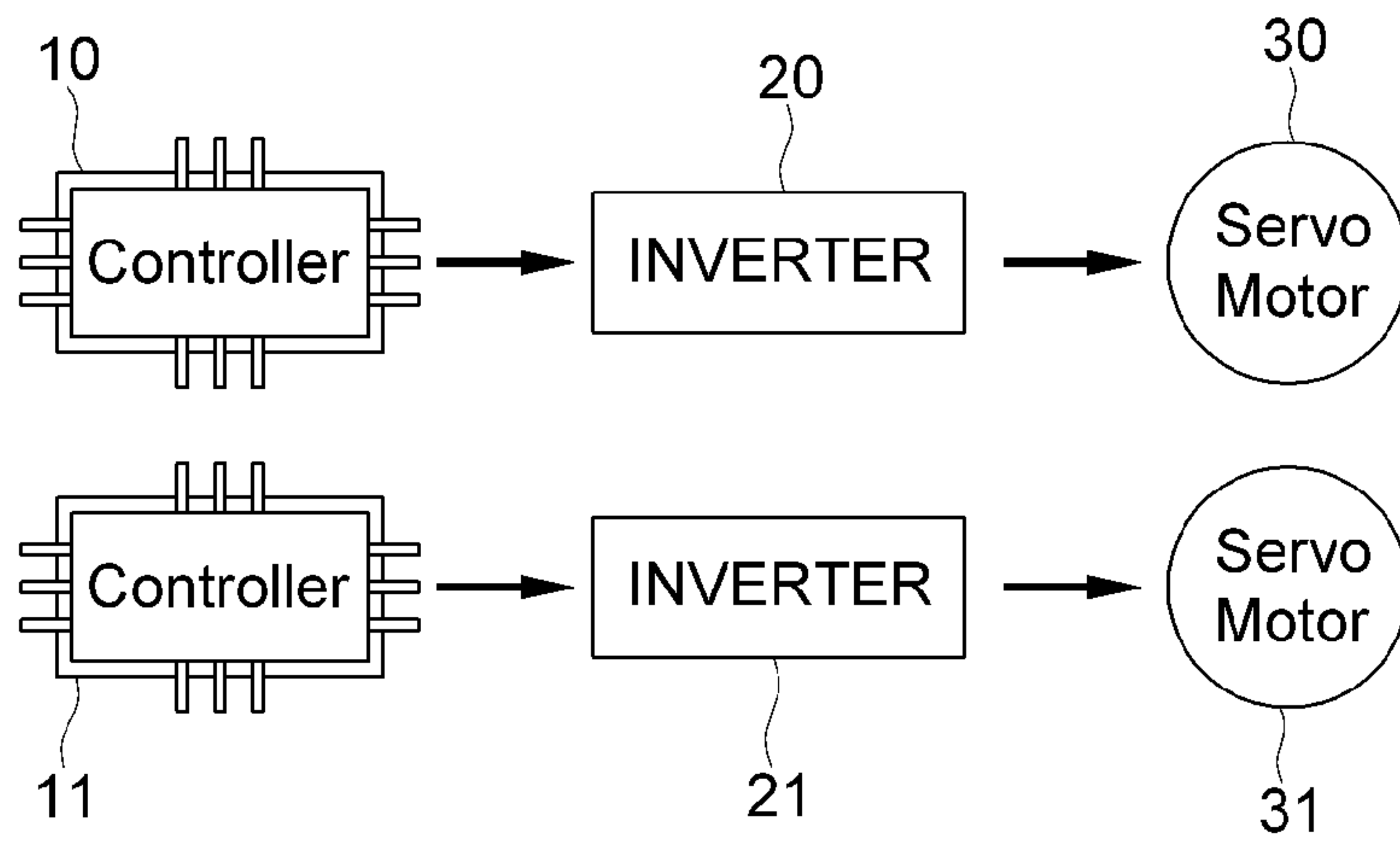
탠덤제어를 위해 서보 모터부와 노치필터부에 대한 기본 데이터를 저장하는 단계;
상기 서보 모터부의 댐핑계수 및 고유주파수를 계산하는 단계;
탠덤제어 시스템의 극점을 계산하는 단계;
노치필터부의 영점을 계산하는 단계;
저장된 상기 기본 데이터와 산출된 상기 서보 모터부의 댐핑계수와 고유주파수, 상기 탠덤제어 시스템의 극점, 및 상기 노치필터부의 영점을 통해 상기 노치필터부의 노치필터 계수를 계산하는 단계;
수치제어부 또는 주조작부와의 통신을 통해 PLC에서 제어명령을 수행하는 단계;
상기 PLC로부터 전달된 제어명령을 서보 드라이브에서 수행하는 단계;
상기 서보 드라이브의 신호에 따라 전력 변환부가 제1 서보모터와 제2 서보모터를 구비하는 서보 모터부에 전류를 인가하는 단계;
상기 제1 서보모터를 상기 제2 서보모터와 병렬운전시에 생성되는 상기 제1 서보모터의 위치와 속도 피드백 정보 및 상기 제2 서보모터를 상기 제1 서보모터와 병렬운전시에 생성되는 상기 제2 서보모터의 위치와 속도 피드백 정보를 저장하는 단계; 및
계산된 상기 노치필터 계수에 따라 실시간으로 공진감쇄지령을 출력하는 단계;를 포함하고,
실시간으로 계산되는 노치필터 계수와 공진감쇄지령을 통해 상기 전력 변환부에 인가되는 전류를 상기 노치필터부로 차단함에 따라 탠덤제어를 통한 공진억제를 실시간으로 수행하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 탠덤제어 시스템의 제어방법.

[청구항 10]

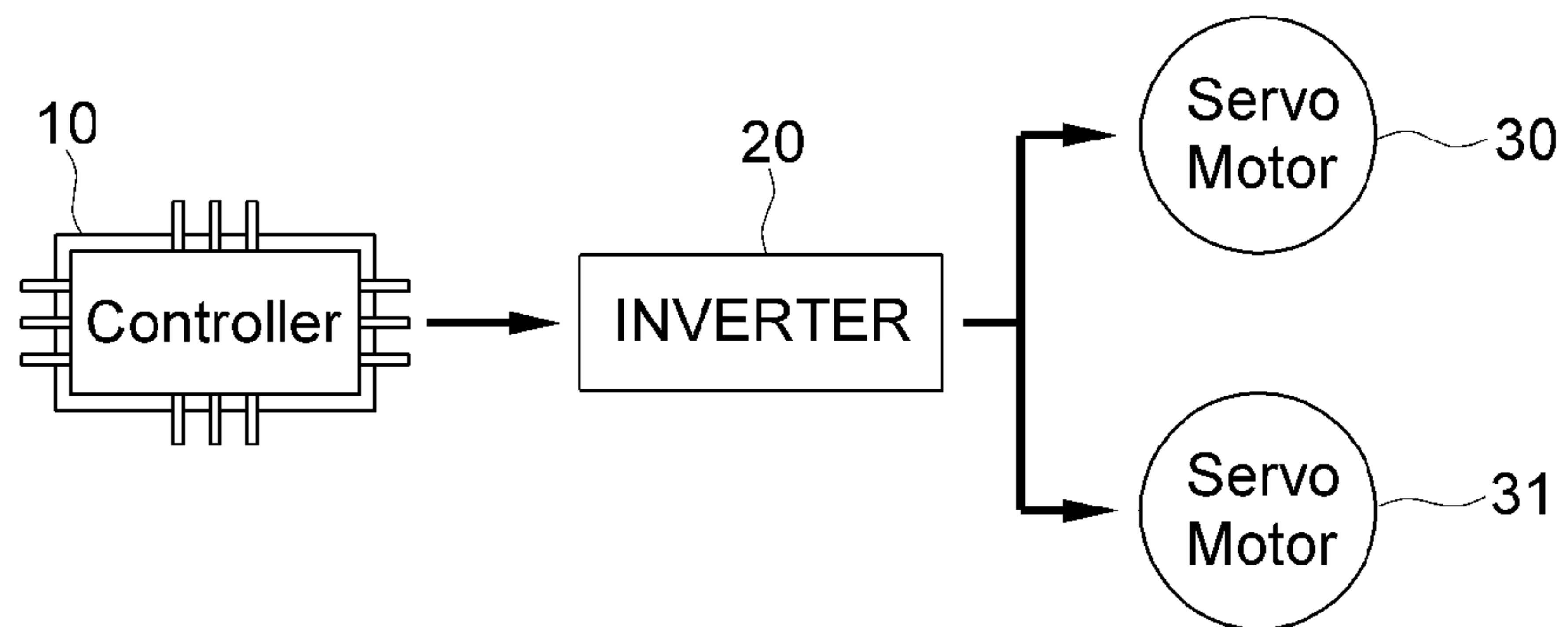
제9항에 있어서,
상기 공진감쇄지령을 출력하는 단계 이후에, 실시간으로 계산되는 현재의 노치필터 계수와 실시간으로 출력되는 공진감쇄지령을 저장하는

단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 탠덤제어 시스템의 제어방법.

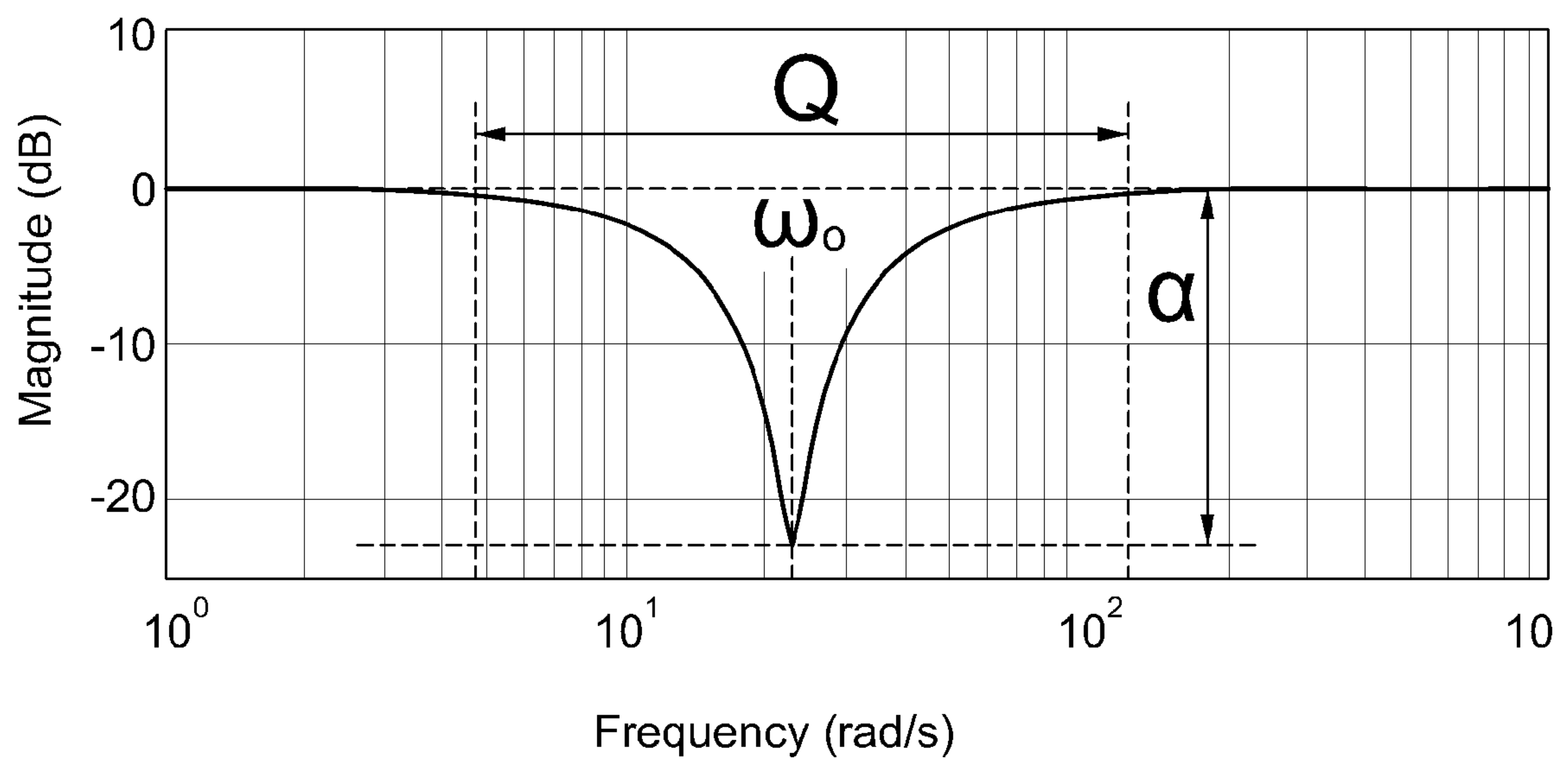
[도1]



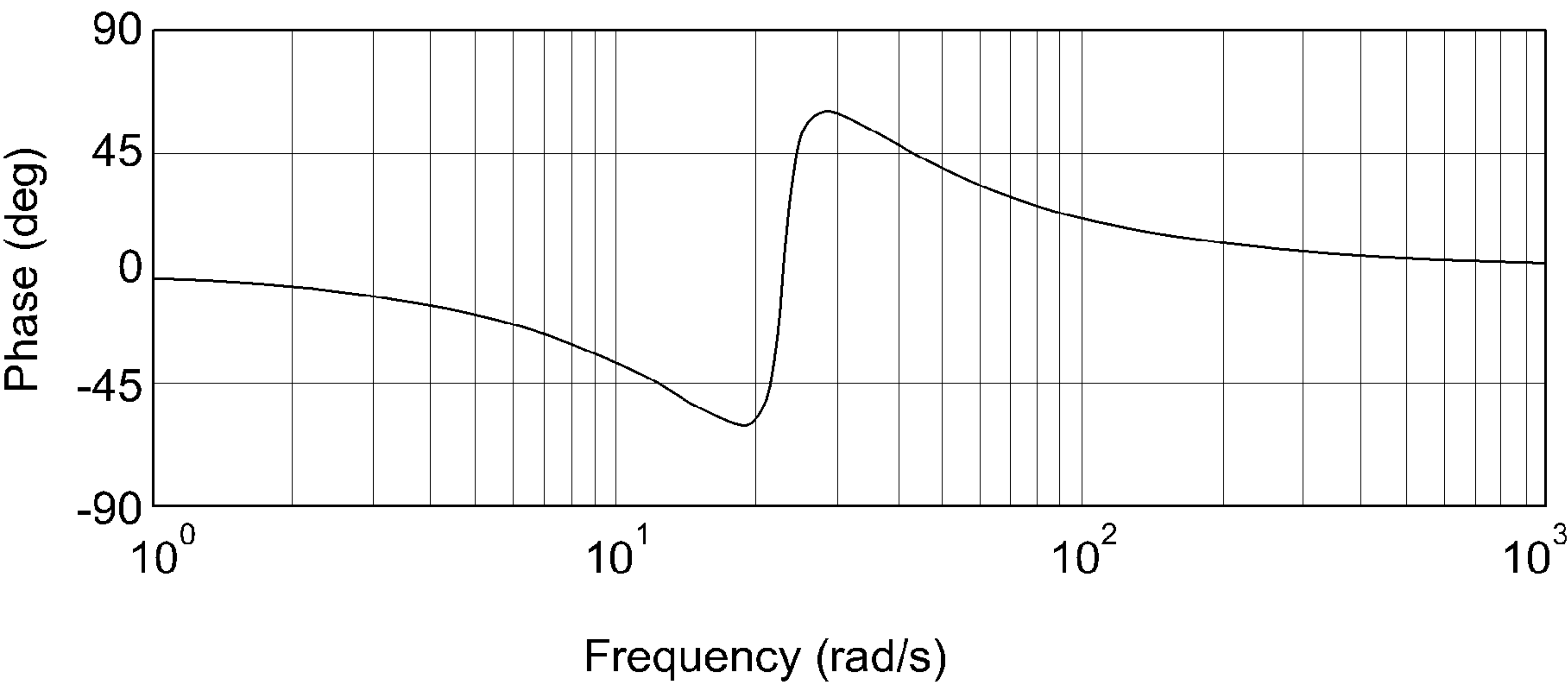
[도2]



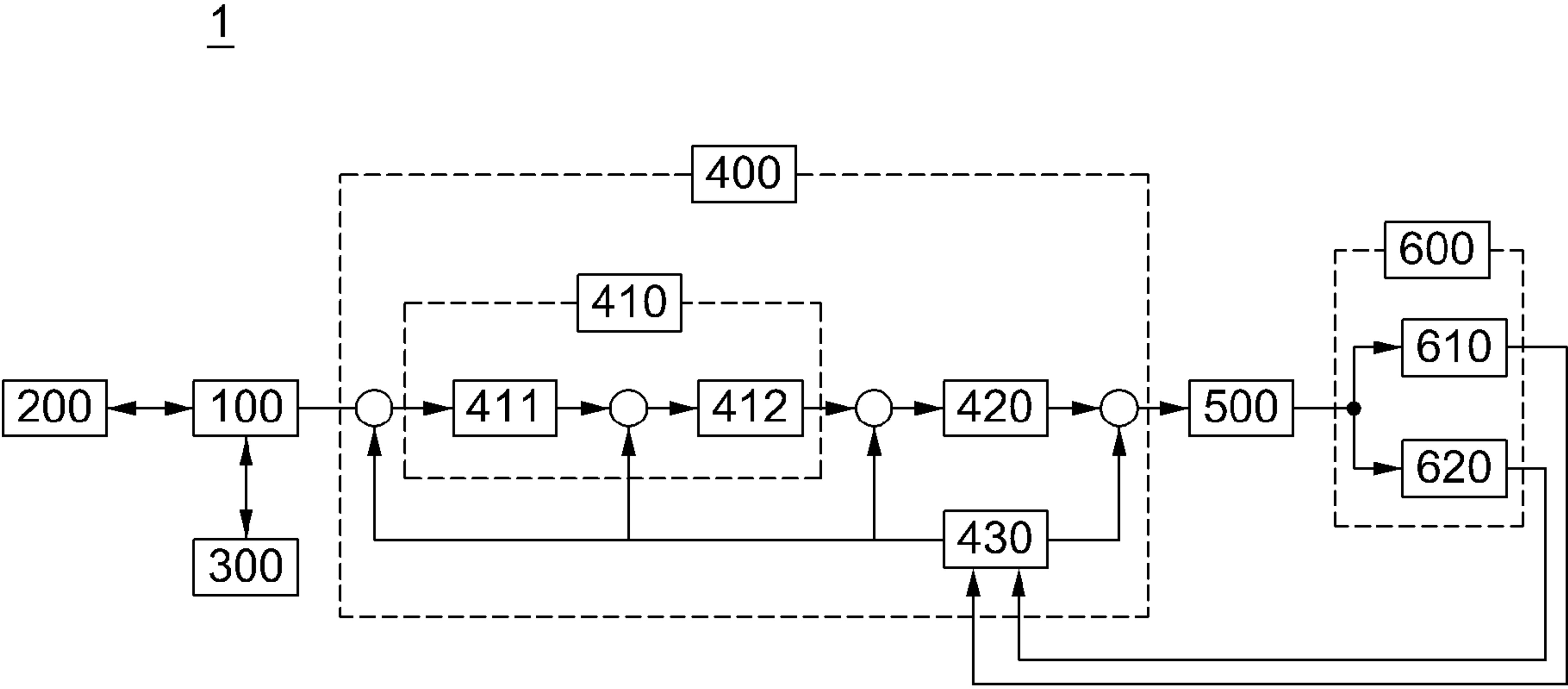
[도3]



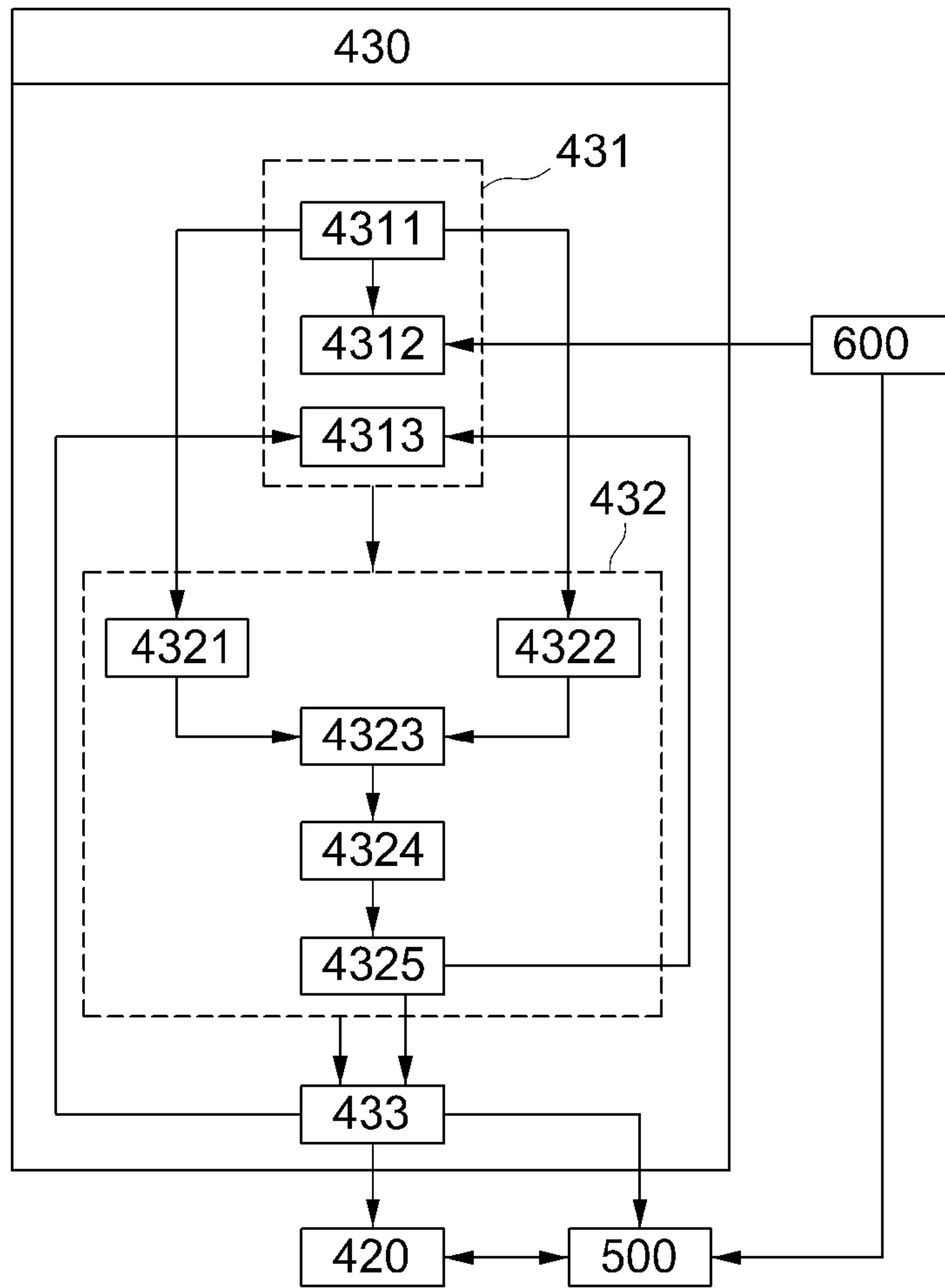
[도4]



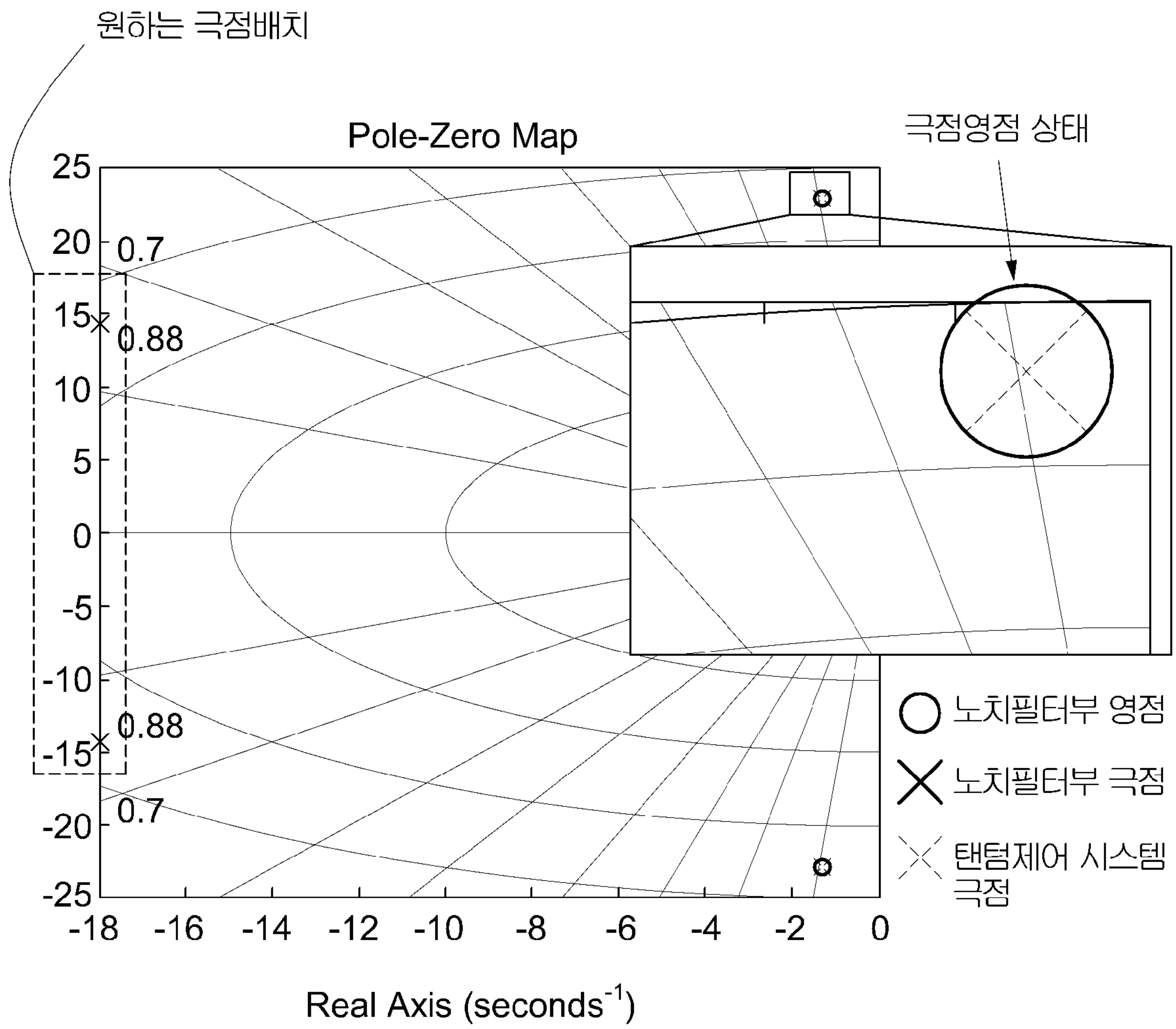
[도5]



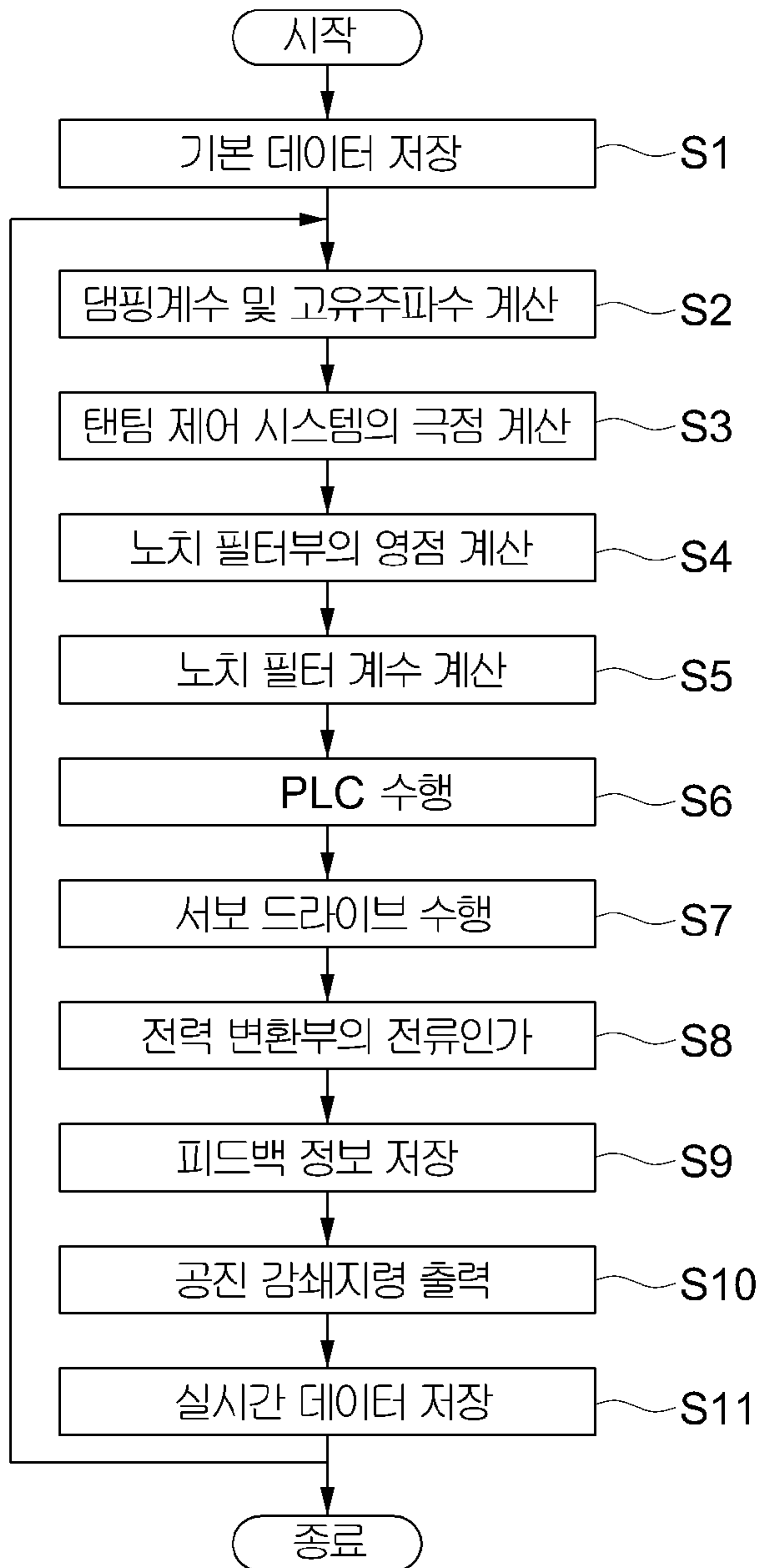
[도6]



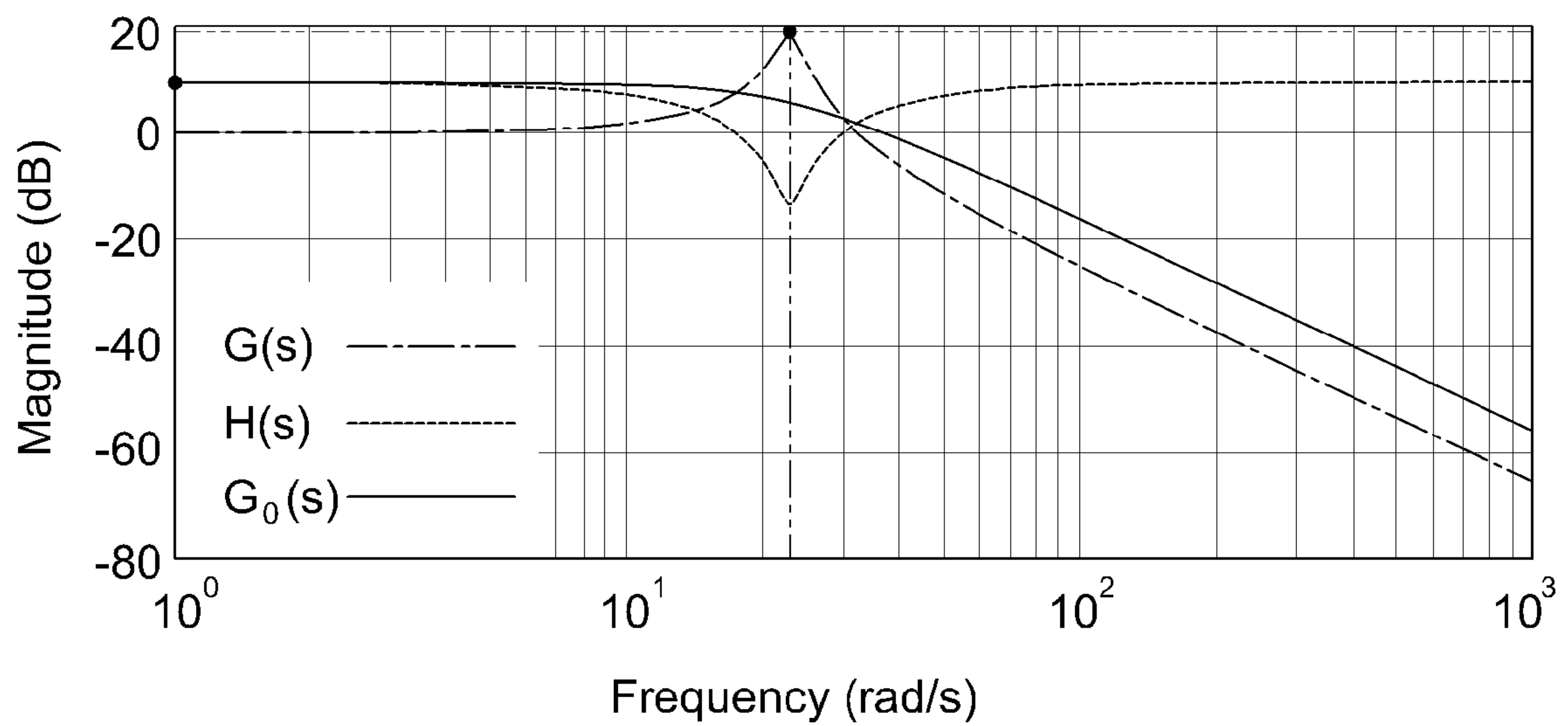
[도7]



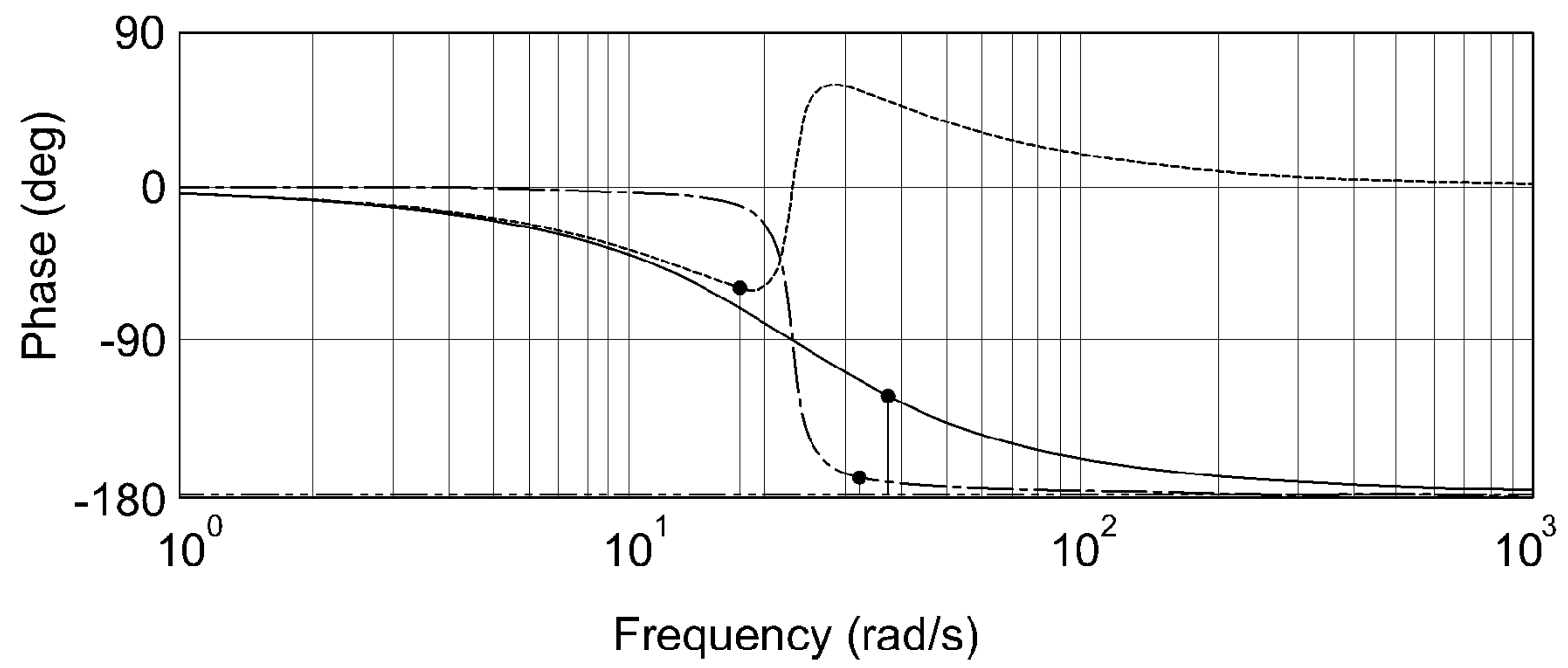
[도8]



[도9]



[도10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2020/018210

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 23/04(2006.01)i; H02P 5/74(2006.01)i; G05B 19/05(2006.01)i; B23Q 11/00(2006.01)i; B23Q 1/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02P 23/04(2006.01); G05B 11/32(2006.01); G05B 11/36(2006.01); G05B 19/18(2006.01); H02P 29/00(2006.01); H02P 31/00(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 서보모터(servomotor), 노치 필터(notch filter), 노치 계수(notch factor), 전류(current), 공진(resonance), 억제(restriction)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 6049587 B2 (TOSHIBA MACHINE CO., LTD.) 21 December 2016 (2016-12-21) See paragraphs [0023]-[0054].	1,2
Y		3
A		4-10
Y	US 2007-0007926 A1 (IWASHITA, Yasusuke et al.) 11 January 2007 (2007-01-11) See paragraph [0038].	3
A	JP 2019-080424 A (OMRON CORP.) 23 May 2019 (2019-05-23) See paragraphs [0006]-[0018] and [0027]-[0031].	1-10
A	KR 10-1757267 B1 (SEOUL NATIONAL UNIVERSITY R&DB FOUNDATION et al.) 13 July 2017 (2017-07-13) See paragraphs [0033]-[0073].	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
“D” document cited by the applicant in the international application
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 April 2021

Date of mailing of the international search report

12 April 2021

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2020/018210

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-1708739 B1 (SEOUL NATIONAL UNIVERSITY R&DB FOUNDATION et al.) 21 February 2017 (2017-02-21) See paragraphs [0055]-[0104].	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2020/018210

Patent document cited in search report				Publication date (day/month/year)		Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
JP	6049587	B2	21 December 2016	JP	2015-097462	A		21 May 2015	
US	2007-0007926	A1	11 January 2007	CN	1892523	A		10 January 2007	
				CN	1892523	B		27 October 2010	
				EP	1742128	A1		10 January 2007	
				EP	1742128	B1		11 April 2012	
				JP	2007-042068	A		15 February 2007	
				JP	4361071	B2		11 November 2009	
				US	7656106	B2		02 February 2010	
JP	2019-080424	A	23 May 2019	CN	111052595	A		21 April 2020	
				EP	3703250	A1		02 September 2020	
				US	2020-0278658	A1		03 September 2020	
				WO	2019-082657	A1		02 May 2019	
KR	10-1757267	B1	13 July 2017	KR	10-2017-0004405	A		11 January 2017	
KR	10-1708739	B1	21 February 2017	KR	10-2017-0004406	A		11 January 2017	

A.발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

H02P 23/04(2006.01)i; H02P 5/74(2006.01)i; G05B 19/05(2006.01)i; B23Q 11/00(2006.01)i; B23Q 1/00(2006.01)i

B.조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)
H02P 23/04(2006.01); G05B 11/32(2006.01); G05B 11/36(2006.01); G05B 19/18(2006.01); H02P 29/00(2006.01); H02P 31/00(2006.01)

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌
한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))
eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 서보모터(servomotor), 노치 필터(notch filter), 노치 계수(notch factor), 전류(current), 공진(resonance), 억제(restriction)

C.관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	JP 6049587 B2 (TOSHIBA MACHINE CO., LTD.) 2016.12.21 단락 [0023]-[0054]	1,2
Y		3
A		4-10
Y	US 2007-0007926 A1 (YASUSUKE IWASHITA 등) 2007.01.11 단락 [0038]	3
A	JP 2019-080424 A (OMRON CORP.) 2019.05.23 단락 [0006]-[0018], [0027]-[0031]	1-10
A	KR 10-1757267 B1 (서울대학교산학협력단 등) 2017.07.13 단락 [0033]-[0073]	1-10
A	KR 10-1708739 B1 (서울대학교산학협력단 등) 2017.02.21 단락 [0055]-[0104]	1-10

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일

2021년04월12일(12.04.2021)

국제조사보고서 발송일

2021년04월12일(12.04.2021)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소

대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

박혜련

전화번호 +82-42-481-3463

서식 PCT/ISA/210 (두 번째 용지) (2019년 7월)

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 6049587 B2	2016/12/21	JP 2015-097462 A	2015/05/21
US 2007-0007926 A1	2007/01/11	CN 1892523 A	2007/01/10
		CN 1892523 B	2010/10/27
		EP 1742128 A1	2007/01/10
		EP 1742128 B1	2012/04/11
		JP 2007-042068 A	2007/02/15
		JP 4361071 B2	2009/11/11
		US 7656106 B2	2010/02/02
JP 2019-080424 A	2019/05/23	CN 111052595 A	2020/04/21
		EP 3703250 A1	2020/09/02
		US 2020-0278658 A1	2020/09/03
		WO 2019-082657 A1	2019/05/02
KR 10-1757267 B1	2017/07/13	KR 10-2017-0004405 A	2017/01/11
KR 10-1708739 B1	2017/02/21	KR 10-2017-0004406 A	2017/01/11