



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년01월12일

(11) 등록번호 10-2349634

(24) 등록일자 2022년01월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C03B 17/06 (2006.01) G01B 1/00 (2006.01)

G01B 21/08 (2006.01) G05D 23/19 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C03B 17/064 (2013.01)

C03B 17/067 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-7010614

(22) 출원일자(국제) 2015년09월18일

심사청구일자 2020년07월10일

(85) 번역문제출일자 2017년04월19일

(65) 공개번호 10-2017-0065554

(43) 공개일자 2017년06월13일

(86) 국제출원번호 PCT/US2015/050879

(87) 국제공개번호 WO 2016/048817

국제공개일자 2016년03월31일

(30) 우선권주장

14/492,580 2014년09월22일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020060132706 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

코닝 인코포레이티드

미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트 플라자

(72) 발명자

아렌스 제프리 하워드

미국 14871 뉴욕주 파인 시티 리버우드 드라이브 15

(74) 대리인

양영준, 김영

전체 청구항 수 : 총 8 항

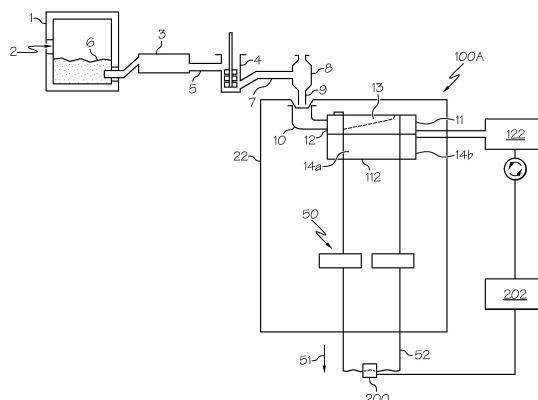
심사관 : 양정화

(54) 발명의 명칭 유리 리본의 두께 웨지를 제어하는 방법

(57) 요약

유리 리본의 웨지 변동을 제어하는 방법은 용융 유리를 형성 용기의 수렴하는 측면 위로 흘러내리게 하고, 형성 용기의 루트로부터 유리 리본을 인출하고, 유리 리본의 폭의 적어도 일부에서 웨지 변동을 측정하고, 측정된 웨지 변동에 기초하여 형성 용기의 경사 및 형성 용기의 위어 근처에서의 온도를 조정하여 유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 감소시키고, 유리 리본의 폭의 일부에서 웨지 변동을 재측정하는 것을 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01B 1/00 (2013.01)

G01B 21/08 (2013.01)

G05D 23/19 (2021.01)

Y02P 40/57 (2020.08)

명세서

청구범위

청구항 1

용융 유리를 형성 용기의 수렴하는 측면 위로 흘러내리게 하고,
 형성 용기의 루트로부터 폭을 갖는 유리 리본을 인출하고,
 유리 리본의 폭의 적어도 일부에서 웨지 변동을 측정하고,
 측정된 웨지 변동의 고빈도 성분 및 측정된 웨지 변동의 저빈도 성분을 결정하고,
 측정된 웨지 변동의 고빈도 성분에 기초하여 형성 용기의 경사 변화를 결정하고,
 측정된 웨지 변동의 저빈도 성분에 기초하여 형성 용기의 위어(weir) 근처에서의 온도 변화를 결정하고,
 결정된 경사 변화에 기초하여 형성 용기의 경사를 조정하고, 결정된 위어 근처에서의 온도 변화에 기초하여 형성 용기의 위어 근처에서의 온도를 조정하여, 유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 감소시키는 것을 포함하는,
 유리 리본의 웨지 변동을 제어하는 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서, 형성 용기의 경사를 조정하는 것은 형성 용기의 제2 단부에 대해 형성 용기의 제1 단부의 위치를 조정하는 것을 포함하고, 형성 용기의 제1 단부 및 제2 단부는 형성 용기의 수렴하는 측면에 수직이고 형성 용기의 길이만큼 분리되어 있는 것인, 유리 리본의 웨지 변동을 제어하는 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

형성 용기의 길이를 한정하는 제1 단부 및 제2 단부와, 형성 용기의 상부 표면에 위치하는 트러프를 갖는 형성 용기,

형성 용기의 제2 단부에 대해 형성 용기의 제1 단부의 위치를 변화시키도록 구성된 경사 메카니즘,

형성 용기의 위어 근처 영역을 가열하도록 구성된 적어도 1개의 가열 메카니즘, 및

인출 장치의 저부에 위치한 두께 게이지와, 컴퓨터로 관독가능 및 실행가능한 명령어 세트를 저장하는 메모리 및 프로세서를 포함하는 제어기를 포함하는 자동 두께 제어 시스템을 포함하며,

상기 컴퓨터로 관독가능 및 실행가능한 명령어 세트가 프로세서에 의해 실행되면, 자동 두께 제어 시스템은,

두께 게이지로부터 웨지 변동 신호를 수신하고,

수신된 웨지 변동 신호에 기초하여, 웨지 변동 신호의 푸리에 변환에서 피크를 식별함으로써 웨지 변동의 고빈도 성분 및 웨지 변동의 저빈도 성분을 결정하고, 여기서 저빈도는 제1 미리 결정된 시간 이상의 기간을 나타내고 고빈도는 제2 미리 결정된 시간 미만의 기간을 나타내며, 제2 미리 결정된 시간은 제1 미리 결정된 시간 미만이고, 제1 미리 결정된 시간과 제2 미리 결정된 시간의 차이는 2 시간 이상이며,

웨지 변동의 고빈도 성분을 감소시키는 경사 설정점을 계산하고,

웨지 변동의 저빈도 성분을 감소시키는 온도 설정점을 계산하고,

경사 설정점을 경사 메카니즘에 제공하고,

온도 설정점을 적어도 1개의 가열 메카니즘에 제공하는 것인,
융합 인출 장치.

청구항 6

제5항에 있어서, 자동 두께 제어 시스템은 경사 설정점에 기초하는 형성 용기의 경사 정도 및 온도 설정점에 기초하는 형성 용기의 위어 근처 영역에 제공되는 열의 양 중 적어도 하나를 조정하는 것인, 융합 인출 장치.

청구항 7

제5항에 있어서, 위어 근처에 위치하는 냉각 메카니즘을 추가로 포함하며, 자동 두께 제어 시스템은 형성 용기의 위어 근처 영역이 온도 설정점에 기초하여 능동적으로 냉각되게 하는 것인, 융합 인출 장치.

청구항 8

제5항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 자동 두께 제어 시스템은 웨지 변동의 저빈도 성분에 독립적으로 경사 설정점을 계산하는 것인, 융합 인출 장치.

청구항 9

제5항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 자동 두께 제어 시스템은 웨지 변동의 고빈도 성분에 독립적으로 온도 설정점을 계산하는 것인, 융합 인출 장치.

청구항 10

용융 유리를 형성 용기의 수렴하는 측면 위로 흘러내리게 하고,
형성 용기의 루트로부터 폭을 갖는 유리 리본을 인출하고,
유리 리본의 폭의 일부에서 웨지 변동을 측정하고,
측정된 웨지 변동의 고빈도 성분 및 측정된 웨지 변동의 저빈도 성분을 결정하고,
웨지 변동의 고빈도 성분에 기초하여 형성 용기의 경사를 조정하여, 유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 감소시키고,
웨지 변동의 저빈도 성분에 기초하여 형성 용기의 위어 근처에서의 온도를 조정하여, 유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 감소시키며,
유리 리본의 폭의 일부에서 조정된 웨지 변동을 측정하는 것을 포함하는,
유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 제어하는 방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001]

배경

[0002]

관련 출원 상호참조

[0003]

본 출원은 2014년 9월 22일에 출원된 미국 출원 번호 14/492580의 35 U.S.C § 120 하의 우선권을 주장하고 이 미국 출원의 내용에 의존하며, 이 미국 출원은 그 전문이 본원에 참고로 포함된다.

[0004]

분야

[0005]

본 명세서에서는 일반적으로 유리 시트의 제조에 관한 것이고, 보다 특히, 유리 시트가 제조되는 방법에서 유리 리본의 두께 웨지를 제어하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0006]

기술 배경

[0007]

유리 기판이 많은 응용에 이용되기 때문에, 유리의 다양한 속성을 제어하는 능력이 점점 더 중요해졌다. 특히, 많은 소비자 장치 응용의 경우 유리 시트의 명시된 두께 속성을 유지하는 것이 중요한데, 그 이유는 규격을 벗어난 변동은 유리 기판의 맞춤새 및/또는 장치의 최종 전체 크기에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

[0008]

통상적으로, 개별 유리 시트로 개별화될 수 있는 유리 리본을 제조하는 데는 하향인출(downdraw) 공정이 이용된다. 유리 리본을 형성하는 용융 유리에서의 흐름 및 온도 변동은 유리 결함, 예컨대 시트 두께 변동 및 다른 효과를 초래할 수 있다. 그와 같이, 유리의 흐름 및 온도를 제어하는 것을 이용해서 유리 리본의 두께 변동을 최소화할 수 있다. 그러나, 유리 리본의 두께의 장기 변동을 보상하는 통상적인 방법은 유리 리본의 두께의 단기 변동을 증폭시킬 수 있고, 그 결과, 증가된 제조 손실 및 제조 비용을 초래한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009]

따라서, 유리 리본으로부터 형성되는 유리 시트의 두께 변동을 감소시키기 위해 유리 리본 두께의 장기 변동 및 단기 변동을 다루는 대안적인 유리 리본 두께 제어 방법이 필요하다.

과제의 해결 수단

[0010]

요약

[0011]

한 실시양태에 따르면, 유리 리본의 웨지 변동을 제어하는 방법은 용융 유리를 형성 용기의 수렴하는 측면 위로

흘러내리게 하고, 형성 용기의 루트(root)로부터 유리 리본을 인출하고, 유리 리본의 폭의 적어도 일부에서 웨지 변동을 측정하고, 측정된 웨지 변동에 기초해서 형성 용기의 경사 및 형성 용기의 위어(weir) 근처에서의 온도를 조정하여 유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 감소시키고, 유리 리본의 폭의 일부에서 웨지 변동을 재측정하는 것을 포함한다.

[0012] 또 다른 실시양태에서, 융합 인출 장치는 형성 용기, 경사 메카니즘, 적어도 1개의 가열 메카니즘, 및 자동 두께 제어 시스템을 포함한다. 형성 용기는 제1 단부, 제2 단부, 및 상부 표면에 위치하는 트러프(trough)를 갖는다. 경사 메카니즘은 형성 용기의 제2 단부에 대한 형성 용기의 제1 단부의 위치를 변화시키기 위해 형성 용기를 경사지게 한다. 가열 메카니즘은 형성 용기의 위어 영역에 열을 제공한다. 자동 두께 제어 시스템은 프로세서를 갖는 제어기 및 컴퓨터로 판독가능하고 실행가능한 명령어 세트를 저장하는 메모리를 포함한다. 명령어 세트가 프로세서에 의해 실행될 때, 다변수 제어 시스템은 인출물의 저부에 있는 두께 게이지로부터 웨지 변동 계산을 받고, 받은 웨지 변동 계산에 기초하여 웨지 변동의 고빈도 성분 및 웨지 변동의 저빈도 성분을 결정하고, 웨지 변동의 고빈도 성분을 감소시키는 경사 설정점을 계산하고, 웨지 변동의 저빈도 성분을 감소시키는 온도 설정점을 계산하고, 경사 설정점을 경사 메카니즘에 제공하고, 온도 설정점을 적어도 1개의 가열 메카니즘에 제공한다.

[0013] 또 다른 실시양태에서, 유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 제어하는 방법은 용융 유리를 형성 용기의 수렴하는 측면 위로 흘러내리게 하고, 형성 용기의 루트로부터 유리 리본을 인출하고, 유리 리본의 폭의 일부에서 웨지 변동을 측정하고, 웨지 변동의 고빈도 성분에 기초해서 형성 용기의 경사를 조정하여 유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 감소시키고, 웨지 변동의 저빈도 성분에 기초해서 형성 용기의 위어 근처에서의 온도를 조정하여 유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 감소시키고; 유리 리본의 폭의 일부에서 조정된 웨지 변동을 측정하는 것을 포함한다.

[0014] 추가의 특징 및 이점이 다음 상세한 설명에서 제시될 것이고, 부분적으로 그 설명으로부터 관련 분야 기술자에게 쉽게 명백하거나 또는 다음 상세한 설명, 청구범위 뿐만 아니라 첨부 도면을 포함해서 서술된 실시양태를 실시함으로써 인식될 것이다.

[0015] 상기한 일반적인 설명 및 다음 상세한 설명 둘 모두가 다양한 실시양태를 서술하고, 청구된 주제의 본질 및 특징을 이해하기 위한 개요 또는 틀을 제공하는 것을 의도한다. 첨부 도면이 다양한 실시양태에 대한 추가의 이해를 제공하는 것을 의도하고, 본 명세서에 포함되고 본 명세서의 일부를 구성한다. 도면은 본원에 서술된 다양한 실시양태를 도시하고, 설명과 함께, 청구된 주제의 원리 및 작용을 설명하는 역할을 한다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도면의 간단한 설명

도 1a는 본원에 서술된 하나 이상의 실시양태에 따른 융합 인출 공정을 도시하는 도면이다.

도 1b는 본원에 서술된 하나 이상의 실시양태에 따른 융합 인출 장치의 투시도이다.

도 2는 본원에 서술된 하나 이상의 실시양태에 따른 융합 인출 장치의 측면도이다.

도 3은 본원에 서술된 하나 이상의 실시양태에 따른 다변수 제어 시스템에 의해 실행되는 웨지 두께 제어 방법의 흐름도이다.

도 4는 시간 (x-축)의 함수로서 웨지 두께 데이터 (y-축)의 플롯이다.

도 5는 도 4에 나타낸 웨지 두께 데이터의 빈도 (x-축)의 함수로서 웨지 두께 데이터 (y-축)의 플롯이다.

도 6은 시간 (x-축)의 함수로서 융합 인출 장치의 경사각 변화 (y-축)의 플롯이다.

도 7은 도 6에 도시된 경사각 변화에 상응하는 시간 (x-축)의 함수로서 웨지 두께 변화 (y-축)의 플롯이다.

도 8은 -0.3 °C의 상부측 온도 변화에 응답하는, 시간 (x-축)의 함수로서 웨지 두께 변화 (y-축)의 플롯이다.

도 9는 열 조정 및 경사 조정에 통상적인 비례 및 적분 (PI) 제어 시스템을 이용한, 웨지 변동에 관한 이득값 응답 (y-축) 대 빈도 (x-축)의 플롯이다.

도 10은 통상적인 PI 제어 시스템에 따른 결과적인 온도 이동 (y-축) 대 시간 (x-축)의 플롯이다.

도 11은 다변수 제어 알고리즘에 따른 결과적인 온도 이동 (y-축) 대 시간 (x-축)의 플롯이다.

도 12는 통상적인 PI 제어 시스템에 따른 결과적인 경사 이동 (y-축) 대 시간 (x-축)의 플롯이다.

도 13은 다변수 제어 알고리즘에 따른 결과적인 경사 이동 (y-축) 대 시간 (x-축)의 플롯이다.

도 14는 통상적인 PI 온도 제어 시스템을 이용한, 시간 (x-축)의 함수로서 시뮬레이션된 웨지 변동 (y-축)의 플롯이다.

도 15는 통상적인 PI 경사 제어 시스템을 이용한, 시간 (x-축)의 함수로서 시뮬레이션된 웨지 변동 (y-축)의 플롯이다.

도 16은 다변수 제어 시스템을 이용한, 시간 (x-축)의 함수로서 시뮬레이션된 웨지 변동 (y-축)의 플롯이다.

도 17은 경사 제어 하에서의 시간 (x-축)의 함수로서 웨지의 양 (y-축)을 나타낸 플롯이다.

도 18은 통상적인 자동 두께 제어 시스템(ATCS)을 이용한, 열 제어 하에서의 시간 (x-축)의 함수로서 웨지의 양 (y-축)을 나타낸 플롯이다.

도 19는 웨지 제어에 통상적인 ATCS를 이용한, 열 제어의 결과와 비교한 경사 제어 결과의 웨지의 양 (y-축)의 박스 플롯이다.

도 20은 시간 (x-축)의 함수로서 웨지의 rolling 표준편차 (y-축)의 플롯이다.

도 21은 다변수 웨지 제어(MWC), 통상적인 ATCS 및 PI 제어 시스템을 이용한 총 웨지 제어, 장기 웨지 제어 및 단기 웨지 제어의 결과를 도시한 도면(웨지의 양은 y-축을 따라서 측정됨)이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017]

상세한 설명

[0018]

이제, 유리 리본의 웨지 변동을 제어하기 위한 방법 및 기기의 다양한 실시양태를 상세히 언급할 것이고, 그의 예를 첨부 도면에 도시한다. 가능하면 언제나, 도면 전체에 걸쳐서 동일한 또는 유사한 부분을 나타내는 데는 동일한 참조 부호가 이용될 것이다. 융합 인출 장치의 한 실시양태를 도 1b에 나타내고, 일반적으로 융합 인출 장치는 시종일관 참조 부호(100)로 표기한다. 일반적으로, 융합 인출 장치는 형성 용기, 형성 용기의 제2 단부에 대한 형성 용기의 제1 단부의 위치를 변화시키기 위해 형성 용기를 경사지게 하는 경사 메카니즘, 융합 인출 장치의 상부 부분에 위치하여 형성 용기의 위어 영역 또는 위어 근처 영역에 열을 제공하는 적어도 1개의 가열 메카니즘, 및 자동 두께 제어 시스템을 포함한다. 자동 두께 제어 시스템은 유리 리본의 웨지 변동을 감소시키기 위해 웨지 변동에 기초하여 경사 설정점 및 온도 설정점을 결정한다. 특히, 자동 두께 제어 시스템은 웨지 변동의 고빈도 성분을 감소시키기 위해 경사 메카니즘에 경사 설정점을 제공하고, 웨지 변동의 저빈도 성분을 감소시키기 위해 가열 메카니즘에 온도 설정점을 제공한다. 본원에서는 첨부 도면을 구체적으로 참고하여 유리 리본의 웨지 변동을 제어하는 방법 및 기기의 다양한 실시양태를 서술할 것이다.

[0019]

이제, 도 1a에 관해 언급하면, 용융 유리로부터 유리 기판을 형성하기 위한 범례적인 유리 제조 기기(100A)를 개략적으로 묘사하고, 여기서는 용융 유리를 유리 기판으로 형성하는 데 융합 인출 장치를 이용한다. 유리 제조 기기(100A)는 용융 용기(1), 청징(finishing) 용기(3), 혼합 용기(4), 전달 용기(8), 및 융합 인출 장치(100)를 포함한다. 유리 회분 물질이 화살표(2)로 나타낸 바와 같이 용융 용기(1) 안에 도입된다. 회분 물질이 용융되어 용융 유리(6)를 생성한다. 청징 용기(3)는 용융 용기(1)로부터 용융 유리(6)를 받는 고온 가공 영역을 가지고, 여기에서 용융 유리(6)로부터 기포가 제거된다. 청징 용기(3)는 연결 튜브(5)에 의해 혼합 용기(4)에 유동적으로 커플링된다. 즉, 청징 용기(3)로부터 혼합 용기(4)로 흐르는 용융 유리가 연결 튜브(5)를 통해 흐른다. 결국, 혼합 용기(4)는 연결 튜브(7)에 의해 전달 용기(8)에 유동적으로 커플링되고, 이렇게 하여 혼합 용기(4)로부터 전달 용기(8)로 흐르는 용융 유리가 연결 튜브(7)를 통해 흐른다.

[0020]

전달 용기(8)는 용융 유리(6)를 하강관(9)을 통해 융합 인출 장치(100)에 공급한다. 융합 인출 장치(100)는 인클로저(22)를 포함하고, 인클로저(22) 안에 유입구(10), 형성 용기(11) 및 적어도 1개의 인출 어셈블리(50)가 위치한다. 도 1a에 나타낸 바와 같이, 하강관(9)으로부터의 용융 유리(6)는 형성 용기(11)로 이어지는 유입구(10) 안으로 흐른다. 형성 용기(11)는 용융 유리(6)를 받는 개구(12)를 포함하고, 용융 유리(6)는 트러프(13) 안으로 흘러들어가고, 그 다음 넘쳐 흘러서 형성 용기(11)의 2개의 수렴하는 측면(14a) 및 (14b) 아래로 흐른 후 2개의 측면이 합쳐지는 형성 용기(11)의 저부 가장자리(112)(이하에서는, 루트(112))에서 융합한다. 그 다음, 결과적으로 얻은 유리 기판을 인출 어셈블리(50)에 의해 하향 방향(51)으로 여기서는 유리 리본이라고도 부

르는 연속 유리 기관(52)으로서 인출한다.

[0021] 더 구체적으로, 도 1b에 나타난 바와 같이, 융합 인출 장치(100)는 제1 단부(104), 제2 단부(106), 및 상부 표면에 위치하는 트러프(108)를 갖는 형성 용기(102)를 포함한다. 제1 단부(104) 및 제2 단부(106)는 형성 용기(102)의 수렴하는 측면(14a) 및 (14b)에 수직이고, 형성 용기(102)의 길이(L)만큼 분리되어 있다. 용융 유리가 형성 용기(102)의 제1 단부(104)으로부터 트러프(108)에 제공되고, 위어(110) 위로 넘쳐 흘러내려서 형성 용기(102)의 바깥 표면을 따라서 그것이 루트(112)에 도달할 때까지 흐른다. 루트(112)는 형성 용기(102)의 측면(14a) 및 (14b)의 수렴에 의해 형성된다. 루트(112)에서, 형성 용기(102)의 각 측면을 흘러내리는 용융 유리의 2개의 시트가 함께 합쳐져서 유리 리본(114)을 형성한다. 복수의 에지(edge) 롤러 및 당김 롤러에 의해 형성 용기(102)의 루트(112)로부터 유리 리본(114)이 인출된다(도 1a). 유리 리본(114)은 트러프(108)에 평행하게 뻗는 폭(116) 및 유리 리본(114)의 폭(116)에 수직인 두께(118)를 갖는다. 두께(118)는 유리 리본(114)의 폭(116)을 따라서 달라질 수 있다. 예를 들어, 형성 용기(102)의 제1 단부(104) 근처에서의 유리 리본(114)의 두께(118)가 제2 단부(106) 근처에서의 유리 리본(114)의 두께보다 클 수 있고, 유리 리본(114)의 두께(118)가 제2 단부(106)에서부터 제1 단부(104)까지 선형으로 증가할 수 있고, 이렇게 해서 유리 리본(114)은 유리 리본(114)의 폭(116)을 따라서 "웨이" 형상을 갖는다. 따라서, 본원에서 사용되는 바와 같이, 유리 리본(114)의 폭(116)을 따르는 두께(118)의 슬로프(slope)를 "웨이"라고 부른다. 다양한 실시양태에서, 웨지는 유리 리본(114)의 폭(116)의 일부, 예컨대 이하에서 논의될 단부 효과의 영향을 받지 않는 유리 리본(114)의 폭(116)의 일부를 따라서 두께(118)의 슬로프를 나타낼 수 있다.

[0022] 몇 가지 변수가 웨지에 영향을 줄 수 있다. 구체적으로, 위어(110)에서의 온도는 유리가 형성 용기 위로 넘쳐 흘러내릴 때 유리의 점도에 영향을 줌으로써 웨지에 영향을 줄 수 있다. 예를 들어, 위어(110) 근처에서의 온도를 증가시키는 것은 유리가 유입구 단부(즉, 유입구(10) 근처에 있는 형성 용기(102)의 단부)으로부터 압축 단부(즉, 유입구(10)로부터 형성 용기(102)의 길이(L)만큼 분리되어 있는 형성 용기(102)의 단부)으로 흐르는 것을 조장하는 반면, 온도를 감소시키는 것은 형성 용기(102)를 가로지르는 용융 유리의 흐름을 억제한다. 용융 유리의 온도에 영향을 주기 위해, 융합 인출 장치(100)는 또한 위어(110)에 인접하여 위치하는 적어도 1개의 가열 메카니즘(120)을 포함한다. 실시양태에서, 가열 메카니즘(들)(120)은 저항 가열기, 가스-연소식 가열기 등일 수 있다. 도 1은 2개의 가열 메카니즘(120)을 갖는 융합 인출 장치(100)를 도시하지만, 특정 실시양태에 의존해서 더 많거나 또는 더 적은 수의 가열 메카니즘이 이용될 수 있다. 예를 들어, 1개 이상의 가열 메카니즘(120)이 각 위어(110)에 인접하여 위치할 수 있다. 가열 메카니즘(120)은 형성 용기(102)의 위어(110) 영역에 열을 제공한다. 형성 용기(102)의 위어(110) 영역을 능동적으로 가열하기 위해 가열 메카니즘(120)을 켤 수 있거나 또는 온도를 높일 수 있다(예를 들어, 가열 메카니즘의 열 출력이 증가된다). 반대로, 형성 용기(102)의 위어(110) 영역을 수동적으로 냉각하기 위해 가열 메카니즘(120)을 끌 수 있거나 또는 가열 메카니즘(120)의 온도를 낮출 수 있다(예를 들어, 가열 메카니즘의 열 출력이 감소된다).

[0023] 일부 실시양태에서, 융합 인출 장치(100)는 능동 냉각 메카니즘 (나타내지 않음)을 포함할 수 있다. 능동 냉각 메카니즘은 강제 공기, 물, 또는 또 다른 냉각제를 이용해서 형성 용기(102)의 위어(110) 근처 영역에서의 온도를 감소시킬 수 있다. 따라서, 형성 용기(102)의 위어(110) 근처 영역에서의 온도는 형성 용기(102)의 위어(110) 근처 영역의 능동 가열, 수동 냉각, 능동 냉각, 및/또는 능동 가열 및 능동 냉각의 조합에 의해 제어될 수 있다.

[0024] 형성 용기(102)의 위어(110)에서의 용융 유리의 온도 외에 추가로, 또한, 형성 용기(102)의 경사의 양이 형성 용기(102)로 형성되는 유리 리본의 웨지에 영향을 준다. 예를 들어, 경사 메카니즘(122)(도 1a에 나타냄)으로 형성 용기(102)를 하향 경사지게 하는 것(즉, 형성 용기(102)의 제2 단부(106)에 대해 형성 용기(102)의 제1 단부(104)를 올리는 것)은 용융 유리가 제1 단부(104)로부터 제2 단부(106)로 흐르는 것을 조장한다. 반대로, 경사 메카니즘(122)으로 형성 용기(102)를 상향 경사지게 하는 것(즉, 제2 단부(106)에 대해 제1 단부(104)를 낮추는 것)은 형성 용기(102)를 가로지르는 용융 유리의 흐름을 억제한다. 따라서, 다양한 실시양태에서, 융합 인출 장치(100)는 경사 메카니즘(122)을 이용해서 형성 용기(102)를 경사지게 하여 형성 용기(102)의 제2 단부(106)에 대해 형성 용기(102)의 제1 단부(104)의 위치를 변화시키고, 이렇게 함으로써 형성 용기의 위어(110) 위로 넘쳐 흘러내리는 용융 유리의 흐름을 증가시키거나 또는 감소시킬 수 있고, 결국에 이것은 형성 용기(102)로 형성되는 유리 리본의 웨지에 영향을 준다.

[0025] 다양한 실시양태에서, 웨지 변동은 형성 용기(102)를 경사지게 하는 것 및 위어(110) 근처 온도를 조정하는 것의 조합을 통해 제어된다. 더 특히, 웨지 변동의 고빈도 (예를 들어, 단기) 성분을 감소시키기 위해 형성 용기(102)를 경사지게 할 수 있고, 반면, 웨지 변동의 저빈도 (예를 들어, 장기) 성분을 감소시키기 위해 가열 메카

니즘(120)을 통해 온도를 조정할 수 있다. 본원에서 사용되는 바와 같이, "고빈도"라는 용어는 약 3 시간 이하의 기간을 나타내고, "저빈도"라는 용어는 약 10 시간 이상의 기간을 나타낸다. 그러나, 웨지 변동의 고빈도 성분 및 저빈도 성분은 특정 실시양태에 의존해서 달라질 수 있고, 단, 고빈도와 저빈도 사이에는 약간의 밴드 분리가 있다. 고빈도 성분과 저빈도 성분 사이의 밴드 분리의 요망되는 수준은 변수 제어 수준에 의존할 수 있다. 웨지를 제어하기 위한 목적에서, 정의된 고빈도 범위와 저빈도 범위 사이의 빈도는 계산에 무시될 수 있고, 물론, 고빈도 성분 및 저빈도 성분의 제어에 기초하여 조정될 것이다. 예를 들어, 열 조정은 유리가 응답하는(즉, 가열되거나 또는 냉각되는) 데 시간이 걸리고, 그와 같이, 유리 리본(114)의 폭(116)을 가로질러서 두께 분포에 더 느리게 영향을 주기 때문에, 오랜 기간, 예컨대 수십 시간 또는 심지어 수십 일 동안에 웨지 변동을 감소시키기 위해서는 위어(110)에서의 온도 조정을 이용할 수 있다. 그러나, 온도 조정은 단기 웨지 변동을 제어하는 데는 비효과적이다. 따라서, 웨지 변동을 빠르게 다루고 웨지의 미리 결정된 변동 범위를 초과하는 유리 리본(114)의 전체 양을 감소시키기 위해서는, 형성 용기(102)를 경사지게 할 수 있고, 그것은 온도 정보보다 훨씬 더 신속하게 유리 리본을 가로지르는 두께 분포에 영향을 준다.

[0026] 경사를 조정하는 것을 단독으로 이용해서 저빈도 변동 및 고빈도 변동 둘 모두를 보상할 수 있다. 그러나, 저빈도 변동을 다루는 데 요구되는 경사각 변화는 상대적으로 클 수 있고, 융합 인출 장치에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 경사각의 큰 변화는 주목할만한 리본 위치 변화를 초래할 수 있고, 이것은 인출에서 유리 리본과 당김 롤 사이의 상호작용 때문에 리본 형상에 부정적으로 영향을 미칠 수 있고 궁극적으로 리본으로부터 절단된 최종 유리 시트의 형상에 영향을 미칠 수 있을 것이다. 따라서, 다양한 실시양태에서, 경사를 이용해서 웨지의 고빈도 변동을 다루고, 한편, 위어 근처 온도를 조정하여 웨지의 저빈도 변동을 보상한다. 이것은 더 작은 경사 이동을 이용하는 것을 가능하게 하고, 웨지 변동의 상대적으로 빠른 제어 및 교정을 허용한다.

[0027] 이제, 도 2에 관해 언급하면, 하나 이상의 실시양태에 따른 경사진 형성 용기(102)의 측면도를 묘사한다. 한 예로서, 유리 리본(114)의 폭을 가로지르는 웨지 변동은 두께 게이지(200)로 결정될 수 있다. 두께 게이지는 융합 인출 장치의 인출물의 저부에 위치할 수 있다. 두께 게이지(200)는 예를 들어 레이저-기반 두께 게이지일 수 있다. 두께 게이지(200)는 유리 리본(114)의 폭의 적어도 일부에서 유리 리본(114)의 두께를 측정한다. 형성 용기(102)의 양 단부에서, 이른바 "단부 효과"가 흐름 밀도를 증가시킬 수 있고, 그 결과, 유리 리본의 2개의 수직 경계부에서 유리 리본(114)의 두께 증가를 초래한다. 증가된 두께는 수직 경계부로부터 유리 리본(114)의 중심 쪽으로 연장되는 한정된 폭에서 일어나고, 이것은 각각 "비드 영역"이라고 불린다. 다양한 실시양태에서, 유리 리본(114)의 두께는 유리 리본(114)의 비드 영역을 포함하지 않는 유리 리본(114)의 폭의 일부에서, 예를 들어 유리 리본의 중심에서 측정된다. 다양한 실시양태에서, 웨지는 비드 영역을 포함하지 않는 유리 리본(114)의 폭에서 측정된다.

[0028] 두께 게이지(200)에 의해 계산된 웨지 변동에 기초해서, 경사 메카니즘(122)을 이용해서 형성 용기(102)의 제2 단부(106)에 대해 형성 용기(102)의 제1 단부(104)의 위치를 변화시킬 수 있다. 제1 단부(104)가 제2 단부(106)보다 높을 때, 더 많은 용융 유리가 제2 단부(106)로 흘러서 제2 단부(106) 근처에서 유리 리본(114)을 두껍게 할 것이다. 형성 용기(102)의 제1 단부(104)를 제1 단부(104)와 제2 단부(106) 사이의 높이 차이를 감소시키는 데 효과적인 양만큼 낮추는 것은 제2 단부(106) 근처에서 더 얇은 유리 리본(114)의 형성을 초래할 수 있다. 형성 용기(102)의 경사 변화는 유리 리본(114)의 폭(116)에서 웨지 변동을 조정한다.

[0029] 이제, 도 1a-2를 언급하면, 유리 리본(114)의 웨지 변동을 제어하기 위해, 형성 용기(102)의 온도 및 경사를 융합 인출 장치(100)의 다변수 제어 시스템(202)(도 1a에 나타냄)에 의해 제어하고, 다변수 제어 시스템(202)이 작동하여 받은 두께 측정을 기초로 하여 계산된 웨지 변동에 기초해서 형성 용기(102)의 온도 및 경사를 조정한다. 다변수 제어 시스템(202)은 두께 게이지(200) 및 가열 메카니즘(들)(120)에 소통신 커플링되고, 일반적으로 프로세서를 갖는 제어기 및 컴퓨터로 판독가능하고 실행가능한 명령어 세트를 저장하기 위한 메모리를 포함한다. 다양한 실시양태에서, 온도 및 경사의 조정은 시간에 따른 웨지 변동의 측정 및 재측정에 기초하는 반복 공정이다. 다변수 제어 시스템(202)의 프로세서가 컴퓨터로 판독가능하고 실행가능한 명령어 세트를 실행할 때, 명령어 세트는 제어기가 두께 게이지로부터 웨지 변동 신호를 수신하게 하고 수신된 웨지 변동 신호에 기초하여 웨지 변동의 고빈도 성분 및 웨지 변동의 저빈도 성분을 결정하게 한다. 웨지 변동의 고빈도 성분 및 저빈도 성분은 예를 들어 웨지 변동 신호의 푸리에 변환에서 피크를 자동적으로 식별함으로써 또는 "고빈도" 및 "저빈도"에 상응하는 사용자 정의 윈도우 내의 변동을 결정함으로써 결정될 수 있다. 또한, 명령어 세트는 제어기가 웨지 변동의 고빈도 성분을 감소시키는 경사 설정점을 계산하게 하고 웨지 변동의 저빈도 성분을 감소시키는 온도 설정점을 계산하게 한다. 또한, 명령어 세트는 제어기가 경사 설정점을 경사 메카니즘에 제공하게

하고 온도 설정점을 가열 메카니즘에 제공하게 한다. 다변수 제어 시스템의 프로세서는 특정 실시양태에 의존해서 다양한 방식으로 이 명령어를 실행할 수 있다. 예를 들어, 한 실시양태에 따른 유리 리본의 웨지 변동을 제어하는 방법(300)의 블록도를 도 3에 나타낸다.

[0030] 도 3에 나타낸 바와 같이, 다변수 제어기의 비교기(306)에서 현 웨지 설정점(302) 및 웨지의 측정된 양(304)을 비교하여 웨지 변동을 결정한다. 비교기(306)는 결정된 웨지 변동을 지시하는 웨지 변동 신호를 출력하고 이 웨지 변동 신호를 다변수 제어기의 웨지 제어기에 입력하고, 웨지 제어기는 수신된 웨지 변동 신호에 기초하여 웨지 변동의 고빈도 성분 및 웨지 변동의 저빈도 성분을 결정한다. 웨지 변동의 고빈도 성분 및 저빈도 성분은 예를 들어 시간에 따른 웨지 데이터의 크기 및 빈도를 정량화함으로써 결정될 수 있다. 예를 들어, 고빈도 성분은 사용자 정의 빈도 내에서, 예컨대 1 - 3 시간에서의 최대 크기로서 식별될 수 있고, 저빈도 성분은 상이한 사용자 정의 빈도 내에서, 예컨대 10 시간 초과에서의 최대 크기로서 식별될 수 있다. 일부 실시양태에서, 웨지 변동의 고빈도 성분 및 저빈도 성분은 시간의 함수로서 웨지 두께의 플롯의 빈도의 푸리에 변환에서 가장 큰 피크를 식별함으로써 결정될 수 있다. 실시양태에서, 고빈도 성분 및 저빈도 성분은 각각 1 - 3 시간 및 10 시간 초과와 다른 기간에 상응할 수 있고, 단, 빈도 성분 사이에 명확히 식별되는 밴드 분리가 있다. 다양한 실시양태에서, 빈도 성분의 기간 사이에 적어도 2 시간의 밴드 분리가 있어야 한다.

[0031] 단계(308)에서, 다변수 제어 시스템의 제어기는 웨지 변동의 저빈도 성분을 감소시키거나 또는 최소화하는 온도 설정점(310) 및 웨지 변동의 고빈도 성분을 감소시키거나 또는 최소화하는 경사 설정점(312)을 계산한다. 온도 설정점(310) 및 경사 설정점(312)은 특정 실시양태에 의존해서 다양한 방식으로 계산할 수 있다. 예를 들어, 경사 응답(즉, 경사 변화로 인한 유리 리본의 두께 변동)을 형성 용기의 기하학적 구조 및 유체 흐름 물리학에 기초하여 모델링하여 대략적인 경사 설정점(312)을 생성할 수 있다. 마찬가지로, 온도 응답을 열 전달 및 유체 흐름의 원리에 기초해서 모델링하여 대략적인 온도 설정점(310)을 생성할 수 있다. 경사 설정점(312) 및 온도 설정점(310)을 이용해서 시스템의 현 경사 설정점 및 온도 설정점을 교체하거나 또는 업데이트한다. 별법으로, 경사 또는 온도를 계단형으로 변화시키고 웨지 영향을 측정하는 공정 실험을 이용해서 경사 응답 및 온도 응답을 모델링할 수 있다. 경사 설정점 및 온도 설정점의 다양한 조합에 관해 측정된 웨지 변화는 자동 두께 제어 시스템의 메모리에 순람표(LUT)에 저장될 수 있고, 제어기에 의해 이용되어 유리 리본의 요망되는 웨지 변화를 달성하는 이후의 경사 설정점 및 온도 설정점을 결정할 수 있다.

[0032] 다양한 실시양태에서, 경사 응답 및 온도 응답의 모델을 조합하고 조정하여 다변수 제어기에 의해 사용하기 위한 다변수 제어 알고리즘을 생성할 수 있다. 다변수 제어 알고리즘은 열 공정 및 경사 공정의 공정 효과를 웨지에 대한 그의 영향에 따라서 특징화하는 것을 가능하게 한다. 이 공정 효과에 가중치를 주어 일부 빈도에서 관찰된 웨지 변동만 다룰 수 있다. 예를 들어, 다양한 실시양태에서, H 무한대 제어 접근이 이용될 수 있다. 다양한 실시양태에서, H 무한대 제어 접근의 이용은 웨지 변동의 저빈도 성분에 독립적으로 경사 설정점을 계산하고 웨지 변동의 고빈도 성분에 독립적으로 온도 설정점을 계산하는 것을 포함한다. H 무한대 제어 접근은 문헌[Essentials of Robust Control by Kemin Zhou (Prentice Hall, 1998)]에 서 더 충분히 서술되고, 이 문헌은 본원에 참고로 포함된다. 예를 들어, 온도 조절을 위해 H 무한대 제어 접근의 최적화 비용 함수에서 고빈도 레짐(regime)이 별점화되고, 이렇게 해서 결과적인 제어 알고리즘은 온도에 관해 저빈도 조정만 선택하고, 경사 조절을 위해 H 무한대 제어 접근의 최적화 비용 함수에서 저빈도 레짐이 별점화되고, 이렇게 해서 결과적인 제어 알고리즘은 경사에 관해 고빈도 조정만 선택한다. 그 결과는 온도 설정점 및 경사 설정점을 출력하는 제어 알고리즘이다.

[0033] 여전히 도 3에 관해 언급하면, 온도 설정점(310)을 지시하는 온도 설정점 신호 및 현 온도 신호가 비교기(316)에 입력되고, 비교기(316)는 온도 설정점 신호를 현 온도 신호와 비교하고, 요망되는 효과를 달성하는 온도 변화를 계산한다. 온도 변화가 온도 제어기(318)에 입력되고, 온도 제어기(318)는 온도 변화를 가열기가 그 온도 변화를 달성하도록 요망되는 파워 수준으로 전환한다. 가열기의 파워가 증가하거나 또는 감소하기 때문에, 열 공정(320)이 형성 용기의 위어 근처 온도를 조정된 온도(새로운 현 온도(314))로 증가시키거나 또는 감소시키고, 조정된 온도는 비교기(316)에 다시 공급된다. 온도 변화는 열 웨지 공정(322)을 통해 웨지를 변화시키는 데 도움을 준다.

[0034] 웨지 제어기에 의해 계산된 경사 설정점(312)을 지시하는 경사 설정점 신호가 현 경사각(326)을 지시하는 현 경사각 신호와 함께 비교기(324)에 입력된다. 비교기(324)에서, 요망되는 효과를 달성하는 경사 변화의 양이 계산된다. 유리 리본의 요망되는 웨지 감소를 달성하기 위해 단계(328)에서 경사 변화의 양을 지시하는 신호가 경사 메카니즘에 의해 출력될 토크의 양으로 전환된다. 단계(330)에서, 계산된 토크의 양이 경사 메카니즘에 적용될 때, 형성 용기의 경사각이 조정된 경사각으로 증가하거나 또는 감소한다. 조정된 경사각은 새로운 경사

각(326)이고 경사 설정점 신호가 나타내는 경사 설정점(312)과 동등하며, 조정된 경사각은 비교기(324)에 다시 공급된다. 조정된 경사각은 경사 웨지 공정(332)을 통해 웨지를 조정한다.

[0035] 가산(summation) 지점(334)에서 열 웨지 공정(322)의 효과 및 경사 웨지 공정(332)의 효과를 조합하여 웨지에 대한 효과의 제어된 양을 결정한다. 웨지 교란(336)의 양과 함께 웨지에 대한 효과의 제어된 양으로부터 전체 측정된 웨지(340)의 양이 얻어진다. 웨지 교란(336)은 다양한 인자, 예컨대 형성 용기 위로 넘쳐 흐르는 비균일 유리 흐름 또는 형성 용기를 가로지르는 비균일 열 분포로부터 기인할 수 있다. 측정된 양의 웨지(340)는 측정된 양의 웨지(304)로서 비교기(306)에 다시 공급된다.

[0036] 이 측정, 조정 및 재측정 공정은 시스템이 단기 변동을 제어함으로써 생성되는 장기 변동을 끊임없이 보상하는 것을 가능하게 하고 그 역도 가능하게 하여, 결과적으로 웨지 변동의 더 큰 전체 제어를 얻게 된다.

[0037] 실시예

[0038] 다음 실시예는 유리 리본의 웨지를 제어하는 방법의 다양한 실시양태를 더 명확하게 할 것이다.

[0039] 실시예 1

[0040] 유리 리본의 웨지 변동을 두께 게이지를 이용해서 2 주의 기간 동안 측정하였다. 도 4는 시간 (x-축)의 함수로서 웨지 두께 데이터 (y-축)의 플롯을 나타낸다. 도 4로부터의 데이터를 푸리에 변환을 이용해서 변환하여 도 5를 생성하였다. 더 구체적으로, 도 5는 도 4에 나타난 신호의 빈도 성분의 플롯이다. 도 5의 플롯은 웨지 변동의 크기 (y-축) 및 빈도 (x-축)를 정량화한다. 도 5에서 고빈도 변동 및 저빈도 변동을 볼 수 있다. 도 5에 나타난 바와 같이, 웨지 교란은 상대적 저빈도(10 시간 이상의 기간) 및 상대적 고빈도(예를 들어, 3 시간 이하의 기간)에서 변동을 가졌다. 특히, 약 2 시간의 기간에서 확연한 사이클이 발생하였다. 도 5에 나타난 데이터를 이용해서 웨지 변동의 고빈도 성분 및 저빈도 성분을 결정할 수 있다.

[0041] 예를 들어, 도 5에 나타난 바와 같이, 2 시간 사이클, 3 - 10 시간 사이클 및 30 시간 사이클에 상응하는 지점에서 큰 피크가 나타난다. 이 피크 및 밴드 분리에 기초하여, 2 시간 사이클에 상응하는 피크는 고빈도 성분임이 식별되었고, 반면, 30 시간 사이클에 상응하는 피크는 저빈도 성분임이 식별되었다. 2 시간 사이클에 상응하는 피크와 3 - 10 시간 사이클에 상응하는 피크 사이에는 잘 정의된 밴드 분리가 없기 때문에, 빈도 성분을 식별하기 위한 목적에서 3 - 10 시간 사이클을 무시하며, 그 이유는 그것이 고빈도 성분 및 저빈도 성분 제어의 함수로서 제어될 것이기 때문이다.

[0042] 실시예 2

[0043] 웨지 변동에 대한 경사의 영향을 결정하기 위해, 경사 정도를 계단형으로 변화시키고 웨지 영향(즉, 웨지 변화)을 관찰하였다. 이것은 경사 변동에 대한 시스템의 응답을 특징화하는 것을 가능하게 하였다. 더 구체적으로, 경사각을 0°의 출발각으로부터 위로 0.3° 경사지게 하고(0.3°의 최종각으로)(즉, 제2 단부(106)에 대해 제1 단부(104)를 낮추고), 대략 40분 동안 웨지 응답을 모니터링하였다. 도 6 및 7은 0.3°의 경사각 변화에 대한 관찰된 웨지 응답을 나타낸다. 도 6에 나타난 바와 같이, 형성 용기를 위로 0.3° 경사지게 하였다. 결과적인 웨지 응답을 도 7에 그래프로 묘사한다. 도 7에서는, 이득값 (또는 웨지 변화)을 y-축으로 나타내고, 시간(초)을 x-축으로 나타낸다. 1차 + 불감 시간 모델을 응답에 적합화하였고, 도 7에 나타난 바와 같이, 모델은 공정 데이터와 상관관계가 있었다 ($R^2 = 0.98$). R^2 값은 1차 모델이 경사 계단형-변화의 결과로 관찰된 이득값과 매우 밀접하게 상관관계가 있다는 것을 지시한다. 응답에 적합화된 1차 + 불감 시간 모델을 하기 실시예 3으로부터 얻는 모델과 함께 이용해서 다변수 제어 알고리즘을 생성한다.

[0044] 도 7은 웨지 변동에 대한 경사의 영향이 웨지 변동의 고빈도 성분을 다루는 데 효과적일 수 있다는 것을 추가로 도시한다. 특히, 518 초의 시간 지연은 경사각이 변하는 시점과 웨지가 응답하기 시작하는 시점 사이에 경과된 시간을 나타내고, 그 영향이 형성 용기의 경사를 조정하는 대략 10분 이내에 관찰가능하다는 것을 확인해준다. 추가로, 모델은 91초의 시간 상수를 생성하고, 이것은 91초 이내에 경사각의 영향이 그의 최종 값의 대략 63%에 도달하였다는 것을 지시한다.

[0045] 실시예 3

[0046] 웨지 변동에 대한 온도의 영향을 결정하기 위해, 온도를 0.3°C 계단형으로 변화시키고, 대략 90분 동안 웨지 영향(즉, 웨지 변화)을 관찰하였다. 이것은 열 변동에 대한 시스템의 응답을 특징화하는 것을 가능하게 하였다. 도 8은 -0.3 °C 상부 측부 온도 변화에 대한 관찰된 웨지 응답을 도시한다. 도 8에서, y-축은 이득값 (또는 웨

지 변화)을 나타내고, x-축은 샘플링 기간을 나타내고, 여기서 각 샘플을 15초이다. 1차 (즉, 선형) + 불감 시간 모델을 응답에 적합화하였다. 1차 + 불감 시간 모델은 공정 데이터와 상당히 상관관계가 있었고 ($R^2 = 0.94$), 이것은 모델이 좋은 적합도를 가지고, 열 변화에 기초하여 웨지 응답을 평가하는 데 이용될 수 있음을 지시한다. 따라서, 일단 웨지가 열 변화에 응답하기 시작하면, 열 변화는 관찰되는 웨지 응답과 직접적 선형 관계가 있다. 0.3°C 의 온도 감소가 샘플에 대해 1.18 (웨지/ $^{\circ}\text{C}$)의 웨지 증가를 초래한 것으로 결정되었다. 대략 1926 초의 시간 상수 및 대략 714 초의 시간 지연을 알아냈다. 시간 상수는 열 변화가 그의 최종 값의 대략 63%에 도달하는 데 걸리는 시간을 나타낸다. 시간 지연은 상부 측부 온도 설정점이 변하는 시점과 웨지가 응답하기 시작하는 시점 사이에 경과된 시간을 나타낸다. 도 8의 데이터와 도 7의 데이터의 비교는 열 조정이 경사 조정에 비해 더 느린 웨지 변화를 초래한다는 것을 입증한다. 응답에 적합화된 1차 + 불감 시간 모델을 실시예 2로부터 얻은 모델과 함께 이용해서 다변수 제어 알고리즘을 생성한다.

[0047] 실시예 4

[0048] 실시예 1로부터의 관찰된 웨지 응답 빈도 정보, 실시예 2로부터의 경사 계단 응답, 및 실시예 3으로부터의 온도 계단 응답을 이해함으로써, 경사 및 온도 각각을 이용하는 제어의 추정 한계를 컴퓨터 시뮬레이션 및 분석적 계산을 이용해서 확인하였다. 다시 말해서, 도 5로부터 유래되는 추정 "고빈도" 및 "저빈도" 범위를 그 빈도에 대한 각 제어에 대해 웨지 영향 응답을 검토함으로써 확인하였다.

[0049] 도 9는 열 조정 및 경사 조정에 비례-적분 (PI) 제어 시스템을 이용한, 웨지 변동에 관한 이득값 응답 (y-축) 대 빈도 (x-축)의 플롯이다. PI 제어 시스템은 열 변수 및 경사 변수 각각을 제어할 수 있고, PI 제어 시스템은 각 변수를 서로 성분에 독립적으로 제어할 수 있다. 추가로, PI 제어 시스템은 특히, 다변수 웨지 제어기와 관련해서 서술한 바와 같이, 고빈도 웨지 성분을 무시하면서 저빈도 웨지 성분의 제어에 열 변수를 이용할 수 없고, 저빈도 웨지 성분을 무시하면서 고빈도 웨지 성분의 제어에 경사 변수를 이용할 수 없다. 도 9에서, 고빈도 성분은 일반적으로 그래프의 오른쪽과 관련있고, 한편, 저빈도 성분은 일반적으로 그래프의 왼쪽과 관련있다. 더 구체적으로, 저빈도 성분은 10 시간 이상의 기간을 나타내는 10^{-1} 빈도 표시의 왼쪽에 나타난다. 고빈도 성분은 x-축에서 10^{-1} 빈도 표시와 10^0 빈도 표시 사이의 점선으로 나타난다. 위에서 언급한 바와 같이, "고빈도" 및 "저빈도"에 상응하는 특정 시간 기간은 특정 실시양태에 따라 달라질 수 있다. 도 9는 실시예 1에서도 5의 검사에 의해 결정된 고빈도 성분 및 저빈도 성분에 상응하는 기간의 추정이 요망되는 수준의 제어를 달성하기 위해 허용될 수 있다는 것을 확인해 주었다. 구체적으로, 도 9는 "고빈도" 및 "저빈도"에 상응하도록 선택된 시간 기간이 상응하는 변수 (예를 들어, 각각 경사 및 온도)에 의해 제어될 수 있는 범위 내에 있다는 것을 확인해 주었다.

[0050] 선(900)은 온도의 통상적인 PI 제어를 이용할 때의 예상 웨지 교란 감쇠를 나타낸다. 선(900)은 저빈도 변동 (0.083 h^{-1})의 예상 감쇠가 0.2 배 (즉, 80% 감소)임을 나타낸다. 그러나, 고빈도 변동 (0.5 h^{-1})은 2.4 배 증폭되고, 이것은 허용될 수 없는 것으로 여겨진다. 따라서, 이것은 온도 제어가 저빈도(약 10 시간 이상임)에서의 웨지 교란을 교정하는 데는 이용될 수 있지만, 그것이 웨지 교란 영향의 크기가 1 초과인 고빈도에서의 웨지 교란의 교정에는 효과적이지 않다는 것을 지시한다.

[0051] 도 9의 선(902)은 경사 메카니즘의 통상적인 PI 제어를 이용할 때의 예상 웨지 교란 감쇠를 나타낸다. 선(902)은 저빈도 변동 (0.083 h^{-1})이 90% 초과 보상될 수 있다는 것을 나타낸다. 고빈도 변동 (0.5 h^{-1})의 예상 웨지 교란 감쇠 이득값은 0.56이고, 이 이득값은 온도의 통상적인 PI 제어 이용으로부터의 이득값과 비교해서 거의 50% 감소이다. 선(902)의 크기는 고빈도에서 1 미만의 값을 유지하고, 이것은 경사 제어가 이 고빈도에서 웨지 교란을 제어하는 데 효과적일 수 있다는 것을 지시한다. 추가로, 선(902)은 경사 제어가 고빈도 및 저빈도 둘 모두에서 웨지 교란을 제어하는 데에 효과적일 수 있다는 것을 지시한다.

[0052] 실시예 5

[0053] 실시예 4에서 10 시간 이상의 기간 동안에 웨지 영향을 제어하는 데는 열 제어가 이용될 수 있고 더 짧은 기간 동안에 웨지 영향을 제어하는 데는 경사 제어가 이용될 수 있다는 이론을 확인한 후, 다변수 제어 알고리즘을 개발하였다. 도 10 - 16은 웨지 변동을 제어하는 데 이용하기 위해 실시예 2 및 3으로부터의 모델을 조합한 시뮬레이션된 결과를 도시한다. 특히, 실시예 2 및 3으로부터 결과적으로 얻은 모델을 조합하였고, H 무한대 제어 접근을 이용해서 저빈도 변동을 다루는 데 온도 조정을 선택하고 고빈도 변동을 다루는 데 경사 조정을 선택하는 알고리즘을 생성하였다. 더 구체적으로, 실시예 2 및 3의 데이터에 적합화된 모델을 조합해서 알고리즘을

형성하였고, 이것을 H 무한대 제어 방법을 이용해서 형상화하였다.

- [0054] H 무한대 제어 방법에서는, 고빈도 변동을 무시한 채 저빈도 변동을 최소화하기 위해 온도 변수를 조작하였고, 한편, 저빈도 변동을 무시한 채 고빈도 변동을 최소화하기 위해 경사 변수를 조작하였다. 결과적으로 얻은 다변수 제어 알고리즘을 실시예 1에서 수집된 데이터에 적용하여 도 10-16에 제시된 시뮬레이션된 데이터를 생성하였다.
- [0055] 도 10은 통상적인 PI 제어 시스템에 따른 결과적인 온도 이동 (y-축) 대 시간 (x-축)의 플롯이다. 도 11은 다변수 제어 알고리즘에 따른 결과적인 온도 이동 (y-축) 대 시간 (x-축)의 플롯이다. 도 10 및 11에서 알 수 있는 바와 같이, 시뮬레이션된 데이터는 PI 열 제어가 다변수 제어 알고리즘에 비해 더 큰 단기 및 장기 변동을 갖는다(예를 들어, 온도가 더 많은 횡수로 변하고, 그 변화가 더 큰 크기를 나타낸다)는 것을 지시한다.
- [0056] 도 12는 통상적인 PI 제어 시스템에 따른 결과적인 경사 이동 (y-축) 대 시간 (x-축)의 플롯이다. 도 13은 다변수 제어 알고리즘에 따른 결과적인 경사 이동 (y-축) 대 시간 (x-축)의 플롯이다. 도 13에 나타난 바와 같이, 시뮬레이션된 데이터는 다변수 제어 알고리즘이 통상적인 PI 제어 시스템에 비해 매우 적은 장기 변동을 갖는다는 것을 지시한다. 고빈도 성분을 다루는 데 경사 이동을 조정한다. 이것은 표준 PI 제어와 비교할 때 훨씬 더 작은 진폭(대략 5 배)을 갖는 경사 이동 신호를 초래한다.
- [0057] 도 14, 15 및 16은 각각 통상적인 PI 온도 제어 시스템, 통상적인 PI 경사 제어 시스템, 및 다변수 제어 시스템을 이용해서 시뮬레이션된 웨지 변동을 도시한다. 도 14 - 16을 비교함으로써 알 수 있는 바와 같이, 다변수 제어 시스템은 훨씬 더 작은 웨지 변동을 달성하고, 이것은 경사만을 이용할 때에 비해 70% 개선을 나타낸다. 따라서, 조합된 접근은 경사 또는 열 보상을 단독으로 이용하는 것보다 더 큰 제어를 제공한다.
- [0058] 실시예 6
- [0059] 열 제어를 단독으로 이용하는 경우보다 경사 제어를 이용하는 경우에 웨지 변동에 대해 개선된 제어를 나타낼 것으로 추정한 후, 시뮬레이션의 결과를 확인하기 위해 실험을 수행하였다. 실험은 실시예 2에서 이용된 것과 동일한 매개변수를 이용하였다. 특히, 관찰된 웨지를 다루기 위해 업데이트된 경사 설정점을 결정하는 데 실시예 2로부터 얻은 모델을 이용하였다 (그의 결과는 도 17에 나타냄).
- [0060] 도 17 및 18은 웨지 변동의 경사 제어의 실행가능성을 결정하는 실험의 결과를 도시한다. 특히, 도 17은 대략 2.5 일의 기간 동안 경사 제어 하에서 시간 (x-축)의 함수로서 웨지의 양 (y-축)을 나타내는 플롯이다. 도 18은 통상적인 자동 두께 제어 시스템(ATCS)을 이용한 열 제어 하에서 시간 (x-축)의 함수로서 웨지의 양 (y-축)을 나타내는 플롯이다. 통상적인 ATCS는 다변수 웨지 제어기와 관련해서 서술된 바와 같이 고빈도 웨지 성분을 무시하면서 저빈도 웨지 성분의 제어에 열 변수를 특별히 이용하지 않는다. 도 17 및 18을 비교함으로써 알 수 있는 바와 같이, 경사 제어 시행 동안의 파워 업셋(power upset)에도 불구하고, 통상적인 ATCS에 의해 제공되는 열 제어로 웨지 변동을 제어하는 것과 비교할 때 경사 제어를 이용해서 웨지 변동 개선이 달성되었다. 특히, 실험 동안에 경사 메카니즘의 최소량의 각 변화를 조정하였고, 제어 이동의 조작성은 달성할 수 있는 밴드폭 및 고빈도 변동을 다루는 능력을 제한하였다. 그럼에도 불구하고, 실험은 덜 보수적인 운동 제어로 개선될 것으로 예상된 좋은 결과를 나타내었다.
- [0061] 도 19는 웨지를 제어하는 데 ATCS를 이용한 열 제어의 결과(도 18에 나타냄)와 비교한 경사 제어 결과 (도 17에 나타냄)의 박스 플롯이다. 경사 제어는 사분위수 범위 (즉, 미드스프레드(midspread) 또는 중간 50)에서 27% 개선을 나타내었다. 사분위수 범위는 데이터 점의 산포를 나타내고, 사분위수 범위의 개선은 분산의 감소를 지시한다. 경사 이동 제어 시스템의 제한에도 불구하고, 열 제어에 비해 단기 변동 개선이 실현되었다.
- [0062] 도 20은 도 17 및 18에 나타난 데이터에 관한 웨지의 시간 (x-축)의 함수로서의 롤링 표준편차 ("STD")(y-축)의 플롯을 나타낸다. 6 시간의 윈도우를 이용하였고, 전체 데이터 세트 (대략 45 시간)에 대해 10초씩 계단형으로 수행하였다. 경사 하에서의 웨지 결과를 선(2000)으로 나타내고, 통상적인 ATCS를 이용한 열 제어 하에서의 웨지 결과를 선(2002)으로 나타낸다. 경사 제어에 관한 6 시간 롤링 STD 데이터 세트의 평균 변동 값을 선(2004)으로 나타내고, 통상적인 ATCS 열 제어에 관한 6 시간 롤링 STD 데이터 세트의 평균 변동 값을 선(2006)으로 나타낸다. 데이터는 경사 웨지 제어 시스템이 ATCS 열 제어에 비해 평균적으로 대략 15% 더 낮은 단기 변동을 가졌다 (0.07 대 0.0825). 또, 이것은 경사 제어 실험 동안에 온도 요동에도 불구하고 관찰되었다. 따라서, 도 19 및 20은 경사를 이용한 웨지 제어가 열 제어를 단독으로 이용한 웨지 제어보다 더 큰 제어 및 더 적은 변동을 초래할 수 있다는 것을 입증한다.

[0063] 실시예 7

[0064] 경사 제어로 웨지를 제어하는 것의 실현가능성을 확인한 후, 생성된 다변수 제어 알고리즘을 그것이 열 제어만을 이용하는 통상적인 웨지 제어 방법에 비해 이점을 제공했는지를 결정하기 위해 시험하였다. 특히, 다변수 제어 알고리즘이 열 변수에 관해 예상대로 기능했는지를 결정하기 위해 실험 동안 경사 이동을 실행하지 않았다. 따라서, 다변수 웨지 제어, 통상적인 ATCS 및 통상적인 PI 제어 시스템에 의해 지시된 대로 열 제어를 통해 웨지를 조절한 시스템에 대해 수 일의 기간 동안 웨지를 측정하였다. 더 구체적으로, 통상적인 PI 제어 시스템에 대해 7일의 기간 동안 웨지를 측정하였고, 다변수 웨지 제어 시스템에 대해 18일의 기간 동안 웨지를 측정하였다. 총 웨지, 단기 빈도(1 - 3 시간) 및 장기(10 시간 초과) 웨지 변동을 관찰하고 비교하였다.

[0065] 특히, 도 21은 다변수 웨지 제어(MWC), 통상적인 ATCS, 및 통상적인 PI 제어 시스템을 이용한 웨지 제어의 결과를 도시한다. 표 1은 추가의 비교 데이터를 제공한다

[0066] <표 1> MWC, ATCS 및 PI 제어 시스템의 웨지 변동 비교

	MWC	ATCS	PI	ATCS와의 차이(%)	PI와의 차이(%)
중앙값	0.000759	-0.01583	0.002275	95	67
총 STD	0.36549	0.050328	0.046535	27	21
저빈도 STD	0.009657	0.035076	0.012548	72	23
고빈도 STD	0.034284	0.032869	0.043157	-4	21

[0067]

[0068] 도 21의 왼쪽 박스 플롯은 총 웨지 변동을 비교한다. MWC가 통상적인 ATCS 및 PI 제어 시스템보다 더 작은 중앙값 및 더 좁은 변동 범위를 가졌다는 것을 알 수 있다. 중간 플롯은 웨지의 저빈도 변동(장기 기간)을 나타낸다. 도 21의 오른쪽 박스 플롯은 고빈도에서의 웨지 변동을 나타낸다. 여기서, MWC를 이용해서 관찰되는 변동은 통상적인 ATCS를 이용할 때 관찰되는 변동과 유사하였고(4% 더 나쁨), 통상적인 PI 제어 시스템을 이용할 때 관찰되는 변동보다 더 좋았다(21%의 개선). 따라서, 알고리즘 설계로부터 예상되는 바와 같이, MWC는 통상적인 ATCS에 비해 고빈도 변동을 보상하는 것으로 보이지 않았고, 그것은 통상적인 PI 제어 시스템처럼 고빈도 변동을 증폭시키지 않았다.

[0069] 상기 내용에 기초하여, 이제, 본원에 유리 리본의 두께 웨지를 제어하는 방법의 다양한 측면을 개시한다는 것을 이해해야 한다. 제1 측면에 따르면, 유리 리본의 웨지 변동을 제어하는 방법은 용융 유리를 형성 용기의 수렴하는 측면 위로 흘러내리게 하고, 형성 용기의 루트로부터 폭을 갖는 유리 리본을 인출하고, 유리 리본의 폭의 적어도 일부에서 웨지 변동을 측정하고, 측정된 웨지 변동에 기초하여 형성 용기의 경사 및 형성 용기의 위어 근처에서의 온도를 조정하여 유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 감소시키는 것을 포함한다.

[0070] 제2 측면에서, 융합 인출 장치는 형성 용기의 길이를 한정하는 제1 단부 및 제2 단부, 및 상부 표면에 위치하는 트러프를 갖는 형성 용기, 형성 용기의 제2 단부에 대한 형성 용기의 제1 단부의 위치를 변화시키기 위해 형성 용기를 경사지게 하는 경사 메카니즘, 형성 용기의 위어 근처 영역에 열을 제공하는 적어도 1개의 가열 메카니즘, 및 프로세서를 갖는 제어기 및 컴퓨터로 판독가능하고 실행가능한 명령어 세트를 저장하는 메모리를 포함하는 자동 두께 제어 시스템을 포함한다. 컴퓨터로 판독가능하고 실행가능한 명령어 세트는 프로세서에 의해 실행될 때, 인출물의 저부에서 두께 게이지로부터 웨지 변동 계산을 받고, 받은 웨지 변동 계산에 기초하여 웨지 변동의 고빈도 성분 및 웨지 변동의 저빈도 성분을 결정하고, 웨지 변동의 고빈도 성분을 감소시키는 경사 설정점을 계산하고, 웨지 변동의 저빈도 성분을 감소시키는 온도 설정점을 계산하고, 경사 설정점을 경사 메카니즘에 제공하고, 온도 설정점을 적어도 1개의 가열 메카니즘에 제공한다.

[0071] 제3 측면에서, 유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 제어하는 방법은 용융 유리를 형성 용기의 수렴하는 측면 위로 흘러내리게 하고, 형성 용기의 루트로부터 폭을 갖는 유리 리본을 인출하고, 유리 리본의 폭의 적어도 일부에서

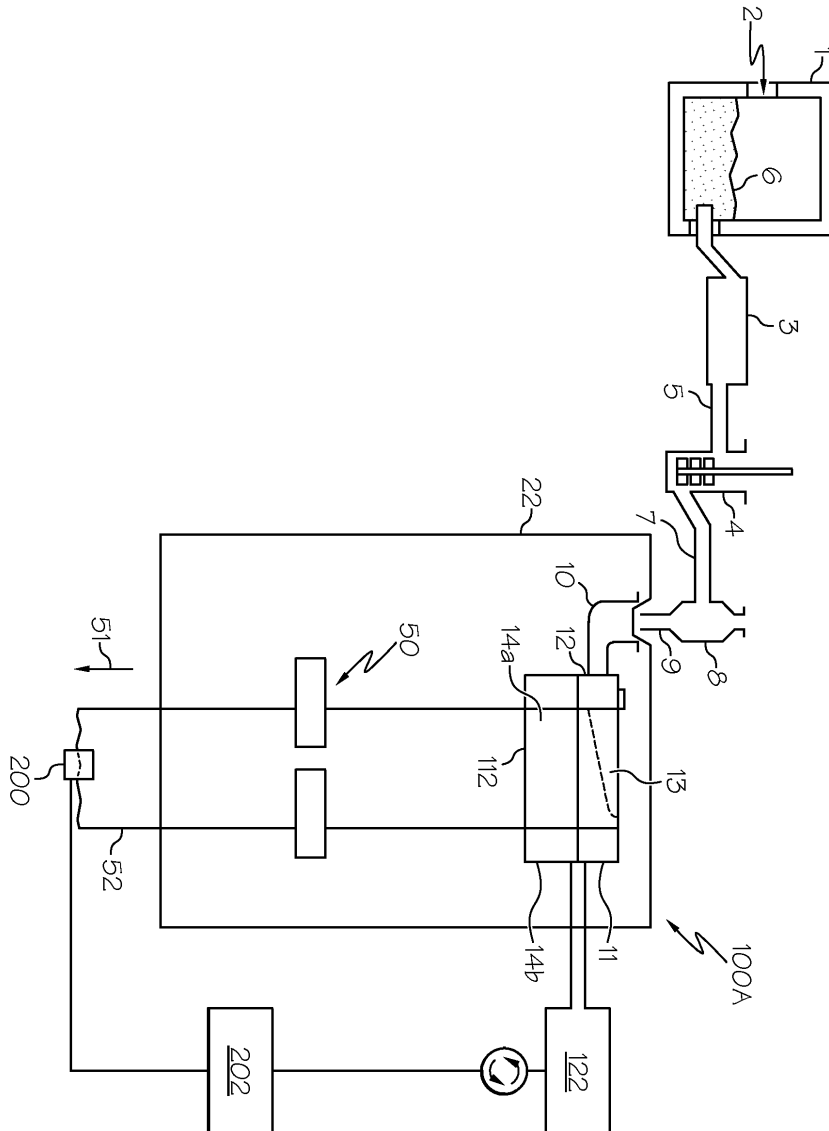
웨이 변동을 측정하고, 웨지 변동의 고빈도 성분에 기초하여 형성 용기의 경사를 조정하여 유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 감소시키고, 웨지 변동의 저빈도 성분에 기초하여 형성 용기의 위어에서의 온도를 조정하여 유리 리본의 폭에서 웨지 변동을 감소시키고, 유리 리본의 폭의 일부에서 조정된 웨지 변동을 측정하는 것을 포함한다.

- [0072] 제4 측면은 웨지 변동의 고빈도 성분에 기초하여 형성 용기의 경사 변화를 결정하는 것을 추가로 포함하는 제1 측면 내지 제3 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0073] 제5 측면은 형성 용기의 경사를 조정하는 것이 형성 용기의 제2 단부에 대한 형성 용기의 제1 단부의 위치를 조정하는 것을 포함하는 것이고, 형성 용기의 제1 단부 및 제2 단부가 형성 용기의 수렴하는 측면에 수직이고 형성 용기의 길이만큼 분리되어 있는 것인 제1 측면 내지 제4 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0074] 제6 측면은 웨지 변동의 저빈도 성분에 따라서 위어에서의 온도 변화를 결정하는 것을 추가로 포함하는 제1 측면 내지 제5 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0075] 제7 측면은 위어에서의 온도를 조정하는 것이 형성 용기의 상부 부분 근처에 위치하는 적어도 1개의 가열 메카니즘의 파워 출력을 조정하는 것을 포함하는 것인 제1 측면 내지 제6 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0076] 제8 측면은 위어에서의 온도를 조정하는 것이 형성 용기 주위에 위치하는 냉각 메카니즘의 파워 출력을 조정하는 것을 포함하는 것인 제1 측면 내지 제7 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0077] 제9 측면은 위어에서의 온도를 조정하는 것이 적어도 1개의 가열 메카니즘의 파워 출력을 조정하고, 형성 용기 주위에 위치하는 냉각 메카니즘의 파워 출력을 조정하는 것을 포함하는 것인 제1 측면 내지 제8 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0078] 제10 측면은 자동 두께 제어 시스템이 경사 설정점에 기초하여 형성 용기의 경사 정도를 조정하는 것인 제1 측면 내지 제9 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0079] 제11 측면은 자동 두께 제어 시스템이 온도 설정점에 기초하여 형성 용기의 위어 영역에 제공되는 열의 양을 조정하는 것인 제1 측면 내지 제10 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0080] 제12 측면은 위어 근처에 위치하는 냉각 메카니즘을 추가로 포함하고, 자동 두께 제어 시스템이 온도 설정점에 기초하여 형성 용기의 위어 영역을 능동적으로 냉각되게 하는 것인 제1 측면 내지 제11 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0081] 제13 측면은 자동 두께 제어 시스템이 웨지 변동의 고빈도 성분을 최소화하는 경사 설정점을 계산하는 것인 제1 측면 내지 제12 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0082] 제14 측면은 자동 두께 제어 시스템이 웨지 변동의 저빈도 성분을 최소화하는 온도 설정점을 계산하는 것인 제1 측면 내지 제13 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0083] 제15 측면은 자동 두께 제어 시스템이 웨지 변동의 저빈도 성분에 독립적으로 경사 설정점을 계산하는 것인 제1 측면 내지 제14 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0084] 제16 측면은 자동 두께 제어 시스템이 웨지 변동의 고빈도 성분에 독립적으로 온도 설정점을 계산하는 것인 제1 측면 내지 제15 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0085] 제17 측면은 유리 리본의 폭의 일부가 유리 리본의 비드 영역을 포함하지 않는 것인 제1 측면 내지 제16 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0086] 제18 측면은 형성 용기의 경사를 조정하는 것이 경사 정도 및 웨지 변화의 양에 기초하여 경사 설정점을 결정하는 것을 포함하는 것인 제1 측면 내지 제17 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0087] 제19 측면은 위어 근처에서의 온도를 조정하는 것이 온도 및 웨지 변화의 양에 기초하여 온도 설정점을 결정하는 것을 포함하는 것인 제1 측면 내지 제18 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0088] 제20 측면은 조정된 웨지 변동의 고빈도 성분에 기초하여 형성 용기의 경사를 조정하고, 조정된 웨지 변동의 저빈도 성분에 기초하여 형성 용기의 위어에서의 온도를 조정하는 것을 추가로 포함하는 제1 측면 내지 제19 측면 중 어느 하나를 포함한다.
- [0089] 청구된 주제의 정신 및 범위에서 벗어남이 없이 본원에 서술된 실시양태에 다양한 변경 및 변화를 가할 수 있다

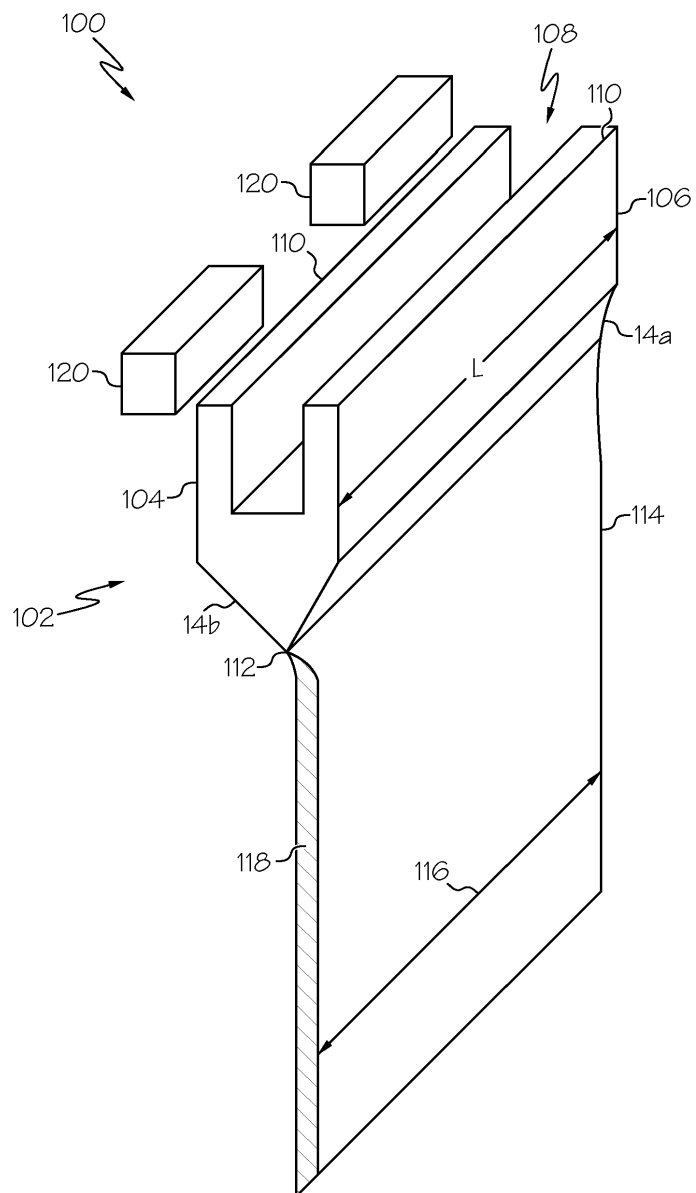
는 것이 관련 분야 기술자에게 명백할 것이다. 이리해서, 명세서는 본원에 서술된 다양한 실시양태의 변경 및 변화를 포함하고, 단, 그러한 변경 및 변화가 첨부된 청구범위 및 그의 등가물의 범위 내인 것을 의도한다.

도면

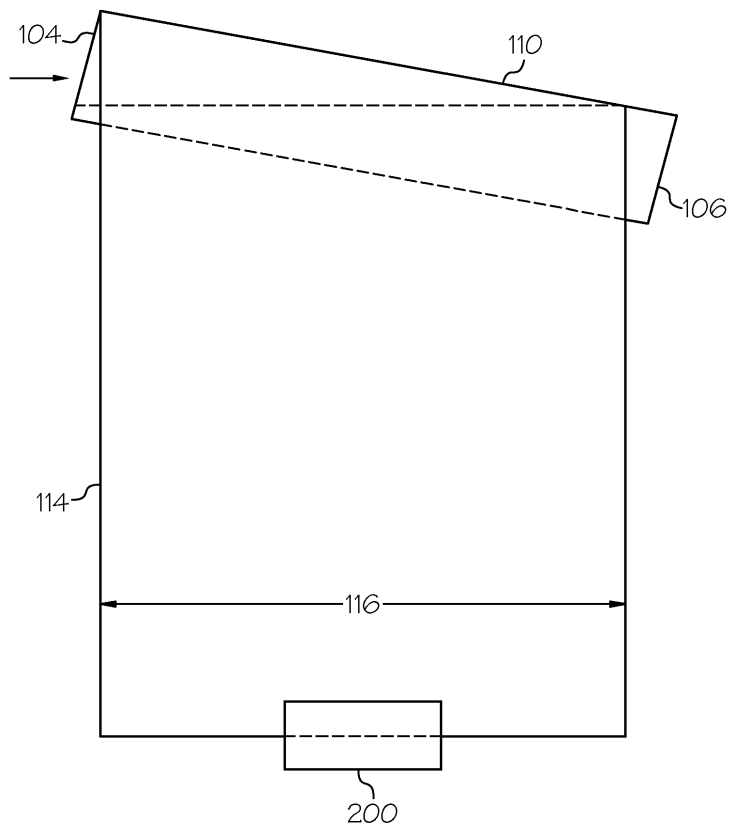
도면1a



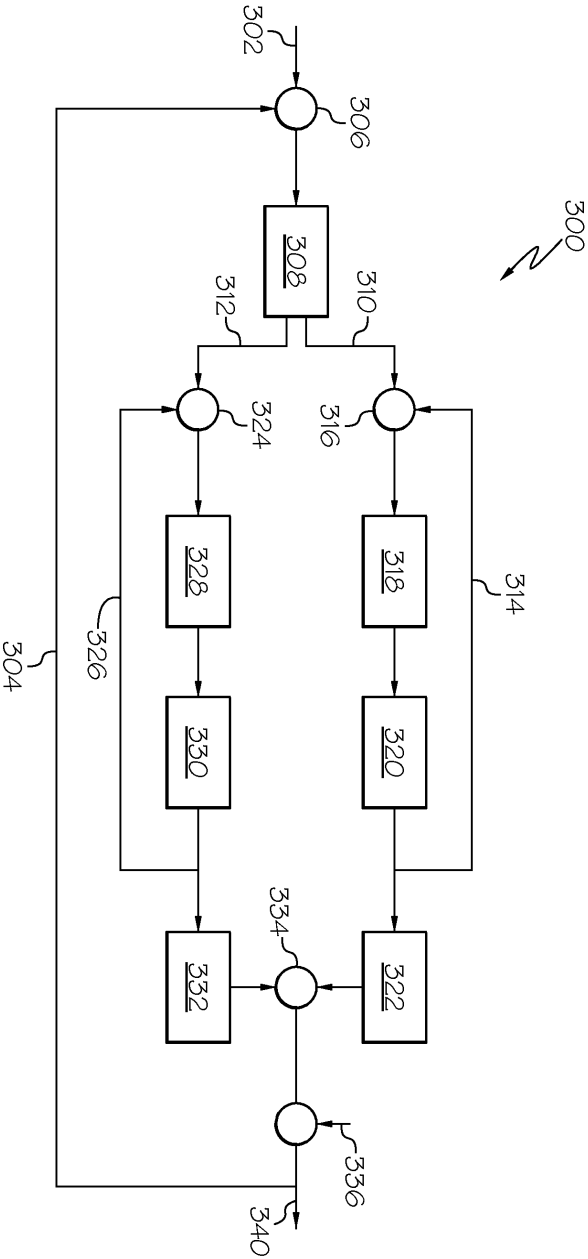
도면 1b



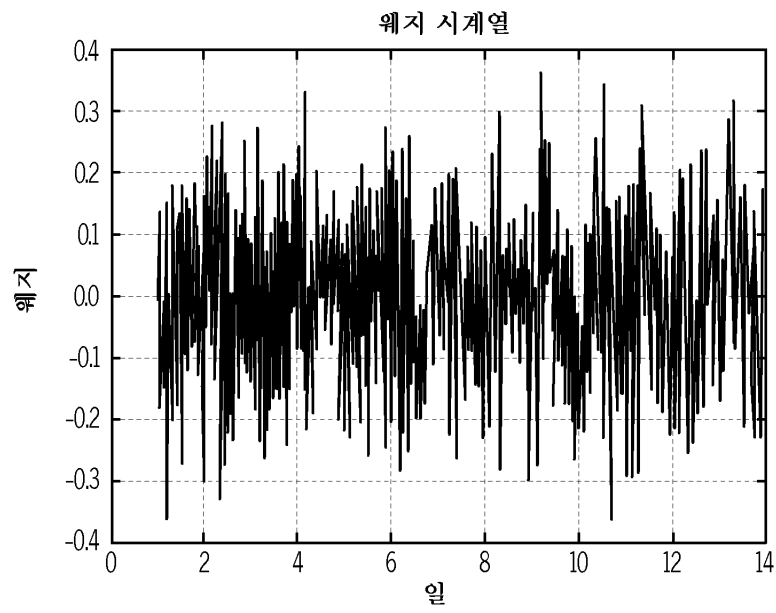
도면2



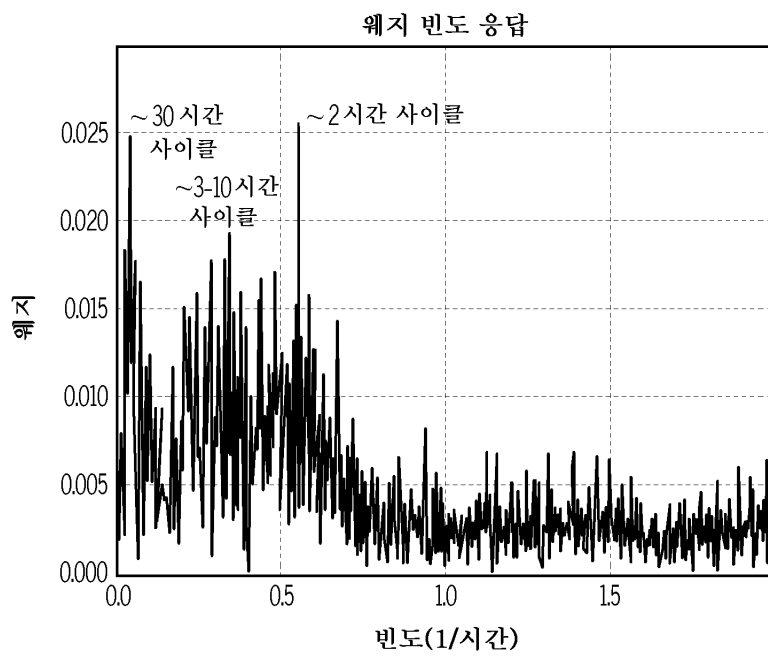
도면3



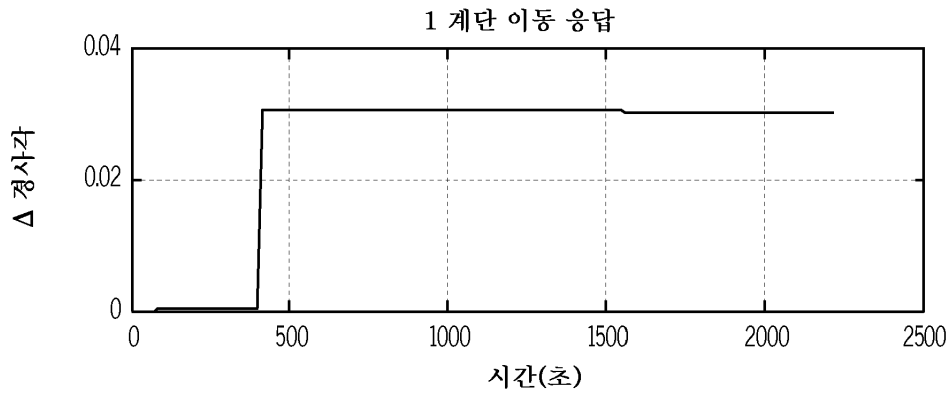
도면4



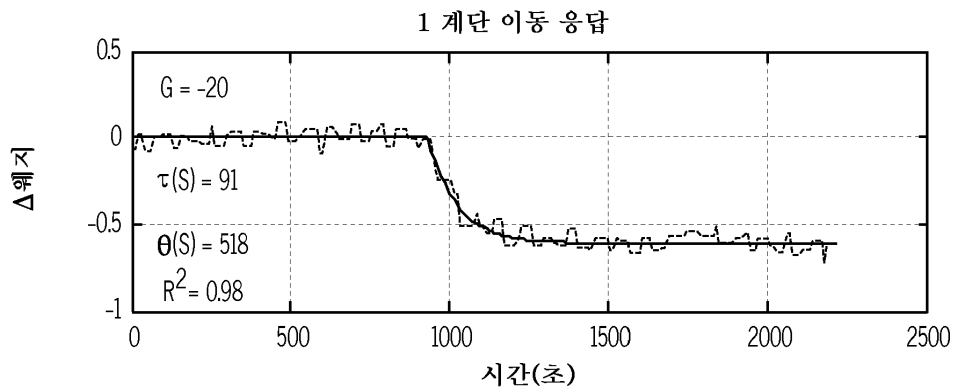
도면5



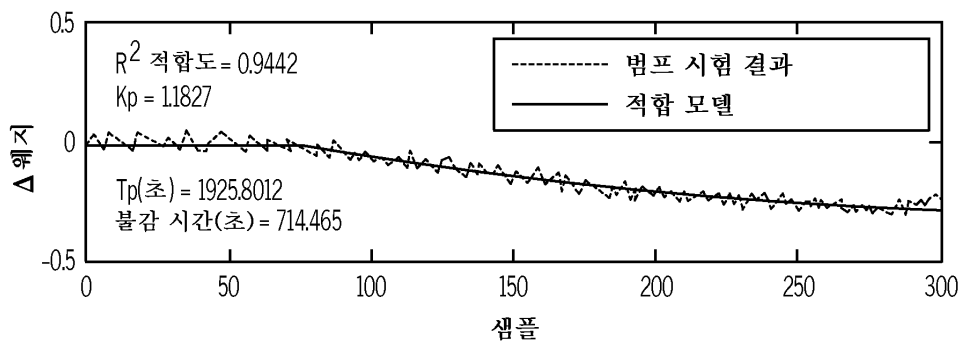
도면6



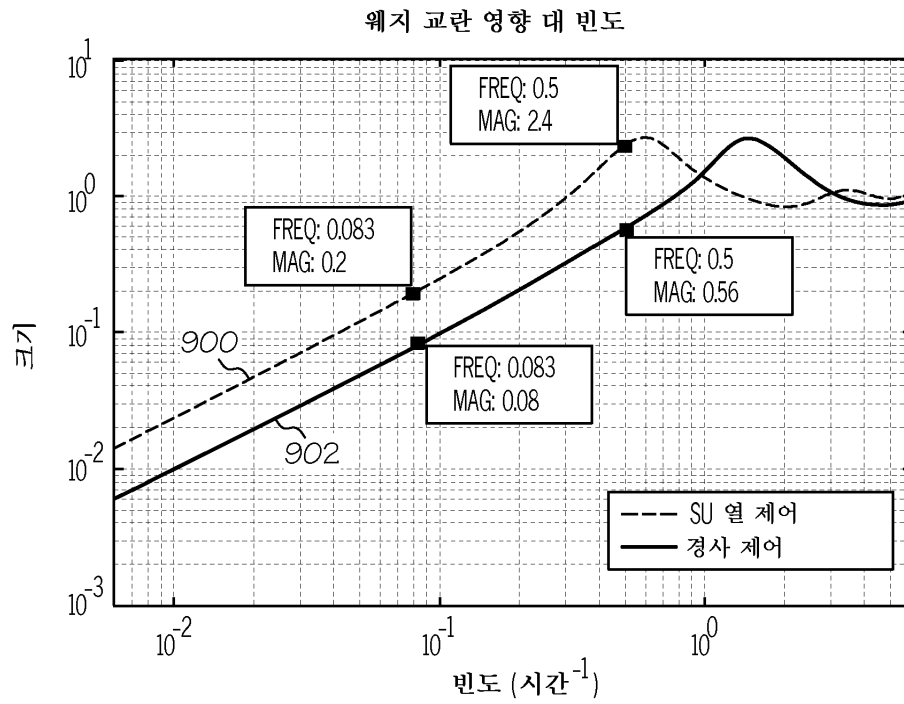
도면7



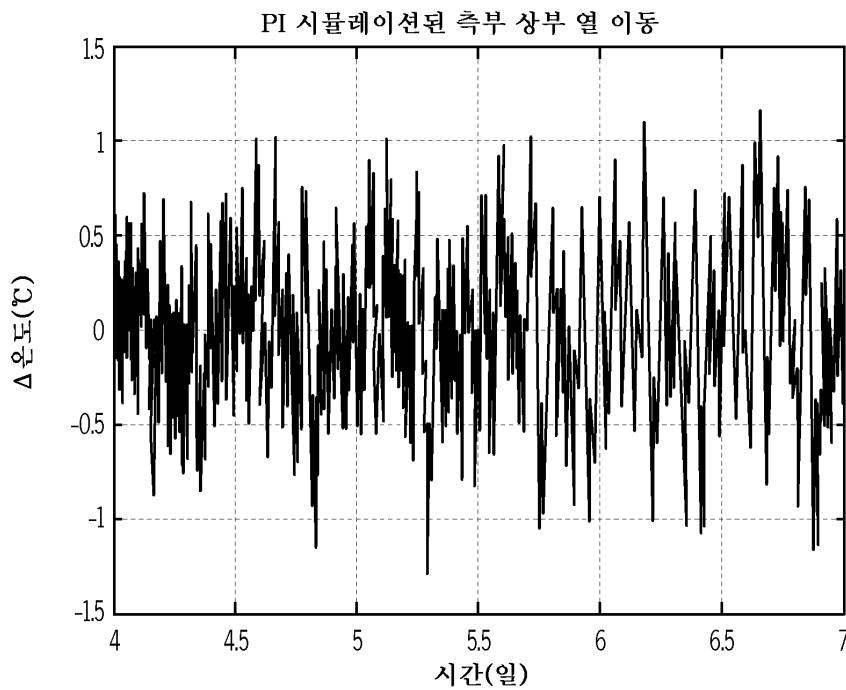
도면8



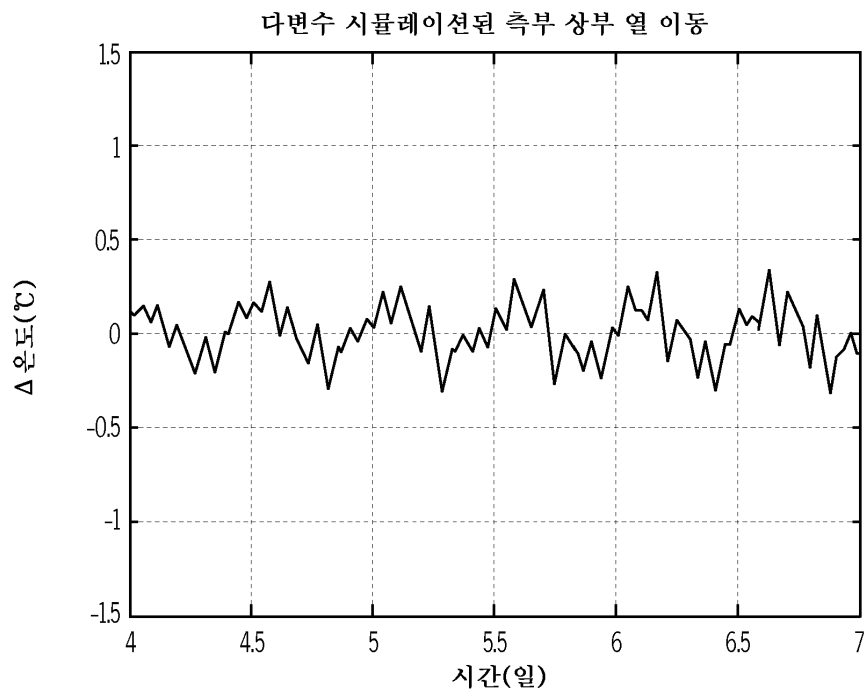
도면9



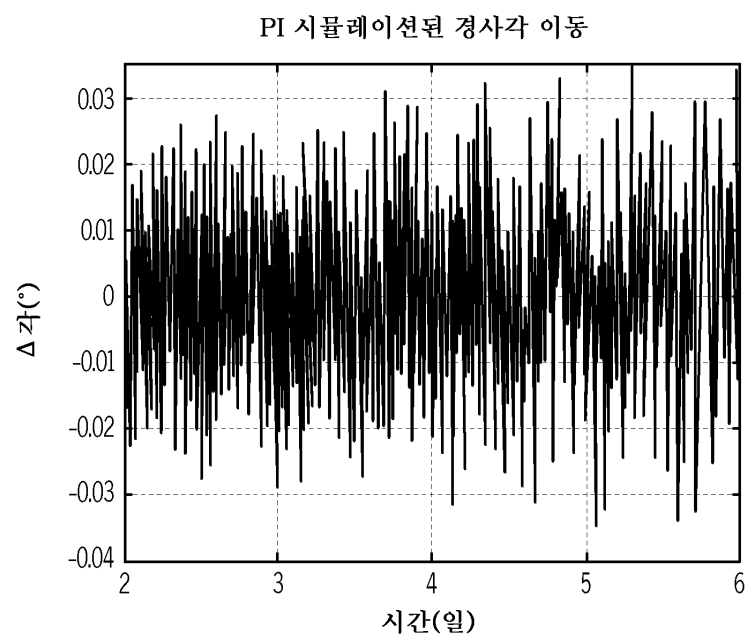
도면10



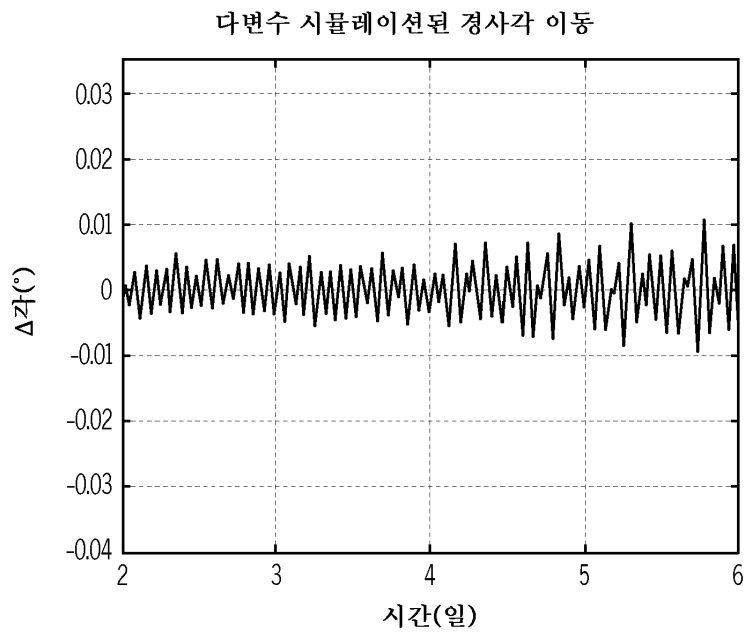
도면11



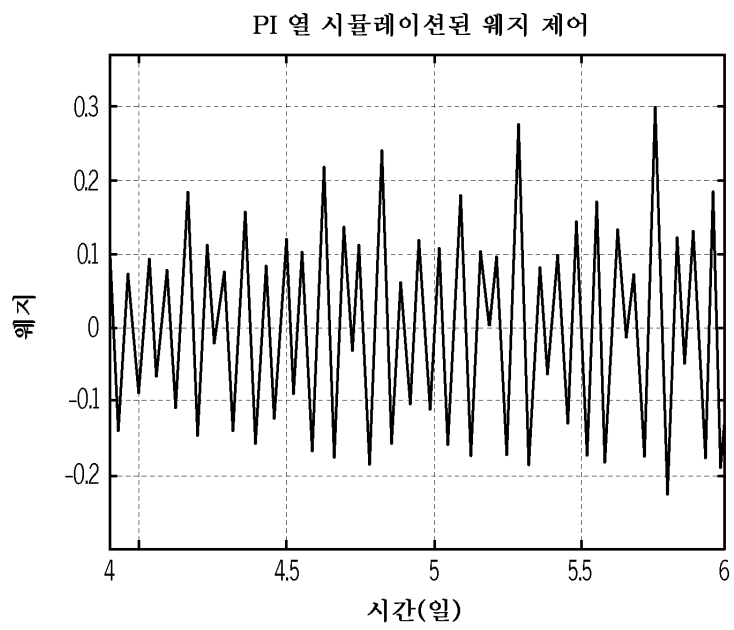
도면12



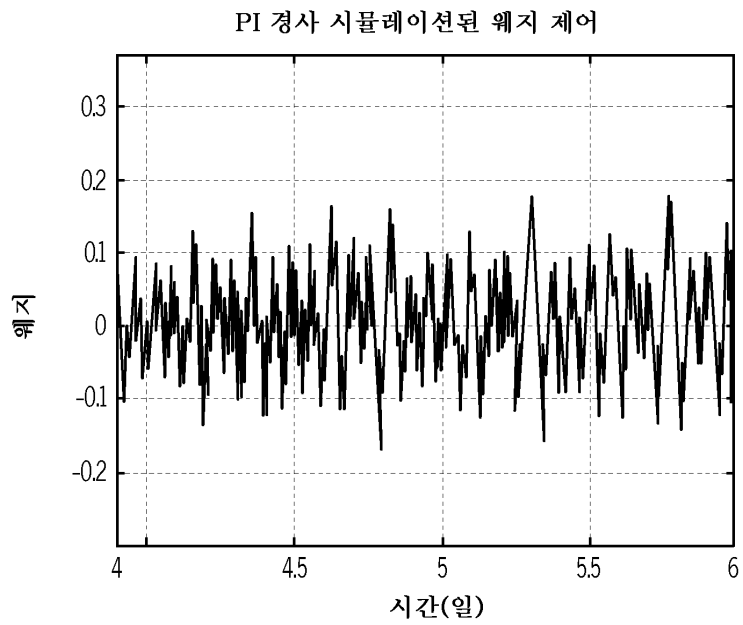
도면13



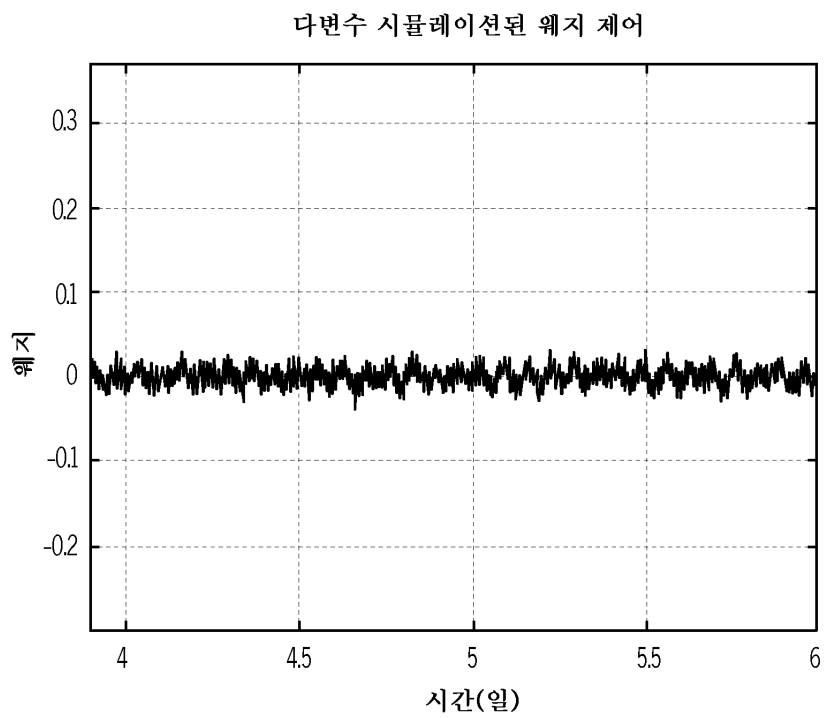
도면14



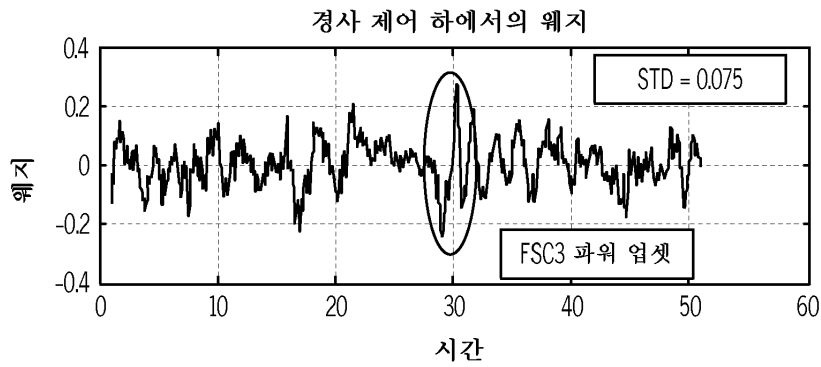
도면15



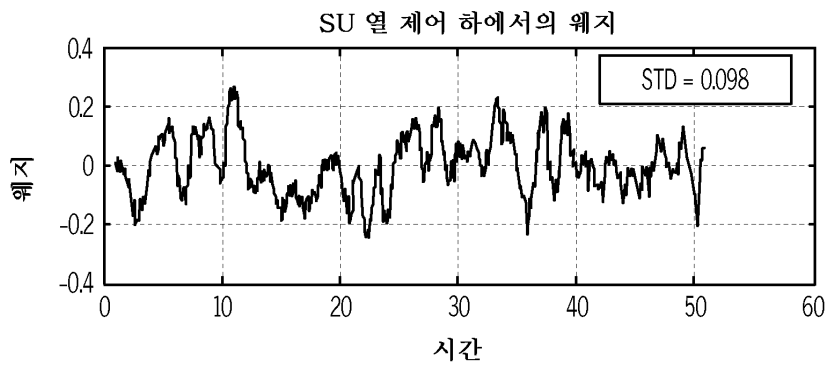
도면16



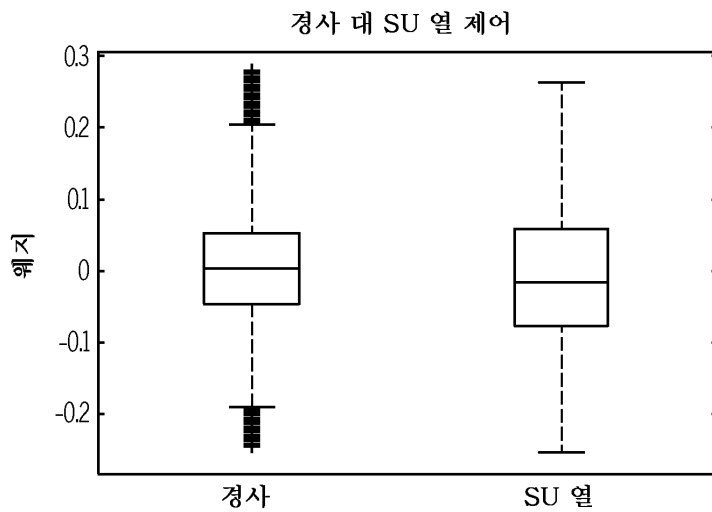
도면17



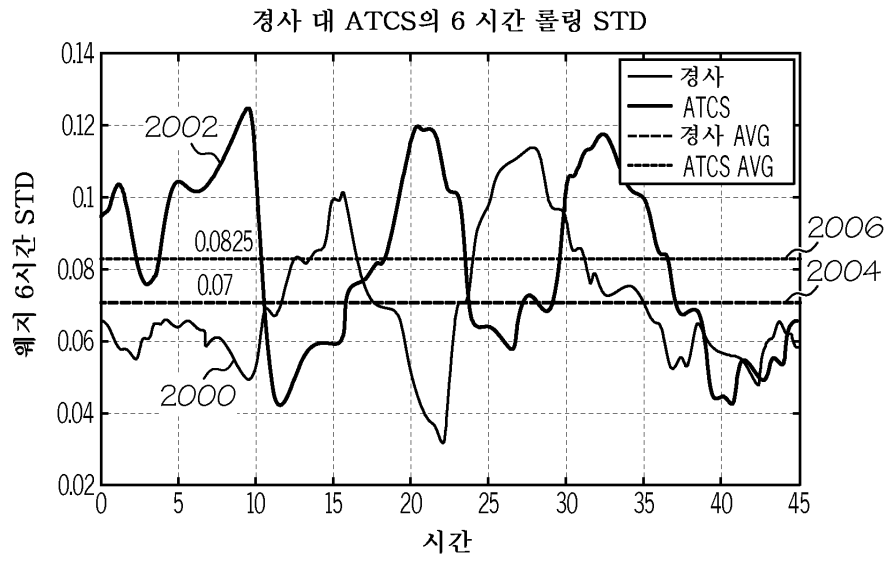
도면18



도면19



도면20



도면21

