



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2013년12월06일  
 (11) 등록번호 10-1337880  
 (24) 등록일자 2013년12월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G01B 11/24 (2006.01) G01B 9/02 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2012-0082703  
 (22) 출원일자 2012년07월27일  
 심사청구일자 2012년07월27일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 JP2004069585 A  
 JP2000171209 A  
 KR1020070117937 A  
 논문(1993. 5)

(73) 특허권자  
 경북대학교 산학협력단  
 대구광역시 북구 대학로 80 (산격동, 경북대학교)  
 주식회사 고영테크놀러지  
 서울특별시 금천구 가산디지털2로 53, 14층 15층  
 (가산동, 한라시그마밸리)

(72) 발명자  
 홍덕화  
 경기도 광명시 철산동 푸르지오하늘채 102동 300  
 3호  
 김민영  
 대구광역시 수성구 범어4동 삼성쉐르빌 102동 50  
 5호

(74) 대리인  
 특허법인청맥

전체 청구항 수 : 총 9 항

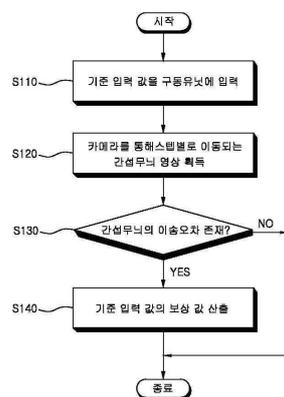
심사관 : 박근용

(54) 발명의 명칭 **위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법**

**(57) 요약**

카메라에 의해 획득된 각 스텝별 간섭무늬 영상만을 이용하여 매우 신속하고 정확하게 상기 간섭무늬의 위상을 이동시키기 위한 것으로서, 구동유닛의 이송 오차를 산출하여 보상할 수 있는 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법이 개시된다. 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법은 구동유닛을 작동시키기 위한 기준 입력 값을 제어부를 통해 구동유닛에 입력하고, 기준 입력 값에 의해 구동유닛이 작동되어 간섭무늬를 일정간격으로 스텝별로 이동시킴과 동시에 카메라를 통해 각 스텝별 간섭무늬의 영상을 획득하고, 각 스텝별 간섭무늬 영상의 밝기 차이를 이용하여 제어부에 의해 간섭무늬의 이송 오차의 유무를 판별한 후, 제어부에 의해 상기 간섭무늬의 이송 오차가 발생되었다고 판단된 경우, 기준 입력 값의 보상 값을 산출한다.

**대표도 - 도3**



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

3차원 영상 측정에서의 간섭무늬의 위상을 이동시키기 위한 구동유닛의 이송오차 보상방법에 있어서,  
 상기 구동유닛을 작동시키기 위한 기준 입력 값을 제어부를 통해 상기 구동유닛에 입력하는 단계;  
 상기 기준 입력 값에 의해 상기 구동유닛이 작동되어 간섭무늬를 일정간격으로 스텝별로 이동시킴과 동시에 카메라를 통해 각 스텝별 간섭무늬의 영상을 획득하는 단계;  
 상기 각 스텝별 간섭무늬 영상의 밝기 차이를 이용하여 상기 제어부에 의해 상기 간섭무늬의 이송 오차의 유무를 판별하는 단계; 및  
 상기 간섭무늬의 이송 오차가 발생된 경우, 기준 입력 값의 보상 값을 산출하는 단계를 포함하는 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,  
 상기 각 스텝별 간섭무늬 영상의 밝기 차이는,  
 서로 이웃하는 스텝별 간섭무늬 영상의 픽셀별 휘도차의 절대 값에 대한 m차승에 상기 카메라의 FOV내 적분값을 계산하여 산출하는 것을 특징으로 하는 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법.  
 여기서, 상기 m승은 스케일링 계수(scaling 하는 factor)를 나타냄.(단,  $m > 0$ )

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,  
 상기 간섭무늬의 이송 오차의 유무를 판별하는 단계는,  
 각 스텝별 간섭무늬 영상의 밝기 차이의 비율 값들을 산출하는 단계;  
 상기 각 스텝별 간섭무늬 영상의 밝기 차이의 비율 값들을 비교하여 오차가 있는 비율 값의 존재 여부를 판별하는 단계; 및  
 상기 오차가 있는 비율 값이 있다고 판단되면 상기 오차가 있는 비율 값이 산출된 스텝의 위치를 검출하는 단계를 포함하는 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,  
 상기 기준 입력 값의 보상 값을 산출하는 단계는,  
 상기 간섭무늬 영상의 밝기 차이를 이용하여 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝부터 최종 스텝까지 상기 간섭무늬를 스텝별로 이동시키기 위한 상기 구동유닛의 기준 입력 값의 보상 값들을 검출하는 단계를 포함하는 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법.

**청구항 5**

제 4 항에 있어서,  
 상기 기준 입력 값의 보상 값들을 검출하는 단계는,  
 비선형 형태의 각 스텝별 상기 구동유닛의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 선형으로 근사화시키는 단계;  
 선형화된 상기 구동유닛의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 이용하여 간섭무늬의 이송오차가 발

생된 스텝의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값을 산출하는 단계;

간섭무늬의 이송오차가 발생한 스텝의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값과 선형화된 상기 구동유닛의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 이용하여 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생한 이후의 스텝부터 최종 스텝까지의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값들을 산출하는 단계;

상기 기준 입력 값에 각 스텝별로 예비 보상 값들을 적용하여 상기 구동유닛에 입력하는 단계;

상기 구동유닛에 의해 상기 간섭무늬가 각 스텝별로 1/N피치씩 정확히 이동하는지 여부를 판단하는 단계; 및

상기 간섭무늬가 각 스텝별로 1/N피치씩 정확히 이동되었다고 판단되면 상기 간섭무늬를 각 스텝별로 1/N피치씩 정확히 이동시킨 상기 구동유닛에 입력된 예비 보상 값들을 상기 제어부에 의해 검출하여 상기 기준 입력 값의 보상 값들로 결정하는 단계를 포함하는 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법.

### 청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 간섭무늬의 이송오차가 발생한 스텝의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값을 산출하는 단계는,

상기 간섭무늬의 이송오차가 발생한 스텝의 상기 간섭무늬의 이송 오차 값을 추정하는 단계; 및

상기 추정된 간섭무늬의 이송 오차 값과 상기 선형으로 근사화된 상기 구동유닛의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 이용하여 상기 이송오차가 발생한 스텝의 간섭무늬에 대한 기준 입력 값의 보상 값을 산출하는 단계를 포함하는 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법.

### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 간섭무늬의 이송 오차 값은,

상기 제어부에 의해 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생한 스텝의 간섭무늬 영상의 밝기 차이 비율 값의 오차를 산출하여 추정하는 것을 특징으로 하는 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법.

### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 간섭무늬를 이동시키는 구동유닛은,

피에조 액추에이터인 것을 특징으로 하는 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법.

### 청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 기준 입력 값은,

상기 구동유닛을 구동시키는 전압(V) 값인 것을 특징으로 하는 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법.

## 명세서

### 기술분야

[0001] 본 발명은 위상 천이용 구동유닛의 제어방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 3차원 형상 측정 시 간섭무늬(fringe pattern)의 위상을 강제로 이동시키기 위한 PZT(piezoelectric) 액추에이터 등과 같은 위상 천이용 구동유닛을 제어하는 방법에 관한 것이다.

### 배경기술

[0002] 일반적으로 간섭측정법(interferometry), 모아레측정법(moire), PMP측정법(phase measuring profilometry) 등과 같은 3차원 형상 측정방법에서는 위상의 계산을 위해 사용되는 엔-버킷 위상이동 방법(n-bucket phase-

shifting)의 구현을 위해서는 정확한  $2\pi/n$  위상 이동방법이 요구된다.

[0003] 상기 3차원 형상 측정방법에서는 통상적으로 그레이팅(grating)이나 미러(mirror) 등에 PZT 액추에이터와 같은 구동유닛을 설치하여 간섭무늬의 위상 이동을 실현하고 있는 실정이다.

[0004] 그러나, 상기 PZT 액추에이터와 같은 구동유닛은 반응이 리니어하지 않기 때문(nonlinear)에 간섭무늬의 정확한 이송 위치를 맞추는 것이 쉽지 않으며, 일반적으로는 사용자의 시행착오로 상기 간섭무늬 이송량을 보정함으로써, 상기 간섭무늬의 위상 이동량을 보정하는 시간이 매우 오래 걸릴 뿐만 아니라, 상기 간섭무늬의 위상 이동량 또한 정확하게 보정한다는 것은 실질적으로 불가능하였다.

[0005] 그리하여, 최근에는 상기 간섭무늬의 위상 이동량이 정확하지 않아도 내부적으로 실제 이송량을 추정하여 보상하는 a-버킷팅 알고리즘(arbitrary-bucketing algorithm)을 사용하고 있는 실정이나, 이는 제어부의 계산량이 많아 상기 간섭무늬의 이송오차를 산출하여 보상하는 시간이 매우 오래 걸리게 된다는 문제점이 있었다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 따라서, 본 발명의 목적은 카메라에 의해 획득된 각 스텝별 간섭무늬 영상만을 이용하여 매우 신속하고 정확하게 상기 간섭무늬의 위상을 이동시키기 위한 구동유닛의 이송 오차를 산출하여 보상할 수 있는 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법을 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0007] 본 발명의 일실시예에 의한 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법은, 상기 구동유닛을 작동시키기 위한 기준 입력 값을 제어부를 통해 상기 구동유닛에 입력하는 단계와, 상기 기준 입력 값에 의해 상기 구동유닛이 작동되어 간섭무늬를 일정간격으로 스텝별로 이동시킴과 동시에 카메라를 통해 각 스텝별 간섭무늬의 영상을 획득하는 단계와, 상기 각 스텝별 간섭무늬 영상의 밝기 차이를 이용하여 상기 제어부에 의해 상기 간섭무늬의 이송오차의 유무를 판별하는 단계 및, 상기 간섭무늬의 이송 오차가 발생된 경우, 기준 입력 값의 보상 값을 산출하는 단계를 포함한다.

[0008] 일 예를 들면, 각 스텝별 간섭무늬 영상의 밝기 차이는, 서로 이웃하는 스텝별 간섭무늬 영상의 픽셀별 휘도차의 절대 값에 대한 m승에 상기 카메라의 FOV내 적분값을 계산하여 산출한다.

[0009] 여기서, 상기 m승은 스케일링 계수(scaling factor)를 나타내며, 상기 m은 0보다 큰 값을 가진다.

[0010] 한편, 상기 간섭무늬의 이송 오차의 유무를 판별하는 단계는, 각 스텝별 간섭무늬 영상의 밝기 차이의 비율 값을 산출하는 단계와, 상기 각 스텝별 간섭무늬 영상의 밝기 차이의 비율 값들을 비교하여 오차가 있는 비율 값의 존재 여부를 판별하는 단계 및, 상기 오차가 있는 비율 값이 있다고 판단되면 상기 오차가 있는 비율 값이 산출된 스텝의 위치를 검출하는 단계를 포함한다.

[0011] 또한, 상기 기준 입력 값의 보상 값을 산출하는 단계는, 상기 간섭무늬 영상의 밝기 차이를 이용하여 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝부터 최종 스텝까지 상기 간섭무늬를 스텝별로 이동시키기 위한 상기 구동유닛의 기준 입력 값의 보상 값들을 검출하는 단계를 포함한다.

[0012] 일 예를 들면, 상기 기준 입력 값의 보상 값들을 검출하는 단계는, 비선형 형태의 각 스텝별 상기 구동유닛의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 선형으로 근사화시키는 단계와, 선형화된 상기 구동유닛의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 이용하여 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값을 산출하는 단계와, 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값과 선형화된 상기 구동유닛의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 이용하여 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 이후의 스텝부터 최종 스텝까지의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값들을 산출하는 단계와, 상기 기준 입력 값에 각 스텝별로 예비 보상 값들을 적용하여 상기 구동유닛에 입력하는 단계와, 상기 구동유닛에 의해 상기 간섭무늬가 각 스텝별로 1/N피치씩 정확히 이동하는지 여부를 판단하는 단계 및, 상기 간섭무늬가 각 스텝별로 1/N피치씩 정확히 이동되었다고 판단되면 상기 간섭무늬를 각 스텝별로 1/N피치씩 정확히 이동시킨 상기 구동유닛에 입력된 예비 보상 값들을 상기 제어부에 의해 검출하여 상기 기준 입력 값의 보상 값들로 결정하는 단계를 포함한다.

[0013] 여기서, 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값을 산출하는 단계는, 상

기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 상기 간섭무늬의 이송 오차 값을 추정하는 단계 및, 상기 추정된 간섭무늬의 이송 오차 값과 상기 선형으로 근사화된 상기 구동유닛의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 이용하여 상기 이송오차가 발생된 스텝의 간섭무늬에 대한 기준 입력 값의 보상 값을 산출하는 단계를 포함한다.

- [0014] 한편, 상기 간섭무늬의 이송 오차 값은, 상기 제어부에 의해 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 간섭무늬 영상의 밝기 차이 비율 값의 오차를 산출하여 추정한다.
- [0015] 일 예를 들면, 상기 간섭무늬를 이동시키는 구동유닛은 피에조 액추에이터일 수 있다.
- [0016] 일 예를 들면, 상기 기준 입력 값은 상기 구동유닛을 구동시키는 전압(V) 값일 수 있다.

**발명의 효과**

- [0017] 이와 같이 본 발명의 일실시예에 의한 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법은, 별도의 센서 없이 카메라에 의해 획득된 간섭무늬의 영상만으로 구동유닛의 이송오차를 판별함과 동시에, 각 스텝별 간섭무늬의 영상의 밝기 차이를 이용하여 상기 간섭무늬의 이송오차를 산출하여 보상할 수 있으므로 제어부의 계산량이 많지 않아 신속하게 상기 구동유닛의 이송 오차를 산출하여 보상할 수 있다.
- [0018] 또한, 각 스텝별 간섭무늬의 이송오차를 최소화할 수 있는 구동유닛의 기준 입력 값을 산출하여 상기 구동유닛의 이송 오차를 보상함으로써 보다 정확한 상기 간섭무늬의 위상 이동을 실현할 수 있다.
- [0019] 그러므로, 본 발명의 일실시예에 의한 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법은 측정 대상물의 3차원 형상을 보다 신속하고 정확하게 측정할 수 있는 효과가 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0020] 도 1은 본 발명의 일실시예에 의한 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법을 설명하기 위한 3차원 형상 측정장치의 일예를 도시한 도면
- 도 2는 카메라에 의해 획득된 각 스텝별 간섭무늬의 영상을 도시한 예시도
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 의한 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법을 설명하기 위한 흐름도
- 도 4는 간섭무늬의 이송 오차의 유무를 판별하는 과정을 설명하기 위한 흐름도
- 도 5는 기준 입력 값의 보상 값들을 검출하는 단계를 설명하기 위한 흐름도
- 도 6은 피에조 액추에이터의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 선형으로 근사화시킨 일예를 도시한 그래프
- 도 7은 간섭무늬가 1/N주기로 수렴하는 시뮬레이션 결과의 일예를 도시한 그래프
- 도 8은 간섭무늬의 이송오차가 0으로 수렴하는 시뮬레이션 결과의 일예를 도시한 그래프
- 도 9는 각 스텝별 기준 입력 값에 따른 간섭무늬의 위상 이동 상태를 도시한 그래프
- 도 10은 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값을 산출하는 단계를 설명하기 위한 흐름도

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0021] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0022] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성 요소도 제1 구성 요소로 명명될 수 있다.
- [0023] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도

가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0024] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖는다.

[0025] 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0026] 이하 도면을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예들을 보다 상세하게 설명한다.

[0027] 도 1은 본 발명의 일실시예에 의한 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법을 설명하기 위한 3차원 형상 측정장치의 일예를 도시한 도면이며, 도 2는 카메라에 의해 획득된 각 스텝별 간섭무늬의 영상을 도시한 예시도이고, 도 3은 본 발명의 일실시예에 의한 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0028] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 의한 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법은 N-버킷 알고리즘을 이용한 3차원 형상 측정방법에서 간섭무늬 위상의 이송오차를 별도의 센서 없이 카메라(120)에 의해 획득된 줄무늬 형태의 간섭무늬 영상만으로 구동유닛(110)의 이송오차의 유무를 판별한 후 상기 이송오차를 보상할 수 있는 방법에 관한 것이다.

[0029] 본 발명의 일실시예에 의한 위상 이동용 구동유닛의 이송오차 보상방법을 이용하여 상기 구동유닛(110)의 이송오차를 보상하기 위해서는 먼저, 상기 구동유닛(110)을 작동시키기 위한 기준 입력 값을 제어부를 통해 상기 구동유닛(110)에 입력한다(S110).

[0030] 예를 들면, 상기 구동유닛(110)으로는 피에조 액추에이터(piezo actuator)를 사용할 수 있으며, 피에조 액추에이터에는 PZT, PZN-PT, PMN-PT 등의 압전소자가 사용될 수 있다. 한편, 상기 구동유닛(110)으로 피에조 액추에이터를 사용할 경우에는 상기 피에조 액추에이터가 전압(voltage)으로 제어됨으로써 상기 기준 입력 값으로 전압 값이 사용되는 것이 바람직하다.

[0031] 상기 제어부를 통해 상기 기준 입력 값이 상기 구동유닛(110)에 입력되면 상기 기준 입력 값에 의해 상기 구동유닛(110)이 작동되어 상기 간섭무늬를 일정한간격으로 스텝별로 이동시킴과 동시에 상기 카메라(120)를 통해 각 스텝별 간섭무늬의 영상을 획득한다(S120).

[0032] 여기서, 상기 기준 입력 값으로는 상기 간섭무늬가 1/N피치(pitch)씩 스텝별로 이동될 수 있는 근사 값을 사용하는 것이 바람직하다. 통상 N-버킷 위상이동 방법을 구현하기 위해서는 상기 간섭무늬를  $\pi/2$ 씩 스텝별로 위상 이동시키는 것이 일반적이므로, 예를 들면, 상기 기준 입력 값으로는 상기 간섭무늬가 1/4피치씩 스텝별로 이동될 수 있는 근사치의 전압 값을 사용할 수 있다.

[0033] 상기 카메라(120)를 통해 각 스텝별 간섭무늬의 영상을 획득한 다음에는, 상기 제어부에 의해 상기 각 스텝별 간섭무늬 영상(130)의 밝기 차이를 이용하여 상기 간섭무늬의 이송 오차의 유무를 판별한다(S130).

[0034] 한편, 상기 각 스텝별 간섭무늬 영상(130)의 밝기 차이( $C_{ij}$ )는 아래와 같은 <수학식1>에 의해 산출된다.

**수학식 1**

$$C_{ij} \equiv \frac{1}{A_{FOV}} \int [I(x, \phi_i) - I(x, \phi_j)]^m dx$$

[0035]

[0036] 여기서,  $I(x, \phi_i)$ 는 i번째 스텝의 간섭무늬 영상(130)의 픽셀별 휘도를 나타내며,  $I(x, \phi_j)$ 는 I+1번째 스텝의 간섭무늬 영상(130)의 픽셀별 휘도를 나타내고, m은 스케일링 계수(scaling factor)로 0 보다 큰 정수( $m>0$ )에

컨대, 1 또는 2가 될 수 있다.)를 나타내며, A는 적분 도메인의 면적(예컨대, FOV(field of view)넓이)을 나타낸다.

[0037] 한편, 상기 각 스텝의 간섭무늬 영상(130)의 픽셀별 휘도( $I(x, \phi)$ )는 <수학식 2>와 같이 정의된다.

**수학식 2**

[0038] 
$$I(x, \phi) \equiv R(x) \cdot [1 + V(x) \sin(kx + \phi)]$$

[0039] 여기서,  $R(x)$ 는  $x$ 점에서의 간섭무늬의 반사율을 나타내며,  $V(x)$ 는 조명계의 선명도를 나타내고,  $\sin(kx + \phi)$ 는 사용된 조명계에서 그레이팅의 위상 이동량을 나타낸다.

[0040] 즉, 상기 각 스텝별 간섭무늬 영상(130)의 밝기 차이( $C_{ij}$ )는 상기 제어부에 의해 서로 이웃하는 스텝별 간섭무늬 영상(130)의 픽셀별 휘도차의 절대 값에 대한  $m$ 차승에 상기 카메라(120)의 FOV(field of view)내의 적분값을 계산하여 산출된다.

[0041] 이후, 상기 제어부에 의해 상기 간섭무늬의 이송 오차가 발생되지 않았다고 판단되면, 상기 기준 입력 값을 그대로 사용하여 상기 간섭무늬의 정확한 초기위상을 산출할 수 있다.

[0042] 한편, 상기 제어부에 의해 상기 간섭무늬의 이송 오차가 발생되었다고 판단되면 상기 제어부에 의해 상기 각 스텝별 간섭무늬 영상(130)의 밝기 차이를 이용하여 상기 간섭무늬의 이송 오차가 발생된 스텝부터 최종 스텝까지 상기 간섭무늬를 스텝별로 이동시키기 위한 상기 구동유닛(110)의 기준 입력 값의 보상 값들을 검출한다(S140).

[0043] 이후, 상기 제어부에 의해 상기 구동유닛(110)의 기준 입력 값의 보상 값들을 상기 기준 입력 값에 적용하여 상기 간섭무늬의 정확한 초기 위상을 산출한다.

[0044] 도 3 및 도 4를 참조하여 상기 간섭무늬의 이송 오차의 유무를 판별하는 단계(S130)에 대하여 상세하게 설명하면 다음과 같다.

[0045] 도 4는 간섭무늬의 이송 오차의 유무를 판별하는 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0046] 도 2 내지 도 4를 참조하면, 상기 간섭무늬의 이송 오차의 유무를 판별하기 위해서는, 먼저 상기 제어부에 의해 각 스텝별 간섭무늬 영상(130)의 밝기 차이의 비율 값들을 산출한다(S131).

[0047] 밝기 차이의 비율 값 산출은 각 스텝별 그레이 값을 측정하여 산출할 수 있으나, 흑백에 한정하지는 않으며, 컬러 카메라를 이용하는 경우에는 특정 색상을 기초로 밝기 값을 구할 수 있음은 물론이다.

[0048] 이후, 상기 제어부에 의해 상기 각 스텝별 간섭무늬 영상(130)의 밝기 차이의 비율 값들 중에서 오차가 있는 비율 값이 있는지의 여부를 판별한다(S132).

[0049] 도 2에 도시된 바와 같이 제2 스텝의 간섭무늬 영상(132)과 제1 스텝의 간섭무늬 영상(131)의 밝기 차를  $C_{21}$ 이라고 하고, 제3 스텝의 간섭무늬 영상(133)과 제2 스텝의 간섭무늬 영상(132)의 밝기 차를  $C_{32}$ 이라고 하며, 제4 스텝의 간섭무늬 영상(134)과 제3 스텝의 간섭무늬 영상(133)의 밝기 차를  $C_{43}$ 이라고 하고, 제1 스텝의 간섭무늬 영상(131)과 제4 스텝의 간섭무늬 영상(134)의 밝기 차를  $C_{14}$ 이라고 할 때, 상기 간섭무늬의 위상이 정확히  $\pi/2$ 씩 이동되었을 경우에는 상기  $C_{21}$ ,  $C_{32}$ ,  $C_{43}$ ,  $C_{14}$ 가 모두 동일한 값으로 산출된다. 따라서, 이때의 상기  $C_{21}$ ,  $C_{32}$ ,  $C_{43}$ ,  $C_{14}$ 의 비율 값은 1 : 1 : 1 : 1 이 된다.

[0050] 그러므로, 상기 S132단계에서 상기 제어부는 각 스텝별 간섭무늬 영상(130)의 밝기 차이의 비율 값들 중 1이 아닌 비율 값이 있는지의 여부만 판별하게 되면 상기 각 스텝별 간섭무늬 영상(130)의 밝기 차이의 비율 값들 중 오차가 있는 비율 값이 있는지의 여부를 판별할 수 있다.

[0051] 상기 제어부에 의해 오차가 있는 비율 값이 있다고 판단되면 상기 제어부에 의해 오차가 있는 비율 값이 산출된 스텝의 위치를 검출한다(S133).

[0052] 도 5 내지 도 8을 참조하여 기준 입력 값의 보상 값들을 검출하는 단계(S140)에 대하여 상세하게 설명하면 다음

과 같다.

- [0053] 도 5는 기준 입력 값의 보상 값들을 검출하는 단계를 설명하기 위한 흐름도이며, 도 6은 피에조 액추에이터의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 선형으로 근사화시킨 일례를 도시한 그래프이고, 도 7은 간섭무늬가 1/N주기로 수렴하는 시뮬레이션 결과의 일례를 도시한 그래프이며, 도 8은 간섭무늬의 이송오차가 0으로 수렴하는 시뮬레이션 결과의 일례를 도시한 그래프이다.
- [0054] 도 5 내지 도 8을 참조하면, 상기 기준 입력 값의 보상 값들을 검출하기 위해서는, 먼저 상기 제어부에 의해 비선형 형태의 각 스텝별 상기 구동유닛(110)의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 선형으로 근사화시킨다(S141).
- [0055] 예를 들면, 도 6에 도시된 바와 같이 피에조 액추에이터와 같은 구동유닛(110)은 전압 값에 따라 간섭무늬의 이송량이 제어된다. 즉, 기준 입력 값으로 전압 값이 사용되며 상기 전압 값의 변화에 따라 상기 피에조 액추에이터에 의해 이송되는 간섭무늬의 이송량이 결정된다. 그러나, 상기 피에조 액추에이터와 같은 구동유닛(110)에 의하여 이동되는 상기 간섭무늬의 이송량은 리니어(linear)하지 않기 때문에 상기 기준 입력 값을 1/4등분해서 상기 구동유닛(110)에 입력한다 하더라도 상기 간섭무늬의 이송량이 정확히 1/4씩 이동되지 않는다. 그러므로, 상기 기준 입력 값의 보상 값들을 검출하기 위해서는 먼저, 상기 제어부에 의해 비선형 형태의 각 스텝별 상기 구동유닛(110)의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 도 6에 도시된 바와 같이 선형으로 근사화시키는 작업을 하게 된다.
- [0056] 상기와 같이 각 스텝별 상기 구동유닛(110)의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 선형화시킨 다음에는, 상기 선형화된 상기 구동유닛(110)의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 이용하여 상기 제어부에 의해 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값을 산출한다(S142).
- [0057] 상기 S142단계에서는 상기 제어부가 S141단계에서 선형화된 상기 구동유닛(110)의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 이용함으로써 간섭무늬를 1/N씩 이송시킬 수 있는 기준 입력 값에 대한 근사 값을 손쉽게 산출할 수 있으며, 상기 근사 값과 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 기준 입력 값의 차이 값이 상기 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값이 된다.
- [0058] 이후, 상기 제어부에 의해 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값과 상기 선형화된 상기 구동유닛(110)의 기준 입력 값에 대한 상기 간섭무늬의 이송량을 이용하여, 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 이후의 스텝부터 최종 스텝까지의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값들을 상기 제어부에 의해 산출한다(S143).
- [0059] 여기서, 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 이후의 스텝부터 최종 스텝까지의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값들에는 각각 전 스텝에서의 구동유닛(110)에 의한 간섭무늬의 실제 이동량이 누적 적용되어야만 각 스텝별 간섭무늬가 1/N 간격으로 정확히 이송될 수 있다.
- [0060] 도 9는 각 스텝별 기준 입력 값에 따른 간섭무늬의 위상 이동 상태를 도시한 그래프이다.
- [0061] 도 9에 도시된 바와 같이 기준 입력 값이 'V'일 때 피에조 액추에이터에 의한 간섭무늬의 실제 위상 이동량을 'g(V)라하며, 1/4피치씩 간섭무늬를 이동시킨다고 가정하면 이론상 이동되어야 할 간섭무늬의 위상 이동량은  $\pi/2$ 가 된다. 그리고, 제1 스텝과 제2 스텝 사이의 위상 이동량의 예비 보상 값을  $\varepsilon_{21}$ 이라 하고, 제2 스텝과 제3 스텝 사이의 위상 이동량의 예비 보상 값을  $\varepsilon_{32}$ 이라 하며, 제3 스텝과 제4 스텝 사이의 위상 이동량의 예비 보상 값을  $\varepsilon_{43}$ 이라고 하면, 상기  $\varepsilon_{21}$ ,  $\varepsilon_{32}$ ,  $\varepsilon_{43}$ 은 <수학식 3 내지 5>와 같이 나타낼 수 있다.

**수학식 3**

[0062] 
$$\varepsilon_{21} = g(V_1) - \pi/2$$

수학식 4

[0063] 
$$\epsilon_{s_2} = g(V_2) - g(V_1) - \frac{\pi}{2}$$

수학식 5

[0064] 
$$\epsilon_{s_3} = g(V_3) - g(V_2) - \frac{\pi}{2}$$

[0065] 즉, 상기 <수학식 3 내지 수학식 5>에서 도시된 바와 같이 상기 제2 스텝과 제3 스텝 사이의 위상 이동량의 예비 보상 값에는 기준 입력 값으로 V1을 입력 하였을 시의 제1 스텝과 제2 스텝 사이의 위상의 실제 이동량의 누적 적용되고, 상기 제3 스텝과 제4 스텝 사이의 위상 이동량의 예비 보상 값에는 기준 입력 값으로 V2을 입력 하였을 시의 제2 스텝과 제3 스텝 사이의 위상의 실제 이동량의 누적 적용되어야만 간섭무늬의 이송오차가 발생된 이후의 스텝부터 최종 스텝까지의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값들을 정확하게 산출할 수 있다.

[0066] 상기 제어부에 의해 최종 스텝까지의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값들을 산출한 다음에는, 상기 제어부에 의해 상기 구동유닛(110)을 구동시키기 위한 기준 입력 값에 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝부터 최종 스텝까지 각 스텝별로 상기 S142단계와 S143단계에서 산출된 예비 보상 값들을 적용하여 상기 구동유닛(110)에 입력한다(S144).

[0067] 이후, 상기 구동유닛(110)에 의해 상기 간섭무늬가 각 스텝별로 1/N피치씩 정확히 이동하는지 여부를 상기 제어부를 통해 판단한다(S145).

[0068] 상기 S145단계에서 상기 간섭무늬가 각 스텝별로 1/N피치씩 정확히 이동되었다고 판단되면 상기 간섭무늬가 각 스텝별로 1/N피치씩 정확히 이동시킨 상기 구동유닛(110)에 입력된 예비 보상 값들을 상기 제어부에 의해 검출하여 상기 기준 입력 값의 보상 값들로 결정한다(S146).

[0069] 한편, 상기 S145단계에서 상기 제어부에 의해 상기 간섭무늬가 각 스텝별로 1/N피치씩 정확하게 이동되지 않았다고 판단되면, 상기 제어부는 상기 구동유닛(110)에 의해 상기 간섭무늬가 각 스텝별로 1/N피치씩 정확히 이동되었다고 판단될 때까지 상기 S142단계에서부터 S145단계를 반복적으로 실행한다. 다만, 무한 루프를 방지하기 위해 반복횟수는 5회, 10회 등과 같이 기 설정될 수 있다.

[0070] 이후, 상기 간섭무늬를 각 스텝별로 1/N피치씩 정확히 이동시킨 상기 구동유닛(110)에 입력된 예비 보상 값들을 상기 제어부에 의해 검출하여 상기 기준 입력 값의 보상 값들로 결정한다(S145).

[0071] 즉, 도 7 및 도 8에 도시된 바와 같이 상기 간섭무늬가 각 스텝별로 1/N주기로 수렴(에러 측정값이 0으로 수렴)할 수 있도록 상기 제어부를 통해 각 스텝별 예비 보상 값들을 조금씩 변경하면서 상기 S142단계에서부터 S145단계를 반복적으로 실행하게 된다. 이를 통하여 도 7 및 도 8에 도시된 바와 같이 에러 측정값이 0으로 수렴되어 상기 간섭무늬가 각 스텝별로 1/N주기로 수렴되는 시점에서의 상기 구동유닛(110)에 입력된 예비 보상 값들을 상기 제어부에 의해 검출하여 상기 기준 입력 값의 보상 값들로 결정하게 된다. 한편, 도 8에 도시된 시뮬레이터 결과에서는 에러 측정값이 0일 때 y축 값이 100으로 수렴되도록 표시하였다.

[0072] 도 10을 참조하여 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값을 산출하는 단계(142)에 대하여 상세하게 설명한다.

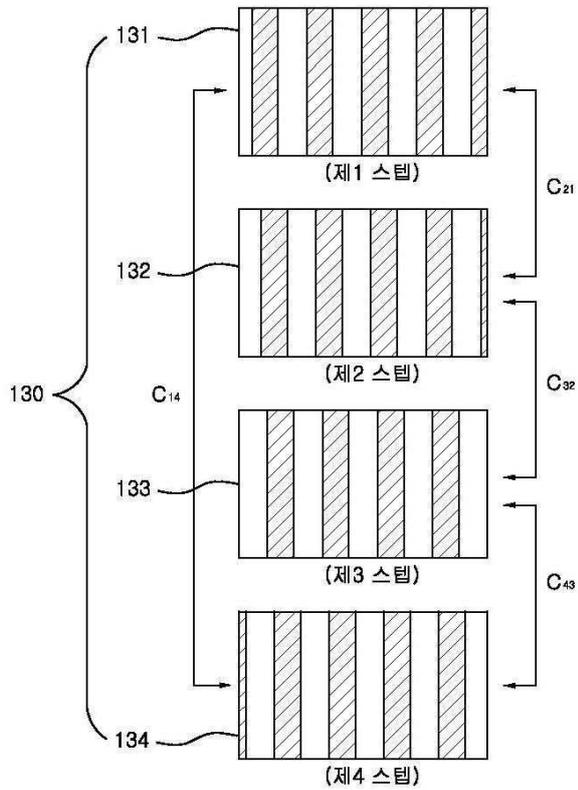
[0073] 도 10은 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값을 산출하는 단계를 설명하기 위한 흐름도이다.

[0074] 도 10을 참조하면, 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 기준 입력 값에 대한 예비 보상 값을 산출하기 위해서는, 먼저 상기 제어부에 의해 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 상기 간섭무늬의 이송 오차를 추정한다(S1421).

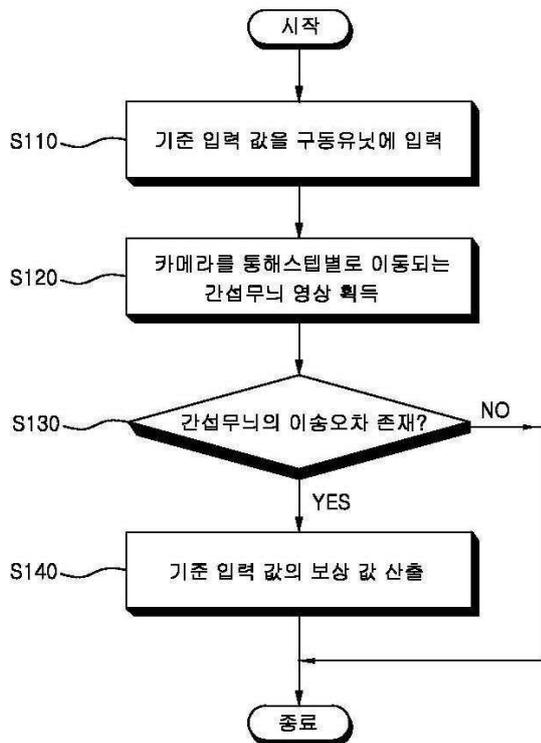
[0075] 여기서, 상기 간섭무늬의 이송 오차 값은 상기 제어부에 의해 상기 간섭무늬의 이송오차가 발생된 스텝의 간섭무늬 영상(130)의 밝기 차이의 비율 값의 오차를 산출하여 추정할 수 있다.



도면2

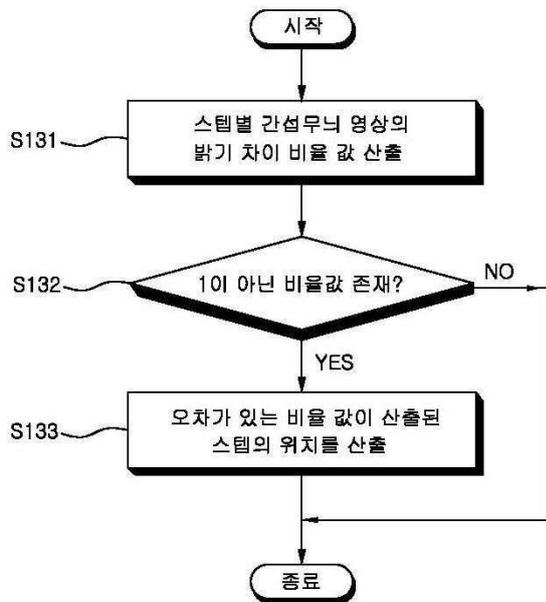


도면3



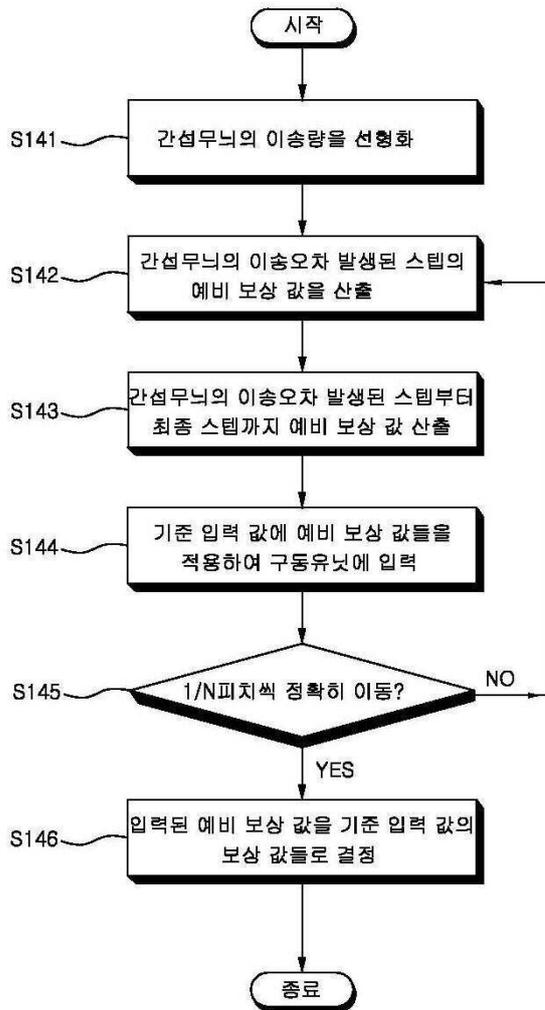
도면4

S130

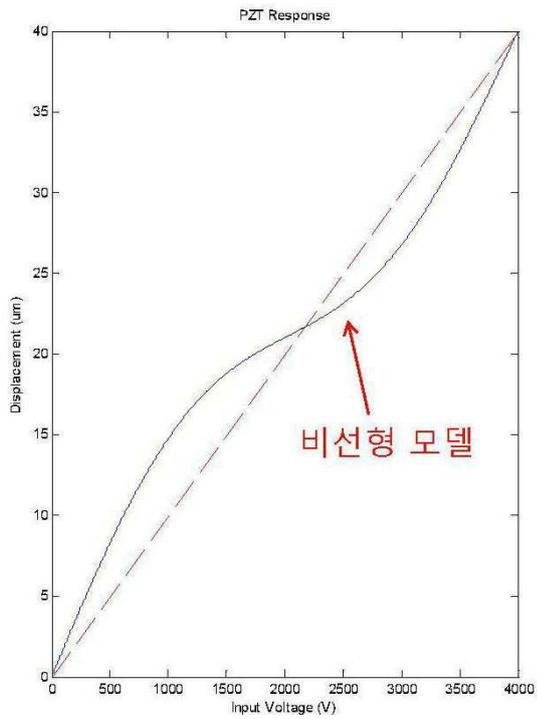


도면5

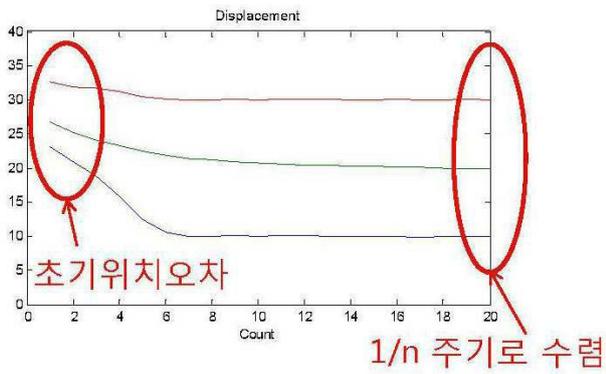
S140



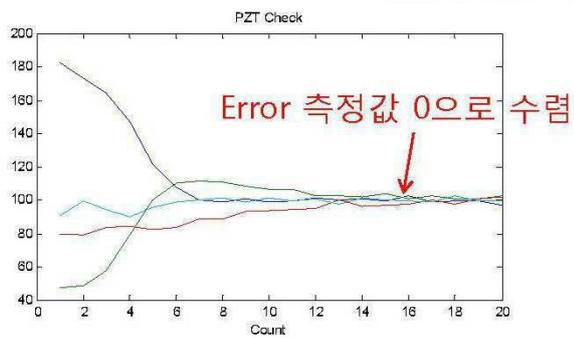
도면6



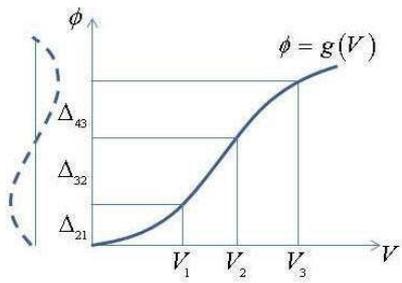
도면7



도면8



도면9



도면10

S142

