



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

(45) 공고일자 2014년11월12일  
 (11) 등록번호 10-1459259  
 (24) 등록일자 2014년10월31일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*G01B 9/02* (2006.01) *G01B 11/30* (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7034713(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2006년04월05일  
 심사청구일자 2013년12월27일
- (85) 번역문제출일자 2013년12월27일
- (65) 공개번호 10-2014-0008469
- (43) 공개일자 2014년01월21일
- (62) 원출원 특허 10-2007-7020800  
 원출원일자(국제) 2006년04월05일  
 심사청구일자 2011년04월01일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2006/012527
- (87) 국제공개번호 WO 2006/107985  
 국제공개일자 2006년10월12일
- (30) 우선권주장  
 60/668,385 2005년04월05일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
 US20030117632 A1\*  
 JP2003161610 A\*  
 US20050002285 A1  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
**퀘드 테크놀러지즈 인터내셔널, 인크.**  
 미국 일리노이 60504 오로라 노오쓰. 컴먼즈 드라이브 870
- (72) 발명자  
**머피 폴 이.**  
 미국 뉴욕주 로체스터 래티모어 로드 122  
**밀라디노빅 드라기샤**  
 오스트레일리아 뉴사우스웨일스주 데니스톤 퍼킨스 스트리트 28  
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
**김명신, 김민철, 박장규**

전체 청구항 수 : 총 2 항

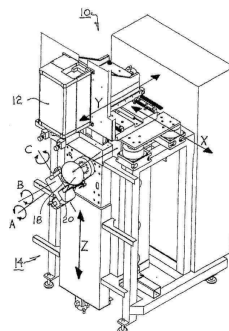
심사관 : 김기완

**(54) 발명의 명칭 비구면을 정밀 고해상도로 측정하는 방법**

**(57) 요약**

본 발명은 테스트 파트에서 곡면 또는 표면, 특히 비구면체 상의 높은 공간 주파수를 개선된 정확도를 가지고 측정하는 복수의 방법을 포함하는 시스템에 관한 것이다. 이 방법은 테스트 파트를 복수로 측정하는 것을 포함한다. 방법 중 하나는, 테스트 파트가 게이지에 대하여 재배치되는 경우, 해상력과 정확도의 손실을 방지하기 위하여 계측 게이지의 포커싱 구성요소의 보상과 제어를 포함한다. 다른 방법은 게이지의 고유 슬로프-의존 비균일 바이어스 안에 더 높은 공간-주파수 구조를 억제하는 종래 평균화 방법을 확장한다. 이들 방법 중 하나는 게이지의 바이어스가 명확하게 할 수 있도록 파트의 더 높은 공간-주파수 구조를 억제하는 평균을 포함한다; 다른 방법은 직접적으로 게이지의 바이어스를 측정 안에서 억제한다. 모든 방법은 특정 기하학과 테스트에 맞춰진 여러 구성안의 결합에서 사용될 수 있다.

**대표도** - 도1



(72) 발명자

**포브스 그렉 더블유.**

오스트레일리아 시드니 노오스 에핑 더글라스 애비  
뉴 16

**데브리스 게리 엠.**

미국 뉴욕주 패어포트 터크 힐 로드 1670

**플라이 존 에프.**

미국 뉴욕주 로체스터 아베씨 로드 25

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

파트를 배치하는 수단 및 파면을 측정하는 게이지를 포함하는 측정 시스템에서, 설계 규정 내의 기본 대칭 (underlying symmetry)을 가지는 파면 또는 표면을 고정밀도로 측정하는 방법에 있어서;

- a) 상기 파트와 게이지의 상이한 상대적 위치에서 복수의 측정값을 획득하는 단계, 및
  - b) 게이지 보상 상수 및 상기 설계 규정에서 각각의 테스트 파면의 로컬 곡률의 지식을 사용하여 각각의 상기 측정값에 대한 상기 게이지의 최적 포커스 위치를 결정하는 단계;
  - c) 다음 과정 중 하나 이상을 수행하여 보상되지 않은 에러를 감소시키는 단계:
    - i) 상기 파트의 동일한 공칭(normal) 위치이지만, 둘 이상의 상기 측정값이 상기 게이지에 대하여 상이한 방향을 가지는 위치에서 얻어진 상기 측정값의 평균을 구하는 과정; 및
    - ii) 상기 측정값에서 저공간주파수 정보가 명시적으로(explicitly) 필터링 되거나 자유 보상에 의해 암묵적으로(implicitly) 보상되도록, 상기 측정값 모두를 스티칭하는 과정;
- 을 포함하는 것을 특징으로 하는 비구면을 정밀 고해상도로 측정하는 방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 단계 i) 은

- a) 측정할 상기 파트 상의 공칭 위치를 선택하는 단계;
- b) 상기 공칭 위치에서 복수의 측정값을 획득하되, 각각의 상기 측정값은 하나 이상의 위치 및 방위에서 상기 다른 측정값들과 상이하고, 상기 측정값은 데이터 포인트를 공동으로 가지는 측정값 획득 단계; 및
- c) 상기 상이한 측정값에서 임의의 상대적 전이(translation)를 계산하는 동안, 상기 측정값을 평균화하여 공통 좌표 시스템을 형성하는 단계를 포함하는 방법에 의해 실행되는 것을 특징으로 하는 비구면을 정밀 고해상도로 측정하는 방법.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 표면과 파면 측정을 위한 방법 및 장치에 관한 것으로, 특히, 그러한 측정의 자동화된 조립(setup), 보상, 및 수집에 관한 것이고, 특히, 비구면 표면 및 파면의 정확한 측정을 향상시키기 위한 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 표면과 광 파면의 정확한 측정을 위한 방법 및 장치는 종래 기술에 잘 알려져 있다. 광학 특성 측정을 얻기 위한 바람직한 장치가 광학 기술에 기초하는 것은 놀랄만한 일은 아니다. 이 분야에서 광범위하게 받아들여진 측정 기구는, 다른 기술도 적용가능하지만, 간섭계의 원리에 기초한다.

[0003] 그러한 장치는 특별히 정확한 측정값을 얻을 수 있다는 가능성을 증명하였다. ~100mm 지름의 파트 표면의 등고 선 지도(contour map)는 피조(Fizeau) 간섭계 등의 사용에 의해, 10 나노미터 정도(가시 광선 파장의 1/10과 1/100 사이에서) 이상까지 정확도를 얻을 수 있다. 현미경에 기반을 둔 간섭계는(예를 들어, 백색광선을 스캐닝하는 기술에 기반을 둔) 피처의 높이를 ~1mm 지름 영역에 걸쳐 나노 미터보다 나은 정밀도로 정확하게 측정할 수 있다. 피조와 현미경 간섭계의 성능은 가장 엄격한 조건을 요구하는 것들을 제외하고, 모든 애플리케이션에 관하여 만족스러웠다. 그러나, 시간이 경과함에 따라, 애플리케이션의 요구가 더욱 엄격해졌다. 예를 들어, 광학 리소그래피(lithography)는 엄격한 산란("플레어(flare)") 요건을 가진다. 이는 0.1에서 10mm<sup>-1</sup>의 대역을

포함하는 공간 주파수 영역에 걸쳐 서브-나노미터 정확도의 측정을 요구한다. 이 대역은 피조 간섭계의 측면 해상도 성능의 최상급이지만, 간섭계 현미경의 성능의 하한이다.

[0004] 상업적으로 이용 가능한 간섭계 현미경은 해당 응용의 최상의 정확도(또는 거의 그러한)를 달성할 수 있으나, 요구되는 측면 범위(lateral range)가 부족하다. 더 낮은 배율 현미경 대물렌즈의 사용은 측면 범위를 증가시키지만, 이 방법은 평면(또는 거의 평면) 표면에 대해서만 효과가 있다. 곡면(구면 또는 비구면)은 기구의 기준 표면으로부터의 그 큰 편차(곡면 파트 대 기준 평면) 때문에 측정될 수 없다.

[0005] 상업적으로 이용 가능한 피조 간섭계는 측면 범위를 용이하게 얻을 수 있다. 그런데, 필요한 해상도(~100 마이크로미터)를 얻기 위해, 간섭계는 평소보다 더 큰 배율이 필요하다. 비교적 단순한 광학 디자인 변경은 이 문제에 초점을 맞춘다. 보다 중요한 문제는 피조 간섭계의 최대 정확도에 관한 것으로, 이는 보통 간섭계 현미경보다 낮다. 낮은 정확도를 만드는 주요 요인은 빛의 더 심한 간섭(coherence), 테스트 표면 상에 정확하게 포커스하는 능력이 없는 것, 및 계통 오차(systematic error)를 보상하는 데 어려움이 큰 것이다. 현 상태의 기술을 강화하기 위한 기술 혁신이 요구되고 있다. 관련된 문제는 측정된 표면이 비구면일 경우 더욱더 큰 노력을 요한다.

[0006] 게이지 광원의 간섭(coherence)이 증가할수록, 결과로 얻어지는 측정은, 스크래치, 먼지 입자, 얼룩, 및 고스트 반사와 같은 결함에 보다 민감하게 된다. 그러한 결함은 측정 반복성을 떨어뜨릴 수 있고, 또한 시스템 에러(biases)를 가져올 수 있다. 다른 방식으로 실행을 과도하게 저하시키지 않고 그러한 에러를 감소시키는 광원 간섭을 효과적으로 감소시키기 위한 여러 기술이 종래 기술에 있다. 예를 들어, Kuechel의 미국 특허 제 5,357,341호; Freischlad의 미국 특허 제 6,061,133호; 및 Deck 등의 미국 특허 제 6,643,024호를 참조할 수 있다. 그런데 이 기술들은 포커싱 에러에 시스템을 보다 민감하게 만든다. 또한, 더 높은 공간 주파수 표면 특징의 해상도 또한 에러에 포커스하는 것보다 민감하다. 그러므로 측정 시스템의 적절한 포커싱이 매우 중요해진다.

[0007] 가장 좋은 포커스 위치는 간섭계 광학과 테스트 파트의 곡률 반지름에 좌우된다. 주어진 구형(또는 평형) 테스트 파트에 대하여, 간섭계 광학이 변화되는 경우에만 이들 파라미터가 변화한다. 이는 일반적으로 파트를 테스트할 때는 발생하지 않아서, 간섭계 오퍼레이터는 적절한 측정값을 얻기 위해 일반적으로 충분한 정확도를 가지고 포커스를 수동으로 설정한다. 그러나, 비구면은 비구면의 어느 부분이 시험되느냐에 매우 의존적인 두 주요 로컬 곡률 반지름을 가진다. 그러므로, 임의의 주어진 부분에 대하여, 테스트할 공칭 반지름을 지정하는데 어느 정도 자유롭다. 곡률의 공칭 반지름이 변경되는 것은 (간섭계 광학계에 대한) 광학 테스트 위치가 변화하는 것을 의미한다. 테스트 대상물 위치에서 이 변화는(켈레(conjugate)) 최적 포커스의 위치 또한 변경한 것을 의미한다. 그러므로, 비구면에 관하여 간섭계에 대한 최적 포커스 위치는 현재 측정되는 표면의 부분에 좌우된다.

[0008] 사용자가 포커스를 조절하는 종래 기술에 따른 방법은 테스트 비구면체 상의 복수의 포인트에서 자동으로(즉, 측정 사이에서 사용자가 수동으로 재포커스할 필요 없이) 측정을 달성하는데 충분치 않다. 자동 포커싱 메커니즘은, 작동자의 수동 포커싱 기술에서의 변동이 제거되므로, 측정의 재현 가능성을 또한 개선한다. 다른 장치(사진 카메라와 같은)는 자동 포커싱 기술을 채용하지만, 그러나 이들은 직접적으로 광학 표면의 측정에 직접적으로 적용가능하지 않다. 소위 '수동' 방법은 이미지 내의 구조의 콘트라스트(contrast)를 최적화하는 것에 근거한다. 일반적으로 광학 표면은 현저한 표면 구조를 가지지 않으므로, 즉, 그들은 매우 완만하므로, 그러한 방법은 실패한다(구름 없는 하늘과 같은 임의의 특징 없는 타겟 상에 포커스하고자 할 때 실패하듯이). 그러나, '능동' 자동 포커싱 방법은, 일부 보조 장치를 가진 타겟까지 거리를 측정하고, 광학 시스템의 정보를 사용하여 필요한 초점 위치를 연산한다. 이 기본 원칙이 파면-측정 게이지에 적용가능하지만, 잠재적인 개선을 위한 영역이 있다. 파면을 측정하는 게이지가 그 기본 기능의 일부로 조명을 미리 제거하므로(그리고 반사된 빛을 검출), 추가 시스템 대신 거리 측정의 목적을 위해 이를 채용하기 위한 수단이 요구된다. 또한, 파면-측정 게이지의 정확한 광특성은 잘 알려져 있지 않다. (예를 들어, 그의 정확한 디자인이 독점적인 상업적으로 이용가능한 렌즈 하위 부품을 사용한다.) 그러므로 게이지의 광학 파라미터를 보상하는 방법은 그것이 포커스에 적합하므로 상당히 개선된다.

[0009] 더 높은 공간 주파수를 가지는 시스템 에러의 보상 또한 개선이 요구되는 영역이다. 기준 파면 에러(측정 내의 공간적으로 의존적인 높이 바이어스)는 중요한 정확도 제한이 된다. 두-구, 랜덤 볼, 및 연동된 보상으로 하위 구경(subaperture) 스티칭을 포함하는 그러한 에러를 보상하는 종래 기술이 있다. 예를 들어, J.C. Wyant의 Photonics Spectra, 1991년 3월, 97-101에 실린 "Absolute optical testing: better accuracy than the

reference"; C. J. Evans와 R. E. Parks의 Optical fabrication and Testing Workshop, OSA Technical Digest Series 13, 185-187(1994)에 실린 "Absolute testing of spherical optics" ; 및 P. Murphy, J.Fleig, G.Forbes, 와 P. Dumas의 SPIE Vol. TD02, 138-140, 2003에 실린 "Novel method for computing reference wave error in optical surface metrology"을 참조하면 좋다. 그러나, 이들 방법 중 어느 것도 기준 파면에서 보다 높은 해상도의 극도로 정확한 보상 특징을 얻기 위해서는 적절하지 않다. 높은 공간 주파수 파면 특징은 저 공간주파수보다 공간을 통과하여 나아갈 때보다 빠르게 진전된다. 그러므로, 테스트 광학이 측정되는 컬레 위치에서 그러한 특징을 보상하는 것은 중요하다; 그렇지 않으면 기준 파면에서 더 높은 공간 주파수 콘텐츠의 추정 은 부정확하게 된다. 예를 들어, 50mm 지름의 구체 상에서 실행된 볼 보상은 200mm 곡률 반지름의 테스트 파트에 대한 더 높은 공간 주파수를 정확하게 보상하지 못하게 된다. 보상의 곡률 반지름과 테스트 파트는 상당히 상이하고, 그리하여 기준 파면 에러의 더 높은 공간 주파수 콘텐츠 또한 상이하게 된다.

[0010] 구체의 테스트 파트에 대하여, 볼(ball) 기술은 테스트 파트와 거의 동일한 반지름의 파트에 보상을 실행하는 것에 의하거나, 테스트 파트 그 자체 상에 보상을 실행하는 것에 의해 기준 안의 더 높은 공간 주파수를 정확하게 보상하도록 적용될 수 있다. 파트는 (완전한 볼 보다는)구체의 한 부분일 수 있으나, 일부 가장자리(표면 구조가 과도하게 부분적으로 연관되지 않은 경우, 거의 가장 긴 주요 공간 파장)로 측정 영역이 그 사이즈를 초과하면 이 목적을 위해 작용하게 된다. 완전한 구가 보상을 위해 사용되면, 파트의 표면 측면도 내의 공간 연관때문에, 평균화 기술은 기준 파면의 정확한 값에 수렴할 필요가 없다. 더 낮은 공간 주파수 또한 중요한 경우, 연동되는 보상기를 가지는 하위 구경 스티칭을 포함하는 방법은 모든 측정 가능 공간 주파수를 넘어 기준 파동의 정확한 특징화를 가능하게 하는 비-볼 평균과 앞뒤로 나란히 작용하게 된다. 이 스티칭 기술은, 그러나, 일반적으로 비구면 표면에 적용가능하지 않다. 그러므로 다른 방법이 비구면체 상의 더 높은 공간 주파수 파면의 보상을 얻기 위해 요구된다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0011] 그리하여, 기술상 필요한 것은 측정 장치 포커스 위치를 자동으로 설정하는 방법과, 바람직하게 실제 포커싱 광학의 비교적 작은 정보를 필요로 하는 방법이다.
- [0012] 기술상 필요로 하는 다른 것은, 특히, 비구면 표면을 측정하는 경우 더 높은 공간 주파수를 가지는 측정 장치의 시스템 에러를 보상하거나 그렇지 않으면 감소시키는 방법이다.
- [0013] 본 발명의 제 1 목적은 그 로컬 곡률 반지름이 알려질 때 테스트 표면 상의 계측 시스템의 자동 포커싱을 가능하게 하는 것이다.
- [0014] 본 발명의 다른 목적은 특히 비구면 표면과 더 높은 주파수에 대하여 파면 측정 게이지의 정확도를 향상시키는 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0015] 간략하게 설명하면, 본 발명은 다중-축 파트-위치 수단과 임베디드 파면-측정 게이지를 포함하는 기계를 포함하는 계측 시스템의 측정 정확도 개선 방법을 제공한다. 이 방법은 미지의 광학 시스템의 포커스 특성을 보상하는 단계; 구체의 테스트 파트의 공칭(nominal) 로컬 곡률 반지름 만의 정보로 자동으로 포커스를 설정하는 단계; 비구면 파면에 대한 기준 파동 바이어스를 보상하는 단계; 및 보상되지 않은 에러의 효과를 감소시키는 단계를 포함한다. 이 정확도 개선 방법은 먼저 비구면체 표면의 더 높은 공간 주파수에 적용 가능하다(테스트 파트를 가로지르는 약간의 파동 이상임).
- [0016] 본 발명의 일 측면은 파면-측정 게이지의 포커싱 특성의 보상이다. 이미징 시스템의 사전 정보가 요구되지 않는다. 이 1회 보상의 결과, 측정 영역에서 테스트 파트의 공칭(nominal) 로컬 곡률 반지름의 정보와 결합된, 자동 포커싱을 가능하게 한다.
- [0017] 본 발명의 제 2 측면은 일부 기본 대칭(underlying symmetry)을 가진 케이스에 대한 비구면 파면 측정에 적용될 수 있는, (아마 회전 타원체, 환상면 등에서와 같이 회전하는), 여기서 "링 평균화"로 칭해진 종래의 랜덤-평균 기술의 변형이다. 시스템 파면 에러는 측정된 측면으로 변화하므로, 빈 구형 테스트 구성에서 수행되는 보상이 비지 않은 구형 테스트에 적용가능하지 않게 된다. 그런데, 공칭 형상이 동일한 경우, 평균화하는 측정을 제한하는 것은 비구면 형상과 그 링 상의 대칭 파트 에러로 혼동되는 대칭 파면 에러의 평가를 제공한다.

[0018] 본 발명의 제 3 측면은 공간에 더해지는 파면 슬로프 위로 평균하는 랜덤-평균화 기술의 다른 변화이다. 측정된 파면의 슬로프에 좌우되는 파면 에러 성분이 있다(이는 왜 순수 랜덤 평균화가 비구면체 테스트에 효과적이지 않은 이유). 테스트 파트의 동일한 위치를 측정하는 것은, 상이한 슬로프 분포를 가졌으나(예를 들어, 테스트 파트를 약간 기울여 얻어짐), 보통 공간적인 의존 기준 파동 바이어스와 함께 평균화 하는 것과 함께 감소될 그러한 슬로프-의존 에러를 허용한다.

[0019] 본 발명의 네번째 측면은 스티치(stitch)된 측정의 중간 공간 주파수 대역에서 낮은 공간 주파수 에러의 효과를 억제한다. 스티칭 시, 임의의 낮은 공간 주파수 에러는 스티칭된 결과에서 스티칭 가공물(예를 들어, 하위 구경 에지에서 단계)을 감소시키는 경향이 있게 된다. 그러한 에러는 상당히 높은 공간 주파수 구성 성분을 가지고, 그에 의해 낮은 주파수 에러는 더 높은 공간 주파수의 특성을 손상시킬 수 있다. 스티칭 전에 낮은 공간 주파수 성분을 제거하거나(그들을 피팅 또는 필터링하여) 실제로 스티칭에서 보상기로서 그들을 최적화하는 것은 더 높은 주파수 손상을 감소시킬 수 있다.

**발명의 효과**

[0020] 본 발명의 여러 측면을 함께 또는 일부 적용하면 이전 기술과 비교하여 특히 비구면 상에 더 높은 공간 주파수 구조의 측정에 있어 측정 정확도가 개선된다.

**도면의 간단한 설명**

[0021] 본 발명의 전술한 그리고 다른 목적, 특징 및 이점은 그 제시된 바람직한 실시예와 함께 첨부하는 다음 도면과 함께 다음 설명을 통해 보다 분명해 질 것이다.

- 도 1 은 본 발명에 따른 다중 축 계측 시스템의 등축도;
- 도 2a 는 도 1에 도시된 장치에 임베디드된 6 축의 개략적인 등축도;
- 도 2b 는 도 1에 도시된 장치의 회전축 사이의 오프셋의 개략적인 등축도;
- 도 3 은 테스트 표면의 곡률의 공칭 중심 중심이 임베디드 게이지에서 최근에 만들어진 구체 파면의 중심에 가깝게 매치하도록 테스트 파트가 배치되는, 여러 구체 테스트 파트(도 3a-3c)의 공유 초점/영 위치를 나타내는 개략도;
- 도 4 는 테스트 표면 법선이 필드의 진행 방향과 평행이 되도록 테스트 파트가 위치되는, 임베디드 게이지에 의해 발산된 평행이 맞춰진 광학 필드에서 여러 평면 테스트 파트(도 4a-4b)의 위치를 나타내는 개략도;
- 도 5 는 포커싱 스테이지("F" 축)를 포함하는 파면 측정 게이지의 샘플 내부 도면;
- 도 6 은 실제 데이터를 사용하는 포커스 파라미터 보상과 데이터 피팅을 결정하는 실시예를 나타낸 그래프,
- 도 7a 는 그 대칭축에 수직으로 보이는, 실시예 회전 대칭 비구면 및 샘플 하위 구경 측정 영역을 나타낸 도면(측면도);
- 도 7b 는 그 대칭축에 평행하게 가져온 도 7a에 도시된 비구면의 실시예를 나타낸 도면(상면도);
- 도 7c 는 'r'이 회전 대칭축으로부터의 거리인, 실시예 비구면 새그(sag)의 수학적식;
- 도 7d 는 샘플 하위 구경 측정 영역을 적절하게 나타낸 파면 측정 게이지에 대하여 배치된 실시예 비구면을 나타낸 도면;
- 도 8a 는 대칭 축으로부터 표면 포인트 거리 'r'의 함수로 샘플 비구면의 새그를 나타낸 그래프(그 대칭축에 평행 방향 내의 파트의 꼭지점에 탄젠트 평면으로부터 측정된 편향);
- 도 8b 는 'r'의 함수로 샘플 비구면의 로컬 주 곡률을 나타낸 그래프: '탄젠트' 주곡률과 특정 표면 포인트에서 표면 곡률은 대칭축을 포함하는 평면에서 측정되고, 화살 모양 주곡률은 표면 법선을 포함하는 평면에서 측정되지만 반지름 곡률을 n이하 사용되는 평면에 직각임;
- 도 8c 는 최적 구체의 표면이 비구면 표면의 중심과 에지 모두를 통과하여 지나가는, 최적 구체에서 출발한 샘플 비구면을 'r'의 함수로 나타낸 그래프;
- 도 8d 는 최적 구체와 비구면 사이의 슬로프의 차를 'r'의 함수로 나타낸 그래프;



도 9a 는 상기 기준 구체의 곡률은 로컬 반지름의 평균이고, 축에서 20mm 떨어진 링 곡률은 과장된 수직 척도를 가진 로컬 표면 결함만 제외하고 완벽한 10mm 지름 영역 이상, 비구면 축으로부터 20mm 떨어져 중심을 갖는 기준 구체에서 출발하는 샘플 비구면을 나타낸 그래프;

도 9b 는 과장된 수직 척도를 가진 단일 로컬 결함을 제외하고 완벽한, 구체로부터의 기준 표면 편차를 나타낸 그래프;

도 9c 는 도 7d에 도시된 샘플 테스트 셋업을 사용하는, 도 9b에 도시된 기준에 대하여 도 9a에 도시된 표면을 테스트하는 것에 의해 획득된 샘플 측정을 나타낸 그래프;

도 9d 는 비구면의 대칭 20mm 링을 따라 상이한 위치에 5 노이즈 없는 측정값의 평균을 포함하는 본 실시예에서 샘플 링-평균 보상을 나타낸 그래프; 및

도 9e 는 링 평균 보상을 직접적으로 사용한 측정의 샘플을 나타낸 그래프이다(도 9c의 표면 측정으로부터 도 9d의 보상 결과를 뺀).

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0022] 본 발명은 다중축 파트 배치 수단과 임베디드 파면-측정 게이지, 예를 들어 피조(Fizeau) 간섭계를 포함하는 기계를 포함하는 계측 시스템의 측정 정확도를 개선하는 방법을 제공한다. 이 방법은 게이지 파면, 특히 비구면 파면에서 더 높은 공간 주파수 에러(테스트 파트를 가로질러 약간의 진동 이상)에서 시스템 에러의 에러 기여를 감소시킨다.

[0023] 도 1 및 2 를 참조하면, 본 발명에 따른 계측 시스템(10)은 그 측정 동안 테스트 파트를 수용 및 이동시키는 스테이지를 구비한 워크 스테이션을 한정하는 다중 축 장치(14)에 장착된("임베디드" 된), 예를 들어 간섭계인 파면 게이지(12)를 포함한다. 3개는 병진(X,Y,Z)을 위한 것이고, 3개는 회전(A,B,C)을 위한 것인; 6 개의 기계 축을 포함하는 기계 움직임의 구성이 (도 2a) 도시된다. 다른 구성의 축(예를 들어 상이한 축의 수 및/또는 순서)이 본 발명의 범위 안에서 가능하다는 것이 이해될 수 있다. 이 6개의 축 각각의 움직임은, 예를 들어, 종래의 마운팅과 기어를 가진 스테퍼 모터 어셈블리와 같은 구동기(16)에 의해 개별적으로 제어 가능하다. 모든 기계축은 자동 또는 수동 중 하나로 제어된다. 제어의 종류는 프로세스의 주요 파트가 아니다.

[0024] 도 3에 도시되는 바와 같이, 임베디드 게이지 파면의 포커스(36)가 비-평면 테스트 파트 표면의 임의의 특정 섹션의 곡률의 중심과 명목상 일치하도록(또는 공칭상 평면 파트의 경우에, 게이지 파면의 진행 방향(34)은 테스트 표면 법선(38)에 공칭상 평행해야 함), 장치 축은 테스트 파트를 배치해야 한다. 이것은 본 명세서에서 표면의 "공유 초점(confocal)" 위치로 칭해진다. 공유 초점 위치는 또한 파면 재진입 게이지가 테스트를 위해 게이지를 활성화시킨 파면과 유사 또는 일치하는 것을 의미하는 "영점(null)"으로도 칭한다. 도 4는 공칭상 평면 테스트 파트에 관한 경우를 나타낸다. 비구면 표면의 대부분의 영역은 구면 또는 평면 파면과 함께 테스트될 때 고유 영점 또는 공유 초점 위치를 가지지 않는다. 그런데, 그들은 공유 초점에 가장 근접한 위치를 가진다(최소 평균 제곱 파면 편차와 최소 피크 파면 슬로프 차가 2개 실시예로서 사용되며 "근접한"의 정의는 정확한 위치에 좌우됨). 실시예 비구면 표면의 도면에 관해서는 도 7을 보라. 도 8b는 축의 대칭(도 7d에서 도시된)으로부터 20mm 벗어난 테스트를 위한 공유 초점 위치에 매우 근접한 곡률(132)과 함께, 비구면 표면의 곡률의 로컬 반지름의 변화를 나타낸다.

[0025] 파면 게이지(12)는 바람직하게, 게이지 이미지 면(여기서 "F" 축으로 칭해지는 포커스 스테이지)의 위치를 설정하는(가능한 컴퓨터로 제어되는) 메커니즘을 포함한다. 도 5는 F 축과 같은 것을 포함하는 피조 간섭계 구성의 실시예를 자세히 나타낸다. 광원(12a)은 렌즈(12b)에 의해 포커스된 빛의 빔을 발사하고, 그 다음 빔 스플리터(12c)에 의해 부분적으로 반사되고(부분적으로 빔 스플리터(12c)를 통해 전송되는 빛은 일반적으로 무시됨), 그 다음 렌즈(12d)에 의해 정렬된다. 빛은 그 다음 전송구(28) 또는 전송면(32)을 통과하여 전송된다. 전송구에 대하여, 게이지 내부 광학 축(31)은 게이지 외부 광축(34) 및 Z-축 이동 방향 모두와 서로 평행한 것이 바람직하다. 전송구 기준면(29)의 최종 표면은 그 면에서 입사 파면의 반지름이 그 곡률의 반지름과 매치하도록 정렬된다. 일부 빛은 나머지 빛이 게이지("기준 파면") 안으로 다시 반사되는 동안 포인트(36)으로 수렴하도록 전송된다. 전송된 빛은 그 다음 테스트 표면(예를 들어 42, 46a, 46b와 같은)에서 반사하고 게이지("테스트 파면")로 다시 들어간다. 기준 및 테스트 파면 모두는 렌즈(12d)를 통해 돌아서 지나가고 파트적으로 빔 스플리터(12c)를 통해 전송된다(이 경우, 빔 스플리터(12c)로부터 부분적으로 반사된 빛은 일반적으로 무시됨). 빛은 그 다음 ((이미지 공간에서 시스템 원 중심을 만드는) 빛을 조준하도록 선택되는 것이 바람직한)렌즈(12e)를 통해 지나간다. 평면(12i)은 모든 광학계를 통과하여 지나간 후 테스트 표면에 공칭상

결합한다. 포커스 축(F)은 광축(12f)에 공칭상 평행한 축을 따라 12i 위에 게이지 검출면(12g)을 이동하는 수단을 제공하고, 그에 의해 특정 테스트 표면에 대하여 최적 포커스를 달성한다. 게이지 검출면(12g)은 물리적 실시예, 둘은 CCD 이미지화 어레이(패키지(12h)에 다른 비디오 전자공학을 포함) 및 확산기 디스크(패키지(12h)에 추가 텔레이 이미지화 광학계)를 포함한다.

[0026] 종래의 기술에서, 규칙으로서, 파면-측정 게이지는 일부 검출 평면 위에 그 광학 이미지 파면인 광학 시스템이다(파면의 세기 및/또는 위상이 기록되는 경우). 그러한 게이지는 일반적으로 도 3에서 도시된 바와 같이 게이지로부터 테스트 특정 거리 하에 표면(또는 광학 시스템)을 배치하는 것이 필요하다. 거리는 테스트 표면의 곡률의 반지름과 함께, 게이지의 광학계 모두에 좌우된다; 공유 초점 위치는 게이지 포인트 포커스(36)에서 떨어진 곡률의 표면 반지름과 동일한 거리에 있다. 그러므로, 42, 46a, 46b와 같이 상이한 반지름을 가진 상이한 테스트 표면은 게이지로부터 상이한 거리에 배치된다(그리고 상이한 목적물 켈레(conjugate)를 가짐). 게이지 검출면(12g 이미지 켈레(12i)와 일치)의 최적 위치는 일반적으로 수학적 식 1에 따라 결과로써 변화한다.

**수학적 식 1**

$$\frac{1}{obj} + \frac{1}{img} = \frac{1}{f}$$

[0027]

[0028] 여기서 "obj"가 테스트 면에서 게이지의 제 1 주요면(12P1)으로 치환이고, "img"는 게이지의 선형 주요면(12P2)에서 이미지 면(즉, 검출면의 최적 위치)으로 치환이고, "f"는 게이지 광학 시스템의 초점거리이다.

[0029] 일반적으로, 게이지 작동기는 검출면(12g)(그리하여 "img")이 주어진 테스트 구성(12g는 테스트 표면 이미지 켈레(12i)와 일치)에 대한 가장 예리한 이미지를 얻도록 수동으로(및 가시적으로) 조절한다. 이는 일반적으로 물리적 에지 또는 일부 다른 높은 대조 특징(예를 들어, 게이지 파면 안으로 삽입된 파트 에지 또는 종이 조각이 포커스에 에지를 일시적으로 제공)이 최적 포커스가 달성될 때 작동기(operator)가 식별하도록 요구된다. 그리하여 종래 기술에 의한 포커싱 방법은 목적물 위치, 게이지 초점 거리, 또는 게이지 주평면 위치에 대한 지식을 요구하지 않는다.

[0030] 본 발명에 따른 자동화된 포커싱 시스템은 파면-측정 게이지에서 종래 기술보다 상당히 개선된 것이다. 본 발명은 소위 "활성화" 자동 포커싱 시스템의 기본 개념을 구축하는 데, 2 개의 주요 개선 사항을 가진다:

- [0031] 1. 본 발명은 자가 보상이고 그리하여 게이지 광학 디자인의 지식이 필요하지 않다; 그리고
- [0032] 2. 테스트 파트의 곡률의 공칭상 로컬 반지름의 사전 정보를 부가적인 범위 탐색 메커니즘에 대한 필요를 회피하는 목적물 거리를 계산하기 위해 적용한다.

[0033] 본 발명은 게이지 광학 시스템의 자세한 지식을 추정하지 않고 그리하여 수학적 식 1은 "현상대로" 이용될 수 없다. 대신, 본 발명에 적용된 모델은 수학적 식 2에 의해 주어진다:

**수학적 식 2**

$$\frac{1}{ob+ob\_ref} + \frac{1}{im+im\_ref} = \frac{1}{f}$$

[0034]

[0035] "ob\_ref"는 기준 포인트(기준면(29)의 축, 또는 포인트(36)와 같이 알려짐)에서 제 1 주평면(12P1)(알려지지 않음, 그리고 상수)까지의 오프셋;

[0036] "ob"는 테스트 면에서 목적물 기준 포인트(알려짐, 그리고 테스트 파트의 곡률의 공칭 로컬 반지름)까지의 변위;

[0037] "im\_ref"는 F-축 기계적 원점(Fo)에서 제 2 주평면(12P2)(알려지지 않음, 그리고 상수)까지의 변위;

[0038] "im"은 F-축(일반적으로 우리가 적절하게 설정할 수 있는 가변 파라미터)을 따르는 위치;



- [0039] "f"는 게이지의 광학 시스템의 초점 거리(알려지지 않음, 그리고 게이지 광학계의 주어진 설정을 위한 상수). 알려지지 않은 상수 파라미터는 본 발명에 따른 발명의 사용을 통해 보상된다.
- [0040] 보상할 파라미터는 "ob\_ref", "im\_ref" 및 "f"를 포함한다. 보상은 일부 상이한 컨주게이트 위치에서 하나 이상의 파트의 테스트를 요구한다. 보상의 방법은 다음 단계를 포함한다:
- [0041] 1. 바람직한 광학 구성에서 게이지를 설정하는 단계;
- [0042] 2. 복수의 상이한 목적물과 F-축 위치에서 데이터를 수집하고, 각 쌍의 위치에서 데이터를 얻기 위해 다음 하위 단계를 적용하는 단계;
- [0043] a. 알려진 반지름의 일부를 설정(예를 들어, 워크스테이션에 그것을 설치하고, 게이지 화면에 그것을 정렬; 정렬은 알려진 Z 오프셋을 포함),
- [0044] b. 표면이 명확한 시각 포커스 내에 있을 때까지 F-축 위치를 조절(작은 종이 조각과 같이 바람직한 보조 정렬의 도움을 채용),
- [0045] c. F-축의 위치와 대물렌즈 위치를 기록(대물렌즈 위치는 대물렌즈 기준점에 상대적임);
- [0046] 3. 복수의 대물렌즈와 F-축 위치 쌍 상에 피팅 계산(예를 들어 비 선형 최소-자승 피팅 알고리즘을 사용) 수행, 자유도와 같이 "ob\_ref", "im\_ref" 및 "f"를 사용하는 피트를 최적화함. 예를 들어, 기준 표면(29)의 축이 대물렌즈 기준점인 도 6을 보라.
- [0047] 이 단계를 완료한 후, 3 상수 파라미터가 이제 알려진다. 그러므로 적절한 포커스를 달성하는 F-축 위치는 "ob"의 정보로 계산될 수 있다(일단 테스트 파트의 곡률의 공칭 로컬 반지름이 지정되면 알려짐). 이 방식에서 게이지를 포커싱하는 것은 시스템의 성능을 향상시키고, 보다 특히 더 높은-공간 주파수가 구체 화면에 나타난다.
- [0048] 측정 정확도의 그 이상의 개선은 화면 측정에서 시스템 바이어스를 보상하거나 또는 평균을 구하는 것에 의해 가능하다. 종래 기술은 구 표면의 0점 측정에 관하여 광범위하게 적절하다. 여기서 "임의의 평균"이라 칭해지는 알려진 방법은, 화면-측정 게이지에서 더 높은 공간 주파수 바이어스를 특징으로 하기 위하여 특히 유용하다. 간단히 말하면, 종래의 평균화 방법 기술은 다음 단계를 포함한다:
- [0049] 1. 측면 넓이가 화면-측정 게이지보다 더 크고, 반지름이 테스트 파트와 가능한 가까운 보상 파트를 선택하는 단계(사실상 테스트 파트는 보상 파트로 사용될 수 있음);
- [0050] 2. 다중-축 파트 배치 수단과 화면 게이지를 포함하는 시스템에 보상 파트를 설치하고, 그 공유 초점 위치에 상기 파트를 이동하는 단계;
- [0051] 3. 보상 파트 상의 상이한 위치에 복수의 측정값을 획득하는 단계(측정은 계속 공유 초점 위치에 있어야 함); 상기 파트 또는 다른 노이즈 상의 임의의 편향이 측정에서 측정으로 변화하게 되는 동안 시스템 에러가 각 측정에서 동일함;
- [0052] 4. 상기 측정값을 함께 평균 내고, 그에 의해 현재 테스트 조건 하에서 시스템의 게이지 화면 에러의 추정을 형성하는 단계;
- [0053] 종래 평균화 기술은, 이익의 일부 공간 대역 위에 서로 비례하지 않는 파트 에러와 함께(그리고, 그에 의해 그 평균이 0으로 향함), 상기 파트 상의 상이한 측정 위치를 가로질러 실질적으로 동일한 시스템 에러에 좌우된다. 그러나 시스템 에러는 일반적으로 개별 측정에서 로컬 슬로프의 함수로 변화한다. 구면 파트는 일반적으로 측정에서 그러한 슬로프 변화가 없어서, 파트 위치와 변화하지 않는 화면 바이어스의 요구를 따르는 경향이 있다. 비구면 측정은 그러나, 보통 이 기준을 만족시키지 못하고(비구면 표면을 가로질러 슬로프 변화의 예에 대한 도 8d를 보라), 그러므로 종래 랜덤 평균화 방법의 표준 실행은 적절한 보상을 제공하지 못한다.
- [0054] 본 발명은 이 기본 평균화 방법에 기초하지만, 비구면 표면과 화면의 측정에 평균화 기술을 적용하는 새로운 방법을 제공한다. 여기서 "링 평균화" 방법이라 칭해지는, 그러한 새로운 평균화 방법 하나는 몇몇 기본 대칭으로 비구면에 적용할 수 있다. 예를 들어, 도 7a에 도시된 회전 가능하게 대칭인 비구면체(10)를 고려한다. 위치(122)에 중심을 두고, 비구면의 대칭 축(112)으로부터  $r = 20 \text{ mm}$  떨어져 배치되는 측정 영역(124)을 고려한다. 로컬 슬로프가 도 8d에 도시된 바와 같은 파트를 가로질러 변화하는 동안, 대칭 축(112)으로부터  $r = 20\text{mm}$  떨어져 배치된 링(126)과 같이, 대칭 축에 대해 특정 링을 따라 공칭 상수이다. 공칭 형상과 슬로프는

게이지에 관한 중심(122)으로부터 변위가 상수일 경우(즉, 길이 방향 이동 없음), 링(126) 상의 중심(122)과 함께 가져온 임의의 측정 영역(124)에 대하여 동일해진다. 도 9a는 이를 도시하고, 작은 결함(145)(원하는 비구면 형상으로부터 편차)을 포함한다. 또, 작은 결함(143)을 제외하고 완전한 기준 표면의 측면도인 도 9b를 고려한다. 도 7d에 도시된 바와 같은 구형 파면에 대하여 비구면 파면을 측정하는 경우, 방사된 빛(133)과 반사된 빛(135)은 광 경로에서 매치하지 않는다. 그러므로, 143과 같은 게이지로부터의 임의의 결함은 반사된 빛(135)에 따라 상이한 영향을 가지게 된다. 그러므로 실제 측정은 143이 게이지 만의 결함일 경우 도 9c와 같이 도시된다-결함(143)은 두 부분으로 나뉘었다(하나는 테스트 표면 결함(145)과 같은 동일한 위치에 더해지고, 하나는 반사된 파면(135)의 변위로 인해 잘려짐). 그러므로, 도 9c에 도시된 측정은 도 9a에 도시된 표면의 정확한 대표는 아니다. 종래 기술의 평균화 방법은 보상 시 사용되는 것과는 상이한 경로를 가지는 반사된 빛으로 실제 게이지 에러를 실제로 보상하지는 않는 도 9의 것과 같은 측면 보상으로 돌아간다.

[0055] 복수의 측정은 링(반사된 빛(135)에 대한 거의 동일한 측면도를 보여줄)을 따라 상이한 위치에서 이루어질 수 있고, 그 링에서 이루어진 측정에 대한 시스템 파면 에러의 평가를 제공하도록 평균을 구할 수 있다. 슬로프와 스페이스를 가진 에러 시스템은 테스트 표면으로부터의 편차가 평균화되는 동안, 동일한 가로지른 측정에 남아 있게 된다. 도 9d는 링을 따라 상이한 위치에서 이루어지고 평균된 5개의 측정의 결과를 나타낸다; 기준 표면으로부터의 결함(그리고 다른 임의의 간섭계 광학 기기가, 이 실시예에서 완전하게 가정됨)이 남고, 테스트 표면 결함이 평균 된다. 결과로 생기는 링 평균은 그 다음 테스트 표면 결함의 더 나은 평가를 획득하는 테스트 측정으로부터 제해될 수 있다. 예를 들어, 도 9e는 도 9c로부터 도 9d를 뺀 결과이고, 게이지 결함(143)으로부터 표면 상의 결함(145)을 효과적으로 분리한다. 정렬 에러(틸트(tilt) 및 전송과 같은)가 측정에서 슬로프 분포를 변경하게 되고, 그리하여 시스템 파면 에러가 그와 같다. 그러므로 정렬 에러의 동일한 양이 보상 계산에 사용되는 측정 각각에 존재하고, 보상을 사용하는 측정은 그 양의 현재 정렬 에러 또한 가진다(즉, 평균되는 모든 측정값에 대한 동일한 공칭 공유 초점 위치). 정렬 에러 내의 변화가 보상의 품질을 감소시키게 된다.

[0056] 도 7 ~ 9 에 사용되는 실시예 비구면체가 완전히 대칭 회전되더라도, 이는 본 발명의 필요한 특징이 아니다. 본 발명은 파트 표면상의 복수의 위치에서 파트의 공칭 형상이 동일하다는 단일 요건과 기본 대칭을 가진 임의의 테스트 표면 또는 파면에 적용한다(그러므로 표면 슬로프 측면도가 공칭적으로 동일한 영역에서 발생하는 테스트 파트 에러의 부분 평균화를 허용함). 비구면의 축외(off-axis) 섹션은 하위 구경(subaperture)의 "호(arc)"를 따라 배치된 하위 구경 전부를 평균화하는 것을 채용할 수 있고, 원환체(toric)가 링 또는 링의 파트 중 하나를 사용할 수 있는 반면에, 비구면 실린더는 라인을 사용할 수 있다. 더욱 일반적이지 않은 대칭이, 4 개의 측정이 각각의 보상 포인트의 이익에 효과적으로 기여할 수 있는 경우에만(그런데 4가 1보다 나음), 4 포인트(X축 Y 축 모두를 따라 반사 대칭)처럼 가능하다.

[0057] 본 발명에 따른 대칭 게이지 파면 에러 계산 방법은 다음 단계를 포함한다:

[0058] 1. 상기 표면 또는 파면의 대칭을 확인하는 단계(예를 들어 테스트 파트 위의 어떤 위치가 동일하게 묘사된 형상을 구비하는지);

[0059] 2. 게이지와 테스트 파트 측정 조건(종래 기술의 일반 낮은 순서 보상과 달리, 더 높은 공간 주파수특징이 포커싱 스테이지의 위치와 같은 게이지 파라미터에 상당히 민감할 수 있음) 하의 보상, 특히 이익 파트 상의 위치(예를 들어, 이전 예에서, 축으로부터 20 mm 떨어진 링 위의 임의의 위치가 "이익"으로 여겨짐)를 선택하는 단계;

[0060] 3. 측정이 원하는 테스트 조건을 만족하고, 동일한 공칭 측정을 가지며(미리 설명된 측정은, 테스트 파트 상의 생산 결함이 이 실제 측정과 약간 다르게 되더라도), 파트와 게이지의 상이한 상대 위치에서 상기 측정값을 획득하는 단계; 및

[0061] 4. 상기 측정값으로부터 시스템 게이지 파면 에러의 보상을 계산하는 단계.

[0062] 가장 간단한 계산은 요구되는 측정값 모두 전부 평균화하는 것이다. 이전 정보를 사용한 더욱 정교한 계산도 물론 가능하다. 예를 들어, 그 다른 포인트에서 노이즈 비율보다 더 낮은 신호를 가지도록 데이터 포인트가 알려지면(또는 의심되면), 가중되거나 평균에서 디스카운트될 수 있다. 또한, 보상 그 자체 내의 포인트는 임의의 신뢰도를 달성하지 못하면 디스카운트 될 수 있다(예를 들어, 적어도 4개의 "좋은" 포인트가 유효하게 여겨지는 포인트에서 보상 전에 요구됨). 다른 프로세스는 다음 몇 문단에서 추가로 설명될 잘못된 결정된 공간 구성 요소를 분리하는 것이 가능하다.

[0063] 이 방법이 비구면체 측정에 상당한 개선을 가져오지만 표준 평균화 방법에 비해 두가지 단점이 있다: 덜 효율적

이고, 임의의 대칭에 대한 에러 바이어스를 가지는 측정량을 혼동한다. 효율 손실은 비교적 분명하다: 하나의 "링"에 대한 보상 유효는, 표준 평균 보상이 테스트 귀체의 임의의 그리고 모든 위치에 대해 유효한 동안, 곡률의 상이한 로컬 주 반지름을 가지는 다른 링에 일반적으로 적용할 수 없다. 이는 구보다 본질적으로 덜 대칭인 비구면의 필수 결과이다. 에러 혼동 이슈는 또한 평균 대칭으로부터 자연스럽게 벗어난다. 테스트 될 표면/파면이 파트 규정과 같이 동일한 대칭인 특징을 가지면, 측정의 단순 평균에서 지속하게 된다. 효과적으로, 파트 형상이 측정 위치에 걸쳐 변화한다는 가정이 위배 된다.

[0064] 본 발명의 다른 측면은 혼동하는 문제를 처리하도록 하는 선형 정보의 애플리케이션이다. 평균의 임의의 "대칭 구성 요소"의 소스(예를 들어, 회전 대칭 비구면에 관한 링에 대하여 대칭인 측정 부분)가 모호하다(이는 게이 지 바이어스 또는 테스트 하의 파트로 부터 나옴). 이는 비구면 형상의 회전 대칭 형상(도 9d에 도시된 바와 같은)을 포함(시스템 에러의 파트가 아니고 상기 파트 상의 "알려진")하고, 그러므로 도 9e는 비구면 형상을 포함하지 않는다. 보상이 그 기준 파면으로부터 테스트의 대칭 구성 요소를 분리할 수 없더라도, 결과 평균은 시스템 에러 보다는 테스트 파트에 임의의 특징을 지정하기 위해 다음에 진행된다. 일부 유용한 다음 진행은 모든 대칭 구성요소의 제거 또는 대칭 구성 요소의 일부 필터링된 버전의 제거를 포함하나 이에 제한되지는 않는다. "유용"한 것은 애플리케이션과 다른 기술 보충 프로세스(이하에 설명된, 본 발명의 추가 구성 요소와 같은) 모두에 달려있다. 예를 들어, 측정의 목표가 파트 상의 임의의 홈 구조를 강조하면, 대칭 구성요소의 고역 통과 필터링 된 버전은 평균으로부터 제거된다. 이 방식에서, 평균 내의 임의의 홈은 보상에 지정된 것보다는 파트 표면으로부터 나온 것으로 가정된다. 비구면 형상이 파트 위에 있는 것으로 또한 "알려" 지더라도, 홈 구조를 강조하도록 보상에 그것을 지정하는 것은 용이하다. 도 9e에 있는 표면 결함(145)를 보는 것은, 예를 들어, 표면 형태가 평균과 함께 제해지기 때문에 용이하다. 그래서, 이 방식에서 에러를 지정하는 것이 "정확"하지 않더라도, 일부 결함에 대한 더 용이한 분석을 제공하고, 그리하여 그러한 경우에 보상에 테스트 표면 형태를 마음대로 지정하는 것이 선호된다.

[0065] 혼동하는 문제의 더 직접적인 해법은 임의의 주어진 하위 구경 안의 파트의 형상의 회전 가능 평균을 분리하는 게이 지의 회전 대칭을 이용하는 단계를 포함한다. 이는 복수의 상이한 위치에 게이 지 대칭 축에 관해 회전된 파트를 가진 복수의 데이터 세트의 포착에 의해 달성될 수 있다. 이 회전은 파트가 모든 데이터 맵에서 고정된 방위를 가지도록 보이도록 개별적으로 소프트웨어에서 제거된다. 결과 맵의 평균이 게이 지로부터 공간적으로 균일하지 않은 분포를 억제하고 테스트 파트/파면 상의 특징에 개선된 액세스를 제공하는 것은 분명하다. 이 방법에서, 위에 설명된 혼동된 대칭 에러에 파트의 기여의 명백한 평가를 추출하려 가는 것이 가능해진다. 혼동된 에러의 소스는 그러므로 명백하고, 영향은 따라서 할당될 수 있다.

[0066] 평균 방법은 특정 파면 슬로프 분포에 대한 시스템 파면 바이어스의 평가를 얻도록 테스트 파트의 임의의 영향이 평균 내고자 한다. 그러므로 방법의 출력은 보상맵이다; 도 9d는 적어도 일부의 제거된 파면 바이어스(도 9e와 같은)와 테스트 표면의 더 정확한 평가를 획득하도록 추가 측정(도 9c와 같은)으로부터 감해질 수 있는 그러한 지도의 선형 측면도를 설명한다. 본 발명은 파면 바이어스 대신(테스트 파면 대신 시스템 파면 에러를 평균함)테스트 표면을 측정하고자 하는 종래의 평균화 기술에 다른 확장을 제공한다.

[0067] 개념은 그러한 파면 에러가 특정 파면 슬로프 분포에 대해 일정한 반면에, 그들이 슬로프와 변경할 것이라는 것이다. 그러므로, 파트의 동일한 위치를 그러나 게이 지의 상이한 부분을 통과하는 측정을 평균화하는 것에 의해 그러한 에러를 감소시킬 가능성이 있다. 도 7d는 표면(110)의 특정 위치에서 명확한 반사된 파면(135)을 나타낸다. 중심(122)과 다소 동일한 그러나 기울어지거나 및/또는 길이 방향으로 변위된 파트(결과적으로 상이한 정렬 항목 및 게이 지를 통과하는 상이한 경로를 가지는 반사된 파면)를 배치하는 영역(124)인 것을 측정하는 것은 가능하다. 원하는 측정 영역의 복수의 측정은 각각의 측정이 상이한 정렬 항목(기울기 및 이동)을 가지도록 만들어진다. 기울기는 여기서 직각에서 위치(122)에서 파면(110)으로 입사하는 빛으로 테스트 표면의 시점 또는 파면에 평행으로부터 테스트 표면의 시점으로 정의한다. 시스템 에러의 공간 측면도가 입력 파면 슬로프와 변경할 것이므로, 그 에러는 일부 넓이로 평균될 것이다(테스트 표면 측정의 적합도가 증가). 또한, 이 방법은 비구면 파면 상의 더 높은 공간 주파수의 측정에 가장 적합 가능하다. 이 기술은 링 평균과 결합할 수 있고, 이전에 혼동된 에러를 명확하게 하는 설명에서와 마찬가지로 게이 지의 대칭축에 관한 파트의 회전을 결합하는 것 또한 가능하다.

[0068] 이전에 설명된 본 발명의 구성요소는 파면-측정 게이 지에 의해 야기된 더 높은 공간 주파수 에러를 감소시키는 데 특히 효과적이다. 그들은 낮은 공간 주파수 에러를 감소시키는 것은 실용적으로 덜 효과적이다. 자주 다른 기술이 낮은 공간 주파수 에러를 측정하는 데 효과적이고, 더 낮은 주파수를 위한 내구력이 마찬가지로 더 약해 지곤 한다. 더 높은 공간 주파수 데이터의 정확한 하위 구경 스티칭은, 그러나, 낮은 공간 주파수 부정확함에

의해 제한될 수 있다. 스티칭 시, 임의의 보상되지 않은 에러는 오버랩의 영역에서 불일치를 가져오게 된다. 그러한 에러가 낮은 공간 주파수일 경우, 하위 구경의 에지에서 가공물 스티칭(단계)을 일으키는 경향이 있다. 그러한 가공물은 넓은 주파수 스펙트럼을 가지므로(낮은 주파수 영역과 높은 주파수 영역 모두), 스티칭은 중간 주파수 수행에 역 영향을 미치는 낮은 주파수 에러를 일으킬 수 있다.

[0069] 본 발명의 추가 구성요소는 이 문제를 경감할 수 있다. 임의의 낮은 공간 주파수 정보를 하위 구경 데이터(테스트 파면에서 실제로 존재하는 것을 포함)에서 제거하는 것에 의해, 가공물 스티칭을 야기하는 낮은 주파수 에러에 대한 가능성이 감소된다. 특히 테스트 파면에서 실제 낮은 공간 주파수 에러가 있는 경우, 하위 구경에서 결과 차이가 가공물 스티칭을 야기하는 것과 같이, 그러한 필터링은 조심스럽게 수행되어야 한다. 일부 방법은 다항식 항목을 피팅(및 제거)하는 것과 주파수 도메인(푸리에) 필터링하는 것을 포함한다.

[0070] 낮은-주파수 제거가 가공물 스티칭을 충분히 억제하지 않는다면 추가적인 개선이 가능하다. 단순히 낮은 주파수 형태를 제거하는 것 대신, 하위 구경 사이에 임의의 미스 매치를 최소화하도록 최적화된다(그에 의해 가공물 스티칭을 감소시킴). 그 관련 개시가 참조로 여기 결합되는 미국 특허 제6,956,657에 따라, 저주파 항목이 자유 보상기로 할당되고, 스티칭 연산동안 개별적으로 최적화되어 임의의 데이터 미스매치를 최소화한다. 하나의 가능한 실시예가 수학식 3에 나타나 있고, 개별적인 제니케(Zenike) 다항식 항은 자유 보상자로 포함된다.

**수학식 3**

$$f_j(x, y) + \sum_k a_{jk} Z_{jk}(x, y)$$

[0071]

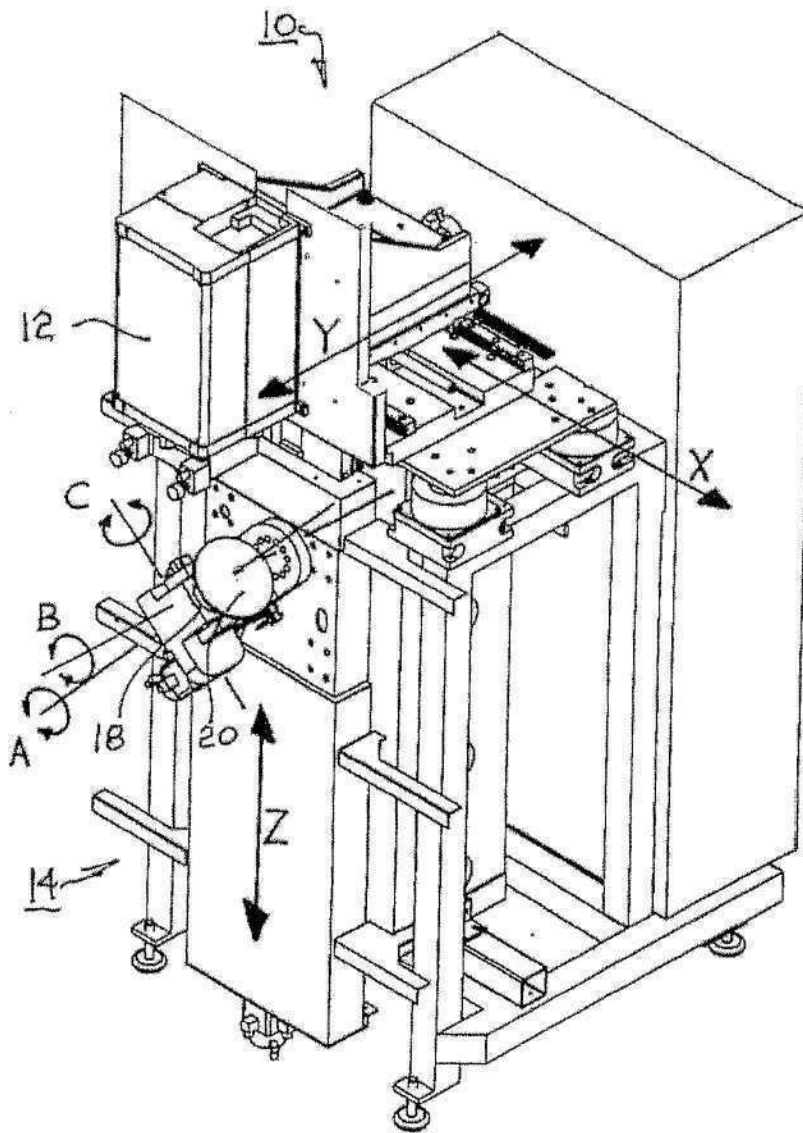
[0072] 제니케 다항식은, 하위 구경을 파트 좌표 시스템으로 사상하는 함수가 그들을 왜곡시키기 때문에 하위 구경 지수(j)에 의존도를 가질 수 있다. 본 발명은 낮은 주파수 항목의 임의의 특정 표시 범위 안에 제한되지 않는다는 것이 이해된다; 다른 형태(푸리에 계수와 같은)가 또한 가능하다. 중요한 것은 그 표시는 가공물 스티칭을 야기하고 있는 낮은 주파수 변화를 포획한다는 것이다.

[0073] 본 발명이 여러 특정 실시예의 참조에 의해 설명되었으나, 설명된 본 발명의 개념의 내용과 범위 안에 여러 변경이 만들어질 수 있다는 것이 이해된다. 따라서, 본 발명은 설명된 실시예에 제한되지 않고, 다음 클레임에 의해 정의되는 전체 범위를 가지게 될 것이다.



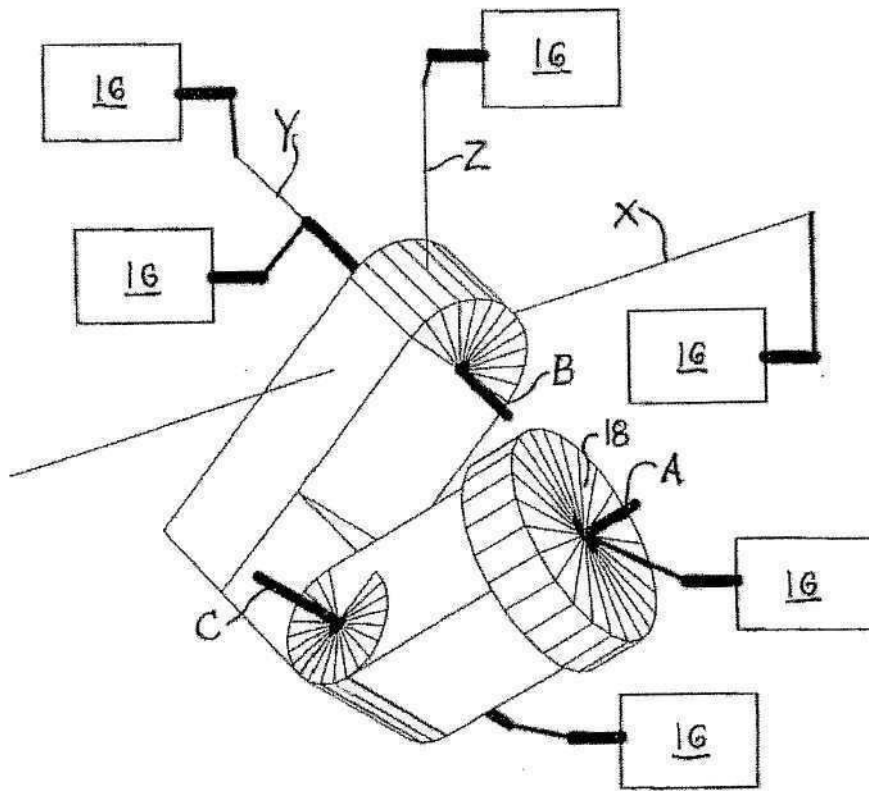
도면

도면1

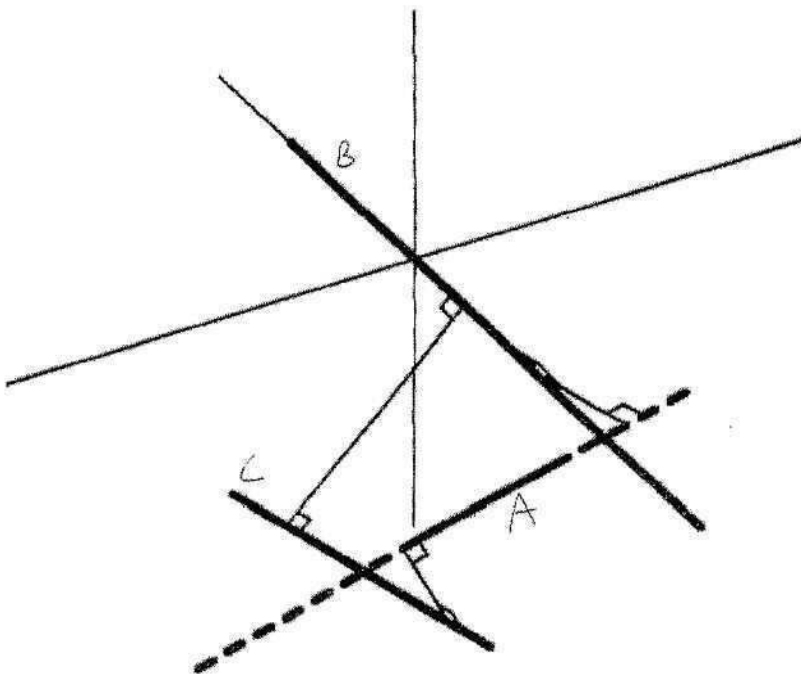




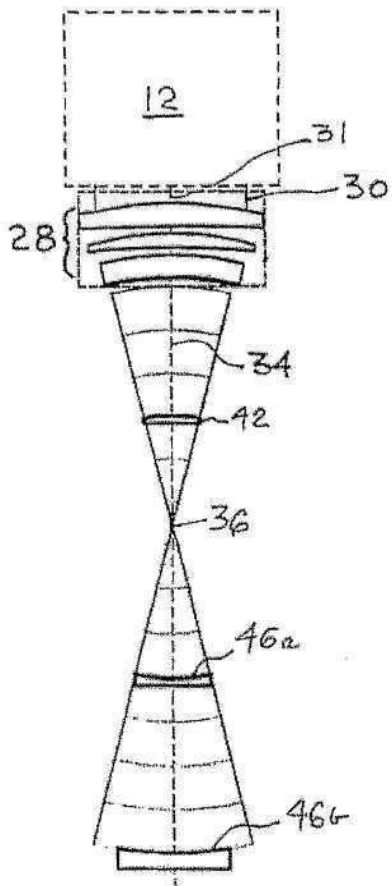
도면2a



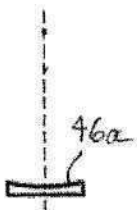
도면2b



도면3



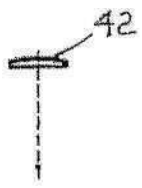
도면3a



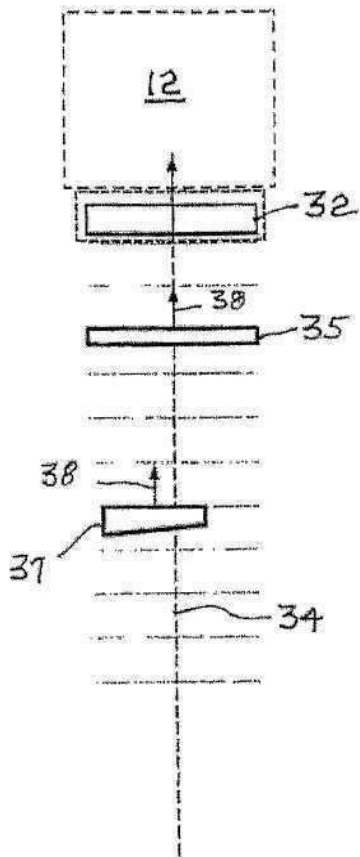
도면3b



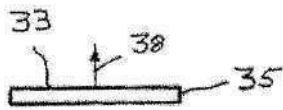
도면3c



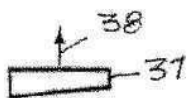
도면4



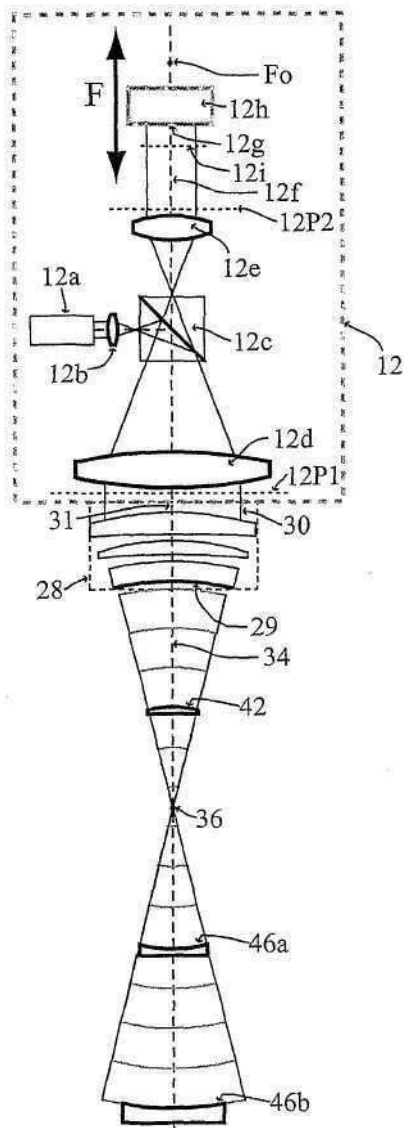
도면4a



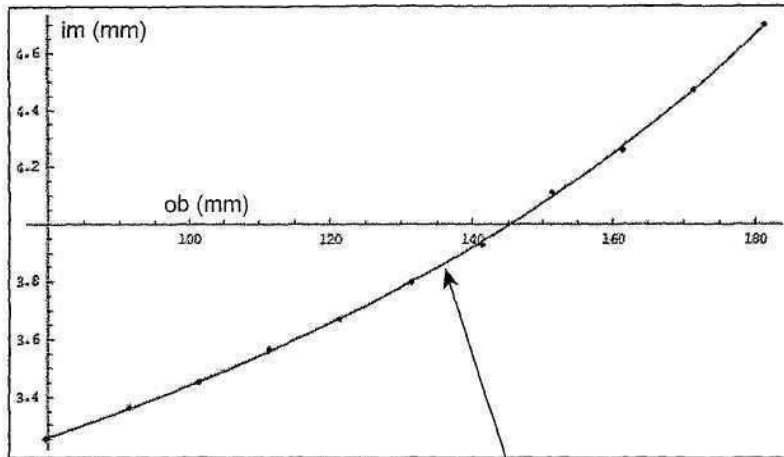
도면4b



도면5



도면6



ob (mm)	im (mm)
79.558	3.25
91.3984	3.363
101.3984	3.451
111.3984	3.565
121.3984	3.671
131.3984	3.799
141.3984	3.93
151.3984	4.11
161.3984	4.26
171.3984	4.471
181.3984	4.699

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{ob + ob\_ref} + \frac{1}{im + im\_ref}$$

$$f = 22.4046$$

$$ob\_ref = -349.795$$

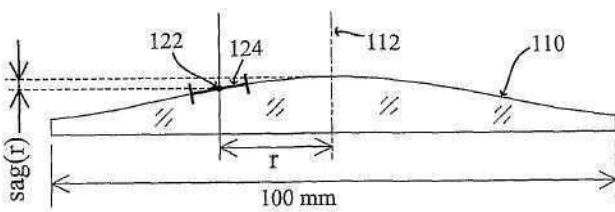
$$im\_ref = 21.4145$$

Table 1: 측정된 목적물과 포커스 축 위치 쌍의 예

"ob"는 전송구 기준면의 꼭지점인 목적물 기준점(29)에 관해서 측정된다

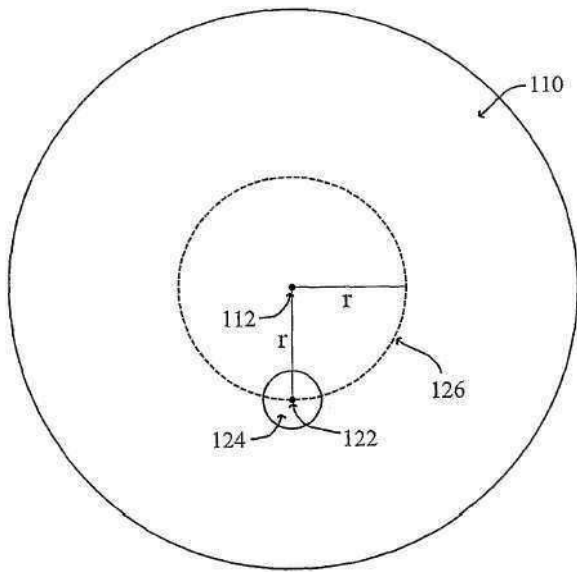
"im"은 그 기계적 원점에 대한 포커싱 축 F의 위치이다

도면7a





도면7b

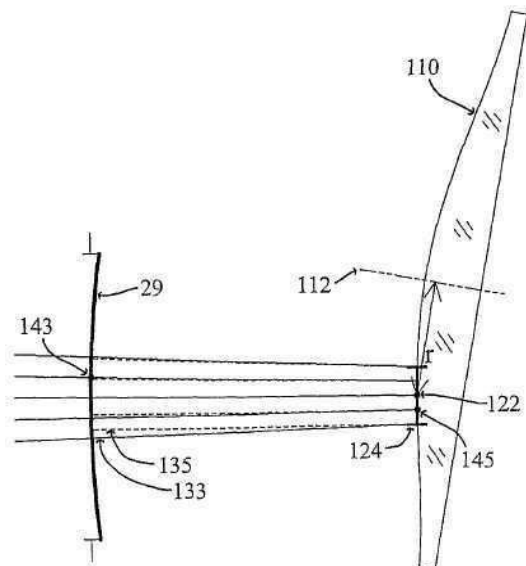


도면7c

$$\text{sag}(r) = \frac{c r^2}{1 + \sqrt{1 - c^2 r^2}} + a_d r^4$$

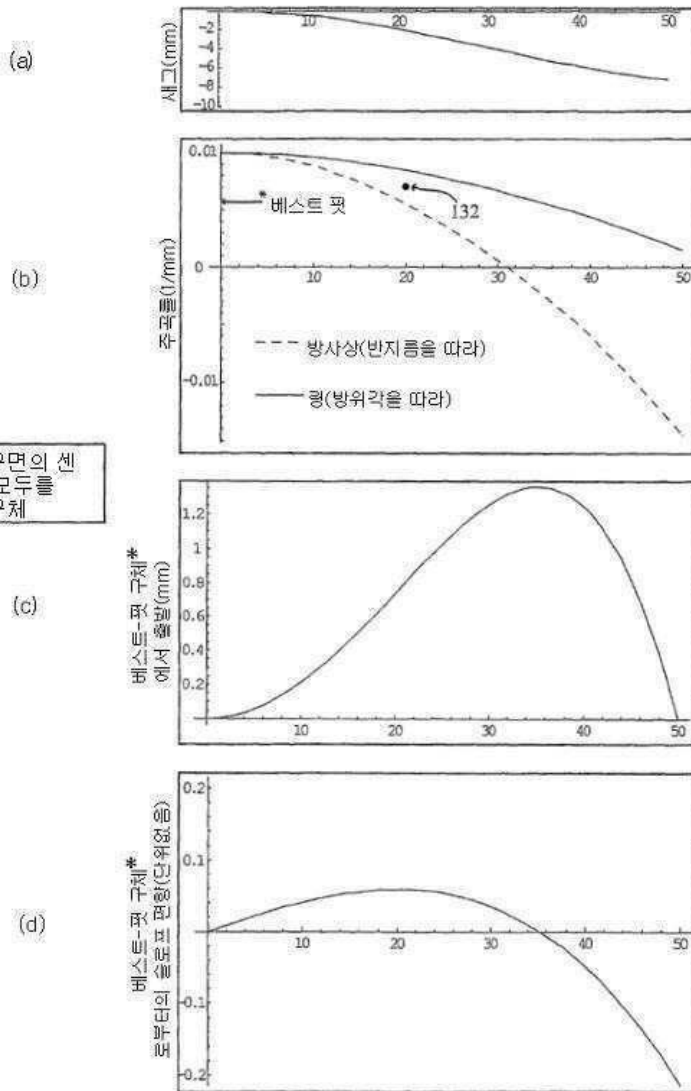
where: "c" =  $\frac{1}{100 \text{ mm}}$  and "ad" =  $\frac{-1}{1000000 \text{ mm}}$

도면7d



도면8

로컬 표면 특성  
(mm단위로 대칭축에서 측정된 표면상의 로컬 위치 'r'의 함수로)



•표면이 비구면의 센터와 에지 모두를 통과하는 구체

도면9

