



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0018004
(43) 공개일자 2008년02월27일

(51) Int. Cl.

G01B 11/16 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0080009

(22) 출원일자 2006년08월23일

심사청구일자 2006년08월23일

(71) 출원인

건양대학교산학협력단

충남 논산시 내동 26 건양대학교 산학협력단

이금석

충청남도 보령시 성주면 성주1리 4번지

장윤승

충남 논산시 내동 놀피아파트 1동 1206호

(72) 발명자

장윤승

충남 논산시 내동 놀피아파트 1동 1206호

이금석

충청남도 보령시 성주면 성주1리 4번지

(74) 대리인

최익하

전체 청구항 수 : 총 4 항

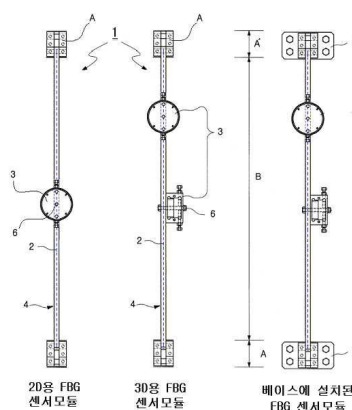
(54) 광섬유격자센서를 이용한 내공변위 및 천단침하 측정방법

(57) 요약

본 발명은 광섬유격자(FBG ; Fiber Bragg Grating)센서를 이용한 내공변위 및 천단침하 측정을 위한 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세히는 터널 시공 중 및 유지관리 단계에서 내공변위 및 천단침하 정도를 정밀하게 측정할 수 있는 방법을 제공코자 하는 것이다. 본 발명은 터널 및 구조물의 내공변위 측정을 위한, 2차원 또는 3차원의 벡터 도를 취득하기 위한 측정방법에 관한 것으로, FBG 변형률센서와 FBG 각도변위 센서를 동일 측정 면에 설치하여 길이변위와 각도변위를 동시에 측정 2차원 또는 3차원의 벡터 도를 도출할 수 있는 내공변위 측정방법을 제공한다.

즉, 구조물 표면에 부착된 FBG 변형률센서와 FBG 각도변위센서로부터 구조물의 단면을 따라 측정 포인트에 센서 부착 기구를 부착하여, 동일 측정 대상 면에 두 개 또는 세 개의 센서를 설치한 후 미세한 길이변화와 각도변위를 측정하여 구조물의 2차원 또는 3차원의 내공변위를 계산하는 방식으로 한 개의 변형률센서는 구조물의 단면을 따라 부착하고, 한 개 또는 두 개의 각도변위 센서를 같은 측정 면에 설치 별도의 복잡한 수학적 계산 없이 2차원 또는 3차원의 구조물 내공변위를 측정할 수 있는 방법을 제공할 수 있는 발명인 것이다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

광섬유격자센서를 이용한 구조물의 내공변위 및 천단침하를 측정하는 방법에 있어서,

FBG 센서모듈(1) 양단의 고정편(A)은, 베이스(5)에 체결부재로 접속되며; 보호관 및 지지대(4)의 양단이 고정편(A)에 내삽되고; 보호관(4)의 내부에는 FBG 변형률센서(2)가 고정편(A)과 고정편(A) 사이에 길이 방향으로 설치 고정편(A)에 접속되며;

상기 보호관 및 지지대(4)의 외부에는 단일개 및 다수개의 FBG각도변위센서(3) 및 2축의 FBG 각도변위센서(3)가 연결샤프트(6)에 설치되어 2차원 및 3차원의 내공변위 및 천단침하를 상시 계측할 수 있는 것을 특징으로 하는 광섬유격자센서를 이용한 내공변위 및 천단침하 측정방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 고정편(A)에 내삽되는 보호관(4)의 일단은 체결부재로 고정편(A)에 고정되어 고정편(A)과 일체거동을 하며, 타단은 고정편에 내삽된 상태로 길이방향으로만 서로 슬라이딩할 수 있는 접속구조를 가지는 것을 특징으로 하는 광섬유격자센서를 이용한 내공변위 및 천단침하 측정방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 FBG 각도변위센서(3)는 FBG 변형률센서(2)가 내삽된 보호관(4)에서 분리하여, 한 쌍의 고정편(A)이 설치된 동일 베이스(5)상에 별도의 지지대를 구성하여 그 양끝 단을 베이스(5)에 고정하고; 지지대의 외부에는 FBG 각도변위센서(3)가 연결샤프트(6)에 의해 단일개 및 다수개가 설치되어 2차원 및 3차원의 내공변위 및 천단침하를 상시 계측할 수 있는 것을 특징으로 하는 광섬유격자센서를 이용한 내공변위 및 천단침하 측정방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 한 쌍의 베이스(5)에 설치된 지지대의 일단이 체결부재로 베이스(5)에 일체로 고정되어 베이스(5)와 일체 거동을 하며, 타단은 베이스(5)에 길이방향으로만 서로 슬라이딩할 수 있는 접속구조를 가지는 것을 특징으로 하는 광섬유격자센서를 이용한 내공변위 및 천단침하 측정방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <15> 본 발명은 터널의 내공변위 및 천단침하 측정을 위한 광섬유격자(FBG:Fiber Bragg Grating)센서를 이용한 내공 변위 및 천단침하 측정방법에 관한 것으로서, 더욱 상세히는 터널 시공 중 및 유지관리 단계에서 실시간으로 측정할 수 있는 방법을 제공코자 하는 것이다.
- <16> 터널의 내공변위 측정에 있어서 터널의 단면상에서 길이 방향의 변화만을 측정하는 경우, 라이닝의 변형특성상 변형된 후 좌표의 방향성을 알 수가 없기 때문에 터널의 수축 또는 팽창유무를 알기 전에는 정밀한 내공변위를 계측하기 힘들다.
- <17> 따라서 기존의 센서를 이용한 터널 내공변위 및 천단침하 측정용 센서들은 터널의 라이닝을 관통하여 길이변화 측정센서를 매립하여 팽창 또는 수축여부를 판단하거나 내공변위를 측정하기 위한 변위센서와 각도센서를 사용하여 길이 변화량과 각도 변화량을 측정한 후, 두 개의 측정결과를 조합하여 내공변위로 환산하는 방식을 사용한다.

<18> 이 중 후자의 방법을 이용한 기존 방식의 전기식 센서시스템은 서로 다른 측정 방식으로 길이변화와 각도의 두 가지 값을 측정하기 때문에, 두 가지 센서의 서로 다른 측정 정밀도에 의해서 내공변위의 정확성이 좌우되며, 두 가지 센서 시스템을 사용하기 때문에 데이터 수집 장치가 복잡해지고 그 측정비용이 상대적으로 높게 책정되었으며, 센서의 정확도는 측정 길이가 1m 인 경우 길이변화에 대한 분해능은 1/100mm, 각도는 1/100도를 주로 사용하므로 미세변형의 측정에는 다소 문제가 있을 뿐만 아니라, 무엇보다도 전자기파의 영향을 많이 받아 계측 신뢰도가 떨어져 지하철 등이 운행 중일 때에는 계측을 하지 못하는 매우 취약한 문제점이 있었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<19> 따라서 본 발명의 목적은 내공변위 및 천단침하를 측정함에 있어, 전자기파의 영향이 전혀 없고, 계측 분해능이 매우 뛰어나 계측 신뢰도가 높은, FBG 변형률센서와 FBG 각도변위센서를 이용하여 내공변위 및 천단침하를 측정하는 방법을 제공함으로써, 상시 안전진단이 가능하고, 하나의 시스템으로 길이변위와 각도변위를 동시에 계측할 수 있는 광섬유격자센서를 이용한 내공변위 및 천단침하 측정방법을 제공하고자 한다.

발명의 구성 및 작용

<20> 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 광섬유격자센서를 이용한 구조물의 내공변위 및 천단침하를 측정하는 방법에 있어서, FBG 센서모듈 양단의 고정편은, 베이스에 체결부재로 접속되며; 보호관 및 지지대의 양단이 고정편에 내삽되고; 보호관의 내부에는 FBG 변형률센서가 고정편과 고정편 사이에 길이 방향으로 설치 고정편에 접속되며; 보호관 및 지지대의 외부에는 FBG 각도변위센서가 연결샤프트에 의해 하나 이상 또는 2축 FBG 각도변위센서가 설치되어 2차원 또는 3차원의 내공변위 및 천단침하를 상시 계측할 수 있도록 된 것이다.

<21> 상기 고정편에 내삽되는 보호관의 일단은 체결부재로 고정편에 고정되어 고정편과 일체거동을 하며, 타단은 고정편에 내삽된 상태로 길이방향으로만 서로 슬라이딩할 수 있는 접속구조를 가지도록 이루어진다.

<22> 또한, 상기 FBG 각도변위센서는 FBG 변형률센서가 내삽된 보호관에서 분리하여, 한 쌍의 고정편이 설치된 동일 베이스상에 별도의 지지대를 구성 그 양끝 단을 베이스에 고정하고; 지지대의 외부에는 FBG 각도변위센서가 연결샤프트에 의해 하나 이상 설치되어 2차원 또는 3차원의 내공변위 및 천단침하를 상시 계측할 수 있도록 된 것이다.

<23> 또한, 상기 한 쌍의 베이스에 설치된 지지대의 일단이 체결부재로 베이스에 일체로 고정되어 베이스와 일체거동을 하며, 타단은 베이스에 길이방향으로만 서로 슬라이딩할 수 있는 접속구조를 가지도록 된 것이다.

<24> 이하, 본 발명에 따른 광섬유격자센서를 이용한 내공변위 및 천단침하 측정방법에 대해 첨부된 도면을 참조하여 자세히 설명한다.

<25> 도 1 및 도 2는 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 내공변위 및 천단침하 측정방법을 위한 FBG센서모듈이 도시된 정면도 및 측면도이고, 도 3은 도 1의 FBG센서모듈이 연속적으로 설치된 배치도이며, 도 4는 도 1에 도시된 FBG 변형률센서와 FBG 각도변위센서가 분리 설치된 정면도이고, 도 5는 도 1에 도시된 FBG변형률센서모듈이 터널에 장착된 상태가 도시된 개략도이며, 도 6은 본 발명의 터널 내공변위 및 천단침하에 의한 벡터 dx, dy 측정 원리도이고, 도 7은 본 발명에 있어서 라이닝 내공변위 및 천단침하 절대좌표와 상대좌표 방식의 계측 원리도이다.

<26> 도 1은 본 발명에서 제공하는 광섬유격자센서를 이용한 내공변위 및 천단침하 측정방법을 위한 FBG 센서모듈(1)의 정면도이며, 도 2는 이의 측면도로서, 본 발명은 소정 길이를 갖고 연속적으로 연결하여 사용할 수 있는 단위 FBG 센서모듈(1)로 구성된다.

<27> 즉, 상기 FBG 센서모듈(1)은 사각형이나 원형 등의 파이프로 이루어진 FBG 변형률센서(2)와, 상기 FBG 변형률센서(2)상에 설치되어 각도변위를 측정하기 위한 FBG 각도변위센서(3) 등의 FBG 센서모듈(1)로 크게 구성된다.

<28> 상기 FBG 센서모듈(1)의 양단을 각각 연결하기 위한 베이스(5), 같은 베이스(5)상에 길이방향으로 이웃하여 연속적으로 연결되는 FBG 센서모듈(1)로 이루어지고, 상기 FBG 변형률센서(2)의 FBG 센서 보호관(4)의 외부에는 1/1,000도의 분해능을 갖는 FBG 각도변위센서(3)가 연결샤프트(6)로 연결 설치되며, FBG 센서 보호관(4) 내부에는 길이 변위 측정을 위한 1/10,000,000의 분해능을 갖는 FBG 변형률센서(2)가 베이스(5)와 베이스(5) 사이를 길이 방향으로 횡단하며, FBG 센서모듈(1)은 베이스(5)에 연속적으로 부착되며, 하나의 FBG 센서모듈(1)은 각각 독립적인 좌표를 갖고 터널 등의 내부 단면을 연속적으로 횡단설치 되는 것이다.

- <29> 이러한 구성상의 특징을 갖는 본 발명의 FBG 센서모듈(1)은 도 3과 같이 터널(7)의 내공변위 및 천단침하를 측정하기 위하여 베이스(5) 부위에 FBG 변형률센서(2)를 길이방향으로 이웃하여 연속적으로 연결시켜 상시계측을 수행하도록 구성되는 것이다.
- <30> 도면중의 부호 8은 터널(7)의 천단을 도시한 것이다.
- <31> 상기와 같이 구성될 수 있는 본 발명의 FBG 센서모듈(1)을 사용하여 터널(7)의 내공변위 및 천단침하를 측정코자 할 시는 도 5와 같이 터널(7)의 천단(8)을 따라 FBG 센서모듈(1)을 도 3과 같이 길이방향으로 연장되게 연결하여 라이닝 길이에 맞게 설계·설치한다.
- <32> FBG 센서모듈(1)은 대략 1m의 길이로 도 2에서와 같이 a 포인트가 관측점이며, b 포인트가 계측점이 된다. 즉, 도 6에서 B가 계측점일 때는 A가 관측점이며, B가 관측점일 때는 C가 계측점이 된다. 라이닝에 변형이 발생하여 B-D 포인트가 이동을 하면 새로운 좌표 B'~D'로 구성되며, A좌표는 불변이다.
- <33> 본 발명의 FBG 센서모듈(1)에서 라이닝 변형을 계측하는 기본 원리는 내공변위를 구하는 방법에 따라 '절대좌표방식'과 '상대좌표방식'이 있다.
- <34> 절대좌표방식의 계측법에서 내공변위는 도 7의 예에서 보면 변형후의 중점좌표와 변형이전의 중점좌표의 이동거리이다. 그러므로 변형에 따른 이전의 계측점의 좌표를 반드시 알아야 한다.
- <35> 반면에 상대좌표방식은 도 8과 같이 변형에 의해 발생된 길이변형과 각도변형을 이용하여 좌표와 상관없이 한 시각 변화에 대하여 삼각함수 관계에 의한 곡률변화($\Delta \theta$) 값을 내공변위로 놓는다.
- <36> 절대좌표방식은 한 단면의 연속된 FBG 센서모듈(1)에서 중간에 해당하는 FBG 센서모듈(1)에 고장이 발생할 경우 새로운 좌표 생성을 못하게 되거나 FBG 센서모듈(1)의 오동작으로 인한 오차 값의 전달이 이루어지는 문제점이 있을 수 있다.
- <37> 반면에 상대좌표방식은 앞의 경우에 각 FBG 센서모듈(1)이 독립적 계측을 하므로 정상 FBG 센서모듈(1)에 대하여 내공변위를 모두 구할 수 있으나 수식적 값 축약에 의하여 각도변형이 미세할 경우에 그 정확성을 가진다.
- <38> 이하 절대좌표방식에 의한 계측법을 보다 상세히 설명하면;
- <39> 터널의 단면변형 측정을 위한 FBG 센서모듈(1)은 터널(7) 단면의 천단(8)을 따라 도 7과 같이 S1~S4까지 FBG 센서모듈(1)이 설치되었을 때, 단면변형이 일어나는 경우 좌표점의 이동은 B'~D' 좌표로 나타내며, 선행 FBG 센서모듈(1)의 좌표이동에 영향을 받는다.
- <40> S1 FBG 센서모듈(1)의 경우를 살펴보면, 선행 FBG 센서모듈(1)이 없으므로 B에서 B'로의 이동을 dx(b), dy(b) 성분만으로 나타낼 수 있다.
- <41> 각 설치 좌표점(A~D)은 FBG 센서모듈(1)의 설치점 설계에 의하여 이미 알고 있으며, 변형 좌표점 B'(Xb', Yb')는 θ'_b 와 L'_b 에 의한 삼각 함수에 의하여 구할 수 있다.
- $$\begin{aligned} Xb' &= Xa + \cos(\theta'_b) \times L'_b \\ Yb' &= Ya + \sin(\theta'_b) \times L'_b \end{aligned}$$
- <42>
- <43> 여기서 $\theta'_b = \theta_b + \Delta\theta_b$, $L'_b = L_b + \Delta L_b$ 이다.
- <44> 따라서 dx, dy는 B(Xb, Yb)와 B'(Xb', Yb')를 이용하여 구할 수 있다.
- $$\begin{aligned} dx(b) &= Xb' - Xb \\ dy(b) &= Yb' - Yb \end{aligned}$$
- <45>
- <46> 결과적으로 B점에서의 터널(7)의 단면변화는 위의 수식에 따라 $\Delta\theta_b$ 와 ΔL_b 를 구하여 얻을 수 있다.
- <47> S2 FBG 센서모듈(1)의 순수한 변형은 C에서 C'로의 이동이며, C' 좌표는 C'좌표에 S1의 B에서 B'점에서의 이동

성분인 $dx(b)$, $dy(b)$ 를 더한 값이다.

$$Xc' = Xb' + \cos(\theta'_c) \times L'_c$$

$$Yb' = Yb' + \sin(\theta'_c) \times L'_c$$

$$dx(c') = Xc' - Xc$$

$$dy(c') = Yc' - Yc$$

<48>

<49>

위의 수식과 같이 C' 점을 구할 수 있으며, 나머지 D', E' 좌표 역시 같은 방식으로 구하게 된다.

<50>

그리고 본 발명의 FBG 센서모듈(1)을 사용하여 라이닝 변형을 상대좌표방식에 의한 계측법은 다음과 같다.

<51>

도 8에서 곡률변화 Δf 와 h' , h 는 다음 수식과 같으며 이를 내공변위로 하여 축력 및 휨모멘트를 구하게 된다. 즉, 각 $\Delta \theta$ 와 ΔL 을 구하면 각 FBG 센서모듈(1)에서 각 좌표와 독립적인 내공변위값을 구하게 된다.

$$\Delta f = \sqrt{h'^2 + h^2 - 2h'h \cos(\Delta \theta)}$$

$$h' \simeq \frac{L + \Delta L}{2}$$

$$h \simeq \frac{L}{2}$$

<52>

<53>

절대좌표방식 및 상대좌표방식의 계측원리에서 결과적으로 각 FBG 센서모듈(1)에서 $\Delta \theta$ 와 ΔL 을 구하면 된다.

<54>

$\Delta \theta$ 는 도 1의 FBG 센서모듈(1)의 A부와 B부, A'부와 B부의 양단은 각각 A, A'부에 내삽 되고 일단은 볼트 등의 체결부재를 사용하여 A부와 일체로 고정되며,

<55>

타단은 A'부에 삽입된 상태로 길이방향으로만 서로 슬라이딩할 수 있는 접속구조로, 단면변형에 의한 좌표점의 이동 거리가 FBG 변형률센서(2)에 의하여 ΔL 값을 정밀하게 구하게 된다.

<56>

또한 단면변형에 의한 전후운동은 FBG 각도변위센서(3)에 의하여 $\Delta \theta$ 값을 구하게된다.

<57>

상기에 설명한 2차원 내공변위 측정방법 외에 필요에 따라서는, 유사한 방법으로 3차원 내공변위를 계측할 수 있는데, 그 방법은 2차원 내공변위 측정을 위한 1축 FBG 각도변위센서(3)를 2축 FBG 각도변위센서(3)로 교체하면 가능한데, 2축 FBG 각도변위센서의 경우 1축 FBG 각도변위센서 두개를 서로 90도의 사잇각을 두고 일체로 고정시키면, 2축 각도변위센서가 되는 것이다. 그러므로 기존 2차원 내공변위 계측을 위해 설치된 상태에서 추가로 하나의 1축 FBG 각도변위센서를 설치하면 3차원내공변위 계측이 가능해지는 아주 유용한 발명인 것이다.

<58>

발명의 효과

<59>

이상에서 상세히 살펴 본 바와 같이 본 발명은 전자기파의 영향이 전혀 없고, 월등한 계측정밀도를 갖고 있는 광섬유 FBG센서를 사용하며, 측정 점에 센서 부착 기구를 설치하여 동일 측정 대상 면에 두 개, 또는 세 개의 센서를 설치, 측정하여 내공변위를 산출하는 방식으로 한 개의 센서는 길이변형을 계측하고, 다른 센서는 각도변위를 계측하며, 이를 조합하여 벡터(Vector)도를 도시하면 2차원 내공변위 및 3차원 내공변위를 계측할 수 있는 아주 유용한 발명인 것이다.

<60>

또한, 터널 내공변위와 천단침하를 측정하기 위한 FBG 센서모듈을 제공하되, 보호관 상에 FBG 변형률센서와 FBG 각도변위센서를 동시에 설치하여 측정점에 대한 길이와 각을 정확히 센싱할 수 있으며, 기존의 전기식 시스템의

단점인 전자기파의 영향을 완벽히 극복하여 그동안 불가능했던 운행 중인 지하철의 터널 내공 변위를 상시 계측할 수 있게 하고, 광섬유격자센서의 우수한 특성으로 인하여 그 정밀도 또한 높일 수 있으며, 한 가닥의 광섬유로 최대 40여개의 센서를 직렬 연결할 수 있어 기존의 전기식 시스템 보다 훨씬 적은 공간을 필요로 하며, FBG 센서의 고유한 반사 파장을 계측하므로, 측정방법이 동일하여 하나의 계측시스템으로 상시안전 진단이 가능해지고, 토목구조물의 초기 값 대비 누적 변형을 계측할 수 있는 매우 큰 장점이 있다.

<61> 이상에서 설명한 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 있어 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하므로 전술한 실시예에 한정되는 것이 아니다.

도면의 간단한 설명

<1> 도 1은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 내공변위 및 천단침하 측정방법을 위한 FBG센서모듈이 도시된 정면도,

<2> 도 2는 도 1의 측면도,

<3> 도 3은 도 1에 도시된 FBG센서모듈이 연속적으로 배치된 상태도,

<4> 도 4는 도 1에 도시된 FBG 변형률센서와 FBG 각도변위센서가 분리 설치된 상태가 도시된 정면도이고,

<5> 도 5는 도 1에 도시된 FBG변형률센서모듈이 터널에 장착된 상태가 도시된 개략도이며,

<6> 도 6은 본 발명의 터널 내공변위 및 천단침하에 의한 벡터 dx , dy 측정 원리도,

<7> 도 7은 본 발명에 있어서 라이닝 내공변위 및 천단침하 절대좌표 방식의 계측 원리도,

<8> 도 8은 본 발명에 있어서 라이닝 내공변위 및 천단침하 상대좌표 방식의 계측 원리도.

<9> < 도면의 주요부호에 대한 간단한 설명 >

<10> 1: FBG 센서모듈 2: FBG 변형률센서

<11> 3: FBG 각도변위센서 4: FBG 센서 보호관 및 지지대

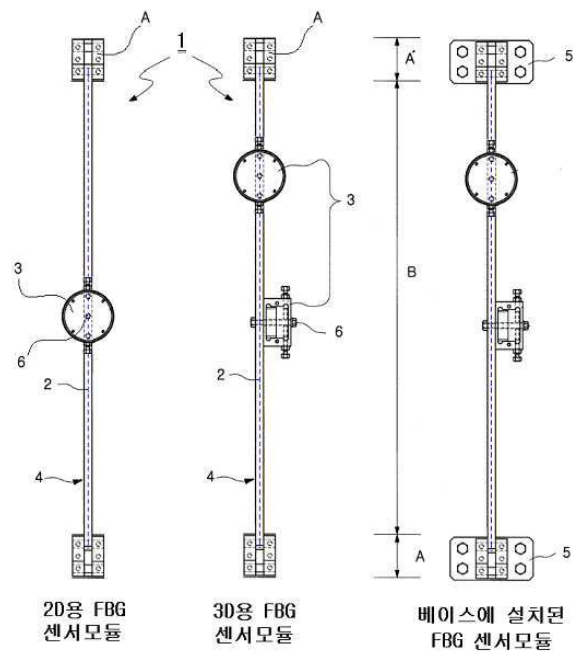
<12> 5: 베이스 6: 연결샤프트

<13> 7: 터널 8: 천단

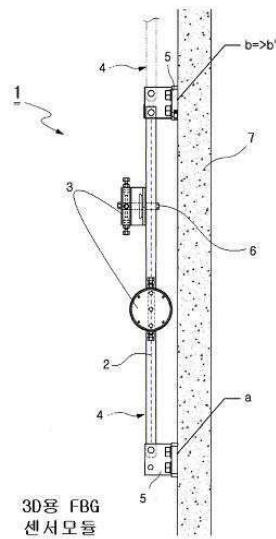
<14> A: 고정편

도면

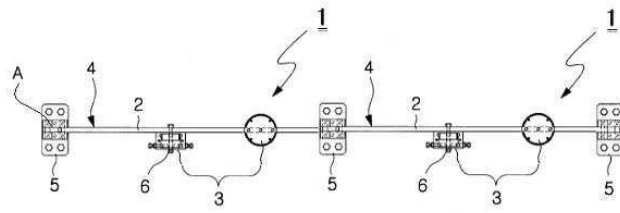
도면1



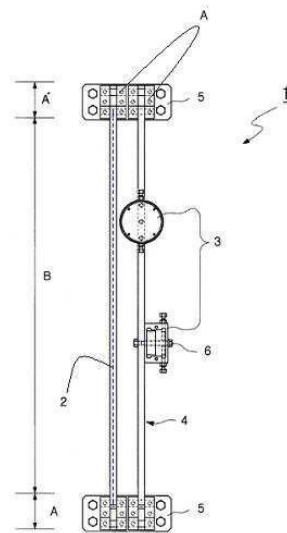
도면2



도면3

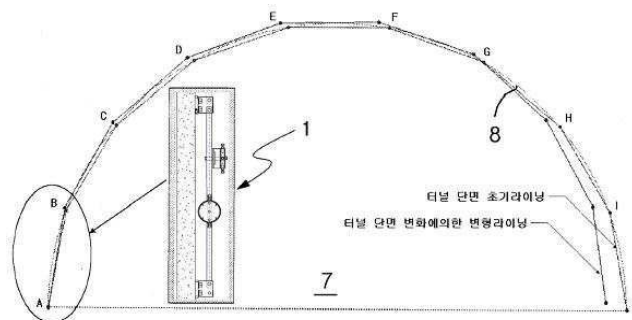


도면4

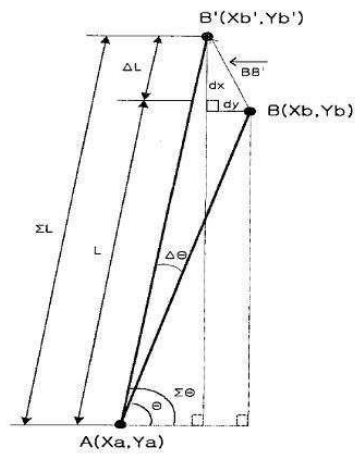


FBG 변형률센서와 분리되어
동일 베이스상에 설치된 FBG 각도변위센서

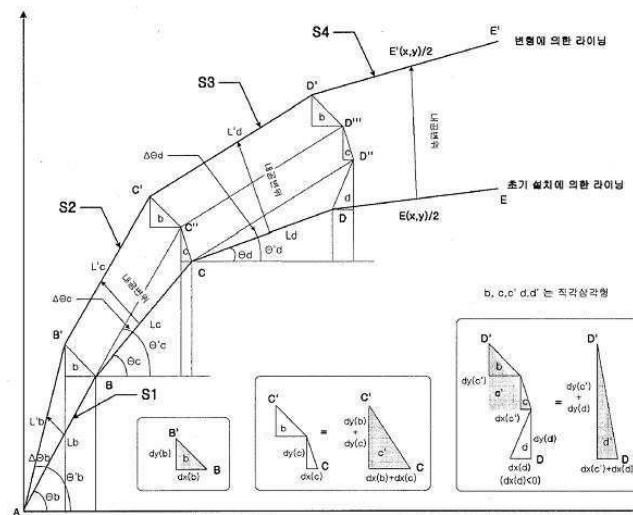
도면5



도면6



도면7



도면8

