



등록특허 10-2177443



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년11월11일  
(11) 등록번호 10-2177443  
(24) 등록일자 2020년11월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 27/04 (2006.01) G01B 7/16 (2006.01)  
G01M 5/00 (2006.01) G01N 27/20 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01N 27/041 (2013.01)  
G01B 7/16 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0006212  
(22) 출원일자 2019년01월17일  
심사청구일자 2019년01월17일  
(65) 공개번호 10-2020-0089468  
(43) 공개일자 2020년07월27일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020160074186 A\*  
JP08193993 A\*  
KR1020160085559 A\*  
JP2002257769 A  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
김준희  
서울특별시 서초구 고무래로 35, 102동 702호  
최인섭  
서울특별시 성북구 삼선교로16나길 16, 101호  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
김인철

전체 청구항 수 : 총 15 항

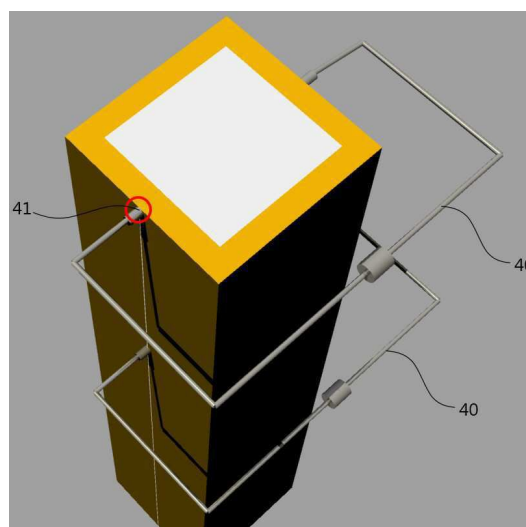
심사관 : 김동원

(54) 발명의 명칭 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법 및 평가시스템

(57) 요약

본 발명은 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법에 관한 것으로서, 위치파악부가 기둥에 설치된 탄소나노튜브 도선의 위치를 파악하는 S100 단계; 정상상태 데이터 취득부가 정상 상태의 전류 데이터를 취득하는 S200 단계; 균열의심상태 데이터 취득부가 균열의심 상태의 전류 데이터를 취득하는 S300 단계; 한계값 산출부가 상기 기둥의 균열을 추정할 수 있는 한계값을 산출하는 S400 단계; 균열여부 추정부가 정상 상태와 균열의심 상태의 전류 및 저항을 비교하여 기둥의 균열 여부를 추정하는 S500 단계; 및 균열위치유형 추정부가 기둥의 균열 위치 및 균열 유형을 추정하는 S600 단계를 포함한다.

대표도 - 도7



(52) CPC특허분류

**G01M 5/0041** (2013.01)

**G01N 27/20** (2013.01)

(72) 발명자

**장학중**

서울시 강남구 삼성로 150 미도아파트 209-1207

**정범규**

서울시 마포구 합정동 희우정로1길 21 삼성강변아파트 301호

**손정훈**

서울특별시 성동구 매봉길 50 이편한세상옥수파크힐스 101동 203호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호

1615009749

부처명

국토교통부

과제관리(전문)기관명

국토교통과학기술진흥원

연구사업명

국토교통기술촉진연구(R&D

연구과제명

지진재난대응력 강화를 위한 건축물 손상-손실 관계를 고려한 내진성능지수 개발

기 여 율

1/1

과제수행기관명

연세대학교 산학협력단

연구기간

2018.01.01 ~ 2018.12.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

삭제

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

삭제

#### 청구항 6

삭제

#### 청구항 7

삭제

#### 청구항 8

위치파악부가 기둥에 설치된 탄소나노튜브 도선의 위치를 파악하는 S100 단계; 정상상태 데이터 취득부가 정상상태의 전류 데이터를 취득하는 S200 단계; 균열의심상태 데이터 취득부가 균열의심 상태의 전류 데이터를 취득하는 S300 단계; 한계값 산출부가 상기 기둥의 균열을 추정할 수 있는 한계값을 산출하는 S400 단계; 균열여부 추정부가 정상 상태와 균열의심 상태의 전류 및 저항을 비교하여 기둥의 균열 여부를 추정하는 S500 단계; 및 균열위치유형 추정부가 기둥의 균열 위치 및 균열 유형을 추정하는 S600 단계를 포함하며,

상기 S200 단계 및 상기 S300 단계는 전류측정장치의 양 단부를 기둥 외면에 이격배치하고, 전류측정장치의 양 단부가 기둥의 일단에서 타단으로 동등하게 이동되면서, 기둥의 각 높이값에서 연속적으로 전류를 측정하는 것을 특징으로 하는 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법.

#### 청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 S100 단계에서 탄소나노튜브 도선의 설치는

기존 기둥의 외면에 탄소나노튜브 도선이 설치되는 S10 단계를; 및

상기 탄소나노튜브 도선이 설치된 기둥의 외면 상에 전기전도성 시멘트 모르타르를 도포하고 마감하여 기둥이 보강되는 S20 단계를 포함하며,

상기 S10 단계는 기둥을 양 단부 구역과 중앙부의 3개 구역으로 구분하고, 양 단부 구역에는 탄소나노튜브 도선을 사선방향으로 배치하며, 중앙부에는 탄소나노튜브를 횡방향으로 배치하는 것을 특징으로 하는

탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법.

## 청구항 10

삭제

## 청구항 11

청구항 8에 있어서,

전류측정장치의 주입단으로부터 i번째 탄소나노튜브 도선까지의 거리(Li) 및 i번째 탄소나노튜브 도선으로부터 전류측정장치의 수용단까지의 거리(Li')는 다음의 수학식으로 산출되는 것을 특징으로 하는

탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법.

[수학식 1]

$$L_i = \sqrt{\left[\frac{b_2 - b_1}{2}\right]^2 + (y_i - h)^2}$$

$$L'_i = \sqrt{\left[\frac{b_2 - b_1}{2}\right]^2 + (y'_i - h)^2}$$

(여기서, Li= 측정기기 주입부로부터 i번째 탄소나노튜브 도선까지의 거리, Li'=i번째 탄소나노튜브 도선으로부터 측정기기 수용부까지의 거리, b<sub>2</sub>=보강 후 기둥의 너비, b<sup>1</sup>=보강 전 기둥의 너비, y<sub>i</sub>=한쪽 기둥면에서의 i번째 탄소나노튜브 도선의 높이, y<sub>i</sub>'=반대쪽 기둥면에서의 i번째 탄소나노튜브 도선의 높이, h = 측정기기의 주입부, 수용부의 높이)

## 청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 거리(Li)에 있는 전기전도성 시멘트 모르타르의 저항값(Ri)과, 상기 거리(Li')에 있는 전기전도성 시멘트 모르타르의 저항값(Ri')는 다음의 수학식으로 산출되는 것을 특징으로 하는

탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법.

[수학식 2]

$$R_i = \rho \cdot A_{\text{구리}} \cdot L_i$$

$$R'_i = \rho \cdot A_{\text{구리}} \cdot L'_i$$

(여기서, Ri=측정기기의 주입부와 i번째 탄소나노튜브 도선까지의 거리에 있는 전기전도성 시멘트 모르타르를 저항으로 산출한 값, Ri'=i번째 탄소나노튜브 도선과 측정기기의 수용부까지의 거리에 있는 전기전도성 시멘트 모르타르를 저항으로 산출한 값, A<sub>구리</sub>=측정기기의 주입부, 수용부의 단면적(구리), ρ=전기전도성 시멘트 모르타르의 비저항값)

## 청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 저항값(Ri) 및 저항값(Ri')는 탄소나노튜브 도선을 통해 직렬로 연결되며,

전류측정장치의 위치 h에서의 저항값(Rh)는 상기 저항값(Ri) 및 저항값(Ri')이 직렬로 연결된 저항값(R<sub>1</sub>)가 병렬로 연결되며, 다음의 수학식을 통해 산출되는 것을 특징으로 하는

탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법.

[수학식 3]

$$R_I = R_i + R_i'$$

$$R_h = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_i}}$$

(여기서,  $R_I$ =측정기기의 주입부-탄소나노튜브 도선, 탄소나노튜브도선-측정기기의 수용부까지의 저항을 직렬연결로 더하여 산출된 저항값,  $R_h$ = i개의 탄소나노튜브 도선까지의 직렬연결된 저항값을 병렬연결로 더하여 산출된 저항값으로서, 기둥 높이 h에서의 최종 합성저항 값)

#### 청구항 14

청구항 8에 있어서,

상기 S400 단계에서, 휨균열을 추정하는 한계값(%<sub>threshold flexure</sub>)과 전단균열을 추정할 수 있는 한계값(%<sub>threshold shear</sub>)은 다음의 수학식으로 산출되는 것을 특징으로 하는

탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법.

[수학식 4]

$$\%_{threshold_{flexure}} = \frac{d_{flexure}}{b_2} \cdot 100(\%)$$

$$\%_{threshold_{shear}} = \frac{d_{shear}}{d_{flexure}} \cdot \frac{d_{flexure}}{b_2} \cdot 100(\%)$$

(여기서, %<sub>threshold flexure</sub>= 휨균열이 발생했을 때, 균열을 추정할 수 있는 한계값, %<sub>threshold shear</sub>=전단균열이 발생했을 때, 균열을 추정할 수 있는 한계값,  $d_{flexure}$ = 휨균열 추정하기 위해 설치한 탄소나노튜브 도선 간격,  $d_{shear}$ =전단균열을 추정하기 위해 설치한 탄소나노튜브 도선 간격,  $b_2$ =보강 후 기둥의 너비)

#### 청구항 15

청구항 14에 있어서,

상기 S500 단계에서, 정상 상태의 기둥과 균열의심 상태의 기둥에서의 전류차이인 오차값(Error(%))이 다음의 수학식으로 산출되는 것을 특징으로 하는

탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법.

[수학식 5]

$$Error(\%) = \frac{(I_{normal} - I_{crack})}{I_{normal}} \cdot 100$$

(여기서, **Error**(%)= 균열이 발생하지 않은 기둥과 균열이 의심되는 기둥에서의 전류차이를 %오차를 통해 백분율로 나타낸 값,  $I_{normal}$ =균열이 발생하지 않은 기둥에서의 전류값(기둥의 높이에 따라 연속적인 값),  $I_{crack}$ =균열이 의심되는 상태의 기둥에서의 전류값(기둥의 높이에 따라 연속적인 값))

#### 청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 오차값이 상기 한계값보다 크거나 같으면, 균열이 발생된 것으로 추정하는 것을 특징으로 하는

탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법.

[수학식 6]

$$Error(\%) \geq \%_{threshold_{measure}}$$

$$Error(\%) \geq \%_{threshold_{hear}}$$

#### 청구항 17

청구항 16에 있어서,

상기 S600 단계에서, 오차값이 한계값보다 크거나 같은 기둥의 높이(h)에 해당되는 위치에서 균열이 발생된 것으로 추정하는 것을 특징으로 하는

탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법.

#### 청구항 18

청구항 17에 있어서,

상기 S600 단계에서, 균열 위치를 탄소나노튜브 도선의 위치와 비교하여, 휨균열이 지배적인 균열 유형, 전단균열이 지배적인 균열 유형 및 복합 균열 유형으로 구분하는 것을 특징으로 하는

탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법.

#### 청구항 19

청구항 18에 있어서,

균열 위치(Hcrack)가 다음 수학식에 해당되면 휨균열로 판단되는 것을 특징으로 하는

탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법.

[수학식 7]

$$0 \leq H_{crack} \leq b \text{ or } h-b \leq H_{crack} \leq h$$

(여기서, h는 기둥의 높이, b는 기둥단면의 너비)

#### 청구항 20

청구항 18에 있어서,

균열 위치(Hcrack)가 다음 수학식에 해당되면 전단균열로 판단되는 것을 특징으로 하는

탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법.

[수학식 8]

$$b < H_{crack} < h-b$$

(여기서, h는 기둥의 높이, b는 기둥단면의 너비)

#### 청구항 21

기둥에 설치된 탄소나노튜브 도선의 위치를 파악하는 위치파악부; 정상 상태의 전류 데이터를 취득하는 정상상태 데이터 취득부; 균열의심 상태의 전류 데이터를 취득하는 균열의심상태 데이터 취득부; 상기 기둥의 균열을 추정할 수 있는 한계값을 산출하는 한계값 산출부; 정상 상태와 균열의심 상태의 전류 및 저항을 비교하여 기둥의 균열 여부를 추정하는 균열여부 추정부; 및 기둥의 균열 위치 및 균열 유형을 추정하는 균열위치유형 추정부를 포함하며,

상기 정상상태 데이터 취득부 및 상기 균열의심상태 데이터 취득부는 전류측정장치의 양 단부를 기둥 외면에 이격배치하고, 전류측정장치의 양 단부가 기둥의 일단에서 타단으로 동등하게 이동되면서, 기둥의 각 높이값에서 연속적으로 전류를 측정하는 것을 특징으로 하는 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가

시스템.

## 청구항 22

청구항 21에 있어서,

상기 탄소나노튜브 도선의 설치는

기존 기둥의 외면에 탄소나노튜브 도선이 설치되는 S10 단계; 및

상기 탄소나노튜브 도선이 설치된 기둥의 외면 상에 전기전도성 시멘트 모르타르를 도포하고 마감하여 기둥이 보강되는 S20 단계를 포함하며,

상기 S10 단계는 기둥을 양 단부 구역과 중앙부의 3개 구역으로 구분하고, 양 단부 구역에는 탄소나노튜브 도선을 사선방향으로 배치하며, 중앙부 구역에는 탄소나노튜브를 횡방향으로 배치하는 것을 특징으로 하는

탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가시스템.

## 청구항 23

삭제

## 청구항 24

하드웨어와 결합되어, 청구항 8, 청구항 9 및 청구항 11 내지 청구항 20 중 어느 한 항에 기재된 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법을 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 휨균열 및 전단균열 평가방법 및 평가시스템에 관한 것이다. 구체적으로는 단면증설공법을 이용한 기둥보강을 하면서 탄소나노튜브 도선을 설치하는 방법, 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법 및 평가시스템과 본 발명에 따른 평가방법이 구현되는 컴퓨터프로그램에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 기둥의 보강은 일반적으로 구조물의 강도가 저하되거나 구조물의 요구 강도를 높일 때 그리고 구조물의 손상이 있을 때 진행된다. 구조물의 강도 저하의 원인으로는 재료적인 문제, 시공상의 결함, 노후화 등이 있고, 구조물의 요구 강도는 건축물의 증축이나 개·보수, 설계변경 등의 과정에서 현행 구조 기준에 부합하기 위해 요구된다. 마지막으로 구조물의 손상이 있을 때는 외력(지진, 해일, 태풍 등의 재난)에 의한 손상이 일어났고 추가적인 피해를 방지하기 위해 시행하게 된다.

[0003] 구조물 강도와 성능을 보강하기 위한 보수 보강법에는 여러 방법이 존재한다. 종래의 기술 중 기둥의 보수·보강법으로 가장 일반적인 방법은 여러 자재(콘크리트, 콘크리트 조적블록, 강재, FRP 복합체) 등을 이용한 단면증설(자켓팅)을 통한 기둥보강법이 존재하며, 복합신소재를 사용한 기둥보강법, 에폭시 접착을 통한 기둥보강법, 강판접착 등과 같은 여러 가지의 보수 보강법이 있다.

[0004] 여러 보수 보강법 중 콘크리트 단면증설을 가장 빈번하게 사용하는 이유로는 시공적 간편화와 경제적인 측면에서 타 보수 보강법에 비해 경제적인 장점이 있다.

[0005] 하지만, 단면증설 보강공법의 가장 대표적인 단점으로 구조적인 측면에서 기존 기둥과 보강체 사이에서 일체성 확보에 대한 문제와 기존 공간의 축소와 같은 문제가 발생한다. 구조적인 문제점으로 보수 보강된 기둥의 일체성이 확보되지 않을 경우, 지진하중과 심각한 구조물 피해를 유발할 수 있는 외력이 가해질 경우에 기둥의 거동이 예상했던 구조 설계 방식과 다르게 일어날 수 있다. 현행 구조 기준(KBC 2016)에서의 보수 보강법에서는 기둥의 보강공법을 수행할 시 기둥의 거동을 일체화로 간주하고 있다.

[0006] 일체성이 확보되지 않은 보강 기둥의 경우 기존 기둥 부분과 새로 보강한 기둥 부분에서 하중 분담 비율이 달라질 수 있다. 하중 분담 비율이 달라지는 경우, 기둥의 기존 부분과 보강된 부분에서 힘을 받는 비율이

달라지고, 일부 집중적으로 힘을 받는 부분에서 보유 강도보다 큰 하중을 받게되는 결과가 벌어진다. 보유 강도보다의 큰 하중은 기존 기둥 또는 보강된 기둥 부분에서 균열을 초래할 수 있고, 기둥의 균열은 부재력 저하를 초래하며, 전체 구조물의 파괴 및 붕괴를 유발하여 결과적으로 구조물의 파괴 및 붕괴는 경제적, 인명적, 사회적 손실을 초래할 수 있다.

[0007] 기둥에서 균열이 발생한 경우, 일반적인 기둥에서는 균열의 기둥의 외측에 발생하기 때문에 외관으로 확인이 가능하며, 균열의 정도에 따라 구조적인 손상과 위험 정도를 확인할 수 있다.

[0008] 하지만, 단면증설 보강공법으로 보강이 진행된 기둥은 기둥의 일반적인 경우와 다르게 접근해야 한다. 단면증설 보강기둥의 경우 균열은 눈에 띄지 않는 내부 기존 기둥과 외부 보강된 기둥 어디에서도 발생할 수 있다. 외부 보강된 기둥에서 균열이 발생한 경우는 일반적인 기둥의 경우와 동등한 상황으로 간주할 수 있으며 균열을 사전에 파악하여 큰 문제를 유발하지 않는다. 균열이 내부에 기존 기둥에 발생했을 경우 문제는 달라진다. 기둥에 발생하는 균열은 크게 휨균열과 전단균열로 나눌 수 있다. 균열 중 휨균열이 심화될수록 구조물이 서서히 파괴되는 연성적인 거동을 유발하며, 전단균열이 심화될 경우 구조물을 일순간에 무너지게 하는 취성파괴의 원인이 된다. 그러므로 구조물에서는 기둥의 전단균열이 발생할 경우 구조물의 붕괴로 경제적, 인명적 치명적인 피해를 유발한다.

[0009] 단면증설로 보강된 기둥에서는 내부 기둥에서 전단균열이 발생할 수 있으며, 외관으로 확인이 안되는 균열이기 때문에, 균열이 발생 시 사전에 방지할 수 없다. 결과적으로 단면증설 보강기둥에서 내부 기둥의 균열은 구조물의 취성파괴를 유발하는 상황이 발생할 가능성이 있음에도 불구하고, 기존 내부 기둥의 손상 및 균열 측정에 관한 기술은 부족한 실정이다.

[0010] 또한, 종래기술은 균열의 발생여부를 확인하는 데 필요한 기술만을 제시하고 있을 뿐, 구조물의 손상과 파괴에 중요한 균열의 유형, 크기, 발생 위치를 제시하지 못하고 있으며, 균열을 측정하는 부분이 구조물, 부재의 외측면에 국한되어 있어 단면증설 보강기둥에는 적합하지 않다. 또한 적용 대상이 신축되는 구조물이나 부재로 국한되어 있기 때문에, 기존 구조물에서 균열을 측정하는 데에는 적합하지 않고, 보강이 적용될 경우 발생 가능한 균열이나 내부 구조물에서의 균열의 여부, 크기, 위치 등을 측정하는 기술은 제시하지 못하고 있는 실정이다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) (문헌 1) 대한민국 공개특허공보 제10-2016-0085559호(2016.07.18)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0012] 본 발명에 따른 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법 및 평가시스템은 다음과 같은 해결과제를 가진다.

[0013] 첫째, 탄소나노튜브가 기둥에 설치되는 구성을 제시하고자 한다.

[0014] 둘째, 기둥의 균열여부 뿐만 아니라, 균열위치 및 균열유형을 제시하고자 한다.

[0015] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어질 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0016] 본 발명은 단면증설공법을 이용한 기둥보강을 하면서 탄소나노튜브 도선을 설치하는 방법으로서, 기존 기둥의 외면에 탄소나노튜브 도선이 설치되는 S10 단계; 및 상기 탄소나노튜브 도선이 설치된 기둥의 외면 상에 전기전도성 시멘트 모르타르를 도포하고 마감하여 기둥이 보강되는 S20 단계를 포함하며, 상기 S10 단계는 상기 기둥을 양 단부 구역과 중앙부의 3개 구역으로 구분하고, 양 단부 구역에는 탄소나노튜브 도선을 사선방향으로 배치하며, 중앙부에는 탄소나노튜브를 횡방향으로 배치하는 것을 특징으로 한다.

[0017] 본 발명에 있어서, 상기 기둥의 중앙부 구역에서, 탄소나노튜브 도선은 동일 높이에서 횡방향으로 기둥을 일체



로 연결되어 둘러싸도록 구비되어, 상하 이격 배치되는 것이 바람직하다.

- [0018] 본 발명에 있어서, 상기 기둥의 중앙부 구역에서, 기둥을 수평방향으로 복수의 면으로 분할하고, 탄소나노튜브 도선은 일 면에 횡방향으로 구비되어, 상하 이격 배치되며, 인접한 타면과는 다른 높이에 구비되는 것이 바람직하다.
- [0019] 본 발명에 있어서, 상기 기둥이 원형 기둥인 때에는, 상기 기둥의 양 단에서, 원형 기둥의 단면의 지름(D)에 해당되는 구역이 양 단부이고, 양 단부를 제외한 구역이 중앙부인 것이 바람직하다.
- [0020] 본 발명에 있어서, 상기 기둥이 타원형 기둥인 때에는, 상기 기둥의 양 단에서, 타원형 기둥의 단면의 장지름(D')에 해당되는 구역이 양 단부이고, 양 단부를 제외한 구역이 중앙부인 것이 바람직하다.
- [0021] 본 발명에 있어서, 상기 기둥이 정사각형 기둥인 때에는, 상기 기둥의 양 단에서, 정사각형 기둥 단면의 너비(b)에 해당되는 구역이 양 단부이고, 양 단부를 제외한 구역이 중앙부인 것이 바람직하다.
- [0022] 본 발명에 있어서, 상기 기둥이 직사각형 기둥인 때에는, 상기 기둥의 양 단에서, 직사각형 기둥 단면의 너비 중 짧은 너비(b')에 해당되는 구역이 양 단부이고, 양 단부를 제외한 구역이 중앙부인 것이 바람직하다.
- [0023] 본 발명은 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법에 관한 것으로서, 위치파악부가 기둥에 설치된 탄소나노튜브 도선의 위치를 파악하는 S100 단계; 정상상태 데이터 취득부가 정상 상태의 전류 데이터를 취득하는 S200 단계; 균열의심상태 데이터 취득부가 균열의심 상태의 전류 데이터를 취득하는 S300 단계; 한계값 산출부가 상기 기둥의 균열을 추정할 수 있는 한계값을 산출하는 S400 단계; 균열여부 추정부가 정상 상태와 균열의심 상태의 전류 및 저항을 비교하여 기둥의 균열 여부를 추정하는 S500 단계; 및 균열위치유형 추정부가 기둥의 균열 위치 및 균열 유형을 추정하는 S600 단계를 포함한다.
- [0024] 본 발명에 있어서, 상기 S100 단계에서 탄소나노튜브 도선의 설치는
- [0025] 기존 기둥의 외면에 탄소나노튜브 도선이 설치되는 S10 단계; 및
- [0026] 상기 탄소나노튜브 도선이 설치된 기둥의 외면 상에 전기전도성 시멘트 모르타르를 도포하고 마감하여 기둥이 보강되는 S20 단계를 포함하며,
- [0027] 상기 S10 단계는 기둥을 양 단부 구역과 중앙부의 3개 구역으로 구분하고, 양 단부 구역에는 탄소나노튜브 도선을 사선방향으로 배치하며, 중앙부에는 탄소나노튜브를 횡방향으로 배치하는 것이 바람직하다.
- [0028] 본 발명에 있어서, 상기 S200 단계 및 상기 S300 단계는 전류측정장치의 양 단부를 기둥 외면에 이격배치하고, 전류측정장치의 양 단부가 기둥의 일단에서 타단으로 동등하게 이동되면서, 기둥의 각 높이값에서 연속적으로 전류를 측정하는 것이 바람직하다.
- [0029] 본 발명에 있어서, 상기 S600 단계에서, 오차값이 한계값보다 크거나 같은 기둥의 높이(h)에 해당되는 위치에서 균열이 발생된 것으로 추정하는 것이 바람직하다.
- [0030] 본 발명에 있어서, 상기 S600 단계에서, 균열 위치를 탄소나노튜브 도선의 위치와 비교하여, 휨균열이 지배적인 균열 유형, 전단균열이 지배적인 균열 유형 및 복합 균열 유형으로 구분하는 것이 바람직하다.
- [0031] 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가시스템으로서, 기둥에 설치된 탄소나노튜브 도선의 위치를 파악하는 위치파악부; 정상 상태의 전류 데이터를 취득하는 정상상태 데이터 취득부; 균열의심 상태의 전류 데이터를 취득하는 균열의심상태 데이터 취득부; 상기 기둥의 균열을 추정할 수 있는 한계값을 산출하는 한계값 산출부; 정상 상태와 균열의심 상태의 전류 및 저항을 비교하여 기둥의 균열 여부를 추정하는 균열여부 추정부; 및 기둥의 균열 위치 및 균열 유형을 추정하는 균열위치유형 추정부를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0032] 본 발명은 컴퓨터 프로그램으로서, 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법을 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램인 것이 바람직하다.

### 발명의 효과

- [0046] 본 발명에 따른 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법 및 평가시스템은 다음과 같은 효과를 가진다.
- [0047] 첫째, 기둥을 양단부와 중앙부로 구분하여 탄소나노튜브를 각 구역에서 달리 설치하여 균열을 용이하게 판단하

는 효과가 있다.

[0048] 둘째, 기둥의 균열여부 뿐만 아니라, 균열위치 및 균열유형을 용이하게 파악하는 효과가 있다.

[0049] 셋째, 측정된 균열 정보를 통해 건축물에서 기둥의 현재 상태를 진단하게끔 하여, 초래될 수 있는 예기치 못한 구조물의 균열이나 파괴, 붕괴 등을 사전에 막을 수 있는 효과가 있다.

[0050] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어 질 수 있을 것이다.

### 도면의 간단한 설명

[0051] 도 1은 본 발명에 따른 단면증설 보강 전 기둥에서 단면의 방향에 따라 임의의 구획( $n=4, 8$ )을 나눈 것을 나타낸 모식도이다.

도 2는 본 발명에 따른 보강 전 기둥에서의 높이에 따라 휨, 전단균열이 지배되는 지역으로 구획을 나눈 것을 나타낸 모식도이다.

도 3은 본 발명에 따른 보강 전 예제 사각기둥에서 단면의 방향과 높이에 따라 구획을 하고 탄소나노튜브를 설치한 것을 나타낸 모식도와 전개도이다.

도 4는 본 발명에 따른 기둥 상단부에 설치된 휨균열 대비 탄소나노튜브와 기둥 중앙부에 설치된 전단균열 대비 탄소나노튜브를 3D 이미지로 나타낸 것이다.

도 5는 본 발명에 따른 보강 전, 후의 기둥 단면의 도면이다.

도 6은 본 발명에 따른 측정기기에서 탄소나노튜브까지의 거리를 구하는 식을 나타낸 모식도이다.

도 7은 본 발명에 따른 측정기기가 보강 후 기둥에서 어떻게 측정되는 방법을 나타내는 3D 이미지이다.

도 8은 본 발명에 따른 측정기기로부터 도선까지의 길이의 합을 통해 측정기기의 높이가 달라질 때의 가변저항값을 모식도로 나타낸 것이다.

도 9는 본 발명에 따른 균열이 일어나지 않은 기둥의 정상 상태에서 기둥 높이에 따른 전류값과 저항값을 도출한 그래프이다.

도 10은 본 발명에 균열의 측정 방법을 구하기 위해 임의의 균열의 경우를 2가지 가정한 3D 이미지이다.

도 11은 본 발명에서 임의의 균열이 발생했을 때 2가지에서 측정기기로부터 측정된 전류값과 저항값 도출결과를 그래프로 나타낸 것이다.

도 12는 임의의 균열이 발생했을 때의 그래프와 기둥에 균열이 없는 정상상태의 그래프를 함께 도출해 놓은 그래프이다.

도 13은 제안된 수학적식에 따라서 균열의 임계값을 도출 후 균열 발생 예측 지역을 추정해 놓은 그래프이다.

도 14는 본 발명에 따른 보강 전 기둥을 보강하는 과정에서 전류, 저항을 측정하고 기준값을 설정하는 과정의 모식도를 나타낸 것이다.

도 15는 본 발명에 따라 보강 후 균열이 의심되는 상태에서 전류, 저항을 측정하여 도 14의 데이터베이스와 기준값의 데이터를 이용하여 1단계로 균열의 발생을 확인하며, 2단계로 탄소나노튜브 데이터베이스를 활용하여 균열이 발생한 지점을 유추하고, 3단계로 균열의 발생 양상에 대해 추적하는 과정의 모식도를 나타낸 것이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0052] 이하, 첨부한 도면을 참조하여, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 설명한다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 이해할 수 있는 바와 같이, 후술하는 실시예는 본 발명의 개념과 범위를 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 형태로 변형될 수 있다. 가능한 한 동일하거나 유사한 부분은 도면에서 동일한 도면부호를 사용하여 나타낸다.

[0053] 본 명세서에서 사용되는 전문용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지는 않는다. 여기서 사용되는 단수 형태들은 문구들이 이와 명백히 반대의 의미를 나타내지 않는 한 복수 형태들도 포함한다.

- [0054] 본 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.
- [0055] 본 명세서에서 사용되는 기술용어 및 과학용어를 포함하는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 의미와 동일한 의미를 가진다. 사전에 정의된 용어들은 관련기술문헌과 현재 개시된 내용에 부합하는 의미를 가지는 것으로 추가 해석되고, 정의되지 않는 한 이상적이거나 매우 공식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0057] 본 발명은 탄소나노튜브와 전기전도성 시멘트 모르타르를 이용한 기둥의 단면증설 보강공법에서 기존 기둥 균열 평가방법에 관한 것이다. 본 발명은 전기전도성 시멘트 모르타르의 비저항값과 탄소나노튜브 도선의 저항 차이를 이용하여 단면이 증설보강된 기둥의 내부 기둥에서 휨 및 전단 균열을 확인하는 방법에 관한 것이다.
- [0058] 상세하게는 탄소나노튜브를 보강 전 기존 기둥의 휨균열과 전단균열이 지배적으로 발생하는 위치에 설치하는 과정을 거치고, 단면증설 보강 과정을 진행한 후, 보강 이후 간단한 회로에서 검류계를 통해 기둥 높이에 따라 변화되는 전류와 저항을 측정하고, 결과 값을 분석하여 보강 후 기존 기둥에서의 균열의 양상(휨, 전단)과 균열의 크기까지 측정하는 기술에 관한 것이다.
- [0059] 본 발명은 탄소나노튜브를 이용한 단면증설 보강기둥에서 휨 및 전단균열의 평가 방법에 관한 것으로, 단면증설로 보강된 내부 기둥에서 균열이 발생하여 기둥의 보유 성능 저감이 일어나고 균열로 인한 전체 구조 시스템에서 성능 저감 심화로 인한 구조물 파괴나 붕괴를 유발할 수 있기 때문에, 피해를 방지하기 위한 구조물 사전 안전 진단을 목적으로 한다.
- [0060] 균열을 측정하는 세부적인 방법으로 단면 보강이 적용될 기둥에서 보강 전 기존 기둥의 외부에 얇은 탄소나노튜브로 구성된 도선을 설치하는 도선설치 단계와, 전기전도성 시멘트 모르타르를 타설하는 기둥보강단계와, 보강 후 균열이 없는 정상 상태의 전류, 저항값의 기준을 확인하기 위한 계측단계와, 임의의 균열이 발생했을 것으로 예상하여 기둥에서 간단한 회로를 구성하여 전류, 저항을 측정하는 측정단계와, 측정값을 분석하여 그 결과값을 토대로 균열의 발생위치와 균열의 크기를 분석하는 분석단계와, 균열의 크기와 발생위치 상태를 토대로 구조물의 보유 성능 확보 여부를 판단하는 보유성능 판단단계로 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0062] 이하에서는 도면을 참고하여 본 발명을 설명하고자 한다.
- [0063] 본 발명은 단면증설공법을 이용한 기둥보강을 하면서 탄소나노튜브 도선을 설치하는 방법을 포함한다.
- [0064] 본 발명은 기존 기둥(10)의 외면에 탄소나노튜브 도선(20)이 설치되는 S10 단계; 및 상기 탄소나노튜브 도선(20)이 설치된 기둥의 외면 상에 전기전도성 시멘트 모르타르(30)를 도포하고 마감하여 기둥이 보강되는 S20 단계를 포함하며, 상기 S10 단계는 기둥을 양 단부(11,12) 구역과 중앙부(13)의 3개 구역으로 구분하고, 양 단부 구역에는 탄소나노튜브 도선을 사선방향으로 배치하며, 중앙부에는 탄소나노튜브를 횡방향으로 배치하는 것을 특징으로 한다.
- [0065] 본 발명에 있어서, 기둥의 양 단부(11,12) 구역에 배치되는 탄소나노튜브 도선(20)은 일체로 연결되어 기둥을 둘러싸도록 구비되는 실시예가 가능하다. 또한, 탄소나노튜브 도선(20)은 단부(11,12) 구역과 중앙부 구역(13)의 경계선까지만 배치되므로 일체로 연결되지 않는 실시예도 가능하다.
- [0066] 본 발명에 있어서, 기둥의 중앙부(13) 구역에서, 탄소나노튜브 도선(20)은 동일 높이에서 횡방향으로 기둥을 일체로 연결되어 둘러싸도록 구비되어, 상하 이격 배치되는 것이 가능하다.
- [0067] 본 발명에 있어서, 기둥의 중앙부(13) 구역에서, 기둥을 수평방향으로 복수의 면으로 분할하고, 탄소나노튜브 도선은 일 면에 횡방향으로 구비되어, 상하 이격 배치되며, 인접한 타면과는 다른 높이에 구비될 수도 있다(도 3 및 도 4 참조).
- [0068] 본 발명은 다음과 같은 다양한 형태의 기둥에 적용될 수 있으며, 이 경우, 양 단부의 구역을 설정하는 방법은 다음과 같다.
- [0069] 본 발명에 있어서, 기둥이 원형 기둥인 때에는, 상기 기둥의 양 단에서, 원형 기둥의 단면의 지름(D)에 해당되는 구역이 양 단부이고, 양 단부를 제외한 구역이 중앙부인 것이 바람직하다.
- [0070] 본 발명에 있어서, 기둥이 타원형 기둥인 때에는, 상기 기둥의 양 단에서, 타원형 기둥의 단면의 장지름(D')에

해당되는 구역이 양 단부이고, 양 단부를 제외한 구역이 중앙부인 것이 바람직하다.

- [0071] 본 발명에 있어서, 기둥이 정사각형 기둥인 때에는, 상기 기둥의 양 단에서, 정사각형 기둥 단면의 너비(b)에 해당되는 구역이 양 단부이고, 양 단부를 제외한 구역이 중앙부인 것이 바람직하다.
- [0072] 본 발명에 있어서, 기둥이 직사각형 기둥인 때에는, 상기 기둥의 양 단에서, 직사각형 기둥 단면의 너비 중 짧은 너비(b')에 해당되는 구역이 양 단부이고, 양 단부를 제외한 구역이 중앙부인 것이 바람직하다.
- [0073] 본 발명에 있어서, 양 단부 구역을 정하기 위해 고려되는 지름과 너비는 기존 기둥의 지름과 너비에 해당되며, 보강된 부분의 두께는 고려하지 않는 것으로 한다.
- [0075] 도면을 참조하여 추가 설명을 하면 다음과 같다.
- [0076] 도 1은 X-Y 평면에서의 균열 추정 정확성 높이는 방법에 관한 것으로서, 본 발명에 따른 단면증설 보강 전 기둥에서 단면의 방향에 따라 임의의 구획(n=4, 8)을 나눈 것을 나타낸 모식도이다.
- [0077] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 일반적인 보강 전 기둥에서 기둥의 형태에 따라 외측면을 기둥 단면의 평면 방향으로 분할한 것을 확인할 수 있다. 본 발명에서는 기둥 단면을 임의의 n개로 분할하여 x-y평면에서의 균열 세부위치를 추정하는 정확성을 높일 수 있다. 외측면을 분할하는 과정은 탄소나노튜브를 설치하는 단계를 위한 것이다.
- [0078] 도 1에 포함된 내용은 임의로 분할하는 개수를 각각 구획을 4개, 8개로 분할한 예제 모식도이다. 외측면에서 탄소나노튜브 설치를 위해 분할하는 구획은 균열 발생위치를 정확하게 파악하기 위한 단계이다.
- [0080] 도 2는 X-Z 평면에서의 균열 추정의 정확성 높이는 방법에 관한 것으로서, 본 발명에 따른 보강 전 기둥에서의 높이에 따라 휨, 전단균열이 지배되는 지역으로 구획을 나눈 것을 나타낸 모식도이다.
- [0081] 도 2는 기둥 단면의 평면 방향으로 분할한 외측면을 기둥의 높이 방향으로 분할하는 과정을 나타낸 모식도이다. 기둥의 높이 방향으로 분할하는 과정은 균열이 발생할 때 지배적인 위치가 단면의 너비에 따라 휨균열, 전단균열이 지배적인 위치로 나누어지기 때문에 균열의 유형에 따라 다른 탄소나노튜브 설치를 필요로 한다.
- [0082] 휨균열의 경우, 사각기둥의 경우 단면의 너비(b)만큼, 원형기둥의 경우 단면의 지름(D)만큼 양단부 기준으로 지배적으로 발생하며, 전단균열의 경우 양단부에서 휨균열이 지배적인 부분을 제외한 중앙부에서 지배적으로 발생하게 된다.
- [0084] 도 3은 X-Y, X-Z 평면에서의 균열 추정의 정확성을 높이는 방법에 관한 것으로서, 본 발명에 따른 보강 전 예제 사각기둥에서 단면의 방향과 높이에 따라 구획을 하고 탄소나노튜브를 설치한 것을 나타낸 모식도와 전개도이다.
- [0085] 도 3은 탄소나노튜브를 설치한 예제 사각기둥의 전개도를 나타낸 것이다. 도 3에서는 도 1에 따라 기둥의 단면 방향으로 구획하였고(n=2), 구획에 따라 양측면의 탄소나노튜브의 높이가 달라짐으로써 기둥의 2개의 면에 따라 균열이 발생한 위치를 구별할 수 있다.
- [0086] 또한, 탄소나노튜브의 설치 높이에 따라 도 2에서 구획한 단면의 높이만큼의 구획을 통해 3개의 구역으로 나뉜다. 기둥의 양단부 구역은 휨균열의 발생 양상이 수평적으로 촘촘한 간격으로 발생하기 때문에, 대각방향으로 촘촘하게 설치하였고, 전단균열의 발생이 지배적인 기둥의 중앙부는 균열 발생양상이 대각방향으로 발생하기 때문에 수평방향으로 설치하였고, 이에 따른 간격은 상대적으로 휨균열에 비해 크게 설치하였다.
- [0088] 한편, 탄소나노튜브의 물리적 성질을 이용한 측정에 관하여 살펴보면 다음과 같다. 탄소나노튜브의 설치는 적당한 인장(10-12%)상태를 기준으로 하였고, 탄소나노튜브의 물리적 성질로 약 15%의 인장이 발생하면 파괴가 일어나기 때문에, 균열의 발생과 함께 탄소나노튜브의 인장에 따른 파괴를 유도하였다. 탄소나노튜브가 파괴될 경우, 물리적 성질로 인하여 고무줄과 같이 수축하여 단절과 유실을 유도할 수 있게 부착한다. 또한, 탄소나노튜브의 경우 제작에 따른 파괴 발생 오차가 크지 않다는 물리적 성질을 이용하였다.
- [0090] 도 4는 도 3에서 모델의 모식도를 3D 모델을 통해 나타낸 이미지에 관한 것으로서, 본 발명에 따른 기둥 상단부에 설치된 휨균열 대비 탄소나노튜브와 기둥 중앙부에 설치된 전단균열 대비 탄소나노튜브를 3D 이미지로 나타낸 것이다.
- [0091] 도 4는 예제 사각기둥에서 보강 전 기둥에 탄소나노튜브를 설치한 3D 모식도이다. 황색 선으로 표시된 부분이 대각 방향으로 설치된 휨균열을 대비한 탄소나노튜브이고, 붉은색 선으로 표시된 부분이 기둥의 중앙부에 전단

균열을 대비한 탄소나노튜브이다.

- [0093] 도 5는 단면증설 공법을 적용하여 기둥을 보강한 예제 모델에 관한 것으로서, 본 발명에 따른 보강 전, 후의 기둥 단면의 도면이다.
- [0094] 도 5는 보강 전·후의 콘크리트 단면도이다. 전기전도성 시멘트 모르타르로 보강되는 보강 기둥의 압축강도는 약 30MPa의 압축강도를 물리적 성질로 갖고, 30MPa의 압축강도를 갖는 시멘트 모르타르의 경우, 기둥의 보강체, 구조재로써의 성능을 확보할 수 있다.
- [0096] 본 발명은 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법으로 구현될 수 있다. 이하에서 상세하게 설명하고자 한다.
- [0097] 본 발명에 따른 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법은 위치과약부(100)가 기둥에 설치된 탄소나노튜브 도선(20)의 위치를 파악하는 S100 단계; 정상상태 데이터 취득부(200)가 정상 상태의 전류 데이터를 취득하는 S200 단계; 균열의심상태 데이터 취득부(300)가 균열의심 상태의 전류 데이터를 취득하는 S300 단계; 한계값 산출부(400)가 상기 기둥의 균열을 추정할 수 있는 한계값을 산출하는 S400 단계; 균열여부 추정부(500)가 정상 상태와 균열의심 상태의 전류 및 저항을 비교하여 기둥의 균열 여부를 추정하는 S500 단계; 및 균열위치유형 추정부(600)가 기둥의 균열 위치 및 균열 유형을 추정하는 S600 단계를 포함한다.
- [0099] 본 발명에 따른 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법에서 탄소나노튜브(20)의 설치방법은 전술한 방법을 이용할 수 있다.
- [0100] 구체적으로, 상기 S100 단계에서 탄소나노튜브 도선(20)의 설치하는 기존 기둥의 외면에 탄소나노튜브 도선이 설치되는 S10 단계; 및 상기 탄소나노튜브 도선이 설치된 기둥의 외면 상에 전기전도성 시멘트 모르타르를 도포하고 마감하여 기둥이 보강되는 S20 단계를 포함하며, 상기 S10 단계는 기둥을 양 단부와 중앙부의 3개 구역으로 구분하고, 양 단부 구역에는 탄소나노튜브 도선을 사선방향으로 배치하며, 중앙부에는 탄소나노튜브를 횡방향으로 배치할 수 있다
- [0102] 본 발명에 있어서, 상기 S200 단계 및 상기 S300 단계는 전류측정장치(40)의 양 단부를 기둥 외면에 이격배치하고, 전류측정장치의 양 단부가 기둥의 일단에서 타단으로 동등하게 이동되면서, 기둥의 각 높이값에서 연속적으로 전류를 측정할 수 있다(도 7 참조).
- [0104] 본 발명에 따른 S200 단계는 정상상태 데이터 취득부(200)가 정상 상태의 전류 데이터를 취득하는 단계이다.
- [0105] 본 발명에 있어서, 전류측정장치(40)의 주입단(41)으로부터  $i$ 번째 탄소나노튜브 도선까지의 거리( $L_i$ ) 및  $i$ 번째 탄소나노튜브 도선으로부터 전류측정장치의 수용단(42)까지의 거리( $L_i'$ )는 수학식 1로 산출될 수 있다.

### 수학식 1

$$L_i = \sqrt{\left[\frac{b_2 - b_1}{2}\right]^2 + (y_i - h)^2}$$

$$L_i' = \sqrt{\left[\frac{b_2 - b_1}{2}\right]^2 + (y_i' - h)^2}$$

[0106]

- [0107] 여기서,  $L_i$ = 측정기기 주입부로부터  $i$ 번째 탄소나노튜브 도선까지의 거리,  $L_i'$ = $i$ 번째 탄소나노튜브 도선으로부터 측정기기 수용부까지의 거리,  $b_2$ =보강 후 기둥의 너비,  $b_1$ =보강 전 기둥의 너비,  $y_i$ =한쪽 기둥면에서의  $i$ 번째 탄소나노튜브 도선의 높이,  $y_i'$ =반대쪽 기둥면에서의  $i$ 번째 탄소나노튜브 도선의 높이,  $h$  = 측정기기의 주입부, 수용부의 높이이다.

- [0109] 도 6은 본 발명에 따른 측정기기에서 탄소나노튜브까지의 거리를 구하는 식을 나타낸 모식도이다.

- [0110] 도 6에 있는 모식도는 보강 기둥에서의 전류 측정 위치에 따른 임의의  $i$ 번째 도선까지의 거리를 산정한 모식도를 나타낸 것이다.

- [0111] 흑연을 시멘트의 전체 골재 중 약 17%를 혼입한 시멘트 모르타르의 비저항값은  $\rho = 353.50 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$  이다. 일반적



인 탄소나노튜브의 저항값은 매우 작은 값을 갖는다(비저항값과 1000배 이상 차이).

[0112] 보강 후의 기둥에서 전류 및 저항을 측정하는 방법은 다음과 같다. 탄소나노튜브와 전기전도성 시멘트 모르타르의 저항값이 100배 이상 차이가 나기 때문에, 보강 후 기둥에서 전기회로를 구성하여 저항값과 전류값을 측정하게 될 경우 전류의 흐름은 측정기기 도선→(전기전도성 시멘트 모르타르→탄소나노튜브→전기전도성시멘트 모르타르)→측정기기 도선 과정을 따르고, 상기 ( ) 안의 부분이 기둥 부분으로 합성저항으로 산출하여 계산할 수 있게 된다.

[0113] 일반적으로 전류는 저항이 낮은 값으로 흐르는 물리적 성질을 이용하였다. 또 전류, 저항의 물리적 성질로 합성 저항에서 저항이 100배 이상 차이가 나게 되면, 100배 정도 낮은 저항값은 '0'의 값을 갖게 계산해도 큰 오차가 없다는 점을 이용하여, 상기 ( ) 안에서의 합성저항은 전기전도성 시멘트 모르타르를 통과하여 도선까지 가는 거리만을 저항값으로 계산할 수 있다. 수학적 1을 통해 전기전도성 모르타르에서 각각의 도선까지 이르는 식을 나타내었다.

[0115] 본 발명에 있어서, 거리(Li)에 있는 전기전도성 시멘트 모르타르의 저항값(Ri)과, 거리(Li')에 있는 전기전도성 시멘트 모르타르의 저항값(Ri')는 다음의 수학적 2로 산출될 수 있다.

### 수학적 2

$$R_i = \rho \cdot A_{\text{구리}} \cdot L_i$$

$$R_i' = \rho \cdot A_{\text{구리}} \cdot L_i'$$

[0117] 여기서, Ri=측정기기의 주입부와 i번째 탄소나노튜브 도선까지의 거리에 있는 전기전도성 시멘트 모르타르를 저항으로 산출한 값, Ri'=i번째 탄소나노튜브 도선과 측정기기의 수용부까지의 거리에 있는 전기전도성 시멘트 모르타르를 저항으로 산출한 값, A<sub>구리</sub>=측정기기의 주입부, 수용부의 단면적(구리), ρ=전기전도성 시멘트 모르타르의 비저항값이다.

[0119] 도 7은 본 발명에 따른 측정기기가 보강 후 기둥에서 어떻게 측정되는 방법을 나타내는 3D 이미지이다. 도 7은 도 6에서 산출한 거리가 측정기기의 높이에 따라 변화함에 따라 나타낸 모식도로서, h가 변화함에 따라서 수학적 1이 변화한다. 도 7은 보강 후 기둥에서의 전류 측정기기를 설치한 모식도를 나타낸다. 측정 기기의 끝부분이 구리로 구성되어 있는 회로도, 기둥의 제일 상단부에서 양측에 설치되어 전류 및 저항값을 측정하고, 회로도가 화살표 방향으로 양측 기둥의 중앙부 선을 따라 동등하게 내려가며 각각의 기둥의 높이 값에서 연속적으로 전류를 측정하게 된다.

[0121] 도 8은 본 발명에 따른 측정기기로부터 도선까지의 길이의 합을 통해 측정기기의 높이가 달라질 때의 가변저항 값을 모식도로 나타낸 것이다. 도 8은 도 7에서 측정기기의 높이가 변화함에 따라 측정기기-탄소나노튜브의 거리가 변화, 측정기기-탄소나노튜브의 거리를 수학적 2와 3을 통해 전기전도성 시멘트 모르타르의 비저항값과 측정기기의 반경을 통해 저항으로 산출하여 나타낸 가변저항 회로도이다. 도 8은 전류 측정기기를 설치했을 때의 기둥에서의 저항값을 계산한 것을 나타낸다. 회로가 기둥의 높이에 따라 수직적으로 도 7과 같이 연속적으로 이동할 때, 측정기기부터 탄소나노튜브까지의 길이는 계속 변화한다. 따라서, 기기의 측정점이 변화할 때의 가변 저항을 나타내었고, 가변 저항 값은 측정기기-도선까지의 거리와 전기전도성 시멘트 모르타르의 비저항값과 회로 전선에 사용된 구리 접지면의 면적의 곱과 같이 수학적 2로 나타낼 수 있다.

[0123] 본 발명에 있어서, 저항값(Ri) 및 저항값(Ri')는 탄소나노튜브 도선을 통해 직렬로 연결되며, 전류측정장치(40)의 위치 h에서의 저항값(Rh)는 상기 저항값(Ri) 및 저항값(Ri')이 직렬로 연결된 저항값(R<sub>I</sub>)가 병렬로 연결되며, 다음의 수학적 3을 통해 산출될 수 있다.

### 수학적 3

$$R_I = R_i + R_i'$$

$$R_h = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_i}}$$

- [0125] 여기서,  $R_i$ =측정기기의 주입부-탄소나노튜브 도선, 탄소나노튜브도선-측정기기의 수용부까지의 저항을 직렬연결로 더하여 산출된 저항값,  $R_h = i$ 개의 탄소나노튜브 도선까지의 직렬연결된 저항값을 병렬연결로 더하여 산출된 저항값으로서, 기둥 높이  $h$ 에서의 최종 합성저항 값이다.
- [0126]  $i$ 번째 도선까지의 거리를 통해 산정한 저항값  $R_i, R_i'$  은 탄소나노튜브를 통해 직렬로 연결된다. 그리고 전류 측정기기 위치  $h$ 에서의 저항값  $R_h$ 는 저항의 병렬연결 수식을 통하여 산출할 수 있다.
- [0128] 도 9는 본 발명에 따른 균열이 일어나지 않은 기둥의 정상 상태에서 기둥 높이에 따른 전류값과 저항값을 도출한 그래프이다. 도 9는 균열이 발생하지 않은 정상상태에서의 높이-전류, 저항 그래프를 나타낸다. 도 9는 전류 측정 기기의 위치  $h$ 에 따라 구해진 기둥높이-저항, 기둥높이-전류 그래프이다. 예제 사각기둥에서 기둥의 높이  $h$ 를 3000mm로 가정하였고 이에 따른 저항과 전류의 그래프를 도출하였다. 도 9의 저항과 전류 그래프는 균열이 발생하지 않은 정상 상태의 기둥에서의 저항값과 전류값이다.
- [0130] 본 발명에 따른 S300 단계는 균열의심상태 데이터 취득부(300)가 균열의심 상태의 전류 데이터를 취득하는 단계이다.
- [0131] 본 발명에 있어서, 균열 의심 상태의 정의는 지진, 해일과 같은 외력이 발생했을 때나 구조물의 노후화 등으로 균열이 일어났을 수도 있다는 가정 상태를 말한다.
- [0132] 정상상태에서의 데이터를 미리 취득해 두고, 균열의심상태의 데이터와 비교하여 특정한 한계값을 초과하면 기둥의 균열이 발생되었다고 추정할 수 있다.
- [0134] 정상상태에서의 데이터를 취득하는 방법과 균열의심상태에서의 데이터를 취득하는 방법은 실질적으로 동일하다. 정상상태의 데이터는 전류, 저항의 측정을 복수회 반복하여 수행하는 과정을 통해 취득하는 것이 바람직하다.
- [0136] 도 10은 본 발명에 균열의 측정 방법을 구하기 위해 임의의 균열의 경우를 2가지 가정한 3D 이미지이다. 도 10은 균열이 의심되는 상태를 예제 1(휨균열), 예제 2(전단균열)로 가정하여 만든 임의의 균열 상태를 나타낸다. 본 발명에서 임의의 균열이 발생했을 때 균열의 발생 위치와 균열의 크기, 균열의 양상을 측정할 수 있다고 제안하였기 때문에, 임의의 균열 case 1(휨균열 발생)과 case 2(전단균열 발생) 가정하고 있다. case 1의 경우, 기둥의 높이  $h$ 가 125~175 mm일 때, 2775~2885mm 일 때의 휨균열에 의한 탄소나노튜브의 파괴를 가정하고 있으며, case 2의 경우 기둥의 높이  $h$ 가 1050~1950mm 일 때의 전단균열에 의한 탄소나노튜브의 파괴를 가정한다.
- [0138] 도 11은 본 발명에서 임의의 균열이 발생했을 때 2가지에서 측정기기로부터 측정된 전류값과 저항값 도출결과를 그래프로 나타낸 것이다. 도 11은 균열이 의심되는 상태에서 도 7과 같은 과정을 반복하여 수행하여 얻어진 기둥 높이-전류, 저항 그래프이다. 도 11은 도 10에서 제시한 2가지 예를 통해 임의의 균열이 발생했다고 가정하였고, 균열의 발생에 따른 탄소나노튜브가 인장 파괴 되었을 때, 기둥의 높이  $h$ 에 따라 측정된 저항 값과 전류 값을 도출한 그래프이다. 도 11은 case 별 저항, 전류 값의 분포를 그래프로 나타내었다.
- [0140] 도 12는 임의의 균열이 발생했을 때의 그래프와 기둥에 균열이 없는 정상상태의 그래프를 함께 도출해 놓은 그래프이다. 도 12는 균열이 의심되는 상태에서 측정된 전류, 저항값을 균열이 없는 정상상태의 기둥에서 전류, 저항값과 비교하기 위해 도출한 높이-저항, 전류 그래프이다. 도 12는 가정한 각 case가 기둥의 정상 상태일 때의 값(도 9)과 비교하여 그래프에 같이 나타내어 그래프의 양상의 변화를 나타내었다.
- [0142] 본 발명에 따른 S400 단계는 한계값 산출부(400)가 상기 기둥의 균열을 추정할 수 있는 한계값을 산출하는 단계이다.
- [0143] 본 발명에 있어서, 상기 S400 단계에서, 휨균열을 추정하는 한계값( $\%_{\text{threshold flexure}}$ )과 전단균열을 추정할 수 있는 한계값( $\%_{\text{threshold shear}}$ )은 다음의 수학적 식 4로 산출될 수 있다.

#### 수학식 4

$$\%_{threshold_{flexure}} = \frac{d_{flexure}}{b_2} \cdot 100(\%)$$

$$\%_{threshold_{shear}} = \frac{d_{shear}}{d_{flexure}} \cdot \frac{d_{flexure}}{b_2} \cdot 100(\%)$$

[0144]

[0145]

여기서,  $\%_{threshold_{flexure}}$  = 휨균열이 발생했을 때, 균열을 추정할 수 있는 한계값,  $\%_{threshold_{shear}}$  =전단균열이 발생했을 때, 균열을 추정할 수 있는 한계값,  $d_{flexure}$  = 휨균열 추정하기 위해 설치한 탄소나노튜브 도선 간격,  $d_{shear}$  =전단균열을 추정하기 위해 설치한 탄소나노튜브 도선 간격,  $b_2$  =보강 후 기둥의 너비이다.

[0147]

본 발명에 따른 S500 단계에서, 정상 상태의 기둥과 균열의심 상태의 기둥에서의 전류차이인 오차값(Error(%)) 이 다음의 수학식 5로 산출될 수 있다.

#### 수학식 5

$$Error(\%) = \frac{(I_{normal} - I_{crack})}{I_{normal}} \cdot 100$$

[0148]

[0149]

여기서,  $Error(\%)$  = 균열이 발생하지 않은 기둥과 균열이 의심되는 기둥에서의 전류차이를 %오차를 통해 백분율로 나타낸 값,  $I_{normal}$  = 균열이 발생하지 않은 기둥에서의 전류값(기둥의 높이에 따라 연속적인 값),  $I_{crack}$  = 균열이 의심되는 상태의 기둥에서의 전류값(기둥의 높이에 따라 연속적인 값)이다.

[0151]

본 발명에 있어서, 다음 수학식 6과 같이, 상기 오차값이 상기 한계값보다 크거나 같으면, 균열이 발생된 것으로 추정할 수 있다.

#### 수학식 6

$$Error(\%) \geq \%_{threshold_{flexure}}$$

[0152]

$$Error(\%) \geq \%_{threshold_{shear}}$$

[0153]

[0155]

도 13은 제안된 수학식에 따라서 균열의 임계값을 도출 후 균열 발생 예측 지역을 추정해 놓은 그래프이다. 도 13은 수학식 4에서 제한한 % 한계값을 통해 흑색 보조선을 도출하고, 높이-전류의 오차를 나타낸 그래프이다. 여기서 흑색 보조선(한계값)을 넘는 그래프의 범위가 균열이 예상되는 지역이다.

[0156]

도 13은 case 1과 case 2의 기준 값과 측정 전류 값의 오차를 %로 나타낸 그래프로서, 임의의 균열을 가정하였고, 균열의 크기와 발생 위치, 그리고 균열의 양상을 역추적하기 위해 도출한 그래프이다. 그래프의 가로축은 기둥의 높이, 세로축은 % 오차 값을 나타낸다.

[0157]

% 오차값을 구하고 검은색 보조선은 균열이 발생했다고 가정하는 측정값의 임계를 나타낸다.

[0158]

측정값의 임계점을 구하는 보조선의 % 오차선은 수학식 5를 통해 구하였다. 수학식 5에서는 휨균열의 경우 도선이 50mm 간격으로 설치되어 있으므로, 도선의 간격 50mm에 휨균열이 발생할 것으로 예측되는 길이 1/10h(300mm)로 나눈 값에 %로 나타내기 위해 100을 곱한 값을 기준으로 삼았다. 전단균열의 경우 도선이 150mm 간격으로 설치되어 있으므로, 휨균열에 비해 도선의 간격이 3배 넓기 때문에, 휨균열 기준값의 3배를 적용하였다.

[0159]

본 발명에 따른 S500 단계에서, 오차값이 한계값보다 크거나 같은 기둥의 높이(h)에 해당되는 위치에서 균열이 발생된 것으로 추정할 수 있다(수학식 6 참조).



- [0160] 수학적 식 6에 따라 오차의 값(Error)가 %값보다 크게 나오는 기둥의 높이(h) 구간이 균열이 발생했을 것이라 추정하는 지역이다. 상세하게는, 오차의 값(Error)가 가장 크게 산출되는 지역에서 균열이 발생했을 것이라 판단할 수 있다.
- [0161] 도 13의 예제모델을 통해 균열의 위치를 추정하는 단계를 살펴보면, 다음과 같다.
- [0162] 1. Case 1의 경우, 약 110-160mm 지역에서 균열이 발생함을 확인하였고, 2778-2888mm 지역에서 균열이 발생함을 확인하였다.
- [0163] 2. 오차값이 가장 큰 지역의 경우 135mm와 2833mm 지역에서 발생하였는데, 이는 기둥의 우측면에 탄소나노튜브가 설치되어 있는 지역이기 때문에 균열은 우측지역에서 발생했음을 확인할 수 있다.
- [0164] 3. 또한, 원본그래프를 확인하였을 때, 오차값은 균열이 의심되는 110-160mm와 2778-2888mm 구간에서 모두 0과 유사한 값을 기록하는 점이 있음을 확인할 수 있다.
- [0165] 4. 오차값이 0과 유사한 값을 갖는다는 것을 토대로 기둥의 한쪽면은 균열이 발생하지 않았음을 확인할 수 있고, 1-3의 과정에 따라 기둥은 우측면에서 110-160mm, 2778-2888mm에서 발생함을 확인할 수 있다.
- [0166] 5. 균열이 발생한 지역이 휨균열이 지배적인 지역이기 때문에, case 1에서는 휨균열만 발생했을 것이라 추정할 수 있다.
- [0168] 도 13에서 얻어진 범위를 S100 단계에서 얻은 탄소나노튜브의 설치 위치와 비교하는 과정을 수행한다. 얻어진 범위의 중앙값이 균열이 가장 유력하게 발생한 지점인데, 이 지점과 설치 위치를 비교하여 균열의 상세한 위치를 파악하는 단계 수행한다.
- [0170] 주어진 수학적 식 4로 얻어진 균열 예측결과는 다음과 같다. % 기준값을 기준으로 측정된 균열의 크기는 case 1: 약 110-160mm에서 균열, 2778-2888mm에서 균열발생으로 예측되었다. case 2의 경우 약 1020-2010mm에서 균열이 발생하는 것으로 예측되었다.
- [0172] 본 발명에 따른 S600 단계는 균열위치유형 추정부(600)가 기둥의 균열 위치 및 균열 유형을 추정하는 단계이다.
- [0173] 본 발명에 있어서, 상기 S600 단계에서, 균열 위치를 탄소나노튜브 도선의 위치와 비교하여, 휨균열이 지배적인 균열 유형, 전단균열이 지배적인 균열 유형 및 복합 균열 유형으로 구분할 수 있다.
- [0175] 실제 기둥에서의 균열은 일부 복합적으로 발생하는 경향이 있지만, 기둥의 중앙부에 발생한 균열은 전단균열이 대부분이고 그 중 휨균열이 있더라도 전단균열형태(대각선모양 균열)로 발전하게 된다. 또한, 기둥의 하단부에도 일부 국소지역에서 전단균열모양의 대각선 모양의 균열이 발생할 수 있지만, 균열이 더 발전할 수록 휨균열로만 발전하게 된다.
- [0176] 균열의 위치를 파악하고, 균열의 위치를 탄소나노튜브의 위치와 비교하여 휨균열이 지배적인 지역, 전단균열이 지배적인 지역인지 판단하는 과정을 거친다. 만약 휨균열, 전단균열 모두 지배적인 위치를 포함하면 복합적인 균열이 일어난 것으로 판단할 수 있다.
- [0177] case 1의 경우 균열의 발생범위가 휨균열을 가정한 지역에 있음을 확인하였다. 따라서 case 1은 휨균열이 발생하였고, 도 13에서 전류값의 오차가 가장 큰 지역이 135mm에 해당하는 지점으로 균열의 방향은 오른쪽에서 발생했음을 추론할 수 있다.
- [0178] case 2의 경우 균열 범위가 전단균열에 포함되며 역시 전류값의 오차가 가장 큰 지역이 1500mm에 해당하는 지점으로 탄소나노튜브가 측정선 기준 오른쪽에 해당하는 지역에 있기 때문에 균열은 오른쪽에서 발생했음을 추론할 수 있다.
- [0179] 각각의 추론을 통해 얻어진 결과값은 임의의 균열을 가정한 균열 위치가 case 1에서 실제 균열이 발생한 기둥의 높이 h가 125-175mm에서 균열과 2775-2885mm에서 균열과 발생되었을 것으로 추정되는 위치가 110-160mm, 2778-2888mm로 각각 약 80%, 97% 이상 일치함을 확인하였고, case 2: 약 1020-2010mm에서는 측정을 통해 균열이 발생하는 것으로 예측되어 균열 범위가 전단균열에 포함된 결과값에서는, 임의의 균열을 가정한 위치가 실제로 기둥의 높이 1050-1950mm 이기 때문에 약 90% 이상 일치함을 확인하였다. 따라서 본 발명은 종래의 기술과 달리, 균열을 측정할 수 있는 범위가 상당히 상세하고 정확해졌음을 확인할 수 있다.
- [0181] 본 발명에 있어서, 균열 위치(Hcrack)가 다음 수학적 식 7에 해당되면 휨균열로 판단될 수 있다.

## 수학식 7

$$0 \leq H_{crack} \leq b \text{ or } h-b \leq H_{crack} \leq h$$

[0182]

[0183]

여기서, h는 기둥의 높이, b는 기둥단면의 너비이다.

[0184]

본 발명에 있어서, 균열 위치( $H_{crack}$ )가 다음 수학식 8에 해당되면 전단균열로 판단될 수 있다.

## 수학식 8

$$b < H_{crack} < h - b$$

[0185]

[0186]

여기서, h는 기둥의 높이, b는 기둥단면의 너비이다.

[0188]

한편, 본 발명은 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가시스템으로 구현될 수 있다. 본 평가시스템의 기술은 전술한 평가방법과 실질적으로 동일하므로, 중복되는 구성의 설명은 생략하고 요지 위주로 설명하고자 한다.

[0190]

본 발명은 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가시스템으로서, 기둥에 설치된 탄소나노튜브 도선(20)의 위치를 파악하는 위치파악부(100); 정상 상태의 전류 데이터를 취득하는 정상상태 데이터 취득부(200); 균열의심 상태의 전류 데이터를 취득하는 균열의심상태 데이터 취득부(300); 상기 기둥의 균열을 추정할 수 있는 한계값을 산출하는 한계값 산출부(400); 정상 상태와 균열의심 상태의 전류 및 저항을 비교하여 기둥의 균열 여부를 추정하는 균열여부 추정부(500); 및 기둥의 균열 위치 및 균열 유형을 추정하는 균열위치유형 추정부(600)를 포함한다.

[0191]

본 발명에 있어서, 상기 탄소나노튜브 도선(20)의 설치는 기존 기둥(10)의 외면에 탄소나노튜브 도선(20)이 설치되는 S10 단계; 및 상기 탄소나노튜브 도선(20)이 설치된 기둥의 외면 상에 전기전도성 시멘트 모르타르(30)를 도포하고 마감하여 기둥이 보강되는 S20 단계를 포함한다. S10 단계에서 기둥을 양 단부(11,12) 구역과 중앙부(13) 구역의 3개 구역으로 구분하고, 양 단부 구역에는 탄소나노튜브 도선을 사선방향으로 배치하며, 중앙부 구역에는 탄소나노튜브를 횡방향으로 배치할 수 있다.

[0192]

본 발명에 있어서, 상기 정상상태 데이터 취득부(200) 및 상기 균열의심상태 데이터 취득부(300)는 전류측정장치(40)의 양 단부를 기둥 외면에 이격배치하고, 전류측정장치의 양 단부가 기둥의 일단에서 타단으로 동등하게 이동되면서, 기둥의 각 높이값에서 연속적으로 전류를 측정할 수 있다.

[0194]

한편, 본 발명은 컴퓨터프로그램으로 구현될 수도 있다. 구체적으로, 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 탄소나노튜브 도선을 이용한 기둥의 휨균열 및 전단균열 평가방법을 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램인 것이 바람직하다.

[0196]

본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시 예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

## 부호의 설명

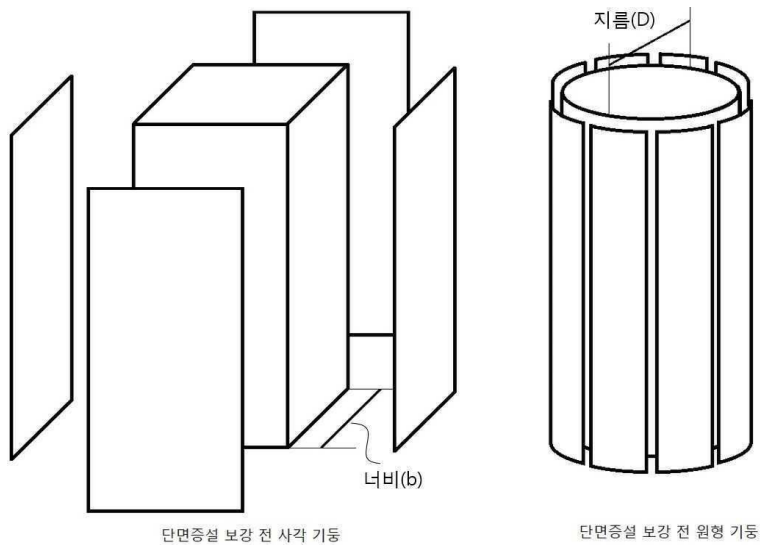
[0197]

10 : 기둥	11,12 : 양 단부
13 : 중앙부	20 : 탄소나노튜브 도선
30 : 전기전도성 시멘트 모르타르	
40 : 전류측정장치	41 : 주입단

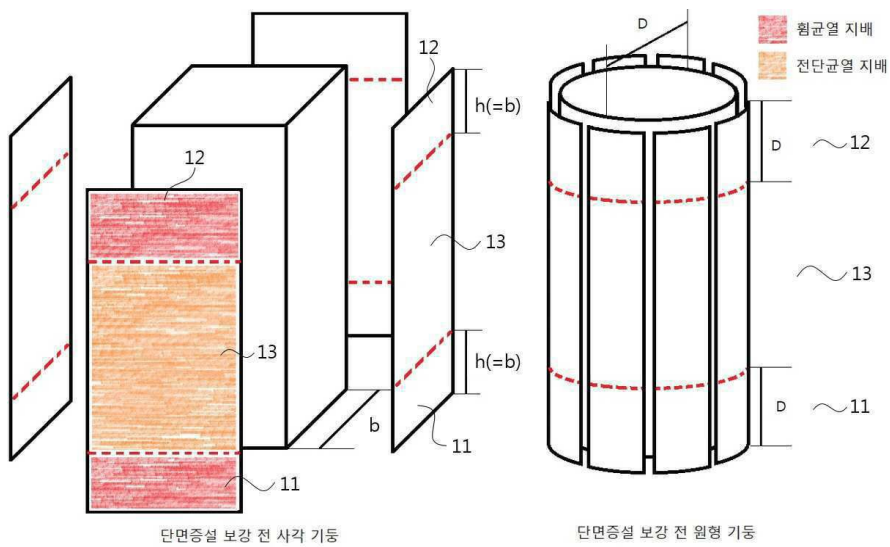
- 42 : 수용단
- 100 : 위치파악부
- 200 : 정상상태 데이터 취득부
- 300 : 균열의심상태 데이터 취득부
- 400 : 한계값 산출부
- 500 : 균열여부 추정부
- 600 : 균열위치유형 추정부

## 도면

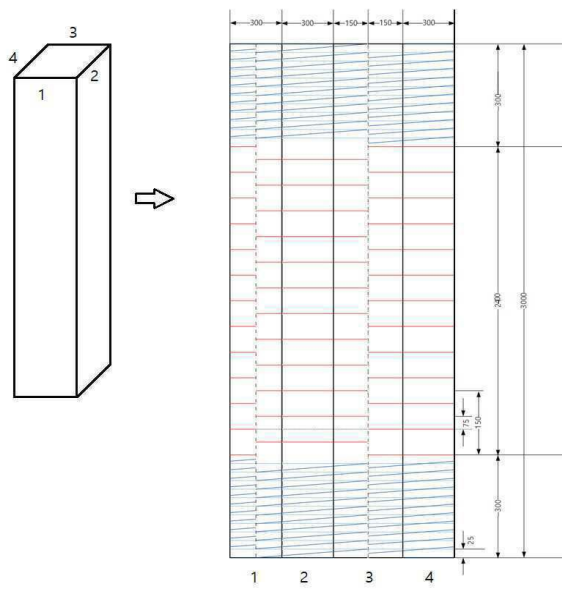
### 도면1



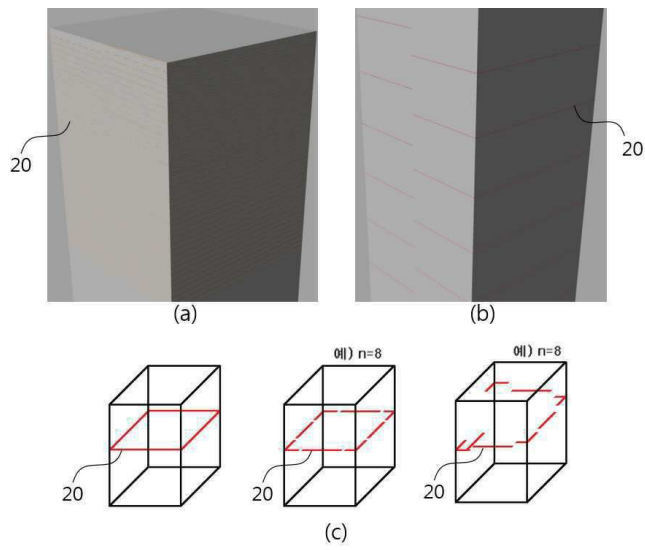
### 도면2



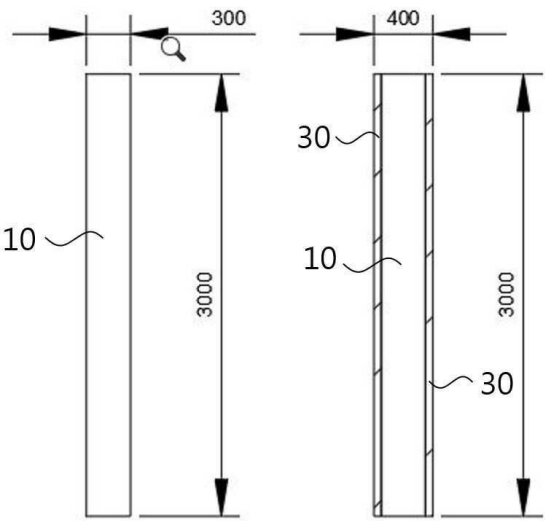
도면3



도면4



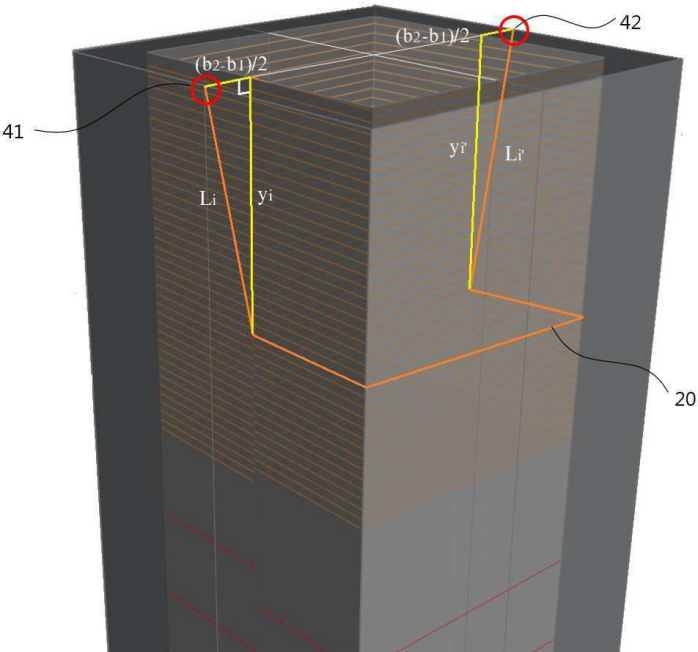
도면5



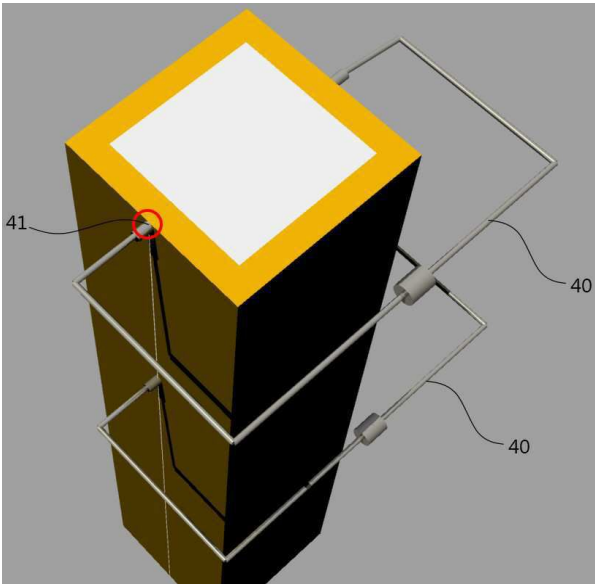
Existing

Retrofit

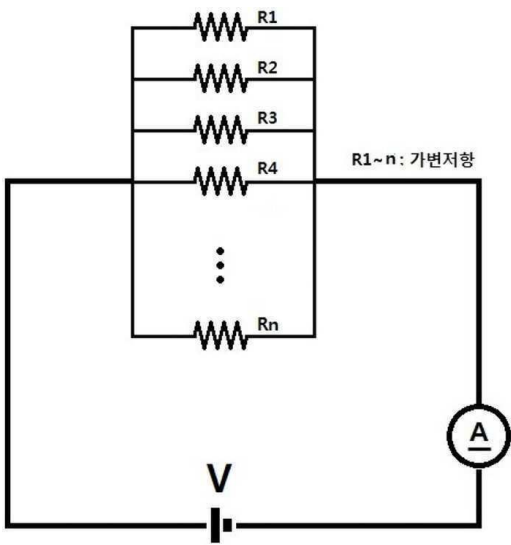
도면6



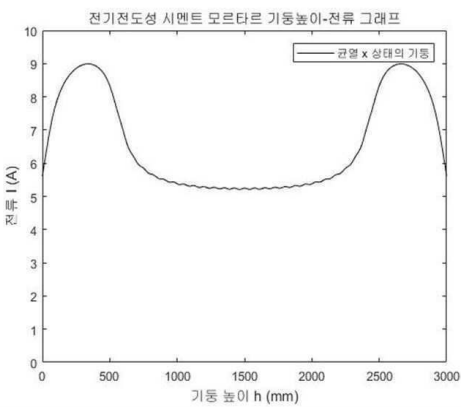
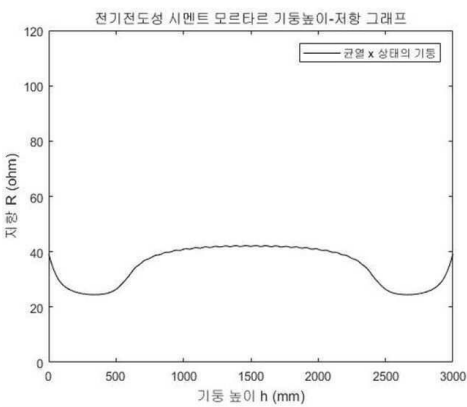
도면7



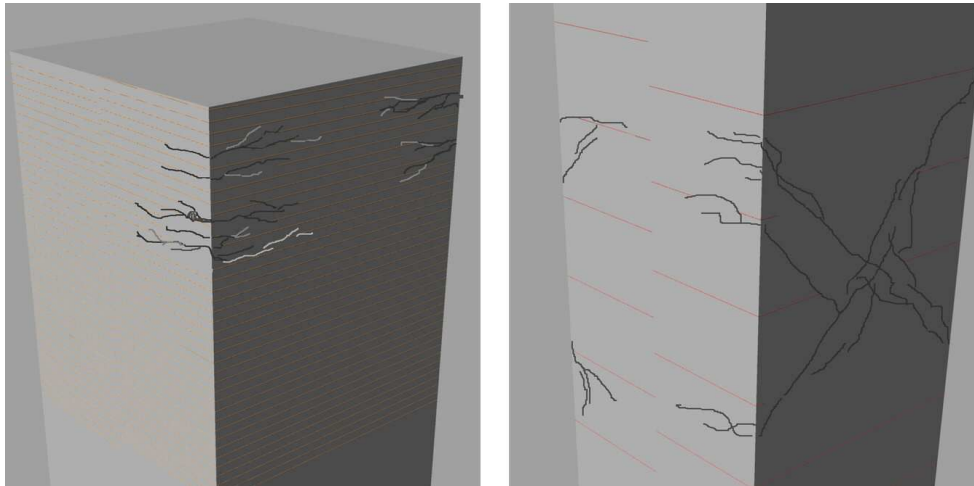
도면8



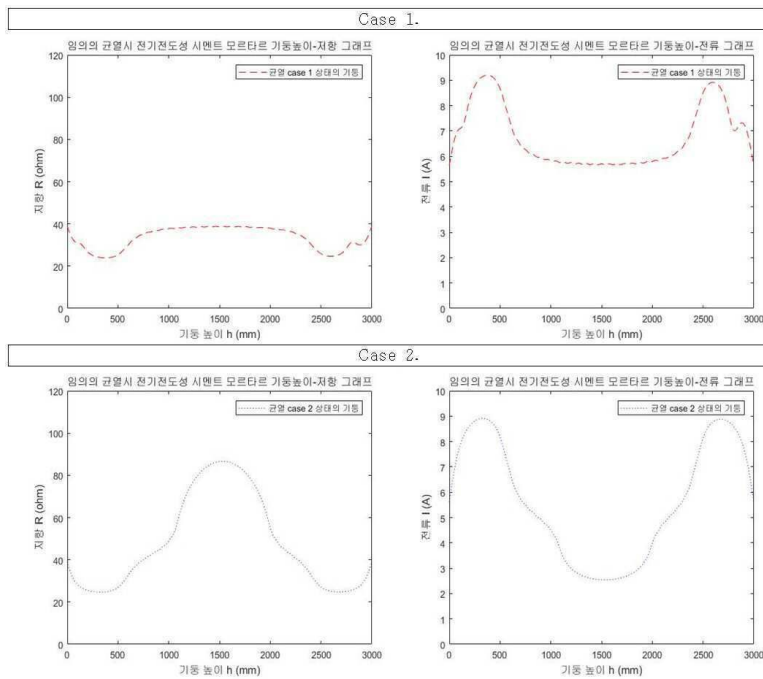
도면9



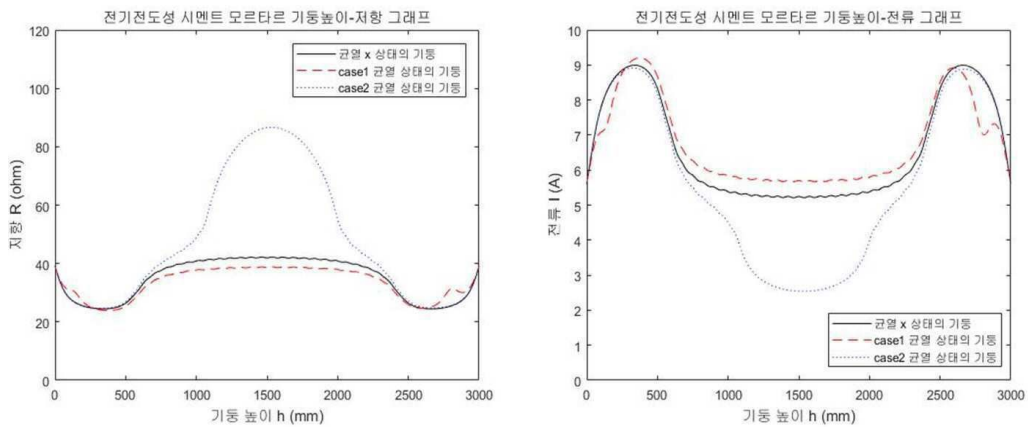
도면10



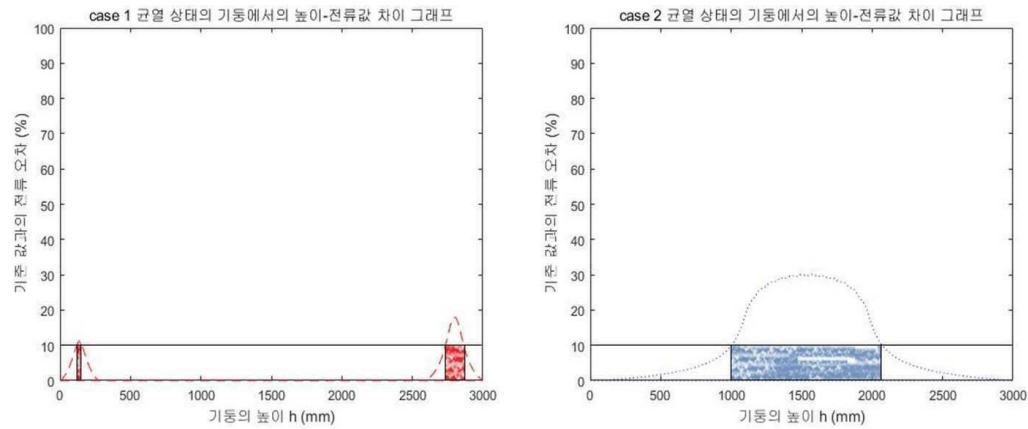
도면11



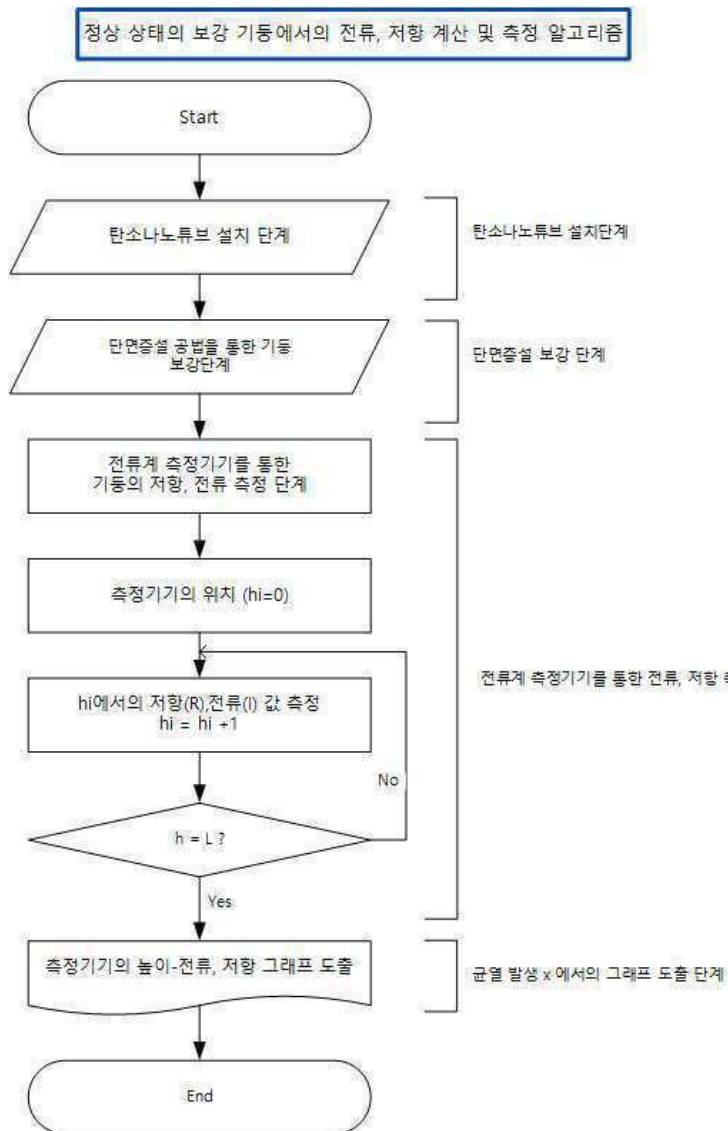
도면12



도면13



도면14





도면15

