



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0130081  
(43) 공개일자 2012년11월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G06F 19/00 (2011.01) G06F 17/50 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2012-7017529  
(22) 출원일자(국제) 2010년11월26일  
심사청구일자 없음  
(85) 번역문제출일자 2012년07월05일  
(86) 국제출원번호 PCT/EP2010/068336  
(87) 국제공개번호 WO 2011/069847  
국제공개일자 2011년06월16일  
(30) 우선권주장  
12/772,289 2010년05월03일 미국(US)  
61/267,234 2009년12월07일 미국(US)

(71) 출원인  
누보 피그노네 에스피에이  
이탈리아 아이-50127 피렌체 비아 에프 마테우치 2  
(72) 발명자  
토그나렐리 레오나르도  
이탈리아 아이-50127 플로렌스 비아 펠리스 마테우치 2  
디 시스토 파울로  
이탈리아 아이-50127 플로렌스 비아 펠리스 마테우치 2  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
제일특허법인

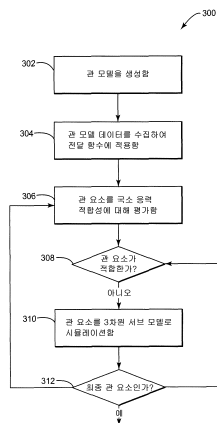
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 수소 유기 응력 균열을 받는 해중 설비 설계 방법

(57) 요약

배관 시스템을 나타내는 관 모델의 힘 및 모멘트를 후처리하는 것에 의해 관 요소상의 국소 응력을 계산하는 것과 관련된 전달 함수를 생성하는 시스템 및 방법을 제공한다. 전달 함수는 재사용 가능하며 전달 함수의 재생의 필요 없이 여러 가지 다른 세트의 사용자 데이터로 재계산할 수 있게 한다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

**파브리지 미켈란젤로**

이탈리아 아이-50127 플로렌스 비아 펠리스 마테우  
치 2

**메를로 로베르토**

이탈리아 아이-50127 플로렌스 비아 펠리스 마테우  
치 2

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

해중 배관 시스템과 관련된 수소 유기 응력 균열(hydrogen induced stress cracking)을 평가하는 방법에 있어서,

- (a) 상기 해중 배관 시스템의 요소에 대한 1차원 모델을 결정하는 단계,
  - (b) 상기 1차원 모델 및 복수의 동작 조건을 사용하여 상기 요소에 대한 1차원 분석을 수행해서 상기 요소에 대한 수소 유기 응력 균열과 관련된 적어도 한 지점을 특정하는 단계,
  - (c) 상기 적어도 한 지점에 적어도 하나의 전달 함수를 적용하여 상기 적어도 한 지점을 1차원 표현으로부터 국소 응력 평가(local stress assessment)로 변환하는 단계, 및
  - (d) 상기 국소 응력 평가를 출력하는 단계를 포함하는
- 수소 유기 응력 균열 평가 방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

- (a) 상기 국소 응력 평가를 제 1 사전결정된 적합성에 대하여 분석하는 단계, 및
  - (b) 상기 국소 응력 평가가 적합하지 않으면 상기 요소에 대한 3차원 서브 모델을 결정하여 기동시키고 상기 3차원 서브 모델로부터의 출력을 제 2 사전결정된 적합성에 대하여 분석하는 단계를 더 포함하는
- 수소 유기 응력 균열 평가 방법.

### 청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 제 1 사전결정된 적합성은 선형의 수소 유기 응력 균열 적합성인

수소 유기 응력 균열 평가 방법.

### 청구항 4

제 2 항 또는 제 3 항에 있어서,

상기 3차원 서브 모델로부터의 상기 출력은 국소 변형 평가(local strain assessment)인

수소 유기 응력 균열 평가 방법.

### 청구항 5

제 2 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 2 사전결정된 적합성은 비선형의 수소 유기 응력 균열 적합성인

수소 유기 응력 균열 평가 방법.

### 청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 요소는 휨부, 티(tee), 매니폴드, 커플링, 용접부 및 허브를 포함하는

수소 유기 응력 균열 평가 방법.

### 청구항 7

제 1 항 내지 제 6 항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 복수의 동작 조건은 상기 요소의 면적 및 관성을 포함하는  
수소 유기 응력 균열 평가 방법.

#### 청구항 8

해중 배관 시스템 요소의 국소 응력을 예측하기 위한 전달 함수를 생성하는 방법에 있어서,

- (a) 상기 해중 배관 시스템 요소에 대한 3차원 모델을 결정하는 단계,
- (b) 복수의 기하학적 관 치수 및 관 하중을 사용하여 상기 3차원 모델을 반복적으로 구동시켜서, 상기 해중 배관 시스템 요소와 관련된 국소 응력을 설명하는 일련의 구성요소 전달 함수를 생성하는 단계, 및
- (c) 상기 일련의 구성요소 전달 함수의 합계를 구해 상기 전달 함수를 생성하는 단계를 포함하는 전달 함수 생성 방법.

#### 청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 관 하중은 모멘트 및 힘을 포함하는  
전달 함수 생성 방법.

#### 청구항 10

제 8 항 또는 제 9 항에 있어서,

상기 기하학적 관 치수는 상기 해중 배관 시스템 요소의 내반경 및 외반경을 포함하는  
전달 함수 생성 방법.

#### 청구항 11

제 8 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 국소 응력은 후프 응력 및 반경방향 응력을 포함하는  
전달 함수 생성 방법.

#### 청구항 12

해중 배관 시스템이 수소 유기 응력 균열 평가에 적합한지를 확인하기 위해 메모리에 저장되어서 프로세서에서 실행되는 컴퓨터 실행가능 시스템에 있어서,

- (a) 전달 함수를 생성하기 위한 전달 함수 생성기 구성요소,
- (b) 상기 전달 함수를 실행시키기 위한 전달 함수 엔진 구성요소, 및
- (c) 상기 전달 함수를 보관하기 위한 전달 함수 저장 구성요소를 포함하는 컴퓨터 실행가능 시스템.

#### 청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 전달 함수 엔진 구성요소 및 상기 전달 함수 저장 구성요소는 서로 다른 컴퓨터에 위치하는  
컴퓨터 실행가능 시스템.

#### 청구항 14

제 12 항 또는 제 13 항에 있어서,

상기 전달 함수 엔진 구성요소는 입력 데이터를 별도의 컴퓨터 시스템에 위치하는 제 2 전달 함수 엔진 구성요소에 전달하여 상기 입력 데이터를 관 요소 국소 응력값으로 변환하는

컴퓨터 실행가능 시스템.

#### 청구항 15

제 12 항 내지 제 14 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 컴퓨터 실행가능 시스템은 상기 메모리에 저장된 프로그램 명령을 더 포함하며, 상기 프로그램 명령은 상기 프로세서에서 실행될 때,

- (a) 상기 해중 배관 시스템의 요소에 대한 1차원 모델을 결정하는 단계,
- (b) 상기 1차원 모델 및 복수의 동작 조건을 사용하여 상기 요소에 대한 1차원 분석을 수행해서 상기 요소에 대한 수소 유기 응력 균열과 관련된 적어도 한 지점을 특정하는 단계,
- (c) 상기 적어도 한 지점에 적어도 하나의 전달 함수를 적용하여 상기 적어도 한 지점을 1차원 표현으로부터 국소 응력 평가로 변환하는 단계, 및
- (d) 상기 국소 응력 평가를 출력하는 단계를 수행함으로써 해중 배관 시스템과 관련된 수소 유기 응력 균열을 평가하도록 동작하는

컴퓨터 실행가능 시스템.

#### 청구항 16

제 15 항에 있어서,

- (a) 상기 국소 응력 평가를 제 1 사전결정된 적합성에 대하여 분석하는 단계, 및
- (b) 상기 국소 응력 평가가 적합하지 않으면 상기 요소에 대한 3차원 서브 모델을 결정하여 기동시키고 상기 3차원 서브 모델로부터의 출력을 제 2 사전결정된 적합성에 대하여 분석하는 단계를 더 포함하는

컴퓨터 실행가능 시스템.

#### 청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 제 1 사전결정된 적합성은 선형의 수소 유기 응력 균열 적합성인

컴퓨터 실행가능 시스템.

#### 청구항 18

제 16 항 또는 제 17 항에 있어서,

상기 3차원 서브 모델로부터의 상기 출력은 국소 변형 평가인

컴퓨터 실행가능 시스템.

#### 청구항 19

제 16 항 내지 제 18 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 2 사전결정된 적합성은 비선형의 수소 유기 응력 균열 적합성인

컴퓨터 실행가능 시스템.

#### 청구항 20

제 15 항 내지 제 19 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 요소는 휨부, 티(tee), 매니폴드, 커플링, 용접부 및 허브를 포함하는

컴퓨터 실행가능 시스템.

## 명세서

### 기술분야

- [0001] 본 발명은 일반적으로 해중 설비의 배관 설계에 관한 것으로서, 보다 구체적으로 수소 유기 응력 균열(Hydrogen Induced Stress Cracking: HISC)을 받는 해중 설비 시스템에 관한 것이다.

### 배경기술

- [0002] 화석 연료의 세계적인 사용은 지난 수십 년에 걸쳐 기하급수적으로 성장하였다. 이런 성장으로 오일과 가스 산업은 새로운 오일 및 가스 저장량 탐사를 확대하여 점점 증가하는 소비자 요구를 만족시켰다. 새로운 오일 및 가스 저장량의 탐사는 이제 이전에 탐사를 상상할 수 없었던 지역을 포함한다. 이런 새로운 영역에서 오일 및 가스를 생산할 필요성은 새롭게 발견된 오일 및 가스 저장량의 생산에 사용되는 설비의 설계 및 검증에 관련된 새로운 문제점들을 제시하였다.
- [0003] 상당량의 오일 및 가스 저장량을 제조하고 있는 새로운 지역들 중의 일부는 해양 밑에 위치한다. 해저 환경에서, 유동 라인 및 생산 설비와 관련된 새로운 문제점들은 때때로 "수소 유기 응력 균열(HISC)"이라고 부르는 새로운 분야의 설비 설계 문제점을 만들었다. 일반적으로 HISC 문제들은 두 가지 환경적인 요인, 구체적으로 크롬 합금강으로 구성된 해중 설비가 수용액 속에 담가짐에 의해 설비의 표면에서 이온성 수소를 이용할 수 있음에 의해 생긴다.
- [0004] 이런 HISC 관련 문제점의 결과는 합금강 성분 및 구조의 약화에 의해 명백해진다. 후속의 성분 및/또는 구조적 파손이 일어나서 안전 문제, 주위 바다속 위치의 오염에 의한 환경적 피해 및 설비 위치에 의해 높은 수선 비용으로 이어질 수 있다. 실패한 해중 시스템을 분석한 결과, 오일 및 가스의 해중 저장량의 획득 및 회수에 사용되는 특정 재료(예를 들어, 듀플렉스 및 슈퍼 듀플렉스 스테인리스 스틸)로 만들어진 해중 시스템과 관련된 전체 설계 과정에는 HISC 요인의 고려가 포함되어야 한다.
- [0005] HISC를 고려할 수 있으면서 해중 오일 및 가스 생산 시스템을 분석 및 설계하기 위한 현재의 방법은 한 세트의 조건들의 분석을 완료하기 위해 많은 시간의 컴퓨터 계산 시간을 필요로 한다. 예를 들어, 제 1 설계/평가 단계에서는 일차원 프레임 모델이 배관 시스템의 축선을 나타내는 중심선으로 개발된다. 프레임 모델이 완성된 후, 축선들은 한정된 관 요소로 교체된다. 관 요소들은 모든 다양한 타입의 동작 및 비동작 조건들을 시뮬레이션할 수 있고 ASME 요건(즉, ASME B31.8)의 평가를 가능하게 할 수 있다.
- [0006] 제 2 단계에서, 관 요소들은 부분적으로 또는 완전히 쉘 요소로 교체된다. 교체된 요소들의 개수는 검토중의 설계 섹션에 따라서 다르다. 관 요소처럼 쉘 요소들은 동작 및 비동작 조건들을 모두 시뮬레이션할 수 있다. 그러나, 설계 과정에서의 쉘 요소의 의미 있는 특징은 쉘 요소들이 국소 응력의 예측을 가능하게 하고 따라서 선형 HISC(즉, DNV RP-F112)의 평가를 가능하게 한다는 것이다. 그러나 이 제 2 단계에서 쉘 요소를 처리하는 것과 관련된 많은 세트의 하중 조건과 이와 관련된 세트의 계산상의 과정은 시간과 계산 요건의 면에서 모두 엄청나게 비용이 많을 수 있다.
- [0007] 제 3 단계에서, 2 단계의 선형 분석에 기초한 요구 조건에 부합하지 않는 것으로 확인된 요소들은 3차원 서브 모델로 교체된다. 비선형 HISC 조건의 평가를 가능하게 하는 탄소성(elasto-plastic) 재료 특성으로 분석이 실시된다. 3차원 서브 모델 분석의 결과 분석된 요소들에 대한 국소적인 변형을 예측할 수 있게 된다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

- [0008] 따라서 분석 시간 및 계산 요건의 면에서 현존 기술의 엄청나게 높은 비용 없이 해중 환경의 혹독함에 견딜 수 있는 해중 오일 및 가스 설비를 설계하는 방법을 시장적으로 요구하고 있다.

#### 과제의 해결 수단

- [0009] 예시적 실시형태는 해중 환경과 HISC와 관련된 문제점을 견딜 수 있는 오일 및 가스 회수용 해중 구성요소 및 시스템을 분석하고 설계하는 시스템 및 방법에 관한 것이다. 이 방법론은 각 타입의 관 요소에 대한 전달 합수

(TF)의 개발을 포함한다. 예를 들어, 전달 함수는 해중 배관과 관련된 힘부, 티(tee), 커플링, 용접부 등에 대하여 개발될 수 있다.

[0010] 예시적 실시형태에 따르면, 현재 방법론의 제 1 단계로부터 수집된 데이터는 적절한 TF에 제공된다. 적절한 전달 함수는 검사중의 관 요소에 따른다. TF는 수집된 관 데이터를 분석의 사용자 정의 조건에 대한 관 요소와 관련된 국소 응력으로 변환시킨다. 그러나 당업자라면 이런 이점들은 하나 이상의 첨부 청구범위에 명시적으로 기술된 정도를 제외하고는 본 발명의 한정으로서 해석되어서는 안 된다는 것을 이해할 것이다.

[0011] 다른 예시적 실시형태에 따르면, 각 조건 세트에 대한 새로운 전달 함수를 개발함 없이 여러 가지 다른 조건을 사용하여 대상의 관 요소에서 일련의 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 그 일련의 시뮬레이션의 결과는 여러 가지 다른 조건에 따라서 국소 응력의 프로파일을 생성하여 관련 관 요소의 보다 정확하고 믿을만한 설계를 가능하게 한다. 그리고 TF에 의해 제공된 선형 HISC 분석에 적합하지 않다고 결정된 관 요소는 어느 것이라도 전술한 현재의 HISC 분석의 제 3 단계에 의해 분석될 수 있다. 현재의 HISC 분석의 시간 및 자원 집약적인 제 2 단계를 제거하면 현재의 산업 및 시장 요건에 의해 요구되는 바와 같은 경제적이고 시기적절한 분석 및 설계 단계를 제공하는 한편 해중 환경의 조건에 견딜 수 있는 해중 오일 및 가스 시스템을 설계할 수 있게 한다.

### 도면의 간단한 설명

[0012] 첨부 도면은 예시적 실시형태를 도시한다.

도 1은 배경기술과 관련된 세 가지 다른 시뮬레이션을 나타내는 시스템 모델을 묘사한다.

도 2는 세 가지 타입의 시뮬레이션에서 요구되는 FEM 요소의 양을 도시하기 위해 90도 휘어진 관을 묘사한다.

도 3은 예시적 실시형태에 따라서 관 모델, 전달 함수 및 3차원 서브 모델에 기초하여 HISC 평가를 하는 방법을 묘사한다.

도 4는 예시적 실시형태에 따라서 일련의 사용자 정의 조건에 기초하여 전달 함수를 생성하고 HISC 평가를 하는 방법을 묘사한다.

도 5는 예시적 실시형태에 따라서 전달 함수를 생성하고 HISC 평가를 하는 것과 관련된 계산을 수행하기 위한 일반적 계산 환경을 묘사한다.

도 6은 예시적 실시형태에 따라서 전달 함수 생성기, 전달 함수 엔진 및 전달 함수 저장기를 포함하는 전달 함수 구성요소를 묘사한다.

도 7은 예시적 실시형태에 따라서 전달 함수를 도출하는 것과 관련된 대표적인 독립 변수들을 도시하는 휘어진 관 요소를 묘사한다.

도 8은 예시적 실시형태에 따라서 휘어진 관 요소에 작용하는 힘과 모멘트를 예시하는 휘어진 관 요소를 묘사한다.

도 9는 예시적 실시형태에 따라서 휘어진 관 요소에서의 예측된 최대 응력의 위치를 도시하는 휘어진 관 요소를 묘사한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 다음의 예시적 실시형태의 상세한 설명은 첨부 도면을 참조한다. 여러 도면에서 동일한 참조 번호는 동일하거나 유사한 요소를 특정한다. 또한, 다음의 상세한 설명은 본 발명을 제한하지 않는다. 대신에 본 발명의 범위는 첨부된 청구범위에 의해 규정된다.

[0014] 본 예시적 실시형태에 따른 HISC 평가 시스템에서 전달 함수의 발생 및 발생된 전달 함수의 사용과 관련된 이후의 논의에 대한 상황을 제공하기 위해, 도 1은 현재의 시스템 설계의 방법과 관련된 배관 모델을 개략적으로 예시한다. 앞에서 언급한 바와 같이, 이 방법은 시스템(100)으로 도시된 세 개의 모델링 시스템을 사용하며 3 단계로 구성된다. 제 1 단계에서, 배관 시스템의 프레임 모델은 3차원 관의 축선과 일치하는 배관 라인(108)으로 구성된다. 프레임 모델을 구성한 후, 이들 라인은 배관 시스템을 나타내고 원하는 배관 시스템과 관련된 데이터(면적, 관성 등)를 제공하는 관 요소(104)와 교체된다. 제 1 단계의 결과 관 모델(102)이 생성된다.

[0015] 다음으로 제 2 단계에서, 제 1 단계에서 생성된 관 모델은 쉘 요소(110)와 완전히 또는 부분적으로 교체된다. 그 결과의 쉘 모델(106)은 동작적이고 우발적인 스트로크 조건을 시뮬레이션하여 선형 HISC 조건의 평가를 가능

하게 할 수 있다. 이 모델의 구동력은 관 요소의 국소 응력의 예측이다.

- [0016] 제 3 단계로 진행하여, 선형 HISC 평가가 적합한지를 결정하기 위해 각 관 요소에 대하여 결정이 이루어진다. 특정 관 요소가 선형 HISC 평가에 적합하지 않다는 것이 결정되면 관 요소(114)에 대한 3차원 서브 모델(112)이 발생된다. 그리고 3차원 서브 모델(112)이 탄소성 재료 특성과 함께 실행되어 비선형 HISC 평가를 진전시킨다. 3차원 서브 모델(112)을 실행시킨 후, 현재의 설계에 기초하여 관 요소의 허용성에 관하여 결정을 한다.
- [0017] 이제 도 2 및 현재의 배관 시스템 설계 방법의 다른 예시적 실시형태(200)를 보면, 세 가지 다른 모델에 대한 굴곡관 요소의 표현이 여러 가지 다른 모델의 상대적 복잡성을 묘사한다. 일축방향으로 굴곡된 요소(202)는 전술한 제 1 단계(102)에서 사용된 모델이다. 이 모델은 최소량의 입력 데이터 및 최소량의 계산 시간을 필요로 한다. 예를 들어, 이 대표적인 일방향 굴곡 요소(202)는 각 요소 단부에 대하여 6개씩 12의 자유도를 갖는다.
- [0018] 쉘 요소(206)를 구비한 굴곡 관 요소(204)는 각 쉘 요소(206)가 24의 자유도를 갖는 보다 복잡한 모델이다. 쉘 요소(206)들은 함께 접합되어 굴곡 관 요소(204)의 표면을 나타내며, 굴곡 관 요소(204)의 표면을 나타내는데 필요한 많은 쉘 요소(206)에 추가하여 쉘 요소(206)당 보다 많은 계산을 필요로 한다. 중실(solid) 요소(210)를 구비한 3차원 서브 모델(208)은 가장 복잡한 모델인데 이는 전체 굴곡 표면의 모형을 만들기 때문이다. 중실 요소(210) 및 쉘 요소(206)는 유사한 정도의 자유도를 가지며 따라서 유사한 계산상의 복잡성을 갖지만, 3차원 서브 모델(208)은 이 구조를 규정하는데 보다 많은 중실 요소를 필요로 한다. 따라서, 중실 요소를 모형으로 한 굴곡에 필요한 계산 시간은 쉘 요소를 모형으로 한 굴곡에 필요한 계산 시간보다 훨씬 많다. 그러나 현재의 설계 방법의 제 2 단계(106)에서 쉘 모델링은 전체 배관 시스템에 걸쳐서 실시되는 반면 제 3 단계(122)의 3차원 서브 모델링은 쉘 모델 분석에 기초하여 비적합한 선형 HISC로 간주되는 관 요소에만 적용된다.
- [0019] 이제 도 3을 참조하면, 예시적 실시형태에 따른 관 모델, 전달 함수 및 3차원 서브 모델에 기초하여 HISC 평가를 하는 방법(300)이 도시되어 있다. 단계(302)에서 시작하여 배관 시스템을 나타내는 관 모델이 생성된다. 먼저 시스템의 관의 축선을 나타내는 선으로 프레임 모델이 구성된다. 다음으로 이 프레임 라인들은 그 대응하는 관 요소로 교체된다. 각 관 요소는 실제 배관 시스템 구조를 나타내는 면적, 관성 등 같은 관련된 실제 데이터를 제공한다.
- [0020] 다음으로 단계(304)에서, 각 관 요소에 대한 관 모델 결과가 회수되어서 관 요소와 관련된 전달 함수에 전달된다. 전달 함수는 관 모델의 힘 및 모멘트를 후처리(post-processing)하는 것에 의해 요소들의 국소 응력에 대한 예측을 계산한다. 예시적 실시형태에 따라서 이런 전달 함수를 결정할 수 있는 방식으로 이하에 설명한다. 다음으로 단계(306)에서, 계산된 국소 응력값이 선형 HISC 적합성에 대하여 평가된다. 적합성은 계산된 국소 응력값과 표준 엔지니어링 공차를 비교함으로써 결정된다. 구체적으로 선형 적합성은 각 구성요소에 대하여, 1) 주방향에서의 최대 막응력(membrane stress), 2) 주방향에서의 최대 막 플러스 휨응력(membrane plus bending stresses), 및 3) 실제 막 플러스 휨응력을 사용한 폰 미세스(Von Mises) 응력(등가 응력)을 기제함으로써 평가된다.
- [0021] 단계(308)로 계속 진행하여, 관 요소가 선형 응력에 적합한지가 결정된다. 관 요소가 선형 응력에 적합하지 않으면 방법(300)은 단계(310)로 진행한다. 단계(310)에서 방법은 3차원 서브 모델로 관 요소를 시뮬레이션한다. 3차원 서브 모델은 관 요소의 국소 변형을 예측함으로써 비선형 HISC 평가를 실시한다. 관 요소가 비선형 HISC 평가에 적합하지 않으면 관 요소의 재설계가 필요하다. 관 요소가 비선형 HISC 평가에 적합하다면 방법(300)은 단계(312)로 진행하여 그 외에 어떤 관 요소라도 평가가 필요한지를 결정한다. 추가의 관 요소들이 평가를 필요로 한다면 방법(300)은 단계(306)로 복귀하여 다음 관 요소부터 반복한다. 예를 들어, 과정에서 비선형 HISC 적합성이 평가되며 필요에 따라서 미세 평가가 이루어진다. 예시적 실시형태에 따르면, 전술한 평가는 예측된 변형이 HISC 한계점보다 충분히 아래가 아닌 관 요소에 대해서만 수행된다. 본 예시적 실시형태에 따른 방법은 벽두께의 5퍼센트 내외의 결과를 제공하며 벽 두께에 대한 변형 플롯을 생성하지만, 당업자라면 다른 한계점을 사용할 수 있음을 이해할 것이다. 이 플롯들은 응력이 집중하는 어떤 구간에서도 자동으로 생성된다. 예시적 실시형태의 다른 면에서, 플롯들은 또한 굴곡 단부 구간으로부터 규칙적으로 이격된 구간에 생성된다.
- [0022] 이제 도 4를 보면, 예시적 실시형태에 따라서 새로운 전달 함수를 생성함 없이 전달 함수를 생성하고 이 전달 함수를 여러 가지 사용자 정의 조건을 사용하여 반복적인 계산에 사용하는 방법이 도시되어 있다. 단계(402)에서 시작하여, 방법은 관 요소에 적용 가능한 각 타입의 하중에 대한 관 요소 치수들의 일련의 조합을 운영함으로써 전달 함수를 생성한다. 다음으로 단계(404)에서 사용자 정의 조건들이 입력으로서 전달 함수에 제공된다. 계속하여 단계(406)로 진행하여, 전달 함수들이 실행되고 이 전달 함수에 의해 계산된 국소적인 관 요소 응력들이 수집된다.

- [0023] 다음으로 단계(408)에서, 다른 일련의 사용자 정의 조건에 의한 추가의 계산에 관한 결정이 이루어진다. 다른 일련의 사용자 정의 조건을 사용하는 추가의 변환이 필요하다면 방법은 단계(404)로 복귀하여 갱신된 사용자 정의 조건들에 기초한 새로운 전달 함수의 생성 없이 그 변환을 반복한다. 본 예시적 실시형태에 따른 방법의 최적화 핵심은 새로운 사용자 정의 조건에 기초하여 새로운 전달 함수를 생성할 필요 없이 여러 가지 다른 사용자 정의 조건에 대한 국소적인 관 요소 응력을 계산하는 능력임을 알아야 한다.
- [0024] 이제 도 5를 참조하면, 여기에 도시된 것은 청구하는 대상이 실행될 수 있는 적합한 계산 시스템 환경(500)의 일 예다. 이 계산 시스템 환경(500)은 단지 모바일 장치에 대한 적합한 계산 환경의 일 예일 뿐 청구하는 대상의 사용 범위 또는 기능성에 대한 어떠한 한정도 제시하려는 것이 아님을 알아야 한다. 또한, 이 계산 환경(500)은 예시적 동작 환경(500)에 도시된 구성요소들 중의 하나 또는 어떤 조합에 대한 청구 대상과 관련된 어떤 의존성이나 요구를 제시하려는 것은 아니다.
- [0025] 도 5를 참조하면, 여기서 설명하는 다양한 면들을 충족하는 원격 장치의 일 예는 컴퓨터(510) 형태의 일반적인 목적의 계산 장치를 포함한다. 컴퓨터(510)의 구성요소들로는 처리장치(520), 시스템 메모리(530), 및 시스템 메모리(530)을 포함한 다양한 시스템 구성요소들을 처리장치(520)에 연결하는 시스템 버스(521)를 포함할 수 있는데, 이들에 한정되는 것은 아니다. 시스템 버스(521)는 다양한 버스 구조물 중의 어느 것을 사용하는 메모리 버스나 메모리 컨트롤러, 주변기기용 버스, 및 로컬 버스를 포함한 몇 가지 타입의 버스 구조 중의 어떤 것도 될 수 있다.
- [0026] 컴퓨터(510)는 다양한 컴퓨터 가독형 매체를 포함할 수 있다. 컴퓨터 가독형 매체는 컴퓨터(510)가 액세스할 수 있는 어떤 가용 매체도 될 수 있다. 비제한 예로써, 컴퓨터 가독형 매체는 컴퓨터 저장 매체 및 통신 매체를 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 가독형 명령, 데이터 구조, 프로그램 모듈이나 그 외의 데이터 같은 정보 저장용 방법이나 기술로 실행되는 착탈형 및 비착탈형 매체뿐만 아니라 휘발성 및 비휘발성 매체를 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 원하는 정보를 저장하는데 사용할 수 있고 컴퓨터(510)가 액세스할 수 있는 RAM, ROM, EEPROM, 플래시 메모리나 그 외의 메모리 기술, CDROM, 디지털 다용도 디스크(DVD)나 그 외의 광 디스크 저장체, 자기 카세트, 자기 테이프, 자기 디스크 저장체나 그 외의 자기 저장 장치, 또는 그 외의 임의의 매체를 포함하지만, 이들에 한정되는 것은 아니다. 통신 매체는 컴퓨터 가독형 명령, 데이터 구조, 프로그램 모듈, 또는 반송파나 그 외의 반송 기구 같은 그 외의 변조된 데이터 신호의 데이터를 구현할 수 있으며, 어떤 적절한 정보 전달 매체도 포함할 수 있다.
- [0027] 시스템 메모리(530)는 ROM 및/또는 RAM 같은 휘발성 및/또는 비휘발성 메모리 형태의 컴퓨터 저장 매체를 포함할 수 있다. 메모리(530)에는 기동중 같이 컴퓨터(510) 내의 요소들 사이에 정보를 전달하는 것을 도와주는 기본적인 루틴을 갖는 기본입출력시스템(BIOS)이 저장될 수 있다. 메모리(530)는 또한 처리장치(520)에 즉시 액세스할 수 있고/있거나 처리장치(520)에 의해 곧 동작되는 데이터 및/또는 프로그램 모듈을 보유할 수 있다. 비제한적 예로서, 메모리(530)는 또한 오퍼레이팅 시스템, 애플리케이션 프로그램, 그 외의 프로그램 모듈 및 프로그램 데이터를 포함할 수 있다.
- [0028] 컴퓨터(510)는 또한 그 외의 착탈형/비착탈형, 휘발성/비휘발성 컴퓨터 저장 매체를 포함할 수 있다. 예를 들어, 컴퓨터(510)는 비착탈형, 비휘발성 자기 매체에 대하여 읽거나 쓰는 하드 디스크 드라이브, 착탈형, 비휘발성 자기 디스크에 대하여 읽거나 쓰는 자기 디스크 드라이브, 및/또는 CR-ROM이나 그 외의 광 매체 같은 착탈형, 비휘발성 광 디스크에 대하여 읽거나 쓰는 광 디스크 드라이브를 포함할 수 있다. 예시적 동작 환경에서 사용될 수 있는 그 외의 착탈형/비착탈형, 휘발성/비휘발성 컴퓨터 저장 매체는 자기 테이프 카세트, 플래시 메모리 카드, 디지털 다용도 디스크, 디지털 비디오 테이프, 반도체 RAM(solid state RAM), 반도체 ROM 등을 포함하지만, 이들에 한정되지 않는다. 하드 디스크 드라이브는 인터페이스 같은 비착탈형 메모리 인터페이스를 통해 시스템 버스(521)에 연결될 수 있으며, 시스템 버스(521)에는 인터페이스 같은 착탈형 메모리 인터페이스에 의해 자기 디스크 드라이브나 광디스크 드라이브가 연결될 수 있다.
- [0029] 사용자는 키보드 또는 마우스, 트랙볼, 터치패드 및/또는 그 외의 포인팅 장치 같은 포인팅 장치 같은 입력 장치를 통해 컴퓨터(510)에 명령 및 정보를 입력한다. 그 외의 입력 장치로는 마이크, 조이스틱, 게임패드, 위성 안테나, 스캐너 등을 포함할 수 있다. 이들 및/또는 그 외의 입력 장치들은 시스템 버스(521)에 연결된 사용자 입력(540) 및 관련 인터페이스를 통하여 처리장치(520)에 연결될 수 있지만, 병렬 포트, 게임 포트 또는 유니버설 시리얼 버스(USB) 같은 그 외의 인터페이스 및 버스 구조에 의해 연결될 수 있다. 시스템 버스(521)에는 그 래픽 서브시스템도 연결될 수 있다. 게다가, 시스템 버스(521)에는 결국 비디오 메모리와 연결될 수 있는 출력 인터페이스(550) 같은 인터페이스를 통하여 모니터나 그 외의 타입의 디스플레이 장치가 연결될 수 있다. 모니

터 외에도 컴퓨터는 역시 출력 인터페이스(550)를 통하여 연결될 수 있는 스피커 및/또는 프린터 같은 그 외의 주변 출력 장치도 포함할 수 있다.

[0030] 컴퓨터(510)는 결국 컴퓨터 장치(510)와는 다른 매체 능력을 가질 수 있는 원격 서버(570) 같은 하나 이상의 다른 원격 컴퓨터에 대한 논리적 연결을 이용하여 네트워크화되거나 분산된 환경에서 동작할 수 있다. 원격 서버(570)는 퍼스널 컴퓨터, 서버, 라우터(router), 네트워크 PC, 피어(peer) 장치 또는 그 외의 공통 네트워크 노드, 및/또는 그 외의 다른 원격 매체 소비 또는 전송 장치가 될 수 있으며, 컴퓨터(510)에 대하여 전술한 요소들의 어느 것이나 전부를 포함할 수 있다. 도 5에 도시한 논리적 연결은 로컬 에어리어 네트워크(LAN) 또는 와이드 에어리어 네트워크(WAN) 같은 네트워크(571)를 포함하지만, 그 외의 네트워크/버스들도 포함할 수 있다. 이런 네트워킹 환경들은 가정, 사무실, 기업규모의 컴퓨터 네트워크, 인트라넷 및 인터넷에서 일반적인 것이다.

[0031] LAN 네트워킹 환경에서 사용될 때, 컴퓨터(510)는 네트워크 인터페이스나 어댑터를 통해 LAN(571)에 연결된다. WAN 네트워킹 환경에서 사용될 때, 컴퓨터(510)는 인터넷 같은 WAN에 걸쳐 통신을 확립하기 위한 모뎀이나 그 외의 수단 같은 통신 부품을 포함할 수 있다. 내부 또는 외부형의 모뎀 같은 통신 부품이 입력(540)에서의 사용자 입력 인터페이스 및/또는 그 외의 적절한 기구를 통하여 시스템 버스(521)에 연결될 수 있다. 네트워크화 환경에서 컴퓨터(510)에 대하여 묘사된 프로그램 모듈 또는 그 부분들은 원격 메모리 저장 장치에 저장될 수 있다. 도시하고 설명한 네트워크 연결은 예시적인 것으로서 컴퓨터들 사이에 통신 링크를 확립하기 위한 그 외의 수단을 사용할 수 있다.

[0032] 이제 도 6을 보면, 예시적 실시형태에 따른 전달 함수 구성요소(602)은 전달 함수 생성기(604), 전달 함수 엔진(606) 및 전달 함수 저장체(608)를 포함한다. 전달 함수 구성요소는 본 예시적 실시형태에서 계산 환경(510)의 시스템 메모리(530)에 저장되어 계산 환경(510)의 처리장치(520)에 의해 실행됨을 알아야 한다. 전달 함수 생성기는 관 요소의 국소 응력을 관 요소에 가해진 하중과 상호 관련시키는 관 요소와 관련된 전달 함수를 생성한다. 특정 위치(노드)에서의 단위 하중에 대한 2차 전달 함수 방정식은 다음과 같을 것이다.

[0033] 
$$S_{Fi} = c + (a_1 * Ro) + (a_2 * Ri) + (a_3 * Rb) + (a_4 * Ab) + (a_5 * Ro * Ri) + (a_7 * Ro * Rb) + (a_8 * Ro * Ab) + (a_9 * Ri * Rb) + \dots + (a_{n+1} * Ro^2) + (a_{n+2} * Rb^2) + \dots + (a_{n+5} * Ab^2) \dots \text{식 1}$$

[0034] 여기서,  $S_{Fi}$  = 방향(i)으로의 특정 힘 또는 모멘트(F, M)에 의해 발생된 응력(S); c = 상수;  $a_1, a_n$  = 계수, Ro = 외반경; Ri = 내반경; Ab = 휨 각도; Rb = 휨 반경[도 7에 예시된 바와 같은 변수(700)도 참조].

[0035] 응력 분포는 하중에 직선적으로 비례한다는 사실에 기초하여, 전달 함수는 식 1에서 구한 것처럼 비단위(non-unitary) 하중에 대하여 노드에서의 비단위 하중과 노드에서의 응력의 곱으로서 생성된다( $S_{Fi@node} = L_i * S_{Fi@node}$ ). 예를 들어, 전달 함수는 다음과 같이 구해진 총 성분 응력에 의해 각 응력 성분(예를 들어, 반경방향 응력, 축방향 응력, 후프 응력 등) 및 각 타입의 하중에 대하여 생성된다.

[0036] 
$$S_{radial@node} = L1 * S_{F1\_radial@node} + L2 * S_{F2\_radial@node} + L4 * S_{M1\_radial@node} \dots + L6 * S_{M3\_radial@node}$$

[0037] 여기서 S = 응력, L = 하중, F = 힘, 및 M = 모멘트[도 8에 도시한 힘/모멘트(800) 참조]. 유사한 식이 후프 응력, 축방향 응력 등에 대해서 도출됨을 알아야 한다. 또한 예시적 실시형태에 따르면 각 하중 타입에 대하여 전달 함수가 생성되며, 따라서 각 하중 타입에 대한 응력값을 합하여 총 국소 응력이 계산됨을 알아야 한다. 이 총합은 타당한데 왜냐하면 응력들이 후프 응력, 반경방향 응력 등 같은 성분 응력이기 때문이다.

[0038] 일 예시적 실시형태에 따르면, 응력이 집중되는 노드에 대해서만 전달 함수가 생성된다. 예를 들어, 휨부에 있어서는 도 9에 지시한 바와 같은 설계하의 시스템에서 응력은 3개의 응력 위치(900) 중의 하나에 집중한다. 도 9에서, 도시된 구간들은 응력이 집중되는 전형적인 위치를 지시한다. 하중 조합에 따라서 하나의 구간은 다른 구간보다 많은 응력을 발달시킬 것이다. 예를 들어 압력은 각도의 1/2 구간에 응력을 가하는 반면 면외(out of plane) 운동은 각도의 1/3 구간에 응력을 가한다. 또한, 이 각도 위치는 하중의 조합에 따라서 변할 수 있다. 복잡한 이유 때문에, 24개의 서로 다른 각도 위치에서 전달 함수가 생성된다. 최대치는 임의의 두 개의 연속적인 위치 사이에 속할 수 있으며, 따라서 최종 평가는 보간법(interpolation)에 의해 수행된다. 전체적으로 본 예시적 실시형태에서 휨부의 분석은 위치, 힘 성분 및 힘 타입에 따라서 432개의 전달 함수를 이용한다.

[0039] 전달 함수 엔진(606)은 이전에 구성된 관 모델로부터 필요한 데이터로 적절한 전달 함수를 실행하여 구조적 입력 데이터를 국소 관 요소 응력값으로 변환한다. 다른 예시적 실시형태에 있어서, 전달 함수 엔진(606)은 일련의 입력 데이터 수집을 통하여 루프를 만들고 그 입력 데이터를 대응하는 일련의 관 요소 국소 응력값으로 변환

한다. 다른 방법으로서, 국소 전달 함수 엔진(606)은 관 요소로부터 수집된 데이터를 국소 전달 함수 엔진(606)에 통신 가능하게 연결된 다른 컴퓨터에 위치한 원격 전달 함수 엔진(606)에 전송하여 입력 데이터를 관 요소 국소 출력값으로 처리할 수 있다. 이런 방식으로 국소 컴퓨터 및 원격 컴퓨터 중의 하나(또는 둘 다)에서 데이터 처리가 이루어질 수 있다.

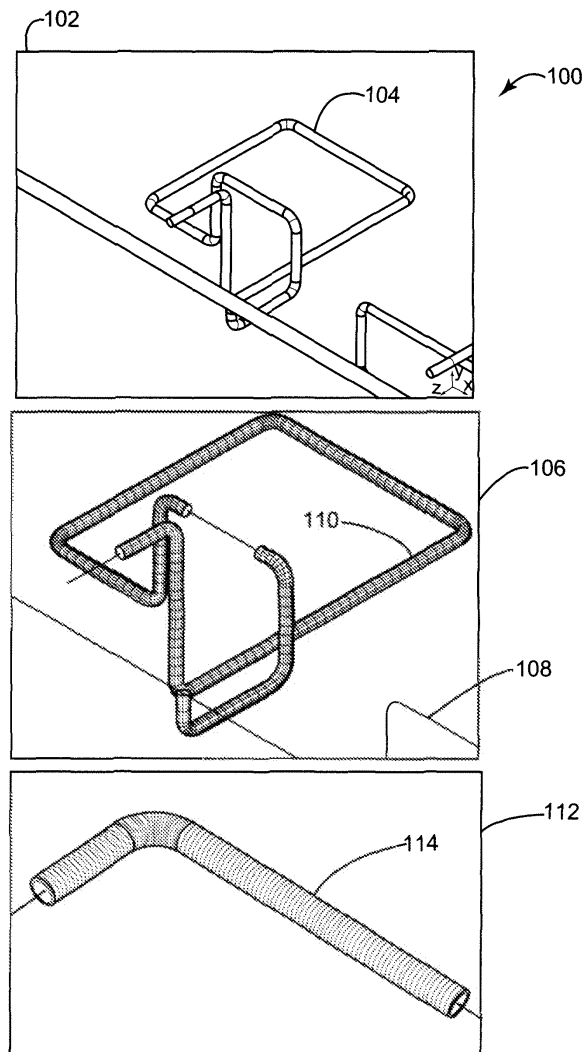
[0040] 전달 함수 저장 구성요소(608)은 생성된 전달 함수를 저장하여 그 전달 함수가 나중에 다른 시뮬레이션을 구동하는데 재사용될 수 있게 한다. 비제한적 일 예에서, 배관 구조에서의 변화의 결과로서 새로운 사용자 정의 조건이 나타날 수 있으며, 새로운 일련의 전달 함수를 생성할 필요 없이 적용 가능한 전달 함수들이 회수될 수 있다. 다른 비제한적 예에서, 저장된 전달 함수들은 다른 컴퓨터 시스템에 전달되어 원격 위치에 저장되거나 실행될 수 있다.

[0041] 본 출원에서 사용되는 바와 같이 "구성요소", "디스플레이", "인터페이스" 등 같은 용어는 컴퓨터 관련 구성요소, 즉 하드웨어, 하드웨어 및 소프트웨어의 조합, 소프트웨어, 또는 HISC를 받는 해중 설비의 확인을 위해 시스템에 적용되는 실행에서의 소프트웨어를 의미하려는 것이다. 예를 들어, 한 구성요소는 프로세서에서 구동되는 과정, 프로세서, 대상물, 실행가능체, 일련의 실행, 프로그램 및 컴퓨터가 될 수 있지만, 이들에 한정되는 것은 아니다. 예시로서, 서버에서 구동되는 어플리케이션과 그 서버는 구성요소가 될 수 있다. 과정 및/또는 일련의 실행 내에는 하나 이상의 구성요소가 존재할 수 있으며, 하나의 구성요소는 하나의 컴퓨터에 국한되며/국한되거나 두 개 이상의 컴퓨터, 공업용 컨트롤러 및/또는 이와 연결된 모듈 사이에 분포될 수 있다. 게다가 본 출원에서 사용되는 것 같은 "시스템 사용자", "사용자", "오퍼레이터" 등 같은 용어는 전술한 컴퓨터 관련 요소를 조작하는 사람을 의미하려는 것이다.

[0042] 전술한 예시적 실시형태들은 본 발명을 한정하려는 것보다는 모든 면에서 예시하려는 것이다. 따라서 본 발명은 당업자가 여기에 담겨진 설명으로부터 도출할 수 있는 상세한 실시에서의 많은 변화가 가능하다. 이런 모든 변화 및 수정들은 이후의 청구범위에서 정하는 바와 같은 본 발명의 범위 및 정신 내에 포함되는 것으로 생각된다. 본 출원의 설명에서 사용된 요소, 행위나 지시의 어느 것도 명시적으로 설명하지 않는 한은 본 발명에 결정적이거나 절대적으로 필요한 것으로 해석되어서는 안 된다. 또한, 여기서 사용하는 관사 "a"는 하나 이상의 항목을 포함하려는 것이다.

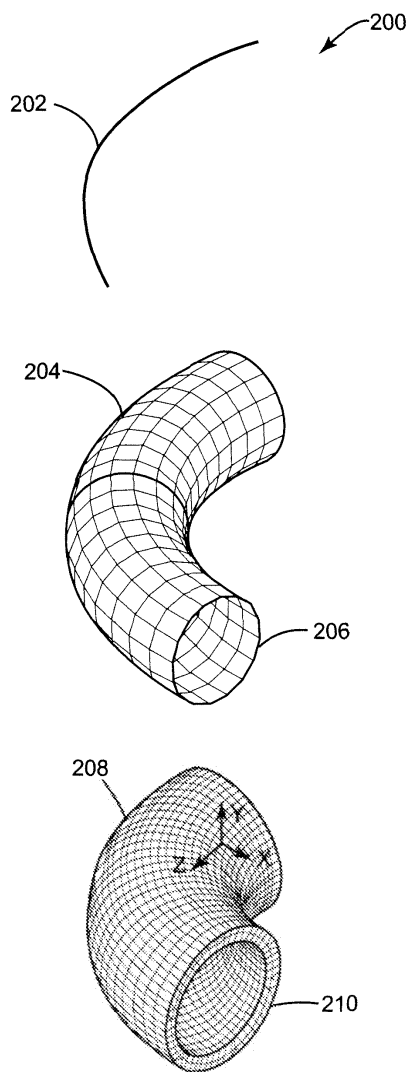
도면

도면1

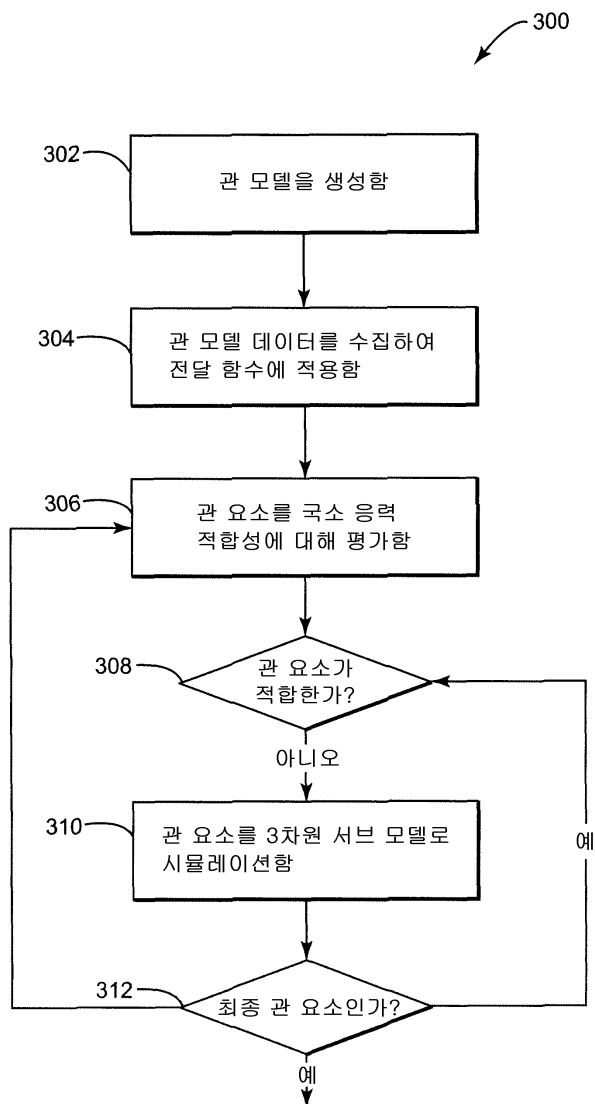


(배경기술)

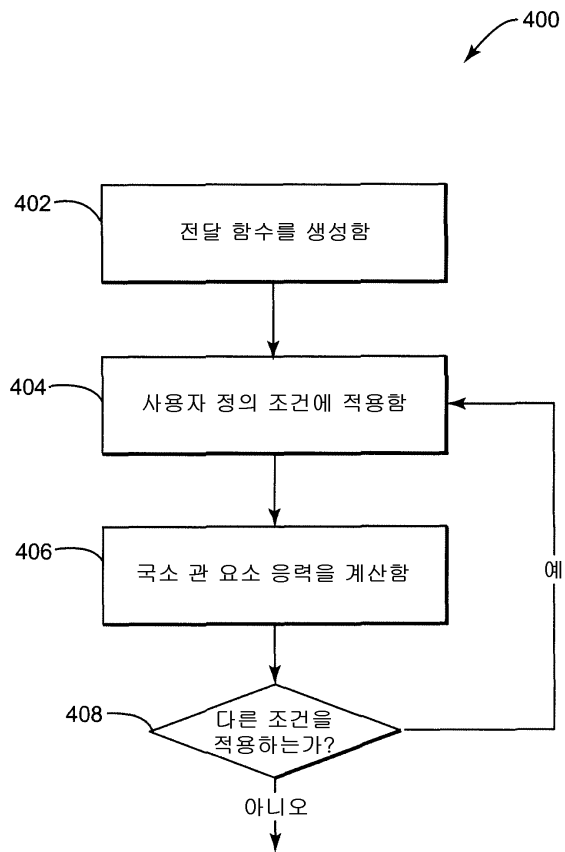
도면2



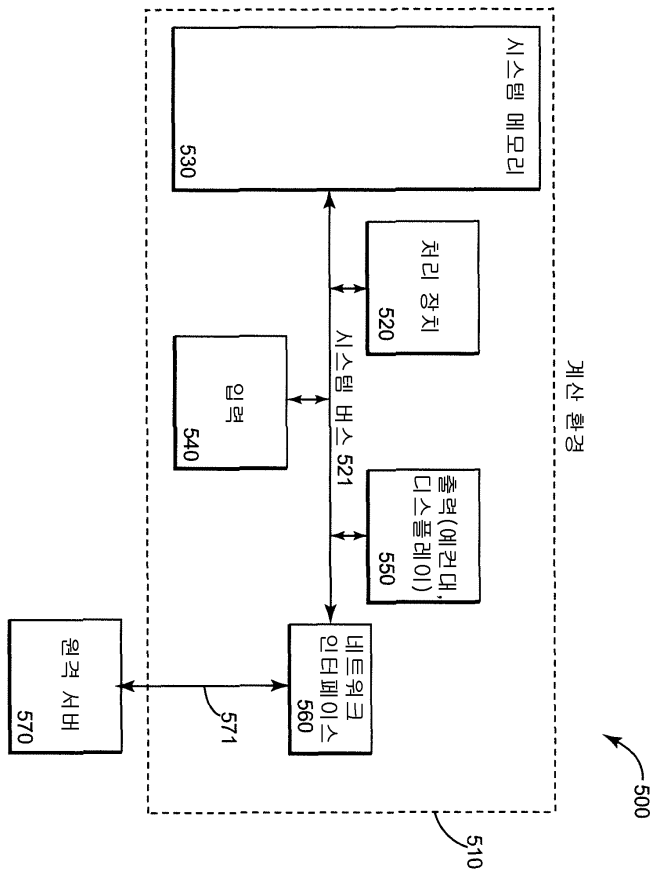
도면3



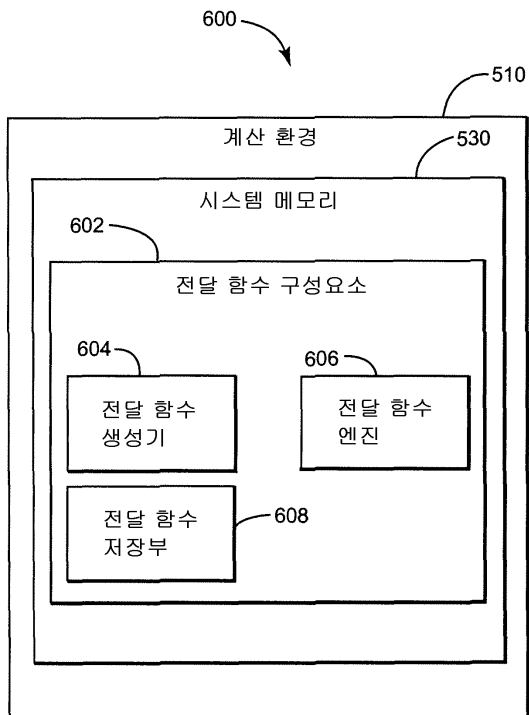
도면4



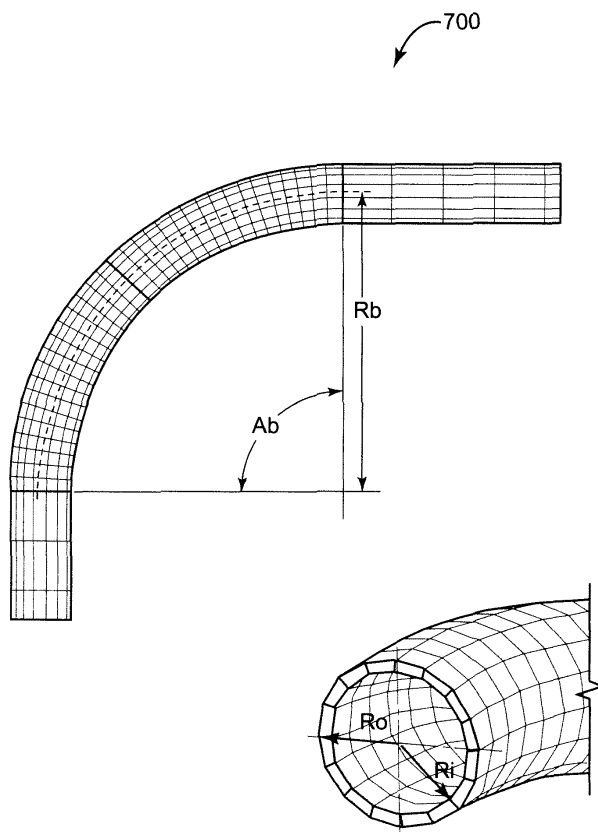
도면5



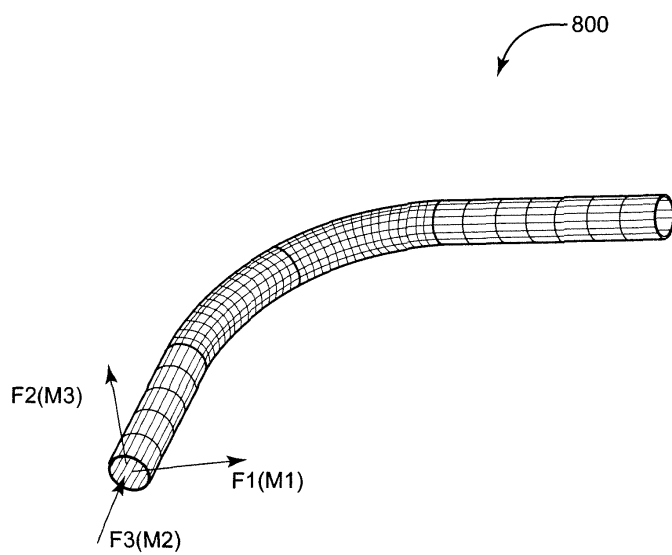
도면6



도면7



도면8



도면9

