



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년02월10일
(11) 등록번호 10-1705249
(24) 등록일자 2017년02월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 17/50 (2006.01) G01M 99/00 (2011.01)
(52) CPC특허분류
G06F 17/5018 (2013.01)
G01M 99/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0019847
(22) 출원일자 2016년02월19일
심사청구일자 2016년02월19일
(56) 선행기술조사문헌
“지진하중을 받는 사장교의 확률유한요소해석”,
한국전산구조공학회 논문집 제18권 제1호(pp.
29-41), 2005년 03월
KR1020150108884 A
JP2007141119 A
JP2007113967 A

(73) 특허권자
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
이영주
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술대학교
송준호
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동,
서울대학교)
(74) 대리인
제일특허법인

전체 청구항 수 : 총 20 항

심사관 : 박승철

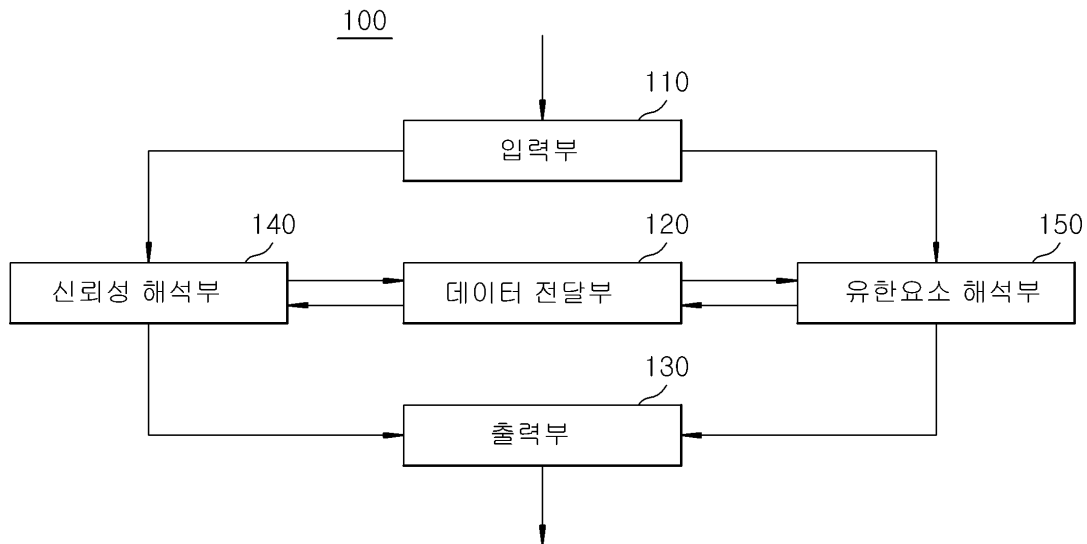
(54) 발명의 명칭 **유한요소법을 이용한 구조물 신뢰성 평가를 위한 인터페이스, 시스템 및 방법**

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 구조물 신뢰성 평가 시스템은, 구조물에 발생하는 이벤트와 관련된 하나 이상의 확률 변수에 대한 확률 분포 데이터 및 상기 구조물에 대한 유한요소 모델을 입력받는 입력부, 특정 값을 상기 확률 변수의 값으로서 입력받고, 상기 확률 변수가 상기 특정 값을 취할 경우의 상기 구조물의 물리량 분포를 상기

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



유한요소 모델에 기초한 유한요소 해석을 통해 계산하여 출력하는 유한요소 해석부, 상기 확률 변수를 표현하기 위한 벡터 공간 상의 하나 이상의 좌표에 대하여, 상기 확률 변수가 상기 하나 이상의 좌표에 대응되는 값을 취할 경우의 상기 구조물의 물리량 분포를 상기 유한요소 해석부를 통해 획득하고, 상기 획득된 구조물의 물리량 분포 및 상기 확률 분포 데이터에 기초하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성하는 신뢰성 해석부, 상기 신뢰성 해석부와 상기 유한요소 해석부 간의 데이터 송신 및 수신을 수행하는 데이터 전달부 및 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 출력하는 출력부를 포함하며, 상기 데이터 전달부는 상기 신뢰성 해석부와 상기 유한요소 해석부 간의 데이터 송신 및 수신 시에, 송신 측에서 전송한 상기 데이터를 수신 측이 인식할 수 있는 포맷으로 변환할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G06F 17/5004 (2013.01)

G06F 2217/16 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 15SCIP-B066018-03

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 건설기술연구사업

연구과제명 ICT 기반 교량 수명 연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술 개발

기여율 1/1

주관기관 한국과학기술원

연구기간 2015.04.01 ~ 2016.03.31

명세서

청구범위

청구항 1

신뢰성 해석부와 유한요소 해석부를 연계하여 구조물의 신뢰성을 평가하는 구조물 신뢰성 평가 시스템으로서, 구조물에 발생하는 이벤트와 관련된 하나 이상의 확률 변수에 대한 확률 분포 데이터 및 상기 구조물에 대한 유한요소 모델을 입력받는 입력부;

상기 신뢰성 해석부로부터 특정 값을 상기 확률 변수의 값으로서 입력받고, 상기 확률 변수가 상기 특정 값을 취할 경우의 상기 구조물의 물리량 분포를 상기 유한요소 모델에 기초한 유한요소 해석을 통해 계산하여 상기 신뢰성 해석부에 전달하는 유한요소 해석부;

상기 확률 변수를 표현하기 위한 벡터 공간 상의 하나 이상의 좌표에 대하여, 상기 확률 변수가 상기 하나 이상의 좌표에 대응되는 값을 취할 경우의 상기 구조물의 물리량 분포를 상기 유한요소 해석부를 통해 획득하고, 상기 획득된 구조물의 물리량 분포 및 상기 확률 분포 데이터에 기초하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성하는 신뢰성 해석부;

상기 신뢰성 해석부와 상기 유한요소 해석부 간의 데이터 송신 및 수신을 수행하는 데이터 전달부; 및

상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 출력하는 출력부를 포함하며,

상기 데이터 전달부는 상기 신뢰성 해석부와 상기 유한요소 해석부 간의 데이터 송신 및 수신 시에, 송신 측에서 전송한 상기 데이터를 수신 측이 인식할 수 있는 포맷으로 변환하는

구조물 신뢰성 평가 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 데이터는 바이너리(binary) 데이터 혹은 텍스트(text) 데이터인

구조물 신뢰성 평가 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 물리량은 응력이고,

상기 구조물에 발생하는 이벤트는 상기 구조물의 최대 응력이 상기 구조물의 허용 응력 이상이 됨에 따른 상기 구조물의 파괴이며,

상기 구조물의 신뢰성 해석 결과는 상기 구조물의 파괴가 발생할 확률에 기초하여 생성되는

구조물 신뢰성 평가 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 신뢰성 해석부는, 일계신뢰도법(first order reliability method) 혹은 이계신뢰도법(second order reliability method)을 이용하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성하는

구조물 신뢰성 평가 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 입력부 및 상기 출력부는 GUI(graphic user interface)로 구현되는 구조물 신뢰성 평가 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 입력부는 상기 입력된 확률 분포 데이터를 상기 신뢰성 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하고, 상기 입력된 유한요소 모델을 상기 유한요소 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하는

구조물 신뢰성 평가 시스템.

청구항 7

신뢰성 해석부와 유한요소 해석부를 연계하여 구조물의 신뢰성을 평가하는 구조물 신뢰성 평가 인터페이스로서, 구조물에 발생하는 이벤트와 관련된 하나 이상의 확률 변수에 대한 확률 분포 데이터 및 상기 구조물에 대한 유한요소 모델을 입력받는 입력부;

상기 확률 분포 데이터를 상기 신뢰성 해석부에 전달하고, 상기 유한요소 모델을 상기 유한요소 해석부에 전달하며, 상기 신뢰성 해석부와 상기 유한요소 해석부 간의 데이터 송신 및 수신을 수행하고, 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 상기 신뢰성 해석부로부터 전달받는 데이터 전달부; 및

상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 상기 데이터 전달부로부터 전달받아 출력하는 출력부를 포함하며,

상기 유한요소 해석부는 상기 신뢰성 해석부로부터 특정 값을 상기 확률 변수의 값으로서 입력받고, 상기 확률 변수가 상기 특정 값을 취할 경우의 상기 구조물의 물리량 분포를 상기 유한요소 모델에 기초한 유한요소 해석을 통해 계산하여 상기 신뢰성 해석부에 전달하고,

상기 신뢰성 해석부는 상기 확률 변수를 표현하기 위한 벡터 공간 상의 하나 이상의 좌표에 대하여, 상기 확률 변수가 상기 하나 이상의 좌표에 대응되는 값을 취할 경우의 상기 구조물의 물리량 분포를 상기 유한요소 해석부를 통해 획득하고, 상기 획득된 구조물의 물리량 분포 및 상기 확률 분포 데이터에 기초하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성하며,

상기 데이터 전달부는 상기 신뢰성 해석부와 상기 유한요소 해석부 간의 데이터 송신 및 수신 시에, 송신 측에서 전송한 상기 데이터를 수신 측이 인식할 수 있는 포맷으로 변환하는

구조물 신뢰성 평가 인터페이스.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 데이터는 바이너리(binary) 데이터 혹은 텍스트(text) 데이터인

구조물 신뢰성 평가 인터페이스.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 물리량은 응력이고,

상기 구조물에 발생하는 이벤트는 상기 구조물의 최대 응력이 상기 구조물의 허용 응력 이상이 됨에 따른 상기 구조물의 파괴이며,

상기 구조물의 신뢰성 해석 결과는 상기 구조물의 파괴가 발생할 확률에 기초하여 생성되는

구조물 신뢰성 평가 인터페이스.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 신뢰성 해석부는 일계신뢰도법 혹은 이계신뢰도법을 이용하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성하는 구조물 신뢰성 평가 인터페이스.

청구항 11

제 7 항에 있어서,
상기 입력부 및 상기 출력부는 GUI로 구현되는 구조물 신뢰성 평가 인터페이스.

청구항 12

제 7 항에 있어서,
상기 입력부는 상기 입력된 확률 분포 데이터를 상기 신뢰성 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하고, 상기 입력된 유한요소 모델을 상기 유한요소 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하는 구조물 신뢰성 평가 인터페이스.

청구항 13

신뢰성 해석부와 유한요소 해석부를 연계하여 구조물의 신뢰성을 평가하는 구조물 신뢰성 평가 방법으로서,
구조물에 발생하는 이벤트와 관련된 하나 이상의 확률 변수에 대한 확률 분포 데이터 및 상기 구조물에 대한 유한요소 모델을 입력부를 통해 입력받는 제 1 단계;
상기 확률 분포 데이터를 신뢰성 해석부에 전달하고, 상기 유한요소 모델을 유한요소 해석부에 전달하는 제 2 단계;
상기 신뢰성 해석부를 통해, 상기 확률 변수가 상기 확률 변수를 표현하기 위한 벡터 공간 상의 하나 이상의 좌표에 대응되는 값을 취할 경우의 상기 구조물의 물리량 분포 및 상기 확률 분포 데이터에 기초하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성하는 제 3 단계; 및
상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 출력부를 통해 출력하는 제 4 단계를 포함하며,
상기 제 3 단계는, 상기 하나 이상의 좌표를 상기 신뢰성 해석부로부터 상기 유한요소 해석부에 전달하는 단계 및 상기 유한요소 해석부에 의해 상기 하나 이상의 좌표 및 상기 유한요소 모델에 기초하여 계산된 상기 구조물의 물리량 분포를 상기 유한요소 해석부로부터 상기 신뢰성 해석부로 전달하는 단계를 포함하고,
상기 신뢰성 해석부와 상기 유한요소 해석부 간의 데이터 송신 및 수신 시에, 송신 측에서 전송한 상기 데이터는 수신 측이 인식할 수 있는 포맷으로 변환되는 구조물 신뢰성 평가 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서,
상기 데이터는 바이너리(binary) 데이터 혹은 텍스트(text) 데이터인 구조물 신뢰성 평가 방법.

청구항 15

제 13 항에 있어서,
상기 물리량은 응력이고,
상기 구조물에 발생하는 이벤트는 상기 구조물의 최대 응력이 상기 구조물의 허용 응력 이상이 됨에 따른 상기 구조물의 파괴이며,
상기 구조물의 신뢰성 해석 결과는 상기 구조물의 파괴가 발생할 확률에 기초하여 생성되는

구조물 신뢰성 평가 방법.

청구항 16

제 13 항에 있어서,

상기 신뢰성 해석부는 일계신뢰도법 혹은 이계신뢰도법을 이용하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성하는 구조물 신뢰성 평가 방법.

청구항 17

제 13 항에 있어서,

상기 입력부 및 상기 출력부는 GUI로 구현되는

구조물 신뢰성 평가 방법.

청구항 18

제 13 항에 있어서,

상기 제 1 단계는, 상기 입력된 확률 분포 데이터를 상기 신뢰성 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하고, 상기 입력된 유한요소 모델을 상기 유한요소 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하는 단계를 포함하는

구조물 신뢰성 평가 방법.

청구항 19

제 13 항 내지 제 18 항 중 어느 한 항에 기재된 방법에 따른 각각의 단계를 수행하는, 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장된 애플리케이션 프로그램.

청구항 20

제 13 항 내지 제 18항 중 어느 한 항에 기재된 방법에 따른 각각의 단계를 수행하는 명령어를 포함하는 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능 기록매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 유한요소법(finite element method)을 이용하여 구조물의 신뢰성을 평가하기 위한 인터페이스, 장치 및 방법에 관한 것으로, 더 상세하게는 서로 독립적으로 존재하는 신뢰성 해석 수단과 유한요소 해석 수단을 연계함으로써, 구조물의 신뢰성 평가를 효율적이면서도 편리하게 수행할 수 있는 인터페이스, 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 구조물의 파괴(failure)는 건설, 기계 및 조선 등의 광범위한 분야에서 중요한 문제로 취급되고 있다. 이러한 구조물의 파괴는 심각한 인명 혹은 재산 피해를 야기할 수 있기 때문에, 구조물의 파괴 확률을 구하기 위한 구조물 신뢰성 평가에 대한 연구가 오랜 시간 동안 세계 각처의 연구자들에 의해 수행되어 왔다.

[0003] 구조물의 파괴를 계산하기 위해서는 구조물의 물성, 구조물에 가해지는 외력 등의 다양한 인자에 대한 고려가 필요하며, 이러한 인자들은 대개 불확실성 요소를 갖는다. 즉, 인자의 값이 특정 값으로서 확실하게 결정된 것이 아니므로, 인자의 값을 확률 변수로 설정하여 확률론적으로 추정할 수밖에 없다. 따라서 이러한 확률 변수들의 불확실성 요소를 나타내는 수학적 모델인 확률 밀도 함수(probability density function, PDF)를 활용하여 구조물의 신뢰성을 평가하는 방법이 널리 사용되고 있다. 확률 변수가 복수 개인 다변수 시스템의 경우, 이러한 복수 개의 확률 변수를 인자로 갖는 결합 확률 밀도 함수(joint PDF)를 이용하여 구조물의 신뢰성을 평가하게 된다. 하지만, 이러한 확률 밀도 함수는 일반적으로 매우 복잡하며, 비선형성을 갖는 경우가 많아 통상적인 해석 방법을 통해 해석하기는 어렵다.

[0004] 이러한 해석의 난점을 해결하기 위하여, 난수를 이용하여 함수의 값을 확률적으로 계산하는 알고리즘인 몬테 카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)을 통한 해석 방법이 도입되었다. 본 방법에 의하면, 우선 확률 밀도 함수에 따른 확률 분포 특성에 기초하여 확률 변수에 대응되는 난수를 복수 개 추출한다. 구체적으로 설명하면, 특정한 값을 갖는 난수가 추출될 확률은 해당 특정한 값에서의 확률 밀도 함수의 값에 비례하게 된다. 난수가 복수 개 추출되면, 각각의 난수에 대해 구조 해석을 수행하는 과정을 반복한다. 이러한 반복의 결과를 통계적으로 분석하면 구조물의 파괴 확률을 매우 정확하게 구할 수 있다. 하지만 본 방법에 따라 정확한 확률을 구하기 위해서는 매우 많은 수의 난수를 추출해야 하므로, 이에 따라 시간이 과다하게 소요되고 방법을 수행하는 시스템에도 과부하가 걸리게 되는 문제점이 발생하게 된다.

[0005] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해, 일계신뢰도법(first-order reliability method, FORM) 혹은 이계신뢰도법(second-order reliability method, SORM) 등의 방법이 몬테 카를로 시뮬레이션을 대체하기 위한 방법으로서 제안되었다. 이에 더하여, 유한요소법이 일계신뢰도법 혹은 이계신뢰도법 등의 방법에 기반한 신뢰성 해석을 수행하기 위한 구체적인 도구로서 대두되었다. 일계신뢰도법 혹은 이계신뢰도법에 기반한 신뢰성 해석에 유한요소법을 적용하는 본 방법에 의하면, 구조물의 파괴 확률을 비교적 정확히 구할 수 있으면서도, 계산의 횟수가 몬테 카를로 시뮬레이션을 통한 해석 방법에 비해 획기적으로 줄어들기 때문에 시간 및 시스템 자원을 절약하는 것이 가능하다. 이 경우 신뢰성 해석 수단과 유한요소 해석 수단을 연계시켜 계산을 수행해야 하나, 이러한 연계 수단의 부재로 사용자 입장에서의 편의성 및 효율성이 제대로 발휘되지 못하고 있는 실정이다.

[0006] 따라서, 신뢰성 해석 수단과 유한요소 해석 수단을 연계시켜 하나의 시스템처럼 동작하도록 할 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 특허문헌: 대한민국 공개특허 제 10-2015-0114180호 (2015.10.12. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 신뢰성 해석 수단과 유한요소 해석 수단을 연계함으로써, 사용자에게 보다 효율적이면서도 편리한 구조물 신뢰성 평가 환경을 제공할 수 있는 인터페이스, 장치 및 방법에 관한 것이다.

[0009] 다만, 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지는 않았으나 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있는 목적을 포함할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 신뢰성 해석부와 유한요소 해석부를 연계하여 구조물의 신뢰성을 평가하는 구조물 신뢰성 평가 시스템은, 구조물에 발생하는 이벤트와 관련된 하나 이상의 확률 변수에 대한 확률 분포 데이터 및 상기 구조물에 대한 유한요소 모델을 입력받는 입력부, 상기 신뢰성 해석부로부터 특정 값을 상기 확률 변수의 값으로서 입력받고, 상기 확률 변수가 상기 특정 값을 취할 경우의 상기 구조물의 물리량 분포를 상기 유한요소 모델에 기초한 유한요소 해석을 통해 계산하여 상기 신뢰성 해석부에 전달하는 유한요소 해석부, 상기 확률 변수를 표현하기 위한 벡터 공간 상의 하나 이상의 좌표에 대하여, 상기 확률 변수가 상기 하나 이상의 좌표에 대응되는 값을 취할 경우의 상기 구조물의 물리량 분포를 상기 유한요소 해석부를 통해 획득하고, 상기 획득된 구조물의 물리량 분포 및 상기 확률 분포 데이터에 기초하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성하는 신뢰성 해석부, 상기 신뢰성 해석부와 상기 유한요소 해석부 간의 데이터 송신 및 수신을 수행하는 데이터 전달부 및 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 출력하는 출력부를 포함하며, 상기 데이터 전달부는 상기 신뢰성 해석부와 상기 유한요소 해석부 간의 데이터 송신 및 수신 시에, 송신 측에서 전송한 상기 데이터를 수신 측이 인식할 수 있는 포맷으로 변환할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 데이터는 바이너리(binary) 데이터 혹은 텍스트(text) 데이터일 수 있다.

[0012] 또한, 상기 물리량은 응력이고, 상기 구조물에 발생하는 이벤트는 상기 구조물의 최대 응력이 상기 구조물의 허용 응력 이상이 됨에 따른 상기 구조물의 파괴이며, 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과는 상기 구조물의 파괴가

발생할 확률에 기초하여 생성될 수 있다.

- [0013] 또한, 상기 신뢰성 해석부는, 일계신뢰도법(first order reliability method) 혹은 이계신뢰도법(second order reliability method)을 이용하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성할 수 있다.
- [0014] 또한, 상기 입력부 및 상기 출력부는 GUI(graphic user interface)로 구현될 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 입력부는 상기 입력된 확률 분포 데이터를 상기 신뢰성 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하고, 상기 입력된 유한요소 모델을 상기 유한요소 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환할 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 신뢰성 해석부와 유한요소 해석부를 연계하여 구조물의 신뢰성을 평가하는 구조물 신뢰성 평가 인터페이스는, 구조물에 발생하는 이벤트와 관련된 하나 이상의 확률 변수에 대한 확률 분포 데이터 및 상기 구조물에 대한 유한요소 모델을 입력받는 입력부, 상기 확률 분포 데이터를 상기 신뢰성 해석부에 전달하고, 상기 유한요소 모델을 상기 유한요소 해석부에 전달하며, 상기 신뢰성 해석부와 상기 유한요소 해석부 간의 데이터 송신 및 수신을 수행하고, 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 상기 신뢰성 해석부로부터 전달받는 데이터 전달부 및 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 상기 데이터 전달부로부터 전달받아 출력하는 출력부를 포함하며, 상기 유한요소 해석부는 상기 신뢰성 해석부로부터 특정 값을 상기 확률 변수의 값으로서 입력받고, 상기 확률 변수가 상기 특정 값을 취할 경우의 상기 구조물의 물리량 분포를 상기 유한요소 모델에 기초한 유한요소 해석을 통해 계산하여 상기 신뢰성 해석부에 전달하고, 상기 신뢰성 해석부는 상기 확률 변수를 표현하기 위한 벡터 공간 상의 하나 이상의 좌표에 대하여, 상기 확률 변수가 상기 하나 이상의 좌표에 대응되는 값을 취할 경우의 상기 구조물의 물리량 분포를 상기 유한요소 해석부를 통해 획득하고, 상기 획득된 구조물의 물리량 분포 및 상기 확률 분포 데이터에 기초하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성하며, 상기 데이터 전달부는 상기 신뢰성 해석부와 상기 유한요소 해석부 간의 데이터 송신 및 수신 시에, 송신 측에서 전송한 상기 데이터를 수신 측이 인식할 수 있는 포맷으로 변환할 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 데이터는 바이너리(binary) 데이터 혹은 텍스트(text) 데이터일 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 물리량은 응력이고, 상기 구조물에 발생하는 이벤트는 상기 구조물의 최대 응력이 상기 구조물의 허용 응력 이상이 됨에 따른 상기 구조물의 파괴이며, 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과는 상기 구조물의 파괴가 발생할 확률에 기초하여 생성될 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 신뢰성 해석부는 일계신뢰도법 혹은 이계신뢰도법을 이용하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성할 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 입력부 및 상기 출력부는 GUI로 구현될 수 있다.
- [0021] 또한, 상기 입력부는 상기 입력된 확률 분포 데이터를 상기 신뢰성 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하고, 상기 입력된 유한요소 모델을 상기 유한요소 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환할 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 신뢰성 해석부와 유한요소 해석부를 연계하여 구조물의 신뢰성을 평가하는 구조물 신뢰성 평가 방법은, 구조물에 발생하는 이벤트와 관련된 하나 이상의 확률 변수에 대한 확률 분포 데이터 및 상기 구조물에 대한 유한요소 모델을 입력부를 통해 입력받는 제 1 단계, 상기 확률 분포 데이터를 신뢰성 해석부에 전달하고, 상기 유한요소 모델을 유한요소 해석부에 전달하는 제 2 단계, 상기 신뢰성 해석부를 통해, 상기 확률 변수가 상기 확률 변수를 표현하기 위한 벡터 공간 상의 하나 이상의 좌표에 대응되는 값을 취할 경우의 상기 구조물의 물리량 분포 및 상기 확률 분포 데이터에 기초하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성하는 제 3 단계 및 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 출력부를 통해 출력하는 제 4 단계를 포함하며, 상기 제 3 단계는, 상기 하나 이상의 좌표를 상기 신뢰성 해석부로부터 상기 유한요소 해석부에 전달하는 단계 및 상기 유한요소 해석부에 의해 상기 하나 이상의 좌표 및 상기 유한요소 모델에 기초하여 계산된 상기 구조물의 물리량 분포를 상기 유한요소 해석부로부터 상기 신뢰성 해석부로 전달하는 단계를 포함하고, 상기 신뢰성 해석부와 상기 유한요소 해석부 간의 데이터 송신 및 수신 시에, 송신 측에서 전송한 상기 데이터는 수신 측이 인식할 수 있는 포맷으로 변환될 수 있다.
- [0023] 또한, 상기 데이터는 바이너리(binary) 데이터 혹은 텍스트(text) 데이터일 수 있다.
- [0024] 또한, 상기 물리량은 응력이고, 상기 구조물에 발생하는 이벤트는 상기 구조물의 최대 응력이 상기 구조물의 허용 응력 이상이 됨에 따른 상기 구조물의 파괴이며, 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과는 상기 구조물의 파괴가 발생할 확률에 기초하여 생성될 수 있다.

[0025] 또한, 상기 신뢰성 해석부는 일계신뢰도법 혹은 이계신뢰도법을 이용하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성할 수 있다.

[0026] 또한, 상기 입력부 및 상기 출력부는 GUI로 구현될 수 있다.

[0027] 또한, 상기 제 1 단계는, 상기 입력된 확률 분포 데이터를 상기 신뢰성 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하고, 상기 입력된 유한요소 모델을 상기 유한요소 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0028] 본 발명의 실시예에 의하면, 신뢰성 해석 수단과 유한요소 해석 수단이 상호 연계되어 하나의 시스템처럼 동작하게 되므로, 구조물의 외부적 요인에 대한 확률 밀도 함수 및 구조물의 유한요소 모델의 입력만으로 신뢰성 평가 결과를 바로 얻을 수 있다. 이에 따라 사용자의 편의성이 달성될 수 있으며, 시간과 시스템 자원이 절약될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물 신뢰성 평가 시스템을 개념적으로 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물 신뢰성 평가 시스템의 구성을 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물 신뢰성 평가 인터페이스의 구성을 도시한 도면이다.

도 4는 한계상태함수 및 최대가능손상점을 개념적으로 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물 신뢰성 평가 방법의 순서를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0031] 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명의 실시예에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물 신뢰성 평가 시스템을 개념적으로 도시한 도면이다. 도 1을 참조하면, 구조물 신뢰성 평가 시스템(100)은 해석의 대상이 되는 구조물의 신뢰성을 평가하기 위한 데이터를 입력받을 수 있다. 이러한 입력 데이터는 구조물에 발생하는 특정 이벤트와 관련된 하나 이상의 확률 변수에 대한 확률 분포 데이터(예컨대, 확률 밀도 함수) 및 구조물에 대한 유한요소 모델이 될 수 있다. 여기서, 구조물에 발생하는 이벤트의 예로는 대표적으로 구조물의 파괴를 들 수 있다. 또한, 확률 변수는 구조물의 항복 응력, 구조물의 영률(young's modulus) 혹은 구조물에 가해지는 외력 등의 인자들이 될 수 있으며, 이러한 인자들은 항상 일정한 값을 갖는 것이 아니라 일정한 확률 분포 하에서 유동적인 값을 가지므로 확률론적으로 해석될 필요가 있다.

[0033] 상기 입력받은 확률 분포 데이터를 이용하여, 구조물 평가 시스템(100)은 구조물에 특정 이벤트가 발생할 확률을 계산할 수 있다. 이러한 이벤트는 대표적으로 구조물의 파괴가 될 수 있음은 전술한 바와 같으며, 이 경우 구조물 평가 시스템(100)은 구조물의 파괴가 발생할 확률을 계산할 수 있고, 이러한 계산 결과를 바탕으로 하여 결과적으로 구조물의 신뢰성을 해석할 수 있다.

[0034] 구조물의 파괴 확률을 계산하기 위해, 구조물 평가 시스템(100)은 시간 및 시스템 자원의 소모가 큰 몬테 카를로 시뮬레이션 대신 일계신뢰도법 혹은 이계신뢰도법 등의 근사적인 방법을 이용할 수 있다. 이러한 근사적인 방법들은 구조물의 한계상태함수(limit state function)가 0이 되는 점의 모임인 한계상태식(limit state equation) 위에 존재하는 점 중 원점(각 확률 변수를 표준정규분포화할 때 각 확률 변수들이 각각의 평균값을

취할 경우, 즉 표준정규분포화됨으로써 변환된 확률 변수들의 값이 0이 되는 벡터 공간 상의 점)에 가장 가까운 최대가능손상점을 산출하고, 산출된 최대가능손상점 및 확률 분포 데이터에 기초하여 구조물의 파괴 확률을 구할 수 있다. 다만, 이러한 근사적인 방법들을 통해 최대가능손상점을 구하기 위해서는 복수 회의 반복적인 계산을 수행할 필요가 있다. 보다 구체적으로 설명하면, 우선 확률 벡터 공간 상의 일정한 초기 좌표를 설정하고, 해당 초기 좌표에 대응되는 한계상태함수의 값과 한계상태함수의 구배(gradient)값을 이용하여 다음 좌표를 구하며(구체적인 연산 과정의 예에 대해서는 후술함), 같은 방법에 의해 그 다음 좌표를 구하는 과정을 반복한다. 이렇게 계속 반복하여 새로운 좌표를 구하다 보면 새로운 좌표의 값이 어떤 일정한 값으로 수렴하게 되며, 그 일정한 값이 최대가능손상점이 된다.

[0035] 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물 평가 시스템(100)은 구조물에 대한 유한요소 모델을 이용한 유한요소 해석을 통해 각각의 좌표를 구할 수 있다. 정확히 말하면, 일정 좌표에 대응되는 한계상태함수의 값과 한계상태함수의 구배값을 유한요소 해석으로 구할 수 있다. 따라서, 구조물 평가 시스템(100) 내에서는, 반복적인 좌표 산출을 통해 최대가능손상점을 구하고 최대가능손상점 및 확률 분포 데이터에 기초하여 구조물의 파괴 확률을 구하는 신뢰성 해석을 담당하는 부분과, 각각의 좌표에 대응되는 한계상태함수의 값과 한계상태함수의 구배값을 구하기 위한 유한요소 해석을 담당하는 부분이 도 1과 같이 서로 데이터를 주고받을 수 있다.

[0036] 하지만, 상기 두 부분은 서로 다른 두 개의 프로그램 모듈로서 각각 구현되는 것이 일반적이다. 따라서 양 프로그램 간의 반복적인 데이터 교환 작업을 사용자가 일일이 처리하는 불편함이 있을 수 있으며, 입출력 데이터의 포맷도 대개는 서로 달라 데이터 포맷의 변환에도 신경을 써야 한다. 본 발명의 일 실시예에 의한 구조물 평가 시스템(100)은 양 프로그램 간의 데이터 송신 및 수신을 자동으로 수행하며, 송신 측에서 전송한 데이터를 수신 측이 인식할 수 있는 포맷으로 변환할 수도 있으므로, 사용자는 구조물의 신뢰성 해석을 편리하게 수행할 수 있다.

[0037] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물 신뢰성 평가 시스템의 구성을 도시한 도면이다. 도 2의 구조물 신뢰성 평가 시스템(100)은 입력부(110), 데이터 전달부(120), 출력부(130), 신뢰성 해석부(140) 및 유한요소 해석부(150)를 포함할 수 있다. 다만, 이러한 도 2의 구조물 신뢰성 평가 시스템(100)은 본 발명의 일 실시예에 불과하므로 도 2를 통해 본 발명의 사상이 한정 해석되는 것은 아니다.

[0038] 입력부(110)는 구조물에 발생하는 이벤트와 관련된 하나 이상의 확률 변수에 대한 확률 분포 데이터 및 상기 구조물에 대한 유한요소 모델을 입력받을 수 있다. 이러한 입력부(110)는 키보드(keyboard), 마우스(mouse), 터치스크린(touch screen) 혹은 터치 패드(touch pad) 등을 포함할 수 있으며, 경우에 따라서는 다른 장치로부터 입력 데이터를 불러오는 데이터 버스 혹은 통신 모듈 등의 장치를 통해 구현될 수도 있다.

[0039] 입력부(110)는 사용자의 편의를 위해 GUI(graphic user interface)로 구현될 수 있다. 또한, 입력부(110)는 상기 입력된 확률 분포 데이터를 신뢰성 해석부(140)가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하거나, 상기 입력된 유한요소 모델을 상기 유한요소 해석부(150)가 인식할 수 있는 포맷으로 변환할 수 있다.

[0040] 데이터 전달부(120)는 입력부(110)에 의해 입력된 확률 분포 데이터를 신뢰성 해석부(140)로, 역시 입력부(110)에 의해 입력된 유한요소 모델을 유한요소 해석부(150)로 각각 전달할 수 있다. 또한, 데이터 전달부(120)는 신뢰성 해석부(140)와 유한요소 해석부(150) 간의 데이터 송신 및 수신을 수행할 수 있으며, 송신 측에서 전송한 데이터를 수신 측이 인식할 수 있는 포맷으로 변환할 수도 있다.

[0041] 출력부(130)는 구조물의 신뢰성 해석 결과를 출력할 수 있다. 이러한 출력부(130)는 LCD(Liquid Crystal Display) 혹은 OLED(Organic Light Emitting Diode) 등의 디스플레이 장치 혹은 스피커 등을 포함할 수 있으며, 경우에 따라서는 다른 장치로 출력 데이터를 내보내는 데이터 버스 혹은 통신 모듈 등의 장치를 통해 구현될 수도 있다. 출력부(130)는 입력부(110)와 마찬가지로 사용자의 편의를 위해 GUI(graphic user interface)로 구현될 수 있다.

[0042] 신뢰성 해석부(140)는 일계신뢰도법 혹은 이계신뢰도법 등의 근사적인 해석 방법에 기초하여 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성할 수 있다. 신뢰성 해석부(140)는 확률 변수를 표현하기 위한 벡터 공간 상의 하나 이상의 좌표를 설정할 수 있으며, 확률 변수가 상기 하나 이상의 좌표에 대응되는 값을 취할 경우의 구조물의 물리량 분포를 유한요소 해석부(150)를 통해 획득하고, 획득된 구조물의 물리량 분포 및 확률 분포 데이터에 기초하여 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성할 수 있다. 이러한 과정을 거쳐 생성된 구조물의 신뢰성 해석 결과는 데이터 전달부(120)를 통해 신뢰성 해석부(140)로부터 출력부(130)에 전달될 수 있다.

[0043] 보다 구체적으로 설명하면, 우선 신뢰성 해석부(140)는 확률 변수의 벡터 공간 상에 임의의 좌표를 초기 좌표로

서 설정하고, 설정된 초기 좌표를 데이터 전달부(120)를 통해 유한요소 해석부(140)로 전달할 수 있다. 그러면 유한요소 해석부(140)는 유한요소 해석을 수행하여 확률 변수가 설정된 초기 좌표에 대응되는 값을 갖는 경우의 구조물의 물리량 분포를 데이터 전달부(120)를 통해 신뢰성 해석부(140)로 전달할 수 있다. 신뢰성 해석부(140)는 전달받은 물리량 분포에 기초하여 새로운 좌표를 산출할 수 있으며, 산출된 새로운 좌표가 기 정해진 조건을 만족하지 못할 경우 새로운 좌표에 대해 유한요소 해석을 하여 또 다른 새로운 좌표를 산출하도록 하는 과정을 반복할 수 있으며, 만족할 경우 새로운 좌표 및 상기 확률 분포 데이터에 근거하여 상기 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성할 수 있다. 전술한 바와 같은 좌표 산출을 반복하는 과정 및 기 정해진 조건은 신뢰성 해석에 적용되는 방법에 따라 그 양상이 달라질 수 있으며, 그 중 일계신뢰도법에 해당하는 하나의 예시적인 방법을 이용할 경우에 대해서는 이후에 설명하도록 한다.

[0044] 유한요소 해석부(150)는 데이터 전달부(120)를 통해 신뢰성 해석부(140)으로부터 일정한 좌표를 입력받을 수 있으며, 구조물의 유한요소 모델을 이용하여 확률 변수가 입력받은 좌표에 대응되는 값을 가질 경우에 대한 유한요소 해석을 수행할 수 있다. 이러한 유한요소 해석을 수행함으로써, 유한요소 해석부(150)는 확률 변수가 입력받은 좌표에 대응되는 값을 가질 경우의 구조물의 물리량 분포를 출력하여 데이터 전달부(120)를 통해 신뢰성 해석부(140)로 전달할 수 있다.

[0045] 상기 데이터 전달부(120), 신뢰성 해석부(140) 및 유한요소 해석부(150)는 마이크로프로세서를 포함하는 연산 장치에 의해 구현될 수 있다. 이러한 연산 장치는 특정 프로그램의 실행에 의해 전술한 바와 같은 데이터 전달부(120), 신뢰성 해석부(140) 및 유한요소 해석부(150)의 동작을 수행하도록 구현될 수 있으며, 특히 신뢰성 해석부(140)는 신뢰성 해석을 위해 일반적으로 사용되는 상용 혹은 공개 프로그램(FERUM 등)의 실행에 의해, 유한요소 해석부(150)는 유한요소 해석을 위해 일반적으로 사용되는 상용 혹은 공개 프로그램(ABAQUS, ANSYS 등)에 의해 그 동작이 구현될 수 있으나, 이에 한정되지 않으며, 개인적인 목적으로 따로 개발된 프로그램에 의해 그 동작이 구현될 수도 있다. 또한, 데이터 전달부(120)는 경우에 따라서는 데이터 교환을 위한 데이터 버스 혹은 통신 모듈 등의 장치를 포함할 수도 있다.

[0046] 상기 신뢰성 해석부(140) 및 유한요소 해석부(150) 사이에서 교환되는 데이터는, 바이너리(binary) 데이터, 텍스트(text) 데이터 등이 될 수 있다. 데이터 전달부(120)는 송신 측의 데이터를 수신 측이 인식할 수 있는 형식으로 변환할 수 있다. 예컨대, 유한요소 해석부(150)가 구조물의 물리량 분포에 대한 바이너리 데이터를 출력하는데, 신뢰성 해석부(140)는 구조물의 물리량 분포를 텍스트 데이터의 형태로 입력받아야 할 경우, 데이터 전달부(120)는 상기 바이너리 데이터를 신뢰성 해석부(140)가 인식할 수 있는 형식의 텍스트 데이터로 변환할 수 있다. 만일 신뢰성 해석부(140)와 유한요소 해석부(150)가 모두 텍스트 데이터를 사용하지만 사용되는 데이터의 세부적인 형식이 서로 다른 경우에도, 데이터 전달부(120)는 데이터를 전달하는 측으로부터 전송받은 데이터를 데이터를 전달받는 측의 세부적인 형식이 적용되도록 변환하여 데이터를 전달받는 측으로 전송할 수 있다.

[0047] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물 신뢰성 평가 인터페이스의 구성을 도시한 도면이다. 본 실시예에 따른 신뢰성 평가 인터페이스(200)는 입력부(210), 데이터 전달부(220) 및 출력부(230)를 포함할 수 있으며, 외부에서 제공되는 신뢰성 해석부(240) 및 유한요소 해석부(250)와 함께 도 2의 신뢰성 평가 시스템(100)과 같은 기능을 수행할 수 있다. 즉, 도 3의 실시예는 신뢰성 해석부(240) 및 유한요소 해석부(250)가 신뢰성 평가 인터페이스(200)와는 별도로 제공된다는 점을 제외하면 도 2의 실시예와 기본적으로 동일하며, 도 3의 입력부(210), 데이터 전달부(220), 출력부(230), 신뢰성 해석부(240) 및 유한요소 해석부(250)는 도 2의 신뢰성 평가 시스템(100)에 포함된 동명의 구성 요소와 동일한 기능을 수행할 수 있다. 이에 따라, 신뢰성 평가 인터페이스(200)는 별도로 제공되는 신뢰성 해석부(240) 및 유한요소 해석부(250)를 연결하고, 이들을 이용하여 구조물의 신뢰성 해석을 편리하게 수행하기 위한 환경을 사용자에게 제공할 수 있다.

[0048] 이하, 도 2 및 3을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 의한 구조물 신뢰성 평가 시스템(100), 혹은 구조물 신뢰성 평가 인터페이스(200)의 동작에 대해 자세히 설명하도록 한다. 이하의 설명에서는 신뢰성 평가 방법으로서 일계신뢰도법을 이용하는 것을 가정하며, 또한 구조물에 발생하는 이벤트로 구조물의 파괴를 가정하도록 하겠지만, 본 발명의 사상은 반드시 이에 한정되지 않음은 전술한 바와 같다.

[0049] 먼저, 입력부(100)는 사용자로부터 구조물의 신뢰성에 영향을 미치는 인자들에 대한 정보를 확률 분포 데이터의 형태로 입력받을 수 있다. 구조물의 신뢰성에 영향을 미치는 인자들의 예로는 항복 응력, 구조물의 영률, 구조물에 가해지는 외력 등이 될 수 있음은 전술한 바와 같다. 이들 인자들은 불확실성을 갖기 때문에 확률 변수로서 정의될 수 있으며, 이러한 각각의 확률 변수들에 대한 확률 분포 데이터로서 확률 밀도 함수를 입력받을 수 있다. 특히 확률 변수들이 복수일 경우, 복수의 확률 변수들의 동시확률을 나타내는 함수로서 다음과 같이 정의

된 결합 확률 밀도 함수를 이용할 수 있다.

수학식 1

$$f(X) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

[0050]

여기에서, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 은 각각의 확률 변수이며, X 는 이들 확률 변수들로 구성되는 확률 벡터가 된다.

[0051]

한편, 구조물의 파괴 확률을 구하기 위해서는 앞서 언급된 바 있는 한계상태함수를 구할 필요가 있다. 한계상태 함수는 한계상태(limit state)를 규정하기 위한 함수이며, 한계상태함수 $g(X)$ 는 다음과 같이 정의된다. 이하에서는 한계상태함수를 구하기 위한 물리량으로서 응력을 그 예로 들도록 하겠지만, 이러한 물리량은 응력 외에도 구조물의 변위 등 한계상태함수를 정의할 수 있는 물리량이라면 어떤 것이든 될 수 있다.

[0052]

수학식 2

$$g(X) = \sigma_y(X) - \sigma(X)$$

[0053]

여기서, $\sigma_y(X)$ 는 구조물의 항복 응력을 확률 변수에 대한 함수로 나타낸 것이며, $\sigma(X)$ 는 구조물의 최대 응력을 확률 변수에 대한 함수로 나타낸 것이다. 구조물의 최대 응력이 항복 응력보다 크거나 같을 때에 구조물의 파괴가 발생하므로, 구조물의 파괴 확률 P_d 는 다음과 같이 한계상태함수의 값이 0 이하인 구간에 대해 결합 확률 밀도 함수를 적분함으로써 얻을 수 있다.

[0054]

수학식 3

$$P_d = P[g(X) \leq 0] = \int_{g(X) \leq 0} f(X) dX$$

[0055]

그러나 대부분의 경우 파괴 확률은 해석적으로 계산하기 불가능하기 때문에, 위에서 설명한 바와 같이 몬테 카를로 시뮬레이션을 수행하거나, 일계신뢰도법 혹은 이계신뢰도법 등의 근사적인 방법을 이용함으로써 파괴 확률을 구하게 된다. 여기에서는 앞서 언급한 대로 일계신뢰도법을 이용한 과정을 예로 들어 설명하도록 한다.

[0056]

입력부(110)로부터 입력받은 확률 변수를, 비상관 표준정규분포 확률 변수로 변환할 경우, 변환된 확률 변수에 대한 벡터 공간에서 확률 밀도 함수의 값은 원점(입력받은 본래의 확률 변수의 값이 모두 해당 확률 변수의 평균값을 갖는 점이자, 변환된 확률 변수의 값이 모두 0이 되는 점) 주위로 회전 대칭을 이루며 원점으로부터의 거리에 따라 급격히 감소한다. 이 때, 한계상태함수가 0이 되는 점들, 즉 한계상태식 위의 점들 중 원점으로부터의 거리가 가장 가까운 최대가능손상점이 변환된 확률 변수에 대한 벡터 공간에서 가장 파괴가능성이 크며, 이러한 최대가능손상점을 이용하여 구조물의 파괴 확률을 다음과 같이 근사적으로 나타낼 수 있다.

[0057]

수학식 4

$$P_d = P[g(X) \leq 0] = \Phi(-\beta)$$

[0058]

[0059]

여기서, β 는 변환된 표준정규분포 확률 변수를 나타내기 위한 확률 벡터 공간에 있어서, 원점에서 최대가능손상점까지의 거리인 신뢰도지수(reliability index)이고, Φ 는 표준정규누적분포함수이다.

[0060]

도 4는 한계상태함수 및 최대가능손상점을 개념적으로 설명하기 위한 도면이다. 도 4를 참조하여 한계상태함수 및 최대가능손상점에 대해 설명하기 위해, 2개의 확률 변수(x_1, x_2)로 이루어진 벡터 공간을 가정하도록 한다. 이 경우 한계상태함수가 0이 되는 점의 모임은 x_1-x_2 좌표평면 상에 곡선의 형태로 나타나게 되며, 이 곡선을 경계로 하여 x_1-x_2 좌표평면은 파괴 영역과 안전 영역으로 분할된다. 또한, 이 곡선상의 점들 중 원점에 가장 가까운 점인 A가 최대가능손상점이 된다.

[0061]

이하에서는 일계신뢰도법을 이용하여 최대가능손상점을 구하기 위한 과정을 알아보도록 한다. 이하의 과정은 일계신뢰도법을 이용한 여러 가지 방법 중 하나의 예시에 불과하므로, 본 설명에 의해 본 발명의 사상이 한정 해석되는 것은 아니다.

[0062]

우선, 입력받은 확률 변수에 대응되는 벡터 공간 상의 임의의 한 점(r_0)을 잡고, 그 점을 기준으로 하여 한계상태함수를 선형(1차) 근사시킨다. 즉, $g(X)$ 에 대한 테일러 급수를 1차까지 구하는 것이다. 이러한 임의의 점(r_0)은 예컨대 모든 확률 변수가 평균값을 갖는 점이 될 수 있다. 이 점에서 한계상태함수를 다음과 같은 식에 의해 선형 근사시킬 수 있으며, 근사 결과 $g(X)$ 의 근사 함수인 $g_{r_0}(X)$ 를 얻을 수 있다.

수학식 5

$$g_{r_0}(X) = g(r_0) + (\nabla g(r_0)) \cdot (X - r_0)$$

[0063]

[0064]

여기서, $g(r_0)$ 와 $\nabla g(r_0)$ 는 각각 r_0 에서의 $g(X)$ 의 값 및 $\nabla g(X)$ 의 값을 나타내며, 이들은 구조물에 유한요소법을 적용함으로써 구할 수 있다. 한편, 일계신뢰도법의 경우와 달리, 이계신뢰도법의 경우 한계상태함수를 2차 근사시키게 된다. 즉, $g(X)$ 에 대한 테일러 급수를 2차까지 구하는 것이다.

[0065]

다음으로, r_0 에서 볼 때 $-\nabla g(r_0)$ 방향에 있는 점 중 $g_{r_0}(X)$ 가 0이 되는 점을 구할 수 있으며, 이를 r_1 이라 한다. r_1 에서 $g(X)$ 를 근사시키면, 근사 함수인 $g_{r_1}(X)$ 을 다음과 같이 얻을 수 있다.

수학식 6

$$g_{r_1}(X) = g(r_1) + (\nabla g(r_1)) \cdot (X - r_1)$$

[0066]

[0067]

여기서, $g(r_1)$ 와 $\nabla g(r_1)$ 는 각각 r_1 에서의 $g(X)$ 의 값 및 $\nabla g(X)$ 의 값을 나타내며, 이들 역시 구조물에 유한요소법을 적용함으로써 구할 수 있다.

[0068]

또 그 다음으로, 다음으로, r_1 에서 볼 때 $-\nabla g(r_1)$ 방향에 있는 점 중 $g_{r_1}(X)$ 가 0이 되는 점을 구할 수 있으며, 이를 r_2 라 할 수 있다. 이와 같은 과정을 반복하여 $r_0, r_1, r_2, \dots, r_n$ 까지의 점을 순차적으로 구할 수 있는데, n 의 횟수를 늘려 나갈수록 r_n 은 일정한 점으로 수렴하게 되며, 수렴하는 그 점이 바로 최대가능손상점이 된다. 전

술한 바와 같은 실제적인 반복 과정에서는 특정 조건이 만족되면 반복을 멈추고 그 시점에서의 r_n 을 최대가능손상점으로 간주할 수 있으며, 이러한 특정 조건은 r_n 과 r_{n-1} 의 확률 벡터 공간 상에서의 거리가 일정 값 이하일 것 혹은 $g(r_n)$ 의 절댓값이 일정 값 이하일 것 등을 들 수 있다.

- [0069] 전술한 반복 과정을 거쳐 최대가능손상점을 구하면, 전술하였듯이 원점에서 최대가능손상점까지의 거리인 신뢰도지수(β)를 구하고, 이를 수학적 식 4에 대입하여 구조물의 파괴 확률을 구할 수 있다. 이러한 일련의 과정은 신뢰성 해석부(140)에 의해 수행되나, 각 반복의 단계에서 $g(r_k)$ 와 $\nabla g(r_k)$ ($k=0, 1, 2, \dots, n$)의 값을 구하는 것은 유한요소 해석부(150)가 담당하게 되는 것이다. 이 과정에서, 신뢰성 해석부(140)와 유한요소 해석부(150)는 데이터 전달부(120)를 통해 서로 입출력 데이터를 주고받을 수 있으며, 데이터 전달부(120)는 송신 측에서 전송한 데이터를 수신 측이 인식할 수 있는 포맷으로 변환할 수 있다. 신뢰성 해석부(140) 및 유한요소 해석부(150)에 의해 구조물의 파괴 확률이 산출되면, 출력부(130)는 이에 근거하여 구조물의 신뢰성 해석 결과를 출력할 수 있다.
- [0070] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물 신뢰성 평가 방법의 순서를 도시한 도면이다. 도 5를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물 신뢰성 평가 방법의 각 단계를 설명하면 다음과 같다.
- [0071] 우선, 구조물에 발생하는 이벤트와 관련된 하나 이상의 확률 변수에 대한 확률 분포 데이터 및 구조물에 대한 유한요소 모델을 입력부를 통해 입력받을 수 있다(S110). 이 과정에서, 입력부를 통해 입력된 확률 분포 데이터는 신뢰성 해석부에, 유한요소 모델은 유한요소 해석부에 각각 전달될 수 있다.
- [0072] 다음으로, 신뢰성 해석부를 통해, 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성할 수 있다. 상기 신뢰성 해석 결과는, 확률 변수가 해당 확률 변수를 표현하기 위한 벡터 공간 상의 하나 이상의 좌표에 대응되는 값을 취할 경우의 구조물의 물리량 분포 및 확률 변수들의 확률 분포 데이터에 기초하여 생성될 수 있다.
- [0073] 여기에서, 구조물의 물리량 분포를 계산하기 위해, 상기 하나 이상의 좌표는 신뢰성 해석부로부터 유한요소 해석부에 전달될 수 있다. 그러면 유한요소 해석부는 상기 하나 이상의 좌표 및 입력받은 유한요소 모델에 기초하여 구조물의 물리량 분포를 계산할 수 있으며, 계산된 구조물의 물리량 분포는 유한요소 해석부로부터 신뢰성 해석부로 전달될 수 있다.
- [0074] 이처럼 신뢰성 해석부와 유한요소 해석부가 서로 데이터를 주고 받으면서 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성하는 구체적인 방법은 여러 가지가 있을 수 있으나, 이하에서는 앞서 설명한 바와 같은 일차신뢰도법을 이용한 방법(S120 내지 S170)을 예로 들어 설명해 보도록 한다.
- [0075] 먼저, 신뢰성 해석부를 통해, 임의의 좌표를 확률 변수의 벡터 공간 상에 설정하여 지정할 수 있다(S120). 그리고, 유한요소 해석부를 통해, 상기 지정된 좌표를 확률 변수의 값으로서 설정할 경우의 구조물의 물리량 분포를 유한요소 모델에 기초한 유한요소 해석을 이용하여 계산할 수 있으며(S130), 신뢰성 해석부를 통해, 계산된 물리량 분포에 기초하여 새로운 좌표를 산출할 수 있다(S140).
- [0076] 여기에서, 새로운 좌표가 기 정해진 조건을 만족하는지의 여부를 판별할 수 있다(S150). 만족하지 못할 경우 상기 새로운 좌표를 지정하여(S160) 상기 S130 및 S140을 반복하고, 만족할 경우 상기 새로운 좌표 및 확률 분포 데이터에 기초하여 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성할 수 있다(S170).
- [0077] 마지막으로, 전술한 과정들에 의해 구조물의 신뢰성 해석 결과가 생성되면, 이를 출력부를 통해 출력할 수 있다(S180).
- [0078] 실시예에 따라, 상기 물리량은 응력이고, 상기 구조물에 발생하는 이벤트는 구조물의 최대 응력이 구조물의 허용 응력 이상이 됨에 따른 구조물의 파괴이며, 이 경우 구조물의 신뢰성 해석 결과는 구조물의 파괴가 발생할 확률에 기초하여 생성될 수 있다. 또한 실시예에 따라, 신뢰성 해석부는 일계신뢰도법 혹은 이계신뢰도법을 이용하여 구조물의 신뢰성 해석 결과를 생성할 수 있다.
- [0079] 실시예에 따라, 입력부 및 출력부는 GUI(graphic user interface)로 구현될 수 있다. 또한 실시예에 따라, 상기 S110은 입력된 확률 분포 데이터를 신뢰성 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하고, 입력된 유한요소 모델을 유한요소 해석부가 인식할 수 있는 포맷으로 변환하는 과정을 포함할 수 있다.
- [0080] 본 발명에 첨부된 블록도의 각 블록과 흐름도의 각 단계의 조합들은 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들에 의해 수행될 수도 있다. 이들 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 범용 컴퓨터, 특수용 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비의 프로세서에 탑재될 수 있으므로, 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱

장비의 프로세서를 통해 수행되는 그 인스트럭션들이 블록도의 각 블록 또는 흐름도의 각 단계에서 설명된 기능들을 수행하는 수단을 생성하게 된다. 이들 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 특정 방식으로 기능을 구현하기 위해 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비를 지향할 수 있는 컴퓨터 이용 가능 또는 컴퓨터 판독 가능 메모리에 저장되는 것도 가능하므로, 그 컴퓨터 이용가능 또는 컴퓨터 판독 가능 메모리에 저장된 인스트럭션들은 블록도의 각 블록 또는 흐름도 각 단계에서 설명된 기능을 수행하는 인스트럭션 수단을 내포하는 제조 품목을 생산하는 것도 가능하다. 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비 상에 탑재되는 것도 가능하므로, 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비 상에서 일련의 동작 단계들이 수행되어 컴퓨터로 실행되는 프로세스를 생성해서 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비를 수행하는 인스트럭션들은 블록도의 각 블록 및 흐름도의 각 단계에서 설명된 기능들을 실행하기 위한 단계들을 제공하는 것도 가능하다.

[0081] 또한, 각 블록 또는 각 단계는 특정된 논리적 기능(들)을 실행하기 위한 하나 이상의 실행 가능한 인스트럭션들을 포함하는 모듈, 세그먼트 또는 코드의 일부를 나타낼 수 있다. 또, 몇 가지 대체 실시예들에서는 블록들 또는 단계들에서 언급된 기능들이 순서를 벗어나서 발생하는 것도 가능함을 주목해야 한다. 예컨대, 잇달아 도시되어 있는 두 개의 블록들 또는 단계들은 사실 실질적으로 동시에 수행되는 것도 가능하고 또는 그 블록들 또는 단계들이 때때로 해당하는 기능에 따라 역순으로 수행되는 것도 가능하다.

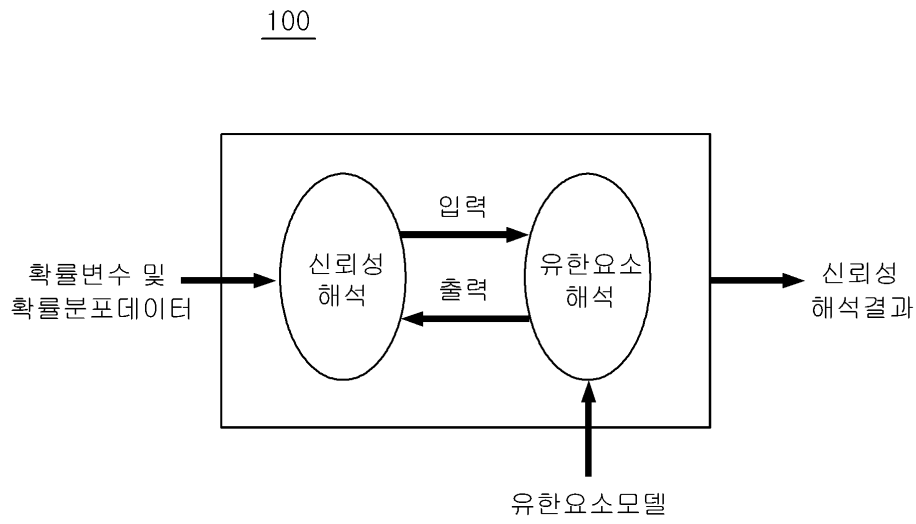
[0082] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 품질에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 균등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

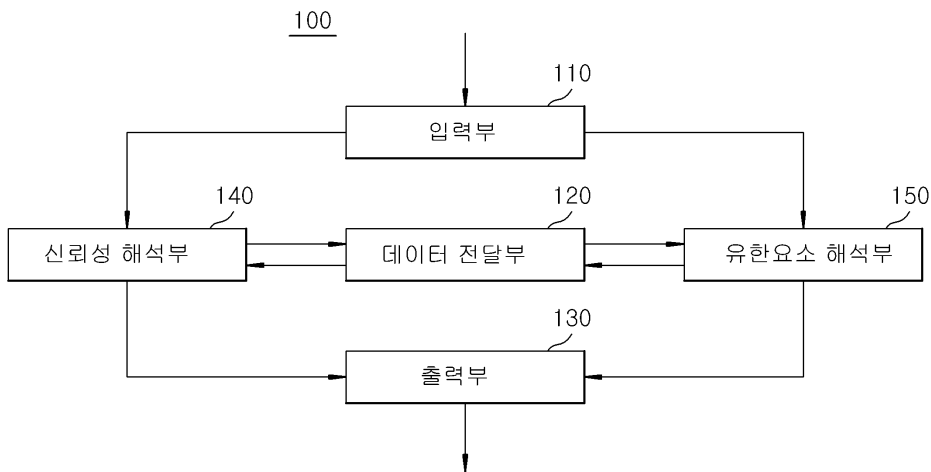
- [0083] 100: 구조물 신뢰성 평가 시스템
- 110: 입력부
- 120: 데이터 전달부
- 130: 출력부
- 140: 신뢰성 해석부
- 150: 유한요소 해석부

도면

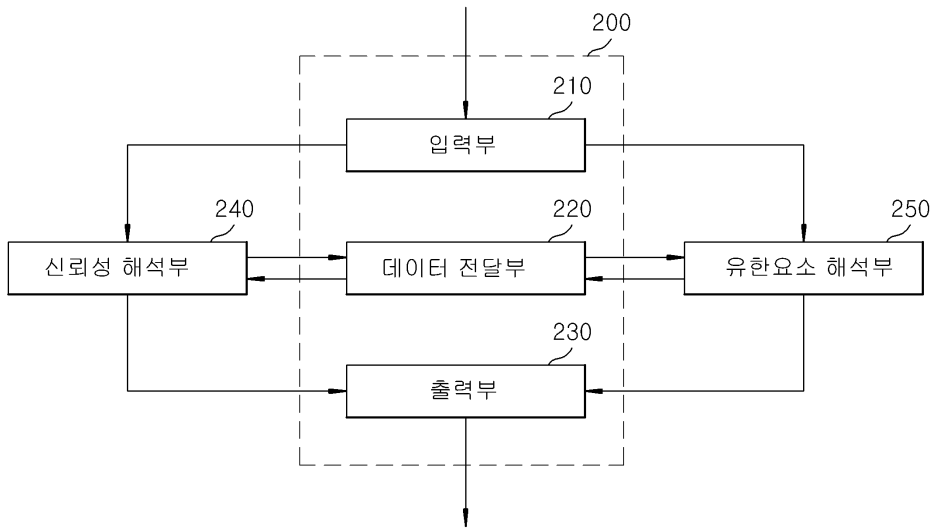
도면1



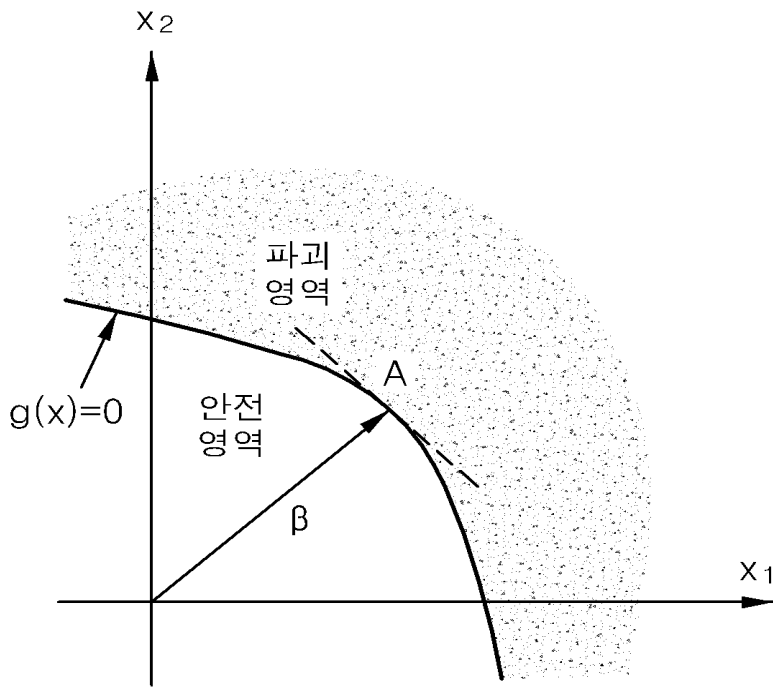
도면2



도면3



도면4



도면5

