



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0046538
(43) 공개일자 2019년05월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 17/50 (2006.01) G01N 3/30 (2006.01)
G06F 17/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06F 17/5009 (2013.01)
G01N 3/30 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0140450
(22) 출원일자 2017년10월26일
심사청구일자 2017년10월26일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
이영주
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술대학교
RAMACHANDRA PRABHUSREEHARI
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술대학교
이재범
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술대학교
(74) 대리인
제일특허법인(유)

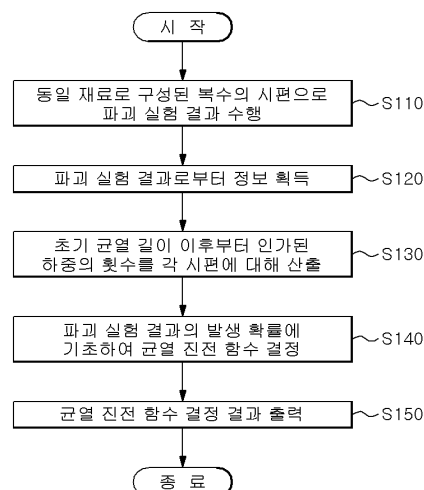
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 재료 파괴 특성 분석 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 재료 파괴 특성 분석 방법은, 소정의 재료로 구성된 복수의 시편 각각에 하중을 반복적으로 인가하는 파괴 실험에 의해 발생한 파괴 실험 결과로서, 상기 시편 각각의 파괴 여부 및 상기 시편 각각이 인가받은 하중의 횟수에 관한 정보를 획득하는 단계 및 상기 하중에 의해 상기 시편 각각에 발생한 균열이 상기 하중의 반복적 인가에 따라 진전되는 속도에 관한 복수의 함수 중에서, 상기 파괴 실험을 상기 소정의 재료로 구성된 다른 복수의 시편에 재차 수행할 경우 상기 파괴 실험 결과와 동일한 결과가 발생할 확률을 상기 복수의 함수에 대하여 각각 계산한 결과에 기초하여, 상기 확률의 값이 최대가 되는 함수를 선택하고, 상기 선택된 함수를 상기 소정의 재료의 균열 진전 함수로 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

G06F 17/18 (2013.01)

G06F 2217/76 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 17SCIP-B066018-05

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 건설기술연구사업

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

기 여 율 1/1

주관기관 한국과학기술원

연구기간 2017.04.01 ~ 2018.01.31

명세서

청구범위

청구항 1

소정의 재료로 구성된 복수의 시편 각각에 하중을 반복적으로 인가하는 파괴 실험에 의해 발생한 파괴 실험 결과로서, 상기 시편 각각의 파괴 여부 및 상기 시편 각각이 인가받은 하중의 횟수에 관한 정보를 획득하는 단계; 및

상기 하중에 의해 상기 시편 각각에 발생한 균열이 상기 하중의 반복적 인가에 따라 진전되는 속도에 관한 복수의 함수 중에서, 상기 파괴 실험을 상기 소정의 재료로 구성된 다른 복수의 시편에 재차 수행할 경우 상기 파괴 실험 결과와 동일한 결과가 발생할 확률을 상기 복수의 함수에 대하여 각각 계산한 결과에 기초하여, 상기 확률의 값이 최대가 되는 함수를 선택하고, 상기 선택된 함수를 상기 소정의 재료의 균열 진전 함수로 결정하는 단계를 포함하는

재료 파괴 특성 분석 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 균열 진전 함수를 이용하여, 상기 소정의 재료로 구성된 구조물에 소정 크기의 하중이 소정 횟수만큼 인가될 경우에 상기 구조물에 발생할 균열의 길이를 예측하는 단계를 더 포함하는

재료 파괴 특성 분석 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 함수 각각에 포함된 인자(parameter) 중 하나 이상의 인자는, 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)를 이용하여 표현될 수 있는 확률 변수(random variable)의 형태를 갖는

재료 파괴 특성 분석 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 시편 모두에 대해 각기 일정한 크기의 하중을 반복적으로 인가하여 상기 파괴 실험을 수행하되, 상기 복수의 시편 중 상기 하중이 인가된 횟수가 소정의 기준 횟수 이하일 때에 파괴된 시편 혹은 상기 하중이 인가된 횟수가 상기 기준 횟수에 도달했음에도 파괴되지 않은 시편에 대해서는 상기 하중의 인가를 중지함으로써 상기 파괴 실험 결과를 생성하는 단계를 더 포함하는

재료 파괴 특성 분석 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 함수에 대해 각각 계산되는, 상기 파괴 실험 결과와 동일한 결과가 발생할 확률의 값은, 상기 복수의 시편 각각에 대해 상기 각 함수에 기초하여 상기 복수의 시편 중 파괴된 각 시편의 파괴 확률 및 파괴되지 않은 각 시편의 비파괴 확률을 산출하고, 상기 파괴된 각 시편의 파괴 확률을 모두 곱한 값에, 상기 파괴되지 않은 각 시편의 비파괴 확률을 모두 곱한 값을 곱함으로써 산출되는

재료 파괴 특성 분석 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 파괴 확률은, 상기 파괴된 각 시편이 인가받은 상기 하중의 횟수가, 상기 각 함수를 이용하여 계산되는 상기 파괴된 각 시편의 파괴에 필요한 하중의 횟수와 동일할 확률에 기초하여 산출되는

재료 파괴 특성 분석 방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 비파괴 확률은, 상기 파괴되지 않은 각 시편이 인가받은 상기 하중의 횟수가, 상기 각 함수를 이용하여 계산되는 상기 파괴되지 않은 각 시편의 파괴에 필요한 하중의 횟수 미만일 확률에 기초하여 산출되는

재료 파괴 특성 분석 방법.

청구항 8

소정의 재료로 구성된 복수의 시편 각각에 하중을 반복적으로 인가하는 파괴 실험에 의해 발생한 파괴 실험 결과로서, 상기 시편 각각의 파괴 여부 및 상기 시편 각각이 인가받은 하중의 횟수에 관한 정보를 획득하는 정보 획득부; 및

상기 하중에 의해 상기 시편 각각에 발생한 균열이 상기 하중의 반복적 인가에 따라 진전되는 속도에 관한 복수의 함수 중에서, 상기 파괴 실험을 상기 소정의 재료로 구성된 다른 복수의 시편에 재차 수행할 경우 상기 파괴 실험 결과와 동일한 결과가 발생할 확률을 상기 복수의 함수에 대하여 각각 계산한 결과에 기초하여, 상기 확률의 값이 최대가 되는 함수를 선택하고, 상기 선택된 함수를 상기 소정의 재료의 균열 진전 함수로 결정하는 연산부를 포함하는

재료 파괴 특성 분석 장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 연산부는, 상기 균열 진전 함수를 이용하여, 상기 소정의 재료로 구성된 구조물에 소정 크기의 하중이 소정 횟수만큼 인가될 경우에 상기 구조물에 발생할 균열의 길이를 예측하는

재료 파괴 특성 분석 장치.

청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 복수의 함수 각각에 포함된 인자(parameter) 중 하나 이상의 인자는, 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)를 이용하여 표현될 수 있는 확률 변수(random variable)의 형태를 갖는

재료 파괴 특성 분석 장치.

청구항 11

제 8 항에 있어서,

상기 복수의 시편 모두에 대해 각기 일정한 크기의 하중을 반복적으로 인가하여 상기 파괴 실험을 수행하되, 상기 복수의 시편 중 상기 하중이 인가된 횟수가 소정의 기준 횟수 이하일 때에 파괴된 시편 혹은 상기 하중이 인가된 횟수가 상기 기준 횟수에 도달했음에도 파괴되지 않은 시편에 대해서는 상기 하중의 인가를 중지함으로써 상기 파괴 실험 결과를 생성하는 파괴 실험부를 더 포함하는

재료 파괴 특성 분석 장치.

청구항 12

제 8 항에 있어서,

상기 연산부는, 상기 복수의 함수에 대해 각각 계산되는, 상기 파괴 실험 결과와 동일한 결과가 발생할 확률의 값을, 상기 복수의 시편 각각에 대해 상기 각 함수에 기초하여 상기 복수의 시편 중 파괴된 각 시편의 파괴 확률 및 파괴되지 않은 각 시편의 비파괴 확률을 산출하고, 상기 파괴된 각 시편의 파괴 확률을 모두 곱한 값에, 상기 파괴되지 않은 각 시편의 비파괴 확률을 모두 곱한 값을 곱함으로써 산출하는

재료 파괴 특성 분석 장치.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 연산부는, 상기 파괴된 각 시편이 인가받은 상기 하중의 횟수가, 상기 각 함수를 이용하여 계산되는 상기 파괴된 각 시편의 파괴에 필요한 하중의 횟수와 동일할 확률에 기초하여 상기 파괴 확률을 산출하는

재료 파괴 특성 분석 장치.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 연산부는, 상기 파괴되지 않은 각 시편이 인가받은 상기 하중의 횟수가, 상기 각 함수를 이용하여 계산되는 상기 파괴되지 않은 각 시편의 파괴에 필요한 하중의 횟수 미만일 확률에 기초하여 상기 비파괴 확률을 산출하는

재료 파괴 특성 분석 장치.

청구항 15

제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 기재된 방법에 따른 각각의 단계를 수행하는, 컴퓨터 판독 가능 기록매체에 저장된 프로그램.

청구항 16

제 1 항 내지 제 7 항 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 특정 재료로 구성된 구조물에 인가되는 하중에 의한 구조물의 균열 진전 및 파괴와 관련된 정보를 획득하여, 반복적인 하중을 받는 구조물의 상태를 높은 정확도로 예측하기 위한 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 파괴에 대한 보다 정확한 정보를 손쉽게 얻기 위한 연구가 오랜 시간 동안 세계 각처의 연구자들에 의해 수행되어 왔다.

[0003] 하중(荷重, load)이 구조물에 반복적으로 인가되면, 해당 구조물은 그 강도가 점차 약해지는, 피로(fatigue)라 불리는 현상을 겪게 된다. 이와 같은 피로는 구조물의 파괴를 야기할 수 있다. 보다 구체적으로, 구조물에 일정 크기 이상의 하중이 반복적으로 인가되면 구조물에 미세한 균열(crack)이 발생하고, 하중의 반복적 인가가 계속됨에 따라 상기 균열은 점차 성장하게 되며, 종국적으로는 구조물이 파괴되는 결과에까지 이르게 된다.

[0004] 구조물의 파괴 특성은, 구조물에 반복적으로 인가되는 하중의 크기와 구조물을 구성하는 재료의 종류에 영향을 받는다. 이와 관련하여, 일정 크기 및 형상을 가지며 특정 재료로 구성되는 구조물에 반복적으로 인가되는 하중의 크기와, 상기 구조물의 파괴까지 필요한 하중의 인가 횟수 간의 관계를 나타내는 S-N 곡선(stress-cycle curve)이 널리 사용되고 있다.

[0005] 도 1은 S-N 곡선을 예시적으로 도시한 도면이다. 도 1에서 세로축은 소정의 재료로 구성된 구조물에 인가된 하중의 크기(S), 가로축은 해당 구조물이 파괴되기까지 반복적으로 인가된 하중의 횟수(N)를 각각 나타내며, 세로

축과 가로축 모두 로그 스케일(log scale)을 갖는다. 또한, 하중의 크기는 하중이 인가됨에 따라 구조물이 겪게 되는 응력(應力, stress)을 이용하여 표현할 수 있다.

[0006] 도 1을 보면, 피로 한도(endurance limit, S_L) 이하의 응력은 구조물에 무한대의 횟수로 인가된다 해도 구조물의 파괴로 연결되지 않지만, 피로 한도를 초과하는 응력은 일정 횟수만큼 인가되면 구조물의 파괴를 초래하며, 구조물의 파괴에 필요한 상기 일정 횟수는 응력의 크기가 클수록 작아짐을 알 수 있다.

[0007] 상기 S-N 곡선은 실험 혹은 실제 구조물의 관찰 등을 통해 오랜 기간 동안 축적된 데이터를 이용하여 도출될 수 있다. 물론 동일한 재료를 이용하여 동일한 크기로 제작된 동종의 구조물이라 하더라도 파괴에 필요한 하중의 반복 횟수는 상호 간에 다소 차이가 있을 수 있으므로, 동종의 구조물의 평균적인 하중 반복 횟수에 기초하여 S-N 곡선을 그릴 수 있다.

[0008] S-N 곡선은 구조물이 어느 정도의 하중을 어느 정도의 횟수만큼 견딜 수 있는지를 아는 데에는 매우 유용하다. 하지만, 특정 환경에서의 구조물의 잔여 수명이나 구조물의 검사 주기 등을 알기 위해서는, 구조물의 피로 파괴의 원인이 되는 균열의 진전에 대한 정보를 알 필요가 있는데, S-N 곡선을 통해서는 이와 같은 균열의 진전에 대한 정보를 직접적으로 알 수 없다. 즉, S-N 곡선은 기본적으로 구조물의 피로 파괴에 관하여 "결과"만을 알려주기 때문에, S-N 커브만으로는 파괴까지의 "과정"에 대해서 구체적으로 알기 어렵다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 대한민국공개특허 제 10-2016-0109840호 (2006.09.21. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 특정 재료로 제작된 구조물에 인가되는 하중과 구조물의 균열 진전 간의 관계에 대한 정보를 용이하게 획득하여, 구조물의 현재 상태, 향후 파괴 가능성 및 파괴 시점 등을 높은 정확도로 예측할 수 있는 장치 및 방법을 제공하는 것이다.

[0011] 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

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 파괴 특성 분석 방법은, 소정의 재료로 구성된 복수의 시편 각각에 하중을 반복적으로 인가하는 파괴 실험에 의해 발생한 파괴 실험 결과로서, 상기 시편 각각의 파괴 여부 및 상기 시편 각각이 인가받은 하중의 횟수에 관한 정보를 획득하는 단계 및 상기 하중에 의해 상기 시편 각각에 발생한 균열이 상기 하중의 반복적 인가에 따라 진전되는 속도에 관한 복수의 함수 중에서, 상기 파괴 실험을 상기 소정의 재료로 구성된 다른 복수의 시편에 재차 수행할 경우 상기 파괴 실험 결과와 동일한 결과가 발생할 확률을 상기 복수의 함수에 대하여 각각 계산한 결과에 기초하여, 상기 확률의 값이 최대가 되는 함수를 선택하고, 상기 선택된 함수를 상기 소정의 재료의 균열 진전 함수로 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 방법은, 상기 균열 진전 함수를 이용하여, 상기 소정의 재료로 구성된 구조물에 소정 크기의 하중이 소정 횟수만큼 인가될 경우에 상기 구조물에 발생할 균열의 길이를 예측하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 복수의 함수 각각에 포함된 인자(parameter) 중 하나 이상의 인자는, 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)를 이용하여 표현될 수 있는 확률 변수(random variable)의 형태를 가질 수 있다.

[0015] 또한, 상기 방법은, 상기 복수의 시편 모두에 대해 각기 일정한 크기의 하중을 반복적으로 인가하여 상기 파괴 실험을 수행하되, 상기 복수의 시편 중 상기 하중이 인가된 횟수가 소정의 기준 횟수 이하일 때에 파괴된 시편 혹은 상기 하중이 인가된 횟수가 상기 기준 횟수에 도달했음에도 파괴되지 않은 시편에 대해서는 상기 하중의 인가를 중지함으로써 상기 파괴 실험 결과를 생성하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 복수의 함수에 대해 각각 계산되는, 상기 파괴 실험 결과와 동일한 결과가 발생할 확률의 값은, 상

기 복수의 시편 각각에 대해 상기 각 함수에 기초하여 상기 복수의 시편 중 파괴된 각 시편의 파괴 확률 및 파괴되지 않은 각 시편의 비파괴 확률을 산출하고, 상기 파괴된 각 시편의 파괴 확률을 모두 곱한 값에, 상기 파괴되지 않은 각 시편의 비파괴 확률을 모두 곱한 값을 곱함으로써 산출될 수 있다.

[0017] 또한, 상기 파괴 확률은, 상기 파괴된 각 시편이 인가받은 상기 하중의 횟수가, 상기 각 함수를 이용하여 계산되는 상기 파괴된 각 시편의 파괴에 필요한 하중의 횟수와 동일할 확률에 기초하여 산출될 수 있다.

[0018] 또한, 상기 비파괴 확률은, 상기 파괴되지 않은 각 시편이 인가받은 상기 하중의 횟수가, 상기 각 함수를 이용하여 계산되는 상기 파괴되지 않은 각 시편의 파괴에 필요한 하중의 횟수 미만일 확률에 기초하여 산출될 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 파괴 특성 분석 장치는, 소정의 재료로 구성된 복수의 시편 각각에 하중을 반복적으로 인가하는 파괴 실험에 의해 발생한 파괴 실험 결과로서, 상기 시편 각각의 파괴 여부 및 상기 시편 각각이 인가받은 하중의 횟수에 관한 정보를 획득하는 정보 획득부 및 상기 하중에 의해 상기 시편 각각에 발생한 균열이 상기 하중의 반복적 인가에 따라 진전되는 속도에 관한 복수의 함수 중에서, 상기 파괴 실험을 상기 소정의 재료로 구성된 다른 복수의 시편에 재차 수행할 경우 상기 파괴 실험 결과와 동일한 결과가 발생할 확률을 상기 복수의 함수에 대하여 각각 계산한 결과에 기초하여, 상기 확률의 값이 최대가 되는 함수를 선택하고, 상기 선택된 함수를 상기 소정의 재료의 균열 진전 함수로 결정하는 연산부를 포함할 수 있다.

[0020] 또한, 상기 연산부는, 상기 균열 진전 함수를 이용하여, 상기 소정의 재료로 구성된 구조물에 소정 크기의 하중이 소정 횟수만큼 인가될 경우에 상기 구조물에 발생할 균열의 길이를 예측할 수 있다.

[0021] 또한, 상기 복수의 함수 각각에 포함된 인자(parameter) 중 하나 이상의 인자는, 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)를 이용하여 표현될 수 있는 확률 변수(random variable)의 형태를 가질 수 있다.

[0022] 또한, 상기 장치는, 상기 복수의 시편 모두에 대해 각기 일정한 크기의 하중을 반복적으로 인가하여 상기 파괴 실험을 수행하되, 상기 복수의 시편 중 상기 하중이 인가된 횟수가 소정의 기준 횟수 이하일 때에 파괴된 시편 혹은 상기 하중이 인가된 횟수가 상기 기준 횟수에 도달했음에도 파괴되지 않은 시편에 대해서는 상기 하중의 인가를 중지함으로써 상기 파괴 실험 결과를 생성하는 파괴 실험부를 더 포함할 수 있다.

[0023] 또한, 상기 연산부는, 상기 복수의 함수에 대해 각각 계산되는, 상기 파괴 실험 결과와 동일한 결과가 발생할 확률의 값을, 상기 복수의 시편 각각에 대해 상기 각 함수에 기초하여 상기 복수의 시편 중 파괴된 각 시편의 파괴 확률 및 파괴되지 않은 각 시편의 비파괴 확률을 산출하고, 상기 파괴된 각 시편의 파괴 확률을 모두 곱한 값에, 상기 파괴되지 않은 각 시편의 비파괴 확률을 모두 곱한 값을 곱함으로써 산출할 수 있다.

[0024] 또한, 상기 연산부는, 상기 파괴된 각 시편이 인가받은 상기 하중의 횟수가, 상기 각 함수를 이용하여 계산되는 상기 파괴된 각 시편의 파괴에 필요한 하중의 횟수와 동일할 확률에 기초하여 상기 파괴 확률을 산출할 수 있다.

[0025] 또한, 상기 연산부는, 상기 파괴되지 않은 각 시편이 인가받은 상기 하중의 횟수가, 상기 각 함수를 이용하여 계산되는 상기 파괴되지 않은 각 시편의 파괴에 필요한 하중의 횟수 미만일 확률에 기초하여 상기 비파괴 확률을 산출할 수 있다.

발명의 효과

[0026] 본 발명의 실시예에 의하면, 특정 재료로 구성된 구조물에 반복적으로 하중이 인가될 때, 구조물이 파괴된 시점까지 인가된 하중의 횟수에 관한 파괴 실험 결과를 이용하여, 특정 재료로 제작된 구조물에 인가되는 하중과 구조물의 균열 진전 간의 관계에 대한 균열 진전 정보를 용이하게 획득할 수 있다. 즉, 통상적인 방법으로는 알기 어려운 균열 진전 정보를, 현재까지 비교적 관련 데이터가 많이 축적된 파괴 실험 결과를 통해 손쉽게 구할 수 있다. 상기 균열 진전 정보를 이용하여, 구조물의 현재 상태, 향후 파괴 가능성 및 파괴 시점 등을 높은 정확도로 예측함으로써, 구조물의 신뢰성을 담보하는 것이 가능해질 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 S-N 곡선을 예시적으로 도시한 도면이다.

도 2는 구조물에 가해지는 하중과 구조물의 균열 진전 간의 관계를 예시적으로 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 파괴 특성 분석 장치의 구성을 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 파괴 특성 분석 방법의 각 단계를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 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.
- [0029] 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.
- [0030] 도 2는 구조물에 가해지는 하중과 구조물의 균열 진전 간의 관계를 예시적으로 도시한 도면이다. 도 2에서, 세로축은 인가된 하중에 대한 균열의 진전 속도(da/dN), 즉 하중이 한 번 인가됨에 따라 균열이 어느 정도 길이만큼 진전하는지를 나타낸다. 가로축은 응력 강도 계수(ΔK)를 나타내는데, 응력 강도 계수에 대해서는 뒤에서 보다 자세히 설명하도록 한다.
- [0031] 피로 한도를 넘는 일정 크기의 하중이 구조물에 인가되기 시작하면 상기 구조물에는 미세한 균열이 발생하게 되며, 하중의 인가가 계속적으로 반복될수록 상기 균열은 점차 성장하게 된다. 상기 균열은 도 2와 같이 제 1 단계, 제 2 단계, 제 3 단계의 세 단계를 순차적으로 거치며 진전된다.
- [0032] 우선 맨 처음의 제 1 단계는, 균열이 막 생성되어 비교적 더디게 진전되는 단계인 균열 발생기에 해당된다. 발생한 균열이 초기 균열 길이(a_0)라 불리는 길이가 되면, 제 1 단계에 비해 균열이 빠르게 진전되는 균열 진전기인 제 2 단계로 전환된다. 제 3 단계는 제 2 단계에 뒤따르는 최종 파괴기로서, 균열 진전이 지극히 빠르게 일어난다. 제 3 단계는 오래 지속되지 않으며, 제 3 단계에 진입한 균열은 급격히 성장하여 결국 구조물의 파괴를 초래하게 된다.
- [0033] 상기 단계들 중 균열 진전기인 제 2 단계에 대한 분석이 구조물의 파괴 특성 분석에서 핵심이 되며, 상기 제 2 단계에 대한 분석을 위해서는 제 1 단계와 제 2 단계의 경계가 되는 균열의 길이인 초기 균열 길이(a_0)의 값과, 균열의 진전 속도(da/dN)를 나타내는 함수인 균열 진전 함수를 알 필요가 있다.
- [0034] 제 2 단계에서의 균열 진전 함수는 아래의 수학적 식 1과 같이 표현될 수 있다(Paris' law).

수학적 식 1

$$\frac{da}{dN} = C\Delta K^m$$

- [0035]
- [0036] 상기 수학적 식 1에서 a 는 균열의 길이, N 은 반복되는 하중의 횟수, C 와 m 은 구조물을 구성하는 재료에 따라 정해지는 특성 인자다. 수학적 식 1의 균열 진전 함수를 구한다는 것은, 해당 구조물의 제 2 단계에서의 균열 진전 양상을 알 수 있다는 것을 의미하며, 보다 구체적으로는 균열이 특정 길이를 가질 때 하중이 앞으로 어느 정도 횟수 가해져야 구조물이 파괴될지를 예측할 수 있다는 것을 의미한다. ΔK 는 전술한 바와 같이 응력 강도 계수를 나타내는데, 아래의 수학적 식 2와 같이 표현될 수 있다.

수학식 2

$$\Delta K = \Delta S \cdot Y(a) \sqrt{\pi a}$$

[0037]

[0038]

상기 수학식 2에서 ΔS 는 원거리(far field) 응력, $Y(a)$ 는 구조물에 따라 기하학적으로 결정되는 함수(geometric function)를 각각 나타낸다. 일반적인 피로 실험에서는, 균열이 일어나는 곳에서 일정 거리 떨어진 곳에서 동일한 크기와 균일한 분포를 갖는 응력을 주는데, 그림에도 불구하고 균열이 일어나는 곳 주변에서는 그 응력분포가 매우 불균일하게 되고, 이를 반영하여 해석을 수행하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 이에, 균열로부터 다소 떨어진 곳에서 균일한 분포를 갖는 응력인 원거리 응력을 이용할 수 있다. 한편 동일한 크기의 원거리 응력이 주어지더라도, 그 응력이 가해지는 구조물의 기하학적인 형태에 따라 균열 진전 속도가 차이가 난다는 것이 실험적으로 증명되었다. 상기 geometric function은 이러한 효과를 나타내기 위한 것으로서, 실험적으로 균열 길이(a)의 함수라는 것이 밝혀져 흔히 $Y(a)$ 로 표현한다.

[0039]

전술한 인자(parameter)들 중, 상기 제 2 단계에서의 균열 진전 분석에 있어서 그 값을 알기 어려운 인자들은 C와 m이다. C와 m의 값에는 여러 불확실성이 내재되어 있기 때문에 파괴 실험을 통해서도 확정하기 어렵다. 또한, 전술한 S-N 곡선 관련 자료에 비해 균열 진전 분석에 대한 자료는 충분히 마련되어 있지 않은 실정이며, 다양한 재료의 종류 및 응력 강도 계수에 대한 실험 데이터를 일일이 얻는 것은 자료의 확보의 어려움을 더욱 가중시킨다.

[0040]

이에 본 발명의 일 실시예에서는, S-N 곡선의 산출을 위해 수행된 기존의 실험 결과에 관한 데이터에 기초하여 균열 진전 함수를 구하는 방법을 제안한다. 특히 앞서 언급한 바에 따라, 앞으로 서술할 본 발명의 일 실시예에 관한 설명에서는 균열 진전 함수를 구성하는 인자 중에서도 C와 m의 값을 구하는 데 주안점을 두도록 한다. 전술한 바와 같이 C와 m의 값은 재료의 종류에 따라 달리 정해지므로, C와 m의 값을 구한다는 것은 재료별로 균열 진전 함수를 구한다는 것으로 해석될 수 있을 것이다.

[0041]

다만 C와 m의 값에는 여러 불확실성이 내재되어 있기 때문에, 하나의 재료에 있어서도 그 값을 고정된 하나의 값으로 특정하기 어렵다. 따라서, 상기 C와 m의 값은 확률 변수(random variable)의 형태로 구해질 수 있으며, 이에 따라 하나로 고정된 C와 m의 값 대신 C와 m의 값 각각의 평균과 표준편차를 구할 수 있다.

[0042]

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 파괴 특성 분석 장치의 구성을 도시한 도면이다. 도 3과 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 파괴 특성 분석 장치는 정보 획득부(110), 파괴 실험부(120), 연산부(130) 및 출력부(140)를 포함할 수 있다. 단, 도 3의 재료 파괴 특성 분석 장치(100)는 본 발명의 일 실시예에 불과하므로, 도 3에 의해 본 발명의 사상이 제한 해석되는 것은 아니다.

[0043]

정보 획득부(110)는 동일한 특정 재료로 된 복수의 시편(specimen) 각각에 각기 일정한 하중을 반복적으로 인가하는 파괴 실험에 의해 발생한 파괴 실험 결과에 있어서, 상기 시편 각각의 파괴 여부 및 상기 시편 각각이 인가받은 하중의 횟수에 관한 정보를 획득할 수 있다. 따라서, 정보 획득부(110)가 획득하는 정보는 상기 특정 재료에 대한 S-N 곡선을 구하기 위해 예전에 이미 수행된 파괴 실험 결과로부터 획득될 수 있다. 이와 같은 정보 획득을 위해, 정보 획득부(110)는 키보드(keyboard), 마우스(mouse) 등의 입력 장치, 데이터의 수신을 위한 데이터 버스, 혹은 유/무선 통신 모듈 등을 포함하여 구현될 수 있다.

[0044]

파괴 실험부(120)는 상기 정보 획득부(110)에 의해 획득될 정보를 위한 파괴 실험 결과를, 파괴 실험을 직접 수행함으로써 생성할 수 있다. 즉, 파괴 실험부(120)는 동일한 특정 재료로 된 복수의 시편 모두에 대해 각기 일정한 크기의 하중을 반복적으로 인가하여 파괴 실험을 수행할 수 있다. 여기서 파괴 실험부(120)가 인가하는 하중의 크기는 시편끼리는 각기 다를 수도 있겠지만, 하나의 특정 시편에 대해서는 일정한 크기의 하중이 계속하여 반복적으로 인가될 필요가 있을 것이다.

[0045]

파괴 실험부(120)는 소정의 기준 횟수(runout number)를 상한으로 하여 복수의 시편 각각에 하중을 반복적으로 인가할 수 있다. 즉, 파괴 실험부(120)는 시편에 인가한 하중의 횟수가 상기 기준 횟수에 도달하면, 상기 시편이 파괴되지 않았어도 하중의 인가를 중지하고 상기 시편을 파괴되지 않은 시편으로 분류할 수 있다. 또한, 상기 기준 횟수 이하의 횟수에서 파괴된 시편에 대해서도 파괴 실험부(120)는 하중의 인가를 중지할 수 있으며, 상기 시편을 파괴된 시편으로 분류할 수 있다. 이와 같은 파괴 실험부(120)의 구현에 대해서는 통상의 기술자에

게 용이한 것이므로 여기에서는 파괴 실험부(120)의 구체적인 구성에 대한 설명은 생략한다.

[0046] 연산부(130)는 정보 획득부(110)가 획득한 파괴 실험 결과의 정보에 기초하여 상기 시편을 구성하는 재료의 균열 진전 함수를 산출할 수 있다. 구체적으로, 연산부(130)는 균열 진전 함수가 될 수 있는 복수의 함수들, 즉, 도 2를 참조하여 설명한 C와 m의 값(보다 정확히는 C와 m의 평균 및 표준편차)이 저마다 상이한 함수들 중에서 하나의 함수를 선택하여 균열 진전 함수로 결정할 수 있다. 여기서 상기 선택은, 상기 파괴 실험에 의해 상기 파괴 실험 결과가 발생할 확률을 상기 복수의 함수 각각에 대하여 각각 구한 결과에 기초하여 수행될 수 있다. 이와 같이 연산부(130)가 균열 진전 함수를 구하는 자세한 과정에 대해서는 뒤의 도 4를 참조하여 후술하도록 한다. 연산부(130)는 마이크로프로세서(microprocessor)를 포함하는 연산 장치에 의해 구현될 수 있다.

[0047] 출력부(140)는 상기 연산부(130)의 균열 진전 함수 산출 결과를 재료 파괴 특성 분석 장치(100) 외부로 출력할 수 있다. 따라서 출력부(140)는 디스플레이(display)와 같은 시각적 출력 장치 혹은 스피커(speaker)와 같은 청각적 출력 장치를 포함할 수 있으며, 경우에 따라서는 소리 데이터 분류 장치(100) 외부로 데이터를 전송하기 위한 데이터 버스 혹은 유/무선 통신 모듈 등을 포함할 수 있다.

[0048] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 파괴 특성 분석 방법의 각 단계를 도시한 도면이다. 도 4의 재료 파괴 특성 분석 방법은 도 3을 참조하여 설명한 재료 파괴 특성 분석 장치(100)에 의해 수행될 수 있으며, 도 3과 중복되는 부분에 대해서는 설명이 생략될 수 있다. 단, 도 4에 도시된 방법은 본 발명의 일 실시예에 불과하므로 도 4에 의해 본 발명의 사상이 한정 해석되는 것은 아니며, 도 4에 도시된 방법의 각 단계는 경우에 따라 도면에 도시된 바와 그 순서를 달리하여 수행될 수 있음은 물론이다.

[0049] 우선, 파괴 실험부(120)가 복수의 시편 각각에 하중을 반복적으로 인가하는 파괴 실험을 수행함으로써, 파괴 실험 결과를 생성할 수 있다(S110). 복수의 시편은 동일한 재료로 구성될 수 있으며, 이에 더해 편의상 서로 같은 형상을 가질 수 있다. 전술한 바와 같이, 정보 획득부(110)는 파괴 실험부(120)가 직접 수행한 파괴 실험 결과를 이용할 수도 있지만, 이전에 이미 수행된 파괴 실험의 결과를 이용할 수도 있으며, 이 경우 상기 단계 S110은 생략될 수도 있다.

[0050] 앞서 설명한 바와 같이, 파괴 실험부(120)에 의해 수행된 파괴 실험 혹은 이전에 다른 주체에 의해 이미 수행된 파괴 실험에 의하면, 복수의 시편 각각에는 기준 횡수(runout number)를 상한으로 하는 횡수의 하중이 가해질 수 있다. 기준 횡수는 시편을 구성하는 재료의 성질, 시편의 형상, 시편에 가해지는 하중 등을 참조하여 정해질 수 있다. 각 시편 중에서는 기준 횡수의 하중이 가해지기 전 파괴되는 시편이 있을 수 있고, 기준 횡수만큼의 하중에도 파괴되지 않고 남아 있는 시편이 있을 수 있다.

[0051] 정보 획득부(110)는 상기 파괴 실험 결과로부터, 상기 시편 각각의 파괴 여부 및 상기 시편 각각이 인가받은 하중의 횡수 등의 정보를 획득할 수 있다(S120). 상기 정보 중 인가받은 하중의 횡수와 관련하여, 파괴된 시편의 경우 파괴된 후에는 하중이 가해지지 않으므로 파괴 시까지 인가된 하중의 횡수가 인가받은 하중의 횡수가 되며, 파괴되지 않은 시편의 경우 기준 횡수 이후로는 하중이 인가되지 않으므로 기준 횡수가 인가받은 하중의 횡수가 될 것이다. 정보 획득부(110)는 상기 정보 외에도, 각 시편에 인가된 하중의 크기, 각 시편의 형상 등의 정보를 추가로 획득할 수 있다.

[0052] 상기 정보 획득부(110)의 정보 획득이 완료되면, 연산부(130)는 각 시편에 대하여, 도 2의 제 2 단계 진입 이후, 즉 균열의 길이가 초기 균열 길이(a_0)가 된 이후부터 인가된 하중의 횡수(균열 진전 하중 횡수)를 산출할 수 있다(S130). 이는 상기 수학적 식 1에 의한 균열 진전 함수가 원칙적으로 도 2에 도시된 세 단계 중 제 2 단계에 대해서만 적용되기 때문이다. 특정 시편이 인가받은 하중의 횡수를 N_T 라 할 때, 해당 시편의 균열 진전 하중 횡수 N_p 는 다음 수학적 식 3에 의해 구할 수 있다.

수학적 식 3

[0053]
$$N_p = 14 \times N_T^{0.6}$$

[0054] 상기 수학적 식 3은, N_T 의 값이 730을 초과할 경우 적용될 수 있다.

[0055] 다음으로, 연산부(130)는 상기 파괴 실험에 의해 상기 파괴 실험 결과가 발생할 확률에 기초하여, 상기 재료의 균열 진전 함수를 결정할 수 있다(S140). 본 단계 S140의 수행을 위해, 연산부(130)는 한계상태(limit state)를

규정하기 위하여 구조신뢰성 분야에서 널리 이용되는 한계상태방정식(limit-state function)을 이용할 수 있다. 한계상태방정식의 수학적 표현은 다음의 수학식 4와 같다.

수학식 4

$$g(\mathbf{X}) = R(\mathbf{X}) - S(\mathbf{X}) \leq 0$$

여기서 X 는 소정의 확률 분포를 갖는 확률 변수이며, $g(X)$, $R(X)$, $S(X)$ 는 순서대로 각각 한계상태방정식, 구조물의 저항력, 구조물에 가해지는 하중 조합을 의미한다. 즉 수학식 4는, 구조물에 가해지는 하중이 구조물이 견딜 수 있는 한도 이상일 경우 구조물이 파괴될 수 있음을 나타낸다. X 의 분포에 기초하여 한계상태방정식 $g(X)$ 의 값이 0 이하일 확률을 구하는 것이 가능하며, 해당 확률이 바로 구조물의 피로 파괴 확률이 된다. 즉, 피로 파괴 확률 P_f 는 다음과 같은 수학식 5에 의해 구할 수 있다.

수학식 5

$$P_f = P(R(X) - S(X) \leq 0)$$

상기 한계상태방정식의 정의 및 피로 파괴 확률에 입각하여, 연산부(130)는 파괴되지 않은 각 시편(비파괴 유형)과 파괴된 각 시편(파괴 유형)에 대해 각기 따로 파괴 실험 결과의 발생 확률을 두 유형에 대한 우도 함수(likelihood function)를 이용하여 계산할 수 있으며, 구체적인 계산 과정에 대해서는 이하에서 경우를 나누어 자세히 설명하도록 한다.

(유형 1: 비파괴 유형)

파괴되지 않은 각 시편 중 어느 한 시편에 있어서, 해당 시편이 파괴되지 않을 확률, 즉 해당 시편에 대하여 "비파괴"라는 실험 결과가 실제로 발생할 확률인 P_{nofail} 은 다음의 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$P_{nofail} = P(N_{PNF} - N_{Paris}(X) < 0)$$

시편이 파괴되지 않았다는 것은, 해당 시편에 실제로 가해진 균열 진전 하중 횟수(N_{PNF})가 균열 진전 함수에 의해 이론적으로 구해진 제 2 단계 진입으로부터 파괴까지의 필요 하중 횟수($N_{Paris}(X)$)보다 작다는 것을 의미하므로, P_{nofail} 의 산출에 관한 상기 수학식 6이 성립하는 것이다. $N_{Paris}(X)$ 는 다음과 같은 수학식 7에 의해 구할 수 있다.

수학식 7

$$N_{Paris}(\mathbf{X}) = \frac{1}{C} \int_{a_0}^{a_c} \frac{1}{[\Delta S \cdot Y(a) \sqrt{\pi a}]^m} da$$

상기 수학식 7에서, a_c 는 파괴에 이르게 되는 균열 길이(critical crack length)를 의미하며, a_0 는 전술한 바와 같이 제 2 단계로의 진입 시점에서의 균열 길이인 초기 균열 길이를 의미한다. 상기 수학식 7의 다른 인자들은 파괴 실험 조건 및 시편의 기하학적 특성 등으로부터 비교적 쉽게 도출할 수 있으나, a_0 , C , m 은 상대적으로 구하기 어렵다. 이에 따라 본 발명의 일 실시예에서는 상기 세 개의 인자들을 확률 변수로 취급하도록 하며, 구해

적인 사항에 대해서는 후술한다.

(유형 2: 파괴 유형)

파괴된 각 시편 중 어느 한 시편에 있어서, 해당 시편이 파괴되지 않을 확률, 즉 해당 시편에 대하여 "파괴"라는 실험 결과가 실제로 발생할 확률인 P_{fail} 은 다음의 수학적 식 8과 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 8

$$P_{fail} = P(N_{PF} - N_{Paris}(X) = 0)$$

시편이 파괴되지 않았다는 것은, 해당 시편에 실제로 가해진 균열 진전 하중 횟수(N_{PF})가 균열 진전 함수에 의해 이론적으로 구해진 제 2 단계 진입으로부터 파괴까지의 필요 하중 횟수($N_{Paris}(X)$)와 같다는 것을 의미하며, 따라서 P_{fail} 의 산출에 관한 상기 수학적 식 8이 성립한다.

$N_{Paris}(X)$ 는 연속 확률 변수이기 때문에, 상기 수학적 식 8에 의해 P_{fail} 의 값을 계산하면 결과적으로는 0이 된다. 따라서, 실제로는 수학적 식 8 대신 아래와 같이 미분을 이용한 대체 함수가 적용된 수학적 식 9가 P_{fail} 의 값 산출에 활용될 수 있다.

수학적 식 9

$$P_{fail} = \left[\frac{\partial}{\partial \theta} P[g_{fail}(X) + \theta] < 0 \right]_{\theta=0}$$

상기 수학적 식 9에서, $g_{fail}(X)$ 는 파괴 유형의 한계상태방정식으로, $N_{PF} - N_{Paris}(X)$ 와 같다. 상기 수학적 식 9는 미소한 값을 갖는 아래와 같은 수학적 식 10으로 재구성될 수 있다. 수학적 식 10의 P_{fail} 의 값은 일계신뢰도법(first order reliability method, FORM)과 같은 널리 알려진 신뢰성 해석 기법을 이용하여 계산될 수 있다.

수학적 식 10

$$P_{fail} = \left[\frac{\partial}{\partial \theta} P[N_{PF} - N_{Paris}(X) + \theta] < 0 \right]_{\theta=0}$$

지금까지 비파괴 유형에 속하는 시편에 대한 확률인 P_{nofail} 의 값과 파괴 유형에 속하는 시편에 대한 확률인 P_{fail} 의 값을 각각 구하는 방법에 대해 살펴보았다. 비파괴 유형에 대한 결과가 N_{nofail} 개 존재하고, 파괴 유형에 대한 결과가 N_{fail} 개 존재할 경우, 상기 파괴 실험 결과가 발생할 확률인 P_{final} 은 상기 비파괴 유형에 대한 각 결과가 발생할 확률을 모두 곱한 값과, 상기 파괴 유형에 대한 각 결과가 발생할 확률을 모두 곱한 값을 서로 곱한 값이 되며, 구체적으로는 아래 수학적 식 11을 통해 구할 수 있다. 실제적인 관점에서, P_{final} 은 상기 파괴 실험을 동일한 재료로 구성된 다른 복수의 시편에 재차 수행할 경우, 상기 파괴 실험과 동일한 결과가 나올 확률이라 생각할 수도 있다.

수학식 11

$$P_{final} = \prod_{i=1}^{N_{nofail}} P_{nofail,i} \times \prod_{j=1}^{N_{fail}} P_{fail,j}$$

[0075]

[0076]

여기서 i 는 비파괴 유형의 결과 각각을 식별하는 부호이며, j 는 파괴 유형의 결과 각각을 식별하는 부호가 된다. 균열 진전 함수의 인자인 a_0 , C , m 은 상기 P_{final} 의 값이 최대가 되도록 하는 확률 변수로서 정해질 수 있다. 상기 P_{final} 의 값이 최대가 되도록 하는 균열 진전 함수(엄밀하게는 확률 변수의 형태로 나타나는 균열 진전 함수의 인자들)를 구하기 위해, P_{final} 의 값을 최대화하는 최적화 기법(예컨대, MATLAB의 optimization toolbox에서 제공하는 Nelder-Mead simplex algorithm)을 이용할 수 있다. 최적화 기법은 아래의 수학식 12에 기초하여 수행될 수 있다.

수학식 12

$$L_{max}(\mathbf{X}|\boldsymbol{\theta}) = \max \left\{ \sum_{i=1}^{N_{nofail}} \ln P_{nofail,i}(\mathbf{X}|\boldsymbol{\theta}) + \sum_{j=1}^{N_{fail}} \ln P_{fail,j}(\mathbf{X}|\boldsymbol{\theta}) \right\}$$

[0077]

[0078]

상기 수학식 12에서, $\boldsymbol{\theta}$ 는 확률 변수의 형태로 나타나는 균열 진전 함수의 인자로 구성된 인자 벡터를 의미한다. 상기 수학식 12의 중괄호 안의 부분의 값이 최대화되도록 인자의 값(구체적으로는 인자의 평균 및 표준편차)을 정함으로써, 파괴 실험에 사용된 구조물을 구성하는 재료를 위한 균열 진전 함수를 결정할 수 있다. 출력부(140)는 균열 진전 함수 결정의 결과를 출력할 수 있으며(S150), 결정된 균열 진전 함수는 연산부(130)가 상기 재료로 된 구조물에 하중이 가해질 경우의 균열 진행 양상을 예측하는 데 이용될 수 있다.

[0079]

지금까지 설명한 본 발명의 일 실시예에 따른 방법의 이점 중 하나는, 베이지안(Bayesian) 방법론에 입각하여, 추가적인 파괴 실험 결과에 의해 균열 진전 함수의 인자의 값이 업데이트될 수 있다는 것이다. 새로운 파괴 실험 결과에 대한 데이터를 이용하여 상기 방법을 반복적으로 수행함으로써, 보다 신뢰성 있는 인자를 구하여 불확실성을 줄일 수 있다.

[0080]

아래에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 파괴 특성 분석 방법의 타당성을 검증하기 위해, 균열 진전 함수의 인자가 실험에 의해 이미 알려진 40H 철과 20G 철을 재료로 하여 실험한 예제에 대해 설명하도록 한다. 실험에 의해 이미 알려진 상기 재료들의 균열 진전 함수의 인자(C , m) 값은 다음의 표 1과 같다.

표 1

[0081]

재료	C	m
40H 철	3.96×10^{-12}	2.97
20G 철	2×10^{-11}	3

[0082]

본 발명의 일 실시예에 따라 상기 재료들에 대해 도출된 균열 진전 함수의 인자(a_0 , C , m)의 값은 아래의 표 2와 같다. 본 발명의 일 실시예에서는 상기 인자들이 확률 변수의 형태를 가지므로, 아래의 표 2에서도 각 인자들의 값을 평균 및 표준편차를 이용하여 나타내었다. 참고로, c.o.v.는 변동 계수(coefficient of variation)을 가리키며, 표준편차를 평균으로 나눈 값이다.

표 2

재료	C (로그노멀 분포)		m (로그노멀 분포)		상관 계수	a ₀ (mm) (지수 분포)
	평균	c.o.v.	평균	c.o.v.	C와 m	평균
40H 철	4.46 x 10 ⁻¹²	0.57	3.05	0.04	-0.9	1.18 x 10 ⁻¹
20G 철	2.52 x 10 ⁻¹¹	0.49	3.14	0.06	-0.87	1.92 x 10 ⁻¹

상기 표 2의 결과를 표 1의 데이터와 비교해볼 때, 본 발명의 일 실시예에 의한 재료 파괴 특성 분석 방법의 신뢰도가 높음을 확인할 수 있다.

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.

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.

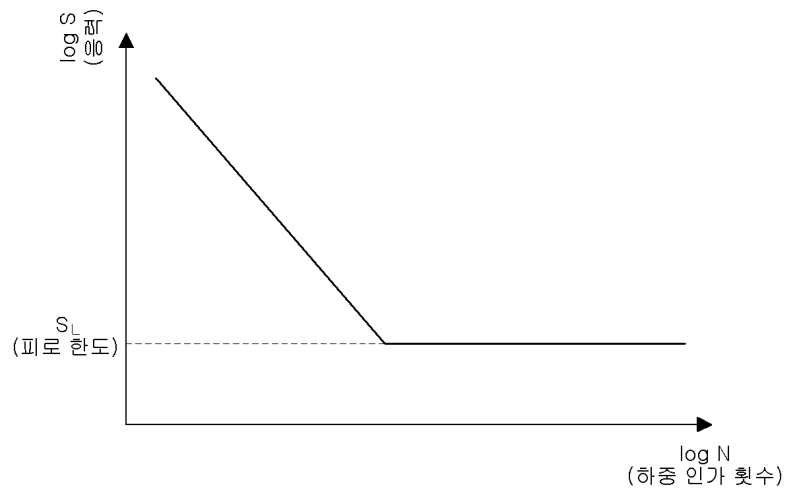
이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 품질에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 균등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의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

부호의 설명

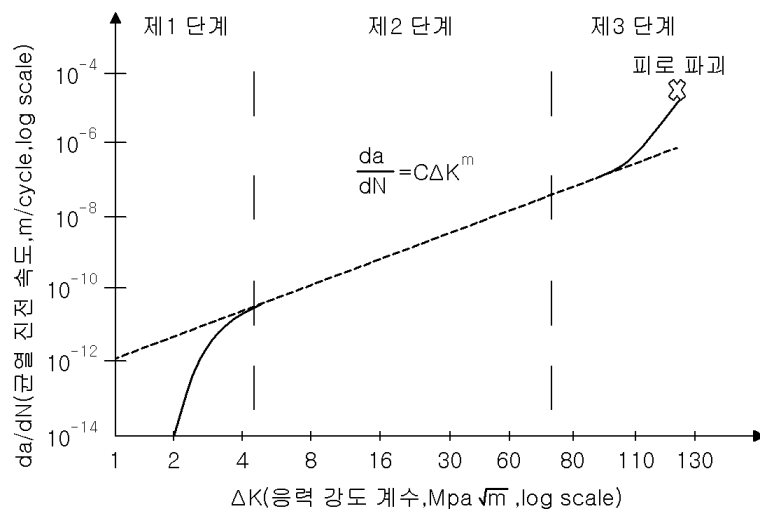
- 100: 재료 파괴 특성 분석 장치
- 110: 정보 획득부
- 120: 파괴 실험부
- 130: 연산부
- 140: 출력부

도면

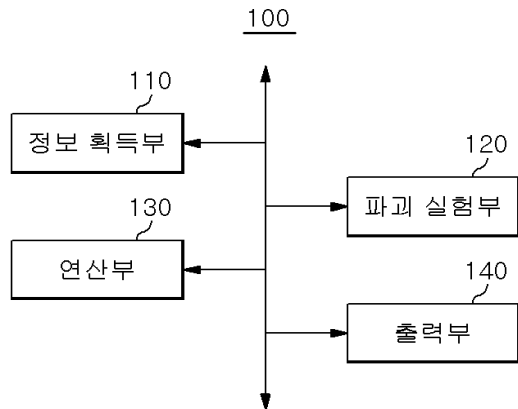
도면1



도면2



도면3



도면4

