



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년10월18일
(11) 등록번호 10-1786424
(24) 등록일자 2017년10월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 3/28 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 3/28 (2013.01)

G01N 2203/0062 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-0045913

(22) 출원일자 2017년04월10일

심사청구일자 2017년04월10일

(56) 선행기술조사문헌

한재준, 유한요소기반 다중스케일 연성파손모사 기법을 이용한 원주방향 균열이 존재하는 탄소강 실패관 예측 및 검증, 대한기계학회2013년도 학술대회, 2013년12월, 2770-2775*

김지수, Alloy 600 관통노즐의 PWSCC 평가를 위한 삼축응력이 고려된 SCC 성장모사 기법 개발, 대한기계학회 춘추학술대회 논문집, 2015년11월, 2444-2447*

KR1020080002410 A

KR1020070039293 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

김윤재

서울특별시 서초구 방배천로18길 11, 108동 603호(방배동, 방배롯데캐슬아르떼)

김지수

서울특별시 동대문구 고산자로 557 (제기동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인남춘

전체 청구항 수 : 총 4 항

심사관 : 한별

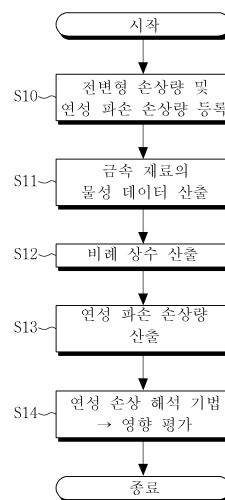
(54) 발명의 명칭 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법

(57) 요약

본 발명은 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법에 관한 것으로, (a) 상기 금속 재료의 연성 파손시의 전변형에 의한 전변형 손상량과 연성 파손에 의한 연성 파손 손상량이 전변형률 및 비례 상수로 정의되어 등록되는 단계와; (b) 상기 금속 재료의 물성 데이터가 산출되는 단계와; (c) 상기 물성 데이터를

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



이용하여 상기 비례 상수가 산출되는 단계와; (d) 상기 (c) 단계에서 산출된 상기 비례 상수를 이용하여 상기 연성 파손 손상량이 산출되는 단계와; (e) 상기 (d) 단계에서 산출된 상기 연성 파손 손상량이 연성 손상 해석 방법에 적용되어 전변형에 의한 영향 평가가 수행되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 용접, 냉간 가공, 열간 가공, 지진 하중 등에 의해 구조물에서 발생하는 금속 재료의 전변형(Pre-strain)에 의한 영향을 평가하는데 있어, 금속 재료에 대한 물성 데이터의 보유 상태와 무관하게 전변형에 의한 영향의 평가가 가능하게 된다.

(52) CPC특허분류

G01N 2203/0216 (2013.01)

(72) 발명자

전준영

서울특별시 마포구 연희로 47 (연남동)

황진하

서울특별시 성북구 장월로1길 28 (상월곡동 동아에코빌아파트 111동) 111동 1902

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20141520100860

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국에너지기술평가원

연구사업명 원전선진화기술개발사업

연구과제명 설계기준초과지진 조건에서 재질열화를 고려한 가동원전 주요기기 결합안전성 평가기법 개발 및 모사실험을 통한 검증

기 여 율 1/1

주관기관 조선대학교 산학협력단

연구기간 2014.12.01 ~ 2017.09.30

명세서

청구범위

청구항 1

연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법에 있어서,

- (a) 상기 금속 재료의 연성 파손시의 전변형에 의한 전변형 손상량과 연성 파손에 의한 연성 파손 손상량이 전변형을 및 비례 상수로 정의되어 등록되는 단계와;
- (b) 상기 금속 재료의 물성 데이터가 산출되는 단계와;
- (c) 상기 물성 데이터를 이용하여 상기 비례 상수가 산출되는 단계와;
- (d) 상기 (c) 단계에서 산출된 상기 비례 상수를 이용하여 상기 연성 파손 손상량이 산출되는 단계와;
- (e) 상기 (d) 단계에서 산출된 상기 연성 파손 손상량이 연성 손상 해석 기법에 적용되어 전변형에 의한 영향 평가가 수행되는 단계를 포함하며,

상기 (a) 단계에서

상기 전변형 손상량은 수학적식 $w^P = k \times \epsilon_{pre}$ (w^P 는 상기 전변형 손상량이고, k 는 상기 비례 상수이고, ϵ_{pre} 는 상기 전변형률이다)로 정의되며,

상기 연성 파손 손상량은 수학적식 $w^D = 1 - k \times \epsilon_{pre}$ (w^D 는 상기 연성 파손 손상량이다)로 정의되는 것을 특징으로 하는 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계는

전변형이 없는 상기 금속 재료의 환봉인장실험을 통해 제1 응력-변형률 선도가 획득되는 단계와,

상기 제1 응력-변형률 선도가 유한요소해석 기법에 적용되어 제1 등가소성 변형률이 상기 물성 데이터로 산출되는 단계를 포함하며;

$$k = \frac{1}{\epsilon_{ts-o}^{eq}}$$

상기 (c) 단계에서 상기 비례 상수는 수학적식 ϵ_{ts-o}^{eq} (ϵ_{ts-o}^{eq} 는 상기 제1 등가소성 변형률이다)에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계는

전변형이 없는 상기 금속 재료의 환봉인장실험을 통해 제1 응력-변형률 선도가 획득되는 단계와,

상기 제1 응력-변형률 선도가 유한요소해석 기법에 적용되어 제1 등가소성 변형률이 산출되는 단계와,

전변형이 있는 상기 금속 재료의 환봉인장실험을 통해 제2 응력-변형률 선도가 획득되는 단계와,

상기 제2 응력-변형률 선도가 유한요소해석 기법에 적용되어 제2 등가소성 변형률이 산출되는 단계와,

상기 제1 등가소성 변형률과 상기 제2 등가소성 변형률을 이용하여 물성 검출용 전변형 손상량이 결정되어 상기 물성 데이터로 산출되는 단계를 포함하고;

$$w'^P = \frac{\epsilon_{ts-o}^{eq} - \epsilon_{ts-pre}^{eq}}{\epsilon_{ts-o}^{eq}} \quad (w'^P \text{ 는 상기 물성 검출용 전변형 손상량이}$$

고, ϵ_{ts-o}^{eq} 는 상기 제1 등가소성 변형률이고, ϵ_{ts-pre}^{eq} 는 상기 제2 등가소성 변형률이다)로 결정되며;

상기 (c)단계에서 상기 비례 상수는 상기 물성 검출용 전변형 손상량을 상기 전변형률에 따라 선형 피팅하여 산출되는 것을 특징으로 하는 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계는

전변형이 있는 상기 금속 재료의 파괴 실험에 기초하여 연성 파손에 의한 물성 검출용 연성 파손 손상량이 결정되는 단계와,

상기 물성 검출용 연성 파손 손상량을 이용하여 물성 검출용 전변형 손상량이 결정되어 상기 물성 데이터로 산출되는 단계를 포함하고;

상기 물성 검출용 전변형 손상량은 수학적식 $w'^P = 1 - w'^D$ (w'^P 는 상기 물성 검출용 전변형 손상량이고, w'^D 는 상기 물성 검출용 연성 파손 손상량이다)로 정의되며;

상기 (c)단계에서 상기 비례 상수는 상기 물성 검출용 전변형 손상량을 상기 전변형률에 따라 선형 피팅하여 산출되는 것을 특징으로 하는 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 용접, 냉간 가공, 열간 가공, 지진 하중 등에 의해 구조물에서 발생하는 금속 재료의 전변형(Pre-strain)에 의한 영향을 평가할 수 있는 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 원자력 발전소를 비롯한 많은 산업 분야에서는 금속 재료의 가공 배관 등의 구조물이 설치되어 있다. 이러한 구조물들은 구조물 자체에서 발생하는 하중이나, 충격이나 지진 등과 같은 외부 자극에 의해 변형이 발생하게 되고, 임계 손상값을 넘어가게 되면 연성 파손이 발생하게 된다.

[0003] 따라서, 구조물을 구성하는 금속 재료의 물성에 따른 연성 손상을 해석하여 이를 구조물의 설치에 반영하여 추후에 발생할 수 있는 파손이나 붕괴 등의 사고를 미연에 방지하고자 하는 연구가 지속되고 있다.

[0004] 금속 재료의 균열 성장을 모사하고 구조물의 건전성을 평가하는 방법은 널리 사용되고 있으며, 상용 구조 해석 코드인 ABAQUS 등이 널리 활용되고 있다.

[0005] 특히, 연성 손상 해석 모델 중 하나인 'Stress modified fracture strain model'을 사용하면 인장 실험과 파괴 실험을 통해 금속 재료의 물성을 확보하고 연성 파손을 모사할 수 있다.

[0006] 그러나, 금속 재료의 용접, 냉간 가공, 열간 가공, 지진 하중 등에 의해 구조물을 구성하는 금속 재료에 전변형(Pre-strain)이 발생하게 되는데, 이와 같은 전변형은 그 전변형률에 따라 금속 재료의 물성이 달라져, 전변형이 발생하지 않은 금속 재료를 기반으로 해석된 평가 결과에 오차가 발생하게 된다.

[0007] 따라서, 보다 정확한 금속 재료의 연성 손상 해석을 위해서는 구조물에 설치되는 금속 재료의 시편에 전변형을 야기시킨 후 연성 손상 해석을 통해 해당 금속 재료의 물성을 정확히 평가할 수 있게 된다.

[0008] 그러나, 용접이나 지진 하중에 의해 야기되는 전변형의 경우, 구조물의 설치 전에, 시편에 동일한 조건의 전변형을 야기시키는 것 자체가 어려워 이를 반영한 연성 손상 해석이 이루어질 수 없는 문제점이 있다.

[0009] 또한, 이미 설치가 완료된 구조물을 구성하는 금속 재료에 대해, 냉간 가공이나 열간 가공이 얼마나 이루어졌는지 이를 추적하기는 현실적으로 어려운 실정이라는 점에서, 전변형을 고려한 연성 손상 해석을 수행하기는 현실적으로 어렵다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 이에 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로써, 용접, 냉간 가공, 열간 가공, 지진 하중 등에 의해 구조물에서 발생하는 금속 재료의 전변형(Pre-strain)에 의한 영향을 평가하는데 있어, 금속 재료에 대한 물성 데이터의 보유 상태와 무관하게 전변형에 의한 영향의 평가가 가능한 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기 목적은 본 발명에 따라, 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법에 있어서, (a) 상기 금속 재료의 연성 파손시의 전변형에 의한 전변형 손상량과 연성 파손에 의한 연성 파손 손상량이 전변형을 및 비례 상수로 정의되어 등록되는 단계와; (b) 상기 금속 재료의 물성 데이터가 산출되는 단계와; (c) 상기 물성 데이터를 이용하여 상기 비례 상수가 산출되는 단계와; (d) 상기 (c) 단계에서 산출된 상기 비례 상수를 이용하여 상기 연성 파손 손상량이 산출되는 단계와; (e) 상기 (d) 단계에서 산출된 상기 연성 파손 손상량이 연성 손상 해석 기법에 적용되어 전변형에 의한 영향 평가가 수행되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법에 의해서 달성된다.

[0012] 여기서, 상기 (a) 단계에서 상기 전변형 손상량은 수학적식 $w^P = k \times \epsilon_{pre}$ (w^P 는 상기 전변형 손상량이고, k 는 상기 비례 상수이고, ϵ_{pre} 는 상기 전변형률이다)로 정의되며; 상기 연성 파손 손상량은 수학적식 $w^D = 1 - k \times \epsilon_{pre}$ (w^D 는 상기 연성 파손 손상량이다)로 정의될 수 있다.

[0013] 또한, 상기 (b) 단계는 전변형이 없는 상기 금속 재료의 환봉인장실험을 통해 제1 응력-변형률 선도가 획득되는 단계와, 상기 제1 응력-변형률 선도가 유한요소해석 기법에 적용되어 제1 등가소성 변형률이 상기 물성 데이터

$$k = \frac{1}{\epsilon_{ts-o}^{eq} - \epsilon_{ts-pre}^{eq}}$$

로 산출되는 단계를 포함하며; 상기 (c) 단계에서 상기 비례 상수는 수학적식 $k = \frac{1}{\epsilon_{ts-o}^{eq} - \epsilon_{ts-pre}^{eq}}$ (ϵ_{ts-o}^{eq} 는 상기 제1 등가소성 변형률이다)에 의해 산출될 수 있다.

[0014] 또한, 상기 (b) 단계는 전변형이 없는 상기 금속 재료의 환봉인장실험을 통해 제1 응력-변형률 선도가 획득되는 단계와, 상기 제1 응력-변형률 선도가 유한요소해석 기법에 적용되어 제1 등가소성 변형률이 산출되는 단계와, 전변형이 있는 상기 금속 재료의 환봉인장실험을 통해 제2 응력-변형률 선도가 획득되는 단계와, 상기 제2 응력-변형률 선도가 유한요소해석 기법에 적용되어 제2 등가소성 변형률이 산출되는 단계와, 상기 제1 등가소성 변형률과 상기 제2 등가소성 변형률을 이용하여 물성 검출용 전변형 손상량이 결정되어 상기 물성 데이터로 산출

$$w'^P = \frac{\epsilon_{ts-o}^{eq} - \epsilon_{ts-pre}^{eq}}{\epsilon_{ts-o}^{eq}}$$

되는 단계를 포함하고; 상기 물성 검출용 전변형 손상량은 수학적식 $w'^P = \frac{\epsilon_{ts-o}^{eq} - \epsilon_{ts-pre}^{eq}}{\epsilon_{ts-o}^{eq}}$ (w'^P 는 상기 물성 검출용 전변형 손상량이고, ϵ_{ts-o}^{eq} 는 상기 제1 등가소성 변형률이고, ϵ_{ts-pre}^{eq} 는 상기 제2 등가소성 변형률이다)로 결정되며; 상기 (c)단계에서 상기 비례 상수는 상기 물성 검출용 전변형 손상량을 상기 전변형률에 따라 선형 피팅하여 산출될 수 있다.

[0015] 또한, 상기 (b) 단계는 전변형이 있는 상기 금속 재료의 파괴 실험에 기초하여 연성 파손에 의한 물성 검출용 연성 파손 손상량이 결정되는 단계와, 상기 물성 검출용 연성 파손 손상량을 이용하여 물성 검출용 전변형 손상량이 결정되어 상기 물성 데이터로 산출되는 단계를 포함하고; 상기 물성 검출용 전변형 손상량은 수학적

$w'^P = 1 - w'^D$ (w'^P 는 상기 물성 검출용 전변형 손상량이고, w'^D 는 상기 물성 검출용 연성 파손 손상량이다)로 정의되며; 상기 (c)단계에서 상기 비례 상수는 상기 물성 검출용 전변형 손상량을 상기 전변형률에 따라 선형 피팅하여 산출될 수 있다.

발명의 효과

[0016] 상기와 같은 구성에 따라, 본 발명에 따르면, 용접, 냉간 가공, 열간 가공, 지진 하중 등에 의해 구조물에서 발생하는 금속 재료의 전변형(Pre-strain)에 의한 영향을 평가하는데 있어, 금속 재료에 대한 물성 데이터의 보유 상태와 무관하게 전변형에 의한 영향의 평가가 가능한 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명에 따른 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법을 설명하기 위한 도면이고,

도 2는 본 발명에 따른 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법의 효과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 실시예에 대해 상세히 설명한다.

[0019] 도 1은 본 발명에 따른 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 1을 참조하여 설명하면, 먼저, 금속 재료의 연성 파손시의 전변형에 의한 전변형 손상량과 연성 파손에 의한 연성 파손 손상량이 등록된다(S10).

[0020] 본 발명에서는 전변형 손상량 및 연성 파손 손상량이 전변형률 및 비례 상수에 의해 [수학식 1] 및 [수학식 2]와 같이 정의되어 등록되는 것을 예로 한다.

[0021] [수학식 1]

$$w^P = k \times \epsilon_{pre}$$

[0023] [수학식 2]

$$w^D = 1 - k \times \epsilon_{pre}$$

[0025] w^P 는 전변형 손상량이고, w^D 는 연성 파손 손상량이고, k 는 비례 상수이고, ϵ_{pre} 는 전변형률이다. 여기서, 연성 파손 손상량과 전변형 손상량의 합이 금속 재료의 연성 파손시 받을 수 있는 총 손상량으로 그 합은 1이고, 비례 상수 k 는 해당 금속 재료의 재료 상수가 된다.

[0026] 그리고, 금속 재료의 전변형률은 전변형률을 야기하는 원인에 따라 유한요소해석 기법을 이용하여 얻을 수 있다. 일 예로, 지진으로 인해 야기된 전변형의 경우, 유한요소해석 기법을 통해 지진으로 발생한 전변형률의 계산이 가능하게 된다.

[0027] 상기와 같이 전변형 손상량 및 연성 파손 손상량이 전변형률 및 비례 상수로 정의되어 등록되면(S10), 금속 재료의 물성 데이터가 산출된다(S11). 여기서, 금속 재료의 물성 데이터는 비례 상수의 산출(S12)에 적용되는데, 본 발명에서는 금속 재료에 대해 미리 측정되거나 산출되어 있는 기본 데이터의 존재 여부에 따라, 다음과 같이, 물성 데이터의 산출 방법이 구분되는 것을 예로 한다.

[0028] -Option 1 : 전변형이 발생한 금속 재료의 실험 결과가 존재하지 않는 경우

[0029] -Option 2 : 전변형이 발생한 금속 재료에 대한 인장 실험 결과가 존재하는 경우

[0030] -Option 3 : 전변형이 발생한 금속 재료에 대한 인장 실험과 파괴 실험의 결과가 존재하는 경우

[0031] [Option 1]

[0032] Option 1은 전변형이 발생한 금속 재료의 실험 결과가 존재하지 않고, 전변형이 발생하지 않은 상태의 금속 재료에 대한 실험 결과, 예를 들어 인장 물성, 파손 기준, 손상요소크기에 대한 실험 결과 만이 존재하는 경우이다.

[0033] 먼저, 전변형이 없는 금속 재료의 환봉인장실험을 통해 응력-변형률 선도(이하, '제1 응력-변형률 선도'라 함)를 획득한다. 그런 다음, 제1 응력-변형률 선도를 유한요소해석 기법에 적용하여 등가소성 변형률(이하, '제1 등가소성 변형률'이라 함)을 산출하게 되는데, 제1 등가소성 변형률이 Option 1의 경우에서의 물성 데이터로 산출된다. 여기서, 제1 응력-변형률 선도가 유한요소해석 기법에 적용되어 환봉인장실험 모사 해석이 수행되면 인장강도에 해당하는 제1 등가소성 변형률을 얻을 수 있다.

[0034] 인장 강도에 해당하는 제1 등가소성 변형률은 금속 재료가 인장 강도까지 변형이 되었을 때의 변형률을 나타낸다. 실제 금속 재료는 인장 강도 지점을 지나 더 변형이 발생한 후에 파괴되므로, 이와 같은 인장 강도에 해당하는 제1 등가소성 변형률을 이용하면, 전변형에 의한 영향을 평가 가능하게 된다.

[0035] 그런 다음, S11 단계에서 산출된 물성 데이터, 즉 제1 등가소성 변형률을 이용하여 비례 상수를 [수학식 3]을 통해 산출하게 된다(S12).

[0036] [수학식 3]

$$k = \frac{1}{\epsilon_{ts-o}^{eq}}$$

[0038] 여기서, ϵ_{ts-o}^{eq} 는 제1 등가소성 변형률이다.

[0039] [수학식 3]을 통해 산출된 비례 상수를 [수학식 2]에 대입하게 되면, 연성 파손 손상량이 산출된다(S13).

[0040] [Option 2]

[0041] Option 2는 전변형이 발생한 금속 재료에 대한 인장 실험의 결과가 있는 경우이다.

[0042] 먼저, 전변형이 없는 금속 재료의 환봉인장실험을 통해 제1 응력-변형률 선도가 획득되고, 제1 응력-변형률 선도가 유한요소해석 기법에 적용되어 제1 등가소성 변형률이 산출된다. 이는 Option 1에서와 동일한 바, 그 상세한 설명은 생략한다.

[0043] 그리고, 전변형이 있는 금속 재료의 환봉인장실험을 통해 제2 응력-변형률 선도를 획득한다. 그리고, 제2 응력-변형률 선도가 유한요소해석 기법에 적용되어 제2 등가소성 변형률이 산출된다. 여기서, 제2 응력-변형률 선도를 획득과 제2 등가소성 변형률의 산출 방법은 전변형이 있는 금속 재료에 대해 제1 응력-변형률 선도 및 제1 등가소성 변형률의 산출에 대응하는 바, 그 상세한 설명은 생략한다.

[0044] 상기와 같이, 제1 등가소성 변형률과 제2 등가소성 변형률의 산출되면, 제1 등가소성 변형률과 제2 등가소성 변형률을 이용하여 물성 데이터의 검출을 위한 물성 검출용 전변형 손상량이 결정되는데, 물성 검출용 전변형 손상량이 물성 데이터로 산출된다. 여기서, 물성 검출용 전변형 손상량은 [수학식 4]를 통해 결정된다.

[0045] [수학식 4]

$$w'^P = \frac{\epsilon_{ts-o}^{eq} - \epsilon_{ts-pre}^{eq}}{\epsilon_{ts-o}^{eq}}$$

[0047] 여기서, w'^P 는 물성 검출용 전변형 손상량이고, ϵ_{ts-o}^{eq} 는 제1 등가소성 변형률이고, ϵ_{ts-pre}^{eq} 는 제2 등가소성 변형률이다.

[0048] 이와 같이, 물성 검출용 전변형 손상량이 물성 데이터로 결정되면, 물성 검출용 전변형 손상량을 전변형률에 따라 선형 피팅(Fiting)하여 비례 상수를 산출하게 되고(S12), 이를 [수학식 2]에 대입하게 되면, 연성 파손 손상량이 산출된다(S13).

[0049] [Option 3]

[0050] Option 3은 전변형이 발생한 금속 재료에 대한 인장 실험과 파괴 실험의 결과가 존재하는 경우에 해당한다. 먼

저, 전변형이 있는 금속 재료의 파괴 실험에 기초하여 연성 파손에 의한 물성 검출용 연성 파손 손상량이 결정된다. 즉, 전변형 재료의 파괴 실험 결과가 존재하게 되면, 이를 연성 손상 해석 기법을 통해 전변형 재료의 연성 파손에 의한 물성 검출용 연성 파손 손상량이 결정된다.

[0051] 그런 다음, 상술한 바와 같이, 연성 파손 손상량과 전변형 손상량의 합이 1이므로, 물성 검출용 연성 파손 손상량을 이용하여 물성 검출용 전변형 손상량이 결정되는데, Option 3에서의 물성 데이터로 산출하게 된다. 이는 [수학식 5]와 같이 표현할 수 있다.

[0052] [수학식 5]

$$w'^P = 1 - w'^D$$

[0054] 여기서, w'^P 는 물성 검출용 전변형 손상량이고, w'^D 는 물성 검출용 연성 파손 손상량이다.

[0055] 그런 다음, Option 2에서와 마찬가지로, 물성 검출용 전변형 손상량을 전변형률에 따라 선형 피팅하여 비례 상수를 산출한다(S12). 그리고, 산출된 비례 상수를 [수학식 2]에 대입하게 되면, 연성 파손 손상량이 산출된다(S13).

[0056] 상기와 같은 과정을 통해, 현재 금속 재료에 대해 보유하고 있는 기본 데이터에 따라 Option 1, Option 2 및 Option 3을 이용하여, 연성 파손 손상량의 산출이 가능하게 되는데, 연성 파손 손상량의 크기는 전변형이 없을 때보다 작게 산출되어, 전변형에 의한 영향의 확인이 가능하게 된다.

[0057] 상기와 같이, 연성 파손 손상량이 산출되면, 연성 파손 손상량을 이용하여 연성 손상 해석 기법을 통해 전변형에 의한 영향 평가가 수행된다(S14). 여기서, 연성 손상 해석 기법에는 전변형이 없는 금속 재료에 대한 인장 물성, 파손 기준, 손상요소크기가 반영된다.

[0058] 즉, 기존에는 전변형이 없는 연성 파손 손상량이 적용되어 연성 손상 해석 기법이 수행되었으나, 본 발명에서는 전변형에 의한 영향이 반영된 연성 파손 손상량이 적용되어 전변형에 의한 영향의 평가가 가능하게 된다.

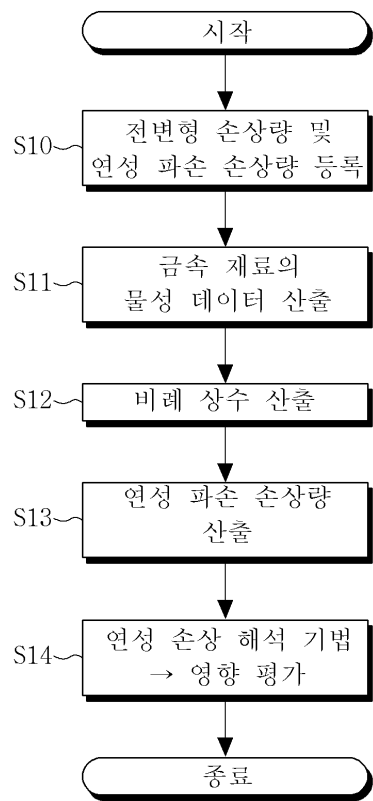
[0059] 도 2는 본 발명에 따른 연성 손상 해석 기법을 이용한 금속 재료의 전변형 영향 평가 방법의 효과를 설명하기 위한 도면이다. 도 2에서는 냉간 압연 가공을 통해 전변형이 발생한 SUS316 재료에 대한 CT 시편의 파괴실험 결과를 나타낸 것이다.

[0060] 실제 파괴 실험 결과를 실선으로 나타낸 것이고, 각각의 Option 들에 대한 연성 손상 해석 기법이 적용된 결과를 나타내고 있다. Option 1의 경우, 전변형과 관련된 데이터가 적용되지 않아 예측 방법이 다소 보수적인 반면, Option 3의 경우 실제 실험 결과에 근접함을 확인할 수 있다. 모든 Option에서 실제 실험 결과의 경향을 추종하고 있음을 확인할 수 있다.

[0061] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

도면

도면1



도면2

