

유전적 알고리즘 기반 피로강도평가 전문가시스템개발 Development of an Expert System for Fatigue Strength Assessment based on Genetic Algorithm

최홍민*, 서정관*, 이제명**, 백점기**, 강성원** , 허희영***

* 부산대학교 조선해양공학과 대학원

** 부산대학교 조선해양공학과

*** 삼성중공업(주) 조선플랜트연구소

1. 서 론

현재의 피로강도 평가법에서는 각종실험적인 방법 및 이론적인 방법 등 여러 가지 방법으로 피로강도설계를 하고 있는 실정이다. 그리고 이러한 피로특성에 대한 정확한 평가를 위해서 대상구조물에 작용하는 하중성분과 재료 및 구조적인 특성의 상호 연관관계에 대한 연구가 지속되어지고 있다. 또한 최근 들어 균열 및 결함에 대해서 새로운 역학적인 개념으로 손상역학을 이용하여 재료응답거동 및 구조응답거동에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 하지만 재료 및 구조응답거동을 정밀하게 묘사하는데 필요한 여러가지 제반적인 이론 확립 및 유한요소정식화 그리고 재료모델의 손상모델정립화의 문제는 여전히 해결되어야 할 과제로 남아 있다. 즉, 시뮬레이션 가능한 환경에서 재료의 손상모델을 정립하는 것이 가장 시급하고, 재료 및 구조적인 특성의 규명에 대해서 지금까지 여러 가지 방법으로 연구해오고 있는 실정이다.

본 연구에서는, 모든 종류의 파손문제의 가장 근본적인 원인이 되는 재료파괴현상을 모델링하는 기술을 비선형 최적화 알고리즘의 하나인 유전적 알고리즘 기반을 이용하여 재료의 손상을 모델링 하였고, 이 기술을 바탕으로 각종 용접부 피로강도 및 파괴특성을 평가할 수 있는 피로강도평가 기법을 개발하였다. 강도평가 기법을 전문가시스템화 하여, 수시로 설계변경이 필요되는 선박 및 해양구조물에 사용되는 강재 혹은 용접부를 대상으로 적용하여 활용가능성을 검토하였다.

2. 재료의 손상모델의 정식화

반복되는 하중을 받을 때 구조물 내부에서는 변형을 일으키고, 하중에 의한 외력이 어느 한계에 이르면 손상이 발생한다. 이러한 손상의 발생은 구조물변형거동, 피로거동 및 수명을 지배한다고 손상역학에서는 규명하고 있다. 손상변수를 도입하는 것에 의해 연속체역학의 범위내에서 이 영향을 다룬다.

재료의 손상현상을 정밀하게 묘사할 수 있는 비선형 유한요소정식화를 하였고, 정식화 과정에서 적용상문제점인 재료정수결정법은 유전적 알고리즘을 이용하였다.

비선형 유한요소해석에 있어서 증분형 요소강성 방정식은 초기변형률법(Bathe, 1996)에 의해 구해지며, 손상발전을 고려한 소성 변형률속도는 다음과 같이 주어진다.

$$\left\{ \dot{\epsilon}^p \right\} = \frac{3}{2} \dot{p} \frac{\{\sigma^d\}}{\sigma_{eq}} \quad (1)$$

여기서,

$$\dot{p} = \left(\frac{2}{3} \left\{ \dot{\epsilon}^p \right\}^T \left\{ \dot{\epsilon}^p \right\} \right)^{1/2} = \left(\frac{\sigma_{eq} / (1-D) - R - k}{K} \right)^N \quad (2)$$

$$R = Q_1 p + Q_2 [1 - \exp(-bp)] \quad (3)$$

위 식에서, \dot{p} 는 누적 소성변형률 속도를 나타내며, 6개의 파라미터 K, N, k, Q1, Q2, b는 재료정수이다. 손상의 발전은 다음 식에 의해 표현된다.

$$\dot{D} = \left(-\frac{Y}{S} \right)^s \dot{p} \quad (4)$$

여기서, s 및 S는 손상발전에 관계하는 재료정수이며, 손상의 발전에 의해 개방된 변형률에너지

밀도에 해당되는 량 Y는 다음과 같이 정의된다.

$$-Y = \frac{1}{2E(1-D)^2} \left[\frac{2}{3}(1+\nu)\sigma_{eq}^2 + 3(1-2\nu)\sigma_H^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

Eq. (4)에 의해 계산되는 손상증분에 대해 시간적분을 수행하여 일정수준에 도달하면 재료파괴가 발생한 것으로 평가한다.

단축 인장시험에 대하여 손상발전 방정식을 채용한 유한요소 해석을 수행하여 각 재료정수를 결정한다. 기준값으로 사용되는 재료정수의 결정은 Eq. (2), (3)과 유사 의미를 갖는 Ramberg - Osgood 모델에서 우선, 경화량의 크기와 관련된 재료정수는 다음과 Eq. (6)-(8) 같이 유도되어 결정할 수 있다.

$$K = \frac{\sigma_T}{\left(\epsilon_f - \frac{\sigma_T}{E} \right)^{1/N}} \quad (6)$$

$$\frac{1}{N} = \left(\frac{\epsilon_f - \sigma_T/E}{1 - E_s/E} \right) \left(\frac{E_s}{\sigma_T} \right) \quad (7)$$

여기서, $E_s = \frac{d\sigma(\epsilon_f)}{d\epsilon}$

$$k = 0.9 \sigma_Y \quad Q_1 = 0.1 \sigma_Y \quad Q_2 = \sigma_T - \sigma_Y$$

$$b = -p \log \left(\frac{0.1 \sigma_Y p}{\sigma_T - \sigma_Y} \right) \quad (8)$$

2. 유전적 알고리즘 최적화기법

강재의 기본적인 기계적 특성치를 입력값으로 내부에 탑재된 유한요소 해석 프로그램에 필요한 각종 해석용 재료상수를 자동추출하는데 다음과 같은 3가지 기법을 사용한다. 강재의 기계적 특성치와 피로시험결과 그리고 시뮬레이션 결과의 오차율을 수식적으로 최적화하여 이들 재료상수를 결정한다.

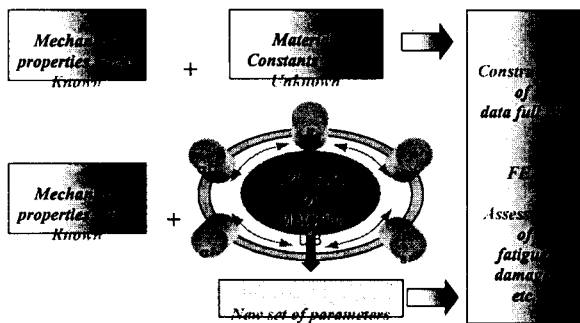


Fig. 1 Procedure of Inference Engine for damage mechanics approach

추론엔진에서는 다음과 같이 3개의 단계로 추론엔진을 구성한다. 첫째로 Fig.1과 같이 기억기반 추론 방법으로 기존의 데이터를 이용하여 해석용 재료정수를 구한다. 두 번째로 Fig.2 데이터에서 실험적인 수치값을 기계적인 특성치와 해석용 재료정수의 상관관계를 이용하여 상관관계형 추론식을 정의 할 수 있다.

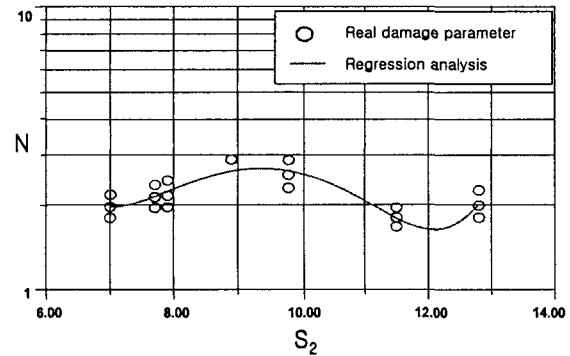


Fig. 2 Relation of viscoplastic and damage parameters

실제, 두개의 방법으로 미경험강재에 대해서 최적화된 재료정수의 오차율이 발생할 수 있고 이를 극복해야 할 필요성이 있다. 목적함수는 오차율이 되고 최소함수를 제안해야한다. 비선형 최적화 방법에 사용되는 전통적인 최적화 방법중 가장 일반적인 Gradient 방법 중에서 최소 강하법은 처음부터 전체 목적 변수 영역을 대상으로 탐색을 시작하는 방법이 있다면 국부 최적해에 빠져 벗어나지 못할 수도 있다. 그러므로 이러한 국부적인 최적화에서는 위험 부담을 상당히 감소시킬 수 있을 것 방법으로 Fig.3과 같은 유전적 알고리즘 (Genetic Algorithm)이 바로 그러한 대표적인 비선형 최적화 기법이다.

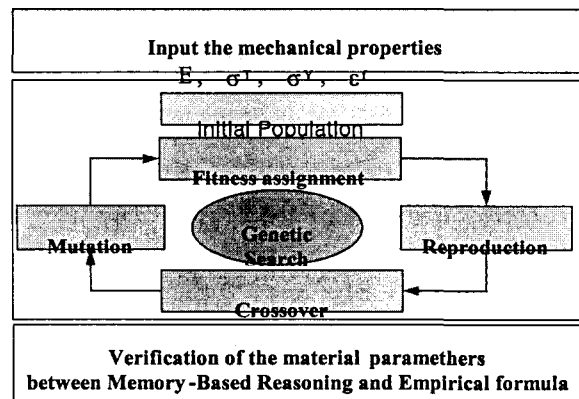


Fig. 3 Procedure of Genetic programming in the Inference Engine

세 번째는 Fig.4와 같이 기억기반의 해석용 재료정수와 기데이터의 관계형 추론식에 의해 결정된 해석용 재료정수의 관계를 최적화하기 위해서 유전적 프로그램을 사용하여 최적화된 해석용 재료정수를 최종적으로 결정한다.

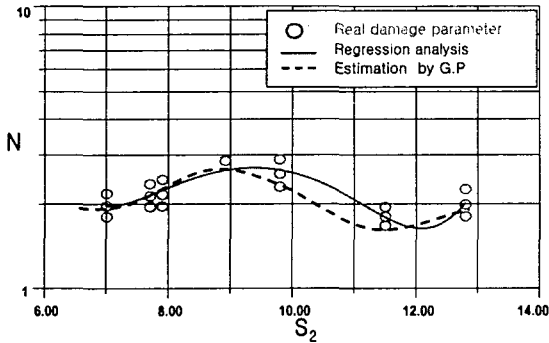


Fig. 4 The result of compare regression analysis formula and generic programming(S₂)

3. 피로강도의 평가기전문가 시스템

최적화기법을 이용하여 비선형 유한요소 해석코드를 탑재한 전문가 시스템으로 확장하였다.

Fig.5에서는 단축인장 시험결과를 시스템 상에서 묘사할 수 있는 해석용 재료상수들이 선택되면, 이를 바탕으로 이미 탑재되어 있는 동일한 해석코드를 이용하여 반복하중하의 재료에 대한 피로강도평가를 수행한다.

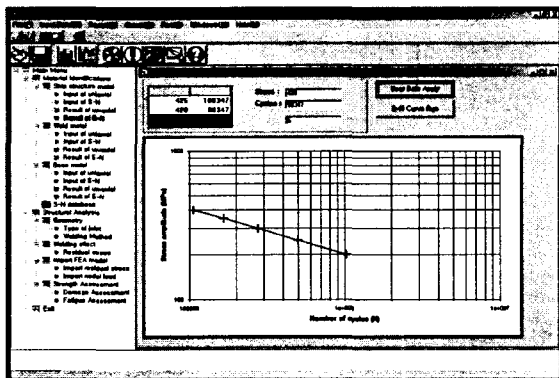


Fig. 5 Determination fatigue properties (S-N relationship)

Fig. 6은 상기의 과정을 거쳐서 얻어진 피로강도 특성 평가결과를 나타내고 있다. 기존의 각 선급용 강재를 대상으로 하는 피로강도 특성 데이터베이스 역시, 강도평가용 전문가시스템에 구축하였다.

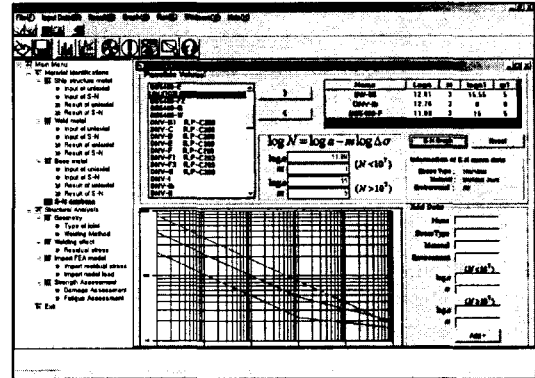


Fig. 6 Database for S-N relationship

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구를 통하여 일부 개발을 완료하였고, 개발된 각 모듈을 이용하고 GUI 통합시스템을 구축하면, 가장 효율적이고 비용절감을 기대할 수 있는 설계지원용 기법으로 활용할 수 있으리라 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 부산대학교 첨단조선공학연구센터와 삼성중공업(주)의 연구비지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. W.S. Jeon and J.H. Song, "An expert system for estimation of fatigue properties of metallic materials", Int. J. of Fatigue, Vol. 24, 2002, 685-698.
2. J. M. Lee and Y. Toi, "Elasto-plastic damage Analysis of functionally graded materials subjected to thermal shock and thermal cycle", JSME Int. J. Series A, Vol. 45, No.3, 2002, 331-338.
3. J. R. Koza, "Generic programming", Cambridge, MA: MIT Press, 1992.
4. D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in search Optimimization & Machine Learning", Addison-Wiley Pub, 1989.