

3-D Isoparametric Solid 유한요소를 이용한 판의

균열전파성장거동 및 최종파괴강도해석

白 点 基 *, 徐 興 源 **

* 정회원, 부산대학교 조선공학과 조교수, 공학박사

** 학생회원, 부산대학교 조선공학과 대학원, 석사과정

요 약

각종 강구조물에는 국부적으로 균열이 빈번히 발생하고 있다. 이들 균열은 부적절한 용접시공에 의해 건조단계에서부터 생기기도 하며, 가동중에 피로하중 또는 큰 충격하중 등의 작용에 의해 응력 집중부에서 생기기도 한다. 균열이 발생한 구조는 초기에는 비록 구조강도적으로 그다지 문제가 되지 않을지라도 피로하중 또는 큰 하중이 계속하여 작용하면 균열이 전파성장하여 결국에는 구조 전체적으로 파괴할 위험이 있으며, 특히 압력용기, 원자력 관련시설, LNG/LPG 선박과 같은 구조의 경우는 심각한 위험을 초래할 수도 있으므로 적절한 대책이 필요하다.

구조물의 균열에 의한 파손 사고에 대한 대책으로는 구조설계측면, 건조시공측면 및 검사 수리측면에서 생각할 수 있다. 먼저 구조설계측면에서는 균열 발생수명의 평가는 물론이고, 일단 발생한 균열이 전파성장해 가는 거동 및 최종파괴강도를 상세히 파악하여 구조 설계서에 반영함으로써 합리적인 구조설계가 이루어지도록 할 필요가 있다. 지금까지는 주로 피로하중의 작용에 의한 균열의 전파성장거동에 관한 연구가

주로 행해져 왔으나, 전술한 바와 같이 고도 정밀한 구조 안전성평가를 위하여는 구조물에 균열이 존재하는 상태에서 큰 하중(또는 충격하중)이 작용하는 경우의 균열전파 성장거동 및 최종파괴강도도 해석하여야 한다. 다음으로, 건조시공측면에서는 정밀한 용접시공과 철저한 품질관리를 통하여 가능한한 건조단계에서의 균열발생을 막아야 한다. 또한, 검사 수리측면에서는 일단 가동에 들어간 구조에 대해 정기적인 검사체제 및 모니터링 시스템 구축을 통하여 균열발생을 조기에 발견해 내도록 하여야 하며, 균열이 발견되면 기본적으로 수리하는 것이 중요하다. 수리를 위하여는 구조의 일시적인 가동중단이 불가피하고 그 결과 경제적 손실을 초래할 수도 있으므로 균열의 전파성장 여의하여 심각한 연쇄 파손사고가 일어날 가능성에 대해 검토할 필요가 있고, 이때는 균열의 전파성장거동 및 최종파괴강도해석을 수행하면 수리를 당장에 행해야 할지 여부를 판단할 수 있을 것이다.

이상에서와 같이 구조물의 균열에 의한 파손사고에 대한 합리적인 대책을 수립하기 위하여는 균열의 전파성장거동 및 최종파괴강도해석이 필수적으로 요구된다. 그런데, 균열의 전파성장과정은 복잡한 3차원적 거동을 나타내므로 고도 정밀한 해석결과를 얻기 위하여는 3차원적 취급이 필요하다.

이상의 관점에서 본 연구에서는 유한 요소법을 적용하여 어떤 원인으로 균열을 가진 구조물에 큰 하중이 작용하는 경우의 균열전파성장거동 및 최종파괴강도를 높은 정도로서 해석할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하고자 하였다. 이때 균열의 전파 성장과정은 전술한 바와 같이 3차원적 거동을 보이므로, 이 거동을 높은 정도로서 상세히 추적하기 위하여 3차원 Isoparametric Solid 유한요소를 사용하였으며, 실제 해석시 요소분할을 편리하게 하기 위해 6절점 5면체요소 및 8절점 6면체요소의 2종류의 유

한요소를 정식화하여 사용하였다. 요소의 탄성거동에 대해서는 기존의 유한요소법에서와 동일한 수법으로 정식화하였으며, 하중의 증가에 따른 탄소성거동에 대해서는 Mises의 항복조건에 의해 소성화를 판단하고, 요소의 탄소성 강성방정식은 재료의 변형률 경화효과를 고려하여 정식화하였다. 또한, 하중의 증가와 함께 균열 선단에서의 최대 주변변형률이 재료의 한계변형률에 도달하면 균열이 전파성장한다고 가정하였다. 균열이 전파성장한 절점에 대해서는 지금까지 구속되어 있던 변위자유도를 해방시켜 주어야 하며, 그 절점에 지금까지 축적되어 있던 내부에너지는 주위요소에 재분배시켜 주어야 한다. 내부에너지의 재분배에는 탄성범위에 있던 요소가 소성화될 수도 있고, 반대로 소성상태에 있던 요소가 탄성상태로 제하 (Unloading) 하는 경우도 있을 수 있으므로, 높은 정도의 해석결과를 위하여는 여러번에 나누어 조금씩 재분배시킬 필요가 있다.

이상의 해석이론을 바탕으로 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며, 개발된 프로그램의 정도를 확인하기 위하여 증앙에 관통균열을 가진 판이 균일인장하중을 받는 경우와 표면균열을 가진 판이 굽힘모멘트를 받는 경우에 대한 기존의 실험결과와 본 해석결과를 비교 검토하였다. 또한, 수치시리즈 해석을 수행하여 증앙에 관통균열을 가진 판에 대해 균열의 길이 및 판두께가 균열전파성장 거동 및 최종파괴강도에 미치는 영향을 조사하였다.

본 연구결과, 본 연구에서 개발한 컴퓨터 프로그램은 균열의 3차원적 전파성장거동과 최종파괴강도를 매우 높은 정도로 해석할 수 있음을 확인하였으며, 본 연구에서는 단위 판부재에 대한 해석을 수행하였으나 앞으로 복잡한 구조물 전체에 대한 균열의 전파성장거동 및 최종파괴강도 해석문제에도 적용시켜 나갈 예정이다.