

반응표면법과 Monte Carlo 모사를 이용한 불확실한 변동의 강건설계를 위한 확률적 민감도의 제안

백석흠*, 이경영(이하 동아대학교 기계공학과 대학원), 조석수(삼척대학교 자동차공학과), 주원식(동아대학교 기계공학과)

주제어 : Robust Design(강건설계), Probabilistic Sensitivity(확률적 민감도), Response Surface Method(반응 표면법), Latin Hypercube Sampling(Latin Hypercube 샘플링), Railway Vehicle(철도차량)

결정적인 알고리즘과 입력정보의 사용은 평가된 해석과 실제 시스템 값과의 차이로 잘못된 결론을 이끌지도 모른다. 실제 시스템은 대부분 각각의 입력 매개변수들(input parameters)과 관계된 넓은 공차 영역(tolerance band)을 가지고 있어서 입력정보로 하나의 단일한 값을 할당하는 것이 어렵다. 단일 입력에 대한 한가지 해는 변동의 이해없이 제한된 값이라는 것을 인식할 필요가 있는데 대개 결정론적 설계는 형상과 관련된 치수변동, 항복강도나 부재의 밀도, 탄성계수와 같은 재료 물성치의 불확실성(uncertainty)과 시스템에 작용하는 하중의 변동 등을 직접 고려하지 않고 설계를 수행하기 때문에 수용할 수 있는 오차의 범위 안에서 시스템의 응답을 정확히 평가하기가 쉽지 않았다.

따라서 실제 구조물의 강건설계(robust design)와 관련된 공학설계 문제에서는 해석모델의 설계변수(design variable)와 시스템 인자(system parameter)들이 유한요소 모델과 실제와의 중대한 차이가 고려되어야 한다. 한편 이러한 입력 매개변수의 불확실성은 목적함수의 성능이 급격한 변동을 초래할 수 있고 활성화된 제한조건의 경계면에 있게 되면 제작시 나타나는 변동이 공차내에 있다 하더라도 구조의 안전성과 신뢰성에 문제가 생길 수 있다. 실제의 시스템 정보는 설계자의 사양과 제조공정 또는 시스템의 능력 사이에서 공차를 가지고 서로 상호작용을 하고 있기 때문에 결정론적 방법보다는 통계적인 문제로 다루어야 한다.

일반적으로 통계에 기반한 확률적 방법들(probabilistic methods)은 다음 질문들에 답하기 위해 사용될 수 있다. 1. 모델의 거동을 묘사하는 입력정보들의 산포는 얼마나 큰가? 2. 모델의 수행기준이 더 이상 만족되지 않을 확률은? 3. 신뢰할 만한 설계와 향상된 품질을 얻기 위해 나열될 필요가 있는 입력 매개변수들은 무엇인가?

이러한 이해들은 해석결과를 개선하고 제조공정에서 품질관리의 일부로서 수행되어 질 수 있는 수단을 정량적으로 명시할 수 있다.

본 연구는 불확실성에 대한 통계적 정보를 반영하는 구조응답에 대한 확률적 반응표면근사식을 작성하고 Monte carlo 모사를 이용해 구조물의 확률적 민감도를 제시할 수 있는 방법을 제안하였다. 적용대상은 현재 철도차량의 무개화차(uncorved freight) 중 일부 구간에서 대차의 엔드빔(end beam)의 균열에 따른 피로파손 문제이며 적용사례를 통해 그 유효성을 검토하였다.

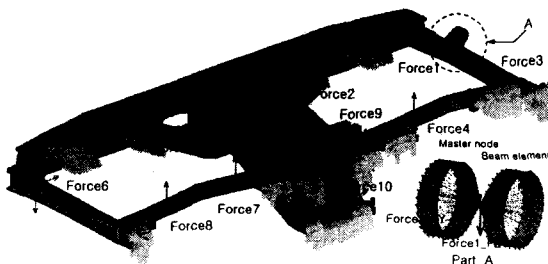


Fig. 1 Model geometry and system parameter

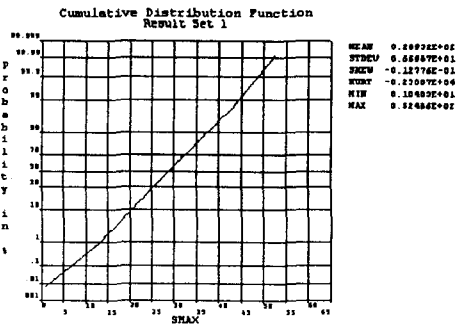


Fig. 2 CDF of output parameter stress