

재료 물성의 불확정성을 고려한 현가장치 시스템의 신뢰성 기반 최적설계

최 동 훈^{*1)} · 김 승 옥¹⁾ · 최 병 열¹⁾ · 박 은 지²⁾ · 남 찬 혁²⁾

(주)피도텍¹⁾ · 자동차연구원²⁾

Reliability-based design optimization of suspension systems considering uncertainty in material properties

Dong-Hoon Choi^{*1)} · Seung-Wook Kim¹⁾ · Byung-Lyul Choi¹⁾ · Eunji Park²⁾ · Chanhyuk Nam²⁾

PIDOTECH Inc.¹⁾, Body&Chassis R&D Center, KATECH²⁾

Key words : Optimization (최적설계), Reliability-Based Design Optimization(신뢰성 기반 최적설계), Reliability Analysis(신뢰성 해석), Metamodeling(예측모델링), Suspension(현가장치)

교신저자, E-mail: dhchoi@pidotech.com

최적설계가 유용하게 적용되고 있는 분야 중 하나가 현가장치 시스템이다. 일반적으로 활용되는 최적설계는 시스템의 불확정성을 고려하지 않는 방식이므로 결정론적인 최적설계(Deterministic Optimization)라고도 불린다. 통상적으로는 이러한 결정론적인 최적설계를 통해 최적의 현가장치 제원을 결정하고 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있다. 하지만 시뮬레이션에서 검증된 결과가 현실에서 달라지는 경우가 흔히 발생한다. 시뮬레이션과 현실의 차이가 되는 원인이 무엇인지 규명하는 일은 차치하더라도 차이가 나므로 적용하지 않겠다가 아니라 차이를 고려하여 설계에 반영할 수 있는 버퍼를 마련할 수 있어야 한다.

시뮬레이션에서 현실을 가장 고려하기 어려운 부분 중 하나는 고무의 물성이다. 현가장치 시스템에서 고무를 적용하는 대표적인 파트는 타이어나 부쉬이다. 결정론적 최적설계에서는 타이어나 부쉬의 재료 물성을 하나의 값으로 입력한다. 하지만 현실에서 고무는 산포를 가지는 다루기 어려운 재료 물성이다.

신뢰성 기반 최적설계(Reliability-Based Design Optimization) 방식은 최적설계 내부에 신뢰성 해석을 포함하는 이중 루프(Double Loop) 구조를 갖는다. 신뢰성(Reliability)이란 고무와 같은 랜덤파라미터(Random Parameter)의 산포로 인해 R&H 성능지수 등이 결정론적인 값을 갖는 것이 아니라 산포를 가지게 되는데 그 산포가 성능지수의 요구 사항 범위를 만족할 확률을 의미한다. 따라서, 신뢰성 해석은 랜덤파라미터들의 산포를 고려하여 통계적으로 유의미한 양의 샘플을 생성하여 Simulation을 통해 성능지수값을 계산하여 산포를 추정하는 과정이다. 이러한 과정을 거치기 때문에 이중 루프를 갖는 신뢰성 기반 최적설계는 많은 양의 Simulation이 필요하다.

신뢰성 기반 최적설계를 현실의 공학 문제에 적용하기 위해서 넘어야 할 산은 방대한 데이터 양 뿐만이 아니다. 비용이나 개발 기간의 문제로 고무와 같은 재료 물성치의 산포를 측정하기 어렵기 때문에 이에 대한 정보가 부족하다. 따라서, 신뢰성 기반 최적설계가 과거 안전계수(Safe Factor)로 대표되는 안전 마진을 논리적으로 대체해 볼 수 있는 프로세스이긴 하나 적용에 필요한 첫 단계를 넘어서지 못하고 시도조차 못하는 경우가 대부분이었다.

DX(Digital Transformation) 시대를 거쳐 AX(AI Transformation) 시대로 진화하며 최적설계는 일상이 되었고, 최적설계 결과를 현실에 반영할 필요성이 증대되었다. 이에 랜덤파라미터의 산포가 비록 부정확하더라도 신뢰성 기반 최적설계 절차가 현실 반영에 효율적인 튜닝 정보를 제공할 수 있다면 그 의미가 있다.

본 연구에서는 현업에 적용할 수 있는 실용적인 신뢰성 기반 최적설계 프로세스를 제안한다. 방대한 양의 데이터 제공을 위해 자율 학습을 기반으로 한 예측모델링 기법을 활용한다. 제안된 프로세스를 검증하기 위해 다물체 동역학 차량 모델을 활용하여 실차 해석을 수행하였고, 타이어나 부쉬 등의 산포를 가지는 재료 물성을 고려하여 성능지수의 신뢰성을 개선하는 최적설계를 수행하였다.

검증 사례를 통해, 다물체 동역학 차량 모델을 예측모델로 대체하여 다양한 관점의 신뢰성 해석 결과를 도출하였다. 신뢰성 기반 최적설계 솔루션 분석을 위해 추가로 획득한 데이터의 분석을 통해 보다 안전한 설계를 위한

방향성을 제시하고, 성능 산포에 영향이 큰 재료 물성이 어떤 것인지 판별하여 관리의 가이드를 제시한다.

본 연구에서 제안하는 실용적인 신뢰성 기반 최적설계 프로세스는 재료 물성과 같은 랜덤파라미터의 영향도를 파악하면서, 성능지수의 산포를 추적해 볼 수 있고, 신뢰성이 높아지는 방향의 설계 민감도를 확보할 수 있어서 현실 문제에 적용하면서 발생할 수 있는 이슈들의 대응 방안들을 즉각적으로 수행할 수 있다. 또한 예측모델 기반의 신속한 평가 방식은 활용 가능성을 더욱 증대시킬 수 있다.

Acknowledgements

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20212020800020)

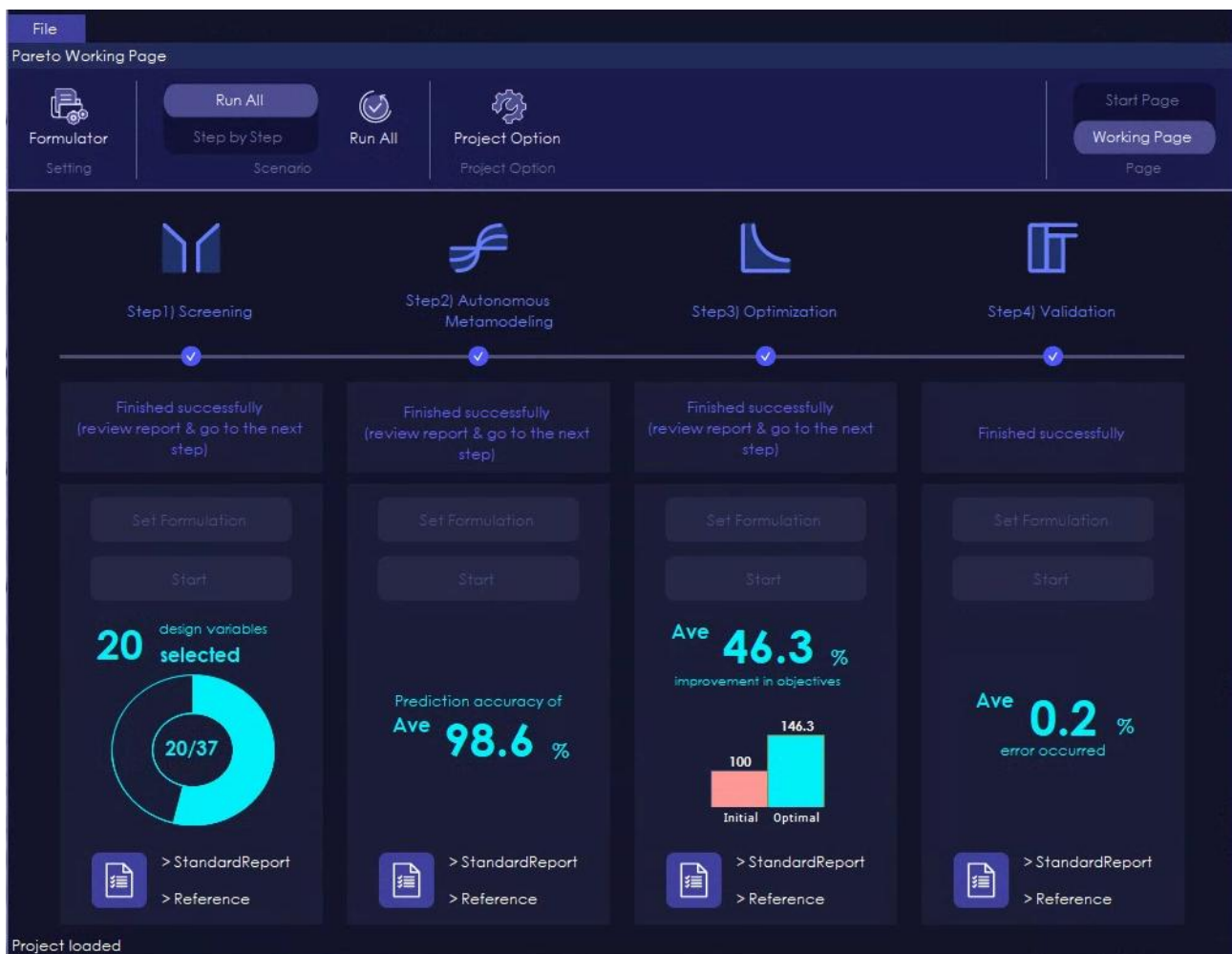


Fig. 1 Dashboard showing the AADO 4-step process