

표본을 이용한 차량승차감의 신뢰성 해석 및 설계

Sample based Reliability Analysis and Design of Vehicle Ride Comfort

최찬규* · 유흥희†
Chan Kyu Choi and Hong Hee Yoo

1. 서 론

기계시스템을 구성하는 부품들은 재료의 불균질성(material irregularity) 및 제조공차와 같은 불확실한 요인들에 의해서 불확실성(uncertainty)을 가진다. 이와 같은 불확실성은 기계시스템 성능 불확실성(performance uncertainty)을 야기 시켜 제품의 신뢰성을 저하시킬 수 있다. 기계시스템 성능의 신뢰성을 보장하기 위해서는 성능 불확실성 해석을 통한 신뢰성 설계가 반드시 필요하다.

기계시스템 성능 불확실성 해석에 관한 연구는 과거 몬테카를로 시뮬레이션(MCS; Monte-Carlo simulation)부터 최근 uDR(univariate Dimension Reduction) 및 eDR(eigenvector Dimension Reduction)까지 다양한 방법으로 발전되어 왔다. 하지만 최근까지 연구된 대부분의 불확실성 해석 방법들을 사용하려면 불확실한 부품 특성의 확률 분포를 정확히 알아야 한다. 그러나 실제적인 공학 문제에서 부품 특성의 분포를 정확히 아는 경우는 거의 없으며 이 분포를 알기 위해서는 많은 수의 표본조사가 필요하다. 그러나 시간 및 비용 문제 때문에 이는 사실상 불가능 하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 유한개의 부품 특성 표본을 추출하고 그 표본을 이용하여 기계시스템 성능의 불확실성을 예측해야 할 수 밖에 없다. 본 논문에서는 커널 밀도 추정(KDE; Kernel Density Estimation)과 uDR을 이용하여 부품 특성 표본을 이용한 효율적인 기계시스템 성능 분포 예측 방법을 제안하였다. 제안된 예측 방법을 이용하여 차량승차감의 신뢰성설계를 수행하였고 몬테카를로 시뮬레이션 결과와 비교함으로써 제안된 예측 방법의 타당성을 검증하였다.

2. 표본을 이용한 차량승차감의 신뢰성 설계

2.1 차량모델 및 차량승차감

Fig. 1은 본 논문에서 사용된 차량모델이며 Fig. 2는 승차감 계산에 사용된 도로 모델이다. 차량 모델은 1개의 스프링 질량(Sprung mass), 2개의 언스프링 질량(Unsprung mass)으로 구성되어 있으며 전, 후방 현가장치 그리고 시트의 강성 및 댐핑 상수가 불확실성을 가진다. 차량 승차감은 운전자 시트의 수직방향 가속도의 크기와 관련 있는 것으로 식 (1)과 같이 주파수에 대한 가중치가 곱해진 형태이다.

$$WRMS = \left[\int_a^b W^2(f) P^2(f) df \right]^{1/2} \quad (1)$$

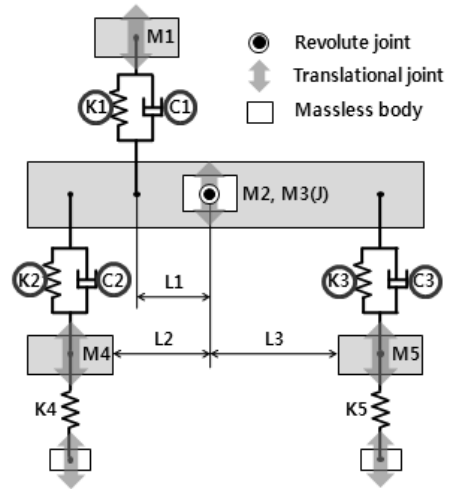


Fig. 1 5-DOF Vehicle model



Fig. 2 Road profile

† 교신저자; 정희원, 한양대학교 기계공학과
 E-mail : hhyoo@hanyang.ac.kr
 Tel : 02-2220-0446, Fax : 02-2293-5070
 * 한양대학교 기계공학과

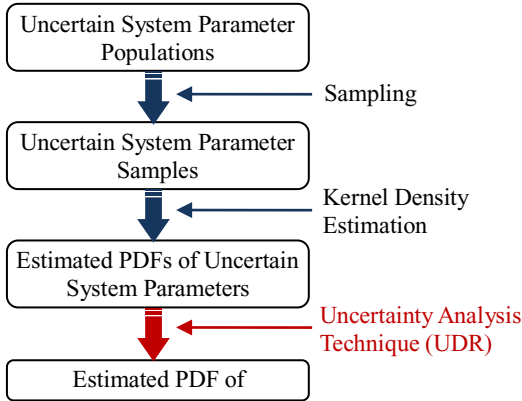


Fig. 3 System performance PDF estimation procedure

여기서 $P(f)$ 는 운전자 시트의 수직방향 가속도의 파워 스펙트럼 밀도(PSD; Power Spectral Density) 이고 $W(f)$ 는 가중치로써 다음과 같다.

$$W(f) = \begin{cases} 1/0.255 & 0 \leq f \leq 1 \text{ Hz} \\ f/0.255 & 1 \leq f \leq 4 \text{ Hz} \\ 1/0.0636 & 4 \leq f \leq 8 \text{ Hz} \\ 1/(0.000994 f^2) & 8 \leq f \text{ Hz} \end{cases} \quad (2)$$

2.2 신뢰성 해석 및 신뢰성 설계

Fig. 3는 본 논문에서 제안된 KDE와 uDR을 이용한 성능 분포 예측 과정을 나타낸 것이다. 먼저 임의의 분포를 가지는 불확실한 부품 특성 모집단으로부터 유한개의 표본을 추출한다. 이 추출된 표본으로부터 KDE를 이용하여 불확실한 부품 특성 분포를 예측 하고 예측된 분포와 uDR을 이용하면 기계시스템 성능의 분포를 예측할 수 있다. 제안된 예측 과정을 이용하여 차량승차감의 분포를 예측하였다. 여기서 불확실한 부품 특성은 K1, K2, K3, C1, C2, C3로 가정하였고 모두 임의의 분포를 가진다고 가정하였다. Fig. 4는 표본개수에 따른 차량승차감 분포 예측 결과이다. 표본개수가 증가할수록 MCS 결과와 더 유사해지는 것을 알 수 있다. Fig. 5는 제안된 방법을 이용한 신뢰성 설계 결과이다. 목표 신뢰도는 99% 이며 표본의 개수가 증가함에 따라 목표 신뢰도에 가까운 결과를 얻을 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 KDE와 uDR을 활용하여 불확실성

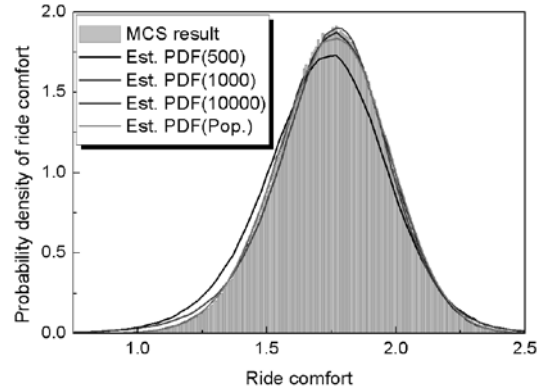


Fig. 4 Ride comfort estimation results w.r.t sample size

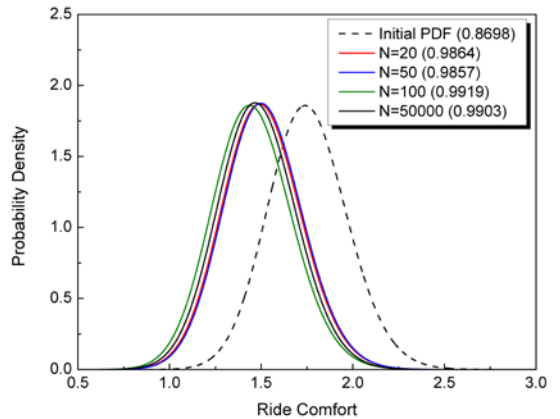


Fig. 5 Reliability design results w.r.t sample size

을 가지는 기계시스템 부품특성 표본을 이용한 시스템 성능의 분포를 예측하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 예측방법은 비모수 추정 방법인 KDE를 이용하는 것으로써 불확실성을 가지는 부품 특성 분포가 임의의 확률분포를 가지는 경우에도 성능 분포를 예측할 수 있는 장점이 있다. 제안된 예측 방법을 이용하여 차량승차감의 분포를 예측하고 차량승차감의 신뢰성 설계를 수행하였다. 제안된 방법을 통하여 수행된 신뢰성 설계 결과는 몬테카를로 시뮬레이션 결과와 비교함으로써 제안된 방법의 타당성을 검증하였다.

후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2011T100200116)