

L_1 -정규화 함수를 이용한 이차원 연속체의 불연속 시스템 변수 추정

박승근¹ · 박만우² · 이해성³

구조물의 손상은 시스템 변수의 변화로 이상화 할 수 있고, 시스템 변수의 변화는 구조물의 이산화 된 요소들 사이에서 불연속적인 특성을 갖는다. 시스템확인 기법을 손상탐지에 사용할 경우, 불연속적인 특성을 잘 나타낼 수 있는 L_1 -TSVD(Truncated Singular Value Decomposition)를 사용하는 것이 효과적이다. 이 연구에서 도입한 시스템 확인기법은 계산된 응답와 측정응답 간의 자승오차로 정의되는 오차함수를 최소화 함으로써 시스템 변수를 추정하는 최적화 문제이다. 시스템 확인기법은 측정오차와 측정치의 빈곤으로 인한 불안정성을 갖고 있고, 이를 해소하기 위하여 정규화 과정을 적용한다. 정규화는 응답에 대한 시스템 변수의 민감도 행렬을 이용한다. 민감도 행렬의 작은 singular value들은 측정변위에 섞여있는 오차들을 크게 증폭시켜 해를 불안정하게 만든다. 오차의 증폭에 의한 해의 불안정성을 해소하기 위하여 singular value를 내림차순으로 정렬하여 절단번호(truncation number)보다 큰 번호에 해당하는 singular value들을 잘라낸다. 이 절단번호는 민감도 행렬에서 어느 정도의 rank를 확보하여 사용할 지를 정해주는 지표로서 해의 안정성과 정확도에 큰 영향을 준다. 절단번호가 클수록 사용하는 측정응답의 정보가 많아지는 반면에 오차의 영향이 커지기 때문에 오차에 의한 해의 불연속성이 커지고, 절단번호가 작으면 정보의 부족으로 좋은 해를 얻을 수가 없다.

절단번호에 따른 오차함수 값의 분포 그래프를 보면, 절단번호와 수렴된 해의 관계를 살펴볼 수 있다. 절단번호가 커짐에 따라 오차함수 값은 감소하는데, 작은 절단번호 부분에서는 급격하게 줄어들며, 절단번호가 큰 쪽에서는 완만하게 줄어든다. 급격하게 줄어드는 부분은 사용하는 측정변위의 정보가 많아지면서 계산변위가 실제 변위에 비슷해짐을 나타내며, 완만하게 줄어드는 부분은 오차성분의 증가로 인해, 오차가 포함된 측정변위에 계산변위가 가까워짐을 나타낸다. 이 두 부분의 경계를 최적의 절단번호로 정한다. 그 경계는 절단번호에 따른 오차함수 값의 분포 그래프에 선형 회귀분석을 적용하여 찾는다. 임의의 절단번호에 대해서, 그 절단번호를 경계로 양쪽에 대해 각각 선형 회귀분석을 하여, 실제의 오차함수 값들과 선형회귀 직선 간의 자승오차를 구한다. 이 과정을 모든 절단번호에 대해서 수행한 후, 자승오차를 최소로 하는 절단번호를 최적의 절단번호로 결정한다. 평면응력 상태의 2 차원 탄성체 예제를 통해 제안된 방법의 타당성을 검증한다.

핵심용어 : L_1 -정규화 함수, Truncated Singular Value Decomposition, 절단번호, 선형 회귀분석

¹. 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정 (E-mail: skpark97@snu.ac.kr)
². 공학석사, 동일기술공사 (E-mail: manus37@empal.com)
³. 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수 (E-mail: chslee@plaza.snu.ac.kr)