

아스팔트의 확률론적 피로균열성장 및 잔존수명 예측

Probabilistic Prediction of Fatigue Crack Growth and
Remaining Service Life for Asphalt Concretes

이승정* · 최국권** · 김덕수*** · 문연수**** · 지광습*****

Lee, Seung-Jung · Choi, Gukgwon · Kim, Deok Su · Moon, Yeon Soo · Zi, Goangseup

본 연구에서는 베이지안 확률론에 기반하고 있는 파티클 필터링(particle filtering) 방법을 이용하여 아스팔트의 피로균열의 성장과 잔존 수명을 예측하였다. 피로균열 성장의 시스템모델을 구성하고 측정데이터를 반영하여 확률적으로 적절히 예측하였다. 측정데이터를 반영하는 업데이트의 과정을 통해 확률이 높은 모델 변수가 가중치를 가지고 더 재추출되며 확률이 낮은 모델변수는 상대적으로 덜 재추출되었다. 또한 점탄성 재료인 아스팔트의 비선형성을 무시할 수 없기 때문에 응력확대계수 대신 J 적분을 이용한 피로균열성장 모델을 제안하여 사용하였다. 이러한 방법을 통해 여러 가지 변수에 따른 아스팔트의 피로균열성장 실험을 적절히 예측할 수 있었다.

핵심용어 : 아스팔트, 확률론적 예측, 파티클 필터링, 베이지안 이론, 피로균열, 잔존수명, J 적분

1. 서 론

아스팔트 포장은 여러 형태의 피로균열이 발생하며 이로 인해 포장의 수명이 단축된다. 따라서 피로균열로 인한 피로수명의 적절한 예측이 필요하다. 일반적인 예측의 경우, 실측 데이터가 수명예측에 반영되지 않지만 누적 측정된 데이터를 반영하여 건전성 및 잔존유효수명을 예측하는 방법이 금속재료로 만들어진 구조물에 주로 사용되고 있다(Zio and Peloni, 2011). 이러한 방법을 점탄성 재료인 아스팔트의 피로균열성장 예측에 사용하기 위해서 적절한 시스템 모델과 균열성장 모델의 수립이 필요하다.

2. 균열성장 모델

대부분의 피로균열성장 모델은 Paris law를 기반으로 하고 있다. 대신에 본 연구의 대상 재료인 아스팔트와 같이 비선형성을 무시할 수 없는 경우 응력확대계수 대신 J 적분을 사용하여 식 (1)과 같이 모델을 구성할 수 있다.

$$da/dN = C(\Delta J)^m \quad (1)$$

여기서, a , N , J , C , m 은 각각 균열길이, 하중횟수, J 적분, 재료모델상수(C , m)이다. J 적분의 경우 본 연구자들이 schapery의 등가법칙(Schapery, 1984)을 이용하여 해석적인 해를 제시하였다.

* 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학부, 공학박사 (E-mail:fincher7vn@korea.ac.kr) - 발표자

** 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학부 석사과정 (E-mail:fullframe@korea.ac.kr)

*** 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학부 석사과정 (E-mail:wisd180@korea.ac.kr)

**** 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학부 석사과정 (E-mail:mys0206@korea.ac.kr)

***** 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학부 교수, 공학박사 (E-mail:g-zi@korea.ac.kr)

3. 확률론적 피로균열성장 및 잔존수명 예측

본 연구에서는 베이지안에 기반하여 시간의존적 시스템 모델을 업데이트할 수 있는 파티클 필터링 방법을 사용하여 피로균열성장을 예측하였다. 파티클 필터링 방법의 업데이트 과정을 통해 측정치를 반영한 시스템 모델의 예측을 가능하게 한다. 이때 임의의 모델변수의 초기 분포는 등분포를 가정하였으며, 데이터와 추정치의 오차가 정규분포를 따른다고 가정하였다. 그림 1과 2에는 피로균열성장률과 잔존수명을 예측한 결과를 도시하였다. 하중크기 변화에 따른 피로거동의 차이를 적절히 잘 모사할 수 있음을 확인할 수 있다. 또한 업데이트 과정을 통해 모델변수 중 확률이 높은 쪽이 재추출됨을 확인하였다.

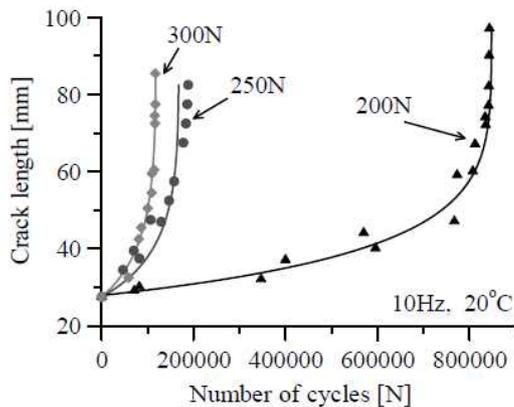


그림 1. 피로균열성장 예측

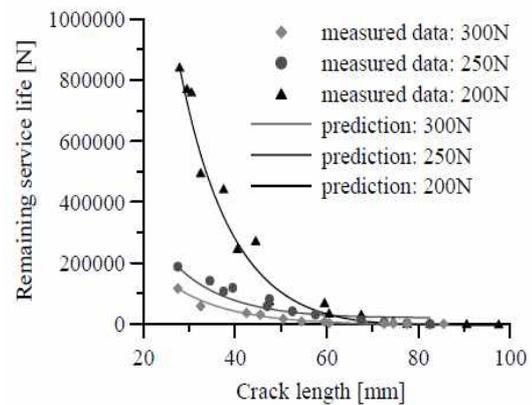


그림 2. 잔존수명 예측

4. 결 론

본 연구에서는 아스팔트의 피로균열의 성장과 잔존 수명을 예측하기 위하여 베이지안 기반의 파티클 필터링 방법을 사용하였다. 베이지안 확률론에 기반하고 있는 파티클 필터링(particle filtering) 방법을 이용하여 측정치가 적절히 반영된 피로거동 예측이 가능하였다. 또한 파티클 필터링의 업데이트 과정을 통해 확률이 높은 모델변수가 재추출됨을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(13RDRP-B066780)을 받아 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Zio, E. and Peloni, G. (2011). "Particle filtering prognostic estimation of the remaining useful life of nonlinear components." *Reliability Engineering and System Safety*, Vol.96, pp.403-409.
2. Schapery, R. A. (1984). "Correspondence principles and a generalized J integral for large deformation and fracture analysis of viscoelastic media." *International Journal of Fracture*, Vol.25, pp.195-223.