

J-적분을 통한 아스팔트 포장체의 피로 균열 성장 분석

Analysis of Asphalt Pavement Fatigue Crack Propagation using J-integral

유성문*
Yu, Seongmun

차우딘단**
Chau Dinh Thanh

지광습***
Zi, Goangseup

Abstract

This paper studies fatigue crack growth of asphalt using J-integral method. Asphalt pavements can be cracked under repeated vehicle loadings, which is called fatigue crack. So precise prediction on the fatigue crack growth in the asphalt pavement is necessary for efficient maintenance works. To analyze fatigue crack growth, energy based J-integral method is used in this paper. Using that method, the analysis simulates the fatigue test results appropriately.

1. 서 론

반복되는 차량 하중에 의해서 아스팔트 포장에는 균열이 발생하고 성장하게 된다. 아스팔트 포장의 적절한 유지보수 및 교체를 위해서는 피로 균열 성장 예측을 통한 구조물의 피로 수명 평가가 필요하다. 본 논문에서는 기존에 널리 사용되던 응력확대계수를 이용한 피로 균열 성장 예측 방법 대신에 에너지 기준의 J-적분을 이용한 방법을 사용하여 피로 균열의 성장을 분석하였다. J-integral을 이용한 방법은 하중의 크기 뿐 아니라 하중의 주기에 따른 해석도 가능하다. 본 방법을 사용하여 아스팔트 실험체의 피로 실험 결과를 적절히 모사할 수 있었다.

2. 본 론

2.1 J-적분을 이용한 피로균열 성장 예측 식

J-적분을 이용한 피로균열 해석은 피로로 인한 과도한 소성이 발생하는 경우 응력확대계수 (stress intensity factor)를 이용한 피로균열 해석 대신 적용되어 왔다[1,3]. 점탄성 물질의 구성방정식을 시간이력으로 적분하여 J-적분을 계산하면 다음 식과 같이 나타난다[2].

* 고려대학교 석사과정, 학생회원
** 고려대학교 박사과정, 학생회원
*** 고려대학교 부교수, 정회원

$$J = E_R \int_{t_0}^t D(t-\tau) \frac{\partial J_e}{\partial \tau} d\tau \quad (1)$$

다. 여기서 $J_e = \frac{K_I^2}{E}$ 이며, $K_I = P(t)G(a)$ 이다. 여기서 $G(a)$ 는 구조물 형태에 따른 형상함수이다.

이를 적용하여 식 (1)의 J-적분 식을 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$J = 2G(a)^2 \int_{t_0}^t D(t-\tau)P(\tau)P'(\tau)d\tau \quad (2)$$

여기서 $G(a)$ 값은 P가 1의 값을 가질 때의 응력확장계수(K_I)값으로 유한요소해석을 통해 구할 수 있다. $D(t-\tau)$ 값은 creep compliance 값으로 Maxwell chain을 이용한 Prony 급수를 통해서 계산되될 수 있다[4]. 또한 $P(\tau)$ 는 하중 함수로서, 본 논문에서는 sin 함수 형태의 식을 사용하여 피로 하중을 모사하였다. (2)의 식에서 하중 크기는 1N, 주기는 10Hz, t_0 는 800sec를 사용하여 계산하면 아래 Fig 1 과 같은 결과를 얻을 수 있다.

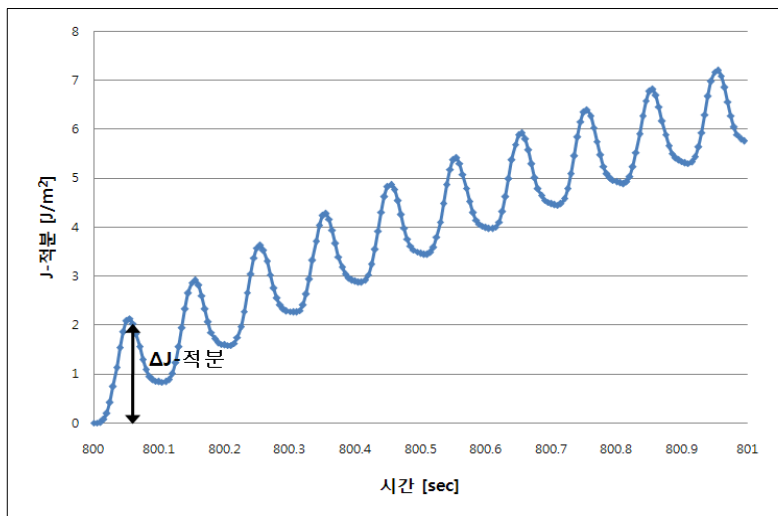


Fig. 1 J-적분 곡선

Fig 1에서 J-적분의 변동폭을 이용하여 ΔJ 적분을 구할 수 있다. 이를 이용하여 다음 식 (3)과 같은 피로 균열 성장 예측 식을 계산할 수 있다.

$$\frac{da}{dN} = c(\Delta J)^m \quad (3)$$

여기서 c와 m은 재료 상수로서 실험 결과를 통한 역추정을 이용해 구할 수 있다.

2.2 피로균열 실험 결과 모사

아스팔트 포장의 피로균열 성장을 모사하기 위하여 Fig 2와 같은 실험체로 피로 실험을 진행하였다.

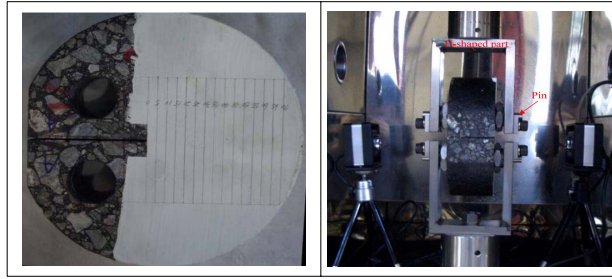


Fig. 2 피로 균열 성장 실험의 실험체와 실험 전경

피로 균열 성장 실험의 실험 결과를 식 (3)을 이용하여 모사하였다. 모사 결과는 아래 Fig 3에 나타내었으며 적절한 결과를 얻을 수 있었다. 단 주기에 따른 해석 중 5Hz의 경우 실험값이 10Hz와 거의 동일하게 나온 것으로 보아 실험 결과보다 해석 결과가 더 일관성을 가진 결과라고 할 수 있겠다.

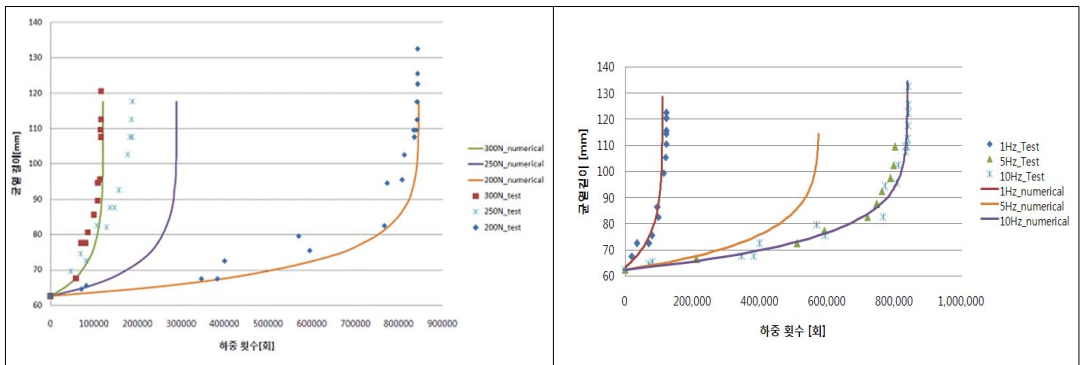


Fig. 3 피로 균열 성장 실험 모사 결과

참고문헌

1. Dowling, N. E. and Begley, J. A. (1976) Fatigue crack growth during gross plasticity and th J-integral, American Society for Testing and MAterials, pp.82-103
2. Kuai, Haidong., Lee, Hyunjong., Zi, Goangseup., Mun, Sungho. (2008) Application of generalized J integral to crack propagation modeling of asphalt concrete under repeated loading, Transportation Research Board Annual Meeting 2009 Paper #09-2324
3. Lambert, Y., Saillard, P., and Bathias, C. (1976) Application of the J concept to fatigue crack growth in large-scale yeilding, American Society for Testing and MAterials, pp.82-103
4. Zi, G. and Bazant, Z. P. (2002) Continuous relaxation spectrum for concrete creep and its incorporation into microplane model M4