

도로교 콘크리트 바닥판의 합리적인 수명 평가 및 예측시스템 개발

Development of Probabilistic Prediction System for Remaining Life of Reinforced Concrete Bridge Decks

오 병 환* 최 영 철** 이 준 혁***
Byung-Hwan Oh Young-Cherl Choi Jun-Hyeok Lee

ABSTRACT

The deterioration of RC deck slabs has been a serious problem and high portion of budget has been a spent for repair and strengthening of deck slab. The concrete deck slabs are subject to direct application of vehicle loading and accumulation of fatigue damage. Besides, various environmental causes. In this paper, an probabilistic study is carried out to predict exact load effects and structural capacity of deck slab during its service life, and estimate an appropriate remaining life of deck slab. To achieve this purpose the live load model is developed using by influence line including deterioration of deck slab, and deterioration model of bridge deck slab is developed. In addition, the fatigue life of reinforced concrete deck slabs considering corrosion of reinforcement are estimated based on experimental formula. This study will help rational decisions for the management and repair of reinforced concrete deck slabs..

1. 서론

교량의 구조부재 중 철근콘크리트 바닥판은 차량 하중을 직접 전달받는 중요한 역할을 수행한다. 그러나, 과적차량의 통행 및 피로, 철근부식 등으로 인해 구조적 성능이 지속적으로 저하되고 있으며, 이에 대한 보수·보강 비용이 지속적으로 증가하여 많은 사회·경제적 손실을 초래하고 있다. 특히 각 지역별 차량 및 통행특성과 사용중인 교량의 손상정도는 발생하는 하중효과에 중요한 역할을 하게 되므로 이에 대한 고려가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 교량의 손상효과를 고려할 수 있는 활하중 모델에 대한 연구를 수행하였다. 그리고 증성화와 제설제 등에 의한 환경적인 요인에 의한 바닥판의 손상모델에 대해 확률론적으로 접근하였다. 또한 기존의 실험자료와 본 연구에서 개발된 하중모델을 접목하여 반복하중 상태에서의 콘크리트 바닥판의 피로수명을 결정하였다.

콘크리트 바닥판에 대한 활하중 효과, 환경적인 손상과 차량 반복하중에 의한 손상모델을 근거로 각 모델에 의한 바닥판의 수명을 평가하였으며 합리적인 잔존수명 예측을 위한 시스템을 구축하였다.

*정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수

**정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정

***정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정

2. 잔존수명 예측을 위한 시스템구성

도로교 바닥판의 최대 활하중을 정확히 예측하기 위해서는 하중 모델의 주요 변수는 차량의 총중량, 축중량, 바닥판에서의 윤하중의 위치, 동시 통행특성, 충격효과, 교통량 및 총중량 증가계수, 바닥판 및 거더의 강성 등이 있다. 본 하중모델은 격자해석에 기본을 두고 있으며 교량의 거더 및 바닥판의 손상이 고려된 영향선의 개념을 도입하여 실제 발생할 수 있는 차량하중에 의한 하중효과를 모두 고려하였다. 바닥판의 피로모델은 기존의 실험결과를 바탕으로 바닥판의 건조상태와 이동 윤하중의 영향, 콘크리트 내부의 철근의 부식에 의한 영향을 고려하여 합리적인 피로수명을 산정하였다.

콘크리트 바닥판의 피복두께는 변동성을 가진다. 그리고 제설제에 의한 콘크리트의 표면염화물량과 콘크리트의 확산계수를 변동성을 가지는 확률변수로 가정하여 염소이온에 의한 철근의 부식을 확률론적으로 접근하였다. 교량 상부구조물의 탄산화는 그 지역에 따라 영향이 상이하다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 기존의 자료를 바탕으로 산간지역과 도심지역으로 구분하여 탄산화 속도계수를 확률변수로 하여 탄산화 깊이가 철근의 깊이까지의 시간을 산정하였다. 그리고 실제 교량의 외관조사 결과를 보다 진보된 GUI환경에 의해 체계적으로 입력하여 교량의 상태평가 결과를 도출하여 이에 따른 보수보강 방법 등을 제시하였다. 이러한 도로교 콘크리트 바닥판의 잔존수명 예측을 위한 시스템에 대한 알고리즘은 다음 그림 1과 같다.

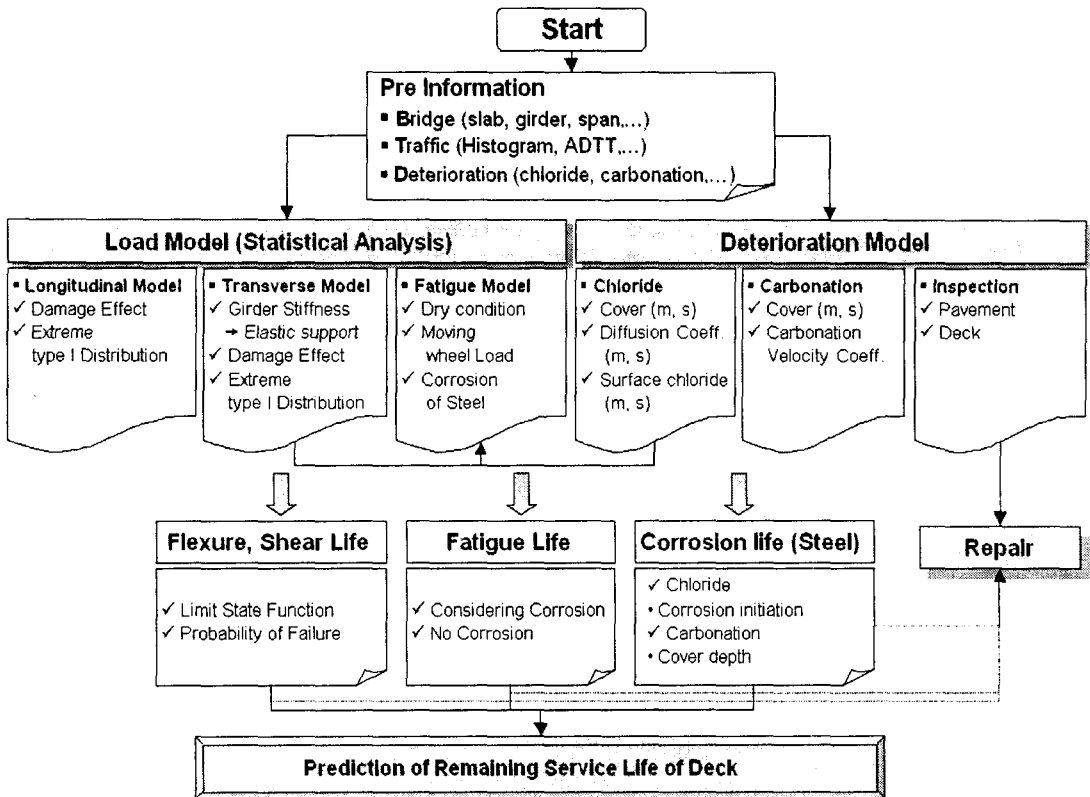


그림 1 교량 바닥판의 합리적 잔존수명 예측을 위한 알고리즘

3. 콘크리트 바닥판의 하중모델

3.1 종방향 해석모델

영향선의 개념을 도입하여 교량의 하중효과를 결정하였으며, 특히 교량의 형식(경간수 및 거더개수)에 제한없이 사용자가 원하는 임의위치에서의 모멘트 및 전단에 대한 영향선을 결정하여 재료손상이나 단면손실을 고려하여 종방향 해석을 수행하였으며 극치분포의 개념을 이용하여 공용년수에 따른 하중효과를 계산하였다.

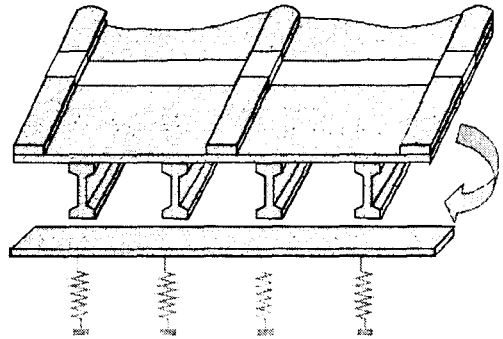


그림 2 횡방향 해석

3.2 횡방향 해석모델

바닥판에 대한 횡방향 해석은 종방향 거더의 강성을 스프링 부재로 치환하여 탄성지지점으로 하여 해석을 수행하였으며 종방향 해석과 마찬가지로 영향선의 개념을 이용하였다. 그리고 다축효과(multi-axle effect)를 고려하기 위해 유효 축하중 계산시 해당단면에 위치하지 않는 나머지 차축의 종방향 영향효과를 추가하였다.

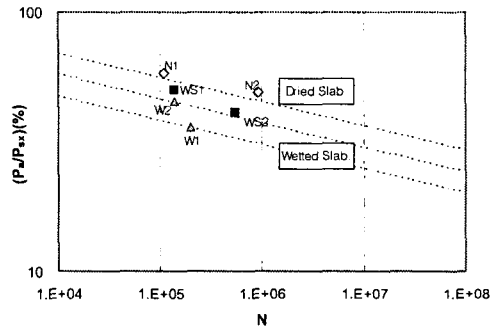


그림 3 바닥판의 S-N Curve

3.3 피로하중 모델

Matsui의 시험결과에 의하면 그림 3과 같이 바닥판의 습윤상태에 따라서 상당히 다른 S-N Curve를 보인다. 그리고 문헌 조사 결과 정적하중에 의한 피로수명과 이동운하중에 의한 피로수명은 상당히 다르다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하고 본 연구에서 개발된 하중모델을 이용하여 합리적인 피로수명을 산정하였다. 그리고 식 (1)과 같이 부식에 의해 철근의 단면적이 감소하는 것을 고려하여 시간에 따른 바닥판의 저항강도와 편칭전단강도의 변화를 고려하였다.

$$A(t) = \begin{cases} n D_i^2 \frac{\pi}{4} & \text{for } t \leq t_0 \\ n(D(t))^2 \frac{\pi}{4} & \text{for } t_0 < t < t_0 + D_i / (0.023 \cdot i_{corr}) \\ 0 & \text{for } t \geq t_0 + D_i / (0.023 \cdot i_{corr}) \end{cases} \quad (1)$$

여기서 n =바의 개수, D_i =철근의 초기 지름, t=경과 시간, t_0 =부식 시작 시간, i_{corr} =부식 속도 매개변수

$$D(t) = D_i - 0.023 \cdot i_{corr} \cdot (t - t_0) \quad (2)$$

부식속도, r_{corr} 은 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$r_{corr} = 0.023 \cdot i_{corr} \quad (3)$$

그림 4, 그림 5는 시간에 따른 철근의 변적 분포와 저항강도를 나타내고 있다.

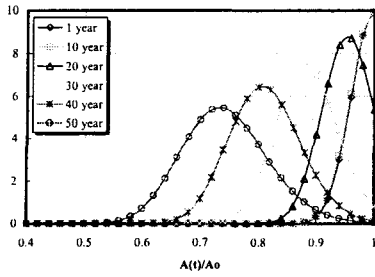


그림 4 시간에 따른 철근의 면적분포

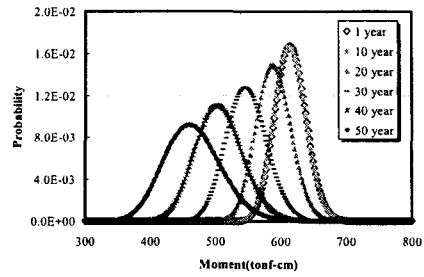


그림 5 시간에 따른 저항분포

4. 콘크리트 바닥판의 열화모델

4.1 제설제에 의한 철근 부식

콘크리트 내부의 염화물 침투 방정식은 Fick's 확산방정식을 따르며 부식개시시기는 식 (4)와 같다. 4가지 확률변수 (c , D_{cl} , C_0 , C_{thr})를 대수 정규분포를 따른다고 가정하였다.

$$t_0 = \frac{c^2}{4D_{cl}} \left[\frac{1}{\text{erfc}^{-1}(C_0 - C_i)/(C_{thr} - C_i)} \right]^2 \quad (4)$$

여기서, c : 콘크리트 피복두께(cm), C_0 : 콘크리트 표면염화물량(% by concrete)

D_{cl} : 염소이온 확산 계수 (cm^2/yr), C_{thr} : 부식이 시작되는 염소이온 농도(% by concrete)

4.2 중성화에 의한 철근부식

교량 바닥판의 중성화는 식 (5)를 따르며 중성화 깊이가 철근의 위치에 이를 때 부식이 발생한다고 가정하였다. 중성화 속도계수 K 와 피복두께를 확률변수로 하여 산정하였다.

$$x(t) = K\sqrt{t} \quad (5)$$

5. 결론

- 1) 교량 바닥판의 하중효과를 영향선의 개념을 이용하여 산정하였으며 바닥판의 횡방향 해석시 종방향 거동을 탄성지지점으로 하여 해석하였다.
- 2) 철근의 부식에 의한 시간에 따른 철근 단면적 손실을 고려하여 시간에 따른 단면 저항력을 산정하여 합리적인 수명을 산정하였다.
- 3) 제설제와 중성화에 의한 철근의 부식의 시기 산정시 각 영향을 미치는 인자의 확률적 특성을 고려하였다.

참고문헌

1. 武若 耕司, 濱田 秀則, 太田 達見, 콘크리트구조물의리ハビリテーション, 劣化メカニズムとリハビリテーション, 1998
2. 윤석구, "반복충격을 받는 철근콘크리트 교량 바닥판의 거동", 토목학회 논문집, 제 18권, 제 I-4호, 1998.