

지불규정 적용을 위한 콘크리트 포장의 평탄성과 공용성과의 관계 분석

Analysis of Relationship between Concrete Pavement Surface Smoothness and Performance for Use in Payment Adjustment Methods

황성재* · 김성민** · 이석근***

Hwang, Seong Jae · Kim, Seong-Min · Rhee, Suk Keun

1. 서 론

현재 국내에서는 도로 포장 건설 분야에 성능 중심의 건설 기준을 적용하기 위한 과정으로 공용성을 기반으로 하는 지불 규정을 개발하는 연구가 진행 중에 있다. 여기서 지불규정이란 포장의 공용성을 지배하는 인자에 대하여 설계대로 시공이 되지 않은 경우에 그에 대하여 벌금 또는 보너스를 지급하도록 하는 건설 규정을 말한다 (서봉교, 2009). 국내의 도로 포장 건설기준 및 시방은 자재 및 시공방법 중심(Method Specification)으로 되어 있다. 하지만 이런 자재 및 시공 방법 중심의 시방을 따라 시공된 도로 포장은 단기적으로 성능을 판단할 수 있는 근거가 미비하게 된다. 따라서 조기 결함이 발생할 경우 도로 포장은 설계 수명에 이르지 못하게 되고 유지 보수를 위하여 막대한 비용을 낭비하는 경우가 발생하기도 한다. 보다 나은 성능과 공용성을 지닌 콘크리트 포장을 제공하기 위하여 지불규정의 목표인 것이다. 콘크리트 포장의 공용성을 지배하는 가장 중요한 인자로는 크게 포장의 두께, 횡강도, 평탄성 등을 들 수 있으며 본 연구에서는 콘크리트 포장의 표면 평탄성이 콘크리트 포장 수명에 미치는 영향에 대해서 분석함으로써 콘크리트 포장의 평탄성이 지불규정 인자로서 중요함을 분석하였다.

2. 평탄성이 도로 포장 수명에 미치는 영향 분석

콘크리트 도로 포장에서 사용자들에게 쾌적한 주행성을 제공하기 위해서는 평탄성이 좋아야 한다. 평탄성은 구조적인 면에서 포장의 수명에 영향을 미친다. 표면이 평탄하지 못하면 반복적인 교통하중에 의하여 포장의 거칠기는 심해지고 이에 따라 포장의 수명은 줄어들게 되는 것이다. 현재 일반적으로 사용하고 있는 평탄성 지수로는 PSI(Present Serviceability Index), PRI(Profile Index), IRI(International Roughness Index)가 있다. AASHTO 피로파손공식은 PSI값을 사용하고 있고 국내의 경우 신설 포장에 대하여 포장 평탄성의 기준을 적용하고 있으며, 관리 기준값은 7.6m CP 장비를 이용한 PRI를 사용하고 있다. 먼저 평탄성이 도로 수명에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하기 위하여 AASHTO 피로파손 공식인 식 (1)을 이용하였다 (AASHTO, 1993).

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times P_T) \times \log_{10}\left(\frac{S'_c \times C'_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J(D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}})}\right) \quad (1)$$

* 학생회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 석사과정(E-mail: allnok@khu.ac.kr) - 발표자

** 정회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 부교수 · 교신저자 · 공학박사(E-mail: seongmin@khu.ac.kr)

*** 정회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사(E-mail: skrhee@khu.ac.kr)

여기서 W_{18} 은 18 kip 단축하중의 재하 횟수, Z_R 은 standard normal deviate, S_0 는 교통량과 성능 예측의 복합 표준 오차, D 는 인치 단위의 슬래브 두께, ΔPSI 는 초기 PSI와 최종 PSI (P_f)의 차이, S'_c 은 psi 단위의 콘크리트 modulus of rupture이며, J 는 하중전달계수, C_d 는 배수계수, E_c 는 psi 단위의 콘크리트 탄성계수이며, k 는 pci 단위의 하부지지력이다. PSI의 값이 변화함에 따른 콘크리트 포장의 수명을 예측하는 AASHTO 피로파손 공식은 평탄성이 도로 포장의 수명에 미치는 영향을 분석하기에 적절한 공식이며 콘크리트 포장 수명과 PSI와의 관계에 대해 분석하여 그림 1에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 초기PSI의 값이 커짐에 따라 도로 포장의 설계 수명은 일차식으로 증가함을 알 수 있다. 따라서 도로 포장의 초기 평탄성이 좋을수록 콘크리트 포장수명이 증가하는 것을 알 수 있다.

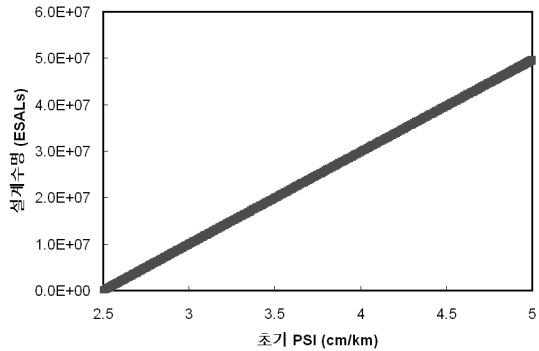


그림 1. 콘크리트 포장 수명과 초기 PSI와의 관계

다음은 IRI 값에 따른 도로 포장의 설계수명의 변화를 분석해 보았다. 먼저 PSI와 IRI의 관계는 식 (2)와 같다 (Huang, 1993).

$$PSI=5+0.604x^3-2.2217x^2-0.0434x \quad (2)$$

여기서 x 는 $\log(1+SV)$ 이며 SV 는 slope variance을 나타낸다. 또 x 는 IRI와 식 (3)과 같은 관계를 가지고 있다.

$$x=2.2704(IRI)^2 \quad (3)$$

이 관계식을 이용하여 도로 포장 평탄성 지수인 IRI값과 도로포장의 설계수명 관계에 대하여 분석하여 그림 2에 나타 내었다. IRI는 PSI와 달리 값이 작을수록 평탄성이 좋음을 의미한다.

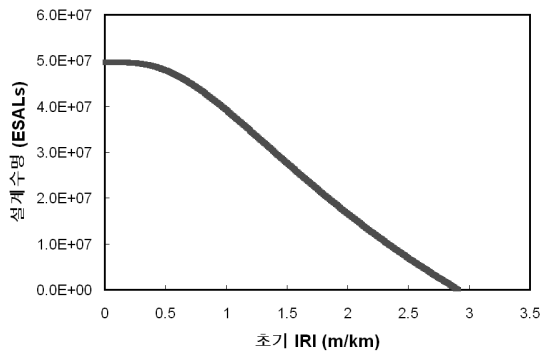


그림 2. 콘크리트 포장 수명과 초기 IRI와의 관계

그림 2에서 볼 수 있듯이 IRI값이 커짐에 따라 설계수명은 작아짐을 알 수 있다. 하지만 IRI값은 PSI값과 약간의 차이를 보이고 있다. PSI는 거의 선형적인 결과를 보인 반면 IRI결과는 0m/km에서 약 0.3m/km까지는 설계 수명의 변화가 거의 없다가 0.3m/km부터 거의 선형적으로 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이것은 초기 평탄성이 좋으면 약간의 평탄성 손실은 콘크리트 포장 수명에 영향을 미치지 않는다는 것을 보여준다.

도로 설계수명을 10% 감소시키는 IRI 증가량이 초기 IRI의 크기에 따라 어떠한 차이를 보이는지 분석하여 그림 3(a)에 나타내었다. 그림 3(b)에서는 도로 설계수명을 10% 감소시키는 IRI증가량과 초기 IRI의 비인 IRI 증가률로 나타내었다.

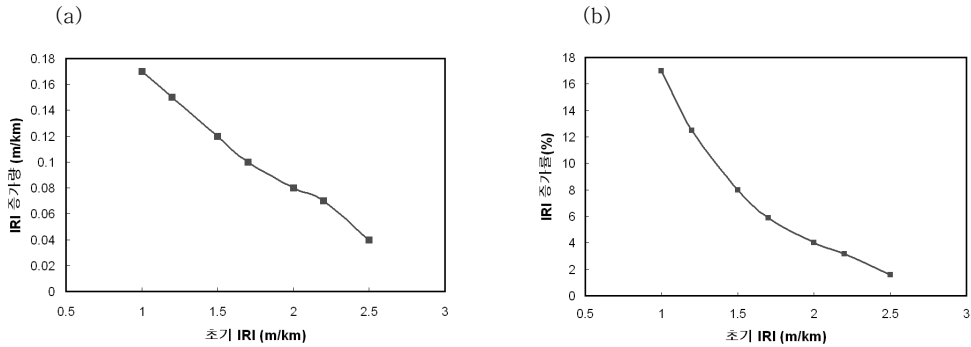


그림 3. 콘크리트 포장의 설계수명 10% 감소에 대한 IRI와의 관계
(a) IRI 증가량, (b) IRI 증가률

그림 3(a)에서 알 수 있듯이 초기 평탄성 지수 IRI값이 1m/km 일 때는 평탄성이 매우 좋은 상태로 도로의 IRI값이 약 0.18m/km 증가하는 동안 설계수명이 10% 감소하였고 초기 평탄성 지수 IRI값이 2.5m/km 일 때는 평탄성이 나쁜 상태이며 IRI값이 약 0.04m/km정도만 증가하였음에도 불구하고 설계 수명이 10% 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 초기 평탄성이 좋으면 평탄성의 감소가 상당히 진행되어야 포장의 수명에 지대한 영향을 미치지만 초기 평탄성이 좋지 않으면 평탄성의 감소가 미소하더라도 포장의 수명 감소에 큰 영향을 미치게 된다. 즉, 초기 평탄성은 포장 수명에 대하여 매우 중요한 인자임을 알 수 있다.

그림 3(b)에서 알 수 있듯이 초기 IRI가 1m/km일 때는 IRI값이 약 17% 증가 하였을 때 설계 수명이 10% 감소하였고 초기 IRI가 2.5m/km일 때는 IRI값이 약 1%만 증가 하여도 설계 수명이 10% 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 초기 평탄성의 중요성을 명확하게 보여주고 있다.

초기 IRI값에 대하여 설계 수명이 5%, 10%, 15%, 20% 감소할 경우의 IRI증가량을 그림 4(a)에 나타내었다. 또 그림 4(b)에서는 초기 IRI값에 대하여 설계 수명이 5%, 10%, 15%, 20% 감소할 경우의 IRI 증가률을 나타내었다.

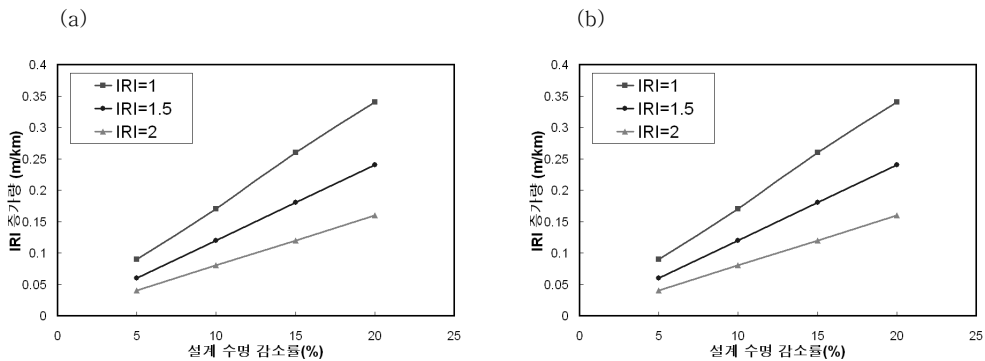


그림 4. 설계 수명 감소율에 대한
(a) 초기 IRI 손실량의 관계, (b) 초기 IRI 손실률의 관계

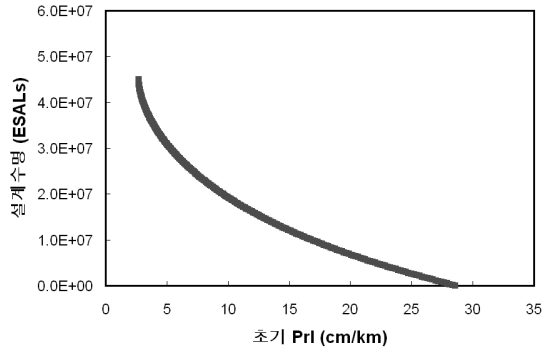
그림 4(a)에서 알 수 있듯이 초기 IRI값이 우수할수록 도로포장의 설계 수명이 우수하다는 것을 알 수 있다. 즉 초기 IRI가 1m/km일 때 각 설계수명 감소율에 대한 IRI 증가량이 가장 크게 나타난다. 그림 4(b)에서도 마찬가지로 초기 IRI값이 우수할수록 도로 포장의 설계 수명에 미치는 IRI의 증가율이 커지는 것을 알 수

있다. 즉 IRI가 1m/km일 때 각 설계 수명 감소률에 대한 IRI 증가율이 가장 큰 것으로 나타났다. 평탄성 지수 IRI와 PrI의 상관관계에 대한 연구를 통해 IRI와 PrI는 식 (4)과 같은 관계식이 성립 한다(김국한 2003).

$$PrI=5.3026(IRI)^2-7.4348(IRI)+5.3141 \quad (4)$$

식 (4)를 토대로 PrI와 도로 포장의 설계 수명의 관계에 대하여 분석하여 그림 5에 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 PrI값이 커짐에 따라 도로 포장의 설계 수명은 작아지는 것을 알 수 있다. 하지만 IRI 분석과는 다르게 초기 PrI가 좋을 때는 PrI가 조금만 증가해도 설계 수명은 급격히 감소하고 초기 PrI가 나쁠 때는 PrI 증가에 따른 설계 수명의 감소 속도가 작아지는 것을 알 수 있다.



3. 결론

그림 5. 콘크리트 포장 수명과 초기 PrI와의 관계

본 연구에서는 콘크리트 도로 포장에 널리 쓰이고 있는 AASHTO 피로 파손 공식과 IRI-PSI관계식을 이용하여 평탄성이 도로 포장 설계 수명에 어떠한 영향을 미치는가에 대해 분석하였다. 평탄성은 초기 평탄성의 우수성이 콘크리트 도로 포장의 설계 수명에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 얻은 결론과 같이 도로 포장의 초기평탄성의 손실은 도로 포장의 설계 수명에 큰 영향을 미치게 되므로 콘크리트 포장의 표면 평탄성은 지불규정 인자로서 매우 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 건설교통R&D정책 인프라사업의 일환인 성능중심의 건설기준표준화 연구-도로포장 및 콘크리트 구조물 중심연구 중 공용성을 기반으로 한 지불규정 개발 연구에서 수행되었음.

참고 문헌

1. 김국한, 이병덕, 최고일, 양성철, (2003) “평탄성 지수 IRI와 PrI의 상관관계에 관한 연구” 한국도로포장공학회는문집 제5권 제1호.
2. 서봉교 (2009). “콘크리트 도로 포장 품질 및 성능 향상을 위한 지불규정 개발 기초 연구”, 석사 학위 논문, 경희대학교.
3. American Association of State Highway and transportation Officials (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, AASHTO.
4. Huang, Y. H. (1993). *Pavement Analysis and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.