

# 콘크리트 도로포장의 지불규정 제정 방안

## Draft Payment Adjustment Methods for Concrete Pavements

황성재\* · 김성민\*\* · 이석근\*\*\*

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

### 1. 서 론

현재 국내의 도로 포장 건설기준 및 시방은 자재 및 시공방법 중심으로 되어 있으며 이러한 시방을 따라 시공된 도로 포장은 단기적으로 성능을 판단할 수 있는 근거가 미비하여 고성능 고내구성이 요구되는 도로 포장의 건설을 확신해 주지 못하는 실정이다. 이러한 이유로 콘크리트 포장에서는 설계 수명에 다다르기 이전에 유지 보수를 위하여 막대한 비용을 낭비하는 경우가 발생하기도 한다. 따라서 선진 외국에서는 지불규정(payment regulation, payment adjustment method)이라는 건설 규정을 시공 방법 중심의 시방에 포함시켜 사용함으로써 도로 포장의 성능향상을 유도하고 있다. 현재 국내에서도 도로 포장 건설 분야에 성능 중심의 건설 기준을 적용하기 위한 과정으로 공용성을 기반으로 하는 지불 규정을 개발하는 연구가 진행 중에 있다. 지불규정이란 포장의 공용성을 지배하는 중요 인자에 대하여 설계대로 시공이 되지 않은 경우에 그에 대하여 벌금 또는 보너스를 지급하도록 하는 건설 규정이다(서봉교, 2009). 즉 도로 포장의 수명에 영향을 미치는 지불규정 인자를 이용하여 산정한 지불계수를 이용하여 포장의 수명을 예상하고 그에 따른 준공 대가를 지급하는 것이다.

콘크리트 포장의 공용성을 지배하는 가장 중요한 인자로서 국외의 지불규정에서 일반적으로 다루어지고 있는 인자로는 콘크리트 포장 슬래브 두께, 콘크리트 휨강도 또는 압축강도, 표면 평탄성, 공기량 등을 들 수 있으며, 이 중에서 가장 사용 빈도가 높은 슬래브 두께, 평탄성, 휨강도를 우선적으로 국내의 콘크리트 포장 지불규정 인자로 선정하였다. 지불계수 산정 방법은 미국의 연방 도로청 (FHWA: Federal Highway Administration)에서 PWL(Percent Within Limits)이라고 하는 방법을 추천하고 있다(Burati et al., 2004). 국내에서도 이 PWL방법을 이용하여 각 지불규정 인자의 지불계수를 산정한다. PWL방법으로 산정된 각 지불규정 인자의 지불계수는 각 인자의 도로 포장 수명에 미치는 비중을 고려하여 각 인자에 가중치를 곱하여 준공 대가를 결정하는데 국내에서는 아직 각 인자에 대한 가중치를 결정하는데 타당한 근거가 없어 어려움을 겪고 있는 현실이다. 따라서 각 지불규정 인자가 포장 수명에 미치는 영향의 비중에 대한 연구의 필요성을 인지해야 한다. 본 연구에서는 각 지불규정 인자(두께, 휨강도, 평탄성)가 콘크리트 도로 포장 수명에 미치는 영향의 비중을 각 지불규정 인자가 콘크리트 도로포장의 설계 수명에 미치는 민감도를 이용하여 분석해 보았다.

### 2. 지불규정 인자와 포장 수명과의 관계

콘크리트 포장에서 각 지불규정 인자가 포장 수명에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하기 위하여 AASHTO 피로파손 공식을 이용하였다. AASHTO 피로파손 공식은 AASHTO(American Association of State Highway Officials) road test (Highway Research Board, 1962)의 결과를 바탕으로 개발되었으며 식 (1)과

\* 학생회원 · 경희대학교 토목공학과 석사과정 · 031-201-3799(E-mail : allnok@khu.ac.kr)

\*\* 정 회원 · 경희대학교 토목공학과 부교수 · 교신저자 · 공학박사 · 031-201-3795(E-mail : seongmin@khu.ac.kr)

\*\*\* 정 회원 · 경희대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 031-201-2900(E-mail : skrhee@khu.ac.kr)

같다(AASHTO, 1993).

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

여기서 W18은 18 kip 단축하중의 재하 횟수, Z<sub>R</sub>은 standard normal deviate, S<sub>0</sub>는 교통량과 성능 예측의 복합 표준 오차, D는 인치 단위의 슬래브 두께, ΔPSI는 초기 PSI와 최종 PSI (Pt)의 차이, S'<sub>c</sub>은 psi 단위의 콘크리트 휨강도(modulus of rupture)이며, J는 하중전달계수, C<sub>d</sub>는 배수계수, E<sub>c</sub>는 psi 단위의 콘크리트 탄성계수이며, k는 pci 단위의 하부지지력이다. 따라서 AASHTO 피로 파손 공식을 이용하여 콘크리트 도로 포장 설계 수명과 콘크리트 포장의 두께, 휨강도, 평탄성의 관계에 대해 설명할 수 있다. 한편 도로 포장의 표면 평탄성을 정의하는 지수로는 PSI(Present Serviceability Index), PrI(Profile Index), IRI(International Roughness Index)가 있다. AASHTO 피로파손공식은 PSI값을 사용하고 있으나 국내에서는 일반적으로 PrI를 사용하고 있으므로 본 연구에서는 PSI-IRI 관계식, IRI-PrI 관계식을 이용하여 평탄성 지수로 PrI를 사용하여 분석 하였다. PSI-IRI의 관계는 식 (2), (3)을 이용하여 정의할 수 있으며(Huang, 1993) IRI-PrI의 관계는 식 (4)와 같이 정의된다(김국환 외, 2003).

$$PSI = 5 + 0.6046x^3 - 2.2217x^2 - 0.0434x \quad (2)$$

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

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

AASHTO 피로 파손 공식을 사용하여 콘크리트 포장의 지불규정 인자인 콘크리트 포장의 두께, 휨강도, 평탄성과 콘크리트 포장의 설계 수명의 관계를 분석하여 그림 1, 2, 3에 나타내었다. 그림 1, 2에서 볼 수 있듯이 콘크리트 포장의 두께와 휨강도가 증가할수록 콘크리트 도로 포장의 설계 수명은 점차 증가한다. 또한 그림 3에서 볼 수 있듯이 콘크리트 도로 포장 표면 평탄성 지수 PrI가 증가하면 콘크리트 설계 수명은 감소하는 것을 볼 수 있다. PrI는 지수가 커질수록 도로 포장 표면 평탄성이 나쁨을 의미 하므로 그림 1, 2, 3으로부터 각 지불규정 인자가 불량할수록 도로 포장의 설계 수명이 감소하는 경향을 볼 수 있다.

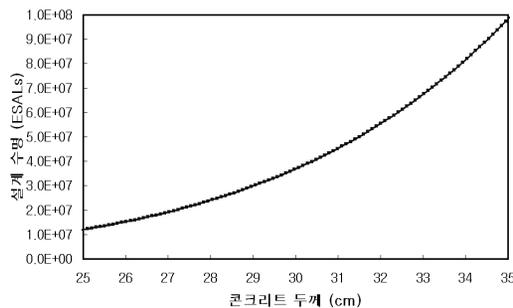


그림 1. 두께와 설계 수명의 관계

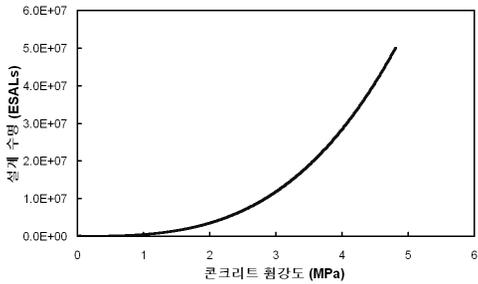


그림 2. 휨강도와 설계 수명의 관계

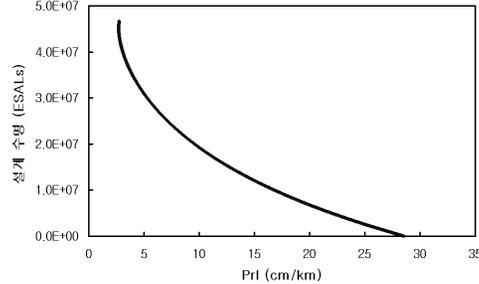


그림 3. 평탄성과 설계 수명의 관계

### 3. 지불규정 인자 손실량이 포장 수명에 미치는 영향

AASHTO 피로파손 공식을 이용하여 콘크리트 포장의 각 지불규정 인자 손실이 포장의 수명에 어떠한 영향을 미치는 지를 분석할 수 있으며 그 분석 개념을 그림 4에 나타내었다.

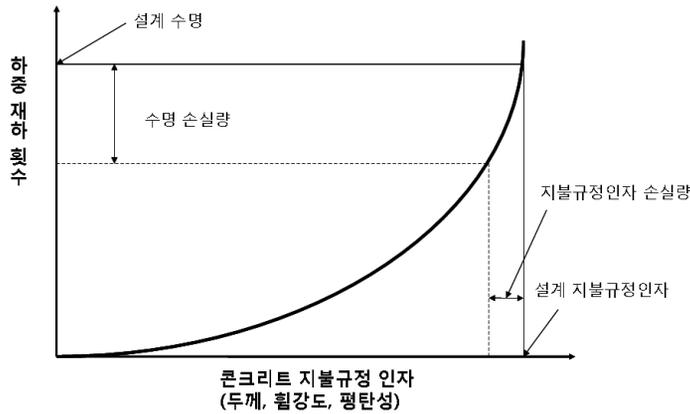


그림 4. 콘크리트 지불 규정 개념

우선 설계 지불규정 인자를 공식에 대입하여 이에 해당하는 설계 수명인 설계 하중 재하 횟수를 구한다. 그 후 특정양의 설계 수명 손실을 선택하여 이에 해당되는 지불규정 인자를 AASHTO 피로파손 공식을 역으로 이용하여 구한다. 이렇게 구한 지불규정 인자와 설계 지불규정 인자의 차이가 지정한 수명 손실에 해당하는 지불규정 인자 손실량이 된다. 따라서 이러한 방식으로 여러 범위의 지불규정 인자 손실과 이에 해당하는 수명 손실과의 관계를 얻을 수 있다.

콘크리트 포장의 휨강도를 예를 들어 설계 수명인 설계 하중재하횟수가 일백만회인데 이러한 포장에 1MPa의 휨강도 손실이 생겼으며 이에 해당하는 수명 손실이 일십만 하중재하횟수라 하면 1MPa의 휨강도 손실 때문에 10%의 수명 손실이 생겼으며 따라서 이러한 경우에는 공사비의 10%를 삭감하여 지급하던지 아니면 생애주기비용을 계산하여 이의 10%를 삭감하여 지불하는 것이다. 이러한 개념을 이용하여 콘크리트 포장의 설계 인자의 크기에 따라서 지불규정 인자의 손실 기준이 어떻게 변화해야 하는지를 분석할 수 있다. 설계 수명을 10% 감소시키는 각 지불규정 인자의 손실량이 지불규정 인자의 크기에 따라 어떤 차이를 보이는지 분석하여 그림 5, 6, 7에 나타내었다.

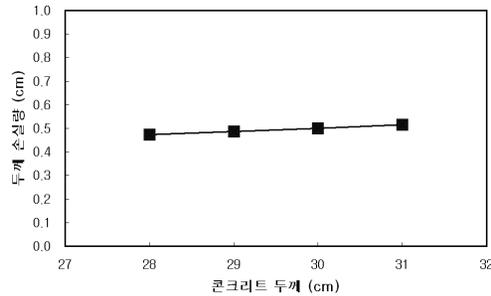


그림 5. 설계 수명 10% 감소에 대한 두께와 두께 손실량의 관계

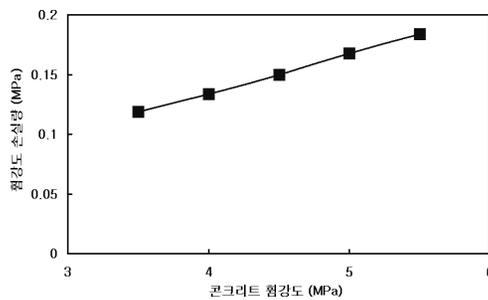


그림 6. 휨강도와 휨강도 손실량의 관계

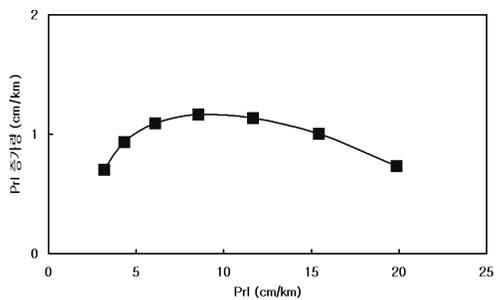


그림 7. 평탄성과 평탄성 증가량의 관계

그림 5에서 볼 수 있듯이 콘크리트 두께가 커질수록 설계 수명을 10% 감소시키는 두께의 손실량은 아주 미세하게 증가하고 있으나 약 0.4cm로 거의 같음을 알 수 있다. 그림 6에서는 콘크리트 휨강도가 커질수록 설계 수명을 10% 감소시키는 휨강도의 손실량이 점점 증가하고 있음을 알 수 있다. 그림 7에서는 포장의 표면 평탄성이 커질수록 설계 수명을 10% 감소시키는 평탄성의 증가량이 점점 감소하고 있음을 알 수 있다. 하지만 PRI의 경우 초기 평탄성이 불량하면 평탄성 지수의 변화가 미소하여도 설계 수명 감소에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이는 평탄성 지수에 대한 지불계수 가중치를 선정할 때 초기 평탄성이 불량하면 평탄성이 도로 포장의 설계 수명에 미치는 영향은 커질 수 있다는 것을 보여 준다.

#### 4. 지불규정 인자 민감도 분석

콘크리트 도로 포장의 각 지불규정인자인 두께, 휨강도, 평탄성의 손실이 포장의 설계 수명에 미치는 민감도를 분석하기 위하여 포장의 설계 수명을 10% 감소시키는 각 지불규정 인자의 손실률이 설계 지불규정 인자의 크기에 따라 어떤 차이를 보이는지 분석하여 그림 8, 9, 10에 나타내었다. 그림 8에서 볼 수 있듯이 콘크리트 두께가 커질수록 설계 수명을 10% 감소시키는 두께의 손실률은 약 1.6%로 거의 같음을 알 수 있다. 그림 9에서도 콘크리트 휨강도가 커질수록 설계 수명을 10% 감소시키는 휨강도의 손실률은 약 3.3%로 거의 같음을 알 수 있다. 하지만 그림 10에서는 포장의 표면 평탄성이 커질수록 설계 수명을 10% 감소시키는 평탄성의 증가량이 점점 감소하고 있음을 알 수 있다. 즉, 초기 평탄성이 양호하면 평탄성이 도로 포장의 설계 수명에 미치는 영향은 미비하지만 초기 평탄성이 불량하면 평탄성이 도로 포장의 설계 수명에 지대한 영향을 미친다고 할 수 있다.

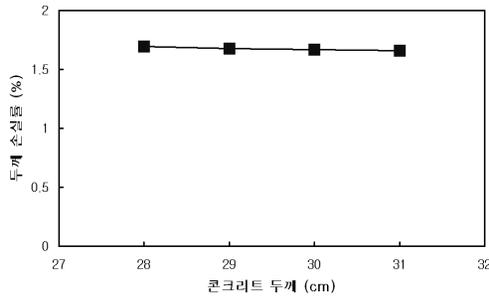


그림 8. 설계 수명 10% 감소에 대한 두께와 두께 손실률의 관계

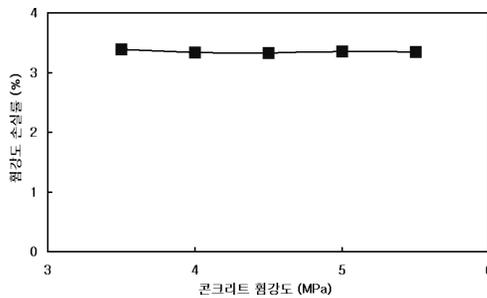


그림 9. 휨강도와 휨강도 손실률의 관계

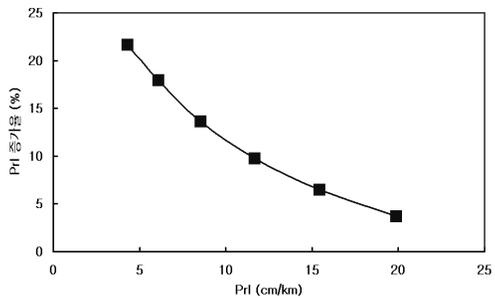


그림 10. 평탄성과 평탄성 증가률의 관계

각 지불 규정인자가 포장 수명에 미치는 민감도를 분석하기 위해 두께는 30cm, 휨강도는 4.5 MPa, 평탄성은 PrI 16에서 각 지불규정 인자의 손실량, 손실률 그리고 가중치를 100이라고 했을 때 각 지불규정 인자의 가중치를 분석하여 표 1에 나타내었다. 표 1에서 알 수 있듯이 설계 두께 30cm, 설계 휨강도 4.5 MPa, 설계 평탄성 PrI 16 인 콘크리트 도로 포장이 예상하는 설계 수명이 약 20년이라고 가정할 때 두께의 경우 설계 두께의 약 1.67%만 손실되어도 포장의 수명은 2년이 감소한다. 휨강도의 경우 설계 휨강도의 약 3.33%가 손실되면 포장의 수명이 2년 감소하며 평탄성의 경우 설계 평탄성의 약 6.51%가 증가하면 포장의 수명이 2년 감소한다고 할 수 있다. 이 결과로 각 지불규정 인자가 콘크리트 도로포장의 설계 수명에 미치는 민감도에 대한 가중치를 100로 한다면 두께는 57, 휨강도는 28, 평탄성은 15라고 할 수 있다. 하지만 앞에서 언급한 것과 같이 평탄성은 초기 평탄성의 우수성에 따라 콘크리트 도로 포장의 설계 수명에 미치는 민감도는 크게 달라 질 수 있다.

표 1. 지불규정 인자의 가중치

	기준	손실량	손실·증가률 (%)	가중치(%)
두께 (cm)	30	0.501	1.67 (-)	57
휨강도 (MPa)	4.5	0.149	3.33 (-)	28
평탄성 (PrI)	16	1.004	6.51 (+)	15

## 5. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 도로 포장에 많이 쓰이고 있는 AASHTO 피로파손 공식을 사용하여 각 지불규정 인자(두께, 휨강도, 평탄성)가 도로 포장 설계 수명에 어떠한 영향을 미치는가에 대해 분석 하였다. 또한 각 지불규정 인자가 도로 포장 설계 수명에 미치는 영향의 비중을 분석하였다. 분석 결과에서 알 수 있듯이 각 지불규정 인자는 도로 포장의 설계 수명에 지대한 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며 포장의 설계 수명 10%감소에 대한 각 지불규정 인자의 손실률은 각각 다른 것으로 나타났다. 즉 두께의 설계 두께의 약 1.67%, 휨강도의 경우 설계 휨강도의 약 3.33%가 감소되고 평탄성의 경우 설계 평탄성의 약 6.51%가 증가하면 포장의 설계 수명이 10% 감소하는 것으로 나타났다. 이번 연구에서 얻은 결론은 콘크리트 도로 포장의 지불규정인자인 두께, 휨강도, 평탄성이 도로 포장의 설계 수명에 미치는 영향의 비중은 두께 > 휨강도 > 평탄성의 순으로 나타났다. 본 연구는 AASHTO 피로 파손 공식에 한하여 분석하였으며 앞으로 다양한 연구와 실험을 통하여 각 지불규정 인자가 도로 포장의 수명에 미치는 영향에 대해 보다 심도 있는 분석이 필요할 것이라고 본다.

## 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. 김국환, 이병덕, 최고일, 양성철 (2003). “평탄성 지수 IRI와 PrI의 상관관계에 관한 연구”, 한국도로포장공학회논문집, 제5권, 제1호, pp. 11-18.
2. 서봉교 (2009). “콘크리트 도로 포장 품질 및 성능 향상을 위한 지불규정 개발 기초 연구”, 석사 학위 논문, 경희대학교.
3. Burati, J. L., Weed, R. M., hughes C. S., and Hill, H. S. (2003), “Optimal Procedures for Quality Assurance Specifications”, Report FHWA-HRT-02-095, Civil Engineering Department of Clemson University.
4. American Association of State Highway and transportation Officials (AASHTO) (1993). Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO.
5. Highway Research Board (1962). “The AASHO Road Test”, Special Report 61E, HRB, Washington, D.C.
6. Huang, Y. H. (1993). Pavement Analysis and Design, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.