

평탄성 영향요소 및 개선 효과

Effect Elements and Improvement for Roughness

김제원* · 유인균** · 이수형***

Kim, Je Won · Yoo, In Kyoon · Lee, Soo Hyung

1. 서론

도로포장은 안전하고 평탄한 노면을 경제적으로 제공하기 위해 도로에 설치되는 사회기반시설이다. 도로 건설 초기에는 국가 도로망의 확충을 목적으로 새로운 도로의 건설에 역량을 집중하여 도로의 건설이 중요시 되었으나, 지속적인 건설로 관리연장이 증가되고 이미 건설된 도로가 노후화되면서 그 기능이 저하되어 도로포장의 기능을 적정 수준으로 유지하는 일이 점점 중요하게 되었다.

우리나라 경우 도로포장의 기능을 지속적으로 적절한 수준으로 유지관리하기 위해 포장관리시스템을 운영하여 포장을 관리하고 있다. 매년 도로포장에 관한 현황 조사를 실시하고 그 조사결과에 따라 국가 정책, 제한된 예산, 조사 결과에 대한 도로 기술자의 판단 등을 종합적으로 고려하여 합리적인 도로포장의 유지관리를 수행하기 위해 노력하고 있다.

그러나 현재의 유지관리에서는 맨홀이나 교량접속부 등의 노면단차에 기인한 부분적인 평탄성 불량으로 인해 조사구간의 평탄성이 불량하게 조사된 경우에도 조사구간 전체에 대해 덧씌우기 등의 유지보수를 수행하고 있다. 포장의 평탄성은 승차감과 차량운행비용에 영향을 미치므로 평탄성이 불량하게 나타날 경우 관리자비용과 이용자비용을 모두 고려하여 가장 경제적으로 그 보수여부를 결정해야 하지만 이와 같이 조사구간 전체가 아니라 노면단차에 기인한 부분적인 평탄성 불량으로 인해 조사구간의 평탄성이 불량하게 조사된 경우에는 기존 노면단차 구간만을 보수함으로써 평탄성을 개선시킬 수 있다.

따라서 본 논문에서는 평탄성 변화에 따른 연료소모량 분석에 대한 기존 연구를 살펴보고 실제 평탄성 조사구간에 대한 육안조사를 실시하여 부분적으로 평탄성이 불량하게 나타나는 구간을 조사하고 부분적인 평탄성 불량 구간을 개선했을 경우의 효과에 대해 기술하고자 한다.

2. 평탄성 증가에 의한 연료소모량 증가

일반국도 포장관리시스템에서 경제성분석을 위해 사용하는 HDM(Highway Development & Management) 프로그램의 평탄성 변화에 따른 차량의 연료소모량을 계산하는 개요는 다음과 같다.

차량이 주행하면서 소모하는 연료소모량은 평탄성이 증가하면 타이어와 노면 사이의 구름마찰저항력이 증가하여 연료소모량이 증가하게 되는데, 수평곡률이 없는 도로를 일정한 속도로 주행하는 경우 차량의 주행저항력은 공기저항, 구름마찰저항, 구배저항력으로 구성되며 이중 구름마찰저항력은 평탄성에 의해 영향을 받게 된다. 이러한 주행저항력에 운행속도를 곱해주면 구동출력이 계산되고, 구동출력과 차량 주행중에 필요한 발전기, 에어컨 등과 같은 보조장치를 구동하기 위한 엔진보기류 구동출력을 더하면 전체 엔진출력이 계산된다. 이렇게 계산된 전체엔진출력에 HDM 매뉴얼에서 차종별로 제시된 연료-출력효율계수값을 곱하여 순간연료소모량을 계산하고, 이 순간연료소모량을 운행속도로 나누면 연료소모량 비율이 계산된다. 즉, 다음과 같은 순서로 연료소모량을 계산한다.⁽³⁾

$$\textcircled{1} \text{ 주행저항력} = \text{공기저항력} + \text{구름마찰저항} + \text{구배저항}$$

* 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 · 공학석사(E-mail: jehwonkim@kict.re.kr) - 발표자

** 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구위원 · 공학박사(E-mail: ikyoo@kict.re.kr)

*** 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 · 공학석사(E-mail: shlee1@kict.re.kr)



여기서, 평탄성과 관련된 구름마찰저항력을 계산하는 식은 아래와 같다.

$$\text{구름마찰저항력} = FCLIM \times CR2 \times (b_{11} \times NUM_WHEELS + CR1 \times b_{12} \times WGT_OPER + CR1 \times b_{13} \times V_{KP}^2)$$

$$FCLIM = 1 + 0.003 \times PCTDS + 0.002 \times PCTDW$$

$PCTDS$: 연중 강설기간의 비율

$PCTDW$: 연중 강우기간의 비율

$$CR2 = Kcr2 \times (CR_CR2_a0 + CR_CR2_a1 \times TD_{av} + CR_CR2_a2 \times RI_{av})$$

$Kcr2$: 구름저항계수

$CR_CR2_a0, a1, a2$: WGT_OPER 에 따른 매개변수

TD_{av} : 평균 샌드 패치 텍스처 깊이(mm)

RI_{av} : 평균 평탄성(IRI : m/km)

WGT_OPER : 운전자포함 차량무게

$$b_{11} = CR_B_a0 \times WHEEL_DIA$$

$$b_{12} = \frac{CR_B_a1}{WHEEL_DIA}$$

$$b_{13} = \frac{CR_B_a2 \times NM_WHEELS}{(WHEEL_DIA)^2}$$

$WHEEL_DIA$: 휠의 지름(m)

$CR_B_a0, a1, a2$: 모델 계수

NUM_WHEELS : 차량당 휠의 수

$$CR1 = \begin{cases} 1.0 & \text{타이어가 Radial일 경우} \\ 1.3 & \text{타이어가 Bias-ply일 경우} \end{cases}$$

- ② 구동출력 = 주행저항력 × 운행속도
- ③ 전체엔진출력 = 구동출력 + 엔진보기류 구동출력
- ④ 순간연료소모량 = 전체엔진출력 × 연료-출력효율계수
- ⑤ 연료소모량 비율 = 순간연료소모량 ÷ 운행속도

위와 같은 방법으로 주행저항력 중 평탄성과 관련이 있는 구름마찰저항을 제외한 나머지 값들을 고정시키고 평탄성을 변화시켜 HDM 프로그램을 사용하여 연료소모량을 계산하면 승용차 1대당 평탄성이 IRI 로 1m/km 증가할 경우 연료소모량은 100km 주행 시 약 80ml 정도 증가하는 것으로 계산된다.

이러한 계산결과를 검증하기 위해 교통량이 적고 충분한 직선구간이 확보되는 전북 군산시 새만금복로 소재의 군장어린이교통공원 앞도로, 옥산면 옥산리 소재의 농업용 도로, 충남 보령시 소재의 대천방조제 앞도로에서 배기량 1,600cc, 2,000cc, 2,700cc의 대표적인 승용차를 대상으로 연비측정기를 사용하여 평탄성 변화에 따른 연료소모량을 측정하였다.

측정 결과, 평탄성과 연료소모량의 관계는 1차 선형방정식으로 나타낼 수 있었으며 배기량별 평탄성 변화에 따른 연료소모량 측정결과를 평균하면 HDM 프로그램과 유사한 결과를 나타내었다. 즉, 승용차 1대당 평탄성이 IRI 로 1m/km 증가할 경우 연료소모량은 약 80ml/100km 정도 증가한다.⁽²⁾

3. 현장조사 및 분석

일반국도 포장관리시스템의 2010년 1차 조사자료 중 일반국도 39호선에서 임의의 1km 구간에 대한 평탄성 조사자료를 이용하여 현장조사를 수행하였다. 본 구간의 평탄성은 IRI 로 3.71m/km로 조사되었으며 조사 구간 시점 및 종점의 전경은 그림 1과 같고 1km 구간에 대한 평탄성 결과는 그림 2와 같다.



(a) 시점

(b) 종점

그림 1. 조사구간 시점 및 종점

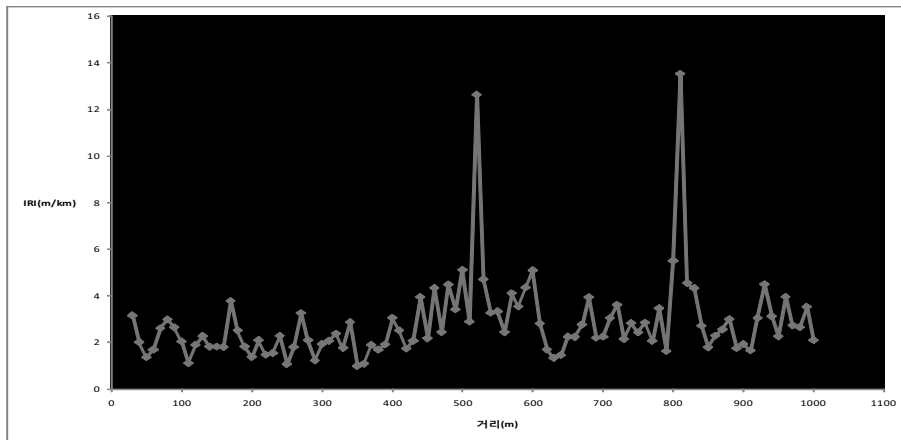


그림 2. 평탄성 조사 결과

조사된 데이터에서 평탄성이 매우 불량하게 조사된 구간(IRI 5m/km 이상)을 육안으로 확인한 결과, 이러한 구간은 주로 맨홀, 조인트의 단차, 소파보수 등에 의해 발생되었으며 이러한 구간의 대표적인 위치 및 포장의 상태는 그림 3과 같다.

평탄성 조사 결과를 육안으로 확인한 결과, 조사구간 전체의 평탄성에 비해 맨홀이나 조인트 등의 부분적인 노면단차에 기인한 평탄성은 상대적으로 매우 불량하게 나타났다. 평탄성은 운전자의 승차감에 직접적인 영향을 미치고 차량의 연료소모량에 영향을 미치므로 이러한 부분적인 노면단차 발생구간에 대해 절삭 및 채움을 통해 부분적으로 평탄성을 개선시킨다면 기존의 유지관리에 비해 상대적으로 적은 비용으로 승차감의 향상 및 전체적인 평탄성의 개선을 이룰 수 있을 것이다.

일례로 본 조사구간의 노면단차에 기인한 부분적인 평탄성 불량 구간을 절삭 및 채움을 통해 평탄성을 IRI로 2.5m/km로 개선시켰다고 가정하면, 조사구간 전체의 평탄성은 IRI로 3.71m/km에서 3.35m/km로 0.36m/km 개선되어 승차감의 향상을 가져온다. 또한 경제적인 관점에서 평탄성이 IRI로 0.36m/km 개선되었으므로 차량 1대당 28.8mℓ/100km의 연료소모량을 절감할 수 있다. 본 조사구간의 교통량은 25,704(대/일)이며 승용차로 가정하면 km당 일간 약 7.4ℓ의 연료소모량 절감이 가능하고, 연간 약 2701ℓ/km, 유류비를 1,600원/ℓ로 가정하면 연간 km당 약 4.3백만원 정도의 연료비 절감이 가능할 것으로 판단된다.

따라서 도로포장의 유지관리에 있어서 평탄성이 불량하게 측정된 경우 조사구간 전체에 대한 덧석우기 등의 유지보수 방법만을 수행하는 것이 아니라 부분적으로 평탄성이 매우 불량하게 나타나는 맨홀이나 조인트 등의 노면단차 구간에 대한 부분 보수를 수행하는 방법도 고려될 필요가 있다. 즉, 도로포장을 유지관리하는데 있어 운전자의 승차감 및 경제성을 고려하여 보다 면밀한 검토가 필요하다고 판단된다.

시점(m)	종점(m)	평탄성(IRI : m/km)
525.00	526.00	11.71
526.00	527.00	10.81



(a) 조인트 단차 및 소파보수

시점(m)	종점(m)	평탄성(IRI : m/km)
808.00	809.00	13.57
809.00	810.00	15.88



(b) 맨홀

그림 3. 평탄성 불량 구간(예)

4. 결 론

현재 도로포장의 유지관리는 조사구간의 평탄성이 불량하게 조사된 경우 조사구간 전체에 대해 덧씌우기 등의 유지보수를 수행하고 있으나, 덧씌우기를 수행하더라도 맨홀, 교량접속부, 조인트 등과 같은 노면단차가 발생하는 부분을 평탄하게 유지보수하지 못하는 상황이다. 그러므로 평탄성이 불량하게 조사된 경우에는 조사구간 전체가 그러한 것인지, 아니면 특정 구간의 조사값이 그러한 것인지를 고려해야 할 필요가 있다.

일반국도 포장관리시스템의 2010년 1차 조사자료 중 임의의 1km 구간에 대한 평탄성 조사자료를 이용하여 평탄성이 매우 불량하게 조사된 구간을 육안으로 확인하였다. 이러한 구간은 주로 맨홀, 조인트의 단차 등에 의해 발생되었으며, 이러한 노면단차 발생구간을 절삭 및 채움을 통해 부분적으로 평탄성을 개선시킨다면 상대적으로 적은 비용으로 승차감 향상 및 연료소모량을 절감시킬 수 있다.

본 조사구간의 노면단차에 기인한 부분적인 평탄성 불량 구간을 IRI로 2.5m/km로 개선시켰다고 가정하면, 조사구간 전체의 평탄성은 IRI로 0.36m/km가 개선되어 승차감이 향상되고, 연료소모량은 조사구간의 교통량 적용 시 km당 일간 약 7.4ℓ, 연간 약 2701ℓ 정도를 절감할 수 있다.

따라서 도로포장을 유지관리하는데 있어서 평탄성이 불량하게 측정된 경우, 노면단차 구간에 대한 부분 보수를 수행하는 방법을 고려하는 등 운전자의 승차감 및 경제성을 종합적으로 고려한 보다 면밀한 검토가 필요하다.

참고 문헌

1. 고광호, 유인균, 이수형, 김제원(2010), “도로 평탄성 변화에 따른 차량 연료소모량 변화율”, 한국방재학회 2010년도 학술발표대회 논문집
2. 한국건설기술연구원(2009), “평탄성 변화에 따른 연비측정 시험”
3. 한국건설기술연구원(2009), “HDM 프로그램의 차량운행비용 산정 알고리즘 분석”
4. J. B. Odoki, Henry G. R. Kerali(2000), “The Highway Development and Management Series ; Analytical Framework and Model Descriptions_volume four”