

포장 평탄성 개선을 위한 제안

(애리조나 주의 성공적인 포장 평탄성 개선 사례를 토대로)

강 장 환* · 조 윤 호**

1. 머리말

인터넷이라는 정보 창고를 여행하다가 국내에 소개할 만한 글이 있어 잠시 멈추고 회원들에게 소개하기로 했다. 다음에 소개하는 글은 그 내용이 특별히 전문적인 것도 아니고, 관련 분야의 공무원이 자기 업무에 대해 기록해 놓은 일종의 기술노트 같은 것이다. 저자들은 샌프란시스코에 있는 미 연방 도로청(FHWA, Federal Highway Administration) 산하 Western Resource Center에서 근무하는 포장과 재료 기술자인 Joe Massucco와 마케팅 전문가인 John Cagle이다. Joe Massucco는 30년 동안 FHWA에 근무하면서 아스팔트 포장분야에서 경험을 쌓아왔고, Arizona대학에서 학사와 석사를 취득했으며 고속도로의 포장설계와 도로의 운영과 건설방법, 건설재료 등을 연구해오고 있다.

우리 나라에서도 언젠가 하위 기술직 공무원이 자기의 공무원 생활 10년을 기념하기 위해 현장에서 경험한 것을 바탕으로 실무책자를 발간했는데 의외로 많은 이들의 필독서가 된 일이 있었다. 우리 기술자들도 자신이 담당하고 있는 분야에서 발견한 혹은 해결된 많은 문제들을 기록하는 습관을 가진

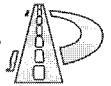
다면 건설업체가 좀 더 발전하는 계기가 되지 않을까 생각하고 정보 제공 차원에서 몇 자 적고자 한다. 더불어 국내 관련분야의 연구 현황을 살펴보고 향후 발전방향을 다 함께 생각해보고자 한다.

2. 애리조나주의 성공적인 포장 평탄성 개선 사례

미국의 FHWA는 주간 고속도로 시스템의 질을 높이기 위해서 필요한 작업을 알아보고 고속도로 이용자에게 대한 설문조사를 실시하였다. 1996년 5월 발간된 보고서 초안에 의하면 『고속도로 시스템에서 개선해야 할 것 중 최고로 중요한 것은 도로표면의 주행성을 향상시키는 것이며 이는 공공 시설에 대한 만족정도를 향상시키는 가장 확실한 방법』이라고 보고하고 있다. 이러한 조사결과를 바탕으로 FHWA 포장전문가들은 평탄성이 좋은 고속도로를 지향하는 애리조나주의 정책 방향에 주목하였고, 검토 결과 타당성이 검증되었으므로, 현재는 이 정책을 다른 주 교통 관련 부서에서도 사용하도록 권유하고 있다.

* 중앙대학교 박사과정, 건설교통부 광역교통기획단

** 정희원 · 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 조교수



에리조나의 경우 평탄성에 대한 신 개념을 지방서에 적용함으로써 그랜드캐니언(Grand Canyon) 고속도로 신설과 재포장 사업을 성공적으로 진행할 수 있었다. 예전의 사업과 비슷한 수준의 비용이 사용되었지만 평탄성이 27% 정도 개선되었으며, 유지보수 비용과 기간이 절감되고 도로 수명이 연장되는 등 부가적인 효과를 얻을 수 있었다. 에리조나주의 평탄성 좋은 고속도로는 일반 고속도로의 20년 수명에 비해 최소한 10% 이상의 수명 연장을 기대하고 있다.

2.1 에리조나주의 접근방법

에리조나주의 성공적인 도로건설 경험, 즉 평탄성 좋은 고속도로를 만드는 데 어떤 비밀이 숨겨 있지 않을까 하는 일반적인 의문이 들 수 있다. 혹 새로운 기술이나 배합 공법이 적용된 것은 아닐까 하는 생각이 들 수도 있을 것이다.

놀랍게도 대답은 매우 간단하다. 먼저 새로운 평탄성 기준을 정한 다음 그 기준을 달성하기 위해 시공자에게 특별한 주의와 노력을 기울이도록 요구한 것이다. 주 정부 차원에서도 새로운 기준을 결정하는 것은 매우 어려웠으며, 기술자들 역시 객관적으로 평탄성을 측정하기 위한 장비를 만들기 위해 장시간을 보내야 했다. 즉 예전에 사용되던 단순한 장비-도로표면에 직선자를 놓고 평탄성을 측정함-대신에, 운전자들이 시속 90km 정도로 주행할 때 느끼는 요철을 측정할 수 있는 장비를 개발해야 했다. 승차감을 객관적으로 측정하기 위해 에리조나주에서 채택한 장비는 국내에도 도입된 바 있는 프로필로미터(Profilometer)로서 측정의 객관성 및 정확성을 높이는데 크게 도움을 주었다.

에리조나주에서는 프로필로미터를 컴퓨터와 연결하고 고속도로를 주행하며 평탄성을 측정하였는데 이 장비를 이용해서 기존의 신설 고속도로에서 평탄성을 구한 결과, 평균 585mm/km라는

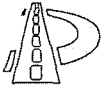
것을 알 수 있었다. 따라서 시공된 신설 도로가 이보다 평탄성이 좋은 경우는 인센티브를, 낮은 경우는 벌금을 부과하는 것으로 지방을 규정하였다. 새로운 평탄성 기준은 시공자들에게 별도의 노력과 장비가 요구되므로 금전적인 인센티브 제공은 타당한 것으로 보인다. 즉 에리조나 교통당국(ADOT, Arizona Department of Transportation)은 목표 평탄성을 특별 지방서에 추가하고, 목표를 달성할 경우에는 별도의 경비를 지불하였으며, 시공자들은 도로의 평탄성을 높일수록 더 많은 금전적 이익을 얻을 수 있게 됨으로서 노력을 기울이게 되었다.

그러나 결론적으로 에리조나주에서는 평탄성을 높이기 위한 추가 비용이 들지 않았다. 시공회사가 스스로 인센티브만큼의 입찰가격을 낮추어 공사를 수주하였고 따라서 주 정부에서는 추가 비용의 지불 없이 주행성 향상이라는 목표를 달성할 수 있었던 것이다.

2.2 인센티브

주행성 좋은 도로 건설을 위해 인센티브 제도의 도입에 있어 가장 어려운 점은 다음 두 가지였다. 시공자들이 만족할 수 있는 충분한 인센티브 제공과, 주 정부 관련 공무원들의 인식을 바꾸어 재원을 마련하는 것이었다. ADOT는 이러한 어려움을 해결하고자 다음의 5가지 원칙을 제시한 후 인센티브제를 도입 적용했다

- 1) 인센티브가 다른 공사를 위해서는 사용될 수 없다.
- 2) 인센티브 비용은 공사비보다 클 수 없다.
- 3) 평탄성은 정확하게 측정되어야 한다.
- 4) 초과된 평탄성은 ADOT에 의해 투명하게 확인되어야 한다.
- 5) 인센티브 공식은 투명해야하고 모든 입찰자에게 객관적으로 알려주어야 한다.



ADOT가 개정된 시방서를 이용하여 신설도로에서 높은 평탄성을 얻기까지는 여러 번의 시행착오가 있었다. ADOT는 인센티브 공사 초기에 참여한 3~4개의 시공회사와 함께 평탄성에 따른 이익과 위험부담을 산출할 수 있는 기준을 만들었다. 이 결과를 바탕으로 인센티브 금액을 전보다 2.5배 증액시키는 대신에 최소기준을 달성하지 못했을 때 부과되는 벌금도 역시 인센티브 수준이 되도록 시방서를 만들었다. 그 결과 시공자들은 인센티브를 얻기 위해 더 빨리 더 열심히 공사를 진행하게 되었다.

2.3 대화와 협력

애리조나의 경우 공사에 참여하는 각 부서간 중형 협력과 대화가 성공의 또 다른 중요한 인자였다. 평탄성 시방서에 참여하는 사람들은 시공 전 회의를 갖고 각자의 임무와 이의 성공적인 진행이 어느 정도의 인센티브를 얻게 되는지를 알게 되었으며, 이 과정을 통해 포장공사에 대한 자부심을 갖게되었다. 시공 감독들은 포장 기술자에게 포장은 일련의 단독작업이 아니라, 지속적인 협력을 통해 합심해야 하는 공동작업이라는 것을 자주 주지시켰다. 또한 플랜트의 혼합물 생산에서부터 운반, 포설, 다짐, 마무리까지 모든 공정에서 평탄성과 포장 두께 변화에 영향을 주지 않기 위한 품질 관리에 노력을 기울였다. 심지어 건설준비단계에서 수송트럭이 제시시간에 현장에 도착할 수 있도록 하기 위해 고속도로 경찰에 협조를 구하기도 했다.

2.4 장비의 올바른 활용

포장 재료를 포설하는 페이지의 경우 정지했다 다시 시작하는 사이에 스크리드 앞의 재료가 식어버려 굴곡(Bump)이 형성될 수 있으므로 평탄성을 제대로 관리하기 위해서 기본적으로 논스톱 포장 공정을 사용했다. 이외에도 트럭이 재료를

하차할 때마다, 혹은 다짐 로울러가 포장 표면에서 멈출 때마다 감독자는 위치를 표시하여 포장 표면에 굴곡이 생기지 않도록 관리했다. 로울러는 다짐 작업을 시방에 규정된 대로 정확히 시행하였으며 매트 위에 서지 않았고, 느린 속도로 페이지를 주행시킴으로써 다짐도를 높이고 평탄성을 개선할 수 있었다. 포설 작업이 완료된 후에는 원하는 평탄성을 얻기 위해 절삭과정, 성형과정, 표면정리 과정 등 세 번의 과정을 거치기도 하였다.

이와 같이 애리조나주에서는 평탄성을 명시한 시방서와 초과 인센티브 제도의 도입, 대화와 협력을 통한 시공사의 효율적 업무 수행, 올바른 장비 운용을 통해 주행성이 좋은 포장을 제공할 수 있었다.

3. 국내의 평탄성 관리 현황

포장의 평탄성이 좋아야 한다는 것은 도로기술자라면 주지의 사실로 알고 있다. 그러나 이미 '97년 자동차 1000만대 시대를 맞이했고 자동차 2000만대 시대를 예고하고 있는 현시점에서조차, 포장의 질보다 공사 물량을 우선하는 정책은 지속되고 있다. 더군다나 80년대 도로건설에 경험이 많은 숙련된 포장감독 대신에 경험이 상대적으로 적은 민간업체가 감리 업무를 진행하고 형식적인 포장 표면 검사로서 품질관리를 대신하는 경우가 가끔 발견되는 것이 또한 국내 현실이다. 본 절에서는 국내에서 사용되고 있는 평탄성 관련 시방 기준을 살펴보고 문제점을 살펴하고자 한다.

3.1 국내 평탄성 측정 방법

국내 시공현장의 포장 평탄성 시험방법에는 7.6m Profile Meter가 주로 사용되고 포장평가를 위해서는 APL이 채택되고 있다. 측정 위치는 각 차선 우측 단부에서 내측으로 80~100cm 부근에서 중심선에 평행하게 측정하는 것으로 그림 1에

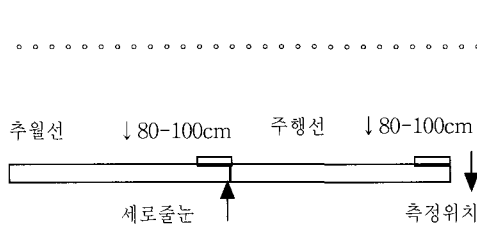


그림 1. 평탄성 측정 위치도

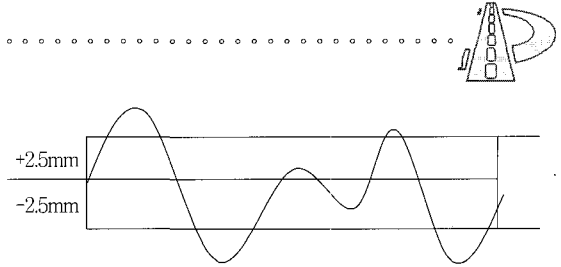


그림 2. 평탄성(PrI) 계산 방법

자세하게 나와 있다.

측정시기에 대한 규정의 경우 아스팔트 포장에 아예 없으며 콘크리트 포장은 마무리를 마친 후 콘크리트가 충분히 경화된 시점에서 조사하도록 하고 있다. 측정빈도는 중방향 평탄성의 경우 차로마다 전 연장을 1회씩 측정하도록 하고 있으며, 횡방향 평탄성은 시공이음부를 기준으로 차량 진행방향으로 50m마다, 혹은 평탄성 수정 부위마다 시험토록 하고 있다.

측정방법은 시험 전에 해당 부위를 깨끗하게 청소한 후 일정한 속도를 유지하면서 측정하되 1일 시공 연장을 기준으로 시공 이음 1개소를 반드시 포함하도록 측정단위를 정의하고 있다.

3.2 평탄성(PrI) 계산 방법

측정된 종단 프로파일은 평탄성을 나타내는 지수인 PrI(Profile Index)로 계산되는데 계산 과정은 다음과 같다.

1단계: 중심선 설정;

측정 단위별 기록지의 파형에 대하여 중간치를 잡아 중심선으로 함

2단계: Blanking Band;

중심선을 중심으로 상하 ±2.5mm 평행선을 작도

3단계: PrI 계산;

Blanking Band를 벗어난 형적의 수직고 합계를 cm 단위로 환산하여 전체 측정연장으로 나누어줌으로 중방향 평탄성 계산은 다음과 같다

$$PrI(\text{cm}/\text{km}) = \sum hi/L$$

hi : 평행선을 벗어난 파형의 높이

L : 측정구간의 연장

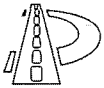
3.3 평탄성 관리기준

본선 포장의 중방향 평탄성 관리 기준은 포장 형식에 따라 다르다. 일반국도의 신설 포장에 사용하고 있는 기준은 콘크리트 포장의 경우 PrI=16cm/km 이하이고, 아스팔트 포장의 경우 PrI=10cm/km 이하이다. 확장공사나 덧씌우기 공사는 PrI=16cm/km 이하로 하고 있으며 교량 및 접속부, 그리고 IC 및 램프는 PrI=24cm/km 이하로 기준을 두고 있다. 단 PrI가 기준치 이하라도 기준선(Band)에서 5mm이상은 시정토록 관리하고 있다. 예외가 적용될 수 있는데 아스팔트 포장의 경우 장비 투입이 불가한 지역이거나 R=600m 이하인 구간 그리고 종단구배가 5% 이상인 구간은 24cm/km 이하로 관리할 수 있다. 또한 1일 포장 PrI가 24cm/km 초과 시에는 작업을 중지하고 원인분석을 통하여 문제점을 제거한 후에 포설 하도록 하고 있다.

콘크리트 포장의 경우는 임의의 점과 계획고의 차는 ±3cm이하로 유지하되 아스팔트와 같은 예외 구간은 24cm/km 이하로 관리할 수 있다. 참고로 AASHTO의 평탄성 관리 기준은 16cm/km 이하이다.

3.4 불량부위 시정

현재 일반 국도의 경우 불량 부위는 제거 후 재시공을 원칙으로 하고 있다. 아스팔트 포장의 경우는 노면절삭 및 팻칭 등을 하고 있으며 콘크리트는 Grinding, 먼갈기 작업등이 채택되고 있다.



3.5 국내 평탄성 관리의 문제점

PrI라는 지수를 이용하여 평탄성을 관리하고 있는 국내 현실은 도로 평탄성의 중요성에 비해 수동식 장비 운용과 관리 기준의 미비, 과정 시방에 따른 한계 등의 문제점을 지니고 있다. 이러한 문제점을 정리하면 다음과 같다.

첫째는 평탄성 관리기준의 문제를 들 수 있다. 예를 들어 콘크리트 포장의 경우 국내 관리 기준에는 단차가 30mm로 되어있고 평탄성 지수도 외국에 비해 상대적으로 높게 되어있다. 이러한 기준은 수동식 포장도 많았고 경험도 짧았던 콘크리트 포장 도입 초기에 마련된 것이므로 재검토가 필요하다.

둘째는 측정 장비의 문제이다. 품질관리에 필요한 신속 자동형 측정 장비 제공이 이루어지지 않음으로 수동식 장비로 작업이 진행될 수밖에 없고 이는 작업자의 의지에 따라 측정치가 달라질 수 있기 때문이다. 수동식 장비는 분석결과가 측정 후 바로 나오지 않고 실내에서 수작업을 통해 분석을 진행함으로써 그 결과의 신빙성을 더욱 떨어뜨리는 결과를 가져오고 있다.

셋째는 시공 과정 위주의 현 시방서 작성에 있다. 결과 시방을 채택하지 않으므로 공사 과정의 재료나 인력 배치에만 관심을 두게 되는데 이는 결과가 아무리 좋거나 나쁘더라도 시공사는 채택이나 당근을 받을 수가 없게 되어 있다. 평탄성이 좋을 경우 인센티브를 도입하여 주행성 좋은 포장을 얻은 애리조나의 경험은 좋은 예가 될 것이다.

넷째는 불량부위 시정에 치유 대책만을 정의하는 점이다. 한번 공사가 잘못된 경우 치유에는 아무리 좋은 유지 보수 공법을 적용한다고 하더라도 근원적인 해결책이 될 수가 없다.

4. 표준 평탄성 지수의 소개

현재 전 세계적으로 채택 사용되고 있는 평탄성 표시자는 국제 평탄성 지수로 번역될 수 있는

IRI(International Roughness Index)이다. 이 지수는 각국에서 달리 사용되고 있는 지수들을 통일하기 위해 세계 은행이 주축이 되어 개발한 것으로 향후 국내 포장 평탄성 평가 역시 이 지수를 이용하게 될 것이다.

국제 평탄성 지수는 1982년 세계은행 등의 후원으로 미국, 영국, 프랑스, 벨기에, 브라질 등 5개국 연구기관이 공동으로 참여하여 브라질에서 다양한 장비를 이용하여 개발한 지수이다. IRI는 요철로 생기는 차량의 덜컹거림을 나타내는 정류경사(RS : Rectified Slope)의 평균값을 의미하는데 먼저 포장의 프로파일을 측정하고 25cm 간격으로 읽어 들인 각각 데이터 포인트에서의 정류경사 평균값을 Quarter car 모형을 통해 구하게 된다. 이 결과는 m/km로 나타나는데 차량의 주행한 거리동안에 차축의 수직운동 누적값을 의미한다. 현재 국내에는 신설 포장의 평가에는 PrI, 국도 포장의 평가시에는 QI 등이 사용되고 있는데 이들 지수와 IRI의 관계는 표 1과 같다.

표 1. 각 평탄성 지수간의 관계식

평탄성 지수	관계식	단위
QI (Quarter car Index)	$QI=14*IRI-10$	m/km
IRI (International Roughness Index)	$IRI=(QI+10)/14$	m/km
PrI(Profile Index)	$PrI=-12.456+13.28*(IRI)+4.78*(IRI)^2$	cm/km

주) '98.12 국도포장의 평탄성 예측모델 개발 한양대 대학원 송인준 석사학위 논문

평탄성 지수만을 이용하여 포장 파손을 객관적으로 나타내기는 매우 어렵다. 왜냐하면 평탄하기는 하지만 낮은 강도의 거북등 균열이 다수 존재하는 아스팔트 포장이나 20년 이상 시간이 경과하여 많은 양의 표면 손상을 가진 콘크리트 포장의 경우 이들 지수 값이 매우 좋게 평가되는 경향이 있기 때문이다. 그러나 이들 지수와 주행성과의 관계는 객관적으로 평가가 가능할때 표 2는

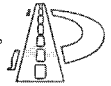


표 2. 포장도로의 평탄성 지수와 주행성 관계

QI	PrI	IRI	IRI	주행성
-10	-12.46	0		
18	33.22	2	1-3	120km/h이상 속도에서도 쾌적, 요철, pothole, corrugation 등의 문제가 없음
46	117.14	4	4-5	80km/h의 속도에서 흔들림이나 진동을 다소 느낌.요철, pothole, patching 등의 문제가 다소 있음
74	239.30	6		흔들림이나 진동을 심하게 느낌. 요철, pothole, patching 등의 문제개소가 많음
102	399.70	8	7-8	
130	598.34	10	9-10	흔들림이나 진동이 심함. 요철, pothole, patching 등의 문제개소가 매우 많음
158	835.22	12	11-12	50km/h이상의 속도는 곤란함. 도로상태가 극히 불량함

주) '98.12 국토포장의 평탄성예측모델 개발 한양대 대학원 송인준 석사학위 논문

한 예를 보여주고 있다.

5. 평탄성 개선을 위한 정책 과제 개발

평탄성 관리를 통한 도로의 안전성 향상과 수명 연장 및 그에 따른 예산 절감을 얻기 위해서는 다음과 같은 정책 연구과제가 진행되어야 할 것이며 이들의 연구 성과가 도로에 적용되어야 할 것이다.

■ 평탄성 관리기준의 상향조정

현행 평탄성 관리기준은 자동차 성능과 인간 공학적 측면이 고려되지 않고 외국의 기준을 참고하여 도로 관리청이 임의로 작성한 것으로 자동차의 성능과 승차감, 평탄성이 인체에 미치는 영향, 평탄성의 경제적 효과에 대한 연구를 실시하여 평탄성 기준을 재정립하여야 한다.

- 최소 평탄성 기준의 정립
- 관리기준을 달성하기 위한 시방서 개정

■ 평탄성의 화폐 가치화

평탄성이 왜 중요한지를 알려줄 수 있는 정량화 작업이 현재는 전무한 상태이므로 이들과 포장 수명 및 승차감과의 관련 정보가 객관적으로 도출되어야만 한다.

- 승차감의 계량화: 노면 요철과 승차감과의 관계 정량화 필요.

- 평탄성 개선이 포장수명 연장과 교통소통에 미치는 영향
- 평탄성 목표에 대한 인센티브와 페널티 부여 방안 연구

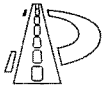
■ 평탄성 측정시기의 개선

평탄성 측정시기에 대한 기준 없이 포장면 관리를 위하여 발주청이 임의로 정하여 사용하고 있는 관행을 바꾸어야 한다. 예를 들어 기층 포설 직후와 표층 포설 직후, 양생후, 준공검사시, 개통후 2개월내, 하절기 최고온도시 등으로 세분하여 기준을 설정함이 타당할 듯하다. 예를 들어 Rutting은 교통개방 초기인 2-6개월 사이에 많이 발생하므로 평탄성하자보증금을 예치하여, 교통개방 후 2개월내 1회, 여름 하절기 온도가 높을 때 1회 측정하여 기준에 미달되는 경우 재포장을 실시하는 등 기준 정립이 필요하다.

- 신설 포장의 경우 포장 형식별 평탄성 측정 시기의 결정

■ 평탄성 검사 방법의 개선

현행 평탄성 측정은 신설 포장의 준공검사를 위해 실시되는 것으로 포장 직후에 실시한 경우는 주로 포장두께를 관리하기 위한 수단으로, 양생후 측정된 평탄성 지수는 시험 데이터를 작성하기 위한 수단으로 사용되는 실정이다. 평탄성 불량은 결삭 등 포장구조 결함의 원인이 되므로 전문적으로 포장의 평탄성을 관리할 수 있는 인



력 및 장비의 개발과 아울러 플랜트를 관리할 수 있는 인력을 양성하여 현장에 배치하는 것이 필요하다.

- 평탄성 측정장비 개발
- 포장 평탄성 측정 전문인력 개발 및 배치기준 정립
- 평탄성 불량구간의 개선 기준 마련

현 기준은 기준치보다 높은 부분만 절삭 또는 밀링 하도록 되어 있고 기준보다 낮은 경우 별도의 개선방법이 제시되어 있지 않으므로 구체적인 개선기준을 마련

- 기존포장의 경우 : 기준보다 높은 경우, 낮은 경우
- 신설포장의 경우 : 기준보다 높은 경우, 낮은 경우

사무실 이전 안내

우리 학회 사무실이 2001년 2월 26일자로 아래 장소로 이전하였습니다.

서초 월드오피스텔 1512호실

주소 : ☎137-862 서울시 서초구 서초동 1355-3

전화 : (02) 525-7147~8

팩스 : (02) 525-7149

