

## 교통문제 포장공학으로 해결한다

조 운 호 \*

지금부터 소개될 이야기는 엉뚱한 소리 같이 보이고 일부는 잠자다 꿈 꿴다라고 말할 수도 있다. 일부 식자는 학문적 소외 받은 자의 궤변이라고 말할 수도 있고 또 다른 식자는 국부적인 사실의 지나친 확대 해석이라고 말할 수도 있다. 그러나 도시화가 진행되고 인구가 집중함으로 인해 발생하는 교통 문제의 해결책으로 포장 공학이 궁극적인 해결책이 될 수 있다는 주장은 다음과 같은 관점에서 논리적이다.

### 교통관련 문제는 지체, 안전, 환경으로 대별된다.

교통 지체는 서울, 부산 등 대도시에서 살고 있는 현대인들에게 일상사가 되어 버렸다. 시간과 장소를 가리지 않고 하루에 여러 번 경험한다. 수요가 공급을 초과함에 따라 발생하는 출퇴근 시간 및 휴일 고속도로 등의 정기적인 지체를 비롯하여 도로, 상하수도, 전기, 가스 등의 각종 공사로 인해 발생할 수 있는 비정기적 지체 현상도 자주 목격하게 된다. 교통 지체를 해결하기 위해 사용될 수 있는 각종 기술과 이론 및 관련 정책 등을 연구하는 것이 현재 교통 공학 관련 연구자의 주된 역할이다.

교통 지체를 해결하기 위해 노력하고 있는 많은 분들이 전통적으로 접근하는 방법은 미시 경제 이론을 근거로 공급을 확대하는 것이다. 수요가 많으니 공급을 확대하여 해결할 수 있다는 생각이다. 물론,

고속도로 및 일반 국도 신설에 많은 노력을 기울여온 과거의 교통 지체 극복 노력은 어느 정도 성과를 거두었다. 건설공사를 통하여 차로의 증가를 목적으로 하는 확장 사업에서 벗어나 기존 차로를 효율적으로 쓰려는 노력 예를 들어 버스 전용 차로 제공 등을 통한 용량 증가 등도 평가 받을만하다. 최근에는 공급 확대에 따른 지체 극복 노력이 한계를 보임에 따라 수요를 분산시키거나 전환시키려는 수요 관리 개념이 도입되어 확대 적용중에 있다. 그러나 많은 이론이나 현장 관측 가운데 포장공학이 교통 지체 해결에 도움을 준다는 학자나 이론가는 단 한 사람도 찾을 수가 없다. 즉, 동일한 도로라도 포장 상태가 좋으면 용량이 증가한다고 주장하는 단 한 편의 논문도 찾을 수가 없다.

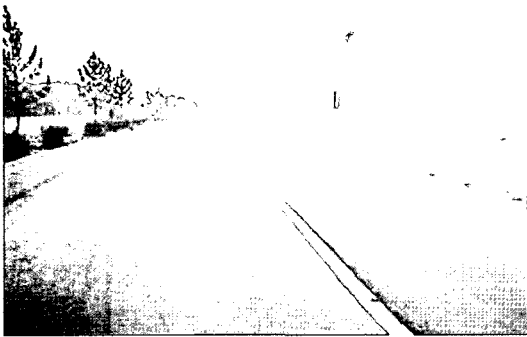
### 도대체 포장공학과 교통 지체는 무슨 상관이 있단 말인가?

교통 지체를 어떻게 포장 공학의 발전을 통해 감소시킬 수 있을까하고 의아해 하는 분들이 많을 것이다. 간단하게 아스팔트나 콘크리트 등의 양질의 재료로 깨끗하게 포장된 도로와 흙이나 골재 등의 값싼 재료로 신설된 비포장 도로를 비교해 보자. 비포장 도로는 속도를 낼 수 없을 것이고, 당연히 많은 차량의 운전자들은 포장 도로를 선호하게 될 것이다. 용량은 비교할 수 없을 정도이다. 그러므로 현대 도로

\* 정회원 · 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 부교수



비포장 도로



포장 도로

그림 1. 포장 표면에 따른 용량의 증가.

는 포장 도로를 기본으로 하고 있다. 비포장 도로와 포장 도로간의 비교가 비 논리적이라면, 포장 도로 상태에 따라서 용량은 얼마나 차이가 날까?

다차로 고속도로의 용량 산정에 사용되고 있는 도로 용량 편람(HCM, Highway Capacity Manual)에서는 교통량에 따라 자유 속도가 변하고 교통량과 속도의 관계에서 구해지는 밀도에 따라 서비스 수준 및 용량을 정의하였다. 자유 속도란 차량이 거의 없는 이상적인 상태에서 도로 이용자가 선택한 속도로 정의된다. 다차로 도로의 경우 도로상의 교통류 흐름 자료를 바탕으로 속도와 교통량을 현장에서 수집한 후 이를 수학적인 모형으로 표현하고, 그 기율기에 해당하는 밀도를 이용하여 서비스 수준에 따른 용량

을 정의할 수 있다. 따라서 모든 조건이 동일하다면 자유 속도가 높은 도로의 경우가 용량이 높다고 볼 수 있다. 용량이 속도의 함수이므로 포장 상태에 따라 속도가 달라짐을 보일 수 있다면 교통 지체를 해결하는데 포장이 중요하다고 말하는 것은 합리적이다.

즉, 포장 상태에 따라 자유 속도가 변화된다면 좋은 포장 상태 유지가 교통 지체를 해소할 수 있는 하나의 근거가 됨을 보여줄 수 있는 것이다. 비 포장 도로와 포장 도로의 경우, 동일한 선형조건이라면 자유 속도가 확연하게 차이가 날 것이다. 포장도로의 경우는 어떠한가? 외국에서 조사한 자료에 따르면 포장의 중방향 거칠기를 나타내는 국제 평탄성 지수가 떨어짐에 따라 국가별로 다르기는 하지만 일정하게 속도가 저하된다고 보고하고 있다. 최근에 본 연구실에서 조사한 자료에 따르면, 동일한 도로 기하조건에서 승용차의 경우 포장 상태가 악화됨에 따라(IRI 2.61저하) 평균 7.7kph정도의 속도 저하가 관찰되었다. 그 많은 좋은 포장은 용량 증가에 기여해왔음을 알 수 있다.

일상적인 지체이외에도 각종 공공 이용시설물의 공사나 교통 사고 등으로 인한 비정기적인 지체 역시 도시인이 흔히 경험하고 있다. 상하수도 설치 공사란 비롯하여 전기 가스 통신 시설 등의 매설 작업 그리고 지하철 공사 등의 교통 서비스 제공 업무 등을 받

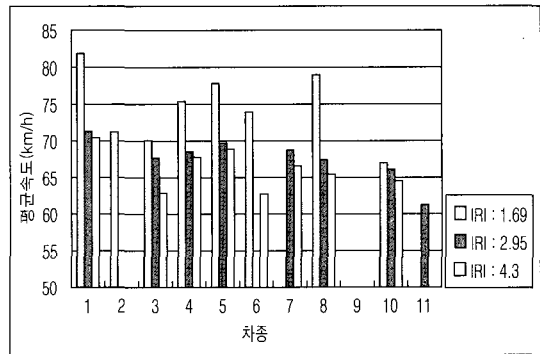


그림 2. 포장상태에 따른 차종별 속도 변환 (박지윤, 2003. 중앙대학교 석사 논문)

할 수 있다. 이외에도 경제가 발전함에 따라 차량이 대형화 중량화되고 이는 포장의 조기 파손을 유도하여 잦은 유지 보수 업무가 진행됨에 따라 매년 경험하는 지체 역시 무시할 수 없다. 고질적인 문제점으로 지적되고 있는 품질관리 미비 문제나 비 적절한 공법 선정 등으로 인하여 단기간에 덧씌우기가 자주 진행되는 등의 문제점 역시 지체가 자주 발생토록 하는데 일조를 하고 있다. 덧씌우기 공법으로 아스팔트가 선정되는 가장 큰 이유중의 하나가 바로 교통지체를 막기 위한 조치라는 점은 이 사실을 반증하고 있는 것이다. 따라서 합리적인 공법 선정과 설계 및 시공 공정의 과학화로 현 포장 관리 관련 업무를 절반으로 줄일 수 있다면 도로 관리비용 등의 직접 경비 감소는 물론 차량 지체 등의 간접비용을 해결할 수 있는 아주 중요한 토대를 제공하는 것이다.

이상과 같이 합리적인 포장선택 및 관리를 통해 용량을 증가시킬 수 있고 따라서 도로의 지체를 해소하는 데 일조할 수 있으므로 포장 공학은 최대 교통문제를 해소하는데 중요하다는 주장은 정당하다.

### 교통 안전과 포장공학과 의 관계는 여러분도 금방 이해가 될 것이다.

도로설계시 차량이 안전하게 정지할 수 있는 안전제동 거리의 확보는 필수적이다. 제동 거리는 차량의 속도의 제곱에 비례하고 마찰계수와 진행 방향 도로 기울기의 반비례한다.

마찰계수가 크면 클수록 제동거리를 짧게 확보해도 되는 것이고 이는 도로 안전 확보에 많은 도움을 주게 된다. 특히 곡선부에서 마찰계수의 확보는 제한된 공간에서 도로를 건설하려는데 시거에 의해 어려움을 겪고 있는 설계자에게 필수적인 요소이다. 마찰계수는 기본적으로 신설 포장이 크고 노후화된 포장에서 적은 경향을 보여주고 있는데 교통 하중 재하 횟수와 포장 마찰 특성간의 관계는 최근 활발하게 연구되고 있다. 과거에는 개통되는 도로 구간 일부에 시험 단면을 시공하고 주기적인 현장 조사 자료를 가

지고 반복 하중 수와 표면 거칠기 사이의 관계를 설명하는 경우가 많았다. 그러나 최근에는 통제된 상태에서 하중 반복 재하 장비를 이용하여 재하 횟수와 표면 마찰 계수의 변화를 연구하는 경우가 활성화되었다. 2003년 프랑스의 LCPC 연구진은 TRB모임에서 원형 가속 촉진기를 이용하여 하중 횟수와 마찰계수와의 관계를 살펴본 결과 일정 하중까지 변화가 없다가 급격하게 마찰 계수가 저하되는 현상을 보고하였다. 특히 최대 골재 크기나 골재 배합 그리고 표면 다듬기 정도에 따른 마찰력의 변화 양상을 살펴보는 연구가 활발하게 진행되고 있으며 덧씌우기 기준에 마찰 계수 등이 포함되어 있는 유럽의 최신 경향을 감안할 때 적절한 포장 표면 다듬기는 도로 안전과 떨어질 수 없는 중요한 주제이다.

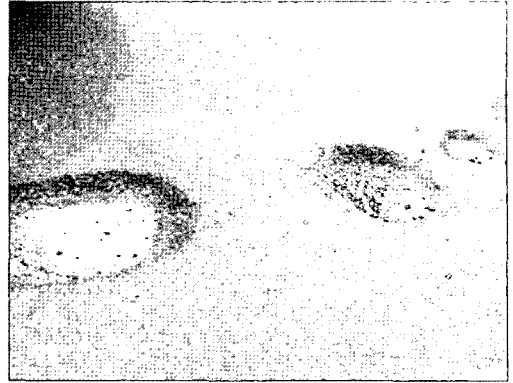
교통 사고와 포장 마찰계수와의 관계는 미비해 보일지 모른다. 속도가 증가함에 따라 마찰계수는 감소하는 경향을 보여주는데 실제 도로상에서 측정된 포장 마찰 계수 대부분이 설계 기준치보다 높게 나오고 발표되기 때문이다. 그러나 비 오는 날이라도 심각한 문제가 아니라고 주장하는 사람들은 <그림 3>에 포장 파손을 눈으로 보지 못한 책상 앞의 전문가일 것이다.

포장표면에 나타나는 러팅이나 구멍패임 (pothole) 그리고 균열 등에 의해 저하되는 주행 안전도는 그 심각성을 아무리 강조해도 지나치지 않는다. 비 오는 날 러팅이 심한 도로 위를 달려본 사람은 운전이 얼마나 위험한 곡예인지 알 수 있을 것이다. 특히 트럭의 주행 궤적을 따라 움푹 파인 도로에 승용차를 몰고 달리는 운전자의 입장에 놓였다고 가정해 보라. 비가 많이 내려 패인 고랑을 따라 물이 고여 있고 그 위를 미끄러지듯이 달린다고 가정해 보라. 물위에서 수상 스키를 타듯이 운전하는 것인데 이는 상상만으로도 소름 끼치는 일이다. 포장이 안전과 관련이 없다는 인식은 쉽게 고쳐질 수 있을 것이다.

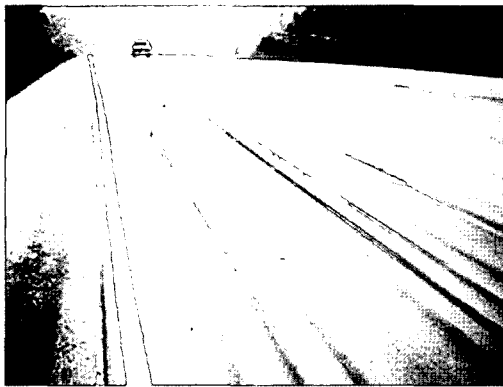
눈 오는 날 도로를 주행해 본적 있는 사람은 또 다른 경험을 갖게 된다. 터널 접속부나 교량 그리고 음지인 곳의 도로 위에는 상당기간 눈이 얼어 있게 되



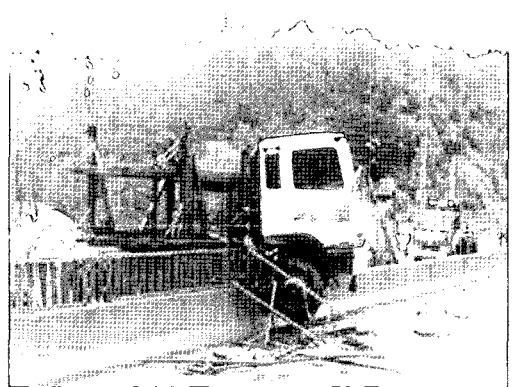
거북등 균열



Pothole



Rutting



빗길 미끄러짐

그림 3. 포장 파손과 주행 안전성

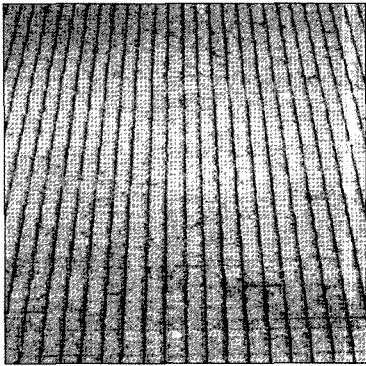
고, 곧 위험한 상황을 경험할 수도 있게 된다. 반면, 제설 장비나 포장 발열 장치 혹은 특수 신소재 등을 이용하여 눈을 빨리 치우거나 녹게 하여 빨리 원 상태로 회복시킨 포장 위를 주행하는 경우는 최악의 상황을 피하게끔 할 것이다. 아스팔트 포장에 고무 계통의 재료를 첨가하여 아스팔트 혼합물의 열 흡수 능력을 크게 하여 눈을 빨리 녹게 하는 기술은 앞서가는 포장공학자의 연구성과이다.

### 교통환경 문제를 포장으로 해결한다고?

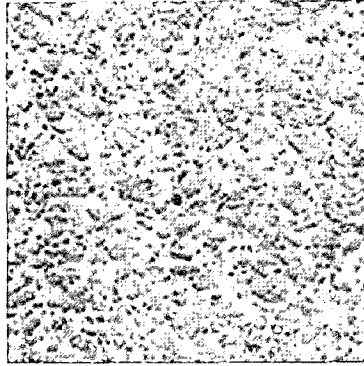
교통 관련 환경 문제는 크게 대기 오염과 소음으

로 구분할 수 있다. 포장과 대기 오염간의 관계는 상관성이 떨어져 보인다. 환경 문제가 속도와 관련 있고 따라서 포장도 영향을 미친다고 할 수 있으나 이렇게 확대하는 것은 필자도 비논리적으로 판단된다.

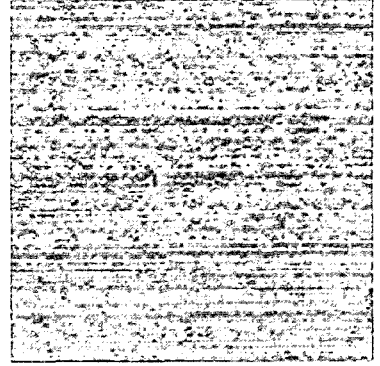
그러나 소음의 경우는 상황이 달라진다. 도로의 경우 발생하는 소음은 차량관련 '기계 소음'과 타이어와 포장 표면의 접촉에서 발생하는 '타이어 소음'으로 나눌 수 있다. 저속의 경우 기계음이 지배하나 60-80kph라는 속도를 지날 경우 후자가 더 큰 지배 요소로 알려져 있다(NCHRP 268). 기계 소음을 줄이려는 시도는 음향학을 전공하는 사람들의 주된 관심사였고 어느 정도 한계에 도달한 것으로 판단된다.



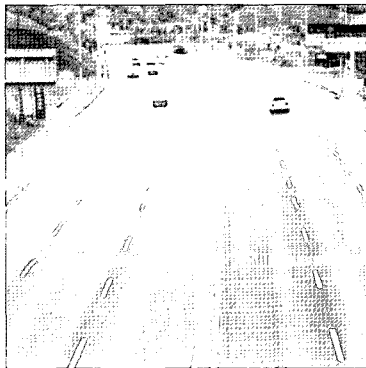
종방향 타이닝



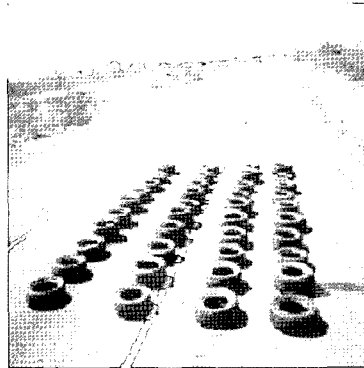
골재노출공법



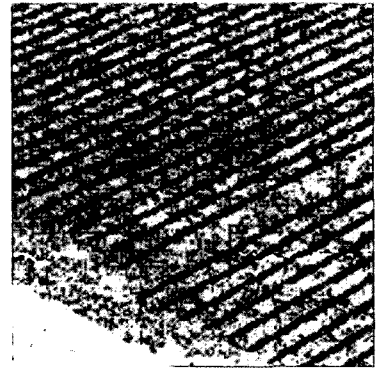
잔디떼끼기



포러스아스팔트



고무아스팔트



그루빙

그림 4. 포장 표면 처리

그러나 포장 표면의 상태를 변형 또는 개선하여 소음을 줄이려는 시도는 많이 이루어지지 않았다. 아스팔트의 경우 다양한 배수성·투수성포장을 적용하여 소음을 줄이려는 노력이 최근에 시행되고 있다. 그러나 콘크리트 포장의 경우 아스팔트 포장에 비해 약 3-5dB정도 높은 소음이 발생함에도 불구하고 국내의 경우 이를 개선하려는 노력은 많지 않다. 미국의 경우 포장 표면 조직의 개선을 통해 3-5dB정도의 소음 절감 효과를 얻을 수 있다고 보고하고 있다 (NCHRP 268). 방음벽을 설치하여 얻을 수 있는 소음 절감 효과가 10dB정도이고 더군다나 고층의 경우 전혀 효과가 없음을 감안할 때 포장 표면 구조 개선의 노력이 얼마나 영향이 절대적인지 알 수 있는

좋은 지표이다. 아스팔트 포장의 경우도 골재의 배합을 이용하여 소음을 줄일 수 있는 다양한 포장 재료가 개발되어 활용 중에 있어 소음 절감 효과는 가시적으로 나타날 것이다. 타이어와 포장 표면에서 발생하는 소음은 조절이 가능하다. 따라서 포장을 이용하여 환경 문제를 절감시킬 수 있다는 근거 또한 명확하다.

### 포장 공학을 이용하여 심각한 교통 문제를 저감시킬 수 있다

차로 확대를 통하여 해결할 수 있는 교통 문제는 한 두 가지에 불과할 것이다. 표지를 정비하는 것 역

시 마찬가지로이다. 신 교통 시스템을 도입하는 것 역시 교통 문제를 해결할 수는 있으나 다른 문제를 가져올 수 있을 것이다. 그러나 포장도 도로나 공항, 철도 등 교통시설물의 경우 문제해결에 큰 역할을 함에도 불구하고 경험적인 학문으로 멈추어선 토목 구조물이다. 기존 도로의 포장을 개선하고 신설 도로의 포장 형식을 최적화함으로써 얻을 수 있는 효과는 언급한 것 이상일 것이다. 그러나 국내 교통 학회의 홈페이지나 관련 학과를 보더라도 포장과 관련된 강의 내용은 발견하기 어렵다. 미국의 토목과에 개설된 교통전공 대학원 석 박사 과정에서 다루는 과목 중 일부만을 가지고 한 과를 만들었으니 학문이 질적이나 양적인 면에서 발전하지 못하는 측면이 없지 않다. 지나치게 세분화된 강의 내용에 따라 배출된 교통관련 학부 학생들은 다시금 토목 기사를 시험 보기 위해 노량진의 구석진 학원을 찾고 있는 것이 현실이다.

포장 공학의 중요성을 인정 못하고 있는 국내 기술자들의 현실 인식에 안타까울 따름이다. 온도유지와 피부 보호를 위해 등장한 옷의 기본적인 역할이 무시되고 패션으로서 혹은 신분 과시용으로서 옷을 인식하는 현대인의 모습처럼 포장 역시 도로의 일부분이므로 그냥 시공하면 되는 그러한 시설물로 인정하는 현장 기술자의 인식에 안타까운 면도 있다. 도로 기술자 역시 대부분이 포장에 무지하고 초급기술자가 하루 보고서 작업하면 되는 그런 저런 시설물로

인정하는 현실에서 포장의 중요성을 아무리 강조한들 제 밥그릇 챙기려는 소인배의 모습으로 인식될지도 모른다.

### 포장 공학은 교통문제 해결의 주역이다.

그래도 포장 없는 도로는 없다. 도로의 기능은 결국 포장을 통해 완성되기 때문이다. 편리한 도로는 포장이 평탄해야 구현된다. 빠른 도로 역시 포장이 달성될 수 없다. 안전한 도로는 두말 할 필요도 없다. 그래서 주장하는 것이다. 포장공학이 교통 문제 해결의 주역이라고... 포장 공학의 발전은 현대 국가에서 발생하는 교통 문제 해결의 단단한 초석이 될 것이고 이를 연구 개선하려는 우리 포장 기술자야말로 국가 최대 현안 중의 하나인 교통 문제 해결의 첨단 병사임을 명심해야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 박지윤, 도로 포장 상태를 고려한 속도예측모델 연구. 2003. 중앙대학교 석사 논문
2. ACPA, Relationship Between Pavement Surface Texture and Highway Traffic Noise, NCHRP Synthesis 268, by Roger L. Wayson, 1998.