국내 콘크리트 포장 현황과 문제해결을 위한 노력

엄주용 / 한국도로공사 콘크리트포장연구실장

우리나라의 고속도로는 과거 경제 기적이라는 타이틀에 한 몫을 할만큼 세계적으로도 유례를 찾아볼 수 없는 양적 팽창을 이루어냈으며 이는 현재도 계속되고 있다. 이러한 우리 고속도로의 양적 팽창은 외국과 비교되는 여러 측면들을 가지고 있다. 우선 상황 변화에 따라 발전 가능성이 거의 무한하다는 장점을 갖고 있다. 이는 국토의 통일을 상정한 것으로서 단순히 북한 지역의 고속도로 건설은 물론 접경한 중국과 러시아의 고속도로 건설에도 중추적인 역할을 할 수 있기 때문이다. 이러한 예상은 현재 중국내 고속도로는 최하급인 것으로 보고되고 있으며 러시아의 경우도 이미 한국도로공사에 기술적인 지원을 요청하고 있는데 그 근거를 두고 있다. 이러한 청사진에 기초할 때 향후 일본의 경우와는 양상이 다른 대륙간 교역의 골격을 우리 손으로 형성할 수도 있다 하겠다. 그러나 이러한 전망을 차질없이 수행하기 위해 우리 도로기술자들이 반드시 해결해야 할 과제 또한 막중하다고 할 수 있다. 이는 우리 나라의 기후조건이 상대적으로 건설재료의 성능저하를 크게 유발할 수 있다는 점과 우리의 중하중 교통량이 세계적으로도 손꼽힐만큼 과중하다는데서 그 원인을 찾을 수 있다.

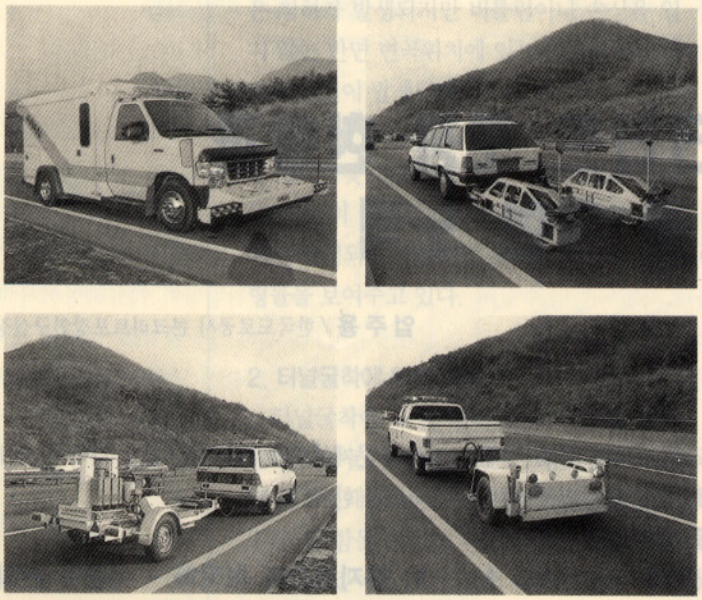
본고에서는 이러한 맥락에서 현재 한국도로공사 콘크리트포장연구실에서 수행하고 있는 연구과제를 중심으로 국내 콘크리트 포장의 문제해결을 위한 연구들을 간략히 소개하고자 한다.

1. 유지보수의 최적화 - 사용자 편의성과 보수효율성의 제고

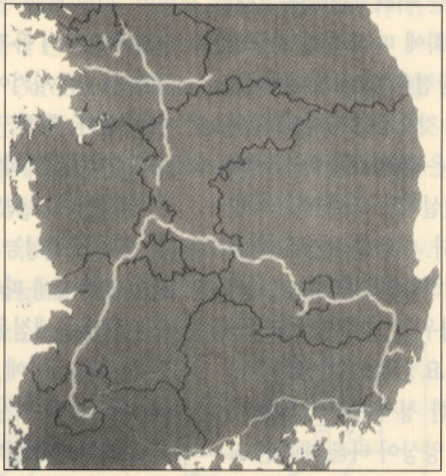
고속도로의 유지보수는 신속성, 공용성, 안전성을 만족시켜야 하는 지극히 어려운 작업에 속한다. 특히, 현재의 인력과 장비로는 보수대상의 현황 파악에만도 어려움을 겪고 있는 실정이며 고속도로와 같이 긴 연장의 도로일 경우 포장성능저하의 정도를 파악하는 기준이 조사자에 따라 주관적일 수밖에 없다는 근본적인 문제점을 내포하고 있다. 이러한 실정은 세계 각국에 걸쳐 공통적이며 따라서 이에 대한 대책 역시 자국의 고유한 여러 조건을 고려하여 수립되고 있다.

1) 포장유지관리체계

포장유지관리체계(Pavement Management System ; PMS)는 교량유지관리체계(Bridge Management System ; BMS), 터널유지관리체계 (Tunnel Management System ; TMS), 안전유지관리체계(Safety Management System ; SMS) 등과 더불어 주요 토목구조물의 유지관리체계의 한 축을 형성하고 있다. PMS에 대한 선진국들의 관심은 대단히 높은 편이고 싱가포르와 같은 도시형 국가에서도 이의 구축에 진력하고 있으



(그림 1) 포장유지관리체계 구축용 측정장비



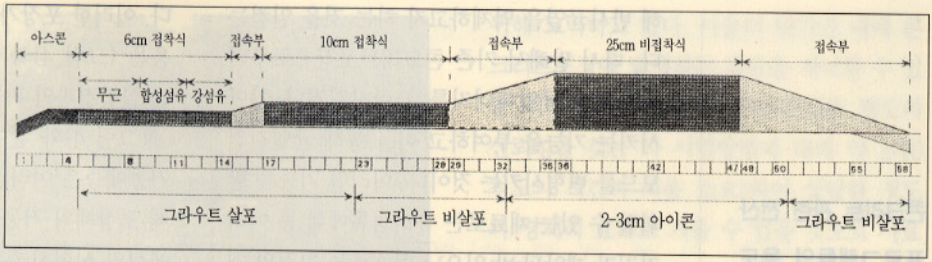
(그림 2) 포장유지관리체계상의 도형 및 노면상태정보

며 말레이시아 등과 같은 개발도상국에서도 현재 연구수행중인 것으로 보고되고 있는 바 우리 나라에서도 역시 더 이상 미룰 수 없는 과제라 할 수 있다. 이러한 PMS는 앞에서 언급한 바와 같이 신속하고도 객관적인 포장조사를 고속도로 전 연장에 걸쳐 일률적으로 수행하고, 이와 같이 얻어진 각종 성능저하지표를 데이터베이스화하는데 첫째 목표를 두고 있다. 이를 위해서는 기존의 인력의존형 상태조사방법이 아닌 고속주행간의 자동측정이 필요하다. 기존의 조사방법은 우선 조사자의 주관적 판단이 개입되며 조사자의 안전 확보가 어렵고 무엇보다도 조사를 위한 교통통제시 물류의 저해를 유발할 수 있다는 점에서 점차 증가하는 조사대상물량을 소화하기 어려운 실정이다. 따라서 한국도로공사는 94년도부터 4년여에 걸쳐 이에 대한 연구를 시작하여 97년 현재 실무부서에서의 시험가동을 실시하고 있다.

(그림 1)은 현재 한국도로공사의 포장유지관리체계구축을 위해 가동 중인 측정장비이다. 좌측상단으로부터 시계방향으로 노면상태조사장비, 평탄성측정기, 미끄럼저항측정장비, 구조지지력 측정장비인데 이 가운데서 노면상태조사장비는 시속 80km/hr의 속도로 주행 중에 스트로보라이트의 작열시 발생하는 음영의 픽셀차이를 통해 포장상의 균열상태를 조사하는 장비이다. 이를 통해 얻어진 이미지는 고도의 이미지프로세싱 작업을 통해 자동으로 데이터화되며 이러한 정보들은 (그림 2)의 도형정보시스템과 연계되어 보수이력 등의 제 정보와 함께 입력된다. 이러한 데이터는 독자적으로 개발한 포장유지관리체계논리(EXPMS)를 통해 분석되고 여기서 보수우선순위, 최적보수공법 등을 제시하게 되며 이 경우 조사 및 분석작업상의 시간적, 경제적효과는 물론 합리적인 보수시기와 공법을 통해 장기공용성과 같은 포장보수의 효과를 극대화시킬 수 있다.

2) 고내구성 조기개방 콘크리트 덧씌우기 보수공법

콘크리트포장의 유지관리체계가 포장보수의 소프트웨어적인 측면이라면 이 절의 내용은 일종의 하드웨어적 측면이라 할 수 있다. 조기개방 콘크리트 덧씌우기 공법은 기존의 아스팔트 덧씌우기나 콘크리트 포장의 단점들을 동시에 해결하고자 시도된 공법이다. 기존의 아스팔트 포장은 신속한 시공이 가능하나 초기에 소성변형 등이 발생할 수 있으며



(그림 3) 미분말 슬래그를 이용한 조기개방 콘크리트 덧씌우기 시험시공 단면도

특히 장기 공용성을 확보하기 어렵다는 것을 단점으로 들 수 있다. 또한 콘크리트 포장의 경우에도 아스팔트 덧씌우기에 따른 문제점들은 해결가능하나 장기간의 양생이 필요하므로 신속한 교통개방이 요구되는 포장보수에는 부적합한 것으로 취급되어 온 것이다. 따라서 기존 콘크리트 포장의 강도 이상을 단기간에 발현하는 콘크리트 덧씌우기가 가능할 경우 이용 범위가 상당할 것으로 판단한 것이 본 연구의 제안배경이었다. 이를 위해서는 소요강도를 단기간에 안정적으로 발현할 수 있는 시멘트 개발 혹은 배합설계가 필수적이며 아울러 이를 통해 생산된 콘크리트의 최적단면을 결정하는 것이 요구된다. 본 연구에서 사용된 시멘트계 재료로는 지금까지 여러 연구자들에 의해 시도된 바 있는 실리카 흄이나 속경 혹은 초속경시멘트와 기존 공정을 변경해야 하는 재료의 선정을 지양하고 상대적으로 강도 발현 및 내구특성이 안정적인 시멘트계 재료를 구상하였다. 이를 위해 S양회 중앙연구소와 공동으로 미분말 슬래그 시멘트를 개발하였고 기본 실내실험을 거쳐 소정의 성능을 확인하였다. 슬래그를 콘크리트에 혼용할 경우 장기강도를 증진시키는 효과가 있음이 여러 연구로부터 입증되었으나 재료의 입자가 상대적으로 불균일하다는 점 때문에 광범위한 적용은 제한되어 왔다. 그러나 이를 미분말로 잘게 분쇄할 경우 미립화에 따른 효과는 물론 입자의 크기를 일정하게 조절할 수 있으므로 슬래그의 단점을 보완한 형태로 사용가능하였다. (그림 3)은 이러한 조기개방용 슬래그를 이용하여 지리산 IC부근에서 연장 290m에 걸쳐 시험시공을 실시한 단면을 도시한 것으로써 현재까지 양호한 공용상태를 나타내고 있다. 준비기간을 포함하여 총 8일에 걸쳐 시공완료하였으며 콘크리트 양생에 소요된 기간은 3일이었다.

3) 노면반사균열 억제방안 연구

현재 콘크리트 포장에 대한 보수보강은 상당기간 중하중교통량을 소화해야한다는 측면에서 그 품질 확보가 더욱 강조되는 항목이라 할 수 있다. 그러나 이러한 콘크리트포장에 대한 보수보강에는 콘크리트포장의 고유한 특성에 따른 문제점이 내재하고 있으며 콘크리트포장상의 줄눈이나 균열이 보수보강재를 통해 전파되어 발생하는 반사균열이 그것이다. 이러한 반사균열은 정도의 차이는 있으나 보수보강단면 전체에 대한 사용성을 크게 저하시키는 요인으로 지적되고 있어 선진 외국에서도 이에 대한 연구가 활발한 실정이다. 특히 국내의 경우 사용연한에 근접하는 도로를 중심으로 이에 대한 문제점들이 제기되기 시작하고 있으며 이는 시간의 경과에 따라 기하급수적으로 증가할 것으로 예상된다.

따라서 현 시점에서 노면반사균열을 억제하는 대안의 제시는 시급히 이루어져야할 과제라 할 수 있다.

이러한 노면반사균열 억제방안은 크게 물리적인 방법과 화학적인 방법으로 나눌 수 있다. 이 가운데 물리적인 방법은 노면반사균열의 원인을 제공하는 콘크리트포장면으로부터 보수되는 아스팔트나 콘크리트 보강면을 분리하는 일종의 Bond Breaker 역할을 통

콘크리트 관련 전산 프로그램들의 용도는 단순한 형태의 데이터 시트부터 각 배합별 콘크리트 강도 및 수화도 추정에 이르기까지 다양하다.

해 반사균열을 억제하고자 하는 것을 일컫는다. 다시 말해서 기존 콘크리트포장으로부터 올라오는 균열에너지를 교란시키거나 차단시키는 기능을 부여하고 이를 통해 균열진전 모드를 변형시키는 것이다. 이러한 기능을 발휘할 수 있는 재료로는 유리섬유메쉬 등 여러 가지가 제안된 바 있으나 현재로는 최적의 재료를 선정하기 어려운 단계이다. 화학적인 방법은 보강면의 인성을 증대시켜 균열에너지에 대한 저항성을 부여하는 방법으로써 고무계 아스팔트 등을 들 수 있으며 현재 도로공사에서 연구수행 중이다.

이러한 노면반사균열억제가 성공적으로 이루어질 경우 포장공용성 제고 및 사용수명 연장을 기할 수 있고 향후 포장유지관리체계상의 포장성능저하 예측모듈로 활용이 가능하다.

2. 시험기법 및 현장기술자 지원프로그램의 개발 - 가속시험과 현장기술자 지원을 위한 노력

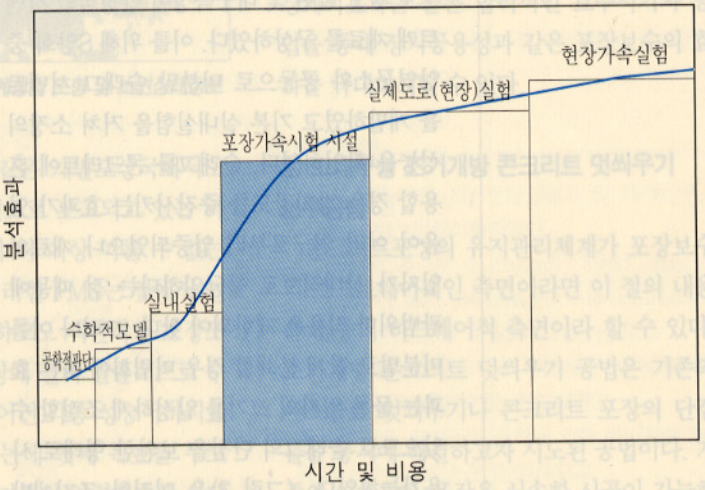
1) 포장가속시험 시설의 개발

포장체의 손상거동분석과 이에 대한 적절한 대책의 수립은 포장분야의 중점적인 연구과제이다. 따라서 선진외국의 경우 다양한 형태의 포장가속시험시설을 구축중이거나 현재 운용중이다. 일례로 현재 미국에만 연방도로청 산하 도로연구소외 12곳에 운용중 또는 신규설치계획중이며 유럽에 7단체, 기타 6단체에서 포장가속시험기를 보유하여 여러 방면으로 실험하고 있다. 이러한 포장가속시험시설의 가장 주된 효용은 (그림 4)와 같은 신속하고도 신뢰성있는 실험결과의 획득에 있다.

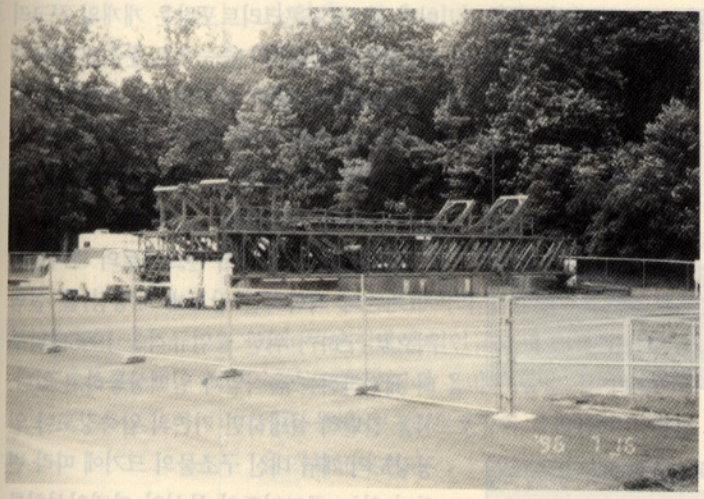
(그림 4)와 같이 실내실험을 통한 포장체 거동예측은 여러 단계의 상사효과로 인해 실제 포장체의 거동을 적시하기 어려우며 현장에서의 시험시공은 막대한 비용과 시간이 소요된다는 문제점이 있다. 따라서 적절한 규모와 성능의 포장가속시험시설이야말로 현 단계에서 가장 효과적인 포장시험방법이라 할 수 있다.

그러나 이러한 포장가속시험시설은 비교적 일반화된 시험주로와는 달리 현재 여러 모델들이 기대했던 성과를 거두지 못하는 것으로 보고되고 있는 바 기종선정과 설계 및 운용에 있어 신중을 기해야 한다.

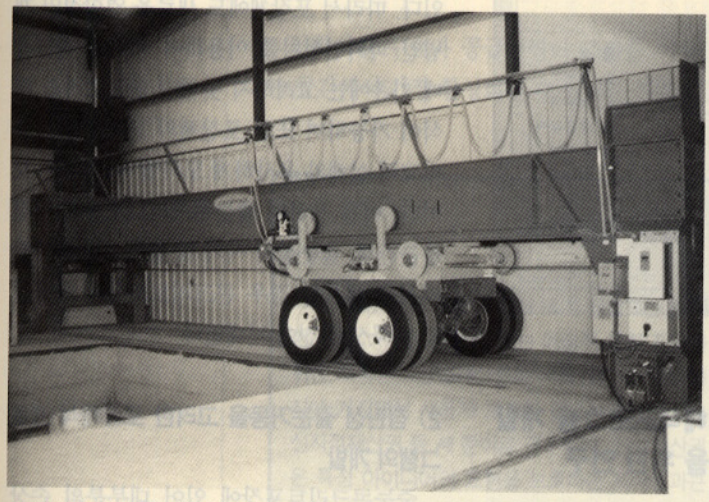
(그림 5)는 남아프리카 공화국에서 처음 제안되어 현재 미 연방도로청 도로연구소(TFHRC)에서 운영하고 있는 ALF (Accelerated Loading Facility)이다. 현재 2대를 보유중이며 한 대의 가격이 200만 달러를 상회하는 고가의 장비로서 주로 아스팔트의 공용성 및 재료선정에 이용하고 있다. (그림 6)은 캐나다주 도로국이 보유한 장비로 현재 캐나다 주립대학에 위치한 ATL(Accelerated



(그림 4) 포장가속시험시설의 효과 비교



(그림 5) 미 연방도로청 도로연구소(TFHRC) 보유 ALF(Accelerated Loading Facility)



(그림 6) 캔사스주 도로국 보유 ATL (Accelerated Testing Laboratory)

Testing Laboratory) 장비이다. 이 장비는 ALF에 비해 상대적으로 저렴하며 실내에 설치된 선형실험장비이다. 현재 아스팔트는 물론 콘크리트포장에 대해서도 적용성을 검토중이다.

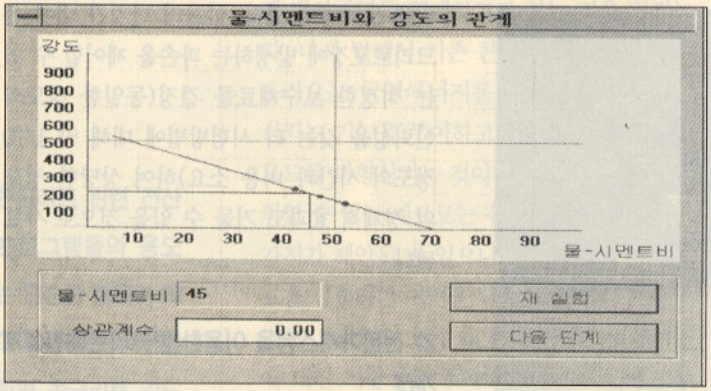
본 연구실에서는 이러한 자료들에 기초하여 우리나라의 도로실정에 적합한 기종선정은 물론 자체설계 및 제작을 위한 연구를 수행중이며 기존 포장가속시험 시설모델의 기능과 실제 포장에 대한 환경요인까지 고려할 수 있는 진보된 형태의 독자 모델을 제작하기 위해 노력하고 있다. 아울러 단기간 내에 콘크리트포장에 발생하는 파손을 제어할 수 있는 적정한 보수재료를 결정(동일한 정도의 신뢰성을 갖는 타 시험방법에 대해 약 1/10 정도의 시간과 비용 소요)하여 상당한 정도의 경제적 효과도 거둘 수 있을 것으로 사료된다.

2) 전문가시스템을 이용한 콘크리트배합설계 개선

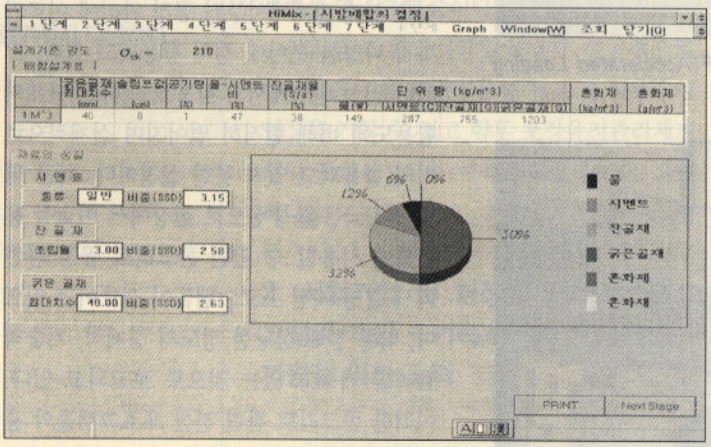
현재 건설 공사에 있어 컴퓨터를 이용한 작업은 설계 단계에서부터 공정 관리에 이르기까지 다양한 분야에 걸쳐 활용되고 있다. 그러나 건설 현장에서의 활용도는 다른 단계의 활용도에 비해 현저히 떨어지며 실제적으로 거의 활용되고 있지 못한 실정이다. 최근 몇몇 선진국들을 중심으로 현장에서 비교적 용이하게 사용할 수 있는 콘크리트 공정 관련 의사 결정 지원 프로그램들이 선보이고 있으며, 이를 통해 상당한 정도의 경제적, 기술적 효과를 거두고 있는 것으로 보고되고 있다. 이러한 콘크리트 관련 전산 프로그램들의 용도는 단순한 형태의 데이터 시트부터 각 배합별 콘크리트 강도 및 수화도 추정에 이르기까지 다양하다. 현재 이러한 프로그램들 중 상당수가 상용으로 판매되는 단계에 이르고 있으며 일정 기간 사용 후 구매를 결정하는 쉐어웨어(Shareware)형태로 인터넷상에 올라와 있다.

본 연구실에서는 급격한 기술개방의 추세와 현재 선진외국의 연구동향을 감안하여 국내 실정에 부합되는 콘크리트배합설계관련 프로그램을 개발하였으며 향후 본격적인 현장기술지원용 의사결정프로그램으로 발전시키기 위해 노력하고 있다.

프로그램의 이름은 HiMix로 결정하였고 (그림 7), (그림 8)과 같이 그래픽 인터페이스를 지향하여 사용자 편의성에 초점을 두었다.



(그림 7) HiMix 상의 물-시멘트비 강도 관계도



(그림 8) HiMix 상의 시방배합결과

3. 포장단면개선 - 해석프로그램 개발 및 포장설계법 구축을 위한 연구

1) 파괴역학을 이용한 포장해석 프로그램의 개발

우리 고속도로에 있어서 줄눈콘크리트포장(JCP) 공법은 앞으로도 상당기간 주요한 포장형식으로 자리매김할 전망이며 현재 시공후 10여년 이상 경과한 구간들이 많아지면서 여러 파손형태에 대한 보수시기와 방법들에 대한 정립이 요구되고 있는 시점이다. 이를 위해서는 줄눈콘크리트포장의 거동 및 파손형태에 대한 보다 근본적인 연구가 필요한데 그 중의 한 연구 방향은 기존 줄눈콘크리트포장의 해석이 콘크리트 슬래브 상판 하나에 대해서만 시행되고 있다는 것에 주목한 것이다. 즉 줄눈콘크리트포장은 개개의 콘크리트 슬래브 이음부가 줄눈으로 분리된 형태가 아니라 줄눈을 통해 연속적으로 이어진 포장체라는 가정에 근거한 것이다. 이러한 연구노력은 미국 ACI, ASCE, ASTM과 더불어 유럽공동체의 RILEM, ASMES, ETHZ, WTA 학술단체 등에서 콘크리트의 파괴인성치(기존의 역학적인 강도에 해당함)를 실험적으로 구하기 위한 공업규격을 1996년말부터 제정하려는 움직임과 일맥상통하고 있다. 이를 간단히 설명하면 기존의 압축강도나 인장강도의 개념 대신 구조물의 크기에 따라 변하지 않는 콘크리트의 물성인 파괴인성치를 이용하여 구조물을 설계하려는 것이라 할 수 있다. 따라서 포장체에도 새로운 역학적인 개념인 파괴인성치를 이용하여 해석을 하였을 때 기존에는 고려하지 못했던 줄눈효과의 해석이 가능하며 또한 포장체의 잔여수명 등을 비교적 실체와 유사하게 모사할 수 있다는 것이다. 이를 통하여 줄눈콘크리트포장의 적정 줄눈간격, 줄눈설치 시기 및 줄눈깊이에 대한 지침을 제시할 경우 콘크리트포장의 공용성 및 내구성 증진이 기대된다.

2) 점탄성 줄눈거동을 고려한 포장해석 프로그램의 개발

줄눈콘크리트포장에 있어 대부분의 손상(Distress)은 줄눈부에서 발생하며, 이에 관련된 손상형태로는 Blow Up, Corner Break, Faulting, Water Bleeding, Joint Spalling 등을 들 수 있다. 이러한 손상은 줄눈콘크리트포장 파손의 심화를 초래하고 있으며 이에 따라 막대한 유지관리비가 소모되고 있다. 그러나 줄눈콘크리트포장의 손상원인에 대한 연구는 주로 줄눈충진재료의 물성 등에 국한되어 수행되어 왔으며 역학적인 해석을 시도한 예는 선진외국의 경우에도 극히 제한적으로 보고되고 있을 뿐이다. 특히 줄눈부에 사용되는 Sealant의 물성에 대해서는 현 시점에서 어떤 거동을 적시하여 규명된 바

가 없다고 볼 수 있다. 이와 같이 줄눈콘크리트포장의 손상원인에 대해서 일반적인 탄성론보다 Visco-Elasticity에 근거하여 역학적으로 해석을 수행할 경우 손상원인에 대한 보다 자세한 규명이 가능하고, 각기 주어진 환경에 대해 줄눈콘크리트포장에 가장 적합한 Sealing 재료와 시공방법의 도출이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구를 통해서는 줄눈부 손상발생 원인규명 및 대책 수립과 줄눈콘크리트포장에 올바른 줄눈 설치방법 제시를 통해 콘크리트포장의 유지관리비 저감을 기하고자 한다.

4. 결 언

공학이란 수요와 공급능력이 조화를 이루는 공간에서 가장 활성화될 수 있다는 가정에 기초할 때 우리 나라에서 콘크리트 공학자 혹은 콘크리트포장 기술자로 일한다는 것은 어쩌면 대단한 행운일 수 있으며 또 그만큼 부담스러운 상황이라는 생각을 간혹 하게 된다. 현재와 같은 기술개방의 압력 아래서 갈수록 높아만 가는 사용자의 욕구를 충족시키기 위해서는 저렴하면서도 견고한 포장성능을 신속하게 제공해야 한다는 부담 또한 주어진 현실이라 할 수 있겠다.

이러한 상황의 타개를 위해 현재 본 공사에서 수행하고 있는 콘크리트 포장관련 연구과제들에 대해 살펴보았다. 이들 과제 중 상당수는 한국도로공사 현장의 기술자들이 제안하거나 단서를 제공한 것들인 만큼 이 글을 읽어주시는 여러 기술자 여러분의 고언 또한 추후 연구에 많은 도움이 될 것으로 믿어 의심치 않는다.

지재권은 産財 · 저작권의 포괄 개념

지적재산권은 보호 목적상 크게 산업재산권(과거 공업소유권), 학문적 또는 예술적 문화 창달을 위한 저작권, 산업재산권과 저작권의 성격을 동시에 가지면서 새롭게 보호할 필요성이 대두되는 신지적재산권 등 세 분야로 구분된다. 산업재산권은 특정 아이디어의 표현을 보호하는 저작권과는 달리 신기술이나 상품의 표장 등 아이디어 자체를 보호하며 출원, 심사 등록이라는 절차를 거쳐 권리를 부여한다. 여기에는 특허권, 실용신안권, 의장권, 상표권 등 4개의 권리가 포함된다.

신지적재산권은 컴퓨터 프로그램 제작과 반도체회로의 배치설계기술과 관련한 산업저작권, 위성통신 등 첨단정보기술과 동물 미생물관련 생명공학기술과 관련한 첨단산업재산권, 기업의 영업활동 정보와 영업비밀 등을 포괄한다.

특허권은 산재권 중 가장 고도의 기술성을 가진 것으로 특허로 등록되기 위해서는 산업상 이용가능성, 신규성, 진보성이라는 세가지 요건을 충족시켜야 한다. 그러나 이런 요건에 맞아도 공공질서나 선량한 풍속을 해치고 공중위생을 저해하는 발명이면 제외된다.

실용신안권은 자연의 법칙을 이용한 기술적 창작으로 물품의 형상 구조를 대상으로 하며 특허보다는 기술 고도성이 약간 떨어진다. 일례로 전화기 자체 개발은 특허대상이 될 수 있으나 송수화기가 분리돼 있던 것을 일체로 해 편리하게 만든 형상이나 구조는 실용신안의 대상이 된다.

의장권은 물품의 형상이나 모양 색채 또는 이들이 결합한 것으로 시각을 통해 미적 감각을 일으키는 것을 말한다. 탁상전화기를 반구형이나 네모꼴로 한 것과 같이 물품의 외관에 대한 형상이나 모양 또는 색채에 관한 디자인을 새롭게 개발하면 일단 의장권을 부여받을 수 있다.

상표권은 상품을 생산, 가공, 증명, 판매하는 사람이 자기 업무에 관련된 상품을 타인의 상품과 식별하기 위해 기호, 문자, 도형 또는 이들을 결합한 것을 말한다. (매일경제신문 5월 19일자 참조)