

국내 콘크리트포장 기술 현황 및 발전방향

서영찬*

1. 머리말

아스팔트 포장에 비해 수명이 길고 유지관리비가 적게들며, 적어도 소성변형과 같은 치명적인 문제가 없다는 이유로 이제 우리나라의 콘크리트 포장은 아스팔트 포장과의 경쟁 레이스에서 안정권에 든 듯해 보인다. 영호남을 잇는 88고속도로(1983년 개통)를 시작으로 본격화된 국내 콘크리트 포장기술은 중부고속도로(1987년 개통)를 통해 비약적인 발전을 하게되었고 지금에 이르렀다. 실제로 중부고속도로의 경우 지금까지 비교적 양호한 상태로 공용중이며 설계수명 20년 사용은 무난할 것으로 보인다.

그러나 중부고속도로의 설계 및 시공 기술은 이 분야 선진국의 1980년 전후의 기술로서 지금까지 약 20년이 지나면서 지속적으로 기술개발이 이루어졌다. 우리나라에서는 콘크리트 포장의 기본 문제로 당연시하고 있는 문제점인 장기간의 양생시간이 필요한 점, 차량 주행시 소음 문제 등에 대해 유럽, 미국 등지에서는 적극적으로 해결방안을 모색하여 이미 실용화한 상태이며 포장수명을 늘릴 수 있는 다양한 공법들이 개발되어왔다.

본 고에서는 국내 콘크리트 포장의 문제점에 비추어 이 분야 선진국들의 적극적 해결 노력들을 소개함으로써 국내 콘크리트 포장의 향후 기

술개발의 방향 수립에 작은 도움이 되고자 한다.

2. 설계측면⁽¹⁾

콘크리트 포장에서 설계란 필요한 곳에 필요한 품질의 재료를 필요한 만큼 투입할 것을 계획하는 것으로서, 노반이나 갓길을 포함한 전체 포장구성요소가 차량하중 및 환경화중에 대해 온전한 기능을 유지할 수 있도록 유기적으로 연결시키는 작업을 포함한다.

국내 콘크리트 포장의 설계 수준은 10여년의 고속도로 설계경험을 토대로 두께, 줄눈설계 등 대부분이 표준화되어 어느 정도 정착된 모습을 보여주고 있다. 그러나 이것은 잘 정리된 설계의 한 방법이기는 하나 포장의 수명 또는 경제성 측면에서 최선의 설계라고 보기는 어렵다. 표준화된 설계에는 다분히 과다설계인 요소가 많으며 또 어떤 부분은 취약부로서 그대로 남아 있는 경우가 많다.

우리가 배울만한 이 분야 선진국들의 콘크리트 포장설계의 특징은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 덧석우기시의 교통처리를 고려한 차로폭 설계
- 변단면 슬래브 두께 및 바깥차선 슬래브 확폭
- 다웰바 배치 개선
- 배수성 보조기층 도입

* 한양대학교 교수(suhyc@email.hanyang.ac.kr)

2.1 덧씌우기시의 교통처리를 고려한 차로폭 설계

도로 관리자의 입장에서 포장보수시 해결해야 할 가장 큰 숙제가 보수시의 교통처리 문제이다. 아스팔트 포장의 경우 덧씌우기라 하더라도 양생기간이 짧으므로 교통이 비교적 한산한 야간에 끝내버릴수도 있으나 콘크리트 포장의 경우 현실적으로 어렵다.

독일의 차로폭은 그림 1에서 보는 바와 같이 우리나라 고속도로보다 약간 넓은 3.75m로서 왕복 2차로인 경우 갓길 3m와 측대를 포함하면 일방향 2차선 도로폭으로 왕복 4차선 통행이 가능하도록 되어있다. 여기서 내측 두 차선은 차로폭을 2.0m로 하여 승용차 전용으로 운영한다. 그림 2는 이렇게 운영되고 있는 도로의 모습을 보여주고 있다.

이 방법은 차로폭 감소에 따른 속도 감소는 있으나 대규모 유지보수시에도 별도의 확폭없이

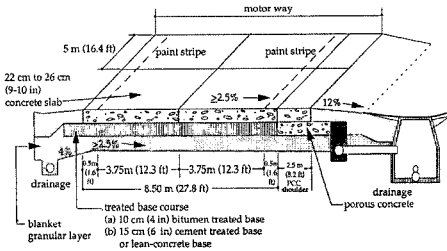


그림 1. 독일 4차로 도로의 차로폭 설계



그림 2. 왕복 4차로 도로의 보수시 교통처리 실례

장기간 기존 차로수를 그대로 확보할 수 있다는 큰 장점이 있다.

2.2 변단면 두께 도입 및 바깥차선의 슬래브 확폭

시공성을 고려하지 않는다면 차선별로 포장두께를 달리하는 것이 경제적이다. 이것은 안쪽차선(inner lane)의 중차량(heavy trucks)교통량이 바깥차선(outer lane)에 비해 훨씬 적으므로 안쪽차선은 바깥차선보다 훨씬 얇아도 된다는 뜻이다.

차선별 교통량 차이에 대한 고려로서 변단면 설계는 도로 및 공항 포장에서 오래 전부터 시도되어 왔으나 두께가 달라지는 경계 지점의 시공성 문제로 도로에서는 거의 사용되지 않아 왔다. 그러나 사다리꼴 형태의 슬래브는 두께가 갑자기 바뀌는 지점이 없으므로 시공성 문제를 야기하지 않는 변단면 설계를 가능하게 해준다. 사다리꼴형식의 변단면 설계는 프랑스와 스페인에서 이 사용되고 있으며 미국 캘리포니아주도 사용을 권장하고 있다. 프랑스의 경우 그림 3과 같이 신설포장 뿐 아니라 재시공의 경우도 이러한 변단면 설계를 널리 적용하고 있다.

그림 3의 예에서 슬래브 폭이 바깥쪽 차선(truck lane으로 표시) 밖으로 0.75m까지 확대된 것을 볼 수 있는데 이것은 슬래브 가장자리(edge) 부분의 취약성을 보강한 것이다. 슬래브

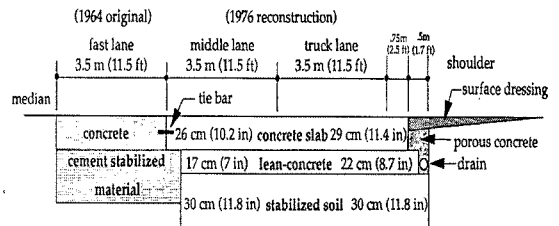


그림 3. 프랑스의 사다리꼴 변단면 재시공 예

가장자리는 바깥차선이므로 일반적으로 중차량의 통행이 많으며 동일 하중 조건에서 큰 응력이 발생하는 부분이다. 슬래브 가장자리는 특히 갓길과의 경계면 틈 사이로 침투되는 물로 인해 지지력 약화나 펌핑(pumping) 등의 우려가 많은 곳으로서 실제로 많은 파손이 발생하는 부분이기도 하다. 그림 3의 경우 슬래브 폭이 갓길의 상당부분까지 확폭되어 있는데 이 경우 바깥쪽 차선에 가해진 하중이 슬래브 가장자리로부터 충분히 떨어진 곳에 작용하므로 위에서 지적한 많은 문제점들을 해결 할 수 있다.

2.3 다웰바 배치 개선

국내의 현행 콘크리트 포장설계에서 다웰바는 동일 차선에서 균일한 간격으로 배치하도록 하고 있다. 도로포장에 작용하는 하중은 대부분 축하중의 형태로 작용하므로 차선내의 일정부분만 실제로 하중을 받게 된다. 따라서 하중을 거의 받지않는 차선 중앙부는 과다 설계가 될 수 있으며 하중을 집중적으로 받는 부분은 과소 설계가 될 수 있다.

대부분의 유럽국가들은 다웰바 배치간격을 하중재하 형태에 따라 차이를 두는데 그림 4는 독일의 예를 보여주고 있다. 그림에서 바깥쪽차선의 윤하중 통과 부분에 더 많은 다웰바가 배치되었으며, 특히 바깥쪽 바퀴 통과부분은 다웰바 배치간격이 월등히 적은 것을 볼 수 있다.

2.4 배수성 보조기층 도입

국내의 현행 포장설계는 표층 또는 보조기층

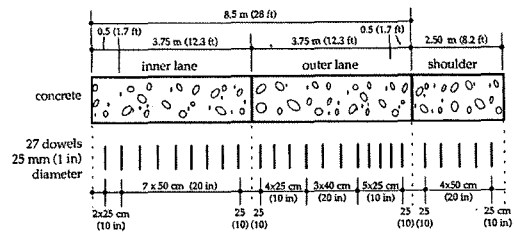
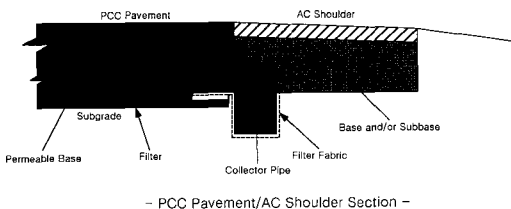


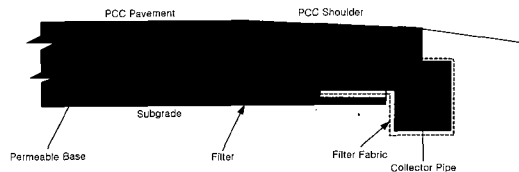
그림 4. 독일의 다웰바 배치 예(하중통과 부분에 조밀한 배치)에 침투한 물의 배수는 별도로 고려하지 않고 있다. 현재 고려하고 있는 배수 요소는 횡단구배를 통한 노면 배수와 지하수위 저하 및 포장 측면으로부터의 침투수를 처리하는 지하배수가 전부이다. 즉 포장 표층이 불투수층으로 간주되므로 노면수의 보조기층으로의 유입가능성은 배제된 채 설계되고 있다. 그러나 노면수는 균열이나 줄눈 틈 사이로 거의 예외 없이 스며들어 균열이나 줄눈부의 슬래브나 보조기층을 젖은 상태로 만드는 것이 일반적인 실상이다. 이렇게 침투된 물은 보조기층을 연약화시키며 나아가 펌핑이나 내구성 균열(D형 균열)의 원인이 되어 포장수명을 급격히 단축시킨다.

이러한 문제점을 인식한 이 분야의 선진국에서는 보조기층을 투수성 재료로 설계하여 균열이나 줄눈 틈 또는 다른 경로로 침투된 물을 효율적으로 배수하도록 하고 있다. 그림 5는 배수성 보조기층의 실례를 보여주고 있다.

배수성 보조기층은 실제로 펌핑 및 단차를 상당히 줄여준다는 연구결과가 보고되고 있으며 현재 미국의 9개 주에서 표준설계로 채택하고 있다.



- PCC Pavement/AC Shoulder Section -



- PCC Pavement/PCC Shoulder Section -

그림 5. 배수성 보조기층의 예¹²⁾

3. 시공 및 재료 측면

3.1 슬래브 2층 시공과 골재 노출 공법

포장 슬래브의 가장 중요한 부분은 슬래브 표면이며 기타 아래 부분에 비해 충분한 내구성이 확보되어야 한다. 이것은 슬래브 표면이 교통하중 및 환경하중을 직접 받는 부분으로서 평탄성, 마찰력, 온도 및 습도 변화, 동결융해 저항성 등이 매우 중요시되는 부분이기 때문이다. 따라서 슬래브의 표면부분은 재료의 선택 및 시공 측면에서 매우 신중을 기해야 할 부분이다.

(1) 슬래브 2층 시공 (Two Lifts)

슬래브 2층시공은 콘크리트 슬래브를 두 층으로 나누어 시공하는 방법으로 먼저 전체의 약 70%에 해당하는 두께를 재생골재 등 비교적 값이 싼 재료로 혼합된 콘크리트로 먼저 포설하고 그 뒤를 따라 내구성 및 마찰력이 뛰어난 고급 골재로 혼합된 콘크리트로 나머지 30% 두께를 연속해서 시공하는 방법이다(그림 6 참조).

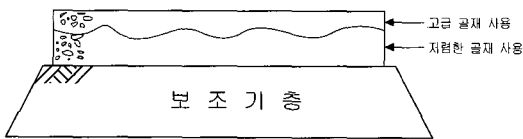


그림 6. 콘크리트 슬래브의 2층 시공 (Two Lifts)

우리나라 고속도로 포장용 골재는 마모율 상한치 25%의 고급 골재를 사용토록 되어있다. 수십 년 사용할 중요한 구조물에 양질의 재료를 사용하는 것은 당연하다. 그러나 문제는 이런 양질의 골재가 충분치 않다는 점이다. 또 재생 골재나 기타 품질이 약간 떨어지는 골재의 활용 측면에서 2층시공 공법은 충분히 의미가 있다고 하겠다.

2층시공에서는 페이퍼가 2대 동원되어야 하며 각각의 페이퍼가 저가골재 및 고급골재로 각각

혼합된 콘크리트를 별도로 이용해 포설한다. 각 층의 시공간격이 짧으므로 두 층간의 접착 (bond)은 거의 확보된다고 볼 수 있다.

2층 시공의 사례는 독일⁽¹⁾에서 찾을 수 있다.

(2) 골재 노출공법

현재 콘크리트 포장의 노면 마찰력 확보대책은 대부분 타이닝(tining)에 의존하고 있다. 타이닝은 콘크리트 포설 직후 횡방향으로 빗질하여 표면 거칠기를 확보하는 것을 말하는데, 이렇게 만들어진 표면 거칠기는 공용 후 수년 내에 마모되어 지속적인 마찰력 확보에 어려움을 주고 있다. 또한 타이닝으로 형성된 표면 조직은 차량주행시 고유의 소음을 유발하는 것으로 알려져 있다.

표면 골재 노출공법은 콘크리트 포설 직후 표면에 지연제를 살포하여 슬래브 최상부 콘크리트의 양생을 지연시키고 하루 경과 후 최상부의 미양생된 모르터를 브러쉬 등으로 제거하여 굵은 골재를 표면에 노출시키는 공법을 말한다(그림 7, 8, 9 참조).

표면 골재 노출공법은 노출된 골재를 통해 충분한 조면조직(macro texture)을 확보하여 강우시 노면 위의 수막 형성을 효율적으로 차단할 수 있다. 또한 이 공법은 소음을 줄여주는 장점도 지니고 있어 저소음 포장으로도 알려져 있다. 골재 노출공법은 유럽 각지에서 사용 중이며 콘크리트포장 기술의 선두적인 벨기에의 경우 신설되는 모든 콘크리트 포장에 적용하도록 하고 있다.

3.2 연속철근 콘크리트

콘크리트의 최대 단점인 균열 문제를 보완하기 위한 방법으로 일반 무근 콘크리트포장(JCP) 외에 연속철근 콘크리트포장(CRCP)을 들 수 있다. CRCP는 슬래브 내에 연속적으로

철근을 넣어 콘크리트에 균열이 발생하더라도 크게 벌어지지 않고 치밀하게 유지시켜줌으로서 균열부에서의 하중전달 확보와 함께 물 또는 이물질이 포장체내로 침투하는 것을 막아주는 포장이다. 우리나라의 경우 한때 JCP와 CRCP간의 우열 논쟁이 있었으며 실제 공용성 비교를 위해 중부고속도로를 이 두 가지 형식으로 시공한 바 있다.

이 논쟁은 일단 JCP의 판정승으로 끝났으나

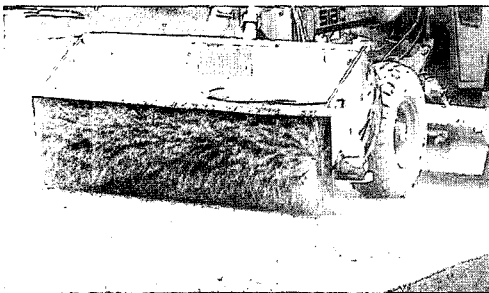


그림 7. 골재노출공법(브러쉬를 이용한 표면 모르터 제거 작업)

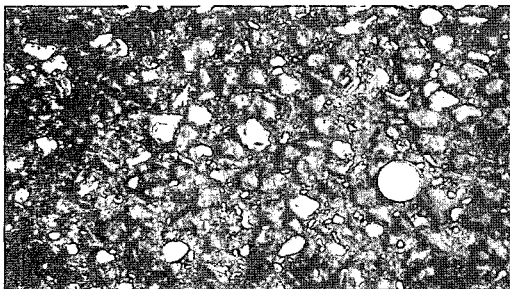


그림 8. 골재노출공법

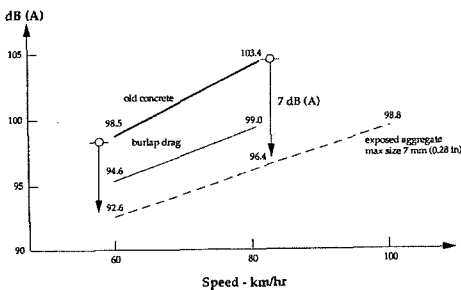


그림 9. 골재노출공법의 소음저감 효과

최근의 중부고속도로 1개 차로 전구간 포장 평가 결과⁽³⁾는 이 해묵은 논쟁에 대한 재검토 여지를 제공하고 있다. 시공후 13년이 지난 중부고속도로의 평탄성은 JCP(IRI=1.4)에 비해 CRCP(IRI=1.2)가 우수한 것으로 나타났으며 이것은 통계적으로도 유의한(significant) 결과를 보여 준다(그림 10). 콘크리트 포장 기술이 상대적으로 앞선 벨기에에서 CRCP의 사용이 두드러지며, 미국 콘크리트 포장의 선두주자인 텍사스주의 경우도 앞으로 대부분의 주도로를 CRCP로 시공키로 함은 우리에게 시사하는 바가 있다.

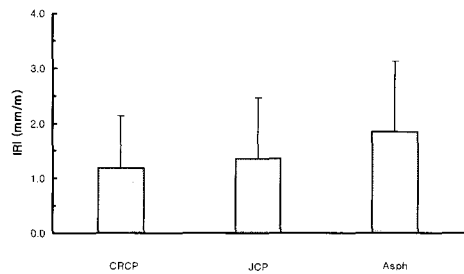
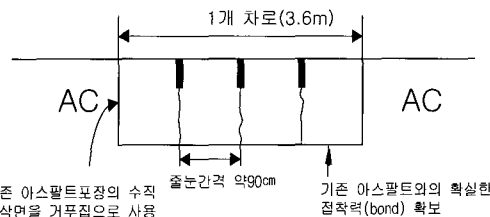


그림 10. CRCP와 JCP의 평탄성 비교 (중부고속도로, 시공후 13년 경과)

3.3 UTWT (Ultra-Thin White Topping)

UTWT는 초박층 콘크리트 덧씌우기를 말하는데 5cm 정도의 얇은 콘크리트 덧씌우기로서 주로 소성변형이 심한 아스팔트 포장의 절삭 덧씌우기에 많이 사용된다.



기존 아스팔트포장의 수직 절삭면을 거푸집으로 사용
 줄눈간격 약90cm
 기존 아스팔트와의 확실한 접착력(bond) 확보

그림 11. UTWT의 단면

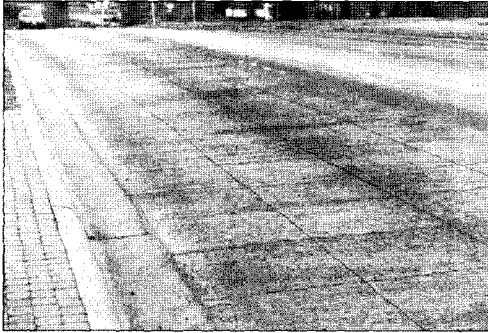


그림 12. UTWT의 시공사례(사진제공 : 원문철 박사, Texas DOT)

UTWT의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 절삭면에서 기존 아스팔트와 UTWT 재료의 접착력이 확실할 경우 콘크리트에는 주로 압축응력이 발생하며 아스팔트 두께가 충분할 경우 기본적으로 인장응력은 발생하지 않는다.
- 기존 아스팔트 포장의 수직 절삭면을 거푸집으로 사용하므로 시공이 간편하며 워커빌리티가 높은 콘크리트를 사용할 수 있다.
- 균열 발생전 줄눈 절단을 확실히 하기 위해 Softcut이라 불리는 경량 줄눈 절단기를 사용하여 시공 후 빠른 시간내에 줄눈절단을 완료한다.
- 줄눈은 1개 차로를 4등분하여(줄눈간격 약 90cm) 바둑판 모양으로 절단한다. 1개 차로를 4등분하는 이유는 바퀴 하중 재하가 줄눈부에서 일어나지 않도록 하기 위한 배려이다.

4. 유지관리 측면

4.1 노후 콘크리트 포장의 콘크리트 덧씌우기

노후된 콘크리트 포장의 보강 공법으로는 아스팔트 덧씌우기와 콘크리트 덧씌우기로 나누어 생각할 수 있다. 아스팔트 덧씌우기의 경우 반사균열(reflection crack) 문제를 해결하기 위해

적절히 고안된 중간층(토목섬유를 사용하기도 함)을 아스팔트 덧씌우기 아래에 시공하거나, 노후 콘크리트를 잘게 부순 후 아스팔트로 덧씌우기하는 소위 Break & Seat 공법이 사용되기도 한다. 노후 콘크리트 위에 콘크리트로 덧씌우기하는 방법은 접착식과 비접착식이 있다.⁽⁴⁾

(1) 접착식 콘크리트 덧씌우기 (BCO, Bonded Concrete Overlay)

BCO 공법은 일반적으로 포장체의 두 층이 단일화된 거동을 할 때 구조적으로 안정적이라는 인식에서 발전된 것으로 덧씌우기 포장층을 기존 포장층에 완전히 접착시키는 공법이다.

BCO 공법은 그림 13과 같은 단면 구조 형태로 구성되어 있다. 시공 방법은 먼저 노후화된 콘크리트 표면을 약간 깎아내고, 경계면에 시멘트 그라우트 등의 접착제를 살포한 후 약 10cm

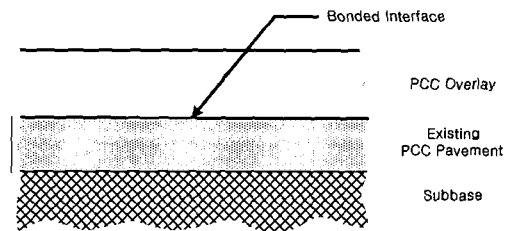


그림 13. BCO (접착식 콘크리트 덧씌우기) 공법

정도의 얇은 콘크리트로 덧씌우기하여 기존 콘크리트 슬래브와 일체가 되도록 한다.

BCO에서는 기존 포장과 덧씌우기 포장의 완전한 접착이 가장 중요한 사안이며 이를 위해서 기존 포장층에 어느 정도의 거칠음이 필요하고 덧씌우기 포장의 줄눈위치를 기존 포장과 일치시켜야 한다. 일반적으로 덧씌우기층의 두께는 얇은 편이므로 덧씌우기 두께에 제한이 있는 경우에 주로 사용하며 기존 포장의 파손상태가 그리 심하지 않은 경우에 적합한 공법이다.

(2) 비접착식 콘크리트 덧씌우기(UBCO, Unbonded Concrete Overlay)

UBCO 공법은 덧씌우기 포장층을 기존 포장으로부터 완전히 분리시킴으로서 기존포장 결합부가 덧씌우기층의 거동에 영향을 주지 않도록 하는 공법이다. UBCO 공법은 그림 14와 같은 단면 구조 형태로 구성되어 있으며, 시공 방법은 기존의 노후화된 콘크리트 슬래브에 분리층을 아스팔트 콘크리트 등으로 약 2~3cm 정도 설치하고 그 위에 두꺼운 콘크리트로 덧씌우기 하는 방법이다.

UBCO는 기존 슬래브에 있던 결합이 덧씌우기층에 영향을 주는 것을 분리층으로 완전히 차단함으로써 반사균열을 막음과 동시에 두 포장체의 거동을 완전 분리시킨다. 따라서 덧씌우기층의 줄눈을 기존 포장의 줄눈과 일치시킬 필요는 없다. 일반적으로 기존 포장의 파손상태가 심하여 BCO로 하기에는 부적절한 경우에 사용하는 공법으로 두께가 BCO에 비하여 두꺼운 것이 일반적이다.

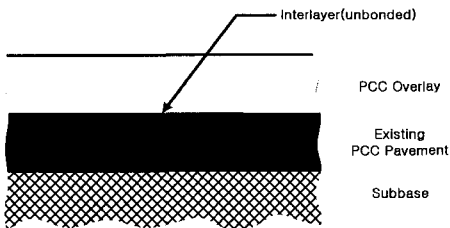


그림 14. UBCO (비접착식 콘크리트 덧씌우기) 공법

4.2 신속시공(Fast Track)의 도입 및 실용화

지금까지 콘크리트 포장의 약점으로 양생기간이 길다는 점이 지적되어 왔으며, 이것은 덧씌우기와 같이 공용중인 도로를 교통 차단한 상태에서 시공할 경우 치명적이 단점이 될 수 있다. 그러나 이 분야 선진국의 경우 교통차단을 최소화(예를 들어 8~24 시간 이내에 교통 개방)하

는 다양한 신속시공(Fast Track) 방법들이 실용화되고 있다. 콘크리트 덧씌우기에 있어 신속시공은 이미 필수적인 요소라 할 수 있다.

4.3 소규모 보수공법 및 재료

현재 콘크리트 포장에 대한 보수재료나 공법들이 영세업체나 외국제품의 증가인에 의해 산발적으로 시도되고 있는 사례가 빈번하다. 물론 실내시험 및 수 차례의 시험시공을 거쳐 채택된 공법이기도 한데 장기 공용성에 대한 검증이 안된 상태에서 채택여부가 결정될 수 밖에 없는 한계가 있다. 또 어떤 재료는 좋은 재료임에도 불구하고 규정된 용도 외에 무분별한 사용으로 나쁜 결과를 초래하기도 한다. 결과적으로 많은 재료들이 한때 반짝한 후 사라지는 경우가 많다. 이러한 문제점에 대한 대안으로서 다양한 보수재료들을 공식적으로 비교 평가하는 연구를 종합적이고 체계적으로 수행하고 그 결과를 실무에 반영하는 소위 '보수 신재료 평가 시스템'을 구축할 것을 제안한다.

4.4 포장관리를 위한 위치 ID 체계의 개선

모든 관리의 첫 단계는 각 구성원들의 구체적인 명칭을 분명히 하는 것이다. 포장관리의 경우 포장 평가자, 보수계획 담당자, 보수 작업원간의 의사소통을 위해 각 세부구간의 정확한 위치를 명명할 수 있어야 한다.

그림 15는 독일의 아우토반의 콘크리트 포장 슬래브로서 슬래브마다 고유번호가 음각으로 표시되어 있다. 슬래브마다 별도 관리가 가능하다는 뜻이다. 그림 16은 일본의 시내주요 간선도로로서 100m마다 위치 표시가 되어 있다. 우리나라의 경우 고속도로가 500m마다 표시되어 있으며 그나마 국도나 기타 도로에서는 위치 명명 체계가 부재한 실정을 생각한다면 개선의 여지를 느낄 수 있다.



그림 15. 슬래브 고유번호 (독일 Autobahn)



그림 16. 매 100m마다 표시된 위치표식 (일본, 시내주요도로)

5. 맺음말

유럽의 콘크리트 포장은 우리보다 얇은 포장 두께로 수명은 우리의 두 배인 40년을 목표로 설계 및 시공되고 있다. 또 미국의 경우 고성능 콘크리트 포장(HPCP, High Performance Concrete Pavement)이라는 이름으로 콘크리트 포장 수명을 약 50년까지 대폭 늘릴 수 있는 공법들이 고안되어 시험시공 및 공용성 시험 단계에 있다.

앞으로 건설될 콘크리트 포장의 물량은 막대할 것으로 예상된다. 우선 2004년 고속도로 3,500km 확보를 위한 신설도로가 대부분 콘크리트 포장으로 시공될 전망이며 각종 민자 유치 도로들이 유지보수비 절감을 이유로 콘크리트 포장으로 설계될 것으로 보인다. 또한 통일 후 북한의 인프라 구축 등을 감안하면 앞으로 적어도 수십 년간 콘크리트 포장의 건설은 계속될

것으로 보인다.

설계시 안전성을 최우선으로 하는 교량이나 터널과 달리 포장은 경제성이 중요한 요소이다. 포장의 경우 부실 시공되었다 하더라도 교량이나 터널처럼 무너진다는지 하지 않기 때문에 인명 피해는 걱정하지 않아도 되기 때문이다. 다만 시공 물량이 다른 구조물과 비교가 안될 정도로 크기 때문에 재료의 선정 및 두께 결정 등에서 수명주기 비용(life cycle cost)을 고려하여 경제적인 설계가 필요하다. 같은 수명을 보장하되 포장두께를 단 몇 cm만 줄일 수 있다면 절약되는 예산은 상당한 규모가 될 것이다.

참고문헌

1. Report on the 1992 US Tour of European Concrete Highways, FHWA-SA-93-012, 1993.
2. Mathis, D.M., "Permeable Base Design and Construction", Proceedings, 4th International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, 1989.
3. 김성호, 중부고속도로 평탄성 특성에 관한 연구, 석사학위 논문, 한양대학교, 2000. 8.
4. 서영찬, 윤경구, 권순민, 콘크리트 덧씌우기에 의한 포장 보강방안 연구, 한국도로공사, 한양대학교 공동 연구보고서, 1997.