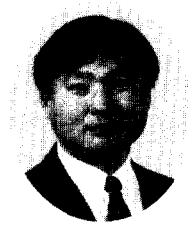


## 콘크리트 포장의 비용효율적 설계 제안



서영찬\*

### 1. 서 언

설계란 시공가능한 범위내에서 필요한 곳에 필요한 품질의 재료를 필요한 만큼 사용할 것을 계획하는 작업이라 볼 수 있다. 콘크리트 포장의 경우 바람직한 설계란 하중재하패턴 및 이에 따른 포장의 거동을 분석하여, 파손가능성이 큰 곳에 재료의 품질이나 두께를 상대적으로 증가 시키는 방법을 생각할 수 있다.

국내 콘크리트 포장설계는 '87년 개통된 중부고속도로의 설계방식을 대부분 그대로 이용하고 있다. 중부고속도로는 우리나라 콘크리트 포장의 시작이라 할 수 있는 88고속도로에 비해 보조기층재료, 교량 및 구조물 뒷채움, 줄눈 설계, 시공방법 등 설계 및 시공 측면에서 상당한 진보를 가져온 도로라 할 수 있다. 중부고속도로는 개통후 10년이 지나 현재 대부분 양호한 상태를 유지하고 있으며 앞으로도 상당기간 큰 보강없이 공용될 수 있을 것으로 보인다.

그러나 중부고속도로의 설계기술은 80년대 중반까지 몇몇 선진국에서 사용중인 기술에 근거하고 있다. 그후 10여년이 지나는 동안 미국, 유럽 등의 콘크리트 포장기술은 빠른 속도로 발전하여 왔다. 유럽의 경우 우리보다 얇은 슬래브 두께로 30~40년의 공용성을 가진 포장을 설계하고 있다. 30cm의 두께로 20년 공용을 목표로 하는 우리실정을 감안할 때 무엇인가 개선될 점이 있는 것이다.

앞으로 건설될 콘크리트 포장의 물량은 막대할 것으로 예상된다. 우선 2004년 고속도로 3,500km확보를 위한 신설도로가 대부분 콘크리트 포장으로 시공될 전망이다. 각종 민자 유치 도로들이 유지보수비 절감을 이유로 콘크리트 포장으로 설계될 것으로 보인다. 또한 통일후 북한의 인프라 구축 등을 감안하면 앞으로 적어도 수십년 간 콘크리트 포장의 건설은 계속 될 것으로 보인다.

설계서 안전성을 최우선으로 하는 교량이나 터널

\* 정회원, 한양대학교 교통공학과 조교수

과 달리 포장은 경제성이 중요한 요소이다. 포장의 경우 부실시공 되었다 하더라도 교량이나 터널처럼 무너진다는지 하지 않기 때문에 인명 피해는 걱정하지 않아도 되기 때문이다. 다만 시공 불량이나 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.

미국, 프랑스, 독일, 벨기에 등 이른바 선진국의 경우, 콘크리트 포장의 비용효율을 높이기 위해 끊임없는 노력을 기울여 오고 있다. 본 고에서는 각국에서 80년대 이후에 실용화된 선진 기법들에 착안하여 비용효율이 높은 설계 단면을 제시하고자 한다.

## 2. 비용효율적 설계의 내용

그림 1과 2는 각각 현행 설계와 본고에서 제안하는 설계를 보여주고 있다. 그림에서 새로운 설계의 특징은 다음과 같다.

- (1) 변단면 두께의 도입 및 바깥차선의 슬래브 확폭으로 건설비 절감 및 콘크리트에 발생하는 응력감소
- (2) 다월바 배치개선으로 건설비용절감 및 시공 간편도모
- (3) 배수성 보조기층도입으로 보조기층 침식 및 연약화 방지(수명증대)
- (4) 미끄럼사고 가능성이 높은 지역에 표면골재 노출로 마찰력증진 및 소음감소

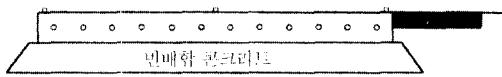


그림 1 현행 콘크리트 포장설계

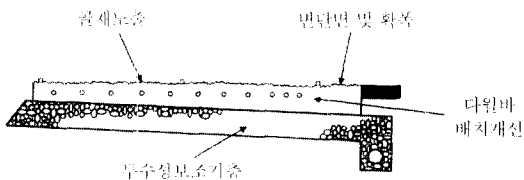


그림 2 본고에서 제안하는 설계  
(그림은 왕복 4차선의 예로서 6차선이나 8차선의 경우도 적용가능)

이상의 내용들은 각각 콘크리트 포장관련 국제학회에서 이미 수차례 논의된 사항들이며 항목별로 미국, 유럽등 여러나라에서 표준설계로 채택된 내용으로서 본고는 각 설계들의 장점을 종합하여 국내에 적합한 설계를 제시하였다. 각 항목들은 앞으로 충분한 연구를 통해 세부적인 설계 시안이 만들어져야 하며, 필요한 실내시험 및 시험시공 및 공용성 평가 등을 통해 국내에 적합한 표준단면의 세부사항이 마련되어야 할 것으로 본다.

### 2.1. 변단면 두께 도입 및 바깥차선의 슬래브 폭 확폭

시공성을 고려하지 않는다면 차선별로 포장두께를 달리 하는 것이 경제적이다. 이것은 안쪽차선(inner lane)의 중차량(heavy trucks)교통량이 바깥차선(outer lane)에 비해 훨씬 작으므로 안쪽차선은 바깥차선보다 훨씬 얇아도 된다는 뜻이다. 실제로 차선별 중차량 교통량은 큰 차이를 보이는데 표 1은 차선별 중차량 교통량 분포의 예를 보여주고 있다.

표 1 차선별 중차량 교통량 분포의 예(단위 %)

일방향차선	2차선 (일방향)		3차선이상 (일방향)		
	안쪽차선	바깥차선	안쪽차선	중형	바깥차선
10,000	19	81	7	25	68
30,000	28	72	8	33	59
60,000	34	66	8	39	53

주: 안쪽차선 교통량은 밑에서 3번째 및 그 이상 차선의 교통량을 합한 것임.

차선별 교통량 차이에 대한 고려로 변단면 설계는 도로 및 공항 포장에서 오래전부터 시도되어 왔으나 두께가 달라지는 경계 지점의 시공성 문제로 도로에서는 거의 사용되지 않아 왔다. 그러나 그림 2에서 보는 바와 같은 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 신설포장뿐 아니라 재시공의 경우도 이러한 변단면 설계를 널리 적용하고 있다. 그림 3은 프랑스에서 1976년에 재시공된 변단면 포장의 예를 보여 주고 있다. 그림의 예에서는 차선별 두께 차이가 크지 않으나 교통량 차이에 따라 상당한 변화를 줄수도 있을 것이다.

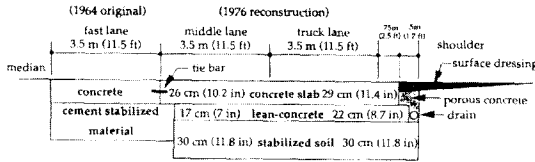


그림 3 프랑스의 사다리꼴 변단면 재시공 예

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 가장자리는 바깥차선 이므로 일반적으로 중차량의 통행이 많으며 동일한 하중조건에서 큰 응력이 발생하는 부분이다. 슬래브 가장자리는 특히 갓길과의 경계면 틈사이로 침투되는 물로 인해 지지력 약화나 펌핑(pumping)등의 우려가 많은 곳으로서 실제로 많은 파손이 발생하는 부분이기도 하다.

그림 3의 경우 슬래브폭이 갓길의 상당부분까지 확대되어 있는데 이 경우 바깥쪽 차선에 가해진 하중이 슬래브 가장자리로부터 충분히 떨어진 곳에 작용하므로 위에서 지적한 많은 문제점들을 불식시킬 수 있다.

슬래브 가장자리 하중재하로 인한 문제점을 해결하기 위한 또다른 방안은 갓길포장도 콘크리트로 시공하는 것이다. 이때 갓길과 본선 콘크리트는 틈새 벌이 짐을 방지하기 위해 타이바(tie bar)를 설치하고 가능한 한 일체로 시공할 것을 추천한다. 아스팔트 갓길의 경우 본선 콘크리트와의 하중전달이 전혀 없으므로 콘크리트 갓길에 비해 훨씬 높은 응력이 발생하는 것은 기존의 여러 연구에서 밝혀진 바가 있다.

갓길을 콘크리트로 하는 경우 설계법 상 슬래브 두께를 약간 줄이고도 동일한 수명을 기대할 수 있다. 현재 가장 많이 사용중인 AASHTO설계법<sup>10)</sup>에서는 갓길형식을 콘크리트(본선 슬래브와 타이바로 연결)로 할 경우 아스팔트 갓길에 비해 하중전달 계수를 줄일 수 있는데 결과적으로 슬래브 두께를 약 2~3cm정도 줄일 수 있다. 표 2는 AASHTO에서 추천

표 2 포장설계별 하중전달 계수

포장형식	아스팔트 갓길		콘크리트 갓길	
	YES	NO	YES	NO
다월바 사용 여부	YES	NO	YES	NO
다월바 사용 여부	3.2	3.8-4.1	2.3-3.1	3.6-4.2
다월바 사용 여부	2.9-3.2	N/A	2.3-2.9	N/A

하는 다양한 포장설계에 대한 하중전달계수를 보여 주고 있다.

## 2.2 다월바 배치개선

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

대부분의 유럽국가들은 다월바 배치간격을 하중재하 형태에 따라 차이를 두는데 그림 4는 독일의 예를 보여주고 있다. 그림에서 바깥쪽차선의 윗하중 통과 부분에 더 많은 다월바가 배치되었으며, 특히 바깥쪽 바퀴 통과 부분은 다월바 배치간격이 월등히 작은 것을 볼 수 있다.

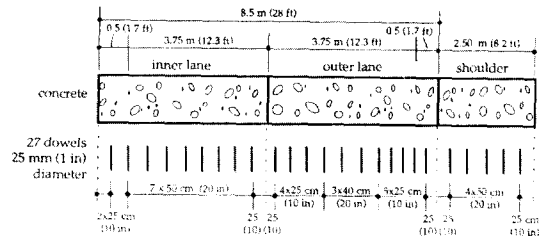


그림 4 독일의 다월바 배치 예

## 2.3 배수성 보조기층 도입

국내의 현행 포장설계는 표층 또는 보조기층에 침투한 물의 배수는 별도로 고려하지 않고 있다. 현재 고려하고 있는 배수 요소는 횡단 구배를 통한 노면 배수와 지하수위 저하 및 포장 측면으로부터의 침투수를 처리하는 지하배수가 전부이다(그림 5참조).

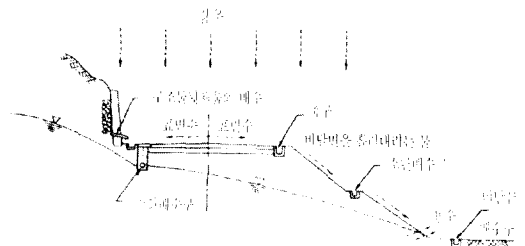


그림 5 현행 도로 배수의 개념도

측 포장 표층이 불투수층으로 간주되므로 노면수의 보조기층으로의 유입 가능성은 배제된 채 설계되고 있다. 그러나 노면수는 균열이나 줄눈틈 사이로 거의 예외없이 스며들어 균열이나 줄눈부의 슬래브나 보조기층을 젖은 상태로 만드는 것이 일반적인 실상이다.

이렇게 침투된 물은 보조기층을 연약화시키며 나아가 뒹뒹이나 내구성 균열(I형 균열)의 원인이 되어 포장수명을 급격히 단축시킨다.

이러한 문제점을 인식한 이 분야의 선진국에서는 보조기층을 투수성 재료로 설계하여 균열이나 줄눈틈 또는 다른 경로로 침투된 물을 효율적으로 배수하도록 하고 있다. 그림 6은 배수성 보조기층의 사례를 보여주고 있다.

배수성 보조기층은 실제로 뒹뒹 및 단차를 상당히 줄여 준다는 연구결과가 보고되고 있으며 현재 미국의 9개 주에서 표준설계로 채택하고 있다<sup>1)</sup>.

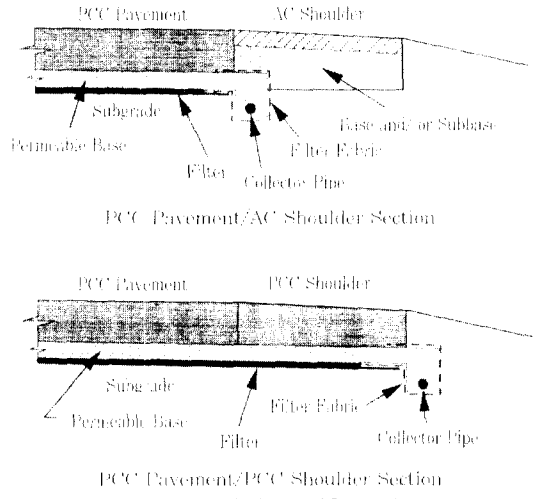


그림 6 배수성 보조기층의 예

### 2.4 표면 골재 노출 공법의 도입

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 공용후 수년내에 마모되어 지속적인 마찰력 확보에 어려움을 주고 있다. 또한 타이닝으로 형성된 표면 조직은 차량주행시 교유의

소음을 유발하는 것으로 알려져 있다.

표면 골재 노출공법은 콘크리트 포설 직후 표면에 지연재를 살포하여 슬래브 최상부 콘크리트의 양생을 지연시키고 하루 경과후 최상부의 미양생된 모르타르를 브러쉬등으로 제거하여 맑은 골재를 표면에 노출시키는 공법을 말한다(그림 7참조).

표면 골재 노출공법은 노출된 골재를 통해 충분한 조면조직(macro texture)을 확보하여 강우시 노면위의 수막형성을 효율적으로 차단할 수 있다. 또한 이 공법은 소음을 줄여주는 장점(그림 8 참조)도 지니고 있어 저소음 포장으로도 알려져 있다. 골재 노출공법은 유럽 각지에서 사용중이며 콘크리트 포장 기술의 선두격인 벨기에의 경우 신설되는 모든 콘크리트 포장에 적용하도록 하고 있다<sup>2)</sup>.

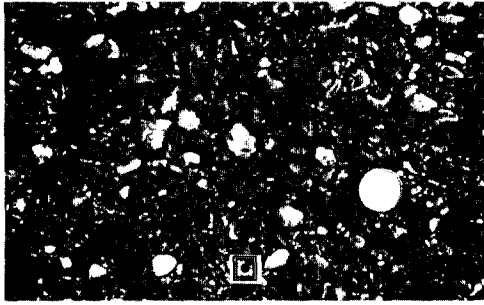


그림 7 골재 노출 공법

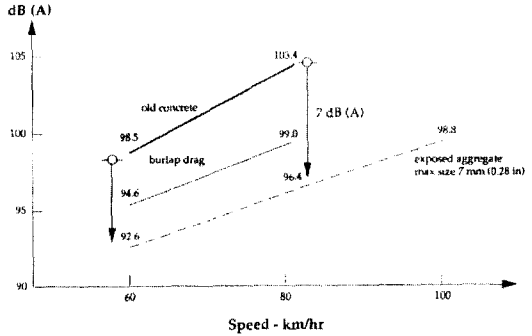


그림 8 골재노출공법의 소음저감 효과

### 3. 설계 세부 내용의 완성 및 검증

앞절에 소개된 내용들은 콘크리트 포장분야 선진 각국의 주요 내용들을 말해낸 것으로서 이것들을 전체적으로 어떻게 종합할 것인지, 또 국내 적용시 어떤 시방 기준을 사용할 것인지에 대해서는 별도의 연

구가 필요하리라고 본다. 우선 설계세부 사항들에 대한 충분한 자료조사 후 필요한 실내시험이나 이론적인 해석도 병행 되어야 할 것이다. 이렇게 종합된 설계에 대해서는 충분한 시험시공이나 가속시험 (Accelerated Pavement Testing)등을 통해 그 효용성을 검증하는 것도 실제 설계에 반영하기 전에 선행 되어야 할 것이다.

#### 4.결언

다가올 21세기의 교통수요는 20세기의 기존 도로 기술로 충족시킬 수 없다. 기술은 계속 발전한다. 현재의 콘크리트 포장설계가 비교적 양호한 공용성을 보이거나 다분히 과다설계인 요소가 있으며 어떤 부분은 그 중요성에 비해 간과되는 부분이 있는 것이 사실이다.

본고에서는 이 분야 선진국들이 사용하고 있는 콘크리트 포장 설계의 주요 장점들을 소개하고 충분한 검토를 거쳐 도입할 것을 제안하였다. 본고에서 제시된 설계 개선안은 급속도로 발전하고 있는 기술 진전에 비추어 보면 그 일부분에 지나지 않는다. 앞으로 건설될 막대한 물량의 콘크리트 포장과 해외시장 진출

등을 고려 할 때 콘크리트 포장설계에도 끊임없는 개선이 필요하다 하겠다.

#### 참고 문헌

1. Darter, M.L., J.M. Becker, M.B. Snyder, and R.E.Smith, "Portland Cement Concrete Pavement Evaluation System COPEX," NCHRP Report No. 277, TRB, 1985.
2. Yoder, E.J., M.W.Witzak, PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., 1975.
3. Report on the 1992 US Tour of European Concrete Highways, FHWA-SA-93-012, 1992.
4. Whiting, D., et. al., "Synthesis of Current and Projected Concrete Highway Technology," SHRP-C-345, National Research Council, 1993.
5. AASHTO, DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES, 1993.
6. 한국도로공사, "고속도로 건설공사 표준도," 1992.
7. Mathis, D.M., "Permeable Base Design and Construction," Proceedings, 4th International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, 1989.