

설계시공분야

도로포장 설계 · 시공기술의 현황과 전망

이 성 회*

1. 서론

우리나라는 도로건설을 시작한 이래로 주로 아스팔트 콘크리트포장(이하 아스팔트포장이라 칭함)에 의해 도로건설이 이루어져 왔다. 그러나 산업 및 경제규모가 확대됨에 따라 수송수단인 차량이 점차 대형화·중량화 되었고, 이는 포장수명이 급격한 단축을 가져왔다. 이와 더불어 거듭된 유류 파동에 따른 포장 공사비의 상대적 상승과 부존자원의 활용차원에서 시멘트 콘크리트포장(이하 콘크리트포장으로 칭함)에 대한 관심을 갖게되었으며, 80년대 이후로 콘크리트포장의 시공이 점차 확대되고 있는 추세이다. 본 고에서는 국내의 도로포장과 관련된 설계 및 시공분야의 현황과 전망을 콘크리트 포장을 중심으로 다루어 보고자 한다.

콘크리트포장에 대해 관심을 기울인 선진국은 설계에서 시공 및 유지관리에 이르기까지 상세한 자료와 경험을 축적하고 있으며, 학계의 활발한 연구를 통한 이론적인 접근으로 끊임없이 콘크리트포장에 대한 설계법 개량, 새로운 재료의 개발, 시공법의 도입 등이 추진되고 있다. 콘크리트포장의 역사가 짧은 우리는 선진 외국의 경험을 바탕으로 중차량의 통과가 많은 도로를 중심으로 콘크리트포장 시공물량을 늘려가고 있다. 이에 따라 부산-마산간 고속도로(기층)를 시작으로 88올림픽 고속도로(표층)에 콘크리트포장을 시공한 이래, 현재는 재포장 구

간을 포함한 대부분의 신설 고속도로를 콘크리트포장으로 시공하고 있어, 2004년까지 신설되는 1,700km 대부분의 신설 고속도로가 콘크리트포장으로 시공될 계획이다.

이처럼 빠른 속도로 늘어나는 시공 및 관리연장에도 불구하고 국내 제반조건에 맞는 설계기법이나 시공법 및 유지관리기법 개발에 투자는 극히 미미한 실정이다. 설계와 시공경험이 축적되고는 있으나 콘크리트포장에 대한 짧은 역사 때문에 포장선진국에 비해서는 아직도 연구발전시켜야 할 과제가 많다. 유럽의 경우 우리보다 얇은 슬래브 두께(25cm내외)로 30년 이상 공용성을 가진 포장을 설계하고 있는 반면, 30~34cm의 두께로 20년 공용을 목표로 하는 우리실정을 감안할 때 개선할 여지가 있음이 분명하다. 또한 국내에서 초기에 시공된 콘크리트포장이 20년 공용 년한에 가까워졌으며 앞으로 점점 늘어날 것에 대비해 포장상태의 객관적이고 과학적인 평가와 더불어 합리적이고 경제적인 유지관리 및 보수가 되도록 지속적인 연구개발이 요망된다.

2. 콘크리트포장 현황

가. 콘크리트포장의 발전연혁

1946년 PCA설계법이 Westergaard의 역학적 해석 설계법을 근거로 나타난 이후, Maryland

* 용마엔지니어링 회장

도로시험(1950~1951) 결과 포장체의 손상은 축하중에 비례된다는 것이 밝혀졌으며, 이 개념을 다시 검토함과 동시에 기타조건(콘크리트슬래브 두께와 길이, 보조기층 두께, 보강철근, 기상조건등)을 추가하여 종합적인 시험연구를 하게 된 것이 AASHO 도로시험(1958~1961년)이다. 실험결과를 바탕으로 포장설계를 진행하도록 최초로 적용한 것이 AASHTO 잠정설계지침(1972년)이며 1981년에 좀더 보완된 잠정설계지침에 이어 1986년에 설계 지침이 발간되었으며 1993년에는 유지 보수를 첨가한 지침서가 발간되었다.

국내에서는 부산-마산간 고속도로에서 처음으로 기층에 시멘트 콘크리트포장을 시공하여 1981년 9월 개통하였고, 본격적인 콘크리트포장의 효시라 할 수 있는 88올림픽 고속도로가 AASHTO 잠정설계지침('72년)를 바탕으로 기본 및 실시설계(1980~1981)를 진행하여 1984년 6월에 개통되었다. 호남고속도로 확장공사, 중부고속도로 건설공사 이후 일부과업에서 '86 AASHTO 설계지침에 의해 설계되어 왔으나 입력변수의 적용에 문제점이 있어, '81 잠정설계지침으로 환원 적용 중에 있으며, 현재 고속도로 포장의 경우 한냉지에서 제설이 문제되는 지역이나 연약지반 통과 지역을 제외하고는 대부분의 신설 도로는 콘크리트포장으로 시공 중에 있다.

나. 국내 도입 경위

경인고속도로에 이어 경부고속도로가 1970년 7월 개통한 이래, 고속도로는 총연장 1996km가 넘어 국가경제 발전의 중추적 역할을 해왔으며 앞으로도 경제활동 규모를 측면지원하는 사회간접자본으로서 큰 몫을 할 것이다.

도로 기술 도입단계인 경부나 경인 고속도로 포장은, 건설당시의 국가재정형편상 단계적인 도로 건설 개념 및 낙후된 시공기술, 그리고 무리하게 단축된 공기 등을 감안하여 주로 아스팔트포장 공법이 선정되었다. 열악한 조건하에서 건설된 고속도로는 경제가 급속도로

성장하면서 화물의 수송량이 많아져 트럭의 통행 증가율이 추정했던 것보다 훨씬 상회하였으며, 차량 또한 대형화, 중량화되어 기존 아스팔트포장에 소성변형(rutting) 및 피로균열 현상 등이 발생하였다. 이들 파손은 예방적 유지보수가 진행되지 않음에 따라 더욱 악화되어 교통안전상의 문제점을 야기하였고 결국 덧씌우기가 불가피하게 되었다. 그러나 덧씌우기 포장주기가 점점 단축되어 5년에 한번씩 하던 것이 3년 이하로 줄어들어 따라 유지보수비의 급격한 상승은 물론 보수를 위한 잦은 교통차단으로 이용자의 통행불편과 교통안전 등 문제점이 발생하였다.

도로포장 재료인 아스팔트의 가격 또한 1970년대 2차에 걸친 유류 파동으로 급상승하게 되어, 건설비와 유지보수비를 포함한 총비용을 이용하여 콘크리트포장과 경제성을 비교한 결과 중차량 교통이 많은 도로에서는 콘크리트포장이 유리한 것으로 나타났다. 아울러 가동율이 떨어진 시멘트 생산업체의 활로개척과 풍부한 부존자원의 활용측면에서 아스팔트포장에만 의존하던 것을 바꾸어 시멘트 콘크리트포장이 고속도로는 물론 국도포장(신설 또는 4차선 확장 일부)에도 채택 시공케 되었다.

다. 시공실적

우리나라가 도로포장에 본격적으로 콘크리트포장을 하게 된 것은 '70년대초 김포 가도의 일부와 목호-삼척간 국도를 꼽을 수 있으나 두 경우 모두 인력시공 등 낮은 시공 기술 수준으로 인해 성공적인 사례가 되지 못하고 아스팔트로 덧씌우기 하거나 철거되었다.

고속도로에서의 처음은 1978년에 착공하여 1981년에 준공한 부산-마산간 고속도로 41.2km구간으로 무근 콘크리트 슬래브 25cm를 포설하고 위에 표층 5cm를 아스팔트포장으로 시공하였다. 처음부터 아스팔트 덧씌우기가 진행된 이 포장은 콘크리트 기층(?)으로 분류될 수도 있으므로, 명실상부한 고속도로 콘크리트 포장은 대구-광주간 175.3km구간을 연결하여 1984년 6월 개

통한 88올림픽 고속도로라고 할 수 있겠다. 이때부터 슬립폼 페이퍼(Slipform paver)라고 하는 포장장비가 도입되어 사용되었으며 포장표면도 전단면 콘크리트로 포장이 되었다. 소형 페이퍼 만으로는 소요의 품질과 평탄성을 확보하기가 어렵다는 것과 공사 규모에 맞는 장비와 장비의 조합이 중요하다는 것을 깨닫게 되었다.

그 후 호남고속도로 확장('83~'86년)은 물론 기존 경부고속도로도 콘크리트 재포장 계획에 의거 '84년부터 연차적으로 시행 중에 있으며 비상활주로 구간에서 연속철근콘크리트포장(CRCP)도 일부 시공하였다. 포장표면의 미끄럼 저항성 증진과 빛의 난반사 방지 및 양생제의 고른 살포를 위해 거친 면 마무리 및 양생제 살포기가 도입 사용된 시점이다.

'87년 12월 개통한 중부고속도로에서는 무근 콘크리트포장, 연속철근 콘크리트포장 빈배합콘크리트기층 일부구간을 사용한 아스팔트포장 등 다양한 공법이 적용되었다. 연속철근 콘크리트포장의 경우 2차선 기준으로 128km에 달하였고, 장비의 구성도 종래와는 달리 스프레더(Spreader), 슬립폼 페이퍼(Slipformpaver), 평탄 마무리기, 거친면 마무리 및 양생제 살포기를 조합 사용함으로써 포장작업의 효율성과 품질의 확보 및 평탄성을 증진시킬 수 있었다. 본 구간은 국내 최초로 콘크리트포장의 보조기층 재료로 입상재료대신에 빈 배합콘크리트(Lean concrete)를 채택 건식 혼합으로 아스팔트포장 장비를 이용하여 시공하였다. 취약부인 구조물 횡단부와 절성 경계부의 경우는 88고속도로의 경험을 바탕으로 철근으로 보강하였으며, 기타 각종시험포장(무근콘크리트포장의 하중전달장치 삭제구간, 쏘일시멘트 안정 처리구간, 연속철근콘크리트포장의 주철근 위치 상향조정구간, 골재노출표면 처리구간 강성기층을 사용한 아스팔트포장구간, 1, 2종시멘트 사용구간등)을 실시하여 향후 포장 공법 연구에 좋은 자료를 제공코자 하였다.

이후 남해고속도로(마산-진주 : 89년 9월 준공), 신갈-안산간 고속도로('88~'91년), 중앙고

속도로('89~공사중), 서해안고속도로('90~공사중), 서울외곽순환고속도로('88~공사중), 제2경인선, 대전-통영간 고속도로(공사중)등에 '99년 7월 현재 고속도로의 콘크리트포장 총연장이 2차로 기준 2141.1km에 달하고 있으며, 시공기술 또한 정착단계에 있다. 국도포장의 경우도 여주-개군, 의정부-포천, 서울-춘천, 전주-남원등 콘크리트포장 연장이 304km에 이르고 있다.

라. 국내 콘크리트포장 설계 및 시공 기술의 현주소

1) 설 계

국내의 도로 설계법 도입은 1970년 이후 ABD, IBRD차관 사업에 의한 도로 사업을 실시하면서 외국 기술자들에 의해 소개된 AASHTO설계법이 기초를 이루고 있다. 타 설계법에 비해 입력변수의 산정과 방법이 매우 합리적이며 우리 나라와 같이 기초자료가 부족한 현실에서 사용할 수 있는 실용적 기법이라 하여 현재까지 설계의 90%이상이 채택 설계하고 있는 실정이다.

그러나 입력변수의 경우 외국 기술자들의 경험과 단편적인 조사자료에 의해 추천된 값들을 사용하여 왔으며, 현재까지도 국내의 교통, 지역(지형), 재료, 환경조건에 적합한 입력변수의 적용범위에 대한 평가나 관련조사 및 시험결과를 거의 찾아볼 수 없다. 기존의 시공 및 공용근거에 대한 기록보존 또한 불확실한 상태이다.

현재 콘크리트포장의 설계 적용현황과 문제점을 살펴보면, 다음과 같다.

○ 현행설계 적용현황

- 포장두께 산정
 - '81 AASHTO 잠정지침식 또는 설계도표 이용
- 합성노상반력(Kc) 적용
 - PCA설계법에 의한 CBR을 이용, 노상의 간접K치 산정후 '81 AASHTO 잠

정지침 합성K치 산정도표를 이용
 · '86 AASHTO지침에 의한 노상, 선택층, 빈배합 콘크리트복합K치를 정하는 방법

- 등가축하중 계수 : 포장 두께 30cm조건을 일률적으로 적용
- 설계차선하중
 - 차선분포율을 4차로 80%, 6차로 60%, 8차로 50%를 일률적으로 적용
- 두께적용
 - 고속도로 $D \leq 30\text{cm} \rightarrow 30\text{cm}$
 $D > 30\text{cm} \rightarrow 33\text{cm}$

○ 설계방법상의 문제점

- 지침 및 시방서에 제시하고 있는 PCA설계법과 '86 AASHTO 설계법은 입력변수에 대하여 자료부족 및 시험결과치가 없으므로 합리적 적용곤란
- 외국도로포장 설계법을 그대로 적용함에 따라 포장설계절차의 일관성 결여 및 설계결과에 대한 신뢰도 미확보
- 시공이력이 짧아 시공된 포장에 대한 검증 미흡

○ 적용상의 문제점

- 포장설계법에 대한 적용기준이 확실치 않음
- 합성노상 반력계수 산정방법이 상이하게 적용됨
- 등가축하중계수 적용시 두께30cm조건을 일률적으로 적용
- 설계차선교통량 산정시 분포계수의 근거 없는 하한치 적용
- 설계도표 이용할 경우 간편하나 도표를 복사하여 이용함에 따른 왜곡변위 발생 및 이용자의 개인차에 의한 오차발생우려 등이다.

2) 시 공

콘크리트포장의 시공은 포장공법의 종류나 사

용장비의 종류에 따라 그 절차는 각 공사요건에 맞게 달라질 수 있다. 어떤 장비를 사용해서 콘크리트를 어떻게 펴고, 압축하여 올바른 선과 구배에 맞게 마무리, 양생 할 것인가는 전적으로 시공 기술자의 기술적 지리적 경제적 여건에 따라 다르게 된다. 그러나, 결론적으로 시공과정과 장비의 종류가 다르더라도 최종결과는 동일해야 한다.

포장에 사용되는 모든 장비는 양호한 상태에서 시방서 요건에 맞는 것이어야 하는데 '70년대 초반 하더라도 거푸집을 사용한 인력시공이 주였으며 부산-마산간 고속도로('78~'81)에서는 고정거푸집 포설 공법으로 외국의 피니셔를 모방하여 국내에서 제작된 장비를 사용하였다. 88 올림픽 고속도로('81~'84)에서 처음으로 전구간을 소형 슬립폼 페이퍼로 시공하였으며, 중부고속도로('85~'87)에 와서야 비로소 완전한 조합장비(스프레더 + 슬립폼페이퍼(평탄마무리기 부착) + 거친면마무리 및 양생제 살포기)에 의한 시공이 이루어졌다.

99년 7월 현재 총 시공연장 2141.1km(2차로 기준)의 콘크리트 포장도로가 건설되었는데 꾸준한 시공기술 축적으로 도로 이용자가 만족할만한 수준으로 포설되고 있으나 부분적인 시공관리 인식의 부족으로 도로포장의 공용성을 단축시키는 부분도 있다. 대표적인 문제점으로 인력시공 마무리, 줄눈재의 설치, 혼화제의 품질변동 등을 거론할 수 있다. 일반적으로 시공기술의 부족보다는 시공 시 부주의에 의한 문제점이 대부분이며 대형조합장비에 의해 지나친 작업공간을 차지하여 작업공간이 제한된 장소(지하차도, 교량접속부, 확장부위등)에서의 시공이 어려운 문제점이 있으며 조합장비중 어느 한 장비라도 고장이 나면 작업 중단이 불가피하므로 보다 효율적인 공사추진을 위해 장비규격의 축소와 단일장비로 압축된 장비의 개발이 필요한 실정이다.

3. 향후전망

다가오는 2000년대에는 국토이용의 고밀도화

와 경제규모의 확대 및 생활양식의 변화로, 교통량의 대폭적인 증가가 예상되고 소득수준의 향상과 시간가치의 중시에 따라 고급고속교통수단을 선호하는 통행패턴의 변화가 예상된다. 현재 도로 건설에 치중하고 있는 도로 관련 산업은 따라서 지속적으로 발전하여 도로의 양적 질적 미흡현상을 해소하고 향후 예상되는 대량 교통수요에 대응하는 즉 외국 도로수준에 버금가는 적정 도로규모 확보가 이루어 질 것으로 보인다. 장래 도로개발방향과 관련하여 현재 추진중이거나 기확정된 신규사업을 보면, 고속도로의 경우 2004년까지 신설되는 1700km중 대부분이 콘크리트포장으로 시공할 계획이며, 각종 민자유치 도로들이 유지보수비 절감을 이유로 콘크리트포장으로 설계될 것으로 보인다.

건설과 더불어 공용연수의 증가에 따라 합리적인 도로관리체계의 구축이 필요할 것으로 보이는데 도로 유지 보수의 절대물량의 증가는 유지관리 비용의 급격한 증가를 가져올 것이다. 따라서 기술개발에 따른 막대한 국가예산을 절약할 수 있음에도 불구하고 현재까지는 연구에 소요되는 기간과 기술자들의 적당주의 그리고 공무원 및 공사 관리진의 관료주의 등으로 인하여 첨단분야에 비해 기술 개발에 대한 투자가 미흡한 실정이다. 민영화의 거센 바람과 공공 조직의 공공성이 침해하게 마주치고 있는 현실을 감안할 때 장래에는 도로 관련 관리 사업의 민영화가 추진될 것으로 보이며 이는 민간의 이윤 추구가 도로 관련 산업에도 도입될 것으로 보여 다음과 같은 전망이 가능할 것으로 판단된다.

○ 설계측면

현재의 설계 적당주의와 맹목적인 외국 설계법의 맹신에서 탈피할 것으로 판단된다. 외국 설계법의 설계 자료와 국내 공용성과의 비교분석 및 고속도로 및 국도에 건설될 국내 시험주로부터의 관측자료등을 바탕으로 기존 설계법의 적용 유무를 판단할 수 있을 것이다. 또한 전국규모의 시험 및 조사자료에 근거한 국내실정

에 맞는 한국형 설계법의 개발에 따라 현재 은연중에 이루어 지고 있는 과투자를 방지할 수 있으며 조기에 발생하고 있는 각종 하자 예방이 가능할 것이다. 특히 비교적 합리적인 수명주기 예측에 따라 효율적인 투자계획과 상당한 예산 절감이 기대된다.

○ 시공측면

지금까지 신설공사 위주였으나 향후 시간이 경과할수록 신설보다는 확장이나 덧씌우기 공사가 크게 증가할 것으로 예상된다. 따라서, 확장의 경우 안정된 기존노반과 확장노반의 침하량차와 경계부위의 시공성 불량에 의한 조기 하자가 우려되므로 이에 대한 대책공법개발이 필요할 것으로 판단된다.

덧씌우기 경우 장기공용성 제공과 신속한 교통개방이 가능한 포장덧씌우기 공법개발이 필요하며 건설폐기물중 가장 많이 발생하는 폐콘크리트의 재활용의 필요성이 대두되고 있으므로 이 분야에 대한 대책 과제 차원의 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 특히 유효수명이 만료된 콘크리트포장을 적절한 크기로 부수는 포장파쇄기의 수요와 켄 콘크리트를 포장재료로서의 재활용방안에 대한 검토가 요구된다.

또한 조합장비의 시공에 따른 공간제약과 잦은 고장에 따른 작업중단등을 해소하기 위한 조합장비의 기능을 한 장비로 압축시킨 첨단장비의 개발이 되어야 하며, 안정성과 쾌적성을 부여한 표면처리 기법연구 및 기능성 및 내구성을 갖춘 줄눈시스템도 개발되어야 하겠다.

○ 유지보수 측면

도로포장의 유지보수 측면에서 미래의 기술수요에 부응하기 위해서는, 포장평가방법의 개발과 소요장비의 개발이 이루어져야 하며, 포장평가결과와 유지보수 방법이 feedback되어 연계검토 됨으로서, 효율적인 유지보수방법이 도출되어야 하며, 수명주기 비용을 고려한 최적의 유지보수 방법의 선정 등의 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.