

콘크리트포장 보수/보강 공법 결정 절차에 관한 연구

A Study for Procedure for Determination of Restoration & Rehabilitation Method for Concrete Pavement

조남근* · 김준형** · 여인수*** · 조남현**** · 서영찬*****

Jo, Nam Geun · Kim, Jun Hyung · Yeo, In Soo · Cho, Nam Hyun · Suh, Young Chan

1. 서론

고속도로의 콘크리트포장은 20년 전에 개통된 88고속도로를 시작으로 중부고속도로의 성공적 건설과 함께 그 연장은 지속적으로 증가하여왔다. 특히 중차량에 대한 지지력이 뛰어나고 유지보수비가 적게 든다는 장점으로 콘크리트포장은 우리나라 고속도로의 기본 포장형식으로 자리 잡아 왔다. 그러나 88 고속도로와 호남 및 경부고속도로 확장구간 등 주요고속도로의 콘크리트포장 구간이 설계수명 20년에 가까운 노후 콘크리트포장으로 앞으로 고속도로의 노후 콘크리트포장의 연장은 급속도로 증가할 것으로 보인다. 특히 이런 노후 콘크리트포장은 최근 보수비가 급증하고 있으며, 더불어 보강을 요하는 노후 콘크리트포장의 연장 역시 앞으로 빠른 속도로 증가할 것으로 보인다. 따라서 앞으로 급증할 노후 콘크리트 물량을 생각할 때 우리나라도 노후 콘크리트포장의 근본적인 보수/보강대책 마련이 시급한 상황이다.

본 연구에서는 Project Level에서의 합리적으로 노후콘크리트포장의 보수/보강 공법을 결정하는 절차를 마련하기 위하여 해외의 다양한 보수/보강 공법 절차를 검토하여 국내 적용가능성을 살펴본 결과 2002 AASHTO에서 제시한 결정 절차를 참고하되 우리나라 고속도로의 실정 및 현행 PMS와 연계를 고려하여 원활하게 사용될 수 있도록 보완하였다.

2. 고속도로 콘크리트포장 보수/보강 공법 결정 흐름도

본 연구에서 제안하는 고속도로의 콘크리트포장 보수 및 보강공법 결정을 위한 흐름도는 다음 그림 1에서 보는 바와 같으며 각 단계별로 자세히 설명하였다.

2.1 상세조사 대상구간 선정

전 고속도로구간 중에서 유지보수가 필요하다고 판단되는 구간을 상세 조사대상구간으로 하되 선정기준은 다음사항을 기본으로 한다.

- 각 지사의 보수 요청구간은 우선적으로 포함시킨다.
- 고속도로 PMS 조사결과 HPCI가 평균 3.0이하인 구간을 포함 한다.
- 보수 예정구간은 제외한다.

* 정회원 · 한양대학교 교통시스템공학과 석사과정 · 공학사 · 031-419-0552(E-mail : nggggg@gmail.com)
** 정회원 · 한양대학교 교통시스템공학과 박사과정 · 공학석사 · 031-419-0552(E-mail : kjh0705@hanmail.net)
*** 정회원 · 한양대학교 교통시스템공학과 석사과정 · 공학사 · 031-419-0552(E-mail : dudlstn79@nate.com)
**** 정회원 · 한양대학교 교통시스템공학과 석사과정 · 공학사 · 031-419-0552(E-mail : t99ending@nate.com)
***** 정회원 · 한양대학교 교통시스템공학과 교수 · 공학박사 · 031-400-5155(E-mail : suhyc@hanyang.ac.kr)



현 고속도로 PMS의 HPCI는 매 100m 구간마다 산출되므로 상세조사 대상구간 선정시 기술자의 판단으로 시공 가능한 적정연장으로 묶을 필요가 있다. 즉 어느 구간내의 HPCI가 모두 3.0이 아니더라도 대부분이 3.0 이하이면 상세조사 구간으로 선정될 수 있으며, 반대로 몇몇 지점에서 HPCI가 3.0이하라 하더라도 인근 구간의 상태가 좋으면 상세조사 구간에서 제외 될 수 있다. 이에 대한 세부적인 판단은 기술자가 직접 하도록 한다.

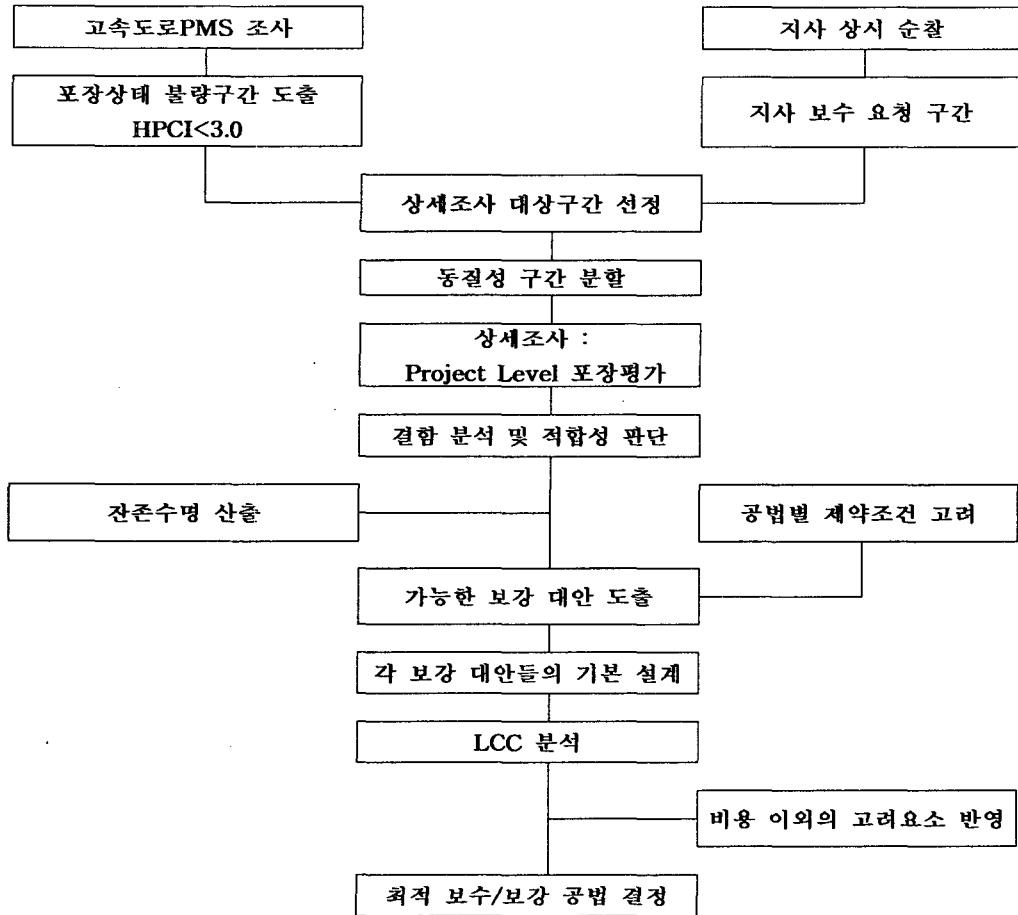


그림 1 고속도로의 콘크리트포장 보수 및 보강공법을 결정하기 위한 흐름도

2.2 동질성구간 분할

포장 평가의 첫 단계는 동질성구간 분할로서 구간별로 비슷한 설계, 교통조건, 포장 상태 등을 갖는 구간으로 나누는 것이다. 동질성 구간의 단위연장은 시공의 효율성 등을 고려하여 너무 짧지 않도록 한다. 동질성 구간은 설계나 교통조건이 크게 차이가 없을 경우 포장상태를 보고 기술자가 판단하여 분할하거나 누적 차분법을 사용하면 된다.

2.3 상세조사 : Project Level 포장평가

기존의 노후콘크리트 포장에 대해 최적의 보수/보강 공법을 선정하기 위해서는 Project Level에서의 정밀한 포장 상태조사 및 기타 자료 수집과 분석이 필요하다. Project Level의 포장평가는 기본 자료의 수집 및



검토, 1차 현장조사(현장답사), 2차 현장조사(장비조사, 상세조사), 실내시험 등을 거친다. Project Level의 포장평가 결과는 보수/보강 공법 결정에 직접영향을 주는 요소이므로 결함을 다음과 같이 분류하여 분석하게 된다.

- 구조적 적합성
- 기능적 적합성
- 배수시설의 적절성
- 재료의 내구성
- 줄눈상태의 적합성
- 잔존수명
- 길어깨의 상태

2.4 결함 원인 분석 및 적합성 판단

Project Level 포장평가가 완료되면 보수/보강 공법을 위해 결함내용을 분석하여 결함원인을 파악하고 평가영역별 적합성을 판단하게 된다. 즉 결함이 구조적인 문제인지, 배수시설의 문제인지 등 평가영역별로 구분하고 현재의 결함이 각각의 평가영역에서 어느 정도 심각한 상태인지를 판단하는 것이다.

평가영역은 구조적 적합성, 기능적 적합성, 배수시설의 적합성, 재료의 내구성, 줄눈상태의 적합성, 잔존수명, 길어깨의 적합성 등 7개 영역이며 각 영역별로 적합성 판단 기준을 정리하였다. 판단기준의 경계 값들은 2002 AASHTO Pavement Design Guide에서 제시하는 값들을 기준으로 하되 우리나라 고속도로 실정에 맞도록 일부 수정하였다. 이 경계 값들은 국내에서 검증된 값들이 아니므로 앞으로 많은 자료와 경험이 축적되어 보다 적절한 값이 나오면 수정 할 수 있다.

각 평가 영역별 파손정도는 기본적으로 적합, 한계치, 부적합의 세 가지로 분류 된다(표 1참조).

표 1 평가 영역별 파손 정도의 분류

파손정도	의미
적합	해당평가 영역은 문제가 없음
한계치	해당영역의 보수/보강 필요
부적합	파괴(Failure)에 이른 상태

가능한 한 포장상태가 ‘부적합’의 조건에 가기 전 ‘한계치’의 상태에 있을 때 보수/보강이 이루어지도록 계획할 필요가 있다. 단, 잔존수명의 경우는 한계치에 이르면 예방적 차원의 유지 보수 보다는 덧씌우거나 재시공을 고려해야 하는 경계치를 의미한다.



표 2 강성 포장의 구조적 적합성 판단의 파손 조건 범위

평가영역	결함구분	대상		포장의 파손 정도 규정		
		JCP	CRCP	부적합	한계치	적합
구조적 적합성	파손된 슬래브 (중, 횡방향균열, 모서리균열) (% 슬래브)	○		>10	5 ~ 10	<5
	줄눈/균열의 평균 단차 (mm)	○		>4	2.5 ~ 4	<2.5
	핀치아웃 (차선 km당 개수)		○	>6	3 ~ 6	<3
기능적 적합성	평탄성 (IRI)	○	○	>4.0	4.0 ~ 3.0	<3.0
	노면마찰력	○	○	건교부 발행 “도로 안전시설 설치 편람 - 미끄럼 포장편” 참고		
배수시설의 적합성	배수시설의 상태	○	○	기술자의 판단에 의함		
재료의 내구성	콘크리트의 내구성 (ASR, D형균열)	○	○	균열부분에 상당한 Spalling과 Joint 파손이 발생된 상태	중간정도의 심각도가 대부분이며, 일부 Spalling과 Joint 파손이 발생된 상태	없거나 경미
	JCP 패칭 또는 패칭부분 재파손(면적에 대한 %)	○		>10	5 ~ 10	<5
	CRCP 패칭 또는 패칭부분 재파손(면적에 대한 %)		○	>5	2 ~ 5	<2
	중방향 줄눈, Spalling, (길이에 대한 %)	○	○	>50	20 ~ 50	<20
	횡방향 줄눈(6m 간격), Spalling, (Joints/km)	○		>30	13 ~ 30	<13
줄눈 상태의 적합성	평균 하중 전달률, (%)	○		<60	60 ~ 80	>80
	줄눈 또는 줄눈재 손상 (% 줄눈)	○	○	>40	15 ~ 40	<15
	튀핑 (% 줄눈)	○		>25	10 ~ 25	<10
잔존수명	잔존수명(%) (균열/ 줄눈 파손, 내구성균열, 피로균열정도)	○	○	0(Failure)	0~20	>20
길어깨의 적합성	균열, 본선과의 단차 등	○	○	기술자의 판단에 의함		



2.5 가능한 보강대안 도출

보수/보강 대안은 기본적으로 표 3을 기준으로 정한다. 먼저 파손유형에 따라 표 3에 표시된 바에 따라 공법을 찾되 원칙적으로 잔존수명이 한계치(20%)이상이면 보수(예방적 유지관리)의 해당 공법들로 하고 한계치 이하이면 덧씌우기 등 보강 공법들에서 정한다. 이때 보수/보강 대안은 한 가지 이상 여러 가지가 나올 수도 있다.

표 3 콘크리트포장 보수/보강 공법 대안 도출 기준 표

포장 상태	파손 유형	대상		보수						보강			
				전단면 보수	부분 단면 보수	언더 실링 / 슬래브 재킹	다웰바 재설치	균열 및 줄눈 보수	다이아몬드 그라인딩	배수 시설 개선	아스팔트 덧씌우기	BCO	UBCO
		JCP	CRCP										
구조적	횡방향 균열	○		✓				✓					
	종방향 균열	○	○	✓				✓					
	단차	○		✓		✓	✓		✓	✓			
	편치아웃		○	✓				✓		✓			
	모서리균열	○		✓				✓		✓			
기능적	평탄성불량	○	○			✓			✓	✓			
	침하 또는 공동	○	○	✓		✓				✓			
	노면 마찰력부족	○	○						✓				
배수	핍핑	○	○			✓				✓			
내구성	ASR, D형균열 등	○	○	✓						✓			
	폐칭 또는 폐칭부분 재파손	○	○	✓	✓								
	대규모 폐칭 또는 폐칭부 재파손	○	○	✓									
	스폴링	○	○		✓					✓			
줄눈	하중전달률의 저하	○				✓	✓			✓			
	줄눈재 손상	○	○					✓					

(길이개의 경우 본선부와 동일하게 적용)

또 보수/보강 대안 도출 시에는 1차 현장조사 Check List와 2차 현장조사 결과의 다양한 실험 및 분석 결과들을 검토하여 확일적인 공법결정을 지양하고 제반 조건들이 충분히 고려된 대안들이 나올 수 있도록 한다.

노후 콘크리트에 아스팔트 덧씌우기는 가급적 지양하는 것이 좋다. 아스팔트 덧씌우기는 반사균열 문제 뿐 아니라 배수불량으로 포트홀을 일으키기도 하며 평탄성도 일반 아스팔트 포장보다 떨어진다. 단 CRCP의 경우 반사균열을 줄일 수 있으므로 아스팔트 덧씌우기를 고려할 수 있다.

가능한 보강 대안 도출 시 표 4의 각 보강 대안들의 기본적인 특징을 참고토록 한다.



표 4 보강대안 공법별 특징

보강공법	특징
UBCO (비접착식 콘크리트 덧씌우기)	<ul style="list-style-type: none"> 노후 콘크리트가 어떤 상태였든지 관계없이 신설시공에 준하는 공용성 제공 시공 상 어려움이 없으며 국내 시공실적 있음 포장체의 높이가 덧씌우기 두께(20~30cm) 만큼 높아짐 시공 및 양생 중 교통처리 방안 필요(신속시공 선호)
BCO (접착식 콘크리트 덧씌우기)	<ul style="list-style-type: none"> 덧씌우기 두께가 10cm정도 이므로 UBCO보다 포장체 높이가 덜 올라감(교량 등이 교차할 때 Clearance가 문제되는 구간에서 사용) UBCO에 비해 시공비 저렴, 국내 시공 실적 있음. 기존 포장 상태가 너무 불량하지 않는 곳에 적합 시공 및 양생 중 교통처리 방안 필요(신속시공 선호)
ACO (아스팔트 덧씌우기)	<ul style="list-style-type: none"> 시공이 간편하고 교통처리 기간 최소화 덧씌우기 두께를 10cm 이내로 가능 적절한 반사균열 방지 대책이 수립된 경우에만 시공하는 것이 바람직 CRCP의 경우 적용 시 반사균열 문제 최소화 가능 ASR이 심한 경우 Rubblization과 병행하여 사용 가능
채시공	<ul style="list-style-type: none"> 선형 개량시 적합 장기간 교통처리가 가능한 구간에 적합 지반에 치명적인 문제가 있는 경우 적용 고려

2.6 각 보강대안들의 기본설계

보수(잔존수명, $R_L \geq 20$)의 경우 결함별로 적절한 공법을 그대로 적용하면 되나, 보강($R_L < 20$)의 경우 콘크리트 덧씌우기, 아스팔트 덧씌우기, 채시공 등 다양한 대안이 있으므로 최적 대안을 도출하기 위해서는 공사비, 교통처리방안, 포장두께 증가로 인한 중분대, 길어깨 등 부대시설 추가 공사, 작업공간 확보 등 다양한 측면에서 대안들을 비교할 필요가 있다. 따라서 각각의 대안들에 대한 덧씌우기 설계와 함께 교통처리방안, 작업공간 확보방안, 중분대 및 길어깨 처리 방안 등이 기본설계에서 나와 주어야 한다.

덧씌우기를 할 경우 기존 콘크리트 포장에 심한 균열이나 스폴링, 침하 등 덧씌우기 후의 공용성에 영향을 줄 수 있는 구간은 국부적인 보수가 먼저 이루어진 후 덧씌우기 될 수 있도록 기본 설계 시 반영되어야 한다. 또 도로 파손의 상당수가 배수불량과 관계가 있는바 필요시 맨암거 설치 등 배수시설의 설계가 병행되는 것이 덧씌우기 후의 수명 연장 측면에서 좋다.

2.7 보강대안들의 수명주기비용(LCC)분석

보강대안이 여러 가지인 경우 각 대안들의 정량적 비교를 가능하게 하는 것이 LCC분석이다. LCC분석에서는 도로관리기관 비용(Agency Cost)과 도로이용자 비용(User Cost)으로 구분하여 대안별 분석기간 동안의 총비용을 순 현재가치로 환산하여 비교하게 된다. 그러나 LCC분석 결과는 그 자체로 보강공법 결정이 되는 것은 아니며 최종 공법결정에 중요한 참고자료로 쓰이게 된다.

2.8 최적 보강공법 결정

최적 보강공법 결정은 LCC분석결과 뿐 아니라 다음과 같은 비용 외적인 요소들도 고려하여 결정된다.

- Project Level 현장조사(1차, 2차)결과



- 교통처리방안
- 시공경험
- 시공소요기간
- 현장재료의 재활용 필요여부
- 기초지반, 기후 등의 특수성
- 기타 정치적/정책적 요인

보강공법의 선택에 유의해야 해야 할 것은 선정된 공법이 임시방편의 처방이 되어서는 안된다. 이러한 처방들은 낭비되는 비용일 뿐이다. 또 결함의 근본적인 원인이 치료되지 않는다면 보강 후에도 결함이 계속되어 추가적인 비용이 발생할 것이다. 예를 들어 반사균열에 대한 특별한 조치 없이 그냥 아스팔트로 덧씌우기 하는 것이 이에 해당 된다.

보수/보강과 관련된 사항을 고려하여 최적의 공법을 선택하는데 사용되는 실용적인 접근방법은 표 5와 같은 의사결정표를 이용하는 것이다. 수명주기비용, 설계수명 그리고 다른 제한요소들을 선택하고 각각의 공법들이 어느 정도 적합한지 평가한다. 최적 공법의 선택은 각각의 공법에 매겨진 점수들의 총 점수에 따라 결정된다.

표 5 공법결정을 위한 의사결정표의 예

	구 분						총 비용	순위
	초기비용	건설기간	서비스 수명	유지 보수 노력	교통처리 방안	시공경험		
가중치	20%	20%	25%	15%	5%	15%	100%	
대안1	60 12	60 12	100 25	80 12	90 4.5	100 15	80.5	1
대안1A	60 12	60 12	100 25	80 12	90 4.5	100 15	80.5	1
대안2	60 12	60 12	70 17.5	50 7.5	60 3	40 6	58	3
대안2B	60 12	60 12	70 17.5	50 7.5	60 3	40 6	58	3
대안3	60 12	40 8	100 25	80 12	100 5	90 13.5	75.5	2

표 5와 같은 의사결정표는 이전에 언급된 모든 평가항목을 만족하는 공법을 선택하는데 매우 유용한 도구이다. 그러나 위와 같은 과정에 의해 공법이 결정되었다고 결정된 대안에 대한 상세 재검토 작업이 필요하고 만약 문제가 있을 경우 적절한 단계부터 다시 검토를 실시하여야 한다.

3. 결론 및 향후과제

본 연구는 노후 콘크리트포장의 결함 유형 및 정도에 따른 보수/보강 공법 결정절차를 개발하는 연구로서 해외의 다양한 보수/보강 공법 절차를 검토하여 국내 적용가능성을 살펴본다 2002에서 제시한 보수/보강 공법 결정 절차를 참고로 하되 우리나라 고속도로의 실정 및 현행 PMS와 연계를 고려하여 콘크리트포장 보수/보강 공법 절차를 제시하였다. 그리고 본 연구결과는 노후콘크리트 보강 관련 의사결정체계의 골격을 만드는 것으로 앞으로 실제 적용을 통해 많은 보완 및 관련 추가 연구가 필요하다. 특히 덧씌우기 여부를 결정하기 위한 잔존수명의 경제 값이나 포장상태의 적합성 기준 값들은 앞으로 실제 운영을 통해 점차적으로 수정 보완하여 우리 것으로 정착시킬 필요가 있다.



참고문헌

1. 이경하, 한승환. '노후 콘크리트포장 및 덧씌우기 보수구간의 파손 사례', 도로포장공학회지, 제5권 1호, pp 3~9. 2003
2. NCHRP, '2002 Guide for The Design of New and Rehabilitated Pavement Structures', part 2 Chapter 5. 2002
3. NCHRP, '2002 Guide for The Design of New and Rehabilitated Pavement Structures', part 3 Chapter 5,6. 2002
4. NCHRP, 'Current Practices in Determining Pavement Condition', NCHRP Synthesis No. 203, Transportation Research Board, Washington, D.C. 1994
5. ACPA, 'Pavement Rehabilitation Strategy Selection', Technical Bulletin TB-015P, Skokie, Illinois. 1993