



# 스마트 하이웨이 포장 파손부의 효과적인 보수공법 개발을 위한 기술적 고찰

## A Literature Review On The Effectiveness Rehabilitation Strategies Development For The Pavement Damage Of The Smart Highway

심재필\*      진정훈\*\*      조명환\*\*\*      김홍만\*\*\*\*  
Shim, Jae Pill      Jin, Jung Hoon      Cho, Myung Hwan      Kim, Hong Man

### 1. 서론

철도 중심의 여객 및 물류이동이 경제 개발 5개년 계획에 의한 도로건설이 활발하게 진행되면서 1970년대 이후 도로가 물류의 80%이상을 담당하는 중추적인 역할을 하고 있으며, 2007년 말 현재 26개 노선(총 연장 3,368km)의 고속도로가 운영 중에 있다.

1990년대 지구의 온난화에 의한 여름철 고온 현상과 증차량 교통량의 증가로 도로 포장의 급격한 조기 파손으로 도로 포장의 유지보수에 대한 관심이 증가하였고, 2008년도 도로업무편람(국토해양부)에서는 도로신설 및 개발위주의 도로정책이 환경·안전 및 용량 보강 쪽으로 정책변환을 시도하고 있다.

고속도로의 경우 일반적으로 제한속도가 100km/h 이지만, 삶에 질 향상과 IT 및 국내 자동차 산업의 성장으로 국내 연구진들과 엔지니어들은 160km/h 수준의 초고속 도로 건설을 목표로 스마트 하이웨이 연구를 진행하고 있다.

본 연구는 스마트 하이웨이가 고속주행에 따른 충격하중으로 포장파손이 빠르게 진행되어 안전성을 위협 할 수 있기 때문에 포장 손상을 급속하게 보수 할 수 있는 공법을 개발하고자 한다. 이를 위하여, 본 연구에서는 국내외에서 활용되고 있는 포장도로의 보수공법 및 현황을 조사하여 초고속 도로 포장 파손부에 적합한 급속 복구 기술을 개발하기 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

### 2. 포장 도로의 파손 구분

일반적으로 국내 포장도로의 구성은 아스팔트 포장과 시멘트 콘크리트 포장으로 구분되어 있으며, 도로의 대부분이 아스팔트 포장으로 되어 있지만 고속도로의 경우 시멘트 콘크리트 포장의 비율이 높다. 따라서 포장형식에 따른 포장파손의 형태들은 각각 다르게 나타나고 있다.

#### 2.1 아스팔트 콘크리트 포장

아스팔트 포장 파손은 교통하중, 환경하중 또는 혼합물의 노화 등 공용성능이 저하되어 원활하고 안전한 교통흐름에 방해의 요인으로 작용된다. 이러한 원인에 의해 아스팔트 포장 도로 파손 형상에 따라 균열 형태, 변형 형태, 탈리

\* 비회원 · (주)도화종합기술공사 기술개발연구원 연구원 · 공학석사 · E-mail : simjp@dohwa.co.kr  
\*\* 정회원 · (주)도화종합기술공사 기술개발연구원 수석연구원 · 공학박사 · E-mail : jinrino@dohwa.co.kr  
\*\*\* 정회원 · (주)도화종합기술공사 기술개발연구원 선임연구원 · 공학박사 · E-mail : dragonjo@dohwa.co.kr  
\*\*\*\* 정회원 · (주)도화종합기술공사 기술개발연구원 원장 · E-mail : hmkim42@dohwa.co.kr



형상, 미끄럼 저항 감소 형상으로 크게 4가지로 나누고 각각의 파손 종류로 구분하고 있다. 균열 형태는 차량의 반복적인 하중과 온도저하, 도로구조의 하부층의 지지력 저하 등 내·외적인 요인으로 발생을 한다. <그림 1>



(a) 피로균열

(b) 세로방향균열

(c) 가로방향 균열

<그림 1> 균열 형태(FHWA, 2003, Distress Identification Manual)

변형 형태는 재료적인 영향인 점탄성을 가진 아스팔트 포장에서만 나타나는 파손 형태로 아스팔트 혼합물의 내적인 인자와 지속적인 차량하중인 외적인 인자가 합쳐져 영구적인 변형을 말한다. <그림 2>



(a) 소성변형

(b) 쇼빙

<그림 2> 변형 형태(FHWA, 2003, Distress Identification Manual)

탈리 형상은 아스팔트 혼합물 중 골재 입자의 이동에 의해서 포장 표면으로부터 하부로 아스팔트 포장층의 진행성 분리이다. <그림 3>



(a) 라벨링

(b) 포트홀

<그림 3> 탈리 형태(FHWA, 2003, Distress Identification Manual)

미끄럼 저항 감소 형상은 아스팔트 포장 표면이 차량의 반복 마찰로 마모작용이 일어나 공용성능이 저하된 상태를 말하며, 대표적으로 파손 형상으로 블리딩과 골재마모는 <그림 4>와 같다.



(a) 블리딩 (b) 골재마모  
 <그림 4> 미끄럼 저항 감소 형상(FHWA, 2003, Distress Identification Manual)

**2.2 시멘트 콘크리트 포장**

시멘트 콘크리트 포장에 발생하는 파손(손상)에는 많은 종류가 있어 그 원인과 발생과정이 복잡하기 때문에 메커니즘 규명에 많은 연구자들이 연구를 하고 있다. 시멘트 콘크리트 포장 파손은 <그림 5~7>에서 보는 것과 같이 균열 형태, 변형 형태, 탈리 형상 등으로 나누고 각각의 파손 종류로 구분되어 있다.

균열 형태는 동결융해에 대한 내구성과 화학적 반응과 같은 재료적인 영향으로 나타나고 있으며 <그림 5>는 시멘트 콘크리트 포장의 대표적인 균열이다.



(a) 세로방향균열 (b) D 균열 (c) 우각부 균열  
 <그림 5> 균열 형태(FHWA, 2003, Distress Identification Manual)

시멘트 콘크리트 포장의 변형 형태는 아스팔트 포장의 특징인 연속적인 건설이 아닌 콘크리트 슬래브간의 부등수직변위로 인해 발생된다. <그림 6>



(a) 단차 (b) 길어깨 단차 (c)뽀뽀  
 <그림 6> 변형 형태(FHWA, 2003, Distress Identification Manual)



탈리 현상은 단단한 입자가 콘크리트 줄눈 중심에 침입하여 콘크리트 슬래브의 열팽창을 방해하여 국부적인 솟아오름 또는 깨짐 등의 압축 파괴를 일으키거나, 콘크리트 표면이 공용성능의 저하로 마모가 되어 골재의 이탈과 함께 알카리 반응(염화칼슘, 소금)등의 동결융해의 반복으로 부식되는 외적 요인이다. 그 대표적인 파손 종류로 블로우업과 스케일링이 있으며 <그림 7>과 같다.



<그림 7> 탈리 형태(FHWA, 2003, Distress Identification Manual)

### 3. 보수공법 종류의 현황 및 분석

도로 포장의 유지보수는 포장평가에 의해 파손의 종류 및 등급에 따라 보수공법이 달라지게 된다. 현재 국내에서는 각 보수공법별 보수기준은 보수재료의 선정, 구체적인 보수절차 그리고 보수공법에 대한 평가절차와 보수 후 평가방법 등의 규정이 체계적으로 정립되어 있지 않으며, 일반적으로 많이 사용하고 있는 보수공법은 다음과 같다.

#### 3.1 아스팔트 콘크리트 포장의 유지보수공법

균열실링 보수는 포장 표면에 발생한 균열에 실린트를 주입하는 공법으로 포장 노면에 발생하는 가로 및 세로방향 균열이나 반사균열과 같은 국부적인 선상 균열의 보수에 적합하다.

소파보수는 포트홀, 피로균열등 국부적 포장파손 부위에 절삭기를 이용하여 수직 또는 정사각형으로 차량 진행 방향에 직각으로 절삭하는 공법이다.

슬러리 시일공법은 6.2mm이하의 골재, 모래 및 바인더를 현장에서 배합하여 포장면에 얇게 포설하는 공법으로 교통량이 많지 않고 표면결합의 정도가 심하지 않은 구간에 균열방지 및 평탄성 복구용으로 수행되고 있다.

덧씌우기는 기존포장의 구조 능력 저하로 노면의 미끄럼 저항성 증진 및 평탄성 개량, 균열로 빗물의 침투를 방지하는 목적을 겸하며 두께 산정이 어려워 높이의 상승과 공사비 등을 고려하여 5cm 두께의 시공이 일반적이다.

절삭 덧씌우기는 균열과 소성변형이 표층에서만 발생한 경우 또는 주변 구조물로 인해 포장체의 계획고를 높일 수 없는 경우에 수행하는 공법이다.

재포장은 표층뿐만 아니라 기층의 파손일 경우, 노상부까지 제거한 후 다시 포장을 실시하는 공법으로 보수공법 중에 가장 많은 공사비와 시간이 소용되는 공법으로 채택 시 특별한 검토를 요구하고 있다.

다음 <그림 8>과 <표 1>은 아스팔트 포장 파손시 적절하게 이용되고 있는 유지보수공법 종류와 파손 원인, 유지보수 공법 등을 요약 정리하여 나타냈다.



〈그림 8〉 아스팔트 콘크리트 포장의 유지보수공법

〈표 1〉 아스팔트 콘크리트 포장의 보수방법

구분	파손유형	파손(손상)원인	유지보수공법
균열	피로균열	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 큰 교통하중(특히 해빙기)</li> <li>- 아스콘 표층의 약한 경우</li> <li>- 포장두께의 부족</li> <li>- 노상, 보조기층 지지력 부족</li> <li>- 큰 교통하중</li> <li>- 지하수, 배수불량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 균열실링보수</li> <li>- 심한 경우 소파보수</li> <li>- 덧씌우기</li> <li>- 재포장</li> </ul>
	가로방향균열	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 온도하강에 의한 수축</li> <li>- 노상, 보조기층 지지력 부족</li> <li>- 동결융해</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 균열실링보수</li> <li>- 소파보수</li> </ul>
	세로방향균열	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시공불량</li> <li>- 온도하강</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 균열실링보수</li> <li>- 심한 경우 소파보수</li> </ul>
변형	소성변형	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 큰 교통하중</li> <li>- 혼합물의 품질 불량</li> <li>- 아스팔트 바인더의 과다 함량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 절삭 처리</li> <li>- 절삭 덧씌우기</li> <li>- 심한 경우 소파보수</li> </ul>
	쇼빙		
탈리	라벨링	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 아스팔트 혼합물의 이물질 포함</li> <li>- 아스팔트 바인더 함량 부족</li> <li>- 다짐 및 양생 불량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 표면처리</li> <li>- 소파보수</li> <li>- 덧씌우기</li> </ul>
	포트홀		
미끄럼 저항 감소	블리딩	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 아스팔트 바인더 과다 함량</li> <li>- 플러싱이 있던 포장 위에 덧씌우기 한 경우</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시일 코트</li> <li>- 덧씌우기</li> </ul>
	플러싱		

### 3.2 시멘트 콘크리트 포장의 유지보수공법

균열실링보수공법은 콘크리트 포장 표면에 발생하는 균열에 실런트를 주입하는 방법으로 실링 주입전 균열부의 청소 및 건조 상태가 매우 중요하며, 실링 후 영생이 완료된 후에 교통개방을 해야 한다.

전(부분) 단면 보수는 콘크리트 슬래브의 스폐링, 블로우업과 같이 줄눈부 파손이 심한 경우나 다수의 복잡한 균열이 복합적으로 발생한 경우 적용하는 공법으로 보수재료의 선정 시 기존 포장체와의 접착성, 재료의 내구성 등을 고려하여 공법을 결정하여야 한다.

그라인딩보수 공법은 포장체의 단차를 줄이고 노면의 평탄성을 제공하며 공용기간을 연장시킬 수 있다.

서브실링 보수공법은 지반의 지지력이 연약하거나 줄눈부 손상으로 침투한 물로 인해 침식된 하부구조의 침하가 발생된 구간에 더 이상의 침식이 발생하지 않도록 보수재료를 주입하는 공법으로 서브실링 양을 파악하기 위한 평가 매우 중요하다.

다음 <그림 9>와 <표 2>는 콘크리트 포장 파손시 적절하게 이용되고 있는 유지보수공법 종류와 파손 원인, 유지보수공법 등을 요약 정리하여 나타냈다.



<그림 9> 시멘트 콘크리트 포장의 유지보수공법

<표 2> 시멘트 콘크리트 포장의 보수방법

구분	파손유형	파손(손상)원인	유지보수공법
줄눈 과 균열	가로방향균열	- 온도변화, 건조수축 - 노상, 보조기층의 지지력 부족 - 줄눈 절단시기 늦음	- 균열실링 - 심한 경우 전단면 보수
	세로방향균열	- 노상, 보조기층의 지지력 부족 - 노상의 부등 침하 - 세로줄눈 간격 부적당	- 균열실링 - 심한 경우 전단면 보수



변형	우각부 균열	- 지지력 부족 - 중차량의 반복 하중	- 균열실링 - 심한 경우 부분 보수
	D형 균열	- 동결 용해 - 알카리 골재 반응	- 균열실링 - 심한 경우 전단면 보수
탈리	단차	- 노상지지력 부족	- 그라인딩 - Grouting
	뿔핑	- 슬래브 하부로 침투한 물이 동결 또는 동상의 반복 현상	- 줄눈, 균열 실링 - 서브실링
미끄럼 저항 감소	블로우업	- 온도, 습도의 상승 - 줄눈, 균열부 이물질 침투 - 다우웰바가 콘크리트에 붙어 버린 경우 - 팽창줄눈이 없거나 제대로 작동치 않은 경우	- 전단면 보수 - 팽창줄눈설치
	스폴링	- 하중에 의한 처짐 - 힘 현상 - 다우웰바의 정렬 불량	- 부분 단면 보수 - 심한 경우 소파 보수
미끄럼 저항 감소	골재마모	- 중차량의 반복하중에 의한 공용성능 저하	- 그루빙 - 그라인딩

#### 4. 보수공법 단가 현황

신진국들은 도로 관리 기관에서 도로의 수명을 고려하여 초기비용과 유지보수비용을 합한 금액으로 경제적 타당성을 검증하는 절차가 수립되어 있다. 초기 투자비가 크더라도 적은 유지관리비용으로 인하여 더 경제적인 공법이 있다면 이를 시행하고 있다. 해외에서 사용되고 있는 보수공법의 단가는 경제성 분석에 매우 중요한 작용을 하고 있다. 생애주기 비용(LCC; Life Cycle Cost)은 제품의 생산, 사용, 폐기·처분 등의 각 단계에서 발생하는 모든 비용의 합산 금액을 말한다. 도로에서의 LCC분석은 초기 건설비용과 유지보수의 단가가 중요하다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 국내에 적용되고 있는 보수공법 단가를 포장의 종류별로 분류하여 정리하고 이를 기초로 초고속 도로 포장 파손부에 적합한 급속 복구 기술 개발의 기초자료로 활용하여 향후, 스마트 하이웨이의 보수공법 단가를 이용하여 경제적 타당성을 검증할 때 매우 유용하게 사용될 것이라 사료된다.

〈표 3〉 유지보수공법 단가(한국도로공사, 2008, 유지보수 단가집)

구분	공종명	규격	단위	재료비	노무비	경비	합계	비고
아스팔트 포장 유지보수 공법	균열보수 (실린트주입, U컷팅)	B=8mm, T=12mm	m	2,022	3,474	157	5,653	
	절삭덧씌우기	T=5cm	m <sup>2</sup>	826	800	832	2,458	
	슬러리실	T=6mm	m <sup>2</sup>	1,983	6,167	2,571	10,721	표준적산, 2008
	덧씌우기	T>7cm	m <sup>2</sup>	5,858	10,803	4,653	21,314	표준적산, 2008
	덧씌우기 포설	T=5cm	m <sup>2</sup>	596	383	556	1,535	
콘크리트 포장 유지보수 공법	균열보수	B=0.5mm, T=10cm	m	21,442	107,928	2,158	131,528	
	부분단면보수	T=15cm, 인력	m <sup>2</sup>	86,177	76,868	4,528	167,573	
	절삭 덧씌우기	T=5cm	m <sup>2</sup>	4,289	12,501	12,404	29,194	
	다이몬드 그라인딩	콘크리트 포장	m <sup>2</sup>	6,851	1,365	2,722	10,938	



### 5. 기술적 고찰에 의한 보수공법의 적용

본 연구에서는 포장도로의 유지보수공법 중 국내·외에서 시행할 수 있는 공법들을 기술하였다. 최근에는 도로 관리자와 국내·외 학자들도 신설 못지않게 유지보수에 대한 관심이 점차 높아지고 있다. 포장의 유지보수는 파손 초기에 파손의 종류 및 등급에 따라 보수재료 및 공법을 정하는 적절한 대책과 대응으로 보수비용도 줄일 수 있고, 좋은 공용성능도 유지 할 수 있다. 다음 <표 4>는 기술적 고찰로 얻은 결과를 포장 파손형태에 따라 보수적용 기준 및 보수방법을 나타낸 것이다.

<표 4> 보수방법의 적용기준

결함 상태	보수 적용 기준	보수 방법
세로, 가로, 우각부 균열	-균열 간격이 1.2m 이내의 복합균열 -대각선 방향의 복합균열	-전 길이 패칭(전단면)
표면 스케링	-표면 Scaling 발생구간 차량 운행에 지장을 초래하는 구간 -표면 Scaling이 진행되는 구간	-발생부분 절단 후 보수재료 채움
조인트 스폴링 및 코너 스폴링	-줄눈이나 모서리 부위에 스폴링이 발생하는 구간 -F.O.D 발생이 예상되는 구간 -보수를 하였으나 재 파손되어 기능상 재보수를 요하는 구간	-일면 부분 깊이 패칭(부분단면) -양면 부분 깊이 패칭(부분단면)
Pot Out	-Pop Out 상태로 지름이 10cm 이상되는 구간	-부분 깊이 패칭(부분단면)
줄눈 파손	-산화로 인해 줄눈 기능 상실 구간 -줄 눈재 이탈 부위	-기존 줄눈대 제거 후 재시공

### 6. 결 언

도로 포장 파손의 원인은 한가지의 요소가 아닌 복합적(외적인 요인, 환경적 요인)으로 나타나기 때문에 정확한 보수시기, 보수재료, 보수방법 등을 선택하기란 매우 어려운 상황이다. 또한, 많은 기술자나 연구자들은 포장파손은 외적인 요인, 환경적 요인보다는 품질관리 등의 내부적 요인에 의해 더 많이 발생하므로 포장 파손을 저감시키기 위해서는 포장파손사례 및 시공시 실패사례 등을 D/B 구축하여 똑같은 유형의 파손이 재발되지 않도록 노력할 필요성을 느끼고 있다. 본 연구는 스마트 하이웨이의 포장손상에 대한 응급보수공법 개발에 앞서서 기존의 포장 파손 및 보수 공법에 대한 조사를 진행하였다. 본 연구에서 검토된 포장 파손 및 보수공법의 현황을 여러 문헌 및 시공 사례들을 통해 얻어진 자료를 기초로 향후, 초고속 도로 포장 파손부에 적합한 급속 복구 기술 개발의 기초 자료로 활용되어 스마트 하이웨이 사업의 성공과 활용측면에서 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 논문은 한국건설교통평가원에서 지원한 “스마트 하이웨이 사업단” 사업으로 “도로구조의 내구성 확보기술 개발” 과제의 협동연구인 “국부적 포장파손부 급속 복구기술 개발” 연구 결과로 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

국토해양부, 2008, 도로업무편람  
 FHWA, 2003, Distress Identification Manual  
 한국도로공사, 2000, 유지보수 작업 매뉴얼(포장보수)  
 이재만, 2006, 강성 및 연성포장의 파손에 대한 원인과 보수방법 검토  
 한국도로공사, 2008, 유지보수 단가집