

국내 적용 반사균열 억제공법 현황 및 초기공용성

한상기* · 차순만** · 조윤호***

1. 머리말

1980년대 이후 88고속도로의 개통을 시작으로 현재까지 국내 고속도로의 대부분을 콘크리트 포장이 차지하고 있다. 향후 계획된 고속도로 포장의 대부분이 콘크리트로 건설될 계획임을 감안하면 콘크리트 포장의 비율은 높아만 갈 것으로 보인다. 신설 콘크리트 포장의 증가 추세와 동시에 기존에 건설된 콘크리트 포장의 노후화 진행도 빨라져 많은 유지관리 비용이 소요될 것으로 보인다. 노후된 콘크리트 포장에 대한 덧씌우기 공법으로는 크게 콘크리트 덧씌우기 공법과 아스팔트 덧씌우기 공법으로 양분할 수 있다. 콘크리트 덧씌우기 포장은 기존층에 대한 근본적인 보강 대책으로 각광 받고 있으나, 양생기간 및 교통 개방시간 등의 기술적 문제로 인해 보편화 되지 않은 실정이다. 아스팔트 덧씌우기의 경우에는 아스팔트 재료가 가지는 장점으로 인해 많은 시공 경험이 있고 앞으로도 많이 적용될 것으로 보인다. 따라서 본 고에서는 아스팔트 덧씌우기 포장 설계 개념을 살펴보고, 국내에 적용된 반사균열 억제공법 설치 현황 및 초기 공용성에 대하여 소개하고자 한다.

2. 아스팔트 덧씌우기 설계의 기본 개념

아스팔트 덧씌우기 설계는 우선 기능적인 목적인지, 아니면 구조적인 목적인지를 결정하는 단계에서부터 출발하게 된다. 기능적인 문제인 경우 AASHTO Guide에서 제시하는 최소 두께만을 제공하면 아무런 문제가 없다. 그러나 구조적인 목적인 경우 장래 교통량과 기존 포장의 구조적 능력을 합수로 하는 설계가 반영되어야 하는, 즉 유효 두께 개념을 사용하게 된다.

그림 1은 아스팔트 덧씌우기 설계 개념에 대한 개략적인 흐름을 보이고 있다. 가장 먼저 기존 포장층 두께, 하중 전달장치 형태, 길어깨 형태 등의 기존 포장에 대한 기본 자료 조사가 선행되어야 하고, 과거 및 장래 누적 추정 교통량 분석과 포장 표면 결합 자료를 수집하는 표면 조사가 이루어진다. 이후 유효 두께 산정을 위한 처짐량 조사와 재료 실험을 통하여 기존층의 현상태를 파악한다. 상기의 과정을 토대로 하여 식 1과 같이, 산출된 장래 필요한 구조지수와 현재 남아있는 구조지수, 그리고 아스팔트 재료가 가지고 있는 상대강도계수를 이용하여 덧씌우기 두께를 결정하게 된다(AASHTO, 1993).

* 정회원 · SK(주) 대덕기술원 아스팔트연구그룹 연구원
 ** 정회원 · SK(주) 대덕기술원 아스팔트연구그룹 수석연구원
 *** 정회원 · 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 부교수

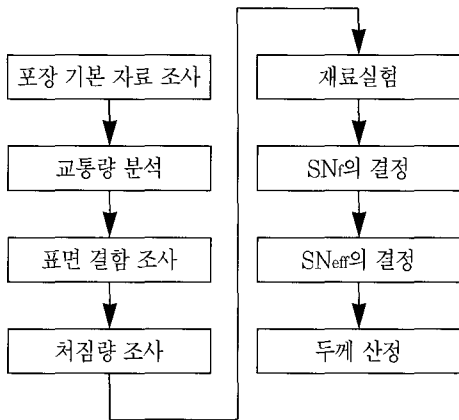


그림 1. 아스팔트 덧씌우기 설계 과정 흐름도

$$D_{OL} = A(D_f - D_{eff}) \quad \text{식(1)}$$

$$A = 2.2233 + 0.0099(D_f - D_{eff})^2 - 0.1534(D_f - D_{eff})$$

- 여기서, D_{OL} : 아스팔트 덧씌우기 두께
- D_f : 장래 교통량을 위한 포장 두께
- D_{eff} : 기존 포장의 유효 두께
- A : 부족한 콘크리트 포장두께를 아스팔트로 변환하는 식

이에 앞서 이 설계 방법이 실질적으로 적용되기 위해서는 포장 결함 조사 결과를 토대로 한 반사균열 억제 공법의 적용이 반드시 선행되어야 한다. 적절한 공법 적용을 통한 반사균열 억제는 필수적이거나 현재까지 역학적인 설계법은 개발되지 않았고, 단지 지역별 경험적인 근거에 머무르고 있는 것이 현실이다. 역학적 설계는 차치하더라도 향후에는 경험적 근거에 더하여, 다양한 공법의 적용을 통한 지역 특성에 적합한 공법 선택을 지속적으로 모색해야 할 것으로 판단된다.

3. 반사균열 억제공법

기존의 콘크리트 포장을 아스팔트 혼합물로 덧씌우기 할 경우 가장 나타나기 쉬운 파손의 형태는 반

사 균열이다. 반사균열이 발생한 파손부에서는 승차감 불량, 사용자의 불안감 조성뿐만 아니라 파손부로의 우수 침투로 인한 포장 파손의 가속화를 촉진시켜 포장 수명의 단축을 초래하게 된다. 이러한 파손은 하부층의 조인트 및 균열 등의 결함으로 인한 역학적인 불연속면이 발생되어 나타나는 응력집중 현상에 기인하는데, 이때 반사균열에 가장 많은 영향을 미치는 인자로는 환경요인과 교통하중을 들 수 있다.

반사균열 억제를 위하여 국내는 물론 국외에서도 덧씌우기 두께의 증가 등의 간단한 공법에서부터 보강재, 응력 완화층의 설치 등과 같은 여러 공법이 시행되어 왔으나 각 공법상의 발생 문제점 및 시공기술로 인하여 완벽한 억제공법으로 적용되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 장에서는 국내에 소개된 반사균열 억제공법 위주로 간략히 기술하고자 한다.

3.1 줄눈 절단 및 실링 공법(saw & sealing)

아스팔트 덧씌우기 후 반사균열의 발생 가능성이 높은 위치(줄눈부, 균열부 등)에 줄눈을 설치한 후 채움재로 그 틈새를 메워 미리 균열을 유도하는 공법으로 심한 반사균열에 의한 포장의 조기파손을 막는 방법으로 사용되고 있다. 즉 불규칙하게 발생될 반사균열을 직선으로 유도하여 차후의 보수를 용이하게 하며, 하부층의 전처리 부족으로 인한 2차적인 파손의 최소화를 도모하여 덧씌우기층의 수명을 증진시키는데 있다(김지원 등, 2001). 이때 본 공법의 성패 여부는 줄눈의 설치시기, 줄눈의 폭과 깊이, 적절한 탄력을 가진 줄눈 주입 재의 사용 등에 달려 있다.

3.2 파쇄 및 안치 공법

본 공법은 기존의 콘크리트 포장을 파쇄 하는 정도에 따라 세 가지로 나뉘게 된다(AASHTO, 1993). 첫째는 Crack & seat 공법으로 슬래브의 하중전달 능력을 유지하면서 횡 방향으로 균열을 유도하여 온도 변화에 따른 슬래브의 수평적 이동을 분

산시켜 반사균열을 억제한다. 그러나 균열이 상존하므로 공법채택이 다소 제한적일 수 있으며, 통상 무근 콘크리트 포장(JPCP)에 사용된다. Break & seat 공법은 Crack & seat 공법과 유사하나 이는 철근보강 콘크리트 포장(JRCP)에 사용된다. 마지막으로 완전파괴(Rubblization) 공법은 유압해머를 사용하여 기존 포장층을 잘게 파쇄 한 후 덧씌우기 하는 공법으로, 기존 슬래브의 줄눈이나 균열이 없어짐과 동시에 파쇄 된 슬래브는 골재와 같은 역할을 하게 되어 하나의 두꺼운 골재기층 역할을 하게 된다.

앞선 두 공법은 연약 지반상의 포장에는 반사균열을 억제할 수 있는 적절한 방법이나 하부 지반이 단단한 경우 슬래브를 쉽게 파쇄 할 수 없으므로 비경제적일 수 있다. 완전파괴 공법은 포장 구조체를 잘게 파쇄 하기 때문에 포장 전체의 구조적 지지력을 저하시키고, 주어진 하중을 견디기 위해서는 더 두꺼운 덧씌우기를 요하게 된다. 또한 이들 공법은 시공 비용이 타 공법에 비하여 상대적으로 고가이며, 국내에는 현재까지 장비가 없는 형편이다.

3.3 응력 완화층의 설치

• 응력완화 중간층

응력완화 중간층은 콘크리트 포장의 수평/수직 방향의 상대변위를 흡수하여 덧씌우기층으로 전달되는 상대 변위량을 줄여주는 목적으로 사용된다. 통상적으로 약 25mm 이하의 두께를 가지지만 일부 재료의 경우는 150mm까지도 사용된다. 대표적인 중간층으로는 모래 아스팔트 혼합물이 있으나, 이는 하부층의 줄눈 간격이 넓을수록 효과가 감소하며 낮은 강성으로 인하여 소성변형에 취약한 문제점을 가지고 있다.

현재 미국을 비롯한 외국에서는 이에 대한 문제점을 해결하고자 많은 연구를 통한 현장 시공이 이루어지고 있다. 중간층에 사용되는 아스팔트는 높은 탄성을 보이는 개질 아스팔트를 사용하고 높은 아스팔트 함량을 갖는 세립도 중간층을 설치함으로써,

이 층의 본 목적인 응력완화에 큰 도움을 줄 뿐만 아니라 수분침투 방지, 구조적 능력 증가 등에 효과가 있는 것으로 나타났다. 즉 개질 아스팔트를 사용함으로써 고온에서의 탄성 증가, 저온에서의 점성 증가에 따른 하부층 신축의 변화에 유연하게 대처할 수 있는 장점이 있으며, 소성변형 저항성을 증대 시키기 위하여 100% 파쇄 된 골재를 혼합하여 사용한다. 두께가 얇고 공극률이 낮은 특성으로 인하여 교통하중에 의한 소성변형의 문제가 제기되기도 하지만, 아스팔트 덧씌우기층을 소성변형 저항성이 높은 특화 된 아스팔트를 사용함으로써 이에 대한 문제점을 해결할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 초기 비용이 높은 경향을 보이는 단점을 가지고 있다.

• 응력흡수층

SAMI(Stress Absorbing Membrane Interlayer)로 불리는 이 공법은 표면처리 공법 중 하나인 chip seal과 유사하다. 사용되는 재료로는 고무계열 아스팔트 또는 개질 유화 아스팔트 등이 있다. 특히 고무계열 아스팔트의 경우 고무의 감온성을 이용하여 하부층에서 발생하는 응력을 흡수하는 층으로 사용된다.

SAMI는 기존 노면에 발생되어 있는 균열 또는 줄눈부의 피손을 채워줌으로써 하부층에서 발생하는 응력과 변형을 완화시켜주는 효과가 있다. 그러나 국내에서는 아스팔트의 양생기간 소요와 시공 장비의 부족 등의 문제점을 가지고 있다.

3.4 토목섬유 설치

토목섬유는 반사균열 억제효과와 차수효과에 의한 포장수명의 연장을 도모하기 위하여 1960년대 말부터 아스팔트 덧씌우기 포장에 사용되고 있다. 현재 많이 사용되고 있는 토목섬유로는 지오그리드(geogrid)와 시트형태의 섬유가 있다. 지오그리드는 고강도 합성섬유로 만들어진 인장부재를 격자형태로 구성한 토목섬유 제품으로 통상 강성을 기준으로 강

성 지오그리드와 연성 지오그리드로 분류된다. 지오그리드 형태의 토목섬유는 차수효과는 기대하기 곤란하나, 아스팔트 콘크리트보다 높은 강성을 가지고 있어 인장력 유발에 의한 보강효과와 응력완화효과에 의해 포장 성능을 향상시킬 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 시트 형태의 섬유 역시 널리 사용되고 있는데, 이는 지오그리드의 시공상의 어려움을 해소하고 차수효과도 고려할 수 있도록 제작된 제품으로 현재 그 사용량이 급증하고 있다(건설교통부, 2002 b).

토목섬유를 보강하였을 경우 파괴 유형은 크게 둘로 나눌 수 있는데, 토목섬유의 탄성계수가 상대적으로 작은 경우에 나타나는 응력완화유형(stress relief mode)과 탄성계수가 크고 충분한 단면적을 가지고 있는 경우에 나타나는 보강유형(reinforcement mode)이 있다. 최근 사용되는 토목섬유의 재료로는 유리섬유가 많이 이용되고 있는데, 이는 낮은 열변형률, 높은 인장강도 및 탄성계수를 가짐으로써 인장력에 의한 반사균열 억제에 탁월한 효과를 보이고 있다.

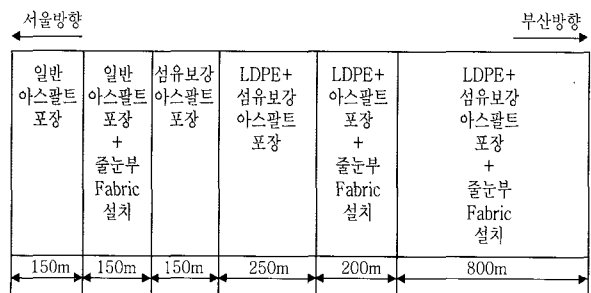
그러나 현장 시공 시 포장면과 접착이 잘 이루어지지 않는 접착불량 현상, 기존 도로의 평탄작업 선행, 시공장비로 인한 분리 현상 발생, 토목섬유의 연화온도 등이 문제가 되기도 하며, 유리섬유 토목섬유의 경우 가격이 다소 높아서 경제성 평가를 선행해야 한다.

용 공법에 대하여 살펴보고자 한다.

4.1 반사균열 억제공법 적용 구간

본 장에서는 1999년 4월에 시공된 경부고속도로 구간, 2000년 5월과 11월에 시공된 호남고속도로 구간, 동년 12월에 시공된 국도 17호선 구간, 이상 세 구간에 대하여 살펴보기로 한다. 경부고속도로 구간은 하행선 청원~중약 확장구간으로 총 연장은 2.5km, 호남고속도로 구간은 하행선 150~156km(이하 상행 시점 기준)중 3km이며, 국도 17호선은 전주~남원 구간으로 32km 구간에 대하여 파손이 심한 구간에 시공되었다.

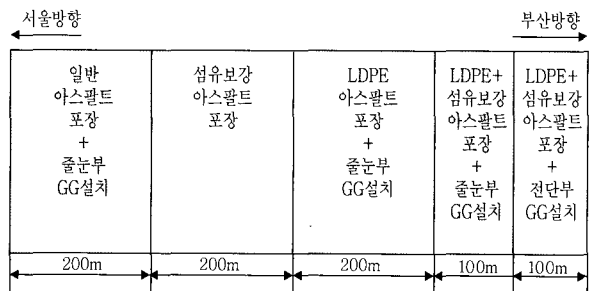
경부고속도로 구간은 30cm 무근 콘크리트 슬래브로 건설된 구간으로 반사균열 억제를 위하여 덧씌우기 포장 재료는 섬유보강 또는 LDPE 개질 아스팔트를, 보강재로는 Fabric와 및 유리섬유 그리드(glassgrid)를 사용하여 2차선에 대하여 시공하였



(a) Fabric 설치 구간

4. 반사균열 억제공법 시공 현황

현재까지 국내 콘크리트 포장에 대한 아스팔트 덧씌우기에서는 특별한 반사 균열 억제 공법이 적용되지 않고 있다. 앞서 설명한 공법은 주로 시험시공에 의해 시도되고 있으나 이들에 대한 추적조사가 제대로 이루어지지 않고 있어 국내 실정에 맞는 공법 선정이 어려운 상황이다. 본 장에서는 반사균열 억제 공법이 채택된 세 개 구간에 대한 위치와 적



(b) 유리섬유 그리드(GG) 설치 구간

그림 2. 경부고속도로 시공구간 개략도

다. 본 구간에 설치된 시험 구간의 개략도는 그림 2와 같다(한국도로공사, 1999).

호남고속도로 구간은 반사균열 억제를 위하여 덧씌우기 포장 재료는 SBS 개질 아스팔트와 CRM 아스팔트를, 보강재로는 지오그리드를 사용하여 편도 2차선에 대하여 시공하였다. 본 구간에 대한 개요는 표 1과 같다.

국도 17호선 구간은 호남고속도로 구간과 유사하게 반사균열 억제를 위하여 덧씌우기 포장 재료는 SBS 개질 아스팔트와 CRM 아스팔트를, 보강재로는 토목섬유의 일종인 지오그리드와 유리섬유 그리드를 사용하여 모든 차선에 대하여 시공하였다. 본 구간은 기존 콘크리트 포장의 파손에 따라 차선별

표 1. 호남고속도로 시공구간 개요

위 치 (시점)	줄눈부 채움재	균열 및 줄눈 보강재	포장재료 및 두께
150.0~150.2km	-	전단면 설치	SBS PMA, 4cm
150.2~151.0km	-	줄눈부 설치	SBS PMA, 4cm
151.0~151.3km	-	-	SBS PMA, 4cm
151.3~151.55km	PMA	-	SBS PMA, 5cm
151.55~152.0km	-	-	SBS PMA, 6cm
155.0~156.0km	-	-	SBS PMA, 5cm

표 2. 국도 17호선 시공구간 개요

구분	줄눈부 채움재	균열 및 줄눈 보강재	포장재료 및 두께
N-A	-	줄눈부 GG설치	SBS PMA, 4cm
N-B	-	-	일반7cm+SBS PMA 4cm
N-C	-	줄눈부 지오그리드 설치	SBS PMA 4cm
N-D	-	-	일반7cm+SBS PMA 4cm
N-E	-	-	일반7cm+CRM 4cm

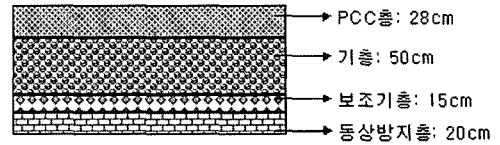


그림 3. 국도 17호선 포장 단면

적용 공법이 상이하하여 여기서는 표 2와 같이 개략적으로 나타내었으며, 그림 3은 하부층의 단면도를 나타낸 것이다(건설교통부, 2002 a).

4.2 반사균열 억제공법 적용시 주의사항

시공중 가장 문제가 발생한 공법은 토목섬유로 보강한 구간이다. 토목섬유로 보강한 이들 포장 구간의 경우 보통 프라임 코우트 또는 택코우트를 적용하고, 추후 타이어 로울러로 전압하여 하부층과의 부착성을 확보하였다. 그러나 시공중 덤프트력의 급정거와 회전, 페이퍼의 무한궤도에 의하여 밀림현상이 발생하였으며, 이러한 문제 구간의 경우 토목섬유의 제거 또는 교정하는 작업이 수행되었으나 시공성이 매우 떨어졌다. 따라서 이들 공법의 적용시에는 충분한 시공 시간 확보가 우선되어야 하는데, 교통량이 많은 곳에서는 어려움이 따를 것으로 판단된다.

5. 추적조사

호남고속도로 구간의 경우 2003년 2월 육안 관측한 결과 줄눈부를 보수하지 않은 구간의 경우는 이미 다수의 반사균열이 발생하였다. 균열 발생 구간에서 수분침투로 인한 것으로 판단되는 pothole이 여러 군데 발생하였다. 그러나 줄눈부를 보수한 구간의 경우 그림 4와 같이 공용 2년이 지난 현 시점까지 양호한 상태를 보이고 있어 하부층 보수 여부에 따른 차이를 보여주었다.

국도 17호선 구간의 경우 초기 덧씌우기 포장후 실시된 세 차례의 추적조사 결과 예상과는 달리 포

장층 두께를 증가시킨 경우 가장 우수한 공용성을 보인 것으로 나타났다. 공용된지 약 1년이 지난 포장 두께가 상대적으로 얇은 포장층의 경우 균열 전이의 가속화로 판단되는 조기 반사균열과 pothole 등의 포장 파손이 발생하였다. 토목섬유 보강 구간의 경우 비 설치구간에 비하여 반사균열의 발생율은 현저히 낮게 조사되었으나, 중방향 균열 발생 대비 횡방향 반사균열의 발생이 현저히 많이 관측되었다. 이는 차량하중에 의하여 줄눈 부위에서 과도한 휨응력이 발생되어 토목섬유의 인장강도를 초과하여 균열이 발생된 것으로 판단된다. 또한 본 구간에 발생된 대부분의 pothole은 그림 5와 같이 기존 하부 콘크리트층의 조인트부에서 유도된 반사균열을 따라 edge 및 corner 부근에서 집중적으로 발생되었는데, 이를 위하여 덧씌우기 포장전 하부층에 대한 줄눈부 채움 등의 충분한 보수가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

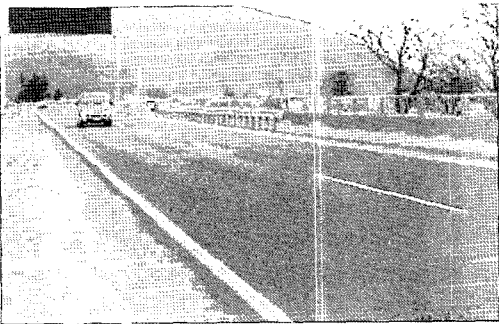


그림 4. 호남고속도로 줄눈부 보수 후 덧씌우기 구간



그림 5. 국도 17호선 반사균열 및 pothole 발생 모습

6. 요약 및 결론

국내에서는 콘크리트 포장에 대한 아스팔트 덧씌우기가 하부층의 파손에 대한 처리 미흡, 획일화된 덧씌우기 두께의 적용 등의 다양한 원인으로 인하여 많은 몸살을 겪고 있다. 특히 표면 결함조사 결과를 토대로 한 기존층의 적절한 보수가 선행된 후, 반사균열 억제 공법이 적용되어야만 그 효과가 배가될 수 있을 것으로 판단되나 현실은 그렇지 못하다. 주로 응력 완화층 개념을 이용한 공법 등 제한적인 특수 공법이 채택되고 있으나 아직도 반사 균열 억제에 대한 노력은 미미한 것으로 보인다.

국내에 적용된 반사균열 억제 공법에 대한 추적조사를 실시한 결과, 단기간에 걸친 육안 관측조사 내용으로 결론을 유도하기에는 어려움이 따르나 외국의 경험과는 상이한 결과가 도출되었다. 따라서 지속적인 조사, 즉 장기 공용성 관측 구간의 설정 및 객관적인 결함조사가 요구되며, 다양한 응력 완화층의 설치 및 보완 등과 같은 세부 공법별 연구가 필요하다. 또한 보수구간에 대한 기존 하부층의 구조적 능력 저하를 고려한 덧씌우기 두께의 산정 및 중차량 통행 및 미래 교통량 증가를 고려한 표층 성능 개선 등의 연구가 진행되어야 한다.

■ 참고 문헌

1. AASHTO(1993), "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures", American Association of State Highway and Transportation Officials.
2. 건설교통부(2002 a), "2001 도로포장관리시스템-도로대장", 265 pp.
3. 건설교통부(2002 b), "토목섬유를 이용한 아스팔트 포장 내구성 증진 연구(Ⅲ)", 160 pp.
4. 김지원, 최이현(2001), "아스팔트 덧씌우기 공법", 한국도로포장공학회지, 제3권 2호, pp. 11~19