

# 콘크리트 포장의 종방향 균열 및 종방향 조인트 벌어짐에 대한 발생 원인 및 효과적인 유지보수 방법



남 정 희 | 정회원 · 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 도로연구실 연구위원

## 1. 머리말

2010년 기준으로 고속국도 전체 연장은 3,496 km(노선기준)에 이르며 이 중 시멘트 콘크리트 포장의 연장은 2,334km(전체 연장의 67%)에 해당된다. 시멘트 콘크리트 포장을 형식별로 구분하면 약 96%가 무근 콘크리트 포장 (JPCP: Jointed Plain Concrete Pavement, 이하 JCP)이며, 약 4%가 연속철근 콘크리트 포장(CRCP: Continuously Reinforced Concrete Pavement, 이하 CRCP)으로 이루어져 있다. 따라서 대부분의 국내 시멘트 콘크리트 포장 형식은 JCP라고 해도 과언이 아니며, JCP에서 가장 중요하게 다루어져야 하는 부분은 바로 균열 및 조인트(Joint) 문제라 할 수 있다. 특히 횡방향 줄눈부(수축줄눈)에 대해서는 균열 발생원인, 줄눈부 스포링(Spalling), 동결융해 피해, 유지보수 공법 등에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으나, 상대적으로 종방향 균열 및 종방향 조인트 벌어짐에 대한 연구는 많지 않아 본 특집에서 다루고자 한다. 텍사스 교통국(TxDOT) 연구보고서인 'Assessment and Rehabilitation Methods for Longitudinal cracks and joint separations in

concrete pavement(2008)'를 참조로 하여 작성하였다.



(a) 종방향 균열



(b) 종방향 조인트 벌어짐

그림 1. JCP에서 종방향 균열 및 조인트 벌어짐 사례

## 2. 종방향 균열 및 조인트 벌어짐 발생 원인

### 2.1 종방향 균열

종방향 균열은 종방향 수축줄눈 시공시기의 지연 및 종방향 수축줄눈 시공 깊이가 충분하지 않을 경우 발생될 수 있다. 종방향 수축줄눈은 횡방향 수축줄눈과 마찬가지로 JCP의 주요한 설계 요소이다. 알려진 바와 같이 초기에 콘크리트 포장은 환경하중에 의한 일차원적인 거동 뿐만 아니라 상부와 하부 슬래브의 온도차에 기인한 이차원적인 거동[컬링(Curling)이나 와핑(Warping) 거동]의 조합으로 콘크리트 포장에 응력을 유발시키고, 이에 따른 결과로 균열이 발생된다. 따라서 수축줄눈의 역할은 인위적인 단면결손을 통해 수축줄눈부에 스트레스를 증가시켜 균열을 유도하는 것이다. 균열이 발생된 부위의 콘크리트는 응력을 받을 수 없으며, 균열 발생 후는 타이바(Tie bar)에 의해서 균열부위의 응력이 지지된다. 따라서 환경하중에 의한 응력이 증가됨에 따라 인위적인 단면결손에 의한 수축줄눈 부위가 없다면 무작위 균열의 발생은 당연한 결과일 것이다. 다시 말하면 종방향 줄눈 시공의 지연 및 종방향 줄눈시공 깊이가 충분하지 않을 경우에는 종방향 줄눈부위가 아닌 곳에서 무작위 종방향 균열이 발생될 확률이 높은 것이다.

기타 원인으로는 하부구조 강성 저하, 중차량 교통하중의 반복하중에 의한 피로, 포장층과 보조기층의 부착에 따른 슬래브 유효두께 증가로 인한 응력 증가, 건조한 보조기층에 의한 수분 흡수에 따른 표면 균열 등이 종방향 균열 발생의 원인이 될 수도 있다.

### 2.2 종방향 조인트 벌어짐

종방향 조인트 벌어짐은 중차량 하중에 의한 동하중(Dynamic loading), 타이바의 부식, 조인트 씰링(Sealing) 불량 현상의 조합으로 주로 발생하게 된다. 중차량에 의한 동하중은 슬래브를 지속적으로

한쪽방향으로 움직이게 하는 역학적 힘을 형성함에 따라 슬래브를 분리시키고 마침내 종방향 조인트 벌어짐이 발생하게 된다. 종방향 조인트의 벌어짐이 커짐에 따라 타이바의 스트레인(Strain)은 증가되며 이는 스트레스(Stress)의 증가로 이어진다. 이같은 조인트 벌어짐은 조인트 씰링 불량을 유도할 수 있다. 조인트 씰링의 파괴는 수분의 침투를 용이하게 하여 타이바의 부식을 가속 시킨다.

기타 원인으로는 타이바의 설계오류, 시공오류 등에 의한 타이바 부족으로 인해 종방향 조인트 벌어짐이 발생되기도 한다.

## 3. 종방향 균열 및 조인트 벌어짐에 대한 효과적인 유지보수 방법

### 3.1 슬랏 스티칭(Slot stitching, 이하 Slot stitching)

Slot Stitching은 DBR(Dowel Bar Retrofit)과 유사한 기술로 일반적으로 횡방향 균열 및 조인트의 하중 전달력(Load transfer)을 회복시키기 위해서 사용된다. 횡방향 균열 및 조인트 보수대상구간에 수직방향으로 Slot을 채단한 후 슬래브 두께의 절반 깊이에 해당되는 직사각형 구멍을 확보하기 위해서 잭햄머(Jackhammer)로 파낸다. 확보된 Slot을 청소 후 이형철근(직경 25mm)을 삽입한 후 급속 포틀랜드 시멘트 기반 재료로 충전한다.

Slot stitching이 DBR과 다른 점은 DBR의 경우는 윤활유를 바른 다웰바(Dowel bar)를 사용하여 단지 하중 전달이 목적인 반면, Slot stitching은 이형철근(Deformed bar)을 사용하여 하중전달과 수평적 구속을 동시에 제공하는 것을 목적으로 하고 있다. 일반적인 Slot stitching 상세는 미국 콘크리트 포장협회(ACPA: American Concrete Paving Association)에서 제시한 그림 2를 참조로 한다.

실내실험 및 구조해석 결과 Slot stitching의 경우 인장이나 휨 거동에 대한 저항력이 우수하였으나, 전

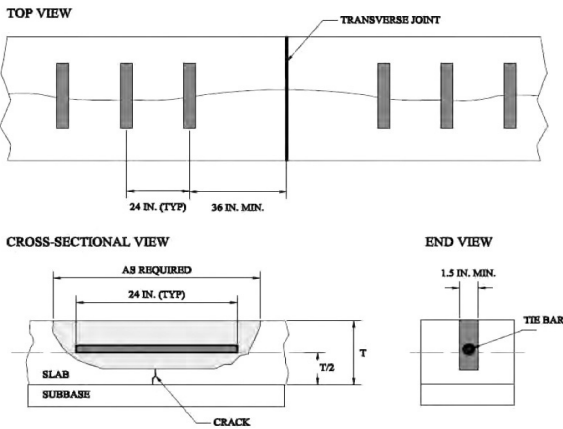


그림 2. Slot Stitching 시공 상세

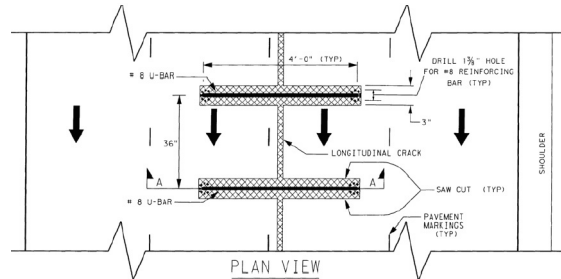
단거동에 효과적이기 위해서는 이형철근의 충분한 강성 확보가 전제가 되어야 할 것이다. 그리고 충전 재료의 부착 및 인장강도가 전체적인 거동에 중요한 역할을 함에 따라 충분한 현장 강도가 발휘될 수 있도록 현장 품질관리 및 양생에 주의를 기울여야 한다.

### 3.2 스테이플링 (Stapling, 이하 Stapling)

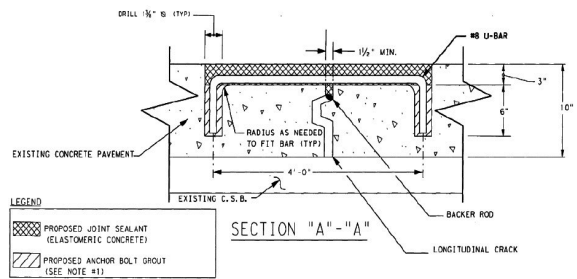
Stapling은 슬래브의 균열이나 조인트 보수대상 구간에 수평적 부착력은 제공하지만 하중전달이 꼭 필요하지 않은 구간에 적용될 수 있다. 특히 수직적인 단차가 발생하지 않은 구간에 적용하는 것이 타당하다.

Stapling은 일반적으로 Slot stitching과 동일한 방법으로 균열부위에 수평방향으로 절삭을 수행한 후 Slot의 마지막 부분에 수직으로 구멍을 뚫는다. 그 후 U-형상의 바(Staple)를 Slot에 집어 넣고 수직힘 다리(leg)부분은 고강성 에폭시로 고정시킨다. 대신 수평 부분인 Slot은 상대적으로 강성이 낮고, 탄성거동의 콘크리트로 충전한다. 고강성 재료는 수직부분에 역학적 부착을 담당하고, 저강성 재료는 Slot과 조인트 부분에 사용되면서 보수재료가 균열이나 스포(Spall)이 일어나지 않고 연성거동을 하게 한다. 일반적으로 Staple은 25mm 직경의 이형철근을 0.9m 간격으로 시공한다.

실내실험 및 구조해석 결과 Stapling의 경우 휨거동에 가장 큰 저항성을 보였으나 상대적으로 전단하중에 대한 하중 전달율은 떨어지는 것으로 나타났다.



(a) Stapling 시공 평면 상세



(b) Stapling 시공 입면 상세

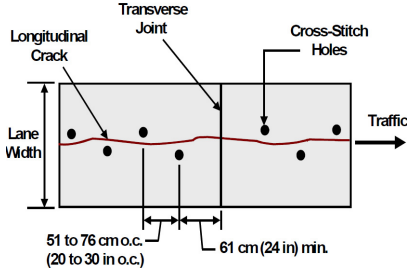
그림 3. Stapling 시공 상세

### 3.3 클로스 스티칭(Cross Stitching, 이하 Cross stitching)

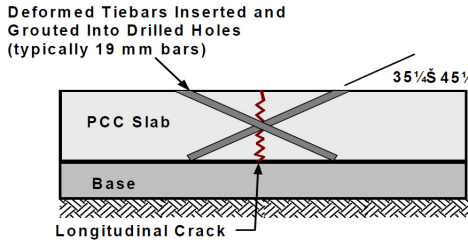
일반적인 종방향 균열 및 종방향 조인트 벌어짐의 정도가 작을 때 수행하는 유지보수 공법이다. 임팩트 드릴(Impact drill)을 사용하여 균열 및 조인트가 벌어진 부위에 교차로 경사진 홀을 현장여건에 맞게 뚫는다. 압축공기를 사용하여 홀을 깨끗이 청소한 후 에폭시를 주입하고, 19mm 이형철근을 홀에 삽입하여 공사를 마무리 한다. 철근은 일반적으로 균열의 깊이나 벌어진 지점으로부터 약 300~600mm 떨어진 구간에서부터 시공한다. 그림 4는 Cross Stitching에 대한 시공 상세를 나타내고 있다.

실내실험 및 구조해석 결과 Cross stitching의 경

우 전단 하중에 대한 저항성은 양호하나 압축에 대해서는 과응력을 받는 경향이 있어 추가적인 모니터링 및 실험이 필요하다.



(a) Cross Stitching 시공 평면 상세



(b) Cross Stitching 시공 입면 상세

그림 4. Cross Stitching 시공 상세

#### 4. 맺음말

미국의 경우 1970년 이래로 콘크리트 포장의 종방향 균열 및 종방향 조인트 벌어짐이 많이 발견되고 있다. 이같은 종방향 균열 및 종방향 조인트 벌어짐은 포장의 구조적 능력을 저하시킬 수 있다. 균열 틈이나 벌어진 조인트 사이로 수분이 침투하고, 이에 따라 철근의 부식 혹은 하부구조의 침식(Erosion)과 펌핑(Pumping)이 발생될 뿐만 아니라 추가적인 균열, 스폐링, 슬래브 단차를 유도할 수도 있다. 이 같은 문제는 결국 도로 사용자의 승차감 저하로 이어지며, 심각한 경우에는 안전 문제를 야기할 수 있어 더욱 주의를 요한다.

본 특집기사에서 다룬 내용을 정리하면 다음과 같다.

- JCP에서 종방향 균열은 대부분 종방향 수축 줄눈부의 줄눈시공의 지연 및 종방향 줄눈시공 깊이가 충분하지 않을 경우 발생할 수 있다.
- 종방향 조인트 벌어짐은 중차량 하중에 의한 동하중, 타이바의 부식, 조인트 씰링 불량 현상의 조합으로 주로 발생하게 된다.
- 종방향 균열이나 벌어짐의 폭이 적을 경우는 Cross stitching 공법을, 균열이나 폭이 넓은 경우에는 Slot stitching 공법을, 하중전달을 고려하지 않을 경우에는 Stapling 공법을 유지보수 대안으로 사용한다.
- Slot stitching은 하중전달을 회복하거나, 종방향 벌어짐을 방지하거나, 넓은 균열의 거동을 향상시키는데 가장 경제적인 보수방법이다.

국내의 경우는 미국의 경우와 같이 종방향 균열 및 종방향 조인트의 벌어짐에 기인한 문제가 많이 발생하는 것은 아니다. 그러나 이제는 국내에서 빈번히 발생하는 횡방향 줄눈부의 문제에 대한 연구 못지않게 종방향 줄눈부에 대해 관심을 가져야 할 시점이라고 생각하고, 본 내용이 앞으로 종방향 균열 및 종방향 조인트 벌어짐에 대한 유지보수에 많은 도움이 되었으면 한다.

#### 참고 문헌

Megan Stringer, Taylor Crawford, 외 4명, 'Assessment and Rehabilitation Methods for Longitudinal cracks and joint separations in concrete pavement,' Center for Transportation Research, Oct. 2008.