

# 콘크리트 포장 줄눈부 파손과 연행 공극 상관성

## Relation Air void system and Joint Spalling on Jointed Cement Concrete Pavement

홍승호\* · 심영환\*\* · 김동수\*\*\* · 이윤재\*\*\*\*

Hong, Seung Ho · Shim, Young Hwa · Kim, Dong Su · Lee, Youn Jae

### 1. 서론

고속도로 콘크리트 포장에서 공용이 경과하면서 내구성 파손이 증가되고 있다. 본 연구에서는 공용 중인 노선에서 줄눈부 파손이 발생한 구간에서 파손 원인을 규명하기 위해 수행하였다. 콘크리트 포장의 내구성 파손은 동결-융해에 의한 D 균열, 표면 스케일링, 알칼리-골재 반응 등이 있다. 콘크리트 포장 줄눈부에서 발생하는 동결-융해에 의한 D 균열 및 스폴링은 내부 연행 공극에 큰 영향을 받는 것으로 보고되었다<sup>1)</sup>. 콘크리트 내부에 형성된 1,000 $\mu$ m 이하의 연행 공극은 동결-융해에 의한 팽창압에 대하여 저항할 수 있는 역할을 수행하여 내구성을 향상시킬 수 있다. 콘크리트에서 공극량은 4% 이상, 간격계수 0.25mm 이하에서 동결-융해 저항성이 우수한 것으로 보고되었다<sup>2)</sup>.

본 연구에서는 건설 중인 노선에서 제작된 시편에 대한 내부 공극 특성과 동결-융해 상관성에 대하여 실험하였고, 공용 중인 노선에서 양호한 포장과 줄눈부 파손이 발생한 포장에서 채취된 시편에 대하여 내부 공극 특성을 분석하여 파손 원인을 규명하고자 하였다. 본 연구 결과 동결-융해 실험을 통하여 콘크리트 내부에 연행 공극이 양호한 시편에서 동결-융해 저항성이 우수한 것으로 나타났고, 공용 중인 노선 분석에서는 전반적으로 공기량이 낮으나 연행 공극이 좀 더 높게 형성된 포장이 우수한 공용 상태를 나타냈다. 반면에 공기량이 매우 적게 형성된 콘크리트 포장 구간은 줄눈부에서 파손이 많이 발생한 것으로 나타나 건설 단계에서 콘크리트 포장 내구성 향상을 위한 공극량에 대한 품질관리 중요한 항목임을 알 수 있었다.

### 2. 실험 및 분석 방법

본 연구에서는 공용 중인 콘크리트 포장에서 양호한 구간과 줄눈부에서 파손이 발생한 구간을 대상으로 파손 상태를 조사하였고 분석용 샘플을 채취하여 공극 특성을 분석하였다. 또한, 콘크리트 포장 시공 중인 구간에서 시편을 제작하여 동결-융해 실험을 수행하였다.

#### (1) 현장조사 및 시편 채취

공용 중인 A 노선에서 줄눈부 파손이 없는 양호한 구간과 줄눈부 파손이 발생한 각각 100m 구간에서 파손 상태를 조사하였다. 또한, 내부 공극 특성을 분석하기 위하여 100mm 구경의 원형 시편을 채취하였다.

#### (2) 공극량 분석 방법

경화된 콘크리트의 공극 특성은 ASTM C457 방법에 의해 분석 할 수 있다<sup>3)</sup>. 경화된 콘크리트의 공극 특성을 위하여 다양한 종류의 분석 장비들이 사용되고 있는 것으로 보고되었다<sup>4)</sup>. 본 조사에서 공극량 분석을 위해 사용된 공극 이미지 해석 장비는 일본 장비인 HF-MAC01 모델을 사용하였다. 본 장비의 이미지 분석은 한개의 픽셀을 분석한 후 자동으로 다음 픽셀 분석을 진행한 후 전체를 평균하여 산출할 수 있다. 본 조

\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사 · 031-371-3440(E-mail:hsh373@ex.co.kr)

\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구원 · 공학석사 · 031-371-3470(E-mail:prosim21@naver.com)

\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 건설계획처 팀장 · 석사과정 · 031-779-4631(E-mail:kimds8504@ex.co.kr)

\*\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 건설계획처 처장 · 박사과정 · 031-779-4610(E-mail:lyounjae@ex.co.kr)

사 대상 구간에 대하여 시편 상부 2cm 지점과 중앙 15cm 지점의 공극량과 간격계수를 분석하기 위하여 각각 총 50 픽셀을 분석하여 평균값을 산출하였다.

### (3) 동결-융해 실험

본 연구에서는 B-1, B-2 노선의 콘크리트 포장 시공 중에 시편을 제작하여 내부공극 특성을 분석하고, KS F 2456 A 기준의 급속 동결-융해 실험을 300 사이클 동안 실시하였다. 본 구간에서 시편 제작시 공극량은 약 6%가 측정되었다.

## 3. 결과

### (1) 파손상태 조사 결과

공용 중인 A노선에 대한 현장조사에서 양호한 포장 구간은 그림 1에서 보는 것과 같이 종·횡방향의 줄눈부가 매우 양호한 상태인 것으로 조사되었다. 줄눈부 파손인 발생한 구간은 그림 2에서 보는 것과 같이 종·횡방향의 줄눈부에 스폐링이 발생한 것으로 조사되었다.



그림 1. B노선 양호한 포장 구간



그림 2. B노선 줄눈부 파손 포장 구간

### (2) 공극량 분석 결과

#### 1) 시공 중 시편 공극 분석결과

콘크리트 포장의 공극량 분석을 비교하고자 공사가 진행 중인 B노선에서 제작된 시편에 대하여 공극량을 분석하였다. 그림 3, 4에서 보는 것과 같이 공극량이 각각 5.1%, 6.2%가 측정되었고, 간격계수 SF: 0.246, SF: 0.228 측정되어 양호한 공극 분포 상태임을 알 수 있다. 현미경 공극량 분석에서 양호한 공극은 그림 5, 7에서 보는 것과 같이 원형 공극이 형성되어 있으며, 이미지 분석된 공극은 그림 6, 8에서 보는 것과 같다.

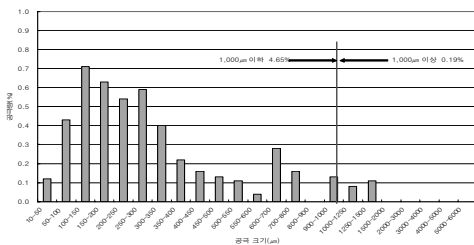


그림 3. B-1 콘크리트 포장 내 공극 구조 분포 (공극량: 5.1%, S.F: 0.246)

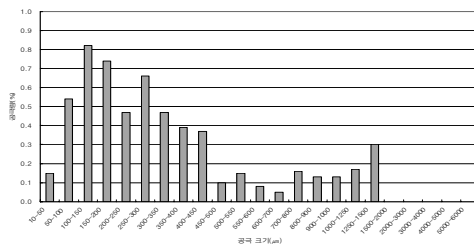


그림 4. B-2 콘크리트 포장 내 공극 구조 분포 (공극량: 6.2%, S.F: 0.228)

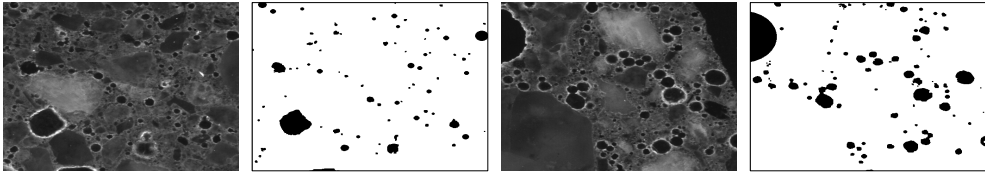


그림 5. A-1 내부공극    그림 6. A-1 분석결과    그림 7. A-2 내부공극    그림 8. A-2 분석결과

### 2) 양호한 포장 공극 분석 결과

공용 중인 A노선에서 양호한 포장 구간의 시편의 상부와 중앙부의 공극 상태는 그림 9, 10에서 보는 것과 같이 공극량은 각각 2.2%, 0.4%가 측정되었고, 간격계수는 각각 SF: 0.468, SF:0.458이 측정되어 공극량이 낮고, 간격계수가 큰 것으로 측정되었다. 공극량 분석면은 그림 13, 14에서 보는 것과 같이 내부에 작은 공극이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

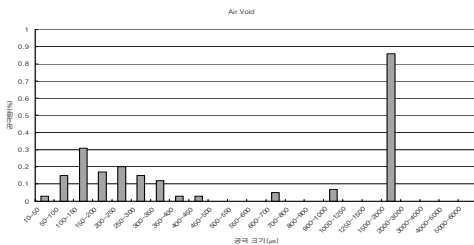


그림 9. A-1노선 양호한 포장 상부 공극 분포 (공극량: 2.2%, S.F: 0.468)

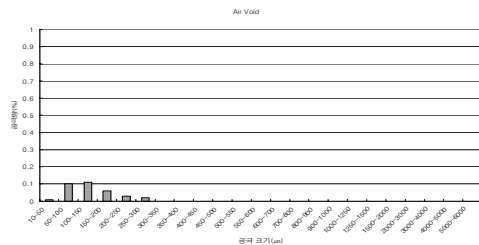


그림 10. A-1노선 양호한 포장 중앙 공극 분포 (공극량: 0.4%, S.F: 0.458)

### 3) 줄눈부 파손 포장 공극 분석 결과

공용 중인 A노선에서 줄눈부 파손이 발생한 포장 구간의 시편의 상부와 중앙부의 공극 상태는 그림 11, 12에서 보는 것과 같이 공극량은 각각 0.1%, 1.6%가 측정되었고, 간격계수는 각각 SF: 1.64, SF:0.811이 측정되어 공극량은 매우 낮고, 간격계수는 매우 큰 것으로 측정되었다. 공극량 분석면은 그림 15, 16에서 보는 것과 같이 내부에 공극이 거의 없는 것으로 분석되었다.

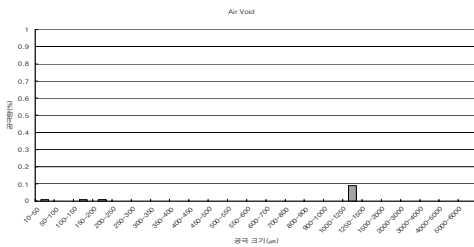


그림 11. B-2노선 줄눈 파손구간 상부 공극 분포 (공극량: 0.1%, S.F: 1.64)

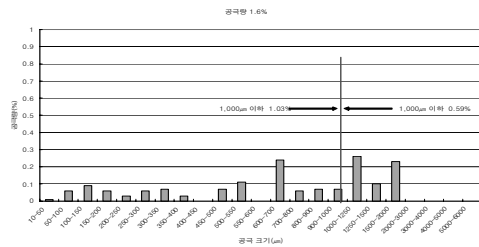


그림 12. B-2노선 줄눈 파손구간 중앙 공극 분포 (공극량: 1.6%, S.F: 0.811)

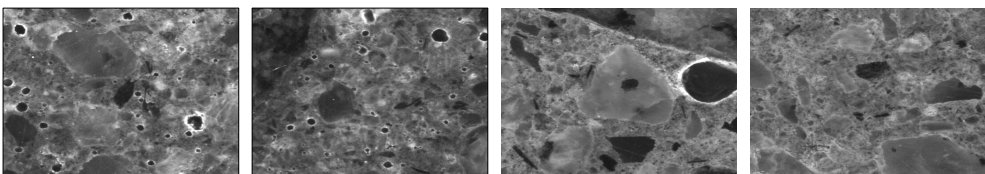


그림 13. B-1 내부공극    그림 14. B-1 내부공극    그림 15. B-2 내부공극    그림 16. B-2 내부공극

### (3) 동결-융해 실험결과

A 노선 콘크리트 포장 시공 현장에서 제작된 시편으로 동결-융해 실험결과를 그림 17에서 보는 것과 같이 모든 시편에서 300 사이클 후 상대동탄성계수가 80 이상으로 동결-융해 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 동결-융해 300 사이클 후 시편의 상태는 그림 18에서 보는 것과 같이 표면에 특이한 파손은 관찰되지 않은 것으로 나타났다.

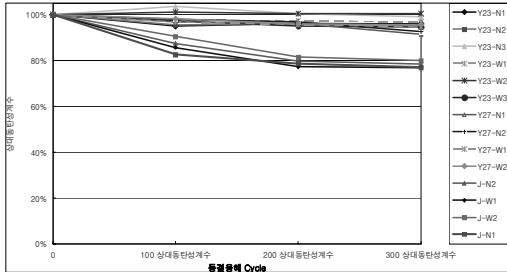


그림 17. 동결-융해 실험결과



그림 18. 300 사이클 후 시편 상태

## 4. 결 론

본 연구의 실험 및 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) A 노선 시편 공극량은 각각 5.1%, 6.2%가 측정되었고, 간격계수 SF: 0.246, SF: 0.228 측정되어 양호한 공극 분포 상태를 알 수 있었다. 본 현장에서 제작된 시편의 동결-융해 실험 결과 모든 시편에서 300사이클 후 상대동탄성계수가 80 이상으로 동결-융해 저항성이 우수한 것으로 나타났다.

2) 공용 중인 B노선 양호한 포장 구간의 시편의 상부와 중앙부의 공극량은 각각 2.2%, 0.4%가 측정되었고, 간격계수는 각각 SF: 0.468, SF:0.458이 측정되어 공극량이 낮고, 간격계수가 큰 것으로 측정되었다. 공극량 분석면은 내부에 작은 공극이 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 공용 중인 B노선 줄눈부 파손이 발생한 포장 구간의 시편의 상부와 중앙부의 공극량은 각각 0.1%, 1.6%가 측정되었고, 간격계수는 각각 SF: 1.64, SF:0.811이 측정되어 공극량은 매우 낮고, 간격계수는 매우 큰 것으로 측정되었다. 공극량 분석면은 내부에 공극이 거의 없는 것으로 분석되었다.

상기와 같은 결론에 따라 공극량이 높고, 간격계수가 낮은 경우 동결-융해 저항성이 우수한 것을 알 수 있었으며, 공용 중인 노선에서는 내부 공극이 매우 낮고, 간격계수가 큰 경우 줄눈부 스포링 많이 발생하는 것으로 판단되어 건설 단계에서 콘크리트 내부에 동결-저항성을 향상시킬 수 있는 연행 공극을 형성할 수 있도록 양질의 재료 선정하고 철저한 품질관리가 필요하다고 판단된다.

## 참고 문헌

- 1) FHWA, Air Void Analyzer Evaluation, FHWA-SA-96-062, May 1996.
- 2) M. PIGEON and R. PLEAU, DURABILITY OF CONCRETE IN COLD CLIMATES, E & FN SPON, 1995.
- 3) ASTM C457-98. 2002. Standard Test Method for Determining Parameters of Air-Void System in Hardened Concrete. Annual Book of ASTM Standards 04.01.
- 4) Dipayan Jana, A ROUND ROBIN TEST ON MEASUREMENTS OF AIR VOID PARAMETERS IN HARDENED CONCRETE BY VARIOUS AUTOMATED IMAGE ANALYSIS AND ASTM C457 METHODS, PROCEEDINGS OF THE TWENTY-NINTH CONFERENCE ON CEMENT MICROSCOPY QUEBEC CITY, PQ, CANADA MAY 20-24, 2007.