

고속도로 콘크리트 포장 품질 향상 정책

Policy of Quality Control on Cement Concrete Pavement

이윤재* · 김동수** · 이병덕*** · 홍승호****

Lee, Youn Jae · Kim, Dong Su · Lee, Byung Duck · Hong, Seung Ho

1. 서론

고속도로 콘크리트 포장은 공용 경과에 따라 교통량 및 기상 작용에 의해 파손이 증가되고 있다. 일부 고속도로 노선에서는 기상 작용에 의한 내구성 저하로 조기 파손이 증가되고 있는 실정이다. 콘크리트포장에서 내구성 파손은 건설단계에서 콘크리트 품질 및 시공에 의해 큰 영향을 받는 것으로 보고되고 있다¹⁾. 콘크리트 포장의 내구성 파손의 유형은 동결-융해에 의한 D형 균열, 스케일링 및 알칼리-골재 반응에 의한 파손이 있다. 고속도로 콘크리트 포장에서 증가되고 있는 내구성 파손의 유형은 주로 줄눈부에 발생하는 동결-융해에 의한 D 균열로 인한 스펙링 파손이며, 내구성 파손은 점진적으로 파손이 확대되는 특징이 있다. 우리나라 고속도로에 건설된 콘크리트 포장은 대부분 줄눈 콘크리트 포장으로 시공되어 있으며 공용 중인 노선에서 D 균열과 같은 내구성 파손이 발생이 증가되면 유지관리 비용이 증가되고 공용 수명은 단축될 수 있다. 고속도로 콘크리트 포장의 내구성 향상은 건설단계에서 콘크리트 품질 및 시공에 의해 개선될 수 있기 때문에 품질 향상을 통한 방안을 마련하였다. 본고에서는 고속도로 콘크리트 포장의 품질 향상을 위해 수립된 정책 방안에 대해서 설명하고자 하였다. 콘크리트 포장의 품질 향상을 위한 정책으로 1) 포장 품질 향상의 패러다임 전환, 2) 내구성 확보를 위한 품질 기준 도입, 3) 신기술 및 신공법 도입 방안을 수립하여 시행하고자 한다.

2. 콘크리트 포장 파손 유형 및 현황

공용 중인 A 노선에 콘크리트 포장에서 발생한 파손 유형은 그림 1~3과 같다. 줄눈부에 발생한 파손은 그림 1, 2와 같은 스펙링 형태이며, 파손 초기에는 줄눈과 병행하게 미세한 균열이 발생된 후 스펙링 파손으로 진전되는 특징이 있다. 이와 같은 파손 형태는 종·횡방향 줄눈부에서 발생하며 시간이 지남에 따라 줄눈부를 중심으로 지속적으로 내부 포장으로 확대된다. 줄눈부에 발생한 파손부에 대하여 그림 3과 같이 부분단면 보수를 시행할 수 있으나, 부분단면부에 2차 파손이 발생하여 파손이 확대될 가능성이 있다. 고속도로 콘크리트 포장에서 줄눈부 파손이 많이 발생하고 있는 노선은 동절기 기온이 낮고, 강설량이 많은 영동고속도로, 중앙고속도로 및 중부내륙고속도로이다.



그림 1. 종·횡방향
줄눈부 스펙링

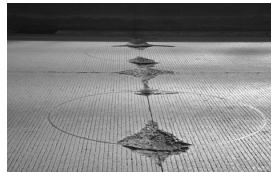


그림 2. 종·횡방향
줄눈부 스펙링



그림 3. 줄눈부 파손
및 부분단면보수

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

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

*** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사 · 031-371-3352(E-mail:lbdhby@ex.co.kr)

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



3. 파손 원인 분석

고속도로 콘크리트 포장에서 줄눈부 파손이 발생한 구간에 대하여 파손 원인을 분석하였다. 파손원인을 분석하기 위하여 유지관리 요소인 동절기 기후자료 및 제설제 살포량을 조사하였고, 현장 코어 시편 채취하여 시공관리적인 요소인 강도특성, 연행 공극 특성을 분석하였다.

(1) 기후 및 제설제 요인

동절기 기온이 낮고 강설량이 많은 고속도로가 노선이 있는 강원, 경기 및 충청지역에 대한 기상청 기후 자료를 분석해 보았다. 강원지역의 최근 5년간 기상 자료 검토 결과 표 1에서 보는 것과 같이 2010년 1월에 기온 편차가 가장 심하게 발생한 것으로 조사되었다. 강원지역은 2006년부터 2009년까지 4년간 평균 강설량은 22.3cm이었으나, 2010년 누적 강설량은 46.5cm로 2배 이상 많이 발생한 것으로 조사되었다. 노선별로 평균 영하 일수는 표 2에서 보는 것과 같이 홍천과 여주지역에서 많이 발생한 것으로 나타났고, 강설량은 원주, 횡성 지역에서 많이 발생한 것을 알 수 있다. 조사 대상 구간의 콘크리트 포장 파손과 기상 자료를 분석한 결과 평균 기온의 영하일수와 강설량이 높은 지역에서 파손이 많이 발생한 것으로 조사되었으며, 평균 기온의 영하일수와 강설량이 다른 지역과 비교하여 낮은 문경 지역에서는 파손 발생이 적은 것으로 나타났다.

조사 대상 구간의 동절기 제설 자료를 분석하였다. 조사 대상구간은 표 1, 2에서 본 것과 같이 동절기 강설이 빈번하게 발생하고, 영하의 기온이 오래 지속되는 것을 알 수 있었으며, 이로 인해 제설 작업도 빈번하게 이루어지고 있는 것으로 조사되었다. 지역별로 2004~2009년 강설량, 강설일 및 제설제 살포량을 분석한 결과 A 지역 홍천 노선에서는 78.9cm, 18일, 18.8톤/(2차로 km)이었고, B 지역 상주 노선에서는 26.5cm, 11일, 6.7톤/(2차로 km)이었다. 동절기 영하의 기온과 강설량이 많이 발생하고, 제설제의 살포량이 많은 노선에서 줄눈부 파손이 많은 것으로 조사되었다. 그러나, 동일한 노선이라도 양호한 구간과 줄눈부 파손이 발생한 구간이 존재하여 콘크리트 포장 파손은 기상작용 및 제설제 살포량에 의해서만 영향을 받는 것은 아닌 것으로 판단된다.

표 1. 강원지역 최근 5년간 온도차

구 분	최근 5년간 온도차 (강원지역 1월 기준)				
	2006	2007	2008	2009	2010
온도차(℃)	10.0	11.2	9.5	10.4	11.4

표 2. 지역별 평균 기온 영하 일수 및 강우·강설 일수

구 분	A 노선			B 노선		
	원주	횡성	홍천	여주	충주	문경
평균 기온 영하일수(일)	55	55	66	61	56	41
강우·강설일수(일)	33	33	30	28	32	23

(2) 재료 및 시공적인 요인

고속도로 콘크리트 포장은 1987년 중부고속도로 건설이후 연장이 지속적으로 증가되었다. 2000년대 초부터 콘크리트 포장 배합은 경제성에 근거하여 강도 기준에 의거 배합 설계를 실시하여 중부선 건설 당시의 단위 시멘트량인 356~378kg/m³보다 16~38kg/m³ 낮은 340kg/m³으로 설계되었다. 콘크리트용 잔골재의 경우 양질의 하천사 고갈로 인해 입도 낮은 해사 및 품질이 낮은 골재가 주로 사용되고 있는 실정이다. 콘크리트 포장 시공 장비의 운영에 있어서는 1990년 말부터 출력이 높은 독일 장비 (SP-1600 모델)가 사용되기 시작했는데 매우 낮은 슬럼프에서도 시공이 가능하여 일부 포장의 경우 평탄성과 표면 타이닝 확보를 위해 과도한 다짐과 표면에 몰탈을 형성하는 시공 방식을 사용하였다. 콘크리트 포장 시공 중 과도한 다짐을 하는 경우 내부 연행 공극이 소실될 수 있으며, 표면에서 과도한 몰탈을 형성하는 경우 물-시멘트 비율이 높아지고 표면 공극량이 감소하여 동결-융해 및 제설제에 취약한 구조가 형성될 수 있다. 이와 같이 단위시멘트량의 감소, 잔골재의 품질 저하 및 부적절한 시공 장비의 운영으로 인해 내구성에 취약한 콘크리트 포장이 건설되었으나 동일한 배합설계, 자재기준 및 포장 장비를 사용한 일부 구간에서만 파손이 발생한 것으로 조사되어 시멘트량 감소와 양질의 재료 부족 및 장비의 부적절한 운영이 포장 파손의 주원인은 아닌 것으로 판단된다.

(3) 강도 및 내구성 요인

조사 대상 구간에서 채취된 코어 시편에 대한 휨인장강도는 3.8~6.3MPa가 측정되어 전반적으로 양호한 상태로 줄눈부 파손에는 큰 영향을 주지 않은 것으로 판단된다. 콘크리트 구조물에 대한 내구성 기준은 고속도로공사전문시방서에 제시되어 있다. 2009년 개정된 고속도로공사전문시방서에서는 콘크리트 포장 배합 설계시 공기량 기준을 기존(2009년 이전) 4~6%에서 5~7%로 1% 상향시켜 개정하였다. 2009년까지 건설된 대부분의 콘크리트 포장의 공기량 기준은 4~6%로 규정되어 있다고 할 수 있다. 줄눈부 파손이 발생한 일부 노선에서 채취된 시편의 경화된 콘크리트의 공기량 분석 결과 공극량은 0.7~3.3%, 간격계수는 0.4~1.2mm로서 공기량은 기준보다 낮고, 간격계수는 0.2mm보다 높은 것으로 나타나 일부 콘크리트 포장은 내구성에 취약한 구조인 것으로 조사되었다. 줄눈부 파손이 없는 양호한 포장의 공극 분포는 그림 4에서 보는 것과 같이 10~1,000 μ m 크기의 공극이 많이 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 파손이 없는 포장체 내부의 공극 상태는 그림 6, 7에서 보는 것과 같이 형성되는 것으로 분석되었다. 줄눈부 파손이 심하게 발생한 구간의 포장 공극 분포는 그림 5에서 보는 것과 같이 공극량이 매우 적게 형성되어 있으며, 그림 8, 9에서 보는 것과 같이 연행공극은 없고 큰 크기의 갇힌 공극만 형성되어 있는 것으로 분석되었다.

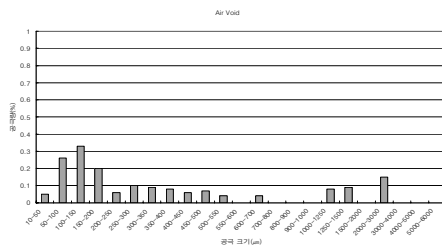


그림 4. 파손이 없는 구간

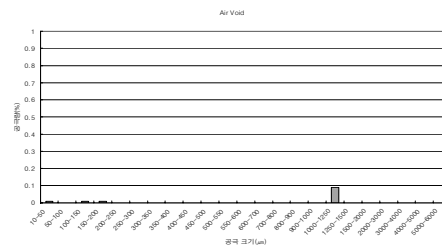


그림 5. 줄눈부 파손이 심한 구간



그림 6. 양호 공극면

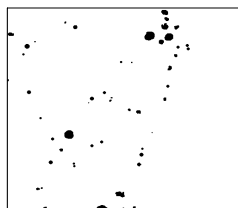


그림 7. 양호 분석면

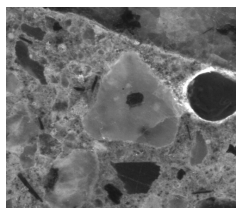


그림 8. 파손 공극면



그림 9. 파손 분석면

4. 콘크리트 포장 향상 방안

1) 콘크리트 포장 품질관리 패러다임 전환

콘크리트 포장의 내구성 향상을 위하여 강도 기준에서 장기적인 내구성을 확보할 수 있는 방안을 마련하고자 공기량 기준을 현행 소성 콘크리트의 압력식 측정방법과 병행하여 경화된 콘크리트에 대하여 ASTM C457 방법으로 공극량(5~7%), 간격계수(0.2 mm 이하)를 측정하는 방안을 도입하고자 하며 향후 고속도로전문시방서에 제정하여 공기량 기준을 강화하고자 한다. 현행 콘크리트 포장의 하자 기간은 3년으로 되어 있으나, 내구성 파손은 공용 후 5년이 경과되어야 육안으로 관찰이 가능한 파손이 발생하므로 콘크리트 포장의 하자 보증 제도를 개선하여 건설 단계에서 그림 10과 같은 내구성 지표와 연계한 품질 보증 체계를 적용할 수 있는 방안을 도입하고자 한다.



그림 10. 내구성 지표에 근거한 품질 보증 체계 방안



2) 내구성 확보를 위한 품질기준

콘크리트 포장의 장기적인 내구성 향상을 위하여 시멘트(80%)와 플라이애시(20%)를 혼합하는 방식으로 하여 단위시멘트량을 $350\text{kg}/\text{m}^3$ 이상으로 상향하여 배합설계를 개선하고 지속적으로 확대 적용하고자 한다. 콘크리트 포장용 굵은 골재의 마모율은 35%에서 25%로 낮추고, 잔골재의 #200체 통과량은 3.0% 이하에서 2.0% 이하로 낮추고자 한다. 콘크리트 포장용 품질관리를 개선하기 위하여 자재품질관리방안을 마련하여 주기적인 점검 및 관리를 실시하고자 한다. 시공 분야에서는 내구성 향상을 위하여 콘크리트 포장 장비 운영 방안을 수립하고, 배치 플랜트에서 콘크리트 믹서 시간을 충분히 확보하는 방안을 마련하여 적용하고자 한다. 포장용 콘크리트의 품질 향상을 위하여 물-시멘트 비율(45% 이하)을 점검할 수 있는 단위수량 측정 시스템을 도입하여 콘크리트 품질을 관리하는 방안을 확대 적용하고자 한다.

3) 신기술 및 신공법

콘크리트 포장의 품질 향상을 위하여 신기술 및 신공법을 도입하고자 한다. 현재 줄눈 콘크리트 포장의 줄눈부에 대하여 개선하고자 한다. 1) 횡방향 줄눈 간격이 획일적으로 6m로 규정되어 있는데, 지역에 따라 줄눈 간격(6~8m)을 달리하고자 한다. 2) 줄눈 절단 방법을 습식에서 건식 방법으로, 줄눈 폭을 6mm에서 4mm로 줄이는 방안, 3) 주입줄눈재를 횡·종방향 동시 시공하는 방안, 4) 성형줄눈재 및 양질의 줄눈재 적용 방안을 도입하고자 한다. 기존 강재 다웰바 대신 부식이 발생하지 않는 FRP 다웰바를 도입하고자 한다. 포장용 콘크리트의 강도시험용 규격을 품질 관리 및 시험 업무의 효율성을 증대시키기 위하여 휨시편(150mm×150mm×550mm)을 압축시편(150mm×300mm)으로 변경하는 방안을 추진하고자 한다.

5. 결론

공용 중인 일부 고속도로 콘크리트 포장 파손 원인 규명에 의해 장기적인 내구성 확보를 위하여 다음과 같은 품질 향상 방안을 제시하고자 한다.

- 1) 콘크리트 포장의 내구성 향상을 위하여 강도 기준에서 장기적인 내구성을 확보할 수 있는 방안을 마련하고자 경화된 콘크리트에 대하여 ASTM C457 방법으로 공극량(5~7%), 간격계수(0.2 mm 이하)를 측정하는 방안을 도입하고자 한다. 현행 콘크리트 포장의 하자 기간은 3년으로 되어 있으나, 내구성 파손은 공용 후 5년이 경과되어야 육안으로 관찰이 가능한 파손이 발생하므로 콘크리트 포장의 하자 보증 제도를 개선하여 건설 단계에서 내구성 지표와 연계한 품질 보증 체계를 적용할 수 있는 방안을 도입하고자 한다.
- 2) 콘크리트 포장의 장기적인 내구성 향상을 위하여 단위시멘트량을 $350\text{kg}/\text{m}^3$ 이상으로 상향하여 배합설계를 개선하고 지속적으로 확대 적용하고자 한다. 콘크리트 포장용 굵은 골재의 마모율은 35%에서 25%로 낮추고, 잔골재의 #200체 통과량은 3.0% 이하에서 2.0% 이하로 낮추고자 한다. 포장용 콘크리트의 품질 향상을 위하여 물-시멘트 비율(45% 이하)을 점검할 수 있는 단위수량 측정 시스템을 도입하여 콘크리트 품질을 관리하는 방안을 확대 적용하고자 한다.

참고 문헌

- 1) ISCP(International Society for Concrete Pavements), 8th International Conference on Concrete Pavements, Innovations for Concrete Pavement Technology Transfer for the Next Generation, August 14-18, 2005