

노후 콘크리트포장의 보수공법 검토

Analysis on Rehabilitation Method of Concrete Pavement

이경하 * · 한승환* · 홍승호 ** · 유태석**

Lee, Kyung Ha · Han, Seung Hwan · Hong, Seung Ho · yoo, Tae Seok

1. 개 요

호남고속도로와 88 및 중부고속도로는 공용된지 17년이 지났으며, 콘크리트 포장위에 아스팔트 혼합물 덧씌우기 보수를 한 구간에서는 포트홀 파손이 집중적으로 발생되었고 콘크리트 포장구간은 콘크리트포장의 노후화로 파손이 많이 진행된 상태이다.

따라서, 호남고속도로와 88 및 중부고속도로의 포장상태를 현장코아채취 및 FWD(포장구조진단기) 등의 장비를 이용한 정밀 조사를 수행하고, 분석 결과를 토대로 적절한 보수공법을 결정하고자 한다.

2. 파손 상태 현황

호남고속도로 상행선 119.4~120.5km 구간과 147.0~149.1km 구간에 대하여 파손 상태 조사를 수행하였다. 이 구간은 기존에 줄눈 콘크리트 포장으로 건설되었으나, 공용년수 경과로 줄눈부에 많은 파손이 발생하여 일부 구간을 대상으로 기존콘크리트 포장위에 아스팔트 덧씌우기 포장을 시공하여 공용 중에 있으나 일부 구간에 파손이 발생한 상태이다.

호남고속도로 조사대상 구간의 콘크리트 포장은 종방향과 횡방향 줄눈부에 스폐링이 발생하였으며, 일부 단면이 보수된 것을 관찰할 수 있다. 파손은 주로 줄눈부와 길어깨 인접 부위에서 많이 발생하였다. 아스팔트 덧씌우기 포장부 파손은 주로 차륜부의 아스팔트 덧씌우기 포장부가 떨어져 나가는 현상을 관찰할 수 있었다. 기존 콘크리트포장의 줄눈부와 보수부에서는 반사균열이 발생되었으며, 이 부위의 인접부가 일부 파손이 진행된 것을 관찰할 수 있었다. 또한, 아스팔트 덧씌우기 포장의 파손이 심한 부위에 대해서는 콘크리트 로 팻칭 보수를 한 것으로 관찰되었다.



그림 1 줄눈부 보수 및 파손(중부선)

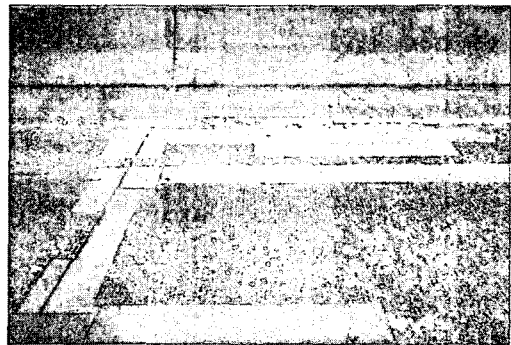


그림 2 중앙분리대 접속부 파손(중부선)

* 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원

** 한국도로공사 도로교통기술원 연구원

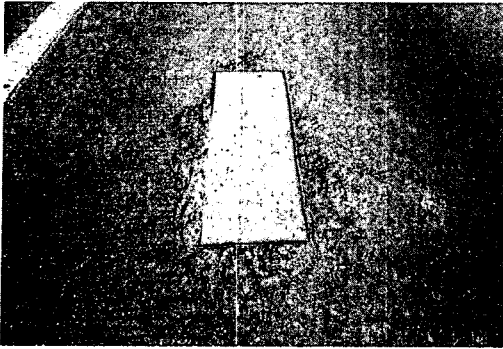


그림 3 에폭시 보수 인접부 파손(중부선)

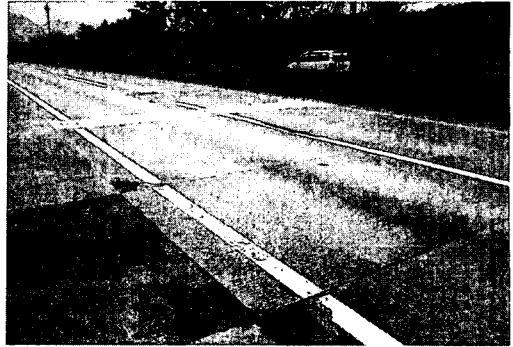


그림 4 기존 콘크리트포장 상태(호남선)



그림 5 JCP 와 AP 경계부 파손(호남선)

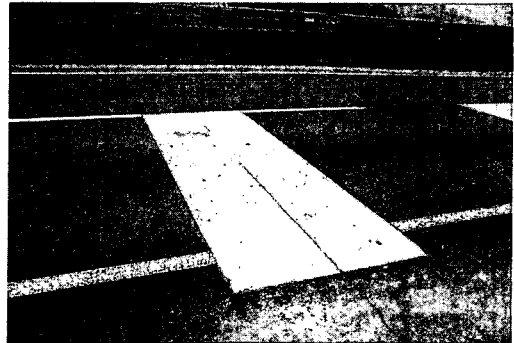


그림 6 덧씌우기 파손부 보수 상태(호남선)

88 고속도로에 발생한 파손은 줄눈 및 인접부에 주로 발생되어 있으며, 이 부분은 팻칭 보수를 시행하였다. 기존에 팻칭된 일부 구간은 재파손이 발생하여 보수부가 확대된 것을 관찰할 수 있었다.

중부고속도로 상행 280km 구간의 줄눈 콘크리트포장의 파손 형태는 그림 2.1에서 보는 바와 같이 종·횡방향 줄눈부 및 길어깨 인접부에 발생한 크고 작은 스폴링이며, 그림 2.2에서 보는 바와 같이 에폭시 콘크리트로 부분 단면 팻칭부 및 인접 기존 콘크리트면의 재파손이 주로 발생된 것을 관찰할 수 있었다. 파손은 종·횡방향 줄눈부와 길어깨 접속부 및 중앙분리대 접속부(그림 2.3)에 파손의 발생 정도가 심한 것으로 관찰되었다. 대부분의 파손은 스폴링 형태로 파손 발생 깊이는 포장 두께의 1/4D으로 주로 발생한 것으로 관찰되어, 파손이 포장체 내부로 깊게 진전되지 않았으며, 표면 일부만 기상 작용(특히 동결 융해 작용) 및 교통 하중에 의해 콘크리트 포장의 내구성 저하로 인한 열화인 것으로 판단된다.

콘크리트포장에서 표면 열화 및 줄눈부 파손은 유해 이온과의 반응에 의해서는 적게 발생하나, 동결 융해 현상에 의한 내구성 저하에 의해서는 많이 발생한다. 동계 중 사용되는 용설·용빙제에 의한 콘크리트 열화는 화학반응보다는 동결 융해 때문이다. 용설·용빙된 물은 콘크리트 내부에 침투하여 얼게되면 체적이 팽창되어 콘크리트 조직을 크게 손상시키는데 용설·용빙제는 물의 어는점을 낮추기 때문에 겨울철 온도 범위 내에서 동결-융해 빈도 수가 많아지므로 결과적으로 용설·용빙제를 사용하지 않는 경우보다 콘크리트의 열화를 촉진시킬 수 있다.

3. 현장 코아 강도 및 중성화 조사

본 포장조사에서는 콘크리트 포장 슬래브의 물성평가를 위해 현장에서 코아를 채취하여 강도를 측정하였



다. 반발경도법이나 초음파속도 측정에 의한 콘크리트의 강도추정에 비해 직접적으로 코어를 채취하는 방법은 보다 신뢰성이 있는 방법으로 많이 적용되고 있다. 또한, 콘크리트 표면의 건전도 평가를 위하여 페놀프탈레인 용액을 이용한 중성화 시험을 실시하여 표면 두께에 따른 건전도를 평가하였다.

호남선과 증부선의 코어시편에 대한 할렬인장강도는 39.44kgf/cm²와 40.13kgf/cm²이 측정되었으며, 할렬 인장강도가 낮은 상태임을 알 수 있었다. 88 고속도로의 코어 시편에 대한 할렬 인장강도는 50.63kgf/cm²이 측정되어 호남선과 증부선에 비해 매우 양호한 상태임을 알 수 있었다.

표 1 할렬인장강도

노선명	최대하중(kgf)	할렬인장강도(kgf/cm ²)
호남선	12,284	39.44
88선	15,905	50.63
증부선	12,857	40.13

코어 시편에 대한 중성화 정도를 알아보기 위하여 페놀프탈레인 용액을 코어 시편에 살포하여 중성화 깊이를 관찰하였다. 호남선 구간의 중성화는 표면이 탈리된 부분을 제외하고도 5~15mm 정도가 발생하여 중성화가 심하게 발생한 것으로 판단되었다. 기존 콘크리트 상부의 중성화가 상당히 진전되어 표면 열화 현상이 심하게 발생하여 콘크리트 고유의 강도 특성이 매우 낮아진 상태로 사료된다. 본 조사대상 일부 구간의 경우 기존 콘크리트의 불량한 표면에 대한 절삭 작업이 없이 덧씌우기 하였을 경우 열화된 기존 콘크리트면의 탈리 발생으로 덧씌우기된 아스팔트 포장이 취약해질 수 있으며, 특히 기존 콘크리트포장으로 우수의 침투가 많은 경우 기존면과의 부착이 불량해질 수 있다. 이로 인하여 대기환경 및 교통하중에 의하여 포트홀 등의 파손이 조기에 발생할 가능성이 높아지게 된다. 기존 콘크리트면은 표면이 탈리된 부분이 많아 상태가 매우 불량한 것을 알 수 있다.

88 고속도로는 코어 시편의 상태는 표면 골재가 고르게 노출되어 있었으며, 노출된 골재는 매우 양호한 상태로 마모의 발생이 낮은 것으로 관찰되었다. 코어 시편의 중성화는 매우 적은 깊이로 발생한 것으로 관찰되었다. 표면의 인접부의 경우도 중성화 정도는 거의 나타나지 않는 것을 알 수 있어 콘크리트의 물리적인 강도 특성이 매우 양호한 것으로 판단된다.

증부선도 중성화깊이는 적은 것으로 관찰되었으며 스케일링현상이 많이 발생되어 공기량시험을 한 결과, 공기량이 미흡한 것으로 나타났다.

표 2 중성화깊이

노선명	중성화깊이(mm)	비 고
호남선	5~15	
88선	3이하	
증부선	5	공기량 3.4%

4. 하중전달율 및 지지력 측정결과

호남고속도로 조사구간은 아스팔트포장 덧씌우기가 실시된 2개 구간과 노후 콘크리트포장 1개 구간으로 이루어져 있다. 콘크리트포장 위에 아스팔트로 덧씌우기 실시된 구간의 경우 FWD하중으로 인한 아스팔트 자체의 압축변형이 무시할 수 없을 정도이므로 보정을 수행하여야 한다.

아스팔트 자체의 압축변형으로 인한 최대 처짐 값의 보정 또한 위에서 언급한 "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures"을 이용하여 실시하였으며 아래와 같은 식을 사용하였다. 여기에서 식 (1)은 아스팔트 덧씌우기 층이 콘크리트 층과 부착된 경우를 적용하는 식으로 본 조사구간은 두 개의 층이 부착된 경우로 계산하였다. 또 식에서 D_{ac}는 아스팔트의 두께(inch)를 E_{ac}는 아스팔트의 탄성계수(psi)를 의미하는데



식에 의한 결과 값은 하중재하 지점에서의 아스팔트 압축값을 의미하고 슬래브 중앙부 재하판 아래부분의 측정값에서 빼주므로서 보정값을 구하게 된다. 특히 아스팔트 탄성계수의 산정은 AASHTO Guide에 제시된 식이 있으나 여러 가지 입력 값을 넣어야하는 번거로움과 입력값 자체가 가지고 있는 오류를 생각하여 본 조사에서는 일반적으로 사용되는 탄성계수 값인 30,000kg/cm²을 사용하여 계산하였다.

$$\text{부 착 : } d_{0\text{compress}} = -0.0000328 + 121.5006 \times \left(\frac{D_{ac}}{E_{ac}}\right)^{1.0798} \quad (1)$$

하중전달율, 지지력 및 줄눈부 최대처짐 값은 표 3과 같다. 표 3에서 덧씩우기가 수행된 구간의 하중전달율과 동적지지력은 높지 않은 수준을 나타내었고 줄눈부 최대처짐은 높게 나타났다. 반면 노후 콘크리트구간은 동적지지력의 경우 낮은 수준을 나타내었고 줄눈부 최대처짐은 비교적 크게 나타났지만 하중전달율은 양호한 것으로 나타났다.

노후 콘크리트구간에 대한 조사에서는 하중전달율은 88선이 99.1%로 가장 크게 나타났으며 호남선, 중부선 순으로 나타났다. 동적지지력은 호남선이 5.3kg/cm²으로 가장 크게 나타났고, 88선, 중부선 순으로 나타났다. 처짐값은 호남선이 92.1×10⁻⁶m으로 가장 작게 나타났고 중부선, 88선 순으로 나타났다.

표 3. 하중전달률 및 지지력

노선명	조사구간	하중전달율(%)		동적지지력(kg/cm ²)		줄눈최대처짐(10 ⁻⁶ m)	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
호남선	147.0~149.1k	91.4	7.0	4.1	0.7	123.2	14.0
	119.4~120.5k	88.0	5.4	4.0	0.6	108.5	9.5
	노후콘크리트	98.8	1.5	5.3	1.3	92.1	22.1
88선	노후콘크리트	99.1	1.8	4.5	1.9	127.4	22.1
중부선	노후콘크리트	97.3	3.3	3.4	0.9	112	15

5. 덧씩우기 두께

덧씩우기 두께설계는 AASHTO설계법을 적용하되, 가정조건이 많으므로 이를 단순화시켰으며, 소요슬래브두께는 현재의 슬래브두께로 가정하였다. 또한, 슬래브의 반사균열에 의한 PSI의 감소를 조정하기 위한 계수인 조인트계수는 국내 FWD시험 자료 2146개의 데이터에 대한 통계값을 표 4와 같이 구하여 통계값을 토대로 보정계수표를 표 5와 같이 만들었다.

표 4 하중전달률과 처짐량

구 분	평균	표준편차
처짐량(micron)	76.3	21.2
하중전달률(%)	88.3	14.0

표 5 조인트계수

최대처짐량 (micron)	하중전달률(%)					
	89.7이상	89.6~83.1	83.0~76.5	76.4~69.9	69.8~63.3	63.2이하
81.6이하	1.0	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90
81.5~93.9	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88
94.0~106.2	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88	0.86
106.3~118.5	0.94	0.92	0.90	0.88	0.86	0.84
118.6~130.8	0.92	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82
130.9이상	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82	0.80



덧씌우기 두께설계는 다음과 같이 86AASHTO설계법의 덧씌우기 두께설계를 근거로 하였다.

$$D_{ol} = A(D_f - D_{eff})$$

여기서,

D_{ol} : 아스팔트혼합물 덧씌우기 소요두께(in)

A : 슬래브두께를 아스팔트 혼합물두께로 전환하기 위한 계수

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

D_f : 소요슬래브 두께(in)

D_{eff} : 기존슬래브의 유효두께(in)

아스팔트 혼합물 덧씌우기 구간위에 다시 덧씌우기를 하는 경우에 기존슬래브의 유효두께는 다음과 같이 구한다.

$$D_{eff} = D_{pcc} \times F_{jc} \times F_{dur} + \frac{D_{ac}}{2.0} \times F_{ac} \tag{2}$$

콘크리트포장위에 덧씌우기를 하는 경우에 기존슬래브의 유효두께는 다음과 같이 구한다.

$$D_{eff} = F_{jc} \times F_{dur} \times F_{fat} \times D \tag{3}$$

이상의 계산에서 덧씌우기 두께 설계는 표 6과 같이 계산되었다.

표 6 덧씌우기 두께설계

노선명	기 층	설계두께(cm)	비 고
중부선	콘크리트	8	파손심한구간은 절삭덧씌우기 선보수 시행
호남선	콘크리트/덧씌우기	4	
	콘크리트	9	
88선	콘크리트	9	확장공사예정

덧씌우기 두께가 8cm 이상인 구간은 2층으로 시공하여야 하므로 하부층은 반사균열의 응력을 흡수하고 소성변형의 발생을 억제하기 위하여 두께 5cm로 조립도층인 19mm 중간층을 설치하고 상부층은 두께 4cm로 하며 내유동성이 큰 특수아스팔트공법 또는 개질아스팔트혼합물을 적용하도록 하였다.

88선의 경우에는 교통량이 많지 않으므로 상부층을 일반아스팔트 혼합물로 적용한다. 다만, 88선의 경우에는 확장시기 등을 고려할 때 덧씌우기 두께를 9cm로 하는 것은 비경제적일 수 있으므로 두께 5cm로 하여 특수아스팔트공법이나 고무계열 개질아스팔트 혼합물을 시공하는 방안을 선택하여 사용할 수 있도록 하였다.

중부선의 경우에는 기존 콘크리트포장이 표면파손이 많이 진행된 상태이므로 파손이 심한 구간에 대해서는 절삭덧씌우기 보수를 선시행하는 것이 효과적으로 판단된다. 파손이 심한 구간에 대한 절삭덧씌우기 두께는 5cm로 하고나서 덧씌우기 두께를 8cm로 하며 2층 시공을 하도록 하였다.

6. 결 론

노후콘크리트포장에 대한 파손조사를 실시하여 노후콘크리트포장이 현재 가지고 있는 물성치를 분석하고 덧씌우기보수공법을 결정하였다. 본 검토에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 노후콘크리트포장에 대한 할열 인장강도 값은 88선이 가장 크게 나타났고, 중부선, 호남선 순으로 나타났다. 중성화 깊이는 호남선이 가장 큰 것으로 나타나 표면열화가 가장 크게 진행되었음을 알 수 있다. 중부선의 경우, 공기량이 다소 부족한 것으로 나타나 동해에 의해 스케일링 현상이 발생한 것으로 파악된다.
2. FWD시험결과, 하중전달율은 88선이 가장 크게 나타났으며 호남선, 중부선 순으로 나타났다. 동적지지력은 호남선이 가장 크게 나타났고, 88선, 중부선 순으로 나타났다. 처짐값은 호남선이 가장 작게 나타났고중부선, 88선 순으로 나타났다.
3. 덧씌우기 두께는 8~9cm로 계산되었으며 시공 및 유지관리여건을 감안하여 두께가 다소 조정되었다. 덧



씩우기 두께가 8cm 이상인 구간은 2층으로 시공하여야 하므로 하부층은 반사균열의 응력을 흡수하고 소성변형의 발생을 억제하기 위하여 두께 5cm로 조립도층인 19mm 중간층을 설치하고 상부층은 두께 4cm로 하며 내유동성이 큰 특수아스팔트공법 또는 개질아스팔트혼합물을 적용하도록 하였다.

참고문헌

1. Burmister, D.M., "Theory of Stress and Displacement in Layered System and Applications to the Design of Airport", Proceedings of Annual Meeting of the Transportation Research Board, Highway Research Board, Washington, D.C., 1943, pp126~148
2. 도로연구소 아스팔트포장 연구실, "고속도로 아스팔트 포장설계 및 개선에 관한 연구", 한국도로공사, 1994, pp14~112
3. Ahlborn, G., Elastic-Layered System with Normal Load, Institution of Transportation and Traffic Engineering, University of California, Berkeley, 1972, pp10~17
4. AASHTO, AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1972, pp59~69
5. AASHTO, AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1986, ppIII-3~III-37