

포장파손사례 분석을 통한 유지보수의 기술적 고찰



이경하 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원

1. 서 언

아스팔트포장의 파손 중 국내에서 많이 발생하는 파손으로는 소성변형과 균열, 포트홀 등이 있다. 과거에 심하게 발생했던 소성변형은 그동안 많은 연구 개발과 품질관리의 노력으로 소성변형은 많이 감소되고 있는 추세이다. 그렇지만 아스팔트 포장은 점탄성 구조체로써 소성변형의 문제를 해결하고자 하면 균열, 포트홀과 같은 파손이 증대될 수도 있다.

이러한 아스팔트포장의 파손을 방지하기 위해서는 혼합물 자체의 문제점만 개선해서는 해결이 안되며 포장의 구조적인 문제점을 같이 검토해야 한다. 그러기 위해서는 재료적 측면에서는 아스팔트 혼합물의 파손원인과 파손에 영향을 미치는 인자를 분석하여 파손을 최소화하는 방안을 마련해야 한다. 그리고 구조적 측면에서는 아스팔트 포장의 구조적 특성상 배수 및 방수의 문제점을 분석하고 배수가 원활히 이루어질 수 있도록 개선방안을 강구하여야 한다.

따라서, 본 연구에서는 아스팔트포장의 파손사례에 대한 실제 현장조사 및 분석을 통하여 원인과 문제점을 분석하고 포장파손을 저감시키기 위한 유지보수측면의 기술적 고찰을 실시하고자 한다.

2. 포장파손구간 사례분석

2.1 사례분석 I

이 구간은 남해고속도로 현장으로 포트홀, 균열, 소성변형 등이 복합적으로 발생한 구간이며 세부적인 파손상황은 다음과 같다.

- (1) 남해선 A 현장 : 포트홀, 균열 및 밀림 등이 발생하여 보수를 실시하였으나 포장내 파손이 반복되어 발생하고 있음
- (2) 남해선 B 현장 : 포트홀, 균열 및 밀림 등이 발생하여 보수를 실시하였으나 포장내 파손이 반복되어 발생하고 있음
- (3) 남해선 C 현장 : 차륜부에서 종방향으로 포트홀, 균열 및 밀림이 발생하는 포장파손 발생
- (4) 남해선 D 현장 : 절토부와 성토부내에서 소성변형과 백태가 발생한 구간으로 절토부의 침투수에 의한 파손으로 추정되어 맹암거를 설치하여 침투수의 차단효과를 기대하였으나, 다시 반복된 포장파손이 발생함

시험결과, A~C구간은 밀림에 의한 파손이 발생한 구간이다. A~C구간은 모두 기존 하부층에 적색세일 골재의 아스팔트 혼합물이 피막박리 현상을 일

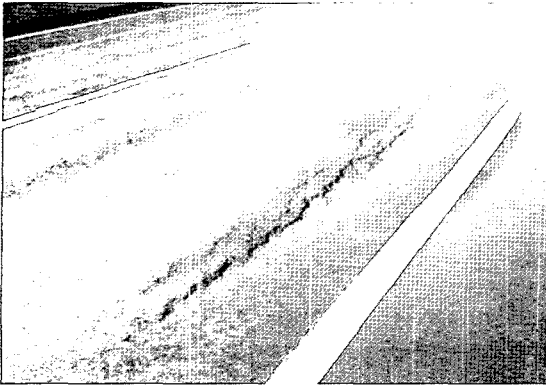


그림 1. A현장

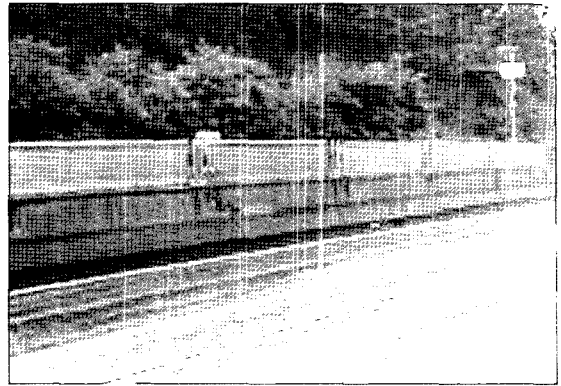


그림 2. B현장



그림 3. C현장



그림 4. D현장

으며, 아스팔트와 골재가 분리되었다. 덧씌우기 보수작업시 이러한 불량층을 제거하지 않고 덧씌우기를 실시하여 상부층의 혼합물이 양호함에도 불구하고 파손이 발생되었다.

D구간에서의 파손원인은 물의 침투에 의한 골재의 피막 박리가 주요 원인이며 일반적으로 골재의 박리현상은 포트홀로 진전된다. 백태현상이 발생하는 원인은 아스팔트 피막이 분리된 골재가 물을 흡수한 상태에서 차량하중에 의하여 물이 배출될 때 골재의 성분이 함께 배출되기 때문으로 판단된다.

D구간은 절토부 지형으로 절토부 지하수의 용출수에 의하여 발생할 수 있으나, 현재 종방향으로 맹암거가 설치된 상태에서 절토부의 지하수위는 맹암거 아래로 낮아지므로 지하수의 용출수에 의한 가능성은 희박하다고 할 수 있다.

D구간의 경우 절토부 용출수의 문제보다는 본선의 1, 2차로에서 포장체로 침투한 물이 일반적인 경우 길어깨 포장하부의 선택층으로 배수되는데 반하여, D구간은 길어깨 아스팔트포장의 두께가 30cm이상으로 과거에 본선포장으로 사용하였음을 추정할 수 있다.

길어깨포장이 두께 30cm이상의 아스팔트포장으로 되어 있어 본선의 아스팔트포장으로 침투한 물의 배수를 차단하는 역할을 하였으며, 본선포장은 다짐부족으로 공극률이 커서 투수가 되었을 것으로 추정한다.

다만, 공극률을 확인하기 위해서는 본선 1, 2차로의 현장코어를 채취하여 공극률시험을 실시하여야 하는데, 현장여건상 1차로는 코어채취가 불가능하였고, 2차로의 경우 상부표층의 코어만을 채취할 수 있어서 본선 아스팔트포장의 공극률 확인은 불가능하였다.

D구간의 파손원인은 본선포장의 1, 2차로를 통하여 포장체로 침투한 물이 길어깨의 두터운 아스팔트 혼합물층 때문에 배수가 방해되어 우수가 체류하게 되고, 체류수가 차량하중에 의한 과잉간극수압으로 백태현상이 발생한 것으로 판단된다.

2.2 사례분석 II

본 구간은 7개 구간으로서 '03년 절삭덧씌우기 시행하여 보수하였으나 주행선에 소성변형 및 박리에 의한 포장내 포트홀 등의 파손이 발생하였다. 파손부에서 채취한 시편의 대부분이 표층 5cm층을 제외하고는 기층하부까지 혼합물이 불량한 것으로 나타났다.

본 조사를 통하여 채취한 공시체에 대하여 아스팔트 혼합물 분석시험을 실시하였다. 표 2는 아스팔트 혼합물의 위치별 공극률, 아스팔트 함량, 입도 불연속구간을 나타내었다.

본 구간은 대부분 하부층에 불량층이 존재하여 불량층의 지속적인 변형으로 인하여 파손이 발생되었다. 불량층의 가장 큰 원인은 골재이며, 적색세일 등의 퇴적암을 골재로 사용하여 파손이 발생하였다.

본 조사에서 발견한 특이사항은 적색 세일골재 이외에도 이암과 같은 퇴적암골재를 아스팔트 표층에 사용하였을 경우에는 수분침투와 차량하중에 의한 파손이 발생하므로, 이러한 골재는 표층 및 기층으로는 사용을 지양하여야 한다.

표 1. 파손상황

번호	위 치	방 향	현 황	비 고
A	구마선 A현장	현풍 (주행선)	<ul style="list-style-type: none"> '03년 절삭덧씌우기 시행 포트홀 및 소성변형 발생 	
B	구마선 B현장	"	<ul style="list-style-type: none"> '03년 절삭덧씌우기 시행 포트홀 및 소성변형 발생 	
C	중부내륙선 C현장	내서 (주행선)	<ul style="list-style-type: none"> '03년 절삭덧씌우기 시행 포트홀 및 소성변형 발생 	
D	중부내륙선 D현장	"	<ul style="list-style-type: none"> '03년 절삭덧씌우기 시행 포트홀 및 소성변형 발생 	
E	중부내륙선 E현장	"	<ul style="list-style-type: none"> '03년 절삭덧씌우기 시행 포트홀 및 소성변형 발생 	
F	중부내륙선 F현장	"	<ul style="list-style-type: none"> '03년 절삭덧씌우기 시행 포트홀 및 소성변형 발생 	
G	중부내륙선 G현장	여주 (주행선)	<ul style="list-style-type: none"> '04년 절삭덧씌우기 시행 종방향 균열 및 소성변형 발생 	

표 2. 아스팔트 혼합물 분석 결과

구 분	C-2'	D-2	D-4	F-2	F-4
공극률(%)	5.9	4.0	7.6	5.1	4.9
AP함량(%)	6.5	6.3	7.3	6.1	6.6
입도 불량 구간	0.15~0.6mm	0.15~0.6mm	0.15~0.6mm	0.15~0.6mm	0.15~0.6mm

*층구분

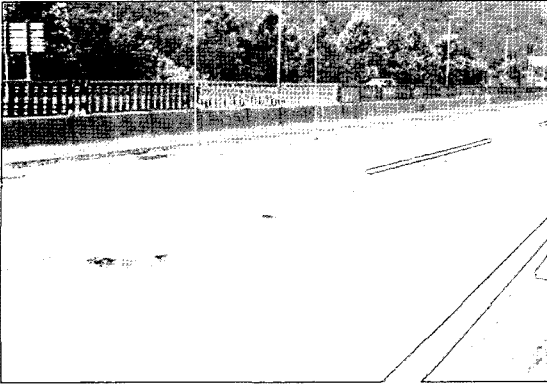


그림 5. 현장 포트홀

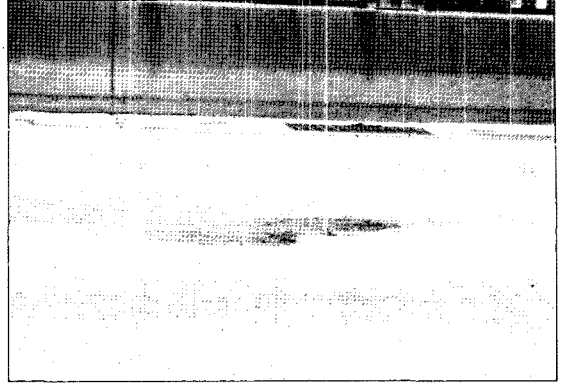


그림 6. B현장

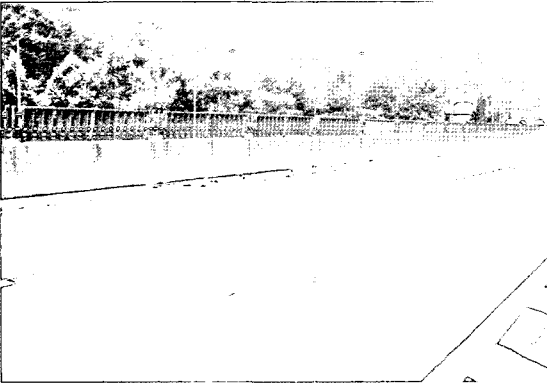


그림 7. C현장

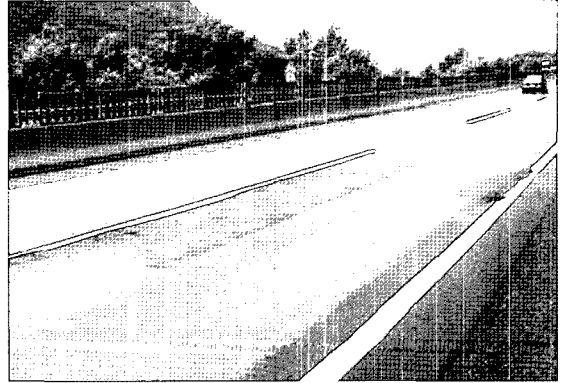


그림 8. D현장

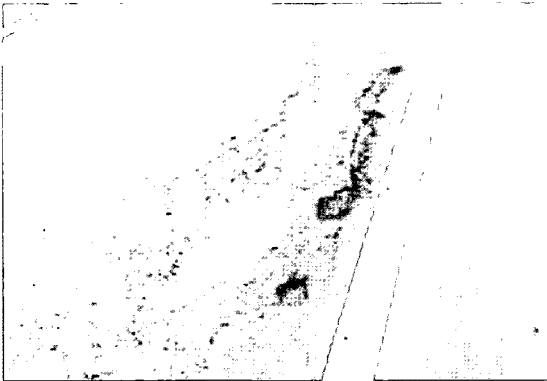


그림 9. E현장

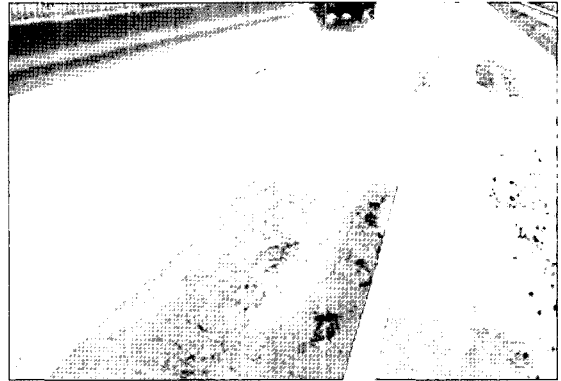


그림 10. F현장

하부층의 불량요인에 의하여 파손이 발생시에는 상부층이 양호함에도 불구하고 파손이 발생하므로 보수시 불량하부층을 모두 절삭하여야 한다.

절삭덧씌우기 보수시 10cm이상 절삭구간의 경우

표층 5cm 이하의 하부층은 소성변형을 최소화하기 위하여 기층입도로 시공한다. 문제구간은 파손된 구간뿐만 아니라 한 개 차로 전폭을 보수하여야 한다.

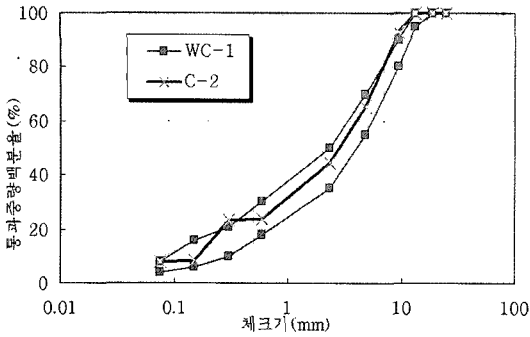


그림 11. 아스팔트 혼합물의 입도 곡선(C현장)

2.3 사례분석 III

본 구간의 A현장은 '03년에 개질아스팔트로 덧씌우기 보수를 실시한 구간으로, 포트홀 파손이 발생하였다. 특히 곡선구간 외측부인 2차로에서 포트홀 파손이 많이 발생하였다.

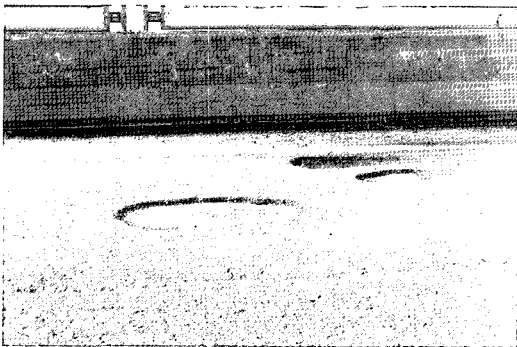


그림 12. A현장



그림 14. B현장

B현장은 콘크리트 포장위에 아스팔트포장 덧씌우기를 한 구간으로 '04년에 일반아스팔트 혼합물 5cm위에 특수포장 4cm로 2층으로 시공된 구간이다.

아스팔트 혼합물 공시체의 공극률을 분석한 결과, 호남선 A현장은 최상부층의 공극률이 7.2%로 높게 나타나서 투수의 가능성을 보여주고 있다. 호남선 B현장도 최상부층의 공극률이 9.5%로 나타나 투수의 가능성을 제공하고 있다.

채취된 시료의 아스팔트 바인더 함량을 파악하기 위해 연소시험법을 실시하였다. 이 방법은 일반적으로 시험과정에서 유기물질의 연소에 의하여 실제 아스팔트 함량보다 다소 증가된 아스팔트 함량을 나타내는 것으로 알려져있다. 아스팔트함량 분석결과, 아스팔트 함량은 적정한 것으로 나타났다.

골재입도 분석결과, 호남선 A현장의 골재입도는 WC-3와 비교할 때, 각 층 모두 5mm이상의 입도에서는 상한선을 약간 벗어나거나 상한선에 근접하여

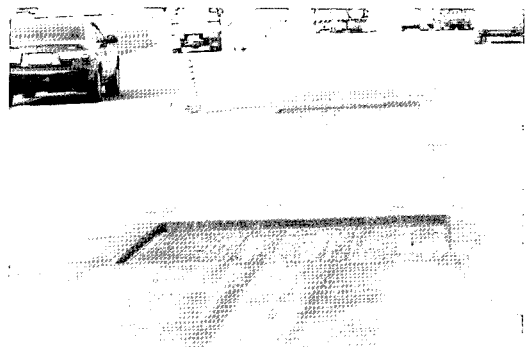


그림 13. A현장 팻칭보수



그림 15. B현장 코어채취

있다. 호남선 B현장의 골재입도는 갭입도와 비교할 때 2mm 이상의 입도에서는 상한선을 약간 벗어나는 것으로 관측되었다. 전체적으로 볼 때 골재입도상의 문제는 없는 것으로 판단된다.

호남선 A, B현장 두 구간 모두 아스팔트포장의 두께가 적정기준보다 적은 것으로 나타났다. 아스팔트포장의 두께가 기준보다 적을 경우 층간 부착응력이 커져서 포트홀이 발생될 가능성이 있다.

그리고, 호남선 A, B현장 두 구간 모두 아스팔트 혼합물의 공극률이 크게 나타났다. 공극률이 클 경우 우수의 침투가 발생하며, 차량하중으로 인한 침투수의 과잉간극수압에 의하여 포트홀이 발생될 수 있다. 아스팔트 함량은 적정한 것으로 보여지며, 골재입도의 경우 기준보다 세립화되어 있으나, 포트홀의 원인은 아닌 것으로 판단된다.

보수방안에서, 호남선 A현장은 5cm두께로 절삭덧씌우기를 실시하거나, 5cm두께로 덧씌우기를 실시한다. 포장파손형태가 소성변형일 경우 불안정한 층을 모두 제거하여야 하나, 포장파손형태가 포트홀이며 현재의 층두께도 기준에 미달하므로 불안정한 층을 모두 제거할 필요는 없다. 다만, 이미 파손이 발생한 구간과 파손이 진전되고 있는 구간은 반드시 덧씌우기 보수가전에 팻칭보수를 실시하여야 한다.

호남선 B현장구간은 갭입도포장의 공극률이 과다하게 발생한 구간으로 이 구간은 하부층이 콘크리트 포장구간이므로 반사균열을 억제하여야 한다. 그러므로 보수는 절삭덧씌우기가 아닌 덧씌우기 보수로 실시하여야 한다.

2.4 사례분석 Ⅳ

본 구간은 A항 부두내 배후부지(야적장, 통로)의 아스팔트 포장에 침하, 거북등균열 및 박리 등이 심하게 발생되고 있는 상태이다. 포장파손 부분에 우수 등에 의한 물고임 현상이 발생하여 박리가 심하게 진행되고 다시 포장파손으로 이어지는 악순환이 가속화되어 있는 상태이다.



그림 16. 부두포장 파손전경

본 구간은 연약지반으로 침하가 계속 진행되는 곳으로 콘크리트 구조물로 설치된 배수로보다 아스팔트 포장면의 침하가 빨리 진행되어 단차가 발생하였고, 이로 인해 포장내 유입된 물이 배수로로 빠져나가지 못하고 정체되어 아스팔트 혼합물이 박리 및 탈리가 가속화 된 것으로 판단된다.

본 구간은 포장단면 설계시 아스팔트 기층 대신 쇄석기층으로 설계되어 조기에 포장파손이 발생하였으며 일부구간은 설계두께보다 포장두께가 얇아 피로균열이 가속화 된 것으로 판단된다. 현장 코아채취를 통한 실내시험분석에서 표층의 공극률이 3개소 모두 8%를 초과함으로써 투수로 인한 박리현상이 발생된 것으로 판단된다.

이상의 검토를 통하여 분석을 실시한 결과, 아스팔트 혼합물층의 두께 부족, 다짐부족에 의한 투수 등이 복합적으로 포장파손을 발생시킨 것으로 판단된다.

2.5 사례분석 Ⅴ

본 구간은 콘크리트포장위에 아스팔트 포장 덧씌우기를 실시하였다. 포장은 포트홀 파손과 종횡방향 균열이 발생하였다. 포장상태의 현장조사결과는 다음과 같다.

기존 콘크리트포장위에 덧씌우기 보수를 하였다. 덧씌우기 두께는 콘크리트 슬래브가 양호한 구간은 8cm 이고, 콘크리트 슬래브가 블로우업 등에 의하여 파손된 구간은 아스콘 두께가 15cm까지 보수를 하였다.



그림 17. 포장파손조사



그림 18. 포트홀 크기 측정



그림 19. 횡방향균열

반사균열을 억제하기 위하여 아스팔트포장위에 줄 눈시공을 하였다. 지름 15~30cm크기의 포트홀이 발생된 상태이고, 현재의 보수상태는 팻칭보수가 아니고, 응급보수한 상태이다. 포트홀 발생위치 부근은 육안조사시 동질의 시공구간이며, 아스팔트 함량이 적어보인다.

중·횡방향 균열이 발생하였으며, 종방향균열은

콜드조인트에 의한 시공균열로 추정되며, 횡방향 균열은 커팅 부적정 또는 기존 슬래브에서 발생한 균열이 진전된 것으로 추정된다.

현장조사와 실내시험 분석결과를 종합하면 포장과 손 원인은 다음과 같이 판단된다.

첫째, 아스팔트함량 부족 : 아스팔트함량이 배합설계에 의한 실제아스팔트 함량보다 적을 경우 조기균열, 포트홀 등이 발생될 수 있다.

둘째, 공극률 과다(다짐불량) : 공극률은 시공직후에 8%미만이 되도록 하여야 하며, 8%를 넘을 경우에 투수, 산화 등의 원인으로 과잉간극수압이 증가하여 포트홀 및 기타파손이 발생될 수 있다.

셋째, 골재의 부적정 : 골재의 강도가 약하여 시험도중 부수어지는 골재가 있으며, 골재중 일부는 물에 뜨는 현상이 나타남. 이는 백두산이 화산지대인 관계로 화산암질의 골재가 포함되어 있다. 이러한 골재를 아스팔트 혼합물로 사용할 경우 골재의 아스팔트 피복이 불량해지며, 결과적으로 박리현상과 포트홀현상이 발생될 수 있다.

넷째, 골재입도 불량 : 골재입도는 골재의 크기별 분포를 의미하는 것으로 골재의 입도가 세골재가 과다하게 많을 경우 골재를 피복하는 아스팔트함량이 부족하여 골재결합력을 상실하게 된다.

3. 기술적 고찰

이상의 파손사례분석을 통하여 포장파손을 방지하기 위하여 포장시공 및 유지보수시 유의해야 할 사항을 다음같이 정리하였다.

(1) 다짐관리 철저

아스팔트 혼합물에 있어서 공극률은 밀도와 직접적으로 관련되어 있다. 따라서, 초기 현장공극률이 허용범위안에 들어올 수 있도록 밀도관리를 철저히 해야 한다. 밀입도 혼합물인 경우 초기 현장공극률은 대략 8% 이상 되어서는 안되고 포장의 공용기간

동안 3%이하가 되지 않아야 한다. 공극률이 높을 경우 혼합물내로 물과 공기가 침투하게 되어 물로 인한 손상, 산화, 라벨링, 균열 등이 발생하게 된다. 공극률이 낮으면 아스팔트 혼합물에 소성변형과 밀림현상이 발생할 수 있다.

이와같이 밀입도 아스팔트 혼합물은 8%이하의 초기공극률을 갖도록 시공하여야 하며, 교통개방후 최종공극률이 3%이상 되어야 한다.

(2) 아스팔트함량 적정

아스팔트 함량의 문제는 앞에서 언급하듯이 공극률문제와 연관되어진다. 아스팔트 함량이 부족할 경우 공극률이 커져서 균열, 포트홀 등이 발생할 수 있으며, 아스팔트 함량이 많을 경우 소성변형이 발생할 수 있다. 그러므로 아스팔트 함량을 적정하게 유지하는 것이 중요하며, 아스팔트 혼합물 배합설계시 콜드빈 골재에 의한 배합설계보다는 핫빈 골재에 의한 배합설계가 필요하며, 이론최대밀도는 골재의 비중시험으로부터 구하는 것보다는 이론최대밀도시험을 추가적으로 실시하여야 한다. 그리고 아스팔트 혼합물 생산시 통계적 품질관리를 실시하여 규격관리와 안정관리가 올바르게 유지되어야 한다.

(3) 골재 및 골재입도관리

아스팔트포장용 골재는 내구성과 내마모성을 갖추어야 한다. 적색세일과 같은 골재는 수분이 침투할 경우 아스팔트와 골재가 분리되는 박리현상이 발생되므로, 이러한 골재의 층이 하부에 존재할 경우 보수를 실시하여도 파손은 지속적으로 발생하기 마련이다. 그러므로, 이러한 골재를 아스팔트 혼합물용 골재로 사용하는 것을 사전에 방지하기 위해서는 골재에 대한 품질시험을 철저히 하며, 특히 안정성 시험감량에 대한 기준을 철저히 준수하여야 한다.

아스팔트포장의 파손에 가장 큰 영향을 미치는 인자중의 하나가 골재입도이다. 골재입도가 밀입도 아스팔트 혼합물에서 세립화될 경우에도 소성변형의 발생 가능성이 있으며, 너무 조립화될 경우에도 균열, 골재탈리, 포트홀 등의 발생가능성이 존재한다.

(4) 포장배수

아스팔트포장은 불투수성을 전제로 하고 있지만, 투수가 되는 경우가 많이 존재한다. 우수가 아스팔트포장으로 침투하였을 경우 침투수가 배수시설 또는 하부층으로 배수되었을 경우에는 큰 문제가 없지만 침투수가 포장체내에서 체류할 경우에는 통과하는 차량의 하중에 의한 과잉간극수압으로 포장체를 밀어내는 작용을 하여 포트홀 등의 파손이 발생한다. 특히 교면포장과 같이 포장체로 침투한 물이 배수할 경로가 없을 경우 이러한 현상은 더욱 심하다.

그러므로, 교면포장의 경우에는 아스팔트포장이 수밀성을 갖추어야 하고, 우수가 침투하였을 경우, 신속하게 배수될 수 있도록 드레인파이프 등의 배수시설을 갖추어야 한다. 부두포장과 같은 광장포장에서 연약지반이 존재할 경우 압밀침하로 인하여 포장노면이 측구표면보다 낮아질 경우 배수가 안되어 포장파손이 발생될 수 있으니, 이러한 경우에는 2차 압밀침하를 감안하여 측구보다 노면을 약간 높이는 등의 방법을 통해 배수를 고려할 필요가 있다.

4. 결 언

포장파손은 환경 등의 외부적 요인보다는 품질관리 등의 내부적 요인에 의해 더 많이 발생하므로, 포장파손을 저감시키기 위해서는 포장파손사례 또는 시공시 실패사례 등을 분석하여 똑같은 유형의 파손이 재발되지 않도록 노력할 필요가 있다.

현재의 포장파손은 파손의 원인이 공통적인 요인인 경우가 많은 부분을 차지하고 있으며, 이러한 요인은 반드시 원인분석 및 개선방안수립을 통하여 품질을 개선하기 위한 피드백시스템이 갖추어져야 하나 이러한 시스템이 갖추어지지 않은 것이 현실이다. 따라서, 앞으로는 파손사례에 대한 포장유지관리 기관간의 상호 데이터베이스 구축을 통하여 공통적 원인에 의한 포장파손이 재발되는 것을 방지하기 위한 노력이 절실히 요구된다.