포트홀 저감 개선방법에 대한 국내기준에 대한 고찰

최 준 성 | 정회원 · 인덕대학교 토목환경설계과 교수
진 정 훈 | 정회원 · (주) 토리기술 연구소장
노 성 환 | 정회원 · (사)한국순환아스콘협회 이사

1. 들어가기

근래 들어 지구온난화에 따른 기후변화의 영향으로 국내에서도 집중폭우와 폭설이 잦아지고 있다. 이러한 현상들로 인하여 아스팔트 콘크리트 포장도로에서는 많은 포트홀(pothole)[1]이 발생하고 있다. 포트홀 발생은 도로를 이용하는 운전자들의 주행안전을 위협할 뿐 아니라 심각한 교통사고를 유발시키는 원인을 제공하고 있으며, 물적, 인적 손해로 연결되어서 보상요구 민원이 급증하고 있다.

그림 1. 폭설 이후 포트홀 발생

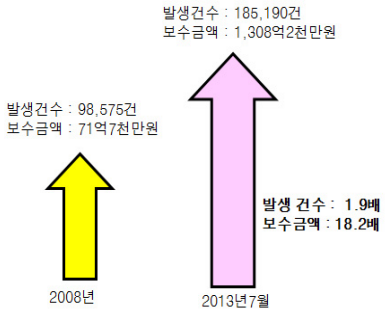

그림 2. 포트홀 발생 및 보수금액 변화

도로에서 발생되고 있는 포장 국부손상의 하나인 포트홀을 개선하기 위하여 국토교통부는 2013년 4월부터 도로포장개선 T/F팀을 운영하여 대응책 마련에 나섰고, 서울시는 2013년 11월 5일 '아스팔트 10계명'을 발표하여 도로유지관리체계를 근본적으로 전환하기위한 야심찬 실천계획도 세웠다. 올해 들

1) 국립국어원에서는 2014년 3월부터 포트홀을 노면홈으로 용어 순화

어 효율적인 도로관리를 위한 다양한 정보와 의견 등을 토론하기 위하여 국토교통부 및 서울시는 지난 1월 23일 포트홀 저감을 위한 수도권 도로관리기관 워크숍을 개최한 바 있다.

언론보도에서 심심찮게 포트홀에 대한 운전자 위험과 도로부실 문제점이 잇따라 지적되자 기술표준원에서는 2012년 10월 KS표준을 개정하여 아스팔트 혼합물의 수분민감성 시험방법을 강화하였다. 마찬가지로 국토교통부도 2014년 1월 지침을 대폭 개정하여 품질관리를 중점관리하겠다는 의지를 보이고 있다.

기술표준원은 국가시험기준인 KS를 강화하는 방향으로 개정하였지만, 국토교통부 및 지자체에서는 개정이전의 시험법에 의한 시험기준을 사용하고 이에 따른 품질기준을 요구하고 있어서 발주처, 생산자, 시공자, 감리자가 혼선을 겪는 문제점들이 발생하고 있다.

국내의 아스팔트 콘크리트 포장도로의 품질을 선진국 수준으로 올리기 위한 끊임없는 노력과 지침 및 시방기준 등의 개선을 꾸준히 진행하였지만 기후변화에 따른 폭우와 폭설로 인하여 포트홀 발생은 되풀이 되고 있다. 따라서 그동안의 노력 중에서 우리가 간과하지 못한 원인과 문제점은 무엇인지와 생산시설과 시공현장에서 발생하는 문제점이 무엇이며, 지속적인 품질관리가 이루지는지, 또한 제대로 된 절차에 의한 실험이 이루어지고 있는 지에 대하여 국내외 사례를 중심으로 조사 및 분석하고자 한다. 본 논고는 2013년~2014년까지 유지보수/재활용위원회의 소모임 그룹(매월 2회씩)의 조사자료 및 분석을 통하여 2년여의 논의를 정리한 것이다.

2. 포트홀 개선을 위한 노력

2.1 포트홀 발생원인

아스팔트 콘크리트포장 도로에서 발생하는 포트홀 원인들을 크게 분류하면 표 1과 같이 5개의 커다란 꼭지로 정리할 수 있다. 이러한 원인의 분류는 꼭 하나씩 나타나지 않고 동시다발적인 복합적 영향으로 발생하고 있다.

표 1. 포트홀 발생원인에 따른 구분

구 분	내 용
아스팔트 혼합물	흡수율이 높은 골재 사용, 배합설계 미흡, 생산 및 운반 온도관리 등 품질관리 미흡, 숙련 기능자 부족, 응급보수재의 품질성능 취약
시공상의 문제	이물질 혼입, 다짐 불량, 청소 불량, 두께부족, 방수처리 불량, 응급보수공사 부실시공, 시공온도관리, 조기개통, 시간부족에 따른 공사일정
유지관리 문제	응급복구의 조기 재파손, 균열 적기보수 미흡, 잦은 굴착공사, 맨홀파손 보수 미흡, 교통사고에 따른 기름유출, 도로수명 한계 방치
기후변화 문제	게릴라성 집중호우, 잦은 폭설 및 염화칼슘 과대사용
제도의 문제	KS품질기준 최저 아스팔트 함량 누락, 상이한 시험방법 및 기준, 혼합물 기준개선만 치중, 파손원인파악 미흡, 시공사 및 감리원의 전문성과 책임감 결여, 도로포장 종사자 포장공학과목 미수강 및 이에 대한 전공지식 결여, 하자기간 미흡, 최저가낙찰방식으로 인한 고품질화 역행, 아스팔트관련 전문인력부족, 아스팔트 생산시설의 노후화, 생산시설 관리감독의 전문인력 부족, 관급자재 생산으로 인한 기술개발 소홀, 아스팔트 혼합물의 우수조달품목 삭제

2.2 포트홀 발생 조사 사례

우리학회지 2013년 12월호(제15권 제4호 통권 58호)에 소개된 '포트홀 저감을 위한 도로포장의 품질관리 강화 대책'에서 포트홀이 발생한 현장의 조사 및 분석한 결과는 혼합물 포장의 다짐도 부족에 의한 수분침투, 골재와 아스팔트 또는 상부층과 하부층의 박리현상 등이 포트홀 발생 주요원인이며, 한국도로공사의 자료에서는 포트홀 발생원인의 66%가 다짐도 부족(그림 3)이며, 그 외 그림 4와 같이 교면포장에서는 방수재료나 배수문제 또는 하부층의 박리 등이라고 밝히고 있다.

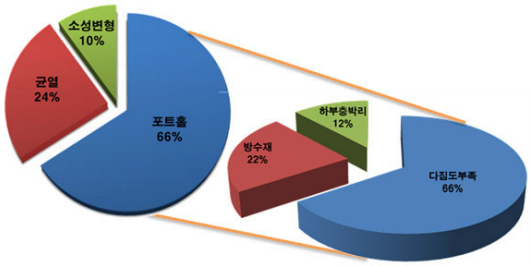

그림 3. 포트홀 발생원인

올해 충청남도 감사위원회에 따르면 2014년 3월 10일부터 26일까지 충남지역 지방도 이상 모든 도로를 대상으로 포트홀에 대한 전면 감사를 진행한 결과 포장공사에 사용한 아스팔트 혼합물(아스팔트 함량, 골재입도 등) 자체에는 이상이 없는 것으로 확인되었고 도로 굴착 후 복구부실, 과적차량 운행 등을 포트홀 발생과 도로 파손원인으로 제시하였다. 이는 통상적인 조사가 아니라 불량자재사용 부실공사 여부를 찾으려고 이례적인 감사를 진행하였음에도 불구하고 아스팔트 혼합물의 문제가 아닌 것으로 조사된 결과가 연합뉴스로 보도되었다.

그림 4. 충북 제천 두학교

그림 5. 도로에서 유실된 박리된 골재

일반적으로 알려진 석회석계열의 골재에서는 포트홀 발생이 안된다고 하지만 실제적으로 조사한 결과 충북 제천지역은 그림 5와 같이 석회석 골재를 100% 사용하여 아스팔트 혼합물을 생산·시공하고 있으나 지난해 장마철 이후(2013년 8월) 포트홀 발생이 나타나고 있음을 파악하였다.

2.3 서울시 아스팔트 10계명 발표 주요 내용

서울시에서 2013년 11월 포트홀 예방을 골자로 한 '서울시 아스팔트 10계명'을 마련하여 발표한 내용이다. 도로관리측면에서는 대중교통과 첨단장비를 이용하여 포트홀 발생을 조기에 발견하기 위하여 서울형 첨단도로관리시스템을 구축하고, 도로포장공사 실명이력 관리제 및 응급보수팀을 확대하여 24시간 이내 보수체계로 시민불편을 최소화하였다. 도로품질 측면에서는 아스팔트 혼합물에 소석회나 박리방지제를 사용하여 내수성에 대한 품질을 강화하고, 맨홀주변 침하 및 파손 등 도로 요철을 집중관리 하였다. 제도측면에서는 부실시공이나 불량납품업체는 원스트라이크 아웃제 강력추진, 도로포장공사 실명제 도입, 굴착공사 금지기간 연장을 3년 → 5년으로 하는 도로법 개정 건의, 과적운행 차량의 단속강화, 공사장 안전관리 강화, 관련기술자·공무원 등 교육이수제를 시행하여 인력전문화, 미공병단과 도로기술 협력체계 강화, 기동감리단을 구성하여 도로포장공사 생산시설과 시공현장을 순회점검하여 서울형 아스팔트 품질관리 시스템을 도입 등 의욕적인 추진방안을 제시하였다.

지난해 서울시 포트홀 발생개수는 7만4,122개로 이중 버스전용차로에서 발생한 포트홀은 7,205개였다(표 2 참조).

표 2. 최근 5년간 서울시 도로파손(포트홀) 현황

연 도	2009	2010	2011	2012	2013
발생건수	29,294	77,654	52,591	41,313	74,122

2.4 포트홀 개선 노력과 한계

국내의 포트홀 발생을 저감하기 위해 현재 제시된 개선방법들은 "발주처-석산-플랜트-포장업체-종합건설업체"의 일련된 구조로서 현재 기술수준에서 살펴보면 다음과 같은 문제점들이 제기되고 있다.

1) 포트홀 발생원인별(아스팔트 혼합물, 다짐시공, 이물질, 교통사고, 굴착공사, 복구부실 재파손 등) 조사 통계(데이터베이스)가 없어 체계적인 관리방안을 마련할 수 없다.

2) 분야별(발주자, 설계자, 생산자, 시공자, 유지관리자 등)로 근본적인 대처방안은 미흡하고 미시적 접근인 아스팔트 혼합물 기준상향과 엄격한 품질점검 강화의 한정된 개선에 편중되어 있다.

3) 예방적 도로보수방안으로 운영하지 아니하고 사후약방문식 민원해소에 우선된 단기적 응급복구 등에 집중되어 있다.

4) 국토교통부에서는 아스팔트 혼합물 생산 및 시공에 대하여 지침, 매뉴얼, 요령, 핸드북 등으로 규정되어 있고 특수포장 및 배합설계, 품질관리제도까지 망라하여 전반적으로 마련되어 있으나 도로현장에서 실질적으로 반영하고 체계적으로 운영관리하는 시스템이 미흡하다.

5) 지자체에서는 아스팔트 혼합물 현황을 분석하고 감독할 수 있는 품질전문가가 상주되어 있지 않아 원인분석과 대처가 미흡하다.

3. 아스팔트 혼합물 시험방법 및 기준

포트홀을 발생시키는 원인들은 표 2와 같이 다양하게 나타나지만 결국은 골재와 아스팔트바인더 사이의 부착력을 떨어뜨리는 수분에 의한 손상이다.

KS와 국토교통부 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침(이하 '국토부 지침'이라 한다)에서 정하고 있는 아스팔트 혼합물의 수분에 대한 영향평가를 위한 시험방법은 KS F 2398(아스팔트 혼합물의 수분저항성 시험)이다. 이는 아스팔트 혼합물의 건조상태의 간접인장강도와 수분포화상태에서의 간접인장강도를 측정하여 두 값 사이의 인장강도비(TSR : Tensile Strength Ratio)를 수분민감도로 나타내며 박리현상을 예측하는데 이용하거나 박리방지용 첨가제에 대한 평가에도 사용할 수 있도록 규정하였다.

그러나 KS와 국토부 지침은 시험방법이나 품질기준을 서로 다르게 적용하고 있으며, 품질을 측정하기 위한 실험용 시편제작 다짐조건도 국내의 실무현장에서 마샬다짐기에 의한 다짐과 고급장비인 회전선회다짐장비를 사용하는 방식으로 이원화되어 있다. 특히 GR기준에서는 공극률 7% 기준이 빠진 50회 다짐공시체만으로 TSR시험을 실시하도록 규정되어 있다.

3.1 수분저항성(간접인장강도비) 시험방법

3.1.1 KS(F 2398)

수분저항성 시험방법에 대한 KS를 최초 제정할 때에는 시험공시체 공극률 (7±1.0)%로 제작하고 항온에서의 시험조건(60±1)℃을 가지는 a)방법과 동결융해조건(-18±3)℃에서의 b)방법으로 구분하여 두 가지 조건 중 하나를 따르도록 규정하였다. 그러나 품질을 강화하고 미국시험방법(AASHTO T 283-07)과 맞추기 위하여 표준을 개정(2012년10월 29일)하면서 시험공시체 공극률은 (7±0.5)%로 제작하되 a)시험조건은 삭제시키고 b)조건의 동결융해 절차를 따르도록 하였다.

3.1.2 국토교통부 지침

국토부는 지침을 개정(2014년 1월)하면서 일반적으로 사용하고 있는 수분저항성 시험방법으로 KS에 따른 시험이라고 소개하고 있으면서 KS에서 삭제시킨 시험조건 a)방법으로 규정하였다.

3.2 간접인장강도비(TSR) 시험방법 및 품질기준

국내 및 미국에서 규정하고 있는 간접인장강도비

시험방법과 품질기준, 공시체 다짐방법을 비교하여 정리하면 표 3과 같다.

표 3. 간접인강강도비 품질기준 비교

구 분	KS (F 2398)	국토교통부 (아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침)	서울시 (아스팔트 콘크리트 포장 유지 보수 공사 시방서)	미국 고속도로 NCHRP Report 673
품질기준	0.75 이상	0.8 이상	0.8 이상	0.7~0.8
시험조건	b)방법	a)방법	a)방법	b)방법
공시체다짐 방법규정	마샬다짐 선회다짐	마샬다짐 선회다짐	마샬다짐 선회다짐	선회다짐
제품용도	표층	표층·중간층	표층·중간층	표층
개정일자	2012.10.29	2013.12.27	2014.4.22	2011

3.3 간접인장강도 시험(다짐)방법 차이점

우리나라 간접인장강도 시험공시체 제작은 KS와 국토해양부 지침에서 마샬다짐(KS F 2337)과 선회다짐(KS F 2377)방법 2가지 모두 사용할 수 있도록 되어 있으나 아스콘 혼합물 생산업체나 도로현장 시공자는 마샬다짐으로 하고 있다. 미국의 경우에는 선회다짐(AASHTO T 283-07)방법으로 규정되어 있다.

마샬다짐기를 이용하는 공시체 제작방법은 다짐햄머로 몰드에 충격으로 타격하여 양면 다짐하고 몰드는 101.6㎜가 사용된다. 선회다짐기를 이용한 공시체 다짐방법은 미국 수퍼페이브(SHRP) 배합설계방법에 따라 개발된 시험기를 이용하여 직경몰드 100㎜에 혼합물을 채워 넣고 축방향으로 선회하면서 한 면만 다짐하는 방법이다. 즉, 2종류의 다짐기는 다짐방향과 다짐에너지가 상이하여 시편 속의 골재 맞물림 및 골재배열은 차이가 난다. 따라서 동일한 아스팔트 품질과 배합을 가진 혼합물에서는 골재의 맞물림에 의하여 외력에 대항하는 역학적 편차는 더욱 클 수밖에 없다.

우리나라에서 대부분 사용하는 마샬시험법은 일본, 유럽에서도 오랜 경험과 시험이 간단하여 지금까지 사용하고 있다. 그러나 고급장비를 보유하고 있는 건설기술연구원, 한국도로공사 등과 같은 연구기관들은 선회다짐기를 이용하여 평가하는 경우가 있어서 도로 일선현장의 현실과 차이를 보이고 있다.

그리고 경험에 기초를 둔 마샬시험기의 공시체 제작방법은 배합입도의 분포, 입형, 다짐온도에 의한 편차가 많아 동일한 다짐횟수를 적용하여도 KS에서 요구하는 공극률(7±0.5)% 시험조건을 맞추는 것은 숙련된 기능자도 상당히 힘들어 하고 있다.

따라서 품질변별력을 나타내고 실무현장에서 활용될 수 있는 현실화된 시험규정을 마련할 필요가 있다.

4. 해외 사례

일본의 '포장' 월간지에서 소개된 내용을 살펴보면 1962~1994년 사이 아스팔트 콘크리트 도로 포장 파손은 소성변형과 균열이 많았고 교통량 증대에 대한 내유동성 대책을 세웠다. 그러나 내유동성 개선을 위하여 개질아스팔트 혼합물이 포장되었고 1995~2004년에는 소성변형이나 균열 발생은 억제되었지만 포트홀이 다량 발생하였고 박리가 원인이었다. 포트홀에 대한 대책으로 혼합물의 박리저항성을 향상시키기 위하여 설계 아스팔트 함량을 증가시키고 소석회를 첨가하여 내수성을 개선하였다. 그런데 실내시험(휠트래킹 시험, 압열강도시험)한 결과 소석회 첨가는 반드시 혼합물의 내수성이 향상되지 않는다는 결과가 나왔다. 또한 배합종류(입도, 아스팔트 함량)의 영향이 크다는 것을 알았다.

미국의 경우에도 지난겨울 동부지역의 100년만에 찾아온 전례 없는 폭설과 한파로 포트홀이 급증하였고, 뉴욕주의 경우 4년만에 최고수준으로 포트홀이 발생되고 다른주에서도 역시 예년보다 30% 이상 증가하였다고 보도하고 있다. NCHRP(미도로협력프로그램) REPORT 673(2011년)에서 수분손상에 대하여 다음과 같이 정리하고 있다. 박리(stripping)라고 불려지는 수분손상은 적절한 도로건설, 특히 철

저한 다짐은 가열아스팔트 혼합물 투수성을 줄이는데 도움을 주며 수분손상의 가능성을 크게 줄여 준다. 수분저항성을 개선하기 위하여 첨가하는 소석회는 가장 일반적이고 효과적인 방법 중의 하나이다. 많은 고속도로 관리기관들은 70~80%의 TSR 기준값을 요구하지만 기술자들은 이 시험법에 의한 "품질기준결과가 수분손상을 완벽하게 억제하지 못하여 단지 수분저항의 대략적인 지침"을 제공한다는 사실에 유념해야 한다는 사실을 강조하고 있다. 또한, 아스팔트 혼합물의 수분저항을 평가하는 개선된 방법에 대한 연구는 아직 진행 중임을 밝히고 있다.

5. 맺음말

언론에서 도로파손(포트홀 발생)으로 운전자들의 안전이 침해되고 부실시공이 원인이라는 질타성 보도가 이어지자 가시적인 개선안을 보여주기 위하여 KS나 발주처들은 아스팔트 혼합물 품질기준 상향조정과 품질관리 점검을 강화하는 처방에 집중하고 있다. 한편 일부에서는 상향된 품질기준은 "규정 따로 현실(중소기업인 아스팔트생산업체의 규제로 받아들이고 있음) 따로" 움직이고 있다는 비판과 더불어서 도로포장관련 전문인력의 부족과 고가의 시험장비 부족 및 공인된 시험기관의 부족 등으로 인하여 편법과 부작용만 야기될 뿐이라며 우려하고 있다.

아스팔트생산업계의 현실과 도로포장 전문인력이 부족한 현실 속에서 과도한 품질기준의 상향조정과 부처간 상이한 시험방법이나 기준들로 인하여 오히려 혼란만 부추기고 있기 때문에 이에 대한 일원화가 필요할 것으로 사료된다.

또한 최근 강화된 기준에서는 유럽의 몇몇 나라의 소석회사용 채택사례를 들어서 소석회나 박리방지제를 사용하게 되면 포트홀 발생은 크게 개선될 것이라고 강조하고 있다. 소석회의 주원료는 석회석으로 소석회가 아스팔트 혼합물에 미치는 영향을 단순 비교검토하기 위하여 국내 석회석 골재를 100% 사용하는 충북 단양과 제천, 강원도 영월과 정선지역 도로상태를 확인한 바, 장마철 이후에 포트홀이 여전히 발생하고 있었다.

앞에서 소개한 일본과 미국의 사례를 고려하여 소석회를 사용한다고 해서 포트홀 발생이 획기적으로 개선될 것이라는 막연한 기대보다 포트홀 원인규명이 명확히 밝혀진 후에 그리고 아스팔트 콘크리트 혼합물이 기본을 충실히 지켜 생산되었는가를 확인하고 적용하는 것이 보다 현실적인 방법이라고 사료된다.

우리의 문제는 현장에 답이 있다. 문제해결방법은 기본부터 차근차근 준수한다면 뜻밖에 쉽게 찾을 수 있다. 포장의 파손이 되지 않도록 규정에 맞는 철저한 배합설계, 생산, 운반, 시공 등을 진행하고 지속적인 유지관리 및 모니터링을 통하여 초기설계부터 파손까지 기록한 보수공사 이력관리제(파손 및 보수사진 첨부)를 제도화 시킬 필요가 있다. 끝으로 우리나라 아스팔트 혼합물의 일반적인 품질규정이 선진국의 특수한 시험방법과 품질기준까지 반영하고 있으나 오히려 비효율적인 제도와 서로 다른 기준적용으로 현장일선에 혼선을 야기하지 않는가를 되돌아보아야 할 것이다.

참고 문헌

1. KS F 2398(2012), 아스팔트 혼합물의 수분저항성 시험방법
2. 국토교통부(2014.1), 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침
3. 한국도로학회(2013.12), 기술기사 포트홀 저감을 위한 도로포장의 품질관리 강화 대책
4. 서울시 보도자료(2013.11.6), 서울시 아스팔트 10계명
5. 연합뉴스(2014.3.10), 포트홀 원인은 부실시공
6. NCHRP REPORT 673, A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary Transportation Research Board of the national academes, p.9
7. 日本, 鋪裝(2014.6), 한신고속도로 공용 50년의 포장에 관한 기술변천 西岡敬治, 條田隆作