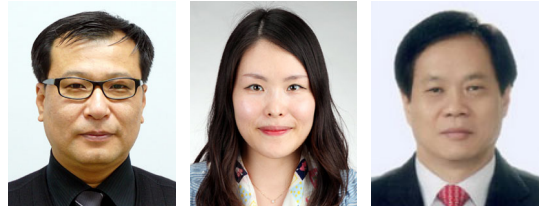


기후변화에 따른 아스팔트 포장도로의 조기파손



진 정 훈 | (주)도화엔지니어링 기술개발연구원 수석연구원
 김 지 선 | (주)도화엔지니어링 기술개발연구원 선임연구원
 이 윤 한 | (주)도화엔지니어링 기술개발연구원 원장/대표이사

1. 개요

지구온난화에 따른 기후변화에 대한 특성으로 지구 전체의 기상이변이 속출하고 있는 실정이다. 이러한 영향에 의해 계절라식 집중호우가 우리나라에서는 여름철에 단기간에 걸쳐 국지적으로 발생하는 호우가 하나의 기상현상으로 계속되고 있다. 이러한 기후변화는 국민의 생활에도 직·간접적으로 영향을 미치면서 매년 사유재산 피해와 함께 국가 기간시설물의 파손도 급속하게 증가되고 있다. 한가지 예로써 2011년과 2012년의 서울강남역 일대의 도심홍수도 이런 관점에서 보면 우리나라에 새롭게 정착하기 시작한 기상 패턴으로 볼 수 있다.

이러한 새로운 기후변화로 물류의 중추적인 역할을 담당하고 있는 도로 시스템은 예상하지 못한 새로운 도전에 직면하고 있다. 특히 도로의 잦은 침수와 우수의 대량 유입으로 인해 도로 포장체의 구조적인 약화가 초래되고 이로 인해 넓은 지역에 걸쳐 박리현상의 진전과 포트홀(패임 현상)이 빈발하게 발생하고 있다. 또한 도심구간에서는 보도의 투수성포장과 중분

대의 식재 등으로 인하여 표면수가 지하로 흘러들어가서 도심도로 포장 하부에도 많은 영향을 주고 있다. 따라서 기후변화에 따른 도로의 파손들은 도로를 주행하는 차량의 주행 안전에 영향을 미쳐서 차량의 손상과 인적인 교통사고를 유발시키는 원인을 제공할 수 있다. 교통사고에 의한 인명 손실의 방지와 국가 기간시설물의 효율적인 운영을 하기 위해서는 도로 포장의 파손현상을 방지하고 장기수명을 보장하기 위한 장기적 관점에서의 전략적인 연구를 통한 대책 마련이 시급히 요구된다.

국내기후변화에 따른 최근의 호우 특성과 계절별 폭우에 의한 우수의 유입에 의한 도로 포장의 파손 형태와 특성 그리고 원인을 제시하고 아스팔트 포장의 박리현상 진전에 의한 포트홀 발생 원인들과 필요한 방지대책들을 문헌조사를 통하여 살펴보고자 한다.

2. 국내의 기후변화

2.1 기후변화

전 지구적으로 발생하고 있는 기후변화에 의한 지구온난화의 영향으로 여름철 폭우와 겨울철의 폭설 등으로 인하여 국내 아스팔트 포장의 조기파손이 발생하고 있다. 이러한 현상은 우리나라 또한 유례없는 이상기후 현상이 다양하게 발생하여 2011년에도 기록적인 한파와 동해안의 폭설, 국지적인 게릴라성 집중호우의 증가(설계 강우강도의 최대 124%), 태풍 발생빈도 및 규모의 대형화(강수량 및 풍속의 강도 증

가) 등 이상기온 현상으로 인하여 많은 피해가 속출하고 있는 실정이다. 그림 1은 국내의 대표적인 폭우와 폭설에 대한 피해를 정리한 것이다.

이러한 기후변화로 인하여 그림 2와 같이 서울시와 세종시의 여름철 도로에 발생한 포트홀이다. 이와 같이 국내 아스팔트 포장도로는 여름철과 겨울철에 지속적으로 오래된 도로 및 신설도로에서도 포트홀이 발생하고 있다. 이러한 포트홀에 의해서 도로운전자들의 생명을 위협하는 수준으로까지 도달하였으며, 국민의 안전에 대한 위협까지 하고 있는 상태이다.

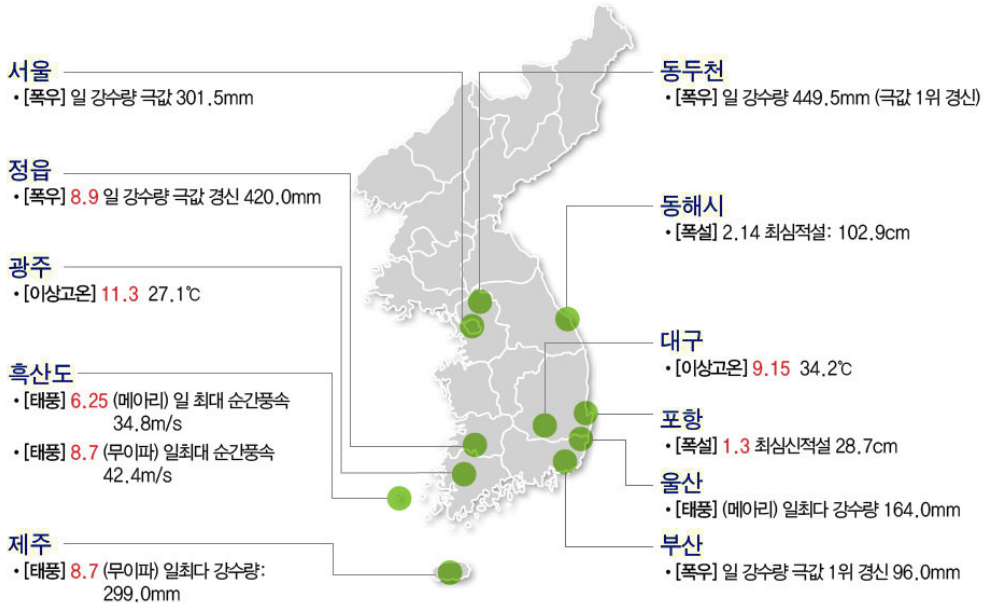


그림 1. 2011년 우리나라의 이상기후 발생 현황



(a) 뉴스 기사(2012.7.29)



(b) 세종시(SBS 방송 2013.1)

그림 2. 서울 및 세종시의 포트홀

이러한 기후변화에 의한 도로의 조기파손 피해는 지속적인 도로의 유지보수 예산을 증가시키고 있으며, 아스팔트 포장 전반에 대한 검토와 도로의 교통시설 전반에 대한 검토가 필요하다. 특히 도심도로의 경우에는 LID(low impact development)시설 설치에 대한 다양한 방안들이 제시되고 있는데 이러한 시설들은 도로포장의 하부구조에 수분을 침투시킴으로써 도로포장의 조기파손을 가속화 시키는 작용을 할 수 있다. 따라서 적극적인 도로분야 기술자들의 참여가 필요하다.

2.2 아스팔트 포장의 조기파손 현황

한국도로공사의 고속도로포장 포트홀 저감 지침(2009)에서는 고속도로의 아스팔트 콘크리트 포장의 파손형태 중에서 포트홀이 가장 많이 발생하는 것으로 보고 있다. 고속도로 아스팔트 콘크리트 포장의 파손구간에 대하여 현장조사와 자문결과를 대상으로 120여 개소를 분석한 결과, 그림 3의 아스팔트 콘크리트 포장 파손 중에서 포트홀이 65%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 균열과 소성변형 순으로 나타나고 있다. 과거에는 소성변형이 아스팔트 콘크리트 포장의 가장 큰 파손형태이었으나, 새로운 포장 재료의 도입으로 소성변형을 줄이기 위해 열에 잘 견디는 고탄성 아스팔트 바인더 재료의 사용은 또 다른 문제점인 고탄성 재료의 산화에 의해서 딱딱해 짐으로써 수분저항성이 떨어져서 포트홀 상태로 나타나고 있다.

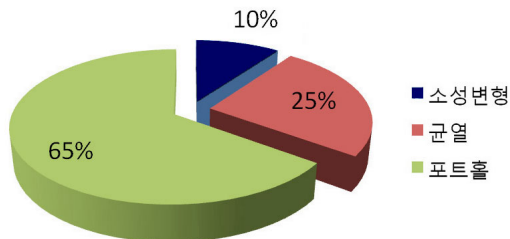


그림 3. 아스팔트 포장의 파손 유형(아스팔트 포장 포트홀 저감지침, 한국도로공사, 2009)

고속도로포장의 포트홀 저감지침(2009)에 의하면 그림 4에서 포트홀의 발생구간이 신설구간보다는 덧씌우기 구간에서 많이 발생하고 있다고 보고되고 있다. 이러한 것은 도로포장만의 문제가 아니라 복합적인 도로포장구조 전체를 검토해 볼 필요가 있다.

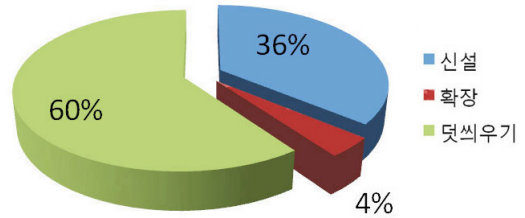


그림 4. 공사유형별 포트홀 발생비율(아스팔트 포장 포트홀 저감지침, 한국도로공사, 2009)

고속도로포장의 포트홀 저감지침(2009)에 의하면 그림 5에서와 같이 포트홀은 교면포장 구간에서 가장 많이 발생하고 있으며, 노후 시멘트 콘크리트 포장위의 덧씌우기 구간에서도 포트홀이 많이 발생하였다. 이러한 자료들을 분석하면 도로표면 아래층에 수분이 침투하고 있음을 알 수 있으며, 수분침투의 경로는 포장표면 균열에 의한 수분 침투의 원인과 그 밖의 다양한 경로로 추정할 수 있다. 포트홀 발생이 교통사고의 유발인자로 이어지기 때문에 운전자에게 매우 위험한 요소로 작용하게 된다.

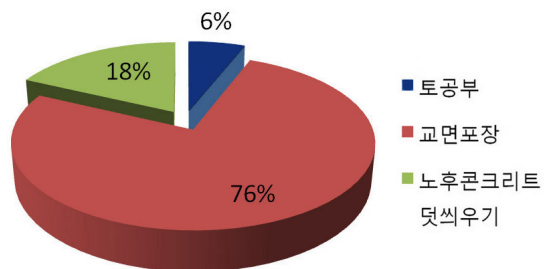


그림 5. 공사구조별 포트홀 발생비율(아스팔트 포장 포트홀 저감지침, 한국도로공사, 2009)

3. 아스팔트 포장의 포트홀 발생원인

3.1 도로 침수 및 배수불량

집중호우에 의해 단시간에 대량의 강우 발생으로 저지대의 도로가 침수되거나 주변지역 및 도로 배수 시설이 불량하여 도로 표면으로 우수가 역류되어 나타나는 포장 구조체는 수분에 의한 포화상태가 지속된다. 이러한 현상이 장기화되고 도로 포장에 차량등의 출입이 계속되면 도로 포장체는 구조적인 약화로 인해 표면에서부터 파손현상이 발생된다. 가장 일반적으로 나타나는 파손현상은 골재와 아스팔트의 결합력이 상실되면서 표면에 패임 현상인 포트홀이 발생한다. 최근에 여름철의 강우특성이 200년 강우빈도를 초과하는 경우가 발생하고 있는 현실을 감안할 때 포장도로의 배수시설이 취약한 국내 아스팔트 도로 포장의 조기손상으로 이어질 수 있는 문제가 발생하게 된다.

다음은 이러한 도로 침수 및 배수불량으로 인해 야기되는 포장 구조체의 영향 및 파손현상을 정리한 것이며, 그림 6은 전형적인 도로의 배수 불량 사진을 나타낸 것이다.



그림 6. 배수불량에 의한 도로 침수

발생원인을 살펴보면 그림 7과 같이 깎기부 도로에서 측면 사면에서의 지속적인 우수유입과 배수불량에 의한 도로 침수로 발생하는 경로가 있다. 또한 도로 침수에 따라 기층을 포함하는 하부층의 장기적인 수분 포화현상이 지속될 수 있다.

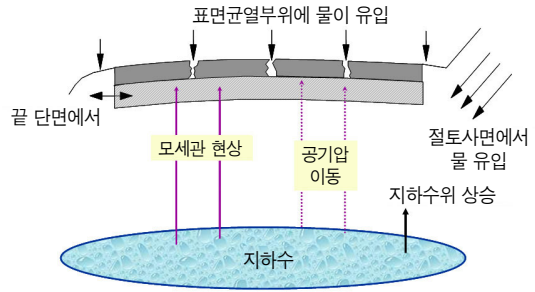


그림 7. 포장에 물이 들어가는 유입경로

파손현상을 살펴보면 그림 7과 같은 수분침투의 원인으로 인해 기층과 표층 사이의 점착력 상실 및 물 등이 유입되게 된다. 또한 차량 통행에 의한 하중으로 이미 유입된 물의 압력이 증가되고 표층하부의 수분 포화현상이 발생하게 된다. 수분에 의한 파손현상이 가속화되면서 기층의 지지력이 상실되고, 표층에 국부적인 미세피로균열 등이 발생하게 되면 미세균열 사이로 표층 표면의 물이 유입되고 지속적인 차량의 통행으로 표층 아스팔트 혼합물의 골재와 아스팔트 사이의 점착력이 약화된다. 위와 같은 현상이 가속화되면서 일부 골재가 이탈되고 점차 패임 현상이 커지면서 포장 표면에서는 대략 10cm 정도의 포트홀이 발생하게 되는데 작은 규모의 포트홀은 차량의 급속한 증가 또는 중차량의 통과로 인하여 매우 넓은 면적으로 확대된다.

3.2 재료의 품질

하부 및 측면부에서 우수의 유입 및 하부층의 지지력 상실에 의한 표층의 파손 현상과는 달리 표층의 시공재료인 아스팔트 혼합물의 내구성에 결함이 있는 경우 표면의 우수에 의해 표층부가 포화되고 미세 균열을 통해 물이 유입되면서 포장의 표층 파손이 발생된다. 이러한 현상은 두 가지의 원인으로 발생되는데, 하나는 아스팔트 포장의 장기 공용에 의한 표면 결합이고 다른 하나는 포장 시공재료인 아스팔트 혼합물의 내구성 결함이다. 이러한 결함 원인에 의한 파손현상들은 다음과 같다.

포트홀 발생원인으로는 포장 표면 결함에 의한 우수의 유입이 증가되고, 포장 시공재료인 아스팔트 혼합물의 내구성 결함이 발생한다. 아스팔트의 노화에 의한 점착력 상실 및 골재의 재료 분리가 된다. 아스팔트 바인더 함량 부족에 의한 원인도 있다.

파손현상은 장기공용 또는 아스팔트 혼합물의 내구성 결함으로 표층 표면에 미세균열이 발생하게 되고 도로 침수 또는 표면의 우수유입으로 미세균열 사이로 수분 침투가 용이하게 되면 아스팔트 혼합물의 골재와 아스팔트 사이의 점착력이 약화된다. 이러한 상태에서 차량의 통행으로 표층 표면과 타이어 사이의 접촉으로 골재 조각들이 이탈하게 된다. 이러한 현상이 가속화되면서 포장 표면의 패임이 나타나고, 차량의 통과 횟수가 증가되면서 포트홀이 확대되어 발생하게 된다.



그림 8. 포장 내구성 결함에 의한 파손

3.3 부적절한 다짐 관리

아스팔트 포장 시공과 관련된 사항 중에서 부적절

한 다짐 관리는 조기파손의 원인이 될 수 있는 가장 일반적인 파손의 원인이다. 가열 아스팔트 포장체의 공극률이 4~5% 이하일 때의 각각의 공극은 일반적으로 서로 내부적으로 연결되어 있지 않고 거의 불투수성이다. 대부분의 혼합물은 공극률이 3~5%를 가지도록 설계한다. 포장체 시공 시 최대공극률을 8%(이론 최대비중의 92%)로 대부분의 기관이 규정하고 있다. 포장은 2~3년 교통개방 후에 설계 공극률로 치밀해진다고 가정한다. 그러나 일부 기관에서는 시공 시 공극률이 8% 이상 되어 좋은 다짐 관리가 되지 않고 있으며, 그것은 아스팔트 포장에 공극 사이로 수분의 침투를 인정하게 되고 포장 파손의 원인으로 작용하게 만든다. 만약 아스팔트 포장체가 장기간 투수성 포장으로 남아있게 되면, 물의 침투와 교통하중으로 인한 포장체 내부의 간극수압 발생으로 박리현상의 발생확률이 높아지게 된다.

3.4 차량의 경유 등 외부 물질 유입

외부 수분 유입에 의한 포장 파손과 달리 도로를 주행하는 차량의 연료유와 엔진오일에 의하여 표층의 아스팔트와 골재 사이의 박리현상이 진전되면서 그림 9와 같은 포트홀 파손이 나타난다. 이 경우 다음 그림과 같이 진행방향으로 작은 포트홀이 연속적으로 관찰되기도 한다.



그림 9. 차량 연료에 의한 파손

차량의 정차 또는 사고 등에 의해 다량의 외부 물질이 특정 자리에 고이게 되고, 다음에 연속되는 차량의

주행에 의해 바퀴에 묻은 외부 물질이 인접한 자리에 묻히게 되면서 표층의 박리 및 포트홀 파손을 발생시킨다. 다음은 이러한 결합 원인에 의한 파손 현상을 정리한 것이다.

발생원인은 사고 차량의 연료유와 엔진오일의 유출, 그리고 주행차량의 엔진오일 유출이다. 파손현상은 포장 표면에 연료유와 엔진 오일 유입으로 아스팔트의 연질화에 따른 점착력이 떨어지고 아스팔트와 골재의 결합이 상실 및 골재 이탈이 발생하고 주행차량에 의한 골재 이탈의 가속화 및 주변지점으로 포트홀 파손이 확대된다.

국내에서도 아스팔트 혼합물의 포트홀 현상이 경유 또는 엔진오일 등이 차량 정지부 또는 사고지점에서 유출되어 아스팔트를 연화(softening)시키고, 결국 아스팔트와 골재의 결합력을 약화시킨다. 직접 아스팔트포장 시료를 만들어 그 위에 몇 가지의 기름을 투입하고 그 진행상황을 육안으로 관측한 자료는 그림 10과 같다. 시료 중에서 경유에 의한 피해상황이 가장 심각한 것으로 보이는 것을 육안으로 확인할 수 있으며, 해외의 사례와 일치한다.



그림 10. 기름종이별 아스팔트 혼합물의 파손 정도

4. 조기 포장 파손대책

4.1 방지대책

포트홀은 고속주행하는 차량의 안전에도 영향을 미치고 교통사고 등의 2차적인 문제점을 발생시키기도 한다. 도로 포장에서는 이미 발생된 포트홀에서 2차 균열 등을 심하게 발생시키기도 한다. 이는 긴급 보수 등의 후속조치를 하지 않으면, 장래 도로 보수비를 급속하게 증가시키는 문제점을 발생시킨다. 따라서 집중호우 등에 의한 우수 및 외부물질 유입에 대비한 방지대책을 마련함으로써 상기의 문제점을 억제할 필요성이 요구된다. 집중호우 또는 강설에 의한 포장 파손 현상을 억제하기 위해서는 다음과 같은 대책들이 필요하다.

깎기부 도로의 경우에는 깎기부 사면에서 유입되는 우수가 도로부에 유입되기 전에 처리하는 추가적인 배수시설의 시공이 필요하다. 보조기층에 유입되는 물을 배수하는 지하 배수시설의 확장이 필요하며, 기층에 유입되는 물을 차단하기 위한 추가 배수시설의 시공이 필요하다. 또한, 표층과 기층 사이의 점착력을 보강하기 위한 신공법의 개발 및 시공이 필요하다. 표층 시공재료인 아스팔트 혼합물의 장기 공용 특성 보강 및 신재료 개발 적용이 필요하다. 또한 아스팔트 혼합물의 수분저항특성 보강, 즉, 골재와 아스팔트 사이의 점착력을 증진시킬 수 있는 공법 및 신재료 개발 적용이 필요하다. 집중호우가 다발적으로 발생하는 지역의 경우 아스팔트 포장을 대체할 새로운 포장 공법의 적용이 필요하다.

4.2 포트홀의 응급보수용 상온 보수재

국부 포장파손이 발생하였을 경우에는 빠른 시간 내에 신속하게 보수하고 교통개방을 하는 것이 중요하다. 따라서 기존 포장과 동등한 수준의 강도와 강성의 발현이 가능하고 경제성을 갖춘 응급 보수 재료와 이를 시공할 수 있는 기술개발이 필요하다. 또한 교통 재개방 후 기존 포장부와의 부착강도를 공용기간 중 보장할 수 있으며 수분저항성이 우수해야 한다.

4.3 국외 응급보수재

국외의 경우 신설되는 도로 외에도 도로포장의 유지보수에 상당한 비용이 투자되고 있다. 미국의 경우 1981년 이후 도로 유지보수비용이 기존에 비해 두 배가 넘는 것으로 조사되고, 캐나다 역시 미국과 비슷한 것으로 알려졌다. 각 국가 정부와 연구기관은 도로포장의 조기파손을 예방할 수 있는 유지보수공법 개발과 신재료 제품 개발로 인한 도로포장의 구조적 안정성을 향상시키는 한편 현장 공용성 기간을 증가시키고 있다. ODOT(Oregon Department Of Transportation) 연구 보고서에는 1년 동안 사용되고 있는 PPM(Pothole Patching Materials) 9종류를 이용하여 실내 시험 및 현장 공용성을 평가하였다. ODOT는 실내 실험과 현장 공용성 평가로 인하여 PPM의 잠정적인 기준을 아래와 같이 제시하였다.

- * 입도 : No.200체 통과율 5% 이하
- * 워커빌리티 : AASHTO TP43-94에서 제시한 워커빌리티 수치(4 이하)
- * 코팅 : AASHTO TP40-94에서 제시한 수치(90% 이상)
- * 적용 : 포트홀에 수분이 있더라도 작업이 가능해야 하며, 최소 12개월 동안 교통하중에 견딜 수 있어야 함

4.4 국내 응급보수재

현재 국내에서 유통되고 있는 보수재료의 시장은 약 80억 원 이상(추정치)이며, Cold pre-mixed 아스팔트 혼합물 생산업체는 대표적으로 2개사로 약 96%의 시장 점유율을 나타내고 있다. 최근 집중강우와 이상고온의 영향에 의한 포장층의 국부적인 파손으로 보수재료의 규모는 더욱 커질 것으로 사료된다. 국내의 경우 현재 사용되고 있는 보수재료는 미비한 품질기준과 공용성 평가를 거치지 않은 상온 혼합물의 사용으로 파손된 포장의 보수 후 재파손율의 우려가 많다. 따라서 내구성과 접착력(부착력)이 우수하고 공용성이 검



그림 11. 시공 사례

증된 급속보수보강 재료개발이 시급한 실정이다.

5. 결 언

- 1) 최근 기후변화로 인하여 여름철에는 도로가 침수되고, 그중에 상당부분의 물이 도로 속으로 스며들어가서 계속되는 교통하중으로 포장층은 연약해져나, 겨울철에는 강설에 의한 포장표면의 균열부분으로 수분이 침투하여 포장체의 내부가 아스팔트와 골재가 결합력을 잃어가는 상황이 발생하면서 파손된다. 또한 침투한 물에 의하여 공극이 거의 포화되어 간극수압이 발생하고, 계속되는 중차량들의 통과에 의하여 양압력과 부압력이 교대로 포장의 약한 부분에 집중되어서 이미 약화된 포장층에 작은 구멍 등이 발생하게 되고, 지속적인 물의 침투로 인하여 약화된 상태에서 급진적으로 연속적인 파손이 진행된다.
- 2) 도심의 광로들은 왕복4차로 이상의 포장중간부분의 물이 빠르게 노면의 기울기를 따라 배수되기 어려운 경우가 많아서 박리현상이 발생할 가능성을 높게 되므로 이에 대한 개선이 필요할 것으로 사료된다.
- 3) 버스 정차대 부근에 심각하게 발생하는 포트홀은 정지한 차량들에서 떨어진 기름에 의해 약화된 부

분들이 노면의 침수와 함께 포트홀로 연결된 것으로 사료된다.

- 4) 조기파손의 원인 중 하나인 골재의 품질관리 및 생산관리를 잘 수행하면 해결될 수 있는 사항들이다. 특히 이러한 종류의 원인들은 복합적으로 작용하기 때문에 포장파손의 직접적인 원인을 찾아내기가 아주 어렵다. 제도적인 장치와 프로젝트별 품질관리 차원에서 배합설계 자료와 생산 및 시공관리에 대한 엄격한 데이터베이스의 구축이 국가적인 차원에서 철저한 사후관리가 절실히 필요할 것으로 사료된다.
- 5) 포트홀 파손부에 대한 응급보수재로 사용하고 있는 보수재료들에 대한 개념의 정립과 단기보수용과 영구적인 보수용 또는 연성형과 강성형으로 나누고 각각의 시방기준에 대한 재정립이 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 한국도로공사, “고속도로포장의 포트홀 저감지침”, 2009.
2. 한국도로공사, 스마트하이웨이 1단계 최종보고서, 2010.
3. Shi, X., Akin, M., Pan, T., Fay, L., Liu, Y., and Yang, Z. Deicer Impacts on Pavement Materials: Introduction and Recent Developments. The Open Civil Engineering Journal, 2009.
4. Huber, G.A. and G.H. Heiman. Effect of Asphalt Concrete Parameters on Rutting Performance : A Field Investigation. Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 58, 1989.

학회지 원고접수 안내

학회지 편집위원회에서는 다음과 같은 내용으로 여러분을 초대하고자 합니다. 언제든지 참여하시어 알찬 학회지를 만듭시다. 여러분의 원고를 기다리겠습니다. (연락처 : 학회사무국 또는 편집위원)

컬 럼	내용 및 형식	비 고
권두언/축사/제언/격려사	시사성 있는 내용으로 A4 2쪽 이내 분량으로 작성	편집위원회 주관
특집	회원들에게 도로포장내용과 최신동향소개 : 특집편집위원회 주관하여 연재	게재원고료 지급 심의 후 게재
기술기사	도로 및 도로포장과 관련된 기술보고서로서 A4 10쪽 이내 분량으로 작성 : 사례연구, 공사지, 성공 및 실패사례, 지역별 도로특성, 국내 산학연 합동 연구, 국내외 관련연구소 소개 등	게재원고료 지급 심의후 게재
기술위원회 세미나 주요내용	기술위원회 세미나 내용을 자세히 요약하여 그 내용을 회원들에게 알리는 컬럼	기술위원회 제공
해외기술동향	도로 및 도로포장관련 해외의 최신 연구내용 및 결과로 A4 4쪽 이내	
국내의 학술회의	도로 및 도로포장과 관련된 학술 및 기술강좌, 세미나 등의 내용 소개	E-mail 이용 가능
문화산책(교양)	교양과 관련된 내용으로 A4 4쪽 이내 : 수필, 취미생활(등산, 낚시 등), 독후감 및 의견제시 등 자유내용	심의후 게재
국내의 신간도서 소개	최근 발간된 도로 및 도로포장 도서 내용소개 및 총평과 국내 회귀 입수 서적 소개	E-mail 이용 가능
학교 및 업체연구소 소개	도로 및 도로포장관련 학교 연구실 및 업체 연구소의 A4 2쪽 내외의 소개	게재분량 엄수
학회소식	정기총회 및 학술발표회 소식, 이사회 회의록, 기술위원회 활동소식 등	학회 사무국 제공
Q/A	도로 및 도로포장 관련 문제에 대한 질문과 답변	E-mail 이용 가능
회원동정	주소변경, 직장변경, 경조사, 회원가입, 박사 및 석사학위 취득자 등	E-mail 이용 가능

※ 집필자는 필히 본인 및 공동집필자 사진을 첨부하십시오.

E-mail : ksre1999@hanmail.net