

서울 세계도로대회 포장기술세션 및 워크숍



한 승 환 | 한국도로공사 도로교통연구원 포장연구실장
이 경 배 | 한국도로공사 도로교통연구원 연구원

1. 개요

도로 분야의 올림픽이라 할 수 있는 세계도로대회가 11월 한국에서 성황리에 개최되었다. 세계도로대회는 1908년 프랑스 파리에서의 제1회 대회 이후에 비정치적, 비영리적 기관으로 설립된 세계도로협회(PIARC, World Road Association)가 약 4년 주기로 주최하는 도로분야의 최대 행사이다.



그림 1. 제1회 세계도로대회 포스터

4년 전 멕시코 세계도로대회에서 서울에서의 유치가 결정된 이번 제25회 세계도로대회는 한국도로공

사 김학송 사장이 조직위원장을 맡아서 11월 2일부터 5일간 열렸으며, 그 동안의 다른 어느 세계도로대회보다도 풍성한 성과를 내고 끝마쳤다.

40개국 48명의 장·차관 세션을 시작으로 17개의 기술세션, 14개의 특별세션 그리고 6개의 워크숍이 세계 각국의 도로 전문가들이 참여한 가운데 진행되었다. 참가 인원은 114개국에서 4만8천명(연인원)으로서 지금까지 개최된 세계도로대회 중에서 가장 성공적인 것이었다.

도로 포장 분야에서는 메인세션인 기술세션에서 TC 4.1 “Management of Road Asset”과 TC 4.2 “Road Pavements” 부분의 발표 및 토의가 있었다. 또한 특별세션에서는 “Pavement Recycling Workshop(PIARC & REAAA & Korean Side Joint Workshop)”과 공항포장을 주제로 한, “Airfield Pavements Workshop”이 개최되었다. 이 중에 “Pavement Recycling Workshop”은 한국도로공사 도로교통연구원과 한국건설기술연구원이 주관하여 개최하였다. 그리고 이와는 별도로 한국도로학회 시멘트포장 분과위원회, 한국도로공사 도로교통연구원, 한국건설기술연구원이 주관하여 “유럽 포장기술 워크숍”을 개최하였다.

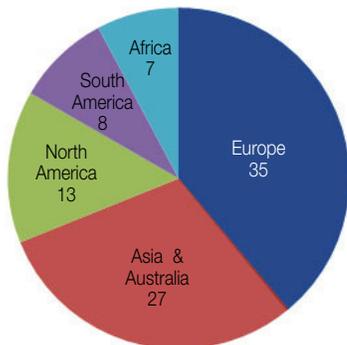
각 세션에서 세계 여러 나라의 도로포장 전문가들이 서로 의견을 교환하고 토의하였으며, 특히 국내 포장 전문가들과 유럽 포장 전문가와의 활발한 의견 교류가 이루어졌다.

□ 포장 분야 세션

- Management of Road Asset
- Road Pavements
- Pavement Recycling Joint Workshop
- Airfield Pavement Workshop
- Pavement Technology Joint Workshop (유럽 포장 전문가 초청 워크샵)
- Road Management and HDM-4

2. 연구 동향

이번 세계도로대회에서 제출된 논문은 심사를 거쳐 구두 또는 포스터 발표로 선정되었다. 여기서 제출된 논문을 통해 세계 여러 나라의 관심 사항 및 연구 동향을 파악할 수 있었다. 제출된 논문 주제를 바탕으로 이를 살펴보기로 한다. 단, 최근 도로포장분야에서 활발한 연구가 진행되는 주제인 '도로포장의 자산관리'는 별도의 세션을 통해 운영되었으므로, 본 기술범위에 포함시키지 않는다.



※ Based on the submitted abstracts

그림 2. 제출된 논문의 국가 분포

도로포장 분야에 약 36개국에서 90여 편의 논문 초록이 제출되었으며, 1차 심사를 통해 선정된 60편의 논문이 다시 2차 심사를 거쳐 확정되었으며, 최종적으로는 54편의 논문이 세계도로대회 기간에 게재되었다.

다음의 표 1은 최종 게재된 논문의 주제별 분포를 보여주는 것으로, 여러 가지 분야의 논문이 제출되었음을 알 수 있다. 이 중에 재활용 기술 분야와 포장 상태 조사 기술 분야, 그리고 환경 영향 기술 분야에 대한 논문이 다수를 차지하는 주요한 주제였다.

표 1. 제출된 논문 주제의 구분

논문 주제	논문수
Materials	6
Analysis and Design	6
Repair & Maintenance Technique	6
Performance	7
Reuse & Recycling	11
Condition Monitoring	8
Environmental Impact	8
Construction Technique	1
Life Cycle Analysis	1

주제별로 내용을 살펴보면, 도로포장 재료의 재활용에 관련한 기술은 선진국과 개발도상국 모두에서 주요한 관심사항의 하나였다. 지속가능한 발전이 세계적인 화두가 된 상황에서 제한된 자원을 활용한 기술이 여러 지역에서 활발히 연구되고 있음을 알 수 있었다.

선진국에서는 제한된 자원으로 인해 당위성이 증대되어 기술 수요가 늘고 있는 것으로 판단되며, 개발도상국에서는 지역적 특성으로 발생하는 지역의 특수 재활용 재료의 활용 방안 등이 연구되고 있는 것으로 보인다. 그리고 최근 들어 관심이 많아지는 중온아스팔트 부분에까지 재활용기술을 적용하는, 재활용 중온 아스팔트 포장 기술(Warm-Mix Asphalt Pavements with Recycled Materials)과

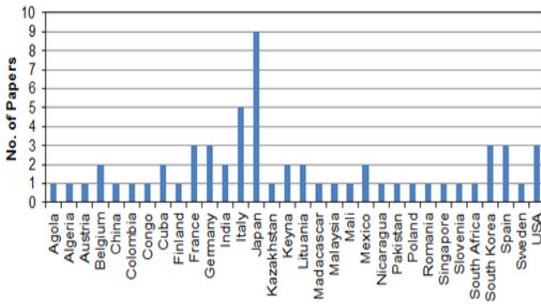


그림 3. 제출된 논문의 국가별 분포

관련된 연구들도 두드러지는 점 중 하나였다.

도로포장의 상태조사는 PMS(Pavement Management System) 분야로서, 최근 선진국을 중심으로 다양한 IT 및 센서 기술이 접목되어 연구가 이루어지고 있었다. 개발도상국에서도 PMS를 도입하는 단계에서 필요한 기술적 사항에 대한 연구가 진행되고 있었다.

특히, PMS 장비 분야에서는 과거에 한 가지 장비에 한 가지 기능이 있었던 것에 비해, 최근에는 다양한 기능을 통합한 장비의 활용이 눈에 띄는 부분이었다. 이는 최소한의 주행 조사를 통해 여러 가지 정보를 획득하여 조사의 효율성을 높이고, 조사로 인한 교통 제한을 최소화하기 위한 노력으로 보여진다.

환경 영향 기술 분야에서는 도로포장의 건설 및 유지관리로 인한 환경영향 저감 기술과 관련한 논문들로 Warm-Mix Asphalt 기술, 저소음 포장기술 등의 논문이 많이 보였다. 그리고 건설 및 유지관리로 발생하는 온실가스 산정 기술 등도 눈에 띄는 부분이었다. 미국 및 유럽과 일본 포장 전문가들이 Warm-Mix Asphalt 포장을 보는 시각에는 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다. 미국을 중심으로 녹색기술로 환영받는 Warm-Mix Asphalt가 유럽의 일부 전문가들 사이에서는 회의적인 평가를 받고 있었다. 왜냐하면 이때 첨가되는 재료의 생산에 발생하는 온실가스를 산정했을 경우에 녹색기술의 제언이 취약해지기 때문이었다. 그러나 이런 논란에도 불구하고 최근의 각광받는 분야인 것만은 의심할 여지가 없었다.

포장의 건설과 유지관리로 인한 온실가스 산정 부분은 기존의 수명주기비용분석(LCCA, Life Cycle Cost Analysis) 기술에서 수명주기분석(LCA, Life Cycle Assessment)로 연구방향이 진화하면서, 최근 활발히 검토되는 분야이다. 아직은 포장공사의 계획 및 입찰 단계에 광범위하게 실무적으로 활용하고 있는 상황은 아니나, 시범적으로 일부 국가에서 적용이 되고 있는 실정이었다. 연구 단계에서 다양한 온실가스 산정모델 및 방법이 비판적 시각으로 검토되고 있었다. 일부 연구결과가 정치적 목적 등으로 사용되고는 있지만 유럽, 미국, 일본 등을 중심으로 한 세계 여러 나라의 포장 수명 주기의 온실가스 산정모델들이 경계조건(system boundary condition)의 임의성, 지나친 일반화에 의한 파라미터의 변동성 등의 불확실성을 내포하고 있어, 결과의 일반화로 인한 오류와 제한점을 여러 전문가들이 지적하고 있었다.

이상에서 기술한 바와 같은 여러 가지의 논문들 중에 완성도 있고, 흥미 있는 몇 가지 논문의 제목을 제시하면 다음과 같다.

- A comparative study of sustainability tools to assess an asphalt road pavement's life cycle, Johan Maeck, Belgium
- Toma de decisioes para la rehabilitación de pavimentos flexibles sobre la base de mediciones no destructivas, Carlos Neto et al., Angola (Taking decisions in the rehabilitation of flexible pavements based on non destructive measurements, Carlos Neto et al., Angola)
- Low rolling resistance asphalt Pavements for traffic energy saving and CO₂ emission reduction, T. Ishigaki et al., Japan
- Mechanical performance of cold 100%- recycled mixes: achieving sustainability while enhancing long-term durability, G. Fillippo et al., Italy

- Design approach for thin surfaced asphalt pavements in Germany, S. Werkmeister et al., Germany
- Effects of heavy vehicles on rut formation in bituminous layers, S. F. Said, Sweden

3. 유럽 포장 전문가 워크샵

유럽 포장 전문가와의 워크샵은 세 가지 주제를 가지고 진행되었다. 첫 번째 주제는 도로포장 공사의 품질인증(Quality Assurance) 및 품질관리(Quality Control)로, 특히 품질인증 부분은 승인시험(Acceptance Testing)과 절차에 논의를 집중하였다. 두 번째 주제는 콘크리트의 내구성 배합 설계와 2층 포설 콘크리트 포장공법 부분의 발제와 토의가 있었다. 세 번째로는 최근 국내에서 다시 조명을 받는 연속철근 콘크리트포장(CRCP, Continuously Reinforced Concrete Pavement)의 설계 및 시공기술에 대한 유럽, 미국, 한국의 차이점과 유사점을 논의하였다.

표 2. 워크샵 발표 주제

발표 주제
• QC/QA procedures of Pavement construction in Germany - Oliver Ripke, 독일 연방도로연구소 (BAST)
• QC/QA procedures of Pavement construction in Japan - Keizo Kamiya, 일본 고속도로연구소 (NEXCO RI)
• Hierarchy of standard specifications in France - Pascal Rossigny, 프랑스 도로연구소 (CEREMA)
• Durability of concrete pavement materials - Anne Beeldens, 벨기에 도로연구소 (BRRC)
• Construction and performance of two-lift concrete pavements - Mario Krmek, 오스트리아 도로청 (ASFINAG)
• 간편하고 경제적인 이층포장공법의 개발 - 윤경구, 강원대학교
• CRCP design and construction in Europe - Luc Rens, 유럽포장협회 (EUPAVE)
• CRCP design and construction in USA - 원문철, 미국 텍사스텍 대학교
• 한국에서의 연속철근 콘크리트포장의 설계 및 시공 - 김성민, 경희대학교

□ QC/QA

첫 번째 주제인 QC/QA 부분에서 주로 논의된 QA의 절차와 방법에서는 미국 및 유럽과 한국 및 일본에서의 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 유럽과 미국에서는 발주자의 QA 절차와 방법을 QC와 명확히 구분하고 있으며, 독립성이 확보된 방법으로 이를 시행하고 있었다. 여기서 독립성의 확보라 함은 시공사의 현장 시험결과 분리된 독립적인 시험인력과 시험시설이 사용된다는 점이다. 발주자 또는 발주기관의 승인 시험도 외부 공인시험기관으로부터 발급받은 공인성적서나 시공자의 시험결과가 아니라, 실질적인 시험 행위를 통한 승인시험이 시행되는 것이 차이점이었다.

국가나 기관별로 직접 발주기관에서 승인 시험을 수행하는 곳이 있고, 독립적인 시험기관을 통해 승인시험을 수행하는 곳이 있었으나, 어느 경우라도 시공사와 시공 시험시설로부터의 독립성은 확보하여 진행되고 있었다.

□ 콘크리트 포장의 내구성 배합설계와 2층 포설 콘크리트 포장공법

콘크리트포장의 내구성을 고려한 배합에서는 시멘트와 골재 품질기준과 관련하여 유럽과 우리나라를 포함한 여러 나라들 간 상이점이 있음을 알 수 있었다. 그리고 배합 측면에서도 이미 알려진 바와 같이, 사용되는 단위시멘트량 등에서 큰 차이가 있음을 알 수 있었다.

몇 가지 특징적인 차이점을 개괄적으로 기술하면, 우선 시멘트 종류에 차이가 있음을 알 수 있다. 유럽의 시멘트는 우리보다 더 세밀한 기준을 가지고 있고, 강도 측면에서도 같은 1종 시멘트라 할지라도 32.5, 42.5, 52.5MPa의 세 가지 종류가 정의되어 있다. 도로포장에서는 일반적으로 42.5MPa의 강도를 가지는 시멘트가 사용되며, 52.5MPa의 강도를 가지는 시멘트는 초기 강도가 필요한 유지보수 구간

에 제한적으로 사용되고 있다. 현재 국내의 보통 포틀랜드 시멘트 강도가 52.5MPa의 범주에 드는 것이 차이점이라 할 수 있다.

또한 골재의 품질 부분에서는 세장석 비율과 마모율이 각각 Flakiness Index 및 PSV(Polished Stone Value)로 정의되어 평가되고 있었다.

배합 측면에서는 굵은 골재의 최대 크기가 20mm 이상, 20~6mm, 6mm 미만의 세 가지로 구분되어 최소 시멘트량을 도로등급에 따라 달리 정의하고 있었다. 벨기에의 경우에는 1등급 도로(Network-1)에서 400~425kgf/m³ 범위의 시멘트량을 사용하고 있었다. 단, 이때 사용되는 시멘트는 CEM I 42.5(1종 포틀랜드 시멘트), CEM III/A 42.5(슬래그 혼입 1종 포틀랜드 시멘트)이다. 이층 포설의 하부층에서는 상대적으로 저급재료로서 375kgf/m³의 최소 시멘트량을 정의하고 있었다.

내구성 평가 부분에서는 한국, 미국과 달리 급속 동결융해저항성 평가 시험이 품질 기준에서 검토되고 있지 않았으며, 대신 흡수율 시험이 내구성 평가 기준으로 제시되어 있었다. 급속 동결융해저항성 평가 시험이 상당한 시간과 노력이 요구되는 반면, 상대적으로 간편한 흡수율 시험을 통해 콘크리트 내부구조의 밀실도 및 수밀성을 바탕으로 콘크리트의 내구성을 간접적으로 평가하는 것으로 판단되었다.

오스트리아에서 개발되어 유럽의 독일 등지에서 사용되는 2층 포설 콘크리트포장에 대한 논의에서는 2층 포설 공법의 경제성과 적용 단면에 대한 토의가 진행되었다. 그리고 강원대학교에서 연구 중인 동일 플랜트 배치를 이용한 개선된 2층 포설 공법에 대하여도 논의가 이루어졌다. 본 원고에서는 한국 연구자들의 발표보다는 유럽 연구자의 발표를 중심으로 기술하기로 한다.

현재 오스트리아, 독일 등에서는 2층 포설 콘크리트포장 공법이 단일층 콘크리트포장에 비해 하부층에 재활용 재료를 사용함으로써 경제적으로 동등하거나 유리한 것으로 발표되었다. 오스트리아와 독일에서는 콘크리트포장의 약 40% 정도가 2층 포설공법

으로 시공되고 있다고 언급되었다. 2층 포설공법의 하부층에 재활용 재료를 활용하는 공법 역시 이미 실무적으로 안정화된 단계에 있는 것으로 판단되었다.

특히 콘크리트포장 단면에서의 차이점은 유럽, 미국 모두 표층 슬래브 하부에 밀입도 아스팔트 기층이 린콘크리트 층에 비해 월등히 많이 사용되고 있다는 점이었다. 과거 독일 아우토반과 미국 캘리포니아 등에서 많이 활용되었던 콘크리트포장의 단면이 한국에 정착되면서 린콘크리트 기층의 사용이 보편화되어 있으나, 국외에서는 장기 공용성 확보를 위해 아스팔트 기층이 보편적이어서 국내에서도 장기 내구성 측면에서 아스팔트 기층의 사용을 점검해 보아야 할 시점인 것으로 판단된다.

□ 연속철근 콘크리트포장의 설계 및 시공

세 번째 주제로 연속철근 콘크리트포장에 대한 주제발표가 유럽, 미국, 한국의 순으로 발표되어 비교 논의를 할 수 있었다.

벨기에의 CRCP는 횡방향 철근을 경사지게 사용하는 점이 다른 국가들과는 다른 점이었고, 미국과 같이 하부에 5cm의 아스팔트 기층과 15cm의 전압 콘크리트(RCC, Roller Compacted Concrete) 기층을 조합하여 사용하고 있었다. 그리고 전부는 아니지만 일부 철근을 단면 중심보다 상향 배치하여 시공을 하기도 하고, 소음저감을 위해 아스팔트 마모층을 사용한 복합포장, 골재노출표면 공법 등을 사용한다고 발표되었다. 종방향 철근량은 0.75%로 한국, 미국에 비해 많은 양의 철근을 사용하며, CRCP의 펀치아웃 파손 메커니즘은 기존의 전통적인 미국 AASHTO 설계법의 개념에 근거한 것으로 판단되었다. 최근 미국의 텍사스에서 원문철 교수를 중심으로 한 새로운 펀치아웃 파손 메커니즘에 대해서는 충분한 이해가 없는 것으로 보였다.

토론 시간에서는 횡방향 철근의 경사 배치로 인한 균열 형상의 차이점, 능동 균열제어(Active Crack Control)를 통한 장점 등이 주로 논의되었다. 횡방

향 철근의 경사배치는 균열면을 통한 하중전달 성능을 증대시키기 위한 방법이고, 능동균열제어는 균집 균열을 피하고 균열 간격을 적정 수준으로 유지하기 위한 방안이다.

횡방향 균열의 경사 배치로 인해 횡방향 균열 형상의 차이가 발생하지는 않는 것으로 논의되었다. 그리고 일반적으로 연속철근 콘크리트포장의 파손과 상관성이 많다고 알려진 균집 균열(Cluster crack)과 Y-형 균열(Y-crack)에 대해서는 포장의 공용성 및 파손 메카니즘과 직접적인 연관성에 대한 관련 증거를 확보하고 있지는 않은 것으로 논의되었다. 이는 다른 측면에서 능동 균열제어의 효용성이 크게 없다는 결론이 도출될 수도 있을 것이다.

4. 결론

한국도로학회 시멘트포장 분과위원회에서 주관한 이번 유럽 포장 전문가와의 토론회를 통해 기존에 많이 접해 오던 미국 및 일본의 도로포장 기술과는 상이점이 존재하는 유럽의 포장기술에 대해 깊이 있는 토의가 이루어졌다.

개괄적인 기술보다는 세부 요소 기술에서 차이점을 발견하고, 우리가 사용하는 도로포장 기술의 개선점을 발견하는 것이 필요한 것으로 보이며, 서로의 발전을 위해 지속적인 교류 협력이 필요한 것으로 판단된다.

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 2쪽이내 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	
국내외 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
국내외 신간도서 소개	최근 발간된 도로 및 도로포장 도서 내용소개 및 찬평과 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