

시도로 아스팔트포장의 종단평탄성, 소성변형 및 균열 특성

Longitudinal Roughness, Rutting and Cracks on Urban Pavement

김종호*, 김장락**, 문형철***, 김형배****, 서영찬*****

Kim, Jong Ho · Kim, Jang Rak · Moon, Hyung Chul · Kim Hyung Bae · Suh, Young Chan

1. 서 론

국내에서 지속적인 포장관리시스템(PMS)가 적용되고 있는 국도 및 고속도로는 방대하고 축적된 조사자료를 바탕으로 도로포장의 합리적 유지보수를 위한 기준을 마련하여 유지보수를 시행하고 있다. 시도로 도로는 여타 도로의 특성과 달리 저속 및 비교적 많은 교통량이 통행하며, 기하학적으로는 다수의 교차로가 존재한다. 시도로 도로포장의 경우 국도 및 고속도로에 비해 연장이 상대적으로 가장 많은 비중을 차지하고 있으나, 비교적 많은 량의 자료를 바탕으로 포장특성을 파악한 사례의 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 서울시 및 성남시 도로포장을 중심으로 아스팔트포장의 일반적 평가요소인 종단평탄성, 소성변형 및 균열(표면손상)을 포장과손상상태 기준으로 하여 전반적인 포장상태 특성분석을 하였으며 특히, 도시도로망의 대표적 특징이라 할 수 있는 교차로 부분을 일반구간과 나누어 포장상태특성을 비교하였다. 더불어 고속도로아스팔트 포장상태와 시도로의 포장상태를 상대적 차이를 비교해 보았다. 분석결과 시도로의 종단평탄성, 소성변형, 균열율은 비교적 넓은 범위에 분포하였으며, 특히 교차로구간이 다른 일반구간보다 종단평탄성, 소성변형이 다소 높은 것을 통계적 방법을 통해 확인 하였다.

2. 종단평탄성, 소성변형 및 균열 분석 기준

2.1 분석대상구간

조사 대상구간의 특징을 요약해 보면 그림 1과 같다. 2005년 서울시(1,215km) 및 성남시(377km) 포장상태 조사자료를 기본으로 각 분석대상 노선들을 20m의 기본단위구간으로 세분화 하였고, 기본단위 구간의 종단평탄성, 소성변형 및 균열율의 평균한 값을 기초로 분석하였다.

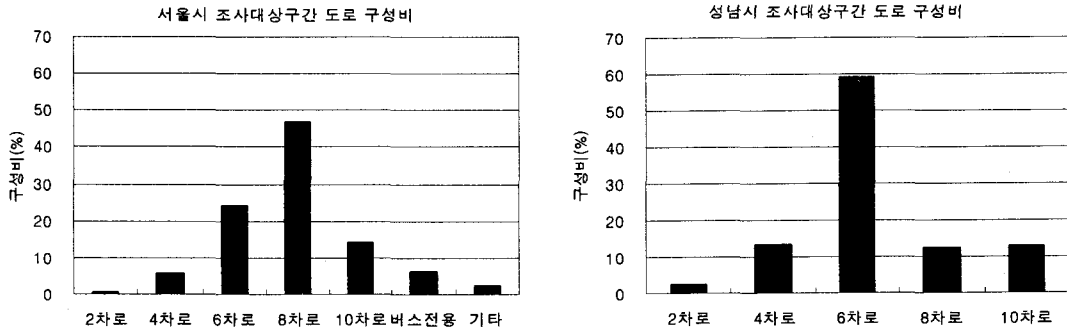


그림 1. 분석대상구간의 특징(좌:서울시, 우:성남시)

* 정회원 · (주) 로드텍 연구개발팀장 · 공학석사 · 031-400-3854 (E-mail:roadtech@paran.com)
 ** 정회원 · (주) 로드텍 PMS팀장 · 공학석사 · 031-400-3854 (E-mail:jaksal@hanmail.net)
 *** 정회원 · (주) 로드텍 대표이사 · 도로 및 공학기술사 · 031-400-3855 (E-mail:m1164@chol.com)
 **** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사 · 031-371-3437 (E-mail:kimhyun3@freeway.co.kr)
 ***** 정회원 · 한양대학교 교통시스템공학과 정교수 · 공학박사 · 031-419-0552 (E-mail:suhyc@hanyang.ac.kr)

2.2 종단평탄성 정량화

본 조사에서는 도로의 평탄성 정량화에 사용되고 있는 여러 평탄성 지수(IRI, QI, RN, PrI, PSI 등) 중 일반적으로 사용되며, 다른 지수로 변환이 용이한 IRI(International Roughness Index)를 기준으로 정량화 하였다. 조사 장비는 ARIA(Automated Road Image Analyzer)를 사용하였으며, 본 장비에 장착된 레이저 센서는 ASTM E950 분류기준 Class I 규격에 부합하며, 조사된 자료는 20m 단위로 산출하였다.

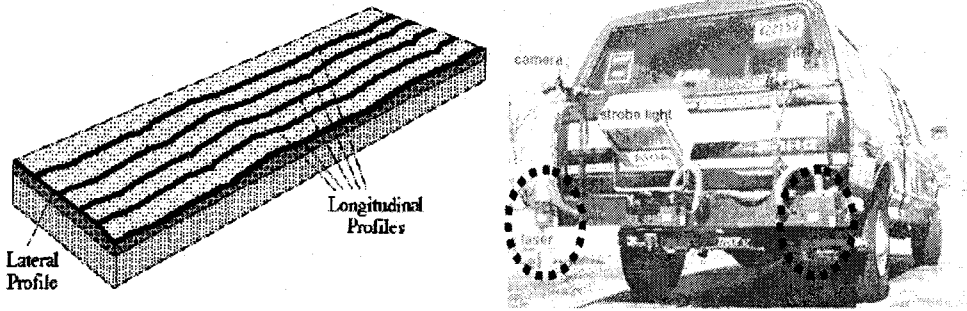


그림 2. 종단평탄성(Longitudinal Profile) 및 조사장비(ARIA)

2.3 소성변형 정량화

소성변형의 정량화 방법에도 측정방법이나 기기에 따라 결과값은 많은 차이를 나타낸다. 일반적으로 소성변형의 측정 방법은 직선자(Straight-Edge) 방법에 의해 변형된 깊이를 구하게 되는데, 공용중인 도로에서 방대한 구간을 매년 직선자 방법으로 소성변형을 정량화하는 현실적으로 불가능하다. 이러한 한계를 극복하고자 다양한 조사방식이 적용되고 있으나, 현재 보편화된 방법은 그림 3과 같이 다수의 측정센서(레이저변위센서, 초음파 등)를 노면과 수평이 되도록 배열하여 일정간격의 높이를 측정하고 수학적 시뮬레이션을 통해 측정하는 방식이 주로 사용되고 있다. 본 조사에서도 이와 같은 방식을 적용하여 25개의 초음파 센서를 이용하여 노면의 수평방향 프로파일을 수집하여 정량화하였다.

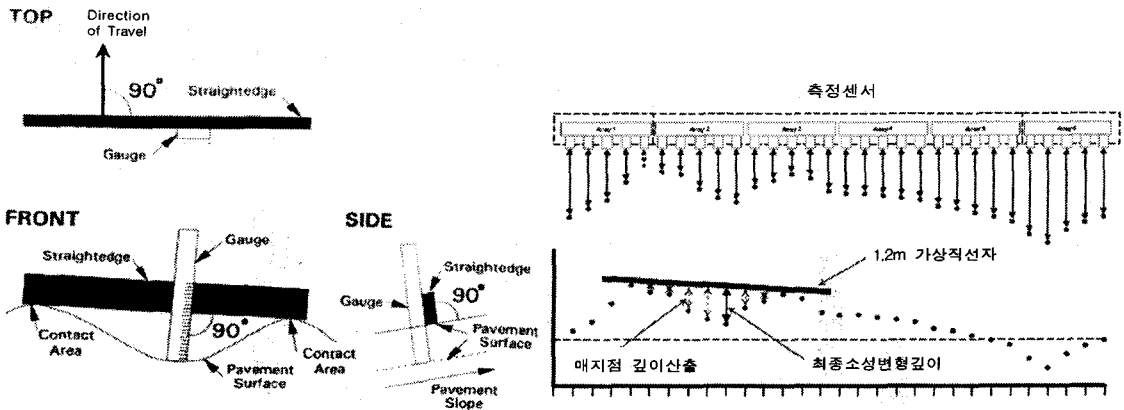
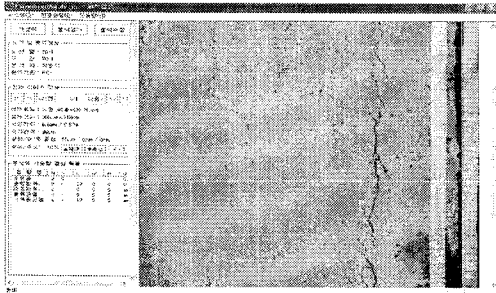


그림 3. 직선자방법에 의한 소성변형 측정 방법(ASTM E 1703M) 및 조사장비를 이용한 측정방법

2.4 균열(표면손상)

노면상태에 대한 자료를 수집하기 위해 노면상태를 일정간격의 고분해능(1mm)을 갖는 디지털 이미지를 거리와 연동하여 연속적으로 획득 후 그림 4와 같은 이미지 분석프로그램(Pavement Analyzer)를 이용하여 결함종류를 분류 및 측정하고 2차적으로 각 결함을 면적으로 환산하여 20m 단위구간의 균열율(%)을 산출하였다.



$$\text{균열율(\%)} = \frac{\text{면적균열}(m^2) + \text{선형균열} \times 0.3m}{20m \times \text{차로폭}(m)}$$

그림 4. 이미지 분석 프로그램을 이용한 균열(표면손상)의 정량화(Pavement Analyzer)

3. 분석결과

3.1 포장상태 특징

1) 종단평탄성

그림 5는 종단평탄성 히스토그램을 나타낸 것이다. 분석 자료에서 볼 수 있듯이 두 지역의 종단평탄성은 매우 유사한 형태를 갖는 것을 확인할 수 있다. 최빈값은 두 지역 거의 유사하게 약 2mm/m를 나타냈으며, 상위 및 하위5%값도 유사한 결과를 나타내었다.

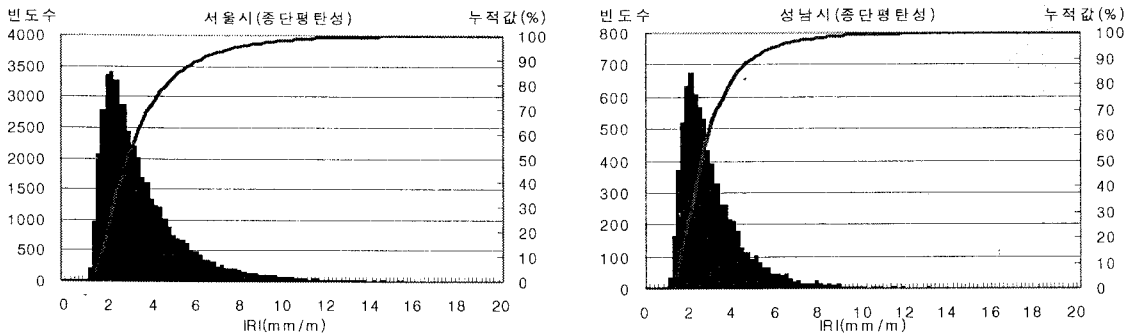


그림 5. 종단평탄성 히스토그램(좌:서울시, 우:성남시)

2) 소성변형

서울시 및 성남시 소성변형 분포는 종단평탄성과 다르게 다소 차이를 보였다(그림 6). 서울시의 경우 최빈값이 7.9mm인 반면, 성남시는 이보다 다소 작은 4.9mm 정도로 조사되었다.

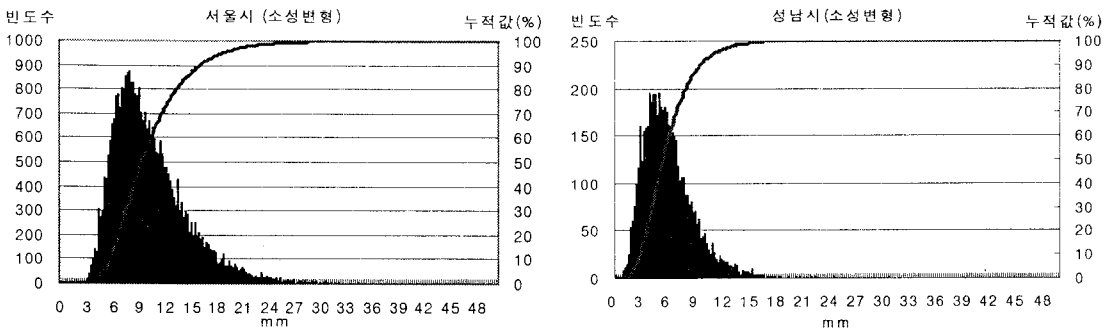


그림 6. 소성변형 히스토그램(좌:서울시, 우:성남시)

표 1. 중단평탄성 및 소성변형 조사결과(서울시, 성남시)

구분 항목	중단평탄성(단위:mm/m)		편차 (절대값)	소성변형(단위:mm)		편차 (절대값)
	서울시	성남시		서울시	성남시	
최빈값	2.7	1.9	0.8	7.9	4.9	3.0
상위 5%	1.5	1.3	0.2	5.0	2.3	2.7
하위 5%	7.6	6.0	1.6	18.5	11.1	7.4
하위 5%-상위 5% 편차	6.1	4.7	1.4	13.5	8.8	4.7

3) 균열(표면손상)을

그림 7은 두 지역의 균열발생정도를 정리한 것으로, 서울시는 평균 약 2.05%의 균열율을 나타냈으며, 균열율이 약 4.25%까지 전체 누적균열율의 85%를 보였다. 성남시는 평균 약 2.7%로 조사되었고, 약 6%의 균열율에서 전체 누적균열율의 85%를 나타내는 것으로 분석되었다.

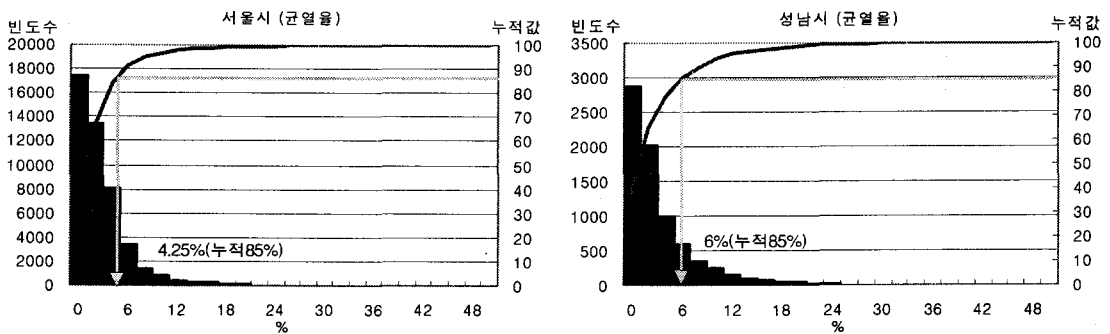


그림 7. 균열율(표면손상) 히스토그램(좌:서울시, 우:성남시)

3.2 교차로구간과 일반구간 포장상태 비교

시도로의 주요 특징 중 하나인 다수의 교차로 주변포장은 정지하중 및 급출발·급제동으로 인해 일반적으로 포장상태가 다른 구간에 비해 상대적으로 불량한 구간이라 여겨져 왔다. 이러한 일반적인 사항을 수치적으로 확인하기 위해 조사된 자료를 바탕으로 일반구간과의 포장상태를 비교해 보았다. 여기서 교차로구간 이라함은 그림 8과 같이 교차로를 중심으로 교통진행방향과 반대방향으로 약 60m구간으로, 일반구간은 교차로구간을 제외한 구간이라 설정하였다. 분석대상지역은 서울시도로 중 본 조사에 해당되는 구간으로 한정하였다. 분석결과는 그림 9 및 표 2와 같다. T-test 결과 균열율을 제외한 중단평탄성($P=0.00 < 0.05$) 및 소성변형($P=0.00 < 0.05$)은 일반구간보다 교차로구간이 상대적으로 불량한 것이 통계적으로 유의한 결론이라는 것을 확인할 수 있다.

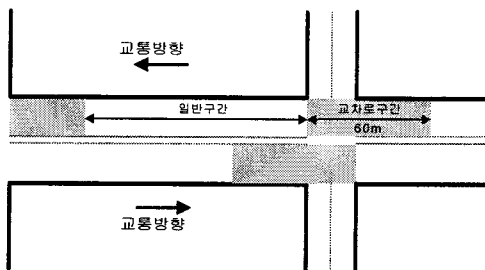


그림 8. 교차로구간 및 일반구간

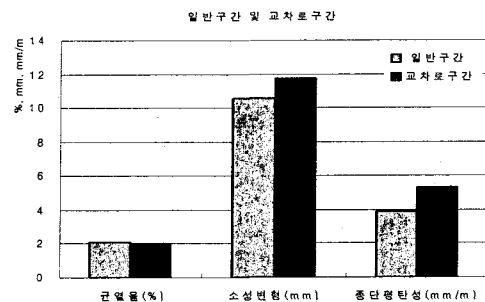


그림 9. 교차로구간 및 일반구간의 포장상태 비교



표 2. 일반구간과 교차로구간의 T-test 결과

구분	N	평균	표준편차	분산	T	P
종단평탄성 (mm/m)	교차로구간	1,566	5.32	3.02	22.43	0.00
	일반구간	30,339	3.94	2.34		
소성변형 (mm)	교차로구간	1,566	11.7	5.25	9.78	0.00
	일반구간	30,339	10.54	4.56		
균열율 (%)	교차로구간	1,566	2.05	4.14	-0.54	0.29
	일반구간	30,339	2.10	3.93		

3.3 고속도로 포장상태와 상대비교

그림 10 및 표 3은 도로 이용자 측면에서 주요 관심 항목인 종단평탄성 및 소성변형에 대해 고속도로포장 상태와 비교한 결과이다. 여기서 시도로포장은 서울시 및 성남시 조사대상구간 전체를 의미하여 고속도로는 2005년 조사자료 중 전국 아스팔트포장 구간자료를 참고하였다(김준범, 2005). 시도로 종단평탄성은 평균 3.55mm/m이며 상위5%와 하위5%의 차이는 6.1mm/m로 나타났다. 고속도로포장상태는 평균 1.55mm/m, 상위5%와 하위5%차는 1.8mm/m정도로 시도로 종단평탄성값의 범위는 상대적으로 넓은 범위에 분포되어 있는 것을 확인 할 수 있다. 소성변형 또한 종단평탄성과 유사하게 시도로가 상대적으로 넓은 범위에 값이 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 이는 단순히 관리 차원의 문제 보다는 시도로의 특징인 다양한 등급 및 기능의 도로가 혼재되어 있음에 기인한 결과라 할 수 있다.

표 3. 시도로 및 고속도로 포장상태 특성비교

구분	종단평탄성(mm/m)		소성변형(mm)	
	시도로	고속도로	시도로	고속도로
평균	3.55	1.55	9.6	4.1
최소값	0.70	0.54	1.0	1.0
최빈값	2.00	1.10	7.9	3.3
최대값	39.10	6.10	48.5	18.2
하위5%	7.60	2.70	18.1	6.2
상위5%	1.50	0.90	4.1	2.9
하위5%-상위5% 편차	6.1	1.8	14.0	3.3

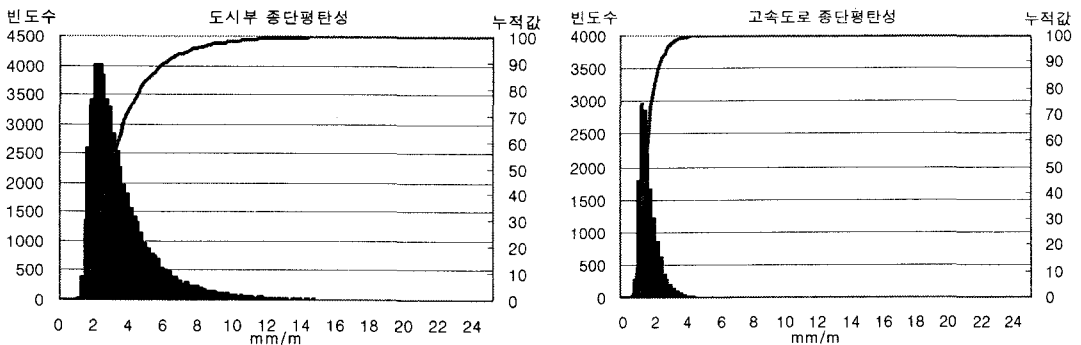


그림 10. 시도로 및 고속도로 종단평탄성 히스토그램(좌:시도로 우:고속도로)

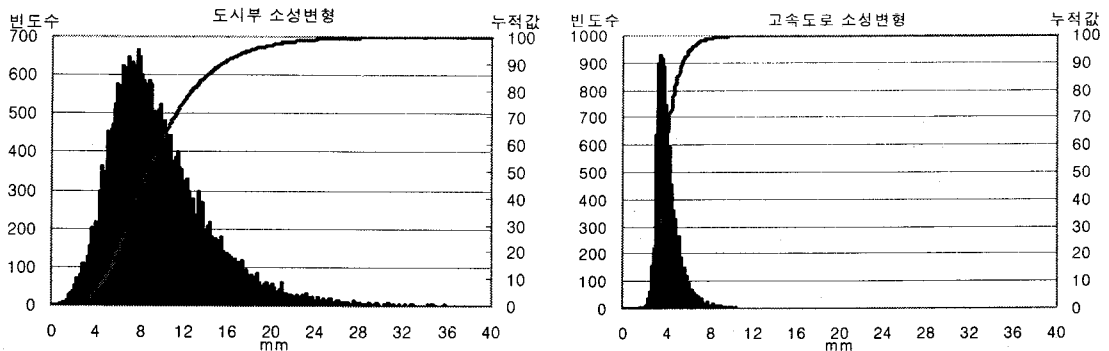


그림 11. 시도로 및 고속도로 소성변형 히스토그램(좌:시도로 우:고속도로)

4. 결론

국도 및 고속도로는 기 측정된 포장상태 조사자료를 바탕으로 각 관할 기관의 도로포장 유지관리를 위한 사업계획의 기초자료로 활용하고 있으나, 시도로는 현재까지 앞서의 사례와 같은 자료가 미비한 실정이었으나, 비교적 방대한 시도로 포장상태 조사자료를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

시도로 포장상태 중 종단평탄성은 평균 약 3.64mm/m 이며, 상위 및 하위 5%를 제외한 90%는 1.5~7.6mm/m 내에 분포하였다.

시도로 소성변형은 평균 약 9.6mm정도이며, 상위 및 하위 5%를 제외한 90%는 4.1~18.1mm 내에서 분포하였다.

시도로의 일반적 특징 중 하나인 교차로부분의 포장은 일반구간 포장에 비해 균열율은 큰 차이를 보이지 않았으나, 종단평탄성은 약 35%, 소성변형은 약 11%정도 높게 분석되었으며, T-test를 통해 교차로구간이 일반구간보다 상대적으로 높음이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

시도로와 고속도로의 포장상태를 단순 비교한 결과 시도로의 종단평탄성은 고속도로에 비해 약 2.3배, 소성변형은 약 2.34배 정도 높은 것으로 나타났다. 이는 고속도로가 단일 등급 및 기능의 도로로써 비교적 균질한 상태를 나타지만, 시도로 포장은 다양한 등급 및 기능의 도로가 존재함으로 이러한 결과가 도출된 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 건설핵심기술연구개발사업인 '장수명 친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술개발'의 연구수행 결과입니다.

참고문헌

1. 김준범, 홍승호 '고속도로포장의 종단평탄성 및 소성변형 특성' 한국도로학회, 학술발표논문집, 2005.
2. 서울시, "서울특별시 포장도로 유지관리체계 구축 학술연구용역", 2005.
3. M.W. Sayers and S.M. Karamihas, "The Little Book of Profiling ",pp.1- 61, 1997.
4. T .D. Gillespie "Everything Always to Know about the IRI, But Were Afraid to Ask !" Presented at the Road Profile User Group Meeting, 1992.