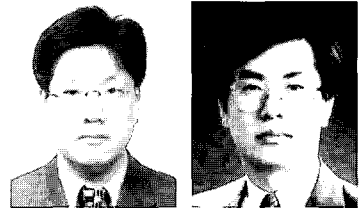


# 기능성 아스팔트 포장의 필요성 및 소음 평가기법



문 성 호 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원  
이 광 호 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구개발실장

## 1. 서론

우리나라 도로는 1970년대 경부 고속도로 건설 이후로 질적, 양적 팽창을 이루어 고속도로 도로망을 구축함으로써 국가 경제발전의 중추적인 역할을 수행해 왔다. 하지만 외국의 경우처럼 도로 포장을 기능적인 측면인 소음에 대한 연구가 미비하였다. 최근에 다공성 아스팔트와 고무 아스팔트가 저소음에 효과가 있다고 입증되어 저소음 포장에 대한 연구가 조금씩 진행되어 가고 있다. 이러한 추세는 현재 생활수준의 향상으로 국내에서도 소음피해에 대한 인식이 높아졌으며, 주거생활환경의 변화로 인해 발생하는 여러 생활소음에 대한 민원이 높아졌기 때문이다.

이러한 한 예로, 중앙환경분쟁조정위원회는 신공항 고속도로 개통 후 인근에 아파트 건축으로 소음피해를 겪고 있는 주민에게 아파트 건설부지 조성을 시행한 인천광역시 서구청과 아파트를 건축 분양한 건설회사에 서로 연대하여 7,100여만원을 배상토록 결정하였다. 본 분쟁사건은 인천 서구에 위치한 아파트 주민들이 신공항고속도로에서 발생하는 소음으로 정신적 피해에 대한 도로관리자인 신공항하이웨이(주), 인천광역시 서구청, 건설회사를 상대로 피해

배상을 요구한 사건으로 야간소음도가 65dB 이상으로 나타나, 수면방해 등에 의한 정신적 피해가 인정되었고 부지 조성자인 인천광역시 서구청에게도 피해배상을 결정한 것은 부지조성과 관련 환경영향평가시 이미 신공항고속도로 건설계획이 확정되어 소음으로 인한 영향 및 저감방안을 검토하지 않았고 2000년 11월 신공항고속도로 개통이후 이루어진 아파트 건축계획 승인과 사용검사시에도 소음영향을 충분히 검토하지 않아 소음피해 원인을 제공한 책임이 인정되었기 때문이다. 특히, 토지 조성시에는 단독주택으로 계획하였으나 고층아파트용지로 개발계획을 변경 승인함에 따라 7층 이상의 고층아파트 주민들의 소음피해에 대한 책임을 인정한 것이다.

최근 교통소음 관계법령 개정에서 주택사업자의 전체 층에 대한 방음대책 수립 (65dB 이하) 및 6층 이상 고층 실내소음기준 (창호를 닫은 상태 45dB 이하)을 신설하였다. 이에 근거 2006년 9월 중 주택법 시행령을 개정할 계획이다. 이번 교통소음관련 법령개정으로 교통소음보호대상을 전 층으로 확대, 방음대책수립비용의 사업자(입주자)부담에 대한 법적기준 확립, 도심지 도로건설시 방음대책 수립 등이 요구된다. 특히 이번 개정으로 저소음 포장 소음을 줄일 수 있는 기능적 평가가 필요하다고

사료된다.

위에서 살펴본 바와 같이 본 기술기사에는 포장의 기능적 측면인 소음 관련 배수성 (혹은 저소음) 포장의 노면과 타이어간의 마찰음에 대해 살펴보며 또한 최근 한국도로공사의 시험도로에서 새로운 측정방법으로 고안된 CPX (Close Proximity)을 이용한 아스팔트 및 콘크리트 포장의 노면과 타이어간의 마찰음 분석 결과를 간략하게 살펴보고자 한다.

## 2. 배수성 포장의 노면과 타이어간의 마찰음

일본의 포장지<sup>1)</sup>에서 검토된 배수성 포장의 소음저감 기능을 살펴보면 노면 형상에 따른 배수성 포장과 타이어간의 마찰음 관계에 대해 소개했다. 골재의 재료나 아스팔트 혼합물의 제조 혹은 시공과정에서는 가능한 동일조건에서 시험포장을 하여, 그 포장에 있어서의 노면 형상과 타이어간 마찰음 관계를 검토한 것이다. 시험포장은 표 1에서 제시한 4개 종류의 배수성 포장으로 각 파쇄석의 입경 범위에 따라 총 8개의 시험구간 (각 연장 약 100m:폭원 3.5m)을 시공하였다.

표 1. 시험포장 개요

배수성 포장 종류	(13)		(10)		(8)		(5)	
파쇄석 입경(mm)	13~5		10~5		8~5		5~2.5	
공극율(%)	18.2	20.1	17.9	19.7	20.2	21.5	21.4	21.1
표층두께(cm)	5.3	5.0	4.6	4.7	4.7	5.3	5.3	5.0
비 고	1층 포설				2층 포설			

표 1에서 보는 바와 같이 최대골재치수가 13mm 및 10mm인 경우 1층 포설, 8mm인 경우는 두 가지인 1층 및 2층 포설, 5mm인 경우는 2층 포설하여 시공하였다. 단층 포장 구간에서 소음 레벨의 측정결과와 일반적으로 저소음 효과가 높다고 알려진 2층 포설에서의 소음 레벨과 비교하였다. 2층 포설에

있어, 표층의 설계 두께는 2cm로 하였고 하층에서의 배수성 포장은 최대골재치수가 13mm의 혼합물을 사용했다.

### 2.1 측정방법

#### (1) 타이어/노면 소음 측정

타이어/노면 소음은 승용차 좌측 뒷바퀴 후방으로 마이크로폰을 부착하고 50km/h의 속도를 주행 등가소음 레벨을 측정했다.

#### (2) 노면의 형상 측정

노면의 형상 (혹은 요철)은 특수한 도료를 이용하여 시료를 떼서 채취했으며 본뜬 시공체는 레이저 변위계를 이용 요철을 측정하였다. 또한 PSD<sup>2)</sup> (Power Spectral Density)를 분석하였다. 본 분석방법은 푸리에 주파수 변환에 의해 얻어진 스펙트럼 밀도이다. 또한 ISO 13473-1<sup>3)</sup>에서 규정한 포장의 평균 깊이인 MPD (Mean Profile Depth)도 측정하였다.

### 2.2 측정결과

표 2는 타이어/노면 소음의 측정결과와 노면 형상에 있어 평가치를 표시한 것이다. 타이어/노면 마찰음 레벨은 각 구간 3회 주행하여 측정하였으며 그 평균치를 이용하였다. 최대 입경이 5mm의 배수성 포장의 MPD가 다른 배수성 노면에 비해 약 반 정도가 되는 것으로 나타내는 특징이 있다.

표에서 보는 바와 같이 MPD 값이 낮으면 소음 레벨도 낮게 나타나고 있으며, 최대골재치수가 적은

표 2. 타이어/노면 마찰음과 표면형상의 측정결과

배수성 포장 종류	(13)		(10)		(8)		(5)	
공극율(%)	18.2	20.1	17.9	19.7	20.2	21.5	21.4	21.1
소음레벨(dB)	88.0	87.7	87.5	87.0	85.5	84.4	81.0	81.8
MPD(mm)	1.90	1.64	1.62	1.79	1.55	1.66	0.91	0.88

것이 저소음 효과가 높은 것으로 판명되었다.

### 2.3 타이어/노면 마찰음과 PSD 관계

마찰음의 스펙트럼 분석에 의하면 최대골재치수가 5mm인 배수성 포장은 다른 배수성 포장에 비해 2kHz 이하의 주파수 범위에서 음압 레벨이 낮고 배수성 포장과 일반 밀입도 포장을 비교하면, 모든 배수성 포장이 800Hz를 넘는 주파수 영역에서의 음압 레벨이 크게 저하되어 있다. PSD 분석에 있어서는 파수 (wave number)를 x 축으로 하고 PSD를 y 축으로 함으로서 배수성 포장의 특성을 살펴보았다. 특히 파수인 200/m을 분기점으로 해서 배수성 포장 종류에 따른 구분을 할 수 있었다. 최대골재치수가 8mm 및 5mm인 배수성 포장의 PSD는 최대골재치수가 13mm 및 10mm인 배수성 포장과 비교했을 때 파수가 50~80/m에서 적은 값을 나타내고 있다. 즉 이 범위에서 PSD를 작게 하면 할수록 음압 레벨이 낮게 됨으로 타이어/노면 마찰음이 저하된다.

### 2.4 배수성 포장의 소음분석 정리

배수성 포장의 타이어/노면 마찰음, 노면형상, 공극에 따른 상관관계에 대해 다음과 같이 분석결과에 근거한 정리를 제시하였다.

- (1) 종래의 평가치인 MPD와 타이어/노면 마찰음과 관계가 있음을 확인하였음.
- (2) 타이어/노면 마찰음을 주파수 분석한 음압레벨과 노면 형상의 PSD는 특정의 주파수 범위와 파수 범위에 있어서 상관관계가 인정되며, 그 소음의 음압 레벨이 크게 되는 주파수 범위인 630~2000Hz의 음압 레벨은 파수 50/m의 PSD와 높은 상관관계가 있음을 알 수 있다.
- (3) 배수성 포장의 타이어/노면 마찰음 소음의 저감요인은 노면의 형상과 공극특성의 관점에서 검토가 가능함을 알 수 있다.

## 3. 시험도로 포장의 소음특성 분석

정확한 교통 소음예측을 위해 소음원에 해당하는 차량 소음 발생특성을 규명하여 고속도로의 경우 차량의 고속 주행으로 인한 엔진/배기계 소음보다는 타이어/노면간의 마찰음이 지배적인 것으로 알려져 있다. 또한, 마찰소음은 차종과 주행속도는 물론 포장 종류와 시공방법에 따라 달리 발생한다. 따라서, 이러한 인자들이 미치는 영향을 정밀하게 파악하여 야만 정확한 고속도로 소음을 예측할 수 있음과 동시에 효율적인 저소음 대책의 수립이 가능하다. 본 시험도로 포장의 소음특성 분석은 주도로인 중부내륙고속도로와 어느 정도 이격 거리가 유지되어 압소음 영향이 적다는 장점을 이용 포장면에 대한 실험을 실시하였다. 즉 포장 노면 종류인 아스팔트 포장 4종과 콘크리트 포장의 5종에 대해 총 8대의 차량(승용차, SUV, 소형트럭, 대형트럭, 버스, 트레일러 각 1 대, 덤프트럭 3대;그림 1 참조)으로 소음계측을 실시하였다. 아쉬운 점으로는 시험도로 내에 배수성 포장이 없는 관계로 소음평가를 수행하지 못하였다.

평가방법으로는 타이어 근접 차체에 마이크로폰을 부착하는 CPX (Close Proximity) 방법을 적용하였으며, 측정 차속과 운전 조건은 차량별 가감속 성능에 따라 60~120km/h 또는 50~100km/h 속도구간에서 10km/h 간격으로 정속 또는 관성 주행 조건으로 하였다. 상기의 계측 결과를 이용하여 차량별 소음발생량을 차속에 대한 회기분석식으로 도출하고, 이를 이용하여 차량 및 차속별 엔진/배기계 소음의 기여도, 포장노면의 종류에 따른 타이어/노면 마찰소음 발생도 및 차량하중 효과 등을 평가하였다.

### 3.1 계측 방법

주행 중인 차량의 타이어/노면 마찰음을 측정하는 방법은 coast-by 방법, pass-by 방법, CPX 방법 등이 있다. 이 세가지 방법 중 차량에 연결된 트레일러

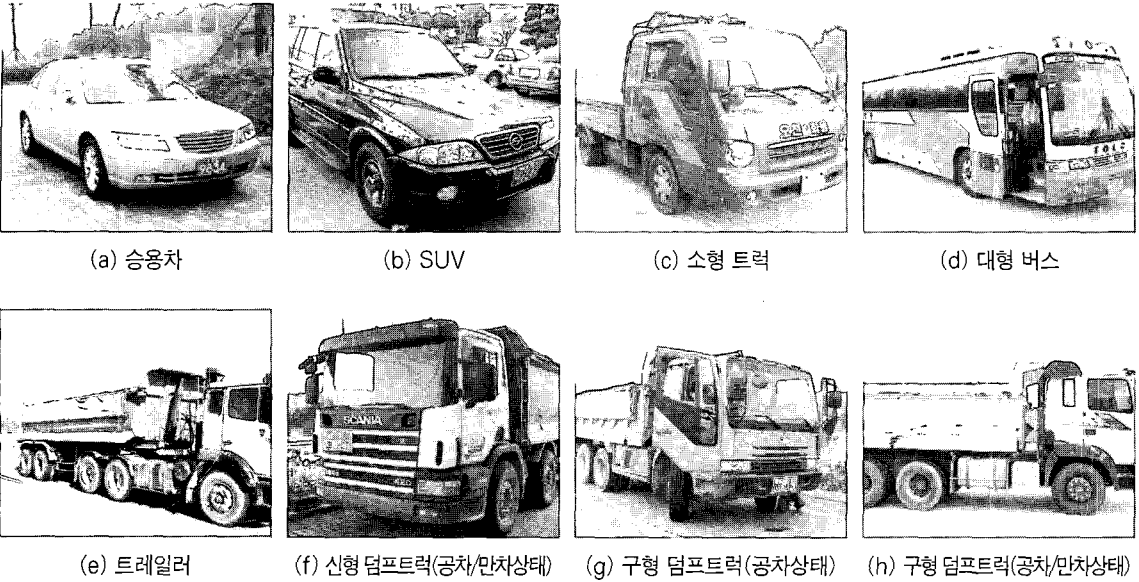


그림 1. 시험 대상 차량

에 마이크로폰을 부착하여 타이어/노면 마찰 소음을 계측하는 CPX 방법이 실제 시공된 다양한 포장 노면과 타이어간의 마찰소음을 평가하는데 매우 적합하다고 평가되고 있다. 또한, 이 방법은 타이어 근접장에서 소음도를 계측함으로써 전달감쇠의 영향을 거의 받지 않는다. 그러나 CPX 방법은 별도의 트레일러에 마이크로폰을 설치함으로써 인해 실제 주행 차량의 소음 발생도를 평가하기 곤란하다. 아울러 차량 주행시 바람이 마이크로폰 계측 신호에 영향을 미쳐 소음계측 결과의 신뢰도를 확보하기 어려운 점이 있다. 이에 시험도로 측정에서는 CPX 방법으로 타이어/노면 마찰소음을 측정하되 시험대상 차량에 마이크로폰을 직접 부착하는 방법을 적용하였다. 또한 마이크로폰은 타이어 부근의 협소한 위치에 설치가 용이하고 유동장에서도 신뢰성있는 소음측정이 가능하다고 알려진 브뤼엘케야사의 type 4949 표면 마이크로폰을 이용하였다.

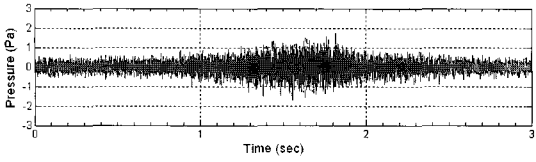
### 3.2 계측 결과

시험 대상 차량의 시동을 끈 상태에서 표면 마이

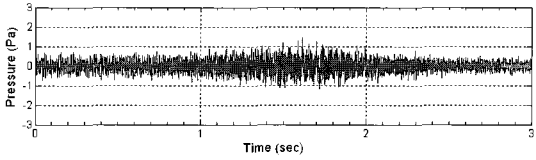
크로폰으로 15분간의 등가 암소음도를 계측한 결과는 실제 차량 주행 시험시 계측된 소음도보다 최소 6dB 이상 낮았다. 이에 본 실험에서는 암소음의 영향은 무시하였다. 그림 2에는 일반밀입도 아스팔트 및 30mm 횡방향 타이닝 콘크리트 포장구간에서 소형트럭이 100km/h로 정상 및 관성 주행할 경우의 소음 시간 이력을 예시하였다. 이로부터 계측된 소음 신호는 포장노면의 종류와 주행방법에 따른 특성이 잘 나타남을 확인할 수 있다.

CPX 계측에 있어 최소 4개의 표면 마이크로폰으로 계측한 신호의 시간 평균 등가 소음도는 부착 위치에 따라 대부분의 경우에 2dB 이내의 차이를 나타냈다. 이에 본 측정에서는 차량, 차속 및 포장노면 종류별 CPX 방법으로 계측한 차량의 대표 소음도는 각각의 위치에서 계측한 결과를 dB 평균하여 산정하고, 이를 회귀분석하여 포장노면별 차속에 따른 CPX 계측 차량 소음도 산정식을 광대역과 1/1 옥타브 밴드별로 평가하였다.

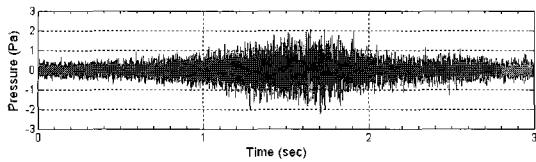
상기 계측으로부터 차속에 따른 소음 증가도는 포장노면 종류별로 다소 차이가 있음을 확인할 수 있다. 또한 정상 및 관성 주행시의 총합소음도는 정상



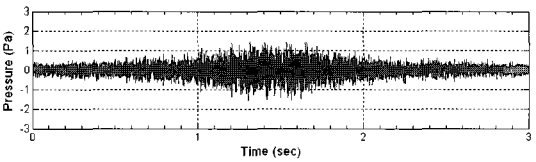
(a) 아스팔트 일반 밀입도 구간: 엔진주행 조건



(b) 아스팔트 일반 밀입도 구간: 관성주행 조건



(c) 콘크리트 횡타이닝 30mm 구간: 엔진주행 조건



(d) 콘크리트 횡타이닝 30mm 구간: 관성주행 조건

그림 2. 소형트럭 100km/h로 단속 주행시 pass-by 계측 소음 시간 이력

상태가 관성 상태보다 모두 크고, 이의 최대 차이는 시속 100km/h 기준으로 승용차가 1.8dB, SUV 1.1dB, 소형트럭 3.5dB, 대형버스 3dB, 트레일러 8dB, 덤프트럭은 만차시 6.1dB, 공차시 5.2dB인 것으로 평가되었다. 아울러 50km/h 이상의 속도에서도 엔진 및 배기관 소음이 차량 전체 소음에 미치게 되어 대형 차종일수록 그 기여도가 큼을 확인할 수 있었다.

이와 같이 시험도로의 마찰음 측정 및 분석을 통해 본 과업의 최종목표인 고정밀·고기능 고속도로 소음예측 및 방음벽 설계 S/W 확보를 위해 프로그램을 개발 중에 있으며 이와 관련된 개발 흐름도는 그림 3과 같이 표현될 수 있다.

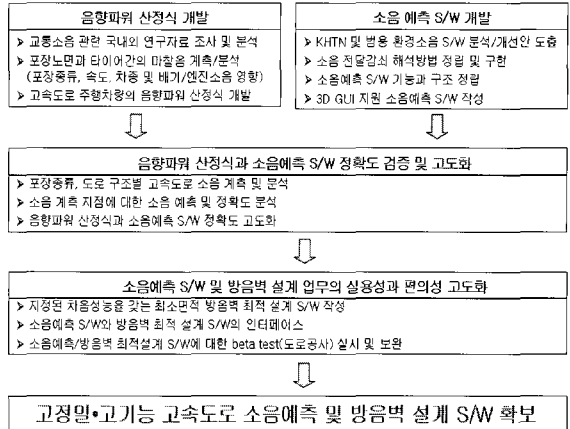


그림 3. S/W 개발 흐름도

#### 4. 결론

위에서 두 가지 연구를 살펴보았다. 첫 번째는 다양한 배수성 포장의 노면과 타이어간의 마찰음 분석에 있어 노면 형상과 마찰음에 있어 상관관계를 밝혔으며, 두 번째에서는 한국도로공사 시험도로 포장 노면과 타이어간의 마찰음 분석시 새로운 측정방법을 도입 CPX 측정을 함으로 해서 다양한 변수인 포장형식, 차량종류, 속도에 대해 변수를 고려한 소음 측정의 결과 값을 분석한 것이다. 이 모든 방법은 정확히 우리가 알고자하는 소음원을 분석하여 기능성 저소음 포장을 좀 더 명확하게 그 특성을 알아 환경 소음을 줄이는데 그 목적이 있다.

#### 참고문헌

1. 일본 포장 39-2, pp. 3~8. (2004)
2. 일본 토목학회논문집 No. 606/V-41, pp. 225~230 (1998)
3. ISO 13473-1:1997, Characterization of Pavement Texture by Use of Surface Profiles-Part 1:Determination of Mean Profile Depth.