

저소음 도로 표면 개발의 필요성

박 철 희

(인하대학교 기계공학과 교수)

1. 머리말

오늘날 생활수준이 향상됨에 따라 여러 가지 다양한 욕구가 새로이 생겨나기 시작했다. 그 중에 가장 큰 것이 안락하고 편안한 생활을 하고자 하는 욕구일 것이다. 그러나 산업의 고도화 특히 자동차의 증가는 좀더 조용하고 쾌적한 주거 환경에서 살기를 원하는 사람들의 욕구에 항상 부합되지만은 않는다. 현재 국내의 자동차가 6백만대를 초과하였으며, 이렇게 증가하는 자동차는 우리사회에 여러 가지 문제점을 야기시키고 있다. 그 대표적인 예로 교통소음을 들 수가 있으며 이는 조용하고 쾌적한 공간에서 살기 원하는 욕구에 배치되는 것으로, 환경부의 발표에 따르면(1992. 11. 23. 한겨레신문) 현재 국내 7대 도시의 환경 소음도가 모두 환경 기준을 훨씬 넘어서는 수치이며, 특히 소음수준의 상당 부분을 교통 소음이 차지하고 있다. 서구사회에서는 일찍부터 산업혁명으로 인하여 발생하기 시작한 이 교통소음에 대해 끊임없는 관심을 가져왔으며, 20세기 들어서는 자동차 자체의 소음(엔진소음, 배기 소음 등)뿐 아니라 타이어/도로 소음(주행중 타이어와 도로의 접촉에 의해 발생하는 소음)에 대해서도 다양한

연구와 이에 따른 실험을 실시해왔다. 그러나, 우리나라에서는 이에 관한 연구가 보고된 바 없다.

본 글에서는 현재 유럽과 우리나라와 유사한 도로사정을 가진 일본, 홍콩에서 행해지고 있는 타이어/도로 소음에 관한 연구 실태와 그 자료^(1~4)를 소개함으로써 자동차 자체의 소음뿐 아니라 환경 소음 관점에서 간과할 수 없는, 타이어/도로 소음에도 관심을 가져야 할 이유를 제시하고자 한다.

2. 저소음 도로의 정의

도로 표면을 결정하는데 있어서 고려해야 할 마멸 저항(wear resistance), 유막 형성에 따른 재동 위험(hydroplaning hazard), 마찰 그리고 경제성 등의 여러 가지 사항에 비해 타이어/도로 소음은 그 중요성이 적게 평가되고 있다. 그러므로 도로 표면을 결정할 때에는 앞에서 고려한 여러 사항에 따라 서로 다른 몇 개의 도로 표면을 결정한 후 그 중 가장 음향학적으로 이상적인 표면을 선택해야 한다. 그러면 무엇이 저소음 표면인가? 오늘날 타이어/도로 소음을 연구하는 대부분의 사람들은 배수 아스팔트(drainage asphalt) 또는 그와 유사한 높은 공극률(high porosity)을 갖는 표면이라고 대답할 것이다.

그러나 본 글에서는 좀 더 넓은 의미로 최대 칩 크기(maximum chipping size) 10~13 mm, 최소 1년 이상된 고밀도 아스팔트 콘크리트(dense asphalt concrete)인 기준 표면에 대해 최소한 3dB(A) 이상의 소음 감소 효과를 나타내는 모든 표면을 말하기로 하겠다.

3. 다공성 표면(Porous Surface)에 관한 연구 동향

3.1 다공성 표면의 정의

물이 수직으로 스며들 수 있는 도로 표면을 배수 아스팔트(drainage asphalt), 배수 표면(drainage surface), 다공성 표면(porous surface), 침투성 표면(pervious surface) 등 여러 가지로 부르고 있으나 이 글에서는 다공성 표면 또는 침투성 표면으로 한정하여 부르기로 하겠다. 다공성 표면은 공극률(porosity)이 가장 중요하며, 적어도 이론적으로는 투과성을 항상 갖지는 않으며 공극이 열려 있을 때에만 음향학의 관점에서 저소음 특성을 갖는다. 일반적인 아스팔트 콘크리트의 전형적인 공기 함유율(air void)은 부피 기준으로 약 3~5% 정도이나 아스팔트 콘크리트의 배합시 돌, 모래, 채움재(filler)의 비율을 조정함으로써 좀 더 높은 공기 함유율을 얻을 수 있

다. 높은 공기 함유율은 배수의 특성을 높일 수 있으나, 강도와 균형을 고려하여 전형적인 다공성 표면의 공기 함유율은 부피 기준으로 15~20% 정도이다. 다공성 표면은 다시 공기 함유율이 15~25%인 다공성 표면(porous surface)과 초기 공기 함유율이 10~15%인 반 다공성 표면(semi-porous surface)으로 나눌 수 있다.

3.2 음향학적 소음감소 특성

다공성 표면은 타이어/도로 소음을 줄일 수 있는 세 가지의 중요한 특성을 갖고 있는데, 첫째로, 표면의 공극이 타이어가 도로 표면과 접촉할 때 타이어/도로 사이에 존재하게 되는 공기의 압축과 팽창을 제거하여 air pumping과 air resonant type 소음을 저감시킨다. 두 번째로 공극이 타이어의 굽은 흡과 평평한 도로 표면 사이의 공간에 의해 발생하는 acoustical absorber의 역할을 하여 소음의 반사와 전파를 줄일 수 있으며, 이 특성은 타이어/도로 소음뿐만 아니라, 다른 종류의 자동차 소음에도 영향을 준다.

3.3 공기 함유율, 도로 표면의

두께와 소음 감소와의 관계 앞에서 언급했던 것과 같이 초기 공기 함유율이 15~20% 정도 혹은 그 이상인 다공성 표면인 경우 기준 표면(공기 함유율 3~5%인 일반적 아스팔트 콘크리트)보다 소

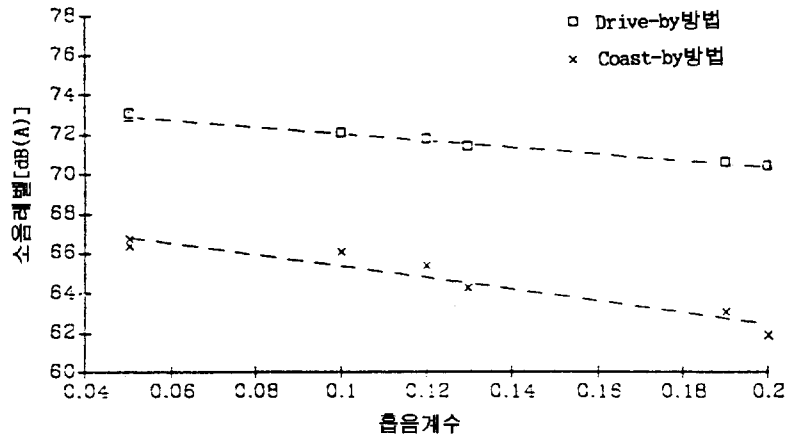


그림 1 흡음계수와 주파수와의 관계

음이 3~5 dB(A) 지감되며, 이것은 아래 그림 1에서 보여주는 것과 같이 흡음계수가 0.2~0.3인 표면 특성과 일치한다. 각각의 수치는 차량 5대의 평균이고, 길 중심으로부터 7.5 m 떨어진 곳에서 측정하였다.

도로 표면의 소음 감소와의 관계는 두께가 두꺼울수록 소음 감소의 효과가 더 큰 것으로 알려져 있다. 예를 들어 Storeheier and Arnevik⁽⁵⁾는 얇은 다공성 표면 대신에 2배 정도의 두께(50 mm 대신에 80 mm 표면 사용)를 도시 지역에 사용했을 때 그 효과는 50 mm 표면을 사용했을 때 보다 1 dB(A)의 추가적인 감소를 얻었다. 또 어떤 학자가 매우 두꺼운 다공성 표면(두께가 700 mm에 달하는 경우도 있음)에 대하여 실험한 결과, 얇은 층의 경우 총 소음

감소가 4 dB(A) 정도인데 반해 두꺼운 표면을 사용했을 때는 대략 총 8 dB(A) 정도의 소음 감소가 있는 것으로 나타났다.

3.4 각 국의 실험 결과

가. 스웨덴

표 1은 스웨덴에서 초기 공기 함유율 20~30% 최대 칩 크기(chip-ping size) 12 mm인 다공성 표면을 3가지 다른 두께(50, 80, 110 kg/m²)에 대하여 4년간 실험한 결과이다. 이 실험에서 사용한 표면의 총 수명은 약 5년이고 2시간 평균 레벨과 peak pass-by 레벨(모든 통과 차량의 소음 최대치의 평균)을 측정하였고 측정 위치는 길 중심으로부터 10 m 떨어진 곳에서 측정했으며 속도는 60~100 km/h 범위에서 일정하다.

위 실험의 결과는 다음과 같다.

표 1

도로 표면의 노후도	소음 감소량	
	평균 레벨	Peak pass-by 레벨
0년	5~7 dB(A)	6~7 dB(A)
2년	4~5 dB(A)	2~3 dB(A)
4년	1~2 dB(A)	0~1 dB(A)

· 도로가 오래 될수록 소음 감소 효과가 적다.

· 평균 감소량은 약 3 dB(A) 정도이다.

· Peak pass-by 레벨보다 평균 레벨이 더 큰 감소 효과를 보이는데, 이것은 소음이 반 흡음성(semi-absorbent)인 도로 표면을 따라 장거리 전파해 오면서 생기는 추가적인 감소로 설명될 수 있다.

· 도로 표면의 두께는 노후도가 적을수록 표면의 소음 감소에 영향이 있으나 노후도가 클수록 그 영향이 적다.

· 내구성 등을 고려해 볼 때 초기 공기 함유율이 최소한 20% 이상이어야 한다.

· 소음 감소는 소형차나 대형차나 동일하다.

나. 노르웨이

도시지역에서 50 km/h의 자유 흐름(free flowing)에 대해 시험한 결과 다음 표 2와 같았다.

표 2의 결과는 첫번째의 경우(공기 함유율 17~19%인 표면) 1년이 지난 후 마힘형상(노르웨이의 기후 특성)의 증대로 인하여 다시 소음 레벨이 1.5 dB(A) 증가하여 소음 감소 효과가 전혀 없었으며, 두 번째의 경우(공기 함유율 21~22%인 표면)는 기준 레벨보다 0.9 dB(A) 감소하였다.

다. 덴마크

거의 모든 나라의 경우에 다공성 아스팔트에 대한 소음 감소의 효과는 시간에 따라 줄어들었다. 그러나 덴마크에서 실시한 연구에 의하면 처음 1년동안 기준 고밀도 아스팔트에 대해 소음 감소량이 조금 증가하는 결과를 얻었다. 대상으로

는 고속도로이며 소형차와 대형차가 혼합된 상태로 속도는 약 80 km/h 정도이다. (표 3)

라. 네덜란드

네덜란드에서는 최근 2중층 표면에 대한 연구가 있었다. 그 2중층은 다음과 같이 구성된다.

· 위층 : 칩 크기(chipping size) 4~8% 25 mm 두께

· 아래층 : 칩 크기(chipping size) 11~16% 45 mm 두께

· 초기 공기 함유율 26%

Statistical pass-by 방법으로 측정한 소음 감소량은 평균 속도 60 km/h일 때 4 dB(A)이고 120 km/h일 때 5 dB(A) 정도이며 이는 소형차와 소형 트럭 모두에게 적용된다. 이 연구에서 사용된 기준 도로 표면은 새로 포장한 표면을 사용했다.

표 2

도로 표면의 종류 (표면 두께, 공기 함유율)	기준 표면 대비 소음 감소 레벨(dB(A))	
	새 표면	1년 후의 표면
다공성 아스팔트 (50 mm, 17~19%)	1.5 dB(A)	0 dB(A)
다공성 아스팔트 (50 mm, 21~22%)	3.5 dB(A)	0.9 dB(A)
2개의 층으로 된 표면 (42 mm + 38 mm)	4.5 dB(A)	—

표 3

도로 표면의 종류 (최대 chipping size, 공기 함유율)	기준 표면에 대한 소음 감소 레벨(평균, dB(A))	
	새 표면	1년 후의 표면
다공성 아스팔트 (8 mm, 18~22%)	4.0 dB(A)	4.5 dB(A)
다공성 아스팔트 (8 mm, 22% 이상)	3.6 dB(A)	4.5 dB(A)
다공성 아스팔트 (12 mm, 22% 이상)	2.0 dB(A)	3.9 dB(A)
기준 고밀도 아스팔트 (12 mm)	0.4 dB(A)	0.0 dB(A)

다. 영국

영국에서는 다른 나라에 비해 비다공성 표면에 대한 다공성 표면의 소음 감소 효과를 상당히 오랜 기간에 걸쳐 연구해 왔으며 그에 대한 결과는 다음과 같다.

- 처음 1년에 승용차는 6 dB(A), 대형차는 3 dB(A) 정도로 높은 감소 효과를 보인다.
- 4년 동안은 약 4 dB(A) 정도로 상당히 일정한 감소를 보인다.
- 5~6년이 지나면 3 dB(A) 정도로 감소율이 낮아진다.
- 최근에는 소형차나 대형차 모두 같은 정도의 감소 효과를 보이고 있다.

바. 홍콩

홍콩에서는 타이어/도로 소음을 줄이기 위한 실질적인 연구를 1987년부터 실시하였는데, 이 연구에서 사용한 도로표면은 공기 함유율 18~25%인 변형된 고분자 아스팔트로 이것을 기존의 콘크리트 도로 위에 재포장하여 실험을 실시하였다. 실험 대상은 통행하는 주 차종의 약 25%가 1.5 ton 이상인 트럭이며, 하루평균 60,000대 정도 운행되는, 길이 300 m 제한속도 70 km/h인 도로이다. 측정방법은 pass-by 방법을 사용하였으며, 측정 지점은 재포장한 표면 중심의 한 지점과 이 지점에서 350 m 떨어진 기존 콘크리트 표면 위의 한 지점, 두 지점에서 측정하였다. 도로를 재포장하기 전 콘크리트 표면에서 측정된 소음 레벨은 81 dB(A)이었다. 소음 감소량은 재포장한 첫째 최대 약 5 dB(A)의 감소를 보였고, 도로 수명 6년을 기준으로 주기적으로 측정된 결과 4년에 걸쳐 약 2.5 dB(A)의 감소 효과를 보였다. 그러나, 처음 재포장의 경우 대형트럭의 통행량이 많은 이유로 도로 수명 기간 동안의 감소 효과가 그다지 크지 않았으며,

1994년 두 번째로 재포장한 도로 표면에 관한 연구가 현재 진행중이다.

사. 일본

일본에서는 다공성 표면의 소음 감소 인자와 강우량이 소음 감소에 미치는 영향에 대하여 연구해 오고 있다.

먼저 소음 감소 인자에 관한 연구 내용을 살펴 보면, 고밀도 아스팔트(공기 함유율 5%, 두께 5 cm)를 기준으로 다양한 다공성 표

면(공기 함유율 15, 20, 25%, 두께 5, 10 cm)에 대해 승용차, 소형트럭, 대형트럭 등 3개의 차종에 대하여 주행시의 소음을 측정하였다. 측정은 coast-by 방법(ISO/Dis 10844)을 사용하였으며, 측정 위치는 주행 중앙선에서 7.5 m, 지상에서 1.2 m 떨어진 지점에서 3번씩 측정하여 평균하였다. 실험결과, 표면 두께의 영향은 트럭에 대해서만 1~2 dB(A)의 차이가 있었다. 그리고 공극율에 대해서는 공

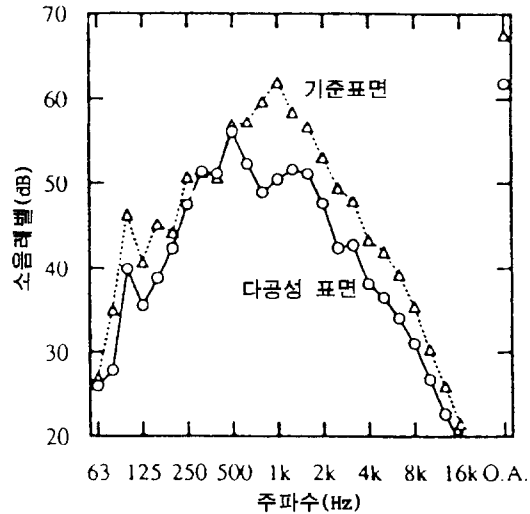


그림 2 건조 상태에서의 소음 감소

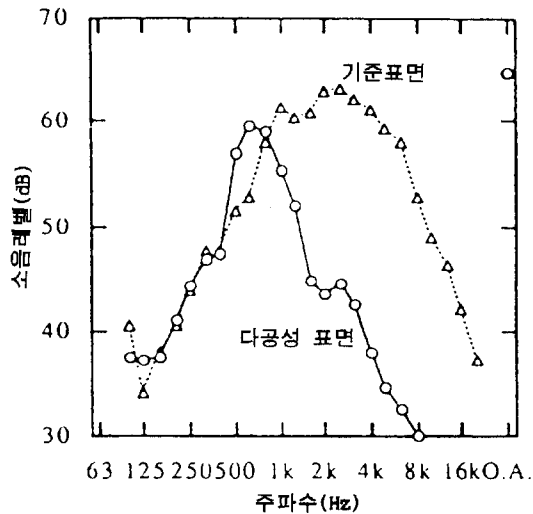


그림 3 젖은 상태에서의 소음 감소

극율이 20% 미만일 때 공극율에 따른 소음 감소량은 현저한 차이를 보이나, 공극율이 20% 이상일 때는 그 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 공극율 20%를 유지하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다.

다음으로 강우가 다공성 표면의 소음 감소 효과에 미치는 영향에 대한 연구 결과를 보면, 그림 2와 3은 도로표면이 건조한 상태와 젖은 상태에서의 기준 표면과 다공성 표면 사이의 소음 레벨을 나타낸 것이다. 소음 측정 방법은 pass-by 방법을 사용했고, 속도는 60 km/h로 일정한 승용차를 대상으로 측정된 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 건조한 상태에서의 소음 감소량은 전체적으로 약 6 dB(A) 정도이고, 젖은 상태에서의 소음 감소량은 그보다 더 큰 것을 보여주고 있다.

그림 4는 강우량과 다공성 표면의 최대 흡음계수와 이때의 주파수와와의 관계를 나타낸 것이다. 대상은 두께 40 mm, 공기 함유율 28%, 최대 칩크기 13 mm인 다공성 표면을 사용했다.

다공성 표면 내의 물의 양이 증가하면, 최대 흡음 계수가 되는 주

파수가 낮아지고, 또한 최대 흡음 계수도 낮아진다. 특히 물의 양이 1 mm를 초과했을 때는, 그 변화가 급격히 일어난다.

3.5 문제점

다공성 표면의 가장 큰 문제점은 공극이 막히는 막힘(clogging) 현상인데 일단 공극이 막히게 되면 다공성 표면의 소음 감소 효과가 없어진다. 막힌 다공성 표면을 고압의 물을 분사하여 이것을 제거하려는 노력이 스웨덴, 일본 등지에서 있었는데 결과는 1.6~2.0 dB(A)의 소음 감소의 향상이 있었으나 이 방법은 경제적이지 못하다.

위에서 알아본 다공성 표면 이외에도 고밀도 아스팔트 콘크리트(dense asphalt concrete), 고밀도 시멘트 콘크리트(dense cement concrete), poroelastic surface⁽⁶⁾, the pavetes surface⁽⁷⁾, rubberized asphalt 등에 대해서도 다양한 실험과 연구(예를 들어 칩 크기(chipping size)나 표면 두께를 달리하거나 표면의 조직을 바꾸어 가면서 실험을 실시함)가 이루어져 왔다. 그 결과는 대부분의 경우 다공성 표면보다 소음 감소량이 작으나 몇몇 경우에 다공성 표면과 유

사한 정도의 소음 감소 효과를 얻을 수 있음을 알았다.

4. 결 론

- 다공성 아스팔트의 경우 도시 지역과 고속도로에 상당한 효과가 있는데, 고속 주행 도로에서 약 5 dB(A) 정도의 소음 감소 효과를 얻을 수 있고, 저속 주행 도로에서는 약 2~4 dB(A) 정도이다. 다층 표면을 이용하거나 공기 함유율을 높이는 방법을 이용하면 저속 주행 도로에서도 5 dB(A) 정도의 감소 효과를 가져올 수 있다.

- 다공성 표면은 강우시에 기준 표면과 비교하여 소음 감소의 효과와 안정성이 탁월한 것으로 나타났다.

- 대부분의 경우 막힘(clogging) 때문에 시간이 지남에 따라 소음 감소 효과가 급격히 떨어진다. 이 막힘은 고속 주행 지역에는 자정 능력이 있기 때문에 저속 주행 지역인 도시 지역에서 더 강조되는 사항이다.

- 고무 알갱이를 포함한 특별한 다공 표면인 poroelastic road surface는 5~10 dB(A) 정도까지도 도로 소음을 줄일 수 있다. 이는 차음벽과 같은 정도의 효과이다.

- 다공성 표면을 인도나 주차장, 터널 등에 사용했을 때에도 도시 소음 감소에 상당히 유용하다.

- 일반적인 아스팔트 콘크리트 표면은 특별한 입경 가적 곡선(grading curve)의 설계로 새것보다 더 많은 감소 효과를 가져올 수 있다.

- 아스팔트 콘크리트는 칩 크기(chipping size)에 의해 소음 방사가 늘기도 하고 줄기도 하는데, 칩 크기를 매우 작게 하면 어떤 경우에는 다공성 표면과 같은 효과를 낼 수도 있다.

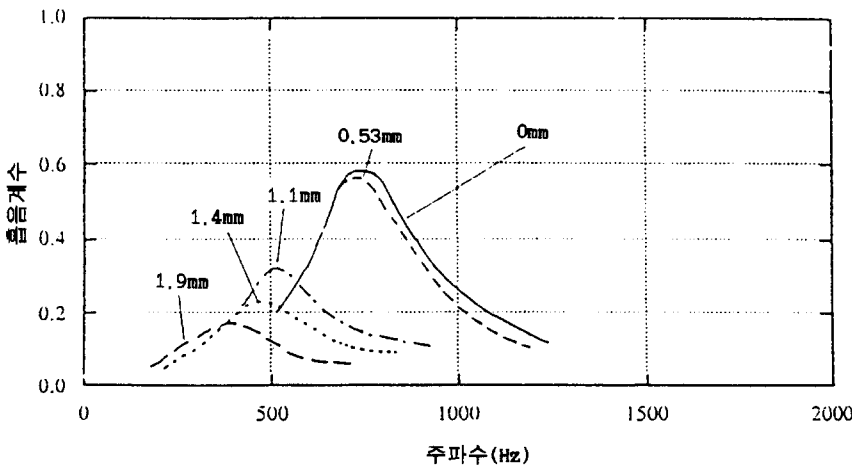


그림 4 강우량이 흡음계수에 미치는 영향

· 시멘트 콘크리트의 경우 종종 다른 표면에 비해 시끄럽다고 인식되고 있으나 표면을 처리하는 방법을 달리하여 저소음의 표면을 얻을 수 있다. 가장 잘 알려진 표면 처리 방법으로는 종방향으로 그라인딩하거나 기존 표면 위에 작은 칩 크기로 덧씌우는 방법이 있다. 이 방법을 사용하면 수명의 반 정도 지난 다공성 표면과 같은 정도의 소음 감소 효과를 얻을 수 있다.

5. 맺 음 말

앞에서 살펴본 각 국의 노력과는 별도로 유럽 공동체(EC)는 1991년에 타이어/도로 접촉에 의해 발생하는 소음을 제한할 수 있는 기준이 1995년 10월 이전에 결정될 수 있다고 발표하고 있으며, 이에 따라 도로 표면과 자동차의 종류에 따른 소음 측정 방법에 대한 표준을 연구하기 위하여 ISO내에 ISO/TC 43/SC 1/WG 33라는 그룹이 1991년 설립되었다. 이와 같이 유럽에선 과거부터 행해온 실제 도로 표면에 대한 연구뿐만 아니라 미래를 내다본 제도적인 측면에까지 관심을 가지고 있음을 알 수 있다.

지금까지 언급한 바와 같이 다공

성 도로 표면에 따른 초기 소음 감소량이 5 dB(A) 이상이고 도로 수명이 다함에 따라 그 감소량은 0 dB(A)가 된다. 그러나, 이 소음 감소량은 저소음 도로 표면에 대한 연구 동기를 제공하기에 충분한 가치가 있다고 생각된다. 이제 국내에서도 자동차 자체의 소음의 제어나 차음벽의 설치뿐 아니라 저소음 도로 표면에 대한 연구가 병행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Ulf Sandberg, 1992, "Low Noise Road Surface. A State of the Art Review," Eurosymposium.
- (2) Lau, K. K., Wong, San., W. H. and Lui, Aaron, S. W., 1994, "The Noise Reduction Performance of Open Textured Road Surfacing Material", Proceeding of the Inter-Noise 94, Yokohama, Japan.
- (3) Meiarashi, S., Ishida, M., Nakashiba, F. and Niimi, H., 1994, "Noise Reduction Factors of Drainage Asphalt Pavement," Proceeding of the Inter-Noise 94, Yokohama, Japan.

- (4) Shima, H., Tomita, N., Masuda, K. and Maruyama, T., 1994, "The Effect of Rain on the Noise Reduction of Porouse Asphalt Pavement," Proceeding of the Inter-Noise 94, Yokohama, Japan.
- (5) Sotrehieier, S. Å. and Arnevik, A., 1990, "Traffic Noise Reduction Through Optimization of Void Distribution in Road Binder Layer and Wearing Course," Proceedings of the International Tyre/Road Noise Conference 1990, Gothenberg, Swedwn.
- (6) Zetterling, T. and Nilsson N. Å., 1990, "Implementation of the Poroelastic Road Surface," Proceedings of the International Tyre/Road Noise Conference 1990, Gothenberg, Swedwn.
- (7) Iwai, S., Miura, Y., Yokokawa, T. and Kobayashi, H., 1990, "Tire/Road Noise Reduction Effect of Porous Pavement and Pavetex Pavement," Proceeding of the International Tyre/Road Noise Conference 1990, Gothenberg, Sweden.