

포장노면 종류에 따른 타이어/노면 마찰 소음의 실험적 평가

An Experimental Evaluation of Friction Noise between Road Surface and Tyre

김진형*·조대승†·최태목*·문성호**·서영국**·박준석***·도천수***
J.H. Kim, D.S. Cho, T.M. Choi, S.H. Mun, Y.G. Seo, J.S. Park, C.S. Do

Key Words : Friction Noise(마찰소음), Road Surface(포장노면), Tyre(타이어), Experimental Evaluation(실험적 평가)

ABSTRACT

In this paper, we present noise measurement results of 8 vehicles. The measurement was done by a close proximity method attaching surface microphones on the test vehicle. For the 9 road surface types constructed at Korean highway test road, the vehicles were tested from 50 to 120 km/h at the interval of 10 km/h in normal steady state and inertia cruising conditions. Using the results, we evaluate and discuss the effect of vehicle noise generation depending on the different conditions for vehicle type, speed, road surface and loading condition, especially focused on friction noise between tyre and road surface.

1. 서론

국내 경제의 지속적인 성장으로 고속도로의 확충과 이용 차량의 증가 및 차량의 대형화와 고속화로 인해 고속도로 교통 소음레벨이 높아지고 있다. 따라서, 고속도로 교통소음으로 인한 민원예방과 함께 효율적이고도 경제적인 소음저감 대책 수립을 위하여 정도 높은 교통소음 예측 기술 마련이 필요하다.

정확한 도로교통 소음예측을 위해서는 소음원에 해당하는 차량 소음 발생 특성 규명이 선행되어야 한다. 고속도로의 경우 차량의 고속 주행으로 인해 엔진/배기계 소음보다는 타이어와 노면간의 마찰소음이 지배적인 것으로 알려져 있다. 또한, 마찰소음은 차종과 주행속도는 물론 포장 종류와 시공 방법에 따라 달리 발생한다. 따라서, 이러한 인자들이 미치는 영향을 정밀하게 파악하여야만 정확한 고속도로 소음 예측과 함께 효율적 저소음 대책 수립이 가능하다.

본 연구에서는 다양한 고속도로 포장 노면 종류와 시공방법에 따른 차종 및 속도별 소음 발생량을 평가하고자 한국도로공사 시험도로에 시공된 아스팔트 포장 4종과 콘크리트 포장 5종에 대하여 총 8대의 차량(승용차, SUV, 소형 트럭,

대형 버스, 트레일러 각 1대, 덤프 트럭 3대)으로 소음계측을 실시하였다. 이때, 차량 소음계측은 타이어 근접 차체에 마이크로폰을 부착하는 CPX(close proximity) 방법을 적용하였으며, 측정 차속과 운전 조건은 차량별 가감속 성능에 따라 60~120 km/h 또는 50~100 km/h 속도구간에서 10 km/h 간격으로 정속 및 관성 주행 조건으로 하였다.

상기의 계측 결과를 이용하여 차량별 소음발생량을 차속에 대한 회귀분석식으로 도출하고, 이를 이용하여 차량차속별 엔진/배기계 소음의 기여도, 포장노면의 종류와 시공 방법에 따른 타이어/노면 마찰소음 발생도 및 차량 하중 효과 등을 상대 평가하였다.

2. 타이어/노면 마찰소음 계측 방법

주행중인 차량의 타이어/노면 마찰소음을 측정하는 방법은 Coast-by 방법, Pass-by 방법, CPX 방법 등이 있으며, 이들 방법의 개요⁽¹⁻³⁾는 Table 1에 나타내었다.

상기 세가지 방법 중 차량에 연결된 트레일러에 마이크로폰을 부착하여 타이어/노면 마찰 소음을 계측하는 CPX 방법⁽²⁾이 실제 시공된 다양한 포장 노면과 타이어간의 마찰소음을 평가하는데 매우 적합하다고 평가되고 있다. 또한, 이 방법은 타이어 근접장에서 소음도를 계측하므로 전달감쇠의 영향을 거의 받지 않는다. 그러나, CPX 방법은 별도의 트레일러에 마이크로폰을 설치함으로 인해 실제 주행 차량의 소음 발생도를 평가하기 곤란하다. 아울러, 차량 주행시 바람이 마이크로폰 계측 신호에 영향을 미쳐 소음계측 결과의 신뢰도를 확보하기가 어려운 점이 있다.

† 부산대학교 조선해양공학과

E-mail : daecho@pusan.ac.kr

Tel : (051) 510-2482, Fax : (051) 512-8836

* (주)크리에이텍

** 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹

*** 부산대학교 조선해양공학과

이에 본 연구에서는 CPX 방법으로 타이어/노면 마찰소음을 측정하되 시험대상 차량에 마이크로폰을 직접 부착하는 방법을 적용하였다. 또한, 마이크로폰은 타이어 부근의 협소한 위치에 설치가 용이하고, 유동장에서도 신뢰성있는 소음 측정이 가능하다고 알려진 Brüel&Kjær사의 Type 4949 마이크로폰을 이용하였다. 상기 마이크로폰의 주요 사양과 외형은 Table 2와 Fig. 1에 각각 나타내었다.

Table 1. Conventional methods to measure friction noise between tyre and road surface

Name	Principle of method
Coast-by	<ul style="list-style-type: none"> ◦Vehicle with test tyres coast-by a microphone on the road shoulder or test track with engine off ◦Test speeds spread out over a range ◦Maximum SPL is measured ◦Reference: ISO/CD 13325
Controlled Pass-by	<ul style="list-style-type: none"> ◦Two selected cars(one small and one large) with selected tyres(4 tyres, 2 per car) pass-by a road-side microphone with engine on ◦Maximum SPL is measured ◦Reference: French standard S31 119
Statistical Pass-by	<ul style="list-style-type: none"> ◦Normal vehicles in traffic(accepted only if not disturbed by others) pass-by a road-side microphone ◦Type of vehicle, speed and maximum SPL are measured ◦Reference: ISO 11819-1
CPX	<ul style="list-style-type: none"> ◦A test tyre on trailer is run over the test area ◦Microphones are mounted close to test tyre. ◦Average SPL over test site is measured. ◦Reference: ISO/CD 11819-2

Table 2. Specification of Brüel&Kjær Type 4949 microphone

Dynamic range	30 dB to 140 dB
Frequency range	5 Hz to 20 kHz
Diameter	20 mm
Height	2.5 mm
Weight	2.0 g

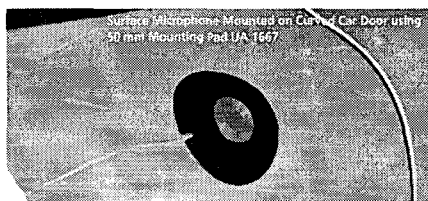


Fig. 1 Picture of the surface microphone

3. 노면/타이어 마찰소음 계측

3.1 시험 대상 노면과 차량

주행중인 차량의 타이어/노면 마찰소음 계측은 한국도로공사 시험도로에 시공되어 있는 9종의 포장 도로에서 8대의 차량으로 수행하였다. 시험 대상 포장 종류와 차량은 Table 3과 Table 4에 각각 나타내었다. 한편, 시험대상 차량에 장착된 타이어의 주요 제원은 참고문헌⁽⁴⁾에 수록되어 있다.

Table 3. Road surface types constructed at the Korean highway test road

Road surface type	Abbreviation	Length(m)
Dense graded asphalt	DGA	149 m
Stone mastic asphalt at bridge	BSMA	272 m
Polymer modified asphalt	PMA	80 m
Stone mastic asphalt	SMA	172 m
Concrete: Artificial grass dragged	ARG	191 m
Concrete: 18mm longi. tinning	L18	179 m
Concrete: 25mm longi. tinning	L25	225 m
Concrete: 30mm horizontal tinning	H30	200 m
Concrete: random tinning	RND	94 m

Table 4. Specifications of test vehicles

Type	Model	Weight(kg)
Automobile	Grandeur L330	1,689
SUV	Musso	1,985
Small truck	BONGO FRONTIER TILT	1,760
Large bus	GRANBIRD HD	12,880
Trailer	SY69t	15,280
25ton dump truck	SCANIA 420 HP	17,250
15ton dump truck I (empty condition)	Super Dix	13,665
15ton dump truck II (full load)	POWERTEC 380	25,760

3.2 계측 시스템의 구성과 설치

차종/차속별 차량 소음과 차속 및 대기 조건을 계측하기 위한 시스템 구성은 Fig. 2에 나타내었다. 소음계측에 있어서 표면 마이크로폰은 차량 당 최소 4개 이상을 좌우 대칭으로 설치하였으며, 이의 부착 위치는 Fig. 3에 예시한 바와 같이 차량 주행시 바람 영향이 가장 적으면서도 마이크로폰 파손 위험이 상대적으로 적은 타이어 축 중심으로 차량 진행 방향 위치에 부착하였다.

3.3 계측 조건

차량별 계측 속도는 승용차, SUV, 대형버스는 60~120

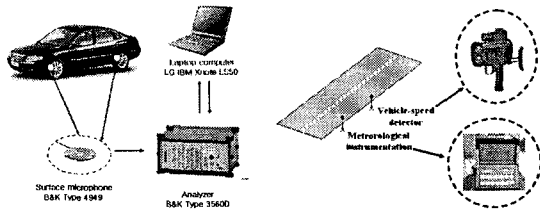
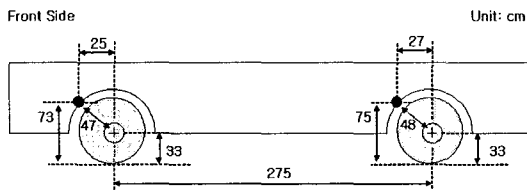
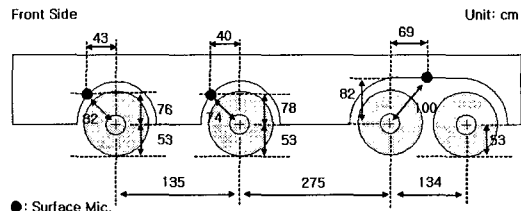


Fig. 2 Configuration of the measurement system



●: Surface Mic.

(a) Automobile



●: Surface Mic.

(b) 25ton dump truck

Fig. 3 Examples of attached location of surface microphone

km/h, 타 차량은 50~100 km/h 속도 범위에 대해서 10 km/h 간격으로 계측을 수행하였다. 상기와 같이 계측 속도 범위를 달리한 것은 시험도로 상에서 해당 속도로 주행하기 위한 차종별 가속 성능이 달랐기 때문이다. 또한, 각각의 시험 속도에서 엔진 부하 상태로 정속 주행하는 상태와 관성 주행상태에 대해 각각 2번씩 계측을 실시하였다. 이때, 관성 주행은 시험도로 구간 진입 직전에 기어 중립 상태로 전환하여 구현하였으며, 차속이 설정 속도보다 3 km/h 이상 저하될 경우 소음 계측을 종료하였다. 상기와 같이 관성 주행 소음을 계측한 것은 타이어/노면 마찰 소음 계측에 있어서 엔진/배기관 소음을 최소화하기 위한 것이다.

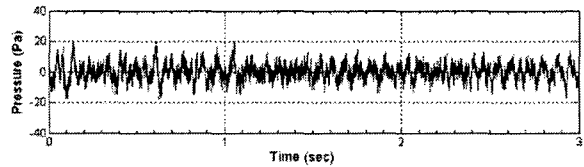
상기 시험에 있어서 차량의 실제 속도는 레이저 속도계 또는 차량에 장착된 GPS로 측정하였다. 또한, 소음계측시의 기상 조건은 전체 시험도로 중앙부 노면에서 계측하였다.

4. 계측 및 분석 결과

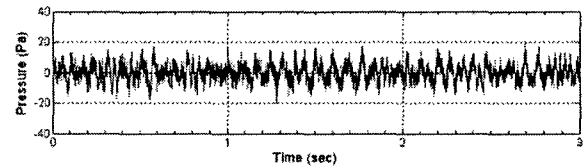
4.1 계측 결과

시험 대상 차량의 시동을 끈 상태에서 표면 마이크로폰으로 15분간의 등가 압소음도를 계측한 결과는 실제 차량 주행 시험시 계측된 소음도보다 최소 6 dB 이상 낮았다. 이에 본 연구에서는 압소음의 영향은 무시하였다.

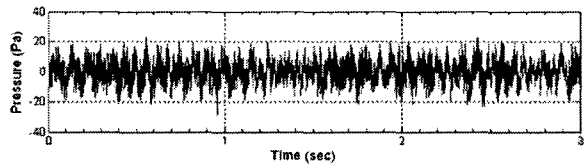
Fig. 4에는 일반밀입도 아스팔트(DGA) 및 30mm 횡방향 타이닝을 갖는 콘크리트 포장구간에서 대형 버스가 100 km/h로 정상 및 관성 주행할 경우의 소음 시간 이력을 예시하였다. 이로부터 계측된 소음 신호는 포장노면의 종류와 운전 방법에 따른 특성이 잘 나타남을 확인할 수 있다.



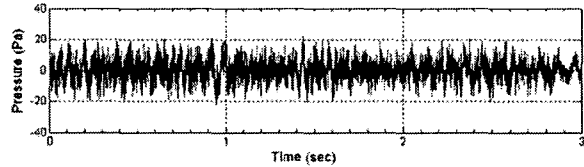
(a) Normal cruising condition at DGA surface road



(b) Inertia cruising condition at DGA surface road



(c) Normal cruising condition at H30 concrete surface road



(d) Inertia cruising condition at H30 concrete surface road

Fig. 4 Time history of noise measured by CPX method: Large bus, 100 km/h

4.2 CPX 계측 차량 소음도 회귀 분석 결과

최소 4개의 표면 마이크로폰으로 계측한 신호의 시간 평균 등가 소음도는 부착 위치에 따라 대부분의 경우에 2 dB 이내의 차이를 나타내었다. 이에 본 연구에서는 차량차속 및 포장 노면 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 다음과 같이 평가하였다⁽⁴⁾.

$$a + b \log V \quad (1)$$

여기서, V 는 차속(km/h)이고, a , b 는 회귀분석에 의해 결정되는 계수로서, a 는 차량 기본 소음도, b 는 속도에 대한 로그 비례항을 나타낸다.

Table 5에는 상기의 방법으로 포장노면 종류별로 도출한

차량별 A-가중치 총합 소음도 산정계수의 최대값과 최소값을 차량별로 나타내었다. 또한, Fig. 5에는 대형버스에 대한 포장노면별 총합 소음도 회귀 곡선을 제시하였으며, Fig. 6에는 대형 버스의 엔진 부하상태 정속 주행시와 관성 주행시의 소음도 발생량 차이를 평가한 결과를 나타내었다.

상기 결과로부터 차속에 따른 소음 증가도는 포장노면 종류별로 다소 차이가 있음을 확인할 수 있다. 또한, 정상 및 관성 주행시의 총합소음도는 정상 상태가 관성 상태보다 모두 크고, 이의 최대 차이는 시속 100 km/h 기준으로 승용차 1.8 dB, SUV 1.1 dB, 소형트럭 3.5 dB, 대형 버스 3 dB, 트레일러 8 dB, 덤프 트럭은 만차시 6.1 dB, 공차시 5.2 dB인 것으로 평가되었다. 아울러, 50 km/h 이상의 속도에서도 엔진 및 배기관 소음이 차량 전체 소음에 영향을 미치되 대형 차종일수록 그 기여도가 큼을 확인하였다⁽⁴⁾.

4.3 포장노면 종류별 타이어/노면 마찰소음 분석 결과

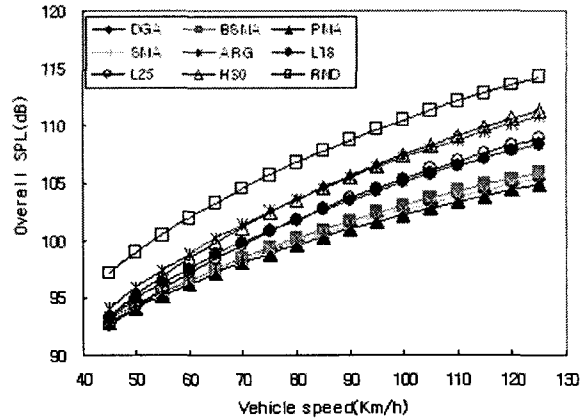
Fig. 7에는 엔진/배기계 소음을 최소화한 관성 주행시 일반밀입도 아스팔트(DGA) 포장에 대한 타 포장에서의 총합 소음도 차이값을 나타내었다.

상기의 결과로부터 차량에 상관없이 차속이 증가할수록 포장 노면 종류에 따른 소음 발생도 차이가 대체적으로 커져 100 km/h 기준으로 최대 10 dB까지 차이 남을 확인할 수 있다. 또한, 아스팔트 포장류의 경우 타이어/노면 소음 발생 경향은 승용차, SUV, 소형트럭, 대형 버스 주행시에는 PMA 포장이 가장 소음 발생도가 적은 반면에 차속 당 하중이 상대적으로 큰 트레일러와 덤프트럭의 경우엔 SMA 포장이 가장 소음 발생도가 낮은 것으로 나타났다. 그러나, 아스팔트 계열의 포장은 소음 발생도 차이가 대부분의 경우

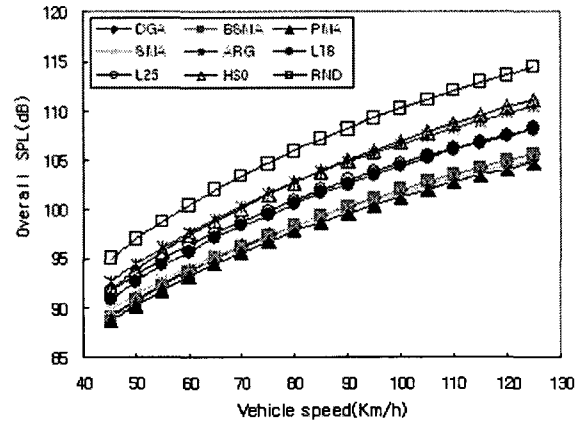
Table 5. Minimum and maximum values of vehicle noise regression coefficients for 9 road surfaces

Vehicle type	Normal cruising condition				Inertia cruising condition			
	a		b		a		b	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Automobile	30.6	42.2	30.2	41.1	25.7	36.5	33.2	43.3
SUV	38.6	48.0	28.2	36.2	36.8	46.8	28.4	36.9
Small truck	25.9	36.2	35.6	40.6	32.2	40.5	31.8	37.4
Large bus	26.6	48.0	27.1	40.4	20.5	33.5	34.1	43.7
Trailer	43.7	70.3	17.8	33.7	26.1	42.5	30.2	40.5
25ton dump truck (empty condition)	23.6	41.2	35.6	43.6	24.2	43.0	31.3	41.5
25ton dump truck (full load)	28.3	54.9	28.9	43.0	17.9	42.6	33.9	45.3
15ton dump truck I (empty condition)	33.2	48.8	29.3	37.5	22.7	31.3	38.0	42.0
15ton dump truck II (full load)	42.4	50.4	27.4	33.2	22.8	47.2	28.7	40.4

에 1 dB를 초과하지 않으며, 최대 차이값도 1.6 dB에 불과하다. 한편, 15ton 덤프트럭의 시험결과가 타 시험결과와는 달리 교량부 SMA 구간에서 소음발생도가 가장 큰 것으로 측정되었는데 이는 교량 이음부 통과시 적재함의 충격음 때



(a) Normal cruising condition



(b) Inertia cruising condition

Fig. 5 Regression curve of A-weighted overall SPL emitted by large bus

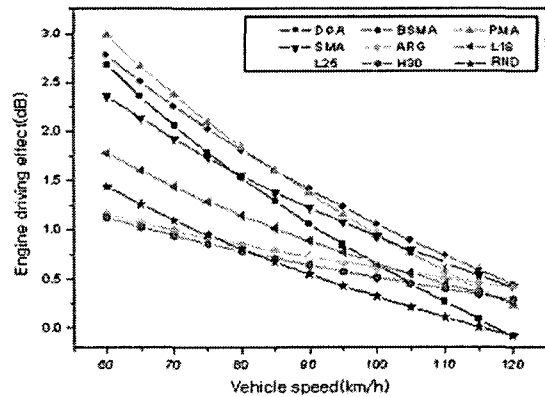
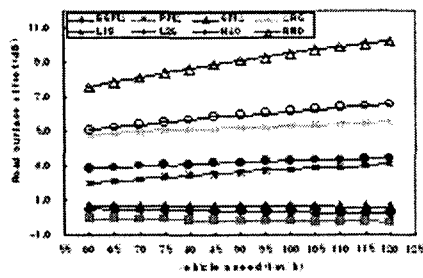
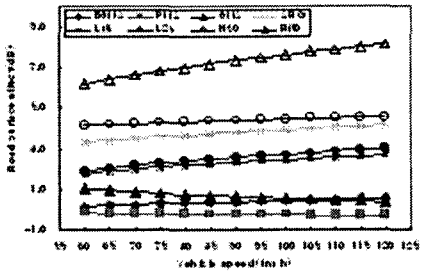


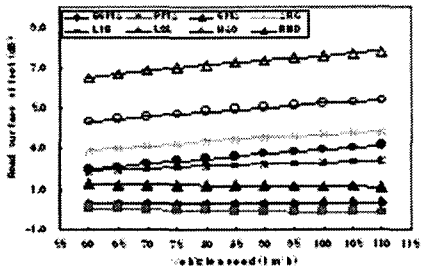
Fig. 6 Difference of noise emission between normal and inertia conditions for large bus



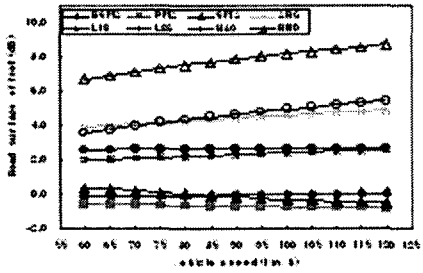
(a) Automobile



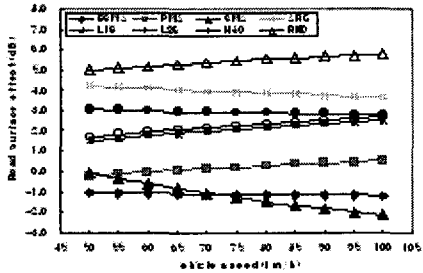
(b) SUV



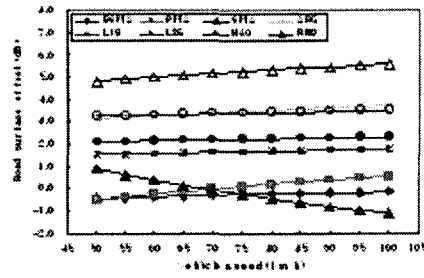
(c) Small truck



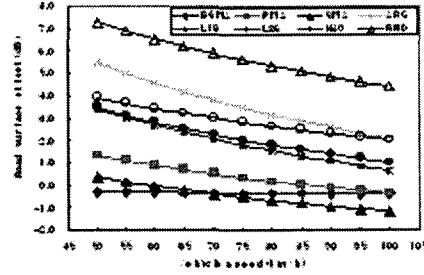
(d) Large bus



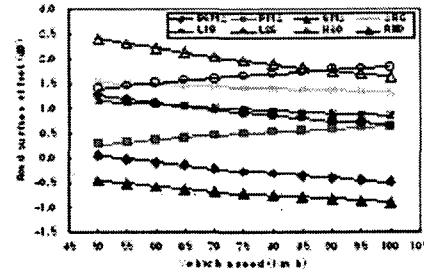
(e) Trailer



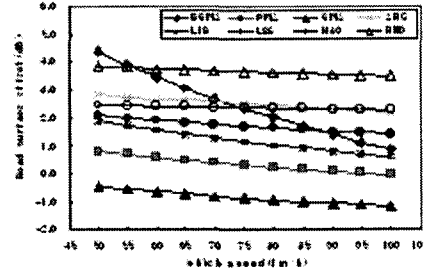
(f) 25ton dump truck (empty condition)



(g) 25ton dump truck (full load)



(h) 15ton dump truck (empty condition)



(i) 15ton dump truck II (full load)

Fig. 7 Road surface effect in dB with respect to DGA surface in inertia cruising condition

문인 것으로 판단한다.

콘크리트 포장의 경우 만재상태 15톤 덤프트럭의 교량부 SMA 구간을 제외한 모든 경우에 아스팔트 포장류보다 큰 소음이 발생하는 것으로 평가되었다. 또한, 콘크리트 포장 시공 방법별로는 차량별로 다소간의 차이가 있으나 대부분의 경우에 18mm 종방향 타이닝 콘크리트 포장이 가장 소음이 적게 유발되었다. 아울러, 15톤 덤프트럭을 제외하곤 랜덤 횡 타이닝 포장이 가장 큰 소음을 유발하였다. 따라서, 랜덤 횡 타이닝 포장은 차속 등에 따른 타이닝 간격의 배치가 최적화되지 않을 경우 통상적으로 시공되고 있는 30mm 횡 타이닝 포장보다도 더 높은 소음을 유발할 것으로 판단한다.

상기의 결과로부터 콘크리트 포장의 경우 시공방법과 차량 종류에 따라 100 km/h 기준 최대 7 dB까지 타이어/노면 마찰소음이 차이가 나므로 시공방법 선정에 세심한 주의가 필요하다고 판단한다.

4.4 차축 하중 효과

25ton 덤프 트럭을 대상으로 화물 적재 상태에 따른 차축 하중이 다를 경우의 타이어/노면 마찰 소음 발생량 차이를 확인하기 위해서 관성 주행상태의 만재 상태 A-가중치 등가 소음도에서 공차 상태 A-가중치 등가 소음도를 뺀 값을 Fig. 8에 나타내었다.

상기 결과로부터 대부분의 경우 축당 부하가 큰 만재 상태에서 소음이 높게 나타나 50 km/h에서는 최대 3.4 dB 까지 차이나나, 80 km/h 이상의 속도에서는 ± 1 dB 이내의 차이를 나타냄을 확인할 수 있다.

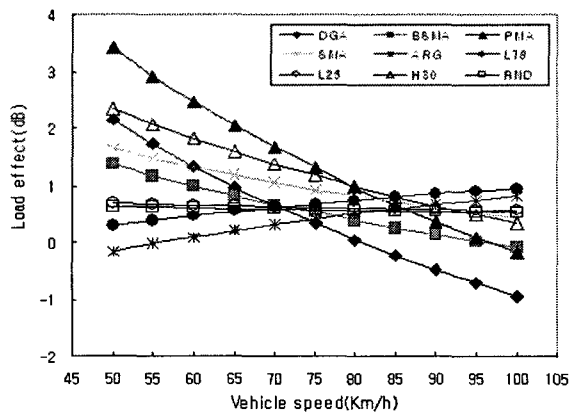


Fig. 8 Vehicle load effect in dB with respect to the empty condition for 25ton dump truck

5. 결론

본 연구에서는 다양한 고속도로 노면 종류와 시공방법에 따른 타이어/노면간의 마찰소음 발생도를 비교평가하고자

한국도로공사 시험도로에 시공되어 있는 9종의 포장 도로에서 8대의 차량을 이용해서 정상 및 관성 주행시의 차량 소음도를 CPX 방법으로 계측분석하였다. 그 결과 타이어/노면 마찰소음이 지배적인 관성 주행시에 노면 종류와 시공방법에 따라 100 km/h 기준으로 최대 10 dB까지 차량 소음 발생량이 차이가 나고, 동일 재료의 콘크리트 포장인 경우에도 시공 방법에 따라 최대 7 dB까지 소음 발생도가 차이를 확인하였다. 아울러, 차량차속별 엔진/배기계 소음의 영향과 축 부하에 따른 영향 등을 정량적으로 평가하였다.

이에 본 연구에서 적용한 CPX 계측분석 방법과 결과는 저소음 도로 포장 개발은 물론 차량 소음 발생원 규명 등에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단한다.

후 기

본 연구는 한국도로공사 도로교통기술원과 첨단조선공학 연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Ulf Sandberg, 1997, "Influence of Road Surface Texture on Traffic Characteristics Related to Environment, Economy and Safety. A State-of-the art Study Regarding Measures and Measuring Methods", VTI notat 53A-1997, Swedish National Road Administration, 1997.
- (2) ISO 11819-1, 1997, "Acoustics - Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise - Part 1. The Statistical Pass-by Method", ISO.
- (3) ISO/CD 11819-2, 2000, "Acoustics - Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise - Part 2. The Close Proximity Method", ISO.
- (4) 조대승 등, 2005, "고속도로 포장노면과 타이어간의 마찰음 분석 및 평가 기법 연구(I)", 한국도로공사 도로교통 기술원.