

소음이동측정차량 공정시험기준 도출에 관한 연구

¹시민생활연구팀, ²서울시립대학교 환경공학부

임성철^{1*} · 성시홍¹ · 신덕영¹ · 이희선¹ · 류인철¹
김익수¹ · 어수미¹ · 장서일² · 박태호² · 장채미²

The Derivation of Noise and Vibration Standards Using a Mobile Noise Monitoring Vehicle

¹*Citizen Life Environment Research Team, ²Institute of Urban Science, University of Seoul*

¹Sung-chul Lim, ¹Si-hong Sung, ¹Deok-young Shin,
¹Hee-sun Lee, ¹In-cheol Ryu, ¹Ik-soo Kim, ¹Soo-mi Eo,
²Seo-il Chang, ²Tae-ho Park and ²Chae-mi Jang

Abstract

The Noise and Vibration Standard Method has a height of the measuring point defined as 1.2 to 1.5 m above the ground. However, the noise mobile monitoring vehicle has no reference to measure height to meet the Noise and Vibration Standard Method. Therefore, the reliability of data measured using the mobile noise monitoring vehicle is questionable. This study analyzed the difference between noise from a ground height of 1.5 m and noise from a vehicle height of 2.5 m. A difference of more than ± 1 dB would suggest that a revision to the Noise and Vibration Standard Method is necessary. The noise was continuously measured at 1 s intervals at seven locations.

Thirty random noise levels from ground and vehicle heights were extracted from the data. Then five and ten equivalent continuous sound levels were obtained for each of the 30 data points. The relative coefficient between ground and vehicle noise level was analyzed using SPSS 20.0. The root mean square error(RMSE) was analyzed using the Excel functions *Power* and *Sqrt*. The pink noise levels for the ground and vehicle were 0.02 dBA(RMSE 0.20 dBA) and 0.07 dBA(RMSE 0.08 dBA), respectively, which were within ± 0.3 dBA of the measurement error for Class 1 sound level. Except for Gangbyeonbungno, the noise difference between the road traffic and environment noise was -0.91 dBA(RMSE 1.00 dBA) and 0.79 dBA(RMSE 1.01 dBA). These values were within the accuracy of the Class 1 meter sound level, ± 1 dBA, which is prescribed by the

American National Standards Institute. The noise difference at Gangbyeonbukno was -1.76 dBA(RMSE 1.76 dBA) to -1.75 dBA(RMSE 1.75 dBA), which exceeded ± 1 dBA. A revision of the Noise and Vibration Standard Method is suggested, as the noise difference between the ground and vehicle exceeded ± 1 dBA, however, additional tests in various environments are required first.

Key words : noise, mobile noise monitoring vehicle, Noise and Vibration Standard Method

서 론

급격한 산업화 과정에서 도시 지역으로의 인구 집중과 노후된 도시의 재개발, 재건축, 차량보급대수의 증가 및 도로의 확충 등으로 인하여 많은 소음문제가 발생하고 있다. 소득수준의 향상으로 쾌적한 삶을 요구하는 시민들의 의식수준이 증가함에 따라 소음민원 또한 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 소음은 감각적 공해로 국소적으로 발생하며 축적성이 없는 특징을 가지고 있어(1) 소음 발생이 중단되면 발생 소음도가 어느 정도인지 확인할 수 없다. 일반적으로 건설 공사 등으로 인한 소음 민원이 발생하면 담당 공무원들이 휴대용 소음계로 소음피해지역에서 소음을 측정하게 된다. 그러나 건설사에서 소음을 측정하는 것을 발견하게 되면 발생 소음도가 기준치를 초과할 것을 우려하여 일시적으로 해당 작업을 중단하여 소음을 측정할 수 없는 상황이 발생하곤 한다. 이러한 문제점을 해결하고자 서울시 보건환경연구원에서는 2012년에 24시간 연속측정이 가능한 소음이동측정차량을 도입하여 공사장, 사업장 등의 생활소음과 도로교통소음 등의 민원 발생 시 신속하게 대응하고 있으며, 필요한 경우 장기간에 걸쳐 지속적인 모니터링을 통하여 민원을 해결하고 있다. 소음이동측정차량의 외국 운영사례를 보면 스페인 마드리드에서는 4m 높이의 지지대와 GPS, 소음계, 장기간 사용 가능한 배터리 등의 장비를 갖춘 경차 6대를 이용하여 소음지도 제작에 활용하고 있으며(2~3), 마카오는 250m×250m 그리드 간격으로 소음측정차량 120대를 수일간 설치하여 환경소음정책의 자료로 활용하고 있다(4).

『소음·진동 공정시험기준』에서 측정점의 높이는 지면 위 1.2~1.5m로 규정하고, 상시측정망의 경우 지면 위 1.2~5.0m로 정의하고 있으나(5), 소음이동측정차량에 대한 규정은 없는 상태이다. 따라서 소음이동측정차량의 공정시험기준 부재로 측정된 데이터의 신뢰성에 의문이 제기될 수 있는 상황이다. 본 연구에서는 『소음·진동 공정시험기준』에서 규정하고 있는 지면 1.5m 높이에서 휴대용 소음계의 소음측정자료와 소음이동측정차량(지면 2.5m 높이)에서의 소음도 차이를 조사하여, 그 차이가 ± 1.0 dBA 이내인 경우 환경부에 『소음·진동 공정시험기준』에 소음이동측정차량에 의한 소음측정법 추가 개정을 건의하고자 한다.

연구방법

1) 측정장소 및 측정장비

휴대용 소음계와 이동소음측정차량의 소음도 차이를 분석하기 위해 사용된 장비구성은 표 1과 같으며, 측정기간 중 B & K 소음계를 국립환경과학원에 정도검사 의뢰함에 따라 정도검사를 받은 CESVA 소음계로 대체하여 소음비교측정을 실시하였다.

지면의 소음도와 차량 지붕 소음도와와의 차이를 평가하기 위해 총 7개 지점에서 측정하였다. 측정지점 중 강변북로는 원효로2가에 위치하고 있는 편도 4차선 자동차 전용도로로 제한속도는 시속 80km이며, 직선구간이 끝나고 곡선구간이 시작되는 위치로 측정기간 동안 지정체가 가끔 발생하였다. 측정차량은 중앙분리대 옆에 차량 주행 방향의

Table 1. Noise Measuring Equipment

장비명	모델명	수량	용도
마이크로폰	B&K, 4189	2	소음측정용 센서
	CESVA, PA13	2	
소음계	B&K, 2270	2	측정소음 저장 및 분석
	CESVA, SC-310	2	
Calibrator	RION, NC-73	1	마이크로폰 감도 교정
음발생기	CESVA, AP602	1	Pink noise 발생
무지향성 스피커	CESVA, BP012	1	전 방향에 동일크기의 소음발생
방풍망	B&K, UA0237	2	바람 유발 소음 저감
삼각대	B&K, UA0801	2	소음계 부착

이면도로에 설치하였으며, 시내버스 등의 차량이 통과하는 일방통행 도로이며, 측정차량에서 약 15 m 거리에 아파트가 위치하고 있다.

강남구 세곡동 현릉로는 8차선의 도로로 제한속도는 60 km이며, 측정차량에서 약 60 m 전방에 신호등과 횡단보도가 있다. 측정차량에서 40 m 이격 거리에 하천이 있으며 마을버스와 승용차가 측정지점 부근에서 공회전 등을 하여 측정에 영향을 주었다. 과천시 중앙로 선바위역은 9차선의 도로이며 제한속도는 60 km로 측정차량에서 약 40 m 전방에 차량 정지선이 있다. 측정기간 중 측정지점 인근의 공사차량이 측정차량에 인접해 공회전 등을 하여 측정에 다소 영향을 주었다. 보건환경연구원에서의 측정은 테니스장 옆 주차장에서 핑크노이즈 2회와 생활소음 2회의 측정을 하였다(그림 1).

2) 측정 및 평가방법

소음 측정은 2017년 1월 3일부터 21일까지 7지점에서 실시하였다. 측정 전 calibrator(1 kHz에서 93.25 음압레벨 발생)로 교정을 실시하였다. 동일 제품의 정밀급(class1) 소음계를 삼각대에 고정된 상태에서 지상 1.5 m 높이와 소음이동측정차량의 지붕(지상 2.5 m 높이)에 각각 설치한 후, 청감 보정회로 A, 동특성 Fast, 저장은 1초 간격으로 측정지점에 따라 40분~150분 연속 측정하였다.

도로교통소음 측정지점인 강변북로, 현릉로, 선

바위역에서는 소음측정차량을 차량주행방향과 동일한 방향으로 주차하였다. 지면 삼각대는 강변북로는 차량 전방 3 m 이격 지점에 설치하였고, 현릉로 및 선바위역에서는 차량 후방 3 m 이격 지점에 설치하였다(그림 2).

핑크노이즈(Pink Noise)는 재생주파수 대역에서 동일하게 들리도록 인위적으로 만든 신호로, 본 연구에서는 실험적인 조건에서 측정하기 위해 그림 3과 같이 연구원 주차장에 음발생기와 무지향성 스피커를 지상 1.2 m 높이에 설치하여 모든 방향(360°)으로 핑크노이즈를 발생하였다. 소음계에서의 측정값이 각각 60 dBA, 70 dBA가 나오도록 음발생기의 게인(gain) 값을 조정하였다.

그림 3의 왼쪽 사진은 차량을 음발생기와 세로 방향으로 주차하고, 차량과 지면에 설치된 소음계의 양 옆에 차량이 있는 상태에서 측정하였다. 오른쪽 사진은 토요일에 생활소음의 발생이 거의 없는 상태에서 측정하였다. 차량을 음발생기에 가로 방향으로 주차하고, 차량과 지면에 설치된 소음계(CESVA, SC-310) 3 m 이내에 장애물이 없는 상태에서 측정하였다.

생활소음 측정은 핑크노이즈잡음 측정과 동일한 조건에서 진행하였으며, 주차장 부근에서 발생하는 대화소리, 쓰레기 버리는 소리, 항공기 소음 등을 측정하였다.

1초 간격으로 측정된 자료는 엑셀 랜덤 추출함수 RANDBETWEEN을 사용하여 지점별로 지면

과 차량 소음도를 각각 30개씩 추출한 후, 30개의 연속 5분과 10분의 등가소음도(Leq, Equivalent Continuous Sound Level)를 구하였다. 지면 소음도와 차량 소음도의 상관성을 파악하기 위해 SPSS Statistics 20.0 프로그램을 사용하여 상관 분석을 하였으며, 지면과 차량이 소음도에서 추출하여 구한 소음도의 평균값과 실제 환경에서 소음도와와의 오차 가능성을 계산하기 위해 엑셀 함수 POWER와 SQRT를 사용하여 RMSE(평균 표준화 오차)를 구하였다.

결과 및 고찰

『소음·진동 공정시험기준』 중 환경소음과 생활

소음 분석방법은 5분 이상, 도로교통소음은 10분 이상 연속 측정하여 자동 연산·기록한 등가소음도를 측정소음도로 규정하고 있어, 1초 간격으로 측정된 7개 측정지점에서의 지면과 차량 소음도를 각각 5분 등가소음도와 10분 등가소음도 30개를 랜덤 추출하여 분석하였다.

핑크노이즈 측정시 연구원 주차장 배경소음은 대략 50 dBA 정도였고, 음발생기와 소음계와의 거리는 약 8 m이며, 발생한 소음이 소음계에서 세로 방향 주차시 66d BA, 가로 방향 주차시 70 dBA와 60 dBA로 측정되도록 음발생기의 계인 값을 조정하여 핑크노이즈가 주소음원이 되도록 설정하였다.

연구원에서 핑크노이즈와 생활소음의 세로방향 측정시에는 그림 3의 왼쪽사진에서와 같이 지면



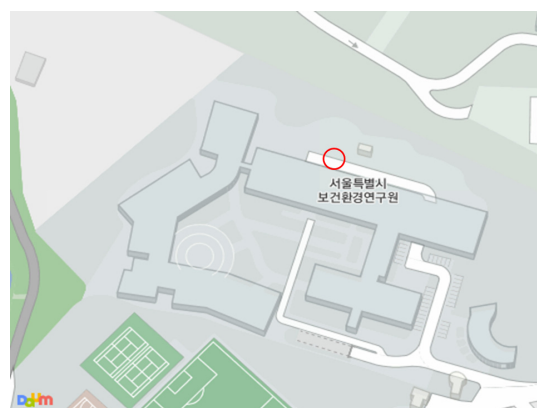
〈강변북로 원효로 2가〉



〈강남구 현릉로〉



〈과천시 중앙로 선바위역〉



〈서울시 보건환경연구원〉

Fig. 1. Noise Measurement points.

소음계의 양쪽에 차량이 있고, 지면소음계와 차량과의 이격거리가 1.5 m인 상태에서 측정하였다. 그림 4는 1초 간격으로 측정한 지면과 차량소음도와의 산점도(scatter plot)를 표시한 것으로, 지면소음도와 차 소음도와의 상관관계를 설명하는 R^2 (결정계수, R-squared)와 추세선 수식을 나타내고 있다. (a)와 (c)는 세로방향에서 측정한 핑크노이즈와 생활소음의 R^2 값으로 각각 0.55와 0.15로 각각 나타났다. 『소음·진동 공정시험기준』에서 소음 측정점의 규정은 측정지점에 높이가 1.5 m를 초과하는 장애물이 있는 경우에는 장애물로부터 소음원 방향으로 1.0~3.5 m 떨어진 지점에서 측정하도록 정의하고 있다. 세로 방향 측정에서 R^2

값이 낮은 원인이 지면 소음계와 차량이 인접해 있어 반사음 등의 영향을 받은 것으로 판단되어, 그림 3의 오른쪽 사진과 같이 소음 측정차와 지면소음계는 가로 방향으로 차량에서 3.0 m 이격하여 (b) 핑크노이즈와 (d) 생활소음을 측정하였으며 R^2 값은 각각 0.99와 0.88로 세로방향 측정시보다 증가하였다. (e)와 (f), (g)는 각각 교차로인 현릉로, 선바위역과 자동차 전용도로인 강변북로의 R^2 값을 나타낸 것으로, R^2 값은 각각 0.91, 0.92, 0.93으로 지면소음과 차량소음이 강한 상관성을 갖는 것으로 나타났다.

표 2는 1초 등가소음도를 300초씩 30회 추출하여 통계 분석한 자료이다. 표 2에서 2회의 핑크노



〈서울시 용산구 원효로2가 강변북로〉



〈과천시 중앙로 선바위역 교차로〉

Fig. 2. Road Traffic Noise Measurements in Gangbyeonbukno and Seonbawi Station with noise mobile monitoring vehicle and portable sound level meters.



Fig. 3. Pink Noise Measurements in Research Institute of Public Health and Environment with noise mobile monitoring vehicle and portable sound level meters.

Table 2. 5minute Leq comparison of average, correlation coefficient(**<0.01), RMSE between noise mobile monitoring vehicle and potable sound level meters

측정 지점	주차 방향	측정 위치	측정 소음	추출 횟수	평균 [dBA]	평균차 (지면-차량)	표준편차 [dBA]	Pearson 상관계수	유의확률 (양쪽)	RMSE (평균제곱근오차)
연구원	세로	지면	핑크 노이즈	30	66.30	0.07	0.04562	0.932**	0.000	0.076216
		차량			66.23		0.05157			
	가로	지면	67.12		-0.02	4.21463	0.999**	0.000	0.195873	
		차량	67.14			4.22066				
	세로	지면	생활 소음		50.19	-0.85	0.73218	0.854**	0.000	0.940427
		차량			51.04		0.47412			
가로	지면	50.15	-0.90	0.74224	0.857**	0.000	0.99744			
	차량	51.05		0.46118						
강변북로	가로	지면		77.79	-1.76	2.33625	0.998**	0.000	1.764065	
		차량		79.55		2.29849				
현릉로	가로	지면	도로 교통 소음	72.16	0.55	0.73051	0.957**	0.000	0.595079	
		차량	71.61	0.66117						
선바위역	가로	지면		72.58	0.68	1.69872	0.961**	0.000	0.896222	
		차량		71.90		1.26206				

이즈 측정은 지면 1.5 m와 차량 2.5 m 높이와의 상관계수가 0.932($p < 0.01$), 0.999($p < 0.01$)로 매우 강한 양의 상관관계를 나타내고 있고, 소음도의 평균차도 0.07 dBA(RMSE 0.08), -0.02 dBA(RMSE 0.20)으로 class1(정밀) 소음계의 측정오차 범위인 ± 0.3 dBA 이내로 나타나고 있다. 마이크로폰은 지향성이 있지만 무지향성 스피커에서 모든 방향으로 방사된 동일한 크기의 음압레벨이 마이크로폰으로 입사하기 때문에 소음도의 차이가 거의 나타나지 않는 것으로 판단된다. 핑크 노이즈의 가로방향 표준편차가 약 4.22 dBA 정도로 다소 크게 나타나는 이유는 그림 4의 b에서 볼 수 있듯이 음발생기의 게인값을 조정하여 소음계에서 일정시간 간격으로 60 dBA와 70 dBA로 측정하였기 때문이다.

생활소음과 도로교통소음 측정 결과도 지면과 차량과의 상관계수는 0.857($p < 0.01$)~0.998(p

< 0.01)로 매우 높게 나타나고 있으며, 지면과 차량의 소음도 평균차는 -1.76 dBA(RMSE 1.76)~0.55 dBA(RMSE 0.60)로 강변북로를 제외하고는 지면과 차량의 소음도 평균차와 RMSE가 ± 1.0 dBA 범위로 나타났다. 도로교통소음 측정 3지점 중 교차로인 현릉로와 선바위역은 지면이 차량보다 소음도가 높게 나타났으나, 자동차 전용도로인 강변북로는 상관계수가 0.998($p < 0.01$)로 강한 상관관계가 있었으며 차량이 지면보다 소음도가 1.76 dBA 높게 나타났다.

표 3은 도로교통소음 측정지점에서의 10분 등가 소음도를 나타내고 있다. 지면과 차량의 10분 등가 소음도 평균차는 현릉로와 선바위역은 0.79 dBA(RMSE 1.02), 0.73 dBA(RMSE 0.90)로 5분 등가소음도의 평균차보다 다소 증가하였다.

차량이 가속 주행 시에는 엔진소음의 영향이 탁월하지만(6), 시속 40 km/h 이상으로 정상 주행 시에

Table 3. 10 minute Leq comparison of average, correlation coefficient(**<0.01), RMSE between noise mobile monitoring vehicle and potable sound level meters

측정 지점	주차 방향	측정 위치	측정 소음	추출 횟수	평균 [dBA]	평균차 (지면-차량)	표준편차 [dBA]	Pearson 상관계수	유의 확률 (양쪽)	RMSE (평균계급근오차)
강변북로		지면			77.76		2.2033			
		차량			79.51	-1.75	2.1857	0.999**	0.000	1.751314
현릉로 가로		지면	도로 교통 소음	30	72.48		1.0579			
		차량			71.69	0.79	0.5714	0.838**	0.000	1.019048
선바위역		지면			72.59		1.6102			
		차량			71.86	0.73	1.1117	0.968**	0.000	0.943258

는 도로/타이어 마찰 소음이 45~95%의 영향을 주는 것으로 알려져 있다(7). 강변북로의 지면 측정 소음계는 그림 2에서 보이는 것처럼 콘크리트 중앙분리대 옆에 설치하였으며, 도로/타이어 마찰 소음의 발생 위치가 낮아 발생음의 일부가 중앙분리대에 차단됨에 따라 차량의 소음이 지면의 소음보다 1.76 dBA 정도 크게 나타난 것으로 판단된다.

결론

서울시 보건환경연구원에서는 2012년부터 소음 이동측정차량을 운영하고 있으나 소음진동공정시험기준에는 소음이동측정차량의 측정높이에 대한 규정은 없는 상태이다. 환경소음 중 소음측정방법에서 측정점의 높이는 일반지역의 지면 위 1.2~1.5 m와 상시측정용의 경우는 지면 위 1.2~5.0 m로 정의하고 있다. 소음이동측정차량의 소음측정 높이는 약 2.5~3.5 m 정도이며, 본 연구에서는 지면 위 1.5 m 높이와 차량 소음측정높이 2.5 m에서의 소음도 차이를 조사하였다. 소음은 1초 간격으로 7개 지점에서 측정하였으며, 핑크노이즈와 생활소음은 300초씩 30회 추출하였고 도로교통소음은 300초와 600초씩 30회 추출하여 분석하였다. 음 발생기에서 무지향성 스피커를 통해 발생한 핑크노이즈는 모든 방향으로 방사되어 마이크로폰으로 입

사됨에 따라 지면과 차량의 소음도 차는 0.07 dBA(RMSE 0.08)과 -0.02 dBA(RMSE 0.20)로 분석되어 class1(정밀) 소음계의 측정오차 범위인 ±0.3 이내로 나타났다. 반면에 실제 환경조건에서 측정시 지면과 차량의 소음도 차는 핑크노이즈 측정보다 다소 크게 나타났다. 생활소음과 도로교통소음의 경우는 강변북로 지점을 제외하고는 지면과 차량의 5분 등가소음도 차가 -0.91 dBA(RMSE 1.00)~0.79 dBA(RMSE 1.02)로 ±1.0 dBA 이내인 것으로 나타났으며, 중앙분리대 옆에서 측정한 강변북로의 경우 지면과 차량의 5분 및 10분 등가소음도 차가 -1.75 dBA(RMSE 1.75)와 -1.76 dBA(RMSE 1.76)로 다소 크게 나타났다.

미국표준협회(ANSI, American National Standards Institute) S1.4-1983(R2007)는 class1 소음계의 정확도를 ±1.0 dBA로 규정하고 있으나(9), 강변북로에서는 휴대용 소음계와 소음이동측정차량의 소음도 차이가 ±1.0 dBA를 초과하는 것으로 분석되었다. 동일한 환경에서 휴대용 소음계 1.5 m와 소음이동측정차량 2.5 m 높이에서 측정된 소음도의 차이가 ±1.0 dBA를 상회함에 따라 환경부에 소음이동측정차량의 공정시험기준 개정을 건의하기 위해서는 추가적으로 다양한 환경에서 높이별 소음 비교측정이 필요하며, 측정환경에 따라 지면소음과 차량소음의 차이가 큰 경우 적절한 보정계수를 도출할 필요가 있을 것으로 판단된다.

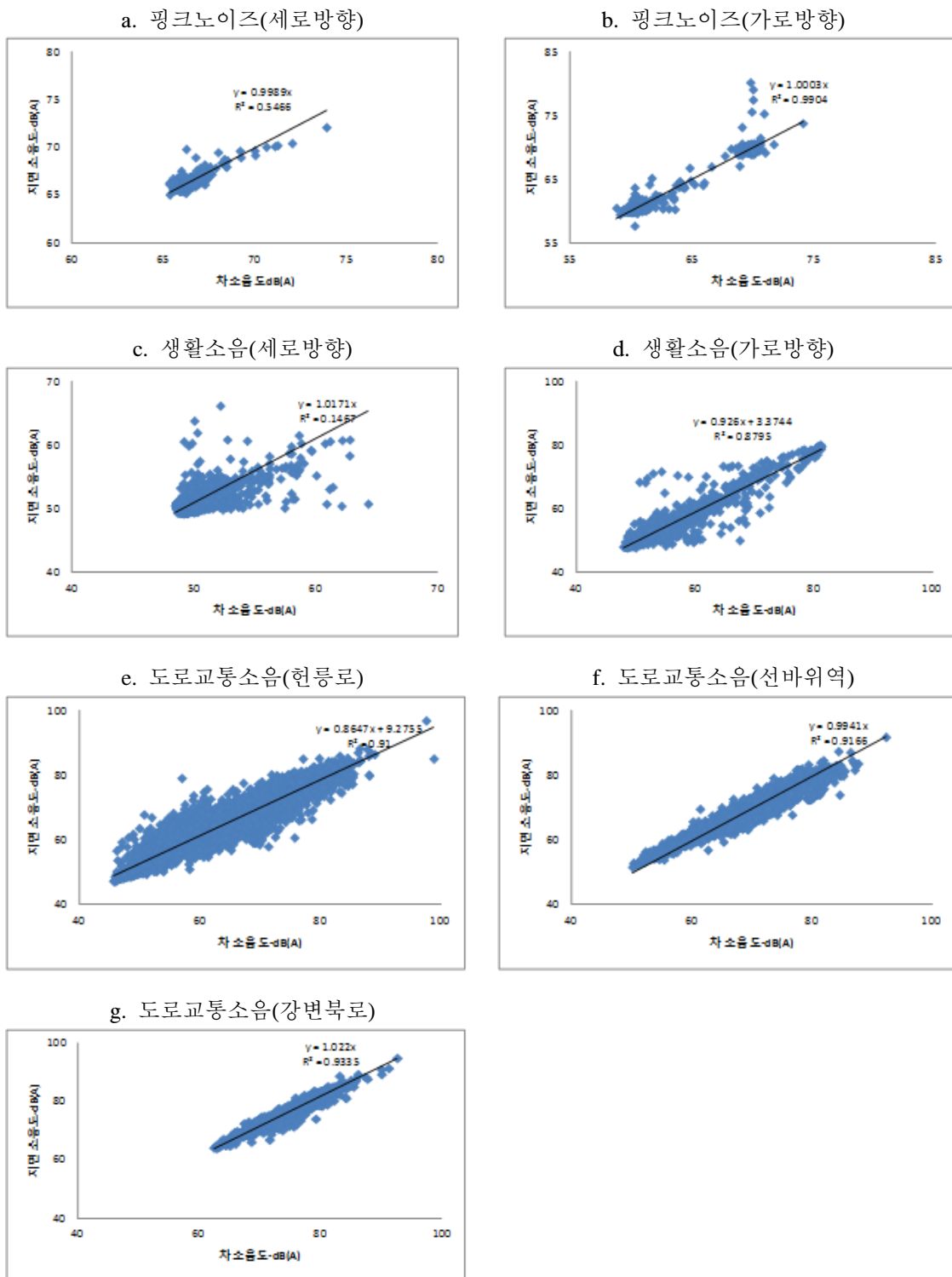


Fig. 4. Scatter plot of 1second Leq between noise mobile monitoring vehicle and potable sound level meters.

참고문헌

1. 최신 소음·진동 이론과 실무 : 정일록, 김재용, 윤세철, 이태호, p.48, 신광문화사.
2. 박영민 : 교통환경 소음관리를 위한 소음측정망 system 개선, 한국환경정책평가연구원 연구보고서, p.48. 2011.
3. Bruel & Kjaer : Noise Monitoring in Madrid, Madrid City Council, <https://www.bksv.com/media/doc/bs0258.pdf>, p.8, Accessed Jan. 15, 2017.
4. Report on the State of the Environment of Macao, <http://www.dspa.gov.mo/State-ReportHTML/2003/e/chapter6/C6.1.html>, Accessed Jan. 17, 2017.
5. 환경부 : 소음진동공정시험기준, 2015.
6. 이관호, 박우진 : 저소음 포장체의 소음저감 특성, 한국도로학회, 14(1):25~34, 2012.
7. 환경부 : 보도자료, 저소음 타이어 보급으로 도로소음 줄인다, 2016.12.20.
8. Types and Class of a Sound Level Meter-A Definition, <https://www.noisemeters.com/help/faq/type-class.asp>, Accessed Jan. 20, 2017.
9. Do Sound Meter Apps Measure Noise Levels Accurately?, <https://www.sandv.com/downloads/1507kard.pdf>, Accessed Mar, 28, 2017.