

학교 정온시설 앞 식물군락 조성지역에서 도로교통소음 특성에 대한 사례연구

조일형 · 이내현^{†*} · 조중상* · 고정용* · 선우영** · 박영민***

(주)전략 전략환경연구소 · *(주)전략 환경사업부 · **건국대학교 환경공학과 · ***한국환경정책평가연구원

(2006년 9월 1일 접수, 2006년 12월 14일 채택)

A Case Study on the Characteristics of the Road Traffic Noise in Plant Communities

Il-Hyoung Cho · Nae-Hyun Lee^{†*} · Jung-Sang Cho* · Jung-Yong Ko* · Young Sunwoo** · Young-Min Park***

Institute of Strategy Environmental Research, Strategy Engineering Corporation

**Department of Environmental Division, Strategy Engineering Corporation*

***Department of Environmental Engineering, Kon-kuk University · ***Korea Environmental Institute*

ABSTRACT : This paper represents a comparison the difference between existence and nonexistence of soundproof trees for road traffic noise. Also we suggested that the simple equation has been derived using a single regression analysis for predicting levels of Leq_{1h} at a given distance from a road in terms of the flow rate, the mean speed of the traffic, and the percentage of the type vehicles in the existence and nonexistence of soundproof trees. We classified a vehicle into four and analyzed contribution rate to traffic volume. As a result, the order showed as followed: light vehicle > medium vehicle > heavy vehicle > motorcycle. However, the results of analyzing contribution rate with between traffic volume and traffic noise by the each type showed as followed; Motorcycle > Light vehicle > Medium vehicle > Heavy vehicle. This study showed that the most a lot of traffic volumes of the three vehicles(light vehicle, medium vehicle and motorcycle) and heavy vehicle were existed in 67 km/h and 61 km/h of car speed, respectively. The total traffic noise to the mean car speed decreased because of the inflow a lot of traffic volumes between 2016 and 2388 in the range of 67 km/h of light vehicle speed, in traffic composition of 4.75% heavy vehicles, and 1.11% motorcycle. The final result for this study showed that statistical paired t-test for between existence and nonexistence of soundproof trees was significant($p < 0.05$) and the difference between daytime and night in the location of the nonexistence of plant communities with the independent sample T-test was significant($p < 0.05$). However, the independent sample T-test for analyzing the variance of traffic noise between daytime and night was not significant($p > 0.05$).

Key Words : Road Traffic Noise, Soundproof Trees, Contribution Rate, Vehicle Types, Car Speed, Traffic Volume, Distance, Statistical Test

요약 : 본 연구에서는 식물군락이 조성된 일부 학교 정온시설을 선택하여 도로교통소음 특성을 파악하고 식물군락 유무에 따른 소음의 효과를 분석하였다. 차량을 4가지로 분류할 때 전체 교통량에 가장 기여하는 차량은 소형차로 나타났고 전체 교통량 대비 도로소음에 가장 영향을 미치는 차량은 오토바이로 나타났다. 교통량(Q)과 자동차 속도(V) 관계에서 자동차 속력이 증가할수록 소음도는 감소하였다. 하지만 자동차를 4가지로 분류한 후 각 자동차 속력의 분포별로 분석한 결과, 소형차의 경우 교통량은 $2016 \leq Q \leq 2388$ 및 속도 67 km/h에서 소음도가 감소한 결과를 제외한 모든 구간의 교통량에 따른 속도에서 소음도가 증가하였다. 또한 다른 차종(중형차, 대형차, 오토바이 등)에서는 교통량에 따른 차량속력에 의해 모든 구간에서 소음도가 증가하였다. 식물군락 유무에 따른 두 집단 차이를 쌍체 t 검정을 수행한 결과 두 집단간 차이($p < 0.05$)가 있었고 식물군락이 존재하지 않는 지역에서 주간과 야간의 차이를 이표본 t 검정을 수행한 결과 두 집단 간 차이($p < 0.05$)가 있었다. 하지만 식물군락이 존재할 경우 주간과 야간의 차이를 비교시 두 집단 차이($p > 0.05$)가 없었다.

주제어 : 자동차 도로소음, 식물군락, 기여율, 자동차 종류, 차량 속도, 교통량, 이격거리, 통계학적 검정

1. 서론

우리나라의 소음환경기준을 일본 및 유럽국가 등과 비교할 때, 주거지역에 따른 차이는 있으나 전반적으로 5 dB(A) 정도 완화된 수준이다. 또한, 국제표준화기구(ISO)권고안과 비교할 때 상업·공업지역은 권고안과 비슷한 수준이지만, 정온을 요하는 지역의 기준은 5-15 dB(A) 정도 완화된 수준이

다.¹⁾ 서울시 보건환경연구원에서 조사된 도심 지역 및 간선 도로의 도로소음측정 결과를 보면 광화문, 서울역, 동대문 및 잠실 등 일부지역에서는 연간 월평균 소음도가 환경기준을 초과하고 있으며 소음·진동 규제법에서 규정한 도로소음의 허용한도 역시 초과하는 것으로 보고하고 있다.²⁾ 또한 원주지방환경청이 최근 춘천·원주지역의 밤 시간대 소음을 측정된 결과 춘천은 55%, 원주는 62%가 환경기준을 초과였으며 일반주거지역인 원주 명륜 2동과 무실동 도로변은 62~69 dB(A)로 환경기준을 넘어섰고 주거 밀집지역인 춘천 후평동 지역도 기준을 초과해 수면을 심각하게 방해하는 것으

[†] Corresponding author

E-mail: kuknhlee@empal.com

Tel: 031-386-9417

Fax: 032-386-9418

로 드러났다.³⁾

현재 환경보전법(시행규칙 제 7호)에서는 쾌적한 생활환경 보전과 인간의 건강한 생활을 보호하기 위하여 소음환경기준을 제시하기를 도로변에 인접한 지역이 녹지지역, 일반주거지역, 준주거지역 등은 등가소음도가 주간 65 dB(A), 야간 55 dB(A), 상업지역, 준공업지역 등은 주간 70 dB(A), 야간 60 dB(A)이고, 일반공업지역, 전용공업지역 등은 주간 75 dB(A), 야간 70 dB(A) 이하로 기준을 정하고 있다. 또한 건설교통부령(402호)에 의하면 소음측정기준에 의하여 65 dB(A) 이상인 지점에 공동주택을 설치할 경우에는 소음원으로부터 50 m 이상을 격리시키거나 방음벽, 수림대 등의 방음시설을 설치해야 함을 정하고 있다. 소음공해의 근본 대책은 발생원에 대한 규제 혹은 기술적 처방으로부터 시작되어야 하나 현실적으로 음원대책이 불충분한 실정이며, 소음공해 감소를 위해 현실적으로 가장 많이 시행하는 방법은 방음벽을 세우거나 방음독을 조성하고, 수림대를 조성하는 것이 일반적이다.

방음벽에 대한 조사·연구는 기존에 비교적 많이 수행되었으나 방음독과 수림대에 대한 연구는 김 등⁴⁾의 조성수목의 소음감쇠효과에 관한 연구를 제시하였고 김 등⁵⁾은 수목의 소음감쇠효과, 한국도로공사⁶⁾에서는 방음수림대 조성 및 효과에 관한 연구를 제시하였다. 최근에는 정 등⁷⁾은 축적모형 실험에 의한 방음벽 보강용 수림 효과 연구를 제시하였다. 특히 한국도로공사⁶⁾의 연구결과를 보면 수림대 조성에 의한 소음감소효과는 4.9 dB(A)로 나타났으며, 동해고속도로에서 수림대에 의한 감소는 5.5 dB(A)로 나타났고, 시공비도 61~78%의 예산절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 이렇듯이 수림대는 소음감쇠효과 뿐만 아니라 생태학적, 미적측면 등 여러 가지 효과를 주고 있다. 특히 외국의 뉴욕시 환경보호국은 현재 대기오염과 소음을 줄이기 위해 Brooklyn Queens 고속도로변을 따라 수목을 심는 다목적 경관증진 사업을 추진하고 있다. 당초, 과도한 교통량 부하에 따른 대기오염 저감에 주목적이 있었으나, 추진 과정에서 식생 형상을 통한 미적 가치 증진, 여름철 기온 저하, 그리고 주거지역 소음 감소 등의 부수적인 효과도 거두고 있다. 이에 뉴욕시는 도로변 식재에 의한 다목적 효과를 극대화하기 위해 지역학교 교사와 학생들에게 관련정보를 제공, 환경교육 자료로 활용토록 하고, 수목종류별 효과연구를 통해 다양한 수목이 과학적으로 식재되도록 하고 있다.⁸⁾

기존 연구는 도로변 수림대의 조성(수림 식재수종, 방음독 높이, 길이, 넓이 등)이 소음감쇠효과에 미치는 영향을 제시하거나 이들 영향을 토대로 방음수림대의 설계기준과 조성모형을 제시하였다. 하지만 이런 수목식재에 따른 소음저감 효과를 판단하기 앞서 정온시설 혹은 단지내 도로에서 자동차 특성을 파악하는 것도 무엇보다 중요하다고 생각한다. 특히 차종별 교통량, 차종별 속도 및 이격거리에 따른 차종별 소음 감쇠 등에 대한 특성을 파악 후 방음벽 혹은 수림에 대한 차단효과를 규명하는 것이 우선 수행되어야 할 것이다. 본 연구는 기존 연구와 달리 일부 단지내 도로변에 식물군락 유무에 따른 소음감쇠 효과 차이를 통계학적으로 설명하는

것 외에 단지내 도로교통소음 현황과 특성을 차종별, 이격거리별로 구분하여 소음감쇠 효과 차이를 해석하였다. 따라서 본 연구는 기존 연구에서 제시하지 못했던 자동차소음의 현황 및 특성치가 식물군락에 어떤 영향을 미치는지에 대한 기초적인 자료를 활용될 것으로 판단된다.

2. 연구방법

2.1. 현장조사

(1) 조사지점 선정

방음림 유무에 의한 소음저감 특성치를 해석하기 위하여 자료확보 및 소음도 측정이 용이한 고양시 일산지구 발산중학교 앞 지역을 선정하였으며 이 지역은 수림이 10 m 지점에 “-” 모양으로 높이가 0.17 m, 폭은 0.2 m, 너비가 각각 0.66 m, 0.58 m인 개나리과에 속하는 식물군락이 조성된 지역이다.

(2) 조사내용

본 연구의 조사내용은 우선 주야간 차종별(소형차, 중형차, 대형차 및 오토바이) 교통량(대/hr), 차종별 최대, 최소 및 평균속력(km/hr)을 측정하고 또한 도로단으로부터 측정지점까지 거리와 도로 중앙선에서부터 측정지점까지 거리 등을 측정하였다. 또한, 현장여건 중 도로교통소음에 영향을 미치는 요인 중인 하나인 도로폭, 차선수 등을 조사하여 차종별 교통량, 차량 속도 등을 나누어 측정하였다.

(3) 조사 및 측정

측정일시는 날씨가 맑고 바람의 영향이 적다고 판단된 날짜를 선택하여 단지내 도로교통소음에 대한 현황을 파악하기 위해 2002년 8월부터 2002년 12월까지 주간(06:00~22:00)과 야간(22:00~06:00)으로 나누어 단지내 도로교통소음을 1시간 연속으로 측정하였다. 이 때 수림대 유무에 따른 소음 측정은 원칙으로 4회 반복하여 평균값을 이용하였다. 본 조사에 사용된 소음기(CR: 812A, Cirrus co., LTD)는 6대(수림대 유: 0, 10, 20 m, 수림대 무: 0, 10, 20 m)를 이용하였고 차량속력 측정을 위하여 속력계(Speed Gun)(Radar type, Decatur Electronics, Inc)를 이용하여 소형차, 중형차, 대형차, 오토바이로 선별한 후 소음계가 설치된 부근을 통과하는 순간의 차량속도를 측정하였다.

또한 교통량 조사는 계수기를 사용하여 측정하고, 측정시간 동안 교통량을 비디오로 촬영한 후 연구실에서 재분석하였다. 그 외에 풍향, 풍속, 기온의 경우 현장에서 풍향·풍속계(Korea, Model: 6210, YESTO., co), 디지털온도계(Korea, Model: KG-60TO, KAISE., co)를 사용하였다.

(4) 통계적 분석 및 연구내용

상기 조사 내용에 따라 측정된 자료는 SPSS 13 version for window 프로그램을 이용하여 Fig. 1과 같이 1) 기초 통계(데이터 분포특성 비교, 신뢰구간을 이용한 그룹간 평균비교),

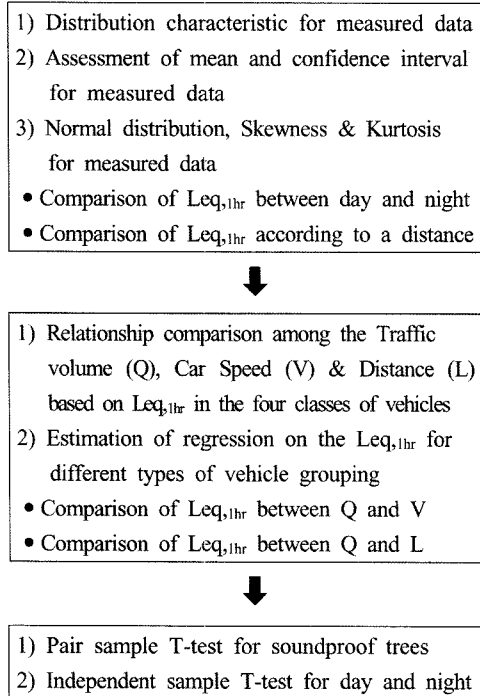


Fig. 1. The concept and approach method in the study.

2) 차종별 교통량, 차속 및 이격거리가 식물군락 유무에 따라 도로교통소음에 미치는 인과관계 파악, 3) 식물군락 유무에서 측정된 측정값의 차이를 규명하기 위한 쌍체 및 독립 표본 T-test 검정 등을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 단지내 정온시설에서 도로교통소음 현황 파악

학교 정온시설 앞 식물군락지역에서 도로교통소음 특성을 평가하기 위해 우선 차량별로 교통량, 차량속도 및 이격거리를 Table 1과 같이 제시하였다. 본 연구에서는 차종분류는 일반적으로 승용차류(Light vehicle: 자가용, 택시 등), 소형 화물차류(Medium vehicle: 승용차(경유사용(RV)차량, 승합차(24인승 미만), 화물차(8 ton 미만)), 대형차류(Heavy vehicle: 버스, 승합차(24인승 이상), 화물차(8 ton 이상), 지게차, 포크레인 등) 그리고 오토바이 전차종(Motorcycle) 등 4가지로 분류하여 조사하였다. 조⁹⁾ 등은 본 연구와 동일하게 4개의 차종을 분류하여 고속도로 교통소음 예측을 위한 자동차 주행소음의 음향파워레벨을 평가하였고 강¹⁰⁾ 등은 차량주행 소음 실태 파악연구에서 소음진동규제법 시행규칙 제 4조에 분류된 참고자료에 따라 소형차(Light vehicle), 승용차(Passenger vehicle), 중소형 트럭 및 화물차(Light goods vehicle), 대형차(버스) 및 대형화물차(Heavy vehicle), 그리고 오토바이(Motorcycle)로 구분하여 가속주행소음에 대하여 분석하였다.

외국의 경우 Tansatcha¹¹⁾ 등은 태국의 자동차 도로교통소음을 분석하기 위해 차선과 지선도로사이의 중앙선 쪽, 차선 쪽, 차선수 등을 조사 후 차량의 형태에 따른 순간속력 및

Table 1. The basic statistic of Characteristics of traffic quantity

Item		N	Mean	Std. d	Min	Max	Percentage (%)
Traffic volume (number/hr) (1) ^{a)}	Light vehicle	71	1542.6	472.7	660	2388	58.91
	Medium vehicle	71	917.1	327.5	192	1488	35.02
	Heavy vehicle	71	124.23	55.40	24.0	216	4.75
	Motorcycle	71	34.73	37.60	0.00	180	1.33
Traffic volume (number/hr) (2) ^{b)}	Light vehicle	71	2494.4	786.6	888	3624	95
	Heavy vehicle	71	124.23	55.37	24.0	216	5
Vehicle speed (km/hr) (1) ^{c)}	Minium	71	44.56	6.00	40.0	55.0	-
	Mean	71	64.03	3.20	61.0	71.0	-
	Maximum	71	96.03	10.7	81.0	106	-
Vehicle speed (km/hr) (2) ^{d)}	Light vehicle	71	64.40	3.15	62.0	72.0	52
	Heavy vehicle	71	60.45	4.01	57.0	66.0	48
Distance(m) (1) ^{e)}		71	9.86	8.20	0.00	20.0	-
Distance(m) (2) ^{f)}		71	24.90	8.20	15.0	35.0	-

a) Existing four types of vehicle(light, medium, heavy, motorcycle)
 Light vehicle: Passenger car, taxi
 Medium vehicle: Gasoline car(RV vehicle), van(<24 persons), light truck, semi-trailer
 Heavy vehicle: Bus, heavy truck, full-trailer, van(>24 persons)
 Motorcycle: All kinds of motorcycles
 b) Vehicle is classified into two groups
 Light vehicle: Light vehicle + medium vehicle + motorcycle in traffic quantity (1)
 Heavy vehicle: Bus, heavy truck, full-trailer, van(> 24 persons)
 c) Sum of vehicle speeds in light vehicle + medium vehicle + heavy vehicle + motorcycle
 d) Mean to sum of vehicle speeds in traffic quantity (2)
 e) From roadway(traveled way) edge to receptor
 f) From roadway(traveled way) center to receptor

교통량을 승용차(Automobile), 경트럭(Light truck), 중트럭(Medium truck), 대형트럭(Heavy truck), 대형 트레일러(Full trailer), 경 트레일러(Semi-trailer), 버스(Bus) 및 오토바이(Motorcycle)로 구분하여 순간속력에 대한 등가소음도를 측정하여 분석하였다. Li¹²⁾ 등은 중국에서 도로교통소음 예측식에 입력변수로 사용되는 인자 중 차량에 대하여 소형차(Light car), 소형화물차(Medium truck), 대형화물차(Heavy truck)으로 분류하여 차종에 따라 분석하였다.

본 연구에서 차종별에 따른 교통량을 보면 소형 승용차 > 중형 승용차(소형화물차류) > 대형차류 > 오토바이 순으로 교통량 분포가 나타났으며 차종을 소형차(Light vehicle + medium vehicle + motorcycle)와 대형차(Heavy vehicle)로 구분하

여 분석할 경우 비율이 95 대 5%의 비율로 나타났다(Table 1). 전 차종에 대한 차량 속력을 최소, 평균 및 최대로 구분하여 분석한 결과 45~96 km/hr 범위 내에서 차량이 운행되었다. 또한 차종을 크게 소형차와 대형차로 분류하여 분석한 결과 차량 속력은 52% 대 48%의 기여도를 보여주었다.

Table 2. Distribution of traffic noise by the soundproof trees on the basis of time and distance

Item		N	Mean	Std. d	Min	Max	
Soundproof trees(X)		71	70.40	4.64	61.9	77.5	
Soundproof trees(O)		71	69.10	3.63	61.1	78.9	
Soundproof trees(X)	Time	day	60	70.9	3.51	65.0	77.5
		night	11	67.8	3.22	61.9	72.1
	Distance (m)	0	24	74.4	1.92	69.9	77.5
		10	24	69.9	1.83	66.5	73.1
Soundproof trees(O)	Time	day	60	69.3	4.71	61.1	78.9
		night	11	67.7	4.11	61.6	72.5
	Distance (m)	0	24	74.45	1.87	71.0	78.9
		10	24	68.50	1.35	65.9	71.3
		20	64.10	2.21	61.1	68.2	

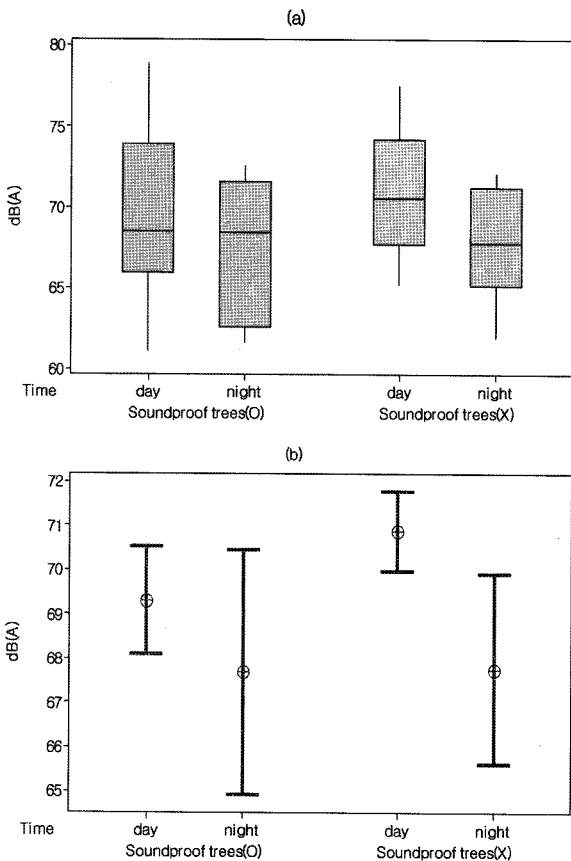


Fig. 2. Box plot (a) and interval graph (b) to Leq_{1hr} difference between with and without soundproof trees.

3.2. 식물군락 유무에 따른 시간별, 이격거리별 도로교통소음 분석

본 연구는 식물군락에 의한 소음저감 효과를 측정하기 위해 식물군락 유무에 따라 도로단으로부터 0, 10, 20 m 지점별로 측정된 결과 Table 2 및 Fig. 2, 3에 제시하였다. 우선 전체적으로 식물군락 유무에 따른 소음도 차이는 약 1.3 dB(A)의 저감 효과를 나타냈다. 주·야간 구분하여 식물군락 유무에 따른 소음도를 분석한 결과 주간 1.6 dB(A), 야간은 0.1 dB(A)로 차이가 없는 것으로 확인되었다. 또한 식물군락이 없는 지역에서 주·야간을 비교할 경우 4.1 dB(A), 식물군락이 있는 지역에서 주·야간 비교시 1.6 dB(A)의 차이를 나타냈다.

식물군락 유무에 따른 이격거리별 소음감쇠 효과를 분석한 결과 식물군락이 없는 지역에서 10 m 이격시 4.5 dB(A), 20 m 이격시 7.4 dB(A)의 효과를 나타냈으며 식물군락이 있는 지역은 10 m 이격시 약 6 dB(A), 20 m 이격시 약 10 dB(A)의 효과가 나타났다. 또한 식물군락 유무에 따른 이격거리 차이는 10 m에서 1.5 dB(A), 20 m에서 2.5 dB(A)로 거리가 멀수록 소음감쇠가 점차 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 식물군락에 따른 소음감쇠와 이격거리에 의한 거리감쇠 현상이 동시에 일어나기 때문으로 판단된다.

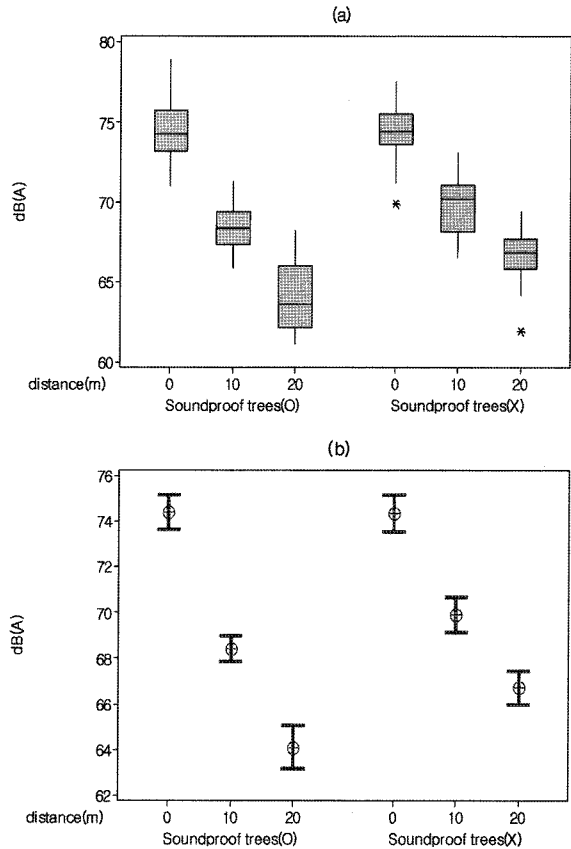


Fig. 3. Box plot (a) and interval graph (b) to Leq_{1hr} difference between with and without soundproof trees according to a distance.

3.3. 식물군락 유무에 따른 차종별 교통량과 소음도 연관성 분석

식물군락 유무에 따른 차종별 교통량과 소음도의 연관성을 분석 결과를 Fig. 4, 5 및 Table 3에 제시하였다. Fig. 4 및 5

에서 식물군락에 관계없이 시간당 교통량이 증가할수록 도로소음도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Table 3에서 식물군락 유무에 관계없이 차종별 교통량 기여율은 소형 승용차 > 중형 승용차(소형화물차류) > 대형차류 > 오토바

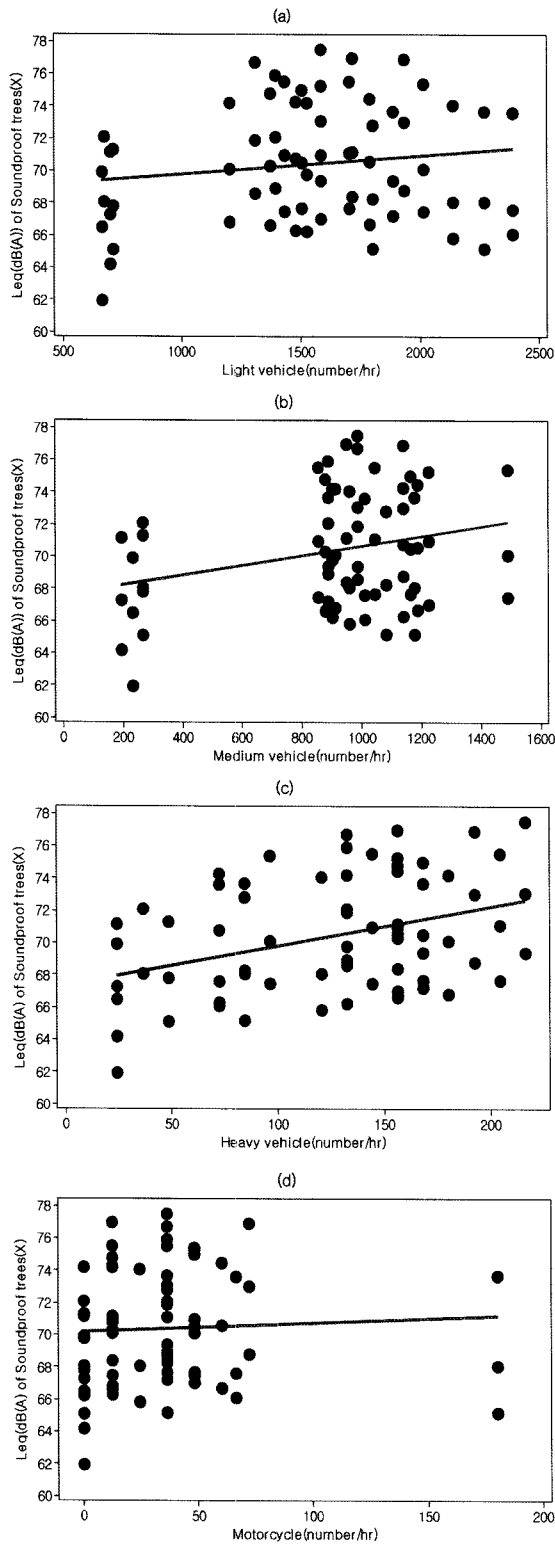


Fig. 4. Relationship between Leq_{1h} and traffic quantity according to vehicle types without soundproof trees.

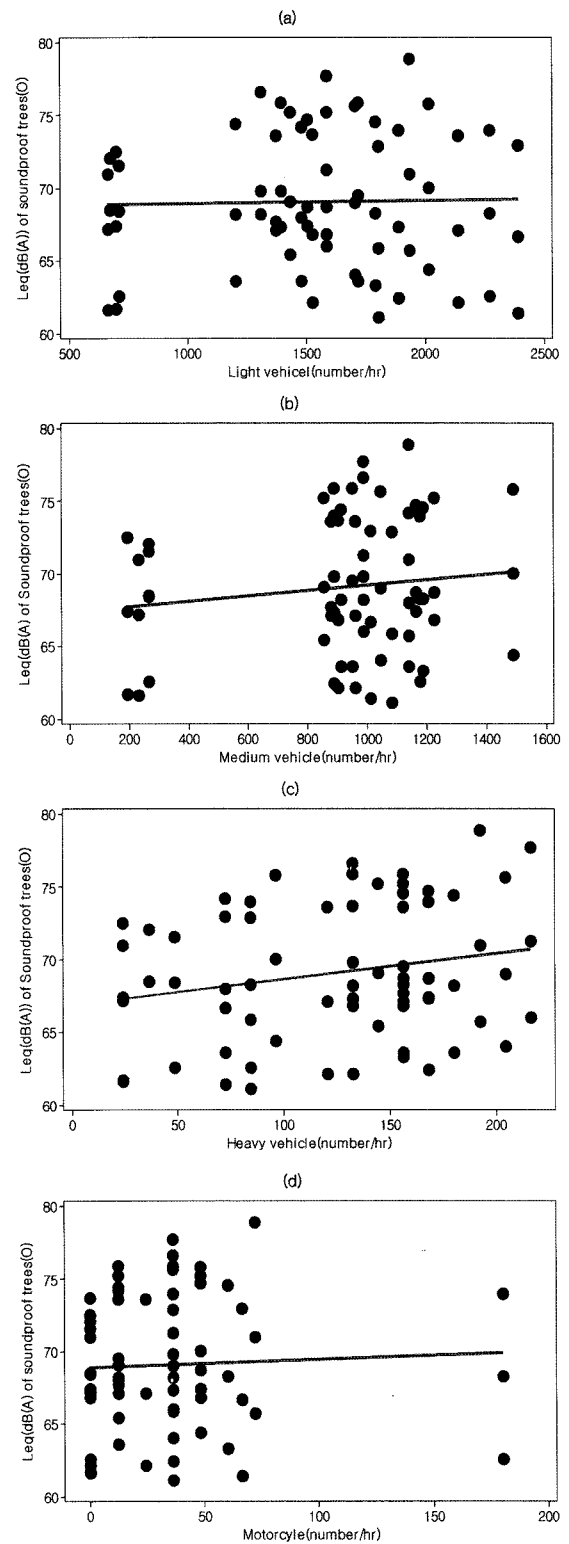


Fig. 5. Relationship between Leq_{1h} and traffic quantity according to vehicle types with soundproof trees.

이 순으로 나타났지만(Table 1) 소음도 크기분포의 경우 오토바이 > 승용차류 및 소형차(Light vehicle) > 소형화물차류(Medium vehicle) > 대형차류(Heavy vehicle) 순으로 나타났다. 즉 오토바이는 교통량이 전체 차종의 1.33%에 불과하지만 도로교통소음 기여도는 제일 높아 단지내 혹은 정온시설에서 오토바이에 대한 소음 규제대책을 강구할 필요가 있다.

3.4. 식물군락 유무에 따른 차종별 차량속력에 따른 교통량 분포파악

Fig. 4와 5의 결과 토대로 차량별 차량속력에 따른 교통량

Table 3. Equivalent continuous sound pressure level per hour (Leq_{1hr}) and regression equation of four classes of vehicles based on Leq at the traffic quantity

Item	Types of vehicle	Regression equation	Percentage (%)	Weight order
Soundproof trees(X)	Light vehicle	Leq _{1hr} = 68.59 + 0.0012Q	58.91	2
	Medium vehicle	Leq _{1hr} = 67.59 + 0.0031Q	35.02	3
	Heavy vehicle	Leq _{1hr} = 67.34 + 0.0025Q	4.75	4
	Motorcycle	Leq _{1hr} = 70.20 + 0.0060Q	1.33	1
Soundproof trees(O)	Light vehicle	Leq _{1hr} = 68.75 + 0.0002Q	58.91	2
	Medium vehicle	Leq _{1hr} = 67.35 + 0.0020Q	35.02	3
	Heavy vehicle	Leq _{1hr} = 66.87 + 0.0018Q	4.75	4
	Motorcycle	Leq _{1hr} = 68.86 + 0.0060Q	1.33	1

Note: Q is the traffic quantity(number/hr)

Table 4. The percentage distribution and order between vehicle speed and traffic quantity according to vehicle types

Types of vehicle	Speed (km/h)	N	Mean	Std. d	Min	Max	Percentage (%)	Weight order
Light vehicle	61	18	1534	178	1200	1716	20	3
	62	23	1264	333	660	1584	17	4
	66	12	1851	62.3	1788	1932	25	2
	67	12	2202	146	2916	2388	29	1
	71	6	702	6.57	696	708	9	5
Medium vehicle	61	18	988	85.4	900	1140	23	3
	62	23	834	345	228	1224	19	4
	66	12	1074	119	888	1188	25	2
	67	12	1158	216	960	1488	27	1
	71	6	228	39.4	192	264	5	5
Heavy vehicle	61	18	160	49.7	72	216	29	1
	62	23	122	51.8	24	168	22	3
	66	12	150	42	84	192	27	2
	67	12	93	18.5	72	120	17	4
	71	6	36	13.2	24	48	6	5
Motorcycle	61	18	18	13.8	0	36	10	4
	62	23	25	19.1	0	48	14	3
	66	12	51	16.3	36	72	29	2
	67	12	79.5	63	24	180	46	1

의 분포를 파악하기 위한 결과는 위한 다음 Table 4에 제시하였다. 우선 식물군락 유무에 관계없이 오토바이(Motorcycle)를 제외한 모든 차종의 경우 61~71 km/hr의 차량속력 분포로 주행하였으며 소(승)형차(Light vehicle), 소형화물차류(Medium vehicle), 오토바이(Motorcycle) 등의 경우 67 km/hr로 각각 가장 높은 교통량을 보였으나 대형차류(Heavy vehicle)의 경우 61 km/hr에서 가장 높은 교통량을 나타냈다. 단순히 차종을 소형차(Light vehicle + medium vehicle + motorcycle)와 대형차(Heavy vehicle)로 나누어 분석한 결과 역시 소형차는 67 km/hr, 대형차는 61 km/hr에서 가장 높은 교통량을 보였다.

3.5. 식물군락 유무에서 차량속력 구분에 따른 소음 특성분석

차종별 차량속력을 구분하여 주행속력 증가에 따른 소음도 특성을 분석한 결과는 Table 5 및 Fig. 6에 제시되었다. 일단 전체 차종의 합을 차량속력으로 구분한 경우 차량속력이 증가함에 따라 식물군락 존재와 상관없이 모두 소음이 감소하였다. 또한 차종을 소형차(Light vehicle + medium vehicle + motorcycle)와 대형차(Heavy vehicle)로 나누어 분석한 결

Table 5. Noise reduction of two classes of vehicles based on the Leq according to a vehicle speed

Item	Types of vehicle	Speed (km/h)	N	Mean	Std. d	Min	Max	Attenuation (dB(A)) ^{a)}
Soundproof trees(X)	Total vehicle	61	18	71.3	3.60	66.2	77.5	-
		62	23	70.6	3.74	61.9	76.7	0.7
		66	12	70.6	3.58	65.2	76.9	0.7
		67	12	69.61	3.64	65.2	75.4	1.69
		71	6	67.82	2.98	64.2	71.3	3.48
Soundproof trees(O)	Total vehicle	61	18	69.29	5.01	62.1	77.7	-
		62	23	69.90	3.81	61.6	76.6	-0.61
		66	12	68.78	5.52	61.1	78.9	0.51
		67	12	68.25	5.04	61.4	75.8	1.04
		71	6	67.37	4.48	61.7	72.5	1.92
Soundproof trees(X)	Light vehicle	62	41	70.94	3.64	61.9	77.5	-
		66	12	70.59	3.58	65.2	76.9	0.35
		67	12	69.61	3.64	65.2	75.4	1.33
		72	6	67.82	2.98	64.2	71.3	3.12
		71	6	67.37	4.48	61.7	72.5	1.92
	Heavy vehicle	57	18	71.31	3.58	66.2	77.5	-
		58	29	70.06	3.73	61.9	76.7	1.25
		66	24	70.1	3.57	65.2	76.9	1.21
		62	41	69.63	4.33	61.6	77.7	-
		66	12	68.80	5.52	61.1	78.9	0.83
Soundproof trees(O)	Light vehicle	67	12	68.25	5.04	61.4	75.8	1.38
		72	6	67.40	4.48	61.7	75.5	2.23
		57	18	69.30	5.01	62.1	77.7	-
		58	29	69.40	4.01	61.6	76.6	-0.1
		66	24	68.52	5.18	61.1	78.9	0.78

^{a)} Attenuation value based on the initial measured speed to 61 km/hr

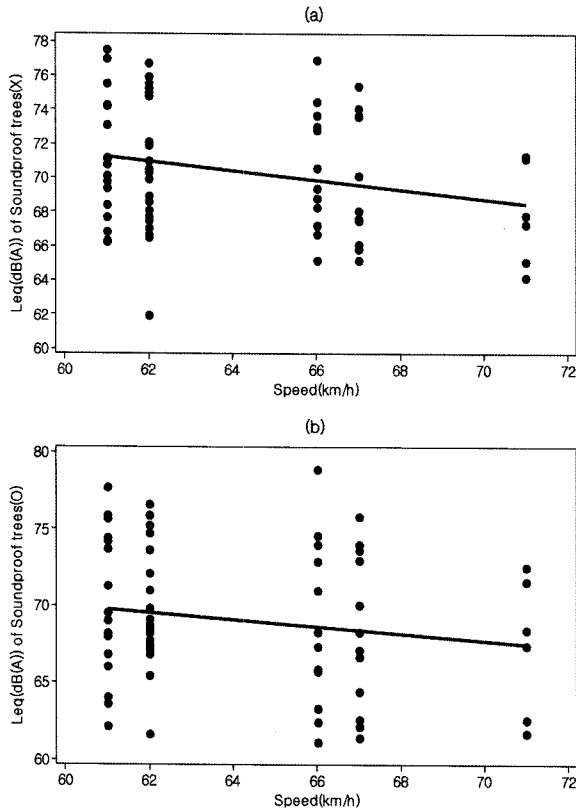


Fig. 6. Relationship between Leq_{1h} and vehicle speed(V) between (a) soundproof trees(x) and (b) soundproof trees(o).

과 역시 차량속력이 증가함에 따라 식물군락 존재와 상관 없이 역시 모두 소음이 감소하였다. 그러나 강¹⁰⁾ 등은 본 연구 결과와 반대로 실내 소음인증시험의 결과를 가지고 연구한 결과 정상주행 할 때 차량주행중심으로부터 7.5 m 떨어진 거리에서 측정된 주행속도(V)와 소음도(L)의 관계에서 승용차의 주행속도가 2배로 증가할 때 소음도는 9.3 dB 정도 증가하며, 소형화물차의 경우 8 dB 정도, 중량자동차 중 버스의 경우 5.1 dB 정도, 중량자동차 중 트럭의 경우 소음도는 3 dB 정도 증가한다고 보고하였다. 하지만 강¹⁰⁾ 등은 실제 도로가 아닌 주로 '94년부터 2000년까지 신규제작차 및 수입차에 대한 소음인증시험시 조사한 차종별 50~90 km/h 에서 이격거리 7.5 m 및 15 m 가속주행소음을 근거로 연구를 수행한 결과로 실제 현장에서 분석한 본 연구와 차이가 난 것으로 판단된다.

3.6. 식물군락 유무에 따른 3가지 요인(차종, 교통량, 속력) 분류에 의한 소음도 영향 특성분석

Table 5와 Fig. 6의 결과는 전체 차종 혹은 2가지 종류의 차종에 대한 차량속력과 소음도 관계를 나타낸 것으로 보다 정확한 분석을 위해서는 i) 차종별로 우선 구분하고 ii) 차종별 교통량(Q)을 일정구간으로 나눈 후 iii) 분류된 차종별 교통량 구간에서 차량 속력과 소음도의 관련 특성을 제시하였다(Table 6, Fig. 7, 8). 강¹⁰⁾ 연구에서는 단지 교통량(Q)과 차량속력(V)으로 구분하여 소음도를 분석한 결과 교통량과

차량속력이 증가함에 따라 소음도가 증가하였다. 하지만 본 연구에서 3가지 단계별로 구분하여 평가한 결과 그 반대의 소음도 변화를 나타냈다(Table 6, Fig. 7, 8). 이런 차이는 여러 가지 원인이 있겠지만 Bendtsen¹³⁾ 등은 소음의 주요 원인이 엔진과 자동차 주행시 발생하는 타이어 소음이고 승용

Table 6. Regression equation based on the traffic quantity(Q) and speed(V) according to four classes of vehicles

Item	Types of vehicle	Traffic quantity(Q)	Speed (km/h)	Regression equation
Soundproof trees(X)	Light vehicle	120~1716	61	$Leq_{1h} = 65.7 + 0.004Q$
		660~1584	62	$Leq_{1h} = 65.1 + 0.004Q$
		1800~1932	66	$Leq_{1h} = 36.3 + 0.020Q$
		2016~2388	67	$Leq_{1h} = 80.2 - 0.005Q$
		696~708	71	-
	Medium vehicle	900~1140	61	$Leq_{1h} = 70.9 + 0.004Q$
		228~1224	62	$Leq_{1h} = 67.2 + 0.004Q$
		888~1188	66	$Leq_{1h} = 65.8 + 0.005Q$
		1088~1488	67	$Leq_{1h} = 65.7 + 0.002Q$
		192~264	71	$Leq_{1h} = 66.2 + 0.007Q$
	Heavy vehicle	72~216	61	$Leq_{1h} = 69.0 + 0.015Q$
		24~168	62	$Leq_{1h} = 67.2 + 0.003Q$
		84~192	66	$Leq_{1h} = 65.8 + 0.032Q$
		72~120	67	$Leq_{1h} = 68.7 + 0.010Q$
		24~48	71	$Leq_{1h} = 67.1 + 0.021Q$
	Motorcycle	0~36	61	$Leq_{1h} = 70.2 + 0.060Q$
		0~48	62	$Leq_{1h} = 69.0 + 0.060Q$
		36~72	66	$Leq_{1h} = 66.2 + 0.090Q$
		24~180	67	$Leq_{1h} = 70.1 - 0.006Q$
		-	71	-
Soundproof trees(O)	Light vehicle	1200~1716	61	$Leq_{1h} = 65.2 + 0.003Q$
		660~1584	62	$Leq_{1h} = 66.5 + 0.003Q$
		1788~1932	66	$Leq_{1h} = 25.4 + 0.023Q$
		2016~2388	67	$Leq_{1h} = 82.9 + 0.007Q$
		696~708	71	-
	Medium vehicle	912~1140	61	$Leq_{1h} = 67.3 + 0.002Q$
		228~1224	62	$Leq_{1h} = 67.6 + 0.003Q$
		888~1188	66	$Leq_{1h} = 61.6 + 0.007Q$
		960~1488	67	$Leq_{1h} = 62.1 + 0.005Q$
		192~264	71	$Leq_{1h} = 66.3 + 0.005Q$
	Heavy vehicle	72~216	61	$Leq_{1h} = 66.5 + 0.020Q$
		24~168	62	$Leq_{1h} = 67.8 + 0.020Q$
		84~192	66	$Leq_{1h} = 62.9 + 0.040Q$
		72~120	67	$Leq_{1h} = 67.3 + 0.010Q$
		24~48	71	$Leq_{1h} = 66.9 + 0.014Q$
	Motorcycle	0~36	61	$Leq_{1h} = 67.9 + 0.080Q$
		0~48	62	$Leq_{1h} = 68.7 + 0.050Q$
		36~72	66	$Leq_{1h} = 63.0 + 0.113Q$
		24~180	67	$Leq_{1h} = 68.3 + 0.001Q$
		-	71	-

차(Passenger car)의 경우 낮은 속력(< 50 km/hr)에서 엔진소음이 지배적이며 그 보다 높은 속도에서는 자동차 주행시 차량의 타이어 마찰시 발생하는 소음이 지배적이라고 보고 하였다. 또한 차량 주행시 구동변속 관련하여 50 km/hr 이상의 차량속력을 가지는 차량에 대하여 실험한 결과 2-3단 기

어를 조절하여 가속 운전상황에서 엔진소리가 소음의 주요 원인이라는 것을 발견한 것뿐만 아니라 도로와 자동차 타이어에서 발생하는 마찰 소음도 주요 원인임을 확인되었다. 또한 Bendtsen¹⁴⁾은 1970년부터 1998년까지 유럽도시지역과 도시 외곽 지역의 도로교통소음 방출특성을 실제 도로 위에서

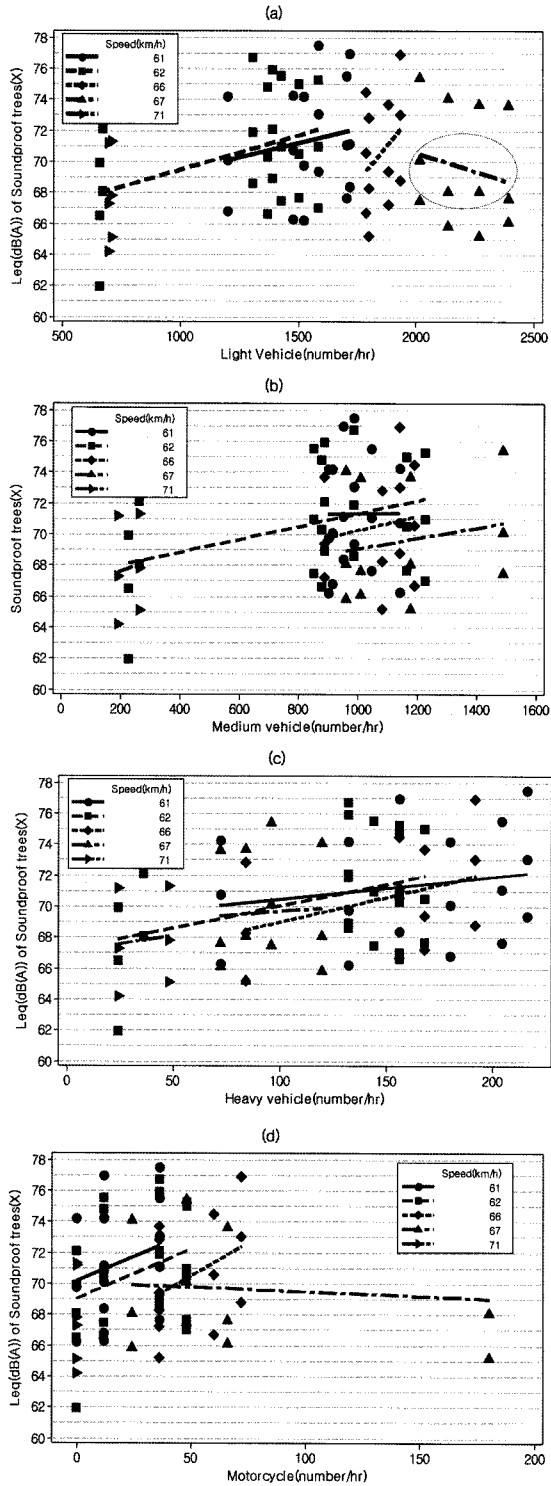


Fig. 7. Relationship between vehicle speed and noise level according to a traffic quantity(Q) without a plant communities.

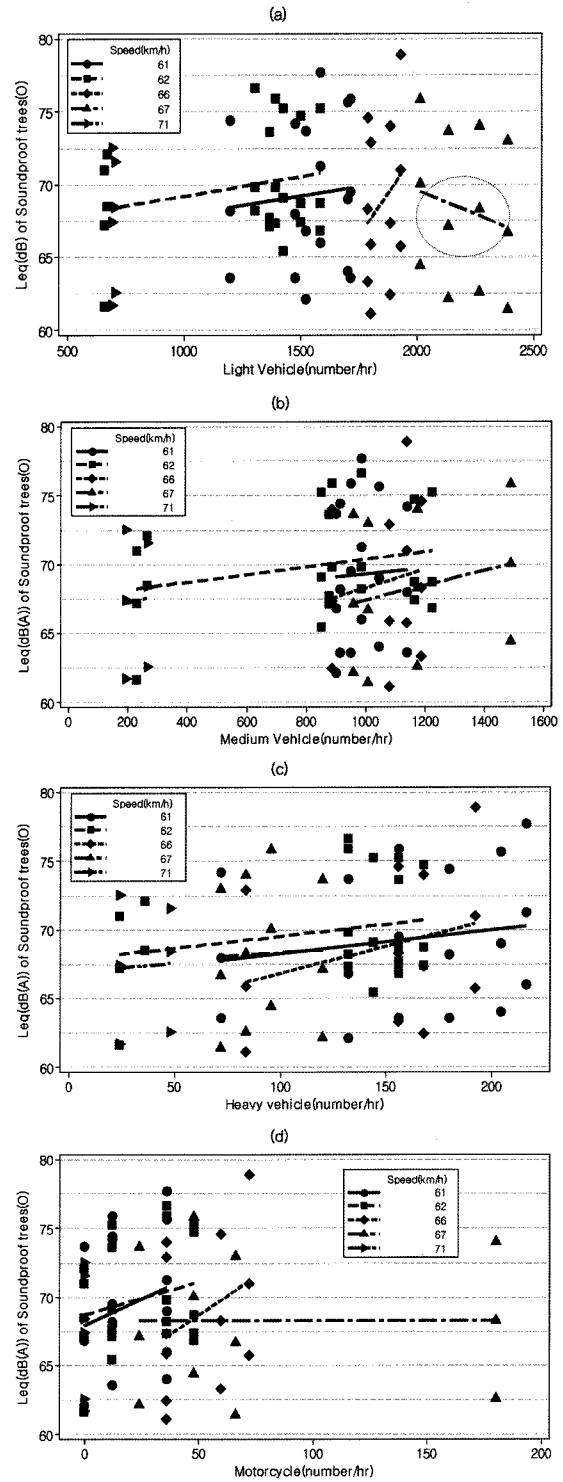


Fig. 8. Relationship between vehicle speed and noise level according to a traffic quantity(Q) with a plant communities.

분석하였는데 대형차량 10% 혼입하는 차량속력(< 50 km/hr)인 경우 실제 소음감쇠는 대략적으로 3 dB(A) 그 이상의 차량속력(> 50 km/hr)의 경우 1- 1.5 dB(A)로 나타났으며 50 km/hr에서 80 km/hr로 증가시 소음감쇠는 감소하다가 다시 80 km/hr 이상에서는 소음감쇠가 증가한다고 보고하고 있다.

기본적으로 소음도 증가에 기여하는 인자로는 교통량과 차량속력이 있으며, 교통량이 증가하고, 차량속력이 증가하면 소음도는 증가하게 된다. 또한 차량속력이 50 km/hr이하는 소음에 미치는 주요 발생원이 엔진소음이 되며, 일정속도 이상의 가속운행이 되면 엔진소음과 더불어 도로-타이어의 마찰소음의 기여도가 높다는 앞서 연구자의 결과를 제시하였다. 그러나 실제 현장에서 측정 분석한 결과(Table 6, Fig. 7, 8)를 보면 일부 차량은 특정 속도구간에서 교통량과 차량속력이 증가되어도 상대적으로 소음도가 낮은 경우가 발생한다(차량속력 67 km/hr 구간, 교통량 $2016 \leq Q \leq 2388$ 구간). 전반적으로 승용차류만 제외한 모든 차량 교통량 분포에서 차량속력이 증가할 경우 소음도가 증가하는 기존 연구와 유사한 경향을 보여주고 있다. 즉 교통량은 상대적으로 적지만 소음도 기여도가 상대적으로 높은 오토바이와 교통량은 58.91%으로 다른 차종에 비해 상대적으로 높은 승용차류(Light vehicle: 자가용, 택시 등)가 동시에 소음측정 지점을 통과할 경우 소형차에서 발생하는 소음도는 대부분 일정 속도구간에서 대형차 및 오토바이와 같은 큰 엔진소음을 나타내는 차량에 묻혀 교통량 증가하는 만큼 소음도가 증가하지 않고 감소하는 결과를 보여주었다. 따라서 차량속도와 소음도 관계를 나타내는 Fig. 6의 그래프에서 속력이 증가하면 할수록 비록 소음도가 감소되지만 이는 상대적으로 많은 교통량과 67 km/h의 차량속력에서 발생빈도가 높게 나타내는 승용차류 차종이 상대적으로 소음도 저감이 전체 차량 소음도에 반영됨(Fig. 7, 8)에 따라 전체 차량속력에 따른 소음도 감쇠에 영향을 준 것으로 판단된다.

3.7. 식물군락 유무에 따른 차종별 이격거리에서 소음 특성파악

Table 2에서 전체 차종이 식물군락 유무에 따른 이격거리별 소음감쇠 효과를 제시했던 결과와 달리 차종별 이격거리를 0, 10, 20 m로 구분하여 소음 특성을 파악한 결과는 Table 7에 제시되었다. 한국도로공사¹⁵⁾ 및 Halliwell¹⁶⁾ 등의 연구에 의하면 주행소음도는 음원에서 거리가 2배 멀어짐에 따라 소음도는 4.5~5.2 dB(A) 감소현상을 보여 대체로 점음원 거리감쇠 양상을 나타낸다고 보고하고 있다. 본 연구는 식물군락이 없는 지역에서 4.5 dB(A)(10 m 이격), 7.7 dB(A)(20 m 이격)으로 4개 차종에서 동일하게 나타났다. 식물군락이 존재하는 지역에서는 6 dB(A)(10 m 이격), 10.3~10.5 dB(A)(20 m 이격)으로 4개 차종에서 또한 유사한 결과를 나타냈다. 또한 식물군락 유무에 따라 이격거리에 따른 소음의 차이를 파악한 결과 10 m 이격시 약 1.5 dB(A), 20 m 이격시 2.8 dB(A)의 차이를 보였다. 특히 식물군락이 존재할

경우 도로단으로부터 20 m 이격시 10 dB 이상의 높은 소음 저감효과를 나타냈다. Table 7의 결과로부터 기존 연구에서 제시했던 음원에서 거리가 2배 멀어짐에 따라 소음도가 4.5~5.2 dB(A)의 감소현상은 10 m 이격거리와는 유사한 결과를 나타냈지만 20 m 이격거리에서는 다소 감소된 소음저감을 확인할 수 있었고 차량별로 구분하여 이격거리에 따른 소음감소는 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다.

3.8. 측정 데이터에 대한 두 집단 차이 추정 및 검정

앞서 도로교통소음 특성파악을 통하여 과연 식물군락 유무에 따라 소음도의 차이가 있는지를 판정하기 위해서 두 집단 차이를 검정하였다. 따라서 모수에 대한 추측치에 대한 정확도를 추정하고 또한 모수에 대해 가설을 설정하여 이 가설이 맞는지를 표본으로부터 판단하기 위한 방법으로 쌍체 t 검정 및 이표본 t 검정을 아래와 같이 수행하였다.

- 식물군락 유무에 따라 두 집단 차이 검정(쌍체 t 검정)
- 식물군락 유무에 대한 주·야간 시간차에 대한 검정(이표본 t 검정)

Table 7. Noise attenuation of four classes of vehicles based on Leq according to a distance

Item	Types of vehicle	Distance (m)	Regression equation	Leq	Attenuation (dB(A)) ^{a)}
Sound proof trees (X)	Light vehicle	0	$Leq_{lh} = 71.42 + 0.002Q$	74.5	-
		10	$Leq_{lh} = 68.63 + 0.001Q$	69.9	4.5
		20	$Leq_{lh} = 64.66 + 0.001Q$	66.7	7.7
	Medium vehicle	0	$Leq_{lh} = 70.39 + 0.004Q$	74.4	-
		10	$Leq_{lh} = 67.21 + 0.003Q$	69.9	4.5
		20	$Leq_{lh} = 63.78 + 0.003Q$	66.7	7.7
	Heavy vehicle	0	$Leq_{lh} = 71.02 + 0.037Q$	74.4	-
		10	$Leq_{lh} = 66.73 + 0.030Q$	69.9	4.5
		20	$Leq_{lh} = 63.57 + 0.030Q$	66.7	7.7
	Motorcycle	0	$Leq_{lh} = 73.98 + 0.012Q$	74.4	-
		10	$Leq_{lh} = 69.79 + 0.003Q$	69.9	4.5
		20	$Leq_{lh} = 66.55 + 0.005Q$	66.7	7.7
Sound proof trees (O)	Light vehicle	0	$Leq_{lh} = 71.95 + 0.002Q$	74.4	-
		10	$Leq_{lh} = 68.36 + 0.001Q$	68.5	6
		20	$Leq_{lh} = 64.68 - 0.0004Q$	64.1	10.4
	Medium vehicle	0	$Leq_{lh} = 71.28 + 0.004Q$	74.5	-
		10	$Leq_{lh} = 67.50 + 0.001Q$	68.5	6
		20	$Leq_{lh} = 61.87 + 0.024Q$	64.1	10.4
	Heavy vehicle	0	$Leq_{lh} = 71.34 + 0.026Q$	74.4	-
		10	$Leq_{lh} = 66.99 + 0.012Q$	69.9	4.5
		20	$Leq_{lh} = 61.26 + 0.022Q$	64.1	10.3
	Motorcycle	0	$Leq_{lh} = 73.96 + 0.014Q$	74.5	-
		10	$Leq_{lh} = 68.25 + 0.001Q$	68.5	6
		20	$Leq_{lh} = 64.00 + 0.002Q$	64.0	10.5

^{a)} Attenuation value based on the initial measured distance to 0 m

한국도로공사⁶⁾의 연구결과를 보면 수림대 조성에 의한 소음감소효과는 4.9 dB(A)로 나타났으며, 동해고속도로에서 수림대에 의한 감소는 5.5 dB(A)로 나타난다고 앞서 제시하였다. 하지만 본 연구는 수림대 조성지역이라기 보다는 단지 높이가 0.17 m, 폭은 0.2 m, 너비가 0.66 m인 개나리과에 속하는 식물군락으로 앞서 식물군락 유무에 따른 소음도 차이는 약 1.33 dB(A)로 나타났다. 따라서 이런 식물군락 지역에서 식물군락 유무에 따른 소음도 차이가 통계학적으로 유의한지를 규명하기 위해 독립검정 및 비독립검정을 수행하였다(Table 8).

우선 식물군락 유무에 따른 두 집단 차이를 쌍체 t 검정을 수행한 결과 두 집단의 평균의 차이는 1.33 dB(A)로 나타났으며 유의수준(α)과 p값을 비교한 결과 p값이 유의수준(α) 0.05보다 작아 귀무가설을 기각하여 두 집단간 차이가 있다고 할 수 있다. 또한 식물군락 유무에 대한 주간 및 야간에 대한 이표본 t 검정을 수행한 결과 식물군락이 존재하지 않는 지역에서 주간과 야간의 차이는 약 3.11 dB(A)로 나타났고 유의수준(α)과 p값을 비교한 결과 p값이 유의수준(α) 0.05보다 작아 귀무가설을 기각하여 두 집단간 차이가 있다고 할 수 있다. 하지만 식물군락이 존재할 경우 이표본 t 검정에서 p값이 유의수준(α) 0.05보다 크게 나타나 귀무가설을 기각

할 수 없어 두 집단 차이가 난다고 할 수 없다. 즉 식물군락이 존재하는 지역은 식생에 의한 소음의 감소 효과인 흡수(adsorption)와 분산(scattering)의 과정에 기인하여 식물군락이 없는 지역보다 상대적으로 주간 및 야간에 수목감소의 효과가 거의 일정하다고 볼 수 있다.

상기 결과로부터 본 연구에서 측정된 지역이 비록 수림대 폭이 25 m 이상 되는 지역이 아니라 단지 폭이 1 m 이하의 식물군락 지역이라도 식물군락이 조성되는 지역은 주간과 야간에 모두 식물에 의한 소음감쇠 차이가 일정한 효과를 주는 것으로 확인할 수 있었다.

4. 결론

아파트 단지가 형성된 일부 정온시설 중 학교 앞에 식물군락이 조성된 지역을 선택하여 도로교통소음 특성을 파악하고 식물군락 유무에 따른 소음의 효과를 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 차량을 4개로 구분하여 교통량의 분포에 대한 기여율을 분석한 결과 승(소)용차 > 소형화물차류 > 대형차류 > 오토바이 순으로 나타났으며 또한 차종을 소형차(Light vehicle + medium vehicle + motorcycle)와 대형차(Heavy vehicle)로 구분하여 분석한 경우 95 대 5%의 비율을 나타냈다.

2) 식물군락 유무에 따른 소음도 차이는 약 1.33 dB(A), 식물군락의 존재 유무에 따라 시간별로 구분할 경우 주간 1.6 dB(A), 야간은 0.1 dB(A)로 차이를 나타냈으며 식물군락이 없는 지역에서 주·야간을 비교할 경우 4.1 dB(A), 식물군락이 있는 지역에서 주·야간 비교시 1.6 dB(A)의 차이를 나타냈다.

3) 식물군락 지역에서 이격거리에 따라 소음감쇠치 효과를 측정된 결과 식물군락이 없는 지역은 10 m 이격시 4.5 dB(A), 20 m 이격시 7.4 dB(A)의 효과를 나타냈으며 식물군락이 있는 지역은 10 m 이격시 약 6 dB(A), 20 m 이격시 약 10 dB(A)의 효과를 나타냈다.

4) 차종별 교통량을 토대로 어떤 차종이 교통량 대비 도로교통소음에 가장 많은 기여를 할 것인가를 분석한 결과 오토바이 > 소형차(Light vehicle) > 소형화물차류(Medium vehicle) > 대형차류(Heavy vehicle) 순으로 나타났다.

5) 식물군락 유무를 토대로 차종별 차량속력을 구분하여 주행속력 증가에 따른 소음도를 살펴보기 위해 전체 차종의 합을 차량속력으로 구분한 분석한 결과 차량속도가 증가함에 따라 식물군락 존재와 상관없이 모두 소음이 감소하였다.

6) 하지만 이런 현상은 차량속도 67 km/hr 구간에서 상대적으로 다른 차종에 비해 높은 교통량(2016 ≤ Q ≤ 2388)을 가지는 소형차 소음도가 다른 차종 및 교통량에 의한 소음도보다 기여율이 높아 상대적으로 전체 평균 차량속도에 따른 소음도가 감소하는 현상을 확인할 수 있었다.

7) 식물군락 유무에 따른 차종별 이격거리를 0, 10, 20 m 로 구분하여 소음 특성을 파악한 결과는 식물군락이 없는 지

Table 8. Statistical hypothesis test on the measured data

Item		N	Mean	Std. d
Paired t-test results for soundproof tree(x) and soundproof tree(o)	Sound proof trees(x)	71	69.06	4.64
	Sound proof trees(o)	71	70.39	3.63
	Difference	71	1.33	
	95% confidence interval of mean difference (-1.71055, -0.94297)			
	Significant level(α)			
	t-value			
	p-value			
Item		N	Mean	Std. d
Independent sample T-test for soundproof tree(x)	Time			
	day	60	70.87	3.51
	night	11	67.76	3.22
	Difference		3.108	
	95% confidence interval of mean difference (0.8089, 5.4072)			
	t-value			
	p-value			
Item		N	Mean	Std. d
Independent sample T-test for soundproof tree(o)	Time			
	day	60	69.32	4.71
	night	11	67.69	4.11
	Difference		1.624	
	95% confidence interval of mean difference (-1321, 4.568)			
	t-value			
	p-value			

역에서 4.5 dB(A)(10 m 이격), 7.7 dB(A)(20 m 이격)으로 4개 차종에서 동일하게 나타났고 식물군락이 존재하는 지역에서는 6 dB(A)(10 m 이격), 10.3~10.5 dB(A)(20 m 이격)으로 4개 차종에 대해서 유사한 결과를 나타냈다.

8) 식물군락 유무에 따른 두 집단 차이를 쌍체 t 검정을 수행한 결과 두 집단간 차이($p < 0.05$)가 있었고 식물군락이 존재하지 않는 지역에서 주간과 야간의 차이를 이표본 t 검정을 수행한 결과 두 집단간 차이($p < 0.05$)가 있었다. 하지만 식물군락이 존재할 경우 주간과 야간의 차이를 비교시 두 집단 차이($p > 0.05$)가 없었다.

참고문헌

1. 환경부, 국립환경연구원 보도자료(2002).
2. 서울시, 보건환경연구원 논문집(1988).
3. 환경부, 원주지방환경청 보도자료(2004).
4. 김용식, 장호경, 김예현, “조경수목의 소음감쇠효과에 관한 연구,” 한국임학회지, **78**(1), 30~34(1989).
5. 김성일, 오동하, “수목의 소음감쇠 효과,” 한국임학회지, **83**(3), 400~409(1994).
6. 한국도로공사, 방음수림대 조성 및 효과에 관한 연구(I), (1998).
7. 정성수, “축적모형실험에 의한 방음벽 보강용 수림 효과,” 한국물리학회지, 464~468(2004).
8. 서울시, 서울시정개발연구원 정기간행물 5호(2000).
9. 조대승, 김진형, 최대묵, 오정환, 김성훈, “고속도로 교통소음 예측 - 전달감쇠 산정,” 한국소음진동공학회지, **12**(3), 236~242(2002).
10. 강대준, 이재원, 박준철, “자동차소음 현황과 특성,” 한국소음진동공학회지, **14**(12), 1249~1254(2004).
11. Tansatcha, M., Pamanikabud, P., Brown, A. L., Affum, J. K., “Motorway noise modelling based on perpendicular propagation analysis of traffic noise,” *Applied Acoustics*, **66**, 1135~1150(2005).
12. Li, B., Tao, S., Dawson, R. W., Cao, J., Lam, K., “A GIS based road traffic noise prediction model,” *Applied Acoustics*, **63**, 679~691(2002).
13. Bendtsen, H., Test of noise reduction of road surface, report 46(1996).
14. Bendtsen, H., “The nordic prediction method for road traffic noise,” *The science of the total environment*, **235**, 331~338(1999).
15. 한국도로공사, “고속도로 소음대책에 관한 연구,” 162~169(1994).
16. Halliwell, R. E., Quirt, J. D., “Traffic Noise Prediction, Building Research Note 147,” National Research Council of Canada, Division of Building Research, Ottawa (1979).