

대형차 소음환산계수 산정방법*

유 완

연세대학교 교수

이승주

연세대학교 박사과정

I. 서 론

1) 연구의 목적

최근들어 차량이 급속한 속도로 증가하고 있으며, 이로 인하여 도로 교통소음이 매우 높게 나타나고 있다. 대부분의 도심지역에서 도로 소음이 허용 기준치를 넘고 있으며 도심 지역 뿐만 아니라 주거지역까지도 자동차 소음이 심각하게 나타나고 있다. 따라서 운행중인 차량의 소음을 분석하는 것은 이러한 교통 소음의 억제에 중요한 역할을 할 수 있다. 또한 소형차와 대형차가 혼합되어 있는 교통류의 소음을 예측하기 위하여는 대형차의 소형차 소음환산계수를 알아야 한다. 따라서 대형차의 소음수준을 소형차의 소음수준으로 표현하는 소음환산계수(PCE; Passenger Car Equivalence)는 소음의 특성을 고려하여 교통 계획에서 사용되고 있는 승용차 환산계수(PCU; Passenger Car Unit)와는 다르게 적용되어야 한다. 이러한 소음환산계수를 이용함으로써 대형차의 통제에 의한 교통소음 감소 효과를 미리 예측할 수 있다. 이러한 예측은 자동차의 통행체계 계획과 도로망 계획에 있어 대형차의 소음수준을 고려한 계획을 가능하게 하여 쾌적한 생활 환경 조성에 기여할 수 있다.

본 연구의 목적은 운행중인 자동차 소음에

의해 대형차의 소형차 소음환산계수를 산정하는 모델을 개발하는 데 있다. 각 소음원별 소음환산계수를 산정함으로써 보다 정확한 교통류의 소음을 예측하는데 기초자료를 제공할 수 있다.

2) 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 운행중인 자동차의 전체소음을 엔진소음과 마찰소음으로 분리하였다. 엔진소음은 차량의 엔진에 의하여 발생하는 소음으로 간주하였다. 마찰소음은 엔진소음 이외의 자동차의 주행에 의하여 발생하는 차체와 공기와의 마찰소음, 자동차의 타이어와 노면의 마찰소음과 자동차 내부에서 발생하는 기계 마찰에 의한 마찰소음 등으로 구성되었다.

차량 종류는 포니, 스텔라, 로얄살롱, 2.5톤 트럭, 대형버스, 8톤 트럭 그리고 15톤 트럭의 7종류를 대상으로 하였다. 이들 중 포니, 스텔라, 로얄살롱, 2.5톤 트럭은 소형차, 대형버스, 8톤 트럭, 15톤 트럭은 대형차로 분류하였다. 아스콘 포장도로와 콘크리트 포장도로 중 평지의 직선 구간이 최소한 4 Km 이상이 되는 한적한 거리에서 주변의 통행 교통이 없을 때 각각의 소음을 측정하였다. 각 종류별 자동차를 시속 40 Km/h, 60 Km/h 그리고 80 Km/h로 주행시키며 도로에서 7.5 M, 11.0 M 그리고 14.5 M 떨어진 거리에서 주행 중에 나오는 가장 높은 소음을 전체소음으로 측정하였다. 전과 동일한 차량을 정지시킨 후 기어를 풀어주고 시속 40, 60 그리고 80 Km/

*이 논문은 1989년도 연세대학교 학술연구지원비에 의하여 연구되었음.

h 때의 엔진 회전 속도와 동일한 속도로 엔진을 돌려 주며 엔진소음을 측정하였다. 동일한 차량을 동일한 속도로 주행시키며 소음계의 위치에 오기 전에 시동을 끄고 기어를 풀어준 상태로 계속 주행시켜 마찰 소음을 측정하였다. 이와같은 자료를 정리하면 노면의 종류별, 차량의 종류별, 주행 속도별로 운행중인 차량에서 발생하는 전체소음을 엔진소음과 마찰소음으로 분리할 수 있다(유완, 1990). 본 연구에서 실시하고자 하였던 소음 측정과 유사한 방법에 의하여 측정된 기존의 소음 자료를 이용하여 본 연구를 진행하였다.

본 연구에 사용된 자료는 아스콘 포장도로와 콘크리트 포장도로에서 차량별로 각 40 Km/h, 60 Km/h, 80 Km/h의 속도로 주행시키며 소음을 측정된 자료이다. 이 자료에는 노면의 종류, 차량의 종류, 소음 측정 위치, 주행 속도, 엔진회전수, 기어의 위치 등이 자동차의 소음에 영향을 미칠 수 있는 요소들로 포함되어 있다. 이 자료는 전체 470개의 측정 자료로 구성되어 있다. 이 중 엔진소음이 측정된 자료는 220개, 마찰소음이 측정된 자료는 130개, 전체소음이 측정된 자료는 120개이다. 본 연구에서는 이 자료를 이용하여 자동차의 소음을 소음원에 따라 엔진소음과 마찰소음으로 분리하여 각각의 소음과 관계가 높은 요소를 찾아 각 소음을 예측하였다. 이렇게 하여 개발된 각 소음원의 소음 예측모델을 통하여 각 소음 요소에 따른 소음원별 대형차의 소형차 소음환산계수를 산정하였다. 대형차의 소

형차 소음환산계수는 소음 특성을 고려하여 수학적 방법에 의하여 산정하였다. 산정된 소음환산계수와 중요 소음 요소인 속도, 소음 측정지점까지의 거리 및 노면의 종류와의 회귀 분석을 통하여 소음환산계수를 구하는 모델을 개발하였다.

II. 자동차 소음이론

자동차 소음은 자동차 자체에서 발생하는 소음과 지면 및 공기 등과의 마찰에 의한 마찰소음으로 나눌 수 있다. 차체에서 발생하는 소음은 엔진 소음과 배기 소음 그리고 기타 엔진 소음으로 구성된다. 또, 엔진 소음은 엔진 자체의 소음 이외에 냉각팬(Cooling Fan), 연료 펌프 등에서 발생하는 소음으로 구성된다. 엔진에서 연소되는 연료별로 본 엔진 소음은 디젤 엔진에서 발생하는 소음이 휘발유 엔진에서 발생하는 소음보다 더 크며, 엔진이 클수록 소음 수준도 높아진다. 엔진의 연소 방식과 마력수가 같은 엔진이라도 회전수가 많을수록 높은 소음 수준이 된다. 엔진의 연소 방식에 따라 발생하는 소음 수준과 회전수와의 관계는 (그림 2-1)과 같다(東京都 公害局 大氣保全部, 1970 : 국립환경연구소, 1981).

자동차가 주행할 때는 출발, 가속, 감속, 정지 등의 상태를 바꾸어 가며 진행하게 된다. 자동차가 가속하게 되면 자동차에서 발생하는 소음은 주행 속도에 따라 변하게 된다. (그림 2-2)는 변속기의 위치에 따라서 속도와 소음

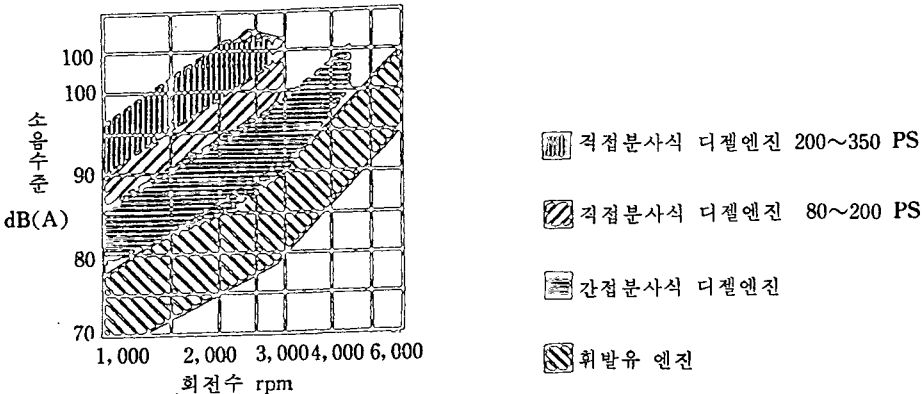


그림 2-1. 연소방식에 따른 소음 수준과 엔진 회전수와의 관계

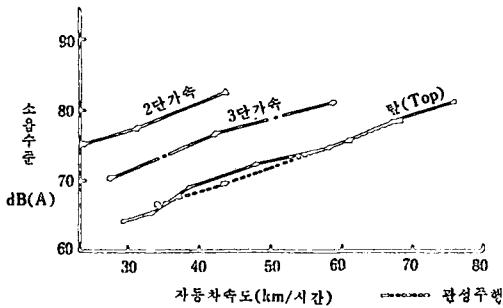


그림 2-2. 변속기 위치에 따른 소음 수준의 변화 (차일환, 1980b)

이 변화는 관계를 보여준다. 이 경우 소음수준 (Lw: dB)은 엔진회전수(N)에 의하여 (식 2-1)과 같이 정해진다(차일환, 1980a).

$$L_w = C_1 + C_2 \text{Log}(N/N_0) \quad (2-1)$$

여기서 C1, C2는 상수이고 N0는 기준엔진 회전수이다.

국립환경연구소에서 1981년 조사한 자료에 의하면 자동차를 가속시킬 때 발생하는 소음은 정상주행시의 소음보다 높게 발생한다. 정상 주행시 승용차와 대형차의 소음 수준은 각각 69.8 dB, 80.5 dB이다. 그러나, 가속 주행시의 소음은 승용차와 대형차의 경우 각각 80.6 dB, 89.8 dB로 정상 주행시 보다 11.2

dB, 8.7 dB이 높게 발생한다(국립환경연구소, 1981).

배기 계통의 소음은 맥동음, 기류음, 방사음으로부터 발생하는 것으로서 자동차 밖으로 발생하는 소음의 주원인중의 하나이다. 배기 계통의 소음을 줄이기 위해서는 배기용 소음기(Muffler)가 사용된다. 배기 계통은 고속, 고온의 가스가 통과하는 관계로 종합적인 소음기의 선택이 필요하다. 타이어에 의한 소음도 자동차에서 발생하는 소음의 중요한 요인 중 하나이다. 자동차에 사용되는 타이어는 (그림 2-3)과 같이 여러가지가 있으며, 자동차의 주행 속도가 같아도 타이어의 형태에 따라서 소음 수준은 다르게 나타난다. 대표적으로 두가지 형태의 타이어에 의해 발생하는 소음을 속도 변화에 따라 표시해 보면 (그림 2-4)와 같다(中野의 3인, 1982b; 조한인, 1984).

주행 조건으로는 자동차의 속도와 엔진 회전수에 따른 조건이 있다. 이중 엔진 회전수는 엔진 소음과 밀접한 관계가 있으며, 이미 서술한 바와 같다. 자동차 소음과 속도와의 관계를 살펴보면, 자동차가 주행할 때 자동차 외부로부터 발생하는 소음은 자동차의 속도 및 도로 조건등에 의해서도 변화한다. 고속 도로와 같

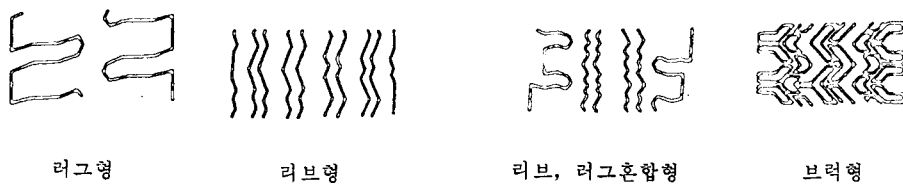


그림 2-3. 타이어의 형태(조한인, 1984)

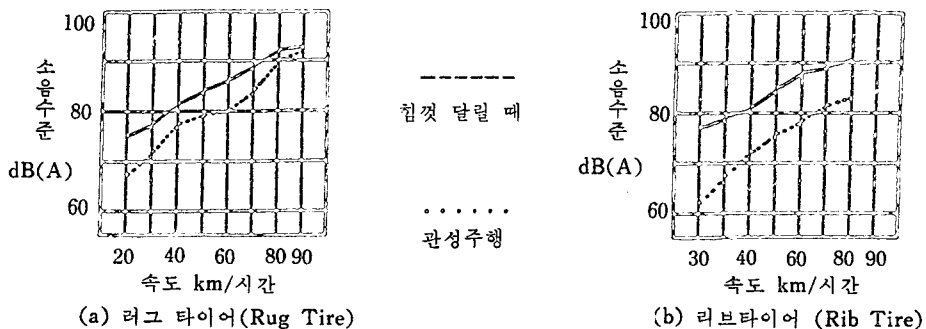


그림 2-4. 타이어별 주행방법에 따른 소음수준의 변화(조한인, 1984)

은 자동차 전용 도로에서 속도가 30 Km/h 내지 100 Km/h의 범위내에서 주행하는 자동차의 소음, Law는 다음과 같이 표시된다(中野의 3인, 1982b).

$$Law = A1 + A2 \text{ Log}(V/60) \quad (2-2)$$

$$Law = B1 + B2 V \quad (2-3)$$

이때, Law는 dB(A)로 표시되며, V는 자동차의 운행속도(Km/h)이고, A1, A2, B1, B2는 각각 상수로서 차종에 따라 평균치와 편차로서 나타낸다. 화물차의 경우는 화물을 적재하고 주행할 때 자동차의 소음이 빈차로 주행

할 때 보다 더 높다. 정량을 적재하고 주행하는 트럭의 소음은 (그림 2-5)에서와 같이 빈차로 주행할 때보다 자동차의 속도에 따라 2-10 dB 정도의 소음이 증가하고 있다(東京都 公害局 大氣保全部, 1970).

도로구조에 따라서도 소음수준은 많은 차이가 있다. 고가, 성토, 절토와 같은 형상을 하고 있는 도로에서는 경사의 밑부분이나 윗부분에서 방음벽과 유사한 효과가 생긴다. 고가, 성토, 절토 형상의 3종류 도로 구조에서 생기는 영향과 소음 수준의 분포 상태를 거리에 따라서 비교해 보면 (그림 2-6)과 같다(조한인, 1984).

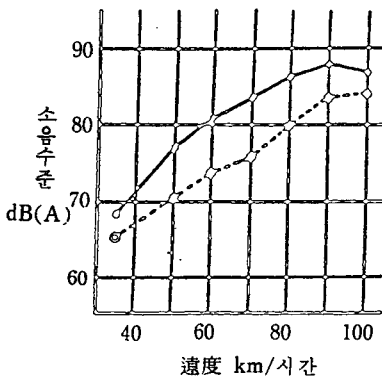


그림 2-5. 빈차와 정량적재상태의 주행속도에 따른 소음수준

* 실험조건

자동차 : 3.5톤 화물차

타이어 : 7.50-16-12PR

노면 : 콘크리트 포장

— : 정량적재 상태

..... : 빈차 상태

..... : 평면도로의 경우

l : 근접차선 중심으로부터의 거리(M)

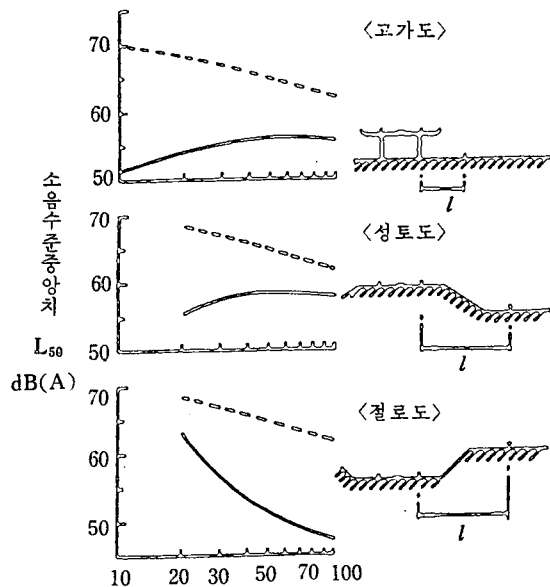


그림 2-6. 각종 도로구조에서의 소음수준

서로 다른 수준의 두 소음의 합성은 두 소음의 수준을 각각 L_1 , L_2 (단, $L_1 > L_2$; dB)라 할 때 (식 2-4)에 의하여 이루어진다. 이때 두 소음에 의하여 이루어진 합성소음의 소음수준은 L (dB)이 된다. 이것을 두 소음간의 차이로 나타내면 (식 2-5)가 된다(福田基一, 1978).

$$L = 10 \text{ Log}(10^{**}(L_1/10) + 10^{**}(L_2/10)) \quad (2-4)$$

$$L = L_1 + \text{Log}(10^{**}((L_2 - L_1)/10)) \quad (2-5)$$

$$L = 10 \text{ Log}(10^{**}(L_1/10) + 10^{**}(L_2/10) + \dots + (10^{**}(L_n/10))) \quad (2-6)$$

$$L = L_1 + 10 \text{ Log}(n) \quad (2-7)$$

만일 소음이 둘 이상(L_1 , L_2 , L_3 , ..., L_n) 일 경우 소음의 합성은 (식 2-6)에 의하여 합성소음을 산정한다. 또 합성하고자 하는 소음이 모두 동일한 수준의 소음일 때 합성 소음은 (식 2-7)과 같이 된다(福田基一, 1978).

Ⅲ. 이용자료

1) 이용 자료의 성격

본 연구에서 사용된 자료는 아스콘 포장도로인 인천시 남동구 구월동의 대로 3류 14호선과 콘크리트 포장도로인 인천시 서구 공촌동의 광로 2류 9호선 노상의 일반차량의 통행이 통제된 상태에서 측정된 박연수(박연수, 1988)의 소음자료이다. 아스콘 포장도로인 대로 3류 14호선은 1987년 포장되었고 총폭 25 M 중 양편에 각각 4 M 씩의 소형 고압블럭으로 포장된 보도가 설치되어 있다. 이 도로의 종단 구배는 0.054%이고, 횡단 구배는 도로 중심선으로부터 양편으로 2%이다. 노반은 성토부이고 보조기층($\phi 75$ mm) 60 CM, 기층(아트콘 #467) 10 CM, 포층(아스콘 #78) 5 CM의 단면으로 포장되어 있으며 노면은 양호

한 평탄성을 가진다. 콘크리트 포장도로인 광로 2류 9호선은 1987년 포장되었고, 보도가 조성되지 않은 전폭 9 M, 포장폭 7M로 중부고속도로 포장공법과 같이 콘크리트 휘니샤로 포설되었다. 이 도로의 종단구배는 0.778%, 횡단구배는 2%이며, 노반은 절토부이다. 단면은 보조기층($\phi 75$ mm) 40 CM, 기층(시멘트 안정처리) 15 CM, 포층(콘크리트) 25 CM로 구성되어 있다.

소음 측정에 사용된 차종은 포니, 스텔라, 로얄 살롱, 2.5톤 트럭, 대형버스, 8톤 트럭, 15톤 트럭 등의 7종류이다. 그러나 본 연구에서는 포니, 스텔라, 로얄살롱, 2.5톤 트럭은 소형차로, 대형버스, 8톤 트럭, 15톤 트럭은 대형차로 분류하여, 소형차와 대형차로만 차량의 종류를 국한하였다. 소음의 측정위치는 소음원인 자동차에서 각각 7.5, 11.0, 14.5 M 떨어진 지점이다. 소음 측정 자동차에는 계기 측정자와 운전자만이 승차하였다. 자동차의 주행속도는 소음측정 실험의 편의상 40, 60, 80 Km/h로 한정하여 소음을 측정하였다. 노면의 종류는 아스콘과 콘크리트의 2종류이다.

소음의 측정은 전체소음, 마찰소음, 엔진소음을 대상으로 측정하였다. 전체소음은 자동차를 일정 속도로 주행시켜 각각의 측정지점에서 소음으로 하였다. 마찰소음은 정해진 속도에서 엔진을 끈상태로 주행시켜 그때의 소음을 마찰소음으로 측정하였다. 또 엔진소음은 전체소음 측정시의 엔진 회전속도로 정지된 상태에서 엔진을 공회전시켰을 때의 소음으로 측정하였다. 그러나 이러한 엔진소음은 주행중인 차량의 엔진 소음과는 얼마간의 차이를 가질 것이다. 이는 주행중인 차량의 경우 기어가 일정 위치에 놓이게 되기 때문이다. 따라서 기어가 일정위치에 놓여 발생하는 소음이 본 연구의 엔진소음에서는 측정이 불가능하여 제외하였다.

모든 자료는 전체소음, 마찰소음, 엔진소음 중 하나의 소음만이 측정되었다. 전체소음이 측정된 자료는 120개, 마찰소음이 측정된 자료는 130개, 엔진소음이 측정된 자료는 220개이다.

2) 자료의 기초 분석

소형차는 마찰소음이 엔진소음보다 평균 9.1 dB 높게 나타났다. 반면 대형차는 엔진소음이 마찰소음보다 평균 3.0 dB 높게 나타났다. 소음별 비율을 보면 소형차의 경우 전체소음을 1.00으로 하였을 때 엔진소음은 0.83, 마찰소음 0.97이다. 대형차의 경우에도 전체소음을 1.00으로 했을 때 엔진 소음은 0.97, 마찰소음 0.94이다. 이는 소형차의 경우 마찰소음이, 대형차의 경우에는 엔진소음이 주요 소음원임을 나타내는 것이다. 각 소음들이 차량종류, 주행속도, 측정지점, 노면 종류에 따라 어떠한 변화를 나타내는가를 알아보았다.

자동차의 속도는 소음 수준에 많은 영향을 끼치고 있다. 소형차의 경우 속도가 40 Km/h일 때 20 Km/h가 증가함에 따라 소음은 61.9 dB에서 7.9 dB이 증가하였으며 60 Km/h일 때는 69.8 dB에서 3.8 dB이 증가하였다. 대형차의 경우에도 각각 75.2 dB에서 3.3 dB, 78.5 dB에서 3.4 dB이 증가하였다. 소형차의 경우 엔진소음과 마찰소음은 속도가 커짐에 따라 차이가 커지고 있으며 마찰소음은 전체소음에 접근하고 있다. 또한 대형차의 경우는 속도가 커짐에 따라 엔진소음의 비율이 커져 전체소음의 수준에 가깝게 접근하고 있다. 따라서 소형차의 경우에는 처음 속도가 증가함에 따라 큰 폭으로 소음이 증가하나 80 Km/h 정도에 달하면 소음의 증가는 매우 적어짐을 알 수 있다. 한편 대형차의 경우는 소형차보다 높은 속도에서도 소음이 증가함을 알 수 있다(표 3-1 참조).

한편, 소음수준은 측정위치에 따라 다르게 측정된다. 소음원과 측정지점까지의 거리가 7.5 M에서 11.0 M로 멀어졌을 때 평균 3.7 dB, 11.0 M에서 14.5 M로 멀어졌을 때 평균 4.2 dB이 낮아졌다. 7.5 M 지점에서 11.0 M 지점으로 측정위치를 3.5 M 이동하였을 때보다 11.0 M 지점에서 14.5 M 지점으로 측정위치를 3.5 M 이동하였을 때가 더 큰 폭으로 소음수준이 낮아졌다. 이는 소음원까지의 거리가 소음수준에 미치는 영향이 (그림 2-1)에 나

타나는 바와 같이 비선형 관계에 의한다는 것을 보여주고 있다(표 3-2 참조).

표 3-1. 주행 속도에 따른 소음의 변화
(단위 : dB)

차 소 음 종	자 동 차 의 주 행 속 도			
	40Km/h	60Km/h	80Km/h	평균
소 마찰소음	60.81	67.84	72.94	65.67
엔진소음	54.15	55.97	59.00	56.57
형 전체소음	61.86	69.83	73.63	67.75
대 마찰소음	72.25	74.14	80.93	73.14
엔진소음	68.76	75.71	77.48	76.09
형 전체소음	75.17	78.47	81.93	78.13
평 마찰소음	64.89	70.90	74.83	68.66
엔진소음	58.48	61.48	63.07	61.10
균 전체소음	67.57	73.53	77.09	72.16

표 3-2. 측정위치에 따른 소음의 변화
(단위 : dB)

차 소 음 종	측정지점까지의 거리			
	7.5 M	11.0 M	14.5 M	평균
소 마찰소음	69.53	65.16	62.16	65.67
엔진소음	59.22	55.93	52.25	56.57
형 전체소음	71.76	67.71	63.78	67.75
대 마찰소음	76.87	72.13	69.19	73.14
엔진소음	79.47	75.83	71.64	76.09
형 전체소음	82.19	78.33	74.09	78.13
평 마찰소음	72.74	67.77	64.84	68.66
엔진소음	63.23	61.95	56.95	61.10
균 전체소음	76.04	72.38	68.19	72.16

또한 아스콘 포장도로와 콘크리트 포장도로에서의 소음수준은 큰 차이를 가지고 있지는 않다. 마찰소음의 경우는 콘크리트 포장도로에서 소형차가 4.9%, 대형차가 6.3% 높게 나타났다. 전체소음에는 적은 영향밖에 미치지 못하여 소형차가 1.1%, 대형차가 1.8%만 높은 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서 이용한 엔진소음 자료가 정지상태에서의 엔진소음 자료이므로 노면의 종류에 따른 엔진소음의 변화는 분석범위에서 제외되었다(표 3-3 참조).

표 3-3. 노면의 종류에 따른 소음의 변화
(단위 : dB)

차 종	소 음	노면의 종류		
		아스콘포장	콘크리트포장	평균
소	마찰소음	64.26	67.40	65.67
	엔진소음	56.46	56.68	56.57
	전체소음	67.39	68.14	67.75
대	마찰소음	71.92	76.47	73.14
	엔진소음	75.76	74.56	76.09
	전체소음	78.85	77.47	78.13
평	마찰소음	67.28	70.31	68.66
	엔진소음	61.19	61.10	61.10
	전체소음	71.97	72.35	72.16

노면의 종류(아스콘 = 0, 콘크리트 = 1), 차량의 종류(소형 = 0, 대형 = 1), 주행속도, 기어의 위치, 측정지점까지의 거리, 엔진회전수 등 소음에 영향을 미칠 수 있는 각 변수들간의 상관관계 및 이들과 전체소음, 엔진소음, 마찰소음간의 상관 관계는 (표 3-4)와 같다. (표 3-4)에서 보는 바와 같이 엔진회전수는 주행 속도와 0.70의 비교적 높은 상관계수 R을 가지고 있다. 엔진소음은 차량의 종류와 가장 높은 0.8858의 상관계수를 보이고 있다. 또 마찰소음은 주행 속도와 가장 높은 0.6647의 상관계수를 보이고 있다. 엔진소음, 마찰소음, 전체소음 모두 차량의 종류, 주행속도, 관측지점까지의 거리에 유의적인 상관계수를 보이고 있다. 이 중 관측지점까지의 거리는 모든 종류의 소음과 유의적인 음의 상관관계를 가지고 있다.

IV. 소음원별 소음예측모델의 개발

엔진소음(엔진소음)에 영향을 주는 주요인 자료는 소음원이 되는 차량의 종류(차량종류), 엔진회전수(엔진회전), 측정지점까지의 거리(측정지점) 등이다. 이것은 (식 4-1)과 같은 함수식으로 표현할 수 있다.

$$\text{엔진소음} = f(\text{차량종류}, \text{엔진회전}, \text{측정지점}) \quad (4-1)$$

표 3-4. 각 소음요소간의 상관관계(R)

상관관계	노면종류	차량종류	주행속도
노면종류	1.000	.0223	-.0280
차량종류	0.0223	1.000	-.0102
주행속도	-.0280	-.0102	1.000
기어위치	-.0203	.8719	.3629
관측지점	.0029	.0356	-.0375
엔진회전	-.0442	-.6460	.6963
상관관계	기어위치	관측지점	엔진회전
노면종류	-.0203	.0029	-.0442
차량종류	.8719	.0356	-.6460
주행속도	.3629	-.0375	.6963
기어위치	1.000	.0053	-.3325
관측지점	.0053	1.000	-.0202
엔진회전	-.3325	-.0202	1.000
상관관계	전체소음	엔진소음	마찰소음
노면종류	-.0080	-.0074	.2250
차량종류	.5994	.8858	.4808
주행속도	.4961	.1996	.6647
기어위치	.1615	**	**
관측지점	-.4124	-.2898	-.4420
엔진회전	0.2341	-.3770	**

* 각 소음간의 상관관계는 개개의 소음들이 동시에 측정되지 못하여 그 상관관계를 구할 수 없었음.
** 동시에 측정된 자료가 없어 상관관계를 구할 수 없었음.

그러나, 주행중인 차량의 엔진 회전수를 소음예측을 위해 측정한다는 것은 어려운 일이며, 교통 계획에서 많이 사용되고 있는 주행속도(주행속도)가 엔진 회전수와 높은 상관관계, $R = 0.70$, 를 가지고 있다. 따라서 엔진소음에 직접 영향을 미치는 엔진 회전수를 모델에 포함시키지 않고, 실제 많이 사용되는 주행속도, Km/h를 변수로 선택하였다. 차량의 종류(차량종류)도 교통계획에서 사용하고 있고 본 연구목적인 대형차의 소형차 소음환산계수 산정에 사용하기 위해 소형차(차량종류 = 0)와 대형차(차량종류 = 1)로만 분리하여 가변수(Dummy Variable)로 모델에 적용하였다. 이에의한 모델은 (식 4-2)와 같다.

$$\text{Log(엔진소음)} = 1.71207$$

$$\begin{aligned}
 &+ 0.13380(\text{차량종류}) \\
 &\quad (64.90) \\
 &+ 0.11792\text{Log}(\text{주행속도}) \\
 &\quad (16.94) \\
 &- 0.17118\text{Log}(\text{측정지점}) \\
 &\quad (24.84) \qquad (4-2) \\
 R^2 = 0.96 \quad D.F. = 3,216 \quad F = 1635.19 \\
 ()\text{안은 } t\text{값임.}
 \end{aligned}$$

또, 마찰소음(마찰소음)에 영향을 주는 인자로는 소음원이 되는 차량의 종류(차량종류), 주행 속도(주행속도), 노면의 종류(노면종류), 측정 지점까지의 거리(측정지점) 등이다. 이것은 (식 4-3)과 같은 함수식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{마찰소음} = f(\text{차량종류, 주행속도,} \\
 \text{노면종류, 측정지점}) \quad (4-3)
 \end{aligned}$$

마찰 소음(마찰소음)의 수준을 예측하기 위해 차량의 종류는 엔진소음 예측 모델의 설정에서와 같이 교통 계획에서 일반적으로 사용하고 있는 소형차와 대형차만으로 분리하여 가변수로 모델에 적용하였다. 또한 노면의 종류(노면종류)도 아스콘 포장도로(노면종류 = 0)와 콘크리트 포장도로(노면종류 = 1)로 분리하여 가변수로 모델을 적용하였다. 이에 의한 모델은 (식 4-4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(\text{마찰소음}) = 1.55352 \\
 &+ 0.04029(\text{차량종류}) \\
 &\quad (13.05) \\
 &+ 0.24507\text{Log}(\text{주행속도}) \\
 &\quad (20.85) \\
 &- 0.16605\text{Log}(\text{측정지점}) \\
 &\quad (13.17) \\
 &+ 0.01744(\text{노면종류}) \qquad (4-4) \\
 &\quad (5.76)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R^2 = 0.88 \quad D.F. = 4,125 \quad F = 221.47 \\
 ()\text{안은 } t\text{값임.}
 \end{aligned}$$

전체소음(전체소음)에 영향을 주는 주요 인자로는 엔진소음과 마찰소음의 소음원이 되는

차량의 종류(차량종류), 주행속도(주행속도), 측정지점까지의 거리(측정지점), 노면의 종류(노면종류) 등이다. 이것은 (식 4-5)와 같은 함수식으로 표현할 수 있다. 또한 이에 의한 모델식은 (식 4-6)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{전체소음} = f(\text{차량종류, 주행속도,} \\
 \text{측정지점, 노면종류}) \quad (4-5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(\text{전체소음}) = 1.63636 \\
 &+ 0.06447(\text{차량종류}) \\
 &\quad (17.74) \\
 &+ 0.20656\text{Log}(\text{주행속도}) \\
 &\quad (14.40) \\
 &- 0.16860\text{Log}(\text{측정지점}) \\
 &\quad (10.95) \\
 &+ 0.00967(\text{노면종류}) \qquad (4-6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R^2 = 0.85 \quad D.F. = 4,115 \quad F = 157.09 \\
 ()\text{안은 } t\text{값임.}
 \end{aligned}$$

본 연구에서 개발된 모델에서는 차량종류, 주행속도, 측정거리 그리고 노면종류의 3가지 또는 4가지 변수를 사용하였다. 소음원에 따른 각 소음원의 예측모델형태는 각 변수와 전체소음과의 관계가 제 2장 자동차이론에서 소개된 바와 같이 선형 또는 비선형의 관계를 가지도록 하였다. 따라서 주행속도(주행속도)와 소음과는 (그림 2-1), (그림 2-2), (그림 2-4)에서와 같이 선형관계를 가지며, 소음 측정지점까지의 거리(측정지점)와도 비선형 관계를 가진다. 이들 3변수 또는 4변수에 의한 모델은 전체소음, 마찰소음, 엔진소음을 각각 85%, 88%, 96%씩 설명할 수 있는 것으로 나타났다(유완, 이승주, 1990).

V. 소음환산계수 산정모델의 개발

대형차가 내는 소음과 소형차가 내는 소음에는 커다란 차이가 있다. 대형차 1대가 내는 소음은 소형차 1대가 내는 소음보다 크다. 소음은 유사한 소음수준을 갖는 2개의 소음을 합성하더라도 약 3 dB의 소음차만을 나타낸다.

따라서 대형차의 소음수준을 소형차의 소음수준으로 표현하는 소음환산계수는 교통 계획에서 사용되고 있는 승용차 환산계수(Passenger Car Unit)와는 다르게 적용되어야 한다. 승용차 환산계수는 일반적으로 2.5-5의 범주에서 적용되고 있다. 그러나 소음의 경우는 그 특성을 고려하여 환산계수를 결정하여야 한다.

소음원별 소음예측모델의 개발시 사용한 자료의 범위내에서 노면의 종류, 주행속도, 측정지점까지의 거리를 변화시키며 의태분석(Simulation)하여 각 소음 요소의 변화에 따라 동일한 소음조건에서 대형차와 소형차의 소음 수준의 차이를 산정하였다. 동일한 수준의 소음(S)이 N개 있다고 할 때 이들의 합성 소음(L)은 (식 5-1)과 같다(福田基一, 1978).

$$L = S + 10 \text{ Log}(N) \quad (5-1)$$

따라서 대형차의 소음(L)은 소형차의 소음(S)이 N개인것과 동일한 소음수준이 된다. (식 5-1)로부터 (식 5-2)와 (식 5-3)이 유도된다.

$$L - S = 10 \text{ Log}(N) \quad (5-2)$$

$$N = 10^{((L-S)/10)} \quad (5-3)$$

(식 5-2)로부터 대형차의 소음 수준과 소형차의 소음수준의 차이는 소형차의 소음수준의 갯수와 비례한다. 따라서 (식 5-3)으로부터 얻어진 소형차 소음수준의 갯수인 N은 소음 환산 계수가 된다.

(표 5-1)은 본 연구에서 개발된 각 소음원의 소음예측모델과 (식 5-3)을 이용하여 산정한 아스콘 포장도로에서의 소음환산계수이고 (표 5-2)는 콘크리트 포장도로에서의 소음환산계수이다. (표 5-1)과 (표 5-2)에서 보는 바와 같이 엔진소음의 환산계수는 아스콘 포장도로와 콘크리트 포장도로에서 같으며, 매우 크게 나타나고 있다. 이는 소형차의 경우 엔진소음이 매우 적은 반면 대형차의 경우 엔진소음이 전체소음에 이를 정도로 엔진소음이 커 대형차와 소형차 간 엔진소음의 차이가 매우 크기 때문이다. 반면에 마찰소음의 환산계수는 적

표 5-1. 아스콘포장도로에서의 소음환산계수 (단위 : PCE)

	주 행 속 도		
	40Km/h	60Km/h	80Km/h
관측지점까지의 거리	108.294	136.222	161.395
	7.5	4.117	4.772
	11.0	11.395	14.093
11.0	80.444	99.727	116.891
	3.773	4.334	4.824
	9.786	11.944	13.903
14.5	65.687	80.629	93.816
	3.555	4.058	4.496
	8.822	10.670	12.334

표 5-2. 콘크리트포장도로에서의 소음환산계수 (단위 : PCE)

	주 행 속 도		
	40Km/h	60Km/h	80Km/h
관측지점까지의 거리	108.294	136.222	161.395
	7.5	4.362	5.088
	11.0	12.036	14.958
11.0	80.444	99.727	116.891
	3.984	4.603	5.146
	10.302	12.630	14.752
14.5	65.687	80.629	93.816
	3.744	4.298	4.781
	9.265	11.254	13.051

게 나타났다. 이는 소형차가 일으키는 마찰소음이 소형차의 전체소음에 이를 만큼 큰데 반해 대형차의 마찰소음은 소형차에 비해 그 비율이 상대적으로 크지 않기 때문이다. 전체소음의 환산계수는 엔진소음의 환산계수에 비해서는 매우 적으나 마찰소음의 환산계수에 비해서는 그리 크지 않다. 전체소음은 엔진소음과 마찰소음의 합성에 의하여 이루어진 소음이기때문에 엔진소음의 환산계수와 마찰소음의 환산계수가 합하여져 전체소음의 환산계수가 얻어진다. 그러나 환산계수의 합은 소음의 특성에 의하여 이루어진다. 소형차는 마찰소음이 주 소음이고 대형차는 엔진소음이 주 소음이기 때문에 전체소음 환산계수는 이들에

의하여 주로 영향을 받는다. 따라서 각 소음원에 의한 소음환산계수의 합과는 다르게 나타난다.

주행 자동차의 소음에 영향을 미치는 주요 요소인 주행 속도, 측정지점까지의 거리, 노면의 종류에 의하여 엔진소음, 마찰소음, 전체소음 각각에 대한 대형차의 소형차 소음환산계수를 구하기 위한 모델을 개발하였다. 각 소음원의 소음환산계수를 구하는 모델식은 각각 (식 5-4), (식 5-5), (식 5-6)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{엔진소음환산계수} &= 121.80287 \\ &+ 0.95260(\text{주행속도}) \\ &\quad (45.657) \\ &- 6.90585(\text{측정지점}) \quad (5-4) \\ &\quad (49.306) \end{aligned}$$

$$R^2=0.955 \quad D.F.=2,213 \quad F=2257.83$$

$$\begin{aligned} \text{마찰소음환산계수} &= 3.70646 \\ &+ 0.26065(\text{노면종류}) \\ &\quad (26.651) \\ &+ 0.02844(\text{주행속도}) \\ &\quad (100.398) \\ &- 0.09657(\text{측정지점}) \quad (5-5) \\ &\quad (50.774) \end{aligned}$$

$$R^2=0.984 \quad D.F.=3,212 \quad F=4456.04$$

$$\begin{aligned} \text{전체소음환산계수} &= 10.47464 \\ &+ 0.66898(\text{노면종류}) \\ &\quad (14.148) \\ &+ 0.10986(\text{주행속도}) \\ &\quad (80.200) \\ &- 0.45226(\text{측정지점}) \quad (5-6) \\ &\quad (49.184) \end{aligned}$$

$$R^2=0.977 \quad D.F.=3,212 \quad F=3017.107$$

()안은 t값임.

본 연구에서 개발된 모델에서는 주행속도, 측정지점까지의 거리 그리고 노면종류의 2변수 또는 3변수를 사용하였다. 이들 2변수 또는 3변수에 의한 모델은 엔진소음, 마찰소음, 전체소음 환산계수에 대한 95.5%, 98.4%, 97.

7%씩의 결정력을 가지고 있는 것으로 나타났다.

VI. 결 론

주행 자동차의 소음수준은 소형차보다 대형차에서 높다. 노면의 종류에 따른 소음 수준은 콘크리트 포장도로에서의 소음 수준이 아스팔트 포장도로에서 보다 높은 것으로 나타났다. 주행속도와 측정지점까지의 거리에 따라 주행속도가 빠를수록, 측정지점까지의 거리가 가까울수록 소음수준이 높다. 차량의 종류별 엔진소음은 주행속도와 측정지점까지의 거리에 의하여 큰 영향을 받는다. 마찰소음은 주행속도와 측정지점까지의 거리, 그리고 노면종류에 의하여 주로 결정된다. 운행 중인 자동차의 전체소음은 엔진소음과 마찰소음에 의하여 결정되어 진다. 소형차는 마찰소음에 의하여, 대형차는 엔진소음에 의하여 운행중에 발생하는 전체소음이 주로 결정되는 것으로 나타났다.

본 연구 결과에 의하면 주행속도와 측정지점에 따른 소음환산계수의 변화는 엔진소음의 경우가 가장 크게 나타났다. 이것은 대형차와 소형차간의 엔진소음 차이가 매우 크기 때문이다. 따라서 적은 수준의 소음차이 변화에도 소음환산계수는 민감하게 변하기 때문에 엔진소음의 주요요소인 주행속도와 측정지점에 따라 소음환산계수는 급격하게 변화한다. 마찰소음의 경우 엔진소음과는 반대로 대형차와 소형차간의 마찰소음 수준에는 큰 차이가 없어 소음환산계수는 엔진소음이나 전체소음에 비하여 소음 요소의 변화에 민감하지 않다.

본 연구에서 개발한 모델식인 (식 4-2), (식 4-4), (식 4-6)과 (식 5-4), (식 5-5), (식 5-6)에 의하면 주행 속도를 60 Km/h에서 40 Km/h로 감속하여 얻을 수 있는 전체 소음 감소효과와 소음원까지의 거리를 10 M에서 15 M로 멀게함으로써 얻을 수 있는 감소효과는 서로 유사하다. 또 주행속도를 80 Km/h에서 60 Km/h로 감속하여 얻을 수 있는 전체소음 환산계수의 감소는 소음원까지의 거리

를 8 M에서 15 M로 멀게 함으로써 얻을 수 있는 감소와 유사하다. 또한 대형차의 혼합음을 30% 정도라고 가정할 때, 대형차의 통행을 제한함으로써 속도를 50 Km/h에서 40 Km/h로 감속시키는 것과 유사한 소음감소 효과를 얻을 수 있다.

본 연구를 통하여 소형차는 마찰소음을 억제하고 대형차는 엔진소음을 억제하는 방법을 모색함으로써 자동차 소음을 감소시키는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 소형차의 경우는 마찰소음에 영향을 미치는 주행속도와 측정지점을 직접적으로 통제하는 것은 불가능하다. 따라서 소형차의 마찰소음을 줄이기 위하여는 타이어의 형태, 차체의 모양등을 개선함으로써 전체소음을 줄일 수 있다. 또, 대형차의 경우는 저소음 엔진을 사용하고, 차량의 무게를 경량화함으로써 엔진소음을 줄일 수 있다. 이와같이 자동차의 소음을 소음원에 따라 엔진소음과 마찰소음으로 구분하여 각 소음원의 소음발생요소를 조절함으로써 소음을 줄이는 것이 소음 억제에 효과적이다.

참고문헌

- 교통개발연구원. 1986, *교통정보*, 1987. 3.
 ————. 1987, *교통정보*, 1988. 2.
- 국립환경연구소. 1981, *신규제작 및 사용 과정 중 차종별 소음도 조사연구*.
- 김민호. 1984, *소음방지 실무요령*, 산업공해연구소.
- 박연수. 1988, *차량 주행 시험에 의한 도로교통소음 예측 모델*, 석사학위논문, 연세대학교 산업대학원.
- 서울지하철건설본부. 1981, *지하철 소음 조사연구*.
- 유병태 외 7인. 1980, *서울시 도로 교통 소음도 조사 연구*, 서울특별시 보건연구소.
- 유완, 이승주. 1990, "운행자동차의 소음예측 모델," *국토계획*, 대한국토계획학회지 제 25 권 제 1 호, 103-116쪽.
- 은희준. 1981, *서울시 전역에 대한 소음실태 조사연구*, 환경청.
 ———— 외 2인. 1980, *서울시 소음 규제지역 선정을 위한 조사 연구*, 서울특별시.
 ———— 외 4인. 1982, *소음환경 기준을 위한 조사 연구*, 환경청.
 ———— 외 5인. 1983, *음향 측정 이론과 실제*, 한국표준연구소.
- 조한인. 1984, *도로 교통 소음 예측 모델*, 석사학위논문, 연세대학교 산업대학원.
- 조현제 외 2인. 1985, "도로변 주거지역의 교통소음 저감 방안에 관한 연구," *국토계획* 20권 2호.
- 차일환. 1980a, *소음·진동*, 세림사.
 ————. 1980b, *음향공학개론*, 한신문화사.
- 함경청. 1981, *서울 전역에 대한 소음실태조사연구*.
- Bassiouni, M. R. 외 2인. 1983, "Prediction and Experimental Verification of Far-field Sound Propagation over Varying Ground Surface," *Internoise* 1983.
- Buna, B. 1983, "Road Traffic Prediction Methods — State of The Art and Outlooks," *Internoise* 1982.
- Cunniff, P. F. 1977, *Environment Noise Pollution*.
- Hajek, J. J. 1977, "Leq Traffic Noise Prediction Method," *TRR* 648, Transportation Research Board, p. 48-53.
- Harris, C. M. 1979, *Handbook of Noise control*.
- Kameswarans. 1982, "Traffic Noises in Developing Countries and Methods of Control," *First Acoustical Conference of the West Pacific Region*.
- Leasure, William A. Jr. 1975, "Trie-Road Interaction Noise," *Journal of the Acoustics Society of America*, Vol. 58, No. 1.
- Olson, N. 1972, "Survey of Motor Vehicle Noise," *Journal of the Acoustic Society of America*, Vol. 52, No. 5.
- Shin, Hung-Chih. 1982, "Prediction Models of Traffic Noise Level and Human Response on Urban Main Roads in Taiwan Area," *First Acoustic Conference of the West Pacific region*.
- Watson, Hal Jr. 1983, "Prediction of Sidewalk Noise Levels Coused by Traffic in an Urban Control Business District," *Internoise* 1983.
- Yu, W. 1987, "Accuracy of Measurement Assesing Human Response on Noise," *Internoise* 1987, Vol. 2, pp. 985-988.
 ————. 1988, "Machin Friction Noise Evaluation of Vehicles in Operation," *WESPAC III*, Vol. 2, pp. 517-520.
 ————. 1988, "Disturbance of Daily Activities Due to Traffic noise," *WESPAC III*, Vol. 2, pp. 541-545.
 ————. 1988, "Evaluation of Expected Noise Impact of Industrial Development," *WESPAC III*, Vol. 2, pp. 565-568.
- 東京都 公営局 大気保全部. 1970, *自動車 ハンドブック*.
- 福田基一. 1973, *騒音防止工学*, 日刊 工業新聞社.
 ———— 외 1인. 1976, *騒音對策 騒音設計*, 公立出版株式會社.
 石井 馨光. 1975, *道路交通騒音 予測計算方法 に関する*

- する研究, 日本音響學會紙 31卷 8號.
 松井 昌幸 외 2인. 1976, 公害防止 管理と實務, 日刊工業新聞社.
 田村 正幸. 1982, 騒音予測 モデルとシミュレーション, 研究報告 35號, 国立公害研究所.
 中野 有朋. 1987, 入門騒音工学, 技術書院.
 _____ 외 3인. 1982a, 騒音・振動(上), コロナ社.
 _____ 외 3인. 1982b, 騒音・振動(下), コロナ社.

ABSTRACT

The Passenger Car Equivalence Models for Noise Level of Large Vehicles

Wan, Yu and Seung-Ju, Lee

The purpose of this study is to develop the models to predict the noise PCE (Passenger Car Equivalence) of large running vehicles through noise prediction models. The noises were measured at the distance of 7.5 M, 11.0 M, and 14.5 M from the noise source with test vehicles running at the speed of 40 Km/h, 60 Km/h, and 80 Km/h while normal traffic were detoured.

Total noise levels were measured while

vehicles were running at given speeds. Engine noise level was considered as the noise of its idle running at the three vehicle speeds shown above friction noise level was ascertained by moving the vehicle at given speeds without the engine operating. The noise prediction models for each noise source were developed by factors which affect to the each noise level.

As a result of this paper, the reduction of total vehicle noise by increasing the distance to the noise source from 10 M to 15 M is as much as that by dropping its speed from 60 Km/h to 40 Km/h. Also, the reduction of PCE of total noise of large vehicle by making the noise source far from 8 M to 15 M is equivalent to that by reducing its speed from 80 Km/h to 60 Km/h. Engine noise PCE, which is in range between 65 and 160, is larger than friction noise PCE which is in range 3.5 and 5.5.

Engine noise is the main noise of the large vehicles while friction noise is that of the small vehicles. Machine noise for large vehicles, and engine noise for small vehicles should be tightly controlled to reduce the vehicle noise. A low noise engine and tire, and the shape of vehicle body are needed to be developed to reduce noise further.