

## 樹林帶에 따른 騒音減殺效果에 관한 研究<sup>1</sup>

李柱衡<sup>2</sup> · 姜連宇<sup>2\*</sup>

### A Study on the Noise Attenuation Effects by Types of Forest Tree Belt<sup>1</sup>

Ju-Hyoung Lee<sup>2</sup> and Gun-Uh Kang<sup>2\*</sup>

#### 要 約

본 연구는 소나무림과 참나무림을 대상으로 수림대별 소음감쇄효과에 대한 기준을 제시하고자 수행되었다. 수림대별로 소음감쇄에 영향을 미치는 주요인자로 흉고직경, 수고, 지하고, 임목밀도, 수관면적, 경사, 거리 등을 상관과 회귀식에 의하여 분석하였으며 이로부터 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 참나무림과 소나무림의 소음감쇄효과를 비교한 결과 큰 차이를 발견할 수 없었다.
2. 임목형상조건과 거리는 소음감쇄와 높은 상관관계를 나타내었으나, 경사도와는 상관관계가 적은 것으로 나타났다. 소음에 대하여 가장 높은 상관관계를 갖는 인자는 소나무림의 경우 흉고직경( $r=0.9133$ )과 거리( $r=0.9630$ )이며, 참나무의 경우도 흉고직경( $r=0.9296$ )과 거리( $r=0.9565$ )로 나타났다.
3. 소나무림과 참나무림 모두 소음에 대하여 흉고직경과 거리의 2변수로 구성된 최적 회귀식을 도출하였으며, 회귀식을 통하여 소음감쇄표를 작성하였다.

소나무림의 경우 수림대의 폭이 5m에서 29%, 10m에서 31.6~32.6%, 20m에서 38.3~39.8%, 30m에서 45.2~46.6%의 감쇄율을 보였고, 참나무림의 경우 폭이 5m에서 29%, 10m에서 31.6~34.2%, 20m에서 38.6~41.4%, 30m에서 45~47.2%의 감쇄율을 보였다.

4. 주거지역 및 녹지의 경우에 맞는 소음의 환경기준은 55dB인 바, 이 기준에 맞추어 감쇄표에 의하면, 소나무림의 경우 거리가 20m일 때, 흉고직경의 합계가 400~450cm이고 본수가 30~35본이거나, 거리가 25m일 때, 흉고직경의 합계가 250~300cm이고, 본수가 20~25본 일 경우로 나타났으며, 참나무림의 경우에는 거리가 20m일 때, 흉고직경합계가 400cm이고 본수가 30~35본이거나, 거리가 25m일 때 흉고직경의 합계가 250~300cm이며 본수가 20~25본인 경우로 나타났다.

#### ABSTRACT

The main purpose of this study was to provide information on attenuation effects in forest tree belt of pine stand and oak stand.

The relationships between DBH, tree height, clear length, crown area and number of trees and also between distance from noise origin, landslope etc. were analysed by correlation and multiple regression. The results obtained were as follows :

1. There was no difference between pine stand and oak stand in effecting noise attenuation.
2. The noise pressure was highly correlated with all of seven elements tested and both DBH and distance from noise origin have higher r-values than the others. For the pine stand, it was 0.9133 in DBH and 0.9630 in the distance and for the oak stand, 0.9296 in DBH and 0.9565 in the distance.

<sup>1</sup> 接受 2000年 12月 1日 Received on December 1, 2000.

審査完了 2001年 2月 28日 Accepted on February 28, 2001.

<sup>2</sup> 영남대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, Youngnam University, Kyoungsan 712-749, Korea.

\* 연락처자 E-mail : gukang@ynuucc.yeungnam.ac.kr

3. The optimum regression equation for pine stand and oak stand were made by combination of two variables (DBH and distance). The table of noise attenuation was made by optimum regression equation. In the case of pine stand, the attenuation ratio was 29% at 5m, 31.6~32.6% at 10m, 38.3~39.8% at 20m and 45.2~46.6% at 30m. And case of oak stand, the attenuation ratio was 29% at 5m, 31.6~34.2% at 10m, 38.6~41.4% at 20m and 45~47.2% at 30m.
4. As the noise pressure limit at the Urban housing area according to environmental laws is under 55dB, it is suggested by the table of noise attenuation that the distance, and DBH for the pine and oak stand are over 20m, 400cm and 30-35 trees, respectively.

*Key words : Noise attenuation, Noise attenuation effect, forest tree belt*

## 緒 論

산림의 효용가치는 환경적 가치와 경제적 가치로 구별되어 지는데, 여기에서 환경적 가치라 함은 토사유출방지기능, 수자원함양기능, 방풍기능, 야생동물보호기능, 보전휴양기능, 지구온난화방지, 공기정화기능 등 여러 편익을 말하는 것이며, 소음방지기능도 이에 포함된다.

소음이란 보통 인간이 원하지 않는 소리로서 그 오염원은 물질이 아닌 에너지라는 특징을 가지고 있으며, 따라서 축적량이 없고, 국소적이며, 순간적, 다발적이다(Michael, 1979).

인류의 문명 발달과 함께 자연현상 외에 인간에 대한 장애로서의 소음은 산업혁명 이후에 비롯되었다고 할 수 있다.

이러한 소음에 대해 영국이 1960년 최초의 소음경감법을 세운 것을 시초로 각국에서도 소음규제법을 세웠으며, 국내의 경우 1979년 환경보전법에서 언급된 후 1990년에 이르러 소음진동규제법이 제정·공포되었다(방극진, 1997).

최근들어 소음공해에 대한 인식의 변화로 환경보전법에서는 쾌적한 생활환경보전과 인간의 건강을 보호하기 위하여 유지되어야할 소음의 환경기준을 제시하고 있다.

우리나라에서도 현재 생활소음은 주거지역 및 녹지에서의 허용한계치가 주간에는 55dB, 야간에는 45dB로 정해져 있다. 건설부령(402호)의 소음측정기준에 의하면 65dB 이상인 지점에 공동주택을 건설할 경우 소음원으로부터 50m 이상 격리시키거나 방음벽, 수림대 등의 방음시설을 설치하도록 요구하고 있다(방극진, 1997). 그러나 도시의 대부분지역이 소음허용한계를 넘고 있으며, 그 방지시설 역시 미흡하다.

소음을 방지하는 방법으로는 소음발생을 줄이거나, 소음경로를 차단하거나, 소음 수용체를 방어

하는 방법이 있으며, 이 중에서 소음경로를 차단하기 위한 노력으로 수목을 이용하는 연구가 꾸준히 진행되어 왔다.

더구나 방음을 목적으로 한 수림은 직접적인 소음감쇄효과 외에 시각적인 쾌적함이나, 정신적 안정과 같은 부수적인 효과를 동시에 주고 있기 때문에(Yamada 등, 1977), 다른 인공적인 방음시설에 비하여 다목적의 효과가 있음을 밝히고 있다.

사회가 고도로 발달할수록 인간의 쾌적히 생활할 권리에 대한 인식이 높아지면서, 1960년 영국을 선두로 선진국과 개발도상국에서는 소음경감을 위한 제도적 장치를 마련해 왔으며, 우리나라도 소음방지의 일환으로 인공방음벽과 방음수림대를 설치·조성하고 있으나 그 효과에 대한 구체적인 연구는 미흡한 실정이다. 그러나 이러한 수림의 방음기능에 관한 연구로 1946년 Eyring이 파나마 밀림에서의 측정을 시초로 하여 Wiener와 Keast(1959)는 고주파수대에서의 소음감쇄효과를 보고하였고, Embleton(1963), Carlson(1977), Martens(1984) 등은 저주파수대에서의 최대감쇄를 보고하였다.

초기의 연구는 주파수대에 따른 소음감쇄의 차이를 구명하고자 했으나, Lawrence(1982)는 일반적인 방음 수림폭인 30~40m 내에서는 주파수에 의한 음압의 차이는 매우 근소하여 무시할 수 있는 수준이라는 것을 발표했고, 또 井村(1988), Aylor(1971), 田村 등(1992)은 수림에서의 소음감쇄는 복잡한 식생구조를 가진 수림을 통과하며 이루어지므로 소음발생원 뿐만 아니라 입상의 특징에 따라서는도 영향을 받는다고 밝히고 있다. 이러한 입상의 영향에 관한 연구로 Aylor(1971)는 수목의 식재방법에 따른 소음의 경감을 보고하였고, 1972년에는 지피식생의 영향을 보고하였다.

井村(1988) 등은 지엽과 소음감쇄와의 관계를 밝혔으며, 田村(1988) 등은 수림대의 높이와 폭에

다른 소음감쇄를 밝히고 있으며 본 연구의 결과와도 같은 경향을 나타내고 있다.

본 연구와 관련하여 그외에도 장정찬(1986)은 서울 도심간선 및 고속화간선 도로변의 수림대 폭을 15m 이상 넓히는 것과, 효과적인 식재 유형으로는 성토+식재+인공방음벽의 방법을 제시하였다.

수중에 따른 감쇄효과에 관한 연구는 일반적으로 활엽수종이 침엽수종보다 더 좋은 것으로 알려진 바와 달리, 두 수종간의 명확한 차이를 밝히지는 못하고 있다. 김용식 등(1989)은 상록활엽수인 사철나무보다 상록침엽수인 측백나무의 경우가 더 효과적이라 주장한 반면, 小橋(1991) 등은 수직소음에 대한 감쇄효과는 수관폭이 넓은 활엽수림이 더 좋은 것으로 발표하였다.

실생활에서 가장 많이 접하는 소음으로 이정순(1987)의 설문조사결과 87.6%가 차량소음이라 답했으며, 김성일과 오동하(1994)는 차량소음을 소음 발생원으로 하여 도로변 6곳 수림에서 10~15dB의 감쇄치를 확인하고, 10m의 수림대와 주변에 관목수림대, 초지 등을 함께 조성할 경우 최대 15dB

이상의 소음감쇄를 보고하였고, 홍종수(1994)는 수벽의 소음경감효과에 관한 연구에서 소나무, 측백, 사철, 가시, 대나무에 관한 회귀식을 정리하여 발표한 바 있다.

본 연구에서는 소음을 감쇄하는 기능에 대하여 산지의 수림대를 대상으로 소음방지정도와 임상과의 관계를 구명하고자 하였다.

수림을 침엽수와 활엽수임상으로 나누어 소음감쇄정도를 측정하고, 임분구성인자를 분석하여 각 인자들과 소음감쇄와의 관계를 밝힘으로써 이 가운데 소음감쇄효과에 주요한 영향을 미치는 인자를 구명하여 회귀분석을 통해 수림대별 소음감쇄에 대한 기준을 제시하고자 한다.

研究材料 및 方法

1. 연구재료

1) 연구대상지 선정

연구대상지는 침엽수와 활엽수로 구분하였으며, 대표수종으로는 소나무림과 참나무림을 각각 선정

Table 1. Values of some variable measured in sample plots for Pine stand.

		pine 1	pine 2	pine 3	pine 4	pine 5	pine 6	pine 7	pine 8	pine 9	pine 10
DBH (cm)	SUM	594	552	448	577	750	586	638	494	630	560
	MEA	9	9	22	17	16	14	14	11	11	12
	MAX	15	19	31	32	36	27	28	27	23	27
	MIN	6	6	11	10	7	7	6	6	6	6
TH (m)	SUM	436	504	276	280	437	358	388	347	456	370
	MEA	6	8	14	8	9	8	8	8	8	8
	MAX	8	14	17	10	16	12	12	13	12	13
	MIN	4	5	10	4	7	5	2	6	5	6
CL (m)	SUM	178	206	96	167	262	190	220	157	205	182
	MEA	3	3	5	5	6	4	5	4	4	4
	MAX	4	5	9	6	9	7	8	5	7	7
	MIN	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
CA (m <sup>2</sup> )	SUM	754	878	582	373	452	600	450	392	509	370
	MEA	11	14	29	11	10	14	11	9	9	8
	MAX	47	148	46	41	31	33	38	33	33	26
	MIN	3	3	16	1	1	3	1	2	1	1
NOT		69	63	20	35	47	43	46	44	57	46
LS		15	25	27	9	11	6	5	35	35	37

MEA : Mean value, MAX : Maximum, MIN : Minimum, DBH : Breast height diameter, TH : Tree height, CL : Clear length, CA : Crown area, NOT : No. of trees, LS : Landslope

하였다.

시험구의 선정은 기본적으로 입목밀도를 소, 중, 밀로 나누었으며, 경사도에 따라서 10도이내 10~19도, 20~29도, 30도 이상인 곳으로 나누어 선정하고, 시험구의 크기는 소음원에서 30m지점까지로 하며, 좌우 30m의 반원형 면적이다. 그러나 본 실험에서는 소음의 영향범위라고 예비실험에서 판정된 폭 10m, 길이 30m의 크기로 하였으며, 이를 임분조사하였다.

또한 시험구는 다른 소음의 영향을 배제하기 위하여 도로변에서 벗어난 수림지역내에서 선정하였으며, 그 외에 만곡이 심하거나, 급경사지 또는 암반이 돌출된 곳, 인공림의 성격이 강한 입상과 암소음(Background Noise)이 강한 곳은 제외되었다. 측정반대방향의 구조물에 의한 영향을 고려하여, 측정진행 반대방향으로 소음발생원에서 30m 이상 개활된 곳으로 선정하였다.

실험대상지는 소나무림으로 경상북도 울산시 상북면 소호리 일대와 경상북도 경산시 용성면 곡신리 일대에서 10개 시험구를 선정하고, 참나무림으로 경상북도 울산시 상북면 소호리 일대와 경상북도 경산시 용성면 고죽리 일대, 경상북도 경산시

갑제동일대의 10개 시험구를 선정하여 총 20개 시험구로 연구대상지를 선정하였다.

이를 Table 1과 Table 2에서 임상별로 각 시험구의 본수와 경사도 및 인자별 측정값을 나타내었다.

## 2) 소음발생원 및 소음측정기구

소음진동규제법에서 정하는 규격의 기기 및 부대장비를 사용하여 실험하였다.

생활소음의 대부분을 차지하는 차량소음은(이정순, 1987) 발생음압이 일정하지 않아 시험구마다 다르게 나타날 뿐만 아니라, 시험구의 선정이 매우 어렵다.

따라서, 실험목적에 부합되는 시험구에서 일정한 소음을 얻기 위해, 우리나라 산림에서 가장 많이 사용되고 있으며 차량소음의 주파수와 유사한 체인쏘(Chain saw)에서 발생하는 소음을 소음발생원으로 하였으며, 사용된 체인쏘는 독일 STIHL사의 028AV 모델이다.

소음측정기는 일본 ONSOKU사의 OS-11기를 사용하고, 짐승기로는 일본 Audio-Technica사의 AT815b 무지향성 마이크로폰을 사용하였다(Table 3).

Table 2. Values of some variable measured in sample plots for oak stand.

		oak 1	oak 2	oak 3	oak 4	oak 5	oak 6	oak 7	oak 8	oak 9	oak 10
DBH (cm)	SUM	348	465	454	386	339	327	298	375	508	350
	MEA	18	15	13	12	14	14	14	13	13	14
	MAX	37	32	28	40	24	29	31	25	28	26
	MIN	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
TH (m)	SUM	218	372	427	368	256	242	198	296	391	296
	MEA	12	12	12	12	11	11	9	10	10	11
	MAX	21	19	22	28	17	17	12	18	16	17
	MIN	2	3	3	4	7	3	5	4	2	7
CL (m)	SUM	98	212	274	195	136	94	83	131	191	129
	MEA	5	7	8	6	6	4	4	5	5	5
	MAX	10	14	12	15	10	7	5	10	8	8
	MIN	1	3	2	1	2	2	2	2	1	2
CA (m <sup>2</sup> )	SUM	326	600	462	903	310	497	396	568	590	527
	MEA	17	19	13	30	13	21	18	19	15	20
	MAX	57	133	38	154	29	38	50	44	44	38
	MIN	0.4	5	2	1	3	6	5	3	3	7
NOT		19	31	36	32	24	24	22	30	40	26
LS		25	33	43	37	8	29	18	18	6	10

MEA : Mean value, MAX : Maximum, MIN : Minimum, DBH : Breast height diameter, TH : Tree height, CL : Clear length, CA : Crown area, NOT : No. of trees, LS : Landslope

**Table 3.** The specification of experimental machinery and tools.

Stihl 028 AV (Chain Saw)		
Experimental Noise	Displacement	51.5 cc
	Weight	6.4 kg
	Power	2.5 kW
Audio Technica AT815b		
Parabolic reflector	Measure-range	12~130 dB
	Frequency	30~20,000 Hz
	Impedance	500 Ω (PHANTOM)
ONSOKU OS-11		
Sound-level meter	Measure-range	25~130 dB
	Frequency	25~20,000 Hz
	Output resistance	600 Ω
	Temperatur, Humidity	-10~+40℃, 0~90%
	Compensation	A, B, C
	Dynamic characteristic	FAST, SLOW

소음측정기의 청감보정회로는 인체의 청감각을 주파수 보정특성에 따라 나타낸 것으로 소음·진동규제법에 따라 A 특성에 두고 사용하였고, 지시계의 반응속도를 조절하는 동특성은 빠름으로 설정하였다.

풍속이 5m/sec일 때는 실험을 중지하고, 2m/sec 일 때는 마이크로폰에 방풍망을 씌워 측정하였으며, 진동 및 전자장의 영향을 받는 곳은 제외하였다. 소음측정시간은 이른 새벽이나 저녁, 야간일 경우 기온 및 습도의 차이로 인한 오차보정이 필요하므로 오전 11시에서 오후 4시 사이로 하였다.

**2. 연구방법**

**1) 소음측정방법**

측정높이는 소음진동규제법에서 건설소음, 교통소음, 생활소음 모두 장애물이 없는 한 1.2m 높이에서 측정토록 하고 있다(전세열,1992). 이는 지면의 영향을 받지 않는 최저높이를 정한 것으로 소음발생원에서 직접 도달하는 소음만 측정하기 위한 높이이다.

그러나, 이는 측정지점이 소음발생원으로부터 매우 근접하게 위치한 경우에 해당하는 수치이며, 예비실험의 결과 30m 떨어진 지점의 1.2m 높이는 여전히 지면의 영향권내에 있었다(Table 4).

**Table 4.** Noise attenuation by height and distance. (Unit : dB)

Height (cm)	Distance (m)						
	0	5	10	15	20	25	30
500	93.0	70.5	64.0	62.0	61.0	57.0	55.5
400	93.0	70.5	64.0	61.5	60.5	57.0	55.0
300	93.0	71.0	64.5	62.0	61.0	57.0	55.0
200	93.0	71.0	64.5	62.0	60.5	56.0	54.0
120	93.0	71.0	64.5	61.5	59.5	53.0	50.0

Date : Oct. 12, 1999.

Condition : Temperature 18℃, Humidity 72%, Background noise 38 dB.

Table 4에서 15m까지는 각 높이별 측정치가 비슷하나, 20m 이상에서는 1.2m 높이에서의 측정치가 지면의 영향으로 다른 측정치에 비해 차이를 나타냄을 알 수 있다. 따라서, 소음발생원 및 마이크로폰의 높이를 2m로 하였으며, 짐음 간격이 5m 이내일 경우 15m 이상의 거리에서는 짐음점 사이의 음압차이가 매우 근소하여 구분하기 어려우므로 짐음 간격을 5m로 하였다.

측정거리는 우리나라 소음규제법에 의하면 주택 및 녹지의 경우 생활소음한계를 주간 55dB, 야간

45dB로 정하고 있으므로 감쇄된 음압으로 약 50dB이 측정되는 거리인 30m로 하였다.

소음발생은 체인쏘를 시동 후 공회전 하였을 때의 소음으로 하였으며, 시험구마다 발생소음이 동일해야 하므로 매 실험시 기기를 조절하여 발생소음을 일정하게 하였다. 발생한 소음은 무지향성 마이크로폰으로 집을하여 소음측정기에서 청감보정 A회로를 거쳐 수치화된 소음도로 기록하였다. 소음도의 기록은 공정시험법에 의거하여 지시치의 변동폭이 5dB이하이므로 최대 10개치의 산술평균값을 기록하였다.

암소음이란 측정하고자 하는 대상소음이 없을 때의 소음을 말하는 것으로 대상소음과의 차이가 10dB이내의 경우 그 영향을 고려하여 보정값에 의해 보정을 해주어야 한다. 그러나 본 실험에서는 암소음이 모두 영향권 밖에서 측정되어 대상소음도를 그대로 사용하였다. 본 실험에서 소음발생은 체인쏘 공회전시의 소음으로 하고, 측정거리는 소음발생원으로부터 30m로 하며, 5m 간격으로 진행·측정하였고, 소음발생원 및 측정지점의 높이는 2m로 하였다.

## 2) 소음감쇄영향인자의 선정

소나무림과 참나무림으로 나누었으며, 입목밀도가 높아 임상이 밀하면 당연히 그 감쇄정도가 높아질 것이므로, 밀도를 비롯해서 산림조사의 기본인자인 흉고직경과 입목본수, 수관면적, 수고, 지하고를 조사하였다.

또한, 거리와 경사도를 인자로 하였는데, 소리는 이론적으로 구체의 모양으로 발산되어 거리의 제곱에 비례하여 작아지므로 선정하였고(김광준의, 1996), 경사도의 경우 현재 산지경사구분인 완, 중, 급에서 중 이상의 경사도에서는 실험이 불가능하여, 구분을 10도 이내, 10~19도, 20~29도, 30도 이상 4부분으로 나누어 측정하였다.

이상 감쇄영향인자로는 흉고직경, 수고, 지하고, 수관면적, 입목본수, 거리, 경사 등 7가지 요인을 선정하여 소음감쇄와의 관계를 분석하였다.

## 3) 소음감쇄 영향인자별 분석

측정된 자료는 SAS(Statistical Analysis System) 통계 분석프로그램을 이용하여 분석을 하였다.

앞에서 정한 인자들의 소음감쇄에 대한 영향을 분석하기 위하여 먼저 각 인자들과 소음감쇄와의 상관관계를 임상별로 분석하였다. 변수의 특징에

따라 조건을 달리하여 분석을 하였는데, 흉고직경과 수고, 지하고, 수관면적, 입목본수 등은 그 영향이 누적되어 나타나므로 각 거리에 따른 누적치를 사용하였다. 경사의 경우 소음감쇄의 특성상 동일한 입목밀도를 가진 시험구 집단에서는 근거리의 감쇄치가 경사도와 상관없이 비슷하므로, 거리별로 구분하여 소음감쇄와의 상관관계를 분석하였다.

이상의 분석을 통하여 각 임상에서 가장 상관성이 높은 인자를 도출했다. 또한 회귀분석을 통하여 임상별 소음감쇄를 설명할 수 있는 회귀식을 도출하였으며, 이 때 변수의 수에 따른 결정계수와 잔차제곱평균을 비교하여 최적회귀방정식을 산출하였다.

## 結果 및 考索

### 1. 임상별 소음감쇄영향인자의 분석

임상별 소음감쇄영향인자를 분석하기 위하여 각 변수별 상관관계를 Table 5와 Table 6에서 나타내었다. 두 임상 모두 각 인자들과 소음감쇄가 높은 상관관계를 보였는데, 소나무림의 경우 거리, 흉고직경, 수고, 지하고, 수관면적, 입목본수의 순으로 높은 관계가 나타났으며, 참나무림의 경우에는 거리, 흉고직경, 입목본수, 수고, 수관면적, 지하고의 순이었다. 이러한 결과는 井村(1988), Aylor(1971), 田村 등(1992)의 수림에서의 소음감쇄는 복잡한 식생구조를 가진 수림을 통과하며 이루어지므로 소음원과 임상의 특징에 따라서 영향을 받는다는 것과 비슷한 결과 일뿐만 아니라, 본 연구결과에서는 더욱 자세하게 인자별로 그 영향을 구분하여 나타낼 수 있었다.

거리와의 상관계수는 0.9630(소나무), 0.9565(참나무)로서 거리와 소음은 음의 상관을 나타내며, 다음으로 흉고직경이 0.9133(소나무), 0.9296(참나무)로 다른 인자에 비해 높은 상관관계를 보였다.

조사되었던 인자들 중 경사도와와의 상관관계가 가장 낮았는데, 이는 소음원이 구체로 퍼져나가며, 일정한 거리에서는 위치에 관계없이 측정점에 도달하는 음압은 동일하므로(김광준, 1996), 상관관계가 매우 약하게 나타났다. 상관관계 분석결과를 바탕으로 하여 소음감쇄 영향인자들을 독립변수로 하는 회귀방정식,  $dB=f(DBH, DI)$ 를 구하고, 회귀분석을 하였다. Table 7에서는 각 변수

**Table 5.** Matrix of correlation coefficient between variables in pine stand.

	dB	DI	DBH	TH	CL	CA	NOT	LS
dB	1.0000							
DI	-0.9630	1.0000						
DBH	-0.9133	0.9256	1.0000					
TH	-0.8843	0.8999	0.9359	1.0000				
CL	-0.8571	0.8735	0.9738	0.9446	1.0000			
CA	-0.8117	0.8016	0.7469	0.8806	0.7255	1.0000		
NOT	-0.8101	0.8098	0.8634	0.9586	0.8749	0.8689	1.0000	
LS	0.0107	0.0366	-0.1569	-0.0116	-0.1637	-0.0137	-0.0224	1.0000

No. of Cases 60, Significant 0.001

DI : Distance, DBH : Breast height diameter, TH : Tree height, CL : Crown length, CA : Crown area, NOT : No. of trees, LS : Landslope

**Table 6.** Matrix of correlation coefficient between variables in oak stand.

	dB	DI	DBH	NOT	TH	CA	CL	LS
dB	1.0000							
DI	-0.9565	1.0000						
DBH	-0.9296	0.9411	1.0000					
NOT	-0.9047	0.9128	0.9787	1.0000				
TH	-0.8773	0.8783	0.9659	0.9692	1.0000			
CA	-0.7984	0.8082	0.8147	0.8372	0.8350	1.0000		
CL	-0.7751	0.7731	0.8966	0.8938	0.9658	0.7308	1.0000	
LS	-0.0436	0.0214	0.0586	0.0142	0.1767	0.2046	0.2986	1.0000

No. of Cases 60, Significant 0.001

DI : Distance, DBH : Breast height diameter, TH : Tree height, CL : Crown length, CA : Crown area, NOT : No. of trees, LS : Landslope.

**Table 7.** Coefficient of determination by one variable.

Variable (y : dB)	Pine stand		Oak stand	
	r <sup>2</sup>	√MSE	r <sup>2</sup>	√MSE
y=f(DBH)	0.8341*	2.489	0.8642*	2.122
y=f(TH)	0.7820	2.853	0.7697	2.763
y=f(CL)	0.7347	3.148	0.6008	3.638
y=f(CA)	0.6589	3.569	0.6375	3.467
y=f(NOT)	0.6564	3.582	0.8186	2.452
y=f(DI)	0.9274*	1.646	0.9150*	1.678

\* The highest coefficient of determination.  
DBH : Breast height diameter, TH : Tree height, CL : Crown length, CA : Crown area, NOT : No. of trees, DI : Distance.

에 따른 결정계수( $r^2$ )와 잔차제곱평균의 제곱근( $\sqrt{MSE}$ )을 산출하여 나타내었다.

소나무림과 참나무림 모두 거리와 흉고직경이 가장 높은 결정계수값을 보였으며, 2변수 이상에서도 이 두 인자를 포함한 회귀식의 상관관계가 가장 높게 나타났다. 상관분석에서 소음감쇄와 높은 상관관계를 보인 인자들이 회귀식에서도 소음감쇄와 높은 상관관계를 나타내는 것은 당연한 결과이다.

Table 8에서 Table 12까지는 2변수에서부터 6변수까지의 회귀식에서 변수의 조합에 따른 결정계수와 잔차제곱평균의 제곱근을 나타내었다. 1변수에서 가장 높은 상관관계를 갖는 거리와 흉고직경을 포함한 변수의 조합이 역시 다변량 회귀식에서도 좋은 상관관계를 나타내었다.

**Table 8.** Coefficient of determination by combination of two variables employed.

Variable (y : dB)	Pine Stand		Oak Stand	
	r <sup>2</sup>	√MSE	r <sup>2</sup>	√MSE
y=f(DBH, TH)	0.8412	2.457	0.8705	2.090
y=f(DBH, CL)	0.8544	2.352	0.8816	1.999
y=f(DBH, CA)	0.8721	2.204	0.8692	2.101
y=f(DBH, NOT)	0.8360	2.496	0.8648	2.136
y=f(DBH, DI)	0.9308*	1.622	0.9226*	1.616
y=f(TH, CL)	0.7864	2.849	0.8473	2.270
y=f(TH, CA)	0.7868	2.846	0.7840	2.700
y=f(TH, NOT)	0.7994	2.761	0.8186	2.473
y=f(TH, DI)	0.9291	1.642	0.9210	1.632
y=f(CL, CA)	0.8108	2.681	0.7163	3.094
y=f(CL, NOT)	0.7502	3.081	0.8242	2.435
y=f(CL, DI)	0.9285	1.648	0.9182	1.661
y=f(CA, NOT)	0.7038	3.355	0.8242	2.435
y=f(CA, DI)	0.9319*	1.609	0.9169	1.674
y=f(NOT, DI)	0.9301	1.630	0.9210	1.632

\* The highest coefficient of determination.  
 DBH : Breast height diameter, TH : Tree height,  
 CL : Crown length, CA : Crown area,  
 NOT : No. of trees, DI : Distance.

**Table 9.** Coefficient of determination by combination of three variables employed.

Variable (y : dB)	Pine Stand		Oak Stand	
	r <sup>2</sup>	√MSE	r <sup>2</sup>	√MSE
y=f(DBH, TH, CL)	0.8791	2.162	0.8867	1.973
y=f(DBH, TH, CA)	0.8835	2.123	0.8808	2.023
y=f(DBH, TH, NOT)	0.8440	2.457	0.8706	2.107
y=f(DBH, TH, DI)	0.9308	1.636	0.9226	1.630
y=f(DBH, CL, CA)	0.8917	2.047	0.8866	1.973
y=f(DBH, CL, NOT)	0.8624	2.307	0.8816	2.016
y=f(DBH, CL, DI)	0.9327	1.613	0.9230	1.626
y=f(DBH, CA, NOT)	0.8858	2.101	0.8718	2.098
y=f(DBH, CA, DI)	0.9350*	1.585	0.9230	1.626
y=f(DBH, NOT, DI)	0.9314	1.628	0.9226	1.630
y=f(TH, CL, CA)	0.8113	2.701	0.8484	2.281
y=f(TH, CL, NOT)	0.8000	2.781	0.8497	2.272
y=f(TH, CL, DI)	0.9291	1.656	0.9239*	1.616
y=f(TH, CA, NOT)	0.8085	2.722	0.8244	2.456
y=f(TH, CA, DI)	0.9319	1.623	0.9211	1.645
y=f(TH, NOT, DI)	0.9303	1.642	0.9215	1.642
y=f(CL, CA, NOT)	0.8203	2.636	0.8291	2.422
y=f(CL, CA, DI)	0.9326	1.614	0.9190	1.668
y=f(CL, NOT, DI)	0.9301	1.644	0.9210	1.647
y=f(CA, NOT, DI)	0.9320	1.621	0.9212	1.645

\* The highest coefficient of determination.  
 DBH : Breast height diameter, TH : Tree height,  
 CL : Crown length, CA : Crown area,  
 NOT : No. of trees, DI : Distance.

**Table 10.** Coefficient of determination by combination of four variables employed.

Variable (y : dB)	Pine Stand		Oak Stand	
	r <sup>2</sup>	√MSE	r <sup>2</sup>	√MSE
y=f(DBH, TH, CL, CA)	0.8920	2.062	0.8877	1.981
y=f(DBH, TH, CL, NOT)	0.8848	2.130	0.8898	1.962
y=f(DBH, TH, CL, DI)	0.9339	1.613	0.9249*	1.621
y=f(DBH, TH, CA, NOT)	0.8870	2.109	0.8810	2.040
y=f(DBH, TH, CA, DI)	0.9398*	1.540	0.9230	1.641
y=f(DBH, TH, NOT, DI)	0.9325	1.630	0.9226	1.645
y=f(DBH, CL, CA, NOT)	0.8960	2.024	0.8873	1.985
y=f(DBH, CL, CA, DI)	0.9380	1.563	0.9235	1.635
y=f(DBH, CL, NOT, DI)	0.9345	1.606	0.9230	1.640
y=f(DBH, CA, NOT, DI)	0.9360	1.588	0.9230	1.641
y=f(TH, CL, CA, NOT)	0.8228	2.642	0.8502	2.289
y=f(TH, CL, CA, DI)	0.9352	1.598	0.9242	1.628
y=f(TH, CL, NOT, DI)	0.9305	1.654	0.9239	1.630
y=f(TH, CA, NOT, DI)	0.9324	1.631	0.9216	1.656
y=f(CL, CA, NOT, DI)	0.9327	1.628	0.9212	1.660

\* The highest coefficient of determination.  
 DBH : Breast height diameter, TH : Tree height,  
 CL : Crown length, CA : Crown area,  
 NOT : No. of trees, DI : Distance.

**Table 11.** Coefficient of determination by combination of five variables employed.

Variable (y : dB)	Pine Stand		Oak Stand	
	r <sup>2</sup>	√MSE	r <sup>2</sup>	√MSE
y=f(DBH, TH, CL, CA, NOT)	0.8970	2.033	0.8906	1.974
y=f(DBH, TH, CL, CA, DI)	0.9399	1.552	0.9249	1.635
y=f(DBH, TH, CL, NOT, DI)	0.9345*	1.620	0.9255*	1.629
y=f(DBH, TH, CA, NOT, DI)	0.9404	1.546	0.9230	1.656
y=f(DBH, CL, CA, NOT, DI)	0.9382	1.575	0.9235	1.650
y=f(TH, CL, CA, NOT, DI)	0.9364	1.597	0.9243	1.641

\* The highest coefficient of determination.  
 DBH : Breast height diameter, TH : Tree height,  
 CL : Crown length, CA : Crown area,  
 NOT : No. of trees, DI : Distance.

**Table 12.** Coefficient of determination by combination of six variables.

Variable (y : dB)	Pine Stand		Oak Stand	
	r <sup>2</sup>	√MSE	r <sup>2</sup>	√MSE
y=f(DBH, TH, CL, CA, NOT, DI)	0.9404	1.560	0.9256	1.643

DBH : Breast height diameter, TH : Tree height,  
 CL : Crown length, CA : Crown area,  
 NOT : No. of trees, DI : Distance.



2. 소음감쇄와 영향인자와의 관계

Table 13에서 보는 바와 같이 소음감쇄와 영향인자와의 관계를 구명하기 위하여 1변수에서 6변수 각각의 가장 높은 결정계수 값을 보이는 변수의 조합을 선택하였다.

일반적으로 결정계수의 값은 대체로 독립변수가 많아질수록 높아지는데, Table 13에서도 6변수 회귀식의 경우 결정계수가 소나무림 0.9404, 참나무림 0.9256으로 최고값을 보이지만 이러한 다변수 회귀식이 적합하다고 만은 할 수 없다.

특히 산림에서는 경제적이고 실용적으로 이용될 수 있어야 하므로 이때에 종속변수(y=dB)의 변화를 회귀식으로 설명해 주기 위하여 어떻게 종속변수를 선택할 것인가? 하는 것이 문제이다. 여기에서는 회귀분석에서 변수의 선택을 판정하는 기준을 근거로 하여 먼저 Table 13에서의 결과를 산출하였으며, 여기에서 다시 1변수부터 6변수 회귀식의 결정계수 값을 비교하여 그 값의 증가폭이 가장 큰 시점에서의 변수를 선택하는 것이 합리적이고, 이 조건을 만족하는 경우인 2변수 즉, 흉고 직경과 거리로 구성된 회귀식을 최적회귀식으로 하였다(강근석, 1999).

Table 14는 임상별 2변수 최적회귀식이며, 이 회귀식을 통하여 Table 15와 Table 16에서 보는 바와 같이 임상별 소음감쇄표를 작성하였다.

또한 Table 17과 Table 18에서는 임상별 소음감쇄표를 이용하여 최초 발생소음인 93dB을 100%로 하였을 때의 소음감쇄 비율을 나타낸 것이다.

Table 14. Best regression equation.

Stand	Regression equation (Y : dB)	r <sup>2</sup>
Pine	Y=70.0679-0.0056×DBH-0.5764×DI	0.9346
Oak	Y=69.7854-0.0124×DBH-0.4773×DI	0.9205

DBH : Breast height diameter, DI : Distance.

Table 15. Table of noise attenuation in pine stand. (unit : dB)

Σ DBH	Distance					
	5m	10m	15m	20m	25m	30m
50	66.9					
100	66.6	63.7				
150		63.5	60.6			
200		63.2	60.3	57.4		
250		62.9	60.0	57.1	54.3	
300		62.6	59.7	56.9	54.0	
350			59.5	56.6	53.7	50.8
400			59.2	56.3	53.4	50.5
450				56.0	53.1	50.3
500				55.7	52.9	50.0
550					52.6	49.7
600					52.3	49.4

Table 13. Best regression equation by No. of variables.

Stand	P	Regression equation	r <sup>2</sup>	√MSE
Pine	1	y = f(DBH)	0.8341	2.489
	2	y = f(DBH,DI)	0.9308	1.622
	3	y = f(DBH,CA,DI)	0.9350	1.585
	4	y = f(DBH,TH,CA,DI)	0.9398	1.540
	5	y = f(DBH,TH,CA,NOT,DI)	0.9404	1.546
	6	y = f(DBH,TH,CL,CA,NOT,DI)	0.9404	1.560
Oak	1	y = f(DBH)	0.8642	2.122
	2	y = f(DBH,DI)	0.9226	1.616
	3	y = f(TH,CL,DI)	0.9239	1.616
	4	y = f(DBH,TH,CL,DI)	0.9249	1.621
	5	y = f(DBH,TH,CL,NOT,DI)	0.9255	1.629
	6	y = f(DBH,TH,CL,CA,NOT,DI)	0.9256	1.643

DBH : Breast height diameter, TH : Tree height, CL : Crown length, CA : Crown area, NOT : No.of trees, DI : Distance.

**Table 16.** Table of noise attenuation in oak stand. (unit : dB)

Σ DBH	Distance					
	5m	10m	15m	20m	25m	30m
50	66.8					
100	66.2	63.8				
150		63.2	60.8			
200		62.5	60.1			
250		61.9	59.5	57.1	54.8	
300		61.3	58.9	56.5	54.1	
350			58.3	55.9	53.5	51.1
400			57.7	55.3	52.9	50.5
450				54.7	52.3	49.9
500					51.7	49.3

**Table 17.** Percentage of noise attenuation in pine stand.

Σ DBH	Distance					
	5m	10m	15m	20m	25m	30m
50	71.9					
100	71.6	68.5				
150		68.2	65.1			
200		67.9	64.8	61.7		
250		67.6	64.5	61.4	58.3	
300		67.3	64.2	61.1	58.0	
350			63.9	60.8	57.7	54.6
400			63.6	60.5	57.4	54.3
450				60.2	57.1	54.0
500				59.9	56.8	53.7
550					56.5	53.4
600					56.2	53.1

**Table 18.** Percentage of noise attenuation in oak stand.

Σ DBH	Distance					
	5m	10m	15m	20m	25m	30m
50	71.8					
100	71.1	68.6				
150		67.9	65.3			
200		67.2	64.7			
250		66.6	64.0	61.4	58.9	
300		65.9	63.3	60.8	58.2	
350			62.7	60.1	57.5	55.0
400			62.0	59.4	56.9	54.3
450				58.8	56.2	53.6
500					55.5	53.0

**結 論**

본 연구는 경상북도 울산시와 경상시 지역에서 소나무림과 참나무림을 대상으로 하여 소음감쇄 효과의 정도를 파악하기 위하여 임황조사와 지황조사를 실시한 결과 소나무림과 참나무림 모두 소음감쇄에 영향을 주는 주요인자로는 흉고직경, 수고, 지하고, 입목밀도, 수관면적, 경사, 거리 등으로 나타났으며, 여기서 상관관계를 이용하여 그중 크게 영향을 미치는 두변수 흉고직경( $r=0.9296$ )과 거리( $r=0.9565$ )를 산출하였다.

특히 소나무림과 참나무림을 비교한 결과 소음감쇄 효과는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 소나무림과 참나무림에서 모두 흉고직경과 거리의 2변수 최적회귀방정식을 도출하였고 이 회귀식을 통하여 소음감쇄표를 작성하였으며 이 표로부터 소나무림의 경우 수림대의 폭이 5m에서 29%, 10m에서 31.6~32.6%, 20m에서 38.3~39.8%, 30m에서 45.2~46.6%의 감쇄율을 보였고, 참나무림의 경우 폭이 5m에서 29%, 10m에서 31.6~34.2%, 20m에서 38.6~41.4%, 30m에서 45~47.2%의 감쇄율을 보였다.

주거지역 및 녹지의 경우에 맞는 소음의 환경기준은 55dB인 바, 이 기준에 맞추어 감쇄표에 의하면, 소나무림의 경우 거리가 20m일 때, 흉고직경의 합계가 400~450cm이고 본수가 30~35본이거나, 거리가 25m일 때, 흉고직경의 합계가 250~300cm이고, 본수가 20~25본 일 경우로 나타났다. 참나무림의 경우에는 거리가 20m일 때, 흉고직경합계가 400cm이고 본수가 30~35본이거나, 거리가 25m일 때 흉고직경의 합계가 250~300cm이며 본수가 20~25본으로 나타나고 있는 것으로 분석되었다.

**引 用 文 獻**

1. 강진우. 1989. 임업에서의 순수작업시간과 임목형상조건과의 관계연구. 한국임학회지, 78(4): 381-395.
2. 강근석·김충락. 1999. 회귀분석. 교우사. 479pp.
3. 강창욱. 1999. SAS 실용. 전영사. 249pp.
4. 김광준·김정태·김중희·이원경·임병덕. 1996. 소음과 진동(I). 반도출판사. 432pp.
5. 김광준·김정태·김중희·이원경·임병덕.

1997. 소음과 진동(II). 반도출판사. 860pp.
6. 김성일·오동하. 1994. 수목의 소음감쇄효과. 한국임학회지. 83(3) : 400-409.
7. 김용식·장호경·김예현. 1989. 조경수목의 소음감쇄효과에 관한 연구. 한국임학회지. 78(1) : 30-34.
8. 김예현·김동일·장호경. 1995. 방음벽의 삼입손실에 대한 음향임피던스 영향의 연구. 영남대 환경연구소. 14(2) : 67-76.
9. 방극진. 1997. 행정규제 환경관련법. 성안당. p.271-322.
10. 산림청. 1997. 임업통계연보. 산림청. 646pp.
11. 이상규. 1998. 환경법논. 법문사. 455pp.
12. 이정순. 1987. 도로변 아파트 단지의 환경소음 특성에 관한 연구. 한양대학교 산업대학원. p.46-47.
13. 이종우. 1987. 도로교통소음 저감을 위한 종합대책에 관한 연구(I). 국립환경연구원. 138pp.
14. 장정찬. 1986. 소음완화를 위한 도로변 완충녹지조성기법에 관한 연구. 서울대석사논문.
15. 전세열. 1992. 환경오염공정시험법. 대학서림. p.373-406.
16. 조영철. 1986. 한국의 소음규제정책에 관한 연구. 동국대박사논문.
17. 조인호. 1997. SAS연습과 활용. 성안당. 665pp.
18. 홍종수. 1994. 수벽의 소음감각효과에 관한 연구. 경상대박사논문.
19. 小橋登治·村井究·龜山章. 1991. 環境綠化工學. 朝倉書店. p.45-50.
20. 井村正之·石井皓. 1988. スイカズラの吸音特性. 千葉縣公害研究所. 22(1) : 31-39.
21. 田村明弘·鈴木弘之·鹿島教昭. 1992. 樹林帯による喧騒感の緩和. 日本音響學會. 48(11) : 776-785.
22. Aylor, D. 1971. How plants and soil muffle noise front. Plant Science. 6-7.
23. Aylor, D. 1971. Sound transmission through vegetation in relation to leaf area density, leaf width, and width of canopy. Journal of the Acoustical Society of America 51(2) : 411-414.
24. Aylor, D. 1972. Noise reduction by vegetation and ground. Journal of the Acoustical Society of America 52 : 197-205.
25. Bugliarello, George. 1976. The impact of noise pollution. Newyork Pergamon Press. 461pp.
26. Carlson, D.E., O.H. McDaniel and G. Reethof. 1977. Noise control by forests. Inter-noise 77. International conference on noise control engineering. p.576-586.
27. Cook, D.I. and D.F. Van Haverbeke. 1971. Trees and shrubs for noise abatement. USDA FS Research Bulletin 246.
28. Cook, D.I. and D.F. Van Haverbeke. 1974. Tree-covered land forms for noise control. USDA FS Research Bulletin 263.
29. David, F. Van Haverbeke. 1977. Suburban noise control with plantings and solid barrier combinations. The university of nebraska and the U.S Forest Service. 74pp.
30. Embleton, T.F.W. 1963. Sound propagation in homogeneous deciduous and evergreen woods. The Acoustical Society of America 35 : 119-125.
31. Eyring, C.F. 1946. Jungle acoustics. Journal of the Acoustical Society of America 18(2) : 257-270.
32. Grey, G.W. and F.F. Denke. 1990. Urban Forestry. John Wiley & Sons. p.74-115.
33. Lawrence E. Kinsler. 1982. Fundamentals of acoustics. Wiley. 480pp.
34. Marten, M.J.M. 1984. Foliage as a low-pass filter : Experiments with model forests in an anechoic chamber. Journal of the Acoustical Society of America 67(1) : 66-72.
35. Michael Allaby. 1979. Dictionary of the Environment. London Macmillan Press. 340pp.
36. Price, M.A., K. Attenborough and N. Heap. 1986. Sound propagation results from three British woodlands. Paper presented at workshop on 'Sound and propagation in forest and shelter belts'. Netherland.
37. Wiener, F.M. and D.M. Keast. 1959. Experimental study of the propagation of sound over ground. Journal of the Acoustical Society of America 31(6) : 724-733.
38. Yamada, S., T. Watanabe, S. Nakamura, H. Yokoyama and S. Takeoka. 1977. Noise reduction by vegetation. Internoise 77. International conference on noise control engineering. p.599-606.