

# 소음지도 제작을 위한 도로교통 소음예측식 비교연구 -국외 예측식을 중심으로-

## A comparative Study of Noise Prediction Method for Road Traffic Noise Map -Focused on Foreign Traffic Noise Prediction Method-

장환\* ·방민\*\* ·김흥식†

Hwan Jang, Min Bang, Heung-sik Kim

Key Words : Road Traffic Noise (도로교통 소음), Prediction Method(예측식), Noise map(소음지도)

### ABSTRACT

The various computer programs are used in computer simulation of the traffic noise prediction. But the difference or problem of calculation method used for road traffic noise prediction is not exactly investigated. In this paper, Road traffic noise is predicted on the specific regions by using four prediction methods such as XPS31-133 model(France), RLS-90 model(Germany), ASJ RTN model(Japan) and FHWA model(U.S.A.), which are operated by a program named SoundPLAN, a program to predict road traffic noise. Those prediction values are compared with a measurement value. The results show that four prediction values for taraffic noise are a little different, because of various input factors according to the prediction methods.

### 1. 서 론

국토해양부(구)건설교통부의 “공동주택의 소음측정기준”과 관련한 법개정과 시행(2007년 12월 12일)으로 사업계획 승인단계에서 도로교통소음 및 철도소음에 대한 실외소음도를 컴퓨터 프로그램을 사용하여 예측하지 않으면 안 되는 상황이 전개되고 있는 실정이다.

현재 활용되고 있는 상용프로그램은 국내에서 개발된 프로그램과 해외에서 개발된 프로그램으로 대별되고 있다. 이들 프로그램에서 사용하고 있는 도로교통소음 예측식은 해외에서 개발된 프로그램을 대부분 사용하고 있으나, 이에 대한 구체적인 비교·검증은 아직도 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 유럽에서 일반적으로 널리 사용되고 있는 도로교통소음 예측식으로써, EU Directive에서 권고하는 XPS31-133 model(프랑스)을 비롯하여 RLS-90 model(독

일)과 일본에서 사용하고 있는 ASJ model, 미국 연방고속도로국에서 사용하는 예측식 FHWA model을 SoundPLAN(ver6.5, SoundPLAN 社) 프로그램을 활용하여 도로교통소음 예측을 실시하고 결과를 비교 검토코자 한다.

### 2. 도로교통소음 예측 이론

#### 2.1 RLS-90(독일)

독일의 소음 예측 모델인 RLS-90의 경우, 시간당 교통량의 중앙값과 2.8톤을 초과하는 트럭의 비율로 지면으로부터 높이 4m, 25m 떨어진 기준점에서의 기본 소음 레벨이 다음 식에 의해 산정된다.

$$L_m(25, basic) = 37.3 + 10 \log [M(1 + 0.082P)] \quad (2.1)$$

여기서,  
M: 평균교통량 (Veh/h) 또는 일평균교통량 (ADT)  
P: 2.8톤을 초과하는 차량의 비율

이때, 차량속도는 일반 승용차의 경우 100km/h, 트럭의 경

\* 정희원, 호남대학교 건축학과  
E-mail : idchonnom@hanmail.net  
Tel : (062) 940-5088, Fax : (062) 940-5088

\*\* 정희원, 호남대학교 건축학과 대학원  
† 중신회원, 호남대학교 건축학과 교수

우 80km/h이고, 도로면은 그루빙(grooving)이 되지 않은 아스팔트 포장이며, 도로의 구배는 5%미만일 때를 기준으로 하였다.

차량속도, 아스팔트 종류, 구배 및 반사면 등에 대한 조정을 고려하여 음원의 레벨을 계산한다. RLS-90 모델에서 적용할 수 있는 차량 속도의 범위는 승용차의 경우 30~130km/h이며, 트럭의 경우는 30~80km/h이다.

도로의 구배가 5%이상인 경우에는 0.6g-3의 보정이 적용되며, 여기서 g는 도로차선의 구배를 나타낸다. 또한, 반대편에 방음벽이 위치하여 방음벽 사이에 음의 다중 반사가 발생하는 경우, 다음 식과 같이  $C_R$ 을 보정한다.

$$C_R = 4H/L \text{ [최대 } 3.2 \text{ dB(A)}]: \text{ 반사형 방음벽} \quad (2.2)$$

$$C_R = 2H/L \text{ [최대 } 1.6 \text{ dB(A)}]: \text{ 흡음형 방음벽} \quad (2.3)$$

여기서,  
H: 방음벽의 높이  
L: 방음벽사이의 거리

교통신호등 부근에서는 소음 레벨이 높아진다. 교통신호등으로부터 수음점이 100m, 70m 또는 40m 떨어진 경우 1, 2 dB(A) 또는 3 dB(A) 정도가 추가로 더해져야 한다. RLS-90 모델에서는 동일한 속도에서 발생하는 소음이 브레이크와 가속 조작으로 인해 증가하는 것으로 가정한다. 전파 모델은 유한 길이 부분, 확산, 공기 흡음, 지면 감쇠, 반사면에 대한 보정을 계산한다.

## 2.2 XPS31-133(프랑스)

Directive 2003/613/EC에 따라, EU회원국 중 도로교통 소음 Lden 또는 Lnight 예측을 위한 계산식이 없거나 계산식을 변경하고자 하는 국가는 프랑스 소음예측식인 XPS31-133를 사용한다.

소음방출량 E는 다음 식으로부터 구한다.

$$E = E_0 + a \log\left(\frac{v}{v_0}\right) \quad (2.4)$$

소음방출량 E로부터 교통량 Q를 보정한 단위 길이당 음향파워레벨  $L_{Aw/m,k}$ 를 구한 후 노면상태에 따른 보정치 $\psi$ 와 옥타브밴드 보정치를 적용하여 각각  $L_{Aw/m,\psi}$ 와  $L_{Awi}$ 를 산출한다. 만약 전파경로 상에 장애물이나 방음벽이 있을 경우, 재질에 따라 흡음보정계수를 적용함으로써 최종적인 예측치를 구하게 된다.

다음은 각 영향인자에 대한 보정치를 적용하여 음향파워레벨을 구하는 식이다.

$$L_{Aw/mk} = E_{v,k} + 10 \log(Q_{v,k}) + E_{p,k} + 10 \log(Q_{h,v,k}) \quad (2.5)$$

$$L_{Aw/m,\psi} = 10 \log \sum_k 10^{\frac{L_{Aw/m,k} + \psi}{10}} \times \frac{h_k}{h_p} \quad (2.6)$$

$$L_{Awi} = L_{Aw/m,\psi} + 20 + 10 \log(l_i) + R(j) \quad (2.7)$$

## 2.3 ASJ Model (일본)

일본음향학회(ASJ: Acoustical Society of Japan)에서 제시한 ASJ-Model은 음원을 반자유공간의 무지향성 점 음원으로 간주하고 있으며, 음압레벨을 예측하는 것이 아니라 도로교통소음의 음향파워레벨을 직접 구하는 특징을 가지고 있다. 차종 분류는 4차종 분류법(대형차, 중형차, 소형화물차, 승용차)과 2차종 분류법(대형차+중형차, 소형화물차+승용차)의 2가지를 혼용하며, 본 연구에서는 2차종 분류법을 사용하였다. 또한 ASJ-model의 교통소음 예측과정은 다음 6가지의 과정을 거친다. 본 연구에서는 ④항의 보정값은 국내에서는 시공사례가 많지 않은 관계로 제외하기로 하였다.

- ① 차종별 기본 음향파워레벨( $L_{WA}$ )계산
- ② 주행속도에 따른 옥타브밴드별 보정치( $\Delta L_i$ )적용
- ③ 파워레벨 스펙트럼( $L_{WA,i}$ )계산
- ④ 포장 종류( $L_{WAdh}$ )에 따른 보정 계산
- ⑤ 차량 등급별 등가음향파워레벨( $L_{WAT,i}$ )계산
- ⑥ 모든 차종의 음향파워레벨( $L_{WAeq}$ )

교통소음의 파워레벨 스펙트럼인  $L_{WA,i}$  다음 식으로 구한다.

$$L_{WA,i} = L_{WA} + \Delta L_i + \Delta L_{adj} + \Delta L_A - \text{weighting correction factor} \quad (2.8)$$

차량의 종류에 따른 속도별 소음도인  $L_{WA}$ 는 Table 1과 같다.

Table 1 Relationship between traffic types and sound Power levels

Traffic type	Sound power level (Highway, Motor Way)	
	4 vehicle types	2 vehicle types
Large vehicle	54.4+30log V	53.2+30log V
Medium vehicle	51.5+60log V	
Light truck	47.6+30log V	46.7+30log V
Automobile	46.4+30log V	

\* V: traffic speed (km/h)

2차종 분류에 따른 음향파워 산출식은 대형차와 중형차의 혼입비율은 같고, 승용차에 대한 소형트럭의 혼입비율은 0.25로 설정되어 유도된 식이다. 제시된 식은 차량속도 V가 40km/h ~ 140km/h이고, 교통흐름이 일정한 경우에 대해 적용할 수 있다. 차량의 제한 속도에 따른 옥타브밴드별 보정값인  $\Delta L_i$ 는 다음에 제시된 바와 같이 속도에 따라 구분하여 산출한다.

i) 제한속도가 없는 도로의 경우

$$\Delta L_i = -10 \log \left[ 1 + \left( \frac{f_i}{2000} \right)^2 \right] \quad (2.9)$$

ii) 제한속도가 80km/h 이하인 도로,

$$\Delta L_i = -10 \log \left[ 1 + \left( \frac{f_i}{2000} \right)^2 \right] - 2.5 \log \left( \frac{f_i}{1000} \right) \quad (2.10)$$

iii) 제한속도가 80km/h 이상인 도로,

$$\Delta L_i = -10 \log \left[ 1 + \left( \frac{f_i}{2000} \right)^2 \right] + 2.5 \log \left( \frac{f_i}{1000} \right) \quad (2.11)$$

식 2.9 ~ 식 2.11으로부터 구한 스펙트럼의 파워 합성을 0dB로 하기 위한 보정값  $\Delta L_{adj}$ 는 식 2.12을 이용하여 구한다.

$$\Delta L_{adj} = -10 \log \sum 10^{\Delta L_i + \Delta L_{A-weighting correction factor} / 10} \quad (2.12)$$

도로의 차량 등급별 등가음향파워레벨인  $L_{WAT,i}$ 는 다음과 같이 산출한다.

$$L_{WAT,i} = L_{WA} + 10 \log \left( \frac{3.6 \cdot \Delta L}{V} \cdot \frac{N}{3600} \right) \quad (2.13)$$

여기서  $L_{WA}$ 는 차량 1대당 음향파워레벨(dB),  $\Delta L$ 은 도로의 길이(m),  $V$ 는 해당 차종의 평균주행속도(km/h)이며,  $N$ 은 시간당 차량 통과 대수를 의미한다.

모든 차종에 의한 도로교통소음의 등가음향파워레벨인  $L_{WAeq}$ 은 다음 식으로 산출한다.

$$L_{WAeq} = 10 \log \sum_i 10^{(L_{WAT,i})/10} \quad (2.14)$$

식 2.9를 이용해 계산한 주파수 밴드별 음향파워레벨의 보정값  $\Delta L_i$ 는 Table 2와 같다.

Table 2 Basic input data for calculating  $L_W$  in ASJ-model

frequency (Hz)	$\Delta L_i$ (2.9)	$\Delta L_{A-weighting correction factor}$	$\Delta L_{adj}$ (2.12)
63	3.00	-26.2	-3.58
125	2.24	-16.1	
250	1.44	-8.6	
500	-1.02	-3.2	
1000	-0.97	0.0	
2000	-2.26	1.2	
4000	-5.48	1.0	
8000	-10.1	-1.1	

## 2.4 FHWA TRN(미국)

미국의 연방고속도로국(FHWA)에서는 1977년에 고속도로 소음 예측 방법인 FHWA 고속도로 교통소음 예측모델(FHWA-RD-77-108, 108 model)을 제안하였다.

FHWA의 모델은 차종별 소음 발생 위치를 보정할 수 있는 등 나름대로 장점이 있으나 고속도로 방음대책 수립에 있어서 가장 중요한 요소인 회절 효과 산정에 있어서 높이 방향의 회절 효과만을 반영하고 있고 폭 방향 회절 현상과 절토 부 등에서 흔히 발생하는 다중 회절 현상을 반영할 수 없어 방음벽 설계의 최적화를 도모할 수 없는 특징이 있다. 다음은 FHWA TRN모델에 반영된 식을 나타낸 것이다.

$$L_{eq}(h)_i = (L_0)_B + 10 \log \left[ (N_i N_j \Pi D_0) / (S_i T) \right] + 10 \log (D_0 / D)^{1+\alpha} + 10 \log (\Psi \alpha (\Phi_1, \Phi_2)) / \Pi + \Delta s \quad (2.15)$$

여기서,

$L_{eq}(h)_i$ : 1시간동안의 차량종류별 등가소음레벨

$(L_0)_B$ : 차종류별 에너지 평균방사레벨

$N_i$ : 정해진 시간(1h) 동안 지나가는 차량대수

$D$ : 수직거리

$D_0$ : 방사레벨 측정 위치 (FHWA: 15m)

$S_i$ : 자동차 평균속도

$T$ : 등가음향레벨이 계산되는 시간(1시간)

$\alpha$ : 장소개개변수

$\Psi$ : 유한의 도로조정

$\Delta s$ : 감쇠치

## 3. 대상지역 소음도 측정

### 3.1 대상지역

대상지역은 교통량이 비교적 일정하며, 주요도로 교통량 기준을 만족하는 광주광역시 광산구 서봉동 황룡강 일대를 선정하였다. 측정지점으로는 도로교통소음의 영향이 예상되는 도로주변 3개 지점과 황룡강 주변 및 기숙사를 포함한 3개 지점을 선정하였으며, 측정지점 및 모습은 Fig.1과 Fig.2와 같다.

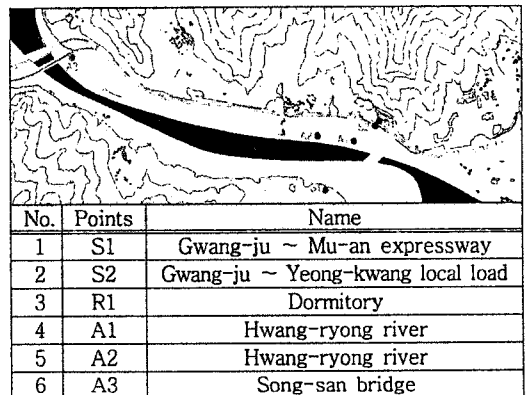


Fig.1 Measurement points

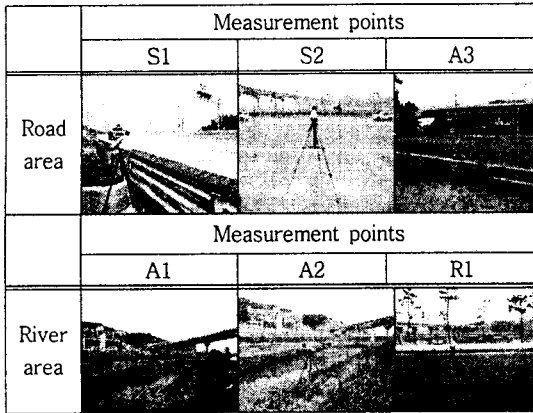


Fig.2 Features of measurement points

### 3.2 측정방법

소음측정은 환경부 고시 제 2008-22호(소음·진동공정 시험방법)에서 정하고 있는 방법에 따라 주간 4회, 야간 2회를 측정하였으며 소음 측정에 사용된 소음계는 NA-27(Rion(社))를 사용하였다.

교통량은 비디오카메라로 촬영하여 분석하였으며, 차량속도는 구간속도법을 이용하였다. 그 외 도로 폭 및 유형, 포장 상태 등을 조사하였다.

#### (1) 교통량

도로와 인접한 측정지점 3곳(S1, S2, A3)에서 조사한 교통량은 Table 3과 같다.

Table 3 Results of traffic flow

	S1		S2		A3	
	D	N	D	N	D	N
under 2.8ton	746	258	1260	206	138	66
2.8~3.5ton	29	13	32	11	5	4
3.5~4.5ton	24	2	27	4	3	2
4.5~11.8ton	41	2	84	15	20	5
over 11.8ton	9	1	26	2	2	1
Sum	849	276	1429	238	168	78

\* D: Day time, N: Night time

#### (2) 대형차량 혼입률

Table 4의 예측식별 차량분류 기준에 의하여 Table 5와 Table 6과 같이 예측식별 주·야간 소형차량 및 중형차량 그리고 대형차량을 구분하였다. 예측식별 차량구분 기준은 2종, 3종, 4종 등이 있다.

본 연구에서 사용한 예측식 RLS90 model과 XPS 31-133 model은 2종 구분, ASJ RTN-model 2, 4종 구분, FHWA model 3종 구분을 사용하였다.

Table 4 Standard of vehicle classification

P·M	Type	Dividing standard
RLS90	2	Light: 2.8ton Heavy: 2.8ton
XPS 31-133	2	Light: 3.5ton Heavy: 3.5ton
ASJ RTN-model	2	Automobile: Vehicle fewer than 10 people Light truck: Truck fewer than displacement 2,000cc Medium vehicle: taking bus for 11 ~ 29 people Vehicle more than displacement 2,000cc, truck fewer than weight 8 tons Large vehicle: More than vehicles gross weight 8 tons or more than maximum carrying capacity 5 tons freight car The big bus that taking bus are more than 30 peoples A big special car
	4	Light type: Automobile + Light truck Large type: Medium vehicle + Large vehicle
FHWA	3	Automobile + light truck: fewer than 10,000lb Medium truck: 10,000lb~26,000lb Large heavy: more than vehicle weight 26,000lb

P·M: Prediction Methods

Table 5 Vehicles per 1 hour (Day time)

P	P·M	light(대/h)	heavy(대/h)	%	
S1	RLS90	746	103	12.1	
	XPS31-133	775	74	8.7	
	ASJ	634	215	25.3	
	FHWA	light	truck	heavy	%
		799	41	9	1.1
S2	RLS90	1260	169	11.8	
	XPS31-133	1292	137	9.6	
	ASJ	1193	236	16.5	
	FHWA	light	truck	heavy	%
		1319	84	26	1.8
A3	RLS90	138	30	17.9	
	XPS31-133	143	25	14.9	
	ASJ	109	59	35.1	
	FHWA	light	truck	heavy	%
		146	20	2	1.2

\*%: (heavy\*100)/vehicles per 1 hour(heavy+light)

P: Points

Table 6 Vehicles per 1 hour (Night time)

P	P-M	light(N/h)	heavy(N/h)			%
S1	RLS90	258	18			6.5
	XPS31-133	271	5			1.8
	ASJ	239	37			13.4
	FHWA	light	truck	heavy	%	
		273	2	1	0.4	
S2	RLS90	206	32			13.4
	XPS31-133	217	21			8.8
	ASJ	161	77			32.4
	FHWA	light	truck	heavy	%	
		217	15	2	0.8	
A3	RLS90	66	12			15.4
	XPS31-133	70	8			10.3
	ASJ	51	27			34.6
	FHWA	light	truck	heavy	%	
		72	5	1	1.3	

P-M: Prediction Methods, P: Points

(2) 차량속도

RLS90, XPS31-133, ASJ RTN-model의 3가지 예측식은 소형차량과 대형차량이 구분되어 있지만 FHWA는 차량 구분 없이 전체차량의 속도 평균으로 소음 예측치를 산출한다.

Table 7은 측정지점별 차량 속도의 결과이다.

Table 7 Results of traffic speed

Points	P-M	light(km/h)	heavy(km/h)
S1	RLS90	107.7	100.1
	XPS31-133	103.5	95.3
	ASJ	105.4	101.3
	FHWA	91.3	
S2	RLS90	80.5	75.7
	XPS31-133	77.1	73.5
	ASJ	79.4	76.1
	FHWA	72.5	
A1	RLS90	45.6	44.7
	XPS31-133	46.1	45.5
	ASJ	45.8	45.4
	FHWA	45.8	

P-M: Prediction Methods

3.2 측정결과

소음 예측은 소음예측 소프트웨어인 SoundPLAN (ver 6.5, SoundPLAN(社))을 사용하였으며, 소음측정지점을 SPS(Single Point receivers Sound)로 설정하여 측정결과를 비교한 결과는 Table 8과 같다.

실측 소음도 결과와 시뮬레이션에 의한 예측 소음도를 비교한 결과, RLS90 model의 경우 오차범위는 주간 1.6~3.0dB(A), 야간 0.6~2.8dB(A), XPS31-133 model의 경우 주간 0.8~3.9dB(A), 야간 0.3~4.1dB(A), ASJ RTN

model 주간 0.4~4.5dB(A), 0.9~4.2dB(A), FHWA model의 경우 주간 1.4~4.4 야간 0.9~4.2dB(A)로 나타났다. 평균오차의 경우는 RLS90 model 주간 2.32dB(A), 야간 1.83dB(A), XPS31-133 model 주간 2.63dB(A), 야간 2.97dB(A), ASJ RTN model 주간 2.72dB(A), 야간 2.57dB(A), FHWA model 주간 2.97dB(A), 야간 2.47dB(A)로 나타났다.

또한, 예측식간의 차이는 주간 0.65dB(A), 야간 1.14dB(A)를 보였다.

예측식간 도로교통 예측치의 평균 차이가 인간이 소음의 크기 변화를 감별할 수 있는 최소치인 3dB(A) 범위내의 오차를 보였다.

Table 8 Comparison of measured and predicted results

Points		A1	A2	A3	S1	S2	R1	
M	D	58.1	56.0	66.5	73.5	75.7	64.1	A:E
	N	49.8	49.9	60.0	65.3	67.3	55.4	
1	D	60.1	58.8	68.1	70.5	72.8	65.7	
	N	51.8	50.5	59.4	62.3	64.5	57.4	
E	D	-2.0	-2.8	-1.6	3.0	2.9	-1.6	2.32
	N	-2.0	-0.6	0.6	3.0	2.8	-2.0	1.83
2	D	60.2	59.9	69.0	69.9	74.9	67.0	
	N	53.9	54.0	63.9	63.8	67.0	59.3	
E	D	-2.1	-3.9	-2.5	3.6	0.8	-2.9	2.63
	N	-4.1	-4.1	-3.9	1.5	0.3	-3.9	2.97
E	D	60.2	60.5	66.9	69.0	73.4	66.6	
	N	50.8	50.8	56.0	61.1	63.6	57.0	
E	D	-2.1	-4.5	-0.4	4.5	2.3	-2.5	2.72
	N	-1.0	-0.9	4.0	4.2	3.7	-1.6	2.57
4	D	60.3	59.1	64.0	69.1	71.5	65.5	
	N	53.8	52.3	59.4	64.4	63.1	58.1	
E	D	-2.2	-3.1	2.5	4.4	4.2	-1.4	2.97
	N	-4.0	-2.4	0.6	0.9	4.2	-2.7	2.47

\*1:RLS90 2:XPS31-133 3:ASJ RTN-model 4:FHWA

M-V: Measurement Values, A-E: Average of Errors

E: Error, D: Day time, N: Night time

4. 결 론

본 논문에서는 소음 예측식 RLS90 model과 XPS31-133 model, ASJ RTN model, FHWA model를 이용하여 도로교통 소음예측식을 실시한 후 실측치와 비교한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

RLS90 model의 경우 오차범위는 주간 1.6~3.0dB(A), 야간 0.6~2.8dB(A), XPS31-133 model 주간 0.8~3.9dB(A), 야간 0.3~4.1dB(A), ASJ RTN model 주간 0.4~4.5dB(A), 0.9~4.2dB(A), FHWA model 주간 1.4~4.4 야간 0.9~4.2dB(A)로 나타되며, 예측식간의 차이

는 주간 0.65dB(A), 야간 1.14dB(A)를 보였고, 실측치와는 0.3~4.5dB(A)의 차이를 보였다.

이는 대상지역의 지형조건 및 예측시간 소음도에 영향을 미치는 인자의 반영 유무에 따라 약간의 차이가 발생한 것으로 판단된다.

따라서, 대상지역의 특성에 따른 예측식별 소음도의 차이에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 김철환, 장태순(2007), 도로교통소음의 예측기술동향, 소음·진동 제17권 제4호
2. 정우홍, 박인성, 김지윤, 박상규, 강대준(2007), 도로교통 소음지도 작성을 위한 소음예측식 비교 연구
3. 소음·진동공정 시험방법(제 2008-22호), 환경부
4. 도로교통소음 개선에 관한 연구, 2004, 환경부
5. 음향재료기술 Vol.1 No.2 2006. 11, (사)한국음향재료협회
6. Acoustical Science and Technology Vo. 60 No. 4(2004), Road Traffic Noise Prediction Model ASJ RTN-Model 2003
7. DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1998, Calculation of Road Traffic Noise
8. LABEIN Technological Centre, Adaptation and Revision of The Interim Noise Computation Methods for The Purpose of Strategic Noise Mapping
9. EU Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise, Official Journal of the European Communities