

국내 소음기준을 이용한 성가심(annoyance) 변환에 관한 연구

A Study on the Conversion of Annoyance using the Noise Standard in Korea

김득성†·장서일*·이기정**·이연수***

Deuk-Sung Kim, Seo Il Chang, Ki-Jung Lee, Yeon-Soo Lee

Key Words : noise environmental standard(소음환경기준), annoyance response(성가심 반응), %HA(매우 성가신 비율), L_{dn} (주간 야간 소음레벨), WECPNL(가중등가지속 감각소음도)

ABSTRACT

The purpose of this study is to propose calculation and application method of a common factor from different noise source unit such as L_{eq} and WECPNL. A calculation was conducted by method that propose TNO-PG. Also, An applied example is a noise environmental standard of Korea and Japan. After %HA of two country are calculated, noise standards of two countries were compared by using %HA. The result by a equation of %HA is to convert a noise level(L_{dn}) into a %HA. To calculate a %HA, First L_{eq} is converted into L_{dn} . Then, L_{dn} has inputted into and %HA has deduced from a %HA equation of TNO-PG. If the same area is applied the same %HA value according to area categories, it can be applied the same %HA to different noise sources. As a results, a noise levels have computed different values because responses of human change in accordance with a noise sources. This results can be applied to the noise environmental assessment for a domestic railway and aircraft noise.

음과 항공기소음에 적용시켜 보고자 한다.

1. 서론

예전부터 지금까지 적용되고 있는 소음환경기준은 물리적인 양으로, 소음 영향의 대상이 되는 사람들의 반응에 대한 부분은 크게 고려되지 않은 상태이다. 하지만 21세기 들어 유럽에서는 소음의 물리량을 음원에 따른 사람의 성가심 비율(% Highly Annoyed, %HA)을 중심으로 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구 결과물로 L_{dn} 및 L_{den} 을 측정하여 소음원별로 성가심 비율을 판단할 수 있는 %HA 방정식이 제안되어 사용되고 있다.¹⁾ 국내에서도 최근에 이러한 연구²⁾가 진행되고 있으나 제안된 방정식은 아직 없다. 따라서 본 연구에서는 본 연구에서는 외국의 자료를 사용하였다.

본 연구에서는 국내의 소음환경기준과 소음진동규제법에 적용되고 있는 지역별 소음 기준치의 성가심 비율(%HA)을 살펴 보고, 이를 이용해서 소음환경기준에서 제외되어 있는 철도소

2. 이론적 고찰

2.1 L_{dn} (=DNL)

주야 평균소음레벨이라고 불리며, 미국, 뉴질랜드, 유럽의 일부 국가 등에서 사용하고 있는 평가단위로 등가소음레벨을 기준단위로 하여 하루의 매시간당 등가소음도를 측정(24개 자료)한 후 야간(22:00~07:00) 시간대 측정치에 10dB의 가중치를 준 후 24시간으로 나누어 평균시킨 소음레벨로서 그 이론식은 다음과 같다.

$$L_{dn} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \{ 15 \times 10^{L_d/10} + 9 \times 10^{(L_n+10)/10} \} \right] \quad (1)$$

L_d : 07:00~22:00 사이의 매시간 L_{eq} 값

L_n : 22:00~07:00 사이의 매시간 L_{eq} 값

이 평가척도는 소음에 대한 주관적 반응과 대응이 좋고, 하루를 낮과 밤의 시간을 구분하여 기준을 정할 필요 없이 하루 단위로 기준을 정할 수 있는 장점이 있다.³⁾

여기서, 국내의 시간대별 소음환경기준을 살펴보면, 주간은 06:00~22:00시로 16시간이고, 야간은 22:00~06:00시로 8시간에 해당한다. 따라서 국내 환경기준의 시간을 기준으로 한 L_{dn} 식

† 서울시립대학교 대학원 환경공학부
E-mail : kdsworlds@hanmail.net
Tel : (02) 2210-2986, Fax : (02) 2210-2877

* 서울시립대학교 환경공학부

** 서울시립대학교 대학원 환경공학부

*** 서울시 보건환경연구원

은 다음과 같이 변경하여 사용하였다.

$$L_{dn} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \{ 16 \times 10^{L_{d,k}/10} + 8 \times 10^{(L_{n,k} + 10)/10} \} \right] \quad (2)$$

$L_{d,k}$: 06:00~22:00 사이의 매시간 L_{eq} 값

$L_{n,k}$: 22:00~06:00 사이의 매시간 L_{eq} 값

2.2 WECPNL

1971년에 국제민간항공기구(ICAO)에서 공표한 Annex 16 Aircraft Noise 중에서 다수의 항공기에 의해 장기간 노출된 소음의 척도로서 제안되었으며, 항공기의 운항대수, 운항시 소음도, 소음지속시간, 소음발생시간 등을 감안하여 연속적인 소음 피해정도를 WECPNL로 환산시킨 것이다.⁴⁾

$$WECPNL = \overline{EPNL} + 10 \log \left(\frac{T_0 \times N}{24 \times 60 \times 60} \right) \quad (3)$$

\overline{EPNL} : 1일중 각 항공기의 EPNL 피크치의 파워평균값

T_0 : 평균지속시간 10초

N : 1일의 항공기 운항횟수($N = N_1 + 3N_2 + 10N_3$)

N_1 : 주간(07:00~19:00)의 운항횟수 (= N_d)

N_2 : 저녁(19:00~22:00)의 운항횟수 (= N_e)

N_3 : 야간(22:00~익일07:00)의 운항횟수 (= N_n)

그러나 일본에서는 WECPNL에 사용되는 EPNL의 계산이 주파수 분석을 기반으로 하는 복잡한 과정이 필요하고, ICAO에서 제안한 WECPNL의 가정 중 일부(운항횟수가 많으면 소음도 증가함)와 모순되는 결과가 나타나 원식을 사용하지 않고, 'EPNL= $L_{Amax} + 13$ '과 소음 이벤트들의 평균 L_{Amax} 는 모든 시간대에 관계없이 변하지 않는다는 가정들을 기반으로 보정된 WECPNL을 사용하고 있다.⁵⁾

$$WECPNL = \overline{L_{Amax}} + 10 \log (N_d + 3N_e + 10N_n) - 27 \quad (4)$$

$\overline{L_{Amax}}$: 1일 항공기 통과시마다 측정된 최대소음도의 평균값

2.3 Annoyance(성가심)

성가심은 “개인이나 단체에 악영향을 주는 것으로 알려진 어떤 행위자나 상황과 관련된 불쾌한 감정⁶⁾” 또는 “적의(resentment), 불쾌(displeasure), 불안(discomfort), 불만(dissatisfaction)의 감정이나 소음이 사람의 생각, 감정 또는 일상생활을 방해할 때 생기는 불쾌감⁷⁾” 등으로 정의할 수 있다.

소음 성가심 조사의 목적은 소음 노출 정도에 대한 함수로서 성가심 척도에 응답한 사람들의 백분율을 결정하고, 성가심을 유발하는 조건과 인자들을 살펴보는 것이다.

Schultz는 성가심 척도에서 상위 27~29%에 응답한 사람들을 “매우 성가심(highly annoyed)”라고 분류⁸⁾하였고, 이 척도를 %HA로 사용하였다. 이는 상위 27%는 11점 척도에서 상위 세 단계를, 29%는 7점 척도에서 상위 두 단계를 포함한 %이다.

2.4 음원별 %HA

소음 평가척도 L_{dn} 을 이용하여 TNO-PG에서 제안된 소음원별 %HA에 대한 방정식 및 그래프는 표 1과 그림 1에 나타내었다. 참고로 원문에서는 단위가 DNL로 표시되었으나 그 의미는 L_{dn} 과 비슷하여 여기서는 L_{dn} 으로 사용했다.

Table 1. Approximations for L_{dn} by % Highly Annoyed¹⁾

Source	%HA(% Highly Annoyed)	Symbol
Aircraft	$-1.395 \times 10^{-4}(X)^3 + 4.081 \times 10^{-2}(X)^2 + 0.342(X)$	%HA _{Aircraft}
Road	$9.994 \times 10^{-4}(X)^3 - 1.523 \times 10^{-2}(X)^2 + 0.538(X)$	%HA _{Road}
Railways	$7.158 \times 10^{-4}(X)^3 - 7.774 \times 10^{-3}(X)^2 + 0.163(X)$	%HA _{Railway}

* $X = 'L_{dn} - 42'$

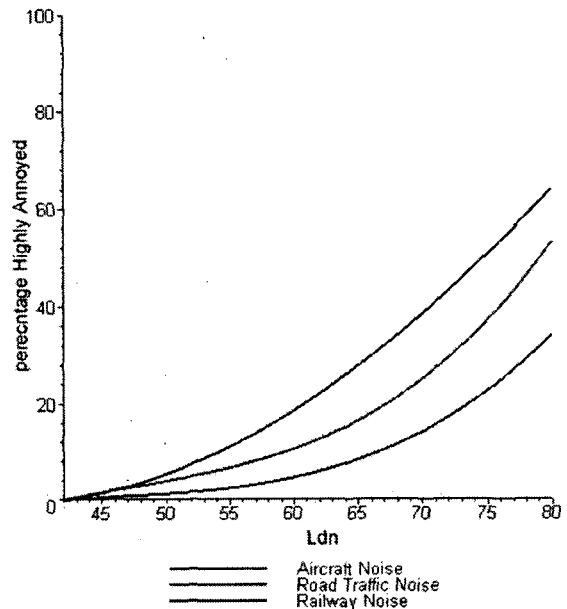


Fig. 1. Curves of polynomial approximations for L_{dn} ¹⁾

3. 결과

국내 소음환경기준을 살펴보면, 일반지역과 도로변지역으로 구분되어 있다. 또한, 비교란을 보면, ‘이 소음환경기준은 항공기소음·철도소음 및 건설작업 소음에는 적용하지 아니한다.’라는 문구가 있다.

따라서 본 연구의 결과를 도출하기 위해, 우선 도로변지역의 기준을 도로교통소음 %HA에 대입하여 산출되는 %HA 값을 기준으로 철도 및 항공기소음까지 확장시켜 그 결과를 도출했다.

3.1 계산과정

본 연구를 실행하기 위한 간략 계산과정은 그림 2의 순서에 따라 진행하였다.

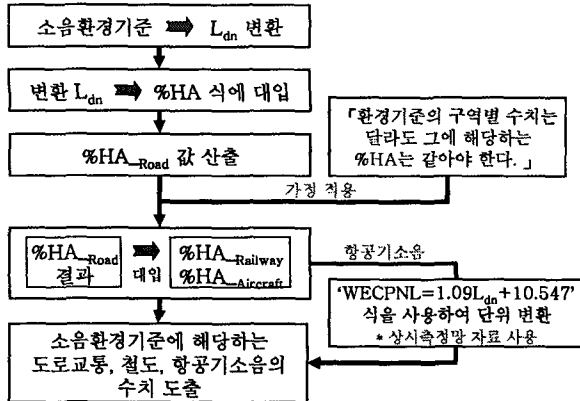


Fig. 2. Conversion process diagram

3.2 계산 결과

우선, 식 (1)과 식 (2)를 사용하여 소음환경기준을 L_{dn} 으로 바꾼 수치는 표 2와 표 3에 제시하였다. 여기서, 식 (2)는 국내 환경기준의 시간대를 고려하여 식 (1)을 변경한 것으로 본 연구에서 임의적으로 사용한 것이다.

Table 2. Results of L_{dn} calculated by equation (1)

지역 구분	적용대상 지역	Day	Night	L_d	L_n	L_{dn}
		06-22h	22-06h	15 hrs	9 hrs	
도로변 지역	'가'·'나'	65	55	65	58.0	66.4
	'다'	70	60	70	63.0	71.4
	'라'	75	70	75	70.9	78.2

Table 3. Results of L_{dn} calculated by equation (2)

지역 구분	적용대상 지역	Day	Night	L_d	L_n	L_{dn}
		06-22h	22-06h	16 hrs	8 hrs	
도로변 지역	'가'·'나'	65	55	65	55.0	65.0
	'다'	70	60	70	60.0	70.0
	'라'	75	70	75	70.0	77.4

식 (1)과 식 (2)를 사용한 결과를 살펴보면, 어떤 식을 사용하느냐에 따라 그 결과값은 1.4dB(A) 차이가 나타남을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 두 가지 식을 모두 사용하여 그 결과의 차이도 살펴보았다.

다음은 위 표들의 결과를 도로교통 %HA의 방정식에 대입하여 구한 %HA의 결과를 그림 2에서 제시한 가정을 적용시켜 철도소음과 항공기소음의 %HA 방정식에 대입한 후 역으로 각 소음별 L_{dn} 을 구하였다. 그 결과는 다음 표 4와 표 5에 제시해 놓았다. 여기서, 표 4는 표 2의 결과이며, 표 5는 표 3의 결과이다.

Table 4. Results of L_{dn} classified by %HA_{Road} of eq (1)

지역 구분	적용대상 지역	도로		철도	항공기
		%HA	L_{dn}	L_{dn}	L_{dn}
도로변 지역	'가'·'나'	18.58	66.4	72.8	60.0
	'다'	28.05	71.4	77.5	65.1
	'라'	46.93	78.2	84.2	73.5

Table 5. Results of L_{dn} classified by %HA_{Road} of eq (1)

지역 구분	적용대상 지역	도로		철도	항공기
		%HA	L_{dn}	L_{dn}	L_{dn}
도로변 지역	'가'·'나'	16.48	65.0	71.5	58.7
	'다'	25.06	70.0	76.2	63.6
	'라'	44.29	77.4	83.4	72.4

표5의 결과는 도로교통소음이 L_{dn} 으로 50dB(A)일 때, 철도는 58.6dB(A), 항공기는 48.4dB(A)의 성가심과 동일한 성가심을 갖는다는 것을 의미한다. 즉, 동일한 성가심을 기준으로 볼 때, 항공기소음이 가장 엄격한 기준을 적용해야 한다는 것을 알 수 있다.

다만, 도로교통소음과 철도소음의 성가심은 나라별로 다를 수 있다. 유럽의 연구 결과¹⁾에서는, 동일한 소음레벨에 대한 %HA의 결과가 '항공기소음>도로교통소음>철도소음'의 순으로 나타났지만, 국내²⁾ 및 일본의 연구 결과⁹⁾¹⁰⁾에서는 '항공기소음>철도소음>도로교통소음'의 순으로 성가심(annoyance)을 느끼는 것으로 나타났기 때문에 이 식을 직접 적용하기엔 좀 더 연구가 필요하다.

다음은 표 4와 표 5에서 산출된 항공기소음의 L_{dn} 단위를 국내에서 사용하고 있는 WECPNL로 변경시켜 제시하고자 한다. 항공기소음 단위를 변경하기 위해 본 논문에서는 환경부에서 관리하는 항공기소음 자동측정망 자료를 사용했다. 사용된 자료는 분기당 1개월(30일) 자료, 일간 측정자료를 사용하여 1년(총 4개월)동안의 자료이며, 사용 데이터 자료 수는 6,863개이다.

자동측정망 지점 중 배경소음이 큰 지점이 많아, 이 자료를 사용하기 위해서 몇 가지 가정들을 적용했다.

- ① 자동측정망의 자료 중 항공기소음 만을 등가시킨 '이벤트 L_{eq} ' 소음도를 사용하여 WECPNL과 L_{dn} 의 상관관계를 산출함
- ② 대부분의 공항에서 주간의 운항횟수가 더 많다는 것을 이용, '이벤트 L_{eq} '를 주간소음도인 L_d 로 가정함
- ③ '주간' 소음도와 '야간' 소음도는 10dB 이상 차이가 나는 것으로 가정함

위의 가정들을 적용시켜 구한 WECPNL과 L_{dn} 과의 상관관계는 식(5)와 그림 3에 제시하였다. 또한 식(5)를 사용해서 L_{dn} 을 WECPNL로 변환시킨 결과는 표 6에 제시하였다.

표 7과 표 8은 소음원별 결과값을 정리한 것이다.

$$WECPNL = 1.09 \times L_{dn} + 10.547 \quad (5)$$

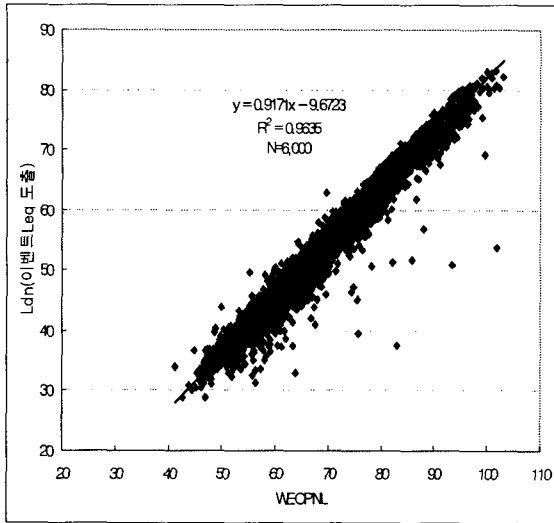


Fig. 3. Relationships between WECPNL and L_{dn}

Table 6. Results of WECPNL calculated by equation (5)

지역 구분	적용대상 지역	%HA		L_{dn}		WECPNL	
		Eq(1)	Eq(2)	Eq(1)	Eq(2)	Eq(1)	Eq(2)
도로변 지역	'가·나'	18.58	16.48	60.0	58.7	76.0	74.6
	'다'	28.05	25.06	65.1	63.6	81.6	79.9
	'라'	46.93	44.29	73.5	72.4	90.7	89.5

Table 7. Results of noise source calculated by eq (1)

지역 구분	적용대상 지역	%HA	L_{dn}			WECPNL
			도로	철도	항공기	
도로변 지역	'가·나'	18.58	66.4	72.8	60.0	76.0
	'다'	28.05	71.4	77.5	65.1	81.6
	'라'	46.93	78.2	84.2	73.5	90.7

Table 8. Results of noise source calculated by eq (2)

지역 구분	적용대상 지역	%HA	L_{dn}			WECPNL
			도로	철도	항공기	
도로변 지역	'가·나'	16.48	65.0	71.5	58.7	74.6
	'다'	25.06	70.0	76.2	63.6	79.9
	'라'	44.29	77.4	83.4	72.4	89.5

3.3 일본의 소음환경기준과의 비교

일본의 소음환경기준과 위에서 구한 소음환경기준의 %HA를 비교해 보았다. 일본의 소음환경기준은 일본 환경청 (www.env.go.jp)에서 참고하였다. 소음은 도로변 지역, 항공기 소음 및 신간선 철도소음 등을 비교 대상으로 선정하였고, %HA 적용 방정식은 앞에서 언급한 TNO-PG에서 제안한 방정식을 사용하였다.

일본 환경기준에 사용되는 시간대는 같으나 지역 구분은 국

내와 다르다. 우선, 국내와 일본의 환경기준에서 사용되는 도로변 지역의 구분에 사용되는 '가'지역은 A지역, '나'지역은 B지역, '다'와 '라'지역은 C지역에 해당하며, 간선도로에 근접한 지역(D*)을 따라 분류해 놓았다. 신간선 철도소음은 I 지역을 주거지역으로, II 지역은 상공업지역 등, I 지역 이외의 지역에서 통상적인 생활을 보전할 필요가 있는 지역으로 구분하였고, 항공기소음은 주거전용지역, I 지역과 통상적인 생활을 보전할 필요가 있는 지역, II 지역으로 구분하였다. 따라서 본 연구에서는 지역 구분을 임의적으로 분류했다. 분류된 결과는 다음 표 9와 같다.

Table 9. Classification and criterion of area categories

도로변 지역	일본						
	도로변 지역 (단위 : L_{Aeq})			신간선 철도 (단위 : L_{Aeq})		항공기	
	지역	Day	Night	지역	Day	지역	WECPNL
'가·나'	A	60dB	55dB	I	70dB	I	70
'다'	BC	65dB	60dB	II	75dB	II	75
'라'	D*	70dB	65dB	-	-	-	-

일본의 환경기준에서 신간선 철도 기준은 주간은 있고, 야간은 없는 관계로, 철도의 L_{dn} 을 구하기 위해, "야간은 주간보다 10dB 작다."라는 가정을 적용하여 구하였다.

그 결과는 표 10과 표 11에 제시하였다.

Table 10. Results %HA of Japan standard by eq (1)

도로변 지역	일본					
	도로변 지역		신간선 철도		항공기	
	L_{dn}	%HA	L_{dn}	%HA	L_{dn}	%HA
'가·나'	63.2	14.08	71.4	16.26	54.5	10.44
'다'	68.2	21.62	76.4	25.55	59.1	17.13
'라'	73.2	32.31	-	-	-	-

Table 11. Results %HA of Japan standard by eq (2)

도로변 지역	일본					
	도로변 지역		신간선 철도		항공기	
	L_{dn}	%HA	L_{dn}	%HA	L_{dn}	%HA
'가·나'	62.4	13.12	70.0	14.18	54.5	10.44
'다'	67.4	20.22	75.0	22.64	59.1	17.13
'라'	72.4	30.36	-	-	-	-

표 12, 표 13, 표 14는 도로변, 신간선 철도, 항공기 등 각 음원별로 국내와 일본의 L_{dn} 및 %HA의 결과를 비교해 놓은 것이다.

Table 12. Comparison results of roadside between Korea and Japan

적용대상 지역	Roadside of Korea				Roadside of Japan			
	Eq (1)		Eq (2)		Eq (1)		Eq (2)	
	%HA	L _{dn}	%HA	L _{dn}	%HA	L _{dn}	%HA	L _{dn}
'가·나'	18.58	66.4	16.48	65.0	14.08	63.2	13.12	62.4
'다'	28.05	71.4	25.06	70.0	21.62	68.2	20.22	67.4
'라'	46.93	78.2	44.29	77.4	32.31	73.2	30.36	72.4

Table 13. Comparison results of railway between Korea and Japan

적용대상 지역	Roadside of Korea				Roadside of Japan			
	Eq (1)		Eq (2)		Eq (1)		Eq (2)	
	%HA	L _{dn}	%HA	L _{dn}	%HA	L _{dn}	%HA	L _{dn}
'가·나'	18.58	72.8	16.48	71.5	16.26	71.4	14.18	70.0
'다'	28.05	77.5	25.06	76.2	25.55	76.4	22.64	75.0
'라'	46.93	84.2	44.29	83.4	-	-	-	-

Table 14. Comparison results of aircraft between Korea and Japan

적용대상 지역	Roadside of Korea				Roadside of Japan	
	Eq (1)		Eq (2)		Eq (1) and Eq (2)	
	%HA	L _{dn}	%HA	L _{dn}	%HA	L _{dn}
'가·나'	18.58	60.0	16.48	58.7	10.44	54.5
'다'	28.05	65.1	25.06	63.6	17.13	59.1
'라'	46.93	73.5	44.29	72.4	-	-

국내 소음환경기준과 일본의 환경기준을 비교해 본 결과는 대체적으로 일본이 국내의 소음환경기준보다 더 강화시켜 적용하고 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 소음환경기준을 대상으로 성가심 반응의 정도와 %HA를 이용한 철도 및 항공기의 소음환경기준의 계산 과정을 검토해 보았고, 또 일본의 환경기준과 비교해 보았다. 하지만, 연구에서 사용한 %HA 방정식은 외국에서 제안된 것으로 실제로 국내의 환경에 직접 적용하기에는 문제가 있을 수 있다. 이는 소음원에 따라 국내와 외국 간의 반응이 다를 수 있기 때문인데, 이는 여러 연구들에서도 나타난 결과이다.

환경기준의 계산 방법은 TNO-PG의 제안식을 사용하여 %HA를 소음환경기준에 적용시켜 도로교통소음의 %HA에 해당하는 철도소음과 항공기소음의 기준치를 계산하는 과정과 그 결과를 산출해 보았다. 계산방법에 따라, %HA는 18.6 ~ 46.9%, 16.5 ~ 44.3% 였다.

또한, 일본의 환경기준과 %HA를 비교해 보았는데, 국내 소음환경기준에 대응되는 지역의 %HA는 일본이 더 낮게 나와 소음에 대한 기준이 국내보다 더 엄격하게 적용되고 있음을 알 수 있었다.

이러한 %HA의 자료는 환경기준이나 규제기준의 개정이 필

요할 경우, 상한치 및 하한치의 경계를 구하는 중요한 요소로 사용될 수 있으며, 서로 사용되는 단위가 다른 소음원들끼리 비교할 수 있는 인자로, 또는 성가심 지도 등의 응용 분야에도 사용할 수도 있다. 하지만, 기준이나 응용분야에 적용하기 위해서는 국내 환경에 더 정확한 국내 자료를 사용해야 하며, 만약, 외국자료를 사용한다면, 여러 가정들이 적용되어야 한다.

따라서 국내에서 연구되고 있는 생활소음¹¹⁾, 교통소음²⁾에 대한 성가심 연구가 더 활발히 연구되어야 하며, 또한, 외국의 연구와 같이 자료의 공유성 및 연계성은 국내의 성가심 연구에 필수 불가결한 일이라 판단되어 진다.

후 기

본 연구는 과학재단 특정기초과제 “폭발성 충격소음의 생성 및 전파 시뮬레이션과 위해성 분석” (R01-2006-000-10301-0)을 수행하면서 얻어진 결과이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Miedema, H. M. E., and Oudshoorn, C. G. M., 2001, Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals, Environmental Health Perspectives Vol 109 Num 4, pp. 409 ~ 416.
- (2) 이수갑 등, 2005, “한국인의 교통소음에 대한 불쾌감 연구”, 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 33 ~ 42.
- (3) 정일록, 2002, “소음·진동학”, 형설출판사, 6장.
- (4) 이준호, “ICAO WECPNL과 dBA)에 의한 WECPNL 비교 연구(I)”, 항공진흥 제38호, pp. 126.
- (5) H. Yoshioka, and I. Yamada, 2004, Consideration to noise index for evaluating airport noise in Japan, Inter-noise.
- (6) Berglund, B., Lindvall, Th., Schwela, D.H., 2000, Guidelines for community noise, World Health Organization, Geneva.
- (7) Passchier-Vermeer, W., 1993, Noise and Health(Geluid en Gezondheid), Health Council of the Netherlands, publication no A93/O2E, Hague.
- (8) Schultz, T. J., 1978, “Synthesis of social surveys on noise annoyance”, J. Acoust. Soc. Am. 64(2), pp. 377 ~ 405.
- (9) J. Kaku, I. Yamada, 1996, “The possibility of a bonus for evaluating railway noise in Japan”, J. Sound Vib., 193, pp. 445 ~ 450.
- (10) T. Yano, T. Yamashita, K. Izumi, 1997, “Comparison of community annoyance from railway noise evaluated by different category scales”, J. Sound Vib., 205, pp. 505 ~ 511.
- (11) 류종관 등, 2005, “생활소음의 주관적 반응에 대한 민감도의 영향”, 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 363 ~ 366.