

# 항공기 소음 측정평가

김 수 인

(한국공항공단 환경부)

## 1. 머리말

**항** 공기소음이 사회적인 문제로 대두하게 된 것은 제트기가 취항하기 시작한 이후부터이다. 제트기의 출현에 의해서 음의『시끄러움(노이지네스)』과 음의『크기(라우드네스)』로 구별하는 것이 타당하다고 생각하게 되었다. 이는 프로펠러기에 비해서 제트기 음은 고주파 음이 비교적 많기 때문에 dB(A)로 인간이 느끼는 시끄러움을 모두 나타내기가 어렵기 때문이다. 그래서 음의 크기에 대한 청감외 별도로 음의 시끄러움에 대한 감각을 도입한 PNL(감각소음레벨 : Perceived Noise Level)이라는 단위가 항공기 소음의 척도로 사용되어 왔다.

항공기 소음평가는 개별항공기 1기에 대한 소음평가와 공항주변지역에 대한 소음 평가로 대별할 수 있다. 항공기 1기에 대한 소음평가는 항공기 소음증명을 목적으로 하며 PNL척도에 의한 크기 외에도 소음의 지속시간이나 훈, 터빈 등에서 발생하는 순음성 소음에 대한 보정등을 고려한 척도인 EPNL(유효감각소음레벨 : Effective Perceived Noise Level)이 국제민간항공기구(ICAO : International Civil Aviation Organization)에 의해 제안되어 사용되고 있다.

공항주변지역의 항공기 소음영향은 항공기 1대에 의한 소음크기나 시끄러움보다도 항공기가 계속하여 반복 운항하는데 더욱 큰 영향이 있다. 그래서 ICAO가 1971년에 공포한 Annex 16 Aircraft Noise중에서 다수의 항공기에 의해 장기간 연속폭로 된 소음척도로서 EPNL에 항공기 운항회수와 운항시간대

등을 고려한 WECPNL(가중 등가지속 감각 소음레벨 : Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level)이 제안되었다.

## 2. 항공기소음 평가단위

항공기소음 평가단위는 국제적으로 여려가지 소음 평가단위가 사용되고 있으나 여기에서는 다음 몇가지를 간단히 소개하고자 한다.

### 2.1 PNL(Perceived Noise Level : 감각소음레벨)

일반소음에 대한 인간의 감각은 소음레벨과 거의 일치하나 제트기가 등장한 당초에 제트 소음은 프로펠러 소음에 비해 소음레벨값은

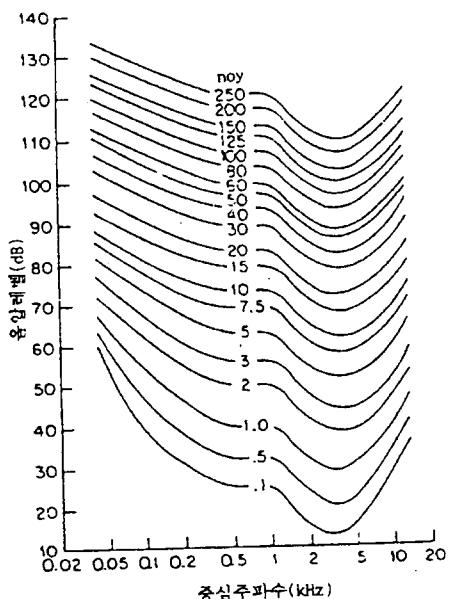


그림 1 소음 감지곡선

작지만 감각적으로 더 시끄럽게 느껴진다는 것이 판명되어 소음 스펙트럼에 의한 dB(A)로 평가하는 것이 적절하지 않다고 판단되어 항공기 소음의 주파수 특성에 따른 인체의 감각을 보정한 평가단위로 항공기소음평가의 기본단위로 사용된다.

$$PNL = 40 + 33.2 \log n,$$

$$- n_t = n_{\max} + 0.15 \left( \sum_{i=1}^{24} n_i - n_{\max} \right) noy$$

$n_i$  : 주파수별 noy 값

$n_{\max}$  : 주파수별 noy 값  $n_i$  중 가장 큰 값

## 2.2 EPNL(Effective PNL : 유효감각소음레벨)

1대의 비행기소음에 대해서 표시하는 평가량. ICAO에서 항공기의 소음증명에 이용된 척도로 항공기소음의 시끄러움을 염밀히 평가하기 위해서 PNL(감각소음레벨)에 지속시간과 순음의 보정을 한것.

소음을 주파수분석해서 그 속에 포함되는 순음성분을 조사하고 이에 의한 보정을 하여 구한 PNL을 TPNL(tone corrected perceived noise level)이라고 한다.

현재 사용되고 있는 항공기는 터보팬의 착륙시에 강한 순음성분이 있으므로, +2dB의 보정을 하나 그 밖에는 TPNL과 PNL을 같은 값으로 하고 있다.

항공기가 비행해서 멀어져 가고 있을 때, TPNL이 변화하는 과정을 0.5초마다 구하여 그림 2와 아래 식에 표시한 바와 같이 이 TPNL이 최대치가 되기 직전 -10dB의 시각  $t_1$ 에서  $t_2$ 까지의 TPNL을 에너지적으로 적분하고 이것을 지속시간 10초로 하고 정규화한 것을 EPNL이라고 한다.

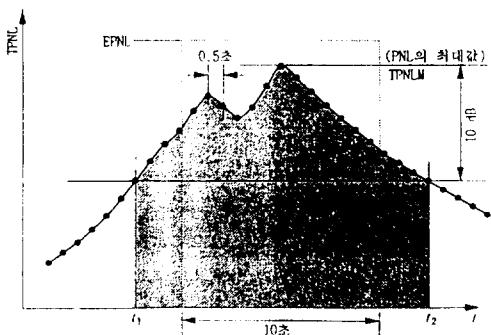


그림 2 TPNL에서 EPNL을 구하는 과정

$$EPNL = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{10} \int_{t_1}^{t_2} \left( 10^{\frac{TPNL}{10}} \right)^2 dt \right)$$

$$= 10 \log_{10} \left( \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{24} 10^{\frac{TPNL_i}{10}} \right)$$

여기에서  $TPNL_i$ 는 0.5초마다 구한 TPNL 즉 그림 2의 사선부분과 에너지적으로 같은 면적이고, 지속시간 10초 동안에 레벨 변동이 없는 절선으로 둘러싸인 부분을 생각하여 그 레벨을 EPNL이라고 한다.

따라서 PNL의 시간적인 변화의 모습에 의해서 EPNL이 TPNL의 최대치(TPNLm) 보다 크거나 작을 수도 있다.

## 2.3 ECPNL(Equivalent Continuous PNL : 등가지속감각소음레벨)

1일, 1주일 또는 1년(즉, 고려하고 있는 시간) 동안의 항공기소음의 등가레벨

$$ECPNL = 10 \log \sum_{i=1}^{24} 10^{\frac{EPNL_i}{10}} + 10 \log (10/T)$$

└ EPNLi : i번째 항공기의 EPNL  
└ T : 고려하고 있는 시간(1일, 1주일, 1년등) : sec

## 2.4 WECPNL(Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level : 가중등가지속감각소음레벨)

국제민간항공기구(ICAO)가 1971년에 공포한 Annex 16 Aircraft Noise 중에서 다수의 항공기에 의해 장기간 노출된 소음의 척도로써 제안된 것이며 항공기의 운항회수, 운항시 소음도, 소음지속시간, 소음발생시간 등을 감안한 평가단위임

$$WECPNL = \overline{EPNL} + 10 \log \frac{T_0 N}{24 \times 60 \times 60}$$

$\overline{EPNL}$  : 1일 중 각 항공기의 EPNL 파크치의 파워 평균값

$T_0$  : 평균 지속시간 10초

N : 1일의 항공기 운항회수

$$N = N_1 + 3N_2 + 10N_3$$

$N_1$  : 주간(07:00~19:00)의 운항회수

$N_2$  : 저녁(19:00~22:00)의 운항회수

$N_3$  : 야간(22:00~익일 07:00)의 운항회수

## 2.5 외국의 항공기소음 평가단위

### (1) NEF(Noise Exposure Forecast)

항공기소음 평가단위로 WECPNL과 마찬가지로 유효감각소음레벨 EPNL을 기본 평간단위로 하여 항공기소음에 대한 감각적 평가, 지속시간 및 순음성과 소음 노출량 등을 바탕으로 주간과 야간의 항공기 이착륙 회수 등을 고려하여 24시간 주기로 산출되며 70년 대에 미국에서 공항주변 토지이용계획수립의 기본자료로 사용되었으나 현재는  $L_{dn}$ 으로 대체되고 있다.

$$NEF = \overline{EPNL} + 10 \log N - 88$$

$\overline{EPNL}$  : EPNL의 파워 평균값

$$N = N_1 + 3N_2 + 10N_3$$

$N_1$  : 07:00~19:00의 운항회수

$N_2$  : 19:00~22:00의 운항회수

$N_3$  : 22:00~익일 07:00의 운항회수

### (2) $L_{dn}$ (day-night sound level)

미국에서 사용하고 있는 항공기소음 평가단위로 등가소음레벨( $L_{eq}$ )를 기준 단위로 하여 야간(22:00~07:00)시간대에 10dB의 가중치를 준 평가단위이다.

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

$L_d$  : 07:00~22:00 사이의 매시간  $L_{eq}$

$L_n$  : 22:00~07:00 사이의 매시간  $L_{eq}$

### (3) NNI(Noise and Number Index)

영국에서 사용하고 있는 항공기소음 평가단위로 PNL을 기준단위로 하여 항공기 운항회수 N을 보정한 단위이다.

$$NNI = \overline{PNL} + 15 \log N - 80$$

$\overline{PNL}$  : PNL의 파워 평균값

N : 일일 항공기의 운항회수

### (4) 등가소음레벨( $L_{eq}$ )

독일에서 사용하고 있는 항공기소음 평가단위

$$L_{eq} = 13.3 \log \sum_i g_i \frac{t_i}{T} \times 10^{\frac{L_i}{13.3}} \text{ dB(A)}$$

$\sum_i$  : 측정지점에서 기준시간내 운항회수 총계

$g_i$  : 주간(06:00~22:00), 야간(22:00~

06:00)의 평균지수

$t_i$  : 지속시간(최고 소음레벨 - 10dB(A) 시간)

T : 기준시간(1년내 운항회수가 많은 6개월)

$L_i$  : 최고 소음레벨

단 : a)  $g_i$  : 주간 1.5, 야간 0

b)  $g_i$  : 주간 1.0, 야간 0.5

a) b) 두 종의 계수에 따라 산출한 수치중 어느 쪽이든 큰 방식 채택

## (5) N

프랑스에서 사용하고 있는 항공기소음 평가단위로 소음규제용(Isopsophique 지수 N)과 토지이용구분(Psophique 지수 N)으로 구분 사용하고 있다.

• 규제용 Isopsophique 지수 N

$$N = 10 \log \left( \sum_i 10 \frac{N_i}{10} \right) - 35 + 10 \log \frac{A}{AM}$$

$N_i$  : dB(D)

P : 10일간의 측정점 통과기수

$10 \log \frac{A}{AM}$  : 1일당 변화를 산정하는 보정량

## 3. 우리나라 항공기소음 평가단위 (WECPNL)

### 3.1 항공기소음 평가단위

상기에서 기술한 것 같이 항공기소음 평가방법은 각 국가별로 서로 다른 평가방식을 채택하여 사용하고 있고 우리나라의 경우에는 항공법 시행규칙 273조 및 환경부에서 고시한 소음진동공정시험법에 따라 일본과 같은 방식의 dB(A)를 기준으로 한 WECPNL (Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level)을 사용하고 있다.

항공기 이착륙 소음으로 인한 공항주변에 대한 소음평가에는 기종별 항공기 소음의 크기, 시간대별 운항회수, 이착륙항로, 이착륙시의 활주로 방향별 이용률 및 기종별 혼입률 등이 주요인자로 작용하며,

이 방식은 ICAO에서 권고하고 있는 평가단위로써, 실측 실무의 편의를 도모하기 위하여  $dB(A) = \overline{EPNL} - 13$ 의 관계식을 사용하며 다음식에 의한다.

$$WECPNL = \overline{dB(A)} + 10 \log N - 27$$

•  $\overline{dB(A)}$  : 이착륙하는 항공기마다 1일 단위로 계산한 당일 평균 최고소음도

$$\cdot \overline{dB(A)} = 10 \log \left[ \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \right] dB(A)$$

$n$  = 1일중의 항공기 소음측정회수

$L_i$  = i번째 통과한 항공기 최고 소음도

•  $N$ 은 1일간 항공기 이착륙 회수

•  $N = N_1 + 3N_2 + 10N_3$

$N_1$  : 07:00~19:00의 운항회수

$N_2$  : 19:00~22:00의 운항회수

$N_3$  : 22:00~익일 07:00의 운항회수

### 3.2 항공기 소음측정

다음은 공항공단에서 시행한 항공기소음 측정평가과정으로써 항공기소음의 측정방법은 환경처에서 1991년 11월 5일자로 고시한 「소음·진동 공정시험방법(이하 시험법)」의 소음면 제5장 제2절 항공기 소음에 따라 다음과 같이 실시하였다.

#### (1) 측정지점 :

옥외 측정을 실시하였으며, 활주로 중심을 기준으로 통상 300m 간격의 자오선을 그은 후 본 소음평가 목적상 컴퓨터 작업에 필요한 데이터를 얻어야 할 교차점 중 그 지역의 항공기 소음을 대표할 수 있는 곳과 소음으로 인한 민원발생의 우려가 있는 곳을 택하여 실시하였다.

#### (2) 측정위치 :

바닥에서 1.2~1.5m 높이에 마이크로폰을 설치하였으며 가능한 한 측정에 영향을 줄 수 있는 장애물을 피하여 설치하였다.

#### (3) 측정조건 :

- 측정기의 마이크로폰을 소음원 방향으로 향하여 받침대 위에 설치하였으며, 측정시의 풍속이 5m/sec를 넘는 데이터는 데이터분석 과정에서 제외시켰다.

- 매 항공기 통과시마다의 Peak 소음도를 측정하여 기록하였다.

- 측정기는 정밀소음 측정기 및 보통소음 측정기를 Recorder에 연결하여 사용하였으며, 측정기의 청감보정회로는 A특성에 고정시키고, 동특성은 slow로 맞추어 실시하였다.

#### (4) 측정기간

시험법상의 측정기간은 1개 지점당 7일간

연속 측정하는 것으로 정하고 있다. 이는 통상 항공기의 운항 일정이 1주일 단위를 한 주기로 하기 때문에 측정 데이터에 의한 그 지점의 WECPNL을 산출하기 위해서는 24시간 연속적으로 7일간씩 측정한 데이터가 필요하기 때문이다.

그러나 본 소음측정은 측정 데이터에 의한 그 지점의 WECPNL을 산출해 내는데 목적이 있는 것이 아니고, 공항 주변 지역의 전반적인 소음분포도의 작성을 목적으로 하기 때문에 시험법과 같은 방식을 취하기는 거의 불가능하다.

그러므로 본 소음측정에서는 데이터가 필요한 지점에서 최소한 3일 이상씩, 또 항로의 추적을 위한 지점의 측정에서는 1일 이상씩, 3개 지점에서 동시에 소음측정을 실시하였다.

#### (5) 기준점 설정에 의한 동시측정

어떤 정해진 측정점에서 같은 항로, 같은 기종에 대한 실측회수가 많을수록 그 평균값이 정확해지고, 실측치가 정확할수록 소음등 고선이 실제상황에 가까워 진다.

같은 측정회수를 가지고, 보다 더 정확한 데이터를 만들기 위해, 소음실측 측면에서 가장 대표적인 지점을 기준점으로 하고, 이 기준점에서는 항상 실측 하도록 하며, 다른 측정점에서는 3일 정도 실측을 하고 이동하면서, 기준점을 포함하여 4~6개소를 동시에 측정하였다.

이렇게 하므로써, 기준점과 측정점과의 소음도 차이가 보다 정확히 정해지게 되고, 같은 기종 같은 항로에 대한 실측점에서의 측정 회수가 적어도 동시측정 그룹별의 평균과 전체평균의 차이 만큼 각 측정점의 실측치를 보정하여 줌으로써 실측회수가 증가한 효과를 갖도록 하였다.

### 3.3 항공기 이착륙 소음평가

#### (1) WECPNL의 산출방법

여기서는 WECPNL에 대한 이해를 돋기 위해 김포공항주변 1개 지점의 소음도 실측치를 이용하여 WECPNL을 산출하는 방법에 대하여 설명하고자 한다.

어떤 측정지점(활주로 직하)으로 이륙하는 항공기의 1일 운항회수가 다음과 같다고 가정하고 그 지점에서의 WECPNL을 산출해 보기로 한다.

시간대 기종	07:00~19:00 (N <sub>1</sub> )	19:00 ~ 22:00 (N <sub>2</sub> )	22:00 ~ 07:00 (N <sub>3</sub> )
B727	10	5	1
B747	10	5	1

WECPNL의 산출방법은  $WECPNL = \frac{L_A}{10} + 10 \log (N_1 + 3N_2 + 10N_3) - 27$  이므로 각기종별의 WECPNL을 산출해 내려면 그 지점의 소음도의 Peak Level을 실측하여 그 평균치를식에 대입하여 산출하면 된다.  
어떤 측정지점에서의 B727 및 B747의 이륙소음 Power 평균이 다음과 같을때

$$\begin{aligned} B727 &= 101.7 \text{dB(A)} \\ B747 &= 100.1 \text{dB(A)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 B727 의 WECPNL(1) } &= 101.7 \\ &+ 10 \log(10 + 3 \times 5 + 10 \times 1) - 27 = 90.1 \\ \text{B747 의 WECPNL(2) } &= 100.1 + 10 \log \\ &(10 + 3 \times 5 + 10 \times 1) - 27 = 88.5 \end{aligned}$$

이러한 방법으로 산출된 기종별 WECPNL의 Power 합계치가 그 지점에서의 WECPNL이 된다.

즉,

$$WECPNL = 10 \log [10^{\frac{90.1}{10}} + 10^{\frac{88.5}{10}}] = 92.4$$

이와같은 방법으로 각 기종별 시간대별의 운항회수에 따른 WECPNL을 산출한 후, 그 산출된 WECPNL을 Power합한 것이 그날의 그 지점에서의 WECPNL이 된다.

## (2) WECPNL의 기여인자 검토

### ○ 이착륙 Pattern

항공기의 이착륙 Pattern은 각각의 경우 다소 차이가 있다. 착륙시는 계기비행일 경우화 시계비행일 경우에 따라 착륙각도 및 Touch Point에 차이가 있고, 이륙시는 기종, 항속거리, 승객수 및 화물량 등에 따라 활주거리 및 이륙각도 등에서 많은 차이가 난다.

### ○ 지형보정

Slant Distance 계산시, 활주로의 Elevation과 각 산출지점의 Elevation차가 있으므로, 이들에 대한 보정은 1/25,000 지형도상에서 개소별로 각각의 Elevation을 판독하여 컴퓨터에 입력시킨다.

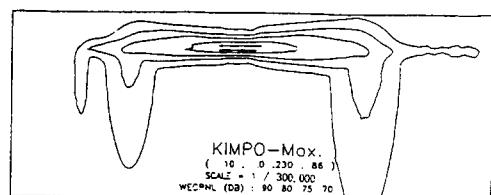
### ○ 관측각의 보정

항공기가 비교적 저공에 위치하고, 관측점에서 항공기를 향한 각도가 작을 때는, 지표면에 의한 음의 흡수, 소음원인 항공기의 엔진이 항공기의 동체에 가려지는 등의 영향으로, 동일한 Slant Distance에서라도 직하인 경우보다 소음이 작아진다.

### (3) WECPNL Contour의 작성

WECPNL Contour를 정확하게 작성하기 위해서는 기종별, 시간대별 운항회수, 활주로 방향별 이용비율, 이착륙 항로 등을 입력하여 교차점의 WECPNL을 산출한 후 컴퓨터에 연결된 Plotter를 이용하여 Contour를 작성

### ○ 항공기 소음등고선



## 4. 맷 음 말

경제성장으로 국민소득이 높아지면서 항공교통수요가 증가하고 개방화 및 여행자유화정책은 항공 수송분담률을 크게 증가시켰다.

한편으로 국민소득의 증가는 환경문제에 대한 보다 많은 관심을 가지게 되었고 주거환경에 대한 질적 요구가 높아지게 되므로 공항주변지역에 항공기 소음문제로 인한 집단민원이 발생하게 되었다.

그래서 공항주변지역의 항공기 소음문제를 해결하기 위한 대책을 수립하기 위해서는 먼저 항공기소음 영향을 정확히 평가하는 방법의 채택이 필요하게 된 것이다.

이와 같이 항공기 이착륙 소음에 대한 정확한 평가의 주된 목적은 현행 항공법 제107조에 항공기소음의 피해를 방지 또는 저감시킬 필요가 있는 경우 건설교통부 장관은 공항소음피해지역, 피해예상지역을 지정고시하도록 되어 있고, 평가에 의하여 지정된 구역별로 항공법 시행규칙 제272조에 의거 공항주변 소음대책사업을 시행하는 객관적인 자료로 활용하는데 있다.