

# 군용항공기의 예측 최고소음도와 측정된 최고소음도의 비교를 통한 WECPNL의 산정에 관한 연구

A Study on the WECPNL Application Method to Estimate the Measured data by using the Simulated value for Military Aircraft

김봉석<sup>†</sup> · 장서일\* · 이연수\*\*

Bong-Suk Kim, Seo-Il Chang, Yeon-Soo Lee

**Key Words** :  $L_{MAX}$ (최대소음레벨), WECPNL(가중 평균 지각소음레벨)

## ABSTRACT

The INM simulation program is used to estimate the condition of the exposed area to the noise near a military airport in Korea.  $WECPNL_k$ , the evaluation unit of Korean airport noise, is different from the ICAO  $WECPNL_I$  that is used in the simulation program. Therefore, it is inappropriate to compare these units each other directly. This study presents method of comparison between them by using  $L_{MAX}$ . The aircraft events are classified into three classes, as departure, overfly and approach. In result, the measurement and simulation seemed to be similar at departure and approach pattern. However, overfly pattern had higher errors between measurement and simulation. Finally, it is necessary to examine the method to determine flight events and duration for the  $WECPNL_k$  application.

## 1. 서 론

현재 국내에서 발생되고 있는 항공기 소음과 관련된 피해사항 중 군용항공기 소음이 차지하고 있는 비중은 높다. 군용항공기는 일반 민간항공기에 비해 그 소음출력 정도가 훨씬 크며 비행패턴이 다양하고 불규칙하여 소음피해의 영향이 더욱 크게 나타나는 것으로 인지되고 있다. 공항주변 항공기소음을 평가하는 방법에는 실제 공항주변을 측정하는 방법과 예측 프로그램을 이용한 등소음도 곡선으로 평가하는 방법 등이 있다. 국내에서는 항공기 소음도를 평가하는 기준으로  $WECPNL_k$ 를 사용하고 있는데 이것은  $L_{MAX}$ 를 기본으로 하여 산출하는 것으로서 예측 프로그램인 INM의 등소음도 곡선에 적용되는 EPNL 기반의 ICAO  $WECPNL_I$ 과는 차이가 있을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 INM을 이용하여  $WECPNL_k$ 를 산출하는 방법을 강구 하였다. 국내에서 실제 운영되고 있는 ○○군용공항 주변지역 11개 지점

을 대상으로 항공기 이벤트별 항로 파악 및  $L_{MAX}$  측정을 하였고 INM(Integrated Noise Model)6.2 Version으로 동일한 지점을 모델링하였다. INM을 통한  $L_{MAX}$  예측 소음도를 산출하고 측정된 데이터와 비교한 후, 이벤트수와 지속시간을 예측치에 적용하여  $WECPNL_k$ 를 산정하는 방법을 제안 하려고 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 실측 데이터

#### (1) 측정 지점

2006년 10월 ○○일 ○○공항을 대상으로 11개 지점에서 항공기 소음을 측정하였다. ○○공항은 군용기와 민간기가 동시에 운영되고 있지만 군용기의 운항횟수가 대부분을 차지하고 있다. 측정지점 선정은 실제 측정전 예비조사를 실시하여 군용항공기 주요 항로를 파악하고 항로주변에 속하면서 항공기 소음에 직접적인 영향을 받는다고 판단된 곳을 택하였다. 또한 배경소음에 영향을 배제할 수 있는 건물 옥상 등을 선정하였다. 측정지점 중 공항 중심점을 기준으로 가장 가까운 곳은 A6지점으로 2.6Km떨어진 곳이었으며 가장 먼 곳은 A11지점으로 5Km정도 떨어진 곳에 위치하였다.

† 서울시립대학교 일반 대학원  
E-mail : ozzy1009@nate.com  
Tel:(02)2210-2986 FAX:(02)2210-2877

\* 서울시립대학교 환경공학부

\*\* 서울시보건환경연구원

## (2) 운항 항로 및 패턴

실제 측정전 실시한 예비조사로 부터 대상 군용항공기의 운항 항로를 알아보았다. 측정 지역에 영향을 미치는 운항 패턴은 크게 이륙시, 선회시, 착륙시 3가지 패턴으로 구분되었고 선회 패턴은 항공기가 착륙을 시도하기 위해 공항주변을 선회하는 형식이었다. Fig. 1 은 운항항로와 측정 지점을 나타낸 것이다.

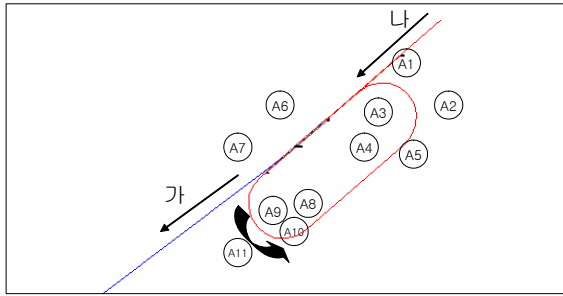


Fig. 1 Track and Location

이륙은 활주로 가 방향으로 실시되었고 착륙은 나 방향으로 직접 진입하거나 활주로를 한번 선회한 후 착륙을 시도하는 패턴이 관찰되었다.

## (3) 대상 군용기 기종

실제 측정시 관찰되었던 항공 기종은 국내 공군 주력전투기인 F-4, F-16, F-5 총 3개 종류였으며 이중 F-4가 전체 운항 비율의 90%이상을 차지하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 타 기종의 영향이 크지 않다는 가정 하에 F-4기종 데이터값만을 선별하여 적용하였다.

## (4) 측정 소음도 결과

11개 측정지점으로 부터 얻은 이벤트별  $L_{MAX}$  데이터값을 다시 비행 패턴별로 분류하였다. 측정지점에서 관측된 이벤트 수는 45~100회로 나타났으며, 가장 많은 이벤트가 발생한 지점은 A3 지역으로 위치적으로 공항 활주로 중심점에서 가장 가까운 거리에 위치하였으며 이륙, 선회, 착륙 등 모든 패턴의 영향을 받았다. 각 지점별 운항패턴에 따른 이벤트 횟수 및  $L_{MAX}$  수치 범위는 Table. 1, Table. 2 과 같다. 측정된  $L_{MAX}$ 값은 같은 지점에서의 같은 패턴이라도 상이한 결과를 보였으며 특히, 선회 비행의 경우 다른 패턴에 비해  $L_{MAX}$ 값의 범위가 큰 것을 알 수 있었다. 이는 선회 비행 항로가 다른 종류의 항로, 즉, 이륙이나 착륙 패턴이 이루어지는 항로보다 비교적 공간적인 분산이 크고 혼란 상황에 따른 운항 패턴이 다소 불규칙했기 때문인 것으로 판단된다. 또한 군용항공기는 일반 민간항공기와는 달리 단독 비행 뿐만 아니라 편대 비행의 비율도 높기 때문에 단독 비행과 편대 비행에 따른 합성 소음 여부에 의한 소음도 변화 가능성도 추측할 수 있었다.

Table. 1 The number of events

Location	Departure	Approach	Overfly	Total
A1	-	34	43	77
A2	-	13	32	45
A3	29	41	30	100
A4	15	21	9	45
A5	-	-	48	48
A6	27	26	33	86
A7	27	-	50	77
A8	4	-	37	41
A9	25	-	53	78
A10	28	-	46	74
A11	26	-	24	50

Table. 2 Range of  $L_{MAX}$  Value

Location	Departure		Approach		Overfly	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
A1	-	-	94.0	69.2	94.5	66.8
A2	-	-	69.6	48.1	93.3	52.6
A3	91.9	73	81.5	67	89.7	63.6
A4	77.5	71.3	87.9	62.6	83.4	64.5
A5	-	-	-	-	93.5	67.4
A6	89.4	70.0	66.7	52.4	96.1	68.1
A7	102.2	95.1	-	-	101.2	67.6
A8	86.5	70.6	-	-	87.7	65.3
A9	107.5	95.4	-	-	106	70.5
A10	90.8	72.5	-	-	93.8	71.9
A11	89.1	63.1	-	-	89.2	61.6

패턴별  $L_{MAX}$ 값을 살펴보면 이륙시 A9지점에서 107.5dB(A)가 가장 높은 수치로 기록되었고, 가장 낮은 수치는 착륙시 A2지점에서의 이벤트 중에서 48.1dB(A)를 기록한 경우였다. 위에서 산출된 각 지점에서의 이벤트별  $L_{MAX}$ 값을 에너지 평균하여 INM 으로 예측된  $L_{MAX}$ 값과 비교하기 위한 각 패턴의 대표값으로 정하였다. Table.3는 각 지점에서의 비행 패턴별 대표값을 나열한 것이며 공란은 측정 지점에서 해당 이벤트가 관찰되지 않았기 때문에 데이터가 존재하지 않았다.

Table. 3 Average of measured data unit: $L_{MAX}$

Location	Departure	Approach	Overfly
A1	-	87.9	80.7
A2	-	63.2	71.7
A3	87.4	75.6	72
A4	87.1	69.9	78.8
A5	-	-	87.7
A6	84.0	60.1	76.5
A7	98.4	-	81.7
A8	87.5	-	77.6
A9	98.5	-	82.5
A10	81.7	-	80.9
A11	86.4	-	77.7

## 2.2 시뮬레이션 모델

### (1) 항로 및 패턴 설정

FAA(미국 연방 항공국)에서 발표한 항공기 소음예측을 위한 모델링 프로그램인 INM(Integrated Noise Model) 6.2Version을 이용하여 모델링을 하였다. 본 프로그램을 이용하여 공항 정보 및 실측한 측정 지점 위치를 입력하였고 측정 당시 목적에 의한 항로설정과 기존 자료를 참고하여 이륙항로, 선회항로, 착륙항로를 모델링 하였다. INM을 통한 시뮬레이션은 각 패턴에 따른 항로에 이벤트별  $LA_{MAX}$ 값 산출을 기본 설정으로 하였다.

### (2) 이벤트 및 운항대수 설정

INM에서는 각 항로별 시간대에 따른 이벤트 및 운항대수를 Flight Operations를 이용하여 설정하도록 되어 있다. INM에서 시간대에 따라 구분되어 있는 운항대수 설정은 WECPNL을 산정하기 위한 것이며 이 프로그램상에 있는 WECPNL은 국내에서 사용하고 있는  $\overline{LA_{MAX}}$ 를 기본으로 한 WECPNL<sub>k</sub>가 아닌  $\overline{EPNL}$ 을 기본으로 한 ICAO WECPNL<sub>i</sub>를 채택하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 단위 속성이 다른 WECPNL을 이용하여 측정 소음도와 예측 소음도를 직접적으로 비교하기 어렵다고 판단하여 실제 측정된 값에서 산출된 이벤트별  $LA_{MAX}$ 대표값과 INM을 통한  $LA_{MAX}$ 값을 비교해 보았다. INM에서 항로별 운항대수 설정은 각 이벤트별  $LA_{MAX}$ 값을 알아보기 위해 시간대와는 상관없이 항로별 1대의 군용항공기가 통과할 때를 가정하였다. INM에서는 각 항로별 항공기 이벤트 수와는 상관없이  $LA_{MAX}$ 값이 일정하게 계산된다. 즉, 이륙항로를 따라 군용항공기 1대가 이륙할 때 측정지점에서의  $LA_{MAX}$ 값과 선회, 착륙 등 각각 이벤트 발생시 각 지점에서의  $LA_{MAX}$ 값을 예측하여 측정 데이터값과 비교하였다.

## 3. 시뮬레이션 결과

### 3.1 예측 데이터

#### (1) 이륙시

본 연구의 측정 대상이었던 ○○공항은 Fig. 1에서 나타난 활주로 방향인 ‘가’방향과 ‘나’방향 2가지 경우로 이륙 패턴이 운영되고 있는 공항이다. 그러나 대부분이 ‘가’방향으로 이륙이 행해지며 ‘나’방향은 특별한 경우에만 이륙이 시도되고 있다. 실제 측정기간에도 확인한 결과 ‘가’방향으로만 이륙이 진행되었고 ‘나’방향은 착륙 패턴시 이용되었다. 시뮬레이션의 적용시에도 이륙 패턴에 대해서는 ‘가’방향만 고려하여 모델링 하였다. ‘가’방향으로 이륙하는 이벤트 1회 발생시 주변지역 소음도를 Fig. 2에 나타내었다. INM에서는 항로별 항공기 대수와 관계없이 이벤트 발생에 따른  $LA_{MAX}$ 값이 일정하게 계산되기 때문에 모델링된 항로에서의 비행 대수는 1대로 설정하였다.

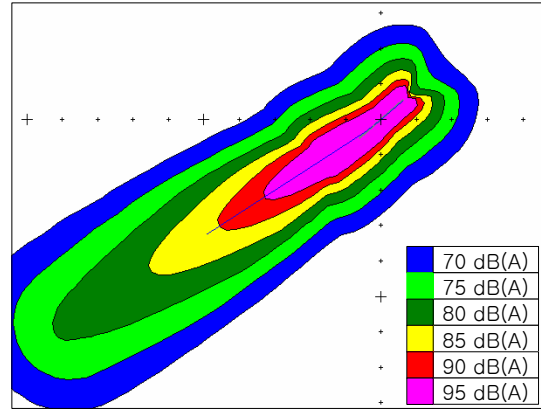


Fig. 2 Departure Event

활주로 ‘가’ 방향으로 이륙시 완전한 직진이 아닌 오른쪽으로 약 6°정도 돌아간 방향으로 진행되었다. 이륙 이벤트 발생시에  $LA_{MAX}$ 값이 70dB(A)에서 95dB(A)를 기록하는 지역을 소음 등고선을 이용해 나타낸 것이다. 측정지역 소음도의 실측값과 예측값을 Table. 4에서 비교해 보았다.

Table. 4 Measurement and Simulation data at Departure unit:  $LA_{MAX}$

Location	Predicted data	Measured data	Diff.
A 1	70.9	-	-
A 2	68.2	-	-
A 3	86	87.4	-1.4
A 4	81.6	87.1	-5.5
A 5	74.7	-	-
A 6	87.1	84	3.1
A 7	100.2	98.4	1.8
A 8	88.8	87.5	1.3
A 9	97.8	98.5	-0.7
A10	86.4	81.7	4.7
A11	87	86.4	0.6

측정값과 시뮬레이션을 통한 예측값을 비교해 본 결과 A4, 지점과 A10지점에서의 차이가 각각 -5.5dB(A), 4.7dB(A)로 ±5dB(A)정도의 차이로 비교적 오차가 컸으며 나머지 9개 지점에서는 ±3dB(A)이내의 차이를 보였다. 11개 지점 중 9개 지점에서 비슷한 수치를 보였기 때문에 ±3dB(A)이내 오차범위에서 80%가량의 신뢰성이 있다고 판단되었다.

#### (2) 선회시

측정 대상지역에서 관찰된 선회 항로는 군용항공기가 공항으로 접근하여 착륙을 시도하기 전에 공항 상공을 선회하는 경우로 파악되었다. 선회 이벤트의 경우는 이륙 이벤트와는 달리 11개 측정지점에서 모두 관측이 되었다. 전체적인  $LA_{MAX}$ 값의 분포는 이륙시 보다는 낮은 것으로 파악되었다. 군용항공기의 경우 비행 패턴에 따른 Engine Thrust수

치가 다르기 때문에 소음도의 차이가 생긴 것으로 판단된다. 선회하는 이벤트 1회 발생시 주변지역 소음도를 Fig. 3에 나타내었다.

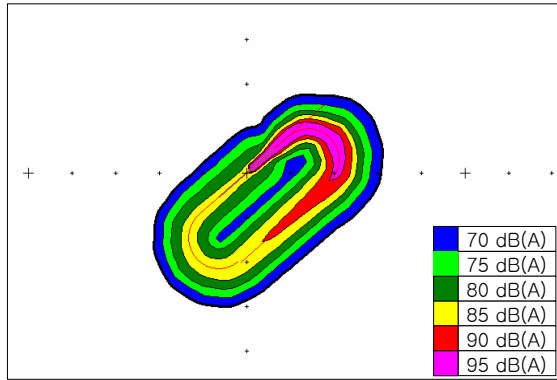


Fig. 3 Overfly Event

Table. 5 Measurement and Simulation data at Overfly  
unit:LA<sub>MAX</sub>

Location	Predicted data	Measured data	Diff.
A 1	76.7	80.7	-4.0
A 2	72.5	71.7	0.8
A 3	75	72	3.0
A 4	83.4	78.8	4.6
A 5	92.2	87.7	4.5
A 6	73.3	76.5	-3.2
A 7	79.1	81.7	-2.6
A 8	73.5	77.6	-4.1
A 9	82.4	82.5	-0.1
A10	80.8	80.9	-0.1
A11	74.1	77.7	-3.6

INM 시뮬레이션 프로그램에서 나타난 등소음도 곡선을 살펴보면 활주로 상공을 왼쪽으로 선회하고 착륙을 시도하면서 고도가 낮아질수록 소음도가 증가하는 형태를 보이고 있다. 선회 이벤트 발생시 실제 측정된 데이터와 비교한 것을 Table. 5에 나타내었다. 실제 측정시 측정지점 모두 선회 이벤트가 관측되었기 때문에 총 11개 지점에서 예측치와 비교할 수 있었다. 결과값을 분석해 보면 11개 지점 중 4개 지점이 ±4dB(A)이상 정도의 오차를 보였으며 나머지 7개 지점은 ±3dB(A)이상의 차이를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 또한 11개 지점 중 7개 지점에서 예측값이 더 낮게 산정됨을 알 수 있었다. 오차의 원인은 지형적인 요인, 온도, 풍향 등의 기후적인 요인을 들 수 있고 무엇보다 활로 설정 및 항공기 Thrust조정과 같은 Input data의 정확한 자료가 부족했기 때문에 오차가 발생한 것으로 판단되었다. 항공기 Thrust의 경우 훈련 상황 등에 따른 유동적인 변수가 될 수 있기 때문에 정확한 수치를 시뮬레이션에 적용하는 것은 많은 어려움이 있다.

### (3) 착륙시

착륙시 항로는 24방향 활주로를 이용하여 시도하게 된다. 착륙 이벤트 발생시 이벤트 관측이 확인된 지점은 총 5개 지점으로 11개 지점 중 5개 지점만이 착륙 이벤트가 발생할 때 영향을 받는 것으로 나타났다. 착륙시 소음은 이륙이나 선회시 소음보다 상대적으로 작게 나타났고 그 이유는 다른 이벤트 보다 Engine Thrust가 낮게 설정되기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 항로에 직접적으로 걸쳐 있는 지역은 Thrust가 낮다고 하더라도 여전히 높은 소음도에 노출되며 착륙시 소음은 고주파의 순음성분이 포함되어 있기 때문에 더 성가심을 유발시키며 ICAO WECPNL<sub>i</sub> 단위에서는 순음보정을 따로 실시하도록 권장하고 있다. 착륙 이벤트 1회 발생시 시뮬레이션 결과는 다음 Fig. 4와 같다.

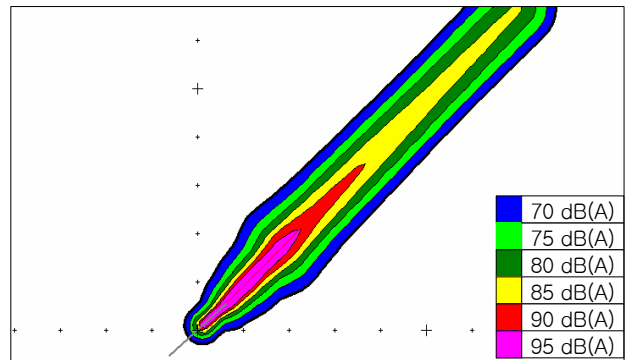


Fig. 4 Approach Event

착륙 이벤트시 소음등고선을 살펴보면 이륙 이벤트보다 상대적으로 소음도가 낮기 때문에 항로를 중심으로 가는 형태를 보이고 있으며 따라서 소음에 영향을 주는 면적이 작음을 알 수 있다. 실제로 측정을 실시한 11개 지점 중 5개 지점만이 착륙 이벤트를 관측할 수 있었다. 실측값과 예측값의 차이는 다음 Table. 6와 같다.

Table. 6 Measurement and Simulation data at Approach  
unit:LA<sub>MAX</sub>

Location	Predicted data	Measured data	Diff.
A 1	92.6	87.9	4.7
A 2	65.1	63.2	1.9
A 3	68.7	75.6	-6.9
A 4	61.1	69.9	-8.8
A 5	56.3	-	-
A 6	63.2	60.1	3.1
A 7	54.4	-	-
A 8	57.4	-	-
A 9	49.7	-	-
A10	47.3	-	-
A11	42.2	-	-

결과를 살펴보면 이륙시 및 선회시 이벤트와 비교하였을 때 상대적으로 오차가 큰 것을 알 수 있었다. 오차 발생 원인

은 다른 두 가지 이벤트에 비해 소음도가 훨씬 낮았기 때문에 실제 측정시 배경소음에 영향을 주는 요인이 포함되었거나 지형조건 및 기후에 따른 거리감쇠의 변화로 인해 오차가 생긴 것으로 판단된다.

#### (4) $\overline{LA_{MAX}}$ 와 이벤트 횟수 및 지속시간 결정

WECPNL<sub>k</sub>에서는 측정 지점에서 기록된 이벤트별  $LA_{MAX}$  수치를 에너지 평균한  $\overline{LA_{MAX}}$ 를 기본단위로 하고 있다. 본 연구에서 INM을 통해 산출된 각 패턴별  $LA_{MAX}$ 는 해당 이벤트별 최고소음도이다. 따라서  $\overline{LA_{MAX}}$ 을 INM을 통해 산출하려면 이륙, 착륙, 선회 등 각 항로의 운항 비율을 실제 측정시 파악하여 각 패턴별  $LA_{MAX}$ 를 비율에 따라 평균하는 방법 등을 생각해 볼 수 있다. 그러나 항로가 매우 다양할 경우 비율에 대한 판정이 불명확할 가능성이 있다. 또한 이벤트 횟수 및 지속시간의 경우는 측정 지점에 따라서 상이하게 관측되기 때문에 각 측정 지점별 데이터에 의존할 수 밖에 없고 같은 지점에서의 같은 패턴이라 하더라도 일정하지 않기 때문에 INM 예측치에 적용하는 것에는 좀 더 다양한 연구가 필요하다고 판단된다.

### 4. 결론

국내 항공기 소음 평가를 위한 WECPNL<sub>k</sub>단위는  $\overline{LA_{MAX}}$ 를 기본단위로 사용하고 있다. FAA(미국 연방 항공국)의 INM(Integrated Noise Model)시뮬레이션으로 예측된 소음도는  $\overline{EPNL}$ 을 기본으로 하는 ICAO WECPNL<sub>k</sub>을 사용하기 때문에 측정데이터와 직접적으로 비교할 때 오차가 발생할 수 있다고 판단하였다. 이번 연구에서는 INM 시뮬레이션의  $LA_{MAX}$ 를 이용하여 실제 측정값의 신뢰성을 판단하는 방법을 제시하였고 예측된  $LA_{MAX}$ 을 이용하여 WECPNL<sub>k</sub>를 산출하는 방법을 고려해 보았다. INM에서는 항로별 항공기의 운항대수와는 상관없이 이벤트 발생시 최고 소음도인  $LA_{MAX}$ 을 계산한다. 따라서 예측된 값과 비교하기 위한 항로별 측정 데이터의 대표값을 각 이벤트에 따른  $LA_{MAX}$ 의 에너지 평균값으로부터 산출하였다. 측정 소음도와 예측 소음도를 항로 및 이벤트별로 분류하여 비교하였고 결과적으로 이륙시, 선회시에는  $\pm 3dB(A)$  오차 범위내에서 80%이상의 신뢰도를 만족하였으나 착륙시에는 다른 두개의 이벤트에 비해 낮은 소음도가 나타났으며 상대적으로  $\pm 5dB(A)$ 이상의 높은 오차를 보였다. 실제 측정시 확인된 착륙 이벤트는 11개 지점 중 5개 지점에서만 관측되었으며 다른 이벤트 패턴에 비해 소음도가 현저히 낮았기 때문에 항로에 직접적으로 통과하는 지역을 제외하고 배경소음의 영향이 있었던 것으로 판단된다. 결론적으로 INM을 통해 예측된  $LA_{MAX}$ 를 이용하여 측정 데이터의 신뢰도를 파악하였다고 하더라도 예측치를 이용하여 WECPNL<sub>k</sub>를 산출하려면 항로 및 운항대수에 대한 정확한 자료가 필요하며 최종적으로  $\overline{LA_{MAX}}$ 를

계산하기 위한 방법과 지역별 이벤트 횟수 및 지속시간의 적용 방법 등의 연구가 더 필요하다고 판단되었다.

국내에서 사용하고 있는 항공기 소음평가 단위인 WECPNL<sub>k</sub>는  $LA_{MAX}$ 를 기본단위로 하여 민간항공기, 군용항공기 모두에 적용하고 있다. 본 연구에서는 군용항공기를 대상으로 하여 INM을 이용한  $LA_{MAX}$ 을 산출하였고 측정데이터의 신뢰도 판정을 위한 방법을 제시하였다. 그러나 WECPNL<sub>k</sub>을 적용하기 위해선 측정 지역별로 관측된 항공기 운항항로의 이용 비율과 대상 지역의 영향을 미치는 지속시간의 분포를 파악해야 하는 문제가 있다. 또한 군용항공기의 경우 편대 비행에 따른 이벤트 수의 판정 등도 WECPNL<sub>k</sub>이 안고 있는 문제점이다. ICAO WECPNL<sub>k</sub> 또한 일반적인 장비로 EPNL단위를 측정하는 것에는 어려움이 있고 계산과정에서 복잡한 절차를 요구하는 단점이 있다. 향후 연구에는 기존 WECPNL에 대한 개선방안 및 미국, 유럽 등에서 사용하고 있는 SEL(Sound exposure level)단위 기반의 DNL의 적용 등 현재 소음평가의 문제점을 개선할 수 있는 지속적인 연구가 더 필요하리라 본다.

### 참고 문헌

- (1) 이준호, 2005, "ICAO WECPNL과 dB(A)에 의한 WECPNL 비교연구(I)", G항공진흥 제38호. p. 123~131.
- (2) 이준호, 2005, "군용항공기 소음평가 단위에 관한 연구", 한국소음진동공학회논문집 제15권 제5호. p.550~557.
- (3) KS A ISO 3891, 2004, "음향-지상에서 들리는 항공기 소음의 기술 절차".
- (4) 서울시립대, 2005, "항공기소음의 환경영향조사 방안 및 환경영향평가 협의기준 설정에 관한 연구, p. 42~43.
- (5) 국방부, 2005 "소음예측 표준모델에 의한 군용 비행장 소음영향에 관한 연구 보고서".
- (6) 선희성, 박영민, 2006. "항공기소음의 영향예측기법 개선방안". 한국환경정책평가연구원.
- (7) FAA, 1999, INM 6.0 USER GUIDE