

연구논문

군용항공기의 운항 경로 변경에 따른 소음영향 및 저감 평가

이진영* · 이 찬** · 길현권**

(주) 에이.브이.티*, 수원대 기계공학과**

(2009년 3월 2일 접수, 2009년 5월 10일 승인)

Evaluation on the Noise Influence and Reduction due to the Change of Military Aircraft Flight Path

Jin-Young Lee* · Chan Lee** · Hyun-Gwon Kil**

AVT Co., Ltd.*, Department of Mechanical Engineering, University of Suwon**

(Manuscript received 2 March 2009; accepted 10 May 2009)

Abstract

The present study investigates the effects of the flight paths of military aircraft on noise map and its WECPNL(Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level) distribution. Aircraft noise modeling and simulation have been performed on a Korean military air base by means of INM(Integrated Noise Model) with the input data of airfield location, aircraft specifications, flight paths and aircraft's operation schedules. The result of noise modelling has been verified in comparison with the result of measured noise level. The flight path of military aircraft, as the key parameter of the present study, was modeled by combining takeoff, overfly, approach and touch-and-go modes. The present INM simulations have been conducted for various flight path cases with different takeoff, approach modes and overfly modes. The simulation results showed that the change of flight path can remarkably affect the noise influence region and the WECPNL distribution around the airfield.

Keywords : Noise Map, WECPNL, Military Aircraft

I. 서론

최근 산업이 발전하고 국민소득증가로 인해 생활 수준이 향상되고 삶의 질이 높아짐에 따라 정숙하고 쾌적한 생활환경에 대한 욕구와 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 각종 교통수단과 산업 발달로 인한 공해와 소음에 대한 문제점들이 부각되고 있다. 특히, 항공소음의 경우 하늘에서 발생하기 때문에 피해 면적이 크고 다른 종류의 소음에 비해 상대적으로 소음도가 크기 때문에 최근 항공소음에 대한 관심이 증가하고 있다.

항공소음 중에서도 민간 항공기에 비해 군용항공기의 경우는 그 소음도가 민간항공기보다 매우 크고 비행패턴도 상대적으로 다양하고 불규칙하여 많은 문제점을 야기하고 있다. 또한, 산업 발달로 인한 도시의 팽창은 군용공항주변까지 확대 개발되어 군용 공항주변의 도시화로 발전하여 왔으며, 따라서 군용항공기가 운항 시 발생하는 항공소음이 공항주변의 주거공간에 여과 없이 투과되어 주거생활에 많은 피해를 주는 심각한 문제로 부각되고 있다. 이러한 항공소음의 의한 피해는 국내의 여러 군용기지 주변의 주거환경에서 이미 오래전부터 많은 문제가 되고 있다. 이로 인해 국내의 여러 연구기관에서 군용항공기 소음 저감에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(송화영, 홍병국, 2004; 김봉석, 2007; 이찬, 길현권, 2007; 김미진, 이병찬, 2007).

항공기 소음은 공중에서 발생하는 소음이므로 철도, 도로교통 소음들과 같은 지상 소음원들에 적용되는 지상소음대책(예: 방음벽, 방음림 등)이 큰 효과를 발휘하지 못하며, 오히려 항공기 운항 방식 및 경로의 변경을 통해 현저한 소음저감이 이루어질 수 있음이 알려져 있다(김민영, 2001). 그리고 민간 항공기의 경우에는 ICAO(International Civil Aviation Organization)에서 제안하는 저소음 운항방식과 운항경로에 대한 적용이 국내·외 공항에서 활발히 이루어지고 있다. 그러나 군용 공항 및 항공기에 대해서는 항공기 운항방식 및 경로에 따른 소음저감에 대한 체계적인 연구가 매우 미흡하고, 이러한 저소음 운항방식에 대한 적용도 거의 이

루어지지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 논문에서는 군용항공기 소음 저감에 대한 기초 연구로서 미국 연방 항공국(FAA)에서 개발, 상용화되어 널리 사용되고 있는 INM (Integrated Noise Model)을 이용하여 군용항공기의 여러 가지 비행 패턴 중 이륙 각도와 선회 고도와 선회 패턴 변화에 따른 군용 항공기 소음의 영향을 예측하고 WECPNL (Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level)의 변화를 분석하였다. 그리고 본 연구결과를 통해 향후 비행장 주변 저소음 운항 경로를 구축하는데 필요한 기초 자료를 제공하였다.

II. INM 모델링 및 모사 결과

INM 모델링을 이용한 항공기소음 모델링을 위한 계산절차가 그림 1에 나타나 있으며, 모델링을 위한 필요 인자들 및 계산 과정, 그리고 계산결과에 대한 상세한 내용은 다음과 같다.

1. INM 모델링 필요 인자

INM이용한 항공기소음 모델링을 위해서는 공항의 위치, 표고, 연평균기온, 풍속, 취항기종, 측정지점 좌표, 활주로의 위치(경·위도좌표), 활주로의 폭과 길이, 이·착륙등의 운항패턴, 기종별·활주로별 이착륙 횟수 등의 입력 자료가 필요하며, 실제 계산을 위하여 사용될 소음평가단위, 소음 계산범위 등을 선정할 필요가 있다(백성규, 1999; FAA, 1999).

2. 주요 인자의 설정 및 INM 모델링

국내의 ○○공항주변의 여러 지역에서 관측을 실시하여 운항 경로와 항공기 기종, 기종별 운항 횟수 등을 얻었다. 관측결과로부터, 비행장의 항공기 운항을 대표할 수 있는 기본 항로와 기종을 파악하여 INM 모델링에 적용하였다. 관측을 통해 얻어진 운항 기종은 크게 A, B, C로 나누어지는데 C의 경우, 그 운항 횟수가 많지 않고 소음영향 또한 상대적으로 미미하여 A, B 두 기종만 적용하였다[8]. 운항항로는 대표적으로 이륙, 선회, 착륙으로 나눌 수 있으

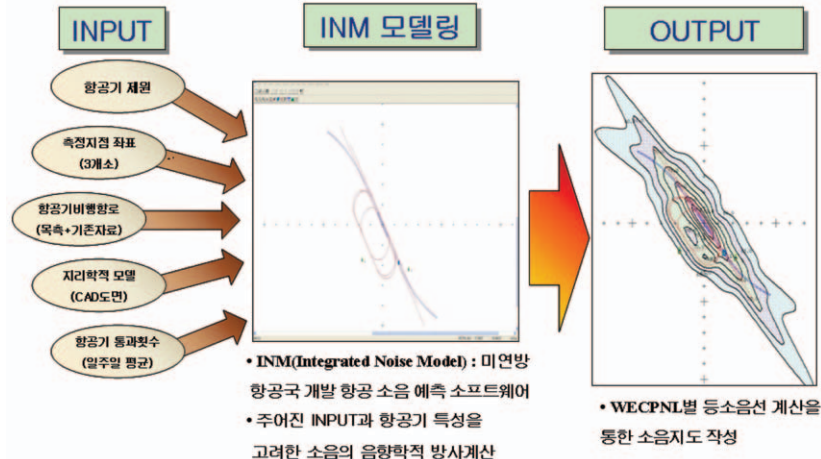


그림 1. INM 모델링을 위한 계산 절차

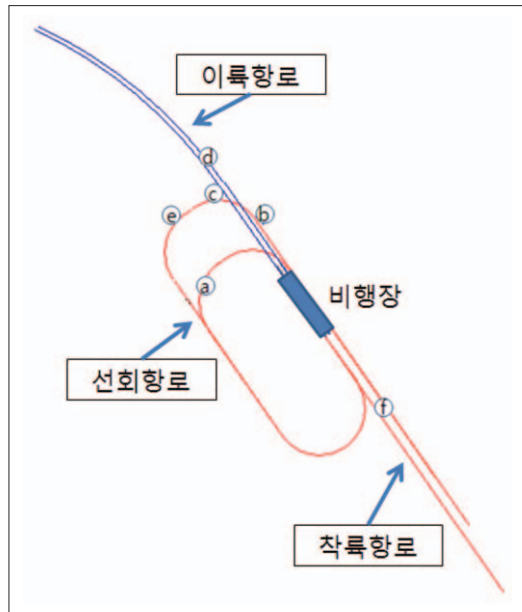


그림 2. 기본 운항 경로 및 실제 측정 지점(a~f)

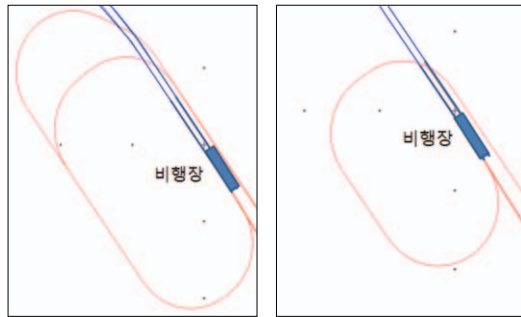
횡수를 측정 일수로 나누어 평균치를 사용하였다. 그림 2는 본 연구에 의해 파악된 기본 운항 경로와 실제 측정지점을 나타내고 있다. 실제 측정지점의 선정은 각 항로별 영향을 고려하여 선정하였다.

3. 항공기 소음저감을 위한 모델링

1) 이륙각도 변화에 따른 소음영향분석

일반적으로 항공기는 큰 이륙각도를 가지고 빨리 상승하며 피해지역을 빠져나가는 경우 지상에 영향을 미치는 항공기소음이 현저히 줄어드는 것으로 알려져 있다[5]. 본 연구에서 연구대상으로 삼은 OO공항의 경우 대표적으로 A, B의 두 가지의 항공기가 운항되고 있지만, 두 항공기는 추력이 약하고 노후화 된 기종이기 때문에 이륙 시 큰 이륙 각도를 가지고 빨리 상승하는 것이 현실적으로 어려운 실정이다. 그러나 현재 운행되고 있는 이륙각도와 가능한 최대 이륙 각도를 조사함으로써, 이륙 각도를 변화시켜 항공기 소음의 영향을 분석하였다. 참고로 현재 항공기들은 약 8°로 이륙하고 있으나, 항공기 특성상 최대 10°까지이륙이 가능하다. 따라서 예측 모델의 변수인 이륙 각도의 변화 범위는 8° ~ 10°에 해당하며 이를 고려하여 이륙각도 변화에 따른 소음영향을 분석하였다.

며, 본 논문에서 그 의미는 이륙항로는 항공기가 이륙하여 피해지역을 벗어날 때까지 관측된 운항경로를 나타내며, 선회의 경우 착륙하기 전에 비행장 주변을 한 바퀴 선회하여 착륙할 때까지 관측된 운항경로를 나타낸다. 또 착륙의 경우는 선회 없이 바로 착륙하는 경우에 관측된 운항경로를 의미한다. 또한 기종별 운항 횟수는 소음 · 진동 환경오염공정시험기준에 따라 측정된 7일간의 측정기간 동안의 관측된 총



(a) 기존 선회 경로 (b) 변경된 선회 경로
그림 3. 선회 경로의 변화

2) 선회 경로 변화 따른 소음영향분석

운항 경로는 여러 지점에서 관측하여 얻어진 기존 운항 경로와 관련 자료들(이찬, 길현권, 2007; 이찬, 길현권, 2005)을 참조하여 그림 2와 같이 기본 운항 경로를 설정하였다. 기존의 운항 경로에서는 그림 3(a)에서와 같이 두 가지 선회 경로를 이용하고 있다. 본 연구에서는 기존 운항경로의 선회 항로뿐 아니라 그림 3(b)처럼 보다 짧은 선회 항로를 갖는 변경된 선회경로를 고려하여 비교 분석하였다. 그림 3(b)에서의 선회 항로는 해당 항공기종에서 고려 가능한 항로에 해당한다.

3) 선회 고도 변화 따른 소음영향분석

선회 고도의 변화를 주기 위하여 기존에 항공기의 선회 고도를 조사하였고, 그에 따라 고도가 상승함에 따른 소음영향의 변화를 분석하였다. 선회의 경우 기존 운항 고도는 488m(1600ft)이나, 본 연구에서 고려하는 항공기의 경우, 가능한 착륙 선회 고도 범위는 488m(1600ft) - 732m(2400ft)에 해당한다. 본 연구에서는 고도를 122m (400ft)씩 상승시켜 610m(2000ft)와 732m(2400ft)로 상향 설정한 경우에 대해 항공기 소음의 영향을 분석하였다.

III. INM 모델링 결과

1. 기본 운항 경로에 따른 소음영향분석

본 연구에서 INM 예측기법을 적용하여 작성된 소음지도에 대한 모델링 결과는 그림 4와 같이 나타



그림 4. 기본 운항 경로에 따른 INM 예측결과

나며, 전체 예측 범위 70~100 WECPNL에 대하여 5 WECPNL 단위로 구분된다. 모델링 결과의 예측치와 실측치를 비교함으로써, 모델링 결과의 신뢰성을 파악하기 위해 항공기의 이륙, 착륙 및 선회 항로에 놓인 6 측정 지점에서 소음·진동 환경오염 공정시험기준을 기준으로 항공소음을 측정하였다.

7일간의 측정 기간 동안 1일 단위로 매 항공기 통과시에 측정된 최고소음도 데이터로부터 당일 평균 최고소음도를 정하고, 평균 최고소음도에 비행 회수의 시간대별 가중치를 부과하여 1일 단위 WECPNL을 결정하였다. 그리고 이러한 1일 단위 WECPNL을 7일 동안 측정하여, 7일 평균 값으로 해당 지점의 WECPNL 측정치를 결정하였다. 측정 기간에 항공기 통과회수는 측정 지점에 따라 다르나 하루 평균 60 ~ 90대로 관측되었다. 표 1은 측정 결과와 예측결과와의 비교를 보여주며, 예측치와 실측치의 오차가 전체적으로 WECPNL 3 이내

표 1. 기본 운항 경로에 따른 지점별 실측치와 예측치 비교 (WECPNL)

지점	측정치	예측치	차이
a	75.2	75.7	-0.5
b	86.8	88.5	-1.7
c	87.9	85.5	2.4
d	82.6	83.7	-1.1
e	73.6	74.9	-1.3
f	81.9	79.9	2.0

로 모델링 결과가 신뢰성을 가지고 작성되었음을 보여주고 있다. 또한 이러한 점은 기본 운항 방식을 고려한 예측 모델의 신뢰성을 나타낸다.

2. 이륙 각도 변화에 따른 소음영향 분석

이륙 각도 8°와 10° 변화에 따른 군용항공기 소음의 분포는 그림 5와 같으며, 예측 범위는 70~100 WECPNL이며 5 WECPNL 단위로 구분된다.

표 2는 그림 5의 소음 지도에서 이륙, 착륙 및 선회 항로에 놓인 총 6지점에서 이륙 각도 변화에 따른 예측 결과를 비교한 것이며, 표 3은 이륙 각도 변화에 따른 군용항공기의 소음영향면적을 비교 한 것이다. 이륙 각도의 변화를 주어 해석한 결과, 이륙 각도가 높아질수록 이륙 항로 지점들에서 소음 영향권역이 감소하는 것으로 나타났다. 이륙 각도에 따른 소음영향권의 주된 감소 변화는 그림 5(a)와 (b)의 동그라미 친 부분에서 확인될 수 있다. 또한 이륙각도에 따른 소음 감소는 그림 5의 모델링 결과에서 각 지점에 따른 소음 예측치를 나타내는 표 2에서 볼 수 있듯이 이륙 각도가 8°일 때 비해

표 3. 이륙 각도 변화에 따른 피해면적 비교(km²)

범위(WECPNL)	이륙각도(8°)	이륙각도(10°)
70-75	78.97	75.47
75-80	39.26	37.58
80-85	17.39	15.22
85-90	8.27	7.31
90-95	4.21	3.54
95-100	2.06	1.76
100이상	1.00	0.88
총소음노출면적	151.16	141.76

10°일 때 이륙 항로에 놓인 d 지점 경우 WECPNL 2.7의 감소를 보였다. 이러한 결과는 항공기의 빠른 고도 상승으로 인해 공항근처 지역에서 소음원과 지상간의 거리가 상대적으로 증가하여, 지상에 방사되는 소음도가 줄어들기 때문이다. 소음노출면적에서도, 표 3에서 볼 수 있듯이, 이륙각도가 8°일 때 총 소음노출면적이 약 151.16 km²인 것에 비해 10°일 때 총 소음노출면적이 약 141.76 km²으로 약 10 km²의 면적 감소를 보여주고 있다

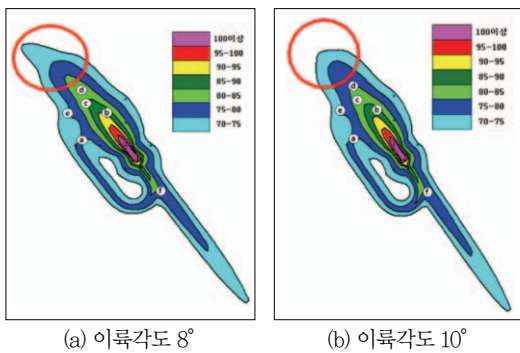


그림 5. 이륙 각도 변화에 따른 INM 예측결과 비교

표 2. 이륙 각도 변화에 따른 예측치 비교(WECPNL)

지점	이륙각도(8°)	이륙각도(10°)
a	75.7	75.7
b	88.5	87.2
c	85.5	83.1
d	83.7	81.0
e	74.9	74.7
f	79.9	79.9

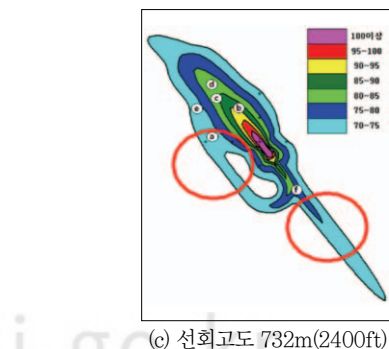
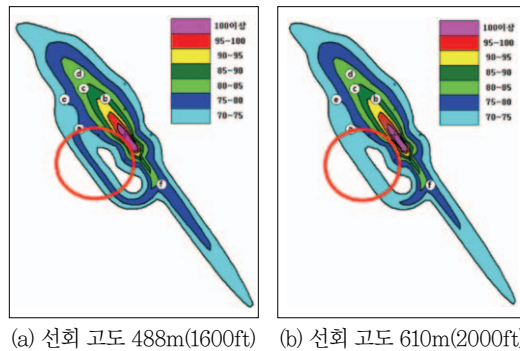


그림 6. 선회 고도 변화에 따른 INM 예측결과 비교

표 4. 선회 고도 변화에 따른 예측치 비교(WECPNL)

지점	선회고도 488m(1600ft)	선회고도 610m(2000ft)	선회고도 732m(2400ft)
a	75.7	74.1	73.0
b	88.5	88.5	88.5
c	85.5	85.5	85.4
d	83.7	83.7	83.7
e	74.9	74.0	73.4
f	79.9	79.1	78.6

3. 선회 고도 변화에 따른 소음영향 분석

선회 고도 변화에 따른 군용항공기 소음의 분포는 그림 6과 같으며, 전체 예측 범위 70~100 WECPNL에 대하여 5 WECPNL 단위로 구분된다. 표 4는 그림 6의 모델링 결과에서 이륙, 착륙 및 선회 항로에 놓인 총 6지점에서 선회 고도 변화에 따른 예측 결과를 비교한 것이며, 표 5는 선회 고도 변화에 따른 소음영향면적을 비교한 것이다.

선회 고도의 변화를 주어 해석한 결과, 선회 고도가 높아질수록 선회 경로내의 지점들에서 소음 영향권역이 감소하는 것으로 나타났다. 선회고도에 따른 소음영향권의 주된 감소 변화는 그림 6(a), (b) 그리고 (c)의 등그라미 친 부분에서 확인될 수 있다. 또한 선회고도에 따른 소음 감소는 그림 6의 모델링 결과에서 각 지점에 따른 소음 예측치를 나타내는 표 4에서 볼 수 있듯이 선회고도가 488m(1600ft)일 때 비해 732m(2400ft)일 때, 선회 항로에 놓인 a 지점 경우 WECPNL 2.7의 감소를 보였다. 소음 노출면적에서도 표 5에서 볼 수 있듯이 선회고도가

표 5. 선회 고도에 따른 피해면적 비교(km²)

범위 (WECPNL)	선회고도 488m (1600ft)	선회고도 610m (2000ft)	선회고도 732m (2400ft)
70-75	78.97	75.89	71.95
75-80	39.26	33.97	32.71
80-85	17.39	17.18	17.06
85-90	8.27	8.21	8.17
90-95	4.21	4.20	4.19
95-100	2.06	2.06	2.05
100이상	1.00	1.00	1.00
총소음노출면적	151.16	142.51	137.13

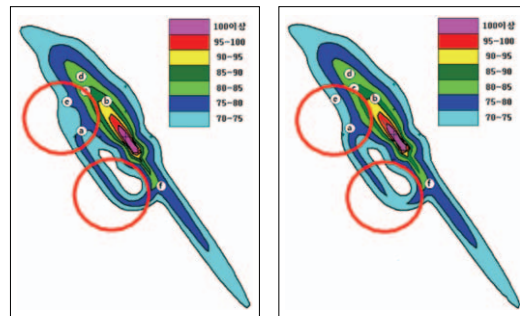
488m(1600ft)일 때 총 소음노출면적이 약 151.16 km²인 것에 비해 선회고도가 732m(2400ft)일 경우 총 소음노출면적이 약 137.13 km²으로 약 14 km²의 면적 감소를 보였다.

4. 선회 경로 변화에 따른 소음영향 분석

선회 경로 변화로써 그림 3(a)와 (b)에서의 기존 선회경로(a) 대신에 보다 짧은 선회 항로를 갖는 변경된 선회경로(b)를 채택하였으며, 이로 인하여 발생하는 경로 변화에 따른 군용항공기 소음의 분포는 그림 7과 같다. 표 6은 그림 7의 모델링 결과에

표 6. 선회 경로 변화에 따른 예측치 비교(WECPNL)

지점	기본 경로	변경된 경로
a	75.7	75.6
b	88.5	88.5
c	85.5	85.4
d	83.7	83.7
e	74.9	72.2
f	79.9	80.1



(a) 기존 운항 경로 (b) 변경된 운항 경로

그림 7. 선회 경로 변화에 따른 INM 예측결과

표 7. 선회 경로 변화에 따른 피해면적 비교(km²)

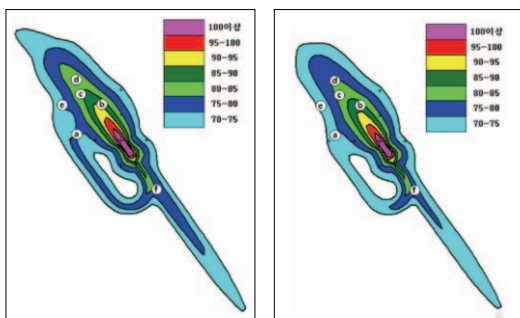
범위(WECPNL)	기본 경로	변경된 경로
70-75	78.97	77.18
75-80	39.26	38.82
80-85	17.39	17.55
85-90	8.27	8.20
90-95	4.21	4.18
95-100	2.06	2.06
100이상	1.00	1.00
총소음노출면적	151.16	148.99

표시된 이륙, 착륙 및 선회 항로에 놓인 총 6 지점에서 선회 경로 변화에 따른 예측 결과를 비교한 것이며, 표 7은 선회 경로 변화에 따른 소음영향면적을 비교한 것이다.

선회 경로에 변화를 주어 해석한 결과, 변경된 선회 경로를 채택함으로써 소음 영향권역이 감소하는 것으로 나타났다. 선회경로에 따른 소음영향권의 주된 감소 변화는 그림 7(a), (b)의 동그라미 친 부분에서 확인될 수 있다. 또한 선회 경로 변화에 따른 소음 감소는 그림 7의 모델링 결과에서 각 지점에 따른 소음 예측치를 나타내는 표 6에서 볼 수 있듯이 그림 3(b)의 변경된 선회 경로로 채택하였을 때 선회항로 근접지점인 e 지점의 경우 WECPNL 2.7의 감소를 보였다. 소음노출면적의 경우에는 표 7에서 볼 수 있듯이 그림 3(a)의 기존 선회경로의 경우 총 소음노출면적이 약 151.16 km²인 것에 비해 그림 3(b)의 변경된 선회경로가 적용되었을 때 총 소음노출면적 148.99 km²으로 약 2 km²의 면적 감소를 보였다.

5. 저소음 운항경로에 따른 소음영향 분석

본 연구에서 비교 분석한 이륙 각도 변화, 선회고도 변화 및 선회 경로 변화를 고려하여 볼 때, 저소음 운항 경로를 고려할 수 있다. 그 내용으로는 이륙각도 10°, 선회고도 732m(2400ft) 그리고 보다 짧은 선회 반경을 갖는 그림 3(b)의 변경된 선회 경로를 적용할 수 있다. 저소음 운항 경로를 적용한 군용항공기 소음의 분포는 그림 8과 같으며, 전체



(a) 기본 운항 경로 (b) 저소음 운항 경로
그림 8. 저소음 운항 경로에 따른 INM 예측결과

표 8. 저소음 운항 경로에 따른 예측치 비교(WECPNL)

지점	기본 운항 경로	저소음 운항 경로
a	75.7	74.1
b	88.5	87.0
c	85.5	82.9
d	83.7	81.0
e	74.9	71.9
f	79.9	78.6

표 9. 저소음 운항 경로에 따른 피해면적 비교(km²)

범위(WECPNL)	기본 운항 경로	저소음 운항 경로
70-75	78.97	67.98
75-80	39.26	30.79
80-85	17.39	14.87
85-90	8.27	7.32
90-95	4.21	3.59
95-100	2.06	1.76
100이상	1.00	0.88
총소음노출면적	151.16	127.19

예측 범위 70~100 WECPNL에 대하여 5 WECPNL 단위로 구분된다. 기존 운항 경로와 변경된 운항 경로에 의한 소음영향권의 감소 변화는 그림 8(a)와 (b)에서 소음 영향 면적의 감소로 명확히 확인할 수 있다. 표 8은 그림 8의 소음 지도에 표시된 이륙, 착륙 및 선회 항로에 놓인 총 6 지점에서 저소음 운항 경로에 따른 예측 결과를 비교한 것이며, 표 9는 저소음 운항경로 변화에 따른 소음영향면적을 비교한 것이다.

저소음 운항 경로를 고려하여 해석한 결과, 표 8에서 볼 수 있듯이 기본 운항 경로일 때 비해 저소음 운항 경로일 때 이륙 항로에 놓인 d 지점 경우 WECPNL 2.7의 소음감소를 보였다. 소음노출면적에서도 표 9에서 볼 수 있듯이 기본 경로일 때 총 소음노출면적이 약 151.16 km²인 것에 비해 저소음 운항 경로일 때 총소음노출면적이 약 127.19 km²으로 약 24 km²의 면적 감소를 보였다.

IV. 결론

본 논문은 군용항공기의 이·착륙, 선회 패턴에

따른 소음의 영향을 미 연방 항공국(FAA)의 INM을 이용하여 예측하였다. 예측 모델의 신뢰성을 위해서는 관측된 기본 항로에 대해서 지점별 실측치와 예측치를 비교함으로써 예측결과의 신뢰성을 확인하였다. 이러한 예측 모델을 이용하여 이륙 각도 변화, 선회고도 변화 및 선회 항로 등 다양한 운항 방식의 변화를 통해서 항공기 소음도 및 소음피해지역의 감소가 가능한 것을 알 수 있었다. 또한 다양한 운항 경로의 중합을 통해 저소음 운항 경로를 제안하였고, 저소음운항경로를 이용하는 경우 최대 WECPNL 3 의 소음저감효과와 16%에 달하는 소음피해면적의 축소가 이루어질 수 있음을 확인하였다.

그러므로 이러한 결과들로부터, 주어진 비행장의 항공기 특성을 분석하여, 가능할 수 있는 이륙 각도, 선회 고도 및 선회 반경등의 변화를 파악하고, 예측 모델을 활용함으로써 저소음 운항 경로를 찾을 수 있다면, 소음영향권역의 소음피해를 보다 더 저감할 수 있을 것으로 사료된다. 그러므로 본 연구 결과들이 향후 저소음 운항 경로 설정을 위한 연구의 기초 자료로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 김미진, 이병찬, 2007, 군용항공기 소음예측시 오차저감에 관한 연구, 한국소음진동공학회논문집, 17(3), 249-256.
- 김봉석, 2007, 군용항공기의 예측 최고소음도와 측정된 최고소음도의 비교를 통한 WECPNL의 산정에 관한 연구, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집.
- 김연명, 2001, 공항주변의 항공기 소음대책 접근방안, 항공산업연구, 56, 61-77.
- 백성규, 2005, INM을 이용한 항공소음 시뮬레이션, 수원대학교 학사학위논문.
- 송화영, 홍병국, 2004, 군용항공기 소음평가 방법에 관한 연구, 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집. pp. 768-771.
- 이 찬, 길현권, 2005, 항공소음 측정관련 학술용역, 화성시.
- 이 찬, 길현권, 2007, 수원·대구비행장 항공기 소음영향평가 및 소음대책연구, 공군본부.
- FAA, 1999, INM 6.0 USER GUIDE.

최종원고채택 09. 06. 17