

## 김포공항 항공기 저소음 운항절차 수립을 위한 연구(II)

### A Study on the Establishments of Aircraft Noise Abatement Procedures in Gimpo International Airport

손 정 곤\* · 김 연 명\*

Jung-Gon Son and Yeon-Myung Kim

(2007년 6월 26일 접수 ; 2007년 8월 13일 심사완료)

**Key Words** : Noise Certification(소음적합증명), Noise Limits(소음한도), Infringement Rate(소음위반율), Start of Roll(출발시작점), MTOW(최대이륙중량), Swathe Width(공역폭), Lateral Attenuation(가로방향 감쇠)

#### ABSTRACT

The final purpose of this study is to develop noise abatement procedures for minimizing the environmental impacts caused by aircraft noise in the vicinity of Gimpo Int'l Airport, and to establish appropriate noise limits and monitoring system. The results of study was suggests for more detail the crucial factors which one is reference noise level,  $L_{MAX}=88$  dB(A) at 6.5 km after take-off, and second one is to installation the additional three(3) noise monitoring system on both side of runway.

#### 1. 서 론

항공기 소음의 발생원 대책을 위해 김포공항을 시작으로 저소음 운항절차 수립을 위한 다양한 연구가 진행되어 그 중 일부(1차)는 이미 발표되었다<sup>(1)</sup>. 항공 선진국들의 사례조사와 국내 및 국제 관련규정을 다 각도로 수집, 분석하여 김포공항에 적용 가능한 저소음 운항절차를 개발하여 그 효과를 예측한 후 개선방안 및 개선효과를 검증한 전편의 기술적인 검토에 이어, 여기서는 그 후속(2차)으로 항공법 제8조의 2항에 규정할 하위법령(시행령 및 시행규칙)에 보완할 구체적인 내용을 기술코자 한다.

특히 저소음 운항절차를 위반한 항공기에 대한 처벌을 위해 소음기준(reference noise level)인 관련 소음한도(noise limit)를 산출하고 이를 측정하기 위

한 위치설정 등을 검토한 후 이와 관련한 이해 당사자들(정부, 공항운영자, 항공사, 주민 및 관계 전문가 등)과 협의를 거쳐 합리적인 시행방안을 도출코자 한다.

#### 2. 소음한도의 기준설정

##### 2.1 설정배경

김포공항에는 이미 “저소음운항절차”에 대한 규정 이 항공법 제 108조의 2항(2003.12.30)에 고시하고 있으며 이에 대한 구체적인 소음저감절차(noise abatement procedures)를 항공정보간행물(AIP)<sup>(2)</sup>에 고시하고 있다(헬기 제외). 착륙시는 지연된 플랩설정과정(delayed flap setting procedures)와 활주로 14R 방향 (김포시→신월동방향의 착륙 시 오른쪽 활주로)을 우선 사용해야 하며 이륙시는 활주로 14L(김포시→신월동방향의 이륙 시 왼쪽 활주로)을 국제민간항공기구(ICAO)(이하 “민항기구”라 함)에서 정하는 저소음이륙절차(NADP 1)<sup>(3)</sup>를 사용하도록 규

\* 교신저자: 정희원 (주)동일기술공사 소음진동팀  
E-mail : dwhand@hanmail.net  
Tel : (02) 2163-6585, Fax : (02) 2163-6589

\* 한국교통연구원 항공교통연구실

정하고 있다.

그러나 현재까지 이 규정의 준수 여부를 확인할 수 있는 구체적인 방법이 없었으나 1차 연구에서 소음예측을 통해 그 감소효과를 확인해 본 결과 기대 효과는 가구수 466호, 세대수 769세대 그리고 인구수 2,112명이 소음피해로 부터 벗어나 방음 대책비를 최고 47억원 정도 저감할 수 있다는 결론을 내린 바 있다.

따라서 이들 방법의 구체적인 실행을 위해 이륙항공기에 대한 기준점(reference point)을 정하고 이 점의 기준소음도인 소음한도를 제시하여 관련법의 규제기준으로 적용코자 한다.

### 2.2 소음한도의 산출방법

우선 기준점의 결정은 제작항공기의 소음적합증명서(noise certification) 발급 시 활주로 출발시작점(SOR, start of roll, or brake release point)부터 6.5 km 지점으로 하도록 민항기구 부속서 16<sup>(4)</sup>에서 정하고 있다. 통상 이점은 항공기가 이륙후 고도 300~450 m(1,000~1,500 ft)에 도달하고 소음감소를 위해 추력감소(thrust cut-back)를 시도하는 등 대체로 공항인근의 소음민감 지역이 이 거리를 중심으로 분포되어 있고 소음도 역시 높은 지역이다.

따라서 이 6.5 km는 기종과 공항위치 그리고 공항 시설과 무관하게 국제적으로 정한 기준거리로서 이미 영국의 히드로우공항, 스텐스테드 그리고 갯윅공항 등에서는 소음한도의 기준점으로 활용하고 있다<sup>(5)</sup>.

둘째, 이 점의 기준소음도를 결정하기 위한 방법으로 가장 간단하면서 국제적으로 통용되고 있는 방안이 민항기에서 인정하는 인가소음도(certified noise level)를 사용하는 것이다. 국내 보유기종에 대한 기종별 인가소음도는 Table 1과 같이 "A"사의 B747-200/300의 경우 이륙소음도는 102.4(EPN dB)이고 최고소음한도는 105.9(EPN dB)로 이는 이 항공기의 최대이륙중량(MTOW)이 377.84톤일 경우 적용된다.(Table 2)

이륙중량과 소음도와의 관계는 국제민항기구 부속서 16의 1장에서 4등급 또는 5등급 항공기의 소음 기준을 이륙중량에 따라 Fig. 1과 같이 이륙 시 6.5 km지점의 상방통과소음도(flyover noise level)를 규정하고 있다.

셋째, 김포공항에서 이 지점과 가장 유사한 위치

의 소음도측정을 위해 출발시작점부터 약 6.4 km 이격된 #5번 측정국의 자료를 분석한 결과(14L방향이륙, n=75) 평균 약 98.1(EPN dB)로 인가소음도에 비해 약 4 EPN dB의 여유를 가지고 있다.

따라서 이들 3종류의 소음도를 상호 비교한 결과 Fig. 1과 같이 김포공항 이륙 시 주간의 소음한도를 102.4(EPN dB)로 할 경우 합리적이라 판단한다.

다음은 소음도 단위 "(EPN dB)"를 국내실정에 맞는 최고소음도(L<sub>max</sub>)의 단위인 dB(A)로 환산하는 방법을 연구하였다. 이 두 단위의 이론적인 직접 환산은 불가하며 측정치를 활용한 경험식으로 산출코져 하는데, 이 경우 환산에 따른 오차가 발생한다. 그것은

Table 1 Certified noise level of "A" air lines (unit : EPN dB)

A/C Type (Number)	Certified noise level		
	Takeoff	Landing	Sideline
B747-300B(1)	102.4	105.8	101.3
B747-300F(1)	102.4	106.6	101.3
B747-200F(2)	102.4	106.6	101.3

Table 2 Chapter3 noise limit (unit : EPN dB)

A/C Type (Number)	Chapter3 noise limit		
	Takeoff	Landing	Sideline
B747-300B(1)	105.9	104.8	102.8
B747-300F(1)	105.9	105.0	102.8
B747-200F(2)	105.9	105.0	102.8

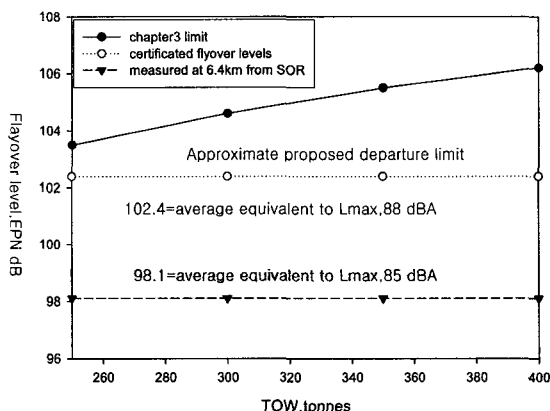


Fig. 1 Chapter3 B747-200/300 departures comparison of certification noise levels and daytime limits

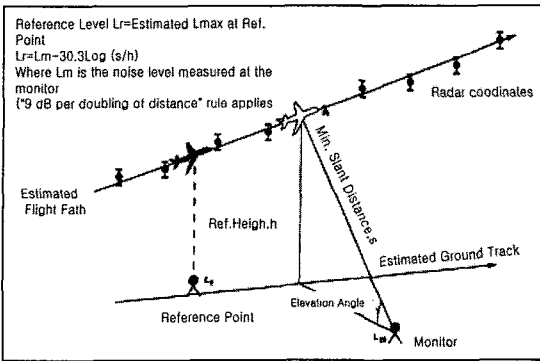


Fig. 2 Estimation of reference level

항공기소음의 평가방법이 상호 다르기 때문으로 전자의 경우 항공기소음의 지속시간 보정과 압소음 보정과 순음보정 등에 따른 것으로 보다 자세한 연구가 국내에서 진행되나 있다<sup>(6)</sup>. 따라서 여기서는 이 두 값의 자세한 평가방법은 생략하고 두 소음값의 단순비교를 위해 동일위치에서 동일시간대에 측정된  $EPN-L_{max}$ 의 상관 및 회귀분석을 통한 결과만을 활용코자 한다. 측정지점은 기준점과 유사한 기존 자동측정국(N0 #5)의 측정자료를 활용하여 통계분석에 사용한다( $n=342$  대상기종: B747-200/300 이륙시 소음도).

마지막으로 위에서 결정한 기준점의 위치가 현실적으로 변경될 수 있다. 그것은 기준점이 강이나 기존 구조물과 같은 장애가 있을 수 있기 때문에 각 공항의 지형적인 여건에 따라 약간의 위치변경이 불가피 할 것이고 이 경우 기준소음도인 소음한도의 위치보정이 필요하다. 보정방법은 Fig. 2와 같이 항공기 이륙 시 기준점의 최소고도와 변경된 지점(수음점 또는 측정기가 설치된 지점)과 항공기와의 최소거리(slant distance)에 일정한 거리감쇠상수를 도출한다.

산출방법은 김포공항에서 측정한 소음자료(2005년 1년간, 운항회수 171회 기종 747) 기준점의 실제 소음자료와 레이더 자료를 분석하여 최소거리와 소음도와의 상관관계를 구한 후 거리감쇠 상수를 산출하였다.

### 2.3 산출결과

소음한도의 결정요인은 3가지로 첫째 국제민항기구의 최대이륙중량 시 소음도와 둘째 인가소음도 그리고 마지막으로 소음실측치 등이 있는데, 여기서는

그 중간값인 인가소음도(102.4 EPN dB)를 김포공항 이륙 시 소음한도로 결정한다. 기준소음도의 결정요인 중 가장 큰 영향인자는 항공기의 최대이륙중량(MTOW)으로 보잉사 및 영국에서 산출한 자료에 의하면 이륙중량이 1톤 증가하면 소음도가 최대 0.08 dB 증가(B747-400, 엔진 : RB211-524G, T=250C, V=0 m/s, cut-back 1,000 ft)하며, 속도(head wind) 1 kt(0.5 m/s) 증가하면 소음도는 0.1 dB 낮아지고 온도의 경우 1°C 상승하면 최대 0.04 dB 씩 소음도가 증가하는 경향<sup>(8)</sup>이 있기 때문에 국제민항기구의 측정조건(해면대기압: 1013.25 hpa, 온도: 섭씨 25도, 상대습도 70%, 풍속: 0)을 고려해야 할 것이다.

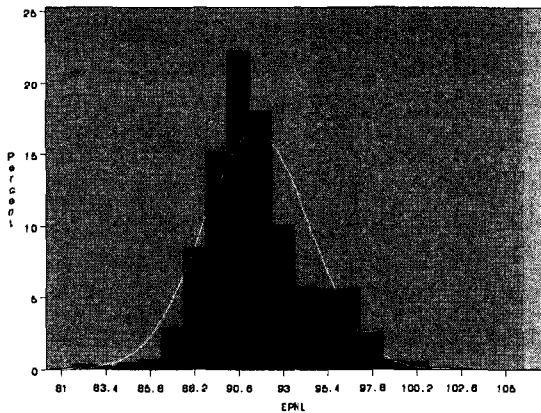
다음은  $(EPNL-L_{max})$ 의 분석결과 Fig. 3 및 Fig. 4과 같고 환산결과는  $LEPN=102.4$ (EPN dB)는  $L_{max}=88$  dB(A)와 유사한 값을 가진다.

Fig. 3에서 동일장소에서 동시에 측정한 이들 두 값은 각각 평균값을 중심으로 유사한 표준편차를 가지는 정규분포를 하고있다. 따라서 이들간의 상관성 여부를 조사한 결과 두 값의 차이는 평균 13 dB로 일정시간내 발생한 항공기의 음향에너지를 적산하여 산출한 EPNL값이 순간적으로 얻은 최고치  $L_{max}$ 보다 높은값을 보이고 있다.

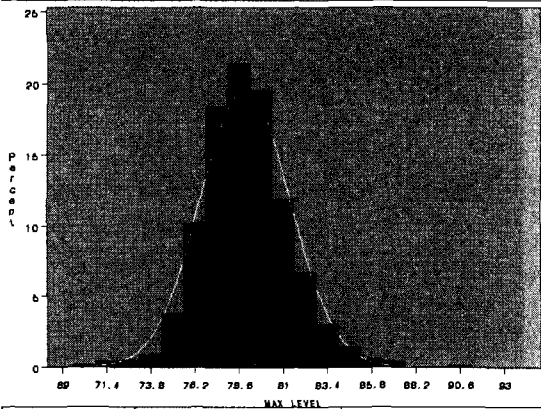
Fig. 4는 이들 두 값의 상관성을 분석한 것으로 상호 일정한 상수를 가지고 일차적으로 비례함을 알 수 있고 이를 근거로 두 값 사이의 추정식을 산출하였다.

영국의 경우 같은 방법으로 B747-100의 인가소음도 110(PN dB)를 환산하여  $L_{max}=97$  dB(A)로 사용하다가 현재는 3 dB 낮추어(이 기종은 2002년까지만 운항) 94 dB(A)를 주간소음도 기준(야간은 87 dB(A))으로 적용하고 있다<sup>(7)</sup>. 국적이 동일기종(B747-200/300)에 대해 영국의 환산방식을 사용한 소음도는 각각  $L_{max}=89$  dB(A) 및 90 dB(A)로 이것은 엔진형식에 따라 인가소음도가 다소 높기 때문이다.

이상과 같이 결정한 기준소음도는 김포공항에서 이륙하는 항공기의 소음위반율(noise infringement levels)과 밀접한 관계를 가진다. 이는 항공사와 공항운영자 사이의 민감한 문제로 여기서는 기준점과 가장 유사한 곳에 위치한 김포공항의 소음측정국(N0 #5, SOR에서 6.4 km 이격)의 기존 자료를 분석하여

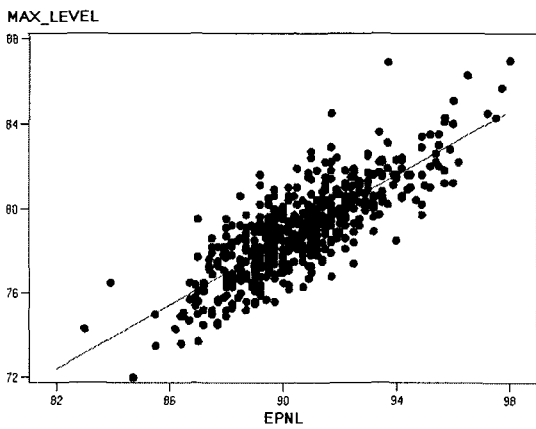


<EPNL>	Xmean	S.D
	91.59	2.77



<Lmax>	Xmean	S.D
	79.08	2.33

Fig. 3 Histograms of EPNL and Lmax



Regression line	
$L_{max} \text{ (dB)} = 0.764 \times \text{EPNL} + 9.744$	
R-Square: 0.65 , t-value: 32.37	

Fig. 4 Estimated correlation between EPNL and Lmax

기준소음도와 위반율 사이의 상관관계를 검토하여 보았다. 분석결과 Table 3 및 Fig. 5에서 소음한도가 88 dB(A)일 경우 B747-200/300 항공기의 위반율은 4.2%로 100회 운항 시 약 4대가 적발되며 이

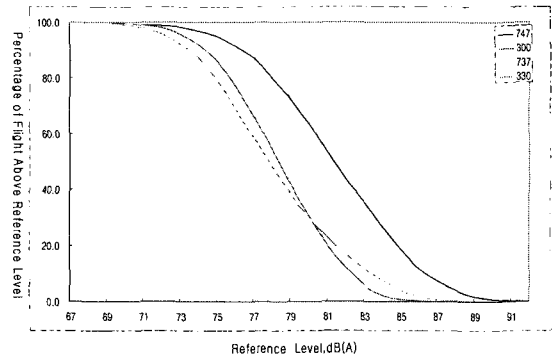
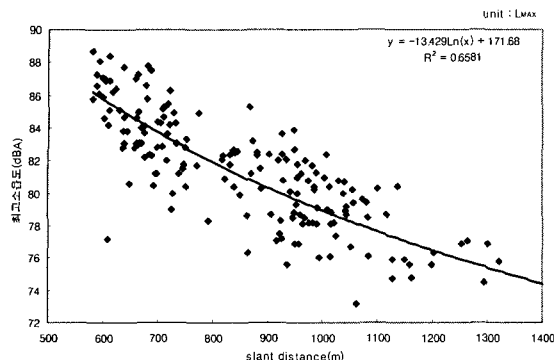


Fig. 5 Cumulative distributions of reference level for Gimpo Airport

Table 3 Equivalent cumulative normal distributions of reference level for B747 aircraft

Base limit $L_{max}, \text{dB(A)}$	Percentage of aircraft in exceeding base limit		
	Frequency	Number of sample	Cumulative frequency( %)
67	2	1889	100.0
68	3	1887	99.9
69	6	1884	99.7
70	7	1878	99.4
71	5	1871	99.0
72	9	1866	98.8
73	26	1857	98.3
74	36	1831	96.9
75	66	1795	95.0
76	80	1729	91.5
77	138	1649	87.3
78	137	1511	80.0
79	171	1374	72.7
80	195	1203	63.7
81	182	1008	53.4
82	151	826	43.7
83	165	675	35.7
84	155	510	27.0
85	131	355	18.8
86	86	224	11.9
87	59	138	7.3
88	45	79	4.2
89	22	34	1.8
90	9	12	0.6
91	2	3	0.2
92	1	1	0.1



※Note: Considering of the lateral attenuation effect of aircraft noise, we only includes the noise data within 60° "V" above a noise monitor but excludes without 60° "V".

Fig. 6 LMax v minimum slant distance

보다 3 dB 낮은 85 dB(A)일 경우 위반율은 18.8%로 증가한다.

다음 기준점 위치보정과 관련하여 Fig. 6의 분석 결과 항공기와 수음자 사이의 거리가 2배로 되면 소음도는 약 9.1 dB(30.3 log r)씩 감소하는 경향인데 이는 자유공간에서 점음원의 거리감쇠 6 dB(20 log r)와 약 3 dB 정도 차이가 나며 다른 공항(영국 히드로우공항)의 소음한도 추정 시 사용하는 8 dB(26.6 log r)와 비슷한 값을 가진다. 이러한 차이는 측정위치의 주변환경(반사 또는 흡음 등)에 따른 것으로 향후 타공항의 기준점 소음도 보정은 충분한 측정자료의 검정을 바탕으로 거리감쇠 상수를 산정해야 할 것이다.

### 3. 소음한도의 측정

소음한도의 높고 낮음에 따라 위반항공기의 적발율(infringement rate)이 다르듯이 소음측정 위치 역시 항공기의 지상 소음감시에 매우 중요한 요인이 될 수 있다.

위치설정은 비행로의 공역폭(swathe width)과 이를 감시하기 위한 소음측정기기의 성능과 밀접한 관계가 있다. 공역폭에 대한 규정은 공항마다 법으로 정해져 있는데 통상 활주로를 중심으로 좌우 약 1.5 km 정도이고, 측정기의 경우 상시측정 시 소음자동 측정국(이하 "측정국"이라 함)을 운용하는데 측정장비 및 설치방법에 대한 일반적인 규정은 민항기구의 부속서 16의 부록5<sup>(9)</sup>와 소음진동공정시험법에 명시

되어 있기 때문에 자세한 설명은 생략한다.

여기서는 주로 소음한도의 측정위치 선정에 대한 기본적인 방법만을 언급코자 한다.

첫째는 측정 유효범위의 결정이 필요하고 다음은 측정개소의 선정이 중요하다.

측정범위를 만들기 위해 항공기가 활주로를 따라 이륙할 때 지상에 그 비행로를 투영하고 그 위에 임의의 측정점(measuring point or monitor)을 설정한다. 이점을 포함한 수직평면을 만들 경우 측정점의 범위는 Fig. 7과 같이 고도와 좌우쪽의 거리에 따라 달라질 것이다. 즉 일정고도에서 비행로의 중심과 좌우 이동거리에 따라 측정국과 항공기 사이의 거리가 달라지고 이 범위 내의 거리차에 의해 소음도의 편차가 발생한다. 통상 그 편차는 양각(elevation angle)이 60°일 경우 최대 약 1.7 dB 만큼 발생하는데 그 편차를 줄이기 위해서는 양각의 범위를 좁히는 것이 중요하다. 이것은 항공기소음의 가로방향 감쇠(lateral attenuation)에 의한 것으로 이러한 현상은 지면의 반사와 회절효과 그리고 항공기동체의 차폐효과(airplane shielding effect) 등으로 발생하는데 양각이 60°를 초과할 경우 편차를 무시하는 등 이들에 대한 보정은 INM의 기술자료에 자세히 언급되어 있다<sup>(10)</sup>.

다음은 측정위치선정에 대한 것으로 항공기의 공역폭은 기차가 철로를 주행하는 것과는 달리 넓은 공역내를 비행하기 때문에 이 범위를 전부 감시 할려면 측정점의 가로방향 배치기술이 필요한데, 한곳의 측정점이 감시할 수 있는 유효범위의 결정은 기준점(6.5 km)의 항공기 통과 최저고도와 관계가 있다. 즉 기준점의 최저고도에서 60° V 범위내 수평거리를 지상에 투영 했을 때 이때 좌우 거리를 최적 유효측정범위라 할 수 있다.

김포공항에 이 방법을 적용하기 위해 기준점과 유사한 2곳을 선정하였다.

그들 중 한곳은 "NO #3"의 기존측정국(대준마을)으로 이곳의 항공기통과 시 최저고도는 Fig. 8과 같이 약 300 m(1,000 ft)이고, 또 다른 한곳은 Fig. 9의 "NO.#5"의 기존측정국(신원초교)의 것으로 이곳의 최저통과고도는 약 450 m(1,500 ft)로 이때 수평거리를 산출하면 각각 166 m와 264 m가 된다. 이를 지상에 투영하여 위치 및 면적범위를 표시하면 Fig. 10 및 Fig. 11과 같다. 즉 김포방향은 2개의 새로운

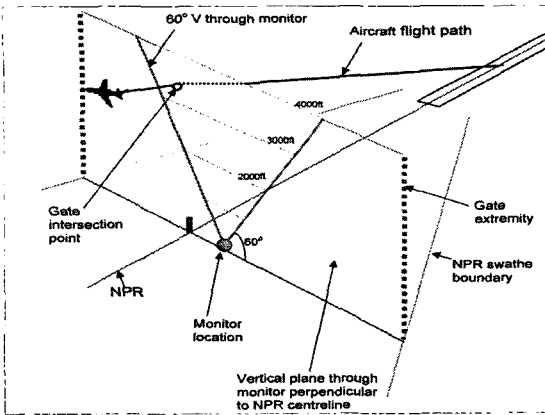


Fig. 7 Diagram of monitor location and measuring range

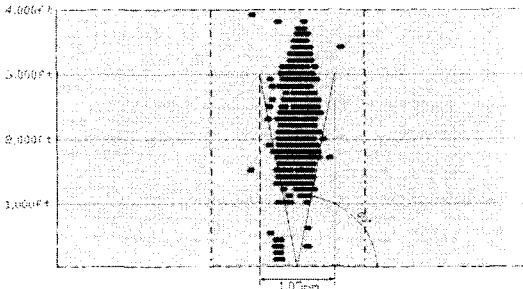


Fig. 8 Altitude at NMS No.#3

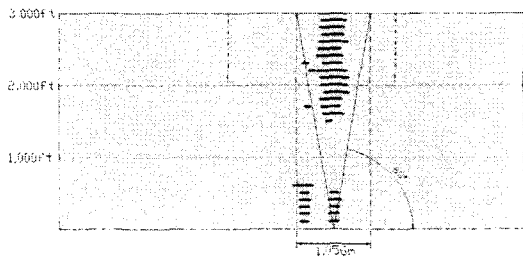


Fig. 9 Altitude at NMS No.#5

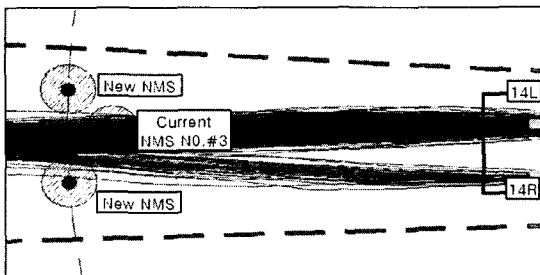


Fig. 10 NMS array at reference point(RWY32 L/R take-off)

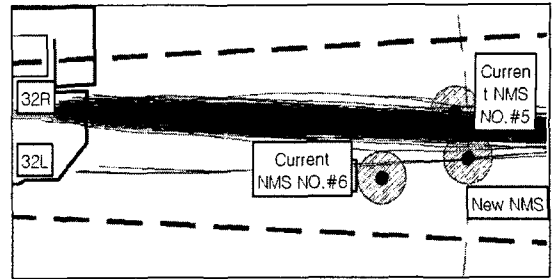


Fig. 11 NMS array at reference point(RWY14 L/R take-off)

측정국 설치가 필요하며 신월동 방향은 1개의 추가적인 설치가 필요함을 알 수 있다.

### 5. 결 론

지금까지 언급한 김포공항의 “저소음 항공기 운항절차 수립을 위한 연구”는 국내 항공기소음의 발생원 대책에 대한 시작으로 이를 계기로 향후 국내 다른 민간공항도 관련분야의 폭넓은 연구를 기대하고 아울러 연구결과가 항공법 관련법규의 개정에 도움이 되기를 바라면서 다음과 같이 연구결과를 요약한다.

첫째, 김포공항에 적용 가능한 저소음 운항절차를 수립하고(제 1편) 이 절차의 위반여부를 판단하기 위한 소음기준을 수립한 결과 주간시간의 소음한도 값은 최고소음도( $L_{max}$ )로 88 dB(A)이하가 합리적일 것으로 판단하며, 다음은 기준점에서 소음적합증명서에 사용하고 있는 소음도단위와 국내법에서 규정된 단위와의 상관관계( $EPNL-L_{max}$ )인 “ $L_{Amax} (dB) = 0.764 \times EPNL + 9.744$ ”를 규명하여 향후 저소음기종의 도입 시 최고소음도의 환산이 용이하도록 하였으며 마지막으로 기준점의 위치보정을 위한 감쇠계수 ( $9.1 \text{ dB}(30.3 \log r)$ )를 도출하여 향후 김포공항의 자동측정망 위치 변경 시 현실적인 문제인 소음한도의 보정이 용이하도록 하였다.

둘째, 소음한도를 위반한 항공기의 감시를 위해 기존의 자동측정국 외에 추가로 3개소의 자동측정국 신설과 기존의 것을 최대한 활용한 효율적인 설치위치를 선정하여 소음기준의 적발률을 높여 항공기 출발 시 김포공항 주변의 주거지역 소음감소에 기여토록 하였다.

### 후 기

이 보고서는 2005년도 건설기술평가원의 연구과제로 이 연구에 도움을 주신 서울지방항공청 및 한국공항공사 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- (1) Son, J. G. and Kim, Y. M., 2006, "A Study on the Establishments of Aircraft Noise Abatement Procedures in Gimpo International Airport", Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference.
- (2) MOCT, 2006, "RKSS AD 2.21 Noise Abatement Procedures", Aeronautic Information Publication.
- (3) ICAO, 2001, "Noise Abatement Departure Climb Guidance", PANS-OPS Doc 8168, Vol. 1, Part V, Appendix to Chapter 3.
- (4) ICAO, 2005, "Environmental Protection", Annex 16, Vol. 1, Part II.
- (5) Cadoux, R. E., Kelly, J. A., "Departure Noise Limits and Monitoring Arrangements at Heathrow, Gatwick and Stansted Airports", ERCD Report 0207, p. 3.
- (6) Lee, J. H., 2005, "A Comparative Research between WECPNL of ICAO and WECPNL of dB(A)(1)", Journal of Aviation Development, Vol. 3.
- (7) Cadoux, R. E. and Ollerhead, J. B., 1995, "Review of the Departure Noise Limits at Heathrow, Gatwick and Stansted Airports", CS Report 9539.
- (8) Cadoux, R. E. and Ollerhead, J. B., 1996, "Review of the Departure Noise Limits at Heathrow, Gatwick and Stansted Airports: Additional Study of Boeing 747 Departures", CS Report 9539 Supplement.
- (9) ICAO, 2005, "Environmental Protection", Annex 16, Vol. 1, Part II, Appendix 5.
- (10) FAA, 2002, "INM Version 6.0 Technical Manual", FA265/A2012, pp. 53~56.