



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

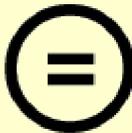
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

博士學位論文

항적자료를 이용한 공항주변  
항공소음 평가에 관한 연구



濟州大學校 大學院

環境工學科

李 峻 鎬

2010年 月

# 항적자료를 이용한 공항주변 항공소음 평가에 관한 연구

指導教授 李起浩

李 峻 鎬

이 論文을 工學 博士學位 論文으로 提出함

2010年 8 月

李峻鎬의 工學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長

許 木

委 員

許 喆 九

委 員

甘 相 奎

委 員

彭 東 國

委 員

李 起 浩



濟州大學校 大學院

2010年 8 月

# A Study on Evaluation of Aircraft Noise around Airport using Flight Path Data

Jun-Ho Lee  
(Supervised by professor Ki-Ho Lee)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the  
degree of Doctor of Engineering

2010. 8.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Mock Huh, Prof. of Environmental Engineering

Thesis director, Chul-Goo Hu, Prof of Environmental Engineering

Thesis director, Sang-Kyu Kam, Prof. of Environmental Engineering

Thesis director, Dong-Guk Paeng, Prof of Ocean System Engineering

Thesis director, Ki-Ho Lee, Prof. of Environmental Engineering

*February, 2010*

Department of Environmental Engineering

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

Summary .....	vii
I. 서론 .....	1
II. 이론적 고찰 .....	5
1. 항공소음 측정방법 및 평가 .....	5
1) 항공기 소음 측정 및 평가 척도 .....	5
2) 항공기 소음도 결정에 영향을 미치는 요인 .....	10
2. 항공기 항적분석 .....	15
1) 항공기 이착륙 패턴 .....	15
2) 항공기 프로파일 분석 .....	18
3) 항공기 위치 측정방법 .....	21
4) 항공기 운항과 소음관리 .....	25
3. 항공소음 저감 대책 .....	27
1) 저소음 운항절차 수립 .....	28
2) Gate 및 Corridor 설정을 통한 소음 저감 .....	32
III. 연구 방법 .....	39
1. 연구 대상 지역 .....	39
2. 항공기 소음 측정 자료 .....	39

1) 측정기기 .....	39
2) 측정 지점 및 시기 .....	40
3) 소음측정자료 분석 .....	42
<b>3. 항적자료 분석 .....</b>	<b>43</b>
<b>IV 결과 및 고찰 .....</b>	<b>44</b>
<b>1. 항공기 소음측정값에 대한 영향인자 .....</b>	<b>44</b>
1) 배경음의 변동에 의한 영향 .....	44
2) 특이소음 혼입에 의한 영향 .....	50
3) 이중과형 소음의 영향 .....	54
4) Threshold 설정에서 고려해야 할 인자 .....	57
<b>2. 항공기 이착륙 소음예상 경험식 .....</b>	<b>59</b>
1) 항공기와 수음점 사이의 거리 산출 .....	59
2) 항공기 이착륙에 따른 측정 소음도 분석 .....	61
3) 항공기 이착륙 소음도를 예상하기 위한 경험식 .....	71
<b>3. 공항주변 항공기 소음감소를 위한 정책 제언 .....</b>	<b>81</b>
1) 소음 footprints 활용 .....	82
2) 항공기 추가운항 승인기준 적용 .....	84
3) 기종별 운항제한 적용 .....	88
<b>V 결론 .....</b>	<b>93</b>
<b>VI 참고문헌 .....</b>	<b>95</b>

## List of Figures

Fig. 2. 1. Definition of effective perceived noise level. ....	6
Fig. 2. 2. The conception of equivalent continuous A-weighted sound pressure level. ....	7
Fig. 2. 3. The conception of sound exposure level. ....	8
Fig. 2. 4. An illustration of temporal sound fluctuation at typical location around Airport. ....	12
Fig. 2. 5. The exceeded of threshold measurement method. ....	13
Fig. 2. 6. Temporal sound fluctuations of aircraft and the wind noises. Noise event for approach of aircraft(left) and Noise event for wind(right). ....	14
Fig. 2. 7. Sorting of target noise from numerous noise events. ....	15
Fig. 2. 8. Target and Gate. ....	17
Fig. 2. 9. Aeronautical information for departure and approach of aircraft at Jeju International Airport. ....	19
Fig. 2.10. Passing point of aircraft at Gate (left) and aircraft altitude and speed (right) during departure. ....	20
Fig. 2.11. Passing point of aircraft at Gate (left) and aircraft altitude and speed (right) during approach. ....	20
Fig. 2.12. The normal coordinate for track data of aircraft near airport. ....	23
Fig. 2.13. The gate coordinate for track data of aircraft near airport. ....	24
Fig. 2.14. Aircraft noise monitoring system within the boundary area. ....	26
Fig. 2.15. Aircraft noise monitoring system beyond the boundary area. ....	26
Fig. 2.16. Generic noise abatement departure. ....	30
Fig. 2.17. Flexible Take-off thrust. ....	30
Fig. 2.18. The taking off pattern of aircraft according to shift of SOR. ....	31
Fig. 2.19. The altitude and Speed of A330 aircraft during arrival (a) and departure (b). ....	33
Fig. 2.20. The distribution of passing point at gate during arrival (a) and	

departure (b). .....	34
Fig. 2.21. The plot of altitude and deviation from runway centerline at gate of 3 km from the end of runway. ....	35
Fig. 2.22. Corridor of Narita Airport in Japan. ....	37
Fig. 2.23. Corridor of Sydney Airport in Australia. ....	37
Fig. 3. 1. Measurement points of aircraft noise around Jeju international airport(RMT : stationary monitoring station, NP : temporary measurement site). ....	41
Fig. 4. 1. 24-hr time history of Leq measured at RMT 1 and RMT 3 sites near Jeju International Airport. ....	46
Fig. 4. 2. One example for list of noise events recorded on data acquisition system. ....	46
Fig. 4. 3. The effect of wind on background noise. ....	47
Fig. 4. 4. Temporal sound fluctuations and evaluation of noise level by various sound descriptors. ....	49
Fig. 4. 5. One second time history of noise including impulsive noises. ..	52
Fig. 4. 6. Comparison of temporal sound fluctuation with or without impulsive noise. ....	53
Fig. 4. 7. Temporal fluctuation of aircraft noise with double peaks. ....	55
Fig. 4. 8. Temporal sound fluctuation according to the reverse thrust by aircraft landing. ....	56
Fig. 4. 9. The chase of the flight path near the airport. ....	62
Fig. 4.10. The estimated altitude of aircraft according to the distance from the end of runway. ....	63
Fig. 4.11. The distance from centerline according to the distance from the end of runway. ....	64
Fig. 4.12. The conceptual diagram for the calculation of SD. ....	66
Fig. 4.13. Noise level at each site located on line normal to the runway centerline at 5.1 km and 5.7 km from SOR. ....	70
Fig. 4.14. Comparison of predicted noise level and measured noise level	

during the approach of aircraft. ....	73
Fig. 4.15. Comparison of predicted noise level and measured noise level during the departure of aircraft. ....	74
Fig. 4.16. Relationship( $R^2$ ) between predicted noise level and measured noise level. ....	75
Fig. 4.17. The difference between measured noise level and predicted noise level. ....	76
Fig. 4.18. Comparison of measured noise level and predicted noise level by multiple regression analysis. ....	78
Fig. 4.19. Comparison of noise level predicted by empirical equation and noise level obtained from in situ measurement. ....	79
Fig. 4.20. The difference between measured noise level and predicted noise level. ....	80
Fig. 4.21. Aircraft noise certification measurement points in relation to illustrative noise footprints. ....	83
Fig. 4.22. Noise Footprints for various Aircrafts. ....	85

## List of Tables

Table 3. 1. Location of measurement points of aircraft noise .....	42
Table 4. 1. $L_{max}$ , $L_{eq}$ and SEL during arrival of B737 .....	48
Table 4. 2. Corrected $L_{max}$ based on Fig. 4.5. ....	51
Table 4. 3. Variation of noise level due to the setting up the thresholds ..	51
Table 4. 4. Correction of $L_{max}$ for noise with the double peaks .....	54
Table 4. 5. The empirical equation for calculating the altitude of aircraft .....	65
Table 4. 6. The empirical equation for calculating the distance deviated from the runway centerline .....	65
Table 4. 7. Slant distances calculated from Table 4.5 and Table 4.6 .....	67
Table 4. 8. Comparison of annual averaged $L_{max}$ and short-term averaged $L_{max}$ .....	68
Table 4. 9. Comparison of maximum and minimum noise levels at temporary measurement point .....	69
Table 4.10. The results of regression analysis with noise level and SD ..	72
Table 4.11. Aircraft noise certification levels .....	87
Table 4.12. Preferred ranking of aircraft for the reduction of noise due to additional flight operation .....	89
Table 4.13 Noise level measured at RMT 1 point at Jeju International Airport .....	91
Table 4.14. The noise level predicted from each scenario .....	92

## Summary

The aircraft noise is one of troublesome problems to the residents and the authorities around the airport. Although there is mentioned in the Korean standard method for measurement of aircraft noise, it is not easy to determine the level of the aircraft noise because the difficulty of the separation of between background noise and the determination of duration time of noise. In this study, the unreasonable factors for evaluation of aircraft noise are studied. Three descriptors of noise such as  $L_{max}$ ,  $L_{eq}$ , and SEL are analyzed. The results of this study show that to determine the level of aircraft noise the descriptor of SEL is more objective than other two descriptors. It can be seen that many mistakes to evaluate the level of aircraft noise without the information of aircraft operation are revealed. So it is desirable to concern simultaneously with the information of the flight path data to evaluate the level of aircraft noise.

In order to estimate the noise level during approach and departure of aircraft it can be recommend the empirical equations by multiple regression with the slant data, aircraft identifying noise level and the measured noise data. the noise levels predicted by these empirical equations are highly correlated to the measured noise data. It is able to choose these empirical equations to other airports with single runway.

Working out a countermeasure against the aircraft noise are a long and tiresome journey. Therefore, this study recommends the relatively simple and prompt measures for reduction of aircraft noise level such as adaption of noise footprint of aircraft and the recommended criteria available for choice of kinds of aircraft based on the noise level and the demand of passengers.

In order to reduce the level of aircraft noise and respond promptly against petitions or a complain, it is time to put in force these measures recommended from the results in this study.

## I 서론

항공산업은 현대사회의 발전과 더불어 급격하게 성장하고 있다. 공항에서 출발하여 공항으로 돌아와야 하는 항공기는 그 자체의 소음으로 인하여 공항주변 지역 개발 방향과 상충되기도 하고 이·착륙 과정에서 사고 발생의 위험도 안고 있다.

항공기 소음대책은 활주로의 위치와 방향 등 공항의 지리적인 제약을 잘 반영하여 공항 주변지역의 소음문제를 사전에 예방하거나 최소화하여 공항과 주변지역이 조화롭게 개발되도록 이루어져야 한다. 그렇지만 대부분의 공항 주변에는 자연 발생적으로 형성된 주거지역이 인접하고 있어서 항공기 소음에 대한 적절한 대책 수립과 시행은 쉽지 않다. 특히 공항 주변에서는 항공기 소음으로 인한 직접적인 피해 뿐 아니라 오랫동안 소음에 노출되면서 수면장애, 지가 하락 등과 같은 간접적인 피해도 발생하기도 한다. 항공기 소음은 이착륙 소음의 주파수 특성, 주변지역의 밀집성, 건물배치와 건축물의 종류, 기상조건에 따른 회절, 굴절 전파방향의 영향과 활주로 방향과 활주로 이용율, 항공기의 운항절차에 의한 특징 등이 다함께 반영되어 나타난다. 따라서 항공기 소음을 측정하고 평가함에 있어서 WECPNL, Ldn, NNI 등과 같은 여러 가지 척도들이 사용되고 있다.

우리나라에서 항공기 소음 평가척도로 WECPNL을 채택하고 있는데, WECPNL은 일반 생활소음에 종사하는 사람들에게는 기본적인 개념이 어려울 뿐 아니라 공항주변의 전반적인 환경소음을 평가하는 과정에서 주변 생활소음과 항공기 소음을 구별해야 하는 등 불편함이 있으며, 일본과 우리나라를 제외하고는 사용하는 국가가 없는 실정이다. 게다가 여태까지는 WECPNL과 Leq와의 사이에 13 정도의 값 차이를 보이는 것으로 알려져 왔지만 몇몇 연구에서는 이 두 척도 사이의 관계는 거리, 운항조건 등에 따라서 일관성 있는 관계를 유지하지 못하는 것으로 보고되고 있는 실정이다<sup>1~5)</sup>.

또한 WECPNL은 일정한 항공기 소음 지속시간 중에 나타난 소음의 최고치들을 평균하기 때문에 개별 항공기의 운항에 따른 소음값과는 차이를 보이므로 항공기 소음피해지역에 거주하는 주민들이 WECPNL 값으로 제시되는 항공기 소음평가 결과에 많은 의문을 제기하고 있는 실정이다. 또한 WECPNL의 산정에 있어서는 실

측된 항공기 소음의 피크값과 소음의 지속시간을 보정해야만 하는데, 이 지속시간의 보정에 대한 개관적인 기준이 없어 평가자의 주관적 판단에 의지하기 때문에 동일한 항공기 소음일지라도 평가자에 따라 소음도가 달리 평가될 수 있는 문제점도 내재하고 있다.<sup>6)</sup>

항공기 소음의 관리에 있어서 가장 기본적인 수단인 항공기 소음의 측정 및 평가에 있어서 제기되고 있는 불신을 해소하지 않고는 어떠한 소음 관리대책이나 수단도 실효를 거둘 수가 없을 것이다. 따라서 항공기 소음 평가에 적용 가능한 각종 소음 측정 및 평가 수단들이 가지는 각종 불합리한 요인들에 대해서 구체적으로 파악하여 제기되는 각종 문제점들을 개선하려는 노력이 필요한 시점이다.

공항을 이착륙하는 항공기의 이착륙 경로에 있어 좌우 분산 정도가 넓게 되면 넓은 지점으로 항공기가 통과하게 되어 주민의 입장에서 갑자기 자신의 머리위로 항공기가 통과하게 되므로 소음 민원을 제기하게 될 것이다. 그렇지만 항공기를 일정 범위내로 통과하도록 항공기 운항을 관리한다면 항공기 소음은 더욱 일정한 패턴으로 수음점에 전달될 것이다. 특히 우리나라는 항공법에 의해서 항공기 소음피해지역을 지정고시하고 있으므로 항공기 소음피해지역을 예측할 당시에 제시한 항로를 벗어나서 운항하지 못하도록 항공기 운항패턴을 잘 유지시켜야 할 것이다. 따라서 항공기 소음을 관리함에 있어서 항공기 소음의 크기만을 관리할 것이 아니라 항공기가 이동하는 항로자료도 함께 관리할 필요성이 있다.

항공기 소음을 평가하기 위해서 장시간에 걸친 현장 측정이 필수적인데, 현재로서는 현장에서 제기되는 소음측정 관련 민원에 신속하게 대응할 방법이 없는 실정이다. 실제로 아무리 신속하게 민원이 제기된 지점에서 소음 측정을 실시해도 이미 항공기가 통과한 후이므로 민원인의 진정을 충분히 해소할 수는 없을 것이다. 반면에 기록 보관된 항공기의 항적자료를 이용하여 항공기가 통과했던 당시의 상황을 재현하고 그 당시의 소음 수준을 추정하여 민원인이나 당국자에게 제시할 수 있다면 현장 소음측정에 따른 별도의 부담이나 기타 시간 지연에 따른 오해 등을 불식시키고 당시의 상황을 즉각 이해할 수 있는 바람직한 대안이 될 수 있을 것이라고 판단된다.

그런데 현재 항공기 소음 예측에 활용되고 있는 대부분의 프로그램들은 공항당국 이외에서는 입수할 수 없는 항공기 운항과 관련된 다양한 정보를 입력하는 등

복잡한 과정을 거쳐야만 소음도를 예측할 수 있도록 되어 있다. 그런데 항공기소음 피해지역에 거주하는 주민들이나 당국자 입장에서는 실제 현장에서 원하는 때와 장소에서의 소음 수준을 곧바로 파악하는 것이 필요하므로 복잡한 프로그램 운영이나 현장 소음을 측정하는 등 번거로운 절차를 거치지 않고도 신속하게 당시의 소음 수준을 예상할 수 있는 별도의 방법이나 수단을 찾을 필요가 있다고 판단된다.

따라서 공항을 운영함에 있어서 최소한의 항공기 운항 정보만으로도 보다 신속하고 간편하게 지난 비행 상황을 재현하여 민원인이 제기한 문제에 적극 대응할 수 있는 수단이 필요하다고 생각된다. 특히 민원인의 상공을 통과한 항공기의 이착륙에 따른 피해지점에서의 소음 수준을 신속하게 파악하는 것이 무엇보다도 필요하다고 할 것이다.

우리나라에서 항공기 소음을 감소시키기 위해 시행하고 있는 대책은 저소음 운항절차인데, 실제로는 항공기 운항에 대한 규제기준은 없고 공항주변에 소음측정기를 설치하여 측정소음도가 기준을 초과하지 않을 대책만을 시행하고 있는 실정이다. 항공기의 운항절차와 운항 제한 등으로 항공기 소음을 감소시킬 수 있는 방안이 있음에도 불구하고 지정된 측정점에서 측정된 항공기 소음도가 초과 측정되는 경우 저소음절차 위반으로 통보하여 소음부담금을 2배 추가 징수하는 제도만을 운영하고 있다.

저소음 운항절차를 추가로 시행하기 위해서는 관제사, 항공사, 지역주민 등의 관계자들이 충분히 논의가 되어야 하는데, 현재, 우리나라에서는 이러한 소음 저감 계획에 대하여 어디에서도 고려하지 않고 있다. 그 이유는 저소음 운항절차라는 것이 관제와 항공기 기동에 관한 내용을 포함하고 있을 뿐 아니라 주민들과의 논의도 필요하기 때문이겠지만 근본적으로는 저소음 운항절차에 관한 인식이 부족하여 이에 대한 요구가 없기 때문이기도 하다. 항공기 소음대책사업을 시행하고 있는 정부로서도 항공기 소음을 감소시키는 것이야말로 국가 예산을 절감시킬 수 있는 직접적인 연결고리임을 인식하지 못하고 있다고 판단된다. 다시 말해 항공기 소음저감을 위한 저소음운항절차와 같은 실질적인 대책이 여러 이유로 필요한 실정이지만 아직은 이에 대한 논의가 이루어지고 있지 않고 있다.

따라서 여러 관계 기관들이 서로 협력해야하는 항공기 소음대책은 지금부터라도 계획을 수립하여 절차에 따라 진행하더라도 우선 비교적 간단한 절차만으로도 시행

하여 효과를 볼 수 있는 실제적인 항공기 소음저감대책들과 그 실행방안 등을 찾으려는 노력이 시급하다고 판단된다.

이에 본 연구에서는 우선 현재 항공기 소음 평가에 적용 가능한 각종 소음 측정 및 평가 수단들을 활용함에 있어서 나타나는 각종 불합리한 요인들에 대해서 실제 항공기 소음 측정 자료를 바탕으로 구체적으로 비교 검토하고 그 개선 방안을 제시하고자 했다.

다음으로는 항공기소음피해지역의 상공을 통과하는 항공기의 이착륙에 따른 특정 지점에서의 소음 수준을 신속하게 파악하는 데 도움이 되기 위해 최소한의 항공기 운항 정보를 활용하여 지난 항공기 운항 상황을 잘 재현하고 그 당시 항공기 이착륙에 따른 소음도를 간편하면서도 신뢰할 수 있게 추정할 수 있는 경험식을 제시하고자 했다.

끝으로 본 연구에서는 여러 관계기관과의 협의와 조율 등 복잡한 절차를 거치지 않더라도 비교적 간단한 절차만으로 시행하여 항공기 소음을 저감할 수 있는 적용 방안을 검토하여 제시하고자 했다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 항공기 소음 측정 방법 및 평가

#### 1) 항공기 소음 측정 및 평가 척도

항공기 소음을 측정하는 목적으로는 항공기의 소음적합증명과 공항 주변지역의 소음측정으로 구분할 수 있는데, 공항 주변지역의 소음측정은 개별 항공기에서 발생하는 소음의 수준을 측정하는 것과 공항인근 지역에 전달되는 항공기 소음을 측정하는 것으로 구분하고 있다. 이처럼 항공기 소음은 그 사용 목적에 적합한 측정 단위를 사용하여 측정하고 평가하게 된다.

이처럼 항공기 소음을 객관화하고 정량화하기 위한 측정단위는 크게 두 가지로 구분하는데, 에너지 등가원리가 반영된 EPNL(Effective Perceived Noise Level), SEL(Sound Exposure Level), Leq(Equivalent continuous A-weighted sound pressure level)과 단순히 최고 소음도를 의미하는  $L_{max}$  등이 이용된다.

#### (1) EPNL(Effective Perceived Noise Level)

EPNL은 ICAO(International Civil Aviation Organization)에서 정한 항공기 소음 단위이다. EPNL은 항공기소음증명에 이용되는데, 항공기 소음증명이란 항공기 한 대 마다 일정한 조건에서 소음을 측정하여 일정한 기준을 초과하지 않음이 증명된 항공기만 운항하도록 하는 제도를 말한다.

EPNL은 0.5초마다 측정된 PNL에 순음을 보정한 TPNL(tone corrected PNL)을 10초 동안의 에너지로 환산한 것이다. TPNL의 최대값인 TPNLM보다 10 dB 적어 지는 시각인  $t_2$ 에서 나타난 것과 동일한 TPNL 값이 시작된  $t_1$  사이의 시각  $t_1 \sim t_2$  사이의 TPNL을 에너지로 적분하고 이 지속시간(T)를 10초의 에너지 도형으로 만들었을 때 이 도형높이가 EPNL이다. Fig. 2.1과 같이 0.5초 간격으로 측정된 TPNL 중에서 EPNL 10 초 안에 있는 20개의 TPNLi data를 계산하기 위하여 아래의 식이 사용된다.

$$EPNL = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{TPNL_i}{10}} \right),$$

여기서  $N = 20$

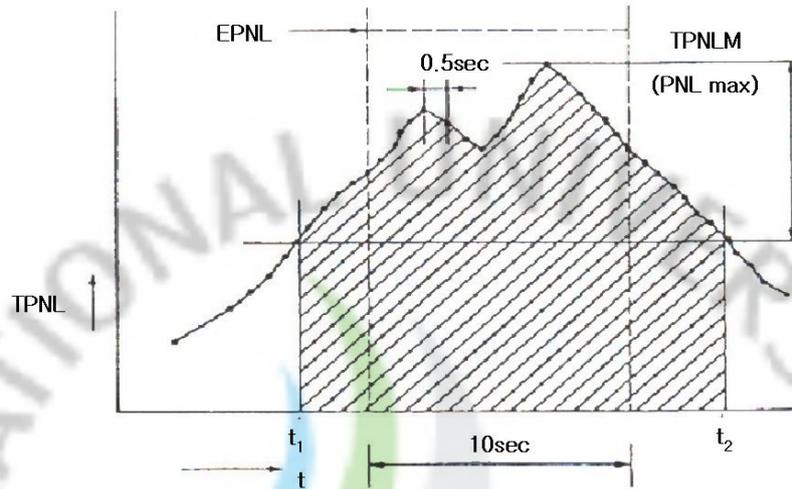


Fig. 2.1. Definition of effective perceived noise level.

그러나 EPNL은 측정위치에 따라 지속시간( $t_1 \sim t_2 : \Delta t$ ) 변화에 따른 보정이 필요하다. TPNLM에 지속시간 보정상수  $D$ 를 가한 것이 EPNL이 된다. 따라서 지속시간이 길어지면  $EPNL < TPNLM$ 으로 보정상수  $D$ 가 크고(+), 지속시간이 짧으면  $EPNL > TPNLM$ 가 되어 보정상수  $D$ 가 작게(-)된다.  $D$ 는 TPNL의 지속시간에 대한 보정상수로 ISO 3891에서 아래와 같이 정의된다.

$$D = 10 \log \frac{\Delta t}{T_{ref}} \quad \left( \Delta t = \frac{t_2 - t_1}{2}, T_{ref} = 10 \text{ Sec} \right)$$

$$D = 10 \log \frac{\Delta t}{20}$$

$$EPNL = PNL_{max} + C + 10 \log \frac{\Delta t}{20}$$

## (2) Leq(Equivalent continuous A-weighted sound pressure level)

일정한 시간범위  $T$ 에 대하여 시간의 변화에 따라 변동하는 음에 대해 A 가중 음압레벨을 에너지적인 평균값으로 나타낸 양으로 항공기 소음을 측정할 때  $t_1 \sim t_2$

까지의 시간에 대하여 소음레벨이 기록된 총 에너지의 시간평균값을 레벨로 표시한 것이다.(Fig. 2.2)

$$L_{eq} = 10 \text{Log} \left[ \frac{1}{T} \sum T_i \cdot 10^{0.1L_{pAi}} \right]$$

여기서,  $T = \sum T_i$  : 전체 측정시간,

$T_i$  : i번째 정상구간의 계속시간,

$L_{pAi}$  : i번째 정상구간에서의 A가중 음압레벨(dB)

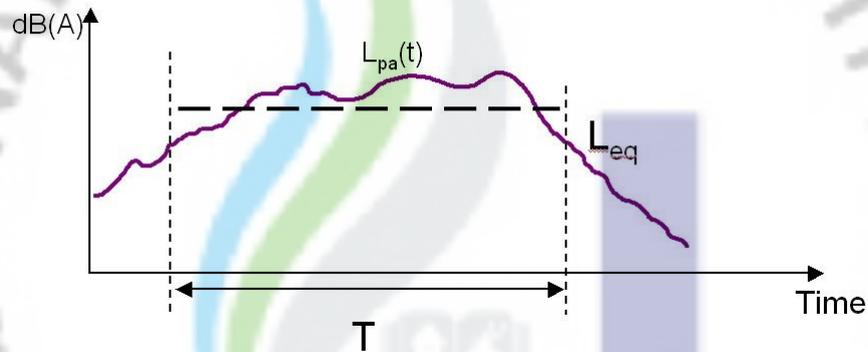


Fig. 2.2. The conception of equivalent continuous A-weighted sound pressure level.

### (3) SEL(Sound Exposure Level : $L_{AE}$ )

SEL은 짧은 지속시간을 가진 단발성 또는 간헐성 소음을 표현하는데 널리 활용되는 단위인데, 소음의 전체 에너지를 A가중 음압의 제곱의 적분값과 동일한 에너지를 갖는 에너지량을 1초의 지속시간으로 환산한 A가중 음압레벨이다. 지속시간을 1초로 선택한 것은 SEL과 A가중 음압레벨로 소음의 노출시간을 고려한  $L_{eq}$ 와의 적합성을 고려한 것이다.(Fig. 2.3)

$$SEL = L_{eq} + 10 \text{Log} \left( \frac{T}{T_0} \right)$$

여기서  $T_0 = 1 \text{ sec}$

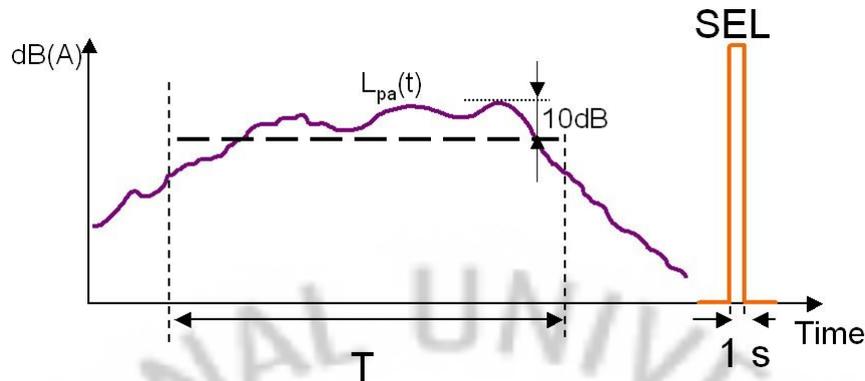


Fig. 2.3. The conception of sound exposure level.

#### (4) 항공기 소음 평가에 널리 활용되는 척도들

에너지 증가원리를 사용하면 낮은 소음이 발생하더라도 자주 발생하는 경우와 높은 소음이 드물게 발생하는 경우 등 소음 지속시간을 객관적으로 비교할 수 있다. 그렇지만 최고 소음도를 사용하면 계산은 간단하지만 항공기 소음을 수음자의 느낌을 제대로 반영하지 못하는 단점이 있다.

에너지 증가원리에 근거한 항공기 소음척도로는 WECPNL (Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level), NEF (Noise Exposure Forecast), NNI (Noise and Number Index), Noise Exposure (Kosten unit), ANEF (Australian Noise Exposure Forecast)과 DNL (Day Night Level) 등이 이용되고 있다. 최고 소음도를 사용하는 소음 평가 척도에는 NA (Number Above Index), PEI (People Event Index)가 있다.

##### ① WECPNL

한국에서는 항공기 소음을  $L_{max}$ 로 측정하고 WECPNL를 사용하여 평가한다. 우리나라에서 사용하는 이 WECPNL은 일본에서 사용하고 있는 WECPNL을 그대로 도입하였기 때문에 일본과 동일하다고 볼 수 있다. 다만 일본에서 사용하는 WECPNL은 ICAO에서 항공기 소음평가 척도로서 권장한 WECPNL과 명칭은 동일하지만 실제로는 다른 단위라고 봐야 한다.<sup>7)</sup> 일본이 사용하고 있는 WECPNL은 ECPNL (Equivalent Continuous PNL)의 EPNL과  $PNL_{MAX}$ 과의 상관관계를 단순화

시킴을 위하여 지속시간  $\Delta t$ 는 20초, 고주파의 특성인 순음보정  $C$ 는 0으로 가정하였고 EPNL을 A특성 등가소음도레벨  $L_{max} + 13$  으로 대체하여  $\overline{ENL}_{max}$ 와  $\overline{ENL}$ 가 동일하다고 가정하였으며, 계절에 따른 보정(S)도 제외하였다.

ICAO에서 1979년 공항 주변의 토지이용 목적을 위하여 45개국의 평가단위를 조사하였는데 WECPNL의 EPNL을  $L_{max}$ 로 변형하여 일본에서만 사용되고 있었기에 항공기 소음평가척도로서 공식적으로 권고하는 것을 철회하였다. 현재 최고소음도  $L_{max}$ 를 이용한 항공기 소음평가단위는 일본, 한국, 중국만 사용하고 있으며 세계 대부분의 나라에서는 에너지 등가원리를 이용한 소음평가 척도를 사용하고 있다. 일본에서도 민간항공기의 WECPNL<sub>J</sub>을  $L_{den}$ 으로 변경하고자 2007년부터 5년의 유예기간을 두고 현재 병행하여 사용하고 있는 실정이다.

## ② NEF (Noise Exposure Forecast)

NEF는 공항주변 토지이용계획 수립을 위하여 1967년 FAA에서 개발했는데, 한대의 항공기 소음(EPNL) 이벤트 발생에 대하여 주간 (07:00~22:00)과 야간 (22:00~07:00)의 시간대에 따른 가중치를 보정한 항공기 소음 평가 척도이다. NEF에서는 항공기 소음을 평가함에 있어서 야간 시간대에 1대의 운항 소음은 주간시간대의 16.67대로 가중하여 평가한다. 호주에서 사용하는 NEF는 FAA가 제안한 NEF와 동일하지만 적용 시간대와 가중치만 다르다. 주간과 야간시간대는 각각 07:00~19:00와 19:00~07:00 이고 야간 운항 가중대수를 4대로 정하여 사용하고 있다.

## ③ NNI (Noise and Number Index)

NNI는 1961년부터 영국에서 사용된 항공기 소음척도로 항공기 소음에 노출(noise exposure)된 정도를 표현하였지만 성가심(annoyance)을 제대로 표현하지 못한다는 지적에 의하여 1990년부터는 사용하지 않는다.

## ④ DNL (Day Night Average Sound Level)

DNL은 1973년 미국 EPA에서 처음 발표하여 FAA에 의하여 1976년부터 사용되었으며 미국, 유럽 등 전 세계적으로 가장 많이 사용된다. 시간대 분할법에 따라 주간(07~22), 야간(22~07)의 2분할의 DNL(day night average sound level)과 주간(07:00~19:00), 저녁(19:00~22:00), 야간(22:00~07:00)의 3분할의 DENL(day evening night average sound level)로 구분하며 SEL로 측정하여 주야간 가중치를

부여한다. 각 시간대별 가중치는 평균 소음레벨에 주간은 +0 dB, 저녁은 +5 dB, 야간은 +10 dB을 가산한다.

## 2) 항공기 소음도 결정에 영향을 미치는 요인

### (1) 배경소음과 지속시간

항공기 소음을 측정하기 위해서는 배경소음 수준을 알아야만 한다. 배경소음을 측정하는 기준은 환경오염공정시험기준의 측정방법에 규정되어 있는데, 옥외에서의 측정을 원칙으로 하고 있다. 배경소음 측정은 5초 간격으로 50회 측정하는데 250초(4분 10초) 동안 항공기 운항이 없어야 한다.

항공기 운항이 많은 공항에서는 선행기와 후행기의 수평분리를 최소 3 nm~6 nm을 유지하므로 선행 항공기와 후행 항공기 사이의 통과 간격은 최소 1분 30초에서 2분 45초 밖에 걸리지 않아 배경소음을 측정할 수 있는 조건이 되지 못한다. 또한 항공기가 통과하지 않는 시간동안 배경소음을 측정하였다 하더라도 인구의 활동이 많고 도시화가 심할수록 소음의 변동 폭이 크기 때문에 항공기 소음을 측정하기 위하여 매 시간마다 배경소음을 다시 측정해야 한다.

현재 환경오염공정시험방법에서는 대상소음인 항공기 소음을 측정하기 위하여 배경소음을 측정하고 배경소음보다 10 dB(A) 높은 소음도의 지속시간을 측정하여 30초 이상이면 지속시간에 대한 소음도를 보정하도록 되어 있다.

$$L_{\max} \text{의 Duration Time} = 10 \log \frac{\Delta t}{T_0}, \quad T_0 = 20 \text{ sec}$$

하루 동안의 1초 간격의 소음 data는 86,400 개의 event로 구성되어 있다. 1초 소음 data는 Fig. 2.4와 같은 형태이다. Fig. 2.4에서 항공기 소음을 산출할 경우 우선 배경소음을 A dB(A) 이거나 B dB(A)와 같이 임의로 지정하게 된다. 만일 배경소음을 A dB(A)이라고 정하면 지속시간은  $\Delta t_1$ 가 될 것이고, 배경소음을 B dB(A)으로 정하게 되면 지속시간은  $\Delta t_2$ 가 될 것이다. Fig. 2.4에서  $\Delta t_1$ 는 약 45초이므로 지속시간을 보정해야만 되고 지속시간이  $\Delta t_2$ 이면 25초로서 지속시간이 30초 미만이므로 지속시간에 대한 보정은 하지 않게 된다. 따라서 항공기 소음도  $L_{\max}$  82 dB(A)는  $\Delta t_1$  (약 45초)의 지속시간을 보정하면 85.5 dB(A)이 된다.

이와 같이 지속시간과 배경소음과의 관계는 상관성이 있으므로 배경소음의 변화가 있는 대부분의 장소에서는 지속시간을 객관적으로 보정하기가 아주 곤란하다.

## (2) 소음측정장비에서의 threshold 설정

항공기 소음을 자동으로 분류하여 측정하는 장비에서는 가동되는 장비가 마이크로폰을 통해 감지되는 어떤 음에 대해서 대상소음(항공기 소음)을 구분하여 인식하도록 threshold 소음도라는 것을 설정해 주는데, 장비는 이 설정된 threshold 소음도 이상의 음에 대해서는 대상소음으로 분류하고 그 이하의 음은 모두 배경소음으로 분류한다. 여기서 장비는 threshold 소음도 이상으로 유지되는 시간 동안만을 지속시간으로 판단하게 되는 것이다. 따라서 설정된 threshold 소음도가 높으면 항공기 소음의 총 지속시간이 짧아질 것이고 배경소음의 총 지속시간이 길어지게 될 것이다. 반대로 설정된 threshold 소음도가 낮으면 항공기 소음의 총 지속시간이 길어지고 배경소음의 전체 지속시간은 짧아질 것이다.

환경오염공정시험기준에서의 배경소음과 threshold 설정에 의한 소음은 다른 의미이다. 소음측정기의 threshold 소음도는 배경소음을 고려해서 배경소음보다 높은 소음으로 설정한다. 따라서 threshold를 높게 설정해서 항공기 소음의 지속시간이 일정시간(보통 10초) 미만이면 항공기 소음을 인지하지 못하고 그 음에너지는 배경소음으로 기록하게 된다.

Threshold 소음도에서 항공기 소음의 지속시간은 “Start of threshold”부터 “End of threshold”까지 시간이다(Fig. 2.5). 따라서 소음측정기의 threshold 설정에 따라 항공기 소음과 배경소음 사이의 값의 차이가 다르게 된다.

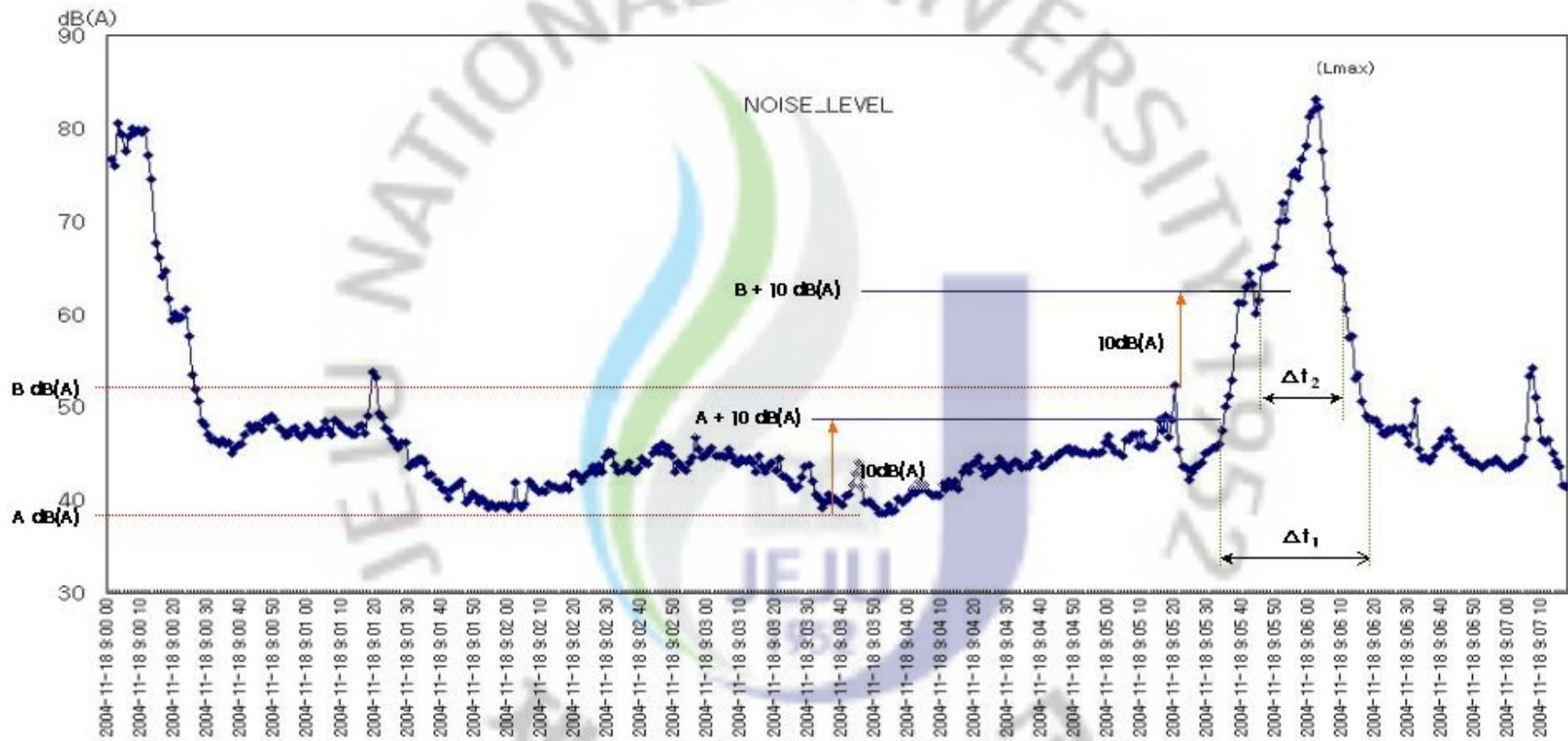


Fig. 2.4. An illustration of temporal sound fluctuation at typical location around Airport.

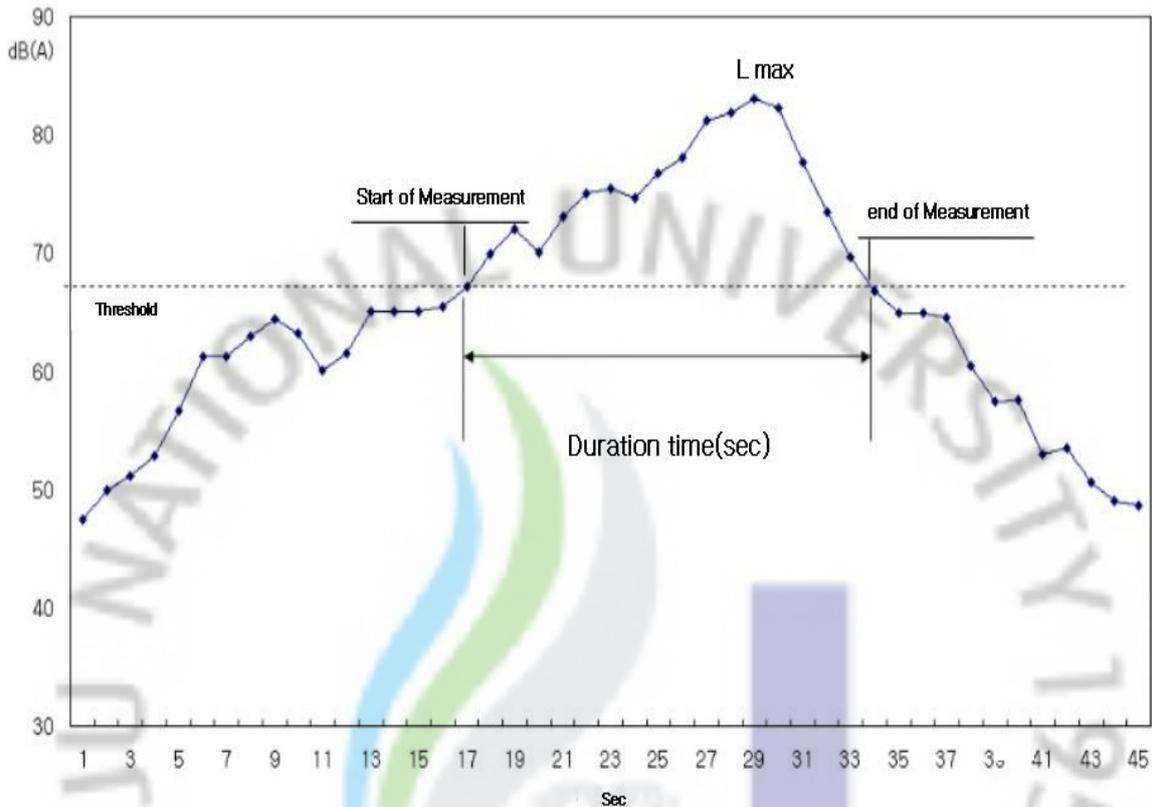


Fig. 2.5. The exceeded of threshold measurement method.

### (3) 특이 소음

항공기소음과 특이 소음을 수치적으로 또는 측정된 음의 파형 그래프만으로 구분하는 것은 매우 어렵다. 항공기 소음을 측정함에 있어서는 가능한 특이 소음이 발생되지 않는 장소를 선정하여 측정기를 설치하지만 완벽한 장소를 선정하는 것이 쉽지 않다. 환경오염공정시험기준에는 소음측정장비 설치기준에 대해서 아주 원론적으로만 간략하게 명시되어 있어 대체로 설치자의 판단과 편의에 따라 다양한 장소에 설치하고 있다. 그리고 소음자동측정기를 설치하는 위치에 대해서도 활주로의 위치 또는 거리 등과 같은 구체적인 기준이 없기 때문에 공항에서는 가급적 항공기 소음이 높을 것으로 판단되는 항공기 비행 항로 바로 아래 지역에 집중적으로 설치하고 있는 실정이다.

Fig. 2.6의 좌측의 그래프는 A321 기종의 착륙 소음이고 우측의 그래프는 동일

지점에서 약 7분 후 기록된 바람 소음을 나타낸 것이다. 그래프의 형태만으로는 항공기 소음과 특이 소음을 구분하는 것은 거의 불가능하게 생각되는 예이다. Fig. 2.7은 소음이 측정된 database에 수록된 각종 소음 events에 대한 정보를 보여주고 있다. 그림에서 보면, 8시 42분 06초에 나타난  $L_{max}$  73.1 dB(A)인 소음은 항공기 착륙소음이다. 그런데 8시 42분 52초에 감지된  $L_{max}$  72.6 dB(A)인 음, 8시 43분 49초에 감지된  $L_{max}$  72.2dB(A)인 음 그리고 8시 44분 57초에 감지된  $L_{max}$  72.7dB(A) 소음은 모두 매미 소리가 기록된 것으로 판명된 사례를 보인 것이다. 바람 소리 등과 같이 주변에서 발생한 소음이 측정될 경우 항공기 레이더 자료에 의한 자동 분류작업이 없으면 대상소음인 항공기 소음과 주변의 생활소음 및 바람소리 등 여러 소음을 구분할 수 없을 것이다<sup>8)</sup>. 옥외에 설치된 소음자동측정기에서 측정된 항공기 소음을 레이더 자료를 이용하지 않고 수동으로 대상소음을 분류하는 것은 며칠 간의 짧은 기간에는 가능할 수 있으나 장기적으로는 다량의 자료가 저장되므로 불가능하다.

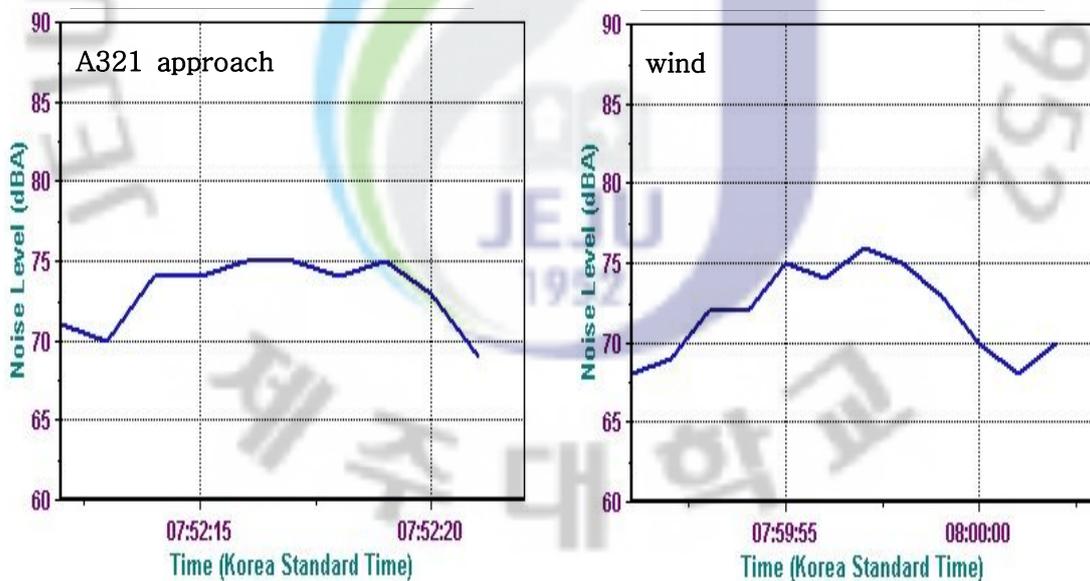


Fig. 2.6. Temporal sound fluctuations of aircraft and the wind noises. Noise event for approach of aircraft(left) and Noise event for wind(right).<sup>8)</sup>

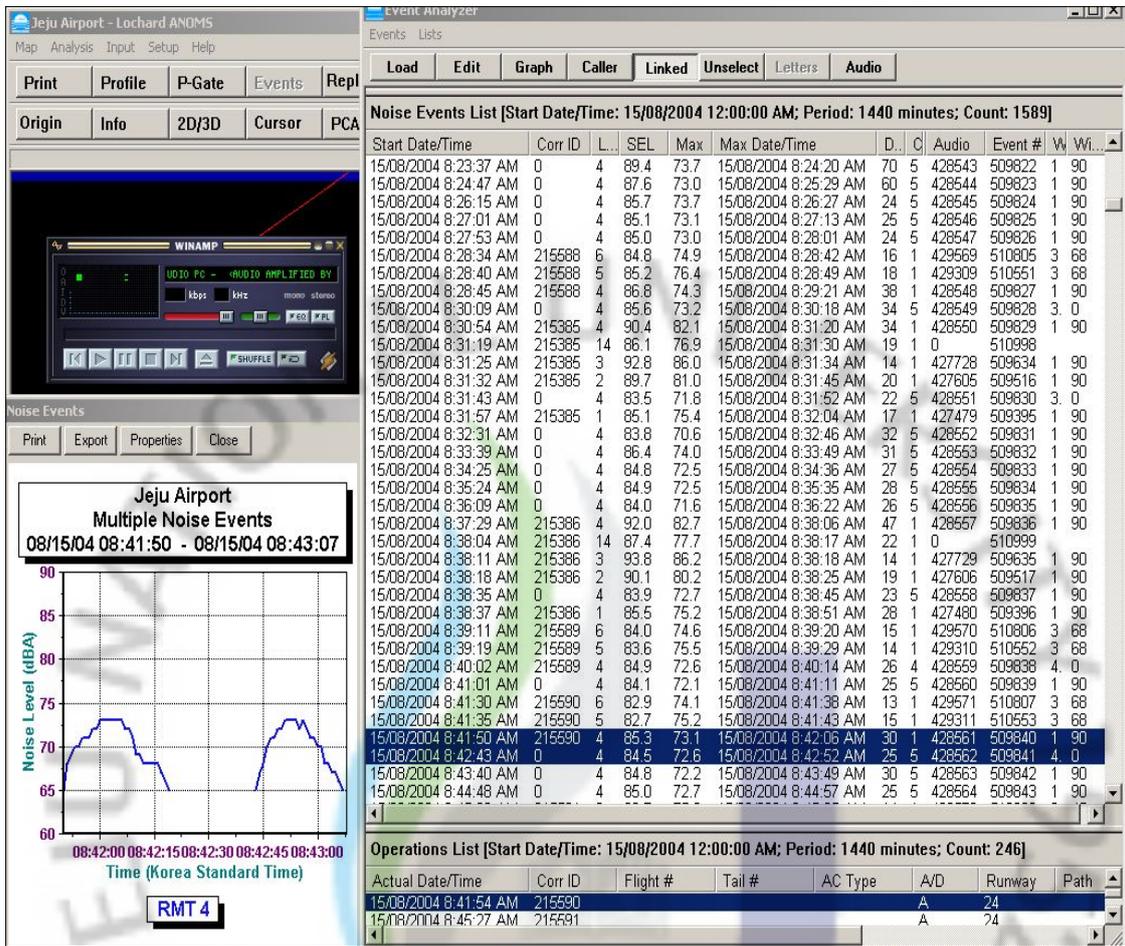


Fig. 2.7. Sorting of target noise from numerous noise events.<sup>8)</sup>

## 2. 항공기 항적분석

### 1) 항공기 이착륙 패턴

한국에서는 현재까지 고시된 측정지점에서 항공기 소음만을 측정하여 그 측정값의 높고 낮은 수준만을 관리하고 있다. 항공기 소음을 발생원인 항공기를 중심으로 관리하지 않고 소음 수준으로만 보려는 시각 때문이다. 그리고 한국에서는 그동안 안보 사항을 가장 우선시 하였기에 항공기 이동에 관한 레이더 좌표(target)를 관계 관련 이외의 부서에서 관리하는 것은 금기시 해 왔다. 그동안 항공기 소음은 항공

기와 관련된 항적자료인 레이더 target 좌표를 항공기 소음분야에서는 접근할 수도 없고 관리할 수도 없었기 때문에 항공기 소음을 측정값만으로 평가하고 예측하였다. 그러나 최근에 와서 항공기 소음을 관리하는 시스템에 항공기 항적자료를 도입하여 항공기 소음을 관리할 수 있게 되었다.

Fig. 2.8(a)의 작은 원은 공항의 레이더가 회전하면서 찾아낸 항공기의 좌표인데 항공기가 고도를 낮추면서 착륙하고 있는 각 통과지점이다. 2005년 3월 1일 08시 08분 50초부터 09분 05초까지 RMT 2에서 80 dB(A)가 측정된 항공기는 제주국제공항을 향하여 06방향(60방위각으로 진행하는 방향)으로 착륙하고 있다. Target 좌표 중 track target 57번의 위치는 위도와 경도가 각각 33.490390, 126.449968 지점을 통과하고 고도는 328 ft, 지상 속도는 121 knots로 target 57번 좌표시각은 3월 1일 08시 08분 56초이다.

Fig. 2.8(b)에서 항공기를 관측하고 있는 동일지점에서 RMT 2번 지점과 유사한 지점에 항공기 통과지점을 관리하기 위하여 설정한 gate 06 A2의 통과지점을 나타낸 것으로 착륙하고 있는 항공기는 KAL 1207편으로 A306기종이었다. 항적자료는 이러한 정보를 제공하기 때문에 항공기 소음을 관리하는데 아주 중요한 역할을 하게 된다. 항적자료가 없는 상태에서 많은 수의 항공기 소음이 기록되는 공항에서 항공기 소음과 특이 소음을 구분하는 것은 쉬운 일이 아니며 특이 소음이 측정되더라도 항적자료가 없으면 항공기 소음만을 구분하여 기록하고 저장하는 것은 거의 불가능하다.

계기착륙시스템 및 시각지원시설을 갖춘 공항에서는 glide path에 의하여 착지지점을 지시하므로 착륙하는 항공기는 거의 동일한 지점에서 착지한다. 기종별 항공기 접근절차는 3도의 각도로 활주로에 진입하고  $\pm 3$ 도의 각도로 활주로 중심선을 알려주기 때문에 항공기 진입과정에서 고도와 좌우 분산 정도는 거의 직선에 가깝다.

이륙하는 항공기는 이륙대기지점에서 출발한 후 이륙안전속도(일명  $V_2$ ) 이상의 속도로 상승한다. 이륙하는 항공기는 동일한 기종이라도 이륙하는 하중, 활주로의 노면상태, 풍향, 풍속, 기온 등 다양한 외부 조건에 의하여 활주거리가 일정하지 않은 지점에서 상승한다. 활주로에서 이륙하는 상승각도도 항공기와 기상조건에 따라 다르므로 이륙하는 항공기가 활주로에서 이격되는 시작 지점을 특정 지점으로 정할 수 없다.

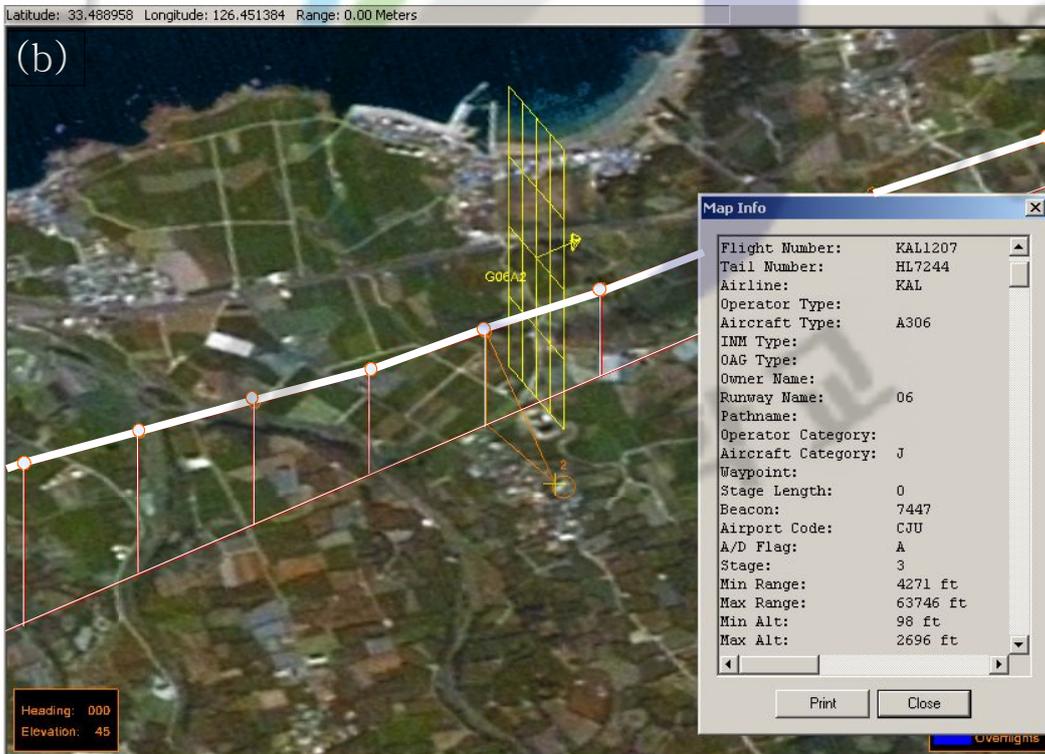
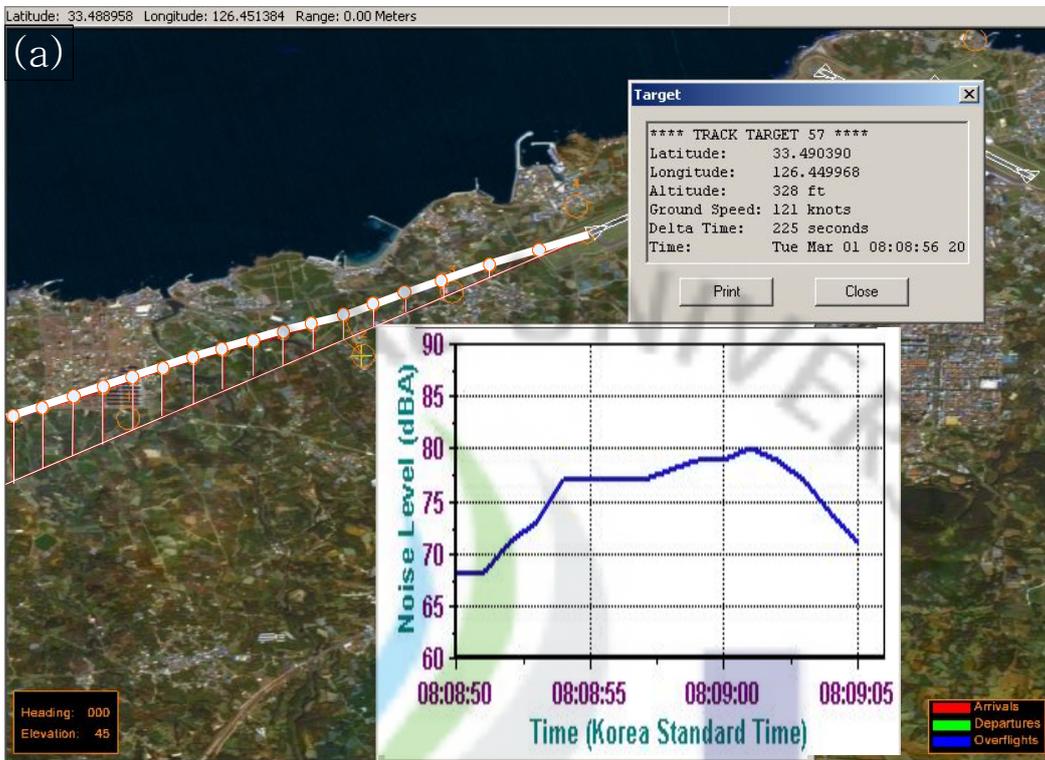


Fig. 2.8. Target and Gate.

Fig. 2.9은 2005년 1월 동안 제주국제공항에서 동서활주로를 이용한 이륙 및 착륙 항공기들의 이동경로를 표시한 것이다. Fig. 2.9(A)는 이륙에 따른 이동경로인데, 활주로에서 멀어질수록 분산형태가 넓어지는 형태로 운항한다. Fig. 2.9(a)는 제주국제공항의 AIP(Aeronautical information publication)로 이륙과정을 표기한 것으로 지상지원 시설, 항공통신 등 운항에 필요한 각종 정보를 제공하고 있다. Fig. 2.9(a)와 Fig. 2.9(b)에 표기된 사각형을 따라 항공기가 이동한 이착륙 경로는 Fig. 2.9(A)와 Fig. 2.9(B)와 같다. Fig. 2.9(B)는 2005년도 1월 동안의 제주국제공항 06방향 활주로는 65° 방향으로 진입하는 항공기 착륙 궤적을 나타낸 것이다. 착륙은 계기착륙 장치의 방위각 시설과 활공각 시설에 의하여 착륙하고 있기 때문에 거의 직선으로 활주로는 진입하지만 분산의 형태를 이루고 있고 활주로는 다가갈수록 분산이 좁아진다. Fig. 2.9(b)는 착륙과정의 AIP인데, 진입방향 각도는 거리측정장치의 계기착륙 시설을 이용할 때와 전방향무선표지소의 거리측정장치를 이용할 때가 1° 다르지만 (64°) 제주국제공항에서는 전반적으로 계기착륙시스템에 의한 착륙이므로 65°로 진입한다.

AIP에서 직선으로 표기된 이륙과 착륙에 대한 방향과 지점을 통과하는 항공기는 분산의 형태로 이동하고 있어 AIP만으로는 항공기 이동경로를 파악할 수 없다. 이러한 항적자료를 분석하여 항공기 이동경로를 파악하는데 활용한다.

## 2) 항공기 프로파일 분석

Fig. 2.10는 이륙하는 항공기의 상승 고도와 항공기 속도 그리고 gate 면에서의 항공기 통과지점을 표시한 것이다. B734 항공기의 이륙상승과정을 Fig. 2.10(a)에서 보면 이륙지점에서 150 knots 정도의 속도에서부터 속도를 높이면서 상승하기 시작하는데 상승률은 거의 직선이다. 이러한 속도와 상승률의 관계는 다른 기종과는 다르다. Fig. 2.10(b)의 이륙속도와 이륙 상승률은 B734과는 다른 이륙형태임을 알 수 있다. A321 항공기의 이륙속도(ground speed)는 초기 160 knots를 유지하더라도 상승률은 일정하게 유지하고 있다. 이러한 기종의 운항차이는 소음의 차이로 나타난다.

제주국제공항을 이륙하는 대부분의 항공기는 항로거리 약 4km 지점부터 이륙속도는 약 150~160 knot로 일정하게 유지하고, 항로거리 약 7~8 km 지점의 고도

3,000 ft 지점부터는 다시 이륙속도를 증가시키는 것으로 나타난다. Fig. 2.10(A)와 (B)에서 항공기의 Gate 통과 단면을 보면 고도분산과 좌우분산이 발생하고 있고 기종마다 분산형태가 약간의 차이가 발생한다.

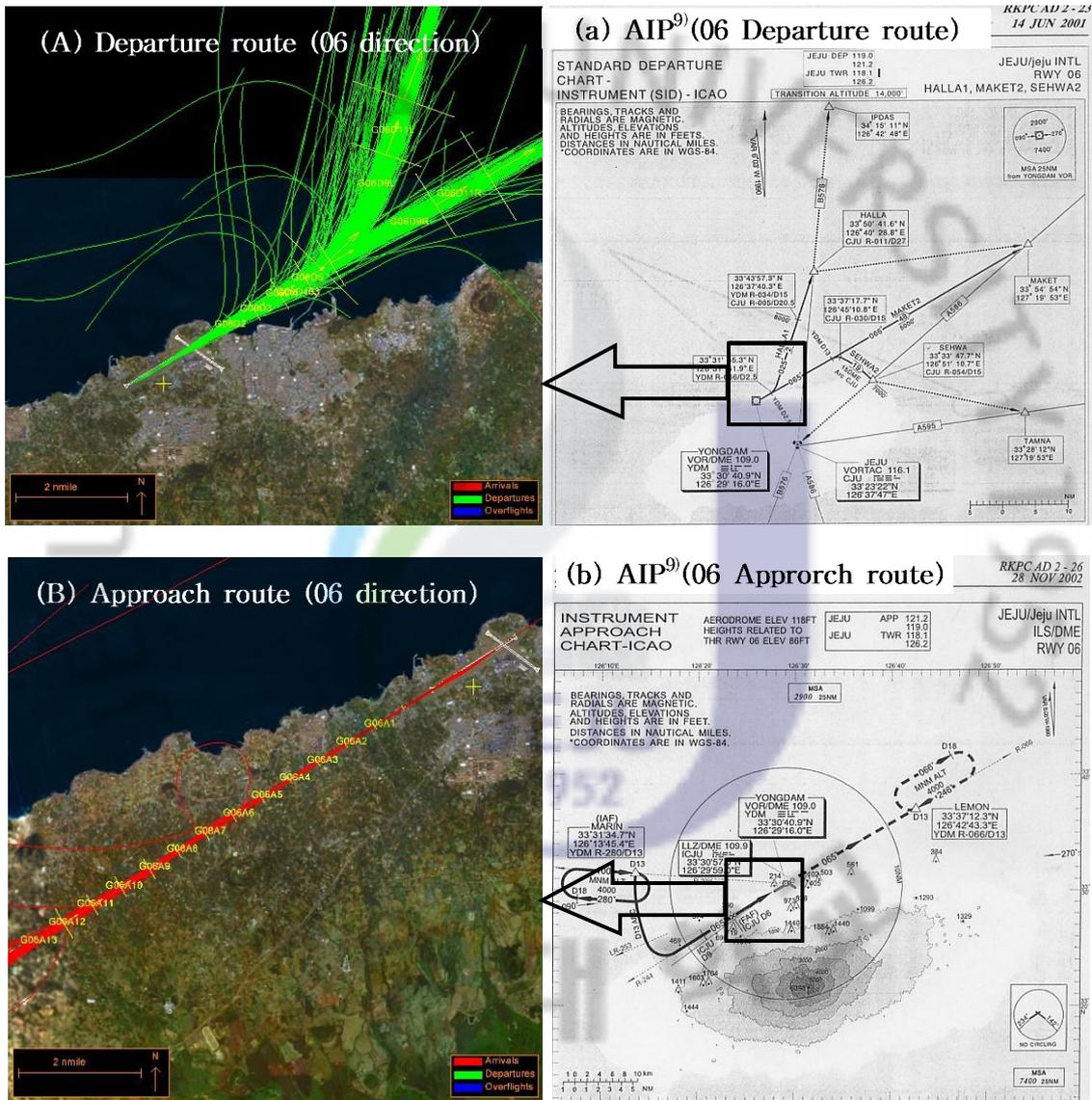


Fig. 2.9. Aeronautical information for departure and approach of aircraft at Jeju International Airport.

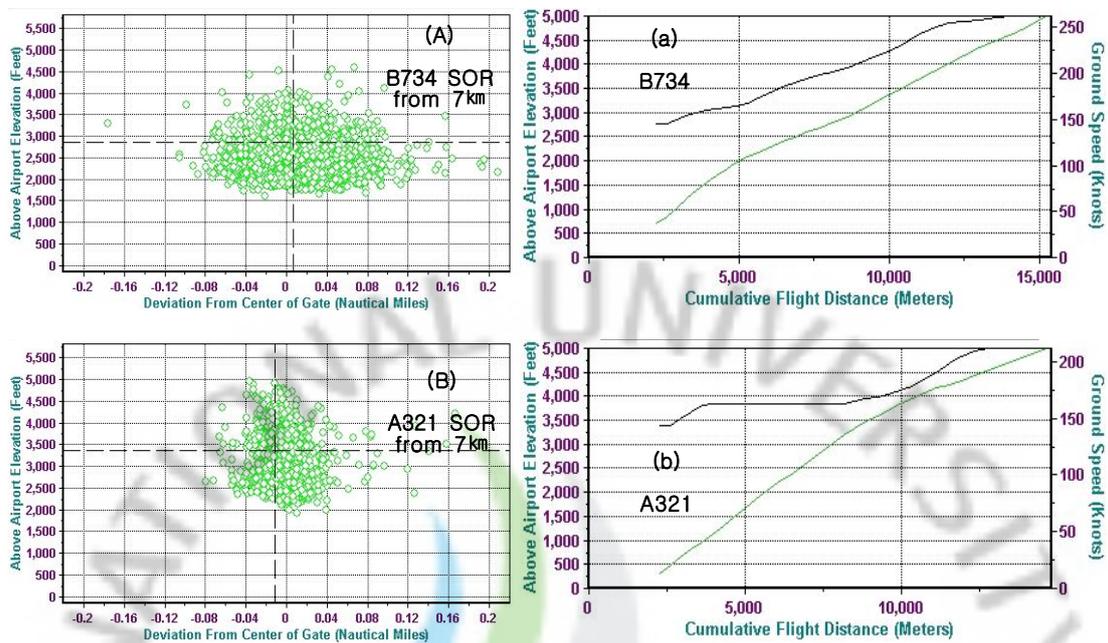


Fig. 2.10. Passing point of aircraft at Gate (left) and aircraft altitude and speed (right) during departure.

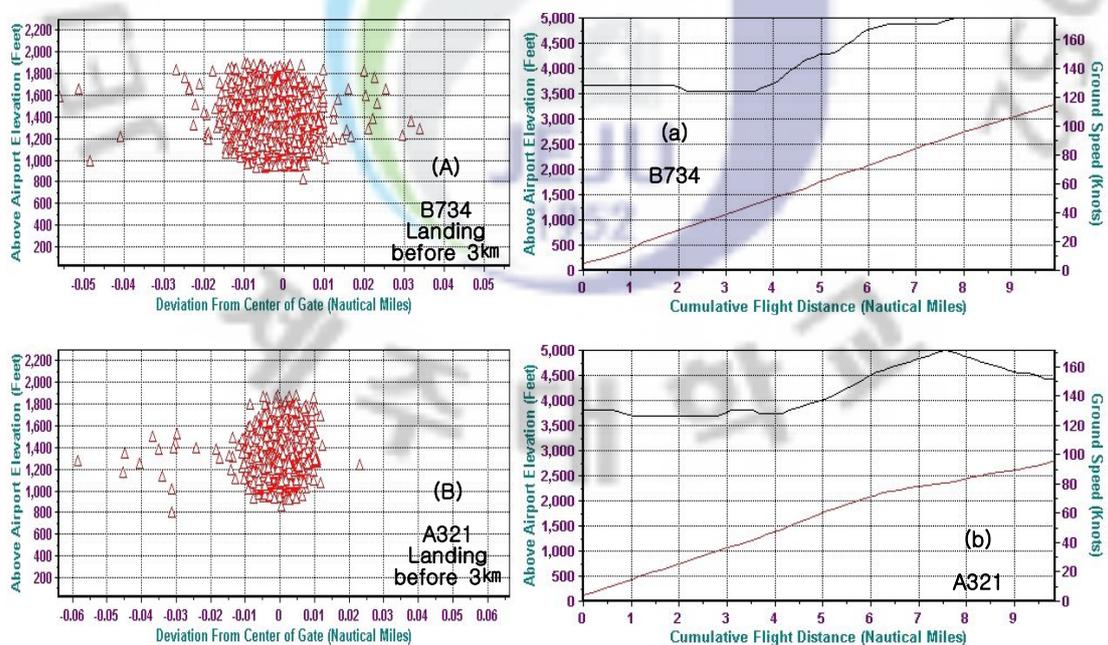


Fig. 2.11. Passing point of aircraft at Gate (left) and aircraft altitude and speed (right) during landing approach.

Fig. 2.11은 착륙하는 항공기의 고도와 속도 그리고 gate 면에서의 항공기 통과 단면을 나타낸 것인데, 착륙하고 있는 항공기는 이륙시보다 작은 엔진추력을 이용하여 일정한 속도로 이륙속도를 유지하면서 진입함을 알 수 있다. Fig. 2.11(a)는 B734 기종이 계기착륙장치에서 보내는 glide slope 3°의 전파를 2000 ft 이전부터 감지하여 하강하였다. 그렇지만 Fig. 2.11(b)를 보면 A321기종은 2,000 ft에서 계기착륙장치에서 보내는 glide slope 3°의 착륙 전파를 따라 착륙을 시도하면서 착륙속도를 일정하게 유지하기 시작하였다. 공항에 접근하는 과정에서 정풍의 감소, 측풍 발생 및 wind shear의 발생으로 항공기가 양력을 추가로 확보하려면 항공기 엔진을 급격히 증가시켜야 하므로 순간적으로 높은 소음도가 측정되기도 한다.

이상의 그림에서 보듯이 착륙시에 비해서 이륙하는 경우에 Gate 통과에 따른 항공기의 좌우분산은 약 10배 정도(이륙 :  $\pm 200\text{m}$ , 착륙 :  $\pm 20\text{m}$ ) 넓고 고도분산도 약 3배 정도(이륙 : 2,000~5,000ft, 착륙 : 1,000~2000ft) 높게 형성되고 있음을 알 수 있다.

### 3) 항공기 위치 측정방법

항공기 운항정보에 대한 자료는 항공기에 내장된 컴퓨터에서 얻을 수 있으며 공항에서는 항적자료를 레이더에 의한 target 좌표로 항공기가 이동한 지점을 측정하게 된다. 일반인들은 공항 레이더에 의한 항공기 이동좌표를 확보할 수 없기 때문에 항공기 항적자료 확보를 포기하거나 육안으로 고도와 좌우편차를 조사하여 항공기 항적자료를 추정하기도 한다.

여기서는 레이더를 이용한 항공기를 추정하는 경우에 대해서 살펴보기로 한다. 항공기가 이동하는 좌표를 레이더 target 좌표에서 파악하는 방법은 절대좌표 방식과 항공기의 이동 경로를 Gate로 지정하여 사용하는 상대좌표 방식이 있다. Target 좌표는 레이더의 회전주기에 따라 target이 생성되므로 항공기 이동경로를 확인할 수 있다.

Fig. 2.12에서는 레이더 송신소의 위치좌표를 X축, Y축, 고도 Z의 기준점으로 정하고 항공기 이동지점을 이 기준점에 대한 절대좌표로 표기한 것을 나타내고 있다. 송신소 위치좌표를 편의상 0,0,0으로 정하면 항공기는 이륙대기지점에서 출발하여 활주로의 중심선을 따라 이륙하면서 첫 번째 지점(좌표 480, 250, 200)을 지나 두

번째 지점(좌표 550, 350, 290)을 거쳐서 세 번째 지점(660, 520, 380)을 통과하면서 항로방향으로 계속 진행한다. Fig. 2.12에서 지표면(고도 Z좌표 : 0)에서 활주로 중심선 연장방향과 항공기 진행방향에는 좌우편차가 있더라도 항공기 한 대의 이동경로를 파악하는 것은 간단할 수 있지만 여러 대의 항공기 이동경로를 숫자화 시키고 상관관계를 도출하는 것은 복잡하고 어렵다.

Fig. 2.13은 Fig. 2.12와 동일한 항공기 운항코스를 Gate에 의한 상대좌표로 분석하는 경우에 대해서 나타낸 그림이다. Fig. 2.13에서 활주로는 Fig. 2.12의 활주로와 동일하고 Gate 1, Gate 2, Gate 3은 Fig. 2.12의 관측지점과 동일한 지점이다. Gate는 활주로 중심의 연장선과 Gate의 단면이 만나는 지점(가능한 중앙지점)을 Zero(0)로 좌표를 정하고 좌우 폭은 항공기 운항이 소음피해지역을 확대시키는지 여부를 확인할 수 있는 좌우 범위까지로 정한다.

Fig. 2.13에 나타낸 Gate는 활주로에서 일정 거리만큼 이격된 지점에 항로거리의 직각의 방향으로 세워놓는 가상의 문(gate)으로서 항공기가 통과하는 지점을 표시하기 위한 것이다. Fig. 2.13의 활주로에서 이륙한 항공기는 Gate 1 지점을 통과하면 좌표는 -40, 200으로 표시된다. Gate 1 좌표 -40과 200은 통과한 항공기가 활주로 중심선에서 왼쪽으로 40m 치우친 지점을 고도 200m로 통과한 것이다. 이후 항로방향으로 이동하여 Gate 2에서 왼쪽으로 50m, 고도 290m로 통과하고 최종적으로 Gate 3에서는 왼쪽으로 60m, 고도는 380m로 통과하였다. 항공기가 오른쪽으로 이동하게 되면 +값의 분산의 형태로 표시된다. 고도는 지면 또는 해발고도를 기준으로 시작할 수도 있지만 항공기가 최저 높이와 최고 통과고도를 확인할 수 있는 범위로 설정한다.

Fig. 2.13의 Gate는 다수의 항공기가 통과하더라도 해당 Gate에서는 좌우 편차에 관한 값과 고도의 값으로 표시되므로 해당 항공기가 항로 중심에서 좌우 분산정도를 쉽게 파악할 수 있고 고도의 평균도 쉽게 파악할 수 있다. 해당 Gate는 AIP에서 상승지점, 회전지점 등 운항에 설정된 절차 지점에 정하여 사용하면 해당 항공기들의 이동경로를 좌표화 할 수 있으며 Gate를 조밀한 간격으로 사용하면 더 정밀한 이동경로에 해당하는 평균 자료를 확보할 수 있다.

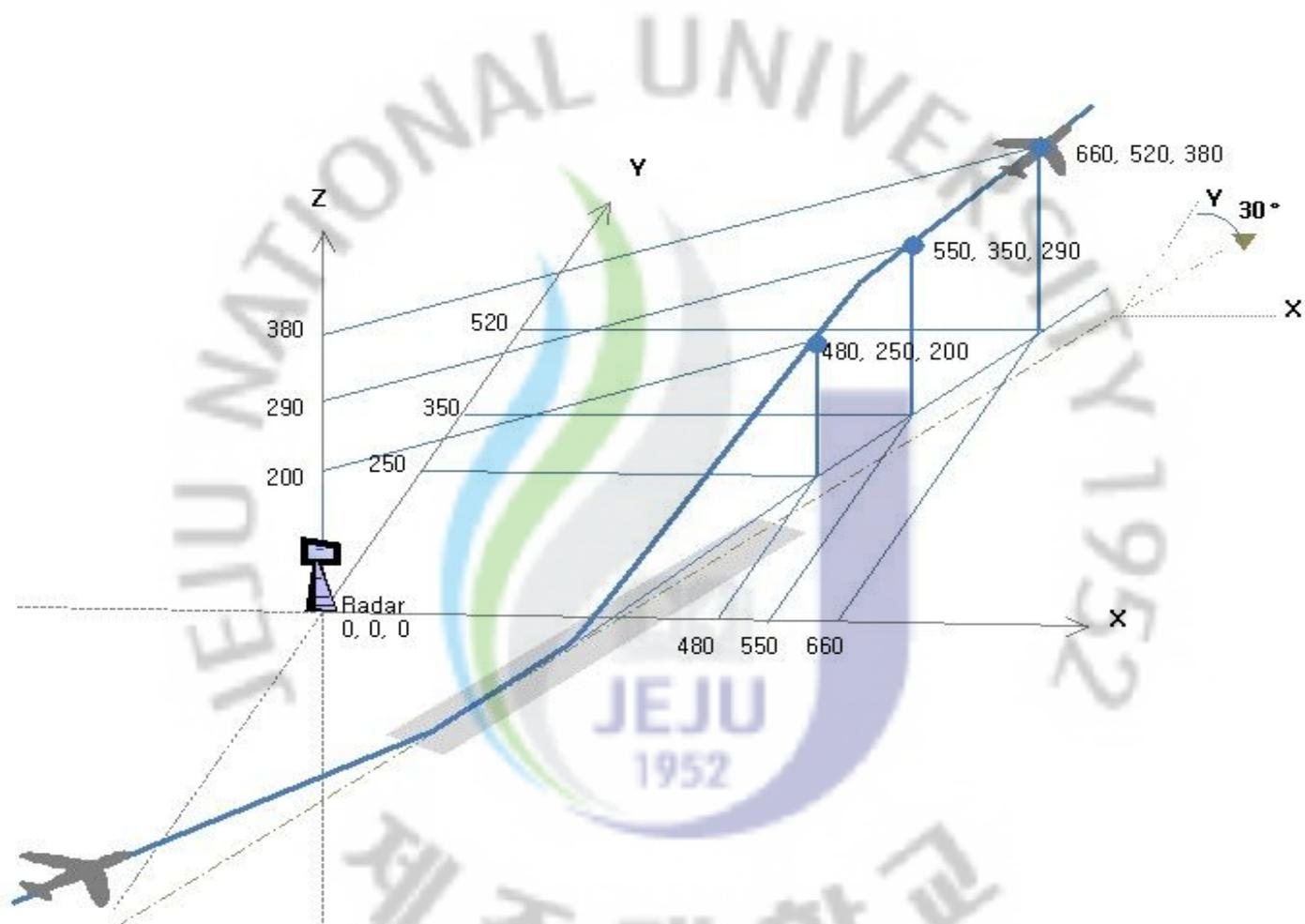


Fig. 2.12. The normal coordinate for track data of aircraft near airport.

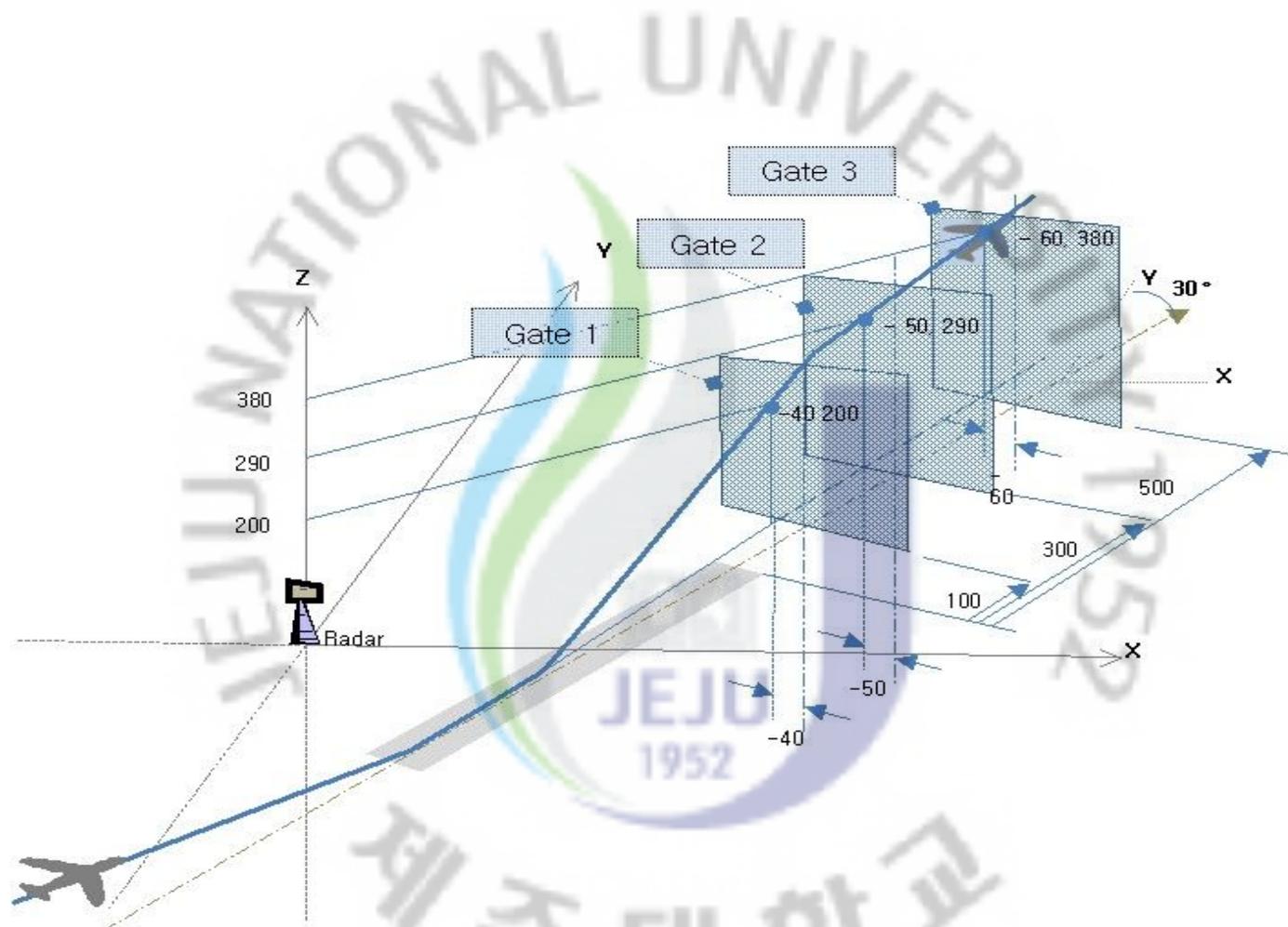


Fig. 2.13. The gate coordinate for track data of aircraft near airport.

#### 4) 항공기 운항과 소음관리

항공기와 소음을 자동으로 필터링하는 가장 기본적인 방법은 다음과 같다. RMT가 설치되어 있는 위도, 경도지점을 중심으로 소음이 전달되는 일정범위를 설정한다. RMT 설정된 범위내에 항공기의 target 좌표가 통과하면 기록된 소음을 항공기 소음으로 인식한다. 다만 항공기의 좌표가 통과한 시각이 RMT에서 설정한 최고소음도 기록시각의 ±범위 내이면 항공기 소음을 항공기에서 발생한 소음으로 분류하게 되지만 시각의 범위에 맞지 않으면 특이 소음이 항공기 통과 시간과 같은 시간대에 기록된 것으로 인식하여 항공기 소음으로 분류하지 않는다.

Fig. 2.14는 실제 항공기 소음을 항적자료를 이용하여 관리하는 방법에 대해서 나타낸 것이다. 공항레이더 송신소에서 감지한 접근 항공기의 beacon code는 7461 이고 이 항공기는 06방향으로 착륙하고 있는 AAR 8927편이고 기종은 B734이다. 항공기는 2005년 3월 6일 11시 15분 04초에 제주국제공항에 착륙하였다. 착륙하는 항공기의 소음은 RMT 1번 지점에서 11시 14분 05초에  $L_{max}$  82.4 dB(A), SEL은 89.7 dB(A)로 기록되었고 RMT 측정기 위치 순서로 이동식 RMT 18과 RMT 2번, RMT 3번을 지나 착륙지점 좌측에 있는 RMT 4번 측정기에 11시 14분 59초에  $L_{max}$  72.1 dB(A), SEL은 78.9 dB(A)로 기록되었다.

Fig. 2.15에서는 RMT가 설치된 위도와 경도의 일정범위를 초과한 지점에서 항공기 소음이 전달되어져 오는 경우를 표현하였다. 착륙한 역추진 소음이 통과한 지역(B지역) 이외에 활주로 반대편(A지역)까지 전달되어져 기록된 경우이다.

항공기 소음과 항공기 운항자료가 자동으로 보정된 Correction ID 182586는 8시 47분 52초부터 RMT 6번에 소음이 기록되고 8시 47분 10초에 가장 높은 소음이 기록되었으며 RMT 5번을 통과하면서 RMT 범위내에 항공기 Target 좌표가 통과하였으므로 자동으로 Correction ID 182586를 부여받았지만 RMT 3, 2, 1번에서는 Correction ID 182586로 연계 처리되지 못했다. 그러나 RMT 3, 2, 1번을 확인하여 그래프로 보면 거리에 따라 소음이 감소되는 일정한 패턴을 보이므로 역추진 소음으로 파악하여 Correction ID를 부여하였다. 위와 같이 항공기 소음을 관리하는데 항공기 항적자료를 활용하지 않는다면 항공기 소음이 측정되어도 항공기 소음으로 분류하지 못하고 배경소음으로 관리하게 되므로 항공기 소음 자료를 관리하기 위해서는 우선적으로 항공기 항적자료를 활용하여야 한다.

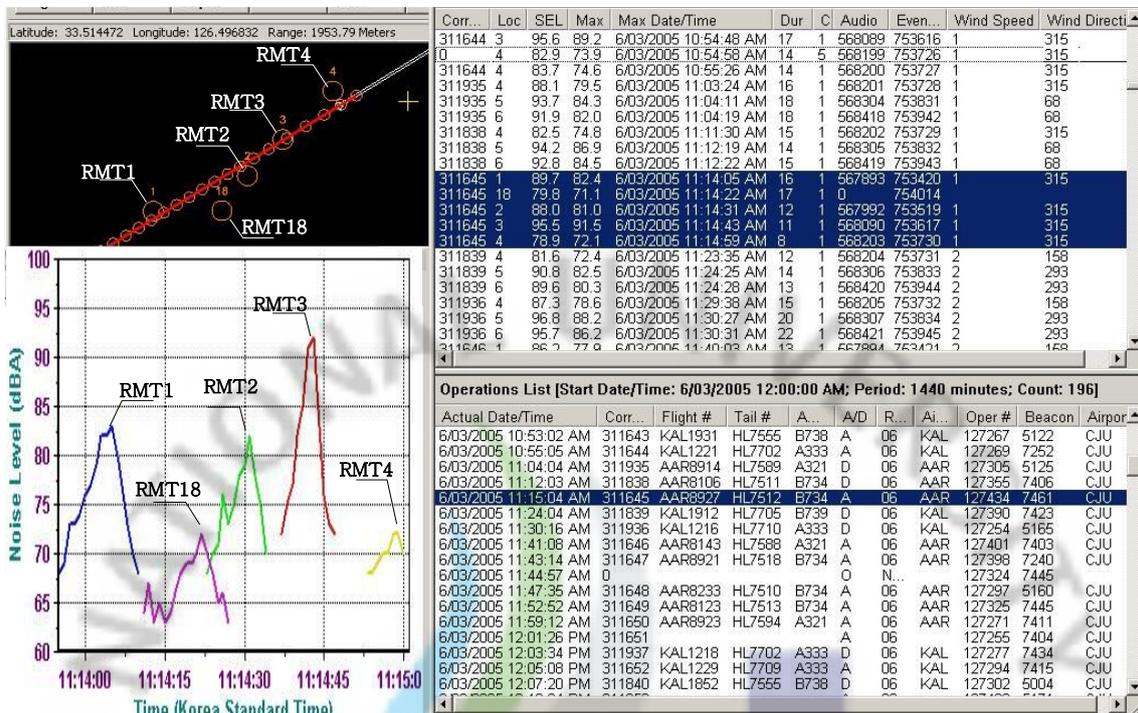


Fig. 2.14. Aircraft noise monitoring system within the boundary area.

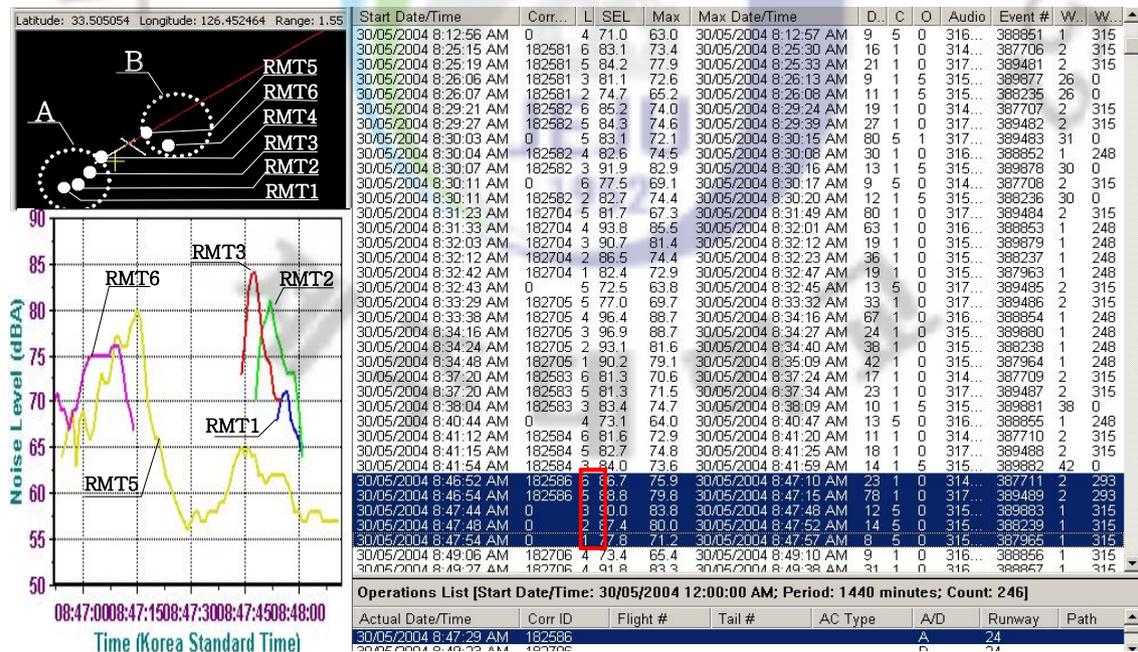


Fig. 2.15. Aircraft noise monitoring system beyond the boundary area.

### 3. 항공기 소음저감 대책

항공기 소음을 감소시키려면 항공사와 관제, 국가, 그리고 지역주민들의 적극적인 노력이 필요하다. 항공기 소음을 줄이기 위해서는 우선적으로 저소음 엔진을 장착한 항공기를 운항하는 것이다. 항공법상 저소음 엔진을 장착한 항공기를 5등급 항공기로 분류하는데, 이 5등급 항공기에서도 소음도 크기가 차이가 발생하고 있기 때문에 항공사에서는 5등급 항공기 중에서도 소음도가 낮은 항공기를 도입한다면 항공기 소음을 감소시킬 수 있게 된다.

항공기 운항 관제를 담당하고 있는 곳에서는 항공기가 통과하는 지점과 고도의 좌표를 정하여 통과하도록 관제한다면 최소한 항공기 소음의 확산은 방지할 수 있다. 우리나라는 항공법에 의하여 항공기 소음피해(예상)지역을 지정고시하였다. 따라서 항공법에 의하여 항공기 소음피해(지역)의 소음이 유지될 수 있도록 항로에 Gate를 설정하고 항공기 전용로(corridor) 내로 항공기가 운항하도록 관리 감독을 하여야 한다.

또한, 저소음 엔진을 장착한 항공기라도 이륙상승 각도와 엔진추력 감소 지점을 지정하여 항공기 소음을 감소시킬 수 있도록 운항절차를 수립하고 감시하여야 한다. 외국에서 시행하고 있는 소음저감 운항정책은 소음피해지역의 위치와 해당 공항을 운항하는 항공기의 특징을 반영하여야 하므로 충분한 검토를 거쳐서 시행하여야 한다. 그렇지만 우리나라에서는 이에 대해서는 전혀 고려하지 않고 있다.

그동안 한국에서는 항공기 소음을 담당하는 곳에서는 항공기 운항과 관련된 어떠한 정보도 없는 상태에서 항공기 소음 수준만 관리하였다. 최근에 들어서 항공기 레이더 target 좌표를 관리하기 시작하였지만 레이더 target 좌표를 관리하여야 할 필요성에 대해서 정부 방침도 없는 상태이므로 관계기관의 협조체계도 구성되어 있지 않다. 따라서 항공기 소음저감정책을 간단히 소개하고 복잡한 협의 없이 공항당국자의 의사결정만으로 항공기 소음을 감소시킬 수 있는 정책(안)을 제시하고자 한다.

## 1) 저소음운항절차 수립

항공기가 운항하면서 발생하는 소음을 감소시킬 수 있는 방안은 공항과 주거지역의 위치와 취항하는 항공기의 운항 특성을 고려해야 한다. 특정 소음이상을 유발하는 항공기에 의한 소음을 감소시키기 위하여 특정한 시간대에는 해당 항공기의 운항을 금지시키거나 일정 시간동안 모든 항공기의 운항을 금지하는 운항금지제도(curfew)를 시행하기도 한다. 소음이 높은 항공기가 운항할 때 소음 부담금의 비율을 높이거나 야간 운항 시에는 소음부담금을 가중 부과하고 고소음 항공기 운항 회수를 제한하는 소음쿼터시스템(Noise Quota System)을 시행하기도 한다. 이미 시행되고 있는 이러한 제도 이외에 공항에서 깊이 있게 검토해 볼 가치가 있는 제도 등에 대해서 살펴본다.

### ① 이착륙 운항절차의 시행

기존의 공항에서는 가능한 주민에게 소음피해가 적은 활주로를 우선적으로 사용하거나 활주로 중간지점에서 이륙하기도 한다. 민원인 거주가 적은 방향으로 활주로를 추가로 신설하는 것도 좋은 방안이지만 부지 확보도 어렵고 신규 활주로 이착륙 방향에 거주하는 주민들의 반대도 무시할 수 없을 것이다. 따라서 신규 활주로를 설치하는 것은 상당히 곤란하므로 항공기 소음저감운항절차(Noise abatement operating procedure)라는 것은 시행한다. 항공기 소음저감운항절차는 항공기 운항의 안전에 지장이 없는 범위 내에서 지상에 도달하는 소음을 감소시킬 수 있도록 해당 공항에 적합한 ICAO가 권고하는 소음저감절차(noise abatement procedures)를 시행하는 것을 말한다. 이는 항공기 운항단계마다 적절한 엔진추력 설정 등의 이륙 및 착륙운항절차를 수립하여 시행하고 공항당국이 그 이행을 감시하는 것이다. 여기에는 공항에 근접한 지역에 소음저감 효과가 있는 절차(NAP : noise abatement procedure)와 공항에서 어느 정도의 떨어진 지역에 소음저감 효과를 주는 절차(distant NAP)로 구분할 수 있다. 이러한 절차를 디자인하기 위해서는 Fig. 2.16과 같이 항공기가 출발한 후 고도 10,000 ft까지 고도 변화를 0에서  $H_1$ 까지,  $H_1$ 에서  $H_2$ 를 포함하는 A, B, C 구획으로 나눈다.<sup>10,11)</sup>

추력과 고도에 따른 소음 감소 효과는 항공기가 소음 민감 지역에 도달하기 전에 가급적 높은 고도를 유지하기 위해 이륙추력을 증가시키고 소음 민감 지역에 근

접하게 되면 이륙 플랩설정을 유지시킨 후 추력을 줄여 상승률을 낮게 유지한다. Cutback 고도는 항공기가 소음 민감 지역에 도달하기 전의 고도 높이로 결정하며 이륙 플랩 설정을 유지하고 cutback 고도에서 추력을 줄여 상승률을 낮게 시도하는 것이 소음감소에 효과적인 것으로 알려져 있다.<sup>12)</sup>

상승추력을 사용하는 시점은 소음 민감 지역을 통과한 후에 시도하여야 한다. 대형기의 고도 상승률은 소형기와 중형기에 비하여 낮기 때문에 cutback 고도변화에 대한 영향이 높아서 cutback 고도 결정이 중요하다. 이륙을 하는 대부분의 항공기는 공항 근처의 소음 민감지역으로 전달되는 소음을 감소시키기 위해 이륙추력을 최대한 사용하면서 cutback 고도를 높이고 동일한 cutback 고도를 사용하는 경우에는 이륙추력을 감소시키면서 이륙하면 소음감소에 효과적인 것으로 알려져 있다 (Fig. 2.17). 이륙중량을 줄여서 이륙하면 추가적인 소음감소 효과가 것이며, 온도 증가로 인해 나타나는 추력부족은 이륙중량을 감소시키는 운항패턴을 사용하므로써 효과를 볼 수 있다.

## ② 항공기 이륙대기지점의 이동 (활주로 중간지점에서의 이륙)

이는 활주로를 그대로 사용하면서 항공기를 기존의  $SOR$ , 즉 이륙대기지점에서 출발하지 않고 항공기 진행방향으로 일정거리 만큼 전면으로 이동시켜서 그 곳에서부터 출발시키는 방식을 말한다. 이 방안은 원래 항공기의 출발시간을 단축하기 위하여 기존의 출발지점까지 이동하지 않고 이륙활주로 거리가 확보되는 지점에서 출발하기 위하여 도입된 방법이었는데 소음을 감소시키는 방법으로 제시되고 있다.

항공기 출발 시 후류로 전달되는 소음 영향권의 직선거리(Fig. 2.18)에서 항공기 뒤쪽  $x$ ) 안에 지역주민이 거주하는 경우 항공기의 후류 전달거리를  $a$ 만큼 이동시키면 원래의 출발지점에서부터 전달되던 후류의 소음은 거주지에 전달되지 않게 될 것이다. Fig. 2.18에서 활주로 전방에서 중간 이륙하는 항공기는  $Z_1$ 의 거리만큼 이동하면서 상승한 거리  $y_1$ 가 되려면  $a$ 거리보다  $A_2$ 만큼 더 이동해야  $y_1$ 높이까지 상승하게 된다.  $y_1$ 의 높이가 항공기 소음이 전달되는 기준 거리라고 하면 소음구역이  $A_2+a$  만큼 더 길어지는 역효과가 발생할 수도 있다.

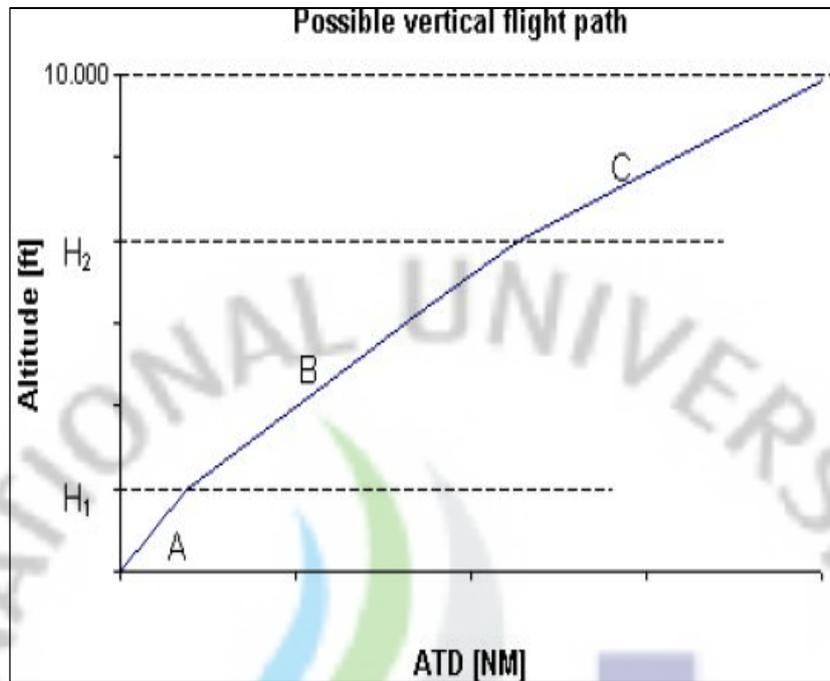


Fig. 2.16. Generic noise abatement departure.<sup>11)</sup>

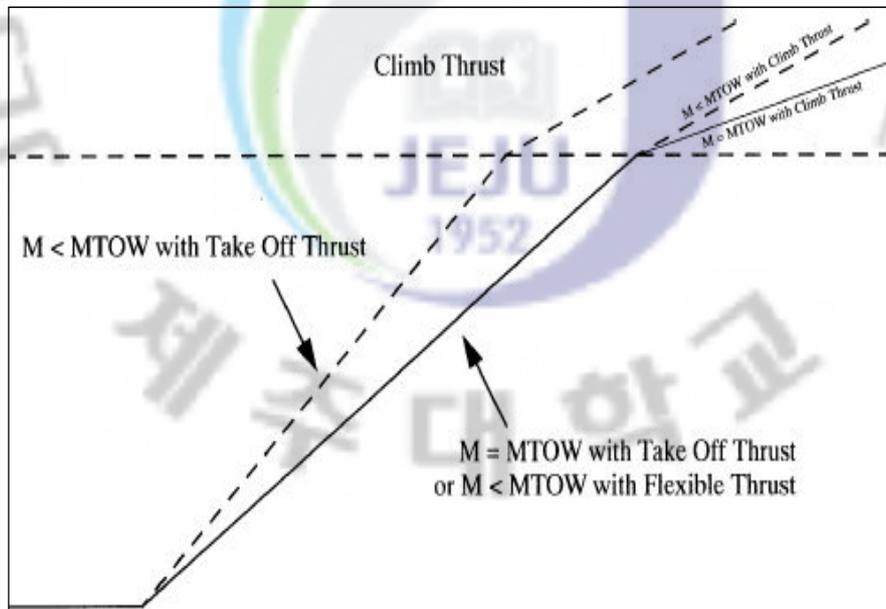


Fig. 2.17. Flexible Take-off thrust.<sup>12)</sup>

활주로의 길이가 4 km인 공항에서 1.5 km 활주한 후 상승하는 항공기를 원래의 이륙대기지점에서 1 km 전방에서 출발시켰더니 활주로 끝단에서 6 km (SOR로부터

10 km) 지점에서 2 dB(A) 높게 측정된 바 있다.<sup>13)</sup> 중간 이륙을 이용하여 소음 구역을  $Z_1$  이내로 유지하기 위해서는 항공기 이륙각도를  $\Psi_1$ 에서  $\Psi_2$ 로 증가시키면 항공기 통과고도  $y_1$ 을 유지할 수 있어 소음지역이 늘어나는 문제점을 해결할 수 있고  $Z_1$  이후의 거리에서 소음을 감소시킬 수 있다. 항공기가  $Z_1$ 의 거리에서  $y_1$ 의 높이까지 상승하는데 필요한 운동에너지  $y_1 \times Z_1$ 를  $a$ 거리만큼 작은  $y_1 \times (Z_1 - a)$ 지역에서 배출해야 하므로 활주로에서  $Z_1$ 거리까지 소음구역이 형성되더라도  $Z_1$ 거리의 좌우 폭은 넓어지는 형태의 소음구역이 발생하게 된다. 현재 한국에서 시행하고 있으나 이에 대한 구체적인 조사가 이루어지고 있지 않다.

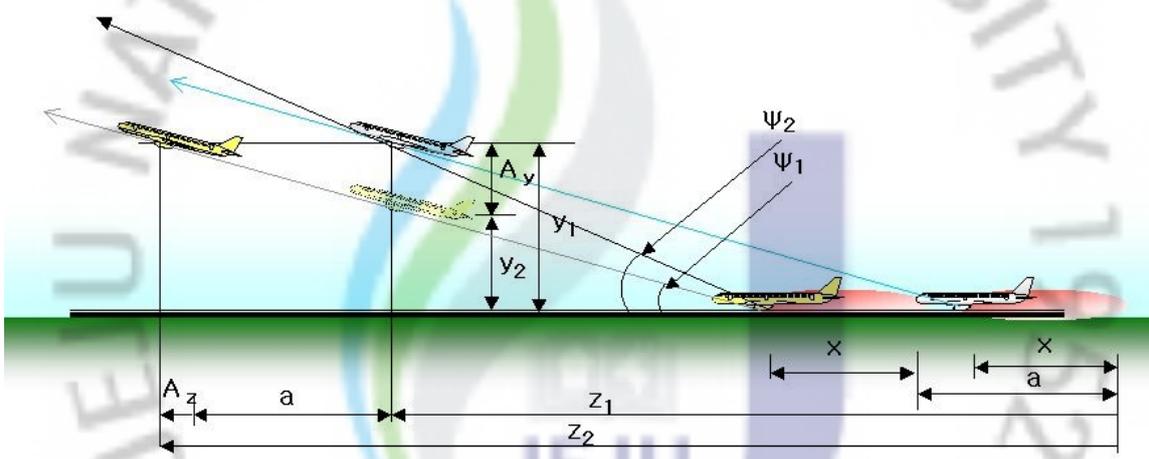


Fig. 2.18. The taking-off pattern of aircraft according to shift of SOR.

③ 항공기 착륙과정에 적용 가능한 절차들

착륙과정에서도 몇 가지 적용가능한 절차가 있다. 저소음을 위한 착륙 접근절차에서 wing flap과 landing gear 조작 등으로 인한 소음은 주로 기체소음이므로 소음저감 효과가 적다. 착륙절차는 활주로에 가까워질수록 고도와 속도가 낮아지기 때문에 안전을 가장 우선적으로 고려해야 한다. 따라서 ICAO 규정에는 out marker 또는 활주로 시단(runway threshold)으로부터 5 nm이 되는 지점을 통과한 후에는 최종 착륙 절차 이외의 어떤 요구사항도 추가로 적용할 수 없도록 운용제한 규정이 정해져 있다.<sup>15)</sup>

착륙과정에서 최소한의 소음감소를 위하여 사용이 가능한 절차는 FAF(최종접근지점 Final Approach Fix, FAP(final approach point))의 고도 상승,<sup>15,16)</sup> 감소된 동

력(reduced power)과 항력(reduced drag)으로 연속강하접근(continuous descent approach),<sup>17,18,19)</sup> 고각도 착륙(application of increased (3.5°) glide angle),<sup>20,21)</sup> 플랩 각도 감소(reduced flap on final approach),<sup>22)</sup> 최종플랩 조작(delayed flap on final approach),<sup>23)</sup> 활주로 시단 이설 착륙(dual landing threshold)<sup>24,25)</sup>방법 등이 있다.

항공기가 운항하면서 발생하는 소음을 감소시킬 수 있는 절차는 안전을 고려한 검증된 절차이어야 한다. 소음감소를 위한 운항절차를 시행하려면 주변지역 주민의 의견과 공항과 주거지역의 상황, 운항항공기의 성능, 조종사의 훈련과정, 관제능력 등을 고려하여야 한다.

## 2) Gate와 Corridor 설정을 통한 소음저감

### (1) 분산과 소음

항공기의 이륙과 착륙과정에서 속도와 고도는 레이더 자료로 확인한다. Fig. 2.19는 A330기종의 착륙(a)과 이륙(b)과정의 거리별 속도와 고도를 나타낸 것이다. 착륙을 위하여 활주로 접근은 지면에 대해 3° 진입을 위하여 약 8 km 부근에서 160 knot의 속도로 진입하고 속도를 줄이면서 하강한다.(Fig. 2.19(a)) 이러한 착륙과정의 모든 항공기는 계기착륙장치에 의존하여 활주로 위의 착지점에 직선으로 진입하기 때문에 분산정도가 비교적 적다.

이륙과정(Fig. 2.19(b))는 7 km까지는 150 knots 이상으로 이륙 상승하지만 8 km 이후부터는 가속하고 200 knots 이상 속도로 상승한다. 이륙대기지점에서 출발한 항공기는 이륙 후 추풍 등의 영향으로 통과 단면의 분산정도가 넓어지는 경향이 있다.

Fig. 2.20(a)는 활주로 도착 4 km 전에 위치한 지점에서의 착륙 항공기 분산을 표시한 Gate 그림이다. Fig. 2.20(b)는 동일한 지점에서 이륙 항공기의 분산을 표시한 것이다. 2005년 1월 1일 약 10시간 동안 이 Gate를 통과한 A300기종의 착륙과정을 보면(Fig. 2.20(a)), 수평고도는 거의 직선이고 좌우 분산은 ±20 m 범위 내에서 진입한다. A300기종의 이륙 시에 gate를 통과하는(Fig. 2.20(b)) 이륙고도는 ±500 ft (152m), 좌우분산은 ±200 m의 범위로 통과함을 볼 수 있다.

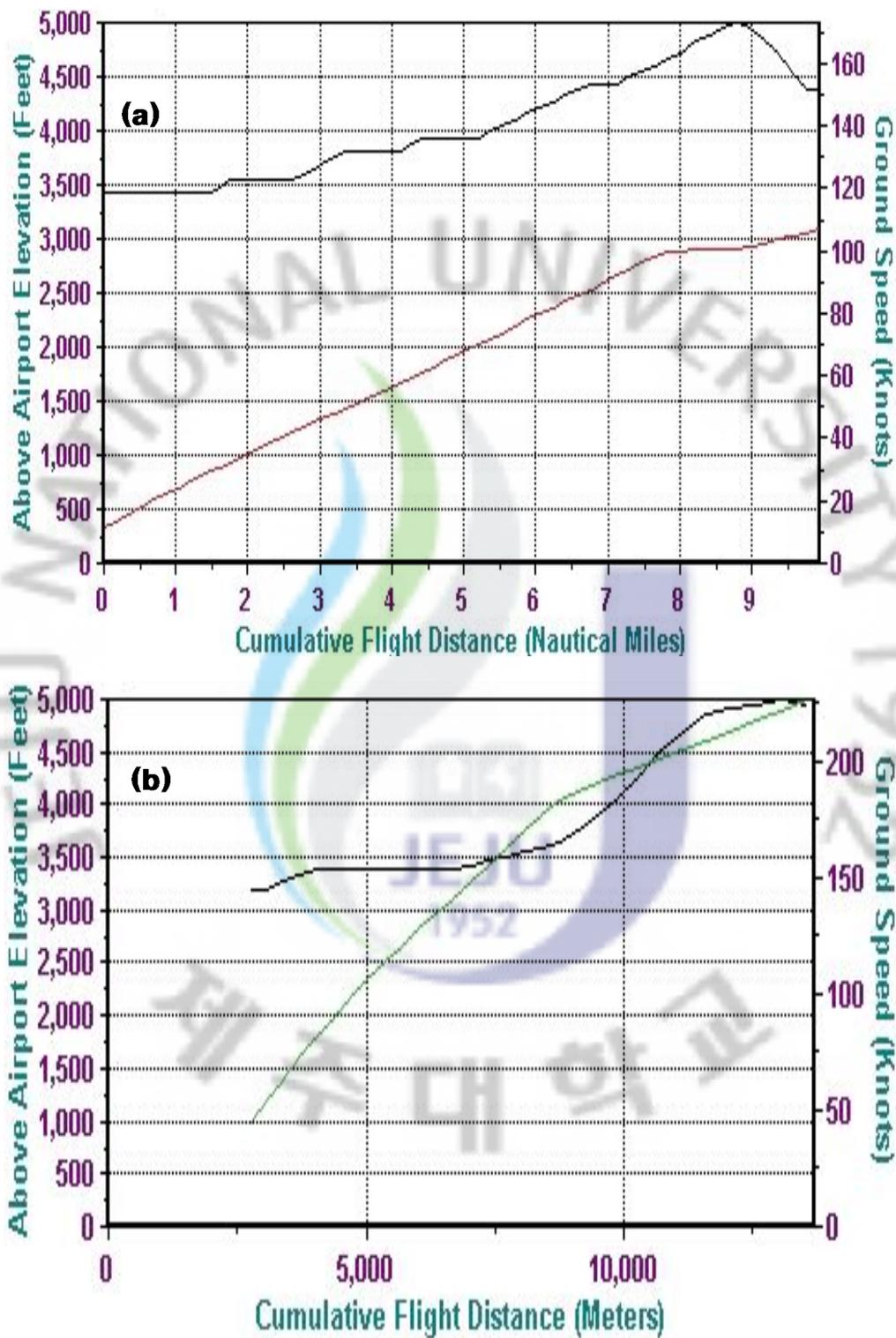


Fig. 2.19. The altitude and Speed of A330 aircraft during arrival (a) and departure (b).

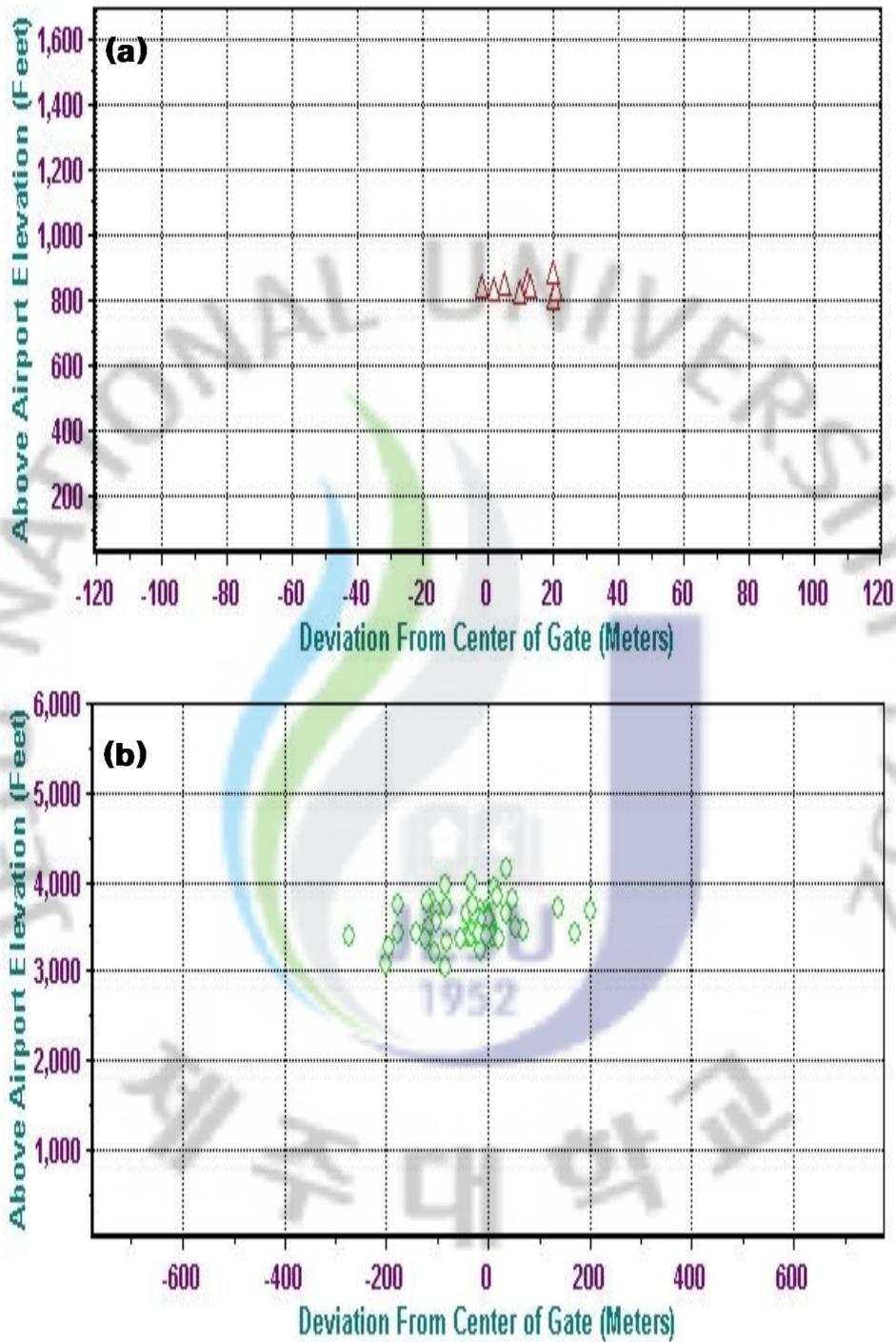


Fig. 2.20. The distribution of passing point at gate during arrival (a) and departure (b).

항공기가 항로방향의 좌우 방향으로 분산 정도가 넓어질수록 소음피해지역의 여러 지점 위를 통과하게 된다. 주민들 입장에서는 갑자기 자신의 머리 위로 항공기가 통과하는 것을 인지하므로 항공기 소음도 크게 느끼게 되어 피해를 호소하게 된다. 따라서 항공기의 항로를 어느 범위 이내로 좁혀 운항토록 하여 주민들이 인지하며 느끼는 체감 소음을 감소시키는 것이 중요하다. 항공기 운항을 정해진 항로 범위내로 유지시키면 민원발생 만큼은 주변지역으로 확산되지 않을 것이다. 이러한 기준은 최저 통과고도이상 항공기가 통과하도록 기준을 수립하여 시행한다면 소음은 감소하게 된다. 다만 항공기소음은 SD가 가까울수록 소음이 크지만 운항 상태에 따라 소음이 작을 수도 있다. Fig. 2.21는 활주로 끝단으로부터 3 km 지점을 통과하는 A321기종의 통과고도를 나타낸 것이다. AAR8900편의 소음도는 61.5 dB(A)이었지만 이보다 높은 고도를 통과한 AAR8920편의 소음도는 70.4 dB(A)로 오히려 높게 나타났다. Fig. 2.21의 항적자료 측정지점은 항공기가 상승속도를 유지할 수 있는 지점이므로 엔진추력과 상승각도를 다양하게 활용할 수 있어 항공기 소음은 통과고도에 의한 SD 거리와 소음도가 비례하지 않을 수도 있다.

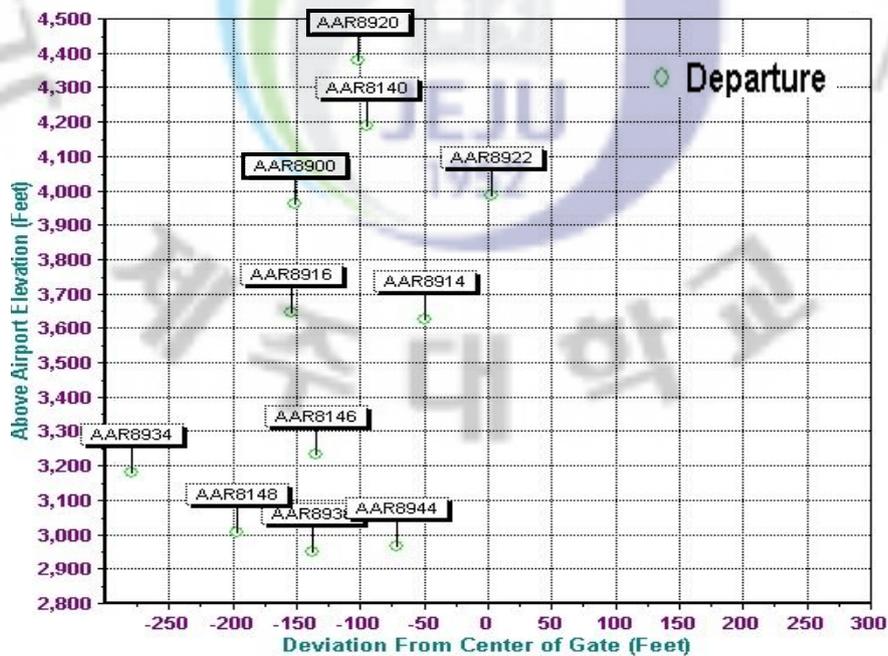


Fig. 2.21. The plot of altitude and deviation from runway centerline at gate of 3 km from the end of runway.<sup>26)</sup>

## (2) 소음저감 Corridor 설정

공항주변에는 장애물 제한표면(obstacle limitation surface)이라는 안전구역을 설정하고 있다. 항공기가 안전하게 활주로에 진입하고 빠져나가기 위하여 설정한 제한구역은 수평표면(horizontal surface), 진입표면(approach surface), 전이표면(transitional surface)가 있다.

공항에서는 공항주변의 주거지역의 소음감소를 목적으로 항공기가 진입하고 빠져나가는 지점과 높이를 Corridor로 설정하여 항공기를 운항시키고 있다. 항공기의 좌우 분산을 방지하기 위하여 항공기 항로의 좌우 폭을 설정한 것은 Gate이고 Gate 간의 끝 지점을 연결한 것이 corridor이다. 현재 일본의 나리타와 호주의 시드니 공항에서 이 제도를 시행하고 있다.

항공기는 풍향, 풍속 기온 등 변하는 외부 기상조건에 따른 운항의 lateral navigation과 vertical navigation의 문제를 해결하기 위하여 비행관리장치(FMS : Flight Management System)를 장착하고 있기 때문에 고의가 아니면 설정된 corridor를 이탈하지 않는다. 착륙 corridor는 비행항로 방향으로 활주로 착지점을 중심으로 좁혀지고 이륙 corridor는 항로거리 방향으로 넓어지도록 설정되어 있다.

나리타 공항의 경우(Fig. 2.22)를 보면, 활주로 끝 부근부터 중심선에서  $\pm 320$  m로 폭에서 각도  $6.4^\circ$ 로 길이 17 km로 설정하고 있는데, 설정기준은 공항 레이더자료를 바탕으로 한 항공기 운항실적을 통계로 적용하였기 때문에 비교적 넓게 설정되어 있다.

호주 시드니 공항에서는 corridor는 이륙과 착륙으로 구분하고 있다 (Fig. 2.23). 착륙은 활주로 중심선에서  $\pm 150$  m이고  $2.4^\circ$ 의 각도로서 길이는 왼쪽 활주로는 FAF 4.1 nm이고 오른쪽 활주로는 FAF 4.7 nm이다. 이륙용 corridor는 직선의 형태가 아닌 형태로 나리타 공항 corridor와 같이 좌우측 끝 지점은 좌표로 설정하고 있다.

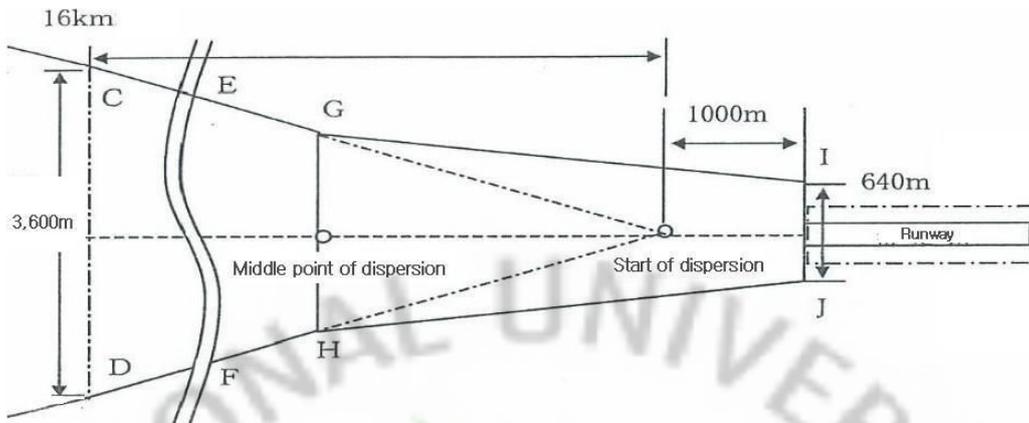


Fig. 2.22. Corridor of Narita Airport in Japan.<sup>27)</sup>

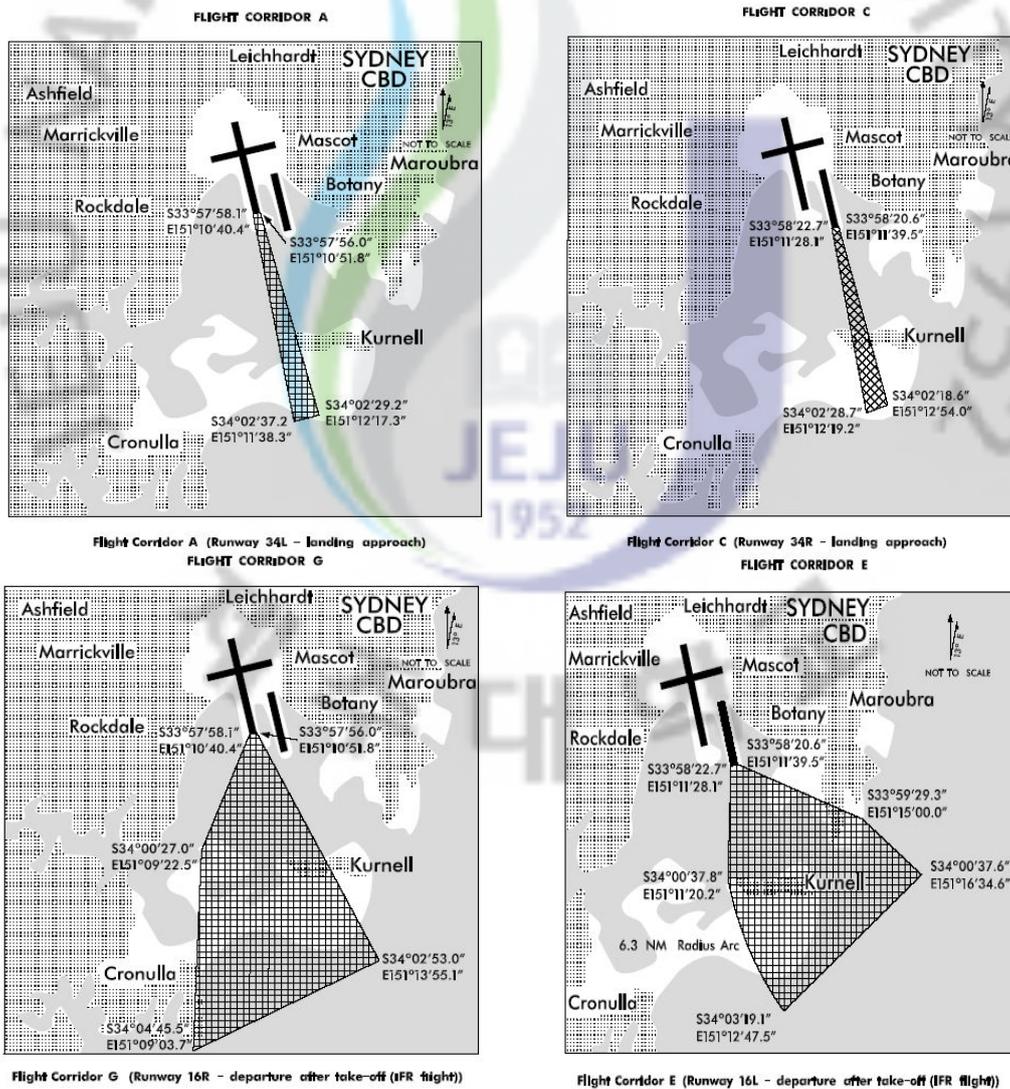


Fig. 2.23. Corridor of Sydney Airport in Australia.<sup>27)</sup>

나리타와 시드니 공항에서 설정된 Corridor를 우리나라에 직접 도입하기에는 검토할 사항이 많다. 나리타 공항과 시드니 공항의 corridor는 실제 운항한 항공기 항적을 기준으로 설정하였기 때문에 소음저감을 목적으로 범위가 설정되었다고 볼 수 없다. 그리고 설정기준(범위)에 대한 공인된 기준이 없어 corridor는 계기비행로 보호구역의 절반 정도로 설정되었기 때문에 주거지역이 밀집된 우리나라의 공항에서는 충분하다고 볼 수 없다.

항공기에 장착된 비행관리장치는 설정된 corridor의 통과지점 좌표를 FMS에 의하여 자동으로 통과할 수 있기 때문에 corridor의 소음저감 운항절차는 다른 저소음 운항절차보다 쉽게 시행할 수 있다. 다만 corridor의 폭 설정에 대한 추가적인 연구가 없기 때문에 좁은 corridor 설정 시 비행안전에 어떠한 위험성이 존재하는지 추가 검토가 필요하다.

소음저감을 목적으로 corridor를 설정하려면 가급적 좁게 유지해서 항공기 통과 항적의 분산을 줄여야 할 것이다. 이에 대해서는 조종사, 관제사, 항공사 및 소음지역 주민들과 충분한 논의가 추가적으로 있어야 한다.

### Ⅲ. 연구 방법

#### 1. 연구 대상 지역

본 연구에서 항공기 소음의 측정 및 평가를 위한 각종 수단들의 특성을 비교 분석하고 공항주변 소음피해지역내 특정 지점에 대한 항공기 이착륙 소음도를 추정할 수 있는 경험식을 제시하기 위해 사용된 항공기 소음 측정자료는 기본적으로 제주 국제공항에서 얻어졌다.

Fig. 3.1에서 보는 바와 같이 제주국제공항은 제주도의 북측 해안변에 위치하는데, 행정구역상으로는 제주시 용담2동에 위치하며, 동경 126°28', 북위 33°29'에 걸쳐 자리 잡고 있으며, 북쪽으로 제주 해안과 서쪽으로 외도천과 동쪽으로 한천 등 각 수계와 남쪽으로 신제주 및 저산성 구릉지에 자연취락이 형성되어 있다.

제주국제공항은 항공기가 연간 143,000 회 운항이 가능한 동서방향과 남북방향의 활주로가 교차하고 있다. 동서방향의 활주로(06-24 방향 활주로)는 길이 3,000m, 폭45m로 동쪽은 60° 방향, 서쪽은 240° 방향으로 위치하고 있고, 남북방향의 활주로(13-31 방향 활주로)는 남쪽은 130° 방향, 북쪽은 310° 방향으로 길이 1,910m, 폭 45m로 포장되어 있다.

그 외에 본 연구의 수행과정에서 특정한 소음을 분석하기 위해서 활용한 군용항공기에 관한 소음 측정 자료는 강원도 횡성에 위치한 군용비행장 Camp Eagle에서 얻어졌다. 군용비행장인 Camp Eagle의 활주로는 길이 2,743 m, 폭 46 m이고 한국 공군의 F-5E, A37 기종 이외에 OH-6 헬리콥터와 B737-500 기종인 민간항공기가 운항하고 있다.

#### 2. 항공기 소음측정 자료

##### 1) 측정기기

항공기 소음을 측정함에 있어서는 한국산업규격인 KSC 1505규격 및 미국국가규

격한 ANSI S1.4-1983규정에 의한 Type 1 정밀 소음측정기를 사용하였는데, Lochard사가 제작한 EMU 1200 모델이며, 항공기소음의 측정에 있어서 소음계의 동특성은 slow mode, 주파수 보정은 A 특성으로 측정하였으며, 측정 시 바람으로 인해 발생하는 외부 소음을 피하기 위해 windscreen을 사용하였다. 본 연구에서는 항공기 소음 측정은 환경오염공정시험기준에 적합하게 측정하였다.

## 2) 측정 지점 및 시기

제주국제공항 주변에서의 항공기 소음 측정지점의 위치에 관해서는 Fig. 3.1에 나타냈으며, 각 측정점에 관한 자세한 사항은 Table 3.1에 정리하여 제시하였다.

제주국제공항 주변에는 항공기 소음을 장시간에 걸쳐 연속적으로 자동으로 측정하는 고정측정지점이 총 6 곳에 설치되어 있으며, 이에 대한 위치는 Fig. 3.1에 RMT로 표기되어 있다. 그리고 제주국제공항을 왕래하는 항공기의 이착륙 소음도를 추정하기 위한 경험식을 유도할 목적으로 고정 측정점 이외의 지점에서 항공기 소음을 추가로 측정하였는데 이 경우에는 항로 방향에 직각인 지점에 소음 측정기를 설치하여 항공기 소음을 측정하였다. 이들 지점은 Fig. 3.1에 NP로 표시하였다.

제주국제공항은 주로 동서 활주로에서 일일 약 250편 이상의 항공기 운항이 이루어지고 있다. 항공기 소음을 측정할 자료 중에서 24방향 이륙과 06방향 착륙에 대한 거리별 소음도를 비교하기 위하여 16개 지점(RMT 3곳, NP 13곳)에서 측정된 자료를 사용하였다.

항공기는 활주로의 이륙대기지점 (SOR : start of roll)을 출발하여 활주로 진행 방향을 따라서 활주로 연장선 지점들을 통과하면서 비행하게 된다. 그림에서 24 방향으로 이륙하는 항공기 또는 공항 활주로 06 방향으로 진입하는 착륙과정의 소음도를 각 측정 지점에서 측정하였다.

Fig. 3.1에 표기된 측정점 이외에도 4곳의 측정점이 있는데, 이는 실제 민원이 제기된 곳에서의 측정을 실시한 것으로 측정 시기는 2004년 12월 12일~12월 31일, 그리고 2005년에 2월 17일~3월 22일, 4월 3일~6월 12일, 8월 31일~9월 29일 동안이었다. 이 자료는 본 연구의 항공기 이착륙 소음도 추정식의 검증에 활용하였다.

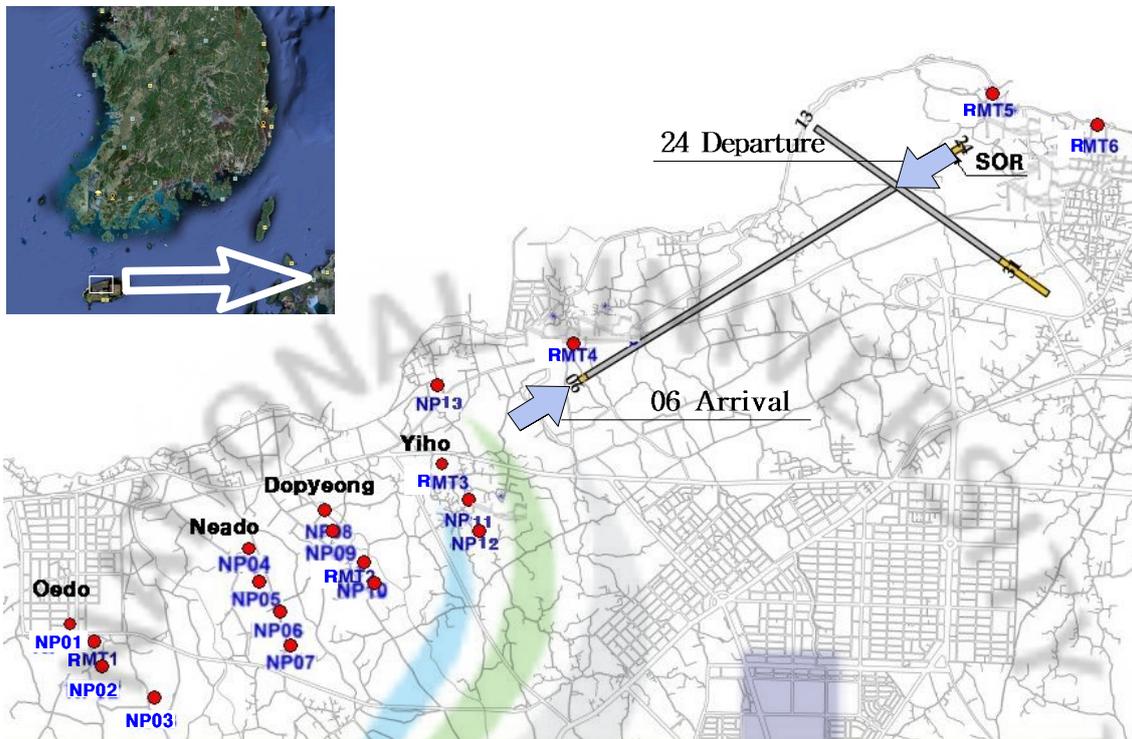


Fig. 3.1. Measurement points of aircraft noise around Jeju international airport(RMT : stationary monitoring station, NP : temporary measurement site).

Table 3.1에서 항로 거리(route)는 활주로의 이륙대기지점에서 24 방향 활주로의 진행 방향으로의 거리이며 만일 이 거리가 - 값이면 SOR 지점에서 24 방향 활주로 진행 방향과 반대되는 방향의 거리를 의미하게 된다. 그리고 수평 거리(horizontal)는 항로 중심선에서 측정 지점까지의 최단 거리를 말하는데 + 거리는 24 방향 활주로 진행방향의 우측으로의 거리이고, - 거리는 24 방향 활주로 진행방향의 좌측으로의 거리를 의미한다.

Table 3.1에서 보는 바와 같이 제주국제공항의 고정 측정점에서 얻어진 자료는 2004년 한 해 동안 측정된 자료를 사용하였으며, 추가 측정점에서는 2004년 11월 18일에서 12월 2일 사이에 각 측정점에서 5 일간씩 측정을 실시하였다.

Table 3.1. Location of measurement points of aircraft noise<sup>28)</sup>

Classification		above mean sea level (m)	distance (m)		measurement period	remark
			horizontal to route	route from SOR		
Stationary monitoring station	RMT1	39	170	6,880	2004 annual data	
	RMT2	33	-212	5,078	2004 annual data	
	RMT3	26	8	4,178	2004 annual data	
Temporary measurement site	NP01	33	412	7,030	'04.11.22~11.28	
	NP02	50	42	6,987	'04.11.23~11.27	on route centerline
	NP03	55	-294	6,770	'04.11.23~11.27	
	NP04	15	206	5,642	'04.11.18~11.22	
	NP05	26	8	5,702	'04.11.18~11.22	on route centerline
	NP06	31	-275	5,815	'04.11.18~11.22	
	NP07	38	-496	5,754	'04.11.18~11.22	
	NP08	22	145	5,067	'04.11.28~12.02	
	NP09	27	-20	5,116	'04.11.28~12.02	on route centerline
	NP10	38	-310	5,058	'04.11.28~12.02	
	NP11	38	-303	4,153	'04.11.23~11.27	
	NP12	41	-451	4,193	'04.11.23~11.27	
	NP13	7	497	3,900	'04.11.18~11.22	

### 3) 소음측정자료 분석

항공기 소음측정 자료는 환경오염공정시험방법에 따라서 계산하여 항공기 소음도를 계산하였으며 대상소음인 항공기 소음에 대한 외부의 영향이 확인된 소음 측정자료는 제외하였다. 소음 측정 자료들은 마이크로소프트사의 엑셀프로그램과 SPSS를 사용하여 분석하고 정리하였다.

### 3. 항적자료 분석

공항주변 지역에서 항공기 소음을 직접 측정하지 않고 항공기 이착륙 소음도를 예상할 수 있는 경험식을 제시하기 위해서는 우선 항공기가 통과하는 위치를 정확하게 파악하여야 한다. 공항에서 항공기를 관제함에 있어서 레이더에서 제공되는 통과지점 좌표 등의 정보와 각종 이착륙 안전시설을 이용하여 항공기는 활주로에 진입하고 이륙한 항공기는 항로를 향해 상승하여 이동한다.

항공기의 통과지점은 활주로에서의 거리가 멀어질수록 고도와 좌우 편차가 발생하고, 통상 착륙에 비하여 이륙과정에서는 편차가 크게 발생한다. 착륙하는 항공기는 강하속도를 유지하고 지정된 지점에 착지하므로 활주로 중심선 방향과 거의 일치하는 코스로 통과한다. 하지만 이륙항공기는 안전한 이륙속도를 확보하면 활주로에서 상승하므로 활주로에서 이탈하는 지점은 일정하지 않다.

이륙하는 항공기가 통과할 수 있는 항로의 폭은 안전을 고려하여 상당히 넓으므로 레이더에서 제공되는 좌표를 이용하여 항공기가 이동하는 지점을 파악한다. 본 연구에서는 레이더에서 제공되는 절대좌표를 그대로 사용하지 않고, 항공기 이동 경로 상에 가상의 gate를 설치하여 gate를 중심으로 상대좌표로 변환시켜 사용했다.

이륙하는 항공기가 통과한 gate는 활주로 끝단에서 1 km, 4 km, 7 km, 9 km 지점(24방향 SOR 기준으로는 4 km, 7 km, 10 km, 12 km)이었고 착륙하는 항공기가 통과한 gate는 도착 활주로 2 km, 3 km, 5 km, 8 km 전 지점이었다. 항공기가 허용된 항로 범위를 벗어나서 운항하는지 확인할 수 있으며 활주로에서 일정거리별로 설정한 gate의 통과지점을 연결하면 항공기의 통과 위치를 표시할 수 있으므로 좌표화시켜 해당공항에서 항공기의 이동경로를 파악할 수 있다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 항공기 소음측정값에 대한 영향인자

항공기 소음은 측정자에 의하여 객관적으로 측정될 수 있어야 한다. 그러나 환경 오염공정시험방법에 따라  $L_{max}$ 에 의한 항공기 소음도를 산출함에 있어서 고려해야 할 영향인자에 대하여 검토하고자 한다.

#### 1) 배경음의 변동에 의한 영향

항공기 소음 자동측정장비가 설치된 지점의 인근에서 발생하는 생활소음은 통상적으로 24시간 동안 일정할 수가 없다. 차량소음이 배제되면  $Leq$  30dB(A) 수준을 보이기도 하지만 차량 왕래 등 일상생활이 시작되면  $Leq$ 는 50~65dB(A)를 초과하는 일이 빈번하게 나타난다.<sup>29)</sup> Fig. 4.1에는 제주국제공항 인근의 두 측정지점에서 시간대별 배경소음의  $Leq$ 를 나타냈다. 그림에서 배경소음의 실제적인 의미는 소음 측정장비에서 설정된 Threshold 소음도 이하인 소음의 1시간 평균 소음이라는 의미이다. RMT 1 측정점(# 1)은 제주국제공항 주변지역에서 06방향 활주로 착륙 전 약 3.9km 지점에 위치하고 있고, RMT 3 측정점(# 3)은 동일 활주로 방향 착륙 전 약 1.1 km 지점에 위치한다. RMT 1 측정점 주변은 농촌지역으로 왕복 4차선 도로가 인접해 있지만 통행량이 적고, RMT 3 측정점은 교통량이 많은 왕복 4차선 도로에 인접하고 있는 곳이다. 두 지점의 1시간 평균 배경소음 차이는 약 5~10 dB(A) 정도이지만 1 시간 (3,600 초) 동안의 배경소음도 변화는 더 클 것이다. 두 지점에서 배경소음의 차이만큼 항공기 소음의 지속시간은 다르게 측정되므로 배경소음의 증감을 고려하여 항공기 소음의 지속시간을 측정한다.

Fig. 4.2는 제주국제공항의 RMT 4 측정점에서 측정된 생활소음의 기록상황이다. 그림에서 맨 위의 8시 23분 37초부터 시작된 소음은 RMT 4에서  $L_{max}$ 는 73.7 dB(A)이고 8시 24분 20초에 최고 소음도가 기록되었다. 여기서 지속시간은 장비의 threshold 설정시간이 70초이고 Audio file은 428543, 소음의 Event 번호는 509822, 풍속은 1 m/s, 풍향은 90°가 기록되었다. 이러한 RMT 4 측정점에서 기록된 생활소

음은 audio file에서 확인한 결과 매미 소리였으며 소음이 기록된 이 시간대에서는 항공기가 이동하지 않았으므로 이 소리는 배경소음으로 분리해야 한다. 통상 배경소음의 음원이 대상소음인 항공기 소음과 거의 비슷할 정도로 나타나는 지점에서는 항공기 소음을 측정하지 않는 것이 원칙이지만 측정기 설치 지점의 주위여건은 항상 변동될 수 있기 때문에 배경소음의 증가를 고려하여 측정기를 수시로 이동시켜서 측정할 수는 없다.

또한 제주국제공항에서는 바람에 의한 음압상승이 빈번하게 발생하고 있어 이것이 배경소음 변동의 원인으로 나타난다. Fig. 4.3은 제주국제공항 주변의 측정점에서 B737 기종의 항공기 착륙에 따른 소음도의 변동을 나타낸 것이다. Fig. 4.3에서 보듯이 동일 기종의 두 항공기 착륙소음의  $L_{max}$ 는 85.1 dB(A)로 동일하게 나타났지만 배경음에서는 차이가 뚜렷하게 나타나고 있다. 이 경우 배경음의 상승은 바람 소리로 판명되었다. KE1903편이 착륙할 당시에 비해 KE1019편 항공기가 착륙할 시기에 배경음의 수준이 15 dB(A)이상 상승한 것을 알 수 있다. 따라서 KE1903편 항공기가 착륙할 경우에 Threshold 50 dB(A) 이상인 음에 대해 지속시간을 보정하면  $L_{max}$ 는 4.6 dB(A) 정도 증가하게 된다. 그렇지만 KE1019편 항공기가 착륙하는 경우에 대해서 배경음을 고려하지 않고 KE1903편의 경우처럼 Threshold 50 dB(A) 이상의 음에 대한 지속시간 보정을 하게 되면 완전히 다른 결과를 보이게 된다. 바람은 매순간 변동될 수 있기 때문에 항공기 소음을 측정함에 있어서 모든 측정 장비의 측정상태를 매 순간 파악하여 그에 대응한 threshold 소음도를 매번 바꿔 설정할 수는 없는 일이다.

Fig. 4.3에서 이미 언급한 바와 같이 바람의 영향으로 인한 배경음의 수준이 상승하게 되면 대상음(항공기 소음)의 피크레벨은 동일하더라도 threshold를 어떻게 설정하는가에 따라서 항공기 소음의 지속시간이 다르게 적용된다. Table 4.1에서 배경음의 수준이 상승함에 따라 항공기의 착륙소음이 어떻게 산출되는지를 측정단위별로 비교한 것이다. Fig. 4.3의 상황에 대해서 배경음이 낮을 때와 높았을 때에 착륙한 각각의 항공기 소음을 threshold 소음도를 60 dB(A)로 설정하여 측정해서(비록 두 항공기의  $L_{max}$ 는 85.1 dB(A)로 동일하지만)  $\overline{L_{max}}$ 를 산출하게 되면 지속시간의 보정에서 31초와 150초로 큰 차이를 보여 항공기 소음은 87 dB(A)와 93.9 dB(A)로 각

각 산출된다. 이처럼 측정단위  $L_{max}$ 에서는 배경음의 변동과 관련된 threshold 설정에 따른 지속시간 차이에 대한 영향을 크게 받음을 알 수 있다.

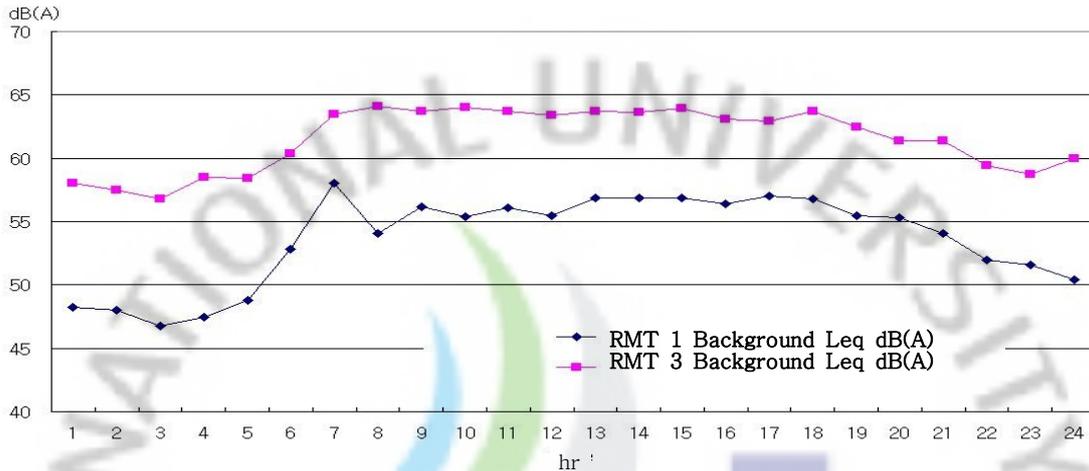


Fig. 4.1. 24-hr time history of Leq measured at RMT 1 and RMT 3 sites near Jeju International Airport.

Start Date/Time	Corr ID	L...	SEL	Max	Max Date/Time	D.	C	Audio	Event #	W	Wi...
15/08/2004 8:23:37 AM	0	4	89.4	73.7	15/08/2004 8:24:20 AM	70	5	428543	509822	1	90
15/08/2004 8:24:47 AM	0	4	87.6	73.0	15/08/2004 8:25:29 AM	60	5	428544	509823	1	90
15/08/2004 8:26:15 AM	0	4	85.7	73.7	15/08/2004 8:26:27 AM	24	5	428545	509824	1	90
15/08/2004 8:27:01 AM	0	4	85.1	73.1	15/08/2004 8:27:13 AM	25	5	428546	509825	1	90
15/08/2004 8:27:53 AM	0	4	85.0	73.0	15/08/2004 8:28:01 AM	24	5	428547	509826	1	90
15/08/2004 8:28:34 AM	215588	6	84.8	74.9	15/08/2004 8:28:42 AM	18	1	429569	510805	3	68
15/08/2004 8:28:40 AM	215588	5	85.2	76.4	15/08/2004 8:28:49 AM	18	1	429309	510551	3	68
15/08/2004 8:28:45 AM	215588	4	86.8	74.3	15/08/2004 8:29:21 AM	38	1	428548	509827	1	90
15/08/2004 8:30:09 AM	0	4	86.6	73.2	15/08/2004 8:30:18 AM	34	5	428549	509828	3	0
15/08/2004 8:30:54 AM	215385	4	90.4	82.1	15/08/2004 8:31:20 AM	34	1	428550	509829	1	90
15/08/2004 8:31:19 AM	215385	14	86.1	76.9	15/08/2004 8:31:30 AM	19	1	0	510998		
15/08/2004 8:31:25 AM	215385	3	92.8	86.0	15/08/2004 8:31:34 AM	14	1	427728	509634	1	90
15/08/2004 8:31:32 AM	215385	2	89.7	81.0	15/08/2004 8:31:45 AM	20	1	427605	509516	1	90
15/08/2004 8:31:43 AM	0	4	83.5	71.8	15/08/2004 8:31:52 AM	22	5	428551	509830	3	0
15/08/2004 8:31:57 AM	215385	1	85.1	75.4	15/08/2004 8:32:04 AM	17	1	427479	509395	1	90
15/08/2004 8:32:31 AM	0	4	83.8	70.6	15/08/2004 8:32:46 AM	32	5	428552	509831	1	90
15/08/2004 8:33:39 AM	0	4	86.4	74.0	15/08/2004 8:33:49 AM	31	5	428553	509832	1	90
15/08/2004 8:34:25 AM	0	4	84.8	72.5	15/08/2004 8:34:36 AM	27	5	428554	509833	1	90
15/08/2004 8:35:24 AM	0	4	84.9	72.5	15/08/2004 8:35:35 AM	28	5	428555	509834	1	90
15/08/2004 8:36:09 AM	0	4	84.0	71.6	15/08/2004 8:36:22 AM	26	5	428556	509835	1	90
15/08/2004 8:37:29 AM	215386	4	92.0	82.7	15/08/2004 8:38:06 AM	47	1	428557	509836	1	90
15/08/2004 8:38:04 AM	215386	14	87.4	77.7	15/08/2004 8:38:17 AM	22	1	0	510999		
15/08/2004 8:38:11 AM	215386	3	93.8	86.2	15/08/2004 8:38:18 AM	14	1	427729	509635	1	90
15/08/2004 8:38:18 AM	215386	2	90.1	80.2	15/08/2004 8:38:25 AM	19	1	427606	509517	1	90
15/08/2004 8:38:35 AM	0	4	83.9	72.7	15/08/2004 8:38:45 AM	23	5	428558	509837	1	90
15/08/2004 8:38:37 AM	215386	1	85.5	75.2	15/08/2004 8:38:51 AM	28	1	427480	509396	1	90
15/08/2004 8:39:11 AM	215589	6	84.0	74.6	15/08/2004 8:39:20 AM	15	1	429570	510806	3	68
15/08/2004 8:39:19 AM	215589	5	83.6	75.5	15/08/2004 8:39:29 AM	14	1	429310	510552	3	68
15/08/2004 8:40:02 AM	215589	4	84.9	72.6	15/08/2004 8:40:14 AM	26	4	428559	509838	4	0
15/08/2004 8:41:01 AM	0	4	84.1	72.1	15/08/2004 8:41:11 AM	25	5	428560	509839	1	90
15/08/2004 8:41:30 AM	215590	6	82.9	74.1	15/08/2004 8:41:38 AM	13	1	429571	510807	3	68
15/08/2004 8:41:35 AM	215590	5	82.7	75.2	15/08/2004 8:41:43 AM	15	1	429311	510553	3	68
15/08/2004 8:41:50 AM	215590	4	84.3	73.1	15/08/2004 8:42:06 AM	30	1	428561	509840	1	90
15/08/2004 8:42:43 AM	0	4	84.5	72.6	15/08/2004 8:42:52 AM	25	5	428562	509841	4	0
15/08/2004 8:43:40 AM	0	4	84.8	72.2	15/08/2004 8:43:49 AM	30	5	428563	509842	1	90
15/08/2004 8:44:48 AM	0	4	85.0	72.7	15/08/2004 8:44:57 AM	25	5	428564	509843	1	90

Operations List [Start Date/Time: 15/08/2004 12:00:00 AM; Period: 1440 minutes; Count: 246]							
Actual Date/Time	Corr ID	Flight #	Tail #	AC Type	A/D	Runway	Path
15/08/2004 8:41:54 AM	215590				A	24	
15/08/2004 8:45:27 AM	215591				A	24	

Fig. 4.2. One example for list of noise events recorded on data acquisition system.

측정단위  $L_{eq}$ 는 전체 지속시간이 길어지면 에너지 등가에 의해서 소음도는 낮아지는 경향을 보이게 된다. 그리고 측정단위 SEL는 기본적으로  $L_{max}$ 에서 10 dB(A) 아래의 값을 의미하는 것이지만 현재와 같은 소음측정장비 운용방식에서 SEL을 적용한다면 지속시간 변동을 고려한 SEL을 적용해서  $L_{eq} + 10\text{Log}(\Delta t/1 \text{ sec})$ 을 산출해 보면 92.4 dB(A)와 91.7 dB(A)로 각각 산출되어 지속시간 변화에 따른 소음도 산출 결과값에 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다. SEL의 간편 정의인  $L_{max} - 10 \text{ dB(A)}$ 로 보면 91.1 dB(A)이므로 이 또한 지속시간을 고려했을 때와 비교해도 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

운항패턴이 비교적 일정한 민간 항공기에 비해 운항패턴이 아주 다양한 군용항공기에 대해 각각의 측정단위를 적용한 결과를 Fig. 4.4에 나타냈다. Fig. 4.4에서 보면 측정단위  $\overline{L}_{max}$ 와  $L_{eq}$ 의 경우에는 소음의 지속시간을 고려하여 소음도를 산정해 보면 지속시간의 차이에 따라 소음도의 차이가 비교적 큰 것으로 나타났다. 반면 SEL의 경우 특정한 threshold를 설정하여 항공기 소음을 지정하더라도 즉, 지속시간에 차이가 발생되어도, SEL로 표현된 소음도 값은 큰 차이를 보이지 않았다. Fig. 4.4의 (D)에서 보는 것처럼 항공기 소음과 배경음의 차이가 뚜렷하지 않고 대상소음의 파형이 완만한 경사를 지닌 곡선을 형성하게 되는 경우, 즉 배경소음도와  $L_{max}$ 와의 차이가 적은 경우에는 SEL 값도 threshold 설정수준에 어느 정도 영향을 받는 것을 알 수 있다.

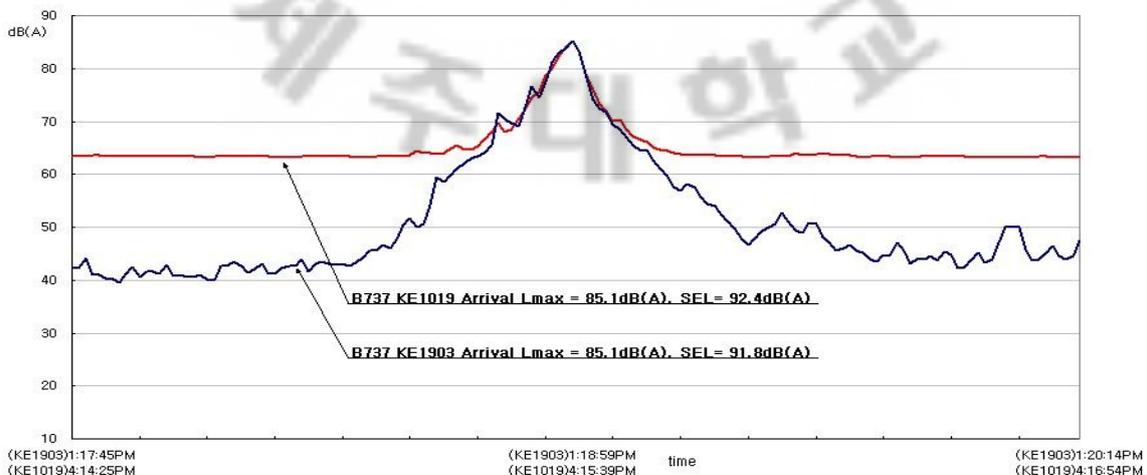


Fig. 4.3. The effect of wind on background noise.<sup>30)</sup>

Table 4.1. Lmax, Leq and SEL during arrival of B737

Classification		Threshold									
		total	>50 dB	>55 dB	>60 dB	>65 dB	>70 dB	>75 dB	>80 dB	>85 dB	L <sub>max</sub> -10 dB
KE1903 L <sub>max</sub> 85.1dB(A)	duration time (sec)	150	58	40	31	22	15	8	5	1	8
	Corrected L <sub>max</sub>	93.9	89.7	88.1	87.0	85.1					
	Leq	70.0	74.1	75.7	76.8	78.2	79.8	82.1	83.5	85.1	82.1
	SEL	91.8	91.7	91.7	91.7	91.7	91.5	91.1	90.4	85.1	91.1
KE1019 L <sub>max</sub> 85.1dB(A)	duration time (sec)	150	150	150	150	28	16	9	4	1	9
	Corrected L <sub>max</sub>	93.9	93.9	93.9	93.9	85.1					
	Leq	70.7	70.7	70.7	70.7	77.2	79.5	81.6	83.9	85.1	81.6
	SEL	92.4	92.4	92.4	92.4	91.7	91.5	91.1	89.9	85.1	91.1

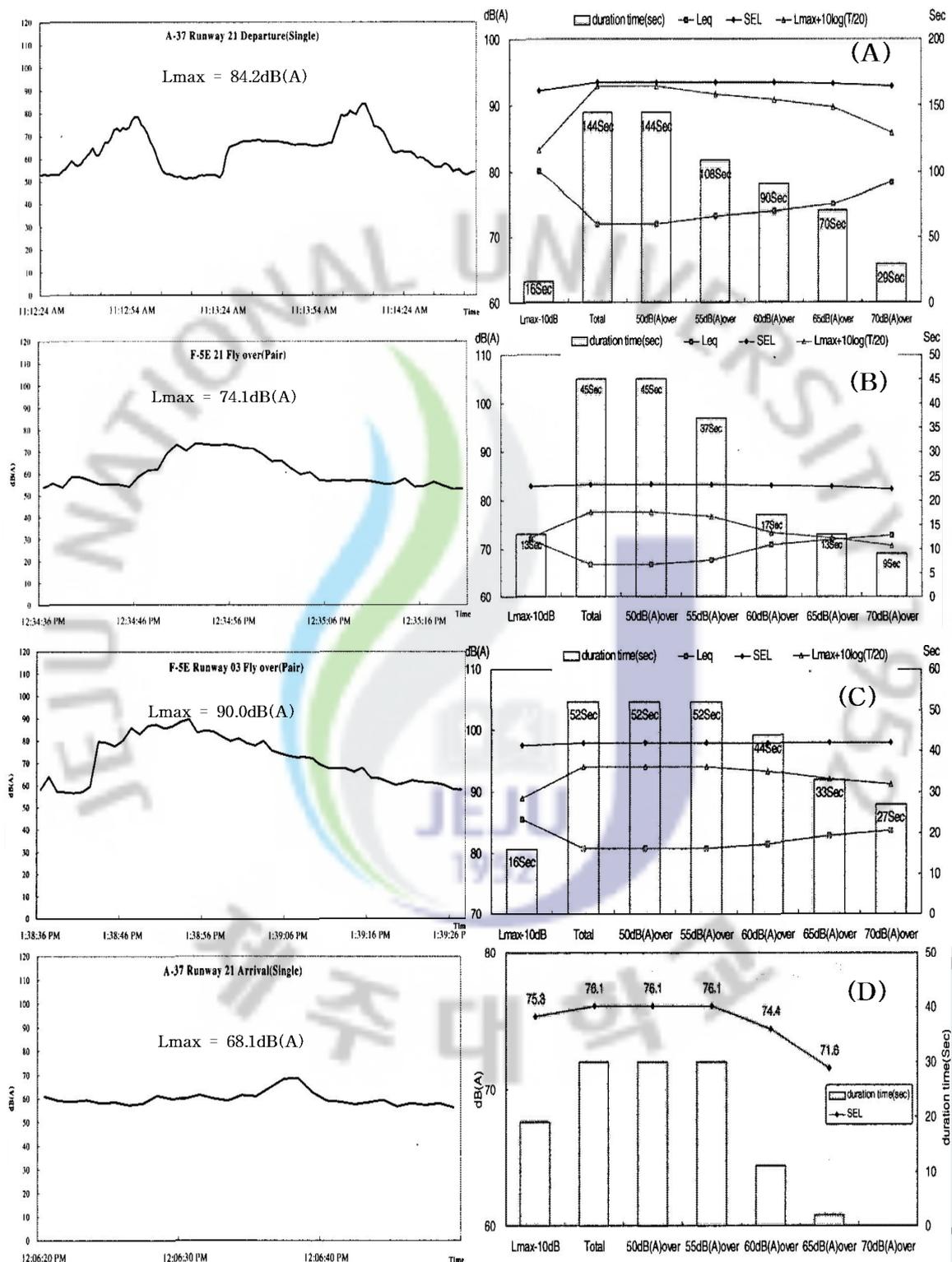


Fig. 4.4. Temporal sound fluctuations and evaluation of noise level by various sound descriptors.<sup>31)</sup>

## 2) 특이 소음의 혼입에 의한 영향

대상소음인 항공기 소음보다 더 높은 주변 소음이 측정될 수 있는 장소에서는 항공기 소음을 측정하지 않아야 하지만, 항공기 소음이 측정 기록된 자료를 살펴보면 특이소음이 포함되어 기록된 경우가 종종 나타나고 있다. Fig. 4.5는 A321기종의 항공기가 착륙하는 동안에 측정점 주변에서 발생된 충격음(공사소음)이 측정되어 기록된 경우를 보여주고 있다. 두 그림이 모두 A321 기종의 착륙소음인데  $L_{max}$ 가 77.7 dB(A)로 동일하게 측정되었다. 이런 경우에 77.7 dB(A)인  $L_{max}$ 에 지속시간을 보정하기 위해서 배경음보다 10 dB(A) 이상되는 소음수준을 설정할 수가 없다. Fig. 4.5에서 소음이 기록된 총 시간이 150초인데 이 150초를 모두 항공기 소음으로 분류한다면 지속시간 보정치는 8.8 dB(A)로써 지속시간이 보정된  $\overline{L_{max}}$ 는 86.5 dB(A)가 된다. 그렇지만 이 경우 항공기 소음의 지속시간이 150초는 분명히 아니다. Fig. 4.5와 같은 형태의 소음이 측정된 경우에는 특정한 소음을 배경소음으로 설정하고 그 보다 10 dB(A) 높은 소음도에서 threshold를 설정하여 지속시간을 측정하면 객관성이 없어진다. 이럴 경우 threshold 값을 임의로 지정하여 지속시간을 보정해보면 Table 4.2와 같다.

Fig. 4.6은 Fig. 4.5에서 특이 소음 부분만을 삭제하여 나타낸 그림이다. 그리고 Table 4.3은 Fig. 4.6에 주어진 소음기록에 대해서 측정장비의 threshold를 변화시키면서 그에 따른 지속시간을 보정하여 소음도를 산출한 결과를 나타낸 것이다.

Table 4.3에서 특이소음이 포함된 상태로 항공기 소음도를 선정하는 경우와 특이소음을 배제하고 항공기 소음도를 산정한 경우를 비교해 보면, 대상소음인 항공기 소음과는 무관한 음의 지속시간이 항공기 소음의 지속시간으로 포함되는 문제가 내재되어 있음을 알 수 있다. 다시 말해, Table 4.3에서 보듯이 동일한 threshold를 설정함에도 불구하고 특이소음을 제거하지 않았을 경우 지속시간이 길게 나타나게 될 것이다. 이 경우에도 SEL로 표현되는 소음도는 각각의 threshold 수준에 따른 어떤 뚜렷한 변동이 없이 거의 일정한 것을 알 수 있다.

Table 4.2. Corrected  $L_{max}$  based on Fig. 4.5.

Classification		>50 dB	>55 dB	>60 dB	>65 dB	>70 dB
Type A	Duration time (Sec)	79	51	30	21	10
	Corrected $L_{max}$	83.7	81.8	79.5	77.7	
Type B	Duration time (Sec)	69	45	37	23	10
	Corrected $L_{max}$	83.1	81.2	80.4	77.7	

Table 4.3. Variation of noise level due to the setting up the thresholds

Classification		total	>50 dB	>55 dB	>60 dB	>65 dB	>70 dB	$L_{max}-10$ dB
(A)	Duration time(Sec)	150	79	51	30	21	10	13
	Corrected $L_{max}$	86.5	83.7	81.8	79.5	77.7		
	SEL	<b>86.4</b>	86.4	86.4	<b>86.2</b>	86.1	85.5	85.7
(a)	Duration time(Sec)	106	53	41	27	20	10	13
	Corrected $L_{max}$	84.9	81.9	80.8	77.7			
	SEL	<b>86.3</b>	86.3	86.2	<b>86.2</b>	86.0	85.5	85.7
(B)	Duration time(Sec)	150	69	45	37	23	10	16
	Corrected $L_{max}$	86.5	83.1	81.2	80.4	77.7		
	SEL	<b>86.8</b>	86.8	86.8	<b>86.8</b>	86.5	86.7	86.2
(b)	Duration time(Sec)	108	55	38	31	21	9	15
	Corrected $L_{max}$	84.9	82.1	80.5	79.6	77.7		
	SEL	<b>86.4</b>	86.4	86.4	<b>86.4</b>	86.1	85.3	85.9

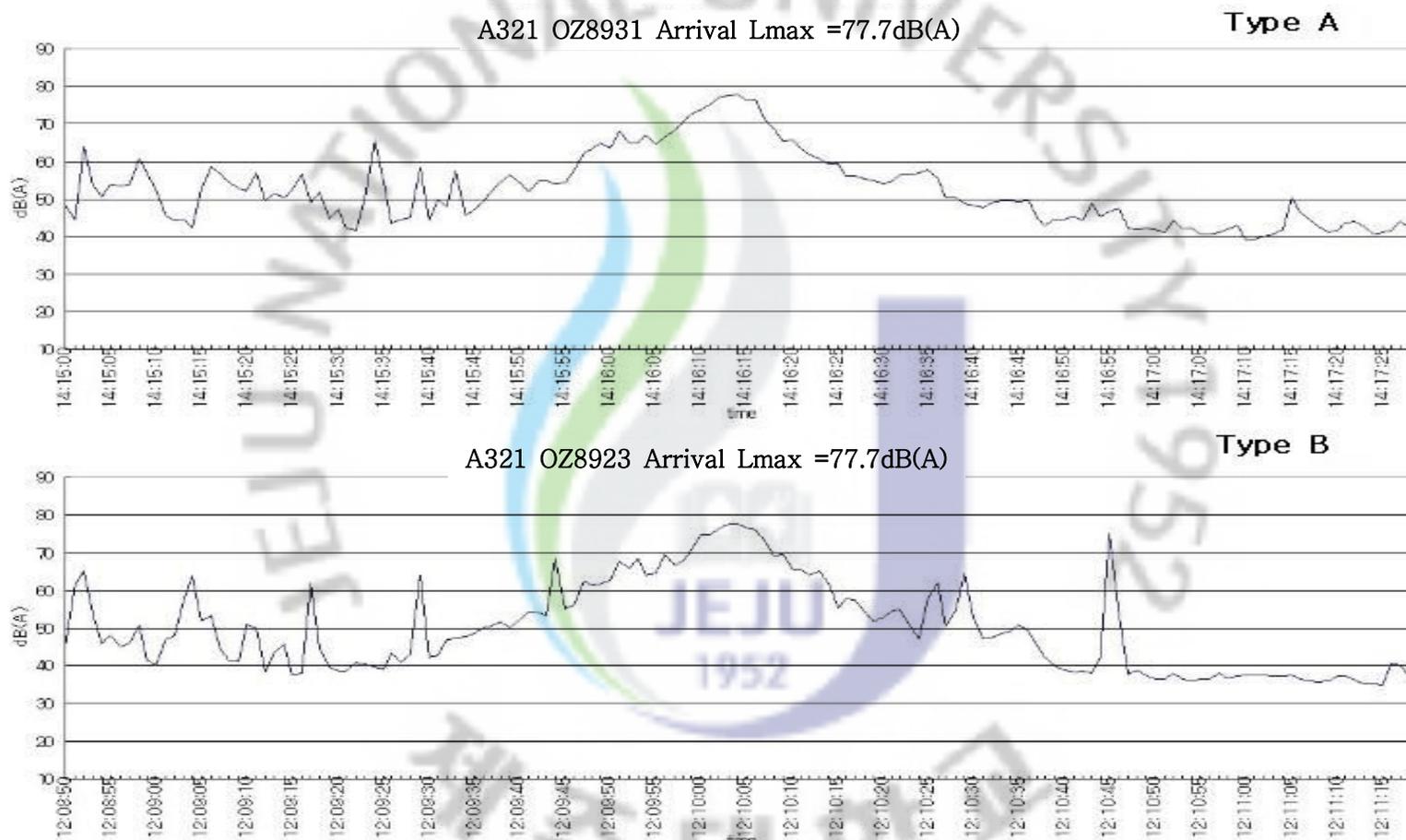


Fig. 4.5. One second time history of noise including impulsive noises.<sup>30)</sup>

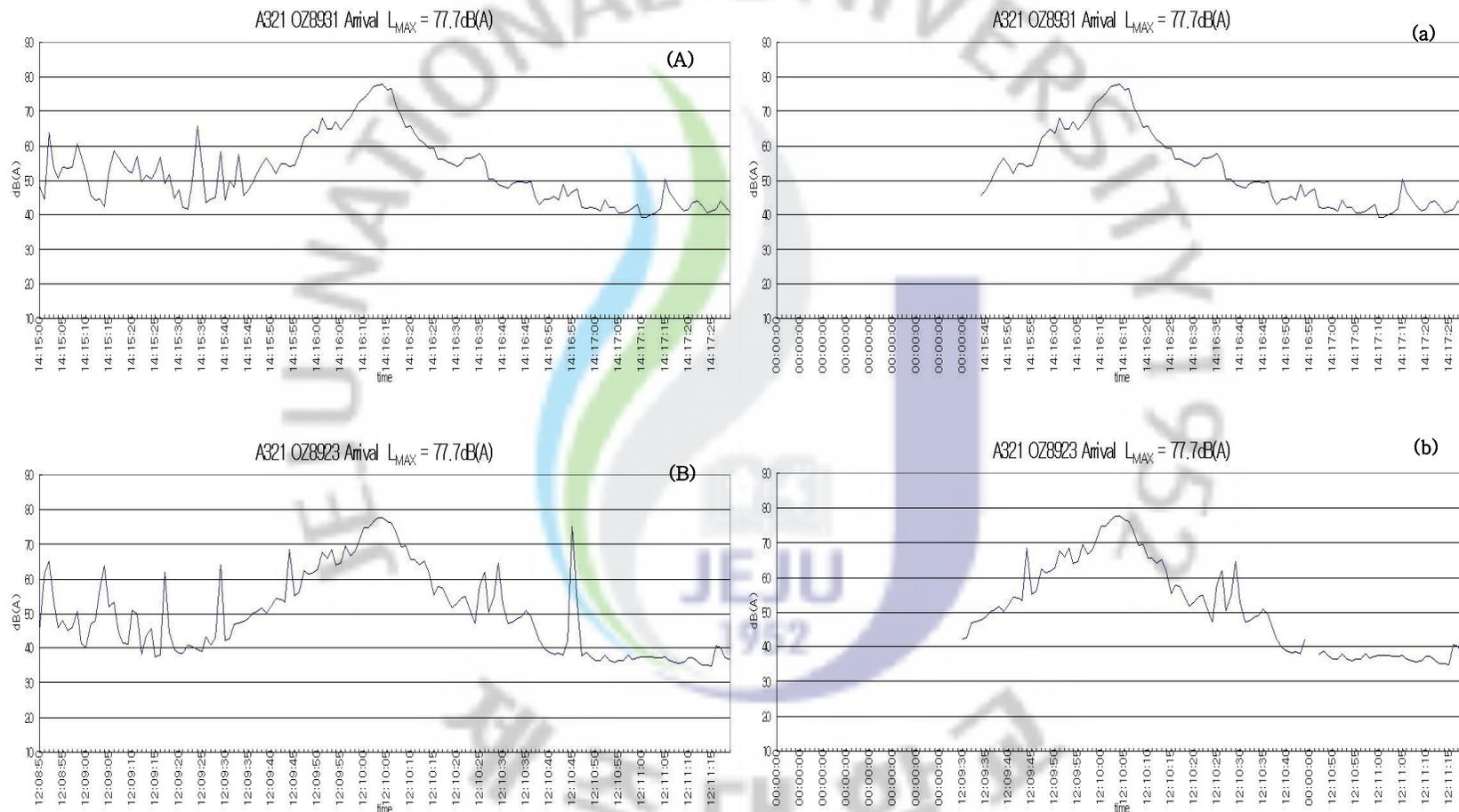


Fig. 4.6. Comparison of temporal sound fluctuation with or without impulsive noise.<sup>30)</sup>

### 3) 이중파형 소음의 영향

항공기 소음은 앞에서 살펴본 바와 같이 한 개의 상승과 한 개의 하강으로 이루어진 곡선 형태로만 발생하지 않는다. 특히 군용항공기의 경우 운항방식이 민간항공기와는 전혀 다른 형태인데 Fig. 4.7과 같은 형태의 소음도 곡선을 나타내게 된다. 즉, 파형 곡선에서 피크가 한개 이상 발생하면 다시 상승하는 곡선이 항공기 소음인지 여부를 구분하기가 곤란하게 된다. 두 개 이상 소음 피크가 발생하면 한대의 소음에 의한 것인지 몇 대의 항공기가 편대비행을 한 것인지도 판별해야 하기도 하지만 무엇보다 지속시간 보정을 위한 배경소음 수준을 찾는 것은 쉽지가 않다. Fig. 4.7은 군용항공기 소음으로 측정된 소음의 지속시간을 5 dB(A) 간격으로 계산하였지만 소음파형이 어디서부터 지속시간을 설정해야 할지 확실하게 찾을 수가 없다. Table 4.4에서 threshold 값의 설정에 따른 지속시간과  $\overline{L_{max}}$  값의 변화를 볼 수 있다.

이중 피크를 지닌 소음 그래프는 군용항공기 뿐만 아니라 민간 항공기에서도 종종 발견된다. 민간 항공기는 착륙을 하기 위해서 활주로에 접근할 때 flight spoiler로 강하하면서 감속하고 착지와 동시에 항공기 하중이 타이어에 실리게 해주는 ground spoiler를 reverse thrust와 동시에 작동시켜 속도를 감속시키면서 브레이크를 사용한다. reverse thrust 소리는 착륙 통과 소리보다 크게 들리는 경우도 많기 때문에 착륙대 부근 지역에서는 일반적인 지점의 항공기 소음 측정회수 보다 더 많은 소음을 감지하게 된다.<sup>32)</sup>

Table 4.4. Correction of  $L_{max}$  for noisr with the double peaks

Classification		Total	50dB(A) over	55dB(A) over	60dB(A) over	65dB(A) over	70dB(A) over
pair	Duration time(Sec)	254	254	165	85	73	38
	Corrected $L_{max}$	90.5	90.5	88.7	85.8	85.1	82.3
single	Duration time(Sec)	144	144	108	90	70	29
	Corrected $L_{max}$	92.8	92.8	91.5	90.7	89.6	84.2

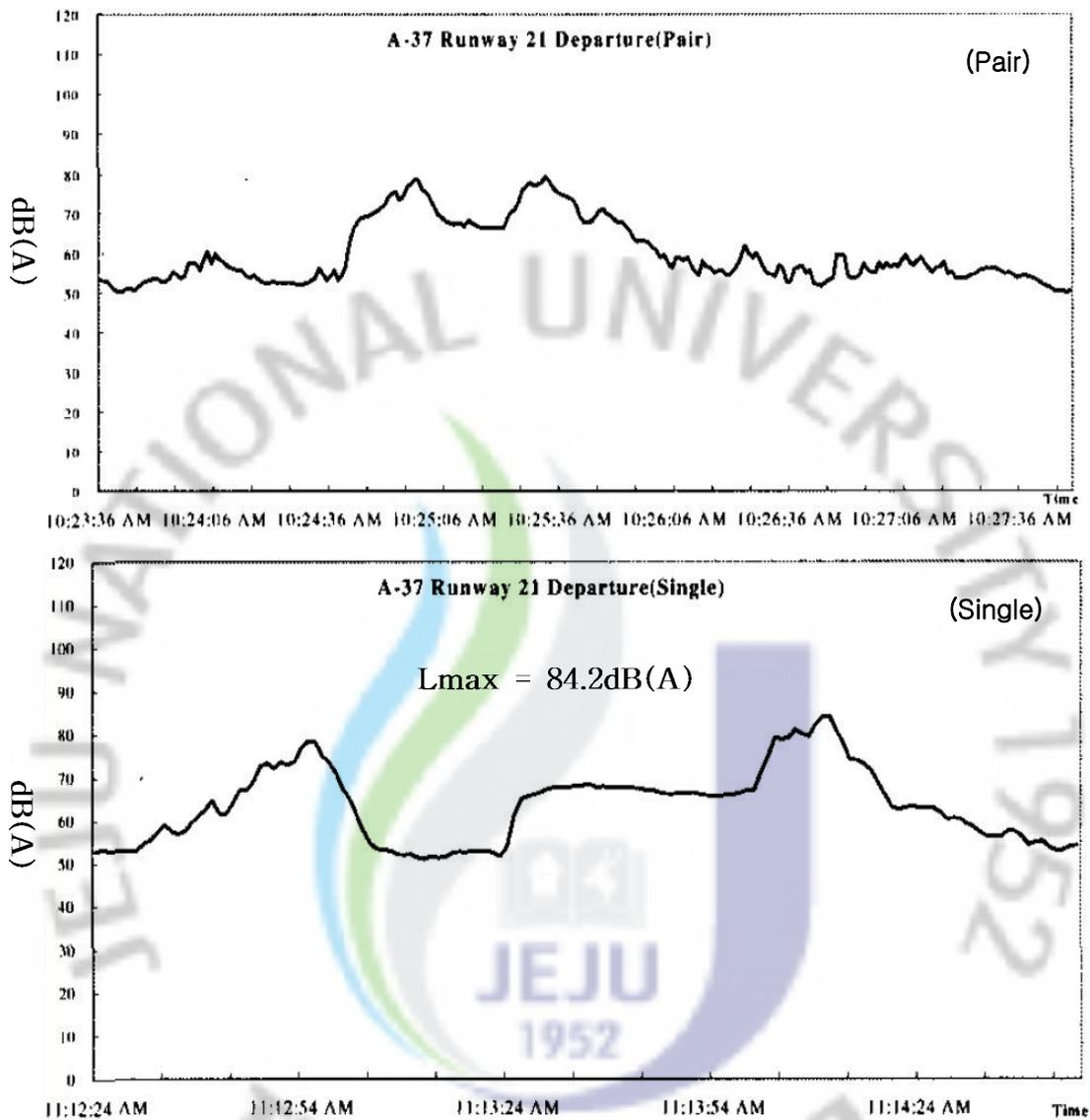


Fig. 4.7. Temporal fluctuation of aircraft noise with double peaks.<sup>32)</sup>

Fig. 4.8은 reverse thrust 소음이 측정된 민간 항공기의 착륙 소음 그래프를 보인 것이다. 시간적으로 먼저 상승하는 그래프는 착륙하는 항공기가 마이크를 통과하는 순간의 소음도이고, 20여초 후에 다시 그래프가 상승하는 것은 통과하고 멀어지는 항공기에서 전달되어져 오는 reverse thrust 소음을 의미하는 것이다. 민간항공기 착륙대 부근에서는 항공기가 착륙한 후 역추진 소음이 측정되고 활주로 반대편에도 역추진 소음이 전달된다. 역추진 소음의 그래프의 형태는 항공기가 측정기 옆을 통과한 후 역추진 소음 발생시 추가적으로 피크가 발생하는 형태이다. 이런

경우에 소음측정 장비의 threshold 수준을 높이면 소음 event가 2개 이상인 것으로 보일 수 있는 파형이 나타날 것이다. 반면 threshold를 낮추면 피크가 두 개인 하나의 소음 event로 볼 수 있는 파형을 보이게 될 것이다. 그렇지만 처음에 나타난 event가 배경소음 수준까지 낮아졌다가 다시 상승했는지 파악할 수 없기 때문에 지속시간의 보정에 대한 문제가 발생한다.

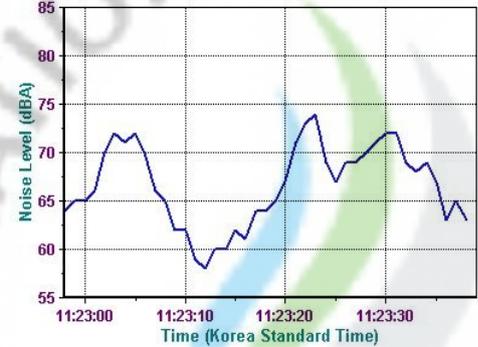
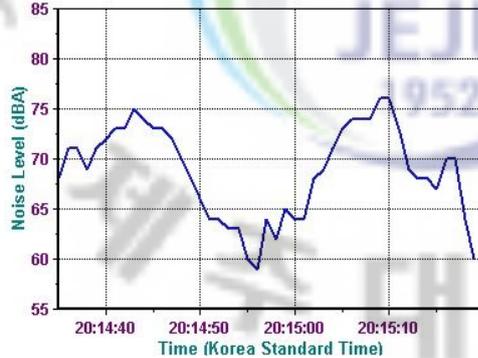
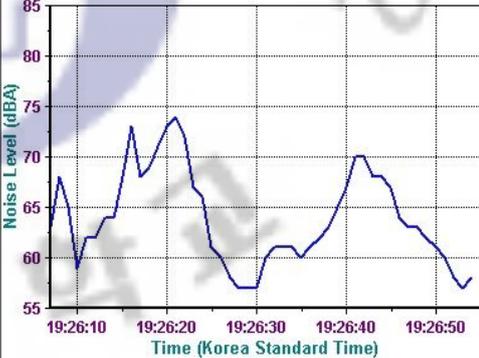
aircra <sup>t</sup>	B737-800	A300-600
graph		
$L_{max}$	73.4dB(A)	81.4dB(A)
Duration time(Sec)	41(s)	49(s)
Corrected $L_{max}$	76.5dB(A)	85.3dB(A)
aircraft	B767-300	B737-400
graph		
$L_{max}$	75.9dB(A)	73.3dB(A)
duration time	45(s)	48(s)
Corrected $L_{max}$	79.4dB(A)	77.1dB(A)
$L_{eq}$	70.7dB(A)	66.4dB(A)
SEL	87.2dB(A)	83.2dB(A)

Fig. 4.8. Temporal sound fluctuation according to the reverse thrust by aircraft landing.

그래프의 측정시각은 항공기 소음자동측정장비에 설정된 threshold 이상의 소음이 시작된 시각과 threshold 이하로 소음이 내려간 시각이다. 착륙하는 민간 항공기는 거의 모두가 reverse thrust를 사용하므로 국내의 민간항공기 소음 측정에서 reverse thrust 소음의 지속시간 보정이 반드시 필요하다.

군용항공기나 민간항공기의 2중 피크 곡선 그래프는 threshold를 설정하는 것에 따라 소음의 지속시간과 피크의 개수가 달라질 수 있다. 그러나 threshold를 설정하는 기준이 모호하기 때문에 측정자에 따라 설정된 threshold에 의하여 지속시간과 소음 event 개수가 다르게 산정될 가능성이 매우 크다고 할 수 있다. Fig. 4.8에서는 역추진 소음이 전달되어져 온 소음의 측정결과이다. threshold에 의한 지속시간은 45초이상 지속되었기 때문에 3.5~3.8 dB(A)의 보정이 필요하지만 하나의 피크가 나타난 이 후에 다시 피크가 상승하기까지에 있어서 배경소음의 포함여부 그리고 threshold 소음도 이하의 시간대에 대한 지속시간의 판단이 현실적으로 어렵다.

군용항공기도 민간항공기와 같이 이중(다중)피크 곡선(Fig. 4.7)의 소음그래프가 나타나므로  $L_{max}$ 의 지속시간 보정문제는 여전히 객관적이지 않지만 SEL은  $L_{max}-10$  dB(A)의 지속시간을 소음에 반영하므로 배경소음의 영향이 작을 수밖에 없다. 항공기 소음을 자동으로 측정하면서 많은 수의 측정자료를 객관적으로 다루기 위해서는 가능한 주관적인 판단이 개입되지 않는 측정단위를 사용해야 할 것이다.

#### 4) Threshold 설정에서 고려해야 할 인자

소음자동측정장비를 이용하여 장기간에 걸쳐 항공기 소음을 측정하여 기록해야 하는 경우에는 자동측정장비의 threshold 소음수준을 미리 설정해야 한다. 그런데 측정장비의 threshold 값을 결정하는데 측정지점 주위의 바람소리, 배경음, 특이소음의 혼입 등과 같은 다양한 상황이 영향을 주게 된다.

항공기 소음 자동측정장비를 이용하여 항공기 소음을 장기간에 걸쳐 측정할 경우에 장비 threshold 설정에 영향을 주는 요인에 대해 살펴보았다. 항공기 소음을 측정함에 있어 소음자동 측정기의 마이크로폰을 통해 바람소리, 배경소음 및 특이소음 등이 감지되어 측정소음으로 기록되면 이들 소음들의 영향들을 고려하여 threshold 소음도의 설정을 바꿔져야 하는데 이는 현실적으로 장비 운용에 있어서 불가능하다. 하나의 방편으로 수시로 변화는 배경소음들의 영향을 회피하기 위해

소음자동측정기의 threshold 값을 과도하게 상승시켜 소음을 측정하게 되면 결국에는 항공기 소음의 지속시간 보정에 영향을 준다. 따라서 궁극적으로 배경소음의 수준을 파악할 수는 없고 그 변화 상황에 대해서 합리적이고 객관적으로 대응할 뾰족한 방법이 없는 현실임을 감안할 때, 항공기 소음을 측정하는 측정단위 자체가 배경음의 수준 또는 변동에 크게 민감하게 반응하지 않는다면 실제 적용함에 있어서 오히려 바람직하다고 판단된다.

이상에서는 항공기 소음의 측정단위로 활용되고 있거나 활용이 가능한 세 가지 측정단위를 사용하여 각 상황에 따른 항공기 소음도를 산출하여 그 값과 특징을 비교하였다. 본 연구에서 비교 검토된 측정단위로는 지속시간을 보정한 최대소음도인  $\overline{L_{max}}$ , Leq 및 SEL이었는데, threshold 소음도의 설정에 따라 산출 소음도의 변동이 적어서 가장 객관적인 측정단위로 판단되는 단위는 SEL이었다.

통상적으로 WECPNL로 표현하는 항공기 소음도는 일상적인 생활소음에서 주로 사용하는 등가소음도(Leq)와 직접 비교가 쉽지 않다. 통상 WECPNL와 24시간 동안의 Leq와의 차이는 13 정도로 알려져 있지만 몇몇 선행 연구를 보면 이륙할 경우와 착륙할 경우에 이 둘에 차이가 있기 때문에 일률적으로 13의 차이라고 평가함은 무리가 있는 것으로 지적된 바 있으며,<sup>1)</sup> WECPNL와 24시간 Leq과의 상관성이 공항에 따라 차이를 보이므로 일률적인 상관관계로 환산하는 것은 불합리한 것으로 조사된 바도 있다.<sup>2)</sup> 또한 WECPNL과 Leq의 관계는 거리, 운항조건 등에 따라서 어떤 일관된 관계를 유지할 수 없다고 보고되기도 했다.<sup>3-5)</sup>

우리나라에서도 2005년부터  $L_{max}$ 로 측정하는 WECPNL의 산출과정에서의 차이점<sup>33,34)</sup>이 제기되었고 민간항공기나 군용항공기의 소음은  $L_{max}$ 보다는 SEL로 측정하는 것이 바람직하다는 선행연구 결과가 발표되기도 했다.<sup>35,36)</sup> 또한 SEL을 사용하게 되면 항공기 소음평가척도로서는 WECPNL보다는  $L_{dn}$ 을 활용하는 것이 보다 더 합리적인 것으로 판단<sup>37)</sup>되므로 우리나라에서도 항공기 소음도의 평가척도로  $L_{dn}$ 을 검토할 필요가 있다고 판단된다.

## 2. 항공기 이착륙 소음예상 경험식

항공기가 이동하면서 기록된 레이더 target 좌표를 이용하여 항공기의 운항경로를 파악하고 항공기의 이동경로와 항공기 소음도를 사이의 회귀분석을 통해 그 상관성을 살펴보고자 했다. 이로써 공항 인근에서 항공기가 이착륙함에 따른 항공기 소음도의 변화를 신속하게 파악할 수 있는 경험식을 제시하고자 했다.

### 1) 항공기와 수음점 사이의 거리 산출

#### (1) 이착륙에 따른 항공기 통과위치(좌표) 결정

Fig. 4.9는 항공기가 통과하는 이동경로를 개략적으로 표시한 그림이다. 착륙의 경우에는 진입각도가 이륙보다 낮지만 유사한 형태로 표현될 수 있다. Fig. 4.9는 활주로에서 항공기가 출발하여 이륙하는 항공기가 통과하는 Gate를 개략적으로 나타낸 것으로 고도는 해발고도를 기준으로 환산했으며 좌우 편차는 활주로 중심선의 연장선을 기준으로 활주로를 등진 방향에서 좌측 방향은 -, 우측 방향은 +로 표시하였다.

본 연구에서는 2004년 1년 동안 제주국제공항 항공기 레이더에서 제공된 target 정보를 바탕으로 gate 분석을 실시하였다. 이 분석에서 제주국제공항을 운항하는 기종의 대부분을 차지하는 6종의 항공기 (A306, A321, A333, B734, B738, B739)를 대상으로 하였다.

Fig. 4.10에는 이륙과 착륙에 대해서 활주로 끝단에서부터의 거리에 대한 항공기 상공고도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 이륙하는 항공기는 평균적으로 활주로에서 1 km를 이동하면 400 m보다 높은 고도를 통과하여 활주로에서 4 km를 지나면 750 m 이상의 고도로 상승한다. 착륙하는 항공기는 거의 직선으로 착륙하고 있으며 활주로 끝단 도착 1 km 전에는 고도 100 m 미만으로 진입하고 있음을 알 수 있다. Fig. 4.11은 Fig. 4.10과 같은 위치에서 활주로 중심선 위치로부터 항공기가 통과하는 지점의 좌우 거리를 표현한 것이다. 착륙하는 항공기는 활주로 연장선

과 직선으로 진입하고 있으나 이륙하는 항공기는 활주로에서 멀어질수록 좌우 편차가 발생되는데 4 km 부근에서 평균적으로 40 m 정도 범위 내로 통과하고 있었다.

Fig. 4.9에서는 활주로에서 가까운 gate의 고도  $Y$ 와 다음 gate에서의 고도  $Y'$ 를 활주로 끝단으로부터의 거리  $X$ 와  $X'$ 을 기준으로 연결하면 항공기가 통과한 고도에 대한 회귀분석식을 유도할 수 있다. 좌우 거리 편차에 대해서도 활주로에서 가까운 gate의 좌우편차  $W$ 와 다음 gate에서의 좌우편차  $W'$ 를 거리  $X$ 와  $X'$ 을 기준으로 연결하면 유도할 수가 있다.

항공기와 수음점사이의 거리를 산출하기 위하여 각 기종의 통과고도와 좌우 분산의 평균점을 사용하였지만 항공기는 더 넓은 범위로 분산하여 이동한다. Table 4.5에는 gate별로 파악된 각 기종별 통과고도에 대한 회귀분석 결과를 정리한 것이고, Table 4.6은 좌우 거리에 대한 각 기종별 회귀분석 결과를 정리한 것이다.

## (2) SD(Slant Distance) 산출

항공기는 활주로에서 이륙하면 고도 상승도 있지만 측풍에 의한 좌우 편차가 발생한다. 측정지점과 항공기와의 직선거리(SD: slant distance)는 Fig. 4.12와 같이 활주로 중심선에서 좌우 편차( $W$ )와 고도( $Y$ )에 따라 달라진다. 항공기는 이륙 후 고도 상승을 하면서 활주로 중심선에서 좌우의 편차만큼 이동하게 되므로, SD는 활주로 중심선의 연장선으로부터의 거리로 표현할 수 없다.

제주국제공항 활주로에서 이격되는 거리에 따라 Gate에서 기종별 통과고도와 향로 직선방향의 좌우 분산 정도를 파악하여 항공기와 측정지점과의 직선거리를 산출하였다. Fig. 4.9에서처럼 활주로에서 측정지점까지의 거리  $X$  또는  $X'$ 를 Table 4.5와 4.6에 나타낸 회귀식에 대입하여 해당 기종의 통과고도  $Y$ 와 좌우 편차  $W$ 를 산출한 후 항공기 통과지점과 수음점인 측정지점과의 거리를 계산하고 그 결과를 Table 4.7에 정리했다. Table 4.7에서 보면 이륙하는 항공기에 비해서 착륙하는 항공기의 경우 동일 측정점에서의 SD는 기종간의 차이가 작은 것을 알 수 있는데, 이는 착륙하는 항공기 이동경로가 이륙하는 항공기보다 좌우 편차가 적게 이동하기 때문이다. 이륙하는 항공기는 기본적으로 기종별로 통과고도에 차이가 있어 항공기 기종별로 산정된 SD가 서로 많이 차이를 볼 수 있다.

## 2) 항공기 이착륙에 따른 측정 소음도 분석

Table 4.8은 항공기 소음자동측정지점에서 측정된 소음에 대해서 연평균 소음도와 특정한 기간(Table 3.1) 동안에 국한하여 측정된 소음도의 평균값을 비교하여 나타낸 것이다. 연평균 항공기 소음도 자료를 해당 측정지점의 소음도를 대표한다고 볼 수 있다. 그렇지만 일정 기간 동안만 측정된 소음자료만으로 그 지점의 소음도를 평가해야 하는 경우도 있기 때문에 이를 비교해 보고자 한 것이다. 따라서 이동식 소음측정기로써 일정 기간 동안 측정된  $\overline{L_{max}}$  값과 그 지점에서의 연평균 측정값을 비교하여 특정 기간 동안 평균 소음도로써 그 지점의 대표 소음도로 활용 가능한 지를 확인하였다. Table 4.8에서 보는 바와 같이 연간 평균 소음도와 특정 기간 동안의 평균 소음도 사이에는 아주 낮은 소음도의 차이를 보여 유의한 차이라고는 판단하기 어려울 정도였다. 그렇지만 비록 작은 차이라도 세 곳의 소음자동측정지점에서 나타난 값의 차이를 평균하여 이동식 측정점에서 측정된 소음도에 보정을 해 주었다. 이로써 본 연구에서는 이들 측정점에서 보정된 소음도가 그 지점의 대표 항공기 소음도라고 간주하고 이어지는 분석을 실시하였다.

Table 4.9에는 이동식 측정기를 사용하여 측정된 소음도의 최고값과 최저값을 비교한 것이다. 이륙시에는 5.0~8.6 dB(A) 정도의 소음도 차이를 나타냈는데, 착륙시에는 14.6~18.1 dB(A)의 차이를 보였다. 이처럼 착륙시에는 거리별 소음도에 비교적 큰 차이를 보이지만 이륙소음은 거리별 소음도에서 큰 차이를 보이지 않았다. Fig. 4.13에는 항공기 이륙대기지점에서 일정 거리에서 활주로 중심선과 직각인 방향으로 위치하고 있는 측정점들에서의 소음도를 이륙 시와 착륙 시로 구분하여 나타냈다. 항공기가 착륙하는 경우를 보면 활주로 중심선상으로부터 좌우로 멀어짐에 따라 소음도가 감소하는 경향이 뚜렷하지만 이륙하고 있는 경우에는 소음도 감쇠가 뚜렷하게 나타나지 않음을 볼 수 있다. 통상 거리가 멀어지면 소음도는 감소되어야 하지만 항공기가 이륙할 때 이륙소음의 경우 동시 측정된 측정기에서 일정한 패턴으로 소음이 감소되지 않았다. 이는 이륙항공기는 재빠르게 고도를 높이기 때문에 각 측정점에서의 SD의 차이가 아주 적어서 거리감쇠 효과가 작고, 착륙항공기는 고도가 낮기 때문에 각 측정점에서의 SD 차이가 거리감쇠 효과로 비교적 뚜렷하게 나타나기 때문으로 생각된다.

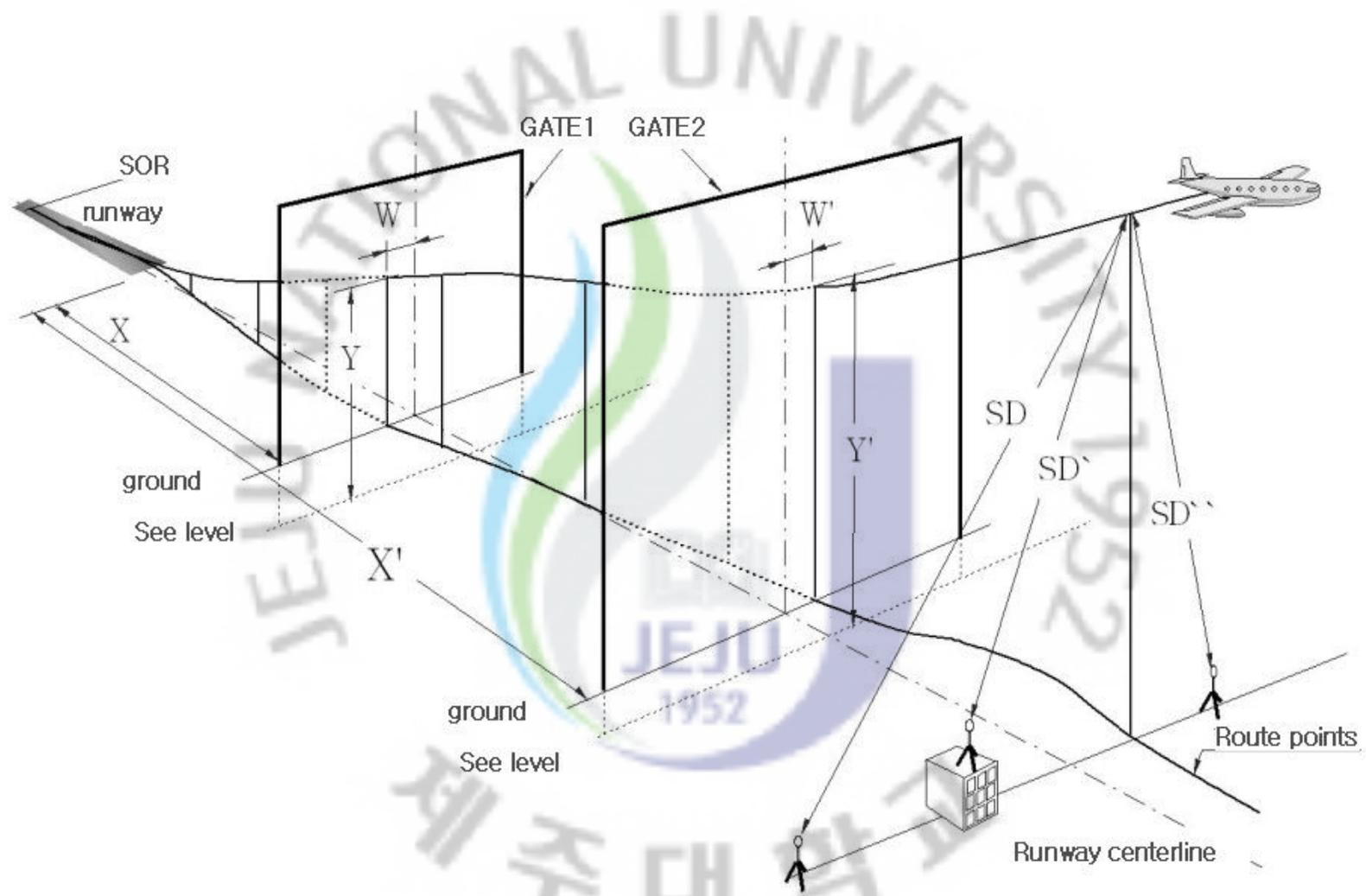


Fig. 4.9. The chase of the flight path near the airport.

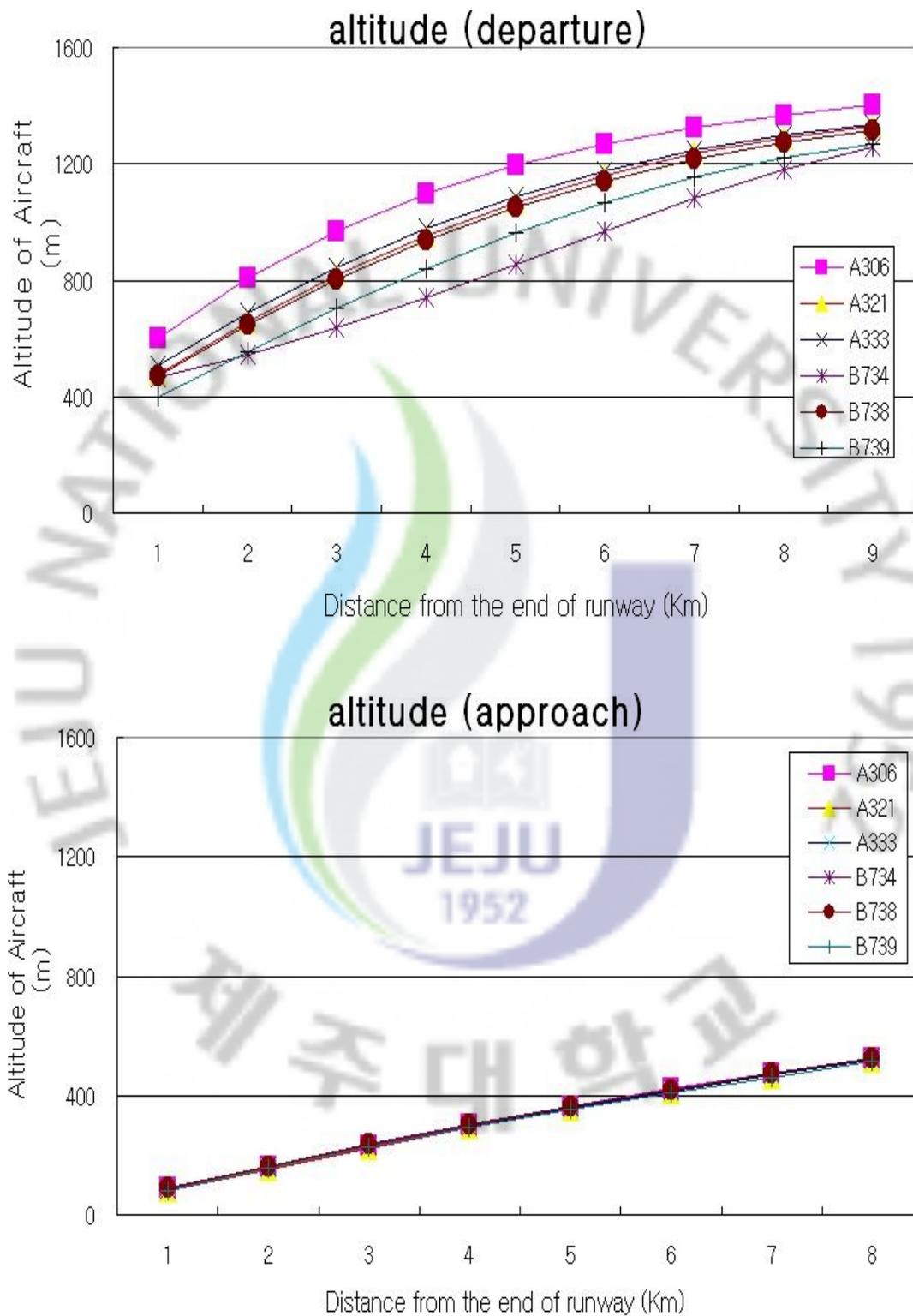


Fig. 4.10. The estimated altitude of aircraft according to the distance from the end of runway.

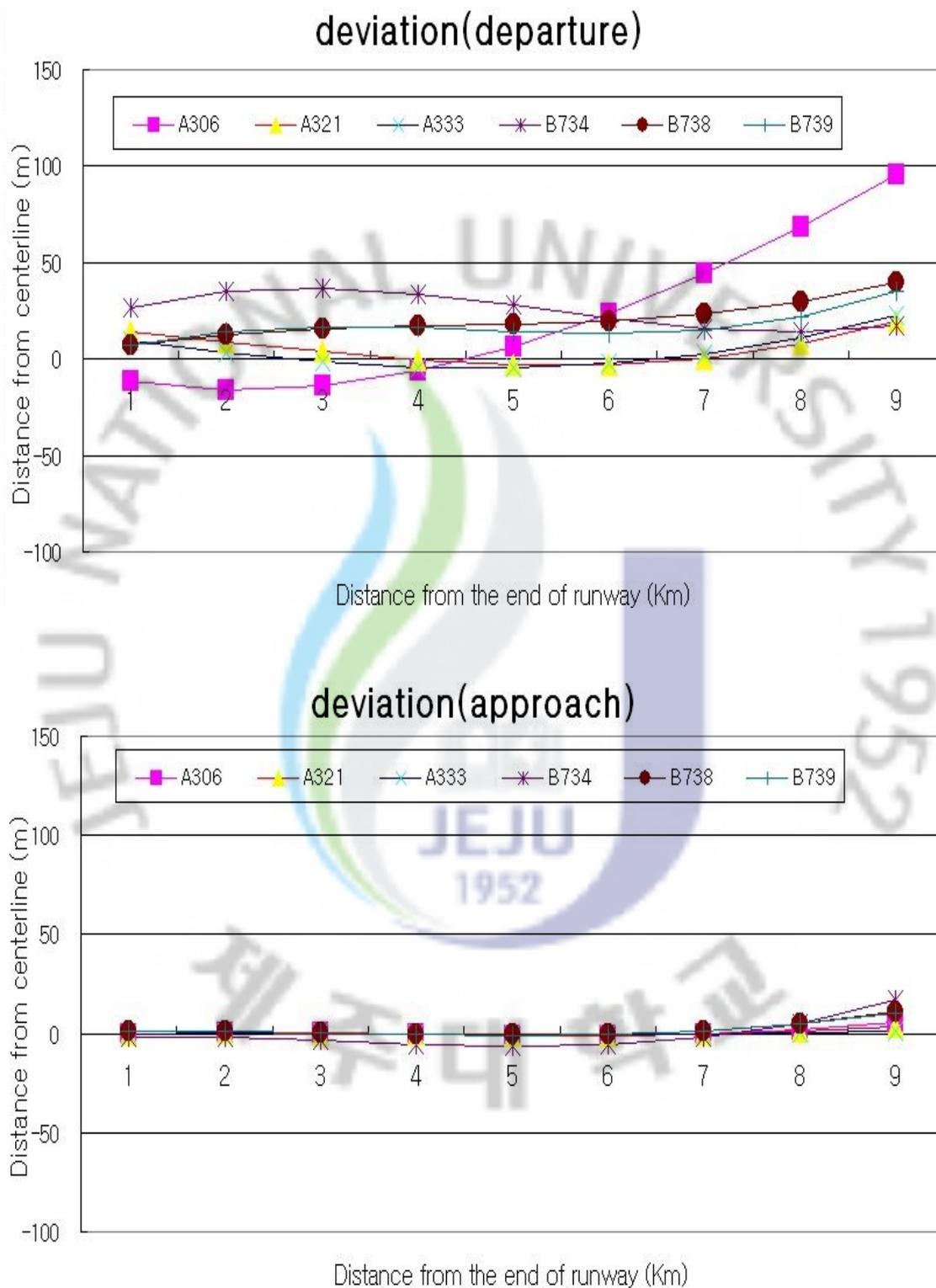


Fig. 4.11. The distance from centerline according to the distance from the end of runway.

**Table 4.5. The empirical equation for calculating the altitude of aircraft**

Aircraft	Departure	Approach
A306	$Y = 0.9971X^3 - 27.049X^2 + 280.55X + 344.85$	$Y = 0.2117X^4 - 3.8903X^3 + 22.106X^2 + 22.643X + 55.91$
A321	$Y = 0.1185X^3 - 12.04X^2 + 215.98X + 273.49$	$Y = 0.244X^4 - 4.4577X^3 + 25.723X^2 + 11.724X + 58.40$
A333	$Y = 0.303X^3 - 14.847X^2 + 224.62X + 296.93$	$Y = 0.2877X^4 - 5.2482X^3 + 30.233X^2 + 3.7956X + 65.57$
B734	$Y = -1.0101X^3 + 15.652X^2 + 34.32X + 419.07$	$Y = 0.2275X^4 - 4.2265X^3 + 24.611X^2 + 15.022X + 60.54$
B738	$Y = 0.2248X^3 - 13.183X^2 + 216.98X + 265.5$	$Y = 0.2132X^4 - 3.909X^3 + 22.174X^2 + 22.314X + 57.12$
B739	$Y = -0.4136X^3 - 1.8732X^2 + 164.99X + 235.03$	$Y = 0.2904X^4 - 5.2677X^3 + 30.301X^2 + 1.983X + 65.95$

**Table 4.6. The empirical equation for calculating the distance deviated from the runway centerline**

Aircraft	Departure	Approach
A306	$W = -0.1006X^3 + 3.743X^2 - 14.947X - 0.0346$	$W = 0.0799X^3 - 0.9771X^2 + 3.2652X - 2.8618$
A321	$W = 0.1305X^3 - 0.7135X^2 - 4.0191X + 18.776$	$W = 0.0425X^3 - 0.4788X^2 + 1.4092X - 1.1537$
A333	$W = 0.0495X^3 + 0.553X^2 - 8.3491X + 17.059$	$W = 0.0184X^3 - 0.2439X^2 + 0.9011X - 0.8885$
B734	$W = -0.3364X^3 - 5.4194X^2 + 22.348X + 9.6246$	$W = 0.1729X^3 - 1.7251X^2 + 3.9444X - 4.4617$
B738	$W = 0.1736X^3 - 2.2697X^2 + 10.957X - 1.6141$	$W = 0.0878X^3 - 0.8944X^2 + 2.153X - 0.0084$
B739	$W = 0.3227X^3 - 4.4313X^2 + 18.409X - 7.2853$	$W = 0.0717X^3 - 0.6565X^2 + 1.1662X + 0.6133$

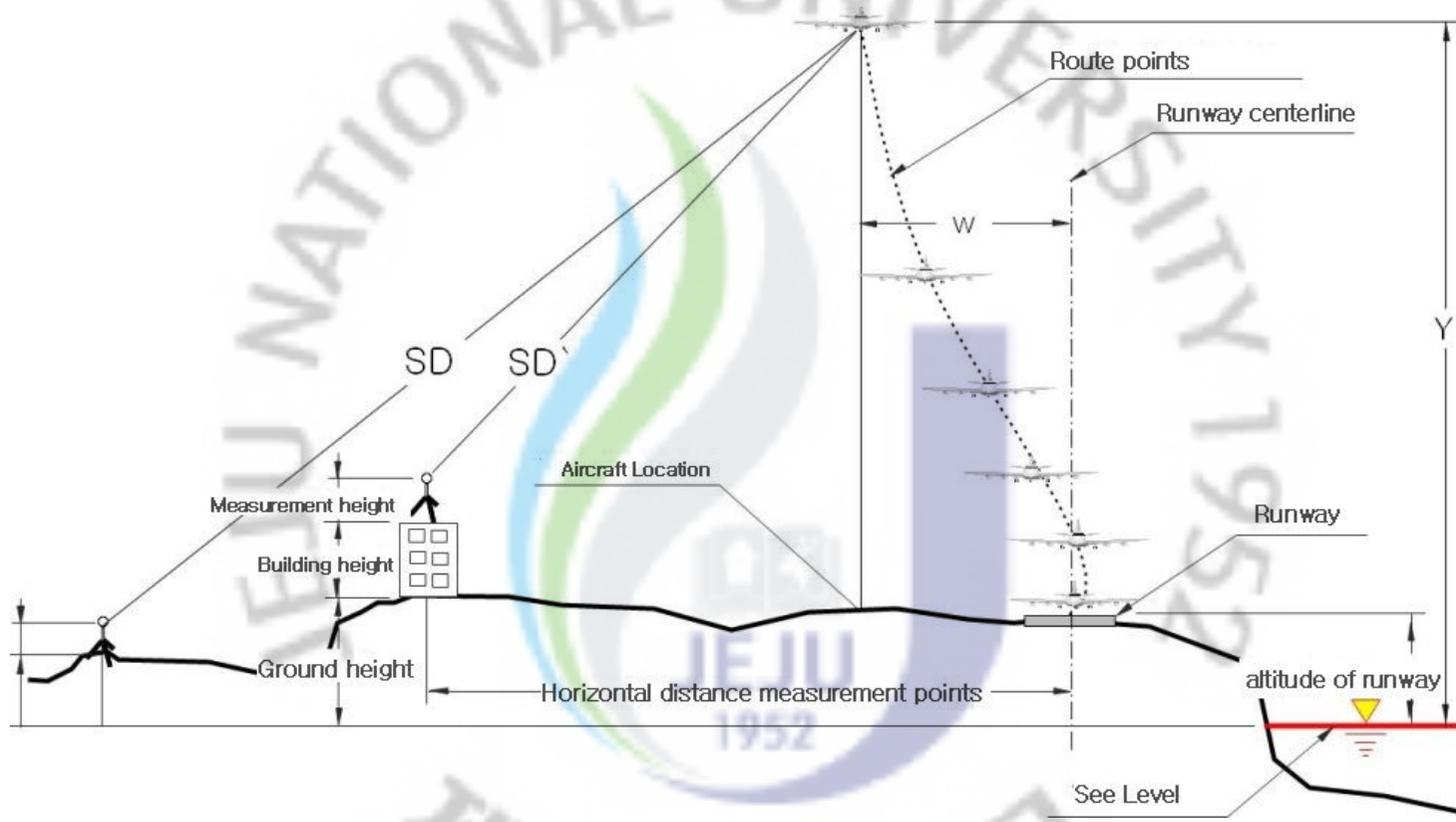


Fig. 4.12. The conceptual diagram for the calculation of SD.

Table 4.7. Slant distances calculated from Table 4.5 and Table 4.6

measurement point	Departure (m)						Approach (m)					
	A306	A321	A333	B734	B738	B739	A306	A321	A333	B734	B738	B739
RMT1	1,049	902	928	700	884	787	299	290	297	299	299	292
RMT2	799	664	691	559	656	568	245	240	242	241	246	241
RMT3	599	470	500	439	462	385	67	61	63	66	68	62
NP01	1,159	1,023	1,047	839	1,002	913	502	496	500	505	502	497
NP02	1,047	901	926	691	884	786	283	271	279	280	283	273
NP03	1,055	915	939	723	907	814	385	377	383	379	385	378
NP04	926	773	803	612	759	662	300	293	297	300	300	294
NP05	898	744	774	579	733	632	212	202	207	209	212	203
NP06	947	807	833	656	799	706	349	343	346	345	350	344
NP07	1,015	894	916	772	890	810	537	532	535	532	537	533
NP08	811	661	693	538	651	557	223	216	219	222	223	216
NP09	799	650	681	526	640	545	169	160	164	166	170	161
NP10	831	705	730	611	698	616	346	342	343	342	347	343
NP11	656	560	582	545	550	489	315	313	314	313	317	315
NP12	743	662	680	649	653	601	460	459	459	458	462	460
NP13	666	592	610	602	580	533	407	406	407	405	409	408

Table 4.8. Comparison of annual averaged  $L_{max}$  and short-term averaged  $L_{max}$

Classification	Measurement point		Type of aircraft					
			A306	A321	A333	B734	B738	B739
Departure	RMT1	annual average	77.9	75.5	78.5	78.9	75.2	76.2
		short-term average	77.6	75.0	79.4	79.1	75.8	76.3
	RMT2	annual average	81.8	78.8	83.6	81.0	79.9	80.8
		short-term average	81.6	78.2	84.2	80.0	80.6	80.1
	RMT3	annual average	86.6	85.2	88.3	85.2	84.6	86.4
		short-term average	86.8	85.3	88.4	85.4	85.7	87.2
Approach	RMT1	annual average	81.6	77.0	79.5	81.3	79.4	80.3
		short-term average	81.6	77.4	79.5	81.8	80.2	80.9
	RMT2	annual average	81.1	75.5	79.4	80.2	77.8	79.0
		short-term average	81.7	75.8	79.4	80.6	78.2	79.2
	RMT3	annual average	94.5	89.0	91.3	91.5	90.4	90.9
		short-term average	93.7	89.3	91.1	91.2	89.8	90.8

Table 4.9. Comparison of maximum and minimum noise levels at temporary measurement point

Classification	Departure $\overline{L}_{118x}$							Approach $\overline{L}_{118x}$						
	measure- ment point	A306	A321	A333	B734	B738	B739	measure- ment point	A306	A321	A333	B734	B738	B739
Max(A)	NP12	85.5	82.5	86.4	83.6	81.4	83.4	NP10	90.7	83.3	86.9	86.2	84.8	85.8
Min(B)	NP04	79.1	75.4	77.8	78.6	73.9	76.5	NP13	72.6	68.6	71.7	71.6	70.0	70.7
B-A		6.4	7.1	8.6	5.0	7.5	6.9		18.1	14.7	15.2	14.6	14.8	15.1

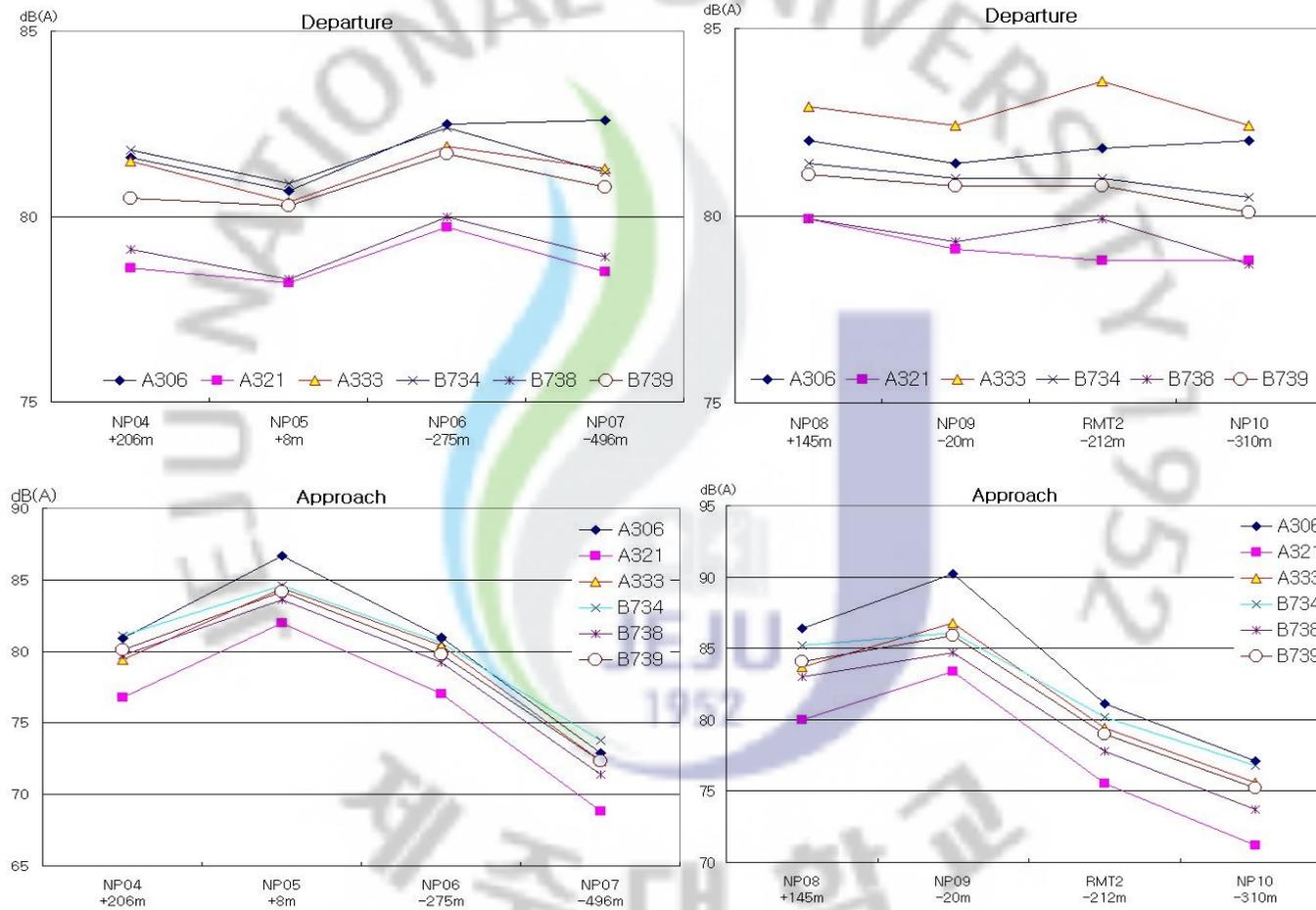


Fig. 4.13. Noise level at each site located on line normal to the runway centerline at 5.1 km and 5.7 km from SOR.

### 3) 항공기 이착륙 소음도를 예상하기 위한 경험식

#### (1) 기종별 소음도 예상 경험식

각각의 항공기가 이륙 및 착륙하는 사이에 각 측정지점에서 측정된 소음도와 각 측정지점에서의 SD와의 관계를 회귀분석하여 그 결과를 Table 4.10에 정리했다. 그리고 Table 4.10에 제시된 각 항공기종별 이착륙 소음도 예상 경험식에 의해 산출된 예상 소음도와 실측 소음도와의 관계를 Fig. 4.14와 Fig. 4.15에 나타냈다.

제주국제공항을 운항하는 항공기 중 운항비율이 80%이상을 차지하는 6개 항공기 기종에 대해서 회귀분석한 결과를 Table 4.10에서 보면 전체 기종에서 항공기가 착륙하는 경우 상관성이 이륙하는 경우에 비해 높게 나타났음을 알 수 있다. 그 이유는 항공기와의 거리와 기종별로 엔진추력 크기에 의한 소음도의 관계가 기종별로 일정하지 않기 때문으로 판단된다. 그리고 B734기종의 경우 이륙시의  $R^2$ 값이 특히 낮게 나타났는데, 이는 이 기종의 항공기는 이륙 상승각이 다른 항공기에 비해 낮기 때문에 항공기와 각 측정지점간의 거리인 SD의 범위가 다른 기종들에 비해 좁아서 분석 자료가 아주 제한된 범위 내에만 집중되어 분포하고 있기 때문으로 판단된다.

제주국제공항에서 장기간에 걸쳐서 소음자동측정장비에 의해서 측정된 항공기 소음도와 그에 따른 항적자료를 활용하여 도출한 항공기별 이착륙 소음도 예상 경험식을 실제 항공기 운항 상황에 대해서 적용해 보고자 했다. 이를 위해서 제주국제공항 인근에 임의의 4개 지점(A, B, C, D)에 소음측정기를 별도로 설치하여 항공기 소음을 측정하였다. 사실 이 측정은 항공기 소음 민원을 해소하기 위해 측정한 것으로 이 자료와 함께 항적자료와 연계하여 측정당시에 이착륙하는 각 항공기종별 측정소음도를 파악하고 이 소음도를 앞서 Table 4.10에서 제시한 각 기종별 이착륙 소음 예상 경험식에 의해 산출된 예상 소음도와 비교 분석하여 그 상관성을 Fig. 4.16에 정리하여 나타냈다. 그림에서 보듯이 착륙소음의 경우에는 기종에 따라 상관관계가 0.90181~0.9661이었고 이륙소음의 경우에는 0.3536~0.8771로 착륙소음에 비해 상관성이 낮은 것으로 나타났다.

Table 4.10. The results of regression analysis with noise level and SD

Classification		A306	A321	A333	B734	B738	B739
Approach	R <sup>2</sup>	0.8678	0.8575	0.8718	0.8466	0.8585	0.8564
	eq.	$y = -12.353\ln(x) + 151.15$	$y = -10.483\ln(x) + 134.91$	$y = -10.263\ln(x) + 137.2$	$y = -10.078\ln(x) + 136.83$	$y = -10.838\ln(x) + 139.42$	$y = -10.179\ln(x) + 136.22$
Departure	R <sup>2</sup>	0.7971	0.8558	0.9209	0.5513	0.8234	0.9209
	eq.	$y = -12.842\ln(x) + 168.85$	$y = -11.826\ln(x) + 157.1$	$y = -15.719\ln(x) + 185.76$	$y = -9.171\ln(x) + 140.3$	$y = -11.927\ln(x) + 156.55$	$y = -12.372\ln(x) + 159.71$

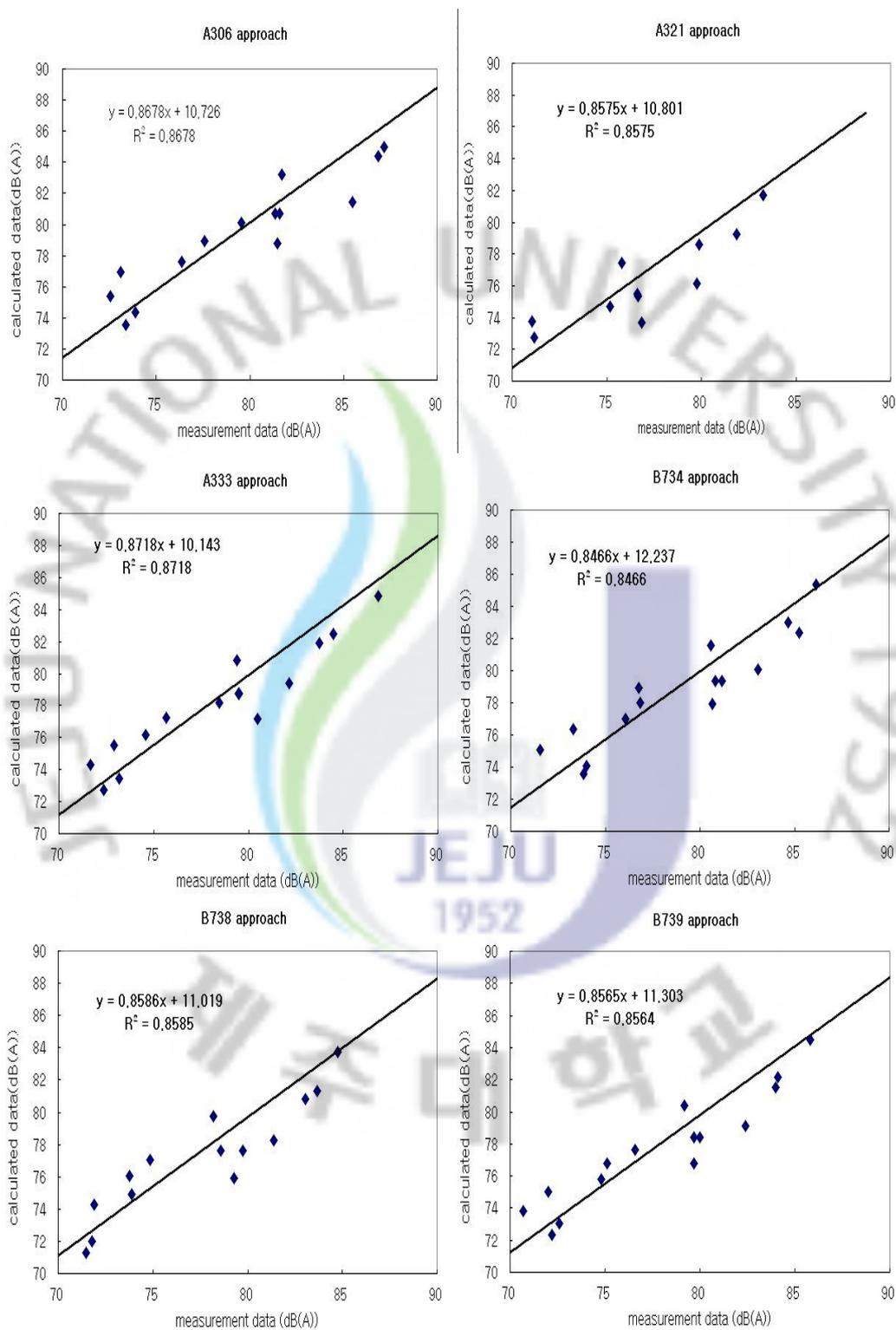


Fig. 4.14. Comparison of predicted noise level and measured noise level during the approach of aircraft.

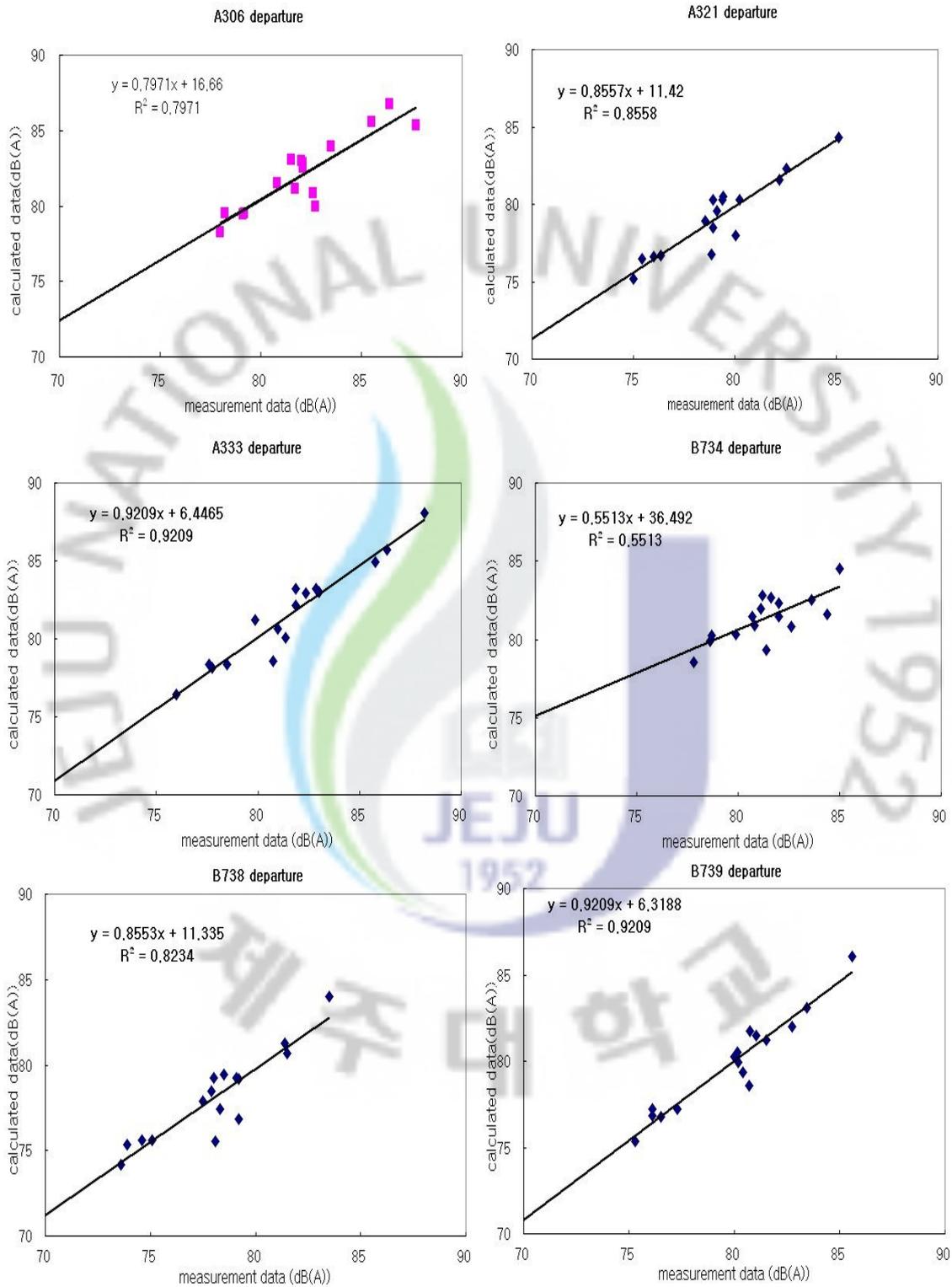


Fig. 4.15. Comparison of predicted noise level and measured noise level during the departure of aircraft.

실제로 4개 지점에서 항공기 기종별로 예상된 이착륙 소음도와 실제 측정소음도와의 차이는 전체적으로 이륙 시에는  $-2.9\sim+2.7$  dB(A), 착륙 시에는  $-1.4\sim+3.6$  dB(A)범위 내에서 차이를 보인 것으로 나타났다(Fig. 4.17). 모델링과 관련된 선행 연구에서  $\pm 5$  WECPNL 이내이면 신뢰할 만한 연구결과라고 발표된 바 있다.<sup>38)</sup> 운항회수가 동일하면 WECPNL값과  $L_{10\%}$ 값의 차이는 일정하므로  $\pm 5$ dB(A) 미만의 차이는 신뢰할 만하다.

따라서 공항소음피해지역내에 위치한 임의 지점에서의 항공기 이착륙시에 나타난 소음도를 예상함에 있어서 앞서 제시한 이착륙 소음예상 경험식을 이용하면 임의 지점에서의 실제 측정을 하지 않더라도 항공기 이착륙에 따른 소음수준을 잘 대변할 수 있을 것으로 판단된다.

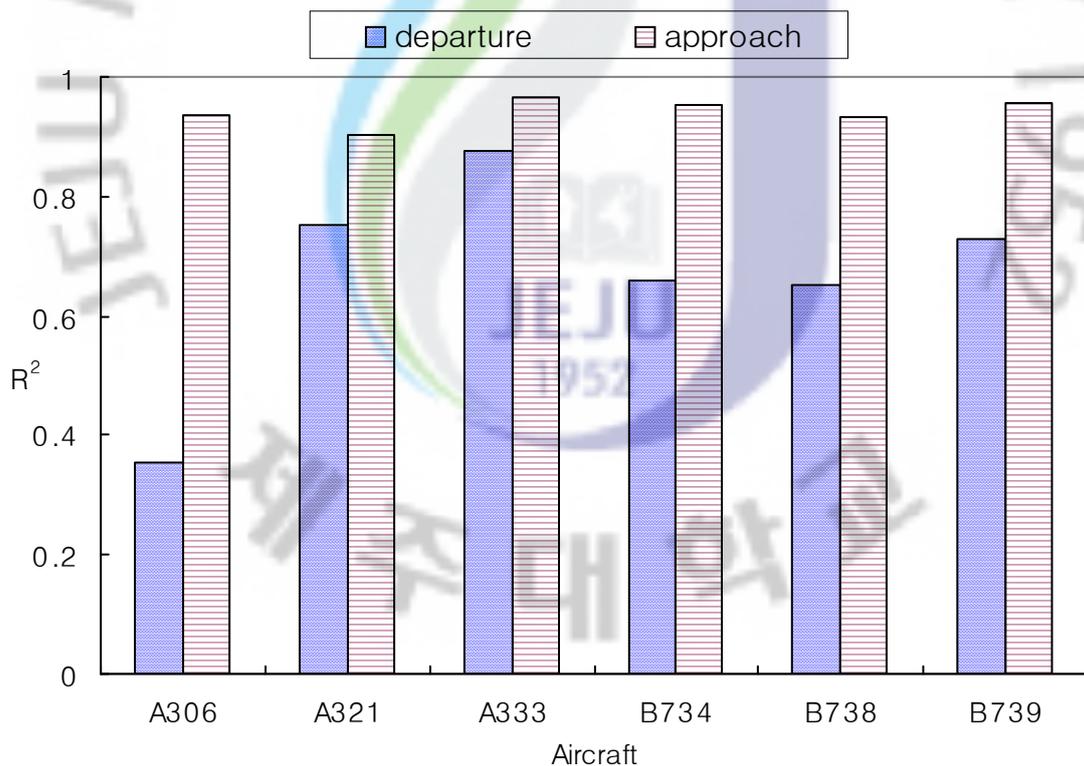


Fig. 4.16. Relationship( $R^2$ ) between predicted noise level and measured noise level.

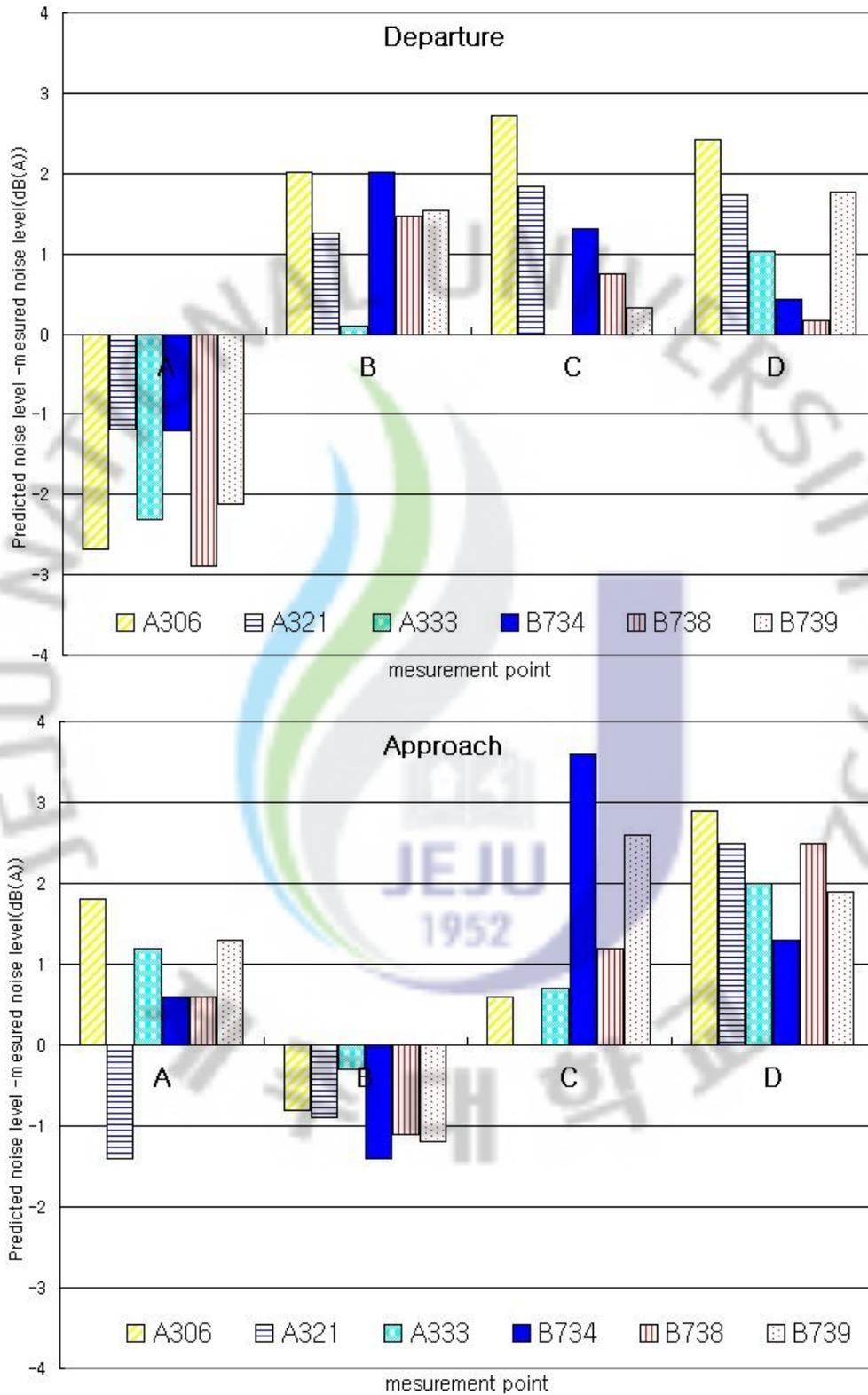


Fig. 4.17. The difference between measured noise level and predicted noise level.

## (2) 이착륙 소음도 예상을 위한 경험식의 일반화

앞에서 살펴 본 바와 같이 항공기에서 수음점까지의 SD와 해당지점에서의 소음 측정 Lmax 값과의 상관성은 항공기별로 상당히 높게 나타났다. 이러한 결과를 토대로 공항을 운항하는 항공기 기종에 관계없이 이착륙에 따른 각 수음점에서의 항공기 이착륙 소음을 추정할 수 있는 일반식을 제안하고자 했다.

이를 위해 항공기의 이륙과 착륙을 구분하고, 항적자료의 Gate 분석에 의한 측정 지점과 항공기간의 직선거리인 SD, 항공기 소음도 (EPNL) 그리고 측정지점에서의 실측 소음도 사이의 회귀분석을 실시하여 다음과 같은 항공기 이착륙 소음도를 추정할 수 있는 경험식을 제안할 수 있었다.

$$\text{이륙시 : } y = 25.424 + 0.738(EPNL) - 0.016(SD)$$

$$\text{착륙시 : } y = 27.304 + 0.668(EPNL) - 0.045(SD)$$

여기서, EPNL은 항공기의 소음도는 실제로는 항공기가 이륙 또는 착륙함에 따라 매 시각 변화할 것인데, 이에 대한 소음도 자료는 존재하지 않아 여기서는 EPNL로 나타난 항공기의 인가소음도를 활용하였다. 그리고 SD는 slant distance(m)를 의미한다.

본 분석에서 항공기 이륙소음의 경우에는 인가소음도의 fly over data를 사용하였고, 착륙시에는 인가소음도의 approach data를 사용하였다. 이륙과 착륙의 자료를 비교해 본 결과 다중회귀분석을 통해 제안된 수식에 의한 추정 소음도와 실측 소음도 간의 상관관계는 이륙에서 R<sup>2</sup>이 0.6936, 착륙에서는 0.8635로 상당히 높게 나타났다 (Fig. 4.18).

이 경험식을 실제 민원을 해결하기 위해 실측한 지점들에 대해서 적용하여 검증해 본 결과는 Fig 4.19에 나타났다. 그림에서 경험식에 의해 추정된 소음도와 실측 소음도 간의 상관성을 보면 이륙시에는 R<sup>2</sup>이 0.6223, 착륙시에는 0.9198로 아주 높은 상관성을 나타냄을 확인하였다.

실제로 측정한 4개(A, B, C, D)지점의 측정값과 일반식의 예측값과의 차이는 -4.8~2.6dB(A), 착륙 시에는 -10.0~6.0dB(A)의 차이가 발생하였다.(Fig 4.20)

이착륙 소음도 예상을 위해 중회귀분석을 실시하여 얻어진 이 경험식이 제주국

제공항에서 운항한 항공기의 운항정보를 활용하여 항공기 소음도와의 상관성을 회귀 분석한 결과이지만 활주로의 형태와 길이, 이착륙 항공기 기종 그리고 항공기의 하중 및 기후조건 등이 어느 정도 유사한 공항에서는 큰 무리없이 적용이 가능할 것으로 판단되며, 운항조건이 아주 상이한 공항에서는 별도의 SD를 산출하는 경험식을 찾아서 사용하는 것이 바람직하다고 판단한다.

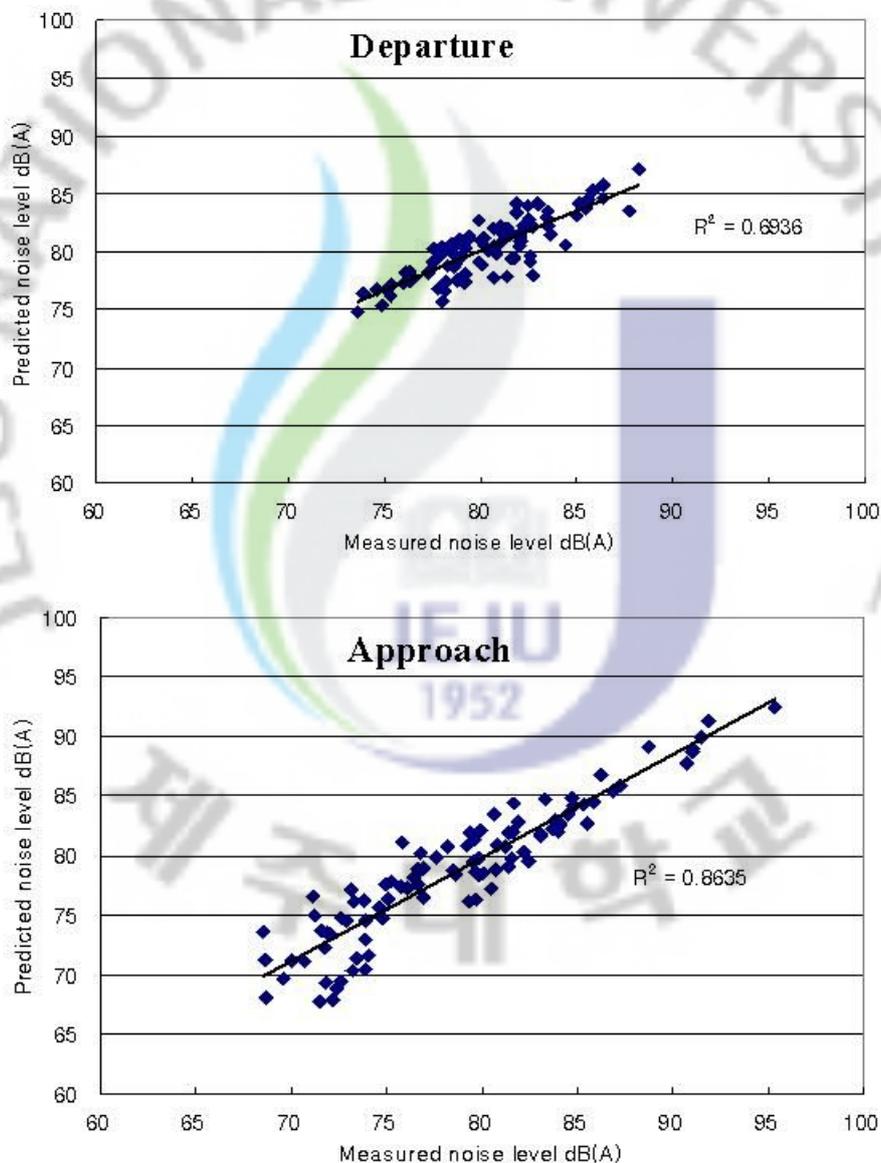


Fig. 4.18. Comparison of measured noise level and predicted noise level by multiple regression analysis.

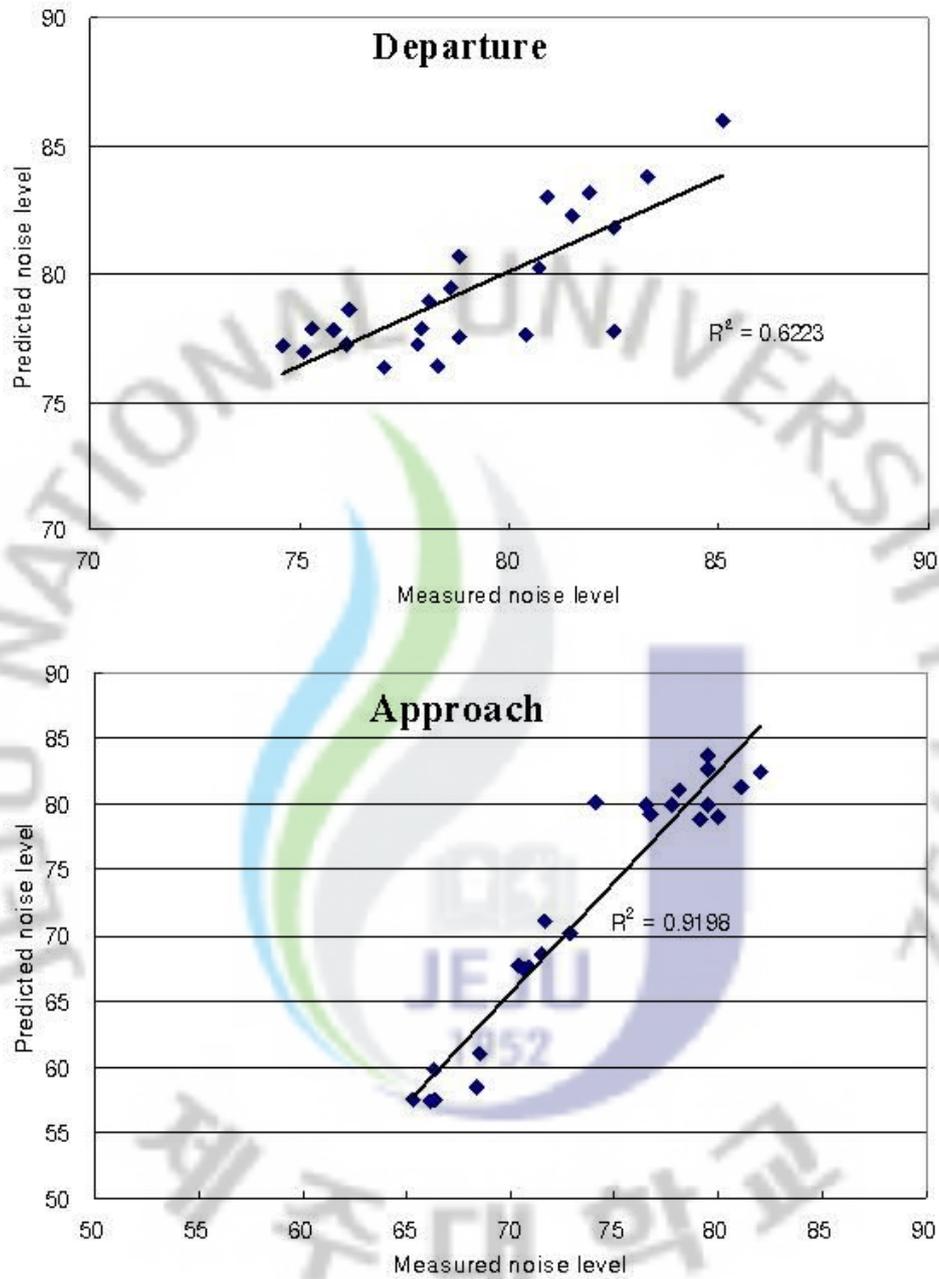


Fig. 4.19. Comparison of noise level predicted by empirical equation and noise level obtained from in situ measurement.

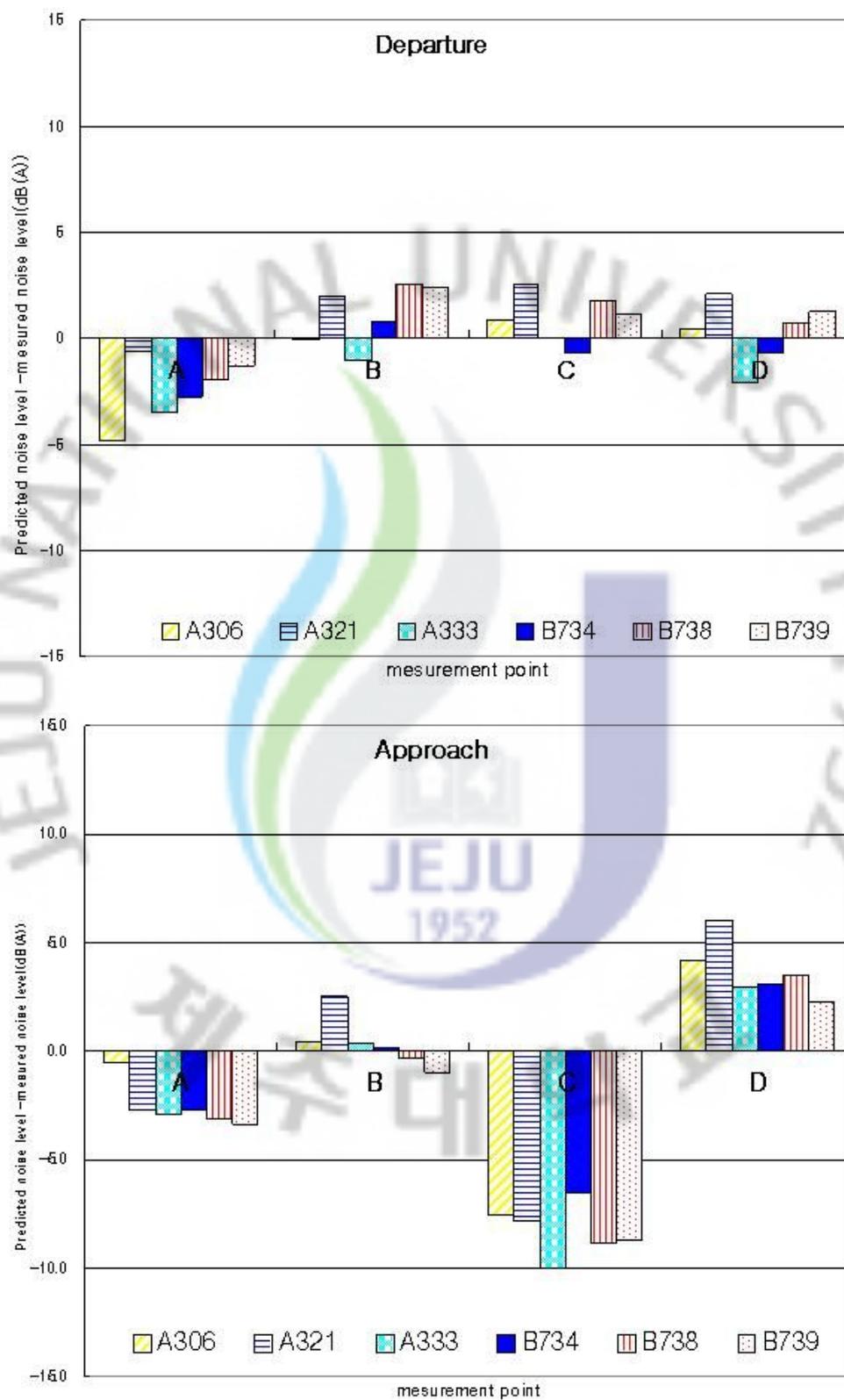


Fig. 4.20. The difference between measured noise level and predicted noise level.

### 3. 공항주변 항공기 소음감소를 위한 정책 제언

항공기 소음을 감소시킬 수 있는 대책을 수립하고자 복잡하고 오랜시간 동안 검증하여야 하는 항공기 운항에 대한 소음저감대책을 제외하고 공항 운영자의 의지만으로도 항공기 소음을 저감시킬 수 있도록 정책을 도입하고자 검토한다.

한국에서 해당공항의 항공기 소음을 감소시키기 위하여 시행하고 있는 대책은 항공법의 저소음 운항절차이다. 저소음 운항절차의 단어적 의미는 항공기 운항과 관련된 대책을 포함하고 있어야 하나 현재 한국에서는 항공기 운항에 대한 규제기준은 없고 공항주변에 소음측정기를 설치하고 해당 측정기에서 측정된 소음도 기준을 초과하지 않는 대책만을 시행하고 있다. 항공기 운항절차와 운항제한 등으로 항공기 소음을 감소시킬 수 있는 방안이 있음에도 불구하고 지정된 측정지점에서 항공기 소음을 측정하고 항공기 소음도 이상 측정되는 경우 저소음절차 위반으로 통보하여 소음부담금을 2배 추가 징수하는 제도만 시행하고 있다.

저소음 운항절차를 추가로 시행하기 위해서는 신설되는 저소음 운항절차를 고시하여야 한다. 저소음 운항절차를 추가로 시행하기 위해서는 관제사, 항공사, 소음지역주민 등 관계자들의 충분한 논의와 협력이 필요하지만 현재 이러한 소음저감 계획은 수립되지 않고 있다. 원인은 저소음 운항절차라는 것이 관제와 항공기 기동에 관한 내용을 포함하고 있을 뿐 아니라 지역주민과의 논의도 필요하는 등 절차적으로도 번거롭기 때문이기도 하지만 기본적으로 저소음 운항절차에 대한 인식부족으로 이에 대한 요구사항이 없기 때문이다.

항공기 소음대책사업을 주관하고 있는 정부당국에서는 항공기 소음을 감소시키는 것이 국가 예산을 절감시킬 수 있는 직접적인 연결고리임을 깨닫지 못하고 있다. 항공기 소음대책사업은 김포공항, 김해공항, 제주공항 등 총 5개 공항에 대하여 56.48km<sup>2</sup>의 면적에 36만명이 넘는 인구를 대상으로 시행하고 있다. 사업비는 총 3,649억원이 계획되어 있고 '94년부터 '08년도까지 1,469억원을 집행하였지만 총사업비의 40.2%만이 집행되었다. 국가는 이러한 막대한 예산이 들어가는 소음대책 사업

을 추진하기 위하여 재원을 확보하고 있지만 항공기 소음을 감소시켜 해당지역의 소음피해지역 면적을 감소시킨다면 소음대책사업비를 절감할 수 있다. 항공기 소음 감소를 위한 저소음 운항절차와 같은 실질적인 대책이 필요한 이유가 된다. 그렇지만 아직은 이에 대한 논의가 이루어지고 있지 않고 있다.

따라서 여기서는 여러 관계 기관들과 협력해야하는 항공기 운항과 관련 있는 절차는 제외하더라도 정책수립만으로 항공기 소음을 감소시킬 수 있는 실질적인 대책에 대해서 검토하고자 한다.

### 1) 소음 Footprints 활용

항공기 소음피해지역을 관리하기 위해서는 실제 측정된 소음도 자료를 사용하는 것이 우선이지만 실제 측정한 소음도 자료가 없는 경우에는 항공기소음적합증명 소음도와 항공기 제작사의 인가소음도와 같은 종류의 항공기 소음 측정 자료를 선택적으로 고려하여 사용할 수가 있다. 해당 항공기의 정보와 운항회수를 항공기 소음 예측프로그램에 입력하면 Fig. 4.21와 같이 이륙과 착륙의 과정에서 발생하는 소음 범위와 모양을 footprints할 수 있다. 항공기 footprints는 엔진과 기종의 특성에 따라서 다양한 형태의 소음도로 나타난다.

해당항공기의 footprints를 해당공항의 주거지가 표시된 도면위에서 확인하면 일정 소음도 이상이 미치는 범위를 비교할 수 있다. 해당항공기의 소음도가 영향을 미치는 footprints 범위 안에 주거지역이 형성되어 있으면 해당항공기 운항으로 인하여 항공기 소음민원이 발생될 수 있음을 예상할 수 있다.

Fig. 4.22에서 표시된 소음도는 65 dB(A)부터 시작하여 10 dB(A)의 간격으로 표시되어 있다. 민항기는 turbojet 엔진을 장착한 1970년대 항공기 소음보다는 turbofan 엔진을 장착한 1980년대 항공기 소음이 작고 1990년대 초의 turbofan 항공기 소음의 크기는 더욱 작다. 승객탑승 좌석이 비슷한 Airline Aircraft의 MD-83, B737-700 시리즈 및 B757-200 시리즈의 소음도를 비교해보면 어떤 항공기의 소음이 상대적으로 크게 영향을 미치는지 쉽게 비교할 수 있다. 군용기는 수송기 C5A 보다 F-16항공기는 이륙방향과 활주로 주변에서 이륙소음이 더 먼 지점까지 전달되지만 착륙소음은 상당히 작은 범위만 영향을 미치는 것을 비교할 수 있다.

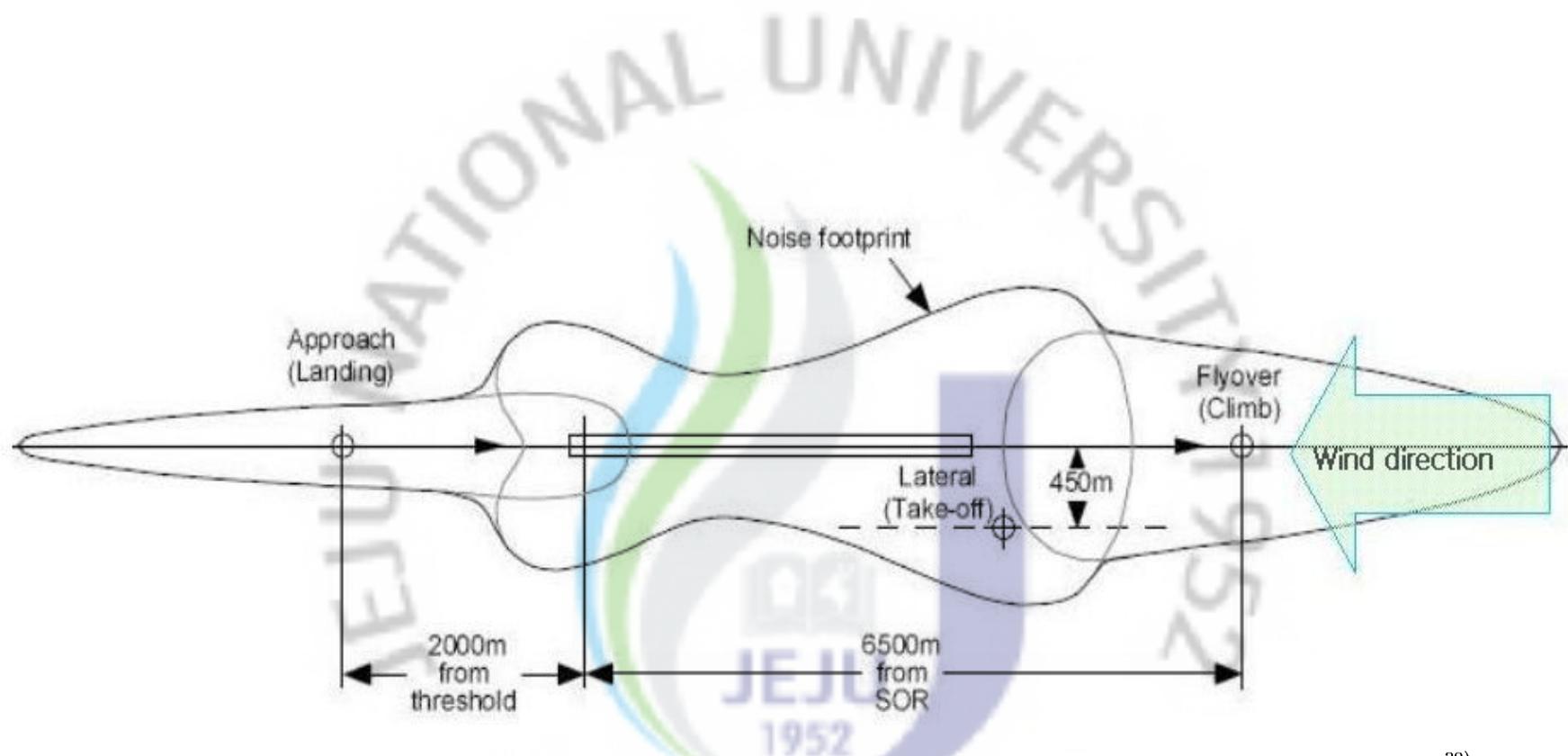


Fig. 4.21. Aircraft noise certification measurement points in relation to illustrative noise footprints.<sup>39)</sup>

공항주변 지역 주민들은 소음 발생이 적은 항공기 운항을 선호한다. 그러나 좌석이 많아 승객 수송율이 높은 항공기는 일반적으로 항공기 소음이 크기 때문에 공항에서는 소음이 낮고 승객 수송율이 높은 항공기가 운항되도록 선택하기가 쉽지 않다. 소음도가 낮은 항공기는 대부분 항공기 좌석의 수가 적기 때문에 정해진 승객을 수송하기 위해서는 운항회수 증가에 의한 항공기 소음 발생 횟수가 늘어나는 문제가 내포하고 있다. 항공기 소음지역을 관리하고자 한다면 가장 간단하게 항공기 소음을 감소시킬 수 있도록 소음 footprints로 항공기 소음을 비교하여 민원지역에 영향을 미칠 수 있는 항공기는 가급적 운항을 제한하는 것이 급선무일 것이다.

## 2) 항공기 추가운항 승인기준 적용

항공기 추가운항이 필요할 때 승인 기준이 필요하다. 현재는 항공기 소음을 감소시키기 위한 활동은 ICAO의 소음적합증명된 소음등급에 의한 서류를 제출하고 해당항공기의 소음부담금을 납부하는 정도이다. 특정 공항에 승객이 증가하여 항공기를 신규로 취항시키려는 경우 여객 수송을 위한 좌석이 많고 소음도가 낮은 항공기를 선택하는 것이 모두에게 가장 바람직한 결정이지만 적절한 항공기를 선택할 수 있는 객관적인 판단기준은 없다. 항공기 소음도가 낮고 더 많은 승객을 수송할 수 있는 기준이 있다면 항공 좌석 부족상태를 해소하고 항공기 소음피해지역의 주민들에게 소음도를 감소시킬 수 있을 것이다. 현재 우리나라에 운항하는 거의 대부분의 항공기가 5등급 이하의 저소음 항공기이므로 5등급 이하의 항공기 중에서 소음도가 더 낮은 항공기를 선택하기 위한 세부 기준이 마련되어 있지 않고 있다.

해당 공항에 항공기 추가수요로 인해 항공기를 투입하여 운항하면 해당 공항에서는 항공기 평균 소음도가 변경될 것이므로 항공기 소음도의 증감 정도와 해당 항공기의 승객 수송인원을 비교하고자 하였다. 본 연구에서는 항공기 소음을 줄이는 것이 목적이므로 항공기 소음이 감소하는 것을 우선순위로 정하고 동일한 소음이 발생하는 항공기라면 좌석이 많은 항공기를 선택될 수 있도록 하였다. 항공기 추가운항시에는 소음이 작고 운항좌석수가 많은 항공기를 선택한다는 2가지 기준을 정하였다. 항공기 소음도는 운항횟수가 2배가 되면 +3d B(A)가 증가하는 것을 기준으로 할 수는 있지만 승객 수송인원(좌석수)은 항공기의 기준좌석에 대한 절대값을 정할 수 없기 때문에 좌석수에 대한 비교 기준은 상대적인 비교만 가능하다.

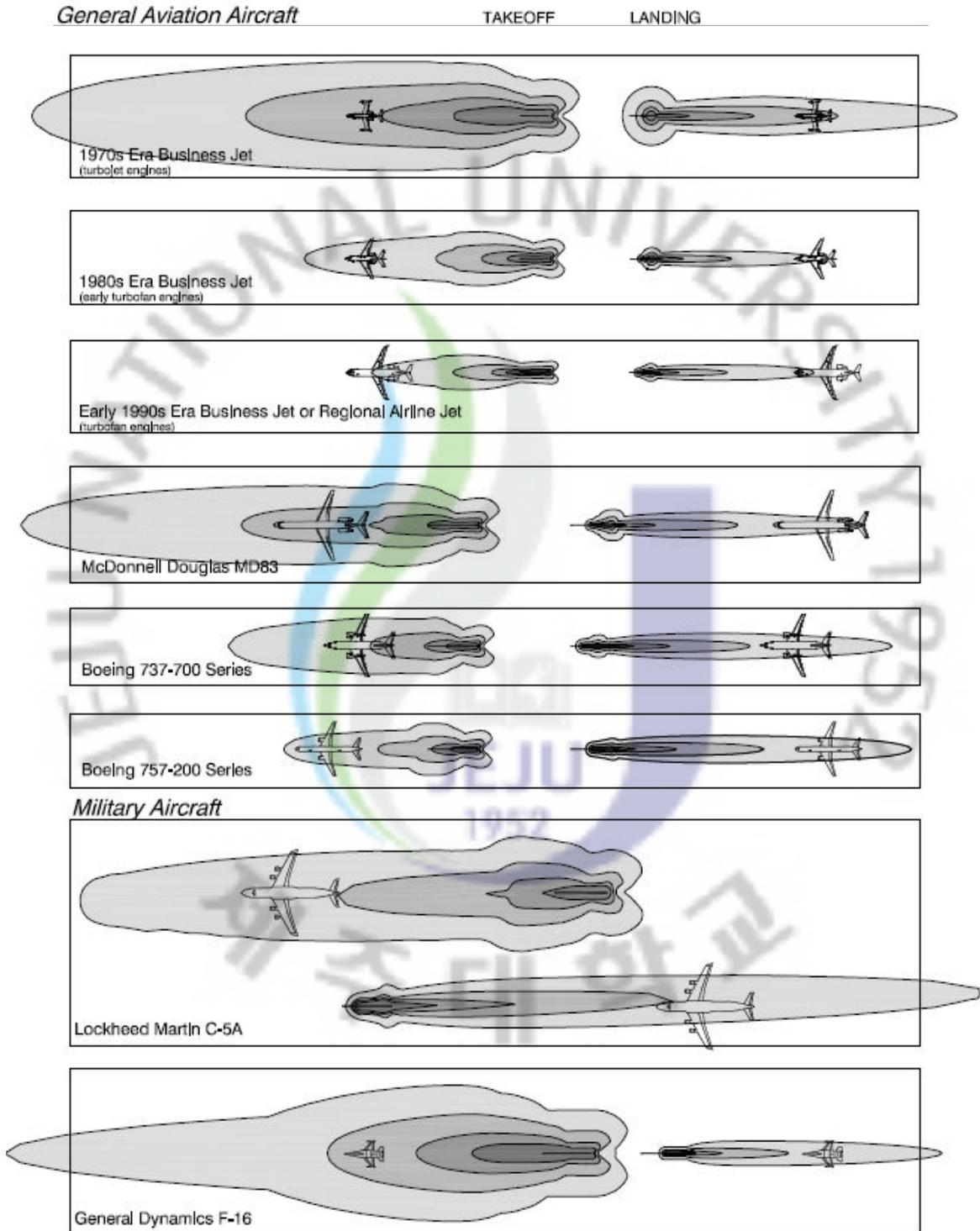


Fig. 4.22. Noise Footprints for various Aircrafts.<sup>40)</sup>

적용하는 항공기 소음도는 ICAO의 인가 소음도를 적용하였는데 공항여건상 소음 지역이 위치한 지역에 따라 항공기 소음은 이륙소음이 높은 지역과 착륙소음이 높은 지역 그리고 두 소음이 유사한 지역으로 구분할 수 있으므로 fly over, lateral, approach 소음도를 개별적으로 적용할 수 있다. 예로 fly over 지점에 소음지역이 위치하고 있으면 소음도 기준은 fly over 지점의 소음도를 기준으로 적용한다.

Table 4.11에는 항공기 운항조건에 따른 소음도를 기종별로 정하여 나타내었다. 본 연구에서는 Table 4.11에 나타난 3개 운항조건(fly over, lateral, approach)에 대한 소음도를 평균하여 사용하였다. Table 4.12에는 기록된 전체 기종이 각각 8회 운항하는 공항이 있다고 가정하면 58,384 좌석(29,192의 왕복)을 공급하기 위하여 이륙, 착륙과정에서 각각 120회 운항을 한다는 가정 하에 각 기종의 항공기 인가 소음도의 평균값과 운항조건에 따른 소음의 평균과 총 운항 회수에 의한 평균 소음도( $\overline{EPN}$ )를 제시하였다. 그리고 이 공항에서 추가로 항공기를 투입하는데 항공기 소음이 작고 좌석 공급률이 높은 항공기를 선택하려고 할 때의 선택 기준을 제시하였다. Table 4.12에서 보는 바와 같이 이 공항에서 추가로 투입될 항공기는 보통 오전 6시부터 22시까지 1일 4회 정도 왕복 운항할 수 있으므로 항공기 소음은 4회 추가 발생되고 소음도는 각 기종별로 합산되어 증감하게 된다.

평균 소음도( $\overline{EPN}$ )는 97.67 dB(A)보다 낮은 소음의 항공기가 운항하게 되면 평균 소음도( $\overline{EPN}$ )는 감소하게 되지만 평균 소음도( $\overline{EPN}$ )보다 높은 소음이 발생하는 항공기가 운항하게 되면  $\overline{EPN}$ 는 증가하게 된다. 해당 공항에 항공기 인가 소음도 평균 dB(A)가 92.0 dB(A)로 가장 낮은 B737-600기종이 1일 4회 추가 운항하게 된다면 1일 총 124회가 운항하게 되고 소음도  $\overline{EPN}$ 는 97.67에서 0.11 감소한 97.56 dB(A)이 된다. B747-400 항공기는 인가 소음도가 102.5 dB(A)로 가장 높는데 만일이 기종의 비행기가 1일 4회 추가 운항하게 되면 총 124회 항공기 운항에 따른 평균소음도( $\overline{EPN}$ )는 97.67에서 0.28 증가한 97.95 dB(A)이 된다.

Table 4.11. Aircraft noise certification levels<sup>41)</sup>

ordering	Aircraft	Engine	Aircraft Noise Certification Levels(EPNL)				seat number
			Fly over	Lateral	Approach	average (EPN)	
1	B737-600	CFM56-7B18	85.7	89.3	95.5	92.0	131
2	B737-900	CFM56-7B24	88.4	91.8	96.4	93.4	193
3	B737-700	CFM56-7B24	88.6	92.5	96.1	93.4	149
4	A320-214	CFM56-5B4/P	88	93.7	95.8	93.5	162
5	B737-800	CFM56-7B24	88.6	92.1	96.5	93.6	189
6	A321-211	CFM56-5B3/P	89.8	97.5	96.6	95.7	200
7	B737-500	CFM56-3-B1	87.3	90.0	100.0	95.8	127
8	B737-400	CFM56-3B-2	87.7	91.7	100.2	96.2	160
9	A330-322	PW4168	94.3	98.3	98.0	97.2	296
10	B777-200	RR TRENT 892	94.0	97.7	99.5	97.6	301
11	B777-300	RR TRENT 892	94.2	96.9	100.4	97.9	376
12	B767-300	PW4062(FB2B)	92.2	99.0	100.2	98.3	250
13	A300-622R	PW4158	93.1	97.9	101.9	99.0	276
14	B747-400	PW4056	101.6	99.7	104.7	102.5	384
15	B747-300	CF680C2B1	99.0	98.2	105.2	102.0	455

Table 4.12에서 추가운항에 따른 계획된 공급좌석수와 소음도 증감으로 계산한 결과 소음도가 감소한 추가 운항계획에서는 음수가 되고 소음도가 증가된 추가 운항계획에서는 양수가 된다. Table 4.12에서 추가 운항 계획에 가장 적합한 기종의 순위는 소음도가 상대적으로 낮고 좌석이 많은 기종은 B737-900이 된다. Table 4.12와 같이 추가로 취항하려는 항공기를 평균소음도 97.67보다 낮은 소음도를 가진

항공기와 높은 소음도를 가진 항공기소음도로 구분하였다. 승객의 증가로 해당공항에 4회 추가 운항 결과는 평균 4회 공항에 도착과 출발을 하므로 소음은 4회 추가로 측정된다. 120회 운항한 항공기의 평균소음도(97.67 EPNL)보다 낮은 기종(B737-600, B737-900, B737-700, A321-214, B737-800)이 각각 4회 추가 운항할 때의 소음도 변화를 계산해보면 0.09~0.1 감소하였으며 B737-600기종이 가장 많은 감소를 보였다. 그렇지만 해당기종의 좌석이 상대적으로 많지 않아 추가 운항 계획 순위로 보면 B737-900을 우선적으로 투입하는 것이 효과적인 것으로 평가되었다. 120회 운항한 항공기의 평균소음도(97.67 EPNL)보다 높은 소음도가 측정되는 기종 중에서 1일 4회 추가 운항하게 되면 +0.01~+0.28 증가할 것으로 평가되었다.

해당기종이 운항하면서 증감한 소음도 값과 공급 좌석수로 해당공항에 취항하는 기종의 우선순위를 정할 수 있다. EPNL 단위로 비교하지 않고  $L_{max}$ 나 SEL 단위를 사용하더라도 소음도 증감과 해당 항공기의 공급 좌석수를 비교하여 추가 운항을 허가하여야 하는 기종을 선택할 수 있다. 이러한 방법으로 항공기 소음의 감소와 공급 좌석수를 비교하여 소음도를 감소시키고 해당 공항의 공급 좌석수를 늘리는 정책을 결정할 수 있으므로 각 공항마다 현재 취항하고 있는 기종과 신규로 추가 운항하려는 항공기를 선택할 수 있을 것이다.

### 3) 기종별 운항제한 적용

소음이 높은 기종의 운항을 제한하여 소음도를 감소시키는 방안을 검토할 수 있다. Table 4.13은 2004년 11월부터 2005년 10월까지의 기간 동안에 운항한 항공기에 대한 소음측정자료 중 제주국제공항에서 활주로 말단 1.1 km 지점에 설치되어 있는 항공기 소음자동측정망에서의 자료를 활용하여 풍속 3 m/s이하인 경우에 대한  $L_{max}$ 를 정리한 것이다.

항공기는 기종별로 소음도 차이가 있고 항공기 특성상 좌석수 증감이 있어 동급 좌석이 장착된 항공기 중에서 소음도가 낮은 항공기가 운항하게 되면 해당공항의 항공기 소음은 감소한다. Table. 4.13에는 항공기의 최대 탑승 가능 좌석수를 기준으로 5개 그룹으로 분류하고 각 항공기의 소음도를 제시하였다. 그리고 Table 4.14에는 그룹별 운항기종의 변화에 대한 시나리오별 소음도를 제시하였다.

Table 4.12. Preferred ranking of aircraft for the reduction of noise due to additional flight operation

Aircraft	aircraft noise certification Levels (EPN)	present		additional flight					ranking
		operation	seat number	operation	noise (b)	seat number (c)	B-A (d)	(c) × (d)	
B737-600	92.0	8	1,048	4	97.56	524	-0.11	-58	4
B737-900	93.4	8	1,544	4	97.58	772	-0.09	-69	1
B737-700	93.4	8	1,192	4	97.58	596	-0.09	-54	5
A320-214	93.5	8	1,296	4	97.58	648	-0.09	-58	3
B737-800	93.6	8	1,512	4	97.58	756	-0.09	-68	2
A321-211	95.7	8	1,600	4	97.62	800	-0.05	-40	6
B737-500	95.8	8	1,016	4	97.62	508	-0.05	-25	8
B737-400	96.2	8	1,280	4	97.63	640	-0.04	-26	7
A330-322	97.2	8	2,368	4	97.65	1,184	-0.02	-24	9
B777-200	97.6	8	2,408	4	97.68	1,204	0.01	12	10
B777-300	98.0	8	3,008	4	97.68	1,504	0.01	15	11
B767-300F	98.3	8	2,000	4	97.69	1,000	0.02	20	12
A300-622R	99.0	8	2,208	4	97.72	1,104	0.05	55	13
B747-400	102.5	8	3,072	4	97.95	1,536	0.28	430	15
B747-300	102.0	8	3,640	4	97.90	1,820	0.23	419	14
<b>Total</b>	<b>97.67</b> (a)	120	29,192	124					

Table 4.13에서의 각 기종이 특정 공항에서 각각 10회 운항한다면 전체 140회의 운항에 의하여 공급좌석은 34,030석이고, 그에 따른  $\overline{L_{max}}$ 는 Table 4.14에서 보듯이 91.93 dB(A)이 된다. 각 그룹별로 소음도를 비교하여 소음도가 작은 항공기가 운항하도록 하면 Table 4.14의 시나리오 B와 같이 평균 소음도  $\overline{L_{max}}$ 는 89.07 dB(A)로 2.9 dB(A)이 감소할 것이고 좌석 수는 33,620석의 1.2%인 410석이 감소하게 될 것이다. 공항은 34,030석의 좌석이 필요하므로 부족한 좌석수를 보충하기 위하여 시나리오 C와 같이 그룹별로 1회씩 추가 운항한다면 공급좌석은 오히려 842석이 증가하지만 소음도는 89.10 dB(A)로 2.8 dB(A) 정도 감소한다. 항공기 운항회수가 증가하였으므로 현재 한국에서 사용하고 있는 WECPNL도 바뀌게 되는데 전체기종의 각 10회 운항 결과는 140회 이지만 주간시간대는 140대의 70%, 석간시간대인 19시부터 22시까지는 140대의 20%, 야간시간대인 22시부터 07시까지는 140대의 10%가 운항한다고 가정하면 운항회수 N은 322대가 되므로  $\overline{L_{max}}$ 는 91.93 dB이고 WECPNL은 90.0 dB가 된다.

Table 4.14와 같이 저소음 항공기 운항을 유도한 시나리오 B의 결과  $\overline{L_{max}}$ 는 89.07 dB가 되므로 WECPNL은 87.2 dB가 된다. 그러나 부족한 좌석을 공급하기 위하여 저소음기종이 각 1대씩 추가로 운항하므로 운항회수 N은 증가하게 된다. 운항회수 N은 시간대별 운항비율은 동일하더라도 운항회수가 증가하므로 운항회수 N은 322에서 333.5로 증가하고  $\overline{L_{max}}$ 는 89.1 dB이므로 WECPNL은 87.3 dB이 된다. 그룹별 항공기 소음도를 비교하여 저소음 항공기의 운항을 유도한 결과 좌석 공급을 유지하기 위하여 저소음 항공기 운항을 5대 추가로 운항시키더라도  $\overline{L_{max}}$ 은 감소 2.8 dB 감소하게 되고 WECPNL은 2.7 감소하는 것으로 평가된다. 따라서 항공사는 저소음 항공기를 도입하여 항공기 소음을 감소시키는 노력을 하고 있지만 저소음 항공기라도 소음도의 차이는 발생하고 있으므로 항공기 운항을 결정하는 공항 당국에서 동급 항공기 중에서 소음도가 낮은 항공기가 운항될 수 있도록 취향하고 있는 항공기라도 가급적 소음도가 낮은 항공기가 운항되도록 유도하는 정책이 필요하다.

Table 4.13. Noise level measured at RMT 1 at Jeju International Airport

Classification	Aircraft	seating capacity	departure $\overline{L_{125x}}$	approach $\overline{L_{125x}}$	Average $\overline{L_{125x}}$	
Group I	1	F-100	109	86.6	87.1	86.9
	2	B737-500	127	82.9	91.2	88.8
Group II	3	B737-400	160	85.1	91.8	89.6
	4	B737-800	189	83.5	90.0	87.9
	5	A321-200	200	79.8	87.9	85.5
	6	B737-900	193	85.6	91.1	89.2
	7	A321-100	195	85.1	88.8	87.3
Group III	8	A330-200	258	85.2	89.8	88.1
	9	B767-300	260	83.8	92.6	90.1
	10	A300-600	276	86.4	95.4	92.9
Group IV	11	B777-200	296	83.3	91.0	88.7
	12	A330-300	301	88.1	91.6	90.2
Group V	13	B747-400	384	86.6	96.7	94.1
	14	B747-300	455	91.8	102.3	99.7

Table 4.14. The noise level predicted from each scenario

Classification		Type of aircraft	scenario		
			A	B	C
Group I	1	F-100	10	20	21
	2	B737-500	10	-	-
Group II	3	B737-400	10	-	-
	4	B737-800	10	-	-
	5	A321-200	10	50	51
	6	B737-900	10	-	-
	7	A321-100	10	-	-
	8	A330-200	10	30	31
Group III	9	B767-300	10	-	-
	10	A300-600	10	-	-
Group IV	11	B777-200	10	20	21
	12	A330-300	10	-	-
Group V	13	B747-400	10	20	21
	14	B747-300	10	-	-
Total Operation			140	140	145
Total seating capacity			34,030	33,620	34,872
Total $\overline{L}_{max}$			91.93	89.07	89.10
WECPNL			90.0	87.2	87.3

## V. 결론

본 연구에서는 항공기 소음 평가에서 실제 적용되고 있는 각종 소음 측정 및 평가 수단들이 가지는 각종 불합리한 요인들에 대해서 실제 항공기 소음 측정 자료를 바탕으로 분석하여 그 개선 방법을 찾고자 했으며, 다음으로는 항공기의 이착륙에 따른 공항 주변의 특정 지점에서의 소음 수준을 신속하게 파악하고자 최소한의 항공기 운항 정보를 활용하여 지난 항공기 운항 상황을 잘 재현하고 그 당시 소음도를 간편하면서도 신뢰성 있게 추정할 수 있는 경험식을 제시하고자 했다. 끝으로 비교적 간단한 절차를 적용하여 시행할 수 있는 항공기 소음저감 방안들을 찾아 제시하고자 했다. 이러한 목적으로 이루어진 연구의 결과들을 정리하여 요약하면 다음과 같다.

1. 소음자동측정장비를 이용하여 장시간에 걸쳐 항공기 소음을 측정하고 소음도를 평가함에 있어서 고려해야할 영향요소들을 검토한 결과에 의하면 항공기 소음은 바람에 의한 음압상승, 배경소음의 증감, 특이소음의 혼입 등으로 소음의 지속시간을 판단하는데 영향을 미치고 있으며, 이로 인해  $L_{eq}$ ,  $L_{max}$ 로 소음도를 평가하면 측정장비의 threshold 설정에 의한 지속시간의 변화가 그대로 소음도 수준에 영향을 미치는 것으로 나타났고, SEL의 경우에는 지속시간의 변동에 의한 소음도 수준에 의한 영향이 아주 미미한 것으로 나타났다.

2. 항공기 소음을 측정하고 평가함에 있어서 단순히 소음측정 자료만으로는 항공기 소음을 파악하는데 많은 오류가 나타남을 확인할 수 있었으며, 이러한 오류는 항공기의 운항에 따른 항적자료와 연계시키면 대부분 피할 수 있는 것으로 판단되었다.

3. 항공기의 이륙과 착륙을 구분하고, 항적자료의 Gate 분석에 의한 측정 지점과 항공기간의 직선거리인 SD, 항공기 소음도 (EPNL) 그리고 측정지점에서의 실측 소음도 사이의 회귀분석을 실시하여 다음과 같은 항공기 이착륙 소음도를 추정할 수

있는 수식을 제안할 수 있었다.

$$\text{이륙시, } y=25.424+0.738(EPNL)-0.016(SD)$$

$$\text{착륙시, } y=27.304+0.668(EPNL)-0.045(SD)$$

여기서, EPNL은 항공기의 인가소음도(EPNL)를 의미하며, SD는 slant distance(m)를 의미한다.

4. 상기의 경험식을 이용하여 항공기 이착륙 소음도를 추정한 결과 추정 소음도와 추정 소음도 사이의 상관성( $R^2$ )을 보면 이륙시에는 0.6936, 착륙시에는 0.8635으로 매우 높은 상관성을 나타냈다. 따라서 이 경험식은 제주국제공항과 같이 단일 활주로를 사용하면서 운항되는 항공기의 기종이 유사한 국내 공항에서는 적용이 가능할 것으로 예상된다.

5. 실제 공항에서 항공기 운항과 관련된 단순하지만 효율적인 항공기 소음저감 방안을 제시해 보면, 운항할 항공기의 소음 footprints를 이용하여 소음피해지역에 소음이 미치는 영향을 사전에 파악하여 항공기 운항을 결정하면 소음저감에 도움이 될 것이며, 항공기를 추가로 운항해야 하는 경우 추가 투입할 항공기를 결정함에 있어서 항공기 소음도만을 기준할 것이 아니라 좌석 수도 함께 고려하여 운항기종을 결정하는 간단한 기준을 제시하였다. 또한 제주국제공항을 운항한 항공기를 등급별로 소음이 낮은 항공기로 운항하게 한다면 2.8dB(A)의 감소효과가 있음도 확인하였다.

이상의 연구 결과로 판단할 때, 우리나라에서도 항공기 소음을 평가함에 있어서 우선 측정 및 평가에서 현재의 Lmax 방식보다는 객관성이 보다 더 담보될 수 있는 SEL을 활용하는 것이 바람직함을 확인할 수 있었다. 그리고 항공기 이착륙 소음도를 예상할 수 있는 비교적 단순한 경험식이 마련되었으므로 우리나라의 많은 공항에서 항공기 소음측정 요구 민원에 대하여 적극적으로 대응할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 공항주변 항공기 소음감소를 위한 기준을 검토하여 항공기 소음을 감소시킬 수 있는 방안이 제시하였으므로 공항당국에서 이를 시행할 수 있는 근거를 마련하여 시행할 것을 기대한다.

## 참고문헌

1. 강대준 외, 1998, 공항주변 항공기 소음-일반공항을 중심으로, 국립환경연구원보 제 20권 Report of NIER, Korea Vol 20, 95~108, NIER No 98-08-523
2. 전형준 외, 2006, 항공기 소음자동측정망 자료를 이용한 소음평가단위와 WECPNL과의 상관관계 비교 연구, 한국소음진동공학회 2006년 춘계학술대회 논문집, 296~299
3. 이주엽 외, 2003, 자동측정망 데이터를 이용한 국내 항공기 소음 실태조사, 대한건축학회 학술개발논문집 23(1), 637~640
4. 김선우 외, 2002, 항공기 소음 환경기준 설정을 위한 연구, 한국소음진동공학회 논문집 제 12(6), 420~430
5. 전지현 외, 2001, 항공기 소음 평가 척도에 대한 비교연구, 한국소음진동공학회 2001년도 추계학술대회논문집 pp. 703~706
6. 이준호, 2009, 항공기 소음측정을 위한 소음·진동 환경오염공정시험기준의 문제점, 항공진흥협회 1(50), 154~168
7. 이준호, 2005, ICAO WECPNL과 dB(A)에 의한 WECPNL 비교연구, 항공진흥협회 제2호 통권 제38호, 120~135
8. 이준호, 2005, 항적자료를 이용한 항공기 소음관리 방안, 항공안전협회 2005년 제8회 항공안전세미나, 156
9. Republic of KOREA, AIP(Aeronautical Information Publication), 항공정보간행물, (2001)
10. ICAO, Doc 8168-OPS/611 volume I Aircraft operations part V Noise abatement procedures
11. European Commission, 2006, Study of Optimisation Procedures for Decreasing the impact of Noise II, SOURDINE II Final Report GRD2-2000-30105 (D9-1), 28~31
12. European Commission, 1999, Environment Requirements and Operational

Constraints, SOURDINE PL97-3043(D1). 60

13. European Commission, 1999, Environment Requirements and Operational Constraints, SOURDINE PL97-3043(D1). 59
14. ICAO, Doc 8168-OPS/611 volume I Aircraft operations part V Noise abatement procedures
15. European Commission, 2000, Establishment of Noise Abatement Solutions, SOURDINE PL97-3043(D3), 41
16. European Commission, 2001, Final Report, SOURDINE PL97-3043(D5), 12
17. The Sacramento County Airport System, 2006, Mather Airport Continuous Descent Approach(CDA) Noise Analysis Report
18. European Commission, 2000, Establishment of Noise Abatement Solutions, SOURDINE PL97-3043(D3), 53
19. European Commission, 2006, Study of Optimisation Procedures for Decreasing the impact of Noise II, SOURDINE II Final Report GRD2-2000-30105 (D9-1), 32~36
20. European Commission, 1999, Environment Requirements and Operational Constraints, SOURDINE PL97-3043(D1). 59
21. European Commission, 2000, Establishment of Noise Abatement Solutions, SOURDINE PL97-3043(D3), 60
22. European Commission, 2000, Establishment of Noise Abatement Solutions, SOURDINE PL97-3043(D3), 43
23. European Commission, 2000, Establishment of Noise Abatement Solutions, SOURDINE PL97-3043(D3), 45
24. European Commission, 2001, Final Report, SOURDINE PL97-3043(D5), 41
25. European Commission, 2000, Establishment of Noise Abatement Solutions, SOURDINE PL97-3043(D3), 58
26. 이준호, 2005, 민간항공기 소음평가 단위에 관한 연구, 한국소음진동공학회 논문집 16(5), 511

27. 부산지방항공청, 2006, 저소음운항절차 수립연구 용역, 68~69
28. 한국공항공사, 2005, 제주국제공항 항공기 소음평가용역 보고서, 22~23, 24, 28~29
29. 환경부, 2001, 21세기 소음진동 환경정책 방향 연구, 7~18
30. 이준호, 2005, 민간항공기 소음평가 단위에 관한 연구, 한국소음진동공학회 논문집 16(5), 507~511
31. 이준호, 2005, 군용항공기 소음평가 단위에 관한 연구, 한국소음진동공학회 논문집 15(5), 552~557
32. 이준호, 2005, dB(A)에 의한 WECPNL과 ICAO WECPNL과의 비교, 항공진흥협회 3(39), 116~119
33. 이준호, 2005, ICAO WECPNL과 dB(A)에 의한 WECPNL 비교연구, 항공진흥협회 2(38), 120~135
34. 이준호, 2005, dB(A)에 의한 WECPNL과 ICAO WECPNL과의 비교, 항공진흥협회 3(39), 99~120
35. 이준호, 2005, 군용항공기 소음평가 단위에 관한 연구, 한국소음진동공학회 논문집 15(5), 550~557
36. 이준호, 2005, 민간항공기 소음평가 단위에 관한 연구, 한국소음진동공학회 논문집 16(5), 503~513
37. 환경부, 한국공항공사, 2008, 항공기 철도소음평가방법 개선 및 환경기준 마련 연구보고서, 110~113
38. 국방부, 2001, 군용비행장주변 소음평가 연구 보고서,
39. JB Ollerhead, H Hopewell, 2002, Environmental Research and Consultancy Department Directorate of Airspace Policy Civil Aviation Authority ERCD REPORT 0204 Review of the Quotq Count(QC) system, Re-Analysis of the Differences between arrivals and departures
40. California Airport Land Use Planning Handbook, 2002
41. U.S Department of Transportation Federal Aviation Administration, 2001, Advisory Circular APPENDIX 3 AC36-1H

## 하늘을 날고 싶던 어릴적 꿈과 관한 이야기

마지막 논문수정을 끝내고 터벅터벅 내려오는 교정의 파란 하늘 끝자락에는 잊지 못할 짙은 석양이 드리웠고, 그 길엔 나 혼자였다.

종이 비행기를 접어 파란 하늘에 던졌다.

하늘 멀리 비행기는 날아 올랐다.

비행기를 조종해서 넓은 하늘을 날고 싶었다.

그러나 조종사가 될 수 없었고, 다만, 비행기와 가까운 곳에 있고 싶었다.

하늘을 날고 싶던 꿈은 40년이 지났고 공항에 근무한지 20년이 되었다.

공항에 근무하면서 매일 보는 비행기의 모습은 나를 설레게 했고 어릴적 꿈을 구체적으로 형상화하고 싶었습니다. 멋진 항공기는 공항을 이착륙하면서 소음을 발생시키고 있었고 항공기 소음 민원 업무를 담당하게 되었습니다. 항공기 소음을 측정하고 관리하면서 소음값의 높고 낮은 data의 원인을 분석하고 수치화하고 있었고, 때마침, 항공기 소음자동 측정장비가 설치되어 기록된 항적자료를 연계하여 살펴보기 시작하였습니다. 그러나 항공기 운항에 대한 부족한 지식과 분류한 자료를 저장한 서버 손상까지 발생되어 구체화시키기까지 많은 시간이 소요되었고 장비를 운영한지 만 5년이 지난 2009년부터 본격적으로 학위 논문을 쓰게 되었습니다.

항공기 운항에 의한 항적자료와 소음의 관계에 대한 내용으로 논문을 쓰려고 했지만 선행 연구된 다양한 자료를 찾을 수 없었고, 이 주제가 과연 완성될 수 있을까 불안한 마음까지 생겼습니다. 그러나 이기호 교수님의 열정으로 이 논문은 완성되었습니다. 바쁘신 와중에도 이 논문을 지도해주시기 위하여 애쓰신 교수님의 노고에 진심으로 감사드립니다.

그리고, 다른 연구자들이 시도하지 않은 분야의 학위는 더 많은 힘든 과정을 겪게 된다고 용기를 북돋아 주신 허목교수님, 논문의 부족함을 안타까워하시면서 방향을 제시해주신 허철구 교수님, 아주 세밀하신 부분까지 조언을 아끼지 않으신 감

상규 교수님, 더운 여름 마지막까지 comment 해주신 팽동국 교수님, 그리고 논문심사는 담당하시지 않으셨어도 진행과정에 대하여 많은 애정과 관심을 기울여주신 조은일 교수님과 이용두 교수님, 이러한 교수님들의 지도가 논문을 완성하는데 큰 영향을 주셨습니다. 감사합니다.

그리고, 바쁜 업무에도 많은 배려를 해주신 유형종 팀장님과 같이 일하고 있는 동료들, 항공기 소음업무를 하면서 만난 제주특별자치도청의 김양보 과장님과 10년 동안 제주국제공항 항공기 소음 문제를 함께한 도 관계자 분과 항공기 소음피해지역 주민 여러분들에게도 고마움을 전하고 싶습니다.

대학원 선,후배님들, 다정한 진영이, 믿음을 주는 대경이, 멀리서 공부하는 우석이, 듬직한 경호, 장가 잘 간 대준이, 자신감 있는 태권이, 성실한 성민이, 예쁜 아기가 기대되는 경연이, 깨끗한 혜영이, 마지막 날에도 옆 자리를 지켜준 점심형 인간 (양)기호, 음료수 한잔 하자며 힘이 되어준 승혁이, 그리고 더 열거하지 못한 많은 분들, “고맙습니다.”

또한, 제주국제공항에 항공기 소음자동 측정장비를 설치하고 운영하면서 발생된 상황마다 도움을 주신 삼우환경건설탄트의 황규만 고문님과 황규호 사장님의 도움도 잊지 않겠습니다.

사랑하는 가족들, 듬직한 모습만으로도 용기를 주는 아들 이기명, 밝은 웃음으로 아빠를 맞이하는 딸 이기현, 논문 쓰는데 불편함이 없도록 항상 신경써주는 아내 이민경, 그리고 40년이 지난 지금도 하늘나라에서 조종관을 잡고 계실 아버님과 혼자서 네 명의 누나와 저를 사람 구실할 수 있도록 건강하게 키워주신 어머니 영전에 이 논문을 바칩니다.

2010년 8월

이 준호

