한국소음진동공학회논문집 제 15 권 제 5 호, pp. 550~557, 2005.

군용항공기 소음평가 단위에 관한 연구

A Study on the Evaluation Unit of a Military Aircraft Noise

이 준 호†

Jun-Ho Lee

(2004년 2월 4일 접수 ; 2005년 3월 23일 심사완료)

Key Words : Duration Time(지속시간), L_{MAX} : Maximum Sound Level(최고소음레벨), $L_{Aeq,T}$: Equivalent Continuous A-Weighted Sound Pressure Level(등가A가중음압레벨), SEL : Sound Exposure Level(단발소음노출레벨), EPNL : Effective Perceived Noise Level(실효지각 소음레벨), Military Aircraft Noise(군용 항공기 소음), Civil Aircraft(민간 항공기 소음), WECPNL(가중등가연속인지소음레벨)

ABSTRACT

Korean "Law of Aviation" and "Test Method of Measuring Noise and Vibration" designate to use WECPNL metric based on L_{max} measurement for the accessment of aircraft noise in Korea. However, time duration of noise event can not be considered in L_{max} metric in principle, compensation on the duration has been utilized. A study was done recently to evaluate appropriate duration compensation for the accessment of military aircraft noise under current metric of WECPNL and L_{max}. This study was carried out to evaluate what metric is the most appropriate to express aircraft noise including time duration of single noise event, computing and comparing noise exposure with 1 second noise measurement data of military aircraft in L_{MAX}, $L_{Aeq,T}$ and SEL. This study shows SEL is the most appropriate noise metric for the evaluation of noise exposure with time duration such as aircraft noise without compensation. It is suggested to use SEL noise metric instead of L_{max} noise metric with duration compensation for the aircraft noise accessment either military aircraft or civilian aircraft.

1. 서 론

군용항공기에서 측정되는 소음의 특징은 다양한 운항패턴으로 인하여 민간항공기에서 볼 수 없는 소음곡선의 형태가 있으며 지속시간이 긴 것이 특징이다. 또한, 항공기 소음이 측정되고 있는 공항주변은 도심화가 이루어져 있어 배경소음으로 분리되는 생활소음의 변화가 심하여 대상소음인 항공기 소음을 분리하여 측정할 수 있는 장소를 지속적으로 유지하는 것도 어려운 것이 현실이다. 최근에 군용항공기 지속시간 보정에 대한 군용항공기 소음평가 방법에 관한 연구논문이 발표된바 있으며 WECPNL 값은 4~7 dB(A) 증가[1]되는 것으로 조사되었다. 그러나 WECPNL 값은 4~7 dB(A)의 변화는 항공기 항로 방향 약 1~2 km, 항로 측면방향으로는 약 100~200 m의 범위 안에 있는 지역이 지속시간 보정 기준에 따라 항공기소음피해(예상)지역에 포함되기도 하고 제외되기도 하는 문제점으로 나타난다는 것이다. 따라서, 현재의 소음진동공정시험방법에서 제시한 지속시간 보정방법으로는 객관적으로 지속시간을 보정할 수 없으므로 이러한 문제점을 해결하고자, 본 연구에서는 다양한 패턴의 군용항공기의 소음측정 결과를 객관적으로 평가할 수 있도록 소음평가 단위를 실측

† 책임저자 : 정회원, 한국공항공사 제주지사 항공기 소음감시센타
E-mail : 00ping@airport.co.kr
Tel : (064) 797-2350, Fax : (064) 797-2320

자료로 검증하여 군용항공기 뿐만 아니라 민간항공기의 소음 평가방법에서도 적용할 수 있도록 항공기 소음평가 단위를 제시하고자 한다.

2. 군용항공기의 소음평가의 문제점

2.1 운항대수 적용의 문제점

한국의 소음진동공정시험방법에서 고시하여 사용하고 있는 항공기 소음을 평가하는 식(WECPNL)은 ICAO(국제민간항공기구)에서 제안한 WECPNL 식을 일본에서 단순화시켜 사용하는 식으로 ICAO의 WECPNL과는 다른 식이다.[2] 소음진동공정시험방법에서는 항공기 통과시마다 원칙적으로 암소음보다 10 dB(A)이상 크고, 항공기소음의 지속시간이 10초 이상인 대상소음만을 측정하여야 하며, 그 지시치중의 최고 소음도를 측정하고 당일의 평균 최고소음도(LA $= 10\log\left[1/N\left(\sum_{i=1}^{N}10^{0.1Lmaxi}\right)\right]\ \mathrm{dB}(A)$)[3]를 계산하고 항공기 운항대수를 적용하여 상수(27)만큼 제외한 값으로 평가하고 있다. 그러나 군용항공기는 소음측정지점 상공에서 대부분 편대로 전술훈련비행을 하는 것이 주 운항패턴이고 레이더의 2차 감시레이더(SSR) 코드를 한 개로 부여받기 때문에 몇 대의 항공기가 편대로 운항하고 있는지 자동으로 확인하기가 곤란하다. 편대로 운항하는 전술비행은 측정지점을 연속적으로 통과하여 항공기가 통과하는 시간차에 의하여 여러 개의 소음 peak치가 발생되고 있고, 기지 주변에서 동시 이륙, 장주진입 착륙, 단주진입 착륙 및 선회 등, 대상소음을 유발하는 항공기 이외의 다른 항공기 소음이 동시에 유발되고 있기 때문에 측정된 최고 소음도(L_{MAX})를 자동 또는 수동측정 방법으로 항공기 운항대수(N)를 확인하여 WECPNL 계산식에 반영한다는 것은 현실적으로 불가능하다.

2.2 지속시간

소음진동공정시험방법에서는 지속시간을 보정하기 위하여 헬리포트 주변 등과 같이 암소음보다 10 dB(A)이상 큰 항공기소음의 지속시간 평균치(D)가 30초 이상일 경우에는[$+10\log(D)/20$][3]를 WECPNL에 보정하도록 되어 있으나 암소음은 항상 변하고 있고, 군용항공기 소음이라도 한 순간에 폭발적으로 높아져서 대상소음과 암소음이 구별되어지는 것이 아니고 항공기가 접근하면서 점차 증가되어 들리기 때문에 암소음 보다 10 dB(A) 높은 항공기 소음이 시작되는 시간을 객관적으로 선택하여 지정할 수 없는 것이다. 또한, 다수의 항공기가 동시에 소음을 유발하여 지속시간이 30초 이상 유지되는 경우 지속시간을 보정하여야 하지만 배경소음이 변하고 있으면 객관적으로 지속시간을 설정한다는 것은 사실상 어렵다. 따라서 L_{MAX}를 측정하여 지속시간을 보정하는 방식은 측정자의 주관에 따라 보정값이 변하는 상황이 발생하므로 적절한 평가방식으로 볼 수 없으므로 다른 평가식을 검토하는 것이 바람직하다.

3. 군용항공기의 소음의 분석

3.1 운항패턴에 의한 소음도 분석

2004년 O월 OO기지에서 측정한 1초 data에서 항공기 소음 측정을 주관적으로 구별할 수 있는 기간만 선별하여 29개 운항패턴 별로 선별하였다. 측정지점은 활주로 21방향 break release point에서 약 60° 방향으로 640 m 떨어진 지점이었고 소음진동공정시험방법과 KS A ISO 3891에 의한 조건에서 ±0.5 dB(A) 정밀도의 Type1 측정기를 사용하여 측정하였다. 그림에서 runway 21은 210도 방향으로 진행하는 것이고 runway 03은 반대로 30도 방향으로 진행하는 것이다.

(1) 이륙 소음

항공기 이륙은 각 기종별 표준비행절차가 정해져 있지만 보통 1대, 2대 동시, 1대씩 2대 연속, 4대 동시이륙 등 다양한 형태로 이륙하게 된다. 한국군의 군용항공기는 민간항공기와는 다르게 break release point지점에서 throttle 테스트를 한 후에 afterburner를 사용하면서 이륙하기 때문에 민항기 이륙소음과는 다르게 약 2분 동안의 상대적으로 높은 지속 소음이 발생하고 소음피크 곡선이 1개 이상으로 나타나는 특징이 있다.

(2) Touch and Go 소음

군용항공기는 전술상 Touch & Go 형태의 훈련을 주기적으로 수행하고 있다. 이륙과 거의 동일한 출력을 사용하기 때문에 L_{MAX}는 이륙소음과 유사하지만 Fig. 1 및 Fig. 2와 같이 엔진 throttle 테스트에 의한 발생 소음이 없고 이륙 상태의 항공기에 비하여 통과속도가 상대적으로 빠른 것이 특징이다.

(3) 착륙소음

민간 항공기도 착륙 시에는 활주로 측면지점에서 이륙 소음과는 다르게 상대적으로 낮은 항공기 소음이 측정되고 있다. Fig. 4는 이륙소음에 비하여 작은 상태의 엔진 출력에 의한 소음이 잘 나타나 있다. 그러나 착륙소음은 착륙 전에 기지 상공을 선회하면서 편대로 진입하는 통과소음과 연관하여 지속시간을 검토하여야 한다.

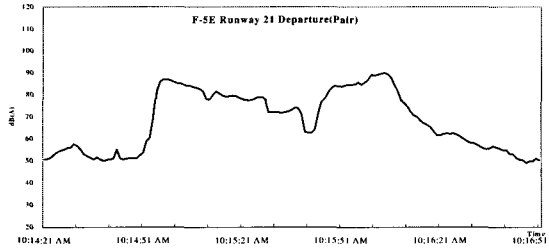

Fig. 1 F-5E departure(pair)

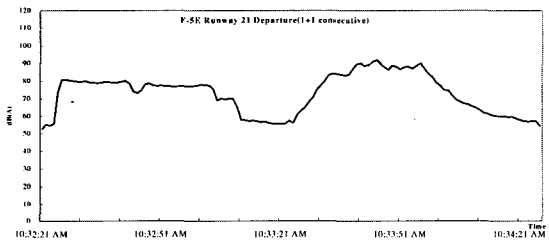

Fig. 2 F-5E departure(1+1 consecutive)

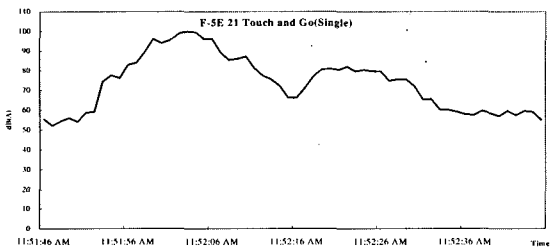

Fig. 3 F-5E touch & go(single)

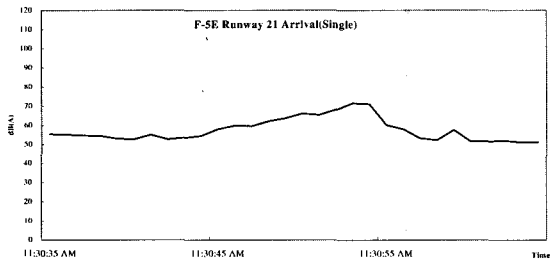

Fig. 4 F-5E arrival(single)

(4) 통과소음

군용항공기는 민간항공기와는 다르게 착륙을 시도하기 위하여 활주로 상공으로 진입하여 기지 주변을 선회한 후 착륙하기 때문에 착륙소음과는 구별되는 소음이 발생하고 있다. 편대비행이나 단독비행으로 기지 상공에 진입하는 군용항공기는 비상상황 이외에는 활주로를 선회하여 육안으로 활주로 상태를 확인한 후 정해진 진입절차에 따라 1번 이상의 선회를 거친 후 착륙을 하거나, 시차를 유지하면서 편대로 기지 상공을 통과하기 때문에 측정지점에서는 몇 개의 피크로 나타나기도 한다. 통과소음은 고도가 높을수록 낮은 L_{MAX}와 완만한 형태의 소음곡선 그래프가 발생하는 특징이 있다.

3.2 SEL, $L_{Aeq,T}$ 및 지속시간 보정 L_{MAX}비교

항공기 소음이 들리는 시점부터 측정한 자료를 5 dB(A)간격으로 자극역치(threshold)를 설정하였다. 다만 항공기 소음이 배경소음보다 10 dB(A)이상 높은 상태라 하더라도 배경소음이 단발적으로 혼입되어 대상소음에 직접적으로 영향을 주지 않았다고 판단된 경우와 대상소음이 분명하게 들리는 시간동안 다른 항공기 음이 혼입되었다 하더라도 10 dB(A)의 차이를 구별하기 어려운 측정상황은 정상적인 측정상황으로 구별하였다. 전체 측정시간을 지속시간으로 적용하거

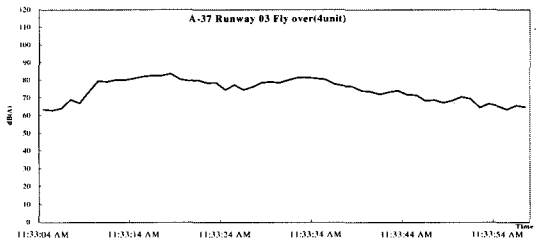

Fig. 5 A-37 fly over(4unit)

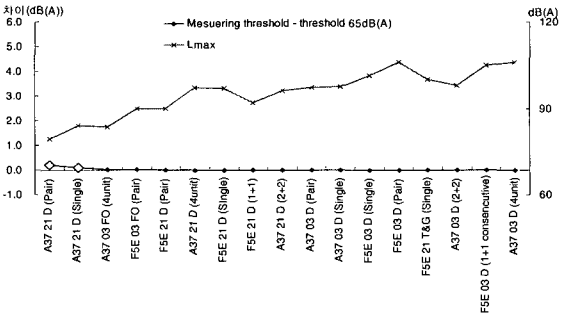

Fig. 6 SEL Variation by threshold

나 일정 threshold 이상의 측정시간을 지속시간을 보정한 L_{MAX}와 SEL을 비교하였다. Fig. 6은 65 dB(A) 이상의 소음이 30초 이상 지속된 측정값과 전체 지속시간과의 SEL차이를 비교하였다. Fig. 6에서 SEL값이 0.1 dB(A)이상 차이가 나타나는 것은 2가지 운항패턴이었고 나머지 15개 운항패턴은 차이가 없었다. Fig. 7은 전체 지속시간을 보정한 L_{MAX}와 60 dB(A) 또는 65 dB(A)이상의 지속시간을 보정한 L_{MAX}와의 차이를 비교하였다. 그러나 지속시간을 보정한 L_{MAX}는 일정한 패턴이 없이 0~5 dB(A)정도 차이가 발생하고 있어 L_{MAX}에 +10 Log(T/20)으로 지속시간을 보정하여 사용하는 것은 곤란한 것으로 조사되었다. 따라서 지속시간에 대한 보정을 고려한 측정방법으로 SEL이 적합한 것으로 판단된다. Fig. 8~15는 Fig. 6 및 Fig. 7에서 계산값의 차이가 상대적으로 많이 발생한 운항패턴을 각 지속시간별로 비교하였다.

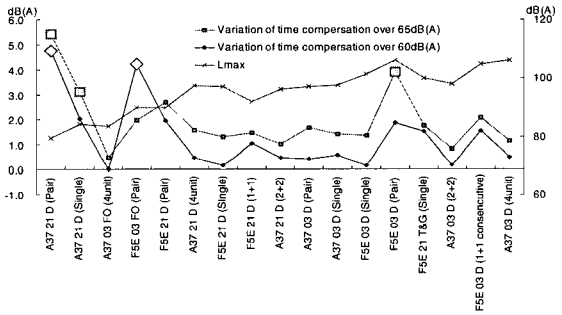

Fig. 7 L_{MAX} Variation by duration time

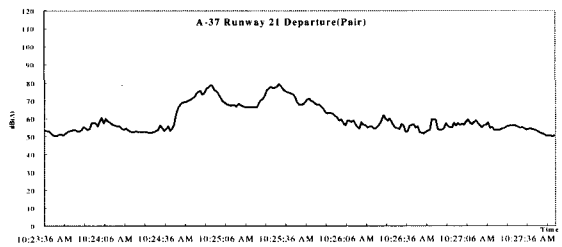

Fig. 8 A37 runway 21 departure (pair)

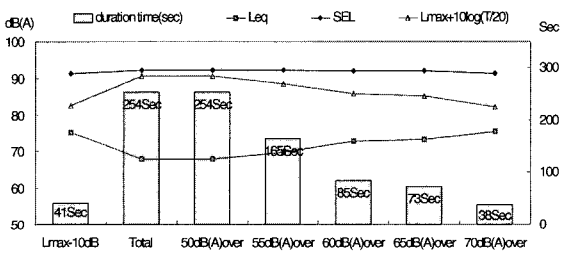

Fig. 9 Comparison of picture 8 (L_{MAX} = 79.5 dB(A))

3.3 지속시간에 따른 SEL 측정값 비교

앞 절에서 항공기 운항형태에 따른 지속시간이 30초 이상인 경우에 한하여 각 측정값을 비교한 결과

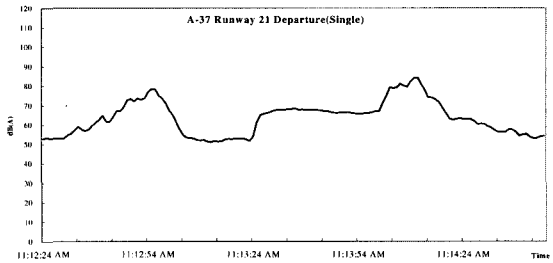

Fig. 10 A37 runway 21 departure (single)

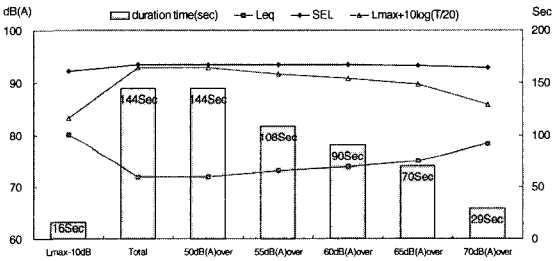

Fig. 11 Comparison of picture 10 (L_{MAX} = 84.2 dB(A))

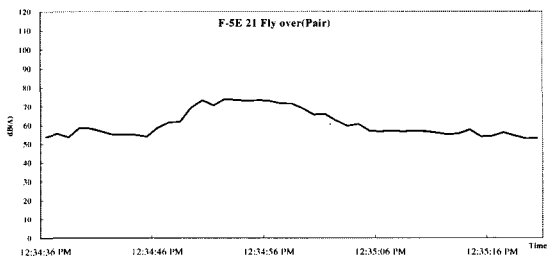

Fig. 12 F5E runway 21 fly over (pair)

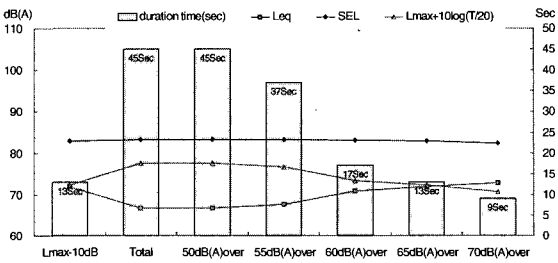

Fig. 13 Comparison of picture 12 (L_{MAX} = 74.1 dB(A))

SEL은 대부분 0.1 dB(A) 미만의 차이만 보이고 있고 지속시간과 관계없이 거의 일정한 상태를 유지하므로 지속시간 보정에 필요한 측정단위로는 SEL이 적합한 것으로 조사되었다. 이번에는 지속시간이 30초 미만의 운항조건까지 포함된 29개 전체자료를 조사하였다. 각 운항의 소음도를 측정된 지속시간으로 보정한 L_{MAX}와 65 dB(A)이상의 지속시간으로 보정한 L_{MAX}의 차이를 비교하였더니 11.8 dB(A)까지 차이가 발생되었고 특정한 패턴이 없었다. 측정된 지속시간을 보정한 SEL과 65 dB(A)이상의 지속시간을 보정한 SEL과의 차이를 비교한 결과, 1 dB(A) 이상 발생된 운항패턴은 Fig. 17~Fig. 19와 같이 곡선의 피크 형태가 완만하고 65 dB(A) 이상의 지속시간이 짧은 경우이며, Fig. 17과 같이 대상소음과 배경소음

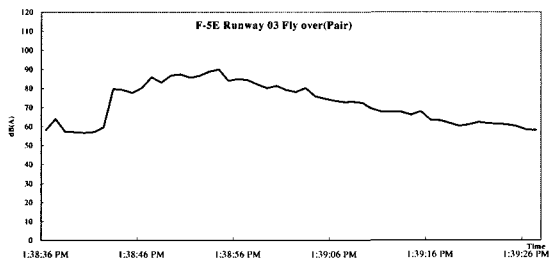

Fig. 14 F5E runway 03 fly over(pair)

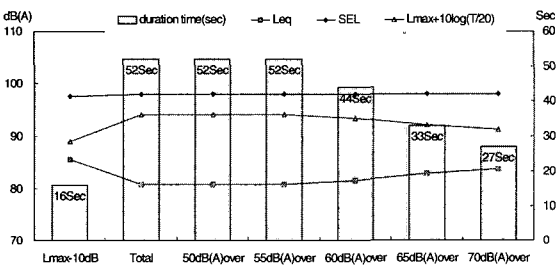

Fig. 15 Comparison of picture 14 (L_{MAX} = 90.0 dB(A))

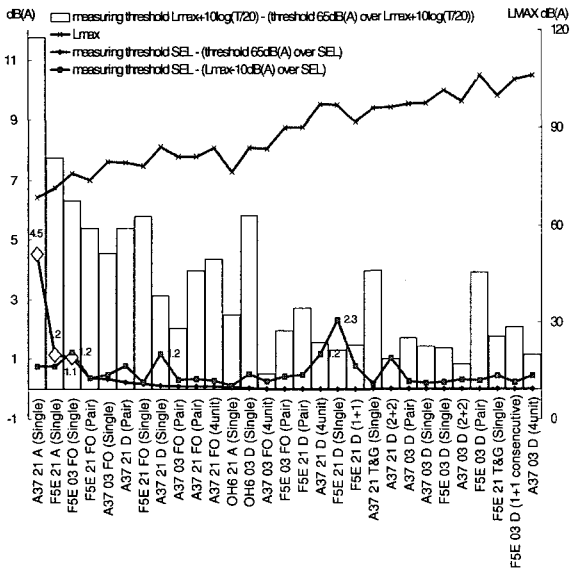

Fig. 16 Comparison of noise data

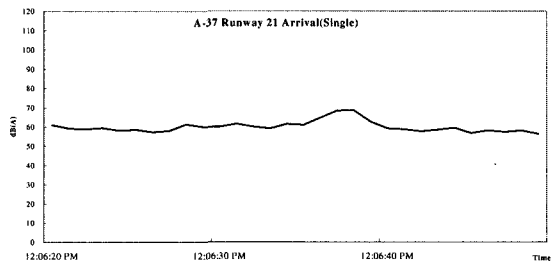

Fig. 17 A-37 arrival(single)

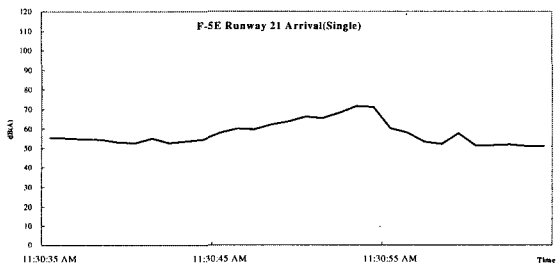

Fig. 18 F-5E arrival(single)

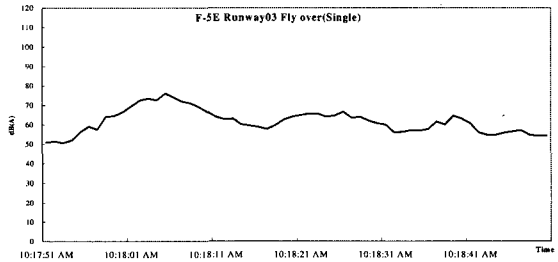

Fig. 19 F-5E fly over (single)

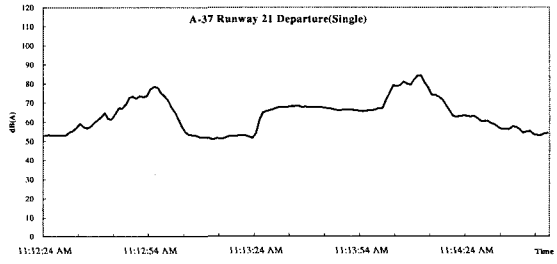

Fig. 20 A-37 departure(single)

과의 L_{MAX} 차이가 10 dB(A) 미만으로 측정되는 활주로 측면지점이었다. 또한, 측정된 지속시간으로 보정한 SEL과 L_{MAX}-10 dB(A)이상의 지속시간으로 보정된 SEL의 차이가 1 dB(A)이상 발생하는 운항패턴은 이륙으로 Fig. 20~Fig. 22과 같이 소음곡선의 피크가 1개 이상이 나타나는 소음곡선이다. 군용항공기는 소음의 피크 곡선이 1개 이상 발생되는 경우가 많기 때문에 L_{MAX}에서 -10 dB(A) 이상의 지속시간으로 보정한 SEL보다는 L_{MAX} 및 배경소음을 고려하여 자극역치(threshold) 이상(예 : 65 dB(A))의 지속시

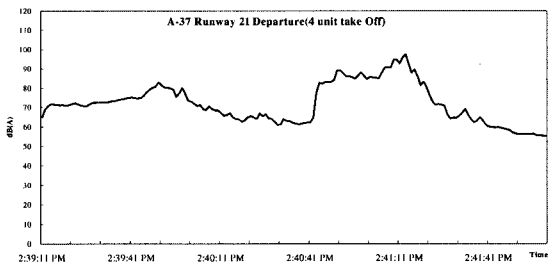

Fig. 21 A-37 departure(4unit)

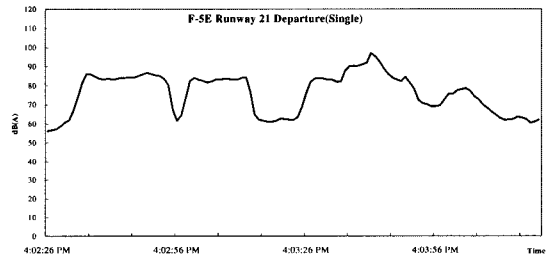

Fig. 22 F-5E departure(single)

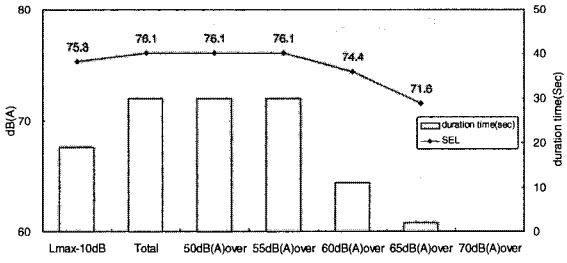

Fig. 23 A37 runway 21 arrival (single) (L_{MAX} = 68.1 dB(A))

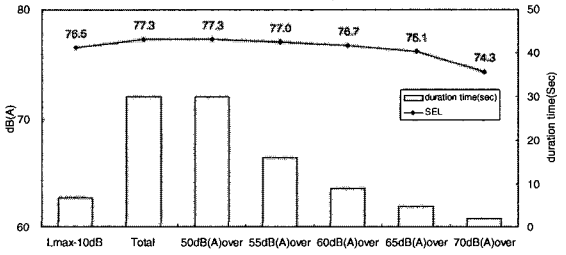

Fig. 24 F5E runway 21 arrival (single) (L_{MAX} = 71.5 dB(A))

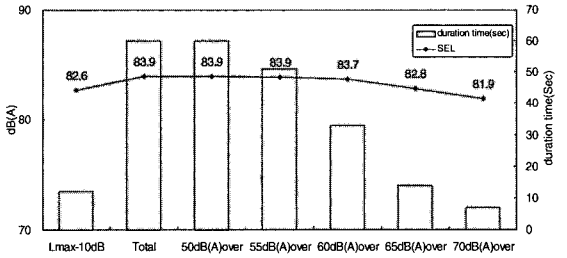

Fig. 25 F5E runway 03 fly over (single) (L_{MAX} = 76.1dB(A))

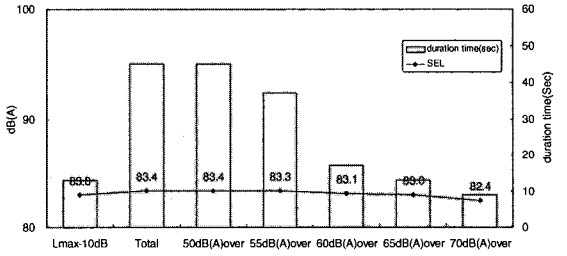

Fig. 26 F5E runway 21 fly over (pair) (L_{MAX} = 74.1 dB(A))

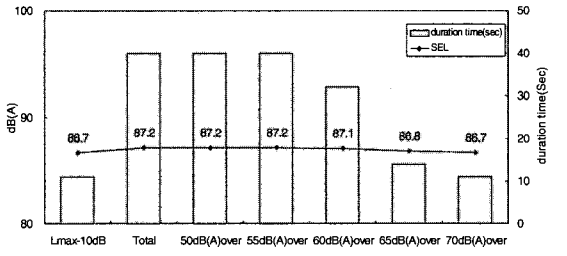

Fig. 27 A37 runway 03 fly over (single) (L_{MAX} = 79.7 dB(A))

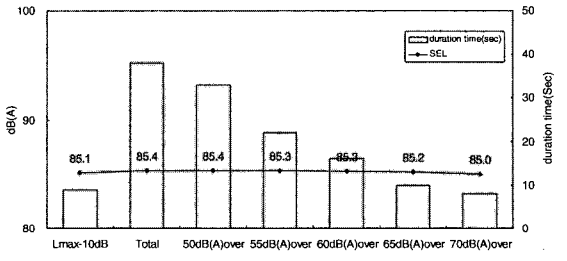

Fig. 28 F5E runway 21 fly over (single) (L_{MAX} = 78.4dB(A))

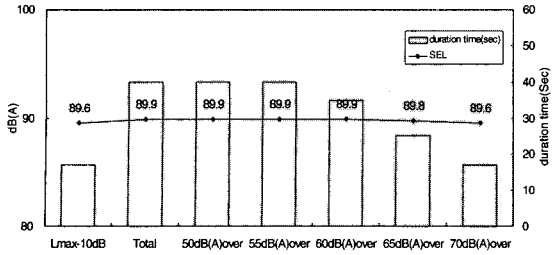

Fig. 29 A37 runway 03 fly over (pair) (L_{MAX} = 81.2 dB(A))

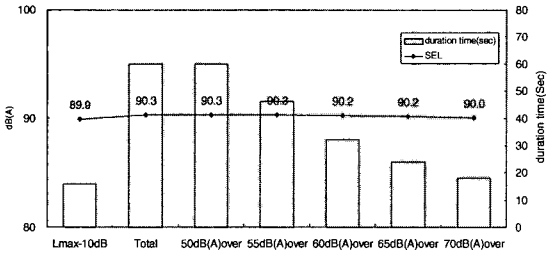

Fig. 30 A37 runway 21 fly over (pair) (L_{MAX} = 81.4 dB(A))

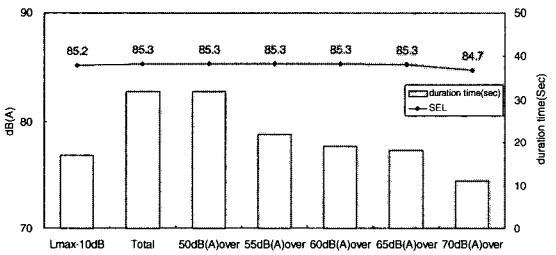

Fig. 31 OH6 runway 21 arrival (single) (L_{MAX} = 76.6 dB(A))

간을 SEL로 측정하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

3.4 동시운항에 따른 운항대수 적용

SEL은 발생한 소음을 총에너지와 동등한 에너지를 갖는 계속시간 1초인 정상소음으로 바꿔 놓고, 그 소음레벨에 의해 나타난 양[4]이므로 가장 높은 대상소음의 L_{MAX}를 측정하는 동안에 다른 항공기 또는 배경소음이 변하여 대상소음에 혼입되더라도 SEL 값에는 거의 영향이 없게 되는 것이다. Fig. 23 ~Fig. 34는 65 dB(A) 이상의 소음이 30초 미만으로 기록된 12개 측정 자료에 대하여 자극역치(threshold) 5 dB(A)별로 계산한 결과로 운항패턴 중 착륙소음과 같이 완만한 형태(Fig. 17~Fig. 19)의 소음을 제외하고는 지속시간이 변하더라도 SEL은 큰 차이가 발생하지 않는 것으로 조사되었다. 따라

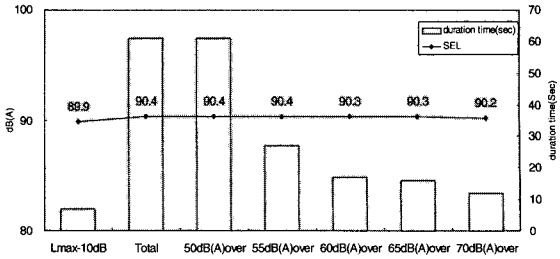

Fig. 32 OH6 runway 03 departure (single) (L_{MAX} = 84.0 dB(A))

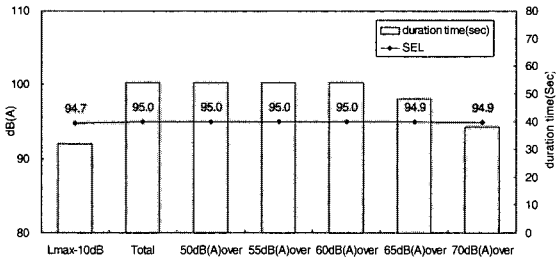

Fig. 33 A37 runway 03 fly over (4unit) (L_{MAX} = 83.6 dB(A))

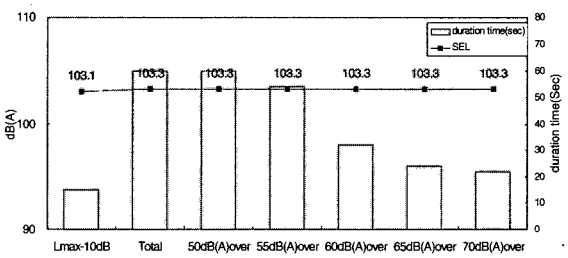

Fig. 34 A37 runway 21 touch & go (single) (L_{MAX} = 96.0 dB(A))

서 동시 운항으로 배경소음이 증가하여 지속시간이 길어지더라도 SEL값에는 영향이 거의 없는 것으로 조사되었다.

4. 결 론

이 연구에서는 항공기 소음 측정을 하기위하여 30초 이상 지속된 지속시간을 보정하는 문제점을 해결하고자 SEL과 지속시간을 보정한 L_{MAX}를 비교하였다. 그 결과, 현재 소음진동공정시험방법에서 사용하고 있는 L_{MAX}는 지속시간 설정에 따라 계산 값의 차이가 발생하고 있음이 확인되었고 또한, 일정한 변화를 찾을 수 없기 때문에 적합한 측정단위로 볼 수 없었다. 다만, 군용항공기와 같이 다양한 운항패턴으로

운항하는 항공기에서 발생되어 측정된 소음을 SEL (sound exposure level)로 계산해 본 결과, 자극역치 (threshold) 설정에 따라 지속시간이 변화되더라도 SEL값의 차이는 거의 발생하지 않았다. 따라서 항공기 소음은 군용항공기 뿐만 아니라 민간항공기에서도 지속시간에 대한 문제를 해결하기 위하여는 L_{MAX} 보다는 SEL을 기본측정단위로 사용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

후 기

이 연구를 가능할 수 있도록 00기지 항공기 소음 측정 자료를 제공하여 주신 (주)삼우환경컨설탄트 황규만 고문님에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

(1) 송화영 등, 2004, "군용 항공기 소음평가 방법에 관한 연구", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 768~771.

(2) 이준호, 2005, "ICAO WECPNL과 dB(A)에 의한 WECPNL 비교연구(I)", 항공진흥협회, 항공진흥 2005년 제 2 호, 통권 38호, pp. 119~136.

(3) 소음진동공정시험방법, 환경부 고시 제2000-31호.

(4) KS A ISO 1996-1 : 2004, 음향 -환경소음의 표현, 측정 및 평가- 제 1 부 : 기본량 및 평가절차.

(5) KS A ISO 3891 : 2003, 음향 - 항공기 지상 소음의 기술절차.