

중형항공기 개발과 관련한 항공기 소음업무

°황창전*, 최동환*

Work Packages of the Aircraft Noise Group for the Development of a Commercial Aircraft

°Chang-Jeon, Hwang*, Dong-Hwan, Choi*

ABSTRACT

Concern for noise problems of a commercial aircraft in community and cabin is increasing due to the more restrictive regulation and customer requirements. This paper introduces to the work packages of the aircraft noise engineer for the development of a commercial aircraft. First of all, the noise engineer establish the design requirement and objectives(DR&O). Then the design and analysis are performed to satisfy with the DR&O during the conceptual and preliminary design phase. And the test and evaluation(T&E) are carried out to verify the analysis results and to acquire the type certification.

1. 서론

통산부의 지원으로 추진되고 있는 중형항공기와 같은 민간 상업용 항공기 개발을 위해 고려해야 되는 소음분야는 크게 외부소음(Exterior or Community Noise), 기내소음(Cabin or Interior Noise) 및 램프소음(Ramp Noise)으로 구분된다.

우선 외부소음(Exterior or Community Noise)은 환경문제를 야기하는 소음으로 항공기 이착륙시 외부로 전파되는 소음인데, 우리나라의 항공법 시행규칙 제27조-제30조(이후 항공법)^[1]이나, 미국 FAA의 FAR Part 36(이후 FAR 36)^[2], ICAO의 ISARP (International Standards and Recommended Practice) Annex 16 Vol. I (이후 ICAO Annex 16)^[3]과 같은 법규정 및 지역공항법 (Local Airport Regulation)에 의해서 제한받으며, 고객인 항공운항사는 이러한 법 규정 제한보다 일정정도의 여유(Margin)를 갖기를 요구한다.

다음으로 기내소음(Cabin or Interior Noise)은 승객이나 승무원들이 비행시 듣게 되는 소음으로 항공기의 고급화 추세는 이와 관련한 고객요구를 보다 제한적으로 만들고 있다. 기내소음과 관련한 법규정 요구는 없으나 항공기 제작사는 원활한 항공기 판매를 위해 개발된 항공기가 유사등급 항공기보다 우월한 기내소음 수준을 유지하도록 설계한다. 기내소음과 관련하여 항공기 구매의 기준으로 IATA(International Air Transport Association)에서 발행한 지침서(이후 IATA 지침서)^[4]가 있다.

마지막으로 램프소음(Ramp Noise)은 정비사가 정비 중이거나, 승객이나 승무원이 승하차시 또는 화물을 싣고 내릴 때 듣게되는 소음이다. 주요 소음원은 엔진, APU, ECS 등이며 법규정에 의해 제한받는다.

이렇듯 중형항공기와 같은 상업용 민간 항공기는 판매를 위해 필수적으로 항공기 소음에

* 한국항공우주연구소 항공사업단

대해 고려하여야 하며, 본고에서는 중형항공기 개발의 각 단계에서 수행해야 할 소음관련업무인 설계요구도의 설정, 설계 및 해석, 시험평가 및 인증업무에 대하여 살펴 보았다.

2. 설계요구도(DR&O)의 설정

항공기 개발의 초기단계에서 가장 중요하게 수행해야 할 업무는 설계요구도(DR&O)의 설정이다. 항공기의 외부, 기내 및 램프(Ramp) 소음에 대한 목표치를 정하는 데는 법규정(Regulation), 고객요구, 기술 및 경제성 위험도 검사(Risk Assessment), 설계여유(Design Margin) 및 유사 경쟁기종의 소음수준 등에 대해 고려되어야 한다^[5].

		1970	1980	1990
FAA FAR Part 36 Standards	New Design (FAR 36) Production (FAR 36) Operation (FAR 91)	Stage 1 (69.12.1)	Stage 2 (75.11.5)	Stage 3
		Stage 1		Stage 2
ICAO SARP Annex 16 Standards	New Design (Annex16) Production (Annex16) Operation (Annex16)	No Req. (72.3.1)	Chap.2 (77.10.6)	Chap.3
		No Req. (81.11.26)		Chap.2
		No Req.		Chap.2

Fig. 1 Enforcement of the regulation

가. 법규정 요구조건

민항기의 소음관련 법규정은 국가법, 국제표준 및 지역공항법 등이 있다. 먼저 국가법과 관련해 살펴보면, 미국의 경우를 예로 들면 FAA의 소음관련 법규정인 FAR Part 36에 합치되도록 비행기를 개발해야 하는데 이러한 합치성 증명은 특정 항공기 모델에 대한 형식증명(Type Certification)이나 각 개별 비행기에 대한 감항증명(Airworthiness Certification) 발행을 위한 조건이 된다. 각 개별비행시 표준화된 시험조건의 시험장소에서 이륙소음(Takeoff Flyover Noise), 측면소음 (Takeoff Sideline Noise) 및 착륙소음 (Landing Noise) 측정의 각

기준점(Reference Position)에서 소음수준을 측정하게 된다. 이러한 법규정은 Fig.1에서 보듯이 FAA의 경우 Stage 2에서 Stage 3, 4로 보다 엄격해지고 있는데, 법 규정의 개정은 인증기관이 경제적으로 합리적이고, 기술적으로 도달할 수 있는 수준으로 개정하게 된다. 그러므로 소음저감 기술이 개발됨에 따라 법규정 요구사항은 보다 제한적으로 된다.

소음관련 국제표준으로는 전 세계 대부분의 정부 대표자로 구성된 ICAO (International Civil Aviation Organization)에서 발행한 권고안(Annex 16)^[2]이 있다. Annex 16의 내용은 FAR 36과 거의 동일한데, FAR와 마찬가지로 Fig.1에서 보듯이 2장(Chapter 2)에서 3장(Chapter 3)으로 소음제한이 보다 엄격해 지고 있다. 우리나라의 항공법^[1]은 ICAO Annex 16에 모든 절차를 따른다고 명기되어 있으므로, 그림 1에서 보듯이 개발될 중형항공기는 ICAO Annex 16 3장과 FAR 36 Stage 3가 적용되며, 보통 법정 제한치보다 4EPNdB정도 낮게 설계요구도를 설정한다^[1-3, 5]. Fig.2는 FAR 36 Stage 2와 Stage 3 및 ICAO Annex 16 2장과 3장의 외부소음 제한치를 일반적으로 총 이륙중량에 대해서 보여준다.

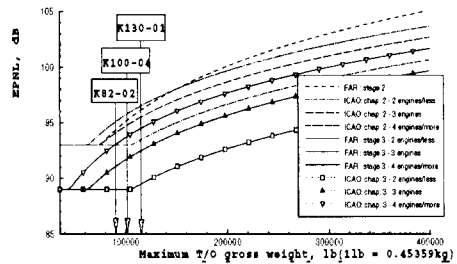


Fig. 2 Regulatory noise limits in takeoff flyover

다음으로 항공기 제작사가 고려해야 할 법규정으로는 특별히 소음에 민감한 공항에서 제정한 지역공항규정(Local Airport Regulation)이 있다. 이 규정은 다양한 소음단위(Noise Metrics)를 이용하여 과소음 항공기의 운항금지나 소음부담금을 부과하는 등의 내용을 담고 있다.

가장 두드러진 지역공항법을 지닌 공항을 꼽으면 Washington국립공항, Orange County의 John Wayne공항 등이다^[5]. 국가법 규정을 만족하더라도, 지역공항규정에 의해 운항 횟수의 제한을 받을 수 있으므로 이러한 규정은 항공기 판매에 지대한 영향을 미치며, 설계요구도 설정에 복잡성을 증가시킨다.

나. 항공운항사 요구조건 및 보장

한편 항공운항사에서는 개발될 항공기에 대한 구매요구조건을 제시하게 되는데, 항공기 제작사는 초기수요(Launch Customer)의 확보를 위하여 기본설계의 종료시점에서 이러한 요구사항에 포함된 외부, 기내 및 램프소음에 대해서 보장을 해줘야 한다. 먼저 외부소음은 항공운항사가 항공기를 운항하는 국가나 공항의 법규정을 만족하기를 원하게 되며, 그 사항에 대한 보장이 판매주문을 받는데 매우 중요하다.

기내소음에 관련해서는 법규정은 없지만, 항공운항사에서는 제작자가 승객실의 소음수준에 대해 보장해 주기를 바라며, IATA지침서^[4]에서는 기내소음에 대한 점검목록을 구매자의 입장에서 제시하고 있다. 이러한 요구는 승객실에 대해서 최소한 이루어질 수 있지만, 종종 조종실(Flight Deck), 화장실(Lavatory)이나 취사실(Galley)의 소음수준까지도 요구하게 되며, 보통의 전형적인 보장은 순항조건에 대하여 OASPL(Overall Sound Pressure Level)이나 SIL (Speech Interference Level)로 표현된다^[5]. 보통 경쟁기종보다 우월하게 설계요구도를 설정한다.

다. 설계요구도(DR&O) 및 위험도(Risk)

설계요구도(DR&O)는 앞에서 살펴본 법규정 요구와 고객요구사항을 고려하고 판매우위 확보를 위해 유사경쟁기종보다 우월한 소음 성능을 지니도록 설정하게 되는데, 설계의 초기부터 작성하여, 여러 불확실성을 고려하여 수정하며 기본설계가 완료되면서 완전히 확정된다.

설계요구도 작성과 관련하여 소음해석을 통한 예측이나 측정과정의 불완전성에 따른 기술적

위험도와 비용적 위험도 때문에 항공기가 만족해야 할 소음 수준보다 일정 정도 여유를 갖는 설계목표를 설정하는 것이 필요하다. 그러므로 설계 요구도는 소음관련 요구사항을 몇 %의 신뢰성을 갖고 만들 것인지를 고려해야 한다.

3. 설계 및 해석

설정된 설계요구도를 만족시키기 위한 노력이 개념 및 기본설계 과정에 거쳐, 해석을 통해 이루어진다. 일반적으로 기본설계가 완료되는 시점에서 항공기의 외형, 설계요구도, 규격이 고정되며, 초기고객에게 설계요구도에 대한 보장을 해 주어야 하므로 고 정밀도의 해석이 요구된다.

가. 외부소음

외부소음 설계업무는 Fig.3 과 같이 다른 설계 그룹과 복잡한 연계를 지니고 있다^[6]. 엔진의 위치, 나셀 및 노즐의 형태, 고양력 장치 및 착륙장치의 형태 등이 외형(Configuration)의 결정과 연관되며, 엔진의 특성은 엔진그룹이나 엔진공급자와, 항공기의 공력특성은 공력성능그룹과, 이착륙 비행경로의 최적화 설정(NAP: Noise Abatement Procedure)은 성능그룹과 연계되며, 해석결과는 비교분석(Tradeoff Study)에 사용된다.

외부소음의 해석방법에는 크게 Hardin의 전항공기법(Total A/C Correlation), Revell의 항력요소법(Drag Element Method) 및 Fink의 소음요소법(Noise Component Method) 등이 있는데^[7], NASA Langly 연구소에서 개발된 ANNOP은 항력요소법을 이용하고 있지만 대부분의 항공기 제작사에서 보유하고 있는 해석 Tool은 소음요소법을 채용하고 있다. 예를 들면, Lockheed사는 성능해석코드인 ASSET에 GANNP라는 소음요소법의 외부소음해석 Tool을 연계시켜 이용하고 있다^[7-8].

본 중형항공기 개발사업에서도 초보적인 소음요소법의 코드를 이용하여 외부소음해석을 수행한 바 있으며^[8-9], 이러한 해석 Tool은 비행시험 결과를 이용해 더욱 개선될 수 있다.

나. 기내소음

기내소음 설계업무는 Fig.3 에서 보는 바와 같이 복잡한 연계를 지니고 있으며^[6], 업무의 목적은 공력소음원(Airborne Noise) 및 구조진동음(Structure-borne Noise)으로부터의 소음전달을 수동적 제어(PNC)나 능동적 제어(ANC)를 통해 막는 것이다^[10].

항공기 기내소음은 특성길이가 크고, 주파수 5,000Hz 까지를 정확히 포착하여야 하므로, SEA(Statistical Energy Analysis)법이나, Ray Theory 가 적용된 해석 Tool 이 널리 사용되며, FEA(Finite Element Analysis)나 BEA(Boundary Element Analysis) 방법도 제한적으로 사용되고 있다^[10-11].

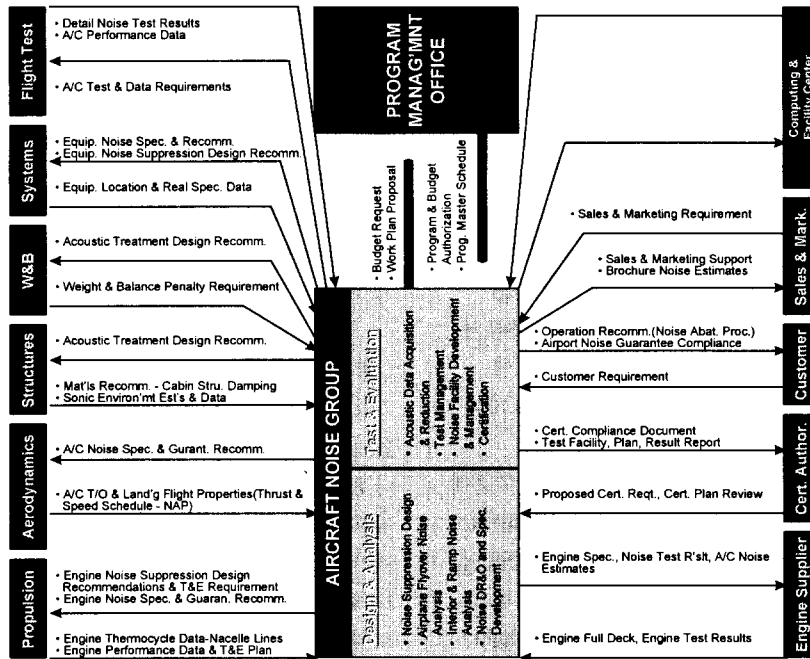


Fig. 3 Interface works of the aircraft noise group

4. 시험평가(T&E)와 인증

가. 시험평가

각 소음분야 별로 시험평가(T&E, Test & Evaluation)가 필요하게 되는데, 시험의 근거, 종류 및 목적 등을 각 소음 분야별로 요약하면, 다음과 같다.

우선 외부소음(Exterior or Community Noise)요구를 만족하는 항공기의 개발을 위해서는 개발단계에서 필요에 따라 각 음원(Sound Source)별로 시험하며, 이러한 시험결과는 외부소음 해석의 정확도 개선을 위해 사용되며, 그 결과 자체가 외형 /엔진

/시스템 선정을 위한 비교분석(Tradeoff Study)에 사용하게 된다. 필요에 따라 대표적인 음원인 추진 시스템과 관련하여 엔진, 흡입구, 낫셀, 노즐, 역추력기 등에 대한 시험이 이루어지며, 기체와 관련하여 날개, 동체, 꼬리에 대한 저속 무향 풍동시험(Low Speed Anechoic Wind Tunnel Test)이 수행되며, 착륙시스템과 관련하여 착륙장치(Landing Gear), 타이어, 휠에 대한 시험이 수행된다. 이러한 음원 요소시험을 거쳐 개발된 시제기에 대한 개발 및 인증 비행시험이 요구되는데, 자세한 내용은 '나.'에서 다룬다.^[12] 다음으로 기내소음(Cabin or Interior Noise)에 따른 시험으로는 필요에 따라 개발단계에서 기체나

엔진의 진동과 관련한 고속 무향 풍동시험 (High Speed Anechoic Wind Tunnel Test)이나 외부소음의 투과특성 등에 대한 시험이 수행되며, 시제기가 개발되면 전기지상 진동시험(Full Scale Ground Vibration Test)과 필요에 따라 기내소음원이 되는 APU, ECS, 유압펌프, 송풍기, 재순환 팬에 대한 시스템 관련 시험이 수행된다. 그리고 비행시험시 승객좌석, 조종실, 승무원석, 화장실, 취사실에 대한 객실소음수준 측정이 최소한 필요하다^[12]. 시제기에 대한 객실소음 수준측정과 관련하여 ISO는 소음측정표준을 제정하였다^[14]. 이러한 시험결과는 기내소음해석의 입력정보로 사용될 수 있으며, 그 결과자체가 비교분석을 위해 이용된다.

마지막으로 램프소음(Ramp Noise)은 정비사가 정비 중이거나, 승객이나 승무원이 승하차시 또는 화물을 싣고 내릴 때 듣게되는 소음이다. 주요 소음원은 엔진, APU, ECS 등으로 램프소음시험은 외부나 객실소음 시험시 램프소음도 고려하여 수행하게 된다.

이러한 소음관련 시험에 대해서 WBS(Work Breakdown Structure) 및 WBS Dictionary를 작성한 바 있다^[13].

나. 외부소음 비행시험과 인증

소음인증을 위한 비행시험은 시험의 신뢰성을 확실하기 위하여 매우 엄격하게 조정되고 규정되어야 한다. 관련 법규정은 앞서 살펴본 바와 같다. 민항기 생산에 참여하고 있는 주요 기체제작사나 엔진공급자 들은 비행기의 비행시험결과를 연구개발용으로 활용하고 있는데, 소음수준을 감소시킬 수 있는 엔진이나 나셀을 개발하거나 소음특성을 정의하고, 비행시험 중에 얻어진 데이터를 이용해 정적엔진 작동시 얻어진 소음수준을 비행시 소음수준과 연관시켜 주어 해석도구의 모델링을 정교화하기 위해 사용된다^[12].

항공기와 공항외부소음 조사는 여러 가지 이유에서 이뤄지는데, 예를 들면 지상사용 적합성 검사, 지역 소음규칙과의 비교, 특정지역에서의 소음노출도 결정, 주요 소음원의 증명 및 정량화 등이 있다. 항공기 소음 감시체계는 보통

공항근처에 지정된 지점에 장착되고 항공기 소음이 주어진 임계치를 넘을 때 작동한다. 그러한 감시체계는 보통 날짜 및 시간, 최대 SPL (Sound Pressure Level, dBA), SEL(Sound Exposure Level, dBA) 등으로 게시된다^[12].

(1) 외부소음 시험장소 및 기상조건

외부소음시험장소는 법규정과의 합치성을 위해 상대적으로 평탄하며, 관목이나 키 큰 잡초 등과 같은 과도한 소음흡수특성을 갖지 않는 곳이어야 한다. 그리고 소음기록이 진행될 때 항공기 음원 특성에 과도한 영향을 주는 방해요소가 존재하지 않아야 한다.

시험수행시 기상조건에 대해서도 법규정에 의해 제한을 받게 되는데, 대기온도와 습도 등이 음향파의 전파감쇠특성과 관련하여 제한받고, 바람속도 역시 같은 이유로 제한받게 된다^[2-3, 12].

(2) 외부소음 시험장비

시험장비는 두가지 관점에서 분류할 수 있는데, 먼저 소음시험시 고려되는 분야의 관점에서 분류하면 소음측정체계, 기상조건측정체계, 비행궤적측정체계 및 기내장착체계(On-board System) 등으로 나눌 수 있다.

일반적인 시험의 관점에서는 데이터 측정장비, 데이터 기록장비 및 데이터 분석장비로 분류할 수 있다. 소음 데이터 측정장비로는 마이크, 바람막이, 제습기, Preamplifier, 전력공급기 등이 있고, 데이터기록장비로는 아날로그 테이프 기록기, 디지털 테이프 기록기, 비디오 기록기 등이 있다. 소음데이터 분석장비로는 Sound Level Meter, 디지털 필터링 주파수 분석기, FFT, Plotter 등이 있다. 항공기 추적장비로는 사진기, 레이저, 레이더, Kinetheodolite 등이 있다. 기상측정장비로는 온도, 풍속, 습도, 압력 측정장치가 있다^[12].

(3) 시험수행시 고려사항

시험수행을 위해서는 데이터 기록장치의 테이프를 선택해야 하며, 시험장소에서 시스템의 눈금교정(Calibration)이 이루어져야하며, 지상에서 승무원에게 간략한 설명이 이루어 진다. 특히 승무원 중 조종사에게는 이륙과정, 일정고도비행 및 착륙과정에 대하여 자세하게 설명해 줘야 하며,

부조종사와 관측자에게도 명확한 임무를 부과해야 한다^[12].

기상데이터는 온도, 습도, 풍속, 풍향에 대하여 각 시험순간마다 기록되어야 하며, 항공기의 비행경로 추적을 위한 준비가 완료되어 있어야 한다^[12].

(4) 데이터 분석

측정된 데이터는 법규정에서 요구되는 데이터로 분석/가공하게 되는데, A-가중을 통해 50개의 1/3옥타브 밴드 PNL값으로 변환되며, Tone Correction과정을 거쳐 PNLT값으로 변환한 후 Duration Correction과정을 거쳐 EPNL로의 계산이 이루어진다. 이 과정에서는 기상조건과 비행경로에 대한 기준조건(Reference Condition)으로의 보정을 포함한다.

5. 향후 과제

이상 중형항공기 개발을 위한 항공기 소음관련 업무를 설계요구도의 설정, 설계 및 해석 그리고 시험평가와 인증 분야로 나누어 매우 개괄적으로 살펴보았다.

향후 저소음 중형항공기의 개발과 항공기 소음 분야의 인프라 구축을 위해서는 첫째, 설계 및 해석 분야에서 정교하면서도 효율적인 외부 및 기내 소음 해석 Tool의 확보, 둘째, 시험평가 부분에서는 무향실, 무향풍동, 소음투과도 시험실 및 외부 소음 비행시험 등의 시험 장비의 구축, 마지막으로 인증부분에서는 국내 인증체계의 정비 및 상호 감합 인증체계의 구축 등이 요구된다.

후 기

본 내용은 통상산업부가 지원하는 중형항공기개발사업(II) 결과의 일부[13, 15]를 보완한 것이며, 사업비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 건교부, “항공법, 항공법 시행규칙, 항공법 시행령,” 1993
- [2] FAA, "FAR Part 36, Noise Standards: Aircraft Type and Airworthiness Certification," 1993
- [3] ICAO, "ISARP, Environmental Protection Annex 16, Vol. I, Aircraft Noise," 1993
- [4] IATA, "Guidance Material on Assessment and Future Improvements in Aeroplane Interior Noise Levels," DOC. GEN/ 2967, 1988
- [5] Hodge, C. G., "Chap.18 Quiet Aircraft Design and Operational Characteristics," NASA RP-1258, Vol.2, 1991
- [6] Meyer, D. D., "Development of Integrated Programs for Aerospace Vehicle Design(IPAD) - Reference Design Process," NASA CR 2981, NASA, 1979
- [7] Crighton, D. G., "Chap.7 Airframe Noise," NASA RP-1258, Vol.1, 1991
- [8] 이재규, “항공기 외부소음 해석절차”, PN-NS-RP-96-007, ECKC, 1996
- [9] 이재규, “K100-04A의 외부소음해석”, PN-NS-RP-96-015, ECKC, 1996
- [10] Mixon, J. S. & Wilby, J. F., "Chap.16 Interior Noise," NASA RP-1258, Vol.2, 1991
- [11] 홍하표, “항공기 실내소음해석 방법 및 절차”, PN-NS-RP-96-014, ECKC, 1996
- [12] Heller, H., "Aircraft Exterior Noise Measurement and Analysis Techniques," AGARDograph 300, Flight Test Techniques Series, Vol.9, 1991
- [13] 염찬홍, 황창진 외, "중형항공기개발사업(II)-시험평가기획보고서", 한국항공우주연구소, 1996
- [14] ISO, "Acoustics-Measurement of Noise inside Aircraft", ISO-5129, 1987
- [15] 최동환, 황창진 외, " 중형항공기개발사업(II)-설계검증", KCDP TR-95-201, 통상산업부, 1996