한국소음진동공학회 2013년 추계학술대회논문집, pp. 241~246

친환경 항공을 위한 소음 저감 기술 동향

Technology Trends for Green Aviation Noise Reduction

위성용† · 황창전* · 정기훈*· 안오성**

Seong Yong Wie, Changjeon Hwang, Ki Hoon Chung and Ohsung Ahn

Key Words : Aircraft Noise, Green Aviation, Noise Reduction Technology

ABSTRACT

The regulation of the aircraft noise has been more strengthened with expansion of the environmental issue. This trend has encouraged the R&D of the noise reduction technology. In this paper, the international efforts for aircraft noise reduction and the related technology were investigated. The aircraft noise sources were also introduced briefly. Additionally, the noise prediction method was explained at the end of paper.

1. 항공소음 규제 강화

항공기 이용의 증대와 친환경 정책의 강화에 따라, 환경과 관련된 항공규제가 강화되고 있으며 이에 따라 친환경 항공기술에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히 항공기 탄소배출과 소음발생은 가장 주요한 규제 및 기술요구 대상이며, 미국 및 유럽 주요 국가들은 이러한 친환경 추세에 대비하여 범국가적인 준비를 하고 있다.

1971년 국제 소음규정인 ICAO(International Civil Aviation Organization) Annex16이 재정된 이래로 관련 규정이 단계적으로 강화되고 있으며 이에 따라 소음저감 기술도 함께 발전하고 있다. Table 1의 ICAO Annex16 주요 경위에서도 알 수 있듯이 단계적으로 소음인증규정이 강화되고 있으며, 제트기, 헬리콥터, 틸트로터 등 항공기에 따라 세분화되고 있다. 또한 각 국가들에서는 ICAO Annex16에 대응되는 규정인 FAR Part 36(미국), JAR 36(일본), CS 36(유럽항공안전국), AP 36(러시아), KAS Part 36(대한민국) 과 같은 국가별 규정을 마련하고 있다.

Table 1 ICAO Annex16 history[1]

시기	내용
1971년 4월	ICAO 시카고 조약 제27조 규정에 따라 Annex16 Environmental Protection 제정
1972년	제트항공기 형식승인년도와 bypass 소음인증표준 채택(Annex16 chapter2)
1975년	경량 프로펠러 항공기의 소음인증표준 채택 (Annex16 chapter6)
1977년	중량 프로펠러 항공기의 소음인증표준 채택 (Annex16 chapter5) 제트항공기의 강화된 소음인증표준 채택 (Annex16 chapter3)
1981년	헬리콥터의 소음인증표준 채택 (Annex16 chapter8)
1988년	경량 프로펠러 항공기의 수정된 소음인증표준 채택(Annex16 chapter10)
1993년	새로운 경량항공기에 대한 소음인증 표준 채택(Annex16 chapter11)
1999년	경량 프로펠러 항공기에 대한 강화된 소음인증 표준 채택
2001년	틸트로터 형식 항공기의 소음인증에 대한 가이드라인 마련
2002년	헬리콥터에 대한 강화된 기준마련 (Annex16 chapter8, 11 수정)
2006년	초음속 제트항공기에 대한 강화된 소음표준 (Annex chapter4)

† 교신저자; 정회원, 한국항공우주연구원 연구기획조정실
E-mail : wie@kari.re.kr
Tel : 042-870-3511, Fax : 042-860-2929
* 한국항공우주연구원 회전익기개발실
** 한국항공우주연구원 연구기획조정실

이러한 항공소음규정의 강화에 따라 A380, Boeing787 등과 같은 저소음 여객항공기가 개발 완료되었으며, 강화된 소음규정을 만족하는 저소음 헬리콥터가 개발되고 있다.

2. 항공소음 저감 연구 및 기술

2.1 항공 소음 저감 연구 동향

(1) 미 항공우주국(NASA) 항공소음 저감 노력

NASA에서는 항공소음 저감을 위해 국가 항공 프로그램 NextGen을 통해 이착륙 시 공항근처 소음 범위를 좁히는 연구가 진행되고 있다. Figure 1, Table 2 에서도 알 수 있듯이 단계별 목표를 설정하여 소음 저감 연구를 수행하고 있다. NASA는 NextGen 프로그램 이외에 SFW(Subsonic Fixed Wing), SRW(Subsonic Rotary Wing) 프로그램에서도 항공기 소음저감에 대한 연구가 진행되고 있다. SFW, SRW 연구프로그램에서는 Airframe Noise, Propulsion Noise, Propulsion Airframe Aeroacoutics와 같은 항공기 자체 소음원과 관련된 연구가 진행되고 있다.

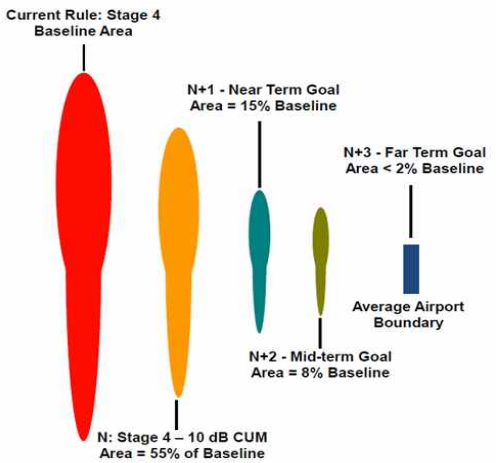


Figure 1 Noise footprint of the airport[2]

Subsonic Fixed Wing Aircraft Goals		Supersonic Aircraft Goals	
Aircraft Generation	Noise Goal	Aircraft Generation	Noise Goal
N+1 (2015 Entry into Service) - Conventional tube and wing, B737/CFM56 baseline	-32dB (cum below stage4)	N+1, (2015 Entry into Service) - Supersonic business jet aircraft	65-70PLdB sonic boom; Airport Noise: Meet current regulation with margin (stage 4)
N+2(2020-25 Entry into Service) - Unconventional configuration like Blended Wing Body, B777/GE90 baseline	-42dB (cum below stage 4)	N+2, (2020 Entry into Service) - Small super-sonic airliner	65-70PLdB sonic boom; Airport Noise: -10dB (cum below stage 4)
N+3 (2030-35 Entry into Service) - Advanced concept aircraft, relative to user-defined baseline	55LDN(dB) at average airport boundary	N+3, (2030-35 Entry into Service) - Efficient Multi-Mach aircraft	65-70PLdB low boom flight; Airport Noise: -10dB (cum below stage4)

Table 2 Noise Reduction Goal of Aircraft[2]

(1) 유럽의 항공소음 저감 노력

유럽의 경우 범국가적인 네트워크를 통하여 항공소음 저감 등 친환경 항공기술을 개발하고 있다. ACARE(Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe)은 Green Aviation을 위해 2020년까지 CO_2 50%, NOx 80%, 소음 50% 감소를 목표(2000년 기준)로 하고 있다.

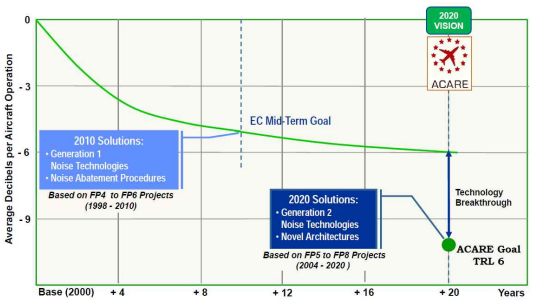


Figure 2 ACARE Goal[3]

ACARE의 항공소음 저감 목표를 위해 ONERA,

DLR, NLR 등 유럽주요국가 연구기관들이 참여한 X-Noise Network 구성되었으며, 이 Network를 통하여 장기적인 항공소음저감 연구프로그램인 OPENAIR, CLEANSKY 들이 진행되어 왔다. 특히 CLEANSKY는 현재 진행 중인 연구프로그램으로 2008년부터 16억 유로가 지원되는 연구프로그램으로 참여 업체와 위원회가 50대 50으로 투자하여 진행되고 있다. CLEANSKY에서는 친환경 항공에 필요한 Green Rotorcraft, Regional Aircraft, Eco-design, Sustainable and Green Engines, Smart Fixed Wing, System for Operations 등과 같은 연구가 진행되고 있다.

2.2 항공소음 저감 기술

(1) 고정익 항공기 소음원 및 저감기술

여객기와 같은 고정익 항공기의 주요 소음원은 Engine이며, 추가적으로 Landing Gear, High-Lift Devices, Propulsion/Airframe Interactions 등 항공기 구조물에서 소음이 발생한다.

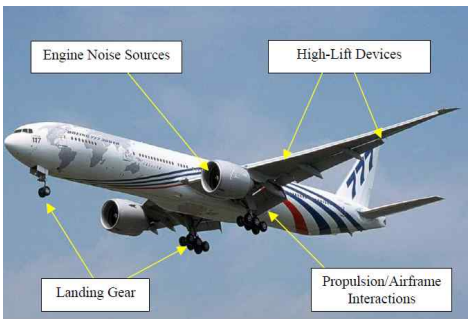


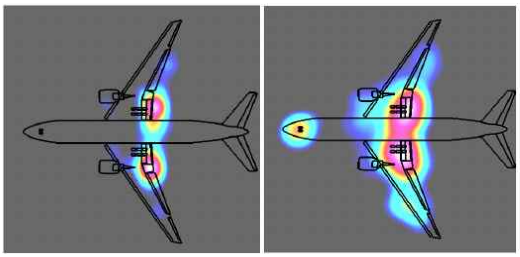
Figure 3 Aircraft Noise Sources[4]

항공기 Engine Noise는 Jet Exhaust Noise와 Fan Noise 로 구성된다. 엔진 Jet Noise를 줄이기 위해서는 Jet 형상의 변화를 유도하여 소음을 줄이는 chevron 엔진 형상 기술을 개발하여 적용하고 있다.

Figure 4 Boeing Chevron Engine[5]

엔진 Fan Noise의 경우 최근 전산해석기술 발달로 수치적 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 이용하여 fan 뒤쪽에 위치한 fan rig 저소음화, trailing edge blowing, forward-swept fan 등 다양한 기술이 연구되고 있다. 그 이외에도 엔진 소음이 전방으로 방사될 때, Acoustic Liner를 덕트에 장착하여 방사소음을 저감하고 있다.

엔진소음 이외에도 이착륙시 중요한 소음원인 Landing Gear에서도 소음이 발생하는데 이를 줄이기 위해 전산해석과 음향풍동 시험 등이 수행되고 있다.



(a) Landing gear up (b) Landing gear down

Figure 5 Landing Gear Noise[4]

그밖에도 엔진과 동체 간섭에 의한 Propulsion Airframe Aeroacoutics이 소음에 영향을 미친다. 이러한 동체간섭 소음을 줄이기 위해 엔진 위치 및 동체 형상 변화에 대한 연구도 진행되고 있다.

기존 여객기의 저소음 기술이외에도 NASA에서는 초음속 여객기의 sonic-boom 저감을 위한 연구도 진행하고 있다. 아래 그림과 같이 동체 전방을 변형함으로써 충격파에 의한 소음을 줄이는 연구를 진행하고 있다.

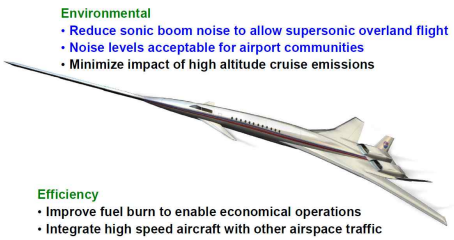


Figure 6 supersonic aircraft concept of NASA[6]

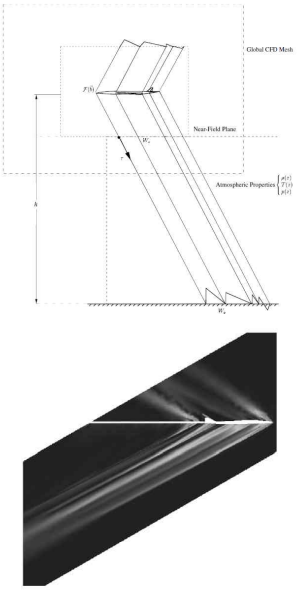


Figure 7 Sonic-boom numerical prediction (Stanford Univ. Choi's result)[7]

(2) 헬리콥터 소음원 및 저감기술

헬리콥터 소음의 경우 고정익과 달리 회전하는 날개에서 가장 큰 소음이 발생한다. 특히 주기적인 tonal-noise는 헬리콥터의 특징적인 소음이다.

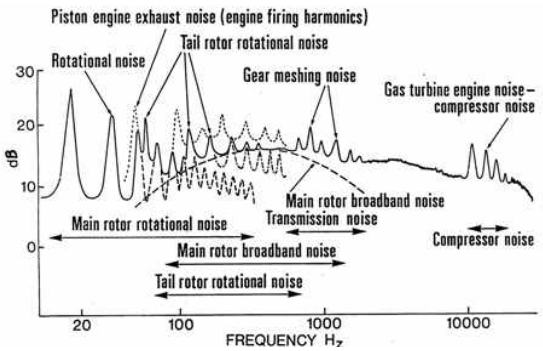


Figure 8 Helicopter Noise Characteristics[8]

위 그림은 헬리콥터에서 발생되는 소음을 주파수 영역에서 살펴본 그림이다. 저주파영역에서 발생하는 주기적 특성을 갖는 Main rotor의 Rotational noise가 가장 주요한 소음이며, Tail rotor noise, Broadband noise, Engine noise 등이 있음을 알 수 있다. 이러한 이유로 헬리콥터 소음저감 연구는 주로 저소음 Rotor blade 개발을 목표로 하고 있다.

대표적인 저소음 blade 개발 프로그램으로 Blue Edge가 있다. Blue Edge는 double-swept 형태의 blade로 유럽 ERATO 프로젝트를 통하여 시작되었다. 2000년 후반, Eurocopter사는 ONERA와 공동으로 full-scale blade 개발에 착수하여, 2007년 EC155에 장착하여 비행시험 후 최대 3~4dB 소음 저감을 이루었다.[9]

Figure 9 Blue Edge

Agusta-Westland사는 BERP IV 프로그램을 통해 Blade 끝단 형상 및 다양한 Airfoil을 사용함으로써 공력 성능 향상을 위한 연구를 진행 하였다. 최종적으로 성능향상 뿐만 아니라 소음저감 효과도 있는 figure 10의 BERP IV Blade 형상을 제시하고 있다.

Blade 형상변화에 대한 국내연구는 한국항공우주연구원에서 2002년부터 2005년 사이에 진행되었으며, figure 11은 연구결과에 대한 blade 형상과 수치/시험결과를 나타낸 그림이다.[9]

Figure 10 BERP IV

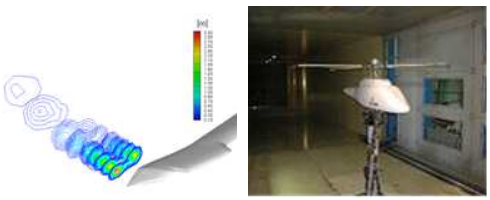


Figure 11 Rotating Test of Small-scaled Next-Generation Blade (Low noise blade of KARI)

위와 같은 Blade 형상변화와 같은 Passive 방법이 외에 Flap 등을 이용한 Active 방법 또한 연구 개발되고 있다. 대표적으로 Eurocopter사에 의해 개발된 Blue Pulse는 압전 재료 작동기가 적용된 능동 제어 뒷전 플랩을 이용한 능동소음 제어 블레이드로써, 2005년에 EC145 헬리콥터에 장착하여 비행시험을 수행하여 5dB의 소음저감 및 70%의 진동저감을 확인하였다.

Figure 12 Blue Pulse

주로터 뿐 아니라 헬리콥터 꼬리 로터부분의 저소음화를 위해서 덕티드 팬이 적용된 Tail Fan 기술이 적용되었다.

Figure 13은 Eurocopter의 Tail Fan type으로 블레이드 팁을 덕트로 막고, 블레이드 개수를 늘림으로써 소음 및 진동 저감을 이루었다. 또한 Figure 14는 한국항공우주연구원에서 개발한 Tail Fan 으로 비등간격 기술을 적용하여 기준 등간격 Tail Fan 보다 조용한 Tail Fan을 개발하였다.

Figure 13 Fenestron of Eurocopter EC135

Figure 14 Low noise ducted fan-tail of KARI

2.3 항공소음 예측 기술

(1) 유동소음 예측 기법

본 절에서는 항공소음 중 주요한 소음인 유동소음의 예측기법에 대해서 소개하고자 한다. 유동소음 이론은 1952년 Lighthill이 Aeroacoustics 이론을 정립하면서부터 본격적으로 시작되어, 이후 많은 연구와 기법 개발이 이루어 졌다.

유동해석 예측기법은 크게 직접해석방법과 간접해석방법으로 구분된다. 직접해석방법은 압축성 유동 방정식을 직접적으로 계산함으로서 유동장과 음파를 함께 해석하는 방법이다. 근거리 직접 소음해석 방법의 경우 유동방정식인 Navier-Stokes equation을 사용하여 유동과 음파를 함께 해석하고, 원거리 해석은 Linearized Euler equation, Wave equation 등을 이용하여 음파 위주로 해석하게 된다. 직접해석방법은 음파를 실시간으로 정밀하게 관찰할 수 있는 장점을 지니고 있지만 차분방식의 수치기법을 이용하기 때문에 많은 계산자원이 요구되는 단점을 지니고 있다.

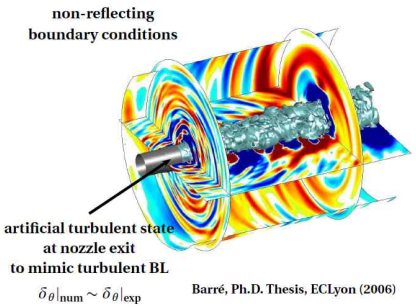


Figure 15 Jet Noise Prediction using Direct Computation (Bailly's results)[10]

간접해석방법은 유동과 음파를 분리하여 해석하는 방법으로. 유동음원을 이용한 적분 방정식 또는 음향상사식을 통해 후처리 해석으로 이루어진다. 직

접해석방법에 비하여 비교적 효율적이고 정확한 소음해석을 할 수 있는 장점을 지니고 있으나 정밀한 유동해석이 선행되어야하는 단점을 지니고 있다.

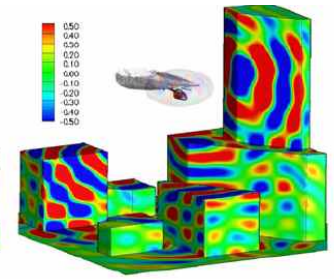


Figure 16 Helicopter Noise Prediction using Indirect Computation[11]

간접해석방법을 통한 소음해석은 Figure 16과 같은 헬리콥터 소음해석에 효과적으로 사용된다. 헬리콥터의 경우 회전하는 날개에서 비정상적인 유동변화가 지속되기 때문에 계산자원이 많이 요구되는 직접계산방법에 비하여 간접방법이 보다 효율적이다. 특히 하강 및 전진 시 발생되는 와류 충격소음은 Ffowcs Williams-Hawkings 식을 이용한 간접 해석방법으로 효율적인 예측을 할 수 있다.

이와 같은 수치적 소음 예측 방법은 저소음 항공기술개발에 필수적으로 사용되고 있으며, 비행 중 발생되는 소음영향도 및 소음지도 예측에도 활용되고 있다.

3. 결 론

ICAO 규정이 강화됨에 따라 항공기의 저소음화는 필수적인 기술적 요소가 되고 있다. 이러한 기술적 요구에 대비하여 미국 및 유럽국가에서는 항공기 저소음에 대한 연구를 지속적으로 진행하고 있으며, 범국가적인 네트워크를 통해 연구프로그램을 수행하고 있다. 이와 같은 연구프로그램은 고정익 항공기의 경우 엔진소음, 헬리콥터의 경우 로터블레이드 소음에 집중하여 진행되고 있다.

최근에는 개발된 저소음 항공기술이 항공기에 적용되어 운항 중이거나 비행시험을 완료한 상태이다. 이와 같은 저소음 항공기 개발 추세는 앞으로도 활발히 진행될 것이며, 관련기술에 대한 수요도 증대될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

(1) Hong, J. P, 2011, Research of Aircraft Noise Regulation, Master Thesis, Seoul National University.

(2) Daso, Endwell O. 2011, NASA Fundamental Aeronautics Program, NASA Aviation Noise Impact Roadmap meeting.

(3) ACARE homepage, http://www.acare4europe.com/

(4) Whitefield, Charlotte E., 2004, NASA's Quiet Aircraft Technology Project, 24th International Congress of the Aeronautical Sciences.

(5) Monsrud, Mark, 2009, Flight Operations Engineering: Airplane Noise, Boeing Performance Engineer Operation Course Material.

(6) Daso, Endwell O., 2011, NASA Fundamental Aeronautics Program, Aviation Noise Impact Roadmap meeting.

(7) Choi, S., Alonso, J. J., Van der Weide, E., 2009, Numerical and Mesh Resolution Requirements for Accurate Sonic Boom Prediction, Journal of Aircraft, pp. 1126~1139.

(8) AGARD Report No.781, 1990, Aerodynamics of Rotorcraft.

(9) Chung, K. H., Kim, D. H., Kim, D. K, Song, G. W., Kim, S. H., Hwang, C. J., 2010, Introduction to International Research Trends and Domestic Research Plans for Rotor Noise Reduction of Helicopter, KSNVE Annual Fall Conference, pp.56~57.

(10) Bailly, Christophe, 2010, Solving aeroacoutic problems with high-fidelity compressible large-eddy simulation, Multiphysics and Unsteady Simulations for Aeronautical Flows.

(11) Nagy, Attila Balazs, 2011, Aeroacoutics research in Europe: The CEAS-ASC report on 2010 highlights, Journal of Sound and Vibration.