

항공기 지상실험에 의한 소음 저감 방안에 관한연구

A study of the noise suppression system at the aircraft ground run-up test room

0 김인수*, 고철수*, 김형근**

Insoo Kim, Cheolsoo Koh, Hyungkeun Kim

e-mail: iskim@youil.com

Key word : Hush-house, Acoustic Fatigue, Engine Ground Run-up, Noise Suppression.

Abstract

The number of jet aircraft is increasing. The aircraft noise making people near airports nervous have become a serious social problem. The aircraft noise can be classified into two groups; noise being generated at take-off or landing and noise form run-up test on the ground. In this paper, we consider the aircraft noise from run-up test on the ground and we suggest the noise suppression system.

1. 서 론

사회의 발전과 더불어 상대적으로 관대하던 항공기 소음에 대해서도 점차 민감한 사회문제로 대두되고 있다. 특히, 군 공항 주변의 항공기 소음은 군 특성상 잦은 이착륙으로 주민의 대상이 되고 있다.

항공기소음의 평가 단위로는 ICAO (International Civil Aviation Organization)에서 1971년 4월 채택한 WECPNL 과 미국에서 사용하는 등가소음레벨 Ldn (Day-Night Average Sound Level) 및 일본에서 채택한 ICAO 의 WECPNL 을 간략하게 적용한 소음영향도 (WECPNL) 등이 있으며 우리나라에서는 「항공법」으로 일본에서 사용하고 있는 소음영향도 (WECPNL)를 채택하여 소음도를 측정하고 있다.

공항 주변에서 발생하는 항공기 소음을 분류하면 크게 2 가지로 분류할 수 있다. 항공기 이착륙 할 때 발생하는 소음과 항공기의 문제점 해결을 위한 지상실험을 할 때 발생하는 소음으로 나누어 볼 수 있다. 항공기가 이/착륙 할 때 발생하는 소음은 항공법에 따라 WECPNL 로 소음을 측정하여 관리하고 있으나 항공기 지상실험은 상기 방법으로 측정 관리되고 있지 않다. WECPNL 로 측정 관리되는 소음은 제트엔진을 저소음화 하거나 항로를 변경하는 방법 등으로 민원을 줄이고 있는 실정이나 국내에서 항공기 엔진변경은 기술적으로나 경제적으로 어려움을 갖고 있다. 또한, 군 공항의 경우 군사훈련의 특성상 잦은 이착륙 및 저공비행 그리고 급추진등으로 발생하는 소음은 민항기에 비해 10dB 이상 높게 발생하므로 공항과 인접한 주거지역에서의 삶의 질 저하의 주

* ㈜유일엔시스

** 금호엔지니어링㈜

요 원인이 되고 있다. 상기 기술한 항공기 소음의 문제점은 효과적으로 해결할 방안을 마련하기가 어려우나 항공기 문제점 해결을 위한 지상실험에서 발생하는 소음은 측정실을 건축하는 방법으로 최소화 할 수 있다. 본 연구에서는 군용기의 지상실험에 의해 발생하는 소음을 저감하기 위한 Hush-house 의 기초 설계 및 실 내/외 음장해석을 통한 환경음향을 검토하고자 한다. Hush-house 의 실 내/외 음장 해석은 LMS 사의 Raynoise V 3.1 을 사용하였다.

2. Hush-house 사양

항공기의 성능유지 및 엔진의 문제점 파악을 위한 지상 실험에서 발생하는 소음을 저감하는 건축물을 일반적으로 Hush-house 라 한다. Hush-house 는 항공기를 테스트 할 때 발생하는 소음을 효과적으로 차단하여 외부로 방사되는 음을 최소화 하는 것이 주된 목적이다. 하지만 테스트를 위해서는 충분한 공기가 유입되어야 하고 제트엔진의 연소가스가 충분히 배출될 수 있는 구조를 갖추어야 함으로 열린공간이 필요하고 조건을 만족시키기 위해 설치되는 공기 흡입구와 배기가스 배출구는 외부로 방사되는 소음을 낮추기 위한 충분한 소음 저감장치를 마련하여야 한다. 또한, 실내 음압이 일정하고 이상 상승할 때 항공기에 음향 피로효과가 발생되므로 지상실험에 의한 항공기 수명을 단축하지 않기 위해서는 테스트실의 충분한 흡음시설을 통하여 과도한 잔향의 발생을 최소화 하여야 한다.

Hush-house 를 구성하는 요소를 크게 나누어 보면 항공기가 출입하는 출입문과 테스트를 위한 테스트실, 테스트실에 필요한 충분한 공기 공급을 위한 공기 흡입구, 제트엔진의 연소가스 배출을 위한 배기관과 배기탑 그리고 테스트시 테스트공간을 관찰하는 통제실 등으로 분

류할 수 있다.

국내에서 Hush-house 가 만족시켜야 하는 실내 및 실외 음압레벨은 실내 통제실의 경우 70dBA 로 되어있으며, 실외의 경우 항공기로부터 76m 떨어진 지점에서 80dBA 가 요구되어지고 있다.

3. Hush-house 음향 시뮬레이션

Hush-house 의 설계는 구조물이 없을 때 주변 음장 해석을 수행하고 이를 기초로 예상되는 구조물로부터 76m 떨어진 지점에서 80dBA 를 초과하지 않는 구조체를 설계한다. Table.1 은 F100-PW-229 엔진을 사용하는 항공기의 After Burning 상태의 음향파워레벨이다. Fig.1 은 Hush-house 가 없을 때 Table.1 의 음원으로 Directivity 를 고려하여 예측한 실외 음장분포를 나타낸다.

Table.1 Sound power level of the jet engine(F100-PW-229)

Frequency[Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
PWL[dB]	163	168	168	166	162	159	158	159

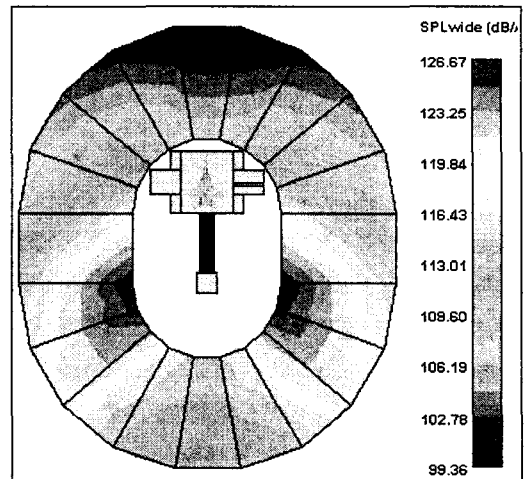


Fig.1 Noise prediction map without hush-house

Fig.1 로부터 Hush-house 가 없을 때 항공기 엔진 후면부와 배기탑으로 부터 각각 76m 떨어진 지점의 음압레벨을 모두 80dBA 를 초과하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 80dBA 를 만족시키기 위해서는 약 45dB 이상 저감 시키는 구조체가 필요함을 알 수 있다.

Fig.2 는 군용기의 지상실험을 위해 제작되는 Hush-house 의 구조과 주요요소들을 볼 수 있는 그림이다.

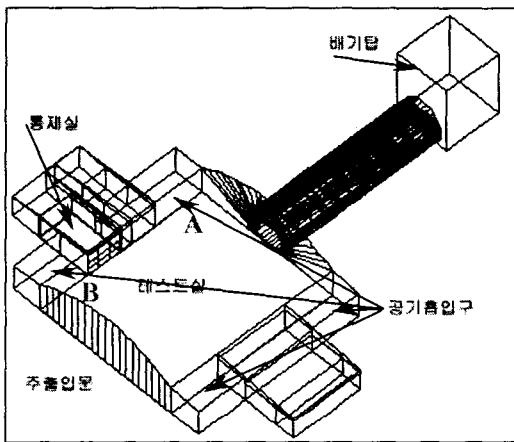


Fig.2 Diagram of Hush-House

위 그림에 나타난 요소에서 요구되어지는 투과손실을 얻기 위해서는 Hush-house 내부의 음장해석이 이루어져야 한다. 내부 음장해석에 사용한 테스트실의 벽, 천정, 유리 및 바닥의 흡음율은 Table.2 와 같다. Fig.3 은 테스트실 내부에서의 Tabel.1 과 같은 음원이 존재할 때 예측된 음압의 분포를 나타낸다.

Table. 2 Sound absorption ratio of the material in the test room

Frequency [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Wall/Ceiling	0.2	0.24	0.96	0.99	0.85	0.73	0.73	0.7
Window	0.03	0.02	0.06	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
Floor	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.09	0.09

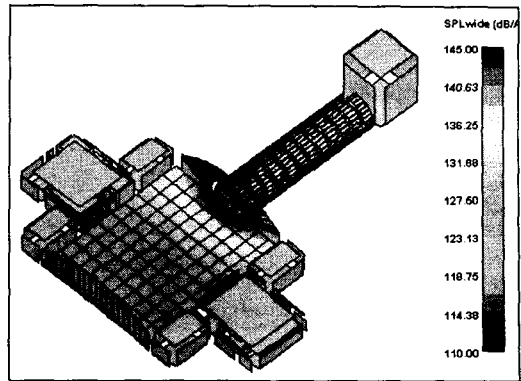


Fig.3 Noise prediction map in the hush-house

Fig.3 으로 부터 엔진 후면부인 배기관쪽의 음압레벨이 가장 높게 나타나고 있으며, 전면 주출입문으로 갈 수록 음압이 감소함을 알 수 있다. 또한, 통제실은 테스트실을 볼 수 있는 시창이 있으므로 이쪽에서 반사가 이루어지고 있음을 알 수 있고 통제실을 마주하는 쪽은 공간이 형성되 흡음공간이 추가 확보됨에 따라 음압이 낮게 형성되어 있음을 볼 수 있다. Table3 은 Fig.2 에서 A 지점과 B 지점의 예상 음압레벨이다.

Table. 3 Predicted sound pressure level in the test room

Frequency [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	AP
Point A [dBA]	106.1	121.7	126.7	131.9	133.0	127.6	122.6	116.1	136.9
Point B [dBA]	94.0	109.4	110.3	115.0	117.0	111.7	107.0	99.7	120.9

배기관에 인접한 공기 흡입구(A)의 음압레벨이 주출입문에 인접한 공기 흡입구(B)의 음압레벨에 비해 최대치를 기준으로 상대적으로 약 16dB 높게 나타났다. 이는 Hush-house 전/후의 공기 흡입구에 소음 저감 처리를 동일하게 할 경우 전면부보다 후면부의 외부 음압레벨이 높게 나타남을 예측 할 수 있다. 따라서, A 쪽 공기 흡입구의 소음 저감량을 보다 높게 설계해야 함을 알 수 있다.

4. Hush-house 요소 설계

Hush-house 의 요소로 공기흡입구에 설치되는 소음기, 건물의 벽체의 차음량과 배기관의 차음량은 다음과 같이 설계되어진다.

4.1 공기 흡입구 소음기 설계

Hush-house 설치 후 배기탑과 항공기의 엔진 부를 기점으로 반경 76m 지점의 허용 음압레벨을 80dBA 로 선정하였다. 예측된 Hush-house 내부 음압을 기준으로 외곽으로부터 최단 거리가 약 46m 이고 실내 음압이 높은 A 지점의 공기흡입구를 기준으로 하면 약 65m 이다. A 점이 B 지점보다 감음량이 커야 하므로 A 지점의 공기흡입구에 설치될 소음기를 우선 선정한다.

A 지점을 예로하여 소음기의 요구 감음량을 선정하는 방법은 Table.4 와 같다.

Table.4 Intake silencer acoustic analysis chart

Frequency [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	AP
①SPL[A] [dBA]	106.1	121.7	126.7	131.9	133.0	127.6	122.6	116.1	136.9
②Divergence 65m	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44
③PWL [dBA]	+14	+14	+14	+14	+14	+14	+14	+14	+14
④SPL at 76m [dBA]	76.1	91.7	96.7	101.9	103	97.6	92.6	86.1	106.9
⑤Charactic ratio[1.3]	0.20	0.33	0.64	0.86	1.00	0.78	0.57	0.45	-
⑥Insertion loss[dBA]	-3.9	11.7	16.7	21.9	23	17.6	12.6	6.1	26.9
⑦Insertion loss[dBA]	9.0	14.7	28.3	38.3	44.3	34.4	25.1	19.9	27

Table.4 에서 ①은 A 점의 예상 음압레벨, ②는 점음원 가정시 거리증가에 따른 감소 음압, ③은 A 지점 외부의 공기 흡입구 면적에 의한 파워레벨 증가량, ④는 공기 흡입구로부터 76m 떨어진 지점의 예상음압, ⑤는 스플리터와 공기통로의 비를 1.3 으로 할 때 1kHz 를 기준으로 한 주파수별 감음량 비율, ⑥은 기준 음압 80dBA 를 만족하기 위한 필요 감음량이

고 ⑦은 주파수별로 감음량 특성이 종 모양으로 형성되는 흡음형 소음기의 감음 특성을 고려하여 125Hz 의 필요 감음량을 기준으로 ⑤의 비율을 고려하여 소음기에 요구되는 예상 감음량을 나타낸다. 이 감음량을 기준으로 소음기를 설계하며, 다른 요소에서도 소음이 방사됨으로 안전율을 적용함이 바람직하다.

4.2 이중벽 차음 설계

벽체의 차음설계는 주출입구와 배기관이 연결되는 벽체를 제외하고는 외부와 직접적으로 접촉하지 않으므로 이 부분만을 고려하기로 한다. 벽체는 경량벽체를 사용함으로 내부에는 흡음재가 충전되어 있고 이를 보호하기 위한 타공판과 분진 방지 천으로 구성되고 높은 차음을 얻기 위하여 2중 벽체로 구성한다.

이중 벽체의 투과손실은 다음 식(1)과 같다.

$$\frac{P_t}{P_i} = 1 + \frac{Z_{w1} + Z_{w2}}{2\rho \cdot c} + \frac{Z_{w1} \cdot Z_{w2}}{(2\rho \cdot c)^2} (1 - e^{-2jkd}) \quad (1)$$

$$TL = 10 \log \left| \frac{P_i}{P_t} \right|^2$$

식(1)을 이용하여 벽체의 면밀도가 각각 10kg/m² 이고 공기층이 10cm 인 경우의 주파수별 투과손실은 Fig.4 와 같다.

Fig.4 에서 보면 저주파수 영역에서 차음량이 낮게 나타남으로 이를 보완하기 위해 공기층에 흡음재를 충전한다. 흡음재는 타공판으로 보강하여 충전하며, 이때 공기층에서 흡음효과로 저주파수 영역에서 낮은 차음량을 보이는 단순 이중벽체의 단점을 개선 할 수 있다. 이는 충전재의 흡음율에 따라 저주파수 영역에서 차음량을 개선할 수 있도록 Davy(1990)에 의해 소개되었으며 다음 식(2)와 같다.

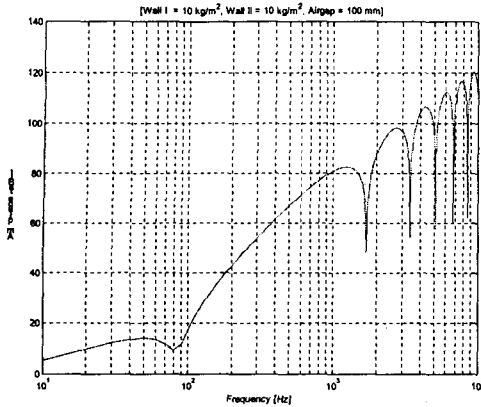


Fig.4 Transmission loss of the double wall

$$\tau_F = \frac{\pi(\xi_1 + \xi_2) \cdot n}{4 \cdot \bar{a}_1^2 \cdot \bar{a}_2^2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 (n^2 + \nu^2)} + \frac{64 \cdot \rho^2 \cdot c^2 \cdot D}{\left(g^2 + 4 \cdot (2\pi \cdot f)^{2\beta} \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot c \cdot C_M - g \right)^2 \cdot b \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2} \quad (2)$$

$$TL = 10 \log \left(\frac{1}{\tau_F} \right)$$

여기서, $D = \frac{\pi \cdot f_{c1} \cdot f_{c2}}{16 f^2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}$

$$g = m_1 \cdot (2\pi \cdot f_{c2})^2 + m_2 \cdot (2\pi \cdot f_{c1})^2$$

$$\beta = \left[1 - \left(\frac{f}{f_{c1}} \right)^2 \right]^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{f}{f_{c2}} \right)^2 \right]^2$$

$$\xi_i = \left(\frac{f}{f_{ci}} \right)^{1/2} \quad i = 1, 2$$

$$\bar{a}_i = \frac{\pi \cdot f \cdot m_i}{\rho \cdot c}$$

$$n = \eta_1 \cdot \xi_2 + \eta_2 \cdot \xi_1$$

$$\nu = 4(\eta_1 - \eta_2)$$

식(2)를 이용하여 충진재의 흡음율에 따른 이중벽의 투과손실을 계산하면 Table.5 와 같다.

Table.5 Absorption ratio of insertion material

Frequency [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Absorption Ratio	0.1	0.18	0.67	0.94	0.89	0.84	0.9	0.9
Transmission Loss	15.9	20.0	36.5	48.5	57.3	65.5	73.5	74.5
Absorption Ratio	0.2	0.4	0.8	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95
Transmission Loss	19.6	26.0	37.6	48.5	57.9	66.5	74.0	75

Table.5 에서 살펴보면 저주파수 영역에서 흡음을 증가에 따라 투과손실 증가량이 고주파수 영역 보다 높은 것을 볼 수 있다. 이는 충진재의 변경으로 저주파수 영역에서 보다 높은 효과를 얻을 수 있음을 나타낸다.

벽체의 차음량 결정은 Table.4 와 같이 면적에 따른 파워레벨 증가, 거리감쇠 그리고 요구되는 80dBA 를 만족할 수 있는 차음량을 결정하고 식(2)를 적용하여 이중벽을 결정한다.

4.3 배기관 차음 설계

배기관은 Hush-house 에서 연소가스를 직접 접촉하는 부분으로 외부는 원형관으로 이루어지고 내부는 엔진종류에 따라 다르나 여기서는 엔진이 2 개인 경우를 고려함으로 타원형을 사용하였다. 배기관은 연소가스를 배출함과 동시에 소음을 저감하는 것을 목적으로 하지만 배기관 내부의 온도가 연소가스에 의해 높아짐으로 음속이 증가하고 파장이 길어짐에 따라 흡음형 소음기에서 볼 수 있는 종모형의 주파수별 감음 특성이 고주파수로 이동한다. 따라서, 흡음재에 의한 감음 효과가 상온에서 보다 나빠짐으로 상온에서 계산한 흡음재의 두께보다 두껍게 선정하여야 한다.

덕트 내부 음압이 투과하여 외부로 방사되는 음압은 Allen formula 로 계산할 수 있으며, 다음 식(3)과 같다.

$$PWL_{TL} = PWL_{Duct} - R + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (3)$$

여기서, PWL_{TL} 은 덕트벽으로 투과되는 음향 파워레벨, PWL_{Duct} 은 덕트 내부로 전달되는 음향 파워레벨, R 은 음향 투과손실 인덱스, S 는 덕트의 외부 면적, A 는 덕트의 단면적이다.

본 연구에서의 S 는 약 471m^2 이고 A 는 약 28m^2 이다. 따라서, 덕트 길이가 길어짐에 따른 파워레벨 증가는 약 12dB 가 되고 이 증가분은 배기관 표면적의 음향파워레벨을 증가시키므로 선음원으로 가정한 배기관 표면의 파워레벨을 12dB 증가시킴과 같다.

Table.6 은 배기관의 투과 손실값을 결정하기 위한 차트이다. 배기관의 평균음압레벨에 식(3)에서 덕트 표면적에 의한 파워레벨증분을 계산한 것이 ②이다. ②에서 76m 에 해당하는 선음원의 반 자유공간 거리감쇠인 23.8dB 를 빼면 수음점에서의 예상 음압 ③이 된다. 각 주파수의 음압레벨이 모두 71dB 일 때 Overall 음압레벨이 80dB 가 되므로 ③에서 주파수별로 71dB 를 빼면 ④가 된다. 이것이 배기관의 요구 차음량이다.

Table.6 Exhaust tube acoustic analysis chart

Frequency [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
①SPL	114.1	130.3	139.9	143.8	143.6	136.5	132.9	125.7
②PWL	126.3	142.5	152.1	156.0	155.8	148.7	145.1	137.9
③SPL	102.5	118.7	128.3	132.2	132.0	124.9	121.3	114.1
④SPL	31.5	47.7	57.3	61.2	61	53.9	50.3	43.1

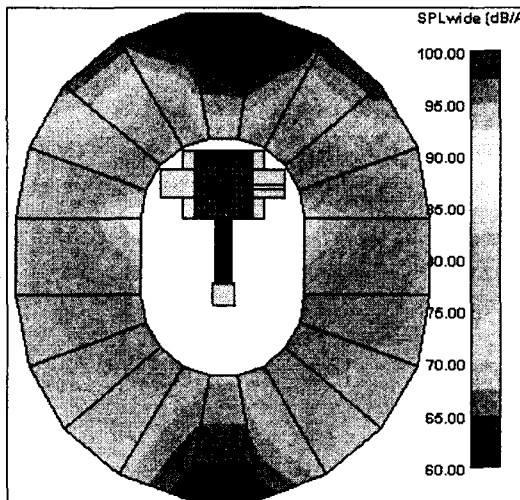


Fig.5 Noise prediction map with hush-house

Fig.5 는 각 요소의 투과손실 및 삽입손실 등을 적용하여 Hush-house 설치 후 실외 소음도를 예측한 결과이다. 항공기 엔진부와 배기탑에서 76m 떨어진 지점의 음압레벨이 80dB A 이하이므로 설계목표를 만족하고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 군용 항공기의 지상실험에 따른 소음 저감 방안으로 설치되는 Hush-house의 기초설계에 관하여 살펴보았으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 공항에서 항공기의 정비를 위해 지상실험 시 발생하는 소음이 공항 주위 음환경에 미치는 소음도를 예측 할 수 있었다.
- Hush-house 의 구성요소인 벽체의 차음 요구량과 공기 흡입구의 삽입손실 요구량을 최적화함으로 경제적인 설계가 가능하게 되었다.

참고문헌

1. V. R. Miller, G. A. Plzak, J. M. Chinn, "Acoustic Measurements of F-16 Aircraft Operating in Hush House, NSN 4920-02-070-2721", September 1981.
2. David A. Bies, Colin H. Hansen, "Engineering noise control", Spon Press, 2002.
3. K. U. Ingard, "Notes on Duct Attenuators", Kittery Point, Maine 03905, 1999.
4. M. A. Iqbal, T. K. Willson, R. J. Thomas, "The Control of Noise in Ventilation Systems", E.&F.N. Spon Ltd, 1977.
5. 김인수, 2000, "덕트형 소음기 설계 프로그램 개발", 한국소음진동공학회 2000년 춘계학술대회 논문집, pp.379~383.