

공항주변 가옥의 방음시뮬레이션

°황철호*

Development of Simulation Program for Aircraft Noise Abatement in the Buildings near the Airport

Cheol-Ho Hwang

ABSTRACT

In this paper a simulation program is developed to abate the aircraft noise in the buildings near the airport. This indoor aircraft noise prediction computer program, which is based on the various data and measured results, is useful for the understanding the noise reduction efficiency of the existing buildings as well as for the effective noise abatement method to keep the optimum indoor level for quiet environment.

1. 서론

항공기 소음은 다른 육상교통소음이나 공장소음 등과는 달리 소음원이 공중에 위치하고 있어 어느 방향으로도 방해 받지 않고 사방으로 소음이 전파되므로 소음피해지역이 매우 광범위하다. 또한 창문 등의 진동을 수반하는 높은 소음레벨로 인해 불쾌감은 물론이고 전화나 TV 시청과 같은 일상 생활이 큰 지장을 받음으로 인해 환경소음은 집단민원을 유발하는 대표적인 환경문제 중의 하나이다.

항공기 소음으로부터의 피해를 줄이기 위한 가장 근원적인 해결책은 항공기 자체의 소음발생 원인을 찾아 이에 대한 대책을 강구하는 것이나 아직도 기술적으로 많은 어려움이 따르기 때문에 현실적인 방법이 될 수 없다. 환경소음 대책을 강구함에 있어 많은 경우에 있어서와 마찬가지로 차선책이면서도 가장 현실적인 해결방안은 소음의 전달 경로를 면밀히 조사, 분석하여

효과적인 차단대책을 세우는 것이다. 그러나 항공기 소음의 경우 소음원이 공중에 위치하고 있어 소음의 전달경로 차단은 소음으로부터 보호받아야 할 주된 생활공간인 가옥에 대한 효과적인 방음대책으로 국한된다. 항공기 소음으로 인한 가옥내에서의 소음실태는 측정을 통해 파악할 수 있으나, 목표로 하는 실내소음을 얻기 위해 필요한 방음대책과 이로 인해 얻어질 수 있는 실내소음도에 대해서는 이제까지 예측가능한 마땅한 도구가 없어 경험에 의하거나 시행착오에 의존할 수밖에 없었다.

본 논문에서는 공항에 인접한 인구 밀집지역에 있는 가옥에 대한 효과적이면서도 경제적인 방음대책 제시를 위해 실내소음도를 예측할 수 있고, 각종 방음시공의 선택에 따른 소음도 저감 효과의 계산과 시공에 따른 시공비 산출이 가능한 윈도우용 프로그램을 개발하고 이 프로그램의 효용성에 대해 검토하였다.

2. 가옥의 실내소음 예측 프로그램 개발

* 정회원, 한남대학교, 기계공학과

2.1 실내공간 벽면의 평균투과손실

가옥 외부의 소음에 의해 실내에 형성되는 소음을 계산하기 위해 그림 1과 같은 가옥의 평면도를 생각해보자. 가옥의 외부에 항공기 소음에 의해 균일한 음장이 형성되었다고 가정하고, 이 외부 소음의 음향 에너지를 E_0 라고 하자. 그리고 가옥내의 독립적인 공간을 형성하고 있는 네 공간에서의 음향 에너지를 각각 E_1, E_2, E_3, E_4 라고 하고, i -공간과 j -공간을 분리하고 있는 벽면의 평균투과계수를 τ_{ij} 로 표시하면 τ_{01} 은 가옥 외부와 실내 공간 1 사이 벽의 평균투과계수이며, τ_{12} 는 공간 1과 공간 2 사이 벽의 투과계수이다. 이때 각 공간에 형성되는 음향에너지는 외부로부터 전달되는 음향에너지와 이웃하고 있는 실내공간으로부터 벽을 통해 전달되는 음향에너지의 합으로 나타낼 수 있으므로 각 공간에서의 음향에너지는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} E_1 &= \tau_{10}E_0 + \tau_{12}E_2 \\ E_2 &= \tau_{20}E_0 + \tau_{21}E_1 + \tau_{23}E_3 + \tau_{24}E_4 \\ E_3 &= \tau_{30}E_0 + \tau_{32}E_2 + \tau_{34}E_4 \\ E_4 &= \tau_{40}E_0 + \tau_{42}E_2 + \tau_{43}E_3 \end{aligned} \quad (1)$$

위 식을 미지수인 E_i 에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_1 - \tau_{12}E_2 &= \tau_{10}E_0 \\ -\tau_{21}E_1 + E_2 - \tau_{23}E_3 - \tau_{24}E_4 &= \tau_{20}E_0 \\ -\tau_{32}E_2 + E_3 - \tau_{34}E_4 &= \tau_{30}E_0 \\ -\tau_{42}E_2 - \tau_{43}E_3 + E_4 &= \tau_{40}E_0 \end{aligned} \quad (2)$$

(2)식으로부터 각 공간에서의 음향에너지 E_i 를 구할 수 있다. 예를 들어 E_1 은 다음과 같다.

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{1}{\text{Det}} \begin{vmatrix} \tau_{10} & -\tau_{12} & 0 & 0 \\ \tau_{20} & 1 & -\tau_{23} & -\tau_{24} \\ \tau_{30} & -\tau_{32} & 1 & -\tau_{34} \\ \tau_{40} & -\tau_{42} & -\tau_{43} & 1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

여기서 Det는 다음과 같다.

$$\text{Det} = \begin{vmatrix} 1 & -\tau_{12} & 0 & 0 \\ -\tau_{21} & 1 & -\tau_{23} & -\tau_{24} \\ 0 & -\tau_{32} & 1 & -\tau_{34} \\ 0 & -\tau_{42} & -\tau_{43} & 1 \end{vmatrix} \quad (4)$$

따라서 각 공간을 구성하고 있는 벽면의 평균투과손실을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$TL_i = 10 \log \left(\frac{E_i}{E_0} \right), \quad i=1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

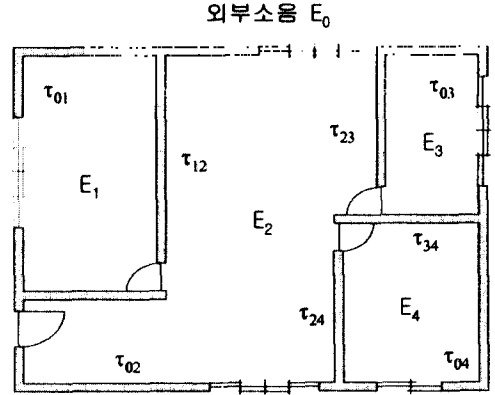


그림 1 가옥 평면도 및 각 공간에서의 음향에너지.

2.2 복합벽에 대한 평균투과계수 계산

가옥내의 각 공간은 일반적으로 외벽에는 창문이, 내벽에는 방문이 붙어 있으며, 거실의 경우에는 현관문과 거실창문이 붙어있다. 따라서 창문이 있는 외벽과 방문이 달린 내벽은 투과계수가 다른 두 재질로 구성된 복합벽에 해당한다. 이러한 복합벽에 대한 평균투과계수는 각 재질로 투과된 에너지 비의 합을 전체 면적으로 나누어 계산할 수 있다. 즉,

$$\tau_{eq} = \frac{1}{S} \sum S_i \tau_i = \frac{1}{S} \sum S_i 10^{-STC_i/10} \quad (6)$$

여기서, S_i 와 τ_i 는 동일한 재질로 구성된 i 번째의 구성요소의 면적과 투과계수이며, S 는 벽 전체의 면적으로 $S = \sum S_i$ 이다.

따라서 출입문이 있는 내벽의 경우에도 마찬가지로 방법으로 각 재질의 STC 값을 이용하여

각 벽면의 평균 투과계수를 구할 수 있다.

2.3 실내에서의 소음도 계산

인접한 두 공간의 소음도 L_{p1} 과 L_{p2} 사이의 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$L_{p2} = L_{p1} - TL + 10 \log\left(\frac{S}{A_2}\right) \quad (7)$$

여기서, TL 과 S 는 두 공간사이 벽의 투과손실과 벽 면적이며, A_2 는 공간 2에서의 실내흡음을 나타내며, A_2 와 공간 2에서의 잔향시간과는 다음의 관계가 성립된다.

$$T = \frac{0.16 V_2}{A_2} \quad (8)$$

여기서 V_2 는 공간 2의 체적이다.

식 (7)을 이용하여 식 (6)을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{p2} = L_{p1} - TL - 10 \log\left(\frac{0.16 V_2}{ST}\right) \quad (9)$$

따라서 공간 2의 실내 소음도는 분리벽의 투과손실과 공간에서의 잔향시간 T 에 따라 영향을 받게 되며, 잔향시간을 이용함으로써 공간내의 벽면이나 가구 및 가재도구 등의 세세한 흡음특성을 고려하지 않고 실내의 흡음특성을 고려한 실내 소음도를 계산할 수 있다. 표 1은 한국의 전형적인 가옥 실내에서의 대표적인 잔향시간을 나타낸 것이다.

표 1 국내 주거용 가옥의 실내 잔향시간

실내 공간 상태		잔향 시간 (sec)
침실	커튼과 침대가 있는 경우	0.4
	커튼이나 침대중 하나만 있는 경우	0.6
	흡음체가 거의 없는 경우	0.8
거실	흡음체가 많은 경우(소파, 커튼, 카펫)	0.5
	흡음체가 적은 경우	0.8
	흡음체가 아주 없는 경우	1.0

2.4 실내에서의 소음도 계산

가옥의 형태에 따라 소음전달 경로에 따른 영향에 차이가 있을 수 있다. 예를 들어 단독주택의 경우 지붕의 종류에 따라 지붕으로부터 투과되는 음에너지의 크기가 달라질 것이며, 아파트의 경우 최상층이 아닌 경우 지붕에 해당하는 천정으로부터의 음의 유입은 거의 무시할 수 있으므로 본 연구에서 개발된 프로그램에서는 이러한 주택의 종류에 따른 지붕의 영향을 고려하기 위해 대상 가옥의 종류를 선택하도록 하였다.

공항주변의 가옥 형태는 크게 단독주택, 다세대, 아파트나 연립 등으로 구분할 수 있는데, 단독주택을 제외하고는 대부분이 직사각형 모양이므로 프로그램 구성상 별다른 문제가 없으나, 단독주택의 경우 가옥의 외곽선 모양이 다양하여 프로그램에서 가옥 구조와 실내의 방들간의 인접 여부를 판단하는데 어려운 점이 많은 관계로 문제가 되는 주택의 가옥 형상을 분류하여 모두 다섯 가지(일반형, L자형, C자형, 口자형, 특수형)로 분류하고 이들의 평면도 외곽형태를 미리 입력하였다. 그림 2는 평면도 외곽형태를 선택할 수 있는 대화상자를 나타낸 것이며, 그림 3은 선택된 외곽형태가 화면에 표시되고 각 외곽선의 길이를 입력하도록 대화상자가 표시된 것을 나타낸 것이다. 가옥의 외곽 치수를 입력한 후, 지붕의 종류(기와 또는 슬라브)와 외벽의 종류를 선택한다. 그림 4는 외벽을 선택하는 대화상자를

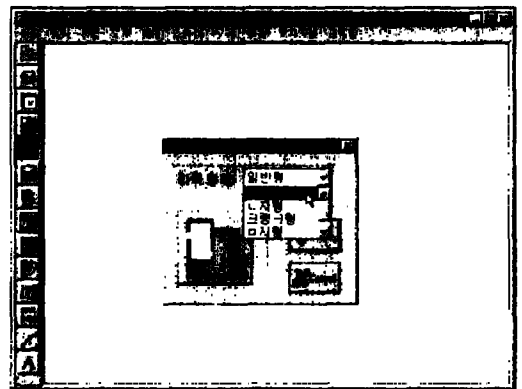


그림 2 가옥 외곽형태 선택 대화상자.

를 나타낸 것이다. 프로그램 좌측에 있는 도구 아이콘을 사용하여 평면도에 소음도 계산이 필요한 방과 창문, 출입문을 그려 넣은 후, 방 크기와 내벽 재질, 방에서의 잔향시간을 그림 5과 같이 입력하고, 그림 6, 7에서 보는 바와 같이 가옥에 있는 모든 창문과 문에 대해 종류를 선택하고, 크기를 입력한다. 그림 4에서 그림 7까지 타입 및 크기를 입력하는 대화상자를 보면, 각 타입에 대한 설명이 있는데, 이 설명문의 제일 처음에 해당 타입의 STC 값이 표시되어 있다. 건축재료의 STC 값은 16개의 주파수 대역별 투과손실로부터 결정된 투과손실 대표값이라고 할 수 있다. 재료의 차음성능을 나타내는 대표값으로는 유효투과손실, 평균투과손실 등이 있으나, STC 값이 가장 일반적으로 사용되고 있으며, 여러 참고문헌에서 쉽게 인용할 수 있으므로 본

연구에서는 STC 값을 이용하여 재료의 차음성능을 계산하였다. 가옥에 대한 기본적인 데이터가 모두 입력되면, 프로그램은 방과 방의 인접

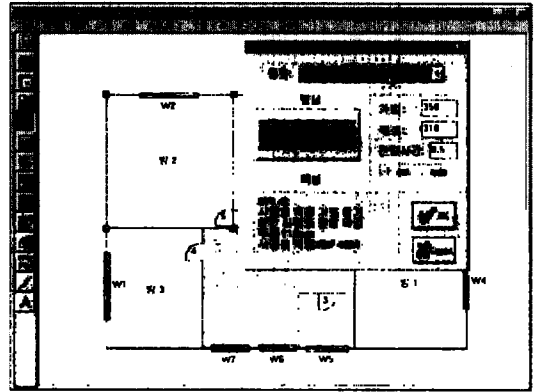


그림 5 방 내벽 재질 및 크기 입력.

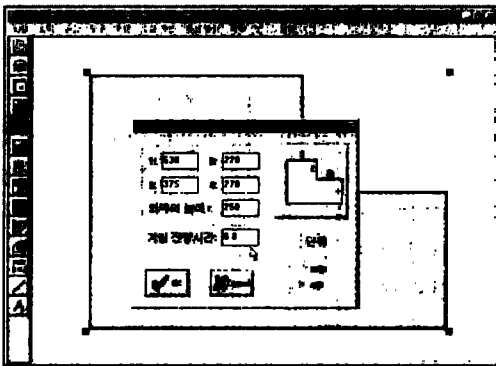


그림 3 가옥 평면외곽 치수 입력.

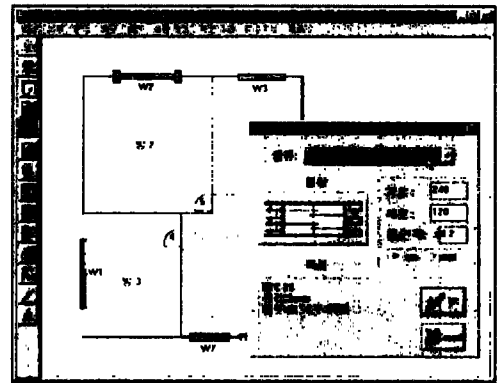


그림 6 창문 종류 입력.

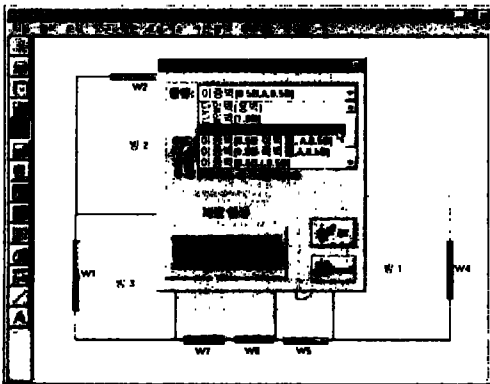


그림 4 외벽의 종류 입력.

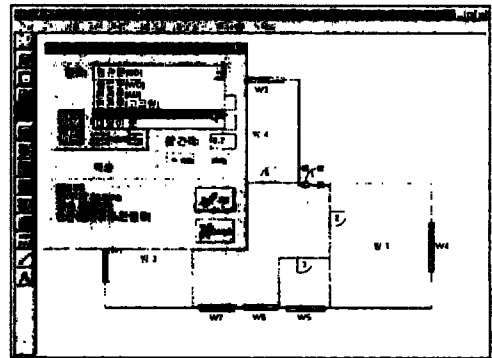


그림 7 출입문 종류.

관계를 자동으로 인식하고, 창문과 출입문 등을 고려하여 각 복합벽의 투과손실을 계산하고, 2.3절에서 제시한 방법에 따라 실내 공간에서의 소음도를 계산한다. 그림 8은 계산된 소음도를 나타낸 것이다.

계산된 실내소음도가 기준치보다 높을 경우 가옥에 대한 방음대책이 필요하다, 가장 손쉽게 취할 수 있는 방법은 차음효과가 높은 창문과 출입문으로 대체하는 것이며, 이것으로 충분한 효과를 얻을 수 없는 경우 외벽과 지붕에 대한 보완을 추가로 해야 할 것이다. 본 연구에서는 방음시공 후의 소음도 계산을 위해 방음효과가 우수한 창문과 출입문에 대한 데이터베이스를 구축하고 이들로 교체한 경우에 대해 소음도를 재계산한 후, 원래의 경우와 비교할 수 있도록

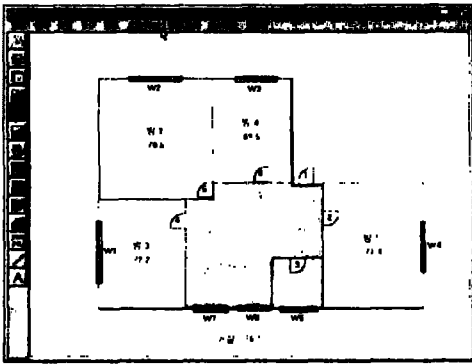


그림 8 실내 공간에서의 소음도 계산치.

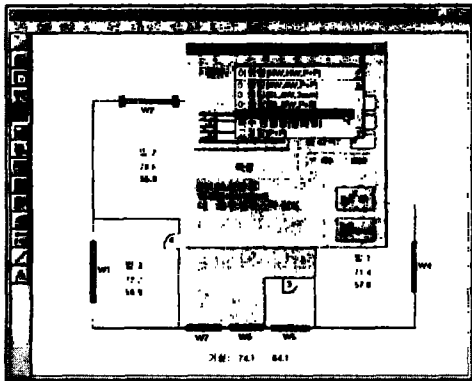


그림 9 방음용 창문의 선택 및 방음시공 후 소음도 계산치.

프로그램을 개발하였다. 그림 9는 방음시공 모우드에서 창문을 선택하면 투과손실이 우수한 창문들로 이루어진 선택 대화상자가 표시되는 것을 나타낸 것이며, 원하는 창문과 문들에 대해 교체가 끝난 후 소음도를 다시 계산한 결과가 함께 표시되어 있다. 그림 10은 선택한 방음공사 내역과 소요경비를 도표로 나타낼 수 있음을 보여주고 있다.

방음공사 재료 목록			
이름	수량	단위	비고
STC 24 유리창	1	개	
STC 24 문	1	개	
방음공사에 필요한 경비 (단위: 만 원)			
구분	내역	수량	단가
창문	STC 24 유리창	1	854
문	STC 24 문	1	1850
합계			2704
창문	STC 24 유리창	1	854
문	STC 24 문	1	497
합계			1351
창문	STC 24 유리창	1	854
문	STC 24 문	1	875
합계			1729

그림 10 방음공사 재료 목록 및 소요 경비.

3. 가옥내 소음 예측기법의 적용

평면도상에서 L 자형의 외곽형태를 가진 전형적인 다세대 주택에 대해 예측기법에 의한 방음량과 측정에 의한 방음량을 비교하였다. 대상으로 한 주택은 외벽이 이중벽이며, 외벽의 창문은 알미늄 유리창과 목재 유리창으로 구성된 이중창 구조로서 외벽과 창문의 STC 값은 각각 57과 24로 선택하였으며, 거실과 침실에는 커튼이 있어 우리나라 주택 내부의 평균 흡음률을 갖고 있는 것으로 가정하여 잔향시간을 0.6 초 정도로 설정하였다. 외부 소음도와 각 실내공간에서의 소음도와의 차이를 방음량으로 하여 계산값과 측정값을 비교하면 다음 표 2와 같다. 방음량의 실제 측정은 가옥의 외부와 내부의 거실과 안방 두 곳에서만 수행하였다. 결과에 의하면 안방에 대한 방음량은 측정값과 계산값이 잘 일치하고 있으나 거실에 대해서는 오차가 다소 크

게 나오고 있는데, 이는 거실에서 측정환경에 따른 오차로 보인다. 이외의 전형적인 주택에 대한 측정 및 계산 결과에서도 방에 대한 계산 결과는 측정치와 최대 3~4 dB 정도의 오차를 보였는데, 이는 실제 다양한 환경의 주택을 모델링하는 과정에서 필연적으로 발생하는 오차와 함께 창문 등의 진동에 의한 2차 소음이 원인인 것으로 보인다.

표 2 다세대 주택에 대한 방음량의 비교

공간 구분	방 음 량(dB)	
	계산값	측정값
방 1	24.5	25.1
방 2	24.7	-
방 3	24.3	-
거실	20.6	23.5

예측 프로그램의 방음 모우드를 이용하여 모든 실내 공간의 방음 목표량인 35 dB를 달성하기 위해 필요한 가옥 개선 방안 및 방음량을 계산해 보면 다음 표 3과 같다.

표 3 방음 목표량 35 dB를 달성하기 위한 가옥 개선 방안 및 계산된 방음량.

방 구분	방 음 량				
	현재	개선 방안			
		#1	#2	#3	#4
방 1	24.5	33.0	37.8	37.8	37.8
방 2	24.7	33.9	38.8	38.6	38.7
방 3	24.3	33.1	37.8	37.8	37.8
거실	20.6	26.7	28.9	33.3	36.4
개선안	현관문	현관문 : 고급형(STC 29)		현관문 : 밀폐형(STC 40)	
	거실창	거실창: STC31	거실창: STC 36		거실창 : STC 40
	방창문	방 창문: STC 31 방 창문: STC 36			

4. 결 론

일반 대기오염이나 수질오염 문제와 같은 대부분의 환경문제가 원인 제공자와 피해자가 불특정 다수라는 특성을 가지고 있는데 비해 항공기 소음은 원인 제공자인 공항관계자와 피해자인 공항주변 주민이 모두 분명하여 강력한 피해 보상 시비가 따르게 된다. 피해 주민들에 대한 현실적인 보상 방법중의 하나는 주택 방음시설 지원에 따른 주거 환경의 개선이다. 금전적인 보상이 일시적인 효과만을 가지며, 현재의 소유주에게만 유효하다는 문제점과 환경개선의 효과가 전혀 따르지 않는 미봉책인데 비해 주택 방음시설 지원은 피해지역의 외부소음 문제 해결은 안되지만, 주된 생활공간인 가옥내의 소음환경은 개선될 수 있으며, 지속적인 효과를 가질 수 있다는 점에서 현실적으로 가장 효과적인 선택이라 할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 주택 방음시설의 효율적인 시공을 위해 주어진 외부 소음도로부터 주택내의 각 공간에서의 실내 소음도를 예측할 수 있는 예측기법과 프로그램을 개발하였다. 또한 소음이 투과되는 주된 경로인 창문과 출입문을 방음특성이 더 우수한 제품으로 교체 시공했을 때의 방음효과를 예측할 수 있도록 함으로써 원하는 실내 소음도를 달성하는 데 필요한 효과적인 방음대책이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] ASTM E413-73, Standard Classification for Determination of Sound Transmission Class.
- [2] DIN 45643, Measurement and Assessment of Aircraft Noise, Part 1,2,3, 1984.
- [3] Duerden, C., 1970, Noise Abatement, Philosophical Library, New York.
- [4] Harris, C. M., 1979, Handbook of Noise Control, McGraw-Hill Book Co., New York.