

Research Paper

## 교육환경평가를 위한 항공기 소음의 교실 내 전달 특성 예측에 관한 연구

박원형\* · 윤성철\*\* · 정재우\*\*\*

한국토지주택공사\*, 주식회사 이너턴스\*\*, 경상국립대학교\*\*\*

### A Study on the Prediction of Aircraft-Induced Indoor Noise for Educational Environmental Assessment

WonHyung Park\* · SoungCheol Yoon\*\* · JaeWoo Chung\*\*\*

Korea Land and Housing Corporation (Dept. of Urban System Engineering Gyeongsang National University (Ph.D Candidate))\*  
Inertance Inc.\*\*  
Gyeongsang National University\*\*\*

**요약:** 항공기 소음이 학교 교실 내 학습 환경에 미치는 영향을 정량적으로 예측하기 위한 실내 소음 예측기법을 제안하고, 도로 및 철도 소음의 영향에 관한 예측기법과의 비교를 통해 그 적용 가능성을 검토하였다. 항공기 소음은 엔진의 추진 방식에 따라 전투기(Jet engine), 터보팬(Turbo fan), 터보프롭(Turbo prop), 회전익(Helicopter)의 네 가지 유형으로 분류하였으며, 실제 운항 환경에서 측정된 5분 등가소음도 자료를 바탕으로 주파수별 음향 특성을 분석하였다. 소음측정 데이터를 기반으로 교실의 구조적 조건과 마감재의 흡음 특성을 반영한 음향 시뮬레이션을 수행하였으며 항공기 소음의 실외-실내 보정치를 산정하였다. 그 결과, 항공기 유형별 보정치는 -8.0 ~ -8.2 dB(A)의 범위로, 도로 및 철도 소음과 비교할 때, 편차가  $\pm 0.1$  dB(A)로 근소한 차이를 보이는 것을 확인하였다. 이는 등가소음도 기반 예측 시 항공기 소음 역시 기존의 예측모델에 기초적으로 적용 가능할 것으로 판단되나, 향후 정확도 향상을 위해 교사 내 실측을 통한 항공기 소음의 고유 특성에 대한 매개변수 조정이 요구된다. 본 연구는 항공기 소음의 실내 영향에 대한 실증적 예측 기반을 제공함으로써, 교육환경평가에서의 소음 검토의 정밀도를 향상시키는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

**주요어:** 환경영향평가, 교육환경평가, 신설학교, 항공기소음, 교사 내 소음

**Abstract:** This study proposes an indoor noise prediction method to quantitatively assess the impact of aircraft noise on the learning environment inside school classrooms, and evaluates its applicability by comparing it with existing prediction techniques used for road and railway noise. Aircraft noise was classified into four types based on propulsion systems: jet engine, turbo fan, turbo prop, and helicopter. Frequency-dependent acoustic characteristics were analyzed using 5-minute equivalent

continuous sound level (Leq) data collected under actual flight conditions. Based on the measurement data, an acoustic simulation was conducted that incorporated classroom structural conditions and absorption properties of interior finishes, allowing for the estimation of the outdoor-to-indoor correction factors of aircraft noise. The correction values ranged from -8.0 to -8.2 dB(A), with deviations within  $\pm 0.1$  dB(A) compared to road and railway noise, indicating a similar transmission pattern. This result suggests that aircraft noise can be fundamentally integrated into existing indoor noise prediction models based on Leq. However, parameter adjustments reflecting the specific acoustic characteristics of aircraft noise are required to enhance prediction accuracy. This study is expected to provide a practical foundation for predictive evaluation of indoor aircraft noise and contribute to enhancing the accuracy of noise assessments in educational environmental evaluations.

*Keywords: Environmental Impact Assessment, Educational Environment Assessment, Newly-planned School, Aircraft Noise, Noise in the Classroom*

## I. 서론

학교는 소음으로부터 보호되어야 할 주요 공간이며, 소음은 학생들의 인지 능력 저하 및 발달 지연과 관련된 환경 요인으로 지적되어 왔다(Diaco, 2014; Shield & Dockrell, 2008). 초등학교 저학년 학생들이 도로 교통 소음에 장기간 노출될 경우에 학업 성취에 부정적인 영향을 받으며 실외 소음이 5 dB 증가할 때마다 학생들의 집중력 및 기억력이 약 10~23% 감소하는 것으로 나타나 소음의 노출이 인지 발달을 지연시킬 수 있는 것으로 보고되었다(Foraster et al., 2022).

공항 주변 항공기 소음이 아동의 정신건강에 미치는 영향을 분석한 결과, 60 WECPNL 이상의 소음에 노출된 초등학교 집단에서 우울증 발생률이 비노출군에 비해 통계적으로 유의하게 높았으며, 인성검사에서도 근면성, 협동성, 집중력 등의 하위 항목에서 인성 부족군의 교차비가 높게 나타나 소음이 정서 및 성격 형성에 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Yu et al., 2010). 또한 공항 인근 학교에서 항공기 소음의 실태를 조사한 결과, 운동장에서는 80~90 WECPNL, 교실에서는 창문 개방 시 68~85 WECPNL, 창문 밀폐 시에도 60~80 WECPNL 수준의 높은 소음도가 측정되어 심각한 수준의 소음 환경이 조성되어 있는 것으로 나타난 바 있다(Kim et al., 2010). 특히, 창문 밀폐 시에 운동장 대비 약 15 WECPNL의 차이가 발생해 차폐 효과는 존재하나, 창문 개방 시에는 차이가 약 5 WECPNL

에 불과하여, 수업 중 창문 개방은 교실 내 소음 노출을 심각하게 증가시키는 요인으로 지적되었다(Kim et al., 2010).

조아현 등은 초등학교 저학년 교실의 음향성능 실태를 비교하였으며 교사 바로 앞 도로가 존재하여 창가 열에서 낮은 신호대잡음비 값을 가지고 있어 창가열에 앉은 학생들이 외부 소음에 의해 교사의 음성 전달로부터 가장 많이 방해받고 있음을 알 수 있었다. 또한 2000년대에 준공되거나 보수공사가 이루어진 학교는 고주파수 대역의 흡음성능이 높은 천장 마감재를 사용하여 고주파수 대역의 잔향시간이 낮고 그에 따라 음성명료도가 높은 것으로 나타났다(Jo et al., 2021).

현재 교육시설의 소음 관리를 위해 「학교보건법」에 따른 평가 제도가 운영되고 있으나, 법적 기준은 대부분 실외 소음에 집중되어 있어 교실 내 소음 예측을 위한 명확한 지침이 부재한 상황이다. 「소음진동관리법」 등 관련 법령에서는 항공기 소음 평가 단위를 2023년부터 WECPNL에서 Lden으로 변경하여 관리하고 있으며, Lden은 등가소음도를 측정하여 도출된 항공기 소음도를 의미한다. 이는 항공기 통과 시 소음노출레벨( $L_{AE}$ )에 시간대별 보정값을 더한 후, 항공기소음 측정 시간(T, 86,400초)으로 나누어 값을 산출한다.

박원형 등은 도로 및 철도 소음을 대상으로 소음이 실내로 전파될 때의 전달 특성을 해석적 접근법을 통해 분석하였다. 도로 및 철도 소음의 실내 보정치는 각각 -8.2 dB(A)와 -8.0 dB(A)로 나타나 소음원에 따른 전

달 특성에 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이는 두 소음원이 유사한 음향특성(1/3 octave band)을 가지기 때문인 것으로 분석되었다(Park et al., 2025).

본 연구는 주로 도로 및 철도 소음에 집중된 기존 연구의 한계성을 보완하고자 항공기 소음을 대상으로 교사 내 소음 전달 특성을 규명하고자 하였다. 이를 위해 고정익 항공기(Jet engine, turbo fan, turbo prop 등) 및 회전익 항공기(helicopter) 등 다양한 항공기 소음원을 대상으로, 실외 소음이 교실 내로 전달될 때의 특성을 해석적인 방법을 통해 분석하였다. 또한, 사전 연구에서 도출한 도로 및 철도 소음의 실내 보정치와 비교·분석함으로써, 소음원 종류에 따른 실내 보정치의 차이를 분석하였다.

## II. 연구방법

### 1. 항공기 소음 측정 및 분석 방법

항공기는 날개 부착 형태에 따라 고정익과 회전익(Helicopter)으로 구분된다. 고정익 항공기는 다시 엔진의 형식에 따라 Jet engine(전투기), Turbo prop(수송기), Turbo fan(민항기)으로 세분화된다. 본 연구에서는 이러한 제원별 항공기를 대상으로 소음을 측정·분석하고, 이를 교실 내 실내 소음 예측 모델에 적용하였다. 소음원의 실내 전달계수(보정치) 산정 방법은 선행 연구(Park et al., 2025)의 분석 절차를 준용하였으며, 항공기 유형별 특성을 반영하여 해석적으로 검토하였다.

항공기 소음은 「소음·진동관리법」과 「군소음보상법 시행령」에 따라 Lden(가중등가소음도) 또는 WECPNL을 기준으로 평가된다. 한편, 학교 내 소음 기준은 「학

교보건법 시행규칙」에서 교실 내부 55 dB(A) 이하로 규정하고 있으며, 「학교 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼(제6차 개정판)」에서는 창문 및 복도로부터 1m 이격된 지점에서 5분간 측정된 등가소음도(Leq)를 기준으로 충족 여부를 판정하도록 명시하고 있다. 그러나, 현행 매뉴얼은 항공기 소음의 음향 특성과 전달 특성을 정밀하게 반영하기에는 한계가 존재한다.

이에 본 연구에서는 항공기 소음의 교실 내 전달 특성을 규명하기 위해 5분 등가소음도를 분석 지표로 활용하였다. 또한 항공기 제원별 음향 특성과 교실 내 주요 마감재의 흡음 특성을 반영하기 위하여 1/3 octave band 분석을 병행하였다. 소음 측정은 「소음·진동공정시험기준」과 「군용비행장·군사격장 소음영향도 조사 예규」(국방부)를 준용하여 수행되었으며, 8개 지점에서 측정된 69개의 데이터를 확보하여 분석에 활용하였다. 측정은 동특성 느림(Slow), 청감보정으로 A 특성(A-weighting)을 사용하였고, 1/3 octave band 분석을 함께 병행하였다. Table 1은 항공기 제원별 소음 측정의 세부사항을 요약한 것이며, Figure 1에는 주요 측정 현장을 제시하였다.

항공기 소음의 5분 등가소음도 평가는 「학교보건법」에 근거하고 있으나, 현행 제도에서는 동일 시간 구간 내 항공기 통과 횟수를 고려한 세부 기준이 부재하다. 먼저 단일 통과(event 1회) 구간은 배경소음의 상대적 기여가 커지기 때문에 항공기 소음의 에너지 비중이 과소 평가될 수 있다. 반면, 2회 이상 통과 시 항공기의 누적 음향에너지가 증가하여 대상 소음원이 배경소음에 비해 우세해지고, 항공기 기여분을 보다 안정적으로 평가할 수 있다. 또한 최소 2회 기준은 「학교보건법」의

Table 1. Measurement location of aircraft noise

Category	Measurement location	Floor	Types of aircraft
A	00 military airport	1F	Jet engine
B	440-1, Banjeong-dong, Hwaseong-si	1F	Jet engine
C	113-3, Gwangam-dong, Hanam-si	1F	Helicopter
D	13, Ilsan-ro 36beon-gil, Wonju-si	5F	Helicopter
E	1394, Gasan-ri, Ibaneong-myeon, Jinju-si	1F	Helicopter
F	186, Yongdang-ri, Sacheon-eup, Sacheon-si	1F	Turbo prop
G	233, Gomudari-gil, Gongdo-eup, Anseong-si	1F	Turbo prop
H	8, Cheongsong-ro, Gimpo-si	7F	Turbo fan

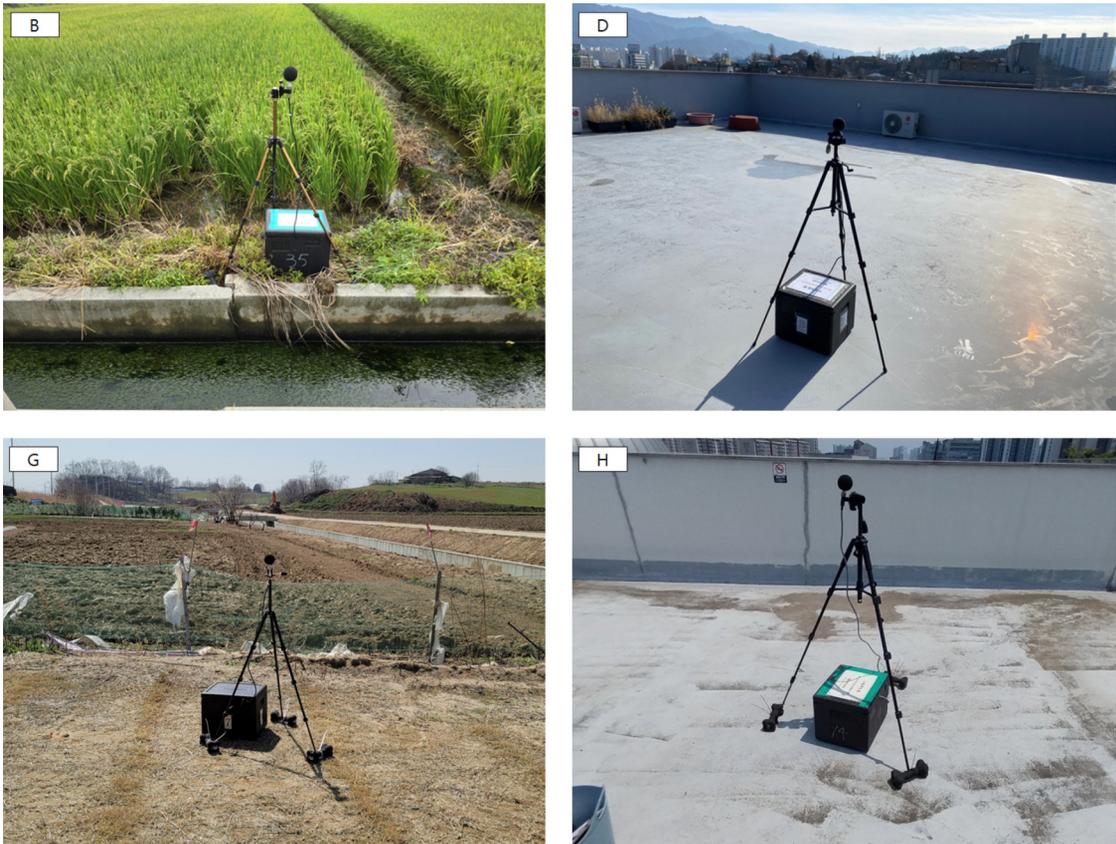


Figure 1. Picture of aircraft noise measurement

등가소음도 평가의 구조적 한계를 보완하여 평가의 일관성과 재현성을 확보하는 보수적·표준화된 전처리 규칙으로 활용이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 5분 등가소음도 산정 시 동일 5분 구간에 항공기 통과가 2회 이상 발생한 데이터만 분석 대상으로 활용하였다.

Figure 2와 Table 2는 OO공항에서 Jet engine 항공기 소음을 측정할 예시이며, 1대 통과 시 5분 등가소음도는 51.0 dB(A)로 분석되었다. 반면 2대 통과 시 등가소음도는 51.7 dB(A)로 1대 통과시 보다 0.7 dB(A) 증가하

였는데, 이는 Figure 2에서 확인되는 바와 같이 1대 통과 구간의 배경소음의 영향이 상대적으로 높아 대상 소음인 항공기 소음의 기여도가 적기 때문이다. 상위 5%의 누적 시간울 소음도( $L_5$ ) 분석결과, 항공기 통과 횟수가 증가할수록  $L_5$ 는 최고소음도( $L_{Amax}$ )에 근접하는 경향을 보였으며, 이는 항공기 통과가 소음 분포의 상위 구간을 지배하게 됨을 의미한다. 이러한 결과는 단일 이벤트(1대 통과) 기반 데이터는 배경소음의 영향을 크게 받아 대표성이 떨어지며, 최소 2대 이상 통과 구간

Table 2. Noise level examples with increasing aircraft passages

Category		Noise Level		
Measurement Location	Aircraft Passages	$L_{Aeq}$ (5min)	$L_{Amax}$	$L_5$
A. OO military airport	1	51.0	66.3	54.6
	2	51.7	61.3	58.8
	3	54.4	62.4	61.0
	4	56.9	69.4	63.0

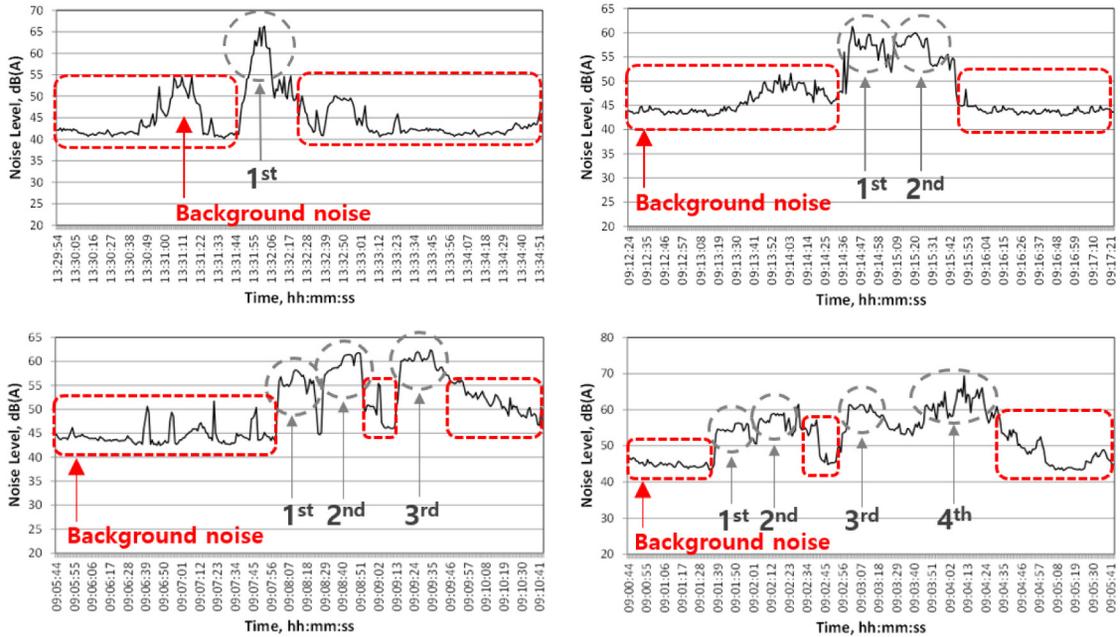


Figure 2.  $L_{Aeq}$  (5min) examples with increasing aircraft passages

을 평가 기준으로 활용해야 항공기 소음의 기여도를 안정적으로 반영할 수 있음을 보여준다.

2. 실내 전달소음 예측 방법 및 모델링 구축

박원형 등(Park et al., 2025)에 따르면 음원 입력방식에 따른 예측 성능을 비교한 결과, 면음원 예측모델이 점음원 예측모델보다 정밀한 것으로 평가되었으며, 본 연구에서는 이를 준용하여 분석에 활용하였다. 예측

정확도 향상을 위해 교실 내부 마감재의 음향 특성을 반영한 모델을 SoundPLAN(Ver.9.1) 프로그램을 활용하여 구축하였다. SoundPLAN 프로그램은 주로 실외 소음 예측에 사용되나, Indoor Noise module을 통하여 실내 음원 방사에 대한 해석이 가능하다. 음원은 창문 측면에 면음원으로 설정하고, 개방된 창을 통해 전달되는 소음을 외창 및 복도 방향에서 각각 예측(Sound Particle Diffraction: Low resolution impulse response)하

Table 3. Sound Absorption Characteristics by Frequency for Classroom Interior Materials

Category		Absorption Coefficient by Frequency					
Category	Material	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Window Frame	Double Layer of PVC	0.318	0.091	0.036	0.015	0.006	0.001
Window Glass	Glass, ordinary window glass	0.350	0.250	0.180	0.120	0.070	0.040
Blackboard	Blackboard in classroom	0.240	0.200	0.200	0.180	0.180	0.210
Wooden Desk Panel	6mm Hard wooden board, 50mm cavity	0.037	0.039	0.013	0.004	0.003	0.014
Classroom Wall	Plaster board on steel frame, 50mm mineral wool in cavity, surface painted	0.150	0.100	0.060	0.040	0.040	0.050
Wood Floor	Wood flooring	0.150	0.110	0.100	0.070	0.060	0.070
Ceiling Tile	Ceiling tex	0.220	0.320	0.150	0.140	0.080	0.070

Ref. : A study on integrating noise-environment assessments to foster tranquil educational settings, 2024.05., Korea Land & Housing Corporation

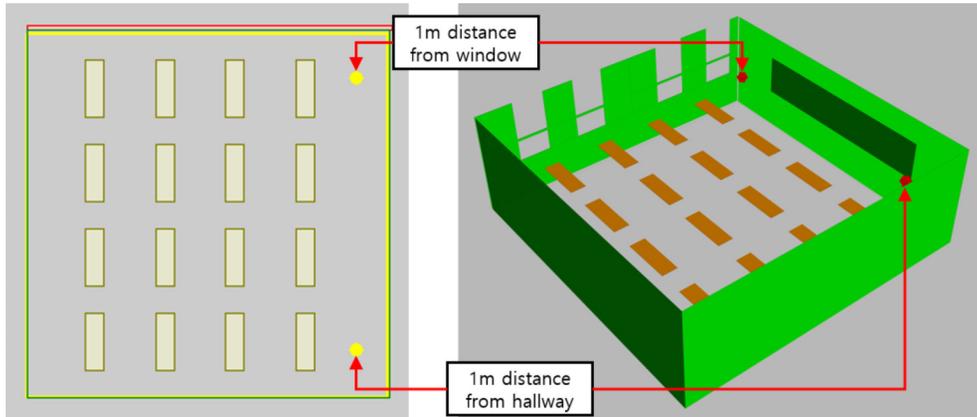


Figure 3. Indoor noise prediction model and prediction point

Ref. : W. H. Park., et al., (2025), A Study on Indoor Noise Prediction Methods and Evaluation Techniques in Classrooms According to Noise Sources - Focusing on Road and Railway Noise

였다. 시뮬레이션에는 창문, 칠판, 책상 등 주요 자재의 주파수별 흡음률이 반영되었으며, 자재별 흡음계수는 Table 3에 제시하였다. 이를 통해 실제 교실 환경과 유사한 조건에서의 전달 특성을 모사하고자 하였으며, 음원은 항공기 제원별로 나누어 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 항공기소음 평가방법에 따른 소음도 비교

동일 기종 항공기에 대한 지점별 Lden 값은 Table 4에 제시하였으며, 48.0 dB(A)에서 73.5 dB(A) 범위로 산출되었다. Lden과 5분 등가소음도(평균)의 차이가 가장 큰 지점은 Helicopter가 운항된 D 지점으로 18.2 dB(A)의 차이를 보였으며, Turbo fan이 운항된 H 지점

에서는 2.2 dB(A)의 차이로 가장 근접한 값을 나타냈다. 다만, Lden은 측정 기간 동안의 운항 횟수와 야간 운항 여부에 따라 값이 달라지므로, 두 지표를 단순 비교하는 것은 적절하지 않다.

따라서 5분 등가소음도는 항공기 운항 방식과 순간 소음 강도의 영향을 크게 받아 변동 폭이 큰 반면, Lden은 동일 기종의 전일 데이터를 기반으로 평균화 및 시간대별 가중치를 반영함으로써 보다 안정적이고 대표성 있는 지표를 제공한다. 이는 항공기 소음 평가에서 분석 목적에 따라 두 지표를 상호 보완적으로 활용해야 할 것으로 판단된다.

#### 2. 항공기 제원별 음향특성 분석 결과

항공기 소음이 교사내로 유입되는 소음의 전달특성

Table 4. Measurement Time and Lden Evaluation Results by Monitoring Site

Category		Measured time		Number of aircraft noise evaluations	Number of equivalent noise level evaluations	Noise Level (dB(A))	
		Start	End			Lden	Leq average
A	Jet engine	03. Dec. 09:39	03. Dec. 14:22	34	10	73.5	84.2
B	Jet engine	26. Aug. 00:00	26. Aug. 24:00	54	10	50.2	60.9
C	Helicopter	09. May. 00:00	09. May. 24:00	10	10	48.0	56.6
D	Helicopter	05. Dec. 11:38	05. Dec. 17:13	6	5	53.1	71.3
E	Helicopter	30. Jul. 00:00	30. Jul. 12:57	4	6	64.8	80.5
F	Turbo prop	10. Jan. 00:00	10. Jan. 24:00	190	10	63.2	69.1
G	Turbo prop	31. Mar. 13:49	31. Mar. 24:00	23	8	49.3	63.6
H	Turbo fan	19. Jun. 00:00	19. Jun. 24:00	181	10	53.7	55.9

을 검토하기 위하여, 총 69개의 항공기소음 데이터를 분석하였으며, 항공기 유형별 소음 측정 결과는 Figure 4에 제시하였다. 각 측정 지점과 항공기 운항 경로 간 거리가 상이하여 항공기 제원별 소음도의 직접적인 비교는 어렵지만, 주파수별 음향특성을 활용하여 교사 내 소음 보정치를 파악하는데 활용하였다.

항공기의 운항 방식은 시계비행(Visual flight rules)과 계기비행(Instrument flight rules)로 구분된다. 이 중 시계비행은 조종사가 지형지물 등을 시각적으로 참조하여 운항하기 때문에, 매 비행시 운항 경로에 차이가 발생하게 된다. 이러한 특성으로 인해, 동일 지점에서 측정된 항공기 소음도에 편차가 발생할 수 있으며, 특히 Jet engine, Helicopter, Turbo prop 유형에서 상대적으로 큰 편차가 관찰되었다. 반면 계기비행을 중심으로 운항되는 Turbo fan(민간항공기)의 경우 운항 경로가 일정하므로 측정값의 편차가 매우 적은 특성을 나타내었다.

항공기 제원별 최고소음도를 기록한 시간에서 1초 동안의 1/3 Octave Band 분석 결과는 Figure 5와 같다. Jet engine과 Turbo fan은 각각 200 ~ 2kHz 영역에 걸쳐 소음이 분포하는 경향을 나타내었고, Helicopter와

Turbo prop는 20Hz 이하의 저주파 영역에서 소음이 추가적으로 발생하는 경향을 나타내었다. 이러한 차이는 항공기의 추진 방식과 운항 경로 등이 복합적으로 작용한 것으로 판단되며, 실내 소음 전달 특성 분석 시 음원의 주파수 특성을 고려할 필요가 있음을 보여준다.

하지만 학교 실내 소음 평가는 5분 등가소음도를 기준으로 수행되기 때문에 최고소음도 발생 시의 소음 특성만으로 전체 소음 영향을 판단하는 데 한계가 있다. 특히 「학교보건법」에서는 최고소음도를 공식 평가 항목으로 포함하지 않고 있으며, 등가소음도 기준을 적용하고 있다. 이에 따라 최고소음도 분석은 항공기 소음의 주파수 특성과 전달 경향을 파악하는 데 유의미한 참고 자료가 될 수 있지만, 실제 교육환경평가에서는 등가소음도와 연계 분석을 통해 실내 소음의 영향을 보다 정량적이고 실효성 있게 평가할 필요가 있다.

### 3. 항공기 및 도로, 철도의 음향특성 비교

항공기 소음의 주파수 특성을 5분 등가 1/3 Octave Band 기준으로 분석한 결과는 Figure 6에 나타나 있다. 분석 결과, 200 Hz부터 3.15 kHz에 이르는 중주파수 대

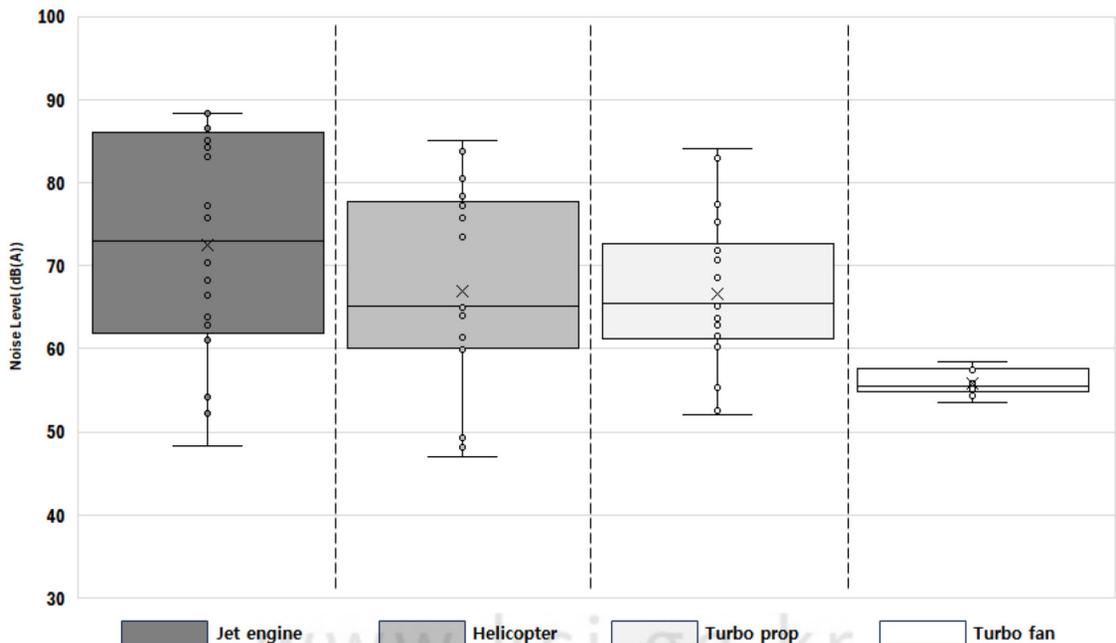


Figure 4.  $L_{Aeq}$  (5min) Measured at representative locations in each site

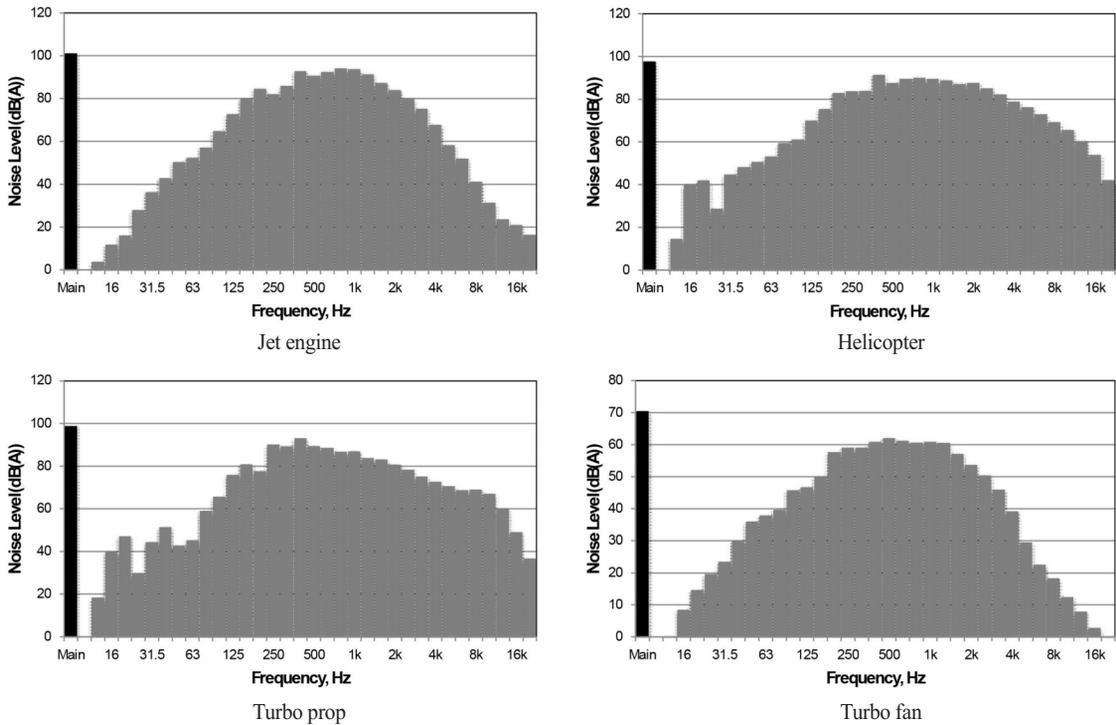


Figure 5. Maximum SPL per 1/3 octave band(1sec) for aircraft noise

역에서 모든 항공기 유형에서 공통적으로 지배적인 소음 에너지가 집중되는 양상을 보였다. 특히 Turbo prop 과 Jet engine은 전반적으로 높은 SPL(소음음압레벨)을 나타내며, Turbo fan은 상대적으로 낮고 평탄한 곡선을 보였다. 이러한 차이는 항공기의 추진 방식, 운항 고도,

경로 및 측정 지점 간 거리 등의 복합적인 요소에 기인한 것으로 판단된다.

Figure 5(최고소음도, 1초)에서 두드러지게 나타난 Helicopter와 Turbo prop의 저주파 성분의 소음은 Figure 6(5분 등가소음도)에서는 명확하게 관찰되지 않았다.

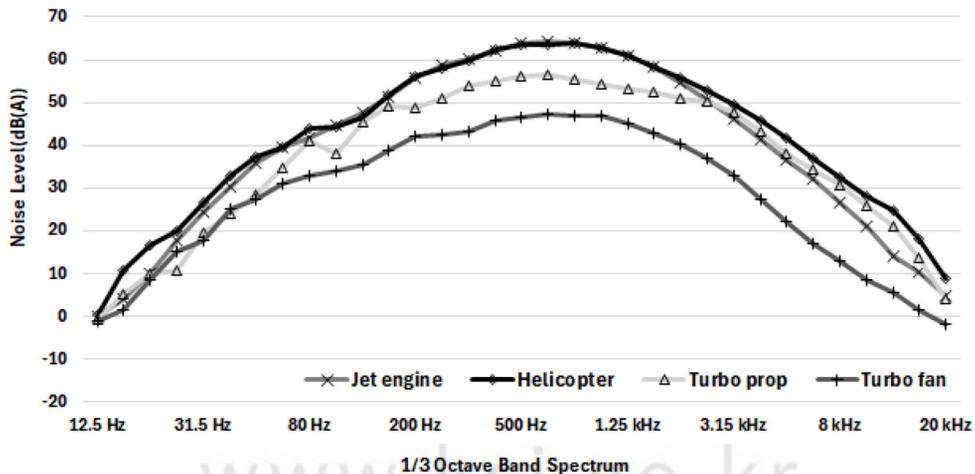


Figure 6. Mean SPL per 1/3 octave band (5min) for aircraft noise

이는 5분간 평균화된 등가소음도로 평가하면서, 항공기소음의 순간적인 주파수 특성이 시간 평균에 의해 희석되면서 스펙트럼 상의 분해력이 감소한 것에 기인한 것으로 판단된다. 이러한 현상은 「학교보건법」에서 규정하는 5분 등가소음도 기준이 항공기 소음의 일시적인 음향 특성을 충분히 반영하지 못하는 한계를 내포하고 있다.

또한, 박원형 등의 도로 및 철도 소음의 1/3 octave band 분석결과와 비교한 결과, 항공기, 도로, 철도의 세 소음원 모두가 500 ~ 1.25 kHz의 중주파수 영역을 중심으로 종형(Bell-shaped) 음향특성을 공유하고 있는 것으로 나타났다(Park et al., 2025). 이러한 결과는 서로 다른 소음원이더라도 일정 주파수 범위에서는 유사한 에너지 집중 특성을 가짐을 알 수 있었다.

#### 4. 항공기 제원별 실내 보정치 비교 분석

항공기 소음의 실내 전달특성을 예측한 결과를 Table 5에 나타내었다. Jet engine의 보정치는 -8.1dB(A), Helicopter는 -8.0dB(A), Turbo prop은 -8.1dB(A), Turbo fan은 -8.2dB(A)로 나타났다. 이는 항공기 유형에 따른 차이가 미미하며 공통적으로 약 -8.1dB(A)의 보정치를 보이는 것을 의미한다. 창문측과 복도측의 예측값 간

에는 기종별로 유사하게 1.5 ~ 1.6 dB(A)의 차이(Table 5)가 발생하였으며, 이는 실내 흡음률과 거리감쇠 효과가 복합적으로 작용한 결과로 해석된다.

#### 5. 항공기 및 도로, 철도소음의 실내 보정치 비교

본 연구에서 도출된 항공기 소음의 실내 보정치와 박원형 등(Park et al., 2025)의 선행 연구를 통해 제시된 도로 및 철도 소음의 실내 보정치를 비교하여 Table 6에 나타내었다. 예측된 평균 실내 보정치는 도로 소음 -8.2 dB(A), 철도 소음 -8.0 dB(A), 항공기 소음 -8.1 dB(A)로 나타났으며, 세 소음원 간의 차이는 ±0.1 dB(A) 이내로 그 차이가 크지 않았다.

이러한 결과는 세 소음원이 서로 다른 발생 특성과 주파수 분포를 가지더라도, 5분 등가소음도 기준으로 평가할 경우에 시간 평균화 과정에서 고유한 음향 특성이 희석되어 유사한 전달 특성을 나타내는 데 기인한 것으로 해석되며, 교통 소음원별 특성이 반영된 평가기준이 필요할 것으로 판단된다.

한편, 측정 위치에 따른 항공기 소음의 전달 특성을 살펴본 결과, 창측(1m)에서는 평균 -7.3 dB(A), 복도측(1m)에서는 -8.9 dB(A)의 감쇠가 나타나 실내 위치에 따라 약 1.6 dB(A)의 차이가 발생하였다. 도로 및 철도

Table 5. Predicted indoor propagation values of aircraft noise (area noise source prediction model)

[Unit: dB(A)]

Category		Differences in outdoor and indoor noise level		
		Window - @1m	Hallway - @1m	Average
Prediction	Jet engine	-7.3	-8.9	-8.1
	Helicopter	-7.3	-8.8	-8.0
	Turbo prop	-7.3	-8.8	-8.1
	Turbo fan	-7.4	-9.0	-8.2
Average		-7.3	-8.9	-8.1

Table 6. Indoor noise transmission characteristics based on predicted data (area noise source prediction model)

[Unit: dB(A)]

Category	Differences in outdoor and indoor noise level		
	Window - @1m	Hallway - @1m	Average
Road noise (Average)	-7.4	-8.9	-8.2
Railway noise (Average)	-7.3	-8.8	-8.0
Aircraft noise (Average)	-7.3	-8.9	-8.1

Ref. : W. H. Park., et al., (2025), A Study on Indoor Noise Prediction Methods and Evaluation Techniques in Classrooms According to Noise Sources - Focusing on Road and Railway Noise

소음 역시 유사하게 실내 위치별로 약 1.5 dB(A)의 차이를 보인 것으로 보고된 바 있다(Park et al., 2025). 이러한 결과는 거리 감쇠와 실내 마감재의 흡음 특성이 복합적으로 작용한 결과로 해석되며, 단일 감쇠 계수만으로는 교실 내 다양한 위치에서의 소음 수준을 정밀하게 반영하기는 어려울 것으로 사료된다. 따라서 향후 교사내 소음 영향 평가에서는 음원 특성뿐 아니라 건축 구조 및 교실 배치 형태에 따른 위치별 보정 인자 도입이 필요하며 예측 정확도 향상을 위한 실측 기반의 세분화된 전달 모델 개발이 요구된다.

#### IV. 결론

항공기 소음이 학교 교실 내 학습 환경에 미치는 영향을 평가하기 위한 기초단계로서 항공기 소음의 교사내 전달특성에 관한 연구를 수행하였으며 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 항공기 소음의 주파수 특성을 1/3 Octave Band 기준으로 분석결과, 200 Hz부터 3.15 kHz에 이르는 중주파수 대역에서 모든 항공기 유형에서 공통적으로 지배적인 소음 에너지가 집중되는 양상을 보였다. 박원형 등의 도로 및 철도 소음과 비교한 결과, 항공기, 도로, 철도의 세 소음원 모두 500 ~ 1.25 kHz의 중주파수 영역에서 지배적인 음향특성이 나타났다. 이 결과는 음원에서 도달한 수음점에서는 서로 다른 소음원이더라도 일정 주파수 범위에서 유사한 에너지 집중 특성을 가질 수 있음을 알 수 있었다. 다만, 향후 예측의 정밀도를 높이기 위해 교사내 실측을 통한 항공기 소음의 고유 특성에 대한 매개변수 조정에 관한 연구가 추가로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

둘째, 항공기 유형 간 실내 보정치는 평균 -8.1 dB(A)로, 기존 도로(-8.2 dB(A)), 철도(-8.0 dB(A)) 소음의 보정치와도  $\pm 0.1$  dB(A) 내외의 편차만을 나타내었다. 이러한 결과는 각기 다른 발생 특성과 주파수 분포를 지닌 소음원이라 할지라도, 등가소음도 기준의 시간 평균화에 의해 실내 전달 특성에서는 유사한 양상을 보일 수 있음을 보여준다. 따라서 단순한 등가소음도 기반의 시간 평균 평가만으로는 각 소음원이 가지는 고유한 주파수 특성의 차이를 충분히 반영하기 어렵다는

것을 알 수 있었다.

셋째, 실내 측정 위치에 따른 전달 감쇠는 창측 대비 복도측에서 평균 약 1.6 dB(A) 더 낮은 소음 수준을 나타내어, 교실 내에서도 위치에 따라 전달 소음 수준이 다를 수 있음을 보여주었다. 이는 실내 흡음률, 거리감쇠, 구조물 차폐효과 등이 복합적으로 작용한 결과로, 향후에는 교실 배치 유형, 구조적 특성, 마감재료의 세부 적용 조건 등을 반영한 세분화된 예측기법의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

항공기 소음은 짧은 지속시간과 높은 최고소음도(peak value) 특성을 지니므로, 단순한 등가소음도 평가만으로는 학습환경에 미치는 영향을 충분히 설명하기 어렵다. 따라서 향후 연구에서는 최고 소음도의 영향을 반영할 수 있는 평가기준 마련, 시간-주파수 기반의 가중평가 기법 개발, 그리고 실제 교실 내 실측 자료와의 비교·검증을 통한 평가 방법의 개선이 필요하다.

특히, 대부분의 교육시설은 주로 주간에만 수업이 이루어 지므로, 「소음·진동관리법」에서 규정하는 Lden 단위 대신 저녁과 야간 시간대를 제외한 Ld(day-time noise level) 단위의 항공기 소음기준을 도입하는 것을 제안하고자 한다. Ld 평가는 교육활동이 실제로 이루어지는 시간대의 소음 수준을 집중적으로 반영할 수 있어, 학교 소음 관리 및 정책 수립에 있어 보다 현실적이고 합리적인 지표로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### References

- Diacio, S. B. (2014). Effects of noise pollution in the learning environment on cognitive performances. *Liceo Journal of Higher Education Research*, 10(1), 83.
- Shield, B. M., & Dockrell, J. E. (2008). The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(1), 133-144.
- Foraster, M., et. al. (2022). Exposure to road traffic noise and cognitive development in schoolchildren in

- bareclona, spain: A popuation-based cohort study. *PLoS Medicine*, 19(6).
- 유경열 외. (2010). 항공기 소음이 아동들의 정신 건강에 미치는 영향, *대한산업의학회지*, 22(4), 298-306.
- Yu, K. Y. et al. (2010). Effects of Aircraft Noise on Children's Nental Health: Data from the Health Survey of Inhabitants in the Vicinity of Gunsan Airport. *Korean J Occup Envirn Med*, 2010, 22(4), 298-306.
- 김갑수 외. (2010). 공항주변 학교의 항공기 소음의 피해 의식에 관한 연구. *대한교통학회지*, 28(3), 51-57.
- Kim, G. S. et al. (2010). A Study on Suvjective Noise Evaluation of School Area in Aircraft Noise near Airport. *Journal of Korean Societyof Transportation*, 28(3), 51-57.
- Jain, L. C., Balas, V. E., & Wu, Q. (2023). A study on innovative design and application of noise barrier from the perspective of urban culture. *Design studies and intelligence engineering*, IOS Press.
- 조아현, 박찬재, 한찬훈. (2021). 초등학교 저학년 교실의 실내음향성능 실태조사. *한국교육시설학회 논문집*, 28(3), 3-14.
- Jo, S. H., Park, C. J. and Han, C. H. (2021). Investigation of the Acoustic Performance lof Lower Grade Elementary School Classrooms. *The Journal of the Korean Institute of Educational Facilities*, 28(3), 3-14.
- Berglund, B., Lindvall, T. and Schwela, D. H. (1999). Guidelines for Community Noise. *WHO Reference No. a68672*.
- 장서일 외. (2024). 정온한 교육환경 조성을 위한 소음환경평가 일원화방안 연구, *한국토지주택공사*.
- Chang, S. I., et al. (2024). A Study on Integrating Noise-Environment Assessments to Foster Tranquil Educational Settings. *Korea Land & Housing Corporation*.
- 교육부. (2022). 학교 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼(6차 개정판). 교육부.
- Ministry of Education. (2022). School Environmental and Food Hygiene Management Manual (6th Revised Edition). *Ministry of Education, Republic of Korea*.
- 박원형 외. (2025). 소음 발생원별 교사 내 실내 소음 예측기법 및 평가방법에 관한 연구 - 도로, 철도 소음을 중심으로. *환경영향평가*, 34(3), 170-183.
- W. H. Park., et al. (2025). A Study on Indoor Noise Prediction Methods and Evaluation Techniques in Classrooms According to Noise Sources - Focusing on Road and Railway Noise. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 34(3), 170-183.