

비행장 소음에 의한 건축물의 진동량 정량평가 및 건축물 설치 기준에 관한 연구

Quantitative Evaluation of Vibration of Structure by Aircraft Noise and Installation Criteria of Building in Air bases

안 상 훈 임 남 기*

Ahn, Sang-Whoon Lim, Nam-Gi*

Department of Architectural Engineering, Tongmyong University, Nam-Gu, Busan, 608-711, Korea

Abstract

Due to the lack of a noise and vibration survey for military air bases, noise and vibration are not taken into consideration for new installations, which has resulted in a number of problems, including the separation of tiles. Furthermore, it is not possible to establish appropriate counter-vibration plans to minimize damage resulting from vibration on structures, since no standard is in place when location for residence areas, including military quarters, is determined. In this context, this research includes a noise and vibration survey, on which basis a quantitative evaluation model for vibration of structure by aircraft noise is generated, as well as through linear regression analysis, and suggests installation standards by purpose of structure, minimizing the damage due to noise and vibration, and establishing appropriate counter-vibration plans for future installation and repairs of on-base structures in the military bases.

Keywords : noise, vibration, regression analysis, quantitative evaluation models

1. 서 론

1.1 연구의 목적

교통수단에 의해 야기되는 환경소음 및 진동은 생활환경에 직접적으로 영향을 주는 감각공해의 일종으로 그 피해는 다른 환경오염 현상과 달리 인간의 신체적, 정신적 피해 뿐 아니라 건축물의 균열 및 내부마감재 탈락 등의 구조물에도 영향을 미치고 있다. 따라서 국제표준기구(ISO)는 건축물 용도에 따라 진동허용기준을 구분하여 사용하고 있으며, 중앙환경분쟁조정위원회에서는 진동으로 인한 건축물 피해에

대한 인과관계 기준(안)을 마련하고 있다[1,2]. 실제로 군 비행장내 활주로 인근지역 및 원거리지역 건축물을 대상으로 타일탈락 발생비율을 조사한 결과 인근지역 건축물의 타일탈락 발생률은 약 6%였으며 원거리지역의 타일탈락 발생률은 1% 미만으로 활주로 인근지역의 타일탈락 발생률이 원거리지역보다 약 6배 높게 발생하였다. 동일한 시공기준으로 건축된 건축물이 이러한 차이를 발생하는 이유는 여러 원인 중에서도 항공기 소음에 의해 야기되는 건축물의 진동이 원인이라 할 수 있다.

군 비행장은 군용 항공기와 더불어 민간 항공기 운항의 증가와 추진력이 좋은 신형 기종의 도입으로 인하여 소음과 진동이 증가하고 있으며 특히 비행장 내에 근무하는 장병 뿐 아니라 군 가족에게 과도한 소음 및 진동이 노출되고 있음에도 비행장내 소음 및 진동 실태조사는 거의 전무한 실정이다. 단지 비행장 주변 민가지역을 대상으로 소음소송 감정평가 및 택지개발을 위한 비행장 인근지역에 대한 소음

Received : April 3, 2011

Revision received : May 11, 2011

Accepted : May 17, 2011

* Corresponding author : Lim, Nam-Gi

[Tel: 82-51-629-2463, E-mail: ing@tu.ac.kr]

©2011 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

영향평가만이 수행되고 있다[3,4,5].

현재 군 비행장내 건축물에 대한 항공기 소음과 진동에 의한 기준이 설정되어 있지 않은 상황에서 일반 시설기준에 따라 시설물들이 건축되고 있어 타일 등 마감재 탈락 현상 등이 발생 될 때 하자의 귀책사유에 대한 의견 상충이 자주 발생되고 있어 업체의 불만은 물론 탈락된 타일의 재 부착을 위한 비용이 발생되고 있다.

이에 본 연구에서는 군 비행장내 소음 및 진동 실태조사를 수행하고 여기서 구축된 소음 및 진동 실태조사 자료를 토대로 회귀분석모델을 이용해 항공기 소음에 의해 야기되는 건축물의 진동량 정량평가 모델을 도출하고, 향후 군 비행장내 건축물 신축 및 보수시 소음 및 진동의 영향을 최소화하고 적절한 진동대책 수립을 위한 용도별 건축물 설치기준을 제안하였다.

1.2 연구방법 및 절차

군 비행장내 건축물의 소음 및 진동 실태조사를 위해 현재 공군이 보유하고 있는 F-15, F-16, F-4 및 F-5 항공기가 운용 중인 비행장을 선정하여 실태조사를 수행하였으며, 조사 대상 건축물 선정을 위해 건축물 외부마감 벽체에 따른 공군 비행장의 건축물 현황을 조사하고 가장 많은 건축물 5종류(철근콘크리트벽체, 블록벽체, 적벽돌벽체, 시멘트벽돌벽체 및 판넬 건축물)를 선정하여 소음 및 진동 실태조사를 수행하였다. 이렇게 건축물에 대한 소음 및 진동 실태조사를 통해 구축된 자료를 토대로 회귀분석모델을 이용하여 항공기 소음에 의해 야기되는 건축물의 진동량 정량평가 모델을 도출하였으며, 연구절차는 Figure 1과 같다.

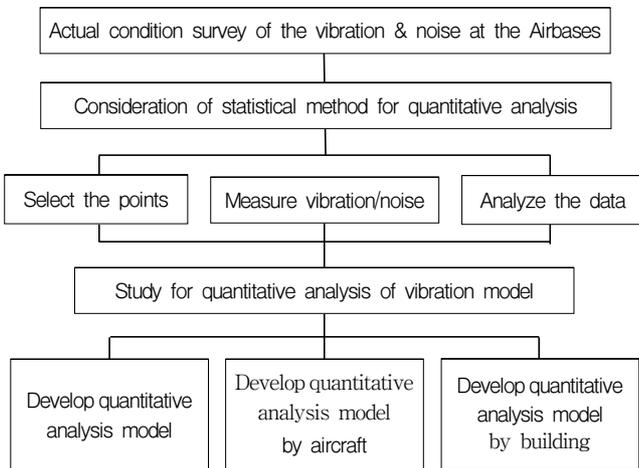


Figure 1. Study flow

2. 비행장 소음 및 진동 실태조사

군 비행장 건축물의 소음 및 진동 실태조사를 위해 현재 공군이 보유하고 있는 F-15, F-16, F-4 및 F-5 항공기가 운용 중인 비행장을 선정하여 실태조사를 수행하였다.

2.1 비행장 건축물 현황

건축물에 대한 소음 및 진동 실태조사를 위한 조사대상 건축물 분류를 위해 공군 비행장의 건축물 현황을 조사하였다. Figure 2는 공군 비행장의 벽체에 따른 구조별 건물 현황을 나타낸 것이며 블록벽체, 철근콘크리트벽체, 시멘트벽돌벽체, 적벽돌벽체 및 판넬이 각각 41.1%, 31.6%, 9.2%, 8.1% 및 4.2% 차지하고 있다.

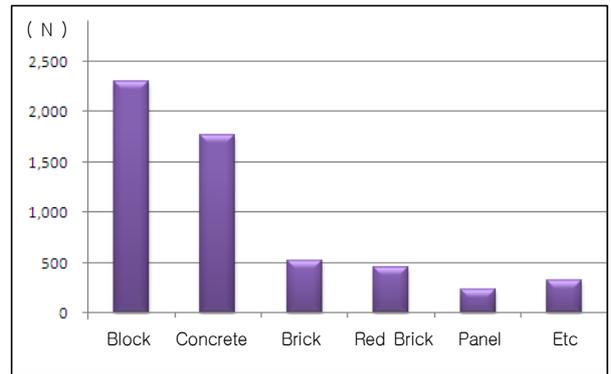


Figure 2. Building structure of military air base

2.2 측정위치 선정

항공기 운영시 발생하는 건축물의 실내·외 소음 및 진동 측정을 위해 건축물 및 기종별 대상시설을 선정하였으며, 그 현황은 Table 1과 같다.

Table 1. Subject of noise and vibration measurements

Aircraft	Block	Concrete	Brick	Red brick	Panel	Total
F-15	5	1	6	7	3	22
F-16	6	7	3	6	1	23
F-4	12	3	0	4	3	22
F-5	10	5	3	5	-	23
Remark	BL	CON	BR	CBR	PN	

Figure 3은 소음 및 진동 실태조사를 수행한 건축물별 전경을 나타낸 것이며, Figure 4는 F-4 항공기가 운용되는

비행장의 측정위치를 도식한 것이다.



Figure 3. Front view of each building structure

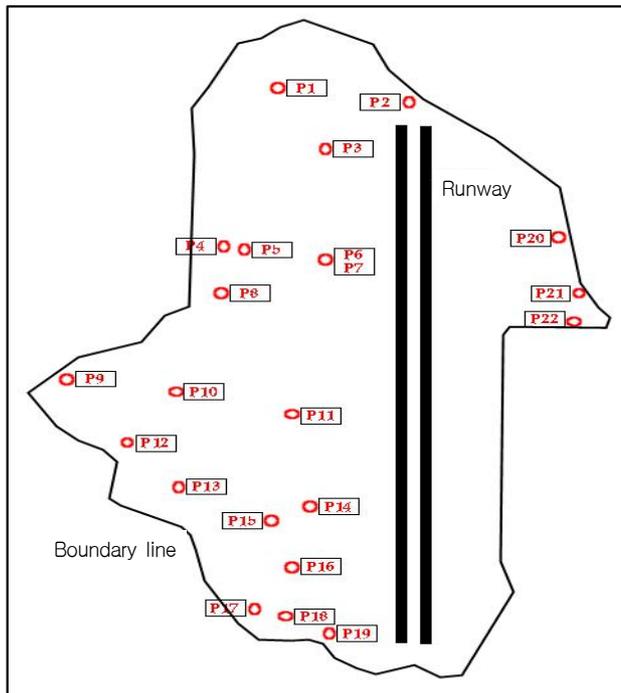


Figure 4. Positions of noise and vibration measurements

2.3 소음 및 진동 측정 및 결과 분석

본 조사에서는 소음측정을 위해 시간별 소음데이터의 기록이 가능한 B&K(덴마크)사의 Type 2250 모델을 사용하였으며, 진동측정은 B&K사의 Type 2270 모델(진동 픽업 : B&K 4507)을 사용하여 수행하였다.

측정은 총 13일에 걸쳐 수행되었으며, Table 2는 측정기간

기상조건을 나타낸 것으로 평균기온 2.1 °C, 평균 상대습도 57.9%, 평균 풍속 2.6 m/s 로 대기 환경에 의해 발생하는 측정오차를 무시할 수 있는 측정 조건을 만족하였다[6].

Table 2. Weather conditions during measurements

Aircraft	Date	Ave. temp. (°C)	Humidity (%)	Ave. wind (m/s)
F-15	Dec. 22nd 2010	5.4	68	1.4
	Dec. 23rd 2010	2.8	58	3.0
	Jan. 26th 2011	-4.1	44.2	3.7
	Feb. 8th 2011	2.8	77.6	0.9
F-16	Feb. 9th 2011	2.3	55.4	2.8
	Feb. 21st 2011	3.3	53.8	0.7
	Feb. 22nd 2011	3.5	57.8	0.7
F-4	Feb. 23rd 2011	3.0	60.8	0.7
	Mar. 7th 2011	2.1	57	4.3
	Mar. 8th 2011	1.6	52	4.5
F-5	Mar. 9th 2011	0.9	47.2	3.7
	Mar. 10th 2011	1.2	61.6	3.9
	Mar. 11th 2011	2.7	59.3	3.1
Standard test condition		-10~35	20~90	below 5

소음 및 진동 측정결과 분석을 위하여 기종별 항공기 이륙시 3회 이상에 대하여 각각 실내·외 최고소음도 및 진동 레벨을 측정하였으며, 그 결과는 Table 3 ~ Table 6과 같다[6, 7].

Table 3. Analysis results(F-15 Operation Air base)

Point of measuring	Structure	Distance (m)	Vibration		Noise[dB]		
			mm/s ²	dB(V)	outdoor	indoor	difference
Office bldg. I	BR	410	69.4	76.8	107.8	79.4	28.4
Apt. bldg. I	BR	1,460	67.0	76.5	91.3	73.0	18.3
Repair bldg. I	BR	610	862.0	98.7	114.2	85.9	28.3
Recreation bldg. I	BR	900	104.5	80.4	105.5	80.8	24.7
Office bldg II	BR	700	84.1	78.5	98.1	70.0	28.1
Office bldg. III	CBR	340	291.0	89.3	113.9	88.5	25.4
Apt. bldg. II	CBR	650	68.8	76.8	102.5	68.5	34.0
Recreation bldg II	CBR	900	287.8	89.2	102.1	77.6	24.5
Office bldg IV	CBR	450	140.3	82.9	95.7	71.6	24.1
Barrack I	CBR	800	89.4	79.0	100.3	75.4	24.9
Repair bldg. II	CBR	270	152.8	83.7	105.1	87.8	17.3
Office bldg V	CBR	390	195.0	85.8	106.3	74.8	31.5
Office bldg VI	BL	190	840.3	98.5	120.0	96.2	23.8
Repair bldg. III	BL	140	7342.0	117.3	123.2	91.3	31.9
Recreation bldg III	BL	470	117.5	81.4	111.5	94.3	17.2
Repair bldg IV	BL	400	222.8	87.0	106.6	81.3	25.3
Repair bldg V	BL	300	1,230.0	101.8	116.9	83.5	33.4
Barrack II	BR	220	174.2	84.8	105.3	79.6	25.7
Repair bldg V	PN	300	23,440.0	127.4	111.5	102.1	9.4
Repair bldg VI	PN	380	19,430.0	125.8	108.9	87.6	21.3
Office bldg VII	PN	300	141.6	83.0	107.6	87.1	20.5
Office bldg VIII	PN	500	18,040.0	125.1	107.9	92.8	15.1

Table 4. Analysis results(F-16 Operation Air base)

Point of measuring	Structure	Distance (m)	Vibration		Noise[dB]		
			mm/s ²	dB(V)	outdoor	indoor	difference
Office bldg I	BL	1,170	39.3	71.9	83.8	74.5	9.3
Office bldg II	BL	1,270	39.1	71.8	88.1	62.4	25.7
Barrack I	CBR	1,520	132.6	82.5	87.9	72.3	15.6
Recreation bldg. I	CBR	1,400	24.4	67.7	87	72	15.0
Recreation bldg. II	CBR	1,420	35.9	71.1	79.6	66.4	13.2
Repair bldg. I	BL	700	98.3	79.8	96.1	79.3	16.8
Barrack II	CON	780	250.0	88.0	101.3	79	22.3
Office bldg III	BL	570	384.2	91.7	112.7	87.1	25.6
Repair bldg. II	PN	290	27,900.0	128.9	114.8	92.8	22.0
Repair bldg. III	CON	420	451.0	93.1	108	80.7	27.3
Office bldg IV	BR	650	177.7	85.0	105.8	74.9	30.9
Apt. bldg. I	CON	1,300	93.6	79.4	89.6	75.1	14.5
Recreation bldg. III	CBR	550	226.8	87.1	103.6	75	28.6
Recreation bldg IV	CBR	720	41.7	72.4	94.6	79.1	15.5
Office bldg V	CON	640	175.0	84.9	102	81.9	20.1
Barrack III	BL	980	191.2	85.6	100.6	75.7	24.9
Office bldg VI	BR	800	238.7	87.6	97.5	82.8	14.7
Recreation bldg. V	CON	840	43.9	72.8	89.8	78.2	11.6
Recreation bldg. V	BR	1,400	93.3	79.4	91.8	71	20.8
Barrack IV	CBR	1,660	23.9	67.6	90.3	67.1	23.2
Apt. bldg. II	CON	1,300	38.3	71.7	96.9	75	21.9
Apt. bldg. III	CON	1,540	34.1	70.7	95.3	76.9	18.4
Barrack V	BL	850	18.2	65.2	84	55.8	28.2

Table 5. Analysis results(F-4 Operation Air base)

Point of measuring	Structure	Distance (m)	Vibration		Noise[dB]		
			mm/s ²	dB(V)	outdoor	indoor	difference
Office bldg I	BL	980	54.1	74.7	87.7	70.5	17.2
Repair bldg. I	CBR	500	82.8	78.4	92.4	65.8	26.6
Repair bldg. II	CON	560	212.9	86.6	95.0	66.4	28.6
Repair bldg. III	PN	560	2,100.0	106.4	102.6	88.9	13.7
Repair bldg. IV	BL	640	203.6	86.2	97.9	77.2	20.7
Office bldg II	CBR	710	40.0	72.0	84.9	63.0	21.9
Barrack I	CBR	870	165.9	84.4	89.2	65.4	23.8
Apt. bldg. I	BL	1,340	22.8	67.2	80.4	65.7	14.7
Repair bldg. V	BL	400	188.9	85.5	113.8	84.6	29.2
Office bldg III	BL	500	6.5	56.3	100.9	41.6	59.3
Repair bldg. VI	BL	680	258.1	88.2	102.0	89.1	12.9
Repair bldg. VII	PN	820	1,408.0	103.0	81.5	68.7	12.8
Office bldg IV	CBR	770	184.6	85.3	96.7	74	22.7
Apt. bldg. II	CON	1,140	15.1	63.6	89.9	59	30.9
Apt. bldg. III	BL	1,640	25.1	68.0	80.7	67	13.7
Office bldg V	PN	1,090	450.7	93.1	85.2	65.8	19.4
Repair bldg. VIII	PN	580	2,562.0	108.2	91.3	76	15.3
Repair bldg. IX	BL	660	92.8	79.4	89.1	61	28.1
Office bldg VI	CON	500	121.9	81.7	103.5	72	31.5
Office bldg VII	BL	560	123.3	81.8	100.8	86	14.8
Recreation bldg. I	CBR	570	236.2	87.5	96.5	79.7	16.8
Barrack II	BL	140	341.8	90.7	121.1	93.9	27.2

Table 6. Analysis results(F-5 Operation Air base)

Point of measuring	Structure	Distance (m)	Vibration		Noise[dB]		
			mm/s ²	dB(V)	outdoor	indoor	difference
Office bldg I	BL	460	272.6	88.7	99.8	70.8	29.0
Office bldg II	BL	380	107.8	80.7	101.8	66.6	35.2
Repair bldg. I	BL	440	36.0	71.1	96.8	63.5	33.3
Barrack I	CON	550	23.1	67.3	82.1	50.1	32.0
Repair bldg II	BL	540	35.0	70.9	87.8	60.5	27.3
Office bldg III	CBR	320	154.5	83.8	102	68.9	33.1
Repair bldg. III	BL	24	365.0	91.2	116	92.2	23.8
Office bldg IV	BR	660	74.7	77.5	96.5	64	32.5
Office bldg V	CON	540	142.2	83.1	99	68.9	30.1
Barrack II	CON	610	63.3	76.0	94.2	61.7	32.5
Office bldg VI	BL	340	56.6	75.1	93.6	69.1	24.5
Office bldg VII	BL	460	37.3	71.4	95.2	73	22.2
Barrack III	BL	600	68.7	76.7	99.3	79.4	19.9
Recreation bldg. I	BR	710	75.6	77.6	98.2	81	17.2
Apt. bldg. I	CON	840	10.2	60.2	85.1	63.6	21.5
Recreation bldg. II	CBR	650	39.0	71.8	89	67.2	21.8
Barrack IV	BL	1,100	49.8	73.9	89.9	61.1	28.8
Office bldg VIII	CBR	1,100	10.0	60.0	77.9	55.2	22.7
Recreation bldg III	CBR	1,330	42.3	72.5	88.7	61.5	27.2
Barrack V	CBR	570	20.5	66.2	72.2	52	20.2
Apt. bldg. II	CON	400	70.0	76.9	95.5	82.2	13.3
Barrack VI	BR	380	122.0	81.7	107.1	74.4	32.7
Recreation bldg. IV	BL	140	77.4	77.8	105.9	75.5	30.4

소음도가 가장 큰 지역은 항공기가 이륙을 위해 항공기 상태를 최종 점검하는 최종기회점검반으로 기종에 관계없이 모든 비행장에서 110 dB(A) 이상 큰 소음에 노출되고 있으며, 진동레벨은 판넬구조가 약 110 dB(V) 내외로 거리에 상관없이 높은 진동이 발생되고 있다. 진동이 가장 적은 지역은 대부분 관사 지역으로 진동레벨은 60 ~ 80 dB(V)를 나타내었다. Table 7은 국내 환경정책기본법의 주거지역 생활 진동 규제기준 및 ISO의 주거지역 진동허용기준과 각 기종이 운영되고 있는 비행장내 관사지역의 진동레벨을 비교한 것이다[8].

Table 7. Vibration level of APT. in air bases

Classification	Vibration level		Vibration standard	
	Average	Max.	Low of environmental policy	ISO vibration Standard
F-15 airbase	76.6	76.8		
F-16 airbase	75.8	79.4	Day : 65	60
F-5 airbase	74.0	76.9	Night : 60	
F-4 airbase	66.6	68.0		

위 표에서 알 수 있듯이 군 비행장내 관사지역의 진동레벨은 대부분의 지역에서 국내기준을 초과하고 있으며, 국외 기준을 적용할 경우에는 모든 지역에서 그 기준을 초과하고 있다. 또, 비행장내 사무실 및 작업장의 진동실태를 알아보기 위해 Table 8과 같이 ISO 건물 용도별 진동허용기준 중 사무실과 작업장의 진동허용기준과 비교하였다. 이 결과 비행장내 모든 사무실 및 1개 작업장을 제외한 모든 작업상에서 진동기준이 초과되고 있다.

Table 8. Vibration level of office and repair Bldg.

Unit : dB(V)

Classification	Result	ISO vibration standard	Remark
Office	71.4 ~ 125.1	66	Excess
Factory, Repair bldg.	70.9 ~ 128.9	72	Excess (1 pt. satisfied)

3. 진동량 정량평가 연구

항공기 소음에 의한 활주로 주변 건축물의 진동레벨을 모두 측정을 통해 확인하는 것은 조사비용 및 시간 때문에 현실적으로 큰 제약이 따른다. 항공기 소음에 의한 진동레벨은 소음도(거리가 가까우면 소음도 큼)가 커짐에 따라 증가하는 특성이 있다. 따라서 본 연구에서는 소음 및 진동 실태 조사를 통해 구축된 자료를 이용해 항공기 소음에 의해 야기되는 건축물의 진동량 정량평가 모델을 도출하였다.

3.1 진동량 정량평가 모델

통계적 분석방법을 이용하면 소음에 대한 진동량의 신뢰할 만한 수학적 구조식의 도출이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 거리에 따라 달라지는 실외 소음도를 독립변수로, 항공기 소음에 의해 야기되는 건축물 진동레벨을 종속변수로 하여 선형회귀분석을 이용하여 건축물의 진동량 정량평가를 수행하였다[9, 10].

Figure 5는 물리적 소음지표로 항공기가 이륙할 때 발생하는 최고소음도와 건축물의 진동레벨과의 상관관계를 나타낸 것으로, 점은 군 비행장 소음 및 진동 실태조사 결과를 나타낸 것이며 실선은 실태조사 결과로부터 구축된 데이터를 기반으로 선형회귀분석을 이용하여 산출한 군 비행장내 건축물의 진동량 예측곡선을 나타낸 것이다.

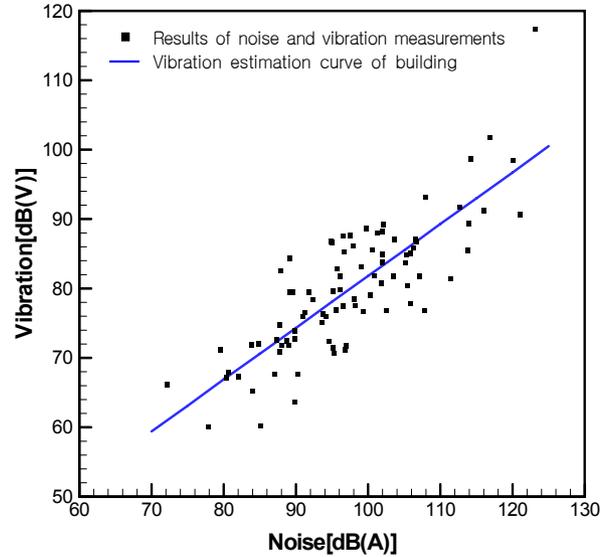


Figure 5. Vibration estimation curve of building in air bases

결과로부터 산출된 회귀식은 식(1)과 같다.

$$\text{진동도} = 7.092 + 0.747 \times \text{소음도} \quad (1)$$

회귀계수를 추정된 후에는 독립변수의 정보가 종속변수의 변동을 설명하는데 통계적으로 유의한 변수인지를 검정하여야 한다. 즉, 독립변수가 종속변수의 변동을 설명하는데 유의한 정보를 제공하는지 여부를 통계적으로 검정해야 한다.

회귀식의 유효성은 기여율(결정계수, R^2)을 통해 검정하며, 기여율은 종속변수의 변동 중 회귀식에 의해서 설명되는 변동의 비율을 나타내는 지표로서 기여율이 1에 가까울수록 회귀식은 잘 맞는다 할 수 있다. 위 회귀식의 기여율은 0.668로 종속변수 진동량이 가지고 있는 정보 중 66.8%는 독립변수인 소음도의 변동으로 설명할 수 있다는 것을 의미한다.

Table 9. Coefficient of regression model

Model	Coefficient of nonstandardization		t	prob > a	95 % confidence interval for B	
	B	Standard error			Lower limit	Upper limit
1(const.)	7.092	5.601	1.266	0.209	-4.044	18.227
Noise	0.747	0.057	13.07	0.000	0.634	0.861

Table 9는 회귀계수의 유의성 검정을 위해 필요하며, t 값의 유의확률은 0.000으로 유의수준($\alpha = 0.05$)보다 작다. 따라서 산출된 회귀계수는 통계적으로 매우 유의하다고 볼 수 있다. 따라서 위의 산출된 진동량 정량평가 모델은 95% 신뢰구간에서 통계적으로 매우 의미 있는 결과라 할 수 있다.

3.2 기종별 진동량 정량평가 모델

Figure 6은 Figure 5의 소음 및 진동 실태조사 결과를 기종별로 구분한 것으로, 사각형, 삼각형, 다이아몬드 및 원형은 각각 F-15, F-16, F-4 및 F-5 항공기가 운영되는 비행장의 소음 및 진동 실태조사 결과이며, 이를 이용하여 기종에 따른 진동량 정량평가 모델을 산출하였다.

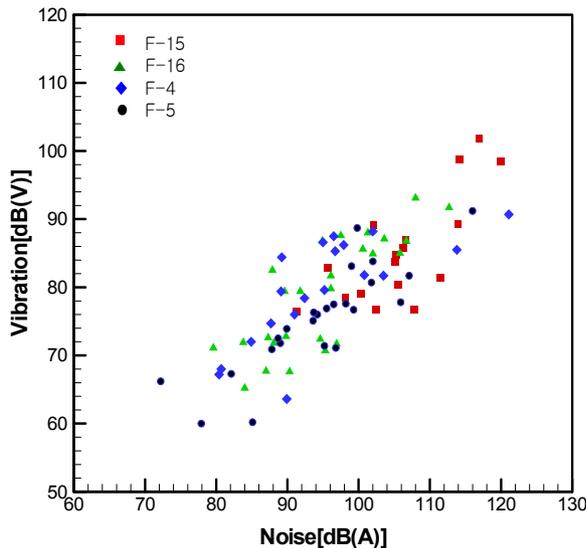


Figure 6. Comparison of noise & vibration by aircraft

위의 결과로부터 기종별 소음에 따른 건축물의 진동량에 대하여 최종 산출된 정량평가 모델은 Table 10과 같다.

Table 10. Quantitative analysis of vibration model by aircraft

Aircraft	Regression equation
F-15	$vibration\ level = 1.260 + 0.793 \times noise\ level$
F-16	$vibration\ level = 3.496 + 0.795 \times noise\ level$
F-4	$vibration\ level = 26.38 + 0.562 \times noise\ level$
F-5	$vibration\ level = 10.755 + 0.684 \times noise\ level$

Table 11은 위의 산출된 회귀식의 통계적 검정을 위해 구한 값이다. 표에서 보듯 F 및 t 의 유의확률이 유의수준 0.05보다 작음을 알 수 있다. 이는 위의 산출된 회귀식들이 95% 신뢰구간에서 통계적으로 매우 유의함을 의미하는 것이다.

Table 11. Statistical vibration regression significance test

Aircraft	R^2	F test		T test	
		F value	prob. > α	t value	prob. > α
F-15	0.572	20.049	0.000	4.478	0.000
F-16	0.647	43.940	0.000	6.629	0.000
F-4	0.547	20.564	0.000	4.535	0.000
F-5	0.733	60.408	0.000	7.772	0.000

항공기 기종에 따른 진동량 차이를 비교하기 위해 각 기종이 운용되는 비행장에서 수행한 소음 및 진동 결과를 토대로 산출한 식을 도식화하여 비교하면 Figure 7과 같다.

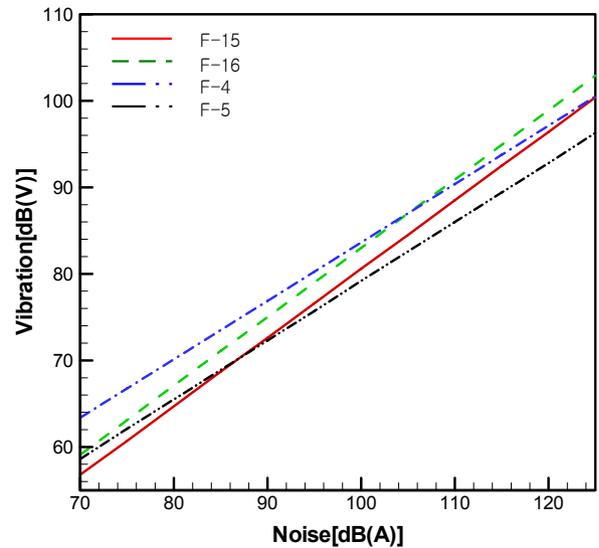


Figure 7. Comparison of vibration estimation curve by aircraft

그림에 따르면 항공기 소음에 의해 야기되는 건축물의 진동은 F-4, F-16, F-15, F-5 순으로 크게 발생하고 있다. 여기서 큰 진동이 발생한다는 의미는 같은 소음도에 의해 야기되는 건축물의 진동이 더 크게 발생한다는 것을 의미한다. 예를 들어 F-16 및 F-15에 의해 100 dB(A) 소음이 발생될 때 F-16이 운영되는 비행장의 건축물은 83 dB(V),

F-15가 운영되는 비행장은 80.6 dB(V)의 진동이 발생되어 F-16이 F-15 항공기 보다 약 2.4 dB(V) 더 큰 진동을 건축물에 발생 시킨다.

3.3 건축물별 진동량 정량평가 모델

건축물에 따른 진동량 차이 분석을 위해 앞 절에서 사용한 통계분석방법을 사용하였다. Figure 8은 소음 및 진동 실태조사 결과를 건축물에 따라 구분한 것으로 사각형, 삼각형, 다이아몬드, 원형 및 오른쪽 삼각형은 각각 블록벽체(BL), 적벽돌벽체(CBR), 시멘트벽돌벽체(BR), 철근콘크리트벽체(CON) 및 판넬(PN) 건축물의 소음 및 진동 실태조사 결과이며, 이 자료를 이용하여 건축물에 따른 진동량 정량평가 모델을 산출하였다.

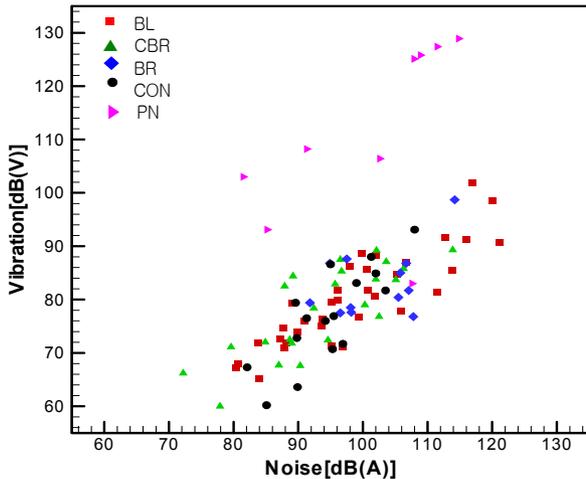


Figure 8. Comparison of noise & vibration by building

Table 12는 산출된 회귀식의 통계적 검정을 위해 구한 값으로, 블록벽체, 적벽돌벽체 및 철근콘크리트벽체 건축물에 대한 F 및 t 의 유의확률이 유의수준 0.05보다 작음을 알 수 있다. 이는 산출된 회귀식이 95% 신뢰구간에서 통계적으로 매우 유의함을 의미하는 것이다. 그러나 시멘트벽돌벽체 및 판넬 건축물의 경우 기여율이 0.3 내외로 낮은 상관관계를 보이고 있을 뿐 아니라 회귀식 및 회귀계수의 통계적 유의성을 검증하는 F 및 t 의 유의확률이 0.115로 유의수준 0.05보다 큼을 알 수 있다. 이는 귀무가설 $H_0: \beta_1 = 0$ (회귀식에는 의미가 없다)이 채택되어 산출된 회귀식이 95% 신뢰구간에서 통계적으로 유의하지 않음을 의미한다. 따라서 시멘트벽돌벽체 및 판넬 건축물에 대한

진동량 예측곡선이 통계적으로 유의하지 않기 때문에 분석에서 제외하였다.

Table 12. Statistical vibration regression significance test

Classification	R ²	F test		T test	
		F value	prob. > α	t value	prob. > α
Block	0.760	104.230	0.000	10.209	0.000
Red brick	0.622	34.546	0.000	5.878	0.000
Brick	0.229	2.972	0.115	1.172	0.115
Reinforced concrete	0.595	17.596	0.001	4.195	0.001
Prefabricated panel	0.316	3.235	0.115	1.799	0.115

따라서 Figure 8에서 나타난 건축물별 진동량에 대한 최종 산출된 정량평가 모델은 Table 13과 같다.

Table 13. Quantitative analysis of vibration model by building

Classification	Regression equation
block	$vibration\ level = 13.034 + 0.681 \times noise\ level$
red brick	$vibration\ level = 16.242 + 0.659 \times noise\ level$
reinforced concrete	$vibration\ level = 26.38 + 0.562 \times noise\ level$

Figure 9는 Table 13의 건축 구조물에 따른 진동량 회귀식을 도식한 것이다.

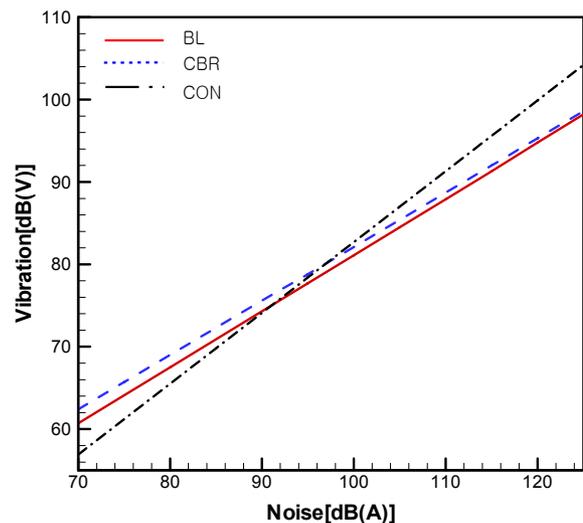


Figure 9. Comparison of vibration estimation curve by Bldg. structure

항공기 소음에 의해 야기되는 건축물의 진동은 유사한 수준이나 적벽돌벽체 건축물이 블록벽체 건축물보다 약 1 dB(V) 내외 크게 진동이 발생하고 있으며, 소음도가 낮은 지역에서는 철근콘크리트벽체 건축물이 블록 및 적벽돌벽체 건축물보다 진동이 적게 발생하고 있다.

4. 건축물 설치기준

Figure 8에서 알 수 있듯이 판넬 건축물을 제외한 다른 건축물의 진동 차이는 유사한 수준이며, 판넬 건축물이 다른 건축물에 비해 약 25 dB(V) 크게 진동을 발생하고 있어 고소음이 발생하는 군 비행장의 사무실 및 거주시설물로는 적당하지 않을 것으로 판단된다.

Table 14는 ISO 건물 용도별 진동허용기준에 따른 군 비행장의 용도별 건축물 최소 이격거리를 나타낸 것이다. 이격거리의 산출은 식(1)의 진동량 회귀식을 이용해 ISO 진동기준에 대응하는 소음도 산출 후 소음예측 프로그램 INM(Integrated Noise Model)¹⁾을 이용해 공군이 운용중인 전투기 이륙시 소음도에 따른 피해거리를 계산하였다. Figure 10은 후기연소기(After burner)를 사용해 전투기가 이륙할 때의 소음에 따른 거리를 나타낸 것이다.

Table 14. Installation criteria of building in air bases

Classification	ISO vibration standard [dB(V)]	Noise level [dB(A)]	Min. distance from runway (m)
Apt. building	60	70	6,000
Office building	66	79	3,000
Repair building	72	87	2,000

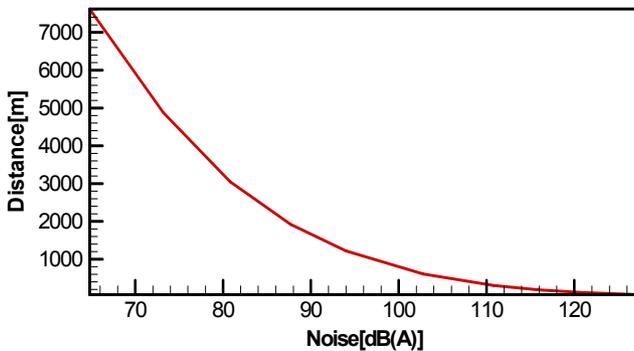


Figure 10. Distance from noise level of fighter jet

1) 미연방항공청(FAA)에서 항공기 영향 평가를 위해 개발한 프로그램으로 현재 100여개 나라에서 항공기 소음예측을 위해 사용

표에 따르면 ISO의 진동허용기준을 적용할 경우 군 비행장의 주거지역인 관사는 최소 6,000 m, 사무실 및 작업장은 2,000 m 이상 이격해 설치해야 한다. 사무실과 작업장은 항공기 운영과 직접 관련이 있는 시설물로 본 논문에서 제안하는 이격거리를 따르기에는 무리가 있을 것이라 판단되나 관사지역의 경우에는 군 가족의 쾌적한 생활 환경 보장을 위해 최소 이격거리의 준수가 필요 할 것이라 판단된다.

따라서 향후 기존 비행장내 신축 및 비행장 이전으로 새롭게 시설물을 건설 할 때 위의 건축물 설치 기준의 반영이 필요하며, 불가피하게 최소 이격거리 내에 건축물을 설치할 경우에는 피해가 최소화 할 수 있는 적합한 대책을 수립하여야 할 것이다.

5. 결 론

현재 군 비행장내 소음 및 진동 실태조사는 거의 전무한 실정으로 건축물 신축시 소음 및 진동의 영향을 고려하지 않고 있어 활주로 인접 건축물의 타일 등 내부 마감재가 탈락하는 문제뿐 아니라 관사와 같은 주거지역의 건설 위치를 결정하는데 기준이 없어 건축물의 진동에 의한 영향 최소화 및 적절한 진동대책 수립이 불가능한 현실이다. 이에 본 연구에서는 군 비행장내 소음 및 진동 실태조사를 수행하고 여기서 구축된 실태조사 자료를 토대로 회귀분석을 이용해 항공기 소음에 의해 야기되는 건축물의 진동량 정량평가 모델을 도출하였으며, 군 비행장내 건축물의 용도별 설치기준을 제안하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 군 비행장내 건축물의 소음 및 진동 실태조사를 위해 F-15, F-16, F-4, F-5 4개 기종이 운영되는 군 비행장내 90개 건축물에 대해 항공기 이륙시 실내·외 최고소음도 및 진동레벨 측정하였으며, 분석결과 소음은 80 ~ 110 dB(A), 진동은 60 ~ 110 dB(V)로 군 비행장내 모든 사무실 및 작업장에서 진동기준을 초과할 뿐 아니라 주거지역의 진동레벨 또한 대부분의 지역에서 국내 및 국외 기준을 초과하고 있다.
- 2) 소음 및 진동 실태조사 자료를 토대로 선형회귀분석을 이용해 항공기 소음에 의해 야기되는 건축물의 진동량 정량평가 모델을 도출하였으며 항공기 기종 및 건축물 별로 세분화하여 진동량 정량평가 모델을 또한 도출하

였다. 산출된 모델은 95% 신뢰구간에서 통계적으로 매우 의미 있는 결과이며 진동량 정량평가 모델 비교 결과 기종에 따른 건축물의 진동은 F-4, F-16, F-15, F-5 항공기 순으로 크게 발생하였으나, 판넬 건축물을 제외한 다른 건축물의 진동 차이는 유사한 수준이었다.

- 3) 쾌적한 생활 환경 보장을 위해 군 비행장 주거지역은 최소 6,000 m, 사무실 및 작업장은 2,000 m 이상 이격이 필요하며, 이는 향후 기존 비행장내 신축 및 비행장 이전으로 새롭게 시설물 건설시 시설물 설치 기준으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

요 약

군 비행장은 군용 항공기와 더불어 민간 항공기 운항의 증가와 추진력이 좋은 신형 기종의 도입으로 인하여 소음 및 진동에 의한 민원이 증가하고 있으며, 특히 군 비행장 내에 근무하고 있는 장병 뿐 아니라 군 가족에게도 이러한 소음과 진동이 과다하게 노출되고 있다. 그러나 군 비행장내 소음 및 진동 실태조사는 전무한 실정으로 건축물 신축시 소음 및 진동의 영향을 고려하지 않고 있어 활주로 인접 건축물의 타일 등 내부 마감재가 탈락하는 문제뿐 아니라 관사와 같은 거주지역의 건설 위치를 결정하는데 기준이 없어 건축물의 진동에 의한 영향 최소화 및 적절한 진동대책 수립이 불가능한 현실이다. 따라서 본 연구에서는 군 비행장내 소음 및 진동 실태조사를 수행하고 실태조사 자료를 통계분석 방법을 이용해 건축물의 진동량을 예측 할 수 있는 정량평가 모델을 도출하였으며, 군 비행장내 건축물의 용도별 건축물 설치기준을 제안하였다. 이는 향후 군 비행장내 건축물 신축 및 비행장 신설 시 적합한 건축물 설치를 위한 기준을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

키워드 : 소음, 진동, 회귀분석, 진동량 정량평가 모델

References

1. International Organization for Standardization(ISO), Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 2:Vibration in building, Geneva:

- International Organization for Standardization; 2003 Apr. 16 p. Report No.: ISO 2631-2.
2. Korea Structural Analysis & Diagnosis Engineering (KR), A study on evaluation of building damage caused by vibration, Seoul (Korea): National Environmental Dispute Resolution Committee; 2002 Apr. p.120-5, Korean.
3. Center for Environmental Noise and Vibration Research in Seoul National University (KR), Noise impact assessment by the noise prediction standard model in military airfields, Seoul (Korea): Ministry of National Defense; 2005 May. 198 p. Korean.
4. Center for Environmental Noise and Vibration Research in Seoul National University (KR), Noise impact assessment for land development in Homaesil Suwon district, Seoul (Korea): Korea Housing Corporation; 2005 Sep. 109 p. Korean.
5. Center for Environmental Noise and Vibration Research in Seoul National University (KR), Aircraft noise damage appraisal around Daegu airports, Seoul (Korea): Seoul District Court; 2006 Dec. 130 p. Korean.
6. Ministry of Environment (KR), Standards of environmental noise and vibration measurements, Seoul (Korea): Ministry of Environment; 2010 Oct. p.69-74, Notice 2010-142, Korean.
7. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (KR), Standards for supporting sound proofing and public facilities of noise damage area & anticipating area, Seoul (Korea): Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs; 2009 Jun. Notice 2009-331, p. 7-9, Korean.
8. Ministry of Environment (KR), Basic law of environmental policy, Seoul (Korea): Ministry of Environment; 2011 Apr. Act 10550, p. 1-2, Korean.
9. No HG, Jung HY, Hangu SPSS from basic to application, Seoul (Korea): Hyungsul; 2006. p.87-102, Korean.
10. Park JS, Yoon YS, Present statistics, Seoul (Korea): Dasan; 2002. p. 125-80, Korean.