

고소음 작업장에서 발생하는 기기소음의 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Instrument-Noise generated at Loud Noise Workplace

윤재현† · 주덕훈* · 국정훈** · 김재수***

Yun, Jae-Hyun, Ju, Duck-Hoon, Kook, Jung-Hun, Kim, Jae-Soo

Key Words : workplace(작업장), instrument-noise(기계소음), reduction countermeasure(저감대책)

ABSTRACT

During after the Industrial Revolution until now, as many of working machinery and tool had been invented, human could save man power and time. However, because such instruments generate a loud noise according to their use-purposes and dimensions, they are affecting a physical, mental bad influences to those workers. Therefore, while a reduction measure against the instrument-noise that generates at workshop is sincerely necessitated, due to lack of the research and data concerned with that, a lot of difficulties are on suffering.

Standing on such point of view, this Study has measured·analyzed the characteristics of diverse instrument-noises generate at workplace, and would intends to present a fundamental material for establishment more comfortable working environment by prediction on the noise in loud noise workshop, based on the above.

1. 서론

산업혁명 이후 지금까지 많은 작업기기가 발명되면서 노동력과 시간을 줄일 수 있게 되었다. 그러나 이러한 기기들은 사용 목적 및 제원에 따라 고소음을 발생시켜 작업자들에게 신체적, 정신적 악영향을 미치기 때문에 고소음 작업장 기기소음의 저감대책이 절실히 필요한 실정이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 선반, 밀링, 목공, 용접 작업장에서 사용하는 8가지 작업기기 소음의 주파수별 특성과 거리별 감쇠 특성 그리고 시간이력곡선 및 파형을 파악해 보았다. 이러한 자료는 향후 쾌적한 작업 환경 수립을 위한 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 측정방법 및 개요

2.1 고소음 작업장의 제원

측정대상 작업장은 전라북도 I시에 위치하고 있으며 제원 및 마감 재료는 표 1.과 표 2.와 같다.

표 1. 대상 작업장의 제원

구 분	바닥 면적	층 고	체 적	사용기기
선반 작업장	673.38m ²	3.9m	2626.1m ³	1,2
밀링 작업장	512.64m ²	4m	2101.8m ³	3
목공 작업장	92.96m ²	4m	371.84m ³	4,5,6,7
용접 작업장	353.64m ²	3.7m	1308.5m ³	8

표 2. 대상 작업장의 마감재료

구 분	바 닥	벽	천 장
선반 작업장	우레탄	모르타르 위 페인트 마감	모르타르 위 페인트 마감
	모르타르 마감		
밀링 작업장	인조석 물갈기 마감	모르타르 위 페인트 마감	T9 흡음텍스
목공 작업장			
용접 작업장			

2.2 측정작업장 및 작업기기의 제원

작업기기는 작업장의 용도에 맞게 총 8가지를 선택하였으며, 모습은 그림 1.과 같다.



1. 일반선반(11kW)



2. CNC선반(22kW)



3. 수직 밀링(3.7kW)



4. 자동 대패(1.3kW)



5. 목재 전기톱(1.5kW)



6. 테이블 전기톱(1.3kW)



7. 수직절단 전기톱(1.7kW)



8. 철재 가공톱(2.5kW)

그림 1. 작업기기의 모습 및 소비전력

† 윤재현, 원광대학교 건축음향연구소
E-mail : yun810805@naver.com
Tel : (063) 857-6712, Fax : (000) 000-0000

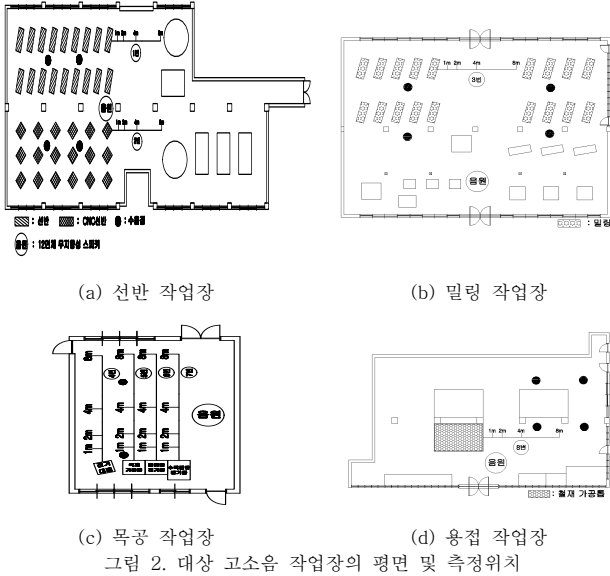
* 원광대학교 석사과정

** 원광대학교 석사과정

*** 원광대학교 건축학부 교수

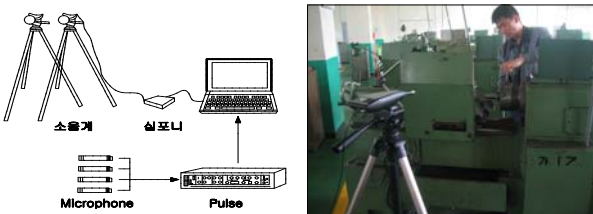
2.3 작업기기의 음향특성 측정방법

작업장의 실내음향 특성과 작업기기로 부터 발생하는 소음의 전달 및 감쇠특성을 파악하기 위하여, 작업기기를 정상적으로 가동한 상태에서 작업시의 1m, 2m, 4m, 8m 떨어진 위치에서 측정을 실시하였으며, 작업장의 평면형태 및 측정점의 위치는 그림 2와 같다.



(a) 선반 작업장 (b) 밀링 작업장
(c) 목공 작업장 (d) 용접 작업장
그림 2. 대상 고소음 작업장의 평면 및 측정위치

측정은 노동부 고시 제 2005-1-49(작업환경측정 및 정도관리규정, 전문개정 2005. 12. 30)에 제26조 측정방법에 의거하여 측정하였으며, 측정시 소음계의 위치는 지면으로부터 1.2m의 높이에 삼각대로 고정하여 설치하였고, 작업장내에 설치되어있는 작업기계로부터 소음계를 통해 들어오는 신호를 DAT(Digital Audio Tape Recorder)로 현장에서 녹음하였다. 작업장 잔향시간 측정의 경우 ISO 3382에 준하여 실시하였으며, 음원은 ISO에서 제안하는 무지향성 스피커(DO12 : Omni-Directional Speaker)를 1.5m 높이에 마이크로폰은 높이는 1.2m로 하여 각 벽면과 최소 1m이상 이격시켜 측벽 반사에 의한 영향이 미치지 않도록 각 작업장의 체적에 따라 수음점을 2~4개씩 선정하였다. 본 연구에서 측정된 모든 Data는 실험실에서 B&K사의 Pulse Multi Analyzer System과 01dB사의 Symphonie를 이용하였으며, 분석에 사용된 주파수범위는 50Hz~5kHz까지의 1/3옥타브밴드로 10초간 3회 측정된 평균값을 이용하였으며, 동시에 전 대역 음압레벨도 dB(A)값으로 측정·분석하였다. 측정장비 구성 및 측정장면은 그림 3과 같다.



(a) 작업기기 소음 측정장비 및 측정모습

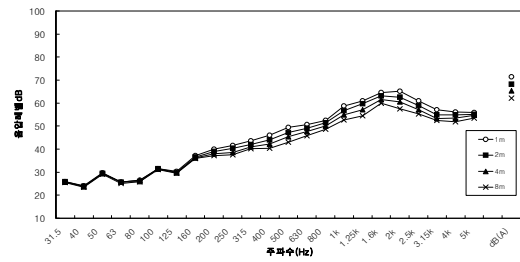


(b) 작업장 잔향시간 측정장비 및 측정모습
그림 3. 측정장비 구성 및 측정모습

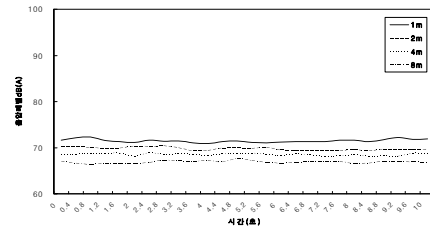
3. 분석 및 고찰

3.1 주파수별 음향특성과 시간이력곡선

작업장에서 발생하는 작업기기를 작업자가 사용할 때 측정된 각 거리에 따른 주파수별 음향특성과 시간이력곡선을 비교·분석한 결과는 다음과 같다.

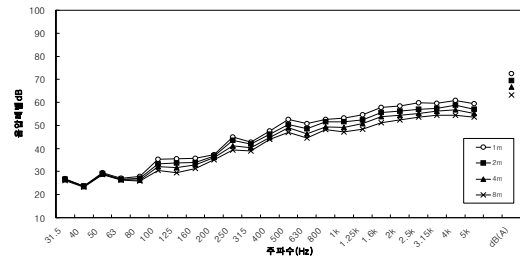


(a) 거리에 따른 주파수별 감쇠특성

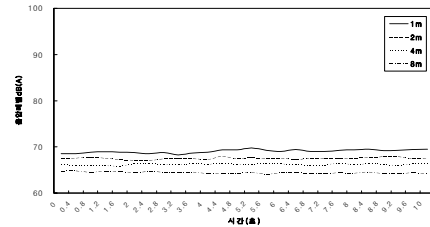


(b) 거리에 따른 시간이력곡선

그림 4. 일반선반의 음향특성과 시간이력곡선

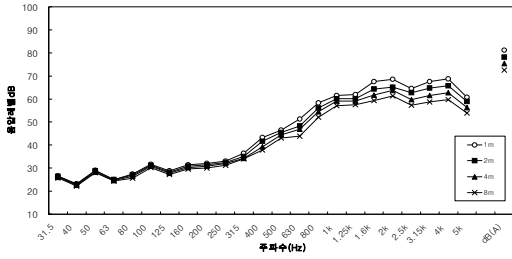


(a) 거리에 따른 주파수별 감쇠특성

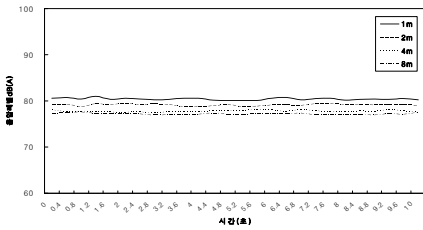


(b) 거리에 따른 시간이력곡선

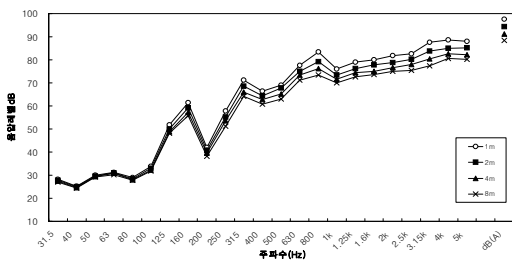
그림 5. CNC선반의 음향특성과 시간이력곡선



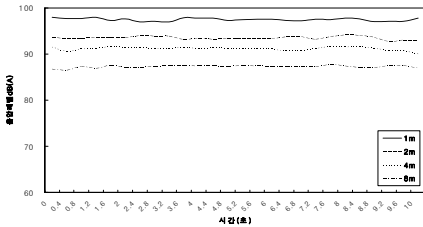
(a) 거리에 따른 주파수별 감쇠특성



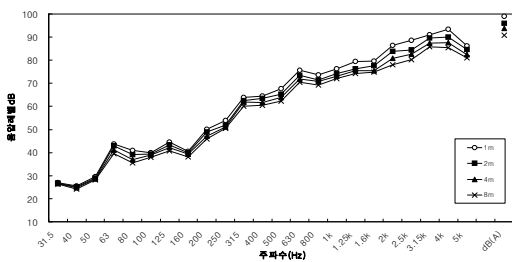
(b) 거리에 따른 시간이력곡선
그림 6. 수직 밀링의 음향특성과 시간이력곡선



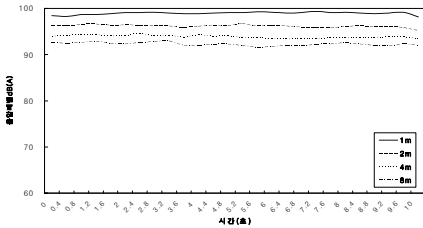
(a) 거리에 따른 주파수별 감쇠특성



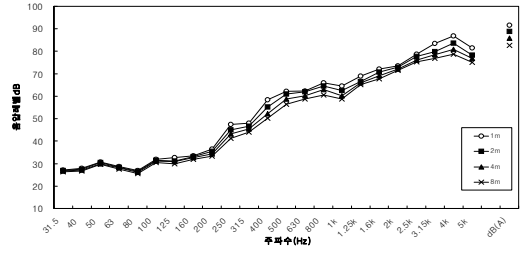
(b) 거리에 따른 시간이력곡선
그림 7. 자동 대패의 음향특성과 시간이력곡선



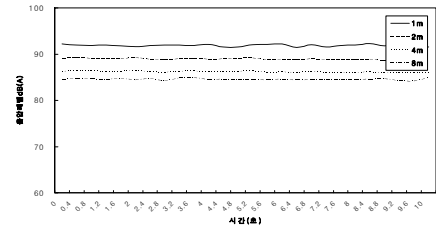
(a) 거리에 따른 주파수별 감쇠특성



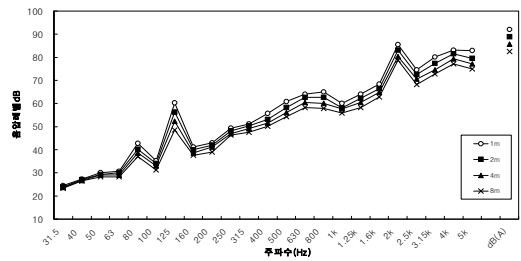
(b) 거리에 따른 시간이력곡선
그림 8. 목재 전기톱의 음향특성과 시간이력곡선



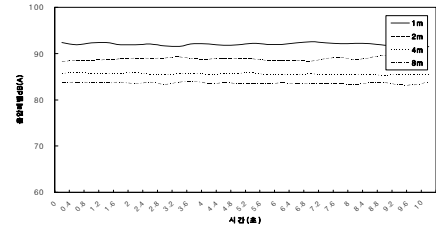
(a) 거리에 따른 주파수별 감쇠특성



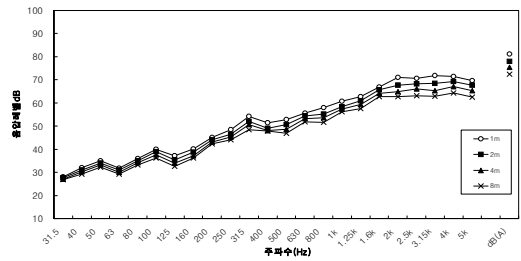
(b) 거리에 따른 시간이력곡선
그림 9. 테이블 전기톱의 음향특성과 시간이력곡선



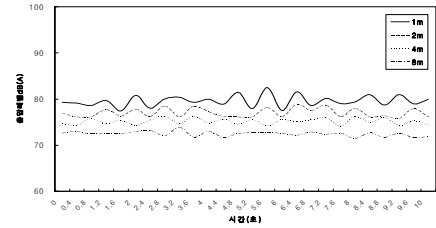
(a) 거리에 따른 주파수별 감쇠특성



(b) 거리에 따른 시간이력곡선
그림 10. 수직절단 전기톱의 음향특성과 시간이력곡선



(a) 거리에 따른 주파수별 감쇠특성



(b) 거리에 따른 시간이력곡선
그림 11. 철재 가공톱의 음향특성과 시간이력곡선

위의 분석된 자료를 보면, 거리에 따른 주파수별 감쇠특성의 경우 모든 기기가 31.5Hz~100Hz의 저음역에서는 거리에 상관없이 거의 일치하게 나타났다. 이는 파장이 길고 에너지가 큰 저주파수의 경우 고주파수에 비해 멀리까지 소리가 전파되는데 본 연구의 경우 측정 최대 거리가 8m로 짧기 때문인 것으로 사료된다. 또한 250Hz~1kHz의 중음역에서는 거리에 따른 각 기기의 음압레벨이 0.5dB~3.5dB의 차이를 보였으며, 고주파수로 갈수록 상승곡선을 그리다가 선반의 경우 2kHz, 그리고 나머지 기기들은 4kHz의 주파수에서 피크치를 보였으며, 피크치 이후 서서히 감쇠하는 패턴을 보였다. 시간에 따른 소음레벨 변동특성을 나타내는 시간이력곡선의 경우는 크게 두가지 패턴의 소음특성으로 나타났다. 철재 가공톱을 제외한 모든 기기의 작동 소음은 전 측정 시간에 걸쳐 규칙적이고 연속음인 정상소음의 특성을 나타내고 있으나, 철재 가공톱의 경우 강성이 높은 철재를 한번에 가공할 수 없어, 커팅과 공회전을 반복하기 때문에 불규칙적인 변동소음으로 나타났다.

3.2 각 작업장의 잔향시간에 따른 음압레벨 변화

울림의 양에 대한 가장 중요한 평가지수인 각 작업장의 주파수별 잔향시간(Reverberation Time)은 그림 12.와 같다.

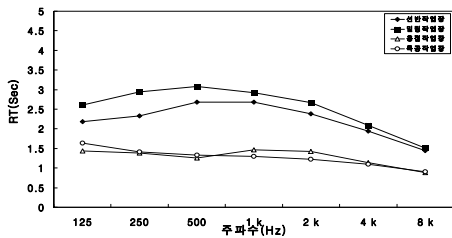


그림 12. 각 작업장의 주파수별 잔향시간

그림 12.를 보면 대부분의 작업장이 반사성이 강한 마감재료의 사용으로 인하여 체적에 비해 잔향시간이 길게 나타났다. 그러나 용접 작업장의 경우 천장에 흡음텍스를 설치하여 체적이 작은 목공 작업장보다도 잔향시간이 짧게 나타난 것을 알 수 있다. 이러한 작업장의 잔향시간과 작업기기의 거리별 음압레벨을 비교 분석한 결과는 표 3.과 같다.

표 3. 작업장 잔향시간에 따른 작업기기의 시간이력곡선 차이

구분	500Hz 잔향시간	작업기기	각 기기의 거리에 따른 시간이력곡선의 차이
밀링 작업장	3.08초	수직밀링	0.6dB(A)~1.3dB(A)
선반 작업장	2.68초	일반선반	1.2dB(A)~1.7dB(A)
		CNC선반	1.3dB(A)~1.7dB(A)
목공 작업장	1.33초	자동대패	2.5dB(A)~3dB(A)
		목재 전기톱	2.3dB(A)~2.8dB(A)
		테이블 전기톱	2.3dB(A)~2.8dB(A)
		수직절단 전기톱	2.4dB(A)~3dB(A)
용접 작업장	1.26초	철재 가공톱	2.6dB(A)~3.1dB(A)

표 3.을 보면 밀링 작업장과 선반 작업장의 경우 건축음향에서 잔향시간을 평가하는 기준인 500Hz의 잔향시간이 2.68초와 3.08초로 길게 나타나 거리별 시간이력곡선의 차이가 0.6dB(A)~1.7dB(A)로 작게 나타났다. 그러나 목공 작업장과 용접작업장의 경우 500Hz의 잔향시간이 1.26초와 1.33초로 짧게 나타나 거리별 시간이력곡선의 차이

가 2.5dB(A)~3.1dB(A)로 크게 나타났다. 따라서 잔향시간이 길 경우 작업장 전체에 기기소음이 울려 퍼져 작업자들이 더 큰 소음에 노출될 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 실내의 흡음에 관한 평가지표인 실정수(Room Constant)¹⁾를 크게 할수록 좋다. 연구대상 작업장의 마감 재료별 흡음률에 따른 실정수를 비교 분석한 결과는 표 4.와 그림 13.과 같다.

표 4. 작업장의 주파수별 마감재료

구분 (체적)	위치	마감재료	주파수(Hz)					
			125	250	500	1K	2K	4K
선반 작업장 (2626.1m³)	바닥	우레탄 마감	0.02	0.04	0.05	0.05	0.10	0.05
	벽 천장	페인트 마감	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04
밀링 작업장 (2101.8m³)	바닥	인조석 마감	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
	벽 천장	페인트 마감	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04
용접 작업장 (1308.5m³)	바닥	인조석 마감	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
	벽	페인트 마감	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04
	천장	T9 흡음텍스	0.3	0.2	0.16	0.12	0.15	0.20

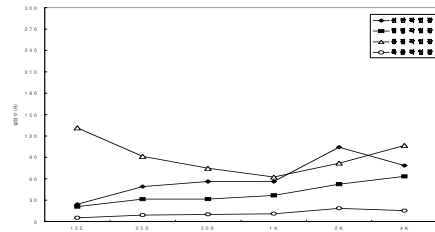


그림 13. 각 작업장의 실정수

표 4.와 그림 13.을 보면 실정수는 실의 체적과 평균 흡음률에 따라 그 값을 달리한다. 본 연구의 경우 용접 작업장은 천장에 흡음텍스를 설치하여 500Hz의 실정수가 가장 높은 74.6R로 나타났으며, 선반 작업장은 다른 작업장의 바닥 마감인 인조석 마감보다 흡음률이 좀 더 높은 우레탄 마감을 사용하여 500Hz의 실정수가 56.08R로 나타났다. 밀링 작업장의 경우 반사성이 강한 마감 재료를 사용하여 500Hz의 실정수가 36.7R로 낮게 나타났으며, 목공 작업장은 밀링 작업장과 동일한 마감 재료지만 체적이 작아 흡음되는 면적이 작기 때문에 500Hz의 실정수가 9.91R로 가장 낮게 나타났다. 따라서 모든 작업장이 대부분 바닥·벽·천장에 반사성이 강한 마감 재료를 사용함으로써 일반적으로 비교적 흡음처리가 잘 되어 있는 실에 비해, 실정수가 낮게 평가되어 흡음에 의한 효과적인 소음 제어는 어려울 것으로 사료된다. 따라서 체계적인 흡음대책이 매우 중요 할 것으로 사료된다. 또한 이러한 실정수가 실측이나 예측식을 이용해 파악되면 작업장의 음압분포를 쉽게 예측할 수 있다.²⁾

$$1) \text{ 실정수 } R = \frac{S\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}} \quad \bar{\alpha}: \text{평균흡음률} \quad S: \text{작업장의 면적}(m^2)$$

$$\text{평균흡음률 } \bar{\alpha} = \frac{0.16V}{ST} \quad T: \text{잔향시간} \quad V: \text{작업장의 체적}(m^3)$$

$$2) \text{ SPL} = \text{PWL} + 10\log_{10}\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$$

여기서, PWL : 작업기기의 음향출력
 Q : 지향계수
 r : 이격거리(m)
 R : 실정수

3.3 기기별 주파수 특성 및 거리감쇠 비교

고소음 작업장의 경우 대부분 1m 이내에서 작업을 하므로 이 지점에서의 측정결과가 작업자들에게 가장 많은 영향을 미친다고 할 수 있다. 따라서 1m에서의 주파수별 특성을 비교 분석한 결과는 그림 14.와 같다.

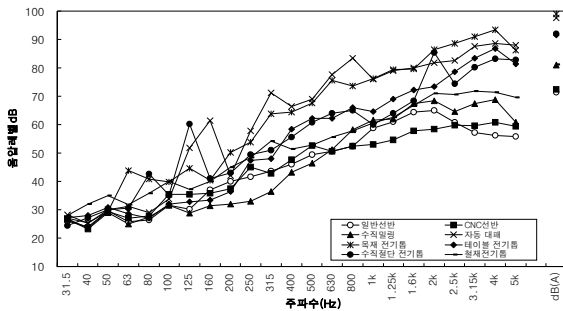


그림 14. 작업기기의 1m에서의 주파수별 음압레벨

그림 14.를 보면 작업기에서 발생하는 1m에서의 주파수 특성을 살펴보면 31.5Hz~100Hz의 저주파수 대역에서는 음압레벨이 24dB~43.8dB로 낮게 나타났으며, 1kHz~4kHz 고주파수 대역으로 갈수록 53.1dB~93.5dB의 높은 음압레벨 값을 나타내고 있다. 일반적으로 1kHz~4kHz의 주파수는 인간의 귀에 가장 민감하게 반응하는 주파수로 장시간 폭로되었을 경우 청력손실(Hearing Loss)을 일으키기 때문에 작업자로 하여금 가장 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다. [그림 4]~[그림 11]의 결과를 토대로 각 작업장내 거리별 dB(A) 감쇠를 비교 분석해 보면 그림 15.와 같다.

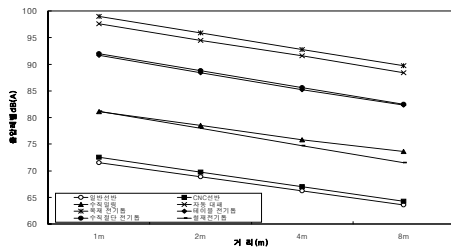


그림 15. 작업기기의 거리별 dB(A)

그림 15.를 보면 1m 지점에서 각 작업기기의 dB(A)가 71.5dB(A)~99dB(A)까지 높은 음압레벨을 유지하고 있음을 알 수 있다. 특히 목재 전기톱의 경우 99dB(A)로 8개의 기기소음 중 가장 음압레벨이 큰 소음원인 것으로 나타났다. 따라서 이러한 고소음은 작업자들에게 신체적, 정신적 악영향을 미치기 때문에 작업장 기기소음의 저감대책이 필요할 것으로 사료된다. 또한 거리의 두배당 감쇠 특성의 경우 거리별 음압레벨과 마찬가지로 작업장의 잔향시간과 밀접한 관계를 보였으며, 잔향시간에 따라 감쇠치가 달라짐을 알 수 있다. 500Hz의 잔향시간이 2.68초~3.08초일 경우 거리의 두배당 감쇠치는 2.2dB(A)~2.7dB(A)이며, 500Hz의 잔향시간이 1.26초~1.33초일 경우 거리의 두배당 감쇠치는 3.1dB(A)~3.4dB(A)정도 감쇠하는 패턴을 보였다. 따라서 자유음장(Free Field)과는 달리 본 작업장의 경우 잔향시간과 기기소음 발생 시 벽과 천장 그리고 인접 기기의 1차 반사음에 의한 영향으로 2.2dB(A)~3.4dB(A)씩 감쇠하는 패턴을 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 작업장에서 사용되는 8가지 종류의 작업기기를 대상으로 작업자가 사용할 때 측정된 각 거리에 따른 주파수별 음향특성을 비교·분석해 보았으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 8개 기기의 거리에 따른 주파수별 감쇠특성을 살펴보면 31.5Hz~100Hz의 저음역에서는 거리에 상관없이 거의 일치하게 나타났으며, 250Hz~1kHz의 중음역에서는 거리에 따른 각 기기의 음압레벨이 0.5dB~3.5dB의 차이를 보이며, 상승곡선을 그리다가 각 기기별로 2kHz~4kHz에서 피크치를 보였다.

2. 밀링 작업장과 선반 작업장의 경우 건축음향에서 잔향시간을 평가하는 기준인 500Hz의 잔향시간이 2.68초와 3.08초로 길게 나타나 거리별 시간이력곡선의 차가 0.6dB(A)~1.7dB(A)로 작게 나타났지만, 목공 작업장과 용접 작업장의 경우 500Hz의 잔향시간이 1.26초와 1.33초로 짧게 나타나 그 차이가 2.5dB(A)~3.1dB(A)로 크게 나타났다. 따라서 잔향시간이 길 경우 작업장 전체에 기기소음이 울려 퍼져 작업자들이 더 큰 소음에 노출될 수 있기 때문에 작업장 내의 체계적인 흡음대책이 매우 중요할 것으로 사료된다.

3. 고소음 작업장에서 작업자들에게 가장 많은 영향을 미칠 수 있는 1m지점에서 발생하는 소음의 주파수 특성을 살펴보면 31.5Hz~100Hz의 저주파수 대역에서는 음압레벨이 24dB~43.8dB이 낮게 나타났으며, 1kHz~4kHz 고주파수 대역으로 갈수록 53.1dB~93.5dB의 높은 음압레벨 보였다. 또한 dB(A)도 작업기기 별로 71.5dB(A)~99dB(A)의 큰 소음원으로 나타났다. 일반적으로 인간의 귀는 1kHz~4kHz 대역에서 민감하게 반응하므로, 이러한 고소음에 장시간 폭로될 경우 청력손실을 일으킬 수 있으므로, 작업장 기기소음의 저감대책이 필요할 것으로 사료된다.

4. 거리의 두배당 작업기기의 감쇠특성을 살펴보면 잔향시간에 따라 감쇠치가 달라짐을 알 수 있다. 500Hz의 잔향시간 2.68초~3.08초일 경우 거리의 두배당 감쇠치는 2.2dB(A)~2.7dB(A)이며, 500Hz의 잔향시간이 1.26초~1.33초일 경우 거리의 두배당 감쇠치는 3.1dB(A)~3.4dB(A)정도 감쇠하는 패턴을 보였다.

본 연구 결과를 통하여 얻어진 자료들이 축적되어 보다 더 많은 작업기기 소음에 대한 특성이 파악된다면 소음으로부터 작업자로 하여금 보다 더 쾌적한 작업 환경 수립이 가능할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 김재수 ; "소음진동학", 세진사, 2007
2. 김재수 ; "건축음향설계"(개정판), 세진사, 2004.3
3. 김재수 ; "환경분쟁조정을 위한 건설소음·진동 이론과 실무", 도서출판 서우, 2003
4. 김재수, 양만우 ; 건축음향설계방법론, 도서출판 서우, 2001.9
5. 김재수 ; 건축물의 기계실에서 발생하는 설비소음의 특성 대한설비공학회 설비저널 Vol.36 No.1, 2007.1
6. 국립환경연구원 ; "국내제작 및 사용기기류의 음향파워레벨 조사연구(I, II)", 1990,1991