

# 섬유기계 방사 소음 평가를 위한 측정 공간의 음향특성 연구

나혜중, 이수영, 박시우, 전두환\*

(재)한국섬유기계연구소, \*영남대학교 섬유패션학부

## Analysis of the Room Acoustics for Radiated Noise Evaluation of Textile Machinery

Hae-Joong Na, Soo-Young Lee, Si-Woo Park and Du-Hwan Chun\*

Korean Textile Machinery Research Institute, Gyongsan-city, Gyongbuk, Korea

\*School of Textiles, Yeungnam University, Gyongsan-city, Gyongbuk, Korea

### 1. 서론

일반적으로 섬유 공장에서 잔향시간을 측정하면, 특히 잔향 시간이 비교적 짧고 배경 소음 레벨이 높을 경우에 측정치 자체에 상당한 오차가 예상된다. 기존의 다른 소음 측정 표준에서 고려하는 시험 방법상의 오차 유발 인자 가운데서도 특히 측정 공간의 적합성이 가장 중요한 고려 사항이 될 것이다. 음압 측정치는 잔향실의 고유모드의 영향으로 음원 위치와 측정 위치에 의존하고 따라서 불확도를 증가시키는 요소로 작용한다. 잔향시간과 평균 흡음율은 상호 역수 관계에 있으므로 잔향시간의 상대 오차는 그 자체가 흡음율의 상대 오차가 된다. 원래 잔향시간과 평균 흡음율은 그 원리상 음향 공간 내의 음향 에너지 밀도가 균일하다는 가정 하에서 정의된 것이다. 그러나 실제 음향 공간에서는 에너지 밀도가 균일하지 않으며 잔향시간이나 그로부터 추정되는 흡음율이 모두 측정점과 음원 위치에 따라 달라진다. 따라서 잔향시간과 흡음율의 추정에 대한 구체적인 절차가 마련되어야 한다. 음향 파워 측정에 있어서 주된 관심은 측정점에서 잔향 음장의 효과이므로 측정면과 측정대상 음원의 위치를 반영하는 잔향시간 측정, 평균 흡음율의 산정 등이 필요하다. 따라서 본 연구로부터 기준 장소에서의 기준 음원에 대한 음압레벨을 구하고 실제 측정하고자 하는 대상이 있는 측정 장소로부터 잔향 효과를 확인하고 이로부터 측정 결과의 신뢰성 여부를 판단하고자 한다. 또한 인텐시티법을 이용하여 실제 측정 직기의 음향파워레벨을 산출함으로써 직기의 정확한 측정 프로세스를 정립하고자 한다.

### 2. 음향파워 결정

#### 2.1. 음향 인텐시티법

어느 점에서 순간적인 입자 속도의 방향으로 단위 단면적을 통과하는 단위 시간당 음향 에너지의 순시값(W/m<sup>2</sup>)을 순시 음향 인텐시티  $\vec{I}(t)$  (instantaneous sound intensity) 라고 하고, 이 양은 벡터 양으로 어느 점의 음압과 입자 속도의 순시값의 곱과 같다.

$$\vec{I}(t) = p(t) \cdot \vec{u}(t)$$

여기에서  $p(t)$ : 음압의 순시값 (Pa)

$\vec{u}(t)$ : 입자 속도의 순시값 (m/s)

음향 인텐시티는 시간적으로 정상인 음장에서의  $\vec{I}(t)$ 의 시간 평균값을 나타낸다.

$$\vec{T} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt$$

여기서 T : 적분(평균화) 시간

## 2.2. 잔향공간에서의 음압측정

음원의 음향 파워를 측정하는 가장 정밀한 방법은 무향실에서 측정하는 것이지만 잔향 공간에서도 잔향 음장의 기여도를 미리 예측할 수 있으면 상당한 정밀도로 측정하는 방법도 가능하다. 확산음장에서 음압 측정에 의한 음향파워 측정원리는 음압레벨의 측정값으로부터의 음향 파워 레벨의 산출은 잔향실 안의 어떤 음향파워를 방사하는 음원에 대해서, 공간 및 시간으로 평균한 평균 제곱 음압  $\overline{p^2}$  이 그 음향파워에 비례한다는 것이다. 음압레벨은 잔향실의 음향 특성에 의존한다. 무향 공간에서 측정된 음향파워  $w$ 의 무지향 음원으로부터 거리  $r$  떨어진 위치에서 측정된 직접음장  $p_d$ 과 확산음장  $p_r$ 이 상호 간섭성이 없다면 전체 음장은 직접음장과 확산음장의 직교함으로 표현되며 다음과 같다.

$$P^2 = \rho_0 c w \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad , \quad P^2 = P_d^2 + P_r^2$$

음원으로부터 거리  $r$  떨어진 위치에서 잔향음장 음향 인텐시티  $I_r$  과 직접음장 음향 인텐시티  $I_d$ 의 비율은

$$\frac{I_r}{I_d} = \frac{4\pi r^2}{(R/4)}$$

이 비율이 1보다 큰가 작은가에 따라 직접음장이 지배하는지, 아니면 확산음장이 지배하는지가 결정된다. 이 비율을 1보다 크게 만드는 최대  $r$  값을 실반경(room radius)이라 한다.

## 3. 음향파워 측정

### 3.1. 소음 측정 공간의 음향 특성

본 연구를 수행하기 위해서 섬유 기계 중에서도 소음 레벨이 비교적 큰 레피어 직기를 선정하였다. 제직기의 소음특성은 10m(L) x 9m(W) x 7m(H)인 공간에서 측정하였다. 이 공간에는 다른 시험설비 및 장치도 일부 설치되어 있고 특별한 차음, 방음 설비가 되어 있지 않아서 섬유기계 생산 업체의 공장 일부분을 적절히 모사하는 것으로 생각할 수 있다. 또한 일부 면에 폴리우레탄 폼이 배치되어 다소간 흡음재 역할을 하기도 한다. 아래의 그림은 측정공간의 평면도를 보여주며 여기에 잔향시간을 측정한 4지점의 위치, 측정면의 위치 등을 표시하였다.

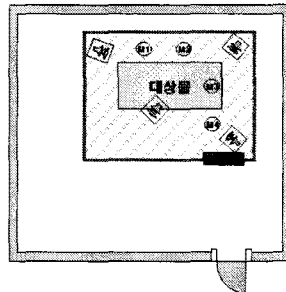


그림 1. 측정공간의 평면

측정 공간의 잔향 특성을 파악하기 위하여 직기가 있는 장소로부터 잔향시간을 측정하였다. 음원으로는 백색잡음을 사용하였고 측정위치는 바닥면으로부터 1m 높이(래피어 직기의 주 소음원들이 대략 이 정도 높이에 있음)의 4지점을 선택하였다. 각 지점은 평행육면체 측정면의 중심을 가정한 것이다. 일반적인 공간에서의 잔향시간은 위치에 따라 달라지므로 즉 잔향시간 또는 평균 흡음율의 추정에는 많은 측정이 필요하다. 대부분의 음향 공간은 위치에 따라 불균일한 잔향시간을 갖는다. 따라서

측정면 상의 음압 측정에 미치는 잔향의 효과를 추정하려면 측정면 상의 여러 지점에서 잔향시간을 측정하여 흡음을 또는 실정수의 평균을 구해야 할 것이다. R은 실정수, T는 잔향시간, V는 측정장소 용적(m<sup>3</sup>), S는 측정대상 면적(m<sup>2</sup>)이다.

$$R = \frac{S}{\left(\frac{S}{0.161V}\right)T - 1}$$

표 1. 직기의 측정 공간 내에서의 잔향 시간과 실정수

주파수대역 측정 장소	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Mean (잔향시간)	0.8841	0.8664	0.8130	0.4868	0.3274	0.4609
R(실정수)	10.8374	11.0918	11.9347	22.2893	38.6958	23.9379

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

직기의 측정 공간 내에서의 잔향효과를 확인하기 위해서 무향실에서 기준 음원에 대해 음압레벨을 측정하고, 위에서 구한 잔향효과로부터 기준장소에서 구한 음압레벨값에 적용하여 실제 측정장소에서 음압레벨을 예측해 보았다. 이는 국제 규격에 따라 구한 음향파워레벨의 재현성 표준 편차의 추정 상한치에도 허용되는 오차이다. 다시 말해서 측정 장소에서의 직기에 대한 음향파워를 산출하는데 있어서 잔향효과가 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다.

표 2. 기준장소로부터 측정장소의 잔향효과 및 음압레벨 예측

측정 장소 측정 거리	SPL[dB]		
	기준장소(무향실)	측정장소	잔향효과
0.5m	93.4	95.4	2
1m	90.4	91.8	1.4

### 3.2. 직기 소음 음향파워 측정 결과

이산 주파수음을 발생하는 음원인 경우 보다 긴 마이크로폰 이동경로나 많은 수의 마이크로폰 위치가 필요하다. 일반적으로 인텐시티법은 가장 보편적으로 사용되는 측정법이지만 측정 대상의 크기에 따라 측정점이 많아지기 때문에 음향파워를 산출하는 데 많은 시간이 소요된다. 따라서 기준장소에서 인텐시티와 음압레벨을 측정하여 어느 정도의 편차가 발생하는 지 확인해 보았다.

표 3. 기준장소로부터 음향파워 레벨 산출법 비교

측정 거리 PWL[dB]	기준장소(무향실)		
	음압레벨	인텐시티	ΔL [dB]
0.5m	96.6	94.4	2.2
1m	95.5	94.4	1.1

위의 결과로부터 알 수 있듯이 기준 장소에서 음압레벨로부터 산출한 음향파워와 인텐시티로부터 산출한 음향파워의 차이가 3dB 미만이기 때문에 실제 측정 대상인 직기로부터 산출될 음향파워 레벨을 신뢰할 수 있다.

### 4. 음향파워 측정 결과

음압을 이용하여 제직기 소음의 음향 파워를 측정된 결과 1/3 octave 대역별 음향 파워는 아래의 그림에서 보이는 바와 같다. 본 연구에서는 다음에서 언급할 인텐시티 측정 방법과 그 결과를 비교하였다. 음압의 측정은 인텐시티 측정점에서 수행되었다.

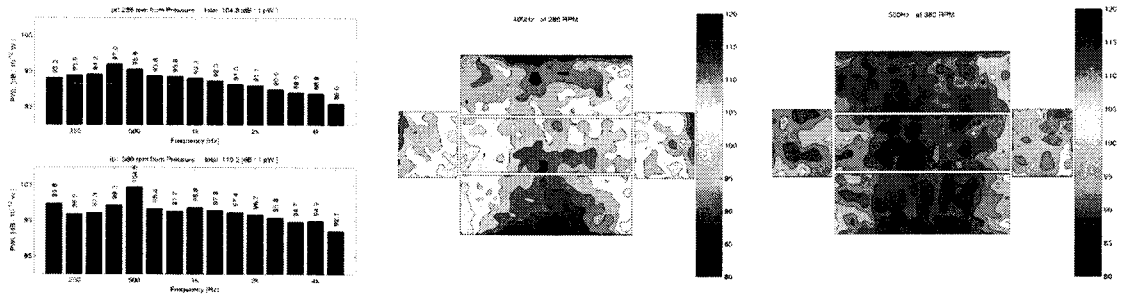


그림 2. 음압으로 측정된 래피어 직기의 1/3 octave 대역별 음향 파워

음향 인텐시티를 사용하여 제직기 소음의 음향 파워를 측정된 결과 1/3 octave 대역별 음향 파워는 아래 그림에 보이는 바와 같다. 이 측정치의 측정 오차는 1dB 미만이다. 따라서 이 결과는 음향 파워 측정의 기준으로 사용할 수 있다. 음향 인텐시티의 분포를 보여준다. 역시 주 소음원 부근에서 높은 음향 인텐시티를 나타냈으며 이러한 특징은 음압 측정치의 분포와도 잘 맞는 결과임을 알 수 있다.

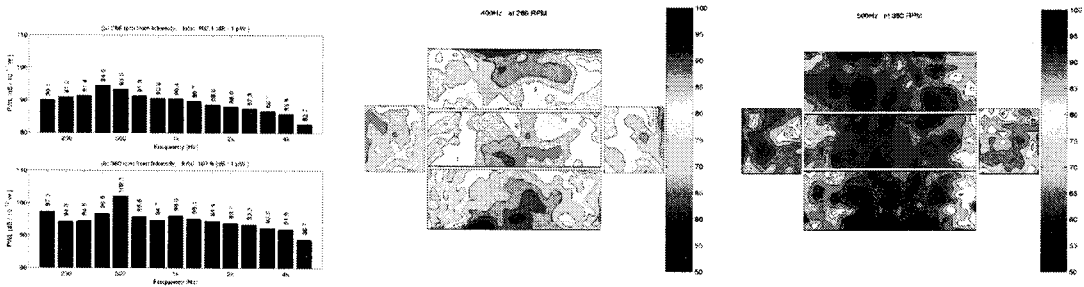


그림 3. 인텐시티로 측정된 래피어 직기의 1/3 octave 대역별 음향 파워

## 5. 결론

섬유기계 방사소음 평가를 위한 측정공간의 음향 특성을 파악한 결과는 다음과 같다.

- 1) 섬유기계가 배출하는 소음의 음향 파워를 일반적인 시험실에서 측정할 때 나타날 수 있는 문제점, 특히 측정 공간의 문제점에 대해 고찰하였다 (기준음원에 대한 음압레벨 측정치로부터 직기가 있는 측정 공간의 잔향 특성을 파악하였다).
- 2) 인텐시티와 음압 측정 결과로 산출된 음향파워 레벨의 차이를 비교해 보았을 때 3dB 미만이었다.
- 3) 직기가 있는 측정 공간에서의 측정결과를 토대로 현장에서 측정할 수 있는 기준을 마련하기 위한 기준 데이터로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 6. 참고문헌

- [1] F. J. Fahy, "Sound Intensity", p. 161, Elsevier Applied Science, 1989
- [2] KS A ISO 9614-1,2 : 2002
- [3] KS A ISO 3745, 3746 : 2002
- [4] C. M. Harris, Shock and Vibration handbook, McGraw-Hill, Inc., 1997
- [5] R. B. Randall, B. Tech., B. A., Frequency Analysis, 1987