한국농업기계학회지 제 20 권 제 2 호, pp. 127~132. 1995

농용 트랙터의 안전캡 내부 소음 감소에 관한 연구(II)
-소음 감소 효과-

A Case Study on Inside Noise Reduction of Agricultural Tractor Cab(II)
-Noise Reduction-

유동호* 김경욱** 최창현***
정회원 정회원
D. H. Yoo K. U. Kim C. H. Choi

ABSTRACT

In the first part of this paper, an analysis of the cab noise of a selected agricultural tractor was presented. In this study, using the results of the previous analysis, two passive noise control measures of the sound insulation and absorption were conducted to reduce the noise level inside the cab. These measures of noise control reduced the total noise level by 6.2dB(A) at the operator position inside the cab.

In order to further reduce the cab noise, particularly, of lower frequecies than 630Hz, stiffness and damping of the floor panel should be enforced. It was also suggested that a proper suspension for the cab mounting is necessary to reduce the level of structure-born noises.

주요 용어(Key Words) : 소음(Noise), 차음(Sound Insulation), 흡음(Sound Absorption), 트랙터 캡(Tractor Cab)

1. 서론

본 연구의 제1보(유 등, 1995)에서는 국내에서 비교적 소음 수준이 높은 것으로 알려진 농용 트랙터 GT452D를 대상으로 하여 안전캡 내부의 운전자 위치 소음 수준과 음향 강도를 측정하여 분석하였다.

본 연구에서는 안전캡과 트랙터의 기본 구조를 유지한 상태에서 제1보의 연구 결과에 따라 캡의 내부 소음을 감소시키기 위한 차음과 흡음 처리를 실시하고 그 효과를 분석하였다.

소음을 효과적으로 감소시키기 위해서는 먼저 소음원의 소음을 감소시켜야 한다. 트랙터의 경우에 있어서도 주 소음원인 기관의 소음을 감소시킴으로써 최대의 효과를 얻을 수 있다. 그러나 이미 양산되고 있는 트랙터에서 기관을 저소음 기관으로 교체하거나, 기관 제조업체가 아닌 트랙터 제조업체에서 기관에 대한 저소음 기술을 개발하는 데는 기술적으로나 경제적으로 한계가 있다. 따라서, 기존 트랙터에 대한 소음 대책은

* 현대정공 기술연구소
** 서울대학교 농공학과
*** 성균관대학교 생물기전공학과

트랙터의 기본 구조를 변경하지 않는 범위에서 효과적으로 수립되어야 한다.

본 연구에서는 소음원을 떠나서 공기로 전파되는 공기 기인 소음과, 차체의 진동으로 인한 구조 기인 소음을 대상으로 하여 차음과 흡음 처리를 실시하고 그 효과를 분석하였다.

차음과 흡음 처리가 트랙터의 근본적인 소음 대책은 아니나 안전캡에 대한 방진 대책이 동시에 수행된다면, 이 방법은 소음 감소 효과를 크게 증가시킬 수 있다. Hakimi 등(1974)은 트랙터 캡에 사용되는 방진 마운트의 소음 감소 성능을 검토하였다. 이 연구는 정지 상태와 주행 상태에서 트랙터 차체의 상하, 전후 방향의 진동이 유사한 형태임을 구명하고, 정지 상태에서 캡 마운팅 지점의 진동에 의한 캡의 진동과 운전자 위치 소음을 측정하여 캡 마운팅의 소음 감소 효과를 비교하였다.

Cole 등(1983)은 캡을 직육면체로 가정하고 캡 내부의 음압 수준을 모델링하여 캡 내부로 전달되는 소음을 예측하였다. 이 모델을 이용하여 캡 구멍의 크기와 모양, 흡음재 등이 음압 수준에 미치는 영향을 조사하였으며, 캡 구멍은 소음 전파에 큰 영향을 미치고 그 영향은 고주파 소음에서 더욱 크다고 하였다. 또한 밀폐가 잘 된 캡의 경우에는 흡음재를 부착하는 것이 캡 내부의 음압 수준을 감소시키는 데 크게 유용하다고 보고한 바 있다.

2. 소음 감소

가. 차음 처리

차음 처리는 소음이 유입되는 공기의 통로를 차단하는 것으로서, 차음 처리에 사용된 차음 재료는 소음의 주파수가 각각 250, 500, 1,000, 2,000 Hz일 때 20, 26, 32, 38dB의 투과 손실 효과를 나타내는 고무판을 사용하였다. 차음 재료의 수직 입사 투과 손실은 다음 식을 사용하여 계산하였다.

$$TL_0 = 20\log_{10} fm \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

여기서 TL_0 = 투과 손실, dB

f = 주파수, Hz

m = 차음재의 밀도, kg/m²

고무판의 밀도와 두께는 각각 1,600kg/m³, 3 mm이었으며, 차음할 개구부와 틈새의 크기에 따라 알맞게 재단하여 실리콘으로 접착, 밀봉하였다.

트랙터 GT452D에 대한 안전캡 내부의 음향 강도 분석 결과에 의하면(유 등, 1995) 캡 내부의 소음 원인은 주로 발판부와 운전석 뒷판넬의 진동에 의하여 발생되는 구조 기인 소음과 운전자 앞면 아래의 개구부를 통하여 유입되는 공기 기인 소음으로 구명되었다. 또한, 변속기 케이스에서 발생되는 소음도 캡 내부의 소음을 증가시키는 것으로 확인되었다.

따라서, 차음 처리는 운전자 앞면 아래의 좌우 모서리와 변속기 레버 부근, 브레이크와 클러치 페달 부분에 실시하였다. 또한, 엔진부와 캡 사이에 있는 판넬을 연장하여 차음 처리하였으며 엔진부에서 연료통으로 향하는 공간의 개구부와 발판 부분의 가장자리 틈새도 차음 처리하였다.

나. 흡음 처리

흡음 처리는 특정 주파수의 소음을 흡수하기 위하여 적합한 흡음재를 선정하고 이를 특정 주파수의 소음이 발생하는 부분에 부착하여 소음을 감소시키는 방법이다. 이 방법을 적용하기 위하여 국내에서 시판되고 있는 주요 흡음재에 대한 흡음율을 측정하였으며, 흡음 대상 주파수의 소음에 가장 적합한 흡음재를 선정하였다.

(1) 흡음재의 흡음율 측정

흡음재의 흡음율은 미국 재료시험학회(ASTM)에서 채택하고 있는 표준 방법으로서 두 음향 탐촉자를 이용한 임피던스 관법(강, 1992)을 이용하였다. 본 연구에서는 그림 1에서와 같이 X=−L에 음원이 있고 X=0에 임의의 음

향 임피던스를 갖는 음향계를 구성하여 평면파 영역 내에서 입사 스펙트럼, $S_{AA}(f)$에 대한 반사 스펙트럼, $S_{BB}(f)$)의 비, 즉 반사판의 반사계수 $r_0(f)$를 구하고 (2)식을 이용하여 수직 입사 흡음율 $\alpha_0(f)$를 결정하였다(Seybert, 1988).

$$\alpha_0(f) = 1 - r_0(f)^2 \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

$$r_0(f) = \frac{S_{BB}(f)}{S_{AA}(f)}$$

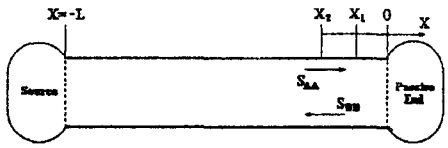

Fig. 1. Principle of two-microphone impedance tube method.

(2) 흡음율 측정 장치

임피던스 관법을 이용하여 그림 2에서와 같이 흡음율 측정 시스템을 구성하였으며, 측정 시스템의 구성 장비는 표 1에서와 같다.

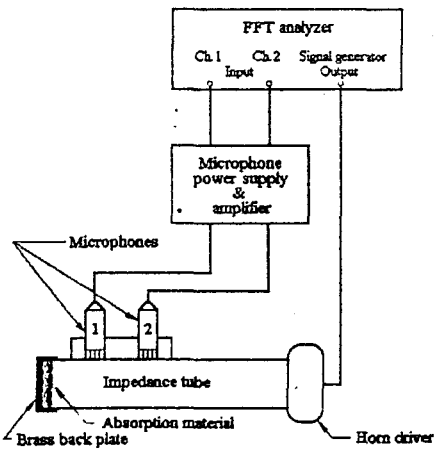

Fig. 2. Absorption material testing system.

Table 1. Specifications of test equipment used

Equipment	Model	Manufacturer
Microphone	Type 4165	B & K
FFT analyzer	SD380-CX	Scientific Atlanta
Microphone preamplifier	Type 5939	B & K
Microphone power supply and amplifier	Type 2804	B & K
Horn driver	NSU-50 B	Sammi

임피던스 관의 내경은 32mm이고 길이는 700 mm이었다. 마이크로폰 사이의 간격은 20mm로 하였으며 1번 마이크로폰과 반사판 안벽까지의 거리는 25mm로 하였다. 음원인 스피커(horn driver)는 관의 끝에 나사를 내어 부착하고 두 개의 마이크로폰은 관과 수직이 되도록 설치하였다. 이 때 마이크로폰의 끝이 관내로 들어가지 않도록 마이크로폰의 가장자리와 관의 내면이 일치하도록 고정시키고 소리가 새지 않도록 고무 찰흙과 테이프로 틈새를 밀봉하였다. 임피던스 관 끝에는 황동재 반사판(back plate)을 설치하여 시험 흡음재를 부착할 수 있도록 하였다. 시험 흡음재의 두께는 10mm로 하였으며, 관의 내경과 일치하도록 절단하여 반사판에 부착하였다. 두께를 10mm로 한 것은 흡음재를 부착할 지점인 대시 보드 판넬 안쪽 즉, 연료통과 여러 가지 배선 및 페달 링크가 있는 부위에 적합하였기 때문이었다.

0~20kHz까지 백색 잡음(white noise)으로 스피커를 구동하여 마이크로폰 1과 2의 파워 스펙트럼 밀도 함수와 상호 스펙트럼 밀도 함수를 구하고 FFT의 3.5인치 디스켓에 저장하였다. 수직 입사 흡음율은 음향 분석 소프트웨어인 STA-RAcoustics를 사용하여 스펙트럼 밀도 함수 데이타를 처리한 후 결정하였다.

(3) 흡음재의 선정

흡음율 측정 시스템을 사용하여 국내에서 생산되고 있는 40여 개의 흡음재에 대한 흡음율을 구명하고 그 중에서 흡음율이 좋은 6종류를 본 연구에서 사용할 대상으로 1차 선정하였다. 1차 선정한 흡음재의 형상과 재질은 각각 그림 3과 표 2와 같다. 1차 선정한 흡음재의 수직 입사 흡

음율은 그림 4에서와 같이 주파수에 따라 0~1.0 범위에서 변화하였다. 그 중에서 흡음재 3이 1,000Hz 이하의 주파수 영역에서 다른 재료에 비하여 흡음 성능이 상대적으로 우수하였기 때문에 1,000Hz 이하의 소음에 대한 흡음재로서 적합하다고 판단되었다. 1,000Hz 이상 2,500Hz까지도 흡음재 3이 다른 흡음재에 비하여 흡음 성능이 크게 약화되지 않았기 때문에 흡음재 3을 최종적으로 선정하였다.

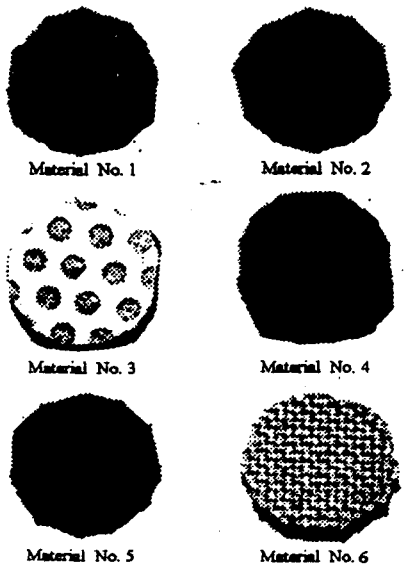

Fig. 3. Selected absorbent materials.

Table 2. Properties of selected absorbent materials

Material	Type	Foam density (kg/m³)
No. 1	Foam	22.2
No. 2	Foam	28.2
No. 3	Foam on fibrous layer and perforated vinyl sheet	39.3
No. 4	Foam	39.3
No. 5	Foam	46.0
No. 6	Foam on textile	48.1

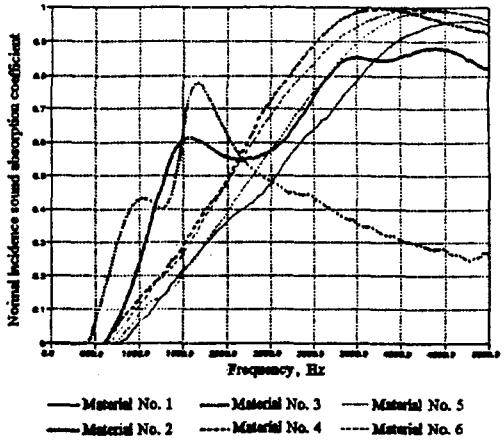

Fig. 4. Absorption coefficients of the selected materials.

(4) 흡음 처리

운전자 앞면 아래 부분에 대한 음향 강도 분석 결과(유 등, 1995)에 의하면, 변속기 케이스 부근에서 중심 주파수가 500Hz인 소음이 발생하였고 또한, 연료통 부근에서 판넬 진동으로 인한 소음이 발생하였기 때문에 차음 처리한 안쪽과 대시 보드 판넬 안쪽 즉 연료통과 여러가지 배선 및 페달 링크가 있는 부분에 그림 5에서와 같이 약 1.2m²의 흡음재를 부착하였다.

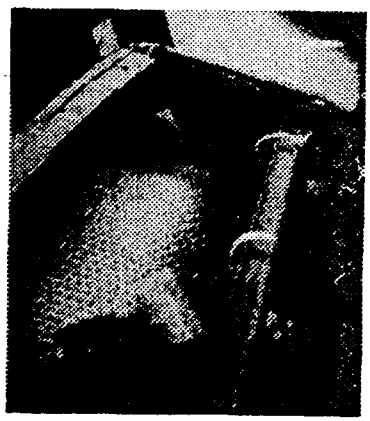

Fig. 5. Sound absorption material affixed to the inner-side of instrument panel of the tractor.

바닥판 시트는 약 0.5m²의 흡음재를 부착한 3

mm 고무판으로 대체하였으며, 캡 천장의 내부도 약 1.7m² 흡음재로 교체하여 내부 잔향이 감소되도록 하였다. 모든 가장자리는 실리콘으로 밀폐하였다.

4. 차음 및 흡음 효과

가. 차음 효과

차음의 효과는 그림 6에서와 같이 운전자 위치 소음 수준이 차음 전 98.6dB(A)에서 차음 후 94.1dB(A)로 낮아져 4.5dB(A)가 감소된 것으로 나타났다.

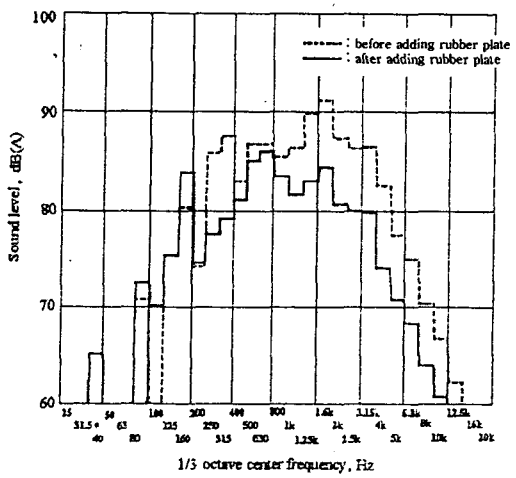

Fig. 6. Noise reduction by adding rubber plate (*A*-weighted).

중심 주파수가 250, 315, 1,600Hz인 1/3 옥타브 주파수 대역의 소음 수준은 7dB(A) 정도 감소하였으며, 1kHz 이상의 고주파 소음 수준도 각 대역에서 약 5dB(A) 정도 감소하였다.

그러나 중심 주파수가 200Hz 이하인 저주파 대역에서는 오히려 소음 수준이 증가되는 경향이 나타났다. 중심 주파수가 40, 80, 100Hz인 대역의 경우에는 소음 수준이 증가되었으나 운전자 위치 소음 수준에 미치는 영향은 크지 않았다. 그러나 중심 주파수가 160Hz인 대역에서는 그 영향이 다른 주파수 대역에서보다 높은 것으로 나타났다. 이는 발판부와 운전자 장딴지부 판넬에서 발생한 소음이 변속기 레버부를 차음한 고무판에 반사되어 캡 내부로 전달되기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 중심 주파수가 500, 630 Hz인 주파수 대역의 소음은 차음의 효과가 나타나지 않았다. 이는 이 주파수 대역의 소음이 공기기인 소음이 아니라 캡 내부의 판넬이 진동함으로써 발생한 구조 기인 소음이기 대문인 것으로 판단된다.

나. 흡음 효과

흡음의 효과는 그림 7에서와 같이 중심 주파수가 630Hz 이상인 소음 영역에서 나타났으며 전체적으로는 차음 후 소음 수준이 94.1dB(A)에서 92.4dB(A)로 감소되어 1.7dB(A)가 감소된 것으로 나타났다. 그러나 중심 주파수가 80, 100, 315Hz인 대역의 소음 수준은 흡음 처리 전보다 오히려 증가되었다. 이는 바닥에 고주파 흡음재와 고무판을 부착함으로써 바닥을 통하여 방사되는 소음 중에서 중심 주파수가 80, 100, 315 Hz인 대역의 소음이 증가되기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 중심 주파수가 500Hz인 대역에서 소음 수준의 변화는 일어나지 않았다.

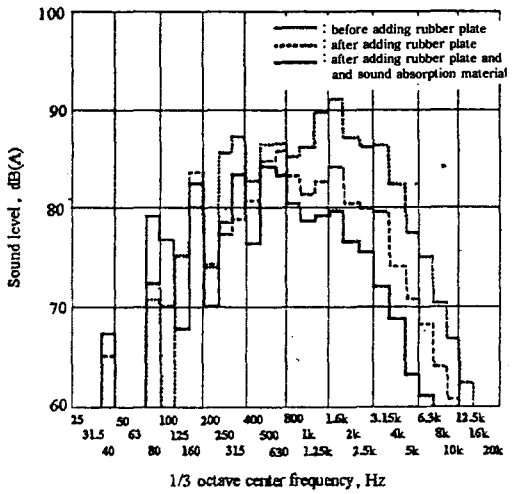

Fig. 7. Noise reduction by sound absorption material(*A*-weighted).

6. 요약 및 결론

본 연구는 국내에서 비교적 소음 수준이 높은

것으로 알려진 농업용 트랙터 GT452D를 대상으로 하여 차음과 흡음 처리를 실시하고 안전캡의 내부 소음에 대한 감소 효과를 구명한 사례 연구이다.

안전캡 내부의 소음 분석 결과에 따라 적절한 차음재와 흡음재를 선정하고 차음과 흡음 처리를 실시하였다. 차음 처리는 공기 기인 소음을 최소화 할 수 있도록 음향 강도가 높은 지점에 적용하였으며, 흡음 처리는 1/3 옥타브의 중심 주파수가 500Hz 이상인 대역에서 소음 수준이 높은 주파수의 소음을 대상으로 적용하였다. 차음 처리는 캡 내부의 운전자 위치 소음 수준을 4.5dB(A) 감소시켰으며 흡음 처리는 1.7dB(A) 감소시켰다. 차음을 보완하는 흡음 효과는 주로 중심 주파수가 630Hz 이상인 주파수 영역에서 나타났다. 중심 주파수가 630Hz 보다 낮은 저주파 영역의 소음은 캡 내부의 판넬이 변속기 등 차체의 진동으로 가진되어 발생하는 것으로 판단된다. 따라서, 중심 주파수가 630Hz 이하인 저주파 소음을 감소시키기 위해서는 판넬의 강성을 보강하거나 방진재를 이용하여 소음 방사를 줄여야 할 것으로 판단된다. 또한, 차체의 진동으로부터 안전캡을 보호할 수 있도록 캡의 방진 마운트에 대한 적절한 설계가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 강성우, 김양한. 1992. 두개의 음향 탐촉자를 이용한 소음기의 투과 손실 측정과 오차 해석. 한국소음진동공학회지 2(3) : 181－192.
2. 유동호, 김경욱, 김재열. 1995. 농용 트랙터의 안전캡 내부 소음 감소에 관한 연구(I). 한국농업기계학회지 20(2) : 117－126.
3. Cole, V., M. J. Crocker and P. K. Raju. 1983. Theoretical and experimental studies of the noise reduction of an idealized cabin enclosure. Nosie Control Engineering Journal 20 (3) : 122－132.
4. Hakimi, A. H. and R. P. Kachur. 1974. Noise reduction in tractor cabs by isolation mounting. Nosie Contrl Engineering 3(2) : 60－65.
5. Seyber, A. F. 1988. Two sensor methods for the measurement of sound intensity and acoustic properties in duct. Journal of the Acoustical Society of America 83 : 2233－2239.