

와인냉장고 소음 진동 저감을 위한 설계기술 Designing to reduce noise and vibration for wine refrigerator

김태훈† · 서민영* · 강영주* · 김정운* · 김석로**

Kim Tae-hoon, Seo Min-young, Kang Myoung-ju, Kim Jeong-woon and Kim Seok-ro

Key Words : wine refrigerator(와인 냉장고), silencer(사이렌서), TL(투과 손실), Base plate(베이스 플레이트), 4 pole parameter (4 단자 정수), spring grommet(스프링 그로멧)

ABSTRACT

This paper presents designing method to reduce the noise and vibration in the wine refrigerator. To improve the noise and gas pulsation of the compressor the silencer is designed. Base plate of the refrigerator is modified to reduce the vibration by the modal testing. By applying the spring grommet, we can reduce the transmission of the refrigerator of the compressor. We measure PWL and the vibration of LG wine refrigerator and a different wine cellar. As the result of the evaluation, we can rightly take pride in the worldwide recognition of LG wine refrigerator

1. 서론

최근에 생활의 질적 수준 향상과 웰빙 생활의 영향으로 와인이 대중화 되었다. 와인의 대중화로 와인 보관을 위한 와인 냉장고 역시 보급이 확대되고 있는 상황이다. 냉장고는 24 시간 주거 생활과 밀접하기 때문에 생활 수준을 결정 짓는데 큰 영향을 미친다. 그리고 와인 냉장고에서 진동은 와인의 맛을 변화 시키는 주요 인자 중에 하나이므로 진동 역시 저감 설계가 중요 하겠다.

본 논문에서는 와인 냉장고 소음 진동 저감을 위한 설계에 중점을 두고자 한다. 소음 저감을 위해서 흡입, 토출 배관 사이렌서(silencer)를 최적 설계 하였다. 진동 저감을 위해서는 컴프레서 베이스 플레이트(base plate)설계 하였고 컴프레서(compressor) 진동 전달을 최소화 하기 위해서 스프링 그로멧(spring grommet)을 적용 하였다.

본 논문에서 제안한 설계 기술을 적용한 LG 와인 냉장고와 타사 제품과의 소음 진동 평가를 하였다. 그 결과 LG 와인 냉장고가 세계 최저 소음 진동 수준이며 그 기술력의 우수성을 검증 하였다.

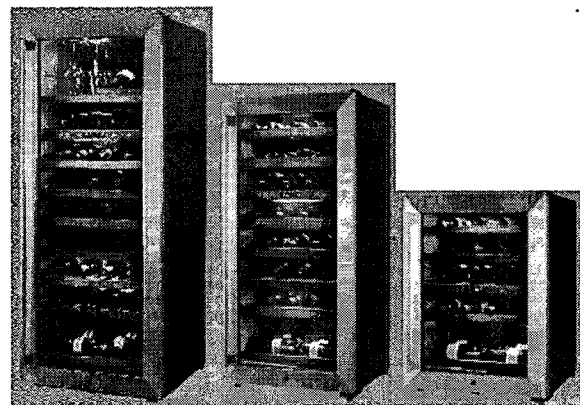


Fig. 1 wine cellar

2. 냉장고 소음 진동 저감

2.1 소음 저감 기술

냉장고 소음 저감을 위해 컴프레서의 흡입 토출 사이렌서를 설계 하였다.

(1) Silencer 설계

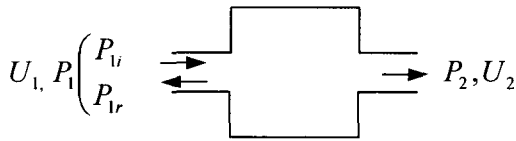
흡입, 토출 소음 저감 및 맥동압력 저감을 위해 silencer 를 설계하였다. Fig. 2 는 sysnoise 해석을 위한 사이렌서 모델링 이다.

† 김태훈; LG 전자 냉장고 사업부
E-mail : kim_th@lge.com
Tel : (055) 260-3367, Fax : (055) 268-4613

* LG 전자 냉장고 사업부

** LG 전자 냉장고 사업부

사이런서의 TL(Transmission Loss) 을 구하기 위해 4 단자 정수(4 pole parameter)를 이용하였다. Synosie 를 이용하여 사이런스 입구 출구 압력,속도 값을 구하였다. 물성치는 냉매 R-134a 의 값으로 해석하였다. 해석 결과값을 식(2)를 이용하여 TL 를 계산하였다..



$$\begin{bmatrix} P_1 \\ U_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_2 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

경계조건은,

$U_2 = 0$ (출구 close) , $P_2 = 0$ (출구 open)일때 A,B,C,D 값을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} A &= \frac{P_1}{P_2} & B &= \frac{P_1}{U_2} \\ C &= \frac{U_1}{P_2} & D &= \frac{U_1}{U_2} \end{aligned} \quad \begin{matrix} u_2 = 0 \\ p_2 = 0 \end{matrix}$$

입구 압력은 $P_1 = P_{li} + P_{lr}$

입구속도는 $U_1 = S \frac{P_{li} - P_{lr}}{\rho c}$,

출구 속도는 $U_2 = S \frac{P_2}{\rho c}$

$$\begin{aligned} TL &= 10 \log \left| \frac{P_{li}}{P_2} \right|^2 \\ &= 10 \log \left| \frac{1}{2} \left(A + \frac{B}{\rho c / S} + \frac{\rho c}{S} C + D \right) \right|^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Fig. 3 은 사이런스 길이 20mm,30mm,45mm 일때 TL 결과 값이다. 저주파 고주파 특성을 둘 다 가지며 냉장고 내부 공간에 적합한 길이 30mm 선택하여 적용하였다. Fig.4 는 사이런스 적용 후 전방 SPL 스펙트럼이다. 저주파,고주파 부분에 TL 효과가 나타났다.

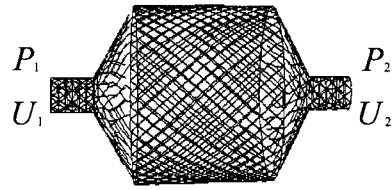


Fig. 2 Modeling of silencer

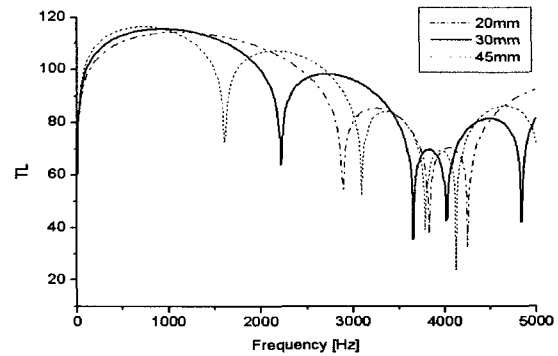


Fig. 3 TL results of silencer

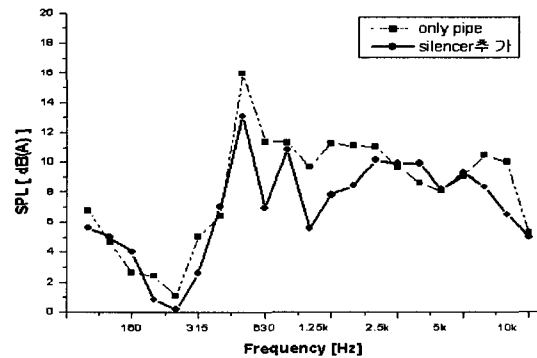


Fig. 4 Noise spectrum

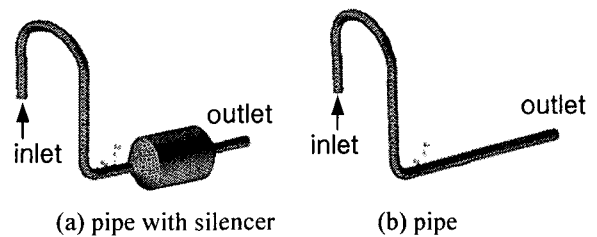


Fig. 5 Modeling of pipe

(2) Silencer의 압력 영향

사이런서의 효과가 TL 뿐만 아니라 냉매의 압력변동에도 영향을 미칠 것으로 판단 되었다. 그래서 사이런서 유무에 따른 파이프 끝단에서의 압력 값을 알기 위해 Fluent로 유동해석을 하였다. Fig.5와 같이 모델링 하였고 unsteady 해석, viscous model은 k-epsilon, 경계조건은 입구는 velocity 10m/s², 출구는 outflow로 해석하였다.

해석결과 Fig. 6에서와 같이 사이런서 추가한 파이프 출구 압력이 더 낮게 나왔다. 그래서 사이런서 효과는 TL 효과 뿐만 아니라 압력 강화로 맥동개선 및 초기 기동시 컴프레서 부하를 작게 하여 소음 개선 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

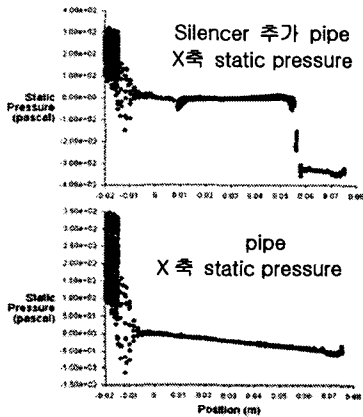


Fig. 6 static pressure of the X-axis

2.2 진동 저감 기술

(1) 컴프레서 베이스 플레이트 설계

컴프레서 진동이 컴프레서 베이스와 공진하게 되면 냉장고 전체의 떨림으로 발생된다. 그 진동은 와인 냉장고 선반으로 전달하여 와인 병의 떨림으로 와인에 맛을 변하게 할 수 있다.

Fig.7은 컴프레서 베이스의 주파수 응답선도 결과이다. 103Hz, 234Hz, 364Hz, 474Hz에 공진이 나타났다. Fig.8은 컴프레서 베이스 플레이트의 공진주파수의 모드 형상이다. 2차(237Hz) 공진주파수가 컴프레서 구동 주파수 하모닉(Harmonic) 성분과 일치하여 진동이 증폭되는 문제가 발생할 것으로 판단되었다. 그래서 2차 모드를 변화하기 위해 컴프레서 베이스 플레이트에 리브(rib) 및 무게(mass)를 추가 하였다. Fig.9는 개선된 컴프레서 베이스 플레이트의 주파수 응답선도 결과이다. 공진이 컴프레서 구동주파수의 하모닉 성분과 일치하지 않는 것을 확인하였다.

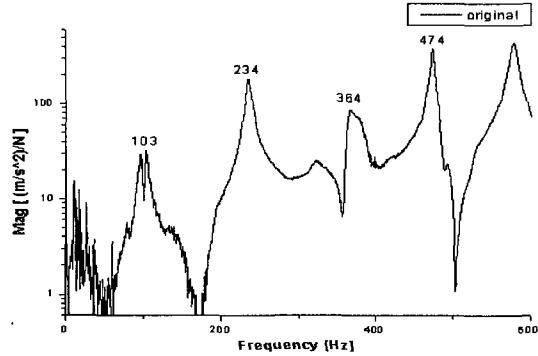


Fig. 7 FRF spectrum of compressor base plate

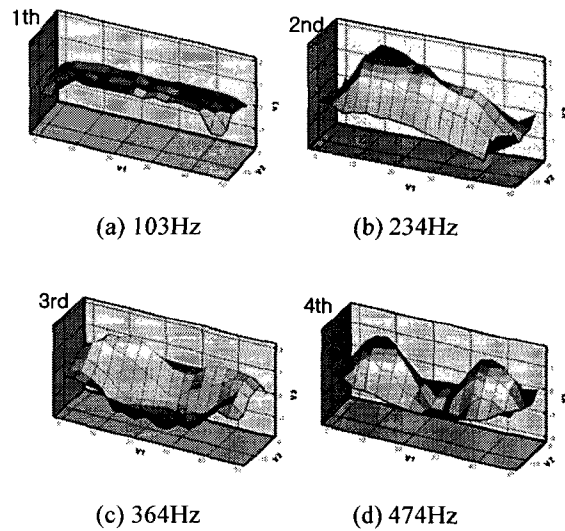


Fig. 8 Mode of compressor base plate by Modal testing

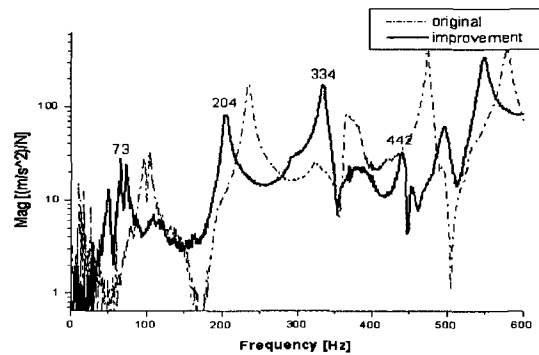


Fig. 9 Spectrum of the modified compressor base plate

(2) 스프링 그로멧 적용

컴프레서 진동을 컴프레서 베이스 플레이트로의 진동전달을 최소화 하기 위해 저진동 스프링 그로멧을 적용 하였다. 스프링 그로멧은 컴프레서 진동 전달 저감을 통해 냉장고 선반의 와인 병의 떨림을 최소화 할 수 있는 효과가 있다. Fig.10 은 스프링 그로멧 형상이다.

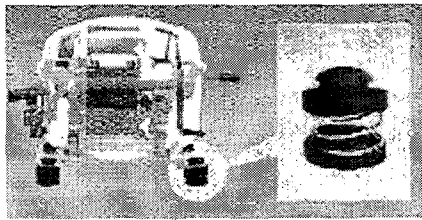


Fig. 10 spring grommet

3. 제품 평가

본 논문에서 제시한 설계 스펙을 LG 와인 냉장고에 적용 하여 경쟁사 제품과 소음 진동 평가를 하였다.

3.1 소음 평가

LG 와인 냉장고와 타사 제품인 Danby, Franklin 소음 평가를 위해 잔향실에서 PWL(Sound Power Level) 측정하였다. Table 1 은 PWL 결과 값이다. 측정 결과 LG 제품이 타사 제품보다 2dB 낮은 결과 값이 나왔다. Fig.11 은 PWL 를 비교한 스펙트럼이다.

3.2 진동 평가

컴프레서 진동 전달에 의해서 와인 병의 떨림 수준을 평가 하기 위해 Fig.12 와 같이 측정하였다. Fig.12 에서 (a)와 같이 센서는 와인 병의 3 곳에 부착하였고 (b)에서와 같이 와인 냉장고의 선반 위에 와인 병을 놓은 상태에서 측정하였다. 측정 장소의 압진동은 Table 2 와 같은 수준이다. 측정결과 LG 와인 냉장고는 압진동과 비슷한 최저 수준으로 나타났다.

	PWL[dB(A)]		
	LG	Danby	Franklin
PWL	35.1	38.9	37.1

Table 1 Sound Power Level

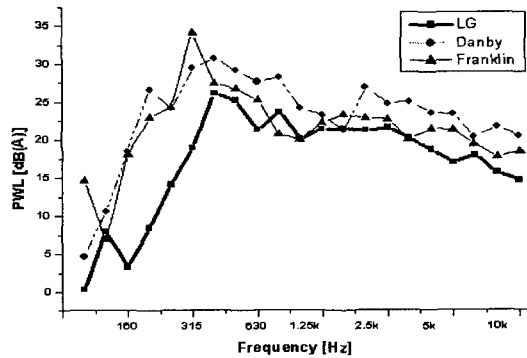


Fig. 11 Noise Spectrum of sound power level

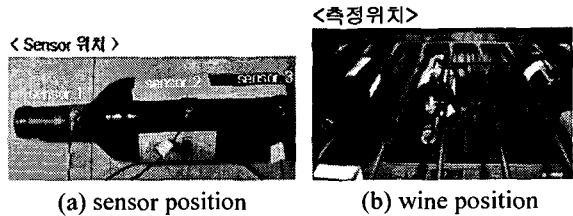


Fig. 12 Experiment position of accelerometer

	sensor 1	sensor 2	sensor 3
Background vibration	0.79	0.8	0.82

Table 2 Background noise

	Scale: gal(cm/s ²)		
	sensor 1	sensor 2	sensor 3
LG	0.91	0.84	0.97
Danby	2.45	1.76	3.87
Franklin left	1.92	1.21	2.11
Franklin right	3.09	1.15	2.24

Table 3 Vibration Level of wine cellar

4. 결 론

본 논문에서는 와인 냉장고 소음 진동 저감 기술을 제시 하였다. 4 단자 정수를 이용하여 TL 을 계산하였다. 계산 결과값을 바탕으로 사이런서 설계를 하여 소음 저감과 맥동압이 저감 되는 것을 제시하였다. 그리고 컴프레서 베이스 플레이트 진동을 가시화하여 문제되는 위치를 정확히 알 수 있었다. 개선을 위해 리브를 추가하였고, 스프링 그로멧을 설계 적용하여 컴프레서 진동전달을 최소화 하였다.

본 논문에서 제시한 기술을 적용한 LG 와인 냉장고와 타사 제품과의 평가를 통해 소음 진동 저감 효과를 검증 하였다.

참고문헌

- (1) M. L. MUNJAL, Acoustics of Ducts and Mufflers
- (2) Kenneth, G. M., 1995, Vibration Testing, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- (3) 김봉준,정의봉,이정환 “임의의 모드를 가지는 모드 적합법을 사용한 원형 단순 확장관의 음향 해석” 한국음향학회지, 제 19 권,제 1 호 pp.54~60(2000.1)
- (4) 정일록 “소음 진동학”, pp 163~199
- (5) D,J EWINS, Modal Testing ; theory, practice and application