

BLDC 모터를 적용한 팬의 공진소음 제어

Resonance Noise Control in the Case of Using BLDC Fan Motor

양재영* 김중래** 신대식** 이대중** 이동현**
Jae-Young Yang, Jung-Rae Kim, Dae-Shik Shin, Dae-Jung Lee, Dong-Hyun Lee

Key Words : BLDC Fan motor, refrigerator.

ABSTRACT

It is recent trend that the manufactures of refrigerator use BLDC motor which RPM is changed by voltage of DC power, instead of induction motor in order to reduce energy consumption and noise radiation. It can be controlled two or more RPM suitable to environmental condition. For example it is operate much lower RPM than normal(usual) in the night. This paper introduce the method of noise control in the case of using BLDC Fan motor for refrigerator.

1. 서론

최근 냉장고의 소비전력 개선과 실사용 조건에서의 소음발생을 최소화하기 위해서 대구경 냉각팬을 채용한 BLDC(Brushless DC) 모터 사용이 증가하고 있다. 이를 통해 다양한 부하조건에 대응한 최적유량과 운전 RPM의 설정이 가능해지고 냉장고의 저소음화가 실현될 수 있다. 그러나 BLDC 모터의 경우 일반 AC 모터에 비해서 Torque Ripple에 의한 모터진동이 크게 나타나는 특성이 있으며, 대구경 팬의 적용은 낮은 RPM에서 충분한 유량을 확보할 수 있으나 팬의 고유진동수가 낮아지고 Balancing 관리에 어려움이 발생하여 모터 및 팬의 진동에 의한 소음이 발생할 수 있다.

본 연구는 BLDC 모터를 채용한 냉장고 냉각팬의 공진소음 발생현상과 이를 제어하기 위한 팬의 고유진동수 회피설계 및 적정 운전 RPM 설정방법에 대한 것이다.

2. 연구 배경

냉장고의 소음은 압축기, 냉기 순환용 팬 및 응축기 냉각 팬과, 그들에 의하여 유발되는 구조물의 진동에 의한 소음 및 유동소음 등으로 구별되

어진다. 그리고 최근에는 소비전력 및 소음수준을 줄이기 위해 팬모터의 회전수를 두 가지 이상의 회전수로 설정하여 작동시키기도 한다. 이러한 다양한 팬모터의 회전수를 자유롭게 선택하여 사용하기 위해선 공진주파수 대역을 제어하는 기술이 필요하다.

일반적으로 팬에 의한 소음은 저주파수 대역을 지배적으로 하는 광대역소음의 형태로 나타나게 되나, 공진에 의한 소음 발생은 단일주파수의 톤으로 발생한다. 공진 음의 발생 조건은 모터 회전수와 직접적인 관계를 가지고 있는데 이는 모터 회전수 변화에 민감하게 반응한다는 것이다. 냉장고용 BLDC 모터의 경우 저온(-10℃ 이하)에서 모터 회전수의 Drop 현상이 발생함으로, 냉장고 구입 후 사용 빈도가 적은 야간에 공진소음이 발생하여 체감 소음수준이 상당히 커질 수 있다.

본 연구의 목적은 BLDC 팬모터를 사용하는 경우, 공진주파수 대역을 회피하여 팬모터의 회전수를 결정하는 수동적인 방법에서 탈피하여 최적 회전수를 파악한 후 공진 주파수를 제어하는 능동적인 팬 모터의 최적 회전수 설계를 가능하게 하기 위함이다.

3. 실험장치 및 실험내용

3.1 팬 고유진동수 측정

본 실험에 사용된 BLDC 팬모터 고유진동수는 전자가진(電磁加振) 방법에 의해 측정하였다. 주파수 가변이 가능한 Signal Generator의 출력신호를 모터의 U, V 상에 인가하여 모터의 기전력을 유도

* 삼성전자 시스템가전(사) 냉장고 개발실
E-mail : aust@samsung.co.kr
Tel : (062) 950-6867, Fax : (062) 950-6846
** 삼성전자 시스템가전(사) 냉장고 개발실

하여 진동하게 함으로서 별도의 가진용 측정기를 사용하지 않아도 된다. 이 실험방법에 의한 측정은 고유진동수만 파악할 수 있으나, 소형 회전체에 대한 비접촉 측정방법으로 빠르고 쉽게 할 수 있는 장점이 있다. Fig.1 에는 실험장치 구성을 나타내었다.

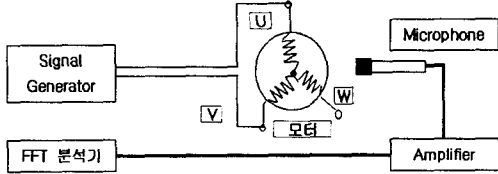


Fig. 1 팬모터 전자가진 실험구성

3.2 팬모터 공진특성 파악을 위한 소음측정

BLDC 모터는 저온에서 회전수의 Drop 이 발생함으로 실제 모터 작동온도에서 인가전압을 변화시켜서 회전수에 따른 모터 고조파 성분을 파악한다. 일반적으로 냉장고의 소음은 냉장고의 전면 1m 의 거리에서 측정된 음압 레벨에 의하여 대표된다. 그러나 공진음의 특성은 지향성이 강함으로 측정위치는 청취 후 결정함이 바람직하다.

사용자 조건의 주거환경조사 결과 공진음 발생시 냉장고의 정면을 중심으로 45도 방향으로 지향성이 강하며 주로 주방의 싱크대 위치와 거실 방향으로 음이 방사되는 특성이 있다. 본 실험에서는 냉장고 측면 거리 1m, 높이 1m 위치에서 음원 방향으로 Microphone 을 위치하여 측정하였으며, S-Point 로 표시하였다. 실험구성은 Fig.2 와 같다.

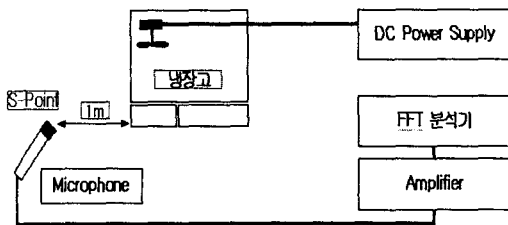


Fig. 2 냉장고 소음 측정장치 구성

4. 실험 결과

4.1 BLDC 모터의 상온/저온 RPM 변화

BLDC 모터는 사용온도에 따라 RPM 이 변화하는 특성을 보이므로 모터의 사용조건에 적합한 운전 RPM 의 선정과 진동특성 파악이 필요하다. 상온(20℃)과 저온(-20℃)에서 모터 RPM 을 측정한 결과 100RPM 이상 차이를 나타내며, 인가전압이 높을수록 그 차이는 커진다. Fig.3 은 주요 운전범위에서의 온도에 따른 RPM 변화를 보여 준다.

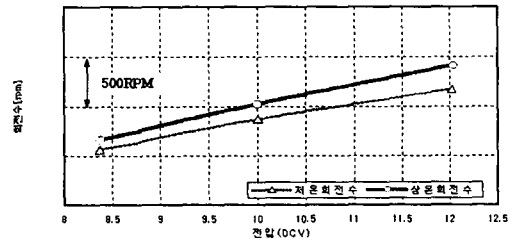


Fig. 3 상온/저온의 BLDC 모터 전압별 RPM 변화

4.2 BLDC 모터 전자가진에 의한 Fan 고유진동수 측정

본 실험에서는 팬의 고유진동수를 파악하기 위해 Fig.1 의 전자가진 실험장치를 이용하였다. 측정은 거리 10cm 에서 Microphone 을 이용하였으며, 모터의 U, V 상에 500mV 전압을 인가하고 주파수 범위 50~1000Hz 범위로 Sweep 하여 팬의 고유진동수를 파악한 결과는 Fig.4 와 같다. 모터와 팬이 결합된 사용조건에서 팬의 고유진동수는 131Hz, 171Hz, 204Hz, 475Hz, 853Hz 에 존재함을 알 수 있다.

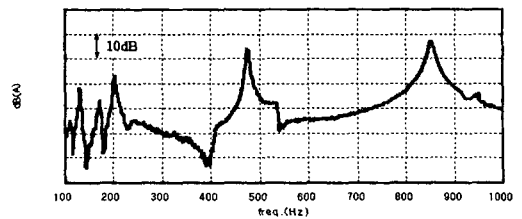


Fig. 4 팬 모터 전자가진 실험결과

4.3 모터 전압 Sweep 에 의한 가진 주파수 측정결과

모터의 주요 가진 주파수를 파악하기 위해서 Fig.2의 냉장고 소음 측정장치를 구성하여 소음을 분석한 결과를 Fig.5에서 보여준다. 모터 회전 주파수의 15차 / 18차 / 20차의 고조파 성분 소음이 크게 발생하며 이 고조파 성분과 490Hz 대역이 일치할 때 공진이 발생함을 알 수 있다.

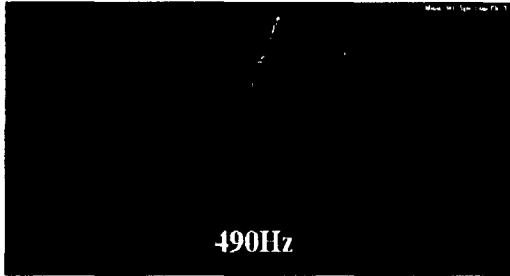


Fig. 5 모터 전압 Sweep 시 3D-Waterfall 측정결과

4.4 CAE Simulation 을 통한 팬 모드 해석결과

Ideas 를 이용하여 CAE 해석을 수행 하였으며, 그 결과는 Fig.6에 나타내었다. 이 그림을 보면 전자 가진의 결과인 475Hz에서 8차 Mode가 존재하며, 이는 모터 진동이 축을 통해 팬의 허브(Hub)와 날개에서 발생함을 알 수 있다.

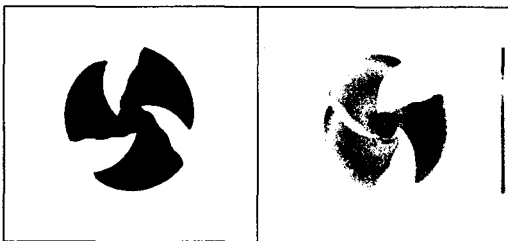


Fig. 6 CAE 해석에 의한 팬의 형상과 8차 Mode

팬의 진동 특성에 변화를 주기 위하여 모터의 축과 팬 허브 접촉부의 구속조건을 변경하여 해석을 실시한 결과 삽입길이와 8차 Mode의 상관관계를 찾을 수 있었다.

모터 축과 팬 삽입부 구속조건 변경도는 Fig.7과 같다. Length: X_1/X_2 , Diameter: $\Phi Y_1/\Phi Y_2$ 는 제어 인자로 ΦY_2 의 Hole을 키우고, X_2 의 Depth

에 의해 고유진동수를 이동시킬 수 있다. 그 결과는 Fig.8에 나타내었다.

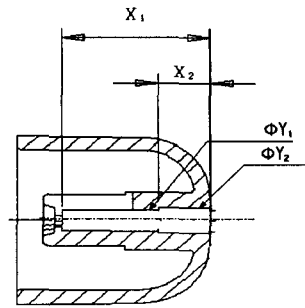


Fig. 7 모터 축과 팬 삽입부 구속조건 변경도

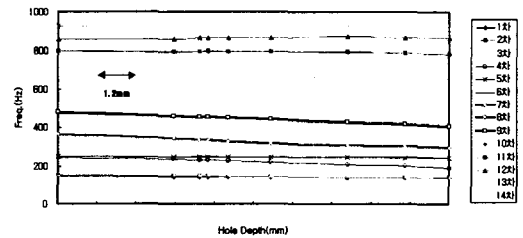


Fig. 8 CAE 해석결과

4.5 CAE Simulation 팬 모드해석 결과와 실험을 통한 비교

CAE 해석한 결과와(8차 MODE) 실제 팬의 축 삽입부 깊이를 조절하여 전자가진을 실시한 결과를 Fig.9에 나타내었다. 이 결과를 보면 모터 축과 팬 허브 접촉부의 길이 변화로 인해 고유진동수가 이동된다는 사실을 알 수 있다. CAE 결과는 접촉부의 길이 축소에 대해 선형적인 고유진동수 감소 현상을 보이나 실험에 의한 팬의 고유진동수는 선형적인 부분과 비선형적인 부분으로 나누어 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 접촉부 길이 축소에 대한 팬의 관성 모멘트가 급속하게 변화하기 때문이다.

전자가진 결과의 고유진동수는 475Hz이며, 실제 냉장고 운전 시 소음측정 결과는 490Hz로 약 15Hz의 차이를 보이고 있다. 이는 저운에서 팬의 강성 변화와 회전시 날개부의 변형에 의해 고유진동수가 Shift 되기 때문이다.

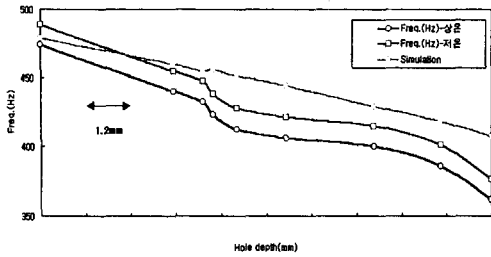


Fig. 9 해석과 실험을 통한 팬 고유진동수 변화

4.6 변경사양 적용시 측정결과

실제 팬과 모터 축의 접촉부를 Depth 7mm 사양으로 설계 변경하여 전자가진을 한 결과 475Hz에서 400Hz로 고유진동수가 이동하였다. 사양 변경 전후 결과는 Fig.10 과 같다.

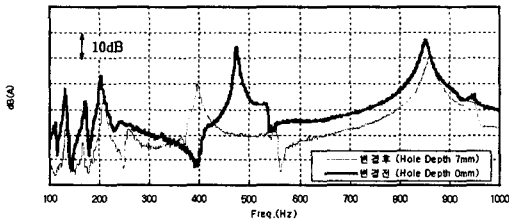
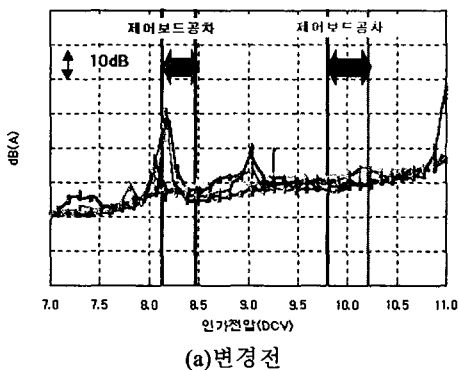
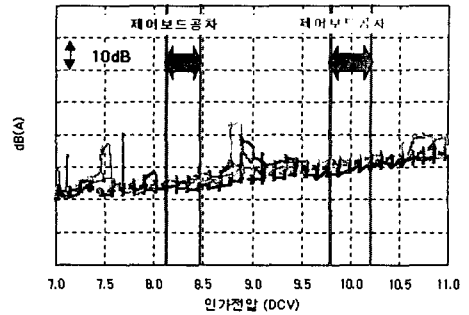


Fig. 10 사양변경 전후 전자가진 결과

위 실험을 바탕으로 냉장고에 적용하여 고내온도를 모터 사용온도까지 낮춘 후 적용 전압을 Sweep 하여 공진대역 분포를 측정하였으며, 제어보드의 산포를 감안한 공차범위 내에서 공진대역을 회피하는 결과를 볼 수 있었다. 그 결과는 Fig.11 과 같다.



(a)변경전



(b)변경후

Fig. 11 사양변경 전후 팬모터 Sweep 결과

팬 사양변경 전후 냉장고 적용 소음 측정결과, 변경사양 적용시 공진대역을 회피하여 동작하므로 공진소음이 발생하지 않았다. 변경전후의 결과는 Fig.12와 같으며, 공진음 발생시 주파수 분석결과는 Fig.13 과 같다.

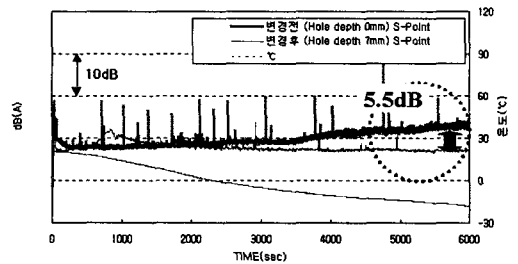
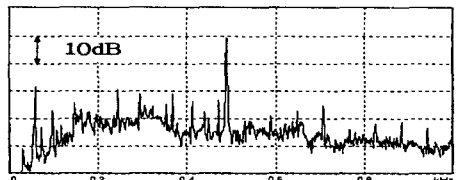
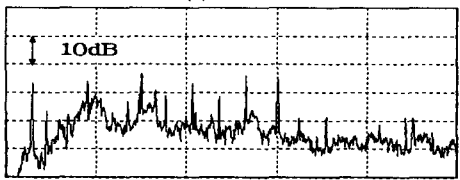


Fig. 12 사양변경전후 냉장고 운전중 소음측정결과



(a)변경전



(b)변경후

Fig. 13 사양변경 전후 냉장고 소음 주파수분석

5. 결론

상기와 같은 실험과정을 거쳐 검증한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 팬의 Hub 삽입부 형상변경에 의해 고유진동수가 490Hz에서 415Hz로 이동되었으며, 냉장고 운전 소음측정결과 5.5dB(A) 저감 효과가 있었다.

2. 전자가진에 의한 시험방법은 소형 회전체의 고유진동수 측정에 적절하다.

3. 팬모터 운전 RPM을 선정 시 고려해야 할 중요 인자는 팬의 효율 및 성능 특성, 모터 RPM 공차, 제어보드 입력전압 공차, 온도 변화에 의한 팬 고유진동수와 모터 RPM 특성 파악이다.

제품을 생산하는 입장에서 개발 초기단계에 주위온도 변화에 대한 모터 특성 및 팬의 강성변화를 고려하여 적절한 설계 허용공차를 반영하면 팬의 성능을 유지하면서 공진대역을 회피하고 사용 RPM 대역의 적정 공차를 설정 할 수 있다.

참고 문헌

- (1) KSC9305 9.2.14, 1999
- (2) 문재원 외 2명, SRM의 여자방식에 따른 소음 특성 해석. 전기학회 논문지 498 권 9 호 pp. 565-571, 2000