

에어컨 팬 모터용 SRM의 소음 저감

(Acoustic Noise Reduction of A SRM for Fan in Air conditioner)

°이동일*, 신현정**, 임준영**, 한승도*

Dong-il Lee, Hyoun-jeong Shin, Jun-young Lim, Seung-do Han

Keywords ; Switched Reluctance Motor(스위치드 릴럭턴스 모터), Torque ripple(토크 맥동)
Torsional vibration(비틀림 진동), Magnetic attraction force(자기 흡인력)

ABSTRACT

It is getting more important that energy efficiency and manufacturing cost of the electric motor in appliance. The SRM has been alternative choice. But acoustic noise and harshness in this motor was widely known. So this paper had been studied on the noise reduction of a SRM in air conditioner. This works include some parameters regarding to known noise sources like a reluctance torque ripple, air gap eccentricity. Especially, it was focused on dynamic characteristics of the system based on mechanical viewpoint. It came to successful results. Besides, this gave us a validity of phase excitation in experimental measurements.

1. 서론

모든 산업 분야에 있어서, 효율적인 에너지 사용의 중요성은 나날이 그 의미를 더해 가고 있으며, 특히, 가전기기산업은 정부의 에너지 규제해제를 거듭할수록 강화되고 있는 추세이며 따라서 가전기기 업체에서는 구동원인 모터 및 시스템의 고 효율화를 위한 연구가 활발히 추진되고 있다.

본 연구에서는 에너지 소비효율 및 가격 측면에서 장점을 가지고 있어 최근 가전 메이커에서 많은 연구를 하고 있는 가정용 전기 기기용 (특히 팬 모터용) 스위치드 릴럭턴스 모터(Switched Reluctance Motor)의 개발에 있어서 가장 중요하게 고려되어져야 하는 소음/진동 저감에 관한 것이며 주로 소음/진동에 영향을 주는 인자분석을 통한 설계방안을 제시하고자 하였다.

* LG전자 DA연구소, iameastone@lge.co.kr

** LG전자 DA연구소, 책임연구원

* LG전자 DA연구소, 선임연구원

2. 본론

2.1 SRM 구동 원리

전기적인 관점에서 SRM의 구동시스템을 이해하기는 쉽지 않으나 본 연구와 관련되어 간략히 구조 및 구동원리를 설명하면 다음과 같다.

SRM은 로터의 회전각에 따른 릴럭턴스(Reluctance)차를 이용하여 회전력을 얻는 릴럭턴스 모터이다. 따라서 로터의 구조는 릴럭턴스(Reluctance)차를 효과적으로 이용하기 위하여 Fig 1에서와 같이 돌극형 구조로 되어 있고 스테이터는 로터에 회전각에 따라 연속적으로 회전력을 발생시키기 위해 3상의 고정자 코일이 권선되어 있다. 또한 위치센서를 이용하여 로터의 위치를 감지한 후 전자스위치(Power TR)를 제어하여 각 상의 권선에 전류를 순차적으로 흘려주기 위한 구동회로로 구성되어 된다 .

Fig 2는 이상적인 경우의 각상에 대한 여자 전류 및 합성된 토크 프로파일을 나타내었다. 그림

에서 나타난 바와 같이 토크성분은 맥동이 없는 패턴을 보이나 현실적으로 이러한 이상적인 파형을 보이는 경우는 없다. 왜냐하면 각상에 흐르는 전류를 절환 할 때 코일의 인덕턴스 성분에 의하여 Fig 2와 같은 구형과 전류가 인가되지 않고 사다리꼴과 유사한 형태의 전류가 인가되므로 발생 토크는 맥동성분을 포함하게 된다.

2.2 SRM의 소음/진동 특성

SRM은 앞서 언급한 바와 같이, 효율 및 제조원가 등의 측면에서 기존의 유도전동기에 비하여 효율은 높고 영구 자석형 전동기(BLDC Motor)에 비하여 가격 경쟁력이 있어 저가격으로 고효율화가 가능한 모터이므로 가전기기에 적용시 유리한 점이 많다.

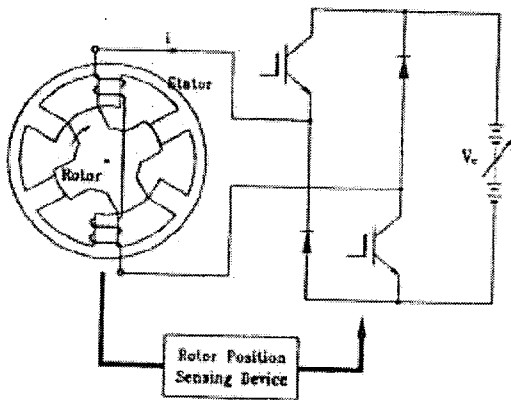


Fig. 1 SRM 구동 시스템

그러나 앞 절에서 언급한 바와 같이 톨러턴스 토크 맥동(Torque ripple)이 발생하고 또한 공간적으로 볼 때 각 상을 절환 할때 발생하는 반경 방향의 전자기적인 가진력의 급격한 변화 때문으로 로터 또는 스테이터의 변형이 발생하여 소음/진동을 유발하기 쉬우므로 정음화가 강조되는 가전기기인 에어컨, 냉장고등에 적용시 전자기 가진력 저감 및 모터의 동특성에 검토가 필요하기 때문에 업계는 물론 학계에서 많은 연구를 하고 있다.

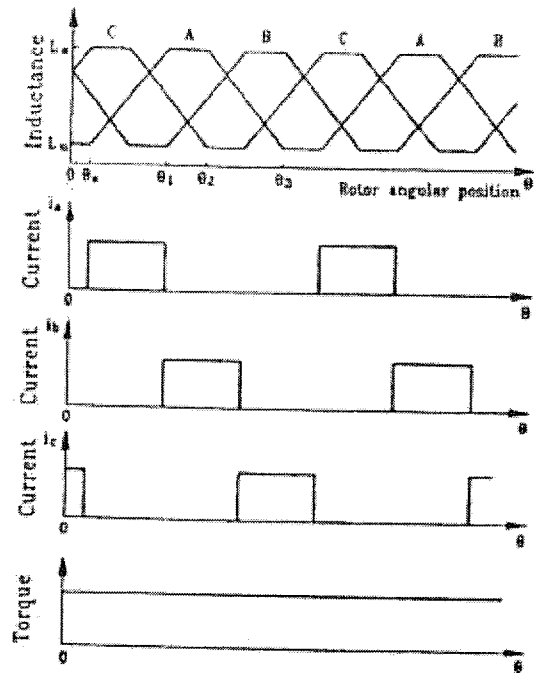


Fig. 2 상전류와 토크 발생원리

2.3 대상 시스템의 진동/소음 특성

본 논문에서 다루고자 하는 SRM은 3상 12/8 구조의 에어컨 팬 구동용이며 에어컨의 소비전력 저감 및 팬의 가변속 제어를 목적으로 하는 저출력 범위를 가진 모터이다.

SRM의 소음은 모든 전동기에서 발생 할 수 있는 기계음 등의 소음원 이외에 SRM의 동작원리 상 발생 할 수 있는 토크(torque ripple)맥동(Fig 3) 및 이것에 의한 소음(Fig 4)이 중요한 인자가 되며, 전자계 유한 요소법에 의하여 가진 주파수 및 크기를 예측할 수 있다.

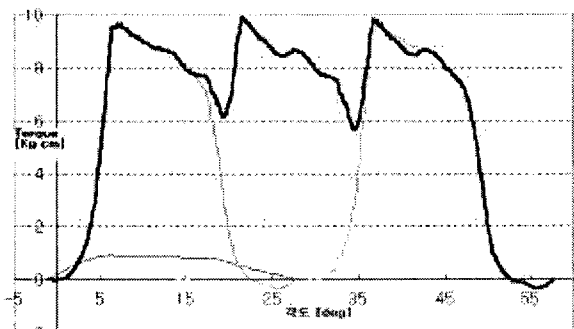


Fig.3 3상 SRM의 torque ripple

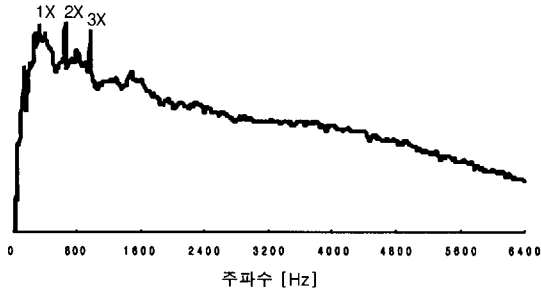


Fig. 4 팬 부하시 소음 주파수 특성

3. 소음 인자의 분석

3.1 공극(Air gap)불균일

전동기에 있어서 공극(air gap)은 회전자와 고정자 사이의 공기 층을 말하며, 이는 회전자에 토크가 발생하는 부분으로서 전기적 특성은 물론 기계적 특성측면에서 가장 중요한 부분이라고 할 수 있다. 그러나 기하학적 형상 및 조립상의 공차 등으로 인하여 공극의 크기는 일정하지 않게 된다. 특히 SRM은 이 공극의 크기를 어떻게 설계하는가에 따라 효율은 물론, 소음특성에 미치는 영향도가 매우 크게 된다. 아래의 Fig 5는 실험계획법에 의한 각 인자별 소음의 영향도를 분석한 것인데 그림에서와 같이 로터와 스테이터의 흔들림량(Run-out) 즉 공극의 편심량의 크기가 소음에 영향을 주는 주요한 인자로 평가되었다

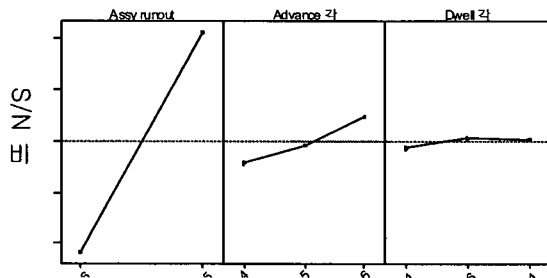
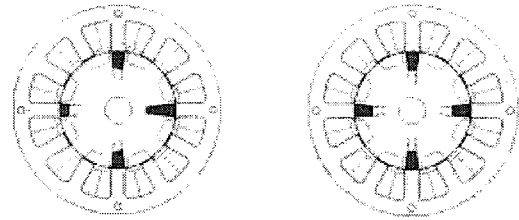


Fig. 5 실험계획법에 의한 main effect 분석



편심이 0.15mm인 경우 편심이 없는 경우
Fig. 6 공극편심에 의한 반경방향 Force 분포

Fig6은 전자계 유한 요소법을 이용하여 공극 불균일에 따른 전자기력 분포를 해석한 것이다. 편심의 크기를 증가시켜 가면서 불평형 자기력의 변화를 해석한 결과, 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 그러나 시험결과 소음은 Fig 7과 같이 어떤 일정 편심량에 대하여 소음이 급격히 변하는 현상을 보인다. 이는 편심량의 증가에 따른 가진력의 선형적 변화로는 설명하기 어려우며 다음 절에서 언급하는 시스템 동특성 또는 기계-진기계가 연성되어 나타난 것으로 판단된다.

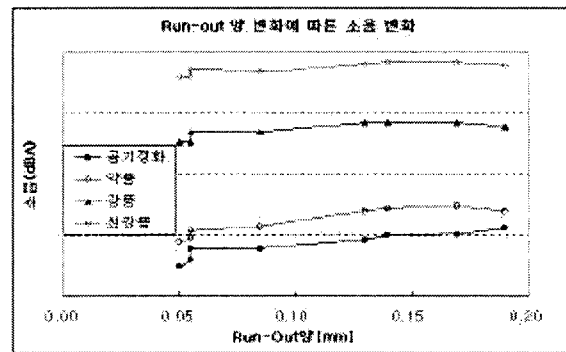


Fig. 7 공극 불균일량에 따른 소음 변화

3.2 축계 시스템 동 특성 분석

SRM은 축계 시스템에 대한 동특성 해석은 매우 중요하다. 특히, 팬 모터의 경우, 비틀림/굽힘 고유진동에 관한 검토가 요구된다. 그 이유는 앞 절에서 설명한 바와 같이 기존의 유도전동기 및 영구자석 모터와 비교하여 에어갭의 불균일에 의

한 전자기 가진력과 토크리플이 상대적으로 크기 때문인 것으로 추정된다.

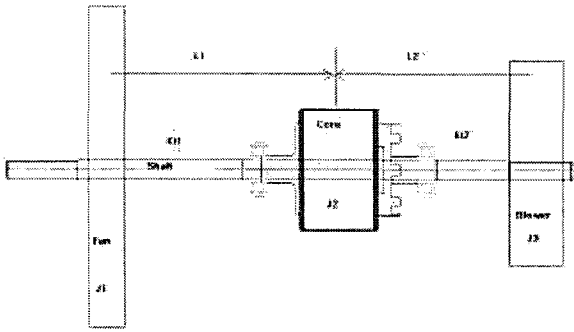


Fig.8 축계 비틀림 진동 모델

Fig.8은 회전자의 양쪽에 축류 팬/터보 블로워가 설치된 팬 모터용 SRM의 회전자 축계에 대한 개략적인 축계 2자유도 모델이며 이에 대한 계산은 아래 식에 의하여 간단히 계산할 수 있고 이를 이용하여 Fig. 9와 같은 축계 비틀림 동특성 변화에 따른 소음의 영향도를 계산할 수 있다.

$$\omega^2 \{ \omega^4 - [K_{11}(\frac{1}{J_1} + \frac{1}{J_2}) + K_{12}(\frac{1}{J_2} + \frac{1}{J_3})] \omega^2 + K_{11}K_{12} \frac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1J_2J_3} \} = 0$$

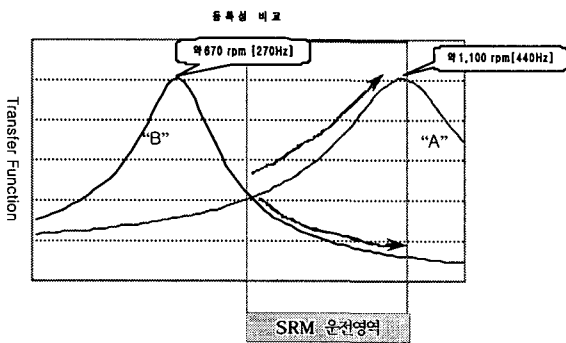


Fig. 9 축계 비틀림계의 동특성

한편, 이와 같은 시스템 모델에 대하여 로터가 회전하지 않도록 한 상에만 인가 주파수를 변화시키면서 전류를 인가함으로써 전자기 가진이 되도록 한 후 축계의 동특성 측정결과를 Fig.10~11에 나타내었다. 그림에서와 같이 계산결과와 실험치

가 거의 일치함을 알 수 있었으며 따라서 시스템의 동특성을 정확하게 파악할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 이와 같은 방법의 유용성을 입증하였다.

운전 회전수에 따라 종래 모델의 축계 동특성과 개선된 모델의 소음 스펙트럼을 살펴보면 Fig. 12~13에서 나타낸 바와 같이 소음저감 효과가 있음을 알 수 있다. 이는 앞서 서술한 바와 같이 토크맥동(Torque ripple)에 의한 동특성이 크게 개선되었음을 보여주는 것으로 판단된다.

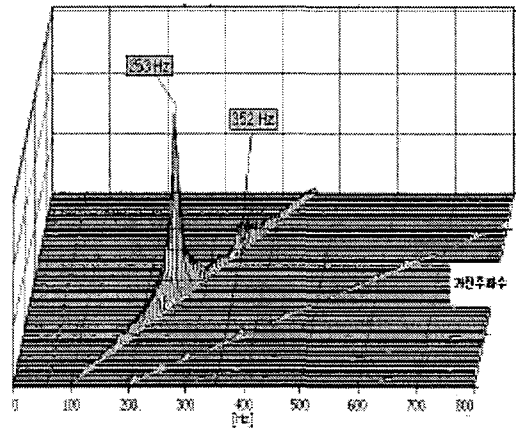


Fig. 10 축계 비틀림진동의 가속도 응답특성

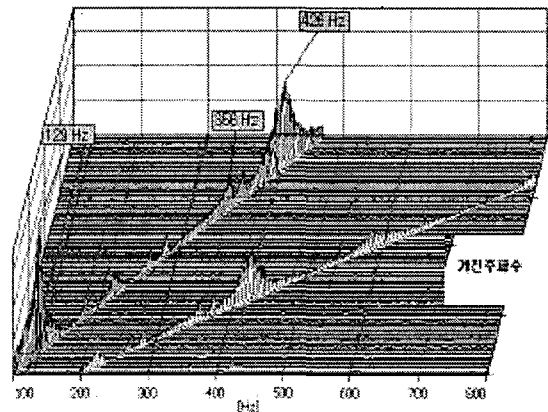


Fig. 11 축계 굽힘진동의 가속도 응답특성

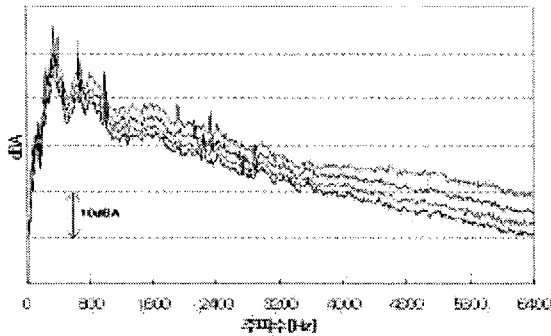


Fig. 12 개선 전 모델의 소음 주파수특성

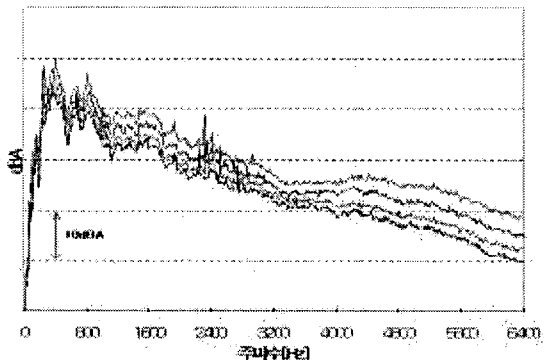


Fig. 13 개선 후 모델의 소음 주파수특성

3.3 모터 구조 진동

축계 동특성과 더불어 SRM의 토크맥동 등에 의한 전자기 가진 주파수는 운전 회전수 뿐만 아니라 모터의 구동방식 및 스테이터와 로터의 구조에 따라 정해지게 되는데 팬 모터의 경우 비교적 운전속도가 낮기 때문에 저주파수 대역(약 1.3 KHz이하)인 것이 일반적이다. 이에 반하여 모터 스테이터의 반경방향 변형모드는 수 KHz의 높은 고 주파수대역이 되므로 공진에 의한 소음은 거의 발생하지 않는다. 다만 전자기 가진력의 고조파 성분에 의한 고유진동이 발생하게 되고 이것이 감성소음의 관점에서 종종 문제가 되기도 한다. 이와 관련된 연구내용 즉 스테이터의 1~4차의 고유진동모드의 제어를 위하여 많은 문헌^[2]에 언급되어져 있다.

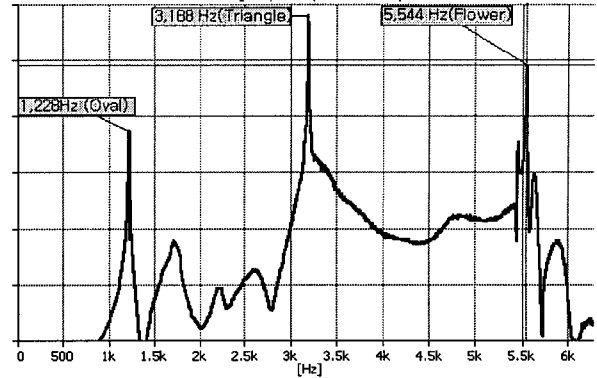


Fig. 14 Frequency response function

3.4 기타

이외에 언급하지 않은 영향인자로서 회로적인 요인을 들 수 있다. 산업계에서는 사양변경의 용이성 측면에서 구조변경보다는 훨씬 접근이 유리하므로 회로구성 및 전류제어, 통전방법 등의 변경에 의해 가진원을 저감하여 소음을 줄이는 경우가 빈번하나 전기적 특성저하 또는 가격 상승 등을 고려해서 적용해야 하는 과제가 있다.

4. 결론

소음저감에 있어서 모터 단독의 소음/진동을 측정하고 이를 분석한 후 시스템으로 확장하여 설계에 반영하는 것이 바람직하나 이는 사실상 많은 제약이 따른다. 대부분의 경우 모터 단독에서는 문제가 발생하지 않았으나 팬 등의 실 부하 조건에서 소음이 문제가 되는 경우가 많기 때문이다.

따라서 모터를 포함하는 시스템의 측면에서의 소음/진동 저감은 다분히 필연적이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 에어컨 팬 모터용 SRM의 소음을 저감하기 위하여 전자기적인 관점에서 공극 불균일량이 소음의 주원인임을 보였으며 시스템의 동특성 관점에서 접근하여 소음에 미치는 영향도를 분석하였다. 또한 그리고 전자기 가진방법에 의한 모터 축계의 동특성 분석의 타당성을 보였다

5. 참고 문헌

1. “스위치드 릴럭턴스 전동기 구동과 응용”, 안진우 외 1인, 신지서원, 1997
2. “ Electric Control of Switched Reluctance Machines “, T.T.E.Miller, Newnes, 2001
3. “ Switched reluctance motor drives “, R.Krishnan, CRC Press, 2001.
4. “ Mechanical Vibrations - theory and applications “, Francis S. TSE, Allyn and Bacon, 1978