

## 자성유체의 스피커 댐핑효과에 관하여

이효숙

한국자원연구소, 대전 305-350

유제광

삼성전기 주식회사 종합연구소, 수원 441-743

(1997년 12월 29일 받음, 1998년 3월 30일 최종수정본 받음)

자성유체의 자기력, 점성, 비열등을 이용한 댐핑효과로 스피커의 대출력화, 고음화를 도모할 수 있다. 공침법으로 합성한 magnetite에 올레인산을 피복하고 윤활유에 분산하여 스피커 댐핑용 자성유체를 제조하였다. 제조한 자성유체의 자기적 특성, 점도 및 열안정성을 측정하였고, 이를 고음스피커인 6 cm tweeter에 적용하여 댐핑효과와 방열효과를 평가하였다. 일본 NFC의 APG-815 자성유체의 특성과 비교하였을 때 고체비율 20%로 제조한 자성유체는 자기특성, 온도상승에 따른 점도변화, 댐핑효과 및 방열특성이 APG-815와 같거나 우수하였다.

### I. 서 론

자성유체는 자기장(magnetic field)에 의해 유지되는 성질을 갖는다. 동시에 자성유체 내에 있는 물체(비자성체)에 작용하는 자기력을 이용하여 물체의 운동을 제어하는 장치로서 응용이 가능하며 이러한 원리로 자성유체 댐퍼가 개발되었다. 자성유체 댐퍼는 작용하는 운동형태에 따라 선형 댐퍼, 회전 점성 댐퍼, 대시포트형 댐퍼로 나뉘어 진다. 자성유체 선형 댐퍼의 대표적인 응용예가 스피커이다. [1]

스피커에 사용되는 댐퍼는 직선운동하는 계의 불필요한 진동을 감소시키기 위한 댐퍼로서 Fig. 1에서 볼 수 있는바와 같이, 스피커 보이스 코일의 공진현상을 억제하는 점성댐퍼이다. [2] 영구자석과 자극에 의해 구성되는 자기회로중 에어갭에 채워진 자성유체는 보이스 코일의 공진에 의한 진동을 유체 점성을 이용하여 억제하는 역할을 한다. 일반적으로 스피커는 불량한 과도 응답(transient response)을 보인다. 즉, 전기적 신호가 코일에서 멈춘 후에도 코일은 자유롭게 진동하게 된다. 만일 다른 신호가 코일에 가해지면 스피커는 적절히 응답을 할 수 없게 된다. 이러한 과도응답은 자성유체를 에어갭에 주입하여 자성유체의 점성에 의한 댐핑효과로 적절한 주파수 응답특성을 얻어 개선 될 수 있다. 자성유체를 스피커에 이용하는 경우, 이와같은 댐핑효과 이외에도 보이스 코일이 중심위치에서 횡측으로 편향되는 것을 자성유체의 자기력을 이용하여 방지하는 효과(센터링 효과)도 있다.

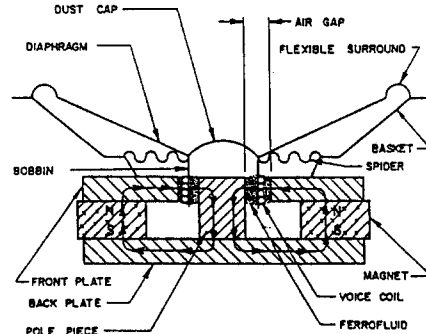


Fig. 1. Basic components of a loudspeaker. Magnetic fluid is contained in the annular region surrounding the voice coil.

최근 스테레오 재생장치의 대형화에 의해 스피커도 대출력을 요구하게 되었는데, 이것은 스피커 보이스 코일에 흐르는 전류가 크다는 것을 의미한다. 그러나 보이스 코일은 플레이트와 접촉하지 않기 때문에 열전도에 의한 방열이 매우 어렵다. 따라서 보이스 코일에서 발생하는 주울열이 잘 발산되지 않아 온도가 급격히 상승되어 보이스 코일이 타게 되는 경우가 발생되는데, 이는 스피커의 대출력화를 방해하는 주 요인이 된다. 그러나 보이스 코일과 플레이트 사이에 자성유체를 주입하면 보이스 코일에서 발생한 주울열이 자성유체를 통해서 신속하게 외부로 발산하게 된다. 자성유체는 공기에 비하여 비열이 약 8배

이상 크기 때문에 코일의 발열에 대해 냉각효과를 높이는 역할을 하므로 스피커의 소형고출력화 및 고성능화를 가능하게 한다. [3] 따라서 자성유체의 스피커에 응용은 자성유체가 가지고 있는 여러 가지 특성-센터링효과, 방열효과 및 점성댐핑효과등이 복합적으로 나타나게 된다.

그러므로 본 연구에서는 스피커 댐퍼 특성을 고려하여 자성유체를 제조하는 실험과 제조한 자성유체의 자기적 특성, 점도 및 열안정성등을 측정하였다. 한편 제조한 자성유체의 적용실험을 하기 위하여 스피커의 보이스코일과 플레이트사이의 에어갭에 본 연구에서 제조한 자성유체를 주입하여 댐핑효과와 방열효과등의 조사도 실시하였으며, 그 성능을 현재 일본의 NFC(Nippon Ferrofluidic Co. APG-815) 자성유체와 비교 분석하였다.

## II. 실험 방법

자성유체의 자기적 특성을 나타내는 자성입자는 magnetite ( $Fe_3O_4$ )로 공침법에 의해 10 nm 이하의 크기로 합성하였으며, 합성한 magnetite 초미립자를 이용한 스피커 댐퍼용 자성유체 제조공정의 전 흐름도는 Fig. 2와 같다. [4, 5]

자성유체의 댐핑특성을 좌우하는 것은 magnetite 함량 이외에도 분산매의 종류이다. 스피커의 댐핑효과를 좋게 하기 위해서 점도가 1000 cP (25 °C) 이상이어야 하며, 또한 스피커 코아부분에서는 발열이 되기 때문에 열에 대한 안정성이 중요하다. 따라서 용매는 윤활유 종류 중에서 Yubase oil을 사용하여 자성유체를 제조하였다. [6]

제조한 자성유체의 점도측정은 Brookfield사 제품인 모델 LVD II+의 small sample adapter를 사용하여 측정하였고, sample cell은 water jacket으로 되어 있어 온도별 점도변화도 측정하였다. 자기적 특성을 측정하기 위하여는 초전도 양자간섭형 자화측정장치(SQUID-based magnetic property measurement)를 사용하여 온도별 포화자화 및 자장의 세기를 변화하며 자기적 특성을 조사하였다. 자성유체의 열안정성을 조사하기 위해 열중량분석을 TG/DTA(TA 사 V1.1B)를 사용하여 실험을 행하였다. 스피커의 댐핑특성을 알기 위해 자성유체 7  $\mu$ l를 고음용 스피커 직경 6 cm tweeter의 플레이트와 보이스코일사이의 에어갭에 장입하였다. 자성유체를 주입한 스피커의 조립을 마쳐서 무향실(우주공간과 흡사하게 소리의 반사를 최소로 줄인 방음실)에 설치하고 주파수를 변화하면서 주파수 응답곡선을 구하였다. 자성유체의 방열특성을 평가하기 위해 자성유체를 장입한 tweeter의 전력을 변화시키면서 보이스코일의 온도도 측정하였다.

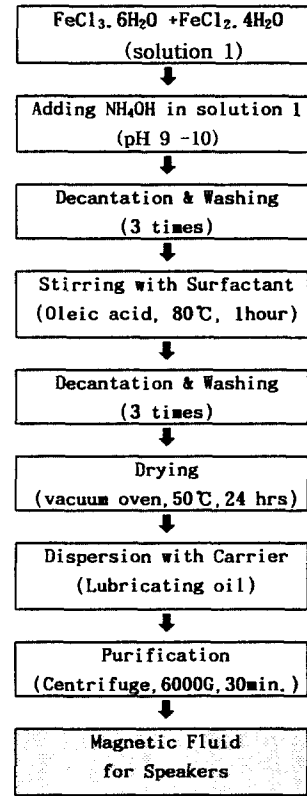


Fig. 2. Flowsheet of preparation of magnetic fluid.

## III. 결과 및 고찰

자성유체는 강자성의 미립자를 용매중에 분산한 콜로이드 용액으로 자기적특성은 자성미립자 자신의 자화특성과 자성체의 고체비율에 주로 의존한다. 즉, 자성미립자의 크기가 임계직경보다 작을 때는 초상자성 상태이므로 자성유체도 초상자성을 나타낸다.

본 실험에서 제조한 고체비율 10, 15, 20, 50 %의 자성유체와 APG-815 자성유체에 대해서 각각의 자기적특성을 측정하기 위하여 자기장을 4 T까지 가하면서 자기이력곡선을 구한 결과는 Fig. 3과 같다. Figure 3에서와 같이 시료 모두 유사한 자기적거동을 보인다. Magnetite의 직경이 임계크기이하로 고유보자력이 거의 없는 초상자성 거동을 하며, 3000 Oe 미만의 자기장에서 포화자화에 도달하였다. 포화자화는 고체비율이 10, 15, 20 및 50 % 일 때 각각 80, 105, 130 및 245 Gauss이었으며, APG-815는 105 Gauss이었다. 이와같이 포화자화는 고체비율

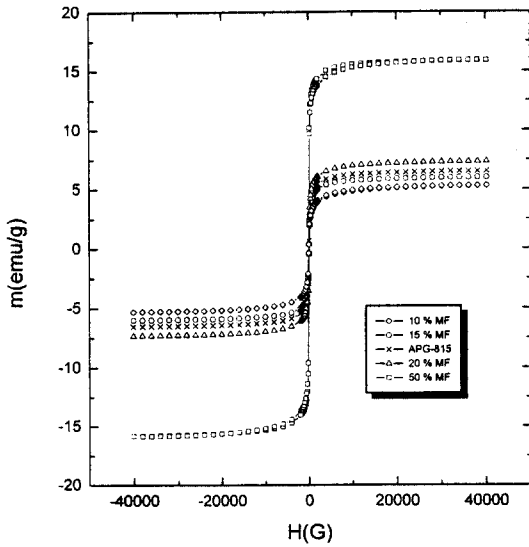


Fig. 3. M-H curve of magnetic fluid.

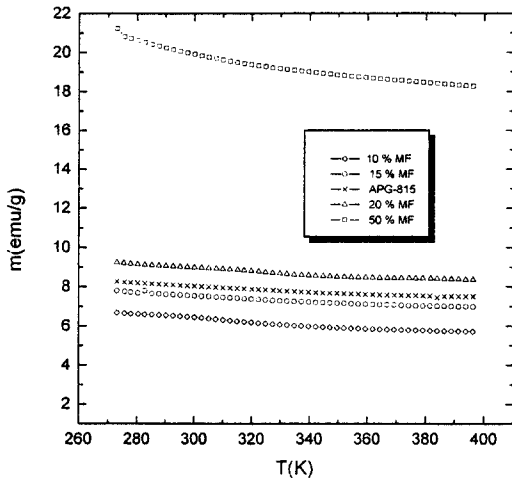


Fig. 4. Saturation magnetism of magnetic fluid according to the various temperatures.

에 따라 자기적 특성의 현저한 차이를 보였다. 또한 스피커의 전력에 따라 보이스 코일의 온도가 상승하고 이로 인하여 자성유체의 자기적특성의 변화를 알기 위하여, 이들 시료에 대해서 2 T의 자기장에서 온도를 273 °K에서 400 °K 까지 올리면서 포화자화를 측정한다, 결과는 Fig. 4와 같다. Figure 4에서 보는 바와같이 온도가 340 °K로 올라감에 따라 각각의 포화자화는 서서히 감소하였으며 그 이상의 온도에서는 포화자화의 감소가 둔화되는 경향

을 보였다. 고체비율 50 % 자성유체는 20 % 이하인 자성유체보다 온도가 높아짐에 따라 포화자화의 감소폭이 큰 것을 알 수 있었다.

자성유체의 점도는 온도에 따라 크게 변화하며 고체비율에도 의존한다. 고체비율 20 %인 자성유체와 APG-815에 대하여 온도를 변화하며 측정한 점도특성은 Fig. 5와 같다. Figure 5에서 보는바와 같이 상온(27 °C)에서 고체비율 20 %인 자성유체의 점도는 1100 cP이었고 50, 70 °C에서 각각 500 및 200 cP이었다. 한편 APG-815의 점도는 27, 50, 70 °C에서 각각 1050, 450 및 150 cP이었다. 온도상승에 따른 점도변화 즉 점도지수는 스피커의 점성댐핑과 밀접한 관계가 있다. Figure 5에서 보는바와 같이 27 °C에서 점도는 고체비율 20 %인 자성유체가 APG-815 자성유체보다 약간 높으나 온도변화에 따른 점도지수는 거의 유사한 경향을 나타내었다.

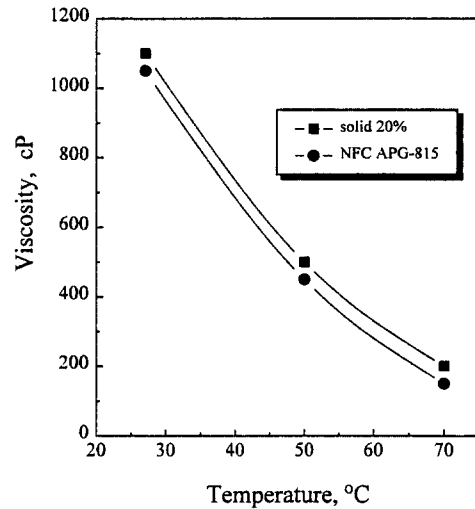


Fig. 5. Viscosity of magnetic fluid vs. temperature.

자성유체의 온도상승에 따라 스피커의 댐핑효과뿐만 아니라 열안정성에도 영향을 미칠것으로 예상된다. 자성유체의 열안정성을 조사하기 위하여 고체비율 20 % 자성유체에 대하여 TG-DTA (TA사 V1.1B)를 사용하여 열분석 실험을 실시하였다. 이때 실험은 대기상태, 10 °C / min, 속도로 600 °C 까지 가열하였으며 측정한 결과는 Fig. 6에 나타내었다. Figure에서 보는바와 같이 열중량 분석결과, 150 °C에서 서서히 감량이 시작하여 220 °C에서 345 °C까지 감량은 급속으로 진행하여 20 % 정도의 1차 감량이 있었다. 350 °C부터 다시 감량이 시작되어 500 °C까지 진행되었으며 2차 감량은 25 % 정도이었다. 열시

차 분석결과, 600 °C까지 온도를 올리는 동안 두 개의 발열 피크가 있었는데 발열은 1차와 2차 감량될 때 일어났으며, 1차 발열은 계면활성제의 연소에 기인하는 것으로, 두 번째 발열은 용매의 연소에 의한 것으로 생각된다. 한편 합성한 magnetite와 계면활성제만을 피복한 magnetite 시료를 각각 800 °C까지 승온하며 열중량 분석한 결과, 전자는 150 °C에서 아주 서서히 감량이 시작되어 800 °C까지 가열하였을 때 총감량은 7%이었다. 또한 후자의 경우 220 °C에서 감량이 급격히 일어나서 340 °C에서 18%의 감량이 있었고, 그 이상 온도에서는 감량이 1~2% 정도로 미비하였다. 이러한 사실은 1차 발열은 계면활성제의 연소에 의한 것으로 자성유체의 열안정성과 관련이 있음을 알 수 있었다.

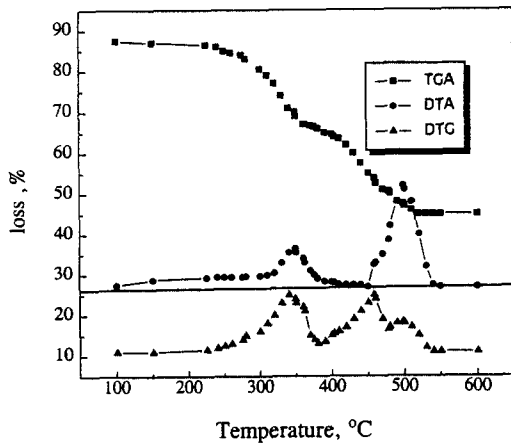


Fig. 6. Thermal analysis of 20% magnetic fluid.

전기적 신호가 라우드스피커의 보이스 코일에 주어진 후 멈추어도 코일은 계속해서 진동한다. 코일이 진동하는 동안 다른 신호가 코일에 보내지면 스피커는 주파수변화에 따른 응답이 적절하지 못하여, 주파수 응답곡선을 보면 1 kHz-2 kHz 범위에서 과도한 응답을 나타낸다. 이러한 과도 응답현상은 적절한 점성과 자기적 특성을 가진 자성유체를 사용하므로 댐핑효과를 보인다. Figure 7은 자성유체를 주입하지 않은 6 cm tweeter와 고체비율 15 및 20% 자성유체를 각각 주입한후 주파수를 200 Hz에서 20 K Hz까지 증가시키면서 측정된 주파수 응답곡선이다. Figure 에서 보는바와 같이 자성유체를 주입하지 않았을 때는 1 kHz-2 kHz 사이에서 과도응답을 보이나 (이를 Q=1 이라함), 고체비율 15%인 자성유체를 사용하므로 과도응답을 완화시킬수 있었으며 고체비율 20% 자성유체를 주입함으로써 현저한 댐핑효과를 나타내었다.

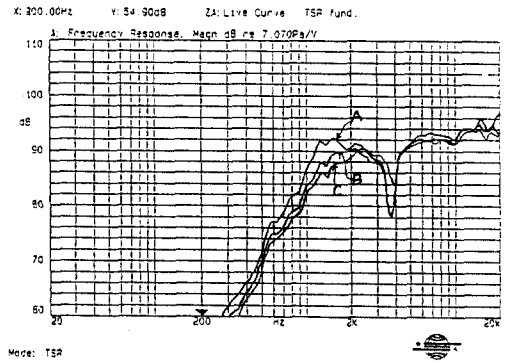


Fig. 7. Nominal power test of 6 cm tweeter.  
A : without magnetic fluid  
B : with 15% solid magnetic fluid  
C : with 20% solid magnetic fluid

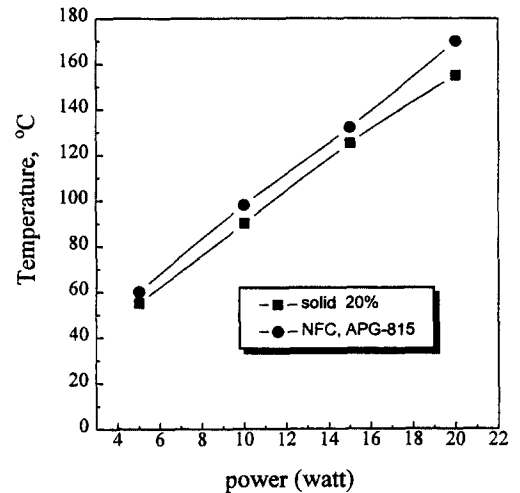


Fig. 8. Temperature of voice coil according to power.

Figure 8은 6 cm tweeter에 고체비율 20%인 자성유체와 APG-815 자성유체를 각각 주입하여 전력증가에 따른 보이스코일의 온도를 측정된 결과이다. Figure 에서 보는바와 같이 고체비율 20%인 자성유체의 온도가 APG-815 자성유체보다 전력증가에 따른 온도 상승정도가 작음을 알 수 있었다. 이러한 이유는 자성유체의 비열이 클수록 전력증가에 따라 발생하는 주울열의 방출효과가 크다는 것을 의미한다. 따라서 동일한 전력에서 보이스코일의 온도가 낮다는 것은 고체비율 20% 자성유체가 APG-815 자성유체보다 비열이 큼을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제조한 고체비율이 20%인 자성유체는

APG-815 자성유체보다 방열특성이 우수한 것으로 평가되었다.

#### IV. 결 론

공침법으로 합성한 magnetite에 올레인산을 피복하여 Yubase oil에 분산하여 제조한 자성유체의 자기적 특성, 점도 및 열안정성을 측정하였고, 이 자성유체를 고음스피커인 직경 6 cm tweeter에 적용하여 댐핑효과와 방열효과를 평가하였다. 아울러 NFC의 APG-815 자성유체의 특성과 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 합성한 magnetite의 비율을 10, 15, 20 및 50 %로 변화하여 제조한 자성유체의 포화자화는 각각 80, 105, 130 및 245 Gauss 이었으며 APG-815 자성유체의 포화자화는 105 Gauss 이었다.
- 2) Magnetite의 비율이 20 %인 자성유체와 APG-815 자성유체의 점도는 27 °C에서 각각 1100 cP와 1050 cP 이었으며 온도상승에 따른 점도지수는 거의 유사하였다.
- 3) 자성유체의 열안정성을 측정하기 위하여 열중량분석을 한 바, 220 °C에서 급격히 감량이 시작하였으며, 이는 계면활성제의 연소에 기인한 것으로 생각되므로 자성유체는 220 °C 이하의 온도에서 안정함을 알 수 있었다.
- 4) 자성유체의 댐핑효과를 보기위하여 고음용 스피커인 tweeter에 자성유체를 주입한 경우와 주입하지 않고서 주파수를 200 Hz~20000 Hz까지 변화시키며 응답 곡선을 조사한바, 자성유체를 사용하지 않았을 때는 과도 응답을 나타내었으며, 고체비율 15 % 자성유체

보다 20 % 자성유체의 댐핑효과가 양호하였다.

- 5) 자성유체를 tweeter에 주입하고 전력을 높이면서 보이스코일의 온도를 측정하여 방열 특성을 평가한바, 고체비율 20 %인 자성유체는 APG-815 자성유체보다 방열특성이 양호하였다.

#### 감사의 글

본 실험에서 스피커 댐핑효과를 측정하신 삼성전기(주) 이제혁씨에게 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [ 1 ] R. E. Rosensweig, Magnetic fluids, Scientific American, **247**, 4, 1982, 24-132.
- [ 2 ] K. Raj & R. J. Boulton, Ferrofluidic-Properties & Application, Materials & Design, **8**, 4, July/August 1987, 233-236.
- [ 3 ] K. Raj & R. Moskowitz, Commercial Applications of Ferrofluids, J. of Mag. & Magnetic Materials, **85**, 1990, 233-245.
- [ 4 ] Hyo Sook Lee, Nam Kee Kang & Jae Hyun Oh, Preparation of ultrafine magnetite using Fe(OH)<sub>2</sub> and Fe(OH)<sub>3</sub>, Shigen to Sozai, **110**, 1994, 303-306.
- [ 5 ] 이 효숙외 2인, 스피커용 자성유체의 제조방법, 한국특허 출원번호 : 31826.
- [ 6 ] 이 효숙외 7인, 자성유체 제조 및 활용기술 개발, 통상산업부 공업기반기술개발사업보고서, 1996.

## Befitting Test of Magnetic Fluid to Speaker Damper

Hyo Sook LEE

*Korea Institute of Geology, Mining & Materials, Taejon 305-350*

Je Gwang YOO

*Samsung Electro-Mechanics Co., LTD, Suwon 441-743*

(Received 29 December 1997, in final form 30 March 1998)

Magnetic fluids have been used in the commercial area, e. g damping, sealing and hydrodynamic bearing. In this study, magnetic fluid was made for damping in loudspeaker. The magnetic fluids were synthesized by dispersing the magnetite powder which was obtained by precipitation method in Yubase oil. When the magnetic fluid was applied to a 6 cm tweeter, improvements of damping, centering and heat transfer in a loudspeaker were noted. Also we compared the performance of the magnetic fluid with 20 % magnetite in the oil and the one of APG-815 (Nippon Ferrofluidic Co.)