

# 자기냉동기용 회전형 Habach 자석의 설계 및 제작

류권상<sup>1,2,\*</sup>, 백운봉<sup>1</sup>, 남승훈<sup>1,2</sup>, 유성초<sup>3</sup>, 이종석<sup>4</sup>

<sup>1</sup>한국표준과학연구원 에너지소재표준센터

<sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 측정과학

<sup>3</sup>충북대학교 물리학과

<sup>4</sup>강릉원주대학교 기계자동차공학부

## 1. 서론

자기냉동기의 효율은 자기냉각제의 자기열량효과에 의존한다. 자기열량효과에 의해서 자기냉매가 자화되고 소거될 때 자기냉매의 단열온도가 올라가고 내려간다[1]. Curie 온도에서 자기열량효과는 자기장의 2/3승에 비례하기 때문에 효율적인 자기냉동기를 제작하기 위해서는 고자기장이 필수적이다[2]. 자기냉동기에 사용할 수 있는 한 가지 자기장 소스는 영구자석이다. 영구자석을 사용한 자기냉동기는 자석을 움직이거나 자기냉매를 움직이는 것 외에 전력소모가 없다. 강력한 자기장 생성을 위하여  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 과  $\text{SmCo}_5$ 와 같은 희토류 자석이 널리 사용된다. 희토류 금속은 철이나 니켈보다 대단히 비싸기 때문에 주어진 영구자석 재료의 크기와 무게에 대해 가장 높은 자기장을 생성할 수 있도록 자기 배열을 설계하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 내부자석이 회전함으로써 착자와 소거를 할 수 있는 회전형 Halbach 자석을 해석하여 설계하고 제작한 후 자기장을 측정하였으며 최대자기장은 약 1.6 T였다.

## 2. 회전형 Halbach 자석의 모델

유한요소법(FEM)은 전자기장을 전산모사하기 위하여 널리 사용되고 있다. Fig. 1은 제작할 회전형 Halbach 자석의 치수를 보이고 있으며, 내부자석의 내직경은 34.5 mm, 외직경은 72.5 mm이고, 외부자석의 내직경은 79 mm, 외직경은 166 mm이며, 자석의 길이는 200 mm이다. 화살표는 영구자석의 자화 방향을 나타낸다. 사용한 영구자석은 N50M grade로 보자력은 1,042 A/m이고, 잔류자속밀도는 1.4 T이다. Fig. 1에서 보여주고 있는 상태는 자석 내부에 최대 자기장이 발생하는  $0^\circ$  를 나타내고 있다. 내부 자석이  $180^\circ$  회전하면 내부자석과 외부자석의 자화가 반대방향이 되어 자기장은 0이 되어야 한다.

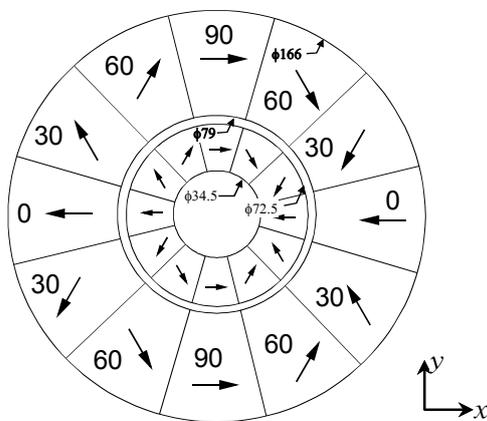


Fig. 1. Model of Halbach magnet for simulating the magnetic field. Arrows show the magnetization.

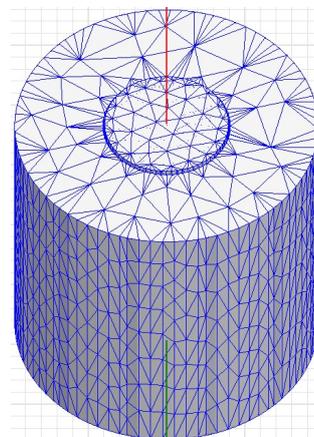


Fig. 2 Mesh configuration for simulating magnetic field.

### 3. 회전형 Halbach 자석의 자기장 전산모사

Fig. 2는 자기장 전산모사를 하기 위해 Maxwell에서 보여주고 있는 메쉬의 모양이다. 전산모사는 Ansys사 Maxwell v12 3D의 Transient solver를 사용하였다[3]. 총 메쉬수는 약 75,000개였다.

FEM에 의해 전산모사된 자석 중심의 자기장 분포가 Fig. 3에 주어져 있다. 실선은 전산모사 결과이고, symbol은 제작한 자석에서 측정한 결과이다. 최대 약 1.6 T의 자기장이 생성되는 것을 알 수 있다. 내부자석과 외부자석의 자화가 반대가 되어 자기장의 세기가 최소가 되는 180도에서 중심에서의 자기장은 0 T가 되나 중심에서 멀어질수록 조금씩 증가하여 전산모사한 값과 다르게 측정되었다. 그러나 전체 거리의 60 %가 0.1 T 이하로 측정되어 자기냉동기에 사용하는 데 문제는 없을 것으로 사료된다. 내부자석이 60° 와 120° 회전하였을 때 자기장은 전산모사한 값보다 다소 낮게 측정되었다.

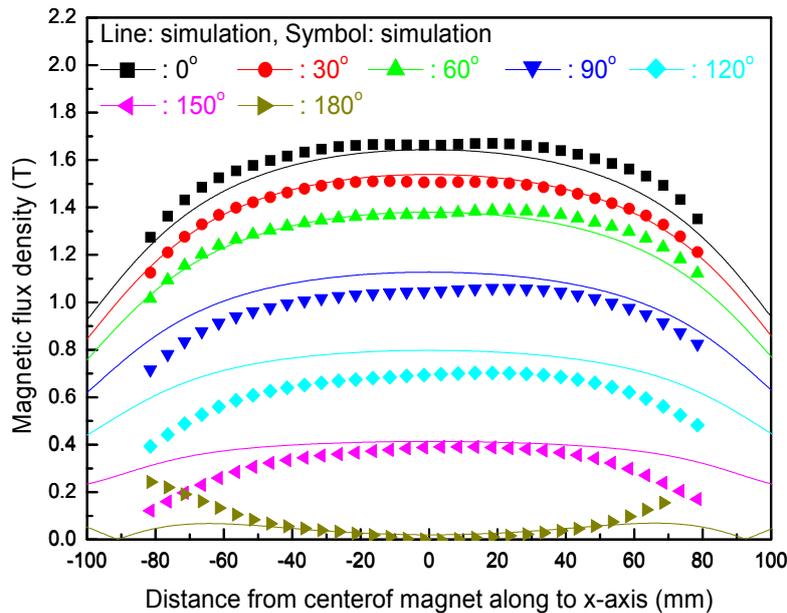


Fig. 3. Magnetic field profiles along z-axis. Lines are the results of simulation, and symbols the results of measurement.

### 4. 결론

회전형 Halbach 자석의 자기장을 전산모사하고 제작한 후 측정하였다. 최대 자기장은 1.6 T로 자기냉동기에 적용하기에 나쁘지 않는 세기였다. 90° 와 120° 에서는 전산모사한 값보다 측정값이 다소 낮았다. 내부자석과 외부자석의 자화가 반대가 되어 자기장의 세기가 최소가 되는 180°에서 중심에서의 자기장은 0 T가 되나 중심에서 멀어질수록 조금씩 증가하여 전산모사한 값과 다르게 측정되었다.

### 5. 참고문헌

- [1] X. N. Xu, D. W. Lu, G. Q. Yuan, Y. S. Han, and X. Jin, J. of Applied Physics, **95**, 6302 (2004).
- [2] R. Björk, C.R.H. Bahl, A. Smith, and N. Pryds, Intl. J. of Refrigeration, **33**, 437 (2010).
- [3] Ansys inc., <http://www.ansys.com>.