

자기형상기억합금을 이용한 에너지 하베스팅 : 실험적 고찰

Energy Harvesting Using Magnetic Shape Memory Alloy: Experimental Investigation

김희송* · 손정우* · 최승복†

Hoe-Song Kim , Jung woo Sohn and Seung-Bok Choi

1. 서 론

최근 고층건물, 교량, 댐, 발전구조물 등 대형 사회기반시설물들의 안전성을 극대화 하기 위해서 스마트 구조물(smart structure) 시스템을 도입하려는 연구가 크게 각광받고 있다. 이러한 시스템이 실현된다면, 각종 재해 발생시 생명과 재산을 보전할 수 있어 안전성 향상은 물론, 내구성이나 노후화 점검에도 유효해 구조물의 장수 명화에 따른 라이프사이클 코스트의 저감을 이어줄 수 있다. 이를 실현하기 위해서는 센서로 통하는 모니터링은 필수이며, 수많은 센서를 작동 시키기 위해서는 많은 전력이 요구된다. 따라서 이에 따른 문제점을 해결하고자, 센서 자체에서 동력을 발생시키는 연구가 많이 진행되고 있다. 대표적으로 압전재료를 이용하여 에너지를 수집하는 연구가 진행되고 있지만, 압전세라믹은 깨지기 쉽고, 압전필름은 세라믹보다 효율이 나오지 않는다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 자기형상기억합금(Magnetic Shape Memory Alloy, MSMA)을 이용한 새로운 에너지 저장 시스템을 제작하여, 향후 에너지원으로서 사용 가능성을 알아보았다.

2. 자기형상기억합금

2.1 자기형상기억합금의 원리

자기변형(magnetostriction)이란 자성체가 자기장의 영향을 받을 때 형상이 변하게 되는 현상을 말한다. 대부분 자성체의 자기변형은 외부자기장에 의해 자화될 때 자벽이동(magnetic domain wall movement)과 자구회전(magnetic domain rotation)에 의해 발생된다. 이와 달리 자기형상기억합금의 자기변형은 기존의 자성체와는 다르게 자기장의 변화에 따른 쌍정(twin)의 재배열에 의해 변형이 발생된다. 자기형상기억합금에 자기장을 인가하면, 자기장의 인가방향과 동일한 자화방향을 갖는 쌍정들이

다른 자화 방향을 갖는 쌍정들을 잠식하여 성장하게 되며, 결과적으로 시편에 형상 변화가 일어나게 된다. 또한 자기형상기억합금에 기계적 힘을 가하였을 때 또한 쌍정의 재배열이 일어나게 된다. 쌍정의 재배열이 일어나기 위해서는 자기결정이방성 에너지가 쌍정의 재배열에 필요한 에너지보다 커야 하며, 여기서 자기결정이방성 에너지란 자화용이방향이라고 하는 결정축을 자화시키는데 필요한 에너지를 말한다.

2.2 에너지 발생이론

전자기적 유도에 의해 코일에 유기되는 전압의 크기는 코일의 턴수와 코일창을 통과하는 자속의 변화율에 비례한다. 이 관계를 패러데이의 법칙(Faraday's law)이라 부르며 수학적 표현 식은 다음과 같다.

$$e = N \frac{d\Phi}{dt} \tag{1}$$

여기서 e 는 유도기전력을 나타내며, N 은 코일의 턴수, $\frac{d\Phi}{dt}$ 은 코일창을 통과하는 자기장의 선속의 변화율을 나타낸다. 결국, 자기장의 선속 Φ 이 시간에 따라 변한다면 그 변화율의 크기가 바로 코일에 유도되는 유도기전력의 크기와 같다. 자기형상기억합금에 기계적 힘을 가하면 Fig. 1 에서 보는 것과 같이 형상이 변하게 되며, 쌍정이 재배열 하게 된다.

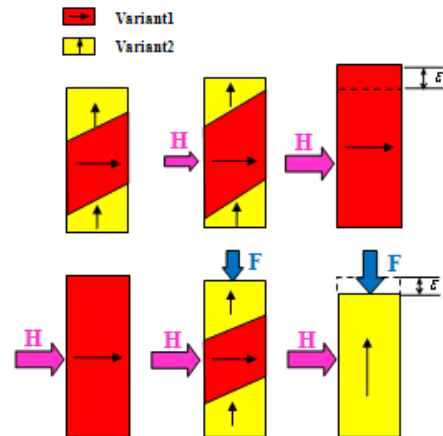


Fig. 1 MSMA's behavior due to variants rearrangement

† 교신저자; 정회원, 인하대학교 기계공학부

E-mail : seungbok@inha.ac.kr

Tel : (032) 860-7319, Fax : (032) 868-1716

* 정회원, 인하대학교 기계공학과

이러한 쌍정의 재배열에 의해 자기형상기억합금의 자화(magnetization)가 변화게 된다. 자화에 관한 양으로는 자화율이 있는데, 이것은 자화의 세기와 그때의 외부 자기장(자화력) 사이의 비이며, 강자성체인 자기형상기억합금은 자기장의 세기와 자화과정에 따라 그 값이 복잡하게 변한다. 이러한 투자율이 변함에 따라 자기력선의 밀도가 바뀌게 되고, 자속의 양도 바뀌게 된다. 이러한 성질을 이용하여 자기형상기억합금 또한 코일을 통하여 기전력을 얻게 된다. 자속을 자속밀도 B 와 자속창의 면적 A 로 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Phi = BA \quad (2)$$

이를 다음과 같이 시간에 대해 미분하고

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{dB}{dt} A \quad (3)$$

식 (3)을 식 (1)에 대입하면 다음의 식을 얻는다.

$$e = NA \frac{dB}{dt} \quad (4)$$

$$u = \frac{B}{H} \quad (5)$$

여기서 H 는 자기장 세기를 나타낸다. u 의 비율은 자기투자율(magnetic permeability)이라 불리며 자기형상기억합금이 기계적 힘에 의해 형상이 변화하게 되면 이 비율 또한 변화하게 되고, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$dB = H\mu ds \quad (6)$$

즉, 자기형상기억합금의 형상이 변함에 따라 자속의 변화량은 자기형상기억합금의 형상의 변화에 따른 자기투자율의 변화로 나타낼 수 있다. ds 는 자기형상기억합금의 형상의 증분으로 표현된다. 이를 식 (4)에 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$e = NA \frac{ds}{dt} \quad (7)$$

여기서 ds/dt 는 형상이 변화하는 속도(V)를 나타내므로 식(7)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$e = NAV \quad (8)$$

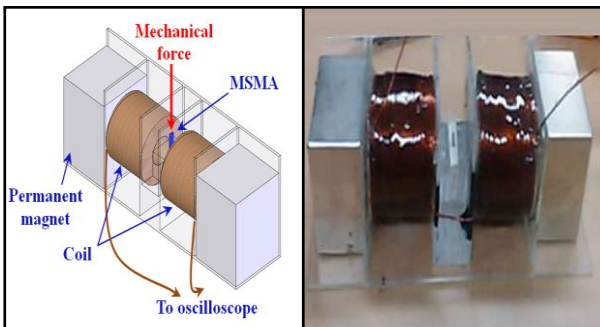


Fig. 2 Sample model for MSMA energy harvesting system

Table 1 Applied frequency and permanent magnet strength and measured voltage (Number of turns in coils is 150)

Magnetic Field \ Frequency	3.9mT	21.4mT
1Hz	0.4mV	1.2mV
3Hz	0.8mV	1.4mV
5Hz	1.8mV	2.9mV

Table 2 Applied frequency and permanent magnet strength and measured voltage (Number of turns in coils is 1000)

Magnetic Field \ Frequency	21.4mT	95mT
1Hz	2.7mV	4.2mV
3Hz	5.7mV	7.7mV
5Hz	10.3mV	14.2mV

3. 시스템 구성 및 실험

본 연구에서는 실 장치 제작에 앞서 Fig. 2 와 같은 에너지 수집장치 시연모델을 제작하였다. 이번 실험에 사용한 MSMA 는 단결정 $Ni_{50}-Mn_{28}-Ga_{22}$ 화학조성을 갖는 폭 2mm, 두께 1mm, 길이 20mm 인 시편을 사용하였다. 일정 주파수를 갖는 충격형태의 인가 하중을 자기형상기억합금에 가함으로써 자기형상기억합금의 형상변화를 유도하였다. 아크릴로 베이스를 제작하였으며 영구자석을 통하여 자기형상기억합금이 자기장에 노출 될 수 있도록 하였다. 코일의 턴수는 150, 1000 번 2 가지 경우로 실험하였다. 자기형상기억합금의 형상이 변함에 따라 코일로부터 유도된 전압은 오실로스코프를 통해 확인하였다. 코일턴수, 영구자석의 세기와 다양한 주파수에 대해 측정된 최대 전압은 Table 1, Table 2 와 같다.

4. 결론

본 연구에서는 새로운 스마트 재료인 자기형상기억합금을 이용하여 새로운 에너지 저장 시스템을 제시하였다. 실험 결과 자기장 세기, 코일턴수, 자기형상기억합금에 가해지는 충격 횟수를 늘릴수록 출력이 증가하였다. 적절한 자기장 세기와 압축력으로 자기형상기억합금의 길이 변화를 유도하고, 코일의 설계, 부품의 최적화, 회로설계를 한다면 더 높은 수준의 출력을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략 기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임.