

# 가역투자율에 의한 열분해관의 침탄도 측정

박수영<sup>1,2\*</sup>, 유권상<sup>1</sup>, 박종서<sup>1</sup>, 임재균<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국표준과학연구원 산업측정표준본부

<sup>2</sup>충남대학교 신소재공학부 재료공학과

## 1. 서론

열분해관으로 사용되는 HP 강은 비자성강이나 사용함에 따라 확산 침투되는 탄소와 결합하여 탄화물을 형성하기 때문에 탄화물 주변의 조직은 상자성에서 강자성으로 자성변화를 일으키며 침탄이 진행될수록 강자성 영역은 확대된다[1]. 이러한 재료의 침탄은 내산화성, 고온강도 저하 및 부피, 열팽창계수, 열전도도 변화가 일어나서 튜브에 부가적인 응력으로 중첩되어 재료에 유해한 영향을 준다[1]. 침탄을 측정하는 방법에는 micro color etching 법, 탄소량 증가 분석법과 같은 파괴적 방법과 와전류 탐상법, 재료를 자화시키고 표면에서 누설되는 자력선의 gradient 변화에 기인한 투자율을 측정하는 투자율 측정법 등이 있다[1]. 본 연구에서는 비파괴적, 자기적 방법인 surface type 프로브를 사용하여 섭동자기장의 주파수 변화에 대한 열분해관의 침탄정도를 측정할 수 있는 시스템을 구성하여 가역투자율을 측정하였으며, 가역투자율에서 구한 보자력은 주파수가 증가함에 따라 감소하였다.

## 2. 측정원리 및 장치구성

Fig. 1은 B-H 히스테리시스 곡선과 가역 투자율의 profile을 나타내고 있다. Fig. 1(c)에서 보이는 바와 같이 어떤 값의 직류자기장에서 교류섭동자기장을 인가하면 주 자화곡선은 부 자화곡선을 따라 변하게 된다. 이때 자속 밀도와 인가자기장의 미소 변화비 ( $\Delta B/\Delta H$ )가 증분 투자율 (incremental permeability)이고,  $\Delta H \rightarrow 0$ 일 때의 투자율이 가역 투자율 (reversible permeability)이다[2]. Fig. 1(b)는 자기이력곡선에서 미분하여 구한 가역투자율의 절대값을 나타내고 있다. 또한 피크간의 거리의 1/2이 보자력이 된다. 열분해관의 가역투자율을 측정하기 위하여 Fig. 2와 같은 시스템을 구성하였다. 페라이트 코어에 탐지코일을 352회 권선한 후 교류섭동자기장 인가용 코일을 196회 권선하였으며, 마지막으로 직류자기장 인가용 코일을 107회 권선하여 surface type 프로브를 제작하였다. 직류 자기장은 I/O acquisition board (National Instrument PCI-MIO-16XE-10, 16-bit resolution)에서 발생한 파형을 전력증폭기 (Tecron 7562)로 전력 증폭하여 인가하였고, 교류섭동자기장은 파형발생기 (HC9205C)에서 발생한 파형을

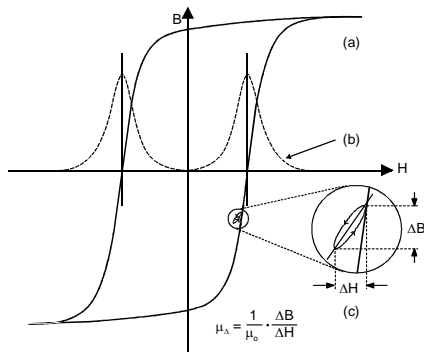


Fig. 1. (a) Hysteresis loop, (b) absolute value profiles of reversible permeability, and (c) incremental permeability.

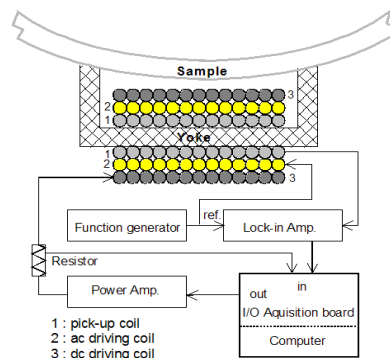


Fig. 2. Block diagram for the measurement system using surface type probe for measuring the reversible permeability.

인가하였다. 탐지코일에 유도되는 고조파는 섭동자기장의 주파수를 참조신호 (reference signal)로 하여 lock-in 증폭기를 이용하여 측정하였다. 그리고 셉트양단의 전압과 lock-in 증폭기로 읽은 값을 I/O acquisition board의 입력측을 통하여 컴퓨터로 가져와 데이터 처리하였다.

### 3. 결과 및 고찰

가역투자율 측정 프로브를 열분해관의 외부에 위치시키고 최대  $5.33 \times 10^3$  A/m, 주파수 0.005 Hz인 삼각파형 직류자기장을 인가시키고, 교류섭동자기장의 주파수를 50 Hz, 70 Hz 및 130 Hz로 변화시키면서 측정한 가역투자율의 profile이 Fig. 3에 주어지고, 10 Hz에서 520 Hz까지 변화시키면서 측정한 보자력 변화가 Fig. 4에 주어졌다. 이 결과에 의하면 섭동자기장의 주파수가 증가함에 따라 보자력이 지수 함수적으로 감소함을 알 수 있다. 이는 표면에 가까운 영역일수록 침탄에 의한 탄화물 생성이 증가하고, 내부로 들어갈수록 탄화물 생성이 감소한다. 저주파섭동자기장을 인가한 경우 깊은 부분까지 자기력선이 침투함으로써 표면부터 자기력선이 닿는 영역까지의 범위에 걸쳐 평균된 자성이 측정될 것이고, 고주파인 경우 표면 근처의 자성만 측정될 것이다. 따라서 고주파에 의한 표면 근처에서 측정된 강자성이 저주파에 의해 측정된 깊은 영역의 강자성보다 효과가 더 큰 것으로 사료된다.

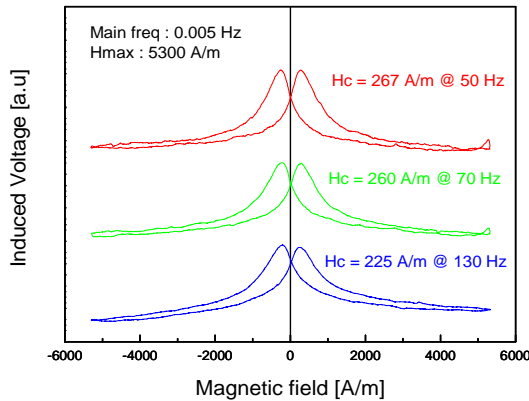


Fig. 3. Profile of reversible permeability at the tube after carburization.

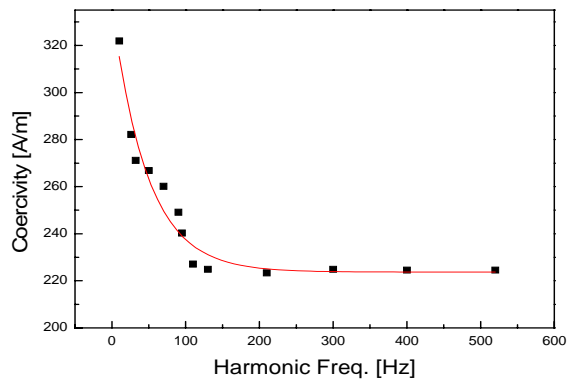


Fig. 4. Coercivity variation depending on the harmonic frequency.

### 4. 결론

열분해관으로 사용되는 HP 강의 침탄정도를 비파괴적으로 측정할 수 있는 시스템을 구성하였다. 구성한 시스템으로 보자력을 측정한 결과 섭동자기장의 주파수가 증가할수록 보자력이 감소하였다. 이는 표면에 가까운 영역일수록 침탄에 의한 탄화물 생성이 증가하고, 내부로 들어갈수록 탄화물 생성이 감소한다. 저주파의 섭동자기장을 인가한 경우 깊은 부분까지 자기력선이 침투함으로써 표면부터 자기력선이 닿는 영역까지의 범위에 걸쳐 평균된 자성이 측정될 것이고, 고주파인 경우 표면 근처의 자성만 측정될 것이다. 따라서 고주파에 의한 표면 근처에서 측정된 강자성이 저주파에 의해 측정된 깊은 영역의 강자성보다 효과가 더 큰 것으로 사료된다.

### 6. 참고문헌

- [1] Hydrocarbon 열분해관의 침탄도평가기술개발, 한국기계연구소 연구보고서, UCN334-1592C, 1991.
- [2] R. Boll, *Soft Magnetic Materials*, Heyden & Son Ltd., London, pp. 36-37.