

# AE 센서를 이용한 헤드/디스크 틈새의 접촉력 측정에 관한 실험적 연구

김지훈 · 김도형 · 황 평\*

영남대학교 대학원 기계공학부

\*영남대학교 기계공학부

## An Experimental Study on Measurement of Contact Force of Head/Disk Interface Using Acoustic Emission Sensor

Ji Hoon Kim, Do Hyung Kim, Pyung Hwang\*

*School of Mechanical Engineering, Graduate School, Yeungnam University*

*\*School of Mechanical Engineering, Yeungnam University*

**Abstract**—In order to measure the real contact force between head and disk on hard disk drive quantitatively, many technique of measurement have been developed. Acoustic Emission Sensor can be used for detect elastic energy of head/disk contact as a rms value. In this study using pencil breaking test is proposed for finding contact force using transfer function between calibrated force and real contact force. And real AE data of subambient and tripod slider shows bending and torsional mode and their energy are dominant in hard disk and head contact.

**Key Words**—Contact Force, Acoustic Emission, Head Disk Interface

### 1. 서 론

컴퓨터 하드디스크의 저장용량을 높이고 고속의 정보처리를 구현하기 위하여 헤드와 디스크 사이의 간격을 마모현상이 일어나지 않는 범위 내에서 최소화해야 한다. 지금사용 되고있는 가장 일반적인 하드디스크 드라이브의 부상높이는 30nm 에서 50nm 범위 내이다. 이 높이는 슬라이

더와 디스크를 설계 할 때 최소의 충격을 고려한 극소 틈새이다. 헤드와 디스크사이의 간격이 줄어들 때마다 디스크와 헤드의 충돌은 빈번해 진다. 기계학적 혹은 재료학적 인 관점에서 볼 때 디스크와 헤드의 직접적인 접촉은 고려되어야 하는 문제이다. 접촉은 재료간의 상호작용과 저장시스템의 손실을 가져오기 때문에 가능한 한 이들의 접촉은 막아야 한다. 따라서 헤드와 디스크간의

접촉력을 정확히 측정할 수 있는 시스템의 개발이 절실히 요구되며 이는 하드디스크 드라이브의 설계에 중요한 역할을 하며, 자기저장 시스템에서 중요한 문제중의 하나인 헤드와 디스크 틈새 및 신뢰성 향상에 도움을 줄 것이다.

컴퓨터 하드디스크 드라이브가 작동할 때는 정상상태에서 헤드와 디스크 사이에 윤활작용을 하는 공기 층이 형성되어 이들의 직접 접촉을 방지하는 특성을 가지고 있다. 그러나 출발/정지 시에는 공기 층이 형성되기 위한 충분한 회전 속도가 아니기 때문에 헤드/디스크 사이에 물리적인 접촉이 따르게 되어있다. 이 접촉으로 인해 헤드 및 디스크 면의 마모를 야기한다. 아직까지 헤드/디스크 틈새 접촉 기구를 명확히 증명하고 측정할 바는 없기 때문에 더욱 연구가 진행되고 있고 많은 연구자들에 의해 하드디스크 헤드/디스크 접촉력을 측정하여왔다.[1,2]

스트레인게이지, piezoelectric 센서, 다축 하중센서 등 다양한 센서들을 이용해 헤드/디스크 접촉력을 측정하기 위한 노력은 활발하지만 아직까지 명백한 연구의 결과는 찾아보기 어렵다.

슬라이더와 디스크 사이의 접촉력을 연구하기 위하여 AE 센서를 이용한 연구가 시도되었다. [3] 그들은 AE 신호는 슬라이더가 디스크 표면에 접촉할 때 진동에 의하여 발생하며 접촉력을 결정하기 위하여 슬라이더의 진동에너지는 접촉력과 디스크의 속도의 함수로 나타난다고 제안하였다. 디스크와 슬라이더의 부상 높이, 속도, CSS 윗수가 증가함에 따라 접촉력은 감소한다는 결론을 얻었다.

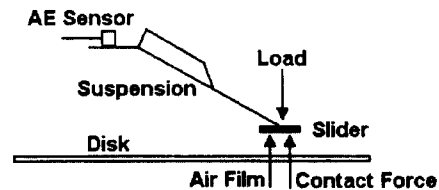
본 연구에서는 AE 센서로 얻어진 신호가 양적으로 어느 정도의 접촉력을 나타내는지를 알아내기 위한 예비실험으로 Pencil breaking 실험을 실시하였으며 Subambient Tripad 슬라이더와 Tripad 슬라이더의 접촉력에 관한 AE 신호를 파워 스펙트럼에 의하여 분석하였다.

## 2. 실험

하드디스크 드라이브에서 헤드와 디스크 사이의 접촉력 측정의 원리는 Pencil breaking 실험에 의하여 이미 알고있는 힘의 값을 FFT를 통하여 변환시키고, 실제 드라이브가 작동할 때 슬라이드에 부착된 AE 센서로부터 출력한 값 또한 FFT에 의해 변환시킨다. 전압 퓨리에 변환을 힘 퓨리에 변환으로 나누어 주면 이것이 바로 전달함수가 되고 FFT로 역 변환을 실시하여 실제 전달함수를 추정해 낸다는 것이다.

따라서, 실제 AE 센서에서 나오는 탄성파의 접촉력을 역으로 추정해낸 전달함수와 AE 센서로부터 나온 전압 값으로서 구해낼 수 있게 되는 것이다. 즉 실제 접촉력을 구해내기 위해 접촉력과 근사한 Pencil breaking 실험의 힘을 실제 접촉력이라고 가정하고 전달함수를 구해내는 것이다.

Fig. 1 Schematic diagram of contact force



measurement on hard disk drive

Fig. 1은 AE 센서를 이용한 디스크와 헤드의 접촉력을 구하기 위한 실험 장치의 개략도이다. AE 센서를 슬라이더의 끝 단인 서스펜션에 부착하고 실제로 하드디스크를 구동 시킨 다음 AE 센서로부터 나오는 신호를 증폭시켜 A/D 변환기를 통해 AE 전압신호를 얻어낸다.

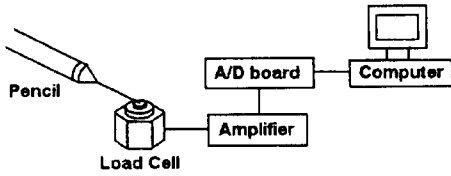


Fig. 2 Schematic diagram of experimental system

Fig. 2는 pencil breaking 실험의 개략도를 나타낸다. 일정한 하중을 가할 때 샤프심이 부러지고 그 하중 값에 의하여 신호가 발생한다. 본 실험에서는 샤프심의 미끄럼 현상을 방지하기 위하여 센서 위에 미끄럼 방지용 테이프를 부착하여 실험을 실시하였으며, 하중의 방향에 따른 신호의 변화를 알아보기 위하여 30, 45, 60, 75 도의 방향에서 실험을 실시하였으며, 실험의 신뢰도를 높이기 위하여 각각 네 번의 실험을 실시하였다. 이렇게 얻은 두 탄성파를 FFT 변환시켜서 전달함수를 구해내며 AE 신호전달 시스템이 일정한 전달 매체라고 가정할 때 이것으로부터 실제적인 헤드/디스크의 접촉력을 예측할 수 있다.

### 3. 실험 결과

Fig. 2 에서처럼 로드셀 위에 30도부터 15도씩 증가 시켜 75도까지 실험을 하였으며 각 각도 당 4 번의 실험을하여 총 16 번의 실험을 수행하였다.

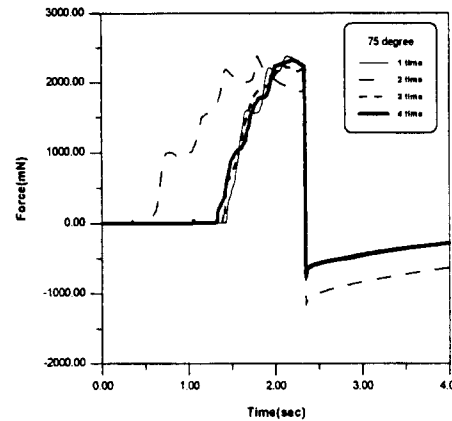
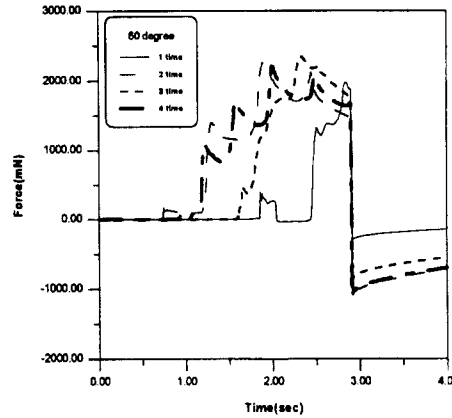
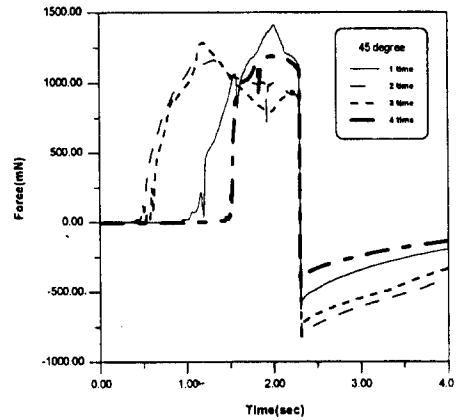
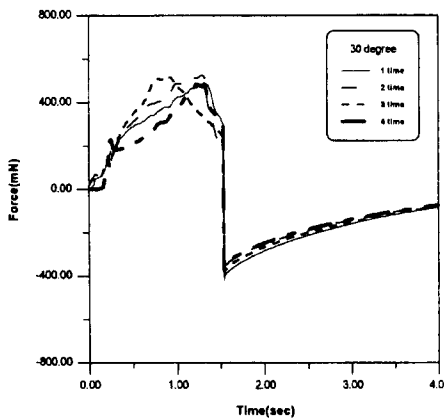


Fig. 3 Force wave form when the pencil lead is broken with different loading angles

각각의 그림에서 보는 것과 같이 하중 각도에 관계없이 전반적인 경향은 유사함을 보인다. 그러나 각도 변화에 따라 가해지는 하중의 양도 증가함을 알 수 있다.

그러나 실제 하드디스크 드라이브에서 헤드와 디스크 사이에 발생하는 접촉의 시간은 극히 작은 것으로 Hamaguchi 등에 연구에 따르면 전체적인 접촉시간은  $10^{-6}$  단위의 시간에서 일어남을 알 수 있고 접촉력 또한  $10^{-3}$  N 정도이다. [1]

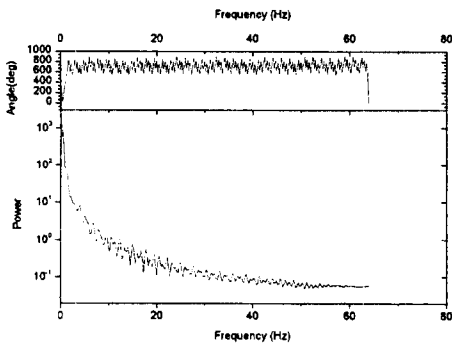
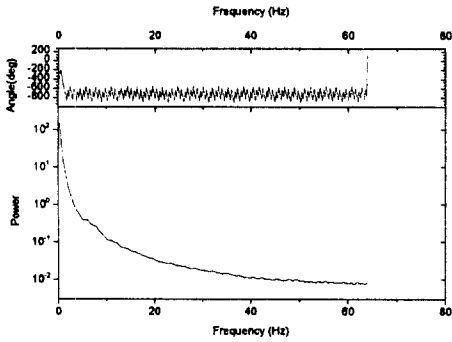
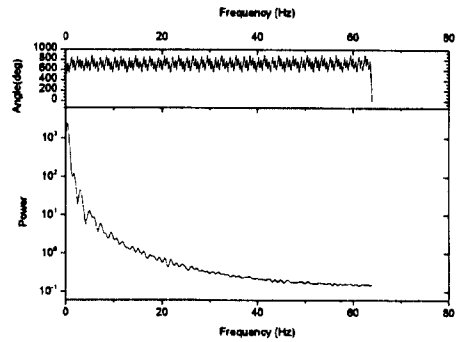
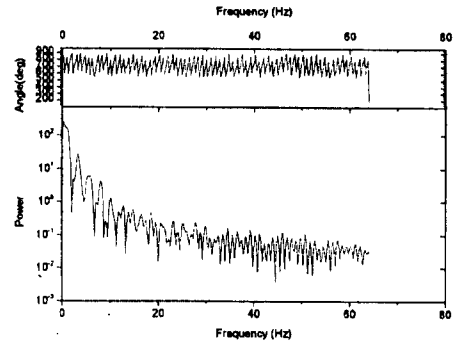
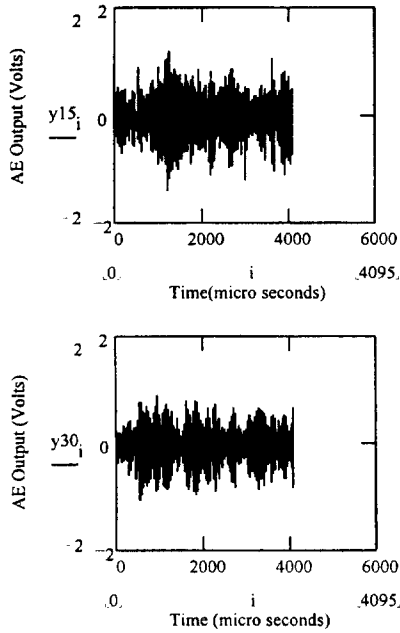


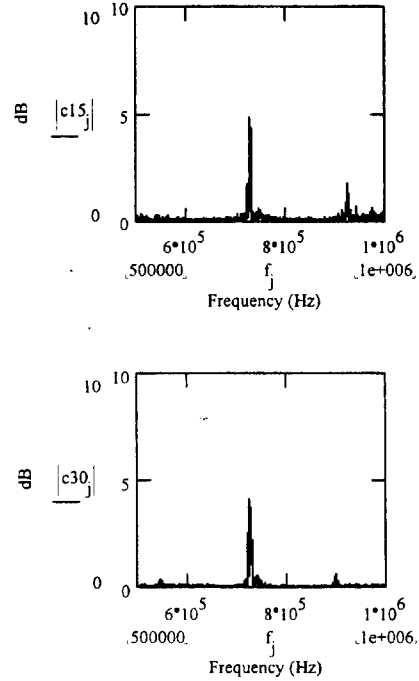
Fig. 4 Frequency content obtained from FFT at different loading angles

Fig. 4는 로드셀에서 나온 값을 FFT 변환한 값이다. 앞에서 언급한 것과 같이 실제 디스크/헤드 접촉은 단시간 내에 일어나는 것으로 500에서 1000Khz 이상의 고주파 영역에서 일어나는 신호는 주로 저주파 영역에서 관찰된다. 정확한 전달 함수를 구하기 위해서는 슬라이더의 AE 특성을 유사한 방법에 의하여 구할 필요가 있다.

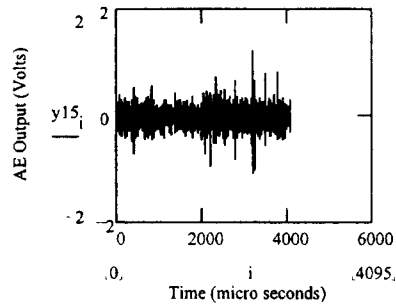


**Fig. 5 Acoustic emission output at 1.5m/s and 3.0m/s on subambient tripad slider**

Fig. 5 는 AE 센서를 이용하여 각각 1.5 m/s 와 3.0m/s 속도로 이동하는 Subambient Tripad 슬라이더와 디스크 표면의 접촉력을 나타낸것으로 500KHz 의 high pass 필터를 사용하였으며 샘플링율은 1MHz 이다. 속도가 증가함에 따라 전체적인 AE 신호의 감소를 볼 수 있으며, 이는 슬라이더의 부상에 의한 접촉력의 감소를 나타낸다. AE 센서로부터 얻어진 전압값을 FFT 를 통하여 변환하여 나타내면 Fig. 6 과 같이 나타난다. 두 경우 모두 720KHz 영역의 비틀림 진동성분이 지배적임을 보여주며 다음으로 930KHz 영역의 굽힘 진동성분이 나타남을 알 수 있다. 이는 슬라이더의 고유 진동으로 인한 접촉력의 발생 가능성을 시사하고 있다.



**Fig. 6 Frequency content of acoustic emission output at 1.5m/s and 3.0m/s on tripad slider**



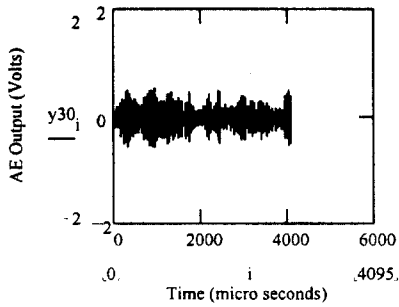


Fig. 7 Acoustic emission output at 1.5m/s and 3.0m/s on tripod slider

Fig. 7은 AE 센서를 이용하여 각각 1.5 m/s 와 3.0m/s 로 이동하는 Tri Pad 슬라이더와 디스크 표면의 접촉력을 나타낸 것으로 Subambient Tri Pad 슬라이더로부터 얻어진 AE 센서의 전압값보다 낮은 값을 가진다. 이는 Subambient Tripad의 부상 높이가 상대적으로 낮아 접촉력의 발생빈도가 더 높은 데서 기인하는 것으로 여겨진다. AE 센서로부터 얻어진 전압값을 FFT를 통하여 변환하여 나타내면 Fig. 8과 같이 나타난다. 1.5m/s로 이동하는 Tri Pad 슬라이더에서는 약 730 KHz 와 860 KHz의 주파수 영역에서 Peak 값을 가진다. 그러나 슬라이더의 속도가 빨라짐에 따라 730 KHz 영역의 값은 없어지며 860 KHz의 주파수 영역이 지배적임을 알 수 있고 응답신호값 역시 증가함을 알 수 있다. 슬라이더의 진동성분에서는 860KHz의 급함 성분이 더 지배적임을 알 수 있다.

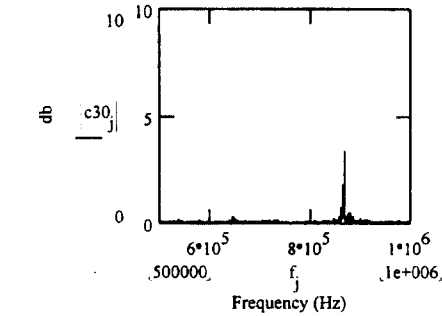
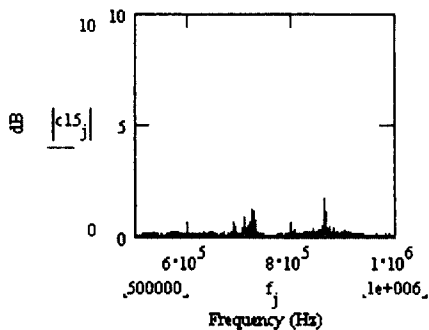


Fig. 8 Frequency content of acoustic emission output at 1.5m/s and 3.0m/s on tripod slider

#### 4. 결 론

본 연구에서는 AE 센서를 이용하여 하드디스크 드라이브에서 헤드와 디스크간에 발생하는 접촉력을 구하기 위한 실험으로 Pencil breaking 실험을 실시하였으며, 실제 상태의 AE 신호에 관한 분석도 실시 하였다. 이 실험의 결과는 선행된 연구의 결과와 비교해볼 때 실제 디스크/ 헤드의 접촉력을 측정하기 위해서는 실제 슬라이더 시스템에 대한 Pencil breaking 실험과 신호분석이 필요하다. 슬라이더의 실험에서는 Subambient Tripad의 경우에 보다 많은 접촉력의 빈도를 확인할 수가 있었으며, 슬라이더의 고유 진동수와 유사한 접촉력의 발생을 확인할 수가 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. Hamaguchi, T. and Matsumoto, M., "Measurement of Impulsive Forces Arising from Flying Head/Disk Collision in Magnetic Disk Storage System," JSME International Journal, Series III, Vol. 33, pp. 29-34, 1990.
2. O'Brien, K. and Harris, D., "Head/Disk Interface Contact Detection Using a Refined Acoustic Emission Technique," ASME Journal of Tribology, Vol. 118, pp.

- 539-542, 1996.
3. Ganapathi, S.K., Donovan, M. and Hsia, Y.T., "Contact Force Measurements at the Head/Disk Interface for Contact Recording Heads in Magnetic Recording," SPIE invited paper, Vol. 2604, pp236-243, 1996.
  4. Ohisa, N. and Kishi, T., "Response Characterization of Piezoelectric Transducers and Wave Media for Acoustic Emission Source Wave Analysis," Proc. Joint JSME-SESA Conf. On Exp. Mech., pp. 359-364, 1982.
  5. Kita, T., Kogure, K., Mitsuya, Y. and Nakanishi, T., "New Method of Detecting Contact between Floating-Head and Disk," IEEE Trans. Magnetics, Vol. Mag-16, No. 5, pp. 873-875, 1980.