

슬라이더 슬랩에 의한 하드디스크의 표면 스크래치 특성에 관한 연구

Study on Scratch Characteristic of HDD due to Slider Slap

신일섭*, 김현준*, 김대은[†], 유진규**

Il-Sup Shin, Hyun-Joon Kim, Dae-Eun Kim and Jin-Gyoo Yoo

Abstract

Reliability of a hard disk drive depends on the head disk interface (HDI) characteristics. Particularly, the disk media and the head can be damaged due to contact between the two components during operation. The contact may occur due to particles being introduced into the disk/slider interface or due to direct contact between the slider and the disk. Such contacts may be induced by external vibration or abnormal operation of the HDI. In this work the characteristics of scratches generated on the disk surface were investigated. The scratches were generated by impacting the hard disk. The type of scratches was analyzed with respect to their shape and dimensions.

Key Words : HDD, Head disk interface (HDI), Slider slap, Scratch.

1. 서론

컴퓨터의 주요 정보저장 장치로 활용되고 있는 하드 디스크는 현재 고용량화를 위한 기술적 노력과 함께 다양한 분야에서의 적용이라는 문제점에 직면해 있다. 기록 밀도를 증가시키기 위하여 디스크의 트랙 피치가 300 nm 수준으로 좁아지고 있으며, 디스크와 슬라이더 간의 간격 (flying height) 은 점차적으로 감소하여 현재 약 10 nm 정도에 이르고 있다.[1-3] 또한, MP3 Player, 디지털 카메라, 노트북 등 기존의 컴퓨터 분야 뿐만 아니라 이동형 저장 매체로서 그 수요가 다양해지고 있다. [4-5] 이동형 저장 매체로서 하드 디스크의 경우 작은 충격에도 디스크와 슬라이더 간의 직접적인 접촉이 발생 할 수 있으며, 이는 궁극적으로 하드 디스크 전반에 걸쳐 신뢰성 및 내구성에 영향을 미친다.[6-7]

슬라이더의 재질인 Al_2O_3 와 TiC 의 경우 아주

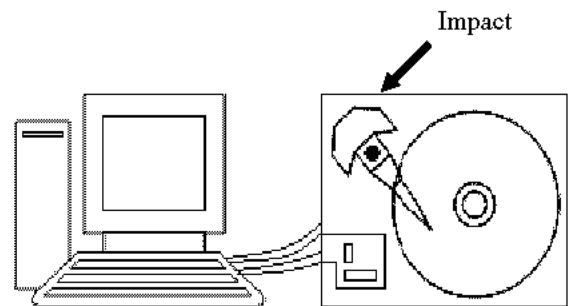


Fig. 1 Schematic of experiment setup

단단한 물질로서 디스크에 스크래치를 유발 시킬 수 있으며, 이로 인해 발생 되는 burr 등이 헤드에 접촉 할 경우 헤드의 파손, 즉 thermal asperity (TA) 로 인한 문제를 초래 할 수 있다.[8]

또한, 슬라이더와 디스크간의 갑작스런 접촉에 의해 파티클 등을 유발 시키게 되며, 이러한 파티클 들은 슬라이더와 디스크의 인터페이스에 주입 되면서 이차적으로 디스크와 헤드를 손상 시키는 원인이 된다.

본 연구에서는 슬라이더와 디스크 간의 직접적인 접촉에 의해 발생하는 스크래치를 구현해 봄으로써 인터페이스에 주입된 파티클에 의한 디스크 손상 뿐만 아니라 더욱 다양한 디스크 손상 메커니즘을 파악하고자 하였다. 하여 현재 상용되고 있는 250 GB 하드 디스크에 충격을 가하여 인위적

[†] 연세대학교 기계공학과
E-mail : kimde@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-2822
* 연세대학교 기계공학과
** 삼성전자 스토리지 사업부
논문접수일 (2007년 1월 16일)

으로 스크래치를 발생 시켜 보았으며, 이에 따라 디스크에 발생하는 물리적 손상을 파악하였다. 또한 이때 발생한 스크래치를 optical surface analyzer (OSA), scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy(AFM) 등의 장비를 이용하여 스크래치의 형상과 크기를 분석하였으며, 그에 따른 스크래치 발생 메커니즘을 파악하고자 하였다. 본 연구를 통해 디스크에 발생하는 스크래치에 발생에 대한 더 구체적인 데이터 베이스를 구축할 수 있을 것이라 사료된다.

2. 실험

2.1 실험 장치 및 시편

부상 높이가 낮아짐에 따라 슬라이더와 디스크의 인터페이스에 유입될 수 있는 파티클에 의해 디스크에 물리적 손상이 더 쉽게 발생한다. [8-10] 또한 낮은 부상 높이로 인해 작은 충격에도 슬라이더와 디스크간의 접촉이 쉽게 발생할 것이라 예상된다. 본 연구에서는 상용 하드 디스크 외부에 충격을 줌으로써 디스크와 슬라이더에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 하드디스크의 경우 외부환경에 의한 영향이 크기 때문에 이러한 영향을 최소화하고자 모든 실험은 clean bench 에서 이루어 졌다.

실험에 사용된 하드디스크 샘플은 두 장의 알루미늄 판과 4 개의 헤드로 구성되어 있다. 디스크는 7200 rpm 의 회전속도와 250 GB 의 용량을 가지는 3.5 inch 모델을 사용하였다. 또한, 실험을 위해 삼성 전자로부터 Seeking/ reading/writing code 을 제공 받았다. Seeking/reading/writing code 는 각각의 HDD 모델이 가지고 있는 고유한 트랙의 위치를 지정하여 슬라이더의 부상 위치를 제어 할 수 있고 동시에 원하는 트랙을 reading 시킴으로써 디스크의 물리적, 전기적 손상을 파악 할 수 있는 프로그램이다. 특히 본 실험에서 Seeking code 를 이용하여 슬라이더의 위치를 제어함으로써 넓은 디스크 상에 발생하는 defect 의 위치를 대략적으로 파악 할 수 있었으며, 이는 차후 optical surface analyzer (OSA) 나 scanning electron microscopy (SEM) 을 이용하여 디스크 상에 발생한 defect 을 분석하는데 도움을 주었다. 또한, reading/writing code 를 이용하여 스캐닝을 함으로써 충격으로 인한 디스크의 손상 여부를 초기에 판단 할 수 있었다. 이는 실험 시 드라이브를 열지 않고 디스크의 defect 여부를 판단 할 수 있게 해줌으로써 드라이브 open 시 주입될 수 있는 오염입자의 영향을 제거시켜줌으로써 실험의

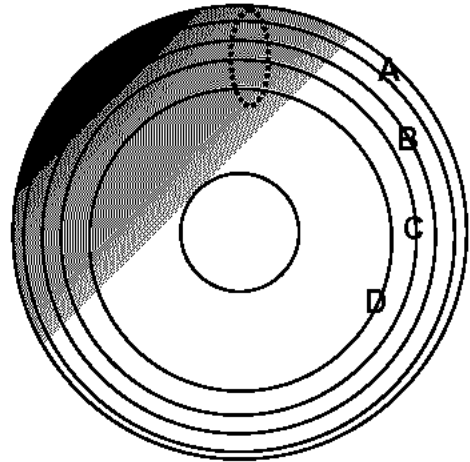


Fig. 2 Position of track

신뢰성을 높일 수 있었다.

2.2 실험 방법

Fig. 1 은 본 실험을 위한 실험 장치도를 개략적으로 나타낸다. Seeking/ reading/writing code 가 설치된 컴퓨터를 하드디스크와 연결한 다음 Seeking code 를 이용하여 7200 rpm 으로 회전하는 디스크의 일정 트랙 위에 슬라이더를 위치 시켰다. 이때 하드디스크 외부에 임의의 충격을 가함으로써 슬라이더와 디스크 간에 접촉이 일어나도록 하였다. 이후 reading/writing code 를 이용하여 동일한 트랙을 다시 스캐닝 하였으며, 이를 통하여 디스크의 손상 여부를 판단함과 동시에 스크래치의 대략적 위치를 파악하였다. 디스크의 위치에 따른 스크래치 특성을 보기 위해 하나의 하드디스크를 이용하여 4 군데 트랙의 범위에서 실험을 진행 하였으며, 하나의 트랙에 한 번의 충격을 가하였다. Fig. 2 는 실험을 진행한 트랙의 대략적 위치를 보여주고 있다, 또한 슬라이더가 Seeking motion 을 진행 중일 때와 일정 트랙에서 부상만 할 때 각각의 경우 슬라이더와 디스크 간의 상대 속도가 달라지며, 이에 따라 defect 의 형성에도 다른 영향을 미칠 것으로 예상하고, Seeking motion 을 진행 중일 때 충격을 줌으로써 스크래치 특성의 변화를 관찰 하고자 하였다. 이를 위해 동일한 모델의 다른 하드디스크를 사용하여 A ~ D 트랙의 범위를 지속적으로 Seeking 을 시켰으며, 위와 동일한 방법으로 외부에 충격을 주고, reading/writing code 를 이용한 스캐닝을 통해 디스크의 손상 여부를 판단하였다. 이때 트랙의 범위는 슬라이더의 Seeking motion 이 최대속도인 2 m/s 까지 도달 할 수 있도록 하기 위해 A~D 로 설정하였다.

3. 실험 결과

3.1 실험 디스크의 분석 결과

하드 디스크 표면에는 디스크를 보호 하기 위해 Diamond like carbon (DLC)을 코팅 한 디스크 보호 층이 존재한다. [11] 하지만 정보를 기록하고 읽는 헤드와 정보가 저장되는 Magnetic 층 간의 간격을 최소화하기 위해 보호층인 DLC 또한 아주 얇게 형성되어 있다. 따라서 작은 충격에도 디스크 상에 물리적 손상이 쉽게 발생하게 된다. 실제 디스크 상에 발생하는 스크래치는 매우 다양한 형태를 가진다. 라인 형태를 가지는 스크래치와 burr 를 가지고 있는 스크래치, 파티클 등이 박혀 깊이 파여진 스크래치 등 여러 가지 모양의 스크래치들이 발생되며, 이는 데이터 손실 등의 요인이 된다.

Seeking/reading/writing code 를 이용하여 발생한 defect 의 물리적 손상 여부 및 정확한 위치 파악을 위해 Candela instrument 사의 optical surface analyzer (OSA)를 이용하였다. 그리고 이를 atomic force microscopy(AFM) 를 이용하여 스크래치의 너비와 깊이, 길이 등을 분석하였다. Fig. 3 은 디스크에 발생한 스크래치를 OSA 장비를 이용하여 측정 한 이미지를 보여준다. 하나의 군을 형성하면서 스크래치가 발생을 하였으며, 약 2 cm 정도의 전체 길이를 가졌다. 전체 스크래치의 발생 폭을 측정 한 결과 Fig. 3 과 같이 약 1 mm의 길이를 가졌으며, 이는 슬라이더의 가로 길이인 1 mm 와 동일 하였다. 이를 토대로 볼 때 디스크상에 발생된

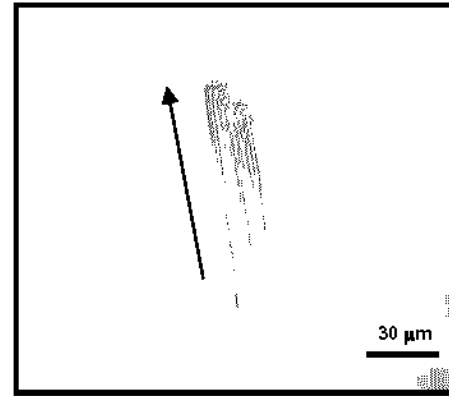


Fig. 4 Optical image of typical scratch

defect 이 슬라이더의 영향으로 인해 발생하였음을 예상할 수 있었으며, 특히 슬라이더의 양 끝 모서리가 디스크손상에 큰 영향을 미칠 것이라 사료 된다. Fig. 3 에서 볼 수 있는 것은 슬라이더가 바운싱 되면서 여러 스크래치가 동시에 연속적으로 발생한 모습을 보여주고 있으며, 그 외에도 심하게 찍힌 형태의 defect 도 다수 발견되었다. 또한 A ~ D 트랙에서 발생한 스크래치를 분석해 본 결과 트랙에 따른 스크래치의 차이를 볼 수 없었으며, A ~ D 트랙 사이를 Seeking 중 일 때와 일정 트랙에 부상만 시켰을 때 발생 되는 스크래치 또한 차이를 보이지 않았다. Fig. 4 는 발생한 스크래치의 전형적인 형상을 광학 현미경을 이용하여 측정 한 이미지이다. Fig. 4 의 스크래치 형상은 이번 실험을 통해 가장 많이 발생한 스크래치의 형상으로서 스크래치 군의 앞과 뒤쪽에 주로 많이 형성

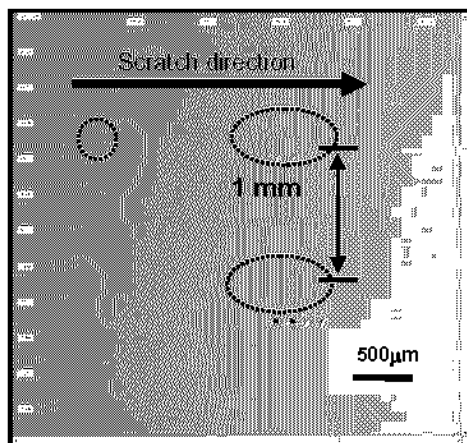
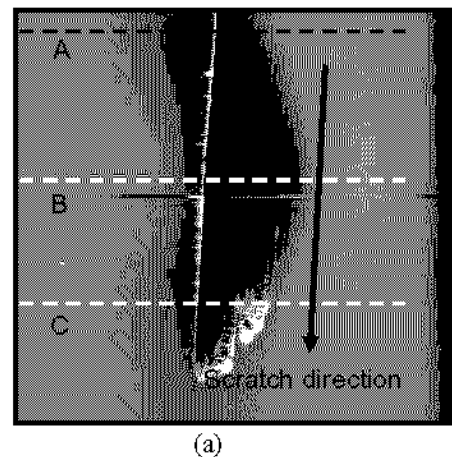


Fig. 3 Scratch analysis using OSA



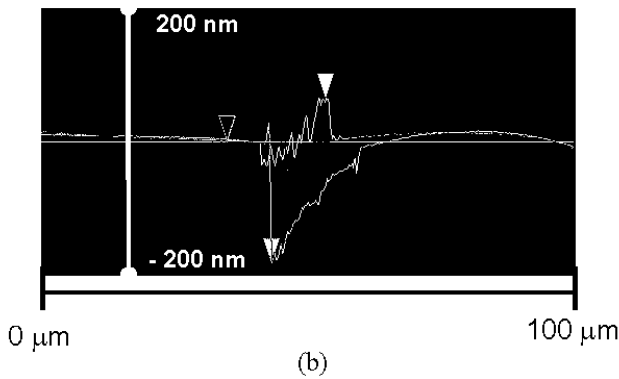


Fig. 5 Analysis of scratch using AFM

되었으며, Fig. 3에서 보는 바와 같이 슬라이더 바운싱에 의해 연속적으로 발생하였다. 이러한 스크래치의 깊이와 너비를 알아 보고 3 차원적 형상을 예측해 보기 위해 AFM 을 사용하여 분석해 보았다. Fig. 5 는 AFM 을 이용하여 측정한 Fig. 4 스크래치의 이미지와 단면 형상이다. 한쪽 모서리 부분에서 아주 깊은 깊이를 가지고 있었으며, 슬라이더가 디스크의 회전 방향으로 이동하면서 서서히 빠져 나오는 것을 예상할 수 있다. 이를 토대로 스크래치의 발생 메커니즘을 예상해 보았으며, Fig. 6 (a),(b)는 AFM 을 이용하여 측정한 스크래치의 형상을 이용하여 발생 메커니즘을 예상한 Schematic image 이다. Trailing edge 가 Fig. 6 과 같이 디스크와 접촉함으로써 스크래치가 발생 되었을 것으로 예상되며, 이때 슬라이더가 다시 부상되지 않고 연속적으로 바운싱 되면서 스크래치 군을 형성 시키는 것으로 사료 된다.

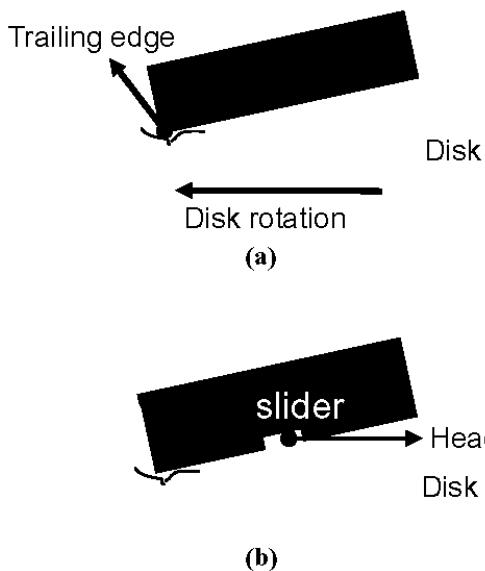


Fig. 6 Schematic of contact mechanism of Trailing edge and disk (a) side view (b) front view

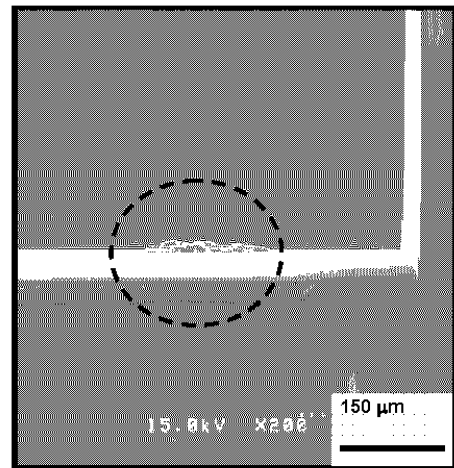


Fig. 7 Defect found at the edge region of the slider

3.2 슬라이더의 분석

슬라이더에 형성된 ABS 에 의해 헤드가 디스크 위를 안정적으로 부상하게 되고, 슬라이더의 앞부분에 부착되어 있는 헤드가 디스크에 저장된 자기 정보를 기록 및 재생 하게 된다. 현재 사용되는 헤드의 경우 열과 정전기 등에 매우 민감하게 반응하며, 약간의 접촉으로 발생하는 열에 의해서도 헤드가 손상을 입게 된다. 본 연구에서 실시한 충격 테스트 중 슬라이더 끝 단에 부착된 헤드의 파손이 빈번하게 발생하였으며, 이는 reading/writing code 를 통해 확인 할 수 있었으며, 디스크와 슬라이더의 접촉으로 발생하는 열에 의해 헤드에 손상을 준 것으로 사료된다. 또한 디스크와 슬라이더의 직접적인 접촉으로 발생 될 것이라 생각되는 슬라이더의 물리적 손상 여부를 파악하기 위해 scanning electron microscopy (SEM)을 이용하여 측정해 보았다. Trailing edge 부분과 Leading edge 부분을 측정해 본 결과 Trailing edge 부분에서는 슬라이더의 파손 부위를 찾을 수 없었으며, 다른 이물질 또한 찾을 수 없었다. 하지만, Leading edge 부분을

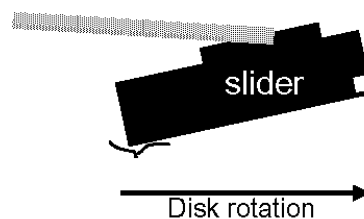


Fig. 8 Schematic of contact mechanism of leading edge and disk

측정해 본 결과 슬라이더 모서리의 일부분이 파손되어 떨어져 나간 것을 볼 수 있었다. 또한 **Leading edge** 의 양 쪽 모서리 부분에서는 디스크의 물질로 보이는 이물질이 발견되었다. Fig. 7 은 **Leading edge** 부분을 SEM 을 이용하여 측정한 이미지이다. Fig. 7 에서 슬라이더가 파손된 것을 확인할 수 있으며, Edge 부분에 많은 양의 오염 물질을 발견 할 수 있다. 이는 edge 간의 부상 높이와 디스크 회전 방향과 관련이 있다고 사료된다. 즉 **Trailing edge** 의 경우 디스크로부터 부상 높이가 **Leading edge** 에 비해 상대적으로 많이 낮으며, 또한 edge 부분의 접촉 시 구조적으로 **leading edge** 부분이 **Trailing edge** 부분보다 회전 방향과 관계하여 보았을 때 더 큰 충격이 가해 졌다고 판단된다. Fig. 8 은 이러한 결과를 토대로 예상한 스크래치 발생 메커니즘의 Schematic image 를 나타낸다. Fig. 8 과 같이 **leading edge** 가 디스크에 접촉하면서 손상을 줌과 동시에 디스크 회전에 의해 디스크 표면의 물질이 슬라이더와 함께 떨어져 나가게 됨으로써 슬라이더의 **leading edge** 에서 디스크 물질로 추정되는 오염 물질이 발견 되었을 것이라 예상된다. 또한 **leading edge** 부분이 디스크의 회전 방향과 반대로 부딪히면서 큰 충격이 발생하게 되어 슬라이더의 파손이 발생 하는 것으로 사료된다.

4. 결 론

1. 하드 디스크 외부에 충격을 가함으로써 디스크와 슬라이더 간에 접촉이 쉽게 발생하였으며, 이로 인해 슬라이더에 부착된 헤드가 전기적 손상을 입었으며, 디스크와 슬라이더에 물리적 손상이 발생하였다.

2. 외부 충격을 가했을 경우 주로 슬라이더의 Edge 부분에 의해 스크래치가 발생된 것으로 사료된다. 또한, 스크래치의 형상과 슬라이더의 분석 결과를 이용하여 스크래치의 발생 메커니즘을 예상해 보았다.

3. 슬라이더의 경우 **Trailing edge** 는 큰 손상을 찾아 볼 수 없었으며, **Leading edge** 에서 큰 손상 및 디스크의 물질로 추정되는 오염 물질이 발견되었다. 따라서 **Leading edge** 부분이 **Trailing edge** 보다 더 큰 충격을 받음으로 인해 파손이 발생하였을 것이라 사료되며, 이는 디스크의 회전 방향과 관계가 있다고 사료된다.

후 기

본 연구는 삼성전자 스토리지 사업부의 지원을 (과제번호:2005-8-1588)받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

[1] Cho, S.H., Sharma, V., 2002, "Sensitivity and Rejection Capability of Thermal Asperities in a Hard Disk Drive", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 241, pp. 466-474

[2] Zeng, Q., Pit, R., Payne, R., Baumgart, P., and Huang, F., 2005, "Modeling and Simulation of Hard-Particle Interaction in Head/Disk Interfaces", *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 42, No. 2, pp. 604-609.

[3] Ji, R., Liew, T., and Chong, T.C., 2003, "A Study of Contact-Start-Stop Wear Tracks by TOF SIMS", *Tribology International*, Vol. 36, pp. 883-888.

[4] Luo, J., Shu, D.W., M., Shi, B.J., Ng, Q.Y., Zambri, R., 2006, "Study of the shock response of the HDD with ANSYS-LSDYNA" *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* Vol. 303, pp. e57-e61.

[5] Honchi, M., Kohira, H., Matsumoto, M., 2003, "Numerical simulation of slider dynamics during slider-disk contact" *Tribology International* Vol. 36, pp. 235-240

[6] Jayson, E.M., Murphy, J., Smith, P.W., and Talke, F.E., 2003, "Head slap simulation for linear and rotary shock impulses" *Tribology International* Vol. 36, pp. 311-316.

[7] Honchi, M., Kohira, H., Matsumoto, M., 2003, "Numerical Simulation of Slider Dynamics during Slider-Disk Contact" *Tribology International* Vol. 36, pp. 235-240.

[8] Chung, K.H., Oh, J.K., Moon, J.T., Kim, D.E. 2004, "Particle monitoring method using acoustic emission signal for analysis of slider/disk/particle interaction" *Tribology International* Vol. 37, pp. 849-857.

[9] Han, J.H., Lee, R.J., Kim, D.E., 2005, "Study on the Effect of particles injected into the head/disk interface" *Proceeding of SISS fall annual conference*, pp. 179-183.

[10] Lee, J.H., Kim, D.E., Kang, T.S, 2005, "Study on surface scratch characteristics of HDD" *Proceeding of SISS spring annual conference*, pp. 279-282.

[11] Ahn, J.Y., Kim, D.E., 2001, "Effects of temperature and humidity on the friction and wear properties of DLC film on the hard disk" *Proceeding of the KSME fall annual meeting*, pp. 876-881.