

정전기력에 의해 지지된 판상체의 비접촉반송에 관한 연구

정일진*, 전종업#

A Study on the Contactless Transportation of Electrostatically-suspended Plates

Il Jin Chung* and Jong Up Jeon#

ABSTRACT

There is a strong demand for the contactless transportation device for a hard disk and silicon wafer without contaminating and damaging them. To fulfill this requirements, A transportation device for them has been proposed. But the device needs many of costly displacement sensors positioned along the transportation interval and possesses a very complicated controller and driving scheme. To overcome those kinds of drawback, in this paper, we present a very simple and cost-effective transportation device which only consists of a linear guide, very simple electrostatic suspension system and driving circuit of stepping motor. The principle of stable suspension by relay feedback control, derivation of lateral restoring force, the design of transportation system are described, followed by the experimental system. Experimental results show that a 3.5-inch hard disk has been transported with a speed of approximately 20mm/s while being suspended stably at a gap of 0.25mm.

Key Words : Electrostatic suspension (정전부상), Hard disk (하드 디스크), Relay control (릴레이제어), Transportation device (반송장치), Contactless support (비접촉지지)

1. 서론

반도체 산업이나 정보저장기기산업 등에 있어서, 기계적인 접촉에 의한 물체의 핸들링은 반송체에 직접적인 오염이나 손상을 야기시켜 생산성이란 측면에서 바람직하지 못한 결과로 이어지고 있으며, 이러한 문제점을 극복하기 위한 방안으로, 물체를 비접촉으로 지지, 반송하는 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

현재까지 물체를 비접촉 지지하기 위한 물리적

인 힘으로는 주로 자기력이나 유체력, 초음파력 등이 사용되어 왔다. 그러나, 이러한 힘들은 환경이나 부상물체의 특성에 따라 그 용도가 제한되어진다. 자기력의 경우 그 부상력은 다른 힘에 비해 상당히 크나 부상체가 자성체에 국한되는 단점을 갖고 있으며, 유체력은 부상체의 종류에 제한이 없으나, 초정정 환경이나 진공환경에서는 사용이 곤란하고, 초음파력은 부상력이 극히 작아 실용적인 측면에서 사용이 제한되는 단점을 갖고 있다. 이에 반해, 본 연구에서 이용하고자 하는 정전기

* 접수일: 2005년 2월 15일; 게재승인일: 2005년 8월 9일

* 울산대학교 대학원 기계자동차공학과

교신저자: 울산대학교 기계자동차공학부

E-mail: jujeon@ulsan.ac.kr Tel: (052) 259-2139

력은 초청정 환경이나 진공 환경 등 특수한 환경에서도 사용이 가능하고, 하드 디스크, 실리콘 웨이퍼, 유리 판넬 등과 같은 판상체(板狀體)의 경우 실용적으로 사용 가능한 충분한 크기의 부상력을 낼 수 있으며, 도체, 반도체, 비자성체, 절연체 등 거의 모든 종류의 물체에 부상력을 가할 수 있는 장점을 갖는다.

정전기력을 이용하여 물체를 비접촉 지지하기 위한 연구로써, Knoebel¹은 폴라리스 잠수함용 항법 안내장치로써 정전부상형 진공자이로를 개발하였으며, Kumar² 등은 마이크로 액추에이터의 마찰문제를 해결하기 위해 정전기력에 의한 회전자에 비접촉 지지기구를 제안하였고, Rhim³ 등은 고온 고진공 환경 하에서의 물질연구에 정전부상을 이용하였다. Jin 등⁴은 4 인치 실리콘 웨이퍼를 정전기력을 이용하여 비접촉 지지하였고, 이후 Jeon 등은 반도체 제품이나 LCD, PDP 등의 제조공정에 사용하기 위한 비접촉 지지기구의 개발을 목표로 8 인치 실리콘 웨이퍼⁵, 크기 100×100 mm²인 유리판넬⁶을 정전기력을 이용하여 부상하는데 성공하였다.

한편, 1998 년에 저자 등⁷은 실리콘 웨이퍼를 정전기력을 이용하여 단순히 비접촉 지지하는 데에 그치지 않고 이를 부상시킨 상태에서 원하는 위치까지 비접촉 반송하는 비접촉 지지, 반송시스템을 개발하였다. 본 장치에 있어서, 웨이퍼의 상면에는 두 세트의 스트립(strip) 형상의 전극이 반송방향을 따라서 연속적으로 나열되어 있다. 웨이퍼는 웨이퍼의 바로 상면에 배치된 전극에의 인가전압을 능동적으로 제어함으로써 항상 안정적인 부상상태를 유지하며, 반송력은 이송방향을 따라 배치된 스트립 형상의 전극에의 인가전압을 원하는 이송방향으로 절환해 감에 따라 웨이퍼의 에지(edge)부분에 발생하는 횡방향 복원력을 이용하여 얻게 된다. 이 때 웨이퍼가 이송되어 감에 따라 웨이퍼의 위치/자세를 측정하기 위한 위치센서도 동시에 절환되어 간다. 이 시스템은 여러 개의 웨이퍼를 연속적으로 반송할 수 있어 생산성 측면에서는 매우 유리하다고 할 수 있으나, 반송구간 전체에 걸쳐 고가의 위치센서가 대량으로 배치되어야 하며, 전극에의 인가전압을 절환해 가며 제어해야 하므로 제어계가 매우 복잡해지는 단점을 가진다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 리니어 가이드 시스템을 이용한 정전반송시스템에

관하여 기술한다. 판상의 부상체(하드 디스크)를 부상시키기 위한 전극부를 리니어 가이드의 이송 테이블에 직접 체결하고 이를 반송방향으로 이송시킴으로써 부상체에 발생하는 횡방향 복원력에 의해 부상체는 반송방향으로 이송되어 진다. 본 연구에서는 보다 저가의 반송시스템을 구현하기 위해 기존에 주로 사용되어 왔던 고가의 PID 제어법(제어기의 주요 구성요소는 PID 제어기, 고전압 증폭기, 아날로그식 변위센서 등으로 특히, 고전압 증폭기가 매우 고가임) 대신에 저가의 릴레이 제어법을 사용하였다.

2. 릴레이 제어법을 이용한 정전부상

본 절에서는 정전 반송을 논하기에 앞서, 부상체의 비접촉 지지를 위해 사용된 릴레이 제어법과 정전부상의 원리에 대하여 기술한다.

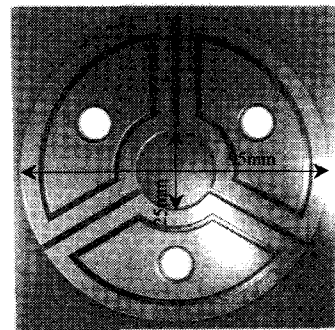
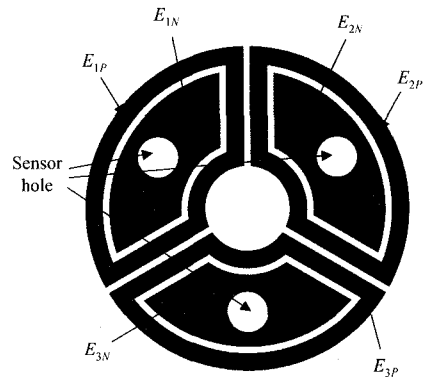


Fig. 1 Electrode pattern and its photograph for the suspension of a 3.5-inch hard disk

2.1 부상전극

Fig. 1 은 하드 디스크를 비접촉 부상시키기 위한 전극의 패턴(상)과 실제로 제작된 전극(하)을 나타낸다. 전극은 부상체의 축방향(z 축)운동과 수평면내의 2 축(x, y 축)에 대한 회전운동, 즉, 핏칭, 롤링운동의 안정화를 도모하기 위하여 각각 2 개의 전극으로 구성되는 3 개의 전극그룹으로 나뉘어져 있으며, 각 전극그룹은 각각 디스크에 정전기력을 인가하기 위한 하나의 액추에이터로서 작용한다. 그림에 있어서 전극 E_{iP} 와 E_{iN} 이 하나의 전극그룹 i 를 형성한다. 단 $i=1,2,3$ 이다. 전극 E_{iP} 와 E_{iN} 은 동일면적이고 또 이들 전극에 전압이 인가될 때 서로 반대극성의 같은 절대치를 갖는 전압이 인가되어 하드 디스크의 전위는 영볼트를 유지하도록 되어 있다. 전극 E_{iP} 와 E_{iN} 의 면적중심점은 일치하고 그 면적중심점에는 변위센서가 설치되어 있다. 또, 전극 E_{1P} 와 E_{2P} , E_{3P} 에 의해 형성되는 원의 외경은 하드 디스크의 직경과 같다.

2.2 릴레이 제어법에 의한 정전부상의 원리

Fig. 2 는 릴레이 제어법을 이용한 정전부상시스템의 구성도이다. 와전류 센서(eddy-current type sensor)에 의해 검출된 부상값 $z_i(i=1,2,3)$ 은 릴레이 제어기내의 비교기에 입력되고 이 입력된 부상값 z_i 가 목표값 z_{i0} 보다 클 경우, 릴레이 제어기내의 스위칭 소자는 부상 전극에 직류 고전압을 공급하게 되며(전극 E_{iP} 에는 전압 V_{ON} 이, 전극 E_{iN} 에는 전압 $-V_{ON}$ 이 인가됨), 이와 반대일 경우에는 직류 고전압을 차단하게 된다. 부상 전극에 공급된 직류 고전압은 디스크와 전극간에 정전흡인력을 발생시키며, 이 정전흡인력은 디스크의 자중과 평형을 이루게 되어 디스크는 목표로 하는 기준값을 유지하며 부상하게 된다. 전극 E_{iP} 와 $E_{iN}(i=1,2,3)$ 에 의해 디스크에 작용하는 정전 흡인력 F_i 는 다음과 같다.

$$F_i = \frac{1}{2} \epsilon A_i \left(\frac{V_i}{z_i} \right)^2 \quad (1)$$

여기서, ϵ , z_i , A_i , V_i 는 각각 공간매질의 유전율, 부상값, 전극 E_{iP} , E_{iN} 과 디스크간 검쳐진 부분의 면적, 전극 E_{iP} (또는 전극 E_{iN})에 인가되는 전압이다.

제어대상에 댐핑력이 존재하지 않는 본래 불안정한 시스템에 대하여 전술한 바와 같은 간단한 형태의 릴레이 제어법칙을 적용하게 되면, 스위칭 소자 등 제어요소에 반드시 존재하는 불감대 등의

여러 가지 요인으로 인해 계는 불안정한 리미트 사이클(limit cycle)의 거동을 보인다. 그러나 정전부상이 대기환경에서 행하여 질 경우에는 상대적으로 큰 공기의 댐핑력(air film damping force)으로 인해 부상체의 운동은 안정된 리미트 사이클을 형성하게 된다. 즉, 이 댐핑력이 부상체의 운동에 안정성을 부여하며, 따라서 정전부상시스템에 저가의 릴레이 제어법을 적용하는 것이 가능하게 된다.

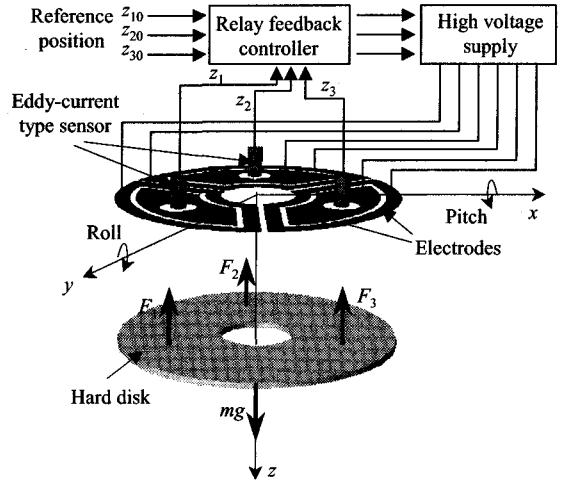


Fig. 2 Schematic diagram of an electrostatic suspension system using relay feedback control

한편, 부상체의 측면에 있어서는, 부상체의 x, y 운동을 능동제어하기 위해 측면에 대항하도록 전극을 배치하여 전압을 인가하여도 부상체(디스크) 측면의 면적이 대단히 작기 때문에 큰 정전기력을 얻을 수 없고 제어계만 복잡하여질 뿐이다. 따라서 본 연구에서는 디스크의 x, y 운동의 안정화에 수동안정성을 이용한다. 즉, 전극들에 의해 형성되는 전극 패턴의 외곽형상과 그 크기가 디스크의 그것과 동일하고 전극들이 디스크의 상부에 배치되어 있으므로, 디스크의 x, y 운동은 정전장의 프린지필드(fringe field) 효과에 의해 수동적으로 구속되어 안정된 거동을 보인다.⁸

3. 정전반송 장치의 설계

본 절에서는 부상체 반송시, 반송력의 발생원

인 횡방향 복원력⁹에 대한 개략적인 계산과 반송 장치의 설계 등에 대하여 기술한다.

3.1 횡방향 복원력

가상일의 원리를 이용하여 횡방향 복원력을 개략적으로 계산하면, 복원력 F_{lat} 는, 부상 전극과 부상체간에 형성된 전기장에 축적된 에너지 W 의, 횡방향 잇갈림 x 에 대한 변화율로

$$F_{lat} = \frac{\partial W}{\partial x} \quad (2)$$

와 같다. 부상 전극과 부상체간의 전위차를 V , 이들간의 정전용량을 C 라 하면 W 는

$$W = \frac{1}{2}CV^2 \quad (3)$$

와 같고, 이것을 식(2)에 대입하면 복원력 F_{lat} 는

$$F_{lat} = \frac{\partial W}{\partial x} = \frac{1}{2} \frac{\partial C}{\partial x} V^2 \quad (4)$$

와 같이 구해진다. 상기 식에서 보는 바와 같이 복원력 F_{lat} 는 x 에 대한 C 의 변화율에 비례한다.

Fig. 3은 전극이 이송방향으로 가속됨에 따라, 전극과 부상체간에 횡방향 잇갈림이 발생하고, 이로 인해 횡방향 복원력이 발생하는 모습을 도시한 것이다. 부상 전극과 부상체가 교차하는 부분의 면적이 그들간의 간격에 비해 충분히 큰 경우(대부분의 정전부상계에 있어서 이 조건은 만족된다), 거의 대부분의 전하는 부상 전극과 부상체간에 중첩하는 부분에 존재한다고 가정할 수 있으므로, 본문에서는 전기장은 그 중첩되는 부분에만 존재한다고 가정한다. 또한, 전기장이 균일하게 분포되어 있다고 가정하면, 정전용량 C 와 횡방향 복원력 F_{lat} 는

$$C = \frac{\epsilon A}{z} \quad (5)$$

$$F_{lat} = \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\epsilon}{2z} V^2 \quad (6)$$

와 같다. 여기서, ϵ , z 는 각각 공간매질의 유전율과 부상갭이고 A 는 교차하는 부분의 면적으로 이를 계산하면,

$$A = 2r_o^2 \cos^{-1}\left(\frac{x}{2r_o}\right) - 2r_i^2 \cos^{-1}\left(\frac{x}{2r_i}\right) - x \left[\sqrt{r_o^2 - \frac{x^2}{4}} - \sqrt{r_i^2 - \frac{x^2}{4}} \right] \quad (7)$$

와 같다. 단, r_i 와 r_o 는 각각 디스크의 내반경과 외

반경이다. A 를 계산함에 있어서 센서의 홀과 전극간 간극부분의 넓이는 전체 교차하는 면적에 비해 매우 작으므로 생략하였다. 식(7)을 식(6)에 대입하면 복원력 F_{lat} 은

$$F_{lat} = \frac{\epsilon V^2}{z} \left[\sqrt{r_o^2 - \frac{x^2}{4}} + \sqrt{r_i^2 - \frac{x^2}{4}} \right] \quad (8)$$

과 같다. 이와 같이 횡방향 복원력을 개략적으로나마 평가하는 가장 큰 이유는 부상체를 가능한 빠른 속도로 반송하기 위함이다. 즉, 이송하려는 전극을 v_i 의 속도에서 v_f 까지 상승시킬 때, 이때의 가속도와 부상체의 질량의 곱은 횡방향 복원력보다 작거나 같아야 안정적인 비접촉 반송이 가능하기 때문이다.

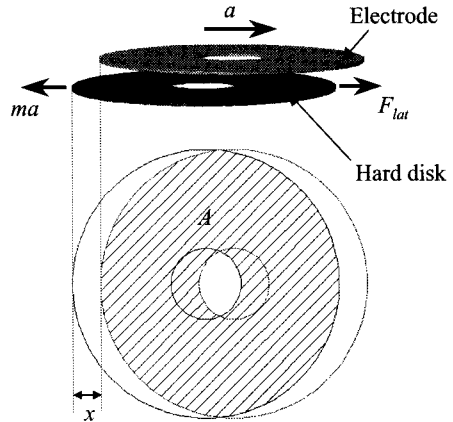


Fig. 3 Relative translation of the hard disk with respect to the electrode being accelerated and lateral restoring force

3.2 정전반송시의 가속시간

전극부가 등속운동을 하며 이송될 경우, 부상체는 관성력을 받지 않으므로, 부상체는 목표하는 지점까지 안정적으로 반송될 수 있다. 그러나, 전극부가 최초 속도 제로에서 지나치게 빠른 시간내에 반송속도 v 로 가속될 경우, 과도한 관성력이 부상체에 가해지게 되므로, 미약한 횡방향 복원력으로 부상체의 안정적인 반송을 하는 데에는 무리가 있다. 따라서, 부상체는 최초 제로의 속도에서 반송속도 v 까지 적절한 시간에 걸쳐 가속되어야 하며, 감속 역시 적절한 시간에 걸쳐 제로속도에

이르러야만 부상체는 비접촉 지지된 상태에서 빠른 시간내에 목표하는 지점까지 안정적으로 반송될 수 있다. 여기서, 적절한 시간(가속)이란 가속에 의한 관성력이 횡방향 복원력 F_{lat} 보다 작은 범위 내에서 최대 가속도가 얻어지는 시간을 말한다.

3.3 정전반송장치의 설계

반송장치는 크게 부상체의 이송을 위한 리니어 가이드와 리니어 가이드를 구동하기 위한 모터, 그리고 모터의 가감속을 제어하기 위한 제어장치로 구성된다. Fig. 4는 정전 반송장치의 개략도를 보여주고 있다. 리니어 가이드를 구동하기 위한 모터는 피드백 제어없이 오픈 루프 상태에서 간단히 가감속제어가 가능한 스텝핑 모터를 사용하였다. 일반적으로 스텝핑 모터는 동작이 스텝형이고 진동이 발생하기 쉽다는 단점을 갖는다. 따라서, 가능한 구동부가 정속하고 정밀한 구동을 할 수 있도록 하기 위해 0.72°의 스텝각을 갖는 5 상 스텝핑 모터를 사용하였으며, 5 상 스텝핑 모터의 스텝각을 1/100 까지 분해 가능한 마이크로 스텝 드라이브를 사용하였다.

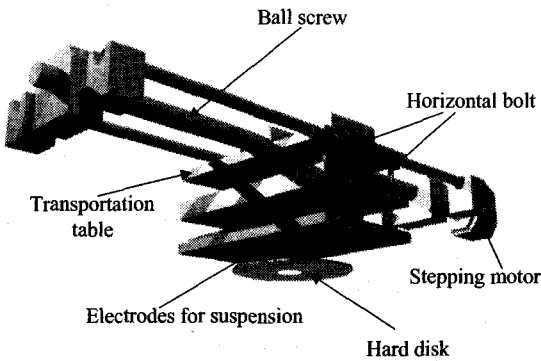


Fig. 4 Schematic diagram of the transportation system

반송장치의 분해능은 스텝핑 모터의 펄스당 스텝각, 리니어 가이드부의 볼스크류 피치, 모터와 볼스크류 체결시의 감속비, 그리고 마이크로 스텝 드라이브의 분해능에 의해 결정되며, 이를 식으로 나타내면

$$l = \frac{P\theta_s}{360} i_1 i_2 \quad (9)$$

와 같다. 단, l , P , θ_s , i_1 , i_2 는 각각 분해능, 볼스크류

피치, 스텝핑 모터의 스텝각, 감속비, 마이크로 스텝드라이브의 분해능이다.

반송장치의 구동은 일반적으로 스텝핑 모터 구동 시에 가장 널리 사용되는 가속, 등속, 감속의 속도 프로파일로써 구동하게 된다. 이 때 최대 가감속 주파수는 등속운동을 하기 위한 인입토크와 스텝핑모터의 여자최대정지토크와의 차와 테이블부의 관성, 모터의 로터관성, 리니어 가이드부의 볼스크류 관성에 의해서 결정된다. 먼저 이송부가 등속운동을 할 때의 인입토크를 계산하면

$$T_L = \frac{\mu MP}{2\pi\eta} + \frac{\mu_0 \mu MP}{6\pi} \quad (10)$$

와 같다. 단, μ , M , η , μ_0 는 각각 가이드와 테이블간의 마찰계수, 테이블부의 질량, 볼스크류의 효율, 볼스크류와 테이블부의 연결 너트 브라켓내 마찰계수이다. 테이블부의 관성 모멘트(J_T), 볼스크류의 관성 모멘트(J_B), 모터의 관성 모멘트(J_M), 그리고 이 관성모멘트들의 총합은

$$J_T = M \left(\frac{P}{32} \right)^2$$

$$J_B = \frac{\pi}{32} \rho_B L_B D_B^4 \quad (11)$$

$$J_{total} = J_B + J_T + J_M$$

와 같다. 단, ρ_B , L_B , D_B 는 각각 볼스크류의 밀도, 길이, 직경이다. 식(11)에서 구해진 총관성 모멘트와 인입토크를 이용하여 최대 가감속 주파수는

$$f_a = \left| \frac{df}{dt} \right| = \frac{T_{max} - T_L}{J_{total}} \frac{180}{\pi} \quad (12)$$

와 같이 결정되어 진다. 여기서, T_{max} 는 모터가 갖는 여자최대정지 토크이다. 모터의 여자최대정지 토크가 클수록 최대 가감속 주파수를 크게 할 수 있지만, 그만큼 모터의 로터관성 또한 커지므로, 스텝핑 모터는 고속, 고토크의 성능에 맞게 적절히 선정하여야 한다. 마지막으로, 구동속도는 식(9)에서 구한 분해능 l 과 가감속 주파수 a_f , 구동 주파수 f_d 에 의해 결정되며

$$v = l(f'_a + f_d) \quad (13)$$

와 같다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 정전반송장치

Fig. 5는 본 연구에서 제작한 정전부상 및 반

송장치의 사진이다. 부상 전극과 하드 디스크간의 갭을 측정하기 위한 센서로는 와전류 센서를 이용하였다. 3 개의 수평조절 나사(Fig. 4 참조)를 설치하여 부상장치 전극부의 수평조절을 행하였으며, 3 개의 마이크로 미터 헤드를 사용하여 부상 전극과 하드 디스크간의 초기갭을 셋팅하였다.

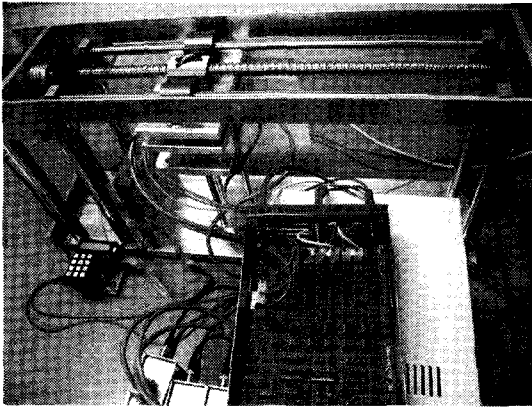


Fig. 5 Photograph of experimental apparatus

반송시의 최대 가감속 주파수는 약 1200pps 로 설계되었으며, 분해능은 스텝당 0.02mm 이고, 총 반송거리는 50cm 이다. 반송장치의 최대 가감속 주파수로 반송장치의 가감속이 이루어진다면, 스텝핑 모터의 탈조가 일어나 반송장치에 큰 무리를 줄 수 있다. 따라서, 어느 정도 안전계수를 고려하여 1000pps 의 가감속 주파수를 최대 가감속 주파수로 설정하였다.

4.2 정전부상 실험 및 고찰

정전반송실험에 앞서 대기환경에서 3.5 인치 하드 디스크의 부상실험을 수행하였다. Fig. 6 은 목표 갭이 0.25mm, 전극에의 스위칭 전압이 0.8kV(-0.8kV)일 때, 부상용 전극과 하드 디스크 간의 간격을 부상용 전극의 면적중심점에 설치된 3 개의 와전류 센서를 이용하여 동시에 측정한 것으로, 하드 디스크가 안정적으로 부상되고 있음을 보여 주고 있다. 그러나, Fig. 6 에서 알 수 있듯이, 하드 디스크는 정상상태에서 진폭 약 50 μ m 의 리미트 사이클 거동을 보임을 알 수 있다. 저자는 실리콘 웨이퍼의 정전부상실험을 수행한 경험을 갖고 있으며, 실리콘 웨이퍼가 부상 후 진폭 약 5 μ m 의 진동

을 하며 안정적으로 부상된 것과 비교한다면, 하드 디스크의 50 μ m 의 진동은 매우 크다고 할 수 있다. 이와 같이 하드 디스크에 있어서 리미트 사이클의 진폭이 매우 큰 이유는 실리콘 웨이퍼보다 하드 디스크가 갖는 면적이 작고 하드 디스크의 중심에 직경 25mm 인 홀이 존재함으로 인해, 공기의 스퀴즈필름 효과에 의한 댐핑력이 상당히 작아졌기 때문이다. 부상갭을 0.25mm 보다 더 줄임으로써 공기의 댐핑력을 증가시키면(댐핑력은 부상갭의 3 승에 반비례함), 하드 디스크 진동의 진폭은 상당히 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 정전반송 실험 및 고찰

Fig. 7 은 정전반송실험을 수행한 결과로써, 각각 시간에 따른 부상 전극과 하드 디스크간의 엇갈림량(relative distance), 반송 가속도, 반송 속도, 반송 거리를 보여주고 있다. 가감속 주파수는 1000pps 로 설정하였으며, 이를 속도로 변환하면 20mm/s 이다. 하드 디스크의 엇갈림량을 측정하기 위해 5 \times 1cm² 의 얇은 구리 판에 하드 디스크와 동일한 곡률을 주어 측정 타겟을 만든 뒤, 이를 하드 디스크의 한 쪽 측면에 부착하였다. 엇갈림량 측정용 센서로는 와전류 센서를 이용하였다.

가속 구간에 있어서 하드 디스크는 전극으로부터 최고 0.62mm 까지 이송방향의 반대방향으로 치졌으나, 이후 점차 치짐량이 감소하였다. 즉, 최초 반송을 시작할 때 디스크의 관성력으로 인해 디스크는 부상 전극의 이송 속도를 따라가지 못하고 뒷 쪽으로 치지게 되나, 이후 치짐에 따라 발생하는 면적변화율에 의한 횡방향 복원력이 관성력보다 크게 작용하여, 하드 디스크와 전극간의 엇갈림량이 점차 좁혀지게 되었다. 등속구간에서는 관성력이 제거되면서 하드 디스크는 약 0.1mm 의 진동을 하며 안정적으로 반송되었다. Fig. 7 에서 보는 바와 같이 등속 구간 및 정지 구간에 있어서 디스크의 관성력이 없음에도 불구하고 하드 디스크와 전극간의 횡방향 엇갈림이 발생하는 이유는 전체 반송구간내에 있어서 반송장치의 수평도가 다르기 때문이다. 이런 이유로 인해, 본 실험에서는 반송구간을 최초 설계된 50cm 에서 어느 정도 수평도가 보장되는 15cm 로 좁혀서 실험을 수행하였다.

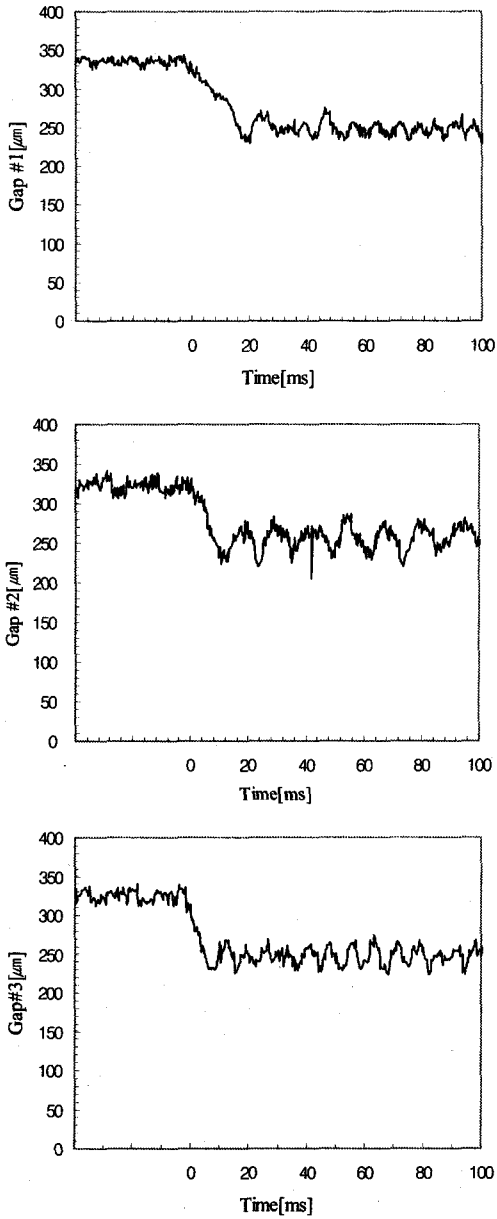


Fig. 6 Gap variations during the suspension process of 3.5-inch hard disk (gap: 0.25mm)

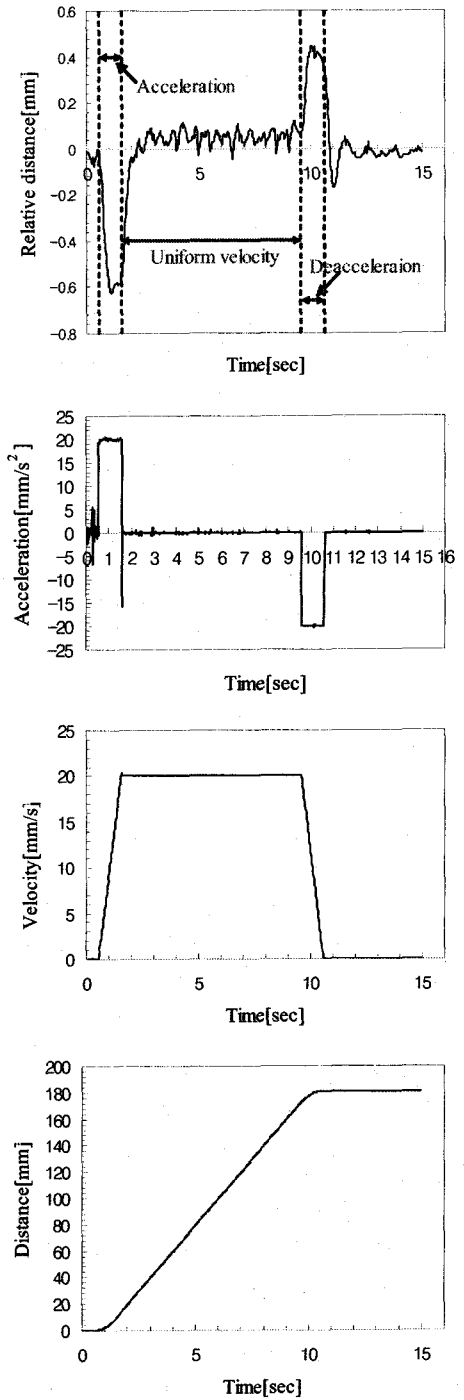


Fig. 7 Relative distance of the hard disk with respect to the electrodes, and acceleration, velocity and displacement of the hard disk from the start point

5. 결론

본 논문에서는 릴레이 제어법을 이용하여 하드 디스크를 정전기력으로 비접촉 부상시킨 뒤, 리니어 가이드 시스템을 이용하여 이를 20mm/s의 속도로 50cm의 이송 구간을 반송하는 데 성공하였다. 본 논문에서 개발한 정전부상 및 반송시스템에서는 디스크의 정전부상을 위해 매우 고가인 기존의 PID 제어법 대신에 저가의 릴레이 제어법을 사용하였으며, 반송시스템으로는 일반적으로 널리 사용되고 있는 리니어 가이드 시스템을 채용함으로써 기존의 정전반송계와 같이 고가의 위치센서를 반송구간 전체에 걸쳐 대량으로 배치할 필요 없이, 부상용 전극부에만 설치하면 되기 때문에 기존의 정전부상 및 반송계에 비해 매우 저가격으로 장치를 구현할 수 있는 장점을 갖고 있다.

후 기

이 논문은 2003년 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Knoebel, H. W., "The Electric Vacuum Gyro," Control Engineering, Vol. 11, pp. 70-73, 1964.
2. Kumar, S., Cho, D. and Carr, W. N., "Experimental Study of Electric Suspension for Microbearings," IEEE/ASME J. Microelectromechanical Systems, Vol. 1, No. 1, pp. 23-30, 1992.
3. Rhim, W. K., Chung, S. K., Barber, D., Man, K. F., Gutt, G., Rulison, A. and Spjut, R. E., "An Electrostatic Levitator for High-Temperature Containerless Materials Processing in 1-g," Review of Scientific Instruments, Vol. 64, No. 10, pp. 2961-2970, 1993.
4. Jin, J., Higuchi, T. and Kanemoto, M., "Electrostatic Silicon Wafer Suspension," Proc. 4th Int. Symp. Magnetic Bearings, ETH Zürich, Switzerland, pp. 343-348, 1994.
5. Jeon, J. U., Jin, J. and Higuchi, T., "Electrostatic Suspension of 8-inch Silicon Wafer," Proc. Inst. Electrostat. Jpn., Vol. 21, No. 2, pp. 62-68, 1997.
6. Jeon, J. U. and Higuchi, T., "Electrostatic Suspension of Dielectrics," IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 45, No. 6, pp. 938-946, 1998.
7. Jin, J., Yih, T. C., Higuchi, T. and Jeon, J. U., "Direct Electrostatic Levitation and Propulsion of Silicon Wafer," IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 34, No. 5, pp. 975-984, 1998.
8. Woo, S. J., Jeon, J. U., Higuchi, T. and Jin, J., "Electrostatic Force Analysis of Electrostatic Levitation System," Proc. 34th SICE Annual Conf., Sapporo, Japan, pp. 1347-1352, 1995.
9. Jeon, J. U., Park, K.-T. and Park, K.-Y., "A Measurement Apparatus of Lateral Restoring Force Exerted on Electrostatically Suspended Object," J. Korean Society of Precision Engineering, Vol. 22, No. 2, pp. 60-69, 2005.