

전자 종이 응용을 위한 평판 전극위의 하전된 마이크로입자의 정전 분리력 연구

Electrostatic detachment force of micro-sized particle on a plate electrode for e-paper applications

*#김승택^{1,2}, 이상호², 조영준², 김용권¹

*#Seungtaek Kim^{1,2} (stkim@kitech.re.kr), Sangho Lee², Yong-Kweon Kim¹, Youngjune Cho²
¹ 서울대학교 전기공학부, ² 한국생산기술연구원 생산시스템연구부

Key words : charged particle, e-paper, detachment force

1. 서론

최근에 다양한 종류의 전자 종이에 연구들이 이루어지고 있다[1-4]. 예로, E-ink 사의 microcapsules[2], micro cups[3], Xerox 사의 twist balls[4], Bridge stone 사의 dry charged particle[1] 등이 있다. 앞에서 예시한 전자 종이는 Bridge stone 사의 전자종이를 제외하고 주로 유체 속에서 정전력을 이용하여 입자를 이동시키거나 회전시켜 사용자가 바라보는 면의 픽셀 색깔이 달라지는 원리를 이용한다. 한편, Bridge stone 사의 전자 종이는 공기를 미디어로 이용하고 색깔이 다른 두 입자에 다른 전하량을 하전시켜 두 전극에 만들어지는 전기의 방향에 따라서 입자들이 각기 다른 반대방향으로 이동하고, 결과적으로 사용자가 바라보는 면에서 다른 색상이 나타나게 된다. 공기를 미디어로 사용하기 때문에 유체속의 입자와 비교하여 응답속도가 상대적으로 빠른 장점을 가지고 있다. 이러한 타입의 전자 종이는 마이크로입자를 정전력을 이용하여 공기중에서 두 평판 전극 사이에서 전계를 이용하여 top 전극과 bottom 전극 사이를 천이하며 다른 색상을 나타나게 되기때문에, 전자 종이 패널의 구동에서 입자의 천이 특성이 매우 중요함을 알 수 있다.

본 연구에서는 전자 종이를 설계함에 있어서 중요한 공기에서 전계에 따른 입자의 천이 특성을 예측하고자 우선적으로 하전된 마이크로 입자의 평판 전극에서의 Gravitational force, van der Waals force, electrostatic image force의 힘들을 입자의 크기와 전하량에 따라서 계산하고 비교하여 보고자 하며, 이러한 힘의 분석을 통해서 전하량 및 크기에 따라서 부착력이 최소가 되는 조건이 있음을 확인하였고, 이를 이용하면 bottom 전극에 놓여 있는 하전된 입자를 top 전극에 인가한 전압을 이용하여 분리 시키기 위한 정전 분리력의 크기를 예측할 수 있고, 이 전압이 전자 종이 패널의 구동부에서 공급 가능한 전압의 유무를 판단하는 기준으로 활용 될수 있을것으로 판단한다.

2. 본론

하전된 입자가 평판 전극위에 놓여 있을 때 Electrostatic Image force, 입자와 bottom 전극사이의 van der Waals force, 입자의 질량에 의한 Gravitational force 에 대하여 분석하고자 한다. 먼저 Gravitational force 를 계산하기 위해서[5], 공기의 밀도는 1.18kg/m^3 , 입자의 밀도는 $1.3 \times 10^3\text{kg/m}^3$ 이다. 입자의 직경의 범위는 1 부터 $1000 \mu\text{m}$ 까지 변화시켜 Gravitational force (F_g)를 Fig. 1 에 나타내었다. Fig.1로부터 약 $60 \mu\text{m}$ 이하의 직경에서 약 1nN 이하의 값과 약 $100 \mu\text{m}$ 부근에서 10nN 을 갖음을 알 수 있다. 다음으로 하전된 입자가 plate 전극에 존재 할 때 Electrostatic image force(F_i)는 부호가 반대이고 크기가 같은 전하의 image charge 를 반대편에 놓고 해석하므로 입자의 지름을 D 라 할 때 $F_i = Q^2 / (4 \times \pi \times \epsilon_0 \times D^2)$ 로 표현된다[6]. 따라서 F_i 의 식을 이용하여

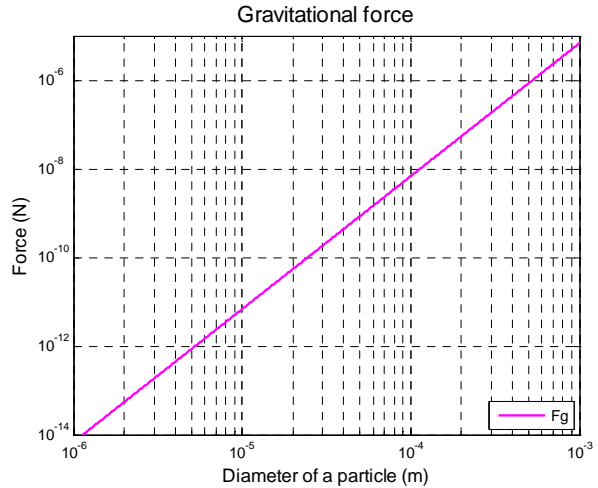


Fig. 1 Gravitational force

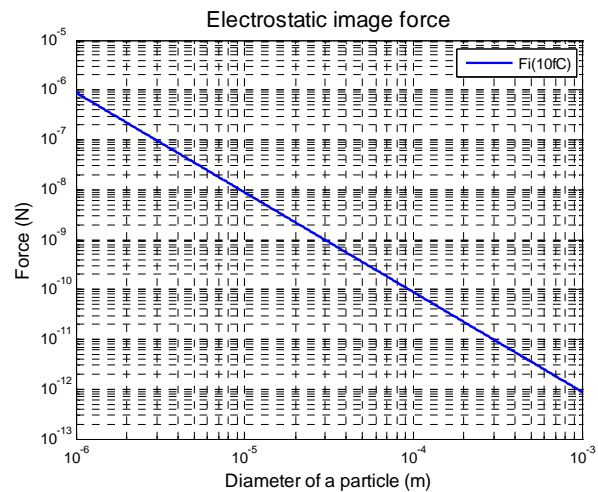


Fig. 2 Electrostatic image force

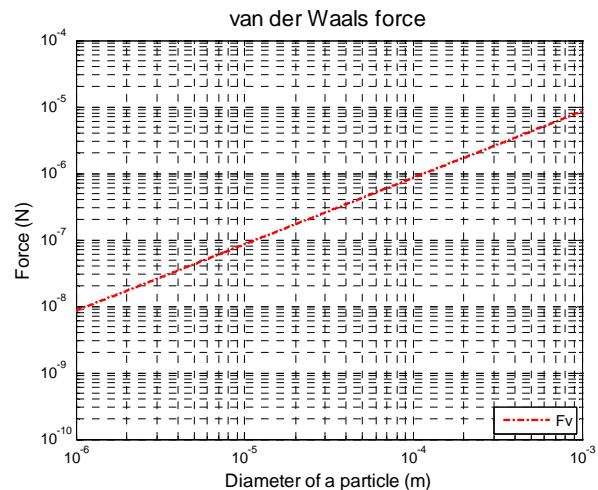


Fig. 3 van der Waals force

입자 한 개의 전하량 Q 가 $10fC$ 일 때 입자의 크기에 따른 F_i 를 Fig.2 에 나타내었다. Fig.2 에서 $10fC$ 의 전하량에서 약 $10\mu m$ 의 입자 직경에서 약 $10nN$ 의 힘을 갖음을 알 수 있다.

평면위에 입자가 존재 할 때의 van der Waals force (F_v) 의 계산식은 $F_v=A \times D / (12 \times z_0^2)$ 와 같다[7]. 여기서 A 는 Hamaker constant 이고, D 는 입자의 직경, z_0 는 separation distance 이다. Hamaker constant 는 보통 $10^{-19} \sim 10^{-20} J$ 의 범위에 있으므로 본 계산에서는 A 는 5×10^{-20} 으로, z_0 는 마이크로 입자의 경우 실험적으로 $4 \sim 10 \text{ \AA}$ 정도이며[8], 본 계산에서 7 \AA 으로 각 범위의 중간값으로 계산하였다. Fig.4 에서 $10\mu m$ 에서 약 $100nN$ 의 force 를 갖고 $1\mu m$ 에서도 $10nN$ 부근임을 알 수 있다.

앞의 3 가지 힘을 비교하면 입자의 전하량이 $10fC$ 에서 직경이 $5\mu m$ 부근에서 F_i 와 F_v 가 비슷함을 알 수 있다. 이를 경계로 $5\mu m$ 이하에서는 F_i 가 지배적이라 할 수 있고 $5\mu m$ 이상에서는 F_v 가 지배적임을 알 수 있다.

Fig. 4 는 앞에서 계산한 각 힘을 입자가 bottom 전극에 있을 때, $F_{total} = F_v + F_i + F_g$ 로 표시되며, 녹색의 실선으로 나타내었다. 그래프에서 보는 바와 같이 $10fC$ 의 전하량을 갖을 경우 입자의 직경이 약 $7\mu m$ 부근에서 가장 작은 부착력을 갖는다. 따라서 이를 이용한 입자의 정전 분리를 위한 최소의 분리력에 필요한 전압은 top 전극과 bottom 전극과의 거리로 인가 전압을 나누어 주어 $F_{detach} = QE$ 값이 최소의 부착력보다 큰 값을 갖아야 함을 알 수 있다.

Fig.5 는 $F_{total} = F_v + F_i + F_g$ 를 나타낸 그래프로 top 전극에 입자가 붙어 있는 경우에 입자에 작용하는 힘을 나타내었다 할 수 있다. 입자의 크기가 $1000\mu m$ 이상에서는 입자의 부착력이 중력보다도 작아 전극으로부터 분리 될 수 있어 전자 종이의 입자 기능을 수행 할 수 없게 된다.

3. 결론

평판 전극위에 $10fC$ 으로 하전된 입자를 직경을 변화시키면서 입자의 부착력을 Gravitational force, Electrostatic image force, van der Waals force 로 나누어 계산하여 보았다. 본 계산에 사용된 Electrostatic image force 모델은 입자의 중앙에 점전하로 전하량을 갖고 직경이 D 인 간단한 모델을 적용하였고, van der Waals force 에 사용된 변수는 마이크로사이즈급의 입자에 실험치로 논문에 언급된 값들을 인용하였다. 3 가지 힘의 계산을 통해서 특정 전하량에서 가장 작은 부착력을 갖는 입자의 크기가 존재함을 알 수 있었고, top 전극에서 중력의 영향에 의해서 입자의 크기의 제한값이 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. R. Hattori, S. Yamada, Y. Masuda and N. Nihei, "A novel bistable reflective display using quick-response liquid powder," SID DIGEST03, 75-80, 2003.
2. Henzen A, Pitt M, Yasui M, Dijkman W, Amundson K, Zehner R, Gates H, "Development of active matrix electronic ink display for smart handheld applications," Proceeding of International Display Workshop 02, 227-230, 2002.
3. R.C. Liang, Jack Hou, HongHei Zang, and Jerry Chung, "Passive matrix microcup electronic display," Fr-17-4 IDMC03, 2003
4. N.K. Sheridon et al, "The gyricon rotating ball display," Journal of the society for information display, 7 2 141-144, 1999.
5. K. Sakai, S. Tsuru, D.L. Abella and M. Hara, "Conducting particle motion and particle-initiated breakdown in dc electric field between diverging conducting plates in atmospheric air," IEEE Transactions on dielectric and electrical insulation 6 1,

122-130, 1999.

6. Dan A. Hays "Toner Adhesion" 41-48 Advances in particle adhesion, 1996
7. Hmaker HC. "The London-van der Waals attraction between spherical particles," Physica, 1058-1072, 1937
8. Krupp H. Particle adhesion, theory and experiment, Adv Colloid Interface Sci. 1967

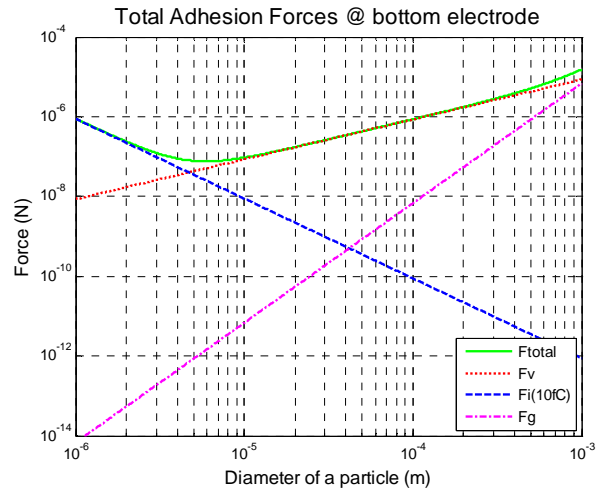


Fig. 4 Adhesion force of charged particle at bottom electrode

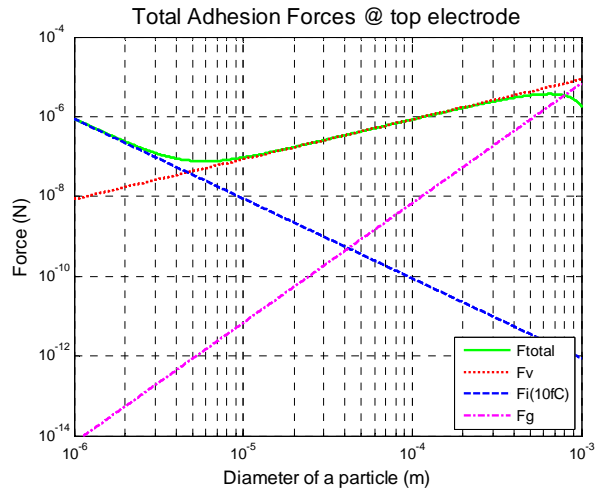


Fig. 5 Adhesion force of charged particle at top electrode