

**폴리도파민 마이크로플루이딕시스템: 이차원, 중력이용 mixing 장치**  
**Polydopamine Microfluidic System toward a Two-Dimensional, Gravity-Driven Mixing Device**

유인성<sup>a\*</sup>, 이해신<sup>b,†</sup>

<sup>a</sup>KAIST 나노과학기술대학원 (E-mail: harold\_you@kaist.ac.kr), <sup>b</sup>KAIST 화학과

**초 록:** 친수성 코팅 물질인 폴리도파민을 초소수성표면에 패터닝함으로써 이차원 마이크로 플루이딕 장치 (폴리도파민 마이크로플루이딕 장치)를 만들. 폴리도파민 마이크로플루이딕 장치는 마이크로 펌프가 없이 오직 중력만을 이용해서 액적의 이동을 가능케하는 기술임. 또한 이 장치는 매우 빠르게 액적을 손실없이 혼합시키는 기술임. 본 기술을 이용하여 금입자 반응 및 단백질 구조 분석을 수행함.

**1. 서론**

기존의 삼차원적 마이크로플루이딕스개념을 이차원 표면 위에서 적용시킨 이차원 마이크로 플루이딕 장치를 개발하기 위해서 즉, 표면 위에서 미세 유체 액적을 제어하기 위해서는 표면 에너지가 매우 작고 물에 대한 반발력이 매우 강해 코팅이 어려운 초소수성 표면을 친수성 물질로 코팅을 해야 하는데 이것이 그동안 매우 힘든 문제임. 하지만 최근 거의 모든 표면 위에 달라붙을 수 있는 홍합을 모방하여 새로운 접착코팅물질인 폴리도파민이 규명되었고 폴리도파민은 초소수성 표면을 잘 개질할 수 있음이 보고되었음 본 연구에서는 광리소그라피 기술을 이용하여 홍합모방코팅물질인 폴리도파민을 초소수성 표면에 패터닝할 수 있었고 이를 통해 이차원 마이크로 플루이딕 장치 (폴리도파민 마이크로플루이딕 장치)를 만들.

**2. 본론**

그림 1에서와 같이 광리소그라피 기술을 통하여 구부러진 폴리도파민라인을 초소수성 표면 위에 코팅을 하게 되면 폴리도파민 라인 위로 액적의 이동이 제한되는 것이 가능함. 이러한 원리를 통하여 폴리도파민 마이크로플루이딕 장치를 개발함.

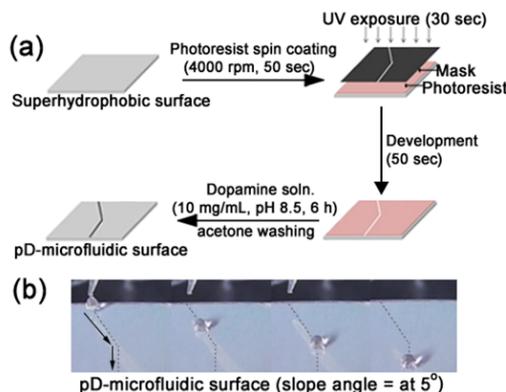


Fig. 1. The introduction of permanent hydrophilic polydopamine (pD) microlines on superhydrophobic AAO surfaces. The water droplet moves along the predetermined pD lines.

그림 2에서 볼 수 있듯이 Y자 형태의 폴리도파민 라인 패턴을 초소수성 표면에 도입시키고 마이크로뷰렛, 표면 기울기 조절 장치를 이용하여 전체 마이크로플루이딕 시스템을 개발함. 이를 통하여 중력만을 이용하여 유체를 떨어뜨리고 액적형태로 이동을 제어하여 미세유체 반응기로 이용함. 하지만 이러한 경우의 단점은 액적과 액적이 액체의 종류에 따른 점성의 차이 그리고 액체가 떨어지게 되는 뷰렛의 차이 등으로 인하여 두 액적이 만나지 않고 떨어지게되는 경우가 발생함.

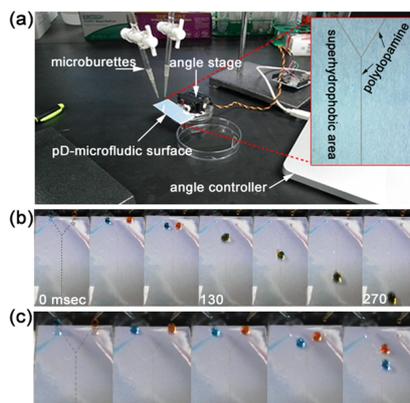


Fig. 2. (a) A photograph of the pD-microfluidic device. (b) Operation of the pD-microfluidic device. A droplet of methyl orange (10 mL, pH 4.4, red) and a droplet of bromocresol green (10 mL, pH 5.3, blue) were mixed on the pD-microlines (width = 60 mm, slope angle = 5°). (c) Failure of droplet mixing by various unpredictable causes during operation. Even two droplets simultaneously applied could not be mixed due to the difference in the speed of the two droplets.

따라서 Y자 형태의 교차점에 추가적인 폴리도파민 마이크로패치를 도입하여 100% mixing이 가능하도록 표면 장치를 변화시켰음 (그림 3). 또한 추가적인 폴리도파민 마이크로패치로 인하여 중력에 의한 힘과 표면장력에 의한 힘의 균형을 제어함으로써 액적의 이동, 섞임, 정지 등의 복잡한 거동의 제어가 가능함.

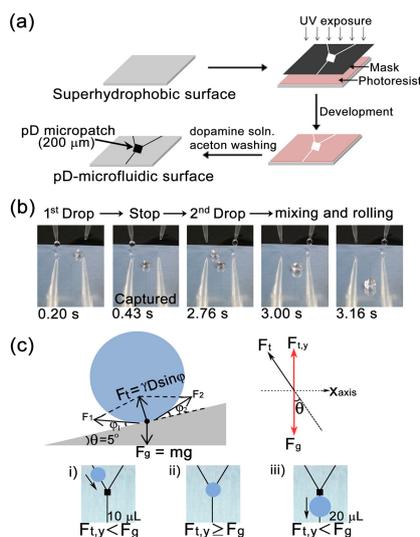


Fig. 3. (a) Schematic of procedures to introduce a square pD micropatch (width = 200 mm) at the intersection of the pD-microfluidic surface. (b) Overcoming the droplet mixing failure described in Figure 2 (c) by capturing the first droplet (2nd photo). When the second droplet is mixed (3rd and 4th photos), the droplet starts to roll down (5th photo). (c) A mechanical description of the roll and capture of the droplet. When the downward component ( $F_g$ ) is greater than the upward component ( $F_{t,y}$ ), the droplet rolls (shown in Figures i and iii). When  $F_g$  is smaller than  $F_{t,y}$ , the droplet is captured (shown in Figure ii).

마지막으로 폴리도파민 마이크로플루이드 장치를 통하여 금나노입자를 합성하였음. 벌크상으로 만들 때보다 합성이 되는 액적의 부피가 매우 작은 효과로 인하여 균일한 크기의 금 나노 입자가 만들어짐.

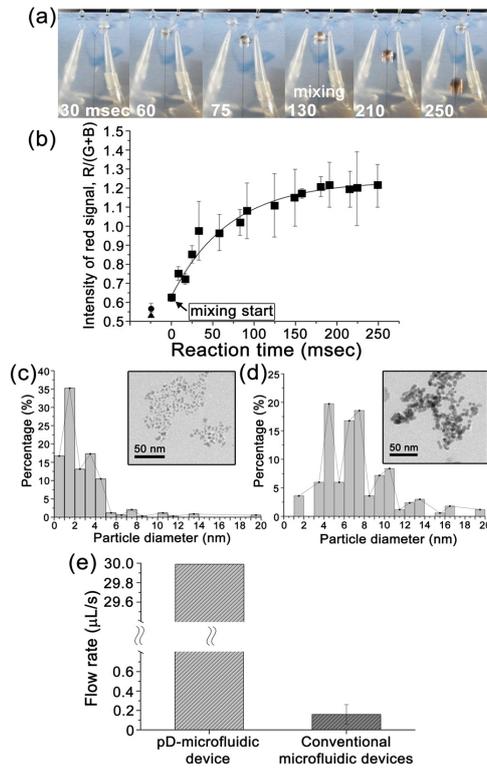


Fig. 4. Synthesis of AuNPs using the pD-microfluidic device.

### 3. 결론

초소수성 표면 위 친수성을 띤 폴리도파민 패턴을 통하여 폴리도파민마이크로플루이딕을 개발함. 폴리도파민마이크로라인위에서 미세유체 액적의 이동과 섞임이 정밀하게 중력을 이용하여 제어가 되며 투입되는 에너지가 없기 때문에 매우 에너지 효율이 뛰어나. 또한 초소수성 표면 위에서 수 십 마이크로 스케일의 라인 형태로 패턴이 되었기 때문에 액적의 dragging force를 최소화하며 이로 인하여 액적이 움직인 뒤의 잔여 흔적이 남지 않음. 또한 Y자 형태의 교차점에 추가적인 폴리도파민 사각 패치를 도입시킴으로써 액적이 멈추고 다시 굴러 떨어지는 정밀제어가 가능하고 100% 액적들의 섞임이 가능함. 폴리도파민 마이크로플루이딕 장치를 통하여 균일한 크기의 금나노입자를 생성하였고 또한 매우 빠르게 단백질의 구조 분석을 하였음.

### 참고문헌

1. I. You, S. M. Kang, S. Lee, Y. O. Cho, J. B. Kim, S. B. Lee, Y. S. Nam, H. Lee, *Angew. Chem. Int. Ed.* 51 (2012) 6126-6130