

정전기력 기반의 마이크로 사이즈 폴리머 비드 주입 공정 연구 A research about micro size polymer bead injecting process based on electrostatic force

양봉수* · 양성욱* · 고정범** · 최경현*** · 도양회*†
Bong-Su Yang*, Sung-Wook Yang*, Jung-Bum Ko**,
Kyung-Hyun Choi*** and Yang-Hoi Doh*†

(Received 11 January 2016, Revision received 4 April 2016, Accepted 4 April 2016)

Abstract: This research proposal is based on a novel non-contact technique of micro-sized bead injection process for fabrication of electronic paper display. This non-contact injection process is based on the principle of electrostatic force and uses micro-sized metal-coated beads dispersed in a solution. The dispersion retention times of three different solutions with viscosities of 10 cps, 100 cps, and 1000 cps were measured by optical equipment showing the retention times of 5 mins, 10 mins, and 30 mins respectively. The dispersion retention rate dropped as the time passed. The dispersion retention characteristic of 1000 cps solution was more stable as compared to those of 10 cps and 100 cps meaning that higher viscosity has better retention properties. The experimental results of bead injection at different viscosity levels of the solution were also measured and a stable injection result was achieved by using 1000 cps solution. This results show that stable injection is dependent on solution viscosity and dispersion.

Key Words : Metal coated polymer ball, Micro Bead Injection Process, Electrostatic Force, Silicone oil, Dispersion Rate, Electronic paper

1. 서 론

일반적으로 전자종이 디스플레이는 기존 인쇄 매체인 종이 재질의 신문, 잡지 등과 LCD(liquid crystal display)와 같은 일반 전자 디스플레이의 특징을 동시에 갖고 있다. 소재 및 구성 특성 상, 종이 재질 매체가 갖는 질감과 시안성, 전자 디스플레이

레이의 사용 편의성을 합한 형태를 갖는다. 이러한 장점을 갖는 전자종이 디스플레이를 기반으로 한 다양한 연구와 상용화가 이루어지고 있다¹⁾. 근래의 전자종이 디스플레이 디바이스의 대표적인 구동 기술은 흔히 E-INK라고 불리는 전기영동(electro-phoretic)법 방식으로 마이크로 사이즈의 전하를 띤 비드입자를 사용한다. 이는 각 양전하

*† 도양회(교신저자) : 제주대학교 전자공학과
E-mail : yhdoh@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3713
*양봉수, 양성욱 : 제주대학교 전자공학과
**고정범 : 한국생산기술연구원 제주지역본부
***최경현 : 제주대학교 메카트로닉스공학과

*† Yang-Hoi Doh(corresponding author) : Department of Electronics Engineering, Jeju National University.
E-mail : yhdoh@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3713
*Bong-Su Yang, Sung-Wook Yang : Department of Electronics Engineering, Jeju National University.
**Jung-Bum Ko : Korea Institute of Industrial Technology
***Kyung-Hyun Choi : Department of Mechatronics Engineering, Jeju National University.

와 음전하로 대전된 흑, 백 입자를 저 유전을 액체에 분산시킨 뒤 전압을 인가, 각각의 입자를 양전극판 사이에서 이동시켜 이미지를 형성하는 방식이다. 이러한 방식은 대전된 입자의 구동속도가 느리고, 높은 구동전압과 제한된 계조 표현 등의 단점을 가지고 있다²⁾. 이와 다른 형태로 원천기술에 대한 연구가 진행 중인 마이크로 비드(micro bead) 기반 전자종이 디스플레이³⁾는 단일 비드를 픽셀로 사용하는 방식이 기존 전기영동 방식과 달리, 단일 마이크로 비드의 전기적 성질을 전극의 극성에 따라 제어할 수 있다.

마이크로 비드 방식의 전자종이 디스플레이 제조공정은 크게 마이크로 비드 제어용 패널 제작, 마이크로 비드 주입 공정, 반사판 제작 및 접합, 구동 연결 순으로 진행이 된다. 이 중 패널 내 마이크로 비드를 주입하는 공정의 경우, 스퀴지(squeegee)를 사용한 공정이 주입공정으로 활용되고 있다. 스퀴지를 활용한 마이크로 비드의 대량 주입공정은 비드가 혼합된 용액을 주입하고자 하는 기관 상에 드롭하고 일정한 힘으로 밀어넣기 위한 스퀴지를 사용하여 각 셀 내에 주입한다. 스퀴지를 사용한 주입 방식은 비교적 짧은 주입시간 및 공정 편의성이 장점이지만 공정 상 비드 손상이 발생하여 비드의 원래 기능 동작에 문제가 발생하기도 한다.

본 연구에서는 마이크로 비드 기반 디스플레이의 제조를 위해 새로운 비드 주입기술로서 대면적, 정밀주입이 가능한 정전기력 기반의 비 접촉식 주입공정을 제안하였다. 또한 마이크로 비드에 대한 분산특성과 주입특성 간의 관계를 분산특성과 주입특성 실험으로 진행하여 확인하였다.

2. 마이크로 비드 기반 전자종이 디스플레이

2.1 구성 및 특징

마이크로 비드 기반의 전자종이 디스플레이의 구조는 반사와 발광의 선택적 구동이 가능한 반사/발광모듈과 마이크로 셀의 투과기능, 차단기능으로 이미지 구현이 가능한 광학서터모듈로 구성

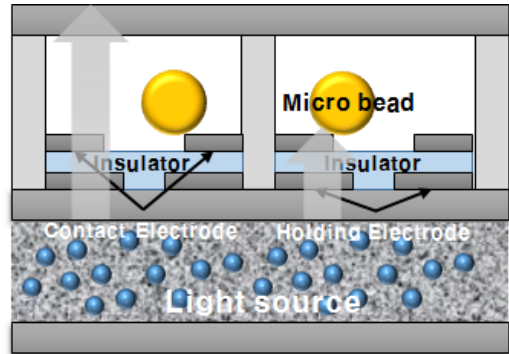


Fig. 1 Structure of e-paper display based on micro bead

되어 있다.

마이크로 비드 전자종이의 각 픽셀은 Fig. 1과 같이 마이크로 사이즈의 격자 형태 셀로 구성되어 있다. 각 픽셀 내에는 비활성용액으로 차 있으며 용액 내에 단일 마이크로 입자가 위치하고 있다. 각 픽셀 내에 위치한 돌출형태의 접촉전극과 고정전극에 미세전압을 인가하여 마이크로 비드의 선택적인 구동을 제어한다. 이러한 마이크로 비드의 구동을 통하여 반사/발광모듈에서 생성되는 픽셀 별 컬러를 선택적으로 선별하고 사용자가 원하는 형태의 이미지를 구현하게 된다.

마이크로 비드 기반 전자종이 디스플레이에서 각 셀 내 단일 입자로 활용되는 마이크로 비드는 polystyrene 혹은 poly-methyl methacrylate 등 화학적 결합이 이루어진 고분자 입자를 Emulsion 중합법, Dispersion 중합법, Suspension 중합법, Seed 중합법 등을 통하여 직경 수백nm에서 수십 μ m 크기로 제조한다. 이렇게 제조된 비드는 용도에 따라 바이오센서, 디스플레이 등에 넓게 활용되고 있다.

전자종이 디스플레이에서 활용하는 마이크로 비드의 경우 전극을 사용하여 비드의 미세 구동을 제어한다. 본 연구에 활용된 마이크로 비드는 Fig. 2와 같이 (주)동진세미켄에서 제작한 폴리머 비드 외부에 전극에 의한 전하 형성을 위한 메탈 코팅공정을 추가로 진행한 샘플을 (주)노마디엔을 통해서 제공받았다.

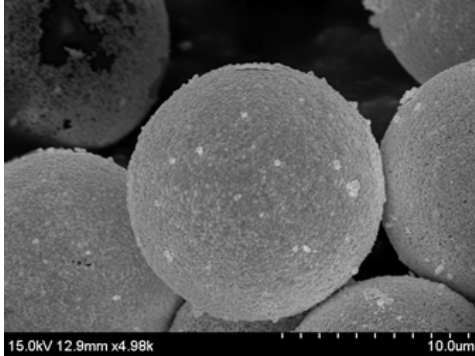


Fig. 2 Image of metal coated micro bead

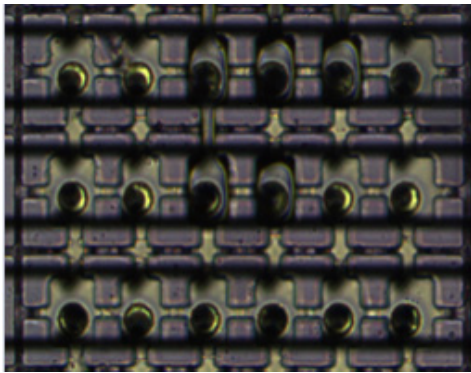


Fig. 3 Image of E-paper pixel based on micro bead

메탈 코팅 공정이 진행된 마이크로 비드의 주입 공정은 Fig. 3과 같이 셀 패턴이 형성된 기판⁴⁾을 고려대학교에서 공급받아 픽셀을 구성하는 각 셀 내에 일정하게 주입하는 공정에 사용되었다.

이러한 셀 내에 일정하게 마이크로 비드를 주입하는 공정은 필수적으로 높은 위치 정밀도 및 균일도가 요구된다. 그러나 현재 마이크로 비드 전자종이 디스플레이 제조공정에 적용되고 있는 비드 주입 공정은 대량 주입과 정밀 주입 부분에서 문제점을 가지고 있다. 따라서 마이크로 비드에 대한 픽셀 내 비드의 정밀 주입 및 원하는 위치의 연속적인 주입이 가능한 공정 연구가 필요하다.

2.2 마이크로 비드 주입 공정

현재 마이크로 비드 기반의 디스플레이 제조공정상에서 비드의 정밀주입공정으로 나노 팁 주입

기술과 미세 홀 주입기술이 사용되고 있다⁵⁾. 나노 팁 주입기술은 수 μm 사이즈의 팁에 미세전압을 인가하여 비드를 팁 끝에 고정시키고 이를 주입하고자 하는 피 주입체에 자유 하강시켜 주입하는 기술이다. 정밀광학장치를 이용하여 주입하고자 하는 위치에 세팅 후, 인가한 미세전압을 제거하여 비드 자체의 무게에 의한 주입이 진행된다. 나노 팁 주입방식은 주입하고자 하는 면적에 비례하여 나노 팁 배열을 증가시켜야 하고 주입위치정밀도가 광학장치에 의해 결정되는 단점이 있어 대면적 주입방식으로는 한계가 있다.

미세 홀 주입방식은 피 주입 면적과 동일한 면적의 기관 내 미세 홀 배열에 비드를 주입하고 미세 홀 배열 기관을 피 주입체와 동일한 면상에 위치시켜 주입하는 방식이다. 주입하고자 하는 면적이 대면적인 경우에도 면적에 해당하는 주입체 제작이 가능하여 나노 팁 방식보다 대면적 주입 방식으로 효율적이다. 그러나 마이크로 비드의 피 주입체 전체에 대한 균일한 주입공정 제어가 어려운 단점이 있다. 따라서 대면적의 마이크로 비드 기반 디스플레이의 제조를 위해서 위의 두 가지 비드 주입방식의 단점을 보완하는 대면적, 정밀주입이 가능한 주입기술 연구가 필요하다.

기능성 소재를 사용한 마이크로 패터닝 기술로 다양한 분야에 활용되고 있는 정전기력 기반 토출 기술은 정량토출과 미세토출이 가능한 장점을 갖고 있다. 소재에 대한 제한성 또한 낮아서 이를 비드에 대한 주입공정으로 활용할 경우, 소재 미세토출 및 정량토출이 비드 혼합 소재에도 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

3. 마이크로 비드 분산성 및 주입공정 연구

정전기력 토출 공정⁶⁾ 기반의 마이크로 비드 주입기술은 헤드 내 전극 간에 형성되는 전기장의 흐름을 이용하여 미세 액적을 정밀하게 분리, 토출하는 기술이다. 비드와 용액의 혼합재료를 사용하며, 시스템 내 챔버로 이를 공급하고 정밀하게 압력을 제어하여 시스템 노즐로 이동시킨다. 그리고 노즐 내 전극에 형성되는 전기장으로 액적 형

태로 기판 상에 주입하는 과정⁷⁾으로 진행된다. 마이크로 비드 혼합용액에 대한 최적 주입공정을 위해서는 전위차에 의해 형성되는 정전기력이 비드에 일정하게 인가되어야 한다. 이러한 마이크로 비드의 안정된 전기장 인가를 위해서는 용액 내 비드의 분산성을 고려해야 하며 마이크로 비드가 용액 내에서 일정하게 분산되어 있어야 한다.

본 연구에서는 정전기력 기반의 마이크로 주입 시스템에 대한 디스플레이 제조공정 내 적용 가능성을 확인하기 위해 실제 광학서터모듈에 사용하는 용액과 마이크로 비드의 분산특성과 주입특성에 대한 실험을 진행하였다. 그리고 혼합용액의 점도에 따른 분산특성과 주입특성의 영향을 실험 결과를 통해 도출하였다.

3.1 마이크로 비드 분산성 연구

용액 내 분산된 마이크로 비드는 시간에 따라 입자 자체의 질량 및 용액과의 비중 차이에 의해 침전이 발생하거나 입자 자체 부력에 의해 용액의 상부로 이동한다. 이와 동시에 입자 자체는 유동성을 갖으며 유동성의 변화에 따라 분산특성이 결정된다. 이러한 마이크로 비드와 용액 간의 분산특성 확인을 위해 용액과 마이크로 비드의 혼합실험을 진행하였다.

기존 실험을 통해 가장 안정적인 분산 특성을 보인 마이크로 비드와 용액 간 혼합비율 100:1을 기준으로 각기 다른 점도를 갖는 동일 특성용액을 사용하여 혼합하였다. 실제 전자종이 픽셀 내 구동용으로 사용되는 실리콘 오일은 화학적 안정성이 높고 외부 영향에 낮은 반응성으로 마이크로 비드의 구동안정성에 적절한 용액으로 본 연구에 활용되었다.

혼합된 용액은 각 점도 별 샘플시료로 제작하여 시간에 따른 용액의 분산 상태와 분산유지시간을 측정하였다. 본 연구를 위해 Table 1에서와 같은 직경 15 μm 의 Au/Ni 표면 코팅된 폴리머 볼과 실리콘 오일(KF-96/ 10cs, 100cs, 1000cs)을 사용하였다.

마이크로 비드의 분산특성 평가를 위해 각 점도 별 혼합용액 상태에서의 용액과 비드의 분리 현상이 일어나는 시점까지의 분산유지시간을 측정하였다. 각 샘플 별 전체 광학측정 가능면적 ($1.3 \times 0.9 \text{ (mm)}^2$)에서 분산상태가 양호하며 뭉침이 발생하지 않은 비드와 전체 면적에서 측정된 이미지 상에서 비드 총 수량을 이미지 처리 프로그램을 통해 측정하였다. 측정된 총 비드 수량에서 개별로 분리 상태를 유지하고 있는 비드의 수량을 측정하여 이를 비율로 정리하였다. 그리고 총 비드 수량에 대한 개별 분리 상태인 비드의 비율을 분산율(dispersion maintenance rate)로 정리하였다.

각 혼합용액에 대한 분산유지시간을 측정한 결과, Table 2에서와 같이 점도 10cs에서는 약 5분간 분산유지가 가능하였고 점도의 상승에 따라 10cs에서 약 10분, 1000cs에서 약 30분의 분산유지시간을 확인하였다. 표면처리 하지 않은 유리 기판 상에 $1 \times 1 \text{ (mm)}^2$ 범위의 3개의 구역을 나누고 각 점도 별 마이크로 비드의 혼합용액을 주입하여 시간에 따른 분산상태의 변화를 확인하였다.

그 결과, 혼합용액의 주입 후 10cs에서 분산 상태를 측정하여 Fig. 4의 (a)와 같이 분산 상태를 확인할 수 있었으나 분산 5분 이후에서는 분산상태의 변화가 없었다. 100cs에서는 분산 10분 후 Fig. 4의 (b)와 같이 일정량의 비드간의 뭉침을 확인하였으며 10분 이후 분산율의 변화는 낮아짐을

Table 1 Material list of micro bead mixture

Material	Name
Micro bead	Au/Ni polymer ball (Dia : 15 μm)
Fluid#1	Silicone oil(10cs)/ KF-96
Fluid#2	Silicone oil(100cs)/ KF-96
Fluid#3	Silicone oil(1000cs)/ KF-96
Mixing ratio	100:1

Table 2 Result of each solution's dispersion maintenance time

Fluid type	Dispersion time
Silicone oil(10cs)	5 (Min)
Silicone oil(100cs)	10 (Min)
Silicone oil(1000cs)	about 30 (Min)

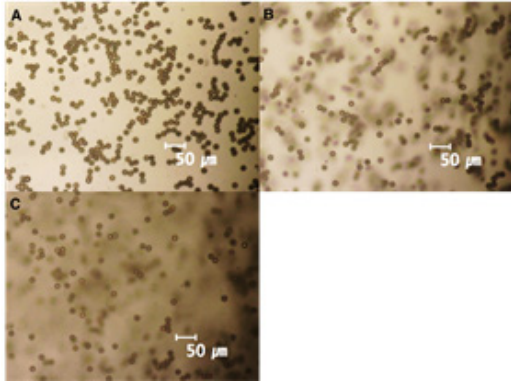


Fig. 4 Optical image of dispersion state (a) 10cs (after injecting mixed solution), (b) 100cs(after 10min) and (c) 1000cs(after 30min)

확인하였다. 1000cs에서의 분산 상태는 Fig. 4의 (c)에서와 같이 다른 점도의 분산상태보다 상대적으로 양호하였으며 30분 정도 분산유지가 가능하였다.

전체 측정면적에 분포된 전체 마이크로 비드에 대한 수와 분산이 양호한 비드 수의 비율을 분산율로 정의하여 시간에 따른 분산율의 변화를 Fig. 5와 같은 그래프로 정리하였다. 각 점도 별 시간에 따른 분산율은 점도가 가장 낮은 10cs에서 급격히 변화하여 측정 시작 5분 후 약 15%를 유지하였다. 100cs, 1000cs에서는 초기 측정 시작 시 각각

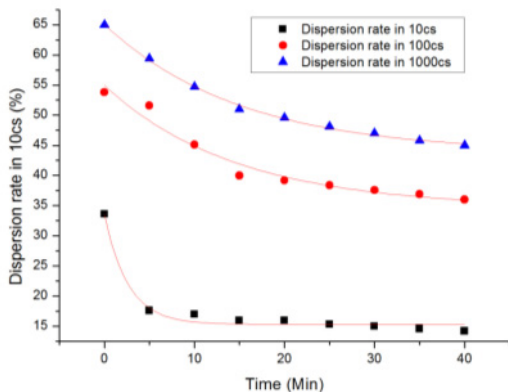


Fig. 5 Variation of dispersion rate of silicone oil and bead mixed materials.

55%, 65%에서 점차 하락하여 측정 10분 경과 각각 45%, 55%로 변화하였다.

위의 결과를 통하여 점도 별 분산유지시간의 차이와 시간에 따른 분산율 또한 낮은 점도에서는 상대적으로 급격한 변화를 확인하였다. 높은 점도에서는 시간에 따른 분산율 변화가 서서히 진행되었고 동일한 분산측정시간에 대해 1000cs에서 초기 65%의 분산율을 기록하였다. 이러한 결과를 바탕으로 마이크로 비드가 혼합되는 용액의 점도요소가 분산 상태와 분산유지시간 특성에 가장 큰 영향을 미치는 요인임을 확인하였다. 그리고 마이크로 비드 주입공정 측면에서 점도 10cs를 적용한 혼합용액 샘플과 1000cs를 적용한 혼합용액 샘플을 주입공정에 활용할 경우, 상대적으로 고점도 샘플이 주입공정에 적절하며 점도에 따른 주입공정시간 및 긴 분산유지시간에 대한 이점이 있을 것으로 예상된다.

3.2 정전기력 기반 마이크로 비드 주입공정

앞서 마이크로 비드의 분산 실험을 통하여 각 점도에 따른 분산특성의 차이를 확인하였다. 이를 이미지 처리과정을 통해 용액 내 분산상태가 양호한 비드의 비율을 분산율로 정리하여 시간에 따른 분산율의 변화를 확인하였다. 이와 같은 분산율 차이를 갖는 혼합용액 샘플의 주입공정을 위해 다음 Fig. 6과 같이 정전기력 기반의 주입시스템을 구성하였다.

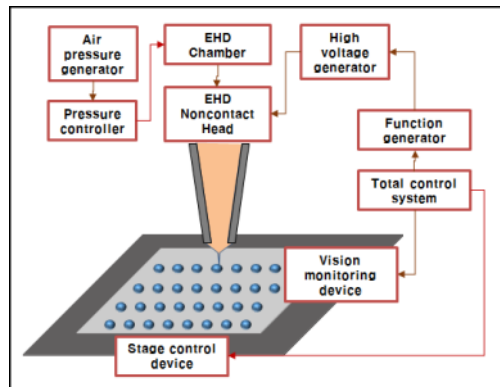


Fig. 6 Micro bead injection system based on electrostatic deposition

전체 시스템은 크게 혼합용액의 일정공급을 위한 챔버와 기관 상에 주입공정을 진행하는 헤드, 기관의 이송을 담당하는 스테이지 제어장치, 모니터링장치로 구성되었다. 비드 혼합용액은 챔버에 연결된 공급관을 통해 챔버로 공급되었고 다른 압력관을 통해 챔버 내 압력을 정밀하게 조절하였다. 챔버 내 압력은 챔버와 연결된 노즐 내 용액의 일정한 공급을 유도하였고 전극의 전기장의 흐름을 통해 미세입자형태로 주입공정이 진행되었다.

Table 3 Parameter of electrostatic injection process

Variable	Value
Nozzle size(μm)	150
Pressure(kPa)	0 ~ 0.5
Voltage(kV)	1 ~ 2
Frequency(Hz)	1 M

이를 위해 정전기력 주입공정에 0.5mm 두께의 $100 \times 100(\text{mm})^2$ 유리기관과 직경 $150 \mu\text{m}$ 의 메탈 형태의 노즐을 사용하였다. Table 3은 주입 공정에 사용한 공정 변수로 각 변수는 이전 주입공정을 통하여 도출된 최적 공정 변수를 기반으로 설정하였다. 동일한 범위 ($1.3 \times 0.9(\text{mm})^2$) 내에서 일정한 간격(X : $100 \mu\text{m}$ / Y: $100 \mu\text{m}$)으로 주입공정을 진행하였고 주입결과 포함된 마이크로 비드를 측정하여 점도 별 비드 주입공정 결과를 비교하였다.

4. 실험결과

각 점도 별 정전기력 주입 시스템상의 주입공정을 진행한 결과, 다음 Fig. 7의 (a), (b)와 같이 10cs 및 100cs에서는 상대적으로 주입된 마이크로 비드의 수가 적었고 낮은 점도로 인한 기관 상에서의 퍼짐 현상이 발생하였다. 또한 마이크로 비드의 주입형상은 불균일하였고, 비드 간 뭉침 현상이 발생하였다. 이에 반해 1000cs 용액을 적용한 마이크로 비드의 주입 공정 결과, Fig. 7의 (c)에서와 같이 비교적 일정 간격으로 용액과 혼합

된 비드의 주입형상을 확인할 수 있었다. 그리고 고배율($\times 50$)로 주입형상을 측정하여 Fig. 7의 (d)에서와 같이 용액 내 마이크로 비드가 포함되어 있는 형상을 확인하였다.

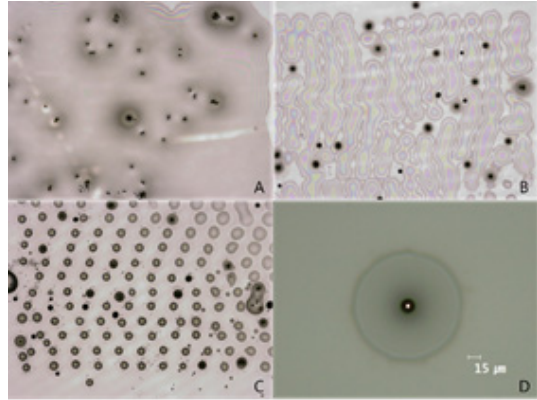


Fig. 7 Drop state of each injecting experiment (a) 10cs, (b) 100cs, (c) 1000cs and (d) Single drop result of micro bead injecting process

마이크로 비드에 대한 1000cs 혼합용액의 주입 공정 결과를 Table 4와 같이 정리하였다.

Table 4 Results of drop solution mass in 1000cs

Variable	Value
Drop Count (ea)	100
Sample area (mm ²)	1.3×0.9
Injected Micro bead in sample area(ea)	30

전체 면적에 공정 당 100회의 용액주입이 진행되었고 주입된 용액 내 포함된 마이크로 비드의 전체 수량은 30ea로 확인되었다. 전체 면적에 주입된 용액 내 마이크로 비드는 Fig. 8에서와 같이 각 점도 별 주입공정 결과, 1000cs에서 평균 2ea의 비교적 균일한 결과를 보였다.

각 10, 100, 1000cs의 점도를 갖는 용액을 주입공정에 적용하여 동일한 마이크로 비드를 기관 상에 주입 실험을 진행하였고 그 결과, 점도에 따라 주입 형상이 영향을 받았음을 확인할 수 있었

다. 또한, 점도는 주입되는 비드 수에도 영향을 미쳐 높은 점도의 혼합용액 적용 시, 비드 간 낮은 유동과 분산유지상태에 의해 상대적으로 적은 주입 수량을 보였다.

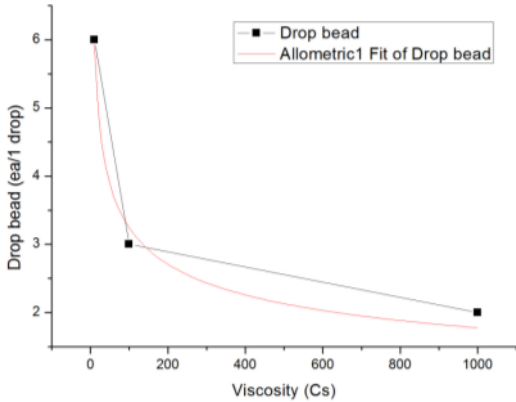


Fig. 8 Results of drop micro bead in 1 drop each solution

5. 결 론

마이크로 비드 구동 방식의 전자종이 디스플레이 형태는 다양한 장점을 갖고 있는 차세대 전자종이 방식으로 현재 원천기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 마이크로 비드 구동 방식의 전자종이 디스플레이 제조공정 상에서 마이크로 비드에 대한 정밀주입공정 기술은 나노팁 방식과 마이크로 홀 방식이 적용되고 있다. 그러나 각각 주입방식은 정밀 주입과 대량 주입 부분에서 문제점을 가지고 있어 이를 보완할 기술 연구가 필요하다.

정전기력 기반의 마이크로 비드 주입 공정은 미세 주입과 균일한 주입량 조절이 가능한 장점이 있다. 본 연구에서는 패널 셀 내 비드의 정밀 주입방안으로 활용가능한 정전기력 기반의 마이크로 비드 정밀 주입공정을 제안하였다. 그리고 정전기력 기반 주입 시스템을 구성하여 혼합용액의 주입특성 실험을 진행하였다. 먼저 각 혼합용액의 점도 별 분산특성을 확인한 결과, 각 실리콘 오일의 점도 별 분산시간 및 분산특성에 차이를

보였으며, 1000cs의 점도를 갖는 실리콘 오일의 혼합용액에서 비교적 양호한 분산특성을 확인하였다. 또한 분산특성이 확인된 마이크로 비드 혼합용액 샘플을 주입공정에 적용하여 주입형상을 확인한 결과, 분산유지시간이 상대적으로 긴 1000cs 점도의 샘플을 사용한 주입공정 결과에서 비드의 개별 주입과 안정된 주입형상 및 1회 주입당 약 2개의 비드 분포도를 확인할 수 있었다.

이는 정전기력 기반 비드 주입공정 상에서 비드와 혼합되는 용액의 점도가 분산특성 및 주입특성을 결정하는 중요한 요소이며 이를 조절하면 혼합용액의 분산특성과 정전기력 기반 주입특성을 제어할 수 있음을 예측할 수 있었다.

본 실험 결과를 통해 정전기력 기반 주입공정은 정밀 주입과 대량 주입 성능 요구를 만족시킬 수 있는 기술로 가능성을 확인하였다. 실험결과를 바탕으로 마이크로 비드 기반 전자종이 디스플레이 내 마이크로 비드에 대한 주입 균일성 확보 연구가 이루어질 경우 전자종이 디스플레이 제조공정으로써 활용이 가능할 것으로 예상된다.

후 기

이 논문은 2015년도 제주대학교 학술연구지원 사업에 의하여 연구되었음

References

1. D. G. Moon, J. I. Han and Y. H. Kim, 2005, "Development and forecast of Electronic paper technology", The Korean Physical Society, Physics & high technology, Vol. 14.
2. Y. W. Lee and J. G. Park, 2008, "Electronics paper and technology of future", Korea Institute of Science Technology Information, Emerging Issue Report.
3. H. W. Yoon, 2012, "Basic Operation Principle of Floating Metal Ball Actuator Mode with Matrix Array Structure for Novel Electronic- Paper Displays", Master thesis.

4. H. J. Park, H. W. Yoon and M. P. Hong et al, 2011, "Basic Operation Mechanisms of Floating Metal Ball Actuator Mode as Novel Electronics-Paper Displays," 2011 Society of Information Display, Vol. 42, Issue 1, pp. 1567-1569.
5. M. P. Hong, 2012, "Development of New E-paper Display Mode with Fast Moving Ball Acuator" 21st century frontier information display R&D program final report (F0004100- 2011-34).
6. K. H. Choi et al, 2011, "Study of electro- static printing system for continuous process", Korean Society for Precision Engineering Conference, Vol. 2011, No. 6, pp. 665-666.
7. K. H. Choi et al, 2014, "Research of Optimized CCPB (Conductor Coated Polymer Ball) Injection Process by Electrostatic Force", Korean Society for Precision Engineering Conference, Vol. 2014, No. 5, pp. 959-959.