



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

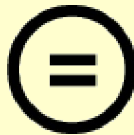
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位 論文

指導教授 金 容 奭

전자 종이 디스플레이의 구동을 위한
Liquid Powder 개발

Liquid Powder for Electro Paper Display

弘益大學校 大學院

新素材工學科

吳 珍 虎

2013年 6月 28日



HONGIK UNIVERSITY

전자 종이 디스플레이의 구동을 위한
Liquid Powder 개발
Liquid Powder for Electro Paper Display

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함.

2013年 6月 28日

弘益大學校 大學院

新素材工學科

吳 珍 虎



HONGIK UNIVERSITY

吳珍虎의 碩士學位 論文을 推薦함.

2013年 6月 28日

指導教授 金 容 奭

弘益大學校 大學院



HONGIK UNIVERSITY

吳珍虎의 碩士學位 論文을 認准함.

審 查 委 員

審查委員長 黃 埴 夏 (印)

審查委員 金 容 奭 (印)

審查委員 金 祐 埴 (印)

弘益大學校 大學院



HONGIK UNIVERSITY

국문초록

전자 종이 디스플레이에 사용되는 입자를 제작하기 위해 스티렌 모노머를 분산 중합을 통하여 폴리스티렌 입자를 제작하였다. 입자의 크기를 제어하기 위해 HPC 안정제의 농도와 스티렌 모노머에 대한 알코올의 용해도를 조절하였고 6~9um의 폴리스티렌 입자를 제작하였다. 제작된 입자들은 흰색을 띠고 있기 때문에 검정색의 입자를 제작하기 위해서는 선택적으로 입자 표면에 카본블랙을 코팅 하였다. 입자에 전기적인 성질을 부여하기 위해서 CCA(Charge control agent)를 폴리스티렌 입자에 적용 시켜 주었다. 소수성 성질을 가지고 있는 CCA는 같은 소수성 성질을 가지고 있는 폴리스티렌 입자 표면에서 중합이 발생하여 CCA가 입자 표면에 외침되어있는 전기적인 성질을 가지고 있는 입자를 제작 할 수 있었다.

양극의 CCA를 흰색 입자에 적용시켜 주었고 음극의 CCA를 검정색 입자에 적용시켜 주어 양극 입자와 음극 입자를 각 각 제작하였다. 디스플레이 구동 시 입자의 흐름 성을 향상 시켜주기 위해서 입자 표면에 실리카 나노 파우더를 코팅 시켜 주었다. 실리카 나노 파우더는 입자들 간의 접촉 면적을 최소화 시켜주어 입자가 응집되는 현상을 최소화 해주는 역할을 하였다.

마찰 대전을 통하여 양극과 음극의 입자들의 분극 정도를 증가 시켰고 디스플레이에 적용 할 수 있는 흰색의 양극 입자와 검정색의 음극 입자를 제작 하였다. 분극된 입자를 상 하판 전극 구조로 이루어진 패널에 주입하여 전기장을 걸어 주었을 경우 전기장의 방향에 따라 흰색 입자와 검정색 입자가 상 하판 투명 전극 표면으로 각 각 움직이면서 디스플레이 구현을 위한 반사도의 차이를 보였다.



목 차

국문 초록.....	5
목 차	6
그 립 차 례	8
표 차 례	10
1. 서 론	11
1.1. 이론적 배경	11
1.2. 논문 구성	13
2. 기술적 배경.....	14
2.1. 대전입자에 적용하는 힘	14
2.2. 자유 라디칼 중합방법	18
2.2.1. 벌크 중합.....	19
2.2.2. 현탁 중합.....	19
2.2.3. 용액 중합.....	20
2.2.4. 유화 중합.....	20
2.2.4. 분산 중합.....	22
3. Liquid powder의 제작	23
3.1. Liquid powder.....	23
3.2. 폴리스티렌 입자의 제조 절차	24
3.2.1. 현탁 중합을 이용한 입자 제작.....	24
3.2.2. 유화 중합을 이용한 입자 제작.....	26
3.2.3. 분산 중합을 이용한 입자 제작.....	31
3.3. 분급.....	40



3.4. 착색 공정.....	41
3.5. CCA 코팅 공정.....	43
3.5. 실리카 코팅 공정.....	46
4. 패널 제작 및 평가.....	54
4.1. 패널 공정	54
4.2. Liquid powder의 마찰 대전.....	56
4.3. Liquid powder의 주입.....	56
4.4. 패널 평가.....	61
5. 결 론	65
참고 문헌	67
Abstract	70



그림 차례

그림 2.1 입자운동의 원리	15
그림 2.2 유화중합의 모식도	21
그림 2.3 분산중합의 모식도	22
그림 3.1 현탁 중합으로 형성된 폴리스티렌 입자	25
그림 3.2 유화 중합으로 형성된 폴리스티렌 입자	27
그림 3.3 개시제 농도 변화에 따른 폴리스티렌 입자 크기 변화	28
그림 3.4 4wt% AIBA 개시제 농도 조건에서의 폴리스티렌 입자	28
그림 3.5 분산제 농도 변화에 따른 폴리스티렌 입자 크기 변화	29
그림 3.6 1wt% 분산제 농도 조건에서의 폴리스티렌 입자	29
그림 3.7 분산 중합으로 형성된 폴리스티렌 입자	32
그림 3.8 HPC 농도 변화에 따른 폴리스티렌 입자 크기 변화	33
그림 3.9 분산 중합으로 제작한 0.1wt% HPC 조건에서의 폴리스티렌 입자	34
그림 3.10 분산 중합으로 제작한 0.5wt% HPC 조건에서의 폴리스티렌 입자	34
그림 3.11 에탄올 40wt% 조건에서의 입자 직경 분포도	36
그림 3.12 에탄올 30wt% 조건에서의 입자 직경 분포도	37
그림 3.13 에탄올 20wt% 조건에서의 입자 직경 분포도	38
그림 3.14 분급 과정 후 입자 직경 분포도	41
그림 3.15 흰색과 검정색의 폴리스티렌 입자	42
그림 3.16 CCA 코팅 전(a) 후(b) 입자 표면 차이	45
그림 3.17 일반 파우더(a)와 실리카를 입자 표면에 코팅한 파우더(b)의 흐름성 비교	46
그림 3.18 실리카나노 파우더가 코팅 된 폴리스티렌 입자	50
그림 3.19 입자의 유동성 평가를 위한 Tool	51
그림 3.20 Liquid powder의 구조	53
그림 4.1 격벽 패턴 (500um × 500um)	55



그림 4.2 putting 방법을 이용한 입자 주입	57
그림 4.3 코로나 방전을 이용한 입자 주입	58
그림 4.4 스퀴지를 이용한 입자 주입	59
그림 4.5 입자 주입 과정	59-60
그림 4.6 PDMS를 이용한 잔존 입자 제거	61
그림 4.7 전기장 방향에 따른 입자의 이동	62
그림 4.8 전기장 방향에 따른 상판 패널의 반사도 차이	63



표 차례

표 2.1 자유 라디칼 중합 방법	18
표 3.1 실리카의 물리적 특성	47
표 3.2 실리카의 마찰 전기 특성	48
표 3.3 실리카의 유동성 특성	38
표 3.4 입자 별 통과 시간	52



1. 서 론

1.1 이론적 배경

디지털 기술의 급속한 발전에 따라 인터넷 및 통신 기술의 광역화와 무선화, 컴퓨터, 방송, 통신이 융합해 새로운 life style을 제공하면서 평면 디스플레이 산업이 급속히 발전하고 있다[1].

LCD(Liquid Crystal Display), PDP(Plasma Display Panel), 유기 EL(Organic Electro Luminescent Display), FED(Field Emission Display) 등과 같은 평면 디스플레이는 고화질화, 대형화에 이어 새로운 life style과 친환경 관련 요구에 따라 경량화, 박형화, 저소비전력화를 추구하고 있다[2][3]. Paper like display란 종이를 닮은 전자 디스플레이로 눈의 피로감이 적고, 얇고 가벼운 휠 수 있는 display로서, E -Paper(Electronic Paper) 또는 EPD(Electronic Paper Display)라고도 한다[4].

2000년 이상의 오랫동안 기록과 전달 매체로 사용되어 온 종이는 약 65%의 높은 대조비(약 20:1)를 가지고 있어 주위에 빛만 있으면 볼 수 있다. 시야각이 우수하고 전력을 사용하지 않는다는 장점을 가지고 있는 반면에, 기록된 내용을 바꿀 수 없다는 단점을 가지고 있다.

최근 들어 종이의 원재료인 펄프 나무의 감소나 재생종이 공급의 한계 등 환경 보호와 더불어 산업 환경 측면에서 보다 우수한 디스플레이가 요구되고 있다[5]. 나아가 정보의 디지털화, 융합화 등의 관점에서 종이처럼 읽고 보기가 쉬우면서 환경친화적이고, 휴대성이 우수한 디스플레이 역시 요구되고 있다. 이러한 관점에서 살펴볼 때, 전자종이는 가장 적절한 디스플레이로서 향후 IT 산업의 중추적 역할을 할 것으로 기대되고 있다[6].

전자종이는 여러 가지의 방식으로 제작되고 있다. 일반적으로 대표적인 방식을 소개하면 마이크로캡슐을 이용한 전기영동방식, 물과 기름을 이용한 전기 습윤방식, LCD를 이용한 cholesteric 방식, 그리고 본 논문에서 다루고자 하는 대전 입자를



이용하는 방식이 있다.

대전입자방식은 크기가 작고 구형인 입자를 분산 중합 방법으로 제조하고, 이를 이용하여 디스플레이를 구현한다. 입자의 제조에는 우레탄(Urethane), 아크릴(Acrylic), 폴리에스테르(Polyester), 실리콘(Silicon), 스티렌(Styrene), 멜라민(Melamine), 메타크릴(Methacrylic)과 같은 resin 소재를 이용한다[7].

Resin중에서 대전성을 부여할 수 있고 코팅될 수 있는 resin이라면 전자종이용 입자로 사용이 가능하다. 또한, 착색할 수 있는 무기계 입자로서 산화 티탄(TiO_2), 아연화, (ZnO) 황화아연 (ZnS), 실리카(Silica), 코발트 블루(Cobalt blue), 카본 블랙(Carbon black) 등을 사용할 수 있다.

본 논문에서는 스티렌 모노머(Styrene monomer)를 이용하여 전자 종이용 입자(Liquid powder)를 제조하였다. 또한 입자에 무기계 입자인 카본 블랙(Carbon black)을 적용하여 컬러(검은색)를 부여하였다[8]. silica powder 와 CCA(Charge control agent)를 사용하여 유동성 및 대전성을 가진 Liquid powder를 제조하였다.



1.2 논문 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다.

1장에서는 본 논문에서 다루고자 하는 전자종이 디스플레이의 이론과 liquid powder를 제조하기 위한 원천소재 및 전자종이의 특성을 기술하였다.

2장에서는 대전입자방식 전자종이의 원리와 모노머를 이용한 입자 중합방법을 설명하였다.

3장에서는 스티렌 모노머를 이용한 liquid powder의 제조방법 및 특성평가 결과를 기술하였다.

4장에서는 테스트 패널의 제작 공정 및 패널의 특성에 대하여 기술하였다.

5장에서는 본 논문의 결론을 정리하였다.



2. 기술적 배경

2.1 대전 입자에 작용하는 힘

대전입자(charged particles) 방식에서 사용하는 particle은 공기중에서 전극의 양단을 운동하기 때문에 응답속도가 빠르고 뚜렷한 특성을 가진다.

Passive matrix 방식으로 구동이 가능하며 구조가 간단하고 손쉽게 제작할 수 있으며, 종이에 비견할 정도로 시야각이 우수하며 대조비 또한 우수한 것으로 보고되고 있다[9].

이 방식에서는 전압을 인가할 수 있도록 설계된 ITO glass 기판에 positive극성의 black particle과 negative극성의 white particle를 각각 주입한 후, 두 기판을 합착하여 전압을 인가함으로써 particle들이 움직이는 원리를 이용한다.

이미지는 투명 전극의 표면에서 형성하는 방식으로 그 원리가 매우 간단하지만 실제 내부에 주입된 대전입자에 작용하는 힘은 다양하며 복잡한 상관관계를 가진다.

상·하판에 각각 위치한 전극에 positive(+) 전압과 negative(-) 전압을 인가 하면 양 전극간에 전계가 형성되어 (+) 및 (-)로 대전된 입자는 전계의 방향에 따라 서로 반대방향으로 운동을 하게 된다. 즉, 전압에 의해서 기판 내에서 서로 상·하 운동을 하게 되는 것이다. 상·하 운동에 의해서 particle은 black의 상태 또는 white의 상태를 표시할 수 있게 된다. 그림 2.1에 입자의 운동에 대한 원리를 보였다[10].

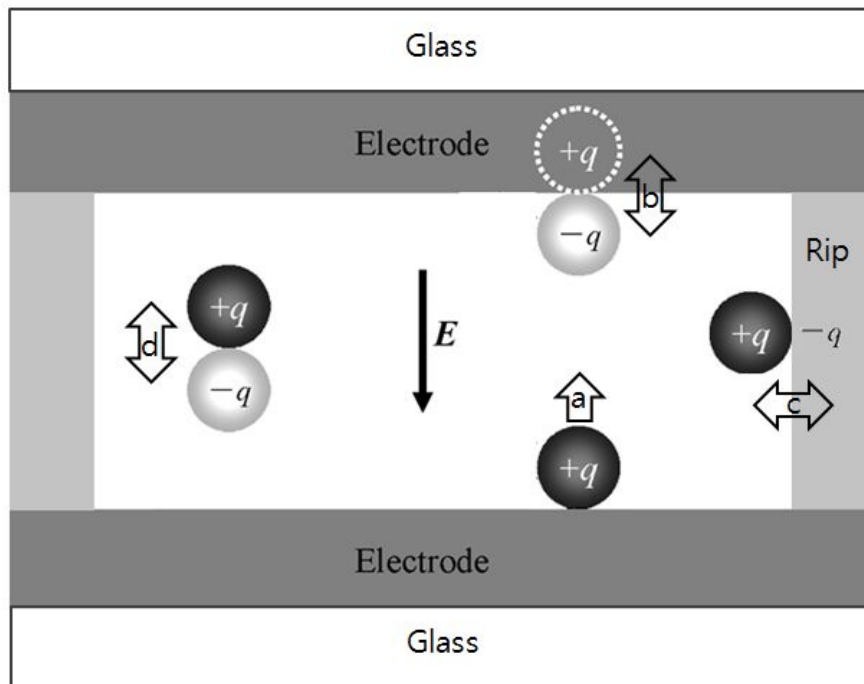


그림 2.1 입자운동의 원리

셀(Cell)내에 주입된 입자에 작용하는 힘을 간단히 살펴보면 위에서 설명한 바와 같이 양 전극간에 작용하는 전기에 의해 입자가 상·하 운동을 하게 된다. 이는 외부에서 인가한 포텐셜 에너지(Potential Energy)가 입자의 운동에너지로 변환되는 것으로 설명된다. 즉,

Potential Energy = Kinetic Energy

$$F_A = qV = \frac{1}{2}mv^2$$

이다. 여기에서 F_A 는 셀 내에 형성되는 전기이고, q 는 particle의 양 또는 음의 전하량, V 는 구동전압이다. 운동에너지의 관계에서 m 은 입자의 질량, v 는 입자가 셀 내에서 움직이는 응답속도를 나타낸다.

이 식은 본 연구에서 다루고 있는 전자종이 디스플레이의 이미지를 표현하는 가장 기본이 되는 식으로 이후 설명할 다른 3가지 힘과 달리 효과적인 이미지 표현을 위해 중요하게 다루어져야 하는 그 원리로 매우 간단하다. 이 식에서 보는 바와 같이 구동전압, 응답속도, 전하량, 질량 등 전자종이 구동에 있어서 중요한 파라미터를 결정한다[11]. 본 내용은 그림 2.1에서 **a**에 해당한다.

다음은 입자의 운동에 의해 표현된 이미지를 전원이 없는 상태에서 유지하게 하는 이른바 메모리효과(memory effect)를 가지게 하는 중요한 힘으로 영상력(Image Force)이 있다. 이는 전하를 띠는 입자와 도전 물질 간에 작용하는 것으로 그림 2.1에서 **b**에 해당하며,

$$F_B = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_r\epsilon_0 x}$$

로 표현된다. 여기에서 q 는 입자의 양 또는 음의 전하량, ϵ 은 입자의 유전율이고, x 는 입자와 전극간의 거리를 나타낸다.

이 식에서 보는 바와 같이 전하량이 클수록 위의 전계에 의한 입자는 운동에너지에서 살펴본 바와 같이 구동전압을 낮추고 영상력은 증가하여 이미지의 메모리 기능은 향상되는 효과가 있다. 그러나 다음에 설명하는 요인들에 의하여 전하량의 증가는 반드시 긍정적으로 작용하지는 않으며, 지나친 전하량 증가는 오히려 입자의 운동과 메모리 효과를 감소시키게 된다.

다음으로 대전입자와 부도체인 격벽과의 사이에서 작용하는 van der waals의 힘을 들 수 있다(그림 2.1의 **c**). 특히 초기에는 격벽에 부착현상이 발견되지 않았더라도 운동 중에서 발생하는 마찰에 의한 대전으로 인하여 입자의 표면에 분포한 전하에 의해 쉽게 격벽과 부착하게 된다. 따라서 구동을 수행하는 입자는 고유한 전계에 의해 운동을 하여 과 충전 현상에 의해 전하가 충전되는 것은 격벽과의 부착현상을 쉽게 야기하게 된다. 또한 격벽재료의 선택에 있어서 고유한 전하량의 크기를 고려하여야 한다.

물론 대전입자의 크기가 클수록 이 힘은 크게 작용하여 쉽게 격벽과의 부착현상을

일으키는 것은 당연하다. 입자의 크기가 작아지면 동일한 극성의 입자들끼리도 van der waals의 힘이 작용하여 입자들끼리 뭉치는 현상이 쉽게 일어나게 된다.

마지막으로 일반적으로 예측하고 있는 coulomb의 힘이며 이는 대개 양의 전하를 띠고 있는 흰색 입자와 음의 전하를 띠고 있는 검은색 입자와의 뭉침 현상에서 쉽게 발견된다. 물론 높은 전하량은 쿨롱의 힘이 작용하여 동일한 입자 간에 물처럼 흐르는 유동성은 증가하나 반대전하를 띤 입자들 간에는 쉽게 뭉치는 현상을 일으키게 된다. 이는 그림 2.1의 d 에 보였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 작은 공간에서 작용하는 입자들 간에 작용하는 힘과 격벽 등의 다른 소재와 작용하는 힘들을 고려하여 최적의 전하량 및 입자 질량이 결정되어야 한다.



2.2 자유 라디칼 중합방법

자유라디칼 중합은 벌크, 현탁, 용액 혹은 유화중합, 분산 중합의 방법으로 진행된다. 이온 및 다른 라디칼 중합은 일반적으로 용액 중합방법에 국한된다. 각 중합법은 장·단점을 가지며, 이는 표2.1에 보였다.

표 2.1 자유라디칼 중합 방법

방법	장점	단점
벌크중합	간단; 첨가되는오염물 없음	발열반응으로 반응조절에 어려움, 고점도
현탁중합	열분산 용이, 저점도, 과립상고분자 형성 및 용도에 따라서는 그 상태로도 사용가능	세척 및 혹은 건조 필요, 응집 발생 가능성존재, 안정제에 의한 오염 입자 크기의 분산도가 높음
용액중합	열분산 용이, 저점도, 용액상태로 직접 사용가능	용매로 인한 단가상승, 용매제거의 어려움, 용매와의 연쇄이동반응 가능, 환경오염 가능
유화중합	열분산 용이, 저점도, 상태로 직접 사용가능, 접착성 고분자에 효과적	유화제 및 타성분에 의한 오염, DP 조절을위한 연쇄이동제가 종종 요구됨, 벌크 고분자 용도로 세척 및 건조 필수적
분산 중합	열분산 용이, 저점도, 입자 크기의 분산도가 낮음	안정제를 제거하기 위한 세척과정이 필요

2.2.1 벌크 중합(bulk polymerization)

배합과 장비의 면에서 벌크중합은 가장 단순한 형태의 반응이나, 한편으로는 가장 조절이 어려운 반응으로, 특히 발열반응의 경우가 그러하다. 이러한 열전달의 문제와 더불어 반응의 진행에 따른 점도의 증가는 최근 보다 효율적인 벌크중합의 개발에도 불구하고, 상업적인 응용은 제한적이다.

단량체에 녹지 않는 고분자의 경우, 고분자가 침전되면서 매체(medium)의 점도는 크게 변화하지 않는다. 그러나, 고분자 방울(polymer droplet)에 갇힌 자유 라디칼들로 인하여 중합반응속도가 급속히 증가하는 자체촉진효과 (autoacceleration)가 일어나게 된다. 특히 디엔(diene) 단량체의 경우에는, 폐색 효과(occlusion effect)로 인하여 가교구조를 갖는 불용성의 가교고분자 마디가 생성 되는데, 이와 같은 현상을 팝콘중합 (popcorn polymerization)이라고 한다. 이 가교 마디들은 가벼우며, 단량체에 비하여 상당히 큰 부피를 점유하게 되어 중합 장치를 더럽히거나 손상시키는 고분자이다[12].

2.2.2 현탁 중합(suspension polymerization)

현탁중합은 보통 물과 같은 비상용성 액체(noncompatible liquid)에 단량체를 기계적으로 분산시키고, 단량체에 용해하는 개시제를 사용하여 단량체 유적을 중합시키는 기술이다. 단량체는 연속교반과 poly(vinyl alcohol)나, methyl cellulose, hydrophobic silica 와 같은 안정제에 의하여 현탁 상태로 유지된다. 공정을 조심스럽게 조절하면 중합체는 구형을 가지는데, 이는 취급이 용이하여 여과(filtration)로 분리시키거나, 열 챔버(heated chamber)내에서 스프레이 할 수 있다. 이 중합법의 주된 장점은 열 전달이 효과적이고 따라서 반응 조절이 용이하다는 점이다. 현탁 중합법은 고분자 입자들의 응집(agglomeration)경향으로 인하여 탄성체와 같은 점착성 고분자에는 사용할 수 없다. 반응속도론과 기구의 관점에서 볼 때, 현탁 중합은 벌크 중합과 동일하다. 현탁 중합은 폴리스티렌, 폴리 염화비닐 및 poly(methyl methacrylate)와 같은 다양한 종류의 과립상 고분자 제조에 이용되고 있다[13].



2.2.3 용액 중합(solution polymerization)

현탁 중합과 마찬가지로, 용액 중합에서도 효과적인 열전달이 가능하다. 용매의 선택에 신중을 기하여야 하며, 그렇지 않은 경우 연쇄이동반응으로 인하여 얻을 수 있는 분자량에 한계가 있다. 유기용매로 인한 환경적인 우려를 제외하고도, 용액 중합은 최종 고분자에서 용매의 완전한 제거가 매우 어렵다는 문제점이 있다. 그 결과, 초임계 이산화탄소의 반응 용매로의 이용에 대한 관심이 높아지고 있다. 장점으로는 이산화탄소가 무해하고, 값이 저렴하고 또한 고분자로부터의 제거가 용이하여 재생이 가능하다는 점이다[14].

2.2.4 유화중합(emulsion polymerization)

물이 분산매체로서 사용되며 열 전달이 용이하다는 점에서 현탁중합과 유사하다. 그러나 이 두점을 제외하면, 유화중합은 현탁 중합과 아주 다른 양상을 나타낸다. 단량체는 비누나 세탁제와 같은 유화제에 의하여 수용액상 분산된다. Redox형의 일반적인 개시제 라디칼은 수용액 내에서 생성되어, 단량체로 팽배된(swollen) 비누미셀(soap micelle)안으로 확산한다. 반응의 진행과 함께 단량체가 소모되면서 보다 많은 양의 단량체가 미셀 안으로 이동하며 반응은 계속 일어난다. 정지반응은 새로운 라디칼이 미셀(micelle) 안으로 확산할 때 기존의 성장사슬 말단과의 라디칼 결합에 의하여 일어난다. 정지반응 이전의 미셀 안에 존재하는 라디칼의 수는 하나 만이므로, 매우 높은 분자량이 구하여질 수 있는데, 실질적으로 사용하기에는 지나치게 분자량이 크므로 인하여 반응 중간에 연쇄 이동제(chain transfer agents)를 넣어 분자량을 조절한다. 전반적인 과정은 복잡하며, 반응 기구는 별크나 용액 중합과는 매우 다르다[15].



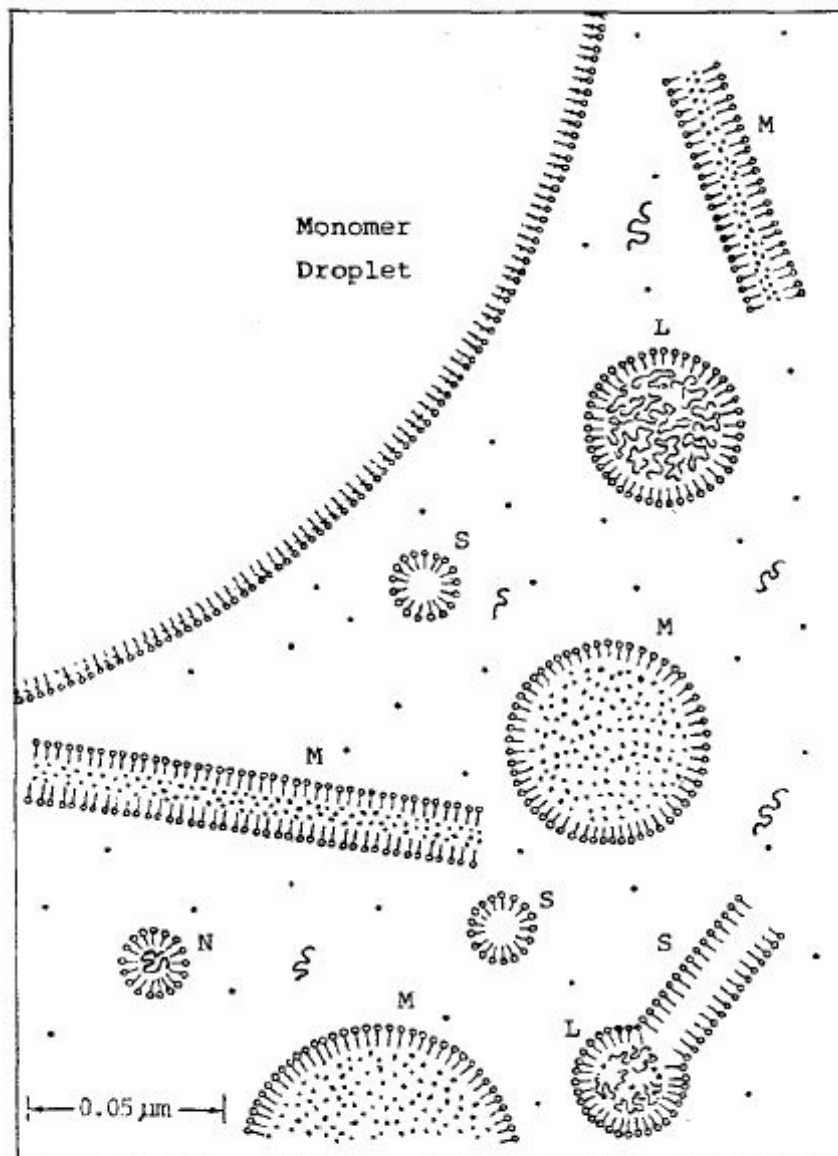


그림 2.2 유화중합의 모식도

2.2.5 분산중합(Dispersion polymerization)

분산중합은 보통 알코올과 같은 액체에 중합이 이루어지면서 발생 할 수 있는 입자의 뭉침 현상을 방지하는 안정제를 용해시킨 뒤 개시제가 용해 되어있는 단량체를 용매에 분산 시킨 후 중합체를 성장 시켜 나가면서 중합 시키는 기술이다. 중합 전의 단량체는 알코올 용매에 대한 용해도는 높지만 중합이 끝난 뒤의 중합체는 알코올 용매에 대한 용해도는 낮아진다. 알코올과 단량체의 용해도 차이에 따라 형성 되는 입자의 크기가 결정 된다. 중합이 시작 되면서 용액의 전체적인 부분에 걸쳐 핵생성이 이루어지며 구형의 중합체를 형성하게 된다.

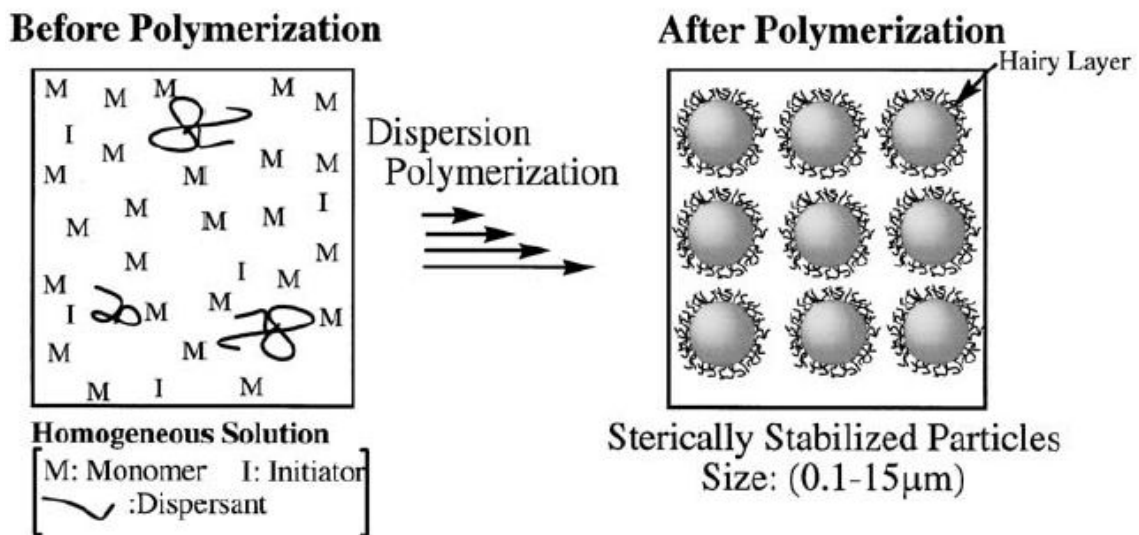


그림 2.3 분산중합의 모식도

3. Liquid powder의 제작

3.1 Liquid powder

전자종이용 소재로서의 Liquid powder의 제조 방법은 화학적 중합 방법을 이용하며, 일반적인 방법인 분산 중합방법으로 제조한다. 분산 중합방법은 내열성이 우수하고 제조 방법이 용이하다. 또한 크기를 원하는 대로 조절하여 제조할 수 있으며, 입자의 외형을 구형으로 제조할 수 있다.

본 장에서는 내열성이 우수하고 비교적 손쉽게 제조할 수 있는 스티렌 계 모노머를 사용하였다. 입자에 전기적인 성질을 부여하기 위하여 CCA(charge control agent)를 적용 하였고 전기장의 방향에 따라서 다른 반응성을 갖도록 제작 하였다. 착색제로서 무기계의 카본 블랙을 이용하여 검정색 입자를 제작 하였다. 실리카 나노 파우더를 입자 표면에 물리적인 방식으로 코팅을 하였고 입자간의 접촉 면적을 최소화 하여 입자의 흐름성을 향상 시켰다. CCA에 의한 입자의 전기적인 반응성과 실리카 나노 파우더에 의한 흐름성의 향상으로 인해 액체와 같은 거동을 보인다 하여 Liquid powder라 부른다. 제작된 Liquid powder의 평가를 위해 전자종이용 소재로서의 특성을 갖는 요소(구동전압, 대조비, 입자 수명)들을 분석하고자 한다.



3.2 폴리스티렌 입자의 제조 절차

일반적으로 널리 알려진 중합방법은 물을 이용한 수상단계와, 유상액을 이용한 유상단계 있다. 본 연구에서는 현탁 중합, 유화 중합, 분산 중합 방법을 각각 이용하여 Liquid powder의 기초가 되는 입자를 제작 하였다. 중합 방식에 따라 입자의 크기와 형상이 달라지기 때문에 전자 종이 디스플레이에 적용 할 수 있는 입자를 제작하기 위한 적절한 중합 방식을 택하였다.

3.2.1 현탁 중합을 이용한 입자 제작

현탁 중합 방법을 이용한 입자 제작 과정에서는 중합이 이루어지는 매체를 물로 선택 하였다. 중합 시 입자의 응집 현상을 방지하기 위해 분산제로 소수성 실리카 나노 파우더를 사용하였다. 물 150ml 에 0.3wt%의 소수성 실리카 나노 파우더를 고속 교반기를 이용하여 2분간 10000RPM에서 분산 시켜 준다. 이것은 현탁 안정제를 물에 희석시키는 과정으로 후에 유상액과 화학적으로 균일하게 하기 위한 단계이다[19]. 50ml 의 스티렌 모노머에 2wt% 의 AIBN 개시제를 첨가한 뒤 30분간 교반 시켜 주었다. 개시제가 녹아있는 스티렌 모노머를 소수성 실리카가 분산되어 있는 150ml 수용액에 첨가 한 뒤 고속 교반기를 이용하여 5분간 분산 시켜 준다. 교반 시 소수성을 띠고 있는 스티렌 모노머는 수용액 상에서 작은 액적을 이루게 되고 이 액적 표면으로 분산제 역할을 하는 소수성 실리카들이 흡착 되게 되어 액적을 유지 시켜준다. 수용액에 포함 되어있는 실리카 나노 파우더의 농도에 따라서 액적의 크기가 결정된다. 개시제가 녹아 있는 스티렌 모노머 액적들이 충분히 분리 되고 난 후 질소 가스를 주입 시켜 주면서 75℃에서 100RPM 정도의 저속으로 10시간 교반하면서 중합 한다. 이는 제조되는 입자의 크기를 관찰하기 위해서이다[20]. 제조된 입자들은 유해 성분들을 내포하고 있기 때문에 세척 과정은 필수적이다. 세척 전에 유상액에 혼합되어 있는 물을 탈수하여 제거한다. 원심분리기를 사용하여 물과 유상액을 분리시킨다. 탈수 과정이 끝나면, 현탁 안정제를 세척하기 위하여 물과 에탄올을 혼합한 후 유상액을 넣어 세척한다[21].



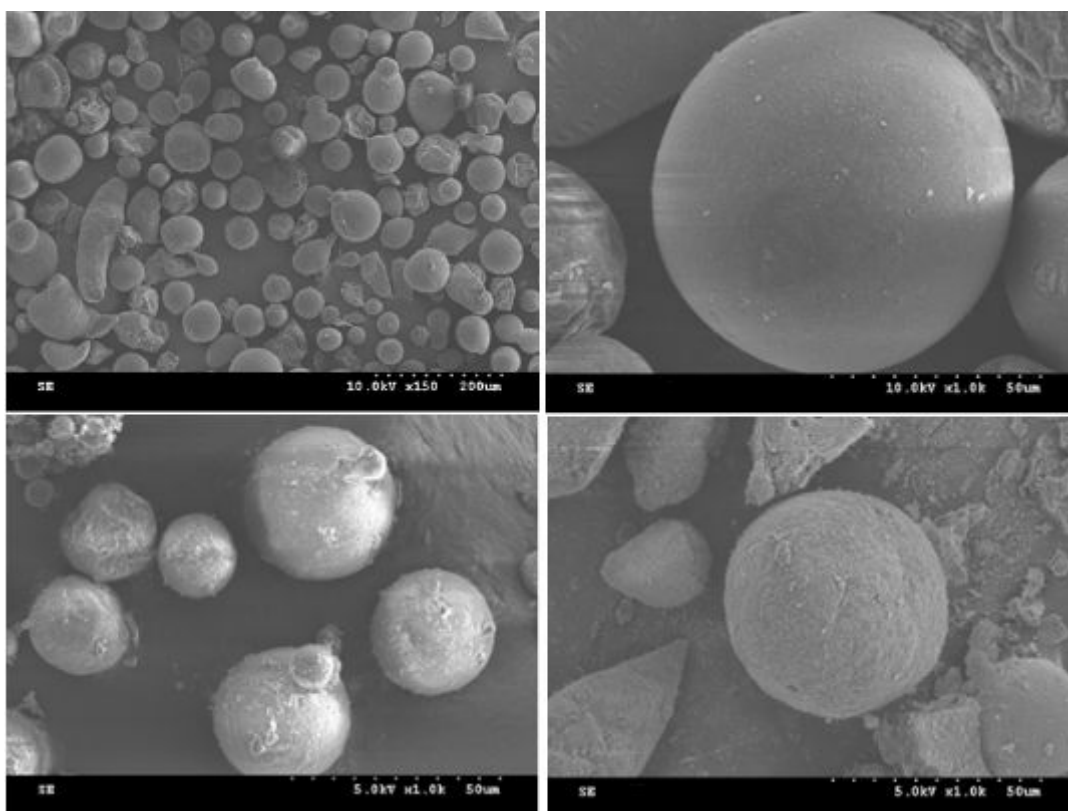


그림 3.1 현탁 중합으로 형성된 폴리스티렌 입자

그림 3.1 와 같이 현탁 중합을 통하여 제작 된 폴리스티렌 입자들의 직경은 수 um에서 200um의 넓은 분포를 가지고 있었다. 특히 직경 20um 이상의 입자들은 디스플레이에 적용하기에 다소 무리가 있다. 직경이 커질수록 그 만큼 입자의 질량도 증가하게 되면서 구동 전압 또한 크게 상승하게 된다.

$$F_A = qV = \frac{1}{2}mv^2$$

또한 입자의 크기가 커질수록 패널의 상 하판 전극의 간격을 증가 시켜 주어야 하기 때문에 입자를 반대쪽 전극으로 이동 시키는데 필요한 구동 전압을 높이는 역할

을 하게 된다. 때문에 20um 이상의 입자들을 제외하면 적용 할 수 있는 입자에 대해서는 낮은 수율을 보였다. 입자의 형상 또한 완전한 구 형상이 아닌 타원형의 중합체와 비 구형의 중합체들의 비율이 높았다. 넓은 크기 분포도를 가지는 입자들과 비 규칙적인 형상의 입자들은 이어질 CCA의 코팅 과정에서 입자별 일정량의 CCA 코팅이 불가하기 때문에 패널 구동 시 정확한 데이터 값을 알 수 없게 된다.

3.2.2 유화 중합을 이용한 입자 제작

유화 중합 방법을 이용한 입자 제작 과정에서는 중합이 이루어지는 매체를 현탁 중합과 마찬가지로 물로 선택 하였다. 중합 시 모노머의 중합이 발생하는 공간을 제공하는 역할을 하는 micelle을 형성 시키기 위해 PVP 분산제를 사용하였다. 물 150ml에 1wt%의 PVP 분산제를 희석시켜준 뒤 1wt%의 AIBA 개시제를 첨가하여 준다. NaOH로 반응 억제제를 제거 시킨 2g의 스티렌을 150ml의 수용액에 첨가한다. 질소 가스를 주입 시켜 주면서 60℃에서 100RPM 정도의 저속으로 교반 하면서 중합한다. 시간이 지남에 따라 micelle 내부로 스티렌 모노머가 침투하여 수용액 속에 녹아있는 AIBA 개시제와 반응하여 중합이 발생하게 된다. 중합이 끝나면 세척 과정을 통해 폴리스티렌 입자를 얻을 수 있다. 그림 2.5는 1wt%의 PVP, 1wt% AIBA 조건으로 제작 한 폴리스티렌 입자이다.



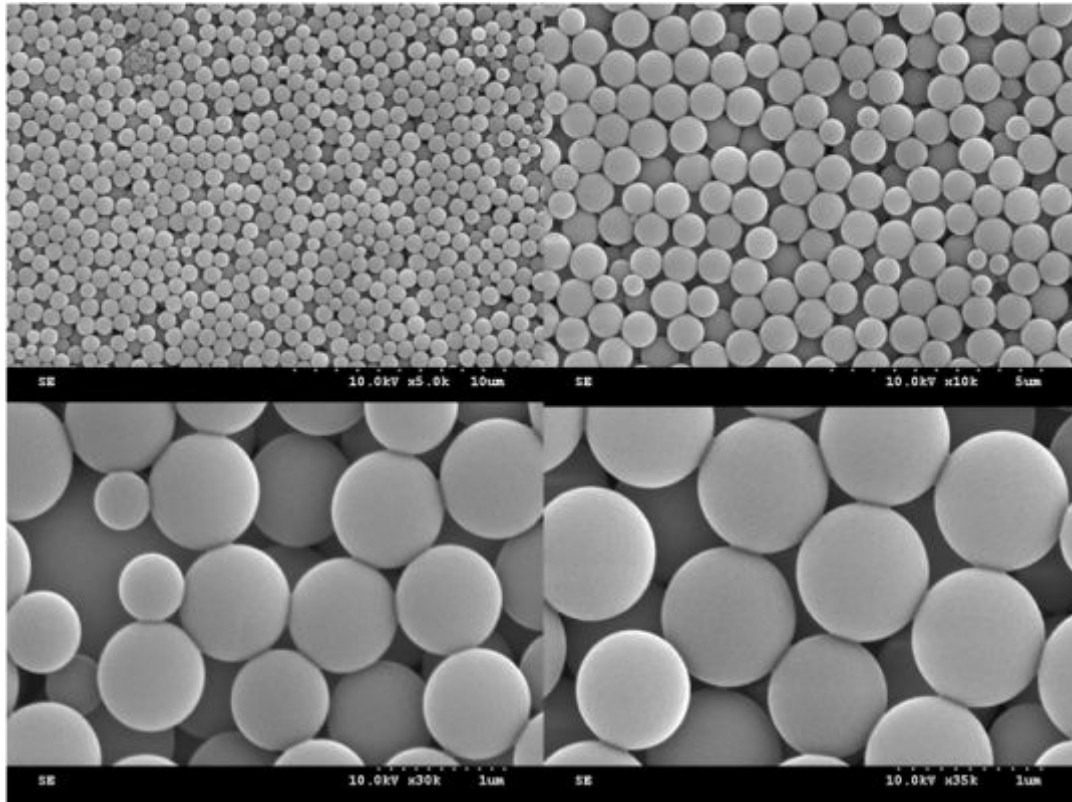


그림 3.2 유화 중합으로 형성된 폴리스티렌 입자

그림 3.2 와 같이 유화 중합을 통하여 제작 된 폴리스티렌 입자들의 직경은 수십 nm 에서 1um의 분포를 가지고 있었다. 1um 이하의 입자들은 입자의 크기가 작아지면 동일한 극성의 입자들끼리도 van der waals의 힘이 작용하여 입자들끼리 뭉치는 현상이 쉽게 일어나게 된다. 입자가 뭉치게 되면 패널 구동 시 입자의 유동성이 떨어지기 때문에 입자의 직경이 최소한 5um 이상이 될 필요가 있다. 유화 중합으로 인한 입자들의 형상은 완벽한 구형으로 다음 단계에서 입자별 일정량의 CCA를 적용할 수 있는 장점이 있기 때문에 유화 중합을 통한 입자의 크기를 증가시키는 실험을 진행 하였다. 유화 중합 시 입자의 크기를 결정하는 요소는 분산제의 농도와 중합 시간, 개시제의 농도가 있다.

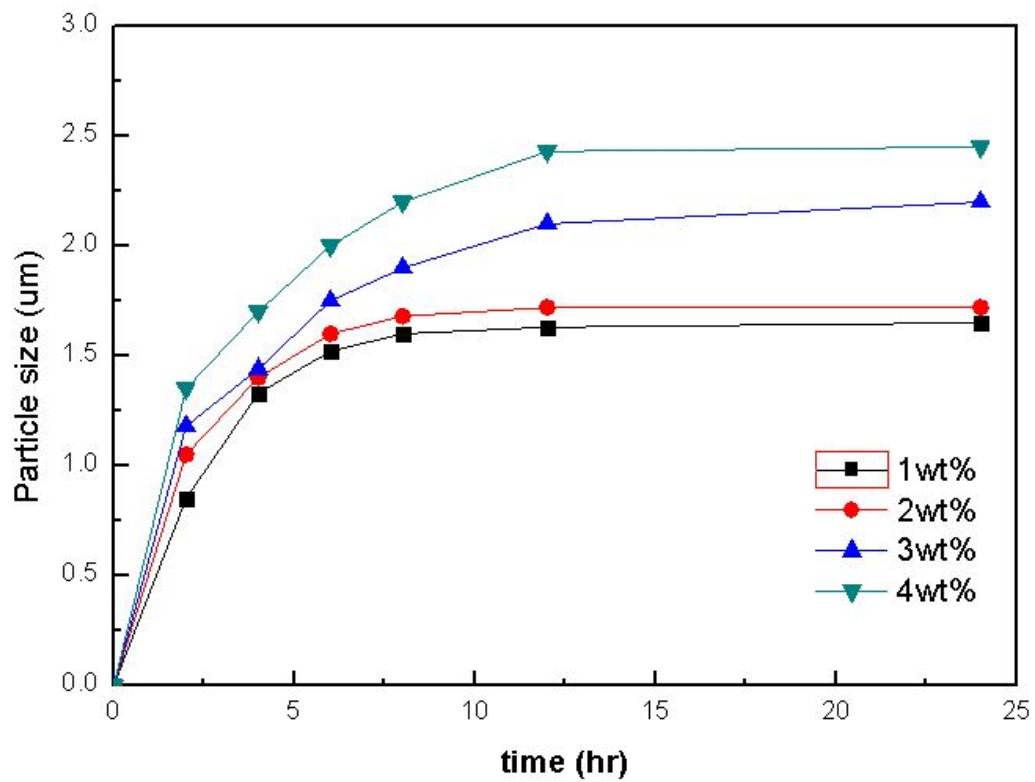


그림 3.3 개시제 농도 변화에 따른 폴리스티렌 입자 크기 변화

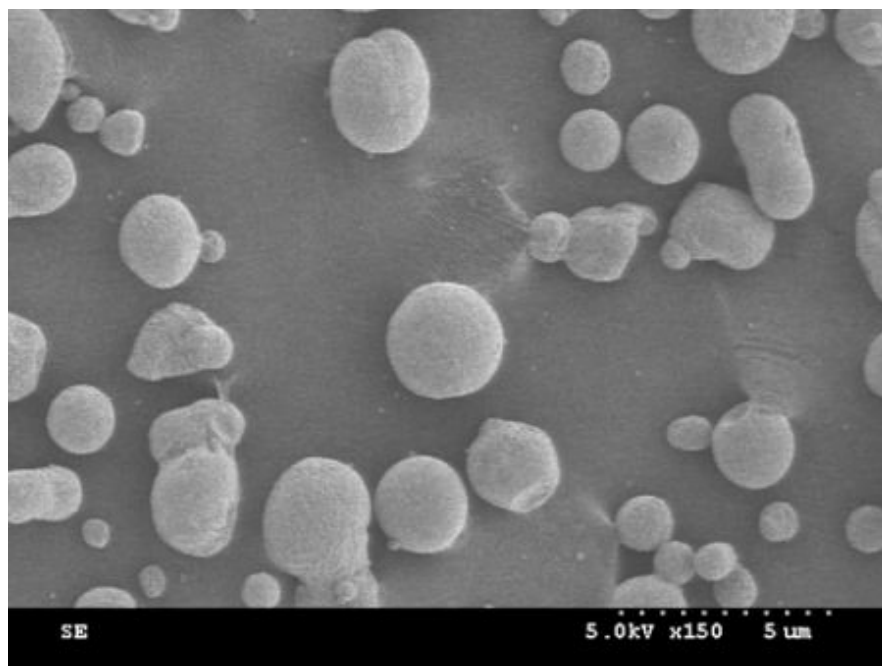


그림 3.4 4wt% AIBA 개시제 농도 조건에서의 폴리스티렌 입자

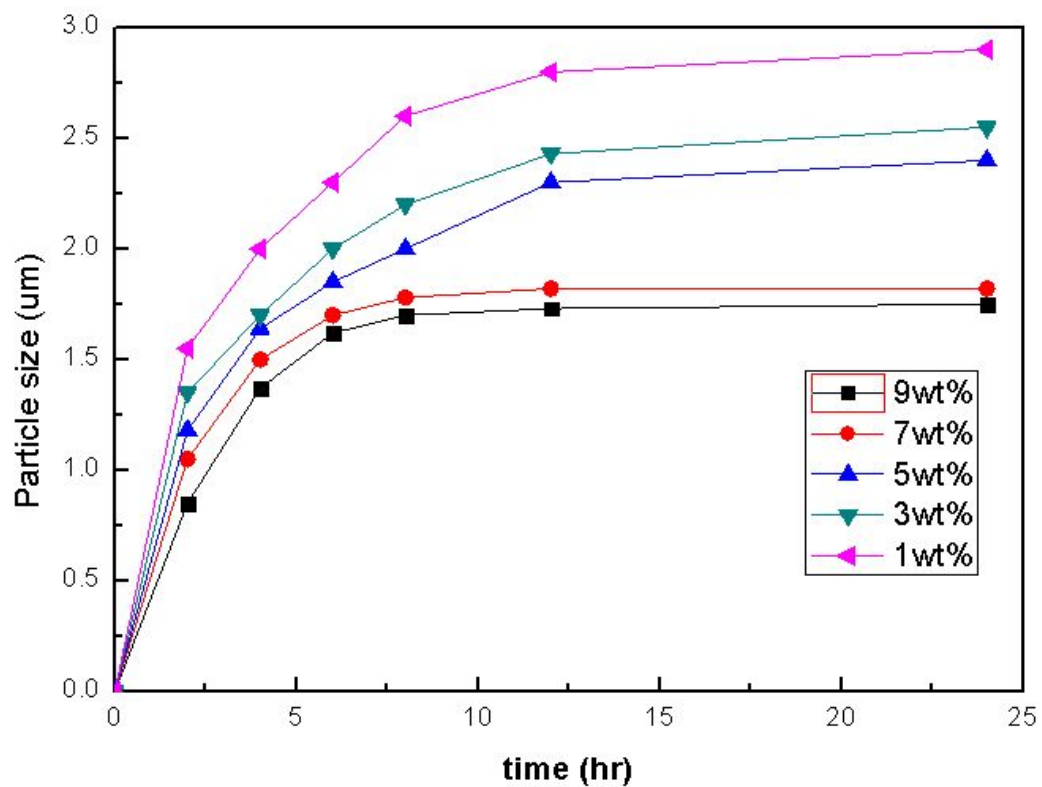


그림 3.5 분산제 농도 변화에 따른 폴리스티렌 입자 크기 변화

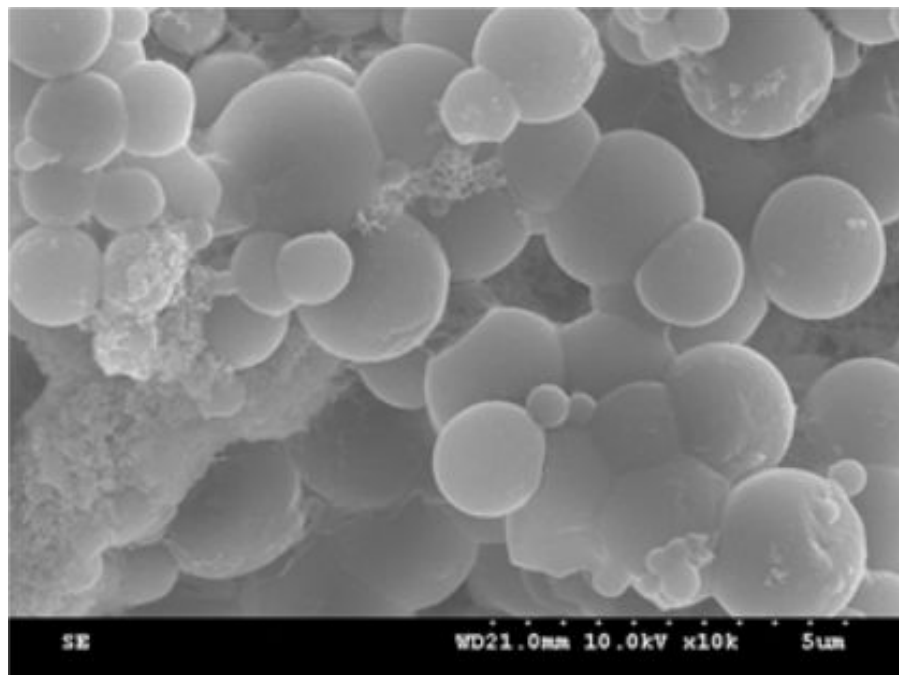


그림 3.6 1wt% 분산제 농도 조건에서의 폴리스티렌 입자

그림 3.3 에서와 같이 입자의 크기를 증가시키기 위해서 개시제의 농도를 증가시키며 중합 시간을 증가 시켜 보았다. 개시제의 농도가 1wt%에서 4wt%로 증가시킬수록 입자의 직경의 크기는 증가 하는 듯 하였으나 중합 12시간 이후 부터로는 입자의 직경의 크기가 2.4um 이상 증가 되지 못 하였다. 개시제의 농도가 4wt%를 넘어가면서 입자의 형상이 구형이 아닌 불규칙한 형상으로 중합이 진행 되기 때문에 개시제의 농도를 4wt% 이상 증가 시키지 않았다.

그림 3.5 에서와 같이 입자의 크기를 증가시키기 위해서 분산제의 농도를 감소시키며 중합 시간을 증가 시켜 보았다. 분산제의 농도가 9wt%에서 1wt%로 감소시킬수록 입자의 직경의 크기는 증가 하는 듯 하였으나 중합 12시간 이후부터로는 입자의 직경의 크기가 3um 이상 증가 되지 못 하였다. 분산제의 농도가 1wt% 이하로 감소되면서 입자 중합 시 PVP가 안정제 역할을 하지 못하여 입자들끼리 뭉침 현상이 발생하였고 입자의 크기가 균일 하지 못하였다. 이처럼 유화 중합 방법으로 입자를 제작 하는 과정에서 입자의 직경 크기를 증가시킬 수 있는 조건의 실험들을 진행 하였으나 입자의 직경의 크기가 3um 이상 증가 되지 못하였고 균일한 입자의 형상을 얻기 어려웠다.



3.2.3 분산 중합을 이용한 입자 제작

분산 중합 방법을 이용한 입자 제작 과정에서는 중합이 이루어지는 매체를 알코올로 선택 하였다. 중합 시 모노머의 중합이 용매의 전체적인 부분에 걸쳐 핵 생성이 발생하며 입자의 크기가 중합이 진행되면서 증가되었다. 폴리스티렌 입자의 중합이 진행 되면서 입자들 간의 분산제 역할을 하는 HPC의 농도와 알코올 용매에 대한 모노머의 용해도 차이에 따라 중합이 이루어지는 폴리스티렌 입자의 크기가 결정 된다.

에탄올 35ml 와 dimethoxyethanol 50ml 가 혼합되어 있는 85ml 용액에 0.7g의 HPC 안정제를 섞어서 2시간 동안 교반 시켜 준다. HPC에 대한 혼합 용액의 용해도가 낮기 때문에 용액 전체에 걸쳐 HPC 안정제를 균일하게 섞기 위해 충분한 교반이 필요 하다. 스티렌 15ml에 3wt%의 BPO 개시제를 첨가 한 뒤 30분간 교반시켜 주어 개시제를 모노머에 충분히 용해 시켜 준다. HPC 안정제가 혼합되어 있는 85ml 용액에 15ml의 스티렌 모노머를 첨가 한 뒤 80℃에서 12시간 동안 중합 시켜 준다. 분산 중합 특성상 중합이 완료 된 중합체 표면에 안정제가 다량 존재하기 때문에 표면에 존재하는 안정제를 제거하기 위해 세척 과정이 필수 적이다. 원심 분리기를 통해 안정제가 혼합되어 있는 용액층을 400RPM의 저속으로 층을 분리한다. 고속으로 교반 시 입자 표면에 존재 하는 안정제 때문에 입자들 간의 뭉침 현상이 심해져 건조 시 입자의 개별 분리가 어렵다. 에탄올과 물을 혼합하여 중합된 폴리스티렌 입자를 반복 세척하여 입자 표면의 안정제를 완전히 제거한 뒤 40℃에서 24시간 건조 시킨다.



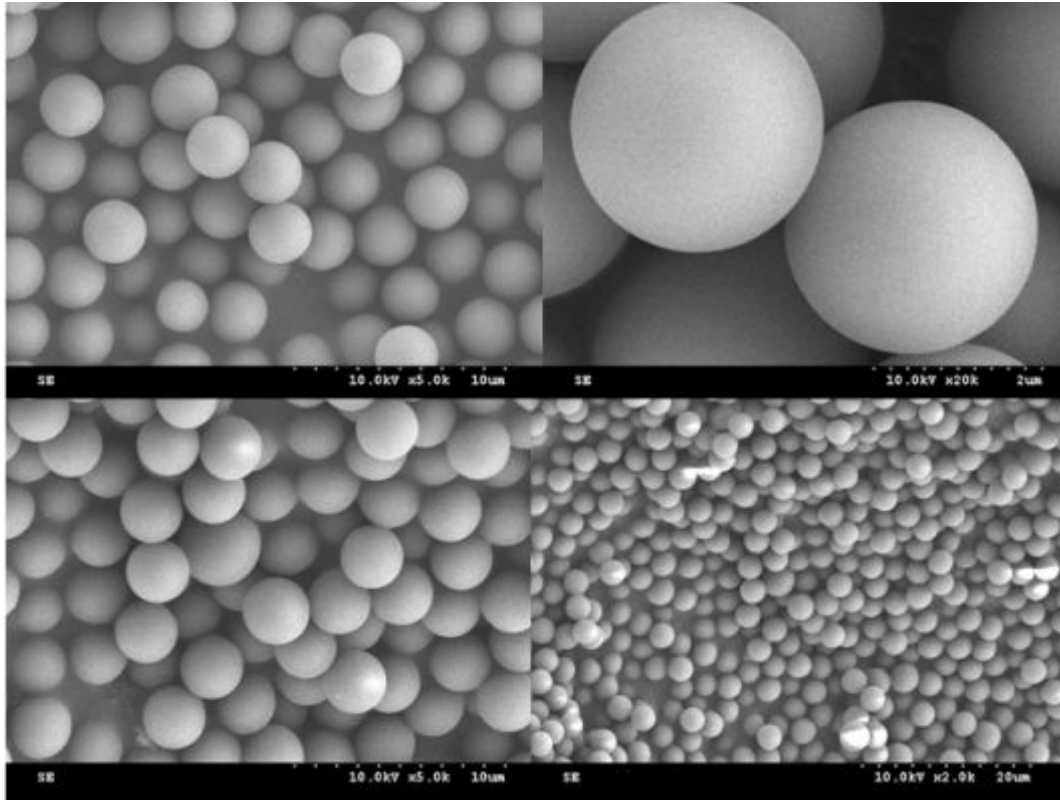


그림 3.7 분산 중합으로 형성된 폴리스티렌 입자

그림 3.7 와 같이 1.5wt%의 HPC 안정제 조건에서 분산 중합을 통하여 제작된 폴리스티렌 입자들은 완벽한 구형으로 직경은 약 3um 이었다. 입자 크기의 분포도 또한 크지 않아 CCA 코팅 공정 시 입자별 균일 한 양의 CCA를 코팅할 수 있다.

하지만 직경 3um 크기의 입자들도 van der waals의 힘이 크게 작용하여 입자들끼리 뭉치는 현상이 쉽게 일어나기 때문에 입자의 크기를 최소한 5um 이상 증가시킬 필요가 있다. 분산 중합 시 입자의 크기를 결정하는 요소는 분산제의 농도와 스티렌 모노머에 대한 알코올의 용해도 차이가 있다. 그림 3.8 은 HPC 분산제 농도 감소에 따른 입자의 크기 변화 이다.

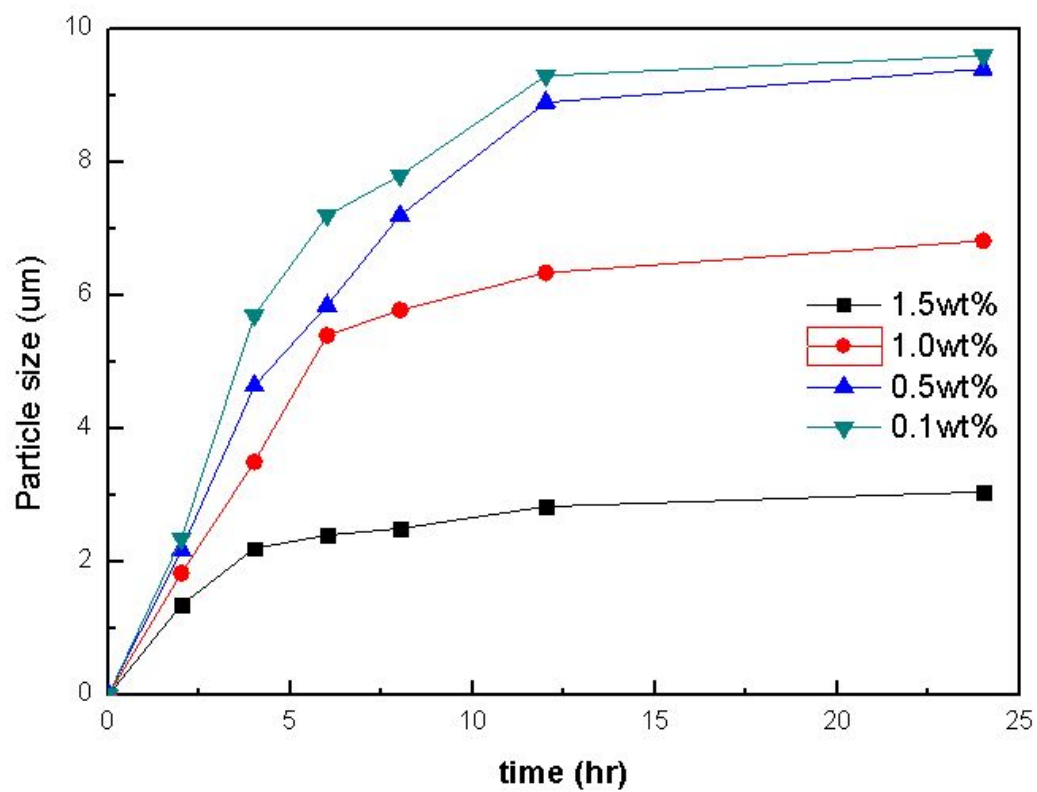


그림 3.8 HPC 농도 변화에 따른 폴리스티렌 입자 크기 변화

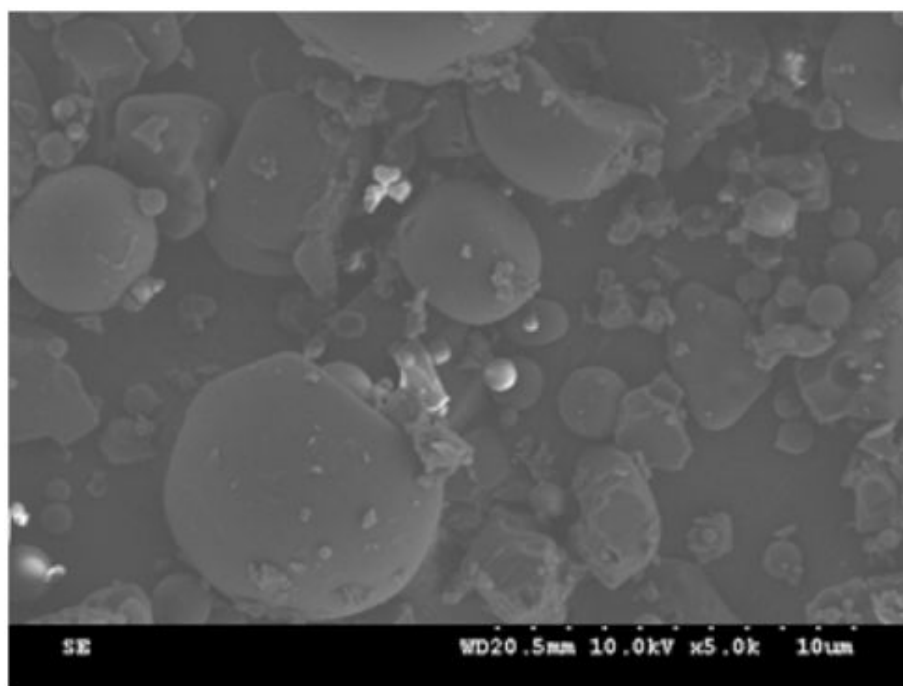


그림 3.9 분산 중합으로 제작한 0.1wt% HPC 조건에서의 폴리스티렌 입자

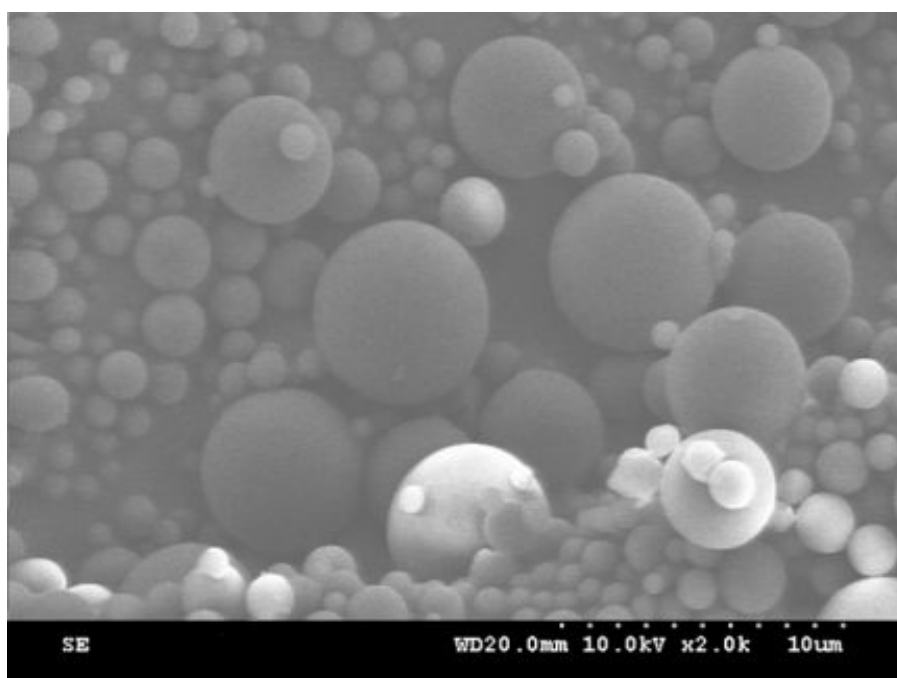


그림 3.10 분산 중합으로 제작한 1.0wt% HPC 조건에서의 폴리스티렌 입자

그림 3.9 와 같이 HPC의 농도를 0.1wt%까지 감소 시켰을 경우에는 용액 내 HPC가 안정제 역할을 충분히 하지 못하여 중합체의 형상이 구형이 아닌 형태로 중합 결과가 나타났다. 그림 2.13과 같이 HPC의 농도를 1wt% 까지만 감소 시켰을 경우에는 HPC가 안정제 역할을 하여 구형의 입자 형태를 유지 하였고 입자의 직경의 최대 크기가 7um 까지 증가 하였다. 하지만 직경 1um 이하의 입자들 또한 만들어 지기 때문에 스티렌 모노머에 대한 용액의 용해도를 조절 하여 입자의 크기를 균일한 상태의 조건으로 폴리스티렌 입자를 제작하는 것이 필요하다. 스티렌 모노머에 대한 에탄올과 dimethoxyethanol 혼합 용액의 용해도를 조절 하는 조건으로 혼합 용액의 에탄올의 함량을 40wt%에서 20wt% 까지 줄임에 따라 변화하는 입자 직경의 분포도를 비교하는 실험을 진행하였다.

85ml 혼합 용액의 에탄올 비율 감소에 따른 입자의 분포도 변화를 그림 3.10, 3.11, 3.12에서 나타내었다.



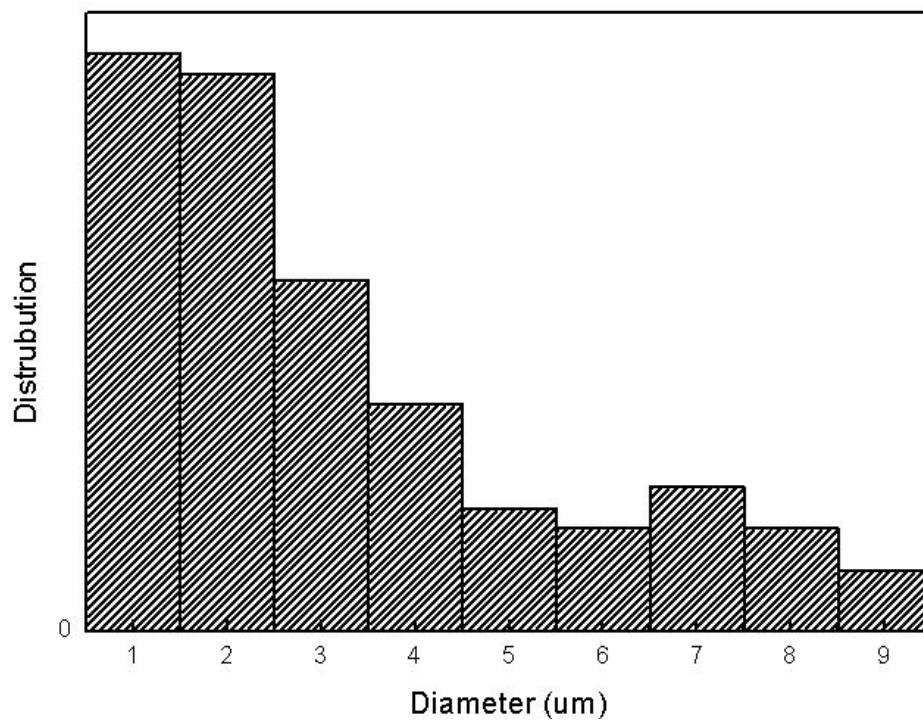
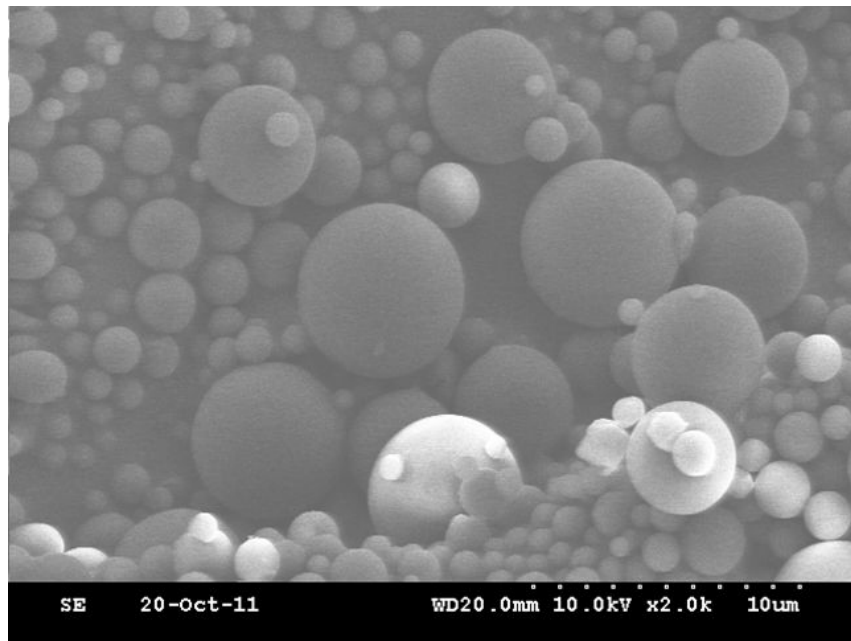


그림 3.11 에탄올 40wt% 조건에서의 입자 직경 분포도

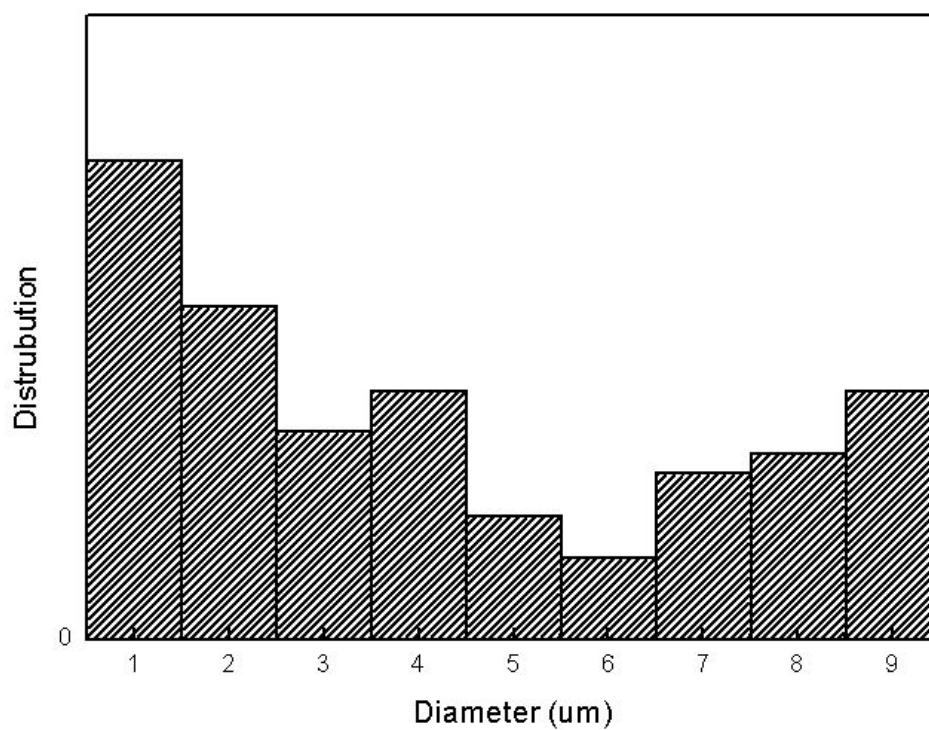
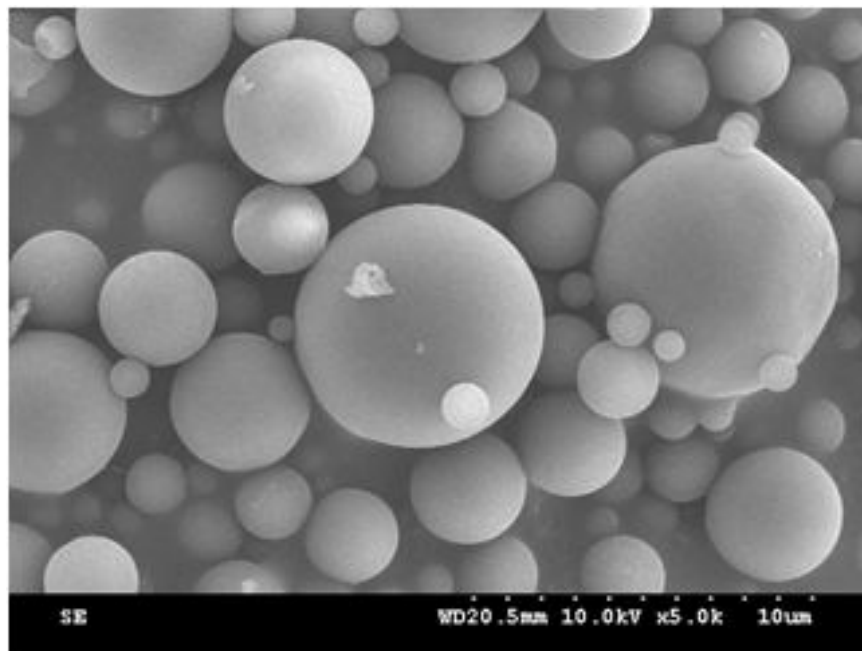


그림 3.12 에탄올 30wt% 조건에서의 입자 직경 분포도

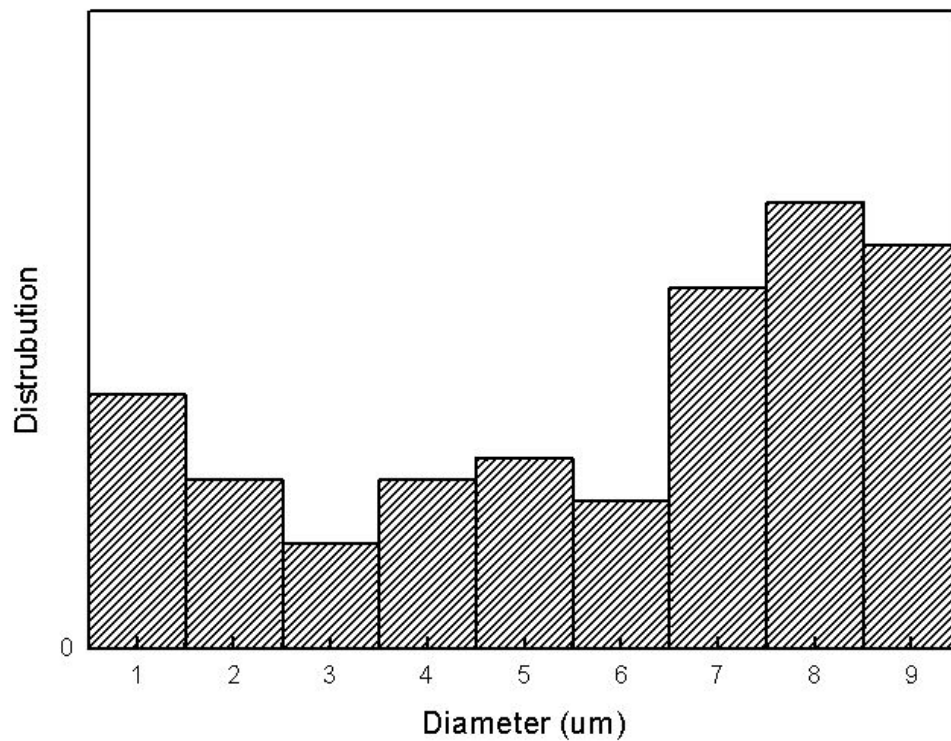
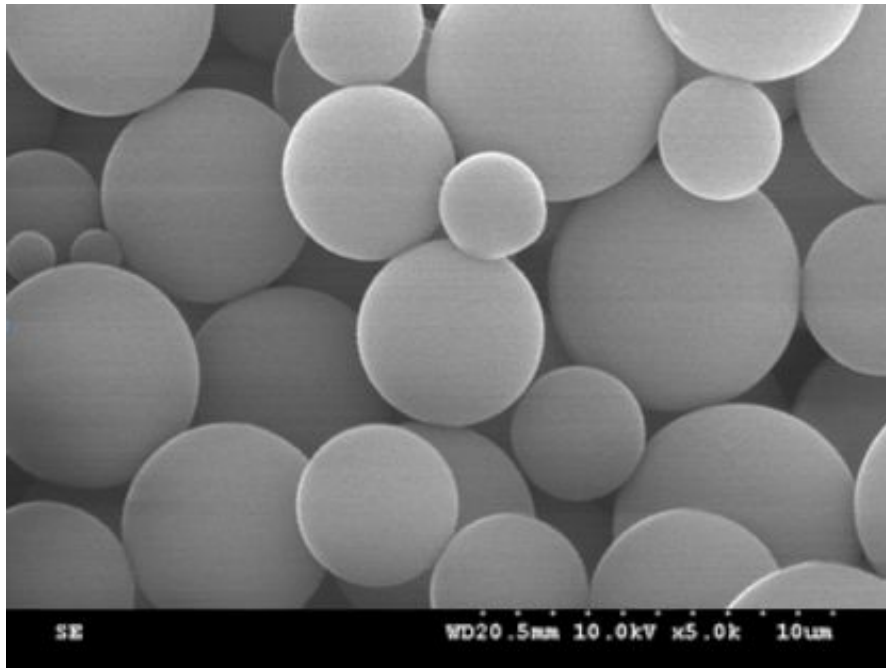


그림 3.13 에탄올 20wt% 조건에서의 입자 직경 분포도

혼합용액의 에탄올 함량을 감소시킬수록 중합 시 직경 5 μ m 이상의 폴리스티렌 입자들의 비율이 높아 졌다. 이는 중합 시 형성되는 Micro radical이나 Micro molecule에 대한 용액의 용해도 변화에 인해 핵 생성의 정도가 변하기 때문이다. 에탄올의 함량이 낮아질 경우 스티렌에 대한 용해도가 낮아진다. 따라서 과포화가 쉽게 일어나므로 핵 생성이 초기에 발생하여 입자의 크기가 일정한 상태로 성장한다. 에탄올의 함량이 높은 경우 스티렌에 대한 용해도가 높아 핵 생성이 비교적 느리게 일어나기 때문에 초기에 핵 생성이 되어 성장한 입자들과 나중에 핵 생성되어 성장한 입자의 크기가 다르게 나타난다. 에탄올의 함량을 20wt%에서 더 감소시키게 되면 스티렌에 대한 용해도가 더 낮아져 용액 전체에 걸쳐 핵생성이 발생하는 분산 중합이 아닌 부분 적인 현탁 중합이 동시에 발생 하게 된다. 이는 이어 질 CCA의 코팅 과정에서 입자별 일정량의 CCA 코팅이 불가하기 때문에 분산 중합 방식으로 인한 폴리스티렌 입자 중합 조건은 HPC 0.5wt%, 용액의 에탄올 비율을 20wt%로 정하였다.



3.3 분급

분급은 제작한 폴리스티렌 입자를 필터링 하여 원하는 크기로 걸러내는 공정이다. 분급을 하는 이유는 앞에서 설명했듯이 동일한 크기의 Liquid powder를 제조하기 위해서 이다. 분산 중합 방법을 이용하여 동일한 크기의 폴리스티렌 입자를 제조하는 것은 무척 어려운 일이다. 미립자 (1 μ m~2 μ m)의 분포가 없이 동일한 크기를 제조하는 것은 아마도 거의 불가능 할 것이다. 다른 중합 방법이나 입자 제조 공정을 개발하지 않고 서는 분급과정을 거쳐서 제조하는 것이 좋은 방법 이다. 분급을 하게 되면 폴리스티렌 입자의 크기 분포도가 약 1 μ m~10 μ m정도로 되어있는 것이 7 μ m~10 μ m로 분포가 바뀌게 된다. 분급의 원리는 입자의 크기별 질량 차이와 입자의 소수성 특성으로 미립자 입자들을 분리해 내는 것이다.

분급 과정은 1.0wt%의 HPC, 20wt% 에탄올 조건으로 분산 중합 한 입자들을 100ml 에탄올에 15ml의 물을 첨가한 용액에 섞어 준다. 10분간 교반 후 5시간 동안 유지 시 미립자의 입자들은 용액의 표면으로 떠오르고 직경 7~8 μ m의 입자들은 용액의 하단 부분에 쌓이게 된다. 용액의 상단 층 90ml를 제거하고 위와 같은 반복적인 과정을 거치게 되면 미립자의 비율이 줄어들고 7~8 μ m의 입자의 비율이 증가 하게 된다. 그림2.17은 5번의 분급 과정을 거치고 난 후의 입자의 분포도이다.

분급을 한다고 해서 모든 폴리스텐 입자가 원하는 크기대로 분급 되는 것은 아니며 미립자도 일부 섞여 분급된다. 실험 결과 약 5%의 미립자가 섞이는 것을 알 수 있었다. 분급 전 미립자를 약 37% 포함 하고 있는 폴리스티렌 입자들을 분급 과정을 통해 5%로 줄일 수 있었고 5 μ m 이상의 균일한 구형 입자들을 분급을 통하여 얻을 수 있었다.



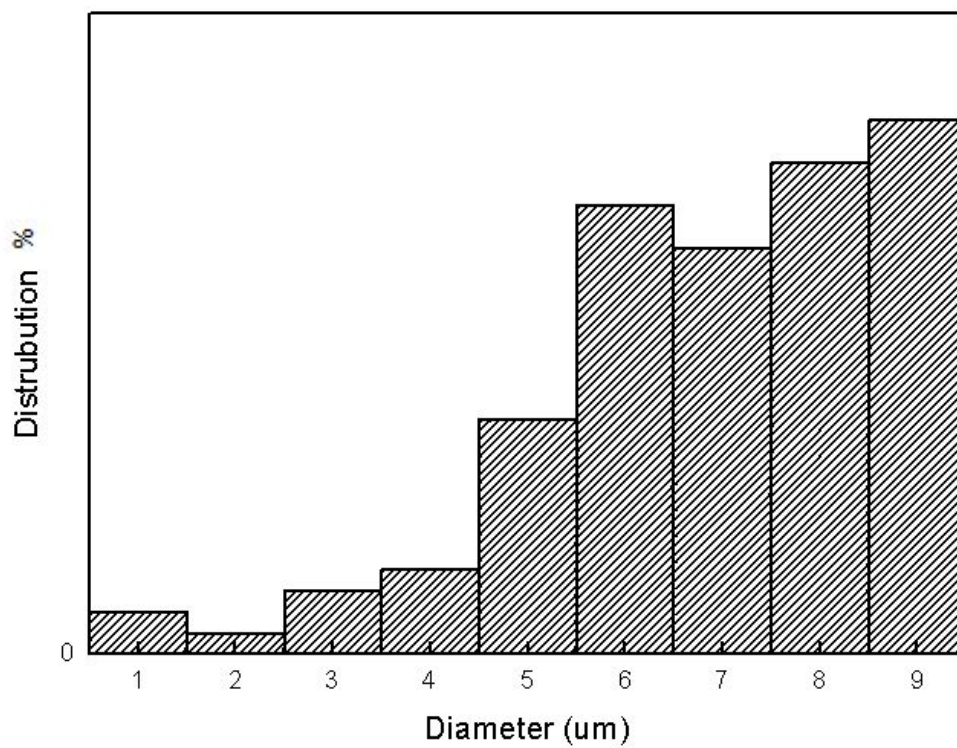
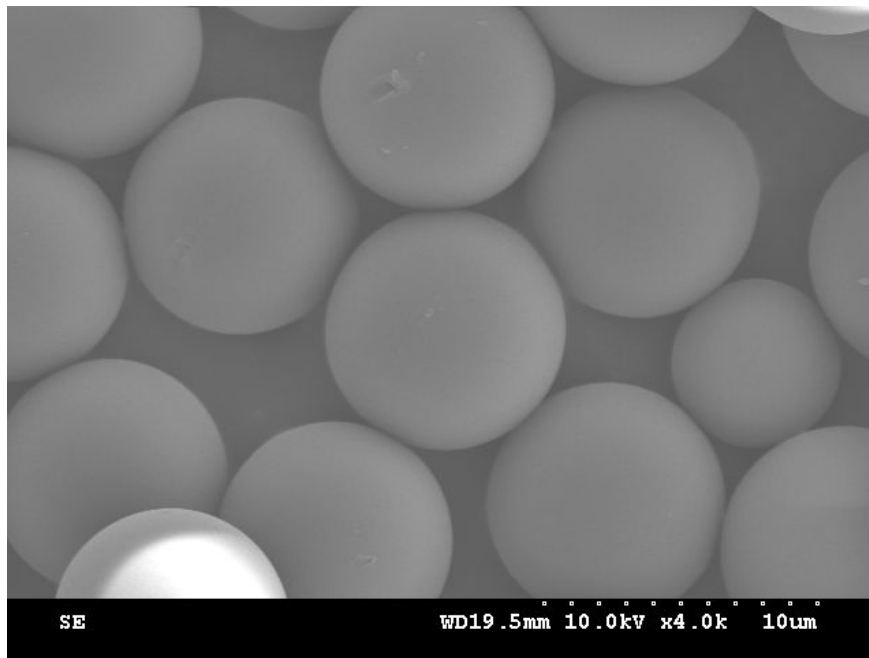


그림 3.14 분급 과정 후 입자 직경 분포도

3.4 착색 공정

스티렌을 중합하여 제작한 폴리스티렌 입자는 기본적으로 흰색을 띠고 있다. 하지만 전자 종이용 디스플레이에 사용하기 위해서는 검은색의 입자가 추가적으로 필요하기 때문에 흰색의 폴리스티렌 입자 표면에 착색을 해 주어야 한다. 검은색의 폴리스티렌 입자를 만들기 위한 공정은 폴리스티렌 분산 중합 마지막 단계 시 카본 블랙과 분산제를 혼합해 주면 된다. 카본 블랙의 경우 분산제의 종류가 다양하여 폴리스티렌 입자 제조에 사용된 분산제와 카본 블랙의 혼합 등을 고려한 적절한 분산제를 사용 하여야 한다. 그림 3.14는 흰색의 폴리스티렌 입자와 카본 블랙을 이용하여 착색 공정을 거친 검정색의 폴리스티렌 입자이다.



그림 3.15 흰색과 검정색의 폴리스티렌 입자

3.5 CCA 코팅 공정

화학적 중합 방법으로 제조된 폴리스티렌 입자는 전기적으로 positive 또는 negative의 특성을 가질 수 없다. 따라서 전자 종이용 소재로 사용 하려면 인위적으로 전기적 특성을 가질 수 있도록 CCA를 첨가 해야 한다. 여기서 CCA란 charge control agent로 전하를 가질 수 있도록 하는 전하 제어제이다. 화합물 중에서 전기적인 특성을 부여하는 물질인 CCA는 음,양이온성 모노머로 치환된 고분자 화합물의 형태로 negative와 positive의 전기적인 성질을 띠고 있는 물질이다. 마찰 대전시 전자를 주거나 받는 역할을 하며 주로 프린터 토너에 사용되는 재료이다.

본 연구에서는 분산 중합을 이용하여 제조한 폴리스티렌 입자표면 CCA를 화학적으로 중합하여 전기적 특성을 가질 수 있도록 제조 하였다. 전기적 특성은 폴리스티렌 입자를 전자 종이용 소재로 사용하기 위한 아주 중요한 특성 중 하나이며 제조 된 폴리스티렌 입자가 positive 인지 negative인지를 구분 하는 기준이 된다.

CCA를 적용하기 위한 방법으로는 입자 중합 시 입자 내부에 침투하여 내첨제 적용하는 방법과 중합이 끝난 입자 표면에 코팅 시키는 외첨제로 적용하는 방법이 있다. 입자 중합 시 CCA를 내부에 적용 할 경우 기존의 폴리스티렌 입자의 중합 조건과 다른 형상과 크기의 입자들이 만들어 졌다. 또한 전기적 반응 실험 단계에서 CCA를 외첨제로 적용하였을 때 보다 반응성이 떨어졌다.

CCA를 외첨제로 적용하기 위해서는 분산 중합을 통해 만들어진 폴리스티렌 입자 표면에 CCA를 2차적으로 중합 시키는 과정이 필요하다. CCA를 폴리스티렌 입자 표면에 균일하게 중합시키기 위해서 CCA와 폴리스티렌이 같은 소수성 특성을 가지는 것을 이용하였다. 20ml의 에탄올에 15ml의 물을 첨가하여 CCA를 폴리스티렌 입자 표면에 코팅을 할 친수성 용액을 준비한다. 분극과정을 통해 얻은 7~9um의 입자들을 35ml의 친수성 용액에 첨가한 후 약 1시간동안 분산시켜준다. CCA를 2차적으로 폴리스티렌 입자 표면에 중합시키기 위해서는 단량체가 필요한데, 중합 시 폴리스티렌 입자와 같은 성분을 가지기 위해 스티렌 모노머를 사용하였다. 20ml의 스티렌 모노머에 3wt% CCA와 BPO개시제 3wt%를 첨가하여 폴리스티렌 입자

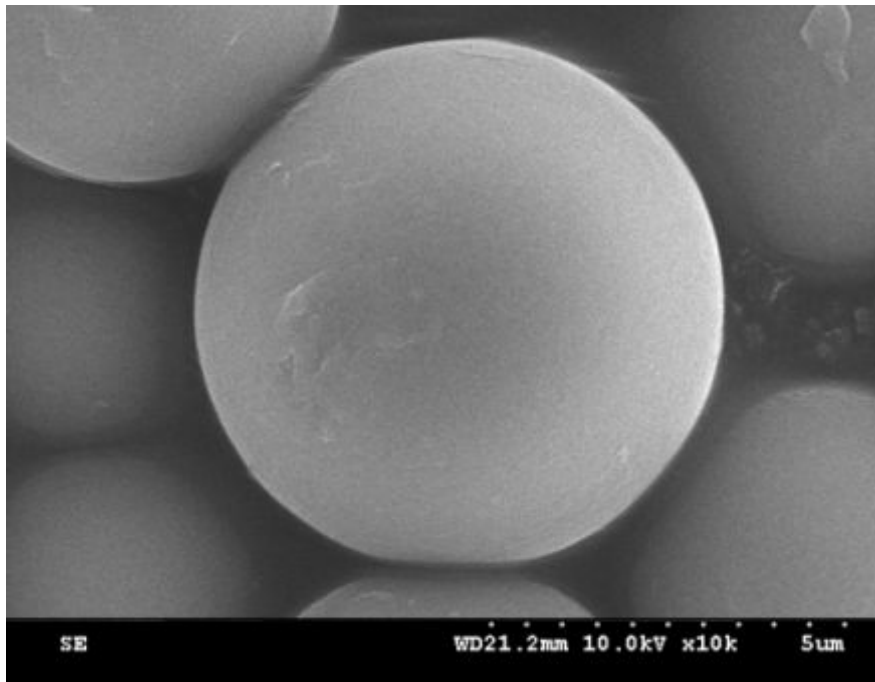


표면에 중합시킬 용액을 준비한다. CCA가 혼합된 스티렌 모노머를 폴리스티렌 입자가 분산되어있는 35ml의 친수성 용액에 첨가하면 같은 소수성 특성을 띠고 있는 폴리스티렌 입자 표면으로 CCA의 1차적인 코팅이 진행된다. 저속교반을 해주며 80℃에서 12시간동안 중합을 시켜주면 폴리스티렌 입자 표면에 1차적으로 코팅된 CCA모노머가 BPO 개시제에 의해 2차적인 중합을 하게 된다.

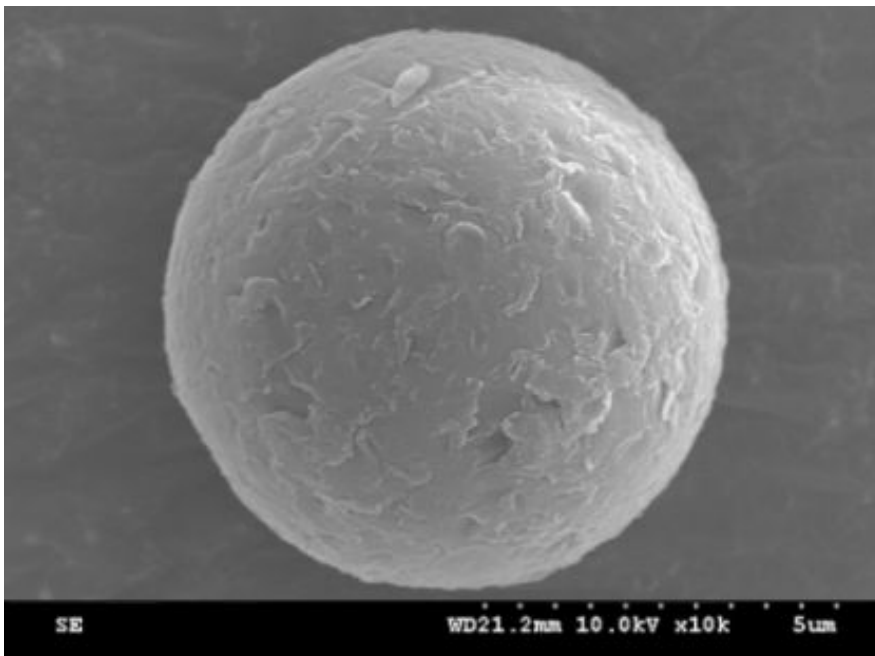
친수성 용액 제작 시 물의 함량을 15ml에서 증가 시킬 경우 용액의 친수성 성질이 강해져 폴리스티렌 입자의 분산이 이루어 지지 않는다. 또한 CCA가 혼합되어 있는 스티렌 모노머의 첨가 시 폴리스티렌 입자 표면에 코팅 되어 중합이 진행되는 것과 동시에 친수성 용액 상에서 부분적인 현탁 중합이 발생한다. 물의 함량을 15ml에서 감소시킬 경우 용액의 친수성 성질이 약해져 폴리스티렌 입자 표면에 CCA가 혼합 되어있는 스티렌 모노머가 코팅이 되지 않고 용액 상에서 BPO개시제에 의해 핵생성이 진행되어 분산 중합이 이루어 진다. 그림 3.15는 CCA 코팅 전 단계의 입자 표면과 15ml의 물을 첨가한 친수성 용액 조건에서 CCA를 코팅 한 입자의 표면 차이를 나타내었다.

본 연구에서는 negative CCA powder가 검정색을 띠고 있고 positive CCA powder가 흰색을 띠고 있기 때문에 negative CCA를 카본 블랙이 코팅 되어있는 검정색 입자에, positive CCA를 흰색 입자에 각각 적용 시켜 주었다.





(a)



(b)

그림 3.16 CCA 코팅 전(a) 후(b) 입자 표면 차이

3.6 실리카 코팅 공정

CCA를 코팅한 폴리스티렌 입자는 전기적으로 positive 또는 negative를 띠고 있다. 이것은 앞서 설명하였듯이 CCA라는 외첨제를 첨가하여 인위적으로 만든 것이다. 이러한 전기적인 성질을 가지고 있는 폴리스티렌 입자는 기본적으로 음극의 입자와 양극의 입자가 서로 전기적인 인력으로 인해 응집 되려고 한다. 흰색의 양극 입자와 검정색의 음극 입자가 서로 응집 하게 되면 패널 구동 시 구동 전압이 올라갈 뿐만 아니라 대조비를 감소시키는 역할을 하게 된다.

또한 입자의 흐름성이 좋지 못하여 입자의 수명이 짧아진다. 그렇기 때문에 전기적인 성질을 띠고 있는 폴리스티렌 입자 표면의 물리적 특성을 변화 시켜야 한다. 즉, 응집이 되지 않고 물처럼 흐르듯 움직이는 특성이 필요하며, 이를 위해서 실리카를 코팅 한다[22]. 그림3.16을 살펴보면 실리카 코팅을 하지 않은 입자는 쌓이는 반면, 실리카 코팅을 하지 않은 일반적인 입자는 입자의 크기가 같은 조건이라도 쌓이지 않음을 알 수 있다.

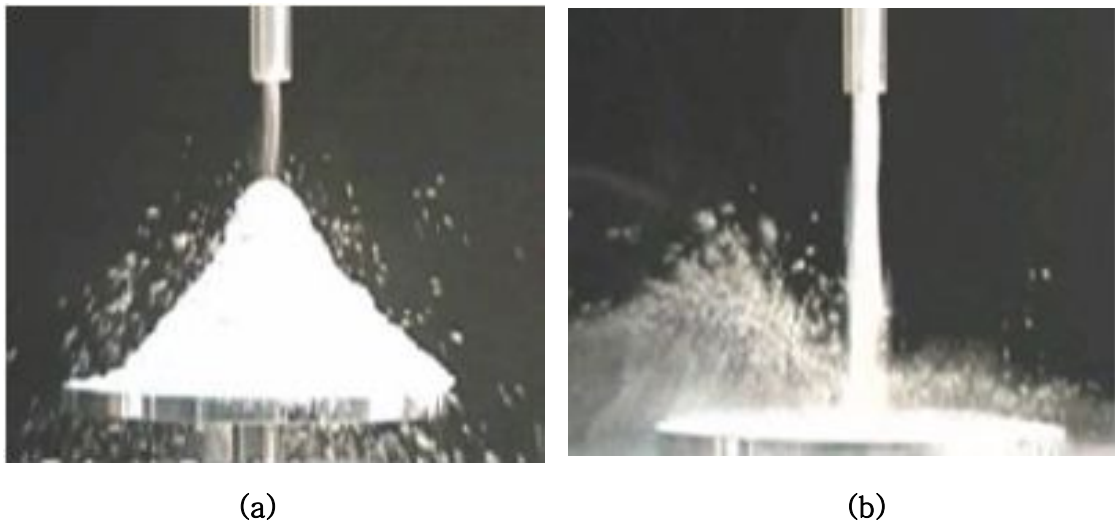


그림 3.17 일반 파우더(a)와 실리카를 입자 표면에 코팅한 파우더(b)의 흐름성 비교

실리카를 코팅하기에 앞서 어떤 실리카를 사용 할 것인가를 분석하기 위하여 본 논문에서 사용할 소재의 특성에 맞는 실리카를 조사하였다. [23]

실험에 사용된 실리카는 아래의 표 3.1에 보인 것처럼 AEROSIL,의 제품으로서 그 특성을 나타내었다.

표 3.1 실리카의 물리적 특성

Property	Unit	#R9	#R76	#R8	#R8s	#R20	#R04
Core material	-	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂
BET surface area	m ² /g	90-130	210-260	230-290	195-245	120-160	125-175
pH	-	3.6-4.4	4.0-5.0	5.5-7.5	5.5-7.5	8.0-10.0	8.5-10.5
Drying Loss	%	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.8	<1.5
Carbon content	%	0.6-1.2	1.7-2.5	2.0-3.0	3.0-4.0	<3.0	2.0-4.0
Bulk Density	g/l	50	50	60	60	40	40
Tribo-charge	uC/g	-410	-680	-550	-450	260	350

실리카는 tribo-charge에 따라 positive 그리고 negative silica로 구분할 수 있다. 실리카의 종류는 다양하게 많지만, 실험에 사용된 실리카는 positive 1종류와 negative 1종류를 사용하여 코팅 조건에 따른 그 특성을 분석하여 평가하였다. 선택 기준은 실리카의 유동성이 높고 tribo-charge가 높은 것을 기준으로 하였다. 표 3.3과 표3.4는 유동성과 tribo-charge의 특성을 나타낸 것이다. 표 3.3을 보면 다양한 실리카의 특성이 분포 되어 있는 것을 볼 수 있다.

표 3.2 실리카의 마찰 전기 특성

Primary particle size(nm)	40	30	20	16	14	12	7
DDS				#R9		#R97	#R76
						#R92	
PDMS	#R50	#N50		#R20s	#R2	#RY20	#RY3
						#R20L	
HMDS	#X50	#NX5	#VP	#VPR		#R200	#RX3
						#R82	#R8s
							#R8
HH+AS		#N5				#R04	
		#N5y				#R20	

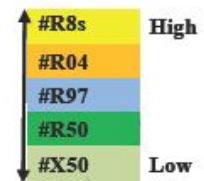
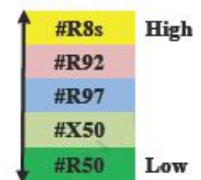


표 3.3 실리카의 유동성 특성

Primary particle size(nm)	40	30	20	16	14	12	7
DDS				#R9		#R97	#R76
						#R92	
PDMS	#R50	#N50		#R20s	#R2	#RY20	#RY3
						#R20L	
HMDS	#X50	#NX5	#VP	#VPR		#R200	#RX3
						#R82	#R8s
							#R8
HH+AS		#N5				#R04	
		#N5y				#R20	



다양한 실리카의 특성을 실험에 적용하여 충분한 특성을 관찰 하여야 하지만, 실리카의 수급 문제 및 폴리스티렌 입자의 제조 문제점을 고려하여 positive 실리카의 경우 #R04를 선택 하였으며 negative 실리카의 경우 #R76을 선택하여 사용 하였다. 실리카 코팅 공정은 CCA가 외침 되어 있는 폴리스티렌 입자와 solubility parameter가 비슷한 용액을 사용하여 물리적인 방식으로 실리카를 폴리스티렌 입자 표면에 코팅 하였다. 물리적인 코팅 과정에서 실리카 나노 파우더가 폴리스티렌 입자 표면으로 코팅이 되기 위해서는 폴리스티렌 입자의 swelling 현상이 필요하다. 실리카 코팅 조건으로는 1-Hexanol 8ml 에 폴리스티렌 입자 0.1g 과 실리카 나노 파우더 0.03g 을 혼합 해 주었다. 물리적인 충격을 가해 주기 위해 직경 1mm Zr ball : 20개를 넣어 4시간 동안 100RPM 으로 milling 후 메탄올을 이용하여 세척 하였다. 폴리스티렌 분산 중합 과정에서 미립자를 분급해 내는 방식 과 동일하게, 원심 분리기를 이용하여 폴리스티렌 입자 표면에 코팅 되지 않은 실리카 나노 파우더들을 제거 하고 실리카가 코팅된 폴리스티렌 입자를 얻을 수 있었다. 그림 3.17은 실리카 나노 파우더를 코팅한 폴리스티렌 입자이다.



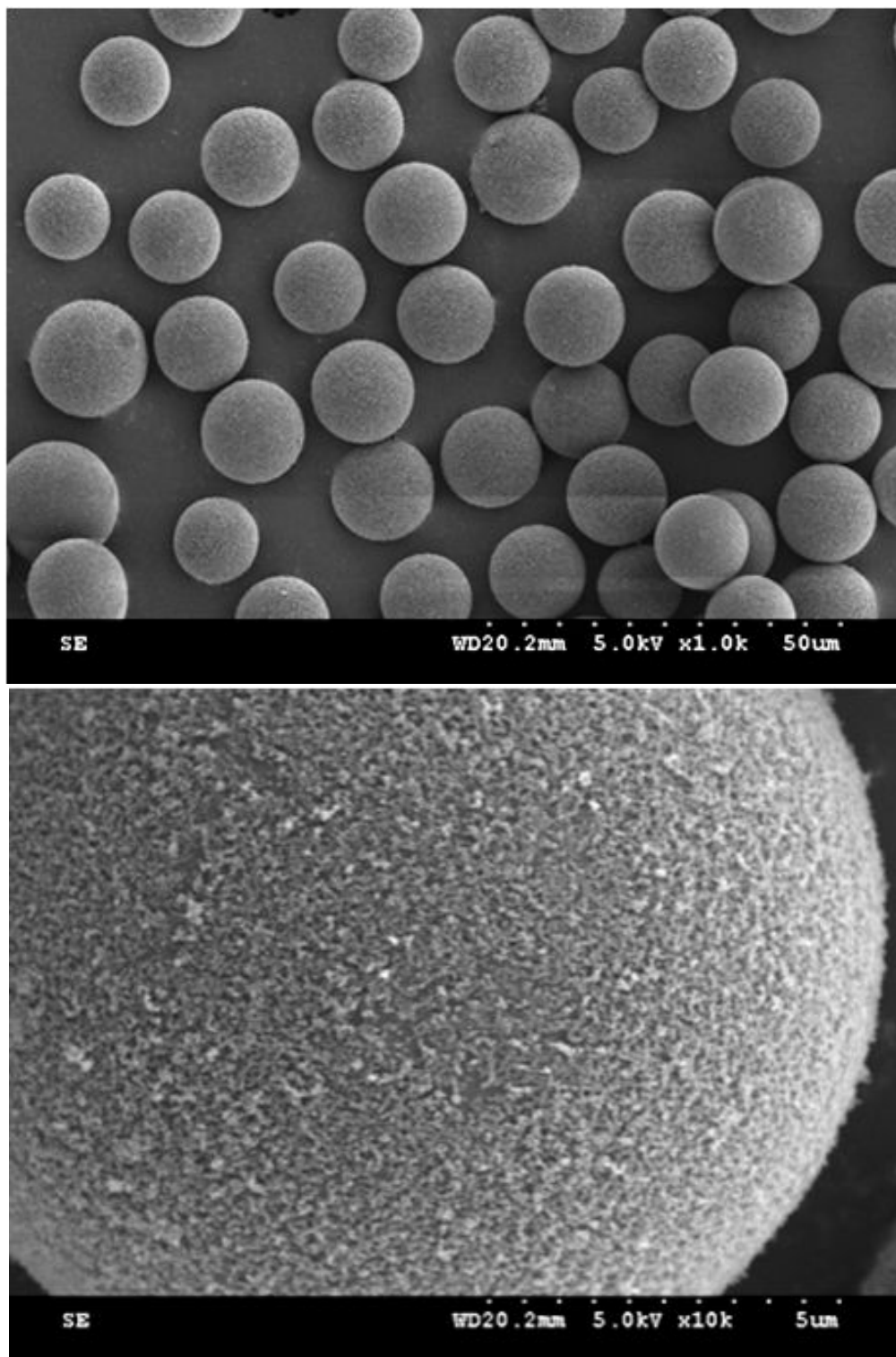


그림 3.18 실리카나노 파우더가 코팅 된 폴리스티렌 입자

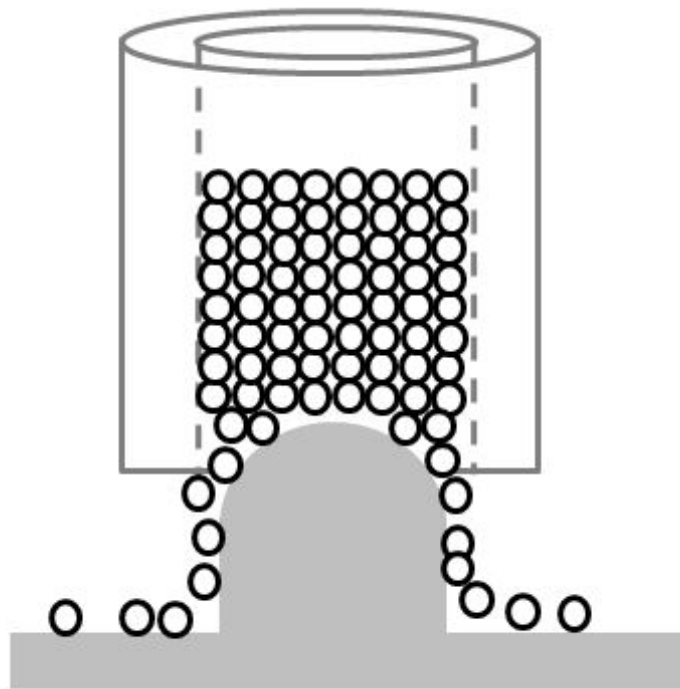


그림 3.19 입자의 유동성 평가를 위한 Tool

입자의 유동성을 비교하기 위해서 그림 3.18과 같은 Tool을 준비 하였다. 가운데가 비어있는 원통형 구조물에 일정량의 입자들을 채우고 난 후, 하판에 균일한 진동을 가하여 입자가 원통을 다 빠져 나가는 데 걸리는 시간을 비교하였다. 비교 입자는 분산 중합을 통하여 제작한 폴리스티렌 입자와 분급 과정을 통하여 미립자를 제거 시킨 입자와 입자 표면에 실리카를 코팅 시킨 입자를 선택 하였다.

표 3.4 입자 별 통과 시간

구분	원통을 빠져나가는데 걸리는 시간
미립자가 포함 되어있는 폴리스티렌 입자	320초
분급 과정을 거친 폴리스티렌 입자	14초
실리카를 코팅 시킨 폴리스티렌 입자	1초

유동성의 수치는 원통을 빠져나가는데 걸리는 시간이 짧을수록 좋은 흐름을 갖는다. 표 3.5에서처럼 실리카를 코팅한 입자의 경우 유동성이 가장 높았으며 분급 과정을 거치지 않아 미립자가 존재 하는 폴리스티렌 입자의 경우 유동성이 가장 낮았다.

실리카는 폴리스티렌 입자에 대하여 유동성은 물론 전기적 특성도 변화시킨다. 앞서 설명한 폴리스티렌 제조에서 보면 CCA라는 외첨제를 이용하여 폴리스티렌 입자 표면에 2차적인 중합을 통하여 전기적 특성을 갖는 liquid powder 입자를 제조 하였다. 실리카 나노 파우더를 이용하여 유동성을 향상 시킨 입자의 구조를 그림 3.19에 나타내었다.

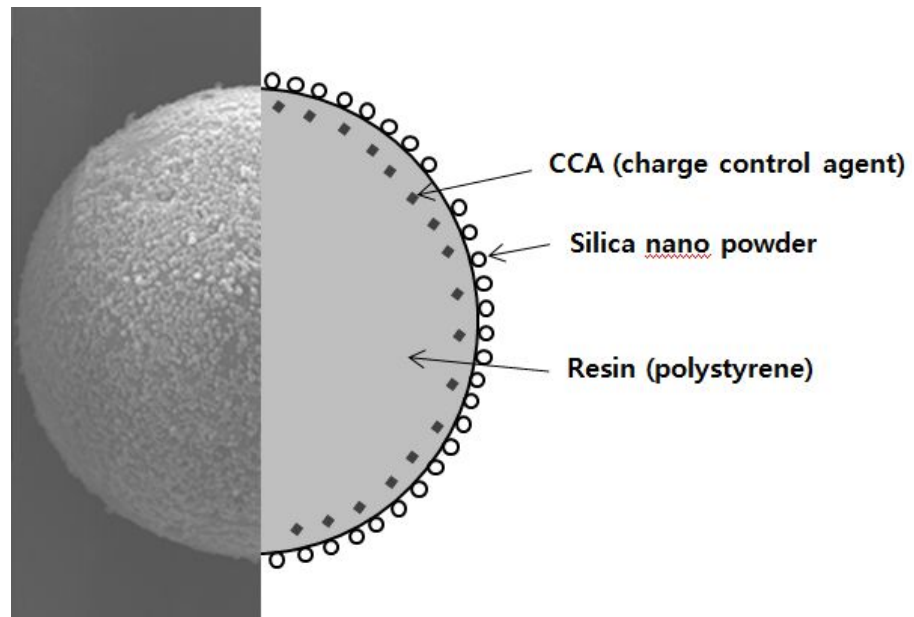


그림 3.20 Liquid powder의 구조

liquid powder의 표면에는 외첨제 CCA가 얹혀서 마치 실타래처럼 뒤엉켜 있는 구조가 형성 됐다고 할 수 있다. 폴리스티렌 표면에 존재하는 CCA가 마찰 대전을 시켜주는 source 즉, carrier와 마찰 대전이 되는 것이라 할 수 있다. 이것은 Liquid powder 표면에 얹혀서 구조가 형성되는 매질은 전기적인 특성을 띠게 해주는 촉매제로 쓸 수 있다는 것이다. 따라서, CCA는 물론, 실리카도 Liquid powder에 전기적인 특성을 부여한다고 볼수 있다.

4. 패널 제작 및 평가

4.1 패널 공정

Liquid powder를 평가할 패널은 ITO(Indium thin oxide)가 증착된 ITO Glass로 제작하였다. ITO의 면저항은 $<20[\Omega/\text{sq}]$ 이며, 박막 두께는 $<1800[\text{\AA}]$ 이다. 각 화소들의 크기는 $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ 으로, $100\mu\text{m}$ 넓이의 격벽 구조로 패턴을 설계하였다.

ITO glass 기판을 아세톤 및 메탄올을 이용하여 초음파 세척한 후, DI water를 이용하여 마지막으로 세척한다. SU-8 계열의 PR을 이용하여 10초간 저속 200RPM에서 스핀 코팅을 실시하여 30초간 고속 1000RPM에서 PR을 균일하게 도포한다. 1000RPM으로 코팅 시 PR의 두께는 약 $80\mu\text{m}$ 높이로 형성된다. Hot plate를 이용하여 120°C 에서 5분간 soft baking을 하고 난 후, align 및 exposure 장비를 이용하여 60초간 UV 공정을 실시한다. Baking 된 PR을 원하는 패턴만 남겨두고 제거하기 위하여 현상 용액에 1분간 현상한다. 남아있는 SU-8 구조물을 완전히 균히기 위해 hot plate를 이용하여 160°C 에서 5분간 hard baking 을 해주어 격벽 구조의 하판 패널의 패턴을 제작 한다. 상판 패널 또한 동일한 방식으로 제작 하되 격벽의 높이를 하판의 격벽 높이보다 낮은 높이로 제작하기 위하여 2000RPM에서 스핀 코팅을 진행한다. 2000RPM으로 코팅 시 PR의 두께는 약 $20\mu\text{m}$ 높이로 형성된다. 이렇게 상판과 하판의 격벽 높이를 다르게 하는 이유는 Liquid powder를 하판 전극에만 주입하기 위해서 이다. 상 하판 전극 모두에 입자를 주입하게 될 경우 상 하판 전극의 부착 시 입자의 손실이 있을 수 있기 때문에 하판 전극의 격벽 높이를 높이 하여 하판 전극 쪽으로만 입자를 주입 하였다. 그림 4.1은 현미경을 통하여 확인한 패널의 구조 이다.



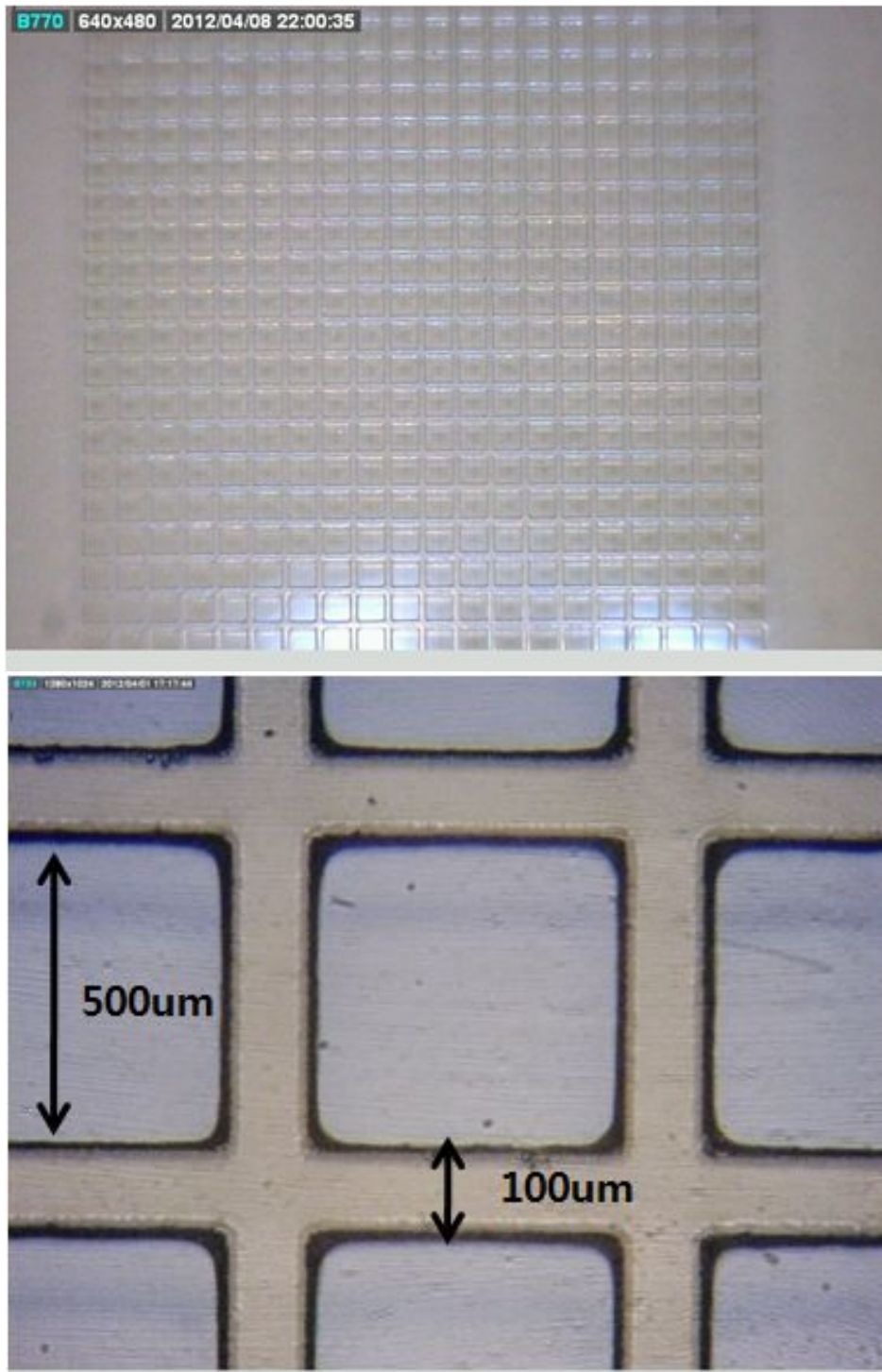


그림 4.1 격벽 패턴 (500um × 500um)

4.2 Liquid powder의 마찰 대전

제작한 Liquid powder를 패널에 적용하기 위해서는 입자를 주입하기 전에 마찰 대전을 통하여 분극 과정을 거쳐야 한다. 분극 과정을 거치지 않아도 positive 입자와 negative 입자는 각 각의 극성을 가지고 있지만 그 정도가 낮기 때문에 입자를 움직이기 위해서는 200V 이상의 높은 전압이 필요하다. 앞에서 설명했듯이 CCA는 전하를 주거나 받는 역할을 한다. positive 입자에 사용된 CCA는 마찰 대전시 전자를 잃는 역할을 하고 negative 입자에 사용된 CCA는 마찰 대전시 전자를 얻는 역할을 한다. 마찰 대전의 정도가 커질수록 두 입자 간의 분극 정도는 커져서 낮은 전압에서도 입자의 움직임이 가능해 진다. 하지만 분극의 정도가 어느 정도 이상부터는 입자의 응집 현상이 심해져 입자의 주입이 불가능해 진다.

동일한 양의 positive를 띠는 흰색 입자와 negative를 띠는 검정색 입자를 유리 재질로 되어있는 원통형 구조물 안에서 rolling을 시켜주며 서로 마찰 시켜 준다. rolling 시간에 따라 마찰 대전의 정도가 증가하여 두 입자의 분극 현상이 진행 된다.

패널 구동 시 분극 정도에 따라서 구동 전압과 대조비, 입자의 수명이 달라지기 때문에 마찰 대전 실험이 Liquid powder의 적용에 있어서 중요한 역할을 하게 된다. 본 연구에서는 마찰 대전 시간은 5초, 10초, 20초 40초, 60초의 조건으로 실험을 진행하였다.

4.3 Liquid powder의 주입

입자를 기판에 주입하기 위한 방법은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 물리적인 힘과 전기적인 힘을 결합한 방식으로 그림 4.2 에 나타내었다. 이것은 한 쪽 기판에 주입하고자 하는 입자와 상대적인 전압을 인가하고, 주입하려는 입자에 같은 극성을 인가하는 방식이다[24].

그림 4.2에서 보듯이 기판에 positive(+) 전압을 인가하고, 그 기판위에 positive 입자를 살포한다. 그 다음, 다른 기판 쪽에 negative(-)을 인가하여 입자를 밀면서 Cell 내에 주입하는 방식이다. negative를 띠고 있는 입자는 같은 극성으로



인가되는 전압에 의하여 밀려나가 듯이 Cell 내로 주입되며, positive(+)로 인가되어 있는 기판은 negative를 띠고 있는 입자를 끌어 당기듯이 흡착 시키는 역할을 하게 된다. 이러한 입자 주입방식은 putting이라는 용어를 써서 표현하여 putting 방식이라고 한다.

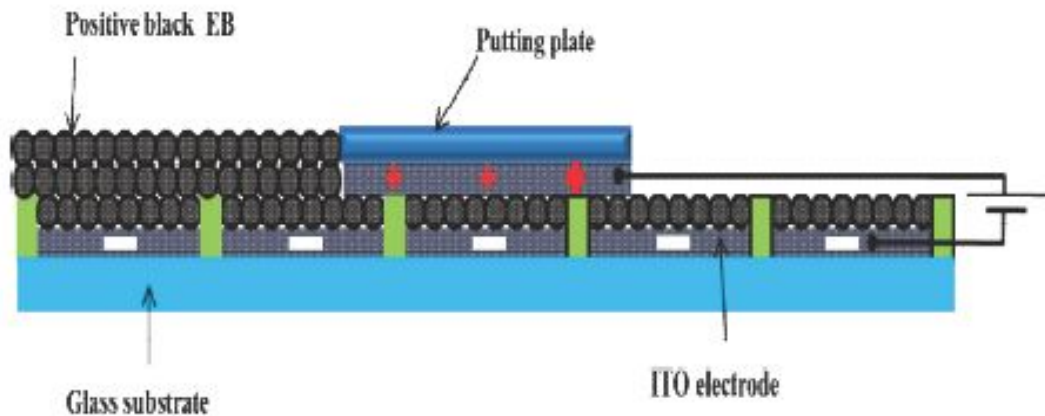


그림 4.2 putting 방법을 이용한 입자 주입

전압을 인가하여 putting하는 방식은 낮은 전압(5~10V)으로 입자의 주입이 가능하고, 입자를 cell 내에 충분히 채울 수 있는 장점이 있는 반면, 충전판을 이용하기 때문에 패널의 격벽에 손상을 입히는 단점이 있다.

두 번째 방법은 코로나 방전을 이용한 방법이다. 이 방법은 고압의 방전으로 입자를 주입하는 방식으로 코로나 건 앞의 작은 탐침에 고전압을 인가하여 방전을 일으키고, 이를 이용하여 입자를 이온화 시킨다. 이온화된 입자는 맞은 편기판에 충돌하여 흡착된다. 이 방식은 고전압에 의한 방식으로 입자가 이온화로 인하여 전기적인 특성이 영향을 받고, cell 내에서 움직임이 저하된다. 고전압 및 공기를 이용하여 입자를 주입하기 때문에, 입자는 전압이 인가되는 부분 이외에는 흡착이 되지 않는 장점이 있는 반면, 이온화 된 입자를 다시 에이징 해 주어야 하는 단점이 있다. 그림 4.3에 코로나 방전을 이용한 입자 주입 방법을 나타내었다[25].

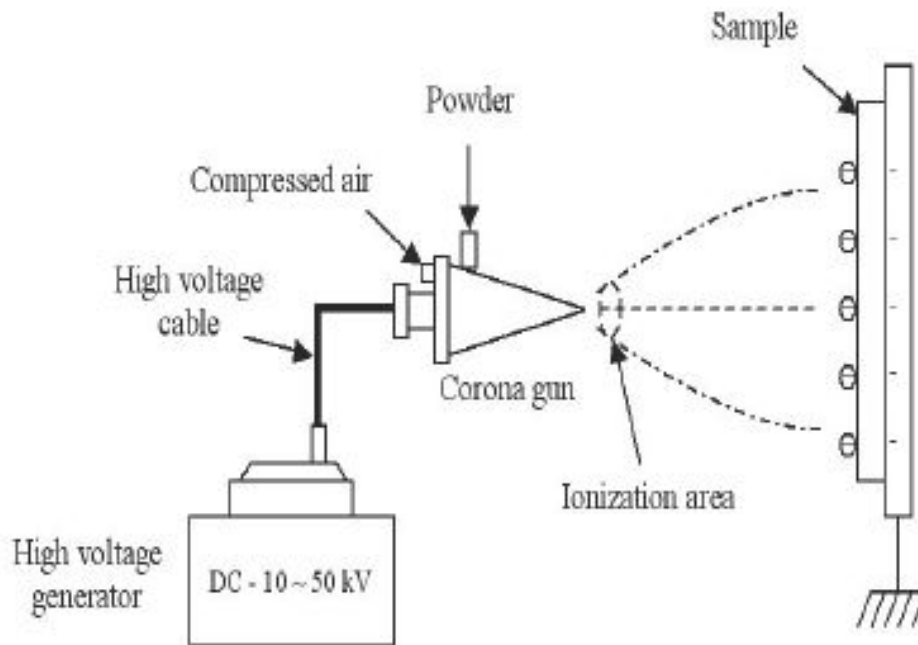


그림 4.3 코로나 방전을 이용한 입자 주입

세 번째 방식은 스크린 프린터를 이용한 방식이다. 패널 위에 입자를 위치한 후 스크린 프린터의 스queegee(스퀴지)를 이용하여 밀어 넣는 방식이다. 이는 기계적인 putting 방식으로 입자를 밀어 넣으므로 보다 정밀하게 입자를 주입 할 수 있는 방식이다. 기계적인 힘을 이용하여 입자를 주입하는 방식인 만큼 일정하게 밀어 넣을 수 있지만, 보조 장치가 필요하다. 패널 위에 패널의 cell 크기보다 작은 메쉬(mesh)를 만들어 고정 시켜야 하며, 입자가 주입 되는 양 보다 버려지는 양이 많아 입자의 소모가 심하다(그림 4.4).

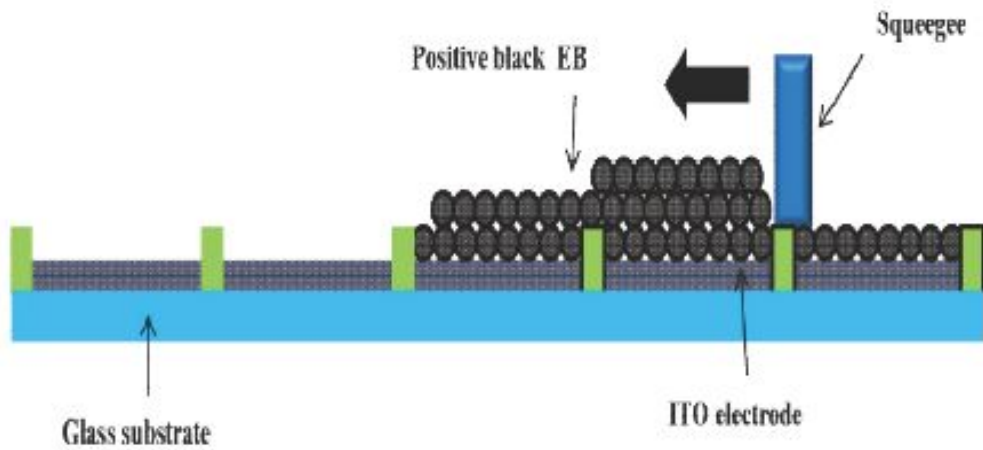
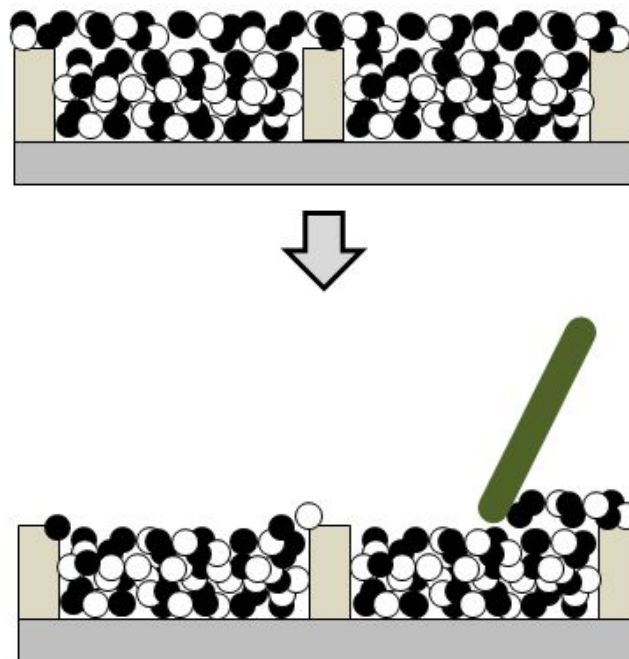


그림 4.4 스quee지를 이용한 입자 주입

본 연구에서는 입자를 하판 패널 위에 위치시킨 후 스quee지를 이용하여 cell 내부로 입자를 주입 하였다. 입자 주입 후 격벽 위에 잔존하는 입자들을 PDMS를 이용하여 제거 하였다. 스quee지를 이용한 입자 주입 과정을 그림 4.5에 나타내었다.



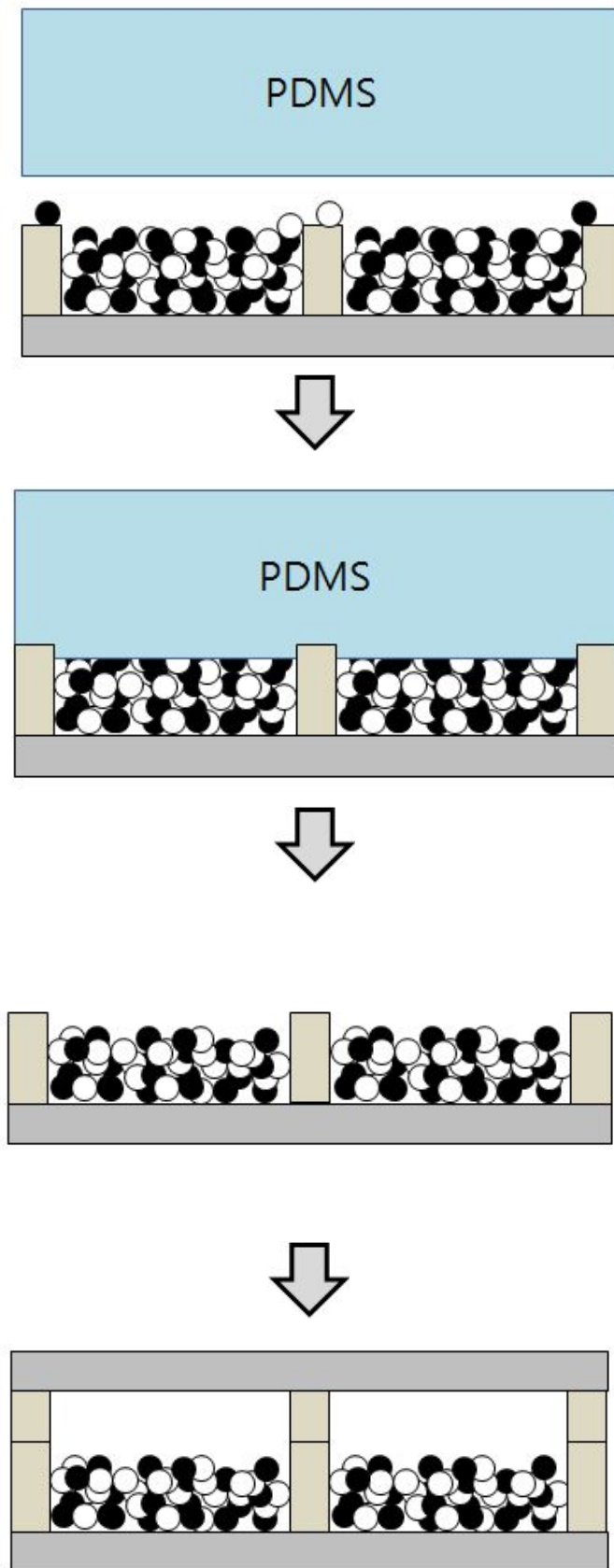
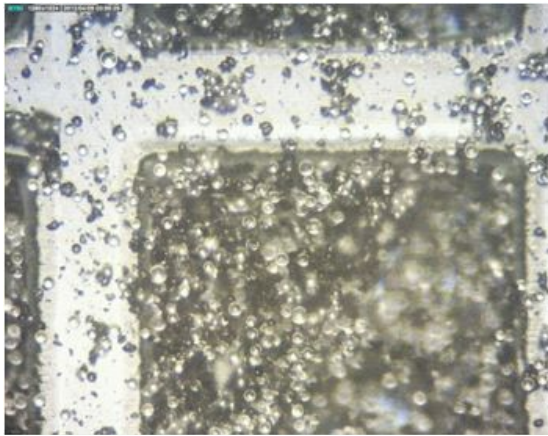
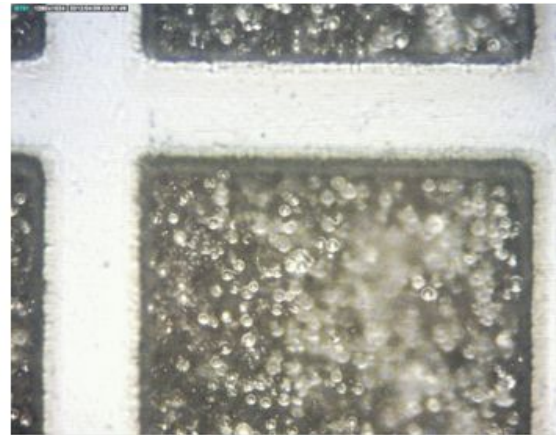


그림 4.5 입자 주입 과정



제거전 (a)



제거후 (b)

그림 4.6 PDMS를 이용한 잔존 입자 제거

스퀴지를 이용하여 입자를 cell내부로 주입 시킨 후 격벽에 잔존 하는 입자들을 PDMS를 이용하여 제거하면 그림 4.6 과 같이 격벽 위에 잔존 하는 입자들을 제거 할 수있다.

4.4 패널 평가

패널을 평가하기 위한 요소로 패널의 구동전압과 대조비, 입자의 수명을 비교 대상으로 하였다. 마찰 대전으로 인하여 분극 된 입자들을 cell내부로 주입하고 상 하판 사이에 전압을 인가하여 준다. 상판 전극에 +를 인가하게 되면 negative를 띠고 있는 검정색 입자들이 상판 전극 표면으로 이동하고 positive를 띠고 있는 흰색 입자들은 하판 전극으로 밀려난다. 반대로 -가 인가 되어있는 하판 전극 표면으로 positive를 띠고 있는 흰색 입자들이 이동하고 negative를 띠고 있는 검정색 입자들은 상판 전극으로 밀려난다. 이와 같이 상 하판 전극 사이에 작용하는 전기장의 방향에 따라서 검정색 입자와 흰색 입자가 전극 표면으로 이동하여 반사도의 차이를 내게 된다. 전기장의 방향에 따른 입자의 이동을 그림 4.7에 나타내었다.

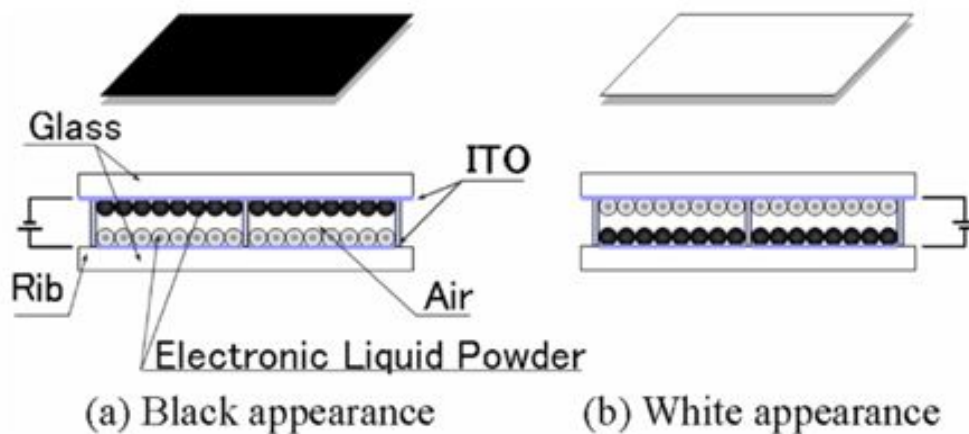
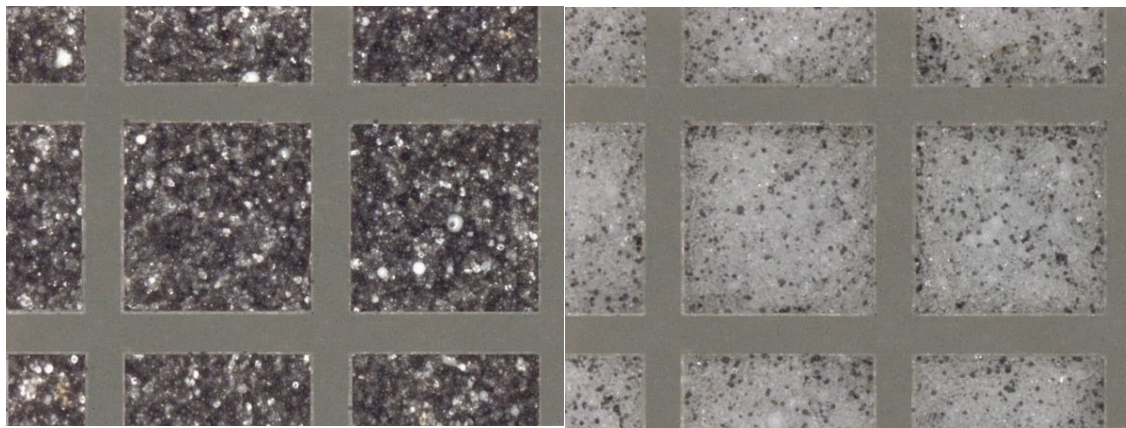


그림 4.7 전기장 방향에 따른 입자의 이동

liquid powder들을 cell에 주입 후 전압을 인가하면서 입자의 움직임을 광학 현미경으로 관찰 하였다. 마찰 대전 과정을 거치지 않은 입자의 경우 180V이상의 전압을 인가하여야 최초 입자의 이동이 관찰 되었다. 마찰 대전 과정을 단 5초간 진행하였을 경우에는 100V에서도 입자의 움직임이 관찰 되었고 20초간 마찰 대전을 해 주었을 경우에는 20V에서도 최초 입자의 움직임이 관찰 되었다. 마찰 대전 시간을 증가 시킬수록 최초 입자가 움직이는 조건의 전압 값은 감소하다가 60초 이상에서는 입자의 움직임이 관찰 되지 않았다. 이는 최초 마찰 대전시 입자의 전하량이 증가하면서 전계에 의한 입자의 운동 에너지에서 살펴본 바와 같이 구동 전압을 낮추는 역할을 하기 때문이다. 하지만 입자의 전하량이 어느 정도 이상 증가 하면서 과 충전 현상에 의해 격벽과의 부착현상을 쉽게 야기 할 뿐만 아니라 양의 전하를 띠고 있는 흰색 입자와 음의 전하를 띠고 있는 검정색 입자와의 Coulomb의 힘으로 인해 뭉침 현상이 발생한다. 따라서 마찰 대전을 60초 이상 해 줄 경우에는 오히려 구동 전압을 낮추지 못하게 된다.

20초간 마찰 대전 과정을 거친 liquid powder를 패널에 주입 후 80V의 전압을 인가 해 주었다. 상판 전극에 +를 인가 해 주었을 때와 -를 인가 해 주었을 때의 반사도 차이는 그림 4.8과 같았다.



(a) 상판 + 80V

(b) 상판 - 80V

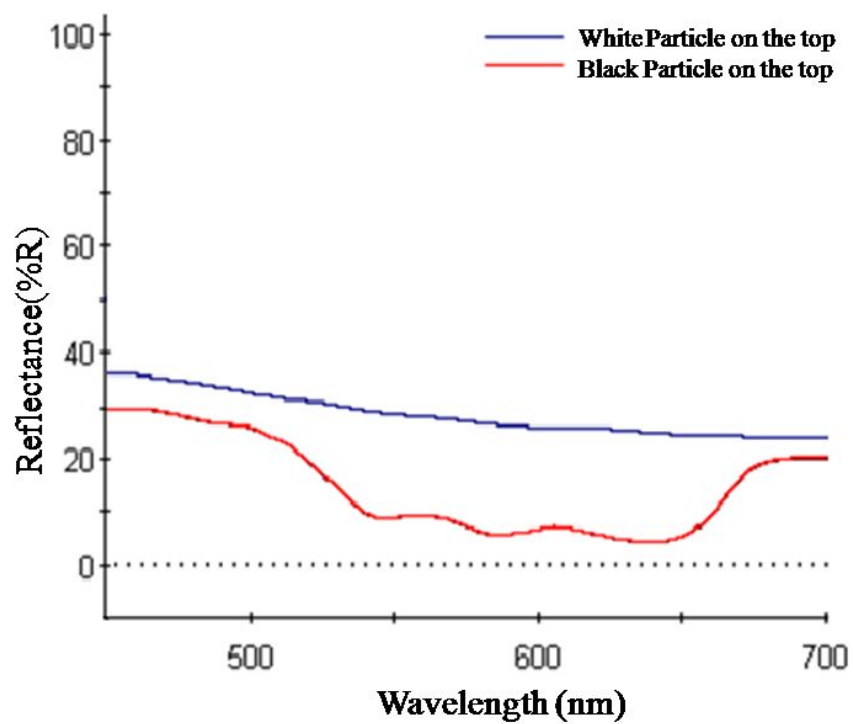


그림 4.8 전기장 방향에 따른 상판 패넌의 반사도 차이

상판 전극에 +를 인가 해 주었을 경우 negative를 띠고 있는 검정색 liquid powder들이 상판 전극으로 이동하여 반사도를 감소 시켰고, 상판 전극에 -를 인가 해 주었을 경우 positive를 띠고 있는 흰색 liquid powder들이 상판 전극으로 이동하여 반사도를 증가 시켰다. 600nm 파장 대역에서의 대조비는 1:3으로 비교적 낮은 대조 비를 보였다. 이는 각각 대전된 입자들이 전극 표면으로 100% 이동할 수 다 하지 못하고 제자리에 머물러 있거나 반대 극성의 입자들과 응집 되어 있는 입자들이 존재하기 때문이다. 이는 CCA 코팅 공정 과정에서 입자 별 CCA가 표면에 코팅된 정도가 100% 균일 하지 못하거나, 마찰 대전 과정에서 입자별 분극 정도의 차이가 존재하기 때문으로 생각한다.

패널 구동 시 대조비 뿐만 아니라 입자의 수명도 디스플레이 적용 시 중요한 요소가 된다. 본 연구에서 입자의 수명을 상판의 초기 반사율 차이 대비 50%로 떨어지는 시간까지를 입자의 수명으로 정하였다. 패널의 구동 조건은 80V 전압 조건에 1Hz 의 속도로 전기장의 방향을 바꾸어 주었다. 초기 반사율 대비 50%로 떨어질 때 까지 걸리는 시간은 145분으로 입자의 수명이 길지 않았다. 이는 패널의 구동 초기에는 응집현상이나 격벽으로 부착되는 현상이 발생하지 않더라도 입자의 운동이 반복 되면서 마찰에 의한 대전으로 인하여 입자의 표면에 전하가 분포되기 때문이다.



5. 결 론

반사형 디스플레이는 다양한 소재를 이용하여 개발되고 있다. 현재 개발되어 상품화된 전기영동방식을 비롯하여, 전기습윤방식, LCD를 이용한 방식 등이 그 대표적이다. 전자종이 타입의 종류 중 하나인 토너를 이용한 건식 타입의 전자종이는 높은 시야각(10~15:1)과 빠른 응답속도(<0.2msec)를 가지고 있다. 아울러 컬러 필터 및 컬러 입자를 이용하여 R.G.B를 구현할 수 있다.

현재 사회는 환경 친화적인 요소와, 종이를 만들 수 있는 원재료의 감소 등 많은 점차적으로 종이를 대체할 수 있는 디스플레이의 필요가 요구되고 있다. 또한, 급속하게 발전되는 정보화 사회 및 디지털화 된 현 시점에서 디스플레이의 박형화, 경량화 및 휴대성이 요구되는 평판 디스플레이는 계속 연구되고, 발전되어 가고 있다.

본 논문에서는 여러 재료들로 연구되고 있는 대전입자방식 중에서 스티렌계 모노머를 분산중합을 통하여 폴리머 입자를 제조하고, 안정제의 농도와 용액의 용해도를 조절하여 입자의 크기를 제어 하였다. 모노컬러의 색을 띠게 하기 위하여 무기계 입자인 카본 블랙(carbon black)을 사용하여 white와 black의 색상을 가지는 입자를 각각 제작 하였다. CCA라는 전기적 특성을 갖고 있는 외첨제를 2차적인 중합 방법으로 폴리스티렌 입자 표면에 코팅하여 전기적 특성을 부여한 입자를 제조 하였다. 또한 입자의 유동성을 부여하기 위하여 표면에 실리카 나노 파우더를 코팅하여 액체와 같은 흐름성을 가지고 있는 liquid powder를 제작 하였다.

제조된 liquid powder는 전기적으로 positive극성의 white 입자와 negative 극성의 black 입자로 구분된다. 이러한 특성을 가지는 입자를 평가하기 위하여 photo resist를 이용하여 포토 공정을 통해 테스트 패널을 제작하였고 liquid powder의 특성을 분석하였다. 테스트 패널을 기반으로 화상 표시를 위한 ITO glass 기반의 패널을 제작하였다.

본 논문에서 개발된 liquid powder는 80V의 구동 전압을 갖으며 대조비는 약 3:1로 측정되었으며, 전압 80V, 1Hz frequency 조건에서 약 145분간 초기 반사율 차이의 50%를 유지 하였다. 본 논문에서 개발한 전자종이용 반사형 디스플레이는



RFID display, 전자신문, 간판, 교통표지판, 메시지 보드 등에 적용될 수 있다.



참 고 문 헌

- [1] R. C. Liang, J. Hou, J. Chung, X. Wang, C. Pereira, and Y. Chen., 2003
“Microcup active and passive matrix electrophoretic display by
roll-to-roll manufacturing processes”, SID Symposium Digest Tech,
Papers 34, pp.838-841.
- [2] E. Huitema, G. H. Gelinck, P. van Lieshout, E. van Veenendaal and F.
Touwslager., 2005, “Flexible electronic-paper active-matrix displays” J.
Soc. Info, Display 13/3, pp.181-185.
- [3] H. Gates, R. Zehner, H. Doshi, and J. Au., 2005 “A5 sized electronic
paper display for document viewing”, SID Symposium Digest Tech.
Papers 36, pp.1214-1217.
- [4] Y. Komatsu, H. Kawai, T. Kodaira, S. Hirabayashi, M. Miyasaka, S.
Nebashi, and T. Shimoda., 2006 “A flexible 7.1-in. active-matrix
electrophoretic display”, SID Symposium Digest Tech, Paper 37,
pp.1830-1833.
- [5] S. H. Paek, K. L. Kim, H. S. Seo, Y. S. Jeong, S. Y. Yi, S. Y. Lee, N. B.
Choi, S. H. Kim, C. D. Kim, and I. J. Chung., 2006, “10.1 inch SVGA ultra
thin and flexible active matrix electrophoretic display,” SID Symposium
Digest Tech, Papers 37, pp.1834-1837.
- [6] T. Kitamura, 2004, “Movement of Tribo-electrically Charged Particles
for Electronic Paper”, Asia Display, IDW'04, pp.1721.
- [7] K. A. Shaffer and J. M. DeSimone., 1995, Trends Polym., Sci., 3, pp.146.
- [8] A. D. Jenkins, 1967, in Vinyl Polymerization, Part 1 (G. E. Ham, Ed.),
Marcel Dekker, New York, Chap 6, pp.219.
- [9] K. K. Kwon, S. W. Kim, C. J. Kim, I. S. Hwang, Y. C. Kim., June. 21,
2007, "Pattern design and driving of charged particle display",
PHOENIXPARK, KIEEME Summer Conference, korea, PHO02



- [10] B. H. Kim, S. W. Kim, I. S. Hwang, C. J. Kim, Y. C. Kim., June. 21, 2007, "Electrical and optical characteristic analysis of charged particle display", PHOENIXPARK, KIEEME Summer Conference 2007, Korea, PHOo10.
- [11] E. Kent, E. Montbach, Marhefka, D. J. Davis, M. Lightfoot, S. Green, N. Venkataraman, T. Schneider, A. Khan, and J. W. Doane., 2006, "Flexible ink jet printed conductive polymer electrode cholesteric display", SID Symposium Digest Tech, Papers 237, pp.1737-1740.
- [12] C. E. Schildknecht, 1956, Polymer Processes, Wiley-Interscience, New York, Chap 6, pp.220
- [13] D. J. Lee, S. W. Kim, I. S. Hwang, C. J. Kim, Y. C. Kim., June. 21, 2007, "Manufacture and driving of charged particle display", PHOENIXPARK, KIEEME Summer Conference, Korea, PHO03.
- [14] Gorman CB, Bieback HA, White sides GM. 1995, "Control the shape of liquid lenses on a modified gold surface using an applied electrical potential across a selfassembled monolayer", Langmuir, 11, pp.2242-2246.
- [15] M. Omodani., 2005, "Flexible Display are Expected to Create Novel Fields for Visual information", J. of the institute of image information and Television Engineer, pp.1256.
- [16] G. R. Jo, K. Hoshino and T. Kitamura, 2002, "Toner Display Based on Particle Movement", Chem. Mater., vol.14, pp.664
- [17] S. H. Kwon, S. G. Lee, W. K. Cho, B. G. Ryu and M. B. Song, 2005, "Reflective Paper-Like Display using Oppsite-Charged Two Particles", The 6th IMID'05, Digest, pp.423
- [18] M. W. Miles, 2000, "Digital Paper TM :Reflective Display Using Interferometric Modulation", SID Digest, pp.32



- [19] Kim CJ, Lee J. 1998, “Liquid micromotor driven by continuous electrowetting.”, Heidelberg, Germany, IEEE Micro Electro Mechanical System Workshop, pp.538-543.
- [20] G. Crawford, 2005, “Fundamentals of Flexible Flat-Panels Display and Novel Reflective Display”, SID’05, Short Course, S-1, pp.51.
- [21] T. Z. Kosc, 2005, “Particle display technologies become”, Optics & Photonics News, pp.18.
- [22] Yoo Mi Oh, Kyung Soo Kim, Sung Woon Kim, Hae Sang Youn, Cheol Jung Kim, Kyo Won Chae, Sun Woo Park., Sep. 9, 2010 “Estimation and fabrication of Electronic Bead using suspension polymerization”, MUJU RESORT, IWFPE2010 Workshop, Korea, DSSC-p9, pp. 151.
- [23] Kyung Soo Kim, Sung Woon Kim, Yoo Mi Oh, Hae Sang Youn, Kyo Won Chae, Cheol Jung Kim, and Young Cho Kim., 2011, “Evaluation and fabrication of Electronic-Paper using Electronic-Bead”, 7th International Thin Film Transistor Conference , University of Cambridge, United Kingdom. NA1, pp.125.
- [24] G. Jo, K. Sugawara, K. Hoshino and T. Kitamura, 1995, IS&T NIP 15th International Conference on Digital Printing Technologies, pp.590.
- [25] Moreno-Villa VM, Ponce-Velez MA, Valle-Jaime E, 1998, “Effect of surface charge on hydrophobicity levels of insulating materials”, IEEE. Proc. Gener. Transmiss. Distribution, 145, pp.675-681.



Abstract

Liquid Powder for Electro Paper Display

Jin-Ho Oh

Dept. of Materials Science and Eng., Hongik Univ., 72-1 Sangsu Dong,
Mapo-Ku, Seoul 121-791, Korea

We prepared polystyrene particles approximately 10 μm in diameter via dispersion polymerization method which can be used for an electro paper display. CCA(Charge Control Agent) was coated on the surface of the polystyrene particles with additional styrene monomer.

Charged particles were observed to move efficiently with applied electric field.

