

## 일본의 고무관련 연구 동향

김원호 · 조평래

## 카본블랙이 충전된 EPDM 배합물에서의 겔화 현상 관찰

카본블랙이 충전된 EPDM 배합물에서 관찰된 겔화 현상은 고무가공에 골치 아픈 일로 알려져 있다. 게다가, 겔화가 가공후에 없어졌다가 갑자기 다시 나타나는 것은 불가사의한 일이다. EPDM 배합물에서 관찰된 겔화 현상에 관련된 새로운 지수를 제안하였다. 즉, 유연학적 시험에서 유도된 겔보기 활성화 자유에너지( $E_a$ )가 지수로 도입되었다.  $E_a$ 는 복잡한 점성계의 온도 의존성으로부터 구해진 아레니우스 방정식의 변환인자,  $a_T$ , 로부터 계산된다. 두 종류의 EPDM 배합물이 제조되었다. 하나는 배합시간에 따라 겔화가 증가하였고, 다른 하나는 bis-3-(triethoxysilypropyl)tetrasulfane(TESPT)의 첨가로 겔화를 보이지 않았다. 두가지 배합물에 대한 각각의 활성화 자유에너지,  $E_{an}$  과  $E_{a0}$ 를 구하였다. 겔화의 정도는  $100(E_{a0} - E_{an})/E_{a0}$ 로 정의된다. 이렇게 정의한 겔화의 정도를 고려하여, 고무의 압출과 특성을 연구하였다. 다이 팽창은 배합시간의 증가에 따라 감소하였고, 가교된 EPDM의 신장률도 역시 동일한 경향을 보였다. 이러한 현상의 변화는 겔화 지수의 정도에 비례하였다. 흥미로운 점은, pulsed NMR로 측정된 middle- $T_2$  값은  $E_{an}$  이 감소함에 따라 감소하였다. 결론적으로,  $E_a$  값은 카본블랙이 충전된 EPDM 배합물에서 관찰된 겔화 현상을 측정하는 효과적인 지수인 것 같다.

## 열가소성 탄성체, "SBS 블록 공중합체" 제품의 변색 기구

스티렌-부타디엔-스티렌 블록 공중합체에 페놀 산화방지제를 함유한 인간의 배설물(대변과 소변)을 첨가하여 변색기구를 연구하였다. 페놀 산화방지제는 SBS와 반응하여 밝은 핑크색으로 변색되었다. 색상 차이는 FT-IR, TOF-SIMS, 및 ESR로 측정하였다. 높은 활성상태의 제품에서 변색 표면이 형성되었는데, 이는 페놀 산화방지제가 인체로부터 물질 대사된 질소 화합물 및 금속 성분과 반응하여 변색이 일어나기 때문이다. 변색된 물질은 3,3',5,5'-tetra-tert-butyl-4,4'-stilbenequinone 유도체이다. 이러한 변색은 SBS 제품에 인산계 산화방지제를 첨가함으로써 없어졌다.

## 퀴논에 의해 증감된 디엔 고분자의 광분해

용액에서 디엔 고분자의 광분해는 증감제로 작용하는 퀴논이나 벤조페논에 의해 촉진됨이 확인되었다. 폴리머 용액의 점도는, 증감제가 첨가될 때 UV조사에 따른 분해로 급격히 낮아졌다. 특히, 안트라퀴논과 같은 polyaromatic quinone의 첨가로 디엔 고분자의 분해가 조장되는 효과가 관찰되었다. 조사된 고분자를 FT-IR과 H-NMR로 측정된 용액점도의 감소는 디엔 고분자의 분해는 자동산화기구를 통하여 진행된다는 것을 지적한다. 퀴논 그룹이 디엔 고분자의 분해에 미치는 영향은 들뜬 상태에서 퀴논 그룹에 의한 수소 떼기 반응이 일

어납이 추측된다.

## 알루미늄 수화물로 충전된 고무의 보강효과와 난연효과

알루미늄 수화물, 카본블랙 및 실리카 혼합물로 충전한 EPDM 배합물을 평가하였다. 사용된 수산화 알루미늄은 gibbsite( $Al(OH)_3$ )와 boehmite( $AlO(OH)$ )이고 silane으로 처리한 boehmite도 역시 평가되었다. 특성에서 최고의 균형을 주는 충전제의 상대적인 양을 찾기 위해 기계적인 물성시험과 난연시험을 행하였다. 100 phr의 gibbsite와 50 phr의 실란처리 boehmite의 복합물이 난연과 기계적인 특성에서 가장 좋은 균형을 보여 주었다.

## 고체 상태의 물질을 화상하는 NMR의 응용

NMR 화상(Imaging)은 잘 알려져 있다. 그 방법은 X-ray 단층사진 촬영 장치를 보완하는 귀중한 도구가 되어왔다. 그러나 NMR 화상에 대한 첫 보고서에서, 의학과 일반 재료의 응용이 고려되었다. 실제로 액체와 연고체에서 공간 해상도는 제한이 있지만, NMR이 제공하는 화상대비(image contrast)는 근본적으로 다른 방법들과는 다르다는 점은 이미 잘 알려져 왔다. 대비는 관찰된 핵의 밀도뿐만 아니라, 응축물의 분자 특성들을 조사하기 위해 NMR 분광기에서 측정된 수많은 다른 인자들에 의해 결정된다. 이러한 인자들에는 그 시편의 물리적인 특성에 의존하는 이원인자가 포함된다. 고체에서, 서로 다른 스핀 상호작용의 크기 및 방향 의존성 또한 대비 인자들을 위해 분석될 수 있다. 본 보고서에서, NMR 화상의 기본 원리와 산업에의 응용을 다루었다. 또한, 간단한 기술인 NMR-MOUSE의 응용을 통하여 외부에서의 특성을 밝혔다. 시편 체적에 대한 적절한 NMR 인자들을 배치함으로써, 다른 방법으로는 볼 수 없는 구조들을 측정할 수 있다. 탐침과 자석 치수 범위 내에서 이 방법은 시편에 대해 비파괴적이다.

## 플라즈마 중합과 그 작용성에 의한 유기 박막

플라즈마 중합과 처리는 유기 재료의 표면 특성을 개질시키는 유용한 방법이다. 플라즈마 중합은 재료의 표면에 균질한 유기 박막을 형성한다. 또한 플라즈마 처리는 유기 재료의 표면을 화학적으로 개질시킨다. 이러한 플라즈마 과정들은 재료의 표면에 친수성 또는 소수성의 특성을 부여한다.

## 자기 탈착 접착제의 반도체 공정에서의 응용

극히 얇은 반도체 웨이퍼 제조용으로 자체 탈착 접착 테이프(self-releasing adhesive tapes) "SELFA"를 개발하였다. 이 새로운 테이프로 반도체 웨이퍼가 유리판에 고정되고 적절히 지지되었다. 극히 얇게하는 공정후에, 접착제는 UV조사로 자체 탈착하기 시작한다. 그런 다음 반도체 칩 제조 공정 동안, 극히 얇은 웨이퍼용 자체 탈착 다이싱 테이프를 개발하였고 UV가 필요 없는 시스템에 응용하였다. 본 보고서는 자체 탈착의 기구와 새로운 테이프의 특성들 그리고 극히 얇은 웨이퍼의 제조 시스템을 언급한다.

## 프리폴리머 방법에 의해 제조된 열가소성 폴리우레탄 탄성체의 구조와 물성에 대한 중합온도의 영향

중합온도가 열가소성 폴리우레탄 탄성체(TPUs)의 분자 응집 구조와 기계적 특성 그리고 용융 특성에 미치는 영향을 연구하였다. TPUs는 140-230 °C의 중합 온도에서 벌크상 프리폴리머 방법으로 poly(ethylene adipate)glycol, 4',4'-diphenylmethane과 1.4-butanediol로 부터 제조하였다. TPUs의 하드 세그먼트 부분의 분자량 분포, 소프트 세그먼트의 유리전이온도 및 하드 세그먼트 영역의 용점은 중합온도에 거의 의존하지 않았다. 한편, 170 °C 이상에서 제조된 TPUs의 하드 세그먼트 영역의 용해열과 상대적 양성자 함량은 140 °C에서 제조

된 TPUs의 그것들에 비해 약간 낮았다. TPUs의 하드 세그먼트의 응집 정도는 중합온도가 높아짐에 따라 약해짐은 주목할 만하다. 170°C 이상에서 제조된 TPUs의 고무상 평탄 영역의 동적 저장 탄성율과 겔보기 전단 점도는 140°C에서 제조된 TPUs의 그것들에 비해 약간 낮았다. 여러 중합온도에서 형성된 응집구조가 TPUs의 기계적인 특성 및 용융 특성에 영향을 미침을 보여 주었다.

## 고분자 블렌드: 원리와 응용

고분자-고분자 계면의 이론적인 면이 토의되었다. 계면의 두께, 계면의 장력, 그리고 접착 강도가 성분 고분자들의 상호작용 인자 및 분자량의 함수로 설명된다. 두 성분 고분자가 반응 장소를 가질 때, 그 계면에서 결합 반응이 일어나고, 블록 또는 가지 공중합체가 형성된다. 그러한 반응계의 용융 혼합은 "반응성 혼합" 및 "반응성 가공"으로 불린다. 형성된 공중합체를 유화시킴으로써, 형태학이 바뀔 수 있다. 즉, 재료의 물성을 최적화 할 수 있도록 분산된 입자들의 크기가  $\mu\text{m}$  이하로 감소할 수 있다. 이것은 애매하지만 편리한 용어인 "상용화"로 일반적으로 받아 들여 지고 있다. 최근에 발견된 또 다른 계면 작용은 본래 형성된 공중합체에 외부의 전단응력을 가하는 방법이다. 이것은 반응성 혼합에서 10 nm 크기로 형태학 조절을 위한 새로운 접근이다. 이러한 계면 양상은 재료 설계에 성공적으로 적용된다. 즉, 예로서 매우 길긴 폴리아마이드, 무연 경랍용 고온 폴리아마이드 함유, 고온 폴리 페닐렌 에테르 함유 및 비점탄성 나일론 함금을 들 수 있다. 동적 가황은 유일한 반응성 혼합으로써, 이것으로부터 가교 고무 입자들과 열가소성 고분자 본체로 구성되는 두가지 상재료가 만들어 진다.

## 무기충진제가 첨가된 고성능 탄성체의 개발

무기충진제가 가황물의 광노화 및 열노화에 미치는 영향과 열가소성 탄성체의 기계적 특성에 미

치는 영향을 연구하였다. 카울린 클레이와 같은 판상 충전제가 첨가된 가황물의 내광노화성은 실리카와 탄산칼슘과 같은 과립상 충전제가 첨가된 가황물에 비해 우수하였다. 이것은 판상 충전제가 첨가된 가황물이 빛과 산소에 대해 낮은 투과도를 갖기 때문이다. 한편, 열노화의 경우에는, 산화방지제의 존재하에서 실리카가 첨가된 가황물은 카본 블랙이 첨가된 가황물에 비해 보다 좋은 안정성을 보여 주었다. 이것은 실리카와 같은 산성충진제가, 충전제 표면의 수산기와 산화방지제 사이에서 산-염기 상호작용에 의하여, 산화방지제를 활성화시키기 때문인 것 같다. 무기충진제가 열가소성 탄성체의 물리적 특성에 미치는 영향을 검토하였다. 미래의 무기충진제에 대한 몇몇 주제들을 언급하였다.

## 열가소성 폴리우레탄 탄성체의 미세-응집 구조와 물성에 미치는 열처리 온도의 영향

열가소성 폴리우레탄 탄성체 (TPU)의 미세-응집 구조, 기계적 물성과 용융 특성에 미치는 열처리 온도의 영향에 대해서 조사하였다. TPU는 poly{(tetramethylene adipate)-co-(hexamethylene adipate)} glycol, 4,4'-diphenylmethane diisocyanate와 1,4-butanediol로 구성되어 있다. 사출 성형에 의하여 제조된 TPU 시트는 23°C에서 120°C의 온도 범위에서 4시간 동안 열처리 하였다. 시차 주사 열량계, 펄스 핵자기 공명, 동적 점탄성 측정 결과에 의하면 열처리 온도를 증가시킴에 따라 잘 조합된 하드 세그먼트 영역의 발달로 TPU의 마이크로 상의 분리 정도가 보다 활성화됨이 밝혀졌다. 열처리 온도를 증가시킴에 따라 상온 고무 플랫폼 영역에서의 동적 저장 탄성률은 감소하였으며 고무 플랫폼 영역이 끝나는 온도는 증가하였다. 용융 TPU에 대한 온도 sweep 실험에 따르면 G'과 G''이 교차하는 임계 겔 온도는 열처리 온도를 증가시킴에 따라 증가하였다. 더하여, 이 TPU는 열처리 온도를 증가시킴에 따라 작업온도에서의 잔류 하드 세그

먼트 영역에 의한 일축 신장 점도의 변형 경화 현상을 나타내었다. 열처리에 의해 잘 조합된 하드 세그먼트 영역의 형성은 이 TPU의 기계적 특성과 용융 특성에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

### 나노 구조 제어에 의한 유기-무기 나노 복합재료와 하이브리드 재료의 개발

폴리메틸메타아크릴레이트(PMMA)와 실리카를 기반으로 하는 나노 복합재료 및 하이브리드 재료의 제조와 특성에 대하여 조사하였다. 이 재료들은 주로 삽입(intercalation), 줄-겔 및 in-situ 중합법에 의해 제조되며, 폴리머 기질에 실리카를 포함시킴에 따라 열/열 산화 안정성, 기계적 특성, 경도 등을 향상시킬 수 있다. 실리카 나노 입자를 사용하여 폴리머 기질에 잘 분산시키고 상의 혼화성을 증가시키기 위하여 유기상과 무기상이 서로 강하게 상호작용할 경우 우수한 투명성을 확보할 수 있다. 유기상과 무기상 사이의 강한 상호작용은 PMMA와 실리카 일부분의 공유결합 형성이나 PMMA의 카르보닐 작용기와 실리카 표면의 실라놀 작용기 사이의 수소결합에 의해 확보될 수 있다. 두 성분 사이의 상호 작용이 없거나 미약할 경우에는 나노 복합재료라고 정의되고, 상호 작용이 강하면 하이브리드 재료로 정의된다. 실리카 나노 입자와 실란 커플링제와의 반응에 의해 표면에 작용기를 가진 실리카를 제조한 후 줄-겔이나 in-situ 중합법에 의해 하이브리드 재료를 제조할 수 있다. 재료의 특성은 나노 구조와 모폴로지를 조절함으로써 변화시킬 수 있다. 이러한 재료들은 성형, 코팅, 광학 소자, 분리 등의 분야에 응용 가능성을 가지고 있으며, 나노 구조 조정과 분자에 작용기를 도입함으로써 미래에 새로운 응용 분야에의 적용도 기대된다.

### 우주 구조물에 사용되는 고분자 재료의 역할과 내구성

우주 구조물로 사용되는 첨단 고분자와 그 복합재료에 관한 과학과 기술의 발전에 대해 아래의

내용으로 기술하였다

- 1) 우주 환경
- 2) 우주선 주구조물 제작용 첨단 복합재료
- 3) 전개 가능한 구조에의 적용
- 4) 유연성이 요구되는 부분의 적용을 위한 필름.
- 5) 고분자 재료의 우주 환경에서의 안정성
- 6) 고무와 접착제
- 7) 우주왕복선의 단열 시스템
- 8) 주구조물 제작에 사용되는 내열 첨단 복합재료

### 유화 중합 고무의 최근 동향

대부분의 유화중합 고무는 모노머의 라디칼 중합 반응에 의해 제조된다. 이 공정에 의해 SBR, NBR, CR, ACM, FKM 등 다양한 종류의 고무가 제조된다. SBR의 주요 용도는 타이어 제조이고, CR을 제외한 나머지 고무는 뛰어난 내유성을 나타내므로 주 용도는 자동차 분야이다. SBR, NBR, ACM, HNBR에 대한 최근 기술 진전에 대하여 기술하였다. SBR의 경우, 세 번째 모노머의 도입에 의하여 회전 마찰을 줄일 수 있었다. ACM의 경우, 새로운 가교 시스템의 도입에 의해 고온에서의 내구성을 더욱 향상시킬 수 있었다. HNBR의 경우, 저온 유연성과 내유성을 동시에 향상시킬 수 있는 새로운 타입의 HNBR이 소개되었다.

### 전자 부품용 소프트 재료

전자 기기의 소형화 추세에 따라 전자 부품 및 소자의 성능은 해를 거듭할수록 향상되고 있다. 예를 들면, 메모리 모듈을 위한 stacked CPSs(chip scale packages)는 휴대폰, 디지털 카메라 등에서 일반화되었다. 많은 종류의 소프트 재료가 라미네이트, 다이 본딩 재료, 에폭시 몰딩 컴파운드 등의 전자재료로 사용되는데 이들은 stacked CPSs에서 매우 중요하다. 본 보고서는 소프트 재료에 기반을 둔 전자재료의 특징과 stacked CPSs의 제조 공정에 대해서 설명하고 있다.

## 폴리머 미립자의 제조에서 핵 생성과 성장 동역학의 기초

폴리머 미립자는 대부분 마이크로-유화, 유화, 미니-유화, 분산 중합 등과 같은 불균일계 자유 라디칼 중합에 의해서 제조된다. 유화중합에 대한 역사적으로 중요한 동역학적/기작적 연구 기반을 가지고, 미시적으로 분산된 시스템에서의 불균일계 자유 라디칼 중합이란 관점에서 입자 핵 생성과 성장에 대한 현재의 기본적인 이해를 간략하지만 체계적으로 종합하였다.

## 폴리스티렌 라텍스 입자의 핵 생성과 성장 과정에 대한 분자 스케일에서의 연구

물에서 스티렌의 무유화제 중합에서 핵 생성과 성장 과정에 대한 반응기구를 규명하기 위하여, 원자력 현미경(AFM), 주사 전자 현미경(SEM), 동적 광 산란 장치(DLS)를 이용하여 스티렌의 중합 공정을 분자 스케일에서 연구하였다. 음전하를 띤 운모판(분자 크기의 평탄한 표면을 가짐)에 정전기적으로 부착된 스티렌을 중합시키기 위하여 양이온 개시제가 사용되었으며 그 기작을 밝히기 위하여 물에서 in-situ AFM 측정을 실시하였고, 다음의 내용을 확인할 수 있었다. (1) 벌크 상태의 모노머는 개시제에 의해서 중합되며 알킬 체인 사이의 친유성 인력에 의해 응집된 핵을 형성한다. (2) 벌크 용액에 개시제와 모노머가 남아 있는 한, 고분자화된 물질들(올리고머, embryo, 핵, 고화된 핵)이 벌크 용액에서 연속적으로 생성된다. (3) 성장은 벌크 용액에서 입자 표면에 고분자 물질들의 침전에 기인하며 동시에 고분자 물질들의 모노머에 의한 팽윤에 기인한다. (4) 개시제의 농도를 증가시키면 따라 입자 크기가 증가하는 이유는 입자의 성장이 주로 고분자 물질들의 침전에 기인하는데 고분자 물질들의 양은 개시제의 농도에 따라 증가한다.

## 무유화제 유화중합에서 단분산된 고분자 입자의 합성

무유화제 유화 중합의 최근 연구에 대해, 이 중합 방법의 기작에 관한 기본적인 면을 함께, 설명하였다. 무유화제 유화 중합에 대한 재래식 방법은 단분산 submicron 크기의 고분자 입자 합성에만 적용할 수 있었다. 그렇지만, 이전의 연구 결과에 의해, 제조되는 입자의 크기 분포는 입자 사이의 정전기적인 인력에 의해 조정될 수 있는 입자 응집에 크게 의존한다고 알려졌다. 입자 형성에서의 이 기본 개념은 pH 조정과 함께 양쪽성 개시제를 사용하는 새로운 형태의 무유화제 유화 중합의 개발을 가져왔다. 이 방법은 단일 단계 중합에서 3  $\mu\text{m}$ 까지 고도로 단분산된 폴리스티렌 입자의 생산을 가능하게 하였다. 큰 입자는 입자의 생성 후 중합 시스템에 모노머를 더해 주는 단순한 방법으로 생산될 수 있다. 무유화제 유화 중합은 메틸메타아크릴레이트의 중합에도 적용할 수 있다. 현재, 무유화제 중합법은 단분산 복합 입자의 제조에 폭넓게 적용되고 있다. 이에 대한 예로는 자성 고분자 라텍스, 실리카/폴리스티렌 코어-셸 입자, 벨 모양의 중공 코어-셸 입자, 다층 금/실리카/폴리스티렌 코어-셸 입자를 들 수 있다.

## PVA 보호 콜로이드 라텍스의 현황

일본에서는 300,000톤의 비닐 에멀전과 다이엔(diene) 라텍스가 생산된다. 아크릴의 경우 페인트와 접착제, 비닐 아세테이트와 그 공중합체의 경우는 접착제, 다이엔의 경우는 점토-코팅 바인더와 ABS 수지에 첨가되는 고무로 주로 사용된다. PVA는 에멀전에 기계적 안정성과 저 틱소트로피성을 부여한다. 에멀전 필름은 PVA에 의해 강도는 강화되나 내수성은 저하된다. 이러한 효과는 필름 내부에서 운화와 같은 모폴로지를 나타내는 PVA에 기인한다. PVA는 비닐 아세테이트와 그 공중합체의 에멀전에는 사용되지만 다른 종류의 에멀전에는 사용되지 않았다. 그 이유는 아크릴과 다이엔 모노머가 PVA에 그래프팅되는 정도가 약

하기 때문이다. 모델 실험에서 MMA의 농도가 매우 낮을 경우, 이것은 PVA 시스템의 유화 중합의 초기 단계에 해당함, PVA에의 그래프팅은 새로운 고분자 입자를 생성시키면서 현저히 일어남이 밝혀졌다. 그리고, 비닐 아세테이트 시스템과 MMA 시스템에 따른 차이는 없었다. 물에 자유로이 용해될 수 있는 PVA가 소비된 후에는 문제가 발생하였다. 최근에 주목할 만한 연구 결과가 보고되었다: 에탄올 존재 조건의 아크릴과 스티렌/부타디엔의 유화 중합에서, PVA와 유화된 모노머의 연속적인 투입에 의해 안정한 에멀전을 얻을 수 있었다.

### 중공 입자 안료의 특성과 종이 가공 분야에의 응용

최근에 종이 코팅업계에서는 중공 입자 안료에 지속적인 관심을 보여 왔다. 중공 입자 안료로 코팅된 종이는 광택성이 우수하고, 휘도가 뛰어나며, 높은 불투명성을 나타낸다. 이 충설은 코팅 층의 구조를 분석함으로써 코팅된 층에서의 중공 입자 안료가 코팅된 종이의 특성에 어떤 효과를 나타내는가를 증명하였다. 중공 입자 안료로 코팅된 종이는 표면의 평탄성이 매우 우수하고 코팅 층에는 많은 동공을 가지고 있다. 이러한 현상에 대해 중공 입자 안료에 존재하는 동공과 중공 입자 안료에 의해 야기된 무기 안료의 질서 교란이라는 두 가지 이유에 주목하였다. 많은 산업 분야에서 중공 입자 안료에 대해 높은 기대를 나타내고 있다.

### 고분자 미립자의 표면 개질과 생물-의약 분야에의 응용

고분자 미립자의 표면 개질은 생물-의약 분야에의 응용에서 그 가치를 크게 증대시킬 수 있다. 생화학적으로 특정한 기능성을 나타내기 위해서 폴리머 미립자의 표면은 적절히 개질되어야 한다.

생화학적으로 안정한 미립자는 일단 모(parent) 입자로 사용된다. 생화학적 기능을 가진 다양한 분자들이 미립자의 표면에 고정된다. 이렇게 얻어진 생화학적 친화성을 가진 입자는 생물 분리기, 생물 반응기, 진단 시약 (전사 인자의 분리를 위한 DNA 운반 입자), 온도 의존 반응성을 나타내는 효소 고정화 담체, 약물 수용체를 규명하기 위한 약물 운반 입자 등으로 사용된다.

### 마이크로 채널을 이용한 단분산 고분자 미립자의 합성과 응용

마이크로 유체 기술에 의한 폴리머 미립자 생산 방법을 소개한다. 이 기술은 미세 유로가 만나는 지점에서 연속상 흐름에 의해 분산상 흐름에 가해지는 전단 응력 때문에 형성되는 액적에 기초를 두고 있다. 미세 유로에서의 레이놀드 수는 매우 낮기 때문에 그 흐름은 층류이고 따라서 균일한 액적이 생성된다. 액적의 직경은 분산상 흐름 직경의 50%에서 300% 정도이다. 다양한 종류의 모노머가 분산상으로 사용되었으며 폴리 비닐 알코올 수용액이 연속상으로 사용되었다. 이러한 미세 유로에 의해 생성된 액적은 drain으로부터 server로 유도된 후 열중합법이나 광중합법에 의해 중합되었다. 5% 이하의 CV의 경우, 액적의 직경 분포는 단분산을 나타내었다. 미세 유로 구조의 모양을 바꿈으로써 다양한 폴리머 미립자가 생산되었다. 이 기술을 이용함으로써, 전자 종이를 위한 전위 값이 다른 이색(two colored) 고분자 미립자가 제조되었다. 전자 종이 제조에 사용될 수 있는 이색 고분자 미립자의 대량 생산에 접근하고 있다.

일본고무협회의 허락을 득하여 일본고무협회지에 수록된 논문의 초록 부분을 번역하여 수록하였습니다.