

건식 입자-입자 복합화 기술과 맞춤형 복합입자 제조

글 _ 박민, 노선영
한국과학기술원

1. 서론

나노소재 분야에 있어서 나노입자 기술은 차세대 IT, BT, ET 분야를 지원하는 주요 핵심 기반기술 중의 하나이다. 한편 일반적으로 단순 구조를 갖는 마이크로 스케일의 기존 입자는 단순 기능만을 갖기 때문에 차세대 분야에의 지원에 있어 한계에 봉착하고 있다. 따라서 이러한 상황을 극복하기 위해서는 나노에서 마이크로에 이르는 다양한 크기를 갖는 유기, 무기, 금속 등의 상이한 종류의 소재들이 융합된 복합구조, 복합기능의 고기능 입자가 요구되고 있다. 이에 대응하기 위하여 21세기 초반부터 일본과 미국을 중심으로 기계적 공정을 기반으로 하는 입자-입자 복합화 기술이 태동하기 시작하였다. 기본적으로 이 기술은 다양한 기능성 나노입자를 이용하여 건식 기반의 방법을 통하여 마이크로 크기의 유기계 입자를 건식 기반의 방법을 이용하여 표면개질함으로써 복합기능성 입자를 제조하는 기술이다. 이 기술은 차세대 성장동력 분야에서 필연적으로 요구되는 핵심 부품소재 기술로서 국가경쟁력 제고 및 현 일본 독주기술로부터의 탈피라는 측면에서 국가적으로 매우 중요하다.

입자-입자 복합화는 중합공정과 미립자화 공정 등 액상에서 행해지는 것이 일반적인데, 최신기술로서 부상하고 있는 건식처리 기술은 수 마이크로 이상의 입자를 모(母)입자로 활용하여 모입자 표면에 모입자의 1/10 이하의 평균 입자경을 갖는 자(子)입자인 나노입자를 특수 입자표면개질기를 이용하여 기계물리적, 기계화학적 방법

을 통하여 고정하는 신기술이다. 이러한 입자관련 소재 발전을 통하여 각종 전방산업의 고도화가 유도되고, 또한 입자기반 소재의 활용 범위가 화장품, 약제, 비료산업 등의 기존 산업에서 핵심 IT 부품소재로서 차세대 디스플레이 산업 및 전극용 복합입자로서 신에너지산업 등으로 확대됨으로써 대규모의 신흥시장이 창출될 것으로 기대된다.

본 고에서는 입자-입자 복합화 기술에 대한 기술동향과 이 기술에 대한 기본적인 이론 및 연구 개발 현황에 대해 기술하고자 한다.

2. 본론

2.1 입자-입자 복합화 기술의 정의 및 기술동향

입자-입자 복합화 기술은 각종 미분쇄기와 이를 개변한 장치를 사용하여, 내부에 분쇄매체 또는 회전자의 운동에 의해 상이한 종류의 입자들을 혼합/분산하면서 Fig. 1과 같이 서브마이크론 영역의 입자가 마이크로 영역의 입자와 복합화됨으로써 하나의 복합입자가 제조되는 기술이다. 겉보기 크기는 마이크로 영역의 크기이며 서브마이크론 영역의 입자가 마이크로 입자 표면에 분산·고정화되기 때문에 유동성/전기특성/기계적특성/열특성의 변화 및 제어 등 단일성분에서는 얻어지지 않는 신기능의 발현, 신물질의 창제를 비교적 용이하게 실현할 수 있는 원천기술이다.

이 기술은 불규칙 형태의 비구형 입자를 구형화 처리

하고, 코어인 고분자 입자에 무기입자 또는 금속입자를 표면에 강고하게 부착시키거나, 매몰시킬 수 있을 뿐만 아니라 성막처리에 의한 마이크로캡슐입자의 제조 및 다층캡슐 입자의 설계도 가능하기 때문에 입자의 표면 에너지 조절 및 기계화학적 표면 처리에 의한 구조제어를 통하여 전자기적, 화학적, 광학적 특성을 변화시켜 복합 입자의 기능성을 제어할 수 있다. 또한, 기계화학적 결합 시스템이기 때문에 습식 복합화에 비하여 광범위한 종류의 입자들의 복합화가 가능하고, 입자를 액상으로 분산할 필요가 없으며, 분산이 곤란한 나노입자에 적합할 뿐만 아니라 잔존용매가 없어 폐액이 발생하지 않는 등 환경친화적인 공정기술이다.

Table 1은 현재 상용화되었거나 연구개발 중인 해외 주요국의 복합입자화 기술의 연구사례에 대하여 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 본 입자입자 복합화 기술은 소니케미칼 및 호소카와 등 일본에서 독자적으로 연구개발이 진행되고 있으며, 미국의 경우도 NJIT에서 주로 일본 장비를 활용한 건식 복합입자 제조에 대한 초기 연구 단계에 있는 것으로 파악되고 있다.

Table 2에 주요 국가 연구지원 사업으로 추진 중인 복합입자 기술 관련 기술개발 현황을 정리하였다. 국내의 경우 ETRI, KIST, 생기연 등의 정부출연기관에서는 고분자 미립자 사업에의 참여를 검토 중인 제일모직, 한화,

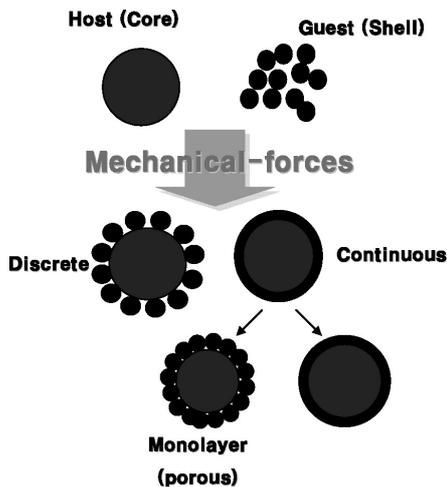


Fig. 1. 입자입자 복합화 모식도.

선진화학 등과 함께 ACF, 전자종이용 핵심소재 등의 응용기술에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 차세대 플렉서블 디스플레이 기술로 주목 받고 있는 전기영동형 전자종이용 컬러 나노복합입자의 경우 삼성전자 등에서 연구개발 및 상용화 연구가 급속히 추진되고 있으며, 컬러프린터용 중합형 컬러 토너입자의 경우에는 삼성정밀화학, DPI 등이 기술검토를 하고 있는 것으로 알려져 있다.

2.2 디스플레이 산업용 이방도전필름용 핵심 복합입자 제조

LCD, PDP 등의 평판형 디스플레이 (Flat Panel Display, FPD)는 박형·경량·저소비전력을 무기로 모바일형 상품을 중심으로 다양한 방면에서 응용상품이 개발·상품화되고 있고, 이에 따라 FPD 모듈의 디바이스 구성과 프로세스에 있어서도 대폭적인 합리화가 요구되고 있어,

Table 1. 해외 주요국의 기술개발 현황

기술명	개발단계	개발 내용	개발주체
도전입자 절연층 형성기술	상용화	고속 기류 충격법을 이용 절연 고분자층을 도전불 표면에 기계 물리적 방법으로 도입	소니케미칼
나노입자 제조		나노복합재료, 나노전자재료	Dupont
나노구조제어 및 분산		합성 나노기능성재료	Sumitomo
건식코팅법이용 복합입자화 기술	Pilot	Mechanofusion, Hybridizer, Theta-composer 등의 장비를 이용하여 다양한 용도의 복합입자 제조	Hosokawa사 (日) NJIT(美)
특수열전법을 이용한 나노캡슐화	기술검토	공유화법, 직접 미니유화법 등을 이용한 착색 복합입자 개발	Ulm대(독일)

Table 2. 국내 기술개발 현황

구분	지원사업	개발단계	과제명	개발주체
지경부	차세대 신기술 개발사업	기술검토	차세대 ACF용 복합기능형 마이크로 캡슐 기반기술 개발	연세대 /KIST
지경부	산업기술 개발사업	기술검토	이방도전접속용 피복 도전성 미립자 개발	제일모직 /KIST
			ACF용 도전불 개발	선진화학
지경부	핵심기술 개발사업	기술검토	디스플레이용 전기영동 입자 시스템 개발	KIST/아이 컴포넌트
			Passive Integration용 복합기능 세라믹 하이브리드 소재기술 개발	KIST



FPD 모듈에 있어서 드라이버 (LSD)의 실장방식은 변화하였으며, 이때 가장 핵심적인 요소는 전도성 확보와 접착성 부여라는 특징을 동시에 제안할 수 있는 이방 도전성 필름 (anisotropic conductive film, ACF)의 적용이다. ACF란 필름상의 접착제 속에 도전성의 미립자를 균일하게 분산시킨 것으로, 열압착 공정을 거쳐 막의 두께 방향으로는 도전성, 면방향으로는 절연성이라는 전기적 이방성을 갖는 회로접속용 재료이다. 즉, 각각의 단자 사이에 테이프상의 ACF를 끼워 넣고 상하의 단자의 위치를 정렬한 후 열압착에 의해 접속시키는 것이다(Fig. 2).

현재 디스플레이 산업용 ACF 관련 제조기술 및 시장은 히타치화성공업과 소니케미칼&인포메이션디바이스 등 일본이 독점하고 있으며, 2010년 1조 2 천억원 규모 (Fuji Chimera Report 2007)로 전망되고 있다. 향후 ACF의 전자패키지산업에서 무연 저온 접착재료로서 활용될 경우 그 시장은 폭발적으로 확대될 것으로 전망된다. 현재 고성능 ACF 기술에 있어서 핵심입자인 도전볼과 잠재성경화제 각각의 표면에 미세입자를 고정화함으로써 미세피치화 대응 기능 및 조액의 장기보존기능 등을 부여하고자 입자-입자 복합화가 시도되고 있는데 이하에 이에 대하여 간략히 소개해 본다.

2.2.1. 장기 보존안정성을 위한 잠재성경화제의 캡슐화

잠재성경화제는 접착제 내에 분산되어 열압착 공정 시 접착제를 경화시킴으로써 회로를 접속시키게 하는 물질로서, 20초 이하의 속경화성과 사용 시를 고려한 실온 2주간 이상의 보존안정성이라는 양립된 두 특성이 요구되고 있으며, 최근 경량화를 위해 LCD 패널을 유리에서 내열성이 낮은 플라스틱으로 대체하고자 함으로써 그 특성이 더욱 요구되고 있다.

따라서 조액 시 용액의 침투를 방지하여 잠재성경화제의 보존안정성을 향상시키기 위해 Henschel Mixer를 사용하여 기계화학적 결합 시스템에 의해 잠재성경화제 표면을 디이소시아네이트로 코팅 후 Mechanofusion 장치에 의해 나노사이즈의 실리카입자를 사용하여 잠재성경화제의 완전한 캡슐화를 이룰 수 있었다. DSC 및 주기적인 점도 측정을 통해 캡슐화로 인한 보존 안정성 향상을 검토하였다. Fig. 3은 캡슐화한 잠재성경화제의 SEM 이미지(Fig. 3(a))와 DSC 및 주기적인 점도 측정 결과 (Fig. 3(b)와 3(c))이다. SEM 이미지를 통해 균일하면서 완전한 캡슐화가 이루어졌음을 확인할 수 있었고, 점도가 크게 향상되지 않을 것을 통해 캡슐화를 통한 보존안정성이 확보되었음을 확인할 수 있었다.

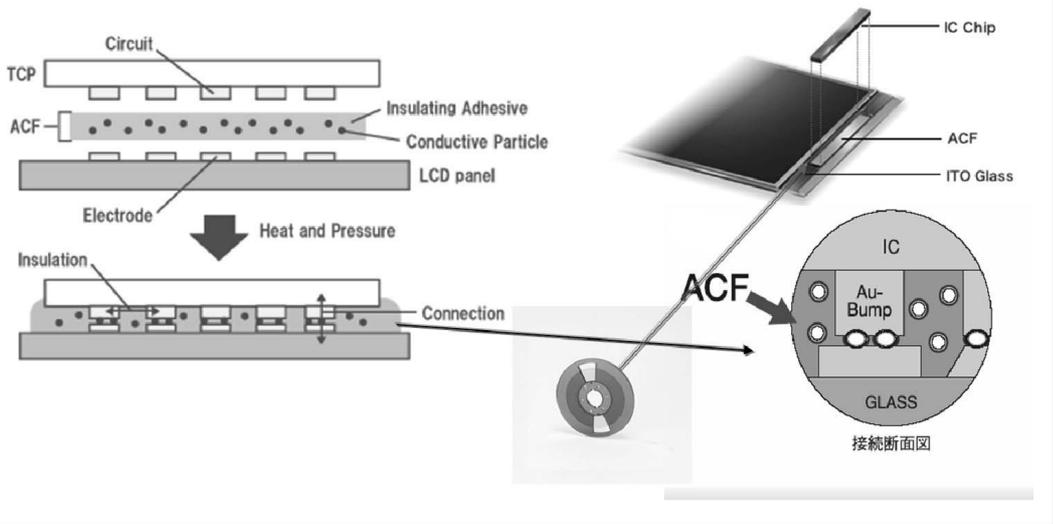


Fig. 2. 이방도전필름의 회로접속 모식도.

2.2.2. 미세피치화 대응 ACF용 절연도전볼 제조

도전볼은 직경이 수 마이크로미터인 단분산 특수 플라스틱 입자에 니켈과 금을 두께 약 100 나노미터(nm)의 박막 형태로 도금한 것이며, 이 경우 인접한 도전볼끼리 전

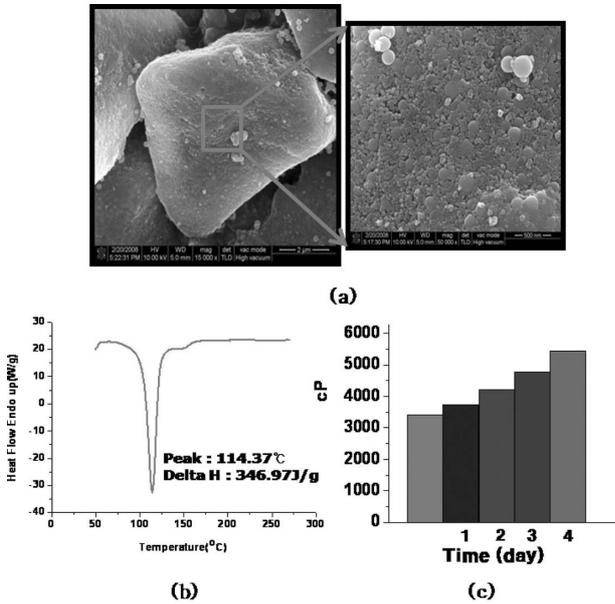


Fig. 3. 잠재성경화제의 캡슐화

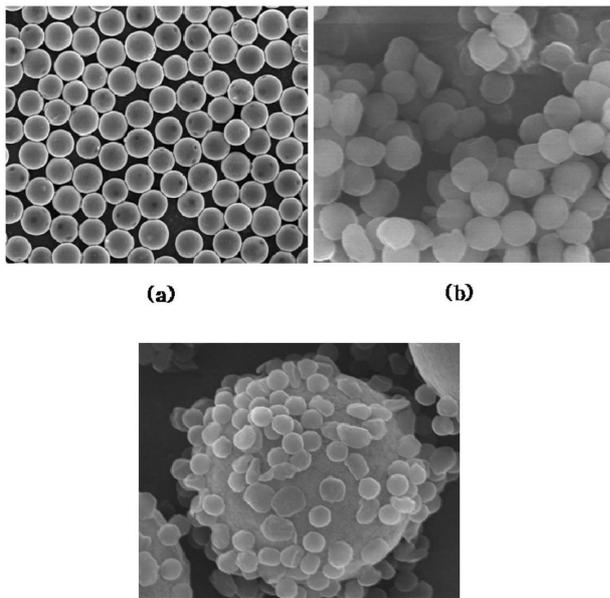


Fig. 4. 도전볼과 절연입자를 복합화한 절연도전볼.

기가 통하게 되면 결함이 발생하게 된다. 이러한 결함은 미세피치화에 따라 발생 확률이 커지므로 이에 대응하기 위하여 절연도전볼 제조가 필요한 것이다. 도전볼에 절연입자를 복합화한 절연도전볼의 경우, 절연층이 열과 압력이 동시에 작용할 때만 벗겨지므로 ACF 필름에 들어간 절연도전볼은 상하로만 열과 압력이 동시에 작용해 좌우 절연층은 그대로 남고 상하 절연층만 벗겨져서 부품간 전기적 신호는 전달하면서 도전볼끼리 전기 소통은 막아주기 때문에 결함을 방지할 수 있다.

따라서 고성능 ACF의 핵심입자인 도전볼에 아크릴산을 전처리한 후 수 백 나노사이즈의 고분자 입자를 복합화 함으로써 미세피치화 대응 ACF용 절연도전볼을 제조할 수 있었다. Fig. 4는 도전볼(Fig. 4(a))과 절연입자(Fig. 4(b)), 그리고 절연입자를 코팅한 절연도전볼(Fig. 4(c))의 SEM 이미지이다. 현재는 균일하며 완벽한 라스베리형의 복합화가 이루어지지 않았으나 향후 최적화 공정기술의 개발을 통하여 이러한 복합기능형 절연도전볼 및 이를 포함하는 고성능 ACF가 제조될 것으로 기대된다.

3. 결론

입자-입자 복합화 기술은 IT를 비롯한 ET, BT 산업에서 요구되는 기능성 복합입자의 수요가 급증하고 있는 가운데 기존 화학적 습식 기반 기술의 생산성 및 환경적 측면에서의 단점을 극복할 수 있는 혁신기술로서, 차세대 성장동력 분야의 필연적으로 요구되는 핵심 부품소재 제조기술이다.

이러한 입자-입자 복합화 기술은 수 많은 복합기능형 입자의 제조에 활용될 것으로 기대되며, 본 고에서는 이를 이용하여 디스플레이 산업용 고성능 ACF의 핵심입자인 절연도전볼 및 보존안정성이 향상된 코어-셀형 잠재성 경화제의 혁신적 제조기술로서 발전될 가능성이 매우 크다.

그 외에도 향후 기능분리형 중합 토너입자의 고기능화, 차세대 디스플레이로 기대되는 전기영동형 전자종이 및 차세대 배선재료로서 주목 받는 헤저케이블용 핵심복합

입자 제조 공정에 응용됨으로써 차세대 성장동력 분야의 소재 국산화율을 제고하고 관련 소재기술을 선도할 수 있을 것이다. 또한 일본기업(도레이, 소켄 등)이 독점적으로 개발하여 신시장 개척에 주력하고 있는 고급 화장품(파운데이션 및 UV 차단크림)용 유무기 복합입자의 제조 분야에도 응용됨으로써 향후 관련 시장에서의 경쟁력을 확보하는데 크게 기여할 것으로 전망된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업으로 진행 중이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. M. R. Mohan, "An Experimental Study of Dry Particle Coating: Devices, Operating Parameters and Applications", *New Jersey Institute of technology (NJIT)*.
2. M. ALONSO, M. SATOH and K. MIYANAMI, "Mechanism of the Combined Coating-Mechanofusion Processing of Powders", *Powder Technology*, **59** 45-52 (1989).
3. W. Chen, R. N. Dave, R. Pfeffer, and O. Walton, "Numerical Simulation of Mechanofusion System" *Powder Technology*, **146** 121-36 (2004).
4. R. Pfeffer, R. N. Dave, D. Wei, and M. Ramlakhan, "Synthesis of Engineered Particulates with Tailored Properties Using Dry Particle Coating", *Powder Technology*, **117** 40-67 (2001).
5. R. Cuenca-Alvarez, H. Ageorges, and P. Fauchais, "Composite Coatings Elaborated by Plasma Spraying of Dry Coated Particles", *Mater. Sci. Forum*, **560** 67-72 (2007).
6. T. Kato, H. Ushijima, M. Katsumata, T. Hyodo, Y. Shimizu, and M. Egashira, "Effect of Core Materials on the Formation of Hollow Alumina Microspheres by

- Mechanofusion Process", *J. Am. Ceram. Soc.*, **87** [1] 60-7 (2004).
7. T. KITA, K. NOGI, H. NAGAI, and M. KOHNO, "Effect of Powder Treatment by Mechanofusion Process on Thermoelectric Properties of FeSi System", 16th International Conference on Thermoelectrics (1997).
8. S. P. Simner, M. D. Anderson, J. E. Coleman, and J. W. Stevenson, "Performance of a Novel La(Sr)Fe(Co)O₃ Ag SOFC Cathode", *J. Power Sources*, **161** 115-22 (2006).
9. T. Yokoyama, and C.C. Huang, " Nanoparticle Technology for the Production of Functional Materials", *KONA* **23** 7-17 (2005).
10. S. P. Simner, M. D. Anderson, J. W. Templeton, and J. W. Stevenson, "Silver-perovskite Composite SOFC Cathodes Processed via Mechanofusion", *J. Power Sources*, **168** 236-9 (2007).

●● 박민



- 1994 : 서울대학교 섬유고분자공학과 공학 박사
- 2003 : 한국과학기술연구원 하이브리드재료 연구센터 책임연구원

●● 노선영



- 2007 : 건국대학교 섬유공학과 공학석사
- 2008 ~ : 한국과학기술연구원 하이브리드재료연구센터 위촉연구원