

투명 차폐 필름 구현을 위한 전도성 복합 바인더의 입자구조에 따른 성능 평가

박지원^{1,2} · 백종호¹ · 이태형^{1,3} · 김현중^{1,2†}

¹서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부, 환경재료과학전공, 접착과학 및 바이오복합재료 연구실,

²서울대학교 농생명과학연구원, ³이엔에프 테크놀로지

(2017년 5월 1일 접수, 2017년 5월 25일 수정, 2017년 6월 5일 채택)

A Study on Adhesion of Mechanical Properties of Rubber by MgCl₂

Ji-won Park^{1,2} · Jong-Ho Back¹, Tae-Hyung Lee^{1,3}, and Hyun-Joong Kim^{1,2†}

¹The Lab. Of Adhesion & Bio-Composites, Program in Environmental Materials Science,
Seoul National University, Seoul, 08826, Korea

²Research Institute of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul, 08826, Korea

³ENF Technology, 14, Tapsil-ro 35 beon-gil, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 17084, Korea

(Recived May 1, 2017; Revised May 25, 2017; Accepted June 5, 2017)

요약: 스마트 모바일 산업의 성장에 따라 부품의 집적화가 가속화 되고 있다. 이러한 부품의 집적화는 부품간의 간섭현상문제를 야기했으며, 이를 해결하기 위한 전자파 차폐 기술의 중요성이 부각되고 있다. 전자파 차폐 기술은 전자파를 반사하거나 흡수하는 방식으로 구현되며, 일반적으로 전도성 물질이 전자파 차폐에 활용된다. 최근 산업의 변화에 따라 투명 차폐기술이 요구되고 있으며, 본 연구에서는 임프린팅 기술을 활용한 음각 구조 패턴에 전도성 복합 바인더를 충전 하여 투명 차폐소재를 제안하고자 하였다. 전도성 복합 바인더를 제조하기 위하여 UV 중합 아크릴 바인더를 활용하고 전도성 부여를 위해 구상, 판상 및 적층상의 은 입자를 활용하였다. 은 입자의 구조적인 특징에 따라 경화 특성, 전도성 그리고 접착력의 변화를 확인하였다. 경화과정에서는 구상 입자의 활용이 가장 효율적이었으며, UV에 취약한 구조를 보완할 추가적인 경화 시스템이 요구되었다. 전도성평가에서는 적층상 구조가 우수한 특성을 보였다. 접착력은 구상이 가장 우수한 특성을 보였으며, 표면에서의 불규칙성에 따른 결과로 평가된다. 최종적으로 이를 활용한 패턴필름은 우수한 투명특성을 보여주었다.

Abstract: Recently, integration of parts is accelerating according to the growth of the smart mobile industry. The integration of these parts causes problems of interference phenomena between the parts, and the importance of electromagnetic wave shielding technology to solve this problem is highlighted. Electromagnetic wave shielding technology is implemented so as to reflect or absorb electromagnetic waves, and generally conductive materials are utilized for electromagnetic wave shielding. Transparent shielding technology is required according to recent industrial changes. In this research, we propose transparent the shielding film using imprint technology with conductive composite binder. Utilizing UV polymerized acrylic binder to produce a conductive composite binder. Spherical, plate and stacked silver particles were used for conductivity. The changes of the curing characteristics, conductivity and adhesion were observed according to the structural characteristics of the silver particles. The use of spherical particles was the most efficient in the curing process, and an additional curing system was required to complement the UV-shadowing structure. In the conductivity evaluation, the stacked structure showed excellent characteristics. The adhesion of spherical system was the best. It is evaluated as a result of irregularities on the surface. Ultimately, the patterned film using this showed excellent transparency characteristics.

Keywords: EMI Shielding, Silver Particles, UV Curing, Composite material, Transparent Pattern, Negative Imprinting

† Corresponding author: Hyun-Joong Kim (jhokim@snu.ac.kr)

1. 서론

스마트 모바일 제품은 현대 산업과 문화의 중심이 되고 있다. 다양한 기능과 편의성을 하나의 시스템에 구현하고, 다양한 디바이스의 특징을 하나의 디바이스에 집적해가고 있다. 스마트 모바일 제품의 기능적인 발전에 따라 부품소재의 다기능화와 집적화는 필수불가결하다.

소재·부품의 집적화는 다양한 문제점을 야기한다. 시스템이 집적화 되더라도 각각의 시스템은 독립적인 프로세스를 가지고 동작하게 된다. 따라서 시스템 동작에서 발생하는 전자기파에 의한 시스템 간섭은 제품구동 문제를 야기 한다. 제품 전체의 오작동을 야기할 뿐만 아니라 과전류 등의 기계적 결함을 야기할 수 있기 때문에 필수적으로 해결해야 하는 문제로 평가된다[1~3]. 특히 디스플레이의 일그러짐, 전파장애 및 노이즈 발생 등은 전자파 간섭의 대표적인 구동 문제로 제품 사용에 있어 치명적인 문제로 작용하게 된다. 이러한 현상을 전자기파 간섭 현상이라고 한다. 전자기파는 전기장과 자기장의 수직 교차하여 퍼지는 파형으로 전류의 흐름에 의해 필수적으로 발생한다. 전자기파의 간섭을 제어하기 위해 전자파 차폐 기술이 최근 다양하게 연구되고 있다. 전자기파 차폐(Electromagnetic Shielding)는 공간의 특정 부분을 도체 혹은 강자성체로 둘러싸서 내부가 외부 전자기장으로부터 영향을 받지 않도록 하거나, 반대로 내부에서 발생한 전자기장이 외부에 미치지 않도록 하는 것을 말한다[4]. 전자기장의 주파수가 높을수록 효과가 있으므로 고주파공학에서 많이 이용되고 있는 기술이다. 전자기파의 차폐 정도는 사용되는 물질과 두께, 차폐하려는 공간의 크기, 막으려는 전자기파의 진동수에 따라 결정된다. 이러한 전자파 차폐 기술에 따른 전자파의 감쇄율은 다음과 같은 수식으로 설명된다.

$$S.E. = 20 \log \left| \frac{E_0}{E_i} \right|$$

(S.E.: 차폐율, E_0 : 외부전자기장, E_i : 내부전자기장)

전자파 감쇄율은 dB로 표시되며, 전자파의 흡수율과 반사율의 합으로 계산된다. 10 dB의 만큼의 차이는 내외부의 전자기파의 90% 감쇄를 의미하며, 20 dB의 경우 99% 감쇄를 의미한다. 일반적으로 금속 소재로 차단막을 형성할 경우 매우 강한 감쇄율을 가지게 되는데, 구리시트를 활용한 하우징의 경우 100dB을 상회하는 성능을 나타낸다고 알려져 있다. 일반적으로 산업에서 적용하기 위한 차폐 성능은 기준선은 50 dB 정도로 알려져 있다 [5,6].

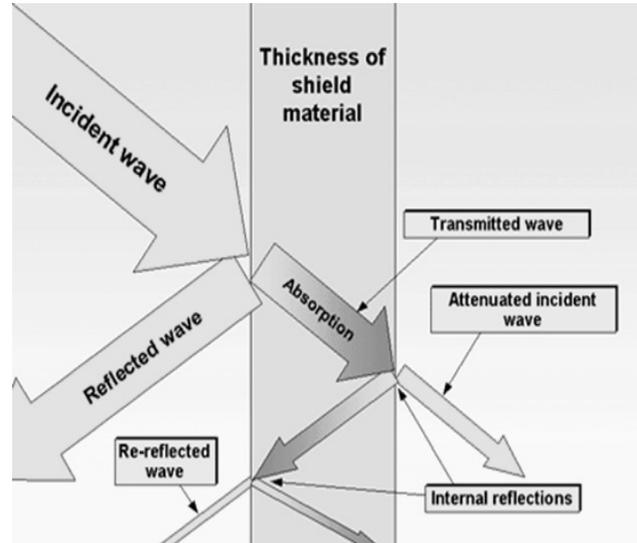


Figure 1. Externally approaching, reflecting, absorbing, passing diagram of electromagnetic wave.

스마트 디바이스의 사용처 확대와 기능의 확장에 따라 패키징의 투명성 및 유연성이 중요해지고 있다. 이러한 산업 흐름의 변화에 따라 차폐소재 또한 유연하고 투명한 소재의 필요성이 요구되고 있다. 투명한 전도체를 구현하기 위하여 Kumar 등은 전도성 고분자를 활용한 투명필름을 제안한바 있다[7]. 전도성 고분자를 활용하면 투명성 등의 구현은 유리하지만 내구성이 취약하다는 단점이 존재한다. Lee 등은 Silver Nano Wire 등을 활용하여 전도성 패턴을 형성한바 있다 [8]. Carbon Nano Tube 및 Silver Nano Wire 등을 활용하는 경우에는 전도성 구현의 한계가 존재 한다. Lee 등은 입자를 가지고 있는 물질의 광경화 특성을 살펴본바 있으며, 입자상의 물질의 존재에 따른 경화 저해 현상에 대하여 보고한 바 있다 [9].

본 연구에서는 앞서 언급된 전도성의 한계를 극복하고 기존에 요구되고 있는 투명성확보하기 위해 전도체를 활용한 패턴 제조기술을 적용하고자 하였다. 전도성을 가지는 접착소재를 설계하고 이를 활용해 복합 구조형 접착소재를 제조하였다. 복합 구조형 접착소재의 경화 특성을 강화하기 위해 복합경화구조를 채택하였다. 전체적인 소재의 특징을 살펴보기 위해 경화 특성 및 부착력을 확인하고 이를 기반으로 한 전도성 평가를 수행했다. 최종적으로 준비된 바인더를 활용하여 패턴을 형성하고 투명성을 검토하였다.

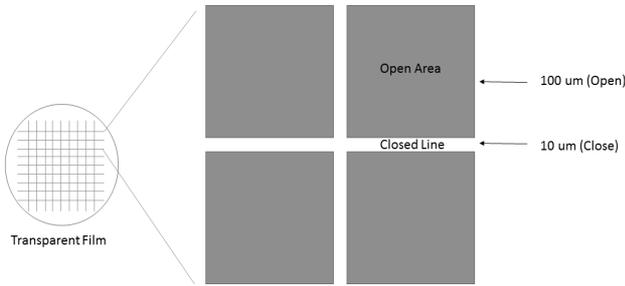


Figure 2. Opening structure designed for transparent pattern.

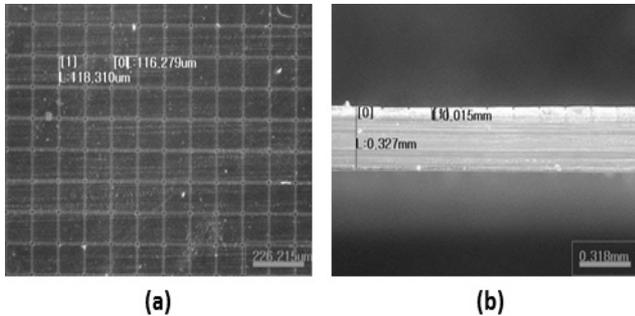


Figure 3. SEM image of bass pattern film manufactured using negative imprinting technology (A) Planar structure (b) Vertical structure.

2. 실험

2.1. 투명 패턴의 설계와 제작

본 연구에서는 투명성을 확보하기 위하여 투명 패턴 기술을 활용하였다. 투명 패턴을 구현하기 위해 임프린팅 기술을 적용하였으며, 소프트 몰딩 기술을 활용하여 패턴을 제작하였다. 패턴의 구조는 Figure 2와 같으며, 제작된 패턴 필름은 Figure 3과 같다. 패턴을 활용한 투명 전도성 필름의 제작과정은 Figure 4에 나타내었다. 소프트 몰딩을 통해 음각을 형성 하고, 임프린팅된 필름면 전면에 바인더를 코팅한다음 스퀴징 공법을 통해 음각면 이외의 바인더를 모두 제거 하였다. 이를 통해 음각 부분에만 복합 재료형 바인더를 코팅할 수 있었다. 이후 광경화 및 열경화를 통해 경화를 진행하여, 최종적인 필름을 제조하였다.

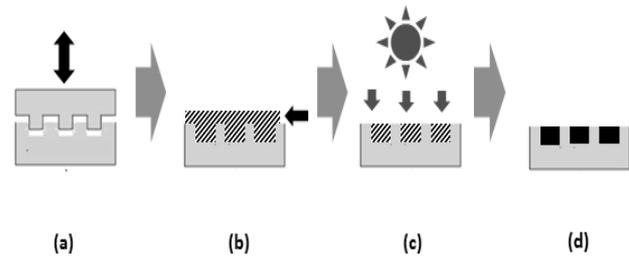


Figure 4. Manufacturing process of transparent pattern film and conductive film. (A) Soft molding patterning (b) Coating and squeezing (c) Binder hardening (d) Final structure

2.2. 전도성 바인더의 제조

전도성 바인더를 제조하기 위하여 UV 중합 시스템을 활용했다. UV 중합기술을 이용하여 Pre-polymer를 구성하였으며, 블랜딩 과정에서 은 입자와 가교제, 광개시제 및 열개시제를 혼합하였다. Pre-polymer를 만들기 위하여, 2-ethylhexyl acrylate (Sigma-Aldrich, USA), acrylic acid (Sigma-Aldrich, USA), Isobornyl acrylate (Sigma-Aldrich, USA) 및 irgacure 1173 (BASF, Germany)을 이용했다. 가교제로는 1,6-hexanediol diacrylate (Miwon Specialty Chemical, Korea)를 이용하였으며, 광개시제로는 Irgacure 1173을 열개시제로는 V-70 (Wako, Japan)을 이용했다. 상세한 조성은 table 1에 나타내었다.

2.3. 은 입자 선정

차폐성능을 극대화하기 위해서는 전도성을 높여주는 것이 중요하다. 전도성을 극대화시키기 위해 저항이 낮은 물질을 적용하는 것이 유리하다. Table 1은 다양한 물질의 전도성을 나타낸 것이다 [10]. 일반적으로 금속류의 저항이 낮으며, 특히 은과 구리의 저항이 낮은 것으로 알려져 있다. 은 입자의 경우 형상을 제어하기 유리하기 때문에 복합재료로의 구성에 매우 유리하다. Figure 5는 은으로 구성 가능한 미세입자의 형상을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 구상 (HAG-100S, Changsung, Korea) 판상 (FAG-100S, Changsung, Korea) 그리고 적층상 (HAG-100H, Changsung, Korea)의 3가지 입자를 활용하였으며, 구체적인 정보는 Table 2에

Table 1. Binder composition of multi-curing adhesive material

Materials	2-EHA	AA	IBA	HDDA	Irgacure 1173	V-70
Ratio (wt%)	73.7	4.9	19.6	0.2	1.1 (1st 1.0, 2nd 0.1)	0.5
Role	Soft Materials	Cohesion Improve	Adhesion Improve	Cross linker	Photo Initiator	Thermal Initiator

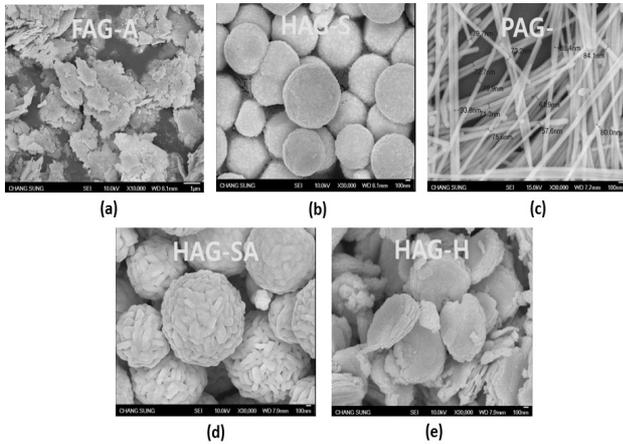


Figure 5. Various particle structures utilizing silver.
(A) Flake (b) Spherical (c) Rod (d) Wrinkled Spherical
(e) Composite Structure - Stacked Flake

Table 2. Resistivity and conductivity by materials

Material	Resistivity ($\rho(\Omega \cdot m)$ at 20°C)	Conductivity ($\sigma(S/m)$ at 20°C)
Silver	1.59x10 ⁻⁸	6.30x10 ⁷
Copper	1.68x10 ⁻⁸	5.98x10 ⁷
Gold	2.44x10 ⁻⁸	4.52x10 ⁷
Aluminum	2.82x10 ⁻⁸	3.5x10 ⁷
Magnesium	4.66x10 ⁻⁸	2.15x10 ⁷
Tungsten	5.49x10 ⁻⁸	1.82x10 ⁷
Zinc	5.945x10 ⁻⁸	1.682x10 ⁷
Cobalt	6.25x10 ⁻⁸	1.60x10 ⁷
Iron	9.58x10 ⁻⁸	1.04x10 ⁷
Platinum	1.06x10 ⁻⁷	9.44x10 ⁶
Tin	1.15x10 ⁻⁷	8.7x10 ⁶
Steel (Cast)	1.61x10 ⁻⁷	6.21x10 ⁶
Lead	2.05x10 ⁻⁷	4.87x10 ⁶
Titanium	5.56x10 ⁻⁷	1.798x10 ⁶
Mercury	9.58x10 ⁻⁷	1.044x10 ⁶

나타내었다. 은 입자는 각각 독립적으로 활용되었으며, 중량대비 30, 50, 70%의 함량으로 적용되었다. 은입자의 분산성을 확보하기 위하여 고속교반기 및 초음파처리를 수행하였다.

2.4. 실험 방법

2.4.1 경화특성 분석

본 연구에서의 제시하고 있는 복합경화 시스템은 광경화 및 열경화를 활용한 것으로, 복합 구조형 바인더

의 광경화 저해 문제를 열경화로 보완하는 구조를 가지고 있다. 일반적으로 아크릴레이트의 중합과 같은 발열 반응의 열경화 Kinetic를 평가하는 것은 쉽지 않기 때문에, 광경화 특성을 중점적으로 평가했다 [11,12]. 또한, Pathway를 제어하여 열경화가 실제 진행이 되는지에 대한 점검을 병행하여 평가하였다. 경화 속도를 살펴보기 위해 Photo-DSC를 활용하였다. 장비는 Q-200 (TA Instrument, USA)을 활용하였으며, metal 광원아래에서 10 mW/cm²의 조건으로 경화되었고, 상온환경에서 측정되었다.

2.4.2 전도성 분석

전도성을 측정하기 위하여 저항을 확인하고자 하였다. 차폐성능은 면저항에 반비례 한다[1]. 따라서 면저항이 낮을수록 차폐성능이 우수하다고 평가 할 수 있다. 면저항을 측정하기 위하여 패턴구조가 아닌 면구조로 바인더를 코팅하였다. 면저항을 측정하기 위하여 SCC-625 Surface Resistance Meter (ASTM-257, 3M, USA)를 활용하였다. 또한, 전도성의 변화요인을 확인하기 위해 표면의 구조변화를 살펴보고자 하였으며, Scanning Electron Microscope (SEM, SNE-3000M, Korea)을 활용하여 표면의 형상변화를 관찰 하였다.

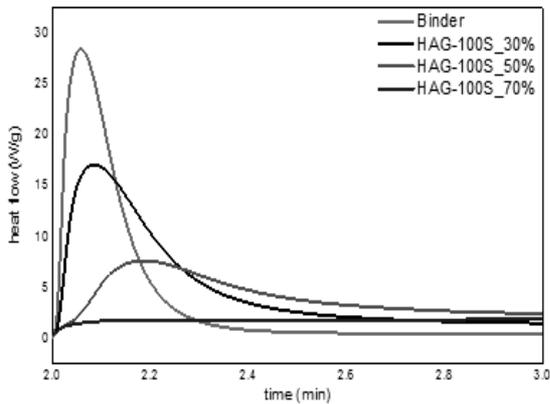
2.4.3 점착력 분석

본 시스템에서 바인더는 음각의 공간 안에 위치하기 때문에, 임프린팅된 내부 면과의 부착력이 가장 중요하다. 부착력을 평가하기 위하여 tack을 활용하였다. Tack을 측정하기 위하여 TA.XT Plus Texture Analyzer (Micro Sable System, U.K.)을 활용하였으며, Ball Probe를 적용하여 100 g · 1 s의 압착과 1 mm/s의 속도로 바리를 진행하였다.

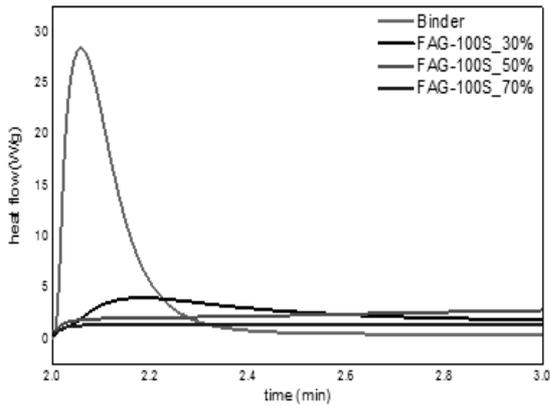
3. 결과 및 고찰

3.1. 복합바인더의 경화 특성 평가

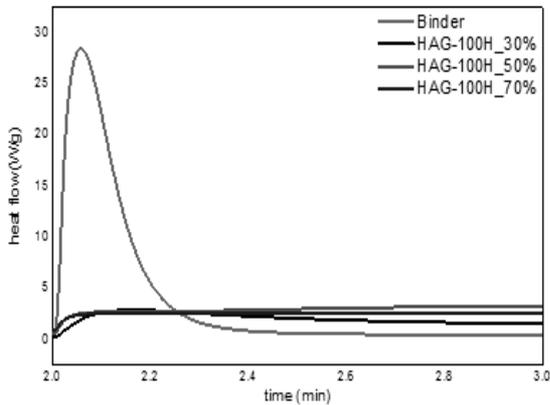
우선 입자상의 물질이 들어가서 경화를 저해하는 정도를 살펴보았다. Figure 6은 각각의 입자의 구조별 함량별 광경화 속도를 나타낸 것이다. Photo-DSC에서 Heat Flow의 Intensity는 순간 반응속도를 의미한다 [12]. 입자가 없는 경우에는 초기에 급격하게 반응속도가 증가하며 점차 감소하는 경향을 나타냄을 확인할 수 있다. 반면, 입자가 들어가게 되면 반응속도가 급격하게 감소함을 알 수 있다. 구상입자 (Figure 6-(a))를 활용한 경우에는 초기 입자가 혼합되더라도 경화가 진행됨을 확인할 수 있는데 반해, 판상과 적층상의 경우 (Figure 6-(b),(c))의 경우에는 초기부터 경화가 진행되지 않음을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 광의 난반사



(a)



(b)



(c)

Figure 6. UV curing properties of composite binders (a) Spherical (b) Flake (c) Stacked Flake.

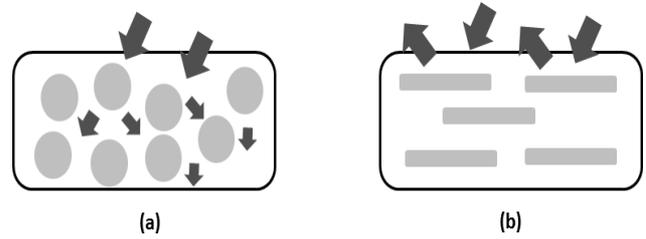


Figure 7. Transmission morphology of UV due to particle shape difference. (a) Spherical (b) Flake and Stacked Flake

에 영향을 받는 현상으로 해석된다. 구상의 입자에서는 광의 난반사에 따른 내부 침투가 가능한데 반해, 넓은 면을 형성하고 있는 나머지 두 가지 구조에서는 표면의 반사가 훨씬 우세하게 나타난다고 할 수 있다 (Figure 7).

입자의 선택적 활용을 확대하기 위해서는 보완적 경화시스템이 필수적이라고 할 수 있다. 본 시스템에서 채택한 열경화 시스템의 작동유무를 확인하기 위해 선 열경화후의 광경화 속도를 평가했다. 총 4가지조건을 이용하여 실험을 진행하였으며, 그 결과는 Figure 8에 나타내었다. 열개시제가 들어있지 않은 3가지 샘플을 각각 80°C, 100°C, 120°C에 30분간 노출 시킨 후 광경화를 측정하였는데, 경화 속도가 감소하는 경향은 보이고 있지만, 광경화가 진행되고 있음을 확인 할 수 있었다. 광경화가 감소하는 이유는 개시제가 고온에 노출됨에 따라 분해되거나 그 구조가 변경되었기 때문으로 추측된다. 반면 열개시제를 포함하고 있는 경우에는 광경화과정에서 전혀 반응하지 않음을 확인 할 수 있다. 이를 통해 열경화 시스템이 본 시스템 내에서 작

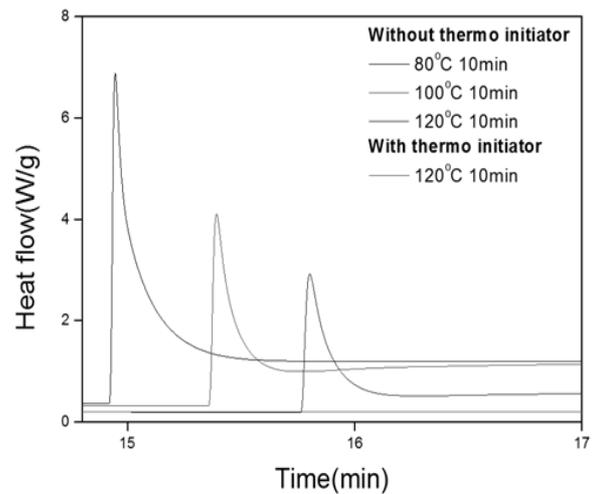


Figure 8. Evaluation of photo-curing rate change according to degree of thermal curing.

동하고 있음을 확인 할 수 있다. Lee등의 연구에 따르면 선 경화 프로세스(Pre-curing Process)가 후 경화(Post-curing Process)의 효율에 영향을 준다고 알려져 있다 [13]. UV경화가 많이 진행될수록 열경화의 속도가 감소하는 경향을 보이게 된다. UV경화가 90% 이상 진행되면 mobility의 급격한 감소에 의해 열경화가 거의 진행되지 않지만, 50% 수준으로 가경화 정도의 경화가 진행된 경우에는 추가적인 경화로 90%이상의 경화도 구현이 가능함을 설명한바 있다. 본 시스템에서 판상 및 적층상의 경우에 선 경화가 거의 진행되지 않았기 때문에 열 경화의 효율이 우수할 것으로 예상할 수 있다.

3.2. 복합바인더의 표면 저항 특성 평가

경화를 진행시킴에 따라 변화하는 저항을 확인했다. Figure 9는 전도성의 경화 시간에 따라 변화하는 바인더의 표면저항을 나타낸 것이다. 표면 저항결과에서는 앞선 경화속도와는 반대의 결과가 확인되었다. 우선, 구상의 입자를 활용한 시스템에서는 경화초기에는 부도체 수준의 표면 저항을 가지고 있었으며, 경화가 진행됨에 따라 $10^9 \Omega/\square$ 수준까지만 감소하는 경향을 보였다. 실제 입자의 양이 증가하더라도 경화율의 변화에 따라 저항이 감소하는 경향을 확인 할 수 없었다. 판상 은 입자를 활용한 경우에는 30, 50% 에서는 구상형과 동일한 결과를 보였으며, 경화율의 증가에 따른 저항 감소효과를 확인 할 수 없었다. 반면 적층상의 은 입자를 활용한 경우에는 전혀 다른 결과를 확인 할 수 있었다. 판상 은 입자 시스템을 확인해보면, 30%에서는 경화율에 따른 저항 감소를 확인 할 수 없다. 전도성의 구현을 위해서는 입자간의 접촉이 가장 우선시 되어야 하는데, 이러한 접촉확률은 소재의 부피상의 비율에 비례한다. [14,15]. 따라서 함량이 작은 30%의 시스템에서는 그 효과를 기대할 수 없다. 50%의 시스템에서는 경화가 진행됨에 따라 저항이 급격하게 감소하고 있음을 확인 할 수 있다. 경화에 따른 전도성의 변화를 확인하기 위해 표면의 상태를 SEM으로 살펴본 결과는 Figure 10과 같다. 경화가 진행됨에 따라 표면의 굴곡이 형성됨을 확인 할 수 있다. 일반적으로 아크릴레이트는 높은 경화수축률을 가지고 있다. 이론적인 수축률은 소재에 따라 차이가 크지만 단관능성 물질의 경우 수 % 수준이며, 다관능성 물질의 경우 20%내외로 평가된다 [12]. 본 시스템에서는 이러한 수축현상에 따라 바인더가 줄어들면서 은 입자 사이의 공간이 좁아지고, 결과적으로 입자간의 접촉을 극대화 시켜 줄 것으로 예상되었다. 실제 바인더는 입자를 이용한 전도성 구현의 부정적 영향인자로 작용한다. 하지만 구조체의 안정성을 위해 활용되어야하며, 최소한의 비

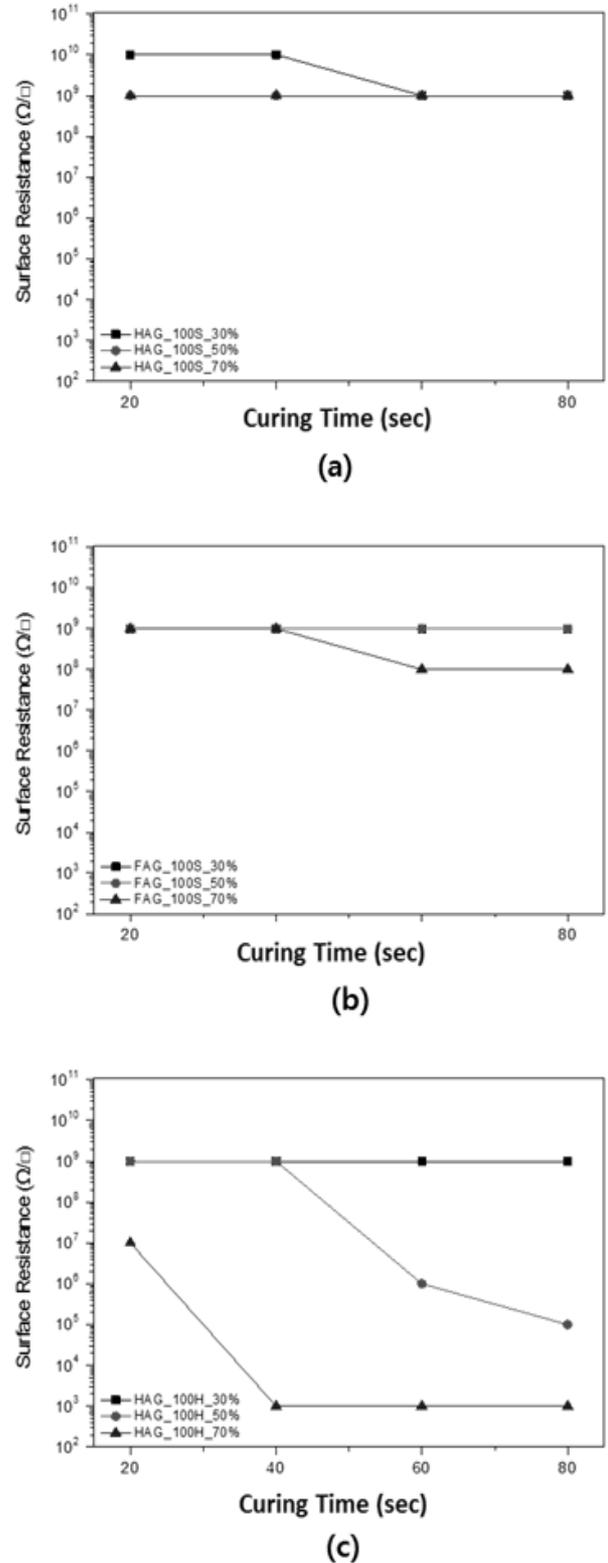


Figure 9. Surface Resistance characteristics of composite Binders. (a) Spherical (b) Flake (c) Stacked Flake

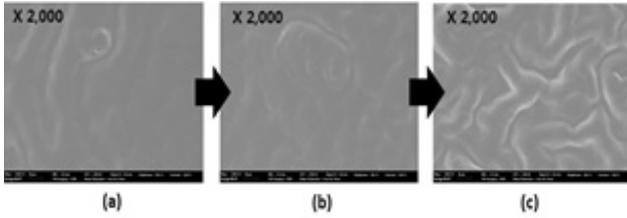


Figure 10. Changes in the surface condition of flake-like particle system with UV curing (a) 40 s (b) 60 s (c) 80 s

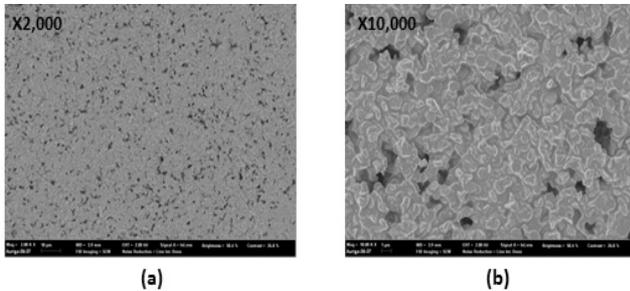


Figure 11. Surface SEM images after curing in systems utilizing flake particles.

(a) X 2,000 magnitude (b) X 10,000 magnitude

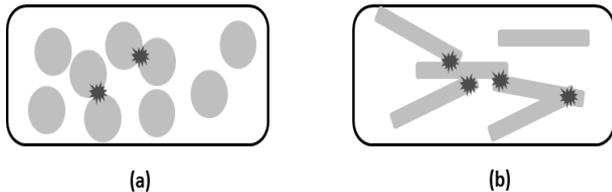


Figure 12. Contact form in space due to particle difference.

(a) Spherical (b) Flake and Stacked Flake

율이 적용될 수 있도록 설계가 필요하다. 반면, 점도 및 젖음특성 등으로 대표되는 공정 특성을 구현하기 위하여 비율을 줄이는데 한계가 존재하였다. 따라서 이러한 경화 수축현상을 적극적으로 활용하면 상대적으로 바인더의 함량제어에 있어 효과적인 대응이 가능할 것으로 예상된다. 70%를 활용한 시스템에서는 경화 초기단계에 저항이 측정 최소치에 도달하였으며, 표면 상태는 50%와 동일하게 표면 굴곡을 확인 할 수 있었다 (Figure 11). 적층상의 구조가 우수한 저항특성이 나온 것은 구조적인 특징에 따른 공간에서의 접촉확률 증가에 따른 결과로 해석된다. 구상은 공간적인 분포가 우수하기 때문에 상대적으로 접촉확률 낮다. 반면 판상과 같은 경우 접촉확률이 높지만 입자의 구조에 비해 코팅 두께 등이 크기 때문에 공간적 적층 구조

형성 확률이 높다. 하지만 적층상의 형태는 좌우 폭이 넓으면서도 두께가 상대적으로 두꺼워 공간적인 접촉에 유리하다고 평가된다 (Figure 12).

3.3. 복합바인더의 표면 접착력 평가

접착력 평가결과는 Figure 13에 나타내었다. 샘플은 모두 추가적인 경화를 통해 함량의 변화에 따라서는 50%로 증가 할 때 Tack 증가하는 현상을 보이고 있다. 일반적으로 필러의 함량이 증가하면 접착력은 감소하게 된다 [16,17]. 하지만 본 결과에서는 일부 증가하는 경향을 보이고 있다. 30% 수준에서는 3가지 시스템 모두 비슷한 접착력을 보이고 있다. 필러의 함량이 작기 때문에, 표면에 노출된 바인더의 수준이 비슷하고 상대적으로 표면에서의 경화가 많이 진행되기 때문에 동일한 접착력을 보이는 것으로 판단된다. 하지만 함량이 50%로 증가하게 되면, 경화에 저해를 받으면서 상대적으로 접착력이 올라가는 것으로 평가된다. UV경화 시스템에서 경화가 진행됨에 따라 tack은 감소하게 된다 [18]. 또한, 50%의 함량조건의 표면 상태를 살펴보면 (Figure 10) 경화가 진행되면서 표면 요철이 생성되는 것을 확인 할 수 있는데, 이러한 요철 구조는 접착력의 영향을 미치는 주요 요인으로 설명된다. 또한 경화형 바인더 내부에 존재하는 필러는 바인더와 직접적으로 상호작용을 하지 않기 때문에 경화과정에서 경화 밀도를 낮추는 역할을 하게 된다. 경화 밀도가 낮으면 전체적인 바인더의 mobility가 증가하게 되는데 이러한 mobility 증가에 따른 wetting 특성 강화가 예상된다. 반면 필러의 함량이 70%로 증가하게 되면 앞선 SEM 평가결과에서 볼 수 있듯이 표면으로의 필러 노출이 많아지기 때문에 이에 따른 접착력 감소가 크게 발생하는 것으로 평가된다. 또한 적층상의 입자를 활용한 경우 표면의 노출 정도가 커지고 또한 표면의 거칠기가 증가하기 때문에 이에 따른 접착력의 감소가 발생하는 것으로 판단된다.

3.4. 패턴의 투명성 평가

Figure 14는 제조된 전도성 바인더를 활용한 패턴 필름의 투과율을 확인한 결과이다. 은 입자를 활용한 경우에 있어서도 지속적으로 투과율이 높음을 확인 할 수 있다. 하지만 Clear Coat를 진행한 샘플에 비해 그 투과율이 낮아지는데, 이는 바인더의 스퀴징 과정에서의 스크래치 및 패턴상에서의 난반사에 의한 결과로 평가된다. 투과율은 시스템의 개구율에 영향을 받는다. 개구율은 다음과 같은 공식에 의해 계산된다.

$$\text{Opening Area} = \frac{\text{Whole Area} - \text{Closed Area}}{\text{Whole Area}}$$

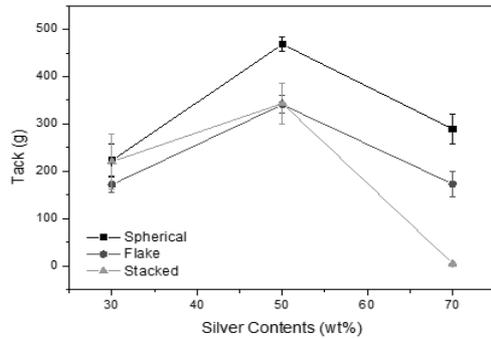


Figure 13. Evaluation of change of adhesion force (tack) according to particle shape and content.

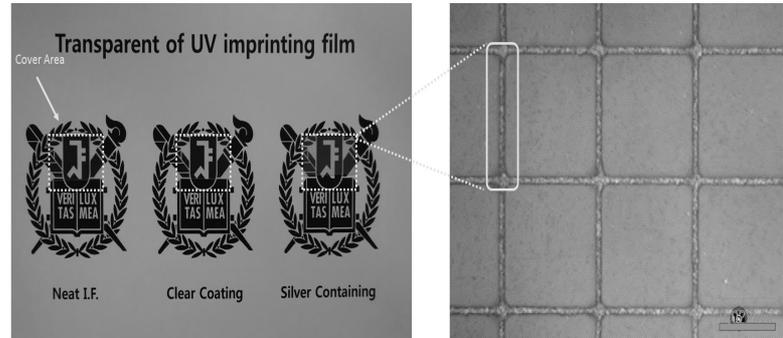


Figure 14. Image evaluation of transmittance of pattern film (left), magnitude image on silver containing film (right)

패턴과 같은 구조에서는 개구부의 비율을 반복되는 패턴 단위로 잘라내고 단위 면적에서의 closed area를 계산하여 개구부의 비율을 결정한다. 가시광의 간섭을 최대한 줄일 수 있는 폭으로 패턴이 형성되면 보다 우수한 광학적 특성을 구현 할 수 있다. 본 연구에서는 실제 라인에서 제조가능한 수준인 10 um 폭의 패턴을 형성했기 때문에, 선형구조를 직접인지 할 수 없으며, 이러한 구조적인 특징이 앞선 투과율을 구현했다고 평가된다.

4. 결 론

투명 패턴 필름 및 복합 바인더를 활용하여 투명 전도성 필름을 제조하였다. 복합 바인더의 전기적 성능이 투명 패턴 필름의 성능에 영향을 미치게 된다. 필러의 형상에 따라 UV경화 특성은 큰 차이를 보였다. 구상의 경우 내부 반사에 따른 빠른 경화 특성을 보였으며, 판상과 적층상의 경우에는 보완적인 경화 시스템이 요구되었다. 전도성은 반대 경향을 보였으며, 적층상 시스템이 가장 우수한 전도성 결과를 보여 주었다. 이는 공간상에서 입자간의 접촉이 큰 영향을 주기 때문으로 판단되었다. 접착력 평가에서는 필러의 함량이 작을 경우에는 유사한 경향을 보이나 필러의 함량이 증가한 경우 적층상 시스템이 가장 크게 저하되는 것으로 확인되었다. 복합 바인더를 활용하여 패턴 필름을 충전 한 경우에도 우수한 투명성을 확인 할 수 있었으며, 투명 차폐 소재로의 적용 가능성을 확인 할 수 있었다.

References

1. D. D. L. Chung, *Carbon*, **39**(2), 279-285 (2001).
2. M. P. Robinson, T. M. Benson, C. Christopoulos, J. F. Dawson, M. D. Ganley, A. C. Marvin, S. J. Porter, D. W. P. Thomas, *IEEE Transactions on Electro-magnetic Compatibility*, **40**(3), 240-248 (1998).
3. M. Mishra, A. P. Singh, V. Gupta, A. Chandra, & S. K. Dhawan, *Journal of Alloys and Compounds*, **688**, 399-403 (2016).
4. Celozzi, Salvatore, G. Lovat, and R. Araneo. *Electro-magnetic shielding*. John Wiley & Sons, Inc., (2008).
5. R. Wai, Y. -F. Lin, & C. -C. Liao., *Applied System Innovation: Proceedings of the 2015 International Conference on Applied System Innovation (ICASI 2015)*, May 22-27, 2015, Osaka, Japan. CRC Press, (2016).
6. P. Ganesan, T. Karthik, A. M. Kumar, & D. Maruthamani, *Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR)*, **41**(3), 293-297 (2016).
7. P. Kumar, P. V. Reddy, B. Choudhury, P. Chowdhury, & H. C. Barshilia, *Thin Solid Films*, **612**, 350-357, (2016).
8. T. -W. Lee, S. -E. Lee, and Y. G. Jeong, *ACS applied materials & interfaces*, **8**(20), 13123-13132 (2016).
9. S. -W. Lee, J. -W. Park, C. -H. Park, Y. -E. Kwon, H. -J. Kim, E. -A. Kim, H. -S. Woo, S. Schwartz, M. Rafailovich, J. Sokolov, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, **44**, 200-208 (2013).
10. Electrical Conductivity in Metals, <https://www.thebalance.com/electrical-conductivity-in-metals-2340117>
11. Dean, Katherine, & W. D. Cook, *Macromolecules*, **35**(21), 7942-7954 (2002).
12. J. -W. Park, G. S. Shim, J. H. Back, H. J. Kim, S. Shin, & T. S. Hwang, *Polymer Testing*, **56**, 344-353 (2016).
13. J. -G. Lee, G. -S. Shim, J. -W. Park, H. -J. Kim, S. -E. Moon, Y. -K. Kim, D. -H. No, J. -H. Kim, K. -Y. Han, *Journal of Electronic Materials*, **45**(7),

- 3786-3794 (2016).
14. M. Sumita, K. Sakata, S. Asai, K. Miyasaka & H. Nakagawa, *Polymer Bulletin*, **25(2)**, 265-271 (1991).
 15. K. Miyasaka, K. Watanabe, E. Jojima, H. Aida, M. Sumita & K. Ishikawa, *Journal of Materials Science*, **17(6)**, 1610-1616 (1982).
 16. B. T. Poh and S. K. Chow, *Journal of applied polymer science*, **106(1)**, 333-337 (2007).
 17. Z. Czech, R. Peech, A. Kowalczyk, A. Kowalski and R. Wrobel, *Polish Journal of Chemical Technology*, **13(4)**, 77-81 (2011).
 18. S. W. Lee, J. W. Park, H. J. Kim, K. M. Kim, H. I. Kim and J. M. Ryu, *Journal of Adhesion Science and Technology*, **26(1-3)**, 317-329 (2012).