

Fabrication and characteristics of TiO₂ coating solution with silica-based inorganic binder

Woo-kyu Kang, Hye-Jin Kim*, Jin-Ho Kim*, Kwang-Taek Hwang* and Gun-Eik Jang[†]

Department of Advanced Materials Engineering Graduate School, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea
**Icheon Branch, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Icheon 17303, Korea*

(Received March 13, 2019)

(Revised April 15, 2019)

(Accepted April 18, 2019)

Abstract Recently, the demand of labels for product management is increasing, as the automation system becomes more common. the development of functional labels which can be used in various environments has been rapidly proceeded. In the case of a printed circuit board, barcode labels with thermal and chemical stability are generally used due to a high temperature process around 300°C and chemical cleaning in the manufacturing process. However, the yellowing phenomenon of labels that can lower the resolution of printed barcode image still needs to be prevented. In this study, we prepared a composite coating layer using a silica inorganic binder and a titanium dioxide white pigment, and developed a functional labels with thermal and chemical stability. The silica inorganic binder prepared by sol-gel process was confirmed to show excellent adhesion and abrasion resistance with the polyimide film. The white coating layer could be formed on the polyimide film with mixing the silica inorganic binder and titanium dioxide white pigment. The prepared coating layer showed excellent whiteness and glossiness above 400°C. The excellent chemical stability of the coating layer was also confirmed by the chemical treatment with acidic (pH 1.6) and basic (pH 13.6) cleaners.

Key words Functional labels, Printed circuit board, Silica inorganic binder, Titanium dioxide, Thermal and chemical stability

실리카 베이스 무기 바인더 기반의 TiO₂ 코팅액의 제조 및 특성 평가

강우규, 김혜진*, 김진호*, 황광택*, 장건익[†]

충북대학교 신소재공학과, 청주, 28644

*한국세라믹기술원 이천분원, 이천, 17303

(2019년 3월 13일 접수)

(2019년 4월 15일 심사완료)

(2019년 4월 18일 게재확정)

요 약 자동화 시스템이 일반화되면서 제품 관리를 위한 라벨지(label)의 수요는 증가하고 있으며, 다양한 환경에서 사용할 수 있는 기능성 라벨지 개발이 빠르게 진행되고 있다. 인쇄회로기판의 경우 제작 과정에서 300°C 이상의 리플로우 솔더링 공정과 여러 차례의 세정 공정을 거치기 때문에 열적·화학적 안정성을 갖는 바코드 라벨지(barcode label)가 사용되고 있으나 황변(yellowing) 현상 발생으로 인한 인식을 저하의 문제가 발생하고 있다. 본 연구에서는 실리카 무기 바인더와 이산화티탄 백색안료를 사용한 복합 코팅층을 개발하고, 열적·화학적 안정성을 확보한 기능성 라벨지 연구를 진행하였다. 졸-겔 공정으로 제조한 실리카 무기 바인더는 기재(substrate)로 사용하는 폴리이미드 필름과 우수한 밀착성과 내마모성 특성을 갖는 것으로 확인하였다. 또한 이산화티탄 백색안료와 혼합하여 폴리이미드 필름에 백색의 코팅층을 제조할 수 있었으며, 복합 코팅층은 400°C 이상의 고온에서도 우수한 백색도와 광택도를 특성을 유지하는 것을 알 수 있었다. 또한 산성(pH 1.6)과 염기성(pH 13.6) 세정제를 통한 화학 처리 후에도 백색도와 광택도 변화가 일어나지 않는 우수한 화학적 안정성을 확인하였다.

[†]Corresponding author
E-mail: gejang@chungbuk.ac.kr

1. 서 론

라벨지(Label)는 상품에 대한 정보를 바코드, 숫자, 코드 등의 형식으로 표현하여 포장지나 상품 자체에 부착하는 서식을 말한다. 오늘날 정보화 사회에서 고속화와 자동화 시스템이 일반화되면서 제품 관리를 위한 라벨지에 요구되는 기능은 더욱 다양해지고 있다. 특히 제품의 생산 및 보관, 이동 과정 중 노출될 수 있는 다양한 환경에서 내구성을 갖춘 라벨지에 대한 관심이 증가하고 있다. 그 중에서 인쇄회로기판(printed circuit board, PCB)은 다수의 전자 부품을 표준화된 방식으로 고정 및 연결하기 위하여 제작된 배선이 패턴화된 기판을 의미하며, 전자기기의 핵심 부품으로 제작 과정에서의 이력관리가 매우 중요하다. 따라서 인쇄회로기판은 제작 초기 단계에서부터 바코드 라벨(barcode label)이 부착되는데, 이후에 260~300°C의 온도에서 진행되는 리플로우 솔더링(Reflow soldering) 공정과 여러 차례의 화학 세정 공정을 거치기 때문에 바코드 라벨지는 열적·화학적 내구성을 필수적으로 갖추어야 한다[1-4]. 그러나, 일반 라벨지의 경우 인쇄회로기판의 고온 및 화학 세정 공정을 거치면서 황변(yellowing) 현상이 발생하여 RFID(radio frequency identification) 등을 통한 바코드 인식이 크게 저하되는 문제로 인하여 사용할 수 없다. 현재 이와 같은 열적·화학적 안정성을 갖춘 인쇄회로기판용 바코드 라벨지는 미국과 대만 등 일부 국가에서만 제작 공급되고 있다.

인쇄회로기판용 바코드 라벨지 개발을 위해서는 열적·화학적 안정성을 갖춘 무기바인더 개발이 필수적이다. Fig. 1에서 고온 라벨지의 무기 바인더는 기재(substrate)로 사용되는 폴리이미드(polyimide) 필름과 코팅층을 결합시켜주는 역할을 하며, 전자기기의 RoHS (Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, 전자기기의 유해물질 사용제한 지침) 규제에 대응하여 납, 카드뮴, 난연 유기제와 같은 유해물질은 포함하지 않은 소재로 개발되어야 한다. Kim 등은 6가 크롬 도금을 대체하는 아연분말화성 피막 개발에서 실리카 무기 바인더를 사용하여 우수한 내식성과 경도 특성을 부여할 수 있었다[5]. 또한 Ryu와 Yang 등은 규산나트륨 수용액과 콜로이드 실리카를 코팅액의 기재에 대한 바인더로 사

용하여 우수한 열적 특성과 수분 환경에서의 내구성 등에 대하여 보고하였다. 이와 같이 유기 바인더 적용이 불가능한 환경에서 실리카계 무기 바인더를 적용하여 우수한 결과를 보여주는 연구가 최근 많이 보고되고 있다[6, 7].

본 연구에서는 기재로 사용하는 폴리이미드(Polyimide) 필름에 접착성이 우수하면서 열적·화학적 안정성을 갖춘 실리카 무기 바인더 및 이를 이용한 고온 라벨지를 개발하고자 한다. 실리카 무기 바인더는 졸-겔(sol-gel) 공정으로 제조하며, 졸-겔 공정은 유기 하이브리드 재료를 용이하게 제조할 수 있으며 무기물이 갖는 우수한 기계적 강도와 유기물이 갖는 유연성, 성형성 등의 장점을 동시에 가질 수 있다[8-11]. 고온 라벨지의 기재(substrate)로 사용되는 폴리이미드 필름은 열적·화학적 안정성은 우수하지만, 고유의 갈색(Brown) 컬러로 인하여 바코드 인쇄를 위한 백색(white)의 표면 코팅층(Surface Coating layer)이 필요하다(Fig. 1). 따라서 투명한 실리카 무기 바인더에 이산화티탄(TiO_2)을 혼합하였으며, 폴리이미드 필름에서 백색 코팅층의 밀착성, 백색도(whiteness) 및 광택도(glossiness)를 측정하였다. 또한 300°C 이상의 고온 및 강산과 강염기 조건 하에서 고온 라벨지의 특성 변화에 대하여 확인하였다.

2. 실험 방법

고온 라벨지용 실리카 무기 바인더는 실록산(Si-O-Si) 구조의 금속 알콕사이드 전구체를 사용하여 졸-겔 공정으로 제조하였다. 실리카 출발 물질인 TEOS(tetraethyl orthosilicate, 98%, Aldrich) 2.5 ml를 에탄올(ethanol) 15 ml와 증류수(H_2O) 15 ml 용매에 혼합한 후 촉매 물질로 질산(HNO_3 , 65%)을 첨가하였다. 질산 첨가를 통한 가수분해 과정에서 용액은 70°C 조건에서 120분 동안 저속으로 교반 후 상온에서 숙성 과정을 진행하였으며, 실리카 무기 바인더 코팅층의 내마모성 향상을 위하여 알루미늄 알콕사이드(Aluminum Isopropoxide, 98%, Aldrich)를 0.1 g 추가하였다. 백색 안료인 이산화티탄(TiO_2 , (주)유신라이텍)은 평균 입경 230 nm에 루타일(rutile) 결정구조의 분말을 사용하였으며, 실리카 무기 바인더 코팅액 중량의 20~50% 비율로 추가한 후 24시간 교반하여 복합 코팅액(실리카 무기 바인더 + 이산화티탄)을 제조하였다. 이후에 트리에틸아민(Triethylamine, 98%)을 코팅액 대비 5 wt% 첨가하여 폴리이미드 필름(두께 ~25 μm) 위에 코팅층을 제조하였다. 코팅층 제조는 반자동 도공장치(KP-3000VH model)를 사용하였으며, 바코더(bar coater, No. 24)를 이용하여 폴리이미드 필름 위에 코팅 공정을 진행하였다. 코팅 속도는 70 mm/s이며, 코팅 후 오븐(SH-DO-140FH model)에서 150°C,

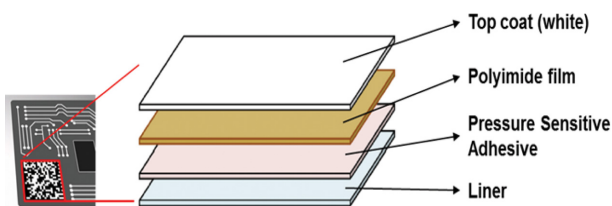


Fig. 1. Schematic diagram of high durability label for printed circuit board.

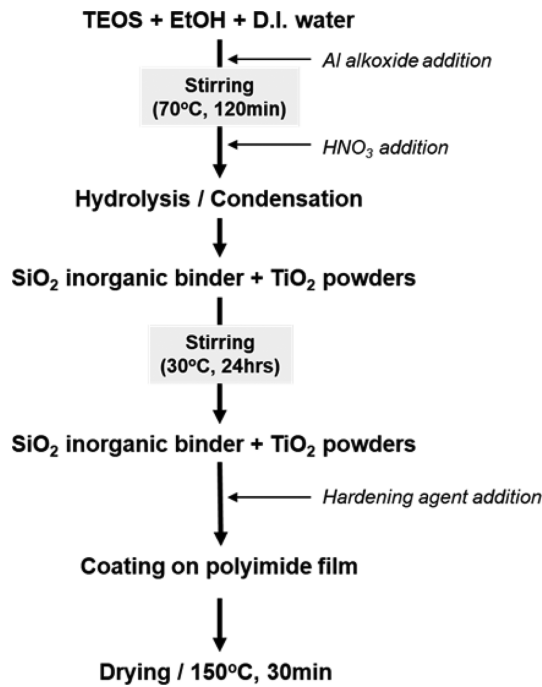


Fig. 2. Coating process condition of SiO₂ inorganic binder-TiO₂ complex solution.

30분 조건으로 열 경화하였다. 실리카 무기 바인더 제조 및 이산화티탄의 첨가, 그리고 코팅층 제조 공정은 Fig. 2에 도식화하여 표현하였다.

폴리이미드 필름 기재와 복합 코팅층의 밀착성 평가는 ASTM D3359 규격 기준으로 접착강도를 측정하였으며, 밀착성 특성에 따라 5B(0% 제거)에서 0B(65% 이상 제거)로 정량화된다. 복합 코팅층의 내마모성 평가는 헤이즈 전광선 투과율(Haze transmittance) 측정법으로 ASTM D1003 기준으로 진행하였다. 또한 코팅층의 표면조도는 3D 레이저 현미경(OLS40-SU)을 이용하여 측정하였다. 실리카 무기 바인더와 이산화티탄 복합 코팅층의 백색도는 휴대용 백색도 측정기(ME-WSB-1)로 관찰하였으며, 광택도는 광택도 측정기(PICOGLOSS 503)를 이용하여 GU 60° 기준에서 측정하였다. 코팅층의 열적 안정성은 설정 온도(200~500°C)에 도달한 오븐에 장입하여 30분간 유지한 후 백색도와 광택도 변화를 측정하여 평가하였다. 그리고 복합 코팅층의 화학 안정성은 인쇄회로기판 제조 공정에 세정제로 사용되는 HVF cleaner (pH 13.6)와 Circuposit conditioner(pH 1.6)를 사용하여 20 cc 용액에서 복합 코팅층 시편(1 cm × 1 cm)을 1분간 유지한 후 백색도와 광택도의 변화를 측정하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 졸-겔 공정으로 제조 후 폴리이미드 필름 위

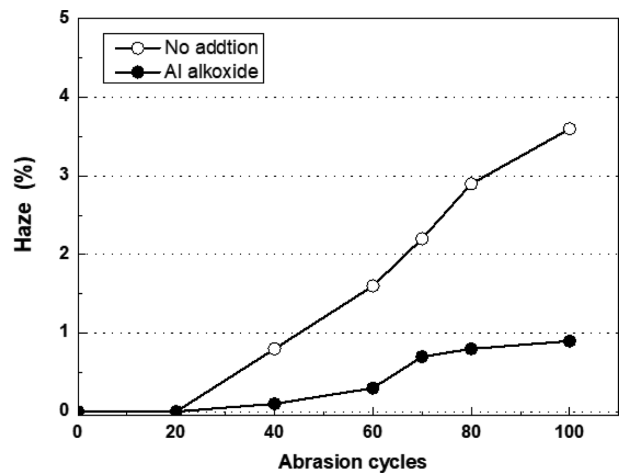
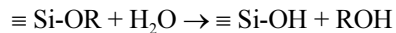


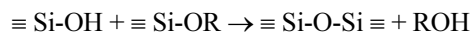
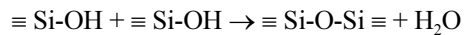
Fig. 3. Effect of aluminum alkoxide addition on haze property of coating layer with SiO₂ inorganic binder.

에 코팅한 실리카 무기 바인더 코팅층의 알루미늄 알콕사이드 첨가에 따른 내마모성 평가 결과를 보여주고 있다. 폴리이미드 필름에 코팅된 실리카 무기 바인더 코팅층은 경화 후에도 투명한 특성을 보이고 있으며, 밀착성 평가(ASTM D3359)결과 접착강도 5B로 측정되어 폴리이미드 필름과 우수한 밀착성을 갖는 것을 확인하였다. 고분자 기재 위에서 실리카 졸의 접착기구는 Si-OH기와 기재 표면의 OH기와의 공유결합에 기인하는 것으로 특별한 경우에는 기재의 표면처리가 요구되기도 한다[8, 11]. 그러나, 연구결과에서 폴리이미드 필름은 표면에 오염물질 제거를 위한 증류수 세정 과정 이외에 특별한 전처리 과정 없이 실리카 무기 바인더와 우수한 밀착 특성을 보이는 것을 알 수 있었으며, 또한 알루미늄 알콕사이드 첨가에 따라 실리카 무기 바인더 코팅층의 내마모성이 향상되는 것을 알 수 있는데 일반적으로 실리콘 알콕사이드 전구체에서 알콕시(alkoxy) 기는 아래와 같은 가수분해 및 축합반응의 졸-겔 반응에 의해 산화물 망목구조를 형성한다.

가수분해(Hydrolysis):



축합(Condensation)



이때 실리카 망목구조 이외에 유기물이 부착되지 않은 Al, Ti 등 금속 알콕사이드를 사용하여 다른 금속원자를 도입시킬 경우 실리카 망목구조의 가교를 증가시키는 역할을 하는 것으로 알려져 있다[11]. 이와 같은 코팅층의 내마모성 향상은 인쇄회로기판 등의 제품 제조 및 유통 과정에서 바코드 라벨지 손상에 의해 발생할 수 있는 정

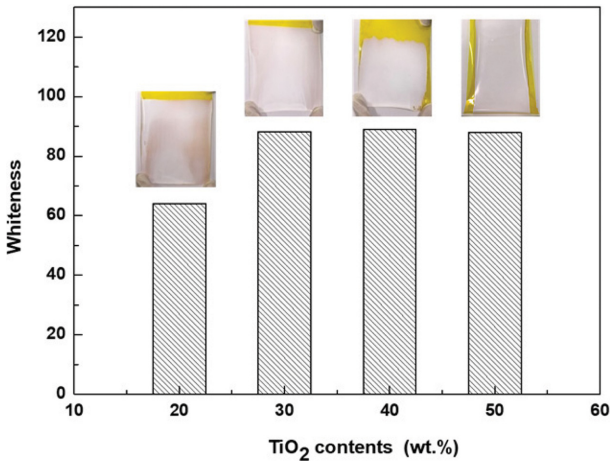


Fig. 4. Whiteness of SiO₂-TiO₂ complex coating layer on polyimide film.

보 손실을 방지하는데 효과적으로 적용될 수 있다.

Fig. 4는 실리카 무기 바인더에 첨가된 이산화티탄의 첨가량에 따른 코팅층 표면의 백색도(whiteness) 변화를 보여주고 있다. 이산화티탄 첨가량이 10 %에서는 기재로 사용되는 갈색의 폴리이미드 필름이 코팅층 사이로 관찰되며, 이러한 결과는 안료에 의한 코팅층의 은폐(hiding)가 충분히 이루어지지 않은 것을 보여주고 있다. 반면에 이산화티탄 첨가량이 20 wt% 이상에서는 육안 관찰에서 폴리이미드 필름은 관찰되지 않았다. 코팅층의 백색도는 이산화티탄 첨가에 따라 20 wt% 64.1에서 30 wt% 88.2로 증가하는 것을 알 수 있다. 반면에 40 wt% 이상의 첨가량에서는 코팅층 백색도의 변화가 거의 없었다. 이는 이산화티탄의 첨가량이 30 wt%인 경우 폴리이미드 필름 기재의 은폐(hiding) 효과가 충분히 발현된다는 것을 의미한다. 또한 코팅층의 이산화티탄 첨가량에 따른 접착강도 평가 결과에서 이산화티탄 첨가량이 40 wt% 이상에서 기재와 코팅층의 밀착성이 감소하는 결과를 보여주고 있다. P사의 상용 고온라벨지 분석 결과에서 백색도는 ~88.7로 측정되었으며, 이러한 결과로부터 실리카 무기 바인더에 첨가되는 이산화티탄의 첨가량 최적화

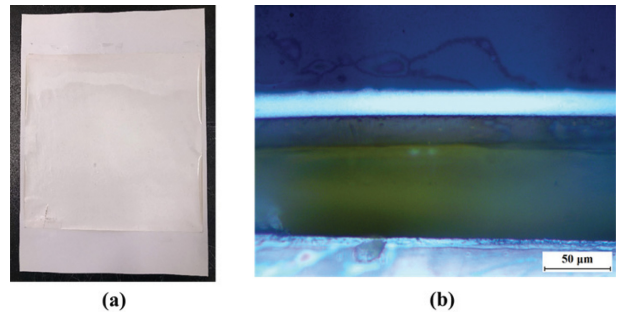


Fig. 6. (a) Surface photo image and (b) cross-section Optical image of SiO₂-TiO₂ complex coating layer.

는 코팅층의 백색도, 기재 은폐력 및 기재와 코팅층의 밀착성을 고려하여야 함을 알 수 있다.

Fig. 5는 이산화티탄 첨가량에 따른 실리카 무기 바인더 코팅층의 표면 거칠기(surface roughness) 변화를 보여주고 있다. 표면 거칠기는 가공된 표면의 상태를 의미하며, 코팅층의 반짝거림이나 거친 정도를 수치화하여 표현한 데이터로서 광택 및 마찰, 내마모성 등의 성능에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[11, 12]. 3D 레이저 현미경을 통하여 관찰한 코팅층의 표면 측정 결과, 이산화티탄 첨가량 증가에 따른 코팅층 표면거칠기는 30 wt%에 0.128 μm에서 50 wt% 0.311 μm로 143 % 증가하는 것을 확인하였다. 특히 이산화티탄의 첨가량이 40 wt% 이상에서 표면거칠기가 크게 증가하고, 코팅 균일성이 크게 저하되는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 실리카 무기 바인더 내에서 이산화티탄의 응집 현상에 의한 것이며, 실란커플링제로 표면 처리된 이산화티탄 사용에서도 일정 범위 이상의 첨가량은 추가적인 분산제의 첨가가 필요하다는 것을 보여주고 있다.

Fig. 6은 폴리이미드 필름에 코팅된 복합 코팅층(실리카 무기 바인더 + 이산화티탄(30 wt%))의 사진(a)과 단면 측정(b) 결과를 보여주고 있다. 결과에서 백색의 복합 코팅층은 폴리이미드 필름 위에 균일하게 코팅된 것을 확인할 수 있으며, 복합 코팅층의 평균 두께는 ~13 μm임을 알 수 있다. 코팅 공정에 사용된 코팅바(coating bar)

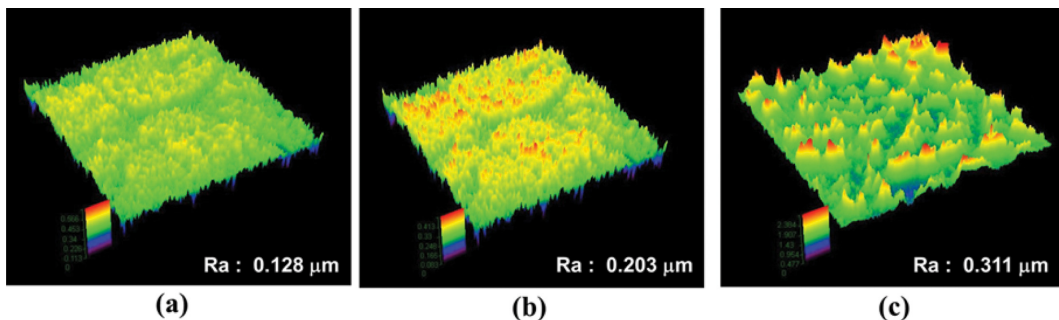


Fig. 5. Surface roughness of SiO₂-TiO₂ complex coating layer: (a) 30 wt%, (b) 40 wt%, (c) 50 wt%.

Table 1
Thermal stability of SiO₂-TiO₂ complex coating layer

Temperature (°C)	25	200	300	400	500
Whiteness (L)	88.2	88.4	87.8	88.9	89.1
Glossiness (GU/60°)	14.0	14.5	14.1	14.2	14.3

는 No. 24(54.8 μm)를 사용하였으며, 따라서 기재 표면에서 건조 및 경화에 따른 최종 코팅층은 최초 두께의 25%로 감소하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 코팅층이 건조 과정에서 최초 두께의 50% 감소되는 현상과 비교 시 실리카 무기 바인더와 이산화티탄 복합 코팅층이 건조 및 경화 과정을 통하여 폴리이미드 필름 위에서 매우 견고한 구조로 코팅되었음을 보여주고 있다.

Table 1은 폴리이미드 필름에 코팅된 복합 코팅층(실리카 무기 바인더 + 이산화티탄(30 wt%))의 열적 안정성 평가 결과를 보여주고 있다. 열적 안정성 평가는 온도 변화에 따른 복합 코팅층의 백색도와 광택도 변화를 관찰하였으며, 실험 조건은 각 설정 온도의 오븐(oven)에 코팅지를 장입하고 30분간 유지한 이후에 변화를 측정하였다. 결과에서 코팅층의 백색도는 상온에서 88.2이며, 400°C에서는 88.9으로 측정되어 온도 증가에 따른 백색도의 변화는 없는 것으로 확인되었다. 500°C 조건에서도 코팅층의 백색도는 89.1로 유지되는 것이 확인되었으나, 폴리이미드 필름 기재가 견디지 못하여 더 이상의 고온 실험은 진행되지 않았다. 기존 P사의 상용 라벨지에 대한 동일한 조건의 평가에서 백색도는 300°C 이후에 급격하게 감소하여 상온 대비 14%(300°C) 감소하는 반면에 복합 코팅층의 백색도는 300°C 이상에서도 감소하지 않는 우수한 물성을 보이는 것을 확인하였다. 또한, Table 1에서 온도에 따른 코팅층의 광택도 변화를 보여주고 있으며, 광택도(Gu, 60°)는 상온 14.0에서 400°C에서 14.2으로 변화가 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 기존 P사의 상용 제품의 광택도가 300°C 측정 후 상온 대비 40.7% 감소하는 것에 비하여 개발한 복합 코팅층이 매우 우수한 열적 안정성을 갖고 있음을 보여주고 있다. Fig. 7(a)는 온도에 따른 복합 코팅층 변화를 보여주고 있으며, 복합 코팅층은 육안 측정을 통해서도 400°C의 온도에서 백색도와 광택도의 변화가 없음을 확인하였다.

Table 2는 복합 코팅층(이산화티탄, 30 wt%)의 화학 안정성 평가 결과를 보여주고 있다. 평가는 인쇄회로기판(Rigid PCB) 제작 과정에서 실제 사용하는 화학물질을 사용하였으며, 강산성 용액은 pH 1.6, 강염기성 용액은 pH 13.6으로 측정되었다. 결과에서 복합 코팅층의 백색도는 강산성 용액(88.2 → 88.4)과 강염기성 용액(88.2 → 88.6) 모두에서 변화가 관찰되지 않았으며, 상용 제품의 경우에도 화학 안정성은 큰 변화없이 우수한 것을 알 수 있다. 또한 광택도 평가 결과(Table 2)에서도

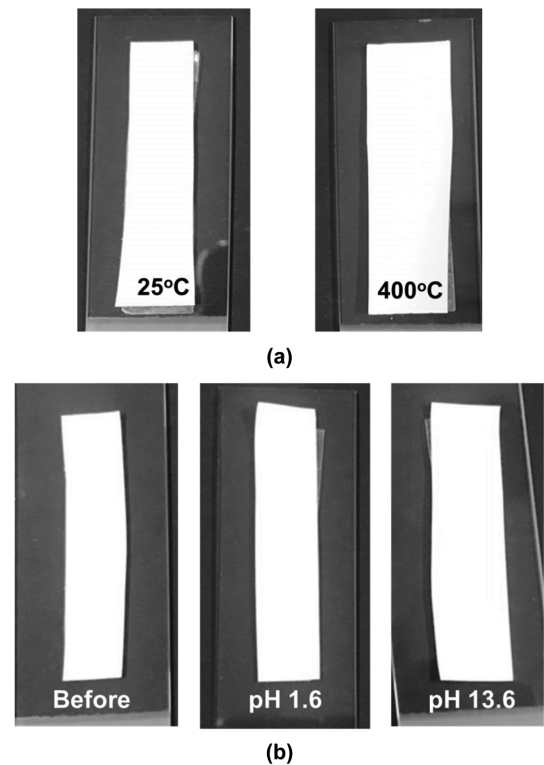


Fig. 7. (a) Thermal and (b) chemical stability of SiO₂-TiO₂ complex coating layer.

Table 2
Chemical stability of SiO₂-TiO₂ complex coating layer

pH	Before	1.6 (Acidic)	13.6 (Alkalic)
Whiteness (L)	88.2	88.4	88.6
Glossiness (GU/60°)	14.0	13.9	14.4

복합 코팅층은 강산성 용액(14.0 → 13.9)과 강염기성 용액(14.0 → 14.4)에서 우수한 결과를 보여주고 있으며, 육안 측정 결과(Fig. 7(b))에서도 백색도와 광택도의 변화는 관찰되지 않았다.

이상의 결과로부터 졸-겔 공정으로 제조한 실리카 무기 바인더와 이산화티탄을 혼합한 복합 코팅층은 폴리이미드 필름에서 우수한 밀착성과 열적·화학적 안정성을 갖는 것으로 확인되었다. 특히 열적 안정성 평가에서는 500°C까지도 코팅층 백색도와 광택도의 변화가 없이 기존 제품보다 우수한 물성을 보이는 것을 확인하였으며, 따라서 향후 바코드 인쇄를 통한 복합 코팅층의 인쇄적 성 평가에 대한 실험을 진행할 예정이다.

4. 결 론

인쇄회로기판(PCB)에 사용이 가능하고, 열적·화학적 안정성이 우수한 기능성 라벨지 개발을 진행하였다.

300°C 이상의 고온에서 기제로 사용되는 폴리이미드 필름과 우수한 밀착성과 내마모성을 갖추어야 하기 때문에 실리카 무기 바인더를 졸-겔 공정으로 제조하여 사용하였으며, 바코드 인쇄를 위한 백색의 코팅층을 위하여 이산화티탄을 혼합하여 복합 코팅액을 제조하였다. 실리카 무기 바인더는 폴리이미드 필름과 우수한 밀착성을 갖추고 있으며, 알루미늄 알콕사이드 첨가에 따라 우수한 내마모성을 갖는 것을 확인하였다. 복합 코팅액은 이산화티탄 30 wt% 첨가 시 우수한 백색도와 은폐성을 갖는 것이 확인되었으며, 그 이상 첨가 시 코팅층의 밀착성이 저하되고 표면 거칠기 증가에 따른 코팅층 균일성 또한 저하되는 것을 확인하였다. 폴리이미드 필름 위의 복합 코팅층(실리카 무기 바인더 + 이산화티탄 30 wt%)은 건조 및 경화 후 최초 두께 대비 75 % 감소한 ~13 μm 두께로 존재하며, 백색도는 88.2과 광택도는 14.0으로 측정되었다. 열적 안정성 평가 결과 상온 대비 400°C 고온 처리 후 백색도는 88.9, 광택도는 14.2로 큰 변화가 없었으며, 이러한 결과는 300°C 처리 후 상용 제품의 결과(백색도 14 % 감소, 광택도 40 % 감소) 보다 우수한 특성을 갖는 것을 확인하였다. 화학 안정성 평가에서도 산성(pH 1.6) 세정제 처리 후 백색도는 88.4, 광택도는 13.9로 변화가 없으며, 염기성(pH 13.6) 세정제 처리 후에도 백색도는 88.6와 광택도는 14.4로 변화가 관찰되지 않아서 우수한 화학적 안정성을 갖는 것을 확인하였다. 이러한 결과로부터 실리카 무기 바인더와 이산화티탄 무기 안료를 혼합한 복합 코팅액을 제조하여, 폴리이미드 필름에 형성한 코팅층이 우수한 밀착성과 내마모성 및 백색도와 광택도에 대한 열적 · 화학 안정성을 갖추고 있음을 확인하였다.

References

- [1] G.H. Lee, E.Y. Yoon and S.J. Lee, "A study on the thermal distribution of PCB in the reflow soldering process with thermal-air flow simulation", J. of the Korean Association of Defense Industry Studies 16 (2009) 174.
- [2] S.K. Kim, Y.S. Son and J.Y. Shin, "Analysis on the effect of operating conditions on the thermal response of electronic assemblies during infrared reflow soldering", Korean Society of Mechanical Engineers Autumn Conference (2009) 1063.
- [3] J.R. Williams, "Lead-free implications for barcode labels", POLYONICS, INC. 867 Rt 12, Westmoreland, from <http://www.polyonics.com>.
- [4] A. Dennison, "The ideal balance of high temperature performance and function", Label and Packaging Materials (2014).
- [5] Y.J. Kim, "A study on corrosion resistant characteristic of Zn coating solution by inorganic-inorganic binder" (Korea Polytechnic University, Siheung, 2011).
- [6] Y.B. Ryu and M.S. Lee, "Infrared spectra and thermal properties of sodium silicate solutions", Korean J. Metals & Mater. 56 (2018) 72.
- [7] J.H. Yang and K.C. Song, "Effect of types of colloidal silica on properties of hydrophilic coating films", Korean Chem. Eng. Res. 55 (2017) 830.
- [8] S. Islam, P.A. Rahman, Z. Othaman, S. Riaz, M.A. Saeed and S. Naseem, "Preparation and characterization of crack-free sol-gel based SiO₂-TiO₂ hybrid nanoparticle film", J. Sol-gel Sci. & Technol. 68 (2013) 162.
- [9] B.R. Yoo and D.E. Jung, "Recent progress in the development of Si-based materials for organic-inorganic hybrid system", Polymer Science and Technology 20 (2009) 124.
- [10] T.Y. Kim, J. Jung and I.D. Jung, "Preparation of superhydrophobic surfaces using agglomeration control of silica nanoparticles by organic solvent and non-fluoride self-assembled monolayers", Adhesion and Interface 16 (2015) 116.
- [11] B.S. Bae, "Inorganic-organic hybrid materials coating", Polymer Science and Technology 12 (2001) 716.