

합금도금강판 내식성 향상을 위한 UV 경화형 유무기 하이브리드 코팅

박종원^{1,†} · 이경황¹ · 나현주¹ · 박병규² · 남영섭² · 홍신협²

¹포항산업과학연구원 울산플랜트연구본부

²에이케이켐텍 표면처리부

(2012년 11월 12일 접수; 2012년 12월 18일 수정, 2012년 12월 21일 채택)

Improvement of anti-corrosive property for alloy plated steel sheet by UV curable organic-inorganic hybrid coatings

Jongwon-Park^{1,†}, Kyunghwang-Lee¹, Hyunju-Na¹, Byungkyu-Park², Yeungsub-Nam², and Shinhyub-Hong²

¹Ulsan Industrial Technology Research Center, Research Institute of Industrial Science & Technology

²Surface Treatment Department, AK ChemTech Co., Ltd.

(Received November 12, 2012; Revised December 18, 2012; Accepted December 21, 2012)

According to its merits about high curing speed and low emission of volatile organic compounds, UV curable inorganic-organic coating technology has been developed as an alternative for toxic and carcinogenic chromate-based treatments for years. It is consistently observed that ultra-thin films offer excellent corrosion protection as well as paint adhesion to metals. Based on the tetra-ethylorthosilicate(TEOS) and methacryloxypropyl trimethoxysilane(MPTMS), inorganic sol was synthesized and formed hybrid networks with UV curable acrylic monomer, 6-hexanediol diacrylate(HDDA), trimethylolpropane triacrylate(TMPTA), pentaerythritol triacrylate(PETA). Several methods were used to test their properties such as salt spray test, potentiodynamic measurement, tape peel test, etc. It was shown that anti-corrosive property and stability of storage were affected by the molecular ratios of inorganic and organic compounds. It was not only the stability of storage, but had a excellent anti-corrosive, paint adhesive, and anti-solvent properties in a final molar ratios of 0.6/0.04/0.86/0.005 (TEOS/MPTMS/Acetone/HNO₃) and 0.08/0.106/0.081/0.02 (TMPTA/HDDA/PETA/photo initiator).

Keywords : UV curable, hybrid coating, anti-corrosive, temporary corrosion protection, alloy plating coated steel

1. 서 론

합금도금 표면처리 강판은 자동차, 가전 및 전자재 산업 등에서 내식성 개선을 위한 목적으로 그 수요가 점차 증가하고 있다. 특히, 표면처리 강판 중에서도 아연도금강판은 내식성 개선을 목적으로 최근에는 아연 중심의 2원계 및 3원계 합금 도금강판이 국내외적으로 상업화가 증가하고 있다. 아연합금도금 강판은 모재(탄소강)를 부식으로부터 보호하기 위한 대표적인 방식도금강판으로 널리 알려져 사용되고 있다. 그러나 사용 및 보관 환경이 점차 가혹해짐에 따라 보다 우수한 내식성, 일시 방청성, 보관 중의 변색 억제 등을 위한 표면처리 강판의 후처리 기술이 필요하게 되었

다.¹⁻²⁾

현재 강판의 피복처리는 하층에 처리되는 크로메이트 피막과 상층의 수지 처리로 나눌 수 있으며 크롬은 내식성 향상에 기여하고 상층의 수지는 크롬 용출 억제 기능 및 도장성 향상에 기여한다. 크롬산 염은 금속표면처리 업계에서 가장 넓게 이용되는 약품 중에 하나이다. 크롬산은 크롬도금 용액의 주성분으로, 크롬산 염은 우수한 부식 억제제로서 아연, 카드뮴, 구리, 알루미늄, 은 등의 방청, 변색방지의 크로메이트 화성피막제(CCC / Chromate Conversion Coating)나 에칭제, 워셔프라이며, 양극산화처리의 봉공제 및 인산염 피막의 방청제 등에도 사용된다. 크롬은 용해도가 낮으므로 검출되는 농도는 대개 저농도이지만 오염되었을 경우 심각한 영향을 일으킨다. 6가크롬은 대표적인 발암물질로써 인체

[†] Corresponding author: jw.park@rist.re.kr

에 강한 독성을 가지고 환경오염을 유발하여 환경규제 물질로 분류된다. 세포막을 쉽게 통과하여 적혈구에 침투되며 세포안으로 들어오면 3가로 환원되어 생화학적 인 변화를 거쳐 소화기계암, 폐암, 피부암, 구토, 설사, 호흡곤란, 의식불명, 발열 등을 일으킨다. 소화관으로부터 흡수되어 주로 뇨로 배설된다. 6가크롬은 환원제를 사용하여 3가로 환원시키면 독성이 감소하며 중성 pH에서 불용성 수산화물로 변한다. 소독한 음용수에서 3가크롬은 존재하지 않으며, 수중의 크롬은 6가 형태로 존재한다.³⁻⁴⁾

따라서 각 철강사에서는 이에 대비하기 위하여 무크롬 피막처리에 대한 연구가 활발히 진행되어 가전용 박막처리용으로 최근에 개발을 완료하여 일부 제품에 적용하고 있다. 그러나 아직은 본격적으로 크롬에 대한 규제가 실시되지 않고 품질과 비용면에서 크롬산 대비 만족할만한 수준은 아닌 것으로 평가되고 있어 이의 사용은 크게 확대되지 않고 있는 실정으로 품질 성능의 향상 및 원가절감을 위한 연구가 계속 진행되고 있다. 향후 환경규제 움직임이 강화되면 단시간내에 무크롬피막이 모든 제품에 적용될 것으로 기대된다. 무크롬 피막을 통해서도 동일한 내식성을 확보하기 위해서는 무해한 무기물의 첨가가 필수적이며 특히 나노 복합 구조를 이루어야만 대체 소재로 적용이 가능하다.⁵⁻¹⁰⁾

무기물의 화학제조 방법인 졸-겔 공정(sol-gel process)을 이용한 유무기 하이브리드 재료 개발은 80년도 초에 처음 제안되어 ORMOSIL(organically modified silicate), ORMOCER(organically modified ceramic), CERAMER(ceramic polymer), POLY CERAM(polymer ceramic)등으로 불리며 다양하게 적용되어 왔다. 이후 최근 나노기술의 부각과 함께 무기 세라믹의 강도, 내열성 및 안정성과 유기 고분자의 경량, 연성, 탄성 및 성형성 등의 특성이 보완되는 새로운 재료의 개발이 가능해졌다. 무기성 졸-겔 피막은 금속과 유기 도장간의 우수한 접착성을 제공하나, 높은 균열발생 가능성 때문에 적당한 방식능력을 제공하지는 못하나 유기 요소의 추가로 상부 코팅에 대한 적응성이 향상되고 두꺼운 피막형성이 가능하여 부식매체에 대한 효과적인 방식능력을 제공한다.¹¹⁻¹⁷⁾

하이브리드 졸-겔 코팅은 우수한 방식성능과 효과적인 자기치유 작용 때문에 크로메이트 기반의 전처리를 대체하는 친환경적인 방법이라 할 수 있으며, 알루미늄 합금이나 스테인레스강과 같은 철강제품이나 건축용 도료분야에 최근 많은 연구가 이루어지고 있으나, 철강사 제조 공정에 있어 합금도금강판의 표면에 코팅 후 열풍 건조로에서 PMT(peak metal temperature)를 250℃이상으로 가열하여 경화하여야 내식특성을 나타낼 수 있는 단점이 있다. 또한, 열경화시 발생하는 코

팅 용액으로부터의 VOCs(volatile organic compounds)는 환경오염의 문제를 야기 시킬 수 있다. 이러한 단점은 철강사의 제조 공정에 있어 생산 속도 저하는 물론 생산 단가의 상승이라는 부담을 안겨 줄 수 있다.¹⁸⁻¹⁹⁾

자외선 경화의 장점은 휘발성 유기 용제를 배출시키지 않아 열 건조 경화방식보다 환경 친화적이며 경화속도가 빠르기 때문에 생산성을 향상시키며 저온에서도 경화가 가능하며 필요한 부분에만 에너지 투입이 가능하므로 에너지 절감이 용이하다는 장점이 있다.²⁰⁻²²⁾ 본 연구에서는 이러한 장점을 기반으로 내식성 및 상부 도장 밀착력 등의 특성을 확보하기 위하여, Silica 무기물을 기반으로 UV 경화형 하이브리드 코팅 용액을 제조하여 철강사 제조 공정의 문제를 해결하고 물성을 확보하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 UV 경화형 코팅 용액 제조

유무기 하이브리드 코팅을 제조하기 위해, 무기 성분으로 tetra-ethylorthosilicate(TEOS, Sigma Aldrich., USA, 99%)를 주재료로 사용하고, 유기물과의 networking을 위한 실란 커플링제로서 methacryloxypropyl trimethoxysilane(MPTMS, Sigma Aldrich., USA, 98%)을 기반으로 acetone(SAMCHUN Inc., Korea)을 용제로 하여 0.1N nitric acid(SAMCHUN Inc., Korea)을 촉매로 24시간 교반하여 무기 sol을 제조하였다. 무기 성분으로 아크릴계 UV 경화 수지로서 2관능 모노머로 1,6-hexanediol diacrylate(HDDA, Gelest Inc., USA, 98%), 3관능 모노머로 trimethylolpropane triacrylate(TMPTA, Sigma Aldrich., USA, 99%), pentaerythritol triacrylate(PETA, Gelest Inc., USA, 98%), 그리고 광개시제로 1-hydroxycyclohexyl phenyl ketone(Sigma Aldrich., USA, 99%)을 혼합하여 제조하였다.

Table 1. Blending ratios for the fabrication of inorganic sol
[unit: mol]

Samples	TEOS	MPTMS	Acetone	0.1M HNO ₃
①	0.48	0.2	0.86	0.005
②	0.6	0.2	0.86	0.005
③	0.6	0.4	0.86	0.005
④	0.48	0.4	0.86	0.005
⑤	0.48	0.2	1.2	0.005

Table 2. Blending ratios for the fabrication of UV curable organic compound

Samples	[unit: mol]			
	TMPTA	HDDA	PETA	Photo-initiator
①	0.08	0.106	0.081	0.02
②	0.12	0.15	0.10	0.02

상기의 무기 성분 및 유기성분을 혼합비율별로 제조하여 용액 특성을 평가하고자 하기 표 1 및 2의 비율별로 용액을 제조하고, 각각을 1:1로 혼합한다. 내식성 증대를 위해 10nm 크기의 SiO₂ 나노입자를 각각의 용액에 5wt% 첨가하여 코팅용액을 제조하여 각각의 내식 특성을 평가하였다.

2.2 코팅 및 경화 공정

코팅 용액을 평가하기 위한 모재로서는 갈바륨 강판 (55%Al-43.3%Zn-1.6%Si, 1.5t)를 사용하였다. 제조된 UV 경화형 코팅 용액은 dip coater(KSV-LM, ck trade INc., Korea)를 사용하여 갈바륨 강판에 0.1mm/sec의 속도로 코팅한 후, UV 경화기(EIT Inc., USA)를 이용하여 경화하였다. 사용된 UV lamp는 three medium pressure Hg lamp(120W/cm)를 사용하였으며, 컨베이어 벨트 속도는 2m/min으로 고정하여 사용하였다. 광량은 코팅 하기 전 UV radiometer(EIT Inc., USA)를 사용하여 UV-A 1072.582mJ/cm² 및 157.780mW/cm²를 확인하고 코팅을 진행하였다.

2.3 특성 평가 방법

본 실험에서는 코팅된 피막의 두께 및 형상을 관찰하기 위해 glow discharge spectrometer(GDS, EVans Inc., USA) 및 transmission electron microscope(TEM, Technai 200 G2, FEI, Netherlands)를 사용하였으며, 화학 구조의 변화를 관찰하기 위해 FT-IR spectroscopy(Perkin Elmer, Germany)를 사용하여 400cm⁻¹에서 4000cm⁻¹의 범위에 대한 파장을 분석하였다.

코팅된 갈바륨강판의 내식특성을 조사하기 위해 전기화학적 부식특성 평가 및 SST(salt spray test)를 진행하였다. 시험 용액으로는 0.5M NaCl 수용액을 기반으로 potentiostat/Galvanostat(EG&G model 273A, USA)를 사용하여 유효면적 10 X 10mm의 분극시험용 시험편을 분극 cell에 고정시키고 기준전극을 포화카로멜(Saturated calomel electrode, SCE)전극을 사용하고, 보조전극을 고 밀도 탄소봉으로 하여, scan rate 0.5mV/sec 아래서 분극 곡선을 측정하였다. SST는 염수분무시험기(ASCOTT Inc., U.K)를 사용하였다. 시험편은 연직선에 대하여 20°로 기울어지게 하였으며, 분무실내의 분위기 온도는 35±

2°로 유지하면서 5%중성염수를 분무하여 시험을 실시하였다. 시험편의 표면 관찰은 12시간 간격으로 관찰하였으며 72시간까지 시험하였다. 시험편의 내식성에 대한 평가는 촬영한 사진을 통해 백청의 생성 시간과 넓이로 판단하였다.²³⁾

또한, 갈바륨강판 표면 위에 피복된 코팅층의 부착성을 조사하기 위하여 널리 사용되고 있는 tape peel test를 사용하였다. UV 경화형 하이브리드 코팅이 피복된 갈바륨강판에 분체도장을 실시한 후 10 X 10mm면적에 1mm 간격으로 cross cut을 한 후, 3M 테이프를 붙여서 떼어내었을 때 코팅층의 박리 여부로서 부착성을 평가하였다.²⁴⁾

3. 연구결과 및 고찰

UV 경화형 하이브리드 용액의 경화에 있어 적절한 UV 파장대의 lamp를 채택하였는지 검증하기 위해 3+a 용액의 UV 흡수정도를 UV-Vis spectroscopy 측정을 통해 검토하여 그 결과를 하기의 그림 1에 나타내었다. 하기의 UV 흡수 peak를 보면, 전 흡수 영역이 290 nm 이하로 UV-A 영역에서 흡수가 일어나고 있음을 알 수 있으며, 이를 통해 실험에 사용하고 있는 UV-A Hg lamp로 UV 경화를 시키는 것이 타당함을 검증할 수 있었다.

또한, 화학적 구조를 분석하기 위해 FT-IR을 이용하여 UV 경화 전/후의 화학적 구조의 변화를 관찰하였다. 경화전의 용액을 자연건조를 통해 필름화하여 관찰한 FT-IR peak를 보면 3650cm⁻¹의 영역에서 무기 sol에서 기인하는 넓은 -OH peak를 관찰할 수 있으며, 1297cm⁻¹에서 Si-CH₃, 1067cm⁻¹에서 Si-O-Si의 peak를 관찰할 수 있고, 948 cm⁻¹에서 Si-OH 및 1090cm⁻¹, 766cm⁻¹에서 Si-O 결합 peak를 관찰할 수 있었다. 또한 UV 수지에서

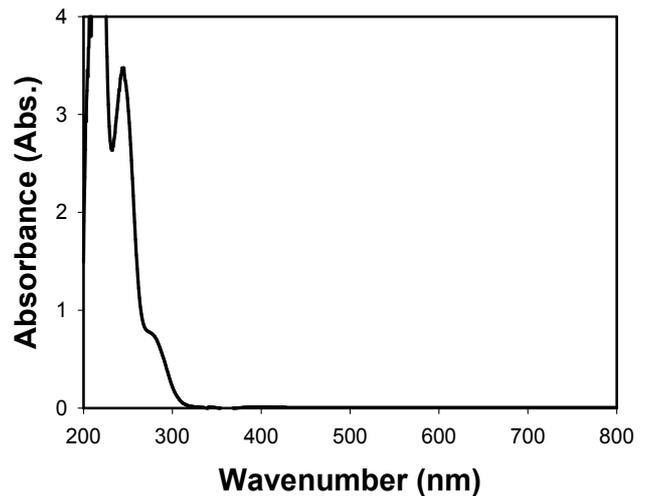


Fig. 1. UV-vis spectroscopy for UV curable hybrid solution

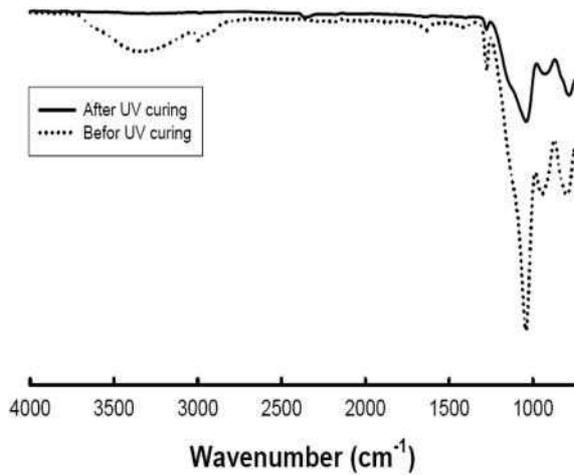


Fig. 2. FT-IR spectrum for UV curing befor/after of UV curable hybrid solution.

기인하는 1695cm^{-1} 에서 C-O결합 peak를 관찰할 수 있고 UV경화 site인 1635cm^{-1} 에서 C=C결합 peak를 관찰할 수 있었다. 이는 blending 기법으로 인해 하이브리드 용액에서 무기 성분 및 유기 성분이 잘 혼합이 되어져 있음을

확인 할 수 있었으며, 이 용액을 UV 경화를 시켜서 FT-IR peak를 관찰해 보면 경화가 완전하게 이루어짐으로 인해 무기 sol상의 -OH peak와 UV경화 site인 C=C가 사라지는 것을 확인할 수 있으며, Si-OH peak 또한 광개시제의 UV 경화반응에 의해 일부가 반응으로 줄어들음을 확인할 수 있으며, 이를 통해 UV 경화과정에 있어 의도하였던 하이브리드 용액의 경화반응이 잘 일어나고 있음을 확인할 수 있었다.²⁵⁾

제조된 코팅용액을 갈바륨 강판에 dip coating법으로 코팅 한 후 UV 경화하여 코팅 단면을 관찰하여 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

코팅 단면의 두께 관찰 결과 1~7.5um로 관찰되며, 코팅 피막은 전체적으로 유기물의 혼합으로 인해 무기물 단독으로 구성되는 피막보다 두껍게 도포가 되는 것을 확인할 수 있으며, 전체 용액 조성 중 유기물의 함량이 상대적으로 적은 3+a의 경우 일시방청용 코팅 피막으로서 적합한 피막 두께를 보이는 것을 확인할 수 있다.

일반적으로 일시방청용으로 사용되는 코팅 피막의 경우 1um 정도가 범용적으로 채택되므로 후막형 코팅 피막은 상용 적용이 어려울 것으로 판단된다.

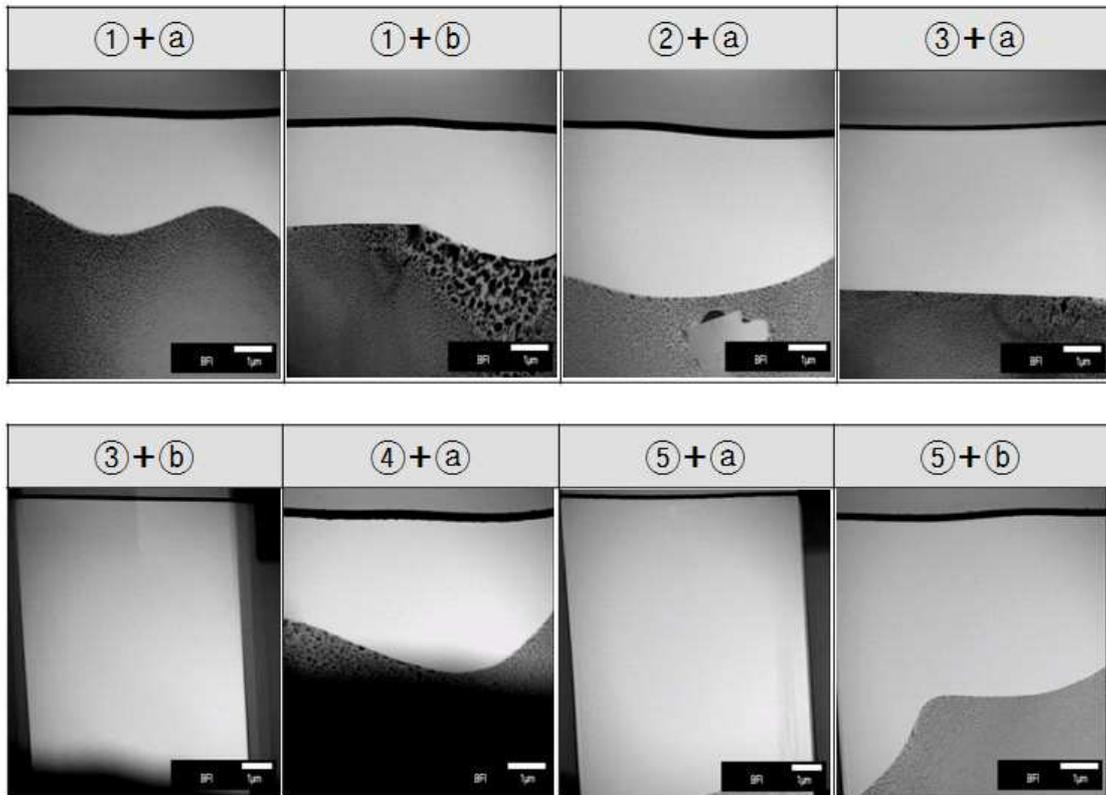


Fig. 3. FIB-TEM results for the cross-section of UV curable hybrid coating layers.

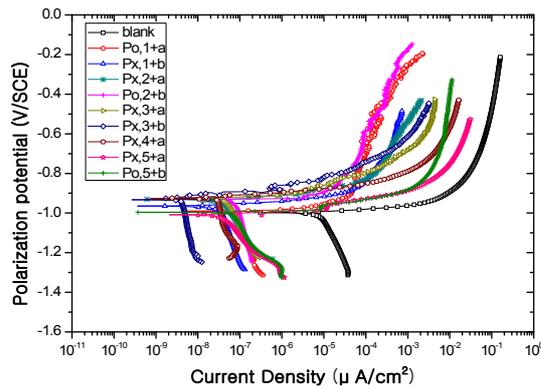


Fig. 4. Potentiodynamic results for UV curable hybrid coating layers.

Table 3. Results of potentiodynamic polarization tests of different samples in 3.0wt%NaCl solution

Specimen	E _{corr} (V)	I _{corr} (Acm-2)
substrate	-1.001	4.71×10 ⁻⁶
Po, 1+a	-0.99	3.61×10 ⁻⁸
Px, 1+b	-0.963	3.52×10 ⁻⁹
Px, 2+a	-0.936	2.32×10 ⁻⁸
Po, 2+b	-0.928	4.57×10 ⁻⁸
Px, 3+a	-0.926	1.46×10 ⁻⁸
Px, 3+b	-0.933	1.6×10 ⁻⁹
Px, 4+a	-0.958	4.99×10 ⁻⁸
Px, 5+a	-1.008	6.32×10 ⁻⁹
Po, 5+b	-0.999	4.6×10 ⁻⁸

상기의 용액들로부터 제조된 도막에 대해 기초적인 부식 성능을 평가하기 위해 부식전위를 관찰하여 내식성을 관찰하는 양분극 실험을 실시하여 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 10nm SiO₂ 나노입자를 첨가한 경우를 Po, 첨가하지 않은 경우를 Px로 표시하여 각각을 전부 평가하였다. 모재가 동일한 갈바륨강판이므로 E_{corr}은 -1.0V로 거의 동일하며, Px, 5+a의 경우 I_{corr}의 값이 약 5.7E⁻⁹ μA/cm²으로 매우 좋은 내식성을 가지는 것으로 나타났다. 이는 Px 5+a의 경우 피막이 형성된 두께가 매우 두꺼워 부식성 인자들이 침투하기 어려우므로 내식성이 매우 뛰어난 것으로 나타난 것으로 판단된다.

또한 대부분의 시험편들이 전기화학적 분극 시험 결과 모재보다 모두 우수한 내식성을 나타내었다.

이러한 결과는 salt spray test (SST)에서도 동일하게 나타났는데, 72시간 동안 SST 결과 모든 UV 경화 하이브리드 코팅 강판이 양호한 내식성을 나타내었다(그림 5 참조). SST 평가 전/후를 비교해 볼 때 아무것도 코팅되지 않은 모재의 경우 72시간 후 흑청 및 백청이 심각하게 발생된 것을 확인할 수 있었으나, UV 경화형 피막을 코팅한 시험편의 경우 흑청 및 백청이 거의 발생되지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이는 갈바륨강판의 일시 방청 기능을 하는 방청 코팅 용액으로서의 내식성은 전부 만족함을 확인할 수 있었다.

상기에 무기물 및 유기물의 몰 비율별로 제작된 용액의 내식성을 확인한 결과 일시 방청 용액으로서의 내식 특성은

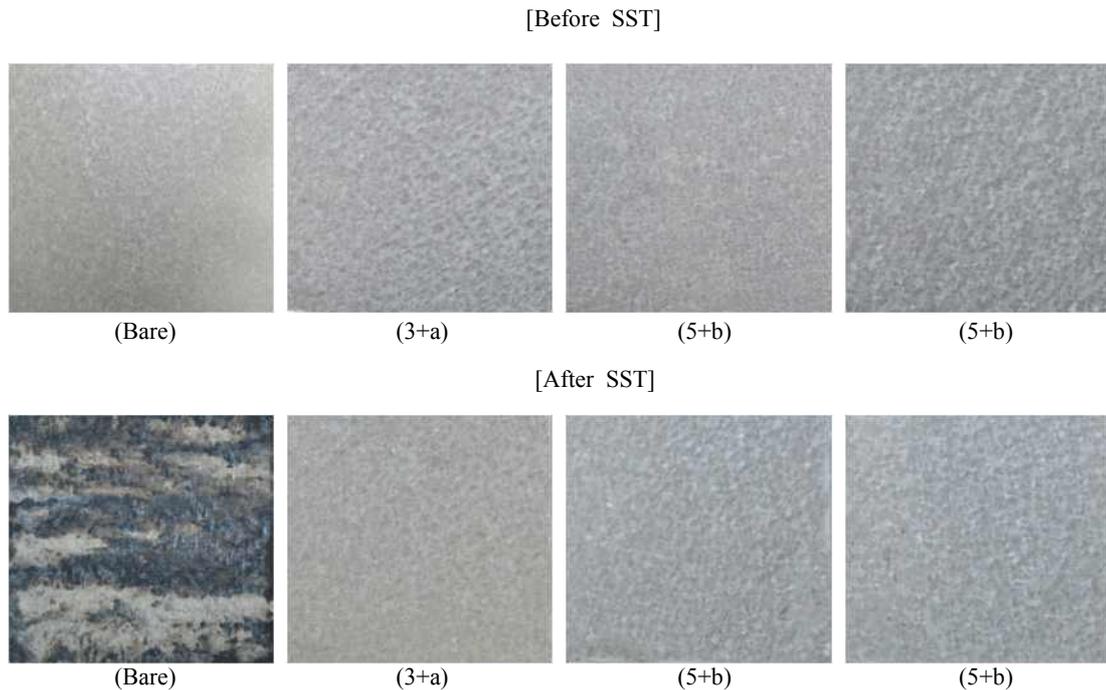


Fig. 5. SST results for UV curable coating layers (before and after 72hrs test).

Table 4. Storage stability according to ratios of inorganic-organic components

Blend	Stability								
① + (a)	gelation	② + (a)	gelation	③ + (a)	good	④ + (a)	good	⑤ + (a)	gelation
① + (b)	gelation	② + (b)	gelation	③ + (b)	good	④ + (b)	gelation	⑤ + (b)	gelation

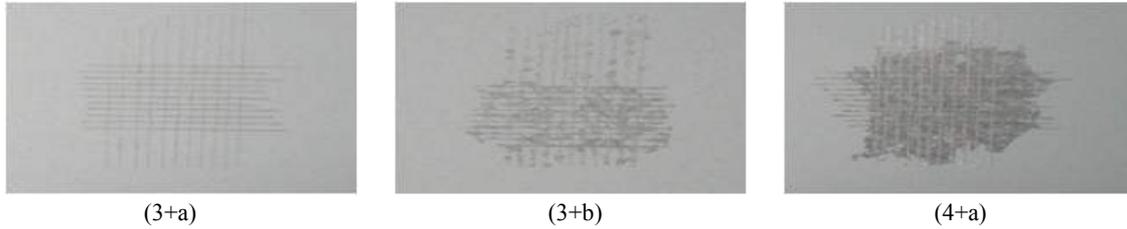


Fig. 6. Tape peel test results after spray paint on the UV curable hybrid coating layers

모두 만족함을 확인할 수 있었다. 그러나 이러한 용액이 실제 공정에서 적용되기 위해서는 저장안정성이 확보되어야 한다. 실제 유기 무기 복합 용액의 경우 몰 비율에 따라 초기에는 물성이 매우 뛰어나나, 저장 시간이 경과할수록 용액의 조성에 따라 무기물이 가수분해 되어 겔화가 발생할 가능성이 매우 높다. 따라서 상기에 평가한 용액들을 1개월 동안 실온에서 저장하여 겔화 발생에 대해 경시변화를 관찰 하여 그 결과를 표 3에 나타내었다. 표 3의 조건에 따라 용액을 배합한 결과 blending된 하이브리드 용액의 저장 안정성이 배합 비율에 따라 매우 다르게 나타남을 확인할 수 있었다.

Sol 제조를 위한 전구체인 TEOS의 배합 함량에 따라 TEOS 함량이 낮을수록 하이브리드 용액에서 gelation 현상을 관찰할 수 있었는데, 이는 TEOS의 함량이 낮아지므로 상대적으로 MPTMS의 함량이 높아져 무기 및 유기성분을 networking 시키는 실란 커플링제가 TEOS의 양이 적을 경우 UV 경화형 수지인 울리코머 및 모노머와 반응량이 많아져서 수지를 gelation화 시키는 것으로 판단된다. 또한, TEOS의 함량이 3번 조건보다 높아지면, 하이브리드 용액에서의 무기물 함량이 높아지므로 추후 형성되는 코팅 피막을 rigid화 시켜 코팅막 crack 등을 유발 시키므로, 적절하지 않다고 판단되며, 따라서 가장 좋은 조건은 3번의 제조 비율로 무기 성분이 제조 되었을 경우가 용액 저장 안정성에서 가장 우수한 것으로 판단된다.

도금강판의 내식성 향상을 위해 적용되는 내식성 피막의 경우, 가전 및 건자재의 용도로 적용될 때 내식성 피막에 분체도장으로 최종 마감 처리를 하게되며, 이를 위해 내식성은 물론 분체 도장에 대한 밀착력이 매우 우수하여야 한다. 이를 확인하기 위해 저장 안정성 평가에서 양호하다고 판정되었던 3종류의 용액에 대해 분체 도장 후 도장 밀착성을 평가하여 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 분체도장 후 백금 밀착성 평가 결과 및 MEK 내용제성 평가 모두 3+a의

코팅 피막의 경우 ASTM D3359의 기준으로 class 5B로 매우양호하게 나타났으나, 3+b 및 4+a는 class 1B 및 0B로 부적합한 것으로 나타났다.²⁴⁾ 이는 하이브리드 용액을 구성하는 무기 성분과 유기 성분 양쪽 모두에 원인이 있는 것으로 판단되며, 무기 영역에서는 sol 합성시 첨가되는 실란 커플링제의 양이 적절하지 않아 하이브리드 용액 형성시 무기-유기 영역간의 충분한 networking을 형성하지 못하는 4의 조성에 문제가 있는 것으로 판단되고, 유기영역에서는 3관능 모노머의 양이 상대적으로 많음으로써 코팅 피막의 물성에 악영향을 미치는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 갈바륨 강판의 일시 방청성 및 기능성 향상을 위해 사용되는 기존 크로메이트 처리를 대체하는 친환경적인 UV 경화형 하이브리드 코팅 용액을 제조하고 실제 철강사에 적용하기 위한 기초 물성을 평가하기 위해 내식성, 저장안정성 및 분체도장성을 검토하였다.

본 연구에서 얻어진 주요 결과를 정리하면 아래와 같다.

- (1) Si계의 무기물과 acryl계의 유기물은 silane coupling제에 의해 서로 화학적으로 결합한 구조로 제조되었으며, 용액 물성을 검토하기 위해 무기물 및 유기물의 몰 비율을 달리하여 다양한 용액을 제조 검토하였다.
- (2) 갈바륨강판의 표면 dip coater를 이용하여 코팅된 용액은 1.0 μm에서 7.5 μm의 다양한 두께로 코팅되었으며, 이는 각 용액의 배합 비율 중 유기물의 함량이 증가할수록 두께가 증가함을 확인할 수 있었다.
- (3) 내식성 평가 결과 모든 배합비율의 코팅 용액은 매우 우수한 내식성을 나타내었으며 갈바륨강판의 후처리 코팅에서 요구되는 SST 평가 72시간 후 백청 발생

비율 5%의 기준을 전부 만족하였으나, 실제 현장에서 사용되기 위한 저장안정성 평가 결과 3+a, 3+b 및 4+a의 조성에 대한 용액이 1개월 저장 후 겔화가 발생되지 않음을 확인할 수 있었다.

- (4) 겔화가 발생되지 않은 3종류의 용액에 대해 분체 도장 밀착성을 평가한 결과 3+a의 용액에서 분체 도장의 밀착성이 매우 우수함을 확인할 수 있었다.

이러한 결과를 토대로 갈바륨강판의 크로메이트 처리를 대체할 수 있는 용액으로 3+a 조성의 UV 경화형 하이브리드 용액이 적합함을 확인할 수 있었다. 이는 기존 크로메이트 용액을 대체하는 친환경적인 방법이며, 철강사 제조공정에서 기존 열경화 공정을 UV 경화 공정으로 대체함으로써 VOCs 발생 억제는 물론 에너지 절감에도 큰 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 울산광역시와 교육과학기술부의 지방과학연구단지 연구개발사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. M. S. Lee and N. J. Jo, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **12**(6), 643 (2001).
2. S. Kwak, J. Shim, H. G. Yoon, and K. H. Lee, *Polymer Sci. Tech.*, **14**(2), 181 (2003).
3. J. D. Mackenzie and E. P. Bescher, *J. Sol-Gel Sci. Tech.*, **19**, 23 (2000).
4. G. Schottner, K. Rose and U. Posset, *J. Sol-Gel Sci. Tech.*, **27**, 71 (2003).
5. J. K. Park, K. C. Song, H. U. Kang and S. H. Kim, *Hwahak Konghak*, **40**(6), 735 (2002).
6. S. K. Oh, *Ph.D Thesis, Preparation of UV-curable organic-inorganic hybrid hard coating solutions by sol-gel method, Kungyang Univ.* (2009).
7. O. H. Park, Y. J. Park, Y. K. Choi, B. S. Bak, *J. Sol-Gel Sci. Tech.*, **16**, 235 (1999).
8. Y. J. Eo, D. J. Kim, S. J. Park, *Sol-Gel Sci. Tech.*, **13**, 409 (1998).
9. C. J. Brinker and G. W. Scherer, *Sol-Gel Science: The physics and chemistry of sol-gel processing*, Academic Press, San Diego (1990).
10. B. Wessling, *H. S. Nalwa(Ed.), Handbook of Nanostructured materials and nanotechnology*, Academic Press, New York (1999).
11. K. Rose, S. Amberg-Schwab, M. Heinrich, *N. Auner, J. Weis(Eds.), Organosilicon chemistry IV*, VCH Weinheim, Germany (1999).
12. C. Sanchez, B. Julian, P. Belleville and M. Popall, *J. Mater. Chem.*, **15**, 3559 (2005).
13. D. Wang and G. P. Bierwagen, *Prog. Org. Coat.*, **64**, 327 (2009).
14. H. Wang and R. Akid, *Corros. Sci.*, **49**, 4491 (2007).
15. H. E. Bergna and W. O. Roberts, *Surf. Sci.*, **131**, 139 (2006).
16. P. Ocon, A. B. Cristobal, P. Herrasti and E. Fatas, *Corros. Sci.*, **47**, 649 (2005).
17. Z. W. Wicks, F. N. Jones and S. P. Pappas, *Inorganic coatings: Science and Technology*, Wiley-Vch, New York (1994).
18. S. Tasic, B. Bozic and B. Dunzie, *Prog. Org. Coat.*, **51**, 321 (2004).
19. P. Favia, G. Cicala, A. Milella, F. Palumbo, R. Rossini and R. Agostino, *Surf. Coat. Technol.*, **169**, 609 (2003).
20. W. Que, Y. Zhou, Y. L. Lam, Y. C. Chan and C. H. Kan, *Thin Solid Films*, **358**, 16 (2000).
21. Y. J. Ji, Y. J. Shin, Y. R. Shin, J. Y. Kim, Y. S. Yoon and J. S. Shin, *J. Adhesion Interface*, **7**, 234 (2006).
22. ASTM G3-89, Standard practice for conventions applicable to electrochemical measurement in corrosion testing.
23. ASTM G3359, Standar test methods for measuring adhesion tape test.
24. P. Kiruthika, R. Subasri, A. Jyothirmayi, K. Sarvani, and N. Y. Hebalkar, *Surf. Coating Tech.*, **204**, 1270 (2010).