

## Non-Chrome Magni 565 코팅 피막의 특성과 내식성

김상수<sup>†</sup> · 김무길 · 정병호\* · 문명준\*\*

<sup>†</sup>광림 C & T

\*부경대학교 신소재공학부 금속시스템공학과

\*\*부경대학교 화학공학부 공업화학과

## Corrosion Resistance of Non-Chrome Magni 565 Coating and Characteristics of Its Coating Film

Sang-Soo Kim<sup>†</sup>, Moo-Gil Kim, Byong-Ho Jung\*, Myung-Jun Moon\*\*

<sup>†</sup>Kwang Rim C & T Co.

\*Dept. of Metal System Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

\*\*Dept. of Industrial Chemistry Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

**Abstract** In addition to the basic properties of the base and top coating agents, corrosion resistance of non-chrome magni 565 coating and characteristics of coating film when coated to steel substrate were studied. The system had a good wettability at room temperature. Moreover, both the contact angle and surface tension were affected little by the viscosity of coating agent and surface roughness of the steel substrate. And the samples coated with optimal conditions showed a great corrosion resistance in salt spray test with 1500 hours or longer of initial appearance time of rust. The coating film was composed of overlapping layer of zinc and aluminium flakes, and the thickness of base coat increased with an increase of base coat viscosity. Based on the C-F peaks of 1,1-Difluoroethen homo-polymer, it was thought that the base coat was an inorganic polymer bond layer. Meanwhile, the top coat showed C-F peaks of polytetrafluoroethylene with C-H peaks of phenol in FT-IR analysis. From the lower weight loss of base coat in TG analysis, it was thought that cross linking density of base coat was larger than that of top coat. It was thought that the small exothermic reactions observed in DSC curves were due to the thermosetting resins contained in the coating agents. Compared to the non-coated specimen, the coated sample showed more higher polarization resistance and corrosion potential with lower corrosion current density.

(Received July 3, 2006; accepted July 22, 2006)

**Key words:** Non-chrome Magni 565 coating, Coating agent, Characteristics of coating film, Optimal coating conditions, Salt spray test, Polarization resistance

### 1. 서 론

최근 표면 코팅의 환경적 문제로 인하여 EU(유럽 연합)는 2007년 7월부터 자동차 부품의 코팅에 6가 크롬(Cr<sup>6+</sup>) 사용을 전면 금지한다고 결정하였다[1-2]. 이에 따라 선진 자동차 메이커들은 Cr이 함유된 Dacromet 코팅에서 친환경의 내식성이 우수한 Cr-free 코팅[3-4]으로 이미 전환하고 있으며 현대 등 국내 자동차 업계도 친환경의 Cr-free Zinc flake 코팅을 2006년 말부터 적용할 예정이다. 이러한 코팅의 국내 기술 및 생산 실태는 현재 자동차 부품 및 웨스너(Fastener) 제품에 많이 적용되는 Water-

base의 Geomet 코팅과 Solvent-base의 Magni 코팅 두 가지가 도입되어 있어 각 제조사별로 시제품 제작은 물론 실제 코팅 제품을 생산하고 있는 초기 단계에 있다고 할 수 있다. 한편, Geomet 코팅은 기존의 Dacromet 코팅[5] 생산 설비를 그대로 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있어 국내 코팅사들에 의해 많이 선호되고 있는 실정이나 Magni 코팅보다는 내식성이나 사용 성능에서 약간 낮은 것으로 알려져 있다[6-7]. 특히 Geomet 코팅과 Magni 코팅은 국외 제조사들의 기술적인 Know-how 때문에 코팅의 종류에 따른 기본적인 코팅의 성능과 적용 규격, 그리고 코팅제의 주요 성분[8]만 제시될 뿐 코

<sup>†</sup>E-mail : kss13@krct.com

팅제의 물성과 더불어 코팅 피막의 성분과 열적 성질 및 코팅 피막의 내식 특성에 대한 전기화학적 연구 등 학술적인 보고들은 찾아보기 어렵다. 또한 Magni 코팅과 같은 새로운 코팅 기술의 국내 도입과 더불어 요구 규격에 일치하는 코팅 제품의 수출을 위한 각 공정의 최적 코팅 조건 및 코팅 피막의 특성과 내식성 등 실질적이고 유용한 자료와 재현성 있는 사용 성능을 만족하는 적합한 코팅 방안이 각 제조사별로 부품에 따라 명확히 확립되어 있지 않은 경우가 대부분이라 코팅 불량을 초래할 가능성은 물론, 코팅 피막의 제반 성질과 내식 기구 등을 파악하지 못한 상태에서 코팅을 실시하는 등 새로운 코팅의 초기 적용에 따른 문제점들의 출현 가능성은 항상 존재할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Cr-free 코팅 중 자동차 부품 및 볼트, 너트 등의 웨스너(Fastener) 제품에 주로 사용하고 있는 것으로, 미국 Magni사에서 개발한 Magni 565 코팅[9]을 선정, 이 코팅을 실 제품이 아닌 켄칭·템퍼링 처리한 강 판재에 실시하여 향후 자동차 부품 및 웨스너 등의 실 제품 코팅을 위한 적합한 코팅 조건의 확립과 더불어 코팅제의 기초적 물성, 코팅 피막의 성분, curing(건조)시의 화학적 변화 및 피막의 형성, 그리고 염수분무 및 전기화학적 분극 시험을 통한 내식 특성 등 코팅 피막의 전반적인 특성과 내식성에 대한 기초 자료를 확보하기 위한 체계적인 조사를 실시하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 코팅용 강재의 열처리 및 표면 전처리

코팅용 강재 시료는 약 0.50% C를 함유한 두께 1 mm의 보통 탄소강 판재를 사용하였다. 시료의 열처리는 실제 강 제품의 열처리를 고려하여 860°C에서 1시간 켄칭 후 유냉하고, 그 후 무산화분위기 로에서 350°C로 1.5시간 템퍼링을 실시하였다. 열처리를 완료한 시료는 표면 코팅을 위해 산세 후 인산염피막처리 하는 방법과 탈지 후 쇼트 블라스팅 하는 두 가지 방법이 있는데, 본 연구에서는 후자의 방법을 이용하였다. 즉, 용제형인 TCE(Trichloroethylen) 탈지제를 희석 없이 4개의 조로 구성된 탈지 장치에 그대로 사용하여 탈지하였으며, 탈지의

총 시간은 10분으로 일정하게 하였다. 특히 4조의 최종 탈지 공정에서는 시험편에 증기 세척을 실시하여 탈지제가 묻어 있지 않도록 하였으며, 탈지제의 잔여 여부는 흰 천으로 문질러 오일이나 이물질의 여부를 육안으로 확인하였다. 탈지 후 0.3 mm의 강구를 사용하여 쇼트 블라스팅(Shot blasting)의 전처리를 실시하였는데, 회전 임펠라의 RPM은 약 2500, 그리고 쇼트 블라스팅의 시간은 약 10분의 일정 조건으로 하였다. 이 때 시료 표면의 중심선 표면 거칠기 Ra[10] 값은 약 1.72로 측정되었다. 한편, 강재 표면 조도에 따른 코팅제의 물성이나 내식성도 비교해 보기 위해 열처리하지 않은 강 소지 표면을 번호가 각각 다른 에머리지로 일정량 연마하여 표면 조도를 변화시키고 초음파 세척을 실시하였는데, 이 때 Ra 값은 0.90, 0.82 및 0.30으로 각각 측정되었다.

### 2.1 코팅제의 기초 물성 조사

Magni 565의 Base 코팅용 B06J와 Top 코팅용 B18의 각 코팅제(상온에서 PMA 등 희석제로 희석 및 일정 시간 Blending 실시)에 대하여 Zahn-type dip viscosity cup(EZ #2cup)의 잔 컵 점도 변화에 따른 각 코팅제의 점축각, Poise 단위의 점도 값, 표면장력 및 평균 입도를 상온에서 각각 측정 하여 코팅제의 기초 물성을 조사하였다. 특히 점축각 측정은 유리판(Glass)과 표면 조도가 다른 강판 표면에서도 각각 실시하여 비교하였다.

### 2.2 코팅 피막의 특성 및 내식 특성 조사

코팅은 Dip/Spin 방식인 STC Auto Coater #4060 2기(基)를 이용, 열처리 후 전처리를 완료한 강 판재 표면에 Base 코팅 및 Top 코팅을 연속적으로 실시하였다. Base 및 Top 코팅제에 대한 각각의 잔 컵 점도, Dip/Spin시의 RPM과 시간 그리고 curing 온도 변화 등 코팅 조건의 변화에 따른 코팅 시험편을 각각 제작 후 SEM 및 EPMA를 이용하여 피막 층 두께와 조직을 먼저 관찰하였다. 또 적외선 분광분석(FT-IR)기를 이용하여 피막 성분을 정성 분석하였고 또한 curing시의 화학 반응과 피막 형성 기구를 조사하기 위하여 열 중량분석(TGA)기와 시차주사열분석(DSC)기를 이용하였다. TGA 시

협은 N<sub>2</sub> 가스 분위기에서 10°C/min의 일정 승온 속도로 50°C에서 500°C까지, 또 DSC 시험은 N<sub>2</sub> 가스 분위기에서 10°C/min의 일정 승온 속도로 0°C에서 250°C까지 가열하여 실시하였다. 그리고 내식성을 조사하기 위하여 KSD 9502 규정에[11] 의한 염수분무시험을 실시하여 각 코팅 조건에 따른 초기 발청 시간을 측정하고 이 결과를 이용하여 가장 적합한 코팅 조건을 조사하였다. 그 외 음극 방식 효과에 따른 내식 특성을 알아보기 위하여 코팅 시험편을 주의하여 절단하고 30°C, 3.5% NaCl의 전해질 용액에서 전기화학적 분극시험을 실시하여 부식전위, 부식전류밀도, 그리고 타펠(Tafel) 법에[12] 의한 분극저항(Polarization resistance) 값을 측정하였으며, 또 코팅 보호성(Protection efficiency)도[13] 계산하였다. 이때 분극시험은 EG & G사의 273A Potentiostat/Galvanostat을 이용하였는데 상대전극은 고밀도 탄소봉, 기준전극은 감홍전극(SCE)을 사용하였다. 분극시험시 전해질 용액은 N<sub>2</sub> 가스로 탈기하였으며, 개방회로(Open circuit) 전위에서 30분 안정화시킨 후 약 -350 mV 근방의 전위에서부터 측정하여 전위가 약 +250 mV가 될 때까지 0.5 mV/sec의 일정 주사속도로 전위를 계속 상승시키는 동전위 분극 시험을 실시하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 코팅제의 기초 물성

Fig. 1은 유리판 및 강판의 표면조도에 따른 Base 코팅제의 접촉각(Contact angle)을 측정하여 나타낸 것이다. Fig. 1과 같이 표면이 매우 평활한 유리판의 경우는 점도의 증가로 접촉각이 약간 증가하는 일반적인 경향을 보이고 있지만, 강 소지의 경우는 본 연구의 표면 조도(Ra)와 점도 범위의 변화에 따른 뚜렷한 경향성은 나타나지 않고 있어 젖음성(Wettability)에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 강 소지의 경우 Base 코팅제의 접촉각은 약 14~21° 범위의 낮은 값으로 우수한 젖음성[14]을 나타내고 있다. 한편, Top 코팅제는 이보다 다소 높은 23~32° 범위의 값을 보였지만 이러한 접촉각의 범위는 낮기 때문에 본 연구의 코팅제들은 모두 우수한 젖음성을 나타낸다고 판단되었다.

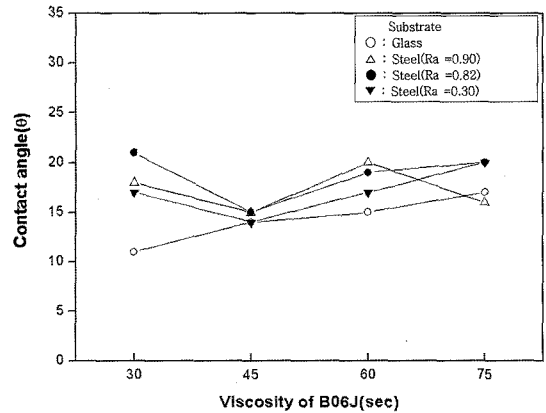


Fig. 1. Variation of contact angle with Zahn cup viscosity of coating agent B06J.

Table 1. Variation of viscosity, surface tension and mean particle size with Zahn cup viscosity of coating agents

Zahn cup viscosity (Sec)	Viscosity (Poise)	Surface Tension (Dyne/cm)	Mean Particle Size (μm)
B06J	30	0.598	37.3
	45	0.883	38.0
	60	1.483	39.4
	75	2.355	40.6
B18	30	0.464	34.9
	45	0.621	35.8
	55	0.877	36.0
	65	1.328	37.6

Table 1은 각 코팅제에 대한 상온에서의 Poise 점도 및 표면장력을 측정된 결과와 더불어 Laser 입도 시험기에 의한 평균 입도를 측정하여 그 결과를 나타낸 것이다. Table 1에서와 같이 Base 코팅제 B06J는 Top 코팅제 B18보다 평균적으로 더 높은 점도를 나타내고 있고 또 표면장력 값도 다소 더 높게 나타나 있다. 또한 표면장력은 점도 증가시 약간 증가하는 경향을 보이고 있으나 이 값들은 모두 낮은 것으로 판단되었다. 한편 코팅제의 평균 입도 크기는 B06J의 약 13.3 μm에 비해 B18의 경우는 약 9.6 μm으로 더 미세한데, 이것은 Top 코팅제 내에 포함된 Al 안료나 기타 무기물 Flake들의 크기가 작아 Top 코팅시 Base 코팅 피막에 쉽게 침투될 수 있는 코팅 시스템이기 때문으로 생각되었다.

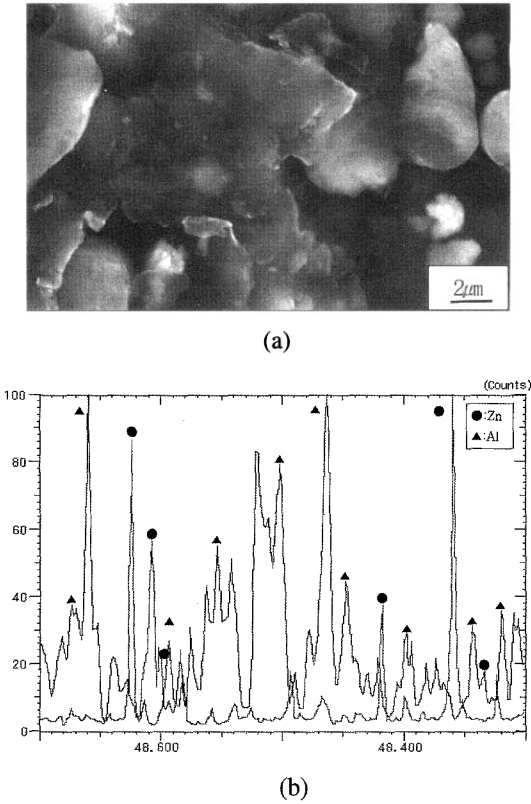


Fig. 2. SEM micrograph of coating surface(a) and the line profiles(b) of Zn, Al components by EPMA.

### 3.2 코팅 층의 조직 및 피막 특성

Fig. 2의 (a)는 코팅 층 표면의 SEM 조직으로, 코팅 결합은 관찰되지 않았으며 육안 관찰시 코팅 피막의 색상은 은회색(Silver-grey)을 나타내었다. 한편, Fig. 2(b)와 같이 EPMA 선분석 결과에서도 알 수 있듯이 코팅제 내에 포함된 바인더(Binder)들이 코팅 층 내의 Zn 및 Al Flake들과 잘 결합되어 있을 뿐 아니라 Zn과 Al Flake들은 겹층(Overlapping) 구조로 되어 있고 또 코팅 층은 Base 및 Top의 뚜렷한 2중층(Double layer)으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 Base 코팅제의 잔 겹 점도가 60초, Top 코팅제의 점도가 55초, 그리고 그 외 Dip/Spin 및 curing의 코팅 조건이 일정할 경우 코팅 층 단면의 SEM 사진(a)과 단면 조직의 선분석 결과(b)를 대표적으로 나타내었다. Fig. 3의 (a)에서와 같이 Base 층의 두께는 약 11 μm, 그리고 Top 층의 두께는 약 2.5 μm로 전체 약 13 μm의 적합한 층 두께를

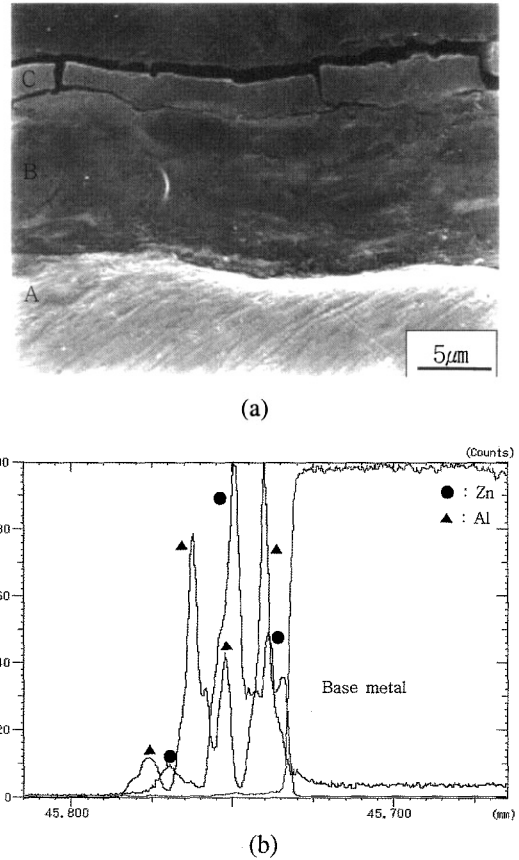


Fig. 3. Cross section micrograph of coating layer (a) and the line profiles (b) of Zn, Al (A; base metal, B; base coating layer, C; top coating layer).

나타내고 있으며, 특히 Top 층에 보이는 균열은 시험편 절단과 연마시 부주의에 의해 발생한 것이며 curing시 발생한 것은 아닌 것으로 확인되었다. 또 Fig.로 나타내지는 않았지만 Top 코팅제의 점도와 그 외 Dip/Spin 및 curing 공정의 코팅 조건이 일정할 경우, Base 코팅제의 점도가 증가함에 따라 Base 층의 피막 두께가 증가하는 경향을 보였다. 한편, Fig. 3(b)의 EPMA에 의한 선분석 결과에서도 Fig. 2(b)와 같이 2중 코팅 층과 Zn 및 Al Flake들의 겹층 구조 역시 잘 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 FT-IR에 의한 피막 층의 성분 분석 결과로, Top 코팅에서는 Polytetrafluoroethylene의 C-F 피크를 보여주는 1160과 1260 cm<sup>-1</sup>의 흡수대가 나타나 있어 코팅 표면에서의 표면 Leveling을 조정하고 경도를 높이는 역할을 하는 것으로 생각되었으며 1600과 3000 cm<sup>-1</sup> 근방에서 Phenol의 C-H

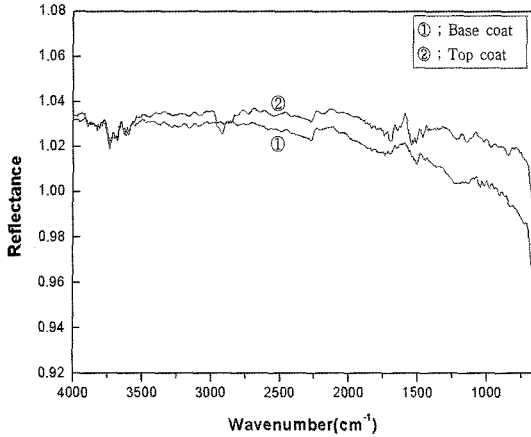


Fig. 4. FT-IR spectra obtained for base and top coating film, respectively.

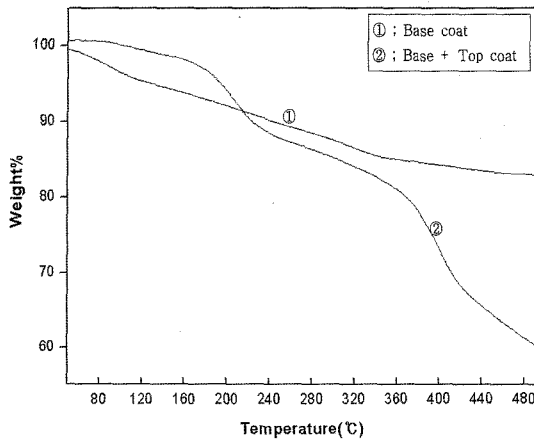


Fig. 5. TGA curves obtained for the base only and base + top coating film.

피크도 나타나 있다. 반면, Base 코팅 피막에서는 1,1-Difluoroethen homo-polymer의 C-F의 피크가 뚜렷하지 않고 C-H 피크도 없는 주로 무기 고분자(Inorganic polymer)에 의한 결합 층을 나타내어 Top 코팅제의 성분인 C-F가 외부의 부식인자 침투를 막아 내식성을 향상 시킬 것으로 생각되었다.

Fig. 5는 피막 층의 TGA 분석 결과로 Base 코팅에서의 화학 반응을 ① 곡선에서 쉽게 유추할 수는 없지만 질량이 연속적으로 감소되어 500°C에서 최종 잔류물이 약 83% 정도인 것은 알 수 있다. 그러나 Fig. 5의 ② 곡선에서와 같이 Top 코팅을 한 경우는 200°C 전후에서는 유기용제의 증발에 의한 질량 감소와 더불어 370°C에서는 코팅제에 함유

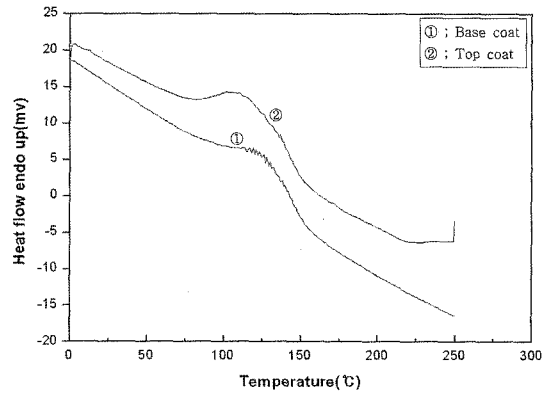


Fig. 6. DSC curves obtained for base and top coating film, respectively.

된 Phenoxy resin에 의한 질량 감소가 나타나 500°C에서의 잔류물이 약 60%로 Base 코팅만 하였을 경우보다 질량이 더 크게 감소하여 전체 배합에서 유기물의 함량을 확인할 수 있었고, Top 코팅을 통해 200°C 이하에서 Base 코팅의 분해를 억제하는 효과를 보여줌을 알 수 있었다.

Fig. 6은 피막 층의 DSC 분석 결과로 Top 코팅 피막은 Phenoxy resin에 의한 경화 발열 피크가 약 100°C( $T_g$ ), 그리고 Base 코팅 피막은 무기 고분자의 높은 가교밀도(Cross linking density)[15]로 인해 Top 코팅 피막의 경우보다 다소 높은 약 120°C( $T_g$ ) 근방에서 작은 경화 발열 피크가 관찰될 뿐 다른 특별한 반응은 나타나지 않았다. 경화물의 유리전이 온도(Glass transition temperature)인  $T_g$ 의 차이를 고찰해보면, Top 코팅 피막의 경우는 Base 코팅에 함유된 무기 고분자 물질에 의한 가교밀도가 적어  $T_g$ 가 낮다고 볼 수 있는 반면, Base 코팅 피막의 경우에  $T_g$ 가 다소 높은 이유는 코팅제 내에 포함된 Si와 Ti 성분의 결합에 의한 무기 고분자로 구성되어 높은 가교밀도를 나타내기 때문으로 생각된다. 일반적으로  $T_g$ 가 낮을수록 연하고, 높을수록 경한 피막 층이라 볼 수 있지만 큰 차이는 아닌 것으로 생각되었다. 이와 같이 본 연구의 코팅 피막에서 도막과 같은 3단계의 피막 형성 과정[16]이 DSC 열분석 곡선에서 명확히 나타나지 않은 이유는 Magni 565의 코팅 피막이 유기 및 무기물질이 각각 서로 혼합된 2중 코팅 시스템이기 때문으로 생각되었다.

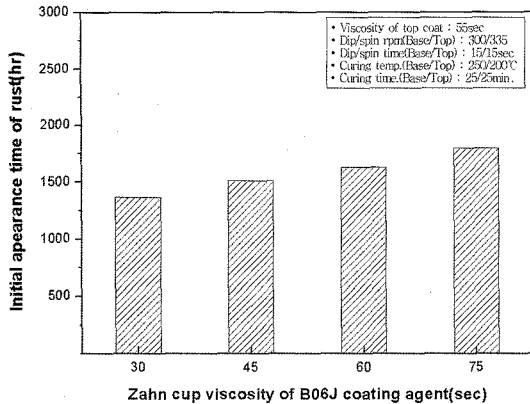


Fig. 7. Initial appearance time of rust with the Zahn cup viscosity of coating agents B06J.

### 3.3 염수분무 시험에 의한 내식성

Fig. 7은 Top 코팅제의 잔 컵 점도, Dip/Spin 및 curing 조건이 일정할 때 Base 코팅제의 잔 컵 점도 변화에 따른 초기 발청 시간(Initial appearance time of rust)을 비교하여 대표적으로 나타낸 것이다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 Base 코팅제의 점도 증가로 발청 시간이 증가하고 있는, 즉 내식성이 증가하는 경향으로 점도 60초 이상에서 1500시간 이상의 우수한 내식성을 나타내고 있다. 이것은 점도 증가로 인한 Base 코팅 층의 두께 증가로 희생양극(Sacrificial anode)에 의한 방식 효과가 더 증가되었기 때문으로 생각되었다. 또 초기 발청 시간이 긴 이유는 코팅용 소지가 평활한 강 판재이기 때문에 코팅 피막의 두께가 거의 모든 부분에서 균일하여 볼트, 너트 등과 같이 나사산과 골로 인하여 코팅이 불균일해지기 쉬운 실 제품에 코팅을 하였을 경우에 비해 더 장시간의 우수한 내식성을 나타낼 수 있기 때문이다. 그 외 여러 가지 코팅 조건에 따른 초기 발청 시간의 결과들을 모두 나타내지는 않았으나 이 중 발청 시간에 가장 큰 차이를 나타낸 curing 온도 변화에 대한 결과만 Fig. 8에 대표적으로 나타내었다.

Fig. 8에서와 같이 curing 온도와 시간은 Base 코팅에서 250°C, Top 코팅에서 200°C로 조합한 경우가 다른 경우보다 초기 발청 시간이 긴 즉, 가장 우수한 내식성을 나타내었다. 그러나 이 보다 낮은 온도들의 조합이나 부적당한 온도의 조합은 초기 발청 시간이 상대적으로 상당히 낮게 나타나있는데, 이것은 코팅제 내에 포함된 유기 및 무기 물질의 화

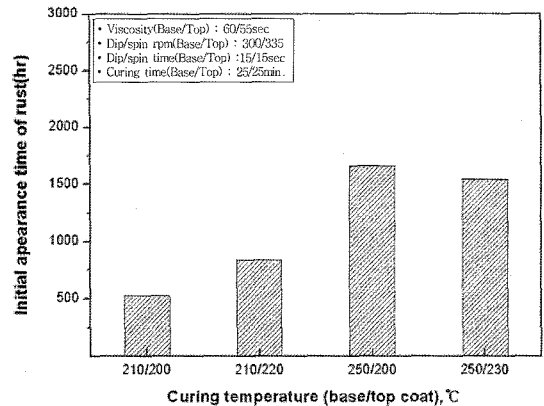


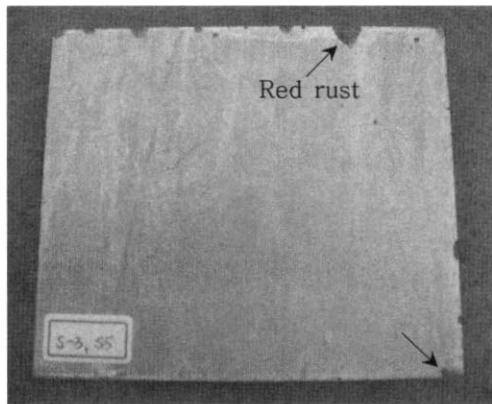
Fig. 8. Initial appearance time of rust with the curing temperature combinations of base and top coat.

학 반응이나 바인더의 역할이 충분히 이루어지지 않아 피막의 형성이 부적절하여 내식성이 급격히 저하되었기 때문으로 생각되었다. 따라서 염수분무시험에서 경제적이고 우수한 내식성을 보여준 가장 적합한 코팅 조건은 STC Auto coater #4060을 이용하여 Dip/Spin 공정을 적용할 경우, Base 및 Top 코팅제의 점도가 각각 60초와 55초인 경우이었다. 그리고 Dip/Spin의 RPM과 시간 조건은 Fig로 나타내지는 않았지만 Base 및 Top 코팅에서 각각 300 RPM 및 335 RPM의 15초가 적합함을 알 수 있었다. 그리고 curing 조건은 Fig. 8과 같이 Base 및 Top 코팅에서 각각 250°C 및 200°C의 25분이 가장 적합하였다. 또한 Fig의 결과로 나타내지는 않았지만 강 소지 표면의 표면조도 변화에 따른 염수분무시험 결과는 다음과 같다. 즉, 열처리 후 쇼트 블라스팅 처리만 실시한 경우의 Ra = 1.72보다 강 소지 표면이 다소 더 평활한 상태인 Ra = 0.82까지는 초기 발청 시간이 증가하는 경향을 나타내었으나 Ra = 0.30과 같이 매우 평활한 표면에 코팅하였을 경우는 오히려 젖음성이 저하되어 Ra = 1.72의 상태와 유사한 초기 발청 시간을 나타내었다. 따라서 열처리의 조건보다는 열처리 후 실시하는 쇼트 블라스팅 처리 정도, 즉 최종 표면의 평활도 변화가 더 내식성에 영향을 미치는 것으로 생각되었다.

Fig. 9는 염수분무시험에서 초기 발청이 일어난 코팅 판재 표면의 대표적 외관을 나타내는데, 코팅이 다소 불균일하게 될 수 있는 판재의 가장자리나 모서리부가 우선적인 발청 장소였음을 알 수 있다.

**Table 2.**  $I_{corr}$ ,  $E_{corr}$ ,  $R_p$  and protection efficiency with the viscosity of coating agent ( $R_p$  values were calculated by tafel method)

Zahn cup viscosity (sec)	DC Polarization			Protection efficiency ( $P_p$ , %)
	$I_{corr}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$E_{corr}$ (mV)	$R_p$ (Ohm · cm <sup>2</sup> )	
Base metal (Non-coating)	19.96	-653.856	1.24	-
Base 60, Top 55	0.968	-132.128	45.008	98.4
Base 60	1.088	-159.369	38.357	97.3
Top 55	2.941	-222.0	21.397	93.9
Base 60, Top 30	1.10	-158.219	49.083	97.8
Base 30, Top 55	1.378	-161.325	38.832	97.6
Base 30, Top 30	1.224	-127.807	40.858	98.1

**Fig. 9.** Feature of initial red rust occurred on the steel substrate after salt spray test.

### 3.4 전기화학적 분극시험에 의한 내식 특성

Table 2는 코팅 하지 않은 모재와 코팅제의 잔 점도만 변화시키고 그 외의 다른 코팅 조건들을 일정하게 한 경우의 코팅 시험편들에 대하여 3.5% NaCl 용액에서 시험하여 나타난 분극곡선에서 측정 한 부식전위( $E_{corr}$ ) 및 부식전류밀도( $I_{corr}$ ), 그리고 Tafel 법으로 계산한 분극저항 값( $R_p$ ) 및 코팅 보호성( $P_p(\%) = 1 - (I_{corr}/I_{corr}^0)$ , 단  $I_{corr}^0$ 은 모재의 부식 전류 밀도,  $I_{corr}$ 은 코팅한 시험편의 부식전류밀도)을 서로 비교하여 나타낸 것이다. Table 2에서 알 수 있듯이 코팅제의 점도에 관계없이 Base 및 Top 코팅을 실시한 시험편의 경우는 코팅하지 않은 시험편에 비해 모두  $E_{corr}$ 이 높고  $I_{corr}$ 이 낮아 Zinc flake에 의한 희생양극의 음극방식 효과[17-18]가 크고 또  $R_p$  값도 훨씬 높아 내식성이 크게 증가되었고,

또한 코팅 보호성도 Base 및 Top 코팅이 적용되면 약 98% 근방으로 매우 우수하게 나타남을 알 수 있다. 특히 Top 코팅만 실시한 경우와 Base 코팅만 실시한 경우의  $R_p$  값만 비교해보아도 알 수 있듯이 Base 코팅은 Top 코팅보다 희생양극에 의한 음극방식 효과에 더 큰 영향을 미쳤음을 알 수 있다. 그러나 Base 및 Top 코팅제의 점도 변화에 따른  $R_p$  값은 상당히 낮은 값을 나타낸 Top 코팅만 실시한 경우를 제외하고는 뚜렷한 차이는 없음을 알 수 있다.

## 4. 결 론

Base 및 Top 코팅제의 기초 물성 조사와 더불어 켄칭 · 템퍼링 열처리한 강 판재에 적용시킨 Magni 565 코팅의 내식성과 코팅 피막의 특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 각 코팅제의 접착각과 표면장력은 강 소지에 대해 각각 14~32° 및 35~40 Dyne/cm 범위로 낮게 나타나 젖음성은 모두 우수하였으며, 점도와 강 소지의 표면조도 변화에 대한 영향은 적었다.

2. STC Auto coater #4060을 이용한 Dip/Spin 공정을 적용한 경우, 가장 적합한 코팅 조건은 Base 및 Top 코팅제의 점도가 각각 60초와 55초인 경우이었으며, Dip/Spin의 RPM과 시간 조건은 Base/Top 코팅에서 각각 300 RPM 및 335 RPM의 15초 이었다. 그리고 curing 조건은 Base/Top 코팅에서 각각 250°C 및 200°C의 25분이었으며, 이 조건에서 염수분무시험에 의한 초기 발청 시간은

약 1500 시간 이상으로 높은 내식성을 나타내었다.

3. 코팅 층은 Zinc와 Aluminium의 겹침 층으로 구성되었으며, Base 코팅제의 점도가 높을수록 Base 코팅 피막의 두께는 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 FT-IR 분석 결과, Top 코팅 피막은 Polytetrafluoroethylene의 C-F 피크와 더불어 Phenol의 C-H 피크가 관찰된 반면, Base 코팅 피막은 1,1-Difluoroethen Homo-polymer의 C-F 피크가 관찰되어 주로 무기 고분자의 결합 층을 이루는 것으로 생각되었다.

4. TGA 분석 결과, Base 코팅 피막의 질량 감소는 Top 코팅의 경우보다 적어 가교밀도가 더 큰 것으로 생각되었다. 또 DSC 열분석 결과, Base 코팅의 경우 약 100°C, 그리고 Top 코팅의 경우는 약 120°C에서 발열 반응에 의한 피크가 관찰되었는데, 이것은 경화성 수지에 의한 것으로 생각되었다.

5. 3.5% NaCl에서의 양극 분극시험 결과, 코팅한 시험편의 분극저항과 부식전위는 코팅 안한 모재에 비해 훨씬 더 높고, 또 부식전류밀도도 낮아 내식성이 우수하였다.

### 참고문헌

1. Knut Westphal : Ein optimiertes Beschichtungssystem für Verbindungselemente, ATZ 107, Heft 5, (2005) 2.
2. 산업자원부 : 자동차 부품의 6가 크롬 대체 표면처리 기술개발 및 적용에 대한 연구 (2005) 5.
3. K. Westphal : Verffentlicht in mo metalloberflache 56, Nr. 5 (2002) 20-23.
4. Knut Westphal, Hermann Köhler : Korrossionsschutz am Automobil, September, 29/30 (2003).
5. 한국 다크로 공업회 : 다크로(Dacro)처리 핸드북, 아연말 화성피막처리, 1월 (1996).
6. Anochrome Ltd. : Design guide, Surface finishing technology, May (2001) 1-19.
7. Metal coatings international, Inc. : Geomet coating, A completely chromium-free coating, chardon, Ohio USA.
8. Magni Industries, Inc., : 2771 Hammond, Detroit Michigan, 48209, Material safety data sheet of B06J and B18.
9. The Magni Group, Inc. : Magni 500 series, High-performance Fastener/Hose clamp Coatings, Magni 565.
10. Michel Cartier : Handbook of surface treatments and coatings, Professional engineering publishing (2003) 83-90.
11. 한국 공업 표준 협회 : KS 핸드북, 86-87, 철강 (1986) 192.
12. 李鶴烈 : 金屬腐蝕工學, 淵鏡文化社, (1995) 44.
13. Sang Hyun Kim, Dong Ho Shin et al. : J. Kor. Inst. Met. & Mater., 43 (2005) 538-543.
14. M.G. Kim, B.H Jung et al. : J. of Korean Society for Heat Treatment, 15 (2002) 215.
15. S.J. Park, J.S. Kim and C.W. Nah : Elastomer, 35 (2000) 98-105.
16. EM 1110-2-3400 : Coating type and characteristics, Chapter 4, 30 Apr., (1995) 1-24.
17. X. G. Zhang : Corrosion and electrochemistry of zinc, zinc-rich coatings, Plenum press (1996) 337-349.
18. ASM international : ASM handbook, Corrosion, 13A (2003) 855.