

무방향성 전기강판의 절연피막 코팅재

조남웅, 장세기*

RIST, 소재연구부문, *POSCO 기술연구소

Insulation Coating for Non-oriented Silicon Steel Sheets

N. W. Cho, and S. K. Chang

Materials Research Div., RIST, Kyung Pook, 790-330
 Technical Research Labs., POSCO, Pohang, 790-785

Abstract

Good appearance of insulation coating is required for non-oriented silicon steel sheets. The property is influenced by both the chemical composition of coating solution and the species of resin. The composition of inorganic-organic coating was studied to obtain good surface quality for non-oriented silicon steel. The greenish degree of coating surface depended on Cr³⁺ content in the coating layer, which was satisfied when chromate content was more than 54.60 wt. % in the coating solution. The homogeneous pattern and roughness of the coating surface depended on spreading property of the resin. Surface appearance of the coating could be improved by using resin with good spreading property at the chemical composition of chromate 59.00 wt.%, resin 34.23 wt.%, and ethylene glycol 6.67 wt.% without colloidal silica.

1. 서 론

무방향성 전기강판은 강판내 결정배열이 불규칙적이어서 특정방위에 편중되지 않는 자기적 특성을 나타내므로 전동기, 발전기 소형변압기 등에 널리 사용되고 있다. 무방향성 전기강판은 그 응용 범위가 매우 넓어서 이것에 대응하는 자기적 특성, 강판두께 편차, 증간 절연성, 내식성, 가공성, 용접성등 여러 가지 특성이 요구된다¹⁻⁴⁾.

본래 절연피막은 적층되는 철판사이의 증간절연을 목적으로 형성시킨다. 근래 소형 전동기기의

사용이 확대되면서 절연성보다도 가공성, 용접성, 내식성 등에 유리한 피막성능을 주요한 물성으로 평가하게 되었으며, 최근 들어서는 강판표면의 품질 또한 사용특성에 영향을 미치면서 표면품질이 우수한 전기강판을 요구하게 되었다. 이 결과 내열성, 절연성 등을 증시킨 인산염, 크롬산염 등의 무기질계의 결점을 보완한 유기질과 무기질을 동시에 사용하는 복합형태의 유기 무기 복합코팅재가 개발되었다. 이러한 코팅재를 사용하여 형성시킨 절연코팅재의 경우 무기질의 특징인 내열성과 유기질의 윤활성 효과가 동시에 나타나 가공성과

표면외관이 미려해졌다⁵⁻⁹⁾.

표면품질에서 중요시되는 것은 피막의 균일성, 표면조도, 광택, 색상 등을 들 수 있다. 기존 코팅제의 경우 시간경과에 따른 코팅액의 불안정과 강판표면 조도 상승 등의 문제점이 발견되어 용액 안정성은 물론 코팅후 품질이 우수한 새로운 조성계의 유기 무기 복합코팅제의 제조에 대한 기술이 요구되어 왔다. 코팅처리의 유무를 구별할 수 있는 색상의 경우 절연피막층내 Cr^{3+} 양에 의한 것이 지배적이다. 코팅용액내 Cr^{6+} 가 도포와 curing 작업 과정후 피막중 환원된 Cr^{3+} 양이 색상에 영향을 미친다. Cr^{6+} 를 Cr^{3+} 로 환원시키는 역할을 하는 유기환원제인 에틸렌글리콜의 첨가량도 색상에 중요하게 작용한다. 소지 전기강판 표면에 도포된 코팅층의 두께가 증가하면 단위면적당 Cr^{3+} 도 증가하여 강판 표면의 녹색의 정도가 높아진다. 도포 작업시 건조온도 또한 Cr^{6+} 가 Cr^{3+} 로 환원하는 양을 변화시키므로 건조온도도 색상에 영향을 미친다. 코팅건조후 강판표면의 광택과 피막의 균일성은 코팅제에 사용되는 소지강판 조도, 수지 종류에 의하여 영향을 받는다. 소지강판의 조도가 낮으면 같은 조성계 코팅일 경우 높은 광택도를 나타내고, 내열성이 강한 수지일수록 광택도는 높게 나타난다. 피막의 균일성에 있어서 코팅제 원료로 사용되는 수지의 평활성(spreading)은 매우 중요하여 평활성이 높을 경우가 균일한 피막을 얻을 수 있다. 일반적으로 유기 무기 복합코팅제에 사용되는 수지는 서로 반응성이 없거나 부분적으로만 반응하는 두 액체로 이루어진 분산계 에멀전 형태의 아크릴계 수지를 사용한다. 코팅제의 평활성을 향상시키기 위하여 계면활성제를 첨가제로서 코팅액에 소량 첨가하나 계면활성제를 첨가하면 기포가 발생되어 기포발생을 억제하는 소포제를 소량 첨가한다. 기포발생에 영향을 주는 인자로서는 기포 물질의 농도, PH, 용액온도, 오염물질 종류 등이 있다.

종래의 코팅제의 하나의 형태인 유기 무기 복합코팅제는 콜로이드 실리카(SiO_2), 중크롬산화물

(CrO_3), 산화 마그네슘(MgO) 혹은 산화 칼슘(CaO), 에멀전 아크릴수지, 에틸렌글리콜(E.G.) 등을 물에 용해하여 사용하여 왔다. 그러나 여기에서 사용되고 있는 콜로이드 실리카의 경우 코팅용액의 시간경과에 따른 안정성과 절연피막 형성후 표면외관에 유리하지 못하다. 이러한 이유에서 본 연구에서는 콜로이드 실리카를 성분계에서 제거하면서, 절연피막층 표면품질이 우수한 성분계에 관하여 연구하였다.

2. 실험방법

본 연구의 실험절차는 소지강판의 시편가공, 코팅액 제조, 실험실 도포작업후 피막물성 측정의 시퀀스로 진행되었다. 코팅제를 실험실에서 약 14종을 합성하고, 이들 중에서 코팅액 물성이 우수한 4종을 선택시험하였으며, 물성이 우수한 하나의 조성에서 수지원료를 달리한 2종에 관하여 표면물성을 측정하였다. 코팅제의 용액안정성을 점도경시변화로 측정하였고, 코팅피막 특성은 균일성, 코팅전후 표면조도, 광택 및 색상을 측정하였다.

2.1 시편 제작 및 코팅액 합성

실험실내 예비실험은 냉간압연후 연속소둔처리된 두께가 0.5 mm인 무방향성 전기강판을 40×150 mm크기로 절취하여 소지강판으로 사용하였다. 코팅액 합성방법에 있어서는 2단계로 구분하여 합성하였다. 1단계는 마그네슘 크롬메이트 용액 합성으로 먼저 이온수에 MgO 를 투입한 후 CrO_3 를 투입하는데 CrO_3 는 용액내 발열반응과 더불어 비산함으로 서서히 투입하며 투명한 갈색 액상이 될 때까지 교반한다. 2단계로 합성된 크롬메이트 용액에 수지, 콜로이드 실리카, 환원제인 에틸렌글리콜, 첨가제 등을 첨가, 교반하여 코팅액을 제조한다. 교반시 blade의 형태와 회전속도에 따라 기포의 발생정도는 달라지므로 적정한 소포제를 0.1~

0.5 wt% 첨가하였다. 코팅액의 조성에 있어서는 콜로이드 실리카의 유무와 각 원료성분의 양을 달리하여 Table 1과 같은 함량으로 코팅재를 제조하였다. 코팅액 물성은 PH, 비중, 고형분 및 용액점도의 경시변화등을 측정하였다. 코팅재의 열적안정성은 TGA를 사용하여 측정하였다.

2.2 절연피막 형성

Table 1에 나타낸 조성의 코팅액중 경시안정성, 점도, PH 등의 물성이 우수한 코팅액만을 사용하여 직경 50 mm, 길이 100 mm 2-roll-type의 소형 roll coater 로 도포작업을 실시하고, curing 온도 (550, 600, 650, 700 °C) 및 시간변화 (10, 15, 20, 25, 30 sec)로 피막의 물성을 변화시켜 절연피막을 형성시켰다. 코팅액 사용특성 및 피막특성이 우수한 4종의 시험코팅액에 관하여 코팅 roll의 회전속도, forward 혹은 reverse 등의 코팅조건을 달리하여 코팅피막의 두께 및 치밀도 등이 다른 전기강판을 제조하였다.

Table 1. Chemical composition of inorganic-organic coating solutions (wt.%)

Sample	Content (wt.%)					Specific Gravity	PH
	Chromate	Resin I	Resin II	Silica	E.G.		
1	41.96	30.05	—	23.20	4.79	1.213	6.00
2	54.60	39.10	—	—	6.20	1.237	6.05
3	39.40	—	34.30	21.80	4.50	1.213	6.18
4	50.40	—	43.48	—	5.70	1.225	6.15
5	51.00	24.40	—	18.80	5.80	1.230	6.13
5	65.10	15.50	—	12.00	7.40	1.275	6.08
7	75.40	9.00	—	7.00	8.60	1.313	6.05
8	80.60	5.80	—	4.50	9.20	1.337	6.04
9	48.50	—	28.10	17.90	5.50	1.230	6.18
10	63.00	—	18.20	11.60	7.20	1.275	6.13
11	74.00	—	10.70	6.80	8.50	1.313	6.03
12	79.60	—	6.90	4.40	9.10	1.325	6.03
13	59.00	—	34.23	—	6.67	1.234	6.07
14	71.24	—	20.53	—	8.23	1.280	6.05

2.3 절연피막 특성측정

절연코팅후 피막특성은 표면외관으로서 줄무늬 발생여부, 색상, 광택도, 표면조도와 코팅층 두께, 절연성, 내식성, 내열성 등을 측정하였다. 줄무늬 발생여부는 육안관찰이나 SEM, EPMA를 사용하였다. 표면색상의 측정은 Color & Color Difference Meter (Tokyo Denshoku Co. Ltd. Model TC-1500MC)를 사용하여 x, y, z, L*(명도), a*(적색), b*(황색)를 측정하여 판단하였다. 광택도 측정은 60°에서 상면과 하면, 압연과 이에 수직방향으로 측정하였다. 깊이방향 성분분석으로 GDS (Glow Discharge Emission Spectrometer)를 사용하였다. 표면조도측정은 시편 4×5.6 mm의 영역에서 3-차원 조도측정기를 사용하여 Ra, Rmax, Rt, HSC 등을 측정하였다. 내열성 측정은 SRA (Stress Relief Annealing) 실시한 후 피막 박리 등을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 코팅액 물성

코팅용액의 물성으로서 PH, 비중, 점도, 경시변화를 측정하였다. Table 1의 시험코팅액에 있어서 PH의 값은 6.00~6.18 이었다. Mg-Chromate의 양이 증가함에 따라 PH는 감소하며 콜로이드 실리카 유무에는 관계가 없는 변화를 보였다. 코팅액 비중은 1.213~1.337의 값을 나타내고, 수지의 종류에 따라서는 변화가 없으나, 콜로이드 실리카 양이 감소할수록 높아졌다. 코팅액의 고형분은 35.7~40.9%의 범위로 실리카가 첨가되면 증가하였다. 용액의 초기점도는 5.6~7.9 cps이었다. Mg-Chromate 양이 54.60 wt.% 이상, 콜로이드 실리카가 12.00 wt.% 이하의 코팅재 경우 6일 이하경과 일수에서 점도변화는 5.9~10.2 cps 범위에서 시간경과에 따라 점차 증가하는 양상을 보였다. 이와 같이 Mg-Chromate 함량이 높고, 콜로이드 실리카가 낮은 코팅재의 경우 양호한 경시안정성

을 보였다. Mg-Chromate 양이 51.10 wt% 이하, 콜로이드실리카가 18.80 wt.% 이상 첨가된 용액의 경우 6일 이내에 커다란 점도의 증가를 보여, 용액 안정성에 미흡함을 알 수 있었다. 코팅용액의 도포후 curing 과정을 거치므로 코팅층의 열적 이력은 피막물성에 중요하여 코팅액의 수분을 완전히 증발시킨 후 TGA 측정을 실시하였다(Fig. 1). 대부분의 코팅제에 있어서 450°C를 전후로 하여 큰 폭의 중량변화를 갖는다. 또한 600°C 이상에서는 40 wt.% 이상의 고형분만이 피막층에 잔존함을 알 수 있었다. 환원제를 사용한 코팅용액중 Cr^{3+} 는 강판의 온도가 280°C일 때 거의 대부분이 Cr^{2+} 로 변화면서 Greenish 한 색상을 발한다. 이러한 온도에서 시험코팅액의 경우 10 wt.% 정도의 중량감소를 가져온다. 중량감소가 이보다 심하게 일어나는 코팅제의 경우 내식성이 양호하지 못하였다. 내열성이 약한 수지를 대체하여 중량변화를 측정하면 20 wt.% 이상의 감소가 나타났다. 이러한 수지는 첨가제로서 소포제 및 평활성 첨가제를 다량 함유하고 있는 것들이다. 이와 같이 curing 온도(강판온도 280~300°C)에서의 중량변화는 사용한 수지의 종류에 영향받음을 확인할 수 있었다.

3. 2 절연피막 특성

3. 2. 1 코팅층 줄무늬 현상

무방향성 전기강판은 절연피막 형성시 줄무늬

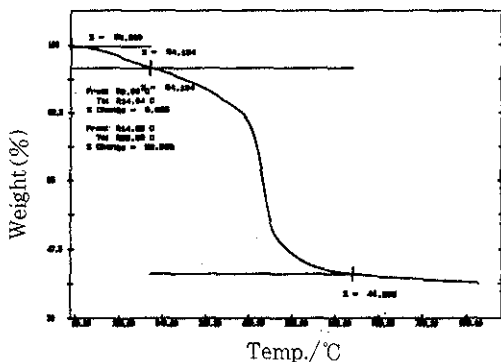


Fig. 1. Result of TGA for coating solution after water evaporation on 100°C.

발생하여 균일한 도막을 이루지 못하는 경우가 있고, 이것은 코팅용액 물성과 코팅 작업조건에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 코팅액 물성에 있어서 각 성분의 조성과 이에 따른 코팅액의 유동성이 매우 중요하고, 원료중 수지의 평활성이 줄무늬 발생에 커다란 영향을 미친다. 또한 코팅액에 있어서는 고형분의 저감, 점도저하로서 평활성을 높일 수 있고, 평활성 첨가제를 사용할 수도 있다. 코팅조건에 있어서는 roll의 형상변화 및 주속비를 조정하여 제어될 수 있다.

전기강판의 줄무늬 현상은 유무기, 무기코팅제 모두 유사한 현상을 보이지만 무기계 코팅제에서 보다 심각하게 발생된다. 무기계 코팅제 절연피막의 줄무늬 판측을 위한 EPMA 사진을 Fig. 2에 나타내었다. 줄무늬는 코팅 roll의 수직방향으로 발생되고 그것의 간격은 0.6~0.9 mm정도이다. 이러한 간격은 3-차원 조도를 측정한 결과에서 조도의 장파장 산과 골의 평균파장과 거의 일치한다. 이러한 결과는 강판표면에 코팅층이 평활하지 못함을 나타낼 뿐만 아니라 줄무늬 현상이 발생되면 코팅후 표면외관에 있어서는 균일한 색상과 광택을 나타내지 못하고 일정간격으로 어두운 부분과 밝은 부분의 줄무늬형태로 나타난다. EPMA 조성분석 결과에서도 Si-, P-, Cr-, Al-계 산화물인 무기질계가 일정간격으로 점출량을 달리하여 코팅층이 균일한 조성을 이루지 못함을 확인할 수 있었다. 이와 같은 현상은 사용하고 있는 수지가 평활성이 미흡하여 발생하는 것으로 판단된다.

3. 2. 2 표면조도

표면조도 측정시편으로 기존 조성의 코팅 및 본 연구의 신코팅제에 의한 시편을 사용하였다. Table 2는 기존 국내의 생산되고 있는 무방향성 전기강판의 표면조도 및 코팅층을 NaOH로 용출하고 난후 소지강판의 표면조도를 나타내고 있다. 외국제품중 dull-type NLI를 제외하고 KA1~KA5의 Ra 값에 있어서 평균조도가 0.4 μ m 이하인

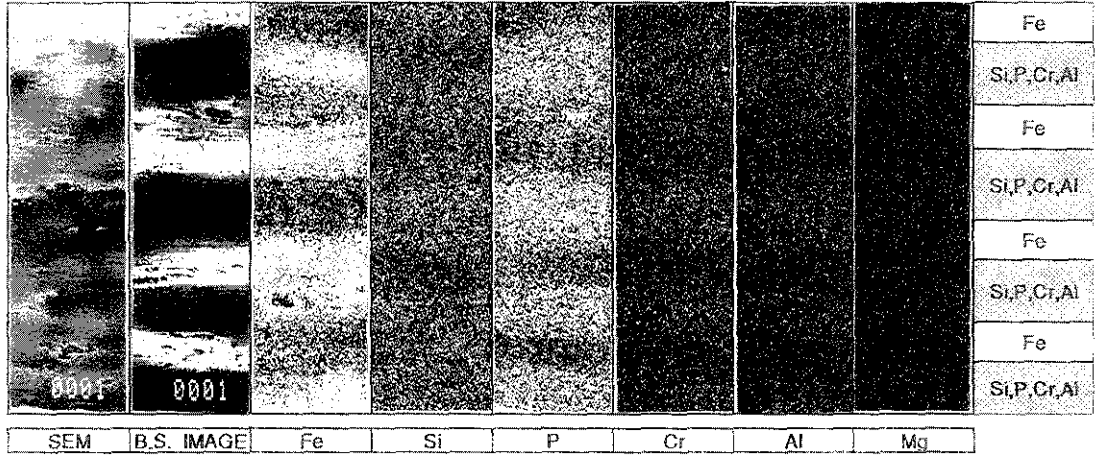


Fig. 2. Surface morphology and EPMA mapping of silicon steel sheets (SEM, X1,000).

Table 2. Surface roughness after and before insulation coating on silicon steel sheets (μm)

Sample	Surface roughness							
	before insulation coating				after insulation coating			
	Ra	Rmax	Rt	HSC	Ra	Rmax	Rt	HSC
PC41	0.458	5.015	5.154	48	0.475	4.309	4.458	46
PC6A	0.451	3.986	4.196	35	0.460	3.176	3.386	36
PC6B	0.752	5.077	5.289	31	0.759	5.321	5.570	31
PC42	0.475	5.217	5.542	40	0.508	4.164	4.395	43
PC6C	0.519	4.453	4.785	34	0.566	5.257	5.533	31
KA1	0.397	4.622	4.774	41	0.300	3.175	3.312	42
KA2	0.446	5.563	5.715	41	0.414	4.252	4.393	44
KA3	0.288	3.286	3.424	53	0.284	2.958	3.090	55
KA4	0.344	3.835	3.972	53	0.294	2.955	3.095	53
KA5	0.339	3.240	3.442	51	0.284	2.763	2.918	51
NL1	1.309	9.168	9.246	20	1.312	8.728	9.123	19

반면 국내 생산의 PC41~PC6C의 경우 이 보다 높은 수치를 나타내어 표면이 미려하지 못함을 나타냈다. 코팅후와 소지장판 표면조도의 편차를 Fig. 3에 나타내었다. PC41~PC6C 경우 코팅후 조도가 증가하는 반면, KA1~KA5는 코팅후 오히

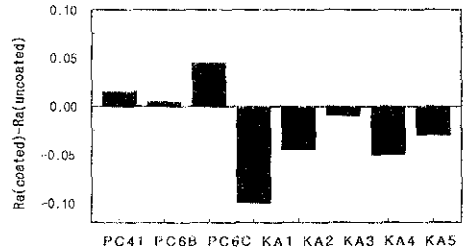


Fig. 3. Difference between coated Ra and uncoated Ra in the silicon steel sheets.

러 감소하는 경향을 보여 PC41~PC6C 코팅재에 있어서 코팅후에 표면조도가 더욱 기철어졌다. 코팅재의 유동성이 양호하면 코팅후 표면조도는 저감되나 PC41~PC6C 코팅재는 유동성 및 평활성이 표면조도에 유리하지 못함을 알 수 있었다.

Table 3은 본 연구에서 합성한 코팅재에 의하여 코팅처리된 시편의 표면조도를 나타낸 것이다. 여기에서 sample명의 앞부분의 KNS, ANS15, AC15, ANC15, ANCA 기호는 Table 1의 2, 4, 9, 13, 14 조성을 나타내며 뒷부분의 40, 50, 70, 100은 코팅 Roll의 주속비로 도막두께 제어를 위한 코팅작업 조건이다. 코팅, 건조후 피막표면의 Ra는 0.4~0.5 μm 값을 나타내었으며, 이것은 기존 조성의 Ra=0.5~0.7 μm 보다 낮은 값으로 다소 향상되었음을 의미한다. 코팅재의 두께 증감에 따라서

Table 3. Surface roughness after insulation coating with coating solution of new composition

Sample	Ra	Rmax	Rt	HSC	
1	KNS 50	0.49	4.66	4.84	48
2	KNS 70	0.36	3.23	3.37	48
3	ANS 50	0.46	4.40	4.60	45
4	ANS 70	0.38	3.50	3.64	46
5	ANC15 50	0.41	3.89	4.07	48
6	ANC15 70	0.37	3.44	3.58	48
7	ANC15 R70	0.40	3.60	3.75	47
8	ANC15 R100	0.35	3.20	3.33	48
9	ANCA 40	0.37	3.16	3.31	48
10	ANCA 50	0.48	4.79	4.98	46
11	AC15 50	0.48	4.54	4.69	48
12	AC15 70	0.42	3.86	4.05	48

같은 조성의 코팅재에 있어서도 표면조도의 편차를 나타내었다. 코팅층의 두께별 Ra의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 여기서 x-축의 값은 코팅작업시 roll의 주속비로 코팅층의 두께에 비례한다고 볼 수 있다. 새로운 코팅재의 경우 코팅층의 두께가 증가하면 표면조도는 감소하는 경향을 보였다. 이것은 기존재에 있었던 코팅층 두께 증가에 따른 조도증가 문제가 발생되지 않고 오히려 코팅층의 두께를 어느 정도 상향하면 표면이 미려해짐을 의미한다. 그러나 기존재와 같이 콜로이드알 실리카를 함유한 시험코팅재에 있어서 함유량이 증가함에 따라 Ra값은 증가하는 경향을 보였다. 또한 수지의 종류에 따라 변화의 폭을 달리하였으며, 기존

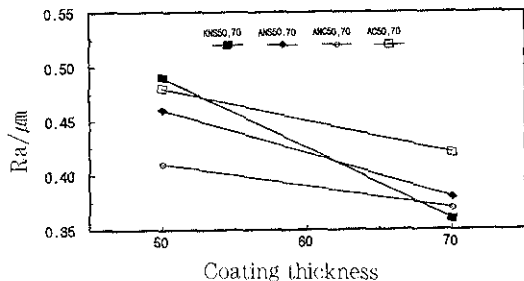


Fig. 4. Relation between Ra and coating thickness.

의 resin I에 있어서는 표면조도가 높고 콜로이드알 실리카 증량에 따라 변화의 폭이 작았으나, 유동성이 상대적으로 양호한 것으로 판단되는 Resin II의 경우 조도변화의 폭이 급격히 높아짐을 알 수 있었다(Fig. 5).

3. 2. 3 광택도 및 색상

무방향성 전기장판은 압연과 이에 수직인 방향 및 장판 상하면에 따라서 광택도의 커다란 차이를 보이며, 압연방향과 상면에서 높게 나타났다 (Table 4). 기존 조성의 코팅재에 의한 코팅후 장

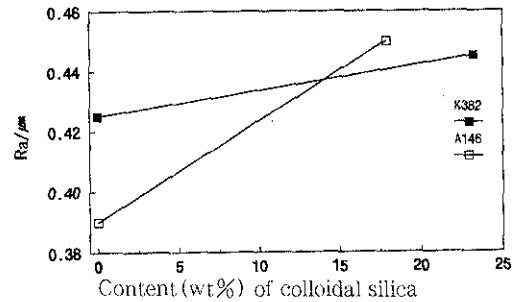


Fig. 5. Relation between Ra and colloidal silica content in coating solution.

Table 4. Surface glossiness after insulation coating of silicon steel sheets

Sample	Glossiness				Average	
	Top		Bottom			
	Rolling	Transferors	Rolling	Transferors		
1	PC41	112.2	55.4	65.1	36.8	67.375
2	PC6A	121.6	56.1	95.0	41.2	78.475
3	PC6B	89.6	57.8	78.6	46.9	68.225
4	PC6C	45.7	44.6	41.5	40.4	43.050
5	PC42	107.4	54.2	85.8	41.1	72.125
6	PC6D	87.5	42.8	82.7	41.6	63.650
7	KA1	111.7	78.7	100.9	74.1	91.350
8	KA2	194.1	89.5	158.4	90.3	133.075
9	KA3	206.0	121.0	215.0	116.8	164.70
10	KA4	134.7	77.7	126.2	74.8	103.35
11	KA5	156.8	75.3	144.8	71.2	112.025
12	NL2	66.8	55.7	56.0	45.0	55.875
13	NL1	160.7	93.5	143.8	85.7	120.925

판의 평균 광택도는 78.5 이하로 dull-type을 제외하고 낮은 광택도를 나타냈다. 그러나 본 연구의 코팅재에 있어서는 광택도가 기존 43.1~78.5 보다 높은 76.3~102.5로 나타났다(Table 5). 이것은 콜로이드 실리카를 함유하지 않은 조성에서 광택성이 높은 내열성 수지의 사용과 코팅피막 두께를 증가시킬 경우 광택도는 향상되는 경향을 보였다. Fig. 6은 평균조도(Ra)별 광택도를 나타내었다.

Table 5. Surface glossiness after insulation coating with coating solution of new composition

Sample	Roll speed	Glossiness				Average
		Top		Bottom		
		Rolling	Transferors	Rolling	Transferors	
KNS	F50	128	56	86	39	77.25
	F70	150	62	101	54	91.75
ANS	F50	118	60	84	43	76.25
	F70	136	78	94	58	91.50
ANC15	F50	124	57	92	48	80.25
	F70	150	80	101	59	97.50
	R70	135	72	99	62	92.00
	R100	152	86	101	71	102.50
AC15	F50	132	60	92	43	81.75
	F70	152	72	94	50	92.00
ANC15 A	F50	123	56	94	48	80.25
	F70	122	61	94	52	82.25
ANC30	F50	140	70	100	55	91.25
	F70	135	72	95	54	89.00

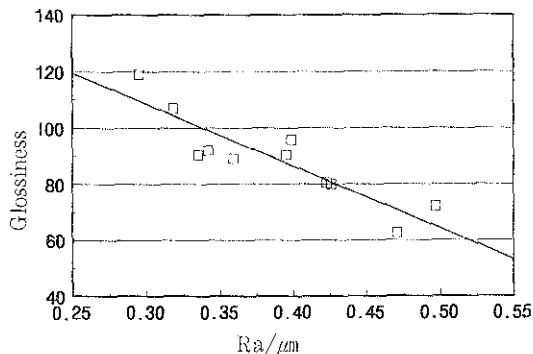


Fig. 6. Relation between surface glossiness and Ra in new composition of coating solution.

다. 여기에서 알 수 있듯이 시험코팅재 모두에 대하여 표면조도의 감소는 광택도의 증가를 나타내고, 광택도 향상을 위하여 코팅후 표면조도를 낮추는 것이 유리하다는 것을 의미한다. 따라서 다른 피막특성에 영향을 주지 않는 범위에서 두께를 상향하여 조도를 저감하여 광택도 및 색상을 증진할 수 있다. 이것은 기존 코팅재에서 두께를 상향 조정하면 줄무늬 발생과 조도의 증가로 인하여 작업할 수 없었던 일이다. Fig. 7은 Curing 조건별 광택도를 나타내고 있으며, curing 시간이 20 sec 이하에서 분위기 온도가 600~650℃의 경우가 550℃, 700℃ 보다 높은 광택도를 나타냈다. 또한 온도가 높을수록 광택도가 급격히 감소하는 경향을 나타냈다. 550℃ curing 조건의 경우 타 조건과는 달리 25 sec까지 광택도가 증가하다가 다시 감소하였다. 600℃이상에 있어서는 curing 시간 증가에 따라 광택도가 감소하였다.

코팅후 색상에 있어서는 Cr³⁺ 양에 의한 효과가 큰 것으로 기대되어 기존재, 본 연구코팅재, 수입제품의 피막중 Cr양을 GDS로 측정하였다. Fig. 8은 깊이방향에 따른 코팅성분의 profile을 나타내고 있다. 측정조건이 일정함으로 코팅층의 두께는 Fe-peak의 수렴시간에 비례하는 판재를 갖는다. 수입재 (b), (c), (d), (e)에 있어서 Cr-peak의 변적이 점점 증가함에 따라 greenish 정도도 증가하는 것을 육안으로도 확인할 수 있었다. 기존 코팅

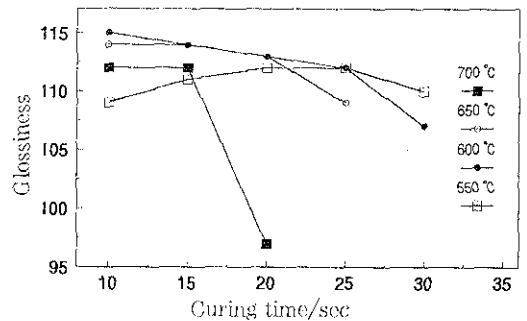
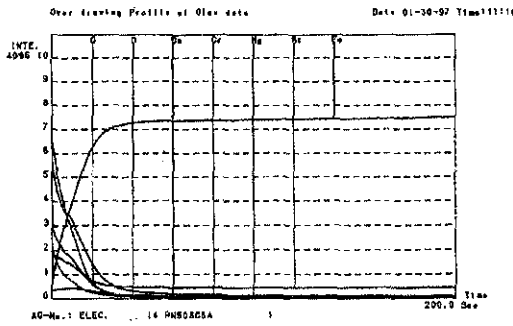
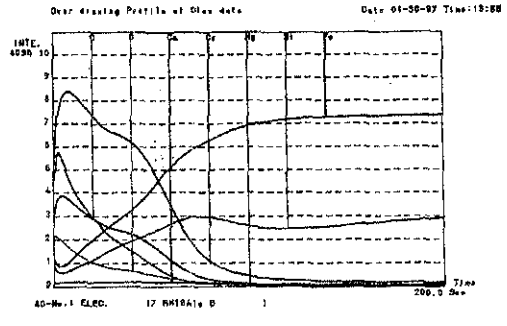


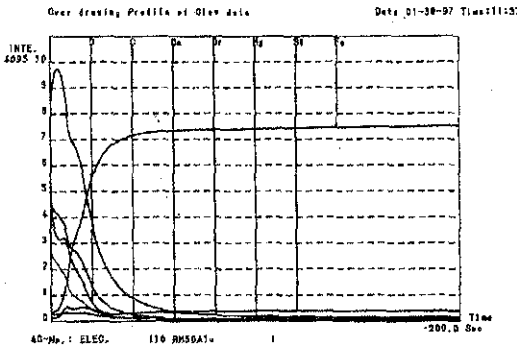
Fig. 7. Relation between surface glossiness and curing condition after insulation coating on silicon steel sheets.



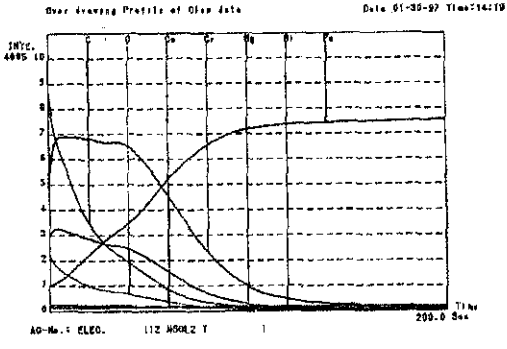
(a)



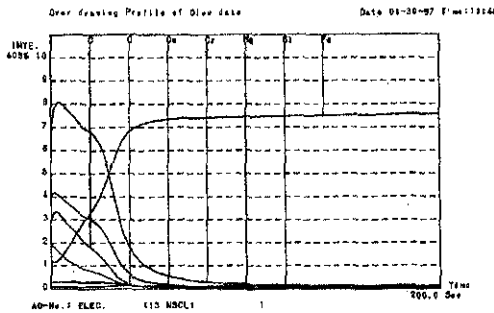
(b)



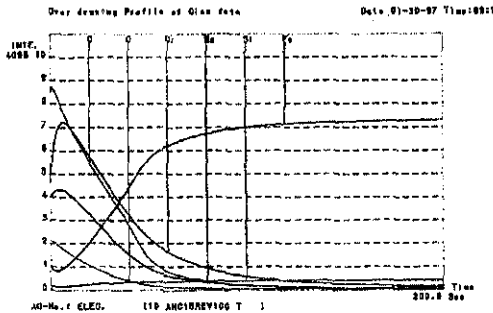
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 8. Results of GDS for coated silicon steel sheets, (a) PC41, (b) KA1, (c) KA4 (d) NL2 (e) NL1 (f) ANC15.

재의 (a)의 Cr양은 매우 적은 면적으로 나타났으며, 이에 따라 greenish 정도도 열하한 것으로 판단된다. 본 연구의 코팅제인 (f)의 경우 Cr의 함량을 높인 코팅재로 코팅층의 두께를 증가시키면 표면색상을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다.

색상의 정량적 수치를 얻기 위하여 CIELAB 공간에 각각의 시험코팅재에 의하여 코팅처리된 시편의 L^* , a^* , b^* -값을 측정하였다. 여기에서 L^* , a^* , b^* 는 각각 색의 밝기(명도), 적색, 황색의 성분축을 나타내고 $-a^*$, $-b^*$ 는 녹색과 청색의 축을 나타낸다. 기존 코팅재의 경우 L^* , a^* , b^* 가 68.37, -1.44, -0.07의 값을 나타내며, 일반적으로 a^* , b^* 가 -2.0, +2.0 정도가 바람직하다. 본 연구의 Mg-Chromate 59.00, 수지 34.23, E.G. 6.67 wt%의 코팅재 경우 어느 정도 두께를 상향하면 이와 같은 경향이 증진되어 a^* , b^* 가 -2.0, +2.0 정도의 값을 얻을 수 있었다.

4. 결 론

코팅재 줄무늬, 조도, 색상, 광택 등의 표면외관은 사용되는 원료의 수지종류, 콜로이드실리카 유무, Chromate의 양, 코팅층의 두께에 따라 크게 변화한다.

1) 줄무늬의 발생억제를 위해서는 유동성이 좋은 수지를 원료로 사용해야 하며, 콜로이드실리카는 코팅액의 물성 뿐만아니라 코팅후 줄무늬 억제에 좋지 않은 영향을 미친다.

2) 평활성이 우수한 수지의 사용과 기존성분중 콜로이드실리카 성분을 제거함으로 코팅후 소지 강판보다 낮은 조도를 유지할 수 있다.

3) 색상은 절연피막층 존재하는 Cr^{3+} 의 양이 증가하면 greenish 정도가 높아짐으로 코팅재의 Mg-chromate 양을 증량함으로 색상을 개선할 수 있었다. 광택도는 사용한 수지종류와 조성에 따라 크게 변화하였다.

참 고 문 헌

1. M. Nakamura, T. Sugiyama, and M. Kitayama, IEEE Trans. Mag., 17 (1981) 1270
2. 丹田 俊郎, 市 智之, 森戸 延行, 入江 敏夫, 嶋中 浩, 鐵과鋼, 66 (1980) 1010
3. 入江 敏夫, 丹田 俊郎, 中野 昭三郎, 三崎製鐵技報, 3 (1971) 337
4. 中村 元治, 岡田 弘, 松井 清, 北山 賢, 鐵과鋼, 66 (1980) 1000
5. 小森 ゆか, 山口 勝郎, 小松 原道郎, 材料とプロセス, 7 (1994) 827
6. T. Nakayama and S. Maru, Surface Modification Technologies, 4 (1994) 635
7. 黑崎 洋介, 崎 守雄, 河野 六郎, 材料とプロセス, 4 (1991) 1879
8. 黑崎 洋介, 崎 守雄, 河野 六郎, 宮崎 康信, 小原 昌弘, 材料とプロセス, 5 (1992) 903