

압연롤의 조도가 박판의 도장성에 미치는 영향에 관한 연구

김 순 경*

A Study on the Effect of Roughness of Rolling Roll in the Paintability of Strip

Soon-Kyung, Kim*

ABSTRACT

Surface roughness of cold rolled steel sheet as well as the coating technique itself is quite important in obtaining high image clarity of electronic products and car outer panels. Especially, surface characteristics of steel sheet have acquired increasing attention from the steel and automotive industries. While the influence of such characteristics on paintability, formability and painted surface appearance is important in defining steel surface requirements for automotive industries. Therefore this paper is dedicated primarily to the issue of paint appearance and reviews for improvement of roughness and peak count about the surface of work roll for the actual temper mill. The conclusions were obtained as follows :1) Roughness and peak count about the surface of steel sheet is strongly affected by surface condition of work roll. 2) The electro-discharge textured roll has more uniform roughness distribution than shot blasted roll and it's painted appearance of steel sheet has more improvement than that of the shot blasted because it has more harmonic wave roughness, and the higher peak count of surface roughness.

Key Words : Image clarity (선명성), Paintability (도장성), Harmonic wave roughness (조화파 조도), Appearance(외관), Electro-discharge texturing(방전조도가공)

1. 서 론

냉연강판은 외관이 중요시되는 자동차와 가전제품용으로 가장 많이 사용되고 있으며 건축자재용이나 기타 여러 분야에 강판소재로서 가장 널리 사용되고 있다. 특히 자동차의 경우 다양한 신소재의 개발과 더불어 냉연강판의 대체용으로 비철금속이나 플라스틱과 같은 수지 계통의

재료가 부분적으로 사용되고 있으나, 소재용 냉연강판은 자체로 사용되거나 내식성을 향상시키기 위한 도금 강판이 주로 사용되고 있다. 일반적으로 외판용은 냉연 강판을 성형 가공한 후 도장을 하는 경우가 많고, 부품용은 도금강판을 용도에 맞게 가공하여 사용한다. 따라서 도장 강판의 표면은 소재의 조도가 직접적으로 영향을 미치기 때문에 냉연강판의 생산공정에서 용도에 맞는 적절한 표

* 동의공업대학 자동차과

면조도를 부여해야 한다. 특히 외관품질이 중요시되는 자동차용 강판이나 가전제품 등에 사용되는 냉연 강판은 최종 제품의 용도에 맞게 강판 표면의 거칠기를 부여하는 것이 매우 중요하다.⁽¹⁻³⁾

도장이 요구되는 자동차 차체용 강판(Cold rolled steel sheet)은 순수 아연도금(Galvanized iron)이나 아연합금 도금(Galvalume)보다 우수한 선명성(Image clarity)이 요구된다.

최종 도장제품의 외관은 프라이머 서페이스 도장(中塗)과 최종 도장층인 상도(上塗)의 방법, 그리고 상도의 두께, 도료의 종류나 표면 조도 등에 따라서 결정된다. 도장 강판의 외관 품질을 결정하는 선명성(鮮映性)이나 광택도는 강판의 표면조도와 산의 수(Peak count)와 상관관계가 있으므로, 이 두 가지 요인이 가장 중요하다. 최근에는 강판의 형상이나 간격, 그리고 냉연 강판의 단면 형태 등도 도장성에 큰 영향을 미친다는 연구결과가 발표되면서⁽⁴⁾, 이 분야의 개선을 위해 많은 연구를 하고 있다. 특히 도장된 자동차 외판재의 외관은 강판과 아연 도금강판의 표면 조건에 영향을 가장 많이 받는다고 알려져 있다.

냉간압연 강판의 표면조도는 강판의 제조 공정중 최종 공정인 조질 압연 가공과정에서 작업물의 조도가 강판표면에 전사(Transcription)되어 강판의 표면 조도가 결정된다. 조질 압연가공의 압하율은 2% 이하이므로 조도의 전사율은 강판의 재질, 압하력, 장력의 크기, 작업물의 재질, 조압유의 윤활정도 등에 따라 결정되며,⁽⁵⁻⁶⁾ 강판의 품질에 직접적인 영향을 미치는 조질 압연용 작업물의 조도가 매우 중요하다. 그러나 롤 표면의 마멸에 의하여 초기 조도와 가공후의 표면 조도의 차이가 심하게 발생되므로 일정거리 이상 가공 후에는 작업물을 교환하여 강판의 표면조도 편차를 줄이고 있으며 본 실험에서는 롤의 길이방향 값을 기준으로 하였다.

최종 제품의 외관이 중요시되는 가전제품이나 자동차 산업에 있어서는 표면상태가 수요가 들의 상품 선택에 매우 중요한 역할을 한다. 외관품질은 도금과 도장성에 따라서 결정되므로 산의 수가 많고 균일할 수록 미려한 도금과 도장이 가능하며 높은 선명성도 얻을 수가 있다.⁽⁷⁻⁸⁾

따라서 본 연구에서는 조질 압연 가공용 작업물의 조도 가공방법에 관한 특성과 이에 따른 표면조도의 형태 등을 조사하고, 냉연강판과 도금강판의 표면조도를 다양하게 가공하여 도장을 한 후 도장성을 조사하였다. 특히 도장성에 가장 큰 영향을 미치는 강판 표면의 산수와 조도를 측정하고, 도장후 표면의 조도와 산 수, 그리고 도막 두

께, 선명성, 광택도 등을 비교하고 부위별 색차를 조사하여 가장 적절한 도장 조건을 찾아내고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

1) 실험재료

본 실험에 사용된 강판은 자동차나 가전제품의 외판재로 가장 많이 사용되는 SAE 1008을 사용하였다. 조질압연 가공에서 강판의 표면에 조도를 다양하게 부여한 3가지 종류의 시험편을 제작하되 CR₁과 CR₃는 Shot 가공롤을 사용하였고, CR₂는 방전 가공롤을 사용하여 CR강판을 준비하였다. 냉연강판 표면에 갈바륨 도금(Ga), 용융 아연도금(Gi)과 전기 아연도금(EGi)을 하여 시험편의 종류를 다양하게 하였다.

시험편의 크기는 가로 10cm, 세로 15cm로 타발 가공하여 시험편을 제작하였다. 시험편의 화학적 성분은 Table 1 과 같고 기계적 성질은 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical compositions of specimens (wt. %).

C	Si	Mn	P	S
0.05	0.009	0.25	0.010	0.010

Table 2 Mechanical properties of specimens.

Hardness (H _{RA})	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
53	264	357	42

2) 실험장치

본 실험에 사용된 조질 압연기는 Fig. 1에서 보는바와 같이 1스탠드 4단 압연기로서 작업물의 직경이 520mm이며 보강롤은 1360mm인 비 가역식이다. 그리고 최대 압연 가공속도는 800 m/min이고 압하율이 0.2%이하인 냉연강판 가공용이다. 작업물의 표면조도는 Shot blast 장치(Type : BICK4-1, Kuboda사)와 방전조도 가공기(Type : ET-60, Waldrich siegen사)에서 가공하였다.

도장성 실험을 위하여 사용된 스프레이 장치는 Fig. 2에서 보는바와 같이 내부에 시험편을 설치하고 도장작업을 할 수 있게 하고, 내부의 공기가 자동으로 밖으로 배출될 수 있게 제작하였다. 건조장치의 내부는 3단으로 되어 있으며, 임의로 설정한 건조 온도와 시간은 자동으로 조절되고 가열시간에 따른 온도를 기록할 수 있게 하였다.

3) 실험방법

시험편은 Table 1에서 보는 바와 같이 자동차용으로 가장 많이 사용되는 냉연강판을 조도가공이 된 조질 압연기의 작업롤을 사용하여 조도가공을 하였으며, 도금 강판인 시험편은 150 m/min으로 실제 제품을 생산하는 도금공정에서 전기 아연도금과 용융 아연도금을 하였다.

강판의 도금 부착량은 자동차용으로 사용되는 소재를 기준으로 전기 아연도금 강판은 50g/m² 양면도금을 하였고, 용융 아연도금 강판은 350g/m², 갈바륨 강판은 150 g/m²을 도금하였다.

도금강판과 냉연강판의 표면조도는 고정용 조도 측정기 (Model: Perthometer S3P, Mahr사)를 사용하여 측정하고, 작업롤의 조도는 휴대용 조도 측정기 (Model: T1000, Hommel사)를 사용하였다. 강판 표면과 작업롤의 조도, 산수, 그리고 분포 등을 비교하기 위하여 주사전자 현미경(SEM)을 사용하여 보다 확대된 표면을 자세하게 조사한 후 강판에 도장을 하였으며, 도료(PPG paint)는 솔리드를 사용하였고 실제조건과 같이 2회 도장을 하였다.

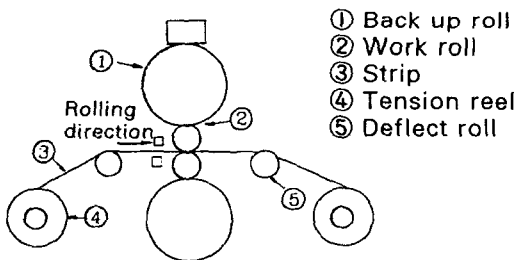


Fig. 1 Overall view of temper mill

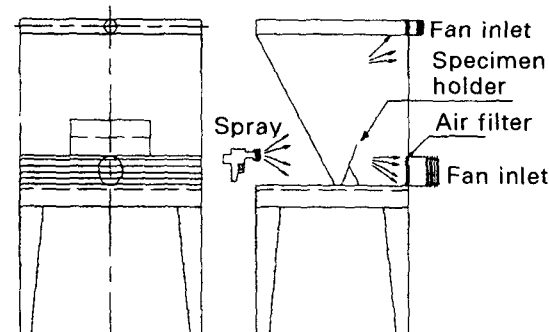


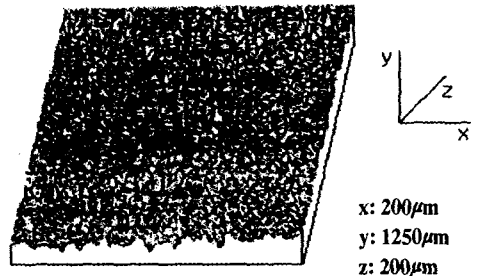
Fig. 2 Schematic diagram of spray booth

도장후 강판 표면을 색차계 (Model: CR-300, Minolta사)를 사용하여 색상의 편차를 조사하고, 도막두께와 광택도를 측정하였으며 DOI (Distinctness of Image) 도 측정하였다. 그리고 도장전과 마찬가지로 표면의 조도와 산수 등을 조사하여 도장전 강판 표면의 거칠기와 선영성, 도막두께, 광택도 등도 비교하였다.

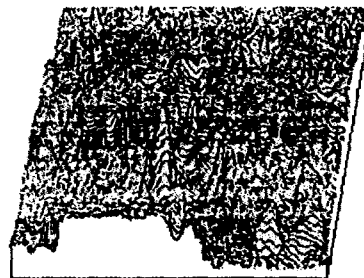
3. 실험결과 및 고찰

1) 작업롤의 조도가공과 판면조도

조질 압연가공을 위한 작업롤의 표면조도는 Fig. 3에서 보는바와 같이 방전가공에 의한 조도 가공(a)과 Shot blast에 의한 가공방법(b)을 사용하였다. Fig. 3의 (a)에서 보는바와 같이 방전 조도가공의 경우는 산의 크기가 매우 균일하고 조밀하지만, Shot blast에 의한 조도는 불규칙적이다. 그리고 Fig. 3의 (b)에서 예리하고 높게 돌출된 산 뒤에 조도가공이 안된 편평한 부분에 연삭숫돌 자국이 그대로 남아 있어 조도가공이 균일하지 않았음을 볼 수 있다. 이와 같이 가공된 작업롤의 표면 조도는 강판의 표면에 그대로 전사되므로 최초 롤 표면 조도가 매우 중요하다.



(a) Electro-discharge texturing method



(b) Shot blast texturing method

Fig. 3 Shape of surface roughness on the texturing method.

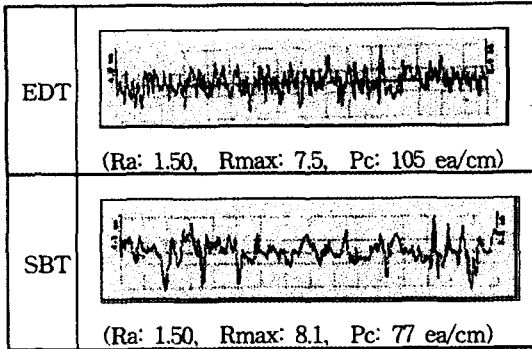
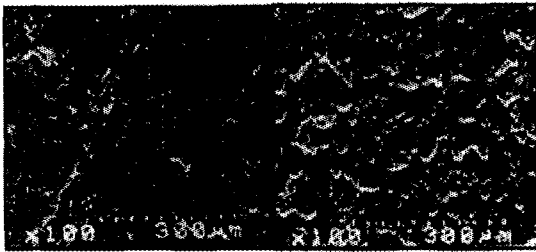


Fig. 4 Comparison of the work roll surface roughness and peak counts



(a) SBT(CR₂) (b) EDT(CR₂)

Fig. 5 Comparison of the steel sheet surface roughness on the texturing method

Fig. 4에서 방전 조도가공은 산의 크기가 중심선 상하에 균일하게 분포되어 있고 매우 조밀한 형태를 나타내고 있지만, Shot blast 가공에서는 불규칙적이고 부분적으로 조도가 가공된 것을 볼 수 있다. 롤의 초기조도는 Ra 1.5 µm으로 방전 조도가공과 Shot blast가공이 같은 값을 나타내지만, 산의 수는 방전 조도가공이 105개/cm로 77개/cm인 Shot blast보다 약 1.5배정도 많음을 알 수 있다.

연신율을 주면서 조절 압연가공을 할 경우, 방전 조도가공 롤은 냉연강판의 판 면에 지속적으로 조도를 전사시키지만, Fig. 3의 (b)에서 보는바와 같이 Shot blast 조도가공 롤은 산의 예리한 부분이 집중적인 하중을 받아 압연가공 초기에 마멸되어 평면화된다.⁽¹¹⁾ 따라서 Ra 값은 같다고 해도 Shot에 의하여 조도가공된 롤은 마멸이 급속하게 진행되어 강판표면의 조도 균일성이 나쁘고 롤의 수명도 짧다. 그러나 방전조도가공 롤은 압하력이 작아 슬립에 의한 마멸이 거의 없고, 산의 형태가 균일하고 조화파에 가깝기 때문에 급속한 마멸도 발생되지 않는다.

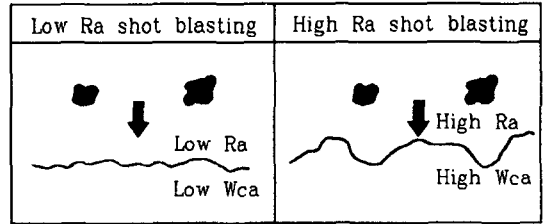


Fig. 6 Relationship between Ra and Wca for blasting force of shot blast texturing

따라서 냉간 압연 제품의 도장성과 성형성에 영향을 미치는 강판의 표면조도는 조절 압연용 작업롤의 표면조도와 산의 형태에 따라 결정되므로 조도 작업롤의 가공방법을 적절하게 사용해야 한다.

Fig. 5의 (a)는 Fig. 3의 (b)롤에 의하여 가공된 강판이며, Fig. 5의 (b)는 Fig. 3의 (a)롤에 의하여 가공되었으므로 산의 형태와 분포가 작업롤 표면의 형태가 전사되었음을 볼 수 있다.

Shot에 의하여 가공된 작업롤의 표면 조도는 Fig. 6에서 보는바와 같이 그리트(Grit)의 충격력에 의하여 조도가공을 하고 있으므로 정확하고 균일한 조도를 얻기가 어렵다. Ra와 파형이 그리트에 의하여 어느정도는 조절될 수도 있으나 균일한 표면을 얻을 수는 없다. 그러므로 전사된 강판의 표면은 산의 형태가 매우 불균일하여 도장이나 도금 후에도 표면의 조도에 의한 광택이나 선형성이 저하되는 요인이 된다고 판단된다. 그러나 방전조도가공은 전류의 크기에 따라서 산의 크기가 결정되므로 Fig. 5의 (b)와 같이 거의 일정한 크기와 간격으로 가공된 강판의 경우는 도장 후에도 양호한 표면을 얻을 수 있다. 따라서 균일한 조도의 강판 표면가공은 작업롤의 표면조도가공이 매우 중요하다고 생각된다.

2) 강판표면의 조도와 도장성

Fig. 7은 강판 표면의 도장 순서를 도식화 한 것으로서 냉연강판에 도장을 하는 경우와 도금강판에 도장하는 경우를 나타낸 것이다.⁽⁹⁾ 본 실험에서 도금 두께는 7~50µm이고 전체 도료의 두께는 130~160µm 정도로 도장을 하였다. 그 결과 도막두께 측정값은 냉연강판의 경우는 전체 두께가 132~164µm으로 나타났고, 도금강판의 경우는 도금층을 포함한 전체 도막 두께가 160~195µm으로 나타났다.

Fig. 8은 강판표면에 조도가공을 한 후 도장하였을 때

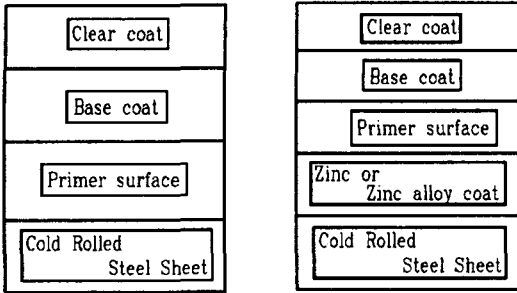


Fig. 7 Schematic diagram of painting procedure

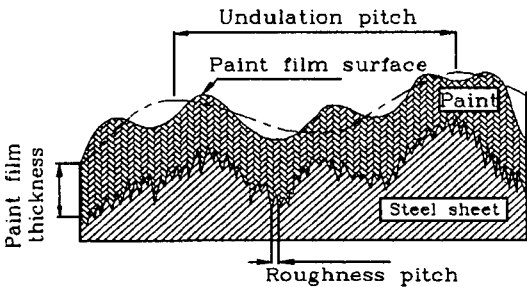
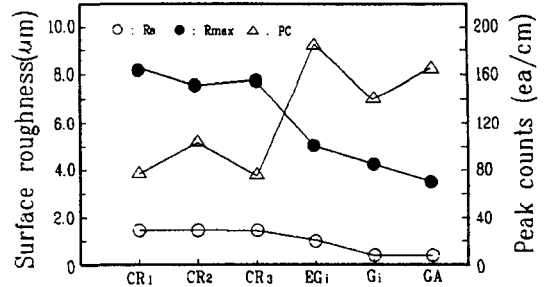


Fig. 8 Schematic diagram of undulation paint layer and pitch on the steel sheet

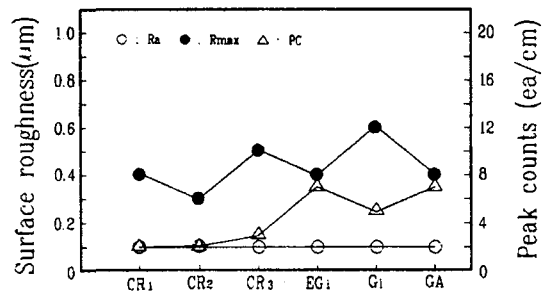
도료의 두께가 조도의 변화에 미치는 영향을 나타낸 것이다.⁽¹⁰⁾ 도장회수가 증가하면 할수록 불규칙적인 강판의 조도가 어느 정도 보상되지만 도막의 두께가 상대적으로 두꺼워져 도료의 소비량이 많아지고 시간도 많이 걸린다. 그리고 낮은 부분은 도료의 두께가 지나치게 두꺼워지는 반면 돌출된 부분은 도막의 두께가 너무 얇게되어 투명부분이 제거되면 점녹(Spot rust)이 발생되므로 조도가 도장에 매우 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

Fig. 9의 (a)는 강판상태의 조도와 산의 수를 나타낸 것으로 CR₁, CR₂, CR₃는 동일한 조도에서도 방전가공률을 사용한 CR₂의 경우는 산 수는 가장 많지만 Rmax값은 가장 작다. 도장전 CR₁은 표면조도가 1.5 μ m이고 산의 수는 77개/cm이었으나 도장후에는 조도가 0.1 μ m으로 감소되고 산의 수도 2개/cm로 감소되어 점차 평면화됨을 알 수 있다.

상도가 끝난 후 표면의 거칠기도 방전 가공률을 사용한 CR₂가 Shot 가공률을 사용한 CR₁, CR₃보다 산 수와 크기가 축소되고 균일화되어 도장표면의 상태가 매우 양호하게됨을 볼 수 있다.



(a) Steel sheet(before painting)



(b) Steel sheet(after painting)

Fig. 9 Variation of surface roughness and peak counts on the painted steel sheet(C₁,C₂ : 0.3 μ m, LC : 0.8mm)

Fig. 10은 강판표면의 조도가 도장회수의 증가에 따라 변화하는 것을 나타낸 것으로 수직 눈금은 2.5 μ m, 수평 눈금은 0.8mm로 하고 Lc는 0.8mm를 기준으로 하였다. 도장전에는 작업물의 조도가 강판에 그대로 전사되었음을 뚜렷하게 나타내고 있지만 도장회수가 증가 되면서 급속하게 감소되어짐을 알 수 있다. 강판에 1차적으로 프라이머 서페이스 도장을 하면 산의 크기가 Ra 1.5 μ m에서 0.4 μ m로 감소되지만 끝 부분이 예리하게 변화되어 산 수가 77개/cm에서 114개/cm로 증가되었다. 그러나 슬리드 도료를 프라이머 위에 도장하면 조도 Ra가 0.4 μ m에서 0.1 μ m로 감소되고 산의 끝 부분이 극히 미세한 형태로 변화되었지만, 산수는 114개/cm에서 2개/cm로 감소되었다.

Fig. 11은 강판 종류별로 슬리드 도료를 도장한 후 표면 상태를 나타낸 것으로 산의 평균 크기인 Ra값은 동일하게 나타나지만, Rmax값은 큰 차이가 없이 유사하게 나타났다. 그러나 산의 수는 도금강판이 CR강판 보다 대체로 높게 나타났다. 여기서 방전 조도 가공률을 사용한 CR2 강판이 Rmax값과 산수 등에서 가장 우수한 결과를

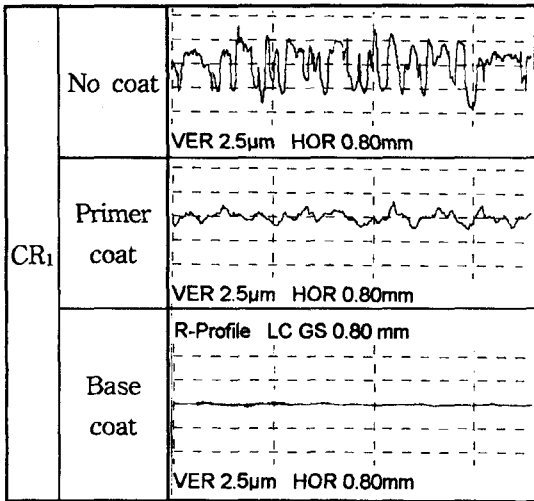


Fig. 10 Variation of surface roughness for cold rolled steel sheet

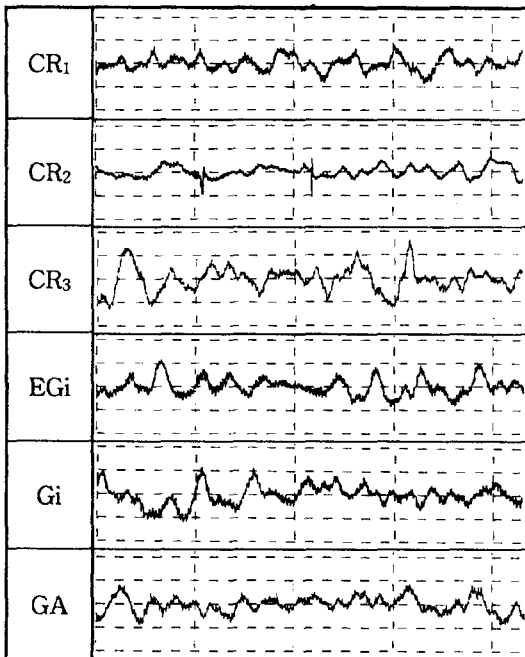


Fig. 11 Variation of surface roughness for steel sheet (C_1, C_2 : $0.3\mu\text{m}$, LC : 0.8 mm , ver. : $0.25\mu\text{m}$, hor. : 0.8mm)

나타내고 있음을 볼 수 있다.⁽¹¹⁾ 따라서 도장후 강판의 표면상태가 가장 양호한 강판은 방전 조도가공 작업물에 의하여 가공된 강판이므로 자동차와 같이 외관이 중요시되

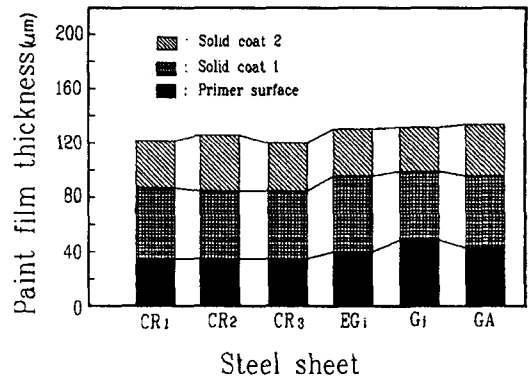


Fig. 12 Variation of paint film thickness on the steel sheet

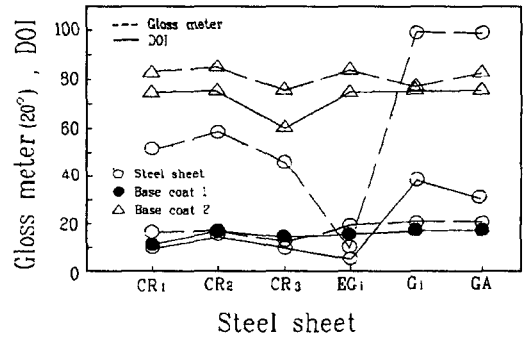


Fig. 13 Comparison of gloss and DOI value on the steel sheet (Solid paint)

는 부분에 사용되는 강판은 조절 압연 작업물을 방전 가공하여 사용하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

도장후 도막두께를 비교해 보면 Fig. 12에서 보는바와 같이 냉연강판은 프라이머 서페이스 두께가 $35\mu\text{m}$ 이고, 1차 솔리드 도료의 두께 $50\mu\text{m}$ 에 2차 솔리드 도료의 두께가 $40\mu\text{m}$ 이 되어 전체 두께는 $125\mu\text{m}$ 이 되었다. 냉연강판의 도막두께는 거의 유사한 경향을 나타내지만 방전 가공 강판인 CR_2 의 도막두께가 Shot 가공물을 사용하여 가공한 CR_1, CR_3 보다 도막두께가 $8\mu\text{m}$ 정도 두껍게 나타났다. 그러나 전반적으로 보면 도금강판보다 전반적으로 도막의 두께가 $10\sim 15\mu\text{m}$ 정도가 작게 나타났다. 이와 같은 현상은 도금강판 표면에 인산염 처리로 인한 프라이머 서페이스의 도막이 두껍게 형성되기 때문인 것으로 추정된다. 그러나 도료의 두께 편차는 별로 크지 않고 유사한 경향을 나타내고 있다.

광택과 DOI의 경우는 Fig. 13에 나타난바와 같이 도장전과 1회, 2회 도장했을 때의 차이가 크게 나타남을 볼

수 있다. 도장전의 강판표면 광택도는 CR의 경우는 거의 유사하지만, 용융 도금인 GA와 Gi의 경우는 용착된 금속이 매우 평활한면을 유지하여 경면화가 되었기 때문에 광택도가 거울면과 유사한 95이상이었다. 그러나 전기 아연도금 강판인 EG의 경우는 전기분해에 의하여 도금이 되므로 표면이 거칠게 되어 광택이 거의 없어 광택도가 10정도로 나타났다. 도장전보다 프라이머 서페이스를 칠하면 표면의 광택도가 감소되는 현상은 강판과 도료의 부착성을 증가시키기 위하여 Fig. 14와 같이 도금강판 표면을 인산염이나 크롬산처리를 하는 것과 마찬가지로 프라이머 서페이스 도료의 입자를 크게 하였기 때문에 표면의 거칠기가 증가된 것으로 판단된다.

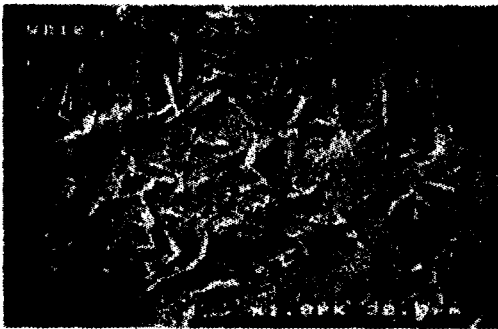
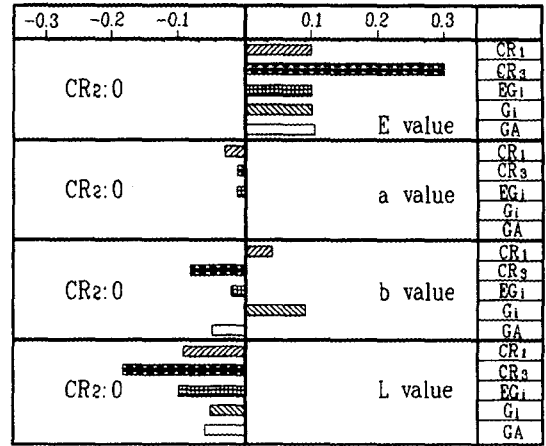


Fig. 14 Photo. of phosphate steel sheet (Gi)

그리고 전기 아연도금 강판은 도금 표면이 아연입자 상태로 잔존해 있기 때문에 프라이머 서페이스와 유사한 값을 나타내고 있다. 그러나 용융도금 강판의 경우는 도금 표면이 매우 평활하여 도장면 보다 광택도가 높게 나타났다. 전체적으로 비교해 보면 프라이머 서페이스와 슬리드 도료를 도장하고 나면 소재의 표면 조건과는 큰 차이가 없어지는 경향을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 도막두께 100 μ m이상에서 광택도는 강판의 표면조도 Ra 1.5정도에서는 도료의 입자에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

도장전 강판의 선형성은 다소 유사하게 보이지만, 프라이머 서페이스의 도장후 선형성은 광택도와 거의 같은 값을 나타내다가 상도 후에는 경향은 유사하나 값이 5~10 정도 낮게 나타났다. 따라서 도막두께가 100 μ m이상이 되면 광택도와 선형성은 도료의 입자 크기와 표면 조도와 관계가 있으며, 도막두께와는 상관관계가 거의 없음을 볼 수 있다.



CR₂: Datum point

Fig. 15 Comparison of color difference value on the steel sheet

Fig. 15는 표면 조건이 서로 다른 강판을 종류별로 구분하여 조도의 상태가 가장 양호한 CR₂강판을 기준으로 비교한 것으로 상도후에는 거의 색차가 없음을 볼 수 있다. 녹색(-)과 빨간색(+).을 나타내는 척도인 a값은 거의 차이가 없고, 푸른색(-)과 노란색(+).의 경향을 나타내는 b값도 0.1이하의 차이를 나타내어 거의 유사함을 알 수 있다. 그러나 흑백의 척도인 L값은 전체가 (-)로 편중되어 있어 전반적으로 다소 어두운 경향을 보여주고 있으나 색상의 큰 차이는 거의 없다고 판단된다. 따라서 조도가 Ra 1.5 μ m이하에서는 색상이 서로 다른 강판도 도막의 두께가 증가하면 점차 색상의 차이가 감소되어 강판의 종류에 따른 변화는 거의 없었다.

4. 결론

냉간압연 가공에서 강판의 표면조도 가공물의 가공방법과 강판 표면조건의 변화에 대한 도장강판의 도장성을 비교 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 작업률의 방전조도 가공은 전류의 크기에 의해 산의 크기와 간격이 결정되므로 도장이나 도금용 강판의 가공에 알맞다.
- (2) 방전 가공물을 사용한 CR₂가 Shot 가공물을 사용한 CR₁, CR₃보다 산의 수와 크기가 작고 균일하여 도장용 강판에 적합하다.
- (3) 상도후 강판의 표면조도(Ra)는 전체적으로 동일하지

만, 산의 수는 도금강판이 CR강판 보다 많고 Rmax 값이 클수록 적다.

- (4) 도막두께가 120 μ m 이상일 경우 광택도는 10%, 선영성은 최대 25%까지 차가 발생되었으며 이는 강판의 표면 조도와 관계가 있다.
- (5) 색상이 서로 다른 강판도 도막의 두께가 증가하면 점차 색상의 차가 감소되어 120 μ m 이상에서는 강판의 종류에 따른 색차는 거의 없다.

후 기

이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Aspinwall, D. K., Zhao, F. L., and El-Menshawly, M. "Electro-discharge Texturing(EDT) of Steel Rolls," Surface Topography 2, pp. 123~141, 1989.
2. Jacques A. Defourny, Vincent M. Leroy. Paul E. Nilles., "Update of Developments in Lasertex Technology," Iron and Steel Engineer, Vol. 68, No. 8, pp. 39~42, 1991.
3. Kenji, K., Katsumi, M., Yoichi, K. and Mitsugi, K., "Electric Discharge Method for Work Roll of Cold Rolling Mill," Nilsson Hokan Technical Report, Overseas No. 33, pp. 40~46, 1991.
4. Fujiwara, T., "The Development of High Clarity Steel Sheet," Nissan Technical Review, No. 23, pp. 53~59, 1981.
5. 原木 鐔二, 萬羽 昭夫, "鋼板の冷間壓延における Rollの粗度底下に関する検討," 鐵と鋼, 第 3號, pp. 126~130, 1987.
6. T. Kono, Y. Misaka, "A Methmetical Model on Strip Profile and Shape in Cold Rolling," Iron and Steel Engineer, No. 15, pp. 286~294, 1981.
7. Furukawa, K., "Development of High Image Clarity Steel Sheet Laser Mirror," Kawasaki Steel Tech. Report, Vol. 20, No. 3, pp. 123~141, 1988.
8. Filan. T. G., Perfetti, B. M., Scialabba. B. J., "Relationship of Sheet Surface-Roughness Texture to Painted Sheet Appearance," Proceeding 19th Congress on Mech. Working and Steel Processing Pittsburgh, Pa., June, pp. 148~157, 1977.
9. H. N. Hahn and J. J. Snyder, "Effect of Surface Texture and Strain on Painted Appearance of Zinc-coated Steel," 1988 Mechanical working and steel processing proceedings, pp. 163~169, 1988.
10. V. Cascioli and A. Segala, "Influence of Surface Morphology on the Appearance of Cold Rolled Steel Sheet After Painting," 15th IDDRG, pp. 117~120, 1988.
11. Adel F. Bastawros and John G. Speer, "Effects of Steel Surface Texture on Appearance After Painting," SAE Technical Paper Series 930032, pp. 1~14, 1993.