한국기계가공학회지, 제7권, 제4호, pp.68～75 (2008. 12)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 7 No. 4, pp.68～75 (2008. 12)

자동차 보수도장용 수용성 도료의 도장특성에 관한 연구

김순경*, 김문경#

A Study on the Painting Characteristics of Waterborne Paint for Automotive Refinish

Soon-Kyung Kim*, Moon-Kyung Kim#

ABSTRACT

This paper investigates the correlation between surface roughness and gloss of aluminium sheet painted waterborne paint. One customer criterion of automotive quality is the as-painted appearance of the final products. Especially, the current emphasis on control of surface roughness of sanded aluminium sheet has been prompted by the automotive industry's concern with the as-painted appearance. because the influence of such characteristics on paintability, and painted appearance is important in defining outer panel requirements for automobile. This paper is dedicated primarily to the issue of painted appearance and reviews for improvement of roughness. The conclusions are obtained as follows ; 1) Painted aluminium sheet appearance is strongly affected by surface roughness of base-metal and influenced by sand paper and sanding method. 2) The painted appearance of aluminium sheets was determined and related to surface roughness parameters, combination of sand paper.

Key Words : waterborne paint (수용성 도료), refinish (보수 도장), surface roughness (표면 조도), gloss meter (광택계), paint film thickness (도막 두께)

1. 서 론

자동차 보수도장은 하지작업과 중도작업, 그리고 상도작업을 통하여 도료를 물체의 표면에 균일하게 칠하고 이를 고체화시켜 물체를 보호하고 아름다운 외관을 얻는 것을 말한다.

일반적으로 자동차의 차체는 대기 중에서 운행을 하므로 비를 맞거나 햇볕에 노출되고, 지역에 따라서는 바닷물의 염분과 동결방지용 염화나트륨 등과도 접촉하게 되므로 부식에 잘 견딜 수 있어야 한다. 따라서 자동차의 도장은 품질과 가격을 결정하는 척도로도 사용되기 때문에 외관을 매우 중요시하게 되었다.[1-2] 따라서 이러한 목적을 위하여 도장을 실시하며 도막이 완전하게 형성되어 차체의 수명이 장기간 유지될 수 있도록 하기 위한 여러 가지 방법이 연구되고 있다.

자동차 도장의 발달사를 보면 1970년대에는 외관을 아름답게 하고 내구성을 향상시키는데 중점을 두고 중도작업은 Alkyd melamine으로 하고 마무리 상도작업은 Acryl & Polyester melamine으로 처리 하였다.

점차 환경오염을 중요시하면서 휘발성 유기화합물

* 동의과학대학 자동차과
# 창원전문대학 자동차 기계설계학부

인 VOC(Volatile Organic Compounds)절감을 위한 노력이 시작되었다. 중도는 Polyester melamine으로 처리하고 상도는 High solid화 되었다. 그러나 1990년대에는 내산성을 향상시킬 수 있는 도료를 개발하고자 하였으며 우레탄계의 프라이머 서페이서와 상도용 2K(2액형) 우레탄계가 사용되기 시작하였다. 그러나 2000년대에 들어서면서 내스크래치성 우레탄계 도료가 중도용으로 사용되고, 상도용 도료는 친환경성, 기능성 도료와 함께 수용성도료가 점차 확대 적용되고 있다.

본 연구의 목적은 자동차의 보수 도장에서 수용성 도료를 사용하여 연마작업과 도막의 특성에 대하여 조사하였다. 연구한 결과를 바탕으로 자동차 보수도장의 기본적인 작업방법을 선정하고자 하였다. 퍼티를 사용하지 않고 중력식 스프레이건을 사용하여 도장을 하였으며 차체용 알루미늄 판재의 표면 거칠기가 도장 후 표면 거칠기와 연마흔적에 미치는 영향을 연구하고, 상도용 수용성 도료와 알루미늄 판재를 사용하여 외관 품질의 향상을 위한 방법을 찾고자 하였다. 그리고 보수도장의 특성에 맞는 표면의 거칠기와 수용성 도료에 적합한 도막을 찾아내고 표면의 광택도와 선영성(DOI)을 향상시키고자 하였다.

2. 수용성 도료의 특성

2.1 수용성 도료와 VOC 발생량

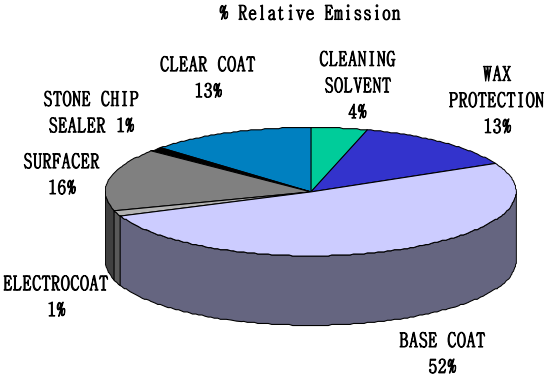


Fig. 1 VOC on the painting progress (%)

도료에 포함된 휘발성 유기 화합물(VOC)의 발생률은 Fig. 1에서 보는바와 같이 유성 도료를 사용할 경우 상도작업인 Base coat작업에서 52%가 발생되고 기타작업에서 48% 정도 발생되는 것으로 나타나고 있다. 상도작업에서 인체에 유해하고 환경오염의 원인이 되고 있는 휘발성 유기 화합물이 가장 많이 발생되고 있음을 볼 수 있다.

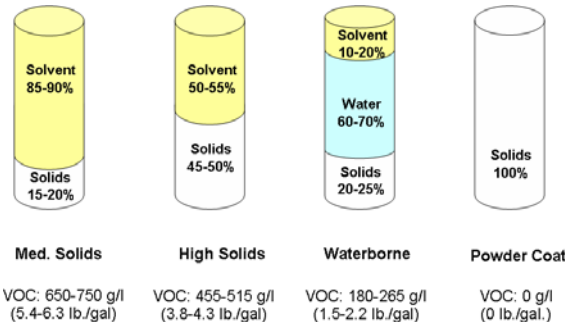


Fig. 2 VOC in the paint for base coat

Fig. 2에서는 상도작업에 사용되는 도료의 종류에 따라 발생되는 VOC의 양을 나타낸 것으로서 휘발성 유기 용제가 많은 도료일수록 발생량이 많음을 볼 수 있다. 특히 용제가 물이 대부분인 수용성 도료인 경우는 현저하게 감소되는 것을 볼 수 있다.

유럽에서는 인체에 유해하고 환경오염의 원인이 되고 있는 VOC의 규제를 45g/㎡이하로 하고 있으며 독일을 중심으로 이미 자동차 도장용 도료는 대부분 수용성 도료를 사용하고 있다.

2.2 수용성 도료의 장단점

수용성 도료의 장점은 친환경적인 도료로서 인체에 무해하며 마취성과 발화 위험이 없다. 그리고 수용성 도료는 레벨링성이 우수하므로 선영성이 뛰어나 작업성이 매우 우수하다. 뿐만 아니라 투명의 선택이 용이하고 색상의 대응 폭이 매우 넓은 장점이 있다.

최근에는 수용성 도료의 가장 큰 단점으로 지적되어 온 건조성 문제를 해결하기 위해 자기 경화형 수지를 개발하여 우수한 도막 물성과 더불어 최대한 건조시간이 단축될 수 있도록 도료를 특수 배합하고 있다. 장기간 저장성에서도 5~35 ℃의 저장 조건을 유

지할 경우 2년 정도의 저장성이 가능하며 장기간의 저장 후에도 이색 현상이 적고 안료 침강도 용제형 도료에 비하여 적게 발생된다. 적용 원료의 특성이 기존의 용제형 투명 도료와 잘 어울리도록 설계되어 있어 초기의 외관이 장기간 지속되고, 시간이 경과하면서 도막이 더욱 견고하게 경화되는 특성을 갖고 있다. 그리고 자기 경화 방식의 내충격 흡수 구조로 설계된 수지를 적용하여 내수성, 내후성, 내산성이 우수하고, 스크래치에도 용제형보다 잘 견딘다.

그러나 플래시 오프(Flash off) 시간이 많이 소요되고 흘러내리는 성질을 보완하기 위한 별도의 송풍장치가 필요한 단점이 있다.

2.3 수용성 도료의 건조장치

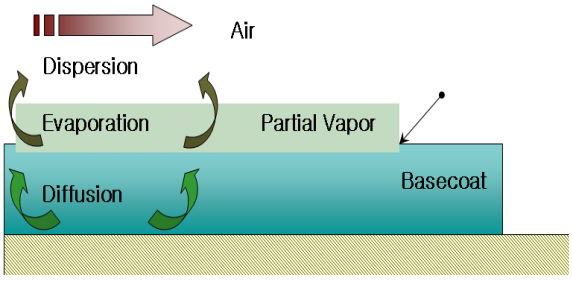


Fig. 3 Dry theory in the waterborne paint

Fig. 3은 도막에 잔존해 있는 물이나 수분은 도막에서 확산 과정을 통하여 대기와 표면사이에서 증발되고 최종적으로 대기 중으로 분산되어 없어지는 것을 나타낸 것이다.

도료를 효율적으로 활용하기 위해서는 설비를 보완하거나 이에 상응하는 대책을 강구해야 한다. 이러한 준비는 수용성도료에 국한되는 것은 아니며, 보수작업에 수용성 도료를 사용하기 위해서는 기본적으로 구비해야 할 설비는 건조 촉진장치와 건 세정 기기를 들 수 있다.

건조 촉진방법에서 부분도장이나 도장부위가 작은 경우 사용 중인 에어 건을 이용하여 도장부위를 블로잉 함으로써 건조를 촉진시키는 것을 말한다. 도장면적이 커지면 건조속도는 상대적으로 느려지게 되므로 이 경우에는 별도의 에어 블로잉 장치나 근적외선 오븐으로 도료의 도포 표면을 건조시키는 것이 좋다. 그리고 건 세정장치는 에어 스프레이건의 세정과 포집된 폐수의 재활용이 가능하도록 특수 설계된 소형장치로서 자동차 보수 도장업체에서는 기본적으로 이 장치를 갖추어야 한다.

3. 실험 방법

3.1 실험 재료와 방법

Fig. 4 Photo. of specimens(Aluminium)

시험편의 소재는 Fig. 4에서 보는바와 같이 차체용으로 사용되는 알루미늄 판재를 사용하였다. 크기는 90 x 200 mm이며 조색 시편용으로 많이 사용되는 것을 사용하였으며 시험편의 시험 조건을 6가지로 구분하였다.

Table. 1 Surface make method of specimens

No.	Sanding condition of aluminum sheet
1	P80 ➡ P180 ➡ P240 ➡ P400
2	P80➡P180 ➡P240 ➡ P400 ➡ P1000 ➡ P1500
3	P80 ➡ P400
4	P80 ➡ P1500
5	P180 ➡ P400
6	P400 ➡ P1500

Fig. 4의 시험편을 Table 1과 같은 6가지 조건으로 표면처리를 하였다. 6가지 조건으로 동일한 압력과 속도로 손으로 연마를 한 알루미늄 시편을 사용하였다. 이 알루미늄 시편에 자동차 보수용 하지도료와 경화제를 100 : 2 비율로 배합한 후 전용 용제를 사용하여 점도를 조절하고 모든 시편을 일정한 두께로 3회 연속 도장하였다. 소재의 표면 거칠기가 도장성에 영향을 미치는 정도를 조사하기 위하여 Table 1에서 보는바와 같이 여러 가지 연마지를 조합하여 단계별로 6가지 시험편을 P80, P180, P400, P1000과 P1500 연마지로 표면 연마를 하였다. 그리고 프라이머 서페이서를 도포한 다음 상도도장을 하고 투명으로 표면을 아름답고 내구성이 좋게 하여 실제 차량의 보수도장에서 사용하고 있는 보수도장방법을 적용하였다

3.2 실험 장치

자동차용 판재의 도장성 실험을 위하여 사용된 도료 분사장치인 소형부스(Booth)는 Fig. 5에서 보는바와 같이 중앙 내부에 시편을 설치하여 도장작업을 할 수 있게 하고, 도료 분사시에 발생되는 각종 분진과 휘발성 유기 용제 등을 부스내부에서 밖으로 자동 배출될 수 있게 제작하였다.

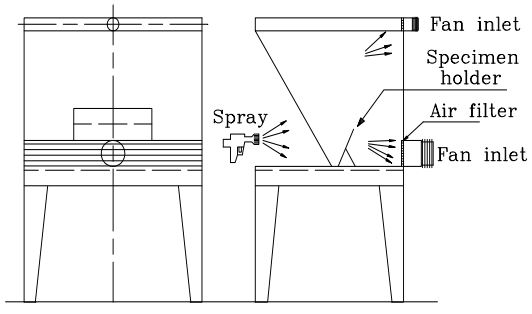


Fig. 5 Schematic diagram of spray booth

Fig. 6은 칠한 시험편을 건조시키는 전기 오븐으로서 시험편을 신속하게 건조 시킬 수 있다. 이 장치는 온도와 시간을 입력시켜 건조 조건을 임의로 조절할 수 있도록 하였다.

Fig. 6 Photo. of dryer for specimens

4. 실험결과 및 고찰

4.1 연마작업과 소재의 표면 거칠기

상도 도장이 완료된 상태의 표면 거칠기는 표면 광택도와 밀접한 관계가 있으며 선영성을 결정하는 매우 중요한 값이다. 모재인 알루미늄 판재를 지나치게 거칠게 하거나 미세하게 하면 상도 도장 표면이 거칠게 되거나 부착력이 약하게 되는 결과를 가져오므로 적절한 수준을 찾아야 한다.3-4)

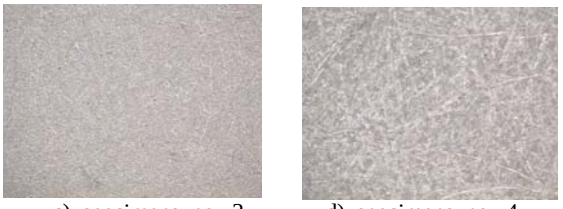
전술한 바와 같이 본 실험에서 실시한 소재의 표면 거칠기는 6가지로 구별하여 실시하였으며 연마에 사용한 연마지의 종류는 P80, P180, P240, P400, P1000, P1500 이다.

No. 1 No. 2 No. 3 No. 4 No. 5 No. 6

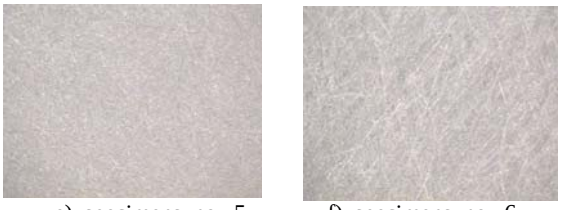
Fig. 7 Photo. of specimens after sanding

Fig. 7은 Fig. 4의 시험편을 Table 1과 같은 방법으로 연마한 소재의 표면을 나타낸 것이다. 1,3,5번은 #400 연마지로 마무리 작업을 하였으나 2,4,6번 시험편은 #1500으로 최종 마무리 작업을 하였다.

a) specimens no. 1 b) specimens no. 2



c) specimens no. 3 d) specimens no. 4



e) specimens no. 5 f) specimens no. 6

Fig. 8 Surface after sanding of Al sheet (x 20)

Fig. 8은 Table. 1과 같은 조건으로 알루미늄 시험편의 표면을 20배로 확대한 것이다. 1번 시험편은 P80번으로 연마를 하고 P180, P240, 그리고 P400으로 마무리를 하였고 2번 시험편은 1번 조건에서 P1000과 P1500으로 추가로 연마를 한 것을 공구 현미경으로 확대한 것이다. P400으로 마무리한 1번과 P1500으로 마무리한 2번 시험편을 비교해보면 거의 유사하게 나타났다. 그리고 3번과 4번 시험편도 P80으로 연마를 하고 P400번과 P1500번으로 마무리를 한 경우, P1500으로 마무리한 시편에서 광택이 나는 부분이 많음을 알 수 있다. 여기서도 3번과 4번에서 나타난 바와 같이 P1500으로 마무리한 시편에서 광택이 나타나고 있다. 전체적으로 보면 마무리 연마를 P1500으로 작업한 경우에는 흰색으로 보이는 부분이 많이 보인다. 이것은 광택을 나타내는 것으로 보이지만 산으로 판단되며 스크래치의 형태가 불균일함도 볼 수 있다.

4.2 상도 도장과 표면의 거칠기 비교

자동차 보수 도장은 표면 연마를 하고 하도와 중도 상도를 하며 유성이나 수용성도료가 같은 순서로 진행된다. 수용성 도료의 경우도 최종적으로 사용되는 투명은 유성도료와 같은 종류이며 작업방법도 동일하다.

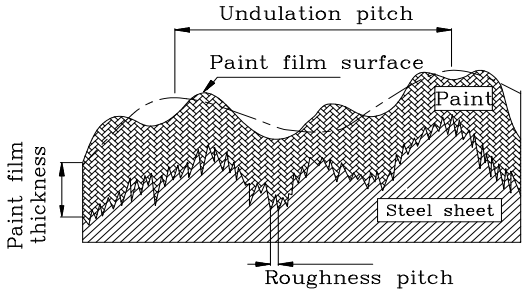
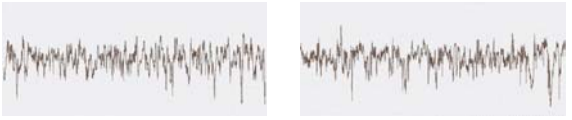
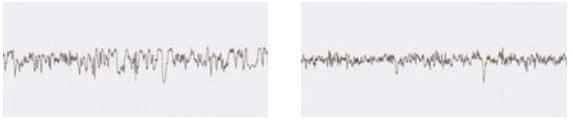


Fig. 9 Overall view for paint surface roughness

Fig. 9는 상기 내용과 같이 자동차 차체의 도장 도막의 단층을 나타낸 것으로 강판표면의 거칠기와 도막의 관계를 구조적으로 나타낸 것이다. 도장회수가 증가하고 도막의 두께가 두꺼워 질수록 미세하게 형성되었던 강판표면의 산의 수가 줄어들고 표면이 점차적으로 평탄해짐을 볼 수 있다.



a) No.1 (V:0.5㎛, H:50㎛) b) No. 2 (V:0.5㎛, H:50㎛)



c) No.3 (V:2.5㎛, H:50㎛) d) No.4 (V:2.5㎛, H:50㎛)

e) No.5 (V:1.0㎛, H:50㎛) f) No.6 (V:2.5㎛, H:50㎛)

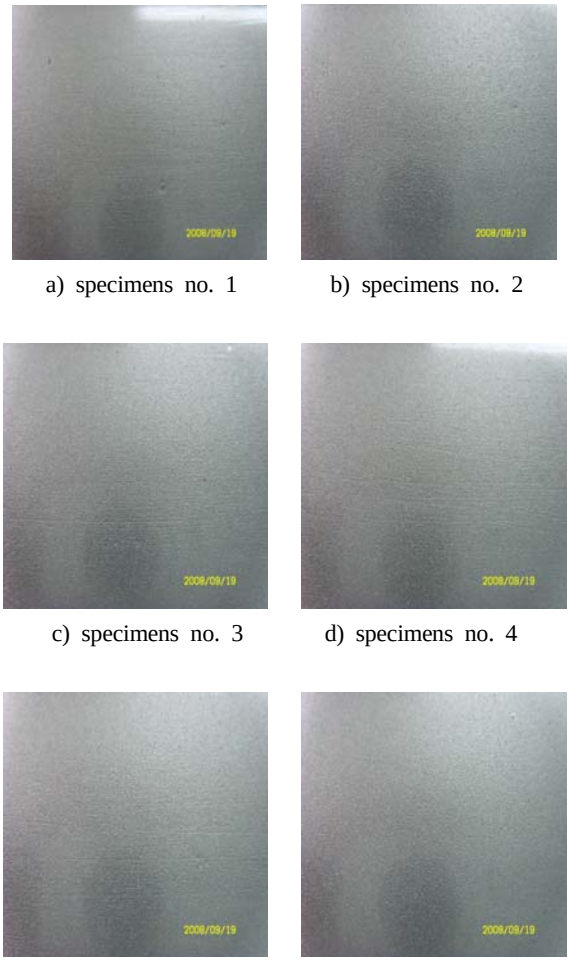
Fig. 10 Surface roughness of top coated Al sheet

Fig. 10은 투명까지 도장을 한 상도 도막의 표면 거칠기를 측정한 결과로 가장 대표적인 1번과 2번 시험편을 나타내었다. 가로(Hor.)와 세로(Ver.)의 눈금은 자동으로 측정 장치에서 조정되었으며 평균 거칠기인 Ra값에서는 큰 차이가 나타나지 않았다. 마지막 단계에서 P1500으로 연마한 2번의 시험편이 P400으로 마무리 연마작업을 한 1번 경우보다 낮았다. 1번의 경우는 마무리 연마를 P400으로 하였지만 4단계를 거치면서 Rmax값 1.257㎛, Ra값 0.146㎛으로 균일한 거칠기를 나타냈고, P80번에서 6단계를 거치면서 P1500으로 마무리 연마를 한 경우는 Rmax값 1.352㎛, Ra값 0.140㎛으로 약간 낮게 나타났다. 그러나 도장작업이 완료되고 건조가 완전히 된 상태에서 측정한 표면 거칠기는 1번의 Ra값이 0.018㎛, 2번의 표면 거칠기는 Ra값이 0.027㎛ 로 나타나 중도와 상도작업이 완료된 후에는 오히려 반대의 현상이 나타났다.

그러나 a)보다 b)에서는 부분적으로 산과 골이 크게 발생하여 Ra값은 낮지만 Rmax값이 크게 나타났다는 것을 알 수 있다. c)의 3번 시험편은 가장 거친 P80과 P400으로 연마를 하여 도장 전과 후의 표면 거칠기가 가장 높게 나타났다. 그러나 f)의 경우는 P400과 P1500으로 연마를 한 것으로 표면이 매우 매끈하지만 소재의 표면에 있었던 긁힌 부분은 전혀 연마하지 못한 것으로 보이며 도장 후에도 남아 있는 것으로 판단된다. 따라서 최초 연마는 P400으로는 표면에 잔존해 있던 결함을 연마하지 못하는 경우가 생길수도 있으므로 P180이하로 시작하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

따라서 도막표면의 선영성과 광택도를 향상시키기 위해서는 최종 연마작업을 단계별로 실시해야 균일한 도막표면을 얻을 수가 있고 Rmax값의 관리가 Ra값보다 더 중요한 것으로 생각된다. 5-6)

Fig. 11은 Fig.10의 시험편에 수용성 도장을 하고 표면을 디지털 카메라로 촬영한 것이다. 전체적으로 보면 연마지 P1500으로 마무리를 연마를 한 2,4,6번은 P400으로 마무리한 1,3,5번보다 연마흔적이 작게 나타났다. 그리고 P1500으로 마무리 작업을 한 경우도 중간과정을 다양하게 하여 균일한 표면으로 만든 후 상도를 한 2번 시편이 가장 연마자국이 적게 나타났다. 따라서 하지 작업을 하거나 중도작업을 하고 연마작업을 할 때는 3단계 이상 연마지를 구별하여 작업을 하는 것이 광택도와 선영성이 우수한 표면을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.



a) specimens no. 1 b) specimens no. 2

c) specimens no. 3 d) specimens no. 4

e) specimens no. 5 f) specimens no. 6

Fig. 11 Surface roughness of top coated Al sheet

4.3 도장 전과 후의 표면 거칠기의 변화

실험방법에서 설명한 바와 같이 연마지를 다양하게 조합시켜 연마해 본 결과를 비교하였다. 베이스코트와 투명을 칠하기 전 연마를 하고 프라이머 서페이서를 칠하여 도막 두께를 충분하게 구성하였다. 본 단원에서는 도장을 하기 전 표면 거칠기와 도장을 하고난 다음 표면 거칠기를 비교하였다.

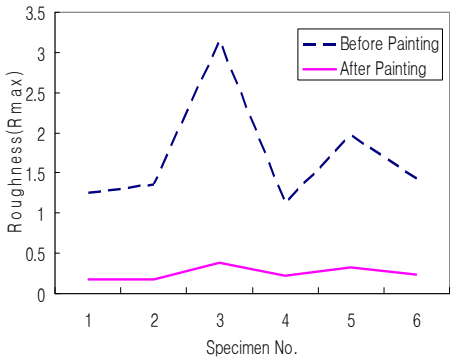


Fig. 12 Relationship of surface roughness(Rmax) on the specimens

Fig. 12는 각 시험편의 표면 거칠기를 도장 하기전과 후에 측정한 것이다. 도장 전의 표면 거칠기를 보면 P80으로 초벌 연마를 하고 P400으로 마무리를 한 3번 시험편이 가장 높게 나타났고 1번과 2번, 그리고 4번은 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 그러나 도장을 하고난 후에 측정한 값에서는 시험편별 편차가 많이 완화되는 경향을 나타내고 있다. 그러나 도장 전의 거칠기에 대한 경향은 남아 있음을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 중도 40㎛와 베이스 코트를 포함한 상도 두께 80㎛에서 Rmax가 많이 완화되었음을 알 수 있다.

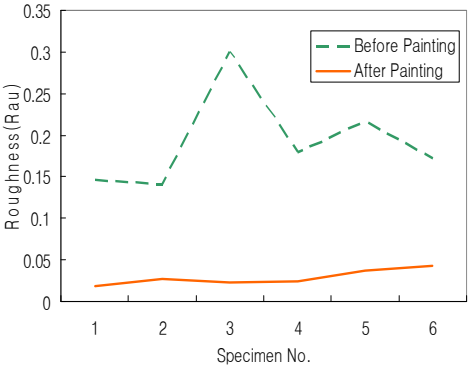


Fig. 13 Relationship of surface roughness(Rau.) on the specimens

Fig. 13은 Fig. 12와 같은 방법으로 동일 시험편에서 측정한 Rau값을 나타낸 것이다. 도장 전에는 0.14㎛에서 0.24㎛까지 약 2배정도의 차이가 있었으나 도장 후에는 거의 변화가 없는 것처럼 나타났다. 그러나 2번의 경우 0.17㎛정도의 거칠기를 나타내었으나 3번은 0.38㎛정도를 나타내어 약 2배정도의 차이가 그대로 유지되었으나 그래프에서는 그 차이가 별로 없는 것처럼 보인다. 그러나 이와 같이 표면이 균일하지 않고 미세하게 요철이 발생되어도 선영성에서는 많은 차이점이 있게 된다. 따라서 산과 골이 많은 연마 표면은 프라이머 서페이서를 칠하고 상도를 해도 감소는 되지만 Fig. 7에서와 같이 완전하게 없어지지 않는다.

표면 광택도나 선영성은 평균 표면 거칠기 값인 Ra 보다는 Rmax에 더 큰 영향을 받으므로 Rmax를 기준으로 보면 유사한 경향을 나타낸다고 볼 수 있다.5)

4. 결 론

자동차 외장재에 사용되는 수용성 도료의 선영성과 광택도를 향상시키기 위한 도장 공정에서의 연마 과정에 대한 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 최초 연마에 사용한 연마지가 P80인 경우는 스크래치가 너무 심하게 생기고, P400은 표면에 잔존해 있던 결함을 제거하지 못하므로 P180정도로 시작하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다.
2. 하지 작업을 하거나 중도작업을 하고 연마작업을 할 때는 3단계정도로 연마지를 구별하여 연마작업을 하는 것이 소재의 표면결함 제거와 광택도와 선영성이 우수한 표면을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.
3. 수용성 도료를 사용한 도장의 경우 도막 두께를 120㎛ 이상으로 할 경우 표면 거칠기가 유사한 결과를 나타내었으며, 도장 전의 거칠기에 대한 영향은 별로 없는 것으로 나타나 은폐와 레벨링성이 우수함을 알 수 있다.

참고문헌

1. V. Cascioli and A. Segala, 1988, "Influence of Surface Morphology on the Appearance of Cold Rolled Steel Sheet After Painting," 15th IDDRG, pp. 117~120.
2. H. N. Hahn and J. J. Snyder, 1988, "Effect of Surface Texture and Strain on Painted Appearance of Zinc-coated Steel," Mechanical Working and Steel Processing proceedings, pp. 163~169.
3. 김순경, 김문경, "자동차 보수도장의 특성에 관한 연구", 한국정밀가공학회, 2004년도 추계학술대회, pp. 199 - pp.204, 2004.
4. 김순경, 김문경, "자동차 보수도장과 도막특성에 관한 연구", 대한 기계학회 춘계학술대회논문집, 2005년도 추계학술대회, pp.1734 - pp.1739, 2005.
5. 김순경, 장성규, “자동차 보수도장의 도막에 관한 연구” 동의과학대학 논문집, 1999.
6. 김순경, 전언찬, “자동차 강판의 표면 거칠기가 도장에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한 기계학회 논문집, Arnjs, 제22권 7호, pp1326-1335, 1998.