

技師會員을 위한 理論과 實務

● 特輯 ●

最新靜電氣應用技術 ④

靜電塗裝, 附着技術의 動向과 問題點

자동차공업에는 정전기 응용기술이 사용되고 있는데 현재 널리 보급되고 있는 자원절약을 목적으로 한 정전도장기술과 의장성 향상을 위해 내장부품에 이용한 정전식모기술의 두가지를 들어 기술의 개요를 설명하는 동시에 앞으로 해결해야 될 과제에 대하여 전망을 알아보기로 한다.

자동차 도장에서는 자원절약, 원가절감을 목적으로 하여 정전도장이 채용되었는데 당초 용재형 도료에 에어 분무정전, 저회전 디스크 정전 도장방식이 적용되어 왔다. 현재는 더욱 개량된 에어 분무 정전도장이나 고속회전 무화 정전도장 및 새로 粉体塗裝에도 정전도장이 양산 규모로 실용화되고 있다. 또한 자동차 내장의 의장성 향상을 목적으로 하여 근년에 靜電植毛도 각종 수지부품에 채용되고 있다. 여기서는 이들의 기술현상 및 문제점을 중심으로 해설하고 다음에 개요를 설명한다.

1. 溶劑形 塗裝

용재형 정전도장으로서의 도료의 霧化機能面에서 분류하면 에어 무화 정전도장 방식 및 회전무화 정전도장방식이 주로 채용되고 있다.

(1) 에어霧化 靜電塗裝方式

에어 무화 정전도장방식은 氣液 2相流에 의하여

무화되는 에어스프레이션의 기능에 정전효과를 부가한 타입이다. 압축공기의 힘으로 도료무화 및 패턴을 형성하여 노즐부의 전극에서 무화 입자가 荷電되어 정전기력이 부가되어 피도장물에 부착시키는 것으로 塗膜이 형성된다. 패턴形狀은 타원, 원의 2종류가 있으며 특히 타원 패턴타입의 도장장치는 견고하고 콤팩트하게 되어 있어 안정성, 코스트면에도 우수하고 사용이 용이하다. 따라서 자동차도장으로서 자동레시프로케이터에 부착되거나 핸드건용으로서 광범위하게 사용되고 있다. 이 도장방식의 문제점은 그림 1과 같이 塗料帶電量과 附着効率의 관계에서 회전무화 정전도장방식에 비하여 도착효율이 약 1/2로 낮다는 것이다. 이것은 그림에서와 같이 도료대전량이 낮기 때문에 정전흡인력이 약하다는 것 및 그림 2와 같이 압축공기의 힘으로 무화하기 때문에 공기풍속이 극히 빠르고 크게 영향을 받고 있다는 것이 주요원인으로 되어 있다. 또한 吐出量의 증가에 따라 도착효율이 微增되는 것은 도료 대전량은 적어 지는데 무화되는 도

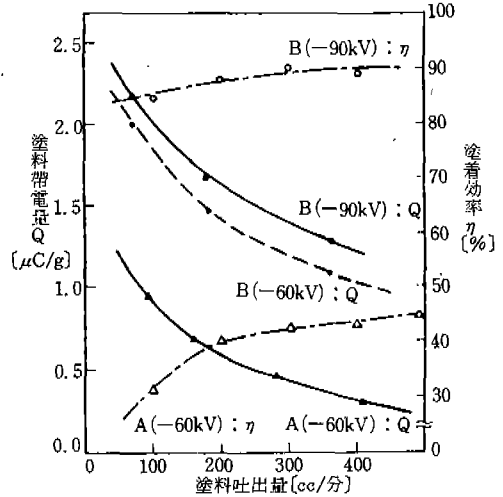
료입자경이 커지기 때문에 慣性力이 커져 분무공기에 의한 입자비산의 영향이 작아지기 때문이다.

이 도착효율이 낮은 문제에 대한 대책으로서 근년에는 회전무화 정전도장방식으로 전환하는 예가 많은데 장치의 견고성 장치 코스트의 저렴성 등의 메리트가 크기 때문에 의연히 에어 무화정전도장방식이 널리 사용되고 있는 것이 실정이다. 특히수작업을 대신하는 자동화 요구가 높은 신규분야에는 도장 로보트용으로 소형, 경량 스프레이건이 조작성의 면에서 많이 사용되고 있다.

또한 종래의 레시프로케이터용으로 에어 무화 정전도장방식이 사용이 용이하다는 메리트를 살리기 위해 -90KV~-120KV에의 고전압화 및 무화 에어와 패턴에어를 분리하여 무화 에어의 공기풍속을 내리는 저압무화 타입프 등에 의한 도착효율향상을 위한 개량을 도모하고 있다.

(2) 回轉霧化 靜電塗裝方式

벨형의 분무부를 고속으로 회전하여 도료를 원심력으로 분산미립화시켜 통상 -90KV~-120KV의 고전압을 인가하여 정전기력으로 피도장물에 흡인 부착시키는 회전무화 정전도장방식은 그림 1 및 그림 2와 같이 도료대전량도 높고 공기풍속의 영향도 적기 때문에 도착효율이 우수하다. 따라서 도료의 자원절약화를 기할 수 있는 동시에 환경대책과 대기오염의 요인이 되는 탄화수소의 저감에도 기여할

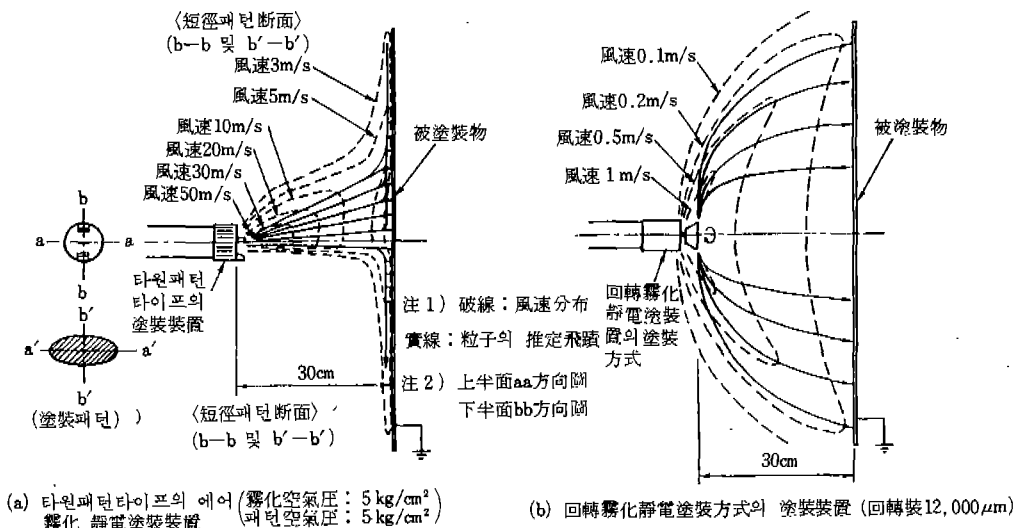


塗裝裝置×被塗裝物間距離: 30cm,
A: 에어霧化靜電塗裝裝置,
B: 回轉霧化靜電塗裝裝置

〈그림-1〉 塗料帶電量과 塗着効率

수가 있고 또한 신규재료인 하이소리드 도료의 적용도 가능하기 때문에 더욱 큰 효과를 기대할 수 있다.

또한 塗膜形式의 과정에서는 오버스프레더스트가 극히 적기 때문에 평활성이 우수한 도장품질을 얻을 수 있다. 따라서 근년에 고품질이 요구되는 덧칠도장에 에어 무화 정전도장방식을 대신하여 널리 이용되고 있다. 다만 자동차의 덧칠도장에는 소리드색과 메타릭베이스 도료와 클리어 도료를 혼합



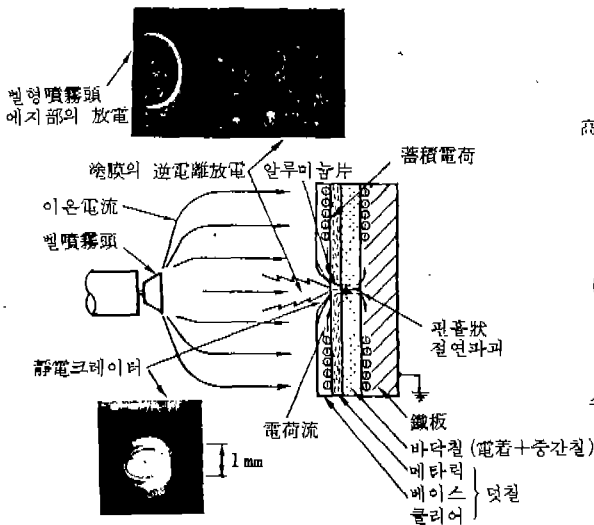
(a) 타원패턴타이프의 에어(霧化空氣壓: 5 kg/cm²) 霧化 靜電塗裝裝置

(b) 回轉霧化靜電塗裝方式의 塗裝裝置 (回轉裝12,000 μm)

〈그림-2〉 空氣風速과 飛行패턴

한 메타릭색이 있다. 메타릭색은 착색안료와 鱗片狀의 알루미늄판을 첨가시킨 메타릭베이스 도료와 무색투명한 클리어 도료가 웨트온웨트로 도장된다. 이와 같이 도장형태가 다양하며 회전무화 정전도장 방식의 적용에서는 여러가지로 연구가 되고 있으며 그 일례를 다음에 설명한다.

소리드 및 클리어 도장에의 적용에 있어서는 이온電流에 기인하는 정전 크레이터의 문제가 있다. 이것은 그림 3에 모델적으로 표시된 바와 같이 별형 분무두에서의 과대한 이온 전류가 클리어 도막층에 축적전하로서 모인다. 이 축적전하가 한계를 초과하면 알루미늄판이나 카본 안료 등의 전계집중부에서 바닥질塗膜을 절연과괴하여 그 부위에 축적전하가 집중적으로 방전된다. 이 결과 클리어층의 표면장력이 국부적으로 변화하여 역전리방전이 수반되어 크레이터가 발생하는 현상이다.



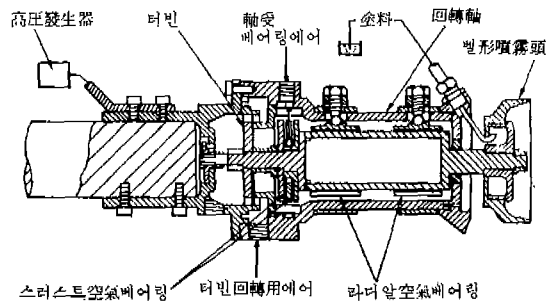
〈그림-3〉 靜電크레이터發生原理의 모델

靜電 크레이터의 발생을 방지하기 위해서는 이온 전류를 작게 할 것 또는 클리어 塗膜의 축적전하가 용이하게 도망치도록 하는 것이다. 전자는 보조전극의 부가가 인가전압, 전 거리의 조정으로 대책을 강구하고 후자는 알콜계 용제의 첨가에 의한 도료의 전기저항치의 저하, 도장실의 습도 업 등으로 대책을 강구하고 있다.

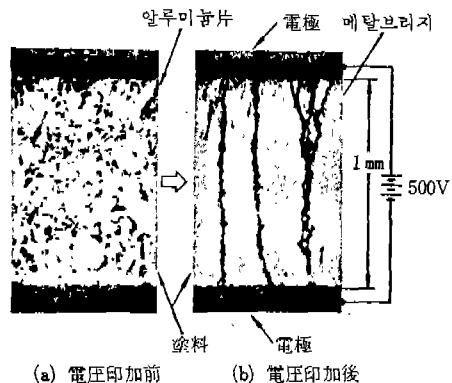
메타릭 도장에의 적용에서는 색조 및 메타릭 얼룩의 문제가 발생한다. 메타릭색으로 보정도장을 할

경우에 색이 잘 맞지 않는 등의 색조현상이 발생한다. 이것은 동일도료를 사용해도 도장조건이 다른 명도, 색채가 모두 변화하기 때문이며 도료 중의 인편상 알루미늄판이 도료의 미립화, 增粘의 정도에 따라 配向이 달라져 빛의 반사방향을 바꾸기 때문이다. 메탈 얼룩은 각 부위마다 색조가 다른상태로 되는 현상으로서 미립화 불량이나 스프레이패턴의 증복도장으로 도박粘度가 다른 부위가 생긴 경우에 주로 발생한다. 색조 및 메탈 얼룩의 개선수단 으로서는 별형 분무두를 초고속회전 (40000rpm~60000rpm)을 시킴으로써 도료입자의 미립화도를 올려 도포 패턴 내의 색조를 균일화시킴으로써 해소할 수 있다. 이 초고속회전용에 최근에는 내구성이 우수한 공기 베어링을 사용한 도장장치가 사용되고 있는 예가 많다. 일례를 그림 4에 들었다. 또한 명도를 올리기 위해 설비면에서는 멀티 스테이지화나 에어 무화 정전도장과의 혼합구성 또한 도료면에서는 희석 용제의 적정화에 의한 대응을 고려할 수 있다.

또한 메타릭베이스 도료는 도전성의 인편상 알루미늄



〈그림-4〉 超高速空氣베어링回轉霧化靜電塗裝裝置



〈그림-5〉 메탈브리지 現象

미늄판을 함유하고 있기 때문에 고전압을 인가했을 경우 도료를 공급하는 호스 내에서 메탈브리지 현상이 발생하여 단락상태가 되어 실질적으로 정전도장을 할 수 없게 되는 수가 있다. 그림 5는 실험적으로 메탈브리지 현상을 가시화한 것으로 알루미늄판이 정렬하여 브리지狀으로 연결되어 있는 것을 알 수 있다. 이 브리지狀의 알루미늄판의 형성을 저지하기 위해서는 메타릭베이스 도료의 희석용제에 低沸點 알콜을 혼합하여 도료의 전기저항을 낮게 하거나 도료공급로의 관경을 가늘게 하여流速을 빠르게 하거나 도료를 상시 순환시키는 등 알루미늄판에의 전계집중을 완화시키는 대책이 강구되고 있다.

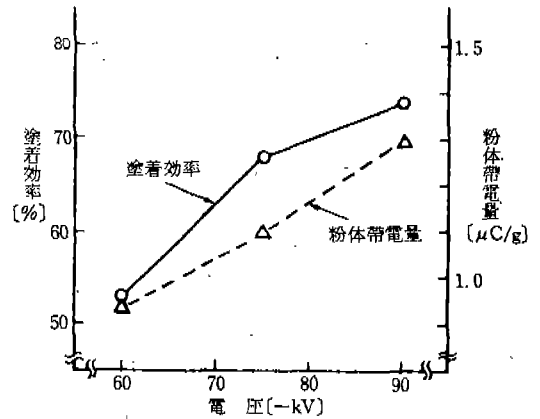
2. 粉体塗裝

분체도장은 호퍼 내의 분체도료를 공급장치로 진으로 운반하여 분체 건에서 분무할 때에 코로나 방전 등에 의하여 도료를 대전시켜 정전기력으로 피도장물에 부착시키는 도장이다. 분체도장은 탄화수소를 전혀 배출하지 않기 때문에 대기오염대책으로서 매우 효과적이므로 널리 보급되고 있는데 현상에서의 문제점으로서 ① 재사용은 가능한데 塗着効率が 별로 높지 않다. ② 凹부에의 도장이 불량하다는 두가지로 요약된다.

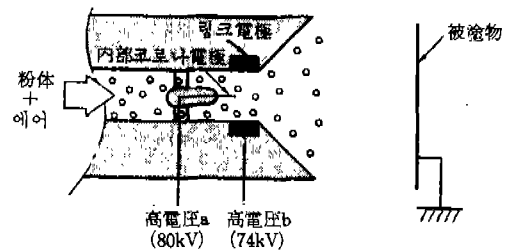
분체도장은 용제형 도료에 비하여 일반적으로 코스트가 높고 특히 덧칠 분체도장에서는 多色の 색 교체가 필요하므로 분체의 메리트인 회수재사용이 어렵다는 문제가 있다. 따라서 도장시에 가급적 높은 도착효율이 요구된다. 도착효율에 영향을 미치는 요인으로서 분체 건의 帶電機構의 차이가 가장 크다고 생각된다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 분체 건은 그림 6과 같이 외부 코로나 帶電式 건이라고 하며 건과 被塗物 사이에 코로나 방전을 발생

시켜 분체도료를 대전시키는 방식이다. 이 방식에서는 그림 7과 같이 인가전압을 올리면 분체도료의 대전량이 증가하여 도착효율은 증가되는데 동시에 전압증가에 따라 이온 전류가 증가하여 피도물에 흘러 迷電離에 의한 靜電크레이터를 발생시키는 결점이 있다. 이 결점을 회피하는 방법으로서 그림 8과 같이 건 내부에서 대전시키는 내부 코로나 대전식 건이나 그림 9와 같이 마찰에 의하여 대전시키는 마찰대전식 건이 있다.

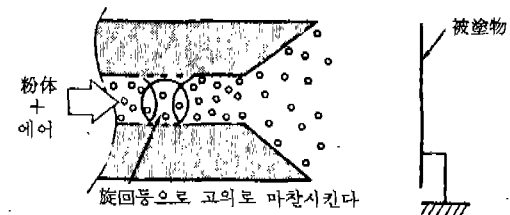
또한 그림 10과 같이 자동차의 内板은 형상이 복잡하기 때문에 팔라디케이지가 되는 부분이 많고 凹부에의 도장이 불량해지는 문제점이 있다.



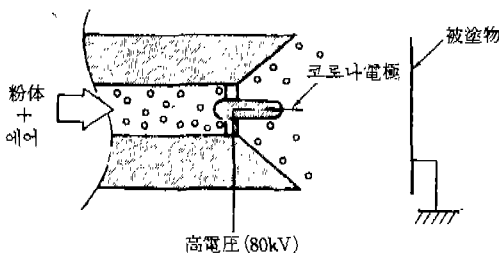
〈그림-7〉 外部코로나帶電式 건의 印加電壓과 帶電量的 관계



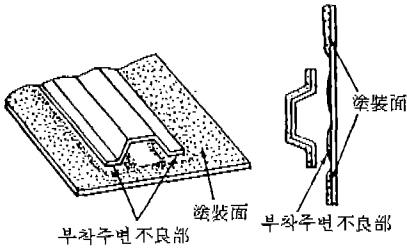
〈그림-8〉 内部코로나帶電式 건



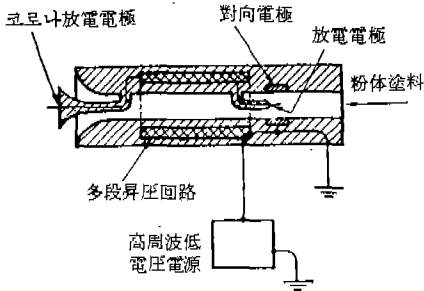
〈그림-9〉 摩擦帶電式 건



〈그림-6〉 外部 코로나 帶電式 건



〈그림-10〉自動車內板凹部分



〈그림-11〉内部荷電裝置와 外部放電電極을 가진 건

학계의 보고에 의하면 粉体塗料의 대전량이 증대하면 대전된 분체도로에 의한 공간전하전계에 의하여 凹부의 도장 불량성을 개량할 수 있다는 것이다. 이 원리를 이용한 분체 전은 그림11과 같이 전 내부의 荷電裝置와 전해드에 코로나 방전전극을 함께 구비한 것이다. 이 전의 특징은 전 내부에서 미리 피전된 분체도로를 전해드의 전극에서 다시 하전시키기 때문에 분체도로의 대전량이 많고 도착효율, 凹部 도장성이 좋아진다. 그러나 자동차 內板 도장에서는 복잡한 파라디케이지가 되는 곳이 있어 다듬질의 품질면에서 용제형 도료와 병용하지 않을 수가 없는 경우도 있다.

3. 靜電安全性

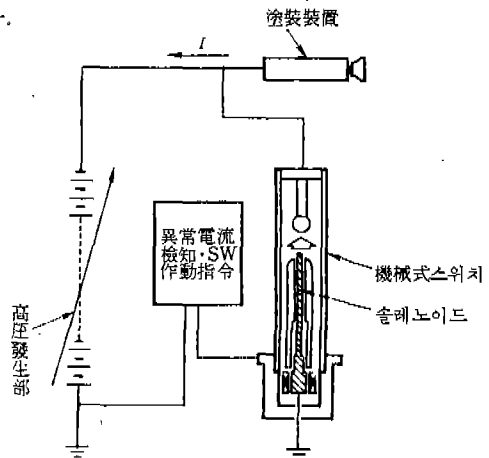
현재 사용되고 있는 정전안전대책기술에 대해서는 여러가지가 있는데 여기서는 높은 안전성이 요구되는 회전무화 정전도장장치의 고압발생기를 예로 하여 다음에 설명한다. 도장효율의 향상을 목적으로 하여 회전무화 정전도장방식의 적용 등으로 고인가전압(-90KV~-120KV)을 채용함으로써 ① 정전용량이 큰 회전무화 정전도장장치가 피도장물에 이상

하게 급접근했을 때에 피도장물과의 사이에서 발생하는 스파크 ② 메탈릭 도료 중의 알루미늄분이 도료 호스 내에서 메탈브리지 현상을 발생시켜 이 때에 흐르는 과전류 등에 기인하는 화재나 전격 등의 정전사고를 미연에 방지하기 위하여 고정도의 정전안전대책기술이 요구되고 있다.

고압발생기의 구성요소로 되어 있는 정전안전 기술의 역사는 깊으며 그 내용은 그림12와 같이 고인가전압 중에 고압발생기에 흐르는 전류치를 규제한 고압차단기술이 기본원리로 되어 있다.

가령 앞에서 설명한 ①, ②의 현상이 발생하는 전조로서 전류가 급증하기 때문에 미리 설정한 최대전류치에 의한 규제, 또는 시간에 대한 변화량규제에 의하여 고압차단회로를 작동시키고 있다. 규제치가 검지되면 고압차단지령신호가 차단회로에 전송되어 접지 스위치가 작동한다. 일반적으로 사용되고 있는 스위치는 그림12와 같이 솔레노이드 구동에 의한 기계식 스위치로 규제치가 검지된 후 스위치가 작동하기까지의 고압차단시간은 5ms~10ms가 한도라고 한다.

도장공정에서는 동작속도가 극히 빠른 도장작업에 의 로봇화가 진전되고 있으므로 앞으로 더욱 고정도의 정전안전대책기술이 요구된다. 이를 위해서는 앞의 ①, ②의 전조를 어떻게 정확히 검지하여 얼마나 빨리 접지시키는지의 문제가 과제라 하겠다. 기계식 스위치 부착의 고압발생기의 고압차단 시간의 대부분은 고압차단회로가 차단지령을 받은 후 기계 스위치의 솔레노이드가 구동하는데 소비되고 있다.



〈그림-12〉機械式스위치부착高壓發生器

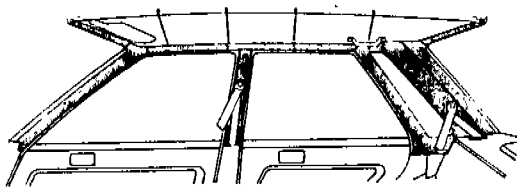
이 결점은 개선하여 고압차단시간을 $1\mu s \sim 50\mu s$ 로 단축시키기 위해서는 기계식 스위치에서 반도체 스위치 등의 순간기식으로의 변환이 가장 적용 가능한 기술로서 각광을 받고 있다.

4. 靜電植毛

정전식모란 고압정전계에서의 정전기력을 이용하여 미리 접착제를 도포한 基材에 短纖維(통칭: 파일)를 수직으로 심어주는 가공방법이다. 특히 최근의 자동차 내장의 높은 의장화 요구에 대하여 저 코스트의 텍스타일調 표현기술로서 주목되어 그림13, 그림14와 같이 자동차 메이커 각사의 중, 고급차의 내장 트림 가니슈류에 채용되고 있다.

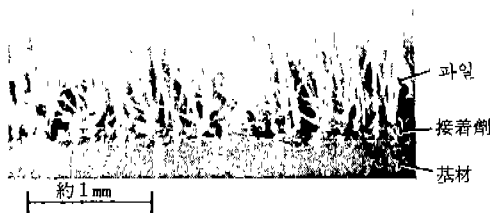
자동차 내장품의 식모로서의 과제는 크게 두 가지로 분류된다. 그 하나는 모든 제품형상에의 대응이고 A, B, S, 폴리프로피렌 등의 수지기재의 복잡형상의 요철면에 대하여 고르게 식모밀도(단위·면적당의 식모량)를 확보하는 것이다. 종래의 평면적인 전극(高電極)에서는 기재자체의 요철에 대하여 고른 전계형성이 곤란하기 때문에 기재형상에 맞는 고압극을 사용하거나 또는 고압극을 고정시켜 기재를 회전시키거나 분체도장기술을 응용한 식모전을 사용하여 고압극 및 파일 공급을 자유롭게 이동시켜 고른 전계를 확보하고 있다.

또한 전계형성이 곤란한凹부에 대해서는 基材를 상하로 미진동시켜 정전기력이 아닌 기계적인 힘을



(■部品)

(그림-13) 植毛採用部品例



(그림-14) 植毛部 断面

이용하고 있다. 또한 하나의 과제는 식모품의 의장성의 향상이며 퍼브릭과 동등 이상의 소프트화가 요구되고 있다.

소프트화의 스텝으로서서는 두 가지가 있으며 제 1 스텝으로서 표면성의 소프트化이고 획일적이고 차접게 느끼는 표면을 보다 따뜻한 느낌이 드는 표면으로 하기 위해 파일형상, 치수, 재질 등의 선정이 중요하다. 또한 그에 따라 식모할 때 파일끼리의 얽힘 등의 생산성에서의 악영향에 유의해야 된다.

소프트화의 제 2 스텝으로서서는 촉감의 소프트化이며 종래 내장품인 중간에 쿠션材를 가진 파브릭이 가진 소프트感을 표현하기 위해 기재 자체의 소프트化 또는 보다 장식음의 식모가 시도되고 있다. 후자는 충분한 식모밀도를 얻을 수 없기 때문에 단섬유를 함께 구성하여 식모밀도의 향상을 기하고 있다.

이들의 의장면의 과제에 대해서는 모두가 코스트의인 장해는 피할 수 없으므로 파브릭의 대체라는 관점에서가 아니고 식모로서의 의장표현의 추구가 식모발전을 위해 앞으로 남겨진 중요한 과제이다.

5. 앞으로의 展望

자동차공장에서는 정전도장이나 식모 등 정전기 응용기술은 급속히 보급되고 있는데 앞으로 적용범위가 더욱 확대되어 보다 고품질의 자동차 제조에 연결되어 자원절감과 또한 안전성이 높은 도장이나 보다 높은 의장의 식모를 할 수 있도록 수준이 향상될 것이다.

그리고 가까운 장래에 도장공장은 시각·센서를 가진 도장 로봇이 도장전용 전을 가지고 피도장물의 형상에 맞추어 도료 토출량이나 스프레이패턴을 자유자재로 바꾸어 균일한 도장을 할 수 있는 정전도장이 채용되고 한편 자원절약의 관점에서는 낭비되는 정전 이온의 발생을 억제하고 荷電性을 높이고 도착효율을 더욱 향상시키는 하온가스 채용의 기술이나 인제트프린터와 같이 도로입자를 부위별로 선택적으로 부착시키는 기술등의 고도기술이 실용화되어 갈 것이다.

또한 정전식모에서는 수지부품을 포함한 제품의 의장성을 높여 보다 소프트한 고급감을 가지게 하는 여러 가지의 개량기술이나 각종 컬러파일을 무늬로 부착시키는 컬러풀화 기술의 실용화가 예상된다.