

플라스틱 외장판넬의 도장성에 대한고찰

Review on the Paintability of Plastic Body Panel

柳 昌 秀*
Chang Soo Ryu

1. 머리말

'80年代以後 연비규제 強化에 따른 車輛 輕量化, 다양한 소비자 요구에 따른 스타일링 개선 및 향후 多品種 小量生産, 짧아지는 Life Cycle에 따른 신차종 開發期間 短縮, 開發費用 節減등의 목적으로 외장 차체부품에 플라스틱 소재 적용 필요성은 크게 증가되어 왔으나, 플라스틱 소재를 차체 외장부품에 적용시 필히 선결되어야 하는 도장문제로 플라스틱 외판의 적용 擴大가 크게 制限을 받고 있다.

현재, 자동차 차체의 도장은 鋼板 자체라인과 樹脂 塗裝라인이 분리되어 있는데, 그 원인은 수지의 耐熱溫度가 낮고 塗膜의 要求特性이 다른데 있다. 최근들어 차체와의 일체 색상 사양증가, 도장외판의 품질향상이 요구되면서, 전체 도장비용의 절감, 색상일치성 확보를 위해 140℃에서 170℃의 기존 강판 차체용 도료의 소부조건에 견디는 수지 소재 개발요구가 증가되고 있다.

내열성 이외에도 플라스틱 소재를 차체외장 부품에 적용시 소재자체의 낮은 표면활성, 열동한 내화학적 등으로 많은 제한요소가 따르고 있는데, 향후 수지외판 개발에 앞서 수지

부품과 강판차체의 一體塗裝化 기술개발이 강력히 요망되고 있다.

이에 本稿에서는 먼저 기존강판과 플라스틱 외장부품의 塗裝공정 差異點을 살펴보고, 주요 소재별 塗裝 技術現況, 플라스틱 외장판넬의 塗裝시 나타나는 問題點 및 향후 자동차 업체에서 해결해야 될 塗裝 관련 기술에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 강판과 플라스틱 부품의 塗裝 공정비교

강판과 플라스틱은 소재자체의 녹발생 가능성, 내열범위, 내화학적, 급힘 탄성율에서 현격한 차이가 있기 때문에 적용 페인트의 소재와 공정에서 많은 차이를 보이고 있다. 가장 큰 차이점은 塗裝후 적용되는 燒腐溫度로서, 특히 강판에서 녹방지를 위해 매우 중요한 전처리과정인 ELPO처리후 소부온도는 경우에 따라 400°F (201℃)까지 올라간다.¹⁰⁾

또 전처리나 최종 코팅후 소부온도도 내열성이 좋은 엔지니어링 플라스틱이 아니면 견디기 어려운 130~140℃에 이르고 있다. 그림 1(A)에 강판차체의 塗裝 공정이, (B)에 플라스틱 부품의 일반적인 塗裝 공정이 소개되어져 있다.

* 대우자동차 기술연구소 중앙시험실

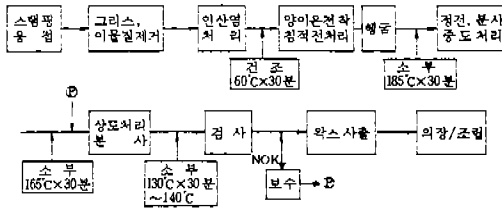


그림 1(A) 강판의 도장공정 및 조건²⁾

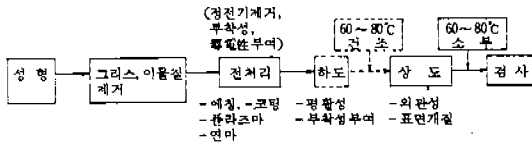


그림 1(B) 플라스틱 부품의 일반적인 도장공정

플라스틱에서는 자체방청성으로 인산염 처리나 ELPO과정이 필요없지만 소재별로 화학 특성 및 내열성이 달라서 異物質除去와 前處理방법이 플라스틱 종류에 따라 매우 다양하여, 각수지에 따라 적합한 도료가 달라진다.³⁾ 표 1에는 도장 과정별로 각단계의 적용목적이 요약 정리되어 있다.

표 1 기존 강판과 플라스틱 부품의 도장 단계별 주요 기능^{1,2,6)}

	강판	플라스틱 부품
그리스, 이물질 제거	기공 제거 먼지, 이물질 제거	이물 제거 기공 제거 먼지, 이물질 제거 * 플라스틱 표면 손상
전 처리	내부식성 개선 페인트 결합과 강판사이 접착 향상 후 Elpo 처리는 전처리 보강기능	페인트 필름과 플라스틱 사이 접착 개선 * 콘크리트 표면 황산화 * 상도의 도장력 개선
상 도	외관개선 내부식 향상 노상에 대한 저항성 개선	외관향상 내후성 개선 노상에 대한 저항성 개선 * 용제, 화학물질로부터 플라스틱 보호

주 1) *는 콘크리트 부품 페인트에만 있는 기능.

3. 플라스틱 외장판넬의 페인트 현황^{1,7,9)}

차체외판 전체를 플라스틱화한 Intensive Plastic Bodied Car에서 수평, 수직판넬에 두루 쓰인 SMC와 수직판넬을 중심으로 쓰이고 있는 PUR RRIM 그리고 강판과 플라스틱을 조합 사용하는 Hybrid Type에서 쓰이는 일부 엔지니어링 플라스틱에 대하여 살펴보자.

3.1 SMC^{7,9,11,12)}

높은 굽힘탄성율, 180°C의 Elpo 과정에도 견디는 높은 열변형온도 및 높은 내용제성으로 다른 플라스틱에 비해 월등한 잇점을 가지고 있으나 표면의 단면이 굴곡되기 쉽고 燒腐時 가스방출로 인한 上塗의 표면기포를 야기하는 단점 때문에 통상 인몰드코팅이나 우레탄분사코팅으로 표면을 밀폐하곤 한다.

초기 표면 결함방지를 위해 분사코팅보다 월등히 우수한 인몰드코팅의 공정은 수지 매트가 압축된 후 반응시간의 85% 정도 경과 시 프레스금형이 0.25~5 mm 열리고 그 사이로 이액형 우레탄 혼합물이 투입된 후 형이 다시 닫히고 잠시후 처리 완료된다. 인몰드코팅 적용시 통상 Cycle Time이 3분에서 3.5분으로 연장되지만 전체 도장비용 측면에서는 분사도장과 별 차이가 없다. 그러나 아직 수평하고 평편한 부품에만 적용 가능한 기술적 한계가 있으며 전도성과 충전의 두 역할을 수행할 수 있는 인몰드코팅 필름 개발이 해결해야 될 숙제로 남아있다.

사용도료는 無溶濟型으로 짧은 경화시간이 요구되기 때문에 현재 무용제형 2액형 우레탄 도료가 사용되고 있다. 또 일반적인 도장 방법으로 常溫硬化用 비우레탄계 특수 아크릴이액형 도료가 실용화되어 하도로 쓰이고, 멜라민 알키드수지 도료와 아크릴 수지도료가 상도도료로 사용되고 있고 기존 강판 차체와 일체 도장하는 경우도 많다. 그림 2에 SMC와 강판 차체의 일체 도장공정예가 표시되어졌다.

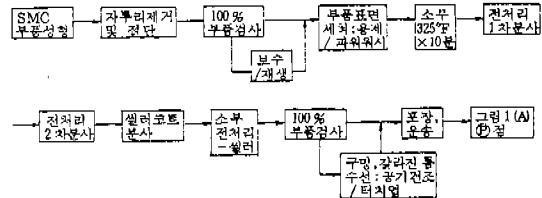


그림 2 SMC와 강판의 일체도장 공정 예

3.2 우레탄 RIM/RRIM^{1,6,9)}

그림 3에 우레탄 RIM의 두가지 도장 과정

이 소개되어져 있는데 離型劑를 제거하는 과정이 페인트 필름 부착성에 가장 중요한 영향을 미친다. 과거에는 이액형과 일액형 우레탄 페인트가 일반적으로 쓰였으나 현재는 외관향상과 내후성개선 이유로 아크릴 멜라민과 폴리에스터 멜라민수지 페인트가 쓰이고 있다. 또한 우레탄 RIM과 RRIM은 매우 넓은 영역의 탄성 및 강인성을 갖는 장점이 있으나 표면 가까이에 많은 구멍을 갖고 있고 高溫에서 치수불안정성 및 보강유리섬유 존재에 의해 더욱 악화되는 용제에민성 등의 단점이 있다.

4. 플라스틱 外裝판넬의 塗裝時 나타나는 문제점

각종 수지 소재 다양화에 대한 대책, 저온충격성 개선대책, 정전도장에 대한 대책등이 마련되어야 하는데 이를 플라스틱 소재, 페인트 소재, 페인팅 공정으로 나누어 살펴보면 다음과 같다.

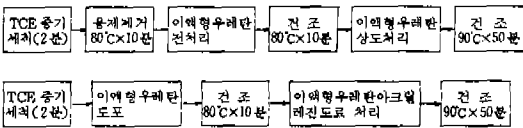
4.1 플라스틱 소재 측면

1) 耐熱性^{3,11)}

既存의 鋼板페인팅 공정에서는 燒腐은도가 최소한 130℃ 이상이 적용되기 때문에 표3에서 나타난 바와 같이 낮은 열변형온도를 가진 일반 플라스틱에는 기존 강판 차체 도장을 적용할 수 없다.

표 3 플라스틱 종류에 따른 熱變形溫度 例

플라스틱 종류	열변형온도
스티렌 수지	70℃
PP/EPDM	100℃
아세탈 수지	140℃
A B S	70-107℃
연질 염화비닐	55-75℃
나 이 론	130℃
폴리카보네이트	120-150℃
메타크릴 수지	70-98℃
폴리에스터	60-205℃
경질 우레탄	107-204℃



주) TCE = Trichloroethane

그림 3 우레탄 RIM/RRIM 소재 부품의 塗裝과정 예^{2,3)}

3.3 射出 成形된 플라스틱^{1,3,10)}

통상 엔지니어링 플라스틱으로 표현되는 나일론, 폴리에스터와 고분자열로어, 예를 들면 나일론/노릴, 폴리카보네이트/에이비에스, 폴리에스터/고무등이 여기에 속하는데 공통적으로 나타나는 長點으로 강인성, 강도, 넓은 영역의 韌性 및 매끈한 표면성을 가졌으나 대체로 너무 낮은 열변형온도를 가지고 있으며 非結晶性수지는 노치에 민감함을 보이는 단점이 있다. 표2에는 플라스틱 소재에 따른 도료형태를 나타내었다.

표 2 플라스틱 素材別 사용 도료형태 예

플라스틱	도료	아크릴 라카	아크릴 우레탄	염소화 우레탄	이액형 우레탄	멜라민 알키드	일액형 우레탄
에이비에스(ABS)	○		○				
아크릴(PMMA)	○						
폴리카보네이트(PC)	○						
염화비닐(PVC)					○		
경질 폴리프로필렌			○	○			○
일액 폴리프로필렌			○		○		
나일론(PA)			○		○		
폴리에스터(PBT)					○		

2) 표면 접착성^{3,13)}

플라스틱은 그림 4에서 보듯이 낮은 수준의 표면에너지를 갖기 때문에 물과 통상적인 페인트에 낮은 적심현상을 나타내어 플라스틱 표면에 페인트 부착성이 떨어진다. 또 相溶性을 판단하는데 사용되는 용해도상수는 (SP) = $(\Delta E/V)^{0.5}$ 로 나타내어, 이때 E는 증발에너지(cal/mol), V는 분자부피(ml/mol)를 표시하는데, 플라스틱 소재에 따라 용제종류, 페인트종류가 달라진다.

또 한가지 부착성에 영향을 주는 인자로 플라스틱수지 結晶의 크기가 있는데 큰 결정은

가진 수지일수록 自己接着力이 커져서 상대적으로 나쁜 표면접착을 가져온다. 수지의 종류가 증가되면 도료의 종류도 증가되어 전체 비용이 증가하는 문제점이 있다.

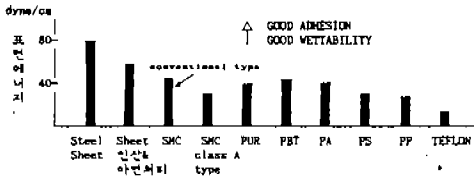


그림 4 소재별 표면에너지 비교¹⁵⁾

3) 전도도^{8,12,16)}

非電導體인 플라스틱은 표면저항이 $10^{12} - 10^{16} \Omega/cm$ 수준으로, 도장공정 효율 측면에서 유리한 정전도장에 투입하려면 표면저항이 $10^{+8} \Omega/cm$ 가 되어야 함을 그림 5에 나타냈다.

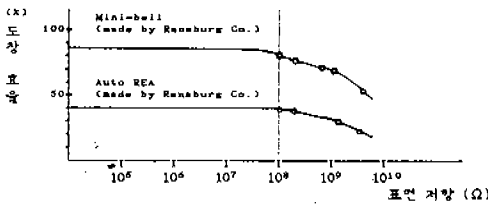


그림 5 정전도장 효율과 표면 저항 사이의 상관관계

4.2 페인트 소재 측면^{5,17)}

1) 柔軟性

플라스틱에 적용되는 페인트는 페인트 필름이 손상을 입지않고 플라스틱 부품의 변형에 따라 와야 하기 때문에 높은 신율을 가져야 한다. 그림 6은 우레탄 범퍼에 적용되는 페인트와 강판에 적용되는 페인트의 물리적 성질을 비교한 것으로 페인트의 柔軟性은 페인팅된 플라스틱 소재의 기계적 물성, 특히 내충격성과 큰 연관성을 갖는다.

내충격성 저하효과는 상도필름의 Tg(유리전이온도) 이하인 低溫에서 노치효과로 나타나는데 그림 7에 3가지의 전처리 도장형태에 따른 노치효과의 시험결과를 나타내었다.

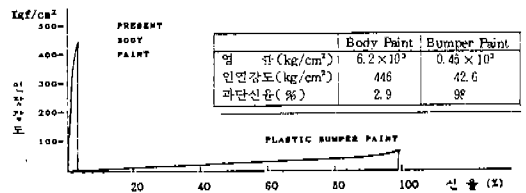


그림 6 강판과 우레탄 RIM 범퍼의 페인트 물성비교¹⁸⁾

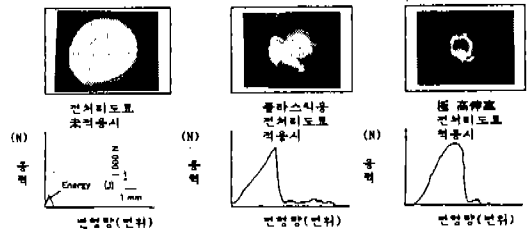


그림 7 高速 표면 충격시험에 의한 PBT 전처리 도료와 에너지 수준 사이의 관계⁸⁾

노치효과를 없애기 위해서는 Crack Propagation을 중단시키는 전처리 塗裝이 필요한데 이를 위해서는 $-30^{\circ}C$ 이하의 Tg 점과 상온에서 100%이상의 신율을 갖는 페인트 필름의 물성이 요구된다.

2) 遮斷性

전처리 페인트는 열이나 수분을 차단할 수 있는 기능을 가져야 플라스틱 소재로부터, 특히 경화성수지 적용시 도장후 소부동안 발생할 수 있는 가스나 低分子量 揮發物質에 의한 도장 표면 불량을 막을 수 있다. 이 때문에 SMC나 FRP 도장시 단계별 적용가능 도료의 조합이 정해진다.

4.3 塗裝 工程 측면^{5,14, 17, 20)}

1) 塗裝作業中

플라스틱부품은 표면에 쉽게 靜電氣가 발생되어 공기중의 먼지를 흡착하기 때문에 부스와 관련부위의 淸淨度を 높여야 한다. 또 적당한 용제선택으로 용제의 방출로 인한 오렌지필 현상과 플라스틱이 용제를 흡수하여 야기되는 비정상적 광택을 제거하여야 한다. 또한 플라스틱부품이 강판과 동일한 방치시간을

맞기 위해서 잔류 그리스용제에 각기 다른 용제증발속도를 나타내는 플라스틱에 맞도록 용제의 조성에 대한 연구와 선택이 이루어져야 한다.

2) 燒腐과정동안

熱膨脹係數 : 플라스틱 열팽창계수는 $10^{-4} - 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 로 금속보다 높아서 소부전에 단단히 고정해 놓으면 변형이나 뒤틀림이 발생하기 때문에 팽창수축에 따른 여러가지 보상방법이 고려되어야 한다.

1000 mm 길이 부품의 치수변화 예를 보면
수지경우 : $1.000\text{mm} \times (140 - 25)^\circ\text{C} \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$
= 11.5 mm

강판경우 : $1.000\text{mm} \times (140 - 25)^\circ\text{C} \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
= 1.15 mm

열수축 : 燒腐동안의 열이 수지의 추가架橋나 저분자량 소지의 휘발을 야기하여 수축으로 나타나고 이 수축은 소재에 따라 다르다.

열변형 : 부품 自重에 의해 소부동안의 열로 점진적 변형이 발생하는데, 이 문제를 방지하기 위해 다양한 지그가 고려되어야 한다.

高溫공기통로 : 강판 대비 열전도도가 낮기 때문에 부품 전체에 걸쳐 均一한 온도유지가 불가능하여 불균일한 페인트 소부가 나타난다. 이를 방지하기 위해 효과적인 고온공기통로를 설계할 필요가 있다.

3) 가스 체크

소부동안 표면주름이나 코팅필름의 黃化를 야기하는 觸媒반응이 나타날 수 있는데 이것은 플라스틱 소재에서 증발된 물질이나 잔류 그리스 제거용제에서 나온 산성가스나 연소가스의 NO_x에 의해 일어난다. 이것을 없애기 위해서 적당한 수지재료를 선택하든지, 페인팅전에 그리스 제거용제를 완전히 제거하는 방법을 고려해야 한다.

4) 燒腐 완료후 페인트 필름의 定着

강판과 플라스틱 부품의 냉각속도 차이가 있어서 플라스틱 부품의 페인트 필름 정착에 특별한 주의가 있어야 한다.

5. 최근 동향 및 향후전망

5.1 低温 燒腐用 塗裝 공정 및 도료개발¹⁰⁾

美 EPA의 塗裝중 발생하는 有機溶濟 휘발량 규제強化로 자동차업체는 도장 라인의 온분온도를 낮추기 어려운 水溶性 전처리(ELPO 처리)를 선호하고 있기 때문에 쉽게 해결되기는 어려울 것으로 보이나, 자동차생산 에너지중 막대한 양을 차지하는 도장 공장의 에너지 節減計劃 일환으로도 활발히 검토되고 있다.

低溫燒腐用 페인트 개발과 관련해서는 주로 알키드아크릴수지 페인트에 적용되는 수지의 산도를 증가시켜서 가교가 가능케 하는 內部觸媒 사용법, 外部觸媒를 사용하는 법, 촉매 말단에서 멜라민 페인트의 반응성 기능기로 작용토록 하이드록시기를 집어 넣는 機能基 운동성 개선법, 이액형 우레탄 페인트에 주로 쓰이는 아민 분위기하에서 증기상태의 촉매를 불어넣어 상온에서 짧은시간동안 소부를 완료시키는 방법 (Vapor Cure System: Ash-land 특허) 및 자외선이나 전자선을 이용하여 소부시키는 방법등이 개발 검토되고 있다.

5.2 高耐熱 플라스틱 소재개발¹²⁾

내열성 측면에서 180^oC 이상의 내열성을 갖는 플라스틱 소재개발시 ELPO처리가 수행되기 이전에 강판과 똑같이 처리될 수 있어서 강판과 플라스틱 외관이 동시에 도장되는 集積塗裝工場 건설을 가능케 할 것이다. RRIM 소재인 高耐熱 폴리우레아 등이 개발되고 있다.

5.3 電導性 플라스틱 개발^{16,19)}

현재 $10^{+12} - 10^{+16} \Omega/\text{cm}$ 수준인 플라스틱 소재의 表面抵抗을 약 $10^{+6} \Omega/\text{cm}$ 로 저하시키는 방법을 플라스틱 입자들이 연구하고 있다. 표면저항은 부품형태, 고정방법에 따라서도 달라지지만 이것이 실현되면 導電性 프라이머 처리의 불필요함으로 플라스틱 페인트 공정에 획기적인 잇점을 제공할 것이다.

5.4 耐衝擊性 도료개발^{4,8)}

일체도장을 위하여 플라스틱 판넬 전처리 도

료가 갖추어야 될 汎用密着性, 導電性 이외에 기존 강판의 硬質 上塗에서 비롯되는 노치충격효과를 완화키 위한 耐衝擊性 전처리 도료 가 개발되고 있다.

6. 맺 음 말

자동차부품에서 요구되는 가혹한 사용조건에 대한 노출로부터 플라스틱 表面을 保護함은 물론 차체와 동일한 품질, 표면 광휘등의 美觀 측면에서도 소비자 요구가 증가하고 있는 것을 감안할 때 플라스틱 부품의 적용확대는 塗裝을 포함한 表面處理 문제를 해결하지 않고는 쉽게 풀어갈 수 없는 문제로 생각된다.

또한 전체 부품 Cost 측면에서도 도장에 따른 비용증가가 경우에 따라서는 부품 단가의 50% 이상을 차지할 정도로 대단히 높다는 것을 감안할 때, 塗料 및 塗裝工程 改善을 통한 原價節減 努力의 필요성은 아주 높다 하겠다.

이미 선진국에서 많은 노력을 기울이고 있듯이 자동차 업체의 페인트 & 소재 담당자, 페인트 공급자, 플라스틱 공급자간에 Partnership Programs을 통하여 도장된 플라스틱 부품의 諸般 物性改善이 가능함을 알 수 있다.

우리 자동차공업의 기술선진화를 위해서 관련업체간에 共同運命體 인식이 바탕되어 지속적이고 집중한 기술개발 노력이 요망되고 있다.

참 고 문 헌

1. Donatas Satas, *Plastics Finishing and Decoration*, Van Nostrand Reinhold Co., 1986.
2. R. Lambourne, *Paint and Surface Coatings; theory and practice*, Ch. 10, 'Automotive Painting', Ellis Horwood Limited, 1987.
3. 材料技術研究協會 編輯委員會, 플라스틱의 塗裝·印刷便覽, 總合技術出版 昭和 58年 (日書)
4. Alex W. Kawczak, Keith J. McCoy and Thomas R. Lindow, *Technology Advancement Partnership Programs: Optimization of "Coating-thermoplastic Composite Systems" for Automotive Body Panels*. SAE 890355.
5. Keith A. Foster, Manfred Schoenfelder, *Recent Developments in Two Component Urethane Coatings for Automotive Plastics; The Relationship Between the Mechanical Properties of Coating and Substrate*. SAE 880594.
6. Masashi Ohno, *Painting of Plastic Automotive Parts and Panels*. JSAE Review Vol. 8, No. 3 (July 1987).
7. Meyer, 'FRP. Painting', *Handbook of Polyester Molding Compounds and Technology*, Chapman and Hall, 1987. Ch. 9.
8. 耐衝擊性塗料의 開發, 自動車技術 Vol. 44, No. 6, 1990. p. 55-63 (日書)
9. *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Automotive Applications*, Vol. 2, p. 117-142, 1985. John Wiley & Sons, Inc.
10. *Automotive Plastic Report, Backgrounds - '89*, Published by Market Search Inc., 1989.
11. Verein Dt. Ingenieure, VDI-Ges. Kunststofftechnik, *Creative Use of Plastics in Cars*, VDI-Verlag GmbH, 1984.
12. Verein Dt. Ingenieure, VDI-Ges. Kunststofftechnik, *Limits of Plastics Uses in Vehicle Construction in the Eighties*, VDI-Verlag GmbH, 1984.
13. Fujii, M., Kakiuchi, H., *Practical Knowledge of Plastics*, published by Tokyo Keizai (in Japanese).
14. Tsuruta, S., et al., *all about Painting*, published by Gijutsu Shoin, p. 306.
15. Fujii, Y., "Pretreatment Techniques for

- Painting Plastic Materials”, *Painting Engineering*, Vol. 20, No. 7, 1985, p. 306.
16. Tada, Y., “Electrostatic Painting of Plastics” *Industrial Materials*, Vol. 14, No. 9, p. 129.
 17. Kabuki, K., “Problems in Painting Plastic Moulded Parts”. *Color Materials*, Vol. 54, No. 7, 1981, p. 451.
 18. Yamamoto, S., Uchida, M., “Painting of Polypropylene Bumpers and Other Plastic Products”, *Working Surface Technology*, Vol. 31, No. 10, 1984.
 19. 高分子材料の 高機能化, 自動車技術 Vol. 44, No. 6, 1990. p 18~20(日書)
 20. “Practical Knowledge for Painting Plastics”, *Industrial Materials*, Vols. 19-20.