

자동차 도장공정 혁신적 개선 기술

- 자동차용 선도장 칼라 강판 연구개발 동향 -

황 현 득·이 용 희·김 현 중[†]·노 승 만*·남 준 현*·박 중 명**·김 중 훈***

서울대학교 환경재료과학전공 바이오복합재료 및 접착과학 연구실, *PPG Industries Korea 자동차기술연구소,

포항공대 철강대학원 표면공학연구실, *한국생산기술연구원 생산기반기술연구본부 용접·접합연구부

Technology for Innovative Automotive Coating Process

- Technological Development Trend of Automotive Pre-coated Metal Sheet -

Hyeong-Deuk Hwang, Yong-Hee Lee, Hyun-Joong Kim[†], Seung Man Noh*,
Joon Hyun Nam*, Jong Myung Park**, and Jong-Hoon Kim***

Lab. of Adhesion & Bio-Composites, Program in Environmental Materials Science,
Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

*PPG Industries Korea, Cheonan 330-912, Korea

**Surface Engineering Lab, Graduate Institute of Ferrous Technology,
Pohang University of Science and Technology, Pohang 790-784, Korea

***Advanced Welding & Joining R&D Department, Production Technology R&D Division,
Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 406-840, Korea

Abstract: 자동차용 선도장 강판 기술은 기존의 자동차 습식 도장공정을 고속 롤코팅 공정으로 대체하는 기술로써, 생산성 및 친환경성을 동시에 만족할 수 있는 혁신적인 기술이다. 그러나 아직까지 완전히 상용화되지 않은 기술이며, 국내에서는 가전용이나 산업용으로 사용되던 선도장 강판 기술을 활용하여 자동차용 선도장 강판 기술에 적용하기 시작한 단계로써 활발한 연구가 필요한 시점이다. 이러한 자동차용 선도장 강판 기술 개발현황 및 시장동향 파악을 통해 관련 기술에 대해 알아보고자 한다.

Keywords: 자동차, 선도장 강판, 도장공정, Pre-coated Metal Sheet, Coil Coating, 모듈공정 기술, 접합기술

1. 최신 자동차용 도료 및 도장공정 기술 개발 동향

최근 자동차용 도료 및 도장공정 기술 개발의 가장 큰 쟁점은 더 우수한 물성(better performance)을 지니면서도 더 낮은 비용으로(low cost) 더 환경친화적(environment friendly)인 도장공정을 구현하는 기술의 개발이라 할 수 있다. 이 중에서도 특히, 환경문제는 소비자의 관심과 요구수준이 높아지고 있을 뿐만 아니라, 세계 각국에서도

이와 관련된 규제를 제정하고 더욱 엄격하게 적용하고 있는 실정이다. Figure 1은 2006년 주요 자동차 회사에서 생산하는 자동차 1대의 평균 중량과 이 때 발생하는 평균 CO₂ 배출량을 나타낸 것이다. 이와 같이 환경 규제는 점차 강화되는 추세에 있으므로 자동차 제조회사들도 이러한 환경 규제에 대응하기 위한 기술들을 개발하고 있다[1-3].

1.1. 자동차 개발 방향

자동차는 주택 다음으로 고가의 소비재이기 때문에 구매시 소비자들의 요구사항은 그 어느 제품보다 까다롭다. Figure 2는 자동차에서 요구되는

[†] 주저자 (E-mail: hjokim@snu.ac.kr, www.adhesion.org)

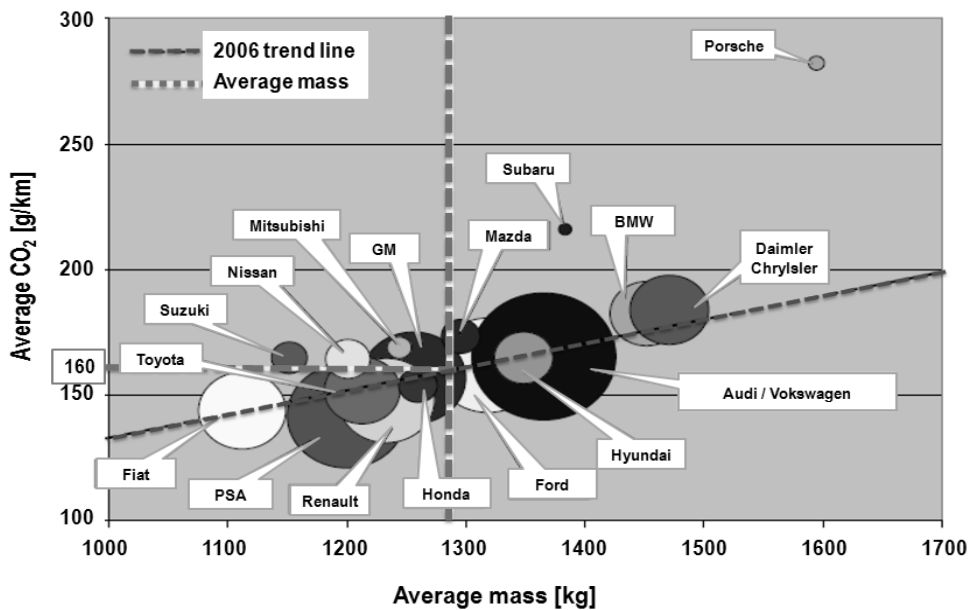


Figure 1. The actual position of the various car manufactures in terms of the average CO₂ emissions of the new cars they manufactured in 2006[2].



Figure 2. Mobility requirements are unaffected by technology and material[5].

여러 가지 특성을 나타낸 것으로, 기본적인 자동차의 성능을 만족해야 할 뿐만 아니라, 안전성, 장기신뢰성, 환경친화성 등에 대한 기대수준이 날로 높아지고 있으며, 이와 더불어 뛰어난 디자인, 아름다운 외관 등 소비자의 감성적인 부분까지 만족해야 한다. 특히 자동차용 도료의 경우, 소비자의

감성적인 요구와 직결되기 때문에 매우 엄격한 수준의 외관 특성 및 내구성이 요구되며, 이를 만족하기 위하여 여러 단계의 도장공정을 거치면서 각 공정에서 부여되는 특성이 종합되어 자동차용 도막으로써 최종 물성을 발휘하게 된다[4-6].

Figure 3은 자동차 개발 방향의 현재 및 미래를

Fast-Car concepts 2020

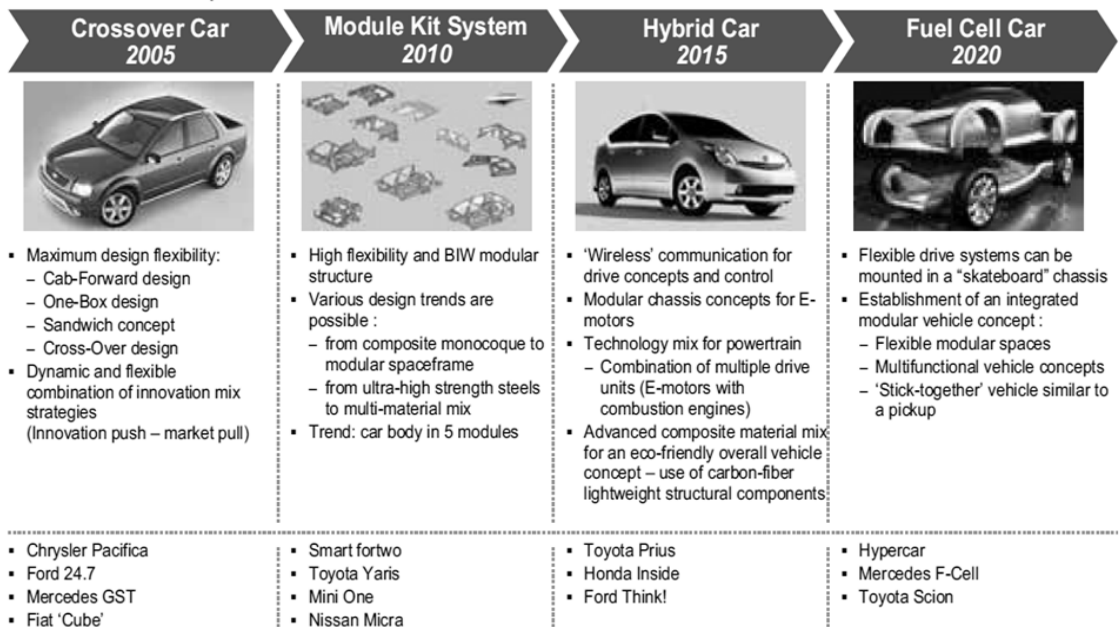


Figure 3. Continuous further development of vehicle concepts requires a flexible production strategy[5].

나타낸 것이다. 주요 부품을 모듈화함으로써 생산 공정을 단축 및 간략화시킬 수 있는 “모듈 공정”, 기존의 화석연료를 대체하는 “전기자동차” 혹은 이를 결합한 “하이브리드 자동차”, 그리고 배기가스에 의한 대기오염을 해결할 수 있는 “연료전지 자동차” 등 여러 가지 기술이 다변화되어 경쟁적으로 개발되고 있다. 이에 따라 자동차 도장공정도 유연한 개발 전략이 필요하며, 기존의 복잡한 구조를 가지고 있는 습식공정의 자동차 도장공정을 탈피하여, 환경친화적이면서도 단순화된 공정을 통하여 생산성을 높일 수 있는 새로운 도장공정 기술의 개발이 필요한 시점이다[5].

1.2. 일반적인 자동차 도장공정과 단축 도장공정

현재 자동차 생산시 적용되고 있는 일반적인 자동차 도장공정은 매우 복잡한 단계로 이루어져 있다. 도장공정에 앞서, 아연도금강판(galvanized steel ; GI), 합금화 아연도금강판(galvannealed steel ; GA), 전기아연도금강판(electrolytic galvanized iron ; EGI) 등을 절단 및 가공, 용접과 조립공정을

거쳐 자동차 차체(car body)를 만든 후 도장공정을 진행한다. 도장공정에서는 세척 및 인산염 전처리 공정(pretreatment)을 시작으로, 전착도장(electronic coat), 중도(primer), 상도베이스코트(base coat), 상도클리어코트(clear coat) 등의 복잡한 연속공정을 통하여 최종 도막을 구현하게 된다. 이러한 여러 단계의 도장공정은 각 단계별 대형 도장공장과 다양한 설비 및 많은 인력 등이 필요한 비친환적이고 노동집약적인 공정으로 자동차 생산 공정 중에서 가장 비효율적인 공정으로 지적되고 있다 [6-8].

이러한 기존의 자동차 도장공정의 문제점을 해결하기 위하여 비친환적인 도장공정을 단축함으로써 원가절감 및 생산성 향상, 에너지 절감, 인건비 절감 등의 효과를 얻을 수 있는 “단축 도장공정(compact or consolidated coating process)” 기술에 대한 개발이 진행되고 있다. Figure 4(a)에서와 같이 중도와 상도 도장라인이 병합된 3Coat 1Bake 방식이나 Basecoat 1/Basecoat 2 등과 같은 중도 공정이 생략된 방식이 주로 개발되고 있다.

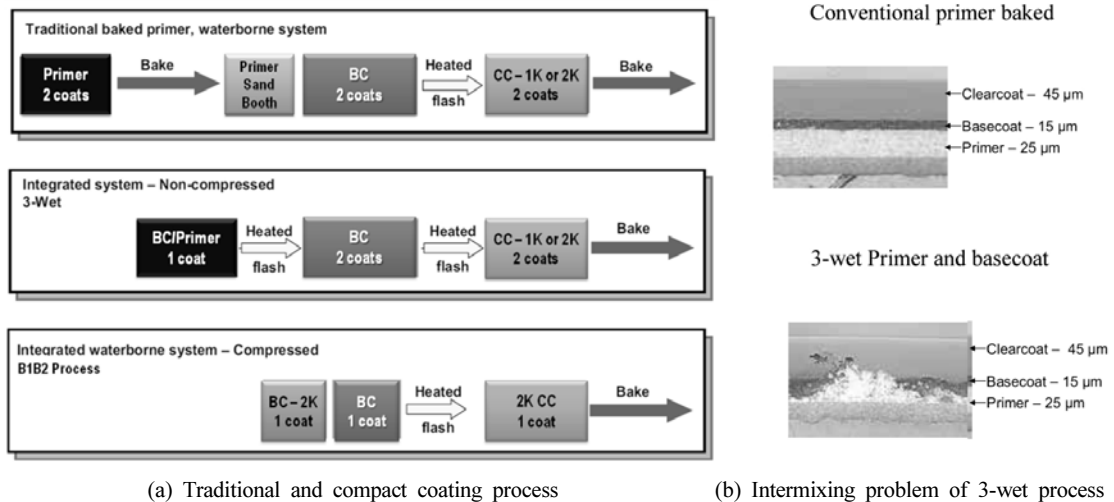


Figure 4. Comparison between the traditional coating process with compact process[9].

이러한 도장공정에서는 wet-on-wet 방식으로 도장되기 때문에, 여러 단계의 고온 경화공정을 간략하게 단축할 수 있어 생산성을 크게 향상시킬 수 있다. 최근에는 이러한 단축 도장 공정기술을 도입하는 자동차회사가 늘고 있는 추세이며, 각 자동차 제조회사별 상황은 다음과 같다.

Volkswagen의 경우 도장공정 대부분을 waterborne primer, waterborne basecoat, solvent-borne clearcoat (1K, 2K)로 적용하고 있다. Toyota의 경우 모든 도장 공장을 waterborne basecoat로 전환하였으며, 새롭게 건설되는 공장의 경우 3-wet waterborne 공장으로 짓거나 기존의 공장의 전환을 진행하고 있다. GM의 경우 중국이나 러시아와 같이 최근 건설된 도장공정의 경우 waterborne basecoat와 waterborne primer를 사용하고 있으며, 새롭게 건설되는 신규공장의 경우 3-wet waterborne으로 건설예정인 것으로 알려져 있다. Ford의 경우 기존의 high solids 3C2B 공정을 3-wet high solids로 전환하고 있다. 또한, 현대자동차의 경우 최근 건설된 모든 공장(EU, 미국, 중국, 인도, 러시아, 터키)을 waterborne basecoat, waterborne primer로 건설하였으며, 새롭게 건설될 공장의 경우 3-wet waterborne으로 진행할 예정으로 알려져 있다[9].

그러나 이러한 단축 도장공정 기술이 장점만을 지닌 것이 아니라 Figure 4(b)에서와 같이 wet-on-wet 방식으로 도장되기 때문에 도장층간의 혼합 현상(inter-mixing problem)이 발생하거나, 기존의 도장공정 도막에 비교하여 열악한 외관특성이나 물성을 나타내는 문제점을 갖고 있다.

1.3. 자동차용 선도장 강판 기술의 도입 배경

한편, 단축도장공정 기술과는 다르게 새롭게 개발되고 있는 도장공정 기술은 roll coating process를 적용한 선도장 강판 도장방법이다. 선도장 강판 도장방법은 roll coating process를 이용하는 방법으로 강판 제조시 도료가 강판에 직접 도장되며, 나중에 필요에 따라서 절단 및 성형, 조립과정을 거쳐 각종 제품으로 완성되게 된다. 가공 전에 미리 도장된 metal sheet이라는 뜻에서 pre-coated metal (PCM) 혹은 coil coating이라 부르며 이러한 용도로 사용되는 도료를 PCM용 도료라 지칭한다 [10-12].

Figure 5는 기존 자동차 도장공정과 선도장 강판 도장공정을 비교한 것이다. 기존의 도장공정을 일부 생략하는 단축 도장공정과 달리 자동차용 선도장 강판 기술의 경우 기존의 비친환경적이고 비효율적인 전처리 및 전착, 중도, 상도 공정 등

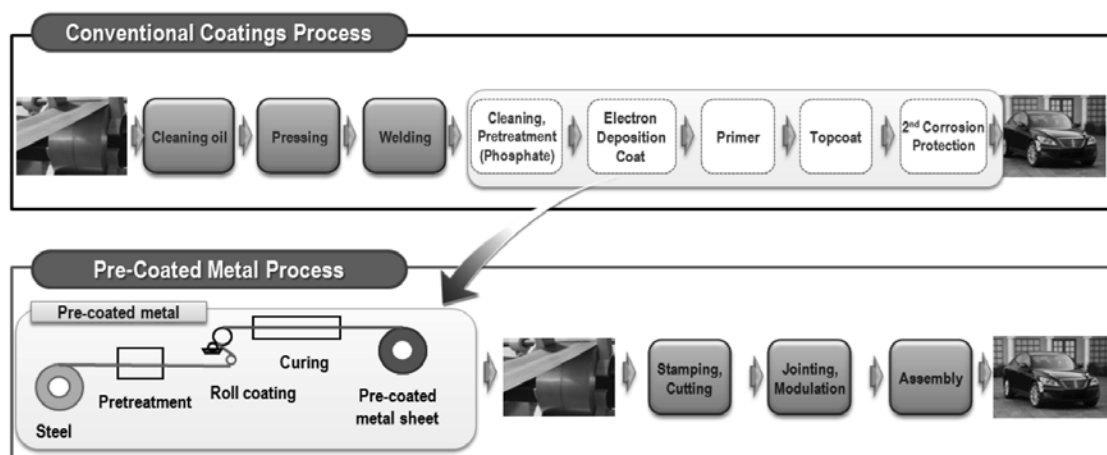


Figure 5. Conventional coating process and pre-coated metal process for automotive application.

모든 도장공정을 자동차 공장에서 완전히 생략할 수 있기 때문에 혁신적인 기술로 평가받고 있으며, 현재 개발되고 있는 “모듈화 공정”, “전기자동차” 등에 적용할 수 있는 최적의 도장공정 기술로 평가받고 있다[13-15].

2. 자동차용 선도장 강판 핵심 요소기술

자동차용 선도장 강판 기술의 핵심 요소기술로써, 선도장 강판용 도료시스템 기술, 선도장 강판 제조 공정기술, 선도장 강판접합 공정기술, 자동차 적용 공정기술 등이 있으며, 이러한 기술들은 밀접한 기술 연계성과 상호 보완성을 통하여 개발이 이뤄지고 있다.

2.1. 자동차 강판용 선도장 도료시스템 기술

자동차용 선도장 강판 기술에서 가장 기초적이면서도 중요한 기술인 자동차 강판용 선도장 도료시스템 기술은 여러 가지 세부기술을 포함하고 있다. 선도장, 후가공 강판에 적합한 내식성 및 외부 충격에 대한 저항성을 확보할 수 있으면서도, 강판 소성가공 또는 심가공 시 구석 부위와 구부림 부위 등에서 발생할 수 있는 도막 깨짐 등을 제어할 수 있는 고탄성의 프라이머 기술이 필수적이다. 또한, 고속 롤코터를 이용한 선도장 공정에서 중도와 상도의 계면에서 발생할 수 있는 섞임 현

상을 방지하고, 양 계면의 적합성 및 접착/외관 특성을 균일하게 부여할 수 있는 층벽 프라이머 기술이 필요하다. 그리고 고속 시스템 층간 도장에 따른 균일한 색상 구현이 가능한 메탈릭 상도베이스코트 기술, 내한칩핑성 및 내스크래치성, 내산성 등의 기능성이 구현되는 상도클리어코트를 개발하는 기술 등이 세부적으로 포함된다.

2.2. 자동차용 선도장 강판 제조 기술

자동차용 선도장 강판 제조 기술은 Figure 6과 같은 고속 roll coating process를 활용하여 자동차용 모듈인 최종제품을 완성하는데 공급되는 도장 강판을 만드는 공정기술과 설비기술로서, 제조공정 흐름상 필수적인 기술이다. 자동차용 선도장 강판 제조기술은 기존의 가전이나 전자재용으로 사용되고 있는 고속 롤코팅 도장기술을 바탕으로 하기 때문에 기본적인 기반 기술과 설비기술은 갖추고 있으나, 자동차용 선도장을 위한 새로운 도료시스템의 도입에 따른 응용기술 및 최적화 기술이 필요하다[8,11].

2.3. 자동차용 선도장 강판 접합기술

자동차용 선도장 강판 접합기술은 기존의 강판 용접공정을 생략한 새로운 자동차용 선도장/후가공 강판접합 기술 및 공정기술로서 강판접합 장치 설계와 구조설계, 접착기술 등을 개발하는 기술이

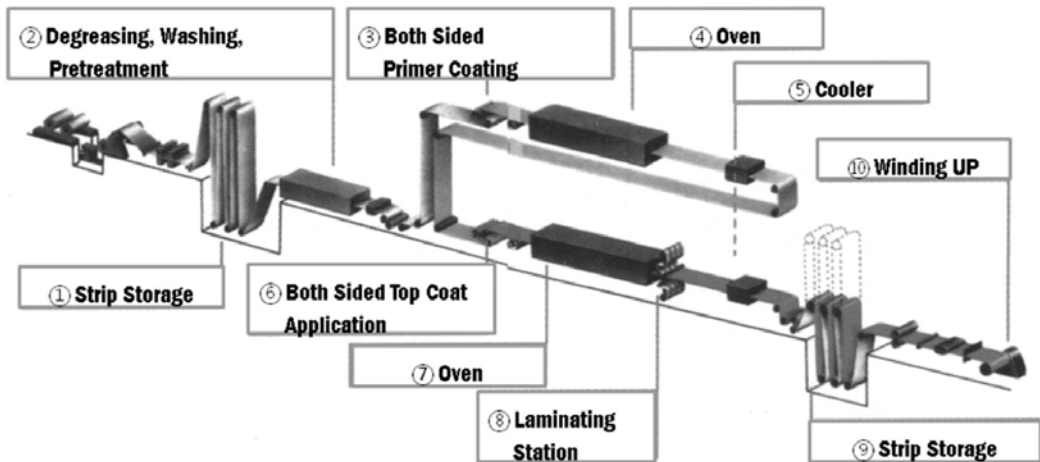


Figure 6. Process flow of a coil coating line[8].

다. 이에 따라, 다양한 접합공정 기술을 필요로 하며, 새로운 형태의 볼트/넛 규격 및 차체 실링과 접착제를 이용하여야 하며, 자동차 차체의 안전성을 위해서는 기존의 용접 방식과는 달리 기계적 체결 등과 같은 새로운 방식의 접합 체계의 개발이 필요하다. 이를 위해서는 선도장 강판접합 시스템의 형태에 맞춘 접합 시스템 장비를 설계 제작하고, 이 장비를 이용한 접합 공정의 최적화 기술 등이 필요하다[16].

2.4. 자동차용 선도장 강판 조립 적용 기술

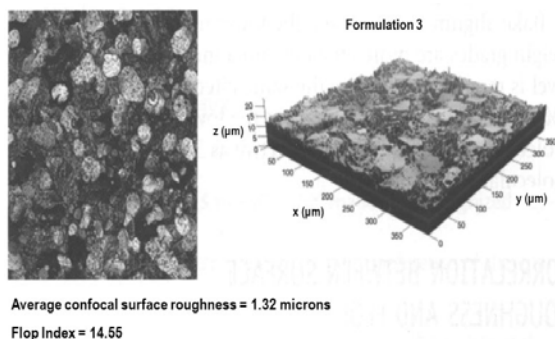
선도장 강판의 자동차 조립공정에 대한 적용기술은 선도장 강판의 절단(blanking) 및 차체모양으로의 성형(stamping), 차체에 대한 조립공정 그리고 그와 연계된 설비를 개발하는 기술을 말한다. 선도장 강판을 절단하여 사용할 때, 절단면은 내식/방청이 되지 않은 부분으로 가장 먼저 부식이 발생되기 때문에 이를 해결하는 국부적인 급속 도장기술 및 표면처리 기술, 관련 설비기술 등의 개발이 포함되며 강판의 부품성형에 필요한 성형가공 세부 기술 개발과 부품형상 설계 기술 및 모듈화 기술, 표면 스크래치 방지 기술 등이 세부적으로 포함한다.

3. 자동차용 선도장 칼라 강판의 핵심 기술적 난제

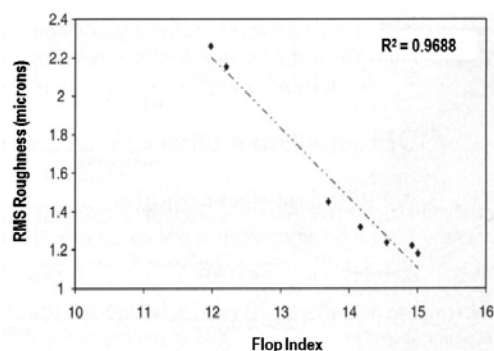
3.1. 고속 롤코팅 도장 조건에서의 외관품질 구현기술

자동차용 도료의 경우 여러 가지 물성 중 특히 우수한 외관 품질의 목표가 높다고 할 수 있다. 특히, 승용차 외관의 경우 소비자의 직접적인 구매 의사결정에 영향을 미치므로 그 기준이 다른 어떤 도료보다 높다고 할 수 있으며, 고속 롤코팅 도장 조건에서의 외관품질 향상을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

기존의 습식 자동차 도장공정에서는 한 층이 도장된 후 20여 분의 충분한 건조 및 경화과정을 거치기 때문에 자동차 요구 물성을 만족하는 도막 외관을 구현하는데 큰 어려움이 없었으나, 선도장 강판의 경우 평균 80~140 m/min 정도의 고속 롤코팅 공정 중에 도료가 도장된 후 건조 및 경화가 20~60 sec의 짧은 시간에 이루어지기 때문에, 우수한 외관 구현에 어려움이 따른다. 이와 더불어 연속적인 4개 이상의 도료 층의 도장이 가능해야 하기 때문에 층간의 계면에서 도장된 도료 층이 서로 섞이거나 혼합이 되지 않도록 층벽효과(barrier effect)를 부여할 수 있어야 하며, 이러한 층벽효과 기술은 단순한 고분자 기술만으로는 구



(a) Confocal image of high molecular weight formulation (3%)



(b) Correlation between root mean square roughness and flop index

Figure 7. Enhancing productivity in coil coating by controlling molecular weight[5].

현이 어려우며 유무기 하이브리드 기술과 같은 나노입자 기술이 복합적으로 융합되어야만 가능한 기술이다. 또한 솔리드 색상 외에 메탈릭 색상까지 구현되어야 하므로 고속 롤코팅 기술에 적합한 효과적인 안료 기술의 개발이 함께 이루어져야 한다. 이와 함께 도료에 적용되는 고분자에 대한 점탄성적인 특성과 유연화적인 특성이 함께 고려되어 롤코팅 공정변수인 흐름성, 픽업성, 레벨링성 등을 최적화시킬 수 있는 기술 개발이 필요하다.

이러한 고속 롤코팅 공정조건에서 우수한 외관 품질을 구현하기 위한 방법으로 소재 강판의 거칠기(roughness)를 낮추고, 프라이머의 고형분을 높여 filling power를 높이는 방법이 고려되고 있으며, 도료 고분자의 분자구조, 관능기, 분자량 분포를 제어할 통해 롤코팅 공정시에도 안정적인 경화 및 외관구현이 될 수 있는 기술 개발이 이뤄지고 있다. 그리고 메탈릭 안료의 orientation을 제어하고 고속 전단 상황에서의 안정성을 높이기 위한 유연화적 제어에 대한 연구 개발도 이뤄지고 있다 (Figure 7)[10].

3.2. 후가공 공정에 의한 도장면 손상 방지 기술

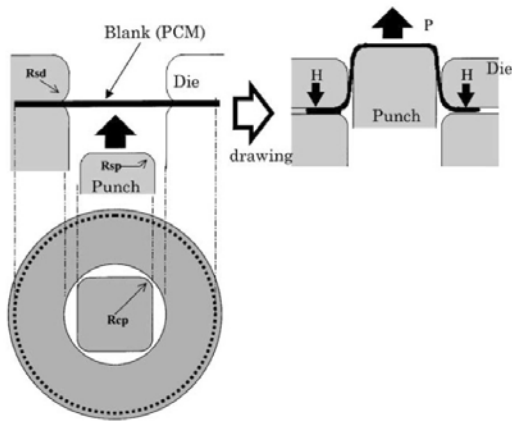
자동차용 선도장 강판은 선도장 후 후가공 공정을 거치기 때문에 강판 및 경화도막의 가공성도 우수하여야 하며, 가공공정에서 발생할 수 있는 정도 및 외관 품질의 변화를 억제하는 것이 가장



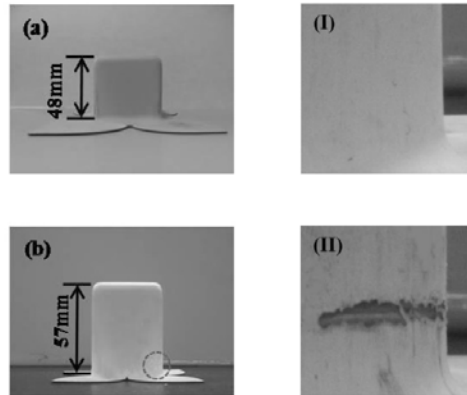
Figure 8. Surface deformation of coatings after forming process.

중요한 기술 중에 하나이다. Figure 8은 성형 가공 과정에서 발생하는 도장 표면의 손상현상을 보여주는 것으로, 자동차용 선도장 강판 개발시 반드시 해결해야 하는 기술적 중점사항이다.

지금까지 일반적인 산업용이나 건축용 선도장 강판에서는 가공성을 위하여 유연한 도막을 형성하는 폴리에스터/멜라민 기반의 도료를 주로 활용하였으나[17,18], 자동차용 도료에서 요구하는 정도나 내스크래치성 등의 물성을 만족하기 위해서는 고분자의 분자구조, 관능기의 최적화 등을 통한 고분자 자체의 개질 뿐만 아니라[19], 폴리우레탄이나 불소, 실리콘 기술 등이 융합된 화학적 구조가 고려되고 있으며, 특히 나노세라믹 입자 등을 하이브리드화시켜 유연성과 내스크래치성을

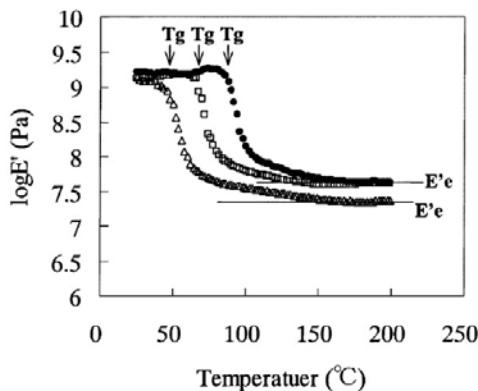


(a) Procedure of drawing test: R_{cp} : corner radius of punch, R_{sp} : shoulder radius of punch, R_{sd} : shoulder radius of die, P : force of punch, H : blank hold force.

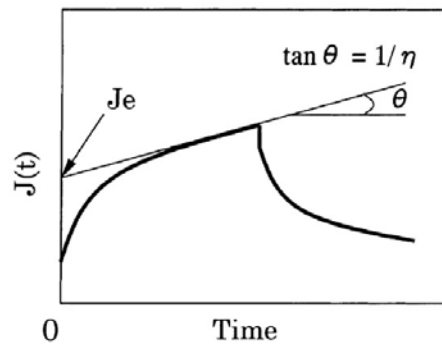


(b) Observed area after rectangular drawing.

Figure 9. Deep drawing test for evaluating formability[22].



(a) storage modulus of free paint films with the polyester resin of different T_g from dynamic viscoelastic test



(b) Creep behavior and J_e , η

Figure 10. Dynamic mechanical analysis, storage modulus and creep compliance[22].

동시에 확보하는 기술이 연구되고 있다[20].

또한 forming 등의 가공 공정 중에 발생하는 연신(elongation)에 의한 광택, 색상 등의 외관 품질이 열악해지는 것을 방지하기 기술로 고분자 망상 구조를 최적화하여 소성 변형(plastic deformation)을 조절하는 방법이나, 열 처리 공정 등의 이차 공정의 도입으로 후경화(post curing) 및 열복원기술(thermal healing) 등이 연구되고 있다. 이와 더불어 액압 성형 공법 등의 성형가공 공법 및 설비 등을 개량하는 방법이나 윤활제를 함유한 박막 유기

코팅을 통해 성형 과정 중의 손상을 최소화하는 기술 등이 연구되고 있다.

Figure 9는 도막의 가공성을 평가하는 방법으로 주로 사용되고 있는 deep drawing test를 나타낸 것이다. 선도장 강판을 일정한 압력과 깊이로 성형했을 때 변형되는 정도를 평가하는 기술로 선도장 강판 기술 평가시 필수적으로 이용되고 있다. Figure 10은 동적점탄성측정(dynamic mechanical analysis)를 이용하여 도막의 물성을 평가하는 방법을 나타낸 것이다. Figure 10(a)와 같이 storage

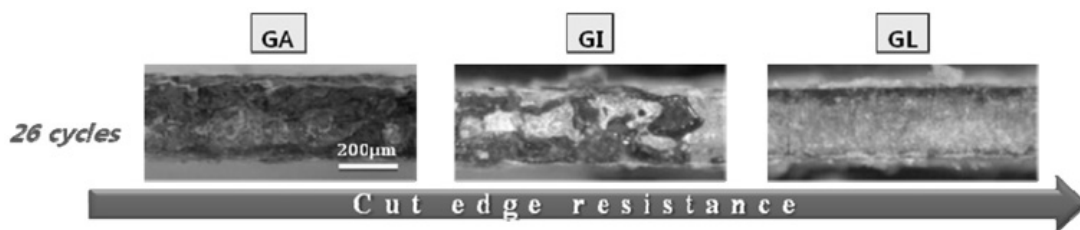


Figure 11. Cut-edge corrosion of different steel substrates.

modulus나 T_g , rubbery plateau modulus 등을 측정하여 도막의 탄성, 유연성, 가교밀도 등을 평가하기도 하며, Figure 10(b)에서와 같이 creep behavior를 creep compliance (J_e) 등을 측정하여 도막의 유연성을 평가하기도 한다[21-24].

3.3. 절단 가공면 내식성 향상 기술

선도장 후가공 공정에 따라 필연적으로 절단면의 경우 강판 기재가 그대로 드러나기 때문에, 절단 가공면에서 쉽게 발생할 수 있는 절단면 부식 (cut-edge corrosion) 현상을 방지하고 내식성을 향상시키는 기술 개발이 중요하다. 이를 위한 방법으로 EG, Zn-Ni, GL, Al 등 다양한 종류의 강판 소재의 검토가 이뤄지고 있다. Figure 11은 강판의 종류에 따른 절단면의 부식 정도를 평가한 것으로 GI 강판을 사용하였을 경우 절단면 부식현상을 현저히 감소시킬 수 있음이 확인되었으며, 이에 따라 내식성이 우수한 GI 강판이나 Al 강판 등이 선도장 강판 소재로 검토되고 있다.

한편, 절단 가공면에 자외선 경화형 도료 등의 유기 피막을 추가적으로 도포 및 경화시켜 가공면의 부식을 방지하는 기술이 연구되고 있다. 특히, 자외선 경화형 도료의 경우 상온에서 매우 빠른 시간에 경화되기 때문에, 가공설비 자체에 자외선 경화형 도료를 도포 및 경화시킬 수 있도록 설계하여, 절단가공과 동시에 절단면의 보호코팅을 시행할 수 있는 기술이 개발되고 있다. 절단 가공면의 내식성을 확보하기 위해서는 자외선 경화형 도료와 절단 가공면 사이의 우수한 부착성능 구현과 유지가 핵심 기술이라 할 수 있다(Figure 12)[25].

이와 더불어, 내식성을 평가하는 방법으로 염수

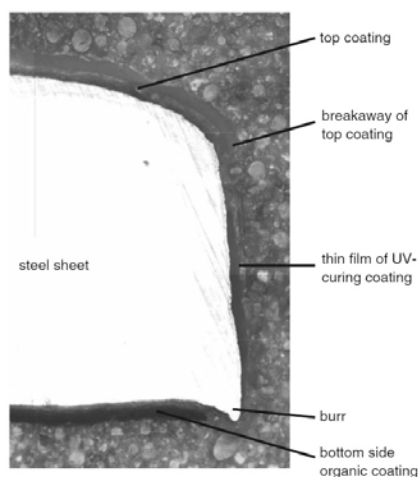
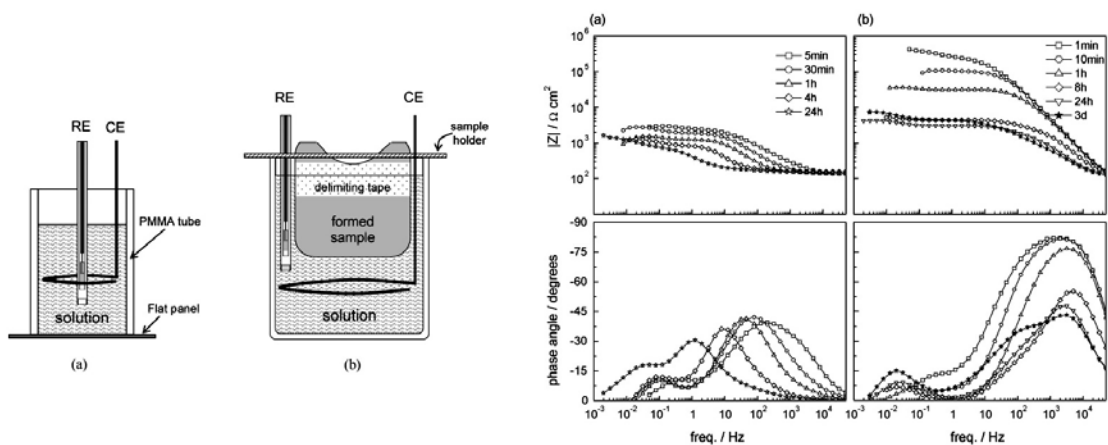


Figure 12. Polished cut image of cut edge of coil coated sheet steel covered by UV-curing lacquer[25].

분무 내식성 평가(salt spray corrosion test) 등이 이용되고 있으며[26,27], 최근에는 Figure 13과 같이 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), Scanning Vibrating Electrode Technique (SVET), Scanning Kelvin Probe (SKP) 등의 전기화학적인 방법들을 이용하여 내식성을 보다 정확하고 빠르게 측정하는 방법들이 연구되고 있다[28-32].

3.4. 접착·기계적 체결 등의 새로운 접합공정 기술

선도장 후가공 공정에서는 자체를 용접 등을 통하여 완전히 제작한 후 도장하는 방법과는 달리 강판을 가공하여야 하기 때문에, 차체 형성 과정에서 도막 표면에 손상을 줄 수 있는 용접 공정을 적용할 수가 없다. 이에 따라서 용접 공정을 대체할 수 있는 새로운 접합 공정 기술이 필요하다. 특



(a) Electrochemical cells used for EIS measurements on flat (a) and formed (b) samples. RE means reference electrode and CE is counter electrode. (b) Bode plots of EIS of electrogalvanised steel, EG (a) and phosphated electrogalvanised steel, PEG (b) in 0.1 M NaCl.

Figure 13. Electrochemical analysis for evaluating corrosion of pre-coated metal sheet[28].

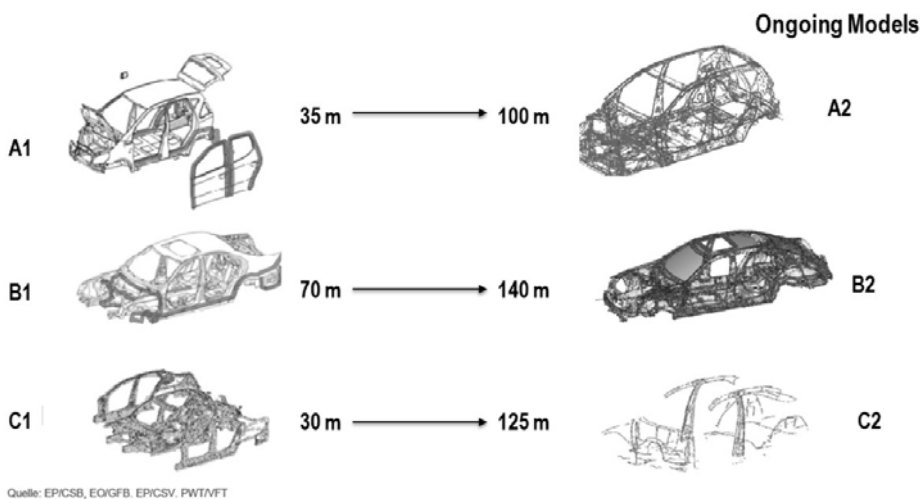


Figure 14. Increasing usage of adhesives for automotive application[16].

히, 이러한 기술 중에는 접착제를 이용한 접착 방법이나, 용접이 아닌 기계적 체결에 의한 방법, 또는 이 두 가지 방법을 이용한 하이브리드 방법 등 여러 가지 기술이 새로운 접합공정 기술에 적용되기 위하여 개발되고 있다. Figure 14에서 보는 바와 같이 자동차 생산 공정에서 접착제의 사용량은 경량화와 조립공정의 생산성 향상을 위하여 점차 늘어나는 추세에 있으며, 선도장 강판 적용시에는 접합공정에서 접착제의 사용량이 대폭 증가할 것

이다. 자동차 접합공정에서 사용되는 접착제의 경우 구조용 접착제로써 안전과도 상관이 있기 때문에 그 요구물성이 높다고 할 수 있다[16]. Figure 15는 다양한 접합기술별 특징을 비용 대비 접합성능으로 나타낸 것으로 선도장 강판 기술 개발에 반드시 필요한 핵심 요소기술인 접합기술을 접합부위의 특성에 따라 선택하여 적용해야 함을 확인할 수 있다[5].

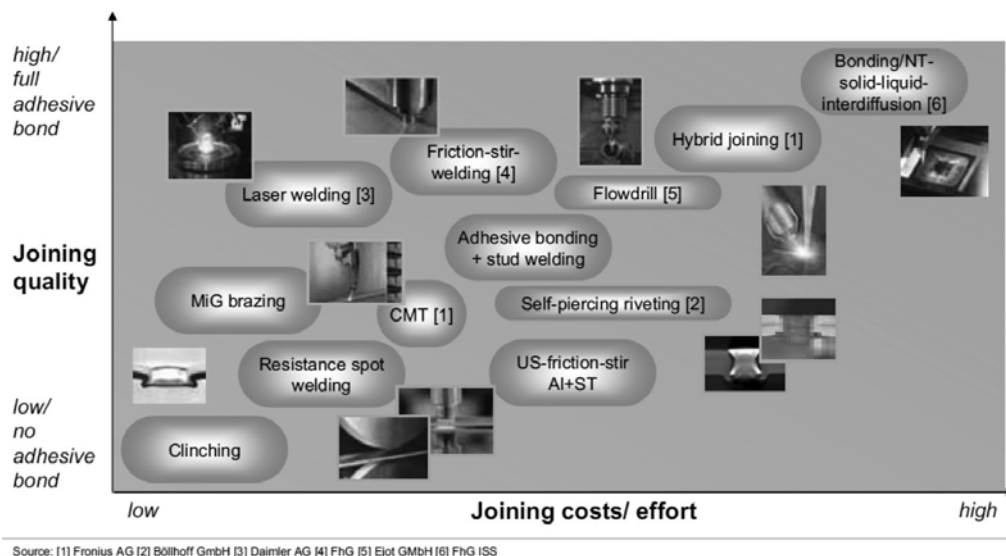


Figure 15. The selection of a joining technology suitable for the material combination/hybrid must be fine-tuned with the design (excerpt)[5].

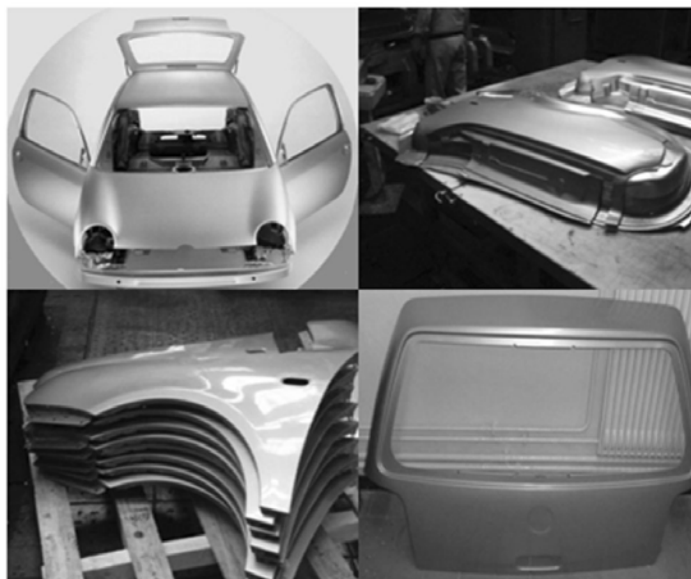


Figure 16. “Lupo 3L Project” - Volkswagen and Euramax.

4. 자동차용 선도장 강판 국내외 기술 개발 현황

4.1. 해외 기술 개발 현황

Table 1은 자동차용 선도장 강판 요소기술별 해

외 기술 개발 현황을 나타낸 것이다. 자동차용 선도장 강판 기술 개발에 앞서 있는 기업은 독일의 ThyssenKrupp 및 BASF Coatings이며, 1990년대 말부터 선도장 칼라 강판기술을 자동차에 적용하기 위하여 공동으로 기술을 개발하고 있으며 유럽

Table 1. Development Trend of Element Technology for Automotive Pre-coated Metal Sheet in Overseas

구분	기술명	개발단계	개발 내용	개발주체
중도	고탄성 중도 도료 기술	상용화	폴리우레탄/폴리에스터 융합형태의 고탄성 선도장 용 중도 기술 개발	BASF (독일)
중도	층벽 중도 도료 기술	Pilot단계	폴리우레탄/폴리에스터/나노입자 융합기술 결합을 통한 층간침투방지용 중도 기술	BASF (독일)
베이스 코트	고고형분 및 저점도형 수지 기술	Pilot단계	폴리우레탄/폴리에스터 혼용의 고고형분 저점도 형태의 속건형 도료 기술	BASF (독일)
클리어 코트	고내구성 실리콘/불소 클리어코트	기술검토	폴리우레탄/실리콘/불소 융합형태의 고탄성 선도장 용 클리어코트 기술	BASF (독일)
선도장 강판	자동차용 선도장 강판 제조기술	Pilot단계	자동차용 선도장강판 제조를 위한 공정기술 및 설비기술	ThyssenKrupp (독일)
접합공정	자동차용 선도장 강판 접합기술	Pilot단계	자동차용 선도장강판 접합을 위한 소재 및 공정기술	Henkel (독일)
절단공정	코팅 재료 절단 기술	양산사용	Blanking of Coated Steel Panel	HTI (미국)
성형공정	판재 액압 성형	Pilot단계	자동차 후드 아우트 성형	Schuler (독일)
			자동차 후드 아우트 및 데크 리드 아우트	GM (미국)
접합	저온 브레이징 접합 기술	양산사용	Stainless Steel Truss-core Welded Panel	Blank Coating Technology (미국)
조립	내스크래치 핸들링 지그 개발	개념개발	가전제품 조립공정기술을 자동차 조립공정에 적용하는 기술개발	-

자동차 업체들과 컨소시엄을 구축하여 시제품 신뢰성 평가단계에 진입한 것으로 알려지고 있다. 이러한 예로, Figure 16의 “Lupo 3L Project”를 들 수 있는데, Volkswagen, Euramax 등이 컨소시엄을 구축하여 30개의 선도장 강판으로 제작된 모듈을 접합하여 100대 시험차를 실제 생산하여 물성을 평가한 바가 있다.

또한, GM 및 Ford, Daimler 등은 도료업체와 공동 컨소시엄을 구축하여 시제품 선도장 강판에 대한 커팅 및 스탬핑 공정을 통한 성형가공과 차 제조립, 조립된 차량의 옥외폭로 시험, 내구성 시험 등을 순차적으로 장기간 진행하고 있는 것으로 확인되고 있다. Ford의 F-150 및 Expedition, Explorer, Windstar와 GM의 Pontiac Grand AM 및 Cadillac, Pontica Sunfire, 그리고 Chrysler의 Sebring 등에 적용되고 있는 trim part인 window pillar part와 door belt molding part에는 이미 선도장 칼라 강판기술이 우선적으로 선행 적용되고 있다. 독일의 Daimler의 경우는 2020년 연간 10만대 규모 소형차 생산라인을 목표로 하고 있다.

부품 절단시의 도장피막과 강판 사이의 분리 방

지를 위한 쾌속 절단 관련 기술은 미국의 Blank Coating Technology가 코팅 브랭크 생산 기술을 개발하였고, 미국의 HTI가 관련 설비 개발을 수행한 바가 있다. 그리고 성형 시 제품 표면에 손상을 전혀 주지 않아 별도의 표면 처리 공정이 필요없는 액압 판재 성형기술은 이태리의 알파로메오의 후드 및 미국 GM의 폰티악 차량에 적용되고 있다. 선도장 판재로 성형된 부품을 타 부품과 접합하기 위한 방법으로 고온이 발생되지 않는 기계적 체결이나 저온접착 공정이 연구되고 있으며, 셀프 피어싱 리벳(self piercing rivet) 또는 저온 브레이징 접합 기술을 이용한 공정 연구가 진행되고 있다.

4.2. 국내 기술 개발 현황

Table 2는 국내에서 개발되고 있는 자동차용 선도장 강판 관련 기술의 개발 현황에 대하여 정리한 것이다. 국내에서는 아직까지 자동차용으로의 선도장 강판 도료 및 강판 제조 기술, 새로운 접합 기술 등에 연구가 활발하게 이루어지지 않고 있는 상태이며, POSCO, HYSCO, 동부제강, 연합철강 등을 중심으로 기존의 가전용이나 산업용으로 사

Table 2. Development Trend of Element Technology for Automotive Pre-coated Metal Sheet in Korea

구분	기술명	개발단계	개발 내용	개발주체
Pre-sealed	내식성 향상 선도장 기술	Pilot단계	폴리우레탄/나노입자 혼용의 박막 내식성 부여 고분자 피막 기술 개발	POSCO
중도	용접 및 비용절 Pre-primed 도료	시험연구	Weldable and Nonweldable Eastomeric Polyester/Melamine Pre-primed Coating	PPG Korea 서울대학교
베이스코트	기술없음	기술검토	-	-
클리어코트	기술없음	기술검토	-	-
선도장 강판	자동차용 선도장 강판 제조기술	기술검토	-	HYSCO POSCO C&C
접합공정	자동차용 선도장 강판 접합기술	기술검토	-	현대자동차 성우하이텍
절단 공정	코팅 재료 절단 기술	양산사용	Blanking of Coated Steel Panel	동명스틸(한국) 성주(주)
성형 공정	판재 액압 성형	시험연구	판재 액압 성형 연구	POSCO, HYSCO
접합	저온 브레이징 접합 기술	양산사용	Stainless Steel Truss-core Welded Panel	비맥 (한국)
조립	내스크래치 지그 기구 개발	개념개발	전자 및 가전제품 산업 조립공정 기술을 자동차 조립 공정에 적용하는 기술 개발	-

용되던 선도장 강판 기술을 활용하여 자동차용 선도장 강판 기술 개발을 시작하는 단계이다.

자동차의 hem flange 부위의 내식성을 향상시키기 위한 pre-sealed 도장시스템은 cavity wax 공정 및 후처리 공정을 생략할 수 있는 기술로써 국내에서 POSCO에 의해 자체적으로 개발되었으나, 아직 상용화하여 적용하고 있지는 않다. 그러나 이 기술은 액상 고분자 물질을 박막화된 형태로 적용하여 단지 강판 내식성을 기존보다 일부 오래 확보하는 기술이며, 자동차의 외관을 고려하는 동시에 외부적 충격을 견뎌낼 수 있는 수준의 선도장 강판용 도료시스템에 적용하기 위해서는 연구가 더 필요한 실정이다.

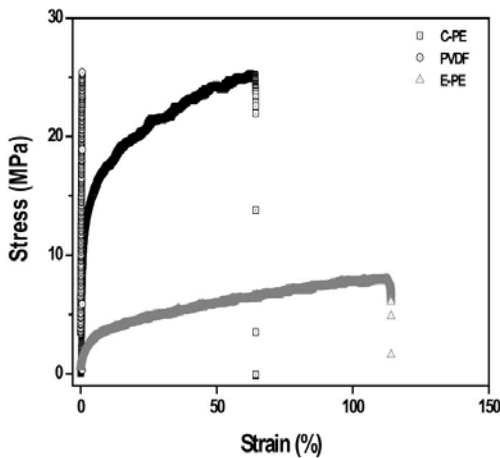
Figure 17은 최근 PPG Korea와 서울대학교가 공동으로 진행하고 있는 용접이 가능한 자동차용 weldable pre-primed 도료에 대한 연구 결과이다 [7]. Pre-primed 도료시스템의 경우 전착공정과 함께 중도공정까지 모두 생략할 수 있으며, 후속공정으로 상도베이스코트와 클리어코트 공정만으로 자동차 외관을 완성할 수 있는 기술로 완전한 선도장 강판 적용을 위한 기반기술이라 할 수 있다.

선도장 후가공 공정에서 반드시 필요한 곡면성

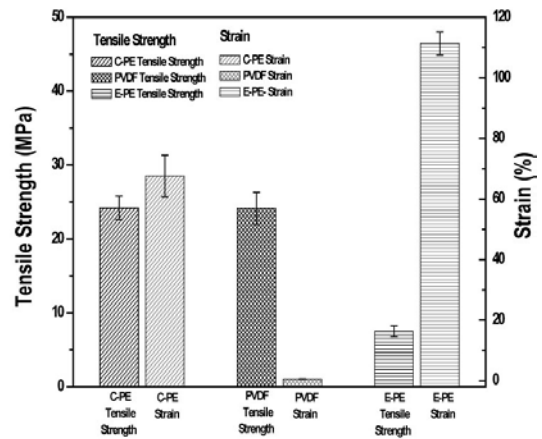
형에 대한 적용기술은 선행 연구가 필수적으로, 곡면 성형시 강판과 도장면의 성형물질 물성 차이로 인한 도장면의 크랙 발생 문제와 성형 후 clearance를 유지하기 위한 세부적인 기술 개발이 요구되나 아직까지 국내 기술은 미미한 상태이다. 반면에, 접합공정에서 사용되는 기계적 체결 방법은 이미 자동차 조립공정에서 일부 적용되고 있으며, 금속 알로이 접착제를 이용하여 상온에서 화학적 반응을 통하여 접착하는 저온 브레이징 방법은 국내의 비맥에 의해 개발되어 적용되고 있는 기술이다. 이러한 기술을 기반으로 선도장 강판 자동차 조립 공정에 적합한 적용기술이 개발되고 있다.

5. 자동차용 선도장 강판 적용분야 및 예상 시장 전망

Figure 18은 선도장 강판을 차체에 적용 가능한 범위를 나타낸 것으로 자동차용 외장부품인 roof module, hood, front module, door module, 뿐만 아니라 dash panel, brake disk cover, flaps, trim parts 등과 같은 내장 부품이나 기타 부품에도 적용할 수 있는 기술이다. 특히, 선도장 강판기술은



(a) Strain-stress curve of each cured coating film



(b) Tensile strength and strain of each cured coating film

Figure 17. Tensile properties of pre-primed coating (C-PE: polyester, PVDF: polyvinyl fluoride, E-PE: elastomeric polyester)[7].

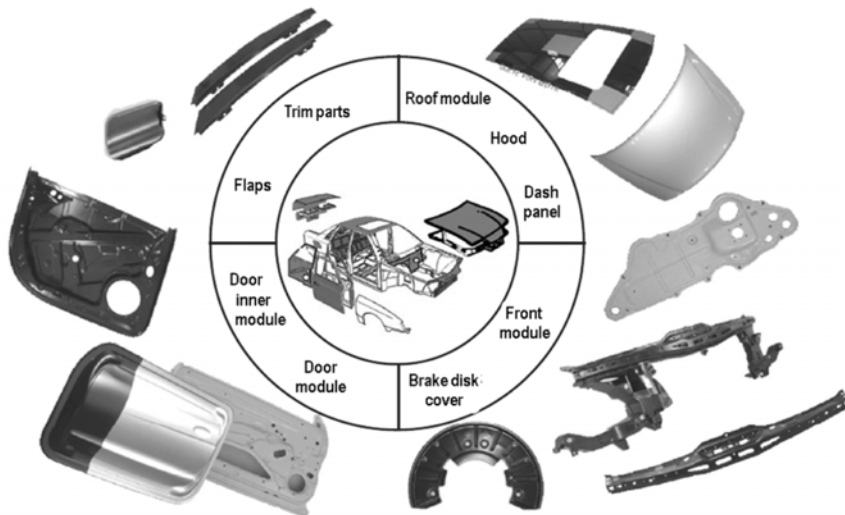


Figure 18. Pre-coated parts successfully formed in series production tools.

용접공정이 필요하지 않기 때문에 다변화되고 파격적인 차체 디자인 및 조립기술, 접합기술 도입에 적합하며, 자동차 부품의 세계적 추세인 모듈화 공정에도 적합하여 도장공정 단순화와 생산성 증대를 극대화시킬 수 있는 기술이다. 또한, 매우 엄격한 물성을 요구하는 자동차용 선도장 강판 기술이 확립되면, 기존의 산업용 및 가전용 전자제품, 휴대폰, 노트북, 건축용 분야 등 다양한 금속소재의 도장공법을 획기적으로 변화시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다.

Table 3은 자동차용 도료의 국내의 향후 시장규모를 예측한 것이다. 세계 자동차 시장은 2009년 촉발된 금융위기를 극복해 나가려는 각국 정부의 의지 및 여러 가지 정책으로 점차적으로 경기를 회복하는 추세에 있으며, 중국 및 인도, 브라질 등의 신흥 공업국인 BRICS 지역에서의 뚜렷한 경기 회복세로 저조한 자동차 업체들의 실적이 호전되고 있는 실정이다. 특히, 국내의 현대·기아자동차 등도 해외 현지공장을 발판으로 유럽과 미국, 인도, 중국 등에서 생산량과 판매량을 동시에 높여

Table 3. Market Outlook for Automotive Pre-coated Metal Sheet in Korea and Overseas (Passenger Cars)

구분		2010	2011	2012	2013	2014	연평균성장률
국내	자동차 생산대수 (천대)	4,498	4,530	4,565	4,600	4,700	1.1
	자동차용 전처리 시장규모(억원)	135	136	137	138	141	1.1
	자동차용 전착 시장규모(억원)	1,035	1,042	1,050	1,051	1,080	1.1
	자동차용 중도 시장규모(억원)	900	906	913	920	940	1.1
	자동차용 상도 시장규모(억원)	2,249	2,265	2,283	2,300	2,350	1.1
	소계(억원)	4,319	4,349	4,383	4,409	4,511	1.1
국외	자동차 생산대수 (천대)	59,500	60,900	61,600	62,000	62,900	1.4
	자동차용 전처리 시장규모(억원)	1,785	1,827	1,848	1,860	1,887	1.4
	자동차용 전착 시장규모(억원)	13,685	14,007	14,168	14,260	14,467	1.4
	자동차용 중도 시장규모(억원)	11,900	12,180	12,320	12,400	12,580	1.4
	자동차용 상도 시장규모(억원)	29,750	30,450	30,800	31,000	31,450	1.4
	소계(억원)	116,620	119,364	120,7360	121,520	123,284	1.4
계		120,939	123,713	125,119	125,929	127,795	1.4

* World Car Industry Forecasting Report, Globalinsight Dec. 2004, 한국자동차공업협회 자동차 생산 통계자료(www.kama.or.kr), 세계자동차공업협회(OICA) 자동차 생산 통계자료(www.oica.net)
(일반적으로 차량 대당 각 도료 시스템별 3 L 정도 소요되며, 각 도료시스템별 단가는 다음과 같이 산정하였음. 전처리: 3,000원/대, 전착: 23,000원/대, 중도: 20,000원/대, 상도: 50,000원/대)

Table 4. Market Share of Automotive Pre-coated Metal Sheet in Korea and Overseas (Passenger Cars)

구분			2016	2017	2018	2019	2020	평균
국내	선도장 강판 기술이 적용된 자동차	점유율 (%)	1	4	8	12	15	8
		매출액 (억원)	1,150	4,200	7,600	10,400	11,900	7,050
국외	선도장 강판 기술이 적용된 자동차	점유율 (%)	0.5	1.2	3	5	8	3.5
		매출액 (억원)	7,800	17,000	39,000	59,000	86,000	41,760
총매출액 합계 (억원)			8,950	21,200	46,600	69,400	97,900	48,810

* 선도장 강판 기술이 실제 자동차 생산에 적용되는 시점을 2016년으로 예측함.

* 2016~2020년의 국내 및 국외 자동차 생산대수는 2010~2014년 기간 동안 CAGR을 1.1과 1.4로 적용하여 산출한 것임.

가고 있다.

앞으로 자동차 시장은 생산성과 더불어 친환경적인 혁신기술을 적용하는 기술만이 살아남을 수 있을 것으로 예상된다. 소형차의 경우 생산성 향상이 주요 화두가 될 것이며, 중대형 차종과 국가 전략적 차원에서는 환경친화적인 도료 기술이 주요한 이슈가 될 것으로 판단된다. 이러한 생산성 및 친환경성을 동시에 만족시킬 수 있는 선도장

강판 기술은 자동차 도장공정을 혁신적으로 개선할 것으로 기대되고 있다. Table 4는 선도장 강판 기술이 적용된 자동차의 국내외 예상 시장규모를 나타낸 것으로 선도장 강판 기술이 실제 자동차 생산공정에 적용되는 상용화 시점을 2016년 정도로 예측하고 작성한 자료이다. 자동차용 선도장 강판 기술은 신규 공정이나 모듈부품을 중심으로 점진적으로 시장점유율을 높여 2020년에는 국내

시장의 약 15%, 세계 시장의 약 8% 정도의 시장 점유율을 차지할 것으로 예상된다.

6. 결 론

자동차용 선도장 칼라 강판 기술은 기존의 비친 환경적인 자동차 습식 도장공정을 고속 롤코팅 공정으로 대체하는 기술로써, 선도장된 칼라 강판을 후가공하여 커팅 및 스탬핑한 후 외장이나 내장 모듈로 사용하는 기술이다. 선도장 칼라 강판 기술은 기존의 자동차 도장공정을 친환경적이고, 효율성이 매우 높은 혁신적인 도장공정으로 전환할 수 있는 기술이지만, 아직 상업화되지 않은 기술이며, “모듈적용 공정”, “전기차”와 같은 미래 자동차에 적용될 수 있는 기술로써 최근 각광받기 시작한 기술이다. 이에 수반하는 기술로써 선도장 강판의 성형가공 및 접합 부분에 대한 기술적 보완 등이 필요하며, 차체로의 조립이 가능할 수 있도록 자동차 모듈화 설계가 필수적으로 뒤따라야 한다. 또한, 이 기술은 자동차용 뿐만 아니라 휴대폰, 노트북 등 다양한 전기전자제품과 일반산업용 제품에 적용이 가능한 기술이기 때문에, 기술개발 완료 시 그 기대효과 및 타 기술로의 파급효과는 매우 크다고 할 수 있다.

참고문헌

1. H.-J. Streitberger and K.-F. Dössel, Automotive Paints and Coatings, Second, Completely Revised and Extended Edition ed., WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (2008).
2. R. Kossak and D. Bassi, Aluminium Materials of the Future : New Challenges for Surface Experts, *Car Body Painting 2009*, Bad Nauheim, Germany (2009).
3. D. Santos, H. Raminhos, M. R. Costa, T. Diamantino, and F. Goodwin, Performance of Finish Coated Galvanized Steel Sheets for Automotive Bodies, *Prog. Org. Coat*, **62**, 265 (2008).
4. U. Poth, Automotive Coatings Formulation, Vincentz Network, Hannover (2008).
5. P. Klose and J. Heller, Latest Results Concerning an Organometallic Vapour Deposition Method - Increased Corrosion Protection for Innovative Body in White Concepts and Decorative Requirements, *Car Body Painting 2009*, Bad Nauheim, Germany (2009).
6. L. Prendi, E. K. L. Tam, and A. Anastassopoulos, Life Cycle Inventory of the Automotive Paint Processes, *JCT Coatings Tech.*, **5**, 30 (2008).
7. 황현득, 문제익, 이용주, 김현중, 현진호, 노승만, 강충열, 이재우, 남준현, 박종명, 자동차용 Pre-primed 적용을 위한 Polyester 및 Polyvinylidene Fluoride 도료의 경화거동과 인장강도 특성, *접착 및 계면*, **10**, 155 (2009).
8. A. Goldschmidt and H.-J. S. Streitberger, Basics of Coating Technology, 2nd revised edition ed., Vincentz Network, Münster (2007).
9. K.-F. Dösse, Consolidated Coating Systems Waterborne and Solventborne Market Development in Europe, Asia and Americas, *Car Body Painting 2009*, Bad Nauheim, Germany (2009).
10. C. Testa, Enhancing Productivity in Coil Coatings, *JCT Coatings Tech.*, **5**, 24 (2008).
11. Z. W. Wicks, F. N. Jones, S. P. Pappas, and D. A. Wicks, Organic Coatings - Science and Technology, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken (2007).
12. 중소기업청, 칼라강판의 시장 기술 보고서 (2009).
13. T. Hada, Future Prospects for Steel Coating Technology, *Nippon Steel Technical Report*, **63**, 1 (1994).
14. J. Kawai, Development of Environmentally Friendly Steel Products (Eco-products) at Nippon Steel, *Nippon Steel Technical Report*, **81**, 1 (2000).
15. Y. Y. Miyoshi, Makoto, H. Odashima, T. Kanamaru, and Y. Shindo, Development fo Precoated Steel Sheets for Automotive Use, *Nippon Steel Technical Report*, **57**, 16 (1993).
16. P. Becher, Challenges Facing Adhesives Technology in Coping with the Conflicting Demands of Robust Production Processes, *Car Body Painting 2009*, Bad Nauheim, Germany (2009).
17. A. Bergo and L. Fedrizzi, Thermal Aging of Painted Galvanized Steel after Mechanical Deformation, *Prog. Org. Coat*, **52**, 328 (2005).
18. T. Saito and M. Iwai, Characteristics of New Pre-painted Steel Sheet for Automotive Industry, *Kobelco Technology Review*, **28**, 18 (2008).
19. W. R. Zhang, R. Smith, and C. Lowe, Confocal Raman Microscopy Study of the Melamine Distri-

- bution in Polyester-melamine Coil Coating, *J. Coat. Technol. Res.*, **6**, 315 (2009).
20. S. Frings, H. Meinema, C. van Nostrum, and R. van der Linde, Organic-inorganic Hybrid Coatings for Coil Coating Application Based on Polyesters and Tetraethoxysilane, *Prog. Org. Coat*, **33**, 126 (1998).
 21. A. Roescher and A. H. A. Tinnemans, A New Coating for Deep Drawing with Preservation-lubricant-primer Properties, *Prog. Org. Coat*, **43**, 111 (2001).
 22. K. Ueda, H. Kanai, and T. Amari, Formability of Polyester/melamine Pre-painted Steel Sheets from Rheological Aspect, *Prog. Org. Coat*, **45**, 267 (2002).
 23. K. Ueda, H. Kanai, and T. Amari, Viscoelastic Properties of Paint Films and Formability in Deep Drawing of Pre-painted Steel Sheets, *Prog. Org. Coat*, **45**, 15 (2002).
 24. M. Buder-Stroisnigg, G. M. Wallner, B. Strauss, L. Jandel, and R. W. Lang, Structure-property Correlations of Flexible Clear Coats, *Prog. Org. Coat*, **65**, 328 (2009).
 25. H. Hoffmann and R. Petry, Improved Corrosion Protection of the Cut Edge of Coil Coated Sheet, *Prod. Eng. Res. Devel.*, **1**, 337 (2007).
 26. R. L. Howard, S. B. Lyon, and J. D. Scantlebury, Accelerated Tests for the Prediction of Cut-edge Corrosion of Coil-coated Architectural Cladding Part I: Cyclic Cabinet Salt Spray, *Prog. Org. Coat*, **37**, 91 (1999).
 27. R. L. Howard, S. B. Lyon, and J. D. Scantlebury, Accelerated Tests for Prediction of Cut Edge Corrosion of Coil-coated Architectural Cladding. Part II: Cyclic Immersion, *Prog. Org. Coat*, **37**, 99 (1999).
 28. A. C. Bastos and A. M. P. Simoes, Effect of Deep Drawing on the Performance of Coil-coatings Assessed by Electrochemical Techniques, *Prog. Org. Coat*, **65**, 295 (2009).
 29. R. G. Duarte, A. S. Castela, and M. G. S. Ferreira, Influence of Ageing Factors on the Corrosion Behaviour of Polyester Coated Systems - A EIS study, *Prog. Org. Coat*, **59**, 206 (2007).
 30. A. C. Bastos and A. M. P. Simoes, Effect of Uniaxial Strain on the Protective Properties of Coil-coatings, *Prog. Org. Coat*, **46**, 220 (2003).
 31. X. Zhang, B. Boelen, P. Beentjes, J. M. C. Mol, H. Terryn, and J. H. W. de Wit, Influence of Uniaxial Deformation on the Corrosion Performance of Pre-coated Packaging Steel, *Prog. Org. Coat*, **60**, 335 (2007).
 32. T. Hamada and H. Nomura, Direct Current Resistivity of Degraded Organic Film for Pre-coat Metal, *Prog. Org. Coat*, **37**, 141 (1999).

저자소개



황 현 득

1997~2004 서울대학교 산림과학부
환경재료과학전공 학사
2004~2007 서울대학교 산림과학부
환경재료과학전공
석·박사통합과정
2007~현재 서울대학교 산림과학부
환경재료과학 전공 박사수료



이 용 희

1990~1996 충남대학교 화학공학과 학사
1996~1999 충남대학교 화학공학과 석사
1999~2007 삼화페인트공업(주)
2007~2010 한국건설자재시험연구원
2010~현재 서울대학교 농업생명과학
연구원 연구원
서울대학교 산림과학부
환경재료과학 전공 박사수료



김 현 중

1983~1987 서울대학교 임산공학과 학사
1987~1989 서울대학교 임산공학과 석사
1992~1995 The University of Tokyo
생물재료과학과 박사
(고분자재료-접착과학)
1995~1996 Virginia Polytechnic Institute
& State Univ., Center for
Adhesive & Sealant Science
박사 후 연구원
1996~1999 State Univ. of New York
at Stony Brook 재료공학과,
NSF-Center for Polymer at
Engineered Interface
연구조교수 겸 책임연구원
1996~1998 Brookhaven National Lab.
물리학과 겸임연구원
1999~현재 서울대학교 산림과학부
환경재료과학 전공 교수



노 승 만

1988~1995 고려대학교 화학과 학사
1995~1997 고려대학교 화학과 석사
1996~1997 한국표준과학연구원
무기분석그룹 연구원
1997~2006 KCC 중앙연구소 수계
Division 선임연구원
2007~현재 PPG Industries Korea
선행연구팀장



남 준 현

1975~1979 서울대학교 공과대학
공업화학학과 학사
1979~1981 서울대학교 공과대학
공업화학학과 석사
1986~1992 Univ. of Akron 박사
(고분자공학)
1992~현재 PPG Industries Korea
전무이사



박 중 명

1975~1979 서울대학교 공업화학학과 학사
1979~1981 KAIST 화학과 석사
1985~1989 Lehigh University
고분자공학 박사
1990~1991 Emulsion Polymers Institute
Research Associate
1981~2004 KCC 중앙연구소 연구임원
2004~2006 (주)범우 연구소 상무
2007~현재 포항공대 철강대학원 교수



김 종 훈

1979~1986 인하대학교 금속공학 학사
1987~1989 동경공업대학교 생산기계
공학 석사
1989~1992 동경공업대학교 생산기계
공학 박사
1992~1994 일본발조주식회사 선임연구원
1994~현재 한국생산기술연구원
용접·접합연구부 부장