

청정도장기술개발을 위한 시험평가설비 구축 현황

윤재호, 김영률, 강보선*

한국생산기술연구원 자본재설비기술개발센터 냉동공조연구팀

*전남대학교 기계공학과

1. 머리말

도장(Painting)의 가장 큰 기능은 제품의 미관을 보기 좋게 하는 것과 제품의 보호라고 볼 수 있지만, 그 이외에도 여러 가지 특수한 기능을 수행하기도 한다. 현대 인간의 생활 주변 공간을 살펴 보면, 도장의 중요성은 매우 크다고 볼 수 있다. 금속, 목재, 플라스틱, 유리, 고무, 건축물 등 각종 피도장물의 최종 마무리는 거의 대부분 도장과정을 거쳐야 한다. 도장에 의하여 제품은 외관상 미려한 색을 갖게 되고, 방식, 방부, 방습, 방충 등의 제품에 대한 보호가 완벽하여진다.

기본적인 도장공정은 그림 1에 나타낸 것과 같이 피도장물의 전처리, 도장, 건조, 도막처리로 구성되며, 실제적인 도장 라인의 보기를 그림 2에 나타내었다. 도막에는 다양한 기능이 요구되며, 한 가지 뿐만 아니라 여러가지의 기능을 동시에 만족시킬 것이 요구되는 것이 보통이다. 따라서 단 1층만의 도막으로는 이러한 요구를 전부 만족하는 것이 곤란하므로, 각각의 기능을 분담하는 몇 개의 층으로 겹쳐 칠한 도막(하도, 중도, 상도 등)으로 그러한 요구를 만족시키는 경우가 많다.

현대 산업기술 발달에 따른 지구 환경파괴의 심각성이 국제적인 문제가 되면서 도장산업 역시 환경적 차원에서 여러가지 규제가 그 어느 때보다도 강화되고 있다. 선진 산업국의 도장과 관련된 규제로는 분체도료 회수장치, 고 도착효율도장기기의 사용 의무화, 도료 손실 및 환경오염이 심각한 도장기기의 사용 금지 등에 대한 규제를 더욱 강화할 추세이다. 국내에서도 환경보전법이 점점 강화되고 있으며, 도장 설비의 환경 설비 불완전으로 인하여 공장 전체가 가동 중지되는 경우도 있다. 최근 도장기기 보급의 두드러진 특징 중의 하나인 액체도장기 대신 분체도장기의 공급이 증가하고 있다는 점도 환경을 고

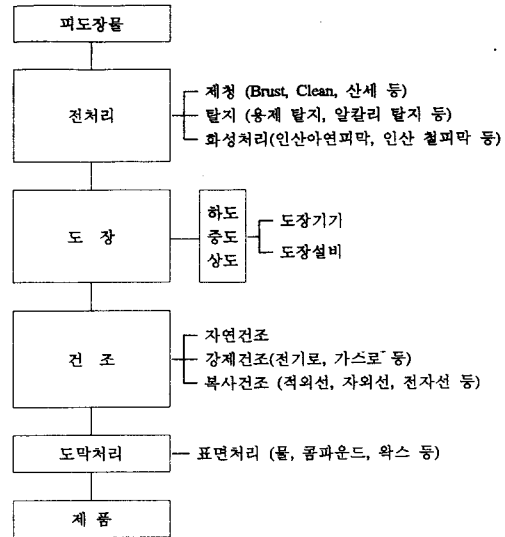


그림 1. 기본적인 도장공정

려하지 않고서는 제품을 생산할 수 없는 업체의 불가피성을 보여 주는 현상이다.

도장 분야에서의 환경적인 문제에 대처하기 위해서는 도장 공정 중 핵심 공정인 도장 및 건조공정 중에서 다음과 같은 문제점들을 해결하여야 한다.

① 도장공정

- VOC(휘발성 유기화합물)의 감소
 - 수용성 도료, 다 고형분도료 및 분체도료의 이용
- 도료의 절약
 - 도착효율이 높은 도장기기의 이용
 - 분체도료의 경우 회수율 극대화
- 작업환경의 개선
 - 급기 및 배기의 적절한 조절
 - 비산 도료들의 효율적 채취시스템

② 건조공정

- 건조로 내의 먼지 방지
- 용제가스의 응축으로 생성되는 오니의 방지

- 용제, 수지로부터 나오는 냄새의 제거
- 가열원의 에너지 효율 극대화

국내 도장기술의 발전을 위해서는 앞으로 국산 도장기 개발을 위한 꾸준한 노력, 환경오염을 방지할 수 있는 도료, 도장기기, 도장설비의 개발과 개선, 외국제품과 경쟁력을 갖추기 위한 제품의 도막 품질개선 등에 대한 집중적인 연구개발이 필요하다. 이를 위해서는 아래와 같은 도료, 도장기기, 피도물 도막 특성을 서로 연계하여 종합적으로 측정, 분석할 수 있는 도장성능 시험평가설비와 같은 기반시설이 기본적으로 필요하게 된다.

- 도료의 물리적 성질
 - 점도, 밀도, 전기전도도, 표면장력, 연화도, 투명성 등
- 도료 스프레이 특성
 - 입자의 직경, 속도, 전하량, 스프레이의 균일성 등
- 도막 특성
 - 도막 두께, 색, 경도, 내구성, 내후성, 부착성, 광택성
- 도장기기의 특성
 - 도착효율, 인가전압 및 전류, 내구성, 전기적 안정성 등

특히 도장공정의 환경 문제에 대한 해결책이 될 수 있는 사용 도장기기의 도착효율을 증가시키기 위해서는, 기본적으로 각종 도장기기의 도착효율을 정확히 측정할 수 있는 측정 표준의 확립 및 측정 설비의 구축이 선결되어야 한다.

도장 분야의 환경적 문제에 대처하기 위한 청정도장기술개발을 위한 기반시설 구축을 위하여, 한국생산기술연구원에서는 통상산업부가 추진하고 있는 청정생산기술개발사업의 일환으로 각종 도장기기의 도착효율, 도료, 도장기기, 피도물 도막 특성을 서로 연계하여 종합적으로 측정, 분석할 수 있는 도장성능 시험평가설비 구축사업을 추진하고 있다. 이를 위하여 인천 남동공단내에 청정도장기술개발지원센터를 설치하고 기본적인 도장설비 및 도장기기 뿐만 아니라 각종 측정장비를 구비하여 나가고 있으며, 본 고에서는 이 사업의 진행 현황을 간략히 소개하고자 한다.

2. 국내 도장분야의 현황

2.1 시장현황

국내 도장산업의 시장현황은 워낙 국내 도장기기·설비 업체들이 영세하고 대부분이 외국제품에 대한 중개상 역할 밖에 하고 있지 않아 시장규모에 대한 정확한 통계를 산출하는 데 많은 어려움이 있다. 여기서는, 국내 도장산업의 대략적인 규모를 파악할 수 있는 페인트 시장의 현황을 소개하도록 하겠다.

국내 페인트 시장의 규모는 95년도에 약 1조 6천 5백억에서 96년도에는 약 8% 성장하여 1조 8천억 규모를 나타내고 있다. 지금까지 건축을 비롯한 자동차, 가전, 가구, 조선, 플랜트 등 전방 산업의 고도 성장에 힘입어 연평균 15% 이상의 성장을 기록했으나, 96년부터 국내경기의 침체와 수출의 감소로 인하여 페인트와 도장산업도 성장률의 둔화를 나타내고 있다. 실제로 건축도장, 가구도장, 자동차 보수도장, 가전부품도장, 일부 금속도장 분야 등은 경기 침체와 자금난의 심화로 인해 내실있는 성장을 기대하기 어려운 실정이다.

도장산업은 적용대상의 유형에 따라 크게 건축도장, 목공도장, 공업도장, 자동차 OEM 및 보수도장, 선박 중방식도장 등으로 구분하고 있다. 그 중에서 가전, 전기전자제품, 일반 금속제품, 플라스틱, 피혁, 특수공업제품, 제관, PCM도장을 특히 공업도장이라고 부르고 있으며, 선박을 포함한 컨테이너, 철구조물 도장을 중방식도장이라고 부르고 있다. 표 1은 각 도장분야별 도료소비량을 근거로 하여 추산한, 95년도 국내 도장산업의 구성 현황을 나타내고 있다. 각 분야별로 국내의 현황을 살펴 보면 다음과 같다.

- 건축도장
 - 수성, 유성 페인트 등의 범용화된 품목에서부터 최근에는 건축물의 고급화, 패션화에 따라 불소, 세라믹 도장과 내부용의 경우 멀티칼라와 같은 다채무늬의 고급 인테리어 도장이 활발하게 적용되는 추세임
- 목공도장
 - 목재가구와 악기를 중심으로 한 가구업계의

표 1. 95년도 국내 도장산업의 구성 현황

분야		금액(억원)	구성비(%)
건축도장		2,981	17.9
목공도장		1,211	7.3
공업도장	플라스틱	420	2.5
	피혁코팅	198	1.2
	제관	368	2.2
	PCM	567	3.4
	분체코팅	736	4.4
	일반금속	1,331	8.0
	특수공업	304	1.8
자동차도장	자동차보수	500	3.0
	자동차OEM	1,960	11.8
중방식도장	철구조물	1,083	6.6
	컨테이너	682	4.1
	선박	1,669	10.0
기타		2,623	15.8
합계		16,633	100.0

경기난조와 가격경쟁 심화, 국내의 가구 및 악기 공장의 해외 이전 촉진으로 인하여 목공도장의 내수 규모는 정체 또는 격감이 불가피할 것으로 전망됨

- 래커, UPER, 우레탄도장이 주류를 이루고 있으나, 최근 작업자의 위생과 환경친화적 제품의 요구에 따라 UV도장과 수성계 도장에 대한 연구와 적용이 늘어나고 있음

• 자동차도장(신차용, OEM Coating)

- 국내 자동차산업의 급속한 성장으로 연평균 15% 성장, 자동차 메이커들의 설비 증설에 따라 성장이 지속될 전망이다

- 삼성자동차의 신규 참여와 기존 메이커들의 해외 공장 건설에 따라 국내 자동차도장의 전망이 달라질 수도 있음

- 설비 자동화와 자동차도료의 개발에 의해 도장품질이 향상되고 있으며, 환경규제에 대비하여 수용성 베이스 코트의 적용과 상도 분체도장의 적용이 신중하게 검토되고 있음

• 자동차 보수도장

- 정비업체의 경기부진으로 성장이 둔화되고 듀폰, 스피스헥커, BASF, ICI, Rock페인트 등의 외국업

체와 국내업체가 난립하여 경쟁이 심화되고 있음

- 현재 대부분 상온건조형 아크릴계와 저온경화형 아크릴우레탄도장이 적용되고 있으나, 향후 수성계도료의 적용이 예상됨

• 일반 공업도장

- 생산성향상과 도장품질의 고급화, 고부가가치화를 위해 저온경화, 고풍택, 기능성 우레탄계 도료의 적용이 늘어나고 있음

- 전처리 공정과 도장공정에서 환경과 작업자의 위생을 고려하여 염소계 유기용제 탈지보다는 수성계 탈지와 설비개선, 수성계 페인트의 적용이 증가하고 있음

- 공업제품의 부품도장이 많아 전방산업과 수출경기의 부침에 따라 성장이 좌우됨

• 코일 코팅(Coil Coating, PCM)

- 건축용과 가전용 PCM의 수요증가로 연평균 20%이상의 고성장률을 기록하고 있음

• 캔 코팅(Can Coating)

- '96년도 제관용 도료 소비량은 약 2만톤, 4백 억원에 이르며, 연간 성장률은 약 10%정도로 예상됨

표 2. 도장기기·설비 업체의 매출현황
(금액 :억원) 자료 : 도료와 도장, 95. 12월호

	1994	1995 예상
도장기기	480	680
도장설비	2,000	2500
도장기기와 도장설비	460	590
총 계	2,940	3,770

피도장물 → 전처리 → 도장 → 건조 → 도막처리 → 제품

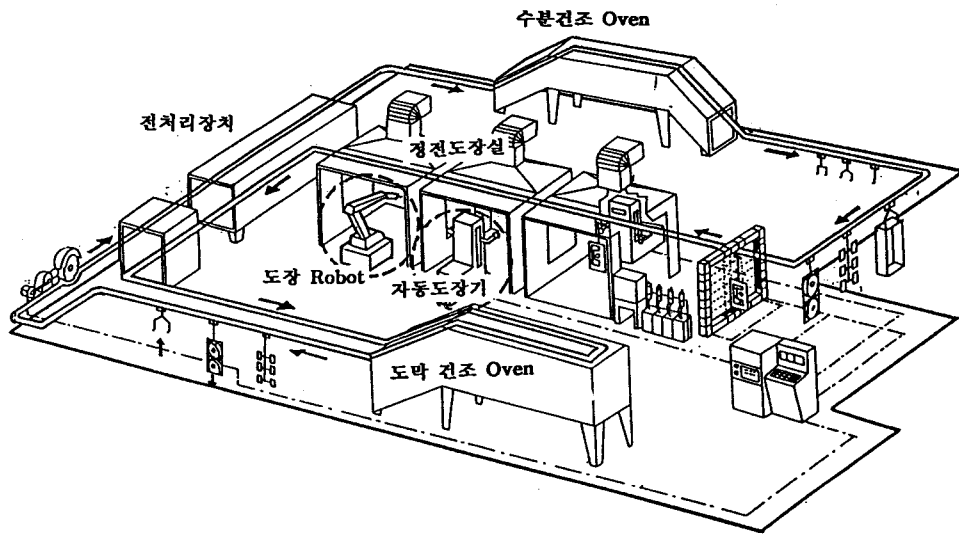


그림 2. 기본적인 도장공정의 보기

- 분체도장(Powder Coating)
 - 90년대 이후 연평균 성장률 약 15%로 고성장을 해왔으나, 최근 분체도료의 공급과잉으로 성장세가 둔화됨
 - 가전제품의 수요가 줄어드는 대신, 건축용 방화문, 일반공업용, 자동차부품 등에 수요가 늘어나고 있음
- 불소도장
 - 고내후성도료로써, 연평균 10% 이상 성장하였으나, 건축경기의 퇴조로 향후 성장세 둔화가 예상됨
- 자외선경화도장(UV Coating)
 - 환경친화적도료, 저에너지소모형 도장으로 부상하기 시작하였으며, 연간 20% 이상의 신장세를 보이고 있음

- 선박, 중방식도장
 - 선박, 플랜트, 컨테이너를 중심으로 25~30%의 성장률을 보이고 있음

- 컨테이너는 중국으로 생산거점을 이전하여 국내에서의 도장은 거의 사양화되어 가고 있는 실정임

도장기기는 거의 대부분 외국에서 수입됨 고가의 도장기기들이 국내에서 유통되고 있다. 수입국별 현황을 알아보면 미국이 24개, 일본 20개, 독일 8개, 이태리 5개, 프랑스 4개업체 순이고, 국내에서 가장 많이 보급된 제품들은 그레이코, 노드슨, 와그너 사 제품들이다. 총 110여군데의 도장기기·설비업체 중에서 국산 도장기 제조업체는 15개사, 국산을 취급하는 업체는 수입품도 함께 취급하는 곳도 포함해서 43군데 밖에 되지 않는다. 국산화된 품목은 에어 스프레이건, 에어리스 스프레이건, 에어리스 폼프에 국

표 3. 전체 도장설비의 구성

번호	설비명	특징	비고
1	액체도장실	Wet & Ventury Type	1차년도 설치완료
2	분체도장실	Catridge Filter Type	1차년도 설치완료
3	열풍건조실	Batch Type	2차년도 설치완료
4	적외선(IR) 건조실	Flat Type	2차년도 설치완료
5	자외선(UV) 건조실	Lamp Type	2차년도 설치완료
6	전처리·전착 설비		3차년도 설치예정
7	냉난방 설비		3차년도 설치예정
8	자동이송장치(Conveyor)	NZ-75	1차년도 설치완료
9	압축공기 공급 시스템		1차년도 설치완료

한되어 있으며, 유일하게 분체 정전도장기가 92년부터 개발에 착수, 94년도부터 판매에 들어가 지금까지 약 250대 정도가 판매되어 분체정전 도장기 시장의 5% 정도만을 점유하고 있을 뿐이다.

표 2는 94, 95년도 도장기기 취급업체, 도장설비 전문업체, 도장기기와 설비 모두 취급하는 업체들의 매출현황을 보여주고 있는 데, 이를 바탕으로 추측되는 국내 도장기기, 도장설비의 시장규모는 96년도에 대략 4,000억 정도가 되리라 예측된다.

2.2 도장기술 현황

도장기술의 발전은 도장의 재료가 되는 도료, 도료를 제품에 부착시키는 도장기기, 도장의 적절한 작업 공간을 제공하는 도장설비, 이 세 분야가 서로 긴밀한 협조 아래 공동 보조를 맞추면서 발전하여야 한다. 외국의 경우에는 도장기술에 있어서도 에너지 절약, 저공해화, 도장품질의 향상 등을 위하여, 산업계 및 학교, 연구소가 지속적이고 꾸준한 연구를 계속하여 액체·분체 정전도장기 및 HVLP(High Volume Low Pressure) 도장기 등, 고가, 고성능의 도장기기를 상품화하여 자국내 보급 및 해외에 수출하고 있다.

국내의 도장기술의 현황은 도료산업의 발전속도에 비해 도장기기 및 설비 분야의 발전은 극히 미약한 수준에 머물고 있다. 도장기기는 이미 세계적으로는 환경보호 추세를 타고 수용성 도료, 분체도료 등 환경도료를 사용할 수 있는 기기와 도료를 절감할

수 있는 절약형 기기의 사용은 물론, 3D현상으로 인한 인력부족으로 도입된 자동화기기에 이르기까지 광범위하게 개발, 보급되고 있는 실정이다. 하지만 국내에서는 거의 대부분의 도장기기를 외국에서 수입·사용함으로써, 국내 제작을 통한 기술축적이 전혀 되어 있지 않은 실정이다. 도장기기의 국산화 상황을 보면 Air Spray 도장건, Airless Spray 도장건, 에어리스 펌프(Airless Pump) 등 일부만이 국산화되었고, 고가, 고성능의 도장기기 중에서는 분체 정전 도장기만이 94년도에 개발되었지만, 아직은 외국 제품의 모방 단계에 머물러 있다. 또한 도장기 성능 및 안정성에 대한 공신력 있는 기관 부재로 인한 공인의 어려움과 국내 소비자들의 외제 선호경향 등으로, 지속적인 연구개발을 통한 국산제품의 고성능화에 어려움을 지니고 있다.

국내 굴지의 페인트 업계 및 소속 기술연구소의 활발한 도료 관련 연구활동과 비교하면, 국내의 도장업체들은 영세하고 기술적 자립능력을 갖추지 못하였으며, 국내에서 도장기술을 전문적으로 연구하는 학교, 연구소의 연구 선도그룹도 전무한 실정이다. 국내에서 유일하게 도장과 관련된 대학 학과가 설치된 학교는 부경대학교의 표면공학과가 있을 뿐이지만, 국내 도장 분야에서 필요로 하는 도장기기 및 도장설비의 전문가 양성에는 숫적, 질적으로 부족한 형편이다. 연구소에서의 도장기기 및 설비 관련 연구도 2-3 개 정부출연연구소에서 수행된 몇 개의 과제에는 연속적인 연구가 이루어지지 않아, 국내에서의

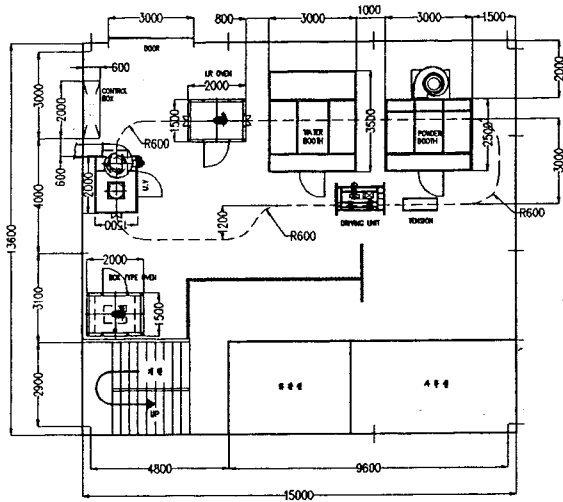


그림 3. 전체적인 도장설비의 Layout

체계적인 도장 관련 연구는 지금까지 전무하다고 해도 과언이 아니다.

3. 도장성능 시험평가설비 구축 내용

각종 도장기기의 도착효율 및 피도장물의 도막 성능을 평가하기 위해서는 전체 도장공정 중 핵심공정인 도장, 건조공정을 거쳐야 한다. 따라서 다양한 피도물의 재질(금속, 플라스틱, 목재, 유리 등)과 도료(수용성도료, 분체도료, 다 고형분도료, 방사선경화형도료 등)에 대한 적합한 도장 및 건조공정을 한

장소에서 종합적으로 시험하고 평가할 수 있는 도장 설비를 구축하고, 필요한 측정 기자재를 구비하는 것이 본 사업의 주요 내용이다.

3.1 도장설비

청정도장기술개발지원센터에 설치될 도장설비는 표 3에 나타난 것과 같이 액체도장실, 분체도장실, 열풍건조실, 적외선(IR) 건조실, 자외선(UV) 건조실, 전처리·전착 설비, 냉난방 설비, 자동이송장치(Conveyor) 등으로 구성되며, 이러한 전체 도장설비의 Layout을 그림 3에 나타내었다.

3.1.1 액체도장실

본 사업을 통해 설계, 제작된 액체도장실의 조립도는 그림 4에 나타나 있다. 이 액체도장실의 가장 큰 특징은 지금까지 보급된 대부분의 도장실이 도장실로부터의 배기 공기를 도료 입자를 최대한 제거한 후 외부로 방출시킨 것과는 대조적으로, 배기 공기를 다시 도장실로 급기시키는 내부 순환식 도장실이라는 데에 있다. 따라서 도장 공장의 환경오염의 주 원인이었던 도장실로부터 공장 외부로 배출되는 배기 공기를 원천적으로 제거한, 환경적인 면에서 매우 획기적인 도장실이라고 볼 수 있다. 또한 도장실의 온도를 최적 조건으로 유지시켜 주기 위하여 외부의 공기를 이용, 도장실로 급기하고 외부로 배기시켜 버릴 경우에는, 급기되는 외부 공기의 온도 조절을 위한 냉·난방 부하는 지속적으로 매우 크게 된다.

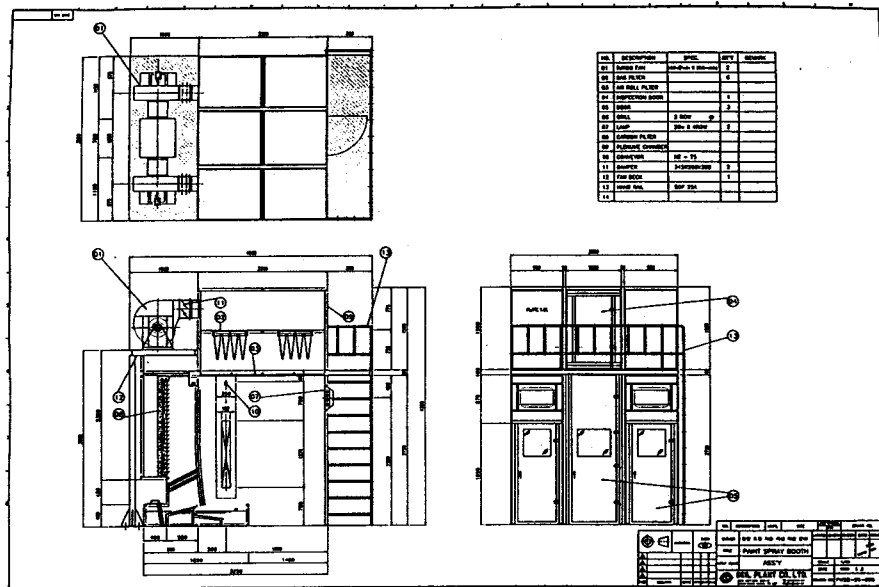


그림 4. 액체 도장실의 조립도

하지만, 내부 순환식 도장실에서는 도장실 주변 공간의 공기에 대해서 처음에만 온도 조절을 하여 주면, 그 이후에는 조절된 공기가 계속 순환하기 때문에 냉·난방 부하가 크게 줄어들게 된다.

내부 순환식 도장실은 위에서 열거한 장점이 있는 반면, 배기되는 공기를 도장실로 다시 급기하기 때문에, 배기 공기 중의 도료 입자, 먼지, 냄새 등이 완전히 제거되지 않으면 오염된 공기가 도장실로 급기되게 되어 제품의 도장 품질 및 작업자에게 막대한 악영향을 끼치게 된다. 따라서 본 연구에서 설계, 제작된 내부 순환식 액체도장실은 습식 액체도장실 중에서, 수막형과 벤츄리형을 복합하여 고체 입자를 완벽히 제거함과 동시에, 활성탄을 사용하여 냄새까지 완전 제거하도록 하였다.

즉, 수막형 도장실의 구조로서, 도장실 뒷면에 수류관을 설치하고 물을 흘려 보냄으로써 수막(water curtain)이 형성되고, 피도장물에 도장되지 않은 도료 분진이 흐르는 물과 함께 물탱크로 떨어지게 한다.

배기 공기 중의 냄새는 활성탄을 통과하면서 제거되게 된다. 대부분의 도료 입자와 먼지, 냄새 등이 제거된 공기는 도장실 천정에 설치된 2단 필터에 의해 마지막으로 미세한 분진까지 제거된 후, 도장실로 급기되게 된다.

3.1.2 분체도장실

본 사업에서 설계, 제작된 분체도장실도 액체도장실과 마찬가지로 내부순환식이며, 그 조립도를 그림 5에 나타내었다. 즉, 일반적인 분체도장실의 형태인 Cartridge Filter를 사용하여 분체도료를 포집한 후, 배기공기가 다시 도장실 천정부로 유도되어 미세한 분체도료까지 HEPA Filter에서 제거된 후, 도장실로 다시 급기되게 된다.

3.1.3 열풍 건조실

본 사업에서 설계, 제작된 열풍 건조실은 열풍

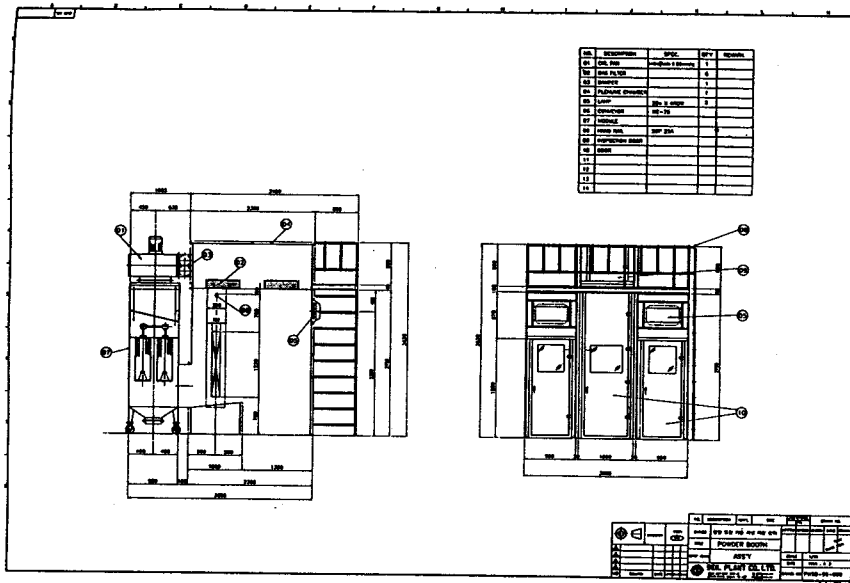


그림 5. 분체도장실의 조립도

그 다음에는 벤츄리형 도장실의 구조로서, 도료 분진을 포함한 배기 공기는 배기팬에 의해 와류실로 빠른 속도로 흡입되게 된다. 와류실로 흡입된 배기는 원심력에 의해 와류를 형성하게 되며, 갑작스런 속도의 감소로 인하여 배기공기 중의 도료 분진은 더 이상 공기와 같이 흐르지 못하고 밑으로 떨어지게 된다. 그래도 포집되지 않은 도료 분진은 상층부에 위치한 제거판(eliminator)에서 추가로 포집되게 되며,

발생로에서 전기히터를 사용하여 열풍을 발생시킨 후(대류식), 내부 fan을 사용하여 열풍을 직접 건조실로 보내어 피도장물을 건조시키는 방식(직접식)으로서 현재 도장 건조설비 중 가장 많이 사용되고 있는 방식이다. 건조실 내부의 최고 온도는 240℃로 비교적 고온건조가 가능하고, 피도장물을 수동으로 건조실에 넣고 빠른 생산방식(batch방식)을 채택하였으며, 그 조립도는 그림 6과 같다.

3.1.4 적외선 건조실

도막에 적외선을 조사시키면, 적외선의 방사에너지 중 흡수된 에너지가 도막 내부에서 열에너지로 변환되어 도막을 건조·경화시키게 된다. 이러한 현상을 이용한 건조로를 적외선 건조로라 한다. 본 사업에서 설계, 제작된 적외선 건조실은 적외선 램프에 의해 발생된 파장 3~15 μ m의 원적외선을 열원으로 사용하는 직접식으로서 총 30개가 설치되어 있으며(좌우로 각각 14개(2열로 되어 있음), 하부에 2개), 내부 fan을 사용하여 열풍을 내부에서 강제순환시킨다. 또한 적외선 건조로단독으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 자외선 건조로를 사용할 경우에 피도장물의 건조(setting room)에도 이용할 수 있도록 설계되었으며, 그 조립도를 그림 7에 나타내었다.

3.1.5 자외선 건조실

자외선 경화용으로 유효한 파장인 200~400nm의 자외선이 도막 안으로 투입되면, 도막 안에 있는 광중감제를 자극시켜 활성화시킴에 따라 가교반응이 일어나서 도막이 경화·건조되게 된다. 본 사업에서는 설계, 제작된 자외선 건조실 내부에는 길이가 680cm이며 5kW의 출력을 발생시킬 수 있는 UV Lamp가 좌우로 각각 4개씩 설치되었으며, 이들 UV Lamp들은 개별 동작이 가능하도록 설계되었다. 이중 전방부의 4개는 peak 파장이 420nm인 금속등(metal lamp)이며, 후방부의 4개는 peak 파장이 360nm인 수은등(mecury lamp)으로서, 이러한 자외선 건조실의 조립도를 그림 9에 나타내었다.

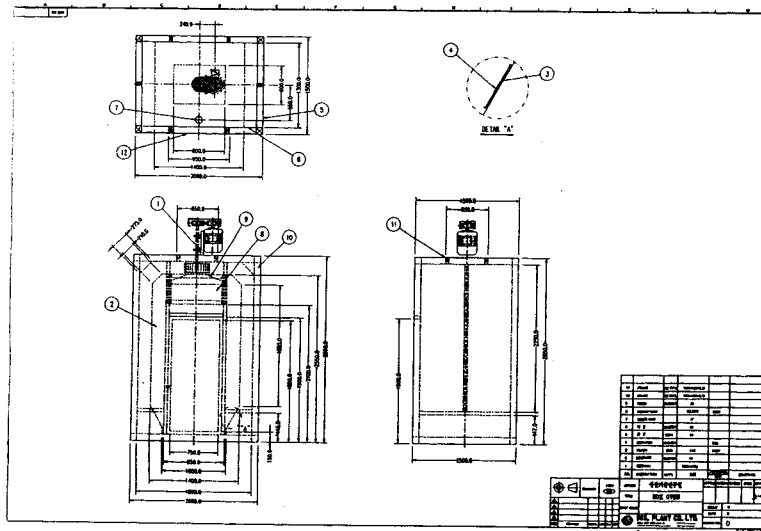


그림 6. 열풍 건조실의 조립도

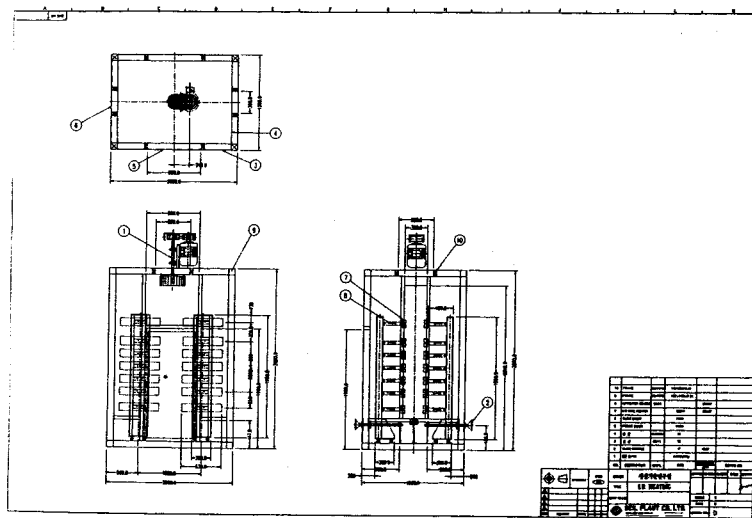


그림 7. 적외선 건조실의 조립도

3.2 도장기기

본 도장성능 시험평가설비 구축사업은 각종 도장기기의 도착효율 측정을 주된 사업 목적으로 하고 있기 때문에, 본 사업을 통하여는 대표적인 도장기기를 구비하고, 구비된 도장기기를 이용하여 도착효율 측정 시스템을 구축하게 된다. 체계적인 도착효율 측정 시스템이 구축된 이후에는, 단계적으로 일반 도장기기 취급 업체의 다양한 도장기기에 대해서 도착효율 측정을 수행할 계획이다. 우선, 본 사업을 통하여 구비된 도장기기는 표 4와 같다.

과 같은 벨(Bell) 형 회전무화식 도장기를 비롯하여, 고전압 발생장치, 수직 이송장치(Reciprocator), 기어 펌프(Gear Pump) 및 컨트롤 박스(Control Box) 등으로 구성된다. 회전무화식 액체도장기(Mini-Mizer)는 고속 회전하는 벨(Bell)에 의해 미립화된 도료 입자를 정전기적으로 대전시키고, 벨 주변으로 분사되는 분무 패턴 조절용 공기(Shaping Air)에 의하여, 분무 패턴을 형성한 후, 피도장물 표면까지 이동하게 된다. 대전이 된 도료 입자는 정전기력에 의하여 접지된 피도장물 표면에 이끌리어 도착됨으로써 높은 도착효율이 가능하게 된다.

3.2.1 회전식 액체도장 시스템

회전식 액체도장 시스템은 그림 9에 나타난 것

3.2.2 수동 액체정전도장 시스템

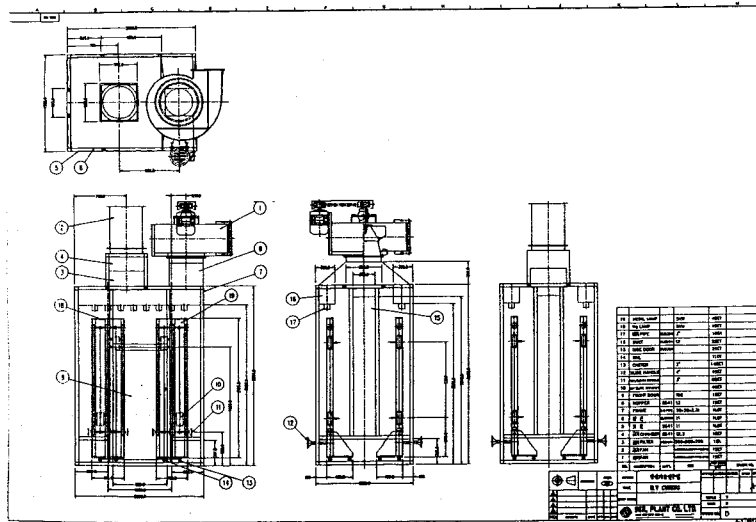


그림 8. 자외선 건조실의 조립도

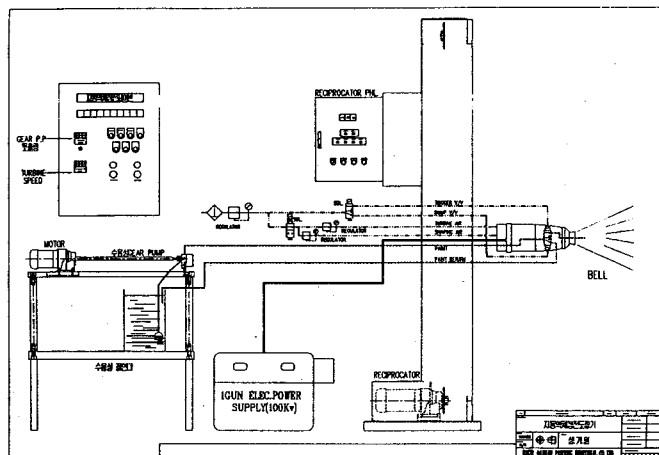


그림 9. 회전식 액체 도장시스템

표 4. 구비 도장기기

도장기기	비고
1. 회전식 액체도장 시스템	1차년도 구비완료
2. 수동 액체정전도장 시스템	1차년도 구비완료
3. Air Spray 건	1차년도 구비완료
4. LVLV(Low Volume Low Pressure) 건	1차년도 구비완료
5. 수동 분체도장 시스템	2차년도 구비완료
6. 자동 분체회수 장치	2차년도 구비완료

표 5. 도료 특성의 주요 시험 항목

도료의 특성	시험 항목	측정기기
물리적 특성	점도, 비중, 전도도, 표면장력, 연화도, 투명성, 색수	Stormer Viscometer, Ford Cup, Specific Gravity Cup, Conductivity Meter, Fineness of Grind Gauge,
실용적 특성	희석안정성, 작업성, 건조성, 용기 내부 상태, 저장 안정성	
도료의 성분	불휘발분, 가열 감량, 안료, 용제	Precision Balance, Dry Oven

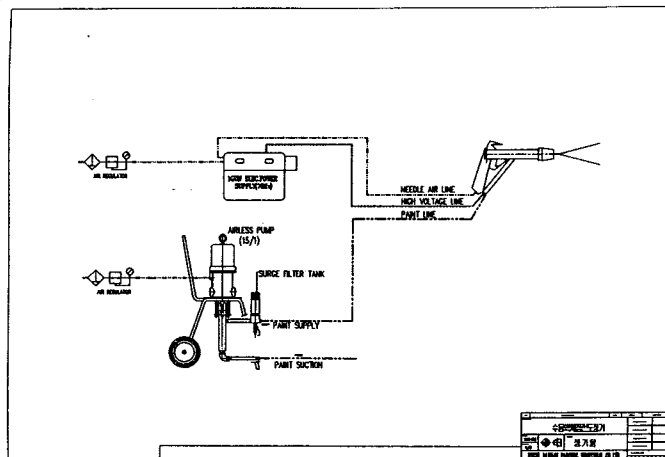


그림 10. 수동 액체정전도장 시스템

수동 액체정전도장 시스템은 그림 10에 나타난 것과 같이 수동 정전 도장기, 고전압 발생 장치, 도료 펌프 등으로 구성된다.

3.2.3 일반 Air Spray 도장건

작업량이 많지 않은 소규모의 도장 작업에는 고가의 정전도장기보다는 간편하고 저렴한 Air Spray 도장건이 많이 이용되고 있다. 따라서 정전도장기보다는 도착효율 면에서 매우 떨어지지만, 이러한 방식의 도장기기에 대해서도 도착효율 등을 포함한 도장건의 특성을 파악하는 것이 필요하여, 일반적인 Air Spray 도장건과 LVLP(Low Volume Low Pressure) 도장건을 구비하였다.

일반 Air Spray 도장건은 대부분 사용 공기 압력이 너무 높기 때문에, 피도장물에서의 도료 입자의 반사나 공기의 흐름과 같이 피도장물을 비켜 지나가 버리는 도료가 많게 되고, 따라서 도착효율이 낮게 된다. 따라서, 사용 공기 압력을 낮추기 위한 노력으로 개발된 건이 HVLP(High Volume Low Pressure) 도장건이다. 하지만, 이 도장건은 사용 공기의 양이 많기 때문에, 압축기 크기의 증가, 공기 호스의 교체 등의 문제가 있어 왔다. 이러한 문제점을 해결한 도장건이 사용 공기의 양과 압력을 동시에 줄인 LVLP(Low Volume Low Pressure) 도장건이다.

3.3 도장성능평가설비

3.3.1 도착효율 측정시스템

도착효율은 도장에 사용된 도료의 고형분 질량과 실제로 피도장물에 도장된 도료의 고형분 질량과의 비를 말한다. 세계적으로 급증하고 있는 환경오염의 문제 뿐만 아니라, 도장공정의 생산비용 절감을 위해서도 높은 도착효율에 대한 요구는 그 어느 때보다도 높다고 볼 수 있다. 하지만, 다양한 도장 작업조건과 작업환경을 모두 반영할 수 있는 도착효율 표준 측정법의 설정은 매우 어려운 점이 많이 있다.

액체도장에 있어서 도착효율 표준 측정법은 미국 ASTM D5009에 규정되어 있다. 이 표준에는 자동이송장치(Conveyor)에 의해 자동이송되는 피도장물에 액체도료를 미립화하여 도장하는 경우, 각 도장건의 도착효율을 측정하는 자세한 절차를 보여주고 있다. 현재, 국내에는 이와 같은 도착효율 표준 측정법이 KS에 규정되어 있지 않기 때문에 본 사업에서는 미국의 도착효율 표준 측정법에 근거하여 도착효율 측정시스템을 갖추었다.

도착효율 측정방법을 간단히 요약하면, 질량을 알고 있는 알루미늄 포일로 쌓인 피도장물이 액체도장실로 컨베이어에 의해 자동이송되면서, 도장건에

표 6. 도막 특성의 주요 시험 항목

도료의 특성	시험 항목	측정기기
물리적 특성	도막의 외관 상태, 도막 두께, 색, 광택도, 은폐성, 부착성, 내마모성, 경도	Wet(Dry) Film Thickness Gauge, Spectrophotometer, Tri-Micro Glossmeter, Hiding Power Chart, Adhesion Tester, Cross Cutter, Du Pont Type Impact Tester, Mandrel Bending Tester, Pencil Hardness Tester
화학적 저항성	내용매성, 방청성, 내열성, 내습성	Salt Spray Tester
장기적 성능	내후성, 황변도	촉진내후성시험기
물성 및 성분	전기절연성	

의해 도장되어진다. 도장되어진 피도장물은 도료 중 휘발성분을 제거하기 위해서 건조, 경화되고, 사용된 도료 중 고형분의 질량과 피도장물에 도장된 도료의 고형분 질량으로부터 도착효율이 계산된다.

분체도장에 있어서 도착효율 표준 측정법은 국내 KS 규격도 없을 뿐만 아니라, 미국 ASTM 규격도 없는 실정이다. 현재까지 입수된 분체도장의 도착효율 표준 측정법은 미국 Powder Coating Institute에서 발간한 Technical Brief #10이 있을 뿐이다. 분체도료는 분체회수장치에서 도장됨과 동시에, 도착되지 않은 도료는 분체회수장치에 의하여 회수된 다음, 재사용할 수 있기 때문에 도착효율을 두가지 측면에서 고려하여야 한다. 즉, 도장건 도착효율과 분체도장시스템 도착효율로 구분하여 측정하여야 한다. 도장건 도착효율은 액체도장의 도착효율과 마찬가지로, 회수되어 재사용되는 분체도료를 제외시키고, 사용된 도료의 양과 도착된 도료의 양으로부터 구해지는 값이다. 분체도장시스템 도착효율은 재사용되는 분체도료도 포함하여 분체도장시스템 전체적으로 소모된 도료의 양과 도착된 도료의 양으로부터 구해지는 값이다.

3.3.2 도료 특성 측정장비

적절한 도료와 도장시스템의 결정과 도장관리를 행하려면, 우선 도료의 성질을 옳게 평가하고, 도료의 특성, 성질의 한계를 제대로 파악할 필요가 있다. 따라서, 도장하는 대상물의 종류와 용도에 따라 사용할 도료의 시험 항목을 결정하여 그 성질을 일정한 범위 내에 규정하여 두면, 도장 작업과 도장제품의 일관성에 큰 도움을 주게 된다. 도료 특성에 대한 주요 시험 항목은 표 6에 나타나 있다.

3.3.3 도막 특성 측정장비

도장의 최종적인 목적은, 고 품질의 도막을 피도장물 위에 형성하는 것이기 때문에, 도막의 여러 가지 특성에 대한 정확한 측정, 평가는 매우 중요하다. 도장하여 건조, 경화된 도막의 특성에 대한 주요 시험 항목은 표 6에 나타나 있다.

성능 시험평가설비 구축사업은, 다양한 피도장물의 재질과 도료에 따라 적합한 도장 및 건조공정을 한 장소에서 종합적으로 시험하고 평가할 수 있는 도장 설비를 구축한 다음, 도장기기의 도착효율 및 피도장물의 도막성능을 평가할 수 있는 도장성능 시험평가 설비를 구축하는 것을 사업목표로 하고 있다.

이렇게 구축된 시험평가설비의 활용을 통하여 독자적인 도장기술개발의 기반을 확립하고, 국산화가 시도되고 있는 각종 도장기기의 공신력 있는 성능평가를 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 도장품질 향상으로 인한 최종제품의 부가가치 상승 등의 파급 효과를 가져올 것이다. 또한, 청정도장기술개발지원센터는 본 사업이 완료된 이후, 대한도장기술협회 주관으로 운영되어 도장 업계에서 공동 활용하면서 지속적인 도장기술개발에 활용될 계획이다.

4. 맺음말

도장분야의 청정도장기술개발을 위하여 청정기반사업으로써 추진되고 있는 청정도장기술개발 도장