

저공해성 환경 대응도료의
기술개발 동향에 대하여

삼화페인트공업(주)
부사장 정 경 택

목 차

1. 서 론
2. 세계적 규모의 환경오염
3. 각국의 규제동향
4. 환경 대응도료의 기술동향
5. 결 언

1. 서론

UR 타결 이후 환경 라운드가 새로운 이슈로서 본격적으로 논의되고 있고, WTO 가 출범함에 따라 환경 라운드에 의한 환경문제는 앞으로 큰 통상압력으로 이어질 것으로 예측되고 있다. 고도의 환경기술을 갖고 있는 선진국들은 자국의 산업을 보호하기 위해 지구 환경문제라는 명분아래 무역규제를 강화할 것이며, 이는 우리나라를 포함한 개발도상국에 상당한 영향을 미치게 될 것이 아닌가 우려되고 있다. 정부에서도 환경 라운드에 능동적 대응과 관련 규제로 인한 영향을 최소화할 수 있도록 산업정책의 전환과 기술개발시책을 추진하고 있고, 각 분야의 관련기업에서도 이에 대해 많은 관심을 쏟고 있거나 그 대책에 부심하고 있다.

용매로서 유기용제를 다량 사용하는 도료산업의 입장에서는 시급히 해결해야 할 문제가 아닐 수 없다. 이에 도료에 관련된 선진국의 환경규제 내용과 이에 대응하기 위한 도료의 기술개발 동향에 대하여 알아보려고 한다.

2. 세계적 규모의 환경오염 (1)(2)(3)(4)(5)(6)

근년 세계적 규모의 지구 환경문제로 대두된 것은 1974년 오존층 파괴 경고가 발표되고 부터이며 1980년대에 들어서 지구 온난화, 산성비, 유해 폐기물, VOC (Volatile Organic Compounds ; 휘발성 유기화합물) 등이 국제적 문제로서 다루어지고 있다. 주요한 국제적 환경문제와 규제내용은 다음 표1과 같다.

표1) 주요 환경문제와 규제내용

항 목	배 경	규 제 내 용	비 고
오존층 보호	염소계 및 불소계 용제에 의한 오존층 파괴 → 오존 홀 발생 → 피부암 발생	1987년 몬트리올 의정서에 의해 사용 제한 (특정후론, 특정하론)	후론11(발포, 에어졸) 후론12(냉매, 에어졸) 후론113(세정) 트리클로로에탄(금속 세정)
온 난 화	석유, 석탄 등 화석연료의 연소와 열대림의 감소 → CO ₂ , 메탄, NO 농도상승 → 해면상승, 열대지역의 사막화	1989년 노루트웨이크 선언 (CO ₂ 양을 2005년까지 20% 삭감)	
산 성 비	화석연료의 연소에 수반하여 발생하는 SO _x , NO _x 에 의한 산성비 → 삼림, 어패류, 문화재, 건조물의 피해	1987년 헬싱키 인정서 (SO _x 배출량을 1993년까지 30% 삭감)	
대기오염 (광화학 스모그)	배출된 탄화수소가 NO 와 광화학 반응 → 광화학 스모그 → 인체, 동식물에 영향	<ul style="list-style-type: none"> ◦ TA-Luft (독일) ◦ 미국 환경보호청 (EPA, Environmental Protection Agency) 를 중심으로 VOC 규제 	

상기 중에서 제일 중요시 되고 있고 도료와 가장 관련이 깊은 것으로는 VOC 이다. VOC 가 대기중에 배출되면 태양광선의 자외선에 의해 질소 산화물과 광화학 반응을 일으켜 광화학 스모그가 발생되고, 오존 홀이 발생되어 인체 및 동식물에 큰 영향을 미치게 된다. 이를 방지하기 위해 구미의 각국에서는 엄격한 규제를 실시해 오고 있다.

3. 각국의 규제 동향 (2)(5)(6)(7)

대기중에 방출되고 있는 탄화수소의 양은 세계에서 연 2,000만톤이며, 이중 350만톤 (약 18%) 정도가 도료에서 사용하는 유기용제라고 추정하고 있다.

이를 방지하기 위한 각국의 동향은 다음과 같다.

3-1. 미국의 동향

처음으로 미국에서 광화학스모그 방지를 목적으로 한 법규제는 캘리포니아주의 그 유명한 Rule 66 (1960년) 이다. 로스엔젤레스에서 눈을 자극하는 대기 오염이 빈발한 원인이 자동차의 배기가스와 자외선에 의한 광화학 반응에 기인된 것이라고 판명되면서부터이다. 그 후 대기오염이 전지역으로 확대됨에 따라 1969년 미국 환경보호청(EPA)에서 대기정화법(CAA, Clean Air Act)이 제정되고 VOC 규제의 가이드 라인으로서 RACT (Reasonably Available Control Technology) 가 제시되었고, 1977년 개정되어 NCPS (New Source Performance Standard) 가 제시되었다.

RACT에서는 도료 1 갤론당 용제량을 규정한 것이고, NCPS에서는 도착 효율을 더하여 도착 도료고형분 1 갤론당 용제량을 규정한 것이다.

1990년에는 대기정화법의 전면적인 개정이 이루어 HAPS (Hazardous Air Pollutants) 의 규제로서 189종의 대기 유해물질을 지정하였다. 대상품목에는 톨루엔, 키실렌, 에칠 셀루솔브, 셀루솔브 아세테이트 등 도료에서 많이 사용하고 있는 용제가 포함되어 있다. 한편 각 주에 따라 환경규제법안이 각기 다르게 마련되어 있으며 캘리포니아주와 뉴저지주에서는 더욱 엄격한 규제를 채택하고 있다.

3-2. 유럽의 동향

공업국에서 발생한 오염은 유럽전체에 영향을 주기 때문에 큰 사회적 문제가 되고 있으며, 이의 방지를 위해 유럽 각 국에서는 VOC 의 엄격한 배출규제가 행해지고 있다. 대표적인 규제법으로는 독일의 대기오염방지 기술지침 (TA-Luft, Technische Anleitung Zur Reinhaltung der Luft) 이 있으며 1992년 1월부터 시행되고 있다.

이 법에서는 배출되는 유해물질을 I, II, III 등급으로 분류하여 배출량과 배출농도를 규제하고 있다.

도료에 사용되는 유기용제는 II, III 급으로 분류되어 있으며 도장작업으로부터의 유기용제의 배출규제를 정하고 있다. 예를들면 현 자동차공장의 VOC 한계치는 솔리드 칼라 도장계에서는 $60\text{g}/\text{m}^2$, 메탈릭 칼라 도장계에서는 $120\text{g}/\text{m}^2$ 이며 신규 공장에서는 $35\sim 40\text{g}/\text{m}^2$ 으로 정하고 있다.

영국에서는 1990년 환경보호법 (Environmental Protection Act) 이 제정되었으며 PG (Process Guidance Note) 로서 TA-Luft 와 유사하며, 네덜란드에서는 KWS 2000 이라는 VOC 삭감계획 (2000년까지 전 VOC 의 50% 삭감) 이 있다. EC 통일 규준안으로서는 「공정과 공업시설로부터의 유기용제 배출 한계치에 관한 EC 각료회의 지령서」 가 1992년 3월에 제안되어 1996년까지 각 가맹국은 이 지령서에 합당하도록 법률을 개정하여 발효하도록 하고 있다.

3-3. 일본의 동향

일본에서는 국가 차원의 VOC 규제는 없으나 몇개의 지방단체에 가이드 라인이 있어 지방자치체 수준에서의 배출규제에 머물고 있다.

요코하마시의 「요코하마 탄화수소계 물질 대책 지도요령」 (1988), 가와사끼시의 「탄화수소계 물질에 관련된 대책 지도지침」 (1988) 등이 있으며 국제적인 추세에 부응하기 위해 법령화가 검토되고 있다고 알려져 있다.

3-4. 한국의 동향

우리나라의 최초의 환경법은 1963년 공해방지법으로 유명무실하다가 70년대에 들어서부터 가시화되기 시작하였다. 1977년 환경보전법을 거쳐 분법화되어 현재 환경정책 기본법, 대기환경 보존법, 폐기물관리법 등 18개의 법으로 나누어져 있다.

현재 휘발성 유기화합물은 대기환경보전법상 대기오염물질로 규정되어 있으며 악취로서 규제되고 있다.

4. 환경대응도료의 기술동향 (2)(4)(8)(9)(10)(11)

VOC 저감을 위한 도료로서 현재 개발되어 일부 실용화되고 있고 검토되고 있는 것으로는 고형분을 높인 하이 솔리드 (High Solid) 형 도료, 물을 용매로 사용하는 수계 도료, 용제를 사용하지 않는 무용제형 도료 (분체도료등) 등을 들 수 있다.

대표적인 도료의 유기용제 사용량은 다음 표2와 같다.

표2) 대표적인 도료의 유기용제와 그 사용량

도료명	유기용제	사용량
용제형	지방족 탄화수소, 방향족 탄화수소 에스테르, 케톤, 알콜 등	60~80%
하이 솔리드	상 동	30~60%
수 계	알콜, 글리콜 에스테르	5~20%
분 체	-	0%
자외선 경화	아크릴 모노머	0~40%

4-1. 하이 솔리드형 도료

하이 솔리드형 도료는 도료의 고형분을 높임으로서 상대적으로 유기용제(VOC)의 사용량을 삭감하고자 하는 것으로서 미국 환경보호청(EPA)에서 제시한 RACT 가이드 라인에 대응되고, 종래의 도료제조방법, 도장방법을 그대로 이용할 수 있는 것을 전제로하여 1980년초부터 미국을 중심으로하여 개발되었으며 일반적으로 하이 솔리드형 도료는 고형분이 60% 이상인 도료를 말하나 Rule 66 에는 고형분 함량이 80% 이상으로 규정되어 있다.

하이 솔리드화의 일반적인 수법으로는 수지의 분자량, 극성, 유리 전이온도(Tg)를 낮춤으로서 유기용제에 쉽게 용해되도록 하는 방법이 취해지고 있다.

하이 솔리드형 도료의 최대 이점은 종래의 도장설비를 사용할 수 있고 도막의 살오름성을 좋게 하여 도장횟수를 줄일 수 있는 것이라고 할 수 있다.

그러나 도료 기술적으로는 수지분자량의 저하에 따라 내후성, 도막외관, 기타 도막물성의 저하를 극복하여야 한다. 수지의 분자량 분포를 좁게하여 저분자량 수지의 도막물성의 저하를 방지하거나 촉매, 레오로지 조정제를 사용하는 방법이 계속 검토되고 있다.

미국 환경보호청(EPA)의 VOC 규제치는 이 하이 솔리드 도료를 기준으로 하였고, 도막성능상 고형분을 높이는데에는 한계가 있기 때문에 VOC 규제가 엄격해질 경우 사용하기 곤란한 분야도 점차 나오게 될것으로 예측되고 있다. 우리나라에서도 인건비의 상승 등으로 살오름성이 좋은 하이 솔리드형 도료로 선회되고 있다.

4-2. 수계 도료

현재 건축용으로 많이 사용되고 있는 합성수지 에멀전 도료(KSM 5310, KSM 5320), 자동차 하도용으로 사용되는 전착도료가 대표적인 예이며, 유기용제를 물로 치환한 도료로서 VOC 규제면에서 볼때 대단히 유용하기 때문에 최근에 더욱 주목을 집중시키고 있다. 수계 도료는 수용성형, 콜로이드형, 퍼션형, 에멀전형으로 분류되고 있으며, 이들의 성상은 다음 표3과 같다.

표3) 수계 도료의 정상

항 목	수 용 성	콜로이달 디스퍼션형	에 멀 전 형
수지액의 외관	투 명	반 투 명	유 백 색
입자크기(μ)	$0.005 >$	$0.005 \sim 0.05$	$0.05 \sim 0.5$
분 자 량	$< 10^3 \sim 10^4$	$10^4 \sim 10^6$	$10^6 <$
점 도	높다	중간	낮다
점 성	뉴톤 유동에 가깝다	비뉴톤 유동 (중)	비뉴톤 유동 (대)
유기용제량 (%)	10 ~ 40	5 ~ 15	0 ~ 5
도장시 고품분	낮다	약간 높다	높다
건 조 성	Δ	\bigcirc	\bigcirc
안료 분산성	\odot	$\bigcirc \sim \odot$	Δ
도막의 광택	\odot	$\bigcirc \sim \odot$	Δ
도막의 내수성	$\Delta \sim \bigcirc$	\bigcirc	\bigcirc
내약품성	Δ	\bigcirc	\bigcirc
도막의 내수성	주로 소부용 도료	상온건조-소부용도료	주로 상온건조형 도료

수용성 도료는 연속 피막형성성이나 안료분산성에서 우수하나 수지의 분자량이 낮기 때문에 경화제를 사용하여 도막을 가교구조하지 않으면 성능이 나오기 어렵다. 에멀전형은 고 고형분화나 레오로지 특성이 우수하나, 내수성이나 도막성능이 만족스럽지 못하며 콜로이드형은 통상 반응해·반분산형으로 수용성형과 에멀전형 특성을 둘다 갖춘 것이라고 할 수 있다. 공업용으로는 일반적으로 수용성, 콜로이드형이 많이 이용되고 있다.

수계 도료에서 사용되는 용매인 물은 무독, 무취, 불연이며 값이 싼 점에서 노동위생, 재해방지, 환경보전에 매우 유리하나 강한 수소결합력에 의해 생기는 특성(표4)때문에 도료에 이용하는 데는 여러 어려움이 많다.

수계 도료의 특징은 표5와 같으며 물의 특성에 기인하는 단점의 해결이 급후의 과제로서 극복해야 할 문제점이다.

표4) 물의 특성

특 성
<ol style="list-style-type: none"> 1. 용점이 높고 0℃에서 동결한다. 2. 유전율이 높고 극성이 강하다. 이온전리하기 쉽다. 3. 표면장력이 커서 흐름성이 나쁘다 4. 밀도가 크다. 5. 증발 잠열이 커서 증발되기 어렵고, 증발은 습도에 좌우한다. 6. 고분자 유기물의 용해능이 낮다.

표5) 수계 도료의 특징

장 점	단 점
<ol style="list-style-type: none"> 1. 주용매가 물이기 때문에 위험성이 적다. 2. 유기용제의 방출량이 적다. 3. 도장환경이 위생적이며, 안전작업이 가능하다. 4. 물을 사용하므로 자원절약형이다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 건조가 늦고 건조속도가 온·습도에 크게 좌우된다. (겨울철에는 사용에 한계가 있다.) 2. 물의 표면장력이 크기 때문에 탈지 세정을 잘 해야 한다. 3. 수세부스의 경우 배수처리가 필요하다. 4. 용제형에 비해 도막성능이 나쁘다. (외관, 내수성, 선형성 등)

VOC 규제가 엄격한 구미에서는 자동차 하도도료뿐만 아니라 중도·상도도료도 수계 도료로 확대되고 있고, 목공용, Can Coating, 가전제품 등 공업용 및 증방식용등에도 응용되고 있으며, 초내후성 수성아크릴 실리콘수지도료, 무취 수계 도료, 폴리우레탄 아크릴 하이 브리드형의 수성 분산도료 등의 연구가 이루어지고 있다.

4-3. 무용제형 도료

무용제형 도료는 고체상인 분체도료와 액상 무용제형 도료로 나눌 수 있다.

1) 분체도료

분체도료는 1965년경 유럽에서 공업용 분야로 채용된 분체상 도료로서 VOC의 관점에서는 가장 이상적인 도료이다. 근년 가장 높은 신장율을 보이고 있는 품목으로써 당분간 높은 신장율을 유지할것으로 예측되고 있다. 분체도료에는 EVA, 폴리 에칠렌, 폴리 아마이드 등 고분자량 수지를 사용한 열가소성 type 과 에폭시, 아크릴, 폴리에스테르 등 관능기를 가진 수지를 경화제로 가교시키는 열경화성 type 의 2종류로 대별된다. 열가소성 type 은 주로 유동침적법에 의해 후막(300~1,000 μ m)으로 도장되나, 주로 사용되고 있는 것은 열경화성 type 으로 정전도장법에 의해 박막(40~ 80 μ m)으로 도장되고 있다.

분체도료의 특징은 다음 표6과 같다.

표6) 분체도료의 특징

장 점	단 점
<ol style="list-style-type: none"> 1. 환경오염, 화재위험이 적다. 2. 도료 손실이 적다. (회수 재 사용) 3. 1회도장으로 후막 (30~1,000μm) 이 가능하며, 내식성 등 도막물성이 좋다. 4. 도장의 성력화, 합리화가 가능하다. (점도조정이 필요없고, Setting 시간이 필요없으며, 자동화가 용이하다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 소부온도가 비교적 높다. (150$^{\circ}$C이상 필요) 2. 박막도장에 한계가 있다. (30μm이상) 3. 조색이 어렵다. 4. 라인에서의 색 교체가 어렵다. 5. 도막의 외관이 떨어진다. 6. 신규 설비가 필요하며, 분진 폭발에 대한 방지설비가 필요하다.

분체도료의 큰 단점은 생산 및 도장라인에서 색 교체의 어려움이나 이 설비의 많은 개량이 이루어지고 있으며, 도료 역시 박막도장, 소부온도를 낮추는 연구가 계속되고 있다. 음료수 캔 내부에 도장가능한 25~50 μ m 두께의 에폭시 분체도료, 목재, 유리, 플라스틱에 도장할 수 있는 분체도료 등의 연구가 진행되고 있는것으로 알려져 있으며, 코일코팅 (일부 적용되고 있으나 유성 PCM 에 비해 라인 스피드가 늦어 경제성이 문제가 되고 있음), 의장성 분체도료, 내식성이 좋기 때문에 후막형 증방식용 등에 일부 실용화되고 있다.

2) 액상 무용제 도료

유기용제를 함유하지 않은 액상의 무용제 도료는 다액형 도료 (주로 2액형) 와 자외선(UV), 전자선(EB) 등의 에너지 선 경화도료가 있다.

(1) 2액형 도료

2액형 도료는 저점도의 액상수지와 경화제를 도장전이나 도장기 내에서 혼합하고, 도장후 경화시키는 type으로 우레탄 수지계, 에폭시 수지계, 불포화 폴리에스테르 수지계 등이 있다. 2액형 도료의 특징은 표7과 같다.

표7) 2액형 도료의 특징

장 점	단 점
1. 휘발분이 적다. 2. 도포량이 적다. 3. 후막도장이 가능하다.	1. 일반적으로 고점도로서, 가열이 필요한 경우도 있다. 2. 가사시간이 짧다. 3. 일반적으로 박막이 어렵기 때문에 용도에 제약을 받는다.

현재 불포화 폴리 에스테르 수지계는 목공용 분야에 주로 사용되고 있으며, 에폭시, 우레탄 수지계는 바닥재를 중심으로하여 후막이 요구되는 중방식 분야에도 적용되고 있다. 과제로서는 도장시의 점도를 어떻게 낮출 수 있는가, 2가지 액체를 어떻게 효율적으로 도장할 수 있는가 등이라고 할 수 있다.

(2) 에너지 선 경화도료

이 도료는 수지에 불포화기(이중결합)를 갖고 있어 자외선(UV)이나 전자선(EB)을 조사하여 라디칼 반응에 의해 수초내에 경화시키는 것으로 반응성 희석제를 사용한다. 1960년대 후반에 불포화 폴리 에스테르 수지를 사용하여 유럽에서 목재에 도장되었고, 그 후 도료 조사설비의 개량에 의해 지용, 플라스틱 등에 다양하게 사용되고 있다. 자외선 경화 도료는 투명 도장시에 보다 적합하고, 전자선 경화도료는 침투성이 강하여 후막의 불투명 도료에 적합하나 설비비가 비싸기 때문에 우리나라에서는 전자선 경화도료는 초기단계이다.

표8) 에너지 선 경화도료의 특징

장 점	단 점
<ol style="list-style-type: none"> 1. 초속 경화 2. 휘발분 (VOC) 이 낮다. 3. 생산성이 높다. 4. 라인의 소형화가 가능 5. 도막경도가 좋다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 가격이 높다. 2. 용도에 제한이 있다. (피도물의 형상, 색상, 도막두께 등) 3. 모노마가 자극성이다. 4. 경화도막의 수축율이 크다.

에너지 선 경화도료는 다양한 도장방식에 따른 배합이 연구되어 다양한 도장방법으로 (스프레이 도장, 붓도장, 롤 코팅, 침지도장 등) 사용되고 있으나 희석제를 사용할 경우 용제형 도료와 동일한 문제점을 갖을 수 있다. 이것을 방지하기 위해 여러 연구가 진행되고 있으며 수성 에너지 선 경화도료도 연구가 진행중인 것으로 알려져 있다. 또한 새로운 광 개시제의 개발로 자외선경화 유색도료도 개발되고 있으며, 가시광선이나 레이저광선을 사용하여 건조시키는 연구도 검토되고 있는 것으로 알려지고 있다.

4-4. 기 타

상기외에 비수 분산성 도료 (NAD, Non Aqueous Dispersion), Hot Melt (고체 수지를 열 용융하여 도장후 냉각), 플라스티졸, 접착도료 (Marking Film을 Laminating) 등이 있으며, 용도별로 개발이 이루어지고 있다.

5. 결언

VOC 의 배출규제를 비롯한 각종 환경규제의 강화와 함께 세계적인 추세는 현재 주체가 되고 있는 저고형분 용제형 도료가 하이 솔리드형, 수계, 무용제형 도료 등으로 전환되어 가고 있다. 그러나 현 시점에서는 마감성 및 도막물성의 열세와 가격면에서 문제가 되고 있어 많은 연구가 진행되고 있다. 우리나라에서도 이미 많은 분야에서 실용화되고는 있으나 성능의 향상이나 용도범위의 확대가 더욱 요구되고 있으며, 이를 위해서는 도료 Maker 뿐만 아니라 도장설비 Maker, 소비자도 공감을 갖고 함께 많은 노력을 해야 되리라 생각한다.

참 고 문 헌

- (1) 三木勝夫 塗裝技術 34(1) 69 (1995)
- (2) 前田健藏 工業塗裝 128(5) 30-36 (1994)
- (3) 田邊幸男 塗裝技術 32(1) 80-95 (1993)
- (4) E.Pratt Surface Coating International 132-141 (1994. 4)
- (5) 中道敏産 도장기술 69(5) 58-67 (1994)
- (6) 崔行植 도료와도장 133(10) 131-136 (1994)
- (7) 페인트 저널 8(1) 94-95 (1994)
- (8) 小川陸夫 塗裝と塗料 529(1) 27-34 (1995)
- (9) D.F.Webber Pigment & Resin Technology 23(1) 16-18 (1994)
- (10) Michael J. Ellis Modern Paint and Coatings 55-57 (1982.4)
- (11) 페인트 저널 5(11) 63-66 (1994)

