

信賴性應用研究

제1권, 제2호, pp. 79-94, 2001

중장비용 우레탄 도료 내후성 가속시험

김대용, 김영준

대우중합기계(주) 신뢰성평가센터

Accelerated Weathering Test of Urethane Paint for Heavy Construction Equipment

DaeYong Kim, YoungJun Kim

Center for Product Reliability, Daewoo Heavy Industries & Machinery Ltd.

Abstract

Recently, new aspects of paints such as a beautiful appearance, use of environmentally friendly paints, etc., in addition to the superior performance of paints have been requested for industrial paints including the paints for heavy construction equipment and others. Particularly, the quality of appearance of coating affects the sales of heavy construction equipment. And the necessity for the paints to have a superior weather-proof property without changing the luster or color even after long-time exposure to the open air is emphasized.

The change in the surface color and luster of the paint due to the natural environment progresses very slowly, and it takes a long time to verify material properties when developing new paints. In order to improve such methods, weathering tests are performed in many laboratories as a test for accelerating aging of coating, and the lifetime of the products is estimated through evaluation of the weathering (environment-proof) quality of paints. However, not a great deal of research activity has been conducted up to the present time since the interrelationship between the actual results of testing and field data is different for each paint and it takes a long time to study relevant materials. Therefore, introduced in the present study is the estimation of the change in the quality of appearance of coating in the field through the accelerated aging test among the cases of improvement of the quality of appearance of the urethane paint for heavy construction equipment.

1. 서론

중장비용 도료와 같은 공업용 도료는 80년대까지 1액형 알키드(Alkyd) 타입의 도료가 주로 적용되었으나, 90년대에 들어오면서 도막의 성능(부착성, 내약품성, 내마모성, 내후성 등)이 강조되어 점차 우레탄(Urethane) 도료로 전환되었다. 이후 근래에 이르러서는 도장의 미려한 외관, 환경 친화적인 도료 사용 등 새로운 도료에 대한 수요가 늘어나고 있다. 특히 도장의 외관 품질은 중장비의 매출에 영향을 미치며 장시간 옥외 폭로 후에도 광택이나 색상이 변하지 않는 내후성이 우수한 도료에 대한 소비자의 요구가 대두되고 있다.

그러나 기본적으로 페인트와 같은 유기재료는 사용 중에 태양광, 습기, 온도변화 등에 의하여 변색, 광택상실, 크랙(Crack) 발생 등의 영향을 받는다. 내후성 시험(Weathering Test)은 이러한 자연환경에 의한 재료의 노화정도를 측정하는 시험으로 시험 결과를 토대로 재료의 내후성(환경내구성) 품질을 평가하여 제품의 수명 예측할 수 있다.

도료에 대한 내후성 시험은 크게 옥외 폭로시험(Outdoor Exposure Test)과 가속수명시험(Accelerated Weathering Test)으로 나눌 수 있다. 옥외 폭로시험은 일정한 장소에서 실제 자연조건에서 재료를 노출하여 실시하는 시험으로 재료의 정확한 내구성을 측정할 수 있는 반면 시험 시간이 매우 긴 단점이 있다. 가속수명시험은 시험실 내에서 장비를 이용하여 자연조건을 재현하여 실시하는 시험으로 빠른 시간 내에 시험결과를 알 수 있는 반면 기기의 정확한 자연환경 재현의 한계, 기기에 따른 시험결과 차이 발생 등의 단점이 있다. 두 방법의 단점을 보완하기 위하여 두 시험간의 상관관계에 대한 연구 및 보고가 계속되고 있으나 시험에 사용된 재료의 특성 및 가속수명 시험의 종류 및 조건 등에 따른 차이에 의해 두 시험간의 상관관계를 밝히는데 어려움이 있다.

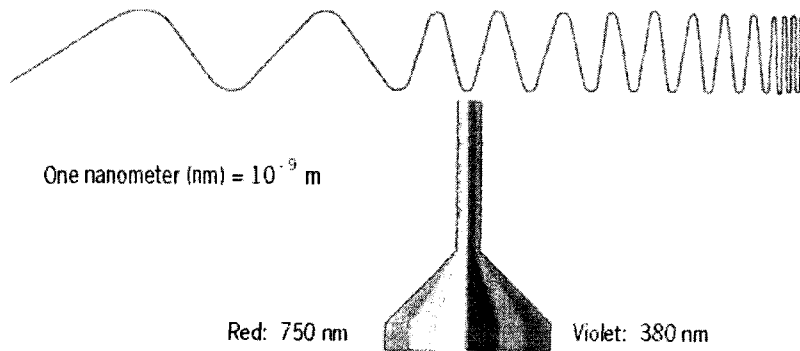
본 연구에서는 중장비용 우레탄 도료에 대한 필드(Field) 실차 도장품질확인 결과 도장의 관 품질이 저하되는 도료를 선정하여 내후성 개선도료를 개발하였으며 개발된 신 도료에 대한 가속수명시험만으로 필드에서의 도장외관품질 변화를 예측하였다.

2. 외부 요인에 의한 도막의 물성변화

2.1 빛의 파장

빛은 우리가 눈을 통하여 물체의 형태와 색채를 구분할 수 있도록 하여주며, 빛을 내는 광원이라 하면 흔히 우리는 자연광으로서 태양광, 그리고 인공광으로서 전등과 같은 것들을 들 수 있다. 빛은 물리학적인 의미로 말하면 파동의 성질을 가지고 있는 전자파(電磁波)의 일종이다. 또한 빛이 가지는 파장이 길고 짧음에 따라 그 성질이 달라지게 된다. 예를 들어 가시광선 내에서는 파장에 따른 성질의 변화가 각각의 색깔로 나타나며 적색으로부터 자색으로 갈수록 파장이 짧아진다. 또한 빛은 다른 입장에서 보면 광자(光子)들의 흐름이기도 하다. 빛의 파장의 길고 짧음은 광의 개념으로 보면 이는 광자의 에너지가 작다 혹은 크다는 것과 같은 의미이다. 즉, 빛의 파장이 짧아질수록 해당되는 광자의 에너지는 점점 커지게 되는데, 예를 들어 가시광선 영역 내에서 자색은 적색보다 큰 값의 광자에너지를 갖는다. 한편 가시영역보다 파장이 짧은 자외선(紫外線, UV, Ultra Violet), X선(X-ray), 가시영역보다 파장이 긴 적외선(赤外線, IR, Infra-Red), 라디오 파(Radio wave) 등이 있으며 이들 역시

전자파이다. 태양광의 경우도 가시광선뿐만 아니라 강한 적외선, 자외선, 연한 X선에 이르는 넓은 영역의 광을 방출하는 광원으로 볼 수 있으며 이러한 파장의 에너지를 복사하는 전자기 복사에너지원으로 생각할 수 있다.

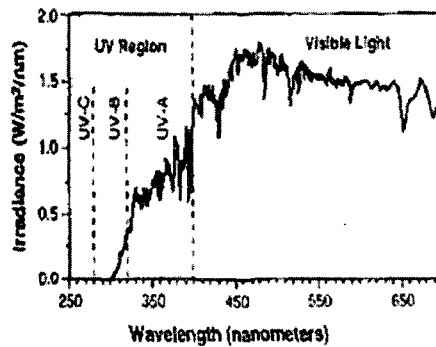


<그림 1> 빛의 파장

2.2 태양광과 자외선

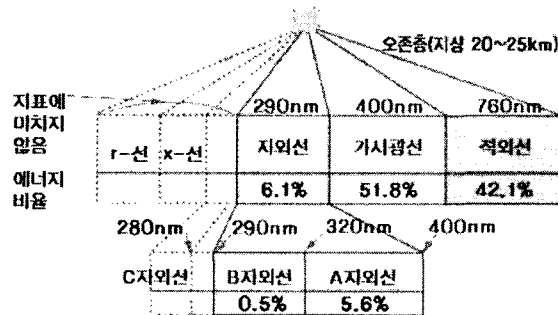
태양광(Sunlight)으로부터의 전자기 복사 에너지는 일반적으로 자외선, 가시광선, 그리고 적외선으로 나뉠 수 있다.

<그림 2>는 태양광으로부터의 스펙트럼(적외선 제외)을 나타낸 것이다.(1986년 6월 정오, Cleveland, Ohio)



<그림 2> 태양광 스펙트럼(Sunlight Spectrum)

적외선은 가시광선의 Red 파장보다 긴 파장을 가지며 약 760nm이상이다. 또한 가시광선은 약 400에서 760nm 사이의 파장을 가지며 자외선은 400nm이하의 파장을 가진다. CIE(The International Commission on Illumination)은 자외선을 UV-A, UV-B, UV-C로 다시 나누었다.



<그림 3> 태양광의 에너지 비율

<그림 3> 에서 나타나는 바와 같이 UV-C는 가장 짧은 파장을 가지지만 지표면에 도달하기 전에 모두 흡수되기 때문에 실제 재료의 물성변화에 영향을 주지는 않는다. 주로 재료의 물성변화와 관련이 있는 영역은 UV-A와 UV-B 이며 특히 UV-B는 전체 태양광 에너지 중 0.5% 수준으로 매우 낮음에도 불구하고 재료의 물성변화에 가장 큰 영향을 미친다.

<표 1> UV와 재료의 물성 변화

	파장영역	에너지비율	재료의 물성 변화와의 관계
UV-A	400-315nm	5.6%	재료의 물성변화에 영향
UV-B	315-280nm	0.5%	지구표면에 나타나는 파장 중 가장 짧은 재료의 물성에 심각한 영향을 줌 Glass에 의해 흡수됨
UV-C	280-100nm	-	지표면 도달전 오존층에 의해 흡수됨

2.3 도막(coating)에 대한 태양광 복사의 영향

도막이란 물체의 표면에 도포되어 있는 건조된 피막층으로서 물체의 부식방지, 색채 미장 및 특수기능을 부여하는 목적으로 사용되는 화학제품이다. 이러한 도막은 화학결합을 이루고 있는 수지의 특성에 의해 물성이 크게 좌우된다.

그런데 모든 종류의 분자들은 특정 파장을 가지는 복사에너지를 선택적으로 흡수하면서 들뜬 상태(Exited State)로 변환되며 파장이 짧아질수록 (적외선→가시광선→자외선) 복사에너지는 화학결합을 절단할 수준으로 증가하게 된다.

특히 자외선은 도막 내 수지성분을 이루는 유기분자들의 공유결합을 분해하기에 충분한 에너지이며 산소(O₂)와 수분(H₂O)과 함께 수많은 유기 재료의 점진적인 분해를 야기시키는 가장 중요한 인자이다.

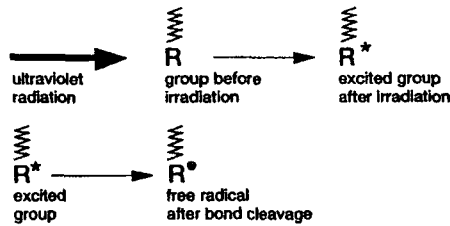
다행히 지구상의 오존층에서는 태양광으로부터의 자외선을 흡수하는 필터역할을 하고 있으며 특히 파장이 짧을수록(에너지가 클수록) 지구표면에 도달하기 전에 더 많은 양을 흡수한다.

그러므로 지구표면에는 300nm이하의 파장을 가진 복사에너지는 대부분 도달하지 못하며 약 300nm에서 380nm까지의 상대적으로 긴 파장을 가진 자외선 일부만이 지구표면에 도달된다. 그러나 이러한 적은 양의 자외선일 지라도 도장면의 유기분자들에게 미치는 영향은 매우 크다.

2.4 자외선에 의한 도막(수지)의 분해 메카니즘

자외선에 의한 분해 메카니즘은 광분해(Photolysis) 메카니즘으로 볼 수 있다. 광분해에 의한 유기재료의 분해 메카니즘은 그림과 같이 차례로 진행된다.

첫 번째 과정은 광분해 과정이다.

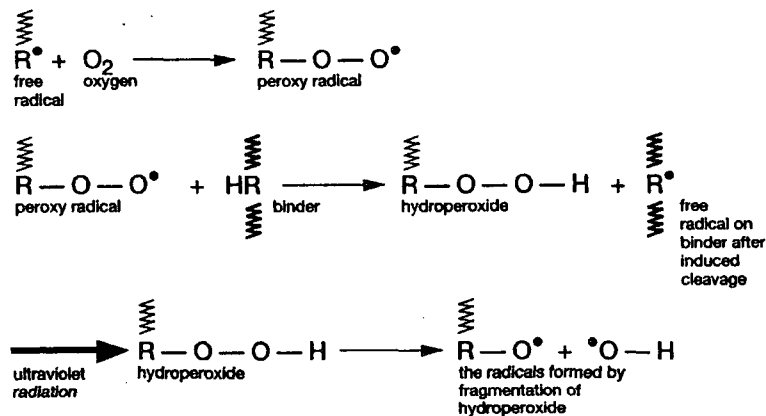


<그림 4> 광분해 과정

탄화수소화합물로 구성된 유기 재료인 도막은 특정 파장을 가진 자외선을 흡수하고 보다 높은 에너지 상태(들뜬 상태, Exited State)가 된다. 이때 들뜬 상태는 매우 불안정하므로 물질은 안정된 상태로 변환하기 위하여 에너지를 제거하려 한다.

이러한 에너지 제거의 한 방법이 분자구조중 화학결합을 깨고 매우 반응성이 높은 자유라디칼을 형성하는 것이다. 이러한 화학결합의 절단은 유기재료 내 화학결합의 강도 및 자외선의 파장의 길이 등에 의해 영향을 받는다.

광분해 후 두 번째 단계에서 유기 재료는 광화학적 분해 즉 산화(Autoxidation)를 일으킨다.

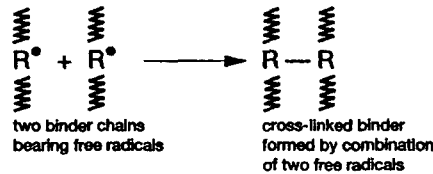


<그림 5> 산화과정

광분해에 의해 생성된 자유라디칼은 산소와 반응하여 퍼옥시 라디칼(Peroxy Radical)을 형성하며 생성된 퍼옥시 라디칼은 다른 유기 분자내의 수소분자를 공격하여 하이드로 퍼옥사이드(Hydroperoxide)와 또 다른 자유 라디칼을 형성한다.

또한 생성된 하이드로 퍼옥사이드는 또 다시 광분해에 의해 매우 쉽게 반응하기 때문에 새로운 자유 라디칼을 형성하고 이들은 다시 다른 유기 분자내의 수소를 공격한다. 반응성이 매우 높은 자유 라디칼은 이러한 반응 외에도 산소와 물 그리고 다른 원소들과도 반응한다. 이러한 과정은 연속적이며 반복적으로 이루어진다.

세 번째 단계는 자유 라디칼의 소멸과정(Embrittlement)이다.



<그림 6> 자유 라디칼의 소멸과정

생성된 자유라디칼은 서로 반응하여 새로운 화학결합을 이루며 결과적으로 초기의 분자구조와는 다른 새로운 분자구조를 이루는 결과를 초래한다. 이러한 반응은 분자내 가교(Interchain Cross-link)를 형성하며 도막을 Brittle하게 만든다.

즉 위와 같은 반응 메카니즘을 통하여 도막과 같은 유기 재료의 분자구조는 물리적, 화학적 물성의 변화를 가져온다.

2.5 외부 요인에 의한 안료의 변화

위와 같은 수지의 자외선에 의한 영향과 마찬가지로 어떤 안료들 또한 자외선 등 환경적인 요인에 의해 공격을 받아 물리적, 화학적 물성의 변화가 나타난다.

외부 요인에 의한 안료의 변화는 안료 종류의 다양성에 의해 일반적인 언급이 곤란하다. 본 보고에서는 당사 중장비용 도료에 사용된 안료에 대한 영향만을 언급하기로 한다.

당사 중장비용 우레탄 상도도료로서 기존도료 내에는 황색 안료인 황연(PbCrO₄ · PbSO₄)과 오렌지색 안료인 Molybdate Orange(PbCrO₄ · PbMoO₄ · PbSO₄)가 사용되었다. 이러한 안료는 초기 색상이 선명하고 은폐력이 우수하며 가격이 저렴하다는 장점이 있으나 외부 환경적인 요인에 의해 점차 흑색으로 변화하는 현상이 나타나는 단점이 있었다.

PbCrO₄ · PbSO₄, PbCrO₄ · PbMoO₄ · PbSO₄+熱, 光(특히 자외선), 배기가스, 산성비
→ PbS, MoS (흑색)

위와 같은 이유로 기존 도료를 사용한 도막은 장시간 사용 후에는 도장 외관품질 저하의 원인이 되었다.

이를 개선하기 위하여 1차로는 흑변의 원인이 되는 안료를 코팅(Coating)하여 사용함으로써 색상의 변화를 감소시켰다. 그러나 이는 자외선 및 산성비 등에 의한 흑변화를 근본적으로 개선하지는 못하는 방법이었다.

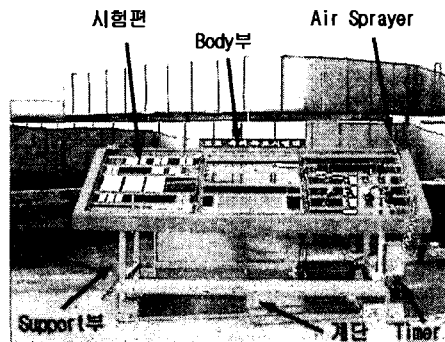
이러한 이유로 현재 당사에서는 흑변의 원인이 되는 안료를 배제하여 장시간 사용후에도 색상이나 광택의 변화가 매우 적은 도료를 제조하였으며 특히 유기안료를 적용함으로써 Pb, Cr등의 중금속이 포함되지 않은 환경친화적 도료를 제조하여 사용하고 있다.

3. 도막에 대한 내후성 시험

3.1 옥외 폭로시험(Outdoor Exposure Test)

도막의 내후성을 측정하는 직접적인 방법으로 옥외폭로시험이 있다. 이는 일정크기의 도장 시편이나 도장된 재료를 직접 외부에 노출시킴으로써 태양광, 온도변화, 습기 등에 의한 도막의 물성변화를 직접적으로 시험하는 방법이다.

옥외폭로시험은 도막의 내구성을 비교적 정확하게 확인할 수 있는 방법이지만 시험시간이 장시간 소요되는 단점이 있다. 또한 옥외폭로시험을 실시하는 장소 혹은 시기(계절적 요인)에 따라 그 결과의 차이가 나타날 수 있다.



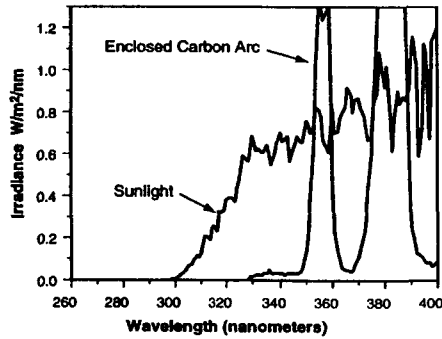
<그림 7> 옥외폭로시험

3.2 가속 수명 시험(Accelerated Weathering Test)

도막의 내구성을 보다 짧은 시간 내에 시험하기 위한 노력으로 다양한 가속 수명 시험방법이 연구되었으며 실제 많은 시험실에서 사용되고 있다. 이러한 가속 수명 시험은 실제 외부 환경조건을 최대한 유사하게 재현하기 위하여 인공적인 광원(Light Source), 습기 및 수분에 의한 영향 등을 고려하게 된다.

대표적인 도막의 가속 수명 시험방법은 광원의 종류에 따라 다음과 같이 분류된다.

3.2.1 Enclosed Carbon Arc (ASTM G-23)

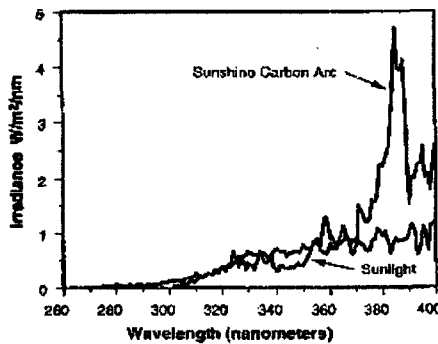


<그림 8> Enclosed Carbon Arc and Sunlight

1918년에 제시된 최초의 가속 수명 시험이며 현재까지도 많은 시험실에서 사용되고 있다. 그러나 이는 태양광의 스펙트럼과 비교하면 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 Enclosed Carbon Arc 에서의 UV 스펙트럼은 두 개의 큰 에너지 Peak로 구성되어 있으며 350nm 이하에서는 매우 적은 양의 에너지가 있다.

그러므로 Enclosed Carbon Arc 에 의한 시험을 통하여 재료의 물성변화를 시험하기 위해서는 다른 가속 수명 시험에 비해 상대적으로 많은 시간이 소요되며 (낮은 파장의 에너지를 갖고있지 못하므로) UV의 단파장 영역에서의 재료변화에 대해 시험하지 못하므로 실제 태양광에 의한 재료의 변화에 대한 재현시험으로서 적합하다고 볼 수 없다.

3.2.2 Sunshine Carbon Arc (ASTM G-23 Open Flame Carbon Arc)

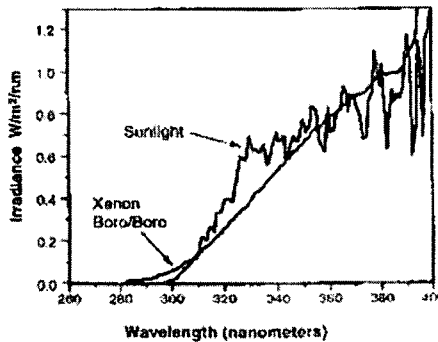


<그림 9> Sunshine Carbon Arc and Sunlight

1933년에 소개되었으며 Enclosed Carbon Arc 시험의 단점을 보완하기 위해 개발된 시험이다. 태양광과 Sunshine Carbon Arc 스펙트럼(Corex D Filter사용)을 보면 Enclosed Carbon Arc 에 비해 태양광과 많이 유사한 스펙트럼을 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 아직도 390nm 근처에서 태양광과는 큰 차이를 보이는 에너지 Peak을 보이고 있다.

Sunshine Carbon Arc 의 더 큰 문제점은 단파장 영역에 있다. 자연 태양광은 일반적으로 295nm이하의 파장을 갖고 있지 않은 반면 Sunshine Carbon Arc는 260nm 부터의 단파장 영역에서 복사에너지를 갖고 있다. 이는 UV-C영역으로 자연상태에서는 존재하지 않는 파장이며 자연상태의 재료 노출에 비해 훨씬 가혹한 조건의 시험이 진행되게 된다. 그러므로 Sunshine Carbon Arc 시험 또한 자연상태의 태양광을 재현하는 시험으로서 적합하다고 볼 수 없다.

3.2.3 Xenon-Arc(ASTM G-26)

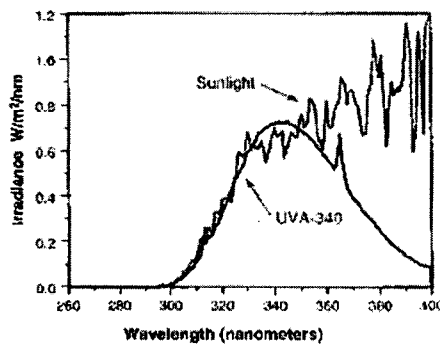


<그림 10> Xenon-Arc and Sunlight

1954년 독일에서 최초로 시도된 촉진시험으로 현재 개발된 가속 수명 시험중 전 파장 영역에서 태양광과 가장 유사한 스펙트럼을 가진다.

Xenon-Arc는 두 가지 주요한 인자에 의해 스펙트럼이 결정된다. 하나는 Filter이고 또 다른 하나는 Irradiance Setting값이다. Xenon-Arc 시험을 위해 Borosilicate를 사용하여 Inner & Outer Filter에 적용하면 약 280nm로부터 파장이 시작되어 태양광과 유사한 스펙트럼을 얻을 수 있다. 또한 Irradiance Setting값을 0.35w/m²/nm로 조정하면 태양광과 가장 유사한 스펙트럼을 얻는다.

3.2.4 Fluorescent UV-Lamp (ASTM G-53)



<그림 11> Fluorescent UV and Sunlight

Fluorescent UV-Lamp에 의한 시험은 최근에 이르러 주목받고 있는 가속 수명 시험 방법이다. 이 시험방법은 기존의 태양광의 스펙트럼을 재현하는 시험을 목적으로 하지 않고 태양광중 자외선에 의한 재료의 변화를 측정하기 위한 시험이다.

옥외 폭로된 재료의 물성저하는 대부분 UV영역에 의한 복사에너지에 의한 것이므로 UV 영역에서만 복사에너지를 갖는 복사에너지를 이용하여 내후성을 평가한다. 그림에서 나타난 스펙트럼을 보면 295nm에서 360nm영역의 UV 파장은 태양광과 가장 유사한 스펙트럼을 갖고 있음을 알 수 있다.

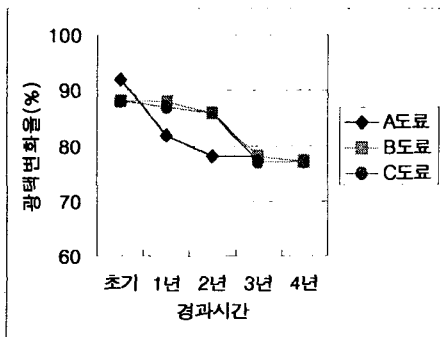
그러나 이 시험의 단점은 UV영역 이외의 복사에너지에 의한 재료의 물성변화를 관찰하기 어려운 단점이 있다.

4. 중장비용 우레탄도료의 도장 품질 (실차 시험, 옥외폭로시험, 가속수명시험)

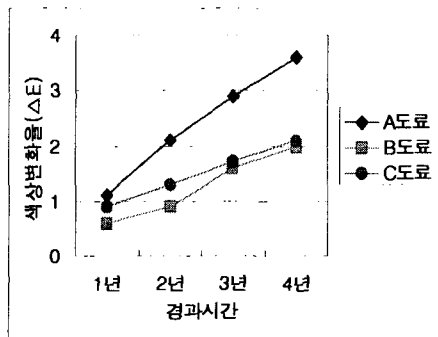
4.1 도장 품질 필드조사(Field Survey)

당사 중장비용 우레탄 도료의 실차에서의 내후성을 직접 확인하기 위하여 아래와 같이 출하된 차량을 대상으로 초기 도막 물성 대비 색상 변화 및 광택 변화 등을 측정하였다.

- 조사 대상 : 중장비 실차 총 31대
(A도료 : 10대, B도료 : 12대, C도료 : 10대)
대상 차량은 신차대비 출하 후 1~4년 사용 차량을 대상으로 함
- 평가항목
 - 광택 유지율 : $\gamma = (\text{측정시 광택} / \text{출하 초기 광택}) \times 100(\%)$
 - 색상 변화율 : $\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$

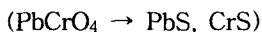


<그림 12> 필드 실차의 광택변화



<그림 13> 필드 실차의 색상변화

실차 도장품질 측정결과 A 도료의 경과 시간에 따른 도막의 광택변화율 및 색상변화율이 B도료 및 C 도료 대비 저하되는 물성을 나타내고 있었다. 위와 같은 도막의 색상 및 광택 저하의 가장 큰 원인은 도료 내 포함되어 있는 안료의 흑변화 현상에 기인한 것이었다.



4.2 내후성 개선도료의 개발

위와 같은 단점을 보완하기 위하여 흑변화의 원인이 되는 안료를 배제한 도료를 개발하였으며 개발된 도료에 대한 수명을 옥외 폭로시험 및 가속 수명 시험을 통하여 예측하였다.

4.2.1 내후성 개선도료의 특성

<표 2> 내후성 개선 도료의 물성

비교항목		기존 도료	내후성 개선 도료
Pigment Content(%)		18.4	10.0
Resin Content	속건형	15.5	-
	지건형	10.5	7.0
	내후성개선 속건형	-	21.0
Solvent Content(%)	속건형	11.0	7.0
	지건형	15.0	18.0
안료조성	형태	무기계	유기, 무기혼합형
	오렌지안료	PbCrO ₄ · PbMoO ₄ · PbSO ₄	Opaque Pyrazole-quinazolone
	황색안료	PbCrO ₄ · PbSO ₄	Ti-Yellow
은폐력(40μm기준)		0.95 ~ 0.96	0.90 ~ 0.91
축진 내후성(ΔE), 240시간		1.2 ~ 1.3	0.5 ~ 0.7
건조시간	지속건조	8	12
	경화건조	45	60
가사시간		6↑	6↑

흑변 개선을 목적으로 개발된 중장비용 도료에 사용된 수지는 기존 속건형 대신 내후성이 보다 향상된 속건형 수지를 사용하였으며 동시에 기존도료 대비 전체적인 속건형 수지의 함량을 높여 건조시간을 단축시킴으로써 작업성 향상을 도모하였다. 또한 도료 내 사용안료는 유기형 오렌지안료와 Pb, Cr등을 포함하지 않는 무기 황색 안료(Ti계)를 사용하여 흑변화를 방지하였다.

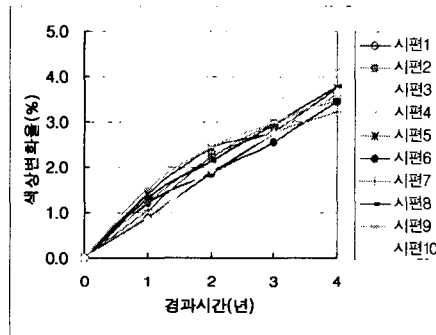
또한 기존 도료 대비 내후성 개선도료의 물성은 색상변화율이 크게 향상되어 장시간 사용 후의 도장 외관 품질은 크게 개선되었음을 알 수 있다. 그러나 기존 도료 대비 은폐력이 다소 취약한 단점이 있어 중도도료를 사용함으로써 이를 보완하였다. 이외 기본적인 도막의 물리적 특성이 기존도료와 동등 수준이었다.

4.2.2 회귀분석을 통한 내후성 개선도료의 수명 예측

개발 도료의 수명을 실차를 통하여 다시 검증하기 위해서는 1년에서 4년까지의 장시간이 요구된다. 그러므로 시험시간 단축 및 검사비용 절감을 위해 기존 필드 측정 데이터를 근거로 모델 식을 유도한 후(회귀분석) 가속계수를 산출하였다.

모델링에 사용된 회귀분석 방법은 독립변수(경과시간)와 종속변수(색상 변화율)가 각각 1개씩이고 이들 사이의 관계가 비교적 직선관계(1차 함수)를 가진다고 가정한 후 단순회귀분석법(Simple Regression Analysis)을 사용하였다.

우선 기존 도료가 적용된 필드의 실차들 중에서 1년, 2년, 3년, 4년 경과한 차량을 각각 10대 씩 선정하여 각각의 초기 색상값 대비 색상변화율을 측정한 후 이에 대한 데이터로부터 회귀직선을 구하였다.(95% 신뢰수준)



<그림 14> 기존도료적용 Field 실차의 색상변화

<표 3> Field Data 의 회귀분석결과

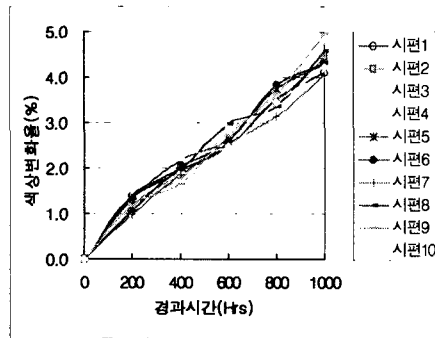
경과시간	색상변화율 평균값(ΔE)	Modeling
1년 (8,760시간)	1.136	회귀분석 Y = a X a : 1.08 × 10 ⁻⁴
2년 (17,520시간)	2.075	
3년 (26,280시간)	2.866	
4년 (35,040시간)	3.631	

Field Data 사용도료와 동일 도료를 사용하여 제작한 시편 10장에 대하여 각각 가속수명 시험 200시간, 400시간, 600시간, 800시간, 1000시간 경과 후 색상변화율을 측정하였다. 이후 측정된 Data로부터 다시 회귀직선을 구하였다.(95% 신뢰수준)

▶ 가속수명 시험 조건(W.O.M , ASTM G-26 Test Method 1)

- Light Source : Water cooling Xenon Arc Lamp
- Filter Combination : Inner & Outer Borosilicate Filter
- Irradiance : 0.35 W/m²/340 nm

- Test Cycle : 108 min Light ⇒ 12 min Light & Spray
- Black Panel Temp.: 63 ± 3°C
- Relative Humidity: 50 ± 5% RH



<그림 15> 기존도료의 가속수명시험 색상변화

<표 4> 가속수명시험의 회귀분석결과

경과시간	색상변화율 평균값(ΔE)	Modeling
200시간	1.205	회귀분석 Y = a'X a' : 4.51 × 10 ⁻³
400시간	1.953	
600시간	2.663	
800시간	3.552	
1000시간	4.455	

필드 데이터와 가속수명시험 데이터로부터 얻어진 회귀직선으로부터 도료에 대한 색상변화율의 가속계수를 계산하였다. 또한 이로부터 각각의 가속수명시험 시간과 필드에서의 수명을 예측하였다.

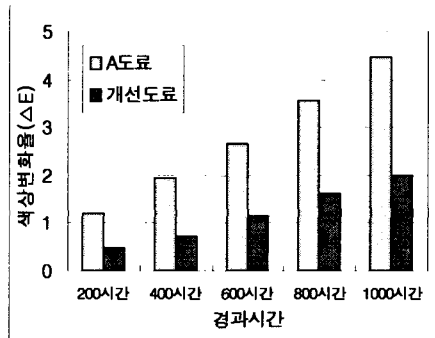
<표 5> 기존도료에 대한 가속계수 및 예측수명

경과시간	색상변화율 평균값(ΔE)	가속계수	필드 예측수명
200시간	1.205	가속계수(K) = a'/a K : 41.70	0.96년
400시간	1.953		1.93년
600시간	2.663		2.89년
800시간	3.552		3.86년
1000시간	4.455		4.83년

위와 같은 회귀분석 과정을 통하여 기존도료에 대한 가속계수를 산출할 수 있으며 가속수

명 시험을 통한 시간대별 예상수명을 예측할 수 있었다.

이를 근거로 내후성 개선 도료를 동일한 방법으로 가속수명시험을 실시한 후 Filed에서의 예상수명을 비례식을 통하여 예측하였다.



<그림 16> 기존도료 및 개선도료의 가속수명시험 색상변화율

<표 6> 기존도료 대비 내후성 개선도료의 내후성 향상 효과

경과시간	기존 도료	개선 도료	기존도료 대비 내후성 개선 비율 (ΔE/ΔE')
	색상변화율 (ΔE)	색상변화율 (ΔE')	
200시간	1.205	0.47	2.46
400시간	1.953	0.72	2.71
600시간	2.663	1.14	2.34
800시간	3.552	1.62	2.19
1000시간	4.455	1.99	2.24
기존 도료 대비 내후성 향상 비율 (평균)			2.39

이와 같은 결과로 미루어 기존도료를 개선한 내후성 개선도료는 평균적으로 약 2.4배의 색상변화율 향상효과가 기대된다.

내후성 개선도료에 대한 가속계수는 향후 Field Data로부터 실측 후 얻어질 수 있으며 가속수명시험을 통하여 얻어진 내후성 개선 비율이 실제 실차에서도 동일한 결과로 나타나는 지도 지속적으로 검증할 예정이다.

5. 결론

중장비용 우레탄 도료에 대한 Field 실차 도장품질확인 결과 나타난 당사 도료의 장시간 외부 폭로 후 도장의관 품질 저하문제가 제기되어 이로부터 내후성이 향상된 도료를 개발하

였다.(W-O-M 200시간 기준 $\Delta E : 1.2 \sim 1.3 \rightarrow 0.5 \sim 0.7$)

또한 개발된 도료에 대한 가속 수명시험으로부터 Field에서의 도장외관품질 변화를 예측할 수 있었다.

(1) 기존 증장비용 우레탄 도료의 내후성 가속시험 결과

- 가속계수 : 42 (약 40 배)

- W-O-M TEST 240시간은 FIELD 약 1년에 해당함

(2) 내후성 개선 도료의 내후성 가속시험 결과

- 기존도료 대비 약 2.4배의 수명향상 효과 기대

가속수명시험(W-O-M TEST) 결과와 Field Data 의 Co-Relation은 도료 종류별 색상별 특성이 상이하기 때문에 확일적으로 적용하는 것은 어려우며 현재 당사에서 사용되고 있는 대표적인 증장비용 도료에 대한 지속적인 가속시험 진행중이며 옥외폭로시험과의 Co-Relation에 대한 평가가 진행중이다.

참고문헌

- [1] Jack P. Wineburg(1994), *Automotive Body Painting*, Volume 3, 18-22
- [2] (1996), *Surface Coating International*, Volume 79, No. 9, 219-228
- [3] Wayne Nelson(1990), *Accelerated Testing*, Wiley
- [4] 이상용(1999), *신뢰성공학*, 형설출판사.