

고분자 소재 표면코팅의 접착력 측정법

정 경 호

1. 개 요

고분자 소재의 기계적, 물리 화학적 및 전기적 물성을 향상시키기 위해 표면 코팅을 하는데, 그 목적을 달성하기 위해서는 코팅제와 소재 표면 사이의 접착이 우수하여야 한다.

접착현상은 크게 세 가지 주된 상호작용 유형으로 구분되어질 수 있다. 첫째, 배가 부두에 정박시 닻을 바다 속에 던져 움직이지 않게 정박하듯이 계면에서의 기계적인 접착, 둘째는 van der Waals 혹은 쌍극자-쌍극자 상호작용과 같이 두 계면 사이에 존재하는 상호 인력 때문에 발생하는 물리적 접착, 셋째로 수소결합 혹은 공유결합에 의한 두 표면 사이의 화학결합에 의한 화학적 접착 등으로 나눌 수 있다.

일반적으로 접착과괴는 결합되어진 표면들이 부적절하게 준비되었을 때 혹은 접착제와 피착재 표면들 사이의 표면에너지가 크게 상이할 때 대부분 발생하게 된다. 따라서 정확한 기본 접착력 또는 열역학적 접착력을 측정하기 위해서는 두 가지 이상의 접착력 측정방법을 사용하여 서로 보완하는 방법을 사용하는 것이 일반적이라고 할 수 있다.

표면 코팅의 접착력을 평가하기 위한 방법을 구분해 보면 크게 성능시험(performance tests), 직접 측정법(direct measurements) 및 간접측정법(indirect measurements) 등으로 나눌 수 있는데 더욱 세분화 되고 구체적인 방법은 다음과 같다.

1) 성능시험

- cross hatch method
- scratch and erasure method

- peel off method
- shot blasting test

2) 직접측정법

- pull off method
- torsion method with twistometer

3) 간접측정법

- thermographic method
- ultrasonic pulse echo method
- sound emission analysis

접착 고장현상 분석을 위한 접착력 평가방법의 응용분야로는 접착제 혹은 코팅제가 사용되는 전 산업분야에 해당할 수 있을 것이다. 이러한 접착제 응용분야를 요약해보면 다음과 같으며 표면 코팅의 접착 고장현상을 규명하기 위해서 적합한 측정방법들이 사용될 것이다.

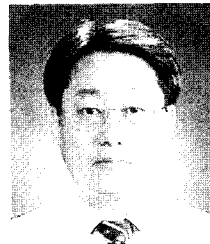
1) 전기/전자 산업

- 가전제품, 전자부품, 중전제품 등

2) 자동차 산업

- 구조, 준구조, 비구조 접착 등

3) 항공기 산업



정경호

1991 The U of Akron, 공학박사
 1992~ 수원대학교 신소재공학과
 현재 교수
 2006~ 한국고무학회 부회장
 2007

4) 건축/토목 산업

5) 기타 산업

- FRP, 타이어, 제진재료, 플래시 패널, 광학렌즈, 차아 등

2. 표면 코팅 접착력 측정법 개발의 필요성

표면 코팅의 가장 필수적인 특성은 접착이다. 그러나 불행히도 접착에 영향을 미치는 다양한 요소들에 대한 과학적인 해석이 부족한 것이 현실이다. 대부분의 경우 코팅재료 제조자는 접착에 대해 상당한 의문점을 가지고 있다. 즉, 코팅을 제거하기 위해 얼마나 단단해야 하는가? 하지만 물리화학자들은 접착을 서로 접착되어 있는 두 계면을 분리하기 위해 필요한 일로써 생각한다. 이와 같이 상당히 다른 양상일 수 있는데 코팅의 제거는 피착재로부터 코팅을 분리하는 것뿐만 아니라 코팅을 파괴하거나 절단하는 것을 필요로 한다. 대표적인 양 극단의 예를 생각해 보면 전력 산업에 사용되는 플라스틱으로 코팅된 전선의 예를 들 수 있다. 코팅된 플라스틱은 전기 흐름이나 충격으로부터 보호하기 위해 와이어와의 접착이 매우 우수해야만 한다. 그러나 전선 연결을 위해서는 커버 재료를 절단해야 하고 이 재료는 금속 와이어로부터 쉽게 제거할 수 있어야 한다. 이와 같이 플라스틱과 구리 동선 사이에는 최소한의 인력을 가지는 것이 바람직하지만 우연한 분리 현상이 발생하지 않도록 코팅제 자체의 강도는 상당히 우수해야만 한다.

코팅된 필름의 형성 공정이 완결되어지면 그 다음 단계는 코팅이 요구되는 성능을 만족하는지에 대한 평가가 필요하다. 필름 두께와는 별도로 접착, 경도 및 탄성 등과 같은 물리적/기술적 특성들이 코팅의 성능을 평가하는데 매우 중요한 역할을 한다. 이와 같이 접착공정 자체는 기술적으로 크게 어려운 일은 아닌 것으로 생각될 수 있지만 접착 불량 등의 문제가 발생하게 된다면 그 대책을 세우는 일이 결코 쉽지만은 않은 경우가 상당히

많이 발생하고 있다. 접착에는 여러 가지 요인들이 관여하고 있기 때문에 접착불량의 문제를 해결하기 위해서는 각 요인들의 정확한 이해와 더불어 해석을 필요로 한다. 접착 고장현상의 정확한 규명은 접착의 기초를 잘 이해하는 것으로부터 출발을 해야 하며 더 나아가 접착력 측정방법에 대한 충분한 이해를 통해 결과의 명확한 해석을 얻음으로써 달성될 수 있다.

그러므로 접착불량의 원인을 밝히기 위해서는 접착력 측정법의 이해와 이에 의해 얻어지는 데이터의 해석 방법을 익히는 것이 필수적이라고 할 수 있다.

3. 이론적 배경

3.1 접착 메카니즘

접착이란 두 표면들의 분자들, 원자들 및 이온들의 상호작용으로 인해 발생하는 계면친화력에 의해 두 표면들이 서로 붙들고 있는 상태라고 할 수 있다.

만일 접착력에 기인하는 다양한 상호작용의 원인을 규명하고자 한다면 다수의 상이한 이론들이 존재함을 알 수 있을 것이다.¹ 코팅제가 피착체에 접착되는 물리적 화학적 메카니즘을 살펴보면 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 그림 1에 나타남과 같이 코팅제의 접착은 피착체의 공동과 틈 사이로 코팅제가 흘러 들어가 경화되면서 접착이 달성되는 기계적 결합(mechanical anchoring)으로부터 분자들의 상호 확산에 의한 접착, 정전기력에 의한 접착, 쌍극자-쌍극자 상호작용에 의한 접착, 수소결합에 의한 접착 및 화학결합에 의한 접착 등을 들 수 있다. 이상의 접착 메카니즘들이 결합 강도와 접착에 영향을 미칠 수 있음은 명백하다. 또한 선행 조건들을 만족한다면 개개의 메카니즘이 접착에 중요한 기여를 할 것이라는 것은 논란의 여지가 없다.

3.1.1 기계적 결합(mechanical anchoring)

거친 금속과 목재 표면에 코팅제의 기계적인 결합은 접착 강도를 위해 장점이라는 것은 의심할

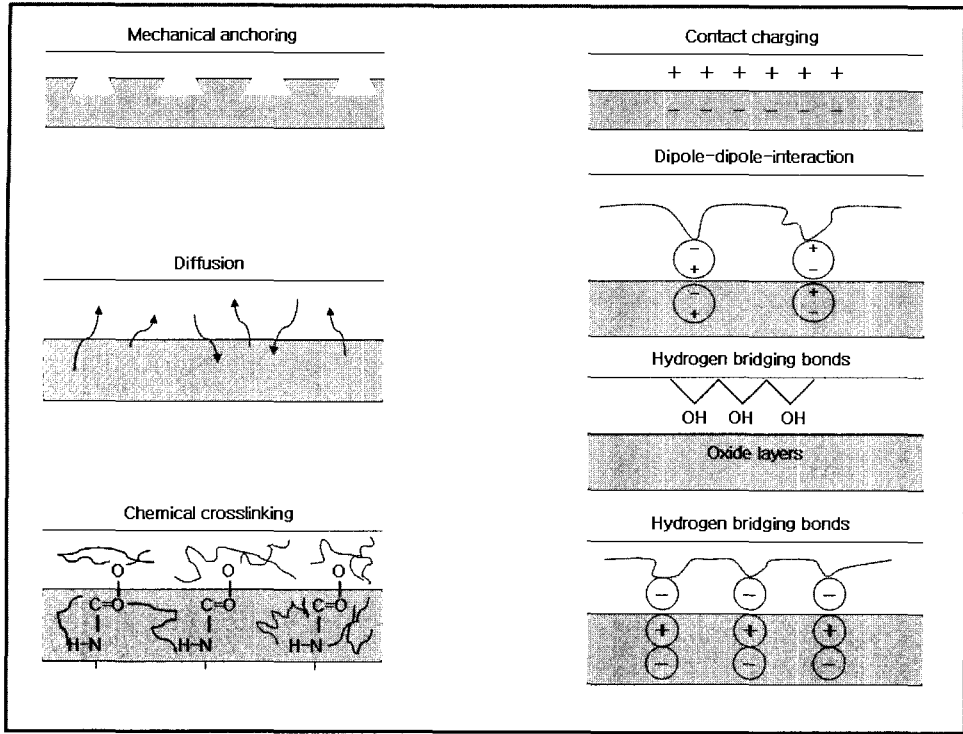


그림 1. 접착 메카니즘.

여지가 없다. 이 메카니즘은 피착재 표면에 코팅제가 흘러 들어갈 수 있는 구멍이나 고화될 수 있는 돌출부를 가지고 있을 때 가능한 접착 메카니즘이다. 이때 코팅제는 기계적 닻의 역할을 한다. 심지어 코팅제와 피착재 사이의 특정한 상호작용이 낮다고 할지라도 이러한 경우 상당히 우수한 접착력을 달성할 수 있다. 이 메카니즘은 특히 다공성의 표면인 목재, 섬유, 종이 혹은 표면이 거친 금속 등과 같은 피착재의 경우 중요한 역할을 한다. 또한 대다수의 금속과 플라스틱들의 경우 피착재 내부로 코팅제가 침투하여 고착될 수 있도록 하기 위해 코팅하기 전에 표면을 에칭하기도 한다. 반면에 유리나 일부 금속들과 같이 표면이 매우 매끄러워 코팅제가 침투할 수 없는 경우는 이 메카니즘이 적용될 수 없다.

3.1.2 상호확산(interdiffusion)

상호확산에 의한 결합 역시 플라스틱, 프라이머 및 충전제를 코팅할 때 중요하다. 액상 접착제가 피착재에 적용될 때 접착제 분자들은 피착재를 용

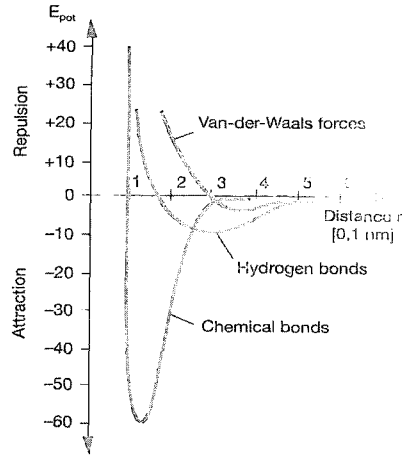
해할 수 있고 내부로 확산할 수 있다. 상호 확산의 정도는 접착제와 피착재 분자들 간의 친화력에 달려있다. 일반적으로 접착제 분자는 고분자이기에 피착재 분자들과 상당히 제한된 상용성을 가지고 있다. 따라서 상호 확산된 층은 보통 5~100 Å 정도로 상당히 얇은 지역이다. 그러나 상용성이 높을 경우는 상호 확산 층이 10 μm 까지도 될 수 있다. 상호확산 메카니즘은 기계적 결합 메카니즘과 쉽게 구별될 수 있다. 상호확산 메카니즘은 접착제와 피착재 분자들이 분자 수준으로 상호 침투할 수 있지만 기계적 결합 메카니즘은 분자 수준 보다 더 큰 피착재에 존재하는 구멍이나 돌출부로 접착제 분자가 흘러들어가서 접착이 달성되는 차이가 있다.

3.1.3 흡착(adsorption)과 표면 반응

유리와 연마된 금속을 코팅할 때 단순히 프레스를 붙들고 확산 이론을 적용하는 것은 잘못된 일이다. 만일 피착재가 금속 혹은 세라믹과 같이 고밀도 고체라면 그 내부로 접착제의 분자가 확산할

수는 없을 것이다. 오히려 고체 표면에 접착제 분자들이 흡착하고 때로는 반응하여 접착이 달성될 것이다. 흡착이란 접착제 분자가 고체 표면의 특정 부분에 끌어 당겨지는 공정이다. 이 인력은 van-der-Waals력 혹은 특정 주개(donor)-받개(acceptor) 상호작용일 수 있다. van-der-Waals력에 의한 상호작용은 다르게 분류되어야 한다. 피착재의 유형과 모폴로지 특징과는 관계없이 이 상호작용이 일반적으로 접착의 주요 원인으로 작용한다. van-der-Waals력은 배향력(쌍극자-쌍극자), 유도력(쌍극자/유도쌍극자) 및 분산력이다. 적절한 화학 구조와 피착재를 가정하면 또한 효과적인 수소결합을 고려할 수 있다. 수소결합과 van-der-Waals력이 미치는 영역은 나노미터 이하로 매우 짧은 영역이다.(그림 2 참조) 따라서 최적의 접착을 위해 적용된 필름을 형성하는 코팅제 분자가 피착재에 우수한 젖음을 달성해야 하는 것은 절대적이다. 피착재의 표면장력이 액상 코팅제의 표면장력 보다 클 경우 우수한 젖음을 달성할 수 있는 조건이 된다. 금속의 경우는 표면장력이 높기 때문에 코팅제의 젖음이 크게 문제되지는 않지만 폴리에틸렌 혹은 폴리프로필렌과 같이 표면장력이 30 mN/m 이하인 무극성 플라스틱의 경우는 표면처리를 하지 않고서는 우수한 젖음을 달성하기 어렵기 때문에 우수한 접착을 달성하기는 불가능하다. 다양한 재료들의 표면장력 값을 표 1에 나타내었다.

접착될 경계 표면에 대한 모든 물리적인 요구조건을 채운다고 할지라도 이것만으로 최적의 결합을 달성하기에 충분하다고 할 수는 없다. 이에 더불어 코팅제의 기능기들이 피착재를 향해 배향하여 결합할 수 있도록 점도가 충분히 낮아야한다. 더구나 용매의 증발로 인해 발생하는 표면장력의 상승은 젖음 거동이 필름 형성에 의해 부정적으로 영향 받지 않도록 조정되어야 한다. 만일 비교적 낮은 점도에서 코팅제의 표면장력이 피착재의 표면장력을 초과하는 현상이 발생한다면 젖음 방해의 형태로 발생하는 코팅 결함이 예상될 수 있다. 그러므로 피착재를 고려하여 코팅제의 표면장력을 조정하는 것이 필요하다. 만일 고체 재료의 표



Type of van-der-Waals forces	Average energy	Range
Orientation forces Dipole-dipole (Keesom forces)	25 kJ / mol	$E = \frac{2 \mu^4}{3kT r^6}$
Induction forces Dipole-induced dipole (Debye forces)	15 - 20 kJ / mol	$E = \frac{2\alpha \cdot \mu^2}{r^6}$
Dispersion forces (London forces)	5 - 10 kJ / mol	$E = \frac{3h\nu_0 \cdot \alpha}{4r^6}$
Hydrogen bridging bonds	40 - 50 kJ / mol	$E = e^{-kr}$

그림 2. 분자간 상호인력 유형에 따른 에너지.

표 1. 여러 고분자들의 표면에너지 (20°C)

Types of Polymer	Surface Energy (mN/m)
polytetrafluoroethylene	18
poly(vinyl fluoride)	25
polypropylene	29
poly(methyl methacrylate)	29
polyethylene	31
polyamide 6	31
polystyrene	33
poly(vinyl chloride)	39

면장력이 알려져 있거나 측정될 수 있다면 이러한 재료들을 적절히 배합하여 표면장력을 요구조건에 부합하게 조정할 수 있을 것이다.

3.1.4 정전기 인력 (electrostatic attraction)

Deryaguin 등은 서로 다른 전자띠 구조를 가지는 물질들 (예; 접착제와 피착재) 사이 계면에 fermi

정도를 일치시키기 위해 전자의 이동이 발생하여 전기이중층(양전하와 음전하)이 형성되어 접착력이 증가한다고 제안하였다.² 예를 들어 유기고분자를 금속 표면에 코팅시키게 되면 금속으로부터 전자가 빠져나와 전기이중층을 형성한다는 것이다. 그러나 현재로서는 정전기 인력이 과연 접착력에 기인할 정도로 충분한지에 관한 상당한 논란이 있다.

3.2 표면과 계면 특성

3.2.1 표면 지형

코팅제의 접착을 위해 접착이라는 용어에 덧붙여 접착강도, 접착력 및 결합강도와 같은 용어들 역시 사용되어 진다. 만일 이러한 용어들을 코팅을 박리하기 위해 적용되어지는 면적 관련 힘에 대한 동의어라고 정의한다면 표준 인자인 면적이 더욱 정확히 정의되어야 하기 때문에 문제가 될 수 있다. 코팅제의 접착력을 결정하는 표면에 대해 그림 3에 도식적으로 나타내었는데, 그림 3에 나타난바와 같이 A1으로 표시된 지역은 실제 코팅된 표면적을 나타내며, A2의 경우는 피착재의 실제 표면적을 나타낸다. 대부분의 경우 어느 정도의 표면 거칠음을 가지고 있기 때문에 A1과 A2는 다르다. 또한 A3는 실제 코팅제가 피착재 표면에 흘러 들어가 젖음을 달성한 후 실제 접착된 표면적을 나타냄으로 역시 A2와 A3는 코팅제의 원활한 흐름에 의해 완전한 젖음이 달성되지 못한다면 다를 수밖에 없다. 물론 코팅제와 피착재간의 젖음이 우수하다면 A2와 A3는 동일할 수 있지만 A1과는 항상 크게 다르다.

van der Waals력과 같은 분자간력은 약 0.3 nm

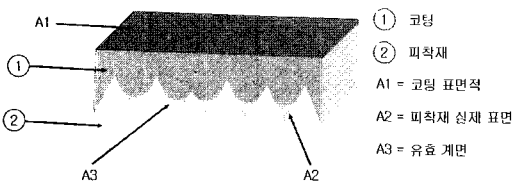


그림 3. 접착력을 결정하는 표면 영향을 나타내는 도식도.

이상에서는 거의 작용하지 않기 때문에 우수한 접착을 달성하기 위해서는 코팅제와 피착재간의 매우 친밀한 접촉 즉 우수한 젖음을 달성해야하는 것은 명백한 사실이다.

접착 메카니즘의 과학적 조사를 위해 피착재 표면 구조를 고려한 실제 일반적 면을 간주하는 것이 필요하다. 그러나 성능 특성을 평가하기 위해서는 이러한 방법으로 계산된 지시계는 큰 의미가 없다. 이 경우는 거시적으로 측정된 피착재 표면 혹은 코팅 표면이 더 실제적인 표준 인자라고 할 수 있다.

3.2.2 표면장력과 표면에너지

고체 혹은 액체 표면의 분자들 혹은 원자들은 그들 내부의 분자 혹은 원자들과는 상당히 다른 환경에 있다. 내부에서는 각 분자들이 유사한 분자들에 의해 둘러싸여 있고 또한 인력과 척력에 의해 적정거리를 유지하고 있다. 그러나 표면에 존재하는 분자들의 경우는 위쪽으로는 공기와 같은 다른 물질과 내부로는 동일한 분자들과 상호작용을 하고 있기 때문에 내부에 존재하는 분자들과는 다른 환경에 놓여있게 된다. 따라서 내부의 분자들이 표면에 존재하는 분자들을 안쪽으로 끌어당겨 표면적을 최소화 하려는 경향이 있으며 이로 인해 액체의 표면장력이 발생하게 된다. 이에 더불어 표면에 존재하는 분자들의 간격은 내부보다 크기 때문에 표면이 더 높은 에너지 상태가 되어 내부로부터 표면으로 분자들을 이동시키기 위해 일이 필요하게 된다. 따라서 액체의 단위 표면적 증가에 수반되는 Helmholtz 자유에너지 증가를 표면장력이라고 한다.

3.2.3 젖음과 경화(setting)

코팅제는 코팅되어지는 피착재와 친밀히 접촉하고 표면에 자유로이 확산될 수 있어야 한다. 그러므로 코팅제는 액체 상태로 적용되어야 하며 고체 표면의 작은 틈새 안으로 쉽게 흘러들어갈 수 있어야 한다. 또한 고체 표면상에 흡착된 수분 혹은 산소와 같은 불순물들을 제거하여 약한 경계층 지역이 발생하지 않아야 한다. 그 후 코팅제는 강

인한 고체로 경화될 수 있어야 하며 경화되는 동안 계면 응력이 크게 형성되지 않도록 부피 변화가 크지 않아야 한다. 따라서 코팅제와 피착재의 열팽창 계수가 크게 다르지 않아야 한다.

코팅제의 경화는 냉각, 용매 증발, 화학반응 등에 의해 발생할 수 있는데 이 중 용제형 접착제가 경화하는 동안 가장 수축율이 크다. 예를 들어 에폭시 수지의 경우는 약 3% 정도 밖에 수축하지 않기 때문에 접착제로 우수한 성능을 나타내는 이유 중의 한가지가 된다.

고체 표면에 액체의 젖음 정도는 그림 4에 나타난 바와 같이 고체 표면에 액체를 떨어뜨려 접촉각 θ 를 측정하여 평가할 수 있다. 접촉각이 0° 일 때 액체는 고체 표면에 자유롭게 확산되어 완전한 젖음을 달성하였다고 말할 수 있다. 이러한 완전한 젖음은 액체와 고체 분자들 사이의 인력이 액체 분자들간의 인력 보다 클 때 달성될 수 있다. 표면장력은 Young이 제안한 식(1)을 이용하여 접촉각과 연관시킬 수 있다.

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta \quad (1)$$

여기서 γ_{sv} 는 고체-공기 표면장력, γ_{sl} 은 고체-액체 표면장력, γ_{lv} 는 액체-공기 표면장력을 의미한다. 공기층이 흡착되어 있는 고체의 표면장력 γ_{sv} 는 일반적으로 진공 상태에서 고체 자체의 표면장력 보다 작기 때문에 이 차이를 확산 압력 (π_s)이라고 한다.

$$\pi_s = \gamma_s - \gamma_{sv} \quad (2)$$

그러나 액체 표면장력은 진공 상태에 거의 영향이 없기 때문에 $\gamma_{lv} = \gamma_l$ 이다.

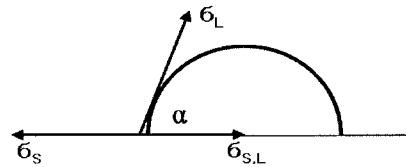
액체가 고체 표면에 우수한 젖음을 달성할 수 있는지의 여부는 액체와 고체의 표면장력에 달려 있는데 식 (3)과 같이 확산계수(spreading coefficient) S_{sl} 은 표면장력과 연관이 있다.

$$S_{sl} = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} - \gamma_{lv} \quad (3)$$

S_{sl} 값이 클수록 액체의 젖음성과 확산 정도가 우수하다는 것을 의미하며 작아질수록 젖음성이 감소하여 고체와의 접촉각이 점점 커짐을 의미한다.

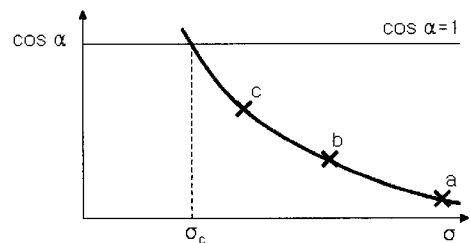
액체의 표면장력을 측정하는 방법은 여러 가지가 있지만 고체의 경우는 표면장력을 직접적으로 측정할 수가 없다. 따라서 고체의 경우는 표면장력을 측정하고자하는 고체 표면에 액체 방울을 떨어뜨린 후 접촉각을 측정하여 간접적으로 표면장력을 측정한다.(그림 4) 만일 액체의 표면장력 γ_l 이 피착재인 고체의 표면장력 γ_s 보다 크다면 그 정도에 따라 다른 접촉각 θ 를 얻는다. 만일 접촉각 θ 가 0 도에 가까워지면 계면장력 γ_{sl} 은 0 이 되며 따라서 $\gamma_l = \gamma_s$ 가 된다.

접촉각이 작을수록 정확하게 측정하기가 어렵기 때문에 그림 5에 나타난바와 같이 피착재보다는 표면장력이 큰 몇 가지 액체들 a, b, c 등을 사용하여 고체의 표면장력을 측정할 수 있는 Zisman법을 이용한다. 그림 5에 나타난바와 같이 표면장력이 다른 a, b, c 액체들을 고체 표면에 떨어뜨린 후 접촉각을 측정하여 액체의 표면장력에 대해 접촉



$$\gamma_s = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cdot \cos \alpha$$

그림 4. 고체 표면에 액체의 젖음 현상.



σ_c =critical surface tension

그림 5. 고체의 임계표면장력을 구하기 위한 Zisman Plot.

각을 코사인 값으로 그린다. 그 후 $\cos \theta = 1$ 이 되는 값으로 그래프를 외삽 시키고 만나는 지점을 고체의 임계표면장력 γ_c 로 결정한다.

물론 이러한 방법으로 결정된 임계표면장력이 실제 피착재의 표면장력과 상이할 경우가 있을 수 있다. 그러나 Good의 상호작용 계수 ϕ 를 사용하여 식(4)와 같이 임계표면장력 γ_c 를 피착재 표면장력 γ_s 로 전환하는 것이 가능하다.

$$\gamma_c = \phi^2 \gamma_s \quad (4)$$

상호작용계수는 결합 지역 최대 수를 양적으로 표현하는 계수라고 할 수 있다. 고분자 상호작용을 위해 이 값을 계산하는 것은 어렵기 때문에 보통은 실험적인 방법으로 측정된다. 만일 코팅제와 피착재의 모든 극성기들이 상호작용 할 수 있다면 Good 인자는 1이라고 가정한다. 그러나 이 값은 0.3 근처 까지도 감소할 수 있다.³

3.2.4 열역학적 접착일 (Thermodynamic Work of Adhesion)

열역학적 접착(W_a)은 단위 면적의 계면을 형성하는데 필요한 가역적 일을 의미하며 식 (5)와 같이 표현할 수 있으며 Dupre 식이라고도 한다.

$$W_a = \gamma_l + \gamma_s - \gamma_{sl} \quad (5)$$

경험적으로 볼 때 코팅제와 피착재의 표면장력 관계가 최적 조건으로 조정되었다고 항상 최적의 접착을 달성하지는 않는다. 실험과 이론 간의 최적 일치하는 만일 표면장력이 모든 van-der-Waals력과 수소 결합력을 모두 내포하는 총 값으로 고려하지 않는다면 얻어질 수 있다. 표면장력을 분산과 극성 요소에 의해 야기되는 표면장력인 γ^d 와 γ^p 로 분리할 경우 즉 $\gamma = \gamma^d + \gamma^p$ 라면 만일 피착재와 코팅제의 극성 요소가 동일한 값이라고 가정할 경우 가능한 최대 접착력에 관한 더 정확한 예상을 할 수 있게 된다. 그러므로 가능한 최적 접착은 γ_l/γ_s^p 가 1에 근접할 경우 달성된다.

임의의 접착 시스템의 가능한 최적 접착이 접착

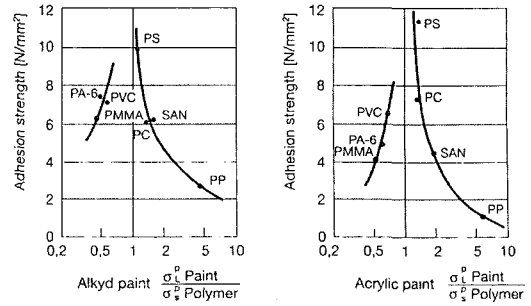


그림 6. 표면장력 극성 요소들의 비율이 접착력에 미치는 영향.

력의 절대값을 의미하지는 않는다는 것을 주목해야 한다. 상호작용하는 표면들의 극성 때문에 접착은 진행되지만 단지 표면장력의 조정에 의해 접착이 최적화된다는 것이다. 접착을 위해 피착재와 코팅제 표면장력들의 극성 요소 간의 비율의 중요성은 다양한 플라스틱을 사용하여 입증되어 왔다.⁴ 예를 들어 아크릴 수지와 알키드 수지의 경우 그림 6에 나타난바와 같이 체계적인 관계가 성립한다.

극성과 분산 요소들을 측정하기 위해 여러 연구자들이 실제적인 시도를 하였으며 계면장력은 개별 구성요소들의 기하평균으로 나타내진다.⁵ 만일 $\phi = 1$ 일 경우 식 (6)과 같다.

$$\gamma_{sl} = \gamma_s + \gamma_l - 2\sqrt{\gamma_s^d \gamma_l^d} - 2\sqrt{\gamma_s^p \gamma_l^p} \quad (6)$$

Young 식인 식 (1)을 이용하고 접촉각을 측정하기 위해 γ_l^d 값을 알고 있는 액체로 젖음 시험을 수행하고 추가적인 수학적 과정을 거치게 되면 식 (7)과 같이 피착재 표면장력의 분산요소(γ_s^d)와 극성요소(γ_s^p)를 계산하는 것이 가능해진다.

$$\frac{\gamma_l(1 + \cos \theta)}{2\sqrt{\gamma_l^d}} = \sqrt{\gamma_s^p} \sqrt{\frac{(\gamma_l - \gamma_l^d)}{\gamma_l^d}} + \sqrt{\gamma_s^d} \quad (7)$$

($y = ax + b$)

3.2.5 실제 접착

최적화에도 불구하고 종종 모델 물질들을 사용하여야만 만족스러운 이론과 실제의 일치를 얻는

것이 가능한 경우가 있다. 그 이유는 계면에서의 수축 흡착과 코팅제의 경화로 인해 발생하는 수축 때문에 계면에서의 예측되지 못하는 변화 때문이다.

결합력이 작용하는 영역은 극히 작기 때문에 코팅제 젖음에 방해가 될 수 있는 모든 종류의 불순물들이 피착재에 존재하지 않도록 세심한 주의를 기울여야 한다. 그러므로 피착재에 코팅을 하기 앞서 불순물, 먼지 및 오일 잔류물 등을 제거하기 위한 전처리 과정을 거치는 것이 표준 절차이다. 특히 금속 코팅의 경우 인산염 처리와 크롬산염 처리와 같이 표면에 막을 형성시켜주는 전처리 공정이 신뢰성 있는 젖음을 줄 수 있는 공정으로 입증되어 왔다. 불용, 결정, 강한 염 혹은 산화층의 체계적인 형성은 피착재의 표면적을 크게 증대함으로써 결합 강도를 상승시키는 효과가 있다.

플라스틱과 다층 코팅의 경우에서와 같이 피착재를 팽윤시킬 수 있는 용매의 영향은 피착재의 가교도에 따라 이로운 혹은 해로운 영향을 줄 수 있다. 예를 들어 과 경화된 코팅의 결합강도는 팽윤 개시의 정도가 감소하기 때문에 감소된다.

만일 계면 특성이 알려져 있고 젖음을 방해하는 요인들이 제거되어 진다면 접착력의 온도 의존성을 조사함으로써 접착을 위해 요구되는 활성화 에너지의 계산이 가능해 진다. 활성화 에너지를 계산함에 의해 접착에 기인하는 결합력의 본질이 무엇인가를 구분할 수 있다. 그럼에도 불구하고 고분자 코팅의 접착강도 이론은 신뢰성 있는 결합강도 혹은 접착을 예상하기에는 논란의 여지를 남겨놓고 있다.⁶

이론적인 혹은 이상적인 결합 강도를 달성할 수 없다는 사실을 어떻게 설명할 수 있을까? 또한 고체 재료의 응집강도 역시 이론적인 값보다 훨씬 적을 수 있다. 오직 실리콘, 그래파이트, 철과 같은 단결정들만이 측정된 인장강도가 이론적인 인장강도에 근접한다.

모든 접착 결합은 결합이 있으며 또한 약한 경계층을 포함하고 있기 때문에 접착강도는 항상 이론적인 값보다 적을 수밖에 없다. 접착력을 평가하기 위한 모든 파괴 시험들은 이들이 인장, 전단

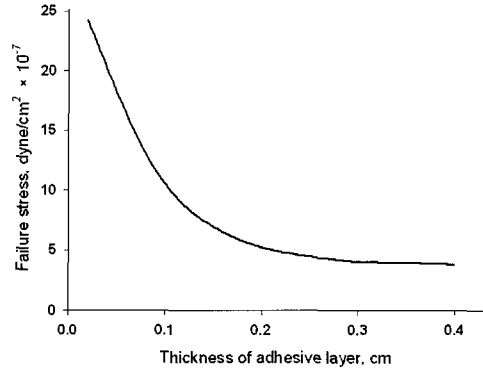


그림 7. 접착강도에 접착제 층 두께가 미치는 영향.

혹은 벗김(peel) 등 어떠한 형태로 수행되던 간에 응력 집중이 발생하게 된다. 응력이 매우 작은 면적상에 균일하게 분포되어있지 않다면 분명 평균 응력을 초과하는 응력 집중 지역이 있을 것이다. 그림 7에 나타나 있듯이 측정된 접착 파괴강도는 접착제 두께가 증가할수록 감소하며 결합의 외면에서의 인장 응력이 내면 응력 보다 더 높다는 사실은 잘 알려져 있다. 만일 결합으로 인해 부분적으로 응력이 집중된다면 결합의 분열이 시작되어 결국에는 접착 파괴가 발생하게 된다.

결합된 부분에 전단력이 가해지면 이 부분에는 전단응력 집중 현상 뿐만 아니라 인열 응력도 집중되게 된다.⁷ 벗김 시험은 고의적으로 응력 집중을 부과하는 시험방법이다.

변형과 흐름 역시 응력 집중과 파괴 현상에 기여한다. 접착제의 기계적 특성과 피착재의 기계적 특성을 일치 시키는 것이 접착의 측면에서는 바람직하지만 달성하기는 쉬운 일이 아니다. 대신에 접착제를 좀 더 강인하게 하고 크랙 성장을 억제하는 재료를 첨가하여 설계함으로써 결합을 파괴하기 위해 요구되는 에너지를 최대화 한다.

많은 경우 접착제와 피착재의 계면을 정확하게 정의할 필요가 있다. 특히 구조용 접착제로 알루미늄과 알루미늄을 접착시킬 때 알루미늄 표면은 형성된 방법에 따라 상이한 산화알루미늄이기 때문에 강도와 다공성 정도가 다를 것이다. 접착제는 산화층 필름으로 침투하여 고착되기 때문에 결

합 강도는 강하고 잘 결합된 산화층을 만드는 표면처리에 의해 크게 상승될 수 있다.

결합강도는 종종 프라이밍에 의해 향상되어질 수 있는데 대표적인 예로써 가황된 고무와 강철의 접착시 강철을 먼저 구리로 코팅을 한 후 열과 압력을 주어 구리로 코팅된 표면상에서 고무 혼합물을 경화 시키면 우수한 접착을 달성할 수 있다. 고무 혼합물에 포함된 황이 구리와 화학결합을 하며 구리는 강철과 강하게 결합되어 결국 우수한 접착을 달성하는 것으로 알려져 있다.

프라이머 처리는 종종 플라스틱에 접착제를 결합시키기 위해서도 사용된다. 예를 들어 셀로판 필름에 천연고무 로진 접착제가 코팅된 초기 접착 테이프의 경우 습한 환경에서 접착제가 필름으로부터 분리되는 경우가 있었다. 이러한 문제점은 셀로판에 천연고무와 카세인 혼합물로 얇은 프라이밍 코팅을 먼저 하고난 후 그 위에 접착제를 코팅함으로써 해결될 수 있었다.

표면 코팅이 어려운 대표적인 재료들인 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 및 테플론 등은 예를 들어 코로나, 플라즈마 혹은 화학적 표면처리에 의해 표면을 더욱 극성이 있게 또한 화학적 활성을 부여함으로써 코팅 강도를 개선할 수 있다. 이러한 처리 방법들은 또한 약한 경계층을 제거하는 역할도 한다.

3.3 피착재의 표면처리

최적의 접착을 달성하기 위해서 피착재의 세정 공정 혹은 전처리 공정이 코팅 공정에 앞서 선행되어야 한다. 따라서 코팅재료뿐만 아니라 피착재의 선정 및 처리가 최적 접착을 달성하기 위한 요구사항임을 알 수 있다.

강하고 내구성 있는 접착을 달성하기 위해서 피착재의 표면을 결합하기 전에 종종 전처리한다. 일반적으로 피착재를 전처리하게 되면 다음 중 한 가지 혹은 그 이상으로 표면지역의 변화가 발생한다.

- 약한 경계층의 제거
- 표면 지형의 변화
- 표면의 화학적 특성에서의 변화

- 표면 물리적 구조의 개질

3.3.1 폴리올레핀

거의 모든 접착제 혹은 코팅제의 표면장력은 크기 때문에 매우 낮은 표면장력을 가지는 폴리올레핀과 불소계 고분자와 같은 고체 표면에 우수한 젖음을 달성하기가 매우 어렵다. 따라서 이들 표면에 강한 접착을 달성하기 위한 다수의 표면 개질 방법들이 제시되어 있다.

3.3.1.1 CASING과 플라즈마 처리

플라즈마 처리라고도 불리는 불활성가스의 활성종에 의한 가교 (crosslinking by activated species of inert gas; CASING)는 저압에서 불활성 가스의 이온들로 고체 표면을 처리해주는 공정이다. 이온은 무전극 무선주파수 방전에 의해 생성된다. 이러한 방법으로 처리된 폴리올레핀 표면은 전형적인 에폭시 접착제와 강한 결합을 형성함이 알려져 왔다. 접착 성능이 향상되는 것을 설명해주는 다수의 메카니즘들이 제시되어 왔는데 Schonhorn⁸은 CASING이 폴리에틸렌의 표면지역의 가교반응을 야기한다고 제시하였다. 준결정성 고분자가 용융 상태에서부터 냉각되어질 때 저분자량 부분들이 내부에서 생성되는 성장하는 결정영역에 밀려서 표면으로 나오게 된다고 제시하였다. 그 결과 표면지역이 상대적으로 분자량이 낮으며 이로 인해 내부 보다 약한 지역이 된다. 따라서 코팅되어질 때 이 부분이 약한 경계층 지역으로 작용하게 되어 쉽게 파괴가 유발되게 된다. 표면 지역을 가교 시키게 되면 강도도 증가하게 되고 결합력도 상승시킬 수 있을 것이다. 그러나 폴리에틸렌 표면에 약한경계층이 존재한다는 제안이 명백하게 입증되지는 않았을 뿐더러 항상 그 지역에서 파괴가 발생한다는 명백한 증거는 없다. 도리어 전처리하지 않은 폴리에틸렌과 에폭시 접착제 사이의 결합 파괴가 폴리에틸렌 표면층이 아니라 계면에서 발생한 결과도 있다.⁹

Schonhorn은 플라즈마 처리를 해도 폴리에틸렌의 임계 표면장력이 크게 변하지 않는다고 하였지만 플라즈마 처리 후 폴리에틸렌의 임계 표면장력

이 크게 상승하였다는 결과도 있다.¹⁰ 플라즈마 처리하는 동안 표면지역에서 산화 반응이 발생하였다는 것을 x-ray photoelectron spectroscopy (XPS)를 사용하여 분석하였다. 이 결과로부터 플라즈마 처리를 하게 되면 고체 표면장력을 증가시켜 접착력이 상승한다는 것을 설명할 수 있게 된다.

3.3.1.2 코로나 방전

이 처리방법의 경우 보통 공기 중에서 재료를 코로나 방전에 노출시킨다. 폴리에틸렌에 코로나 처리를 하게 되면 표면 지역에 카르보닐기와 불포화 C=C 이중결합들이 생성된다. 또한 표면 거칠음이 상당히 증가한다.^{11,12} 이 결과는 코로나가 불균일한 방법으로 고분자 표면을 분해하고 일부를 제거한다는 것을 의미한다. 폴리에틸렌의 경우 결정 부분과 무정형 부분이 공존하고 있기 때문에 아마도 코로나가 약한 무정형 부분을 선택적으로 공격하여 표면이 파여서 거친 표면을 초래하는 것으로 생각된다. 그러므로 코로나 처리된 폴리에틸렌의 결합력 상승 원인은 표면 거칠음 증가와 더불어 임계 표면장력 증가라고 할 수 있다.

Kruger와 Potente¹³는 폴리프로필렌의 경우 극성 부분은 코로나 처리 정도에 따라 표면에너지가 크게 증가하지만 비극성 부분은 크게 변하지 않는다는 것을 보여주었으며 전반적인 표면에너지의 증가는 표면산화 때문이라고 제시하였다.

Briggs¹⁴는 코로나방전 처리를 질소 혹은 아르곤 분위기에서 실시하여도 상당한 표면 산화가 발생한다고 하였다. 아르곤에서 처리한 후 XPS 분석에 의해 측정되는 표면산화의 정도를 나타내는 O1s:C1s 피크 비가 공기 중에서 동일한 처리시간 후에 얻어지는 피크비의 60~90% 정도임이 발견되었다. 산화가 이러한 상황에서 발생할 수 있고 그 메커니즘이 다소 모호하다는 것은 꽤 놀랄만한 일이다.

XPS 분석으로 코로나 처리 후 표면산화의 발생 여부를 확인할 수 있을지라도 기능기 존재 여부를 정확히 판정할 수는 없다. 산소는 하이드록실, 에테르, 에스터, 하이드로퍼옥사이드, 알데히드, 카르보닐 및 카르복실 산 기들로써 존재한다고 제시

되어 왔다. XPS 동안 방출되는 O1s 전자의 결합 에너지는 이러한 다양한 화학종들에 대해 크게 다르지 않기 때문에 이들 사이의 차별화가 불가능하다. C1s 전자의 결합 에너지가 그들의 화학적 환경에 더욱 민감하다고 할지라도 여기서 산화된 종들은 단지 C1s 피크상에 작은 어깨 정도로 나타나며 분리된 화학종들이 규명될 수 있기 전에 구성 피크로의 회선이 필요하다. 이러한 문제점을 피하기 위해 Briggs¹⁵는 선택적으로 유도된 산화 기능을 가지고 XPS 에 의해 쉽게 규명되어질 수 있는 원자를 표면으로 소개하는 반응을 선택하였다. 이 기술을 사용하여 앞서 언급한 다수의 기능기들이 산화층에서 확인되어왔다. 폴리에틸렌의 전형적인 코로나 방전 처리의 경우 농도는 표면 메틸렌 반복단위 당 $4 \times 10^{-3} \sim 1.4 \times 10^{-2}$ 이다.¹⁴

Baszkin과 동료들은¹⁶ 산화된 폴리에틸렌의 젖음성은 85 °C로 열처리함에 의해 감소된다고 하였다. 명백하게 표면에 산소를 포함하고 있는 기는 자연적으로 재료의 내부로 향하게 되어 재료의 표면 에너지가 감소하며 표면의 탄화수소 성질이 증가하게 된다. 상온에서 사슬들은 이러한 재배치를 하기 위한 충분한 활동성을 가지고 있지 않다. 그러나 온도가 상승하게 됨에 따라 이러한 움직임의 장벽이 무너지게 되고 표면 기능기들이 내부로 재배향되어 임계 표면장력을 감소시켜 결국에는 표면의 결합력을 감소시키게 된다.

3.3.1.3 산 에칭

폴리에틸렌을 코팅하기 전 일반적으로 크롬산을 사용하여 표면처리를 한다. 표면처리 후 하이드록실, 카르보닐, 카르복실 산 및 -SO₂OH 기들이 폴리에틸렌과 폴리프로필렌의 표면에 발생하게 된다.¹⁷ 폴리프로필렌의 경우는 에칭 시간과 온도가 표면 산화정도에 크게 영향을 미치지 않고 산화된 깊이가 증가한다. 반면에 폴리에틸렌은 에칭 시간이 증가함에 따라 표면 산화정도와 깊이가 증가한다. 코로나 방전 처리와 마찬가지로 산 에칭에 의해 폴리올레핀 표면의 거칠음이 증가한다. 따라서 폴리올레핀을 산으로 에칭 처리함에 의해 표면에 극성기가 생성이 되고 표면 거칠음이 증가

하여 결합력의 증가를 초래하게 된다.

3.3.1.4 Transcrystalline Growth (TG)

폴리올레핀의 결합 능력은 또한 표면 지역에 TG를 유도하는 고에너지 금속 피착재에 폴리올레핀을 성형함에 의해 증진되어진다.¹⁸ 여기서 피착재는 풍부한 결정 생성을 유도하여 계면 근처에 막대와 같은 혹은 원주 모양의 구정 형태를 초래한다. 이것이 바로 저분자량 재료를 내부로 들어가게 유도함에 의해 표면을 강화하는 것이라고 생각된다. 또한 적절한 피착재는 폴리올레핀의 산화를 촉진시켜 임계 표면장력이 상당히 증가하게 만든다.¹⁹ 이 현상은 피착재로부터 TG화 된 폴리올레핀을 주의 깊게 분리하여 젖음 실험을 수행함에 의해 조사되어 졌다. 표면 지역의 강도 증가와 임계 표면장력 증가가 이 방법으로 처리된 폴리올레핀의 접착력 증진의 원인이라고 제시되었다.

3.3.1.5 표면 그래프팅

접착력 상승을 위한 폴리올레핀 표면처리의 다른 기술로는 적절한 화학종을 표면에 그래프트 하는 방법이다.^{20,21} 하나의 예로써 폴리에틸렌을 비닐 아세테이트 단량체 속에서 감마선을 조사하게 되면 화학적으로 표면에 비닐 아세테이트가 그래프트 되어 폴리에틸렌의 접착 성능이 크게 향상된다.²⁰

3.3.2 불소 고분자

불소 고분자는 매우 낮은 표면에너지를 가지고 있으며 결합하기 전에 강한 에칭제로 표면처리를 해야 한다. 가장 일반적인 처리용액으로는 나프탈렌과 테트라하이드로퓨란 혼합액에 금속 나트륨을 용해시킨 용액이며 또 다른 용액으로는 액상 암모니아에 나트륨을 용해시킨 용액을 들 수 있다. 이러한 에칭 용액으로 처리하면 고분자 표면의 흐려짐을 초래하며, 이 흐려짐은 표면의 탈불소화로 부터 초래되는 탄소질의 잔류물이 생성되기 때문이다. XPS로 분석을 해 보면 처리된 표면에 불포화기, 카르보닐 및 카르복실 기 등이 존재함을 발견할 수 있다.²² 이러한 기능기들이 처리된 표면의 표면 자유에너지를 크게 증가시켜 젖음

성을 향상시키는 것으로 생각되어 진다. 에칭 용액으로 표면처리시 주의해야 할 점은 과도하게 오랜 시간 동안 고분자를 에칭하지 않아야 하는데 왜냐하면 과도하게 에칭할 경우 표면의 분해를 야기할 수도 있기 때문이다. 표면 분해가 야기되면 이 지역이 약한 경계층이 되어 결국에는 접착력의 감소를 초래하게 될 것이다.

Lerchenthal 등은²³ 폴리테트라플루오르에틸렌 (PTFE)에 에폭시 접착제를 접착시키기 위해 새로운 기술을 개발하였다. 이 기술은 액상 접착제 속에서 PTFE의 표면을 문지르는 것이다. 이와 같은 방법으로 접착제로 코팅된 피착재들을 서로 접합시킬 경우 접착제를 코팅하기 전에 공기 중에서 피착재들을 문지른 후 접착시킨 경우에 비해 약 7배가량 높은 접착력을 얻을 수 있었다. 접착제 속에서 마찰을 시킬 경우 아마도 PTFE 표면에 라디칼 혹은 활성종들이 생성되어 이들이 접착제와 직접 반응하기 때문에 높은 접착력을 얻는 것으로 판단되었다. 공기 중에서 피착재들을 마찰시킬 경우 발생한 라디칼의 수명은 매우 짧기 때문에 접착제와 반응하지 않고 대기 중의 산소와 반응하여 소멸될 것이다.

4. 코팅 접착력 측정방법 및 측정결과 해석법

4.1 접착의 기초

만일 코팅 필름이 피착재로부터 박리가 부분적으로 발생한다고 할지라도 이 경우는 더 이상 코팅의 목적을 수행할 수 없게 된다. 코팅 재료가 실제 사용 환경에서 만나는 습기, 빛, 염분 및 가스 등 다양한 영향 아래서도 손상 없이 피착재에 확고히 접착되어야만 하는 것이 장기 내구성을 위한 필요조건이 된다. 금속의 경우 코팅하고 있는 재료가 잘 접착되어 있다면 심지어 물리적으로 코팅 표면이 다소 손상되었을지라도 금속이 쉽게 부식되지 않는다.

충분한 접착 없이 코팅의 내후성, 내화학성, 내스크래치성 혹은 내충격성 등을 논하는 것은 큰

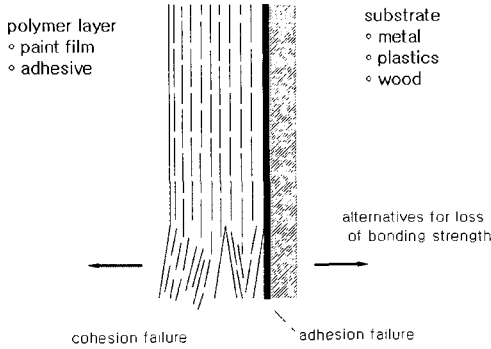


그림 8. 코팅층과 피착재의 계면에서 결합상황.

의미가 없다. 그러므로 코팅제 조성을 결정할 때 우수한 접착 성능을 고려하여 설계하는 것이 필요하다. 또한 코팅제를 도포한 후 피착재 상에서 경화시킬 때 접착강도 정도를 조정할 수 있는 적절한 방법들이 있어야만 한다. 더구나 코팅제와 피착재 사이에 파괴 현상을 분석하는 방법들도 있어야 한다.

4.1.1 계면 요소

그림 8에 나타나 있듯이 코팅제와 피착재 간에는 화학적으로 상당한 유사성이 있다. 일반적으로 코팅 재료는 고분자에 안료 및 충전제등이 포함되어 있는 형태이며 피착재는 금속, 목재, 플라스틱, 종이, 가죽, 콘크리트 및 대리석 등을 들 수 있다.

그러나 이러한 피착재들은 코팅 재료보다 일반적으로 더 강하기 때문에 만일 파괴를 야기할 수 있는 충분한 외력이 가해질 경우 코팅 재료 내에서 파괴가 발생할 것이다. 그러나 만일 계면에서의 접착강도가 코팅층 자체 강도를 초과한다면 결과적으로 코팅제의 응집파괴가 발생할 것이며 그렇지 않을 경우는 코팅제와 피착재 계면에서의 파괴가 발생할 것이다. 실제로 이 두 가지 경우가 발생할 수 있는데 코팅제의 응집파괴가 발생할 경우 최적의 접착강도를 달성했다고 볼 수 있다.

4.1.2 파괴 원인

그림 9에 나타난바와 같이 여러 가지 요인들에 의해 결합 파괴가 발생할 수 있다. 첫째로 규칙적인 기계적 응력(인장 혹은 전단)이 가해져서 재료 자체 뿐만 아니라 계면에서의 결합 강도에 영향을 미칠 수 있다.

더구나 코팅은 온도 변화를 겪을 수 있기 때문에 열팽창계수의 차이가 피착재로부터 코팅을 분리시키는 요인으로 작용할 수도 있다. 이러한 원인은 기계적 요인과 화학적 요인들 보다 덜 명백하기 때문에 특히 주의를 기울여야 한다. 물론 코팅제로 침투하고 계면에 흡착되기 시작하여 접착력을 약화시키는 화학물질의 영향도 간과할 수 없다. 따라서 접착력을 평가할 때 이상의 영향들을

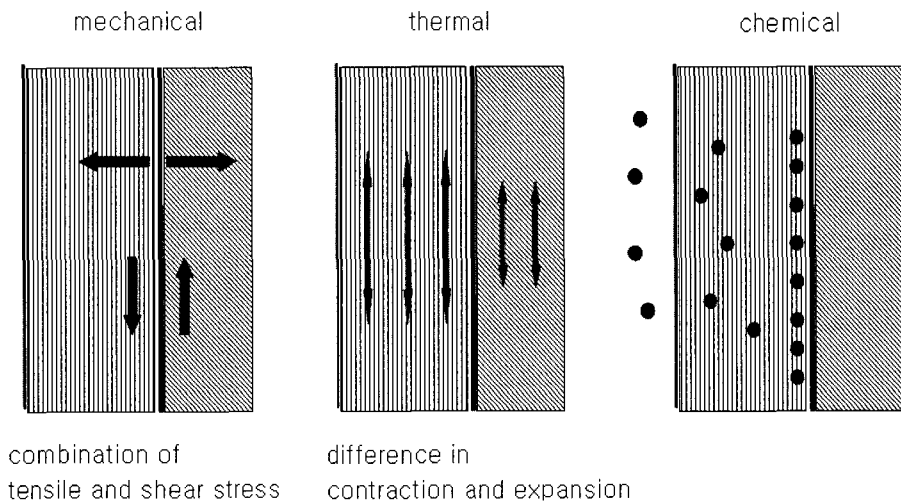


그림 9. 고분자층과 피착재 계면에서의 결합파괴 상황.

항상 고려해야만 한다.

4.1.3 접착력 측정

접착 시험에서 얻어진 결과들을 분석하는 다양한 가능성이 있다. 계면 접착강도를 평가할 필요가 있다면 측정된 값은 계면에서 달성될 수 있는 최대 기계적 응력이다. 엄밀히 말하면 이 값이 단위 면적당 힘으로 표현되는 접착강도이다.

계면에서 결합을 파괴하기 위해 필요한 에너지 역시 필요한 값일 수 있다. 이 값은 접착일로써 표현되는데 접착강도에 코팅제와 피착재가 분리된 길이를 곱한 값이다. 따라서 접착일은 단위 길이 당 힘으로 나타내어지는데 이 값은 예를 들어 peeling 시험과 같은 다른 시험 방법들에 의해 얻어지는 값과 동일하다.

4.2 접착 시험의 표준화

코팅 접착강도를 측정하는 실제적인 평가 방법들은 이미 오래전에 제시되어 왔다. 이러한 방법들이 물리적으로 명백한 원리에 입각해 제시되지는 않았을지라도 비교적 수행하기 쉬운 시험방법들이며 재현성도 우수한 방법들이다. 코팅 접착강도 측정방법들을 성능시험, 직접측정법 및 간접측정법 등으로 분류하여 그림 10에 나타내었다.

DIN EN ISO 2409에 규정된 cross hatch 시험뿐만 아니라 scratch and erasure 시험은 적용하기 쉽기 때문에 빠른 시험결과를 필요로할 때 사용된다. 시험 결과가 직접적인 접착강도를 나타내지는 않지만 표준에 대한 상대적인 손상 정도로 등급화하여 평가될 수 있다.

코팅 접착력의 정량적인 값을 얻기 위해서는 피

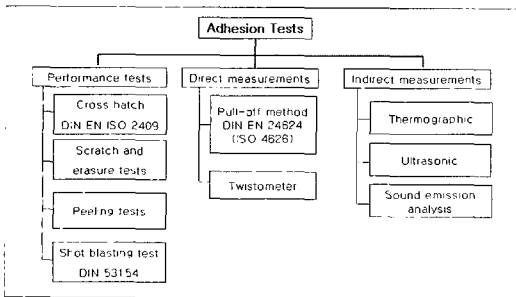


그림 10. 코팅 접착강도 측정방법의 분류.

착재로부터 코팅제를 분리하기 위해 요구되는 최소 인장응력 혹은 비틀림 응력을 측정할 수 있다. 코팅 접착력을 측정하기 위한 간접적인 방법으로는 초음파 측정법과 열 흐름 측정법 등을 들 수 있다.

접착력 정도에 대한 내용이 거의 모든 페인트 조성에 제공되어야 하기 때문에 접착력 측정을 위한 일상적인 측정법이 품질관리 분야에 설정되어 있다는 것은 놀랄만한 일은 아니다. 대표적인 측정법이 cross-cut 시험인데 페인트의 접착을 측정하고자 할 때 페인트 기술자가 선택하는 첫 번째 방법이다. 그러나 최근에는 pull-off 법으로 점차 대체되고 있다.

4.2.1 Cross-cut 시험

Cross-cut 시험은 단일층과 다층 코팅제와 피착재 사이의 접착력뿐만 아니라 개개의 층들 사이의 접착력을 평가하기 위한 단순한 실험적인 방법이다.²⁴ 만일 코팅제의 점탄성 특성들이 동일하다면 시험결과들의 상대적인 비교 해석만이 가능한 방법이다. 필름의 탄성이 높을수록 더 쉽게 파괴될 것이며 그 결과 필름의 박리력은 기계적 하중이 가해지는 동안 감소된다.

목재와 같이 피착재가 이방성일 경우 측정되는 지점마다 시험결과가 달라질 수 있기 때문에 정확한 접착력을 평가하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 이러한 경우는 이 방법이 적절하지 않을 것이다.

표준화된 시험기기는 일정한 형상과 치수를 가지는 절단 칼(cutting knife)이다. 절단 장치의 선택은 필름 두께와 코팅제 유형에 따라 달라진다. 결과적으로 두 개 이상의 칼날을 가지는 기기는 매우 경도가 높은 필름에 충분한 절단을 할 수 있게 하기 위해 상당한 힘을 필요로 한다. 따라서 이러한 경우는 단일 칼날을 가지는 기기 사용이 권장된다.

그림 11에 나타나있는 다중 칼날로 측정할 경우 피착재 표면 한쪽 방향으로 여섯 개의 수평방향 줄이 새겨지도록 절단하고 그 방향에 수직 방향으로 재차 절단하게 되면 25개의 정사각형 모양의 격자가 새겨지게 된다.

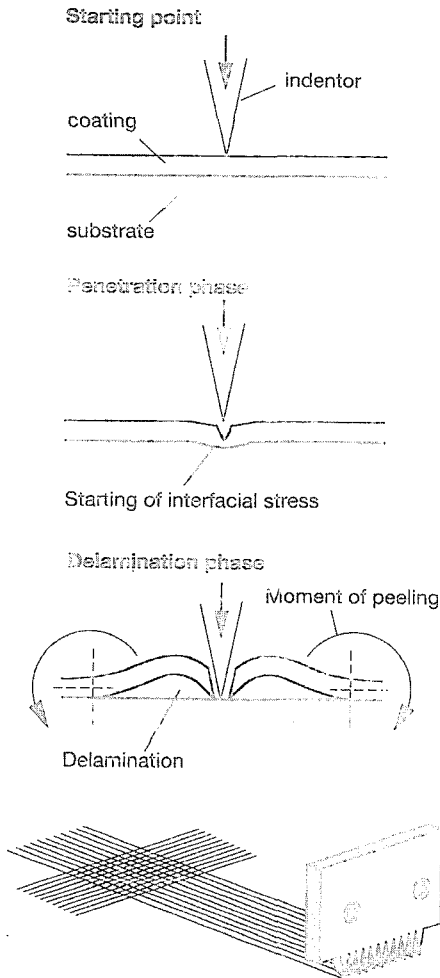


그림 11. Cross-cut 시험을 위한 다중칼날 형태.

단일 칼날을 가진 장치로 시험할 경우 정확한 간격으로 절단하여 격자 모양이 새겨질 수 있도록 접자(folding ruler)가 사용된다.

평가 목적을 위해 정해진 접착력을 가진 접착테이프를 하중을 받는 지점 상에 압력을 가해 부착한 후 가능한 한 일정한 속도로 잡아 당겨 벗긴다. 표준화된 패턴 지시계와 비교하여 Gt0부터 Gt5의 등급을 부여한다. 측정 재현성을 높이기 위해 또한 더욱 객관적인 결과를 얻기 위해 자동 장치를 사용하여 코팅제 상에 절단을 한다. 자동 장치를 사용함으로써 절단 깊이가 정확히 필름 두께에 해당하게 절단할 수 있다. 시험 결과의 평가는 패턴

분석에 의해 수행될 수 있다.

시험 결과는 그림 12에 나타난 분류 방식에 의거하여 평가한다. 그림 12에 나타난 분류 방법은 피착재로부터 분리되는 코팅 필름의 박편 양을 평가하여 분류하여 등급을 Gt0~Gt5 까지 표시한 것이다. 만일 분리된 필름의 실제 양을 판별하기가 모호하다면 솔질을 하거나 접착테이프로 분리된 부분들을 제거하여 평가한다. 일반적으로 “등급 Gt0”은 우수한 접착력을 의미하며 “등급 Gt1 혹은 Gt2”는 다소 접착 개선이 필요한 것으로 해석되어야 하며 그 이상의 등급은 코팅 접착력이 약한 것으로 평가되어 접착력 향상이 필요한 것으로 해석한다.

Cross-cut 시험의 실제적인 변형 시험은 플라스틱 피착재상에 접착력 시험을 위해 주로 사용되는 jet stream 시험이다.

이 시험방법의 영역과 절차는 ISO에 규정되어 있다.²⁵ 코팅 접착력을 평가하기 위해 피착재 부분까지 격자 모양으로 코팅 필름을 자른다. 필름을 격자 모양으로 자르기 위해 수동으로 혹은 기계적으로 작동되는 다양한 절단 도구가 사용될 수 있다. 최상의 절단 기구는 6개의 칼날이 1~2 mm 간격으로 배열되어 균일한 격자 모양의 절단을 할 수 있는 기구이다.

4.2.2 인장 법

접착면에 수직 혹은 수평으로 작용하는 하중에 의해 야기되는 계면에서의 응력 패턴이 그림 13에 나타나 있는 시험 방법의 기초로써 사용되어 왔다. Pull-off 법이 가장 널리 사용되는 절차이며 이미 국제 표준화 되어졌다.²⁶ 그림 13에 나타나 있는바와 같이 강철봉을 코팅 필름에 부착한 후 필름의 분리가 발생할 때 까지 축방향 인장을 가한다. 이 실험을 통해 얻어지는 접착강도는 계면에서 가능한 최대 인장응력이다. 그러나 만일 강철봉이 회전하도록 힘을 가한다면 계면에 전단력이 가해지게 되며 접착강도는 바로 최대 전단응력이 된다. 이 두 방법에 의해 얻어지는 접착강도 값은 거의 동일한 수준의 값을 알 수 있었다.²⁷

시험 변수로는 온도, 변형속도 및 심지어 강철

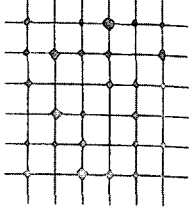
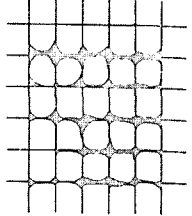
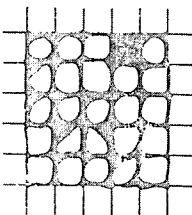
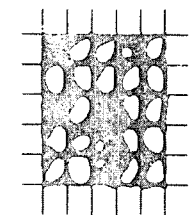
Cross hatch index	Description	Reference picture
Gt. 0	The cutted edges and completely smooth, no partly delamination	
Gt. 1	At the point of cross cuttings no fragments and seen; delaminated area ca. 5%	
Gt. 2	The coating is delaminated along the cutting lines or/and the cross section; delaminated area at about 15% of the cuttings	
Gt. 3	The coating is delaminated partially or all along the cutting lines partially in full stripes; delaminated area is about 35%	
Gt. 4	The coating is delaminated along the lines in full stripes and/or totally in segments; delaminated area is about 65%	

그림 12. Cross-cut 시험에서 코팅 접착력을 분류하는 원칙.

봉의 형태 및 크기 등을 들 수 있기에 표준화된 조건에서 측정하여야 하며 시험편의 강성도 역시 중요하며 측정하는 동안 시험편을 지지하는 것도 잘 고려하여야 한다.²⁸ 그림 14에 나타난바와 같이 변형되지 않는 피착재에 코팅한 경우 시험편을 지지하기 위해 가장자리에 클램프를 사용할 수도 있으며, 플라스틱 혹은 가죽과 같이 피착재가 유연할 경우는 샌드위치 구조로 만들어서 시험하는 것을 권하고 있다.

접착제를 사용하여 강철봉을 부착하기 때문에

시험결과에 부정적인 영향을 주지 않도록 사용한 접착제의 적합성에 대해서도 논의할 필요가 있다. 접착제 선택에도 신중을 기해야 하는데 시험될 코팅제의 접착력보다 더 우수해야 하며 더구나 접착제는 시험될 코팅제에 어떠한 팽윤도 야기시키지 않아야 한다. 일반적으로 폴리아민으로 경화되는 무용제형 에폭시 수지 접착제나 숙경화 시아노아크릴레이트 접착제가 이러한 목적을 위해 사용될 수 있으며 그 밖의 다양한 접착제들이 상업적으로 나와 있다. 시험결과 신뢰성을 높이기 위해 접착제

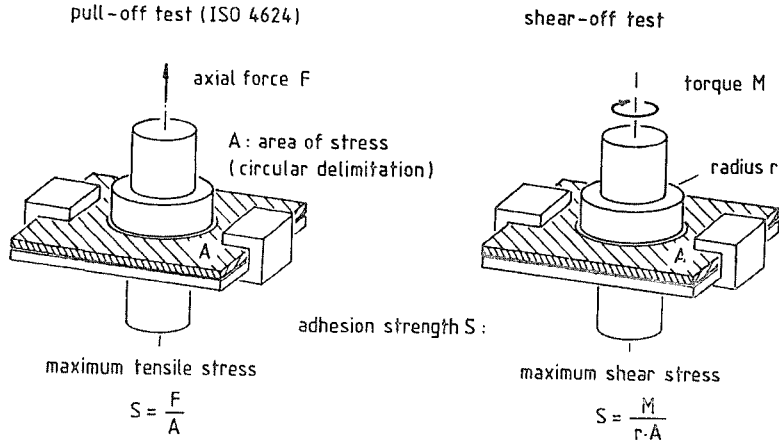


그림 13. 접착강도를 측정하기 위한 인장법.

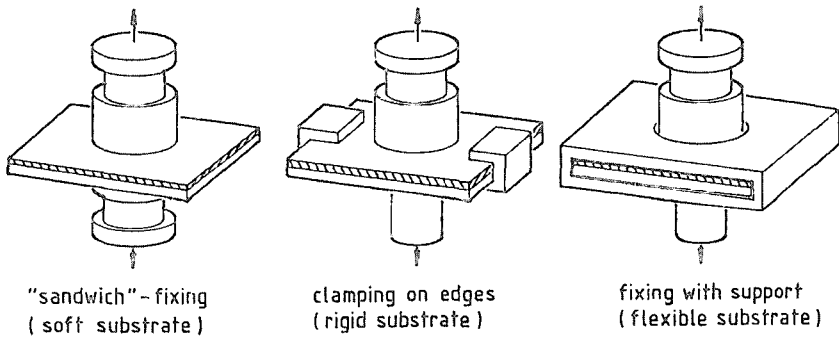


그림 14. 인장법에서 접착 강도를 측정하기 위한 시험편 형상.

구성성분이 코팅제와의 상호작용이 없어야 한다.

접착력 평가를 위해 시험 펀치를 코팅층에 붙이고 경화 후 수직 방향으로 잡아당긴다. 인장력은 수직방향으로 작용하여야만하고 응력이 가해지기 시작한 후 90초 이내에 파괴가 시험 전 지역에서 발생하도록 점진적으로 증가하여야 한다. 만일 피착제의 두께가 얇을 경우 파괴의 위험이 있으며 이 경우는 부정확한 결과를 줄 수 있다. 시험편은 두 시험 펀치 사이에 정확하게 중앙을 맞추어서 고정되며 두 시험 펀치는 동일한 축 상에 위치하도록 주의 깊게 시험편을 제작하여야 한다.

측정되는 변수는 분리가 발생할 때 적용된 인장력 F를 하중이 가해진 면적 A로 나눈 접착값 S이다. 박리된 표면의 위치와 크기 등과 같은 파괴 패턴을 분석함으로써 특히 다층 코팅 구조의 경우

코팅 접착력에 관한 추가적인 정보를 얻을 수 있다.

비틀림에 의한 코팅의 접착력 평가를 위해 Epprecht twistometer가 사용된다. 이 목적을 위해 앞서 pull-off법과 유사하게 판넬에 펀치를 부착하고 비틀림 하중을 가한다. 이 경우 그림 15에 나타난바와 같이 결합된 면적은 외경이 D이고 내경이 d인 고리 모양이다. 파괴 순간 기록되는 토크 M은 면적과 연관된 분리력인 H로 전환된다. 파괴 패턴을 분석함에 의해 코팅 시스템 내부에 가장 약한 응집력 부분을 찾아내는 것은 비교적 쉽다.

만일 코팅이 접착 파괴의 형태로 피착체로부터 전체적으로 박리된다면 식 (8)을 이용하여 얻어진 측정값으로부터 접착력을 얻는다.

$$H = M \frac{16}{\pi} \frac{D}{D^4 - d^4} \quad (8)$$

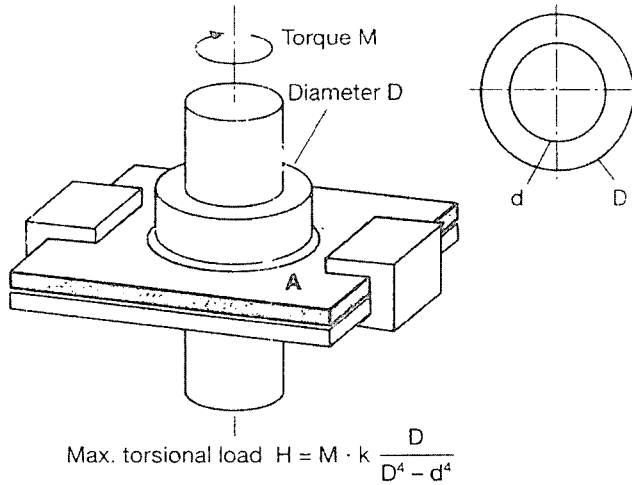


그림 15. 코팅 접착력 평가를 위한 Epprecht Twistometer.

코팅 내에서 응집과피가 발생할 경우는 직접적으로 코팅 접착력을 평가하기는 불가능하다. 이 경우 측정된 값은 단지 피착재에 대한 실제 접착력 혹은 다층 구조의 경우 층들 사이의 접착력은 측정값 보다 더 높다고 말할 수 있을 것이다.

4.3 박리 절차

계면에서의 응력 조건이 주요 고려사항인 인장 방법들과 실제 환경에서 종종 발생하는 박리 현상을 재현할 수 있는 다른 시험방법들 사이에는 확실한 차이점이 있다. 박리 현상을 평가하기 위한 경우 시험편은 peeling force를 받는데 이 힘은 예상된 선을 따라 코팅 필름과 피착재 사이의 결합

부분을 공격하여 필름이 스트립의 형태로 떨어지면서 방사상으로 부풀음의 형태로 진전되어 결국에는 박리가 일어난다. 접착 계면에서 인장력을 받든 혹은 박리력을 받든 모두 실제 발생할 수 있는 경우이므로 필요에 따라 적절한 시험방법들을 선정하여 접착력을 평가하여야 한다.

4.3.1 Knife-Cutting 법

이 방법에 의해 접착력을 평가하는 두 가지 방법들이 있는데, 그림 16에 나타나있는 바와 같이 두 방법 사이에는 유사성이 있다. 이들 중 한 가지 방법은 날카로운 칼을 이용하여 정확히 측정된 힘으로 계면을 따라 필름을 분리하는 방법이다. 이

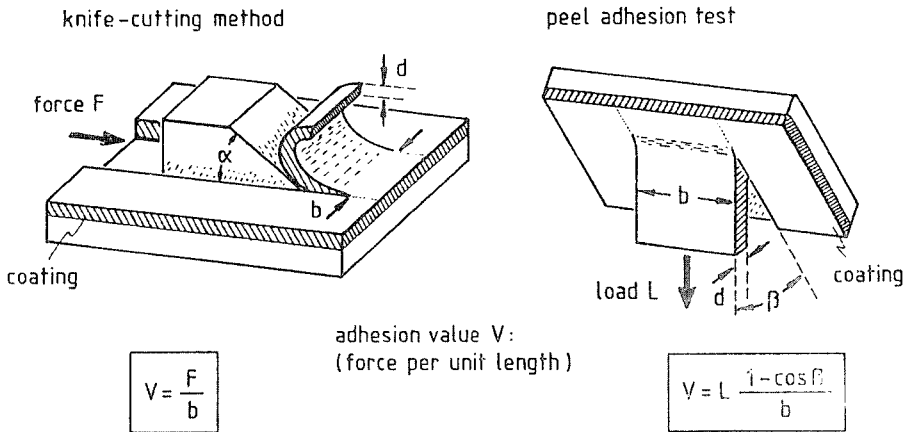


그림 16. 박리절차에 따른 접착력을 측정하기 위한 장치.

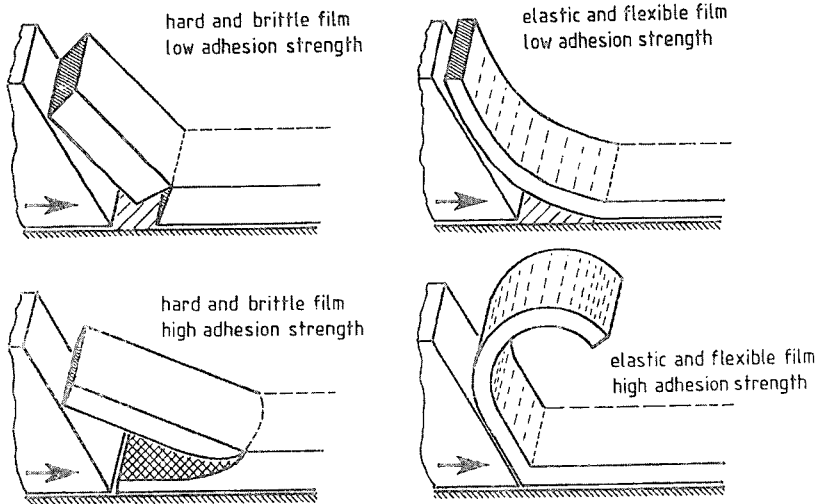


그림 17. 코팅 필름의 기계적 특성이 knife-cutting 시험결과에 미치는 영향.

방법이 단순하게 보일지라도 필름 박리를 위해 전단과 인장응력이 가해지는 복잡한 공정이다. 더구나 코팅 필름 박리 과정에 지렛대의 영향이 작용하며 이 영향의 크기는 코팅 필름에 힘이 작용하는 각도에 달려 있다.

이 방법에 의한 코팅 필름의 분리 과정은 금속의 선반 작업과 유사하다. 가해지는 힘은 칼의 각도, 코팅 두께, 칼과 코팅 필름 사이의 마찰 뿐만 아니라 필름에 저장되는 탄성 에너지와 소성변형에 의해 야기되는 에너지 손실 및 필름 내부 분해

로 인한 파괴에너지 등에 달려있다. 따라서 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해 이러한 인자들이 정확히 조절되어야 하며 그들의 영향을 가능한 한 정확히 평가하여야 한다. 그러나 많은 경우 그림 17에 나타나있는 바와 같이 이러한 인자들에 얼마나 분리공정이 달려있는지 알 수 있다.

Pull-off법과 torsional법 장치와는 별도로 코팅을 벗기기 위해 요구되는 일을 측정하고 그 값을 접착력 값으로 환산하는 것이 가능하도록 간혹 사용되어지는 방법이다. 그림 16에 나타난바와 같이

썰기공급법(wedge feed method; hesiometer)은 썰기를 코팅제와 피착재 사이 경계 표면에 위치시킨 후 수평으로 썰기를 이동시켜 코팅을 박리하는 방법이다. 필름을 박리하는데 필요한 일(W_K)은 식 (9)와 같이 나타낼 수 있으며 이 값으로부터 두 층의 접착강도를 얻을 수 있다.

$$W_K = \frac{F \cdot s}{A} = \frac{F}{b} \quad (9)$$

여기서 F = 썰기를 잡아당기는 인장력
 s = 코팅된 길이
 A = 박리된 면적 ($A = b \cdot s$)
 b = 박리되는 너비

썰기공급법은 파괴 패턴을 평가하여 접착현상에 대해 논할 수 있을 뿐만 아니라 코팅제의 경도와 탄성에 대해서도 알 수 있다.

4.3.2 Peel 시험

실제로 코팅 필름이 동시에 전 지역을 통해 박리가 일어나 파괴되지 않고 잘 코팅되지 않은 가장자리부터 혹은 선 모양의 손상 지역으로부터 점진적으로 박리가 시작되어 필름의 벗겨짐이 발생하는 경우가 있다. 따라서 이러한 조건을 재현하기 위해 peel 시험이 개발되었다.

Peel 시험은 원래 접착테이프의 접착력 시험을 위해 개발되었는데 코팅 접착력을 측정하기 위해서는 적정한 너비의 스트립 형태로 필름이 벗겨질 수 있도록 시험에 충분한 길이까지 평행하게 두

부분을 절단해 놓는다. 그림 16에 나타나있는바와 같이 시험 조건의 분석은 힘이 가해지는 각도가 중요하다.²⁹ 필름의 분리는 인장응력과 전단응력의 조합된 영향 아래서 발생한다. 게다가 코팅 필름의 점탄성 특성도 고려해야만 하는데 이 특성은 코팅 필름에 배합된 안료의 양에 영향을 받는다. 점탄성의 결과로써 시험 결과는 분리 공정의 속도에 크게 의존한다.

이 시험의 경우 규정된 너비 b 의 코팅 필름이 각도 β 로 피착재에서 벗겨진다. 불충분한 필름 자체의 응집강도로 인해 벗겨지는 동안 찢겨지지 않도록 시험편을 제작할 때 필름 중앙에 보강철사를 삽입한다. 인장력 F 는 보통 철사의 끝 부분에 무게로써 작용한다. 무게는 박리가 시작될 때 결정된다. 접착력 최종 계산시 박리력이 작용한 측정 각 β 가 간주되어야 한다.

4.3.3 Blister 법

코팅 필름 표면에 부풀음의 발생은 일반적으로 코팅 손상의 초기 징조이다. 그러므로 기포의 형태로 마침내 필름 분리가 발생하는 조건에서 그러한 코팅제의 거동을 조사하는 것이 필요하다.

그림 18에 나타나 있는 이 실험 방법은 보통 다음과 같은 방법으로 수행된다. 시험 표면에 코팅제를 도포하기 전 부풀음 혹은 기포를 발생시킬 부분에 구멍을 뚫어 놓는다. 구멍은 테플론과 같은 재료로 만들어진 마개로 막아 놓아서 후에 코팅제를 도포한 후에도 접착이 되지 않아 쉽게 마

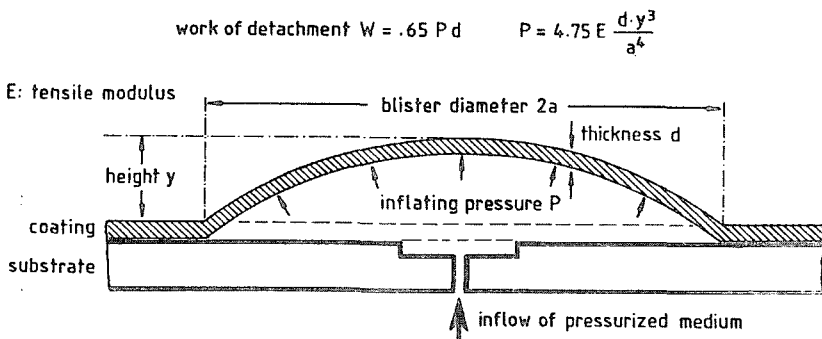


그림 18. Blister 방법으로 접착력 측정을 위한 blow-off 시험.

개를 제거할 수 있게 된다.³⁰ 또한 불꽃 침식(spark erosion) 기술을 사용하여 페인트가 도포된 후 구멍을 낼 수도 있다.

필름 분리는 유체(오일, 수은 등) 혹은 압축공기로 구멍에 정수압을 가함에 의해 시작된다. 모든 경우에 필름의 분리가 진행되는 압력을 일차적으로 측정한다. 최대응력 혹은 결합에너지(접착 일)로써 표현되는 접착력 값을 얻기 위해서 부풀음의 높이와 직경이 조정되어야만 하며 이를 위해 저배율의 광학 시스템이 사용되어진다. 부풀음 높이와 직경 데이터와 더불어 필름의 인장 모듈러스와 두께 데이터로부터 임계 압력값이 계산될 수 있다. 이 압력값이 부풀음 성장을 야기하는 압력이며 따라서 이 값이 접착강도를 결정하기 위한 기초로써 작용할 수 있다.³¹

시험편 준비뿐만 아니라 측정 절차는 비교적 복잡하지만 시험 결과로부터 부풀음 형성 메커니즘을 예측할 수 있기 때문에 복잡함에도 불구하고 접착력 측정을 위해 사용되어 진다.

4.4 Local Debonding 시스템

실제 굽힘 혹은 충격 변형과 같은 기계적 수단에 의해 코팅의 부분적 손상이 발생하기도 한다. 만일 필름에 가해지는 힘의 정도가 충분히 크다면 필름 손상이 나타나게 되고 또한 필름의 탈착이 발생할 수도 있다. 따라서 이러한 상황을 모사하여 접착력을 평가하기 위한 여러 시험방법들이 개발되었으며 이를 통해 외부 하중 부과에 의해 야기되는 필름의 손상과 계면에서의 탈착 정도를 평가할 수 있다.

4.4.1 스크래치 기술

코팅이 칼로 마찰 혹은 긁음에 의해 응력을 받는 scratch and erasure법 접착강도 시험은 숙련된 기술자들에 의해 아직도 사용되고 있는 방법이지만 그리 중요한 방법은 아니다. 이 방법은 절대적인 신뢰성 결과를 주기는 어려울지라도 숙련된 기술자들은 접착파괴를 관찰하여 코팅의 접착력, 탄성 및 경도 등에 대한 정보를 얻을 수 있다.

또 다른 변형된 방법으로는 Peter shaving 시험

을 들 수 있다. 이 방법은 마치 면도하듯이 코팅을 깎아내기 위해 면도칼이 적절한 각도를 가지고 이동한다. 코팅이 제거된 shaving 길이가 지시계에 기록되고 이 값으로 접착력을 평가한다.

필름의 굽힘 저항성뿐만 아니라 접착력을 측정할 수 있는 시험 방법의 원리를 그림 19에 나타내었다. 필름 상에 하중을 가하는 탐침(stylus or probe)은 필름 표면을 따라 이동한다. 탐침을 이동시키는 저울 시스템으로 쉽게 조정될 수 있는 가해진 하중과 결국 코팅 필름의 분리를 야기하는 전단력 사이에 관계가 있다. 필름의 굽힘을 야기하는 탐침의 끝 부분 반경을 조정하는 것이 중요한데 반경 크기에 따라 굽힘 과정 동안 접촉하는 접촉면의 너비가 결정되기 때문이다.

스크래치 방법에 의해 코팅 필름의 접착력을 평가하기 위해서는 표면 스크래치 후 표면 지형을 조사할 수 있는 주사전자현미경과 같은 장비를 이용하여 보조 데이터를 얻는 것을 권장하는데 이를 통해 심지어 다층 시스템에서의 접착 정도도 평가될 수 있다.

4.4.2 Indentation Debonding

만일 바늘과 같은 indenter 를 변형되지 않는 피착재에 결합된 코팅 필름 상에 수직으로 누른다면 대부분의 경우 필름에서 변형이 발생할 것이며 또한 계면에서 탈착이 발생할 수도 있다.

그림 20에 나타낸바와 같이 필름이 벗겨지는 순간이 indenter가 필름을 누르고 있는 지역 근처에서 필름이 박리에 견디는 정도 값으로써 계산될 수 있다.³² 이때 사용되는 indenter의 끝 부분은 60° 원뿔형으로 되어 있는 것이 권장된다. 이 시험의 장점은 수직으로 하중이 가해지는 특수한 하중 조건에서 절대 값으로 결합강도를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 코팅제와 피착재 사이의 접착 내구성도 평가할 수 있다는 것이다.

4.4.3 충격 시험

주요 방법은 아니지만 접착력을 측정하는 다른 방법으로 DIN 53154에 규정되어 있는 shot peeling 시험 수단에 의해 규정된 충격응력을 가해

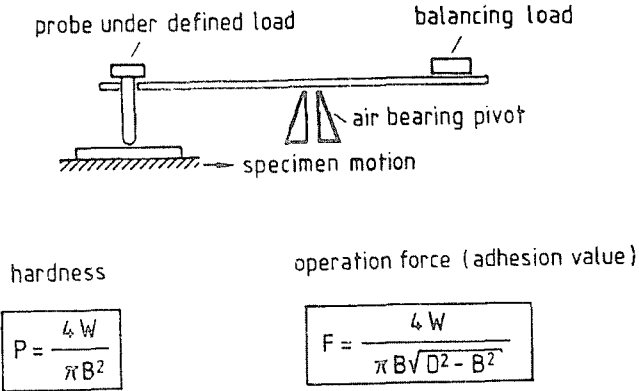


그림 19. 부분적으로 표면력을 받는 코팅 필름의 접착력을 측정하기 위한 스크래치 기술.

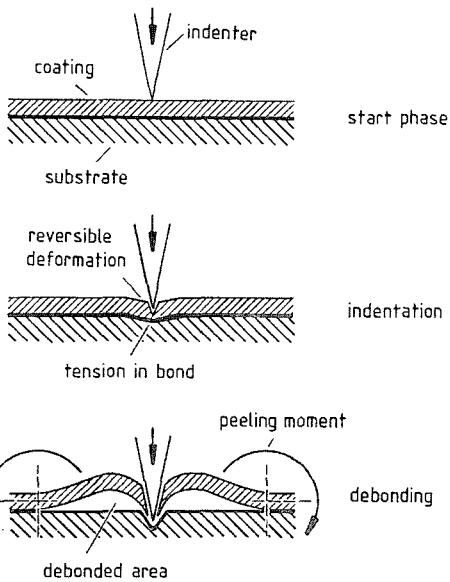
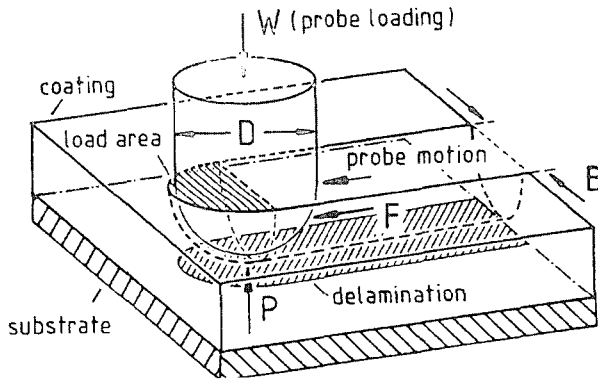


그림 20. 고분자 피착재 계면접착력 측정을 위한 indentation 방법 원리.

주는 방법이 있다. 바리가 steel shot이 표면을 때려 발생하기 때문에 결합강도를 초과하는 탄성에 의해 영향 받으며 이 방법은 다소 조합된 성능시험 방법이다.

특히 금속 표면 부식방지를 위해 코팅된 필름의 돌의 충격에 의한 접착 손상 여부를 평가하기 위한 시험이라고 할 수 있는데, 그림 21에 나타나있는바와 같이 시험편에 강철 공을 충돌시켜 실제 상황을 모사함으로써 평가한다.

이 시험에 의해 필름이 분리되는 지역에는 두 가지 유형의 응력이 작용하는데 그림 21에 나타난바와 같이 원형 모양으로 분리되는 지역의 중심부위에는 압축응력이 작용하며 그 둘레에는 전단응력이 작용한다. 계면에서의 접착력은 코팅 층이 분리되는 면적 혹은 직경으로 나타내는데 이 값이 클수록 접착력은 낮다는 것을 의미한다.

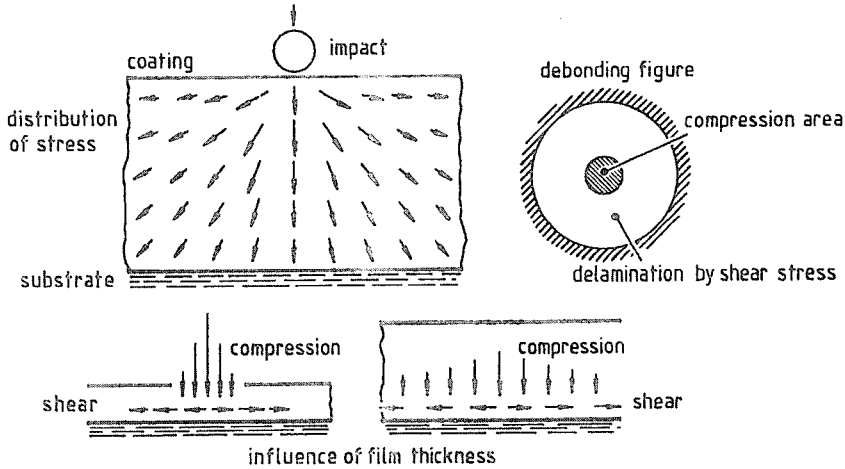


그림 21. 코팅 필름에 충격하중이 가해질 때 발생하는 원형분리 현상.

4.5 결함 발견 방법

때로는 접착력 값을 측정하기 보다는 필름과 피착재 사이의 접착강도의 손상 여부를 가능한 한 빠르게 판단하고 싶은 경우도 있다. 계면에서 매우 적은 범주의 결함도 이 범주에 속할 것이다. 그러므로 접착과피의 징후를 예측할 수 있는 시험방법들도 상당한 관심의 대상이 되고 있다.

비파괴 접착강도 측정법은 실시간 품질관리 및 개선된 실험 효율을 위해 상당히 중요하다.³³ 접착력을 측정하기 위한 thermographic 법이 이러한 유형의 시험방법에 속한다. 피착재에 대류 혹은 IR 방사에 의해 열이 전달되며 이 열은 경계 표면을 통해 코팅제에 전달이 되는데 전달 정도는 접착력에 달려있으며 코팅 표면에 열 분포($T(x)$)가 그림 22에 나타난바와 같이 적외선 카메라를 사용하여 기록된다. 불충분한 접착이 있는 영역의 경우 열 흐름이 방해받기 때문에 그 지역은 낮은 온도 분포를 나타내게 될 것이다. 이 시험방법의 단점으로는 차별화가 어렵다는 것이다. 그러나 열 흐름 측정법은 만일 접착 층에 손상을 입히지 않은 상태에서 접착력이 약한 지역을 찾아내는 방법으로는 훌륭한 측정법이라고 할 수 있다.³⁴

음향제어법(acoustic method)을 이용하여 다층 구조 시스템의 경우 결함 취약 지역을 찾아낼 수 있다. 1 MHz 이상의 주파수를 주는 ultrasonic

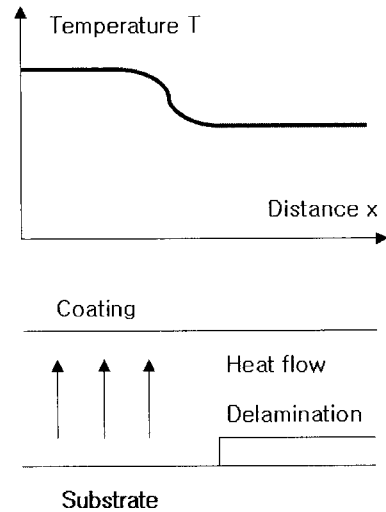


그림 22. 코팅 접착력 측정을 위한 thermographic 법.

pulse echo 법은 그림 23에 나타나있는바와 같이 계면 층과 표면층에 반사되어지는 음향을 각각 Z와 R로 기록한다. 개개의 필름 두께에 따라 측정 장치에 도달하는 시간이 달라지며 또한 접착 손상 정도에 따라 측정되는 세기(intensity)가 달라진다.

Sound emission analysis 방법은 기계적 응력을 받는 코팅은 음향 신호를 방출할 수 있다는 사실에 근거를 두고 있다. 탄성 변형에 의해 저장된 에너지는 만일 응력한계가 초과되어지면 새로운 에너지 상태로 자동적으로 변할 수 있다. 이러한 방

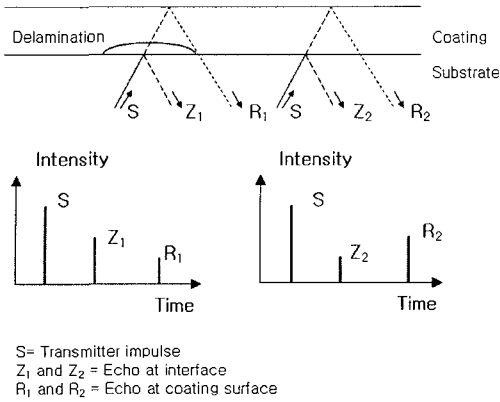


그림 23. 접착 결합의 위치와 크기를 측정하기 위한 ultrasonic pulse echo 기술.

법으로 벗어난 에너지는 파동으로 나타나게 된다.^{35,36} 측정을 수행하기 위해 코팅된 강철 판넬은 규정된 속도로 신장된다. 결합 파괴의 시작은 파괴 현상이 눈으로 볼 수 있기 전에 음파로 나타나게 된다.(그림 24 참조) 이 측정방법은 접착강도를 세밀하게 분석할 수는 없기 때문에 오직 접착의 양호 혹은 불량 등을 평가하는 간단한 방법이다.

5. 결 론

다양한 피착재에 코팅된 다양한 종류의 고분자

코팅제의 접착에 대한 많은 이론과 실제들이 제시되어 있고 또한 이들의 접착 성능을 평가할 수 있는 다양한 방법들이 제시되어 있지만, 어느 한 가지 접착시험으로 이러한 다양성을 충족시키기에는 어려움이 따를 수밖에 없다. 또한 각각의 접착력 측정 방법은 본질도 다르고 해석방법도 다르기 때문에 다른 방법으로 측정된 접착력 값들을 직접 비교할 수는 없을 것이다.

접착력 측정 방법의 선택에 특별한 규칙은 없지만 실제 사용 환경에 가장 유사한 측정방법을 선택하여 접착력을 측정하는 것이 최선이라고 할 수 있다. 많은 경우에 선택된 시험방법이 만족스러운 결과를 줄 수도 있지만 접착 시험 분야에서 계속적인 시험방법 개발은 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 현재까지 개발된 많은 시험방법들은 실제 접착 시스템에서 접착 정도를 평가하기 위해 유사한 상황을 모사하여 개발된 시스템들이다. 따라서 오늘날 성공적으로 잘 수행되고 있는 시험 방법도 머지않은 장래에 고성능의 더욱 정교한 방법으로 보완될 수 있다는 것을 예상하는것은 비현실적이지는 않을 것이다.

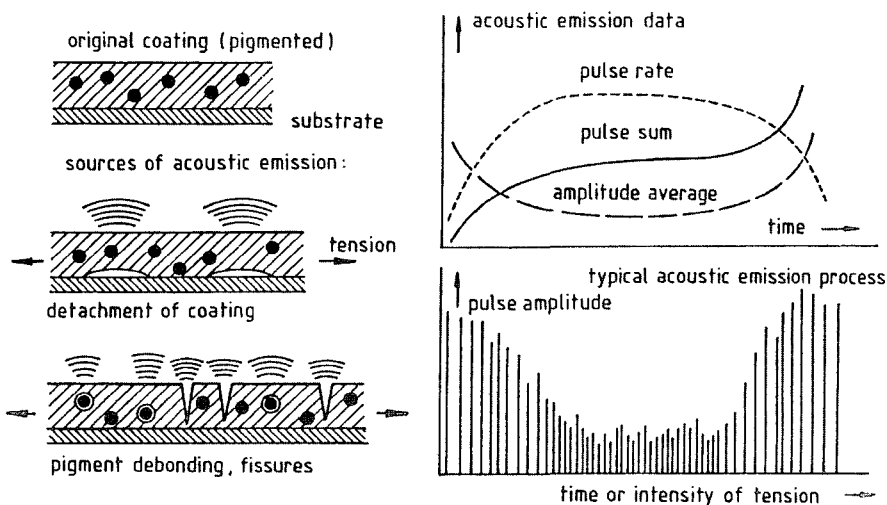


그림 24. 코팅 분리의 시작을 감지하기 위한 음파방출 분석 원리.

참 고 문 헌

1. F. M. Fowkes and R. L. Patrick, "Treatise on Adhesion and Adhesives", Vol. 1, Marcel Dekker Inc., NY, 1967.
2. B. V. Deryaguin and V. P. Smilga, "Adhesion, Fundamentals and Practice", McLaren and Son, London, p.152, 1969.
3. R. J. Good and L. A. Girifalco, "Treatise on Adhesion and Adhesives", Vol. 1, Marcel Dekker Inc., NY, 1967.
4. H. Potente and R. Kruger, *Adhäsion*, **12**, 381 (1979).
5. D. K. Owens and R. C. Wendt, *J. Appl. Polymer Sci.*, **13**, 1741 (1969).
6. K. W. Allen, *JOCCA*, **83**(1), 20 (2000).
7. M. Goland and E. Reissner, *J. Appl. Mech., Trans. ASME*, **66**, 17 (1944).
8. H. Schonhorn, "Adhesion Fundamentals and Practice", Gordon and Breach Science Publishers, NY, p.12, 1969.
9. D. Briggs, D. M. Brewis and M. B. Konieczo, *J. Mat. Sci.*, **11**, 1270 (1976).
10. N. J. DeLollis, *Rubber Chem. Technol.*, **46**, 549 (1973).
11. K. Rossman, *J. Polymer Sci.*, **19**, 141 (1956).
12. C. Y. Kim and D. A. I. Goring, *J. Appl. Polymer Sci.*, **15**, 1357 (1971).
13. R. Kruger and H. Potente, *J. Adhesion*, **11**, 113 (1980).
14. D. Briggs, *J. Adhesion*, **13**, 287 (1982).
15. D. Briggs and C. R. Kendall, *Int. J. Adhesion and Adhesives*, **2**, 13 (1982).
16. A. Baszkin, M. Nishino and L. Ter-Minassian-Saruga, *J. Coll. and Interf. Sci.*, **54**, 317 (1976).
17. D. Briggs, D. M. Brewis and M. B. Konieczo, *J. Mat. Sci.*, **11**, 1270 (1976).
18. H. Schonhorn, H. L. Frisch and G. L. Gaines Jr., *Polym. Engr. Sci.*, **17**, 440 (1977).
19. D. Briggs, D. M. Brewis and M. B. Konieczo, *J. Mat. Sci.*, **12**, 429 (1977).
20. S. Yamakawa, *J. Appl. Polymer Sci.*, **20**, 3057 (1976).
21. S. Yamakawa, F. Yamamoto and Y. Kato, *Macromolecules*, **9**, 754 (1976).
22. D. W. Dwight and W. M. Riggs, *J. Coll. Interf. Sci.*, **47**, 650 (1974).
23. C. H. Lerchenthal and M. Brenman, *Polym. Engr. Sci.*, **16**, 747 (1976).
24. L. P. Haack and J. W. Holubka, *JCT* **72**(905), 61 (2000).
25. ISO 2409 (Paint and Varnishes- Cross Cut Test).
26. ISO 4624 (Paint and Varnishes- Pull-off Test for Adhesion).
27. J. Sickfeld, *J. Oil Color. Chem. Assoc.*, **61**, 292 (1978).
28. P. C. Hopman, *J. Oil Color. Chem. Assoc.*, **67**, 179 (1984).
29. A. N. Gent and G. R. Hamed, *J. Adhesion*, **7**, 97 (1975).
30. A. Elbasir, J. D. Scantlebury and L. M. Callow, *J. Oil Color. Chem. Assoc.*, **68**, 282 (1985).
31. M. G. Allen and S. D. Senturia, *J. Adhesion*, **25**, 303 (1988).
31. H. D. Conway and J. P. R. Thomson, *J. Adhes. Sci. Technol.*, **2**, 227 (1988).
33. J. Graystone and R. Kennedy, *JOCCA*, **83**(8), 389 (2000).
34. U. Zorll, *Goldschmidt Informiert* **1**, Nr. 66, Lackadditive, p.54, 1989.
35. M. Kempe, *F+L* **102**(2), 36 (1996).
36. K. Ueda, H. Kanai and T. Amari, *Progr. Org. Coat.*, **45**, 15 (2002).