

## 점착제의 물성해석과 응용실례 (제4회)

김 현 중<sup>1</sup> · 김 대 준<sup>2</sup> 공역

### 제 2 장 점착의 메커니즘 II

$$\gamma_0/\gamma = 1 + (3\tau/\rho) = 1 + (\kappa\tau/V)(T/\eta) \quad (11)$$

### 3. 형광편광해소법에 의한 해석

형광편광해소법은 고분자용액 속의 고분자 사슬의 Chain Mobility나 동적 거동 등의 정보를 얻는 방법으로서 대단히 유효하다.<sup>[21-25]</sup> 예를 들면 고분자용액 속에 형광분자를 분산시켜 그 이방성이나 회전완화시간을 구함에 의해서 분자레벨에서 점성, 극성이나 분자간 상호작용을 평가할 수가 있다. 더욱이 형광편광해소법을 이용하여 고분자 재료인 점착제의 분자레벨에서의 점착성에 대한 특성을 얻을 수 있는 가능성이 있다. 필자 등은 아크릴계 점착제 내에 형광분자를 분산시켜서 점착제 용액 내부 및 점착 테이프 상태에서의 고분자간 상호작용에 관한 결과를 얻었으며, 아래에 상세하게 기술하기로 한다.<sup>[26-29]</sup>

#### 3.1. 해석법

회전완화시간  $\rho$  에 관련하는 파라미터(이방성:  $\gamma$ )은 다음의 식에 의해서 산출된다.

$$\gamma = (I_w - GI_{vh}) / (I_w - 2GI_{vh}) \quad (10)$$

여기서는  $I$ 는 발광강도, 아래첨자  $v, h$ 는 각각 수직, 수평방향으로 편광된 것을 나타낸다. 또 아래첨자의 제 1항은 입사광, 제 2항은 발광을 나타낸다. 식 (10)에 있어서  $G (= I_{vh} - I_{hh})$ 는 장치의 편광특성을 보정하는 파라미터로 중요하다. 강체구상회전체 모델을 가정하면  $\gamma$  과  $\rho$  와의 관계는 다음 식이 된다.

여기서  $\tau$ 는 형광분자의 근기(筋起)수명,  $\gamma_0$ 는 강체 용액에 있어서 발광 이방성비,  $\eta$ 는 점도,  $\kappa$ 는 볼츠만 정수,  $V$ 는 회전체의 체적, 및  $T$ 는 절대온도이다. 근기수명  $\tau$ 에 대한 회전완화시간  $\rho$ 는 다음 식에 의해서 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho/\tau &= 3I_F\gamma_0^{-1}/I_{F0}(\gamma^{-1} - \gamma_0^{-1}) \\ &= (3V/\kappa\tau)(\eta/T) \end{aligned} \quad (12)$$

$I_F, I_{F0}$ 는 각각 여러 가지의 농도 및 0% 농도에 있어서 형광강도를 나타낸다. 따라서  $\rho$ 는 형광편광해소법에 의해서 구해지는  $\gamma$ 로부터 산출할 수 있다.

#### 3.2. 점착제 용액 내부에서의 형광편광해소

표 2-2에 나타나는 아크릴산 2-에틸헥실, 아크릴산, 초산비닐로부터 나오는 삼원공중합체 4종류를 점착제 성분으로했다. 이들 아크릴계 점착제의 톨루엔 용액 속에 형광분자를 분산시켜 형광편광해소를 측정했다. 그림 2-14에 사용된 형광분자의 구조식을 나타내었다.

아크릴계 점착제/톨루엔의 저농도 용액에서의 점도  $\eta$  과 농도와의 관계를 그림 2-15에 나타내었다. 아크릴산이 함유된 점착제에서는  $\eta$ 의 농도의존성이 매우 작다. 저농도의 용액 속에서는 분자 내 수소결합 때문에 분자의 퍼짐이 현저히 작아져 있다고 생각된다. 한편 고농도의 용액에서는 아크릴산의 함유량이 많을수록 어느 농도부터 급격히  $\eta$ 이 증대하고 있다(그림 2-16). 분자간 수소결합이 일어나기 시작하고 있다고 추측된

• 2004년 2월 12일 접수 (received)

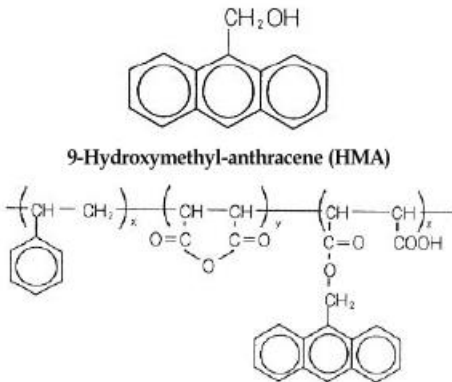
• <sup>1</sup> 서울대학교 공업생명과학대학 임산공학과, 바이오복합재료 및 접착과학연구소(Homepage: www.adhesion.org)

• <sup>2</sup> (주)삼성전기 글로벌혁신센터 생산기술팀

†주저자(Corresponding author): e-mail: hjokim@snu.ac.kr

표 2-2. 아크릴계 점착제의 조성<sup>[6]</sup>

Code	Composition ratio (mol%)		
	2-ethylhexyl acrylate	Acrylic acid	Vinyl acetate
0000	100	0	0
0500	95	5	0
0510	85	5	10
0800	92	8	0



P(Si-MA)OA

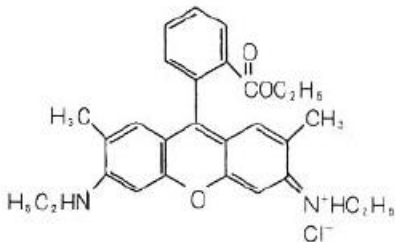
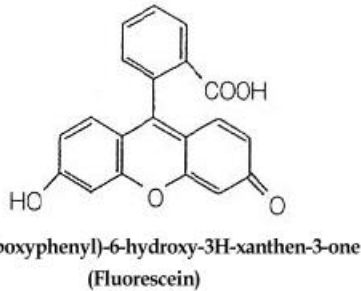
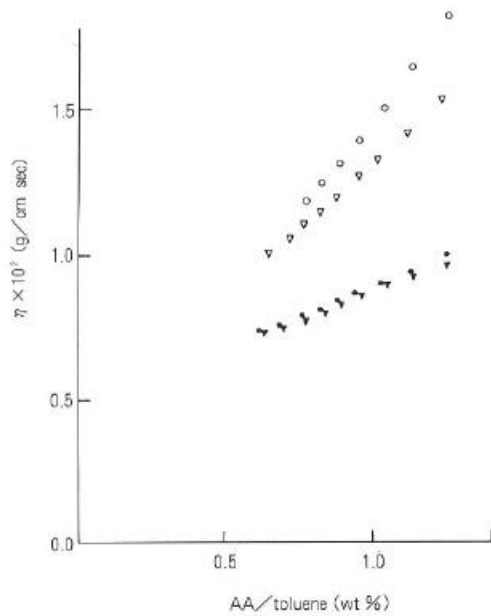


그림 2-14. 형광분자의 구조식.

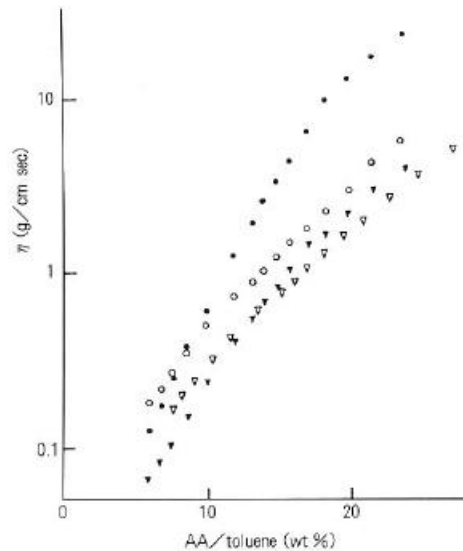
다. 또 초산비닐을 첨가하면 수소결합효과가 저하된다는 것을 알 수 있다.

형광편광해소법에 의해서 식 (12)로부터  $\rho$  를 평가하기 위해서는  $\gamma_0$ 를 산출할 필요가 있다. 글



▽) 0000, ▼) 0500, ○) 0510, ●) 0800

그림 2-15. 아크릴계 점착제/톨루엔 저농도용액에 있어서 점도의 농도 의존성.<sup>[26]</sup>



▽) 0000, ▼) 0500, ○) 0510, ●) 0800

그림 2-16. 아크릴계 점착제/톨루엔 고농도용액에 있어서 점도의 농도 의존성.<sup>[26]</sup>

리세린-물의 혼합물로 측정된 Rhodamine 6G의 형광 이방성비  $\gamma$ 의 값을  $\gamma_0 (=0.31)$ 로 했다.<sup>[30]</sup>

그림 2-17에 아크릴계 점착제/톨루엔 혼합물에

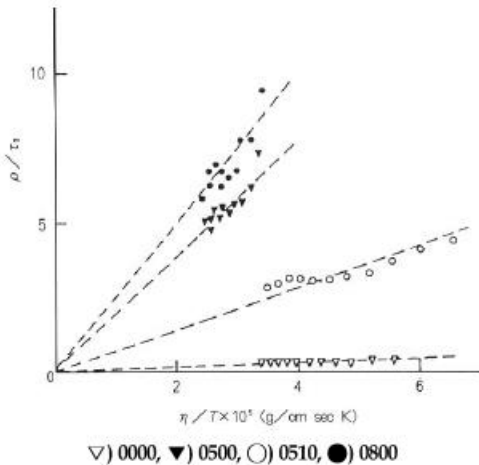


그림 2-17. 아크릴계 점착제/톨루엔 혼합물에 있어서 Rhodamine 6G의  $\rho/\tau$ 와  $\eta/T$ 와의 관계.<sup>[26]</sup>

있어서 Rhodamine 6G의  $\rho/\tau$ 와  $\eta/T$ 와의 관계를 나타내었다. Rhodamine 6G의 겔보기 회전체적(도표의 기울기)는 PEHA0800 > PEHA0500 > PEHA0510 > PEHA0000의 순으로 작아지고 있다. 아크릴산의 함유량이 많을수록 Rhodamine 6G의 회전체적이 커지므로 Rhodamine 6G와 아크릴산 단위와의 사이에 상호작용이 발생할 것이라고 추정된다. 한편 PEHA0000/톨루엔계에 있어서 Rhodamine 6G의 회전체적의 변화는 Rhodamine 6G와 아크릴산2-에틸헥실 내부의 에스테르기와 약한 상호작용에 기인한 것으로 추측된다. 초산비닐을 도입하면 아크릴산 단위와 Rhodamine 6G와의 강한 상호작용이 저하하는 것을 알 수 있다. Rhodamin 6G를 이용한 형광편광해소의 결과는 점도의 농도의존성의 결과와 일치하는 경향을 보인다.

다음으로, 아크릴계 점착제와 이종 고분자와의 상호작용을 평가하기 위해서 상호작용이 없는 9-하이드록시메틸안트라센(HMA) 및 HMA를 측쇄에 도입한 스티렌-무수말레인산 공중합체(P(St-MA)OA)를 아크릴계 점착제-톨루엔 용액에 혼합하고 그  $\rho$ 를 구했다. 아크릴계 점착제-이종고분자간의 상호작용을 이해하기 위해서 HMA 및 P(St-MA)OA로 얻어진  $\rho$ 의 비( $\rho_P/\rho_S$ )를 다음 식으로 인해 산출했다.

$$\rho_P/\rho_S = \frac{[I_{FP}^0 I_{FS}^0 \tau_{OP} \gamma_{OP}^{-1} (\gamma_S^{-1} - \gamma_{OS}^{-1})]}{[I_{FP}^0 I_{FS}^0 \tau_{OS} \gamma_{OS}^{-1} (\gamma_P^{-1} - \gamma_{OP}^{-1})]} \quad (13)$$

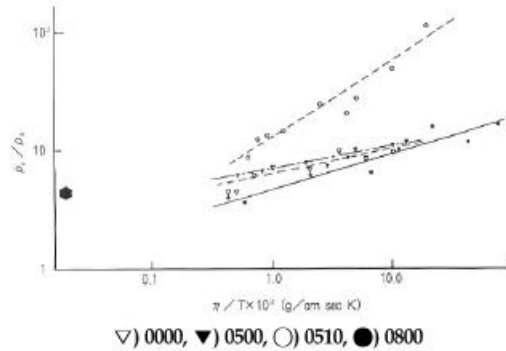


그림 2-18. 아크릴계 점착제/톨루엔 혼합물에 있어서  $\rho_P/\rho_S$ 와  $\eta/T$ 의 관계.

여기서 P, S는 각각 P(St-MA)OA 및 HMA를 나타내고 있다.  $\gamma_{OP} \sim \gamma_{OS}$ ,  $\tau_{OP} \sim \tau_{OS}$ 를 가정하는 것에 의해서 다음 식을 이끌 수 있다.

$$\rho_P/\rho_S = \frac{[I_{FP}^0 I_{FS}^0 / I_{FP}^0 I_{FS}^0] (\gamma_S (\gamma_{OS} - \gamma_P))}{[\gamma_P (\gamma_{OS} - \gamma_S)]} \quad (14)$$

여기서 HMA의  $\gamma_0^{-1}$ 는 7.8이다.<sup>[28]</sup> 아크릴계 점착제와 이종 폴리머와의 상호작용을 명백하게 하기 위해서 그림 2-18과 같은  $\log(\rho_P/\rho_S)$  vs.  $\log(\eta/T)$  도표를 나타내었다. 식 (12)로부터 겔보기의 회전체의 체적( $V_P/V_S$ )는 다음 식에 의해서 나타내어진다(도표의 기울기).

$$\rho_P/\rho_S = V_P/V_S \quad (15)$$

PEHA0510/톨루엔 혼합물에 있어서  $V_P/V_S$ 의 증가율은 다른 계에 비해 현저히 크고, PEHA0510와 이종고분자와의 상호작용은 강하다는 것을 나타낸다. 더욱이 점도측정이나 각종 형광분자에 의한 편광해소의 측정에 의해서 아크릴계 점착제 속의 초산비닐 단위는 아크릴산의 수소결합을 완화시키면 동시에 이종 폴리머와의 분자간 상호작용을 증대시키는 효과가 있다고 기대되어진다. 이상의 결과를 토대로 하여 톨루엔 용액 속에서의 아크릴계 점착제의 분자간 상호작용의 개요를 그림 2-19에 정리했다.

### 3.3. 점착 테이프 상태에서의 형광편광해소

아크릴계 점착제에 형광분자(Rhodamin 6G, Fluorescein)을  $10^{-3}$  (mol%)의 비율로 균일하

System	Interaction	Probe	Model
Adhesion-adhesion	Hydrogen bond		
Ionic chromophore-adhesion	Coulomb force		
Chromophore-adhesion	Viscosity increase		
Polymer-adhesion	Entanglement interpenetration		

그림 2-19. 점착제 용액에 있어서 상호작용의 개념도.<sup>[26]</sup>

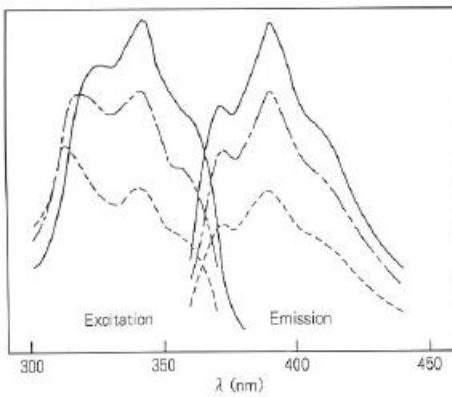


그림 2-20. PET필름의 형광스펙트라.<sup>[27]</sup>

계 분산시키고 PET필름상에 도포한 점착 테이프에 대해서 형광편광해소법에 의해 측정되어지는  $\rho/\tau$ 가 기재나 점착제의 두께에 따라서 어떻게 변화하는가를 조사했다. PET필름의 두께는 25, 38, 50  $\mu\text{m}$ 이다. PET필름만의 형광스펙트라를 그림 2-20에 나타내었다. 두께에 따라 390 nm에 있어서 발광강도가 증대하고 있으며, 이 결과는 Lambert-Beer 법칙을 적용할 수 있었다. 한편 PET에 도포한 아크릴계 점착제(PEHA0510) 속에 Rhodamin 6G를 혼합한 점착 테이프에 대해서 형광 스펙트라 및 형광 이방성비 스펙트라

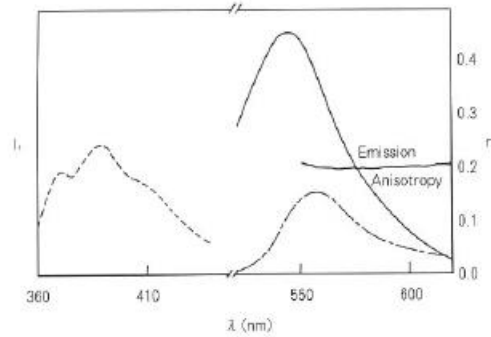


그림 2-21. PET필름의 형광스펙트라, 점착테이프 내의 Rhodamine 6G의 형광스펙트라 및 형광이방성.<sup>[27]</sup>

를 그림 2-21에 나타내었다. 형광 스펙트라의 파장은 PET에 비해서 약 150 nm shift하고 있다. 이 측정조건에서는 PET의 영향을 무시할 수 있다. 또 형광 이방성비  $\gamma$  스펙트라는 명확한 직선을 나타내고 있다.

이 결과를 기초로 Rhodamine 6G에 있어서  $\gamma$ 로부터 계산된  $\rho/\tau$  vs. PET두께 대 점착제 두께의 3차원 그래프를 그림 2-22에 나타내었다. PET의 두께가 38  $\mu\text{m}$ , 점착제층의 두께가 30  $\mu\text{m}$ 일 때 Rhodamine 6G의 회전운동이 늦어지는 것을 알 수 있다. 이 결과는 플르오로세인의 경우에도 관찰되며, 점착제의 분자레벨에서의 점성이 높다는 것을 알 수 있다. 이 현상을 해명하는 것은 이후의 과제이지만 필름과 점착제의 계면의 영향이나 PET필름의 배향의 효과를 암시한다고 판단된다.

#### 4. 평균마찰계수와 동적점탄성

여기서는 필자 등이 고안한 택(tack)의 지표가 되는 평균마찰계수(제 1장 점착의 기초를 참조)와 동적 점탄성과의 관계를 설명하기로 한다. 경화제량이 다른 아크릴계 점착제에 대해서 23°C에 있어서 평균마찰계수와 3.5 Hz에 있어서 동적점탄성( $G'$ ,  $G''$ ,  $\tan \delta$ )와의 관계를 그림 2-23에 나타내고 있다.<sup>[31]</sup>

평균마찰계수는  $G'$ ,  $G''$ 의 증가에 따라서 감소하며, -의 상관성을 가진다. 한편  $\tan \delta$ 와는 +의 상관성을 나타내고 있다. 이 평균마찰계수와  $\tan \delta$ 와의 +상관은 Flom,<sup>[32]</sup> Takemura<sup>[33]</sup> 및

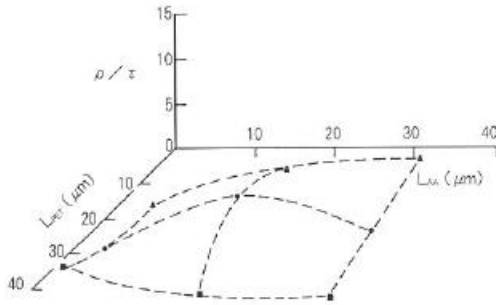


그림 2-22. 점착테이프 내의 Rhodamine 6G의  $\rho/\tau$ , PET두께, 점착제 두께의 3차원 그래프.<sup>[27]</sup>

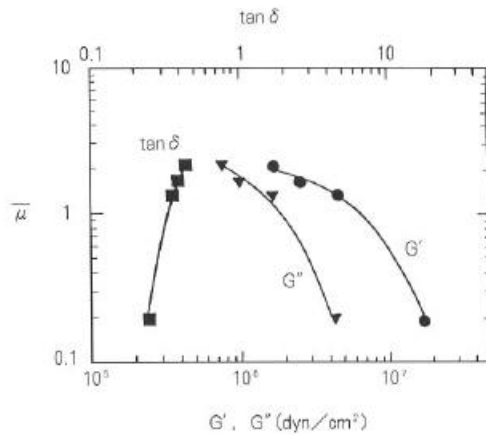


그림 2-23. 평균마찰계수와 동적 점탄성( $G', G'', \tan \delta$ )과의 관계.

Saito<sup>[34]</sup>의 이론과 경향이 일치하고 있다. 불이 점착제층 상면을 구를 때의 마찰일  $W_F$ 는 점착제의 탄성 히스테리시스형  $W_{HS}$ , 변형과정에서 생기는 점착제의 가성변형항  $W_{PS}$ , 및 불과 점착제와의 접촉에 의한 계면형성항  $W_{AS}$ 의 합으로 다음 식과 같이 나타내어진다.<sup>[34]</sup>

$$W_F = W_{HS} + W_{PS} + W_{AS} = \mu mgx \quad (16)$$

불이 구르는 중 그 전면에서 재료를 누르고 재료는 튕겨져서 후방에서 불을 밀어붙인다. 이러한 압축과 그 회복과정에서의 손실에너지는  $G''$ 에 비례해서 커진다. 또 점착제의 가성변형은  $\tan \delta$ 의 증대에 따라서 증가한다. 점착제와 불과의 접촉에 의한 계면형성시의  $W_{AS}$ 는 비가역적 점착일  $W_A$ <sup>[35]</sup>와 접촉면적  $S_a$ 의 곱으로 결정된다. 접촉면적  $S_a$ 는 점착제의 유동성 ( $G''$ 의 감소로 유동하기 쉬워짐) 및 젖음성의 증가(점착제의 표면장력이

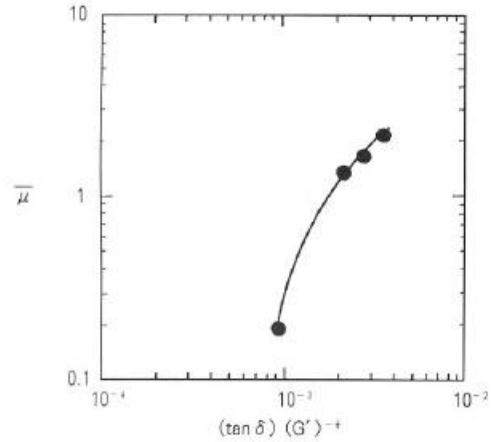


그림 2-24. 평균마찰계수와  $(\tan \delta)(G')^{-1/3}$ 와의 관계<sup>[31]</sup>

작을수록 젖기 쉬워짐)로 증대한다. 비가역적 점착일  $W_A$ 는 점착제와 피착제의  $\tan \delta$ , 및 표면장력이 커질수록 크게된다.<sup>[35]</sup> Flom<sup>[32]</sup>는 회전마찰계수  $\mu_r$ 과 동적점탄성과의 관계를 다음 식으로 나타내고 있다.

$$\mu_r = (\tan \delta)(G')^{-1/3} \quad (17)$$

그림 2-24에 평균마찰계수와  $(\tan \delta)(G')^{-1/3}$ 와의 관계를 나타내었다. 평균마찰계수는  $(\tan \delta)(G')^{-1/3}$ 와 +의 상관성을 가지고 있고 Flom의 이론과 경향이 일치하고 있다. 이 결과는 3.5 Hz에서의 평균마찰계수와 동적점탄성과의 상관성에 관해 검토한 것이며, 근본적으로는 광범위에서 측정되어져 온도-시간산화법칙에서 얻을 수 있는 평균마찰계수와 점탄성과의 비교가 필요하다. 그래서 아래에 기술한 방법에 의해서 평균마찰계수와 동적점탄성과의 관계를 정리했다.

동적점탄성 및 평균마찰계수는 각각 각주파수  $\omega$  및 초기높이  $h$ 에 의존한다. 불이 점착제 표면에 도달할 때의 초기고도  $V_0$ 은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$V_0 = (10 gh / 7)^{0.5} \quad (18)$$

초기속도  $V_0$ 은 내부모멘트  $I = (2/5) mR^2$ , 각속도  $\omega = V_0/R$  및 에너지 보존법칙  $mgh = (1/2)(m + I\omega^2)$ 에 의해서 나타낸다. 게다가  $V_0$ 은  $h$ 에 의존하고 다음 식으로 나타낸다.

$$\omega = (10 gh / 7)^{0.5} / R \quad (19)$$

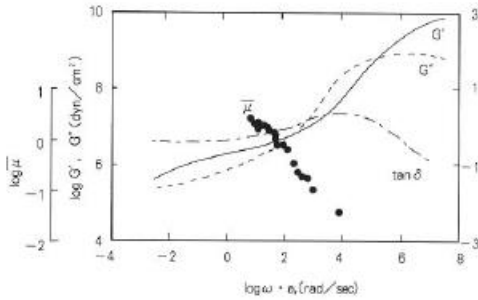


그림 2-25. PEA에 있어서 평균마찰계수 및 동적점탄성( $G'$ ,  $G''$ ,  $\tan \delta$ )의 합성곡선.<sup>[36]</sup>

R은 볼의 반지름이다. 여기서 동적 점탄성 측정에서 얻어지는  $\omega$ 는 예를 들면  $h=2.5$  cm, 볼의 지름  $2R=4/32$  inch일 때에  $372(\text{rad/sec})$ 에 상당한다고 가정했다.

폴리아크릴산에틸(PEA)에 대해서 평균마찰계수 및 동적점탄성( $G'$ ,  $G''$ ,  $\tan \delta$ )의 합성곡선을 그림 2-25에 나타내었다.<sup>[36]</sup> 평균마찰계수의 합성곡선은 여러 가지의 초기높이  $h$ , 온도에서 측정된 값을 겹침에 의해서 작성했다(그림 2-26). sift 팩터는 다음 식에 따랐다(그림2-27).

$$\log a_T = -8.86(T-T_0) / [101.6 + (T-T_0)] \quad (20)$$

여기서 기준온도  $T_0$ 은  $20^\circ\text{C}$ 로 하였다. PEA의 평균마찰계수는 유리전이로부터 고무상 영역에 걸쳐서 측정되고 있다. 이 측정범위에 있어서 평균마찰계수는  $G'$ ,  $G''$ 값의 저하에 따라서 증가하고 있다. 따라서 평균마찰계수 값은 불과 접착제와의 접촉면적에 의해서 변화하는 것으로 판단되었다. 또 평균마찰계수의 측정은 동적점탄성을 통해서 얻고자 하는 택 성능을 가지는 접착제품의 설계에 중요한 지침을 주는 것으로 기대된다.

## 5. 유지력과 점탄성

지금까지 많은 연구자에 의해서 유지력과 접착제의 역학적 성질과의 인과관계가 조사되었다. Saito<sup>[37]</sup>은 탄성률, 점도 및 접착제와 피착제와의 계면에 있어서의 비가역적 접착일을 조합해서 유지력을 이론적 측면에서 해석하였다. 한편 역학적 성질과 유지력과의 인과관계를 평가한 보고도

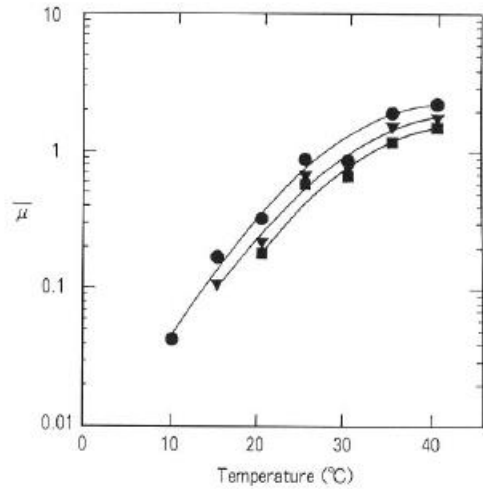


그림 2-26. PEA에 있어서 평균마찰계수의 온도의 존성.<sup>[36]</sup>

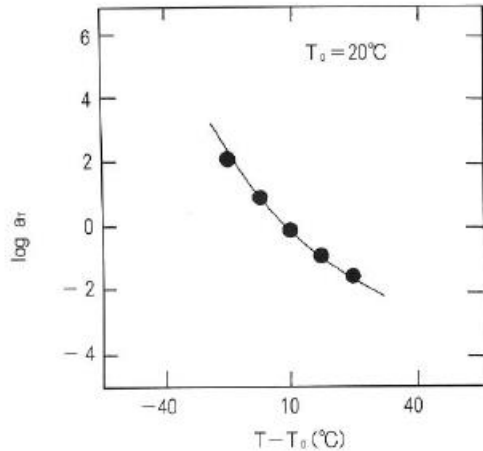


그림 2-27. PEA에 있어서 shift 팩터 ( $\log a_T$ )와  $T - T_0$  ( $T_0 = 20^\circ\text{C}$ )와의 관계.<sup>[36]</sup>

있다. 예를 들면 Krenceski와 Johnson<sup>[38]</sup>은 폴리이소부틸렌계 접착제에 대해서 유지력과 동적 점도와의 관계를 조사하고 유지력이 분자량 분포에 크게 의존한다고 하였다. Hata 등<sup>[39]</sup>은 유지력과 미끄러짐 마찰계수  $\mu$ 와의 관계를 조사하고  $\mu$ 는 고무상 평탄점성률  $G_e$ 와 밀접한 관계가 있다고 결론내렸다. 그러나 이 평가방법들은 유지력과 임의의 온도, 주파수에 있어서 탄성률과 상관하고 있고, 더욱이 유지력의 값을 떨어지는 시간만으로 평가하고 있다. 만약에 전단변형(접착제의 미끄러진 거리)의 시간의존성을 유지력의 시

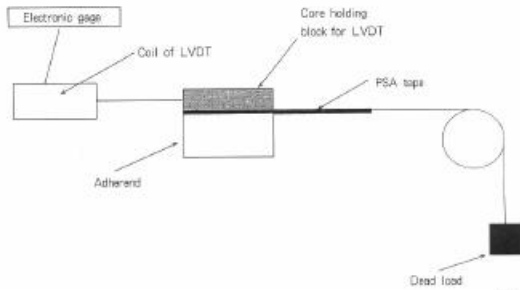


그림 2-28. 유지력 (전단변형) 측정장치의 개요도.<sup>[42]</sup>

험과정에서 평가할 수 있다면 유지력을 접착제 고분자의 역학적 특성에 의해서 해석할 수 있는 가능성이 있다.

Miyagi와 Yamamoto<sup>[40]</sup>은 전단변형의 양(서브  $\mu\text{m}$  스케일)을 시간의 함수로서 평가할 수 있는 장치를 제작했다. Zosel<sup>[41]</sup>도 Miyagi 등도 비슷한 장치를 시작하고 접착제의 전단변형량과 동적점도와의 관계를 조사하고 있다. 그림 2-28에 전단변형(유지력) 측정장치의 개략적으로 나타내고 있다. 피착체에 붙인 접착 테이프 위에 차동변압기식 전기 마이크로미터(LVDT)의 코어를 장착한 코어가 이동함에 따라 검출된 이동량을 시간에 대해서 평가하고 있다. Miyagi 등은 이 장치를 이용하여 미끄러짐과 그 회복을 평가하고 미끄러짐에는 접착제층 내부의 파괴에 기초한 '응집 미끄러짐'과 피착체와 접착제와의 '계면 미끄러짐'으로 구분할 수 있다고 하였다. 그들은 이 양쪽의 미끄러짐에 대해서 포크토 모델의 직렬결합을 가정해서 유지력을 해석하고 각 단위에 있어서 탄성률과 점성률을 산출하고 있다.

필자 등<sup>[42]</sup>은 그림 2-29와 같은 점탄성 모델을 제안하고 위의 장치를 이용하여 전단 미끄러짐의 실측값과 이론값을 비교했다. 전단 미끄러짐의 점탄성 모델은 Maxwell과 Voigt를 조합한 4요소 모델, 대쉬포트 및 마찰계수  $\mu$ 로 구성된다.  $\mu$ 은 접착제-피착체간의 계면강도와 및 미끄러짐 계수에 관계된다. 만약  $\mu$ 인자가 전단 미끄러짐에 영향을 미치고 있지 않다면 응집파괴에 기초한 점탄성 모델은  $\eta_4$ 만에 의해서 나타낼 수가 있다. 따라서 유지력  $t_c$ (낙하하기까지의 시간)은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$t_c = t_0 + t_1 \quad (21)$$

여기서  $t_0$ 은 4요소 모델로 나타낼 수 있는 전단

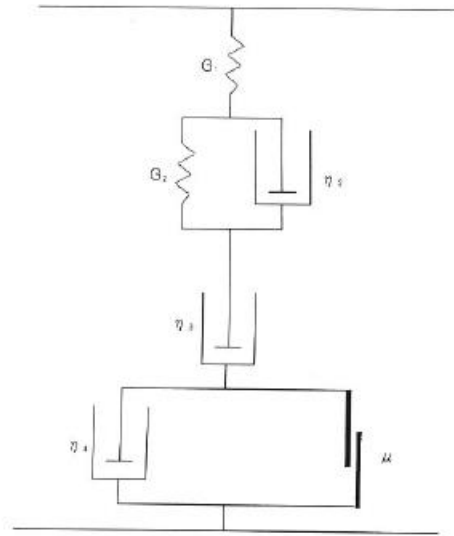


그림 2-29. 전단변형의 점탄성 모델.<sup>[42]</sup>

미끄러짐 시간,  $t_1$ 은  $\eta_4$  및  $\mu$ 로 나타낼 수 있는 전단 어긋남 시간이다. 4요소 모델에 기초한 전단 미끄러짐 거동은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\gamma = \sigma_0 \left\{ (1/G_1) + [1 - \exp(-t/\tau)] / G_2 + (t/\eta_3) \right\} \quad (0 < t < t_0) \quad (22)$$

여기서  $\gamma$ 는 전단 어긋남,  $\sigma_0$ 은 초기의 응력(계면 미끄러짐이 발생하면 접촉면적이 감소하고 결과로서 응력도 변화함) 및  $\tau$ 은 완화시간이다.

한편 전단 어긋남과 시간과의 관계가  $\eta_4$ 만으로 평가할 수 있는 경우 다음 식에 의해서 계산할 수 있다.

$$t_1 = \int_{\gamma_0}^{\gamma} dt = (A_0 \eta_4 / F) \int_{\gamma_0}^{\gamma} (1 - \gamma / \gamma_0) d\gamma \quad (t_0 = t < t_c - t_0) \quad (23)$$

여기서  $\eta_4$ 는 실험적으로  $\sigma$ 대  $d\gamma/dt$  곡선의 기울기로서 구할 수가 있다. 식(23)에 있어서 적분값은 직접 구할 수가 없기 때문에 필자 등은 다음 식으로  $\gamma$ 와 경과시간  $t$ 를 연관시켰다.

$$t_1 = (A_0 \eta_4 / F) \sum_{\gamma=1}^N (1 - \gamma / \gamma_0) \Delta \gamma \quad (24)$$

폴리아크릴산 부틸계 블렌드에 대해서  $0 < t < t_0$  ( $0 < \gamma < 1$ )의 범위에서는  $\gamma$ 와 경과시간과의 실측

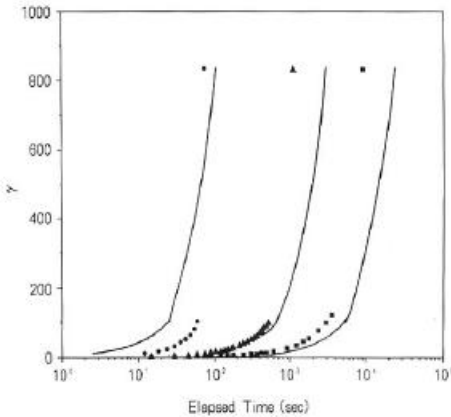


그림 2-30. 폴리아크릴산 부틸 PBA에 있어서 전단 미끄러짐  $\gamma$  과 경과시간과의 관계. (가중 (kg) :  $\blacksquare$ 1,  $\blacktriangle$ 0.5,  $\bullet$ 0.2) 실선은 계산값, 기호는 실측값을 나타냄.<sup>[42]</sup>

값은 식 (22)에 의해서 계산되어진 곡선과 일치하고 있다. 더욱이  $0 < t < t_0$ 의 범위에 있어서 전단 미끄러짐 거동은 그림 2-29 속의 4요소 모델로 평가할 수 있었다. 그림 2-30에 폴리아크릴산 부틸에 있어서  $\gamma$  과  $t$ 와의 관계를 나타내었다. 계산된 곡선은 실측값에 비해서 짧은 시간측으로 shift하고 있다. 한편 계산되어진 유지력  $t_{c.cal}$ 은 실측된 유지력  $t_{c.exp}$ 보다 길었다.  $\gamma-t$ 에 있어서 계산값과 실측값이 크게 차이가 나는 이유로서 미끄러짐의 점탄성 모델로 제시한 점착제와 피착체와의 미끄러짐 마찰계수  $\mu$ 가  $\gamma-t$  거동에 영향을 미치고 있는 것으로 추측된다. 미끄러짐 마찰을 고려한 유지력의 해석이 앞으로의 과제로 될 것이다.

### 참고 문헌

21. H. Ushiki, I. Mita, Polym. J., 17, 1297 (1985).  
 22. H. Ushiki, K. Hirayanagi, Y. Shindo, K. Horie,

and I. Mita, Polym. J., 17, 671 (1985).  
 23. H. Ushiki and F. Tanaka, Eur. Polym. J., 21, 701 (1985).  
 24. H. Ushiki, I. Wada, S. Onuki, K. Horie, and I. Mita, Chem. Phys. Lett., 125, 174 (1986).  
 25. H. Ushiki and M. Ozu, Eur. Polym. J., 22, 835 (1986).  
 26. H. Ushiki, Y. Kano, S. Akiyama, and Y. Kitazaki, Eur. Polym. J., 22, 381 (1986).  
 27. S. Akiyama, H. Ushiki, Y. Kano, and Y. Kitazaki, Eur. Polym. J., 23, 327 (1987).  
 28. 秋山三朗, 浦濱圭彬, 加納義久, 日本接着學會誌, 28, 451 (1992).  
 29. Y. Kano, H. Ushiki, and S. Akiyama, J. Adhesion, 43, 223 (1993).  
 30. H. Ushiki and I. Mita, Polym. J., 13, 837 (1981).  
 31. 加納義久, 齋藤隆則, 日本接着協會誌, 24, 136 (1988).  
 32. D. G. Flom, a) J. Appl. Phys., 31, 306 (1960); b) J. Appl. Phys., 32, 1426 (1961).  
 33. K. Minato and T. Takemura, Jap. J. Appl. Phys., 6, 719 (1967).  
 34. 齋藤隆則, 日本接着協會誌, 21, 275 (1985).  
 35. 齋藤隆則, 日本接着協會誌, 22, 9 (1986).  
 36. Y. Kano, S. Akiyama, Polym. Networks Blends, 2, 113 (1992).  
 37. 齋藤隆則, 日本接着協會誌, 21, 228 (1985).  
 38. M. A. Krenceski, J. F. Johnson, Polym. Eng. Sci., 29, 36 (1989).  
 39. 泰珠子, 塚谷才英, 水町浩, 日本接着學會誌, 30, 307 (1994).  
 40. Z. Miyagi, K. Yamamoto, and J. Adhesion, 21, 243 (1987).  
 41. A. Zosei, J. Adhesion, 44, 1 (1994).  
 42. Y. Kano, S. Akiyama, and Z. Miyagi, J. Appl. Polym. Sci., 68, 727 (1998).