

## 접착제의 물성해석과 응용실례 (제 3회)

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

### 제 2 장 접착의 메커니즘 I

#### 1. 서 론

접착은 접착과정(bonding process)과 파괴과정(debonding process)을 함께 가지는 복잡한 현상이므로 그 메커니즘은 아직까지 규명되고 있지 않은 것이 사실이다. 지금까지 많은 연구자에 의해 결합과정과 해결합 과정으로부터 접착 메커니즘의 해석이 진전되어 오고 있다.

접착제가 피착체로부터 분리하는 해결합 과정에서는 접착제의 변형작용이 접착 물성의 강도에 크게 영향을 미친다. 이런 이유로 많은 연구자들이 접착제의 접착물성과 역학적 성질과의 상관성에 대해 연구하고 있다. 예를 들면 Aubrey와 Sherri<sup>(1,2)</sup>는 고무계 접착제를 시료로 하여 박리력과 저장탄성율  $G'$ 와의 상관성을 온도-시간 합성곡선(master curve)을 이용하여 검토하고 있고, 朱<sup>(3)</sup>는 접착제 해결합 과정에 있어서 공공화 메커니즘을, 佐野 등<sup>(4)</sup>은 접착테이프 박리부의 형상관찰 및 유한 요소법에 의한 응력 해석에 대해 보고하고 있다. 어느 경우나 해결합 과정에서 접착제의 파괴작용은 접착 물성에 크게 영향을 미치고 있다.

또한 결합 과정에서는 접착제가 피착체에 접촉함에 의해 접착되기 때문에 접착제-피착체의 계면이 접착 물성에 미치는 영향은 크다. 접착물성에 대한 계면화학적 접근 예는 오래 전의 Toyama 등<sup>(5)</sup>의 보고가 있다. 그들은 표면장력이 다른 다양한 피착체와 접착제와의 프로브택을 평가하여 피착체와 접착제의 표면장력이 거의 동등할 때 택의 최대값이 얻어진다는 것을 발견

했다. Keelble<sup>(6)</sup>도 동일한 결과를 박리력 측정에서 보고하고 있다. Saito(齋藤)<sup>(7)</sup>는 접착제 폴리머의  $T_g$ 는 253 K 이하이므로 실온에서는 고분자 사슬이 매우 유연하게 되고, 이로 인해 접착 표면의 조성은 접촉하는 매체의 극성에 의해 영향을 받는다고 하였다. 따라서 접착력의 접촉시간 의존성에는 극성기의 영향도 요인 중의 하나로 추정되고 있다. 또한 접착제의 분자설계에 극성기의 영향을 고려해야 한다고 지적하고 있다.

이 장에서는 접착제의 역학적 성질 및 계면의 물성과 거동이라는 관점에서 접착물성을 바라본 연구, 및 필자 등이 진행해온 a) 형광편광해소법에 의한 접근 b) 평균마찰계수와 동적점탄성과의 관계, c)접촉각법에 의한 계면상호작용의 평가 등의 결과 등에 대해서도 함께 상술한다.

### 2. 접착물성과 역학적 성질과의 상관성

#### 2.1. 고분자의 동적 점탄성

여기서는 뒤에 소개하는 점탄성 거동과 접착 물성과의 인과관계를 겹쳐서 고분자에 있어서 일반적인 점탄성거동의 특징을 설명한다. 변형과 응력이 비례관계가 되는 물질을 탄성체(역학적 모델: 스프링), 응력이 뒤늦게 속도에 비례하는 물질을 점성체(역학적 모델: 대시포트(dash pot))라고 말하고 모든 고분자는 두 성질을 모두 가지는 점탄성체이다. 예를 들면 고분자의 응력 완화나 크립 및 그 회복 등에서 볼 수 있듯이 탄성과 점성을 동시에 가지는 역학적 거동을 나타내는

· 2003년 11월 22일 접수(received)

· 1. 서울대학교 농업생명과학대학 임산공학과 바이오복합재료 및 접착과학연구소(Homepage:www.adhesion.org)

· 2. (주)삼성전기 글로벌혁신센터 생산기술팀

· 이 내용은 加納義久(古河電氣工業(株)) 및 일본 고분자간행회의 허락에 의해 번역된 것입니다.

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

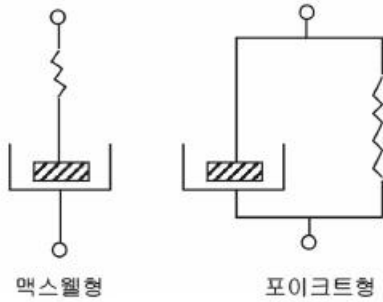


그림 2-1. 점탄성 모형.

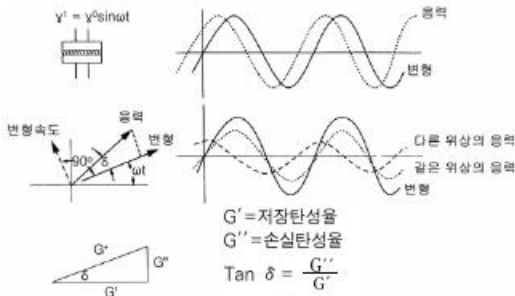


그림 2-2. 동적 점탄성시험.<sup>[8]</sup>

성질이 점탄성이다. 점탄성체의 역학적 모델은 그림 2-1과 같이 스프링과 대시포트를 이용한 직렬[맥스웰(Maxwell)]·병렬[포이크트(Voigt)]형으로 나타내어진다. 이 점탄성적 성질은 동역학적 수법에 의해서 쉽게 평가할 수 있다. 그림 2-2에 나타난 바와 같이 평행판 내에 긴 시료에 대해서 전단방향으로 진동을 주면 시간을 함수로 하는 응력 및 변형의 곡선을 얻을 수 있다.<sup>[8]</sup> 이때 탄성체에서는 응력과 변형과의 비례관계이기 때문에 응력과 변형은 동위상이 된다. 한편 점성체에서는 응력은 변형 속도에 비례하기 때문에 응력과 변형은  $90^\circ$  위상이 어긋난다. 그래서 점탄성체에서는 응력과 변형은 위상각  $\delta$  ( $\delta < 90^\circ$ ) 만큼 어긋난다. 여기서 뒤틀림과 변형은 벡터적으로 위상이 같은 성분을 저장탄성률  $G'$ , 위상이  $90^\circ$  다른 성분을 손실탄성률  $G''$ 로 분리할 수 있다. 역학적 손실 정점  $\tan \delta = G''/G'$ 는 1 사이 클당의 손실에너지와 저장에너지와의 비를 의미하고 그 값이 0일 때에 완전탄성체, 무한대이면 완전점성체가 된다.

일반적인 고분자에 있어서 동적 점탄성의 온도의존성은 그림 2-3과 같은 유리상 영역, 고무상 영역, 및 유동 영역으로 분류되어진다. 저온 측의 영역 ①에서는 고분자는 무르고 딱딱한 유리상

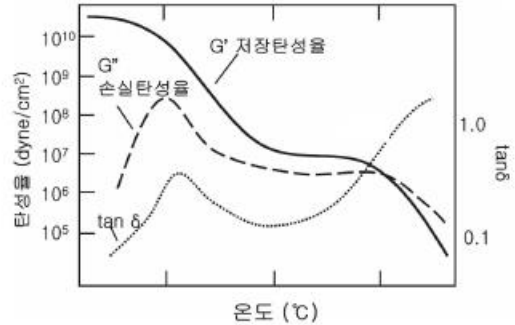


그림 2-3. 고분자의 동적점탄성.

이고 그  $G'$ 값은  $10^{10} \text{ dyn/cm}^2$  이상이다. 이 영역에서는 분자내의 국소적인 세그먼트나 측쇄 등의 운동이 일어나고는 있지만 고분자끼리는 강한 분자간력에 의해 연결되어 있기 때문에 온도가 상승해도  $G'$ 은 거의 일정한 값을 나타낸다. 온도의 상승에 따라서 고분자는 부드럽게 되어 유리전이영역에서는  $G'$ 값은  $1/1000$  정도까지 저하한다. 이 영역에서는 고분자 구성단위의 상호 위치는 변화하지 않으나 고분자사슬은 그 형상이 변화한다(세그먼트 운동). 폴리머는 여러 가지의 세그먼트를 다수 가지고 있고 각각의 세그먼트에 있어서 운동개시 온도도 다르기 때문에 유리전이 영역은 어느 정도의 온도범위를 가지고 있다.  $\tan \delta$ 곡선이 극대값이 되는 온도를 유리전이온도  $T_g$ 의 기준으로 하고 있다(점탄성-온도곡선은 측정 주파수에 의해서 변화하기 때문). 더욱이 상승하면  $G'$ 은  $5 \times 10^6 \sim 1 \times 10^7 \text{ dyn/cm}^2$  정도의 일정한 값으로 안정화된다. 이 영역이 고무상 평탄 영역이다. 고무상 평탄영역의  $G'$ 값은 뒤엎겨지는 지점에서의 분자량에 반비례한다. 또 분자량이 높아지면 고분자는 유동상태가 되고 탄성률은 급격히 저하한다. 다만 고분자를 가교시키면 분자 운동이 속박되기 때문에 유동영역은 관찰되지 않는다.  $\tan \delta$ 값은 고무상 영역에서 최소가 되고 유동영역에서는 다시 증가한다.

고분자 같은 점탄성체에서는 그 점탄성 함수가 측정온도와 속도(시간)의 함수이고 여러 가지의 온도에서 측정되어진 곡선은 속도 측에 따라서 평행 이동시킴에 의해 기준온도  $T_0$ 의 곡선에 겹치게 할 수 있다. 이것을 온도-속도(시간) 환산법칙이라고 한다. 겹치게 함에 의해서 얻어진 곡선을 합성곡선(master curve)라고 부르고 있다. 평행이동의 양  $a_T$ 는 shift factor라고 하며, 일반적으로 아래의 WLF형이나 Arrhenius형의 식

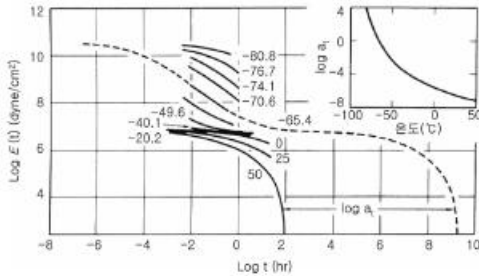


그림 2-4. 폴리이소부틸렌의 완화탄성률의 합성곡선 (master curve).

으로 나타낸다.

$$\text{WLF식} : \text{Log} a_T = -\frac{C_1(T - T_0)}{C_2 + T - T_0}$$

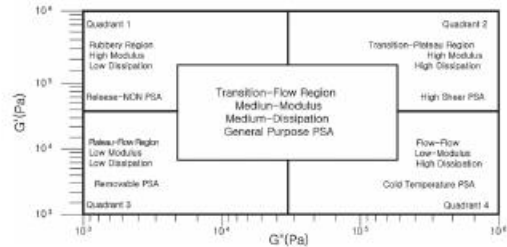
$$\text{Arrhenius 식} : \text{Log} a_T = \frac{\Delta H}{2.303R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

여기서  $C_1$ ,  $C_2$ 는 정수,  $\Delta H$ 는 활성화에너지이다. 한 예로서 폴리이소부틸렌에 있어서 완화탄성률의 합성곡선을 그림 2-4에 나타내었다. 고분자의 점탄성 함수의 실측값은 어느 한정된 타임스케일의 범위에서만 해당되지만 위의 온도-시간환산법칙을 이용하면 측정할 수 없는 타임스케일에서의 점탄성 데이터를 구할 수가 있다. 다음 부분에 동적 점탄성 데이터와 점착특성과의 인과관계를 중심으로 몇 가지의 연구보고를 상술한다.

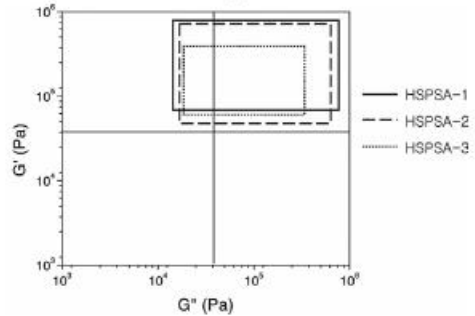
### 2.2. 동적 점탄성과 점착물성

Toyama (遠山)는 점착제로 적당한 점착특성을 가지는 폴리머의 점탄성 거동은 a)  $\tan \delta_{\max}$  온도는  $-40 \sim -20^\circ\text{C}$ , b)  $G'$ 의 평탄부분의 온도는  $0 \sim 10^\circ\text{C}$ 이며 그 때의  $G'$ 는  $10^6 \sim 10^7 \text{ dyn/cm}^2$ , c)  $G''$ 의 평탄부분의 온도는  $15 \sim 25^\circ\text{C}$ 이며, 그 때의  $G''$ 는  $10^6 \sim 10^7 \text{ dyn/cm}^2$ , d) 유동온도는  $100^\circ\text{C}$  이상에서 유지력의 기준이 된다고 보고하고 있다.<sup>[9]</sup>

Chang<sup>[10]</sup>은 점착제에 있어서 '점탄성의 창 (viscoelastic window)'의 개념을 제안하고 있다. 이 점탄성의 창은 주파수  $10^2$ ,  $10^2(\text{rad/sec})$ 에서 측정되어진 저장탄성률  $G'$ , 손실탄성률  $G''$ 값만을 이용해서  $G'$  대  $G''$ 를 도표화하여 작성한 것이다. Chang은  $G'$  대  $G''$  도표 속에 있어서 점탄성의 창의 위치에 의해서 점착제의 타입을 그림 2-5-a와 같이 분류하고 있다. Quadrant 1



(a)



(b)

그림 2-5. a) 점착제에 있어서 점탄성의 창, b) 높은 전단력을 가지는 점착제에 있어서 점탄성의 창.<sup>[10]</sup>

은 박리제, Quadrant 2는 높은 전단력을 가지는 점착제가 해당된다. Quadrant 3은 재박리형 점착제, Quadrant 4는 저온용 점착제가 해당된다. 또 일반용 점착제는 그림 속의 중앙부분에 위치한다. 한 예로서 높은 전단력을 나타내는 점착제에 대해서 점탄성의 창이 그림 2-5-b에 나타나 있다. 모든 점착제에 대해서 점탄성의 창은 오른쪽-윗 부분에 존재하고 있다. 따라서 점탄성의 창은 점착제를 크게 분류할 때에 대단히 유효하다는 것을 알 수 있다.

Tse<sup>[11,12]</sup>는 고무계 점착제에 대해서 손실탄성률  $G''$ 와 점착물성과의 상관관계를 조사하였다. 그는 점착제의 결합과정(bonding process)과 해결합과정(debonding process)을 고려해서 점착물성  $T$ 가 다음 식으로 나타내어진다고 하였다.

$$T = W_a B D \tag{1}$$

여기서  $W_a$ 는 점착제와 피착제와의 계면의 분리에 필요한 에너지(열역학적 점착일),  $B$ 는 점착제의 평탄 탄성률,  $D$ 는 해결합과정에 해당되는 인자로  $G''$ 에 의존하기 때문에 분리속도에 따라서 크게 달라진다. 점착제의 표면장력이 일정하고

표 2-1. 점착물성시험의 해결합 주파수<sup>[11]</sup>

Standard PSA test	Test frequency = $\frac{2 \pi (\text{bond rupture speed})}{(\text{adhesive thickness})}$ (rad/s)	% error
Loop	140	1.0~4.2
Peel	435	2.8~5.7
Quick Stick	870	1.2~3.4
Probe	1650	3.7~14.5

평탄 탄성률이 Dahlquist의 경험치( $10^6 \text{Pa}$ ) 이하일 때에  $W_a$  및  $B$ 는 일정하다고 보고 식 (1)은 다음과 같이 간략화 할 수 있다.

$$T = (\text{constant})D \quad (2)$$

각종 점착물성 시험에 있어서 해결합 주파수는 표 2-1에 나타내어지는 것과 같이 점착제의 두께와 박리속도에 의해서 간단하게 산출할 수 있다. 그림 2-6은 SIS계 점착제에 있어서  $G''$ 의 합성곡선이며, 점착물성 시험방법에 따른 각각의 해결합 주파수에 있어서  $G''$ 의 값이 다르다. 점착부여제의 첨가량이 다른 SIS계 점착제에 대해서 텍 값과  $\text{Log}(G'')$ 와의 관계를 그림 2-7에 나타낸다.  $\text{Log}(G'')$ 는 텍 값의 증가에 따라서 비례하여 있고 식 (1)은 다음 식처럼 나타낼 수가 있다.

$$T = (\text{constant})D = K_1 \cdot \text{Log}G''(\omega \cdot \alpha_T) + K_2 \quad (3)$$

여기서  $\omega$ 는 각 주파수,  $\alpha_T$ 는 shift factor,  $K_1$  및  $K_2$ 는 각각 기울기와 절편이다. 따라서 Tse는 SIS계 점착제에 있어서 텍 값은  $G''$ 값을 이용해서 정량적으로 평가할 수 있다는 것을 지적하고 있다.

한편 Yang<sup>[13]</sup>은 식 (1)에서의  $B$ 는 점착제-피착체간에 있어서 실제 접촉면적과 겉보기 상 접촉 가능한 면적과의 비:  $A/A_0$ 에 상당한다고 생각했다. 파라미터  $A/A_0$ 는 점착제의 크립 컴플라이언스  $J(t)$ 를 이용해서 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$A/A_0 = 1 - \exp\{-J(t)\} \sim J(t) \quad (4)$$

거의 대부분의 점착제는  $T_g$ 가 낮기 때문에 실온에서의 역학적 손실정점  $\tan \delta$ 가 1보다는 훨씬 작아지고  $J(t)$ 와  $G'(\omega)$ 는 다음 식으로 나타낼 수가 있다.

$$J(t) = [1 / G'(\omega)] \cdot [1 / [1 + \tan^2 \delta(\omega)]] \sim 1 / G'(\omega) \quad \text{다만 } \tan \delta \ll 1 \text{의 경우} \quad (5)$$

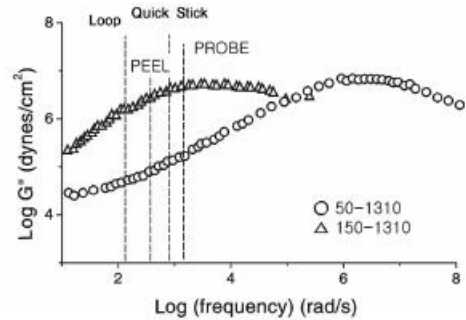
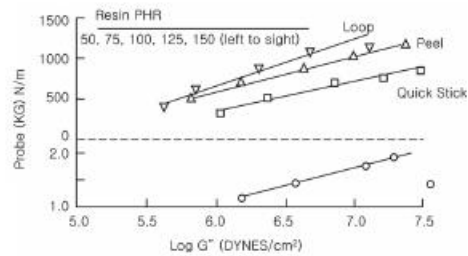


그림 2-6. SIS계 점착제 (Kraton 1107 / Escorez 1310 LC 블렌드)의 손실탄성률 ( $G''$ )의 합성곡선 (그림 안의 점선은 각 점착물성시험에 해당하는 해결합 주파수). Escorez 1310 LC의 첨가량; (O) 50 PHR, ( $\Delta$ ) 150 PHR.<sup>[11]</sup>



TEST	$K_1$	$K_2$	Correlation Coefficient
Loop	2.84	-13.19	0.9662
Peel	2.44	-11.14	0.9982
Quick Stick	2.11	-10.73	0.9899
Probe	0.36	-0.96	0.6925

그림 2-7. 여러 가지의 점착물성시험의 해결합 주파수에 따른 손실탄성률 ( $G''$ )과 점착물성과의 관계.<sup>[11]</sup>

따라서 식 (1)은 다음과 같이 변형할 수 있다.

$$T \propto W_a \cdot G''(\omega_1) / G'(\omega_2) \quad (6)$$

여기서  $G''$ 는 박리주파수  $\omega_1$  (435 rad/sec)에서의 손실탄성률,  $G'$ 는 결합주파수  $\omega_2$  (1 rad/sec)에서의 저장탄성률이다. 아크릴계 점착제에 대해서 박리강도와  $G''(\omega_1) / G'(\omega_2)$ 와의 관계를 그림

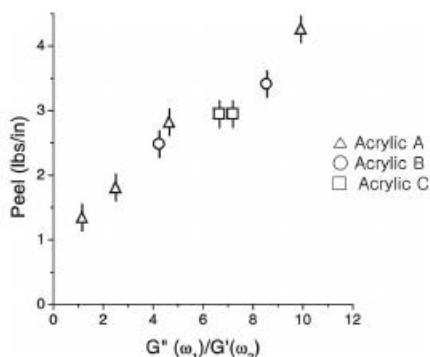


그림 2-8. 아크릴계 점착제의 박리강도와  $G''(\omega_1)/G'(\omega_2)$ 와의 관계.<sup>[13]</sup>

2-8에 나타내었다. 박리강도는  $G''(\omega_1)/G'(\omega_2)$ 가 증가함에 따라 비례하여 증가하고 있다. Yang은 박리강도를  $G''(\omega_1)/G'(\omega_2)$ 를 이용해서 평가하는 것은 합리적이라고 주장하였다.

한편 Dale 등<sup>[14]</sup>은 경화제량이 다른 아크릴계 점착제에 대해서 동적 점탄성과 점착물성과의 관계를 보고하였다. 그들은 127°C (1 Hz)에서의 동적 점탄성 데이터와 실온에서 측정되어지는 점착물성과의 상관관계를 조사했다. 그림 2-9는 점착력과  $\tan \delta$ , 그림 2-10은 유지력과  $G'$ 과의 관계를 나타내고 있다. 점착력이나 유지력은 127°C에 있어서 동적점탄성 데이터와 정(+)의 상관관계를 나타내고 있다. 그들은 이 정(+)의 상관관계를 다른 점착제 계에서도 확인하였다. 그들은 점착물성 시험에 있어서 점착제의 변형량은 동적 점탄성 측정에 있어서의 그것보다도 현저하게 크기 때문에 실온에 있어서 점착물성이 고온으로 측정되어지는 동적 점탄성 데이터와 정(+)의 상관을 나타냈다고 논하였다. 또 그들은 점착제의  $G'$ 이나 응력-뒤틀림 곡선 데이터를 이용해서 점착물성의 파괴 모드의 전이(계면파괴~응집파괴)를 설명하고 있다.

동적 점탄성 데이터를 점착제의 설계지침에 잘 활용하고 있는 예도 있다. Foley 등<sup>[15]</sup>은 동적 점탄성 측정을 점착제 배합의 설계 지침에 결합시키는 것을 제안하고 있다. 점착제에 대해서  $G'$ 의 온도 의존성을 그림 2-11에 나타낸다.  $G'$  곡선에는 저온성능, 실온성능, 텔레스코핑, 유지력이나 용융 가공성 등에 대해서 "성능의 창"이 있고 이 창 속에  $G'$ 값이 놓여지도록 점착제를 설계하면 각각의 성능을 만족시킬 수 있다고 한다.

McElrath 등<sup>[16]</sup>은 택이 에너지 손실의 메커니

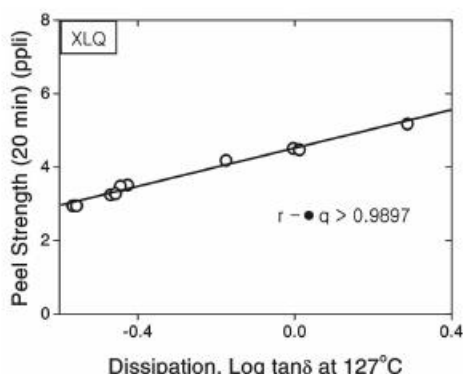


그림 2-9. 가교제 첨가량이 다른 아크릴계 점착제의 점착력과 127°C에서의  $\tan \delta$ 와의 관계.<sup>[14]</sup>

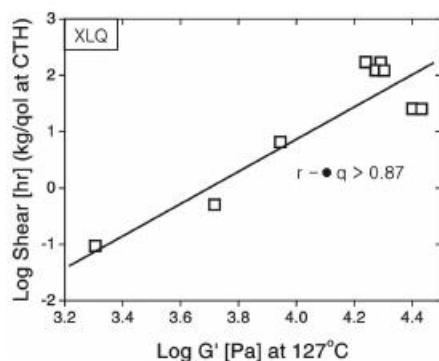


그림 2-10. 가교제 첨가량이 다른 아크릴계 점착제의 유지력과 127°C에서의  $G'$ 과의 관계.<sup>[14]</sup>

즘에 관계하고 있으므로 택 값을 올리는 데는 점착제의  $\tan \delta = G''/G'$ 을 크게 할 필요가 있다고 생각하였다. 그림 2-12에 SIS/점착부여수지계 점착제에 있어서  $\text{Log}(G''/G')$ 와  $\text{Log}$ (환산각 주파수)와의 관계를 나타낸다. 그림 속에는 사용한 점착부여수지의 분자량과 그 분포, 및 각계에 있어서 프로브 택의 최대값을 나타낸다. 배합한 점착부여수지의 분자량 분포가 넓은 경우에는  $G''/G'$  곡선의 폭은 넓어지고 그 최대값도 작지만 분포가 좁은 점착부여수지를 배합하면  $G''/G'$  곡선의 폭은 좁아지며 그 값도 1 이상이 되었다. 이 영역에서는 에너지의 손실이 저장되어지는 것보다 많아진다. 따라서 이것에 대응한 속도 범위에 있어서 프로브 택 값도 분자량 분포가 좁은 점착부여수지를 배합한 계에서 높아졌다.

古川<sup>[17]</sup>은 점착제와 피착체와의 접촉계면에 있어서 점착제 폴리머의 분자사슬 세그먼트의 일부가 루프상에 결합하고 있다고 생각해 점착력(박

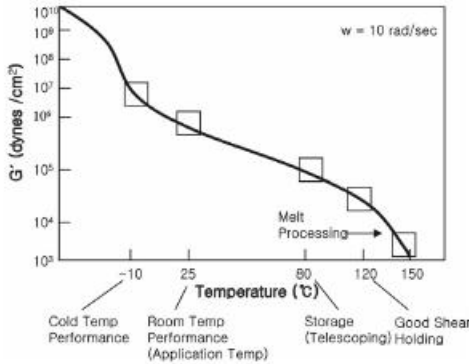


그림 2-11. 점착제의 G'-온도곡선과 성능의 창과의 관계.<sup>[15]</sup>

리력) P를 나타냈다.

$$P = (\eta v h / E)^{0.5} \cdot (v / N^{2/3}) \cdot (W a / L) \quad (7)$$

여기서  $\eta$ , E 및 h는 각각 점착제의 점도, 탄성률 및 두께를 나타내고 있다. v는 박리속도이다.  $(v / N^{2/3})$ 는 계면에서의 의망목(pseudo network)밀도이고 점착제의 경우 거의  $10^{-2}$  정도라고 가정되어진다. L은 세그먼트의 길이( $10^{-7}$  cm)로 박리선단부에서의 박리되는 거리이다. 古川는 식 (7)에 의해서 계산되어지는 P는 실측값에 거의 가깝다고 보고하고 있다.

Nakajima 등<sup>[18]</sup>은 점착강도와 응력-뒤틀림 (Stress-Strain : S-S)특성을 연관시켰다. 점착제와 피착체와의 계면에 있어서 단위면적 당에서의 분리에 필요한 에너지 양 W은 점착제의 단위 폭 당의 박리력 P에 동등하다.

$$W = P \quad (8)$$

W는 아래에 나타내는 4종류의 분산에너지의 합으로 나타낼 수 있다.

$$W = W_0 + W_1 + W_2 + W_3 \quad (9)$$

여기서  $W_0$  : 열역학적 점착일( $W_a$ ),  $W_1$  : 점착제의 분산에너지,  $W_2$  : 피착체의 분산에너지,  $W_3$  : 분산시에 생기는 에너지이고 고무계 점착제에서는  $W_0$ ,  $W_1$ ,  $W_2$ 가  $W_3$ 에 비해서 매우 작기 때문에 무시할 수 있다고 한다. 따라서 W는  $W_3$ 에만 크게 의존할 것으로 기대된다. 그림 2-13에 점착제에 있어서 S-S곡선의 모식도이다. 그들은 그림

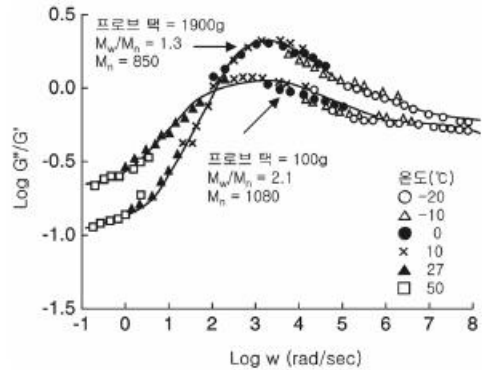


그림 2-12. SIS/점착부여수지계 점착제의 Log(G''/G') 대 Log w (rad/sec)와의 관계.<sup>[15]</sup>

(그래프 안에 사용한 점착부여수지의 분자량과 분포 및 프로브택 값이 기재 됨)

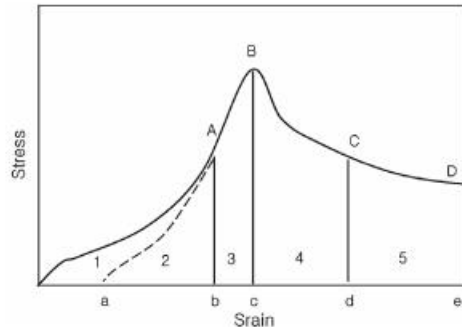


그림 2-13. 응력-변형 곡선의 모식도 (그림 내의 점선은 히스테리시스 곡선임).<sup>[18]</sup>

속의 면적 1 + 2가 점착제에 주어진 에너지라고 하여  $W_1$ 에 해당한다고 논하고 있다. 그리고 인장 시험으로부터 면적 1 + 2를 구해서 박리력의 이론값을 산출하고 박리시험에 있어서 실측값과의 비교를 하고 있다. S-S곡선 중의 점 B에서 파괴하는 점착제에서는 박리력의 실측값은 파괴응력의 2/3으로부터 구하는 계산 값과 거의 일치하고 다른 뒤틀림 속도에서도 같은 결과를 얻고 있다. 한편 항복점 D에서 파괴가 생기는 것에서는 계산 값이 실측값보다도 매우 작아진다고 보고되어지고 있다. 이것은 항복점을 넘는 박리 에너지(면적 1+2+3+4)가 계산 값에 고려되어져 있지 않기 때문이라고 추측되어진다. 박리식을 식 (9)(점착과정과 해결할 과정을 단순한 합의 모양으로 나타내고 있다)으로 평가하는 점과 응력-뒤틀림 곡선 데이터만으로부터 산출하는 것 등의 문제도 있기 때문에, 그것들의 검증은 향후의 과제이다.



최근 秋山는 폴리부타디엔(PBD)계 상용접착제에 대해서 최적한 접착물성을 나타내는 접착제의 점탄성 모델곡선을 제시하고 있다.<sup>[19]</sup> 특히  $\tan \delta$ 가 최소가 되는 온도에 주목하고 있어 결합과정과 해결합과정을 동시에 포함한 접착물성의 복잡성을 설명할 수 있는 가능성이 있다. 접착물성과 동적 점탄성과의 상관성에 관한 결과는 현상론적으로 이끌어낸 일종의 경험법칙이라고 말할 수 있다. 그러나 이것들의 경험법칙은 새로운 접착제의 개발지침이 되고 앞으로 접착 이론으로 포함될 가능성을 가지고 있다. 또한 지면 관계상 생략하지만 앞에서 언급한 것 외의 접착의 경험법칙에 대해서는 Mizumachi(水町)의 총설<sup>[20]</sup>에 정리해 두었다는 것을 덧붙여 둔다.

## 참 고 문 헌

1. D. W. Aubrey and M. Sherriff, *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, **16**, 2631 (1978).
2. D. W. Aubrey and M. Sherriff, *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, **18**, 2597 (1978).
3. 朱承興, 日本接着學會誌, **28**, 436 (1992).
4. 佐野健志, 日本レオロジー學會高分子加工技術研究會第37回研究會例會要旨集, 名古屋 (1998).
5. M. Toyama, T. Ito, and H. Moriguchi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **14**, 2039 (1970).
6. D. H. Kaelble, *J. Adhesion*, **1**, 102 (1969).
7. 齋藤隆則, 日本接着協會誌, **25**, 467 (1989).
8. D. Satas, "Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology" 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, New York (1989).
9. 遠山三夫, "感壓接着劑(粘着劑)", 高分子刊行會, p. 80~81 (1991).
10. E. P. Chang, *J. Adhesion*, **34**, 189 (1991).
11. M. F. Tse, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **3**, 551 (1989).
12. M. F. Tse, *J. Adhesion*, **48**, 149 (1995).
13. H. W. H. Yang, *J. Appl. Polym. Sci.*, **55**, 645 (1995).
14. W. C. Dale and M. D. Paster, *J. K. Haynes, J. Adhesion*, **31**, 1 (1989).
15. K. F. Foley and S. G. Chu, *Adhesives Age*, **29**(10), 24 (1986).
16. K. O. McEirath and M. F. Tse, 第25回接着研究發表會講演要旨集, p.124 (1987).
17. 古川淳二, 日本接着協會誌, **24**, 403 (1988).
18. N. Nakajima, R. Babrowicz, and E. R. Harrell, *J. Appl. Polym. Sci.*, **44**, 1437 (1992).
19. 秋山三朗, 日本接着學會誌, **30**, 439 (1994).
20. 水町浩, 接着ハンドブック, 第3版, 日本接着學會編, 日刊工業新聞社 pp.257-278, (1996).