

점착제의 물성해석과 응용실례 (제5회)

김 현 중¹ · 김 대 준² 공역

제 2 장 점착의 메커니즘 III

6. 점착의 계면과학

앞서 기술한 것과 같이 점착제는 피착체에 접촉하는 것에 의해서 점착성이 나타나기 때문에 점착제-피착체의 계면상태는 접착물성에 큰 영향을 미친다. 그래서 점착제, 피착체에 있어서 표면(계면)장력이나 계면상호 작용의 평가는 접촉과정에서 점착의 메커니즘을 규명하는데 중요하다. 여기서는 접촉각법에 의한 표면장력 및 계면상호작용의 평가방법에 대해서 필자 등의 제안도 포함해서 설명하기로 한다.

6.1. 정적접촉각에 의한 표면장력과 계면상호작용의 평가

점착제와 피착체가 계면에서 접촉하는 과정(유동, 젖음, 접착, 흡착)에서는 얼마나 계면 장력을 최소할 것인지를 포인트가 된다. 그럼 31처럼 피착체(고체) 표면상에 액체 방울이 접촉각 θ 를 유지하고 평행상태가 되는 경우 다음의 Young의 식이 성립한다.

$$v_S = v_{SL} + v_L \cos \theta \quad (25)$$

식(25)에서 v_S 와 v_L 는 각각 고체 및 액체의 표면장력, v_{SL} 는 고체-액체간의 계면장력을 나타내고 있다. Dupre는 접착계면을 끊어 떨어뜨리는데 필요한 열역학적 접착일 Wa 를 다음 식으로 나타냈다.

$$Wa = v_S + v_L - v_{SL} \quad (26)$$

식(25)과 식(26)을 조합하면 Young-Dupre의 식이 얻어진다.

$$Wa = v_L (1 + \cos \theta) \quad (27)$$

식(26)보다 고체 및 액체의 표면장력이 높고 또한 계면장력 v_{SL} 이 낮을수록 열역학적 접착일 Wa 은 증대한다. 또 v_S 나 v_{SL} 를 몰라도 접촉각 θ 를 평가할 수 있으면 식(27)에 의해서 Wa 를 산출할 수 있다. Zisman^[43]은 고체표면에 있어서 여러 가지 액체의 접촉각과 표면장력과의 직선관계에 의해서 $\theta = 0 (\cos \theta = 1)$ 으로 외삽한 값을 임계표면장력 v_C 라고 명명하였다. 그러나 Dupre의 열역학적 접착일 Wa 와 실제의 접착강도와의 상관성이 반드시 성립하지 않고 또 Zisman Plot도 직선관계로부터 어긋나는 경우가 생기게 되었다. 더욱이 열역학적 접착일 Wa 뿐만으로 접착을 평가하는 것은 한계가 있다. 다음에 Wa 에 계면상호작용을 도입한 齋藤 등의 방법^[44]을 소개한다.

Good과 Girifalco^[45]는 Wa 와 응집일 W_c 를 이용해서 상호작용 파라미터 ϕ_G 를 정의했다.

$$\phi_G = Wa / (W_{CS} W_{CS})^{0.5} \quad (28)$$

$$Wa = 2\phi_G (v_S v_L)^{0.5} \quad (29)$$

식(27)과 식(29)로부터 Young-Dupre-Good-Girifalco의 식이 얻어진다.

$$1 + \cos \theta = 2\phi_G (v_S / v_L)^{0.5} \quad (30)$$

• 2003년 11월 22일 접수 (received)

•¹ 서울대학교 농업생명과학대학 임산공학과, 바이오복합재료 및 접착과학연구실 (Homepage: www.adhesion.org)

•² (주)삼성전기 글로벌혁신센타 생산기술팀

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

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

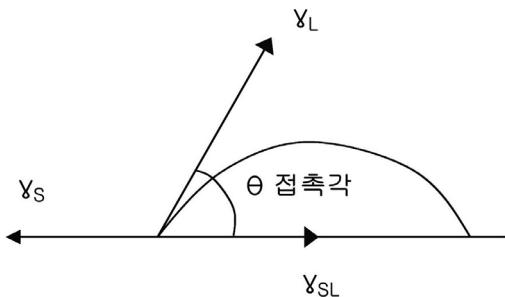


그림 31. 피착체 표면상에 있어서 접착제의 접촉각.

고분자고체와 동족액체 계열과의 접촉각 거동에서 $1 + \cos \theta$ 대 $v_L^{-0.5}$ plot은 실험 범위 내에서는 직선관계에 있으나 이용된 액체의 극성에 의해서 원점으로부터 크게 어긋나는 일이 있다.^[44] 또 파라미터 Φ_G 는 여러 파라미터에 의존하기 때문에 실험적으로 구하는 것은 쉽지 않다. 齋藤 등^[44]은 실험 결과를 있는 그대로 직선화하고 다음과 같이 공식화했다.

$$1 + \cos \theta = \lambda v_L^{-0.5} + \Phi \quad (31)$$

여기서 λ 는 기울기, Φ 는 $(1 + \cos \theta)$ 축과의 절편이고 동족 액체계열에서는 정수가 된다. 식(31)을 이용하면 Young-Dupre의 식과 Good-Girifalco의 관계식으로부터 확장을 무시할 수 있는 경우의 Φ_G 는 다음 식

$$\Phi_G = \{(2 - \Phi)v_C^{0.5} + \Phi v_L^{0.5}\} / 2v_S^{0.5} \quad (32)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 $\theta \rightarrow 0$ 일 때의 Φ_G 을 Φ_G^0 로 하면 $v_L \rightarrow v_C^0$ 으로

$$\Phi_G^0 = (v_C/v_S)^{0.5} \quad (33)$$

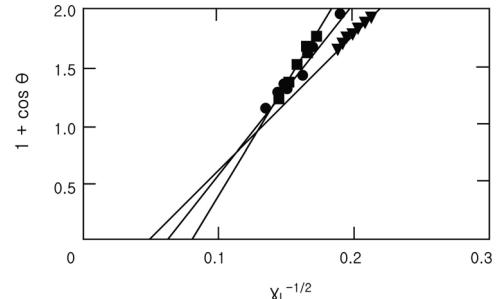
가 된다.

한편 齋藤 등^[44]은 Kaelble와 Uy^[46]의 접착효율 파라미터 Φ_X 와 표면장력의 극성분률 X_j^P

$$\Phi_X = (X_S^d X_L^d)^{0.5} + (X_S^P X_L^P)^{0.5} \quad (34)$$

$$X_j^P = 1 - X_j^d = v_j^P/v \quad (\text{with } j; S, L) \quad (35)$$

를 이용하고 거기에 기하평균법칙에서의 어긋남을 나타내는 일종의 상호작용 파라미터 a 를 도입하고 상호작용 파라미터 Φ_G 를 다음 식으로 정의했다.

그림 32. 불소공중합체에 있어서 $1 + \cos \theta$ 대 $v_L^{-0.5}$ plot.^[48]

-) H-liquids, 수소결합성 액체계열
- ▼) D-liquids, 분산력 성분만의 무극성액체계열
-) P-liquids, 햄할로겐 극성액체계열

$$\Phi_G = \Phi_X(v_L/v_S)^a \quad (36)$$

여기서 표면장력의 극성분률은 용해도 파라미터 δ 와 그 극성성분 δ^P 를 이용해서 Wu의 식^[47]에 의해서 산출할 수 있다.

$$X_j^P = (\delta^P / \delta)^2 \quad (37)$$

식(28)의 Φ_G 를 Φ_X 로 바꾸어 놓으면 Wa는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Wa = 2\Phi_X v_S^{0.5-a} v_L^{0.5+a} \quad (38)$$

계다가 Young-Dupre의 식(27)을 이용하면 다음 식이 얻어진다.

$$\log(1 + \cos \theta) = (a - 0.5) \log(v_L) + \log(2\Phi_X v_S^{0.5-a}) \quad (39)$$

극성분률이 동일한 동족액체 계열을 이용하고 정적 접촉각의 측정 중에 고체표면의 재편이 일어나지 않으면 $\log(1 + \cos \theta)$ vs. $\log(v_L)$ plot의 기울기보다 파라미터 a 가 결정될 수 있다. 또 임계표면장력 v_C 도 $\log(1 + \cos \theta) = 2$ 에의 외삽값으로서 구한다. 또 이용한 동족액체계열에 있어서 표면장력 v_S 를 산출할 수 있다.

불소 공중합체: 폴리(불소화 비닐리텐- CO -헥사플로오로아세톤)와 여러 가지 액체 계열의 유기액체와의 접촉각 거동에 대해서 $1 + \cos \theta$ vs. $v_L^{-0.5}$ plot을 그림 32에 나타냈다.^[48] 액체계열 끼리는

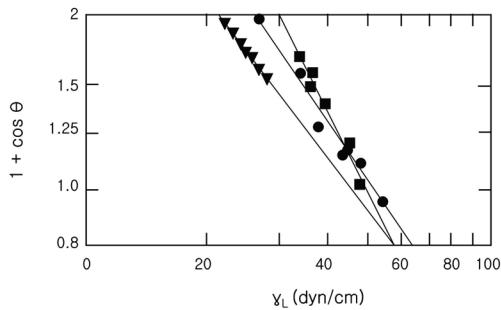


그림 33. 불소공중합체에 있어서 $\log(1+\cos \theta)$ 대. $\log(v_L)$ plot.^[48]
● H-liquids, 수소결합성 액체계열
▼ D-liquids, 분산력 성분만의 무극성액
체계열
■ P-liquids, 합할로겐 극성액체계열

직선 관계를 이루나 얻어지는 임계표면장력 v_C 는 이용하는 액체계열에 따라서 다르고 최소자승법에 의해서 구해지는 직선은 원점으로부터 크게 어긋나 있다. 그림 33에는 불소 공중합체의 $\log(1+\cos \theta)$ vs. $\log(v_L)$ plot^[48]이 나타나 있다. 동족 액체계열에 따라서 plot의 기울기가 달라지고 있다. 기하평균법칙이 성립하는 ($a=0$) 것은 무극성 액체계열의 경우뿐이다. 또 plot은 최소자승법에 의해서 구해진 직선에 맞추어지고 있고 납득할만한 v_C 가 직선 외삽에 의해서 얻어지는 것을 알 수 있다. 이 결과는 Zisman plot이 본래 밑에 凸의 곡선이 되고 얻어지는 이론 v_C 값도 $\log(1+\cos \theta)$ 대 $\log(v_L)$ plot에서 얻어지는 이론 v_C 값보다 작아지는 것을 시사하고 있다. 각 액체계열마다 불소 공중합체의 표면장력 v_S^E 값이 Siow와 Patterson이 제안한 다음 식^[49](Prigogine의 대응 상태이론을 이용함)에 의해서 산출되어지는 이론적 v_S^T 값에 가깝다는 것을 알았다.^[50] 필자 등의 제안하는 접촉각의 해석방법이 고체의 표면장력의 평가에 대해서 대단히 유효하다는 것을 알 수 있다.

$$v_S = v_S^T / (\kappa^{1/3} P^{2/3} T^{1/3}) \quad (40)$$

표 3. P(2EHA-AA)의 분자량^[54]

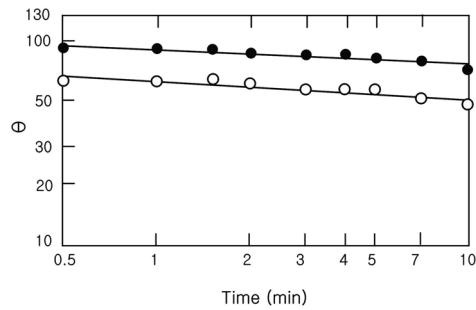


그림 34. P(2EHA-AA)(AA: 5(mol%))와 H액체에 있어서 접촉각 θ 의 시간 의존성.^[54]
● 티오디글리콜 ○ 디브로피렌글리콜

$$v_S V^{5/3} = 0.29 - (1 - V^{-1/3}) \times \ln((V^{1/3} - 0.5) (V^{1/3} - 1)) \quad (41)$$

여기서 v_S 는 환원표면장력, V 는 환원체적, P^* , T^* 는 특성압력과 특성온도, 및 κ 는 Boltzman 상수이다.

또 본 장에서 소개한 접촉각의 해석방법에 대해서 폴리부탄디엔 블렌드^[51,52]나 아크릴계 폴리머/불소계 폴리머 블렌드^[53]에 있어서도 표면장력과 계면상호작용이 평가되어져 표면장력의 값이 얻어진다는 것을 나타내었다.

6.2. 아크릴계 접착제와 유기액체와의 접촉각

아크릴계 접착제는 T_g 가 낮고 실온에서는 대단히 유연성을 가지고 있으므로 표면의 조성은 재배향·재배열하기 쉽다. 그래서 아크릴계 접착제와 유기액체와의 접촉각은 시간의존성을 나타내는 것이라고 생각되어진다. 필자 등은 여러 가지 유기액체를 선택하고 아크릴계 접착제와의 접촉각의 시간 의존성을 조사하고 계면상호작용에 관한 결과를 얻었다.^[54] 아크릴계 접착제로서 표 3에 나타나는 것과 같이 아크릴산 2-에틸헥실과 아크릴산의 공중합체 P(2EHA-AA)를 이용했다. 이것들의 폴리머를 PET필름에 도포한 접착 테이

	Content of AA (mol%)				
	0	5	10	20	30
$M_n \times 10^{-4}$	2.09	4.29	3.35	2.69	4.32
$M_w \times 10^{-5}$	2.69	3.05	3.85	3.65	4.65
$M_w \times M_n$	12.9	7.1	11.5	13.6	10.9

표 4. 액체의 표면장력^[54]

Species	Liquid	v_L^d	v_L^p	v_L^h	v_L	X_L^d
D	n-Nonane	22.9	0	0	22.9	1.00
	n-Decane	23.9	0	0	23.9	1.00
	n-Undecane	24.7	0	0	24.7	1.00
	n-Dodecane	25.4	0	0	25.4	1.00
	n-Tetradecane	26.7	0	0	26.7	1.00
	n-Hexadecane	27.6	0	0	27.6	1.00
P	1,1,2-Trichloroethane ^b	-	-	-	33.6	-
	Hexachlorobutadiene	35.8	0.2	0	36.0	0.994
	Tetrachloroethane	33.2	3.1	0	36.3	0.915
	1,2-Dibromoethane	-	-	-	38.9	-
	α -Bromonaphthalene	44.4	0.2	0	44.6	0.996
	Tetrabromoethane	44.3	3.2	0	47.5	0.933
H	1-Methoxy-2-propanol ^b	-	-	-	27.1	-
	Dipropylene glycol	29.4	0	4.5	33.9	0.867
	1,3-Butanediol ^{b,c}	-	-	-	37.8	-
	Polyethyleneglycol	29.9	0.1	13.5	43.5	0.687
	Diethyleneglycol	31.7	0	12.7	44.4	0.714
	Ethyleneglycol	30.1	0	17.6	47.7	0.631
	Thiodiglycol	39.1	1.4	13.4	54.0	0.726
	Water	-	-	-	72.8	-

표 5. P(2EHA-AA)의 접착물성^[54]

	AA content (mol%)				
	0	5	10	20	30
180° peel strength (gf/25 mm) ^a	65 ^b	750 ^b	3930	1930	1880
J. dow ball tack	6	9	8	4	> 2
Probe tack (g/5 mm Φ)	326	696	1097	625	128
Holding power(s)	2 ^b	7 ^b	25 ^b	460 ^b	17860 ^b

프를 시료로 하였다. 접착제 층의 두께는 약 50 μm 이었다. 접촉각 측정에는 표 4에 나타나는 분산성(D)·극성(P)·수소결합성(H) 유기액체를 이용했다. P(2EHA-AA)의 접착물성을 표 5에 나타낸다. 아크릴산을 공중합하면 그 접착물성은 크게 변화하게 된다. 접착제 자체의 역학적 성질이나 표면장력이 변화하기 때문이라고 추측되어 진다.

그림 34에 H액체와 P(2EHA-AA)(AA함유량:

5 mol%)와의 접촉각의 시간의존성을 나타낸다. 0.5~10 min의 범위에서는 접촉각 θ 는 시간과 함께 지수 함수적으로 감소하고 있다. 한편 폴리에틸렌필름과 H액체와의 접촉각의 시간의존성을 그림 35에 나타내었다. 접촉각은 시간이 경과해도 변화하고 있지 않다. P(2EHA-AA)와 P액체, D액체와의 접촉각은 H액체의 경우와 같이 접촉각이 시간과 함께 지수함수적으로 감소한다. 폴리에틸렌필름에 있어서 접촉각이 시간의 경과로

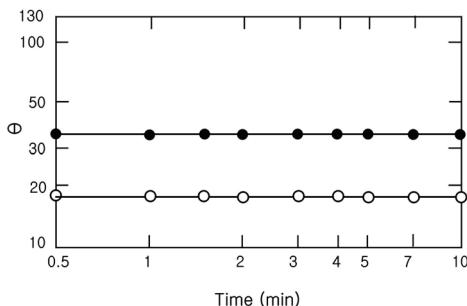


그림 35. PE필름과 H액체에 있어서 접촉각 θ 의 시간의존성.^[54]
 ●) 티오디글리콜 ○) 디브로피렌글리콜

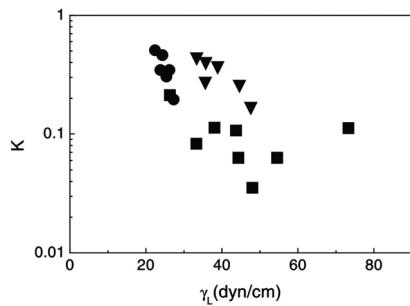


그림 36. P(2EHA-AA)(AA: 5(mol%))에 있어서의 K와 v_L 과의 관계.^[54]
 ●) D-액체 ▽) P-액체 ■) H-액체

표 6. P(2EHA-AA)의 η' 및 T_{Dmax} ^[54]

	AA content(mol%)				
	0	5	10	20	30
$\eta' \times 10^{-4}$ (dyn/cm ²)	1.35	2.47	4.29	14.5	136
T_{Dmax} (°C)	-46.4	-37.3	-26.4	-5.8	16.4

변화하지 않으므로 P(2EHA-AA)로 생기는 접촉각의 시간의존성은 유기액체의 접성유동에 의한 것은 아니고 P(2EHA-AA)와 유기액체와의 계면장력 v_{SL} 가 변화하기 때문이라고 추측되어진다.

아크릴계 접착제와 유기액체와의 접촉각의 시간의존성은 0.5~10min의 범위에서는 다음 식으로 나타내어진다.

$$\log \theta = -K \cdot \log(t) \quad (42)$$

아크릴계 접착제와 D·P·H형 유기액체와의 접촉각의 시간의존성에서 얻어지는 계수 K와 액체의 표면장력 v_L 과의 관계를 그림 36에 나타내었다. 계수 K에 대한 v_L 의 값에 좌우되어지고 있다는 것을 알 수 있다. D·P액체계열에서는 K값은 v_L 의 증가에 따라서 감소하고 있는데 H액체에서는 $v_L=50$ (dyn/cm) 부근에서 극소값을 나타내고 있다. 또 P액체에 있어서 v_L 에 대한 K의 감소율은 D액체계열에 있어서 감소율보다 작다. 그래서 접촉각의 시간의존성에 영향을 미치는 인자에 대해서 검토했다.

전술한 것과 같이 Good와 Girifalco는 상호작용 파라미터 ϕ_G 를 이용하여 접착일 Wa를 나타내고 있다. 그들은 ϕ_G 가 고체·액체성분의 분극율 α , 이온화 페텐셜 I, 쌍극자 모멘트 μ 를 이용해서 표현할 수 있는 것을 보고하고 있다.^[55] 그

러나 각각의 파라미터를 평가하는 것은 용이하지 않다. Ward와 Neumann^[56]은 경험적으로 상호작용 파라미터와 계면장력의 관계를 다음 식으로 나타냈다.

$$\phi_G = 1 - 0.0075v_{SL} \quad (43)$$

계면장력 v_{SL} 은 식(43) 및 다음 식을

$$\phi_G = (v_S + v_L - v_{SL}) / 2(v_S v_L)^{0.5} \quad (44)$$

조합함에 의해서 다음 식으로 정의되어진다.

$$v_{SL} = (v_S^{0.5} v_L^{0.5})^2 / \{1 - 0.015(v_S v_L)^{0.5}\} \quad (45)$$

식(45)보다 $v_S=v_L$ 일 때 v_{SL} 은 극소가 된다. 더욱이 P(2EHA-AA)에 대해서 접촉각이 시간의 경과에 대해서 감소하는 이유는 폴리머 층쇄의 배향이나 재배열에 의한 v_S 의 변화가 v_{SL} 에 영향을 미치기 때문이라고 생각되어진다. 식(44)에 의하면 ϕ_G 는 v_{SL} 에 의존하므로 고체·액체의 파라미터 (α , I, μ)의 영향도 시사되어진다. 또 H액체계열에 있어서 K가 $v_L=50$ (dyn/cm) 부근에서 극소가 되는 이유는 Gutowski^[57]이 지적하는 것과 같이 티오디글리콜이나 물 등의 높은 표면장력을 나타내는 액체에서는 수소결합 등의 특수한

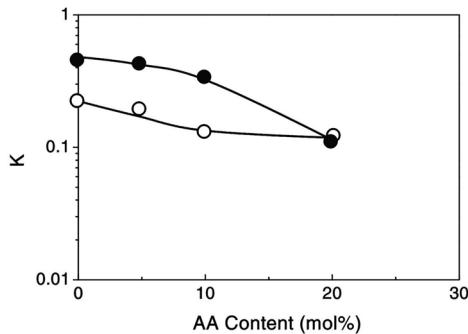


그림 37. P(2EHA-AA)와 D액체에 있어서의 K와 AA함유량과의 관계.^[54]
 ●) 운데칸 ○) 헥사데칸

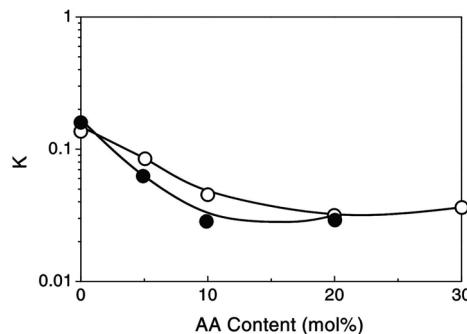


그림 39. 38 P(2EHA-AA)와 H액체에 있어서의 K와 AA함유량과의 관계.^[54]
 ●) 티오디글리콜 ○) 디브로피렌글리콜

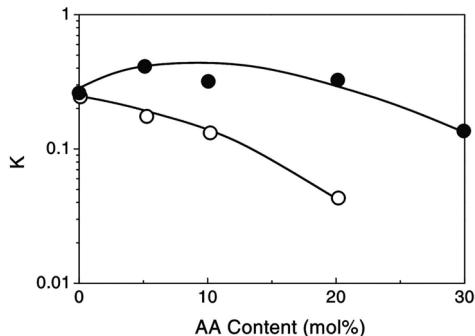


그림 38. P(2EHA-AA)와 P액체에 있어서의 K와 AA함유량과의 관계.^[54]
 ●) 테트라브로모에탄
 ○) 테트라클로로에탄

상호작용을 가지기 때문이라고 추측되어진다.

폴리머 사슬의 배향이나 재배열은 T_g 및 유연성에 따라서 달라지므로 P(2EHA-AA)에 있어서 접촉각의 시간의존성에 대해서 K에 미치는 역학적 성질의 영향을 조사할 필요가 있다. 표 6에 P(2EHA-AA)에 대해서 유리전이온도 T_g ($\tan \delta$ 가 극대가 되는 온도; T_{Dmax}) 및 20°C에 있어서 동적점도 η' 를 나타낸다. P(2EHA-AA)는 실온이하의 T_g 를 가지고 있으므로 폴리머 사슬의 배향이나 재배열은 일어나기 쉽다고 예측되어진다. 특히 폴리아크릴산 2-에틸헥실은 T_g 가 낮고 (-46.4°C), η' 도 낮으므로 1.35×10^4 (dyn · sec/cm²), 유기액체와 접촉하는 것에 의해서 가장 용이하게 배향 또는 재배열하는 폴리머라고 말한다. 한편 아크릴산을 30(mol%) 공중합체한 폴리머는 T_g 나 η' 가 가장 크므로 고분자 세그먼트의 분자운동은 일어나기 어렵다.

그림 37에 D계열 액체(운데칸, 헥사데칸)로 얻어진 파라미터 K와 아크릴산 공중합량과의 관계를 나타낸다. D액체에 있어서 비례정수 K는 아크릴산함유량의 증가에 따라서 감소하고 있고 폴리머 사슬의 배향이나 재배열이 일어나는 속도는 T_g 및 η' 의 감소에 의해서 증가하고 있다는 것이 시사되어진다. 그림 38에는 P액체계열(테트라클로로에탄, 테트라브로모에탄)에서 얻어진 K와 아크릴산함유량과의 관계가 나타나있다. 테트라클로로에탄에서 K는 아크릴산함유량의 증가에 따라서 감소하고 있지만 테트라브로모에탄에 있어서 K와 아크릴함유량과의 관계는 위의 凸의 곡선을 나타내고 있다. 테토라브로모에탄에 있어서 P(2EHA-AA)의 배향 또는 재배열의 속도는 액체의 파라미터 (α , I , μ) 및 P(2EHA-AA)의 역학적 성질(T_g , η')에 의해서 영향을 받고 있다고 추측되어진다. H액체 계열(티오디글리콜, 디브로피렌글리콜)에서 얻어진 K와 아크릴산 함유량과의 관계는 그림 39에 나타내는 것과 같이 밑에 凸의 곡선으로 되어있다. 아크릴산 함유량에 대해서 K가 증가하는 영역에서는 고체, 액체의 파라미터 (α , I , μ)가 폴리머 사슬의 배향이나 재배열에 미치는 영향이 대단히 크다고 생각되어진다.

「접착제의 주성분인 P(2EHA-AA)와 같은 폴리머에서는 배향이나 재배열이 일어나기 쉬움이 유기액체와의 접촉각 측정결과로부터 시사되어졌다.」 또 폴리머 사슬의 배향, 재배열의 속도는 접촉하는 액체의 표면장력, 파라미터 (α , I , μ) 및 역학적 성질(T_g , η')에 의해서 영향되어지는 것이 추측되어졌다. 아크릴계 접착제에 있어서 이러한 특성은 접착력의 시간 의존성에 관계하고 있는 것이라고 생각되어진다.

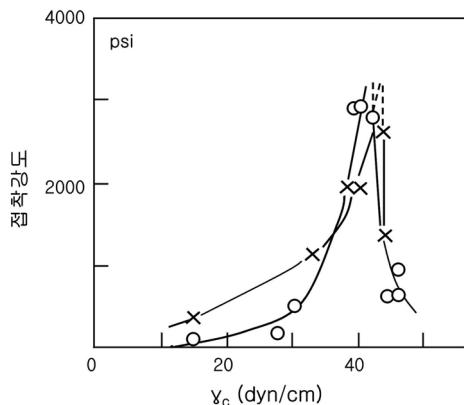


그림 40. 각종 고분자고체와 에폭시수지와의 접착 강도와 γ_c 와의 관계.^[58]

6.3. 표면장력과 용해도 파라미터

이제까지 설명한 표면장력 γ 이나 열역학적 접착일 W_a 와 접착강도가 어떠한 상관성을 나타내는 것인가? Kitazaki와 Hata^[58]은 각종 고분자 고체에 대해서 임계표면장력 γ_c 와 에폭시수지에 대한 접착강도와의 관계를 조사했다(그림 40). 접착강도는 고분자 고체의 γ_c 가 40(dyn/cm)일 때 극대값을 나타내고 있다. 에폭시 수지의 표면장력도 40(dyn/cm)이었다. 그들은 계면장력 γ_{SL} 을 극소로 하는 것이 접착강도를 높이기 위해 고려해야 할 계면화학적 조건이고 Neumann 등의 식(45)^[56]을 인용해서 γ_{SL} 를 극소로 하기 위한 조건은 $\gamma_S = \gamma_L$ 일 때라는 것을 주장했다. 井本^[59]는 식(45)는 이론적이지 못하기 때문에 Young의 식을 이용해서 최적접착의 계면화학조건을 설명해야 한다고 논술하고 있다. 그 외에도 접착강도와 고분자고체의 γ ⁽⁶⁰⁾이나 열역학적 접착일 W_a ⁽⁶¹⁾과의 관계를 조사한 예가 있고 역시 $\gamma_S = \gamma_L$ 일 때에 접착강도가 최대가 되는 경향이 있다.

접착제와 피착체 각각의 용해도 파라미터 δ 가 가까울 때 잘 용해해서 강하게 접착한다는 경험 법칙이 있다. δ 는 응집에너지밀도 CED를 이용해서 다음 식으로 얻어진다.

$$\delta = (CED)^{0.5} \quad (46)$$

$$CED = (\Delta H - RT)/V \quad (47)$$

여기서 ΔH 는 증발열, R 은 기체상수, T 는 절대온도, V 는 액체의 몰 체적이다. Iyengar 등^[62]

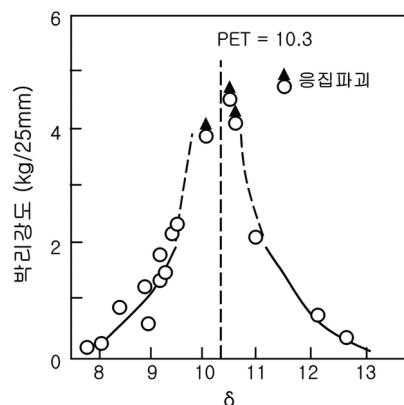


그림 41. PET필름에 대한 박리강도와 접착제의 δ 과의 관계.

은 16종류의 접착제와 PET필름과의 박리강도를 측정하고 박리강도와 접착제의 δ 와의 관계를 조사했다. 그림 41에 나타나는 것과 같이 $\delta = 10.3$ 의 PET필름에 대해서 $\delta = 10 \sim 11$ 의 접착제를 이용하면 응집파괴가 일어날 정도로 견고하게 접착하고 있다는 것을 알 수 있다. 즉 접착제와 PET필름의 δ 가 일치할 때 접착강도의 최대값이 얻어진다. 이것들의 결과는 접착강도의 극대값을 γ 나 δ 에 의해서 예측할 수 있다는 것을 시사하고 있는데 예측에 반한 예도 보고되고 있어 주의가 필요하다.

참 고 문 헌

43. H. W. Fox and W. A. Zisman, *J. Colloid Sci.*, **5**, 514(1950); **7**, 109(1952); **7**, 428(1952).
44. a) 齋藤隆則, 日本接着協会誌, **24**, 347(1988); b) 齋藤隆則, 日本接着協会誌, **24**, 431(1988); c) 齋藤隆則, 加納義久, 日本接着協会誌, **24**, 469(1988); d) 加納義久, 齋藤隆則, 接着, **32**, 396(1988).
45. a) L. A. Girifalco and R. J. Good, *J. Phys. Chem.*, **61**, 904(1957); b) R. J. Good, L. A. Girifalco, *J. Phys. Chem.*, **64**, 541(1960).
46. D. H. Kaelble and K. C. Uy, *J. Adhesion*, **2**, 50(1970).
47. S. Wu, *Polymer Interface and Adhesion*, Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 105, 1982.
48. Y. Kano and S. Akiyama, *Polymer*, **33**, 1690(1992).

49. K. W. Siow and D. Patterson, *Macromolecules*, **4**, 26 (1971).
50. Y. Kano, S. Kawahara, and S. Akiyama, *Polymer*, **33**, 3753 (1992).
51. S. Kawahara, Y. Kano, and S. Akiyama, *Polym. J.*, **24**, 145 (1992).
52. S. Akiyama, Y. Kano, and S. Kawahara, *Polym. Networks Blends*, **4**, 197 (1994).
53. Y. Kano and S. Akiyama, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **11**, 1251 (1992).
54. Y. Kano and S. Akiyama, *Polymer*, **34**, 376 (1993).
55. R. J. Good, *J. Colloid Interface Sci.*, **59**, 398 (1997).
56. C. A. Ward and A. W. Neumann, *J. Colloid Interface Sci.*, **49**, 286 (1974).
57. W. Gutowski, *J. Adhesion*, **19**, 29 (1985).
58. a) Y. Kitazaki and T. Hata, *J. Adhesion*, **4**, 123 (1972). b) 畠敏雄, 北崎寧昭, 日本接着協会誌, **7**, 224 (1971).
59. 井本稔, 接着の基礎理論, 高分子刊行會, pp. 83 ~87, 1993.
60. M. Toyama, T. Ito, H. Nakatsuda, and M. Ikeda, *J. Appl. Polym. Sci.*, **17**, 3495 (1973).
61. G. A. Dickerhoff, P. J. Sell, and Angew. *Makromol. Chem.*, **21**(312), 169 (1972).
62. Y. Iyengar and D. E. Erickson, *J. Appl. Polym. Sci.*, **11**, 2311 (1967).